



T/CECS XXX—20XX

中国工程建设标准化协会标准

市域（郊）铁路岩土工程勘察标准

Standard for Geotechnical Investigations of Suburban Railway

（征求意见稿）

（在提交反馈意见时，请将知道的相关专利和支持性文件一并附上）

Xxxx 出版社

中国工程建设标准化协会标准

市域（郊）铁路岩土工程勘察标准

Standard for Geotechnical Investigations of Suburban Railway

（征求意见稿）

T/CECS XXXX-202X

主编单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202×年 月 日

XXXX 出版社

202×年北京

中国工程建设标准化协会公告

第 XXX 号

关于公布《市域（郊）铁路岩土工程勘察标准》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2021 年第一批协会标准制定、修订计划〉的通知》（建标协字〔2021〕11 号）的要求，由中铁第四勘察设计院集团有限公司等单位编制的《市域（郊）铁路岩土工程勘察标准》，经本协会铁道分会组织审查，现批准发布，编号为 T/CECS ***-202*，自 202*年*月*日起施行。

中国工程建设标准化协会

XXXX 年 XX 月 XX 日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2021 年第一批协会标准制定、修订计划〉的通知》（建标协字〔2021〕11 号）的要求，编制组经过深入调查，认真分析借鉴了国（境）外市域（郊）铁路有关成功经验和先进技术，在此基础上又以多种方式，广泛征求了全国市域（郊）铁路方面有关专家 and 单位的意见，通过反复论证研究，最后经过审查定稿，制定本标准。

本标准共分为 23 章和 8 个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、岩土分类及分级、可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察、施工勘察、场地和地基的地震效应、不良地质作用、特殊性岩土、地下水、遥感地质解译、工程地质调绘、物探、勘探与取样、原位测试、室内岩土试验、水和土腐蚀性的评价、周边环境专项调查、岩土工程分析评价和成果报告、现场检验和监测、勘察信息化等。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由中铁第四勘察设计院集团有限公司负责具体技术内容的解释。本标准在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：湖北省武汉市武昌和平大道 745 号；邮政编码：430063），并抄送中国工程建设标准化协会铁道分会（北京市海淀区三里河路 9 号，邮政编码：100038），以供修订时参考。

主编单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司

参编单位：中国铁路经济规划研究院有限公司

北京城建勘测设计研究院有限责任公司

广州地铁设计研究院股份有限公司

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司

上海市隧道工程轨道交通设计研究院
甘肃中建市政工程勘察设计院有限公司

主要起草人员：

主要审查人员：

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	3
3	基本规定	7
3.1	一般规定	7
3.2	勘察等级	9
3.3	勘察纲要	10
4	岩土分类及分级	12
4.1	一般规定	12
4.2	岩石分类	12
4.3	土的分类	13
4.4	围岩分级与岩土施工工程分级	18
5	可行性研究勘察	19
5.1	一般规定	19
5.2	目的与任务	19
5.3	勘察要求	20
6	初步勘察	22
6.1	一般规定	22
6.2	目的与任务	22
6.3	路基	23

6.4	桥涵.....	24
6.5	隧道.....	26
6.6	车站.....	27
6.7	车辆基地.....	29
7	详细勘察.....	30
7.1	一般规定.....	30
7.2	目的与任务.....	30
7.3	路基.....	32
7.4	桥涵.....	34
7.5	隧道.....	35
7.6	车站.....	38
7.7	车辆基地.....	42
8	施工勘察.....	43
9	场地和地基的地震效应.....	44
9.1	一般规定.....	44
9.2	场地类别和抗震地段.....	44
9.3	地基液化判别.....	46
10	不良地质作用.....	47
10.1	一般规定.....	47
10.2	岩溶.....	47
10.3	人为坑洞.....	50
10.4	地面沉降.....	52
10.5	地裂缝.....	55
10.6	有害气体.....	57
10.7	放射性.....	58
10.8	滑坡.....	61

10.9	危岩和崩塌.....	63
10.10	泥石流.....	64
10.11	活动断裂.....	66
11	特殊性岩土.....	69
11.1	一般规定.....	69
11.2	填土.....	69
11.3	软土.....	71
11.4	膨胀岩土.....	73
11.5	黄土.....	77
11.6	污染土.....	80
11.7	混合土.....	82
11.8	盐渍岩土.....	83
11.9	冻土.....	86
11.10	红黏土.....	89
11.11	风化岩和残积土.....	91
12	地下水.....	94
12.1	一般规定.....	94
12.2	地下水的勘察要求.....	94
12.3	水文地质参数的测定.....	96
12.4	地下水作用的评价.....	99
13	遥感地质解译.....	100
13.1	一般规定.....	100
13.2	遥感数据的选择与处理.....	101
13.3	工作内容与方法.....	102
14	工程地质调绘.....	105

14.1	一般规定	105
14.2	工作方法	105
14.3	工作范围	106
14.4	工作内容	107
14.5	工作成果	111
15	物探	113
15.1	一般规定	113
15.2	直流电法	114
15.3	电磁波法	115
15.4	弹性波法	116
15.5	测井	118
15.6	物性参数测试	118
16	勘探与取样	122
16.1	一般规定	122
16.2	勘探点定位和测量	122
16.3	钻探	123
16.4	井探、槽探、洞探	124
16.5	取样	125
17	原位测试	127
17.1	一般规定	127
17.2	标准贯入试验	127
17.3	动力触探试验	128
17.4	静力触探	128
17.5	载荷试验	130
17.6	十字板剪切试验	131

17.7	旁压试验.....	132
17.8	扁铲侧胀试验.....	133
17.9	应力铲试验.....	134
18	室内岩土试验.....	135
18.1	一般规定.....	135
18.2	土的物理性质试验.....	135
18.3	土的力学性质试验.....	136
18.4	岩石试验.....	137
19	水和土腐蚀性的评价.....	139
19.1	一般规定.....	139
19.2	取样.....	139
19.3	水和土的腐蚀性试验.....	139
20	周边环境专项调查.....	141
20.1	一般规定.....	141
20.2	调查要求.....	141
20.3	调查内容.....	142
20.4	成果资料.....	144
21	岩土工程分析评价和成果报告.....	145
21.1	一般规定.....	145
21.2	岩土参数的分析和选定.....	145
21.3	岩土工程分析评价的基本内容.....	147
21.4	勘察报告的基本要求.....	150
22	现场检验和监测.....	153
22.1	一般规定.....	153

22.2	现场检验.....	153
22.3	现场监测.....	154
23	勘察信息化.....	157
23.1	一般规定.....	157
23.2	数据采集与处理.....	157
23.3	成果制作.....	158
23.4	数据管理与应用.....	159
附录 A	岩石坚硬程度的定性划分.....	160
附录 B	岩石按风化程度分类.....	161
附录 C	岩体结构类型分类.....	162
附录 D	碎石土的密实度.....	163
附录 E	隧道围岩分级.....	166
附录 F	岩土工程施工分级.....	172
附录 G	泥石流的分类.....	174
附录 H	山岭隧道涌水量预测方法.....	178
附录 J	环境水、土对混凝土侵蚀性的判定标准.....	182
	引用标准名录.....	189
	条文说明.....	191

Contents

1	General provisions.....	1
2	Terms and symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	3
3	Basic requirements.....	7
3.1	General requirements	7
3.2	Investigation grade.....	9
3.3	Investigation of an outline.....	10
4	Classification and grading of rock-soil.....	12
4.1	General requirements.....	12
4.2	Classification of rock	12
4.3	Classification of soil.....	13
4.4	Grading of surrounding rock and geotechnical construction engineering	18
5	Feasibility study investigation.....	19
5.1	General requirements.....	19
5.2	Purpose and task.....	19
5.3	Requirement of investigation	20
6	Preliminary investigation.....	22
6.1	General requirements.....	22
6.2	Purpose and task.....	22

6.3	Earth structure.....	23
6.4	Bridge and culvert.....	24
6.5	Tunnel.....	26
6.6	Station.....	27
6.7	Base for the vehicle.....	29
7	Detailed investigation.....	30
7.1	General requirements.....	30
7.2	Purpose and task.....	30
7.3	Earth structure.....	32
7.4	Bridge and culvert.....	34
7.5	Tunnel	35
7.6	Station.....	38
7.7	Base for the vehicle.....	42
8	Construction investigation	43
9	SEIsmic effects of sites and foundations.....	44
9.1	General requirements.....	44
9.2	Site classification and seismic section.....	44
9.3	Foundation liquefaction discrimination	46
10	Adverse geological actions.....	48
10.1	General requirements.....	48
10.2	Karst.....	48
10.3	Man-made pits	50
10.4	Surface subsidence	53
10.5	Ground fissure	56
10.6	Harmful gas.....	58

10.7	Radioactivity.....	59
10.8	Landslide.....	63
10.9	Dangerous rock and collapse.....	63
10.10	Debris flow.....	64
10.11	Active fault	67
11	Special rock-soil.....	70
11.1	General requirements.....	70
11.2	Fill.....	70
11.3	Soft soil.....	71
11.4	Expansive roc-soil	74
11.5	Collapsible loess.....	78
11.6	Polluted soil.....	80
11.7	Composite soil.....	83
11.8	Saline soil.....	85
11.9	Permafrost soil.....	87
11.10	Red clay.....	89
11.11	Weathered rock and residual soil.....	91
12	Underground water.....	94
12.1	General requirements.....	94
12.2	Investigation requirements of underground water.....	94
12.3	Mensurement of hydrogeological parameters.....	96
12.4	Evaluation of underground water action.....	99
13	Remote sensing geological interpretation.....	100
13.1	General requirements.....	100
13.2	Selection and processing of remote sensing data.....	1012

13.3	Work content and method.....	102
14	Engineering geological investigation and mapping.....	105
14.1	General requirements.....	105
14.2	Work method.....	105
14.3	Working range.....	106
14.4	Work content.....	1078
14.5	Working achievement.....	111
15	Geophysical prospecting.....	错误！未定义书签。4
15.1	General requirements.....	错误！未定义书签。4
15.2	Direct current electric method	错误！未定义书签。5
15.3	Electromagnetic wave method.....	错误！未定义书签。6
15.4	Wave velocity method.....	错误！未定义书签。7
15.5	Well logging.....	错误！未定义书签。9
15.6	Physical property parameter test.....	118
16	Exploration and sampling	122
16.1	General requirements.....	1223
16.2	Location and survey of exploration sites.....	122
16.3	Drilling	123
16.4	Well、trench and Exploratory tunnel excavating.....	1245
16.5	Sampling.....	1256
17	In-situ test	1278
17.1	General requirements.....	1278
17.2	Standard penetration test.....	127

17.3	Dynamic penetration test.....	1289
17.4	Static cone penetration test.....	1289
17.5	Loading test.....	130
17.6	Vane shear test.....	1312
17.7	Pressuremeter test.....	1323
17.8	Dilatometer test.....	132
17.9	Stress shovel test.....	1345
18	Laboratory tes of rock-soil.....	1357
18.1	General requirements.....	1357
18.2	Test of the physical properties of the soil.....	1357
18.3	Test of the mechanical properties of the soil.....	1368
18.4	rock test	1379
19	Evaluation of water and soil corrosivity	139
19.1	General requirements.....	1391
19.2	Sampling.....	139
19.3	Corrosion test of water and soil	139
20	Special investigation of surrounding environment.....	1413
20.1	General requirements.....	1413
20.2	Investigation requirements.....	1413
20.3	Investigation contents	1424
20.4	Achievement data	1446
21	Analysis of Geotechnical engineering and investigation report	1457
21.1	General requirements.....	1457

21.2	Analysis and selection of geotechnical parameters.	1457
21.3	Basic contents of geotechnical engineering analysis and evaluation	147
		9
21.4	asic requirements for survey report.....	150
22	On-site inspection and monitoring.....	153
22.1	General requirements.....	1535
22.2	On-site inspection.....	1535
22.3	On-site inspection and monitoring.....	1546
23	Investigation informatization.....	157
23.1	General requirements.....	1579
23.2	data acquisition and processing	1579
23.3	Results making	1580
23.4	Data management and application	1591
附录 A	Qualitative determination of rock hardness.....	160
附录 B	Rocks are classified according to degree of weathering	161
附录 C	Classification of rock mass structure types.....	162
附录 D	Compactness of crushed soil	163
附录 E	Classification of tunnel surrounding rock.....	166
附录 F	Geotechnical engineering construction classification.....	172
附录 G	Classification of debris flow.....	174
附录 H	Prediction method of water inflow in tunnel.....	178

附录 J Environmental water, soil erosion of concrete determination standards	
.....	182
Explanation OF wording in this standards.....	189
Explanation of Provisions.....	191

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行国家有关技术经济政策，统一市域（郊）铁路岩土工程勘察的技术要求，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于市域（郊）铁路工程的岩土工程勘察。

1.0.3 岩土工程勘察应取得设计资料，搜集与工程建设相关的勘察、设计、施工与工程周边环境资料，编制勘察纲要，组织实施，按勘察阶段要求，提供资料真实、内容完整、评价合理、结论可靠、建议可行的勘察报告。

1.0.4 岩土工程勘察应采用综合勘察和综合分析方法，积极采用新技术、新方法。

1.0.5 岩土工程勘察应遵守有关环境保护、水土保持及安全生产等方面的法律、法规。

1.0.6 市域（郊）铁路岩土工程勘察除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 市域（郊）铁路 suburban railway

都市圈中心城市城区联接周边城镇组团及其城镇组团之间提供公交化、大运量、快速便捷的轨道交通系统。

2.1.2 工程周边环境 engineering surrounding environment

泛指市域（郊）铁路影响范围内的建（构）筑物、文物、地表地下矿藏、地下管线、高速公路、市政道路、桥梁、高架线缆、城市轨道交通、铁路、机场以及江、河、湖等。

2.1.3 围岩 surrounding rock

由于开挖，地下洞室周围初始应力状态发生了变化的岩土体。

2.1.4 综合勘察 integrated survey

在研究、分析区域地质条件的基础上，采用遥感地质解译、调绘、物探、钻探与取样、原位测试、水文地质试验、室内试验等多种岩土工程勘察手段进行勘察的方法。

2.1.5 遥感地质解译 geological interpretation of remote sensing

通过多种手段和方法，对遥感地质信息识别、分析、判断，达到识别地区或场地地质条件的过程。

2.1.6 工程地质调绘 engineering geological mapping

在收集资料、遥感解译的基础上，采用地质调查访问等手段，对地貌形态、地层岩性及其工程特征、地质构造、水文地质情况、不良地质现象、特殊岩土等工程地质要素进行调查、测绘，以分析地质现象，确定勘探方法，认识、评价场地工程地质条件的基本工作方法。

2.1.7 岩土工程勘探 geotechnical exploration

采用钻探、物探、原位测试和井探、槽探、坑探、洞探等简易勘探等手段揭示地层、构造、岩土特性、水文地质特征的方法。

2.1.8 不良地质作用 adverse geologic actions

由地球内力或外力产生的对工程可能造成危害的岩溶、人为坑洞、地面沉降、地裂缝、有害气体、放射性、滑坡、危岩和崩塌、泥石流、活动断裂等地质现象的统称。

2.1.9 人为坑洞 man-made pits

指人工开凿的各种坑道、洞穴及开采各类固体矿藏形成的采空区。

2.1.10 特殊性岩土 special rock and soil

对本身具有特殊的物理、力学、化学性质，并影响工程地质条件的填土、软土、膨胀岩土、黄土、污染土、混合土、盐渍岩土、冻土、红黏土、风化岩和残积土等岩土的统称。

2.1.11 现场检验 in-situ inspection

在现场采用一定手段，对勘察成果或设计、施工措施的效果进行核查。

2.1.12 现场监测 in-situ monitoring

在现场对岩土性状和地下水的变化，岩土体和结构物的应力、位移进行系统监测和观测。

2.2 符 号

2.2.1 岩土的物理指标

$CEC(NH_4^+)$ ——阳离子交换量

d_{10} ——有效粒径

d_{50} ——中值粒径

D_r ——相对密度

DT ——易溶盐含量

$\overline{DT}$ ——平均含盐量

e ——孔隙比

F_s ——自由膨胀率

H_k ——毛细水上升高度

K_q ——耐冻系数

I_p ——土的塑性指数

I_L ——土的液性指数

M ——蒙脱石含量

V_H ——轴向自由膨胀率

V_D ——径向自由膨胀率

V_{HP} ——侧向约束膨胀率

S_r ——土的饱和度

ω ——土的天然含水率

ω_A ——多年冻土的总含水率

ω_p ——土的塑限

ω_L ——土的液限

ω_s ——土的缩限

W_u ——有机质含量

ρ ——岩土的天然密度

ρ_s ——颗粒密度

2.2.2 岩土의强度指标

c ——黏聚力；

φ ——内摩擦角；

f_{ak} ——承载力特征值；

R_a ——单桩竖向承载力特征值；

f_r ——岩石饱和单轴抗压强度；

f_c ——岩石天然单轴抗压强度；

K_0 ——静止侧压力系数；

p_c ——先期固结压力；

q_u ——无侧限抗压强度；

p_u ——载荷试验极限压力；

τ ——抗剪强度；

σ_0 ——地基基本承载力。

2.2.3 岩土变形参数

a ——压缩系数；

C_c ——压缩指数；

C_e ——回弹再压缩指数；

C_s ——回弹指数；

C_h ——水平向固结系数；

C_v ——垂直向固结系数；

E ——弹性模量；

E_0 ——变形模量；

E_s ——压缩模量；

E_c ——回弹模量；

G ——剪切模量；

K ——基床系数；

K_h ——水平基床系数；

K_v ——垂直基床系数；

s ——沉降量；

μ ——泊松比；

OCR ——超固结比。

2.2.4 原位测试指标

N ——标准贯入试验锤击数；

$N_{63.5}$ ——重型圆锥动力触探试验实测锤击数；

N_{120} ——超重型圆锥动力触探试验实测锤击数；

$N'_{63.5}$ ——根据实测重型圆锥动力触探击数 $N_{63.5}$ 修正后得到的击数；

N'_{120} ——根据实测超重型圆锥动力触探击数 N_{120} 修正后得到的击数；

p_s ——单桥静力触探比贯入阻力；

f_s ——双桥静力触探侧阻力；

q_c ——双桥静力触探锥头阻力；

R_f ——双桥静力触探摩阻比；

E_D ——侧胀模量；

E_m ——旁压模量；

v_p ——压缩波波速；

v_s ——剪切波波速。

2.2.5 水文地质参数

k ——渗透系数；

Q ——流量，涌水量；

R ——影响半径；

u ——孔隙水压力。

2.2.6 其他符号

S_t ——土的灵敏度；

m ——土的水平抗力系数的比例系数；

δ ——变异系数；

σ ——标准差；

K_v ——岩体完整性指数；

δ_s ——湿陷系数；

δ_{zs} ——自重湿陷系数；

δ_0 ——融化下沉系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 市域（郊）铁路岩土工程勘察应按不同设计阶段的技术要求，开展相应的勘察工作。勘察阶段可分为可行性研究勘察、初步勘察和详细勘察，并与设计阶段相对应。在施工阶段遇到异常地质情况时，可根据需要进行施工勘察。

勘察阶段与设计阶段对应表见表 3.1.1。

表 3.1.1 勘察阶段与设计阶段对应表

设计阶段名称	可行性研究	初步设计	施工图设计
勘察阶段名称	可行性研究勘察	初步勘察	详细勘察

3.1.2 岩土工程勘察应在搜集已有勘察设计资料、工程周边环境资料和建设经验的基础上，结合不同的线路敷设方式以及各类工程的建筑类型、结构形式、施工方法等工程条件开展工作。

3.1.3 市域（郊）铁路岩土工程勘察，应采用适宜的勘察手段，合理布置勘察工作量，查明拟建场地的工程地质与水文地质条件、不良地质作用，进行岩土工程分析和评价，提供设计和施工所需的岩土参数，提示地质风险，提出岩土治理、环境保护、工程监测等建议。

3.1.4 勘察手段可综合采用遥感地质解译、工程地质调绘、物探、勘探与取样、原位测试、水文地质试验、室内试验等。应根据不同勘察阶段、工程类型、场地地质条件、勘察手段的适宜性等，统筹考虑勘察手段选配，综合确定勘察工作量，以取得符合工程要求的勘察成果。

3.1.5 遇下列情况之一时，应进行专项勘察并提供符合设计和施工要求的专项勘察报告：

- 1 对工程有重大影响的不良地质作用、特殊性岩土及周边环境条件；
- 2 对工程有重大影响的复杂水文地质条件；
- 3 特殊施工工艺要求的特殊试验或测试等。

3.1.6 当建设场地周边涉及重要的建构筑物 and 设施时应委托进行环境专项调查工作，并提供专项调查报告，

3.1.7 市域（郊）铁路岩土工程勘察应取得地质灾害危险性评估、压覆矿产资源评估、地震安全性评价、管线等资料。

3.1.8 岩土工程分析评价、地震效应分析评价、成果报告应根据设计、施工的需要提供岩土参数，所执行的规范应与设计相匹配。

3.1.9 岩土工程勘察全过程应坚持安全第一、预防为主、综合治理的原则，建立安全生产责任制，执行安全生产规章制度，并应符合《工程勘察通用规范》GB 55017、《岩土工程勘察安全标准》GB/T 50585 的相关规定。

3.1.10 勘察实施过程中风险类型有自然灾害风险、地质条件风险、工程周边环境风险、技术标准风险、施工安全风险、质量风险和其它风险等。应对可能出现的风险源进行识别和分级，并分析原因，采取相应的风险控制预防措施。

3.1.11 勘察风险控制必须坚持“安全第一、保护环境、预防为主”的原则，采取经济、可行、主动的处置措施来减少或降低风险的影响。因现场场地条件或现有技术手段的限制，存在无法探明的工程地质或水文地质情况时，应分析设计和施工中潜在的风险。根据风险评估及分级结果，勘察单位应编写应急预案。对于重大风险应有专项风险应对措施，将风险降低到可接受水平。

3.1.12 勘察风险管理中，宜采用的质量风险控制措施包括：

- 1 实行勘察大纲、勘察报告评审和勘察外业监督检查制度；
- 2 检查试验方法与数据，抽查钻孔芯样；
- 3 地质条件变化较大时及时调整钻孔间距，增加钻孔数量，工程方案调整后应及时补充地质钻孔；
- 4 采取多种勘察手段，将地质钻探与物探相结合或对照参考；
- 5 采用多种勘察手段，进行不良工程地质与水文地质勘察工作及周边环境调查工作；
- 6 充分利用邻近已建建构筑物的勘察成果和经验。

3.2 勘察等级

3.2.1 岩土工程勘察可根据工程重要性、场地地基复杂程度和工程周边环境风险等级综合确定勘察等级。

3.2.2 工程重要性等级可根据工程的规模、建（构）筑类型和特点以及因岩土工程问题造成工程破坏或影响正常使用的后果，按表 3.2.2 的规定进行划分：

表 3.2.2 工程重要性等级

工程重要性等级	工程破坏的后果	工程及建筑类型
一级	很严重	车站主体、各类通道、地下区间、盾构始发（接收）井、高架桥区间、桥涵、路基、地下停车场、控制中心、主变电站、上盖物业
二级	严重	车辆基地内的各类房屋建筑（不含上盖）、出入口、风井、施工竖井
三级	不严重	次要建筑物、地面停车场

3.2.3 场地地基复杂程度等级可按下列规定分为三个场地地基等级：

- 1 符合下列条件之一者为一级场地地基(复杂场地地基):
 - 1) 地形地貌复杂;
 - 2) 建筑抗震危险的地段;
 - 3) 不良地质作用强烈发育;
 - 4) 特殊性岩土需要专门处理;
 - 5) 地基、围岩和边坡的岩土性质较差;
 - 6) 地下水对工程的影响大, 需要进行专门研究和治理。
- 2 符合下列条件之一者为二级场地地基(中等复杂场地地基):
 - 1) 地形地貌较复杂;
 - 2) 建筑抗震不利的地段;
 - 3) 不良地质作用一般发育;

- 4) 特殊性岩土不需要专门处理;
- 5) 地基、围岩或边坡的岩土性质一般。
- 6) 地下水对工程影响较大, 但有成熟可靠的治理措施。

3 符合下列条件者为三级场地地基(简单场地地基):

- 1) 地形地貌简单;
- 2) 抗震设防烈度等于或小于 6 度或对建筑抗震有利的地段;
- 3) 不良地质作用不发育;
- 4) 特殊性岩土不发育;
- 5) 地基、围岩或边坡的岩土性质较好;
- 6) 地下水对工程影响小。

3.2.4 工程周边环境风险等级可根据工程周边环境与工程的相互影响程度, 及破坏后果的严重程度, 按下列规定进行划分:

- 1 一级环境风险: 工程周边环境与工程相互影响很大, 破坏后果很严重;
- 2 二级环境风险: 工程周边环境与工程相互影响大, 破坏后果严重;
- 3 三级环境风险: 工程周边环境与工程相互影响较大, 破坏后果较严重;
- 4 四级环境风险: 工程周边环境与工程相互影响小, 破坏后果轻微。

3.2.5 岩土工程勘察等级分为甲、乙和丙三级。可综合工程重要性等级、场地地基复杂程度、工程周边环境风险等级按下列原则确定:

- 1 甲级: 在工程重要性等级、场地地基复杂程度等级和工程周边环境风险等级中, 有一项或多项为一级的勘察项目;
- 2 乙级: 除勘察等级为甲级和丙级以外的勘察项目;
- 3 丙级: 工程重要性等级、场地地基复杂程度等级均为三级且工程周边环境风险等级为四级的勘察项目。

3.3 勘察纲要

3.3.1 勘察工作开始前, 应根据相关规定或委托单位的要求、各阶段设计方案、工程地质条件及勘察技术要求等, 编制相应勘察阶段的岩土工程勘察纲要。

3.3.2 勘察纲要应包括文字部分和图表部分。

3.3.3 勘察纲要文字部分应包括以下内容：

1 工程勘察概况，包括编制依据和执行的技术标准、工程概况、重大工程的分布情况以及以往勘察情况；

2 地质概况，包括沿线地形及地貌特征、主要岩性及地质特征、工程地质及水文地质概况、沿线不良地质作用、特殊性岩土分布状况；

3 技术要求及勘察工作原则，包括主要技术要求，勘察工作的主要内容和原则，重大工程、重点不良地质作用及特殊性岩土的勘察原则；

4 勘探方法的选用，勘探点的布置原则及主要工作量；

5 勘察工作的质量目标和质量保证措施；

6 组织机构，人员及设备配置，安全保障及环境保护措施和应急预案；

7 计划进度安排及保证措施；

8 勘察成果的编制原则和主要内容等；

9 勘察风险源的识别及应对措施；

10 勘探完成后的现场处理；

11 勘察安全、技术交底及验收等后期服务；

12 其他需要说明的问题。

3.3.4 勘察纲要的图表部分应包括以下内容：

1 勘探点平面布置图；

2 收集的地质资料图表；

3 勘探工作量和室内试验计划表；

4 收集的沿线管线物探成果图等。

3.3.5 勘察纲要在执行过程中，若主要地质条件变化较大或设计方案变更等，需要更改勘察方案时，应及时进行调整，并按质量管理程序审批。

4 岩土分类及分级

4.1 一般规定

4.1.1 岩土分类应采用现场鉴定与室内外试验，定性划分与定量评定相结合的方法。

4.1.2 岩土分级包括围岩分级与岩土施工工程分级两部分。

4.2 岩石分类

4.2.1 在进行岩土工程勘察时，应鉴定岩石的地质名称和风化程度，并进行岩石坚硬程度、岩体完整程度和岩体基本质量等级的划分。

4.2.2 岩石的坚硬程度应按表 4.2.2 分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩和极软岩。现场工作中可按本标准附录 A 的规定进行定性划分。

表4.2.2 岩石坚硬程度的划分

坚硬程度	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩
饱和单轴抗压强度 f_r (MPa)	>60	$30 < f_r \leq 60$	$15 < f_r \leq 30$	$5 < f_r \leq 15$	≤ 5

注：1 当无法取得饱和单轴抗压强度数据时，可用点荷载试验强度换算，换算方法按现行国家标准《工程岩体分级标准》GB50218执行；

2 当岩体完整程度为极破碎时，可不进行坚硬程度分类。

4.2.3 岩体的完整程度根据完整性指数可按表 4.2.3 进行分类。

表4.2.3 岩体完整程度分类

完整程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
完整性指数	>0.75	$0.75 \sim 0.55$	$0.55 \sim 0.35$	$0.35 \sim 0.15$	<0.15

注：完整性指数为岩体压缩波速度与岩块压缩波速度之比的平方，选定岩体和岩块测定波速时，应注意其代表性。

4.2.4 岩体基本质量等级分类应根据岩石的坚硬程度和岩体的完整程度按表 4.2.4 的规定进行划分。

表 4.2.4 岩体基本质量等级分类

坚硬程度	完整程度				
	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
坚硬岩	I	II	III	IV	V
较硬岩	II	III	IV	IV	V
较软岩	III	IV	IV	V	V
软岩	IV	IV	V	V	V
极软岩	V	V	V	V	V

4.2.5 岩石的风化程度应按本标准附录 B 分为未风化、微风化、中等风化、强风化和全风化。

4.2.6 当软化系数等于或小于 0.75 时，应定为软化岩石。当岩石具有特殊成份、特殊结构或特殊性质时，应定为特殊性岩石，如易溶性岩石、膨胀性岩石、崩解性岩石、盐渍化岩石等。

4.2.7 根据岩石质量指标 RQD，可分为好的 (RQD>90)、较好的 (RQD=75~90)、较差的 (RQD=50~75)、差的 (RQD=25~50) 和极差的 (RQD<25)。

4.3 土的分类

4.3.1 土按沉积年代可分为老沉积土、一般沉积土、新近沉积土，并应符合下列规定：

- 1 老沉积土：第四纪晚更新世 Q_3 及其以前沉积的土；
- 2 一般沉积土：第四纪全新世早期沉积的土；
- 3 新近沉积土：第四纪全新世中、晚期沉积的土。

4.3.2 土按地质成因可分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、淤积土、冰积土、风积土等。

4.3.3 土按有机质含量的分类应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 土按有机质含量分类

分类名称	有机质含量 W_u (%)	现场鉴别特征	说 明
------	-----------------	--------	-----

无机土	$W_u < 5$		
有机质土	$5 \leq W_u \leq 10$	深灰色，有光泽，味臭，除腐殖质外尚含少量未完全分解的动植物体，浸水后水面出现气泡，干燥后体积收缩	1 如现场能鉴别或有地区经验时，可不做有机质含量测定； 2 当 $\omega \geq \omega_L$ ， $1.0 \leq e < 1.5$ 时称淤泥质土； 3 当 $\omega \geq \omega_L$ ， $e \geq 1.5$ 时称淤泥
泥炭质土	$10 < W_u \leq 60$	深灰或黑色，有腥臭味，能看到未完全分解的植物结构，浸水体胀，易崩解，有植物残渣浮于水中，干缩现象明显	可根据地区特点和需要按 W_u 细分为： 弱泥炭质土（ $10\% < W_u \leq 25\%$ ） 中泥炭质土（ $25\% < W_u \leq 40\%$ ） 强泥炭质土（ $40\% < W_u \leq 60\%$ ）
泥炭	$W_u > 60$	除有泥炭质土特征外，结构松散，土质很轻，暗无光泽，干缩现象极为明显。	

注：有机质含量 W_u 测定应符合相关试验标准的要求，当 W_u 不超过 15% 时可用重铬酸钾容量法，大于 15% 时可用烧失量法。

4.3.4 土按颗粒级配或塑性指数分为碎石土、砂土、粉土和黏性土。

4.3.5 粒径大于 2mm 颗粒的质量超过总质量 50% 的土，应定名为碎石类土，并按表 4.3.5 进一步分类。

表 4.3.5 碎石类土的分类

土的名称	颗粒形状	颗粒含量
漂石	圆形和亚圆形为主	粒径大于 200mm 颗粒的质量超过总质量的 50%
块石	棱角形为主	
卵石	圆形和亚圆形为主	粒径大于 20mm 颗粒的质量超过总质量的 50%
碎石	棱角形为主	
圆砾	圆形和亚圆形为主	粒径大于 2mm 颗粒的质量超过总质量的 50%
角砾	棱角形为主	

注：分类时应根据粒组含量由大到小，以最先符合者确定。

4.3.6 粒径大于 2mm 颗粒的质量少于总质量 50% 且粒径大于 0.075mm 颗粒的质量超

过总质量 50% 的土，应定名为砂类土，并按表 4.3.6 进一步分类。

表 4.3.6 砂类土的分类

土的名称	颗粒含量
砾砂	粒径大于 2mm 颗粒的质量占总质量 25%~50%
粗砂	粒径大于 0.5mm 颗粒的质量超过总质量的 50%
中砂	粒径大于 0.25mm 颗粒的质量超过总质量的 50%
细砂	粒径大于 0.075mm 颗粒的质量超过总质量的 85%
粉砂	粒径大于 0.075mm 颗粒的质量超过总质量的 50%

注：分类时应根据粒组含量由大到小，以最先符合者确定。

4.3.7 粒径大于 0.075mm 的颗粒质量不超过总质量 50%，且塑性指数等于或小于 10 的土，应定名为粉土。

4.3.8 塑性指数 I_p 大于 10 的土应定名黏性土，并按表 4.3.8 进一步分类。

表 4.3.8 黏性土分类

土的名称	塑性指数 I_p
粉质黏土	$10 < I_p \leq 17$
黏土	$I_p > 17$

注：塑性指数由相应于 76g 圆锥体沉入土样中深度为 10mm 时测定的液限计算而得。

4.3.9 土按其特殊性质可分为填土、软土、膨胀岩土、湿陷性黄土、污染土、混合土、盐渍土、冻土、红黏土、风化岩和残积土等。

4.3.10 土的密实度和饱和度可按下列规定划分：

1 碎石类土的密实度可根据圆锥动力触探锤击数按表 4.3.10-1 和表 4.3.10-2 的规定确定；定性描述可按本标准附录 D 的规定执行；

表 4.3.10-1 碎石类土密实度按 $N'_{63.5}$ 分类

重型动力触探锤击数 $N'_{63.5}$	密实度	重型动力触探锤击数 $N'_{63.5}$	密实度
$N'_{63.5} \leq 5$	松散	$10 < N'_{63.5} \leq 20$	中密

$5 < N'_{63.5} \leq 10$	稍密	$N'_{63.5} > 20$	密实
-------------------------	----	------------------	----

注：1 本表适用对于平均粒径小于或等于 50mm，且最大粒径小于 100mm 的碎石类土；对于平均粒径大于 50mm 或最大粒径大于 100mm 的碎石类土，可用超重型动力触探或用野外观察鉴别；

2 表中的 $N'_{63.5}$ 是根据实测重型圆锥动力触探击数 $N_{63.5}$ 修正后得到的击数。

表 4.3.10-2 碎石类土密实度按 N'_{120} 分类

超重型动力触探锤击数 N'_{120}	密实度	超重型动力触探锤击数 N'_{120}	密实度
$N'_{120} \leq 3$	松散	$11 < N'_{120} \leq 14$	密实
$3 < N'_{120} \leq 6$	稍密	$N'_{120} > 14$	很密
$6 < N'_{120} \leq 11$	中密		

注：表中的 N'_{120} 是根据实测超重型圆锥动力触探击数 N_{120} 修正后得到的击数。

2 砂类土的密实度应根据标准贯入试验锤击数实测值 N 划分为密实、中密、稍密和松散，并应符合表 4.3.10-3 的规定；

表 4.3.10-3 砂类土密实度分类

标准贯入锤击数 N	密实度	标准贯入锤击数 N	密实度
$N \leq 10$	松散	$15 < N \leq 30$	中密
$10 < N \leq 15$	稍密	$N > 30$	密实

注：当有经验时，也可用原位测试或其他方法划分砂类土的密实度。

3 粉土的密实度应根据孔隙比 e 划分为密实、中密和稍密，并符合表 4.3.10-4 的规定。

表 4.3.10-4 粉土密实度分类

孔隙比 e	密实度
$e < 0.75$	密实

$0.75 \leq e \leq 0.90$	中密
$e > 0.9$	稍密

注：当有经验时，也可用原位测试或其他方法划分粉土的密实度。

4.3.11 粉土的湿度应根据含水率 w (%) 划分为稍湿、湿、很湿，并符合表 4.3.11 的规定。

表4.3.11 粉土湿度分类

含水率 w (%)	湿度
$w < 20$	稍湿
$20 \leq w \leq 30$	湿
$w > 30$	很湿

4.3.12 黏性土状态可根据液性指数 I_L 按表 4.3.12-1 划分为坚硬、硬塑、可塑、软塑和流塑；压缩性根据压缩系数可分为高压压缩性、中压缩性、低压压缩性，并符合表 4.3.12-2 的规定。

表4.3.12-1 黏性土状态分类

液性指数	状态	液性指数	状态
$I_L \leq 0.00$	坚硬	$0.75 < I_L \leq 1.00$	软塑
$0.00 < I_L \leq 0.25$	硬塑	$I_L > 1.00$	流塑
$0.25 < I_L \leq 0.75$	可塑		

表4.3.12-2 黏性土压缩性的分类

压缩性分级		压缩系数 $a_{0.1 \sim 0.2}$ (MPa^{-1})
低压压缩性		$a_{0.1 \sim 0.2} < 0.1$
中压缩性	中低压压缩性	$0.1 \leq a_{0.1 \sim 0.2} < 0.3$
	中高压压缩性	$0.3 \leq a_{0.1 \sim 0.2} < 0.5$
高压压缩性		$a_{0.1 \sim 0.2} \geq 0.5$

注： $a_{0.1 \sim 0.2}$ 为 0.1MPa~0.2MPa 压力范围内的压缩系数。

4.4 围岩分级与岩土施工工程分级

4.4.1 围岩分级应根据隧道围岩的工程地质条件、开挖后的稳定状态、弹性纵波速度、基本质量指标按本标准附录 E 划分为 I 级、II 级、III 级、IV 级、V 级和 VI 级。

4.4.2 岩土施工工程分级可根据岩土名称及特征、岩石饱和单轴抗压强度、钻探难度按本标准附录 F 分为松土、普通土、硬土、软质岩、次坚石和坚石。

5 可行性研究勘察

5.1 一般规定

5.1.1 可行性研究勘察应针对研究的线路方案开展工程勘察工作，根据线路的走向、敷设形式、场地的复杂程度及周边环境条件等工作，为线路方案比选和方案设计提供地质依据；重点研究对线路方案有重大影响的不良地质作用、特殊性岩土及关键工程的工程地质条件和水文地质条件。

5.1.2 可行性研究勘察应在搜集地形变迁资料、已有基础地质资料和工程经验基础上，采用以工程地质调绘为主，辅以适当的勘探和测试工作；选择钻探、坑（槽）探、物探、原位测试及取样、室内试验等手段进行。

5.1.3 对影响线路的特殊地质条件、重大环境工程地质问题优先进行规避，在无法规避时应进行专题研究。

5.2 目的与任务

5.2.1 可行性研究勘察应调查线路可能通过区的区域地质条件、工程地质及水文地质条件、周边环境条件，并重点研究控制线路方案的工程地质问题，为线路走向、站位、敷设形式等方案的比选、技术经济论证、工程周边环境保护和编制可行性研究报告提供地质资料。

5.2.2 可行性研究勘察应包括下列内容：

1 搜集区域地质、地形、地貌、水文、气象、地震等资料，以及沿线的工程地质条件、水文地质条件、工程周边环境条件和相关工程建设经验；

2 调查线路沿线的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质特征及工程地质条件，划分工程地质单元，进行工程地质初步分区，评价场地的稳定性和适宜性；

3 了解沿线各类不良地质作用、特殊性岩土的成因类型、性质、分布范围，分析其对线路的危害程度，提出线路避让或防治的初步建议。对控制线路方案的不良地质作用和特殊性岩土应进行必要的勘探、测试工作；

4 调查工程周边环境条件，对控制线路方案的工程周边环境，分析其与线路方

案的相互影响，提出规避和防治的初步建议；

5 对地质条件复杂、控制线路方案的重要路基、特大桥、长隧道及地下车站等工点，了解其工程地质条件，为其位置选择和可行性研究提供地质资料；

6 评价线路各方案的工程地质条件，分析存在的工程地质问题，提出线路方案比选意见建议；

7 编制可行性研究勘察阶段的岩土工程勘察报告。

5.3 勘察要求

5.3.1 可行性研究勘察的资料搜集和分析宜包括下列内容：

1 工程所在地的气象、水文、矿藏资料以及与工程相关的水利、防洪设施等资料；

2 区域地质、构造、地震及液化等资料；

3 沿线地形、地貌、地层岩性、地下水、特殊性岩土、不良地质作用和地质灾害等资料；

4 沿线古城址及河、湖、沟、坑的历史变迁及工程活动引起的地质变化等资料；

5 影响线路方案的桥涵、隧道、路基等建（构）筑物工程周边环境的设计与施工、沉降观测等资料；

6 沿线保护文物、风景名胜区、水源保护区等。

5.3.2 可行性研究勘察的勘探工作应符合下列要求：

1 在收集资料的基础上，勘探点间距不宜大于 1000m，重要路基、特大桥、长隧道、车站及车辆基地、外部环境复杂等地段应有勘探点；

2 每个地貌单元或工程地质单元应有勘探点，在地质条件复杂地段宜加密勘探点；

3 控制线路方案的江、河、湖地表水体及越岭地段、区域性储水构造、不良地质作用和特殊岩土等地段应布置勘探点；

4 利用勘探点应与研究线路处于同一工程地质单元，其距离拟建方案线路中线不宜大于 100m；

5 当存在比选线路方案时，各比选方案宜布置勘探点；

6 勘探点深度应满足场地稳定性、适宜性评价和线路方案设计、工法选择等需要。

5.3.3 可行性研究勘察的勘探取样、原位测试、室内试验的项目和数量，应结合工程地质或地貌单元，根据线路方案、沿线工程地质和水文地质条件确定。

6 初步勘察

6.1 一般规定

6.1.1 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上，针对线路敷设方式、各类工程的结构形式、施工方法等要求开展工作，为初步设计提供地质依据。

6.1.2 初步勘察应对控制线路平面、埋深及施工方法的关键工程或区段进行重点勘察，并结合工程周边环境提出岩土工程防治和风险控制的初步建议。

6.1.3 初步勘察工作应根据沿线区域地质和场地工程地质、水文地质、工程周边环境等条件，采用工程地质调绘、遥感地质解译、工程物探、勘探与取样、原位测试、室内试验、水文地质试验等多种手段相结合的综合勘察方法。

6.1.4 勘探点的类型宜以取样和原位测试孔为主，取样、原位测试的勘探点数量不应少于勘探点总数的 2/3。

6.1.5 勘探孔的深度应满足各类工程要求，宜以控制性孔为主。

6.1.6 每个车站或区间工程宜布置不少于 2 个波速测试孔，每个地下车站或地下区间工程宜布置不少于 1 个视电阻率测试孔。

6.1.7 每个地下车站均宜进行地温测试，测试点宜布设在隧道上下各一倍洞径深度范围；发现有热源影响区域、采用冻结法施工或设计有特殊要求的部位应布置测试点。

6.2 目的与任务

6.2.1 初步勘察应初步查明市域（郊）铁路工程线路、车站、车辆基地和相关附属设施的工程地质、水文地质条件，分析评价地基基础形式、施工方法的适宜性，预测设计施工中的岩土工程问题，提供初步设计所需的岩土参数，提出复杂或特殊地段岩土治理的初步建议。

6.2.2 初步勘察应进行下列工作：

1 搜集带地形图的拟建线路平面布置图、线路纵断面、施工方法等有关设计文件及可行性研究勘察报告、沿线地下设施分布图和已有岩土工程资料；

2 初步查明线路沿线的地形地貌、地层岩性、地质构造、工程地质及水文地质特征，进行工程地质分区；

3 查明沿线场地不良地质作用的类型、成因、分布、规模、工程性质、发展趋势，分析其对工程的危害程度；必要时，应进行专项勘察；

4 初步查明特殊性岩土的类型、成因、分布、规模、工程性质，分析其对工程的危害程度；

5 初步查明沿线地表水的水位、流量、水质，河湖淤积物的发育、分布，地表水与地下水的补排关系；

6 初步查明地下水位、地下水类型，补给、径流、排泄条件，历史最高水位，近3~5年最高水位，地下水动态和变化规律；

7 对场地和地基的地震效应进行初步分析评价；

8 评价场地稳定性和工程适宜性；

9 初步评价水和土对建筑材料的腐蚀性；

10 对可能采取的地基基础类型、施工方法、工程开挖与支护、地下水控制方案进行初步分析评价；

11 季节性冻土地区，应调查场地土的标准冻结深度；

12 对环境风险等级较高的工程周边环境，预测可能出现的工程问题，提出预防措施建议。

6.3 路基

6.3.1 路基工程初步勘察除应符合6.2.2条外，尚应满足下列要求：

1 初步评价路基地基的稳定性，划分岩土施工工程等级，指出路基设计应注意的事项并提出相关建议；

2 初步评价地表水、地下水对路基的影响，提出地下水防治措施建议；

3 高路堤应着重查明软弱土层的分布范围和物理力学性质，提出天然地基的填土允许高度或地基处理建议；对路堤的稳定性进行初步评价；必要时进行取土场勘察；

4 深路堑应初步查明覆盖层与基岩接触面的形态特征及起伏变化情况、岩土体的不利结构面和地下水特征，调查沿线天然边坡、人工边坡的工程地质条件，评价边坡稳定性，提出边坡治理措施建议；

5 支挡结构应初步评价地基稳定性和承载能力，提出地基基础方案及地基处理措施建议；对路堑挡土墙还应提供墙后岩土体物理力学性质指标。

6.3.2 路基工程勘探点间距应符合下列要求：

- 1 路基的勘探点间距 100~150m，支挡结构应有勘探点控制；
- 2 每个地貌、工程地质单元均应布置勘探点，在地貌、工程地质单元交接部位和地层变化较大地段，勘探点应予以加密；
- 3 高路堤、深路堑应布置勘探横断面。

6.3.3 路基工程的控制性勘探孔深度应满足稳定性评价、变形计算、软弱下卧层验算的要求；一般性勘探孔深度应满足如下规定：

- 1 路堤应进入基底以下 5m~10m；
- 2 路堑应至路基面以下 5m~10m；
- 3 基底以下存在软弱地层或可能滑动面时，孔深应穿过该软弱地层层底或可能滑动面并进入稳定地层不小于 5m，并满足设计要求；
- 4 当基底下为基岩时，勘探孔深度可适当减小，且应进入基岩不小于 3m。

6.4 桥涵

6.4.1 桥梁工程初步勘察除符合本标准 6.2.2 条规定外，尚应满足下列要求：

- 1 采用明挖浅基础时，初步评价地基稳定性、地基承载力和均匀性，提供地基变形、基础抗倾覆、抗滑移稳定性验算所需的岩土参数；
- 2 采用桩基础时，初步查明桩基持力层的分布、厚度变化规律，提出桩型及成（沉）桩工艺的初步建议，提供岩土层桩侧摩阻力、桩端阻力初步建议值，并评价桩基施工对工程周边环境的影响；
- 3 采用沉井基础或挖井基础时，初步查明基础持力层的分布、厚度变化规律，评价河床、岸边施工时人工开挖边坡对岸坡稳定性的影响，提供井壁与周围岩土的

摩阻力；

- 4 对跨河桥梁，提供冲刷计算所需的颗粒级配等参数。

6.4.2 涵洞工程初步勘察除符合本标准 6.2.2 条规定外，尚应满足下列要求：

- 1 初步查明天然沟床稳定状态、隐伏的基岩倾斜面；
- 2 初步查明涵洞地基的水文地质条件，必要时进行水文地质试验，提供水文地质参数；

- 3 初步评价涵洞地基稳定性和承载力，提供涵洞设计所需的岩土参数。

6.4.3 桥涵工程初步勘察阶段勘探点布置应符合下列规定：

- 1 勘探点应根据桥梁墩台位置或沿桥梁轴线两侧可能建造墩台的位置布设，勘探点间距宜为 100m~150m；
- 2 对特大桥及大桥的主跨，每个墩台勘探点不宜少于 1 个；
- 3 中小桥及涵洞结合路基布置勘探点，每个地貌、地质单元应有勘探点控制。

6.4.4 桥梁工程控制性勘探孔深度应满足地基基础方案比选和地基稳定性、变形计算的要求，一般性勘探孔深度应满足查明地基持力层和软弱下卧土层分布的要求，并应满足下列要求：

- 1 采用明挖浅基础或沉井(挖井)基础时，按如下规定确定孔深：

当覆盖层厚度较大时，控制性勘探孔深度应超过地基变形计算深度且不小于基底以下 15m，一般性勘探孔深度不小于基底以下 10m 或不小于基础底面宽度的 3 倍；

当覆盖层厚度较小时，控制性勘探孔深度应进入基底以下中风化~微风化岩层 8m~10m，一般性勘探孔深度应进入基底以下中风化~微风化岩层 3m~5m。

- 2 采用桩基础时，按如下规定确定孔深：

当采用摩擦桩时，控制性勘探孔应满足下卧层验算和沉降验算要求，一般性勘探孔应达到桩端平面以下 3 倍~5 倍桩径且不应小于 3m，对于大直径桩不应小于 5m；

当采用嵌岩端承桩时，控制性勘探孔应达到预计桩端平面以下 3 倍~5 倍桩径，并穿过溶洞、破碎带到达稳定岩层，一般性勘探孔应达到预计桩端平面以下 2 倍~3 倍桩径。

6.4.5 涵洞工程的控制性勘探孔深度应满足稳定性评价、变形计算、软弱下卧层验算的要求；一般性勘探孔深度不宜小于相邻路基工程的勘探点深度；基底以下存在软弱地层或潜在滑动面时，勘探孔深度应穿过该软弱地层层底或潜在滑动面并进入稳定地层不小于 5m，并满足设计要求；当基底为风化岩时，勘探孔深度可适当减小，且应进入基底以下风化岩不小于 3m；采用桩基础和桩板（网、筏）时，勘探孔深度参照 6.4.4 条桥梁工程确定孔深。

6.5 隧道

6.5.1 隧道工程初步勘察除应符合本标准 6.2.2 条的规定外，尚应满足下列要求：

- 1 初步划分隧道的围岩分级和岩土施工工程分级；
- 2 根据隧道的结构形式及埋置深度，结合岩土工程条件，提供初步设计所需的岩土参数，提出地基基础方案的初步建议；
- 3 每个水文地质单元应选择代表性地段进行水文地质试验，提供水文地质参数，必要时设置地下水位长期观测孔；
- 4 初步查明地下有害气体、污染土层、具有放射性危害地层的分布、成分，评价其对工程的影响；地热发育地区应初步分析评价地热对工程的影响；
- 5 针对隧道的施工方法，结合岩土工程条件，初步分析基坑支护、围岩支护、盾构设备选型、岩土加固与开挖、地下水控制等可能遇到的岩土工程问题，提出处理措施的初步建议。

6.5.2 隧道工程勘探孔应根据场地地基复杂程度和设计方案布置，并符合下列规定：

- 1 勘探孔陆域宜在隧道结构边线外侧 3m~5m、水域在结构线外侧 6m~10m 的范围内交叉布置；
- 2 勘探孔间距宜为 100m~200m，中间井、联络通道、沉管法隧道干坞部位宜有勘探孔控制；

3 场地地基复杂或设计有特殊要求时，勘探孔可适当加密；

4 山岭隧道勘探方法宜以工程地质调绘及工程物探为主，辅以代表性钻探测试工作。勘探工作量布置可按《铁路工程地质勘察规范》TB 10012 的相关规定执行。

6.5.3 隧道勘探孔深度应根据地质条件及设计方案综合确定，并符合下列规定：

1 明挖法隧道和中间井一般性勘探孔深度不宜小于 2.0 倍开挖深度，且满足基础设计要求；控制性勘探孔深度不宜小于 2.5 倍开挖深度，并满足变形验算要求；

2 盾构法隧道和联络通道一般性勘探孔深度不宜小于隧道底以下 2.0 倍隧道直径；控制性勘探孔深度不宜小于隧道底以下 3.0 倍隧道直径；

3 沉管法隧道一般性勘探孔深度不宜小于基底以下 0.6 倍隧道宽度且不小于河床下 30m，控制性勘探孔深度不宜小于基底下 1.0 倍隧道宽度且不小于河床下 40m；采用桩基础时，孔深应满足桩基工程的勘察要求；沉管法隧道干坞勘探孔深度不宜小于 2.0 倍干坞深度；

4 矿山法隧道勘探孔深度不应小于隧道底板以下 8m~10m 并不小于 1 倍洞高，同时满足地下水控制要求；

5 在钻孔预定深度内遇中等风化或微风化岩石时，勘探孔深度可适当减少；一般性勘探孔宜进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 5m，控制性勘探孔宜进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 8m；遇岩溶、土洞、暗河、破碎带等时应根据工程需要适当加深。

6.6 车站

6.6.1 车站工程初步勘察除应执行本标准 6.2.2 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 初步划分岩土施工工程分级和暗挖车站的围岩分级；

2 根据车站的结构形式和埋置深度，结合岩土工程条件，提供初步设计所需的岩土参数，提出地基基础方案的初步建议；

3 每个水文地质单元选择代表性地段，对工程有影响的含水层进行水文地质试

验，提供水文地质参数，必要时设置地下水位长期观测孔；

4 初步查明特殊性岩土层的分布和特性，评价其对工程的影响；

5 重点查明对车站方案有控制性影响的不良地质作用及其分布范围和特征，指出工程设计应注意的事项；

6 针对车站的施工方法，分析基坑支护、围岩支护、桩基持力层及成桩工艺选择、岩土施工设备选型、岩土加固与开挖、地下水控制等可能遇到的岩土工程问题，提出处理措施的初步建议。

6.6.2 车站工程勘探点布置应符合下列规定：

1 地下车站的勘探点宜按结构轮廓线布置，每座车站勘探点数量不宜少于 4 个，且勘探点间距不宜大于 100m，复杂场地地基可适当加密；

2 地面车站、高架车站的勘探点宜结合结构轮廓线和高架柱网布置，每座车站勘探点数量不宜少于 3 个，且勘探点间距不宜大于 100m，复杂场地地基可适当加密。

6.6.3 勘探孔深度应根据地质条件及设计方案综合确定，并符合下列规定：

1 地面车站控制性勘探孔深度应进入基础底面以下并满足稳定性评价、地基变形计算和软弱下卧层验算的要求，一般性勘探孔深度应进入基础底面以下硬塑状或中密状土层 5m~10m；在预定深度内遇中等风化或微风化基岩时，勘探孔深度可适当减小；

2 地下车站控制性勘探孔应进入结构底板以下不小于 30m，在结构埋深范围内如遇强风化、全风化岩石地层时应进入结构底板以下不小于 15m，在结构埋深范围内如遇中等风化、微风化岩石地层时宜进入结构底板以下 8m；地下车站一般性勘探孔应进入结构底板以下不小于 20m，在结构埋深范围内如遇强风化、全风化岩石地层时应进入结构底板以下不小于 10m，在结构埋深范围内如遇中等风化、微风化岩石地层时宜进入结构底板以下不小于 5m。

3 高架车站勘探孔深度应符合本标准第 6.4.4 条的规定。

4 勘探孔深度宜穿过填土、软土、溶洞、球状风化体和断裂带等层位并进入稳定地层；地下车站应有适量勘探孔深度穿过地下水位以下的砂土、碎石土等透水地

层，进入相对隔水层。

6.7 车辆基地

6.7.1 车辆基地的路基工程初步勘察应符合本标准第 6.3 节的规定；建(构)筑物初步勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

6.7.2 车辆基地有上盖开发需求时，尚应同时满足上盖开发对勘察的要求。

7 详细勘察

7.1 一般规定

7.1.1 详细勘察应在初步勘察的基础上，针对各类工程的建筑类型、结构形式、埋置深度和施工方法等要求开展工作，满足施工图设计要求。

7.1.2 详细勘察工作应根据工程沿线各类工程场地的工程地质、水文地质和工程周边环境等条件，采用以勘探与取样、原位测试、室内试验、水文地质试验为主，辅以工程地质调绘、工程物探的综合勘察方法。

7.1.3 控制性勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 1/3；取样、原位测试的勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 2/3，采取岩土试样钻孔的数量不应少于勘探孔总数的 1/3。

7.1.4 取土样数量应根据钻孔数量、地基土厚度和均匀性等确定；各工点每一主要岩土层的原状试样或原位测试数据不应少于 10 件（组），且每一地质单元的岩土层原状试样或原位测试数据不应少于 6 件（组）；长、大工点取土样数量应适当增加。

7.1.5 每个车站或区间工程宜布置不少于 3 个波速测试孔，每个地下车站或地下区间工程宜布置不少于 2 个视电阻率测试孔。长大区间地貌单元复杂时宜适当增加波速孔数量。

7.1.6 每个地下车站均宜进行地温测试，测试点宜布设在隧道上下各一倍洞径深度范围；发现有热源影响区域、采用冻结法施工或设计有特殊要求的部位应布置测试点。

7.1.7 车站、车辆段和停车场等室内环境及装修工程，应对场地的土壤氡进行调查和测定，测定和评价应符合现行国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制标准》GB 50325 的有关规定。

7.2 目的与任务

7.2.1 详细勘察应查明各类工程场地的工程地质和水文地质条件，分析评价地基、围岩及边坡稳定性，预测可能出现的岩土工程问题，提出地基基础选型与持力层选择、围岩加固与支护、边坡治理、地下水控制、施工工法技术措施、周边环境保护

方案建议，提供设计、施工所需的岩土参数。

7.2.2 详细勘察阶段应进行下列工作：

1 详细勘察工作前应收集下列资料：附有坐标和地形的拟建工程平面图、纵断面图、荷载、结构类型与特点、施工方法、基础形式及埋深、地下工程埋置深度及上覆土层的厚度、变形控制要求等；

2 查明工程沿线各类工程场地的地形地貌、地层岩性、地质构造、工程地质及水文地质特征；

3 查明工程沿线各类不良地质、特殊性岩石的成因类型、性质、分布范围、规模、发展趋势，评价其对线路的危害程度，提出治理措施建议；

4 分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载能力，提出天然地基、地基处理及桩基等地基基础方案的建议，对需进行沉降计算的建（构）筑物，提供地基变形计算参数；

5 分析隧道围岩的稳定性和可挖性，确定岩土施工工程分级、围岩分级，提出对地下工程有不利影响的工程地质问题及防治措施的建议，提供隧道围岩加固、初期支护和衬砌设计与施工所需的岩土参数；

6 评价基坑边坡的稳定性，分析基坑支护可能出现的岩土工程问题，提出防治措施建议，提供基坑支护设计所需的岩土参数。

7 分析边坡的稳定性，提供边坡稳定性计算参数，提出边坡治理的工程措施建议；

8 查明对工程有影响的地表水体的分布、水位、水深、防渗措施、淤积物分布，以及与地下水的水力联系等，分析地表水体对工程可能造成的危害；

9 查明地下水的埋藏条件，提供场地的地下水类型、勘察期间水位、地下水位变化幅度等水文地质资料，分析地下水对工程的影响，提出地下水控制措施的建议；

10 判定地表水、地下水、土对建筑材料的腐蚀性；

11 分析工程周边环境与工程的相互影响，提出环境保护措施的建议；

12 对场地和地基的地震效应进行分析评价，提供设计地震动参数；

13 在季节性冻土地区，应提供场地土的标准冻结深度；

14 分析和提示地质条件可能造成的风险。

7.3 路基

7.3.1 路基工程勘察除应符合本标准 7.2.2 条外，尚应符合本节规定。

7.3.2 一般路基详细勘察尚应包括下列内容：

1 评价路基基底的稳定性，划分岩土施工工程等级，指出路基设计、施工应注意的事项并提出相关建议；

2 评价地下水、地表水对路基的影响，提出地下水、地表水控制措施建议。

7.3.3 高路堤详细勘察尚应包括下列内容：

1 查明覆盖层与基岩接触面的形态，查明不利倾向的软弱夹层，并应评价其稳定性；

2 分析评价基底和斜坡稳定性，提出路基和斜坡加固方案建议。

7.3.4 深路堑详细勘察尚应包括下列内容：

1 调查沿线天然边坡、人工边坡的工程地质条件；分析边坡工程对周边环境产生的不利影响；

2 岩土质混合边坡应查明下伏基岩面形态和坡度；

3 岩质边坡应查明岩层性质、厚度、成因、节理、裂隙、断层、软弱夹层的分布、风化破碎程度；主要结构面的类型、产状及充填物；

4 查明路堑影响深度范围的含水层、地下水埋藏条件、地下水动态，评价地下水对路堑边坡及结构稳定性的影响，工程需要时应提供路堑结构抗浮设计的建议；

5 确定路堑边坡坡度，分析评价路堑边坡的稳定性，提供边坡稳定性计算参数，提出路堑边坡治理措施建议；

6 调查雨期、暴雨量、汇水范围，分析评价雨水对坡面、坡脚的冲刷及对坡体稳定性的影响，并提出截排水防治措施的建议。

7.3.5 支挡结构详细勘察尚应包括下列内容：

1 查明支挡地段地貌、不良地质和特殊性岩土，地层结构及岩土性质，提供岩

土强度指标和承载力、评价支挡结构地基稳定性，提出基础方案和支挡方案建议；

2 查明支挡地段水文地质条件，评价地表水、地下水对支挡结构的影响，提出处理措施建议。

7.3.6 勘探点的平面布置应满足下列要求：

1 路基工程勘探点可结合支挡结构、涵洞工程勘探统筹考虑，勘探点间距根据场地复杂程度按表 7.3.6 确定；

表 7.3.6 勘探点间距 (m)

场地地基复杂程度	复杂场地地基	中等复杂、简单场地地基
勘探点间距	50~100	100~200

2 每个地貌、地质单元均应布置勘探点；在地貌、地质单元交接部位和地层变化较大地段，深路堑工程遇有软弱夹层或不利结构面时，勘探点应适当加密；

3 高路堤、深路堑、支挡工程等路基段应布置横断面，横断面间距根据场地地基复杂程度确定，每个路基段不应少于 1 个横断面，每个地质横断面上的勘探点不宜少于 3 个，地质条件简单时不宜少于 2 个；

4 支挡结构处应布置勘探点。

7.3.7 勘探孔的深度应满足以下要求：

1 路基工程及支挡结构的控制性勘探孔深度应满足稳定性评价、变形计算、软弱下卧层验算的要求；

2 路堤一般性勘探孔深度应进入基底以下不小于 5m；路堑一般性勘探孔深度应至路基面以下不小于 5m；基底以下存在软弱地层或可能滑动面时，勘探孔深度一般应穿过该软弱地层层底或可能滑动面并进入稳定地层不小于 3m，并满足变形验算要求；当基底下为基岩时，勘探孔深度应进入基岩不小于 3m；

3 支挡结构的一般性勘探孔深度应达到基底以下不小于 5m；采用桩基础和桩板（网、筏）的支挡结构勘探孔深度应至桩端以下 3m~5m；

4 地下水发育地段，根据排水工程需要适当加深；遇软弱土层时，勘探孔深度应适当加深，当软弱土层厚度巨大时，勘探孔深度应根据路基稳定及沉降控制要求计算确定；设计孔深内遇到基岩时，勘探孔深度可适当减少。

7.4 桥涵

7.4.1 桥梁工程详细勘察除符合本标准 7.2.2 条的规定外，尚应包括下列内容：

- 1 查明场地各岩土层类型、工程特性、分布和变化规律；提出地基基础形式及基础持力层建议，并提供相应的岩土参数；提供桥梁基础承载力计算和变形计算参数；
- 2 查明不良地质作用及特殊性岩土的分布与特性，分析其对桥梁工程的危害程度，评价桥梁基础的稳定性，提出防治措施的建议；
- 3 采用基岩作为桥梁基础持力层时，应查明基岩的岩性、构造、岩面变化、风化程度，判定有无洞穴、临空面、破碎岩体或软弱岩层；
- 4 查明场地是否存在产生桩侧负摩阻力的地层，评价负摩阻力对桩基承载力的影响，并提出处理措施的建议；
- 5 分析桩基施工存在的岩土问题，评价成（沉）桩的可能性，论证桩基施工对工程周边环境的影响，并提出处理措施的建议；
- 6 查明影响沉井或挖井施工的块石、漂石和其他障碍物，分析沉井、挖井施工对邻近建筑的影响；
- 7 评价地下水对桩基设计施工的影响；
- 8 提出施工过程中应注意的问题和检测的建议。

7.4.2 涵洞工程详细勘察除符合本标准 7.2.2 条的规定外，尚应包括下列内容：

- 1 查明地形地貌、地层岩性、岩土性质、天然沟床稳定状态、隐伏的基岩斜坡、不良地质作用和特殊性岩土；
- 2 确定地基承载能力，提供涵洞设计所需的岩土参数。

7.4.3 桥涵工程勘探点的布置应符合下列规定：

- 1 桥梁工程勘探点应结合墩台的位置逐墩布设，地质条件简单且跨径较小时可隔墩布设，地质条件复杂或桥梁跨径较大时，可根据需要在墩台位置增加勘探点；
- 2 岩溶区应根据基础类型和岩溶发育程度布置勘探点，岩溶弱发育时逐墩布置勘探点，岩溶中等或强烈发育时加密布置勘探点；

3 对于深厚覆盖层区域的摩擦桩型桥梁，宜开展深层静力触探，即时获取侧壁摩阻力、桩尖阻力、承载力等参数。

7.4.4 涵洞工程应沿轴向布置勘探点，地形、地质条件变化较大时，勘探点不宜少于 2 个。

7.4.5 桥梁工程勘探孔深度应根据不同地基类型、基础形式、埋置深度、荷载大小、地基稳定性验算、变形验算等情况确定，并应符合下列规定：

1 采用明挖浅基础或沉井(挖井)基础时，按如下确定孔深：

当覆盖层厚度较大时，控制性勘探孔深度应超过地基变形计算深度，一般性勘探孔深度不小于基底以下 10m 或不小于基础底面宽度的 2 倍；

当覆盖层厚度较小时，控制性勘探孔深度应进入基底以下中风化～微风化岩层 5m～8m，一般性勘探孔深度应进入基底以下中风化～微风化岩层 3m～5m。

2 采用桩基础时，按如下确定孔深：

当采用摩擦桩时，控制性勘探孔应满足下卧层验算和沉降验算要求，一般性勘探孔应达到桩端平面以下 3 倍桩径且不应小于 3m，对于大直径桩不应小于 5m；

当采用嵌岩端承桩时，控制性勘探孔应达到预计桩端平面以下 3 倍桩径，并穿过溶洞、破碎带到达稳定岩层，一般性勘探孔应达到预计桩端平面以下 2 倍桩径；

岩溶地区勘探孔深度，应至桩端平面以下 10m～15m，揭露溶洞时应根据工程需要适当加深。

7.4.6 涵洞工程的控制性勘探孔深度应满足稳定性评价、变形计算、软弱下卧层验算的要求；一般性勘探孔深度不小于涵洞基底以下 3m～5m，且不宜小于相邻路基工程的勘探孔深度；有软弱夹层时，勘探孔深度应适当加深。

7.5 隧道

7.5.1 隧道工程详细勘察除应符合本标准 7.2.2 条的规定外，尚应满足下列要求：

1 详细查明各岩土层的分布，划分隧道的围岩分级和岩土施工工程分级，提供各岩土层的物理力学性质指标及隧道工程设计、施工所需的岩土参数；

2 详细查明不良地质、特殊性岩土分布与特征，分析其对隧道工程的危害和影响，提出工程防治措施的建议；

3 基岩地区应查明岩石风化程度，软弱结构面的产状及组合形式，断裂构造和破碎带的位置、规模、产状和力学属性，划分岩体结构类型，分析隧道偏压的可能性及危害；

4 对隧道围岩的稳定性进行评价，分析隧道开挖、围岩加固等可能出现的岩土工程问题，提出防治措施建议；

5 对基坑的稳定性进行评价，分析基坑开挖、支护可能出现的岩土工程问题，提出防治措施建议；

6 分析地下水对工程施工的影响，预测隧道突水和基坑涌水、流砂、管涌的可能性及危害程度；

7 分析评价工程降水、隧道开挖对工程周边环境的影响，提出周边环境保护措施和建议；

8 对隧道进出洞、联络通道等部位，应根据工程特点、地质条件、周边环境条件、施工工法等进行岩土工程分析和评价；

9 对地质条件特别复杂的隧道，应提出超前地质预报的建议与要求。

7.5.2 勘探点间距可根据场地地基复杂程度、隧道工程类别及施工方法等特点按表 7.5.2 的规定综合确定，山岭隧道勘探孔间距可按《铁路工程地质勘察规范》TB 10012 的相关规定执行。

表 7.5.2 勘探点间距 (m)

场地地基复杂程度	复杂场地地基	中等复杂场地地基	简单场地地基
明挖法隧道勘探点间距	10~20	20~40	40~50
非明挖法隧道勘探点间	10~30	30~50	50~60

7.5.3 明挖法隧道详细勘察应符合下列规定：

1 当明挖法隧道总宽度大于 20m 时，宜沿其两侧结构边线分别布置勘探孔；当明挖法隧道总宽度小于等于 20m 时，勘探孔可在隧道结构边线两侧交错布置；

- 2 单独设置的中间风井、工作井等勘探点宜沿角点及边线布置，并布置横剖面。
- 3 隧道端头部位应设置横剖面，且每条横断面上勘探孔不少于 2 个；
- 4 一般性勘探孔深度不宜小于 2.0 倍开挖深度，并应同时满足不同基础类型及施工工法对孔深的要求；控制性勘探孔深度不宜小于 2.5 倍开挖深度，且满足变形验算要求；
- 5 当采用立柱桩、抗拔桩时，勘探孔深度应满足其设计要求；

7.5.4 盾构法隧道详细勘察应符合下列规定：

- 1 勘探孔应在隧道边线外侧 3m~5m（水域 6m~10m）范围内交叉布置；
- 2 当上行、下行隧道内净距离大于等于 15m 或当上行、下行隧道外边线总宽度大于等于 40m 时，宜按单线分别布置勘探孔；
- 3 一般性勘探孔深度不宜小于隧道底以下 2 倍隧道直径，控制性勘探孔深度不宜小于隧道底以下 3 倍隧道直径；
- 4 联络通道位置应单独布置横剖面，每条横断面上勘探孔不少于 2 个；联络通道位置勘探孔深度宜为隧道底以下 3 倍隧道直径，施工工法有特殊要求时可适当加深；
- 5 在隧道开挖范围内取土样和原位测试点间距不宜大于 2m。

7.5.5 沉管法隧道详细勘察应符合下列规定：

- 1 勘探孔可沿隧道边线或中心线布设，当隧道宽度小于等于 35m 时，宜沿隧道边线布置；当宽度大于 35m 时，宜沿隧道边线及中心线布置；采用桩基础时，勘探孔平面布置尚应满足桩基工程要求；工程需要时，可根据设计要求在成槽浚挖范围内适当布孔；
- 2 一般性勘探孔深度不宜小于基底以下 0.6 倍隧道宽度且不小于河床下 30m，控制性勘探孔深度不宜小于基底下 1.0 倍隧道宽度且不小于河床下 40m；采用桩基础时，孔深应满足桩基工程的勘察要求；
- 3 干坞围堰及边坡详细勘察宜沿边线布置勘探孔，干坞场地可按网格状布设；围堰及边坡勘探孔深度不宜小于 2.0 倍干坞深度且水域勘探孔不小于河床下 30m；

干坞场地勘探孔深度不宜小于设计坞底下 15m 且应满足地基处理设计深度要求。

7.5.6 矿山法隧道详细勘察应符合下列规定：

1 结合前期勘察成果，应采用钻探、物探等综合勘探方法；物探方法的选择和物探测线的布置应根据隧道的地质条件、地形地貌及周边环境条件综合确定；

2 物探方法的选择和物探测线的布置应根据隧道的地质条件、地形地貌及周边环境条件综合确定；应沿隧道轴线布置不少于 1 条测线；洞口处应布置不少于 3 条横测线；不同的地质体或构造类型，应布置 2~3 条测线；

3 钻孔位置和数量应视地质复杂程度而定；洞口应布置勘探点；主要的地质界线和断层，重要的不良地质、特殊岩土地段，可能产生突泥、突水危害地段等处应有钻孔控制，重要物探异常点应有钻探验证；洞身埋深小于 100m 的较浅隧道或洞身段沟谷较发育的隧道，勘探点间距不宜大于 500m；埋深较大的隧道勘探点的布置应根据地质调绘及物探成果专门研究确定。

4 应选取代表性钻孔进行波速测试，采取岩石试样进行岩块波速测试，获取围岩岩体的完整性指标；

5 矿山法隧道勘探孔深度不应小于隧道底板以下 8m~10m 以及 1 倍洞高，同时满足地下水控制要求。

7.5.7 隧道工程在钻孔预定深度内遇中等风化或微风化岩石时，勘探孔深度可适当减少；一般性勘探孔宜进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 5m，控制性勘探孔宜进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 8m；遇岩溶、土洞、暗河、破碎带等时应根据工程需要适当加深。

7.6 车站

7.6.1 地面车站详细勘察除应符合本标准第 7.2.2 条的规定外，尚应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

7.6.2 地下车站详细勘察除应符合本标准第 7.2.2 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 查明对工程施工不利的饱和砂层、卵石层、漂石层等地质条件的分布与特征，

分析其对工程的危害和影响，提出工程防治措施的建议；

2 在基岩地区应查明岩石风化程度和岩层层理、片理、节理等软弱结构面的产状及组合形式，查明断裂构造和破碎带的位置、规模、产状和力学属性，划分岩体结构类型；

3 对基坑边坡的稳定性进行评价，分析基坑支护可能出现的岩土工程问题，提出防治措施建议，提供基坑支护设计所需的岩土参数；

4 对车站暗挖法洞室的围岩稳定性进行评价，分析洞室开挖、围岩加固及初期支护等可能出现的岩土工程问题，提出防治措施建议，提供围岩加固、初期支护和衬砌设计与施工所需的岩土参数；

5 分析地下水对工程施工的影响，预测基坑和暗挖洞室突水、涌砂、流土、管涌的可能性及危害程度；

6 分析地下水对工程结构的作用，对需采取抗浮措施的地下工程，提出抗浮设防水位的建议，提供抗拔桩或抗浮锚杆设计所需的各岩土层的侧摩阻力或锚固力等计算参数，必要时对抗浮设防水位进行专项研究；

7 分析评价工程降水、岩土开挖对工程周边环境的影响，提出周边环境保护措施的建议；

8 对出入口与通道、风亭与风道、施工竖井等附属工程，应根据工程特点、场地地质条件和工程周边环境条件进行岩土工程分析与评价；

9 对地基承载力、地基处理和围岩加固效果等的工程检测提出建议，对工程结构、工程周边环境、岩土体的变形及地下水位变化等的工程监测提出建议。

7.6.3 高架车站详细勘察除应符合本标准第 7.2.2 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 查明场地各岩土层类型、分布、工程特性和变化规律；确定墩台基础与桩基的持力层，提供各岩土层的物理力学性质指标；分析桩基承载性状，结合当地经验提供桩基承载力计算和变形计算参数；

2 查明溶洞、土洞、人工洞穴、采空区、可液化土层和特殊性岩土的分布与特征，分析其对墩台基础和桩基的危害程度，评价墩台地基和桩基的稳定性，提出防

治措施的建议；

3 采用基岩作为墩台基础或桩基的持力层时，应查明基岩的岩性、构造、岩面变化、风化程度，确定岩石的坚硬程度、完整程度和岩体基本质量等级，判定有无洞穴、临空面、破碎岩体或软弱岩层；

4 查明水文地质条件，评价地下水对墩台基础及桩基设计和施工的影响；判定地下水和土对建筑材料的腐蚀性；

5 查明场地是否存在产生桩侧负摩阻力的地层，评价负摩阻力对桩基承载力的影响，并提出处理措施的建议；

6 分析桩基施工存在的岩土工程问题，评价成桩的可能性，论证桩基施工对工程周边环境的影响，并提出处理措施的建议；

7 对基桩的完整性和承载力提出检测的建议。

7.6.4 车站工程勘探点布置应符合下列规定：

1 地面车站勘探点宜按建筑物周边线和角点布置；同一建筑范围内的主要受力层或有影响的下卧层起伏较大时，应适当加密勘探点，查明其变化；

2 地下车站主体勘探点应沿主体结构纵向轮廓线布置，勘探点宜布置于结构轮廓线外侧 1m~2m；结构角点以及出入口、通道、风亭与风道、施工竖井、施工通道等附属结构应有勘探点控制，当出入口、通道、风道等附属结构宽度较小时，勘探点可沿结构轮廓线外侧 1m~2m 按“之”字形布置；车站采用承重桩（含临时立柱桩）或抗拔桩时，宜结合承重桩和抗拔桩位置布置勘探点；

3 高架车站的勘探点应结合结构轮廓线和高架柱网布置；

4 地面车站、地下车站各应布置不少于 2 条勘探纵剖面 and 3 条有代表性的勘探横剖面，高架车站的勘探剖面数量应根据高架结构、车站结构特点布置；

5 地面车站、高架车站勘探点间距，应根据地基基础型式，按表 7.6.4-1 的规定确定；

表 7.6.4-1 地面车站和高架车站勘探点间距（m）

场地地基复杂程度	复杂场地地基	中等复杂场地地基	简单场地地基
----------	--------	----------	--------

浅基础	10~15	15~30	30~50
端承桩	10~20	20~30	30~40
摩擦桩	20~25	25~30	30~35

注：1 端承桩当相邻两个勘察点揭露出的桩端持力层层面坡度大于 10%或持力层起伏较大、地层分布复杂时，应根据具体工程条件适当加密勘探点；

2 摩擦桩遇到土层的性质或状态在水平方向分布变化较大，或存在可能影响成桩的土层时，应适当加密勘探点；

3 复杂地质条件下的柱下单桩基础应按柱列线布置勘探点，并宜每根桩布置一个勘探点。

6 地下车站勘探点间距，可根据场地地基复杂程度按表 7.6.4-2 的规定确定。

表 7.6.4-2 地下车站勘探点间距（m）

场地复杂程度	复杂场地	中等复杂场地	简单场地
地下车站	10~20	20~40	40~50

7.6.5 勘探孔深度应根据地质条件及设计方案综合确定，并符合下列规定：

1 地面车站控制性勘探孔深度应进入基础底面以下并超过地基变形计算深度，一般性勘探孔应达到基底下 0.5~1.0 倍的基础宽度；

2 地下车站勘探孔深度应根据场地条件和设计要求确定，并应穿过主要的软弱土层和含水层；其中，控制性勘探孔深度应满足地基、围岩、基坑边坡稳定性分析和变形计算、地下水控制的要求，并应进入结构底板以下不小于 25m 或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 5m，一般性勘探孔应进入结构底板以下不小于 15m 或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 3m；

3 地面车站和地下车站当采用承重桩时，地下车站采用抗拔桩或抗浮锚杆时，勘探孔深度应分别满足桩和锚杆的设计的要求；

4 高架车站勘孔深度应符合本标准第 7.4.5 条的规定；

5 当预定深度范围内存在填土、软土、溶洞、球状风化体和断裂带时，勘探孔深度应适当加深。

7.6.6 室内试验除应符合本标准第 18 章的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 抗剪强度室内试验方法应根据车站施工方法、排水条件、设计要求等确定；
- 2 各个地下车站静止侧压力系数、热物理指标试验数据每一主要土层不宜少于 3 组；
- 3 地下车站和涉及挖方的地面车站宜在基底以下压缩层范围内采取岩土试样进行回弹再压缩试验，每层试验数据不宜少于 3 组；
- 4 地下车站基坑围护结构埋深范围内的碎石土和砂土应测定颗粒级配，对于粉土应测定黏粒含量；
- 5 当需估算基桩的侧阻力、端阻力和验算下卧层强度时，宜进行三轴压缩试验或无侧限抗压强度试验，三轴压缩试验的受力条件应模拟工程实际情况；
- 6 对需估算沉降的桩基工程，应进行压缩试验，试验最大压力应大于自重压力与附加压力之和；
- 7 应采取车站工程场地范围的地表水、地下水试样和地下结构范围内的岩土试验进行腐蚀性测试，地表水每处不应少于 1 组，地下水试样和土试样或每层不应少于 2 组；
- 8 在基岩地区应进行岩块的弹性波波速测试，并应进行岩石的饱和单轴抗压强度试验，必要时尚应进行软化试验；对软岩、极软岩可进行天然湿度的单轴抗压强度试验；每个场地每一主要岩层的试验数据不应少于 3 组。

7.7 车辆基地

7.7.1 车辆基地的路基工程详细勘察应符合本标准第 7.3 节的规定；建(构)筑物详细勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

7.7.2 车辆基地有上盖开发需求时，应同时满足上盖开发勘察的要求。

7.7.3 车辆基地场地有填方要求时，填方影响深度范围内取样间距宜为 1.0~1.5m，并提供填方影响范围内土层的固结沉降计算参数。

8 施工勘察

8.0.1 施工勘察应针对施工方法、施工工艺的特殊要求或施工中出现的工程地质问题等开展勘察工作，提供所需的地质资料和相关岩土参数，满足施工方案调整和风险控制要求。

8.0.2 遇下列情况应进行施工勘察：

- 1 施工阶段施工方法、施工工艺有特殊要求，施工方案有较大变更或采用新技术、新工艺、新方法、新材料，详细勘察资料不能满足要求；
- 2 施工过程中出现地质异常，工程结构或工程施工面临较大危险或影响工程质量安全；
- 3 地下工程施工过程中出现支护结构变形过大、开裂，基坑或隧道出现涌水、坍塌和失稳等意外情况，施工中出現地基、边坡变形或失稳，或发生地面沉降过大等岩土工程问题；
- 4 场地存在岩溶、孤石等复杂地质条件，需要进行超前勘探；
- 5 其它需要进行施工勘察的情况。

8.0.3 施工勘察应搜集施工方案、工程检测、监测等资料、开挖的基坑或基槽的地质条件和详勘报告；调查了解施工过程中出现的地质条件异常情况；分析需要解决的岩土工程问题。

8.0.4 施工勘察方法和工作量应根据场地所需解决的岩土工程问题的复杂程度、已有的勘察资料和场地条件等确定；宜选择针对性强的勘探、测试手段。

8.0.5 施工勘察报告应针对施工中出现的具體岩土工程问题进行分析评价，提供所需的岩土参数，并提出工程处理措施的建议。

9 场地和地基的地震效应

9.1 一般规定

9.1.1 抗震设防烈度等于或大于 6 度的地区，应确定场地类别，进行场地和地基效应的岩土工程勘察，并应按现行国家和地方标准确定场地的抗震设防烈度、设计基本地震加速度值、设计地震分组和特征周期，已进行工程场地地震安全性评价的，应按审批结果取值。

9.1.2 抗震设防烈度等于或大于 7 度的厚层软土分布区，宜判别软土震陷的可能性。

9.1.3 场地岩土的类型划分和地基土液化判别应符合下列规定：

1 地面建筑工程应执行现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

2 线路工程应执行现行国家标准《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 的相关规定。

9.2 场地类别和抗震地段

9.2.1 场地类别应根据岩石的剪切波速或土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度按表 9.2.1 划分。

表 9.2.1 场地类别与土层剪切波速、覆盖层厚度对应表

剪切波速 (m/s)	场地类别				
	I		II	III	IV
	I ₀	I ₁			
$v_s > 800$	$d \neq 0$	—	—	—	—
$800 \geq v_{se} > 500$	—	$d \neq 0$	—	—	—
$500 \geq v_{se} > 250$	—	$d < 5$	$d \geq 5$	—	—
$250 \geq v_{se} > 150$	—	$d < 3$	$3 \leq d \leq 50$	$d > 50$	—
$v_{se} \leq 150$	—	$d < 3$	$3 \leq d < 15$	$15 \leq d \leq 80$	$d > 80$

注： v_s 为岩石的剪切波速 (m/s)； v_{se} 为土的等效剪切波速 (m/s)； d 为场地覆盖层厚度 (m)。

9.2.2 抗震地段应按表 9.2.2 划分抗震有利、一般、不利和危险地段。对不利地段，

应提出避开要求，当无法避开时应提出采取有效抗震措施的建议。当场地位于抗震危险地段时，应提出专门研究的建议。

表 9.2.2 场地抗震地段类别划分

地段类别	地质、地形、地貌
有利地段	稳定基岩，坚硬土，开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等
一般地段	不属于有利、不利和危险的地段
不利地段	软弱土，液化土，条状突出的山嘴，高耸孤立的山丘，陡坡，陡坎，河岸和边坡的边缘，平面分布上成因、岩性、状态明显不均匀的土层（如古河道、疏松的断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基），高含水量的可塑黄土，地表存在结构性裂缝等
危险地段	地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等及发震断裂带上可能发生地表位错的部位

9.2.3 每个车站、区间和车辆基地场地，测试土层剪切波速孔的数量不宜少于 3 个；对临时建筑工程，可根据岩土名称和性状，按表 9.2.3 划分岩土类型，并估算剪切波速 v_s 值。

表 9.2.3 岩土类型划分和剪切波速范围

土的类型	岩土名称和性状	土层剪切波速范围 (m/s)
岩石	坚硬、较硬且完整的岩石	$v_s > 800$
坚硬土或软质岩石	破碎和较破碎的岩石或软和较软的岩石，密实的碎石土	$800 \geq v_s > 500$
中硬土	中密、稍密的碎石土，密实、中密的砾、粗、中砂， $f_{ak} > 150$ 的黏性土和粉土，坚硬黄土	$500 \geq v_s > 250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂，除松散外的细、粉砂， $f_{ak} \leq 150$ 的黏性土和粉土， $f_{ak} > 130$ 的填土，可塑新黄土	$250 \geq v_s > 150$
软弱土	淤泥和淤泥质土，松散的砂，新近沉积的黏性土和粉土， $f_{ak} \leq 140$ 的填土，流塑黄土	$v_s \leq 150$

注： f_{ak} 为由载荷试验等方法得到的地基承载力特征值（kPa）； v_s 为岩土剪切波速。

9.3 地基液化判别

9.3.1 当地面以下 20m 深度范围内存在饱和砂土或粉土（不含黄土）时，应进行地基液化判别。液化判别时宜先对饱和砂土或粉土进行初判。

9.3.2 当初步判别认为需进一步进行液化判别时，应根据标准贯入试验进行土层液化判别。当有成熟经验时，可采用其它判别方法。情况复杂时，可采用综合分析评价。

9.3.3 用于液化判别的标准贯入试验孔或静力触探试验孔，每个场地不应少于 3 个，勘探孔深度应大于液化判别深度。

9.3.4 当采用标准贯入试验判别时，应采用泥浆护壁钻进，试验点间距宜为 1.0m~1.5m，每层土的试验点数不宜少于 6 个，并应留样做颗粒分析试验（黏粒含量分析采用六偏磷酸钠作为分散剂）。

9.3.5 对存在可液化土层的地基，应提出地基抗液化处理措施。当液化土层分布较平坦且均匀时，地基抗液化处理措施宜根据建（构）筑物的抗震设防类别和地基液化等级按表 9.3.5 确定。尚可计入上部结构重力荷载对液化危害的影响，根据液化震陷量的估计适当调整抗液化措施。不宜将未经处理的可液化土层作为天然地基持力层。

表 9.3.5 地基抗液化措施选择原则

抗震设防类别	地基液化等级		
	轻微	中等	严重
重点设防（乙类）	部分消除液化沉陷，且对基础和上部结构进行处理	全部消除液化沉陷；或部分消除液化沉陷，且对基础和上部结构进行处理	全部消除液化沉陷
标准设防（丙类）	对基础和上部结构进行适当处理，或不进行处理	对基础和上部结构进行处理	全部消除液化沉陷；或部分消除液化沉陷，且对基础和上部结构进行处理

10 不良地质作用

10.1 一般规定

10.1.1 市域（郊）铁路工程建设中常见的不良地质作用主要有岩溶、人为坑洞、地面沉降、地裂缝、有害气体、放射性、滑坡、危岩和崩塌、泥石流、活动断裂等；对工程有影响的其他不良地质作用应按照国家现行有关规范、规程进行岩土工程勘察。

10.1.2 不良地质作用的勘察应查明不良地质作用类型、成因、规模及危害程度，提出防治措施的建议，提供治理所需岩土参数。

10.1.3 不良地质作用的勘察宜采用遥感解译、工程地质调绘、物探、勘探、原位测试、室内试验、现场监测相结合的综合勘察手段和资料综合分析，根据不同的成因类型，确定具体工作内容、勘察方法，有针对性地开展工作。

10.2 岩溶

10.2.1 对地表或地下分布可溶性岩层并存在各种岩溶现象，以及可溶岩地区的上覆土层曾发生地面塌陷或有土洞存在的地段或地区，应按岩溶地段开展岩土工程勘察。

10.2.2 岩溶勘察应查明下列内容：

- 1 可溶岩地表岩溶形态特征、溶蚀地貌类型；
- 2 可溶岩地层分布、地层年代、岩性成分、地层厚度、结晶程度、裂隙发育程度、单层厚度、产状、所含杂质及溶蚀、风化程度；
- 3 可溶岩与非可溶岩的分布特征、接触关系；
- 4 地下岩溶发育程度，较大岩溶洞穴、暗河的空间位置、形态、深度及分布和充填情况，岩溶与工程的关系；
- 5 岩溶发育程度与断裂的力学性质、产状，断裂带的破碎程度、宽度、胶结程度、阻水或导水条件的关系；

6 岩溶发育程度与褶曲不同部位的特征，节理、裂隙性质，岩体破碎程度的关系；

7 溶洞或暗河发育的层数、标高、连通性，分析区域侵蚀基准面、地方侵蚀基准面与岩溶发育的关系；

8 岩溶地下水分布特征及补给、径流、排泄条件，岩溶地下水的流向、流速，地表岩溶泉的出露位置、水量及变化情况，岩溶水与地表水的联系。圈定岩溶水富水区；

9 岩溶发育强度分级。

10.2.3 覆盖型岩溶发育地区还应查明下列内容：

1 覆盖层成因、性质、厚度；

2 地下水补给来源、埋藏深度，各含水层间的水力联系，地下水开采量、开采方式；

3 土洞和塌陷的分布、形态和发育规律；

4 土洞和塌陷的成因及其发展趋势；

5 治理土洞和塌陷的经验。

10.2.4 岩溶勘探应符合下列要求：

1 岩溶地区勘探可采用物探、钻探、钻孔电视等综合勘探方法；

2 浅层溶洞和覆盖土层厚度可用挖探查明或验证，土洞可用轻便型、密集型勘探查明或验证；

3 岩溶勘探点布置、勘探深度、钻孔护壁方法及材料应根据勘察阶段并结合物探方法和水文地质试验的要求确定；

4 勘探中应测定岩芯中的岩溶率；

5 岩溶区钻探深度进入结构底板或桩端平面以下不应小于 10m，揭露溶洞时应根据工程需要适当加深；

6 当需查明断层、岩组分界、洞隙和土洞形态、塌陷等情况时，应布置适当的探槽或探井；

7 具备人员进入条件的洞体，宜入洞调绘；不具备人员进入条件的洞体，宜用

井下电视等手段探测；

8 对岩溶地基岩体完整程度的定量划分，可采用声波测井，测点间距根据岩性结构及岩体破碎程度取 0.2m~0.4m。

9 岩溶发育且形态复杂时，可结合施工阶段工程开挖和处理措施进一步查明岩溶发育形态。

10.2.5 岩溶测试、试验应符合下列要求：

1 地表水、地下水水样除进行一般试验项目外应增加游离 CO₂ 和侵蚀性 CO₂ 含量分析，必要时进行放射性同位素测试；

2 覆盖层土样应进行物理力学性质、膨胀性、渗透性试验，必要时进行矿物与化学成分分析；溶洞充填物样应进行物理力学性质试验，必要时进行黏土矿物成分分析；

3 代表性岩样应进行物理力学性质试验，必要时选样进行镜下鉴定、化学分析和溶蚀试验；泥灰岩应增加软化系数试验；

4 当需要提供水文地质参数和确定岩溶水的连通性时应进行抽水试验和溶洞连通试验，并查明其分布规律、主发育方向；

5 水文地质条件复杂的岩溶地段应进行水文地质试验或地下水动态观测，对于重点工程区段，必要时应选择一定数量的钻孔与岩溶泉（井），进行不应少于一个水文年的水文地质动态观测。

10.2.6 岩溶的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

1 应结合岩层结构构造特征，阐明岩溶的空间分布、发育程度、发育规律、对各类工程的影响和处理原则、存在问题及施工中注意事项等；

2 岩溶地段基坑、隧道涌水量应采用多种方法计算比较确定，并应对岩溶突水、突泥位置和强度、地下水位下降的可能性、对地表水和工程周边环境的影响、可能发生地面塌陷的地段等岩土工程问题作出预测和评估，提出可行的设计、施工措施建议；

3 岩溶地面塌陷应根据岩溶发育程度、土层厚度与结构、地下水位等主要因素综合评价，分析塌陷的主要原因，提出处理措施的建议；

4 线路工程跨越、置于隐伏溶洞之上时，应评价隐伏溶洞的稳定性；

5 必要时编制岩溶工程地质平面图（比例尺 1 : 500~1 :5000）、工程地质纵断面图（比例尺横向 1 : 200 ~ 1 : 2000 、竖向 1 : 100~1 : 500）、工程地质横断面图（比例尺 1 : 200~1 : 500）及隐伏岩溶、洞穴或暗河的平面、纵横剖面图（比例尺视需要确定，纵、横比例宜一致），图中应标出各类岩溶形态分布位置、与线路工程相互关系。

10.2.7 岩溶资料编制应包括下列内容：

1 文字部分：应阐明岩溶勘察方法、勘察过程、完成工作量，阐明岩溶发育情况、岩溶形态特征、规模和类型，分析岩溶水补径排特征、岩溶水垂直动力分带、岩溶水富水程度，计算平时及极端气候条件下隧道的分段涌水量，分析隧道分段突水、突泥风险，预测基坑涌水量，预测路基岩溶塌陷风险，评价岩溶、岩溶水对工程的影响及工程实施对环境的影响，划分隧道围岩级别，提供工程设计所需参数，提出需要采取的工程措施建议；

2 路基及车辆基地工点工程地质纵、横断面图：比例尺与设计图一致，需提供物探及钻探综合成果剖面图；

3 桥梁工点工程地质平、纵、横断面图及基桩岩溶展示图：比例尺与设计图一致，需提供墩台基础岩溶展示图；

4 隧道工点工程地质平、纵、横断面图：比例尺与设计图一致，需提供分段工程地质特征、围岩分级；

5 原始资料应包括勘探、测试资料，观测点、影像成果，调查、分析表等。

10.3 人为坑洞

10.3.1 符合下列情况时应按人为坑洞地段开展岩土工程勘察工作：

1 正在开采或废弃的各类大型矿区、人工及半机械开采的各类小型矿区、已废弃的各类小型矿区、古窑等采空区；

2 沿沟、河岸有矿线露头，且支沟沟源有矿点分布的沿沟岸两侧适当范围或沟

岸至矿点间的地带；

3 地下工程、坎儿井、枯井、采砂（石）坑洞、窑洞、菜窖及古墓等其他人为坑洞。

10.3.2 人为坑洞区地质调查应包括下列内容：

1 收集人为坑洞区各类区域地质资料（含矿产地质资料）、相关政府主管部门的矿产资源规划资料、矿区规划资料、矿区地质勘察资料（地质勘察报告、地质图、地质剖面图及综合柱状图），地表变形和有关变形的观测、计算资料，地表最大下沉值、最大倾斜值、最小曲率半径、移动角等资料，了解加固处理措施及效果；

2 调查地形地貌、地层岩性、地质构造、不良地质、地震等工程地质条件，查明人为坑洞地区地层层序、岩性、地质构造，含矿地层的分布范围及深度、产状、厚度，与坑洞有关的其他不良地质现象的类型、分布位置与规模；

3 采空区的开采层位、开采历史、开采计划、开采方法，开采边界、顶板管理方法、工作面推进方向和速度，巷道平面展布、断面尺寸及相应的地表位置，顶板的稳定情况，洞壁完整性和稳定程度以及覆盖层的岩土类型及其工程地质特性；

4 调查水文地质条件，查明人为坑洞地区地下水类型、水位埋深、地下水的季节与年变化幅度、最高与最低水位，采空区充水情况及地下水动态变化对坑洞稳定性的影响，了解采空区附近工农业抽水和水利工程建设情况及其对采空区稳定性的影响；

5 必要的井下（洞内）测量、调查。

10.3.3 人为坑洞勘探与测试应符合下列要求：

1 在分布无规律、地面痕迹不明显、无法进入坑洞内进行调查和验证的地区，应采用电法、地震和地质雷达等综合物探，并用物探结果指导钻探，必要时进行综合测井。各种方法的勘探结果应得到相互补充和验证；

2 勘探线、勘探点应根据工程线路走向、敷设形式，并结合坑洞的埋藏深度、延伸方向布置，勘探孔数量和深度应满足稳定性评价与加固、治理工程设计的要求；

3 对上覆不同性质的岩土层应分别取代表性试样进行物理力学性质试验，提供稳定性验算及工程设计所需岩土参数；应分别取地下水和地表水试样进行水质分析；

对可能储气部位，必要时应进行有害气体含量、压力的现场测试。

10.3.4 当缺乏资料且难以查明坑洞的基本特征时应进行地表变形的定位观测。

10.3.5 人为坑洞岩土工程分析与评价应包括下列内容：

- 1 坑洞的稳定性；
- 2 坑洞的变形情况和发展趋势；
- 3 坑洞对工程建设可能造成的影响；
- 4 坑洞中残存的有害气体、充水情况及其造成危害的可能性；
- 5 线路通过坑洞应采取的工程措施，遇大型、重要矿区或规划矿区时应提出应对措施建议；
- 6 施工和运营期间防治措施的建议。

10.3.6 人为坑洞资料编制应包括下列内容：

- 1 文字部分：应阐明采空区工程地质条件及危害，评价场地稳定性及需要采取的工程处理措施意见；
- 2 工程地质图：应填绘采空区的分布范围，地面塌陷、裂缝的位置，比例为 1：2000～1：5000；
- 3 工程地质横断面图：应绘出坑洞的形态，标明坑底高程、地下水位线等，比例为 1：100～1：200；
- 4 工程地质纵断面图：应绘出坑洞的形态，标明坑底高程、地下水位线等，比例为 1：200～1：500；
- 5 坑道平面图（必要时绘制）：应绘出坑洞位置、方向、大小、洞内特征等，并配合必要的坑洞断面图加以说明，比例为 1：200～1：500；
- 6 勘探、试验、观测点等资料。

10.4 地面沉降

10.4.1 对已发生地面沉降的地区，地面沉降勘察应查明其原因及现状，并预测其发展趋势，评价对市域（郊）铁路线路的影响，提出控制和治理方案的建议；对可能发生地面沉降的地区，应预测发生的可能性，并对可能的固结压缩层位作出估计，

对沉降量进行估算，分析对线路可能造成的影响，提出预防和控制地面沉降的建议。

10.4.2 对地面沉降原因应调查下列内容：

- 1 场地的地貌和微地貌；
- 2 第四系堆积物的年代、成因、厚度、埋藏条件和土性特征，硬土层和软弱压缩层的分布；
- 3 地下水位以下可压缩层的固结应力历史、最大历史压力和固结变形参数；
- 4 含水层和隔水层的埋藏条件和承压性质，含水层的渗透系数、单位涌水量等水文地质参数；
- 5 地下水的补给、径流、排泄条件、含水层间或地下水与地表水的水力联系；
- 6 历年地下水位、水头的变化幅度和速率；
- 7 历年地下水的开采量和回灌量，开采或回灌的层段；
- 8 地下水位下降漏斗及回灌时地下水反漏斗的形成和发展过程。

10.4.3 对地面沉降现状的调查，应符合下列要求：

- 1 搜集线路通过地段地面沉降及地下水位的监测资料；
- 2 按精密水准测量要求进行长期观测，并按不同的结构单元设置高程基准标、地面沉降标和分层沉降标；
- 3 对地下水的水位升降，开采量和回灌量，化学成分，污染情况和孔隙水压力消散、增长情况进行观测；
- 4 调查访问距线路 3km 范围内有无地下水集中开采井群，500 m 范围内地下水开采井及井点的分布和开采、回灌情况，地下水位的变化幅度；
- 5 调查地面沉降对建筑物、既有线路的影响，包括建筑物和既有线路的沉降、倾斜、裂缝及其发生时间和发展过程；
- 6 绘制不同时间的地面沉降等值线图，并分析地面沉降中心与地下水位下降漏斗形成、发展的关系及沉降缓解、地面回弹与地下水位回升的关系；
- 7 绘制以地面沉降为特征的工程地质分区图。

10.4.4 地面沉降勘察应以收集资料和调查为主，当资料缺乏时，可采用钻探、物探、水文地质试验等手段查明以下内容：

1 线路经过地区的沉降环境、地层层序、地层岩性、厚度、变形层位的分布、埋藏条件等；

2 各含水层的埋藏深度和承压性，各含水层间或与地表水的水力联系；

3 天然条件下地下水的补给、径流、排泄条件及有关渗透性参数；

4 地下水位特别是各含水层承压水头的变化幅度和速率等。

10.4.5 线路通过已发生地面沉降或可能发生地面沉降的地区时，应评价地面沉降对工程线路的影响，提出建设和运营期间的工程措施建议。

10.4.6 地面沉降评价应包括下列内容：

1 场地地貌和微地貌；

2 第四系堆积物岩性、年代、成因、厚度和埋藏条件；

3 地下水埋藏条件，含水层渗透系数、地下水补给、径流、排泄条件，地下水位、水头升降变化幅度和速率；

4 既有建（构）筑物和地下管线等受影响情况，沉降、倾斜、裂缝大小、管线断裂及其发生过程；

5 分析地面沉降产生原因、变化规律和发展趋势，分析地面沉降影响因素，评价市域（郊）铁路路工程建设的适宜性；

6 可能发生地面沉降的地区，应结合水资源开采评价发生地面沉降的可能性。

10.4.7 地面沉降的资料编制应包括下列内容：

1 文字部分：应阐明地面沉降的地质条件及危害，详细评价场地适应性及需要采取的工程处理意见；

2 工程地质平面图：应填绘地面沉降累计沉降量和预测沉降速率、地裂缝的分布等，比例为 1：2 000～1：10000；

3 工程地质纵断面图：有标注条件的应填绘地面沉降分布里程范围，比例为为横向 1：10000，竖向 1：100～1：1000；

4 勘探、试验、观测点、水井分布一览表等资料。

10.5 地裂缝

10.5.1 地裂缝勘察主要应包括下列内容：

- 1 搜集研究区域地质条件及前人的工作成果资料，查明地裂缝的性质、成因、形成年代、发生发展规律；
- 2 调查场地的地形、地貌、地层岩性及地质构造等地质背景，研究其与地裂缝之间的关系；对有显著特征的地层，可确定为勘探时的标志层；
- 3 调查场地的新构造运动和地震活动情况，研究其与地裂缝之间的关系；
- 4 调查场地的地下水类型、含水层分布、地下水开采及水位变化情况，研究其与地裂缝之间的关系；
- 5 调查场地人工坑洞分布及地面沉降等情况，研究其与地裂缝之间的关系；
- 6 查明地裂缝的分布规律、具体位置、出露情况、延伸长度、产状、上下盘主变形区和微变形区的宽度、次生裂缝发育情况；
- 7 查明地裂缝形态、宽度、充填物、充填程度；
- 8 查明地裂缝的活动性、活动速率、不同位置的垂直和水平错距；
- 9 查明地裂缝对既有建（构）筑物的破坏情况及针对地裂缝破坏所采取工程措施的成功经验；
- 10 对地裂缝进行长期监测。

10.5.2 地裂缝勘察应符合下列要求：

- 1 地裂缝勘察宜采用地质调查与测绘、槽探、钻探、静力触探、物探等综合方法；
- 2 对于出露地表的地裂缝，选择典型破裂点测量其平面坐标，测点间距宜为10~20m；且对地面出露转折点也应实测平面坐标。采用槽探确定地裂缝产状，断距及活动性等。
- 3 对于有浅部标志层场地，每个场地勘探线数量对于区间或车站不宜少于2条，且宜布置在轨道交通线路两侧；场站不宜少于3条；勘探线间距宜为20m~50m，勘探线的长度不宜小于30m。地裂缝每一侧勘探点数量不宜少于3个，确定标志层

断距的勘探孔间距不宜大于 4m。勘探孔深度应能查明主要标志层的错断情况，并达到主要标志层层底以下 5m。必要时采用槽探确定地裂缝产状，断距及活动性等。

4 对于地裂缝研究程度低、无明显标志层的隐伏地裂缝场地，采用人工地震反射波法勘探时，宜进行现场试验确定合理的仪器参数和观测系统。野外数据采集系统的要求覆盖次数不宜少于 24 次，道间距 3~4m 为宜。钻孔的深度宜结合人工地震反射波法的勘探成果布置，揭示沉积旋迴不完整时，钻探孔深度可适当加深。一般孔间距 40~80m，确定断距的勘探孔间距不宜大于 10m，地裂缝每一侧的勘探孔数不宜少于 3 个。

10.5.3 地裂缝场地岩土工程分析与评价应包括下列内容：

1 工程地质图中应标明地裂缝在地面的位置、延伸方向及相应的坐标，分出主变形区和微变形区；

2 工程地质剖面图中应标明地裂缝的倾向、倾角及主变形区和微变形区；

3 评价地裂缝的活动性及活动速率，预估地裂缝在工程设计周期内的最大变形量；

4 提出减缓或预防地裂缝活动的措施；

5 地上工程不宜建在地裂缝上，应根据其重要程度建议合理地避让距离，必须建在地裂缝上时，应建议需采取的工程措施；

6 地下工程宜避开地裂缝，应根据其分布情况建议合理地避让距离，无法避开时，宜大角度穿越，并应建议需采取的工程措施。对于活动地裂缝，尚应建议工程线路的通过方式；

7 应评价地裂缝对工程开挖、隧道涌水的影响，建议需采取的工程措施；

8 提出对工程结构和地裂缝进行长期监测的建议。

10.5.4 地裂缝资料编制应包括下列内容：

1 文字部分：应阐明地裂缝基本特征，地裂缝场地活动性评价，地裂缝工程风险分析，地裂缝治理和监测的建议；

2 工程地质图：应标明地裂缝在地面的位置、延伸方向及相应的坐标，分出主变形区和微变形区，比例为 1：500~1：1000；

3 工程地质横、纵断图：应标明地裂缝的倾向、倾角及主变形区和微变形区，比例为 1：200～1：500；

4 工程地质测绘、物探、原位测试、室内试验成果及其它资料等。

10.6 有害气体

10.6.1 在市域（郊）铁路工程通过工业垃圾和生活垃圾地段、富含有机质的软土地区，以及煤、石油、天然气层或曾发现过有害气体的地区应开展有害气体勘察工作。

10.6.2 对工程附近的人工有机物堆积、化粪池等产生、储存有害气体地段，可参照本节的规定进行有害气体的勘察与评价，并提出处理建议。

10.6.3 有害气体的勘察应查明下列内容：

- 1 地层成因、沉积环境、岩性特征、结构、构造、分布规律、厚度变化；
- 2 含气地层的物理化学特征、具体位置、层数、厚度、产状及纵、横方向上的变化特征、圈闭构造；
- 3 有害气体生成、储藏和保存条件，确定有害气体运移、排放、液气相转换和储存的压力、温度及地质因素；
- 4 地下水水位与变化幅度、补给、径流、排泄条件，含水层分布位置、孔隙率与渗透性，地下水与有害气体的共存关系；
- 5 有害气体的分布、范围、规模、类型、物理化学性质；
- 6 当地有关有害气体的利用及危害情况和工程处理经验。

10.6.4 有害气体的勘探应符合下列要求：

- 1 应采用钻探、物探和现场测试等综合勘探手段。勘探点应结合地层复杂程度、含气构造和工程类型确定，勘探线宜按线路纵、横断面方向布置，并应有部分勘探点通过生气层、储气层部位。勘探点的数量应根据实际情况确定；
- 2 勘探孔深度宜结合生气层、储气层深度确定；
- 3 岩层、砂层岩芯采取率不宜小于 80% ，黏性土、粉土、煤层不宜小于 90% ；

- 4 各生气层、储气层应取样不少于 2 组，隔气顶、底板各不少于 1 组。

10.6.5 有害气体的测试应包括下列内容：

- 1 有害气体的类型、含量、浓度、压力、温度及物理化学性质；
- 2 生气层、储气层的密度、含水量、液限、塑限、有机质含量、孔隙率、饱和度、渗透系数。煤层的密度、孔隙率、水分、挥发分、全硫、坚固性系数、瓦斯放散初速度、等温吸附常数、自燃倾向性、煤尘爆炸性；
- 3 封闭有害气体的顶、底板的物理力学性质；
- 4 水的腐蚀性。

10.6.6 有害气体的分析与评价应包括下列内容：

- 1 地下工程通过段的工程地质与水文地质条件，有害气体生气层、储气层的埋深、长度、厚度、与线路交角、分布趋势、物理化学性质及封闭圈特征；
- 2 地下工程通过段的有害气体类型、含量、浓度、压力，预测施工时有害气体突出危险性、突出位置、突出量，评价有害气体对施工及运营的影响，提出工程措施的建议。

10.6.7 有害气体资料编制应包括下列内容：

- 1 文字部分：应阐明有害气体勘探过程与结果，赋存的地质条件，相关设计参数及对工程及人体的危害、处理措施建议等；
- 2 工程地质图：应填绘有害气体类型及分布范围、有关的测试参数，比例为 1：2000～1：10000；
- 3 工程地质纵、横断面图：应填绘煤、油页岩、烃源岩、油气储层的具体位置、瓦斯风化带分界线、有关的测试参数等，比例为 1：200～1：2000；
- 4 地质调绘，勘探、测试等原始资料。

10.7 放射性

10.7.1 线路通过放射性矿床分布、高辐射地带、水源放射性超过限制浓度或放射性地方病蔓延地区，应按放射性地区进行工程勘察。

10.7.2 选线时应避让已知或可能存在的放射性矿床区、放射性异常地段、退役核

设施及放射性物质超过限制浓度区。线路无法绕避铀矿床或规模较大的放射性地质体时，应选择矿床隐伏地带、放射性强度低、构造简单地段采用短距离通过。

10.7.3 市域（郊）铁路建设场地放射性物质限制指标应符合国家有关防护标准的规定，车站和场段等建筑物不宜建在公众照射超过国家标准的地段。

10.7.4 放射性的勘察主要包括下列内容：

1 应搜集、查阅沿线区域、历史资料，了解是否存在放射性超标情况或可能性，是否经过放射性矿床分布、高辐射地带、水源放射性超过限制浓度或放射性地方病蔓延区等放射性地区；

2 在搜集沿线放射性资料基础上，结合现状情况，宜开展必要的抽查核实工作；

3 主要采用地质调绘、探测与测试、监测等综合手段，查明线路沿线放射性异常的分布、形态特征和地层岩性、构造和空间关系；

4 查明线路沿线各类岩性 γ 特性、露天水源中的铀、镭、氡及总 α 、总 β 浓度。

5 进行土壤和空气中氡浓度、弃渣放射性测试和监测；

6 提出放射性超标场所、放射性超标弃渣防护和处置措施和建议。

10.7.5 放射区探测与测试分析应符合下列规定：

1 放射性地区勘察方法应以 γ 测量方法为主，并结合钻探、坑探等进行深部勘察；

2 线路所经地区应查明区内各类岩性 γ 特性，露天水源中的铀、镭、氡及总 α 、总 β 浓度；

3 放射性地区勘探钻孔应根据工程需要并结合放射性异常验证布置，并进行钻孔岩芯放射性编录和 γ 测井；必要时开展放射性水文地质试验，并取水样和岩样进行放射性和化学分析；

4 放射性测试包括：环境地表 γ 辐射剂量率；隧道工程中空气中氡浓度及氡子体 α 潜能浓度；地表、地下水中放射性核素浓度。

10.7.6 放射性岩土工程分析与评价应符合下列内容：

1 线路通过放射性地区应进行放射性分级和放射工作场所分区，评价放射性对施工、运营的影响和必须采取的防护措施；

2 测量地面 γ 总量, 确定 γ 总量异常点、异常带和对 γ 场进行分级。 γ 场可根据 γ 背景值 μ 和标准偏差 σ 划分为正常场 ($\mu - \sigma \leq \gamma < \mu + \sigma$)、偏高场 ($\mu + \sigma \leq \gamma < \mu + 2\sigma$)、高场 ($\mu + 2\sigma \leq \gamma < \mu + 3\sigma$)、异常场 ($\gamma \geq \mu + 3\sigma$) ;

3 放射工作场所分区根据年有效剂量当量 H_e 划分为非限制区 ($H_e < 5\text{mSv}$)、监督区 ($5\text{mSv} \leq H_e \leq 15\text{mSv}$)、控制区 ($H_e > 15\text{mSv}$) ;

4 辐射剂量限值体系、辐射防护的控制措施、放射性废物处置及管理、辐射监测、辐射防护评价等应符合现行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871) 及其他相关规定的要求;

5 核辐射环境质量评价应符合现行《核辐射环境质量评价一般规定》GB 11215 及其他相关规定的要求;

6 环境 γ 辐射照射对公众产生的有效剂量当量, 可用下式进行估算:

$$H_e = D_r \cdot K \cdot t \quad (10.7.6)$$

式中 H_e ——有效剂量当量(Sv);

D_r ——实测环境地表 γ 辐射空气吸收剂量率(Gy/h);

K ——有效剂量当量率与空气吸收剂量率比值(0.7Sv/Gy);

t ——公众在环境中停留的时间(h)。

7 水源中主要放射性限制浓度:总 α 为 0.1Bq/L, 总 β 为 1.0Bq/L, 天然铀(U) 为 0.05 mg/L, 镭 (^{226}Ra) 为 1.11 Bq/L, 氡 (^{222}Rn) 为 3.70 Bq/L (氡子体的 α 潜能值不应大于 $4 \times 10^4 \text{ Mev/L}$) 。

10.7.7 放射性地区资料编制应包括下列内容:

1 文字部分: 应阐明放射性勘察过程和结果, 工程设计所需参数, 需要采取的防护措施建议等;

2 工程地质图: 应填绘 γ 总量异常点、异常带和 γ 场的分级界线, 比例为 1 : 2 000 ~ 1 : 10000;

3 工程地质纵、横断面图: 应标明放射性地质体位置及 γ 场的分级界线, 比例为 1 : 200 ~ 1 : 2000;

4 地质调绘、勘探、测试等原始资料。

10.8 滑坡

10.8.1 拟建工程场地或其附近存在对工程安全有影响的滑坡或有滑坡可能时，应进行专门的滑坡勘察。

10.8.2 滑坡勘察应进行工程地质调绘，调查范围应包括滑坡及其邻近地段。比例尺可选用 1 : 200~1 : 1000。

10.8.3 滑坡区的工程地质调绘，除应遵守本标准 14 章的规定外，尚应调查下列内容：

- 1 搜集地质、水文、气象、地震和人类活动等相关资料；
- 2 滑坡的形态要素和演化过程，圈定滑坡周界；
- 3 地表水、地下水、泉和湿地等的分布；
- 4 树木的异态、工程设施的变形等；
- 5 当地治理滑坡的经验。
- 6 对滑坡的重点部位应摄影或录像。

10.8.4 勘探线和勘探点的布置应根据工程地质条件、地下水情况和滑坡形态确定。除沿主滑方向应布置勘探线外，在其两侧滑坡体外也应布置一定数量勘探线。勘探点间距应结合地形和地质条件确定，在滑坡体转折处和预计采取工程措施的地段，也应布置勘探点。

10.8.5 勘探孔的深度应穿过最下一层滑面，进入稳定地层，控制性勘探孔应深入稳定地层一定深度，满足滑坡治理需要。

10.8.6 滑坡勘察应进行下列工作：

- 1 查明各层滑坡面（带）的位置；
- 2 查明各层地下水的位置、流向和性质；
- 3 在滑坡体、滑坡面（带）和稳定地层中采取土试样进行试验。

10.8.7 滑坡勘察时，土的强度试验宜符合下列要求：

- 1 采用室内、野外滑面重合剪，滑带宜作重塑土或原状土多次剪试验，并求出

多次剪和残余剪的抗剪强度；

- 2 采用与滑动受力条件相似的方法；
- 3 采用反分析方法检验滑动面的抗剪强度指标。

10.8.8 滑坡的稳定性计算应符合下列要求：

- 1 选择有代表性的分析断面，划分牵引段、主滑段和抗滑段；
- 2 选用强度指标，宜根据测试成果、反分析和当地经验综合确定；
- 3 有地下水时，应计入浮托力和水压力；
- 4 根据滑面（滑带）条件，按平面、圆弧或折线，选用正确的计算模型；
- 5 当有局部滑动可能时，除验算整体稳定外，尚应验算局部稳定；
- 6 当有地震、冲刷、人类活动等影响因素时，应考虑这些因素对稳定的影响。

10.8.9 滑坡稳定性的综合评价，应根据滑坡的规模、主导因素、滑坡前兆、滑坡区的工程地质和水文地质条件，以及稳定性验算结果进行，并应分析发展趋势和危害程度，提出治理方案的建议。

10.8.10 滑坡资料编制应包括下列内容：

1 文字部分：应阐明滑坡体勘察的方法、过程及完成工作量，滑坡的要素及特征、类型、规模、岩土体结构、滑动面（带）特征，工程设计所需参数及防治措施建议等；

2 工程地质图：标明滑坡的范围界线、主轴方向、滑坡体开裂变形特征等，比例为 1：200～1：2000；

3 轴线工程地质断面图：标明滑坡的滑动带界线，滑动方向和裂缝位置，比例为 1：100～1：1000；

4 代表性轴向和横向工程地质断面图：标明滑坡的滑动带界线，滑动方向和裂缝位置，比例为 1：100～1：1000；

5 工程水文地质条件复杂时，结合防治工程需要绘制水文地质图、滑床或基岩等高线图、滑坡地段的过湿带分布图，比例同工程地质图；

6 原始资料包括勘探、测试、气象、地震资料，观测点、地质照片等。

10.9 危岩和崩塌

10.9.1 拟建工程场地或其附近存在对工程安全有影响的危岩或崩塌时，应进行危岩和崩塌勘察。

10.9.2 危岩和崩塌勘察宜在可行性研究或初步勘察阶段进行，应查明产生崩塌的条件及其规模、类型、范围，并对工程建设适宜性进行评价，提出防治方案的建议。

10.9.3 危岩和崩塌地区工程地质测绘的比例尺宜采用 1: 500~1:1000；崩塌方向主剖面的比例尺宜采用 1: 200。除应符合本标准 14 章的规定外，尚应查明下列内容：

- 1 地形地貌及崩塌类型、规模、范围，崩塌体的大小和崩落方向；
- 2 岩体基本质量等级、岩性特征和风化程度；
- 3 地质构造，岩体结构类型，结构面的产状、组合关系、闭合程度、力学属性、延展及贯穿情况；
- 4 气象(重点是大气降水)、水文、地震和地下水的活动；
- 5 崩塌前的迹象和崩塌原因；
- 6 当地防治崩塌的经验。

10.9.4 危岩勘探可采用槽探、钻探或物探等方法，必要时可采用平硐勘探、定向钻探等。勘探点宜结合支挡防护工程设置进行布置。

10.9.5 当需判定危岩的稳定性时，宜对张裂缝进行监测。对有较大危害的大型危岩，应结合监测结果，对可能发生崩塌的时间、规模、滚落方向、途径、危害范围等作出预报。

10.9.6 各类危岩和崩塌的岩土工程评价应符合下列规定：

- 1 阐明危岩和崩塌区的范围、类型，作为工程场地的适宜性，并提出防治方案的建议。
- 2 规模大，破坏后果很严重，难于治理的，不宜作为工程场地，线路应绕避；
- 3 规模较大，破坏后果严重的，应对可能产生崩塌的危岩进行加固处理，线路应采取防护措施；
- 4 规模小，破坏后果不严重的，可作为工程场地，但应对不稳定危岩采取治理

措施。

10.9.7 危岩和崩塌资料编制应包括下列内容：

- 1 文字部分：应阐明危岩和崩塌的勘探过程和结果，工程设计所需参数，需要采取的防护措施等；
- 2 工程地质图：应标明裂隙位置，危岩和崩塌范围界线，比例为 1：500～1：2000；
- 3 代表性轴向、横向工程地质断面图（必要时绘制）：应测至可能崩塌的范围外 20 m～50 m，并标明裂隙位置，危岩和崩塌范围界线，比例为 1：200～1：1000；
- 4 崩塌陡崖和危岩体的工程照片、正视图或素描图，必要时应提供高清遥感图、三维激光扫描图等；
- 5 防治工程设计中的相关岩土参数。

10.10 泥石流

10.10.1 拟建工程场地或其附近有发生泥石流的条件并对工程安全有影响时，应进行专门的泥石流勘察。

10.10.2 泥石流勘察应在可行性研究或初步勘察阶段进行，应查明泥石流的形成条件和泥石流的类型、规模、发育阶段、活动规律，并对工程场地作出适宜性评价，提出防治方案的建议。

10.10.3 线路跨越各类型泥石流沟时，应查明下列内容：

- 1 桥渡上、下游影响范围内沟坡稳定性，沟床纵坡和断面的变化，泥石流补给区物质组成。
- 2 建（构）筑物基础地质条件。
- 3 桥位附近泥痕高度和坡度，泥石流输移的最大块石粒径，冲蚀、淤积情况。
- 4 治理泥石流的经验和既有跨越泥石流沟建筑物遭受泥石流破坏情况。
- 5 冰川型泥石流还应查明冰川、冰碛物等参与泥石流灾害的物源、水源情况，开展冰川泥石流灾害对铁路工程的风险分析。
- 6 溃决型泥石流还应查明冰碛坝、堰塞坝、堆积坝等物质组成、稳定性、溃决

特点，开展灾害过程特征分析及溃决灾害对铁路工程的风险分析。

10.10.4 泥石流勘察应以工程地质调绘、遥感地质解译为主。测绘范围应包括沟谷至分水岭的全部地段和可能受泥石流影响的地段。测绘比例尺，对全流域宜采用 1 : 50000；对中下游可采用 1:2000~1:10000。除应符合本标准 14 章的规定外，尚应调查下列内容：

1 冰雪融化和暴雨强度、一次最大降雨量，平均及最大流量，地下水活动等情
况；

2 地形地貌特征，包括沟谷的发育程度、切割情况，坡度、弯曲、粗糙程度，
并划分泥石流的形成区、流通区和堆积区，圈绘整个沟谷的汇水面积；

3 形成区的水源类型、水量、汇水条件、山坡坡度，岩层性质和风化程度；查
明断裂、滑坡、崩塌、岩堆等不良地质作用的发育情况及可能形成泥石流固体物质
的分布范围、储量；

4 流通区的沟床纵横坡度、跌水、急湾等特征；查明沟床两侧山坡坡度、稳定
程度，向床的冲淤变化和泥石流的痕迹；

5 堆积区的堆积扇分布范围，表面形态，纵坡，植被，沟道变迁和冲淤情况；
查明堆积物的性质、层次、厚度、一般粒径和最大粒径；判定堆积区的形成历史、堆
积速度，估算一次最大堆积量；

6 泥石流沟谷的历史，历次泥石流的发生时间、频数、规模、形成过程、暴发
前的降雨情况和暴发后产生的灾害情况；

7 开矿弃渣、修路切坡、砍伐森林、陡坡开荒和过度放牧等人类活动情况；

8 当地防治泥石流的经验。

10.10.5 当需要对泥石流采取防治措施时，应进行勘探测试，进一步查明泥石流堆
积物的性质、结构、厚度，固体物质含量、最大粒径，流速、流量，冲出量和淤积
量。

10.10.6 泥石流的工程分类，宜遵守本规范附录 G 的规定。

10.10.7 泥石流地区工程建设适宜性的评价，应符合下列要求：

1 I₁ 类和 II₁ 类泥石流沟谷不应作为工程场地，各类线路宜避开；

2 I_2 类和 II_2 类泥石流沟谷不宜作为工程场地，当必须利用时应采取治理措施；线路应避免直穿堆积扇，可在沟口设桥(墩)通过；

3 I_3 类和 II_3 类泥石流沟谷可利用其堆积区作为工程场地，但应避开沟口；线路可在堆积扇通过，可分段设桥和采取排洪、导流措施，不宜改沟、并沟；

4 当上游大量弃渣或进行工程建设，改变了原有供排平衡条件时，应重新判定产生新的泥石流的可能性。

10.10.8 泥石流评价应确定其类型、发育阶段、发生频率，松散堆积物的稳定性和储量，预估设计使用年限内累计淤积厚度及对线路的影响。

10.10.9 泥石流资料编制应包括下列内容：

1 文字部分：应阐明泥石流的工程地质条件、评价及处理原则，特别是施工对泥石流的影响；

2 流域工程地质图（必要时绘制）：应标明松散堆积物范围，比例为1:10 000～1:50000；

3 工程地质图：范围应包括桥渡及上、下游防治建筑物，并标明松散堆积物范围界线，比例为1:500～1:5000；

4 沟床工程地质纵断面图（必要时绘制）：范围应包括桥渡上、下游防治建筑物，并标明松散堆积物界线，比例为横1:500～1:5000，竖1:100～1:500；

5 沟床工程地质横断面图（必要时绘制）：应标明泥石流洪峰及松散堆积物界线，比例为1:200～1:500；

6 防治建筑物工程地质纵、横断面图：应标明泥石流洪峰及松散堆积物界线，比例为1:200～1:500；

7 勘探、测试资料，观测点、地质照片等资料。

10.11 活动断裂

10.11.1 市域（郊）铁路工程场地或其附近存在对工程有影响的活动断裂时，应进行活动断裂勘察。当活动断裂对工程有重大影响时，应进行专项勘察。

10.11.2 活动断裂勘察应查明活动断裂的形成年代、类型、分布位置、产状、范围及与线路的关系，查明活动断裂破碎带岩土层物理力学性质和水文地质条件，分析其活动性和地震效应，评价活动断裂对工程建设可能产生的影响，提出处理措施的建议。

10.11.3 活动断裂勘察应符合下列规定：

1 搜集和分析与活动断裂有关的资料，包括卫星影像和航空遥感相片、区域构造地质、强震震中分布、地应力和地形变、历史和近期地震等资料。

2 开展受活动断裂活动影响的地形地貌、地质、地震特征等工程地质调绘。

3 根据工程建设要求、场地复杂程度和现场环境条件，采用遥感地质解译、工程地质调绘、物探、勘探、原位测试、取样与试验等综合勘察方法。

4 根据活动断裂带的岩体破碎情况开展区域水文地质调查和有针对性的水文地质试验，必要时可采用动态观测的方法、设置地下水位长期观测孔。

5 根据需要开展活动断裂及其影响范围的氡浓度和有毒有害气体测试。

10.11.4 槽探或坑探用于活动断裂勘察时，宜布置在活动断裂破碎带地表露头或活动断裂错动第四系地层处。

10.11.5 活动断裂勘探孔的深度一般应钻穿活动断裂破碎带并进入稳定的地层；当活动断裂破碎带厚度大难以揭穿时，应结合设计、施工和研究需要，确定勘探孔深度。

10.11.6 活动断裂破碎带波速测试孔和电阻率测试孔不宜少于2个，可根据需要在活动断裂破碎带及其两侧应进行氡气测试，必要时进行放射性 γ 测试。

10.11.7 活动断裂勘察的岩土工程分析与评价应符合下列规定：

1 分析活动断裂的活动性和地震效应，评价活动断裂对工程建设可能产生的影响，并提出处理措施的建议。

2 分析活动断裂带的性质特征，提供活动断裂带岩土层物理和力学性质参数。

3 分析评价活动断裂对地基承载力、稳定性和均匀性的影响。

4 分析活动断裂带对基坑、隧道和边坡稳定性及桩基承载力的影响，预测可能

出现的岩土工程问题，提出工程措施建议。

5 分析和评价活动断裂带渗透性、富水性和地下水动态及对工程建设、运营期的影响，提供设计、施工所需的水文地质参数，提出地下水控制措施建议。

6 分析在活动断裂带区域工程建设对周边环境的影响，提出环境保护、监测措施的建议。

10.11.8 活动断裂资料编制应包括下列内容：

1 文字部分：阐明活动断裂位置、产状、规模、破碎带宽度及其活动性，对工程的危害程度及处理措施意见；

2 工程地质图：应标明活动断裂在地面的位置、延伸方向及相应的坐标，与工程的位置关系，比例为1：500～1：1000；

3 垂直活动断裂走向的地质剖面图：应标明活动断裂的倾向、倾角，地质的错断情况，比例为1：200～1：500；

4 探测区地震构造图、探测范围活动断裂地质-地貌图、探测范围活动断裂分布图；

5 工程地质调绘、物探、原位测试、室内试验成果及其它资料等。

11 特殊性岩土

11.1 一般规定

11.1.1 市域（郊）铁路工程建设中常见的特殊性岩土主要有填土、软土、膨胀岩土、黄土、污染土、混合土、盐渍岩土、多年冻土、红黏土、风化岩和残积土等，对工程有影响的其他特殊性岩土，应按国家现行有关规范、规程进行岩土工程勘察。

11.1.2 在分布特殊性岩土的场地，应通过踏勘、搜集已有工程资料 and 进行工程地质调绘等，判断勘察场地的特殊性岩土种类和场地的复杂程度，结合工程的重要程度，制定合理的岩土工程勘察方案。

11.1.3 在分布特殊性岩土的场地，应结合市域（郊）铁路工程特点有针对性地布置勘察工作。勘探点的种类、数量、间距和深度等，应能查明特殊性岩土的分布特征；其原位测试和室内试验的项目、方法和数量等，应能查明特殊性岩土的工程特性。

11.1.4 特殊性岩土的勘探与测试方法、工艺和操作要点等，应与特殊性岩土的工程特性相适应。

11.1.5 应评价特殊性岩土对市域（郊）铁路工程建设和运营的影响，提供设计与施工所需的物理力学参数。

11.2 填土

11.2.1 遇人为活动堆积、弃置或填筑的黏性土、粉土、砂类土、碎石、块石类土、建筑垃圾、生活垃圾和工业废料时，应按填土进行岩土工程勘察。

11.2.2 填土的勘察应包括下列内容：

- 1 原始地貌、地形、地物的变迁，填土来源和堆填方式；
- 2 填土的类型、成份、分布、厚度、深度、均匀程度及相互接触关系；暗埋的塘、浜、坑的分布；
- 3 填土的堆填年代与加载、卸荷经历、地基处理情况；
- 4 填土的含水率、密度、颗粒级配、有机物含量、密实度、压缩性、湿陷性及

腐蚀性等；

- 5 地下水的赋存状态、补给、径流、排泄方式及水质的腐蚀性等。

11.2.3 填土的勘探应符合下列要求：

- 1 勘探点间距应根据不同种类与物质成份填土的分布、厚度、工程性质及其变化确定，对填土厚度突变部位宜加密勘探点；
- 2 勘探孔的深度应穿透填土层，并应满足工程设计及地基加固施工的需要；
- 3 勘探方法应根据填土性质确定。对由粉土或黏性土组成的素填土，可采用钻探取样、轻型钻具与原位测试相结合的方法；对含较多粗粒成份的素填土和杂填土，宜采用动力触探、钻探，在具备施工条件时，可适当布置一定数量的探井；
- 4 宜采用多时相遥感或 InSAR 技术查明填土时间、分布范围和动态变化。

11.2.4 填土的试验应符合下列要求：

- 1 填土均匀性和密实度的判别，宜采用静力触探、动力触探、标准贯入试验等原位测试手段，并辅以室内试验；
- 2 填土压缩性和湿陷性的判别，宜采用室内固结试验或现场载荷试验；
- 3 杂填土的密度试验宜采用大容积法；
- 4 对压实填土应测定其干密度，并应测定填料的最优含水率和最大干密度，计算压实系数；
- 5 填土的承载力可采用原位测试方法结合当地经验确定，必要时应作载荷试验。

11.2.5 填土的岩土工程评价应符合下列要求：

- 1 阐明填土的成分、分布和堆积年代，判断地基的均匀性、压缩性和密实度和湿陷性，岩土工程性质及其变化；必要时应按厚度、强度和变形特性进行分层或分区评价；
- 2 当填土作为地基土层时，对填土的承载力、抗剪强度、基床系数、天然密度和变形参数等提出建议值；
- 3 填土底面的地面横坡大于 1: 5 时，应分析评价其稳定性；
- 4 提出填土地基处理和基础方案的建议；

5 分析评价填土含水状况、地下水对基础材料的腐蚀性及其对工程的影响，并提出处理措施的建议；

6 大型垃圾填埋场、大型尾矿坝、弃渣场，其溃坝、滑坡后可能影响线路安全时，应对其进行稳定性分析评价，并提出处理措施的建议。

11.3 软土

11.3.1 对于在静水或缓慢流水环境中沉积形成的黏性土、粉土，具有含水率大（ $\omega \geq \omega_L$ ）、孔隙比大（ $e \geq 1.0$ ）、压缩性高（ $a_{0.1 \sim 0.2} \geq 0.5 \text{MPa}^{-1}$ ）、强度低（ $P_s \leq 700 \text{kPa}$ ）等特点，应按软土进行岩土工程勘察。

11.3.2 软土勘察应包括下列内容：

1 软土的成因类型、形成年代、岩性、分布规律、厚度变化、地层结构、砂土夹层分布和均匀性；

2 软土分布区的地形、地貌特征，尤其是沿线微地貌与软土分布的关系，以及古牛轭湖、埋藏谷，暗埋的塘、浜、坑穴、沟、渠等分布范围及形态；

3 软土硬壳的分布、厚度、性质及随季节变化情况；硬夹层的空间位置、形态、厚度及性质；下伏硬底的岩土组成、性质、埋深和起伏；

4 软土层的强度与变形特征指标，固结情况和土体结构扰动对强度和变形的影响、有机质含量等；

5 地下水类型、埋藏深度与变化幅度、补给与排泄条件，软土中各含水层的分布、颗粒成份、渗透系数；地表水汇流和水位季节变化、地表水疏干条件等；

6 调查基坑开挖施工、隧道掘进、基桩施工、填筑工程、降水等有关的土性变化、土体位移、地面变形及由此引起的工程设施受损或破坏及处理的情况。

11.3.3 软土的勘探应符合下列要求：

1 应采用钻探取样、室内试验和原位测试相结合的综合勘探方法。原位测试可采用静力触探试验、十字板剪切试验、扁铲侧胀试验、旁压试验、载荷试验等方法；

2 勘探点的平面布置应根据工程类型、施工方法、基础形式及软土的地层结

构、成因类型、成层条件及岩土工程治理的需要确定；勘探点的密度应满足相应勘察阶段岩土工程评价、工程设计的需要；当需要圈定重要的局部变化时，可以加密勘探点；必要时进行横断面勘探；

3 勘探孔的深度应满足设计要求，一般应穿透软土层至硬底以下 5m~10m 或至基岩层中 3m~5m；当软土层较厚时，勘探、测试孔深度应满足地基压缩层的计算深度和围护结构计算的要求；

4 取样钻孔应分层取代表性土样，层厚时取样间距不宜大于 2m。

11.3.4 软土室内试验应符合下列要求：

1 室内试验的项目，应根据不同的工程类别和地基处理措施选定。除物理指标项目外，一般还应包括：渗透系数、压缩系数、压缩模量、先期固结压力、压缩指数、回弹指数、固结系数、抗剪强度、静止侧压力系数、灵敏度、有机质含量等；

2 室内力学试验应以直剪、三轴剪切试验、无侧限抗压强度、压缩固结试验为主，每一地貌单元应有代表性高压固结试验，成果按 $e-\lg p$ 曲线的形式整理，确定先期固结压力并计算压缩指数和回弹指数；必要时应进行次固结试验。

11.3.5 软土的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

1 应判定土的固结程度和灵敏度；

2 当邻近有河湖、池塘、洼地、河岸、边坡时，或当软土围岩和地基受力范围内有起伏、倾斜的基岩、硬土层或存在较厚的透镜体时，应分析软土侧向塑性挤出或产生滑移的危险程度，分析软土发生变形、不均匀变形的可能性，并提出工程处理措施意见；

3 软土地基主要受力层中有薄的砂层或软土与砂土互层时，应根据其固结排水条件，判定其对地基变形的影响；

4 应根据软土的成层、分布及物理力学性质对影响或危及市域（郊）铁路工程安全的不均匀沉降、滑动、变形作出评价，提出地基加固、处理措施的建议；

5 判定地下水位的变化幅度和承压水头等水文地质条件对软土地基和隧道围岩稳定性和变形的影响；

6 对软土地层基坑的开挖、隧道施工、支护结构类型及降水方法提出建议，

提出相关参数建议值；

- 7 软土地基的承载力宜采用多种方法综合确定；
- 8 桩基设计应考虑软土固结所产生的负摩阻力；当桩基邻近有堆载时，还应分析水平应力对桩基产生的不利影响；
- 9 抗震设防烈度等于或大于 7 度的厚层软土，应判别软土震陷的可能性；
- 10 对含有沼气等有害气体的软土地基、围岩，应判定有害气体逸出对地基稳定性、变形及施工的影响；
- 11 对软土场地因施工、取土、运输等原因产生的环境地质问题应作出评价，并提出相应措施。当地面有大面积堆载时应分析其对相邻建（构）筑物的不利影响。

11.4 膨胀岩土

11.4.1 富含亲水矿物，具吸水显著膨胀、软化、崩解，失水急剧收缩开裂，能往复胀缩变形的黏性土，应按膨胀土进行岩土工程勘察。遇含有较多的亲水矿物，具有含水率增加、体积膨胀、岩质软化、饱水后崩解泥化和失水体积收缩、岩体破裂、新鲜岩石在空气中具有鳞片状剥落特性的软质岩石时，应按膨胀岩进行岩土工程勘察。

11.4.2 膨胀土的勘察应包括下列内容：

- 1 查明膨胀土的地质年代、岩性、矿物成分、成因、结构、分布及颜色、节理、裂隙发育情况和充填物等特征；
- 2 查明膨胀土分布区的地形、地貌和场地特征；
- 3 查明膨胀土分布区不良地质作用的发育情况与危害程度；
- 4 查明膨胀土的强度、胀缩特性及不同膨胀潜势、胀缩等级的分布特征；确定膨胀潜势、地基的膨胀变形量、收缩变形量、胀缩变形量、胀缩等级；
- 5 调查地表水的排泄和积聚情况，地下水的类型、水位与变化规律；
- 6 收集当地降雨量、干湿季节、干旱持续时间等气象资料、大气影响深度；

7 调查当地的建筑经验，建筑物与道路的破坏形式，发生发展特点与防治措施等。

8 提供膨胀土预防措施及地基处理方案的建议。

11.4.3 膨胀土的勘探应符合下列要求：

1 勘探点应结合地貌特征和工程类型布置，采用钻探和井探相结合，钻探宜采用干钻；

2 取土试样钻孔、探井的数量不应少于钻孔、探井总量的 1/2；

3 勘探深度，除应超过压缩层深度外，尚应大于大气影响深度；勘探深度还应满足各类工程设计的需要；

4 膨胀土应分层取样，在大气影响深度内的土试样，取样间隔宜为 1m，在大气影响深度以下，取样间隔可适当增大；

5 钻孔、探井应分层回填夯实。

11.4.4 膨胀土室内试验应符合下列要求：

1 一般应包括常规物理力学指标，自由膨胀率、蒙脱石含量和阳离子交换量等膨胀土详判指标，一定压力下的膨胀率、收缩系数、膨胀力等特性指标。结合工程需要做无侧限抗压强度、三轴剪切、残余强度、先前固结压力等试验；

2 计算在荷载作用下的地基膨胀量时，应测定土样在自重与附加压力之和作用下的膨胀率。

11.4.5 膨胀岩的勘察应符合下列要求：

1 膨胀岩的判定应符合表 11.4.5 的规定，当两项及两项以上指标符合时，可判定为膨胀岩；

表 11.4.5 膨胀岩的室内试验判定标准

试 验 项 目		判定指标
不易崩解的岩石	自由膨胀率 V_{H} (%) 或 V_{D} (%)	$V_{\text{H}} \geq 3$ 或 $V_{\text{D}} \geq 3$
易崩解的岩石	自由膨胀率 F_{S} (%)	$F_{\text{S}} \geq 30$

膨胀力 P_p (kPa)	$P_p \geq 100$
饱和吸水率 ω_{sa} (%)	$\omega_{sa} \geq 10$

注：1 不易崩解的岩石，应取轴向 V_h 或径向 V_d 自由膨胀率中的大值进行判定；

2 易崩解的岩石应将其粉碎，过 0.5mm 的筛去除粗粒后，比照土的自由膨胀率的试验方法进行试验。

2 膨胀岩的勘察除满足 11.4.3 条的规定外，尚应查明膨胀岩的地质构造、岩层产状、风化程度；

3 勘探点应结合工程类型布置，勘探孔深度应大于大气影响深度和满足各类工程设计的需要；

4 按岩性、风化带分层采取代表性样品，进行密度、含水率、自由膨胀率、膨胀力、岩石的饱和吸水率等试验。

11.4.6 膨胀岩土的工程分析与评价，尚应包括下列内容：

1 膨胀土膨胀潜势应按表 11.4.6-1 进行分类：

表 11.4.6-1 膨胀潜势分类

分类指标	膨胀潜势		
	弱	中	强
自由膨胀率 F_s (%)	$40 \leq F_s < 60$	$60 \leq F_s < 90$	$F_{st} \geq 90$
蒙脱石含量 M (%)	$7 \leq M < 17$	$17 \leq M < 27$	$M \geq 27$
阳离子交换量 $CEC(NH_4^+)$ (mmol/kg)	$170 \leq CEC(NH_4^+) < 260$	$260 \leq CEC(NH_4^+) < 360$	$CEC(NH_4^+) \geq 360$

注：当有两项指标符合时，即判定为该等级。

2 膨胀岩土地段，按地形地貌条件可分为平坦场地和坡地场地，符合下列条件之一者应划为平坦场地：

1) 地形坡度小于 5° ，且同一建筑物范围内局部高差不超过 1m；

2) 地形坡度大于 5° 小于 14° ，与坡肩水平距离大于 10m 的坡顶地带。

不符合以上两条的应划为坡地场地。

3 膨胀土地基胀缩等级应按表 11.4.6-2 的规定进行划分：

表 11.4.6-2 膨胀土地基胀缩等级

级别	地基分级变形量 S_c (mm)
I	$15 \leq S_c < 35$
II	$35 \leq S_c < 70$
III	$S_c \geq 70$

注：1 测定膨胀率的试验压力应为50kPa；

2 分级变形量的计算应按现行国家标准《膨胀土地区建筑技术规范》GB 50112 的有关规定进行。

4 确定地基土的承载力应按下列要求进行：

1) 重要建（构）筑物或工程设施的地基承载力宜采用载荷试验或浸水载荷试验确定；

2) 一般建（构）筑物或工程设施的地基承载力宜根据三轴不固结不排水剪（ U ）试验结果计算确定。

5 确定土体抗剪强度应按下列要求进行：

1) 表面风化层宜采用干湿循环试验确定；

2) 地下水位以下或坡面无封闭、有雨水、地表水渗入，宜采用浸水条件下的直剪仪慢剪试验确定；

3) 地下水位以上或坡面及时封闭、无雨水、无地表水渗入，宜采用非浸水条件下的直剪仪慢剪试验确定；

4) 裂隙面强度宜采用无侧限抗压强度试验或直剪仪裂面重合剪试验确定；

6 分析膨胀岩土对工程的影响，建议相应的基础埋深、地基处理及隧道、边坡、基坑挡护和防水、保湿措施等；

7 应对建（构）筑物、工程设施、边坡等的变形、岩土含水率的变化及气候等环境条件变异的监测提出建议。

11.5 黄土

11.5.1 对于勘察区工程场地分布的第四纪以来，在干旱、半干旱气候条件下，由陆相沉积的以黄色粉粒为主，含碳酸钙及少量易溶盐，具大孔隙、垂直节理、抗水性差、易崩解、潜蚀，上部多具湿陷性的特殊土层，应按黄土进行岩土工程勘察。在一定压力下浸水（饱和）压缩试验测定的湿陷系数大于或等于 0.015 的土判定为湿陷性黄土。

11.5.2 湿陷性土的勘察应查明下列内容：

- 1 查明黄土的分布情况，划分黄土地貌单元；
- 2 查明黄土特征，划分黄土的时代、成因类型，与下伏地层接触形态；
- 3 查明黄土陡坎、斜坡和沟谷发育的特征，不良地质分布及稳定情况，桥台岸坡及隧道洞口山坡的稳定情况；
- 4 查明黄土陷穴、洞穴、洼地等的分布范围、形态及发育规律；
- 5 查明地下水出露及季节变化情况；
- 6 查明黄土层内古土壤的分布及其膨胀性，各类夹层及其含水情况，评价其对边坡稳定性和施工安全的影响；
- 7 地表水流的汇集、排泄、浸泡、冲刷等对黄土稳定的影响；地下水位的季节性变化幅度和升降趋势，评估地下水上升的可能性和程度；
- 8 调查访问既有建筑物、边坡的稳定情况及处理措施、效果；收集当地消除湿陷性的建筑经验；
- 9 对于湿陷性黄土，还应查明黄土的湿陷类型、湿陷等级、平面分布，湿陷系数与自重湿陷系数随深度的变化、湿陷起始压力及其随深度的变化。

11.5.3 黄土地区工程勘探应符合下列规定：

- 1 勘探点的布置应满足工程场地稳定性评价要求，用于湿陷性评价的勘探点应按工程场地及地貌单元、成因类型及土质情况分别勘探、取样；
- 2 勘探孔的深度，除应大于地基压缩层深度外，尚应满足评价湿陷等级的深度需求；在非自重湿陷性场地应达到基础底面以下不小于 10m；在自重湿陷性场地应

大于自重湿陷性土层的深度，并应满足工程设计与施工的特殊需要；

3 取土勘探点中应有探井，探井深度宜穿透湿陷性黄土层；探井中取样竖向间距宜为 1m，土样直径不宜小于 120mm；探井数量宜占取土勘探点总数的 $1/3 \sim 1/2$ ；

4 采取原状土样和进行原位测试的勘探点数量，应不少于该地段勘探点总数的 $1/2$ ，当勘探点间距较大或数量不多时，宜将所有勘探点作为取土勘探点；原状土样宜采用挖探或静压取土方法，取土竖向间距宜为 1~2m，地层的规律性较强时可分层取样，但间距不应大于 3m；

5 土试样应为 I 级土样，并应在探井中取样，竖向间距宜为 1m；取样应按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025 的要求执行；

6 勘探点使用完毕后，应立即用原土分层回填夯实。

11.5.4 黄土地区的试验应满足下列要求：

1 室内试验除应满足本标准第 18 章的要求外，尚应进行湿陷系数、自重湿陷系数、湿陷起始压力等试验，对浸水可能性大的工程，应进行饱和状态下的压缩和剪切试验；

2 黄土的基坑稳定性计算与支护设计所需抗剪强度指标宜采用三轴固结不排水剪试验，在初步勘察阶段可采用固结快剪试验。存在安全等级为一级且易于受水浸湿的坑壁以及永久性坑壁时，应提供饱和状态下的抗剪强度参数；

3 根据工程需要可进行现场试坑浸水试验和现场载荷试验；

4 湿陷性土的原位及室内试验应按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025 的有关规定执行。

11.5.5 黄土地区的岩土工程分析和评价应包括下列内容：

1 判定场地湿陷类型：当实测自重湿陷量 Δ_{zs} 或计算自重湿陷量 Δ_{zs} 大于 70mm 时应判定为自重湿陷性场地；小于或等于 70mm 时应判定为非自重湿陷性场地；

2 湿陷性黄土地基湿陷量 Δ_s 计算方法按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025 执行；对不能采取不扰动土试样的湿陷性碎石土、湿陷性砂土、湿陷性粉土和湿陷性填土等，地基湿陷量 Δ_s 计算方法按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定执行；

3 湿陷性黄土地基的湿陷等级应根据场地的湿陷类型、计算自重湿陷量 Δ_{zs} 和湿陷量 Δ_s 按表 11.5.5 的规定确定

表11.5.5 湿陷性黄土地基的湿陷等级

场地湿度类型 自重湿陷量 Δ_{zs} (mm) 湿陷量 Δ_s (mm)	非自重湿陷性场地	自重湿陷性场地	
	$\Delta_{zs} \leq 70$	$70 < \Delta_{zs} \leq 350$	$\Delta_{zs} > 350$
$50 < \Delta_s \leq 100$	I (轻微)	I (轻微)	II (中等)
$100 < \Delta_s \leq 300$		II (中等)	
$300 < \Delta_s \leq 700$	II (中等)	II (中等) 或 III (严重)	III (严重)
$\Delta_s > 700$	II (中等)	III (严重)	IV (很严重)

注：对 $70 < \Delta_s \leq 350$ 、 $300 < \Delta_s \leq 700$ 一档的划分，当湿陷量的计算值 $\Delta_s > 600\text{mm}$ 、自重湿陷量的计算值 $\Delta_{zs} > 300\text{mm}$ 时，可判为III级，其他情况可判为II级。

4 应提出消除地基湿陷性措施的建议；

5 湿陷性黄土的承载力应按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025 的有关规定确定。湿陷性碎石土、湿陷性砂土、湿陷性粉土和湿陷性填土等的承载力宜按载荷试验确定；

6 应对自重湿陷性场地的桩基设计提出关于负摩阻力值的建议。测定负摩阻力宜进行现场试验。当进行现场试验有困难时，可参照现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025 的有关规定进行估算；

7 应对黄土中可能存在的钙质结核及钙质结核富集层对隧道施工的影响进行分析评价。

11.5.6 除湿陷性黄土外，在 200kPa 压力下浸水载荷试验的附加湿陷量与承压板宽度之比等于或大于 0.023 的土应判定为其他湿陷性土；其他湿陷性土主要包括

干旱和半干旱地区的湿陷性碎石土、湿陷性砂土、湿陷性填土等，其地基的湿陷等级应根据湿陷量 Δ_s 和湿陷性土总厚度按表 11.5.6 的规定确定；

表11.5.6 其他湿陷性土地基的湿陷等级

湿陷量 Δ_s (mm)	湿陷性土总厚度 (m)	湿陷等级
$50 < \Delta_s \leq 300$	> 3	I
	≤ 3	II
$300 < \Delta_s \leq 600$	> 3	
	≤ 3	III
$\Delta_s > 600$	> 3	
	≤ 3	IV

11.6 污染土

11.6.1 由于致污物质的浸入，使土的成分、结构和性质发生了显著变异的土，应判定为污染土。当场地内发育因工业、尾矿和垃圾填埋场渗滤液引起的污染土时，应开展污染土勘察。

11.6.2 污染土地和地基的勘察，应根据工程特点和设计要求选择适宜的勘察手段，并应符合下列要求：

1 以现场调查为主，对工业污染应着重调查污染源、污染史、污染途径、污染物成分、污染场地已有建筑物受影响程度、周边环境等；对尾矿污染应重点调查不同的矿物种类和化学成分，了解选矿所采用工艺、添加剂及其化学性质和成分等；对垃圾填埋场应着重调查垃圾成分、日处理量、堆积容量、使用年限、防渗结构、变形要求及周边环境等；

2 采用钻探或坑探采取土试样，现场观察污染土颜色、状态、气味和外观结构等，并与正常土比较，查明污染土分布范围、深度、成分和性质；查明地下水受污染的空间范围。

11.6.3 污染土的勘探应符合下列规定：

1 勘探测试工作量的布置应结合污染源和污染途径的具体情况进行。勘探点的疏密，宜根据距离污染源的远近确定，近污染源处勘探点间距宜密，远污染源处勘探点间距宜疏；为查明污染土分布的勘探孔深度应穿透污染土；详细勘察时，采取污染土试样的间距应根据其厚度及可能采取的处理措施等综合确定，确定污染土与非污染土界限时，取土间距不宜大于 1m；

2 有地下水的勘探孔应采取不同深度地下水试样，查明污染物在地下水中的空间分布。同一钻孔内采取不同深度的地下水试样时，应采用严格的隔离措施，防止因采取混合水样而影响判别结论；

3 对污染土的勘探测试，当污染物对人体健康有害或对机具仪器有腐蚀性时，应采取必要的防护措施；

4 直接接触试验样品的取样设备应严格保持清洁，每次取样后均应用清洁水冲洗后再进行下一个样品的采取；对易分解或易挥发等不稳定组分的样品，装样时应尽量减少土样与空气的接触时间，防止挥发性物质流失并防止发生氧化；土样采集后宜采取适宜的保存方法并在规定时间内运送试验室。

11.6.4 污染土的试验应符合下列规定：

1 污染土和水的室内试验，应根据污染情况和任务要求，进行污染土和水的化学成分、物理力学性质、对建筑材料腐蚀性、对环境影响的评价指标等相关试验；力学试验项目和试验方法应充分考虑污染土的特殊性质，进行相应的试验，如膨胀、湿化、湿陷性试验等；

2 对需要确定地基土工程性能的污染土，宜采用以原位测试为主的多种手段；当需要确定污染土地基承载力时，宜进行载荷试验；

11.6.5 污染土的岩土工程分析和评价应包括下列内容：

- 1 污染源的位置、成分、性质、污染史及对周边的影响；
- 2 污染土分布的平面范围和深度、地下水受污染的空间范围；
- 3 污染程度、污染土的物理力学性质，污染对土的工程特性指标的影响程度。
- 4 工程需要时，提供地基承载力和变形参数，预测地基变形特征；

- 5 污染土和水对建筑材料的腐蚀性及其对工程建设和环境的影响；
- 6 分析污染发展趋势；
- 7 对已建项目的危害性或拟建项目适宜性的综合评价；
- 8 根据污染土、水分布特点与污染程度，结合拟建工程采用的基础形式或施工工法，提出对污染土、水处置措施的建议。

11.6.6 污染对土的工程特性的影响程度可按照表 11.6.6 划分。根据工程具体情况，可采用强度、变形、渗透等工程特性指标进行综合评价。

表 11.6.6 污染对土的工程特性的影响程度

影响程度	轻微	中等	大
工程特性指标变化率（%）	<10	10~30	>30

注：“工程特性指标变化率”是指污染前后工程特性指标的差值与污染前指标之百分比。

11.7 混合土

11.7.1 混合土是指由细粒土和粗粒土组成且缺乏中间粒径的土。混合土可按土中粗细颗粒组成为粗粒混合土和细粒混合土；当碎石土中粒径小于 0.075mm 的细粒土质量超过总质量的 25%时，应定名为粗粒混合土；当粉土或黏性土中粒径大于 2mm 的粗粒土质量超过总质量的 25%时，应定名为细粒混合土。混合土对工程建设有影响时，应按本节要求进行岩土工程勘察。

11.7.2 混合土的勘察应符合下列要求：

- 1 查明混合土的名称、物质组成、来源；
- 2 查明地形和地貌特征，混合土的成因、分布，下伏土层或基岩的埋藏条件；
- 3 查明混合土中粗大颗粒的风化情况，细颗粒的成分和状态；
- 4 查明混合土的组成、均匀性及其在水平方向和垂直方向上的变化规律；
- 5 查明混合土是否具有湿陷性、膨胀性；
- 6 查明地下水的分布和赋存条件、透水性和富水性，不同水体的水力联系。

11.7.3 混合土的勘探应符合下列要求：

- 1 宜采用动力触探试验和钻探相结合，必要时采用探井对比检验；

2 勘探点的间距和勘探孔的深度除应符合本标准的相关要求外，对于变化较大的混合土分布区域尚应适当加密加深。

11.7.4 混合土的原位测试和室内试验应符合下列要求：

1 对粗粒混合土由于在钻孔内难以采取原状土样，有条件进行坑探、槽探时应优先选用坑探、槽探，并采取大体积试样进行室内相关项目试验，或采用现场载荷试验、现场压缩试验、现场直剪试验等原位测试方法测定其物理力学参数；

2 混合土的地基承载力应采用载荷试验、动力触探并结合当地经验确定。现场载荷试验的承压板直径和现场直剪试验的剪切面直径都应大于试验土层最大粒径的5倍，且满足载荷试验的承压板面积不应小于 0.5m^2 ，直剪试验的剪切面面积不宜小于 0.25m^2 ；

3 对细粒混合土宜主要采用钻探取样进行室内试验，测定其物理力学参数，并应有一定数量的原位测试进行对比检验；

4 混合土中粗颗粒对室内试验数据影响较大，室内试验应参照本标准及《土工试验方法标准》GB/T 50123 中粗颗粒土的试验方法进行。

11.7.5 混合土的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

- 1 混合土的物质成分、颗粒大小，含有物的性质、含量和大小等；
- 2 混合土的空间分布、厚度、含水率、密实度（容重、孔隙比）、压缩模量、均匀性、承载力、当颗粒较大时应提供抗压强度等；
- 3 地下水类型、水位、含水层厚度、水力的联系等；
- 4 对混合土的天然密度、抗剪强度、基床系数等提出建议值；
- 5 评价混合土地基对工程的影响，提出处理措施的建议；
- 6 应对工程建设改变地质环境，可能对混合土的物理力学性质产生的影响进行分析评价。

11.8 盐渍岩土

11.8.1 当遇埋藏较浅的地下水沿土的毛细孔隙上升并不断蒸发，在表层产生盐分积聚，形成吸湿、膨胀、溶陷等工程特性的特殊地层时，应按盐渍岩土进行岩土工程

勘察。岩土中易溶盐含量大于 0.3%，并具有溶陷、盐胀、腐蚀等工程特性时应判定为盐渍岩土。当地表以下 1m 深度内的岩土层易溶盐平均含量大于 0.3%时，应定为盐渍岩土场地。

11.8.2 盐渍岩土地区勘察工作除应符合本标准相关条文规定外，尚应包括下列内容：

- 1 调查盐渍岩土场地及其周围地形、地貌、植物生长状况、当地气象和水文资料；
- 2 查明盐渍岩土的成因、分布范围和特点、形成条件；
- 3 遇石膏盐渍岩应查明石膏的水化深度，拟建隧道通过芒硝盐渍岩地段时应查明该地段的地温情况；
- 4 确定含盐类型、含盐化学成分、含盐量及其在岩土中的分布以及对岩土工程特性的影响；
- 5 测定盐渍土的物理和力学性质指标，测定天然状态和浸水条件下的地基承载力特征值；
- 6 查明地表水的径流、排泄和积聚情况以及地表水体与地下水的相互关系；
- 7 查明地下水的类型、埋藏条件、水质、水位及季节性变化规律，有害毛细水上升高度；
- 8 调查场地及附近盐渍岩土场地工程建设经验和既有建（构）筑物使用损坏情况；
- 9 评价土的溶陷性、盐胀性、腐蚀性对地基稳定性的影响以及地基处理和防治措施的建议。

11.8.3 盐渍岩土的勘探工作除应符合本标准第 6 章、第 7 章相关规定外，尚应符合下列规定：

- 1 宜采用以挖探或轻型勘探与钻探、静力触探试验相结合的方法，勘探点的布置应满足查明盐渍岩土分布范围和特征的要求。在边界线附近，可单独布置扰动土试样取样孔或探坑（槽），并根据评价需要逐步加密以进一步查明盐渍土的分布范围和特征；

2 勘探孔的深度：应根据盐渍土的厚度、地下水位、荷载及重要性等因素结合工程类型确定，应满足工程设计要求，并应有一定数量的勘探点控制沿线地下水位的变化；

3 测定盐渍岩土含盐量的试样应在干旱季节采取，在地表 1.00m 范围内（盐壳厚度较大时按实际厚度取），一般按 0~0.05m、0.05~0.25m、0.25~0.50m、0.50~0.75m、0.75~1.00m 等深度分层取样。当地下水位埋深小于 1.0m 时，可按上述间距取至地下水位处；当地下水位较深，且 1.0m 以下岩土层的含盐量仍然较高时，取样深度可适当加深，在 1.0m 深度以下取样的间距可按 0.5m 至地下水位；

4 盐渍岩土场地应采取盐渍岩土试样、地表水和地下水样做侵蚀性分析；

5 采取不扰动试样的钻孔，应采取有效措施保护试样的天然结构和含盐量，钻进时严禁向孔内注水。

11.8.4 盐渍岩土地区的测试应符合下列规定：

1 根据盐渍土的分布情况，除进行常规物理、力学性质试验外，尚应进行化学成分分析。盐渍土的试验项目应根据场地情况和工程要求选定，易溶盐含量（DT）包括 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ 等主要离子；

2 盐渍土地基的承载力宜采用原位测试的方法确定，静力触探确定的盐渍土地基承载力，应与载荷试验或其他测试成果进行对比后使用；确定盐渍岩地基的承载力时，应考虑盐渍岩的水溶性影响；

3 对于溶陷性盐渍土尚应进行溶陷性试验和浸水载荷试验确定其溶陷性；溶陷性指标的测定可按湿陷性土的湿陷试验方法进行；当基础常年处于地下水位以下，或当地下水位以上的粉土湿度为很湿、黏性土状态为软塑至流塑时，可不考虑其溶陷性；

4 对盐胀性盐渍土宜现场测定有效盐胀厚度和总盐胀量，当土中硫酸钠含量不超过 1% 时，可不考虑盐胀性；

5 分别测定不同类型盐渍土及不同土质的毛细水强烈上升高度；

6 沿线应采取地表水和地下水样做水质分析；

7 根据盐渍土的类别和盐渍化程度，分别采取土样进行钢结构、钢筋混凝土结

构的盐渍土侵蚀性分析。

11.8.5 盐渍岩土场地和地基的岩土工程评价除应满足本标准第 21 章要求外，尚应包括下列内容：

- 1 岩土中含盐类型、含盐量及主要含盐矿物对岩土工程特性的影响；
- 2 岩土的溶陷性、盐胀性、腐蚀性对地基稳定性的影响及地基处理和防治措施的建议；
- 3 盐渍土地基的承载力宜采用载荷试验确定，当采用其他原位测试方法时，应与载荷试验结果进行对比；
- 4 确定盐渍岩地基的承载力时，应考虑盐渍岩的水溶性影响；
- 5 环境条件（水、温度、湿度等）对盐渍岩土地基的影响，提出相应处理措施的建议。

11.9 冻土

11.9.1 含有固态水，且冻结状态持续二年或二年以上的土，应判定为多年冻土。冻结状态持续二年或以上的土层（岩层），由于温度条件变化，物理力学性质随之改变，并产生冻胀、融沉等物理地质现象，应按多年冻土进行勘察。地壳表层寒季冻结，暖季又全部融化的土，应判为季节冻土。

11.9.2 多年冻土勘察应根据多年冻土的设计原则、多年冻土的类型和特征进行，并应查明下列内容：

- 1 多年冻土的分布范围及上限深度；
- 2 多年冻土的类型、厚度、总含水量、构造特征、物理力学和热学性质指标；
- 3 多年冻土层上水、层间水和层下水的赋存形式、相互关系及其对工程的影响；
- 4 多年冻土的融沉性分级和季节融化层土的冻胀性分级；
- 5 厚层地下冰、冰椎、冰丘、冻土沼泽、热融滑塌、热融湖塘、融冻泥流等不良地质作用的形态特征、形成条件、分布范围、发生发展规律及其对工程的危害程度；

6 多年冻土的地基类型和地基承载力。

11.9.3 多年冻土地区工程勘探应符合下列规定：

1 多年冻土地区应根据冻土的环境条件，采用以钻探及钻孔测温为主，物探、挖探为辅的综合勘探方法；多年冻土地区的勘探工作量可根据勘察阶段要求、地层的沉积特征、冻土的地温分区等环境地质条件综合确定；

2 为查明多年冻土地区物理地质现象季节性演变特点，应在二月~五月进行勘探，多年冻土上限深度勘探宜在九月、十月进行；

3 应结合多年冻土设计原则确定勘探、测试深度；在多年冻土较薄地段及岛状多年冻土区应有部分控制多年冻土下限深度的深钻孔；

4 多年冻土地区的融区以及多年冻土区边缘深季节冻土区的勘探、测试，应按非多年冻土区进行勘察。

11.9.4 多年冻土地区工程测试、室内试验应符合下列规定：

1 多年冻土地区的现场测试宜根据工程需要确定，应包括下列项目：

- 1) 地温测量、多年冻土上限、下限深度测量；
- 2) 地下水位、季节融化层深度测量；
- 3) 季节融化层岩土冻胀及融化过程测量；
- 4) 动力触探试验、动弹性模量、波速测试等。

2 多年冻土地区的室内试验，应包括下列内容：

1) 冻土的颗粒分析、总含水率、液限、塑限、天然密度、含水率、盐渍度、有机质含量等物理性质试验；

2) 冻土中的冻结水和地下水的水质分析；

3) 冻土的冻胀力、土的冻结强度、抗剪强度、抗压强度、冻胀性、冻土的融沉系数和融化后体积压缩系数等力学性质试验。

11.9.5 多年冻土区的岩土工程评价除应满足本标准第 21 章要求外，尚应包括下列内容：

1 多年冻土区应根据多年冻土有平面、剖面上的分布特征，土的含冰量及土的类别，进行工程地质分区，还应根据年平均地温 (T_{cp}) 按表 11.9.5-1 的规定划分

地温带；

表11.9.5-1 多年冻土地温带划分

多年冻土地温分带	多年冻土年平均地温值 T_{cp} (°C)
稳定带	$T_{cp} < -2.0$
基本稳定带	$-2.0 \leq T_{cp} < -1.0$
不稳定带	$-1.0 \leq T_{cp} < -0.5$
极不稳定带	$T_{cp} \geq -0.5$

2 多年冻土地应根据工程类型、地质情况、地温特征值、岩土含水率及地下水情况等评价其工程地质条件。其中，多年冻土地基还应根据土的类别、总含水率及融沉系数进行融沉性分级，其标准应符合表 11.9.5-2 的规定；

表 11.9.5-2 多年冻土融沉性分级及冻土分类

多年冻土的类型	土的名称	总含水率 ω_A （%）	融化后的潮湿程度	融化下沉系数 δ_0 （%）	融沉等级	融沉类别
少冰冻土	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量不大于15%）	$\omega_A<10$	潮湿	$\delta_0\leq1$	I	不融沉
	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量大于15%）	$\omega_A<12$	稍湿			
	细砂、粉砂	$\omega_A<14$				
	粉土	$\omega_A<17$				
	黏性土	$\omega_A<\omega_P$	坚硬			
多冰冻土	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量不大于15%）	$10\leq\omega_A<15$	饱和	$1<\delta_0\leq3$	II	弱融沉
	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量大于15%）	$12\leq\omega_A<15$	潮湿			
	细砂、粉砂	$14\leq\omega_A<18$				
	粉土	$17\leq\omega_A<21$				
	黏性土	$\omega_P\leq\omega_A<\omega_P$	硬塑			
富冰冻土	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量不大于15%）	$15\leq\omega_A<25$	饱和出水（出水量小于10%）	$3<\delta_0\leq10$	III	融沉
	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量大于15%）		饱和			

	细砂、粉砂	$18 \leq \omega_A < 28$				
	粉土	$21 \leq \omega_A < 32$				
	黏性土	$\omega_p + 4 \leq \omega_A < \omega_p + 15$				
饱冰冻土	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量不大于 15%）	$25 \leq \omega_A < 44$	饱和出水（出水量小于 10%）	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉
	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量大于 15%）					
	细砂、粉砂	$28 \leq \omega_A < 44$	饱和			
	粉土	$32 \leq \omega_A < 44$				
	黏性土	$\omega_p + 15 \leq \omega_A < \omega_p + 35$	软塑			
含土冰层	碎石类土、砂类土、粉土	$\omega_A \geq 44$	饱和大量出水（出水量 10%~	$\delta_0 > 25$	V	融陷
	黏性土	$\omega_A \geq \omega_p + 35$	流塑			
纯冰层	厚度大于 25cm 或间隔 2~3cm 冰层累计超					

注：1 融沉系数为冻土试样融化下沉量与冻土试样高度的比；

2 总含水率为含冰和未冻水的总质量与土骨架质量之比；

3 ω_p 为塑限含水率；

4 盐渍化冻土、冻结泥炭化土、腐殖土、高塑性黏土不在表列。

11.9.6 季节性冻土勘察宜包含以下内容：

1 收集测区的气象资料，获得测区气象站建站以来的极端最低气温，近十年来的平均气温以及土壤最大冻结深度统计值；

2 查明季节性冻土层的厚度及物质组成，分析、评价其冻胀和融沉、含冰特征及分布；

3 查明季节性冻土层的岩土的物理力学及热学性质，土的冻胀特性，提供设计所需参数；

4 查明地下水补给、径流、排泄条件及与地表水的关系。

11.10 红黏土

11.10.1 石灰岩或其他熔岩经风化作用形成褐红色为主、富含铁铝氧化物的黏性土应判定为红黏土，分为原生红黏土和次生红黏土。颜色为棕红或褐黄，覆盖于碳酸盐岩系之上，液限大于或等于 50%的高塑性黏土，应判定为原生红黏土；原生红黏土经搬运、沉积后仍保留其基本特征，且液限大于 45%的黏土，可判定为次生红黏土。红黏土对工程建设有影响时，应按本节要求进行岩土工程勘察。

11.10.2 红黏土勘察，应着重查明其状态分布、裂隙发育特征及地基的均匀性并包括下列内容：

- 1 查明红黏土的类型、分布、厚度、物质组成、土性等特征；
- 2 查明红黏土膨胀收缩裂隙发育分布深度、发育程度及其特征；
- 3 查明红黏土下伏基岩岩性、岩面起伏、岩溶发育特征及其与红黏土土性、厚度变化的关系；
- 4 查明地表水和地下水的分布、动态及其与红黏土状态垂向分带的关系，地下水的补给、排泄条件、土洞发育情况；
- 5 查明地表裂缝分布、发育特征及其成因，土体中裂隙的密度、深度、延展方向及其发育规律；
- 6 收集当地勘察、设计、施工等经验，分析现有建筑物开裂原因；

11.10.3 红黏土勘探应符合下列规定：

1 红黏土地区勘探点的布置，应查明红黏土厚度和状态的变化并符合本规范第 6 章和第 7 章的要求，对基坑工程、埋深较浅的隧道工程、路基工程、边坡工程，当红黏土受下伏基岩起伏控制，其分布、厚度变化较大或需要圈定软塑、流塑状红黏土的范围时，可适当加密勘探点；

2 红黏土地区勘探点深度，各阶段勘探孔的深度可按本标准各勘察阶段的要求执行。红黏土地基的勘探深度应大于地基变形计算深度，当地基变形计算深度内存在软塑土层时，勘探深度应根据需要加深。

11.10.4 红黏土工程测试、室内试验应符合下列规定：

- 1 红黏土的室内试验除应满足本标准第 18 章的有关规定外，对裂隙发育的红

黏土应进行三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验，必要时，可进行收缩试验和复浸水试验；当需评价红黏土边坡稳定性时，宜进行重复剪切试验；

2 红黏土的地基承载力应结合地区经验综合确定；当基础浅埋、外侧地面倾斜、有临空面或承受较大水平荷载时，应结合以下因素综合考虑确定红黏土的承载力：

- 1) 土体结构和裂隙对承载力的影响；
- 2) 开挖面长时间暴露，裂隙发展和复浸水对土质的影响。

11.10.5 红黏土的岩土工程评价除应满足本标准第 21 章要求外，尚应包括下列内容：

- 1 根据工程需要划分出红黏土类型的空间分布，并分别进行工程评价、提出特性参数；
- 2 评价地基的均匀性；基坑和边坡工程应评价干湿循环对土体强度及稳定性的影响；
- 3 提出地基持力层、基础型式以及地裂密集带或深长地裂带地段避让的建议。基础宜浅埋，利用浅部硬壳层，并进行下卧层承载力的验算；不能满足承载力和变形要求时，应建议进行地基处理或采用桩基础；基础埋深应大于大气影响急剧层的深度。

11.11 风化岩和残积土

11.11.1 岩石在风化营力作用下，其结构、成分和性质已产生不同程度的变异，应定名为风化岩；已完全风化成土而未经搬运的应定名为残积土。当风化岩和残积土对工程建设有影响时，应按本节要求进行岩土工程勘察。

11.11.2 风化岩和残积土的勘察应查明下列内容：

- 1 残积土母岩的地质年代和岩石名称，下伏基岩的产状和裂隙发育程度；
- 2 风化岩和残积土的分布、埋深与厚度变化；
- 3 原岩矿物的风化程度、组织结构的变化程度；
- 4 风化岩和残积土的不均匀程度，破碎带和软弱夹层的分布、特征；
- 5 风化岩和残积土中的岩脉和孤石的分布、破碎带和软弱夹层的分布；

- 6 风化岩和残积土的物理力学性质及参数；
- 7 地下水的赋存条件、透水性和富水性，不同含水层的水力联系；
- 8 当地风化岩和残积土的工程经验。

11.11.3 风化岩和残积土的勘探应符合下列要求：

- 1 采用钻探与标准贯入试验、重型动力触探试验、波速测试等原位测试相结合的勘察方法进行勘察工作，宜有一定数量的探井；
- 2 勘探点间距应取本标准第 6 章、第 7 章规定的小值，对于球状风化发育的地段应加密勘探孔；
- 3 在风化岩和残积土中宜取得 I 级试样。

11.11.4 风化岩和残积土的测试与室内试验应符合下列要求：

- 1 风化岩和残积土的技术指标和参数宜采用原位测试与室内试验相结合的方法确定。其承载力和变形模量 E_0 宜采用原位测试方法确定，亦可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 的有关规定确定；
- 2 室内试验根据工程需要按本标准第 18 章的规定，对相当于土状的风化岩体，可按土工试验要求进行；对呈岩块状的强风化岩进行岩石试验；对残积土，必要时应进行湿陷性和湿化试验。

11.11.5 对花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积土的勘察，应符合下列要求：

- 1 花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积土可按表 11.11.5 的规定划分，有地区经验时可按经验划分；

表11.11.5 花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积土划分

岩土名称	测试项目及指标	
	标准贯入 N 值 (实测值)	剪切波速 V_s (m/s)
强风化岩	$N \geq 50$	$V_s \geq 400$
全风化岩	$50 > N \geq 30$	$400 > V_s \geq 300$
残积土	$N < 30$	$V_s < 300$

- 2 可根据含砾或含砂量将花岗岩类残积土划分为砾质黏性土、砂质黏性土和黏性土；

3 勘察除满足 11.11.2 条的规定外，尚应着重查明花岗岩分布区球状风化体（孤石）的分布；

4 对花岗岩类残积土和全风化岩进行细粒土的天然含水率、塑性指数、液性指数等试验。

11.11.6 风化岩和残积土的分析与评价内容应包括下列方面：

1 评价风化岩和残积土的地基及边坡稳定性，并提出工程措施的建议；

2 评价风化岩和残积土中的桩基承载力和稳定性；

3 分析岩土的不均匀程度，尤其是破碎带和软弱夹层的分布，评价地基的均匀性，指出隧道和基坑开挖、桩基施工中存在的岩土工程问题，提出工程措施的建议；

4 评价风化岩和残积土的透水性和地下水的富水性，分析在不同工法下，地下水对岩土体稳定性的影响，并提出处理措施的建议；

5 分析岩脉、球状风化体对工程的影响，提出工程措施的建议。

12 地下水

12.1 一般规定

12.1.1 市域（郊）铁路岩土工程勘察应查明沿线与工程有关的水文地质条件，并根据工程需要和水文地质条件，评价地下水对工程结构和工程施工可能产生的作用并提出防治措施建议，提供设计、施工所需的水文地质参数。

12.1.2 地下水勘察应在搜集已有资料和现场踏勘后制定勘察方案，采用调查与测绘、钻探、地球物理勘探、试验和动态观测等多种手段相结合的综合勘察方法。

12.1.3 地下水勘察的范围、内容和工作量应根据工程特点和场地水文地质复杂程度、地下水控制设计和施工要求、地区经验等确定。

12.1.4 当地下水对工程建设和运营有重要影响时，应布置长期水文观测孔；长期水文观测孔宜在可行性研究勘察阶段或初步勘察阶段按水文地质单元及工点布置。

12.2 地下水的勘察要求

12.2.1 地下水勘察应包括下列主要内容：

- 1 搜集区域气象和沿线周边水文资料，评价其对地下水的影响；
- 2 查明地下水的类型和赋存状态、含水层的分布规律和岩性特征；
- 3 查明地下水的补给、径流和排泄条件，地表水与地下水的水力联系；
- 4 查明勘察期间的地下水位，调查和收集历史最高地下水位、近 3 年～5 年最高地下水位、地下水水位年变化幅度、变化趋势和主要影响因素；
- 5 当场地存在对工程有影响的多层含水层时，应分层量测水位并查明各含水层的补排关系；
- 6 调查是否存在污染地下水和地表水的污染源及可能的污染程度；
- 7 评价地下水对工程结构、工程施工的作用和影响，提出地下水处理措施的建议，提供地下水控制设计和施工所需的水文地质参数；
- 8 分析工程修建和地下水控制措施对工程及工程周边环境的影响。

12.2.2 基岩裂隙水和山岭隧道工程地下水勘察还应符合下列规定：

- 1 应查明不同岩性接触带、断裂破碎带及富水带的位置与分布范围；
- 2 当隧道通过可溶岩地区时，应查明岩溶类型、岩溶发育特征、蓄水构造和垂直渗流带、水平径流带的分布位置及特征；
- 3 勘察工作量布置应能控制主要含水构造和破碎带，并应充分利用地球物理勘探方法；
- 4 应预测构造断层破碎带突水可能性，预测施工中可能发生集中涌水的段、点位置最大涌水量和正常涌水量，山岭隧道涌水量预测宜按附录 H 的方法进行，分析因地下水变化可能引起的地质灾害及环境变化，并提出防治措施的建议。

12.2.3 地下水勘察工作布置应符合下列规定：

- 1 应满足对地下水控制设计和施工的要求；
- 2 抽水试验孔应充分考虑地下水类型和含水层的富（透）水性，并结合地下水控制的需要确定；
- 3 抽水试验孔数量、各抽水试验孔对应的观测孔数量根据水文地质条件复杂程度，按表 12.2.3 确定；

表 12.2.3 每个含水层勘察数量表

水文地质条件 复杂程度	抽水试验孔 (个)	各抽水试验对应的观测孔 (个)
简单	1	1
中等	1~2	1~2
复杂	>2	>2

注：水文地质条件复杂程度依据国家行业标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476 划分。

- 4 平面上观测孔应沿一条观测线垂直地下水流向布置，当布置两条观测线时其中一条要求平行于地下水流向布置；
- 5 观测孔与抽水试验孔的距离宜为 1 倍~2 倍含水层厚度；
- 6 抽水试验孔和观测孔的深度应能控制对工程有影响的含水层。

12.2.4 应分工点采取地下水试样或土试样进行试验分析，水试样和土试样采取和

试验方法应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

12.3 水文地质参数的测定

12.3.1 当水文地质条件复杂且对工程影响重大时，应通过现场试验确定水文地质参数；水文地质参数的现场试验方法应根据含水层分布、渗透性、工程特点和地下水控制设计要求选择。

12.3.2 勘察时遇地下水应量测水位，当场地存在对工程有影响的多层含水层时，应分层量测。

12.3.3 初见水位和稳定水位的量测，可在钻孔、探井和测压管内直接量测，精度不得低于 $\pm 2\text{ cm}$ ，并注明量测时间；量测稳定水位的间隔时间应根据地层的渗透性确定，从停钻至量测的时间：砂土和碎石土不宜少于 0.5 h ，粉土和黏性土不宜少于 8 h ；对位于江边、岸边的工程，地表水与地下水应同时量测。

12.3.4 测定地下水流向可用几何法，量测点不应少于呈三角形分布的 3 个测孔（井）；地下水流速的测定可采用指示剂法或充电法。

12.3.5 抽水试验、注水试验和压水试验应根据地下水发育条件、试验目的、岩土层及场地作业条件布置，并应符合下列规定：

1 需人工降低地下水位施工的地段或需评价降水对环境产生影响的地段，有条件时可布置抽水试验；

2 需评价岩土层渗透性但地下水位埋藏较深、不便进行抽水试验的地段或评价对象为干的透水岩土层时，可布置注水试验；

3 需评价岩体的渗透特性、为设计渗控措施提供基本资料时，可布置压水试验；

4 宜根据钻探、物探成果资料综合分析后，选择适宜的抽水试验、注水试验或压水试验的目标地层。

12.3.6 抽水试验和注水试验孔（井）布置应符合下列规定：

- 1 在需人工降低地下水位的车站、区间应布置试验孔（井）；
- 2 试验孔宜布置在不同水文地质单元、对工程建设有影响的不同含水层（组）且富水性较强的地段，应距隧道外侧 3 m～5 m；
- 3 抽水试验的观测孔宜垂直或平行地下水流向；
- 4 在含水构造复杂且富水性较强的地段应分层或分段进行抽水试验，对潜水与承压水应分别进行抽水试验。

12.3.7 抽水试验应符合下列规定：

- 1 抽水试验方法可按表 12. 3. 7 的规定确定；

表 12. 3. 7 抽水试验方法和应用范围

试验方法	应用范围
钻孔或探井简易抽水	粗略估算弱透水层的渗透系数
不带观测孔的单孔抽水	初步测定含水层的渗透性系数
带观测孔的多孔抽水	较准确测定含水层的各种参数

- 2 简易抽水试验或单孔抽水试验可采用提水试验方法和稳定流抽水试验方法；
- 3 多孔抽水试验宜采用稳定流抽水试验方法；
- 4 抽水试验井宜为完整井，井深应能控制对工程有影响的含水层，井管直径在松散层中不应小于 200mm, 在基岩中不应小于 110mm，沉砂管长度宜为 1 m～2m，水泵置入设计降水深度以下不应少于 2m；
- 5 抽水试验观测孔底部宜进入最大降深水位以下 3m，孔径宜为 50mm～100mm，过滤器位置与抽水试验井一致，沉砂管长度宜为 50cm～60cm；
- 6 稳定流抽水试验宜三次降深，稳定连续时间宜为 8 h～24 h，最大降深宜接近工程设计所需的地下水位降深的标高；
- 7 水位量测应采用同一方法与仪器，读数单位对抽水孔为 cm，对观测孔为 mm；

8 当涌水量与时间关系曲线和动水位与时间关系曲线，在一定的范围内波动，而没有持续上升或下降时，可认为已经稳定；稳定水位的延续时间：卵石、圆砾和粗砂含水层为 8 h，中砂、细砂和粉砂含水层为 16 h，基岩含水层（带）为 24 h；

9 抽水试验应同时观测水位和水量，抽水结束后应量测恢复水位；

10 抽水试验的渗透系数可根据现行国家标准《供水水文地质勘察规范》GB 50027 进行计算，当有成熟地区经验时，可根据其他经验公式计算。

12.3.8 试坑渗透试验和注水试验分别在试坑和钻孔中进行。对砂土和粉土，可采用试坑单环法，对黏性土可采用试坑双环法；试验深度较深时，可采用钻孔法；注水稳定时间宜为 4 h~6 h。

12.3.9 压水试验应根据工程要求，结合工程地质测绘和钻探资料确定试验孔位，按岩土层的渗透性大致类型划分试验段。

12.3.10 土中孔隙水压力的测定应符合下列规定：

- 1 测试点位置应根据地质条件和分析需要选定；
- 2 测压计的安装和埋设应符合有关技术规定；
- 3 安装完成后，应连续监测最少 7 d；
- 4 测试数据应及时分析整理，出现异常时应分析原因，采取相应措施。

12.3.11 越流系数宜进行带观测孔的多孔抽水试验确定，影响半径可通过计算法求得，当工程需要时，可用实测法确定。

12.3.12 含水层的给水度宜采用抽水试验确定；松散岩类含水层的给水度，可采用室内试验确定，岩石裂隙、岩溶的给水度，可采用裂隙率、岩溶率代替，有经验的地区，可采用经验值。

12.3.13 含水层的渗透系数及导水系数宜采用抽水试验、注水试验求得；含水层的渗水性应根据渗透系数 k 按表 12.3.13 的规定划分。

表 12.3.13 含水层的渗透性

类别	特强透水	强透水	中等透水	弱透水	微透水	不透水
----	------	-----	------	-----	-----	-----

k (m/d)	$k > 200$	$10 \leq k \leq 200$	$1 \leq k < 10$	$0.01 \leq k < 1$	$0.001 \leq k < 0.01$	$k < 0.001$
-----------	-----------	----------------------	-----------------	-------------------	-----------------------	-------------

12.3.14 水文地质参数计算应采用与场地水文地质条件相适应的计算公式和地下水控制设计水位降深相近的水位变化值。

12.4 地下水作用的评价

12.4.1 地下水的作用包括力学作用和物理、化学作用。岩土工程勘察应根据工程需要，分析评价地下水的力学作用、物理作用、化学作用及其影响，预测地下水可能引起的危害，并提出预防和处理措施的建议。

12.4.2 地下水的力学作用评价应包括下列内容：

- 1 对地下结构物，应考虑在最不利组合情况下地下水的浮托力；
- 2 应考虑地下水对边坡和支挡结构稳定性的不利影响；
- 3 在地下水位下降的影响范围内，应考虑地面沉降及其对工程和周边环境的影响；当地下水位回升时，应考虑可能引起的回弹和附加的浮托力；
- 4 因水头差而产生自下向上的渗流时，应评价产生潜蚀、流土和管涌的可能性；
- 5 在地下水位以下开挖基坑或地下工程时，应根据岩土的渗透性、地下水补给条件，分析评价降水或隔水措施的可行性及其对基坑稳定和邻近工程的影响。

12.4.3 地下水的物理、化学作用分析评价应包括下列内容：

- 1 对地下水位以下的工程结构，应评价地下水对建筑材料的腐蚀性；
- 2 对软质岩、强风化岩石、全风化岩石、残积土、湿陷性土、膨胀岩土和盐渍岩土，应评价地下水的聚集和散失所产生的软化、崩解、湿陷、胀缩和潜蚀等有害作用；
- 3 在季节性冻土地区，应评价地下水对土的冻胀融沉的影响。

12.4.4 地下水对建筑材料的腐蚀性评价，应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

13 遥感地质解译

13.1 一般规定

13.1.1 下列地区的市域（郊）铁路岩土工程勘察工作宜采用遥感技术：

- 1 地质条件复杂地区，因地形、环境、交通等因素难以进行地面调查的地区；
- 2 河流、地貌、地物等地表特征变迁频繁的地区；
- 3 地表裸露良好的地区，目标解译标志明显、稳定的地区。

13.1.2 市域（郊）铁路岩土工程勘察遥感工作应按照准备工作、初步解译、外业验证调查与复核解译、最终解译与资料编制的流程依次进行。

13.1.3 市域（郊）铁路可行性研究勘察、初步勘察阶段，应充分利用遥感数据，并与野外工程地质调绘密切配合，为线路方案比选及时、准确地提供地质资料。

13.1.4 市域（郊）铁路详细勘察阶段，应在初步勘察遥感工作的基础上，根据确定的线路方案，对重点地段或复杂工点进行加深遥感解译，为工程勘察、设计提供详细的地质资料。

13.1.5 遥感地质解译工作应根据勘察要求和目的、工程地质特点等，选择合适的遥感数据与适宜的处理方法。

13.1.6 应充分利用遥感地质解译，认识地质构造，地层岩性，水文地质特征，不良地质形态、规模，特殊岩土分布范围等自然特征，也可利用不同时期的遥感资料对区域地质或不良地质进行动态分析。

13.1.7 市域（郊）铁路岩土工程勘察遥感解译应包括下列内容：

- 1 地貌特征、水系分布、地层岩性界线、地质构造类型与范围。
- 2 不良地质的类型、范围、成因、分布规律及动态分析等；
- 3 特殊岩土的类型、分布范围、变迁过程等；
- 4 地下水富水地段，泉、暗河的露头，井点位置；
- 5 工程地质分区、水文地质分区，工程地质条件评价。

13.1.8 解译标志应根据地物的色调或色彩、几何形态、波谱特征、空间分布和组

合关系等建立，并应具有代表性、实用性和稳定性。

13.2 遥感数据的选择与处理

13.2.1 岩土工程勘察遥感工作宜选择多平台、多波段、多时相遥感数据，并符合下列要求：

- 1 按照不同勘察阶段和解译精度要求选择适宜的遥感平台数据；
- 2 开展地物识别或分类时，宜选择多波段遥感数据；
- 3 开展目标地物动态分析时，应选择多时相遥感数据。

13.2.2 遥感数据的参数（空间分辨率、成像时间、光谱分辨率、点云密度、波长、辐射特性等）与质量（云量、信噪比等）应满足数据处理和岩土工程勘察遥感解译要求。

13.2.3 遥感数据处理一般包含 7 个部分：辐射校正、几何校正、图像配准、图像增强、图像融合、图像镶嵌、干涉处理。岩土工程勘察遥感工作应根据勘察要求、解译目的和遥感数据的特点等，对遥感数据进行上述全部或部分处理。

13.2.4 辐射校正应包括传感器校正、大气校正、太阳高度角校正、噪声去除、去条带处理等。

13.2.5 对未经地面控制点校正的遥感数据，应根据岩土工程勘察遥感解译成果精度要求进行相应的几何校正。

13.2.6 对不同时相、不同波段、不同传感器或不同条件下获取的遥感数据，应进行图像配准。

13.2.7 岩土工程勘察遥感工作应根据工作区工程地质特点及解译目的，经测试和对比分析后，选择适宜的图像增强方法。

13.2.8 图像融合应符合下列要求：

- 1 用于融合的多光谱数据和全色数据的原始空间分辨率之比不宜大于 4；
- 2 融合前，应对多光谱数据和全色数据进行配准，必要时可进行增强处理；
- 3 应根据目标物特征，选择适宜的图像融合算法，并对融合效果进行评价。

13.2.9 图像镶嵌应符合下列要求：

- 1 镶嵌图像之间存在显著色差时，应进行匀色处理；
- 2 镶嵌拼接线应选择曲线或折线，避免利用建筑物、线性地物作为拼接边界；
- 3 镶嵌的图像之间应色调连续，纹理过渡自然，无明显错位、模糊或重影现象，有良好的视觉效果。

13.2.10 根据地表沉降范围、沉降速率、变化趋势等，选择适合的 SAR 数据进行干涉处理，满足干涉图相干性和沉降分析精度要求。

13.3 工作内容与方法

13.3.1 遥感准备工作应包括搜集资料、遥感数据的质量检查和编录、整理等内容。

1 搜集的资料应包括下列内容：

1) 工程设计资料，包括线路方案、重要工点的平面图和纵断面图，以及相邻区域内对方案有影响的已建、在建或拟建工程的相关资料；

2) 遥感数据资料，包括各类航天、航空、地面遥感资料；

3) 地形资料，包括各类地形图、数字高程数据等；

4) 地质资料，包括各种地质、地震、地灾、矿产等资料；

5) 其他资料，包括气象、水文、环境等资料。

2 遥感数据质量检查的内容应包括：各类参数、覆盖范围、重叠度、成像时间、清晰度、反差、物理损伤、色调、云量、噪声等；

3 遥感数据的质量不能满足岩土工程勘察遥感解译要求时，应补充搜集或重新获取；

4 搜集的资料应按其类型和用途进行编录和整理。

13.3.2 初步解译结合线路方案、初步解译标志，对线路沿线相关工程地质要素进行解译。

1 初步解译前需确定解译范围、重点解译内容，制定解译原则和要求，并建立初步解译标志；

2 初步解译应充分利用多源遥感数据和其他各类资料进行对比分析和综合解译；

3 初步解译的内容应包括地貌、水系、地层岩性（岩组）、地质构造、不良地质、特殊岩土、地下水等；

4 初步解译可根据解译内容采用表 13.3.2 中的遥感解译工作方案。

表 13.3.2 不同解译内容可采用的遥感解译工作方案

解译内容	解译工作方案
地貌	多光谱遥感与数字高程模型相结合
水系	多光谱遥感与高空间分辨率遥感相结合
地层岩性(岩组)	多光谱遥感与高光谱遥感相结合
地质构造	多光谱遥感、高空间分辨率遥感与数字高程模型相结合
不良地质	高空间分辨率遥感与数字高程模型相结合，多时相分析
特殊岩土	高空间分辨率遥感、雷达遥感与数字高程模型相结合，多时相分析
水文地质	多光谱遥感、高空间分辨率遥感与数字高程模型相结合
地表形变	雷达遥感与精密测量技术相结合，多时相分析

13.3.3 外业调查验证应在初步解译的基础上进行，通过对解译标志和初步解译成果的现场调查与验证，修改和完善初步解译成果。

1 外业调查验证的重点应包括下列内容：

- 1) 重要的解译标志；
- 2) 对工程有影响和有疑问的地质体或地质现象；
- 3) 对工程有影响的重大不良地质与特殊岩土；
- 4) 尚未确定的地层岩性（岩组）界线、地质构造等；
- 5) 解译结果与既有资料有矛盾的地质问题。

2 根据外业调查验证情况修改、补充解译标志，并根据新建立的解译标志开展复核解译；

3 必要时可通过钻探、物探等对解译成果进行验证。

13.3.4 外业调查验证结束后，应进行遥感图像的最终解译。全面检查解译成果后，需绘制岩土工程勘察遥感解译图，出具岩土工程勘察遥感解译报告或说明书。

13.3.5 岩土工程勘察遥感专题数据应使用通用 CAD、GIS 数据格式，并符合下列要求：

- 1 纹理清晰、层次丰富、色调均匀、反差适中；
- 2 镶嵌后的图像之间应连续、无缝，色彩过渡平缓、自然；
- 3 无模糊、错位、扭曲等现象。

13.3.6 市域（郊）铁路岩土工程勘察遥感解译成果内容应包括：全线岩土工程勘察遥感解译图、重大工程或工点岩土工程勘察遥感解译图、岩土工程勘察遥感专题图（必要时）、岩土工程勘察遥感解译报告或说明书。

14 工程地质调绘

14.1 一般规定

14.1.1 工程地质调绘应充分收集、分析勘察区的各种地质资料，重视利用遥感地质解译成果，为线路方案比选、建设场地的工程地质评价、工程建设对周边环境的影响评价和工程设计提供地质资料。

14.1.2 工程地质调绘应包括工程场地的地形地貌、地层岩性、地质构造、工程地质条件、水文地质条件、不良地质作用和特殊性岩土等。

14.1.3 应通过工程地质调绘掌握场地主要工程地质问题，对路线、场地的稳定性、适宜性作出评价。分析工程建设中存在的岩土工程问题，提出防治措施的建议，并为各勘察阶段的勘探与测试工作布置提供依据。

14.2 工作方法

14.2.1 工程地质调绘应综合分析研究工程沿线既有资料，必要时可进行适量的勘探、物探和测试工作。

14.2.2 利用遥感影像资料解译进行工程地质调绘时，应对室内解译结果进行现场核实。野外工作应包括检查解译标志、检查解译结果、检查外推结果，对室内解译难以获得的资料进行野外补充。

14.2.3 地质观测点的布置应符合下列规定：

1 地质观测点应布置在具有代表性的岩土露头、地层界线、断层及重要的节理、地下水露头、不良地质、特殊岩土界线等处；

2 地质观测点密度应根据技术要求、地质条件和成图比例尺等因素综合确定。其密度应能控制不同类型地质界线和地质单元体的变化；

3 地质观测点的定位应根据精度要求和地质复杂程度选用目测法、半仪器法、仪器法。对构造线、地下水露头、不良地质作用等重要的地质观测点，应采用仪器定位。

14.2.4 工程地质调绘图件填绘,应符合下列规定:

- 1 全线工程地质图,应充分利用区域地质图、卫星图像、航空图像等既有资料编制,对控制线路方案的主要地质构造和不良地质,应进行现场核对;
- 2 详细工程地质图及工点工程地质图,对控制线路位置、重点工程的地质点及地质界线,应用仪器或其他实测方法测绘;
- 3 工程地质断面图的内容应充分反映与工程有关的主要地质条件,对工程设计有影响的地质界线应有地质点作依据,地质条件控制线路方案的地段应实测工程地质断面图。

14.2.5 沿线地震动参数应按现行《中国地震动参数区划图》GB 18306 的规定划分,区划界线位置应结合地质情况、地貌单元及工程的设置情况确定;开展地震安全性评价的工程应依据其结论划分。

14.3 工作范围

14.3.1 工程地质调绘的范围应满足线路方案选择、建(构)筑物选址、地质条件评价、工程设计及图件比例要求。

14.3.2 路基工程、涵洞工程地质调绘范围应沿线路中心两侧各 100m~200m;桥梁工程地质调绘的范围应沿河流上下游不应小于 200m;车站、车辆基地等站场工程地质调绘范围向外侧不应少于 200m;地下隧道工程地质调绘范围应沿线路两侧各不少于 200m;山岭隧道工程地质调绘范围应沿线路两侧各不少于 300m;水下隧道工程地质调绘应沿线路两侧各不小于 1km 的范围进行。

14.3.3 地质构造复杂、不良地质发育、既有建筑工程分布等地段,应扩大地质调绘范围。

14.3.4 工程建设可能诱发地质灾害地段,其工作范围应包含可能的地质灾害发生的范围。

14.4 工作内容

14.4.1 工程地质调绘资料搜集应包括下列内容：

- 1 区域性的地质、水文、气象、植被，建筑、航片、卫片等资料；
- 2 既有建（构）筑物的岩土工程勘察资料 and 施工经验。

14.4.2 工程地质调绘应包括下列内容：

- 1 地形、地貌的成因和发育特征及其与岩性、构造等地质因素的关系，划分沿线地貌单元；
- 2 地层层序、成因、时代、厚度、岩土名称、胶结物，以及岩石风化破碎的程度和深度等；
- 3 岩层产状、接触关系、节理、裂隙等的发育情况；断裂和褶皱等的位置、走向、产状等形态特征和力学性质、断裂类型、活动程度及破碎带的范围、富水情况；新构造运动的痕迹、特点；
- 4 地下水的补给、径流、排泄条件，地下水类型，水位及变化幅度等；
- 5 不良地质的性质、范围及其形成、发展和分布规律；特殊岩土的类型、性质、分布范围及危害程度等；
- 6 划分岩土施工工程分级；
- 7 既有建筑物的使用情况，地质病害、防治措施及效果；
- 8 天然建筑材料(路基填料、碎石道砟、混凝土骨料、天然石料等)开采可能导致的水土流失、斜坡失稳，弃渣可能导致的泥石流等次生地质灾害，路堤填方、路堑开挖、隧道开挖对地表水及地下水活动的影响等环境地质问题。

14.4.3 不良地质工程地质调绘

- 1 滑坡地段工程地质调绘应符合下列规定：
 - (1) 滑坡地段的地形、地貌、微地貌特征及其环境条件；
 - (2) 滑坡形态特征、地层岩性及滑带土的性质，评价其稳定程度；
 - (3) 岩体结构面、软弱结构面的产状、性质及特征。地表水、泉、湿地等的分布，植被、树木等的异常；

(4) 收集气象、地震、水文资料,调查滑坡的发展历史、危害及防治经验。

2 危岩、落石和崩塌地段工程地质调绘应包括下列内容:

(1) 地形地貌特征,危岩的周界、空间分布,裂缝的分布、性质、宽度深度、充填情况;

(2) 地层岩性、岩体结构、软弱结构面、软弱夹层特征,层间错动、岩石风化破碎程度;

(3) 褶皱、断层、节理、劈理等的性质、产状、组合情况、发育程度;

(4) 崩塌和落石的范围、数量、岩块直径、滚落方向、影响范围及防治经验。

3 岩堆地段工程地质调绘应符合下列规定:

(1) 岩堆补给区的地层岩性、地质构造、节理发育程度和风化程度;

(2) 岩堆的形态特征、植被及成层情况、密实程度等;

(3) 岩堆床的形态、岩性、软弱夹层或软弱面分布,分析岩堆的稳定程度;

(4) 地表水和地下水活动对岩堆稳定的影响。

4 泥石流地段的工程地质调绘应符合下列规定:

(1) 形成区地层岩性、地质构造、风化破碎情况,不良地质的发育、分布情况,植被情况;

(2) 流通区沟谷地貌特征,沟床变迁;

(3) 堆积区堆积物的物质组成、分布厚度、成层情况;

(4) 泥石流流域内的湖泊、水库、弃渣等对泥石流的影响;

(5) 泥石流发展史和周期,当地防治泥石流的规划措施和经验。

5 风沙地段工程地质调绘应符合下列规定:

(1) 宜利用遥感图像地质解译,了解沙漠分布及自然特征,查明沙漠的成因、严重程度分类、分布及线路所处的沙漠部位;

(2) 通过不同时期遥感图像地质解译,了解沙丘移动的动态情况;

(3) 调查沿线风沙地形及地貌特征,划分线路通过地段沙丘(地)的类型和分布情况。

- (4) 了解地表水、地下水分布和埋藏情况,判明有无造林条件;
- (5) 了解沿线风沙活动规律、危害程度、防风固沙的成功经验及教训;
- (6) 收集沿线气温、蒸发、降水、风向、风速及其出现频率延续时间、能见度、风沙日数等资料。

6 岩溶地段工程地质调绘应符合下列规定:

- (1) 采用遥感图像地质解译和现场核对,判定岩溶分布范围和状态;
- (2) 岩溶发育与岩性、地质构造及裂隙的关系;
- (3) 溶洞的分布层数,分析侵蚀基准面及其变化特征;
- (4) 岩溶地貌和岩溶形态,查明岩溶与建(构)筑物的相对位置及关系;
- (5) 对线路有影响的溶洞、暗河等的顶板埋深及洞内填充情况,评价场地的稳定性;
- (6) 覆盖型岩溶区应查明覆盖层的岩性与厚度、可溶岩的古地貌形态,调查地面塌陷史,预测地面塌陷的可能、对周边环境和建筑物的影响,提出预防措施;
- (7) 岩溶区地下水的水文地质条件,预测工程建设对地质环境可能产生的影响及应采取的措施。

7 人为坑洞地段工程地质调绘应符合下列规定:

- (1) 收集区域地质条件,访问调查人为坑洞的历史情况;
- (2) 收集既有矿区设计、实施资料,分析确定矿区采空及影响范围;
- (3) 人为坑洞地区的地层层序、岩性、地质构造,人为坑洞的开采与分布层位、范围及其稳定状况;
- (4) 人为坑洞区地表变形特征和分布规律,结合建(构)筑物详细调查坑洞分布,查明坑洞分布、顶板厚度和洞内坑壁稳定情况;
- (5) 地下水动态变化及其对坑洞稳定性影响;
- (6) 坑洞内有害气体的类型、浓度,及其对工程的影响;
- (7) 人为坑洞区既有建筑物的变形情况和地基加固处理经验教训。

8 水库地段工程地质调绘应符合下列规定:

- (1) 水库地段的区域地质、水文地质和工程地质资料；
- (2) 库岸地层岩性、风化破碎程度和各类结构面特征,覆盖层与下伏基岩的接触关系；
- (3) 库区不良地质的分布、性质,预测储水后可能引起复活及恶化环境地质条件等情况；
- (4) 水库储水后引起地下水壅升和渗漏情况及其对线路和建筑物的影响；
- (5) 根据不同的地貌、地质条件、水库类型和库岸情况,预测库区坍岸变形的范围及特征。

9 放射性地区工程地质调绘应符合下列规定：

- (1) 收集区域地质、矿产地质、水文地质、遥感图像资料,核辐射环境质量评价报告,放射性地方病的记载和资料；
- (2) 查明辐射场的强度和分布规律；
- (3) 调查当地的生态环境、植物特征、地方史及社会历史情况。

10 有害气体地段工程地质调绘应符下列规定：

- (1) 区域地质、矿产地质、水文地质资料和有害气体区测资料；
- (2) 地方有关有害气体的利用及危害情况；
- (3) 结合既有矿井调查,查明含瓦斯地层及其围岩的岩性、物理化学特征、空间分布；
- (4) 形成瓦斯的地质构造,煤层、油气层、油页岩层所处构造的位置；瓦斯生成、集聚及盖层的地质条件,确定瓦斯运移、排放和储存的地质因素；
- (5) 调查对工程和施工有影响的厚层湖沼、工业垃圾和生活垃圾等地层中的有害气体。

11 高地温地区地质调绘应包括下列内容：

- (1) 区域地质、水文地质、遥感图像、地震、活动断裂、放射性、地表热显示、地温测试和气象等资料以及既有地下洞室施工资料等；
- (2) 新构造运动、地震、岩浆(火山)活动情况与地热显示、地热异常的关系；

- (3) 地下热水的动态及其与一般地下水的关系等;
- (4) 地表热显示分布特征、岩石水热蚀变和热水矿特质的沉积特征;
- (5) 高地温地区的热储、盖层、导水和控热构造。

12 地面沉降地区地质调绘应包括下列内容:

- (1) 区域地质、水文地质、地下水开采、地震破坏变形历史、地面沉降发展史、气象等资料及地面沉降和沉降观测资料;
- (2) 调查第四纪冲积、湖积、浅海相沉积的平原或盆地, 以及古河道、洼地、河间地块等微地貌情况, 区别各种不同因素造成的地面沉降现象;
- (3) 地面沉降的分布范围、年沉降速率及规模;
- (4) 历年来地下水的采灌量和实际开采的含水层、段以及水井分布;
- (5) 历年来地下水位, 特别是各含水层承压水头的变化幅度和速率;
- (6) 调查访问地面沉降对沿线建筑物的影响;
- (7) 调查访问地裂缝的分布范围、特征及对沿线建筑物的影响。

14.5 工作成果

14.5.1 工程地质调绘的资料应准确可靠、图文相符。对工程设计、施工有影响的工程地质现象, 应用素描图或照片记录并附文字说明。

14.5.2 工程地质测绘的比例尺和精度应符合下列要求:

1 测绘用图比例尺宜选用比最终成果图大一级的地形图作底图。可行性研究阶段可选用 1:2000~1:5000; 初步勘察阶段可选用 1:1000~1:2000; 详细勘察阶段可选用 1:500~1:1000; 在工程地质条件复杂地段应适当放大比例尺;

2 地层单元的划分应根据勘察阶段、成图比例、岩性与工程的关系确定。全线工程地质图, 地层单元宜划分到系, 影响线路方案的地层, 应划分到统; 详细工程地质图, 地层单元宜划分到统, 地质条件复杂的应划分到组; 对第四系地层, 应按成因类型、时代及岩性进行划分; 工点工程地质图, 地层单元宜划分到统, 当构造复杂、不良地质发育或受地层控制时, 地层单元应划分到组, 必要时可细划至段;

3 工程地质调绘点的密度应根据场地的地貌、地质条件、成图比例尺和工程要求等确定,并应具有代表性;

4 地质界线和地质观测点的测绘精度,在图上不应低于 3mm;

5 工程地质图上宽度大于 2mm 的地质现象应调绘。对工程有重要影响的滑坡、崩塌、断层、软弱夹层、洞穴等地质现象,在图上的宽度不足 2mm 时,宜采用扩大比例尺表示,并标注其实际数据。

14.5.3 工程地质调绘的成果资料应符合下列规定:

1 工程地质调绘的成果资料宜包括实际材料图、综合工程地质图、工程地质分区图、综合地质柱状图、工程地质剖面图以及各种素描图、照片和文字说明等;

2 对地质条件简单地段,工程地质调绘的成果可纳入相应阶段的岩土工程勘察报告;对地质条件复杂地段,应编制工程地质调绘报告。

15 物探

15.1 一般规定

15.1.1 市域（郊）铁路岩土工程勘察工作中，遇下列情况宜采用物探方法：

- 1 探测隐伏地质界线、界面、不良地质体、地下水、地下构筑物等；
- 2 在钻孔之间增加物探点，为钻探成果的内插、外推提供依据；
- 3 测定沿线大地导电率、岩土体电阻率、岩土体波速等物性参数。

15.1.2 开展物探工作应具备下列条件：

- 1 探测对象与其相邻介质应存在一定的物性差异，并具有可被探测的规模；
- 2 地形变化产生的异常畸变，不显著改变探测对象的异常形态或可以进行校正；
- 3 存在电、磁、振动等外界干扰时，探测对象的异常能够从干扰背景中区分出来；
- 4 现场具备能布置物探测线、测点以及探测装置的工作空间，且接收装置能与地表良好耦合。

15.1.3 物探用于市域（郊）铁路岩土工程勘察时应符合下列规定：

- 1 物探工作开展前应充分收集和研究工点既有的遥感和区域地质资料；
- 2 结合工程特点和勘察阶段的要求，综合分析工点的地形、地质和物性特征，合理选择物探方法；
- 3 重大工点、控制工点、地质条件复杂的工点和存在多种干扰因素的工点，宜采用两种或两种以上方法进行综合物探；
- 4 适当布置验证钻孔，根据勘探目的，结合钻孔和地质调绘资料对物探结论适当修正；
- 5 物探成果应结合其它勘探资料综合分析，合理利用。

15.1.4 市域（郊）铁路物探测网布置应符合下列规定：

- 1 测网应根据探测目的设计，实际测线位置可根据地形地貌及现场条件合理

调整，测线移动的允许距离在相应比例的图件上宜小于 5 mm；

2 测网密度应能反映目标地质体的规模，应保证异常的连续、完整和便于追踪；

3 测线长度应保证异常的完整和足够的正常背景，测线宜垂直或大角度相交于已知异常的走向；

4 测区内或附近有已知钻孔，宜布置穿越或临近钻孔的测线。

15.1.5 除符合本章规定外，物探工作尚应符合现行行业标准《铁路工程物理勘探规范》TB 10013 的规定。

15.2 直流电法

15.2.1 直流电法主要包括电测深法、电测剖面法、高密度电法、自然电场法、充电法、激发极化法等。

15.2.2 直流电法适用条件应满足下列要求：

- 1 探测对象与围岩存在明显的电性差异；
- 2 探测对象直径 D 与埋深 H 比 ≥ 0.2 ；
- 3 被探测目标层或目标体上方应无极高电阻屏蔽层；
- 4 各地层或目标体电性应稳定，异常范围或幅值等特征应可以被测量和追踪；
- 5 测区内应无较强的游散电流、大地电流或其他电磁干扰。

15.2.3 直流电法应根据工作条件和探测要求选用相应的观测方法、观测装置和观测参数。

15.2.4 直流电法的测网布置除应符合本标准第 15.1.4 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1 测线方向应与地层或探测对象走向垂直或大角度相交；
- 2 每条测线上应确保 3 个连续测点上有异常显示。

15.2.5 电测深法可用于划分地层，探查隐伏构造、岩溶、采空区、地下水源及测定岩土层的电阻率、大地导电率参数等。

15.2.6 电剖面法可用于探查断层、岩溶、地下水源、岩性分界线等。

15.2.7 高密度电法可用于划分地层，探查断层、岩溶、采空区、路基病害和岩性分界线等。

15.2.8 自然电场法可用于探测浅层地下水流向、岩溶、环评和地质灾害调查等。

15.2.9 充电法可用于探测低电阻物体的平面展布和地下水流向。

15.2.10 激发极化法可用于划分地层，探测地下水、采空区、岩溶等。

15.3 电磁波法

15.3.1 电磁波法主要包括可控源音频大地电磁法、天然场大地电磁法、广域电磁法、瞬变电磁法、电磁波 CT 法、地质雷达法等。

15.3.2 电磁波法适用条件除应符合本规范第 15.2.2 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1 被探测目标层或目标体应位于探测盲区以下；
- 2 测区内地形地貌条件应适合场源布设与野外实时观测；
- 3 接地困难，存在高屏蔽的地区、地段，应优先采用电磁波法。

15.3.3 电磁波法的测网布置除应符合本标准第 15.1.4 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1 电磁测深曲线特征发生明显变化时应加密测点；
- 2 测线宜避开工厂、矿山、广播电台、雷达站、中继站、高压输电线、电气化铁路和发电站等；
- 3 测线无法避开供电及通讯线路时，宜与其正交。

15.3.4 电磁波法的数据处理和解释宜参考岩石实际电性参数，电性参数测试可采用标本测试、露头测试、电测井、井旁电测深等。

15.3.5 可控源音频大地电磁法可用于探查深部岩溶、断层构造和地层变化情况等。

15.3.6 天然场大地电磁法可用于划分地层，探查复杂地形条件下的岩溶、采空区、断层和地层的接触关系等。

15.3.7 广域电磁法可用于划分地层，探查构造、深层岩溶和采空区等。

15.3.8 瞬变电磁法可用于划分地层，探查断层、洞穴、采空区、沉陷带，探测大口径管道、防空洞等地下构（建）筑物，隧道超前地质预报等。

15.3.9 电磁波 CT 法钻孔应符合下列规定：

- 1 孔内测试段不应有金属套管，井壁完整性差的井段宜埋置 PVC 不导电套管；
- 2 钻孔间距宜为 10 m~30 m；
- 3 孔深宜大于钻孔间距的两倍，且应大于要求探测深度 5 m；
- 4 终孔孔径不小于 70 mm；
- 5 临空面与观测剖面的最短距离宜大于观测剖面的长度。

15.3.10 电磁波 CT 法可用于探测钻孔间岩层分界线、岩溶、采空区等。

15.3.11 探地雷达法可用于划分地层，探查中浅部岩溶，探测管线、防空洞等地下构（建）筑物，工程质量检测，隧道超前地质预报等。

15.4 弹性波法

15.4.1 弹性波法主要包括直达波法、折射波法、反射波法、瑞雷波法、微动勘探法、弹性波 CT 法等。

15.4.2 弹性波法适用条件应满足下列要求：

- 1 被探测目标体或目标层与围岩之间应存在明显的波阻抗差异；
- 2 被追踪地层应具有一定的厚度，应大于有效波波场的 1/4；
- 3 折射波法被追踪地层波速应大于各上覆层波速，被追踪层的视倾角与折射波临界角之和应小于 90°；
- 4 反射波法探测的地层宜较平坦，入射波应能在界面上产生较规则的反射波；
- 5 瑞雷波法适用于能在震源的激励下产生瑞雷波的地层，宜在平坦地形条件下开展工作；
- 6 微动法探测地层中应存在随机来源的微动信号，且探测目标具有一定规模；
- 7 弹性波 CT 法探测的地质体宜位于扫描剖面中间，规模应大于成像单元。

15.4.3 弹性波法的测网布置除应符合本标准第 15.1.4 条的规定外，还应符合下列规定：

1 测线宜布设成直线，当受场地条件限制时，可布设成非纵测线，但应考虑旁侧、界面倾角和速度变化及穿透现象的影响；

2 当测线通过建筑物、道路、高压电线和其他障碍物时测线可转折，但应采取相应措施，保证转折测线的资料能独立解释；

3 山谷地形可按坡度相近的山坡分段布置测线，炮点宜在地形起伏的顶部和底部，应保证各段测线资料能独立解释；

4 河谷测线宜垂直河流或顺河流布置，当河谷狭窄和折射波相遇距离较短时，可斜交河流布置测线；

5 地形起伏较大的勘探场地，宜采用天然源面波法、地震折射波法或地震反射波法，应实测激发点和检波点的位置和高程，沿排列方向应测绘地形剖面。

15.4.4 直达波法可用于钻孔、硐室、基岩露头等岩土体波速参数的测量等。

15.4.5 折射波法可用于探查断层、岩性界线、覆盖层厚度、风化层和不良地质体的厚度，测定岩体的纵波速度，划分隧道围岩级别等。

15.4.6 反射波法可用于划分地层，探查岩性分界线、断层、洞穴、采空区、沉陷带，探测大口径管道或箱涵等地下构（建）筑物，隧道超前地质预报等。

15.4.7 面波法可用于探查覆盖层厚度、洞穴、采空区、沉陷带、大口径管道或箱涵等地下构（建）筑物，评价路基基床质量和地基整治加固效果，求取地层横波速度等。

15.4.8 微动勘探法可用于探查覆盖层厚度，划分地层，探测断层、破碎带、岩溶洞穴、地下管道（廊）及地下建（构）筑物等不均匀体，评价路基基床质量和地基整治加固效果等。

15.4.9 弹性波 CT 法可用于确定钻孔间地质异常体的分布，探测钻孔间采空区、破碎带、溶洞等的空间位置和形态。

15.5 测井

15.5.1 测井是在钻孔中沿井壁测量岩土体的各种物性参数，实现划分地层剖面、了解钻孔结构和地温垂向变化等目的的井中物探方法；包括电测井、声速测井、超声成像测井、电视测井、放射性测井以及管波探测等。

15.5.2 测井钻孔应符合下列规定：

- 1 钻孔深度应大于设计深度 5m，孔底沉渣不得大于 2m；
- 2 钻孔内易坍塌、不安全井段应采取保护措施；
- 3 电阻率、自然电位、井液电阻率、井温、声速等测试的钻孔或井段有井液。

15.5.3 电测井可用于测定地层、井液和地下水的电性参数、校正钻孔地质剖面、确定含水层位置和厚度、区分咸淡水、测量钻孔中含水层之间的补给关系等。

15.5.4 声速测井可用于测定岩体的声波速度，划分地层，评价岩体风化程度及完整性。

15.5.5 超声成像测井可用于判定断层和软弱夹层的倾向、倾角、厚度以及井壁的孔洞、裂隙等。

15.5.6 电视测井可用于划分岩性，确定软弱夹层、断层、裂隙、破碎位置，观察地下水活动，检查混凝土浇注质量和基础处理的灌浆效果等。

15.5.7 放射性测井可用于测定岩土体的放射性强度和密度，划分岩层，追踪地下水的流速流向等。

15.5.8 管波探测法可用于探查钻孔周边一定范围内的溶洞、破碎带、溶蚀裂隙、软弱夹层等不良地质体分布情况，也可用于检测管桩和灌注桩桩身完整性及持力层岩体完整性和分析岩土性状等。

15.6 物性参数测试

15.6.1 大地导电率测试可按下列规定执行：

- 1 测试目的主要用于电气化线路和铁路通讯的抗干扰设计；
- 2 宜采用电测深法温纳测深装置进行测量；

3 测点布置在距离铁路中心线 100 m 范围内，地形条件限制时，不宜超过 300 m，并与线路对应位置处于同一地质单元。

4 车站应布置测点，区间可根据需要和岩性特征布置测点；同一地质单元相邻测点的 800 Hz 和 50 Hz 大地导电率值相差大于 3 倍时应加密测点。

5 测试要求：

1) 最大 AB/2 应达到 50 Hz 电流的影响深度，并大于电测深曲线与解释曲线交点所对应的装置长度；

2) 依据探测要求和现场地形条件可只测与解释曲线交点附近 3 个~4 个电极距的视电阻率值；

3) 大地导电率的成果可用图示或数值表示，并应注明测点地名、里程位置及测区的地层岩性及 800 Hz 和 50 Hz 大地导电率值。

15.6.2 土壤电阻率测试可按下列规定执行：

1 主要用于铁路各种电气设备的接地设计；

2 土壤电阻率测试应采用电测深法，宜选用温纳测深装置或施伦贝格测深装置；

3 测试要求：

1) 在连续两日晴天后进行，冬季测量时，电极应穿透冻土层。

2) 根据探测任务确定测深装置和极距序列。最大电极距应满足要求的最大探测深度。

3) 测点应覆盖测试场地，测点分布均匀。

4) 场地高程下不同深度的平均电阻率值应满足正态分布，否则应增加测点密度和探测深度。

15.6.3 场地波速测试可按下列规定执行：

1 场地波速测试可用于利用钻孔测定各类岩土体的纵、横波速度，进行场地分类，计算岩土体的动参数等；

2 场地剪切波波速测试可选用单孔法、跨孔法；

3 波速测试钻孔采用套管护壁时，应在套管与周围土体之间填充耦合剂（如泥浆、砂等），保证套管与土体之间的有效耦合；

4 波速测试钻孔深度应大于测试深度，剪切波测试深度为地面或一般冲刷线以下 25m，并不得小于基础底面以下 10m；

5 剪切波速度测试地表激发时技术要求应符合下列规定：

1) 宜采用三分量检波器，检波器应与孔壁耦合良好，可采用充气式或机械式贴壁装置；

2) 激发板长度不宜小于 1.5m，激发板应与地表良好耦合，堆压重物宜超过 300kg；

3) 激发板长轴中心垂线应通过孔口，距离不宜大于 2m；

4) 观测点距，宜为 1m，层位变化处应加密；

5) 采用重锤激发时，锤击力应保持水平，并避免二次激发。

6 悬挂式波速度测试的技术要求应符合下列规定：

1) 采用悬挂式波速测井仪；

2) 测试前应在地面检查场地的环境噪声、调试仪器；

3) 测试中应及时清理激振器上的吸附物；

4) 实时监测数据记录，发现异常数据时应检查仪器设备的工作状态，重复观测或重新采集；

5) 测试时，孔内注满泥浆，井液稠度应保证探头的正常升降。

7 跨孔法波速测试的技术要求应符合下列规定：

1) 震源孔和接收孔间距在土层中宜为 2~4m，岩层中小于 8m；

2) 震源和检波器应置于同一地层的相同标高处，近地表测点位于 0.4 倍孔距的深度；

3) 测试孔深大于 15m 时，应进行孔斜测量。

15.6.4 地脉动测试可按下列规定执行：

1 地脉动测试可用于测定场地卓越周期和脉动幅值，提供地震分区参数；

- 2 地脉动测试设备应具有良好的低频响应，最低频率响不应低于 0.5Hz；
- 3 测试点应按工程需要布置，周围一定范围内无特定震动源，与建筑物距离应大于该建筑物高度的 2/3；
- 4 测试要求：
 - 1) 放置检波器的地面应密实平整，表层土壤松散时应挖坑设置；
 - 2) 水平检波器按东西、南北两个方向设置，垂直检波器应垂直水平面，允许偏差为 $\pm 10^\circ$ ，检波器之间的距离不大于 1.0m；区域性断层通过场地或场地附近时，水平检波器还应分别按平行和垂直断层走向的方向设置；
 - 3) 检波器远离记录仪，测试时严禁人员、车辆在测点附近活动；
 - 4) 测试应在人为干扰背景最低的时间段进行，宜在夜间观测；
 - 5) 每个测点的测试不少于 3 次，每次测试的连续时间不少于 10min，两次测试间隔时间不少于 30min；
 - 6) 人为干扰强烈的地段应隔日进行重复观测。

15.6.5 地温测试可按下列规定执行：

- 1 地温测试可采用钻孔法、贯入法、埋设温度传感器法，地温长期观测宜采用埋设温度传感器法；
- 2 温度传感器的测量范围宜为 $-20^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ ，测量误差不宜大于 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ，温度传感器和读数仪使用前应进行校验；
- 3 在钻孔中进行瞬态测温时，地下水位静止时间不宜小于 24h，稳态测温时，地下水位静止时间不宜小于 5d；
- 4 在钻孔中重复测量应在观测后 8h 内进行，两次测量误差不超过 0.5°C ；
- 5 贯入法测试时，温度传感器插入钻孔底的深度不应小于钻孔或套管直径的 3 倍 ~ 5 倍；插入至测试深度后，至少应静止 5min ~ 10 min，方可开始观测；
- 6 地温长期观测周期应根据当地气温变化确定。

16 勘探与取样

16.1 一般规定

16.1.1 钻探、井探、槽探、洞探等勘探方法的选择，应根据地层特性、勘探深度、取样和原位测试要求及场地条件确定。

16.1.2 勘探应分层准确，不得遗漏对工程有影响的夹层。

16.1.3 岩土试样的采取方法应结合地层条件、岩土试验技术要求和地区经验综合确定。

16.1.4 勘探作业应采取必要措施，防止对地下管线、地下构筑物和环境的破坏。

16.1.5 钻探、井探、槽探、洞探作业完成后应及时回填或妥善处理并有相应记录。

16.1.6 勘探与取样和勘探点的定位与测放的具体操作应按现行行业标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T87 等执行。

16.2 勘探点定位和测量

16.2.1 应根据场地实际条件选择适宜的测量仪器和测量方法进行勘探点的定位，勘探点的测量应采用与设计相符的高程系统和坐标系统。

16.2.2 勘探点位置现场确定后应有明显的标识，并保证标识点的固定。

16.2.3 勘探点位测设于实地的允许偏差应根据勘察阶段、场地和工程情况以及勘探任务要求等确定；可研、初步勘察阶段平面允许偏差：陆域 0.5 m，水域 2.0 m，高程允许偏差：陆域 ± 0.10 m，水域 ± 0.20 m；详细勘察阶段平面允许偏差：陆域 0.25 m，水域 1.0 m，高程允许偏差：陆域 ± 0.05 m，水域 ± 0.10 m。

16.2.4 当调整勘探点位时，应重新测定勘探点点位和高程，并说明与原点位的偏差距离、方位和高差。

16.3 钻探

16.3.1 钻探方法、钻孔直径和钻具规格应符合现行国家标准的规定。成孔口径应满足取样、原位测试、水文地质试验、综合测井和钻进工艺等要求。

16.3.2 钻探应符合下列规定：

- 1 钻进深度、岩土分层深度允许误差陆域为 ± 50 mm，水域为 ± 200 mm；
- 2 对鉴别地层天然湿度的钻孔，在地下水位以上应进行干钻；当必须加水或使用循环液时，应采用双层岩芯管钻进；
- 3 钻进回次进尺，应在保证获得准确地质资料的前提下，根据地层条件、钻进方法及工艺要求、工程特点等确定。在砂土、碎石土等取芯困难地层中钻进时，应控制回次进尺，以确保满足分层与描述的要求；工程地质钻探的岩芯采取率应符合表 16.3.2 的规定；

表 16.3.2 工程地质钻探岩芯采取率

岩 层			岩芯采取率（%）
土类	黏性土		≥ 90
	粉土、砂土	地下水位以上	≥ 80
		地下水位以下	≥ 70
	碎石土		≥ 50
	破碎岩层		≥ 65
	完整岩层		≥ 80

注：岩芯采取率：圆柱状、圆片状及合成柱状岩芯长度与破碎岩芯装入同径岩芯管中高度之总和与该回次进尺的百分比。

4 当需确定岩石质量指标（*RQD*）时，应采用 75 mm 口径（*N*型）双层岩芯管和金刚石钻头；

5 每钻进 25 m 和终孔后应校正孔深，并宜在变层处校核孔深；

6 钻探时应观察孔中是否有气泡、漏水、掉钻等现象，及时进行记录，含可燃、

可爆气体地层中钻进时严禁明火与孔口接触；

7 对于垂直钻孔，每 50 m 应测量一次垂直度，每 100 m 的允许偏差为 $\pm 2^\circ$ ，当钻孔偏差超过规定时，应立即采取纠斜措施；

8 定向钻进造斜孔段每 5m~10m 测一次顶角和方位角，稳斜段每 20m~25m 测一次顶角和方位角，也可根据具体情况适当缩短测量距离。

16.3.3 岩芯整理应符合下列要求：

1 采取的岩芯应按上下顺序装箱摆放，填写回次标签，在同一回次内不同岩芯应注明变层深度；

2 当发现滑动面、透镜体、夹层时，应加填标签注明起止深度，放在岩芯相应位置；

3 对重要的钻孔，应装箱妥善保存岩芯、土样，分箱拍摄彩色照片；

4 按深度对应摆放岩芯，长度 1 米，每箱对应 5m 钻深。

16.3.4 钻探记录应符合下列要求：

1 钻探记录应及时、详细、真实，按回次逐次描述，严禁事后追记；

2 钻探现场岩芯鉴别可采用肉眼鉴别和手触方法，有条件或勘探工作有明确要求时，可采用微型贯入仪等定量化、标准化的方法；

3 钻探记录应包括回次进尺和深度、钻进情况、孔内情况、钻进参数、地下水位、岩芯记录等内容，内容满足相关要求。

16.4 井探、槽探、洞探

16.4.1 对卵石、碎石、漂石、块石等粗颗粒土以及黄土等钻探难以查明岩土性质或需要做大型原位测试时，应采用井探或槽探；在地下管线、地下障碍物等分布复杂条件下，可采用井探或槽探的方法查明地下情况；井探或槽探宜在地下水位以上进行。当需详细查明深部岩层性质、构造特征时可采用洞探的方法。

16.4.2 井探、槽探、洞探宜分别采用圆形、方形截面，在井、槽内取样、测试及编录应及时进行。

16.4.3 对井探、槽探、洞探除文字描述记录外，尚应以剖面图、展示图和照片等反映井壁、槽壁、洞壁和顶、底部的岩性、地层分界、构造特征、取样和原位测试

位置。

16.5 取样

16.5.1 采取土样所使用的取土器及取土方法，应根据土层特点和工程所需试样的质量等级确定。对软土宜采用薄壁取土器压入法取样，对砂土宜采用原状取砂器。

16.5.2 土试样质量等级应根据试验内容按表 16.5.2 划分为四级：

表 16.5.2 土试样质量等级

级别	扰动程度	试验内容
I 级	不扰动	土类定名、含水量、密度、强度试验、固结试验
II 级	轻微扰动	土类定名、含水量、密度
III 级	显著扰动	土类定名、含水量
IV 级	完全扰动	土类定名

注：1 不扰动是指虽然土的原位应力状态改变，但土的结构、密度、含水率变化很小，能满足各项室内试验要求。

2 除地基基础设计等级为甲级的工程外，在工程技术要求允许的情况下可用 II 级土试样进行强度和固结试验，但宜先对土试样受扰动程度作抽样鉴定，判定用于试验的适宜性，并结合地区经验使用试验成果。

16.5.3 在钻孔中采取 I、II 级土试样时，应符合下列条件：

1 在软土、砂土中，宜采用泥浆护壁；如使用套管，应保持管内水位等于或稍高于地下水位，取样位置应低于套管底三倍孔径的距离；

2 下放取土器前应仔细清孔，清除扰动土，孔底残留浮土厚度不应大于取土器废土段长度；

3 采取土试样宜用快速静力连续压入法；在硬塑和坚硬的黏性土和密实的粉土层中压入法取样有困难时，可采用重锤少击；

4 在探井、探槽中取样时，应与开挖掘进同步进行，样品应有代表性；探井、探槽中采取的试样宜用盒装；采取断层泥、滑动带或较薄土层的试样，可用试验环刀直接压入取样；

5 在钻孔中采取 I、II 级砂试样时，可采用取砂器；

6 对特殊性岩土取样应符合本标准特殊性岩土章节的有关规定。

16.5.4 I、II、III 级土试样应妥善密封，防止湿度变化，严防爆晒或冰冻，从现场采集到开始试验不应超过三周；I、II 级土试样运输过程中应采取防震措施防止土样扰动；对易于振动液化、水分离析的砂土试样，宜在现场或就近进行试验。

16.5.5 岩石试样可利用钻探岩芯制作或在探井、探槽中进行。采取的毛样尺寸应满足试块加工的要求。

17 原位测试

17.1 一般规定

17.1.1 应根据地质条件、设计对参数的需求、地区经验和测试方法的适用性等因素综合确定原位测试方法。

17.1.2 原位测试孔位及点位的布置应具有对场地土层的控制性和代表性，孔深应满足勘察设计要求。

17.1.3 原位测试成果应与原型试验、室内试验及工程经验等结合使用，并应进行综合分析。对重要的工程或缺乏使用经验的地区，应与工程反算参数作对比，检验其可靠性。

17.1.4 原位测试仪器设备应按相关规定定期进行校验和标定。

17.1.5 原位测试尚应符合国家或行业有关规程的规定。

17.2 标准贯入试验

17.2.1 标准贯入试验适用于黏性土、粉土、砂类土、残积土和全风化、部分强风化岩层。

17.2.2 标准贯入试验成果可评价砂类土、粉土、黏性土的物理状态，土的强度、变形参数、地基承载力，砂类土和粉土的液化等。

17.2.3 标准贯入试验孔应采用回转钻进，孔底沉渣厚度不应超过 10 cm。不能保持孔壁稳定时，宜采用泥浆护壁，先用钻具钻至试验土层高程以上 15cm 处，清除残土，并应避免试验土层受到扰动。

17.2.4 将贯入器竖直打入土层中 15cm 后，开始记录每打入 10cm 的击数，累计打入 30cm 的击数，定为实测击数 N 。密实土层中贯入不足 30cm 而击数超过 50 击时，应终止试验，并记录 50 击的贯入度 Δs 和累计击数 n ，按下式换算成贯入 30cm 击数 N ：

$$N = \frac{30n}{\Delta s} \quad (17.2.4)$$

17.2.5 绘制实测击数 N 与试验深度 d 的关系曲线，并结合场地勘察结果分层，计算出该试验孔各分层土的实测击数平均值 $\bar{N}_j$ (j 代表土层分层层号)，计算时应剔除异常值。

17.3 动力触探试验

17.3.1 动力触探适用于黏性土、砂类土、碎石类土、填土、全风化岩、强风化岩。

17.3.2 动力触探可分为轻型、重型和超重型。轻型动力触探可确定浅部的黏性土、砂类土、填土地基承载力，重型和超重型动力触探可确定中砂以上的砂类土、碎石类土的地基承载力，测定圆砾土、卵石土的变形模量。动力触探还可用于查明地层在垂直和水平方向的均匀程度和确定桩基持力层。

17.3.3 动力触探划分土层并定名时，应与其它勘探测试手段相结合；确定地基承载力或变形模量时，动力触探孔数应根据场地大小、建筑物等级及土层均匀程度综合考虑，但同一场地应不少于 3 孔。

17.3.4 轻型动力触探应每贯入 30cm 记录其相应击数。重型和超重型动力触探应每贯入 10cm 记录其相应击数。

17.3.5 轻型动力触探应以每层实测击数的算术平均值作为该层的触探击数平均值 $\bar{N}_{10}$ 。重型、超重型动力触探实测击数，应按相关规定进行杆长击数修正。

17.3.6 绘制动力触探击数与贯入深度曲线图。按《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018 相关规定计算地基承载力、变形模量等参数。

17.4 静力触探

17.4.1 静力触探适用于软土、黏性土、粉土、砂类土及含少量碎石的土层，可划分土层界面、土类定名、确定地基承载力和单桩极限荷载、判定地基土液化可能性及测定地基土的物理力学参数等。

17.4.2 静力触探单桥探头测定土的比贯入阻力 p_s ，双桥探头测定土的端阻 q_c 和侧阻 f_s ，三功能孔压探头测定土的 q_c 、 f_s 、贯入孔隙压力 u_0 及其消散孔隙压力 u_t 。

17.4.3 水上静力触探应有保证孔位不致发生移动的稳定措施。水底以上部位应加设防止探杆挠曲的装置。

17.4.4 贯入主机应能匀速贯入，贯入速率为 (20 ± 5) mm/s。

17.4.5 静力触探用探杆应采用高强度无缝管材，其屈服强度满足试验深度要求，工作截面尺寸必须与贯入主机的额定贯入力相匹配。用于前 5m 的探杆弯曲度不得大于 0.05%，后续探杆的弯曲度不得大于 0.1%。计深误差不得大于 1%。

17.4.6 孔压探头过滤器宜置于探头锥肩的位置，此时过滤器的上表面距锥底面的高度应小于 10mm；过滤器也可置于探头锥面的位置，此时过滤器中心或中心线距锥顶的距离应为 0.5~0.8 倍圆锥母线长度。

17.4.7 当贯入深度超过 30m，或穿过厚层软土后再贯入硬土层时，应采取措施防止孔斜或断杆，也可配置测斜探头，量测静力触探孔的偏斜角，校正土层界线深度。

17.4.8 深层静力触探宜设置套管减少探杆与土层之间摩阻力。遇砾、卵石夹层时，应采用多重套管技术，穿越砾、卵石夹层后再进行测试。

17.4.9 静力触探试验时，每贯入 0.1m 或 0.2m 应至少记录一次读数。探头应进行归零检查。

17.4.10 在预定深度进行孔压消散试验时，应从探头停止贯入时起，记录不同时刻的孔压值和端阻值等参数。宜按不同时间段由密而疏的频率采集：1s~10s 内每隔 1s 采样一次，10s~100s 内每隔 10s 采样一次；100s~1000s 内每隔 100s 采样一次；1000s 以上每隔 1000s 采样一次，直至试验结束。

17.4.11 静力触探试验资料整理应包括下列内容：

- 1 按有关步骤及要求修正数据；
- 2 以深度为纵轴、以静力触探参数为横轴绘制静力触探曲线；
- 3 以孔压消散值 (u_t) 为纵轴、时间对数值 $(\lg t)$ 为横轴，绘制孔压消散曲线 $(u_t \sim \lg t)$ ；
- 4 以归一化超孔压比 $\bar{U}$ 为纵轴、时间 t 的对数 $\lg t$ 为横轴，绘制归一化超孔压消散曲线 $\bar{U} - \lg t$ ；

5 根据贯入曲线的线型特征，结合相邻钻孔资料和地区经验划分土层。计算各土层静力触探有关试验数据的平均值；

6 按《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018 相关规定计算土的承载力、变形参数、水平向固结系数、单桩承载力和判断砂土液化等。

17.5 载荷试验

17.5.1 载荷试验分为平板载荷和螺旋板载荷试验。平板载荷试验分为浅层、深层平板载荷试验，适用于各类土、软质岩和风化岩，可测定承压板下应力主要影响范围岩土의承载能力和变形参数。

17.5.2 浅层平板载荷试验适用于浅层地基土。深层平板载荷试验适用于深层地基土或大直径桩的桩端岩土，其试验深度不应小于 5m。

17.5.3 螺旋板载荷试验适用于黏性土、粉土及砂类土，可确定地基土不同深度处的承载力、变形模量等参数。

17.5.4 每个场地同一持力层，平板载荷试验不宜少于 3 个试验点，试验点应布置在场地中有代表性的位置。试验点差异性较大时，应增加试验点数量。

17.5.5 浅层平板载荷试验宜布置在基础底面高程处，且不应小于自然地面下 0.5m。深层平板载荷试验应布置在基础底面或桩端。

17.5.6 浅层平板载荷试验承压板面积不宜小于 0.25m^2 。对于软土和粒径较大的填土承压板面积不宜小于 0.5m^2 ，密实细粒土承压板面积宜采用 0.1m^2 ，岩石承压板面积不宜小于 0.07m^2 。深层平板载荷试验承压板面积宜选用 0.5m^2 。

17.5.7 软土可选用 500cm^2 的螺旋板，软塑黏性土可选用 200cm^2 的螺旋板，硬塑黏性土及密实砂土可选用 100cm^2 的螺旋板。

17.5.8 浅层平板载荷试验的试坑底面宽度不应小于 $3b$ 、承压板边与坑边净距不应小于 b (b 为承压板直径或边长)；深层平板载荷试验的试井直径应等于承压板直径，当试井直径大于承压板直径时，紧靠承压板周围土的高度不应小于承压板直径。

17.5.9 试验荷载应分级施加，加荷等级不应小于 8 级，最大加载量不宜小于荷载

设计值的 2 倍。

17.5.10 根据工程需要试验方法可采用慢速法（沉降相对稳定法）或快速法（沉降非稳定法）。慢速法主要用于饱和软黏性土及对变形有明确要求的建筑物；快速法一般适用于硬塑～坚硬状黏性土、粉土、砂类土和碎石类土及软质岩。

17.5.11 绘制荷载 p 与实测沉降 s' 曲线，必要时绘制 $s'-t$ 或 $s'-\lg t$ 等曲线。应根据 $p-s$ 曲线拐点，必要时结合 $s-\lg t$ 曲线特征，确定比例界限压力和极限压力。当 $p-s$ 呈缓变曲线时，可根据相对沉降 s/b 值所对应的压力评定地基承载力。

17.5.12 按《铁路工程地质原位测试规程》（TB10018）相关规定计算土的承载力、变形模量、地基竖向基床系数等。

17.6 十字板剪切试验

17.6.1 十字板剪切试验适用于测定饱和软黏性土的不排水抗剪强度及灵敏度等参数，测试深度不宜大于 30m。

17.6.2 十字板剪切试验应符合下列规定：

1 将十字板头以 (20 ± 5) mm/s 的速率匀速贯入至预定深度后，应至少静置 2min～3min 方可开始试验；

2 按顺时针方向转动扭力装置上的旋转手柄，转速应均匀并符合 $1^\circ/10s$ 的要求；

3 十字板头每转 1° 应记录一次仪表读数，直至峰值读数后再测记 1min；必要时可测记至稳定值出现。稳定值的确定以最小值读数连续出现 6 次为准；

4 当测定试验点土的灵敏度时，可用管钳按顺时针方向迅速转动探杆 6 圈，记下初读数，按步骤进行试验，记录重塑土的相应读数。

17.6.3 十字板剪切试验成果资料整理应包括下列内容：

1 计算土的不排水抗剪强度峰值、残余值和灵敏度；

2 绘制不排水抗剪强度峰值和残余值随深度的变化曲线，需要时，绘制抗剪强度与扭转角度的关系曲线。

17.7 旁压试验

17.7.1 旁压试验分为预钻式旁压试验和自钻式旁压试验，适用于确定黏性土、粉土、黄土、砂类土、软质岩及风化岩等地基的承载力与变形参数。

17.7.2 预钻式旁压试验应重视成孔质量，孔径与旁压器应相匹配，减少对孔周土体扰动；自钻式旁压试验应确定适应于土体的钻头及回转转速、刃口距离、循环液压力及流量、钻机设备压力等。

17.7.3 旁压仪的仪器标定包括压力表、弹性膜约束力、仪器综合变形、传感器标定。

17.7.4 旁压试验成孔应符合下列规定：

1 预钻式旁压试验孔径应比旁压器直径大 $2\text{ mm} \sim 6\text{ mm}$ 。应保持孔周岩土体的天然结构和孔壁的原始状态，试验段孔壁应竖直、平顺、呈圆筒形。

2 自钻式旁压试验应保证自钻成孔深度大于 1.0 m ，护孔套管不应进入自钻式旁压测试段落。

17.7.5 预钻式旁压试验压力增量宜取预估临塑压力的 $1/5$ 或极限压力的 $1/10$ ；如不易预估可按经验表确定。

17.7.6 自钻式旁压试验应符合下列要求：

1 通过应变控制时，试验初始阶段应控制压力匀速增加，旁压器膨胀后，孔径的应变速率应控制为每分钟应变 1% 。

2 自钻式旁压试验宜采集不少于两个卸载-加载环。卸载开始前应维持恒定的应力或应变，最终卸载过程中，旁压仪应以加载阶段相同速率进行卸载。

17.7.7 预钻式旁压试验资料整理应符合下列要求：

1 根据修正后数据，应绘制 $p-V$ 曲线、蠕变曲线 $p-\Delta V_{180-30}$ ，根据需要可绘制 $p-1/V$ 曲线。

2 按《铁路工程地质原位测试规程》（TB10018）相关规定计算旁压剪切模量 G_m 、旁压模量 E_m 、地基承载力、土体变形模量及压缩模量、地基土基准水平基床系数等参数。

17.7.8 自钻式旁压试验资料整理应符合下列要求：

- 1 剔除原始曲线上多余或异常点，标记加载和卸载点，卸—加载环曲线应呈对称闭合状。
- 2 计算旁压试验径向位移 Δr 、径向应变 ϵ 、剪切应变 γ 。
- 3 根据修正后数据，绘制 $p \sim \Delta r$ 曲线、 $p - \ln(\gamma)$ 曲线、基于卸载-加载环 $p - \epsilon$ 曲线等旁压试验曲线。
- 4 初始压力 p_0 为 $p \sim \Delta r$ 曲线近似直线段的起点对应的压力；临塑压力 p_f 为 $p \sim \Delta r$ 曲线近似直线段的终点对应的压力；极限压力 p_L 为 $p \sim \ln(\gamma)$ 曲线近似直线段的拟合直线在纵轴上的截距值（ $\ln(\gamma) = 0$ ）。通过卸载-加载环角平分线的斜率计算剪切模量 G_m 。
- 5 按《铁路工程地质原位测试规程》（TB10018）相关规定计算地基承载力、不排水抗剪强度、静止侧压力系数等参数。

17.8 扁铲侧胀试验

17.8.1 扁铲侧胀试验适用于软土、黏性土、松散~中密砂类土及粉土等，可用于判定土层类别与状态，确定静止侧压力系数、水平基床系数、饱和黏性土的不排水杨氏模量等；扁铲侧胀C值消散试验（简称DMTC消散试验）适用于饱和软黏性土，可用于测定土的水平固结系数。

17.8.2 扁铲侧胀试验孔垂直度偏差不应大于2%。试验点间距不应小于20cm，连续贯入时宜为20~25cm。

17.8.3 标定膜片，记录标定值 ΔA 及 ΔB 。 ΔA 值适用范围应取5~25kPa， ΔB 值适用范围应取10kPa~110kPa。

17.8.4 饱和软黏性土中测定土的水平固结系数时，宜在预定深度进行DMTC消散试验；试验应从侧胀板头停止贯入时，用秒表计时，记录不同时刻的C压力值，计时间隔由密而疏，合理控制。

17.8.5 修正扁铲侧胀试验数据，计算侧胀模量 E_D 、水平应力指数 K_D 、土类指数 I_D 、

孔压指数 U_D 。

17.8.6 扁铲侧胀试验成果图件应包括下列内容：

- 1 p_0 、 p_1 、 p_2 、 Δp 随深度的分布曲线，其中 $\Delta p = p_1 - p_0$ ；
- 2 E_D 、 K_D 、 I_D 、 U_D 随深度的分布曲线。

17.8.7 根据《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018 相关规定和地区经验划分土类、判别黏性土的塑性状态，计算静止侧压力系数 K_0 、不排水杨氏模量 E_u 、基准水平基床系数 K_{h1} 及水平向固结系数 C_h 等参数。

17.9 应力铲试验

17.9.1 应力铲试验分为总应力铲试验和有效应力铲试验，适用于确定流塑～软塑状饱和黏性土的静止侧压力系数和水平固结系数等参数。

17.9.2 应力铲试验应在场地地层结构、构造清楚的条件下进行。应力铲试验孔对水平地面的垂直度偏差应控制在 1 % 以内。

17.9.3 试验孔水平应力松弛和孔压消散试验点的深度间距不宜小于 0.5m。记录贯入时的水平总应力和孔压值，应每贯入 0.1m 记录一次读数。按要求在预定深度进行水平应力松弛和孔压消散试验。

17.9.4 软土地区进行试验时，可使用静力触探主机贯入；非软土地区试验时，使用工程钻机先开孔至试验点深度以上 (1 ± 0.1) m 处，通过立轴贯入至预定深度。

17.9.5 按要求修正总应力铲和有效应力铲试验原始记录数据。

17.9.6 试验成果图件应包括 σ_{h0} 、 u_s 随深度 (d) 的分布曲线；水平应力 σ_{ht} 、孔隙水压力 u_s 随时间对数 ($\lg t$) 的衰减曲线和归一化应力比衰减曲线 ($\bar{V} - \lg t$) 等。

17.9.7 按《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018 相关规定计算饱和黏性土静止侧压力系数 K_0 值、水平固结系数 C_h 等参数。

18 室内岩土试验

18.1 一般规定

18.1.1 室内试验的试验方法、操作和采用的仪器设备应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123、《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266、行业标准《铁路工程土工试验规程》TB 10102 的有关规定；工程需要时，可参照相关行业标准及地方标准。

18.1.2 室内试验项目应根据岩土性质、工程类型和设计、施工需要确定。

18.1.3 土样从取样之日起至开始试验的时间不宜超过三周；对易于振动液化和水分离析的土样宜就近进行试验。

18.2 土的物理性质试验

18.2.1 制备试样前，应对岩土的重要性状做肉眼鉴定和记录。

18.2.2 土的物理性质试验应测定颗粒级配、比重、天然含水量、天然密度、塑限、液限、有机质含量等。

18.2.3 土的比重，可直接测定也可根据经验值确定，对于有机质灼失量大于 5% 的土，宜实测土粒比重。

18.2.4 界限含水率可采用液、塑限联合测定法测定或 76g 圆锥仪法进行液限测定（下沉深度为 10mm）和采用滚搓法进行塑限测定，并应在试验报告上注明。

18.2.5 当需进行渗流分析，基坑降水设计等要求提供土的透水性参数时，可进行渗透试验。常水头试验适用于砂土和碎石土；变水头试验适用于粉土和黏性土；透水性很低的软土可通过固结试验测定固结系数、体积压缩系数，计算渗透系数。土的渗透系数取值应与抽水试验或注水试验的成果比较后确定。

18.2.6 有机质试验采用重铬酸钾容量法和烧失量法。

18.2.7 土的热物理性质试验：

1 为隧道通风设计或冻结法施工需要，应测定岩土的热物理指标，热物理指标，包括导热系数、比热容和导温系数。三个热物理指标有下列相互关系：

$$a = 3.6 \frac{\lambda}{c\rho} \quad (18.2.7)$$

式中： ρ —密度（ kg/m^3 ）；

a —导温系数（ m^2/h ）；

λ —导热系数（ $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ）；

c —比热容（ $\text{KJ/kg}\cdot\text{K}$ ）。

2 导热系数指标的测定，可采用面热源法或瞬态热线法，比热容的测定可采用热平衡法，导温系数是由导热系数与比热容经公式计算得出。

18.3 土的力学性质试验

18.3.1 土的力学性质试验一般包括固结试验、直剪试验、三轴压缩试验、膨胀试验、湿陷性试验、无侧限抗压强度试验、静止侧压力系数试验、回弹试验、基床系数试验等。

18.3.2 土的压缩-固结试验要求：

1 加荷等级，第一级压力宜为 50kPa，对于淤泥和新近沉积软黏土，第一级压力宜为 25kPa。加荷荷重率不宜大于 1，最大压力值应大于土的有效自重压力与附加压力之和；

2 渗透性较大的非饱和土，沉降计算要求精度不高、主要求压缩系数和压缩模量时，可采用 1h 快速法试验；

3 基坑工程考虑卸荷加荷影响时，进行压缩-回弹-再压缩固结试验，获取回弹模量和回弹再压缩模量，压力的施加宜模拟实际加卸荷状况；

4 固结系数测定采用慢速法，测定范围为土的自重压力至自重压力与附加压力之和，需要做次固结系数试验时，可在主固结试验结束后继续试验至固结稳定为止。

18.3.3 先期固结压力试验宜采用 I 级土样，施加的最大压力应使 $e \sim \lg p$ 曲线下段出现较长的直线段，采用最小曲率半径法确定先期固结压力 p_c 。

18.3.4 土的三轴压缩试验用于测定土的总抗剪强度参数和有效抗剪强度参数。宜采用 I 级土样，试验方法应根据加荷速率、土性条件和计算公式等选用，尽可能与土体实际受力状况相一致，当排水条件不好或施工速度较快时，宜采用三轴不固结不排水剪(UU)；当排水条件较好或施工速度较慢时，宜采用三轴固结不排水剪(CU)。

18.3.5 直接剪切试验确定土的强度参数 c 和 φ 的方法包括快剪、固结快剪和慢剪；试验方法应根据荷载类型、加荷速率和地基土的排水条件确定。

18.3.6 无侧限抗压强度试验测得原状试样的无侧限抗压强度，确定灵敏度时应进行重塑土的无侧限抗压强度试验。

18.3.7 静止侧压力系数 K_0 试验适用于饱和的黏性土、粉性土和砂土，可采用侧压力仪测得。

18.3.8 基床系数可用三轴试验法和固结试验法测得。

18.3.9 当需要测定土的动力性质时，可采用动三轴试验、动单剪试验或共振柱试验。

1 动三轴和动单剪试验适用分析测定土的下列动力性质：

1) 动弹性模量、动阻尼比及其与动应变的关系；

2) 既定循环周数下的动应力与动应变关系；

3) 饱和砂土、粉土的液化剪应力与动应力循环周数关系；当出现孔隙水压力上升达到初始固结压力时，或轴向动应变达到 5% 时，或振动次数在相应的预计地震震级限度之内，即可判定土样液化。

2 共振柱试验可用于测定小动应变时的动弹性模量和动阻尼比。

18.4 岩石试验

18.4.1 岩石的试验包括颗粒密度、块体密度、吸水性试验，软化或崩解试验，膨胀试验，抗压、抗剪、抗拉试验等，具体项目应根据工程需要确定。

18.4.2 单轴抗压强度试验根据需要选择测定干燥状态、天然状态、饱和状态下的强度，试件高径比宜为 2.0~2.5，非标准试件结果按相关公式进行换算。

18.4.3 岩石抗剪试验，可沿节理面、层面等薄弱环节进行，应在不同法向应力下

测定；也可测定岩石的抗剪强度。

18.4.4 抗拉强度试验可在试样直径方向上施加一对线性荷载，使试样沿直径方向破坏，间接测定岩石的抗拉强度。

18.4.5 岩石的弹性模量和泊松比，可根据单轴压缩变形试验测定，根据岩性不同选用电阻应变片法和千分表法。

18.4.6 当间接测定岩石的力学性质时，可采用点荷载试验和波速测试方法。

18.4.7 岩石的热物理参数参照土的热物理参数试验方法。

18.4.8 岩石名称应根据选择代表性岩石样品的岩矿鉴定结果定名。

19 水和土腐蚀性的评价

19.1 一般规定

19.1.1 市域（郊）铁路勘察应取水试样或土试样进行腐蚀性试验，并按本章规定评定其对建筑材料的腐蚀性。土对钢结构腐蚀性的评价可根据工程需要和任务要求进行。

19.1.2 市域(郊)铁路环境水和土的腐蚀性试验及评价应按照不同的工程类型采用不同的判定标准：

1 对于市域(郊)铁路中的路基、桥涵、隧道等线路工程周边环境水和土的侵蚀性判别应符合现行《铁路混凝土耐久性设计规范》TB 10005 中的相关规定，环境水、土对混凝土侵蚀性的判定标准见附录 J. 0. 1～J. 0. 3；

2 对于市域(郊)铁路的车站、车辆基地、配套设施等房屋建筑工程周边环境水和土的腐蚀性评价应符合现行《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定，见附录 J. 0. 4～J. 0. 7。

19.2 取样

19.2.1 混凝土结构处于地下水位以上时，应取土试样作土的腐蚀性测试。

19.2.2 混凝土结构处于地下水或地表水中时，应取水试样作水的腐蚀性测试。

19.2.3 混凝土结构部分处于地下水位以上、部分处于地下水位以下时，应分别取土试样和水试样作腐蚀性测试。

19.2.4 水试样和土试样应在混凝土结构所在的深度采取，每个场地不应少于 2 件；当土中盐类成分和含量分布不均匀时，应分区分层取样，每区、每层不应少于 2 件；车辆基地适当增加。

19.3 水和土的腐蚀性试验

19.3.1 水对混凝土结构腐蚀性的测试项目包括 pH 值、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、

HCO₃⁻、CO₃²⁻、侵蚀性 CO₂、游离 CO₂、NH₄⁺、OH⁻、总矿化度。

19.3.2 土对混凝土结构腐蚀性的测试项目包括 pH 值、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻、CO₃²⁻的易溶盐(土水比 1:5)分析。

19.3.3 土对钢结构的腐蚀性的测试项目包括 pH 值、氧化还原电位、极化电流密度、电阻率、质量损失。

19.3.4 腐蚀性测试项目的试验方法应符合表 19.3.4 的规定。

表 19.3.4 腐蚀性试验方法

序号	试验项目	试验方法
1	pH	电位法或锥形玻璃电极法
2	Ca ²⁺	EDTA 容量法
3	Mg ²⁺	EDTA 容量法
4	Cl ⁻	摩尔法
5	SO ₄ ²⁻	EDTA 容量法或质量法
6	HCO ₃ ⁻	酸滴定法
7	CO ₃ ²⁻	酸滴定法
8	侵蚀性 CO ₂	盖耶尔法
9	游离 CO ₂	碱滴定法
10	NH ₄ ⁺	钠氏试剂比色法
11	OH ⁻	酸滴定法
12	总矿化度	质量法
13	氧化还原电位	铂电极法
14	极化电流密度	原位极化法
15	电阻率	四极法
16	质量损失	管罐法

20 周边环境专项调查

20.1 一般规定

20.1.1 工程周边环境专项调查范围、对象及内容，可根据工程设计方案、环境风险等级、工程地质、水文地质及施工工法等条件确定。

20.1.2 工程周边环境专项调查应在取得工程沿线地形图、管线及地下设施分布图等资料的基础上，采用实地调查、资料调阅、现场探测等多种手段相结合的综合方法开展工作。

20.1.3 工程周边环境调查宜分阶段进行，满足各设计阶段对环境调查的范围和深度要求。

1 可行性研究阶段应通过收集地形图、管线图等方式获取工程周边环境资料。对影响线路方案的重要工程周边环境，需进行重点调查，为线路敷设形式、施工方法等方案的设计与比选、技术经济论证、工程周边环境保护方案提供依据；

2 初步勘察阶段，依据线路平面图、线路纵断面图、施工方法等有关设计文件、沿线地下设施分布图等基础资料，对线路、站场影响范围内的建（构）筑物实地调查走访，进行必要的现场探测等手段对工程周边环境现状进行全面调查；

3 详细勘察阶段应根据工程设计条件变化或工程需要，补充完善工程周边环境资料。调查了解工程周边环境与工程的相互影响（工程降水、岩土开挖等），分析地质与周边环境条件的变化对工程可能造成的危害。对影响工程施工安全的地下管线、地表水体渗漏等情况，必要时应进行专项调查。

20.2 调查要求

20.2.1 工程周边环境的调查范围应根据线路及站场位置、敷设方式、埋置深度、结构形式、施工方法、地质条件及工程周边环境重要性等因素综合确定。

20.2.2 线路、高架线工程的调查范围不小于线路结构外边线两侧各 30m。

20.2.3 根据施工工法，地下工程调查范围可按下表确定。

表 20.2.3 地下工程调查范围表

工法类别	调查范围	备 注
明（盖）挖法工程	不小于基坑结构外边线两侧各 30m (或 3H, 取大值)	H—基坑设计开挖深度
盾构法工程	不小于隧道结构外边线两侧各 30m (或 3H _i 、3D, 取最大值)	H _i —隧道设计底板埋深 D—盾构隧道设计外径
沉管法工程	不小于隧道结构外边线两侧各 30m (或 3H _i 、3D, 取最大值)	H _i —隧道设计底板埋深 D—沉管法隧道设计外径
矿山法工程	不小于隧道结构外边线两侧各 30m (或 3H _i 、3B, 取最大值)	H _i —隧道设计底板埋深 B—隧道设计开挖宽度

注：各地可根据本地区地质条件和工程经验等，适当调整调查范围。

20.3 调查内容

20.3.1 工程周边环境专项调查的内容主要包括环境类型、权属单位、使用单位、管理单位、使用性质、建设年代、设计使用年限、地质资料、设计文件、变形要求、与工程的空间关系、相关影像资料等。

20.3.2 建（构）筑物应重点调查建（构）筑物的平面位置、上部结构形式、地基基础形式与埋深、持力层性质，基坑支护、桩基或地基处理设计、施工参数，建（构）筑物的沉降观测资料等。

20.3.3 地下构筑物及人防工程应重点调查工程的平面图、结构形式、顶板和底板标高、工程施工方法以及使用、充水情况等。

20.3.4 地下管线应重点调查管线的平面位置、类型、埋深（或高程）、铺设方式、材质、管节长度、接口形式、介质类型、工作压力、节门位置等。

20.3.5 既有城市轨道交通线路与铁路应重点调查下列内容：

- 1 地下结构调查应包括结构的平面图、剖面图，地基基础形式与埋深，隧道断

面形式与尺寸、支护形式与参数，施工方法；

2 高架线路调查应包括桥梁的结构形式、墩台跨度与荷载、基础桩桩位、桩长、桩径等；

3 地面线路调查应包括路基的类型、结构形式、道床类型，涵洞与支挡结构形式以及地基基础形式与埋深。

20.3.6 城市道路及高速公路应重点调查下列内容：

1 路基调查应包括道路的等级、路面材料、路堤高度、路堑深度；支挡结构形式及地基基础形式与埋深；

2 桥涵调查应包括桥涵的类型、结构形式、基础形式、跨度，桩基或地基加固设计、施工参数等。

20.3.7 文物建筑应重点调查文物建筑的平面位置、名称、保护等级、保护控制范围、结构形式、地基基础形式与埋深等。

20.3.8 水工构筑物应重点调查构筑物的类型、结构形式、地基基础形式与埋深、使用现状等。

20.3.9 架空线缆应重点调查架空线缆的类型、走廊宽度、线塔地基基础形式与埋深、线缆与线路的交汇点坐标、悬高等。

20.3.10 地表水体应重点调查水位、水深、水体底部淤积物及厚度、防渗措施，河流的流量、流速、水质及河床宽度，河床冲刷深度等。河流、沟道岸坡结构型式、断面尺寸、基础形式及基础深度等。

20.3.11 边坡、高切坡需重点调查边坡的支挡结构形式、地基基础形式、设计参数、施工工艺、排水设施、边坡允许变形量及变形观测资料、破损及渗漏情况等内容。

20.3.12 地下障碍物调查应包括影响隧道施工的地下空洞、古井、降水井、取水井、古墓葬、遗留桩基、锚杆（锚索）、抛石、沉船等。

20.3.13 周边在建和待建项目的工程资料及建设计划。

20.4 成果资料

20.4.1 建（构）筑物调查成果资料的整理应符合下列规定：

1 编制调查报告，报告内容包括文字报告、调查对象成果表、调查对象平面位置图、调查对象的影像资料等；

2 文字报告主要包括：工程概况、调查目的和依据、调查范围和内容、调查方法和手段、工作量完成情况、调查成果及资料说明，初步分析工程与建（构）筑物的相互影响、提出有关的措施和建议，说明调查工作遗留问题；

3 调查对象成果表主要包括：名称、产权单位、使用单位、使用性质、修建年代、地上和地下层数、地基基础形式与埋深等；

4 调查对象应在平面位置图上进行标识；

5 工程周边环境调查报告中应详细说明资料获取方式及来源。

20.4.2 地下管线探测成果资料整理应符合现行行业标准《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61 有关报告书编制的要求。

21 岩土工程分析评价和成果报告

21.1 一般规定

21.1.1 市域（郊）铁路岩土工程勘察报告，应在搜集已有资料、工程地质调绘、物探、勘探、原位测试、室内试验和水文地质试验成果的基础上，结合勘察阶段、工程特点、施工方法和设计要求进行岩土工程分析与评价，提出地质条件可能造成的工程风险及防治措施的建议，提供工程场地的工程地质、水文地质资料及设计所需的岩土参数。

21.1.2 勘察报告应资料真实、内容完整、逻辑清晰，文字、表格、图件互相印证；文字、标点符号、术语、数字和计量单位等应符合国家有关标准的规定。

21.1.3 勘察报告中的岩土工程分析评价，应论据充分、因地制宜、重点突出、有明确的工程针对性，所提建议应技术可行、经济合理、安全适用。

21.1.4 可行性研究阶段岩土工程勘察报告宜按照线路编制，初步勘察阶段岩土工程勘察报告宜按照线路编制或按照地质单元、线路敷设形式编制，详细勘察阶段岩土工程勘察报告宜按照车站、区间、车辆基地等分别编制；报告中应统一全线地质单元、工程地质和水文地质分区、岩土分层的划分标准。

21.2 岩土参数的分析和选定

21.2.1 岩土参数应根据工程特点和地质条件选用，并按下列内容评价其可靠性和适用性。

- 1 取样方法和其他因素对试验结果的影响；
- 2 采用的试验方法和取值标准；
- 3 不同测试方法所取得的分析比较；
- 4 测试结果的离散程度；
- 5 测试方法与计算模型的配套性。

21.2.2 岩土原位测试及室内试验的参数统计应根据钻探、井探、槽探、洞探等记录及工程地质调绘、室内试验、原位测试、物探成果，进行工程地质分区及岩土分

层，并进行岩土指标统计。并应符合下列规定：

- 1 按不同地质单元进行分层统计；
- 2 子样的取舍宜考虑数据的离散程度和已有经验；
- 3 一般情况下，应提供岩土参数的统计样本数、最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数等。承载能力极限状态设计所需的岩土参数应提供标准值；
- 4 当变异系数较大时，应分析误差原因，提出建议值；
- 5 静力触探测试参数应提供分层统计值，并计算厚度加权平均值或最小平均值。

21.2.3 岩土参数统计应按下列公式计算平均值 ϕ_m 、标准差 σ_f 、变异系数 δ 和标准值 ϕ_k 。

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_i}{n} \quad (21.2.3-1)$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \phi_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \phi_i)^2}{n} \right]} \quad (21.2.3-2)$$

式中 ϕ_i -----岩土参数的实测值；
 ϕ_m -----岩土参数的计算平均值；
 n -----岩土参数的统计数量。

岩土参数的变异系数 δ 应按下式确定：

$$\delta = \sigma_f / \phi_m \quad (21.2.3-3)$$

岩土参数的标准值 ϕ_k 应按下式确定：

$$\phi_k = \gamma_s \phi_m \quad (21.2.3-4)$$

$$\gamma_s = 1 \pm \left(\frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right) \delta \quad (21.2.3-5)$$

式中 ϕ_k -----岩土参数的标准值；
 γ_s -----统计修正系数，式中正负号按不利组合考虑，如抗剪强度指标的

修正系数应取负号。

21.2.4 岩土参数选用应符合下列要求：

- 1 评价岩土性状的指标：天然含水率、天然密度、液限、塑限、塑性指数、液性指数、饱和度、相对密度、吸水率等，宜选用参数的平均值；
- 2 正常使用极限状态计算所需的岩土参数指标：压缩系数、压缩模量、渗透系数，宜选用参数的平均值。当变异性较大时，可根据经验作适当调整；
- 3 承载力极限状态计算所需的岩土参数：岩土抗剪强度指标，宜选用参数的标准值；
- 4 静力触探测试参数宜选用厚度加权平均值；
- 5 载荷试验承载力指标宜取参数的特征值。

21.3 岩土工程分析评价的基本内容

21.3.1 勘察报告中的岩土工程分析评价应在勘探、测试及指标统计分析等工作的基础上，结合工程特点和要求进行；评价应针对拟建场地和地基基础进行，应评价场地稳定性和工程建设适宜性，以及地质条件可能造成的工程风险，提出防治措施建议，提供设计所需的岩土参数。应包括下列内容：

- 1 评价工程建设场地的稳定性、适宜性；
- 2 评价地基基础，分析与评价地下工程、桥梁工程、路基及各类建筑工程的地基基础形式、地基承载力及变形，提出地基基础方案建议，提供设计所需的岩土参数；
- 3 分析与评价不良地质作用及特殊性岩土对工程影响，避让或防治措施的建议；
- 4 评价场地地震效应，划分场地类别，划分对建筑抗震有利、一般、不利和危险的地段，评价地震液化和震陷的可能性；对可液化场地应评价液化等级和危害程度，提出抗液化措施的建议；
- 5 分析围岩、边坡稳定性和变形，提出支护方案和施工措施的建议；

- 6 预测工程建设与工程周边环境相互影响、提出防治对策的建议；
- 7 分析地下水对工程的静水压力、浮托作用；
- 8 评价水和土对建筑材料的腐蚀性；
- 9 评价地质条件可能造成的工程风险。

21.3.2 明挖法施工应重点分析评价下列内容：

- 1 分析基底隆起、基坑突涌的可能性，提出基坑开挖方式及支护方式的建议；
- 2 分析支护桩、墙类型，连续墙、立柱桩的持力层和承载力；
- 3 分析软弱结构面空间分布、特性及其对边坡、坑壁稳定的影响；
- 4 分析岩土层的渗透性及地下水动态，评价排水、降水、截水等措施的可行性，
当需进行地下水控制时，应提出所需水文地质参数及防治措施建议；
- 5 分析基坑开挖过程中可能出现的岩土工程问题，以及对附近地面、邻近建（构）筑物和管线的影响，提出环境保护和监测建议。

21.3.3 盾构法施工应重点分析评价下列内容：

- 1 根据岩土层特征，提供岩土压力、水压力、土的颗粒组成及特征参数，土的渗透系数、岩石质量指标等相关参数，提出盾构机选型应注意的地质问题；
- 2 分析浅层气等不良地质对盾构掘进的不利影响，并提出防治措施建议；
- 3 评价复杂地质条件以及河流、湖泊等地表水体对盾构施工的影响；
- 4 提出在软硬不均地层中开挖措施及开挖面障碍物处理方法建议；
- 5 分析联络通道、区间工作井等部位岩土工程条件，提出开挖支护工法等建议；
- 6 分析盾构施工可能造成的土体变形，评价地面隆沉对工程周边环境的影响，
提出防治措施建议。

21.3.4 沉管法施工应重点分析评价下列内容：

- 1 评价沉管隧道开挖范围内土层适宜性；
- 2 提供隧道设计施工所需的岩土参数；
- 3 根据隧道影响范围内粉性土或砂土、承压含水层、浅层天然气分布情况，分
析评价其对隧道设计和施工可能产生的影响，提出处理措施的建议；

4 根据沿线地下设施及障碍物调查报告，分析评价其对设计和施工的不利影响，以及隧道施工对环境的不利影响，并提出处理建议；

5 对涉及水域隧址工程，可根据河床断面图、河势演变分析报告，分析评价河床冲淤变化对工程的不利影响，并提出防治措施的建议。

21.3.5 矿山法施工应重点分析评价下列内容：

1 根据岩土及地下水的特性，进行围岩分级，评价隧道围岩的稳定性，提出隧道开挖方式、超前支护形式等建议；分析评价洞口仰坡及两侧边坡的稳定性，提出洞口边坡支护措施建议；评价分析隧道洞口危岩、落石的危害性，提出处理措施建议；

2 分析不良地质作用和特殊岩土的情况，指出可能出现坍塌、冒顶、边墙失稳、洞底隆起、涌水或突水等地段，提出防治措施的建议；

3 分析隧道开挖引起的地面变形及影响范围，提出环境保护措施的建议；

4 采用爆破法施工时，分析爆破可能产生的影响及范围，提出防治措施的建议；

5 分析地表水体与隧道的水力联系，提出隧道防排水和防止地表水流失的建议。

21.3.6 桥涵工程应重点分析评价下列内容：

1 分析岩土层的特征，建议天然地基、桩端持力层，评价天然地基承载力、桩基承载力，提供变形计算所需的岩土参数；

2 根据岩土层的特征和物理力学指标，提出桩的类型、入土深度的建议，评价成桩的可能性，指出成桩过程中应注意的问题；

3 分析评价岩溶、土洞等不良地质作用和膨胀土、填土特殊性岩土对桩基稳定性和承载力的影响，提出防治措施的建议。

21.3.7 路基工程应重点分析评价下列内容：

1 路基持力层，支挡结构天然地基持力层比选与建议；

2 对路基的强度和稳定性、沉降变形进行分析评价，提出地基处理建议，提供设计所需的岩土参数；

3 对不良地质作用和特殊性岩土地基处理方法的建议；

4 提出应注意的问题和检测建议。

21.3.8 地面建筑物、构筑物的岩土工程分析评价，应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 的有关规定。

21.3.9 工程建设对工程周边环境影响的分析评价可包括下列内容：

1 基坑开挖、隧道掘进和桩基施工等可能引起的地面沉降、隆起和土体的水平位移，对邻近建（构）筑物及地下管线的影响；

2 工程建设导致地下水位变化、区域性降落漏斗、水源减少、水质恶化、地面沉降、生态失衡等情况，提出防治措施的建议；

3 工程建成后或运营过程中，可能对周围岩土体、工程周边环境的影响，提出防治措施的建议。

21.4 勘察报告的基本要求

21.4.1 勘察报告应符合下列基本规定：

1 各阶段勘察成果应具有连续性、完整性；

2 相邻区段、相邻工点的衔接部位或不同线路交叉部位勘察成果资料应互相利用、保持一致；

3 勘探点平面图宜取合适的比例尺，图上应包含地形、线位、站位、里程、结构轮廓线等；

4 绘制工程地质纵断面图时，勘探点宜投影至线路断面上，工程地质纵断面图应包含公里标、地面高程、线路及车站断面等；

5 地质构造图、区域交通位置图等平面图应包括线路位置和必要的车站、区间名称的标识；

6 勘察报告中的图例应符合相关规定。

21.4.2 勘察报告的内容组成应包括文字部分、表格、图件，重要的支持性资料可作为附件；勘察报告应有单位公章、相关责任人签章；图表应有名称、项目名称及相关责任人签字。

21.4.3 勘察报告的文字部分应根据任务要求、勘察阶段、工程特点和地质条件等编写，并应包括下列内容：

- 1 拟建工程概况；
- 2 勘察目的、任务要求和依据的技术标准；
- 3 勘察方法和勘察工作布置；
- 4 场地地形、地貌、地层、地质构造、岩土性质及其均匀性；
- 5 场地各岩土层的物理力学性质指标，提供设计所需岩土参数；
- 6 地下水埋藏情况、类型、水位及其变化，需要地下水控制时提供相关水文地质参数；
- 7 土和水的腐蚀性评价；
- 8 可能影响工程稳定的不良地质作用、特殊性岩土，及其对工程危害程度的评价；
- 9 场地的地震效应评价；
- 10 场地稳定性和适宜性的评价；
- 11 地基基础分析评价；
- 12 地质条件造成的工程风险提示；
- 13 结论和建议
- 14 其他需要说明的问题。

21.4.4 勘察报告的表格宜包括下列内容：

- 1 勘探点主要数据一览表；
- 2 标准贯入试验、静力触探等原位测试，岩土室内试验、水质分析、抽水试验等成果表；
- 3 标准贯入试验、静力触探等原位测试，岩土层室内试验统计汇总表，地震液化判别成果表；
- 4 各岩土层物理力学性质指标综合统计表及参数建议值表；
- 5 其他的相关分析表格。

21.4.5 勘察报告的图件宜包括下列内容：

- 1 区域地质构造图、水文地质图；
- 2 线路综合工程地质图、工程地质及水文地质单元分区图、工程地质及水文地质分区图；
- 3 水文地质试验成果图；
- 4 勘探点平面布置图，工程地质纵、横断（剖）面图；
- 5 钻孔柱状图；
- 6 室内土工试验、岩石试验成果图；
- 7 波速、电阻率测井试验成果图，静力触探、载荷试验等原位测试曲线图；
- 8 必要时提供填土、软土及基岩埋深等值线图；
- 9 其他相关图件。

21.4.6 勘察报告可附室内土工试验、岩石试验、岩矿鉴定、水质分析等试验原始记录和波速、电阻率测井等试验报告。

21.4.7 专项勘察报告的内容组成，可根据专项勘察的目的、要求参照本标准第 21.4.3 条～第 21.4.6 条执行；工程周边环境调查报告应符合本标准第 20.3 节的要求。

22 现场检验和监测

22.1 一般规定

22.1.1 现场检验、监测方法可根据工程类型、岩土条件及周边环境采用现场观察、试验、仪器量测等手段；必要时，建立信息化监测平台。

22.1.2 现场检验和监测应在工程施工期间进行。对有特殊要求的工程，应根据工程特点，确定必要的项目，在使用期间内继续进行。

22.1.3 现场检验和监测记录、数据和图件，应保持完整，并按要求整理分析，及时向有关方报送。当监测数据接近危及工程的临界值时，必须加密监测并及时报告。现场检验和监测完成后，应提交成果报告。

22.2 现场检验

22.2.1 现场检验包括基槽、基坑、路基、隧道、桥涵工程等检验。基槽、基坑、路基开挖后及隧道开挖过程中，应检验地基和围岩的地质条件与勘察报告是否一致，遇到异常情况时，应提出处理措施或修改设计的建议，当与勘察报告有较大差异时宜进行施工勘察。

22.2.2 基槽、基坑、路基开挖后地基检验应包括下列内容：

- 1 岩土分布、均匀性和特征；
- 2 地下水的水位标高、随季节变化情况及渗流状态，与周边水体的水力联系；
- 3 检查是否有暗浜、古井、古墓、洞穴、防空掩体及地下埋设物，并查清其位置、深度、性状；
- 4 检查地基、路基是否受到施工的扰动，及扰动的范围和深度；
- 5 冬季、雨季施工时应注意检查地基、路基的防护措施，地基、路基土质是否受冻、浸泡和冲刷、干裂等，并查明影响的范围和深度；
- 6 对土质地基，可采用轻型圆锥动力触探进行检验。

22.2.3 隧道围岩检验应包括下列内容：

- 1 开挖揭露的围岩性质、分布和特征、地下水条件是否与勘察报告一致；
- 2 地下水渗漏情况；
- 3 工作面岩土体的稳定状态；
- 4 围岩超挖或坍塌情况；
- 5 根据开挖揭露的岩土情况，对围岩分级进行确认或修正。

22.2.4 桥涵工程的桩基应通过试钻或试打，检验岩土条件是否与勘察报告吻合。如遇异常情况，应提出处理措施。对大直径挖孔桩，应逐桩检验孔底尺寸和岩土情况。

22.2.5 现场检验应填写检验报告，必要时绘制开挖面实际地层素描图或拍照。

22.2.6 地基处理效果检验应符合行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 和国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的规定。

22.3 现场监测

22.3.1 现场监测主要为工程施工阶段监测，包括支护结构、地基沉降、地下水、不良地质作用和地质灾害、工程周边环境的监测等。

22.3.2 现场监测应根据工程特点、地质条件、施工工法与工艺的需要及工程周边环境条件确定监测项目、监测方法。

22.3.3 明挖法支护结构施工监测，应根据场地条件和开挖支护的施工设计确定，并应包括下列内容，基坑支护结构监测应符合行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定：

- 1 支护结构的变形；
- 2 基坑周边的地面变形；
- 3 邻近工程和地下设施的变形；
- 4 地下水位；
- 5 渗漏、冒水、冲刷、管涌等情况。

22.3.4 盾构法支护结构施工监测的内容主要包括：管片沉降与隆起、管片净空收

敛与内力。

22.3.5 遇下列情况应对市域铁路工程结构进行沉降监测，沉降监测方法和要求应符合国家标准《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897、《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308 及行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定。

- 1 地质条件复杂、地基软弱或采用人工加固地基；
- 2 因地基变形、局部失稳影响工程结构安全时；
- 3 受力条件复杂的工程结构、设计有特殊要求的工程结构；
- 4 采用新的施工技术时；
- 5 地面沉降等不良地质发育区段；
- 6 受附近深基坑开挖、隧道开挖、工程降水等施工影响的工程结构。

22.3.6 地下水的监测应在下列情况下进行，地下水施工监测项目主要包括：地下水位、孔隙水压力、地下水压力等，监测工作布置应根据监测目的、场地条件、工程要求和水文地质条件确定。

- 1 地下水位升降影响岩土稳定时；
- 2 地下水位上升产生浮托力对地下室或地下构筑物的防潮、防水或稳定性产生较大影响时；
- 3 地下水位下降对拟建工程、相邻工程或周边环境有较大影响时；
- 4 施工或环境条件改变，造成的孔隙水压力、地下水压力变化，对工程设计或施工有较大影响时；
- 5 地下水位的下降造成区域性地面沉降时；
- 6 地下水位升降可能使岩土产生软化、湿陷、胀缩时。

22.3.7 不良地质作用和地质灾害的监测，应根据场地及其附近的地质条件和工程实际需要编制监测纲要，按纲要进行。纲要内容包括：监测目的和要求、监测项目、测点布置、观测时间间隔和期限、观测仪器、方法和精度、应提交的数据、图件等，并及时提出灾害预报和采取措施的建议。下列情况需要对不良地质作用和地质灾害进行监测：

- 1 场地及其附近有不良地质作用或地质灾害，并可能危及工程的安全或正常使

用时；

- 2 工程建设和运行，可能加速不良地质作用的发展或引发地质灾害时；
- 3 工程建设和运行，对附近环境可能产生显著不良影响时。

22.3.8 周边工程的监测应符合相关规范和管理部门的要求。工程周边环境的施工监测项目主要包括：地表、建（构）筑物、地下管线、道路桥梁、既有城市轨道交通线路、铁路及其它基础设施的沉降、隆起、水平位移和裂缝；在工程施工影响范围内应有量测点控制，测点应重点布置在预估变形和内力较大部位、影响工程和工程周边环境安全的关键部位、地质条件复杂的部位及设计特殊要求的部位等；监测频率应结合工程特点、施工状况、地质条件和工程周边环境条件等确定，当监测值达到不同的预警状况时，应调整相应的监测频率并及时报警；对于特别重要的建（构）筑物，应设置自动监测设施，自动采集数据、自动传输、自动预警。

23 勘察信息化

23.1 一般规定

23.1.1 勘察信息化宜包括项目管理、数据采集与处理、成果制作、数据管理与应用等，并宜通过勘察信息化系统实现数据的共享和管理。

23.1.2 勘察信息化宜根据工程特点和管理需求，通过移动互联网、物联网、GIS、云计算等信息化技术，建立作业管理、监控和数据采集、统计、处理的信息平台，实现项目管理、数据采集与处理、成果制作和数据管理与应用的全流程数字化和信息化。

23.1.3 项目管理宜采用管理系统实现勘察作业计划、进度、质量、安全等管控，支持项目文件的在线审批、流转与数字化归档，实现全过程信息化管理。

23.1.4 勘察信息化应基于可靠的数据采集、处理、共享与传递方式，确保数据的可追溯性，以及数据的准确性、完整性和有效性。

23.1.5 勘察信息数据在存储、应用、共享、传递等过程中，应执行相关保密管理规定。

23.2 数据采集与处理

23.2.1 勘察数据采集与处理应根据各种勘察方法的数字化、自动化程度，积极采用智能移动终端、视频监控、空天遥感和无人机等设备与软件，实现勘察数据的自动记录、采集、传输与处理。

23.2.2 勘察数据采集与处理，宜根据各种勘察方法原理、采集内容、数据类型等，进行数据分类、编码，并建立便于数据存储、管理、查询和应用的数据库。

23.2.3 基础资料采集宜优先收集数字化的地形图、地质图、专题图件或各种矢量地图、数字高程模型、数字正射影像和数字线化图等数据资料，非数字化基础资料应根据工程类型和勘察要求等，进行电子化、矢量化、空间投影转换、坐标转换等处理。

23.2.4 外业数据采集宜以智能终端为载体，建立数据采集与交互接口，并通过移动互联网传输。

23.2.4 数据处理宜通过计算机、仪器、工具软件等进行，数据处理方法应满足不同勘察方法及目的的要求。

23.2.5 数据处理宜建立数据标准格式，统一地质要素及编码，相关岩土分类、命名、描述等地质属性信息标准应符合本规范的相关规定。

23.2.6 勘察成果图件采用三维地质模型表达时，应根据不同阶段、不同工程对象、不同应用层次的需求对数据进行范围截取、筛选、格式转换等处理，并在满足精度要求条件下进行冗余数据的消除处理。

23.3 成果制作

23.3.1 成果制作应满足对勘察成果资料基于信息化手段获取信息的需求，宜采用勘察信息化系统，具备数据统计与图形转换功能，可自动生成各类统计表格、成果图件。

23.3.2 成果制作宜实现多源、异构、多时空、多尺度勘察数据的集成融合。

23.3.3 勘察成果数据宜具有空间信息和属性信息，其中空间信息中各类要素间拓扑关系正确，属性信息完整、准确。

23.3.4 成果制作中的符号、线型、图例等制图规格应满足《铁路工程制图标准》TB/T10058、《铁路工程图形符号标准》TB/T10059 等规范要求。

23.3.5 勘察成果电子文件应采用便于使用、存储和交互的文件格式，当采用数据存储时，应采用便于存储、查询和管理的数据格式。

23.3.6 宜结合工程需要，提供地质三维信息模型，模型数据宜具备空间信息及拓扑关系，成果资料宜包括三维地质模型电子文件、与三维地质模型版本一致的地质数据库电子文件、三维地质模型说明书等。

23.4 数据管理与应用

23.4.1 勘察数据管理与应用应遵循统筹规划、分级管理、安全可控、充分利用的原则，勘察数据宜建立数据库及勘察信息化系统进行管理，并满足数据共享、更新和扩展的需求。

23.4.2 勘察数据存储或管理应遵循“一数一源、一源多用”原则，除法律法规另有规定外，能通过共享方式获取的数据，应避免重复存储，保证源头唯一性和数据一致性。

23.4.3 勘察数据宜按照项目名称、勘察阶段、成果类型、工点名称等分层级存储，与空间位置相关的勘察数据应同时存储所关联的空间位置信息。

23.4.4 勘察信息化系统应按国家及铁路行业相关规定确定安全防护等级，在物理环境、通信网络、区域边界及计算环境等方面进行安全设计与建设，确保网络建设合规、安全防护到位。

附录 A 岩石坚硬程度的定性划分

A.0.1 岩石坚硬程度等级可按表 A.0.1 定性划分。

表 A.0.1 岩石坚硬程度等级的定性分类

坚硬程度等级		单轴饱和抗压强度 f_r (MPa)	定性鉴定	代表性岩石
硬 质 岩	坚硬岩	$f_{rr} > 60$	锤击声清脆，有回弹，震手，难击碎，基本无吸水反应	未风化～微风化花岗岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英岩、石英砂岩、硅质砾岩、硅质石灰岩等
	较硬岩	$30 < f_r \leq 60$	锤击声较清脆，有轻微回弹，稍震手，较难击碎，有轻微吸水反应	1 微风化坚硬岩； 2 未风化～微风化大理岩、板岩、石灰岩、白云岩、钙质砂岩等
软 质 岩	较软岩	$15 < f_r \leq 30$	锤击声不清脆，无回弹，较易击碎，浸水后指甲可刻出印痕	1 中等风化～强风化的坚硬岩或较硬岩； 2 未风化～微风化凝灰岩、千枚岩、泥灰岩、砂质泥岩等
	软岩	$5 < f_r \leq 15$	锤击声哑，无回弹，有凹痕，易击碎；浸水后可掰开	1 强风化的坚硬岩或较硬岩； 2 中等风化～强风化的较软岩； 3 未风化～微风化的页岩、泥岩、泥质砂岩等
极软岩		$f_r \leq 5$	锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，手可捏碎；浸水后，可捏成团	1 全风化的各种岩石； 2 各种半成岩

附录 B 岩石按风化程度分类

B.0.1 岩石风化程度可按表 B. 0. 1 划分。

表 B. 0. 1 岩石按风化程度分类

风化程度	野外及岩芯特征	风化程度参数指标		
		波速比 (K_p)	风化系数 (K_f)	纵波速度 v_p (m/s)
未风化	岩质新鲜，结构和构造未变，偶见风化痕迹	$K_p > 0.9$	$K_f > 0.9$	硬质岩： $v_p > 5000$ ； 软质岩： $v_p > 4000$
微风化	结构和构造基本未变，仅节理面有铁锰质渲染或矿物略有变色，有少量风化裂隙	$0.8 < K_p \leq 0.9$	$0.8 < K_f \leq 0.9$	硬质岩： $4000 < v_p \leq 5000$ ； 软质岩： $3000 < v_p \leq 4000$
中等风化	1 组织结构部分破坏，矿物成分基本未变，仅沿节理面出现次生矿物，风化裂隙发育； 2 岩体被节理、裂隙分割成块状 200mm~500mm；硬质岩，锤击声脆，且不易击碎；软质岩，锤击易碎； 3 用镐难挖掘，用岩芯钻方可钻进；	硬质岩： $0.6 < K_p \leq 0.8$ ； 软质岩： $0.5 < K_p \leq 0.8$	硬质岩： $0.4 < K_f \leq 0.8$ ； 软质岩： $0.3 < K_f \leq 0.8$	硬质岩： $2000 < v_p \leq 4000$ ； 软质岩： $1500 < v_p \leq 3000$
强风化	1 组织结构已大部分破坏，矿物成分已显著变化； 2 岩体被节理、裂隙分割成碎石状 20mm~200mm，碎石用手可折断； 3 用镐可以挖掘，用干钻不易钻进；	硬质岩： $0.4 < K_p \leq 0.6$ ； 软质岩： $0.3 < K_p \leq 0.5$	硬质岩： $K \leq 0.4$ ； 软质岩： $K \leq 0.3$	硬质岩： $1000 < v_p \leq 2000$ ； 软质岩： $700 < v_p \leq 1500$
全风化	1 结构已基本破坏，但尚可辨认； 2 岩石已风化成坚硬或密实土状，可用镐挖，可干钻钻进； 3 需用机械刨松方能铲挖满载；	硬质岩： $0.2 < K_p \leq 0.4$ ； 软质岩： $0.2 < K_p \leq 0.3$ ；	—	硬质岩： $500 < v_p \leq 1000$ ； 软质岩： $300 < v_p \leq 700$
残积土	1 组织结构全部破坏，已风化成土状，锹镐易挖掘，干钻易钻进，具可塑性	$K_p < 0.2$	—	—

注：1 波速比 K_p 为同一种岩石风化岩石与未风化岩石压缩波速之比；
2 风化系数 K_f 为同一种岩石风化岩石与未风化岩石饱和单轴抗压强度之比；
3 岩石风化程度，除按列表野外特征和定量指标划分外，也可根据当地经验划分；
4 花岗岩类岩石， $N \geq 50$ 为强风化； $30 \leq N < 50$ 为全风化； $N < 30$ 为残积土；
5 泥岩和半成岩，可不进行风化程度划分。

附录 C 岩体结构类型分类

C.0.1 岩体结构类型可按表 C.0.1 划分。

表 C.0.1 岩体结构类型分类

岩体结构类型	岩体地质类型	结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特征	可能发生的岩土工程问题
整体状结构	巨块状岩浆岩和变质岩，巨厚层沉积岩	巨块状、巨厚层状	以层面和原生构造节理为主，多呈闭合型，间距大于 1.0m，一般为 1 组~2 组，无危险结构面组成的落石掉块	岩体稳定，可视为均质弹性各向同性体	局部滑动或坍塌，深埋洞室的岩爆
块状结构	厚层状沉积岩，块状岩浆岩和变质岩	厚层状块状柱状	具少量贯穿性节理裂隙，结构面间距多数大于 0.4m，一般 2 组~3 组，有少量分离体	结构面互相牵制，岩体基本稳定，接近弹性各向同性体	
层状结构	多韵律的薄层，中厚层状沉积岩、副变质岩	层状板状	有层理、片理、节理，常有层间错动，结构面间距一般为 0.2m~0.4m，一般为 3 组	接近均一的各向异性体，其变形和强度特征受层面及岩层组合控制，可视为弹塑性体，稳定性较差	可沿结构面滑塌，软岩可产生塑性变形
碎裂状结构	构造影响严重的破碎岩层	碎块状	断层、节理、片理、层理发育，结构面间距<0.2m，一般 3 组以上，有许多分离体	整体强度很低，并受软弱结构面控制，呈弹塑性体，稳定性很差	易发生规模较大的岩体失稳，地下水加剧失稳
散体状结构	断层破碎带，强风化及全风化带	碎屑状颗粒状	构造和风化裂隙密集，结构面错综复杂，多充填黏性土，形成无序小块和碎屑	完整性遭极大破坏，稳定性极差，接近松散体介质	易发生规模较大的岩体失稳，地下水加剧失稳

附录 D 碎石土的密实度

D.0.1 碎石土密实度野外鉴别可按表 D. 0. 1 执行。

表 D. 0. 1 碎石土密实度野外鉴别

密实度	天然坡及结构特征	可挖性	可钻性
松散~稍密	不能形成陡坡，坡面不稳定，易坍塌，天然坡度接近粗颗粒的休止角；骨架颗粒质量小于总质量的 60%，排列混乱，多数骨架颗粒不接触，而被充填物包裹，充填物分散	锹可以挖掘，井壁易坍塌，从井壁取出大颗粒后，立即塌落	钻进较易，钻杆稍有跳动，孔壁易坍塌
中密	天然坡不易陡立，局部掉块，坡角有堆积物，天然坡度大于粗颗粒的休止角；骨架颗粒质量等于总质量的 60%~70%，呈交错排列，大部分接触，充填物较密实	锹镐可挖掘，井壁有掉块现象，从井壁取出大颗粒处，能保持凹面形状	钻进较困难，钻具跳动不剧烈，孔壁有坍塌现象
密实	能形成陡坡，坡面稳定，无掉块；骨架颗粒质量大于总质量的 70%，呈交错排列，连续接触，孔隙填满，充填物密实	锹镐挖掘困难，用撬棍方能松动，井壁较稳定	钻进困难，钻具跳动剧烈，孔壁较稳定

D. 0. 2 当采用重型圆锥动力触探确定碎石土密实度时，锤击数 $N'_{63.5}$ 应按下式修正：

$$N'_{63.5} = \alpha_1 \times N_{63.5}$$

式中 $N'_{63.5}$ ——修正后的重型圆锥动力触探锤击数；

α_1 ——修正系数，按表 D. 0. 2 的规定取值；

$N_{63.5}$ ——实测重型圆锥动力触探锤击数。

表D.0.2 重型圆锥动力触探锤击数修正系数

$N'_{63.5}$ L (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	≥50
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
4	0.96	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.84
6	0.93	0.90	0.88	0.85	0.83	0.81	0.79	0.78	0.75
8	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77	0.75	0.73	0.71	0.67
10	0.88	0.83	0.79	0.75	0.72	0.69	0.67	0.64	0.61
12	0.85	0.79	0.75	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.55
14	0.82	0.76	0.71	0.66	0.62	0.58	0.56	0.53	0.50
16	0.79	0.73	0.67	0.62	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45
18	0.77	0.70	0.63	0.57	0.53	0.49	0.46	0.43	0.40
20	0.75	0.67	0.59	0.53	0.48	0.44	0.41	0.39	0.36

注：表中 L 为杆长。

D.0.3 当采用超重型圆锥动力触探确定碎石土密实度时，锤击数 N'_{120} 应按下式修正：

$$N'_{120} = \alpha_2 \times N_{120}$$

式中 N'_{120} ——修正后的重型圆锥动力触探锤击数；

α_2 ——修正系数，按表D.0.3的规定取值；

N_{120} ——实测重型圆锥动力触探锤击数。

表 D.0.3 超重型圆锥动力触探锤击数修正系数

N'_{120} L (m)	1	3	5	7	9	10	15	20	25	30	35	40
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.96	0.92	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88
3	0.94	0.88	0.86	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81
5	0.92	0.82	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72
7	0.90	0.78	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66

9	0.88	0.75	0.72	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.64	0.63	0.62	0.62
11	0.87	0.73	0.69	0.67	0.66	0.66	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58
13	0.86	0.71	0.67	0.65	0.64	0.63	0.61	0.60	0.58	0.57	0.56	0.55
15	0.86	0.69	0.65	0.63	0.62	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53
17	0.85	0.68	0.63	0.61	0.60	0.60	0.57	0.56	0.54	0.53	0.52	0.50
19	0.84	0.66	0.62	0.60	0.58	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50	0.48

注：表中 L 为杆长。

附录 E 隧道围岩分级

E.0.1 市域（郊）铁路隧道围岩分级应采用定性分析及定量分析相结合的方法综合确定。隧道围岩基本分级可按表 E.0.1-1 执行。

定性分析是根据岩土体的岩性、完整程度及结构类型、岩石的坚硬程度、开挖后的稳定状态确定分析；定量分析是根据岩体基本质量分级指标确定分析；

市域（郊）铁路隧道围岩分级应先确定基本围岩分级，再根据隧道地下水出水状态、初始地应力状态、主要结构面产状状态等因素进行修正。

表 E.0.1-1 隧道围岩基本分级

级别	岩体特征	土体特征	围岩基本质量 指标 BQ	围岩弹性 纵波速度 v_p (km/s)
I	坚硬岩，岩体完整	—	>550	A: >5.3
II	坚硬岩，岩体较完整； 较硬岩，岩体完整	—	$550 \sim 451$	A: $4.5 \sim 5.3$ B: >5.3 C: >5.0
III	坚硬岩，岩体较破碎； 硬岩或软硬岩互层，岩体较完整； 较软岩，岩体完整	—	$450 \sim 351$	A: $4.0 \sim 4.5$ B: $4.3 \sim 5.3$ C: $3.5 \sim 5.0$ D: >4.0
IV	坚硬岩，岩体破碎； 较硬岩，岩体较破碎或破碎； 较软岩或软硬岩互层，且以 软岩为主，岩体较完整或较破 碎； 软岩，岩体完整或较完整	具压密或成岩作用的黏 性土、粉土及砂类土， 一般钙质、铁质胶结的 粗角砾土、粗圆砾土、 碎石土、卵石土、大块 石土，黄土 (Q_1 、 Q_2)	$350 \sim 251$	A: $3.0 \sim 4.0$ B: $3.3 \sim 4.3$ C: $3.0 \sim 3.5$ D: $3.0 \sim 4.0$ E: $2.0 \sim 3.0$
V	较软岩，岩体破碎； 软岩，岩体较破碎至破碎； 全部极软岩及全部极破碎 岩（包括受构造影响严重的破 碎带）	一般第四系坚硬、硬塑 黏性土，稍密及以上、 稍湿或潮湿的碎石土、 卵石土、圆砾土、角砾 土、粉土及黄土 (Q_3 、 Q_4)	≤ 250	A: $2.0 \sim 3.0$ B: $2.0 \sim 3.3$ C: $2.0 \sim 3.0$ D: $1.5 \sim 3.0$ E: $1.0 \sim 2.0$

VI	受构造影响严重呈碎石、角砾及粉末、泥土状的富水断层带，富水破碎的绿泥石或炭质千枚岩	软塑状黏性土，饱和的粉土、砂类土等，风积沙，严重湿陷性黄土	——	<1.0 （饱和状态的土<1.5）
----	---	-------------------------------	----	-------------------

注：1 表中A-E是指岩性类型，可按表E.0.1-2确定。

2 表中围岩基本质量指标 BQ 按式 E.0.2 确定，围岩基本质量指标[BQ]按 E.0.4 修正确定。

表 E.0.1-2 岩性类型的划分

岩性类型	代表岩性
A	岩浆岩（花岗岩、闪长岩、正长岩、辉绿岩、安山岩、玄武岩、石英粗面岩、石英斑岩等）； 变质岩（片麻岩、石英岩、片岩、蛇纹岩等）； 沉积岩（熔结凝灰岩、硅质砾岩、硅质石灰岩等）
B	沉积岩（石灰岩、白云岩等碳酸盐类）
C	变质岩（大理岩、板岩等）； 沉积岩（钙质砂岩、铁质胶结的砾岩及砂岩等）
D	第三纪沉积岩类（页岩、砂岩、砾岩、砂质泥岩、凝灰岩等）； 变质岩（云母片岩、千枚岩等），且岩石单轴饱和抗压强度 $R_c > 15\text{MPa}$
E	晚第三纪~第四纪沉积岩类（泥岩、页岩、砂岩、砾岩、凝灰岩等），且岩石单轴饱和抗压强度 $R_c \leq 15\text{MPa}$

E.0.2 围岩基本质量指标BQ值应根据岩石坚硬程度、岩体完整程度分级因素的定量指标 f_r 的兆帕数值和 K_v ，按式（E.0.2）进行计算。

$$BQ = 100 + 3f_r + 250K_v \quad (\text{E.0.2})$$

使用式（E.0.2）时应遵守下列限制条件：

- 1) 当 $f_r > 90K_v + 30$ 时，应以 $R_c = 90K_v + 30$ 和 K_v 代入计算BQ 值；
- 2) 当 $K_v > 0.04 f_r + 0.4$ 时，应以 $K_v = 0.04 f_r + 0.4$ 和 f_r 代入计算BQ 值。

岩体完整程度的划分应符合表 E.0.2的规定。

表 E.0.2 岩体完整程度的划分

完整程度	结构面特征	结构类型	岩体完整性指数 K_v
完整	结构面 1~2 组, 以构造型节理或层面为主, 密闭型	巨块状整体结构	$K_v > 0.75$
较完整	结构面 2~3 组, 以构造型节理或层面为主, 裂隙多呈密闭型, 部分为微张型, 少有充填物	块状结构	$0.75 \geq K_v > 0.55$
较破碎	结构面一般为 3 组, 以节理及风化裂隙为主, 在断层附近受构造作用影响较大, 裂隙以微张型和张开型为主, 多有充填物	层状、块石、碎石状结构	$0.55 \geq K_v > 0.35$
破碎	结构面大于 3 组, 并多以风化型裂隙为主, 在断层附近受构造作用影响较大, 裂隙以张开型为主, 多有充填物	碎石角砾状结构	$0.35 \geq K_v > 0.15$
极破碎	结构面杂乱无序, 在断层附近受构造作用影响很大, 宽张裂隙全为泥质或泥夹岩屑充填, 充填物厚度大	散体状结构	$K_v \leq 0.15$

E.0.3 隧道围岩级别的修正应符合下列规定:

(1) 围岩级别应在围岩基本分级的基础上, 结合隧道工程的特点, 考虑地下水出水状态、初始地应力状态、主要结构面产状状态等因素进行修正;

(2) 围岩级别修正宜采用定性修正与定量修正相结合的方法, 综合分析确定围岩级别;

(3) 围岩级别定性修正可按 E.0.3-1, E.0.3-2 确定。

表 E.0.3-1 地下水影响的修正

围岩级别 地下水出水状态	I	II	III	IV	V
潮湿或点滴状出水 $Q^{①} \leq 25$	I	II	III	IV	V

淋雨状或线流状出水 $25 < Q \leq 125$	I	II	III或IV ^②	V	VI
涌流状出水 $Q > 125$	II	III	IV	V	VI

注：① Q 为出水量（ $L/min \cdot 10m$ ）。

② 围岩岩体为较完整的硬岩时定为III级，其他情况定为IV级。

表 E. 0. 3-2 初始地应力影响的修正

围岩级别 修正级别 初始地应力状态	I	II	III	IV	V
	I	II	III或IV ^①	V	VI
极高应力	I	II	III或IV ^①	V	VI
高应力	I	II	III	IV或V ^②	VI

注：1 ①围岩岩体为较破碎的极硬岩、较完整的硬岩时定为III级；其它情况定为IV级；②围岩岩体为破碎的极硬岩、较破碎及破碎的硬岩时定为IV级；其它情况定为 V 级；

2 初始地应力状态可按表 E. 0. 3-3 确定；

3 本表不适用于特殊围岩。

表 E. 0. 3-3 初始地应力场评估基准

初始地应力状态	主要现象	评估基准 (f_r/σ_{max})
一般地应力	硬质岩：开挖过程中不会出现岩爆，新生裂缝较少，成洞性一般较好	>7
	软质岩：岩芯无或少有饼化现象，开挖过程中洞壁岩体有一定位移，成洞性一般较好	
高地应力	硬质岩：开挖过程中可能出现岩爆，洞壁岩体有剥离和掉块现象，新生裂缝较多，成洞性较差	4~7
	软质岩：岩芯时有饼化现象，开挖过程中洞壁位移显著，持续时间较长，成洞性差	
极高地应力	硬质岩：开挖过程中有岩爆发生，有岩块弹出，洞壁岩体发生剥离，新生裂缝多，成洞性差	<4

	软质岩：岩芯常有饼化现象，开挖过程中洞壁岩体有剥离，位移极为显著，甚至发生大位移，持续时间长，不易成洞	
--	---	--

注：表中 f_r 为岩石单轴饱和抗压强度 (MPa)， $\sigma_{\max}$ 为垂直洞轴方向的最大初始地应力值 (MPa)。

E.0.4 围岩级别定量修正应符合下列规定：

围岩级别定量修正应对围岩基本质量指标 BQ 进行修正，并以修正后获得的围岩基本质量指标值 [BQ] 依据 E.0.1 确定围岩级别。

围岩基本质量指标修正值 [BQ] 可按式 E.0.4 进行计算。

$$[BQ] = BQ - 100 (K_1 + K_2 + K_3) \quad (E.0.4)$$

式中 [BQ]——围岩基本质量指标修正值；

BQ——围岩基本质量指标值；

K_1 ——地下水影响修正系数；

K_2 ——主要软弱结构面产状修正系数；

K_3 ——初始地应力影响修正系数。

K_1 、 K_2 、 K_3 值可分别按表 E.0.4-1、表 E.0.4-2、表 E.0.4-3 确定。

表 E.0.4-1 地下水影响修正系数 K_1

岩体基本质量指标 BQ 地下水出水状态	>550	550~451	450~351	350~251	≤250
潮湿或点滴状出水， $Q \leq 25$	0	0	0~0.1	0.2~0.3	0.4~0.6
淋雨状或线流状出水， $25 < Q \leq 125$	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.4~0.6	0.7~0.9
涌流状出水， $Q > 125$	0.1~0.2	0.2~0.3	0.4~0.6	0.7~0.9	1.0

注：Q 为每 10m 洞长出水流量 (L/min·m)

表 E. 0. 4-2 主要软弱结构面产状修正系数 K_2

结构面产状及 其与洞轴线的 组合关系	结构面走向与 洞轴线夹角 $< 30^\circ$ 结构面倾角 $30^\circ \sim 75^\circ$	结构面走向与 洞轴线夹角 $> 60^\circ$ 结构面倾角 $> 75^\circ$	其他组合
K_2	0.4~0.6	0~0.2	0.2~0.4

表 E. 0. 4-3 初始地应力影响修正系数 K_3

岩体基本质量指标 初始地应力状态	> 550	550~451	450~351	350~251	≤ 250
极高应力区	1.0	1.0	1.0~1.5	1.0~1.5	1.0
高应力区	0.5	0.5	0.5	0.5~1.0	0.5~1.0

附录 F 岩土工程施工分级

F.0.1 岩土施工工程分级可按表 F.0.1 执行。

表 F.0.1 岩土施工工程分级

等级	分类	岩土名称及特征	钻 1m 所需时间			岩石单轴饱和抗压强度(Mpa)	开挖方法
			液压凿岩台车、潜孔钻机(净钻分钟)	手持风枪湿式凿岩合金钻头(净钻分钟)	双人打眼(工天)		
I	松土	砂类土, 种植土, 未经历压实的填土					用铁锹挖时脚蹬一下到底的松散土层; 能全部直接铲挖, 普通装载机可满载
II	普通土	硬塑~软塑黏性土、膨胀土, 粉土, Q ₃ 、Q ₄ 黄土, 稍密、中密细角砾土、细圆砾土, 松散的粗角砾土、碎石土、粗圆砾土、卵石土, 压密的填土, 风积沙					部分用镐刨松, 再用铁锹挖, 脚连蹬数次才能挖动; 挖掘机、带齿尖口装载机可满载, 普通装载机可直接铲挖, 但不能满载
III	硬土	坚硬的黏性土、膨胀土, Q ₁ 、Q ₂ 黄土, 稍密、中密粗角砾土、碎石土、粗圆砾土、卵石土, 密实的细圆砾土、细角砾土, 各种风化土状的岩石					必须用镐先全部刨过才能用铁锹挖, 挖掘机、带齿尖口装载机不能满载, 大部分采用松土器松动方能铲挖装载
IV	软石	块石土, 漂石土, 含块石、漂石 30%-50% 的土及密实的碎石土、粗角砾土、卵石土、粗圆砾土; 岩盐, 各类较软岩、软岩及	—	<7	<0.2	<30	部分用撬棍及大锤开挖或挖掘机、单钩裂土器松动, 部分需借助液压冲击镐解碎或部分采用爆破法开挖

		成岩作用差的岩石：泥质岩类、煤、云母片岩、千枚岩					
V	次坚石	各种较硬岩：硅质页岩、钙质岩、白云岩、石灰岩、泥灰岩、玄武岩，片岩、片麻岩，正长岩，花岗岩	≤ 10	7~20	0.2~1.0	30~60	能用液压冲击镐解碎，大部分需用爆破法开挖
VI	坚石	各种坚硬岩：硅质砂岩、硅质砾岩、石灰岩、石英岩、大理岩、玄武岩、闪长岩，花岗岩、角岩	> 10	> 20	> 1.0	> 60	可用液压冲击镐解碎，需用爆破法开挖

注：1 软土（淤泥质土、淤泥、泥炭质土、泥炭）的施工工程分级，一般可定为Ⅱ级，多年冻土一般可定为Ⅳ级；

2 表中所列岩石均按完整结构岩体考虑，若岩体极破碎、节理发育或强风化时，其等级应按表对应岩石的等级降低一个等级。

附录 G 泥石流的分类

G.0.1 按固体物质成分分类应符合表 G. 0. 1 的规定。

表 G. 0. 1 泥石流按固体物质成分分类

名 称	分类标准
泥流	固体物质为黏粒、粉粒、少量砂砾、碎石
泥石流	固体物质为黏粒、粉粒、砂砾、砾石、碎石、
水石流	固体物质为块石、碎石、砾石、少量砂粒、

G.0.2 按规模分类应符合表 G. 0. 2 的规定。

表 G. 0. 2 泥石流按规模分类

类别	固体物质储量 V_v	固体物质一次最大冲出量
小	$V_v \leq 5 \times 10^4$	$V_c \leq 1 \times 10^4$
中型	$5 \times 10^4 < V_v \leq 10$	$1 \times 10^4 < V_c \leq 5 \times 10^4$
大	$10 \times 10^4 < V_v \leq 100$	$5 \times 10^4 < V_c \leq 10 \times 10^4$
特大	$V_v > 100 \times 10^4$	$V_c > 10 \times 10^4$

G.0.3 按频率分类应符合表 G. 0. 3 的规定。

表 G. 0. 3 泥石流按频率分类

类别	泥石流特征	流域特征
高频率	基本上每年均发生泥石流。固体物质主要来源于沟谷的滑坡、崩塌。	多位于地壳强烈抬升区。岩层破碎，风化强烈，山体稳定性差。沟床和扇形地上泥石流堆积物新鲜，几乎无植被。黏
低频率	泥石流发生周期一般在 10 年以上。固体物质主要来源于沟床。泥石流发至雨强 > 4 mm/10min。规模一般较大	分布于各类山地。山体稳定性较好，无大型活动性滑坡、崩塌。沟床和扇形地上巨石遍布，植被较好。黏性泥石流沟中、下游沟床坡度 $< 4\%$

G.0.4 按流域形态特征分类应符合表 G. 0. 4 的规定。

表 G.0.4 泥石流按流域形态特征分类

类别	流域面积 S (km ²)	主沟长度 L (km)	形态特征	沟床纵坡	不良地质现象	沟口堆积物
沟谷型	S>1	L>2	沟谷形态明显，一般上游宽下游窄，支沟发育	一般在 15° 以下，有卡口、跌坎	沟内常发育滑坡、崩塌	呈扇形或带状，颗粒有一定磨圆
山坡型	S ≤ 1	L ≤ 2	沟谷短、浅、陡，一般无支沟	与山坡坡度基本一致	中、上游常产生坡面侵蚀和崩塌	呈锥形，颗粒粗大，棱角明显

G.0.5 按流体性质分类应符合表 G.0.5 的要求。

表 G.0.5 泥石流按流体性质分类

性质	黏 性		稀 性		
类别	泥流	泥石流	泥流	泥石流	水石流
流体密度	$\rho_c > 1.5 \times 10^3$	$1.6 \times 10^3 \leq \rho$	$1.3 \times 10^3 \leq \rho$	$1.2 \times 10^3 \leq \rho$	$\rho_c <$
黏度	$\eta > 0.3$	$\eta > 0.3$	$\eta \leq 0.3$	$\eta \leq 0.3$	
流态特征	呈层流状态。固、液两相物质呈整体等速运动。黏滞性强，浮托力大，能将巨大干土块浮托出沟。无垂直交换。阵性流明显，遇卡口常发生堵沟、断流	呈层流状态。固、液两相物质呈整体等速运动。黏滞性强，浮托力大，能将巨大的漂石悬移或滚动。无垂直交换。阵性流明显，有堵沟、断流和浪头出现，弯道处常发生爬高	呈紊流状态。有时具波状流。看泥浪、砾石、碎石、块石呈滚动或跃移前进。具有垂直交换。阵性流不明显。弯道处常见泥浆	呈紊流状态。漂块流速慢于浆体流速，呈滚动或跃移前进。具有垂直交换。阵性流不明显，偶有股流或散流	呈紊流状态。固体物质流速慢于浆体流速，砾石、块石呈推移式前进。垂直交换明显。无阵性流现象

堆积特征	多呈舌状或坎 不平土堆，表 常有“泥球”。堆 积物一般保持流 动时结构特征。堆 积剖面中，粗颗粒 具有悬浮状特点	呈扇状或舌状，表 面坎坷不平 间有 “泥球”。堆 积 物一般保持流动 时结构特征，无分 选，砾石、块石呈 悬浮或支撑状。 堆积剖面中，一次 堆积无层次，各次 堆积分层明显	呈扇状或垄岗 状。间有“泥球” 出现。堆积剖面 中粗粒物质一 般呈底积状态	呈扇状或垄岗状。 泥石流过后水与 固体物较快分离。 堆积分选差、空隙 大、结构较松散， 表面细颗粒物质 较少。剖面中可见 固体物质呈叠 置 状	一般呈扇状。 堆 积 物 有 分 选 性 ， 结 构 松散，表面粗 颗粒物较多
危害作用	大量泥土冲出沟 口或沟外，堵塞桥 涵，淤塞道路或农 田村庄	来势迅猛，冲击破 坏力大，直进性 强，能使大型桥 梁、房屋、护岸建 筑等在短时间内 破坏	冲击破坏力较 小，对建筑物产 生慢性冲刷 破 坏。淹没农田、 道路	冲击破坏力较大， 摩蚀力较强，有淤 有冲，以冲为主， 对建筑物慢性 冲 刷破坏	较洪水破坏 力大。以冲刷 为主，对护 岸及桥涵建 筑物慢性冲 刷破坏

G.0.6 泥石流的工程分类应按表 G.0.6 执行。

表 G.0.6 泥石流的工程分类和特征

类 别	泥石流特征	流域特征	亚 类	严 重 程 度	流域 面积 (km^2)	固体物质 一次冲出 量 ($\times 10^4 \text{m}^3$)	流量 (m^3/s)	堆积区 面积 (km^2)
I 高 频 率 泥 石 流 沟	基本上每年 均有泥石流发 生。团体物质主 要来源于沟谷的 滑坡、崩塌。暴 发雨强小于 $2\sim 4\text{mm}/10\text{min}$ 。 除岩性因素外， 滑坡、崩塌严重 的沟谷多发生黏 性泥石流，规模	多位于强烈 抬升区，岩 层破碎， 风化强烈， 山体稳定性 差。泥石流 堆积新鲜， 无植被或仅 有稀疏草 丛。黏性泥 石流，沟中	I ₁	严 重	>5	>5	>100	>1
			I ₂	中 等	1~5	1~5	30~100	<1
			I ₃	轻 微	<1	<1	<30	—

谷	大，反之多发生稀性泥石流，规模小	下游沟床坡度大于4%						
II 低 频 率 泥 石 流 沟 谷	暴发周期一般在10年以上。固体物质主要来源于沟床，泥石流发生时“揭床”现象明显。 暴雨时坡面产生的浅层滑坡往往是激发泥石流形成的重要因素。暴发雨强，一般大于4mm/10min。规模一般较大，性质有黏有稀	山体稳定性相对较好，无大型活动性滑坡、崩塌。沟床和扇形地上巨砾遍布。植被较好，沟床内灌木丛密布，扇形多已辟为农田。黏性泥石流沟中下游沟床坡度小于4%	II ₁	严重	>10	>5	>100	>1
			II ₂	中等	1~10	1~5	30~100	<1
			II ₃	轻微	<1	<1	<30	—

注1 表中流量对高频率泥石流沟指百年一遇流量；对低频率泥石流沟指历史最大流量；

2 泥石流的工程分类宜采用野外特征与定量指标相结合的原则，定量指标满足其中一项即可。

附录 H 山岭隧道涌水量预测方法

H.1 简易水均衡法

H.1.1 越岭隧道通过一个或多个地表水流域时,可采用下列方法预测隧道正常涌水量:

1 地下径流深度法

$$Q_s = 2.74 h \cdot A \quad (\text{H.1.1-1})$$

$$h = W - H - E - SS$$

$$A = L \cdot B$$

式中 Q_s —— 隧道通过含水体地段的正常涌水量(m^3/d);

2.74 —— 换算系数;

h —— 年地下径流深度(mm);

A —— 隧道通过含水体地段的集水面积(km^2);

W —— 年降水量(mm);

H —— 年地表径流深度(mm);

E —— 某流域年蒸发蒸散量(mm);

SS —— 年地表滞水深度(mm);

L —— 隧道通过含水体地段的长度(km);

B —— 隧道涌水地段 L 长度内对两侧的影响宽度(km)。

2 地下径流模数法

$$Q_s = M \cdot A \quad (\text{H.1.1-2})$$

$$M = \frac{Q'}{F}$$

式中 M —— 地下径流模数 [$\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{km}^2)$];

Q' —— 地下水补给的河流的流量或下降泉流量(m^3/d), 采用枯水期流量计算;

F —— 与 Q' 的地表水或下降泉流量相当的地表流域面积(km^2);

其余符号意义同式(H.1.1-1)。

H.1.2 当隧道通过潜水含水水体且埋藏深度较浅时,可采用下列降水入渗法预测隧道正常涌水量:

$$Q_s = 2.74\alpha \cdot W \cdot A \quad (\text{H.1.2})$$

式中 α ——降水入渗系数,根据经验数据或试验数据确定;

其余符号意义同式(H.1.1-1)。

H.2 地下水动力学法

H.2.1 隧道通过潜水含水水体时,可用下列公式预测隧道最大涌水量:

1 古德曼经验式

$$Q = L \frac{2\pi \cdot K \cdot H}{\ln \frac{4H}{d}} \quad (\text{H.2.1-1})$$

式中 Q_0 ——隧道通过含水水体地段的最大涌水量(m^3/d);

K ——含水水体渗透系数(m/d);

H ——静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离(m);

d ——洞身横断面等价圆直径(m);

L ——隧道通过含水水体的长度(m)。

2 佐藤邦明非稳定流式

$$q = \frac{2\pi \cdot m \cdot K \cdot h_2}{\ln \left[\tan \frac{\pi(2h_2 - r)}{4h_c} \cot \frac{\pi \cdot r}{4h_c} \right]} \quad (\text{H.2.1-2})$$

式中 q_0 ——隧道通过含水水体地段的单位长度最大涌水量($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$);

m ——换算系数,一般取 0.86;

K ——含水水体渗透系数(m/s);

h_2 ——静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离(m);

r_0 ——洞身横断面等价圆半径(m);

h_c ——含水水体厚度(m)。

H.2.2 当隧道通过潜水含水层时，可用下列公式预测隧道正常涌水量。

1 裘布依理论式

$$Q_s = L \cdot K \frac{H^2 - h^2}{r} \quad (\text{H.2.2-1})$$

式中 Q_s ——隧道正常涌水量(m^3/d)；

K ——含水层的渗透系数(m/d)；

H ——洞底以上潜水含水层厚度(m)；

h ——洞外水柱高度(m)，一般考虑“水跃”值；

R ——隧道涌水地段影响半径(m)；

L ——隧道通过含水层的长度(m)；

r ——隧道洞身横断面宽度之半(m)。

2 佐藤邦明公式

$$q_s = q_0 - 0.584 \bar{\varepsilon} \cdot K \cdot r \quad (\text{H.2.2-2})$$

式中 q_0 ——隧道单位长度正常涌水量($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$)；

$\bar{\varepsilon}$ ——试验系数，一般取 12.8；

r_0 ——洞身横断面的等价圆半径(m)。

其他符号意义同(H.2.1-2)。

H.3 其它方法

H.3.1 新建隧道附近有水文地质条件相当的既有隧道或坑道以及岩溶区时，可采用水文地质比拟法预测隧道涌水量：

$$Q = Q' \frac{F \cdot s}{F' \cdot s'} \quad (\text{H.3.1})$$

$$F = B \cdot L$$

$$F' = B' \cdot L'$$

式中 Q 、 Q' ——新建、既有隧道（坑道）通过含水层地段的正常涌水量或最大涌水量(m^3/d)；

F 、 F' ——新建、既有隧道（坑道）通过含水体地段的涌水面积(m^2)；

s 、 s' ——新建、既有隧道（坑道）通过含水体中自静止水位计起的水位降深(m)；

B 、 B' ——新建、既有隧道（坑道）洞身横断面的周长(m)；

L 、 L' ——新建、既有隧道（坑道）通过含水体地段的长度(m)。

H.3.2 当隧道通过潜水含水体且有给水度或裂隙率资料时，可采用同位素氚(T)法预测隧道正常涌水量。

$$Q_s = \frac{L \cdot A \cdot \mu}{365t} \quad (\text{H.3.2})$$

$$t = 40.727 \lg \frac{N}{N_t}$$

式中 L —— N_0 与 N_t 两样品间的距离(m)；

μ ——含水体给水度(基岩可用裂隙率代替)；

365——年平均天数(d)；

t —— N_0 与 N_t 两样品间的时间差(a)；

N_0 ——样品中氚含量起始值(TR)；

N_t ——与 N_0 比较的样品中氚含量(TR)；

其余符号意义同(H.1.1-1)。

附录 J 环境水、土对混凝土侵蚀性的判定标准

J.0.1 环境水、土对混凝土侵蚀类型和侵蚀程度的判定标准应符合表 J. 0. 1 的规定。

表 J. 0. 1 化学侵蚀环境的作用等级

环境作用等级	环境条件					
	水中 SO_4^{2-} (mg/L)	强透水性土中 SO_4^{2-} (水溶值, mg/kg)	弱透水性土中 SO_4^{2-} (水溶值, mg/kg)	酸性水 (PH 值)	水中侵蚀性 CO_2 (mg/L)	水中 Mg^{2+} (mg/L)
H1	$200 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 1000$	$300 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 1500$	$1500 < \text{SO}_4^{2-} \leq 6000$	$5.5 \leq \text{PH} \leq 6.5$	$15 \leq \text{CO}_2 \leq 40$	$300 \leq \text{Mg}^{2+} \leq 1000$
H2	$1000 < \text{SO}_4^{2-} \leq 4000$	$1500 < \text{SO}_4^{2-} \leq 6000$	$6000 < \text{SO}_4^{2-} \leq 15000$	$4.5 \leq \text{PH} < 5.5$	$40 < \text{CO}_2 \leq 100$	$1000 < \text{Mg}^{2+} \leq 3000$
H3	$4000 < \text{SO}_4^{2-} \leq 10000$	$6000 < \text{SO}_4^{2-} \leq 15000$	$\text{SO}_4^{2-} > 15000$	$4.0 \leq \text{PH} < 4.5$	$\text{CO}_2 > 100$	$\text{Mg}^{2+} > 3000$
H4	$10000 < \text{SO}_4^{2-} \leq 20000$	$15000 < \text{SO}_4^{2-} \leq 30000$	—	—	—	—

注：1 强透水性土是指碎石土和砂土，弱透水性土是指粉土和黏性土；

2 当混凝土结构处于高硫酸盐含量（水中 SO_4^{2-} 含量大于 20000 mg/L、土中 SO_4^{2-} 含量大于 30000 mg/kg）的环境时，其耐久性技术措施应进行专门研究和论证；

3 当环境中存在酸雨时，按酸性水侵蚀考虑，但相应作用等级可降一级；

4 水和土中侵蚀性离子浓度的测定方法应符合现行行业标准《铁路工程水质分析规程》TB 10104 和《铁路工程岩土化学分析规程》TB 10103 的规定。

J.0.2 当需判定氯盐对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性时，应对钢筋混凝土所处的氯盐环境按表 J. 0. 2 氯盐环境进行判定。

表 J.0.2 氯盐环境作用等级

环境作用等级	环境条件特征
L1	长期在海水、盐湖的水下或土中
	高于平均水位 15m 的海上大气区
	离涨潮岸线 100~300m 的陆上近海区
	100mg/L ≤ 水中氯离子浓度 ≤ 500mg/L, 并有干湿交替
	150mg/kg ≤ 土中氯离子浓度 ≤ 750mg/kg, 并有干湿交替
L2	平均水位 15m 以内 (含 15m) 的海上大气区
	离涨潮岸线 100m 以内 (含 100m) 的陆上近海区
	海水潮汐区或浪溅区 (非炎热地区)
	500mg/L < 水中氯离子浓度 ≤ 5000mg/L, 并有干湿交替
	750mg/kg < 土中氯离子浓度 ≤ 7500mg/kg, 并有干湿交替
L3	海水潮汐区或浪溅区 (炎热地区)
	盐渍土地区露出地表的毛细吸附区
	水中氯离子浓度 > 5000mg/L, 并有干湿交替
	土中氯离子浓度 > 7500mg/kg, 并有干湿交替

注:1 氯离子浓度的测定方法应符合现行《铁路工程水质分析规程》TB 10104

和《铁路工程岩土化学分析规程》TB 10103 的规定。

2 炎热地区是指年平均气温高于 20℃ 的地区。

J.0.3 盐类结晶破坏环境的作用等级应按表 J.0.3 确定

表 J.0.3 盐类结晶破坏环境的作用等级

环境作用等级	环境条件	
	水中 SO_4^{2-} (mg/L)	土中 SO_4^{2-} (水溶值, mg/kg)
Y1	$200 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 500$	$300 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 750$
Y2	$500 < \text{SO}_4^{2-} \leq 2000$	$750 < \text{SO}_4^{2-} \leq 3000$
Y3	$2000 < \text{SO}_4^{2-} \leq 5000$	$3000 < \text{SO}_4^{2-} \leq 7500$
Y4	$5000 < \text{SO}_4^{2-} \leq 10000$	$7500 < \text{SO}_4^{2-} \leq 15000$

注:1 对于盐渍土地区的混凝土结构,埋入土中的混凝土按遭受化学侵蚀环境作用考虑;

当大气环境多风干燥时,露出地表的毛细吸附区内的混凝土按遭受盐类结晶破坏环境

作用考虑；

- 2 对于一面接触含盐环境水（或土）而另一面临空且处于大气干燥或多风环境中的薄壁混凝土结构（如隧道衬砌），接触含盐环境水（或土）的混凝土按遭受化学侵蚀环境作用考虑，临空面的混凝土按遭受盐类结晶破坏环境作用考虑；
- 3 当混凝土结构处于高硫酸盐含量（环境水中 SO_4^{2-} 含量大于 1000 0mg/L 或环境土中 SO_4^{2-} 含量大于 15000 mg/kg）的地区，其耐久性技术措施应进行专门研究和论证；
- 4 水和土中硫酸盐离子浓度的测定方法应符合现行行业标准《铁路工程水质分析规程》

TB 10104 和《铁路工程岩土化学分析规程》TB 10103 的规定。

J.0.4 受环境类型影响，水和土对混凝土结构的腐蚀性评价应符合表 J.0.4-1 的规定，环境类型的划分应符合表 J.0.4-2 的规定。

表 J.0.4-1 按环境类型水和土对混凝土的腐蚀性评价

腐蚀等级	腐蚀介质	环境类型		
		I	II	III
微	硫酸盐含量 $\text{SO}_4^{2-}(\text{mg/L})$	<200	<300	<500
弱		200-500	300-1500	500-3000
中		500-1500	1500-3000	3000-6000
强		>1500	>3000	>6000
微	镁盐含量 $\text{Mg}^{2+}(\text{mg/L})$	<1000	<2000	<3000
弱		1000-2000	2000-3000	3000-4000
中		2000-3000	3000-4000	4000-5000
强		>3000	>4000	>5000
微	铵盐含量 $\text{NH}_4^{+}(\text{mg/L})$	<100	<500	<800
弱		100-500	500-800	800-1000
中		500-800	800-1000	1000-1500
强		>800	>1000	>1500
微	苛性碱含量 $\text{OH}^{-}(\text{mg/L})$	<35000	<43000	<57000
弱		35000-43000	43000-57000	57000-70000
中		43000-57000	57000-70000	70000-100000

强		>57000	>70000	>100000
微		<10000	<20000	<50000
弱	总矿化度	10000-20000	20000-50000	50000-60000
中	(mg/L)	20000-50000	50000-60000	60000-70000
强		>50000	>60000	>70000

注：1 表中的数值适用于有干湿交替作用的情况，I、II类腐蚀环境无干湿交替作用时，表中硫酸盐含量数值应乘以 1.3 的系数；

2 表中数值适用于水的腐蚀性评价，对土的腐蚀性评价，应乘以 1.5 的系数，单位以 mg/kg 表示；

3 表中苛性碱（OH⁻）含量（mg/L）应为 NaOH 和 KOH 中的 OH⁻含量（mg/L）。

表 J.0.4-2 环境类型分类

环境类型	场地环境地质条件
I	高寒区、干旱区直接临水；高寒区、干旱区强透水层中的地下水
II	高寒区、干旱区弱透水层中的地下水；各气候区湿、很湿的弱透水层；湿润区直接临水；湿润区强透水层中的地下水
III	各气候区稍湿的弱透水层；各气候区地下水位以上的强透水层

注：1 高寒区是指海拔高度等于或大于 3000m 的地区；干旱区是指海拔高度小于 3000m，干燥度指数 K 值等于或大于 1.5 的地区；湿润区是指干燥度指数 K 值小于 1.5 的地区；

2 强透水层是指碎石土和砂土；弱透水层是指粉土和黏性土；

3 含水量 W<3% 的土层，可视为干燥土层，不具有腐蚀环境条件；

4 当有地区经验时，环境类型可根据地区经验划分；当同一场地出现两种环境类型时，应根据具体情况选定。

J.0.5 受地层渗透性影响，水和土对混凝土结构的腐蚀性评价，应符合表 J.0.5 的规定。

表 J.0.5 按地层渗透性水和土对混凝土结构的腐蚀性评价

腐蚀等级	pH 值		侵蚀性 CO ₂ (mg/L)		HCO ₃ ⁻ (mmol/L)
	A	B	A	B	A
微	>6.5	>5.0	<15	<30	>1.0
弱	6.5-5.0	5.0-4.0	15-30	30-60	1.0-0.5
中	5.0-4.0	4.0-3.5	30-60	60-100	<0.5
强	<4.0	<3.5	>60	—	—

注：1 表中 A 是指直接临水或强透水层中的地下水；B 是指弱透水层中的地下水。强透水层是指碎石土和砂土；弱透水层是指粉土和黏性土；

2 HCO₃⁻含量是指水的矿化度低于 0.1g/L 的软水时，该类水质 HCO₃⁻的腐蚀性；

3 土的腐蚀性评价只考虑 pH 值指标。评价其腐蚀性时，A 是指强透水土层；B 是指弱透水土层。

J.0.6 水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价，应符合表 J.0.6 的规定。

表 J.0.6 水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价

腐蚀等级	水中的 Cl ⁻ 含量(mg/L)		土中的 Cl ⁻ 含量(mg/kg)	
	长期浸水	干湿交替	A	B
微	<10000	<100	<400	<250
弱	10000-20000	100-500	400-750	250-500
中	—	500-5000	750-7500	500-5000
强	—	>5000	>7500	>5000

注：A 是指地下水位以上的碎石土、砂土，稍湿的粉土，坚硬、硬塑的黏性土；B 是指湿、很湿的粉土，可塑、软塑、流塑的黏性土。

J.0.7 水和土对钢结构的腐蚀性评价，应符合表 J.0.7-1 和表 J.0.7-2 的规定。

表 J.0.7-1 水对钢结构腐蚀性评价

腐蚀等级	pH 值，（Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻ ）含量（mg/L）
------	--

弱	pH 3~11, (Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻) <500
中	pH 3~11, (Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻) ≥500
强	pH <3, (Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻) 任何浓度

注：1 表中系指氧能自由溶入的水和地下水；

2 本表亦适用于钢管道；

3 从水的沉淀物中有褐色絮状物沉淀（铁）、悬浮物中有褐色生物膜、绿色丛块，或有硫化氢臭，应作铁细菌、硫酸盐还原细菌的检查，查明有无细菌腐蚀。

表 J.0.7-2 土对钢结构腐蚀性评价

腐蚀等级	pH 值	氧化还原电位 (mV)	电阻率(Ω·m)	极化电流密度 (mA/cm ²)	质量损失(g)
微	>5.5	>400	>100	<0.02	<1
弱	5.5-4.5	400-200	100-50	0.02-0.05	1-2
中	4.5-3.5	200-100	50-20	0.05-0.20	2-3
强	<3.5	<100	<20	>0.20	>3

用词说明

为便于在执行本标准条款时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

- 2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

- 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

- 4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

- 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025
- 《铁路工程抗震设计规范》GB 50111
- 《膨胀土地区建筑技术规范》GB 50112
- 《土工试验方法标准》GB/T 50123
- 《土的分类标准》GB/T 50145
- 《工程岩体分级标准》GB/T 50218
- 《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307
- 《冻土工程地质勘察规范》GB 50324
- 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476
- 《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909
- 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002
- 《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003
- 《工程勘察通用规范》GB 55017
- 《软土地区岩土工程勘察规程》JGJ 83
- 《建筑工程地质钻探与取样技术规程》JGJ/T 87
- 《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005
- 《铁路工程地质勘察规范》TB 10012
- 《铁路工程物理勘探规范》TB 10013
- 《铁路工程地质钻探规程》TB 10014
- 《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018
- 《铁路工程不良地质勘察规程》TB 10027
- 《铁路工程特殊岩土勘察规范》TB 10038

《铁路工程地质遥感技术规程》TB 10041

《铁路工程水文地质勘察规范》TB 10049

《铁路工程岩土分类标准》TB 10077

《铁路工程土工试验规程》TB 10102

《铁路工程岩土化学分析规程》TB 10103

《铁路工程水质分析规程》TB 10104

《铁路工程岩石试验规程》TB 10115

《市域（郊）铁路设计规范》TB 10624

中国工程建设标准化协会标准

市域（郊）铁路岩土工程勘察标准

T/CECS XXX—20XX

条文说明

目 录

1 总 则	197
3 基本规定	198
3.1 一般规定	198
3.2 勘察等级	200
3.3 勘察纲要	200
4 岩土分类及分级	202
4.1 一般规定	202
4.4 围岩分级与岩土施工工程分级	204
5 可行性研究勘察	205
5.1 一般规定	205
5.2 目的和任务	205
5.3 勘察要求	206
6 初步勘察	207
6.1 一般规定	207
6.3 路基	207
6.4 桥涵	208
6.5 隧道	208
6.6 车站	209
6.7 车辆基地	209
7 详细勘察	210
7.1 一般规定	210
7.2 目的与任务	210
7.3 路基	211

7.4	桥涵.....	212
7.5	隧道.....	213
7.6	车站.....	214
7.7	车辆基地.....	215
8	施工勘察.....	217
9	场地和地基的地震效应.....	219
9.1	一般规定.....	219
9.2	场地类别和抗震地段.....	219
9.3	地基液化判别.....	220
10	不良地质作用.....	223
10.1	一般规定.....	223
10.2	岩溶.....	223
10.3	人为坑洞.....	226
10.4	地面沉降.....	229
10.5	地裂缝.....	229
10.6	有害气体.....	233
10.7	放射性.....	236
10.8	滑坡.....	237
10.9	危岩和崩塌.....	238
10.10	泥石流.....	239
10.11	活动断裂.....	242
11	特殊性岩土.....	244
11.1	一般规定.....	244
11.2	填土.....	244
11.3	软土.....	246

11.4	膨胀岩土.....	250
11.5	黄土.....	253
11.7	混合土.....	257
11.8	盐渍岩土.....	258
11.9	冻土.....	260
11.10	红黏土.....	263
11.11	风化岩和残积土.....	266
12	地下水.....	271
12.1	一般规定.....	271
12.2	地下水的勘察要求.....	271
12.3	水文地质参数的测定.....	272
12.4	地下水作用的评价.....	276
13	遥感地质解译.....	278
13.1	一般规定.....	278
13.2	遥感数据的选择与处理.....	279
13.3	工作内容和方法.....	282
14	工程地质调绘.....	286
14.1	一般规定.....	286
14.2	工作方法.....	287
14.3	工作范围.....	289
14.4	工作内容.....	290
14.5	工作成果.....	298
15	物探.....	300
15.1	一般规定.....	300
15.2	直流电法.....	301

15.3	电磁波法.....	301
15.4	弹性波法.....	301
15.5	测井.....	302
16	勘探与取样.....	303
16.1	一般规定.....	303
16.2	勘探点的定位与测量.....	303
16.3	钻探.....	304
16.4	井探、槽探、洞探.....	305
16.5	取样.....	305
17	原位测试.....	306
17.1	一般规定.....	306
17.2	标准贯入试验.....	306
17.3	动力触探试验.....	306
17.4	静力触探.....	307
17.5	载荷试验.....	307
17.6	十字板剪切试验.....	308
17.7	旁压试验.....	309
17.8	扁铲侧胀试验.....	310
17.9	应力铲试验.....	311
18	室内岩土试验.....	312
18.1	一般规定.....	312
18.2	土的物理性质试验.....	314
18.3	土的力学性质试验.....	316
18.4	岩石试验.....	318
19	水和土腐蚀性的评价.....	320

19.1	一般规定	320
19.2	取样	320
19.3	水和土的腐蚀性试验	321
20	工程周边环境专项调查	322
20.1	一般规定	322
20.2	调查范围	322
20.3	调查要求	323
20.4	成果资料	324
21	岩土工程分析评价和成果报告	325
21.1	一般规定	325
21.2	岩土参数的分析和选定	325
21.3	岩土工程分析评价的基本内容	325
21.4	勘察报告的基本要求	326
22	现场检验和监测	330
22.1	一般规定	330
22.2	现场检验	330
22.3	现场监测	331
23	勘察信息化	332
23.1	一般规定	332
23.2	数据采集与处理	333
23.3	成果制作	334
23.4	数据管理及应用	335
附录 E	隧道围岩分级	337
附录 J	环境水、土对混凝土侵蚀性的判定标准	337

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明，部分为资料性条文说明，不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

1 总 则

1.0.1 市域（郊）铁路是介于城际铁路与城市轨道交通之间的一种轨道交通方式，速度上接近城际铁路，服务方式接近城市轨道交通，是未来中国铁路发展的重点，其建设工作正迅猛发展。城际铁路工程依据铁路行业相关标准进行勘察工作，城市轨道交通工程依据国标相关的规范、标准进行勘察工作。

国家铁路局批准发布《市域（郊）铁路设计规范》（TB 10624-2020），自 2021 年 2 月 1 日起实施，但国家还缺乏市域（郊）铁路的相关勘察标准，只能参照相关铁路行业和城市轨道交通方面的规范、标准进行勘察工作，依据不充分、针对性不强。

结合市域（郊）铁路工程建设特点，总结、梳理、分析近年来工程实践经验，进行归纳分析，提炼标准条款，编制《市域（郊）铁路岩土工程勘察标准》，可解决现行标准覆盖不全问题，统一和规范市域（郊）铁路勘察技术标准；提高勘察成果的精度与准确度，提升勘察质量与水平，为市域（郊）铁路工程的安全性和可靠性提供基础保障，确保市域（郊）铁路工程建设与运营安全；对于引领市域（郊）铁路行业发展方向，规范、引导和促进市域（郊）铁路岩土工程勘察工作的健康发展奠定基础。

1.0.5 市域（郊）铁路工程各项岩土工程勘察工作，均应按照本标准执行。凡是本标准未涉及的内容，尚应符合国家和铁路行业现行有关标准的规定。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 市域（郊）铁路工程建设阶段一般包括规划、可行性研究、初步设计、施工图设计、工程施工、试运营等阶段。由于市域（郊）铁路工程投资大，线路穿越城区和郊区，地质、环境风险高，建设各阶段对工程技术的要求较高，各阶段所解决的工程问题不同，对岩土工程勘察的资料深度要求也不同；若不按照建设阶段及各阶段的技术要求开展岩土工程勘察工作，可能会导致工程浪费、工期延误，甚至在施工阶段产生重大的工程风险。根据规划和各设计阶段的要求，分阶段开展岩土工程勘察工作，规避工程风险，对市域（郊）铁路工程建设意义重大。市域（郊）铁路岩土工程勘察按可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察分阶段进行勘察工作，提供不同阶段设计所需地质资料，不要超阶段进行勘察工作，避免返工造成勘察工作量浪费。由于自然界地质现象的复杂性和不确定性，以点带面的工程地质勘探所揭示的地质信息具局限性，工程地质资料较难完全如实地反映工程地质条件和准确地预见施工中可能出现的地质问题。当施工阶段出现地质条件异常、施工方法和施工工艺有特殊要求且已有地质资料不能满足要求时，施工阶段应开展施工勘察。

3.1.4 对地质条件特殊或有特殊要求的工程，应根据其特殊性，选用相应的勘探测试方法，获取所需的地质参数，满足工程设计要求；岩土工程勘察报告应根据设计、施工的需要提供岩土参数，所执行的规范应与设计相匹配。

3.1.5 市域（郊）铁路工程沿线或场地附近存在对工程设计方案和施工有重大影响的岩土工程问题，遇到常规勘察不能解决时，应针对需要解决的具体问题，采用针对性的勘察手段，进行专项勘察；专项勘察成果可以为单独编写专项勘察报告，也可以在勘察报告中单独设置专题勘察章节进行阐述总结。

3.1.6 市域（郊）铁路工程周边存在着大量的地上、地下建（构）筑物、地下管线、人防工程等环境条件，对工程设计方案和工程安全产生重大的影响；同时，市域（郊）铁路的敷设形式有的采用地下线形式，地下工程的施工容易导致周边环境产生安全风险；因此，岩土工程勘察前需要从建设单位获取地形图、地下管线及地下设施分

布图，以便勘察单位在勘察期间确保地下管线和设施的安全，并在勘察成果中分析工程与周边环境的相互影响。工程周边环境资料也是工程设计、施工的重要依据，地形图和地下管线图往往不能够满足周边环境与工程相互影响分析及工程周边环境保护设计、施工的要求，因此，有必要在工程建设中开展周边环境专项调查工作，取得周边环境的详细资料，以便采取保护措施，确保环境和工程建设的安全。

3.1.10 勘察实施过程中风险类型较多，但与勘察工作有关的主要有自然灾害风险、地质条件风险、工程周边环境风险、技术标准风险、施工安全风险、质量风险和其它风险等；另外，作为工程勘察主要研究对象的岩土体千变万化，本身具有很大的不确定性及隐蔽性，而勘察资料总是有限的，勘察实施过程存在随机风险；客观上讲，利用有限的勘察资料去推测的地质情况与实际的地质情况必然存在一定的差异，再加上大多数工程项目的建设周期比较短，工程勘察的周期尤其紧张，地质情况必然存在一定的误差。勘察风险管理的目标是针对勘察过程中的各类风险，制定控制措施，提供可靠的勘察资料，降低工程勘察风险。主要包括：风险界定、风险辨识、风险评估和风险控制。

3.1.11 因工程地质及水文地质的复杂性，有些地质问题即使采取了现有的各种技术手段，也难以准确查清，如采空区、岩溶、有害气体等问题，因此勘察报告中需预测存在的潜在风险，提请设计和施工重视。

根据风险评估及分级结果，勘察单位需要评估对风险的可能性和影响的效果，以及成本效益，选择能够使剩余风险处于期望的风险容限以内的应对；勘察单位应识别所有可能存在的风险，从主体范围或组合的角度去认识风险，以确定总体剩余风险是否在主体的风险容量之内。

3.1.12 质量风险是勘察工作中最重要的风险，勘察中应注意以下几点：

1 详勘阶段勘察方案中区间联络通道没有勘探点控制；基坑边缘外侧勘探点平面控制范围不够；勘探点的控制深度不够；控制性勘探点密度不足；

2 勘察设备没有校准标定；遗留钻具没有进行打捞、记录和测量；位于结构内已完成勘探孔没有封孔或封孔不严、坐标不准；取样试验数量不够；岩土参数统计时变异系数超标；

3 人工填土、软土、膨胀土等特殊土土的分布范围及性质勘察不清，物理力学指标不全；

4 地下水对建筑腐蚀性没有查明；没有分层抽水、没有分层提供水文参数、没有分层取水进行腐蚀性分析；

5 暗埋的沟、塘等分布范围勘察不清；

6 对影响基坑或隧道施工的地质环境条件没有查明；

7 本阶段勘探点由于各种原因尚有未经施工，或虽然未施工孔数量不多但对勘察精度影响较大的勘察成果作为设计、施工依据；线、站位结构等发生较大变化，仍用原勘察资料开展设计施工，补勘不及时。

3.2 勘察等级

3.2.3 本条主要依据现行国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307 制定；对建筑抗震地段类别按有利、一般、不利和危险地段的划分，按现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002 的规定确定，可按本标准第 9.2.2 条执行。

3.2.5 市域（郊）铁路工程本身是一个复杂的系统工程，为了使岩土工程勘察工作更具针对性，结合《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307 及《岩土工程勘察规范》GB 50021 根据工程重要性等级、场地地基复杂程度等级和工程周边环境风险等级三个方面划分岩土工程勘察等级，划分时应从最高等级开始，向下推定，以最先满足的为准；市域（郊）铁路岩土工程勘察等级的划分，主要考虑了工程结构类型、破坏后果的严重性、场地地基的复杂程度、周边环境风险等级等因素，以便在勘察工作量布置、岩土工程评价、参数获取、工程措施建议等方面突出重点、区别对待。

3.3 勘察纲要

3.3.1~3.3.5 勘察纲要是勘察工作的指导性文件，国务院《建设工程勘察设计质量管理条例》和国家强制性标准《工程勘察通用规范》GB 55017-2021 对勘察纲要的

编制均提出了相应的要求。根据市域（郊）铁路工程勘察工作的实际需要，明确勘察纲要的编制和编制要求很有必要，各勘察阶段均需编制相应阶段勘察纲要。

市域（郊）铁路工程各勘察阶段具有不同的勘察目的、任务及勘察精度，因此各勘察阶段工作开始前应依据勘察标准、工程地质条件、各类工程设置及技术要求等分阶段编制针对性的岩土工程勘察纲要。批准后的岩土工程勘察纲要是勘察单位的主要工作依据、是勘察工作重要的指导性文件，也是建设单位及勘察监理单位监督勘察单位工作的依据。

岩土工程勘察纲要的主要内容包括勘察工作的内容、方法和技术要求，各类工程及不良地质、特殊性岩土勘察原则，勘察质量及安全保障措施、组织机构、人员及设备配置，计划进度安排及预估主要工作量，勘察风险源的预测和防控等。

岩土工程勘察纲要是依据现场踏勘或前一阶段所完成勘察工作对本阶段勘察工作的计划安排，随勘察工作的深入，当场地地质条件、设计方案等发生变化时，勘察纲要也需根据变化情况进行针对性的调整。

4 岩土分类及分级

4.1 一般规定

4.1.1 在进行岩土分类时，本标准强调采用现场鉴定与室内、外试验，定性划分与定量评定相结合的方法。“现场鉴定”是指在地质调查的基础上，主要通过感观认识和简单的勘探手段，并结合实践经验进行的定性鉴定，它具有宏观、快速、方便和实用的优点，但量化程度往往不够，而“室内、外试验”则是对现场鉴定的验证、核对和补充，是对岩土分类提供定量指标和深化认识的重要依据，故两者缺一不可。

在进行室内、外试验时，应注意采用统一的、符合有关标准、规范的方法。

4.2 岩石分类

4.2.1 岩石按成因分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。不同成因的岩石具有不同的结构和构造，其力学性质也有明显差异，因此按成因分类具有一定的工程意义。如火山岩包括火山熔岩、火山碎屑岩及向沉积岩过渡的多种岩石类型，应注意各种岩石工程性质的差异。任务需要时，尚应鉴定岩石的地质年代。为了较好地概括岩石的工程性质，便于进行工程评价，岩石的工程分类宜在地质分类的基础上进行。

4.2.2 岩石的坚硬程度分类参照现行国家标准《工程岩体分级标准》GB 50218 和《岩土工程勘察规范》GB 50021。

4.2.3 关于完整性指数，在实际工程中，由于岩体受埋藏深度及围压作用的影响，岩体的实测波速可能大于岩块的波速，因此在划分岩体完整程度时宜结合岩体埋藏条件等实际情况综合判别。

4.2.5 岩石风化程度分类参照现行国家标准《工程岩体分级标准》GB 50218 和《岩土工程勘察规范》GB 50021。残积土作为岩石风化后的残积物，具有土的特性，工程意义重大，为便于比较，附录中把残积土列出。全风化岩石在工程中是常常遇到的岩石，国内外一些规范也有类似规定和提法。未风化岩石按工程岩体分级标准，含义是岩质新鲜、结构未变。在自然界里，岩石风化是普遍存在的一个地质现象，风化带是逐渐过渡的，没有明确的界线，岩石风化程度的划分，通过野外特征鉴定、定性描述与定量指标相结合的方法，在某些特定地质条件下（如夹层、断裂、裂隙

等），岩石风化程度呈非连续过渡时，分级可以缺失。

4.2.7 一般工程可对岩芯采取率作相应要求。RQD 指标与岩体完整性密切相关，对于岩质洞室、边坡等重要工程按国家现行的规范确定 RQD 指标是必要的。岩石的描述要注意其外观与其物理力学性质之间的内在联系，岩体的描述要反映岩体处于一定的地质环境中，被各种宏观地质界面（断层、节理、破碎带、接触带、片理等）分割所具有的不连续性、非均质性、各向异性等工程特性；岩体结构面出现的频度描述一般是指在基岩出露区野外地质调查时需要对结构面发育的组数及间距等特征进行描述。岩石质量指标（RQD）与岩体完整性的关系是：RQD 大于 90 时为完整，RQD 为 75~90 时为较完整，RQD 为 50~75 时为较破碎，RQD 为 25~50 时为破碎，RQD 小于等于 25 时为极破碎。

4.3 土的分类

4.3.5 碎石土的最大粒径对地下隧道工程施工工艺的选择十分重要，砂卵石地层中卵石最大粒径的大小和含量的多少是盾构设备选型和施工参数确定的关键因素。

4.3.7 粉土可按说明表 4.3.7 进一步划分为砂质粉土和黏质粉土。

说明表 4.3.7 粉土按塑性指数分类

土的名称	塑性指数 I_p
砂质粉土	$3 < I_p \leq 7$
黏质粉土	$7 < I_p \leq 10$

注：塑性指数由相应于 76g 圆锥体沉入土样中深度为 10mm 时测定的液限计算而得。当有地区经验时，可结合地区经验综合考虑。

4.3.9 特殊土的划分具有重要的工程意义。

填土：在城市及其附近填土分布很广，但规律性很差，成分复杂，对市域（郊）铁路工程设计和施工影响很大，在已有市域（郊）铁路工程建设中，由于对填土重视程度不够和相关措施不到位，工程事故时有发生。

软土：在市域（郊）铁路工程中分布范围较广，在市域（郊）铁路的深基坑和隧道以及桩基工程中常出现边坡失稳、挤土效应、坑底隆起、沉降过大等现象，需要采取工程措施来解决。

膨胀岩土：由于膨胀岩土富含亲水矿物，吸水显著膨胀、软化、崩解，失水急剧收缩；对工程结构和施工往往产生较大影响。高塑性指数的膨胀岩土，在盾构施工时，易形成泥饼，勘察时应高度重视。

湿陷性土：黄土是一种湿陷性土，主要分布在秦岭、伏牛山以北的华北、西北、东北广大地域。

污染土：随着城市建设的发展，历史或现状存在一些污染企业，如印染、造纸、制革、冶炼、铸造等，对岩土层产生污染和腐蚀，岩土性状发生变化。当市域（郊）铁路工程线路穿越城市历史或现状的工业场地，且分布有污染土层时，对于富集有毒成分（包括气体）的土层，对施工与运营安全带来潜在风险，特别是地下线路，在勘察过程中应引起重视。

混合土：混合土是指颗粒级配极不连续，主要由黏粒、粉粒、砾粒和漂粒组成。如进行筛分，根据其颗粒组成可定名为碎石土或砂土，再将其细粒部分进行可塑性试验，根据其塑性指数又可定名为粉土或黏性土。这类土的性质，常处于粗粒土和细粒土之间，粗粒土和细粒土在施工中需要采取的工程措施不同，勘察过程中对隧道或基坑开挖不能简单地按照粗粒或细粒土进行评价。

4.3.10 圆锥动力触探成果的修正问题，虽已有一些研究成果，但尚缺乏统一的认识；勘察成果首先要如实反映实测值，应用时可以进行修正，并适当交待修正的依据。修正方法在《岩土工程勘察规范》GB 50021 附录 B 中；表 B.0.1 和表 B.0.2 中的数据均源于唐贤强等著《地基工程原位测试技术》（中国铁道出版社，1996）。对于重型圆锥动力触探，杆长超过 20m，锤击数按杆长 20m 进行修正；对于超重型圆锥动力触探，杆长超过 19m，锤击数按杆长 19m 进行修正。

4.4 围岩分级与岩土施工工程分级

4.4.1 围岩分级与《铁路工程地质勘察规范》TB 10012 和《铁路隧道设计规范》TB 10003 相配套，并引入围岩基本质量指标 BQ。

4.4.2 岩土施工工程分级依据《铁路工程地质勘察规范》TB 10012 制订。

5 可行性研究勘察

5.1 一般规定

5.1.1 可行性研究勘察是市域铁路工程建设的一个重要环节。市域铁路工程在规划可研阶段，就需要考虑众多的影响和制约因素，如城市发展规划、交通方式、预测客流、地质条件、环境设施、施工难度等，这些因素是确定线路走向、基础埋深和工法时应重点考虑的内容。制约线路敷设方式、工期、投资的地质因素主要为不良地质作用、特殊性岩土和线路控制节点的工程地质和水文地质问题，因此这些地质问题是可行性研究勘察的重点。

5.1.2 市域（郊）铁路工程设计影响因素多，仅靠收集资料来编制可行性研究勘察报告难以满足设计要求，因此强调在工程地质调绘的基础上，适当进行勘探和测试工作。。

5.1.3 特殊地质条件和重大环境工程地质问题往往是局部影响线路方案、敷设方式及施工工法选择的控制因素；在本阶段进行专题研究是为线路方案确定及工法选择提供依据，降低方案风险。鉴于地质灾害和地震安全性评估以及地下障碍物调查等专题对市域铁路工程方案的确定影响较大，故一般要求上述专题在工程可行性研究阶段实施完成。

5.2 目的和任务

5.2.2 可行性研究勘察为满足设计比选方案要求，需要充分搜集已有资料。市域铁路为线状工程，不良地质作用、特殊岩土以及重要的工程周边环境决定了工程线路敷设形式、线路走向等方案的可行性，并影响着工程的造价、工期及施工安全，所以对控制线路方案的不良地质作用和特殊性岩土应进行必要的勘探、测试工作。

5.3 勘察要求

5.3.3 可行性研究勘察所依据的线路方案一般都不稳定，并且各地的场地复杂程度、线路的城市环境也不同，所以可行性研究阶段勘探点间距需要根据场地条件灵活掌握，并尽量收集利用已有资料。

6 初步勘察

6.1 一般规定

6.1.1 初步设计是市域（郊）铁路工程建设非常重要的设计阶段，初步设计工作往往是在线路总体设计的基础上开展工点设计工作，不同的敷设形式初步设计的内容不同，如：初步设计阶段的地下工程一般根据环境及地质条件需完成车站主体及区间的平面布置、埋置深度、开挖方法、支护形式、地下水控制、环境保护、监控量测等的初步方案。初步设计阶段的岩土工程勘察需要满足以上初步设计工作的要求。因此，本标准在提出对初步勘察总的任务要求基础上，按照线路敷设方式，针对路基、桥涵、隧道、车站和车辆基地分别提出了初步勘察要求。

初步勘察阶段根据设计方案针对性布置勘察工作量，为初步设计提供相应的岩土设计参数、地质分析评价意见与建议。

6.1.2 初步设计过程中，对一些控制性工程，如穿越水体、重要建筑物地段，换乘节点等往往需要对位置、埋深、施工方法进行多种方案的比选，因此，初步勘察需要为控制性节点工程的设计和比选，确定切实可行的工程方案，提供必要的地质资料。

6.1.3 工程物探作为一种间接、有效的勘探手段，具有连续解译剖面、使用方便快捷的特点，在岩土工程勘察中对查明某些工程地质问题具有一定的优势；初步勘察针对岩溶发育区域和山岭隧道等复杂区段布置工程物探，钻探与物探相结合，能够做到点面结合，很大程度上克服了常规钻探的局限性，在一定程度上有利于规避大的工程地质风险。

6.1.4 初步勘察阶段钻孔较少，宜尽量进行综合利用，取样和原位测试并举。

6.3 路基

6.3.1 市域（郊）铁路路基包括一般路基、高路堤、深路堑、路基支挡结构等。目前尚无明确的规范或规程界定一般路基工程的概念，只是在实际勘察过程中，指地质条件相对单一，无特殊地质条件，填挖相对不大，无需进行地基处理或挡护等其

他措施的路基工程。本条规定了路基工程勘察的基本要求和内容，并对高路堤、深路堑、支挡工程的勘察做了有针对性的规定。

各主要路基类型界定如下：

- 1 高路堤：各类填料（特殊土填料和地基除外）填筑的边坡高度大于 20m 的路堤；
- 2 深路堑：土质挖方边坡高度大于 20m 或岩石挖方边坡高度大于 30m 的路堑或需设支挡工程的路堑。

6.3.2 综合各地市域（郊）铁路初勘的经验和设计要求，对路基勘探点间距进行设定，对高路堤陡坡路堤、深路堑等提出了横断面的布置要求。

6.3.3 当需要地基处理时，一般性勘探孔深度应满足地基处理设计要求。

6.4 桥涵

6.4.3 桥梁按其多孔跨径总长或单孔跨径的长度，可分为特大桥、大桥、中桥和小桥等四类，具体可按说明表 6.4.3 确定：

说明表 6.4.3 桥梁等级分类

分类名称	特大桥	大桥	中桥	小桥
桥梁长度	500m 以上	100m 以上至 500m	20m 以上至 100m	20m 及以下
单孔跨径 L_K	$L_K > 150m$	$40m \leq L_K \leq 150m$	$20m \leq L_K < 40m$	$L_K < 20m$

注：当桥梁长度与单孔跨径确定的桥梁等级不一致时，宜按单孔跨径确定。

6.5 隧道

6.5.3 为保证到市域（郊）铁路工程各勘察阶段技术要求的系统性和连贯性，故初勘阶段勘探孔深度基本与详勘阶段保持一致。

盾构法双圆隧道孔深可参考单圆隧道规定执行，断面基本接近方形的矩形隧道可按隧道宽度等同圆形隧道直径考虑，其他形状的盾构法隧道孔深布置宜与设计协商后确定。

6.6 车站

6.6.1 本条规定了车站工程初步勘察阶段对于不良地质作用、特殊性岩土、岩土参数及水文地质参数、岩土施工工程分级、围岩分级、岩土施工方法和施工设备选型等勘察和分析、评价要求；市域(郊)铁路车站工程初步勘察除了应符合本标准 6.2.2 条的规定外，还应符合本条的规定。

6.6.3 本条规定了初步勘察阶段车站工程的勘探孔深度要求。

1 地面车站控制性勘探孔、一般性勘探均应进入基础底面以下，勘察时若设计尚未确定车站基础埋深，应适当加大勘探孔深度；

3 高架车站应分别根据桥梁结构、车站结构可能选用的基础类型，按照本标准第 6.4.4 条的规定，确定不同结构部位的勘探孔深度；

4 填土、软土、溶洞、球状风化体和断裂带等层位影响车站基底埋深设计和基础选型，砂土、碎石土等透水地层影响地下车站的地下水控制方案，因此本款特别规定了遇上述地质条件时的勘探孔深度要求。

6.7 车辆基地

6.7.1 当车辆基地工程需进行大面积堆填时，尚应考虑堆填体本身的工程性质，勘探工作量同时要考虑大面积堆填的变形验算要求。

7 详细勘察

7.1 一般规定

7.1.1 市域（郊）铁路工程结构、建筑类型多，一般包括路基和地面车站、桥涵和高架车站、隧道和地下车站，以及各类地上地下通道、出入口、风井、施工竖井、车辆基地、变电站及附属设施等。不同的工程和结构类型的岩土工程问题不同，设计所需的岩土参数不同，工程风险也不同。因此需要针对工程的特点、工程的建筑类型和结构形式、结构埋置深度、施工方法提出勘察要求。

7.1.3 本条规定了勘探孔类型及取样孔数量要求，明确要求取样、原位测试的勘探点数量：车站不应少于勘探点总数的 $1/2$ ，区间不应少于勘探点总数的 $2/3$ ，避免了在取样和原位测试孔勘探点数量满足的情况下，取样数量可能偏少或不足。

7.1.7 国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制标准》GB 50325 规定，新建、扩建的民用建筑工程，设计前应对建筑工程所在场地区域土壤中氡浓度或土壤表面氡析出率进行调查，并提交相应的调查报告；未进行过区域土壤或土壤表面氡析出率测定的，应对建筑场地土壤中氡浓度或土壤氡析出率进行测定，并提供相应的检测报告。市域（郊）铁路工程的车站、车辆段和停车场有大量的人员停留或活动，因此本标准规定上述场地应进行土壤氡进行调查和测定。场地氡浓度测定工作一般由建设单位委托检测机构专业完成。

7.2 目的与任务

7.2.2 本条规定了市域（郊）铁路岩土工程详细勘察的具体任务，概括起来主要为各类建筑工程的地基基础问题、隧道围岩稳定问题、天然边坡、人工边坡稳定性问题、周边环境保护问题等，为分析评价和解决好这些岩土工程问题，详细勘察阶段需要详细查明其地质条件，提出处理措施建议，提供所需的岩土参数。

7.3 路基

7.3.3~7.3.4 高路堤、深路堑的勘察都要按土工结构物布置合理的勘探、测试工作，查明基底、边坡等地质条件，预测施工及运营期间可能出现的工程地质及环境地质问题，提出工程措施意见。

高路堤的基底稳定、变形等是路堤勘察的重点工作，勘察主要是查明基底稳定情况。既有铁路调查表明，路堤病害绝大多数是由于路堤基底有软弱夹层，或有地下水未处理或处理不当引起。查明基底问题，一是查明第四系地层的厚度、物理力学性质，查明有无软弱层和软弱夹层的存在，若第四系地层覆盖较薄，还应查明基岩横坡形态，对沉积岩地段应注意岩层产状及岩层中的软弱夹层，查明厚度、软弱层的性质，并分析稳定情况等；二是查明地下水问题，要查明地下水出露的范围，并收集有关的地下水活动情况，判明对基底稳定性的影响。

根据工程地质调绘结果，选择适当位置，布置勘探、测试工作。代表性控制断面是指填方边坡较高及工程地质条件较差的地段；勘探深度要视地层情况和路堤高度而定，并要能确定稳定斜坡或基岩横坡形态和岩层性质、地下水埋藏深度及特征，满足取样、试验的要求。

深路堑，工程勘察中要特别注意分析在施工中或施工后由于环境地质条件变化，可能出现的崩塌、滑坡等不良地质现象，并分别说明其发展的可能性和对线路的影响。当岩层倾向线路时，则需调查层面间有无层间错动，有无软弱夹层，并作出有无顺层滑动可能的评价。

横断面勘探、测试工作要根据工程地质调绘结果进行。地质横断面的间距及勘探深度、数量及其位置要根据地质复杂程度而定。如地层复杂，含水层水量较多，需作排水设施时，要进行水文地质试验，提供有关数据。

路堑边坡坡率，要根据岩土的性质、岩土体结构、岩层产状、风化程度、地貌、水文地质等因素和边坡高度，并参照自然山坡和既有人工边坡的稳定程度综合确定。

7.3.5 挡土墙及其他支挡建筑物是确保路堤、路堑等边坡稳固的重要措施；当路堤、路堑边坡稳固条件较差或场地条件受限，需要设置支挡建筑物时，勘察工作可在详

勘阶段结合路基岩土工程勘察同时进行。

支挡结构发展较快，锚杆、锚索、桩基已普遍用于路基支挡工程。这类支挡工程勘探不同于挡墙工程的地基勘探。锚杆、锚索工程主要是查明被锚固地层岩性的物理力学性质，为锚固工程设置提供依据，勘探点的布置和勘探深度要结合锚固范围及地层岩性确定；桩基勘探要按其受力情况确定。无论何种支挡工程的勘探测试，都以满足工程设计为原则。为保障支挡结构设计，并能控制住场地地质条件，提出了必须有勘探测试点的勘探要求。

7.3.7 控制性勘探孔深度应满足路基、支挡结构或涵洞稳定性分析、沉降计算和工程处理措施的设计要求。基底为第四系地层时，控制性勘探孔深度不应小于地基变形的计算深度；路堤工程的计算深度与上部荷载（路堤填土高度）、地基的地质条件和压缩层厚度密切相关。

地基地质条件较好，基底下为基岩时，一般性勘探点深度可适当减小，按进入基岩不小于 3m 控制；当地基为沉降较大的一般土或软土时，勘探孔深需适当加深，一般需穿过软弱土层，进入稳定地层；当软弱土层埋深或厚度巨大时，可通过具体的稳定及沉降设计验算确定勘探孔深，不一定要要求必须打穿软土，进入稳定地层。

地下水发育地段，根据排水工程设计需要适当加深孔深。

7.4 桥涵

7.4.3 2 详勘阶段通常桩位尚未最终确定，逐桩钻探可选择在施工阶段进行。

7.4.4 2 岩溶区勘探深度内遇岩溶洞穴时，钻至洞穴底板下稳定基岩 3m~5m。

7.4.5 地基地质条件较好，基底下为基岩时，一般性勘探点深度可适当减小，按进入基岩风化层不小于 3m 控制；当基底为软弱土层时，勘探点深度需适当加深，一般需穿过软弱土层，进入工程性质较好且相对稳定地层；当软弱土层埋藏深或厚度很大时，可通过地基稳定性及沉降验算确定勘探点深度，不一定要要求打穿软弱土。

7.5 隧道

7.5.2、7.5.6 目前国内矿山法隧道多应用于丘陵山区地带，其所处地区地质构造一般较复杂，隧道洞身一般要求有一定的勘探点控制。由于钻探受限于施工场地条件和搬场困难，影响到其在山区的适用性，故大多矿山法隧道采用钻探、物探相结合的综合勘察手段。但由于钻探除其本身具有直观的特点外，大多原位测试及现场试验工作需结合钻孔才能进行，因此钻探仍然是隧道勘察最为重要的手段。

目前国内关于山岭隧道勘探点平面布置尚无统一的规定。现行国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB50307 执行现行《铁路工程地质勘察规范》TB 10012 的有关规定，本规范亦按此执行。

根据现行《铁路工程地质勘察规范》TB 10012 的有关规定，山岭隧道钻孔位置和数量视地质复杂程度而定。洞门附近第四系地层较厚时，应布置勘探点；地质复杂，长度大于 1 000m 的隧道，洞身应按不同地貌及地质单元布置勘探孔，查明地质条件；主要的地质界线和断层，重要的不良地质、特殊岩土地段，可能产生突泥、突水危害地段等处应有钻孔控制，重要物探异常点应有钻探验证；穿越城市和大江大河的隧道应按城市铁路隧道或水下隧道工程进行勘察。一般埋深小于 100m 的浅埋隧道或洞身段沟谷较发育的山岭隧道，勘探点间距不宜大于 500m；埋深较大隧道勘探点的布置应根据地质调查及物探成果专门研究确定。

现行《市政工程勘察规范》CJJ56 对山岭隧道详勘的勘探点间距有如下规定：对于山岭隧道，在地质条件简单、岩性单一、无构造影响的洞身段，勘探点间距宜为 100m~150m；岩土条件复杂的洞身段，勘探点间距宜为 50m~100m；隧道洞口应根据岩土条件复杂程度布置横断面。

7.5.3 明挖法隧道为狭长型基坑工程，勘探工作量的布置可根据宽度适当调整要求。按照隧道工程的勘察经验，当隧道总宽度小于等于 20m 时，可采用“之”字型布孔，此时勘探孔间距系指轴线投影间距；当隧道总宽度大于 20m 时，宜沿基坑两侧边线分别布置勘探孔，此时勘探孔间距系指单侧实际间距。

7.5.4 考虑上、下行隧道内净距和上、下行隧道外边线总宽度的因素确定勘探孔

布置，是为了有效限定采用轴线投影法的范围。

7.6 车站

7.6.2 市域（郊）铁路地下车站岩土工程详细勘察的主要目的和任务，是查明岩土及水文地质条件，提出地基基础方案、围岩加固与支护、边坡治理、地下水控制、周边环境保护、岩土及水文参数等；为实现上述目的、完成勘察任务，详细勘察应执行本标准第 7.2.2 条及本节的规定。

地下车站工程施工会引起岩土体变形和地下水位变化，对工程周边环境影响较大；对本条规定的第 1、2、6、8 款作出如下说明：

1 饱和砂层、卵石层、漂石层往往自稳性差，具有较强的透水性，且卵石和漂石的岩质坚硬，对地下车站施工的地下水控制、周边环境保护、基坑和围岩支护与开挖安全影响很大，应予以查明；

2 岩层层理、片理、节理等软弱结构面影响岩体稳定性，岩层向开挖的临空面内倾时容易产生顺层坍塌；勘察阶段可通过查阅地层和构造资料、钻探、孔中视觉影像等方法，查明岩层的软弱结构面情况；对于深埋的隐伏岩层当勘察阶段难以查明倾向时，应提醒设计和施工注意顺层滑塌的风险，并结合施工阶段的岩层揭露情况现场复核地层产状；

6 抗浮设防水位是很重要的设计参数，但要预测建（构）筑物使用期间水位可能发生的变化和最高水位有时相当困难；根据现行国家行业标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476，抗浮设防水位应根据建筑使用功能、抗浮设计等级、场地历史最高水位和长期水位观测资料、勘察报告建议、水位预测咨询成果和工程经验综合分析后，按施工期和使用期分别确定；《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476 规定，抗浮设防水位预测分析不应作为通常岩土工程勘察工作或专项勘察报告的一部分内容，其原因一方面在于勘察单位尚无法对工程使用期间的各种状态进行预判，另一方面，由于一般工程勘察时间比较短，获取的资料有限，同时还受到勘察单位搜集相关资料困难等条件所限，无法实现对场地水文地质条件、地下水的水位及其变

化规律进行完整的分析；因此，需要另行委托机构（承担岩土工程勘察或专项勘察的具有相关资质和能力的单位）通过全面、详尽地收集资料后，对场地可能遭遇的最高水位进行预测，以满足抗浮工程的设计和施工需要；

8 出入口与通道、风亭与风道、施工竖井等附属工程其结构形式、埋深及岩土条件、施工方法等不同于车站主体，且一般位于路口或穿越道路，工程周边环境复杂，通道与井交接部位受力复杂，经常发生工程事故，安全风险较高。因此应进行单独勘察评价。

7.6.3 本条根据高架车站大多采用桩基的特点作出规定。需要注意的是，桥建合一结构、桥建分离结构的车站桩基设计有时分别选用行业标准《铁路桥涵设计基本规范》TB 10002.1、国家行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94，勘察应根据设计所选择的技术标准要求，提供相关岩土设计参数。

7.6.4 车站工程勘探点布置应结合车站主体和附属结构特点、结构轮廓线和柱网进行布置，并考虑场地条件、施工方法、附属结构以及特殊部位的要求。

2 地下车站在结构范围内布置钻孔容易导致地下水贯通，给工程施工带来危害，因此地下车站外轮廓部位宜沿结构轮廓线外侧 1m~2m 布置勘探孔；

5 地面车站和高架车站根据地质条件，可能选用土质地基作为基础持力层，也可能选用端承桩或摩擦桩，本款规定了采用土质地基和桩基勘探点间距范围，分别与现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 一致。

6 地下车站勘探点间距规定与现行国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307 一致。

7.7 车辆基地

7.7.2 有上盖开发要求的车辆基地，目前一般采用转换层结构、局部建（构）筑物配合落地的方式，盖下功能性建（构）筑物基础单独布设或结合盖体基础共同布设。虽然通过转换层把上部结构荷载传递到基础，如果上盖开发有高层建筑的还需

满足高层建筑岩土工程勘察的相关技术要求；场地地震效应分析和评价应同时满足地上建（构）筑物和车辆段功能建（构）筑物的要求。

8 施工勘察

8.0.1 市域（郊）铁路工程施工周期较长，工法较复杂，施工中的岩土工程风险较高，应重视施工阶段的地质超前预报和施工勘察工作。根据施工中出现的工程地质问题、新工艺工法要求等，及时补充完善相应地质资料和相关岩土参数，为施工方案调整和工程风险控制提供依据。

8.0.2 施工期间，应核查开挖后的工程地质情况，对受地质条件控制和地质条件复杂地段，根据实际情况需要完善和修正的，必要时应进行施工勘察工作；如施工过程中出现地质条件异常、施工方法或施工工艺有特殊要求、施工方案有较大变更或采用了新技术、新工艺、新方法、新材料等，应进行施工勘察：

1 在施工过程中遇到未探明的暗浜、古河道、空洞、土洞、岩溶及卵石层中的漂石、残积土中的孤石、球状风化等增加施工难度、危及施工安全的地质条件时，在施工阶段有必要开展针对性的勘察工作，以查清此类地质条件，为工程施工提供依据；

2 应深入研究新技术、新工艺、新方法、新材料的工程特点，有针对性展开施工勘察工作；

3 施工期间，由于周边工程建设引起的地下水位变化过大、周边给排水管道渗漏，或临岸工程由于地下工程开挖与降水诱发地表水侧向补给等，对地下工程施工安全造成影响时，应加强周边环境的调查，并根据调查结果进行必要的施工勘察；

4 当出现支护结构变形过大、开裂、涌水、坍塌，地基、边坡变形或失稳，或地面沉降过大时，应查明险情段及相邻地段工程地质、水文地质情况，为工程抢险和恢复施工提供地质依据和岩土参数；

5 路基、桩基、天然地基及其它工程等施工、检测中出现承载力或变形不满足要求、成（沉）桩异常等，需要进行施工勘察验证的情况。

8.0.3 施工阶段勘察应结合施工方案、已有地质资料，重点是不良地质作用、特殊性岩土、对工程有明显影响的地下水及地质复杂地段，分析预测施工中的主要岩土工程问题及工程风险；根据周边环境条件变化、水文地质条件变化，分析可能诱发

新的岩土工程问题和工程风险；分析研究已有工程检测、监测和观测资料，核实开挖的基坑或基槽地质条件及地质异常情况，分析其可能造成的影响，明确施工勘察需解决的主要岩土工程问题。

8.0.4 施工勘察应根据场地具体岩土工程问题及其复杂程度、已有勘察资料和场地条件，采取有效勘察手段，有针对性地布置勘察工作量，采取原位测试和取样试验相结合的手段，为施工方案调整和工程风险控制、应急抢险等提供充分的地质依据和岩土参数。

8.0.5 施工勘察是专门为解决施工过程中出现的具体问题而进行的勘察，故分析评价应具有针对性。

9 场地和地基的地震效应

9.1 一般规定

9.1.1 场地或场地附近有滑坡、泥石流、危岩和崩塌、地裂缝、地面塌陷、采空区等不良地质作用时，应进行专门勘察，划分场地抗震地段类别，分析评价地基在地震作用下的稳定性。

9.1.2 软土在强烈地震下发生震陷已被科学研究和震灾调查所证实。依据现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021，当抗震设防烈度为7度、8度、9度、地基承载力特征值分别大于80 kPa、100 kPa、120 kPa，土层剪切波速分别大于90 m/s、140 m/s、200 m/s时，可不考虑软土震陷影响。关于软土震陷量的估算还没有成熟的经验，相关规范也没有给出计算公式，故本规范不作规定。

9.1.3 场地土的划分和地基液化判别方法，国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909和《铁路工程抗震设计规范》GB 50111分别有规定，但内容不完全一致。考虑到设计要求和实践经验，对地面建筑工程可执行国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定；对线路工程(包括桥梁工程)可执行现行国家标准《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909和《铁路工程抗震设计规范》GB 50111的有关规定。

9.2 场地类别和抗震地段

9.2.1、9.2.2 抗震地段类别和场地类别划分执行现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002的有关规定。

工程场地覆盖层厚度可按下列要求确定：

1 一般情况下，应按地面至剪切波速大于500 m/s且其下卧各层岩土层的剪切波速均不小于500 m/s的土层顶面的距离确定；

2 当地面5 m以下存在剪切波速大于其上部各土层剪切波速2.5倍的土层，且该层与其下卧各层岩土层的剪切波速均不小于400 m/s时，可按地面至该土层顶面的

距离确定；

- 3 剪切波速大于 500 m/s 的孤石、透镜体，应视同周围土层；
- 4 土层中的火山岩硬夹层，应视为刚体，其厚度应从覆盖土层中扣除。

9.3 地基液化判别

9.3.1 关于液化判别深度，对过去的多次大地震的震害调查结果表明，20 m 以内深处土层液化是真实存在的。现行有关规范对液化判别深度根据建（构）筑物重要性和基础埋置深度分别有 15 m 和 20 m。根据工程实践并结合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的规定，本标准规定当地面下 20 m 深度内遇到砂土及粉土时，应进行液化判别。液化判别时宜先对饱和砂土或粉土进行初判，土层符合列条件之一时，可不考虑液化的影响，并不再进行液化判定。

- 1 地质年代属于上更新统及其以前年代的饱和砂土、粉土；
- 2 土中采用六偏磷酸钠作为分散剂的测定方法测得的粘粒含量百分率，当抗震设防烈度为 7 度、8 度和 9 度时，分别不小于 10、13 和 16 时，可判为不液化土；
- 3 对浅埋天然地基的建（构）筑物，当上覆非液化土层厚度和地下水位深度符合下列条件之一时，可不考虑液化影响：

$$d_u > d_0 + d_b - 2 \tag{说明式 9.3.1-1}$$

$$d_w > d_0 + d_b - 3 \tag{说明式 9.3.1-2}$$

$$d_u + d_w > 1.5d_0 + 2d_b - 4.5 \tag{说明式 9.3.1-3}$$

式中：dw——地下水位埋深(m)，宜按设计基准期内年平均最高水位采用，也可按近期内年最高水位采用；

du——上覆非液化土层厚度(m)，计算时宜将淤泥和淤泥质土层扣除；

db——基础埋置深度(m)，不超过 2m 时应采用 2m；

d0——液化土特征深度(m)，可按表 9.3.1 采用。

说明表 9.3.1 液化土特征深度(m)

饱和土类别	7 度	8 度	9 度
粉土	6	7	8

砂土	7	8	9
----	---	---	---

注：当区域的地下水位处于变动状态时，应按不利的情况考虑。

9.3.2 评价地基液化等级时，应符合下列规定：

- 1 评价液化等级的基本方法是：逐点判别，按孔计算，综合评价；
- 2 在同一地质单元内，各孔判别结果不一致时，可按多数孔的判别结果或以各孔液化指数的平均值确定；
- 3 当建设场地涉及不同地质单元时，应分区评价；
- 4 液化判别方法：标准贯入试验方法应用普遍，判别方法比较成熟，故条件允许的情况下尽可能采用标准贯入试验方法，当采用其他方法时需结合当地经验综合运用。
- 5 当采用静力触探试验方法判别液化时，可参考现行国家行业标准《软土地区岩土工程勘察规程》JGJ 83 相关内容：若土的比贯入阻力或锥尖阻力实测值大于临界值，可判为不液化土。临界值可按下列公式计算：

1) 单桥比贯入阻力临界值应按下列公式计算：

$$p_{scr} = p_{s0} [1 - 0.06 + d_s \frac{(d_s - d_w)}{a + b(d_s - d_w)}] \sqrt{\frac{3}{\rho_c}} \quad (\text{说明式 9.3.2-1})$$

2) 双桥锥尖阻力临界值应按下列公式计算：

$$q_{ccr} = q_{c0} [1 - 0.06 d_s + \frac{(d_s - d_w)}{a + b(d_s - d_w)}] \sqrt{\frac{3}{\rho_c}} \quad (\text{说明式 9.3.2-2})$$

式中： p_{scr} 、 q_{ccr} ——分别为比贯入阻力临界值和锥尖阻力临界值（MPa）；

p_{s0} 、 q_{c0} ——分别为比贯入阻力基准值和锥尖阻力基准值（MPa），可按说明表 9.3.2 确定。

说明表 9.3.2 比贯入阻力和锥尖阻力基准值（MPa）

设计地震分组	抗震设防烈度			
	7 度		8 度	9 度
第一组	p_{s0}	2.60 (3.20)	6.00 (7.30)	9.40

	q_{c0}	2.35 (2.90)	5.50 (6.60)	8.60
第二组	p_{s0}	3.20 (6.00)	6.70 (8.60)	10.40
第三组	q_{c0}	2.90 (5.50)	6.10 (7.80)	9.50

注:括号内数值用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 地区。

d_s —— 静力触探试验点深度 (m)，当深度为 15~20m 时，取 15m；

d_w —— 地下水位深度 (m)，可按液化土层近期 3~5 年内的最高水位确定；

a、b —— 系数，分别取 1.0 和 0.75；

ρ_c —— 黏粒含量百分率，取邻近钻孔资料或场地平均值，且当小于 3 或砂土时，应采用 3。

10 不良地质作用

10.1 一般规定

10.1.1 本条须严格执行。本标准所列入的不良地质作用是市域（郊）铁路工程建设中常见的地质现象，对线路方案、施工方案、工程安全、工程造价、工期等会产生重大影响，同时不良地质作用随时空的变化而变化，伴随在工程建设和运营的全过程中，因此，应对不良地质作用进行专项的勘察工作。

本标准列入的不良地质作用有岩溶、人为坑洞、地面沉降、地裂缝、有害气体、放射性、滑坡、危岩和崩塌、泥石流、活动断裂。随着国内市域（郊）铁路工程的不断发展，在今后勘察工作中可能遇到其它不良地质作用，可按国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《铁路工程不良地质勘察规程》TB 10027 执行。

10.2 岩溶

10.2.1 岩溶亦称喀斯特，是指可溶性岩层如碳酸盐类的石灰岩、白云岩以及硫酸盐类的石膏等受水的化学和物理作用产生沟槽、裂隙和空洞，以及由于空洞顶板塌落使地表产生陷穴、洼地等侵蚀及堆积地貌形态特征和地质作用的总称。

根据岩溶埋藏条件可按说明表 10.2.1-1 分为裸露型岩溶、覆盖型岩溶和埋藏型岩溶；根据岩溶发育程度可说明表 10.2.1-2 分为强烈发育、中等发育、弱发育和微弱发育的岩溶。

说明表 10.2.1-1 岩溶按埋藏条件的分类及其特征

岩溶类型	岩溶特征	分布特征
裸露型岩溶	可溶性岩石直接出露于地表，地表岩溶显著，裸露型岩溶多出露于新构造运动上升区	我国绝大部分岩溶均属此类
覆盖型岩溶	可溶性岩石被第四系松散堆积层覆盖，覆盖层厚度一般小于 50m，覆盖层下的岩溶常对地表形态有影响，如在地面形成洼地、漏斗、浅塘、塌陷坑等	多分布于广西、云贵高原等地

埋藏型岩溶	可溶性岩石被上覆基岩埋深达几百米至一、二千米，在地下深处发育岩溶，属于古岩溶，地表上无岩溶现象	分布于四川盆地、华北平原
-------	---	--------------

说明表 10.2.1-2 岩溶发育强度分级

级别	岩溶强烈发育	岩溶中等发育	岩溶弱发育	岩溶微弱发育
岩溶形态	以大型暗河、廊道、较大规模溶洞、竖井和落水洞为主	沿断层、层面、不整合面有显著溶蚀、中小型串珠状洞穴发育	沿裂隙、层面溶蚀扩大为岩溶化裂隙或小型洞穴	以裂隙状岩溶或溶孔为主
连通性	地下洞穴系统基本形成	地下洞穴系统未形成	裂隙连通性差	溶孔、裂隙不连通
地下水	有大型暗河	有小型暗河或集中径流	少见集中径流，常有裂隙水流	裂隙透水性差

10.2.4 岩溶地区的地质条件一般都很复杂，勘察难度大，采用综合勘探手段取得的地质资料相互补充、相互验证，是岩溶地区勘察的基本原则。

岩溶地区的钻探深度应结合工程类别考虑，作为地基时从溶洞的顶板安全厚度考虑，太薄则不安全；作为建筑物环境，一方面应考虑环境条件的要求，另一方面还应考虑基底岩层顶板的安全厚度；对于覆盖型岩溶一般应穿透覆盖层至下伏完整基岩。

10.2.6 岩溶岩土工程分析与评价包括岩土工程勘察报告和各类图件。不同勘察阶段，岩溶岩土工程分析与评价的内容、深度不同：

1 可行性研究阶段，岩土工程勘察报告主要包括可溶岩地层岩性、空间分布、岩溶发育的形态特征、岩溶地下水类型及补、径、排条件，对线路工程的影响程度、方案比选意见，宜采取的对策措施；

2 初勘阶段，岩土工程勘察报告主要包括可溶岩地层岩性、空间分布、岩溶发育的形态特征、岩溶地下水类型及补、径、排条件，对线路方案评价意见及比选建议，重点工程的评价和处理原则，基坑及隧道涌水量的预测和评价，存在问题及

下阶段勘察中注意事项；

3 详勘阶段，岩土工程勘察报告主要包括可溶岩地层岩性、空间分布、岩溶发育的形态特征、岩溶地下水类型及补、径、排条件，岩溶对各类工程的影响程度及采取的相应处理措施，基坑及隧道涌水量的预测和评价，存在问题及施工中应注意事项；

4 施工阶段，岩土工程勘察报告主要是具体分析与评价报告，应阐明隐伏岩溶、洞穴或暗河的空间走向、与工程的空间关系，评价对工程的影响程度、采取的工程处理措施建议。

关于岩溶地面塌陷可按说明表10.2.6进行综合评价：

说明表10.2.6 岩溶地面塌陷预测分析参考标准

基本条件	主要影响因素	因素的水平	指标分数
水——塌陷动力	水位(40 分)	水位能在土、石界面上下波动	40
		水位不能在土、石界面上下波动	20
覆盖层——塌陷物质	土的性质与土层结构(20分)	黏性土	10
		砂性土	20
		风化砂页岩	10
		多元结构	20
	土层厚度(10分)	<10m	10
		10m-20m	7
		>20m	5
岩溶——塌陷与储运条件	地貌(15分)	平原、谷地、溶蚀洼地15	15
		谷坡、山丘5	5
	岩溶发育程度(15分)	漏斗、洼地、落水洞、溶槽、石牙、竖井、暗河、溶洞较多	10~15

		漏斗、洼地、落水洞、溶槽、石牙、竖井、暗河、溶洞稀少	5~9
--	--	----------------------------	-----

注： 1 累计指标分大于或等于90为极易塌陷区，71~89为易塌陷区，小于或等于70为不易塌陷区；

2 近期产生过塌陷区，累计指标分应为100；

3 地表降水入渗至塌陷地区，水的指标分为40。

10.3 人为坑洞

10.3.1 人为坑洞是指人工开凿的各种坑道和洞穴。对市域（郊）铁路工程影响较大的人为坑洞主要为开采各类固体矿藏形成的采空区。各类矿区根据开采历史可分为古老采空区、现代采空区和未来采空区。古老采空区：建筑物兴建时，历史上已经开采过的场地；一般指开采年代距今 40 ~50 年以前，开采手段较落后，巷道狭窄，开采范围较小，回采率低，因年代久远，无资料可查，地面痕迹较少的采空区；现代采空区：建筑物兴建时，地下正在采掘或采掘时间不长的场地；一般指开采年代大约在近 40-50 年内，开采手段较先进，巷道纵横交错，开采范围较大，因采率高，一般有资料可查的采空区；未来采空区：建筑物兴建时，地下赋存有价值的矿体，目前尚未开采，而规划中要开采的场地。根据采空程度可分为大型采空区和小型采空区。

其他人为坑洞可根据其开挖目的分为采煤巷道、掏煤洞、掏沙洞、掏金洞、坎儿井及地下工程等。

小型采空区分类可参照说明表10.3.1。

说明表10.3.1 小型采空区分类

名称	涵义	分布及特征
掏煤洞	小型手工开挖的煤洞，一般有古窑和小窑两类	多分布于埋藏浅、易于开采的含煤地层

		中，以平洞及斜井为多。煤洞长，有岔洞，洞口多有弃渣堆的遗迹
掏砂洞	在含有卵石的地层中开采卵石、砾石，用以覆盖耕地表面，以减少水分蒸发，用来保墒。卵石、砾石被掏后所遗留的空洞	在甘肃、青海一带，黄河及其支流的阶地上分布较多。洞口及其采空形态，因卵石层埋藏深度不同而异。横断面一般宽1~2m，高1~2m。在有掏砂洞地区，地表常有塌陷蝶地、陷落漏斗及洞口等，但由于掏砂洞历史较久，有的洞口堵塞，地表状态变迁，至今已毫无痕迹
淘金洞	掏取砂金而遗留下来的洞穴	主要分布在接触变质和有大量侵入岩脉（石英脉）地区河流两岸，含有金砂的沉积阶地的卵石层底部。淘金洞埋深大，断面小，延伸长，支洞多，洞口多分布于阶地边缘斜坡上
坎儿井	为利用山前洪积平原的潜水而开挖的地下引水渠道	分布在新疆天山南北的山前洪积平原上，哈密至托克逊一带较多，其长度和深度取决于山前洪积平原地下水的埋藏条件和水量大小。在平面上，每隔一定距离即有一个开控的竖井，竖井周围有环形弃土堆

10.3.2 人为坑洞地区的地质调绘以搜集资料、调查访问为主。古窑和小窑采空区一般均未进行过专门的地质勘察，开采无规划，分布也无规律，搜集资料十分困难，主要需做好向当事人或当地居民和有关方面的调查访问工作。大面积采空区一般均作过勘探，有大量的资料可供使用。如各种地质图、矿区分布图、矿区规划图、采空区的位置、开采时间、开采方法、顶板管理方法以及有关地表变形及观测资料。

各种地质图：用于查明人为坑洞区的地层构成、岩性、岩层产状、地质构造及水文地质条件。矿床分布图：用于查明矿层的分布、层数、层厚、埋藏深度。矿区规划图：对有规划、有设计或已成的矿区，需搜集查明采空区的位置、矿层开采深度、厚度、开采时间、开采方法、巷道布置、工作面推进方向、保留矿柱等的分布图件、

有关回填加固等处理的资料及矿区开采的远景规划。

10.3.3 有设计的矿区和有计划开采的规划矿区，将设计方案等比例放在市域（郊）铁路线路平面图上，与该段区域地质资料综合分析后圈定移动盆地或保留煤柱。

小窑采空区，开采多为乱采乱挖，要确定其采空范围则必须经过实地调查、坑洞测量、结合该段区域地质资料，初步圈定采空范围，用钻探和物探查明坑洞含水和采空范围，根据区域地质资料和勘探资料获取采空层位的埋深和顶板地层的物理力学性质。

时间久远的古窑采空区，由于时间久远知情人少，坑洞坍塌又不能实地测量，采空范围和采空程度确定十分困难。为达勘察目的，可采用广泛访问、了解地区开采历史、开采方式、开采能力、开采设备、年开采量、开采时段，分析区域地质资料和水文地质情况，初步确定开采层位，固定采空范围和采空程度；有条件时，应以物探为先导指导钻探验证采空范围。

10.3.5 采空区稳定性评价，应根据采空程度和坑洞顶板地层的物理力学性质进行。大面积采空，根据开采矿体的范围、矿层的倾斜程度、上覆地层的物理力学性质确定移动盆地。根据采空区位置和市域（郊）铁路工程性质确定线路通过位置。小窑采空区，根据上覆地层物理力学性质进行评价。浅埋的人防空洞应根据其与城市交通工程的空间位置关系和土层的物理力学性质进行评价。

铁一院通过在陕西、山西煤系地层小窑采空区的铁路建设，根据前述的小煤窑开采情况和该地区煤层主要位于石炭、二叠系泥页岩夹砂岩地层的特点，提出了该地区小煤窑采空稳定性评价标准；当基岩顶板厚度小于 30m 时，为可能塌陷区，要求所有工程均需处理；当基岩顶板厚度等于 30m~60m 时，为可能变形区，重点工程应处理；当基岩顶板厚度大于 60m 时，为基本稳定区，一般工程不处理，重大工程结合其重要性单独考虑；其中顶板为第四系土层时，按 3 : 1 换算为基岩（即 3m 土层换算为 1m 基岩）。依据上述标准，在孝柳、侯月、神朔等线小煤窑采空区进行工程处理，经过施工、运营考验尚未发生工程地质问题。

线路应绕避大型、重要矿区或规划矿区，宜绕避密集分布的小窑采空区、时间久远难以查明的古窑及其他人为坑洞分布的密集地带。

10.4 地面沉降

本节是按照现行国家标准《岩土工程勘察规范》(GB 50021)的相关规定编制，适用于抽吸地下水引起水位或水压下降而造成大面积地面沉降的岩土工程勘察。

10.4.7 对已发生地面沉降的地区，可根据工程地质和水文地质条件，建议采取下列控制和治理方案：

1 减少地下水开采量和水位降深，调整开采层次，合理开发，当地面沉降发展剧烈时，应暂时停止开采地下水；

2 对地下水进行人工补给，回灌时应控制回灌水源的水质标准，以防止地下水被污染；

3 限制工程建设中的人工降低地下水位。

对可能发生地面沉降的地区应预测地面沉降的可能性和估算沉降量，提出预测和防治措施建议：

1 根据场地工程地质、水文地质条件，预测可压缩层的分布；

2 根据抽水压密试验、渗透试验、先期固结压力试验、流变试验、载荷试验等的测试成果和沉降观测资料，计算分析地面沉降量和发展趋势；

3 提出合理开采地下水资源，限制人工降低地下水位及在地面沉降区内进行工程建设应采取的措施的建议。

4 提出监测建议。

10.5 地裂缝

10.5.1 本节适用于由构造、地震、地面沉降、人工过量开采地下水或人工采空等原因造成的长距离地裂缝的岩土工程勘察。地裂缝包括在地表出露的地裂缝和未在地表出露的隐伏地裂缝。

历史上我国许多地方都出现过地裂缝。唐山地震前后，华北广大地区出现地裂缝活动，涉及10余省200多个县市，发育达上千处之多；山西运城鸣条岗早在20世纪20年代就出现地裂缝，到1975年该地裂缝还在活动，总体走向为北东向，全长约12000m，宽度一般200mm~300mm；陕西的礼泉、泾阳、长安也曾出现地裂缝；最具有代表性的属于西安地裂缝，到目前为止已发现13条。西安地裂缝是指在过量开采承压水，产生不均匀地面沉降的条件下，临潼-长安断裂带西北侧(上盘)存在的一组北东走向的隐伏地裂缝的被动"活动"，在浅表形成的破裂。西安地裂缝的基本特征有以下几点：

1 西安地裂缝大多是由主地裂缝和分枝裂缝组成的，少数地裂缝则由主地裂缝、次生地裂缝和分枝裂缝组成；

2 主地裂缝总体走向北东，近似于平行临潼-长安断裂，倾向南东，与临潼-长安断裂倾向相反，倾角约为80°，平面形态呈不等间距近似平行排列。次生地裂缝分布在主地裂缝的南侧，总体倾向北西，在剖面上与主地裂缝组成"Y"字形；

3 地裂缝具有很好的连续性，每条地裂缝的延伸长度可达数公里至数十公里；

4 地裂缝都发育在特定的构造地貌部位(现在可见的和地质年代存在过的构造地貌)，即梁岗的南侧陡坡上，梁间洼地的北侧边缘；

5 地裂缝的活动方式是蠕动，主要表现为主地裂缝的南侧(上盘)下降，北侧(下盘)相对上升；次生地裂缝则表现为北侧(上盘)下降，南侧(下盘)相对上升；

6 地裂缝的垂直位移具有单向累积的特性，断距随深度的增大而增大。

从上述情况看，地裂缝的形成往往与构造、地震、地面沉降等因素有关。

这里对地裂缝的规模提出了要求，"长距离地裂缝"原则上指长度超过1000m的地裂缝；山西运城鸣条岗地裂缝、陕西的礼泉地裂缝、泾阳地裂缝以及西安地裂缝的长度都超过了1000m；这也是为了区分由地下采空、边坡失稳、挖填分界、黄土湿陷及地震液化等原因造成的小规模地裂缝。

从西安地裂缝的长期研究结果看，地裂缝既有地表可见到的地裂缝，也有地表看不到的隐伏地裂缝。

10.5.2 对本条的有关内容说明如下：

1 地裂缝调查是地裂缝勘察中非常重要的手段，因为地裂缝的活动往往是周期性的，延续时间也较长，而我们的市域（郊）铁路工程都建设在城市中及近郊，这些地段人类活动频繁，对地形地貌的改造较为剧烈，地裂缝活动的痕迹难以保留，只有通过深入细致的调查才能了解地裂缝的基本分布情况，指导进一步的勘察工作；确定地裂缝的历史活动性及错距，主要是通过对标志层的对比来实现的，因此在地裂缝调查时，应确定出哪些层位可作为标志层。

西安地裂缝场地勘察时主要采用三类标志层。

第一类标志层为地表层，其场地特征主要为：场地内地裂缝是活动的，在地表已形成破裂；地表破裂具有清晰的垂直位移，地面呈台阶状；地表破裂有较长的延伸距离；地表破裂与错断上更新统或中更新统的隐伏地裂缝位置相对应；

第二类标志层为上更新统和中更新统红褐色古土壤层，其场地特征主要为：场地内的地裂缝现今没有活动，或活动产生的地表破裂已被人类工程活动所掩埋；场地内埋藏有上更新统或中更新统红褐色古土壤层；

第三类标志层主要指埋藏深度40m~80m 的中更新统河湖相地层和60m~100m深度内可连续追索的六个人工地震反射层组。

采用人工浅层地震反射波法勘探时，宜进行现场试验，确定合理的仪器参数和观测系统。野外数据采集系统的基本要求为：覆盖次数不宜少于24次，道距3m~5m，偏移距不小于50m。对区域地层结构不清楚的场地，不宜采用人工浅层地震反射波法勘探。

对地表出露明显的地裂缝，宜以地质调绘、槽探、钻探、静力触探等方法为主；对隐伏地裂缝，宜以地质调查与测绘、钻探、静力触探、物探等方法为主。

2 若地层分布较稳定，结构清楚，采用静力触探能较准确地查明地裂缝两侧的地层错距。西安市广泛分布的上更新统红褐色古土壤层(地面下第一层古土壤层)，层底一般有钙质结核富集层，静力触探曲线上该层呈非常突出的峰值，是比较好的标志层，且静力触探施工方便，速度快；

3 由于市域（郊）铁路工程呈线状工程，因此在线位与地裂缝走向基本正交时，对地裂缝勘察的勘探线有2条就基本能确定地裂缝的走向。若有左右线，左右

线的勘探线也就是地裂缝的勘探线。但线路通过位置应布置勘探线。若线位与地裂缝走向基本平行，地裂缝的勘探线要根据实际情况增加；

4 勘探孔深度主要根据标志层深度确定，以能查明标志层错位情况为原则。人工浅层地震反射波法反映的异常，不一定是由地裂缝造成的，因此需要用钻探验证。

10.5.3 对本条的有关内容说明如下：

西安市地方标准《西安地裂缝场地勘察与工程设计规程》DBJ 61-6-2006对地裂缝影响区范围和建(构)筑物总平面布置以及工程设计措施主要有以下规定：

地裂缝影响区范围上盘0~20m，其中主变形区0~6m，微变形区6m~20m;下盘0~12m，其中主变形区0~4m，微变形区4m~12m。以上分区范围均从主地裂缝或次生地裂缝起算。

在地裂缝场地，同一建筑物的基础不得跨越地裂缝布置；采用特殊结构跨越地裂缝的建筑物应进行专门研究；在地裂缝影响区内，建筑物长边宜平行地裂缝布置。

建筑物基础底面外沿(桩基时为桩端外沿)至地裂缝的最小避让距离，一类建筑应进行专门研究或按说明表10.5.3采用；二类、三类建筑应满足有关的规定，且基础的任何部分都不得进入主变形区内；四类建筑允许布置在主变形区内。

说明表10.5.3 地裂缝场地建筑物最小避让距离(m)

结构类别	构造位置	建筑物重要性类别		
		一	二	三
砌体结构	上盘	—	—	6
	下盘	—	—	4
钢筋混凝土结构、钢结构	上盘	40	20	6
	下盘	24	12	4

注:使用说明表10.5.4 时，应同时满足下列条件：

- 1 底部框架砖砌体结构、框支剪力墙结构建筑物的避让距离应按表中数值的1.2 倍采用；
- 2 Δk 大于2m 时，实际避让距离等于最小避让距离加上 Δk ；
- 3 桩基础计算避让距离时，地裂缝倾角统一采用80° 。

主地裂缝与次生地裂缝之间，间距小于100m 时，可布置体型简单的三类、四类建筑；间距大于100m 时，可布置二类、三类、四类建筑。

地裂缝场地的建筑工程设计，采取减小地裂缝影响的措施主要有：采取合理的避让距离；加强建筑物适应不均匀沉降的能力；采取防水措施或地基处理措施，避免水浸入地裂缝产生次生灾害；在地裂缝影响区范围内，不得采用用水量较大的地基处理方法；在地裂缝影响区内的建筑，应增加其结构的整体刚度与强度，体型应简单，体型复杂时，应设置沉降缝将建筑物分成几个体型简单的独立单元，单元长高比不应大于2.5；在地裂缝影响区内的砌体建筑，应在每层楼盖和屋盖处及基础设置钢筋混凝土现浇圈梁；在地裂缝影响区内的建筑宜采用钢筋混凝土双向条基、筏基或箱基等整体刚度较大的基础。

采用路堤方式跨越地裂缝时，除查明地裂缝外，应定期监测地裂缝的活动，及时调整线路坡度。桥梁工程场地及附近存在地裂缝时，除查明地裂缝外，还需采取以下设防措施：

1)当桥梁长度方向与地裂缝走向重合时，应适当调整线位，宜置于相对稳定的下盘；

2) 桥墩基础的避让距离，单孔跨径大、中、小桥可按三类建筑物的避让距离确定，单孔跨径特大桥可按二类建筑物的避让距离确定；

3) 跨越地裂缝的桥梁上部结构应采用静定结构，特大桥宜选用柔性桥型，并采取适当的预防措施，定期监测地裂缝的活动，及时进行调整。采用隧道结构穿越地裂缝时，宜采用大角度穿越，必要时采用柔性结构设计，定期监测地裂缝的活动，及时进行调整。

10.6 有害气体

10.6.1 对人体或工程造成危害的有害气体种类较多，常见的有在有机质、工业垃圾、生活垃圾地层中产生的沼气、毒气，煤层中的瓦斯，油气田中的天然气，及缺氧空气。有害气体常造成可燃气体的爆炸事故，缺氧气体的缺氧事故，毒性气体的

中毒事故等危害。

有害气体勘察前，应十分重视对区域地质和有害气体资料的收集和分析，了解线路通过地区是否存在有害气体及其种类、分布情况，对指导下一步的勘察工作非常有益。目前有害气体的勘察、设计资料积累不多，需要在今后的工作中不断地去总结和完善。遇到煤、石油、天然气层可参照现行行业标准《铁路工程不良地质勘察规程》TB 10027 进行工程勘察。

10.6.4 有害气体的勘探以钻探为主，并在钻孔中测定有害气体的压力、温度，采岩土样、气样进行有害气体的类型、含量、浓度及物理力学、化学指标分析，取得的资料需综合分析、相互验证。勘探点的布置、数量、深度应以查明有害气体的分布范围、空间位置和有关参数为目的，一般应结合各地下工程类型的勘探，必要时增加纵、横向勘探点。

10.6.5 目前测试土层中有害气体的方法较多，有抽水后孔内气体浓度测定法、孔内水取样法、气液分离法、泥水探测法、BAT系统法，前4种方法均存在弊病，而由B. A. Torstensson开发的BAT系统法，能较好地测定土中气体含量和浓度。BAT系统法的取样装置主要由过滤头、导管、取样筒、压力计组成；操作流程为过滤头设置、取样筒准备(充He气)→土中气体的取样、回收(测定气压、孔内温度)→减压→用气相色谱仪对气体作气相、液相分析→评价。

10.6.6 有害气体的评价应重点说明有害气体的类型、含量、浓度、压力、是否会发生突出，其突出的位置、突出量和危害性。盾构隧道施工段，当土层中甲烷浓度 $\text{CH}_4 \geq 1.5\%$ 、氧气浓度 $\text{O}_2 \leq 18\%$ 时，应制订必要的通风、防爆等安全措施。

目前，上海等城市对土层中勘察查明的浅层沼气进行预先控制排气，即在隧道施工前3-6个月采用套管钻井，安装减压间，控制放气，其控制标准为不导致对放气孔周围地层显著扰动，不出现放气过程中带走泥砂现象。排气孔尺寸与数量应根据气囊的大小、气压与连通性确定，其位置应离隧道一定距离。预先控制排气措施是预防浅层沼气对隧道施工和今后运营中产生不利影响的较好方法，但一次性提前放气可能不彻底，且沼气可能有一定程度的回聚，故仍需要在施工中加强监测和采取安全措施。

目前，市域（郊）铁路工程勘察中遇到的有害气体主要为甲烷，需要说明如下：

1 甲烷(CH₄)气体，别名沼气，其一般性质如说明表10.6.6；

说明表 10.6.6 甲烷气体一般性质

项 目		内 容		
分子量		16.03		
0℃ 1 大气压 1mol 的容积		22.361L/mol		
1m ³ 的质量		0.7168kg		
0℃ 1 大气压下的相对密度		0.5545		
1 大气压下的 水中溶解度	温度（℃）	15	20	25
	亨利定数 （atm/mol）	3.28E+4	3.66E+4	4.04E+4
危险程度		爆炸，着火点为 537℃，爆炸界限 5～16%；9.5% 爆炸最猛烈		
性质		可燃性，无色，无味，无臭，与氧气结合遇明火 有发生爆炸的危险		
中毒症状		呼吸困难，呈缺氧症状		

2 甲烷在海相、海陆交互相、滨海相、湖沼相等有机质土层中产生，称为生气层，储存于孔渗性较好的砂、贝壳、颗粒状多孔粉质黏土等土层中，称为储气层，各土层大多交互沉积，呈现条带透镜体状、扁豆体状、薄层状砂与黏土互层等形态；

3 查明生气层、储气层的具体位置和特征，对评价有害气体的分布、范围是十分重要的，勘察中还应注意生气层、储气层可能具多层性的特点；

4 甲烷生成后，以溶存于地下水中的溶存气体及存在于土颗粒空隙中的游离气体两种形式存在于土层中，其扩散与地层的渗水特性有关。当压力或温度变化时，部分溶存气体与游离气体可相互转换；

5 水文地质特征影响着甲烷在土中的存在形式。饱和土中仅存在溶存甲烷，非饱和土中存在溶存甲烷和游离甲烷。甲烷气体的运移与地下水的补给、径流、排泄条件有较密切的关系。

10.7 放射性

10.7.4 放射性地质调绘侧重于岩浆活动、地质构造、岩性、地层、岩相-古地理、区域地球化学、风化作用等，以及矿化露头信息、地球化学信息、生物信息等，综合分析评价。

在进行放射性区域地质调绘时，在 1: 10000 的地质图上，建议每平方公里的观测点不少于 8 个。勘探点按实际需要而定。

工程地质调绘前，可首先实测代表性地质剖面，建立典型的地层岩性柱状剖面和标志，划分工程地质制图单元，实测地质体的最小尺寸，一般为相应图上的 2mm 。包括以下内容：

- 1 放射性地区地质调绘前，应搜集区域地质、矿产分布、水文地质、地貌、气象、水文、遥感图像及放射性矿点专项地质资料，搜集核辐射环境质量评价报告、放射性地方病的记载和资料；
- 2 调查岩浆活动、地质构造、地层、岩性、岩相、古地理，以及放射性地球化学；
- 3 调查辐射场的强度和分布规律；
- 4 调查测区水文地质条件及物理化学特征；
- 5 调查当地的生态环境、植物特征、地方史及社会历史情况；
- 6 调查放射性地区线路部位的放射性变化特征。

10.7.5 放射区取样、试验与测试包括取岩样作理化分析，测定放射性物质含量；取水样分析，测定铀、镭、氡、总 α 、总 β 浓度；采集大气样品分析，测定氡及氡子体的浓度；可根据 γ 吸收剂量率估算施工人员 γ 辐射有效剂量；应用放射性方法探测各种地质体的 γ 辐射剂量率、射气浓度等；放射性勘探钻孔现场编录，应用辐射仪直接测定岩芯的放射性照射率。

水文地质试验，除确定水文地质参数外，通过放射性水化学取样及测试，可以评价钻孔附近地层的放射性程度。放射性勘探钻孔编录需对岩芯进行现场辐射取样，即用辐射仪直接测定岩芯的放射性照射率。

10.7.6 γ 总量异常点是指 γ 值为围岩背景值的 3 倍以上的测点。 γ 总量异常带是指异常分布受同一层位(岩性)或构造控制,其长度连续在 20 m 以上者,或受一定层位(岩性)、构造控制的断续异常,其总长度大于 40 m 且累计长度大于 20 m 者。

一个总体大小为 N 和平均值(背景值)为 μ 的总体标准差由下式给出:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}}$$

(说明式 10.7.6)

凡 γ 场受有利层位(岩性)和构造(或蚀变带)等因素控制,场规模较大,其中高场和异常场的分布面积也较大,梯度变化明显,场内异常平均值高,且分布有较多异常点、带,称为有意义的 γ 场。

10.8 滑坡

10.8.1 拟建工程场地存在滑坡或有滑坡可能时,应进行滑坡勘察;拟建工程场地附近存在滑坡或有滑坡可能,如危及工程安全,也应进行滑坡勘察。这是因为,滑坡是一种对工程安全有严重威胁的不良地质作用和地质灾害,可能造成重大人身伤亡和经济损失,产生严重后果。考虑到滑坡勘察的特点,故本条指出,"应进行专门的滑坡勘察"。

滑坡勘察阶段的划分,应根据滑坡的规模、性质和对拟建工程的可能危害确定。例如,有的滑坡规模大,对拟建工程影响严重,即使为初步设计阶段,对滑坡也要进行详细勘察,以免等到施工图设计阶段再由于滑坡问题否定场址,造成浪费。

10.8.3 有些滑坡勘察对地下水问题重视不足,如含水层层数、位置、水量、水压、补给来源等未搞清楚,给整治工作造成困难甚至失败。

10.8.4 滑坡勘察的工作量,由于滑坡的规模不同,滑动面的形状不同,很难做出统一的具体规定。因此,应由勘察人员根据实际情况确定。本条只规定了勘探点的间距不宜大于40m。对规模小的滑坡,勘探点的间距应慎重考虑,以查清滑坡为原

则。

滑坡勘察，布置适量的探井以直接观察滑动面，并采取包括滑面的土样，是非常必要的。动力触探、静力触探常有助于发现和寻找滑动面，适当布置动力触探、静力触探孔对搞清滑坡是有益的。

10.8.7 本条规定采用室内或野外滑面重合剪，或取滑带土作重塑土或原状土多次重复剪，求取抗剪强度。试验宜采用与滑动条件相类似的方法，如快剪、饱和快剪等。当用反分析方法检验时，应采用滑动后实测主断面计算。对正在滑动的滑坡，稳定系数 F_s 可取0.95~1.00，对处在暂时稳定的滑坡，稳定系数 F_s 可取1.00~1.05。可根据经验，给定 c 、 ϕ 中的一个值，反求另一值。

10.8.9 由于影响滑坡稳定的因素十分复杂，计算参数难以选定，故不宜单纯依靠计算，应综合评价。

10.9 危岩和崩塌

10.9.1、10.9.2 在山区选择场址和考虑总平面布置时，应判定山体的稳定性，查明是否存在危岩和崩塌。实践证明，这些问题如不在选择场址或可行性研究阶段及早发现和解决，会给工程建设造成巨大的损失。因此，本条规定危岩和崩塌勘察应在可行性研究或初步勘察阶段进行。

危岩和崩塌的涵义有所区别，前者是指岩体被结构面切割，在外力作用下产生松动和塌落，后者是指危岩的塌落过程及其产物。

10.9.3 危岩和崩塌勘察的主要方法是进行工程地质调绘，着重分析研究形成崩塌的基本条件，这些条件包括：

1 地形条件：斜坡高陡是形成崩塌的必要条件，规模较大的崩塌，一般产生在高度大于30m，坡度大于 45° 的陡峻斜坡上；而斜坡的外部形状，对崩塌的形成也有一定的影响；一般在上陡下缓的凸坡和凹凸不平的陡坡上易发生崩塌；

2 岩性条件：坚硬岩石具有较大的抗剪强度和抗风化能力，能形成陡峻的斜坡，当岩层节理裂隙发育，岩石破碎时易产生崩塌；软硬岩石互层，由于风化差异，

形成锯齿状坡面，当岩层上硬下软时，上陡下缓或上凸下凹的坡面亦易产生崩塌；

3 构造条件：岩层的各种结构面，包括层面、裂隙面、断层面等都是抗剪性较低的、对边坡稳定不利的软弱结构面。当这些不利结构面倾向临空面时，被切割的不稳定岩块易沿结构面发生崩塌；

4 其他条件：如昼夜温差变化、暴雨、地震、不合理的采矿或开挖边坡，都能促使岩体产生崩塌。

危岩和崩塌勘察的任务就是要从上述形成崩塌的基本条件着手，分析产生崩塌的可能性及其类型、规模、范围，提出防治方案的建议，预测发展趋势，为评价场地的适宜性提供依据。

10.9.5 危岩的观测可通过下列步骤实施：

- 1 对危岩及裂隙进行详细编录；
- 2 在岩体裂隙主要部位要设置伸缩仪，记录其水平位移量和垂直位移量；
- 3 绘制时间与水平位移、时间与垂直位移的关系曲线；
- 4 根据位移随时间的变化曲线，求得移动速度。必要时可在伸缩仪上联接报警器，当位移量达到一定值或位移突然增大时，即可发出警报。

10.9.6 危岩和崩塌区的岩土工程评价应在查明形成崩塌的基本条件的基础上，圈出可能产生崩塌的范围和危险区，评价作为工程场地的适宜性，并提出相应的防治对策和方案的建议。

10.10 泥石流

10.10.1、10.10.2 泥石流对工程威胁很大。泥石流问题若不在前期发现和解决，会给以后工作造成被动或在经济上造成损失，故本条规定泥石流勘察应在可行性研究或初步勘察阶段完成。

泥石流虽然有其危害性，但并不是所有泥石流沟谷都不能作为工程场地，而决定于泥石流的类型、规模，目前所处的发育阶段，暴发的频繁程度和破坏程度等，因而勘察的任务应认真做好调查研究，做出确切的评价，正确判定作为工程场地的

适宜性和危害程度，并提出防治方案的建议。

10.10.3 泥石流勘察在一般情况下，不进行勘探或测试，重点是进行工程地质调绘。调绘的范围应包括沟口至分水岭的全部地段，即包括泥石流的形成区、流通区和堆积区。

现将工程地质调绘中的几个主要问题说明如下：

1 泥石流沟谷在地形地貌和流域形态上往往有其独特反映，典型的泥石流沟谷，形成区多为高山环抱的山间盆地；流通区多为峡谷，沟谷两侧山坡陡峻，沟床顺直，纵坡梯度大；堆积区则多呈扇形或锥形分布，沟道摆动频繁，大小石块混杂堆积，垄岗起伏不平；对于典型的泥石流沟谷，这些区段均能明显划分，但对不典型的泥石流沟谷，则无明显的流通区，形成区与堆积区直接相连；研究泥石流沟谷的地形地貌特征，可从宏观上判定沟谷是否属泥石流沟谷，并进一步划分区段；

2 形成区应详细调查各种松散碎屑物质的分布范围和数量；对各种岩层的构造破碎情况、风化层厚度、滑坡、崩塌、岩堆等现象均应调查清楚，正确划分各种固体物质的稳定程度，以估算一次供给的可能数量；

3 流通区应详细调查沟床纵坡，因为典型的泥石流沟谷，流通区没有冲淤现象，其纵坡梯度是确定“不冲淤坡度”(设计疏导工程所必需的参数)的重要计算参数；沟谷的急湾、基岩跌水陡坎往往可减弱泥石流的流通，是抑制泥石流活动的有利条件；沟谷的阻塞情况可说明泥石流的活动强度，阻塞严重者多为破坏性较强的粘性泥石流，反之则为破坏性较弱的稀性泥石流；

固体物质的供给主要来源于形成区，但流通区两侧山坡及沟床内仍可能有固体物质供给，调查时应予注意；

泥石流痕迹是了解沟谷在历史上是否发生过泥石流及其强度的重要依据，并可了解历史上泥石流的形成过程、规模，判定目前的稳定程度，预测今后的发展趋势；

4 堆积区应调查堆积区范围、最新堆积物分布特点等；以分析历次泥石流活动规律，判定其活动程度、危害性，说明并取得一次最大堆积量等重要数据。

一般地说，堆积扇范围大，说明以往的泥石流规模也较大，堆积区目前的河道如已形成了较固定的河槽，说明近期泥石流活动已不强烈。从堆积物质的粒径大小、

堆积的韵律，亦可分析以往泥石流的规模和暴发的频繁程度，并估算一次最大堆积量。

10.10.5 泥石流堆积物的性质、结构、厚度、固体物质含量百分比，最大粒径、流速、流量、冲积量和淤积量等指标，是判定泥石流类型、规模、强度、频繁程度、危害程度的重要标志，同时也是工程设计的重要参数。如年平均冲出量、淤积总量是拦淤设计和预测排导沟沟口可能淤积高度的依据。

10.10.6 泥石流的工程分类是要解决泥石流沟谷作为工程场地的适宜性问题。本分类首先根据泥石流特征和流域特征，把泥石流分为高频率泥石流沟谷和低频率泥石流沟谷两类；每类又根据流域面积，固体物质一次冲出量、流量，堆积区面积和严重程度分为三个亚类。定量指标的具体数据是参照了《公路路线、路基设计手册》和原中国科学院成都地理研究所1979年资料，并经修改而成的。

10.10.7 泥石流地区工程建设适宜性评价，一方面应考虑到泥石流的危害性，确保工程安全，不能轻率地将工程设在有泥石流影响的地段；另一方面也不能认为凡属泥石流沟谷均不能兴建工程，而应根据泥石流的规模、危害程度等区别对待。因此，本条根据泥石流的工程分类，分别考虑建筑的适宜性。

1 考虑到Ⅰ₁类和Ⅱ₁类泥石流沟谷规模大，危害性大，防治工作困难且不经济，故不能作为各类工程的建设场地；

2 对于Ⅰ₂类和Ⅱ₂类泥石流沟谷，一般地说，以避开为好，故作了不宜作为工程建设场地的规定，当必须作为建设场地时，应提出综合防治措施的建议；对线路工程宜在流通区或沟口选择沟床固定、沟形顺直、沟道纵坡比较一致、冲淤变化较小的地段设桥或墩通过，并尽量选择在沟道比较狭窄的地段以一孔跨越通过，当不可能一孔跨越时，应采用大跨径，以减少桥墩数量；

3 对于Ⅰ₃类和Ⅱ₃类泥石流沟谷，由于其规模及危害性均较小，防治也较容易和经济，堆积扇可作为工程建设场地；线路工程可以在堆积扇通过，但宜用一沟一桥，不宜任意改沟、并沟，根据具体情况做好排洪、导流等防治措施。

10.11 活动断裂

10.11.1 国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001,2009 年版）规定，抗震设防烈度等于或大于 7 度的重大工程场地应进行活动断裂(以下简称断裂)勘察，断裂勘察的主要目的是查明断裂的位置和类型，分析其活动性和地震效应，评价断裂对工程建设可能产生的影响，并提出处理方案。

由于断裂部位常常岩体常常破碎且水文地质条件复杂，对市域（郊）铁路工程选址、地基基础设计和地下水控制等影响不可忽视，因此本标准规定，市域（郊）铁路工程的建设场地或其附近存在对工程有影响的断裂时，不论是否为活动性断裂均应进行断裂勘察。

10.11.2 本标准在国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001，2009 版）的基础上，对断裂勘察应查明的内容做了进一步规定。断裂形成年代勘察可采用搜集分析已有资料、开展断层测年等方法，目的在于了解是否为全新活动断裂。

10.11.3 当前地震地质研究成果和工程实践经验都较为丰富，应在充分搜集已有文献资料、进行卫星影像和航空遥感相片解译、野外调查和追踪断裂迹象的基础上，开展断裂勘察工作。断裂勘察的工程地质测绘工作，应重点调查下列内容：

（1）地形地貌迹象：非岩性影响的陡坡、峭壁，深切的直线形河谷，一系列滑坡、崩塌和山前叠置的洪积扇；山区中或平原山地交界处具有定向断续线形分布的残丘、洼地、跌水、泉、温泉等；河流水系走向排列展布或同向扭曲错动等现象。

（2）地层地质迹象：断裂两侧第四纪地层变动及错位，地下水活动异常（温泉）和地表植被的不同特征，断裂带的破碎程度和胶结特征，破碎带组成物质及性质等。

（3）地震迹象：区域历史地震遗迹或古地震遗迹，如与地震有关的断裂、地裂缝、崩塌、滑坡、地震湖、河流改道和砂土液化等。

断裂勘察应采用综合的勘察手段，在野外调查和工程地质测绘基础上，首先采用地球物理勘探手段，对断裂的分布、走向和破碎带特性进行普查，圈定重点异常区，再辅以钻探进行验证，钻探过程中应对断裂破碎带有针对性的取样、原位测试，

以查明破碎带岩土层物理力学性质，分析断裂的形成年代及活动性

断裂带地下水的情况是断裂勘察工作的重点，应结合区域水文地质调查和前期地球物理勘探结果，开展有针对性的水文地质试验，对于地下水情况复杂或富水性强的断裂破碎带，建议根据工程建设需求，设置长期水位观测井，动态观测地下水变化情况。

10.11.4 槽探或坑探应用于断裂勘察时，主要针对断裂露头或断裂错动第四系地层处的野外地质测绘调查无法满足要求且无条件进行钻探时，采用槽探或坑探进一步查明断裂露头或错动处的分布及特性。

10.11.5 断裂勘察钻孔深度除满足各阶段勘察钻孔深度技术要求外，一般应钻穿断裂破碎带并进入稳定地层。实际工作中，有的断裂构造倾角很大，勘探孔难以揭穿，此时应结合设计和施工处理的需要研究确定勘探孔深度。

10.11.7 本条主要规定了断裂勘察成果分析与评价的具体要求，断裂勘察成果分析与评价应重点关注断裂带的性质特征，尤其是破碎带的地基承载力、围岩的稳定性和变形问题，并特别强调了地下水作用和工程建设对环境影响的分析评价。

11 特殊性岩土

11.1 一般规定

11.1.1 由于盐岩、漂石等特殊性岩土在市域（郊）铁路中分布不是很普遍，且一般不会分布在城市及附近，对市域（郊）铁路工程建设影响较小，故本标准中没有作具体规定。若在勘察时遇到，应执行相关标准。

11.1.3~11.1.4 我国特殊性岩土种类繁多，对分布范围较广的特殊性岩土已进行了深入的研究，先后制定了不少国家标准、行业标准和地方标准，如国家现行标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025、《膨胀土地区建筑技术规范》GB50112、《冻土工程地质勘察规范》GB50324，行业标准《软土地区工程地质勘察规范》JGJ83等，这些标准都是从特殊性岩土的工程特性出发，对勘察工作量、勘察方法、勘察手段和勘察成果等进行了较为详细的规定，本标准制定第11.1.3、11.1.4条之目的，也是要求在特殊性岩土场地勘察时，要有针对性地开展勘察工作。

11.2 填土

11.2.1 填土根据其组成物质的成分和堆填的方式，划分为素填土、杂填土、冲（吹）填土和压实填土，可按说明表11.2.1进行分类。

说明表 11.2.1 填土的分类及特征

填土名称	填土的特征
素填土	由碎石类土，砂类土，粉土和黏性土等一种或几种材料组成，不含杂物或杂物很少
杂填土	含有大量建筑垃圾、工艺废料或生活垃圾等杂物
冲（吹）填土	由水力冲填或管道吹扬运送泥砂或矿渣，形成的填土或弃土
压实填土	按一定标准控制填料的成分、密度、含水量，分层压实或夯实而成

11.2.2 对本条主要说明以下两点：

2 强调查明填土的类型和物质成分，是为了划分素填土、杂填土和冲（吹）填土和压实填土，而这四个基本种类还可细分。在本款中，还要求对其厚度变化予以特别注意。这是因为填土不是自然过程形成的物质，它不但成分多变，厚度也不稳定。将本款与上款的内容归纳之，填土的主要特点是：成分不一，厚薄不均，固结程度低，往往系欠固结的（即高压缩性的）；

3 掌握填土的堆填年限和固结程度，特别是填土是否经过超载，在对填土的岩土工程评价中有重要意义。一般而言，填土之所以“松”、压缩性高，主要是由于它只经过自重压力（这一压力还是不大的）固结或（对新近的填土）仍在经受自重压力固结。总而言之，一是固结压力小，二是固结时间短，填土有可能处于欠固结的状态，这就是填土常常难以直接作为地基土的主要原因。若填土在历史上曾有过超载，则它是超固结的；超载愈大，超固结比愈大；这样的填土就有被直接利用作为天然地基的可能性。填土年代愈久，经受过超载的概率愈高，因此，往往年代和超载指的是同一过程和效应。

11.2.3 填土与软土、膨胀土与残积土、风化岩等特殊性岩土一样，对勘探与取样亦有其特殊要求；下面就第1款、第3款依次给予必要说明：

1 由于填土的物质成分和厚度多变，勘探点的密度自然宜适当增大，但在具体布置上不应一步到位而宜采取逐步加密和有目的的追索、圈定的方法，对厚度突变部位，需加密勘探点，并查明暗埋的塘、浜、坑的范围。

3 像其他特殊性土一样，填土的勘探与取样也应有一定数量的探井，这既是对填土成分和组织结构进行直接观察的需要，也是采取高质量等级的土样和进行大体积密度测定的需要。轻型钻具由于成本低、能进入到钻机不易去的地方等，在圈定填土范围时能发挥较大作用。由于填土“松”的特性，导致取样困难，因此原位测试成为填土勘察的主要勘探手段。对于原地取土回填的填土，其成分与原土一致，钻探过程中难以区分填土和原土，采用连续动力触探能较好地查明原土和填土分界线，是良好的勘探手段。

11.2.4 由于填土的物质成分多变，取高质量等级的土样不但不易而且所测得的岩

土技术性质参数变异性大，为弥补这些不足应充分利用原位测试技术，特别是轻便型的原位测试设备。只有勘探取样和原位测试结合起来，才能取得好的效果。

11.2.5 填土一般具有不均匀性、湿陷性、自重压密性、低强度及高压缩性。素填土的工程性质取决于它的物质成分、均匀性、密实度以及堆积时间；杂填土性质不均，厚度和密度变化大，压缩性高、强度低，孔隙大，且渗透性不均匀；冲填土一般均匀性相对较差，因成分不同透水性能和排水固结速度差异较大。堆积年限较长的素填土、冲填土和由建筑垃圾或性能稳定的工业废料组成的杂填土，当均匀性、稳定性及承载力满足要求时，可作为一般地基的持力层，其承载力可参照有关规定验证后确定；由有机质含量较高的生活垃圾和对结构有腐蚀性的工业废料组成的杂填土，弃、填年限不长、未经处理的填土，不宜作为天然地基持力层，应分析评价其影响，并提出防护措施的建议；

1 填土地基的评价主要包括：填土的类型、成分、分布、堆积年代和固结状态，判断地基的均匀性、压缩性和密实度，必要时应按厚度、强度和变形特性分层或分区评价。填土的地基承载力可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的要求，由载荷试验或其他原位测试结合当地工程经验综合确定；

2 填土的弃置年限及填土的土质成分，对填土的密实程度有密切的影响，粗颗粒土在自重压力下所需的压密时间较细粒土所需时间要短。一般认为填土堆积 5~10 年后，其沉降就已趋于稳定。

地基承载力主要取决于人工填土的类型及密实程度，一般情况填土的形成年限愈长，其承载力愈高。国内各地所积累的经验多是工业与民用建筑方面的，铁路部门目前尚无成熟经验，对测试及评价缺乏明确的规定，因此搜集填土地区有关单位的建筑经验，对我们评价勘察区域内的人工填土是有一定帮助的。

填筑土地具有可靠的设计、施工资料和验证性勘探测试数据，承载力或稳定性满足设计要求时，可作为人工地基或天然地基直接使用。

11.3 软土

11.3.1 软土按其物理力学特征，可分为软黏性土、淤泥质土、淤泥、泥炭质土及

泥炭等类型，当粉土的大部分指标满足软土指标时，可定为软粉土。

11.3.2 本条的各款内容是针对软土形成的地理、地质环境条件和主要的岩土技术特性提出的，现对有关内容加以说明：

1 “软土”的主要成因类型、基本特征：

《岩土工程勘察规范》GB 50021 及《软土地区岩土工程勘察规程》JGJ 83 都要求查明软土的成因类型，然而，关于软土的成因类型，在不同行业规范中，表述各异，借鉴《工程地质手册》和铁路、公路等行业规范可划分为滨海相、泻湖相、溺谷相、三角洲相、湖相、河漫滩相、牛轭湖相、谷地相、沼泽相等，不同成因软土的基本特征见说明表 11.3.2-1。

说明表 11.3.2-1 软土的成因类型

地貌类型	成因类型	沉积特征
滨海平原	滨海相	土质不均匀、极疏松，具交错层理，常与砂砾层混杂，砂砾分选、磨圆度好，有时也有生物贝壳及其碎片局部富集
	泻湖相	颗粒细、孔隙比大、强度低，显示水平纹层，交错层不发育，常夹有泥炭薄层
	溺谷相	孔隙比大、结构疏松、含水量高
	三角洲相	分选性差，结构疏松、多交错层理，多粉砂薄层
湖积平原	湖相	沉积物中粉土颗粒含量高，季节韵律带状层理，结构松软，表层硬壳厚度不规律
河流冲积平原	河漫滩相	沉积物成层情况较复杂，呈特殊的洪水层理，成分不均一，以淤泥及软黏性土为主，间与砂层或泥炭互层
	牛轭湖相	沉积物成层情况较复杂，成分不均一，以淤泥、淤泥质土及软黏性土为主，间与砂层或泥炭互层，下部含有各种植物腐殖质和软体动物贝壳
山间谷地	谷地相	软土呈片状、带状分布，靠山边浅，谷地中心深，厚度变化大。颗粒由山前到谷地中心逐渐变细。下伏硬层坡度较大
泥炭沼泽地	沼泽相	以泥炭沉积为主，且常出露于地表。孔隙极大，富有弹性。下部有淤泥层或薄层淤泥与泥炭互层

不同成因的软土，由于其沉积环境不同，其分布范围、层位的稳定性、土层的厚度均有其特点。

软土的厚度及其变化对沉降和差异沉降的预测，地基处理与结构措施的选择，桩基设计及基坑开挖与支护方法关系甚大，其中应特别重视查明砂层和含砂交互层的存在与分布，因为这涉及软土地层的排水固结条件，沉降历时长短与强度在荷载作用下的递增速度，甚至会关系到一个工程项目的可行性。

2 地貌的变化在很大程度上反映了地质情况的变化，特别是微地貌，往往是地层变化或软土分布在地表上的反映（例如：在平原区地貌突变处，有可能有暗埋湖塘、洼浜或古河道），因此，应注意微地貌的变化；

3 查明软土的硬壳和硬底状态，对分析各类工程的稳定和变形具有重要意义；

4 软土的固结应力历史及反映这个历史的不排水抗剪强度，前期固结压力（亦称最大历史压力）， $e - \lg P$ 曲线上的回弹指数与压缩指数等对确定软土的承载力，选择地基处理方法及预测地基性状与表现等是重要的依据。将软土按超固结比 OCR 划分为欠固结土、正常固结土与超固结土，对反映软土固结应力历史具有实用意义。

5 软土中的含水层数量、位置、颗粒组成与各层的水头高度是深基坑降水、开挖与支护设计及地下结构的防水所需要的资料；

6 应指出施工或相邻工程的施工（包括降水、开挖、设桩或大面积填筑等）会导致软土中应力状态的突变或孔隙水压的骤升，使土体和已竣工工程变形、位移或破坏。软土的勘察应特别注意此类问题的分析，并提出措施建议。

11.3.3 本条主要针对软土的特殊性，提出的勘探与取样要求。

1 勘探（简易勘探、挖探、钻探等）和原位测试（静力触探、十字板剪切试验、旁压试验、载荷试验等）应在地质调绘的基础综合运用，一般情况下，宜先采用简易勘探、静力触探，再视具体情况布置钻探、十字板剪切试验等。在软土地区应充分采用静力触探测定软土层在天然结构下的物理力学性能，划分地层层次；原位测试进行软土地基的勘探、测试虽然具有显著的优越性，但目前还只能通过各种相关关系的建立来提供软土的物理力学指标。所以，对各种勘探、测试方法、设计参数的选取，由于岩土种类繁多且变化大，不能依赖于单一的勘探手段，应采用多种勘探手段相互印证和对比，以保证勘探结果的可靠性；

大量的工程经验证明静力触探、十字板剪切试验及自钻式旁压试验是软土地区

行之有效的原位测试方法，能大大弥补钻探取样与室内试验的不足；

由于软土钻探采取原状土样比较困难，取土后又容易受震动失水，致使室内试验数据不准，而采用十字板剪切试验可以弥补这一缺陷，所以，为测定软土层在不排水状态下的抗剪强度指标一般采用十字板剪切试验。

2 软土分布区勘探点的布设应根据需要综合确定。

勘探点的密度应满足相应勘察阶段岩土工程评价、工程设计的需要，路基地段一般宜为 25~50m；隧道段、桥涵段应不低于本标准相关章节的规定；

当需要圈定重要的局部变化时，可以加密勘探点；必要时进行横断面勘探。查明软土层厚度的钻孔，应布置在有代表性的部位；软土深厚或厚度变化不大时，可布置在线路中心；下伏硬层的顶面坡度较大时，宜布置在下坡一侧。

3 压缩层计算深度宜用应力比法控制，在实际工作中，软土地基计算压缩层的计算深度可作如下控制：

1) 对于均质厚层软土，软土地基附加应力为自重应力的比例为 0.1~0.15 时相应的深度；

2) 对于非均质分布的软土地层，软土地基附加应力为自重应力的比例为 0.15~0.2 时相应的深度；如果在影响深度范围内，软土层下出现有密实或硬塑的下卧硬层（如半坚硬黏土层等硬土层、砂层等）或岩质底板时，在查明其性质并确定有一定厚度后，可不再继续计算；

3) 压缩层计算中应注意：对可透水饱和土层的自重应力应用浮重度；当软弱土地基不均匀时，所确定的计算深度下如果还有软土层，则应继续向下计算，以避免计算深度下的软土层的变形使总变形量超过允许变形值。

11.3.4 本条对软土的试验类型、方法提出要求。

1 为地基承载力计算测定强度参数时，当加荷速率高，土中超孔隙水压力消散慢，宜采用自重压力预固结的不固结不排水剪（UU）试验或快剪试验。当加荷速率低，土中孔隙水压力消散快，可采用固结不排水剪（CU）试验或固结快剪试验。

支护结构设计中土压力计算所需用的抗剪强度参数应根据不同条件和要求选用总应力强度参数或有效应力强度参数。后者可用固结不排水剪（CU）测孔隙水压力

试验确定。

固结试验方法,各土样的最大试验压力及所取得的系数应符合沉降计算的需要。

泥炭、泥炭质土等软土,水平和垂直方向上的固结系数和渗透系数差异较大,按照水平方向和垂直方向分别进行试验和提供参数,有利于准确分析和判定其特性和对工程的影响。

11.3.5 本条中各款的规定,对软土而言是有很强的针对性的,按超固结比划分软土,对确定承载力和预测沉降有启发、指导作用,掌握软土的灵敏度有助于重视挖土方法,选好支护措施或合理布置打桩施工流程,以防止出现坑底隆起、土体位移或桩基变位等事故;大量的工程实践证明,泥炭、泥炭质土等有机质土不利于与水泥的拌合和凝固,应充分认识到该类土层对水泥土隔水帷幕和加固措施的不利影响。

软土地区的市域(郊)铁路运营线路已经出现了过量沉降问题,并导致隧道结构开裂、渗漏水等问题。产生过量沉降的因素很复杂,一般包括施工扰动、自然固结以及运营震动影响等。因此,软土地区的市域(郊)铁路工程的沉降问题应引起勘察与设计人员的高度重视。

一般建筑物可利用静力触探及其他原位测试成果,结合地区经验确定,或采用工程地质类比法确定;对重要建筑物和缺乏经验的地区,宜采用载荷试验方法确定;软土地基的承载力评价应根据建(构)筑物对沉降的限制要求综合分析。

11.4 膨胀岩土

11.4.1 含有大量亲水矿物,湿度变化时有较大体积变化,变形受约束时产生较大内应力的岩土,应判定为膨胀岩土。膨胀岩土包括膨胀土和膨胀岩,目前尚无统一的判定标准,一般采用综合判定,分初判和详判两步。初判主要根据野外地质特征和自由膨胀率,详判是在初判的基础上,作进一步的室内试验分析。常见的膨胀岩有泥岩、泥质粉砂岩、页岩、风化的泥灰岩、蒙脱石化的凝灰岩、含硬石膏、芒硝

的岩石等。

具有膨胀性的土一般为液限大于 40%的黏土。膨胀土的初判应符合下列规定：

- 1 多分布在二级或二级以上阶地、山前丘陵和盆地边缘；
- 2 地形平缓，无明显自然陡坎；
- 3 常见浅层滑坡、地裂、新开挖的路堑、边坡、基槽易发生坍塌；
- 4 裂缝发育、方向不规则，常有光滑面和擦痕，裂缝中常充填灰白、灰绿色黏土；
- 5 干时坚硬，遇水软化，自然条件下呈坚硬或硬塑状态；
- 6 自由膨胀率一般大于 40%；
- 7 未经处理的建筑物成群破坏，低层较多层严重，刚性结构较柔性结构严重；
- 8 建筑物多呈“倒八字”、“X”或水平裂缝，裂缝随气候变化而张开和闭合。

膨胀土的终判是在以上初判的基础上结合各种室内试验及邻近工程损坏原因分析等进行的，这里还需说明 6 点：

- 1) 自由膨胀率是一个很有用的指标，但不能作为唯一依据，否则易造成误判；
- 2) 从实用出发，应以是否造成工程的损害为最直接的标准；但对于新建工程，不一定有已有工程的经验可借鉴，此时仍可通过各种室内试验指标结合现场特征判定；

3) 初判和终判不是互相分割的，应互相结合，综合分析，工作的次序是从初判到终判，但终判时仍应综合考虑现场特征，不宜只凭个别试验指标确定；

- 4) 对于膨胀岩的判定参照膨胀土的判定方法进行；

5) 《铁路工程特殊岩土勘察规程》TB 10038 中将膨胀岩定义为：遇含有较多的蒙脱石或硬石膏、无水芒硝等亲水矿物，具有含水率增加、体积膨胀、岩质软化、饱水后崩解泥化和失水后体积收缩、岩体破裂、新鲜岩石在空气中具有鳞片状剥落特性的软质岩石时，应按膨胀岩进行工程勘察；

6) 工程设计和施工有重大影响是指以膨胀岩土作为基础持力层的建设工程，隧道工程洞身及其围岩、明挖工程开挖深度内、边坡工程等分布有膨胀岩土。

膨胀土的成因类型划分，可按下列规定：

- 1 由流水搬运、分选、堆积而成时，应划分为冲积、洪积、冰水沉积相膨胀土；
- 2 由泥岩、页岩、石灰岩等沉积岩或基性、中酸性火成岩风化而成时，应划分为残积、坡积相膨胀土。

膨胀岩的岩性特征分类，可按下列规定：

- 1 泥岩、页岩、泥质粉砂岩类膨胀岩，应划分为沉积型泥质膨胀岩；
- 2 低温热液型中基性侵入岩体蒙脱石化后形成的膨胀岩，应划分为火成岩类膨胀岩；
- 3 凝灰岩蚀变后形成的膨胀岩，应划分为蒙脱石化凝灰岩类膨胀岩；
- 4 区域性活断层柔性剪切带形成的半成岩断层泥膨胀岩，应划分为固结断层泥类膨胀岩；
- 5 红色沉积岩系中夹有层状硬石膏或无水芒硝时，应划分为含硬石膏或无水芒硝类膨胀岩。

11.4.3 由于膨胀土中有众多裂隙，钻探取样难免扰动，在钻进难度较大，勘探过程中禁止用水，故为取得质量等级为 I 级的土样，必须有一定数量的探井。

气候的干湿周期性交替对膨胀土的胀缩有直接的影响，多年一周期的气候干湿大变化的影响能达到较大的深度，称之为大气影响深度。国外常称之为活动层（Active zone）。经多年观测，我国膨胀土分布区内平坦场地的大气影响深度一般在 5m 以内，再往下土的含水量受气候变化影响很小，以至消失。显而易见，勘探取样深度必须超过这个深度的下限，而且在这个深度范围内采取 I 级土样，取样间隔宜为 1m，往下要求可以放宽。

11.4.6 对本条的岩土工程分析评价说明如下：

- 1 铁路系统对膨胀土采用自由膨胀率、蒙脱石含量和阳离子交换量作为详判指标，经过了大量的工程实践，证明是可行的，而市域（郊）铁路和铁路具相似性，故参照纳入，这样既考虑了线路工程的特点，又避免了采用自由膨胀率单一可能造成的漏判。膨胀岩的判定尚处于研究、总结阶段，建议参照《铁路工程特殊岩土勘察规程》TB 10038 进行综合判定；

- 2 调查和长期观测证明，在坡地场地上建筑物的损毁程度较平坦场地严重得

多，因此认为有必要将原简单场地改为平坦场地，而将原中等复杂场地和复杂场地改划为坡地场地；

6 为了防止地基的过量胀缩变形引起的对建筑物的影响和破坏，集中起来是“防水保湿”四个字，做到了这点，便没有膨胀岩土의 胀缩变形。这一点对开挖的基坑保护也完全适用。

11.5 黄土

11.5.1 黄土是我国北方广泛分布的特殊土，主要分布在秦岭、伏牛山以北的华北、西北、东北广大地域。由于黄土形成及存在的气候条件和特殊性质形成了其特殊的地貌形态和不良地质现象。因此，应结合工程特点、黄土特征及与工程有关的工程地质问题，有针对性地开展勘察工作，查明黄土特征、地区差异及环境条件，作出切合实际的场地评价。

根据黄土的堆积时代可分为全新统（ Q_4 ）、上更新统（ Q_3 ）、中更新统（ Q_2 ）、下更新统（ Q_1 ）黄土；根据黄土的成因类型可分为风积、冲积、洪积、坡积黄土；根据黄土体在一定压力下受水浸湿发生湿陷的程度可分为自重湿陷性黄土、非自重湿陷性黄土和非湿陷性黄土；根据黄土的塑性指数可分为砂质黄土（ $I_p \leq 10$ ）和黏质黄土（ $I_p > 10$ ）。

11.5.2 2 湿陷性土的湿陷性与其年代、成因等关系非常密切；黄土形成的地质年代越早一般其湿陷起始压力越大，越不容易湿陷；成因也显著影响着黄土的湿陷性，风积黄土的湿陷性普遍强于水相环境沉积形成的黄土。

3 黄土的特征致使黄土地区的地面切割严重，形成了千沟万壑的地形、地貌形态。黄土冲沟呈现的特点是沟深、坡陡，其深度可达几十米甚至上百米，很多坡度达 $50^\circ \sim 60^\circ$ 。出现这种情况时，要根据线路通过处存在的不良地质现象，确定稳定的边坡线，对不稳定地段在选线时应考虑绕避。不能绕避时，在设计中应考虑进行处理和加固，对建筑物基础的设置位置和深度应进行专门的评价、检算和分析。

4 黄土陷穴在黄土地区是普遍存在的一种不良地质现象，自然情况下主要分布在黄土台塬的边缘地带、沟谷岸坡、沟床底部等地形陡峻处。在黄土台塬边缘，或地面横坡较大处，或跨越冲沟时，铁路路基修筑后上游侧形成积水等情况也可能形

成新生的陷穴。黄土陷穴有的可达到很大的规模（如数立方米甚至数十立方米），通道很长。位于线路下面会造成重大隐患，曾发生过不止一次颠覆列车的重大事故。位于黄土台塬边缘或黄土边坡附近则可能造成边坡坍塌。黄土陷穴的另一个特征是，它是不断变化的，小的可以发展成大的；原来没有的，在条件具备时，可以产生出新的。同时它又比较隐蔽，有的口小，下面大；有的有进口，但出口很难找到；有时真正大的洞穴还在距发现的进口很远处。

对于黄土陷穴，勘察阶段必须在线路两侧一定范围内查明其分布、规模，并做出对线路危害程度的分析评价，提出处理措施意见。设计时要充分考虑线路构筑物修建以后，由于地表地形、构筑物的变化，可能形成新的陷穴的不利条件（如上游侧造成积水）。尤其是线路经过台塬边缘时，以及地面横坡比较大时，一定要注意新生黄土陷穴的形成可能和危害。

7 水是造成湿陷性土湿陷的最重要的环境因素，在勘察过程中必须查明场地的水文地质条件及其随时间环境的变化对工程可能造成的影响。

11.5.3 黄土地区的工程勘探取样深度和测试要求，历来是该特殊土的重点问题之一，本标准采用了与现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 相协调的原则，还根据铁路工程特点补充了相关内容：

3 黄土地区勘探取样的地区要求，由于钻孔往往难以确保黄土试样不受扰动，本标准规定了黄土地区勘探应有一定数量的探井，确保原状土样的质量，获取更接近实际状态的黄土物理力学参数，并明确竖向取样间距。探井的数量一般应根据地貌单元，并结合钻孔揭示情况确定。

5 湿陷性黄土的结构性、含水量、密度等对湿陷性指标影响很大，所以用于测试黄土密实度和力学性质的土样必须是 I 级质量的土样。黄土裂隙竖向发育，结构性强，小直径的钻孔和普通取土器及取样技术难以保证所取土样的原状结构，进而影响试样结果；工程实践表明，在目前取样设备及技术水平条件下，对于湿陷性黄土，满足室内试验要求的 I 级质量试样需要在探井中人工刻槽取样，所以本条规定了探井的数量。由于湿陷性土的结构性强，探井仍是采取原状黄土样不可缺少的手段，有时还可以作为主要的手段。

11.5.4 现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 规定了土的常规物理力学性质指标的室内试验要求，湿陷性黄土的基本参数指标也需要执行此标准。黄土湿陷性评价指标的测试可参照现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025 的相关规定。

按照现行行业标准《湿陷性黄土地区建筑基坑工程安全技术规程》JGJ 167，当工程涉及到安全等级为一级且易于受水浸湿的坑壁以及永久性坑壁时，需要用饱和状态下的抗剪强度参数校核安全系数。

由于湿陷性土的特殊性，在浸水情况下强度降低很多，因此对有浸水可能性或地下水位可能上升的工程，除进行天然状态下的试验外，建议进行饱和状态下的压缩和剪切试验。

11.5.5 对于湿陷性黄土场地须先判定场地的湿陷类型，划分湿陷程度，计算地基湿陷等级。湿陷性土的地基承载力宜采用载荷试验或其它原位测试确定。

计算桩基负摩阻力需要的中性点深度可通过下列方法之一确定：

- 1 通过单桩竖向静载浸水试验实测；
- 2 浸水饱和条件下，取桩周黄土沉降与桩身沉降相等的深度；
- 3 取自重湿陷性下限深度；
- 4 有经验的地区，可根据当地经验结合场地黄土湿陷性条件综合确定。

自重湿陷性黄土场地桩基的中性点及负摩阻力可根据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 计算确定，负摩阻力也可按照现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025 估算。

11.5.6 湿陷性土除常见的湿陷性黄土外，在我国的干旱和半干旱地区，特别是山前洪、坡积扇（裙）中常遇到湿陷性碎石土、湿陷性砂土等，它们也具有湿陷性。新近填土固结未完成也可能存在湿陷性。这些非黄土类湿陷性土在一定压力下浸水也常呈现出强烈的湿陷性。

这类非黄土的湿陷性土的勘察评价首先要判定是否具有湿陷性。由于这类土不能如黄土那样用室内浸水压缩试验，在一定压力下测定湿陷系数，并以湿陷系数 0.015 作为判定湿陷性黄土的标准界限，故本标准规定以 200kPa 压力下浸水载荷试

验的附加湿陷量与承压板宽度之比等于或大于 0.023，作为判定非黄土湿陷性土的标准界限，当不能取试样做室内湿陷性试验时，可采用现场载荷试验确定湿陷性。

固结未完成的新近填土，其湿陷性也很明显。在大面积填挖改造场地，查清楚挖填方的范围、厚度、挖填分界线、原始地面高程、初始地形地貌等非常重要。市域（郊）铁路的路基或者车辆基地内的建（构）筑物如果跨越挖方区和填方区，若处理不当后期二元（原状土、填土）地基不均匀沉降很容易造成建（构）筑物变形破坏。

11.6 污染土

11.6.1 本标准污染土的定名原则，与《岩土工程勘察规范》GB 50021 一致。本节定义的污染土，不包括核污染土。市域（郊）铁路实际工程中如遇核污染问题时，应进行专题研究。

11.6.2 本条列出污染土现场勘察的适用手段，其中现场调查和取样分析是必要手段，以现场调查为主；在可行性研究勘察时，应对拟建线路通过区域是否分布污染土进行调查；初步勘察时应以现场调查为主，配合少量勘探测试，查明污染源性质、污染途径，并初步查明污染土分布和污染程度；详细勘察应在初步勘察的基础上，有针对性布置勘察工作量，查明污染土的分布范围、污染程度、物理力学性质和化学成分，为污染土处理提供参数。

因人类活动所致的地基土污染一般在地表下一定深度范围内分布，部分地区地下潜水位高，地基土和地下水同时污染。因此在具体工程勘察时，污染土和地下水的调查应同步进行。

在市域（郊）铁路地下段，污染土对运营阶段的影响更重要，尤其是对人体健康造成的影响，因此在可行性研究勘察阶段调查路径通过区域是否有污染土的分布尤为重要，当污染土对市域（郊）铁路影响较大时，宜建议适当调整路径，加以避让。当确实无法避让时，应对污染土进行初步勘察和详细勘察。

市域（郊）铁路线路通过污染土的分布区域时，勘察范围应适当扩大，以便查明污染土对市域（郊）铁路的影响。

11.6.3 地下水是污染物扩散的途径，市域（郊）铁路埋设于地下时，污染土对其影响较大，因此应分层查明地下水的污染情况。

勘察时应重视对人员健康安全的保护，采取适合的防护措施。

11.6.4 《岩土工程勘察规范》GB 50021 对污染土试验内容进行了规定，市域（郊）铁路工程对污染土勘察时应遵照执行。

11.6.5 对污染土的评价，应根据污染土的物理、水理和力学性质，综合原位测试和室内试验结果，进行系统分析，用综合分析方法评价场地稳定性和地基适宜性。

污染土和水对建筑材料的腐蚀程度、污染对土的工程特性（强度、变形、渗透性）指标的影响程度、污染土和水对环境的影响程度三方面的判别标准不同，污染等级划分标准不同，且后期处理方法也有差异，勘察报告中宜分别评价。

污染土的岩土工程评价应突出重点：对基岩地区，岩体裂隙和不良地质作用要重点评价。如有些垃圾填埋场建在山谷中，垃圾渗滤液是否沿岩体裂隙特别是构造裂隙扩散，或岩体滑坡导致污染扩散等；对松散土地区，渗透性、土的力学性（强度和变形）评价则相对重要。

评价需针对可能采用的处理方法突出重点，如挖除法处理，则主要查明污染土的分布范围；对需要提供污染土承载力的地基土，则其力学性质（强度和变形参数）评价应作为重点；对污染源未隔离或隔离效果差的场地，污染发展趋势的预测评价是重点。

市域（郊）铁路工程地下段，污染土评价应考虑污染土对市域（郊）铁路工程建（构）筑物的建设和运营期间的影响。

11.6.6 污染对土的工程特性或多或少会产生一定的影响，而强度、变形、渗透等工程特性指标对市域（郊）铁路工程建设和运营的影响程度，应根据工程特点来选取相应的指标进行评价，并在分别评价的基础上根据工程要求进行综合评价。

11.7 混合土

11.7.1 由细粒土和粗粒土混杂且缺乏中间粒径的土应定名为混合土。混合土在颗粒分布曲线形态上反映出呈不连续状，主要成因有坡积、洪积。

经验和专门研究表明：混合土中细粒土的含水量、状态及粗颗粒土的含量对地基土强度影响明显，只有当粗颗粒土超过总质量的 25%或细颗粒土超过 25%时才能明显影响其力学性质。

黏性土、粉土中的碎石组分的质量只有超过总质量的 25%时，才能起到改善土的工程性质的作用；而在碎石土中，黏粒组分的质量大于总质量的 25%时，则对碎石土的工程性质有明显的影响，特别是当含水率较大时。

11.7.3 本条是从混合土的特点出发，提出了勘察时应重点注意的问题。动力触探对粗颗粒混合土是很好的勘察手段，但应有一定数量的钻孔或探井配合。

11.7.4 本条是结合混合土的特点对其原位测试和室内试验做出规定，混合土中的粗颗粒对室内试验数据影响较大，参照《土工试验方法标准》GB/T500113 中粗颗粒土的试验方法进行相关项目试验，便于得出准确的试验数据。

混合土因含有粗颗粒，钻孔难以取得试样，一般通过探井采取大体积土试样进行试验。

粗粒混合土中细粒土的含量和强度对粗粒混合土的强度影响较大甚至起决定作用，室内试验应准确测定粗粒混合土中细粒土的含量、含水率、塑液限、塑性指数和液性指数等物理性参数。

细粒混合土中粗粒土的含量和强度对细粒混合土的强度影响较大，室内试验应准确测定细粒混合土中粗粒土的含量，分析其母岩成分、风化程度等。

各地混合土的物理力学性质差异较大，实际勘察工作中现场载荷试验、动力触探试验以及现场直剪试验等原位测试，以及混合土边坡的容许坡率值等应根据现场调查并结合当地经验确定，必要时应进行专门试验研究。

11.8 盐渍岩土

11.8.1 本条参照《岩土工程勘察规范》GB 50021、《铁路工程地质勘察规范》TB 10012 制订。遇含有层状或散粒状易溶盐或部分化学侵蚀性中溶盐类矿物，地表呈现白色盐霜、盐壳或蓬松粉土层，具有吸湿、溶陷、膨胀、腐蚀等特性的细粒土地层时，应按盐渍土进行岩土工程勘察；遇覆盖或间夹盐岩的沉积岩地层，通过化学侵染或

淋滤作用导致岩体中分布薄膜层状、结核状、纤维状、丝网状易溶盐，以及裂隙中充填的泥土状易溶盐含量超过 0.3%，并遇水溶解对混凝土或钢筋、钢结构具有化学侵蚀性破坏时，应按盐渍岩开展岩土工程勘察工作。

盐渍岩按主要含盐矿物成分可分为石膏盐渍岩、芒硝盐渍岩等。盐渍土的易溶盐含盐成分分类和盐渍化程度分级，可按说明表 11.8.2-1 和 11.8.2-2 的进行：

说明表 11.8.1-1 盐渍土按易溶盐含盐成分分类

盐 渍 土 分 类	盐分比值	
	$D_1 = \frac{c(Cl^{-})}{2c(SO_4^{2-})}$	$D_2 = \frac{2c(CO_3^{2-}) + c(HCO_3^{-})}{c(Cl^{-}) + 2c(SO_4^{2-})}$
氯 盐 渍 土	$D_1 > 2$	——
亚 氯 盐 渍 土	$1 < D_1 \leq 2$	——
亚 硫 酸 盐 渍 土	$0.3 \leq D_1 \leq 1$	——
硫 酸 盐 渍 土	$D_1 < 0.3$	——
碱 性 盐 渍 土	——	$D_2 > 0.3$

注：表中 $c(Cl^{-})$ 、 $c(SO_4^{2-})$ 、 $c(CO_3^{2-})$ 、 $c(HCO_3^{-})$ 分别表示氯离子、硫酸根离子、碳酸根离子、碳酸氢根离子在 100g 土中所含毫摩尔数 mmol/100g。

说明表 11.8.1-2 盐渍土的盐渍化程度分级

盐渍化程度	土层的平均含盐量 $\overline{DT}$ (%)		
	氯盐渍土及 亚氯盐渍土	硫酸盐渍土及 亚硫酸盐渍土	碱性盐渍土
弱盐渍土	$0.3 < \overline{DT} \leq 1$	——	——
中盐渍土	$1 < \overline{DT} \leq 5$	$0.3 < \overline{DT} \leq 2$	$0.3 < \overline{DT} \leq 1$
强盐渍土	$5 < \overline{DT} \leq 8$	$2 < \overline{DT} \leq 5$	$1 < \overline{DT} \leq 2$
超盐渍土	$\overline{DT} > 8$	$\overline{DT} > 5$	$\overline{DT} > 2$

11.8.3 当布置的取土试验孔数量较少，不能满足每一分区单元 6 组（孔）采取扰动土试样要求时，可另行布置扰动土试样取样孔。条文中的边界线，主要是指强弱

盐渍土的分类界线，以及盐渍土与非盐渍土的分区界线，勘探深度以钻穿盐渍土或至地下水位以下 2 m~3m 为原则，主要是满足地基分组溶陷计算的需要。每个建设场地，至少应有不少于 3 个勘探点钻穿盐渍土层，这样对于选择合理的地基处理措施是十分必要的。对于非干旱季节采取的试样，宜结合地区经验对试验结果进行综合评价。

11.8.5 对无盐胀性和非溶陷性盐渍土地基除应考虑防腐措施外，可按一般地基对待。盐渍土由于含盐化学成分和含盐量的不同，土的工程特性各异，且不同地区盐渍土差异明显，目前情况下载荷试验是获取盐渍土地基承载力的基本方法。环境条件对盐渍土的影响十分重要，根据使用过程中的环境条件，盐渍土场地可分为 A 类使用环境和 B 类使用环境：

A 类使用环境：工程使用过程中不会发生大的环境变化，能保持盐渍土的原天然状态，受淡水侵蚀的可能性小或能够有效防止淡水侵蚀；

B 类使用环境：工程使用过程中会发生大的环境变化，受淡水侵蚀的可能性大且难以防范。常见的盐渍土地基处理方法有：换填法、排水固结法、强夯法、砂（碎）石桩法、浸水预溶法及土工膜（布）处理方法等。

11.9 冻土

11.9.2 在多年冻土区岩土工程勘察中，为了从宏观上评价线路通过地区的工程地质条件，一般需进行工程地质分区。工程地质分区应根据勘察阶段的不同要求，由粗到细地逐步进行，以综合提出线路方案或场地冻土工程地质条件的评价意见，多年冻土地基的利用原则及应采取的工程措施建议。作为第一级多年冻土的分区，要根据多年冻土的分布划分出片状多年冻土区和岛状多年冻土区。第一级分区要反映多年冻土的分布范围、岩性特征、厚度、海拔高程、纬度、气象特征、地形地貌特征、地层岩性和地质构造特征、主要不良地质现象等。第二级多年冻土的分区根据年平均地温（ T_{cp} ）进行划分。 $T_{cp} \geq -0.5^{\circ}\text{C}$ 时为极不稳定带； $-1.0^{\circ}\text{C} \leq T_{cp} < -0.5^{\circ}\text{C}$ 时为不稳定带； $-2.0^{\circ}\text{C} \leq T_{cp} < -1.0^{\circ}\text{C}$ 时为基本稳定带； $T_{cp} < -2.0^{\circ}\text{C}$ 时为稳定带。第二级多年冻土地温分带除反映第一级分区内容外，还要反映不同地温多年冻土的分布范围、

厚度，融区的类型、分布范围及特征，多年冻土层与活动层的衔接关系，年平均气温及降水量等。第三级多年冻土的分区应根据多年冻土的含冰特征、地基土的物理力学性质划分为少冰冻土地段、多冰冻土地段、富冰冻土地段、饱冰冻土地段、含土冰层地段和纯冰层，主要应反映不同类型多年冻土的分布范围、冻土厚度、冻土的融沉性及年平均地温、季节融化深度、融区的季节冻结深度、活动层土的冻胀性、植被及雪盖特点、多年冻土的物理力学特征和热物理特征、多年冻土的水文及水文地质条件、不良冻土现象的类型及分布等。

多年冻土可按下列规定进行分类：

- 1 根据冻土形成与存在的地理位置特征，可分为高纬度多年冻土和高海拔多年冻土；
- 2 根据冻土平面的分布特征，可分为连续片状多年冻土、岛状融区和岛状多年冻土；
- 3 根据冻土剖面的分布特征，可分为衔接多年冻土和不衔接多年冻土；
- 4 根据冻土层的年平均地温特征，可分为高温多年冻土和低温多年冻土；根据年平均地温值，可分为稳定带、基本稳定带、不稳定带和极不稳定带；
- 5 根据冻土中含有易溶盐和泥炭的特征，可分为盐渍化多年冻土或泥炭化多年冻土；
- 6 根据多年冻土层的含冰量特征，可分为少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层和纯冰层。

11.9.3 设计原则采取保持冻结状态时，勘探深度应至设计人为上限以下适当深度，其深度根据工程基础类型考虑。人为上限值可根据建筑物及其基础形式通过热力计算决定。但因其是受多种因素影响而产生的综合结果，如气温、水温、地温、海拔高度、纬度、地貌、朝向、植被、土的颗粒组成、地表水潜流程度和施工条件等影响因素，目前采用的热传导计算方法均不适用于桥涵地基多维传热的情况，同时有关参数误差较大，因此目前还缺乏理论解法，亦无成熟的经验公式和可靠资料。勘测时可结合本地区冻土的稳定情况，深入调查已成桥涵建筑物人为上限的变化规律及其与天然上限的关系，作为确定该地区桥涵地基冻土上限的依据。

《青藏铁路多年冻土区工程勘察暂行规定（试行）》中对勘探深度有如下规定：路基工程中，路堤一般不小于 8m~10m，且不得小于 2 倍的多年冻土上限深度；路堑一般应至路基面以下相当于 2 倍的多年冻土上限深度。桥涵工程中，一般应不小于 20m，当遇有富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层或纯冰层时，还应酌情加深或穿透；小桥涵不得浅于 12m，且应大于 2 倍多年冻土的天然上限。隧道工程中，当地层为基岩时，应至路肩以下 4m~5m；当地层为第四系地层时，应至路肩以下 8m，且不浅于相当 2 倍多年冻土上限的深度。房屋建筑工程中，一般的勘探深度为 10m~25m，加深钻孔的深度一般为 15m~35m。

11.9.5 多年冻土的年平均地温指地表以下一年内地温相对恒定深度处的温度，与纬度、海拔高度、地表覆盖条件、地层岩性、含冰量、地热条件等都有密切关系。根据青藏高原多年冻土大量科研及实测资料分析，地温相对恒定的深度一般为地表以下 15m~20m。多年冻土的稳定性与冻土的含冰量和年平均地温密切相关。当多年冻土年平均地温接近零度时，在一定的环境条件下，多年冻土的稳定性只取决于冻土中的含冰量；当多年冻土年平均地温较低时，地温对减少融化速率的作用则明显增大。多年冻土的年平均地温决定土的热交换动态、冻结过程的特点以及影响着冻土的物理力学性质和热学性质。

多年冻土年平均地温（ T_{cp} ）分区的标准与现行的国标《冻土工程地质勘察规范》GB50324-2014 保持一致。

当 $T_{cp} \geq -0.5^{\circ}\text{C}$ 时，为极不稳定带，地基中存在的冰包裹体具有极大的塑性，它的热状态极不稳定，在气候变暖及人类工程活动的影响下，冰包裹体极易融化，具有极低的冻土强度；当 $-1.0^{\circ}\text{C} \leq T_{cp} < -0.5^{\circ}\text{C}$ 时，为不稳定带，地基中含有较多的未冻水，在一年或多年的地温动态影响下，冻土中的未冻水分会发生强烈的相变和迁移；当 $-2.0^{\circ}\text{C} \leq T_{cp} < -1.0^{\circ}\text{C}$ 时，为基本稳定带，地基的热状态较为稳定，其工程性质介于稳定区与不稳定区之间；当 $T_{cp} < -2.0^{\circ}\text{C}$ 时，为稳定带，地基的热状态最为稳定，水分迁移过程极弱，冰包裹体具有明显脆性，冻土的强度很高。

11.9.6 在其他规范中，季节性冻土并未纳入，原因是季节性冻土并无特殊性，且季节性冻土的冻结深度一般较浅，基础埋深一般都大于冻结深度，勘察中仅提供了气象部门的最大冻结深度统计值。随着市域（郊）铁路建设的发展，寒区市域（郊）铁路越来越多，本标准增加了季节性冻土的勘察。

季节性冻土的勘察主要为设计提供最大冻结深度，并查明地下水、填料细颗粒含量，并评价其冻胀及融沉特性对工程的影响。针对最大冻结深度的提供，建议及时开展冻胀监测，结合气象部门提供的最大冻结深度统计值综合考虑。一般的季节性冻土，可按照现行《冻土工程地质勘察规范》GB 50324-2014 的有关规定评价其冻胀性，对于冻结深度较大，接近多年冻土区的深季节冻土，可按多年冻土地区进行勘察。

11.10 红黏土

11.10.1 红黏土是红土的一个亚类，母岩为碳酸盐岩系（包括间夹其间的非碳酸盐岩类岩石），是经湿热条件下的红土化作用形成的特殊土类。红黏土包括原生与次生红黏土。颜色为棕红或褐黄，覆盖于碳酸盐岩系之上，其液限不小于 50% 的高塑性黏土，应判定为原生红黏土，其成因类型为残积。原生红黏土经搬运、沉积后仍保留其基本特征，且其液限大于 45% 的黏土，可判定为次生红黏土，其成因类型为冲积。原生红黏土比较易于判定，次生红黏土则可能具备某种程度的过渡性质。勘察中应通过第四纪地质、地貌的研究，根据红黏土特征保留的程度确定是否判定为次生红黏土。

11.10.2 本条着重指出红黏土作为特殊性土有别于其他土类的主要特征是：上硬下软、表面收缩、裂隙发育。地基是否均匀也是红黏土分布区的重要问题。为了反映上硬下软的特征，勘察中应详细划分土的状态。红黏土状态的划分可采用一般黏性土的液性指数划分法，也可采用红黏土特有含水比划分法。为反映红黏土裂隙发育的特征，应根据野外观测的裂隙密度对土体结构进行分类。红黏土的网状裂隙分布，与地貌有一定联系，如坡度、朝向等，且呈由浅而深递减之势。红黏土中的裂隙会影响土的整体强度，降低其承载力，是土体稳定的不利因素。红黏土天然状态膨胀率仅 0.1%~2.0%，其胀缩性主要表现为收缩，线缩率一般 2.5%~8%，最大达 14%。但在缩后复水（收缩再浸水），不同的红黏土有明显的不同表现，根据统计分析提出了经验方程 $I_r \approx 1.4 + 0.0066W_L$ ，以此对红黏土进行复水特性划分。划属 I 类者，复水后随含水率增大而解体，胀缩循环呈现胀势，缩后土样高大于原始高，胀量逐

次积累以崩解告终；风干复水，土的分散性、塑性恢复、表现出凝聚与胶溶的可逆性。划属Ⅱ类者，复水土的含水率增量微小，外形完好，胀缩循环呈现缩势，缩量逐次积累，缩后土样高小于原始高；风干复水，干缩后形成的团粒不完全分离，土的分散性、塑性及 I_r 值降低，表现出胶体的不可逆性。这两类红黏土表现出不同的水稳性和工程性能。

红黏土可按状态、结构特征、复浸水特性、地基均匀性进行分类：

1 红黏土的状态除按液性指数判定外，尚可采用含水比按说明表 11.10.2-1 分类；

说明表 11.10.2-1 红黏土的状态分类

状态	含水比 α_w
坚硬	$\alpha_w \leq 0.55$
硬塑	$0.55 < \alpha_w \leq 0.70$
可塑	$0.70 < \alpha_w \leq 0.85$
软塑	$0.85 < \alpha_w \leq 1.00$
流塑	$\alpha_w > 1.00$

注：含水比 $\alpha_w = w/w_L$ ，根据统计结果，含水比 α_w 与液性指数 I_L 的关系如下：

$$\alpha_w = 0.45 I_L + 0.55。$$

2 红黏土的结构可根据其裂隙发育特征按说明表 11.10.2-2 分类；

说明表 11.10.2-2 红黏土的结构分类

土体结构	裂隙发育特征
致密状	偶见裂隙（<1 条/m）
巨块状	较多裂隙（1~2 条/m）
碎块状	富裂隙（>5 条/m）

3 红黏土的复浸水特性可按说明表 11.10.2-3 分类；

说明表 11.10.2-3 红黏土的复浸水特性分类

类别	I_r 与 I_r' 关系	复浸水特性
I	$I_r \geq I_r'$	收缩后复浸水膨胀，能恢复到原位
II	$I_r < I_r'$	收缩后复浸水膨胀，不能恢复到原位

注： $I_r = w_L/w_p$ ， $I_r' = 1.4 + 0.0066 w_L$ 。

4 红黏土的地基均匀性可按说明表 11.10.2-4 分类。

说明表 11.10.2-4 红黏土的地基均匀性分类

地基均匀性	地基压缩层范围内岩土组成
均匀地基	全部由红黏土组成
不均匀地基	由红黏土和岩石组成

11.10.3 由于红黏土具有垂直方向湿度状态变化大，以及水平方向厚度变化也大的特点，故地基勘探中应采用较密的勘探间距。厚度变化大的地段，勘探点间距还可加密。红黏土底部常有软弱土层，基岩面的起伏也很大，故勘探深度不宜单纯根据地基变形计算深度来确定，以免漏掉对场地与地基评价的重要信息。因此，在地基变形计算深度内存在软塑土时，应加深勘探深度。对土岩组合地基，在基岩面上的土层特别软弱，若有土洞发育时，详细勘察阶段不一定查明所有情况，为确保安全，在施工阶段补充进行施工勘察是必要的，也是现实可行的。另外，当基岩面高低不平，基岩面倾斜或有临空面时，嵌岩桩容易失稳，进行施工勘察也是必要的。

11.10.4 裂隙发育是红黏土的重要特性，故红黏土的抗剪强度应用三轴试验。红黏土有收缩特性，收缩再浸水(复水)时又有不同的性质，故必要时可做收缩试验和复浸水试验。因此，当采用直接快剪试验指标时，计算参数应以修正，对 C 值乘 0.6~0.8，对 ϕ 值乘 0.8~1.0。

红黏土承载力的确定方法，原则上与一般土并无不同。应特别注意的是红黏土裂隙的影响以及裂隙发展和复浸水可能使其承载力下降。考虑到各种不利的临空边界条件，尽可能选用符合实际的测试方法。实践中已积累的确定红黏土承载力的地区性成熟经验，应予充分利用。

11.10.5 地裂是红黏土地区的一种特有的现象。地裂规模不等，长可达数百米，深可延伸至地表下数米，所经之处地面建筑无一不受损坏，故评价时应建议建筑物绕避地裂。在高温设备基础底部失水收缩的改变，会使地基承载力下降及变形加大而造成工程事故，应考虑地基土的不均匀收缩变形。

红黏土中基础埋深的确定可能面临矛盾。从充分利用硬层，减轻下卧软层的压力而言，宜尽量浅埋；但从避免地面不利因素影响而言，又必须深于大气影响急剧层的深度。评价时应充分权衡利弊，提出适当的建议。如果采用天然地基难以解决上述矛盾，则宜放弃天然地基，改用桩基。

地表水、地下水及其季节变化对红黏土性状产生影响，红黏土失水后收缩量大，由此产生较多的土中裂隙，部分红黏土复浸水后湿化崩解，干湿循环导致土体性状和结构的较大改变，使得红黏土力学指标大为降低，由此而来引发一系列岩土工程问题，在工程中应给予足够重视，并采取相应保湿、保温措施。

11.11 风化岩和残积土

11.11.2 风化岩和残积土的勘察着重点与其它岩土层有明显不同。

- 1 确定母岩的地质年代、岩石的类别，是风化岩和残积土勘察的基本要求；
- 2 风化岩和残积土的分布、埋深与厚度变化对线路敷设方式、线路埋深、施工工法选择都有重要影响；
- 3 原岩矿物的风化程度、组织结构的变化程度是岩石定名的基本依据；
- 4 岩土的不均匀程度，岩块和软弱夹层的分布、特征对岩体的整体强度和稳定性常起着控制作用；
- 5 由于风化岩和残积土中的球状风化体及孤石对隧道工程施工的影响很大，应给予查明；
- 6 由于原岩矿物成分的不同和节理裂隙密度与发育程度的差别、风化岩和残积土的透水性和富水性有很低的，也有很高的，必须予以查明。而且，在水的作用下，风化岩和残积土往往具有遇水易崩解的工程特性。

11.11.3 本条规定了风化岩和残积土的勘探、测试的基本要求。

- 1 本款强调钻探与原位测试，特别是标准贯入试验和重型动力触探试验相结合。这是由于风化岩和残积土的采取原状试样困难，数量有限。国内外常用标准贯入试验等方法，通过标贯击数等指标与风化岩和残积土的工程性质建立相关关系，以

便更好地进行风化岩的分级并估算工程地质性质指标。除标准贯入试验外，在有些国家旁压试验用的较多，并已较系统地总结了经验。我国的超重型动力触探（ N_{120} ）在碎石、卵石地层中应用颇有成就，宜通过比较试验，建立相关关系，可推广应用到风化岩和残积土的勘察评价上来；

3 风化岩和残积土的结构易受到扰动，本款规定在风化岩和残积土应取 I 级试样，以保证取样质量。为了取得质量等级 I 级的试样，现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 规定，应采用三重管（单动）取样器，其中的第三重管是衬管。利用三重管取样器达到 100% 的岩芯采取率并取得 I 级试样，这在国外已很普及或成定规；

4 全风化岩、残积土和呈土状的强风化岩，可按土工试验的要求进行试验。

11.11.4 鉴于取得 I 级土样比较困难，而且有的试验（如压缩试验）不易在试验室内完成，原位测试作为取样试验的必要补充，迄今几乎已是必不可缺。例如：

1 用旁压试验确定地基土的承载力、变形模量等岩土技术参数，以计算建筑物的沉降，为锚杆或土钉设计确定土的抗拔摩阻力等，在一些国家（如法国、加拿大、澳大利亚等）已成常规之一。原苏联也有类似做法。在我国推广应用旁压试验的条件首先是要有能提供足够工作压力（如大于或等于 15000kPa）测试设备；其次是进行必要数量的对比试验，建立旁压试验指标（临塑压力 P_f 、极限压力 P_1 、旁压模量 E_m 等）和岩土技术设计参数（承载力、抗拔摩阻力、不排水剪强度、变形模量等）之间的相关关系。

《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ/T72 的旁压模量 E_m 与压缩模量 E_s 的关系见式（说明 11.11.4-1）～式（说明 11.11.4-4）：

一般黏性土： $E_s = (0.7 \sim 1) E_m$ （说明 11.11.4-1）

粉土： $E_s = (1.2 \sim 1.5) E_m$ （说明 11.11.4-2）

粉细砂： $E_s = (2 \sim 2.5) E_m$ （说明 11.11.4-3）

中、粗砂： $E_s = (3 \sim 4) E_m$ （说明 11.11.4-4）

式（说明 11.11.4-1）～式（说明 11.11.4-4）的适用深度为 $>10\text{m}$ ，此压缩模量为有效自重压力至有效自重压力加附加压力之和段的压缩模量。

2 用标准贯入测试击数确定风化岩和残积土的变形模量或压缩模量有不少经验公式，如《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ/T 72 的关系见式（说明 11.11.4-5）、式（说明 11.11.4-6）：

粉土及粉细砂压缩模量： $E_s=(1\sim 1.2)N$ （说明 11.11.4-5）

中、粗砂压缩量： $E_s=(1.5\sim 2)N$ （说明 11.11.4-6）

式（说明 11.11.4-5）、式（说明 11.11.4-6）的适用深度为 $<120\text{m}$ ，适用范围为 $10\leq N\leq 50$ （击），此压缩模量为有效自重压力至有效自重压力加附加压力之和段的压缩模量。

对于花岗岩残积土、全风化与强风化岩的变形模量可用标准贯入试验实击值 N 按式（说明 11.11.4-7），结合当地经验和类比验证确定。

$E_0=0.4N\sim 1.4N$ ($N<100$) （说明 11.11.4-7）

式（说明 11.11.4-7）系来自日本的一份内容较丰富的总结性材料。它综合反映了花岗岩残积土、全风化岩与强风化岩的压缩性（变形模量）与标准贯入试验实击值之间的关系。

$E_0=2.2N'$ （说明 11.11.4-8）

式（说明 11.11.4-8）系我国部分地区根据标贯试验和载荷试验的约 30 个对比资料总结出来的， N' 为标准贯入试验锤击数校正值。用此式计算 E_0 值时需结合当地经验，必要时可进行载荷试验确定。

3 《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018 中也有变形模量与动力触探试验的相关关系规定；

4 每一种原位测试方法都有其最佳适用范围，为此在选用时应区别不同要求，有针对性地选用适用的方法或方法组合，以获得最佳效果；除此之外，本条还规定了可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定确定承载力和变形模量；

5 参数选取时考虑地下水作用影响。

11.11.5 工程实践表明，若处理不慎，花岗岩类的强风化、全风化岩和残积土会对工程实施造成严重影响。因此，本条专门规定了花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积土的勘察要求。某些以花岗岩为母岩的变质岩或其他类似岩石的强风化、全风化岩和残积土的勘察，可参照本条规定执行。

1 本条采用的花岗岩划分强风化、全风化岩和残积土的标准，与国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307 一致。

片麻岩类岩石，成矿物组成和结构上与花岗岩相似，可以参考花岗岩类岩石执行；

2 砾质黏性土、砂质黏性土属于混合土范畴，应结合混合土的定名原则具体确定土的名称；

3 花岗岩类岩石多沿节理风化，风化厚度大，且以球状风化为主，在强风化岩、全风化岩和残积土中易形成球状风化核。花岗岩系的残积土常呈中砂、粗砂状，较松散；岩脉和花岗岩球状风化体往往较周围岩石坚硬，造成地层的软硬不均，隧道掘进困难；花岗岩球状风化体也会影响桩基持力层的确定。因此，除满足本规范第 11.11.2 条的规定外，本款特别规定，勘察尚应着重查明花岗岩分布区球状风化体（孤石）的分布，强风化岩、全风化岩与残积土的工程特性及其水文地质条件，应关注其遇水易软化崩解的特征；

4 对花岗岩类残积土和全风化岩的试验应符合国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的规定。

11.11.6 风化岩和残积土的岩土工程评价应注重其特性，包括遇水易软化、崩解，原生结构面产生的软弱面，风化不均产生的球状风化岩等的影响。本条规定应对风化岩和残积土进行岩土工程分析与评价，并根据岩土工程特性和轨道交通工程实践，列举了可能包括的分析与评价内容，但不限于这些内容。

1、2 这两款所称的“评价稳定性”，主要针对风化岩和残积土遇水易软化崩解的工程特性而言；

3 工程实践表明，强风化、全风化岩和残积土的不均匀程度，尤其是岩块和软

弱夹层的分布，对隧道掘进和基坑、桩基施工遇到这种情况时，切勿认为已经挖到中等风化岩层；

4 强风化、全风化岩和残积土本身的渗透系数不一定较大，但经过扰动之后，其中的含水量不论多少，会使岩土体迅速崩解。因此，本款提出了对地下水的评价要求；

5 为进一步查明球状风化体（孤石），可在地面和隧道内进行超前钻。

12 地下水

12.1 一般规定

12.1.1 地下水对市域（郊）铁路工程设计和施工影响重大，如结构抗浮问题、抗渗问题、施工方法选择、地下水控制、结构水土压力计算等均与地下水密切相关，在施工过程中因地下水问题产生的工程事故频发，地下水勘察是岩土工程勘察的重要组成部分。。

12.1.3 应根据市域（郊）铁路工程特点况、场地主要含水层的分布规律、地下水类型和赋存条件、施工方法、可能采取的地下水控制措施及地区经验等，合理确定地下水勘察的范围、内容和勘探、测试工作量。

12.1.4 长期水文观测孔宜按三角形布置，同一水文地质单元布置的数量不宜少于 3 个；地下水位变化较大的地段、上层滞水或裂隙水赋存地段、邻近地表水体的地段、地下水受污染的地段宜布置长期水文观测孔；水文观测的期限应不少于 1 个水文年。

12.2 地下水的勘察要求

12.2.1 由于含水层分布和透水性的复杂性，在勘察中不但要查明稳定含水层分布规律，还应查明地下含水透镜体的分布。场地历史最高水位指长期观测孔中历年地下水达到的最高纪录。对多层分布相对独立的地下水，一般应通过现场勘察、试验取得具体水文地质参数。

12.2.2 对基岩裂隙水和山岭隧道工程地下水勘察作出如下说明：

1 山岭隧道和基岩中不同岩性接触带、断裂破碎带和富水带是隧道施工中最易发生大量涌水的地段和部位，山岭隧道和其它洞身穿越岩层的隧道均应查明“三带”的分布位置与范围；

2 岩溶水的垂直分带即垂直渗流带、水平径流带和深部缓流带可根据现行行业标准《铁路工程不良地质勘察规程》TB 10027划分；

3 基岩裂隙水含水层的渗透性和富水性受裂隙发育分布情况控制，总体上具有不均匀性，勘察工作应以查明贮水构造分布为重点。

4 隧道施工安全事故常常因隧道透水引起，因此地下水勘察应预测隧道施工中的可能集中涌水段、点的位置和涌水量，并预测隧道涌水对围岩稳定性的影响。另外，还应分析施工可能引起的上部泉水、井水干涸以及林地、农田、灌溉区水位下降等环境变化。

12.2.3 地下水勘察方法和工作量布置应能揭示沿线场地水文地质条件、控制各含水层的空间分布，为各种工法下的地下水控制设计提供依据。

4 观测孔的布置，一般沿垂直于地下水流向布置一条观测线；如布置两条观测线时，其中一条要求平行于地下水流向布置，主要是为了测定含水层不同方向的非均质性或确定不同方向的影响半径；

5 观测孔与抽水试验孔之间应有一定的间距，主要是为了减小抽水井周围三维流和紊流的影响。

12.2.4 市域（郊）铁路工程线路延伸较长，由于地质构造、地层结构和地下水分布的复杂性，应按工点（如车站、区间主体、施工竖井、车辆段、停车场）等分别采取地下水和土试样进行腐蚀性分析；对长距离区间隧道和大面积的车辆段、停车场，必要时应分段或分地块采取水和土试验进行腐蚀性分析。

12.3 水文地质参数的测定

12.3.1 水文地质参数的现场试验方法包括抽水试验、注水试验、压水试验；具体工程勘察中，应根据地层、岩性、地下水的赋存状态、含水层的透水性、工程建设和重要性、地下水控制方法等条件，明确所需水文地质参数及其测定方法，说明表 12.3.1 是各种水文地质参数常用的测试方法。

说明表 12.3.1 水文地质参数及测定方法

参 数	测 定 方 法
水位	钻孔、探井或测压管观测

渗透系数、导水系数	抽水试验、提水试验、注水试验、压水试验、室内渗透试验
给水度、释水系数	单孔抽水试验、非稳定流抽水试验、地下水位长期观测、室内试验
越流系数、越流因数	多孔抽水试验
单位吸水率	注水试验、压水试验
毛细水上升高度	试坑观测、室内试验

12.3.2 地下水位与地下水压力直接相关，因此地下水位是岩土设计和施工重点关注的内容。通过钻孔观察和量测水位方法简单、成本经济，我国勘察普遍采用观测地下水位的方法获取水位信息。

多层地下水分层水位的量测，尤其是承压水水头的观测，关系到地下水压力计算和地下结构抗浮设计水位取值，对设计和施工均非常重要，勘察应分层准确量测影响工程的多层地下水位，必要时设置分层观测孔。

12.3.3 地下水渗入钻孔中至水位稳定的过程，实质是地层中的孔隙水压力与钻孔内水位压力逐渐平衡的过程。地层中的地下水流速取决于渗透系数，对于不同地层，观测钻孔水位前应留置足够的时间，确保钻孔水位趋于稳定。

12.3.4 用几何法测定地下水流向的钻孔布置，除应在同一水文地质单元外，尚需考虑形成锐角三角形，其中最小的夹角不宜小于 40°；孔距宜为 50m~100m，过大和过小都将影响量测精度。用指示剂法测定地下水流速，试验孔与观测孔的距离由含水层条件确定，一般细砂层为 2m~5m，含砾粗砂层为 5m~15m，裂隙岩层为 10m~15m，岩溶地区可大于 50m。指示剂可采用各种盐类、着色颜料等，其用量决定于地层的透水性和渗透距离。

当工程对地下水流速精度要求不高时，可以采用水力梯度法计算。水力梯度法是间接求得场区地下水流速的方法，只要知道场区含水层的渗透系数 k 和水力梯度 i ，则流速可按说明式 12.3.4 计算：

$$v = ki \quad (\text{说明式 12.3.4})$$

12.3.5 抽水试验、注水试验和压水试验是求算含水层的水文地质参数的常用方法，

具体采用何种试验方法取决于水文地质条件、试验目标岩土层的渗透性、设计和施工对水文地质参数精度的要求,采用稳定流抽水试验可满足岩土工程勘察一般要求。

12.3.9 对山岭隧道或基岩隧道或位于基岩中的地下工程,可考虑采用压水试验测定水文地质参数。压水试验的试验段长度一般采用 5m,根据岩层厚度、裂隙发育程度以及工程要求等因素确定。应按工程需要确定试验最大压力、压力施加的分级数及起始压力,试验时应经常观测工作管外的水位变化及附近可能受影响的坑、孔、井、泉的水位和水量变化,出现异常时应分析原因,并及时采取相应措施。

12.3.10 根据经验,一般测压计安装完成大约 4 天后地下水位才能趋于稳定,为了获取更为准确的结果,本规范规定以连续监测 7 天的方式来获取稳定可靠的孔隙水压力数据。

12.3.11 采用计算法求影响半径时,说明表 12.3.11 列出了常用的计算公式:

说明表 12.3.11 影响半径计算公式

计算公式		适用条件	备注
潜水	承压水		
$\lg R = \frac{s_w(2H - s_w) \lg r_1 - s_1(2H - s_1) \lg r_1}{(s_w - s_1)(2H - s_w - s_1)}$	$\lg R = \frac{s_w \lg r_1 - s_1 \lg r_w}{s_w - s_1}$	1 完整井 2 一个观测孔	结果偏大
$\lg R = \frac{s_1(2H - s_1) \lg r_2 - s_2(2H - s_2) \lg r_1}{(s_1 - s_2)(2H - s_1 - s_2)}$	$\lg R = \frac{s_1 \lg r_2 - s_2 \lg r_1}{s_1 - s_2}$	两个观测孔	精度可靠
$\lg R = \frac{1.356 k(2H - s_w)s_w}{Q} \lg r_w$	$\lg R = \frac{2.73 k M s_w}{Q} + \lg r_w$	单孔	一般偏大
$R = 2s\sqrt{Hk}$	$R = 10s\sqrt{k}$	单孔	概略计算

12.3.12 松散类岩土给水度可参考说明表 12.3.12 的经验值。

说明表 12.3.12 岩土层给水度的经验值

岩土名称	给水度	岩土名称	给水度
粉砂与黏土	0.100~0.150	粗砂及砾砂	0.250~0.350
细砂与泥质砂	0.150~0.200	黏土胶结的砂岩	0.020~0.030
中砂	0.200~0.250	裂隙灰岩	0.008~0.100

12.3.13 渗透系数宜通过抽水试验、注水试验等现场测试方法确定，说明表 12.3.13 的渗透系数经验值可供现场水文地质试验比对和参考。渗透系数大于 200 m/d 的含水层，地下水量往往很大，在这类地层中进行施工降水时，常配合采用堵水、截水等方法才能满足设计和施工要求，所以本规范中特别列出“特强透水”一类。

说明表 12.3.13 岩土层渗透系数经验值

岩土名称	渗透系数 k	
	(m/d)	(cm/s)
黏土	<0.001	$<1.2 \times 10^{-6}$
粉质黏土	0.001~0.100	$1.2 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-4}$
粉土	0.100~0.500	$1.2 \times 10^{-4} \sim 6.0 \times 10^{-4}$
黄土	0.250~0.500	$3.0 \times 10^{-4} \sim 6.0 \times 10^{-4}$
粉砂	0.500~1.000	$6.0 \times 10^{-4} \sim 1.2 \times 10^{-3}$
细砂	1.000~5.000	$1.2 \times 10^{-3} \sim 6.0 \times 10^{-3}$
中砂	5.000~20.000	$6.0 \times 10^{-3} \sim 2.4 \times 10^{-2}$
均质中砂	35.000~50.000	$4.0 \times 10^{-2} \sim 6.0 \times 10^{-2}$
粗砂	20.000~50.000	$2.4 \times 10^{-2} \sim 6.0 \times 10^{-2}$
均质粗砂	60.000~75.000	$7.0 \times 10^{-2} \sim 8.6 \times 10^{-2}$
圆砾	50.000~100.000	$6.0 \times 10^{-2} \sim 1.2 \times 10^{-1}$
卵石	100.000~500.000	$1.2 \times 10^{-1} \sim 6.0 \times 10^{-1}$
无充填的卵石	500.000~1000.000	$6.0 \times 10^{-1} \sim 1.2$

稍有裂隙岩石	20.000~60.000	$2.4 \times 10^{-2} \sim 7.0 \times 10^{-2}$
裂隙多的岩石	>60.000	$>7.0 \times 10^{-2}$

12.3.14 由于水文地质条件的复杂性以及实际地质条件与计算模型的差异，水文地质参数计算的经验和成熟度仍不成熟，计算结果可能与实际存在较大偏差；选择水文计算方法和计算公式时，应根据具体的水文地质条件和计算公式的适用条件合理选用计算公式，结合地区经验采用多种方法计算对比。

12.4 地下水作用的评价

12.4.1 地下水的作用按其机制可以划分为两大类，一类是力学作用，另一类是物理和化学作用。岩土工程问题多与地下水有关，地下水的作用和影响始终是勘察、设计和施工要重点考虑的问题，然而在实际工作中，因场地、施工等条件所限，地下水的作用和影响往往被忽略或者被从简处理。由于对地下水作用不够重视，导致地下水引起的各种岩土工程问题时有发生，岩土工程勘察应根据工程需要，分析评价地下水的作用，预测地下水可能引起的危害，提出地下水危害的预防和处理措施。

12.4.2 本条规定了地下水的力学作用分析与评价应包括的主要内容。

1 地下水对地下工程的浮力是最明显的一种力学作用，可用阿基米德原理计算；因忽视地下水浮力或提供的设计抗浮地下水位错误导致地下室结构破坏的现象偶有发生；我国沿海地区及南方地区地下水位埋深浅，受降水和地表水影响大，在基础底部与地基持力层之间往往存在薄膜式透水层，水压力不应折减；有经验或实测数据时，可按经验或实测数据确定；

详细勘察阶段应分析地下水对结构的作用，对需采取抗浮措施的地下工程，可按照国家标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476 相关规定，提出抗浮工程设计所需的参数及抗浮设防水位建议值，必要时对抗浮设防水位取值进行专项研究；

2 验算边坡稳定性时需考虑地下水渗流对边坡稳定的影响；对基坑支护结构的稳定性验算时，不管是采用水土合算还是水土分算，都需要首先查明地下水的赋存状态和分布特征，才能比较合理地确定作用在支护结构上的水土压力；

4 渗流作用可能产生潜蚀、流土或管涌现象，造成破坏，其判别方法可参阅有关规范和文献；

5 基坑开挖需采取措施降低地下水位时，应分析：

- 1) 能否疏干基坑内的地下水，得到便利安全的作业面；
- 2) 在造成水头差条件下，基坑侧壁和底部土体是否稳定；
- 3) 由于地下水的降低，是否会对临近建筑、道路和地下设施造成不利影响；
- 4) 可行的降水或隔水措施及其施工可行性。

12.4.3 地下水对岩土体和结构基础的物理、化学作用往往是一个渐变的过程，如桩端岩土体软化、混凝土和钢筋等建筑材料腐蚀、残积土和风化岩软化崩解等，开始可能不为人们所注意，一旦危害明显就难以处理；另外，受环境特别是人类活动影响，地下水位和水质还可能发生变化；勘察时要注意调查研究，在充分了解地下水赋存环境和岩土条件的前提下，对地下水的物理、化学作用作出合理的分析和评价。

13 遥感地质解译

13.1 一般规定

13.1.1 条文中规定的三种地区适宜开展岩土工程勘察遥感解译工作，主要基于以下原因：

1 地质条件复杂的地区，地质信息丰富，地面调查或勘探布置缺少宏观概念，各种地质现象的相互关系很难查明，且工作效率低，而利用遥感技术，各种地质信息在遥感图像上一目了然，对地面调查和勘探布置具有良好的指导作用，有利于综合分析。地形陡峻、交通困难、地面调查难以进行的地区，利用遥感技术，可不受交通条件的制约；

2 城市及郊区因人类活动频繁，地物变化快，地形地貌改变大，平原区河流变迁频繁，通过遥感多时相分析，可以了解地物的变化和河流变迁的历史及其发展趋势；

3 地表裸露良好地区因无植被覆盖或覆盖较少，解译效果良好；解译标志明显而稳定的地区有利于遥感图像解译标志的建立和引伸应用。

13.1.2 本条规定了岩土工程勘察遥感工作的程序。遥感工作应循序渐进、由浅入深，按照准备工作、初步解译、外业验证调查与复核解译、最终解译与资料编制的程序进行。

13.1.5 遥感数据的种类很多，按工作平台划分有航天、航空和地面遥感数据；按波段划分有紫外、可见光、红外、雷达，以及多光谱和高光谱等遥感数据。岩土工程勘察遥感工作应在充分了解各类遥感数据的空间分辨率（或比例尺）、光谱分辨率等参数的基础上，根据勘察要求和目的、地区工程地质条件等合理选择。

遥感图像处理方法很多，不同的处理方法有不同的目的和功能，图像处理效果的好坏，取决于处理方法的选择是否恰当。因此，对特定目标的解译，应根据遥感数据的特征、需要突出的地质信息、目标物的特点等，选择恰当的图像处理方法。

13.1.6 遥感图像包括图片、航片、卫片及影像等资料。遥感图像地质解译是先进的地质调绘方法，但也有其局限性。遥感图像虽然真实地记录了地质体的信息，但由于种种外界因素的影响，图像失真或假像难以避免；由于比例关系，有些地质现象在遥感图像上较难区分等。因此，遥感图像地质解译工作要遵循循序渐进、由浅入深的认识规律，按程序开展工作。控制和影响线路方案或工程设置的地质构造、不良地质、特殊岩土等解译都必须进行现场核对，以做到提供的控制和影响线路方案及工程设置的地质条件准确、可靠，确保线路方案比选及工程选址正确。

13.2 遥感数据的选择与处理

13.2.1 “多平台”是指航天、航空、地面等不同平台获取的遥感数据；“多波段”包括紫外、可见光、红外、雷达，以及多光谱、高光谱等遥感数据；“多时相”是指不同时间获取的同一区域的多期遥感数据。

2 不同地质体有不同的波谱特征，同一地质体在不同光谱段的辐射能量也有差别，这些差异可以作为地质解译的重要依据。多光谱或高光谱遥感数据可以通过计算机处理，获得更丰富的地质信息，同时也为地物的识别和分类提供了可能；

3 利用多时相遥感数据，可以对滑坡、泥石流等不良地质的动态变化和发展趋势进行分析。

13.2.2 为了便于目标物的识别以及更好地突出我们所关注的地质信息，宜选择合适参数和高质量的影像数据。如选择适宜空间分辨率和成像时间的影像数据能有效提高解译精度。选择遥感数据的空间分辨率（或比例尺）时，应考虑遥感图像中是否包含岩土工程勘察遥感解译所需要的地物内容和纹理特征等信息，以满足岩土工程勘察遥感解译要求。空间分辨率过高或比例尺过大，则存在信息冗余，造成浪费；空间分辨率过低或比例尺过小，则不能满足岩土工程勘察遥感解译要求。就岩土工程勘察遥感解译而言，我国北方地区宜选择植被不发育的春秋季节，南方无雪或少雪地区宜选择在冬季，岩石裸露的高寒地区宜选择在夏季。

13.2.4 辐射校正是指消除图像数据中依附在辐射亮度中的各种失真的过程。应根

据应用需求或处理方法的要求确定是否进行辐射校正。

13.2.5 几何校正是指消除或改正遥感数据几何畸变的过程，分为几何粗校正和几何精校正。本条规定的方法和要求针对的是几何精校正。几何精校正利用地面控制点进行的几何校正，它是用一种数学模型来近似描述遥感数据（图像）的几何畸变过程，并利用畸变的遥感图像与标准地图之间的一些对应点（即控制点数据对）求得这个几何畸变模型，然后利用该模型进行几何畸变的校正，这种校正不考虑畸变的具体形成原因，只考虑如何利用畸变模型来校正遥感数据。

根据经验，在地形起伏不大的平原或低缓丘陵区，一般采用多项式校正；在地形高差较大的山区，一般采用正射校正。

13.2.6 图像配准是指将不同时相、不同波段、不同传感器或不同条件下（天候、照度、摄像位置和角度等）获取的两幅或多幅遥感图像进行匹配、叠加的过程。通过图像配准可以使不同数据间具有统一的地理坐标及像元空间分辨率，有利于开展数据间的对比分析，因此，岩土工程勘察遥感解译工作中使用的多源遥感数据均应进行图像配准。

根据遥感解译工作经验，配准后两幅遥感图像的匹配误差，平原和丘陵区一般不超过 1 个像元，山区可适当放宽至 1.5 个像元。

13.2.7 图像增强是通过改变原图像的结构关系，突出特定目标，扩大图像中不同地物特征之间的差别，提高图像判读和识别效果的图像处理方法。根据处理空间的不同，图像增强方法可分为基于图像空间的空域方法和基于图像变换的频域方法；根据处理范围的不同，可分为全局处理和局部处理，另外，还有将灰度图像变为彩色图像、对多光谱图像进行彩色合成或进行彩色变换的彩色增强方法等等。总之，可选择的图像增强处理方法有很多，实际工作中应在了解和掌握不同方法的原理和适用范围的基础上，根据工程地质特点及解译目的，经测试和对比分析后进行选择，方可取得最佳的解译效果。

13.2.8 本条规定了图像融合过程中应注意的问题。图像融合是通过采用一定的算法，实现同一地区不同波段、不同时相、不同分辨率的多源遥感数据“优势互补”

的图像处理方法，其目的是使融合后的图像同时具有高空间分辨率数据的纹理信息和高光谱分辨率的光谱信息。

1 经验表明，若多光谱数据和全色数据的原始空间分辨率之比大于 4，则融合后的纹理信息和光谱信息不能平滑地套合在一起，将失去“互补”的作用；

2 融合前的图像增强主要是为了突出目标物信息，应结合区域工程地质特点及解译目标物的特征，选择恰当的图像增强方法；

3 同图像增强方法一样，图像融合的算法也有很多，包括主成分变换、乘积变换、比值变换、HIS 变换、Brovey 变换、HPF 变换、Gram-Schmidt 波谱锐化、小波变换以及多种变换的混合运算等。在实际工作中，应根据目标物特征，选择适宜的图像融合算法，并对融合效果进行评价。

图像融合评价包括主观评价和客观评价。从岩土工程勘察遥感解译角度，主观评价包括但不限于以下内容：

（1）融合后图像的空间分辨率是否得到显著提高，多光谱特征是否被充分保持；

（2）目标地质体的显示效果是否得到明显改善；

（3）地质体边缘轮廓是否因彩色而更加突出，岩石、构造纹理是否更加清晰；

（4）原始图像中的噪声是否得到有效抑制。

主观评价和客观评价的角度不同，又密切联系，实际工作中应以得到最佳的解译效果为目标，选择适宜的图像融合方法。

13.2.9 本条规定了图像镶嵌过程中应注意的问题。图像镶嵌是将两幅或多幅遥感图像拼接在一起，构成一幅整体图像的过程。当测区涉及两幅或多幅遥感图像时，需要进行图像镶嵌处理。

1 不同时相或成像条件存在差异的遥感数据，由于数据获取时的辐射水平不一样，图像的灰度差异一般较大，为了消除或减少这种图像间的灰度差异，应进行灰度匹配处理。灰度匹配是通过对图像的均值和方差进行调整，使图像间的灰

度分布趋于一致，从而达到消除图像灰度差异的目的。具体做法是：首先分别求出两幅遥感图像重叠区的均值和方差，然后以其中一幅作为参考，对另一幅进行变换，使其均值和方差同参考图像一致；

2 重叠区内镶嵌拼接线的选择很重要，应选择弯折曲线，并以图像色彩变化较小处作为镶嵌拼接线位置，避免拼接线切过线性目标。为进一步提高图像镶嵌质量，可在镶嵌拼接线两侧进行“羽化”处理；

3 此款是对图像镶嵌处理视觉方面的质量要求。

13.2.10 合成孔径雷达（SAR）根据雷达载体的不同，可分为星载 SAR、机载 SAR、无人机载 SAR 和地基 SAR 等类型，根据沉降监测的范围、周期和精度等要求，选择适宜的 SAR 数据。利用 SAR 数据进行干涉获得合成孔径雷达干涉测量（InSAR）数据，通过滤波、配准、相位解缠、去平地效应、基线计算和差分干涉测量等获得地表沉降量、沉降范围和发展趋势。

13.3 工作内容和方法

13.3.1 本条规定了遥感前期准备工作的内容和应注意的问题。

1 搜集资料包括工程设计资料、遥感数据资料、地形资料、地质资料和其他资料五大类。工程设计资料用于确定工作范围，制定遥感工作计划；遥感数据资料是开展岩土工程勘察遥感工作的基础数据，应重点搜集；地形、地质和其他资料主要用于辅助岩土工程勘察遥感解译；

2 遥感数据是开展岩土工程勘察遥感工作的重要基础资料，遥感数据质量的好坏以及是否齐全，直接影响解译效果。条文中规定的检查内容为衡量遥感数据质量的主要因素；

3 实际工作中，搜集到遥感数据经常会有缺少参数、文字信息内容不齐全或有质量问题等情况，这时应进行补充搜集或重新获取，以满足岩土工程勘察遥感解译要求。

13.3.2 本条规定了初步解译的内容、方法、工作方案和应注意的问题。

1 解译前，应首先结合线路方案、重点工程及工作区工程地质特点等，开展必要的遥感图像调绘工作；调绘内容和详细程度可视具体情况而定，如在城市居民密集区，可只调绘重要的居民点；在岩溶地区，水系和山脊线的调绘有利于对地表径流和地下水的补给、径流、排泄进行分析；通过遥感图像调绘，确定解译范围和重点解译内容；解译前，应根据工作区工程地质特点及可解译程度，明确工程地质分区的原则、地层解译划分的深度、区域解译标志的内容等解译原则和要求，以确保解译成果的统一；建立区域解译标志时，应结合工作区工程地质特点，详细研究各种资料，选择各类地物或地质现象中具有代表性、实用性和稳定性的图像特征作为区域解译标志。当工作区解译标志复杂、可解译程度较差时，可到现场重点踏勘，以便解译工作的顺利进行；

2 条文中提到的多源遥感数据为多平台、多波段、多时相遥感数据，其他各类资料包括各类地形图、数字高程数据，以及各种地质、地震、地灾、矿产、气象、水文、环境等资料；为了取得更好的解译效果，初步解译应充分利用上述各类资料进行对比分析和综合解译；

4 本条根据近年来遥感技术在铁路岩土工程勘察遥感工作中的应用实践编写。

13.3.3 外业调查验证宜做到谁解译，谁验证；当验证人员与解译人员不是同一人时，应统一对图像解译及现场验证的认识。

1 由于遥感数据本身的局限性，以及地质现象的复杂性和多变性，初步解译成果须经外业调查验证才能最终确定；外业调查验证的重点应包括条文中所列的五部分内容；

3 钻探、物探等资料可以作为遥感解译成果的验证依据。如对于断层构造，钻探、物探等勘察资料能够如实地反映断层走向两侧地层层位的变化以及破碎带的分布等信息，可以作为断层构造解译成果的验证依据。

13.3.5 本条规定了市域（郊）铁路岩土工程勘察遥感解译成果的数据格式。目前，在遥感应用领域，矢量数据较常用的格式有：*.shp、*.dwg 等；栅格或网格数据较常用的有：*.tif、*.img 等；为了便于不同系统间数据的交换，岩土工程勘察遥感

专题数据应采用通用的 CAD 和 GIS 格式,并符合现行国家标准《基础地理信息标准数据基本规定》GB 21139 的规定;本条也从视觉方面对岩土工程勘察遥感专题数据中以图像形式表达的数据成果质量做了规定。

13.3.6 本条规定了市域(郊)铁路岩土工程勘察可研、初勘和详勘不同阶段遥感解译成果应包含的内容。

1 可研阶段岩土工程勘察遥感解译成果应包括下列内容:

(1) 岩土工程勘察遥感解译说明书。

(2) 岩土工程勘察遥感解译图,比例尺为(1:50 000)~(1:200 000)(岩土工程地质条件简单时可为 1:500 000)。内容应包括线路方案、地貌类型及分区界线、水系、地质构造、地层岩性(岩组)及其界线、代表性岩层产状、不良地质与特殊岩土的类型及界线、地下水(泉、暗河)露头。

2 初勘阶段岩土工程勘察遥感解译成果应包括下列内容:

(1) 岩土工程勘察遥感解译报告,应包括下列内容:

- 1) 岩土工程勘察遥感工作概况、遥感数据的选择及处理方法、主要成果等;
- 2) 地貌类型和水系的解译;
- 3) 地层岩性(岩组)的解译;
- 4) 地质构造的解译;
- 5) 不良地质的解译;
- 6) 水文地质的解译;
- 7) 环境地质的解译;
- 8) 线路方案岩土工程地质条件评价及结论意见。

(2) 全线岩土工程勘察遥感解译图,比例尺为(1:10 000)~(1:50 000)。内容应包括线路方案、地貌类型及分区界线、水系、褶曲构造线、断层构造线、地层岩性(岩组)及其界线、地层成因及时代、不良地质与特殊岩土类型及界线、地下水(泉、暗河)露头。

(3) 重大工程及地质复杂地段岩土工程勘察遥感解译图,比例尺为(1:2 000)~

(1:10 000)，解译成果应体现地层岩性（岩组）、地质构造、不良地质等地质信息与工程（或方案）的空间位置关系。

(4) 必要时可制作岩土工程勘察遥感专题图。包括水系图、地貌分区图、地层分布图、构造图、不良地质分布图、特殊岩土分布图、岩土工程分区图等。

3 详勘阶段岩土工程勘察遥感解译成果应包括下列内容：

(1) 工点岩土工程勘察遥感解译说明书。

(2) 工点岩土工程勘察遥感解译图，比例尺可根据勘察要求确定，解译成果应体现地层岩性（岩组）、地质构造、不良地质等地质信息与工程（或方案）的空间位置关系。

14 工程地质调绘

14.1 一般规定

14.1.1 市（域）郊铁路工程在开展工程地质调绘工作前，充分收集和分析研究勘察区已有的各种地质资料，是了解区域地质情况、初步确定工作重点和难点、制定针对性工作计划并做好工程地质调绘的基础。遥感图像包括图片、航片、卫片及影像等资料，在一定程度上能够真实地记录地质体的信息，遥感地质解译是基于遥感图像开展的地质体地质信息的解译，是进行工程地质调绘的一种重要手段，具有覆盖面广、信息量丰富等特点，既可以进行区域宏观分析，又可以指导地面地质工作，大大减轻地质人员的劳动强度，减少工程地质调绘的盲目性。但遥感地质解译受信息处理、比例关系以及种种外界因素的影响，也有其局限性，图像失真、假象或对一些地质现象难以识别等难以避免，因此，遥感地质解译工作要遵循循序渐进、由浅入深的认识规律，按程序开展工作，对控制和影响工程实施的地质构造、不良地质、特殊性岩土等解译都必须进行现场核对，做到遥感地质解译与地面地质调绘相结合，提高调绘的质量和效率，而对遥感地质解译成果既要充分重视，又要充分利用，确保为市（域）郊铁路工程线路方案比选、建设场地的工程地质评价、工程建设对周边环境的影响评价等方面提供准确可靠的地质信息。

14.1.2 市（域）郊铁路工程沿线构筑物的种类较多，对地质资料的要求不尽相同。针对市（域）郊铁路工程的特点，开展工程地质调绘工作是极其必要的，也是市（域）郊铁路工程进行岩土工程勘察的基础工作内容，是从宏观上获取沿线场地地质条件的主要手段。本条仅从地质的角度对市（域）郊铁路工程地质调绘应包括的基本内容进行了规定。

工程地质调绘工作主要在可行性研究和初步勘察阶段进行，在详细勘察和施工勘察阶段主要进行专题性的调绘工作。由于市（域）郊铁路工程的特殊性，勘察设计的各个阶段线、站位置会有调整或变化，因此，工程地质调绘工作要贯穿勘察设计各阶段的始终。

14.1.3 本条特别强调工程地质调绘应与岩土工程紧密结合，应着重针对岩土工程的实际问题。同时，也强调工程地质调绘是为市（域）郊铁路工程各勘察阶段的勘探与测试工作布置提供依据，有助于指导岩土工程勘察工作量的布置，节约勘探工作量，在岩土工程勘察工作中起到事半功倍的作用。

对市（域）郊铁路工程有重大影响的地质问题，如活动断裂、滑坡和采空区等，常规的工程地质调绘是不够的，应进行专项工程地质调绘工作。

市（域）郊铁路工程建设区域与人类活动密切相关，对市（域）郊铁路工程有较大影响的人类活动，如人工洞穴、地下采空、大挖大填、抽排地下水和水库诱发地震等，应结合线、站建设场地的勘察进行补充调绘，有重大影响的应进行专项工程地质调绘工作，评价人类活动对场地稳定性的影响。

14.2 工作方法

14.2.1 搜集既有资料是工程地质调绘的一项基本工作，对搜集的各种资料进行综合分析和研究，不仅可在岩土工程勘察资料编制过程中加以利用，也是合理布置勘探工作量、制定勘察大纲等工作的必要前期工作。工程地质调绘过程中，原则上不投入大量勘探工作量，必要时可适量进行勘探、物探和测试工作，勘探一般以简易勘探为主。

14.2.2 搜集航空相片和卫星相片的数量，同一地区应有 2~3 套，一套制作镶嵌略图，一套用于野外调绘，一套用于室内清绘。

在初步解译阶段，对航空相片或卫星相片进行系统的立体观测，对地貌和第四纪地质进行解译，划分松散沉积层与基岩的界线，进行初步构造解译。

第二阶段是野外踏勘和验证。控制和影响线路方案或工程设置的地质构造、不良地质、特殊岩土等解译都必须进行现场核对，核实各典型地质体在照片上的位置，并选择一些地段进行重点研究，作实测地质剖面 and 采集必要的标本，以做到提供的控制和影响线路方案及工程设置的地质条件准确、可靠，确保线路方案比选及工程选址正确。

最后阶段是成图，将解译资料，野外验证资料和其他方法取得的资料，集中转

绘到地形底图上，然后进行图面结构的分析，如有不合理现象，要进行修正，重新解译或野外复验。

14.2.3 地质观测点的布置是否合理，是否具有代表性，对于成图的质量至关重要。地质观测点应布置在地质构造线、地层接触线、岩性分界线、不整合面和不同地貌单元、微地貌单元的分界线和不良地质作用分布的地段。同时，地质观测点应充分利用天然和已有的人工露头，例如采石场、路堑、井、泉等。当天然露头不足时，应根据场地的具体情况布置一定数量的勘探工作。条件适宜时，还可配合进行物探工作，探测地层、岩性、构造、不良地质作用等问题。

关于地质观测点的密度，国内外未有统一的规定，本条的第二款只是从原则上做出规定，具体实施时，应从实际出发，根据技术要求、工程地质条件和成图比例尺等因素综合确定。

地质观测点的定位标测，对成图的质量影响很大，常采用以下方法：

1 目测法，适用于小比例尺的工程地质测绘，该法系根据地形、地物以目估或步测距离标测；

2 半仪器法，适用于中等比例尺的工程地质测绘，它是借助于罗盘仪、气压计等简单的仪器测定方位和高度，使用步测或测绳量测距离；

3 仪器法适用于大比例尺的工程地质测绘，即借助于经纬仪、水准仪等较精密的仪器测定地质观测点的位置和高程；对于有特殊意义的地质观测点，如地质构造线、不同时代地层界限、不同岩性分界线、软弱夹层、地下水露头以及有不良地质作用等，均宜采用仪器法；

4 卫星定位系统(GPS)：满足精度条件下均可应用。

14.2.4 工程地质调绘的最终产品是图件和文字报告，生产图件的工作方法基本上有两种，一是填图、二是编图。填图与编图不仅是工程地质调绘的常用方法，而且也是在区域地质调绘或地质普查与勘探过程中常用的传统方法。当地质条件简单或既有地质资料比较充分时，可采用编图方法进行调绘；当地质条件复杂时，宜采用填图的方法进行调绘。本条重点强调了进行全线工程地质图、详细工程地质图及工点工程地质图和工程地质断面图等工程地质调绘图件填绘的要求。

14.2.5 一般情况下,市(域)郊铁路工程地震动参数可直接采用现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB18306 规定的地震动参数。对做过专门地震研究的地区,应采用经主管部门批准的工程场地地震安全性评价结果确定的地震动参数。

14.3 工作范围

14.3.1 本条对市(域)郊铁路工程确定工程地质调绘工作范围做出了基本规定。总原则是应按勘察阶段所确定的线路、建(构)筑物平面范围及邻近地段开展工程地质调绘工作,其范围应满足线路方案比选和建(构)筑物选址、地质条件评价等方面的需要。

14.3.2 市域(郊)铁路是介于城市轨道交通与城际铁路之间的一种轨道交通方式,速度上接近城际铁路,服务方式上接近城市轨道交通,其建设工程与岩土工程有密切关系的细分类型有路基工程、桥涵工程、隧道工程和站场工程等。对于城市轨道交通工程,根据国内岩土工程勘察的经验总结,其工程地质调绘的宽度在一般区间直线段向两侧不应少于 100m;在车站、区间弯道段及车辆基地向外侧不应少于 200m。对于城际铁路工程,其工程地质调绘的范围则依工点类型的不同在各类工程的勘察要求中予以明确。本条以城际铁路方面的技术标准为主,结合城市轨道交通方面的技术标准明确了市域(郊)铁路工程中的路基、桥涵、隧道及其附属工程和站场工程等的工程地质调绘范围。

14.3.3 地质调绘的范围根据线路工程设置所影响的范围确定。一般为线路两侧各 100m~200m,在为评价不良地质、特殊岩土对工程的影响,评价重大工程的地质条件时,要根据需要适当扩大。如为评价滑坡对线路方案的影响,调查范围包括整个滑坡范围,即一般要“上山到顶、下山到河(沟)”。

14.3.4 导致地质灾害发生的原因有很多,其中,频繁的人类活动是某些地质灾害诱发因素之一,因此,应重视工程建设与地质灾害之间的相互影响和相互作用。在地质灾害特别严重的区段,如滑坡、泥石流等发育区,不当的工程建设活动可能诱发地质灾害发生,或者加剧地质灾害的灾害程度,应根据评价的需要适当扩大工程地质调绘的工作范围,把工程建设可能诱发的重大地质灾害问题研究透彻,对需要

进行专门研究的，工作范围应专门研究确定。

14.4 工作内容

14.4.1 各种既有资料的搜集是工程地质调绘的重要工作，必须在岩土工程勘察前期统筹规划、全面考虑和认真落实。

调查搜集以往岩土工程事故发生的原因、处理的措施和整治效果,在岩土勘察工作中有重要意义。

14.4.2 市域（郊）铁路工程沿线构筑物的种类较多，对地质资料的要求不尽相同。本条仅对工程地质调绘的一般内容进行了规定，并特别强调应与岩土工程紧密结合，应着重针对岩土工程的实际问题。为满足实际工作需要,尚应结合路线方案比选及各类构筑物建设场地的勘察做必要的补充调绘。

14.4.3 对本条作如下几方面说明：

1 关于滑坡地段工程地质调绘

工程勘察中不但要注意对“自然滑坡”的识别与防治，同时还需对工程可能引起的滑坡给予足够重视，对那些虽然在自然状态下稳定，但由于工程施工、环境地质条件改变可能造成失衡的山坡(如在基岩山坡上有厚层的坡积层，或软硬岩层相间并倾向线路，且有地下水活动)在进行工程地质调绘时，要加以特别注意，全面分析各类结构面的形态，特别注意不利结构面的调查分析，准确地判明或预测山坡因工程活动而可能引起的稳定性变化，是非常重要的。对此，勘测设计、施工甚至运营部门都要充分重视。在勘测设计阶段，工作要做够，不仅注意山坡自然形态调查分析还要考虑工程设置后，特别是开挖临空后，对不利结构面的稳定性评价；在施工阶段，要坚持合理的作业程序和科学的施工方法；在运营阶段，要加强山坡的养护和观察。同时，还要注意人为活动对滑坡稳定的影响(如灌溉、弃渣、开山采石等)。

2 关于危岩、落石和崩塌地段工程地质调绘

崩塌主要受以下因素影响：

(1) 地形是发生崩塌和落石必不可少的条件之一，陡边坡的高度对崩塌落石

的形成也有明显影响，高度越高越容易形成崩塌落石，坡度越大崩塌落石的规模和强度越大；

（2）地层岩性按 3 大岩类考虑，对崩塌落石的控制规律如下：

①沉积岩：河谷陡坡区，软硬相间岩层组合，软岩易被河水冲刷掏空，形成上部岩体大崩塌；岸坡脚由可溶岩组成，可溶岩易被冲蚀溶蚀掏空，形成岸边大崩塌；巨厚完整坚硬岩层加薄层软岩，当岩层倾向临空面时，陡峻边坡可能发生大规模滑移式崩塌；产状水平软硬相间岩石组成的陡边坡，因差异风化，可能发生小型崩塌和落石；有褶皱发育的软岩组成的陡边坡，常发生小型崩塌和落石；

②岩浆岩：当垂直节理(如柱状节理)发育并有倾向线路的构造裂隙面时，易产生大型崩塌；岩浆岩被岩脉、岩墙穿插、接触面与其他结构面组合，可能发生崩塌和落石；

③变质岩：正变质岩与岩浆岩类似。对于副变质岩，动力变质的片岩、板岩、千枚岩，多发生沿弧形结构面的滑移式崩塌，该类岩石片理面及构造结构面很发育，常发生大小不等的崩塌落石；

（3）地质构造的影响：

①断裂构造对崩塌落石的控制作用：当开挖方向与地质构造线平行时，易产生崩塌落石；在几组断裂线交汇的峡谷区，往往形成大型崩塌；断层密集分布区岩层破碎，高边坡地段崩塌落石频频发生。

②褶皱对崩塌落石的控制作用：褶皱核部岩层常强烈弯曲岩层破碎，形成各种潜在崩塌体，在重力或其他外力作用下，可能产生各种类型的崩塌落石，其规模主要取决于褶皱轴向与临空面坡向夹角：当褶皱轴向垂直于坡面方向时，多产生落石或小型崩塌；当褶皱轴向与临空面平行时，高陡边坡可能产生大型崩塌；褶皱两翼为单斜岩层，当岩层倾向临空面时，易产生滑移式崩塌，特别是当岩层内有软弱夹层，岩层两侧又有构造节理切割时，陡边坡可能产生大型崩塌；

③构造节理与崩塌落石的关系：崩塌落石多沿构造节理面发生，构造节理面构成潜在崩塌体的稳定性与节理面倾角、粗糙度和节理的充填物有关，当构造节理面有黏土或其他风化物充填时，易受雨水浸润软化而产生崩塌落石；

(4) 水文地质条件的影响，降雨和地下水对崩塌落石的影响较大：

①降雨与崩塌落石有密切关系；

②地下水对崩塌落石也有较大的影响。当地下水在边坡上或坡脚以线状渗出带出露，则表明边坡上有延伸较远的含水结构面，边坡稳定性较差，可能发生较大规模崩塌落石。

3 关于岩堆地段工程地质调绘

岩堆地区即使植被良好，但在遇到周期性暴雨或坡脚被破坏时，往往顺坡产生泥石流或坍塌。

陡崖下的岩堆，在降雨量较大时因雨水下渗和基岩中地下水补给，可能在堆积床或沿某个堆积层形成饱水带而造成崩塌性滑坡。对位于线路上方的岩堆体，如用路基或桥涵在其下方通过，就要对其稳定性进行分析、检算。

4 关于泥石流地段的工程地质调绘

泥石流是山区自然地质灾害之一。典型的泥石流流域，从上游到下游一般可分为形成区、流通区和堆积区。形成区为陡峻山区，汇水面积较宽，山坡裸露，松散固体物质储量丰富，常有滑坡、崩塌存在；流通区沟床较顺直，沟谷较窄，两侧山坡较稳定，纵坡较上游平缓；沉积区一般都是沟谷出口之外，纵坡平缓，地形开阔，泥石流大量堆积。还需注意堆积区范围常伸入流通区，从而使该处具有流通区及泥石流扇顶的双重性质。而当已发生的泥石流扇缘出现新泥石流扇时，早期泥石流的堆积区也可能成为近期泥石流的形成区或流通区。工程地质调绘根据线路通过泥石流流域的特点开展工作。

对泥石流形成区主要调查了解、确定泥石流物质补给来源，是以构造破碎岩体为主，还是以第四系堆积物为主或是以滑坡坍塌体为主。

对泥石流的流通区首先应查明、确定收缩口及位置，然后应对泥石流在此处的下切能力和下切深度或旁蚀强度有足够的估计。特别是以隧道通过收缩口处沟底时，初测阶段要摸清沟床基岩情况和水文地质情况。

对泥石流的堆积区，应根据洪积物的厚度及成层情况查明泥石流的规模和暴发强度，根据洪积扇各层的沉积及分布特点，分析泥石流暴发时的主流线变化情况。

对各种工程弃渣及山坡毁林造田、水土流失、水库溃决而形成、复活或加剧的泥石流危害情况要引起重视。如成昆线有些泥石流就是人为因素促使其发生、发展的。地震是激发或加重泥石流灾害的一个因素。凡地震动峰值加速度等于或大于 $0.1g$ 的山区，在其他条件相同的情况下，则更应该研究产生泥石流的可能。查明沟的中上游有无山体坍塌可能形成堤坝堵塞而蓄水，给下游工程造成隐患等。

5 关于风沙地段工程地质调绘

风沙地貌虽多种多样，但都可根据航空像片上特殊的地貌形态色调和影像特征加以区分。例如戈壁，地貌形态简单，在像片上呈现单调而粗糙的灰色影像，很容易与沙漠、沙漠化土地区分开。风蚀地貌一般具有残丘与洼地相间的地表形态，在像片上呈有规律的条状结构和均匀的灰色色调，丘顶色调明亮，洼地色调较深。流动沙丘表面裸露，具有很高的反射强度，色调呈均匀的灰白色。沙丘形态清晰，常表现为各种各样的线纹影像，且沿主风向有规律地排列，而固定、半固定沙丘由于植被的影响，色调灰暗，不均匀，呈斑点状，根据花斑及灰暗程度，可以估算植被的覆盖度。航空像片上，还可在立体镜下借助于视差杆等仪器对沙丘的各个形态要素(长度、宽度和坡度等)进行量测，从沙丘排列、沙丘迎风坡和背风坡的方向，判断出主风向和沙丘的移动方向。据不同时期的像片，可以测算沙丘移动速度。

卫星像片同样能解译风成地貌，只是由于在高空对地面成像，反映地表起伏的立体感较弱，同时比例尺小，一般为 $1:50$ 万~ $1:100$ 万，对地貌的解译不如航空像片的精度高。

彩色红外像片显示的颜色为假彩色，对植被、水体的反射率差别大，可提高航片的反差和分辨率。如植被在近红外线段有较强的反射，在像片上呈品红色，由于植被的种属和长势不同，色调深浅也不一样。水体对红外线吸收能力强，反射力弱，在像片上呈醒目的深蓝色，甚至蓝黑色，因色调变深，增大与其他地物的反差，分辨率也相应提高，如果将普通黑白像片与彩色红外像片加以对照，则解译效果更好。

6 关于岩溶地段工程地质调绘

岩溶地区，一般在初步勘察阶段开展岩溶普查工作。在大面积的普查工作中，要充分利用航片进行预判，在预判的基础上再开展野外地质调绘工作。在地质调绘

的同时，要研究本地区地表水系与地下水系的排泄条件，调查了解地表干谷与地下暗河的可能分布位置，使线路在平面上避开暗河发育的地段。

岩溶发育强度与岩溶地区的地层、岩性、地质构造、岩层层理、节理裂隙特征和地下水的侵蚀作用密切相关，因此在调查测绘中要查明本地区的地质构造、岩性特征和水文地质条件等，以便分析岩溶发育程度、分布范围，以圈定强岩溶化区与弱岩溶化区的界限。

在覆盖型岩溶区，由于地下水的活动常形成地面塌陷和土洞等。地面塌陷和土洞的形成对工程危害极大，轻者危及工程建筑物的安全，重者颠覆行进中的列车，给国民经济建设造成不可弥补的重大损失。例如津浦线泰安站、浙赣线分宜站等都位于覆盖型岩溶区，都有地面塌陷威胁列车安全、限速运行的记录是投重资进行地基处理后，才恢复正常运行。

“岩溶发育、形态复杂”的岩溶地段是指在正常勘察阶段，采用一般常规物探和钻探方法不易查清，且对线路方案的确定和工程设置有较大影响的地段。遇此情况往往要进行较大范围的地质调查、水文地质试验，选用更先进的勘探方法，研究线路方案和工程设置的类型等，所以要提出进行专题地质研究的建议。

7 关于人为坑洞地段工程地质调绘

查明人为坑洞发育地段的地层层序和人为坑洞的开采层位十分重要。只有查明其发育层位，才能有针对性地开展勘探工作，确定勘探方法和勘探深度，也才能有针对性提出工程措施建议，确定处理的方法和深度，或基础埋置深度等。

人为坑洞中的小煤窑、古窑以及居民分布密集地区的人防工程、窑洞、古墓、菜窖等，在勘察期间往往不易查清，除采取必要的勘探手段外，还要十分重视调查、访问的作用。

人为坑洞稳定性评价，根据采空程度和坑洞顶板地层的物理力学性质进行。大面积采空，根据开采矿体的范围、矿层的倾斜程度、上覆地层的物理力学性质确定移动盆地。根据工程性质确定线路通过位置。小窑采空区，根据采空上覆地层物理力学性质进行评价。

中铁第一勘察设计院集团有限公司通过在陕西、山西煤系地层小窑采空区的铁

路建设,根据前述的小煤窑开采情况和该地区煤层主要位于石炭、二叠系泥页岩夹砂岩地层的特点,提出了该地区小煤窑采空稳定性评价标准,即:当基岩顶板厚度 $<30\text{m}$ 时,为可能塌陷区,要求所有工程均需处理;当基岩顶板厚度 $30\text{m}\sim 60\text{m}$ 时,为可能变形区,重点工程应处理;当基岩顶板厚度 $>60\text{m}$ 时,为基本稳定区一般工程不处理,重大工程结合其重要性单独考虑。其中顶板为第四系土层时,按3:1换算为基岩(即 3m 土层换算为 1m 岩层)。依据上述标准,在阳涉、孝柳、侯月、神朔等线小煤窑采空区进行工程处理,经过施工、运营考验尚未发生工程地质问题。

8 关于水库地段工程地质调绘

水库蓄水后,库岸受水的浸泡及风浪、水流的冲蚀作用,破坏了原有的平衡状态。影响库岸稳定的因素有:库岸形态、地层岩性、地质构造、物理地质作用、水的作用及波浪作用等。

(1) 库岸形态包括岸坡坡度、岸线形状、水下岸线及地形完整情况。高而陡的岸坡,坍岸量大;低而陡的岸坡,坍岸速度快、坍岸量小。岸坡平缓,与天然冲刷稳定坡坡度相近时,一般不易坍岸,只受到不大的冲蚀和局部坍毁。对于地形不完整、支沟发育、切割严重的库岸,坍岸显著。地形平整、阶面发育、冲沟不发育的库岸,坍岸不显著。坚硬及半坚硬的岩石,可维持较大的稳定边坡。不抗水的半坚硬岩石,有可能形成较严重的坍岸。密实的黏土,坍岸宽度不大或仅表现为岸坡表面风化土体的剥落。

(2) 地层岩性的变化对水库坍岸的影响较大。对不易风化、软化及崩解的岩石,一般不坍塌或坍岸宽度小,可按工程地质法预测坍岸宽度。如岩层内含软弱夹层,则随软弱层的被冲蚀、夷平、搬运,上部岩层出现临空面,随节理的伸展、连贯而崩坍周而复始,直到上部岩层坍塌体堆积在软弱层上,岸壁才趋于稳定。而第四系地层和岩层全风化层常形成较大的坍岸宽度,对建筑物影响较大,为地质调查的重点。

(3) 水库蓄水后,当地水文地质条件随之发生变化,若水库的库岸地层中埋藏着地下水,则地下水随库水位的雍升而升高。若无地下水,则水库蓄水后,库水呈降落曲线向库岸渗透。地下水位的变化,除加剧岸边坍岸的发展外,还引起诸如

黄土的湿陷、岩(土)体的强度降低及结构的破坏、库岸的滑动和坍塌、库岸低凹地的沼泽化和松散的细土粒的冲移和易溶岩层(如石膏、石灰岩)的溶蚀等工程地质问题。

在实际调绘中,需结合具体情况有重点地调查对水库坍岸影响大的因素。

9 关于放射性地区工程地质调绘

放射性地质调绘侧重于岩浆活动、地质构造、岩性、地层、岩相、古地理、区域地球化学、风化作用等,以及矿化露头信息、地球化学信息、生物信息等,综合分析评价。

工程地质调绘前,可首先实测代表性地质剖面,建立典型的地层岩性柱状剖面和标志,划分工程地质制图单元,实测地质体的最小尺寸,一般为相应图上的2mm。

10 关于有害气体地段工程地质调绘

瓦斯地质工作侧重瓦斯气源分析,查清煤层气还是油层气等,是直接源还是间接源,最终确定对工程的危害,进行安全性评价

11 关于高地温地区地质调绘

影响地下热水分布和运动规律的因素虽然很多,但主要还是受地质构造所控制。地热地质调查主要查明地热异常区的气象、水文、地形地貌地层岩性、岩浆(火山)活动、地质构造及其演化、新构造运动及地震、地表热显示特征等,分析地热异常区分布规律及成因,圈定地热异常区和划分地温带。

除了常规地质调绘要求外,以下几方面是地热地质调绘的重点:

(1) 构造体系对水文地质条件的控制

地下热水的富集、运动与构造形迹有直接的关系,研究测区不同规模 and 不同形式的褶皱、断裂、破碎带、劈理、片理等构造形迹,对于研究地下热水有重要意义。

野外研究工作表明,规模巨大的断裂带不一定是富水的,有时由于糜棱岩、构造岩的分布,使得断裂带甚至是隔水的,这时断裂带就成为不同水文地质单元的边界。断层的水文地质意义,很大程度上决定于断层的力学类型和断层的活动性。一般来讲,正断层属于张性结构,逆断层为挤压结构,平移断层为扭性结构。与地下热水存赋有直接关系的是张性或张扭性断裂构造,地下热水不但可以富集,而且

可以沿这些通道循环流动。而压性或压扭性的断裂一般具有封闭性质，这种断裂面一般能堵塞地下热水的运动。如天津地区几个巨大挤压或压扭断裂附近，很少形成热水异常区，而在不同方向的张性或张扭性断裂附近，常常分布有地下热水异常区。尤其当隆起和背斜顶部又展布有张性或张扭性断裂时，对热异常区的形成较为有利。

从活动时期来看，地热异常区的分布大多与晚近时期活动的各种构造形迹相吻合。由于断裂在深度方向的变化以及近期构造活动的影响，实际情况就远比上述的一般认识复杂。地面显示张性的，向深处可能就变为压性。原来是张性的地下水通道，由于近期构造活动，也可使其堵塞面成为弱透水甚至是封闭的。如某些地方的温泉，经过某次地震后流量变小，甚至消失。当然，近期构造运动也会使地下水出现与上述相反的情况，已经胶结的、充填的老构造断裂带，会重新活动而成为地下水通道。

对于起隔水作用的断裂，也要给予注意，因为热水往往在“隔水墙”的阻挡下才能获得水头压力而上升到一定高度。在这方面要特别注意火成岩地区的岩脉产状与张性断裂的配合，广西、江西、山东、辽宁有不少温泉就是出露在火成岩岩脉中。一种情况是热水沿岩脉的裂隙上升，另一种情况是与岩脉这种隔水作用有关。

野外观察中要注意断裂带有无硅化、矿化现象，有无酸性岩脉侵入，以及风化、溶蚀等表生现象。一些小的断距(3cm~4cm)在一般地质调绘时容易忽视，而对研究地下热水通道来说，往往是很重要的。

(2) 地震活动

由于地震前、后，地应力发生变化，使一些温泉的导水通道发生变化。有的通道缩小，流量减少或断流，有的通道扩大，流量增加。泉水温度的变化是由于冷水(地下水)渗入的多少所致。地热异常区常常就是地震的活动地区或地段，如山东省临沂县汤头温泉，恰为1668年7月25日震惊全国的(震级M8)的强震震中所在地。河北怀来热水区也是地震活动频繁地区。1976年5月龙陵大地震，一些温泉的水温、流量发生变化。所以，近年来采用地热和地下热水中某些组分(如氡)的变化来预报地震。

(3) 水热蚀变和水热矿化

热水分布区的围岩,在一定压力下受热水长期作用而发生蚀变。地下热水在运动过程中,由于压力、温度、化学成分等因素的改变,而使矿物质沉积在地层的裂隙(或孔隙)中。这些地热地质现象,对于寻找隐伏地下热水区、研究地下热水运动迁移途径、划分地下热水含水层(段)及指导地热区钻探等,都有很重要的意义。

(4) 地貌 第四纪地质研究

在测绘中需要注意研究地貌,可以用地貌显示出的地区活动性来帮助分析地质构造的活动性。第四纪地质研究,一方面要注意其新断裂,另一方面要注意其岩性岩相变化,尤其是覆盖层较厚的热水区,更要注意这点。

12 关于地面沉降地区地质调绘

地面沉降地区的地质调绘可以收集资料、调查访问为主。调查收集的资料主要是沿线岩性特征,固结历史、固结状态,孔隙水赋存及其释水机理,固结特性,区域地面沉降观测,地下水动态变化,地下开采水井的数量、分布、开采量、水位变化、开采历史、开采规划等资料。

14.5 工作成果

14.5.1 工程地质调绘的成果资料主要包括实际材料图、综合工程地质图、工程地质分区图、综合地质柱状图、工程地质剖面图以及各种素描图、照片和文字说明以及为解决某一专门的岩土工程问题而编绘的专门图件等。对工程有重要意义的工程地质现象,应拍彩色照片附文字说明,存档备查。在成果资料整理中应重视素描图和照片的分析整理工作,这项工作既有利于地质资料的分析研究与综合整理,也有利于后期工作的开展,而且在后期工程地质现象发生改观后,一旦由于科研上或法律诉讼上的需要,就比较容易恢复和重现一些重要的背景资料。欧美等一些发达国家的岩土工程咨询公司都充分利用摄影和素描这个手段,其编制的岩土工程勘察报告中几乎都附有典型的彩色照片或素描图。

14.5.2 工程地质测绘比例尺的选择,主要与工程设计的需要及工程地质条件的复杂程度有关,在不同的工程勘察技术标准中,主要以与设计阶段相对应的勘察阶段

来分级选用且悬殊较大。如在《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001 2009 年版)中规定:可行性研究勘察可选用 1:5000~1:50000;初步勘察可选用 1:2000~1:10000;详细勘察可选用 1:500~1:2000。在《城市轨道交通岩土工程勘察规范》(GB50307-2012)中规定:在可行性研究勘察阶段选用 1:1000~1:2000;在初步勘察、详细勘察和施工勘察阶段选用 1:500~1:1000。

市域(郊)铁路的工程地质测绘比例尺的选择,在考虑工程设计的需要及工程地质条件复杂程度的前提下,应结合工程建设在市域(郊)的地域特点,尽可能与本地区城市规划、勘察、设计、施工等常用比例尺的要求相一致,以利于使用。为了达到精度的要求,在工程地质测绘工作中习惯采用城区建设常用的 1:500 的比例尺地形图为测绘的底图,待外业完成后根据设计需要可缩成提交成果图所需要的比例尺图件。

对工程地质测绘的精度,目前在国内的技术标准中尚无统一要求。《水利水电工程地质测绘规程》(DL5023-93)规定:各种地质界线的允许误差,为相应比例尺图上的 $\pm 2\text{mm}$;《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)规定:地质界限和地质观测点的测绘精度,在图上不应低于 3mm;《铁路工程地质勘察规范》(TB10012-2019)未作具体规定。市域(郊)铁路工程是线性工程,沿线地形地质条件变化较大,有的地区建筑物密集、植被茂密,受测量手段等限制精度要求过高有时难以达到。从工程实践来看,对一般的地质调绘点,尤其是远离线位的调绘点精度稍加降低,对成图质量不会产生实质性的影响。但通过路线或工程结构设置部位的地层界线、断层线、特殊性岩土及不良地质的界线等,对工程地质评价和成图的质量意义重大,应确保测绘精度。

14.5.3 工程地质调绘成果资料的整理,本条只作了一般内容的规定,如果是为解决某一专门的岩土工程问题,也可编绘专门的图件。工程地质调绘的一般成果资料可纳入相应的岩土工程勘察报告中,不必单独编制调绘报告。如果为了解决某一专题性的岩土工程问题,也可编制专项用途的成果资料。对于各种文字报告、图件和图表的表示内容,可按设计的需要和有关规定执行。

15 物探

15.1 一般规定

15.1.1 探测地下水指探测地下水源；在条件允许的情况下，可进行地下水流速流向的探测。

15.1.2 地面物探通过探测地质体在地表的物理场的分布特征来推断工程地质条件，因此应用物探必须具备以下条件：

- 1 探测对象与相邻介质能够被利用的某种物理性质必须存在明显的差异。
- 2 它的体积必须足够大，产生的异常能被现有的仪器所接收。
- 3 由于地形起伏使探测对象的物理场在地表的分布产生畸变，而电、磁、振动等干扰使仪器观测困难或产生误差，因此，物探能否取得效果还取决于地形条件和干扰程度。物探应用的三个条件有一条不具备时，就不应采用物探。
- 4 条件许可时，拟选择的物探方法可根据已知条件建立模型，通过正演计算对方法进行评估。

15.1.4 由于物探测网的布置通常受到地形条件的限制，故要求测网密度“保证异常的连续、完整、和便于追踪”，并能适用于综合物探的开展。测线位置可根据地质任务、工作性质、勘查对象和地形地貌合理选择：

- 1 避开地形及其它干扰的影响。
- 2 测线尽可能与已知地质、物探、钻探勘查剖面重合。
- 3 测线、测点号编排采用相同规律，点线号可按线路前进方向、从左到右的顺序编排；测线方向应尽可能垂直于探测主要地质目标体的走向。
- 4 测线沿线路方向布置，根据异常情况合理布置横测线。

15.2 直流电法

15.2 直流电法是利用探测对象与相邻介质之间的电阻率或电化学特性差异，观测研究与探测对象有关的直流电场的分布特点和规律，达到探测目的的物探方法。

15.3 电磁波法

15.3 电磁波法是利用探测对象和相邻介质间的导电性、导磁性和介电常数的差异，通过观测分析电磁波在地下介质中的传播规律或感应电磁场的分布特征，达到探测目的的物探方法。

15.4 弹性波法

15.4 弹性波法是利用探测对象与相邻介质之间弹性波阻抗差异，观测分析人工激发或天然的地震波、声波等在介质中传播的运动学和动力学特征，达到探测目的的物探方法；包括直达波法、折射波法、反射波法、瑞雷波法、微动探测法、弹性波 CT 法等。

15.4.8 微动勘探法是基于多个垂直或三分量微动信号的特征曲线实现地层属性反演的技术，根据依据的特征曲线不同分为微动台阵法和微动谱比法。

微动台阵法，也称为被动源面波、微动法、地震噪音成像技术等，是以多点垂直单分量微动信号为原始数据源，在此基础上提取对应的微动特征曲线（频散曲线），对该特征曲线进行反演最终获得地层横波速度的勘探技术。该技术需要在一定范围内布置多个单分量低频传感器形成特定装置，所获得的横波速度为整个装置范围内地层的平均值。正因该技术是基于多点微动数据提取的频散曲线，可直接获取地层瑞雷面波的相速度，反演的横波速度更为稳定。经过

国内外同行的不断研究和应用，已经成功纳入多个行业、地方和团体规范，如《CJJT 7-2017 城市工程地球物理探测标准》、福建省《城市轨道交通工程不良地质体探测技术规程》（DBJT13-314-2019）、中国市政工程协会《城市地下空间探测与检测应用技术标准》等。

微动谱比法，也被称为单点谱比法、H/V 谱比法、单点 H/V 法、HVSr 法等，是以单点三分量微动信号为原始数据源，在此基础上提取对应的微动特征曲线（谱比曲线），对该特征曲线进行反演最终获得地层横波速度的勘探技术。该技术所获得的横波速度反映的是当前测点附近一定范围内地层的平均值，横向分辨率比微动台阵法更高。此外，谱比的峰值对地层分层界面具有较强的敏感性，在地层分层应用中具有更高的勘探精度。铁四院经过多年的科研攻关，在应用理论完善、数据采集技术设计、专用设备研发、工程验证实践和经验总结等方面均有成果，针对该方法已形成系统的标准和流程。该方法具有布置测点灵活、抗干扰能力强等优点，在强震动干扰环境的地质勘探中具有比较明显优势。近年来，除在铁路勘探中得到应用外，市政、矿产、水利等领域均有应用，如福建省建筑设计研究院有限公司基于谱比曲线的自身形态特征进行了不良地质体的定性解释，并将解释原则纳入福建省《城市轨道交通工程不良地质体探测技术规程》（DBJT13-314-2019）中。

另外，结合了瞬态面波法、微动台阵法（被动源面波）的微动谱比法也称为广义微动谱比法，也称为多源频率地震勘探技术。

15.5 测井

15.5.8 管波探测法用于桩位岩溶勘察时，有效探测半径一般不大于 1m，对溶洞规模的判识一般大于 0.3m，对溶洞的深度定位误差一般不大于 0.3m；

16 勘探与取样

16.1 一般规定

16.1.4 市域（郊）铁路工程一般位于城区及其附近。其特点是周边环境复杂、地下管网密集，还可能有地下构筑物分布等。如随意钻探，钻坏地下管网，其后果不堪设想。所以勘探时应采取有效措施确保勘探作业安全，并与管线权属单位建立联动应急机制，若发生管线破坏情况，能在第一时间进行维修，把损失降到最低。

市域（郊）铁路的勘探应详细调查周边环境、搜集管网分布图，在方案布置时避让各种地下设施，勘探施工前和勘探点移位时均应采用管道探测仪对地下管线进行探测，或用探坑查明，对接管线权属单位，进行现场交底，确定对地下设施无影响时，再行钻探。勘探实地施工过程中，常会遇到影响勘探正常开展的地物或地下障碍，在不影响勘察结果和精度的条件下，可对勘探点位作适当移位，并报项目（工程）现场负责人同意后实施，并重新测定点位。

16.1.5 回填方法、材料和过程应满足工程施工和工程使用功能需要，避免对工程施工和工程使用造成影响。

16.2 勘探点的定位与测量

16.2.1 考虑到市域（郊）铁路工程为规模较大的线状工程，需设置自身的精测网，勘探孔的测放需与自身的精测网相统一。采用卫星定位结合自身精测网，线路较长时子午带不能满足测量精度时，应进行分带测量。勘探点的施工放样与高程测量的依据点应由建设单位或委托方提供。引测基准点或基准系统注意

与设计所要求的坐标系统、高程系统相一致。

16.3 钻探

16.3.1 钻探是岩土工程勘察的重要手段，其方法和工艺应根据岩土类别、钻探深度和勘探要求合理选用，以满足勘察技术要求。

选择钻探方法应考虑的原则是：

- 1 地层特点及钻探方法的有效性；
- 2 能保证以一定的精度鉴别地层，了解地下水的情况；
- 3 尽量避免或减轻对取样段的扰动影响。

16.3.2 市域（郊）铁路工程勘探在技术上要求较高，为充分取得有效的地质资料，通过勘察纲要对孔位、孔深、钻探方法、岩芯采取率、取样、原位测试等提出具体技术要求。

在砂土、碎石土等取芯困难地层中钻进时，可通过控制回次进尺提高岩芯采取率，回次进尺可参照下表。

说明表 16. 3. 2 工程地质钻探回次进尺长度

岩层	回次进尺（m）
黏性土、粉土	1.0~2.0
薄层黏性土与薄层砂类土互层	1.0~1.5
砂类土	泥浆钻进 1.0~2.0
	跟管回转钻进 0.5~1.0
碎石类土	双管钻具钻进 0.5~1.0
	无泵反循环钻软质岩石 1.0~2.0
	无泵反循环钻破碎岩石 0.5~1.0
冻土	0.3~0.5
软土	1.0~2.0
黄土	钻进取芯时 1.0~2.0

膨胀性岩层	0.5~1.0
滑动面及重要结构面上下 5m	预计滑动面及其以上 5m 范围小于或等于 0.3
	重要结构面上下 5m 为 0.3~0.5
软硬互层、软硬不均风化带及硬脆、碎基岩	0.5~1.0
较完整、轻微风化基岩	1.0~2.5
完整基岩	<3.5

16.4 井探、槽探、洞探

16.4.1 洞探作业前应编制洞探勘察纲要，对洞探作业潜在的安全风险进行评价，进行专项安全技术交底和施工专项安全作业方案。

16.4.2 在松散地层中掘进时应进行护壁，井探施工时，应根据实际情况，向井中送风并应监测井内有害气体含量，采取必要措施保证施工安全。

16.5 取样

16.5.1 市域（郊）铁路工程多为长距离线状工程，且存在一定的地下工程，线路往往会穿越多种地貌单元和地质单元体，规定对钻孔均应取样、试验的目的，也是为了满足不同性质岩土层指标的代表性与合理性的要求。土试样的质量要求，应根据工程的需要而定。

16.5.2 土样质量对力学性指标影响很大，常规力学试验宜采用Ⅰ级土样。对于无法取得Ⅰ级土样，在工程技术要求允许的情况下可用Ⅱ级土样进行强度和固结试验，但要结合地区经验使用试验结果。无侧限抗压强度、先期固结压力、三轴压缩试验，要求采用Ⅰ级土样。土样的质量等级与适用范围参考《工程勘察通用规范》GB 55017 确定。

17 原位测试

17.1 一般规定

17.1.3 很多土质参数有赖于钻探取样试验或其它测试手段取得,故对于重要工程,原位测试尚应与其它勘探试验相结合,通过综合勘探方法取得符合实际的地基参数。

17.2 标准贯入试验

17.2.1 根据目前国内国外已有的成熟经验,标贯试验在花岗岩类地层分布区可将应用范围扩大到残积土和全风化、强风化岩。

17.3 动力触探试验

17.3.1 根据目前国内国外已有的成熟经验,动力触探在一定条件下可将应用范围扩大到全风化、强风化岩。

17.3.2 动力触探可用于划分具有不同力学性质的土层和评价土的均匀程度,甚至可用于探查土洞、滑动面或极软岩的风化厚度,确定桩基持力层。

17.3.5 对于动力触探杆长修正问题,目前国内外还存在着不同意见:一种意见认为随着杆长不同,触探能量的传递与损耗不同,因此需对杆长进行校正。另一种意见,根据试验认为,在一定范围内,杆长不同对触探指标(击数)值的影响可以忽略。

杆长影响是否需要修正还要与应用动探成果时的经验相适应,如果原有建立的动力触探击数与地基承载力的相关关系式(经验公式)是根据经杆长校正

后的击数统计建立的，则应考虑杆长的校正。

17.4 静力触探

17.4.9 遇下列情况之一者，应停止贯入并在记录上注明：贯入主机负荷达额定荷载的 120%；贯入时探杆出现明显弯曲；反力装置失效；探头负荷达额定荷载；记录仪显示异常。

17.4.10 孔压消散试验，自停止贯入时起，每隔 1s 或 2s 测记一次孔压值，一般情况下(对于黏性土)累积 30s 后，孔压值变化渐缓，可逐渐加大时间间隔。由于孔压消散曲线时间采用对数坐标，因此记录时间间隔建议按 10 的整数倍取。

17.5 载荷试验

17.5.2 浅层载荷试验只用于确定地基承载力和土的变形模量，不能用于确定桩的端阻力；深层载荷试验可用于确定地基承载力、桩的端阻力和土的变形模量。

17.5.5 深层平板载荷试验是在半无限体内部对某层岩土进行的强度和变形特征的载荷试验。它能为深基础设计提供可靠的持力层及下卧层土体承载力和变形模量。

17.5.6 深层平板载荷试验承压板面积采用 0.5m^2 ，直径 0.8m。这样的承压板尺寸，一方面扩大了平板载荷试验应用的范围；同时对于桩基也有比较好的适应性，因 0.8m 直径桩的静载试验具备直径变化时应用的条件。重要的是孔底试验面的处理可以得到解决。

17.5.9 施加荷载时应保持静力条件及荷载对承压板中心的竖向传递。各级荷载

增量可按下列方法确定：

- 1 第一级荷载（含设备自重）宜接近坑底以上土的有效自重压力，对于深层载荷试验，试验前宜施加 2 倍分级加载量进行预压；
- 2 后续各级荷载增量可取预估极限荷载的 1/7~1/10；当极限荷载不易估计时，可按说明表 17. 5. 9 取值。

说明表 17. 5. 9 荷载增量取值

试 验 土 层 及 特 性	荷载增量（kPa）
淤泥、流塑黏性土、松散砂土	<15
软塑黏性土、新近沉积黄土、稍密粉土与砂土	15~25
硬塑黏性土、新黄土（Q ₄ ）、中密粉土与砂土	25~50
坚硬黏性土、密实粉土与砂土、老黄土、新黄土（Q ₃ ）	50~100
碎石类土、软岩及风化岩	100~200

17.5.10 慢速法是每施加一级荷载后，待沉降达到相对稳定标准时再施加下一级荷载，目的是使试验在排水条件下进行。快速法是每施加一级荷载后，按规定沉降时间间隔施加下一级荷载，对饱和黏性土而言，属于部分排水条件，一般不采用；但若只要求确定承载力，不要求确定变形模量时，饱和黏性土也可使用快速法。

17.6 十字板剪切试验

17.6.2 试验前十字板头插入土中静置的时间延长时，测得的抗剪强度往往会增加。这与插入十字板头所产生的孔隙压力的消散和土触变强度的恢复有关。插入时在十字板头四周产生超孔隙水压力，静置时间过长，孔隙压力消散会使有

效应力增长，使不排水抗剪强度增大；若静置时间过短，土稍稍被扰动还来不及恢复，测出的强度值可能偏低。

快速旋转探杆 6 圈后进行重塑试验，是出于对电缆的保护需要。

17.7 旁压试验

17.7.4 预钻式旁压试验中，预钻成孔是关键之一。成孔质量将直接影响试验结果。大量的试验资料表明，孔周土体的扰动对确定变形特征的影响尤为严重。鉴于此，对于钻孔径大小、形状和尽量减少孔周土体扰动及成孔方法提出了具体要求。

17.7.5 预钻式旁压试验压力增量不易预估时可按说明表 17.7.5 确定。

说明表 17.7.5 试验压力增量

土 的 特 征	压力增量（kPa）
淤泥、淤泥质土、流塑黏性土、松散的粉砂或细砂	≤15
软塑黏性土、疏松的黄土、稍密饱和的粉土、稍密很湿的粉砂或细砂、稍密的粗砂	15～25
硬塑黏性土、一般黄土、中密～密实的饱和粉土、中密～密实很湿的粉砂或细砂、中密的中粗砂	25～50
硬塑～坚硬黏性土、老黄土、密实的粉土、密实的中粗砂	50～100
软质岩、风化岩	100～600

17.7.7 铁四院依托中国铁路总公司科技研究开发项目《铁路工程地质原位测试相关参数测试方法研究》（J2015C008）对预钻式旁压试验确定水平基床系数进行了深入研究，并形成成果。

17.8 扁铲侧胀试验

17.8.1 铁四院经过大量试验研究，认为利用 DMTC 消散试验可以测定饱和软黏土的水平固结系数，而目前 DMTA 消散试验研究还不太成熟。因此纳入 DMTC 消散试验测定水平固结系数的内容。

17.8.3 在大气压力下，膜片自然地提起高于它的支座，在 A 位置(膨胀 0.05mm)与 B 位置(膨胀 1.10mm)之间，控制装置的蜂鸣器是关着的。气压必须克服膜片刚度，并使它在空气中移动，使膜片从自然位置移至 A 位置时为 ΔA ，移至 B 位置时为 ΔB 。它们是不可忽略的。标定程序包括 ΔA 和 ΔB 的气压值，便于修正 A、B、C 的读数。

17.8.4 DMTC 消散试验操作方法如下：

(1) 扁铲侧胀板头贯入到试验深度后，启动秒表开始计时，并开始读取 C 压力值；

(2) 按照扁铲侧胀试验程序操作读取 C 压力值，在读取 C 压力值时，要记下读数时的时间。为了获取光滑的 C 压力值消散曲线，计时间隔应由密而疏。在不同时刻重复上述操作读取 C 压力值（如 0.5、1、2、4、8、15、30、60.....min 时的 C 压力读数）。

17.8.7 铁四院依托高速铁路与城市轨道交通等工程勘察项目，对扁铲侧胀试验、旁压试验及螺旋板载荷试验确定基准基床系数进行了大量对比试验研究，试验场地涵盖全国多个地区，涉及流塑～硬塑的黏性土，松散～中密的砂类土，具有广泛的地区代表性。根据研究成果，提出了扁铲侧胀试验计算水平基床系数的修正方法。

由于扁铲侧胀板头是平面二维结构，直接求解 C 值（或 p_z 值）消散时间—

固结速率关系的理论解比较困难，铁四院的研究结果认为：DMTC 消散试验与孔压消散试验归一化曲线在形状上基本上是一致的，不同之处仅仅在于 DMTC 消散速率的比孔压静探消散的速率慢。因此，可以借鉴国外经验，利用 DMTC 消散实测曲线与孔压消散理论曲线进行拟合对比分析，建立计算水平固结系数的公式。

17.9 应力铲试验

17.9.1 应力铲试验分为总应力铲试验（stress spade test 简称 SST）和有效应力铲试验（Effective stress spade test 简称 ESST），总应力铲试验是测试土的水平总应力一个参数，而有效应力铲试验是同时测试土的水平总应力和孔隙水压力两个参数，它们都是以准静态贯入方式进行的。虽然，SST 及 ESST 在理论上可以动力贯入方式进行，但其贯入机理和试验时建立数学模型较为复杂，且应力铲自身的结构强度也难以满足要求。考虑到试验场地情况，可采用工程钻机开孔，再以静力压入方式至试验深度。

17.9.3 应力铲使用过程中出现下列情况之一时，应予以更换：铲面出现明显的变形或多处划痕；总应力测试腔出现泄漏；总应力或孔压测试数值出现异常。

18 室内岩土试验

18.1 一般规定

18.1.1 室内试验方法应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123、行业标准《铁路工程土工试验规程》TB 10102 的有关规定；仪器设备应定期检验与标识，符合《土工仪器的基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的要求；对于标准中没列入的试验项目或工程有明确要求时，可参考相关行业标准及地方标准。

18.1.2 岩土力学试验条件应接近工程实际情况，并应考虑岩土的非均质性、非等向性和不连续性以及由此产生的岩土体与岩土试样在工程上的差别。主要土工试验项目、测定参数、工程应用见说明表 18.1.2，对特殊试验项目，必要时应制定专门的试验方案。

说明表 18.1.2 室内土工试验项目、参数与工程应用

试验类别	试验项目	测定参数	工程应用
物理性	含水率、密度、比重	含水率 ω 、密度 ρ 、比重 G_s	土的基本参数计算
	界限含水率	液限 ω_L 、塑限 ω_P 、塑性指数 I_P 、液性指数 I_L	黏性土的分类；判断黏性土的状态
	颗粒分析	颗粒大小分布曲线、不均匀系数 C_u 、曲率系数 C_c 、黏粒含量 P_c	粉土和砂土的分类；确定黏粒含量，判别液化
	灼失量	灼失量 W_u	有机质土的分类
水理性	渗透	渗透系数 k_v 、 k_H	土层渗透性评价；降水设计
力学性	固结	$e \sim p$ 曲线、压缩系数 a_v 、压缩模量 E_s	沉降计算；开挖土体回弹模量计算

		回弹模量 E_c 、回弹再压缩模量 E_{rc}	
		$e \sim \log P$ 曲线、先期固结压力 P_c 、超固结比 0_{CR} 、压缩指数 C_c 、回弹指数 C_s	土的应力历史评价；考虑应力历史的沉降计算；考虑应力历史时，开挖土体回弹量估算
		固结系数 c_v 、 c_h ，次固结系数 c_α	黏性土沉降速率和固结度的计算
	直剪快剪	内摩擦角 ϕ_q 、黏聚力 c_q	黏性土地基快速加荷时的稳定性验算
	直剪固结快剪	内摩擦角 ϕ_{cq} 、黏聚力 c_{cq}	天然地基承载力计算；基坑及边坡的稳定性验算
	直剪慢剪	内摩擦角 ϕ_s 、黏聚力 c_s	边坡长期稳定性验算
	三轴不固结不排水 (UU)	内摩擦角 ϕ_{uu} 、黏聚力 c_{uu}	地基承载力计算；施工速度较快，排水条件较差的黏性土的地基稳定性验算；桩端下软弱下卧层强度验算
力学性	三轴固结不排水 (CU)	有效内摩擦角 ϕ' 有效黏聚力 c' 、总应力内摩擦角 ϕ_{cu} 、总应力黏聚力 c_{cu}	施工速度较慢，考虑上部荷载引起地基强度增长，固结后地基稳定性验算；基坑稳定性验算
	三轴固结排水 (CD)	内摩擦角 ϕ_d 、总应力黏聚力 c_d	施工速度缓慢，排水条件良好的地基长期稳定性验算
	无侧限抗压强度	抗压强度 q_u 、 q_u' 灵敏度 S_t	饱和软黏土施工期稳定性验算
	静止侧压力系数	侧压力系数 K_0	静止侧压力计算
	基床系数	基床系数 K_h 、 K_v	考虑土—结构物的相互作用，用来计算结构物内力和变形
热物理性	导热系数 导温系数 比热容	导热系数 λ 、导温系数 a 、比热容 C	地下建筑物通风等计算；地源热泵系统设计；冻结法计算
动力学	动三轴 (动单剪)	应变幅 10^{-4} – 10^{-2} 范围的动弹性模量 E_d 、动剪切模量 G_d 、阻尼比 λ 、抗液化强度 τ_l	动力反应分析；地基液化判别

	共振柱	应变幅 10^{-6} – 10^{-4} 范围的动弹性模量 E_d 、 动剪切模量 G_d 、阻尼比 λ	动力反应分析；地基液化判别
化学性	地下水的腐蚀性	PH 值、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、游离 CO_2 、侵蚀性 CO_2 、 NH_4^+ 、 OH^- 、 总矿化度	水对混凝土结构、钢结构及钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价
	土的腐蚀性	PH 值、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 的易溶盐(土水比 1：5) 分析	土对混凝土结构、钢结构及钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价
		氧化还原电位、极化电流密度、电阻率、质量损失	土对钢结构的腐蚀性评价

18.1.3 《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版））中规定“9.4.6 I、II、III级土试样应妥善密封，防止湿度变化，严防爆晒或冰冻。在运输中应避免振动，保存时间不宜超过三周。对易于振动液化和水分离析的土试样宜就近进行试验。”《铁路工程特殊岩土勘察规程》TB 10038-2022 中规定“7.4.5 软土原状土样的样品应从取样之日起至开始试验时间不宜超过 10d；不能按时试验的样品应妥善保存，不得露天堆放。”

18.2 土的物理性质试验

18.2.1 试样制备首先对土样进行描述，土样描述包括土性、颜色、状态、包含物、均匀性以及每筒土样制备的试样数及每块土样所进行的试验项目，保证物理性质试验与力学性质试验所选用的试样一致。

18.2.3 密度试验宜采用环刀法，含水率试验采用烘干法，进行平行测定，非均质土进行三个以上的试验测定，含水率平行试验结果差值小于 2%，密度差值不大于 0.03g/cm^3 ，可不需要补充试验。无法用环刀制备试样时，可用蜡封法测密度，如需快速测量含水率还可采用酒精燃烧法和微波炉法。

颗粒分析试验，粒径大于 0.075mm 可采用筛析法，粒径小于 0.075mm 可采

用密度计法或移液管法（4%浓度的六偏磷酸钠作为分散剂），采用激光粒度分析仪法与传统方法测定结果有差异，则需要建立相关转换方程。若试样中易溶盐含量大于 0.5%时应洗盐。

18.2.4 根据《土工试验方法标准》GB/T 50123 的规定，采用锥体沉入土中 17mm 时对应的含水率定为液限标准，采用沉入 10mm 时对应的含水率定为 10mm 时的液限标准。各使用于不同目的，当确定土的液限值用于了解土的物理性质和用于国际交流时，采用锥体沉入土中 17mm 时的含水率为液限；而用于工程按国标《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《铁路工程岩土分类标准》TB 10077 进行黏性土分类和确定黏性土承载力标准时，需按锥体沉入土中 10mm 确定的液限计算塑性指数、液性指数和含水比。

18.2.6 有机质含量小于 15%的土，采用重铬酸钾容量法；有机质含量大于 15%的土采用烧失量法，可参照行业标准《铁路工程岩土化学分析规程》TB 10103-2008 执行。

18.2.7 土的热物理性质试验：

1 岩土是多孔和多裂隙介质，其热量传递伴随着水分的迁移，是复杂的传热过程。其导热系数的大小取决于岩土岩性组成、天然密度、含水率、孔隙率、化学组成等因素，其中含水率与密度又起着主要作用；

2 导热系数瞬态法是指实验测量过程中试样温度随时间变化，通过测量试样内某些点温度变化的情况以及其他一些需要的参数，从而确定试样导热系数的方法，测试精度较高，时间短，因此近年来得到较快发展。比热容试验通常采用热平衡法（又称冷却法）和差示扫描量热法（又称DSC），冷却法是将温度不同的物体混合后，热量将由高温物体传给低温物体，如果在混合过程中和外界没有热交换，最后将达到均匀稳定的平衡的温度，在这过程中高温物体放

出的热量等于低温物体所吸收的热量，利用此原理计算样品比热容。差示扫描量热法是试样在控制温度下，测量输入到试样和已知参比物的功率差（如以热的形式）与温度的关系，计算试样比热容。相关计算参照《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307中关于热物理指标的说明。

18.3 土的力学性质试验

18.3.1 土的力学性质试验一般包括固结试验、直剪试验、三轴压缩试验、膨胀试验、湿陷性试验、无侧限抗压强度试验、静止侧压力系数试验、回弹试验、基床系数试验等。

18.3.2 土的压缩-固结试验

1 饱和土体受到压力后，孔隙中的部分水逐渐从土体中排出，土中孔隙水压力逐渐减小，作用在土骨架上的有效应力逐渐增加，土体积随之压缩，直到变形达到稳定为止。土体这一变形的过程称为固结。非饱和土在外力作用下的变形通常是由孔隙中气体排出或压缩所引起，主要取决于有效应力的改变，土体的这种变形称为压缩；

2 渗透系数大于 $N > 10^{-4} \text{cm/s}$ 的细粒土，可用快速法，因为渗透性大的土样，在压力作用下 1h 基本达到稳定。试验成果可用 $e \sim p$ 曲线整理，压缩系数和压缩模量的计算应取自土的有效自重压力至土的有效自重压力与附加压力之和的压力段；

3 回弹模量和回弹再压缩模量的试验，加卸荷压力宜模拟工程实际开挖情况，具体可参照行业标准《高层建筑岩土工程勘察标准》JCJ/T 72 中回弹模量和回弹再压缩模量室内试验的要求。

回弹模量与回弹再压缩模量按下式计算：

$$E_c = (1 + e_i) \frac{p_i - p_{i-1}}{e_{i-1} - e_i} \quad (\text{说明 } 18.3.2-1)$$

$$E_{rc} = (1 + e_{i-1}) \times \frac{p_i - p_{i-1}}{e_{i-1} - e_{i+1}} \quad (\text{说明 } 18.3.2-2)$$

式中： p_i —基坑开挖卸压前土样的自重压力（kPa）；

p_{i-1} —基坑开挖卸压后土样的自重压力（kPa）；

e_i —压缩试验时， p_i 压力下的孔隙比；

e_{i+1} —再压缩试验时， p_i 压力下的孔隙比；

e_{i-1} —回弹试验时， p_{i-1} 压力下孔隙比；

E_c 、 E_{rc} —回弹模量（MPa）与回弹再压缩模量（MPa）。

4 次固结是指主固结结束，有效应力基本稳定的条件下，因土粒表面的结合水膜蠕变及土颗粒结构重新排列等引起的较为缓慢的变形。次固结系数可以通过固结试验求得，在孔隙比与时间的半对数关系曲线上，次固结系数即为次固结曲线段的斜率。

18.3.3 当采用土的应力历史进行沉降计算时，宜采用 I 级土样进行试验，通过 $e \sim \lg p$ 曲线来估算结果。先期固结压力加荷等级，第一级压力值宜为 12.5KPa，加压率小于 1，加荷稳定标准宜为 24h 或每小时变形量小于 0.01mm。

18.3.4 土的三轴压缩试验，取样直径不宜小于 108mm，以平行制备不少于 3 个土质结构相同的试样进行试验，试验围压宜根据工程实际荷重确定，第一级围压宜接近土的自重压力，最大一级围压宜接近土的自重压力与附加压力之和，试样起始孔隙水压力系数 B 值不宜小于 0.95，排水固结稳定标准宜采用孔隙水

压力消散达 95%以上，三轴压缩试验结果应提供摩尔圆及其强度包络线。

18.3.5 直剪试验施加的垂直压力，应根据土体所受的力来决定，最后一级垂直压力宜接近土的自重压力与附加压力之和，固结快剪采用预压装置时，经预压固结的试样自预压仪取出推入直剪仪剪力盒后，宜有足够时间进行再固结后实施剪切。慢剪试验要求在剪切过程中试样的孔隙压力完全消散，剪切速率应小于 0.02mm/min。室内测定土的残余抗剪强度，可用直剪仪做反复排水剪试验。抗剪强度参数 c 、 φ 值宜用最小二乘法计算或绘制抗剪强度与垂直压力关系曲线确定。

18.3.7 静止侧压力系数用于天然土层的水平向应力以及挡土结构物在静止状态时水平向压力的计算。室内试验考虑到孔隙水压力，静止侧压力系数指土体在无侧向变形的条件下，侧向有效应力与轴向有效应力之比。

18.3.8 当前用于测定基床系数的标准方法是原位荷载试验（或 K_{30} 试验），随着我国地铁工程、隧道工程的纷纷开建，用原位荷载试验（或 K_{30} 试验）测定基床系数的方法局限性愈发突出。目前，室内测定基床系数的方法在现行国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范标准》GB 50307 规定：在有经验的地区可采用三轴试验或固结试验的方法测得土的基床系数，《土工试验方法标准》GB/T 50123 中采用三轴应力加荷法，都需考虑尺寸效应等因素进行结果修正。

18.4 岩石试验

18.4.2 试件无法制成标准要求的高径比时，按下列公式对其抗压强度进行换算：

$$R = \frac{8R'}{7 + \frac{2D}{H}} \quad (\text{说明 18.4.2})$$

式中 R ——标准高径比试件的抗压强度；

R' ——任意高径比试件的抗压强度；

D ——试件直径；

H ——试件高度。

18.4.3 岩石抗剪试验采用直接剪切法，将同一类型的一组岩石试件在不同的法向荷载下，进行水平剪切，根据库仑定律表达式确定岩石的抗剪强度参数。

18.4.4 岩石抗拉强度试验采用劈裂法。劈裂法是沿试件直径轴面方向施加一对线荷载，使试件沿直径轴面方向劈裂破坏，从而测定岩石的抗拉强度，劈裂法属间接拉伸法，又称巴西试验。对于层理面或节理面发育较明显的岩石不宜采用本方法进行抗拉试验。

18.4.5 岩石单轴压缩变形试验是测定岩石试件在单轴压缩应力条件下的轴向及横向应变值，据此计算岩石弹性模量，变形模量及相应的泊松比。电阻应变片法适用于能制成规则试件且能粘贴牢固电阻应变片的各类岩石，对于变形较大的软岩和极软岩，可采用百分表测量变形。

18.4.6 点荷载试验一般不适于测定砾岩强度。因点荷载仪的球端圆锥与试件加载面的接触面积很小，可视为点接触，而砾岩是由卵砾石与充填物胶结而成，点荷载测试的结果往往不是砾岩的强度，而是卵砾石的强度。

19 水和土腐蚀性的评价

19.1 一般规定

19.1.1 水、土对建筑物的腐蚀危害是非常大的。在充分收集既有资料的前提下，对水和土的腐蚀性进行评价，如果认定环境土或水对建筑物不具腐蚀性时，可不取样进行腐蚀性评价。否则，应取水样或土样，进行腐蚀性分析。与一般位于城市项目不同，市域（郊）铁路大多位于城郊，原有资料较少，建议以采样为主。

土对钢结构的腐蚀性，并非每项勘察都有这个任务，故规定可根据工程需要和任务要求进行。钢结构在土中的腐蚀性问题非常复杂，涉及因素很多，腐蚀途径多样，任务需要时宜专门论证或研究。

19.1.2 市域（郊）铁路工程的结构类型大体可归属为铁路和建筑两大行业，两大行业采用不同的混凝土结构耐久性设计规范，因此为满足耐久性设计要求，两大行业环境水和土腐蚀性的判别标准不同。本标准按照建筑物工程类型选用不同的判别标准。

19.2 取样

19.2.1 地下水位以上的构筑物，可只取土样，不取水样，但实际工作中应注意地下水位的季节变化幅度，当地下水位上升，可能浸没构筑物（不包括围护桩等临时工程）时，仍应取水样进行水的腐蚀性测试。水位变幅范围内的土层可只取水样进行水的腐蚀性测试。当地下水位很浅，且其上的土常年处于毛细带时可不取土样。当有多层地下水时，应分层采取水试样。

19.2.2 取样时要考虑到地表水的漫侵和地下水位的季节性变化。建议同时考

考虑地表水的腐蚀性，因为地表水易受污染，且容易在大雨时漫出，侵入土中，从而产生腐蚀性。

19.2.4 对盐类成分和含量分布不均匀的土类，如盐渍土，如仍按每个场地采取 2 件试样，可能缺乏代表性，故规定应分区、分层取样，每区、每层不应少于 2 件。土中含盐量在水平方向上分布不均匀时应分区，在垂直方向分布不均匀时应分层。如分层不明显，呈渐变状，则应加密取样，查明变化规律。当有多层地下水时，应分层采取水试样。

19.3 水和土的腐蚀性试验

19.3.4 表 19.3.4 中序号 1~7 为判定土腐蚀性需试验的项目，序号 1~12 为判定水腐蚀性需试验的项目，序号 13~16 为土对钢结构腐蚀性试验的项目。

序号 1~12 为室内试验的项目；序号 13~16 是原位测试的项目，用于评价土对钢结构的腐蚀性，试验方法可参见林宗元主编的《岩土工程试验监测手册》。

20 工程周边环境专项调查

20.1 一般规定

20.1.1 工程周边环境调查资料应满足工程勘察、设计、施工需要，确保工程及其周边环境安全。设计单位应根据工程设计方案、环境风险等级、施工工法等提出工程周边环境调查的技术要求，明确调查的范围、对象、内容及成果要求等，并向从事工程周边环境调查的单位进行技术交底。

20.1.2 本条规定了工程周边环境专项调查工作应准备的资料和一般调查方法。调查单位应编制调查方案，调查方案主要包括工程概况、调查目的和依据、调查范围和对象、调查内容、调查方法和手段、调查成果要求等。

20.1.3 由于各个设计阶段对环境调查的范围和深度要求不同，因此，需要分阶段开展环境调查工作，满足各个阶段的设计要求。

可行性研究阶段工程周边环境专项调查，由工可编制单位负责。主要目的是为确定线路走向、车站布置、重要控制点、工程建设难点、主要施工方法、环境保护的重点、建设工期、造价概算等提供依据。本阶段调查以资料收集和现场踏勘为主。

初步设计阶段工程周边环境专项调查，由专业单位总体负责。主要查明沿线工程影响范围内的建（构）筑物、道路、既有轨道交通、铁路、管线等的结构、变形、破损和地基基础等情况，为初步设计及工程施工制定保护、防护措施提供依据和资料。本阶段调查以收集资料、现场调查、探测、摄影录像为主。

20.2 调查范围

20.2.2、20.2.3 工程周边环境的调查范围，参照《城市轨道交通工程周边环境

调查指南》建质[2012]56号的内容。

20.3 调查要求

20.3.2~20.3.13 周边环境条件是工程设计的重要依据之一,尤其是城市内的线路及地下工程周围通常存在既有建筑物、各类市政管线、道路等,工程施工应确保其安全而不受损害。因此,为了避免对周边环境因素缺乏准确了解而造成的工程事故,本节对周边环境调查的内容进行了较为详细的规定。

调查成果应列出沿线调查工作范围内各项周边环境的基本情况,包括既有建(构)筑物的层数、结构类型、基础类型及埋深、已使用年限、目前变形情况以及是否有开裂、倾斜等;周边道路的等级、路面结构、目前变形和破损情况;周边管线的类型、材质、埋深、管径、目前变形和渗漏情况等。

建筑物一般指供人们进行生产、生活或其他活动的房屋或场所。例如,工业建筑、民用建筑、农业建筑和园林建筑等,工程周边环境调查涉及的建筑物主要是房屋建筑和工业厂房。构筑物一般指人们不直接在内进行生产和生活活动的场所。如水塔、烟囱、堤坝、蓄水池、人防工程、化粪池、地下油库、地下暗渠以及各种地下管线隧道等。

在城市地下工程施工过程中,经常发生与地下管线冲突的情况,导致施工过程中对管线的直接破坏,或由于管线的渗漏造成基坑和隧道的坍塌,给工程造成安全威胁和经济损失。因此,地下管线的调查对城市地下工程的设计、施工非常重要。

城市道路包括高速公路、城市快速路、城市主干道、次干道、支路等。桥涵包括城市立交桥、跨河桥、过街天桥、过街地道以及涵洞等。

架空线缆是泛指,还包括其他的架空电线或电缆。

20.4 成果资料

20.4.1 成果资料的核心内容是查明工程影响范围内已有建(构)筑物、道路、地下工程等设施的位置、现状，结合工程地质和水文地质条件，评价由于开挖和降水等工程施工对工程周边环境的影响，提出必要的预防、控制和监测措施。

21 岩土工程分析评价和成果报告

21.1 一般规定

21.1.1~21.1.3 明确提出了对市域（郊）铁路岩土工程分析评价和勘察报告的基本要求，其中岩土工程分析评价应具有针对性、重点性、有效性和完整性。

21.1.4 市域（郊）铁路工程线路长，勘察单位较多，为了便于勘察资料的使用和各勘察阶段资料的延续性，需要统一地质单元、工程地质水文地质分区、岩土分层的划分标准。

21.2 岩土参数的分析和选定

21.2.4 岩土参数的选取原则，首先是反映岩土的一般状态特征，其次是考虑具体使用事项的不利组合，即用于正常使用极限状态时取平均值，用于承载能力极限状态时取标准值。

21.3 岩土工程分析评价的基本内容

21.3.1 本条主要针对市域（郊）铁路工程结构提出分析评价的综合要求，即分不同的敷设形式提出成果分析与评价的要求，地下工程主要是围岩和土体的稳定和变形问题，高架工程和地面工程主要是地基的承载力和变形问题，并特别强调了工程建设对环境的影响和地下水作用的分析评价。

21.3.2 对于明挖工法的分析评价，着重于分析岩土体的稳定性、透水性和富水性，列举并分析连续墙、钻孔咬合桩、SMW 工法桩等不同支护方式可能出现的工程问题，提出相应防治措施的建议。

21.3.3 对于盾构法施工的分析评价，侧重于盾构机选型、联络通道和区间工作

井等部位应注意的地质问题，指出影响盾构施工的地质条件。

1 根据岩土层特征，提供岩土压力、水压力、土的颗粒组成及特征参数，土的渗透系数、岩石质量指标等相关参数，提出盾构机选型应注意的地质问题；

2 强调了对浅层气等不良地质对盾构掘进的不利影响的评价要求；

5 盾构区间隧道中通常还涉及到联络通道或工作风井等，分析评价还需提供颗粒分析曲线、砂土的不均匀系数 d_{60}/d_{10} 及 d_{70} 等特殊指标、参数等；当联络通道采用冷冻法施工，而附近含水层地下水活动频繁、地下水流速可能超过 5m/d 时，还应提供地下水流向、流速等资料。针对冷冻法施工，必要时需提供盾构影响范围内（取 1D，D 为盾构直径）地基土的原始地温、结冰温度、导热系数、导温系数、比热容、冻土的抗压强度等指标，冻土的抗压强度、剪切强度、抗折强度、蠕变强度和融沉率。

21.3.5 对于矿山法施工的分析评价，侧重于分析不良地质作用和地下水作用的情况，以及由此带来的工程问题，提出相应防治措施的建议。

21.3.6 对于桥涵工程的分析评价，侧重于桩基设计所需的岩土参数的确定，指出影响桩基施工的不良地质作用和特殊性岩土，提出相应防治措施的建议。

21.3.9 市域（郊）铁路工程建设通常对工程周边环境影响较大，勘察报告需作这方面的分析、评价和预测，并提出相应防治措施的建议。环境问题涉及面广，本条仅限于涉及岩土工程方面的内容。

21.4 勘察报告的基本要求

21.4.2 本条概括规定了市域（郊）铁路岩土工程勘察报告的内容组成，将勘察报告的内容组成为文字部分、表格、图件、附件。

21.4.3 相关内容可根据勘察阶段、工程规模和任务要求适当调整，选择适合于

实际勘察的内容组成勘察报告。其中，勘察任务依据、拟建工程概况、勘察目的、要求、范围、方法、执行标准、完成工作量等，是勘察文字报告必备的基本内容。

1 可行性研究勘察报告需符合下列规定：

- 1) 提供区域性的地貌、地质构造、地层岩性、水文地质等资料；
- 2) 评价场地稳定性和适宜性；
- 3) 对搜集的资料和勘察结果进行综合分析，初步划分工程地质单元或进行工程地质分区；
- 4) 分析评价不良地质作用、特殊性岩土、地质灾害对线路方案、敷设形式及施工方法的影响；
- 5) 当有两个或者两个以上的拟选线路方案、站位方案、铺设方案时，应从工程地质、水文地质、工程周边环境等综合分析和评价，提出比选建议；
- 6) 提出初步勘察工作的建议。

2 初步勘察报告需符合下列规定：

- 1) 提供场地地形、地貌、地层、地质构造、岩土性质，确定不良地质作用和特殊性岩土发育区段，评价对工程的影响；
- 2) 评价场地的稳定性和适宜性，评价地震液化和震陷的可能性；
- 3) 统一全线的岩土分层、工程地质分区，并提出岩土参数建议值，初步划定围岩分级，并对岩土性状进行初步评价；
- 4) 初步确定地下水的类型、补给、径流和排泄条件，含水层和隔水层的分布，地下水水位、渗透系数、水位动态变化规律，初步评价地下水对工程的影响、评价水土腐蚀性；
- 5) 结合工程周边环境调查成果，分析评价工程建设与重要环境对象的相互

影响，提出处理措施建议；

6) 对设计的线路方案提出优化建议；

7) 对施工方法提出建议。分析地基、围岩、边坡的岩土工程问题，预测岩土条件给工程施工带来的风险，提出地基基础、开挖、支护、地下水控制、岩土加固、不良地质及特殊性岩土治理的建议；

8) 对不良地质作用和特殊性岩土提出防治建议；

9) 对详细勘察工作提出建议；

10) 地质条件可能造成的工程风险初步分析。

3 详细勘察报告需符合下列规定：

1) 提供场地地形、地貌、地层、地质构造，分层提供设计、施工需要的岩土参数；

2) 评价场地稳定性和适宜性。应划分场地土类型和场地类别，评价地震液化和震陷的可能性；

3) 提供地下水水位、渗透系数、动态变化，评价地下水对工程的作用及对建筑材料的腐蚀性；评价土的腐蚀性；

4) 划分地下工程的围岩分级和岩土施工工程分级，并分段评价围岩的稳定性；

5) 分析地基、围岩、边坡的岩土工程问题，预测岩土条件给工程施工带来的风险，提出地基基础、开挖、支护、地下水控制、岩土加固、不良地质及特殊性岩土治理的建议；

6) 结合工程周边环境调查成果，分析评价工程建设与工程周边环境的相互影响，提出保护措施建议；

7) 对工程施工和运营过程中可能产生的环境地质问题进行预测，提出防治

措施的建议；

8) 提出工程监测建议；

9) 对施工勘察工作提出建议。说明因既有建筑物或其他原因影响前期未完成的勘探工作；

10) 地质条件可能造成的工程风险。

工程建设过程中地质条件可能造成的工程风险主要包括以下几方面内容：

(1) 地下工程因地质条件可能造成的工程风险包括：隧道涌水突泥、盾构掘进偏向及磕头、围岩失稳、隧道渗漏水 and 变形、边坡滑塌、地表水体漏失、基坑坑壁滑塌、底板隆起、基坑突涌水、地面或周边建筑物沉降变形、路面脱空、地面塌陷、地下管线破坏、有害气体等；

(2) 桩基工程因地质条件可能造成的工程风险包括：岩溶塌陷和掉桩、孔壁坍塌、混凝土超量灌注、不均匀沉降、复杂地质条件成（沉）桩困难等；

(3) 路基工程和涵洞工程因地质条件可能造成的工程风险包括：边坡滑塌、地面塌陷或岩溶塌陷、差异沉降等；

(4) 边坡工程因地质条件可能造成的工程风险包括：边坡滑塌、地面塌陷或岩溶塌陷等；

11) 其他需要说明的问题可包括：未完成钻孔情况及其影响分析、遗留钻具等。

21.4.7 鉴于专项勘察报告的特殊性，其内容组成难以统一，可根据专项勘察的目的、要求参照本标准第 21.4.3 条～第 21.4.6 条中合理选取。

22 现场检验和监测

22.1 一般规定

22.1.1、22.1.2 现场检验与监测是保证工程质量与安全的重要手段之一，为保证工程周边环境安全、工程结构安全以及工程施工安全，岩土工程勘察报告中需要根据工程岩土特点、结构特点和施工特点，提出工程检验与监测的建议。目前现场检验与监测的方法主要有现场观察、试验和仪器量测等。

22.1.3 监测数据应及时整理，及时报送，发现异常或趋于临界状态时，应立即向有关部门报告。

22.2 现场检验

22.2.1 市域（郊）铁路工程基槽、基坑、路基及隧道的现场检验，是工程建设中对地质体检查的最后一关，通过检验发现异常地层，及时采取有效措施确保工程施工和结构的安全；该项工作是必须做的常规工作，通常由地质人员会同建设、设计、施工、监理以及质量监督部门共同进行。检验时，一般首先核对基础或基槽的位置、平面尺寸和坑底标高，是否与图纸相符；对土质地基，可用肉眼鉴别、微型贯入仪、轻型动力触探等简易方法，检验土的密实度和均匀性，必要时可在基槽底进行轻型动力触探试验。当基槽底下有砂层分布，且承压水头高于槽底时，应特别慎重，以免造成冒水涌砂；当岩土条件与勘察报告出入较大或设计方案有较大变动时，宜进行有针对性的施工专项勘察。

22.2.2、22.2.3 这两条所列检验内容，都是以往工程实践中发现的，影响基槽、基坑、路基和隧道围岩稳定和变形的重要因素，在现场检验时需要给予充分的重视。

22.2.4 桩长设计一般采用地层和标高双控制，并以勘察报告作为设计依据；在工程实践中，时常会出现实际地层情况与勘察报告不尽相同的情况，故应通过试打、试钻，检验岩土条件是否与设计预期一致；工程桩施工时，应注意是否有异常情况，以便及时采取必要措施。大直径挖孔桩，一般设计承载力较高，对工程影响较大，故应逐桩检验孔底尺寸和桩侧、桩端岩土情况，人工挖孔为现场检验提供了良好的条件。

22.3 现场监测

22.3.3 目前基坑工程的设计计算，还不够十分准确，无论计算模式还是计算参数，难免和实际情况有出入。为了保证工程安全，监测是非常必要的。通过对监测数据的分析，必要时可调整施工工序、支护设计方案。遇有紧急情况时，应及时报警，采取应急措施。

22.3.5 对市域（郊）铁路工程结构进行沉降监测，一方面为市域（郊）铁路工程施工及运营的安全提供保证，另一方面可以起到积累市域（郊）铁路工程建设经验或对工程进行设计反分析的作用。

22.3.6 地下水的动态变化（包括水位的季节变化和多年变化，人为因素造成的地下水变化，水中化学成分的运移等）对工程的安全和环境的保护，是重要因素之一。为工程建设进行的地下水监测，与区域性的地下水长期观测不同，监测要求随工程而异。

23 勘察信息化

23.1 一般规定

23.1.1 市域（郊）铁路岩土工程勘察是多工序、多工种的综合性工作，其工序一般是先收集、熟悉区域地质资料等基础资料，再进行遥感地质解译、工程地质调绘，而后进行工程勘探、地质测试，最后综合分析、整理资料，在这一过程中产生各类初始数据与成果数据，包括文本、图形、图像影像、音频、视频、数字模型、数据库及各种格式的文档电子文件等。

目前，勘察行业在项目管理、数据采集与处理、成果制作、数据管理及应用等各方面尚较为落后，作业模式相对传统。勘察信息化旨在将信息化技术应用到勘察工作的各个环节，改善传统人工作业模式，提高工作效率，促进行业发展。勘察工作主要包括作业（包括数据采集与处理、成果制作）、管理（项目管理、数据管理）和应用三个环节，勘察信息化应包括以上三个方面，应在以上环节积极采用新型信息化技术手段，实现勘察工作全流程信息化。

23.1.2 由于勘察项目管理水平直接影响勘察的质量，因此勘察信息化宜实现项目管理的信息化。如针对不同环节开发多种信息化系统软件而不能无缝连接和数据自由传送，则信息化效应将大打折扣，因此项目管理信息化宜实现各个环节的信息化系统在同一个平台完成操作和应用，实现数据共享、查验和各方协同，确保勘察信息化平台能真正为技术、管理人员接受、应用和推广。

23.1.3 勘察信息化作业旨在脱离传统的纸质作业模式，但是数据的真实性和准确性无法保证，因此依靠勘察信息化平台应采取可靠的数据采集、共享和传递方式，记录下数据采集、录入、修改和传递等每一步过程的时空信息，确保勘察数据的准确性、完整性和有效性。

23.1.4 2019年5月13日,原中国铁路总公司印发了《铁路数据管理暂行办法》(铁总科信[2019]79号)第四条规定,依法保护涉及商业秘密、工作秘密及公民个人隐私的铁路数据。涉及国家秘密数据的管理按照国家有关保密法律法规执行。

23.2 数据采集与处理

23.2.1 近年来,计算机、移动便携设备、操作系统、3S、数据库等信息技术迅猛发展,我国工程勘察行业基于对数据库、GIS、移动GIS、PDA、GNSS定位等技术的深化研究,在工程勘察数字化采集与处理方面取得了一定进展。黄河勘测规划设计研究院对多源数据管理、空间数据转化、数字地质罗盘集成、采集标准化体系等关键技术问题进行了研究,研发了工程勘察数字采集系统,并成功应用于兰州市水源地建设、黄河下游“十三五”防洪等工程的勘察。铁四院基于对信息技术、视频监控技术、图像识别技术等技术的研发,研发了适合于钻探管理的AI机器人技术,实现了钻探过程信息化管理、岩性识别,提高了钻探工作的效率、可靠性和准确性。

目前,铁路行业各勘察设计单位勘察信息化尚处于研发与逐步发展阶段,采用的各类勘察方法的数字化、自动化及智能化程度各有不同。市域(郊)铁路工程勘察应积极采用新技术、新设备、新方法,逐步实现勘察工作的信息化。从勘察信息化发展趋势来说,基于智能移动终端的外业数据录入、基于智能传感器的勘察数据采集、外业视频监控航天遥感和无人机影像数据采集等应用功能的设备与软件,对实现勘察数据的数字化自动采集、自动记录与上传具有重要意义。

23.2.4 三维地质建模一般需要对数据进行范围截取、筛选、格式转换等处理；当收集的地质数据存在矛盾时，应进行分析、验证和处理；其他以数据库形式存储的数据，按需提取。当三维地质建模数据量大且存在冗余时，应在满足精度要求条件下进行冗余数据的消除处理。三维地质模型的数据体量、数据精度、数据参数化表达、数据之间的空间拓扑关系等，需满足不同勘察设计阶段、不同工程对象、不同应用层次的最低需求。

23.3 成果制作

23.3.1 市域（郊）铁路岩土工程勘察过程中产生大量的勘察数据，这些勘察数据内容繁多、结构复杂，包括点、线、面空间信息及其之间的拓扑关系，以及结构化的属性信息和非结构化的照片、素描图等信息。属性信息又涉及大量的文字描述及多时态的地质现象描述，具有多源、多类、多量、多维、多时态和多阶段的特征。同时，铁路工程勘察数据的每一个应用分析都涉及大量不同类型的数据，数据处理非常复杂。

当前铁路行业各勘察设计院在勘察过程中已应用多种类型勘察信息化软件，其中工程地质调绘、钻探与孔内测试、原位测试、室内试验采用自编软件居多，遥感地质解译、物探采用商业软件为主，基本能够针对各院勘察业务进行项目级勘察数据编辑、管理、统计分析、生成各类地质成果图表等，然而目前各院勘察数据存储仍较为分散，综合成果生成效率相对较为低下。作为市域（郊）铁路工程建设的基础，工程勘察需为设计、施工、管理等各方提供基础资料，勘察成果制作需在集成各类勘察数据的基础上经过综合分析完成，因此宜实现多源、异构、多时空、多尺度勘察数据的集成融合。

23.3.2 本条规定对勘察成果电子化文件和数据格式提出要求。勘察成果的文

字、图表、数据、三维地质成果、多媒体数据等电子文件格式，都应满足便于使用、存储和交互的基本要求。

23.3.4 空间信息是反映各类地质现象空间分布特征的信息，为点、线、面等基本图形元素，包含地质现象的位置、形状以及它们之间的空间关系、区域空间结构等，属性信息是对地质现象特征的描述，根据目标的特点确定。

23.4 数据管理及应用

23.4.1 2019年5月13日，原中国铁路总公司印发了《铁路数据管理暂行办法》（铁总科信[2019]79号）第四条规定，铁路数据管理应遵循统筹规划；分级管理、安全可控、充分利用的原则。

市域（郊）铁路岩土工程勘察过程中产生大量的勘察数据，具有这些勘察数据内容繁多、结构复杂、处理困难等特点。宜借助数据库技术对这些海量数据进行系统、科学的管理，并生成各种为设计、施工和决策提供依据的图、表，实现勘察数据的共享和重复利用，提升勘察数据的价值，满足市域（郊）铁路岩土工程勘察的生产管理工作需要。

勘察数据管理需根据各类勘察数据特点统一信息分类、编码及数据库表结构设计，信息化系统设计时应考虑勘察数据共享、更新和扩展的需求。

中国铁设依托国铁集团重大课题《艰险复杂山区铁路空天地立体勘察新技术及数据平台应用技术研究》，开发了地质勘察多源数据管理平台，平台总体架构包括基础设施层、数据资源层、服务层和应用层。基础设施层包括用于数据存储、计算和分析的计算机硬件设施，同时保障数据安全。数据资源层包括基础地理数据、铁路工程数据、基础地质资料、遥感、地质调绘、物探、钻探、原位测试、室内试验、勘探成果等多源地质数据以及平台业务数据。服务层包

括数据的存取、更新、发布、计算与分析等功能，并提供 GIS 应用和业务应用等服务。针对地质多源数据管理和服务需求，应用层包括用户管理、勘察项目管理、入库归档管理、查询检索、数据集成和共享等业务功能，供用户进行访问使用。

23.4.2 2019 年 5 月 13 日，原中国铁路总公司印发了《铁路数据管理暂行办法》（铁总科信[2019]79 号），第三章“数据采集”中第十二条规定，铁路数据采集遵循“一数之源、一源多用”的原则。除法律法规另有规定外，能通过共享方式获取的数据，应避免重复采集，保证源头唯一性和数据一致性。

23.4.3 勘察成果电子文件资料根据项目名称、勘察阶段、成果类型、工点名称等分级建立文件夹存储，便于对勘察成果的管理和调用。

2020 年 7 月 7 日国铁集团发布了《铁路建设项目施工图电子文件交付管理办法》（铁建设[2020]123 号），对施工图阶段电子文件的目录组织进行了规定，可作为各阶段勘察成果电子文件资料存储的参考。办法规定，文件夹组织结构分为四级，具体如下：

根文件夹：建设项目名称；

二级文件夹：在根文件夹按照线路（线别）进行划分；

三级文件夹：在二级文件夹下按照工程类型进行划分；

四级文件夹：在三级文件夹下按照工程名称进行划分。

附录 E 隧道围岩分级

本附录隧道围岩分级标准，依据《铁路工程地质勘察规范》TB10012-2019 制订。

附录 J 环境水、土对混凝土侵蚀性的判定标准

“附录 J 环境水、土对混凝土侵蚀性的判定标准”，J.0.1~J.0.3 摘自《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB10005-2010；J.0.4~J.0.7 摘自《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001(2009 年版)。在进行市域（郊）铁路岩土工程勘察时，应按照不同的工程类型采用不同的判定标准：路基、桥涵、隧道等线路工程周边环境水和土的侵蚀性判别应符合 J.0.1~J.0.3 的相关规定；车站、车辆基地、配套设施等房屋建筑工程周边环境水和土的腐蚀性评价应符合 J.0.4~J.0.7 的相关规定。

J.0.1 在化学侵蚀环境条件下，混凝土腐蚀程度与环境水和土中化学侵蚀物资的种类和浓度、环境土的渗透性、环境温度以及混凝土表面干湿交替程度等有关。

本标准所涉及的腐蚀化学物资有硫酸盐、碳酸盐、酸和镁盐等。

硫酸根离子包括水中和土中所含硫酸根离子，土中硫酸根离子的测试方法采用水溶法较合理。由于缺少足够的数据积累和工程经验，对于高硫酸盐环境条件下的混凝土结构，如水中 SO_4^{2-} 含量大于 20000mg/L 和土中 SO_4^{2-} 含量大于 30000mg/kg 时，其耐久性技术措施应进行专门研究和论证。

酸对混凝土的腐蚀作用主要是中和水泥水化产物中的氢氧化钙，不仅会降低混凝土的碱度，还会降低混凝土的稳定性。当混凝土结构处于 pH 值小于 4

的环境时，其耐久性技术措施应进行专门试验论证。

J.0.2 在氯盐锈蚀为主的环境条件下，钢筋锈蚀速度与混凝土表面氯离子的浓度、温湿度的变化、空气中氧气供给的难易程度有关。

在海水作用的潮汐区和浪溅区、盐湖地区或海边滩涂区露出地表的毛细吸附区，钢筋锈蚀的发展速度最快，需要特别防护。

南方炎热地区温度高，氯离子扩散系数增大，钢筋锈蚀加剧，所以炎热气候应作为加剧钢筋锈蚀的因素考虑。

J.0.3 在盐类结晶破坏为主的环境条件下，混凝土腐蚀程度与环境水和土中硫酸盐浓度、环境温度以及混凝土表面干湿交替程度有关。盐类结晶破坏多发生在露出地表的毛细吸附区和隧道衬砌部位，破坏很明显，需严加控制。当混凝土结构处于高硫酸盐环境时，如水中 SO_4^{2-} 含量大于 10000mg/L 和土中 SO_4^{2-} 含量大于 15000mg/kg 时，其耐久性技术措施应进行专门研究和论证。

J.0.4、J.0.5 场地环境类型对土、水的腐蚀性影响很大，不同的环境类型主要表现为气候所形成的干湿交替、冻融交替、日气温变化、大气湿度等，表 J.0.4. 1-2 作了具体规定，表注 1 中的干燥度，是说明气候干燥程度的指标。我国干燥度指数 K 值大于 1.5 的地区有：新疆(除局部)、西藏(除东部)、甘肃(除局部)、青海(除局部)、宁夏、内蒙(除局部)、陕西北部、山西北部、河北北部、辽宁西部、吉林西部。不能确认或需干燥度的具体数据时，可向各地气象部门查询。

表 J.0.4-1 中的数值适用于有干湿交替和不冻区(段)水的腐蚀性评价标准。对无干湿交替作用、冰冻区和微冻区及对土的腐蚀性评价，尚应乘以一定的系数，这在表注中已加以说明，使用该表时应予注意。

干湿交替是指地下水位变化和毛细水升降时，建筑材料的干湿变化情况。干湿交替和气候区与腐蚀性的关系十分密切。相同浓度的盐类，在干旱区可能

是强腐蚀，在湿润区可能是弱腐蚀或无腐蚀性。

冻融交替也是影响腐蚀的重要因素。相同浓度的盐类，在不冻区尚达不到饱和状态，因而不会析出结晶，而在冰冻区，由于气温降低，盐分易析出结晶，从而破坏混凝土。

J.0.6 钢筋长期浸泡在水中，由于氧溶入较少，不易发生电化学反应，故钢筋不易被腐蚀；相反，处于干湿交替状态的钢筋，由于氧溶入较多，易发生电化学反应，钢筋易被腐蚀。