****

铁路隧道明挖法技术规程

Technical regulations for open excavation method of railway tunnel

**（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）**

**T/CECS XXX—202X**

**中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准**

Xxxx出版社

**中国工程建设标准化协会标准**

铁路隧道明挖法技术规程

Technical regulations for open excavation method of railway tunnel

**（征求意见稿）**

**T/CECS XXX—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：xx年xx月xx日

Xxxx出版社

2023年·北京

中国工程建设标准化协会公告

第XXX号

关于公布《铁路隧道明挖法技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发2020年第一批协会标准制订、修订计划的通知》（建标协字〔2020〕14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《铁路隧道明挖法技术规程》，经本协会铁道分会组织审查，现批准发布，编号为T/CECS\*\*-202\*，自2023年\*月\*日起施行。

中国工程建设标准化协会

XXX年XX月XX日

前 言

本规程的主要技术内容是：总则、术语和符号、基本规定、岩土勘察与环境调查、设计荷载、基坑支护结构、土体加固、基坑地下水控制、基坑监测、主体结构及防水设计、环境保护、运营期隧道安全保护、附录等。

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。执行过程中如有意见和建议，请寄送至XXXX（地址：XXXX；邮政编码：XXXX）

**本规程主编单位：**中铁第四勘察设计院集团有限公司

**本规程参编单位：**中国铁路经济规划研究院有限公司

中国铁路设计集团有限公司

中铁工程设计咨询集团有限公司

中铁十一局集团有限公司

中铁十四局集团有限公司

五广(上海)基础工程有限公司

上海隧道工程股份有限公司

**本规程主要起草人员：**XXX XXX

**本规程主要审查人员：**XXX XXX

目录

[1 总 则 1](#_Toc17844)

[2 术语及符号 2](#_Toc10477)

[2.1 术 语 2](#_Toc4597)

[2.2 符 号 5](#_Toc22967)

[3 基本规定 8](#_Toc2322)

[3.1 一般规定 8](#_Toc31115)

[3.2 荷载分类及荷载组合 9](#_Toc13619)

[3.3 结构形式 12](#_Toc248)

[4 岩土勘察与环境调查 14](#_Toc28574)

[4.1 一般规定 14](#_Toc824)

[4.2 可行性研究勘察 17](#_Toc26999)

[4.3 初步勘察 19](#_Toc21639)

[4.4 详细勘察 21](#_Toc30494)

[4.5 施工阶段勘察 24](#_Toc27764)

[4.6 岩土测试 24](#_Toc7125)

[4.7 勘察成果 26](#_Toc11130)

[4.8 环境调查 27](#_Toc32607)

[5 设计荷载 28](#_Toc9892)

[5.1 一般规定 28](#_Toc1450)

[5.2 土压力 31](#_Toc28936)

[5.3 水压力 35](#_Toc16588)

[5.4 其它荷载 35](#_Toc23130)

[6 建筑材料 40](#_Toc30675)

[6.1 一般规定 40](#_Toc4846)

[6.2 混凝土 41](#_Toc4414)

[6.3 钢筋 42](#_Toc26839)

[6.4 其他材料 44](#_Toc26140)

[7 基坑支护结构- 45](#_Toc12048)

[7.1 一般规定 45](#_Toc27414)

[7.2 支档式结构 50](#_Toc9934)

[7.3 土钉墙 90](#_Toc18171)

[7.4 重力式水泥土墙 108](#_Toc17508)

[7.5 重力式挡墙 115](#_Toc27274)

[7.6 放坡 119](#_Toc13419)

[7.7 土方开挖及回填 123](#_Toc7039)

[7.8 应急响应及措施 129](#_Toc27404)

[8 土体加固 132](#_Toc13628)

[8.1 一般规定 132](#_Toc5780)

[8.2 注浆法 134](#_Toc13187)

[8.3 高压旋喷法 136](#_Toc22466)

[8.4 深层搅拌法 141](#_Toc17)

[9 基坑地下水控制 148](#_Toc30063)

[9.1 一般规定 148](#_Toc551)

[9.2 基坑隔水（截水、隔水帷幕） 149](#_Toc11897)

[9.3 基坑降排水 153](#_Toc10048)

[9.4 回灌 156](#_Toc9252)

[10 基坑监测 158](#_Toc5761)

[10.1 一般要求 158](#_Toc26689)

[10.2 监测方法及测点布置 158](#_Toc3241)

[10.3 监测频率及控制值 162](#_Toc21988)

[10.4 监测资料及成果文件编制 166](#_Toc3215)

[11 主体结构及防水 168](#_Toc20588)

[11.1 隧道主体结构设计 168](#_Toc12393)

[11.2 抗震设计 169](#_Toc9258)

[11.3 抗浮设计 171](#_Toc2672)

[11.4 附属及洞口设计 171](#_Toc23791)

[11.5 构造 173](#_Toc14251)

[11.6 防水 174](#_Toc19008)

[12 环境保护 182](#_Toc7636)

[12.1 一般规定 182](#_Toc26123)

[12.2 环境影响分析 182](#_Toc21952)

[12.3 环境保护措施 184](#_Toc14854)

[13 运营期隧道安全保护 188](#_Toc3506)

[附录 190](#_Toc300)

[A土钉抗拔试验要点 190](#_Toc19315)

[B锚杆抗拔试验要点 192](#_Toc28143)

[C 基坑渗流稳定性验算 197](#_Toc29753)

Contents

[1 General Provisions 1](#_Toc25191)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc25312)

[2.1 Terms 2](#_Toc825)

[2.2 Symbols 5](#_Toc15050)

[3 Basic Regulations 8](#_Toc4212)

[3.1 General Requirements 8](#_Toc2000)

[3.2 Load Classification and Load Combination 9](#_Toc12382)

[3.3 Structural Style 1](#_Toc25536)2

[4 Geotechnical Survey and Environmental Investigation 1](#_Toc30631)4

[4.1General Requirements 1](#_Toc21050)4

[4.2 Feasibility Study and Investigation 1](#_Toc24155)7

[4.3 Preliminary Investigation 1](#_Toc2654)9

[4.4 Detailed Investigation 2](#_Toc26959)1

[4.5 Construction Phase Survey 2](#_Toc26365)4

[4.6 Geotechnical Test 2](#_Toc5152)4

[4.7 Survey results 2](#_Toc31013)6

[4.8 Environment Inquiry 2](#_Toc10233)7

[5 Design Load 2](#_Toc22597)8

[5.1 General Requirements 2](#_Toc19899)8

[5.2 Earth Pressure 3](#_Toc25660)1

[5.3 water Pressure 3](#_Toc24128)5

[5.4 Other Loads 3](#_Toc4365)5

[6 Construction Material 4](#_Toc18891)0

[6.1 General Requirements 4](#_Toc20754)0

[6.2 Concrete 4](#_Toc30694)1

[6.3 Rebar 4](#_Toc6626)2

[6.4 Other Materials 4](#_Toc19256)4

[7 Supporting Structure 4](#_Toc8517)5

[7.1 General Requirements 4](#_Toc4387)5

[7.2 Retaining Structures 5](#_Toc6890)0

[7.3 Soil Sailing Wall 9](#_Toc8993)0

[7.4 Gravity Cement-Soil Wall 1](#_Toc17603)08

[7.5 Gravity Retaining Wall 1](#_Toc28732)15

[7.6 Sloped 1](#_Toc16166)19

[7.7 excavation and backfilling 1](#_Toc5910)23

[7.8 Emergency response and measures 1](#_Toc22319)29

[8 soil consolidation 1](#_Toc15704)32

[8.1 General Requirements 1](#_Toc23796)32

[8.2 Grouting Method 1](#_Toc30600)34

[8.3 High Pressure Rotary Method 1](#_Toc11398)36

[8.4 Deep Mixing Method 1](#_Toc27792)41

[9 Groundwater Control 1](#_Toc2008)48

[9.1 General Requirements 1](#_Toc31357)48

[9.2 Excavations Waterproofing（Cut-Off Drains、Waterproofing） 1](#_Toc4354)49

[9.3 Drainage by gully 1](#_Toc3653)53

[9.4 Groundwater recharge 1](#_Toc28539)56

[10 Monitoring 1](#_Toc11912)58

[10.1 General Requirements 1](#_Toc16446)58

[10.2 Monitoring Method and Layout of Instrumention 1](#_Toc31158)58

[10.3 Frequency and Controlled Value 1](#_Toc12276)62

[10.4 Monitoring Data and Document Compiling 1](#_Toc6649)66

[11 Major Structure and Waterproof 1](#_Toc22428)68

[11.1 Design of The Tunnel Main Body Structure 1](#_Toc1489)68

[11.2 Design Against Earthquake 1](#_Toc30535)69

[11.3 Anti-floating Design 1](#_Toc23121)71

[11.4 Auxiliary Design and The Entrance Design 1](#_Toc18404)71

[11.5 Structure 1](#_Toc17482)73

[11.6 Waterproof 1](#_Toc9259)74

[12 Soil Sailing Wall 1](#_Toc22521)82

[12.1 General Requirements 1](#_Toc2605)82

[12.2 Environmental Impact Analysis 1](#_Toc29419)82

[12.3 Environmental Protection Measure 1](#_Toc16913)84

[13 Safety Protection of The Tunnel During The Operation Period 1](#_Toc25139)88

[Appendix 1](#_Toc7169)90

[A Kernel of Soil Nail Pull Out Test 1](#_Toc5931)90

[B Kernel of Anchor Pull Out Test 1](#_Toc1633)92

[C Seepage Stability Analysis 1](#_Toc18256)97

# 总 则

* + 1. 为了规范铁路工程基坑支护的勘察、设计、施工和监测工作，做到安全适用、技术先进、经济合理、绿色环保，制定本规程。
    2. 本规程适用于一般地质条件下铁路明挖法隧道的勘察、设计、施工与监测。对岩层、特殊岩土地层及不良地质隧道可根据相关规范规定采取针对性措施后参照执行。
    3. 本规范依据现行国家标准《铁路工程结构可靠性设计统一标准》GB 50216、《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153的原则制定，本规范混凝土结构设计依据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010执行、钢结构设计依据现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017执行。
    4. 铁路明挖法隧道勘察、设计、施工和监测工作除应符合本规程的规定外，尚应符合国家、行业相关标准的规定。

# 术语及符号

## 术 语

* + 1. 明挖法cut and cover method

由地面挖开的基坑中修筑地下结构的方法。包括明挖、盖挖顺作和盖挖逆作等工法。

* + 1. 基坑工程excavation engineering

为保证基坑开挖及基坑内建（构）筑物安全施工，以及周边环境安全使用而采取的基坑支护、地基处理、地下水控制、周边环境保护和土方开挖回填等各种工程措施的总称。这项综合性工程称为基坑工程。

* + 1. 基坑周边环境surroundings around excavations

在建筑基坑施工及使用阶段,基坑周围可能受基坑影响的或可能影响基坑的既有建(构)筑物﹑设施﹑管线、道路、岩土体及水系等的统称。

* + 1. 基坑支护retaining and protection for excavations

为保证地下主体结构施工及基坑周边环境的安全，对基坑侧壁及周边环境采用支挡、加固与保护的措施。

* + 1. 排桩soldier piles

沿基坑侧壁排列设置的支护桩及冠梁组成的支挡式结构部件或悬臂式支挡结构。

* + 1. 钢板桩steel sheet pile

边缘带有锁口可以相互搭接形成连续墙体的主要用于支挡岩土体的各种细长钢构件。

* + 1. 地下连续墙diaphragm wall

分槽段用专用机械成槽、浇筑钢筋混凝土所形成的连续地下墙体。亦可称为现浇地下连续墙。

* + 1. 锚杆anchor

由杆体（钢绞线、螺纹钢筋）、注浆固结体、锚具、套管所组成的一端与支护结构构件连接，另一端锚固在稳定岩土体内的受拉杆件，当采用钢绞线时，也可称为锚索。

* + 1. 内支撑strut

设置在基坑内的由钢筋混凝土或钢构件组成的用以支撑挡土构件的结构部件。支撑构件采用钢材、混凝土时，分别称为钢内支撑、混凝土内支撑。

* + 1. 冠梁capping beam

设置在挡土构件顶部的将挡土构件连为整体的钢筋混凝土梁。

* + 1. 腰梁waling

设置在挡土构件侧面的连接锚杆或内支撑杆件的钢筋混凝土梁或钢梁。

* + 1. 土钉soil nail

植入土中并注浆形成的承载拉力与剪力的杆件。例如，钢筋杆体与注浆固结体组成的钢筋土钉，击入土中的钢管土钉。

* + 1. 土钉墙soil nailing wall

由随基坑开挖分层设置的、纵横向密布的土钉群、喷射混凝土面层及原位土体所组成的支护结构。

* + 1. 复合土钉墙composite soil nailing wall

土钉墙与预应力锚杆、微型桩、旋喷桩、搅拌桩中的一种或多种组成的复合型支护结构。

* + 1. 坡率法slope method

通过控制边坡坡率，保证基坑边坡稳定的方法。

* + 1. 全方位超高压喷射注浆metron jet system

采用超高压水泥浆液和压缩空气切削土体,并使水泥浆液与土体拌和,形成大直径的水泥土加固体;可在水平,垂直和倾斜方向成桩;成桩过程中可对地内压力进行监测,利用气举反循环及喷射真空强制排浆,控制地内压力平衡,以降低施工对周边环境的影响。

* + 1. 地下水控制groundwater control

为保证支护结构、基坑开挖、地下结构正常施工，防止地下水变化对基坑周边环境产生影响所采用的截水、降水、排水、回灌等措施。

* + 1. 截水帷幕curtain for cutting off drains

用以阻隔或减少地下水通过基坑侧壁与坑底流入基坑和控制基坑外地下水位下降的幕墙状竖向截水体。

* + 1. 管涌 sand boiling

在[渗流](https://baike.baidu.com/item/%E6%B8%97%E6%B5%81/10975956?fromModule=lemma_inlink" \t "_blank)作用下．土体细颗粒沿骨架颗粒形成的孔隙，水在土孔隙中的流速增大引起土的细颗粒被冲刷带走的现象。

* + 1. 建筑基坑工程监测monitoring of building excavation engineering

在建筑基坑施工及使用阶段,对建筑基坑及周边环境实施的检查﹑量测和监视工作。

* + 1. 防水等级grade of waterproof

根据工程对防水的要求确定的结构允许渗漏水量的等级标准。

## 符 号

Eak、Epk—主动土压力、被动土压力标准值；

G—支护结构及土体的自重；

M—弯矩设计值；

MK—弯矩标准值；

N—轴力设计值；

NK—轴力标准值；

V—剪力设计值；

VK—剪力标准值；

Pak、Ppk—主动土压力强度、被动土压力强度标准值；

Sd—作用组合的效应设计值；

SK—作用标准组合的效应或作用标准值的效应；

Rd—结构构件的抗力设计值；

λ—支撑不动点的调整系数；

γ—土的天然重度；

c—土的粘聚力；

φ—土的内摩擦角；

k—土的渗透系数；

ks—土的水平反力系数；

kR—弹性支点轴向刚度系数；

Ka—主动土压力系数；

Kp—被动土压力系数；

m—土的水平反力系数的比例系数；

K—安全系数；

Es—土的压缩模量或锚杆体或支撑的弹性模量；

Ec—锚杆的复合弹性模量；

Em—锚杆锚固体的弹性模量；

Rk—锚杆或土钉的极限抗拔承载力标准值；

qsk—土与锚杆或土钉的极限粘接强度标准值；

fcs—水泥土开挖龄期时的轴心抗压强度设计值；

fpy—预应力钢筋抗拉强度设计值；

fy—钢筋抗拉强度设计值；

γw—地下水的重度；

A—构件的截面面积；

Ap—预应力钢筋的截面面积；

As—钢筋的截面面积；

b—截面宽度；

d—桩、锚杆、土钉的直径或基础埋置深度；

h—基坑深度或构件截面高度；

β—土钉墙坡度与水平面的夹角；

α—锚杆、土钉的倾角或支撑轴线与水平面夹角；

# 基本规定

## 一般规定

* + 1. 铁路明挖隧道结构设计应以“结构为功能服务”为原则，满足规划、行车运营、环境保护、抗震、防水、防火、防腐蚀及施工等要求。
    2. 铁路明挖隧道结构设计，应减少施工中和建成后对环境造成的不利影响，以及规划引起的周边环境的改变对结构的作用。对于分期建设的线路，应结合线网规划，合理确定节点结构形式及是否同步实施或预留远期实施条件。
    3. 铁路明挖隧道结构设计，应根据工程建（构）筑物的特点及其所在的场地具体情况，通过技术、经济、工期、环境影响等多方面综合评价，选择合理的施工方法及结构形式。在含水地层中，应采用可靠的地下水处理和防止措施。
    4. 铁路明挖法隧道与地下车站相连时，结构接口、通风、人防、防灾疏散救援等工程应进行统筹设计。
    5. 铁路明挖隧道结构耐久性设计应符合下列规定：

1 主体结构和使用期间不可更换的结构构件，应根据使用环境类别，按设计使用年限100年的要求进行耐久性设计；

2 使用期间可更换且不影响运营的次要结构构件，可按设计使用年限50年的要求进行耐久性设计；

3 临时结构宜根据其使用性质和结构特点确定其使用年限。

* + 1. 隧道结构宜采用整体式钢筋混凝土结构。主体结构与支护结构之间构造型式，根据结构形式、受力特点、地层状况、防水要求等因素综合比较，可选用叠合式或复合式。
    2. 隧道结构内净空应考虑隧道内股道数和线间距、空气动力学效应、机车车辆类型及其密封性、救援疏散、轨道结构型式及其维护方式、牵引受流及悬挂方式、设备空间等使用功能要求综合拟定，满足建筑限界要求，并考虑施工偏差、测量误差、结构变形及后期沉降、机械配套作业等因素。
    3. 隧道结构抗浮设计应根据《建筑工程抗浮技术标准》JGJ476的有关规定进行验算。
    4. 隧道结构的耐久性设计应按现行《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB10005的有关规定执行。
    5. 隧道结构的纵向沉降曲率和差异沉降应满足无砟道床和结构自身允许变形要求。

## 荷载分类及荷载组合

* + 1. 明挖结构设计应考虑下列荷载作用与影响：

1 土压力、水压力；

2 地面超载与施工荷载；

3 开挖影响区范围内的建（构）筑物荷载；

4 邻近工程施工的影响；

5 冻胀、温度变化等产生的作用；

6 临水基坑应考虑水流、波浪及潮汐荷载等。

* + 1. 作用在地下结构的荷载，可按表3.2.2进行分类。应根据《建筑结构荷载规范》GB50009等的有关规定，并根据施工和使用阶段可能发生的变化，按可能出现的最不利情况，确定对应荷载、荷载组合及其组合系数。

表3.2.2荷载分类

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 荷载分类 | 结构受力及影响因素 |
| 1 | 永久  荷载 | 结构自重 |
| 2 | 围岩（地层）压力 |
| 3 | 结构上部和破坏棱体范围内的设施及建（构）筑物压力 |
| 4 | 水压力及浮力 |
| 5 | 混凝土收缩和徐变的影响 |
| 6 | 预加应力 |
| 7 | 设备荷载 |
| 8 | 地基变位产生的作用 |
| 9 | 可变  荷载 | 地面车辆荷载及其动力作用 |
| 10 | 列车活载及其动力作用 |
| 11 | 人群荷载 |
| 12 | 渡槽流水压力（设计渡槽明洞时） |
| 13 | 列车制动力 |
| 14 | 温度变化的影响（包含严寒及寒冷地区冻涨力） |
| 15 | 灌浆压力 |
| 16 | 施工荷载（施工阶段的某些外加力） |
| 17 | 偶然  荷载 | 落石冲击力 |
| 18 | 地震力 |
| 19 | 人防荷载 |
| 20 | 沉船、抛锚或河道疏浚产生的撞击力等灾害性荷载 |
| 注：  1设计中需考虑的其他荷载，可根据其性质分别列入上述三类荷载中；  2表中所列荷载本节未加说明者，可按国家有关规范或根据实际情况确定； | | |

* + 1. 基坑支护结构、基坑周边建（构）筑物和地面沉降、地下水控制计算和验算应采用下列设计表达式：建筑基坑设计规程

1 承载能力极限状态的设计表达式应满足下列规定：

1. 支护结构构件或连接因超过材料强度或过度变形的承载能力极限状态设计，应符合下式要求：

（3.2.3-1）

式中——支护结构重要性系数；

——作用基本组合的效应（轴力、弯矩等）设计值；

——结构构件的抗力设计值。

对临时性支护结构，作用基本组合的效应设计值应按下式确定：

（3.2.3-2）

式中——作用基本组合效应的综合分项系数；

——作用标准组合的效应。

1. 稳定性计算和验算，应符合下式要求：

（3.2.3-3）

式中RK——稳定分析时的抗力标准值；

SK——稳定分析时作用标准组合的效应；

K——安全系数。

2 根据正常使用极限状态设计时，支护结构和土体的变形应符合下式要求：

（3.2.3-4）

式中δd——作用标准组合的效应(位移、沉降等)计算值；

C——位移、沉降等的限值。

* + 1. 基坑支护结构设计采用以分项系数表达的极限状态设计表达式进行计算：

1 基坑稳定性验算的作用组合效应，应按承载能力极限状态下作用基本组合的效应，综合分项系数为1.0。

2 基坑支护结构构件承载能力计算的作用组合效应，应按承载能力极限状态下作用基本组合的效应，综合分项系数不应小于1.25。

3 基坑支护结构构件正常使用极限状态计算的作用组合效应，应采用作用标准组合的效应。

4 对安全等级为一级、二级、三级的支护结构，其结构重要性系数分别不应小于1.1、1.0、0.9。

* + 1. 设明挖隧道主体结构的荷载组合及分项系数应根据《铁路工程结构可靠性设计统一标准》GB 50216、《建筑结构可靠性计统一标准》GB50068的有关规定选取。

## 结构形式

* + 1. 明挖隧道结构应符合下列规定：

1 可采用整体式现浇钢筋混凝土框架结构或装配式钢筋混凝土框架结构；

2 围护结构的地下连续墙或灌注桩宜作为主体结构侧墙的一部分与主体结构共同受力。墙体的结合方式可选用叠合式或复合式构造；

3 作为侧墙一部分利用的围护桩、地下连续墙，应考虑在使用期内围护结构的材料劣化，内力向主体结构转移的影响；

4 确能满足耐久性要求时，可将地下连续墙作为主体结构单一侧墙。

* + 1. 明挖隧道结构宜设计为闭合式。

# 岩土勘察与环境调查

## 一般规定

* + 1. 明挖法隧道工程地质勘察工作应综合运用工程地质调绘、地质钻探、物探、原位测试等勘察手段，查明明挖区工程地质条件及水文地质条件，进行岩土工程评价，提供设计、施工及岩土治理所需的岩土参数，预测工程实施对周边环境的影响，并提出工程监测、环境保护建议。
    2. 地质勘察遇到下列情况时应进行专项勘察或专题研究：

1 水文地质条件特别复杂区域；

2 明挖周边管线及建（构）筑物较多，且邻近环境复杂的区域；

3 岩溶强烈发育带、活动断层带、有害气体或可燃气体发育地段、风化深槽等重大不良地质及构造发育区域；

4 遇到新的工程地质问题，没有成熟的工程处理措施和建设经验。

* + 1. 观测点、测试点和勘探点的布置应能满足工程建设需求，具有代表性，能判明重要的地质界线并査明工程地质状况，其密度、深度应根据勘察阶段、支护方案及周边环境等确定。
    2. 明挖法隧道工程地质勘察应包含下列内容：

1 查明明挖场地内的地层岩性、埋藏条件、均匀性及各层土的物理力学性质指标。

2 查明岩土是否具有膨胀性、湿陷性、触变性、冻胀性及地震液化等不良性状。

3 查明明挖场地内及其附近有无影响工程稳定性的不良地质现象，查明不良地质现象的类型、成因、分布范围，对明挖工程的影响并提出整治方案和建议。

4 查明埋藏的河道、溶洞、沟浜、洞穴、孤石等对工程不利的埋藏物。

5 有地下水时，查明各含水层的埋深、厚度和分布，判定地下水的类型、补给和排泄条件；承压水时，应分层测量水头高度。

6 明挖深度1~2倍范围内相邻构（建）筑物、铁路、道路、管线等类型及其重要性，地下、地面输水等用水设施及其渗漏情况。

* + 1. 明挖法隧道应根据场地复杂程度等级进行勘察。场地复杂程度等级可根据地形地貌、工程地质条件、水文地质条件进行划分，从一级开始，向二级、三级推定，以最先满足的为准。当明挖隧道长度较大时，宜对复杂程度等级进行分段划分。

1 符合下列条件之一者为一级复杂场地（或复杂场地）

1）地形地貌复杂。

2）建筑抗震危险和不利地段。

3）不良地质作用强烈发育。

4）需要专项处理的特殊性岩土。

5）地基、围岩或边坡的岩土性质较差。

6）地下水对工程的影响较大需要进行专项研究和治理。

2 符合下列条件之一者为二级复杂场地（或中等复杂场地）

1）地形地貌较复杂。

2）建筑抗震一般地段。

3）不良地质作用一般发育。

4）需要专项处理的特殊性岩土。

5）地基、围岩或边坡的岩土性质一般。

6）地下水对工程的影响较小。

3 符合下列条件之一者为三级复杂场地（或简单场地）

1）地形地貌简单。

2）抗震设防烈度小于或等于6度或对建筑抗震有利地段。

3）不良地质作用不发育。

4）地基、围岩或边坡的岩土性质较好。

5）地下水对工程无影响。

* + 1. 明挖法隧道工程各个勘察阶段应采用搜集资料、访问调查、现场量测等方法，必要时可以采用物探或人工挖探等勘察手段，查明下列明挖隧道周边环境条件：

1 既有建（构）筑物的类型、层数、位置、开裂情况、基础形式和尺寸、埋深，使用年限等；

2 各种既有电缆、管线、地下构筑物的位置、尺寸、埋深、围护结构等；

3 道路的类型、位置、宽度、道路行驶情况、最大车辆荷载等；

4 明挖隧道开挖与支护结构使用期内施工材料、设备等临时荷载要求；

5 雨期时场地周围地表汇水和排泄条件。

* + 1. 基坑工程应参照现行《建筑基坑支护技术规程》JGJ120的有关规定实施水文地质勘察。地下水较丰富时，应进行抽水试验，并结合长期水文观测资料，提出基坑支护、地下水控制方案中抗浮设计水位建议；水文地质条件复杂时应进行专项的水文地质勘察工作。
    2. 边坡工程应参照现行《建筑边坡工程技术规范》GB50330有关规定进行勘察。

## 可行性研究勘察

* + 1. 可行性研究阶段勘察应查明铁路明挖隧道工程线路场地的工程地质条件、水文地质条件及周边环境条件，并重点研究控制线路方案的主要工程地质问题和重要的周边环境，为明挖方案比选、设计、设备选型、环境保护、技术经济论证等提供地质资料。
    2. 可行性研究阶段勘察应包含下列内容：

1 搜集区域内地质、地形、地貌、水文、气象、地灾、地震等资料，以及相关工程建设经验。

2 调查线路沿线的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质特性及工程地质特性条件。划分地貌单元，进行工程地质初步分区，评价场地的稳定性和适宜性。

3 调查沿线各类不良地质、特殊岩土的类型、性质及分布范围，分析其对线路的影响，提出规避和防治的初步建议。

4 调查地下水类型、埋藏条件、地下水动态变化规律等水文地质条件，必要时按地貌单元选择代表性地段进行水文地质试验，提供水文地质参数。

5 调查工程周边环境，对控制线路方案的工程周边环境，分析其相互影响，提出规避和防治的初步建议。

6 评价线路方案的工程地质条件，分析其存在的工程地质问题，提出线路方案比选的建议。

* + 1. 可行性研究勘察的资料收集和分析宜包含以下内容：

1 工程所在地的水文、气象资料，以及相关的水利、防洪设施等资料。

2 区域地质、构造、地震及液化等资料。

3 沿线的地形、地貌、地层岩性、地下水、特殊岩土、不良地质和地质灾害等资料。

4 沿线河、湖、沟、坑的历史变迁及工程活动引起的地质变化等资料。

5 在收集资料的基础上勘探点间距不宜大于1km。

6 勘探点的数量应满足工程地质分区的要求，每个工程地质单元均应布置勘探点，在地质条件复杂地段，应加密勘探。

7 控制线路方案的江、河、湖等地表水及不良地质和特殊岩土地段应布置勘探点。

8 勘探孔的深度应满足场地稳定性、适宜性评价和明挖设计、工法选择等需要。

## 初步勘察

初步勘察阶段勘察应初步查明明挖场地范围内的不良地质和特殊岩土及周边环境风险，预测可能出现的工程地质问题，为明挖方案比选、支护设计及环境保护等提供地质资料。

* + 1. 初步勘察阶段应开展以下工作：

1 初步查明地形地貌、地层岩性、地质构造。

2 初步查明不良地质、特殊岩土及其成因类型、分布规律。

3 初步查明地下水类型、埋藏条件、地下水动态变化规律等水文地质条件，必要时按地貌单元选择代表性地段进行水文地质试验，提供水文地质参数。

4 对抗震设防烈度大于或等于 6 度的场地，应初步评价场地和地基的地震效应。

5 初步评价水土腐蚀性。

* + 1. 初步勘察的勘探点宜沿明挖界线周边布置，明挖的主要转角处宜有勘探孔控制，且勘探点间距不宜大于200m。
    2. 初步勘察的勘探工作应符合下列要求：

1 勘探、测试的重点应是控制和影响明挖段的不良地质、特殊岩土及地质条件复杂地段，一般地段也应布置适当的勘探测试点，避免遗漏隐蔽的工程地质问题。

2 勘探点间距宜为100~200m，明挖段四周角点、中间均应布置勘探点。在地貌和地层变化较大地段、不良地质发育及特殊岩土发育地段，应加密勘探。

* + 1. 可行性研究勘察的深度应根据地质条件及设计方案综合确定，并符合以下规定：

1 一般性勘探孔土质地层勘探深度不应小于明挖深度的2.5倍，且满足基础设置要求；全风化岩质地层应进入结构底板以下不应小于10m；在结构埋深范围内如遇中等风化、微风化岩石地层进入结构底板以下不应不小于5m。

2 控制性勘探孔土质地层勘探深度不应小于明挖深度的3倍，并满足变形验算要求，全风化岩质地层应进入结构底板以下不应小于15m；在结构埋深范围内如遇中等风化、微风化岩石地层进入结构底板以下不应不小于5~8m

3 明挖底面以下存在软弱土层或承压水含水层时，勘探孔深度应穿过软弱土层或承压水含水层。

4 地震动峰值加速度为0.1g及以上地区，地基土为饱和砂土、粉土时，勘探孔深度应大于地震可液化层深度。

5 探明地质构造、水文地质条件以及特殊需要的勘探测试孔深度可视具体情况确定。

6 遇岩溶和破碎带时勘探孔深度应适当加深。

* + 1. 可行性研究阶段勘察测试、试验工作应符合下列规定：

1 每一主要岩土层均应进行取样，取样数量不少于勘探点总数的2/3。

2 按水文地质单元采取代表性的地表水和地下水样进行测试试验。

3 主要岩土层应进行原位测试工作。

## 详细勘察

详细勘察阶段勘察应结合明挖法隧道及其附属结构物的类型、结构形式、埋置深度等特点，详细查明工程地质与水文地质条件，预测可能出现的工程地质问题，为明挖施工设计、环境保护提供资料。

* + 1. 详细勘察阶段勘察工作应包含下列内容：

1 详细查明工程场地的地形地貌、地层岩性、地质构造等的类型、成因、分布范围和工程特性。

2 详细查明不良地质和特殊岩土的类型、分布范围、发育特征、发展趋势及其对工程的影响程度。

3 详细查明地表水体的水位、水深、水质、淤积物及其与地下水的水力联系等。

4 详细查明明挖段地下水类型、水压、渗透系数等水文地质条件，必要时应查明地下水的流速及流向。

5 对明挖段的稳定性进行评价，分析明挖、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，预测明挖发生渗流破坏和基底突涌的可能性及危害程度。

7 分析工程降水、明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 对抗震设防烈度大于或等于6度的场地，应评价场地和地基的地震效应。

9 判定地下水和地表水对建筑材料的腐蚀性。

* + 1. 详勘阶段，明挖隧道宜根据场地的复杂程度，按表4.4.1的规定进行孔位布置。

表4.4.1 明挖隧道布孔原则

|  |  |
| --- | --- |
| 场地复杂程度 | 勘探点间距（m） |
| 简单场地 | 50～60 |
| 中等复杂场地 | 30～50 |
| 复杂场地 | 10～30 |

* + 1. 勘探点宜沿明挖边界外按开挖深度的1倍~2倍范围内布置勘探点；明挖边界外无法布置勘探点时，应以调查研究、搜集既有资料为主。
    2. 在地貌、地质单元交接部位、地层变化较大地段以及不良地质作用和特殊性岩土发育地段应扩大勘察范围和加密勘探点。
    3. 明挖端头部位应布置勘探横剖面，且每条剖面上勘探孔不少于2个。
    4. 勘探孔深度应符合下列规定：

1 勘探孔深度应根据基础类型、基础埋置深度、结构底板深度、地质条件、地下水控制等综合确定。

2 控制性勘探孔深度应满足稳定性分析、抗浮设计以及地下水控制的要求，土质地层勘探深度不应小于明挖深度的2~3倍，全风化岩质地层应进入结构底板以下不应小于10m，岩质地层应进入结构底板以下中等风化、微风化岩石不小于5m。

3 一般性勘探孔土质地层勘探深度不应小于明挖深度的2.5倍；全风化岩质地层应进入结构底板以下不应小于8m；在结构埋深范围内如遇中等风化、微风化岩石地层进入结构底板以下不应不小于3m。

4 当采用立柱桩、抗拔桩时，勘探孔深度应满足其设计要求。

5 明挖底面以下存在软弱土层或承压水含水层时，勘探孔深度应穿过软弱土层或承压水含水层。

6 地震动峰值加速度为 0.1g及以上地区，地基土为饱和砂土、粉土时，勘探孔深度应大于地震可液化层深度。

7 探明地质构造、水文地质条件以及特殊需要的勘探测试孔深度可视具体情况确定。

* + 1. 取样、原位测试的勘探点数量不应少于勘探点总数的2/3。
    2. 岩、土、水样在送样过工中应注意采取避光、减震等措实，减少对试样的扰动中破坏。原位测试试验应满足现行《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018相关规定。
    3. 原位测试和室内试验及各层土的物理性质指标和力学指标应参照现行《岩土工程勘察规范》GB 50021的规定执行；对主要土层和厚度大于3m 的素填土，应按现行《建筑基坑支护技术规程》JGJ120的规定进行抗剪强度试验并提出相应的抗剪强度指标。
    4. 明挖法隧道工程地质勘察宜在明挖范围外布置勘探孔；所有勘探孔在勘探、测试工作结束后，土层地段、岩层地段应分别采用水泥砂浆、微膨胀水泥砂浆进行封填，并详细记录勘探孔内遗留物。

## 施工阶段勘察

* + 1. 施工阶段勘察应针对施工方法、施工工艺的特殊要求和施工中可能出现的工程地质、水文地质问题等开展工作，满足施工方案调整和风险控制的要求。施工阶段勘察应根据工程问题的复杂程度，结合已有勘察成果及场地条件确定工作方法及工作量。
    2. 施工阶段遇下列情况宜进行施工阶段勘察：

1 施工中出现地质异常，影响施工安全或工程稳定。

2 场地内不良地质、特殊岩土异常发育，影响施工安全或工程稳定。

3 施工中出现突水、涌泥、失稳、坍塌等工程地质问题。

4 施工中发生地面沉降过大、地面塌陷、相邻建筑开裂破坏等工程环境问题。

5 施工方案发生较大变 更或采用了新技术、新工艺、新方法、新材料，详勘和施工图阶段勘察资料不能满足要求。

6 需进行施工阶段勘察的其他情况。

## 岩土测试

* + 1. 明挖勘察应结合根据开挖方法和支护设计的需要，确定勘察的范围，采用综合勘察手段，查明沿线地质构造、岩土类型及分布、岩土物理力学性质，并按表4.6.1开展岩土测试工作，提供必要的岩土参数。

表4.6.1 明挖法隧道勘察岩土参数选择表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 开挖施工方法 | | 密度 | 黏聚力 | 内摩擦角 | 静止侧压力系数 | 无侧限抗压强度 | 十字板剪切强度 | 水平抗力系数的比例系数 | 回弹及回弹再压缩模量 | 弹性模量 | 渗透系数 | 土体与锚固体粘结强度 | 桩基设计参数 |
| 放坡开挖 | | √ | √ | √ | — | √ | △ | — | — | — | √ | — | — |
| 支护开挖 | 土钉墙 | √ | √ | √ | — | √ | △ | — | — | — | √ | √ | — |
| 排桩 | √ | √ | √ | √ | √ | △ | △ | △ | △ | √ | △ | △ |
| 钢板桩 | √ | √ | √ | △ | √ | △ | △ | △ | △ | √ | △ | — |
| 地下连续墙 | √ | √ | √ | √ | √ | △ | △ | √ | √ | √ | △ | △ |
| 水泥土挡墙 | √ | √ | √ | — | √ | △ | — | — | — | √ | — | — |
| 盖挖 | | √ | √ | √ | √ | √ | △ | √ | △ | √ | √ | — | √ |

注：△表示可提供，√表示应提供，—表示可不提供

* + 1. 土的抗剪强度指标应结合土的性质、支护形式以及基坑开挖等级等合理确定试验方法，也可结合工程经验综合确定。
    2. 岩土测试应符合以下要求：

1 每一地质单元的主要岩土层原位测试或岩土样试验数据不应少于6件（组）。

2 明挖底部压缩层范围内的土层宜进行回弹再压缩试验。

3 采取地表水、地下水试样及明挖范围内的岩土试样应进行腐蚀性试验。

4 当地下水对明挖工程影响较大或需进行地下水控制时，宜进行水文地质试验。

5 岩石主要测试项目应包括岩石单轴抗压及抗拉强度、抗剪强度、软化系数、弹性模量等。

## 勘察成果

* + 1. 工程地质勘察报告应在搜集已有资料，取得工程地质调绘、勘探、测试、试验等成果的基础上，结合勘察阶段、工程特点、设计方案、施工方法等，进行综合地质分析。
    2. 工程地质与水文地质参数应结合原位测试、室内试验和当地工程经验等综合确定。
    3. 工程地质勘察报告应资料完整、数据真实、内容可靠，工程地质分析评价应论据充分、针对性强。
    4. 工程地质分析评价应包括下列内容：

1 评价工程建设场地的稳定性、适宜性。

2 划分场地土类型和场地类别，评价场地和地基土地震效应。

3 提出开挖方法、计算参数和支护结构选型的建议。

4 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案的建议。

5 提供防渗和抗浮设防水位。

6 软弱结构面的空间分布、特性及其对边坡、坑壁的影响。

7 评价水和土对建筑材料腐蚀性。

8 根据周边建（构）筑物、地下管线等在施工过程中的安全性，提出迁改、防护等措施建议。

9 预测工程建设对周边环境影响，提出防护措施建议。

10 对不良地质作用和特殊岩土可能引起的明挖法施工风险提出控制性措施的建议。

* + 1. 工程地质勘察报告应包括文字、表格、图件，重要的支持性资料可作为附件。

## 环境调查

* + 1. 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成都及破坏后果的严重程度进行划分。

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。

* + 1. 环境调查应调查基坑周边2倍开挖深度范围内建（构）筑物及设施的状况，当在2～4倍开挖深度范围内有优秀历史建筑、有精密仪器与设备的厂房、其它采用天然地基或短桩基础的重要建（构）筑物、轨道交通设施、隧道、防汛墙、共同沟、原水管、自来水总管、煤气总管等重要建（构）筑物或设施时亦应调查这些被保护对象的状况。
    2. 对环境保护等级为一级的基坑应进行专项环境调查工作并提供调查报告，调查报告应能满足环境影响分析与评价的需要。专项环境调查包括如下内容∶

1 建（构）筑物应查明其用途、平面位置、层数、结构形式、材料类型、基础形式与埋深、历史沿革及现状、荷载、沉降、倾斜、裂缝情况、有关竣工资料（如平面图、立面图和剖面图等）及保护要求等;对优秀历史建筑，应根据有关规定对其进行房屋结构质量检测与鉴定，以估计其抵抗变形的能力。

2 隧道、防汛墙、共同沟等建（构）筑物应查明其平面位置、埋深、材料类型、断面尺寸、受力情况及保护要求等。

3 管线应协同有关管线单位查明其平面位置、直径、材料类型、埋深、接头形式、压力、输送的物质（油、气、水等）、建造年代及保护要求等。

# 设计荷载

## 一般规定

* + 1. 地层压力应根据结构所处工程地质和水文地质条件、埋置深度、结构形式及其工作条件、施工方法及相邻隧道间距等因素，结合已有的试验、测试和研究资料确定。岩质隧道的围岩压力可根据围岩分级，按现行标准《铁路隧道设计规范》（TB 10003）的有关规定确定。明挖隧道可按下列方法和原则计算土压力：

1 竖向压力应按下列规定计算：

1）明、盖挖法施工的结构宜按计算截面以上全部土柱重量计算；

2）竖向荷载应结合地面及临近的任何其他荷载对竖向压力的影响进行计算。

2 水平压力应按下列规定计算：

1）施工期间作用在支护结构主动区的土压力宜根据变形控制要求在主动土压力和静止土压力之间选择，在支护结构的非脱离区或给支护结构施加预应力时应计入土体抗力的作用；

2）明挖结构长期使用阶段或逆作法结构承受的土压力宜按静止土压力计算；

3）明挖法的围护结构，应计及100％的土压力作用；当围护结构的地下连续墙或灌注桩宜作为主体结构侧墙的一部分与主体结构共同受力时，主体结构与围护结构共同分担的土压力，分别按最大、最小侧压力两种情况，与其他荷载进行不利组合计算；

4）荷载计算应计及地面荷载和破坏棱体范围的建（构）筑物，以及施工机械等引起的附加水平侧压力。

* + 1. 作用在地下结构上的水压力，应根据施工阶段和长期使用过程中地下水位的变化，以及不同的地质条件，分别按下列规定计算：

1 水压力可按静水压力计算，并应根据设防水位以及施工阶段和使用阶段可能发生的地下水最高水位和最低水位两种情况，计算水压力和浮力对结构的作用；

2 砂性土地层的侧向水、土压力应采用水土分算；

3 黏性土地层的侧向水、土压力，在施工阶段应采用水土合算，使用阶段应采用水土分算。

* + 1. 直接承受铁路车辆荷载的楼板等构件，应按铁路车辆的实际轴重和排列计算其产生的竖向荷载作用，并应计入车辆的动力作用。
    2. 疏散平台、楼板和楼梯等部位的人群均布荷载的标准值可采用4.0kPa。
    3. 地下结构应按下列施工荷载之一或可能发生的组合设计：

1 设备运输及吊装荷载；

2 施工机具荷载，不宜超过10kPa；

3 地面堆载，宜采用20kPa，盾构井处应根据盾构施工情况取值且不应小于30kPa；

4 邻近隧道开挖的影响；

5 盾构施工及其配套设备对明挖地下结构引起的荷载；

6 注浆所引起的附加荷载；

* + 1. 在道路下方的隧道，应按现行《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的有关规定确定地面车辆荷载及排列；铁路下方隧道的荷载，应按现行《铁路桥涵设计规范》TB 10002的有关规定执行。
    2. 隧道结构温度变化影响应根据所处地区的气温条件、运营环境及施工条件确定。

## 土压力

* + 1. 计算作用在支护结构上的土压力荷载时，应考虑以下因素：

1 基坑结构内外土体的自重

2 基坑周边既有建（构）筑物的荷载

3 基坑周边材料、机械设备等施工荷载

4 基坑周边道路车辆荷载

5 当位于特殊环境时需考虑土体膨胀、冻胀等荷载左右。

* + 1. 作用在支护结构上的土压力应按下列规定确定:

1 支护结构外侧的主动土压力强度标准值、支护结构内侧的被动土压力强度标准值宜按下列公式计算（图5.2.2):

1. 对地下水位以上或水土合算的土层

 (5.2.2-1)

 (5.2.2-2)

 (5.2.2-3)

 (5.2.2-4)

式中:——支护结构外侧，第i层土中计算点的主动土压力强度标准值(kPa);当≤0时，应取=0;

、——分别为支护结构外侧、内侧计算点的土中竖向应力标准值(kPa)，按本规程第5.2.4条的规定计算﹔

、——分别为第i层土的主动土压力系数、被动土压力系数;

、——分别为第i层土的黏聚力（kPa)、内摩擦角（°);按本规程第5.2.5条的规定取值;

——支护结构内侧，第i层土中计算点的被动土压力强度标准值（kPa)。

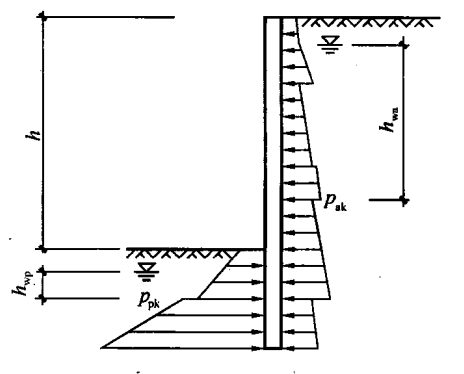


图5.2.2 土压力计算

1. 对于水土分算的土层

 (5.2.2-5)

 (5.2.2-6)

2 式中: 、——分别为支护结构外侧、内侧计算点的水压力(kPa);对静止地下水，按本规程第5.3.1条的规定取值;当采用悬挂式截水帷幕时，应考虑地下水从帷幕底向基坑内的渗流对水压力的影响。

3 在土压力影响范围内,存在相邻建筑物地下墙体等稳定界面时，可采用库仑土压力理论计算界面内有限滑动楔体产生的主动土压力，此时，同一土层的土压力可采用沿深度线性分布形式，支护结构与土之间的摩擦角宜取零。

4 需要严格限制支护结构的水平位移时，支护结构外侧的土压力宜取静止土压力。

5 有可靠经验时，可采用支护结构与土相互作用的方法计算土压力。

* + 1. 对成层土，土压力计算时的各土层计算厚度应符合下列规定:

1 当土层厚度较均匀、层面坡度较平缓时，宜取邻近勘察孔的各土层厚度,或同一计算剖面内各土层厚度的平均值;

2 当同一计算剖面内各勘察孔的土层厚度分布不均时，应取最不利勘察孔的各土层厚度;

3 对复杂地层且距勘探孔较远时，应通过综合分析土层变化趋势后确定土层的计算厚度;

4 当相邻土层的土性接近，且对土压力的影响可以忽略不计或有利时，可归并为同一计算土层。

* + 1. 土中竖向应力标准值应按下式计算:

 (5.2.4-1)

 (5.2.4-2)

式中: —支护结构外侧计算点，由土的自重产生的竖向总应力(kPa);

—支护结构内侧计算点，由土的自重产生的竖向总应力(kPa);

一支护结构外侧第j个附加荷载作用下计算点的土中附加竖向应力标准值（kPa)，应根据附加荷载类型，按本规程第5.4.1条～第5.4.3条计算。

* + 1. 土压力及水压力计算、土的各类稳定性验算时，土、水压力的分、合算方法及相应的土的抗剪强度指标类别应符合下列规定:

1 对地下水位以上的黏性土、黏质粉土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标、或直剪固结快剪强度指标、，对地下水位以上的砂质粉土、砂土、碎石土，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标c'、﹔

2 对地下水位以下的黏性土、黏质粉土，可采用土压力、水压力合算方法;此时，对正常固结和超固结土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标、或直剪固结快剪强度指标、，对欠固结土，宜采用有效自重压力下预固结的三轴不固结不排水抗剪强度指标、 ;

3 对地下水位以下的砂质粉土、砂土和碎石土，应采用土压力、水压力分算方法;此时，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标c'、，对砂质粉土，缺少有效应力强度指标时，也可采用三轴固结不排水抗剪强度指标、或直剪固结快剪强度指标、代替，对砂土和碎石土，有效应力强度指标可根据标准贯入试验实测击数和水下休止角等物理力学指标取值;土压力、水压力采用分算方法时，水压力可按静水压力计算;当地下水渗流时，宜按渗流理论计算水压力和土的竖向有效应力;当存在多个含水层时，应分别计算各含水层的水压力;

4 有可靠的地方经验时，土的抗剪强度指标尚可根据室内、原位试验得到的其他物理力学指标，按经验方法确定。

## 水压力

* + 1. 基坑内外无地下水渗流时，作用于隧道支护结构上的水压力应按静止水压力计算，可通过下列公式计算。

 （5.3.1-1）

 （5.3.1-2）

式中：——水的重度（kN/m3）；

——基坑外侧地下水位至主动土压力强度计算点的垂直距离（m）；对承压水，地下水位取测压管水位；对于多个含水层，应取计算点所在含水层的地下水位；

——基坑内侧地下水位至被动土压力强度计算点的垂直距离（m）；对承压水，地下水位取测压管水位。

* + 1. 坑支护结构采用悬挂式止水帷幕，有地下水稳态渗流时，宜按渗流理论计算水压力和土的竖向有效应力。
    2. 基坑范围内有多个含水层时，应分别计算各含水层的水压力。

## 其它荷载

* + 1. 当基坑支护结构外侧地面作用满布附加荷载q0时，支护结构外侧任意深度附加竖向应力标准值可按下式计算：

 （5.4.1）

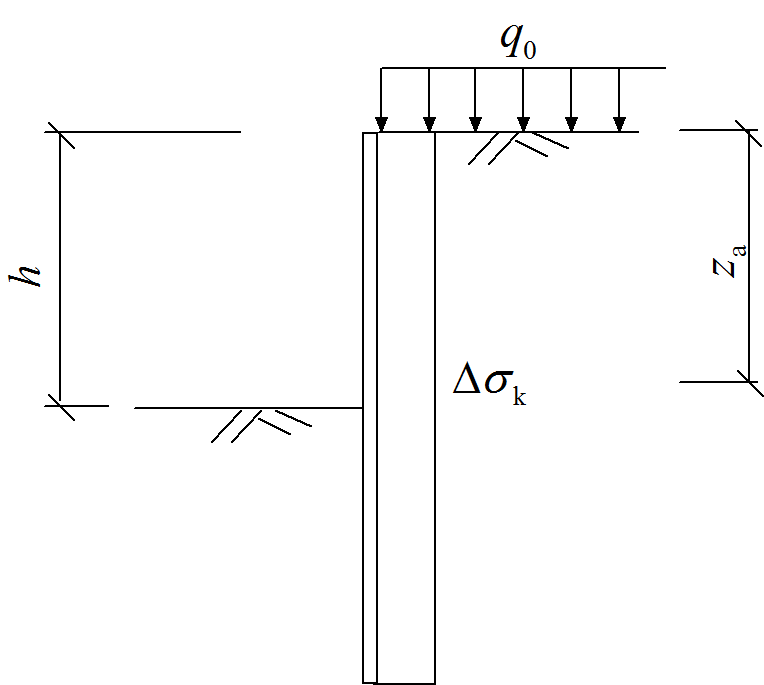


图5.4.1地面均布荷载时基坑外侧附加竖向应力计算

* + 1. 当基坑支护结构外侧地面作用局部附加荷载p0时，支护结构外侧任意深度附加竖向应力标准值可按下式计算：

1 对条形基础下的附加荷载（图5.4.2a）：

当时

 （5.4.2-1）

式中：——基础底面附加压力标准值（kPa）；

——基础埋置深度（m）；

——基础宽度（m）；

——支护结构外边缘至基础的水平距离（m）；

——附加荷载的扩散角（°），宜取

——支护结构顶面至土中附加竖向应力计算点的竖向距离。

当或时，。

2 对矩形基础下的附加荷载（图5.4.2a）：

当时

 （5.4.2-2）

式中：——与基坑边垂直方向上的基础尺寸（m）；

——与基坑边平行方向上的基础尺寸（m）；

当或时，。

图示, 工程绘图

描述已自动生成

图5.4.2地面局部荷载时基坑外侧附加竖向应力计算

3 对作用在地面的条形、矩形附加荷载，按本条第1、2款计算土中附加竖向应力标准值时，应取（图5.4.2b）。

* + 1. 当支护结构顶部低于地面，其上方采用放坡或土钉墙时，支护结构顶面以上土体对支护结构的作用宜按库伦土压力理论计算，也可将其视作附加荷载并按下列公式计算土中附加竖向应力标准值：

图示, 工程绘图

描述已自动生成

图5.4.3支护结构顶部以上采用放坡或土钉墙时土中附加竖向应力计算

1 当时

 （5.4.3-1）

 （5.4.3-2）

2 当时

 （5.4.3-3）

3 当时

 （5.4.3-4）

式中：——支护结构顶面至土中附加竖向应力计算点的竖向距离（m）；

——支护结构外边缘至放坡坡脚的水平距离（m）；

——放坡坡面的水平尺寸（m）；

——附加荷载的扩散角（°），宜取

——地面至支护结构顶面的竖向距离（m）；

——支护结构顶面以上土的天然重度（kN/m3）；对多层土取各层土按厚度加权的平均值；

——支护结构顶面以上土的粘聚力（kPa）；

——支护结构顶面以上土的主动土压力系数；对多层土取各层土按厚度加权的平均值；

——支护结构顶面以上土体的自重所产生的单位宽度主动土压力标准值（kN/m）。

# 建筑材料

## 一般规定

* + 1. 明挖隧道工程常用的各种建筑材料，按强度等级划分如下。

1 混凝土：C15、C20、C25、C30、C35、C45、C50、C55、C60；

2 钢筋：HPB300、HRB400、HRB500、RRB400、HRBF400、HRBF500。

* + 1. 工程材料应根据结构类型、受力条件、使用要求和所处环境，并结合其可靠性、耐久性和经济性选用。
    2. 混凝土的原材料和配比、最低强度等级、最大水胶比和单方混凝土最小胶凝材料用量等，应符合耐久性要求，满足抗裂、抗渗、抗冻和抗侵蚀的需要。一般环境条件下隧道结构及作为永久结构的地下连续墙或灌注桩的混凝土强度等级不得低于C35，底板填充混凝土等级不得低于C20。
    3. 大体积浇筑的混凝土应避免采用高水化热水泥，并宜适量掺入减水剂、优质粉煤灰或磨细矿渣等，同时应严格控制水泥用量，限制水胶比及混凝土入模温度。
    4. 普通钢筋混凝土和喷锚支护结构中的钢筋应按下列规定选用：

1 梁、柱纵向受力钢筋应采用HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500钢筋，其他钢筋也可采用HPB300、RRB400钢筋；

2 箍筋宜采用HRB400、HRBF400、HPB300、HRB500、HRBF500钢筋。

* + 1. 喷射混凝土应采用湿喷混凝土，最低强度不小于为C25。
    2. 注浆材料宜采用对地下环境无污染及后期收缩小的材料。

## 混凝土

* + 1. 混凝土强度等级按照《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 规定分级。
    2. 混凝土轴心抗压强度标准值fck按下表采用。

表6.2.2 混凝土轴心抗压强度标准值（N/mm2）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 强度 | 混凝土强度等级 | | | | | | | | | |
| C15 | C20 | C25 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | C55 | C60 |
| fck | 10.0 | 13.4 | 16.7 | 20.1 | 23.4 | 26.8 | 29.6 | 32.4 | 35.5 | 38.5 |

* + 1. 混凝土轴心抗拉强度标准值ftk按下表采用。

表6.2.3 混凝土轴心抗拉强度标准值（N/mm2）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 强度 | 混凝土强度等级 | | | | | | | | | |
| C15 | C20 | C25 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | C55 | C60 |
| ftk | 1.27 | 1.54 | 1.78 | 2.01 | 2.20 | 2.39 | 2.51 | 2.64 | 2.74 | 2.85 |

* + 1. 混凝土轴心抗压强度设计值fc按下表采用。

表6.2.4 混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm2）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 强度 | 混凝土强度等级 | | | | | | | | | |
| C15 | C20 | C25 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | C55 | C60 |
| fc | 7.2 | 9.6 | 11.9 | 14.3 | 16.7 | 19.1 | 21.1 | 23.1 | 25.3 | 27.5 |

* + 1. 混凝土轴心抗拉强度设计值ft按下表采用。

表6.2.5 混凝土轴心抗拉强度设计值（N/mm2）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 强度 | 混凝土强度等级 | | | | | | | | | | |
| C15 | C20 | C25 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | C55 | C60 |
| ft | 0.91 | 1.10 | 1.27 | 1.43 | 1.57 | 1.71 | 1.80 | 1.89 | 1.96 | 2.04 |

* + 1. 混凝土受压和受拉的弹性模量Ec宜按表下表采用。

表6.2.6 混凝土弹性模量（×104N/mm2）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度等级 | C15 | C20 | C25 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | C55 | C60 |
| Ec | 2.20 | 2.55 | 2.80 | 3.00 | 3.15 | 3.25 | 3.35 | 3.45 | 3.55 | 3.60 |

注:1当有可靠试验依据时，弹性模量可根据实测数据确定;

2当混凝土中掺有大量矿物掺合料时，弹性模量可按规定龄期根据实测数据确定。

混凝土的剪切变形模量Gc可按其弹性模量值40%采用。

混凝土泊松比Vc可取0.2。

## 钢筋

* + 1. 普通钢筋的屈服强度标准值fyk、极限强度标准值fstk应按下表采用。

表6.3.1 普通钢筋强度标准值（N/mm2）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 符号 | 公称直径d(mm) | 屈服强度标准值fyk | 极限强度标准值fstk |
|
| HPB300 |  | 6～14 | 300 | 420 |
| HRB335 |  | 6～14 | 335 | 455 |
| HRB400  HRBF400  RRB400 |  | 6～50 | 400 | 540 |
| F |
| R |
| HRB500  HRBF500 |  | 6～50 | 500 | 630 |
| F |

* + 1. 普通钢筋的抗拉强度设计值fy、抗压强度设计值fy’应按下表采用。对轴心受压构件，当采用HRB500、HRBF500钢筋时，钢筋的抗压强度设计值fy’应取400N/mm2。横向钢筋抗拉强度设计值fyv应取fy；用做受剪、受扭、受冲切承载力计算，当数值大于360N/mm2时取360N/mm2。

表6.3.2 普通钢筋强度设计值（N/mm2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 牌号 | 抗拉强度设计值 | 抗压强度设计值 |
| HPB300 | 270 | 270 |
| HRB335 | 300 | 300 |
| HRB400、HRBF400、RRB400 | 360 | 360 |
| HRB500、HRBF500 | 435 | 435 |

* + 1. 普通钢筋最大力下的总伸长率不应小于下表要求。

表6.3.3 普通钢筋最大力下的总伸长率限值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 钢筋品种 | 普通钢筋 | | |
| HPB300 | HRB335、HPB400  HRBF400、HRB500、HRBF500 | RRB400 |
|
|  | 10 | 7.5 | 5 |

* + 1. 普通钢筋弹性模量Es除HPB300可取2.1×105N/mm2外，其余可取2.0×105N/mm2。

## 其他材料

* + 1. 纤维混凝土中的纤维材料可采用钢纤维、合成纤维、纤维素纤维等，纤维混凝土主要性能指标不得低于同等级普通混凝土。
    2. 明挖隧道常用的水泥砂浆标号有M10、M15、M20，其物理新能除应符合现行国家、行业相关标准的规定
    3. 隧道防水板与土工布，其物理新能除应符合现行国家、行业相关标准的规定外，尚应符合下列要求：

1 防水板宜采用高分子防水材料，不得使用再生料。

2 无纺布单位面积质量不应小于300g/m2。

* + 1. 止水带宜采用橡胶止水带或钢板橡胶止水带，止水条宜采用制品型遇水膨胀橡胶止水条。

# 基坑支护结构-

## 一般规定

* + 1. 明挖隧道基坑根据开挖深度，其安全等级应分为以下三级∶

1 基坑开挖深度大于等于12m，属一级安全等级基坑工程。

2 基坑开挖深度小于5m；属三级安全等级基坑工程。

3 除一级和三级以外的基坑均属二级安全等级基坑工程。

* + 1. 根据基坑周围环境的重要性程度及其与基坑的距离，基坑工程的环境保护等级应分为以下三级:

表7.1.2 基坑工程的环境保护等级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 环境保护对象 | 保护对象与基坑距离关系 | 基坑工程的环境保护等级 |
| 优秀历史建筑，有精密仪器与设备的厂房，采用天然地基或短桩基础的医院、学校和住宅等重要建（构）筑物，轨道交通设施，隧道，防汛墙，原水管，自来水总管，煤气总管，共同沟等重要建（构）筑物或设施 | s≤H | 一级 |
| H＜s≤2H | 二级 |
| 2H＜s≤4H | 三级 |
| 较重要的自来水管、煤气管、污水管等市政管线，采用天然地基或短桩基础的建（构）筑物等 | s≤H | 二级 |
| H＜s≤2H | 三级 |
| 注：1H为基坑开挖深度，s为保护对象与基坑开挖边线的净距。  2基坑工程环境保护等级可依据基坑各边的不同环境情况分别确定。  3位于轨道交通设施、优秀历史建筑、重要管线等环境保护对象周边的基坑工程，应遵照政府有关文件和规定执行。 | | |

* + 1. 基坑工程支护结构构件重要性系数应根据基坑安全等级及环境保护等级综合确定，安全等级及环境保护等级均为三级时，构件重要性系数不小于0.9；至少有一项为一级时，构件重要性系数取1.1；其余情况下，构件重要性系数取1.0。
    2. 基坑支护结构应满足下列功能要求：

1 保证基坑周边建（构）筑物、管线、道路等设施的安全与正常使用；

2 保证地下主体结构的正常施工。

* + 1. 基坑支护结构应根据基坑周边环境条件、基坑规模、工程地质与水文地质条件、施工条件、周边相近条件基坑工程经验、施工工期等因素，通过技术与经济比较确定。基坑支护结构可采用放坡开挖、复合土钉墙、重力式挡墙、板式支护体系等。
    2. 基坑支护设计应规定其设计使用期限。基坑支护的设计使用期限应符合工程建设需求，且应满足下列要求：

1 无支撑基坑工程设计使用年限不应小于一年；

2 有支撑基坑工程设计使用年限不应小于二年；

3 支护结构作为永久结构的一部分时，应满足永久结构的使用期限和耐久性要求；

4 当支护结构构件达到其设计使用期限而需继续使用时，应进行安全性评估。

* + 1. 基坑支护结构应满足承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计计算和验算要求，与主体结构相结合的基坑支护结构的设计计算除应符合本规范规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。
    2. 基坑工程设计时，应根据支护结构的特性、基坑的使用要求、周边环境及现场施工条件等因素，合理选择土层的物理力学性质指标和计算方法。
    3. 承载能力极限状态应计算或验算以下内容。

1 支护结构构件的承载能力计算；

2 稳定性计算和验算，主要包括基坑整体稳定性、支护结构抗倾覆稳定性及抗滑移稳定性、墙底土体抗隆起稳定性、坑底土体抗隆起稳定性、抗渗流稳定性、抗承压水稳定性等；

3 土钉、锚杆或支撑承载力以及支撑稳定性验算。

* + 1. 正常使用极限状态应计算或验算以下内容。

1 支护结构和土体的变形计算；

2 基坑周边建（构）筑物、管线及其他保护设施的变形计算；

3 支护结构有耐久性要求时，应验算支护结构构件的裂缝宽度，满足限值规定。

* + 1. 基坑支护设计计算应遵循以下原则∶

1 基坑侧壁与主体地下结构的净空间和地下水控制应满足主体地下结构及其防水的施工要求；采用锚杆时，锚杆的锚头及腰梁不应妨碍地下结构外墙的施工；采用内支撑时，内支撑及腰梁的设置应便于地下结构及其防水的施工。

2 应根据基坑各部位的开挖深度、地质条件和周边环境等条件的不同，划分不同的计算剖面进行计算;

3 应根据支护结构特点和开挖回筑工序对不同设计工况分别进行计算，确保在施工期和使用期的最不利工况下支护结构均满足设计要求;

4 滨海地区软土较厚的深基坑设计时，软土参数的选取、计算结果和支护结构选择等应充分论证分析并参考已有相似支护工程的经验，评估基坑可能产生的较大变形对周边环境的影响，并加强监测；采用桩（墙）加内支撑的支护时，应考虑土压力不对称、不平衡的影响;

5 临近高边坡的基坑，应分析高边坡对基坑的影响。

* + 1. 基坑工程设计、施工前应具备以下基本资料：

1 反映建筑场地及其周边地表至基坑底面下一定深度范围内地层结构、土（岩）的物理力学性质，地下水分布、含水层类型、渗透系数和施工期地下水位可能的变化等岩土工程情况的勘察资料；

2 标有建筑红线、施工红线的总平面图、地下室及地基与基础结构设计图；

3 建筑场地内及周边的地下管线、地下设施的位置、深度、结构形式及使用现状；

4 已有邻近建筑的位置、层数或高度、结构类型、使用状况、沉降观测资料以及基础类型、埋置深度、主要尺寸、基础距基坑侧壁的净距等；

5 场地周围地区地表水汇流、排泄情况，地下水管渗漏情况以及对基坑的影响程度；

6 施工期间基坑周边的地面堆载及车辆、设备的动、静载情况等。

7 已有相似支护工程的经验性资料。

* + 1. 基坑工程设计应包括下列内容：

1 支护结构体系的方案和技术经济比较；

2 基坑支护体系的稳定性验算；

3 支护结构的强度、稳定和变形计算；

4 地下水控制设计；

5 对周边环境影响的控制设计；

6 基坑施工步序设计；

7 基坑工程的监测要求。

* + 1. 基坑支护应综合考虑场地工程地质与水文地质条件、基坑开挖深度、降排水条件、基础类型、周边环境对基坑侧壁变形控制的要求、基坑周边荷载、施工季节及施工条件、支护结构使用期限等因素，做到因地制宜、因时制宜、合理选型、优化设计、精心施工、严格监控。
    2. 支护结构选型

1 支护结构形式主要有支挡式结构、土钉墙、重力式挡墙、放坡等。

2 支护结构选型时，应综合考虑下列因素。

1）基坑深度；

2）土的性状及地下水条件；

3）基坑周边环境对基坑变形的承载能力及支护结构失效的后果；

4）主体地下结构和基础形式及施工方法、基坑平面尺寸及形状；

5）支护结构施工工艺的可行性；

6）施工场地及施工季节；

7）经济指标、环保性能和施工工期；

3 当基坑不同部位的周边环境条件、地层性状、基坑深度等不同时，可在不同部位分别采用不同的支护形式。支护结构可采用上、下部以不同结构类型组合的形式。

4 采用多种支护结构形式时，其结合处应考虑相邻支护结构的相互影响，且应有可靠的过渡连接措施。

## 支档式结构

1. 支挡式结构—结构分析
   * 1. 支挡式结构及受力分析

**7.2.1.1** 支挡式结构一般用于基坑开挖较深、施工场地有限、地质条件较差、周边环境复杂或基坑变形有较高要求时，常用的支挡式结构有排桩、地下连续墙等。

**7.2.1.2** 支挡式结构应具备可靠的隔水帷幕以保证基坑开挖，隔水帷幕的设置应满足基坑抗渗流及抗突涌稳定性要求，基坑计算应考虑开挖后坑内外地下水位变化的影响。

**7.2.1.3** 支挡式结构受力形式

* + 1. 1 支挡式结构应根据结构的具体形式与受力、变形特性等分为以下几种形式：

1）锚拉式支挡结构，将整个结构分解为挡土结构、锚拉结构进行受力分析；

2）支撑式支挡结构，将整个结构分解为挡土结构、内支撑结构进行受力分析；

3）悬臂式支挡结构。

**7.2.1.4** 支挡式结构应对以下几种设计工况进行结构分析，按最不利作用效应进行支护结构包络设计。

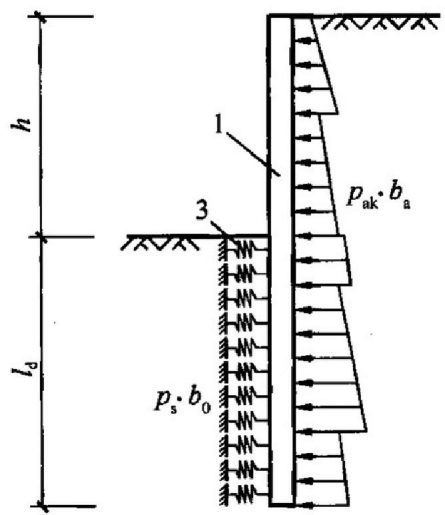
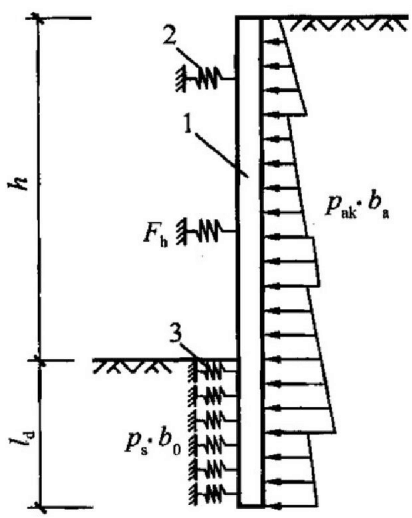
1 基坑开挖至坑底工况；

2 对锚拉式和支撑式支挡结构，基坑开支至各层锚杆或支撑施工面工况；

3 在主体地下结构施工过程中需要以主体结构构件替换支撑或锚杆工况；

4 对水平内支撑式支挡结构，基坑各边水平荷载不对等的工况。

**7.2.1.5** 支挡式结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行受力分析，结构分析模型如图，且符合下列规定：

(a)悬臂式支挡结构 (b)锚拉式支挡结构或支撑式支挡结构

图7.2.1.5弹性支点法计算

1-挡土结构；2— 由锚杆或支撑简化而成的弹性支座；

3—计算土反力的弹性支座

1 主动土压力强度标准值可按本规程第5.2节的有关规定确定；

2 土反力可按本规程第7.2.1.6条确定；

3 挡土结构采用排桩时，作用在单根支护桩上的主动土压力计算宽度应取排桩间距，土反力计算宽度(bo)应按本规程第7.2.1.8条确定;

4 挡土结构采用地下连续墙时，作用在单幅地下连续墙上的主动土压力计算宽度和土反力计算宽度(bo)应取包括接头的单幅墙宽度；

5 锚杆和内支撑对挡土结构的约束作用应按弹性支座考虑，并应按本规程第7.2.1.10条确定。

**7.2.1.6** 作用在挡土构件上的分布土反力应符合下列规定：

1 分布土反力可按下式计算：

ps=ksv+ps0    (7.2.1.6-1)

2 挡土构件嵌固段上的基坑内侧土反力应符合下列条件，当不符合时，应增加挡土构件的嵌固长度或取Psk=Epk时的分布土反力。

Psk≤Epk     (7.2.1.6-2)

Ps0=δakKa   (7.2.1.6-3)

式中：ps——分布土反力(kPa);

ks——土的水平反力系数(kN/m3),按本规程第7.2.1.7条的规定取值;

v——挡土构件在分布土反力计算点使土体压缩的水平位移值(m);

ps0——初始分布土反力(kPa);

Psk——挡土构件嵌固段上的基坑内侧土反力标准值(kN),通过分布土反力7.2.1.6-1式计算得出；

Epk——挡土构件嵌固段上的被动土压力标准值(kN),通计算的被动土压力强度标准值得出。

**7.2.1.7** 基坑内侧土的水平反力系数可按下式计算：

ks=m(z-h) (7.2.1.7-1)

 (7.2.1.7-2)

式中：m—— 土的水平反力系数的比例系数 (kN/m⁴),宜按桩的水平荷载试验及地区经验取值，缺少试验和经验时，可7.2.1.7-2经验公式计算。

z——计算点距地面的深度(m);

h——计算工况下的基坑开挖深度(m)；

c 、φ—分别为土的黏聚力 (kPa) 、内摩擦角(°)；对多层土，按不同土层分别取值；

vb——挡土构件在坑底处的水平位移量 (mm),当此处的水平位移不大于10mm时，可取vb=10mm。

**7.2.1.8** 排桩的土反力计算宽度应按下列公式计算(图7.2.1.8):

对圆形桩

b0=0.9(1.5d+0.5) (d≤1m)   (7.2.1.8-1)

b0=0.9(d+1) (d>1m)      (7.2.1.8-2)

对矩形桩或工字形桩

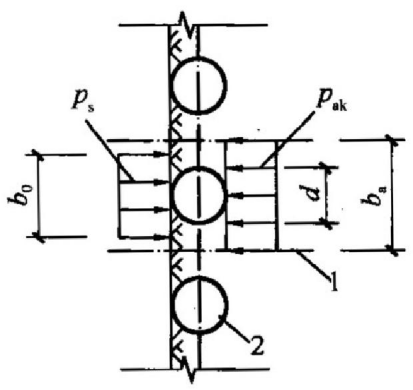
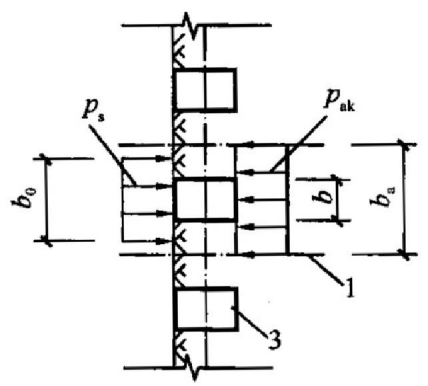
b0=1.5b+0.5   (b≤1m)    (7.2.1.8-3)

b0=b+1    (b>1m)    (7.2.1.8-4)

式中：b0——单根支护桩上的土反力计算宽度(m);当按公式(7.2.1.8-1)～公式(7.2.1.8-4)计算的b0大于排桩间距时，b0取排桩间距；

d——桩的直径(m);

b——矩形桩或工字形桩的宽度(m)。

(a) 圆形截面排桩计算宽度 (b) 矩形或工字形截面排桩计算宽度

图7.2.1.8 排桩计算宽度

1—排桩对称中心线；2—圆形桩；3-矩形桩或工字形桩

**7.2.1.9** 锚拉式支挡结构的弹性支点刚度系数应按下列规定确定：

采用锚杆时可按下列规定确定：锚拉式支挡结构的弹性支点刚度系数宜通过本规程附录B的锚杆抗拔试验按式（7.2.1.9-1）计算：

 （7.2.1.9-1）

式中：Q1、Q2──锚杆循环加荷或逐级加荷试验中（Q～s）曲线上对应锚杆锁定值与轴向拉力标准值的荷载值(kN)；对锁定前进行预张拉的锚杆，应取在相当于预张拉荷载的加载量下卸载后的再加载曲线上的荷载值；

s1、s2──（Q～s）曲线上对应于荷载为Q1、Q2的锚头位移值(m)；

ba──结构计算宽度(m)；

s──锚杆水平间距(m)。

对拉伸型钢绞线锚杆或普通钢筋锚杆，在缺少试验时，弹性支点刚度系数也可按下列公式计算：

 （7.2.1.9-2）

 （7.2.1.9-3）

式中：Es──锚杆杆体的弹性模量(kPa)；

Ec──锚杆的复合弹性模量(kPa)；

Ap──锚杆杆体的截面面积(m2)；

A──锚杆固结体的截面面积(m2)；

lf──锚杆的自由段长度(m)；

la──锚杆的锚固段长度(m)；

lf──锚杆长度(m)；

Em──锚杆固结体的弹性模量(kPa)。

当锚杆腰梁或冠梁的挠度不可忽略不计时，尚应考虑其挠度对弹性支点刚度系数的影响。

**7.2.1.10** 支撑式支挡结构的弹性支点刚度系数应按下列规定确定：

采用内支撑时可按如下规定确定：支撑式支挡结构的弹性支点刚度系数宜通过对内支撑结构整体进行线弹性结构分析得出的支点力与水平位移的关系确定。对水平对撑，当支撑腰梁或冠梁的挠度可忽略不计时，计算宽度内弹性支点刚度系数（kR）可按下式计算：

 （7.2.1.10）

式中：λ──支撑不动点调整系数：支撑两对边基坑的土性、深度、周边荷载等条件相近，且分层对称开挖时，取λ＝0.5；支撑两对边基坑的土性、深度、周边荷载等条件或开挖时间有差异时，对土压力较大或先开挖的一侧，取λ＝0.5～1.0，且差异大时取大值，反之取小值；对土压力较小或后开挖的一侧，取（1－λ）；当基坑一侧取λ＝1时，基坑另一侧应按固定支座考虑；对竖向斜撑构件，取λ＝1；

αR──支撑松弛系数，对混凝土支撑和预加轴向压力的钢支撑，取αR＝1.0，对不预加支撑轴向压力的钢支撑，取αR＝0.8～1.0；

E──支撑材料的弹性模量(kPa)；

A──支撑的截面面积(m2)；

l0──受压支撑构件的长度(m)；

s──支撑水平间距(m)。

**7.2.1.11** 悬臂式支挡结构的嵌固深度应符合下式嵌固稳定性的要求(图7.2.1.11):

 (**7.2.1.11**)

式中：Ke——嵌固稳定安全系数；安全等级为一级、二级、三级的悬臂式支挡结构，Ke分别不应小于1.25、1.2、1.15;

Eak、Epk——分别为基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力标准值(kN);

aal、apl——分别为基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力合力作用点至挡土构件底端的距离(m)。

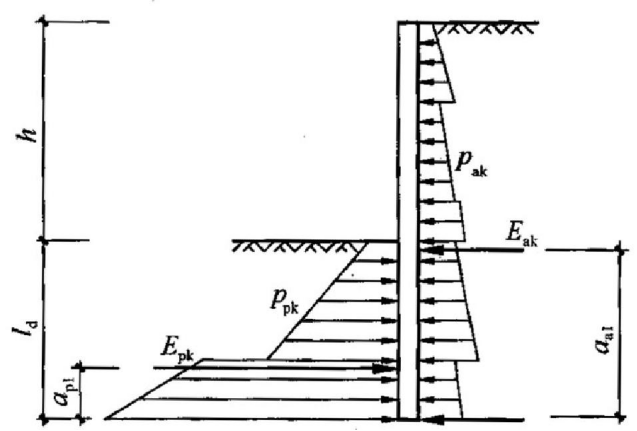


图7.2.1.11 悬臂式结构嵌固稳定性验算

**7.2.1.12** 单层锚杆和单层支撑的支挡式结构的嵌固深度应符合下式嵌固稳定性的要求(图7.2.1.12):

 (**7.2.1.12**)

式中：Ke——嵌固稳定安全系数；安全等级为一级、二级、三级的锚拉式支挡结构和支撑式支挡结构，Ke分别不应小于1.25、1.2、1.15;

aa2、ap2——基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力合力作用点至支点的距离(m)。

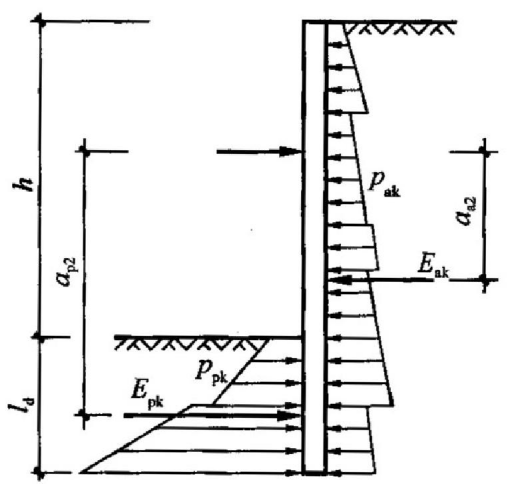


图7.2.1.12单支点锚拉式支挡结构和支撑式支挡结构的嵌固稳定性验算

**7.2.1.13** 锚拉式、悬臂式支挡结构和双排桩应按下列规定进行整体滑动稳定性验算：

1 整体滑动稳定性可采用圆弧滑动条分法进行验算；

2 采用圆弧滑动条分法时，其整体滑动稳定性应符合下列规定(图7.2.1.13):

min{Ks,1,Ks,2, …,Ks,i, … }≥Ks (**7.2.1.13-1**)

 (**7.2.1.13-2**)

式中：Ks——圆弧滑动稳定安全系数；安全等级为一级、二级、三级的支挡式结构，Ks分别不应小于1.35、1.3、1.25;

Ks——第i个圆弧滑动体的抗滑力矩与滑动力矩的比值；抗滑力矩与滑动力矩之比的最小值宜通过搜索不同圆心及半径的所有潜在滑动圆弧确定；

cj、ψj——分别为第j土条滑弧面处土的黏聚力(kPa)、内摩擦角(°)；

bj——第j土条的宽度(m);

θj——第j土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角(°);

lj——第j土条的滑弧长度(m),取lj=bj/θj;

qj——第j土条上的附加分布荷载标准值(kPa);

Gj——第j土条的自重(kN),按天然重度计算；

uj——第j土条滑弧面上的水压力(kPa);采用落底式截水帷幕时，对地下水位以下的砂土、碎石土、砂质粉土，在基坑外侧，可取uj=γwhwa,j,在基坑内侧，可取uj=γwhwp,j;滑弧面在地下水位以上或对地下水位以下的黏性土，取u;=0;

γw——地下水重度(kN/m3);

hwa,j——基坑外侧第j土条滑弧面中点的压力水头(m);

hwp,j——基坑内侧第j土条滑弧面中点的压力水头(m);

Rk,k’——第k层锚杆在滑动面以外的锚固段的极限抗拔承载力标准值与锚杆杆体受拉承载力标准值(fptkAp)的较小值(kN);锚固段的极限抗拔承载力应按本规本章锚杆的规定计算，但锚固段应取滑动面以外的长度；对悬臂式、双排桩支挡结构，不考虑∑Rk,k[cos(θk+αk)+ψv]/sx，k项；

αk——第k层锚杆的倾角(°);

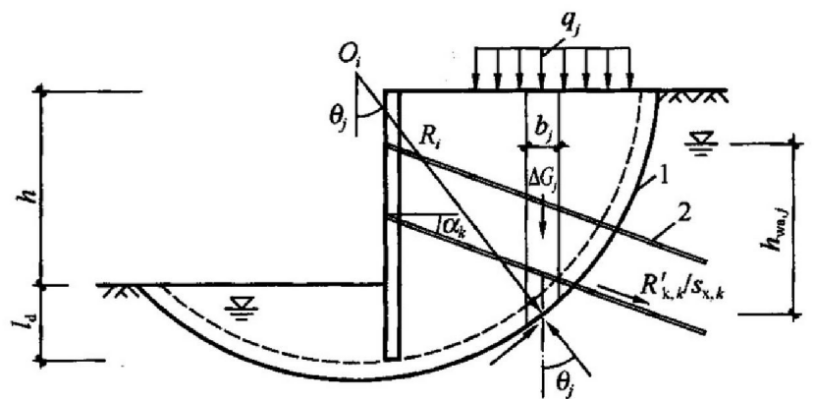
θk——滑弧面在第k层锚杆处的法线与垂直面的夹角(°);

sxk——第k层锚杆的水平间距(m);

ψv——计算系数；可按ψv=0.5sin(θk+αk)tanψ取值；

ψ——第k层锚杆与滑弧交点处土的内摩擦角(°)。

3 当挡土构件底端以下存在软弱下卧土层时，整体稳定性验算滑动面中应包括由圆弧与软弱土层层面组成的复合滑动面。



图**7.2.1.13** 圆弧滑动条分法整体稳定性验算

1. 任意圆弧滑动面；2—锚杆

**7.2.1.14** 支挡式结构的嵌固深度应符合下列坑底隆起稳定性要求：

1 锚拉式支挡结构和支撑式支挡结构的嵌固深度应符合下列规定(图7.2.1.14-1):

 (7.2.1.14-1)

 (7.2.1.14-2)

Ne=(Nq-1)/tanψ (7.2.1.14-3)

式中： Kb——抗隆起安全系数；安全等级为一级、二级、三级的支护结构，Kb分别不应小于1.8、1.6、1.4;

γml、γm2——分别为基坑外、基坑内挡土构件底面以上土的天然重度(kN/m3);对多层土，取各层土按厚度加权的平均重度；

la——挡土构件的嵌固深度(m);

h——基坑深度(m);

q0——地面均布荷载(kPa);

Nc、Nq--承载力系数；

c、ψ——分别为挡土构件底面以下土的黏聚力(kPa)、内摩擦角(°)。

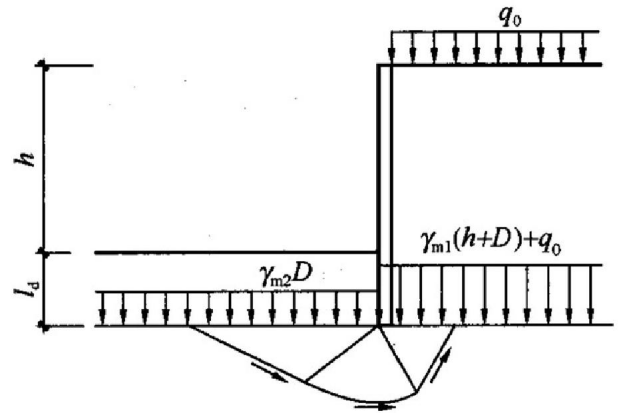


图7.2.1.14-1 挡土构件底端平面下土的隆起稳定性验算

2 当挡土构件底面以下有软弱下卧层时，坑底隆起稳定性的验算部位尚应包括软弱下卧层。软弱下卧层的隆起稳定性可按公式(7.2.1.14-1)验算，但式中的γml、γm2应取软弱下卧层顶面以上土的重度(7.2.1.14-2),ld应以D代替。

注：D为基坑底面至软弱下卧层顶面的土层厚度(m)。

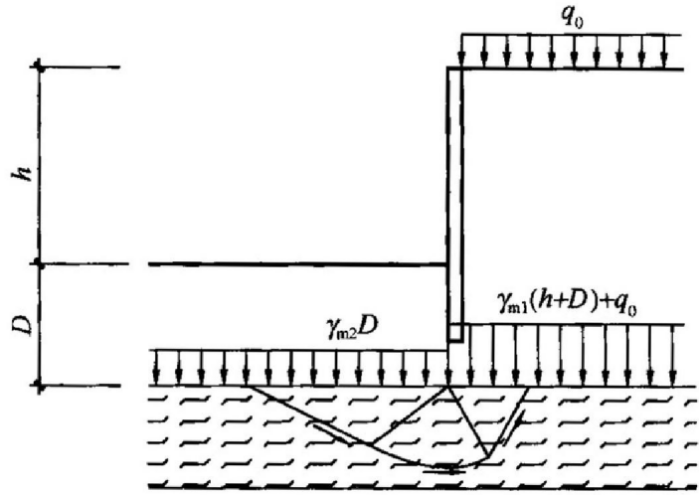
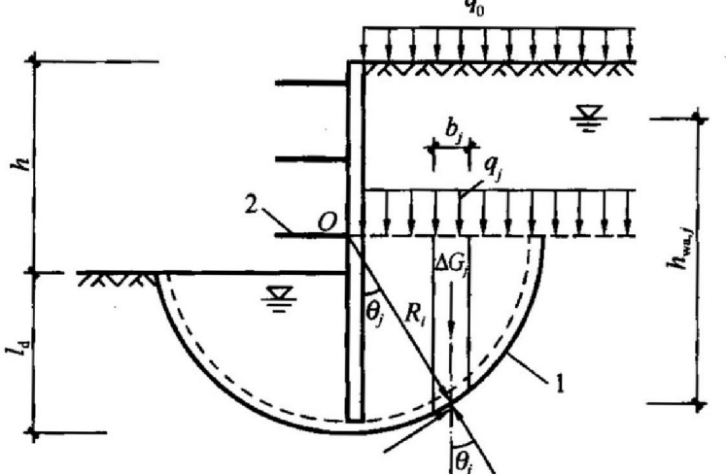


图7.2.1.14-2 软弱下卧层的隆起稳定性验算

3 悬臂式支挡结构可不进行隆起稳定性验算。

**7.2.1.15** 锚拉式支挡结构和支撑式支挡结构，当坑底以下为软土时，其嵌固深度应符合下列以最下层支点为轴心的圆弧滑动稳定性要求(图7.2.1.15):

   (7.2.1.15)



图**7.2.1.15** 以最下层支点为轴心的圆弧滑动稳定性验算

1—任意圆弧滑动面；2-最下层支点

式中：Kr——以最下层支点为轴心的圆弧滑动稳定安全系数；安全等级为一级、二级、三级的支挡式结构，Kr分别不应小于2.2、1.9、1.7;

cj、ψj——分别为第j土条在滑弧面处土的黏聚力(kPa)、内摩擦角(°)；

lj——第j土条的滑弧长度(m),取lj=bj/cosθj;

qj——第j土条顶面上的竖向压力标准值(kPa);

bj——第j土条的宽度(m);

θj——第j土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角(°);

Gj——第j土条的自重(kN),按天然重度计算。

**7.2.1.16** 采用悬挂式截水帷幕或坑底以下存在水头高于坑底的承压水含水层时，应按本规程附录C的规定进行地下水渗透稳定性验算。

**7.2.1.17** 挡土构件的嵌固深度除应满足本规程上述的规定外，对悬臂式结构，尚不宜小于0.8h;对单支点支挡式结构，尚不宜小于0.3h;对多支点支挡式结构，尚不宜小于0.2h。注：h为基坑深度。

1. 支挡式结构—排桩
   * 1. 支挡式结构—排桩设计

**7.2.2.1** 排桩的桩型与成桩工艺应符合下列要求。

1 应根据土层性质、地下水条件及基坑周边环境要求等选择混凝土灌注桩、型钢桩、钢管桩、钢板桩、型钢水泥土搅拌桩等桩型；

2 当支护桩施工影响范围内存在对地基变形敏感、结构性能差的建（构）筑物或管线时，不应采用挤土效应严重、易塌孔的桩型及施工工艺

**7.2.2.2** 排桩混凝土支护结构的正截面和斜截面承载力计算及相关规定依照《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 4.3.2条执行。

**7.2.2.3** 型钢、钢管、钢板支护桩的承载力应按照国家标准《钢结构设计标准》GB50017有关规定进行计算。

**7.2.2.4** 采用混凝土灌注桩时，对悬臂式排桩，支护桩的桩径宜大于或等于600mm；对锚拉式排桩或支撑式排桩，支护桩的桩径宜大于等于400mm；排桩的中心距不宜大于桩径的2倍。

**7.2.2.5** 采用混凝土灌注桩时，支护桩的桩身混凝土强度等级、钢筋配置和混凝土保护层厚度应符合下列规定：

1 桩身混凝土强度等级不宜低于C25；

2 纵向受力钢筋宜选用HRB400、HRB500钢筋，单桩的纵向受力钢筋不宜少于8根，其净距不应小于60mm；纵向钢筋伸入冠梁的长度宜取冠梁厚度；冠梁按结构受力构件设置时，桩身纵向受力钢筋伸入冠梁的锚固长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010对钢筋锚固的相关规定；

3 箍筋可采用螺旋式箍筋；箍筋直径不应小于纵筋的1/4，且不应小于6mm；箍筋间距宜取100~200mm，且不应大于400mm及桩的直径；

4 纵向受力钢筋的保护层厚度不应小于35mm；采用水下灌注混凝土工艺时，不应小于50mm。

**7.2.2.6** 网的喷射混凝土层面。喷射混凝土面层的厚度不宜小于50mm，混凝土强度等级不宜低于C25，混凝土面层内配置的钢筋网纵横向间距不宜大于200mm。钢筋网宜采用横向拉筋与两侧桩体连接，拉筋的直径不宜小于12mm，拉筋锚固在桩体内的长度不宜小于100mm。

**7.2.2.7** 采用降水的基坑，在有可能出现渗水的部位应设置泄水管，泄水管应采取防止土颗粒流失的反滤措施。

**7.2.2.8** 排桩采用素混凝土桩与钢筋混凝土桩咬合形式时，支护桩的桩径可取800~1500mm，相邻桩咬合长度不宜小于200mm。素混凝土桩应采用塑性混凝土或强度等级不低于C15的超缓凝混凝土。

* + 1. 支挡式结构—排桩施工与检测

**7.2.3.1** 排桩的施工应根据地质条件的适应性等因素选择成桩类型。排桩施工前应进行成桩试验，并应通过试验确定施工工艺及施工参数。

**7.2.3.2** 当排桩桩位邻近的既有建（构）筑物、地下管线对地基变形敏感时，应根据其位置、类型、材料特性、使用状况等相应采取下列控制地基变形的防护措施：

1 宜采取间隔成桩的施工顺序；对混凝土灌注桩，应在混凝土终凝后，再进行相邻桩的成孔施工；

2 对松散或稍密的砂土、稍密的粉土、软土等易坍塌或流动的软弱土层，对钻孔灌注桩宜采取改善泥浆性能等措施；对人工挖孔桩宜采取减小每节挖孔和护壁的长度、加固孔壁等措施；

3 支护桩成孔过程出现流砂、涌泥、塌孔、缩径等异常情况时，应暂停成孔并及时采取有针对性的措施进行处理，防止继续塌孔；

4 当成孔过程中遇到不明障碍物时，应查明其性质，且在不会危害既有建（构）筑物、地下管线的情况下方可继续施工。

**7.2.3.3** 混凝土灌注桩的施工应符合下列要求：

1 对混凝土灌注桩，其纵向受力钢筋的接头不宜设置在内力较大处。同一连接区段内，纵向受力钢筋的连接方式和连接接头面积百分率应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010对梁类构件的规定；

2 混凝土灌注桩采用分段配置不同数量的纵向钢筋时，钢筋笼制作和安放时应采取控制非通长钢筋竖向定位的措施；

3 混凝土灌注桩采用沿桩截面周边非均匀配置纵向受力钢筋时，应按设计的钢筋配置方向进行安放，其偏转角度不得大于10°；

4 混凝土灌注桩设有预埋件时，应根据预埋件用途和受力特点的要求，控制其安装位置及方向。

**7.2.3.4** 钻孔咬合桩的施工可采用液压钢套管全长护壁、机械冲抓成孔工艺，其施工应符合下列要求：

1 桩顶应设置导墙，导墙宽度宜取3m～4m，导墙厚度宜取0.3m～0.5m；

2 相邻咬合桩应按先施工素混凝土桩、后施工钢筋混凝土桩的顺序进行；钢筋混凝土桩应在素混凝土桩初凝前，通过成孔时切割部分素混凝土桩身形成与素混凝土桩的互相咬合，但应避免过早切割；

3 钻机就位及吊设第一节钢套管时，应采用两个测斜仪贴附在套管外壁并用经纬仪复核套管垂直度，其垂直度允许偏差应为0.3%；液压套管应正反扭动加压下切；抓斗在套管内取土时，套管底部应始终位于抓土面下方，且抓土面与套管底的距离应大于1.0m；

4 孔内虚土和沉渣应清除干净，并用抓斗夯实孔底；灌注混凝土时，套管应随混凝土浇筑逐段提拔；套管应垂直提拔，阻力过大时应转动套管同时缓慢提拔。

**7.2.3.5** 除有特殊要求外，排桩的施工偏差应符合下列规定：

1 桩位的允许偏差应为50mm；

2 桩垂直度的允许偏差应为0.5%；

3 预埋件位置的允许偏差应为20mm；

**7.2.3.6** 冠梁施工时，应将桩顶浮浆、低强度混凝土及破碎部分清除。冠梁混凝土浇筑采用土模时，土面应修理整平。

**7.2.3.7** 采用混凝土灌注桩时，其质量检测应符合下列规定：

1 应采用低应变动测法检测桩身完整性，检测桩数不宜少于总桩数的20%，且不得少于5根；

2 当根据低应变动测法判定的桩身完整性为Ⅲ类或Ⅳ类时，应采用钻芯法进行验证，并应扩大低应变动测法检测的数量。

1. 支挡式结构—地下连续墙
   * 1. 支挡式结构—地下连续墙设计

**7.2.4.1** 地下连续墙的设计应符合下列规定：

1 地下连续墙可根据受力条件分段按平面问题计算，计算单元宽度可取单位宽度或一个槽段；

2 地下连续墙正截面受弯及斜截面受剪承载力计算应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定执行。

**7.2.4.2** 地下连续墙的构造应符合下列规定：

1 地下连续墙墙体和槽段施工接头应满足防渗设计要求，混凝土抗渗等级不宜小于P6级。墙体混凝土设计强度等级不应低于C30，水下浇筑时混凝土强度等级应按相关规范要求提高；

2 地下连续墙纵向钢筋宜沿墙身均匀配置，并可根据内力分布沿墙体深度分段配置，但应有一半以上纵向钢筋通长配置。纵向钢筋宜采用HRB400或HRB500钢筋，直径不宜小于16mm，钢筋净距不宜小于75mm。水平钢筋可采用HRB400钢筋，直径不宜小于12mm；

3 地下连续墙钢筋笼封头钢筋形状应与施工接头相匹配，封头钢筋与水平钢筋宜采用焊接。钢筋笼两侧的端部与接头管（箱）或相邻墙段混凝土接头之间应留有不大于150mm的间隙，钢筋笼下端500mm长度范围内宜按1：10收成闭合状，且与槽底之间宜留不小于500mm的间隙；

4 地下连续墙厚度应根据成槽机的规格、墙体的抗渗要求、墙体的受力和变形计算等综合确定。现浇地下连续墙的墙厚宜为600mm、800mm、1000mm和1200mm。地下连续墙主筋保护层厚度在内侧不宜小于50mm，外侧不宜小于70mm；

5 地下连续墙顶部应设置钢筋混凝土圈梁将各段墙体连成整体，圈梁宜与地下连续墙外侧平齐；

6 地下连续墙单元槽段的平面形状，应根据墙段的结构受力特性、槽壁稳定性、环境条件和施工条件等因素综合确定。单元槽段的平面形状可采用“一”字形、L形、T形等，单元槽段也可组合成格形或圆筒形等形式；

7 单元槽段长度应根据施工现场地质条件、成槽设备、槽壁稳定性等因素确定，长度宜为4m～6m；当临近建（构）筑物或重要管线时，宜采用4m的短槽段。

* + 1. 支挡式结构—地下连续墙施工与检测

**7.2.5.1** 地下连续墙的施工应根据地质条件的适应性等因素选择成槽设备。成槽施工前应进行成槽试验，并应通过试验确定施工工艺及施工参数。

**7.2.5.2** 地下连续墙成槽施工，应满足下列要求：

1 地下连续墙施工应设置钢筋混凝土导墙，导墙施工应符合下列规定：

1）导墙应采用现浇钢筋混凝土结构，导墙底部应置于原状土层，高度不应小于1.2m，导墙底标高宜低于地下连续墙设计顶标高，且不宜小于200mm；混凝土强度等级不宜低于C20，导墙的强度及稳定性应满足成槽设备及顶拔接头管（箱）施工的要求，导墙的强度和稳定性应满足成槽设备和顶拔接头管施工的要求导墙外侧应采用黏性土填实；

2）导墙内侧墙面应垂直，两侧导墙之间的净距应比地下连续墙设计厚度大40mm；导墙面与纵轴线间距离的允许偏差为±10mm。

2 成槽前，应根据当地材料和地质条件进行护壁泥浆材料的试配及室内性能试验，泥浆配合比应按试验确定。新拌制的泥浆应经充分水化，贮放时间不应小于24h；成槽时，泥浆的供应及处理系统应满足泥浆使用量的要求；

3 槽段开挖过程中应经常检测泥浆指标，槽内泥浆应高于地下水位500mm以上，且不应低于导墙顶面300mm；槽段开挖结束后、钢筋笼入槽前，应对槽底泥浆和沉淀物进行置换。

**7.2.5.3** 槽段开挖应符合下列要求：

1 单元槽段宜采用间隔一个或多个槽段的跳幅施工顺序。每个单元槽段，挖槽分段不宜超过3个。成槽时，护壁泥浆液面应高于导墙底面500mm。

2 槽段接头应满足混凝土浇筑压力对其强度和刚度的要求。安放槽段接头时，应紧贴槽段垂直缓慢沉放至槽底。遇到阻碍时，槽段接头应在清除障碍后入槽。混凝土浇灌过程中应采取防止混凝土产生绕流的措施。

3 地下连续墙有防渗要求时，应在吊放钢筋笼前，对槽段接头和相邻墙段混凝土面用刷槽器等方法进行清刷，清刷后的槽段接头和混凝土面不得夹泥。

**7.2.5.4** 钢筋笼制作与吊装应符合下列要求：

1 钢筋笼制作时，纵向受力钢筋的接头不宜设置在受力较大处。同一连接区段内，纵向受力钢筋的连接方式和连接接头面积百分率应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010对板类构件的规定。

2 钢筋笼应设置定位垫块，垫块在垂直方向上的间距宜取3m～5m，在水平方向上宜每层设置2块～3块。

3 单元槽段的钢筋笼宜整体装配和沉放。需要分段装配时，宜采用焊接或机械连接，钢筋接头的位置宜选在受力较小处，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010对钢筋连接的有关规定。

4 钢筋笼应根据吊装的要求，设置纵横向起吊桁架；桁架主筋宜采用HRB400级钢筋，钢筋直径不宜小于20mm，且应满足吊装和沉放过程中钢筋笼的整体性及钢筋笼骨架不产生塑性变形的要求。钢筋连接点出现位移、松动或开焊时，钢筋笼不得入槽，应重新制作或修整完好。

**7.2.5.5** 地下连续墙应采用导管法浇筑混凝土。导管拼接时，其接缝应密闭。混凝土浇筑时，导管内应预先设置隔水栓。

**7.2.5.6** 槽段长度不大于6m时，混凝土宜采用两根导管同时浇筑；槽段长度大于6m时，混凝土宜采用三根导管同时浇筑。每根导管分担的浇筑面积应基本均等。钢筋笼就位后应及时浇筑混凝土。混凝土浇筑过程中，导管埋入混凝土面的深度宜在2.0m～4.0m之间，浇筑液面的上升速度不宜小于3m/h。混凝土浇筑面宜高于地下连续墙设计顶面500mm。

**7.2.5.7** 地下连续墙的质量检测应符合下列规定：

1 应进行槽壁垂直度检测，检测数量不得小于同条件下总槽段数的20%，且不应少于10幅；当地下连续墙作为主体地下结构构件时，应对每个槽段进行槽壁垂直度检测；

2 应进行槽底沉渣厚度检测；当地下连续墙作为主体地下结构构件时，应对每个槽段进行槽底沉渣厚度检测；

3 应采用声波透射法对墙体混凝土质量进行检测，检测墙段数量不宜少于同条件下总墙段数的20%，且不得少于3幅，每个检测墙段的预埋超声波管数不应少于4个，且宜布置在墙身截面的四边中点处：

4 当根据声波透射法判定的墙身质量不合格时，应采用钻芯法进行验证。

1. 支挡式结构—锚杆
   * 1. 支挡式结构—锚杆设计（中铁咨询）

**7.2.6.1** 锚杆的应用应符合下列规定：

1 锚拉结构宜采用钢绞线锚杆；当设计的锚杆抗拔承载力较低时，也可采用普通钢筋锚杆；当环境保护不允许在支护结构使用功能完成后锚杆杆体滞留于基坑周边地层内时，应采用可拆芯钢绞线锚杆；

2 在易塌孔的松散或稍密的砂土、碎石土、粉土层，高液性指数的饱和粘性土层，高水压力的各类土层中，钢绞线锚杆、普通钢筋锚杆宜采用套管护壁成孔工艺；

3 锚杆注浆宜采用二次压力注浆工艺；

4 锚杆锚固段不宜设置在淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土及松散填土层内；

5 在复杂地质条件下，应通过现场试验确定锚杆的适用性。

7.2.6.2 锚杆的极限抗拔承载力应符合下式要求：

（7.2.6.2-1）

式中：──锚杆抗拔安全系数；安全等级为一级、二级、三级的支护结构，Kt分别不应小于1.8、1.6、1.4；

──锚杆轴向拉力标准值(kN)，按本规程第7.2.6.3条的规定计算；

──锚杆极限抗拔承载力标准值(kN)，按本规程第7.2.6.4条的规定确定。

7.2.6.3 锚杆的轴向拉力标准值应按下式计算：

（公式7.2.7.3-1）

式中：──锚杆的轴向拉力标准值（kN）；

──挡土构件计算宽度内的弹性支点水平反力（kN），按本规程第5章的规定确定；

──锚杆水平间距(m)；

──结构计算宽度(m)；

──锚杆倾角(°)。

**7.2.6.4** 锚杆极限抗拔承载力的确定应符合下列规定：

1 锚杆极限抗拔承载力应通过抗拔试验确定，其试验方法应符合本规程附录B的规定。

2 锚杆极限抗拔承载力标准值也可按下式估算，但应按本规程附录B规定的抗拔试验进行验证：

（7.2.6.4）

式中：──锚杆的锚固体直径(m)；

──锚杆的锚固段在第i土层中的长度(m)；锚固段长度（la）为锚杆在理论直线滑动面以外的长度，理论直线滑动面按本规程第7.2.6.5条的规定确定；

──锚固体与第i土层之间的极限粘结强度标准值(kPa)，应根据工程经验并结合表7.2.6.4取值。

表7.2.6.4 锚杆的极限粘结强度标准值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土的名称 | 土的状态或密实度 | qak(kPa) | |
| 一次常压注浆 | 二次压力注浆 |
| 填土 |  | 16～30 | 30～45 |
| 淤泥质土 |  | 16～20 | 20～30 |
| 粘性土 | IL＞1 | 18～30 | 25～45 |
| 0.75＜IL≤1 | 30～40 | 45～60 |
| 0.5＜IL≤ | 40～53 | 60～70 |
| 0.25＜IL≤ | 53～65 | 70～85 |
| 0＜IL≤ | 65～73 | 85～100 |
| IL≤0 | 73～90 | 100～130 |
| 粉土 | e＞0.90 | 22～44 | 40～60 |
| 0.75≤e≤0.90 | 44～64 | 60～90 |
| e＜0.75 | 64～100 | 80～130 |
| 粉细砂 | 精密 | 22～42 | 40～70 |
| 中密 | 42～63 | 75～110 |
| 密实 | 63～85 | 90～130 |
| 中砂 | 精密 | 54～74 | 70～100 |
| 中密 | 74～90 | 100～130 |
| 密实 | 90～120 | 130～170 |
| 粗砂 | 精密 | 80～130 | 100～140 |
| 中密 | 130～170 | 170～220 |
| 密实 | 170～220 | 220～250 |
| 砾砂 | 中密、密实 | 190～260 | 240～290 |
| 风化岩 | 全风化 | 80～100 | 120～150 |
| 强风化 | 150～200 | 200～260 |

注：1采用泥浆护壁成孔工艺时，应按表取低值后再根据具体情况适当折减；

2采用套管护壁成孔工艺时，可取表中的高值；

3采用扩孔工艺时，可在表中数值基础上适当提高；

4采用分段劈裂二次压力注浆工艺时，可在表中二次压力注浆数值基础上适当提高；

5当砂土中的细粒含量超过总质量的30%时，按表取值后应乘以0.75的系数；

6对有机质含量为5%～10%的有机质土，应按表取值后适当折减；

7当锚杆锚固段长度大于16m时，应对表中数值适当折减。

3 当锚杆锚固段主要位于黏土层、淤泥质土层、填土层时，应考虑土的蠕变对锚杆预应力损失的影响，并应根据蠕变试验确定锚杆的极限抗拔承载力。锚杆的蠕变试验应符合按本规程附录B的规定。

**7.2.6.5** 锚杆的自由段长度应按下式确定(图7.2.6.5)：

（7.2.6.5）

式中：──锚杆自由段长度（m）；

──锚杆的倾角（°）

──锚杆的锚头中点至基坑底面的距离（m）

──基坑底面至挡土构件嵌固段上基坑外侧主动土压力强度与基坑内侧被动土压力强度等值点O的距离（m）；对多层土地层，当存在多个等值点时应按其中最深处的等值点计算；

d──挡土构件的水平尺寸（m）

──O点以上各土层按厚度加权的内摩擦角平均值(°)。

图示

描述已自动生成

图7.2.6.5 理论直线滑动面

1-挡土构件；2-锚杆；3-理论直线滑动面

锚杆自由段长度除应符合公式（7.2.6.5）的规定外，尚不应小于5.0m。

**7.2.6.6** 锚杆杆体的受拉承载力应符合下式规定：

 （7.2.6.6-1）

式中：──锚杆轴向拉力设计值(kN)，支护结构重要性系数与作用基本组合的效应设计值的乘积（γ0Sd）可采用按（公式7.2.6.6-2）计算内力设计值：

 （7.2.6.6-2）

Nk──按作用标准组合计算的轴向拉力或轴向压力值(kN)。

γF—作用基本组合的综合分项系数；

γ0—结构重要性系数；

──预应力钢筋抗拉强度设计值(kPa)；当锚杆杆体采用普通钢筋时，取普通钢筋强度设计值（fy）；

──预应力钢筋的截面面积(m2)。

**7.2.6.7** 锚杆锁定值宜取锚杆轴向拉力标准值的0.75～0.9倍，且应与式（7.2.6.7-1）中的锚杆预加轴向拉力一致。锚杆和内支撑对挡土构件的作用应按下式确定：

 （7.2.6.7-1）

式中：Fh──挡土构件计算宽度内的弹性支点水平反力(kN)；

──挡土构件在支点处的水平位移值(m)；

──设置支点时，支点的初始水平位移值(m)；

──挡土构件计算宽度内的法向预加力(kN)；采用锚杆或竖向斜撑时，取Ph＝P·cosα·ba/s；采用水平对撑时，取Ph＝P·ba/s；对不预加轴向压力的支撑，取Ph＝0；锚杆的预加轴向拉力（P）宜取（0.75Nk～0.9Nk），支撑的预加轴向压力（P）宜取（0.5Nk～0.8Nk），此处，P为锚杆的预加轴向拉力值或支撑的预加轴向压力值，α为锚杆倾角或支撑仰角，ba为结构计算宽度，s为锚杆或支撑的水平间距，Nk为锚杆轴向拉力标准值或支撑轴向压力标准值。

──计算宽度内弹性支点刚度系数(kN/m)；

**7.2.6.8** 锚杆的布置应符合下列规定:

1 锚杆的水平间距不宜小于1.5m；多层锚杆，其竖向间距不宜小于2.0m；当锚杆的间距小于1.5m时，应根据群锚效应对锚杆抗拔承载力进行折减或相邻锚杆应取不同的倾角；

2 锚杆锚固段的上覆土层厚度不宜小于4.0m；

3 锚杆倾角宜取15°～25°，且不应大于45°，不应小于10°；锚杆的锚固段宜设置在土的粘结强度高的土层内；

4 当锚杆穿过的地层上方存在天然地基的建（构）筑物或地下建（构）筑物时，宜避开易塌孔、变形的地层。

**7.2.6.9** 钢绞线锚杆、普通钢筋锚杆的构造应符合下列规定：

1 锚杆成孔直径宜取100mm～150mm；

2 锚杆自由段的长度不应小于5m，且穿过潜在滑动面进入稳定土层的长度不应小于1.5m；钢绞线、钢筋杆体在自由段应设置隔离套管；

3 土层中的锚杆锚固段长度不宜小于6m；

4 锚杆杆体的外露长度应满足腰梁、台座尺寸及张拉锁定的要求；

5 锚杆杆体用钢绞线应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T5224的有关规定；

6 普通钢筋锚杆的杆体宜选用HRB335、HRB400级螺纹钢筋；

7 应沿锚杆杆体全长设置定位支架；定位支架应能使相邻定位支架中点处锚杆杆体的注浆固结体保护层厚度不小于10mm，定位支架的间距宜根据锚杆杆体的组装刚度确定，对自由段宜取1.5m～2.0m；对锚固段宜取1.0m～1.5m；定位支架应能使各根钢绞线相互分离；

8 钢绞线用锚具应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T14370的规定；

9 普通钢筋锚杆采用千斤顶张拉后对螺栓进行紧固的锁定方法，螺栓与杆体钢筋的连接、螺母的规格应满足锚杆拉力的要求；

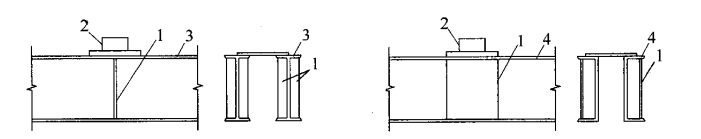
10 锚杆注浆应采用水泥浆或水泥砂浆，注浆固结体强度不宜低于20MPa。

**7.2.6.10** 锚杆腰梁可采用型钢组合梁或混凝土梁。锚杆腰梁应按受弯构件设计。锚杆腰梁的正截面、斜截面承载力，对混凝土腰梁，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》BG50010的规定；对型钢组合腰梁，应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的规定。当锚杆锚固在混凝土冠梁上时，冠梁应按受弯构件设计，其截面承载力应符合上述国家标准的规定。

**7.2.6.11** 锚杆腰梁应根据实际约束条件按连续梁或简支梁计算。计算腰梁的内力时，腰梁的荷载应取结构分析时得出的支点力设计值。

**7.2.6.12** 型钢组合腰梁可选用双槽钢或双工字钢，槽钢之间或工字钢之间应用缀板焊接为整体构件，焊缝连接应采用贴角焊。双槽钢或双工字钢之间的净间距应满足锚杆杆体平直穿过的要求。

**7.2.6.13** 型钢组合腰梁可选用双槽钢或双工字钢，槽钢之间或工字钢之间应用缀板焊接为整体构件，焊缝连接应采用贴角焊。双槽钢或双工字钢之间的净间距应满足锚杆杆体平直穿过的要求。采用型钢组合腰梁时，腰梁应满足在锚杆集中荷载作用下的局部受压稳定与受扭稳定的构造要求。当需要增加局部受压和受扭稳定性时，可在型钢翼缘端口处配置加劲肋板。



(a)工字钢 (b)槽钢

钢腰梁的局部加强构造形式图

1-加强助板;2-锚头;3-工字钢;4-槽钢

**7.2.6.14** 锚杆的混凝土腰梁、冠梁宜采用斜面与锚杆轴线垂直的梯形截面；腰梁、冠梁的混凝土强度等级不宜低于C25。采用梯形截面时，截面的上边水平尺寸不宜小于250mm。

**7.2.6.15** 采用楔形钢垫块时，楔形钢垫块与挡土构件、腰梁的连接应满足受压稳定性和锚杆垂直分力作用下的受剪承载力要求。采用楔形混凝土垫块时，混凝土垫块应满足抗压强度和锚杆垂直分力作用下的受剪承载力要求，且其强度等级不宜低于C25。

* + 1. 支挡式结构—锚杆施工与检测：

**7.2.7.1** 当锚杆穿过的地层附近存在既有地下管线、地下建（构）筑物时，应在调查或探明其位置、走向、类型、使用状况等情况后再进行锚杆施工。

**7.2.7.2** 锚杆的成孔应符合下列规定：

1 应根据土层性状和地下水条件选择套管护壁、干成孔或泥浆护壁成孔工艺，成孔工艺应满足孔壁稳定性要求；

2 对松散和稍密的砂土、粉土，卵石，填土，有机质土，高液性指数的粘性土宜采用套管护壁成孔护壁工艺；

3 在地下水位以下时，不宜采用干成孔工艺；

4 在高塑性指数的饱和粘性土层成孔时，不宜采用泥浆护壁成孔工艺；

5 当成孔过程中遇不明障碍物时，在查明其性质前不得钻进。

**7.2.7.3** 钢绞线锚杆和普通钢筋锚杆杆体的制作安装应符合下列规定：

1 钢绞线锚杆杆体绑扎时，钢绞线应平行、间距均匀；杆体插入孔内时，应避免钢绞线在孔内弯曲或扭转；

2 当锚杆杆体采用HRB335、HRB400级钢筋时，其连接宜采用机械连接、双面搭接焊、双面帮条焊；采用双面焊时，焊缝长度不应小于5d，此处，d为杆体钢筋直径；

3 杆体制作和安放时应除锈、除油污、避免杆体弯曲；

4 采用套管护壁工艺成孔时，应在拔出套管前将杆体插入孔内；采用非套管护壁成孔时，杆体应匀速推送至孔内；

5 成孔后应及时插入杆体及注浆。

**7.2.7.4** 钢绞线锚杆和普通钢筋锚杆的注浆应符合下列规定：

1 注浆液采用水泥浆时，水灰比宜取0.50～0.55；采用水泥砂浆时，水灰比宜取0.40～0.45,灰砂比宜取0.5～1.0，拌和用砂宜选用中粗砂；

2 水泥浆或水泥砂浆内可掺入能提高注浆固结体早期强度或微膨胀的外掺剂，其掺入量宜按室内试验确定；

3 注浆管端部至孔底的距离不宜大于200mm；注浆及拔管过程中，注浆管口应始终埋入注浆液面内，应在水泥浆液从孔口溢出后停止注浆；注浆后，当浆液液面下降时，应进行孔口补浆；

4 采用二次压力注浆工艺时，二次压力注浆宜采用水灰比0.50～0.55的水泥浆；二次注浆管应牢固绑扎在杆体上，注浆管的出浆口应采取逆止措施；二次压力注浆时，终止注浆的压力不应小于1.5MPa；

5 采用分段二次劈裂注浆工艺时，注浆宜在固结体强度达到5MPa后进行，注浆管的出浆孔宜沿锚固段全长设置，注浆顺序应由内向外分段依次进行；

6 基坑采用截水帷幕时，地下水位以下的锚杆注浆应采取孔口封堵措施；

7 寒冷地区在冬期施工时，应对注浆液采取保温措施，浆液温度应保持在5°C以上。

**7.2.7.5** 锚杆的施工偏差应符合下列要求：

1 钻孔深度宜大于设计深度0.5m；

2 钻孔孔位的允许偏差应为50mm；

3 钻孔倾角的允许偏差应为3°；

4 杆体长度应大于设计长度；

5 自由段的套管长度允许偏差应为±50mm。

**7.2.7.6** 组合型钢锚杆腰梁、钢台座的施工应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的有关规定；混凝土锚杆腰梁、混凝土台座的施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204的有关规定。

**7.2.7.7** 组合型钢锚杆腰梁、钢台座的施工应符合现行国家标准《钢结构工程施预应力锚杆张拉锁定时应符合下列要求：

1 当锚杆固结体的强度达到设计强度的75%且不小于15MPa后，方可进行锚杆的张拉锁定；

2 拉力型钢绞线锚杆宜采用钢绞线束整体张拉锁定的方法；

3 锚杆锁定前，应按表7.2.7.8的张拉值进行锚杆预张拉；锚杆张拉应平缓加载，加载速率不宜大于0.1Nk/min,此处，Nk为锚杆轴向拉力标准值；在张拉值下的锚杆位移和压力表压力应保持稳定当锚头位移不稳定时，应判定此根锚杆不合格；

4 锁定时的锚杆拉力应考虑锁定过程的预应力损失量；预应力损失量宜通过对锁定前、后锚杆拉力的测试确定；缺少测试数据时，锁定时的锚杆拉力可取锁定值的1.1倍～1.15倍；

5 锚杆锁定尚应考虑相邻锚杆张拉锁定引起的预应力损失，当锚杆预应力损失严重时，应进行再次锁定；锚杆出现锚头松弛、脱落、锚具失效等情况时，应及时进行修复并对其进行再次锁定；

6 当锚杆需要再次张拉锁定时，锚具外杆体的长度和完好程度应满足张拉要求。

**7.2.7.8** 锚杆的检测应符合下列规定：

1 检测数量不应少于锚杆总数的5%，且同一土层中的锚杆检测数量不应少于3根；

2 检测试验应在锚杆的固结体强度达到设计强度的75%后进行；

3 检测锚杆应采用随机抽样的方法选取；

4 检测试验的张拉值应按本规程表7.2.2.8 取值；

5 检测试验应按本规程附录B的验收试验方法进行；

6 当检测的锚杆不合格时，应扩大检测数量。

表7.2.7.8 锚杆的张拉值

|  |  |
| --- | --- |
| 支护结构的安全等级 | 锚张拉值与轴向拉力标准值Nk的比值 |
| 一级 | 1.4 |
| 二级 | 1.3 |
| 三级 | 1.2 |

**7.2.7.9** 锚杆（索）工程所用的原材料的品种、规格、质量必须符合设计要求。检验数量：按进场的批次和产品的抽样检验方案确定。检验方法：检查出厂合格证、试验报告。

**7.2.7.10** 锚杆（索）的组装安放和注浆必须符合设计要求。浆体强度必须符合设计要求。检验数量：施工单位每检验批取试件2组，每组试件不少于6块；监理单位按施工单位检查数量的30%作见证检验或10%作平行检验，且不少于1组。检验方法：试件做抗压强度试验。

**7.2.7.11** 锚杆（索）的锚固段浆液达到设计要求后，方可进行张拉并锁定，其张拉值及锁定值应符合设计要求。检验数量：施工单位逐根检查，监理单位按施工单位检查数量的30%作见证检验。检验方法：观察、检查施工记录。

**7.2.7.12** 锚杆（索）注浆量、注浆压力必须符合设计要求。检验数量：施工单位逐孔检查，监理单位按施工单位检查数量的30%作见证检验。检验方法：检查施工记录。

**7.2.7.13** 锚杆杆体、锚索插入孔中长度的允许偏差应为±30mm。检验数量：施工单位检查锚杆（索）全数检查，监理单位按施工单位检查数量的30%作见证检验。检验方法：锚索抗拔力检验。

**7.2.7.14** 锚杆（索）质量允许偏差应符合表7.2.7.14的规定。

表7.2.7.14锚索质量检查允许偏差

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检査项目 | 允许偏差 | | 施工单位检査数量 | 检验方法 |
| 单位 | 数值 |
| 1 | 锚杆（索）位置 | min | ±100 | 每孔 | 全站仪测，尺量 |
| 2 | 钻孔倾斜度 | ° | ±3° | 每孔 | 测钻机倾角 |
| 3 | 钻孔深度 | min | 0〜+100 | 每孔 | 尺量 |

1. 支挡式结构—支撑
   * 1. 支挡式结构—支撑体系。

**7.2.8.1** 支撑结构可选用钢支撑、混凝土支撑、钢与混凝土的混合支撑。

**7.2.8.2** 支撑结构选型应符合下列原则：

1 宜采用受力明确、连接可靠、施工方便的结构形式；

2 宜采用对称平衡性、整体性强的结构形式；

3 应与主体地下结构的结构形式、施工顺序协调，应便于主体结构施工；

4 应利于基坑土方开挖和运输；

5 需要时，可考虑内支撑结构作为施工平台。

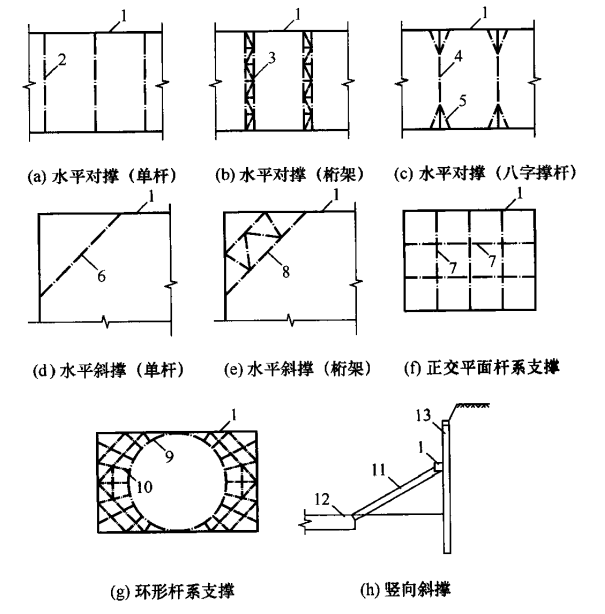
**7.2.8.3** 内支撑结构应综合考虑基坑平面形状及尺寸、开挖深度、周边环境条件、主体结构形式等因素，选用有立柱或无立柱的下列内支撑形式：

1 水平对撑或斜撑，可采用单杆、桁架、八字形支撑；

2 正交或斜交的平面杆系支撑；

3 环形杆系或环形板系支撑；

4 竖向斜撑。



内支撑结构常用类型图

1—腰梁或冠梁;2—水平单杆支撑;3水平析架支撑;4—水平支撑主杆;5—八字撑杆;6—水平角撑;7—水平正交支撑;8—水平斜交支撑;9—环形支撑﹔

10—支撑杆;11—竖向斜撑;12—竖向斜撑基础;13—挡土构件

**7.2.8.4** 内支撑结构宜采用超静定结构。对个别次要构件失效会引起结构整体破坏的部位宜设置冗余约束。内支撑结构的设计应考虑地质和环境条件的复杂性、基坑开挖步序的偶然变化的影响。

**7.2.8.5** 内支撑结构分析应符合下列原则：

1 水平对撑与水平斜撑，应按偏心受压构件进行计算；支撑的轴向压力应取支撑间距内挡土构件的支点力之和；腰梁或冠梁应按以支撑为支座的多跨连续梁计算，计算跨度可取相邻支撑点的中心距；

2 矩形基坑的正交平面杆系支撑，可分解为纵横两个方向的结构单元，并分别按偏心受压构件进行计算；

3 平面杆系支撑、环形杆系支撑，可按平面杆系结构采用平面有限元法进行计算；计算时应考虑基坑不同方向上的荷载不均匀性；建立的计算模型中，约束支座的设置应与支护结构实际位移状态相符，内支撑结构边界向基坑外位移处应设置弹性约束支座，向基坑内位移处不应设置支座，与边界平行方向应根据支护结构实际位移状态设置支座；

4 内支撑结构应进行竖向荷载作用下的结构分析；设有立柱时，在竖向荷载作用下内支撑结构宜按空间框架计算，当作用在内支撑结构上的竖向荷载较小时，内支撑结构的水平构件可按连续梁计算，计算跨度可取相邻立柱的中心距；

5 竖向斜撑应按偏心受压杆件进行计算；

6 当有可靠经验时，宜采用三维结构分析方法，对支撑、腰梁与冠梁、挡土构件进行整体分析。

**7.2.8.6** 内支撑结构分析时，应同时考虑下列作用：

1 由挡土构件传至内支撑结构的水平荷载；

2 支撑结构自重；当支撑作为施工平台时，尚应考虑施工荷载；

3 当温度改变引起的支撑结构内力不可忽略不计时，应考虑温度应力；

4 当支撑立柱下沉或隆起量较大时，应考虑支撑立柱与挡土构件之间差异沉降产生的作用。

**7.2.8.7** 混凝土支撑构件及其连接的受压、受弯、受剪承载力计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的规定；钢支撑结构构件及其连接的受压、受弯、受剪承载力及各类稳定性计算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的规定。支撑的承载力计算应考虑施工偏心误差的影响，偏心距取值不宜小于支撑计算长度的1／1000，且对混凝土支撑不宜小于20mm，对钢支撑不宜小于40mm。

**7.2.8.8** 支撑构件的受压计算长度应按下列规定确定：

1 水平支撑在竖向平面内的受压计算长度，不设置立柱时，应取支撑的实际长度；设置立柱时，应取相邻立柱的中心间距；

2 水平支撑在水平平面内的受压计算长度，对无水平支撑杆件交汇的支撑，应取支撑的实际长度；对有水平支撑杆件交汇的支撑，应取与支撑相交的相邻水平支撑杆件的中心间距；当水平支撑杆件的交汇点不在同一水平面内时，水平平面内的受压计算长度宜取与支撑相交的相邻水平支撑杆件中心间距的1.5倍；

3 对竖向斜撑，应按本条第1、2款的规定确定受压计算长度。

**7.2.8.9** 预加轴向压力的支撑，预加力值宜取支撑轴向压力标准值的(0.5～0.8)倍。

**7.2.8.10** 立柱的受压承载力可按下列规定计算：

1 在竖向荷载作用下，内支撑结构按框架计算时，立柱应按偏心受压构件计算；内支撑结构的水平构件按连续梁计算时，立柱可按轴心受压构件计算；

2 立柱的受压计算长度应按下列规定确定：

1）单层支撑的立柱、多层支撑底层立柱的受压计算长度应取底层支撑至基坑底面的净高度与立柱直径或边长的5倍之和；

2）相邻两层水平支撑间的立柱受压计算长度应取此两层水平支撑的中心间距；

3）立柱的基础应满足抗压和抗拔的要求。

**7.2.8.11** 内支撑的平面布置应符合下列规定：

1 内支撑的布置应满足主体结构的施工要求，宜避开地下主体结构的墙、柱；

2 相邻支撑的水平间距应满足土方开挖的施工要求；采用机械挖土时，应满足挖土机械作业的空间要求，且不宜小于4m；

3 基坑形状有阳角时，阳角处的支撑应在两边同时设置；

4 当采用环形支撑时，环梁宜采用圆形、椭圆形等封闭曲线形式，并应按使环梁弯矩、剪力最小的原则布置辐射支撑；环形支撑宜采用与腰梁或冠梁相切的布置形式；

5 水平支撑与挡土构件之间应设置连接腰梁；当支撑设置在挡土构件顶部时，水平支撑应与冠梁连接；在腰梁或冠梁上支撑点的间距，对钢腰梁不宜大于4m，对混凝土梁不宜大于9m；

6 当需要采用较大水平间距的支撑时，宜根据支撑冠梁、腰梁的受力和承载力要求，在支撑端部两侧设置八字斜撑杆与冠梁、腰梁连接，八字斜撑杆宜在主撑两侧对称布置，且斜撑杆的长度不宜大于9m，斜撑杆与冠梁、腰梁之间的夹角宜取45°～60°；

7 当设置支撑立柱时，临时立柱应避开主体结构的梁、柱及承重墙；对纵横双向交叉的支撑结构，立柱宜设置在支撑的交汇点处；对用作主体结构柱的立柱，立柱在基坑支护阶段的负荷不得超过主体结构的设计要求；立柱与支撑端部及立柱之间的间距应根据支撑构件的稳定要求和竖向荷载的大小确定，且对混凝土支撑不宜大于15m，对钢支撑不宜大于20m；

8 当采用竖向斜撑时，应设置斜撑基础，且应考虑与主体结构底板施工的关系。

**7.2.8.12** 支撑的竖向布置应符合下列规定：

1 支撑与挡土构件连接处不应出现拉力；

2 支撑应避开主体地下结构底板和楼板的位置，并应满足主体地下结构施工对墙、柱钢筋连接长度的要求；当支撑下方的主体结构楼板在支撑拆除前施工时，支撑底面与下方主体结构楼板间的净距不宜小于700mm；

3 支撑至坑底的净高不宜小于3m；

4 采用多层水平支撑时，各层水平支撑宜布置在同一竖向平面内，层间净高不宜小于3m。

**7.2.8.13** 混凝土支撑的构造应符合下列规定：

1 混凝土的强度等级不应低于C25；

2 支撑构件的截面高度不宜小于其竖向平面内计算长度的1／20；腰梁的截面高度(水平尺寸)不宜小于其水平方向计算跨度的1／10，截面宽度(竖向尺寸)不应小于支撑的截面高度；

3 支撑构件的纵向钢筋直径不宜小于16mm，沿截面周边的间距不宜大于200mm；箍筋的直径不宜小于8mm，间距不宜大于250mm。

**7.2.8.14** 钢支撑的构造应符合下列规定：

1 钢支撑构件可采用钢管、型钢及其组合截面；

2 钢支撑受压杆件的长细比不应大于150，受拉杆件长细比不应大于200；

3 钢支撑连接宜采用螺栓连接，必要时可采用焊接连接；

4 当水平支撑与腰梁斜交时，腰梁上应设置牛腿或采用其他能够承受剪力的连接措施；

5 采用竖向斜撑时，腰梁和支撑基础上应设置牛腿或采用其他能够承受剪力的连接措施；腰梁与挡土构件之间应采用能够承受剪力的连接措施；斜撑基础应满足竖向承载力和水平承载力要求。

**7.2.8.15** 立柱的构造应符合下列规定：

1 立柱可采用钢格构、钢管、型钢或钢管混凝土等形式；

2 当采用灌注桩作为立柱基础时，钢立柱锚入桩内的长度不宜小于立柱长边或直径的4倍；

3 立柱长细比不宜大于25；

4 立柱与水平支撑的连接可采用铰接；

5 立柱穿过主体结构底板的部位，应有有效的止水措施。

**7.2.8.16** 混凝土支撑构件的构造，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的有关规定。钢支撑构件的构造，应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的有关规定。

## 土钉墙

1. 土钉墙稳定性计算
   * 1. 土钉墙应按照下列规定对铁路明挖隧道的各开挖项进行整体滑动稳定性验算：

图示

描述已自动生成

（a）

卡通人物

中度可信度描述已自动生成

（b）

图7.3.1土钉墙整体稳定性验算

（a）土钉墙在地下水位以上；（b）水泥土桩复合土钉墙

1—滑动面；2—土钉或锚杆；3—喷射混凝土面层；4—水泥土桩或微型桩

1整体滑动稳定性可采用圆弧滑动条分法进行验算：

 （7.3.1-1）

 （7.3.1-2）

式中：Ks──圆弧滑动整体稳定安全系数；安全等级为二级、三级的土钉墙，Ks分别不应小于1.3、1.25；

Ks,i──第i个滑动圆弧的抗滑力矩与滑动力矩的比值；抗滑力矩与滑动力矩之比的最小值宜通过搜索不同圆心及半径的所在潜在滑动圆弧确定；

,──第j土条滑弧面处土的粘聚力(kPa)、内摩擦角（°），取值如下：

土压力及水压力计算、土的各类稳定性验算时，土、水压力的分、合算方法及相应的土的抗剪强度指标类别应符合下列规定：

1 对地下水位以上的各类土，土压力计算、土的滑动稳定性验算时，对粘性土、粘质粉土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标、或直剪固结快剪强度指标、，对砂质粉土、砂土、碎石土，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标、；

2 对地下水位以下的粘性土、粘质粉土，可采用土压力、水压力合算方法，土压力计算、土的滑动稳定性验算可采用总应力法；此时，对正常固结和超固结土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标、或直剪固结快剪强度指标、，对欠固结土，宜采用有效自重压力下预固结的三轴不固结不排水抗剪强度指标、；

3 对地下水位以下的砂质粉土、砂土和碎石土，应采用土压力、水压力分算方法，土压力计算、土的滑动稳定性验算应采用有效应力法；此时，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标、，对砂质粉土，缺少有效应力强度指标时，也可采用三轴固结不排水抗剪强度指标、或直剪固结快剪强度指标、代替，对砂土和碎石土，有效应力强度指标可根据标准贯入试验实测击数和水下休止角等物理力学指标取值；土压力、水压力采用分算方法时，水压力可按静水压力计算；当地下水渗流时，宜按渗流理论计算水压力和土的竖向有效应力；当存在多个含水层时，应分别计算各含水层的水压力；

4 有可靠的地方经验时，土的抗剪强度指标尚可根据室内、原位试验得到的其他物理力学指标，按经验方法确定。

bj──第j条土条的宽度（m）

qj──作用在第j土条上的附加分布荷载标准值（kPa）；

──第j土条的自重（kN）,按天然重度计算；

──第j土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角（。）；

──第k层土钉或锚杆对圆弧滑动体的极限拉力值（kN）；应取土钉或锚杆在滑动面以外的锚固体极限抗拔承载力标准值与杆体受拉承载力标准值（或）的较小值；

5 锚固体的极限抗拔承载力应按照本规程第7.3.2.5条和第7.3.5.4条的规定计算，但锚固段应取圆弧滑动面以外的长度；

──第k层土钉合伙锚杆的倾角（。）

──滑弧面在第k层土钉或锚杆处的法线与垂直面的夹角（。）；

──第k层土钉或锚杆的水平间距（m）；

──计算系数；可取，为第k层土钉或锚杆与滑弧交点处土的内摩擦角。

6水泥土桩复合土钉墙，在考虑地下水压力的作用时，其整体稳定性应按公式（7.3.1-3）、（7.3.1-4）验算，但应按7.3.1.4条的规定取值。

 （7.3.1-3）

 （7.3.1-4）

式中：lj──第j土条的滑弧段长度(m)，取；

uj──第j土条在滑弧面上的孔隙水压力(kPa)；基坑采用落底式截水帷幕时，对地下水位以下的砂土、碎石土、粉土，在基坑外侧，可取，在基坑内侧，可取；在地下水位以上或对地下水位以下的粘性土，取；

──地下水重度(kN/m3)；

hwa，j──基坑外地下水位至第j土条滑弧面中点的垂直距离(m)；

hwp，j──基坑内地下水位至第j土条滑弧面中点的垂直距离(m)；

* + 1. 当基坑底面以下存在软弱下卧土层时，整体稳定性验算滑动面中尚应包括由圆弧与软弱土层层面组成的复合滑动面。
    2. 微型桩、水泥土桩复合土钉墙，滑弧穿过其嵌固段的土条可适当考虑桩的抗滑作用。
    3. 基坑底面以下有软土层的土钉墙结构应进行坑底隆起稳定性验算，验算可采用下列公式（图7.3.4）。

图示

描述已自动生成

图7.3.4基坑底面下有软土层的土钉墙抗隆起稳定性验算

···

式中：──地面均布荷载（kPa）；

──隧道轨面以上土的重度（KN/m3）；对多层土取各层土按厚度加权的平均重度；

h──隧道的高度（m）

──隧道轨面至抗隆起计算平面之间土层的重度（KN/m3）；对多层土取各层土按厚度加权的平均重度；

D──隧道轨面至抗隆起计算平面之间土层的厚度（m）;当抗隆起计算平面为隧道轨面底平面时，取D等于0；

、──承载力系数；

、──抗隆起计算平面以下土的粘聚力（kPa）、内摩擦角（），按照本规程第3.1.14条规定取值；

──土钉墙破面的宽度（m）;当土钉墙坡面垂直时取=0；

──地面均布荷载的计算宽度（m）,可取=h；

──抗隆起安全系数；安全等级为二级、三级的土钉墙，分别不应小于1.6、1.4。

* + 1. 土钉墙与截水帷幕结合时，应按（建筑基坑支护技术规程JGJ120-2012-基坑支护技术规范）附录C规定进行地下水渗透稳定性验算。

1. 土钉承载力计算
   * 1. 单根土钉的抗拔承载力应符合下式规定：

 （7.3.2.1）

式中：──土钉抗拔安全系数；安全等级为二级、三级的土钉墙，分别不应小于1.6、1.4；

──第j层土钉的轴向拉力标准值（kN），应按本规程第7.3.2.2条的规定确定

──第j层土钉的极限抗拔承载力标准值（kN），应按本规程第7.3.2.5条的规定确定。

* + 1. 单根土钉的轴向拉力标准值可按下式计算：

 （7.3.2.2）

式中：──第j层土钉的轴向拉力标准值（kN）;

──第j层土钉的倾角（）；

──墙面倾斜时的主动土压力折减系数，可按本规程第7.3.2.3条确定。

──第j层土钉轴向拉力调整系数，可按照公式（7.3.2.4）计算；

──土钉的水平间距（m）；

──土钉的垂直间距（m）。

──第j层土钉处的主动土压力强度标准值（kPa）

坡面倾斜时的主动土压力折减系数（）可按下式计算：

（7.3.8）

式中：──主动土压力折减系数；

──土钉墙坡面与水平面的夹角（）

──隧道轨面以上各土层按土层厚度加权的内摩擦角平均值（）

* + 1. 土钉轴向拉力调整系数（）可按下列公式计算：

（7.3.9-1）

（7.3.9-2）

式中：──土钉轴向拉力调整系数；

──第j层土钉至隧道顶面的垂直距离（m）

──隧道深度（m）

──作用在以、为边长的面积内的主动土压力标准值（kN）;

──计算系数；

──经验系数，可取0.6-1.0；

──土钉层数。

* + 1. 单根土钉的极限抗拔承载力应按下列规定确定：

1 单根土钉的极限抗拔承载力通过抗拔试验确定，其试验方法应符合本规程附录A的规定。

2 单根土钉的极限抗拔承载力标准值可按下式估算，但应通过本规程附录A规定的土钉抗拔试验进行验证：

（7.3.10）

式中：──第j层土钉的极限抗拔承载力标准值（kN）；

──第j层土钉的锚固体直径（m）；对成孔注浆土钉，按成孔直径计算，对打入钢管土钉，按钢管直径计算；

──第j层土钉在第i层土的极限粘结强度标准值（kPa）；应由土钉抗拔试验确定，无试验数据时，可根据工程经验并结合表7.3.10取值；

──第j层土钉在滑动面外第i层中的长度（m）；计算单根土钉极限抗拔承载力时。取图7.3.10所示的直线滑动面，直线滑动面与水平面的夹角取。

表7.3.10土钉的极限粘结强度标准值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土的名称 | 土的状态 | qak(kPa) | |
| 成孔注浆土钉 | 打入钢管土钉 |
| 填土 |  | 15～30 | 20～35 |
| 淤泥质土 |  | 10～20 | 15～25 |
| 粘性土 | 0.75＜IL≤1 | 20～30 | 20～40 |
| 0.25＜IL≤0.75 | 30～45 | 40～55 |
| 0＜IL≤0.25 | 45～60 | 55～70 |
| IL≤0 | 60～70 | 70～80 |
| 粉土 |  | 40～80 | 50～90 |
| 砂土 | 松散 | 35～50 | 50～65 |
| 稍密 | 50～65 | 65～80 |
| 中密 | 65～80 | 80～100 |
| 密实 | 80～100 | 100～120 |

3 对安全等级为三级的土钉墙，可仅按公式7.3.10确定单根土钉的极限抗拔承载力。

4 当按本条第1~3款确定的土钉极限抗拔承载力标准值（）大于时，应取。

卡通人物

中度可信度描述已自动生成

图7.3.10 土钉抗拔承载力计算

1—土钉；2—喷射混凝土面层

* + 1. 土钉杆体的受拉承载力应符合下列规定：

（公式7.3.11）

式中：—第j层土钉的轴向拉力设计值（kN）；

—（钉杆体的抗拉强度设计值（kPa）；

—土钉杆体的截面面积（m2）。

1. 构造
   * 1. 土钉墙、预应力锚杆复合土钉墙的坡度不宜大于1：0.2；当基坑较深、土的抗剪强度较低时，宜取较小坡度。对砂土、碎石土、松散填土，确定土钉墙坡度时尚应考虑开挖时坡面的局部自稳能力。微型桩、水泥土桩复合土钉墙，应采用微型桩、水泥土桩与土钉墙面层贴合的垂直墙面。

注：土钉墙坡度指其墙面垂直高度与水平宽度的比值。

* + 1. 土钉墙宜采用洛阳铲成孔的钢筋土钉。对易塌孔的松散或稍密的砂土、稍密的粉土、填土，或易缩径的软土宜采用打入式钢管土钉。对洛阳铲成孔或钢管土钉打入困难的土层，宜采用机械成孔的钢筋土钉。
    2. 土钉水平间距和竖向间距宜为1m~2m；当基坑较深、土的抗剪强度较低时，土钉间距应取小值。土钉倾角宜为5°~20°，其夹角应根据土性和施工条件确定。土钉长度应按各层土钉受力均匀、各土钉拉力与相应士钉极限承载力的比值近于相等的原则确定。
    3. 成孔注浆型钢筋土钉的构造应符合下列要求：

1 成孔直径宜取70mm~120mm；

2 土钉钢筋宜采用HRB400、HRB335级钢筋，钢筋直径应根据土钉抗拔承载力设计要求确定，且宜取16mm~32mm;

3 应沿土钉全长设置对中定位支架，其间距宜取1.5m~2.5m，土钉钢筋保护层厚度不宜小于20mm;

4 土钉孔注浆材料可采用水泥浆或水泥砂浆，其强度不宜低于20MPa；

* + 1. 钢管土钉的构造应符合下列要求：

1 钢管的外径不宜小于48mm，壁厚不宜小于3mm；钢管的注浆孔应设置在钢管里端l/2～2l/3范围内，此处，l为钢管土钉的总长度；每个注浆截面的注浆孔宜取2个，且应对称布置，注浆孔的孔径宜取5mm～8mm，注浆孔外应设置保护倒刺；

2 钢管土钉的连接采用焊接时，接头强度不应低于钢管强度；可采用数量不少于3根、直径不小于16mm的钢筋沿截面均匀分布拼焊，双面焊接时钢筋长度不应小于钢管直径的2倍。

* + 1. 土钉墙高度不大于12m时，喷射混凝土面层的构造要求应符合下列规定：

1 喷射混凝土面层厚度宜取80mm～100mm；

2 喷射混凝土设计强度等级不宜低于C20；

3 喷射混凝土面层中应配置钢筋网和通长的加强钢筋，钢筋网宜采用HPB235级钢筋，钢筋直径宜取6mm～10mm，钢筋网间距宜取150mm～250mm；钢筋网间的搭接长度应大于300mm；加强钢筋的直径宜取14mm～20mm；当充分利用土钉杆体的抗拉强度时，加强钢筋的截面面积不应小于土钉杆体截面面积的二分之一。

* + 1. 土钉与加强钢筋宜采用焊接连接，其连接应满足承受土钉拉力的要求；当在土钉拉力作用下喷射混凝土面层的局部受冲切承载力不足时，应采用设置承压钢板等加强措施。
    2. 当土钉墙墙后存在滞水时，应在含水土层部位的墙面设置泄水孔或其它疏水措施。
    3. 采用预应力锚杆复合土钉墙时，预应力锚杆应符合下列要求：

1 宜采用钢绞线锚杆；

2 当预应力锚杆用于减小地面变形时，锚杆宜布置在土钉墙的较上部位；用于增强面层抵抗土压力的作用时，锚杆应布置在土压力较大及墙背土层较软弱的部位；

3 锚杆的拉力设计值不应大于土钉墙墙面的局部受压承载力；

4 预应力锚杆应设置自由段，自由段长度应超过土钉墙坡体的潜在滑动面；

5 锚杆与土钉墙的喷射混凝土面层之间应设置腰梁连接，腰梁可采用槽钢腰梁或混凝土腰梁，腰梁与喷射混凝土面层应紧密接触，腰梁规格应根据锚杆拉力设计值确定；

6除符合上述规定外，锚杆的构造尚应符合本规程第7.2.7节有关构造的规定。

* + 1. 采用微型桩垂直复合土钉墙时，微型桩应符合下列要求：

1 应根据微型桩施工工艺对土层特性和基坑周边环境条件的适用性选用微型钢管桩、型钢桩或灌注桩等桩型；

2 采用微型桩时，宜同时采用预应力锚杆；

3 微型桩的直径、规格应根据对复合墙面的强度要求确定；采用成孔后插入微型钢管桩、型钢桩的工艺时，成孔直径宜取130mm～300mm，对钢管，其直径宜取48mm～250mm，对工字钢，其型号宜取Ⅰ10～Ⅰ22；孔内应灌注水泥浆或水泥砂浆并充填密实；采用微型混凝土桩时，其直径宜取200mm～300mm；

4 微型桩的间距应满足土钉墙施工时桩间土的稳定性要求；

5 微型桩伸入基坑底面的长度宜大于桩径的5倍，且不应小于1m；

6 微型桩应与喷射混凝土面层贴合。

* + 1. 采用水泥土桩复合土钉墙时，水泥土桩应符合下列要求：

1 应根据水泥土桩施工工艺对土层特性和基坑周边环境条件的适用性选用搅拌桩、旋喷桩等桩型；

2 伸入基坑底面的长度宜大于桩径的2倍，且不应小于1m；

3 水泥土桩应与喷射混凝土面层贴合；

4 桩身28d无侧限抗压强度不宜小于1MPa；

5 水泥土桩兼作截水帷幕时，尚应符合本规程第9.2节对截水的要求。

1. 施工与检测
   * 1. 土钉墙应按每层土钉及混凝土面层分层设置、分层开挖基坑的步序施工。
     2. 当有地下水时，对易产生流砂或塌孔的砂土、粉土、碎石土等土层，应通过试验确定土钉施工工艺和措施。
     3. 钢筋土钉成孔时应符合下列要求：

1 土钉成孔范围内存在地下管线等设施时，应在查明其位置并避开后，再进行成孔作业；

2 应根据土层的性状选择洛阳铲、螺旋钻、冲击钻、地质钻等成孔方法，采用的成孔方法应能保证孔壁的稳定性、减小对孔壁的扰动；

3 当成孔遇不明障碍物时，应停止成孔作业，在查明障碍物的情况并采取针对性措施后方可继续成孔；

4 对易塌孔的松散土层宜采用机械成孔工艺；成孔困难时，可采用注入水泥浆等方法进行护壁。

* + 1. 钢筋土钉杆体的制作安装时应符合下列要求：

1 钢筋使用前，应调直并清除污锈；

2 当钢筋需要连接时，宜采用搭接焊、帮条焊；应采用双面焊，双面焊的搭接长度或帮条长度应不小于主筋直径的5倍，焊缝高度不应小于主筋直径的0.3倍；

3 对中支架的断面尺寸应符合土钉杆体保护层厚度要求，对中支架可选用直径6mm～8mm的钢筋焊制；

4 土钉成孔后应及时插入土钉杆体，遇塌孔、缩径时，应在处理后再插入土钉杆体。

* + 1. 钢筋土钉注浆时应符合下列规定：

1 注浆材料可选用水泥浆或水泥砂浆；水泥浆的水灰比宜取0.5～0.55；水泥砂浆的水灰比宜取0.40～0.45，同时，灰砂比宜取0.5～1.0，拌和用砂宜选用中粗砂，按重量计的含泥量不得大于3%；

2 水泥浆或水泥砂浆应拌和均匀，一次拌和的水泥浆或水泥砂浆应在初凝前使用；

3 注浆前应将孔内残留的虚土清除干净；

4 注浆时，宜采用将注浆管与土钉杆体绑扎、同时插入孔内并由孔底注浆的方式；注浆管端部至孔底的距离不宜大于200mm；注浆及拔管时，注浆管口应始终埋入注浆液面内，应在新鲜浆液从孔口溢出后停止注浆；注浆后，当浆液液面下降时，应进行补浆。

* + 1. 打入式钢管土钉施工时应符合下列规定：

1 钢管端部应制成尖锥状；顶部宜设置防止钢管顶部施打变形的加强构造；

2 注浆材料应采用水泥浆；水泥浆的水灰比宜取0.5～0.6；

3 注浆压力不宜小于0.6MPa；应在注浆至管顶周围出现返浆后停止注浆；当不出现返浆时，可采用间歇注浆的方法。

* + 1. 喷射混凝土面层施工应符合下列规定：

1 细骨料宜选用中粗砂，含泥量应小于3％；

2 粗骨料宜选用粒径不大于20mm的级配砾石；

3 水泥与砂石的重量比宜取1：4～1：4.5，砂率宜取45％～55％，水灰比宜取0.4～0.45；

4 使用速凝剂等外掺剂时，应做外加剂与水泥的相容性试验及水泥净浆凝结试验，并应通过试验确定外掺剂掺量及掺入方法；

5 喷射作业应分段依次进行，同一分段内喷射顺序应自下而上均匀喷射，一次喷射厚度宜为30mm～80mm；

6 喷射混凝土时，喷头与土钉墙墙面应保持垂直，其距离宜为0.6m～1.0m；

7 喷射混凝土终凝2h后应及时喷水养护；

8 钢筋与坡面的间隙应大于20mm；

9 钢筋网可采用绑扎固定；钢筋连接宜采用搭接焊，焊缝长度不应小于钢筋直径的10倍；

10 采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被喷射混凝土覆盖后铺设。

* + 1. 土钉墙的施工偏差应符合下列要求：

1 钢筋土钉的成孔深度应大于设计深度0.1m；

2 土钉位置的允许偏差应为100mm；

3 土钉倾角的允许偏差应为3°；

4 土钉杆体长度应大于设计长度；

5 钢筋网间距的允许偏差应为±30mm；

6 微型桩桩位的允许偏差应为50mm；

7 微型桩垂直度的允许偏差应为0.5%。

* + 1. 复合土钉墙中预应力锚杆的施工应符合本规程第7.2节的有关规定。微型桩的施工应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的有关规定。水泥土桩的施工应符合本规程第8.3节的有关规定。
    2. 土钉墙的质量检测应符合下列规定：

1 应对土钉的抗拔承载力进行检测，抗拔试验可采用逐级加荷法；土钉的检测数量不宜少于土钉总数的1%，且同一土层中的土钉检测数量不应少于3根；试验最大荷载不应小于土钉轴向拉力标准值的1.1倍；检测土钉应按随机抽样的原则选取，并应在土钉固结体强度达到设计强度的70％后进行试验；试验方法应符合本规程附录A的规定；

2 土钉墙面层喷射混凝土应进行现场试块强度试验，每500m2喷射混凝土面积试验数量不应少于一组，每组试块不应少于3个；

3 喷射混凝土面层厚度应符合设计要求。允许偏差为±10mm。应对土钉墙的喷射混凝土面层厚度进行检测，施工单位每施工段检查3个断面，每个断面不少于5个检查点，监理单位按施工单位检查数量的30%作见证检验或10%作平行检验。每500m2喷射混凝土面积检测数量不应少于一组，每组的检测点不应少于3个；全部检测点的面层厚度平均值不应小于厚度设计值，最小厚度不应小于厚度设计值的80％；

4 喷射混凝土应与坡面、钢筋网紧密结合，其表面应平顺、无裂隙、无露筋。检验数量：施工单位全数检查，监理单位按施工单位检查数量的30%作见证检验。检验方法：观察检查。

5 钢筋网网格间距允许偏差为±20mm。钢筋网的规格、尺寸、网与土钉的连接应符合设计要求。检验数量：施工单位按网面积的10%进行检查；监理单位按施工单位检查数量的30%作见证检验。检验方法：网的规格采用尺量，挂网与土钉的连接采用观察及查焊接试验报告。

6 土钉的布置形式应符合设计要求。检验数量：施工单位、监理单位全数检查。检验方法：观察检查和查阅设计文件。

7 钉孔锚固砂浆强度等级应符合设计要求。检验数量：施工单位每100m3砂浆取试件1组，不足100m3亦按一批计；监理单位按施工单位检查数量的30%作见证检验或10%作平行检验，且不少于1组。检验方法：砂浆试件做抗压强度试验。

8 复合土钉墙中的预应力锚杆，应按本规程第7.3.6条的规定进行抗拔承载力检测；

9 复合土钉墙中的水泥土搅拌桩或旋喷桩用作帷幕时，应按本规程第9.2.14条的规定进行质量检测。

* + 1. 一般项目。土钉孔深度、间距、长度允许偏差及检验标准应符合表7.3.33的规定。

表7.3.33土钉孔深度、间距、长度允许偏差和检验方法

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 允许偏差（mm） | 监理单位检査数量 | 检验方法 |
| 1 | 孔深 | ±50 | 总数的10% | 尺量 |
| 2 | 间距 | ±50 | 总数的10% | 尺量 |
| 3 | 长度 | ±50 | 总数的10% | 尺量 |

注：施工单位全数检查

## 重力式水泥土墙

Ⅰ稳定性与承载力验算

* + 1. 重力式水泥土墙的滑移稳定性应符合下式规定（图7.4.1):

 (7.4.1)

式中:Ksl——抗滑移安全系数，其值不应小于1.2;

Ea、Epa——分别为水泥土墙上的主动土压力、被动土压力标准值(kN/m);

G——水泥土墙的自重(kN/m);

um——水泥土墙底面上的水压力(kPa);水泥土墙底位于含水层时，可取um=γw（hwa+hwp）/2，在地下水位以上时，取um=0;

c、ψ——分别为水泥土墙底面下土层的黏聚力(kPa)、内摩擦角(°);

B——水泥土墙的底面宽度（m);

hwa——基坑外侧水泥土墙底处的压力水头(m);

hwp——基坑内侧水泥土墙底处的压力水头(m)。

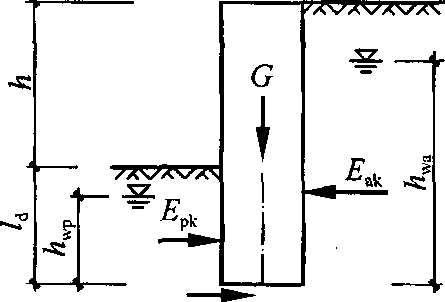


图7.4.1滑移稳定性验算

* + 1. 重力式水泥土墙的倾覆稳定性应符合下式规定（图7.4.2):

 (7.4.2)

式中:Kov——抗倾覆安全系数，其值不应小于1.3;

aa——水泥土墙外侧主动土压力合力作用点至墙趾的竖向距离(m);

ap——水泥土墙内侧被动土压力合力作用点至墙趾的竖向距离(m);

aG——水泥土墙自重与墙底水压力合力作用点至墙趾的水平距离(m)。

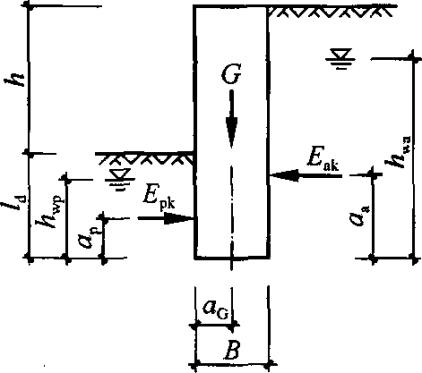


图7.4.2倾覆稳定性验算

* + 1. 重力式水泥土墙应按下列规定进行圆弧滑动稳定性验算:

1 可釆用圆弧滑动条分法进行验算；

2 采用圆弧滑动条分法时，其稳定性应符合下列规定（图7.4.3）：

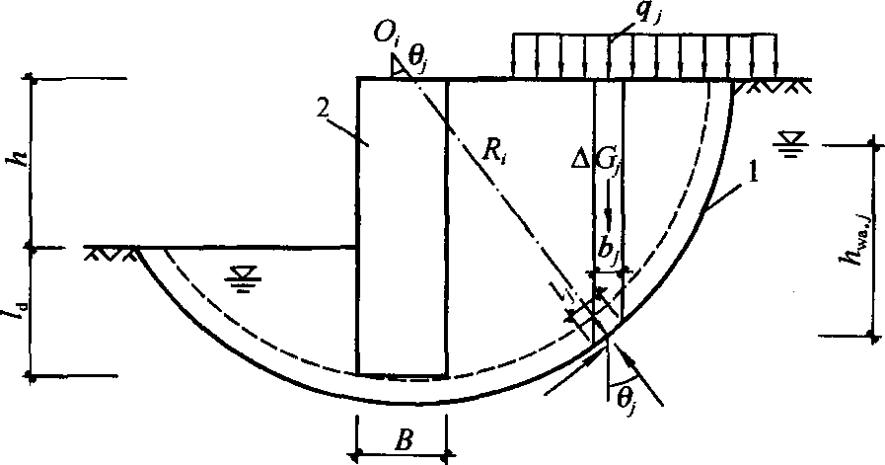


图7.4.3整体滑动稳定性验算

 （7.4.3-1）

 （7.4.3-2）

式中：Ks——圆弧滑动稳定安全系数，其值不应小于1.3；

Ks，i——第i个圆弧滑动体的抗滑力矩与滑动力矩的比值;抗滑力矩与滑动力矩之比的最小值宜通过搜索不同圆心及半径的所有潜在滑动圆弧确定;

cj、ψj——分别为第顶土条滑弧面处土的黏聚力（kPa）、内摩擦角（°）;

bj——第j土条的宽度（m）；

θj——第j土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角（°）;

lj——第j土条的滑弧长度（m）；取lj=bj/cosθj;

qj——第j顶土条上的附加分布荷载标准值（kPa）；

∆Gj——第j顶土条的自重（kN）,按天然重度计算；分条时，水泥土墙可按土体考虑；

uj——第j土条滑弧面上的孔隙水压力（kPa）；对地下水位以下的砂土、碎石土、砂质粉土，当地下水是静止的或渗流水力梯度可忽略不计时，在基坑外侧，可取uj=γwhwa,j;在基坑内侧，可取uj=γwhwp,j;；滑弧面在地下水位以上或对地下水位以下的黏性土，取uj=0；

γw——地下水重度（kN/m3）；

hwa,j——基坑外侧第j土条滑弧面中点的压力水头（m）；

hwp,j——基坑内侧第顶土条滑弧面中点的压力水头（m）。

3 当墙底以下存在软弱下卧土层时，稳定性验算的滑动面中应包括由圆弧与软弱土层层面组成的复合滑动面。

* + 1. 重力式水泥土墙，其嵌固深度应符合下列坑底隆起稳定性要求：

1 隆起稳定性可按本规程公式（7.2.1.14-1）〜公式（7.2.1.14-3）验算，但公式中γm1应取基坑外墙底面以上土的重度，γm2应取基坑内墙底面以上土的重度，ld应取水泥土墙的嵌固深度，c、ψ应取水泥土墙底面以下土的黏聚力、内摩擦角；

2 当重力式水泥土墙底面以下有软弱下卧层时，隆起稳定性验算的部位应包括软弱下卧层，此时，公式（7.2.1.14-1）〜公式（7.2.1.14-3）中的γm1、γm2应取软弱下卧层顶面以上土的重度,ld应以D代替。

注:D为坑底至软弱下卧层顶面的土层厚度(m)。

* + 1. 重力式水泥土墙墙体的正截面应力应符合下列规定:

1拉应力:

 (7.4.5-1)

2压应力:

 (7.4.5-2)

3剪应力:

 (7.4.5-3)

式中:Mi——水泥土墙验算截面的弯矩设计值（kNm/m）；

B——验算截面处水泥土墙的宽度（m）；

γcs——水泥土墙的重度（kN/m3）；

Z——验算截面至水泥土墙顶的垂直距离（m）；

fcs——水泥土开挖龄期时的轴心抗压强度设计值（kPa）,应根据现场试验或工程经验确定；

γF————荷载综合分项系数；

Eaki、Epki——分别为验算截面以上的主动土压力标准值、被动土压力标准值（kN/m）；验算截面在坑底以上时, 取Epk,i=0;

Gi——验算截面以上的墙体自重（kN/m）；

μ——墙体材料的抗剪断系数，取0.4〜0.5。

* + 1. 重力式水泥土墙的正截面应力验算应包括下列部位:

1 基坑面以下主动、被动土压力强度相等处；

2 基坑底面处；

3 水泥土墙的截面突变处。

* + 1. 当地下水位高于坑底时，应按本规程附录C的规定进行地下水渗透稳定性验算。

Ⅱ构造

* + 1. 重力式水泥土墙宜采用水泥土搅拌桩相互搭接成格栅状的结构形式，也可釆用水泥土搅拌桩相互搭接成实体的结构形式。搅拌桩的施工工艺宜釆用喷浆搅拌法。
    2. 重力式水泥土墙的嵌固深度，对淤泥质土，不宜小于1.2h,对淤泥，不宜小于1.3h；重力式水泥土墙的宽度，对淤泥质土，不宜小于0. 7h,对淤泥，不宜小于0.8h。

注：h为基坑深度。

* + 1. 重力式水泥土墙采用格栅形式时，格栅的面积置换率,对淤泥质土，不宜小于0.7；对淤泥，不宜小于0.8；对一般黏性土、砂土，不宜小于0.6。格栅内侧的长宽比不宜大于2。每个格栅内的土体面积应符合下式要求:

 (7.4.10)

式中：A——格栅内的土体面积（m2）；

δ——计算系数；对黏性土，取δ=0.5；对砂土、粉土, 取δ=0.7；

c——格栅内土的黏聚力（kPa）；

u——计算周长（m）,按图7.4.10计算；

γm——格栅内土的天然重度（kN/m3）对多层土，取水泥土墙深度范围内各层土按厚度加权的平均天然重度。

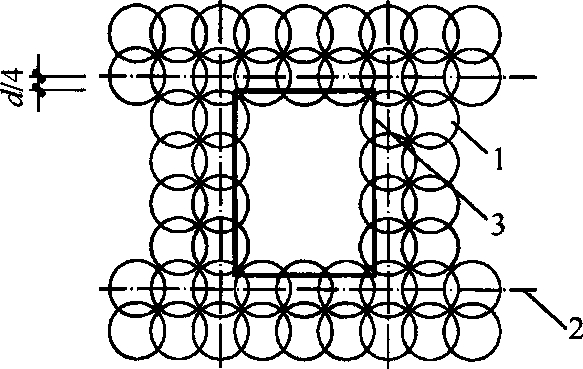


图7.4.10格栅式水泥土墙

1-水泥土桩;2----水泥土桩中心线;3-计算周长

* + 1. 水泥土搅拌桩的搭接宽度不宜小于150mm。
    2. 当水泥土墙兼作截水帷幕时，应符合本规程第9章对截水的要求。
    3. 水泥土墙体的28d无侧限抗压强度不宜小于1.0MPa。当需要增强墙体的抗拉性能时，可在水泥土桩内插入杆筋。杆筋可采用钢筋、钢管。杆筋的插入深度宜大于基坑深度。杆筋应锚入面板内。
    4. 水泥土墙顶面宜设置混凝土连接面板，面板厚度不宜小于150mm，混凝土强度等级不宜低于C15。

## 重力式挡墙

* + 1. 一般规定

1 根据墙背倾斜情况，重力式挡墙可分为俯斜式挡墙、仰斜式挡墙、直立式挡墙和衡重式挡墙等类型。

2 采用重力式挡墙时，土质边坡高度不宜大于10m，岩质边坡高度不宜大于12m。

3 对变形有严格要求或开挖土石方可能危及边坡稳定的边坡不宜采用重力式挡墙，开挖土石方危及相邻建（构）筑物安全的边坡不应采用重力式挡墙。

4 重力式挡墙类型应根据使用要求、地形、地质和施工条件等综合考虑确定，对岩质边坡和挖方形成的土质边坡宜优先采用仰斜式挡墙，高度较大的土质边坡宜采用衡重式或仰斜式挡墙。

* + 1. 设计计算

1 土质边坡采用重力式挡墙高度不小于5m时，主动土压力应按《建筑边坡技术规范》GB50330计算的主动土压力值乘以增大系数确定。挡墙高度5m～8m时增大系数宜取1.1，挡墙高度大于8m时增大系数宜取1.2。

2 重力式挡墙设计应进行抗滑移和抗倾覆稳定性验算。当挡墙地基软弱、有软弱结构面或位于边坡坡顶时，还应按关规定进行地基稳定性验算。

3 重力式挡墙的抗滑移稳定性应按下列公式验算(图7.5-1)：

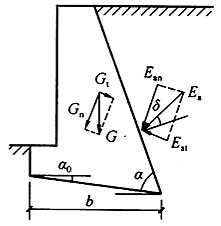


图7.5-1挡墙抗滑移稳定性验算

 （7.5.2-1）

 （7.5.2-2）

 （7.5.2-3）

 （7.5.2-4）

 （7.5.2-5）

式中：Ea——每延米主动岩土压力合力(kN/m)；

      Fs——挡墙抗滑移稳定系数；

      G——挡墙每延米自重(kN/m)；

      α——墙背与墙底水平投影的夹角(°)；

      α0——挡墙底面倾角(°)；

      δ——墙背与岩土的摩擦角(°)，可按本规范的表6.2.3选用；

      μ——挡墙底与地基岩土体的摩擦系数，宜由试验确定，也可按表7.5-1选用。

表7.5-1 岩土与挡墙底面摩擦系数μ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 岩土类型 | | 摩擦系数μ |
|
| 粘性土 | 可塑 | 0.20～0.25 |
| 硬塑 | 0.25～0.30 |
| 坚硬 | 0.30～0.40 |
| 粉土 | | 0.25～0.35 |
| 中砂、粗砂、砾砂 | | 0.35～0.40 |
| 碎石土 | | 0.40～0.50 |
| 极软、岩软岩、较软岩 | | 0.40～0.60 |
| 表面粗糙的坚硬岩、较硬岩 | | 0.65～0.75 |

4 重力式挡墙的抗倾覆稳定性应按下列公式进行验算(图7.5-2)：

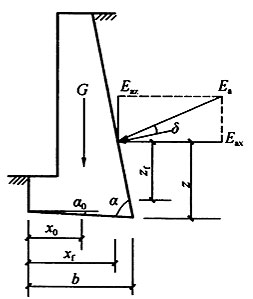


图7.5-2挡墙抗倾覆稳定性验算

 （7.5.2-6）

 （7.5.2-7）

 （7.5.2-8）

 （7.5.2-9）

 （7.5.2-10）

式中：Ft——挡墙抗倾覆稳定系数；

      b——挡墙底面水平投影宽度(m)；

      χ0——挡墙中心到墙趾的水平距离(m)；

      z——岩土压力作用点到墙踵的竖直距离(m)。

5 地震工况时，重力式挡墙的抗滑移稳定系数不应小于1.10，抗倾覆稳定性不应小于1.30。

6 重力式挡墙的地基承载力和结构强度计算，应符合国家现行有关标准的规定。

* + 1. 构造设计

1 重力式挡墙材料可使用浆砌块石、条石、毛石混凝土或素混凝土。块石、条石的强度等级不应低于MU30，砂浆强度等级不应低于M5.0；混凝土强度等级不应低于C15。

2 重力式挡墙基底可做成逆坡。对土质地基，基底逆坡坡度不宜大于1：10；对岩质地基，基底逆坡坡度不宜大于1：5。

3 挡墙地基表面纵坡大于5％时，应将基底设计为台阶式，其最下一级台阶底宽不宜小于1.00m。

4 块石或条石挡墙的墙顶宽度不宜小于400mm，毛石混凝土、素混凝土挡墙的墙顶宽度不宜小于200mm。

5 重力式挡墙的基础埋置深度，应根据地基稳定性、地基承载力、冻结深度、水流冲刷情况以及岩石风化程度等因素确定。在土质地基中，基础最小埋置深度不宜小于0.50m，在岩质地基中，基础最小埋置深度不宜小于0.30m。基础埋置深度应从坡脚排水沟底算起。受水流冲刷时，埋深应从预计冲刷底面算起。

6 位于稳定斜坡地面的重力式挡墙，其墙趾最小埋入深度和距斜坡面的最小水平距离应符合表7.5-2的规定。

表7.5-2 斜坡地面墙趾最小埋入深度和距斜坡地面的最小水平距离(m)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地基情况 | 最小埋入深度(m) | 距斜坡地面的最小水平距离(m) |
| 硬质岩石 | 0.6 | 0.6～1.50 |
| 软质岩石 | 1.00 | 1.50～3.00 |
| 土质 | 1.00 | 3 |

注：硬质岩指单轴抗压强度大于30MPa的岩石，软质岩指单轴抗压强度小于15MPa的岩石。

7 重力式挡墙的伸缩缝间距，对条石、块石挡墙宜为20m～25m，对混凝土挡墙宜为10m～15m。在挡墙高度突变处及与其他建(构)筑物连接处应设置伸缩缝，在地基岩土性状变化处应设置沉降缝。沉降缝、伸缩缝的缝宽宜为20mm～30mm，缝中应填塞沥青麻筋或其他有弹性的防水材料，填塞深度不应小于150mm。

8 挡墙后面的填土，应优先选择抗剪强度高和透水性较强的填料。当采用黏性土作填料时，宜掺入适量的砂砾或碎石。不应采用淤泥质土、耕植土、膨胀性黏土等软弱有害的岩土体作为填料。

9 挡墙的防渗与泄水布置应根据地形、地质、环境、水体来源及填料等因素分析确定。

10 挡墙后填土地表应设置排水良好的地表排水系统

## 放坡

* + 1. 基坑安全等级为三级，施工场地满足放坡条件时，且无不良地质作用时，明挖法基坑开挖可采用放坡开挖法。
    2. 高度较大的边坡应分级开挖放坡,分级放坡时应验算边坡整体的和各级的稳定性。
    3. 土质边坡的坡率允许值应根据工程经验，按工程类比的原则并结合已有稳定边坡的坡率值分析确定。当无经验且土质均匀良好、地下水贫乏、无不良地质作用和地质环境条件简单时，边坡坡率允许值可按下表确定。

表7.6.3 土质边坡坡率允许值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 边坡土体  类别 | 状态 | 坡率允许值(高宽比) | |
| 坡高小于5m | 坡高5m～10m |
| 碎石土 | 密实 | 1:0.35～1:0.50 | 1:0.50～1:0.75 |
| 中密 | 1:0.50～1:0.75 | 1:0.75～1:1.00 |
| 稍密 | 1:0.75～1:1.00 | 1:1.00～1:1.25 |
| 粘性土 | 坚硬 | 1:0.75～1:1.00 | 1:1.00～1:1.25 |
| 硬塑 | 1:1.00～1:1.25 | 1:1.25～1:1.50 |

注：1碎石土的填充物为坚硬或硬塑状态的粘性土;

2对于砂土或填充物为沙土的碎石土,其边坡率允许值应按砂土或碎石土的自然休止角

确定

* + 1. 在边坡保持整体稳定的条件下，岩质边坡开挖的坡率允许值应根据工程经验，按工程类比的原则结合已有稳定边坡的坡率值分析确定。对无外倾软弱结构面的边坡，放坡坡率可按下表确定（边坡岩体类型按照《建筑边坡工程技术规范》 GB50330执行）。

表7.6.4 岩质边坡坡率允许值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 边坡岩体  类型 | 风化程度 | 坡率允许值(高宽比) | | |
| H＜8m | 8m≤H＜15m | 15m≤H＜25m |
| Ⅰ类 | 未(微)  风化 | 1:0.00～1:0.10 | 1:0.10～1:0.15 | 1:0.15～1:0.25 |
|
| 中等  风化 | 1:0.10～1:0.15 | 1:0.15～1:0.25 | 1:0.25～1:0.35 |
| Ⅱ类 | 未(微)  风化 | 1:0.10～1:0.15 | 1:0.15～1:0.25 | 1:0.25～1:0.35 |
|
| 中等  风化 | 1:0.15～1:0.25 | 1:0.25～1:0.35 | 1:0.35～1:0.50 |
| Ⅲ类 | 未(微)  风化 | 1:0.25～1:0.35 | 1:0.35～1:0.50 | 一 |
|
| 中等  风化 | 1:0.35～1:0.50 | 1:0.50～1:0.75 | 一 |
| Ⅳ类 | 中等  风化 | 1:0.50～1:0.75 | 1:0.75～1:1.00 | 一 |
| 强风化 | 1:0.75～1:1.00 | 一 | 一 |

注：1H一边坡高度;

2Ⅳ类强风化包括类风化程度的极软岩;

3全风化岩体可按土质边坡坡率取值;

* + 1. 下列边坡的坡率允许值应通过稳定性计算分析确定:

1 有外倾软弱结构面的岩质边坡;

2 土质较软的边坡;

3 坡顶边缘附近有较大荷载的边坡;

4 边坡高度超过本规范表7.6.3和表7.6.4范围的边坡。

* + 1. 土质边坡稳定性计算应考虑边坡影响范围内的建(构) 筑物和边坡支护处理对地下水运动等水文地质条件的影响，以及由此而引起的对边坡稳定性的影响。
    2. 有下列情况之一的边坡不应单独采用放坡法，应与其他边坡支护方法联合使用:

1 放坡开挖对相邻建(构)筑物有不利影响的边坡;

2 地下水发育的边坡;

3 软弱土层等稳定性差的边坡;

4 坡体内有外倾软弱结构面或深层滑动面的边坡;

5 单独采用坡率法不能有效改善整体稳定性的边坡;

6 地质条件复杂的一级边坡。

* + 1. 放坡开挖方式可与锚拉式结构、支撑式结构、悬臂式结构、双排桩、支护结构与主体结构结合的逆作法、单一土钉墙、预应力锚杆复合土钉墙、水泥土桩垂直复合土钉墙、微型桩垂直复合土钉墙、重力式水泥土墙等支护结构形式相结合。
    2. 不同支护形式的结合处，应考虑相邻支护结构的相互影响，其过渡段应有可靠的连接措施。
    3. 支护结构上部采用土钉墙或放坡、下部采用支挡式结构时，上部土钉墙或放坡应符合本规程对其支护结构形式的规定，支挡式结构应按整体结构考虑。
    4. 基坑开挖采用放坡或支护结构上部采用放坡时，应按照本规程的第7.3.4规定验算边坡的滑动稳定性，边坡的圆弧滑动稳定安全系数Ks不应小于1.2。放坡破面应设置防护层。
    5. 基坑放坡开挖时，必要时应进行抗承压水突涌验算。
    6. 放坡开挖应符合下列规定：

1 边坡开挖应纵向分段、竖向分层，自上而下逐段开挖，随挖随护；

2 土质临时边坡一般采用长土钉加钢筋网、喷射混凝土形成土钉墙防护；石质临时边坡可采用喷射混凝土封闭、锚喷、锚网喷等防护措施；

3 永久边坡宜采用工程加固和植被防护相结合的措施；

4 坡顶、坡脚应采取截排水措施。

## 土方开挖及回填

Ⅰ一般规定

* + 1. 土方开挖方案应考虑工程地质与水文地质条件、环境保护要求、基坑平面尺寸、开挖深度、支护形式、施工方法等因素。
    2. 土方开挖应按照分层、分段、分块，限时的方法确定开挖顺序。土方开挖前，支护结构、土体加固、降水应分别达到设计和施工要求。
    3. 施工便道布置时应考虑挖土机械、支撑施工设备及车辆行驶路线。现场材料堆放、挖土顺序与方法等应减少对周边环境、支护结构、工程桩等的不利影响。
    4. 土方开挖机械、车辆等进行施工作业时，应采取措施来保证坡道稳定，坡道的宽度应满足车辆行驶要求。
    5. 土方开挖的要求：

1 开挖出来的土方不应在邻近建筑及基坑周边影响范围内堆放，在2倍开挖深度范围内不得大量堆土，应及时外运。

2 土方开挖应采用全面分层开挖或台阶式分层开挖的方式；分层厚度结合地质条件进行合理设置，软土地区分层厚度不宜大于4m，开挖过程中的临时边坡坡度不宜大于1：1.5。

3 机械挖土时，坑底以上200mm~300mm范围内的土方应采用人工修底的方式挖除，放坡开挖的基坑边坡应采用人工修坡方式挖除，严禁超挖；土方开挖至基坑底标高应及时进行垫层施工，垫层应浇筑到围护结构边或放坡开挖的基坑坡脚。

4 挖土机械严禁碰撞工程桩、围护墙、支撑、立柱桩、降水井管、监测点等基坑内保护性构件，其周边200mm~300mm范围内的土方应采用人工挖除。

5 当坑底局部深坑落低深度大于1.5m时，不得采取放坡的形式进行开挖，应对局部深坑区域采取地基加固等措施保证周边土体稳定；对于深度超过5m的局部深坑，还应增设支护结构。

* + 1. 基坑开挖应采用信息化施工和动态控制的方法，根据基坑支护体系和周边环境监测数据情况来调整土方开挖的顺序和施工方法。
    2. 基坑开挖完毕后，在浇筑垫层前应组织地基验槽，对坑底超挖、受扰动地基、软弱地基等情况应进行回填或换填处理。在垫层浇筑后，底板制作前应组织桩基验收。
    3. 基坑开挖的质量验收应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202的相关要求。

Ⅱ无支护放坡开挖

* + 1. 采用放坡开挖的基坑，施工应保证边坡整体稳定性。多级放坡时应同时保证各级边坡和整体边坡的稳定性。基坑坡脚附近有局部深坑时，且坡脚与局部深坑的距离小于2倍深坑的深度，应按深坑的深度验算边坡稳定性。
    2. 放坡开挖的基坑边坡坡度应根据土层性质、开挖深度确定。各级边坡坡度不宜大于l:1.5，淤泥质土层中不宜大于1:2.0；多级放坡开挖的基坑，坡间放坡平台宽度不宜小于3.0m，且不应小于1.5m。
    3. 放坡开挖的基坑应结合地质勘查资料，如地下水位较高时应采用降水等土体固结措施。单级放坡基坑的降水井宜设置在坡顶，多级放坡基坑的降水井宜设置在坡顶、放坡平台；基坑边坡位于淤泥、暗浜、暗塘等极软弱的土层时，应进行土体加固。
    4. 放坡开挖的基坑，当土质条件良好，地下水位较低时，基坑开挖坡面可不进行护坡处理；当基坑边坡裸露时间较长、地下水位较高，为防止边坡受雨水冲刷和地下水侵入，可采取必要的护坡措施。护坡可采用钢丝网水泥砂浆、钢丝网细石混凝土、钢丝网喷射混凝土、土体加固等方式。

Ⅲ有支护无内支撑的土方开挖

* + 1. 复合土钉墙支护基坑开挖要求：

1 隔水帷幕的强度和龄期应达到设计要求后方可进行土方开挖。

2 土方开挖应与土钉施工分层交替进行，应缩短无支护暴露时间。

3 应采用分层分段方法进行土方开挖，每层土方开挖的底标高应低于相应土钉位置，且距离不宜大于200mm，每层分段长度不应大于30m。

4 应在土钉养护时间达到设计要求后开挖下一层土方。

* + 1. 水泥土重力式挡墙支护基坑开挖要求：

1 水泥土重力式挡墙的强度和龄期应达到设计要求后方可进行土方开挖。

2 开挖深度超过4m的基坑应采用分层开挖的方法；边长超过50m的基坑应采用分段开挖的方法。

3 面积较大的基坑宜采用盆式开挖方式，盆边留土平台宽度不应小于8m。

4 土方开挖至坑底后应及时浇筑垫层，减少基坑暴露时间。

Ⅳ有支护有内支撑的土方开挖

* + 1. 土方开挖应按照先撑后挖、限时支撑、分层开挖、严禁超挖的方法确定开挖顺序，应减小基坑无支撑暴露时间和空间。
    2. 混凝土支撑应在达到设计要求的强度后进行下层土方开挖；钢支撑应在质量验收并施加预应力后进行下层土方开挖。
    3. 土方开挖过程中应对坑内立柱与降水井管采取保护措施，应对称、均匀开挖其周围土体。
    4. 狭长型基坑开挖的具体要求：

1 采用钢支撑的狭长形基坑可采用纵向斜面分层分段开挖的方法，斜面应设置多级边坡；分段长度宜为3m~8m，分层厚度宜为3m~4m。

2 纵向斜面边坡总坡度不应大于1：3.0，各级边坡坡度不应大于1:1.5，各级边坡平台宽度不应小于3.0m；多级边坡超过二级应设置加宽平台，加宽平台宽度不应小于9.0m，加宽平台之间的上方边坡不应超过二级；纵向斜面边坡长时间暴露时宜采取护坡措施。

3 每层每段开挖和支撑形成的时间应符合设计要求。

4 狭长形基坑可采用一端向另一端开挖的方法，也可采用从中间向两端开挖的方法。

Ⅴ土方回填

* + 1. 土石方回填前，应考虑回填区域国土空间规划因素，根据设计要求和不同质量等级标准来确定施工工艺和方法。
    2. 永久性土方回填的边坡坡度应符合设计要求。使用时间较长的临时性土方回填的边坡坡度，应根据当地经验或通过稳定性计算确定。
    3. 填料应符合设计要求，不同填料不应混填。当设计无要求时，应符合下列规定：

1 宜优先利用基坑中挖出的优质土，不得使用腐殖土、淤泥、垃圾等。回填土内不得含有有机杂质，粒径不应大于50mm。不同土类应分别经过击实试验测定填料的最大干密度和最佳含水量，填料含水量与最佳含水量的偏差控制在±2％范围

2 采用黏土回填，施工含水量与最优含水量之差可控制为-4％～＋2％，使用振动辗时，可控制为-6％～＋2％。当含水量偏高，可采用翻松晾晒或均匀掺入干土或生石灰等措施；当含水量偏低，可采用预先洒水湿润。

3 碎石类土或爆破石渣，可用于表层以下回填，采用碾压法或强夯法施工。采用分层碾压时，厚度应根据压实机具通过试验确定，一般不宜超过500mm，其最大粒径不得超过每层厚度的3/4；

4 淤泥和淤泥质土不宜作为填料，经过处理且符合压实要求后，可用于回填次要部位或无压实要求的区域；

5 基坑采用混凝土回填时，强度等级应满足设计要求；

* + 1. 采用分层回填时，应在下层的压实系数经试验合格后，才能进行上层施工。回土方回填应填筑压实，且压实系数应满足设计要求，当设计无要求时应取0.9~0.98。
    2. 填土应水平分层找平夯实，分层厚度和压实遍数参照《建筑地基与基础工程施工质量验收标准》（GB50202）有关规定。
    3. 土方回填施工时应符合下列规定：

1 土方回填前，地下结构与防水层、保护层等隐蔽工程应验收完毕合格后方可回填。

2 宜对称、均衡地进行土方回填，回填较深的基坑，土方回填应控制降落高度。

3 土方压实过程中，轮(夯)迹应相互搭接，辗迹应重叠0.5m～1.0m。

4 回填面积较大的区域，应采取分块(段)回填压实的方法。交接处阶梯型填筑，每层相互搭接，搭接不小于土体厚度2倍。

* + 1. 非道路红线内土方回填：顶板以上300mm范围内采用不透水性黏土回填。道路红线内的土方回填：顶板以上500mm用密实度87%粘性土；道路结构层以下800mm用密实度95%灰土回填，石灰掺量6%；其他部分用密实度87～95%灰土回填，石灰掺量4%。道路红线内的基坑回填至路面下面层。
    2. 园林等绿化用地的土方回填，应对回填土的理化性质进行化验分析，采取相应的土壤改良、置换客土等措施。回填前将现场内的渣土、工程废料、树根及其有害污染物清除干净。绿化栽植土壤有效土层下不得有不透水层。回填土壤应分层适度夯实，或自然沉降达到基本稳定，严禁用机械反复碾压。
    3. 基坑回填涉及铁路、公路以及城市道路路基范围，土方回填工艺应满足相关规范要求《铁路路基工程施工质量验收标准》（TB10414-2018）《公路路基施工技术规范》（JTG/T3610-2019）《城市道路路基设计规范》（CJJ194-2013）

## 应急响应及措施

* + 1. 一般规定

1 工程开工前，应根据工程难点、特点编制基坑施工总体应急预案。针对风险源辨识结果，提供应对措施。

2 基坑开挖前现场设置应急抢险物资仓库，落实各项应急抢险设备及物资，并编制清单，每月检查及时更新。

3 建立应急抢险小组，定期组织应急演练、人员逃生，提高现场人员应急能力。

* + 1. 应急响应程序

1 依据《铁路建设工程质量事故调查处理规定》，铁路建设工程事故分为特别重大事故、重大事故、较大事故和一般事故四个等级，其应急救援响应等级应与事故等级相匹配。

2 发生险情，快速启动应急响应，逐层上报。具体参照《铁路建设项目安全生产管理办法》。

* + 1. 风险分类及应对措施

1 支护结构失稳：开挖过程中出现围护结构变形超过报警值，应立即停止挖土，并进行土方回填反压以控制围护结构变形的趋势，在基坑变形稳定的情况下在围护结构外采取压密注浆或高压旋喷的方式，对坑外土体进行有效固结。

2 围护或坑底渗漏、流砂、管涌等：开挖过程中出现围护结构或坑底漏水、流砂、管涌等险情时，应立即停止基坑开挖并采取应急措施，待险情排除，经检查确认安全后才能恢复开挖施工。

3 基坑边坡滑动：因边坡土体承载力不足或支护结构设计内力和移位及稳定计算不足,导致边坡失稳或者支护结构失稳引起基坑边坡滑动。按照要求立即停止开挖，停止施工；组织对边坡处进行回填土方或在坡脚位置打设锁脚桩等措施。

4 基底隆起：由于支护结构滑移造成的坑内土体隆起，应采取处理支护结构滑移的措施，同时用重物（沙袋、回填土）压制隆起的土体。

5 地面开裂、塌陷：由于基坑边坡位移、涌水涌砂、坍塌、失稳等因素造成地面开裂、塌陷。应立即停止开挖，进行基坑堆料或回填反压,减缓或抑制路面开裂或塌陷情况；加强支护体系，减小基坑变形量；如果路面下土质或出现空洞，立即采取注浆加固、填充。

6 建（构）筑物变形过大：应停止开挖，对建（构）筑物周边土体采取注浆等措施进行加固,提高地层的承载能力、调整其变形；加强监测，优化基坑开挖、支护施工参数和工艺。

7 管线变形过大：立即联系管线产权单位并与其共同进行原因分析,决定应急处理措施,并据此进行应急处理。

8 其它

1）控制基坑变形的常用措施有：增加临时支撑或抛撑、提高支撑结构强度或增大轴力、采用钢支撑轴力自补偿系统、减小围护无支撑暴露长度、缩短围护无支撑暴露时间、降低基坑周边堆载、调整重型车辆行走路线、优化开挖顺序等方法。

2）现场应配备双快水泥、袋装水泥、聚氨酯、注浆泵、抽水泵等抢险材料和设备，平时例行检查和保养，确保险情发生时能立即使用。

# 土体加固

## 一般规定

* + 1. 为满足基坑稳定、变形控制要求及围护结构施工辅助需要，可采用土体加固措施对基坑坑内被动区、坑内局部深坑区、放坡开挖区、基坑施工便道等区域进行软弱土体加固。
    2. 基坑土体加固可采用深层搅拌法、高压旋喷法、注浆法等。加固方法的选择应综合考虑土质条件、加固深度、加固体性能要求、变形控制与环境保护要求、场地条件及工期等因素。
    3. 基坑土体加固施工前应进行现场试验，验证加固方法的适用性，确定施工工艺和施工参数。
    4. 基坑土体加固施工的时序安排和施工组织应满足设计要求、场地条件和工期要求，加固施工宜在基坑开挖前进行。
    5. 加固施工期间根据需要对周边环境进行监测，实行信息化施工。
    6. 应在达到规定龄期后基坑开挖前，对加固体进行相关加固指标检测。
    7. 基坑土体加固设计需确定加固工法、加固范围、加固体布置、置换率、水泥掺量、加固体强度等参数指标。
    8. 基坑安全等级或变形保护等级为一级时，宜通过现场试验确定加固工艺的适用性和水泥掺量等参数，并满足设计强度要求。
    9. 在含少量有机质或淤泥的土层中，进行基坑土体加固应适当增加水泥掺量；可掺加外掺剂改善水泥土加固体的性能和提高早期强度；当采用新型固化剂材料时，应通过现场试验确定其适用性。
    10. 坑内被动区土体加固的应符合下列要求：

1 基坑平面长宽尺寸较大时，宜采用裙边或裙边结合墩式布置。

2 基坑平面形状为狭长形，且短边尺寸适中时，宜采用裙边结合抽条形式布置。

3 基坑平面尺寸较小，变形控制要求严格时，宜采用满堂加固布置。

4 当所需加固的平面范围较大时，可采用格栅形加固桩排列形式，加固体的强度及面积置换率应满足加固体设计指标要求。加固体搭接长度不宜小于150mm，并使被加固土体在平面和深度范围内连成整体。

5 加固体的宽度不宜小于基坑开挖深度的0.4倍，并不宜小于4m；加固体顶标高宜取为基础底板底标高，加固体的深度不宜小于3m，并宜根据基坑变形控制要求适当加深。

6 基坑变形保护等级为一级的基坑被动区土体加固宜采用深层搅拌法、高压旋喷法、超高压旋喷法等。

* + 1. 坑内局部深坑的土体加固应根据深坑的深度、范围、与围护墙关系、土层特性、基坑支护形式及环境条件等综合确定，并应满足稳定性要求。当坑内深坑与基坑内壁较近时，深坑加固宜与基坑被动区加固连成整体；坑内深坑高差大、形状复杂、面积较小以及水文地质条件差时，可采用满堂加固措施处理。
    2. 放坡开挖的边坡区域土体加固应根据开挖深度、范围、土层条件、环境条件综合确定，并满足边坡稳定性和地基承载力要求。在大面积放坡、坡顶邻近施工道路、坡体位于或邻近暗浜区等软弱土层等情况时宜采用土体加固；放坡开挖较深且坡脚位于淤泥质黏土层时，宜对坡脚部位采取土体加固措施。
    3. 单轴或双轴水泥土搅拌桩加固深度不宜超过15m；三轴水泥土搅拌桩加固深度不宜超过25m；当搅拌桩为提高土体稳定性设置时，桩长应超过危险滑动面以下不小于2m。
    4. 下列情况可选用高压旋喷法加固：

1 施工场地狭小；

2 地下障碍物厚度大、成分复杂；

3 截水帷幕接缝止水

根据需要和土质条件选用单重管、双重管和三重管法，旋喷加固体有效桩径应根据现场试验确定。

* + 1. 下列情况可选用注浆法加固：

1 浅层地基加固；

2 地基填充和提高抗渗性；

3 对基坑周边保护对象的加固。

## 注浆法

* + 1. 对于软弱地层的加固注浆，宜采用等距布置或梅花型布置，若加固区域与加固目的特殊，也可采用长条形等其他形式。
    2. 注浆管可采用塑料管或金属管，一般一次性注浆采用塑料管，分层注浆采用金属管；若地层复杂，深层注浆时，可采用钻杆注浆。
    3. 注浆充填率应根据加固土要求达到的强度指标、加固深度、注浆流量、土体的孔隙率和渗透系数等因素确定，饱和软黏土的一次注浆充填率不宜大于0.15~0.17。
    4. 用作防渗的注浆液应选用水玻璃或水玻璃与水泥的混合液；用作提高土体强度的注浆液宜选用以水泥为主剂的悬浊液。
    5. 水泥品种应按设计要求选用，宜采用32.5级和42.5级普通硅酸盐水泥。在满足强度要求的条件下，可用磨细粉煤灰部分代替水泥，以增加浆液的触变性能并节约成本。掺入量应通过试验确定，一般掺入量约为水泥的20%~50%。
    6. 灌浆压力是指灌浆段所受的全压力，即孔口处压力表上指示的压力，所用压力大小视钻孔深度、岩土性质以及水泥浆的浓度等而定，一般沙土中为0.2-0.5MPa，粘性土为0.1-0.3MPa。
    7. 浆液的配合比：

1 水泥浆的水灰比可取0.6~2.0，常用的水灰比为1.0。

2 封闭泥浆7d立方体试块（边长为7.07cm）的抗压强度应为0.3~0.5MPa，浆液粘度应为80~90s。

3 根据工程需要，可在浆液拌制时加入速凝剂、减水剂和防析水剂。用量通过应试验确定。

* + 1. 施工要求：

1 场内外应畅通无阻，施工用临设应就绪，水泥等材料应进场验收并复检。

2 加固地基前，应通过试验确定灌浆量、灌浆孔距、灌浆压力等有关技术参数。

3 在注浆前，应选取一部分为先导孔，进一步了解所注地层的岩土特性，必要时测试相关参数，同时进行试验性注浆以确定注浆施工参数。施工中，应根据钻进的施工记录调整注浆参数，并采取必要的措施，以确保注浆效果。

## 高压旋喷法

* + 1. 高压喷射注浆法分成单重管、双重管、三重管、MJS（全方位高压旋喷）等多种工艺。对于基坑加固宜采用大直径的旋喷或摆喷。
    2. 高压喷射注浆用于提高土体的强度，或形成止水帷幕，适用于加固软弱粘性土、砂性土及填土。
    3. 当用于止水帷幕或坑底加固时，须保持相邻喷射注浆加固体的搭接大于30cm。当用于灌注桩之间止水时，注浆加固体应与灌注桩密切结合。施工顺序可以根据施工现场条件确定。
    4. 加固土体的有效直径或范围应根据现场试验或工程经验确定。
    5. 对于不同土质和不同加固要求，采用喷射注浆法时，应因地制宜地确定加固设计、施工方案。
    6. 喷射注浆法的施工必须严格按照确定的施工参数进行，确保泵及空压机的压力、流量、水灰比、提升速度等，并应保持钻孔垂直度。
    7. 喷射注浆加固的检验，应根据工程要求而有所区别。用于基坑侧壁挡水时，应做好开挖期间的检测和准备好可能局部漏水的堵漏措施。
    8. 根据不同地层及成桩深度,MJS桩体直径宜取2000mm~2600mm。
    9. 设计应结合成桩目的、桩径﹑搭接要求﹑深度等综合因素设定成孔轴线允许偏差﹐且不应大于1/150。
    10. 桩间搭接应考虑隔水要求﹑成桩直径、土体不均匀性﹑成孔轴线允许偏差﹑加固土有效厚度等因素。有隔水要求时﹐桩间有效搭接长度不宜小于500mm。
    11. 桩间搭接应考虑隔水要求﹑成桩直径、土体不均匀性﹑成孔轴线允许偏差﹑加固土有效厚度等因素。有隔水要求时﹐桩间有效搭接长度不宜小于500mm。
    12. 成桩方向与竖直方向夹角大于等于30°时,宜采用不大于180°的扇形截面形式向下喷射成桩。当全圆成桩时可采用不带同轴压缩空气的方式,桩体直径宜取800mm～1400mm。
    13. 全方位高压喷射注浆与地下连续墙﹑排桩、芯材等结构结合施工时,尚应符合下列规定:

1 用作地下连续墙槽壁加固时﹐宜采用背向地下连续墙摆喷的成桩形式,其桩心与地下连续墙的净距应根据成桩深度和垂直度偏差确定﹐且不宜小于100mm。

2 用作排桩支护的隔水帷幕时﹐宜采用正对桩缝扇形摆喷成桩形式,桩心间距应与排桩桩心间距一致。

3 当全方位高压唢射注浆内插芯材作为围护结构时﹐宜先插芯材,后在芯材间背向基坑摆喷的成桩形式。

4 用作地下连续墙接缝止水时,宜采用不小于180°的正对接缝摆喷成桩形式,扇形桩体直径方向与地下连续墙虚拟搭接不得小于500mm。

* + 1. 采用水平方向施工时,加固区范围应结合工作井尺寸和设备限界条件确定。
    2. 单重管、双重管、三重管注浆量可根据地层条件、施工工艺及浆液配合比确定。浆液量可按以下两种方法估算:

喷量法

（8.3.15-1）

式中：

Q——浆量（m³）

H1——喷射段长度（m)

V——提升速度（m/min)

q——单位时间喷射量（m³/min)

β1——浆液量损失系数(0.03～0.10）

体积法

(1+β1)+ （8.3.15-2）

式中：

De——高压喷射注浆固结体直径（m)

K——置换率（0.75～0.90）

Β2——孔口返奖损失系数（0.1～0.2）

Dk——造孔直径（m）

α——未喷射段孔内浆液与岩土碎屑的混合率（0.50～0.75）

H2——未喷射段长度（m）

* + 1. MJS注浆量可根据地层条件、施工工艺及浆液配合比确定。喷射注浆每延米水泥用量，可按下列公式进行计算：

mc=a•β•m1•Q•v （8.3.16-1）

*α=1+d1/L* （8.3.16-2）

式中：mc 每延米设计水泥用量（kg/m）；

α——分节拆装钻杆重复喷射水泥土增强体的搭接系数；

β——损耗经验系数，根据施工工艺、地质条件等取值,宜取1.10~1.15,黏性土宜取大值；

m1——每升水泥浆液中水泥含量（kg/L）；

Q—— 喷射流流量（I/min）；

V—— 步进提升速度（min/m）；

d1——分节拆装钻杆重复喷射的距离（m）；

L——分节拆装钻杆的长度（m）。

* + 1. 旋喷桩施工应符合下列规定：

1 施工前应根据现场环境和地下埋设物的位置等情况，复核高压喷射注浆的设计孔位。

2 高压旋喷注桩的施工参数应根据土质条件、加固要求通过试验或根据工程经验确定，并在施工中严格加以控制。单管法及双管法的高压水泥浆和三管法高压水的压力宜大于 30MPa，流量大于 30L/min，气流压力宜取 0.7MPa，提升速度可取 0.1～0.2m/min。

3 高压喷射注浆，对于无特殊要求的工程宜采用强度等级为 P.O.32.5 级及以上的普通硅酸盐水泥，根据需要可加入适量的外加剂及掺合料。外加剂和掺合料的用量，应通过试验确定。

4 水泥浆液的水灰比应按工程要求确定，可取 0.8～1.2，常用 0.9。

5 高压喷射注浆的施工工序为机具就位、贯入喷射管、喷射注浆、拔管和冲洗等。

6 喷射孔与高压注浆泵的距离不宜大于50m。钻孔的位置与设计位置的偏差不得大于50㎜。垂直度偏差不大于 1%。实际孔位、孔深和每个钻孔内的地下障碍物、洞穴、涌水、漏水及岩土工程勘察报告不符等情况均应详细记录。

7 当喷射注浆管贯入土中，喷嘴达到设计标高时，即可喷射注浆。在喷射注浆参数达到规定值后，随即按旋喷的工艺要求，提升喷射管，由下而上旋转喷射注浆。喷射管分段提升的搭接长度不得小于100mm。

8 对需要局部扩大加固范围或提高强度的部位，可采用复喷措施。

9 在高压喷射注浆过程中出现压力骤然下降、上升或冒浆异常时，应查明原因并及时采取措施。

10 高压喷射注浆完毕，应迅速拔出喷射管。为防止浆液凝固收缩影响桩顶高程，必要时可在原孔位采用冒浆回灌或第二次注浆等措施。

11 施工中应做好泥浆处理，及时将泥浆运出或在现场短期堆放后作土方运出。

12 施工中应严格按照施工参数和材料用量施工，用浆量和提升速度应采用自动记录装置，并如实做好各项施工记录。

* + 1. 旋喷桩质量检验应符合下列要求：

1 高压旋喷桩可根据工程要求和当地经验采用开挖检查、取芯（常规取芯或软取芯）、标准贯入试验、动力触探载荷试验等方法进行检验。

2 检验点应布置在下列部位：

1. 有代表性的桩位；
2. 施工中出现异常情况的部位；
3. 地基情况复杂，可能对高压喷射注浆质量产生影响的部位。

3 检验点的数量为施工孔数的 2%，并不应少于 5 点。

4 质量检验宜在高压喷射注浆结束 28d 后进行。

5 旋喷桩地基竣工验收时，承载力检验可采用复合地基载荷试验和单桩载荷试验。

6 载荷试验必须在桩身强度满足试验条件时，并宜在成桩 28d 后进行。检验数量为桩总数的 0.5%～1%，且每项单体工程不应少于 3 点。

## 深层搅拌法

* + 1. 深层搅拌桩处理应符合下列规定：

1 水泥土搅拌形成水泥土加固体，用于基坑工程围护挡墙、被动区加固、防渗帷幕、大面积水泥稳定土等的设计、施工可按本节规定使用。

2 水泥土搅拌桩的施工工艺分为浆液搅拌法(以下简称湿法)和粉体搅拌法(以下简称干法)。适用于处理淤泥、淤泥质土、素填土、软—可塑粘性土、松散—中密粉细砂、稍密—中密粉土、松散—稍密中粗砂和砾砂、黄土等土层。不适用于含大孤石或障碍物较多且不易清除的杂填土，硬塑及坚硬的粘性土、密实的砂类土以及地下水渗流影响成桩质量的土层。当地基土的天然含水量小于 30%(黄土含水量小于 25%)、大于 70%时不应采用干法。寒冷地区冬季施工时，应考虑负温对处理效果的影响。

3 水泥土搅拌法用于处理泥炭土、有机质含量较高或 PH 值小于 4 的酸性土、塑性指数大于 25 的黏土或在腐蚀性环境中以及无工程经验的地区采用水泥土搅拌法时，必须通过现场和室内试验确定其适用性。

4 水泥土搅拌法可采用单头、双头、多头搅拌或连续成槽搅拌形成水泥土加固体；湿法搅拌可插入型钢形成排桩(墙)。加固体形状可分为柱状、壁状、格栅状或块状等。

5 拟采用水泥土搅拌法处理地基的工程，除按现行规范规定进行岩土工程详勘外，尚应查明拟处理土层的 PH 值、有机质含量、地下障碍物及软土分布情况、地下水及其运动规律等。

6 设计前应进行拟处理土的室内配比试验。针对现场拟处理的软弱层软土的性质，选择合适的固化剂、外掺剂及其掺量，为设计提供不同龄期、不同配比的强度参数。对竖向承载的水泥土强度宜取 90d 龄期试块的立方体抗压强度平均值；对承受水平荷载的水泥土强度宜取28d 龄期试块的立方体抗压强度平均值。

7 固化剂宜选用强度等级不低于 32.5 级的普通硅酸盐水泥(型钢水泥土搅拌墙不低于P.0.42.5 级)。水泥掺量应根据设计要求的水泥土强度经试验确定；块状加固时水泥掺量不应小于被加固天然土质量的 7%，作为复合地基增强体时不应小于 12%，型钢水泥土搅拌墙(桩)不应小于 20%。湿法的水泥浆水灰比可选用 0.45～0.55，应根据工程需要和土质条件选用具有早强、缓凝、减水以及节约水泥等作用的外掺剂；干法可掺加二级粉煤灰等材料。

* + 1. 水泥土搅拌桩施工应符合下列规定：

1 水泥土搅拌法施工现场事先应予以平整，必须清除地上和地下的障碍物。遇有明浜、池塘及洼地时应抽水和清淤，回填土料应压实，不得回填生活垃圾。

2 水泥土搅拌桩施工前应根据设计进行工艺性试桩，数量不得少于 3 根，多头搅拌不得少于 3 组。应对工艺试桩的质量进行必要的检验。

3 搅拌头翼片的枚数、宽度、与搅拌轴的垂直夹角、搅拌头的回转数、提升速度应相互匹配，钻头每转一圈的提升(或下沉)量以 1.0～1.5cm 为宜，以确保加固深度范围内土体的任何一点均能经过 20 次以上的搅拌。

4 竖向承载搅拌桩施工时，停浆(灰)面应高于桩顶设计标高 300～500mm。在开挖基坑时，应将桩顶以上 500mm 土层及搅拌桩顶端施工质量较差的桩段用人工挖除。

5 施工中应保持搅拌桩机底盘的水平和导向架的竖直，搅拌桩的垂直偏差不得超过 1%；桩位的偏差不得大于 50mm；成桩直径和桩长不得小于设计值。

6 水泥土搅拌法施工主要步骤应为：

1. 搅拌机械就位、调平；
2. 预搅下沉至设计加固深度；
3. 边喷浆(粉)、边搅拌提升直至预定的停浆(灰)面；
4. 重复搅拌下沉至设计加固深度；
5. 根据设计要求，喷浆(粉)或仅搅拌提升直至预定的停浆(灰)面；
6. 关闭搅拌机械。

在预(复)搅下沉时，也可采用喷浆(粉)的施工工艺，必须确保全桩长上下至少再重复搅拌一次。对地基土进行干法咬合加固时，如复搅困难，可采用慢速搅拌，保证搅拌的均匀性。

7 湿法施工应符合下列要求:

1. 水泥浆液到达喷浆口的出口压力不应小于 10Mpa;
2. 施工前应确定灰浆泵输浆量、灰浆经输浆管到达搅拌机喷浆口的时间和起吊设备提升速度等施工参数，并根据设计要求通过工艺性成桩试验确定施工工艺;
3. 所使用的水泥都应过筛，制备好的浆液不得离析，泵送必须连续。拌制水泥浆液的罐数、水泥和外掺剂用量以及泵送浆液的时间等应有专人记录；喷浆量及搅拌深度必须采用经国家计量部门认证的监测仪器进行自动记录;
4. 搅拌机喷浆提升的速度和次数必须符合施工工艺的要求，并应有专人记录;
5. 当水泥浆液到达出浆口后，应喷浆搅拌 30s，在水泥浆与桩端土充分搅拌后，再开始提升搅拌头;
6. 搅拌机预搅下沉时不宜冲水，当遇到硬土层下沉太慢时，方可适量冲水，但应考虑冲水对桩身强度的影响;
7. 施工时如因故停浆，应将搅拌头下沉至停浆点以下0.5m 处，待恢复供浆时再喷浆搅拌提升。若停机超过三小时，宜先拆卸输浆管路，并妥加清洗;
8. 壁状加固时，相邻桩的施工时间间隔不宜超过24h。如间隔时间太长，与相邻桩无法搭接时，应采取局部补桩或注浆等补强措施。

8 干法施工应符合下列要求：

1. 喷粉施工前应仔细检查搅拌机械、供粉泵、送气(粉)管路、接头和阀门的密封性、可靠性。送气(粉)管路的长度不宜大于60m。
2. 水泥土搅拌法(干法)喷粉施工机械必须配置经国家计量部门确认的具有能瞬时检测并记录出粉体计量装置及搅拌深度自动记录仪。
3. 搅拌头每旋转一周，其提升高度不得超过16mm。
4. 搅拌头的直径应定期复核检查，其磨耗量不得大于10mm。
5. 当搅拌头到达设计桩底以上1.5m 时，应即开启喷粉机提前进行喷粉作业。当搅拌头提升至地面下500mm 时，喷粉机应停止喷粉。
6. 成桩过程中因故停止喷粉，应将搅拌头下沉至停灰面以下1m 处，待恢复喷粉时再喷粉搅拌提升。
   * 1. 水泥土搅拌桩质量检验应符合下列规定：

1 水泥土搅拌桩的质量应进行施工全过程的施工质量控制。施工过程中应作施工记录和计量记录，并对照规定的施工工艺对每根桩进行质量评定。检查重点是：喷浆压力、水泥用量、桩长、搅拌头转数和提升速度、复搅次数和复搅深度、停浆处理方法等。

2 水泥土搅拌桩的施工质量检验可采用以下方法：

1）成桩7d后，采用浅部开挖桩头进行检查，开挖深度宜超过停浆(灰) 面下 0.5m，目测检查搅拌的均匀性，量测成桩直径。检查量为总桩数的5%。

2）成桩后3d内，可用轻型动力触探(N10)检查上部桩身的均匀性。检验数量为施工总桩数的1%，且不少于3根。

3）桩身强度检验应在成桩28d后，用双管单动取样器钻取芯样作搅拌均匀性和水泥土抗压强度检验，检验数量为施工总桩(组)数的 0.5%，且不少于6点。钻芯有困难时，可采用单桩抗压静载荷试验检验桩身质量。

3 竖向承载水泥土搅拌桩复合地基竣工验收时，承载力检验应采用复合地基载荷试验和单桩载荷试验。

4 载荷试验必须在桩身强度满足试验荷载条件时，并宜在成桩28d后进行。验收检测检验数量为桩总数的0.5%～1%，其中每单项工程单桩复合地基载荷试验的数量不应少于3根(多头搅拌为3组)，其余可进行单桩静载荷试验或单桩、多桩复合地基载荷试验。

5 基槽开挖后，应检验桩位、桩数与桩顶质量，如不符合设计要求，应采取有效补强措施。

# 基坑地下水控制

## 一般规定

* + 1. 地下水控制应根据工程地质和水文地质条件、基坑周边环境要求及支护结构形式选用截水、降水、集水明排或其组合方法。
    2. 当降水会对基坑周边建（构）筑物、道路、铁路、轨道交通、地下管线等造成危害或对环境造成长期不利影响时，应采用截水方法控制地下水。采用悬挂式帷幕时，应同时采用坑内降水，并宜根据水文地质条件结合坑外回灌措施。
    3. 地下水控制设计应满足基坑周边建（构）筑物、地下管线、道路等沉降控制值的要求。基坑支护设计应按下列要求设定支护结构的水平位移控制值和基坑周边环境的沉降控制值：

1 当基坑开挖影响范围内有建（构）筑物时，支护结构水平位移控制值、建（构）筑物的沉降控制值应按不影响其正常使用的要求确定，并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007中对地基变形允许值的规定；当基坑开挖影响范围内有地下管线、地下建（构）筑物、道路时，支护结构水平位移控制值、地面沉降控制值应按不影响其正常使用的要求确定，并应符合现行相关规范对其允许变形的规定；

2 当支护结构构件同时用作主体地下结构构件时，支护结构水平位移控制值不应大于主体结构设计对其变形的限值；当坑底以下有水头高于坑底的承压水含水层时，各类支护结构均应按本规程第C.0.1条的规定进行承压水作用下的坑底突涌稳定性验算。当不满足突涌稳定性要求时，应对该承压水含水层采取截水、减压措施。

## 基坑隔水（截水、隔水帷幕）

* + 1. 基坑截水方法应根据工程地质条件、水文地质条件及施工条件等，选用水泥土搅拌桩帷幕、高压旋喷或摆喷注浆帷幕、搅拌-喷射注浆帷幕、地下连续墙或咬合式排桩。支护结构采用排桩时，可采用高压喷射注浆与排桩相互咬合的组合帷幕。对碎石土、杂填土、泥炭质土或地下水流速较大时，宜通过试验确定高压喷射注浆帷幕的适用性。
    2. 当坑底以下存在连续分布、埋深较浅的隔水层时，应采用落底式帷幕。落底式帷幕进入下卧隔水层的深度应满足式（9.2.2）要求，且不宜小于1.5m：

 （9.2.2）

式中:──帷幕进入隔水层的深度(m)；

──基坑内外的水头差值(m)；

──帷幕的厚度(m)。

* + 1. 当坑底以下含水层厚度大而需采用悬挂式帷幕时，帷幕进入透水层的深度应满足《建筑基坑支护技术规程》JGJ120附录C对地下水沿帷幕底端绕流的渗透稳定性要求，并应对帷幕外地下水位下降引起的基坑周边建（构）筑物、地下管线、地下建（构）筑物沉降进行分析。当不满足渗透稳定性要求时，应采取增加帷幕深度、设置减压井等防止渗透破坏的措施。
    2. 截水帷幕宜采用沿基坑周边闭合的平面布置形式。当采用沿基坑周边非闭合的平面布置形式时，应对地下水沿帷幕两端绕流引起的基坑周边建（构）筑物、地下管线、地下建（构）筑物的沉降进行分析。
    3. 采用水泥土搅拌桩帷幕时，搅拌桩桩径宜取450mm～800mm，搅拌桩的搭接宽度应符合下列规定：

1 单排搅拌桩帷幕的搭接宽度，当搅拌深度不大于10m时，不应小于150mm；当搅拌深度为10m～15m时，不应小于200mm；当搅拌深度大于15m时，不应小于250mm；

2 对地下水位较高、渗透性较强的地层，宜采用双排搅拌桩截水帷幕；搅拌桩的搭接宽度，当搅拌深度不大于10m时，不应小于100mm；当搅拌深度为10m～15m时，不应小于150mm；当搅拌深度大于15m时，不应小于200mm。

* + 1. 搅拌桩水泥浆液的水灰比宜取0.6～0.8。搅拌桩的水泥掺量宜取土的天然质量的15%～20%。
    2. 水泥土搅拌桩帷幕的施工应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79的有关规定。
    3. 搅拌桩的施工偏差应符合下列要求：

1 桩位的允许偏差应为50mm；

2 垂直度的允许偏差应为1.0%。

* + 1. 采用高压旋喷、摆喷注浆帷幕时，旋喷注浆固结体的有效直径、摆喷注浆固结体的有效半径宜通过试验确定；缺少试验时，可根据土的类别及其密实程度、高压喷射注浆工艺，按工程经验采用。摆喷帷幕的喷射方向与摆喷点连线的夹角宜取10°～25°，摆动角度宜取20°～30°。帷幕的水泥土固结体搭接宽度，当注浆孔深度不大于10m时，不应小于150mm；当注浆孔深度为10m～20m时，不应小于250mm；当注浆孔深度为20m～30m时，不应小于350mm。对地下水位较高、渗透性较强的地层，可采用双排高压喷射注浆帷幕。
    2. 高压喷射注浆水泥浆液的水灰比宜取0.9～1.1，水泥掺量宜取土的天然质量的25%～40%。当土层中地下水流速高时，宜掺入外加剂改善水泥浆液的稳定性与固结性。
    3. 高压喷射注浆应按水泥土固结体的设计有效半径与土的性状选择喷射压力、注浆流量、提升速度、旋转速度等工艺参数，对较硬的粘性土、密实的砂土和碎石土宜取较小提升速度、较大喷射压力。当缺少类似土层条件下的施工经验时，应通过现场工艺试验确定施工工艺参数。
    4. 高压喷射注浆截水帷幕施工时应符合下列规定：

1 采用与排桩咬合的高压喷射注浆截水帷幕时，应先进行排桩施工，后进行高压喷射注浆施工；

2 高压喷射注浆的施工作业顺序应采用隔孔分序方式，相邻孔喷射注浆的间隔时间不宜小于24h；

3 喷射注浆时，应由下而上均匀喷射，停止喷射的位置宜高于帷幕设计顶面标高1m；

4 可采用复喷工艺增大固结体半径、提高固结体强度；

5 喷射注浆时，当孔口的返浆量大于注浆量的20％时，可采用提高喷射压力、增加提升速度等措施；

6 当因喷射注浆的浆液渗漏而出现孔口不返浆的情况时，应在漏浆部位停止提升注浆管进行喷射注浆，并宜同时采用从孔口填入中粗砂、注浆液掺入速凝剂等措施，直至出现孔口返浆；

7 喷射注浆后，当浆液析水、液面下降时，应进行补浆；

8 当喷射注浆因故中途停喷后，继续注浆时应与停喷前的注浆体搭接，其搭接长度不应小于500mm；

9 当注浆孔邻近既有建（构）筑物时，宜采用速凝浆液进行喷射注浆；

10 高压旋喷、摆喷注浆帷幕的施工尚应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79的有关规定。

* + 1. 高压喷射注浆的施工允许偏差应符合下列要求：

1 孔位允许偏差应为50mm；

2 注浆孔垂直度允许偏差应为1.0%。

* + 1. 截水帷幕的质量检测应符合下列规定：

1 与排桩咬合的水泥土搅拌桩、高压喷射注浆帷幕，与土钉墙面层贴合的水泥土搅拌桩帷幕，应在基坑开挖前或开挖时，检测水泥土固结体的表面轮廓、搭接接缝；检测点应按随机方法选取或选取施工中出现异常、开挖中出现漏水的部位；对支护结构外侧独立的截水帷幕，其质量可通过开挖后的截水效果判断；

2 对施工质量有怀疑时，可在搅拌桩、高压喷射注浆液固结后，采用钻芯法检测帷幕固结体的范围、单轴抗压强度、连续性及深度；检测点应针对怀疑部位选取帷幕的偏心、中心或搭接处，检测点的数量不应少于3处。

## 基坑降排水

* + 1. 降水应按照场地条件、周围地层的水文地质条件、降水深度及设备条件等进行设计专项方案。降水设计方案应包括降水设备、降水井布置、降水井深度、沉淀池布置、管路布置以及保护措施等。
    2. 降水可采用管井、真空井点、喷射井点等方法，并宜按表9.3.2的适用条件选用。

表9.3.2各种降水方法的适用条件

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 方法 | 土类 | 渗透系数（m/d） | 降水深度（m） |
| 管井 | 粉土、砂土、碎石土 | 0.1～200.0 | 不限 |
| 真空井点 | 粘性土、粉土、砂土 | 0.005～20.0 | 单级井点<6  多级井点<20 |
| 喷射井点 | 粘性土、粉土、砂土 | 0.005～20.0 | <20 |

* + 1. 井点降水应使地下水位保持在隧道底板以下1.0 m。停止降水时，应验算涌水量和隧道主体结构在施工期间的抗浮稳定性，当不能满足要求时，不得停泵。
    2. 对坑底汇水、周边地表汇水及降水井抽出的地下水，可采用明沟排水；对坑底渗出的地下水，可采用盲沟排水；当隧道主体结构与支护结构间不能设置明沟时，也可采用盲沟排水。
    3. 降水应加强监测并有相应的保护措施，防止地表及周围建（构）筑物沉降超限。降水危及基坑及周边环境安全时，宜采用截水或回灌措施。采用回灌时应化验水质，防止污染地下水。截水后基坑中水量或水压较大时，应采用基坑内降水或坑内外降水相结合的方式。
    4. 管井的构造宜符合下列要求：

1 管井的滤管宜采用无砂混凝土滤管、钢筋笼、钢管或铸铁管。

2 滤管内径应按满足单井设计流量要求而配置的水泵规格确定，宜大于水泵外径50mm。滤管外径不宜小于200mm。管井成孔直径应满足填充滤料的要求。

3 井管与孔壁之间填充的滤料宜选用磨圆度好的硬质岩石成分的圆砾，不宜采用棱角形石渣料、风化料或其他黏质岩石成分的砾石。

4 采用深井泵或深井潜水泵抽水时，水泵的出水量应根据单井出水能力确定，水泵的出水量应大于单井出水能力的1.2倍。

5 井管的底部应设置沉砂段。

* + 1. 真空井点的构造宜符合下列要求：

1 井管宜采用金属管，管壁上渗水孔宜按梅花状布置，渗水孔直径宜取12mm～18mm，渗水孔的孔隙率应大于15%，渗水段长度应大于1.0m；管壁外应根据土层的粒径设置滤网；

2 真空井管的直径应根据单井设计流量确定。井管直径宜取38mm～110mm；井的成孔直径应满足填充滤料的要求，且不大于300mm；

3 孔壁与井管之间的滤料宜采用中粗砂。滤料上方应使用黏土封堵，封堵至地面的厚度应大于1m。

* + 1. 喷射井点的构造宜符合下列要求：

1 喷射井点过滤器的构造应符合本规程第9.3.7条第1款的规定；喷射器混合室直径可取14mm，喷嘴直径可取6.5mm；

2 井的成孔直径宜取400mm～600mm，井孔应比滤管底部深1m以上；

3 孔壁与井管之间填充滤料的要求应符合本规程第9.3.7条第3款的规定；

4 工作水泵可采用多级泵，水泵压力宜大于2MPa。

* + 1. 抽水系统在使用期的维护应符合下列要求：

1 降水期间，应留设观测井，通过水位观测井观测地下水位是否满足施工要求。正式降水前应进行生产性抽水试验；

2 采用管井时，应对井口采取防护措施，井口宜高于地面200mm 以上，应防止物体坠入井内；

3 冬季负温环境下，应对抽排水系统采取防冻措施。

* + 1. 排水设施构造应符合下列要求：

1 明沟和盲沟的坡度不宜小于0.3%。采用明沟排水时，沟底应采取防渗措施。采用盲沟排出隧底渗出的地下水时，其构造、填充料及其密实度应满足主体结构的要求。

2 沿排水沟宜每隔30m～50m设置一口集水井；集水井的净截面尺寸应根据排水流量确定。集水井应采取防渗措施。

3 采用管道排水时，排水管道的直径应根据排水量确定。排水管的坡度不宜小于0.5%。排水管道材料可选用钢管、PVC管。排水管道上宜设置清淤孔，清淤孔的间距不宜大于10m。

4 排水设施与市政管网连接口之间应设置检测井，达到排水城市下水道水质标准方可排放。含砂率小于1/100000。

## 回灌

* + 1. 地下水回灌工程应满足下列要求：

1 保证基坑周边既有建（构）筑物、既有道路及既有地下设施等的安全和正常使用；

2 满足基坑抗渗流稳定性要求；

3 满足基坑坑底抗突涌稳定性要求；

4 回灌前可进行回灌压水(注水)试验；

5 回灌井的设置应因地制宜，距离降水井点不应小于6m,避免因回灌形成局部反漏斗，增加基坑壁外侧的水头高度：回灌时应防止井点堵塞及造成地下水污染。

* + 1. 地下水回灌工程应进行回灌工程勘察及专项基坑地下水回灌工程设计，设计方案应通过技术论证后实施。
    2. 确定采用回灌措施的基坑工程，应验证回灌设计及施工运行参数的可靠性。
    3. 地下水回灌工程等级的确定应综合考虑基坑深度、基坑周边环境、水文地质条件的复杂程度等因素。
    4. 回灌试验应在抽水试验基础上进行，获得回灌压力、回灌量、回灌期间水位上升等相关回灌设计参数，并对抽水及回灌过程中的场地地面标高进行监测，提出回灌工程的建议。
    5. 基坑地下水回灌工程方式可根据水位回灌上升高度要求、场地含水层岩性和渗透性、周边环境的变形控制要求等选用常压回灌、加压回灌或常压与加压组合回灌。
    6. 宜开展长期地下水及地面沉降动态监测，并逐步建立地下水长期回灌机制，控制区域性地面沉降。基坑回灌阶段，应配合土方开挖和结构施工对抽排水量、地下水位、环境条件变化进行控制，以求达到最佳状态。

# 基坑监测

## 一般要求

* + 1. 铁路明挖法隧道应在施工阶段对支护结构、周围岩土体及周边环境进行监测。
    2. 基坑工程现场监测应采用仪器监测与现场巡视检查相结合的方法。
    3. 对于超过5m的基坑应引入第三方监测单位进行专业监测管理，第三方监测单位由建设单位负责委托，费用由建设单位承担。
    4. 鼓励监测单位积极采用自动化、智能化、信息化的监测手段，能够实现远程视频和远程自动化监测，提高基坑监测的安全性和效率。

## 监测方法及测点布置

* + 1. 监测范围应根据基坑设计深度、施工工法、支护结构形式、地质条件、周边环境条件等综合确定，并应包括主要影响区和次要影响区。基坑工程影响分区划分标准参见《城市轨道交通工程监测技术规范》。
    2. 监测范围确定后，要根据影响区与基坑距离绘制施工现场基坑周边影响区划分图，确定周边建（构）筑物与基坑的位置关系及影响范围关系。
    3. 采用爆破开挖岩土体的地下工程，爆破震动的监测范围应根据工程实际情况通过爆破试验确定。
    4. 基坑监测等级根据基坑自身风险等级、周边环境等级及地基复杂程度划分为三级。基坑、隧道工程的自身风险等级，周边环境风险等级参见《城市轨道交通工程监测技术规范》。
    5. 明挖法基坑支护结构和周围岩土体监测项目选择如下表所示：

表10.2.5-1明挖法基坑支护结构和周围岩土体监测项目

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 监测项目 | 监测等级 | | |
| 一级 | 二级 | 三级 |
| 1 | 支护桩（墙）、  边坡顶部水平位移 | ☆ | ☆ | ☆ |
| 2 | 支护桩（墙）、  边坡顶部竖向位移 | ☆ | ☆ | ☆ |
| 3 | 支护桩(墙）体深层水平位移 | ☆ | ☆ | △ |
| 4 | 支护桩(墙)结构应力 | △ | ○ | ○ |
| 5 | 立柱结构竖向位移 | ☆ | ☆ | △ |
| 6 | 立柱结构水平位移 | ☆ | ○ | ○ |
| 7 | 立柱结构应力 | ○ | ○ | ○ |
| 8 | 支撑轴力 | ☆ | ☆ | △ |
| 9 | 锚杆拉力 | ☆ | △ | ○ |
| 10 | 土钉拉力 | ○ | ○ | ○ |
| 11 | 地表沉降 | ☆ | ☆ | △ |
| 12 | 土体深层水平位移 | ○ | ○ | ○ |
| 13 | 土体分层竖向位移 | ○ | ○ | ○ |
| 14 | 坑底隆起(回弹) | ○ | ○ | ○ |
| 15 | 支护桩(墙）侧向土压力 | ○ | ○ | ○ |
| 16 | 地下水位 | ☆ | ☆ | ☆ |
| 17 | 孔隙水压力 | ○ | ○ | ○ |

注：☆——应测项目，△——宜测项目，○——可测项目。

表10.2.5-2周边环境监测项目

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 监测对象 | 监测项目 | 工程影响分区 | |
| 主要影响区 | 次要影响区 |
| 1 | 建（构）筑物 | 竖向位移 | ☆ | ☆ |
| 2 | 水平位移 | ○ | ○ |
| 3 | 倾斜 | ☆ | ○ |
| 4 | 裂缝 | ☆ | ○ |
| 5 | 地下管线 | 竖向位移 | ☆ | ○ |
| 6 | 水平位移 | ○ | ○ |
| 7 | 高速公路与城市道路 | 路面路基竖向位移 | ☆ | ○ |
| 8 | 挡墙竖向位移 | ☆ | ○ |
| 9 | 挡墙倾斜 | ☆ | ○ |
| 10 | 桥梁 | 墩台竖向位移 | ☆ | ☆ |
| 11 | 墩台差异沉降 | ☆ | ☆ |
| 12 | 墩柱倾斜 | ☆ | ☆ |
| 13 | 既有铁路 | 路基竖向位移 | ☆ | ☆ |
| 14 | 轨道静态几何形位（轨距、轨向、高低、水平） | ☆ | ☆ |

注：☆——应测项目，○——可测项目。

当工程周边存在既有铁路或管线时，应当与相关管理部门或产权单位共同协商确定监测对象、监测点位及监测项目。

* + 1. 巡视内容包括自然条件、基坑支护结构、施工工况、周边环境、监测设施，具体要求参见《建筑基坑工程监测技术标准》。
    2. 明挖法的支护桩（墙）、边坡顶部水平位移和竖向位移监测点布设应符合下列规定：

1 监测点应沿基坑周边布设，且监测等级为一级、二级时，布设间距宜为l0m-20m，监测等级为三级时，布设间距宜为20m-30m；

2 基坑各边中间部位、阳角部位、深度变化部位、邻近建（构）筑物及地下管线等重要环境部位、地质条件复杂部位等，应布设监测点；

3 对于出入口、风井等附属工程的基坑，每侧的监视l点不应少于1个；

4 水平和竖向位移监测点宜为共用点，监测点应布设在支护桩（墙）顶或基坑坡顶上。

* + 1. 明挖法支护桩（墙）体水平位移监测点布设应符合下列规定：

1 监测点应沿基坑周边的桩（墙）体布设，且监测等级为一级、二级时，布设间距宜为20m-40m，监测等级为三级时，布设间距宜为40m-50m；

2 基坑各边中间部位、阳角部位及其他代表性部位的桩（墙）体应布设监测点；

3 监测点的布设位置宜与支护桩（墙）顶部水平位移和竖向位移监测点处于同一监测断面。

* + 1. 明挖法支护桩（墙）结构应力监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 基坑各边中间部位、深度变化部位、桩（墙）体背后水土压力较大部位、地面荷载较大或其他变形较大部位、受力条件复杂部位等，应布设竖向监测断面；

2 监测断面的布设位置与支护桩（墙）体水平位移监测点宜共同组成监测断面；

3 监测点的竖向间距应根据桩（墙）体的弯矩大小及土层分布情况确定，且监测点竖向间距不宜大5m，在弯矩最大处应布设监测点。

10.2.10 桥梁墩台竖向位移及差异沉降监测点应布设在墩柱或承台上，每个墩柱和承台的监测点不应少于1个，群桩承台宜适当增加监测点。

10.2.11 既有铁路应根据结构类型布设监测点位置。路基竖向位移监测断应按监测断面布设，当既有铁路位于主要影响区时，监测断面间距不宜大于5m；位于次要影响区时，监测断面间距不宜大于10m。

10.2.12 既有铁路轨道静态几何形位（轨距、轨向、高低、水平）应按照铁路工务维修、养护要求进行确定。既有铁路监测可采用自动化监控系统。

10.2.13 变形监测的方法参见《城市轨道交通工程监测技术规范》。

10.2.14 变形监测的基准点、工作基点布设应考虑施工影响、便于使用，并应定期进行复测。基准点和工作基点应在工程施工前埋设，经观测稳定后再使用。

## 监测频率及控制值

* + 1. 监测频率应根据施工方法、施工进度、监测对象、监测项目、地质条件等情况和特点，并结合当地工程经验进行确定。在工况特殊部位或发生突变期间，应针对性的提高监测评率。

表10.3.1监测频率一览表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 基坑设计  安全等级 | 施工过程 | | 正常施工期 |
| 一级 | 开挖深度（m） | ≤5 | 1次/3d |
| 5~10 | 1次/2d |
| 10~15 | 1次/2d |
| 15~20 | （1次~2次）/1d |
| ＞20 | 2次/1d |
| 底板浇筑后（d） | ≤7 | 1次/1d |
| 7~14 | 1次/2d |
| 14~28 | 1次/3d |
| ＞28 | 1次/7d |
| 二级 | 开挖深度（m） | ≤5 | 1次/2d |
| 5~10 | 1次/1d |
| 底板浇筑后（d） | ≤7 | 1次/2d |
| 7~14 | 1次/3d |
| 14~28 | 1次/7d |
| ＞28 | 1次/10d |
| 三级 | 开挖深度（m） | ≤5 | 1次/3d |
| 5~7 | 1次/2d |
| 底板浇筑后（d） | ≤7 | 1次/3d |
| 7~10 | 1次/7d |
| 14~28 | 1次/10d |

* + 1. 当出现下列特殊应急情况之一时，应加强监测，提高监测频率，并及时通知参建单位并报告监测结果：

1 监测数据达到报警值；

2 监测数据变化量较大或者速率过快；

3 存在勘察中未发现的不良地质条件；

4 基坑周边大量积水、长时间连续降雨、市政管道出现泄漏；

5 支护结构出现开裂；

6 周边地面出现突然较大沉降或严重开裂；

7 基坑底部、坡体或支护结构出现管涌、渗漏或流沙现象；

8 基坑工程发生事故后重新组织施工；

9 出现其他影响基坑及周边环境安全的异常情况。

* + 1. 基坑监测预警控制值应满足基坑支护结构、周边环境的变形和安全控制要求，监测预警值应由基坑工程设计方确定。变形监测的预警控制值应包括监测项目的累计变化预警控制值和变化速率预警值。基坑监测预警控制值还应与建（构）筑物、管线等监测对象的主管部门或产权单位的相关要求或建筑检测报告的结论相结合确定。
    2. 明挖隧道基坑支护结构和周围岩土体监测项目控制值参见《城市轨道交通工程监测技术规范》。
    3. 建（构）筑物监测项目控制值应符合下列规定

1 建（构）筑物监测项目控制值应在调查分析建（构）筑物使用功能、建筑规模、修建年代、结构形式、基础类型、地质条件等基础上，结合其与工程的空间位置关系、已有沉降、差异沉降和倾斜以及当地工程经验进行确定，并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007的有关规定；

2 对风险等级为一级、二级的建（构）筑物，宜通过结构检测、计算。分析和安全性评估等确定建(构）筑物的沉降、差异沉降和倾斜控制值；

3 当无地方工程经验时，对于风险等级较低且无特殊要求的建（构)筑物，沉降控制值宜为10mm～30mm，变化速率控制值宜为lmm/d～3mm/d，差异沉降控制值宜为0.001l～0.002l(l为相邻基础的中心距离)。

* + 1. 桥梁监测项目控制值的确定应符合下列规定

1 桥梁监测项目控制值应在调查分析桥梁规模、结构形式、基础类型、建筑材料、养护情况等的基础上，结合其与工程的空间位置关系、已有沉降、差异沉降和倾斜以及当地工程经验进行确定，并应符合现行国家标准的有关规定；

2 桥梁的沉降、差异沉降和倾斜控制值宜通过结构检测、计算分析和安全性评估确定。

* + 1. 地下管线监测项目控制值的确定应符合下列规定

1 地下管线监测项目控制值应在调查分析管线功能、材质、工作压力、管径、接口形式、埋置深度、铺设方法、铺设年代等的基础上，结合其与工程的空间位置关系和当地工程经验进行确定;

2 对风险等级较高的地下管线，宜通过专项调查、计算分析和安全性评估确定其沉降和差异沉降控制值;

3 当无地方工程经验时，应充分考虑管道压力，对风险等级较低且无特殊要求的地下管线沉降及差异沉降控制值可下表确定。

表10.3.7地下管线沉降及差异沉降控制值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 管线类型 | 沉降 | | 差异沉降 |
| 累计值（mm） | 变化速率（mm/d） |
| 燃气管道 | 10～20（刚性）  10～30（柔性） | 1 | 0.2%Lg |
| 雨污水管 | 10～20 | 3 | 0.4%Lg |
| 供水管 | 10～20（刚性）  10～30（柔性） | 2 | 0.3%Lg |

注：1、燃气管道的变形控制值适用于100mm～400mm的管径；

2、Lg——管节长度。

* + 1. 高速公路与城市道路监测项目控制值的确定应符合写列规定：

1 高速公路与城市道路监测项目控制值应在调查分析道路等级、路基路面材料、道路现状情况和养护周期等的基础上，结合其与工程的空间位置关系和当地工程经验等进行确定，并应符合现行行业标准《公路沥青路面养护技术规范》JTJ073.2和《公路水泥混凝土路面养护技术规范》JTJ073.1的有关规定；

2 对风险等级较高或有特殊要求的高速公路与城市道路，宜通过现场探测和安全性评估等确定其沉降控制值；

3 当无地方工程经验时，对风险等级较低且无特殊要求的高速公路与城市道路，路基沉降控制值可按下表确定。

表10.3.8路基沉降控制值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 监测项目 | | 累计值（mm） | 变化速率（mm/d） |
| 路基沉降 | 高速公路、城市主干道 | 10～30 | 3 |
| 一般城市道路 | 20～40 | 3 |

* + 1. 既有铁路监测项目控制值的确定应符合下列规定

1 既有铁路监测项目控制值应在调查分析地质条件、线路结构形式、轨道结构形式、线路现状情况等的基础上，结合其与工程的空间位置关系、当地工程经验，进行必要的结构检测、计算分析和安全性评估后确定；对高速铁路应在专项评估后确定；

2 既有铁路线路结构及轨道几何形位的监测项目控制值应符合现行行业标准《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB10413的有关规定，并应满足线路维修的要求；

3 当无地方工程经验时，对风险等级较低且无特殊要求的既有铁路路基沉降控制值可按下表确定，且路基差异沉降控制值宜小于0.04%L。(Lt为沿铁路走向两监测点间距)。

表10.3.9既有铁路路基沉降控制值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 监测项目 | | 累计值（mm） | 变化速率（mm/d） |
| 路基沉降 | 整体道床 | 10～20 | 1.5 |
| 碎石道床 | 20～30 | 1.5 |

10.3.10 监测预警

监测预警控制应按照“分区、分级、分阶段”的原则指定监控量测控制标准，并按黄色、橙色和红色三级预警进行反馈和控制，提前发现问题、分析问题并采取措施。三级预警控制值参见《城市轨道交通工程监测技术规范》。

## 监测资料及成果文件编制

* + 1. 工程监测资料包括外业观测记录、现场巡查记录、记事项目以及仪器、视频等电子数据资料。
    2. 取得现场监测资料后，应及时对监测资料进行整理、分析和校对，监测数据出现异常时，应分析原因，必要时应进行现场核对和复测。
    3. 监测数据分析应结合施工工况、地质条件、环境条件以及相关监测项目监测数据的变化进行，对监测数据及时计算累计变化值和变化速率值，并绘制时程曲线，必要时绘制断面曲线图、等值线图等，对其发展趋势做出预测。
    4. 监测成果包括现场监测资料、计算分析资料、图表、曲线等，最终形成统一形式的文字报告；监测报告包括日报、警情快报、周报、月报和总结报告。

# 主体结构及防水

## 隧道主体结构设计

* + 1. 明挖法结构计算应符合《混凝土结构设计规范》GB50010、《工程结构通用规范》GB55001、《混凝土结构通用规范》GB55008等规范要求。
    2. 隧道结构应按施工阶段和正常使用阶段分别进行结构强度、刚度和稳定性计算。对于钢筋混凝土结构，尚应对使用阶段进行裂缝宽度验算；偶然荷载参与组合时，不验算结构的裂缝宽度。
    3. 对于正常使用极限状态，结构构件应分别按作用的标准组合或准永久组合并考虑长期作用的影响进行验算，并应保证变形、裂缝等计算值不超过相应的规定限值。
    4. 处于一般环境中的结构，按荷载准永久组合并计及长期作用影响计算时，普通钢筋混凝土结构的最大计算裂缝宽度允许值迎土侧不大于0.2mm、背土侧不大于0.3mm；处于侵蚀环境等不利条件下的结构，其最大计算裂缝宽度允许值应根据具体情况另行确定。当构件保护层厚度超过30mm时，裂缝验算时保护层厚度计算值可取30mm。
    5. 隧道结构空间受力作用明显的区段，宜按空间结构进行分析，其余区段可简化为平面应力模型进行验算。
    6. 明挖隧道的回填覆土厚度应结合场址处的规划地面高程进行设计，无规划时应结合地形地貌以及排水要求综合确定。
    7. 当地基承载力及地基变形不满足设计要求时，应考虑隧道结构、基础和地基的共同作用，进行多种方案的技术经济比选，采用地基处理或加强隧道结构与地基处理相结合的方案，以满足地基承载力及隧道变形限值要求。

1 经处理后的地基，当在受力层范围内仍存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层地基承载力验算。

2 进行地基处理的建（构）筑物，应对处理后的地基进行变形验算。

## 抗震设计

* + 1. 抗震设防地震动加速度为0.1g（0.15g）及以上的隧道，应进行结构抗震性能的验算。
    2. 应根据隧道结构的特性、使用条件和重要性程度，确定结构的抗震等级。隧道结构的抗震等级应符合下表的规定；当地层中包含有可液化土层或基底处于可产生震陷的软黏土地层中时，应采取抗液化及防震陷处理措施，保证地震作用下结构物的安全；隧道位于软弱地层或地震后易产生液化的砂性地层时，结构施工接缝宜采用抗剪措施；

表11.2.2 隧道结构的抗震等级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 设防烈度 | | |
| 结构型式 | 6度 | 7度 | 8度 |
| 明挖隧道结构 | 四级 | 四级 | 三级 |
| 注：1隧道结构与地面结构结合设计时，隧道结构抗震设计应与地面结构抗震设计相协调。隧道结构的抗震等级不应低于地面结构的抗震等级。  2设计位于设防烈度6度及以上地区的隧道结构时，应根据设防要求、场地条件、结构类型和埋深等因素选用能反映其地震工作性状的计算分析方法，并应采取提高结构和接头处的整体抗震能力的构造措施。除应进行抗震设防等级条件下的结构抗震分析外，隧道主体结构尚应进行罕遇地震工况下的结构抗震验算。  3隧道结构施工阶段，可不计地震作用的影响。 | | | |

* + 1. 隧道结构应计入下列地震作用：

1 地震时随地层变形而发生的结构整体变形；

2 地震时的土压力，包括地震时水平方向和铅垂方向的土体压力；

3 隧道结构本身和地层的惯性力；

4 地层液化的影响。

* + 1. 隧道结构应分析地震对隧道横向的影响，遇有下述情况时，还应在一定范围内分析地震对隧道纵向的影响：

1 隧道纵向断面变化较大或隧道在横向有结构连接时；

2 地质条件沿隧道纵向变化较大，软硬不均时；

3 隧道位于线路小半径曲线地段时；

4 遇有可液化地层时。

* + 1. 隧道结构可采用下列抗震分析方法：

1 隧道结构的地震反应宜采用反应位移法或惯性静力法计算，结构体系复杂、体形不规则以及结构断面变化较大时，宜采用动力分析法计算结构的地震反应；

2 隧道结构与地面建、建（构）筑物结合设计时，隧道结构抗震设计应与地面结构抗震设计相协调，宜根据地面建、建（构）筑物的抗震分析要求与地面建、建（构）筑物进行整体计算；

3 采用惯性静力法计算地震作用时，可按《铁路工程抗震设计规范》GB50111的有关规定执行；

4 采用反应位移法计算地震作用时，可按《地下结构抗震设计标准》GBT51336、《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB50909的有关规定执行。

## 抗浮设计

* + 1. 隧道工程抗浮设防水位应结合使用年限内地下水的最高水位和场址地形地势及内涝等因素综合确定。
    2. 隧道工程施工期和使用期的稳定状态应根据地下结构形式及埋置深度、结构荷载分布、抗浮设防水位等条件，按最不利组合工况确定。抗浮不稳定时，应根据影响稳定状态的因素采取相应的抗浮措施。
    3. 隧道工程抗浮稳定性应按下式计算：

G／Nw,k≥Kw (6.3.1)

式中：G——隧道结构自重、附加结构自重、抗浮结构及构件抗力设计值总和(kN)；

Nw,k——浮力设计值(kN)；

Kw——抗浮稳定安全系数，按下表确定。

表6.3.2 抗浮稳定安全系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 抗浮工程设计等级 | 施工期抗浮稳定安全系数Kw | 使用期抗浮稳定安全系数Kw |
| 甲级 | 1.05 | 1.10 |
| 乙级 | 1.00 | 1.05 |
| 丙级 | 0.95 | 1.00 |

注：抗浮工程设计等级按照《建筑工程抗浮技术标准》JGJ476执行。

* + 1. 抗浮结构和构件的承载力、变形及抗浮设施有效性应符合抗浮性能及结构设计要求，抗浮构件及设施的耐久性年限不应少于隧道结构设计使用年限。

## 附属及洞口设计

* + 1. 专用洞室应根据相关专业要求设置，可结合隧道内的横通道统筹设置或多个洞室合并设置。
    2. 管线可采用挂墙或沟槽敷设方式。当隧道净空具备轨旁设置沟槽时，宜采用沟槽敷设方式，并符合下列规定：

1 应综合考虑与轨道结构、排水沟槽的相互关系。

2 宜设置双侧电缆槽，电缆槽盖板应平整，铺设稳固。

3 排水沟或电缆槽结构靠近道床一侧的沟（槽）身应增设构造钢筋。

* + 1. 隧道内可根据接触网设计要求在洞内设置下锚区段。
    2. 隧道内应按照相关专业要求预埋综合接地系统设施。电缆过轨通道宜采用预埋过轨管方式，过轨管转弯半径应满足电缆铺设要求。
    3. 隧道内附属建（构）筑物及安装设计应考虑列车风压的影响，并应按照最不利情况组合考虑。
    4. 隧道洞口、紧急出入口、风井及泵房检修口等标高应满足防洪、防淹要求，并应符合以下规定：

1 隧道设施位于可能被洪水淹没地带、水库回水影响范围、受山洪威胁地段时，其防洪设防高程应按高出设计水位加波浪侵袭高度和雍水高度不小于0.5m设计。

2 隧道设施受内涝水位影响时，洞门及敞开段边墙顶高程应高出内涝设计水位不小于0.5m设计，应在邻近洞口的暗埋段设置截水沟及雨水泵房，并考虑预留极端条件下实施紧急防淹措施的条件。

3 隧道设施设计水位的洪水频率标准为1/100；当观测洪水（包括调查可靠的有重现期可能的历史洪水）高于上述设计洪水频率标准时，应按观测洪水设计。

4 隧道敞开段宜设置雨棚防止雨水流入隧道，雨棚应结合城市景观设计。

* + 1. 隧道洞口上方有道路跨越或邻近洞口路堑顶部有并行道路时，应在靠近铁路的道路侧设置防护措施。防护措施和防护等级应符合有关规定。
    2. 隧道洞口宜结合所处环境进行景观设计。

## 构造

* + 1. 明挖隧道钢筋混凝土结构的构造设计应符合下列规定：

1 隧道钢筋混凝土结构一侧受力钢筋的配筋率不小于0.2%，同时分布钢筋的间距不宜大于150mm。当混凝土标号大于C60时，分布钢筋的最小配筋率宜增加0.1%。全部受力钢筋最小配筋率不小于0.4%。

2 后砌的内部承重墙和隔墙等应与主体结构可靠拉结，轻质隔墙应与主体结构连结。

3 隧道结构截面最小厚度应不小于25cm。

4 钢筋混凝土构件中最外侧钢筋的混凝土保护层厚度应符合现行《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB10005的规定。

5 受拉区域的钢筋可单根或２～３根成束布置，钢筋的净距不得小于d（d为钢筋的直径，带肋钢筋d为钢筋的计算直径）或30mm。当钢筋（包括成束钢筋）层数等于或多于3层，其净距横向（环向）不得小于1.5d或45mm，竖向（纵向）不得小于d或30mm。

6 钢筋的锚固长度及最小弯曲半径应符合现行《铁路工程混凝土配筋设计规范》TB10064的相关规定。

7 钢筋连接应符合下列规定

1）隧道结构受力钢筋接头宜设置在受力较小处，受拉钢筋宜采用套筒机械连接方式，其他钢筋可采用绑扎搭接。

2）隧道衬砌拱部及边墙钢筋接头不宜采用焊接，不可避免时应有保证安全的措施。

3）钢筋的连接还应满足《混凝土结构设计规范》GB50010相关规定。

* + 1. 明挖隧道结构缝的设计应符合下列规定：

1 现浇钢筋混凝土结构分段浇注的施工缝位置及间距应结合结构形式、受力要求、施工方法、气象条件及变形缝的间距等因素确定。

2 变形缝可分为伸缩缝和沉降缝。

3 伸缩缝的形式和间距可根据围岩条件、施工工艺、使用要求以及运营期间隧道内部温度相对于结构施工时的变化等，按类似工程的经验确定。

4 对于结构地基、基础或荷载变化处，可能产生较大的差异沉降时，宜通过地基处理、结构措施或设置后浇带等方法，将结构的纵向沉降曲率和沉降差控制在无砟道床和地下结构的允许变形范围内。

## 防水

* + 1. 隧道防水应遵循以防为主、刚柔结合、因地制宜、综合治理的原则，采取与其适应的防水措施；隧道防水工程设计应做到定级准确、方案可行、便于施工。
    2. 隧道防水设计应以结构自防水为主，以接缝防水为重点。
    3. 隧道防排水工程设计应符合以下规定：

1 明挖隧道防排水工程设计，应根据工程的特点收集以下资料：最高地下水位高程及变化情况、工程地质构造、历年气温变化情况、降水量、地表水、洪水和给水排水系统资料、工程所有区域的地震烈度、地热、腐蚀性物质、氡含量及含瓦斯等有害物质。

2 明挖隧道防排水工程的设计应根据气候条件、工程地质、水文地质、地下水保护、结构特点、施工方法、使用功能等要求，并考虑人为作用引起的水位变化、市政管线渗漏等因素综合确定。

3 下穿河流、湖泊、海洋及城市等地区的隧道，宜按全封闭不排水原则设计。

* + 1. 明挖隧道防排水工程设计内容应包括：

1 防水等级和设防标准要求；

2 防、排、降水系统，防水混凝土的抗渗等级和其他技术指标；

3 防水层选用的材料及其技术指标；

4 防水工程细部构造的防水措施，技术质量保证措施及施工后地面挡水、截水系统及工程各种洞口的防倒灌措施。

* + 1. 铁路明挖隧道防水等级可分为一、二、三级，各等级的防水标准应符合下表的规定。

11.6.5 防水等级标准

|  |  |
| --- | --- |
| 防水等级 | 标准 |
| 一级 | 不允许渗水，结构内缘表面无湿渍 |
| 二级 | 不允许漏水，结构内缘表面可有少量因渗水形成的湿渍或水膜；总湿渍面积不大于总防水面积的2/1000；任意100m2防水面积上的渗水不超过3处，其单个形成的湿渍或水膜面积不大于0.2m2；平均渗入水量不大于0.05L/（m2·d），任意100m2防水面积上的渗入水量不大于0.15L/（m2·d） |
| 三级 | 有少量漏水点，不得有线流和漏泥沙，安装设备的孔眼不渗水；任意100m2防水面积上的漏水点、渗水形成的水膜或湿渍不超过7处；单个湿渍或水膜面积不大于0.3m2，单点漏水量不得大于2.5L/d |

* + 1. 铁路明挖隧道的防水等级，应根据工程的重要性、运营安全保障、使用功能等要求，按下列规定设计：

1 一级防水：①高速铁路隧道主体结构；②隧道内供人员长期工作的洞室；③因少量湿渍而影响设备正常运转、危及运营安全的设备洞室；④因少量湿渍使贮存物质变质、失效的贮物洞室。

2 二级防水：①一般铁路隧道主体结构；②有人员经常活动的场所；③安装一般电气设备的洞室、置放无防潮要求器材物料的洞室；④辅助坑道内安装电动防火门、风机及其控制设备的段落。

3 三级防水：①运营期间作为防灾救援通道、检修通道、通风排烟通道的辅助坑道；②人员临时活动场所；③安装非电气设备的洞室。

* + 1. 明挖隧道工程迎水面主体结构和内部储水区域的结构应采用防水混凝土，并应根据防水等级的要求采取其他防水措施。

防水混凝土抗渗等级应根据使用功能和地下工程埋深确定，并不低于P8，地下水发育段、抗冻设防段抗渗等级不低于P10。

* + 1. 明挖隧道衬砌防水层、施工缝、变形缝应按下表选用防水措施。

表11.6.8 明挖隧道衬砌结构设防要求

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程部位 | | 拱墙 | | 仰拱（底板） | | 施工缝 | | | | | 变形缝 | | | |
| 防水措施 | | 防水板 | 防水涂料 | 防水板 | 预埋注浆管 | 中埋式止水带 | 预埋注浆管 | 背贴式止水带 | 防水密封材料 | 水泥基渗透结晶型防水涂料 | 中埋式止水带 | 背贴式止水带 | 防水加强层 | 防水密封材料 |
| 防水等级 | 一级 | 应选 | 可选 | 必要时选一种 | | 应选 | 至少选一种 | | | | 应选 | 应选两种 | | |
| 二级 | 应选 | - | 必要时选一种 | | 应选 | 可选一种 | | | | 至少选一种 | | |
| 三级 | 可选一种 | | - | - | 可选一种 | | | | | 可选一种 | | |

注：明挖隧道无外模板部分变形缝可不采用背贴式止水带。

* + 1. 防水混凝土根据抗压、抗裂、密实和抗渗性能的需要，可掺入减水剂、防水剂及膨胀剂，掺入的外渗剂品种及掺量应经试验确定，其性能应符合国家现行有关标准的要求。
    2. 防水混凝土的施工配合比应通过试验确定，试配混凝土的抗渗等级应比设计要求提高一级。
    3. 防水混凝土的环境温度不得高于80°C；当结构处于侵蚀性地层中时，防水混凝土的氯离子扩散系数不宜大于4×10-12m2/s。
    4. 防水混凝土结构底板的混凝土垫层，强度等级不应小于C15，厚度不应小于100mm，在软弱土层中不应小于150mm。
    5. 隧道结构的防水应根据施工环境条件、结构构造型式、防水等级要求，选用卷材防水层、涂料防水层、塑料防水板防水层、膨润土防水层等。防水层应设置在主体结构迎水面。
    6. 防水板及卷材防水层的设置方式应符合下列要求：

1 塑料防水板的（均质片）厚度不宜小于1.0mm、整体厚度不宜小于1.2mm；

2 卷材防水层宜为1层或2层；

3 高聚物改性沥青防水卷材应采用双层做法，总厚度不宜小于7mm；

4 自粘聚合物改性沥青防水卷材宜采用双层做法，无胎基卷材的各层厚度不宜小于1.5mm，聚酯胎基卷材的各层厚度不宜小于3.0mm；

5 合成高分子防水卷材单层使用时，厚度不宜小于1.5mm；双层使用时，总厚度不宜小于2.4mm；

6 沥青基聚酯胎预铺防水卷材的厚度不宜小于4mm；合成高分子预铺防水卷材的厚度不宜小于1.5mm；

7 聚乙烯丙纶复合防水卷材应釆用双层做法，各层材料的芯材厚度不得小于0.5mm；

8 卷材及其胶粘剂应具有良好的耐水性、耐久性、耐穿刺性、耐侵蚀性和耐菌性，其胶粘剂的粘结质量应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB50108的有关规定；

* + 1. 涂料防水层应根据工程环境、气候条件、施工方法、结构构造型式、工程防水等级要求选择防水涂料品种，并应符合下列规定：

1 潮湿基层宜选用与潮湿基面粘结力大的有机防水涂料或水泥基渗透结晶型防水涂料、聚合物改性水泥基等无机防水涂料，或釆用先涂无机防水涂料而后涂有机防水涂料的复合涂层。

2 有腐蚀性的地下环境宜选用耐腐蚀性好的反应型涂料，涂料防水层的保护层应根据结构具体部位确定。

3 选用的涂料品种应具有良好的耐水性、耐久性、耐腐蚀性及耐菌性，且无毒或低毒、难燃、低污染；无机防水涂料应具有良好的湿干粘结性、耐磨性，有机防水涂料应具有较好的延伸性及适应基层变形的能力；

4 无机防水涂料厚度宜为2mm〜4mm，有机防水涂料厚度宜为1.2mm~2.5mm。

* + 1. 新材料、新技术、新工艺，应经过试验、检测和鉴定，并应具有工程应用实际效果后再釆用，防水材料的厚度应根据其物理力学性能结合施工工艺等因素确定。
    2. 防水混凝土结构厚度不宜小于300mm；防水混凝土结构最大裂缝宽度、钢筋保护层最小厚度应符合国家和行业标准相关规定。
    3. 隧道施工缝、变形缝等细部构造防水应满足以下规定：

1 隧道衬砌的纵向施工缝不应留在剪力和弯矩较大处，最下道纵向施工缝宜设在水沟盖板面以下、侧沟过水面以上，纵向施工缝设置高度应与基坑支护体系设计相匹配。

2 隧道环向施工缝设置间距应综合考虑衬砌的施工工艺、工效及质量控制等要求，明挖隧道宜采用跳仓浇筑。

3 隧道变形缝防水措施应满足密封防水、适应变形、施工方便、安全运营等要求，在满足主体结构正常使用功能前提下，宜少设变形缝。

4 变形缝的宽度宜为20~30mm，变形缝防排水及密封件、填充物等设计使用年限与隧道主体结构一致，变形缝拱部范围构件应有可靠的防掉落措施。

5 后浇带宜用于不允许留设变形缝的工程部位。后浇带应在其两侧混凝土龄期达到42d后再施工，宽度宜为700~1000mm，并应采用补偿收缩混凝土浇筑，其抗渗和抗压强度等级不应低于两侧混凝土。

6 后浇带采用掺膨胀剂的补偿收缩混凝土时，水中养护14d后的限值膨胀率不应小于0.015%，膨胀剂的掺量应根据不同部位的限制膨胀率设定值经试验确定。

7 隧道阴阳角处防水卷材或涂料基层应做倒角处理，半径不宜小于50mm，并应设置防水卷材或涂料加强层。

8 桩头所用防水材料应具有良好的粘结性、湿固化性，桩头防水材料应于垫层防水层连为一体。

* + 1. 明挖隧道工程排水应形成汇集、径流和排出等完整的排水系统，排水系统设计应满足以下规定：

1 隧道的排水系统包括地表截排水沟，洞内侧沟及中心水沟，衬砌背后环向盲管（沟），纵向盲管（沟），横向排水管、泄水孔组成，必要时可设泄水洞或隧底设排水管（沟）。

2 洞内纵向排水沟宜与线路坡度一致。在隧道内线路平坡段、车站隧道段，排水沟泄水底面排水坡不得小于1‰。道床积水应通过纵横向排水管引入排水沟；电缆槽应设置泄水孔接入侧沟。中心排水沟可采用盖板明沟或暗埋管沟。采用暗埋管沟时，应设置满足养护、维修需要的检查井。

3 隧道内宜采用自然排水，不能自然排水的隧道应采用机械排水，采用机械排水的隧道，地下水丰富地段宜采用全包不排水设计。

4 采用机械排水的隧道应设集水池及机械排水设施，排水能力应满足设计排水量要求，并配备备用泵。排水设施应配有控制、监控系统。集水池宜与正洞隔离，机械排水系统应设检修通道，检修通道宜直通地面。

5 机械排水隧道设计排水量应考虑隧道渗漏水和消防瞬时排水，并适当考虑冗余。

6 隧道洞口应考虑截水和排水措施，明洞结构回填土表面均应铺设隔水层，隔水层应优先选用黏土层，洞口截水措施应考虑平原地区的内涝水位和邻近水域的洪水位高程。

7 洞外汇水不应流入隧道。

# 环境保护

## 一般规定

* + 1. 环境保护工作的主要内容包括防治扬尘、噪声控制、水污染控制、光污染控制、土壤污染控制。
    2. 工程施工组织设计方案中应有环境保护措施，并在施工作业中认真组织实施。
    3. 施工现场管理应建立环境保护体系，并成立环境保护领导小组，责任到人，保证有效实施。
    4. 施工现场环保基础设施应按当地要求建立健全，避免污染物体外泄出施工场地以外。
    5. 施工现场应对噪音、扬尘、排放液体、排放气体等进行检测和监控。
    6. 施工期间排放气体或液体、外弃材料等需达标后才能排放或外弃至当地环保部门指定位置。
    7. 对施工现场的环保保护措施应定期进行检查，并形成整改措施。
    8. 定期对施工管理人员进行环境保护相关要求及措施进行培训，提高环境保护意识。

## 环境影响分析

* + 1. 环境影响分析对象为建设项目环境影响分析，包括对大气环境影响分析、地表水环境影响分析、地下水环境影响分析、声环境影响分析、固体废物环境影响分析。按照时间顺序可分为环境质量现状评价、环境影响预测分析、环境影响后评价。通过环境影响分析，提出环境保护影响因素、影响程度，并提出对应预防措施，加强环境保护。
    2. 环境影响分析应根据《中华人民共和国环境影响评价法》，由建设单位按照下列规定组织编制环境影响报告书、环境影响报告表或者填报环境影响登记表。

1 可能造成重大环境影响的，应当编制环境影响报告书，对产生的环境影响进行全面评价；

2 可能造成轻度环境影响的，应当编制环境影响报告表，对产生的环境影响进行分析或者专项评价；

3 对环境影响很小、不需要进行环境影响评价的，应当填报环境影响登记表。

* + 1. 大气环境质量功能区分为一类、二类、三类。分类标准参见《环境空气质量标准》。
    2. 在各分区之间设置一定宽度的缓冲带，一类区与三类区之间的缓冲带宽度不小于500米，其他类别功能区之间的缓冲带宽度不小于300米。
    3. 大气环境质量现状调查评估参见《环境空气质量标准》。
    4. 水环境质量可划分为一、二、三级。明挖隧道工程涉及的地下水工作评价等级分为二级、三级。评价标准及要求参见《环境影响评价技术导则地下水环境》。
    5. 声环境影响评价工作等级一般分为三级，功能区分类及评价等级参见《环境影响评价技术导则声环境》。
    6. 声环境现状调查包括声波传播的环境要素，如风速、风向、气温、湿度等；以及声环境功能区划、敏感目标、现状声源等。调查可采用搜集资料、现场调查、现场测量等方法。
    7. 施工场地噪声预测依据施工场地、调车场、停车场等的范围；固定声源主要设备名称、型号、数量、声源源强、运行方式和运行时间；流动声源主要设备型号、数量、声源源强、运行方式、运行时间、移动范围和路径。

## 环境保护措施

* + 1. 防治大气污染措施

1 施工现场主要道路必须进行硬化处理。施工现场采取覆盖、固化、绿化、洒水等有效措施，做到不泥泞、不扬尘。施工现场的材料存放区、大模板存放区等场地必须平整夯实。

2 遇有四级风以上天气不得进行土方回填、转运以及其他可能产生扬尘污染的施工。

3 施工现场有专人负责环保工作，配备相应的洒水设备，及时洒水，减少扬尘污染。

4 建（构）筑物内的施工垃圾清运必须采用封闭式容器吊运，严禁凌空抛撒。施工现场设密闭式垃圾站，施工垃圾、生活垃圾分类存放。施工垃圾清运时提前适量洒水，并按规定及时清运消纳。

5 水泥和其它易飞扬的细颗粒建筑材料密闭存放，使用过程中采取有效措施防止扬尘。施工现场土方集中堆放，采取覆盖措施。

6 土方、渣土和施工垃圾的运输，必须使用密闭式运输车辆，并与持有消纳证的运输单位签定防遗撒、扬尘、乱倒协议书。施工现场出入口处设置冲洗车辆的设施，出场时必须将车辆清理干净．不得将泥沙带出现场。

7 施工道路铣刨作业时，采用冲洗等措施，控制扬尘污染。灰土和无机料拌合，采用预拌进场，碾压过程中要洒水降尘。

8 施工现场混凝土浇注使用预拌混凝土，施工现场装修阶段设置搅拌机的机棚必须封闭，并配备有效的降尘防尘装置。

9 施工现场使用的热水茶炉，炊事炉灶及冬施取暖等必须使用清洁燃料。施工机械、车辆尾气排放应符合环保要求。

10 拆除旧有和大临建筑时，随时洒水，减少扬尘污染。渣土要在拆除施工完成之日起三日内清运完毕，并遵守拆除工程的有关规定。

* + 1. 防治水污染措施

1 搅拌机前台、混凝土输送泵及运输车辆清洗处设置二级沉淀池，废水不得直接排入市政污水管网，经二次沉淀后用于洒水降尘。

2 现场存放油料、油质脱模剂，必须对库房进行防渗漏处理，储存和使用采取防泄漏措施，防止油料泄漏，污染土壤水体。

3 施工现场设置的食堂，设置简易有效的隔油池，加强管理，专人负责定期掏油，防止污染。

* + 1. 防治施工噪声污染措施

1 施工现场遵照《中华人民共和国建筑施工场界噪声限值》制定降噪措施。建筑施工过程中使用的设备，可能产生噪声污染的，按有关规定向工程所在地的环保部门申报。

2 施工现场的电锯、电刨、搅拌机、固定式混凝土输送泵、大型空气压缩机等强噪声设备搭设封闭式机棚，并尽可能设置在远离居民区的一侧，以减少噪声污染。

3 有夜间施工许可证进行夜间施工作业时，应采取措施，最大限度减少施工噪声，采用低噪声震捣棒等方法。

4 对人为的施工噪声，建立教育管理制度和降噪措施，并进行严格控制。施工现场进行噪声值监测，监测方法执行《建筑施工场界噪声测量方法》，噪声值不超过国家或地方噪声排放标准。

* + 1. 严格控制固体废弃物的产生和处理措施防止固体废弃物的产生对环境造成影响，单位根据施工特点，树立节能减废的思想，严格执行限额领料制度，减少材料浪费，控制无毒、无害不可利用固体废弃物的产生量。严格控制有毒、有害固体废弃物的排放量。提高各类无毒、无害可利用物资的使用量。建立建筑垃圾分拣站和封闭式固体废弃物回收站。对所有固体废弃物按规定消纳。防止污染环境。
    2. 防止泥浆、污水、废水外流或堵塞下水道措施

1 施工现场设冲洗车辆处，并设沉淀池，冲车轮、泵车、泵管废水沉淀后排入市政管网，沉淀池定期清掏。

2 工地临时食堂下水道设隔油池，定期清掏污渣，经隔油沉淀后排至市政管网。

3 厕所设化粪池，经沉淀后排入部队内部的市政管网，化粪池定期清理。

4 下水管一律采用陶瓷对接，防渗水泥滴浆抹管，以防污水渗入地下，污染地下水。

# 运营期隧道安全保护

* + 1. 在隧道周边进行外部作业时，应制定安全可靠的作业方案和保护措施，外部作业不得影响隧道结构的正常使用功能、承载能力、耐久性和其他特殊功能。
    2. 隧道沿线应设置控制保护区，设置范围一般应符合下列规定：

1 明挖暗埋段隧道结构外边线外侧50m内；

2 敞口段结构外边线外侧30m内。

* + 1. 任何单位和个人不得在铁路隧道上方中心线两侧各200米范围内，建造、设立生产、加工、储存和销售易燃、易爆或者放射性物品等危险物品的场所、仓库，根据国家有关规定设立的为铁路运输工具补充燃料的设施及办理危险货物运输的除外，在铁路隧道上方中心线两侧各1000米范围内，禁止从事采矿、采石及爆破作业，当隧道控制保护区遇特殊的工程地质或特殊的外部作业时，应适当扩大控制保护区范围。
    2. 在地铁运营安全保护区内进行下列作业的，除应急抢险外，作业单位应当委托专业机构对应急预案、勘察、设计、施工、监测方案进行地铁安全影响及防范措施可行性评估，根据评估意见进行修改并送我司审查同意后，方可报行政管理部门予以规划、施工许可。在已铺轨完毕的建设规划控制区进行下列作业的，也应按本条规定进行地铁安全影响及防范措施可行性评估。作业包括但不限于下列内容：

（1）新建、扩建、改建或者拆除建（构）筑物、建（构）筑物；

（2）爆破和机械振动、挖掘、地基加固、钻探、打桩、顶进、打井、抽水施工；

（3）大面积增加或减少载荷活动；

（4）在过江（河）隧道段挖沙、疏浚河道；

（5）架设、埋设管线，地下坑道穿越地铁设施；

（6）移动、拆除和搬迁地铁设施；

（7）对地铁出入口、风亭、冷却塔、变电站等设施设备进行围圈施工；

（8）其它可能危害地铁设施安全与运营安全的行为。

* + 1. 当铁路交通线网中相交、平行、邻近的铁路工程不同期建设时，先期建设工程应充分考虑后建工程的影响，后建工程对既有结构的安全保护应按本规范的相关规定执行。

# 附录

## A土钉抗拔试验要点

A.0.1 试验土钉的参数、材料及施工工艺应与工程土钉相同。

A.0.2 土钉抗拔试验应在注浆固结体强度达到10MPa或达到设计强度等级的70%后进行。

A.0.3 加载装置(千斤顶、油泵)的额定压力必须大于试验压力，且试验前应进行标定。

A.0.4 加荷反力装置的承载力和刚度应满足最大试验荷载的要求，并应使千斤顶与土钉同轴。

A.0.5 计量仪表(测力计、位移计、压力表)的精度应满足试验要求。

A.0.6 在土钉墙面层上进行试验时，试验土钉应与喷射混凝土面层分离。

A.0.7 土钉试验时应分级加载。每级加载增量宜取最大试验荷载的1/8～1/12。

A.0.8 分级加荷前，土钉应预先施加初始荷载。初始荷载宜取最大试验荷载的10%。

A.0.9 确定土钉极限抗拔承载力的试验应以预估破坏荷载作为最大试验荷载。土钉抗拔承载力检验应以抗拔承载力检验值作为最大试验荷载。

A.0.10 最大试验荷载下的土钉杆体应力不应超过其屈服强度标准值。

A.0.11 土钉抗拔承载力试验可采用逐级加载试验方法，加载等级和土钉位移测读间隔应按表A.0.11确定。

表A.0.11逐级加载试验加载等级与土钉头位移测读间隔

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测读间隔(min) | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 |
| 加载量与最大试验荷载的百分比(％) | 初始荷载 | 一 | 一 | 一 | 一 | 一 | 10 |
|
| 加载 | 10 | 50 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|
| 卸载 | 10 | 20 | 50 | 80 | 90 | 一 |
|

注：逐级加载试验用于土钉质量检测时，加至最大试验荷载后，可一次卸载至最大试验荷载的10%。

A.0.12 在每级加、卸载观测时间内，测读土钉位移不应少于3次；在每级加、卸载观测时间内，当土钉位移增量不大于1.0mm时，可视为位移稳定，方可施加下一级荷载。当土钉位移增量大于1.0mm时，应延长观测时间，并应每隔30min测读3次。当连续两次在每30min内位移增量小于1.0mm时，可视为位移稳定，方可再施加下一级荷载。

A.0.13 土钉试验时，遇下列情况之一时，应终止继续加载：

1 从第二循环开始，后一级荷载产生的土钉位移增量达到或超过前一级荷载产生位移增量的2倍；

2 土钉位移不稳定；

3 土钉杆体破坏。

A.0.14 试验时应绘制土钉的荷载～位移(Q～s)曲线。土钉的位移不应包括试验反力装置的变形。

A.0.15 土钉试验用于确定极限抗拔承载力时，应符合下列规定：

1 土钉极限抗拔承载力，在最大试验荷载下出现本规程A.0.13规定的终止继续加载情况时，应取最大试验荷载的前一级荷载；未出现时，应取最大试验荷载。

2 参加统计的试验土钉，当满足其级差不超过平均值的30%时，土钉极限抗拔承载力可取其平均值；当级差超过平均值的30%时，宜增加试验土钉数量，并应根据级差过大的原因，按实际情况重新进行统计后确定土钉极限抗拔承载力。

## B锚杆抗拔试验要点

B.1一般规定

B.1.1 试验锚杆的参数、材料、施工工艺及其所处的地质条件应与工程锚杆相同。

B.1.2 锚杆抗拔试验应在锚固段注浆固结体强度达到15MPa或达到设计强度的75%后进行。

B.1.3 加载装置(千斤顶、油泵)的额定压力必须大于最大试验压力，且试验前应进行标定。

B.1.4 加载反力装置的承载力和刚度应满足最大试验荷载的要求，加载时千斤顶应与锚杆同轴。

B.1.5 计量仪表(测力计、位移计、压力表)的精度应满足试验要求。

B.1.6 试验锚杆宜在自由段与锚固段之间设置消除自由段摩阻力的装置。

B.1.7 最大试验荷载下的锚杆杆体应力，对预应力钢筋，不应超过其抗拉强度标准值的0.9倍；对普通钢筋，不应超过其屈服强度标准值。

B.2基本试验

B.2.1 同一条件下的极限抗拔承载力试验的锚杆数量不应少于3根。

B.2.2 确定锚杆极限抗拔承载力的试验，最大试验荷载应大于预估破坏荷载，且试验锚杆杆体截面面积应符合本规程第B.1.7条的规定；不符合时，应按本规程第B.1.7条对钢筋强度的要求确定最大试验荷载。必要时，可增加试验锚杆的杆体截面面积。

B.2.3 锚杆极限抗拔承载力试验宜采用循环加载法，其加载分级和锚头位移观测时间应按表B.2.3确定。

表B.2.3循环加载试验的加载分级与锚头位移观测时间

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 循环次数 | 分级荷载与最大试验荷载的百分比(％) | | | | | | |
| 初始荷载 | 加载过程 | | | 卸载过程 | | |
| 第一循环 | 10 | 20 | 40 | 50 | 40 | 20 | 10 |
| 第二循环 | 10 | 30 | 50 | 60 | 50 | 30 | 10 |
| 第三循环 | 10 | 40 | 60 | 70 | 60 | 40 | 10 |
| 第四循环 | 10 | 50 | 70 | 80 | 70 | 50 | 10 |
| 第五循环 | 10 | 60 | 80 | 90 | 80 | 60 | 10 |
| 第六循环 | 10 | 70 | 90 | 100 | 90 | 70 | 10 |
| 观测时间(min) | | 5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 5 |

注:1锚杆加载前应预先施加初始荷载，初始荷载应取锚杆轴向拉力标准值的10％；

2每级加、卸荷载稳定后，在观测时间内测读锚头位移不应少于3次；

3在每级荷载的观测时间内，当锚头位移增量不大于1.0mm时，可视为位移稳定；当观测时间内锚头位移增量大于1.0mm时，应在该级荷载下再延长观测时间60min，并应每隔10min测读锚头位移1次；当该60min内锚头位移增量小于2.0mm时，可视为锚头位移收敛；当锚头位移稳定或收敛后，方可施加下一级荷载；

4加至最大试验荷载后，当锚杆尚未出现本规程第B.2.5条规定的终止加载情况，且继续加载后满足本规程第B.1.7条对钢筋强度的要求时，宜按最大试验荷载10％的荷载增量继续进行下一循环加载，此时，每级加载中间过程的分级荷载与最大试验荷载的百分比应分别相应增加10％，其观测时间应为10min。

B.2.4 当锚杆极限抗拔承载力试验采用逐级加载法时，其加载分级和锚头位移观测时间应按表B.2.3中每一循环的最大荷载及相应的观测时间逐级加载和卸载。

B.2.5 锚杆试验中遇下列情况之一时，应终止继续加载：

1 从第二级加载开始，后一级荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生位移增量的2倍；

2 锚头位移不收敛；

3 锚杆杆体破坏。

B.2.6 循环加载试验应绘制锚杆的荷载～位移(Q～s)曲线、荷载～弹性位移(Q～se)曲线和荷载～塑性位移(Q～sp)曲线。锚杆的位移不应包括试验反力装置的变形。

B.2.7 锚杆极限抗拔承载力应按下列方法确定：

1 单根锚杆的极限抗拔承载力，在某级试验荷载下出现本规程第B.2.5条规定的终止继续加载情况时，应取终止加载的前一级荷载值；未出现时，应取最大试验荷载值。

2 参加统计的试验锚杆，当极限抗拔承载力的极差不超过其平均值的30%时，锚杆极限抗拔承载力标准值可取平均值；当级差超过其平均值的30%时，宜增加试验锚杆数量，并应根据级差过大的原因，按实际情况重新进行统计后确定锚杆极限抗拔承载力标准值。

B.3蠕变试验

B.3.1 蠕变试验的锚杆数量不应少于三根。

B.3.2 蠕变试验的加载分级和锚头位移观测时间应按表B.3.2确定。在观测时间内荷载必须保持恒定。

表B.3.2蠕变试验加载分级与锚头位移观测时间

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 加载分级 | 0.50NK | 0.75 NK | 1.00 NK | 1.20 NK | 1.50 NK |
| 观测时间t2(min) | 10 | 30 | 60 | 90 | 120 |
| 观测时间t1(min) | 5 | 15 | 30 | 45 | 60 |

注:表中为锚杆轴向拉力标准值。

B.3.3每级荷载按时间间隔1min、5min、10min、15min、30min、45min、60min、90min、120min记录蠕变量。

B.3.4 试验时应绘制每级荷载下锚杆的蠕变量～时间对数(s～lgt)曲线。蠕变率应按下列公式计算：

（B3.4-1）

式中:──锚杆蠕变率；

──时间测得的蠕变量（mm）；

──时间测得的蠕变量（mm）。

B.3.5 锚杆的蠕变率不应大于2.0mm。

B.4验收试验

B.4.1 锚杆抗拔承载力检测试验的最大试验荷载，应按本规程第7.3.6.8条的规定取值，同时尚应符合本规程第B.1.7条对锚杆杆体钢筋强度的要求。

B.4.2 锚杆抗拔承载力检测试验可采用逐级加载法，其加载分级和锚头位移观测时间应按表B.4.2确定。

表B.4.2逐级加载试验的加载分级与锚头位移观测时间

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 最大试验  荷载 | 分级荷载与锚杆轴向拉力标准值NK的百分比(％) | | | | | | | |
|
| 1.4NK | 加载 | 10 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 |
| 卸载 | 10 | 30 | 50 | 80 | 100 | 120 | 一 |
| 1.3NK | 加载 | 10 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 130 |
| 卸载 | 10 | 30 | 50 | 80 | 100 | 120 | 一 |
| 1.2NK | 加载 | 10 | 40 | 60 | 80 | 100 | 一 | 120 |
| 卸载 | 10 | 30 | 50 | 80 | 100 | 一 | 一 |
| 观测时间(min) | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 |

注：1锚杆加载前应预先施加初始荷载，初始荷载应取锚杆轴向拉力标准值的10％；

2每级加、卸荷载稳定后，在观测时间内测读锚头位移不应少于3次；

3在每级荷载的观测时间内，当锚头位移增量不大于1.0mm时，可视为位移稳定；当观测时间内锚头位移增量大于1.0mm时，应在该级荷载下再延长观测时间60min，并应每隔10min测读锚头位移1次；当该60min内锚头位移增量小于2.0mm时，可视为锚头位移收敛；当锚头位移稳定或收敛后，方可施加下一级荷载；

4锚杆验收试验，也可在逐级加载至最大试验荷载后一次卸载至初始荷载。

B.4.3 锚杆试验时，当遇本规程第B.2.5条规定的终止继续加载情况时，应终止继续加载。单根锚杆的极限抗拔承载力应按本规程第B.2.7条第1款的规定确定。

B.4.4 逐级加载试验应绘制锚杆的荷载～位移(Q～s)曲线。锚杆的位移不应包括试验反力装置的变形。

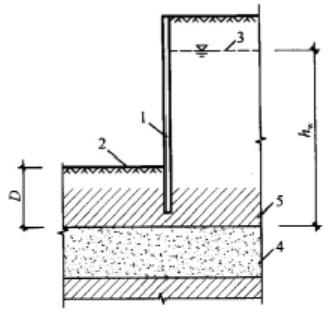
B.4.5 验收试验中，符合下列要求的锚杆应判定合格：

1在最大试验荷载下，锚杆位移稳定或收敛；

2对拉力型锚杆，在最大试验荷载下测得的总位移量应大于自由段长度理论弹性伸长量的80%，且应小于自由段长度与1/2锚固段长度之和的理论弹性伸长量。

## C 基坑渗流稳定性验算

C.0.1 坑底以下有水头高于坑底的承压水含水层，且未用截水 帷幕隔断其基坑内外的水力联系时，承压水作用下的坑底突涌稳 定性应符合下式规定(图C.0.1):



图C.0.1 坑底土体的突涌稳定性验算

1一截水帷幕；2—基底；3—承压水测管水位；

4—承压水含水层；5-隔水层

 (C.0. 1)

式中：Kh——突涌稳定安全系数；Kh不应小于1.1;

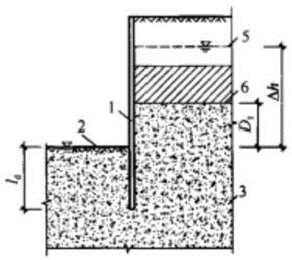
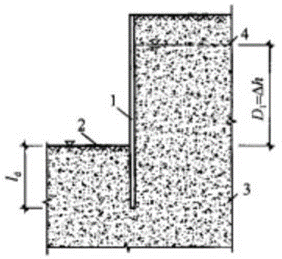
D——承压水含水层顶面至坑底的土层厚度(m);

y——承压水含水层顶面至坑底土层的天然重度(kN/m³);对多层土，取按土层厚度加权的平均天然重度；

hw——承压水含水层顶面的压力水头高度(m);

γw——水的重度(kN/m³)。

C.0.2 悬挂式截水帷幕底端位于碎石土、砂土或粉土含水层时，对均质含水层，地下水渗流的流土稳定性应符合下式规定(图C.0.2),对渗透系数不同的非均质含水层，宜采用数值方法进行渗流稳定性分析。



(a)潜水 (b)承压水

图C.0.2 采用悬挂式帷幕截水时的流土稳定性验算

1—截水帷幕；2—基坑底面；3—含水层；

4—潜水水位；5—承压水测管水位；

6—承压水含水层顶面

 (C.0.2)

式中：Kf——流土稳定性安全系数；安全等级为一、二、三级的支护结构，Kf分别不应小于1.6、1.5、1.4;

ld——截水帷幕在坑底以下的插入深度(m);

D₁——潜水面或承压水含水层顶面至基坑底面的土层厚度(m);

γ——土的浮重度(kN/m³);

△h——基坑内外的水头差(m);

γw——水的重度(kN/m³)。

C.0.3 坑底以下为级配不连续的砂土、碎石土含水层时，应进行土的管涌可能性判别。

**本技术规程用词说明**

执行本技术规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

（1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

（2）表示严格，在正常情况均应这样做的用词：

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用词：

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”。

**中国工程建设标准化协会标准**

《铁路隧道明挖法技术规程》

Technical regulations for open excavation method of railway tunnel

**（T/CECS\*\*\*-202\*）**

（条文说明）

**XXXX年．\*\***

目 录

[1总 则 1](#_Toc20369)

[3基本规定 2](#_Toc28212)

[4岩土勘察与环境调查 12](#_Toc17191)

[5设计荷载 15](#_Toc17966)

[6建筑材料 23](#_Toc14886)

[7基坑支护结构 28](#_Toc7942)

[8土体加固 58](#_Toc17981)

[9基坑地下水控制 69](#_Toc18050)

[10基坑监测 74](#_Toc15779)

[11主体结构及防水 75](#_Toc9056)

[12环境保护 85](#_Toc14331)

[附 录 86](#_Toc29481)

Contents

[1 General Provisions 1](#_Toc9531)

[3 Basic Regulations 2](#_Toc1638)

[4 Geotechnical Survey and Environmental Investigation 12](#_Toc27757)

[5 Design Load 15](#_Toc31857)

[6 Construction Material 23](#_Toc10765)

[7 Supporting Structure 28](#_Toc23667)

[8 soil consolidation 5](#_Toc22274)8

[9 Groundwater Control 6](#_Toc10177)9

[10 Monitoring 7](#_Toc21300)4

[11 Major Structure and Waterproof 7](#_Toc6909)5

[12 Soil Sailing Wall 8](#_Toc15272)5

[Appendix 8](#_Toc11842)6

（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，不具备与规范正文同等的效力，仅供使用者作为理解和把握暂行规范的参考。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。）

1总 则

1.0.4 针对铁路明挖法隧道中存在的主要问题，制定了相关规定，内容涉及到勘察、设计、施工与监测等，这些规定充分结合了铁路工程特点，对提高铁路明挖法隧道质量、减少事故等具有重要作用。

# 3基本规定

3.1.2 铁路地下工程的修建，不可避免地对周围环境产生不利影响。当铁路线路通过城市中心地区时，还会遇到与既有的建、构筑物处于接近或超接近的状态，个别情况还需要下穿建、构筑物或既有轨道交通结构物等。地铁工程设计，在经济合理的条件下，应力求把地铁施工中及建成后对城市居民生活、邻近建、构筑物、地下管线、地下水和总体环境的影响减至最小。

* + 1. 1 环境影响的主要方面。

1. 由于铁路隧道施工造成的影响:如对居民正常生活环境的影响，主要表现在施工中环境质量的恶化和对交通的影响;对邻近建、构筑物和地下管线的影响;地下水状态的变化;

2) 隧道建成后对周围环境可能造成的影响:如由于隧道渗漏造成细颗粒含水地层（如含水粉细砂地层)水土流失引起周围地层的下沉;列车振动及噪声对城市居民生活的影响;

3) 铁路隧道建成投入运营后由于列车振动引起地层的进一步固结或变形对临近建、构筑物的影响等。必须从工程的设计阶段就对修建地铁可能造成的环境影响进行调查、预测，选择合适的施工方法和辅助施工措施,采用合理的结构形式和支护方案,并提出保护环境的具体方法;

2 在铁路线网规划确定后,规划部门应对沿线控制用地范围内及可能影响区域的规划建设加以控制，尽量减少今后铁路隧道建设的困难;

当规划建筑物先于铁路隧道实施且位于施工相互影响范围以内时，应充分考虑远期铁路隧道施工可能对其造成的不利影响而在建筑物的设计中采取必要的措施。例如，将建筑物的基础置于地铁隧道开挖形成的破裂面之下:位于沉降槽范围之内的桩基应考虑负摩擦力对其承载力的影响;当建筑物桩基距远期盾构隧道很近时，要考虑盾构推力和隧道开挖后土体侧向卸载对桩受力的影响等。当远期铁路隧道可能下穿建筑物时，应在建筑物的桩基中预留走廊供其通过,避免以后采取基础托换等方法而增加铁路隧道的工程投资﹔

3 在设计铁路隧道结构时，要根据城市规划条件，尽可能考虑规划建筑物实施时的影响;

4 铁路隧道的结构设计,应根据城市轨道交通线网规划，考虑发展的可能性，必要时在近期工程中做出适当的预留。预留方式和预留工程的规模视工程建设期的远近、远期工程规划方案的稳定性、所处的工程地质及水文地质条件和工程实尴的影响大小而定，应以尽量减小远期工程实施对地铁安全运营的影响为原则。

3.1.3 施工方法和结构形式的选择，不仅受沿线工程地质和水文地质条件、环境条件、隧道埋置深度和城市规划等因素的制约,而且对地下车站的建筑布局和使用功能、地下空间的开发利用、线路的平面和纵断面、工程的实施难度、工期、造价及施工期间的城市居民生活、经济活动和周围环境等都会产生直接影响。地铁沿线情况千差万别，结构功能要求也各不相同。因此，对地下结构施工方法和结构形式的选择，必须贯彻因地制宜的原则，通过综合比较，选择经济效益、社会效益和环境效益较好的方案。由于地下结构的形式与施工方法有一定的依从关系，所以施工方法的选择尤为重要。

区间隧道除埋深较浅且地面有条件的地段宜采用明挖法施工外，一般情况下宜采用暗挖法施工（应进行矿山法和盾构法的比选)。布置于车站端部的折返线或渡线隧道应进行明挖法和矿山法的比选。

地下车站应优先采用常规的明挖法施工;当不允许长期占用既有道路施工时，可采用盖挖顺作法或盖挖逆作法，盖挖递作法尤其适用于环境要求较高、必须严格控制开挖引起的地面沉降等影响的情况﹔仅当不具备明挖条件或当车站埋置过深,采用明挖法施工很不经济时，方可考虑采用暗挖法施工。

位于岩石地层中的区间隧道一般采用矿山法或TBM法施工,地下车站一般采用矿山法施工。

3.1.5 地下结构的主体结构主要指直接和间接承担地层荷载和运营车辆荷载，保证地铁结构体稳定的结构构件;使用期间不可更换的结构构件是指直接承受地铁设备和人群荷载，在使用期间无法更换或更换会影响运营的结构构件。上述结构应严格按照100年的设计使用年限设计，以保证在设计使用年限内的地铁使用安全。

使用期间可以更换的次要构件主要指在地下结构内部的、位于次要部位且更换不影响使用功能和王常运营的结构构件。这些构件原则上可以按照50年的设计使用年限进行设计。

不作为使用期间主要受力结构的围护结构,主要指基坑围护结构中的围护桩、围护墙和其他挡土结构，可不考虑耐久性要求,仅满足施工期间的使用即可。但对于可能在设计中部分考虑其承载作用的围护结构（如灌注桩和连续墙等）来讲，应满足本规范耐久性规定中对材料和构造的要求。

矿山法隧道的喷射混凝土韧期支护(包含单纯锚杆喷射混凝土和带有钢拱架的喷射混凝土支护）由于截面厚度小，抗渗性能差以及施工质量和稳定性不易控制等，可按照临时支护考虑。

地下结构的耐久性,主要与使用环境、材料、构造、混凝土的裂缝、施工质量和使用阶段的维护等方面有关。耐久性设计的内容包括:

1确定结构和构件的设计使用年限,环境作用类别和作用等级;进行有利于减轻环境作用的概念设计，包括结构选型、布置和构造;

2选用混凝土材料和钢筋,提出材料的耐久性质量要求;

3根据耐久性要求确定混凝土保护层厚度;

4设置防水、排水等构造措施;

5提出混凝土裂缝控制要求;

6必要时提出针对严重环境作用的多重防护措施与防腐蚀附加措施;

7提出针对耐久性要求的施工工艺与质量验收要求;

8提出使用阶段的维护与检测要求。

混凝士结构的环境作用等级可参照国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476的规定执行。对处于一般环境条件下且厚度不小于300mm的钢筋混凝土内衬可不按薄壁构件考虑,在一面临水另一面干燥的环境条件下，可不考虑干湿交替作用，其主要理由是:

1内衬在防水层的保护之下;

2即使防水层局部漏水，但隧道整体上还有防水层的包裹，能够涵养部分地下水，不至于使结构环境形成完全的干湿交替效果;

3盾构隧道管片的混凝土标号和抗渗等级高,渗透深度一般不易达到隧道内表面(空气侧)。素混凝土构件在一般环境中可按I-A考虑。

地下结构混凝土材料应严格控制对耐久性不利的成分含量，一般环境下的混凝土中水溶性氯离子含量应不大于0.08%、三氧化硫含量应不大于胶凝材料重量的4%，碱含量应不大于3kg。

3.1.7 矿山法施工的隧道内轮廓需选择合适的高(矢)跨比，使隧道结构处于合理受力状态。隧道内采用有砟轨道并且需要进行大型机械化养护时,隧道内轮廓需满足养护机械作业要求。

隧道轨面以上净空面积需同时满足建筑限界和列车进人隧道诱发的空气动力学效应,并取其中较大值。列车动态密封指数5s<T<6s时,隧道轨面以上最小净空横断面面积需符合说明表3.1.7的规定。

说明表3.1.7隧道轨面以上最小净空横断面面积

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 车辆类型 | 隧道类型 | 设计行车速度(km/h) | 面积(m²) |
| 市域A型  市域B型 | 单线 | 120及以下 | 28 |
| 单线 | 140 | 35 |
| 双线 | 一 | 60 |
| 市域C型  市域D型 | 单线 | 120及以下 | 35 |
| 单线 | 140/160 | 39 |
| 双线 | 一 | 64 |

说明表3.1.7中,隧道轨面以上最小净空横断面面积是根据《城际铁路设计规范隧道断面研究》《市域(郊)铁路国铁和城轨制式隧道内净空设计标准研究》《市域(郊)铁路隧道内净空设计标准研究》等成果,针对市域车辆动态密封指数大于5s且满足各速度目标值下相应车内瞬变压力幅度单线单车800Pa/3s,双线会车1250Pa/3s的舒适度标准进行取值。

采用列车动态密封指数T<5s或T>6s或非密闭性列车时，在满足列车运行动态限界和乘客舒适度标准基础上,根据机车车辆类型、设计时速隧道长度等因素综合确定隧道轨面以上最小净空横断面面积。

3.2.2 荷载组合需考虑施工和使用年限内可能发生的变化,根据《建筑结构荷载规范》GB50009——2012及《铁路隧道设计规范》TB 10003——2016等相关规范,按照可能出现的最不利情况计算。结构计算方法优先应用极限状态法,根据具体工程条件,采用容许应力法或破损阶段法。

施工荷载是指结构构件在就地建造、安装时,作用在构件上的临时荷载。该类荷载主要用于施工阶段的验算,其取值需根据施工阶段,施工方法和施工条件的实际情况确定。部分施工荷载建议取值:施工机具荷载,不大于10 kPa;地面堆载选用20 kPa,盾构井处根据盾构吊装实际情况考虑,但不小于30 kPa。

3.2.3 本条的极限状态设计方法的通用表达式依据国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153- 2008而定，是本规程各章各种支护结构统一的设计表达式。

对承载能力极限状态，由材料强度控制的结构构件的破坏类型采用极限状态设计法，按公式(3.2.3-1)给出的表达式进行设计计算和验算，荷载效应采用荷载基本组合的设计值,抗力采用结构构件的承载力设计值并考虑结构构件的重要性系数。涉及岩土稳定性的承载能力极限状态,采用单一安全系数法,按公式(3.2.3-3)给出的表达式进行计算和验算。本规程的修订,对岩土稳定性的承载能力极限状态问题恢复了传统的单一安全系数法，一是由于新制定的国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153-2008中明确提出了可以采用单一安全系数法，不会造成与基本规范不协调统一的问题;二是由于国内岩土工程界目前仍普遍认可单一安全系数法，单一安全系数法适于岩土工程问题。

以支护结构水平位移限值等为控制指标的正常使用极限状态的设计表达式也与有关结构设计规范保持一致。

3.2.4 随着我国建筑结构可靠度设计标准的提高,国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009-2001已将永久荷载、可变荷载的分项系数调高，对由永久荷载效应控制的永久荷载分项系数取=1.35。各结构规范也均相应对此进行了调整。由于本规程对象是临时性支护结构，在修订时，也研究讨论了荷载分项系数如何取值问题。如荷载综合分项系数由1.25调为1.35，这样将会大大增加支护结构的工程造价。在征求了国内--些专家、学者的意见后，认为还是维持原规程的规定为好，支护结构构件按承载能力极限状态设计时的作用基本组合综合分项系数仍取1.25。其理由如下:其一，支护结构是临时性结构，一般来说，支护结构使用时间不会超过一年，正常施工条件下最长的工程也小于两年，在安全储备上与主体建筑结构应有所区别。其二，荷载综合分项系数的调高只影响支护结构构件的承载力设计，如增加挡土构件的截面配筋、锚杆的钢绞线数量等，并未提高有关岩土的稳定性安全系数，如圆弧滑动稳定性、隆起稳定性、锚杆抗拔力、倾覆稳定性等，而大部分基坑工程事故主要还是岩土类型的破坏形式。为避免与《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153及《建筑结构荷载规范》GB 50009-2001的荷载分项系数取值不一致带来的不统一问题，其系数称为荷载综合分项系数，荷载综合分项系数中包括了临时性结构对荷载基本组合下的调整。

支护结构的重要性系数，遵循《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153的规定，对安全等级为一级、二级、三级的支护结构可分别取1.1、1.0及0.9。当需要提高安全标准时，支护结构的重要性系数可以根据具体工程的实际情况取大于上述数值。

3.3.1 明挖施工的结构衬砌

1 装配式衬砌具有工业化程度高、施工速度快等优点，在前苏联地铁的车站及区间隧道中已被广泛采用，我国铁路工程中也已经有研究和应用。装配式结构的构件在现场应连接成整体，以利于防水、抗震,并提高隧道抵抗纵向不均匀沉降的能力。装配式衬砌因其施工不受低温天气的影响，在我国东北的寒冷地区应对冬季施工有一定的意义;

2把地下连续墙和灌注桩等基坑支护作为主体结构的一部分加以利用，既可以节约工程投资，又减少了资源的消耗,符合可持续发展的要求。我国大多数明挖地铁车站都是按照这一原则设计的。此时，主体结构的侧墙可有单一-墙、叠合墙和复合墙等三种形式。

1. 单一墙:围护结构直接作为主体结构的侧墙，不另作参与结构受力的内衬墙,多采用现浇地下连续墙，槽段之间的接头需作特殊处理。一般顺筑法施工时可采用柔性防水接头;逆作法施工时采用能传递竖向剪力的刚性防水接头或整体接头。由于灌注桩各柱列之间无构造上的联系，整体性差，防水性能也不可靠,故不宜单独作为主体结构的侧墙使用;

2) 叠合墙:围护结构作为主体结构侧墙的一部分，与内衬墙组合成叠合式结构，通过结构和施工措施，保证叠合面的剪力传递，叠合后可把二者视为整体墙。此种形式的围护结构也多采用地下连续墙;

3) 复合墙:围护结构作为主体结构侧墙的一部分，与内衬墙组咸复合式结构,墙面之间不能传递剪力和弯矩,只能传递法向压力。围护结构可采用地下连续墙、钻孔灌注桩或人工挖孔桩等。在围护墙和内衬墙之间可敷设隔离层或封闭的防水层。用分离式灌注桩作为基坑支护时，虽然其与内衬墙之间有时也通过设置拉接钢筋传递一定的拉力，但由于连接较弱，也应视为复合墙。在含水地层中,灌注桩的外侧一般须设止水帷幕，因此施工阶段的水土压力由围护墙承受。长期使用阶段需考虑止水帷幕失效和地下水绕流等因素，水压力作用在内衬墙上。侧墙形式对工程投资、结构受力、施工和使用等有较大影响，应结合使用要求、围护结构的形式、工程地质与水文地质条件及场地条件等通过技术经济比较确定。当无可靠依据和措施解决泥浆中浇注的混凝土的耐久性问题时，不应采用单一墙。采用叠合墙或复合墙形式时，也应考虑在使用期内围护结构的材料劣化影响，一般情况下围护结构可按刚度折减到60%～70%后与内衬墙共同承载。

3.3.2 从保证隧道长期稳定、确保地铁无碎道床正常工作的角度考虑，原则上衬砌结构宜采用闭合式。当隧道位于无地下水的I级围岩中时，可不设受力底板，但仍应用厚度不小于200mm的混凝土铺底。

# 4岩土勘察与环境调查

4.1.1 勘察之前充分收集、分析既有明挖隧道资料，可以了解拟建场地的区域地质情况和以往的工程建设经验，从而明确工作重点，合理确定勘察工作量，节约勘察成本，提高勘察质量。

地质条件复杂地段，采用单一的勘探方法，往往由于场地条件的限制难以实施，在短时间内难以查清场地的工程地质条件。而采用多种勘察手段相结合，使几种勘察手段相关验证，取长补短，可以提高勘察的效果，也有利于勘察技术的改进。

4.1.2 明挖工程的水文地质勘察应包含两个方面：一是满足降水设计（包括降水井的布置和井管设计）需要，二是满足对环境影响评估的需要。降水对环境影响评估的需要对明挖外围渗流进行分析，研究流场优化的各种措施，考虑降水延续时间长短的影响。

4.1.3 目前大多数的基坑工程的勘察，其勘探孔均在基坑内，只能根据坑内钻孔的地质剖面判定坑外地层的分布情况。当场地地层分布较均匀时，采用坑内的勘探孔是可以的，但当场地土层分布起伏较大或局部存在软弱层时，会使明挖支护的设计的岩土依据与实际不符，从而造成明挖工程风险。因此，有条件的场地因按本条要求增设勘察孔。

4.1.4 （1）按现行国家标准《岩土工勘察规范》（GB50021）的规定进行原位测试和室内试验并提出各层土的物理力学性质指标和力学指标；对主要土层和厚度大于3m的素填土，应进行抗剪强度试验并提出相应的抗剪强度指标。

（2）含有承压水的砂土层：由于承压水的作用，易产生突发性涌水和流砂，引起地面较大范围的突然塌陷和沉降。因此，明挖面以下存在承压水时，勘探孔深度应可以满足能测出承压含水层水头的需要。

4.1.6 明挖周边环境条件是支护结构设计的重要依据之一。明挖周边通常存在既有建筑物、管线、铁路、道路等，明挖工程的支护的作用主要是保护周边环境不受损害。同时，明挖周边既有建筑物、铁路、道路等荷载会增加作用在明挖支护结构上的荷载，支护结构的施工也需要考虑对周边建筑物、地下管线、地下构筑物等影响。因此，应查明明挖周边的环境条件，并按这些环境条件进行设计。

4.2.3 水文地质试验孔一般布置在对工程有影响的主要含水层。当明挖段需要降水时，宜采用抽水试验测定各含水层的渗透系数与影响半径。

明挖区不良地质及特殊岩土发育的地段、地质条件复杂的地段是明挖隧道可行性研究阶段需重点调查的内容。

4.3.5 原位测试基本上是在原位的应力条件下对岩土体进行测试，其测试结果具有较好的可靠性和代表性，但原位测试评定岩土参数主要是建立在统计的经验基础上，有很强的地区性和岩土类的局限性。因此，在选择原位测试方法时应根据岩土条件、设计对参数的要求、地区经验和测试方法的适用性等综合确定。

勘探取样的数量和质量、取样的位置，试验方法的选择，是保证室内试验成果资料质量的前提，而室内试验成果资料准确、可靠、适用又是保证地质勘察资料质量的基础。

4.5.2 施工中需特别重视因地质和环境原因引发的问题，如岩溶地区突然发生的地面塌陷或地表水的漏失，有害气体的燃烧或爆炸等、液化土区由于地基局部液化产生盾构机姿态变形等。在施工的整个过程中应对施工影响范围内地质条件变化和地质灾害发生的可能性进行监测和预报，以确保施工安全和人员安全；对施工影响范围内的建（构）筑物、地下管线等周边环境进行监测，确保周边环境安全。

4.6.2 抗剪强度是明挖支护设计最重要参数，但不同的试验方法（直剪或三轴、UU或CU）可能得出不同的结果。勘察时应根据设计所依据的规范、标准的要求进行，提供数据。

# 5设计荷载

5.1.1 地层压力是地下结构承受的主要荷载。由于影响地层压力分布、大小和性质的因素很多，应根据隧道的具体条件,结合已有的试验、测试和研究资料慎重确定。--般情况下,岩质隧道可根据围岩分级依工程类比确定围岩作用和支护参数，土质隧道可按下述通用方法计算土压力:

1 竖向压力:填土隧道及浅埋暗挖隧道―般按计算截面以上全部土柱重量考虑;深埋暗挖隧道按泰沙基公式、普罗托季雅柯诺夫公式或其他经验公式计算;

2 水平压力:根据结构受力过程中墙体位移与地层间的相互关系，分别按主动土压力、静止土压力或被动土压力理论计算﹔在黏性土中应考虑粘聚力影响。计算土层的侧压力时，一般有两种方法，一种是将土压力与水压力分开计算(水土分算)，另一种是将水压力作为土压力的一部分进行计算（水土合算)。两种方法的适用条件详见5.1.2条说明。

5.1.2 条文说明: 水压力的确定应注意以下问题:

1作用在地下结构上的水压力，原则上应采用孔隙水压力，但孔隙水压力的确定比较困难,从实用和偏于安全考虑,设计水压力一般都按静水压力计算;

2在评价地下水位对地下结构的作用时，最重要的三个条件是水头、地层特性和时间因素。具体计算方法如下:

1. 使用阶段:

①无论砂性土或黏性土，都应根据设计地下水位按全水头和水土分算的原则确定;②应考虑地下水位在使用期的变化可能的不利组合。

1. 施工阶段可根据围岩情况区别对待:

1置于渗透系数较小的黏性土地层中的隧道,在进行抗浮稳定性分析时，可结合当地工程经验，对浮力作适当折减或把地下结构底板以下的黏性土层作为压重考虑﹔并可按水土合算的原则确定作用在地下结构上的侧向水压力;

2置于砂性土地层中的隧道，应按全水头确定作用在地下结构上的浮力，按水土分算的原则确定作用在地下结构上的侧向水土压力。

3确定设计地下水位时应注意的问题;

1. 由于季节和人为的工程活动〔如邻近场地工程降水影响)等都可能使地下水位发生变动,所以在确定设计地下水位时，不能仅凭地质勘察取得的当前结果,必须估计到将来可能发生的变化。尤其近年来对水资源保护的力度加大，需要考虑结构在长期使用过程中城市地下水回灌的可能性;
2. 地形影响:在盆地和山麓等处,有时会出现不透水层下面的水压力变高的情况，使地下水压力从上到下按线性增大的常规形态发生变化;
3. 符合结构受力的最不利荷载组合原则:由于超静定结构某些构件中的某些截面是按侧压力或底板水反力最小的情况控制设计的，所以在确定设计地下水位时，应分别考虑最高水位和最低水位两种情况。

5.1.3 铁路列车的动力作用参数，可参照《铁路桥涵设计基本规范》TB 10002.1关于动力参数的计算公式来取值，并乘以0.8的折减系数。当轨道铺设在结构底板上时，一般来说,车辆荷载对结构应力影响不大，并且为有利作用，铁路车辆荷载及其动力作用的影响可路去不计。

5.1.4 综合国内外各种规范有关人群荷载的取值,本规范采用了中间值。

设备区的计算荷载应根据设备安装、检修和正常使用的实际情况(包括动力效应)确定，可按标准值8.0kPa进行设计，重型设备尚应依据设备的实际重量、动力影响、安装运输途径等确定其荷载大小与范围。

对于设备区一般情况下荷载标准值的取值，参考地铁等轨道交通规范取值为8.0kPa，主要考虑了以下因素:

1 参考对现状多数地铁车站楼板设计参数的分析，采用8.0kPa的荷载标准值,一般不会对结构设计参数带来较大影响;

2 采用较大的荷载标准值有利于提高设备区灵活布置的结构适用性;

3 实际采用8.0kPa荷载标准值的情况比较普遍;

4 对于大型设备,楼板设计时应考虑其运输过程的影响。

5.2.1 支护结构作为分析对象时，作用在支护结构上的力或间接作用为荷载。除土体直接作用在支护结构上形成土压力之外，周边建筑物、施工材料、设备、车辆等荷载虽未直接作用在支护结构上，但其作用通过土体传递到支护结构上，也对支护结构上土压力的大小产生影响。土的冻胀、温度变化也会使土压力发生改变。本条列出影响土压力的常见因素，其目的是为了在土压力计算时，要把各种影响因素考虑全。基坑周边建筑物、施工材料、设备、车辆等附加荷载传递到支护结构上的附加竖向应力的计算，本规程第5.4.1条、第5.4.2条给出了简化的具体计算公式。

5.2.2 挡土结构上的土压力计算是个比较复杂的问题，从土力学这门学科的土压力理论上讲，根据不同的计算理论和假定，得出了多种土压力计算方法，其中有代表性的经典理论如朗肯土压力、库仑土压力。由于每种土压力计算方法都有各自的适用条件与局限性，也就没有一种统一的且普遍适用的土压力计算方法。

由于朗肯土压力方法的假定概念明确，与库仑土压力理论相比具有能直接得出土压力的分布，从而适合结构计算的优点，受到工程设计人员的普遍接受。因此，本规程采用的是朗肯土压力。经过十多年国内基坑工程应用的考验，实践证明朗肯土压力是可行的。但是，由于朗肯土压力是建立在半无限土体的假定之上，在实际基坑工程中基坑的边界条件有时不符合这一假定，如基坑邻近有建筑物的地下室时，支护结构与地下室之间是有限宽度的土体;再如，对排桩顶面低于自然地面的支护结构，是将桩顶以上土的自重化作均布荷载作用在桩顶平面上，然后再按朗肯公式计算土压力。但是当桩顶位置较低时，将桩顶以上土层的自重折算成荷载后计算的士压力会明显小于这部分土重实际产生的土压力。对于这类基坑边界条件，按朗肯土压力计算会有较大误差。所以，当朗肯土压力方法不能适用时，应考虑采用其他计算方法解决土压力的计算精度问题。

库仑土压力理论（滑动楔体法）的假定适用范围较广，对上面提到的两种情况，库仑方法能够计算出土压力的合力。但其缺点是如何解决成层土的土压力分布问题。为此，本规程规定在不符合按朗肯土压力计算条件下，可采用库仑方法计算土压力。但库仑方法在考虑墙背摩擦角时计算的被动土压力偏大，不应用于被动土压力的计算。

考虑结构与土相互作用的土压力计算方法，理论上更科学，从长远考虑该方法应是岩土工程中支挡结构计算技术的一个发展方向。从促进技术发展角度，对先进的计算方法不应加以限制。但是，目前考虑结构与土相互作用的土压力计算方法在工程应用上尚不够成熟，现阶段只有在有经验时才能采用，如方法使用不当反而会弄巧成拙。

总之，本规程考虑到适应实际工程特殊情况及土压力计算技术发展的需要，对土压力计算方法适当放宽，但同时对几种计算方法的适用条件也作了原则规定。本规程未采纳一些土力学书中的经验土压力方法。

本条各公式是朗肯土压力理论的主动、被动土压力计算公式。水土合算与水土分算时，其公式采用不同的形式。

5.2.3 天然形成的成层土，各土层的分布和厚度是不均习的。为尽量使土压力的计算准确，应按土层分布和厚度的变化情况将土层沿基坑划分为不同的剖面分别计算土压力。但场地任意位置的土层标高及厚度是由岩土勘察相邻钻探孔的各土层层面实测标高及通过分析土层分布趋势，在相邻勘察孔之间连线而成。即使土层计算剖面划分的再细，各土层的计算厚度还是会与实际地层存在-定差异，本条规定的划分土层厚度的原则，其目的是要求做到计算的土压力不小于实际的土压力。

5.2.5 本条对各章土压力、土的各种稳定性验算公式中涉及的土的抗剪强度指标的试验方法进行了归纳并作出统-规定。因为土的抗剪强度指标随排水、固结条件及试验方法的不同有多种类型的参数，不同试验方法做出的抗剪强度指标的结果差异很大，计算和验算时不能任意取用，应采用与基坑开挖过程土中孔隙水的排水和应力路径基本-一致的试验方法得到的指标。由于本规范有关公式很多，在各个公式中一一指明其试验方法和指标类型难免重复累赘，因此，在这里作出统一说明，应用具体的公式计算时，应与此对照，防止误用。根据土的有效应力原理，理论上对各种土均采用水土分算方法计算土压力更合理，但实际工程应用时，黏性土的孔隙水压力计算问题难以解决，因此对黏性土采用总应力法更为实用，可以通过将土与水作为一体的总应力强度指标反映孔隙水压力的作用。砂土采用水土分算计算土压力是可以做到的，因此本规程对砂土采用水土分算方法。黏质粉土用水土合算，砂质粉土用水土分算。

根据土力学中有效应力原理，土的抗剪强度与有效应力存在相关关系，也就是说只有有效抗剪强度指标才能真实地反映土的抗剪强度。但在实际工程中，黏性土无法通过计算得到孔隙水压力随基坑开挖过程的变化情况，从而也就难以采用有效应力法计算支护结构的土压力、水压力和进行基坑稳定性分析。从实际情况出发，本条规定在计算土压力与进行土的稳定分析时，黏性土应采用总应力法。采用总应力法时，土的强度指标按排水条件是采用不排水强度指标还是固结不排水强度指标应根据基坑开挖过程的应力路径和实际排水情况确定。由于基坑开挖过程是卸载过程，基坑外侧的土中总应力是小主应力减小，大主应力不增加，基坑内侧的土中竖向总应力减小，同时，黏性土在剪切过程可看作是不排水的。因此认为，土压力计算与稳定性分析时，均采用固结快剪较符合实际情况。

对于地下水位以下的砂土，可认为剪切过程水能排出而不出现超静水压力。对静止地下水，孔隙水压力可按水头高度计算。所以，采用有效应力方法并取相应的有效强度指标较为符合实际情况,但砂土难以用三轴剪切试验与直接剪切试验得到原状土的抗剪强度指标,要通过其他方法测得。

土的抗剪强度指标试验方法有三轴剪切试验与直接剪切试验。理论上讲，用三轴试验更科学合理，但目前大量工程勘察仅提供了直接剪切试验的抗剪强度指标，致使采用直接剪切试验强度指标设计计算的基坑工程为数不少，在支护结构设计上积累了丰富的工程经验。从目前的岩土工程试验技术的实际发展状况看，直接剪切试验尚会与三轴剪切试验并存，不会被三轴剪切试验完全取代。同时，相关的勘察规范也未对采用哪种抗剪强度试验方法作出明确规定。因此，为适应目前的现实状况，本规程采用了上述两种试验方法均可选用的处理办法。但从发展的角度，应提倡用三轴剪切试验强度指标，但应与已有成熟工程应用经验的直接剪切试验指标进行对比。目前，在缺少三轴剪切试验强度指标的情况下，用直接剪切试验强度指标计算土压力和验算土的稳定性是符合我国现实情况的。

为避免个别工程勘察项目抗剪强度试验数据粗糙对直接取用抗剪强度试验参数所带来的设计不安全或不合理,选取土的抗剪强度指标时，尚需将剪切试验的抗剪强度指标与土的其他室内与原位试验的物理力学参数进行对比分析，判断其试验指标的可靠性，防止误用。当抗剪强度指标与其他物理力学参数的相关性较差，或岩土勘察资料中缺少符合实际基坑开挖条件的试验方法的抗剪强度指标时,在有经验时应结合类似工程经验和相邻、相近场地的岩土勘察试验数据并通过可靠的综合分析判断后合理取值。缺少经验时，则应取偏于安全的试验方法得出的抗剪强度指标。

5.3.1 对于地下水位以下的采用水土分算的砂性土层，可认为基坑开挖土体剪切过程水能排出而不出现超静水压力。对于静止地下水，孔隙水压力可按水头高度计算。

5.3.2 地下水渗流将导致水压力和土层竖向有效应力的分布与静水压力下不一致，宜进行地下水流网分析，按渗流理论计算基坑内外侧支护结构上的水压力。对于二、三级基坑，也可取平均水力坡降，按一维稳态渗流近似计算水土压力。

# 6建筑材料

6.1.1 （1）根据国际标准ISO 3893及现行《铁路混凝土强度检验评定标准》TB10425的规定,混凝土标号的名称为混凝土强度等级(以符号C表示),并对混凝土试件的标准尺寸为15 cm立方体。

（2）2012年1月,工信部和住建部联合印发了《关于加快应用高强钢筋的指导意见》,其中明确指出,到2013年底,在建筑工程中淘汰335 MPa级钢筋;2013年2月,国家发改委又发布《国家发展改革委关于修改《产业结构调整指导目录(2011年本)》有关条款的决定,该决定强调,自2013年5月1日起,不得再生产、销售HRB335、HPB235钢筋。

6.1.2 地下结构采用钢筋混凝土结构有利于提高耐久性,地下结构的主要受力构件，尤其是直接与地层接触的结构应采用钢筋混凝土。位于隧道内部的构件（包括主要受力构件和次要受力构件）根据需要也可采用其他结构材料和型式，包括钢与混凝土共同组合形成的结构（如钢管混凝土结构、钢骨混凝土结构和组合构件等)、单纯的金属结构以及其他材料等,所选用的材料应满足耐久性要求。

6.1.3 地下结构中混凝土的最低强度等级大多是从满足工程的耐久性要求考虑的。根据《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476，一般环境条件结构处于干湿交替环境时，混凝土最低强度等级要求为C40。但考虑到铁路隧道地下结构在防水措施等方面的有利，以及地下结构的厚度较大（将小于300mm 的钢筋混凝土结构视为薄壁构件)，因此放宽了对混凝土最低强度等级的要求。

混凝土强度等级的提高会导致超长结构混凝土的收缩应力和温度应力增大，因此，设计时不宜盲目提高混凝土的强度等级，且宜适当采取措施控制混凝土的涨缩影响。

6.1.5 为了有利于高强钢筋的应用，《混凝土结构设计规范》GB50010对裂缝宽度计算有关的参数（如构件受力特征系数）和取用荷载（将标准组合改为准永久组合）进行了调整,解决了高强钢筋应用的经济性问题。另外，钢筋产业产品在今后一段时间肯定会有相应的调整,传统钢筋的生产和供应会受到一些限制，因此本规范建议在铁路工程中应重点采用高强钢筋。

在铁路地下结构中，有部分构件当耐久性要求不高时是可以放宽裂缝控制要求的，如基坑的围护结构和其他临时性的支护结构等，应用HRB400级等高强钢筋的优势更加明显。

根据住房和城乡建设部、工业和信息化部《关于加快应用高强钢筋的指导意见》建标[2012] 1号的精神，明确淘汰335MPa级螺纹钢筋,因此本规范不再规定可以采用HRB335钢筋。

6.1.6 本条是为提高喷射混凝土的耐久性和改善作业环境而提出的要求，铁路地下工程中应采用湿喷混凝土工艺，本规范在强调采用湿喷混凝土工艺的情况下，将喷射混凝土的最低强度等级提高到了C25。

随着喷射混凝土工艺及混凝土添加剂材料的进步,喷射混凝土的性能能够较以往传统工艺有大幅度的提高，尤其在抗渗性能方面,国内已经有研究证明采用湿喷工艺和混凝土新型添加剂的喷射混凝土能够达到P12以上抗渗指标。

掺入钢纤维的喷射混凝土可以大大改善喷射混凝土的性能，具备和易性好、坍落度损失少、回弹量低、后期强度高、抗渗性和耐久性好以及使用中腐蚀性风险低等优点，已在地铁工程中推广，掺入钢纤维的喷射混凝土的强度等级可适当提高。

6.2.2~6.2.3 混凝土的强度标准值由立方体抗压强度标准值fcu,k经计算确定。

轴心抗压强度标准值 fck

考虑到结构中混凝土的实体强度与立方体试件混凝土强度之间的差异,根据以往的经验，结合试验数据分析并参考其他国家的有关规定，对试件混凝土强度的修正系数取为0.88。

棱柱强度与立方强度之比值αc1:对C50及以下普通混凝土取0.76;对高强混凝土C80取0.82，中间按线性插值;

C40以上的混凝土考虑脆性折减系数αc2:对C40取1.00，对高强混凝土 C80取0.87，中间按线性插值。

轴心抗压强度标准值fck按0.88αc1αc2fcu,k计算，结果见表6.2.2。

轴心抗拉强度标准值ftk

轴心抗拉强度标准值ftk按0.88 × 0.395计算，其中系数0.395和指数0.55为轴心抗拉强度与立方体抗压强度的折算关系，是根据试验数据进行统计分析以后确定的。

6.2.4-6.2.5 混凝土的强度设计值由强度标准值除混凝土材料分项系数γ。确定。混凝土的材料分项系数取为1.40。

1轴心抗压强度设计值fc

轴心抗压强度设计值等于fck/1.40，结果见表6.2.4。

2轴心抗拉强度设计值ft

轴心抗拉强度设计值等于ftk/1.40，结果见表6.2.5。

6.2.6 混凝土的弹性模量、剪切变形模量及泊松比依据《混凝土结构设计规范》GB50010。混凝土的弹性模量Ec以其强度等级值（fcu,k为代表)按下列公式计算:



由于混凝土组成成分不同(掺入粉煤灰等）而导致变形性能的不确定性,增加了表注，强调在必要时可根据试验确定弹性模量。

6.3.1 普通钢筋采用屈服强度标志。屈服强度标准值fyk相当于钢筋标准中的屈服强度特征值Rel。由于结构抗倒塌设计的需要，列出了钢筋极限强度(即钢筋拉断前相应于最大拉力下的强度）标准值fstk，相当于钢筋标准中的抗拉强度特征值Rm。

6.3.2 普通钢筋抗压强度设计值,取与抗拉强度相同。在偏心受压状态下，混凝土所能达到的压应变可以保证500MPa级钢筋的抗压强度达到与抗拉强度相同的值,因此500MPa级钢筋的抗压强度设计值为435N/mm2;对轴心受压构件，由于混凝土压应力达到fc时混凝土压应变为0.002，当采用500MPa级钢筋时，其钢筋的抗压强度设计值取为400N/mm2。

根据试验研究结果，限定受剪、受扭、受冲切箍筋的抗拉强度设计值不大于360N/mm2;但用作围箍约束混凝土的间接配筋时,其强度设计值不受此限。

6.3.3 本条明确提出了对钢筋延性的要求。根据我国钢筋标准，将最大力下总伸长率(相当于钢筋标准中的）作为控制钢筋延性的指标。最大力下总伸长率不受断口-颈缩区域局部变形的影响，反映了钢筋拉断前达到最大力（极限强度）时的均匀应变，故又称均匀伸长率。

6.3.4 钢筋由于制作偏差、基圆面积率不同以及钢绞线捻绞紧度差异等因素的影响，实际钢筋受力后的变形模量存在一定的不确定性,而且通常不同程度地偏小。因此，必要时可通过试验测定钢筋的实际弹性模量，用于设计计算。

6.4.1 条文引自《纤维混凝土应用技术规程》TJ/T 221。

6.4.2 水泥砂浆的强度等级与现行《砌体结构设计规范》GB50003相同。

6.4.3 隧道防水板幅宽越大,搭接越少,当然防水板幅宽的选择要和铺设工艺、施工工序相匹配。

6.4.4 实际工程设计中也有选用腻子型及膨润土遇水膨胀橡胶止水条的,但有的地方用后效果不佳,其效果不佳的原因是由于降雨或施工用水等使止水腻子或膨润土条过早膨胀,另外这两种止水条材料远期质量、耐久性、可靠性不好评定,为确保隧道工程防水质量,故条文选用遇水膨胀橡胶止水条。橡胶制品型遇水膨胀止水条质量规定、材料参数一般根据GB/T18173.3标准.

# 7基坑支护结构

7.2.1.3 支挡式结构应根据具体形式与受力、变形特性等采用下列分析方法:

第1～3款方法的分析对象为支护结构本身，不包括土体。土体对支护结构的作用视作荷载或约束。这种分析方法将支护结构看作杆系结构，一般都按线弹性考虑，是目前最常用和成熟的支护结构分析方法，适用于大部分支挡式结构。

本条第1款针对锚拉式支挡结构，是对如何将空间结构分解为两类平面结构的规定。首先将结构的挡土构件部分（如:排桩、地下连续墙)取作分析对象，按梁计算。挡土结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析。

由于挡土结构端部嵌入土中，土对结构变形的约束作用与通常结构支承不同，土的变形影响不可忽略，不能看作固支端。锚杆作为梁的支承，其变形的影响同样不可忽略，也不能作为饺支座或滚轴支座。因此，挡土结构按梁计算时，土和锚杆对挡土结构的支承应简化为弹性支座，应采用本节规定的弹性支点法计算简图。经计算分析比较，分别用弹性支点法和非弹性支座计算的挡土结构内力和位移相差较大，说明按非弹性支座进行简化是不合适的。

腰梁、冠梁的计算较为简单，只需以挡土结构分析时得出的支点力作为荷载，根据腰梁、冠梁的实际约束情况，按简支梁或连续梁算出其内力，将支点力转换为锚杅轴力。

本条第2款针对支撑式支挡结构，其结构的分解简化原则与锚拉式支挡结构相同。同样，首先将结构的挡土构件部分（如:排桩、地下连续墙)取作分析对象，按梁计算。挡土结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析。分解出的内支撑结构按平面结构进行分析，将挡土结构分析时得出的支点力作为荷载反向加至内支撑上。值得注意的是，将支撑式支挡结构分解为挡土结构和内支撑结构并分别独立计算时，在其连接处是应满足变形协调条件的。当计算的变形不协调时，应调整在其连接处简化的弹性支座的弹簧刚度等约束条件，直至满足变形协调。

本条第3款悬臂式支挡结构是支撑式和锚拉式支挡结构的特例，对挡土结构而言，只是将锚杆或支撑所简化的弹性支座取消即可。

7.2.1.4 基坑支护结构的有些构件，如锚杆与支撑，是随基坑开挖过程逐步设置的，基坑需按锚杆或支撑的位置逐层开挖。支护结构设计状况，是指设计时就要拟定锚杆和支撑与基坑开挖的关系，设计好开挖与锚杆或支撑设置的步骤，对每一开挖过程支护结构的受力与变形状态进行分析。因此，支护结构施工和基坑开挖时，只有按设计的开挖步骤才能满足符合设计受力状况的要求。-般情况下，基坑开挖到基底时受力与变形最大，但有时也会出现开挖中间过程支护结构内力最大，支护结构构件的截面或锚杆抗拔力按开挖中间过程确定的情况。特别是，当用结构楼板作为支撑替代锚杆或支护结构的支撑时，此时支护结构构件的内力可能会是最大的。

7.2.1.5-7.2.1.10 这几条是对弹性支点法计算方法的规定。弹性支点法的计算要求:

1 土的反力项为Ps=ksvs+Ps0，基坑面以下的土压力分布因自重作用的随深度线性增长的三角形分布。挡土结构嵌固段两侧的土压力按郎肯土压力计算时，基坑外侧基坑面上方和下方均采用主动土压力荷载，形式上直观。

2 挡土构件嵌固段的土反力上限值控制条件Psk≤Epk。由于土反力与土的水平反力系数的关系采用线弹性模型，计算出的土反力将随位移v增加线性增长。但实际上土的抗力是有限的，如采用摩尔一库仑强度准则，则不应超过被动土压力，即以Psk=Epk作为土反力的上限。

3 计算土的水平反力系数的比例m值的经验公式(7.2.1.7-2)，是根据大量实际工程的单桩水平载荷试验，按公式计,经与土层的c、值进行统计建立的。

4 排桩嵌固段土反力的计算宽度，适用于矩形桩及工字形桩，适用范围较广。同时，对桩径或桩的宽度大于1m的情况,用公式(7.2.1.2-2)和公式(7.2.1.2-4）计算。

5 在水平对撑的弹性支点刚度系数的计算公式中，考虑了基坑两对边荷载不对称的情况。

7.2.1.12 第7.2.1.11条是对悬臂结构嵌固深度验算的规定，是绕挡土构件底部转动的整体极限平衡，控制的是挡土构件的倾覆稳定性。第7.2.1.12条对单支点结构嵌固深度验算的规定，是绕支点转动的整体极限平衡，控制的是挡土构件嵌固段的踢脚稳定性。悬臂结构绕挡土构件底部转动的力矩平衡和单支点结构绕支点转动的力矩平衡都是嵌固段土的抗力对转动点的抵抗力矩起稳定性控制作用，因此，其安全系数称为嵌固稳定安全系数。重力式水泥土墙绕墙底转动的力矩平衡，抵抗力矩中墙体重力占一定比例，因此其安全系数称为抗倾覆安全系数。双排桩绕挡土构件底部转动的力矩平衡，抵抗力矩包括嵌固段土的抗力对转动点的力矩和重力对转动点的力矩两部分，但由于嵌固段土的抗力作用在总的抵抗力矩中占主要部分，因此其安全系数也称为嵌固稳定安全系数Kem。

7.2.1.13 锚拉式支挡结构的整体滑动稳定性验算公式(7.2.1.13-2)以瑞典条分法边坡稳定性计算公式为基础，在力的极限平衡关系上，增加了锚杆拉力对圆弧滑动体圆心的抗滑力矩项。极限平衡状态分析时，仍以圆弧滑动土体为分析对象，假定滑动面上土的剪力达到极限强度的同时，滑动面外锚杆拉力也达到极限拉力(正常设计情况下，锚杆极限拉力由锚杆与土之间的粘结力达到极限强度控制，但有时由锚杆杆体强度或锚杆注浆固结体对杆体的握裹力控制)。

滑弧稳定性验算应采用搜索的方法寻找最危险滑弧。由于目前程序计算已能满足在很短时间对圆心及圆弧半径以微小步长变化的所有滑动体完成搜索，所以不提倡采用经典教科书中先设定辅助线，然后在辅助线上寻找最危险滑弧圆心的简易方法。最危险滑弧的搜索范围限于通过挡土构件底端和在挡土构件下方的各个滑弧。因支护结构的平衡性和结构强度已通过结构分析解决，在截面抗剪强度满足剪应力作用下的抗剪要求后，挡土构件不会被剪断。因此，穿过挡土构件的各滑弧不需验算。

为了适用于地下水位以下的圆弧滑动体，并考虑到滑弧同时穿过砂土、黏性土的计算问题。在滑弧面上，黏性土的抗剪强度指标需要采用总应力强度指标，砂土的抗剪强度指标需要采用有效应力强度指标，并应考虑水压力的作用。公式（7.2.1.13-2)是通过将土骨架与孔隙水一起取为隔离体进行静力平衡分析的方法，可用于滑弧同时穿过砂土、黏性土的整体稳定性验算公式，验算公式考虑孔隙水压力一项。

7.2.1.14 对深度较大的基坑，当嵌固深度较小、土的强度较低时，土体从挡土构件底端以下向基坑内隆起挤出是锚拉式支挡结构和支撑式支挡结构的一种破坏模式。这是一种土体丧失竖向平衡状态的破坏模式，由于锚杆和支撑只能对支护结构提供水平方向的平衡力，对隆起破坏不起作用，对特定基坑深度和土性，只能通过增加挡土构件嵌固深度来提高抗隆起稳定性。

本规程抗隆起稳定性的验算方法，采用目前常用的地基极限承载力的Prandtl（普朗德尔）极限平衡理论公式，但Prandtl理论公式的有些假定与实际情况存在差异，具体应用有一定局限性。如:对无黏性土，当嵌固深度为零时，计算的抗隆起安全系数Khe=0，而实际上在一定基坑深度内是不会出现隆起的。因此，当挡土构件嵌固深度很小时，不能采用该公式验算坑底隆起稳定性。

抗隆起稳定性计算是一个复杂的问题。需要说明的是，当按本规程抗隆起稳定性验算公式计算的安全系数不满足要求时，虽然不一定发生隆起破坏，但可能会带来其他不利后果。由于Prandtl理论公式忽略了支护结构底以下滑动区内土的重力对隆起的抵抗作用，抗隆起安全系数与滑移线深度无关，对浅部滑移体和深部滑移体得出的安全系数是一样的，与实际情况有一定偏差。基坑外挡土构件底部以上的土体重量简化为作用在该平面上的柔性均布荷载，并忽略了该部分土中剪应力对隆起的抵抗作用。对浅部滑移体,如果考虑挡土构件底端平面以上土中剪应力,抗隆起安全系数会有明显提高;当滑移体逐步向深层扩展时，虽然该剪应力抵抗隆起的作用在总抗力中所占比例随之逐渐减小，但滑动区内土的重力抵抗隆起的作用则会逐渐增加。

7.2.1.15 本条以最下层支点为转动轴心的圆弧滑动模式的稳定性验算方法是我国软土地区习惯采用的方法。特别是上海地区，在这方面积累了大量工程经验，实际工程中常常以这种方法作为挡土构件嵌固深度的控制条件。该方法假定破坏面为通过桩、墙底的圆弧形，以力矩平衡条件进行分析。现有资料中，力矩平衡的转动点有的取在最下道支撑或锚拉点处，有的取在开挖面处。本规程验算公式取转动点在最下道支撑或锚拉点处。

上海市标准《基坑工程设计规程》DBJ08- 61 -97中抗隆起分项系数的取值，对安全等级为一级、二级、三级的基坑分别取2.5、2.0和1.7，工程实践表明，这些抗隆起分项系数偏大，很多工程都难以达到。新编制的上海基坑工程技术规范，根据几十个实际基坑工程抗隆起验算结果，拟将安全等级为一级、二级、三级的支护结构抗隆起分项系数分别调整为2.2、1.9和1.7。因此本规程参照上海规范，对安全等级为一级、二级、三级的支挡结构，其安全系数分别取2.2、1.9和1.7。

7.2.1.16 地下水渗透稳定性的验算方法和规定，对本章支挡式结构和本规程其他章的复合土钉墙、重力式水泥土墙是相同的，故统一放在本规程附录。

7.2.2.1 国内实际基坑工程中，排桩的桩型采用混凝土灌注桩的占绝大多数，但有些情况下，适合采用型钢桩、钢管桩、钢板桩或预制桩等，有时也可以采用SMW工法施工的内置型钢水泥土搅拌桩。这些桩型用作挡土构件时，与混凝土灌注桩的结构受力类型是相同的，可按本章支挡式支护结构进行设计计算。但采用这些桩型时，应考虑其刚度、构造及施工工艺上的不同特点，不能盲目使用。

7.2.2.4 本条规定悬臂桩桩径不宜小于600mm、锚拉式排桩与支撑式排桩桩径不宜小于400mm，是通常情况下桩径的下限，桩径的选取主要还是应按弯矩大小与变形要求确定，以达到受力与桩承载力匹配，同时还要满足经济合理和施工条件的要求。特殊情况下,排桩间距的确定还要考虑桩间土的稳定性要求。根据工程经验，对大桩径或黏性土，排桩的净间距在900mm以内，对小桩径或砂土，排桩的净间距在600mm以内较常见。

7.2.2.5 该条对混凝土灌注桩的构造规定，以保证排桩作为混凝土构件的基本受力性能。有些情况下支护桩不宜采用非均匀配置纵向钢筋，如，采用泥浆护壁水下灌注混凝土成桩工艺而钢筋笼顶端低于泥浆面，钢筋笼顶与桩的孔口高差较大等难以控制钢筋笼方向的情况。

7.2.2.7 泄水管的构造与规格应根据土的性状及地下水特点确定。一些实际工程中，泄水管采用长度不小于300mm，内径不小于40mm的塑料或竹制管，泄水管外壁包裹土工布并按含水土层的粒径大小设置反滤层。

7.2.3.2 本条是对当桩的附近存在既有建筑物、地下管线等环境且需要保护时，应注意的一些桩的施工问题。这些问题处理不当，经常会造成基坑周边建筑物、地下管线等被损害的工程事故。因具体工程的条件不同，应具体问题具体分析，结合实际情况采取相应的有效保护措施。

7.2.3.3 支护桩的截面配筋一般由受弯或受剪承载力控制，为保证内力较大截面的纵向受拉钢筋的强度要求，接头不宜设置在该处。同一连接区段内，纵向受力钢筋的连接方式和连接接头面积百分率应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010对梁类构件的规定。

7.2.3.4 条文说明：咬合桩为相互咬合形成竖向连续体的排桩。排桩采用咬合的形式，其目的是使排桩既能作为挡土构件，又能起到截水作用，从而不用另设截水帷幕。由于需要达到截水的效果，对咬合排桩的施工垂直度就有严格的要求，否则，当桩与桩之间产生间隙,将会影响截水效果。通常咬合排桩是采用钢筋混凝土桩与素混凝土桩相互搭接，由配有钢筋的桩承受土压力荷载，素混凝土桩只用于截水。目前，这种兼作截水的支护结构形式已在一些工程上采用，施工质量能够得到保证时，其截水效果是良好的。

液压钢套管护壁、机械冲抓成孔工艺是咬合排桩的一种形式，其施工要点如下:

1在桩顶预先设置导墙，导墙宽度取(3～4 )m，厚度取(0.3～0.5)m;

2先施作素混凝土桩,并在混凝土接近初凝时施作与其相交的钢筋混凝土桩;

3压入第一节钢套管时，在钢套管相互垂直的两个竖向平面上进行垂直度控制，其垂直度偏差不得大于0.3%;

4抓土过程中，套管内抓斗取土与套管压入同步进行，抓土面在套管底面以上的高度应始终大于1.0m;

5成孔后，夯实孔底;混凝土浇筑过程中，浇筑混凝土与提拔套管同步进行，混凝土面应始终高于套管底面;套管应垂直提拔;提拔阻力大时,可转动套管并缓慢提拔。

7.2.3.6 冠梁通过传递剪力调整桩与桩之间力的分配，当锚杆或支撑设置在冠梁上时，通过冠梁将排桩上的土压力传递到锚杆与支撑上。由于冠梁与桩的连接处是混凝土两次浇筑的结合面，如该结合面薄弱或钢筋锚固不够时，会剪切破坏不能传递剪力。因此，应保证冠梁与桩结合面的施工质量。

7.2.4.1 地下连续墙作为混凝土受弯构件，可直接按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定进行截面与配筋设计，但因为支护结构与永久性结构的内力设计值取值规定不同，荷载分项系数不同，按上述规范的有关公式计算截面承载力时，内力应按本规程的有关规定取值。

7.2.4.2 目前地下连续墙在基坑工程中已有广泛的应用，尤其在深大基坑和环境条件要求严格的基坑工程，以及支护结构与主体结构相结合的工程。按现有施工设备能力，现浇地下连续墙最大墙厚可达1500mm，采用特制挖槽机械的薄层地下连续墙，最小墙厚仅450mm。常用成槽机的规格为600mm、800mm、1000mm或1200mm墙厚。

7.2.5.2 护壁泥浆的配比试验、室内性能试验、现场成槽试验对保证槽璧稳定性是很有必要的，尤其在松散或渗透系数较大的土层中成槽，更应注意适当增大泥浆黏度，调整好泥浆配合比。对槽底稠泥浆和沉淀渣土的清除可以采用底部抽吸同时上部补浆的方法，使底部泥浆比重降至1.2，减少槽底沉渣厚度。当泥浆配比不合适时，可能会出现槽壁较严重的坍塌，这时应将槽段回填,调整施工参数后再重新成槽。有时，调整泥浆配比能解决槽壁坍塌问题。

7.2.5.3 1 每幅槽段的长度，决定挖槽的幅数和次序。常用作法是:对三抓成槽的槽段,采用先抓两边后抓中间的顺序;相邻两幅地下连续墙槽段深度不一致时，先施工深的槽段，后施工浅的槽段。

2 地下连续墙水下浇筑混凝土时，因成槽时槽壁坍塌或槽段接头安放不到位等原因都会导致混凝土绕流，混凝土一旦形成绕流会对相邻幅槽段的成槽和墙体质量产生不良影响，因此在工程中要重视混凝土绕流问题。

7.2.5.4 当单元槽段的钢筋笼必须分段装配沉放时，上下段钢筋笼的连接在保证质量的情况下应尽量采用连接快速的方式。

7.2.6.1 锚杆有多种类型，基坑工程中主要采用钢绞线锚杆，当设计的锚杆承载力较低时，有时也采用钢筋锚杆。有些地区也采用过自钻式锚杆，将钻杆留在孔内作为锚杆杆体。自钻式锚杆不需要预先成孔，与先成孔再置入杆体的钢绞线、钢筋锚杆相比，施工对地层变形影响小，但其承载力较低，目前很少采用。从锚杆杆体材料上讲，钢绞线锚杆杆体为预应力钢绞线，具有强度高、性能好、运输安装方便等优点，由于其抗拉强度设计值是普通热轧钢筋的4倍左右，是性价比最好的杆体材料。预应力钢绞线锚杆在张拉锁定的可操作性、施加预应力的稳定性方面均优于钢筋。因此，预应力钢绞线锚杆应用最多、也最有发展前景。随着锚杆技术的发展，钢绞线锚杆又可细分为多种类型，最常用的是拉力型预应力锚杆，还有拉力分散型锚杆、压力型预应力锚杆、压力分散型锚杆，压力型锚杆可应用钢绞线回收技术，适应愈来愈引起人们关注的环境保护的要求。这些内容可参见中国工程建设标准化协会标准《岩土锚杆（索）技术规程》CECS22: 2005。

锚杆成孔工艺主要有套管护壁成孔、螺旋钻杆干成孔、浆液护壁成孔等。套管护壁成孔工艺下的锚杆孔壁松弛小、对土体扰动小、对周边环境的影响最小。工程实践中，螺旋钻杆成孔、浆液护壁成孔工艺锚杆承载力低、成孔施工导致周边建筑物地基沉降的情况时有发生。设计和施工时应根据锚杆所处的土质、承载力大小等因素，选定锚杆的成孔工艺。

目前常用的锚杆注浆工艺有一次常压注浆和二次压力注浆。一次常压注浆是浆液在自重压力作用下充填锚杆孔。二次压力注浆需满足两个指标，一是第二次注浆时的注浆压力，一般需不小于1.5MPa，二是第二次注浆时的注浆量。满足这两个指标的关键是控制浆液不从孔口流失。一般的做法是:在一次注浆液初凝后一定时间，开始进行二次注浆，或者在锚杅锚固段起点处设置止浆装置。可重复分段劈裂注浆工艺（袖阀管注浆工艺)是一种较好的注浆方法，可增加二次压力注浆量和沿锚固段的注浆均匀性,并可对锚杆实施多次注浆，但这种方法目前在工程中的应用还不普遍。

7.2.6.2 锚杆长度设计采用了传统的安全系数法。规定临时支护结构中的锚杆抗拔安全系数对于安全等级为-级、二级、三级的支护结构分别取1.8、1.6、1.4。需要注意的是，当锚杆为永久结构构件时，其安全系数取值不能按照本规程的规定，需符合其他有关技术标准的规定。

7.2.6.4 本条强调了锚杆极限抗拔力应通过现场抗拔试验确定的取值原则。由于锚杆抗拔试验的目的是确定或验证在特定土层条件、施工工艺下锚固体与土体之间的粘结强度、锚杆长度等设计参数是否正确，因而试验时应使锚杆在极限承载力下，其破坏形式是锚杆摩阻力达到极限粘结强度时的拔出破坏，而不应是锚杆杆体被拉断。为防止锚杆杆体应力达到极限抗拉强度先于锚杆摩阻力达到极限粘结强度，必要时，试验锚杆可适当增加预应力筋的截面面积。

本规程表7.2.6.4需要注意的是，由于我国各地区相同土类的土性亦存在差异，施工水平也参差不齐，因此，使用该表数值时应根据当地经验和不同的施工工艺合理使用。二次高压注浆的注浆压力、注浆量、注浆方法（普通二次压力注浆和可重复分段压力注浆）的不同，均会影响土体与锚固体的实际极限粘结强度的数值。

7.2.6.5 条文说明：锚杆自由段长度是锚杆杆体不受注浆固结体约束可自由伸长的部分，也就是杆体用套管与注浆固结体隔离的部分。锚杆的非锚杆段是理论滑动面以内的部分，与锚杆自由段有所区别。锚杆自由段应超过理论滑动面(大于非锚固段长度)。锚杆总长度为非锚固段长度加上锚固段长度。

锚杆的自由段长度越长，预应力损失越小，锚杆拉力越稳定。自由段长度过小，锚杆张拉锁定后的弹性伸长较小，锚具变形、预应力筋回缩等因素引起的预应力损失较大，同时，受支护结构位移的影响也越敏感，锚杆拉力会随支护结构位移有较大幅度增加，严重时锚杆会因杆体应力超过其强度发生脆性破坏。因此，锚杆的自由段长度除了满足本条规定外，尚需满足不小于5m的规定。自由段越长，锚杆拉力对锚头位移越不敏感。在实际基坑工程设计时，如计算的自由段较短，宜适当增加自由段长度。

7.2.6.8 锚杆布置是以排和列的群体形式出现的，如果其间距太小，会引起锚杆周围的高应力区叠加，从而影响锚杆抗拔力和增加锚杆位移，即产生“群锚效应”，所以本条规定了锚杆的最小水平间距和竖向间距。

为了使锚杆与周围土层有足够的接触应力，本条规定锚固体上覆土层厚度不宜小于4.0m，上覆土层厚度太小，其接触应力也小，锚杆与土的粘结强度会较低。当锚杆采用二次高压注浆时，上覆土层有一定厚度才能保证在较高注浆压力作用下注浆不会从地表溢出或流入地下管线内。

理论上讲，锚杆水平倾角越小，锚杆拉力的水平分力所占比例越大。但是锚杆水平倾角太小，会降低浆液向锚杆周围土层内渗透，影响注浆效果。锚杆水平倾角越大，锚杆拉力的水平分力所占比例越小，锚杆拉力的有效部分减小或需要更长的锚杆长度，也就越不经济。同时锚杆的竖向分力较大，对锚头连接要求更高并使挡土构件有向下变形的趋势。本条规定了适宜的水平倾角的范围值，设计时，应按尽量 使锚杆锚固段进入粘结强度较高土层的原则确定锚杆倾角。

锚杆施工时的塌孔、对地层的扰动，会引起锚杆上部土体的下沉，若锚杆之上存在建筑物、构筑物等,锚杆成孔造成的地基变形可能使其发生沉降甚至损坏，此类事故在实际工程中时有发生。因此，设置锚杆需避开易塌孔、变形的地层。

根据有关参考资料，当土层锚杆间距为1.0m时，考虑群锚效应的锚杆抗拔力折减系数可取0.8，锚杆间距在1.0m~1.5m之间时，锚杆抗拔力折减系数可按此内插。

7.6.2.11 腰梁是锚杆与挡土结构之间的传力构件。钢筋混凝土腰梁一般是整体现浇，梁的长度较长，应按连续梁设计。组合型钢腰梁需在现场安装拼接，每节---般按简支梁设计，腰梁较长时，则可按连续梁设计。

7.2.6.12 根据工程经验，在常用的锚杆拉力、锚杆间距条件下，槽钢的规格常在[18~[36之间选用，工字钢的规格常在I16～I32之间选用。具体工程中锚杆腰梁规格取值与锚杆的设计拉力和锚杆间距有关，应根据按第7.2.6.11条规定计算的腰梁内力确定。锚杆的设计拉力或锚杆间距越大，内力越大，腰梁型钢的规格也就会越大。组合型钢腰梁的双型钢焊接为整体，可增加腰梁的整体稳定性，保证双型钢共同受力。

7.2.6.13 对于组合型钢腰梁,锚杆拉力通过锚具、垫板以集中力的形式作用在型钢上。当垫板厚度不够大时，在较大的局部压力作用下，型钢腹板会出现局部失稳，型钢翼缘会出现局部弯曲，从而导致腰梁失效，进而引起整个支护结构的破坏。因此，设计需考虑腰梁的局部受压稳定性。加强型钢腰梁的受扭承载力及局部受压稳定性有多种措施和方法，如:可在型钢翼缘端口、锚杆锚具位置处配置加劲肋，肋板厚度一般不小于8mm。

7.2.6.14 混凝土腰梁截面的上边水平尺寸不宜小于250mm，是考虑到混凝土浇筑、振捣的施工要求而定。

7.2.6.15 组合型钢腰梁与挡土构件之间的连接构造,需有足够的承载力和刚度。连接构造一般不能有变形，或者变形相对于腰梁的变形可忽略不计。

7.2.7.2 锚杆成孔是锚杆施工的一个关键环节，主要应注意以下问题:①塌孔。造成锚杆杆体不能插入，使注浆液掺入杂物而影响固结体完整性和强度、影响握裹力和粘结强度，使钻孔周围土体塌落、建筑物基础下沉等。②遇障碍物。使锚杆达不到设计长度，如果碰到电力、通信、煤气管线等地下管线会使其损坏并酿成严重后果。③孔壁形成泥皮。在高塑性指数的饱和黏性土层及采用螺旋钻杆成孔时易出现这种情况，使粘结强度和锚杆抗拔力大幅度降低。④涌水涌砂。当采用帷幕截水时，在地下水位以下特别是承压水土层成孔会出现孔内向外涌水冒砂，造成无法成孔、钻孔周围土体坍塌、地面或建筑物基础下沉、注浆液被水稀释不能形成固结体、锚头部位长期漏水等。

7.2.7.7 锚杆张拉锁定时，张拉值大于锚杆轴向拉力标准值，然后将拉力在锁定值的 （1.1～1.15）倍进行锁定。第一，是为了在锚杆锁定时对每根锚杆进行过程检验，当锚杆抗拔力不足时可事先发现，减少锚杆的质量隐患。第二，通过张拉可检验在设计荷载下锚杆各连接节点的可靠性。第三，可减小锁定后锚杆的预应力损失。

工程实测表明，锚杆张拉锁定后一般预应力损失较大，造成预应力损失的主要因素有土体蠕变、锚头及连接的变形、相邻锚杆影响等。锚杆锁定时的预应力损失约为10%～15%。当采用的张拉千斤顶在锁定时不会产生预应力损失，则锁定时的拉力不需提高10%～15%。

钢绞线多余部分宜采用冷切割方法切除，采用热切割时，钢绞线过热会使锚具夹片表面硬度降低，造成钢绞线滑动，降低锚杆预应力。当锚杆需要再次张拉锁定时，锚具外的杆体预留长度应满足张拉要求。确保锚杆不用再张拉时，冷切割的锚具外的杆体保留长度一般不小于50mm，热切割时，一般不小于80mm。

7.2.8.1 钢支撑，不仅具有自重轻、安装和拆除方便、施工速度快、可以重复利用等优点，而且安装后能立即发挥支撑作用，对减小由于时间效应而产生的支护结构位移十分有效，因此，对形状规则的基坑常采用钢支撑。但钢支撑节点构造和安装相对复杂，需要具有一定的施工技术水平。

混凝土支撑是在基坑内现浇而成的结构体系，布置形式和方式基本不受基坑平面形状的限制，具有刚度大、整体性好、施工技术相对简单等优点，所以，应用范围较广。但混凝土支撑需要较长的制作和养护时间，制作后不能立即发挥支撑作用，需要达到一定的材料强度后，才能进行其下的土方开挖。此外，拆除混凝土支撑工作量大，支撑材料不能重复使用，从而产生大量的废弃混凝土垃圾需要处理。

7.2.8.3 内支撑结构形式很多，从结构受力形式划分，可主要归纳为以下几类:①水平对撑或斜撑，包括单杆、榆架、八字形支撑。②正交或斜交的平面杆系支撑。③环形杆系或板系支撑。④竖向斜撑。每类内支撑形式又可根据具体情况有多种布置形式。一般来说，对面积不大、形状规则的基坑常采用水平对撑或斜撑;对面积较大或形状不规则的基坑有时需采用正交或斜交的平面杆系支撑;对圆形、方形及近似圆形的多边形的基坑，为能形成较大开挖空间，可采用环形杆系或环形板系支撑;对深度较浅、面积较大基坑，可采用竖向斜撑，但需注意，在设置斜撑基础、安装竖向斜撑前，无撑支护结构应能够满足承载力、变形和整体稳定要求。对各类支撑形式，支撑结构的布置要重视支撑体系总体刚度的分布,避免突变，尽可能使水平力作用中心与支撑刚度中心保持一致。

7.2.8.5 实际工程中支撑和冠梁及腰梁、排桩或地下连续墙以及立柱等连接成一体并形成空间结构。因此，在一般情况下应考虑支撑体系在平面上各点的不同变形与排桩、地下连续墙的变形协调作用而优先采用整体分析的空间分析方法。但是，支护结构的空间分析方法由于建立模型相对复杂，部分模型参数的确定也没有积累足够的经验，因此，目前将空间支护结构简化为平面结构的分析方法和平面有限元法应用较为广泛。

7.2.8.6 温度变化会引起钢支撑轴力改变，但由于对钢支撑温度应力的研究较少，目前对此尚无成熟的计算方法。温度变化对钢支撑的影响程度与支撑构件的长度有较大的关系，根据经验，对长度超过40m的支撑，认为可考虑10%～20%的支撑内力变化。

目前，内支撑的计算一般不考虑支撑立柱与挡土构件之间、各支撑立柱之间的差异沉降，但支撑立柱下沉或隆起，会使支撑立柱与排桩、地下连续墙之间，立柱与立柱之间产生一定的差异沉降。当差异沉降较大时，在支撑构件上增加的偏心距，会使水平支撑产生次应力。因此，当预估或实测差异沉降较大时，应按此差异沉降量对内支撑进行计算分析并采取相应措施。

7.2.8.9 预加轴向压力可减小基坑开挖后支护结构的水平位移、检验支撑连接结点的可靠性。但如果预加轴向力过大，可能会使支挡结构产生反向变形、增大基坑开挖后的支撑轴力。根据以往的设计和施工经验，预加轴向力取支撑轴向压力标准值的(0.5～0.8）倍较合适。但特殊条件下，不一定受此限制。

7.2.8.14 钢支撑的整体刚度依赖于构件之间的合理连接，其构件的拼接尚应满足截面等强度的要求。常用的连接方法有螺栓连接和焊接。螺栓连接施工方便，速度快，但整体性不如焊接好。焊接一般在现场拼接，由于焊接条件差，对焊接技术水平要求较高。

7.3.1 土钉墙是分层开挖、分层设置土钉及面层形成的。每一开挖状况都可能是不利工况，也就需要对每一开挖工况进行土钉墙整体滑动稳定性验算。本条的圆弧滑动条分法保持原规程的方法，该方法在原规程颁布以来，一直广泛采用，大量工程应用证明是符合实际情况的,本次修订继续采用。由于本规程在设计方法上，对土的稳定性一类极限状态由分项系数表示法改为单一安全系数法，公式(7.3.1-2）在具体形式上与原规程公式不同，但公式的实质没变。

考虑到圆弧滑动条分法需要适用于复合土钉墙这一要求，公式(7.3.1-2）增加了锚杆作用下的抗滑力矩项，因锚杆和土钉对滑动稳定性的作用是—样的，公式中将锚杆和土钉的极限拉力用同一符号表示。由于土钉墙整体稳定性验算采用的是极限平衡法，假定锚杆和土钉同时达到极限状态，与锚杆预加力无关，因而，验算公式中不含锚杆预应力项。

复合土钉墙中锚杆应施加预应力,预应力的大小应考虑土钉与锚杆的变形协调，土钉在基坑有一定变形发生后才受力，预应力锚杆随基坑变形拉力也会增长。土钉和锚杆同时达到极限状态是最理想的,选取锚杆长度和确定锚杆预加力时，应按此原则考虑。

在复合土钉墙中,微型桩、搅拌桩或旋喷桩对总抗滑力矩是有贡献的,但难以定量。对水泥土桩，其截面的抗剪强度不能按全部考虑。因为水泥土桩比土的刚度大的多，当水泥土桩达到强度极限时，土的抗剪强度还未充分发挥，而土达到极限强度时，水泥土桩在此之前已被剪断，即两者不能同时达到极限。对微型钢管桩,当土达到极限强度时，微型钢管桩是有上拔趋势的，而不是剪切强度控制。因此,尚不能定量给出水泥土桩、微型桩的抵抗力矩，需要考虑其作用时，只能根据经验和水泥土桩、微型桩的设计参数，适当考虑其抗滑作用。当无经验时，最好不考虑其抗滑作用，当作安全储备来处理。

7.3.6~7.3.9 按本规程公式(7.3.2.1）的要求确定土钉抗拔承载力，目的是控制单根土钉拔出或土钉杆体拉断所造成的土钉墙局部破坏。单根土钉拉力取分配到每根土钉的土钉墙墙面面积上的土压力，单根土钉抗拔承载力为图7.3.10所示的假定直线滑动面外土钉的抗拔承载力。由于土钉墙结构具有土与土钉共同工作的特性，受力状态复杂，目前尚没有研究清楚土钉的受力机理，土钉拉力计算方法也不成熟。因此，本节的土钉抗拔承载力计算方法只是近似的。

由于土钉墙墙面可以是倾斜的,倾斜墙面上的土压力比同样高度的垂直墙面上的土压力小。用朗肯方法计算时，需要按墙面倾斜情况对土压力进行修正。本规程采用的是对按垂直墙面计算的土压力乘以折减系数的修正方法。折减系数计算公式与原规程相同。

土压力沿墙面的分布形式，原规程直接采用朗肯土压力线性分布。原规程施行后，根据一些实际工程设计情况，人们发现按朗肯土压力线性分布计算土钉承载力时，往往土钉墙底部的土钉需要长度很长才能满足承载力要求。土钉墙底部的土钉过长，其承载力不一定能充分发挥，使土钉墙面层强度或土钉端部的连接强度成为控制条件，土钉墙面层或土钉端部连接会在土钉达到设计拉力前破坏。因此，一些实际工程设计中土钉墙底部土钉长度往往会做些折减。工程实际表明，适当减短土钉墙底部土钉长度后，并没有出现土钉被拔出破坏的现象。土钉长度计算不合理的问题主要原因在于所采用的朗肯土压力按线性分布是否合理。由于土钉墙墙面是柔性的，且分层开挖裸露面上土压力是零，建立新的力平衡使土压力向周围转移，墙面上的土压力则重新分布。为解决土钉计算长度不合理的问题，本次修订考虑了墙面上土压力会存在重分布的规律，对按朗肯公式计算的土压力线性分布进行了修正，即在计算每根土钉轴向拉力时，分别乘以由公式(7.3.9-1）和公式(7.3.9-2)给出的调整系数。每根土钉的轴向拉力调整系数值是不同的,每根土钉乘以轴向拉力调整系数后,各土钉轴向拉力之和与调整前的各土钉轴向拉力之和相等。该调整方法在概念上虽然可行，但存在一定近似性,还需要做进一步研究和试验工作,以使通过计算得到的土压力分布规律和数值与实际情况更接近。

7.3.9 表7.3.10中土钉的极限粘结强度标准值数值是根据原规程施行以来对大量实际工程土钉抗拔试验数据统计并结合已有的资料作出的。同时，表7.3.10中包含了打入式钢管土钉的极限粘结强度标准值。锚固体与土层之间的粘结强度大小与很多因素有关，主要包括土层条件、注浆工艺及注浆量、成孔工艺等，在采用表7.3.10数值时，还应根据这些因素及施工经验合理选择。

7.3.10 土钉的承载力由以土的粘结强度控制的抗拔承载力和以杆体强度控制的受拉承载力两者的较小值决定。当土钉注浆固结体强度不足时,可能还会由固结体对杆体的握裹力控制。一般在确定了按土的粘结强度控制的土钉抗拔承载力后,再按本规程公式(7.3.11）配置杆体截面。

7.3.12~7.3.22 土钉墙和复合土钉墙的构造要求，是实际工程中总结的经验数据，应根据具体工程的土质、基坑深度、土钉拉力和间距等因素选用。

土钉采用洛阳铲成孔比较经济，同时施工速度快，对一般土层宜优先使用。打入式钢管土钉可以克服洛阳铲成孔时塌孔、缩径的问题,避免因塌孔、缩径带来的土体扰动和沉陷,对保护基坑周边环境有利，此时可以用打入式钢管土钉。机械成孔的钢筋土钉成本高，且土钉数量一般都很多，需要配备一定数量的钻机，只有在其他方法无法实施的情况下才适合采用。

7.2.3.22 土钉墙是分层分段施工形成的,每完成一层土钉和土钉位置以上的喷射混凝土面层后，基坑才能挖至下一层土钉施工标高。设计和施工都必须重视土钉墙这一形成特点。设计时，应验算每形成一层土钉并开挖至下一层土钉面标高时土钉墙的稳定性和土钉拉力是否满足要求。施工时，应在每层土钉及相应混凝土面层完成并达到设计要求的强度后才能开挖下一层土钉施工面以上的土方，挖土严禁超过下一层土钉施工面。超挖会造成土钉墙的受力状况超过设计状态。因超挖引起的基坑坍塌和位移过大的工程事故屡见不鲜。

7.3.25~7.3.28 本节钢筋土钉的成孔、制作和注浆要求,打入式钢管土钉的制作和注浆要求是多年来施工经验的总结，是保证施工质量的关键环节。

7.3.28 混凝土面层是土钉墙结构的重要组成部分之一，喷射混凝土的施工方法与现场浇筑混凝土不同,也是一项专门的施工技术，在隧道、井巷和洞室等地下工程应用普遍且技术成熟。土钉墙用于基坑支护工程，也采用了这一施工技术。本条规定了喷射混凝土施工的基本要求。按现有施工技术水平和常用操作程序，一般采用以下做法和要求:

1混凝土喷射机设备能力的允许输送粒径一般需大于25mm，允许输送水平距离一般不小于100m，允许垂直距离一般不小于30m;

2根据喷射机工作风压和耗风量的要求，空压机耗风量一般需达到9m3/min;

3输料管的承受压力需不小于0.8MPa;

4供水设施需满足喷头水压不小于0.2MPa的要求;

5喷射混凝土的回弹率不大于15%;

6喷射混凝土的养护时间根据环境的气温条件确定，一般为3d~7d;

7上层混凝土终凝超过1h后，再进行下层混凝土喷射，下层混凝土喷射时应先对上层喷射混凝土表面喷水。

7.3.29 土钉墙中，土钉群是共同受力、以整体作用考虑的。对单根土钉的要求不像锚杆那样受力明确,各自承担荷载。但土钉仍有必要进行抗拔力检测,只是对其离散性要求可比锚杆略放松。土钉抗拔检测是工程质量竣工验收依据，本条规定了试验数量和要求,试验方法见本规程附录A。

抗压强度是喷射混凝土的主要指标，一般能反映施工质量的优劣。喷射混凝土试块最好采用在喷射混凝土板件上切取制作，它与实际比较接近。但由于在目前实际工程中受切割加工条件限制，因此，也就允许使用150mm 的立方体无底试模，喷射混凝土制作试块。喷射混凝土厚度是质量控制的主要内容，喷射混凝土厚度的检测最好在施工中随时进行，也可喷射混凝土施工完成后统一检查。

7.4.3 按重力式设计的水泥土墙，其破坏形式包括以下几类:①墙整体倾覆;②墙整体滑移;③沿墙体以外土中某一滑动面的土体整体滑动;④墙下地基承载力不足而使墙体下沉并伴随基坑隆起;⑤墙身材料的应力超过抗拉、抗压或抗剪强度而使墙体断裂;⑥地下水渗流造成的土体渗透破坏。重力式水泥土墙的设计，墙的嵌固深度和墙的宽度是两个主要设计参数，土体整体滑动稳定性、基坑隆起稳定性与嵌固深度密切相关，而基本与墙宽无关。墙的倾覆稳定性、墙的滑移稳定性不仅与嵌固深度有关，而且与墙宽有关。有关资料的分析研究结果表明，一般情况下，当墙的嵌固深度满足整体稳定条件时，抗隆起条件也会满足。因此，常常是整体稳定性条件决定嵌固深度下限。采用按整体稳定条件确定的嵌固深度，再按墙的抗倾覆条件计算墙宽，此墙宽一般自然能够同时满足抗滑移条件。

7.4.5 水泥土墙的上述各种稳定性验算基于重力式结构的假定，应保证墙为整体。墙体满足抗拉、抗压和抗剪要求是保证墙为整体条件。

7.4.6 在验算截面的选择上，需选择内力最不利的截面、墙身水泥土强度较低的截面，本条规定的计算截面，是应力较大处和墙体截面薄弱处，作为验算的重点部位。

7.4.10 水泥土墙常布置成格栅形，以降低成本、工期。格栅形布置的水泥土墙应保证墙体的整体性,设计时一般按土的置换率控制，即水泥土面积与水泥土墙的总面积的比值。淤泥土的强度指标差，呈流塑状，要求的置换率也较大，淤泥质土次之。同时要求格栅的格子长宽比不宜大于2。格栅形水泥土墙，应限制格栅内土体所占面积。格栅内土体对四周格栅的压力可按谷仓压力的原理计算，通过公式（7.4.10)使其压力控制在水泥土墙承受范围内。

7.4.11 搅拌桩重力式水泥土墙靠桩与桩的搭接形成整体，桩施工应保证垂直度偏差要求，以满足搭接宽度要求。桩的搭接宽度不小于150mm，是最低要求。当搅拌桩较长时，应考虑施工时垂直度偏差问题，增加设计搭接宽度。

7.4.13 水泥土标准养护龄期为90d，基坑工程一般不可能等到90d养护期后再开挖，故设计时以龄期28d的无侧限抗压强度为标准。一些试验资料表明，一般情况下，水泥土强度随龄期的增长规律为，7d的强度可达标准强度的30%～50%，30d的强度可达标准强度的60%~75%，90d的强度为180d强度的80%左右，180d以后水泥土强度仍在增长。水泥强度等级也影响水泥土强度，一般水泥强度等级提高10后，水泥土的标准强度可提高20%～30%。

7.4.14 为加强整体性,减少变形，水泥土墙顶需设置钢筋混凝土面板，设置面板不但可便利后期施工，同时可防止因雨水从墙顶渗人水泥土格栅。

7.5.1 重力式挡墙基础底面大、体积大。如高度过大，则既不利于土地的开发利用，也往往是不经济的。当土质边坡高度大于10m、岩质边坡高度大于12m时，上述状况已明显存在,故本条对挡墙高度作了限制。

2、一般情况下,重力式挡墙位移较大，难以满足对变形的严格要求。

挖方挡墙施工难以采用逆作法,开挖面形成后边坡稳定性相对较低,有时可能危及边坡稳定及相邻建筑物安全。因此本条对重力式挡墙适用范围作了限制。

3、重力式挡墙形式的选择对挡墙的安全与经济影响较大。在同等条件下，挡墙中主动土压力以仰斜最小，直立居中，俯斜最大，因此仰斜式挡墙较为合理。但不同的墙型往往使挡墙条件(如挡墙高度、填土质量)不同。故重力式挡墙形式应综合考虑多种因素而确定。

4、挖方边坡采用仰斜式挡墙时,墙背可与边坡坡面紧贴，不存在填方施工不便、质量受影响的问题，仰斜当是首选墙型。挡墙高度较大时，土压力较大,降低土压力已成为突出问题，故宜采用衡重式或仰斜式。

7.5.2 1、对于高大挡土墙,通常不允许出现达到极限状态的位移值，因此土压力计算时考虑增大系数，同时也与现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007一致。

2、抗滑移稳定性及抗倾覆稳定性验算是重力式挡墙设计中十分重要的一环，式(7.5.2-1)及式（7.5.2-6)应得到满足。当抗滑移稳定性不满足要求时，可采取增大挡墙断面尺寸、墙底做成逆坡、换土做砂石垫层等措施使抗滑移稳定性满足要求。当抗倾覆稳定性不满足要求时，可采取增大挡墙断面尺寸、增长墙趾或改变墙背做法(如在直立墙背上做卸荷台）等措施使抗倾覆稳定性满足要求。

3、土质地基有软弱层或岩质地基有软弱结构面时,存在着挡墙地基整体失稳破坏的可能性,故需进行地基稳定性验算。

7.5.3 1、条石、块石及素混凝土是重力式挡墙的常用材料，也有采用砖及其他材料的。

2、挡墙基底做成逆坡对增加挡墙的稳定性有利，但基底逆坡坡度过大，将导致墙踵陷入地基中，也会使保持挡墙墙身的整体性变得困难。为避免这一情况，本条对基底逆坡坡度作了限制。

3、规定了稳足斜坡地面基础埋置条件。其中距斜坡地面水平距离的上、下限值的采用，可根据地基的地质情况，斜坡坡度等综合确定。如较完整的硬质岩，节理不发育、微风化的、坡度较缓的可取上限值0.6m;节理发育的、坡度较陡时可取下限值1.5m;对岩石单轴抗压强度在15MPa~30MPa的岩石，可根据具体环境情况取中间值。

7.7.1 土方开挖前应综合考虑多种因素，主要是为了达到基坑土方施工安全、保护周边环境和方便施工的目的。土方开挖施工方案的主要内容一般包括工程概况和特点、地质勘察资料、周边环境调查、支护设计、施工平面布置及场内交通组织、挖土机械选型、挖土方法、降排水措施、季节性施工措施、支护变形控制和环境保护措施、监测方案、安全技术措施和应急预案等，施工方案应按照相关规定履行逐级审批手续，超规模危大工程履行专家评审制度。

7.7.2 合理确定每块开挖空间的大小、相对位置关系、开挖的先后顺序，严格控制每块开挖步骤的时间，减少无支撑暴露时间，是控制基坑变形和保护周边环境的有效手段。基坑土方开挖在深度范围内进行合理分层，在平面上进行合理分块，确定各分块开挖的先后顺序，可利用未开挖部分土体的抵抗能力，有效控制土体位移，以达到减缓基坑变形、保护周边环境的目的。基坑限时开挖一般是指根据基坑挖土分块情况，对无支撑暴露时间采取控制的一种方式。

7.7.4 如机械设备直接进入基坑内进行施工作业时，其入坑坡道除考虑其本身的稳定性外，还需考虑机械设备的外形尺寸及爬坡能力。根据目前常用施工机械所具备的爬坡能力，一般可以满足1：8的坡道坡度要求，对于一些特殊的机械，应根据机械爬坡性能确定合适的坡道坡度。

7.7.5 本条说明基坑开挖应符合的要求。

1）基坑周边及放坡平台的施工荷载将直接关系到基坑施工安全，合理控制相应的施工荷载，是保证基坑施工安全的关键。基坑开挖的土方应及时外运，若需在场地内进行部分堆土时，应经设计单位同意，并采取相应的技术措施，合理确定堆土平面范围和高度，以免对基坑和周边环境产生不利影响。

2）规定全面分层开挖或台阶式分层开挖有利于基坑变形，也有利于临时土坡的稳定。为防止开挖面的坡度过陡而引起土体位移、桩基侧移等异常现象发生，开挖过程中的临时边坡应保持稳定，规定了临时边坡坡度不宜大于1：1.5。若基坑内存在软弱土层时，机械作业可采取铺设路基箱等处理措施，以保证挖土机械正常作业。

3）坑底以上200mm~300mm范围内的土方采用人工修底，放坡开挖基坑的边坡采用人工修坡，主要是为了防止机械超挖和机械扰动坑底或边坡土体，并加强对工程桩的保护。为减少基坑暴露时间，开挖至坑底标高后应及时进行垫层施工，通常坑底暴露200m2时即应及时浇筑垫层；若基坑变形过大，或周边环境保护要求较高时，也可根据设计要求设置加强垫层。

4）为避免机械挖土造成工程桩位移和损伤，在工程桩区域挖土应设专人进行监护，挖土机械应避让工程桩，工程桩周边土体应采用人工挖除的方法。如工程桩较密或现场条件限制，而需在桩顶进行挖土作业时，应在桩顶覆土并铺设路基箱进行保护，以防止工程桩承受侧向荷载。

7.7.6 基坑开挖阶段的信息化施工既是检验设计与施工合理性，也是动态指导设计与施工的有效方法。通过信息化施工技术的运用，可及时了解基坑开挖期间的各种变化，及时比较设计所预期的状态与监测结果的差别，对原设计成果和施工方案进行评价，预期可能出现的险情，对围护设计和施工方案进行针对性的调整，有效控制可能出现的险情，以确保基坑施工安全。

7.7.9 放坡开挖的基坑边坡通常可以按照规范构造耍求加以设置，但为安全起见，采用规范要求的构造措施进行边坡设计外，还必须对各种边坡类型进行稳定性验算。

7.7.10 对于多级放坡的基坑边坡，坡间放坡平台的宽度将直接关系到总坡度的整体稳定性，坡间放坡平台宽度在正常情况下均宜按大于3m设计，在较好的条件下，并具有相应的措施时，坡间放坡平台宽度应按大于1.5m进行设计。

7.7.11 地下水位较高，放坡开挖可采取隔水帷幕、降水等措施。对于无隔水帷幕的多级放坡基坑，在满足降水深度要求和边坡稳定的条件下，降水系统可设置在放坡平台或坡顶；当不能满足降水探度要求或边坡稳定时，坡顶和放坡平台应分别设置降水系统。

7.7.15 基坑土方开挖及支撑施工过程中，选定科学合理的施工参数，对基坑的稳定和变形控制、周边环境保护均会产生重要的影响。实践证明，每一个开挖步骤过程中围护墙体暴露空间和时间越小，则控制基坑变形的效果越好，先撑后挖、限时支撑、分层开挖、严禁超挖就是基于上述理论经过长时间工程实践总结得出的。

7.7.18 1）对于各道支撑均采用钢支撑的狭长形基坑，可采用斜面分层分段开挖的方法。每小段长度－般按照1~2个同层支撑水平间距确定，约3m~8m；每层厚度一般按支撑竖向间距确定，约3m~4m。

2）斜面分层分段开挖的各种施工参数被大量工程实践证明是安全可靠的。由于支撑的水平间距一般为3m，而坡间加宽平台宽度9.0m的规定，是根据4道支撑间距而定，这样便于平台上的支撑安装施工。

3）每层每段开挖和支撑形成的时间应符合设计要求，一般情况下每小段开挖和支撑形成时间为12h~36h。对于狭长形的基坑，考虑到钢支撑受力的特点和纵向斜面分层分段开挖的特性，基础底板及时浇筑对改善围护结构的受力特征和保证基坑的稳定十分重要。

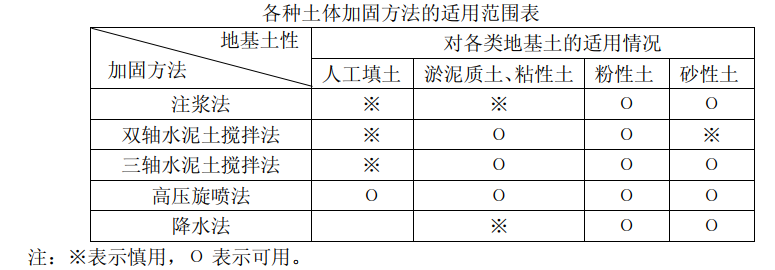
4）狭长形基坑可采用一端向另一端开挖的方法，也可采用从中间向两端开挖的方法。从中间向两端开挖方式适用于长度较长，或为加快施工速度而增加挖土工作面的方式。

7.7.21 基底不得有垃圾、树根等杂物，基底处理应符合设计要求。土方回填施工前应将回填料的性质和条件通过试验来分析，然后根据施工区域土料特性确定其回填部位和方法。回填料的施工含水量与最佳含水量之差可控制在规定的范围内（-6%~+2%），取样的频率宜为5000m3取1次，或土质发生变化时取样。

7.7.22 回填每层压实系数应符合设计要求。检测回填料压实系数的方法一般采用环刀法、灌砂法、灌水法。

# 8土体加固

8.1.2 常用的基坑土体加固方法，包括注浆（各种注浆工艺、双液速凝注浆等）、双轴搅拌桩、三轴搅拌桩、高压旋喷桩等方式。加固方法对各类土层的适用性可参照下



8.1.3 由于影响加固体质量的不确定因素较多，通过现场试验可检验加固效果，并针对存在的问题改进施工参数和施工工艺，保证正式加固施工后的环境安全和加固效果。

8.1.5 土体加固施工过程中会对原始土层产生一定程度的扰动，在加固体未达到设计强度前，施工会对周边环境产生影响。当场地周边存在重要建构筑物时，应根据监测情况动态施工，尽量减少对周边环境的不利影响。

8.1.6 加固效果受施工时的环境影响、地质条件、施工参数和施工工艺等多重因素的影响，应在基坑开挖前对加固体设计指标进行抽检。加固指标不满足设计要求时，应采取补救措施。

8.1.10 加固体的深度和宽度目前一般根据地区经验确定；采用格栅形加固体布置形式时，加固体截面的面积置换率不宜低于0.6。

8.1.11 加固体平面外围边线宜在坑边坡坡顶线外侧，加固体深度宜低于坑底面下不小于1m；当局部深坑邻近基坑内壁、局部深坑区域为流塑状的淤泥质土、松散的砂土时等软弱土层条件下，坑底宜进行封闭加固。

8.2.3 渗透注浆效果好坏取决于渗透半径内体积土的空隙填充程度和固结程度。填充率越高，注浆的效果越好。劈裂注浆的注浆量与注浆范围内桨脉的多少有关，桨脉越多，注浆量也越多，注浆效果也越好，但浆液有个最佳注浆量。压密注浆的注浆量和浆泡的直径有关。压密范围越大，要求的浆泡直径也就越大。但在不产生劈裂的条件下，浆泡直径是有限的，注浆量亦有限，一般应根据试验决定。

8.2.4 水玻璃在实际应用时，需分批经室内试验并检验其效果后决定其数值，在通常条件下，最好选用以工业纯碱为原料生产的水玻璃，其性质比较稳定；以土硷和元明粉（NA2SO4）生产的水玻璃其性能不甚稳定，建议谨慎采用。

8.2.5 注浆时，应根据注浆目的和环境水的腐蚀性等因素选择符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175规定的普通硅酸盐水泥。实施双液注浆宜优先采用普通硅酸盐水泥，因为水玻璃与普通硅酸盐水泥反应的活性较好，而与矿渣水泥的反应活性不是很理想；在充填注浆时，对活性及强度要求不高，可用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥等，但效果不及普通硅酸盐水泥。

8.2.7 为了达到不同的注浆规定，往往在水泥中加入外加剂和掺合料，这样不仅扩大了水泥注浆材料的应用范围，也提高了固结体的技术性能。

8.3.1 单重管工艺只喷水泥浆，桩径最小，桩径一般≤0.6m，一般用于松散稍密砂层中，水泥一般<200kg/m,正常施工速度一般在20cm/min。

双重管工艺喷射水泥浆和空气，桩径一般在0.6m～0.8m，一般用在中密砂层中，水泥一般<300kg/m，正常施工速度一般在10～20cm/min。

三重管工艺喷射水泥浆和空气及高压水，机理是用高压水去切割土体，然后由水泥浆在去充填切割后的土体，桩径一般1.0～1.2m，可以在圆砾层施工，水泥用量一般在400kg/m，正常施工速度一般在10～20cm/min。

8.3.8 根据不同土层条件，在MJS标准施工参数下桩径如表

8.3-1所示：

表8.3-1 不同土层条件下MJS工艺桩径参数表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土质条件 | 砂土 N(击) | | | | 黏性土 c(kPa) | | |
| <15 | 15 〜30 | 30-50 | 50-70 | <10 | 10 〜30 | 30-50 |
| 有效直径(mm) | 2600 | 2400 | 2200 | 2000 | 2400 | 2200 | 2000 |

8.3.12 水平MJS加固，在采用全圆加固方式时，由于向上喷射气体回收困难，容易在加固体中形成气泡，无法形成有效的全圆加固体，所以通常采用向下180°的半圆加固，若要采用全圆加固，则不带气施工，但是成桩直径会减小。

8.3.14 MJS工艺受设备限界限制，使用水平基座时，桩位中心距离底板不宜小于70cm，距离侧墙不宜小于90cm。

8.3.15 浆液用量的计算方法有两种，即按高压喷射注浆工艺参数要求式1计算，按固结体的体积需用量式2计算。

1 式中的置换率K是通过工程实践经验定出的，一般取0.75~0.90，主要考虑了下面的因素:

1）固结体的硬壳比实际有效直径大，不但外表不平滑、外周围有一些嵌入土体的不规则部分，而且黏性土硬壳外面有一个压缩部分，砂类土硬壳外面有一个渗透部分;

2)由于喷射压力的不稳定（有一个变化幅度)、可能使单根固结体的体积减少(由于离析的原因);

3)由于喷射压应力作用、使土颗粒重新排列组合，土的数量减少（胀缩性)。

2 α是未喷射段孔内浆液与岩土碎屑的混合率。由于该段未进行喷射，主要是喷射段切割下的岩土碎屑与浆液混合后沿该段上返至孔口，浆液在该段的填充程度相应较低，目前常取0.5~0.75。

3 式中的损失系数β1和β2、其大小与土体性质、固结体尺寸、施工机具类型和操作技术等有关。一般黏性土较砂类土小，大尺寸固结体比小尺寸固结体小。机具状态良好和操作熟练程度都可以使损失系数减少．根据国内施工经验，β1值为0.03~0.1、β2值为0.1～0.2。

4 若遇到有漏浆现象或采用双液分喷法工艺，浆液量在计算的基础上增加10%~15%。α与β1和β2系数一样，它们的大小取值与土体性质、施工机具、施工技术参数、操作技术等有关。特别是土体性质和施工技术参数中的压力、旋转速度、提升速度、喷嘴直径，这些参数的不同组合对系数的取值有很大的影响。所以，系数的取大或取小应由施工单位根据具体工程情况凭工程经验选取。

8.3.16 喷射注浆每延米水泥用量应与设计水泥用量相符，计算实例：

加固土层为砂质土，N<30,设计直径取2400mm。喷射角 度为360。时，每延米喷射施工时间40min/m,浆液流量901/min, 水胶比取1.0时，浆液比重1.51,每升水泥浆液中水泥含量 0. 755kg/L,每根钻管1.5m,搭接100mm时，损耗经验系数6取 1. 12,每延米设计水泥用量为：

a =1 +d/L

= 1+0. 1/1.5

= 1.07

mc =a • β ・m1• Q • v

=1. 07x1. 12x0. 755kg/Lx90L/minx40min/m

= 3257kg/m

8.3.17 造孔过程中出现倾斜度超过设计允许偏差后将会形成斜孔，注浆管沿斜孔下入后．将导致高压喷射注浆过程中形成倾斜的固结体，严重影响固结体的竖向或水平承载力。

8.4.1 条文说明：水泥土搅拌法是利用水泥等材料作为固化剂通过特制的搅拌机械，就地将软土和固化剂(浆液或粉体)强制搅拌，使软土硬结成具有整体性，水稳性和一定强度的水泥加固土，从而提高地基土强度和增大变形模量。根据固化剂掺入状态的不同，它可分为浆液搅拌和粉体喷射搅拌两种。前者是用浆液和地基土搅拌，后者是用粉体和地基土搅拌。

水泥固化剂一般适用于正常固结的淤泥与淤泥质土、黏性土、粉土、素填土(包括冲填土)、饱和黄土、粉砂以及中粗砂，砂砾(当加固粗粒土时，应注意有无明显的流动地下水)等地基加固。对于硬塑、坚硬的黏性土，含孤石及大块建筑垃圾的土层，机械能力仍然受到限制，不能使用水泥土搅拌法。

根据室内试验，一般认为用水泥作加固料，对含有高岭石、多水高岭石、蒙脱石等黏土矿物的软土加固效果较好;而对含有伊利石、氯化物和水铝石英等矿物的黏性土以及有机质含量高pH值较低的酸性土加固效果较差。当黏土的塑性指数Ip大于25时，容易在搅拌头叶片上形成泥团。无法完成水泥土的拌和。当地基土的天然含水量小于30%时，由于不能保证水泥充分水化，故不宜采用干法。

在我国北纬40°以南的冬季负温条件下，冰冻对水泥土的结构损害甚微。在负温时，由于水泥与黏土矿物的各种反应减弱，水泥土的强度增长缓慢(甚至停止);但正温后，随着水泥水化等反应的继续深人，水泥土的强度可接近标准养护强度。

对于泥炭土、有机质含量大于5%或pH 值小于4的酸性土，如前述水泥在上述土层有可能不凝固或发生后期崩解。因此，必须进行现场和室内试验确定其适用性。

采用水泥作为固化剂材料，在其他条件相同时，在同一土层中水泥掺人比不同时，水泥土强度将不同。由于块状加固对于水泥土的强度要求不高，因此为了节约水泥，降低成本，根据工程需要可选用 32.5 级水泥，7%~12%的水泥掺量。水泥掺人比大于10%时，水泥土强度可达 0.3MPa~2MPa 以上。一般水泥掺人比αw采用12%~20%，对于型钢水泥土搅拌桩(墙)，由于其水灰比较大(1.5~2.0)为保证水泥土的强度，应选用不低于42.5级的水泥，目掺量不少于 20%。水泥土的抗压强度随其相应的水泥掺人比的增加而增大，但因场地土质与施工条件的差异，掺人比的提高与水泥土增加的百分比是不完全一致的。水泥强度直接影响水泥土的强度，水泥强度等级提高10MPa，水泥土强度f约增大20%~30%。

外掺剂对水泥土强度有着不同的影响。木质素磺酸钙对水泥土强度的增长影响不大，主要起减水作用;三乙醇胺、氯化钙、碳酸钠、水玻璃和石膏等材料对水泥土强度有增强作用，其效果对不同土质和不同水泥掺人比又有所不同。当掺人与水泥等量的粉煤灰后，水泥土强度可提高 10%左右。故在加固软土时掺人粉煤灰不仅可消耗工业废料，水泥土强度还可有所提高。

8.4.2 条文说明：国产水泥土搅拌机的搅拌头大都采用双层(多层)十字杆形或叶片螺旋形。这类搅拌头切削和搅拌加固软土十分合适，但对块径大于 100mm的石块、树根和生活垃圾等大块物的切割能力较差，即使将搅拌头作了加强处理后已能穿过块石层，但施工效率较低，机械磨损严重。因此，施工时应予以挖除后再填素土为宜，增加的工程量不大，但施工效率却可大大提高。如遇有明浜、池塘及洼地时应抽水和清淤，回填土料并予以压实，不得回填生活垃圾。

搅拌桩施工时，搅拌次数越多，则拌和越为均匀，水泥土强度也越高，但施工效率就降低。试验证明，当加固范围内土体任一点的水泥土每遍经过20次的拌合，其强度即可达到较高值。每遍搅拌次数 N由下式计算:

**

式中:h--搅拌叶片的宽度(m);

β--搅拌叶片与搅拌轴的垂直夹角(°);

∑Z--搅拌叶片的总枚数;

n--搅拌头的回转数(rev/min);

V--搅拌头的提升速度(m/min)。

根据实际施工经验，搅拌法在施工到顶端0.3m~0.5m范围时，因上覆土压力较小，搅拌质量较差。因此，其场地整平标高应比设计确定的桩顶标高再高出0.3m~0.5m，桩制作时仍施工到地面。待开挖基坑时，再将上部 0.3m~0.5m的桩身质量较差的桩段挖去。根据现场实践表明，当搅拌桩作为承重桩进行基坑开挖时，拼身水泥土已有一定的强度，若用机械开挖基坑，往往容易碰撞损坏桩顶，因此基底标高以上 0.3m 宜采用人工开挖，以保护桩头质量。

水泥土搅拌桩施工前应进行工艺性试成桩，提供提钻速度、喷灰(浆)量等参数，验证搅拌均匀程度及成桩首径，同时了解下钻及提升的阻力情况、工作效率等。

湿法施工应注意以下事项。

1）每个水泥土搅拌桩的施工现场，由于土质有差异、水泥的品种和标号不同，因而搅拌加固质量有较大的差别。所以在正式搅拌桩施工前，均应按施工组织设计确定的搅拌施工工艺制作数根试桩，再最后确定水泥浆的水灰比、泵送时间、搅拌机提升速度和复搅深度等参数。制桩质量的优劣直接关系到地基处理的效果。其中的关键是注浆量、水泥浆与软土搅拌的均匀程度。因此，施工中应严格控制喷浆提升速度V，可按下式计算:

**

式中:V-一搅拌头喷浆提升速度(m/min):

γd、γ--分别为水泥浆和土的重度(kN/m3)

--灰浆泵的排量(m3/min);

aw--水泥掺入比;

ac--水泥浆水灰比;

F--搅拌桩截面积(m²)。

2) 由于搅拌机械通常采用定量泵输送水泥浆，转速大多又是恒定的，因此灌人地基中的水泥量完全取决于搅拌机的提升速度和复搅次数，施工过程中不能随意变更，并应保证水泥浆能定量不间断供应。采用自动记录是为了降低人为干扰施工质量，目前市售的记录仪必须有国家计量部门的认证。严禁采用由施工单位自制的记录仪。

由于固化剂从灰浆泵到达搅拌机出浆口需通过较长的输浆管，必须考虑水泥浆到达桩端的泵送时间。一般可通过试打桩确定其输送时间。

3) 凡成桩过程中，由于电压过低或其他原因造成停机使成桩工艺中断时，应将搅拌机下沉至停浆点以下0.5m，等恢复供浆时再喷浆提升继续制桩;凡中途停止输浆 3h 以上者，将会使水泥浆在整个输浆管路中凝固，因此必须排清全部水泥浆，清洗管路。

4) 壁状或块状加固宜采用湿法，水泥土的终凝时间约为24h，所以需要相邻单桩搭接施工的时间间隔不宜超过12h。

5) 搅拌机预搅下沉时不宜冲水，当遇到硬土层下沉太慢时，方可适量冲水，但应考虑冲水对桩身强度的影响。

6) 壁状加固时，相邻桩的施工时间间隔不官超过 12h。如间隔时间太长，与相邻桩无法搭接时，应采取局部补桩或注浆等补强措施。

干法施工应注意以下事项:

1. 每个场地开工前的成桩工艺试验必不可少，由于制桩喷灰量与土性、孔深、气流量等多种因素有关，故应根据设计要求逐步调试，确定施工有关参数(如土层的可钻性、提升速度等)，以便正式施工时能顺利进行。施工经验表明送粉管路长度超过 60m后，送粉阻力明显增大，送粉量也不易稳定。
2. 由于干法喷粉搅拌不易严格控制，所以要认真操作粉体自动计量装置，严格控制固化剂的喷人量，满足设计要求。
3. 合格的粉喷桩机一般均已考虑提升速度与搅拌头转速的匹配，钻头均约每搅拌一圈提升 15mm，从而保证成桩搅拌的均匀性。

4）每次搅拌时，桩体将出现极薄软弱结构面，这对承受水平剪力是不利的。一般可通过复搅的方法来提高桩体的均匀性，消除软弱结构面，提高桩体抗剪强度。

5) 定时检查成桩直径及搅拌的均匀程度。粉喷桩桩长大于10m时，其底部喷粉阻力较大，应适当减慢钻机提升速度，以确保固化剂的设计喷人量。

6) 固化剂从料罐到喷灰口有一定的时间延迟，严禁在没有喷粉的情况进行钻机提升作业。

8.4.3 国内的水泥土搅拌桩大多采用国产的轻型机械施工，这些机械的质量控制装置较为简陋，施工质量的保证很大程度上取决于机组人员的素质和责任心。因此，加强全过程的施工监理，严格检查施工记录和计量记录是控制施工质量的重要手段，检查重点为水泥用量、桩长、搅拌头转数和提升速度、复搅次数和复搅深度、停浆处理方法等。

水泥土搅拌桩复合地基承载力的检验应进行单桩或多桩复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验。检测分两个阶段，第一阶段为施工前为设计提供依据的承载力检测，试验数量每单项工程不少于3根，如单项工程中地质情况不均匀，应加大试验数量。第二阶段为施工完成后的验收检验，数量为总桩数的1%，每单项工程不少于3根。上述两个阶段的检验均不可少，应严格执行。

对重要的、变形要求严格的工程或经触探和静载荷试验检验后对桩身质量有怀疑时，应在成桩 28d 后，采用双管单动取样器钻取芯样作水泥土抗压强度检验。水泥搅拌桩的桩身质量检验目前尚无成熟的方法，特别是对常用的直径500mm干法桩遇到的困难更大，采用钻芯法检测时应采用双管单动取样器，避免过大扰动芯样使检验失真。当钻芯困难时，可采用单桩竖向抗压静载荷试验的方法检测桩身质量，加载量宜为(2.5~3.0)倍单桩承载力特征值，卸载后挖开桩头，检查桩头是否破坏。

# 9基坑地下水控制

9.1.1 地下水控制方法包括:截水、降水、集水明排，地下水回灌不作为独立的地下水控制方法，但可作为一种补充措施与其他方法一同使用。仅从支护结构安全性、经济性的角度，降水可消除水压力从而降低作用在支护结构上的荷载，减少地下水渗透破坏的风险，降低支护结构施工难度等。但降水后，随之带来对周边环境的影响问题。在有些地质条件下，降水会造成基坑周边建筑物、市政设施等的沉降而影响其正常使用甚至损坏。降水引起的基坑周边建筑物、市政设施等沉降、开裂、不能正常使用的工程事故时有发生。另外，有些城市地下水资源紧缺，降水造成地下水大量流失、浪费，从环境保护的角度，在这些地方采用基坑降水不利于城市的综合发展。为此，有的城市的地方政府已实施限制基坑降水的地方行政法规。

根据具体工程的特点，基坑工程可采用单一地下水控制方法，也可采用多种地下水控制方法相结合的形式。如悬挂式截水帷幕＋坑内降水，基坑周边控制降深的降水＋截水帷幕，截水或降水＋回灌，部分基坑边截水＋部分基坑边降水等。一般情况，降水或截水都要结合集水明排。

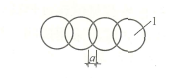
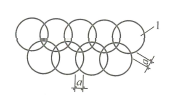
9.1.2~9.1.4 采用哪种地下水控制的方式是基坑周边环境条件的客观要求，基坑支护设计时应首先确定地下水控制方法，然后再根据选定的地下水控制方法，选择支护结构形式。地下水控制应符合国家和地方法规对地下水资源、区域环境的保护要求，符合基坑周边建筑物、市政设施保护的要求。当降水不会对基坑周边环境造成损害且国家和地方法规允许时，可优先考虑采用降水，否则应采用基坑截水。采用截水时，对支护结构的要求更高，增加排桩、地下连续墙、锚杆等的受力，需采取防止土的流砂、管涌、渗透破坏的措施。当坑底以下有承压水时，还要考虑坑底突涌问题。

9.2.1 水泥土搅拌桩、高压喷射注浆常用普通硅酸盐水泥,也可采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥。需要注意的是，当地下水流速高时,需在水泥浆液中掺入适量的外加剂，如氯化钙、水玻璃、三乙醇胺或氯化钠等。由于不同地区，即使土的基本性状相同，但成分也会有所差异，对水泥的固结性产生不同影响。因此，当缺少实际经验时，水泥掺量和外加剂品种及掺量应通过试验确定。

9.2.2 落底式截水帷幕进入下卧隔水层一定长度，是为了满足地下水绕过帷幕底部的渗透稳定性要求。公式(9.2.2）是验算帷幕进入隔水层的长度能否满足渗透稳定性的经验公式。隔水层是相对的，相对所隔含水层而言其渗透系数较小。在有水头差时，隔水层内也会有水的渗流，也应满足渗流和渗透稳定性要求。

9.2.5、9.2.9 搅拌桩、旋喷桩帷幕一般采用单排或双排布置形式(说明图9.2.5-1)，理论上,单排搅拌桩、旋喷桩帷幕只要桩体能够相互搭接、桩体连续、渗透系数小于10—6 cm/s是可以起到截水效果的,但受施工偏差制约,很难达到理想的搭接宽度要求。假设桩长15m，设计搭接200mm，当位置偏差为50mm、垂直度偏差为1%时，则帷幕底部在平面上会偏差200mm。此时，实际上桩之间就不能形成有效搭接。如桩的设计搭接过大，则桩的间距减小、桩的有效部分过少，造成浪费和增加工期。所以帷幕超过15m时,单排桩难免出现搭接不上的情况。说明图9.2.5-1中的双排桩帷幕形式可以克服施工偏差的搭接不足，对较深基坑双排桩帷幕比单排桩帷幕的截水效果要好得多。

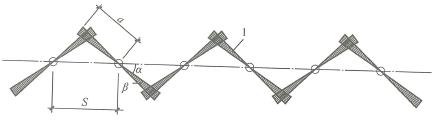
摆喷帷幕―般采用说明图9.2.5-2所示的平面布置形式。由于射流范围集中，摆喷注浆的喷射长度比旋喷注浆的喷射长度大，喷射范围内固结体的均匀性也更好。实际工程中高压喷射注浆帷幕采用单排布置时常采用摆喷形式。

(a)单排搅拌桩或旋喷桩帷幕 (b)双排搅拌桩或旋喷桩帷幕

说明图9.2.5-1 搅拌桩、旋喷桩帷幕平面布置形式

1—旋喷桩或搅拌桩



说明图9.2.5-2 摆喷帷幕平面形式

1—摆喷帷幕

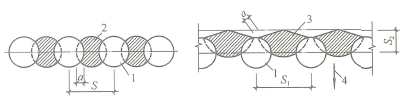
旋喷固结体的直径、摆喷固结体的半径受施工工艺、喷射压力、提升速度、土类和土性等因素影响，根据国内一些有关资料介绍,旋喷固结体的直径一般在表3的范围，摆喷固结体的半径约为旋喷固结体半径的1.0~1.5倍。

说明表9.2.5-1 旋喷注浆固结体有限直径经验值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 方法  土类 | | 单管法 | 二重管法 | 三重管法 |
| 黏性土 |  | 0.5~0.8 | 0.8~1.2 | 1.2~1.8 |
|  | 0.4~0.7 | 0.7~1.1 | 1.0~1.6 |
| 砂土 |  | 0.6~1.0 | 1.0~1.4 | 1.5~2.0 |
|  | 0.5~0.9 | 0.9~1.3 | 1.2~1.8 |
|  | 0.4~0.8 | 0.8~1.2 | 0.9~1.5 |

注:N为标准灌入试验锤击数。

说明图9.2.5-3是搅拌桩、高压喷射注浆与排桩常见的连接形式。高压喷射注浆与排桩组合的帷幕,高压喷射注浆可采用旋喷、摆喷形式。组合帷幕中支护桩与旋喷、摆喷桩的平面轴线关系应使旋喷、摆喷固结体受力后与支护桩之间有一定的压合面。



(a)旋喷固结体或搅拌桩与排桩组合帷幕 (b)摆喷固结体与排桩组合帷幕

说明图9.2.5-3 截水帷幕平面形式

1. -支护桩;2--旋喷固结体或搅拌桩;3—摆喷固结体;4-基坑方向

9.2.11 旋喷帷幕和摆喷帷幕一般采用双喷嘴喷射注浆。与排桩咬合的截水帷幕,当采用半圆形、扇形摆喷时，一般采用单喷嘴喷射注浆。根据目前国内的设备性能,实际工程中常见的高压喷射注浆的施工工艺参数见表说明表9.2.11。

说明表9.2.11 常用的高压喷射注浆工艺参数

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工艺 | 水压  (MPa) | 气压  (MPa) | 浆压  (MPa) | 注浆流量  (L/min) | 提升速度  (m/min) | 旋转速度  (r/min) |
| 单管法 |  |  | 20~28 | 80~120 | 0.15~0.2 | 20 |
| 二重管法 |  | 0.7 | 20~28 | 80~120 | 0.12~0.25 | 20 |
| 三重管法 | 25~32 | 0.7 |  | 80~150 | 0.08~0.15 | 5~15 |

9.2.13 根据工程经验,在标准贯入锤击数N>12的黏性土、标准贯入锤击数N>20的砂土中，最好采用复喷工艺，以增大固结体半径、提高固结体强度。

9.3.10 《污水排水城市下水道水质》（CJ3082-1999）要求易沉固体最高允许浓度不大于10mg/L。《基坑工程技术规程》（DB159-2012）要求管井抽水应取水样进行含砂量测试，其含砂量应小于1/100000。《武汉市深厚软土区域市政与建筑工程地面沉降防控技术导则》要求全部降水井抽水水样进行见证取样检测，保证含砂率小于1/100000。

9.4.1 《基坑工程技术规程》（DB159-2012）要求现场抽水试验应模拟工程降水时的特点，合理布置试验井和水位观测井，以求得含水层的有关水文地质参数；抽水试验宜采用群井干扰试验求得含水层的参数以及水位干扰变化的规律：必要时可进行回灌压水(注水)试验。《基坑工程技术规程》（DB159-2012）要求基坑周边有建筑物及地下管线需要保护或坑外水位降低较多时，宜采用回灌措施，设置回灌井点。回灌井的设置应因地制宜，距离降水井点不宜小于6m,避免因回灌形成局部反漏斗，增加基坑壁外侧的水头高度：回灌时应防止井点堵塞及造成地下水污染。

9.4.7 参考《武汉市深厚软土区域市政与建筑工程地面沉降防控技术导则》要求，在防控区内应逐步建立健全全市区域性地下水位及地面沉降监测网，开展长期地下水及地面沉降动态监测，并逐步建立地下水长期回灌机制，控制区域性地面沉降。

# 10基坑监测

10.2.1 当临近明挖隧道区域有重点保护构筑物、水源地或其他溶洞断裂带时，应根据其重要性将其特别纳入监测范围内，并根据实际情况考虑监测频率和监测项目。

10.2.7 当对于工程风险较大，或有条件的施工现场，可设置远程视频监控系统，采用多人实时监控，增加出现隐患时处置的及时性，以及时候分析问题时调查资料的可靠完整性。

# 11主体结构及防水

11.1.2 持久设计状况、短暂设计状况及偶然设计状况均应进行承载能力极限状态设计。持久设计状况应进行正常使用极限状态设计；短暂设计状况可根据需要进行正常使用极限状态设计；偶然设计状况可不进行正常使用极限状态设计。

11.1.4 根据《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476-2019第3.5.5条和《地下工程防水技术规范》GB50108-2008第4.1.7条，在地下工程中宽度小于0.2mm的裂缝多数可以自行愈合，且可以有效隔断临水侧水份的迁移供给。因此，对于有自防水要求的混凝土构件，其表面裂缝计算宽度限值宜按外侧0.2mm、内侧0.3mm取值。考虑到区间隧道均设置有利于保护混凝土结构的防水层，且结构的厚度也比较大，因此本条文对于干湿交替条件下的裂缝宽度进行了有条件放宽，即厚度不小于300mm的钢筋混凝土结构可不计干湿交替作用，最小裂缝宽度按0.3mm控制。当混凝土保护层厚度较大时，虽然裂缝宽度的计算值也较大，但从总体上看，较大的混凝土保护层厚度对防止钢筋锈蚀是有利的，当设计采用的最大裂缝宽度计算式中保护层的实际厚度超过30mm时，可将保护层厚度的计算值取为30mm。

11.2.1 抗震性能验算是根据结构物的类型和地震动的等级对结构的抗震能力进行检验，地面结构抗震验算规定不对抗震设防地震动分档0.05g及以下的结构进行抗震验算，但应符合有关抗震措施的要求。地下结构的抗震性能优于地面结构，但考虑到铁路隧道的重要性较高修复困难，本规范规定对抗震设防地震动分档0.10(0.15)g及以上的铁路隧道进行抗震验算，抗震设防地震动分档0.10(0.15)g以下的地下结构采取构造措施处理。

11.4.1 隧道的养护、维修应该在天窗时间内完成，动车组运行过程中禁止人员进入，因此可以不设置大、小避车洞及绝缘梯洞。设备洞室与正洞连接处易出现应力集中导致衬砌开裂并出现渗漏。因此，为了最大限度保证施工与结构安全，应统筹考虑设备洞室，尽量减少在隧道结构上开孔作业。

11.4.2 隧道管线敷设需要根据专业需求，结合隧道结构形式，充分利用隧道空间。一般情况下，根据断面空间可以将电缆置于电缆槽内，其他情况如盾构隧道空间形式特殊性，可以考虑将电缆统筹规划后采用悬挂方式放置。电缆槽水沟盖板作为救援通道一级维修养护通道的行走面，需要平整稳固。水沟电缆沟槽侧壁较薄，由于混凝土收缩作用容易产生裂纹，构造配筋可以对裂纹起到抑制作用。

11.4.3 隧道下锚区段衬砌断面较大，隧道正常断面与下锚扩大断面过渡转换处，钢架设置以及施工状态不连续，施工时具有一定风险，因此尽量选择设置在地质条件较好的区域；隧道下锚区段不应占用疏散通道宽度。

11.4.5国内相关计算研究结构表明空气动力学效应引起的隧道附加荷载对附属构筑物安装影响是副作用的，不容忽视。

11.5.1 参照《铁路隧道设计规范》（TB10003-2016）设置。

11.5.2 明挖隧道结构缝设置应确保结构延纵向整体受力。当变形缝处可能发生较大差异变形时，可考虑设置抗剪键。

11.6.1 勘察、设计、施工、管理和围护保养的每一个环节都考虑防排水要求，根据地质与气候条件、线路纵断面、结构型式、施工技术、防水等级、材料来源和价格因素，因地制宜的选择相适应的防排水措施。为避免过分要求高指标或片面降低防水标准，造成工程造价高或维修施工困难，因此隧道防水应做到定级准确、方案可靠、经济合理。

11.6.2 强调混凝土结构自防水的重要性，参照《铁路隧道设计规范》（TB10003-2016）设置本条。

11.6.3 1 明挖隧道防水工程不单纯地以最高地下水位而定，还应综合分析历年水位

2 地质资料、根据工程重要性、工程建成后地下水位变化的可能性等因素而定。明挖隧道工程不仅受地下水、上层滞水、毛细管水等作用，也受地表水的作用，同时随着人们对水资源保护意识的加强，合理开发利用水资源的人为活动将会引起水文地质条件的改变，也会对明挖隧道工程造成影响，因此地下工程不能单纯以地下最高水位来确定工程防水标高。

3 全封闭不排水隧道的设置原则参照《铁路隧道设计规范》（TB10003-2016）

11.6.4 明确明挖隧道防水工程设计内容，避免了工程防水设计时的随意性，使防水设计规范化，在明挖隧道工程建设设计阶段就对防水有明确的要求，为确保明挖隧道工程正常使用打下良好的基础。

11.6.5~11.6.6 隧道漏水会造成衬砌腐蚀、轨道及零配件锈蚀、隧底道床翻浆、挂冰侵限、电力牵引地段漏电等病害加剧，危害隧道结构的耐久性，影响行车及人身安全。

参考《地下工程防水技术规范》GB50108和《建筑与市政工程通用防水规范》GB55030的规定，制定了铁路明挖隧道防水等级标准及适用范围。考虑了I级、Ⅱ级铁路年货运量及功能的差异要求，车站隧道、机电设备安装洞室、电化与非电化铁路隧道、隧道间联络通道等对环境防水要求的不同，本规范防水等级标准略高于公路隧道、地铁的防排水技术标准。

一级：《地下工程防水技术规范》GB50108中的“一级”规定适用范围为“极重要的战备工程、地铁车站”，其适用范围为：“办公用房属人员长期停留场所，档案库、文物库属少量湿渍会使物品变质、失效的贮物场所，配电间、地下铁道车站顶部属少量湿渍会严重影响设备正常运转和危及工程安全运营的场所或部位，指挥工程属极重要的战备工程，都应定为一级”。由于铁路隧道所处的地质、水文地质条件环境较城市地下工程更为复杂多变，而运行速度高，对设备的可靠性依赖性强，为保证在设计使用年限内运营的安全，故本规范确定一级防水适用于：

（1）有客运作业或装修要求的车站隧道：属人员活动密集区，段内关系运营安全的较高精度机电控制设备安装及装修对湿度的要求较高，同时有人员长期停留或作业，其拱墙衬砌釆用一级防水标准。

（2）高速铁路隧道：由于运行速度高，需保证其设备的高可靠性，防止衬砌结构因渗水而岀现异变，其拱墙衬砌采用一级防水标准。

（3）寒冷地区的隧道：渗水将可能导致衬砌因冻害而破坏，更易出现挂冰侵限危及运营安全，故规定隧道防冻害设防段衬砌采用一级防水标准。

（4）隧道内供人员长期工作的洞室指：车站隧道内用作办公室、有人值守的控制室、工作人员休息室的洞室。

（5）因少量湿渍而影响设备正常运转、危及运营安全的设备洞室：隧道内设置车站或信号中继站时的信号机械室；地下车站、特长隧道、隧道群、隧道内救援站内设置的电力变电所室；电气化开关设备、控制设备室。

隧道内设置车站、信号中继站时，信号机械室用于安装信号控制系统的核心设备，其工作环境要求达到计算机机房环境，即无湿渍。地下车站、特长隧道、隧道群内设置的电力变电所承担着向隧道通风机械、防灾救援设备、车站通信、信号、BAS、FAS、SCADA、应急电源、照明等重要负荷供电，主要设备有变压器、高低压开关柜、控制保护、远动装置等，长期处于潮湿环境可能影响供电安全和设备使用寿命。特定情况下（如由于外部地质环境、防水体系的瑕疵、防水技术或投资原因等），可以釆取在洞内建设房屋（如釆用密闭式套衬的形式）或设备本体釆用电气密闭等防护措施来适应环境。故电力变电所洞室釆用一级防水。电气化开关设备、控制设备室内安装有控制保护设备，为设备控制提供操作电源，对牵引供电设备及线路进行停送电及短路保护，要求环境达到计算机机房环境要求，即无水渍，在洞室环境不能达到正常工作环境的要求时还需暖通专业设置空调以满足洞内大气环境温、湿度条件要求，故采用一级防水等级。

二级：《地下工程防水技术规范》GB50108—2008中对应的“二级”适用范围为“一般生产车间属人员经常活动的场所，地下车库属有少量湿渍不会使物品变质、失效的场所，电气化隧道、地铁隧道、城市公路隧道、公路隧道侧墙属有少量湿渍基本不影响设备正常运转和工程安全运营的场所或部位，人员掩蔽工程属重要的战备工程，故应定为“二级”。按照以较高标准保证运营安全的理念，本规范确定二级防水用于：

（1）电气化铁路隧道、内燃机车牵引的铁路隧道拱墙衬砌：对于普通电气化铁路隧道和内燃机车牵引的隧道衬砌，少量湿渍或不流淌的水膜不会影响其使用功能，衬砌拱墙采用二级防水标准。

（2）隧底结构：隧底结构少量湿渍或不流淌的水膜不会携带下部围岩的固体物质而诱发翻浆冒泥等病害，在洞内良好的排水系统的保障下，也不会导致积水等不利现象。铁路隧道多年的运营实践表明，隧底结构的病害往往是由于隧底结构本身的强度不够造成结构破损，疏于水沟清理而造成水沟淤积、排水不畅，施工缝、变形缝部位防水失效造成地下水排不岀去或积聚在基底以下，在列车动荷载和地下积水的作用下基底软化，沟墙开裂或倾倒，铺底或仰拱破损，从而导致了道床翻浆、线路走形部位变形等，究其原因，其更强调结构的安全性和排水系统的有效性，而与隧底结构的防水等级无关。在当前我国铁路隧道建设中，隧底结构主要采用了抗渗等级不低于P8的钢筋混凝土底板或仰拱，施工缝、变形缝主要采用止水带、止水条等防水措施，实践表明在施工质量达到设计要求的情况下，不会出现漏水和积水等现象，故隧底结构釆用二级防水标准。

（3）安装一般电气设备的洞室指：信号的集装箱式机房室；电力的箱式变电站室；综合配电箱室；机械专业的电气设备控制室；电气化的变压器室。

信号专业的集装箱式机房虽然安装了信号控制系统的核心设备，但防水要求达到无水浸泡即可保证设备的正常运转；电力专业在普速、高速铁路、客货共线铁路、地铁中大量使用的箱式变电站、综合洞室对防水的要求较低，只要洞室顶部、侧壁不漏水、基础无积水即可满足设备使用要求；机械专业安装控制防火门、风机运行的设备控制室的防护等级为IP44JP65，其要求是防止飞溅、喷射水的侵入，二级防水完全可满足其工作环境要求；电化专业变压器在洞室表面有湿渍、渗水的情况下，能够正常工作。故将上述设备列为一般电气设备，其安装洞室采用二级防水。

（4）辅助坑道内安装电动防火门、风机及其控制设备的段落：辅助坑道内安装防火门、风机及其控制设备段落的防护等级为IP44JP65，主要是防止飞溅（喷射）的水侵入，防止来自各方向飞溅而来（由喷嘴喷射出）的水进入灯具造成损坏，其对环境的要求主要限于湿度，在结构表面有水渍和渗水的情况下，设备仍能够正常地运转，故釆用二级防水标准。

三级：适用于运营期间有人员通行的、作为防灾救援、逃逸、通风排烟、检修通道的辅助坑道或专设通道，以及安装非电气设备的洞室。

对隧道的不同部位、不同功能根据渗漏水对隧道运营的影响，本规范釆取了不同的防水等级，这主要是从隧道防水工程的经济性、必要性和技术可行性上综合考虑的，这与《地下工程防水技术规范》GB50108中“对于一个工程（特别是大型工程），因工程内部各部分的用途不同，其防水等级可以有所差别”的理念是相同的。由于隧道的防水是多种工程措施和材料构建的系统工程、防水等级是隧道所釆用的防排水措施综合作用下防水功能的体现，不能理解为不同的防水等级单纯依靠某一种材料采用不同抗渗指标来实现。

一般说来，隧道的防水与排水是对立统一的，隧道的防水效果与其排水的方式、方法及控制直接相关。在此基础上，隧道的防水效果是依靠防水系统采用防水材料、防水材料组合的综合作用实现的。但是，隧道的防水等级是根据运营需要确定的防、排水系统综合能力的体现，而不是直接确定防水材料或其组合方式。在隧道的防水设计中，同一防水等级是根据不同的地下水环境、不同的排水条件采用不同的防水材料或其组合方式得以实现。

11.6.7 隧道衬砌混凝土抗渗等级的确定与防水要求、衬砌后水压、衬砌厚度等有直接关系，本条文仅对不同防水等级条件下的混凝土最小抗渗等级做了规定。

11.6.8 明挖隧道施工缝与变形缝的渗漏水是较为常见且难以根治的一个环节，通过设置多道防水措施来达到施工缝和变形缝不漏水的目的。

根据施工缝、变形缝的结构特征、不同的防水等级选用不同的防水措施，防水等级越高，拟采用的措施越多，一方面是为了解决缝的渗漏率高的问题，另一方面是防止因结构变形而出现防水能力退化，保证工程整体的防水质量。

防水密封材料是一些能使建筑上的接缝保持水密、气密性能，并且具有一定强度，能连接结构件的填充材料。常用的密封材料有硅酮、聚氨酯、聚硫、丙烯酸酯等密封材料。

11.6.9 外加剂种类多样，包括减水剂、防水剂、膨胀剂等，通过外加剂的加入补偿收缩混凝土配合比设计，经试验确定外加剂的掺量。

6.4.10~6.4.11 铁路明挖隧道主体结构的耐久性要求高于一般地下工程，而防水混凝土的耐久性与混凝土的抗渗等级和氯离子扩散系数密切相关，因此除了提出混凝土的抗渗等级要求外，参考现行《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476的相关条款，增加了现浇防水混凝土处于氯化物环境中的氯离子扩散系数指标。

明挖隧道所处的环境较为复杂、恶劣，结构主体长期浸泡在水中或受到各种侵蚀介质的侵蚀以及冻融、干湿交替的作用，易使混凝土结构随着时间的推移，逐渐产生劣化，各种侵蚀介质对混凝土的破坏与混凝土自身的透水性和吸水性密切相关。一旦结构抗渗性能下降，易发生结构渗漏水现象，导致接触网等四电设备故障、轨道及附属金属构件锈蚀，同时地下水中的侵蚀性介质使结构劣化，使混凝土结构开裂、剥落，导致结构的耐久性下降，影响铁路的安全运营。故防水混凝土的配制首先应以满足抗渗等级要求作为主要设计依据，同时也应根据工程所处环境条件和工作条件需要，相应满足抗压、抗裂、抗冻和抗侵蚀性等耐久性要求。

11.6.18 针对纵缝设置的位置，《地下工程防水技术规范》中要求墙体水平施工缝不应留在剪力最大处或底板与侧墙的交接处，应留在高出底板表面不小于300mm的墙体上。拱（板）墙结合的水平施工缝，宜留在拱（板）墙接缝线以下150~300mm处，墙体有预留孔洞时，施工缝距空洞边缘不应小于300mm。《铁路隧道设计规范》8.2.7中要求隧道衬砌纵向施工缝应设在水沟盖板面以下、侧沟过水面以上。

考虑到明挖法隧道衬砌轮廓的多样性，对于常规的、标准的区间断面，应优先执行《铁路隧道设计规范》要求，对于特殊断面，例如盾构始发段扩大结构、盾构井、疏散井、风井等，应根据结构受力情况另行研究确定。当基坑支护采用内支撑时，应考虑支撑架设高程对施工缝位置的影响，统筹主体结构和基坑支护结构设计。

隧道衬砌环向施工缝间距过大，会导致一次浇筑段落过长，混凝土浇筑质量难以控制，已发生不均匀沉降裂缝和干缩裂缝，间距过小则会导致施工工效降低，并增加渗漏风险点，采用跳仓浇筑可有效降低不均匀沉降裂缝、温度应力裂缝的影响。

11.6.19 采用机械排水的隧道，为减少水泵负荷，降低极端情况下泵站排水能力不足的风险，地下水丰富地段宜采用全包不排水设计。

根据运营铁路的管理经验，泵站设置直通地面的检修通道有利于快速进入泵站检修，且在极端情况下便于吊装备用泵。

设计排水量应综合考虑渗漏水和消防瞬时排水，隧道渗漏水量可参照周边类似工程运营期最大渗漏水量并留有冗余，或建议按以下假设估算并留有冗余：

（1）衬砌表面渗漏水量按设计防水等级降低一级考虑；

（2）施工缝、变形缝渗漏水量按接缝防水措施全部失效考虑。

# 12环境保护

12.2.1 对大气环境质量要求中根据一般要求，环境空气质量功能区分为一类、二类、三类，其中一般规定主要参考《环境空气质量标准》（GB3095-2012）。

# 附 录

C.0.3 条文说明：C.0.1、C. 0.2本规程公式(C.0.1)、公式(C.0.2）是两种典型渗流模型的渗透稳定性验算公式。其中公式（(C.0.2)用于渗透系数为常数的均质含水层的渗透稳定性验算，公式(C.0.1)用于基底下有水平向连续分布的相对隔水层，而其下方为承压含水层的渗透稳定性验算（即所谓突涌)。如该相对隔水层顶板低于基底，其上方为砂土等渗透性较强的土层，其重量对相对隔水层起到压重的作用，所以，按公式(C.0.1）验算时，隔水层上方的砂土等应按天然重度取值。