

**中国工程建设标准化协会标准**

**编号： 备案号：**

**软土地区建筑技术规程**

**Technical code for building in soft soil area**

**（2023.05.30）**

**2023-\*\*-\*\* 发布 2023-\*\*-\*\* 实施**

**中国工程建设标准化协会发布**

**中国工程建设标准化协会标准**

**软土地区建筑技术规程**

**Technical code for building in soft soil area**

编 号：

备 案 号：

主编单位：建研地基基础工程有限责任公司

深圳市工勘岩土集团有限公司

参编单位：

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期： 2023年\*\*月\*\*日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发中国工程建设标准化协会〈2017年第一批标准制、修订项目计划〉的通知》（建标协字〔2017〕014号）的要求，标准编制组经过广泛调查研究，认真总结工程经验，结合我国地基基础行业实际情况，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本标准。

本标准分为9章，主要技术内容包括：1、总则；2、术语和符号；3、基本规定；4、勘察；5、设计原则；6、地基处理；7、桩基础；8、基坑工程；9、监测、检验与验收。

本标准由中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会CECS/TC 27归口管理，由建研地基基础工程有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送解释单位（地址：北京市北三环东路30号中国建筑科学研究院地基基础研究所，邮政编码：100013）。

本标准主编单位：建研地基基础工程有限责任公司

深圳市工勘岩土集团有限公司

本标准参编单位：深圳市滨海岩土与环境工程有限公司

华东建筑设计研究院有限公司

浙江省建筑设计院

东南大学

广州市设计院集团有限公司

福建省建筑科学研究院

江苏鑫泰岩土科技有限公司

云南省建筑设计研究总院

同济大学

上海基础工程集团有限公司

中南建筑设计研究院

中冶建筑研究总院有限公司

中国铁道科学研究院深圳研究设计院

**目 录**

**[1](#_Toc136359655)** [总 则 1](#_Toc136359655)

**[2](#_Toc136359656)** [术语和符号 2](#_Toc136359656)

[2.1 术 语 2](#_Toc136359657)

[2.2 符 号 3](#_Toc136359658)

**[3](#_Toc136359659)** [基本规定 5](#_Toc136359659)

[3.1 一般规定 5](#_Toc136359660)

**[4](#_Toc136359661)** [勘 察 8](#_Toc136359661)

[4.1 一般规定 8](#_Toc136359662)

[4.2 各阶段勘察重点 8](#_Toc136359663)

[4.3 原位测试 10](#_Toc136359664)

[4.4 取土样与土工实验 11](#_Toc136359665)

[4.5 地下水 12](#_Toc136359666)

[4.6 软土的工程评价 13](#_Toc136359667)

**[5](#_Toc136359668)** [设计原则 14](#_Toc136359668)

[5.1 一般规定 14](#_Toc136359669)

[5.2 建筑和结构设计原则 14](#_Toc136359670)

[5.3 地基基础选型 18](#_Toc136359671)

[5.4 地基变形和稳定性控制原则 21](#_Toc136359672)

**[6](#_Toc136359673)** [地基处理 27](#_Toc136359673)

[6.1 一般规定 27](#_Toc136359674)

[6.2 换填法 28](#_Toc136359675)

[6.3 排水静力固结法 29](#_Toc136359676)

[6.4 排水动力固结法 38](#_Toc136359677)

[6.5 土体固化法 45](#_Toc136359678)

[6.6 复合地基法 47](#_Toc136359679)

**[7](#_Toc136359680)** [桩基础 50](#_Toc136359680)

[7.1 一般规定 50](#_Toc136359681)

[7.2 桩基承载力 51](#_Toc136359682)

[7.3 桩基沉降计算 52](#_Toc136359683)

[7.4 桩基础施工 55](#_Toc136359684)

**[8](#_Toc136359685)** [基坑工程 60](#_Toc136359685)

[8.1 一般规定 60](#_Toc136359686)

[8.2 基坑支护结构 62](#_Toc136359687)

[8.3 基坑地下水控制 65](#_Toc136359688)

[8.4 基坑工程施工 66](#_Toc136359689)

[8.5 基坑工程监测 68](#_Toc136359690)

**[9](#_Toc136359691)** [监测、检验与验收 70](#_Toc136359691)

[9.1 一般规定 70](#_Toc136359692)

[9.2 监测 71](#_Toc136359693)

[9.3 检验 75](#_Toc136359694)

[9.4 验收 78](#_Toc136359695)

用词说明………………………………………………………………………………………82

引用标准名录…………………………………………………………………………………83

附近：条文说明………………………………………………………………………………84

制定说明………………………………………………………………………………………85

**Contents**

**[1](#_Toc136359655)** [General provisions 1](#_Toc136359655)

**[2](#_Toc136359656)** [Terms and symbols 2](#_Toc136359656)

[2.1 Terms 2](#_Toc136359657)

[2.2 Symbols 3](#_Toc136359658)

**[3](#_Toc136359659)** [Basic requirenments 5](#_Toc136359659)

[3.1 General requirenments 5](#_Toc136359660)

**[4](#_Toc136359661)****[Survey](#_Toc136359661)** [8](#_Toc136359661)

[4.1 General requirenments 8](#_Toc136359662)

[4.2 Key Survey Points at Each Stage 8](#_Toc136359663)

[4.3 in-situ test 10](#_Toc136359664)

[4.4 Soil sampling and geotechnical experiments 11](#_Toc136359665)

[4.5 Groundwater 12](#_Toc136359666)

[4.6 Engineering evaluation of soft soil 13](#_Toc136359667)

**[5](#_Toc136359668)** [Design principles 14](#_Toc136359668)

[5.1 General requirenments 14](#_Toc136359669)

[5.2 Principles of Architectural and Structural Design 14](#_Toc136359670)

[5.3 Foundation selection 18](#_Toc136359671)

[5.4 Principles for controlling foundation deformation and stability 21](#_Toc136359672)

**[6](#_Toc136359673)****[Foundation treatment](#_Toc136359673)** [27](#_Toc136359673)

[6.1 General requirenments 27](#_Toc136359674)

[6.2 Replacement method 28](#_Toc136359675)

[6.3 Drainage static consolidation method 29](#_Toc136359676)

[6.4 Drainage dynamic consolidation method 38](#_Toc136359677)

[6.5 Soil solidification method 45](#_Toc136359678)

[6.6 Composite foundation method 47](#_Toc136359679)

**[7](#_Toc136359680)** [Pile foundation 50](#_Toc136359680)

[7.1 General requirenments 50](#_Toc136359681)

[7.2 Bearing capacity of pile foundation 51](#_Toc136359682)

[7.3 Calculation of pile foundation settlement 52](#_Toc136359683)

[7.4 Pile foundation construction 55](#_Toc136359684)

**[8](#_Toc136359685)** [Foundation pit 60](#_Toc136359685)

[8.1 General requirenments 60](#_Toc136359686)

[8.2 Foundation pit support structure 62](#_Toc136359687)

[8.3 Groundwater control in foundation pits 65](#_Toc136359688)

[8.4 Foundation pit construction 66](#_Toc136359689)

[8.5 Monitoring of foundation pit engineering 68](#_Toc136359690)

**[9](#_Toc136359691)** [Monitoring, Inspection and Acceptance 70](#_Toc136359691)

[9.1 General requirenments 70](#_Toc136359692)

[9.2 Monitor 71](#_Toc136359693)

[9.3 Inspect 75](#_Toc136359694)

[9.4 Check and accept 78](#_Toc136359695)

Explanation of wording ...................................................................................... 82

List of quoted standards ...................................................................................... 83

Addition:Explanation of provisions ....................................................................84

Develop instructions ..... ..................... ...... ...... ...... .................. ..................... .....85

#  总 则

**1.0.1** 为在软土地区建筑工程中贯彻落实建筑方针，保障地基基础与上部结构安全，满足建设项目正常使用需要，保护生态环境，促进绿色发展，做到技术先进、经济合理，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于软土地区建筑工程的勘察、设计、施工和检测、监测、验收。

**1.0.3** 软土地区的工程建设，应根据软土的特性和工程要求，综合考虑地形地貌、工程地质条件、环境保护等因素，注重地方经验，因地制宜，采取防治措施。

**1.0.4** 软土地区建筑工程勘察、设计、施工和检测、监测、验收，除应符合本标准外，尚应符合有关现行国家标准的规定。

#  术语和符号

## 术 语

**2.1.1** 软土 soft clay

软土是天然孔隙比大于或等1.0，且天然含水量大于液限的细粒土，包括淤泥、淤泥质粘土、淤泥质粉土、泥炭、泥炭质土等。

**2.1.2**挤淤置换法 replacing silt method

依靠换填材料的自重以及借助于其他外力，诸如：压载、振动、爆炸、强夯或卸载（即及时挖除换填体周边处的淤泥）等，使软弱土层遭受破坏后被强制挤出而进行的换填处理。

**2.1.3**排水静力固结法 drainage static consolidation method

通过在饱和软土中设置竖向排水体（如：砂井、袋装砂井、塑料排水板等），并利用堆载、真空或真空和堆载联合等静力作用促使其加速排水压密固结的地基处理方法。

**2.1.4**排水动力固结法 drainage dynamic consolidation method

通过降低场地地下水位（例如轻型井点、泵吸等）或在饱和软土中设置竖向排水体（例如塑料排水板、袋装砂井、砂井等），并施加动力荷载（例如强夯、冲压等），促进软土排水压密固结的地基处理方法。

**2.1.5**降水夯实法lowering groundwater tamping method

通过降低场地地下水位（例如轻型井点、真空泵吸等）并施加动力荷载（例如强夯、冲压等），促进软土排水压密固结的地基处理方法。

**2.1.6**竖井夯实法shaft drainage tamping method

通过在饱和软土中设置竖向排水体（如：砂井、袋装砂井、塑料排水板等），并利用强夯、冲压等动力作用促使其加速排水压密固结的地基处理方法。

**2.1.7**复合排水夯实法 composite drainage tamping method

通过在饱和软土地基中设置快速排水体系（主动抽排：如轻型井点、真空泵吸等；排水通道：如塑料排水板、袋装砂井、砂石井等），并结合利用软土表面静覆盖压力（如：砂垫层、硬壳层、填土层等）、动力荷载（如：强夯、冲压等）及其残余后效力作用促使其加速排水压密固结的地基处理方法。

**2.1.8**土体固化法 soil consolidation method

通过使用固化剂来改变土体的物理和力学特性，使其达到工程要求的地基处理方法。

##  符 号

**2.2.1**作用和作用效应

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *F*k | *——* | 荷载标准组合下，作用于承台顶面的竖向力； |
| *G*k | *——* | 承台自重和承台上覆土体有效重力，对稳定地下水位以下部分应采用浮重度计算； |
| *H*k | *——* | 荷载标准组合下，作用于承台底面的水平力； |
| *Hi*k | *——* | 荷载标准组合下，作用于第*i*基桩或复合基桩顶的水平力； |
| *M*xk、*M*yk | *——* | 荷载标准组合下，作用于承台底面且绕通过桩群形心的*x*、*y*主轴的力矩值； |
| *N*k | *——* | 荷载标准组合轴心竖向力作用下，作用于基桩或复合基桩顶的竖向力； |
| *Ni*k | *——* | 荷载标准组合偏心竖向力作用下，作用于第*i*基桩或复合基桩顶的竖向力。 |

**2.2.2**抗力和材料性能

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *f*cu | *——* | 桩身混凝土试件（边长为150mm的立方体）标准养护28d的立方体抗压强度平均值； |
| *q*s*i*k | *——* | 单桩的第*i* 层岩土的极限侧阻力标准值； |
| *q*pk | *——* | 单桩的极限端阻力标准值； |
| *Q*sk*、Q*pk | *——* | 单桩总极限侧阻力、总极限端阻力标准值； |
| *Q*uk | *——* | 单桩竖向极限承载力标准值； |
| *R* | *——* | 基桩或复合基桩竖向承载力特征值； |
| *R*a | *——* | 单桩竖向抗压承载力特征值； |
| *R*ta | *——* | 单桩竖向抗拔承载力特征值； |
| *f*sk | *——* | 处理后的桩间土承载力特征值； |
| *f*spk | *——* | 复合地基承载力特征值； |
| *T*uk | *——* | 桩基呈非整体破坏时基桩的极限抗拔承载力标准值。 |

**2.2.3**几何参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *A*p | *——* | 桩身截面积或桩端面积； |
| *d* | *——* | 桩身设计直径； |
| *li* | *——* | 桩周或桩群外周第*i*层岩土的厚度； |
| *u* | *——* | 桩身周长； |
| *u*l | *——* | 桩群外围周长。 |

**2.2.4**计算系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *K* | *——* | 抗压桩的承载力综合安全系数； |
| *K*t | *——* | 抗拔桩的承载力综合安全系数； |
| λ*i* | *——* | 基桩抗拔系数； |
| *β* | *——* | 桩间土承载力发挥系数； |
| *η*c | *——* | 承台效应系数； |
| *ψ*c | *——* | 基于岩土类别的成桩工艺系数； |
| *ψ*1 | *——* | 土层液化影响折减系数。 |

#  基本规定

## 一般规定

**3.1.1** 软土地区勘察时，应查明软弱土层的成因类型、均匀性、组成、分布范围特征和固结历史、结构性、灵敏度等土质情况，对软土地基静动荷载下的强度、变形及其稳定性做出评价。

**3.1.2**软土地区钻探取样应采用单动双管薄壁原状取土器；原位测试宜采用十字板剪切、多桥静力触探、标准贯入、孔压静力触探（CPTU）、旁压仪等技术方法。

**3.1.3** 当拟建建筑物位于抗震设防烈度7度或7度以上地区，应分析场地和地基的地震效应，对场地软土震陷可能性作出判定。

**3.1.4**根据软土地区地基复杂程度、建筑物规模和特征以及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度，将地基基础设计分成三个等级，设计时应根据具体情况，按表3.1.4选用。

**表3.1.4** **地基基础设计等级**

|  |  |
| --- | --- |
| 设计等级 | 建筑和地基类型 |
| 甲级 | 重要的工业与民用建筑；30层以上的高层建筑；体形复杂、层数相差超过10层的高低层连成一体建筑物；大面积的多层地下建筑物（如地下车库、商场、运动场等）；对地基变形控制有特殊要求的建筑物；复杂地质条件下的坡上建筑物（包括高边坡）；对原有工程影响较大的新建建筑物；场地和地基条件复杂的一般建筑物；二层及二层以上地下室的基坑工程。 |
| 乙级 | 除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物。 |
| 丙级 | 场地和地基条件简单、荷载分布均匀的七层及七层以下民用建筑及一般工业建筑；次要的轻型建筑物。 |

**3.1.5**软土地区设计时，应对建筑体型、荷载情况、结构类型和地质条件进行综合分析，确定合理的建筑措施、结构措施方法，当软土地基承载力或变形不能满足设计要求时，地基处理可选用换填法、排水静力固结法、排水动力固结法、土体固化法、复合地基法、桩基等方法。地基处理及桩基础施工应进行质量检验，作为地基基础分项或分部工程验收的组成部分。

**3.1.6** 根据建筑物地基基础设计等级及长期荷载作用下地基变形对上部结构的影响程度，软土地区地基基础设计应符合下列规定：

**1**地基计算应满足承载力计算的有关规定；

**2** 地基基础设计等级为甲级、乙级的建筑物均进行地基变形计算；

**3** 表**3.1.4**所列范围内设计等级为丙级建筑物可不作变形验算，但如有下列情况之一时，仍应作变形验算：

**1）**地基承载力特征值小于130kPa，或体形复杂的建筑；

**2）**在基础上及其附近有地面堆载或相邻基础荷载差异较大，可能引起地基产生过大的不均匀沉降时；

**3）**软土地基上的建筑物存在偏心荷载时；

**4）**软土地基上的相邻建筑物如距离过近，可能发生倾斜时；

**5）**地基内有厚度较大或厚薄不均的填土，其自重固结未完成时。

**4** 软土地基变形计算值按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007有关公式计算，并应参照当地已有建筑物的沉降观测资料与经验确定沉降计算经验系数。如有欠固结土存在，应计算土的自重压密固结产生的附加变形。

**5** 软土地区的建筑物地基的沉降量、沉降差、倾斜、局部倾斜不应大于地基变形允许值，沉降控制标准可根据固结度法、沉降速率法、工后沉降法结合工程经验确定。工后沉降绝对值控制标准应根据建筑物地基变形允许值选用，工后不均匀沉降控制指标不宜大于3‰。

**6** 对经常受水平荷载作用的高层建筑、高耸结构和挡土墙等，以及建造在斜坡上或边坡附近的建筑物和构筑物，尚应验算其稳定性；

**3.1.7**地基基础设计时，所采用的荷载效应最不利组合应按下列规定：

**1** 按修正后地基承载力特征值确定基础底面积及埋深或按单桩承载力特征值确定桩数时，传至基础或承台底面上的荷载效应应取正常使用极限状态下荷载作用的标准组合。

**2** 计算地基变形时，传至基础底面上的荷载效应应取正常使用极限状态下荷载作用的准永久组合，不应计入风荷载和地震作用。相应的限值应为地基变形允许值。

**3** 计算挡土墙土压力、地基或斜坡的稳定及滑坡推力等时，荷载效应应取承载能力极限状态下荷载效应的基本组合，分项系数均取1.0。

**4** 在进行基础结构构件的截面强度设计或验算时，上部结构传来的荷载作用组合和相应的基底反力，应按承载能力极限状态下荷载作用的基本组合，采用相应的分项系数。当需要验算基础变形、裂缝宽度时，应按正常使用极限状态下作用的标准组合。

**5** 基础设计安全等级、结构设计工作年限、结构重要性系数应按有关规范的规定采用，但结构重要性系数*γ*0不应小于1.0。

**3.1.8** 软土地区建筑物设计工作年限及耐久性设计，应符合现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153的规定。

**3.1.9**对于软土地区支护结构安全等级为一级、二级的基坑工程，除应对支护结构变形及基坑周边土体的变形进行计算，并应进行周边环境影响的分析评价外，尚应对开挖后基坑坑底隆起进行验算。

**3.1.10** 对软土地区甲类建筑和乙类中的重要建筑，应在设计文件中注明沉降观测点的位置和观测要求，并应注明在施工和使用期间进行沉降观测。工程桩施工、基坑支护结构（桩、墙）施工、基坑预降水、承压水抽降、基坑开挖等全过程应严格按设计要求进行变形控制和监测，并应实施动态设计和信息化施工。

#  勘 察

## 一般规定

**4.1.1** 软土地区岩土工程勘察可根据工程建设需要划分为可研阶段勘察、初步勘察阶段和详细勘察阶段，当工程需要时可增加施工勘察、补充勘察、专项勘察等。

**4.1.2** 当软土地区需要进行地基处理时，应在地基处理前后分别按照详细勘察要求进行软土场地勘察。

4.1.3 软土地区岩土工程勘察等级可按工程重要性等级，软土场地和地基的复杂程度划分为甲、乙、丙三级，参见表4.1.3。

**表 4.1.3.** **软土地区勘察等级**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  工程重要性等级场地和地基复杂程度  | 一级 | 二级 | 三级 |
| 复杂 | 甲级 | 甲级 | 甲级 |
| 中等复杂 | 甲级 | 乙级 | 乙级 |
| 简单 | 甲级 | 乙级 | 丙级 |

**4.1.4**  勘察作业前应根据任务书及相关勘察研究编制勘察纲要，重大项目的勘察纲要宜进行专门论证或评审。各勘察阶段的勘察工作应根据勘察目的有针对性的选用勘察方法，包括原位测试方法。

**4.1.5**  勘察过程中宜采用勘察信息化作业，提供三维地成果。

## 各阶段勘察重点

**4.2.1** 可研阶段勘察重点在选址场地的稳定性和适宜性，勘察要点为：

**1** 搜集区域地质资料、场地周边工程资料、了解场地的地基处理历史情况；

**2** 以现场踏勘、调查等方式为主；当条件复杂时增加工程地质调查、测绘和钻探、原位测试等工作；

**3**、初步评价场地和地基的地震效应，对建设场地稳定性和适宜性进行评价。

**4.2.2** 初步勘察阶段为初步确定建筑物平面布置和地基基础方案初步确定提供依据，勘察要点为：

**1** 初步查明场地地层结构、年代、成因，软土的分布范围，土层的基本物理力学性质；

**2** 初步查明地表硬壳层的分布于厚度，下伏硬土层和浅埋基岩的埋藏条件与起伏；

**3** 初步查明场区不良地质作用发育特征，对场地稳定性的影响程度及发展趋势；

**4** 初步查明场地微地貌的形态，暗埋的古河道、塘、浜、沟、坑、穴等的分布范围；

**5** 对抗震设防烈度等于或大于6度的地区，划分对建筑抗震有利、不利或危险的地段，判定场地的地震效应；

**6** 初步查明场地水文地质条件及冻结深度；

**7** 初步评价场地稳定性和适宜性。

**4.2.3**  详细勘察阶段应在初步勘察的基础上进行下列工作：

**1** 查明建筑物范围内的地层成因类型、结构、分布规律及其物理力学性质，软土的固结历史、水平向和垂直向的均匀性、结构破坏对强度和变形特征的影响，地表硬壳层的分布于厚度、下伏硬土层或基岩的埋深和起伏，分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载力；

**2** 查明场地微地貌的形态，暗埋的古河道、塘、浜、沟、坑、穴等的分布、埋深，并查明回填土的工程性质、范围和填埋时间；

**3** 查明地下水的埋藏条件，提供地下水位及其变化幅度；

**4** 判定水和土对建筑材料的腐蚀性；

**5** 提供地基强度与变形计算参数，预测建筑物的变形特征和稳定性；

**6** 对抗震设防烈度等于或大于6度的地区，提供勘察场地的抗震设防烈度、设计基本地震动加速度和设计地震分组，划分场地类别，划分对建筑抗震有利、不利或危险的地段；

**7** 提供深基坑开挖后，边坡稳定性计算、支护和降水设计所需的岩土参数，分析开挖、回填、支护、地下水控制、桩施工、沉井等对软土应力状态、强度和压缩性的影响。

**4.2.4** 应提供地基承载力参数，变形计算参数：

**1** 地基承载力宜采用静力触探、十字板剪切、轻型动力触探、旁压试验等方法确定；

**2** 对考虑应力历史对粘性土压缩性的影响时，应提供各土层的前期固结压力（*p*c）以及超固结比（OCR）、压缩指数（*C*c）、回弹指数（*C*s）值。

**4.2.5** 桩基工程勘察应提供可能采用桩型的计算参数，包括侧摩阻、桩端承载力、抗拔参数、变形参数等。

**4.2.6**  地基处理勘察应根据软土的特点，结合建筑物性质、荷载特点和变形控制要求，对可能选用的地基处理方法提供设计和施工所需要的岩土参数。

**4.2.7** 基坑工程勘察应提供基坑设计所需要的地层结构、岩土的物理力学性质指标及含水层水文地质参数指标等，主要包括：

**1** 土层直接快剪强度指标、固结不排水抗剪强度指标、不固结不排水抗剪强度指标或十字板原位测试指标等；

**2** 土层渗透系数、物理力学参数等；

**3** 坑底土层回弹模量；

**4** 含水层承压水头高度。

## 原位测试

**4.3.1** 原位测试的试验项目、测定参数、主要试验目的可按表 4.3.1.确定。

**表 4.3.1.** **软土地区岩土工程勘察原位测试项目**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 试验项目 | 测定参数 | 主要试验目的 |
| 静力触探 | 双桥锥尖阻力（*q*c）、侧壁摩阻力（*f*s）、摩阻比（*R*f）、孔压静力触探的孔隙水压力（*u*） | 1、判定土层均匀性和划分土层；2、选择桩基持力层，估算单桩承载力；3、估算地基土承载力和压缩模量；4、判定沉桩可能性；5判别地基土液化可能性及等级 |
| 孔压静力触探 | 锥尖阻力（*q*c）、侧壁摩阻力（*f*s）贯入孔孔隙水压力（*u*0）及消散孔隙水压力（*u*1） | 1、判定土层均匀性和划分土层；2、选择桩基持力层，估算单桩承载力；3、估算地基土承载力和压缩模量；4、判定沉桩可能性；5判别地基土液化可能性及等级 |
| 标准贯入试验 | 标准贯入击数（*N*） | 1判定土层均匀性和划分土层；2判别地基土液化可能性及等级；3估算地基土承载力和压缩模量；4选择桩基持力层，估算单桩承载力；判断沉桩可能性。 |
| 十字板剪切试验 | 不排水抗剪强度（*C*u）和残余强度（*C*u`） | 1测定原位应力条件下黏性土的不排水抗剪强度（Cu）；2估算软黏性土的灵敏度；3判断软黏性土的应力历史 |
| 载荷试验 | 比例界限压力（*p*0）、极限压力（*p*L）、压力与变形关系 | 1确定地基土承载力；2估算地基土的变形模量；3计算地基土的基床系数 |
| 旁压试验 | 初始压力（*p*0）、临塑压力（*p*y）、极限压力（*p*L）和旁压模量（*E*m） | 1测求地基土的临塑荷载和极限荷载，评定地基土的承载力和变形参数；2计算土的侧向基床系数；3自钻式旁压试验可确定土的原位水平应力和静止侧压力系数 |
| 扁铲侧胀试验 | 侧胀模量（*E*D）、侧胀土性只靠（*I*D）、侧胀水平应力指数（*K*0）、侧胀孔压指数（*U*0） | 1划分土层和判别土类；2计算土的侧向机床系数 |
| 波速测试 | 压缩波速（*V*p）、剪切波速（*V*a） | 1划分场地类别；2提供场地土动力参数、3估算场地卓越周期 |

**4.3.2**  采用静力触探或孔压静力触探方法评价土的强度和变形指标时，应结合本地区经验取值。应用静力触探曲线分层时，应综合考虑土的类别、成因和地下水条件等因素。

**4.3.3** 软土的抗剪强度可采取十字板剪切试验测定。对重荷载的大型建筑，应测定其参与强度并计算灵敏度。

**4.3.4** 用载荷试验确定地基承载力时，承压板面积不宜小于1.0m2。承载力特征值的选用，应根据压力和沉降、沉降与时间关系曲线的特征，结合地区经验取值。

**4.3.5** 场地土的动力参数可采用弹性波速单孔法测试，测点间距宜采用1.0m~1.5m。当地层复杂时，宜采用跨孔法，两测孔间距宜采用4.0m~5.0m,并应测量孔的倾斜度。

## 取土样与土工实验

**4.4.1**  软土土工试样的质量以及所使用取土器，应根据工程要求满足土样的质量等级要求。土工试样质量等级应符合现行标准《软土地区岩土工程勘察规程》JGJ83的规定。

**4.4.2**  软土土工试验应包括土的物理力学性质指标测试和地下水分析。实际试验项目应根据工程性质、基础类型、荷载条件和土质特性等因素综合选择。试验方法、技术标准及仪器设备，应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T5023的规定。

**4.4.3** 对软土常规固结试验，第一级压力应根据土的有效自重压力确定，并宜用12.5kPa、25kPa或50kPa，最后一级压力应大于土的有效自重压力与附加应力之和。

**4.4.4** 当采用压缩模量进行沉降计算时，试验成果可用孔隙比－压力（*e*-*p*）曲线整理，压缩系数和压缩模量的计算应取自土的有效自重压力至土的有效自重压力和附加压力之和的压力段。当考虑基坑开挖卸荷和再加载影响时，应进行回弹试验，其压力的施加应模拟实际的加、卸荷状态。

**4.4.5** 当考虑土的应力历史进行沉降计算时，试验成果应按孔隙比-压力对数（*e*-lg*p*曲线）曲线整理，并应确定前期固结压力（*p*c）、计算压缩指数和回弹指数。施加的最大压力应能满足绘制完整的*e*-lg*p*曲线的要求，并应在估计的前期固结压力之后，进行一次卸荷回弹，再继续加荷，直至完成预定的最后一级压力。

土的固结状态应按下列规定确定：

**1** 当*p*c/*p*0小于1时，应确定为欠固结土；

**2** 当*p*c/*p*0等于1时，应确定为正常固结土；

**3** 当*p*c/*p*0大于1时，应确定为超固结土；

**4.4.6**　对设计等级为甲级的工程或有特殊要求的工程，应采用三轴剪切试验测定黏性土的抗剪强度。三轴剪切试验的试验方法应按下列条件确定。

**1** 对饱和黏性土，当采取快速加荷速率时，宜采用不固结不排水（UU）试验；对饱和软土试验应在有效自重压力下预固结后再进行试验；

**2** 对经预压处理的地基、排水条件好的地基，采取慢速加荷速率时，可采用固结不排水（CU）试验；当需要提供有效应力抗剪强度指标时，应采用固结排水试验测定孔隙水压力。

**4.4.7** 软土的静弹性模量可在应力控制式三轴压缩仪上在侧压力侧向压力*σ*2与*σ*3相等条件下，用轴向反复加、卸荷的方法确定，且垂直压力的施加应模拟实际加、卸荷的应力状态。

**4.4.8** 软土的动力特性试验，施加荷载的波形、频率、振幅、持续时间，试样的固结应力和破坏标准，以及操作方法和成果整理等，均应先编制能满足工程需要的试验方案。

## 地下水

**4.5.1**  软土地区进行地下水勘察，应查明地下水的性质和变化特点，为设计施工提供有关的地下水参数，分析评价地下水对地基基础设计、施工和环境的影响，预估可能产生的危害，提出预防和处理措施建议。

**4.5.2** 在初勘阶段宜布置一定数量的长期水位观察孔及测试孔，对场地周边的水文地质数据进行采集、汇总和分析。

**4.5.3** 软土地区地下水勘察，应根据工程需要重点查明下列内容：

**1**、在江、河、湖、滨海等地区，应查地表水与地下水的水力联系；

**2**、地下水的补给排泄条件，与工程相关的含水层相互之间的补给关系；

**3**、地下水腐蚀性和污染情况；

**4**、常水位与动水位、地下水位年变幅、最高水位与抗浮设防水位等

**4.5.4** 评价地下水对结构的上浮作用时，宜通过专项研究确定抗浮设计水位。

## 软土的工程评价

**4.6.1**  根据工程重要性等级和场地地基的复杂程度，软土的岩土工程评价应包括下列内容：

**1** 评价地基产生失稳和不均匀变形；

**2** 根据室内试验、原位测试结合当地经验，综合确定软土地基承载力：

**1**）软土成层条件、应力历史、结构性、灵敏度等力学特性和排水条件；

**2**）上部结构类型、刚度、荷载性质和分布，对不均匀沉降的敏感性；

**3**）基础的类型、尺寸、埋深和刚度等；

**4**）施工方法、加荷速率对软土性质的影响。

**3** 当建筑物相邻高低层荷载相差较大时，应分析其变形差异和相互影响；当地面有大面积堆载时，应分析对相邻建筑物的不利影响；

**4** 地基沉降计算可采用分层总和法或土的应力历史法，并应根据土的双层土地基，应进行下卧层验算。

**4.6.2**  软土场地和地基的地震作用评价应包括下列内容：

**1** 划分建筑场地抗震地段，评价建筑场地类别，提供抗震设计的地震动参数；

**2** 对可能发生液化的场地与地基，应判别液化土层，确定液化等级和液化深度；

**3** 对可能发生震陷的场地和地基，应判别软土震陷，工程需要时应进行专门的软土震陷量计算。

# 设计原则

## 一般规定

**5.1.1** 当地基存在成层的淤泥、淤泥质土或其他高压缩性土时，应按软土地基进行设计，并应采取减轻建筑物受地基变形危害的措施。

**5.1.2** 软土地基的设计应进行地基承载力和地基变形控制的验算，并根据使用条件进行地基稳定性验算。

**5.1.3** 当软土地基的承载力和变形均能满足设计和使用要求，且场地不存在稳定性问题时，可考虑直接利用软土地基。设计时应考虑上部结构和地基的共同作用（地基模型应原理正确、概念清楚，计算参数选取应符合实际工况及土的应力历史，计算结果应真实可靠、分析判断正确），对建筑类型、结构类型、荷载分布情况、地基条件和经济指标等进行综合分析，确定合理的建筑措施、结构措施和基础方案。

**5.1.4**  当软土地基的承载力或变形不能满足设计和使用要求时，应对软土地基进行加固处理，或采用桩基等，满足设计和使用要求。

**5.1.5** 地基基础设计应考虑新建建筑物与相邻建筑物或市政设施的相互不利影响。

**5.1.6**  相邻建筑物荷载或基础埋置深度差异较大时，宜先建深、重、高的部分，后建浅、轻、低的部分。同一建筑物各部分施工加载应保持均衡，必要时控制加载速率和加载间隔时间。

**5.1.7**  基坑（槽）的土方开挖，应分区、分层进行，并应考虑由于卸载引起的坑底地基土的回弹变形和边坡的稳定。同时应注意做好基础底面的土层保护，及时进行垫层施工，尽量减少扰动。

**5.1.8**  软土地基应加强施工监测和使用期的变形观测。监测和观测的周期应确保建筑物变形已达到稳定标准。

## 建筑和结构设计原则

**5.2.1** 建筑场地选址应优先选择场地稳定、工程地质条件良好的地段，并应符合下列规定：

**1** 宜避开软弱土、液化土、河岸和边坡的边缘，以及平面分布上成因、岩性、状态明显不均匀的土层（含故河道、疏松的断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基）等不利地段，当无法避开时应采取有效措施消除不利地段的影响。

**2** 应避开河道冲刷、洪水淹没、区域性大面积沉陷等可能危及场地安全的地段。

**3** 应避开不良地质作用发育区。对地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等及发震断裂带上可能发生地表位错的部位危险地段，严禁建造甲、乙类的建筑，不应建造丙类的建筑。

**5.2.2** 利用软土地基作为主要持力层时，应符合下列规定：

**1** 有条件时可利用其上覆较好的土层作为持力层；当上覆土层较薄，应采取避免施工时对淤泥和淤泥质土扰动的措施；

**2** 基础平面形心宜与结构竖向永久荷载重心重合；

**3** 建筑层数一般不宜超过3层。

**5.2.3** 在满足使用功能和其它要求的前提下，建筑物体型应力求简单。

**5.2.4** 当建筑体型较复杂时，宜根据其平面形状和高度差异情况，在适当部位用沉降缝将其划分成若干个刚度较好的单元。建筑物的下列部位宜设置沉降缝：

**1**  建筑平面的转折部位；

**2**  高度差异或荷载差异处；

**3**  长高比过大的砌体承重结构或钢筋混凝土框架结构的适当部位；

**4**  地基土的压缩性有显著差异处；

**5**  建筑结构或基础类型不同处；

**6**  分期建造房屋的交界处。

**5.2.5** 沉降缝应贯通基础和上部结构，沉降缝两侧基础差异沉降不宜大于30mm。沉降缝应有足够的宽度，房屋建筑沉降缝宽度宜满足表5.2.5的要求，并应满足抗震缝宽度的要求。

**表5.2.5 房屋建筑沉降缝宽度**

|  |  |
| --- | --- |
| 房屋建筑地上层数 | 沉降缝宽度(mm) |
| 二~三四~五五层以上 | 60~8080~120≥120 |

**5.2.6** 地基基础采用天然地基或复合地基上的浅基础时，相邻建筑物基础之间的净间距，应根据预估沉降及建筑物长高比按表5.2.6确定。

**表5.2.6 相邻建筑物基础间的净距（m）**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  被影响建筑物的长高比影响建筑物的预估中心沉降量(mm) | *L*/*H*f≤2.5 | 2.5<*L*/*H*f<5.0 |
| 70~150 | 2~3 | 3~6 |
| 150~250 | 4~6 | 6~9 |
| 250~400 | 6~9 | 9~12 |
| ＞400 | 9~12 | ≥12 |

注：1 表中*L*为建筑物长度或沉降缝分隔的单元长度（m）；*H*f为自基础底面标高算起至建筑物主要屋面的高度（m）。

2 当被影响建筑物的长高比为1.5<*L*/*H*f<2.0或基础刚度较好时，基础间净距可适当缩小。

3 当被影响建筑物属于对变形有严格要求的建筑物时，基础间净距应通过计算确定。

**5.2.7**  相邻高耸结构或对倾斜要求严格的构筑物的外墙间隔距离，应根据倾斜允许值计算确定。

**5.2.8** 建筑物各组成部分的标高，应根据基础的预估沉降值，采取下列相应措施适当调整：

**1** 室内地坪和地下设施的标高应予以抬高；建筑物各部分（或设备之间）使用功能有联系时，可将沉降较大者标高予以提高；

**2** 应考虑建筑物与设备之间的沉降差，并留有足够的净空；

**3** 建筑物有管道穿过时，应预留足够尺寸的孔洞，管道应采用柔性接头等；

**4** 必要时，可在建（构）筑物（如油罐）的承重构件中，设置可调基础。

**5.2.9** 当建筑物室内地面填土较厚或地面使用荷载较大时，应考虑室内地面与建筑物基础之间差异沉降的影响，室内地面可采用能隔断沉降传递的刚性地坪等做法。

**5.2.10** 为减少建（构）筑物沉降和不均匀沉降，可采用下列措施：

**1** 选用轻质高强材料和轻型结构，减轻墙体自重，采用架空地板代替室内填土；

**2** 在预估建（构）筑物最终沉降量满足允许变形值的条件下，基础宜浅埋，充分利用浅层“硬壳层”作为持力层或利用经过预压的场地作为建（构）筑物的天然地基；

**3** 设置地下室、半地下室或架空层等，宜采用覆土少、自重轻的基础形式；

**4** 同一结构单元宜采用同一类型基础；同一结构单元的基础宜设置在同一标高和性质一致的土层上；

**5** 增强上部结构刚度，基底以上结构竖向荷载永久组合的合力作用点宜与基础底面形心重合；

**6** 调整各部分的荷载分布，调整基础尺寸和埋置深度，增强基础整体刚度，减少基底附加应力；

**7** 对不均匀沉降要求严格的建（构）筑物，可选用较小的基底压力。

**5.2.11**  对于建筑体形复杂、荷载差异较大的框架结构，可采用交叉条形基础、筏形基础、箱形基础或桩基础等加强基础整体刚度，减少不均匀沉降。

**5.2.12**  对于砌体承重结构的房屋，宜采用下列措施增强整体刚度和承载力：

**1** 三层和三层以上的房屋，长高比*L*/*H*f不宜大于2.5；当房屋的长高比为2.5＜*L*/*H*f≤3.0时，宜合理布置纵横墙，做到纵横墙不转折或少转折，并应控制其内横墙间距或增强基础刚度和承载力。当房屋的预估最大沉降量不大于120mm时，其长高比可适当放宽。

**2** 结合抗震构造要求，在墙体内设置钢筋混凝土圈梁和构造柱。

**3** 在多层房屋的基础和顶层处应各设置一道圈梁，其他各层可隔层设置，必要时也可逐层设置。单层工业厂房、仓库，可结合基础梁、连系梁、过梁等酌情设置。

**4** 圈梁应设置在外墙、内纵墙和主要内横墙上，并宜在平面内连成封闭系统。

**5** 在房屋的外转角、纵横墙交接处的适当部位、墙体开洞过大处的两侧以及荷载较大处，宜设置钢筋混凝土构造柱，墙体开洞较大处宜在洞顶处设置钢筋混凝土过梁、洞底处设置钢筋砂浆加强带或钢筋混凝土板。

**6** 构造柱与墙体之间应有可靠的连接。

**5.2.13** 单层排架结构的厂房和仓库内有较大吊车或大面积地面堆载时，可采用对不均匀沉降不敏感的结构，如铰接排架、三角拱等结构，减小因地基发生不均匀沉降引起的结构附加应力。

**5.2.14**  对于单层工业厂房和库房，宜采取下列结构措施：

1 对于单层工业厂房或中、小型仓库，宜采用静定结构。

2 经计算的柱基础倾斜值大于0.0015时，应适当加大柱的配筋，并加强柱与屋架的节点连接，必要时应验算屋架下弦出现压应力的可能性，尤其对于变截面小柱内侧应适当增加钢筋，并加大建筑物的净高尺寸，以便使用时调整。

**3** 防止或减轻吊车梁由于地基不均匀变形而产生的不良后果，可选取如下措施：

**1）**采用刚度较大与强度较高的柱断面型式；

**2）**适当加大吊车梁顶面至屋架下弦的净空，适当加宽吊车梁边缘至上柱边缘的距离，以便在必要时调整吊车梁；

**3）**吊车梁与柱子采取便于调整高程和水平位置的连接方式；

**4）**当填土厚度较大且有大面积堆载或有振动荷载时，宜设置基础横向拉梁或增强桩的侧向刚度、填土密实度等。

**5.2.15** 对活荷载较大的建（构）筑物，如储料仓、油罐、水池、仓库等，在使用初期应根据沉降观测情况控制加载速率，控制加载间隔时间，分期、分部位堆载以调整活荷载分布、控制不均匀沉降。当活荷载产生的附加沉降可能妨碍建（构）筑物正常使用时，应对堆载引起的附加沉降进行验算，并根据需要采用下列措施：

**1**  堆载地坪下采用地基加固措施；

**2**  主体结构采用桩基，并应考虑地面堆载对桩基的影响；

**3**  堆载地坪可采用隔断应力和沉降传递的刚性板体系；

**4**  对于在使用过程中允许调整吊车轨道的单层钢筋混凝土工业厂房和露天车间的天然地基设计，应考虑在使用过程中垫高或移动吊车轨道和吊车梁的可能性。应增大吊车顶面与屋架下弦间的净空和吊车边缘与上柱边缘间的净距。并应按吊车轨道可能移动的幅度，加宽钢筋混凝土吊车梁腹部及配置抗扭钢筋。

**5.2.16**  多层框架及框架剪力墙结构房屋，当地基主要受力层范围内有软弱粘性土、液化土层、严重不均匀土层以及相邻柱基荷载差异较大时，独立基础之间应设拉梁。

**5.2.17** 大跨度建（构）筑物的结构选型宜符合以下原则：

**1** 截面轻量化：通过优化截面形式、选用高强轻质材料，减轻自重；

**2** 弯曲应力最小化：通过体系或形式改变，减小弯曲应力：

**3** 选用对温度、支座沉陷、地震等作用不敏感的结构型式：

**4** 传力路径应明确清晰；

**5** 应考虑软土场地对结构的施工条件、加工工艺、安装方式的局限性。

**5.2.18** 当建筑物的长高比大于2.5时，为减少房屋纵向挠曲沉降，宜采用下列措施：

**1** 当采用筏板基础时，纵向两端挑出长度从轴线算起一般不宜大于1000mm。横向挑出可为不等宽，即中部较宽，两端较窄，当横向挑出长度大于1500mm时，宜增设基础挑梁；

**2** 其他类型基础宜采取降低建筑物中部基底附加应力的措施。

## 地基基础选型

**5.3.1** 以软弱土层作为持力层时，应符合下列规定：

**1** 未经地基处理的淤泥土层和淤泥质土层不应作为基础持力层。对软土地区，当存在较厚的（厚度大于5m，且地基稳定性满足要求）上覆土层，可选择作为轻型建筑的持力层。地基基础施工时，应避免对淤泥和淤泥质土等软土的扰动；

**2** 密实度较大（密实度大于0.96）并经处理的冲填土、建筑垃圾及工业废弃料填埋场地时，且下卧层为非高压缩性土层时，可利用作为轻型建筑物地基的持力层。

**3** 建筑场地有新近填土时，地基承载力及变形验算应考虑填土自重压力的附加作用及填筑时间的影响。

**5.3.2**  对于地基中存在局部软弱土层以及暗塘、暗浜等时，可采用换填、土体固化、设置增强体、基础梁架越等措施处理。

**5.3.3** 当软土地基承载力或变形不能满足设计要求时，可选用换填法、排水静力固结法、排水动力固结法、土体固化法、复合地基法、桩基等方法进行处理。

**5.3.4** 土体固化法适用于处理淤泥、淤泥质土以及吹填土等软土地基。根据处理深度，可分为浅层固化处理和深层固化处理两类，浅层固化处理软土地基的深度宜小于3m。固化剂可采用水泥、石灰、粉煤灰、矿渣以及各类成品固化剂，施工采用搅拌、注浆、旋喷等工艺。

**5.3.5** 对于较厚淤泥和淤泥质土地基，当承载力和沉降要求较高时，可采用复合地基或桩基进行处理。

**5.3.6** 对于软土地基上的多层建筑，当采用浅基础其天然地基承载力基本满足设计要求，但计算沉降量过大时，可采用沉降控制复合桩基进行处理。

**5.3.7** 对于软土地基上的高层建筑、超高层建筑、大跨建筑，宜采用桩基础。

**5.3.8** 当基础抗浮验算不满足式要求时，应采取必要的抗浮措施，如增加结构配重，基础底板下释放水压力，设置抗拔桩、抗浮锚杆等。软土地层不宜采用抗拔锚杆进行抗浮。

**5.3.9** 软土地基上应采用整体刚度较大的基础形式。地基基础设计等级为甲级时，宜优先选用桩基础，或桩箱、桩筏基础；地基基础设计等级为乙、丙级时，可选用交叉条形、梁式筏基或箱形基础，并调整基础的宽度和埋罝深度，采用架空板、减少台阶覆土等措施。

**5.3.10**  对于采用砌体结构的基础设计应符合下列规定：

**1** 宜采用钢筋混凝土条形基础，墙体内宜足够刚度的钢筋混凝土基础圈梁；

**2** 在墙体上开洞时，宜在开洞部位配筋或采用构造柱及圈梁加强；

**3** 为防止或减少窗台以下砌体裂缝的发生，根据墙体荷载分布情况、门窗口位置及墙体局部削弱情况等条件，可采取在首层窗台处沿外墙设置贯通的60mm厚的钢筋混凝土板带、在隔潮层部位设置高度不小于180mm的封闭式钢筋混凝土地圈梁、在适当部位设置短构造柱将地圈梁与基础圈梁拉结等措施。

**5.3.11** 对于多层建筑的基础设计应符合下列规定：

**1** 同一结构单元宜釆用同一类型的基础；同一结构单元的基础宜设置在同一标高和性质一致的土层上；

**2** 单桩承台，宜在两个相互垂直的方向上设置联系梁；两桩承台，宜在其短向设置联系梁；单排桩条形承台，宜在垂直于承台梁方向的适当部位设置联系梁；

**3** 承台联系梁宽度不宜小于250mm，其高度除按计算确定外，可取承台中心距的1/10～1/15；联系梁内上下部纵向钢筋直径不应小于12mm且不应少于2根，并应按受拉要求锚入承台

**4** 加强条形基础的刚度或采用十字交叉条基、筏板等刚度大的基础型式；

**5**上部建筑宜用轻质建筑材料，减少基础的上覆填土重量，可设置地下室、半地下室或架空层等以减少基底附加压力。

**5.3.12** 为减少建（构）筑物的沉降和不均匀沉降，可采用下列措施：

**1** 采用架空地板代替室内填土；

**2** 设置地下室或半地下室，采用覆土少、自重轻的基础形式；

**3** 调整各部分的荷载分布基础宽度或埋罝深度；

**4** 对不均匀沉降要求严格的建筑物，可选用较小的基底压力。

**5.3.13** 由主楼和裙楼组成的高层建筑，宜采用沉降后浇带等合理的施工程序和措施，减少后期沉降差，主楼和裙楼可连成整体而不设沉降缝。沉降后浇带的设计应符合下列规定：

**1** 沉降后浇带宜上下层对齐，后浇带的位置宜选在梁、板的变形反弯点附近，通常设置在裙房侧与高层建筑相邻的第一跨内；

**2** 后浇带宽度宜为700~1000mm，后浇带两侧可做成平直缝或阶梯缝，其防水形式宜采用遇水膨胀止水条、外贴式止水带、预埋止水钢板等方式；

**3**  后浇带内受力钢筋保持贯通，需采用合适的分析方法充分估计可能产生的不均匀沉降，以及由此产生的结构附加应力的部位和大小，设置加强钢筋；

**4** 在地下室结构施工过程中，当结构承受水平荷载时，在基础和各层结构留设沉降后浇带位置，应通过计算设置水平传力构件；

**5** 沉降后浇带混凝土封闭时间应根据设计要求并结合沉降观测确定，当差异沉降趋于稳定后方可封闭后浇带；

**6** 后浇带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。

## 地基变形和稳定性控制原则

**5.4.1** 建筑物地基基础设计等级不应低于乙级。

**5.4.2** 天然地基应按承载能力极限状态验算地基承载力，同时应按正常使用极限状态验算地基变形；位于边坡上或边坡附近的建筑物尚应按有关规定验算边坡稳定性。

**5.4.3** 天然地基竖向承载力宜按《建筑地基基础设计规范》GB5007附录C采用平板载荷试验确定；也可采用土的抗剪强度指标计算确定；如有可靠依据时，也可用其它原位测试方法或类似工程经验确定。

**5.4.4** 当采用土的抗剪强度指标计算天然地基竖向承载力时，应符合下列规定：

**1** 天然地基承载力特征值 可按下式计算：

 （5.4.4-1）

 （5.4.4-2）

 （5.4.4-3）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：*ψ*— | 地基承载力修正系数，按内摩擦角设计值*φ*d由表5.4.4-1查得； |
| *Nγ*、*Nq*、*Nc*— | 承载力系数，按内摩擦角设计值*φ*d由表5.4.4-2查得； |
| *c*d— | 地基土的黏聚力设计值（kPa），由公式（5.4.4-2）确定； |
| *φ*d*—* | 地基土的内摩擦角设计值（°），由公式（5.4.4-3）确定； |
| *b—* | 基础宽度（m），验算偏心荷载时，应取力矩作用方向的基础边长，大于6m时用6m计算； |
| *γ—* | 基础底面以下土的重度（kN/m3），地下水位以下取浮重度； |
| *c*k— | 土的黏聚力标准值（kPa），取直剪固快峰值强度指标的平均值； |  |
| *φ*k— | 土的内摩擦角标准值（°），取直剪固快峰值强度指标的平均值； |  |
| *λ*— | 土的抗剪强度指标标准值修正系数，取0.8； |  |
| *C:\Users\wjb\AppData\Local\Temp\ksohtml8020\wps16.png*— | 土的黏聚力分项系数，取2.7； |  |
| *C:\Users\wjb\AppData\Local\Temp\ksohtml8020\wps17.png—* | 土的内摩擦角分项系数，取1.2； |  |
| *C:\Users\wjb\AppData\Local\Temp\ksohtml8020\wps18.png、C:\Users\wjb\AppData\Local\Temp\ksohtml8020\wps19.png、C:\Users\wjb\AppData\Local\Temp\ksohtml8020\wps20.png—* | 基础形状系数，按不同情况由下列公式计算。 |

当为条形基础时：



当为矩形基础时：







*l—* 矩形基础的长度（m）；

*b—* 矩形基础的宽度（m），对于圆形基础，取*l*=*b*=*D*，*D*为圆形基础直径。

**表5.4.4-1 地基承载力修正系数表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *φ*d（°） | ≤16 | 18 | 20 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| *ψ* | 0.90 | 1.03 | 1.17 | 1.30 | 1.37 | 1.44 | 1.50 |

**表5.4.4-2地基承载力系数表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *φ*d（°） | *N* | *N*q | *N*c | *φ*d（°） | *N* | *N*q | *N*c |
| 0 | 0.00 | 2.00 | 5.14 | 13 | 0.78 | 2.12 | 9.81 |
| 1 | 0.01 | 2.00 | 5.38 | 14 | 0.97 | 2.15 | 10.37 |
| 2 | 0.01 | 2.00 | 5.63 | 15 | 1.18 | 2.18 | 10.98 |
| 3 | 0.02 | 2.00 | 5.90 | 16 | 1.43 | 2.22 | 11.63 |
| 4 | 0.05 | 2.00 | 6.19 | 17 | 1.73 | 2.26 | 12.34 |
| 5 | 0.07 | 2.00 | 6.49 | 18 | 2.08 | 2.30 | 13.10 |
| 6 | 0.11 | 2.00 | 6.81 | 19 | 2.48 | 2.35 | 13.93 |
| 7 | 0.16 | 2.00 | 7.16 | 20 | 2.95 | 2.40 | 14.83 |
| 8 | 0.22 | 2.00 | 7.53 | 21 | 3.50 | 2.46 | 15.82 |
| 9 | 0.30 | 2.00 | 7.92 | 22 | 4.13 | 2.52 | 16.88 |
| 10 | 0.39 | 2.00 | 8.35 | 23 | 4.88 | 2.58 | 18.05 |
| 11 | 0.50 | 2.07 | 8.80 | 24 | 5.74 | 2.65 | 19.32 |
| 12 | 0.63 | 2.09 | 9.28 | 25 | 6.76 | 2.72 | 20.72 |

**2** 天然地基极限承载力标准值fk采用土的抗剪强度指标计算时，可按照5.4.4条第1款进行，但在公式（5.4.4-2）和（5.4.4-3）中、均取1.0计算、，并相应查表计算。

**5.4.5** 当持力层下存在软弱下卧层，持力层厚度*h*1与基础宽度*b*之比小于等于0.7且大于等于0.25时，需考虑软弱下卧层对持力层地基承载力的影响，可采用双层体系的平均抗剪强度指标设计值按5.4.4条计算地基承载力设计值或极限承载力标准值。

平均抗剪强度指标设计值由公式（5.4.5-2）、（5.4.5-3）求得，式中的抗剪强度指标的标准值按下列公式计算：

 （5.4.5-1）

  （5.4.5-2）

式中：、—分别为持力层和软弱下卧层土的黏聚力标准值（kPa）；

、—分别为持力层和软弱下卧层土的内摩擦角标准值（°），当当**1k**2k时，取**k＝**1k。

＞0.7 时不计下卧层影响，按持力层指标计算地基承载力；

＜0.25时不计持力层影响，按下卧层指标计算地基承载力，计算时采用实际基础的埋置深度。

**5.4.6** 建筑物基础中心计算沉降量应小于地基允许变形值。相对变形值宜通过满足基础中心计算允许沉降量并采用本章的有关措施予以控制。地基允许变形值应根据建筑结构和基础类型及使用要求，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB5007表5.3.4取用。

**5.4.7** 地基变形应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007规定的分层总和方法进行计算，其中沉降计算经验系数应根据地区沉降观测资料及经验确定，且不宜小于1.0。

**5.4.8** 当建筑物地下室埋置较深时，应考虑基坑开挖时引起回弹、加荷后产生地基沉降；当地下构筑物因施工扰动四周土体时，应考虑由此产生的沉降。上述情况下的沉降量可参考类似工程并结合经验估计。

**5.4.9** 在同一整体大面积基础上建有多栋建筑时，应考虑上部结构、基础与地基的共同作用进行变形计算。

**5.4.10** 对于泥塘、滩涂、新近吹填土等场地，施工人员和设备进场前，宜对整个场地地基进行预加固处理。

**5.4.11**  对于采用桩基础的建（构）筑物，当地下室深度超过3层或基坑开挖深度超过15m时，应考虑基坑开挖引起坑底土回弹隆起对桩身受力与承载力的影响。

**5.4.12** 地基稳定性可采用圆弧滑动面总应力法进行验算，最危险滑动面上诸力对滑动中心所产生的抗滑力矩与滑动力矩不应小于1.25。

**5.4.13** 软土地基上大面积地面荷载包括建筑范围内的地面堆载或大面积填土（填料）荷载，应验算堆载或填土区域的地基承载力、变形与稳定性，同时验算对邻近建筑物、重要市政设施、地下管线等变形的影响；并应加强对邻近建筑物、重要市政设施、地下管线等的监测。

**5.4.14** 大面积填土和地面堆载的施加应均衡，并应根据使用要求、邻近结构类型和地质条件确定允许加荷量和范围，并按设计要求有控制地分期施加，避免大量、迅速、集中加荷。

**5.4.15**软土地基上大面积地面荷载附加沉降计算可参照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007附录N进行。大面积荷载对邻近建（构）筑物基础的影响可采用有限元等数值分析方法进行。

**5.4.16**验算大面积荷载下的地基承载力、变形与稳定性时，地基土工程特性指标中抗剪强度指标应取标准值或平均值。并应充分考虑堆载和使用期间等不同工况的荷载条件、排水固结条件以及其他条件的变化，对地基土工程特性指标的影响。

**5.4.17**对于存在大面积地面堆载的仓库、车间、展厅的设计，应考虑大面积地基变形对上部结构的不利影响，可根据条件和需要选择下列措施：

**1**地面堆载应划定范围，限制荷载，避免局部堆载和超载，地面堆载不应直接压在基础上方；

**2**在堆载地坪下采用桩基或地基加固处理措施，减少堆载区域的沉降量；

**3**在主体结构柱基与堆载区之间设隔离桩，减少堆载对桩基的影响；

**4**在主体结构柱下采用桩基、独立承台间设置联系梁等措施，对邻近堆载的工程桩采取加强桩身结构强度措施。

**5.4.18**对于存在大面积填土的设计，可根据条件和需要选择下列措施：

**1**设置架空层、采用轻质材料等措施减小填土重量；

**2**采用砂井、排水板等辅助排水措施，加速地基土的排水固结；

**3** 有条件时，利用填土进行分层堆载预压；

**4**采用真空预压或复合地基处理加固措施；

**5**对邻近大面积填土荷载的已建建筑物采取设置隔离屏障、对建筑物进行基础托换等保护措施。

**5.4.19** 当建（构）筑物基础存在浮力作用时，应进行抗浮稳定性验算。当建（构）筑物基础抗浮稳定性不满足设计要求时，应采取增加压重或设置抗浮构件等措施。抗浮构件宜穿过软土层进入性质较好的土层或岩层，处于软土层中的抗浮构件，其抗拔承载力取值宜考虑软土蠕变影响。

**5.4.20** 当采用抗拔桩抗浮时，其设计应符合下列规定：

**1** 抗拔桩应进行承载力和裂缝控制验算，并应在施工前进行单桩抗拔静载荷试验为设计提供依据。

**2** 采用预应力管桩作为抗拔桩时，应对预应力钢棒抗拉强度、端板孔口抗剪强度、接桩焊缝连接强度、桩顶与承台的连接构造等进行验算。

**3** 当抗拔承载力需求较大时，可采用扩底抗拔桩或桩侧后注浆抗拔桩。

**5.4.21** 地基主要受力层范围内存在软弱粘性土层时，应结合具体情况综合考虑，采用桩基、地基加固处理或下列各项措施，也可根据软土震陷量的估计，采取相应措施。

**1** 选择合适的基础埋置深度。

**2** 调整基础底面积，减少基础偏心。

**3** 加强基础的整体性和刚度，如采用箱基、筏基或钢筋混凝士交叉条形基础，加设基础圈梁等。

**4** 减轻荷载，增强上部结构的整体刚度和均匀对称性，合理设置沉降缝，避免采用对不均匀沉降敏感的结构形式等。

**5** 管道穿过建筑处应预留足够尺寸或采用柔性接头等。

**5.4.23** 震陷软土中桩的配筋范围，应自桩顶至液化深度以下符合全部消除液化沉陷所要求的深度，其纵向钢筋应与桩顶部相同，箍筋应加粗和加密。

**5.4.24** 对软土基坑周围的被保护对象，可选用下列地基加固方法和措施。当被保护的建筑物存在不均匀沉降或墙体、室外地坪出现裂缝、进出建筑物管线拉脱等情况时，不应采取注浆加固措施。

**1** 基坑开挖前，对邻近基坑的建筑物和地下设施等采用锚杆静压桩或树根桩进行基础托换；

**2** 基坑开挖前，在基坑和保护对象之间设置隔离桩墙等隔离措施；

**3** 对于基坑周边埋深较浅的管线，可采取暴露、架空等措施；

**4** 基坑开挖前，应调查被保护建筑的结构及室外地坪现状。具备允许注浆条件是，可在建筑物侧面和底部设置注浆管，对其土体注浆预加固；建筑物基础底部以下注浆深度不宜小于5m；地下管线底部以下注浆深度不宜小于2m；加固宜采用自上而下分层注浆的方法施工；

**5** 基坑开挖前，在基坑与保护对象之间预先设置注浆管，基坑开挖期间根据监测情况采用跟踪注浆保护；跟踪注浆宜采用双液注浆；跟踪注浆期间，除了对保护对象进行监测外，尚应加强对围护墙变形和支撑轴力等的监测。

**5.4.25**从减小软土地基扰动、控制变形角度，施工应符合下列规定：

**1** 对荷载差异较大的建（构）筑物，宜先建重、髙部分，后建轻、低部分；

**2** 活荷载较大的构筑物或构筑物群（如料仓、油罐），以及底层为仓库的厂房等建筑物，使用初期应根据沉降观测情况控制加载速率和加载间隔时间，调整活荷载分布，避免过大倾斜；

**3** 施工时应注意对软土基槽底面的保护，减少扰动；

**4** 采用挤土桩和部分挤土桩时，应采取消减孔隙水压力和挤土效应的技术措施，并应控制沉桩速率，减少挤土效应对成桩质量、邻近建筑物、道路、地下管线和基坑边坡等产生的不利影响；

**5** 当地下水位较高，施工期间采取临时降低地下水位。

#  地基处理

## 一般规定

**6.1.1**在选择软土地基处理方案前，应完成下列工作：

**1** 搜集已有的岩土工程勘察资料、了解处理区域功能分区、建筑布局以及上部结构和基础设计资料等；

**2** 根据工程要求确定地基处理的预期目的、实施步骤、处理范围和各项技术经济指标等；

**3** 结合工程情况，了解当地软土地基处理经验和施工条件，尤其是相似场地上同类工程的地基处理经验和使用情况等；

**4**  调查邻近建筑、地下工程、周边道路及有关管线等情况。

**6.1.2** 软土地基处理方法应按下列步骤确定：

**1**  应根据使用要求、荷载大小，结合土层结构、土质条件、地下水特征、环境情况和对邻近建构筑物的影响等因素进行综合分析，初步选择可行的地基处理方案，包括选择两种或多种地基处理措施组成的综合处理方案；

**2** 对初步选出的各种地基处理方案，分别从加固机理、适用范围、预期效果、耗用材料、施工设备、工期要求和对环境的影响等方面进行技术经济分析和对比，选择最佳地基处理方案；

**3** 对已选定的地基处理方案，应在场地有代表性的区域进行相应的现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，以检验设计参数和处理效果。如达不到设计要求时，应查明原因，修改设计参数或调整地基处理方案。

**6.1.3** 对于地表泥水混杂、滩涂，人员、设备很难甚至无法进入的面积较大的软土地基宜对包括建构筑物、道路管线在内的整个场区进行预处理，为后续施工作业创造条件，并使整个场区上部新近吹填土、淤泥、淤泥质土层基本完成压缩固结，减少后期沉降。对于承载力和沉降控制要求较高的建构筑物区域尚须根据具体情况采用复合地基、桩基等进行二次处理。

**6.1.4** 处理后的地基应进行地基承载力和变形检验、评价处理范围和有效加固深度内地基均匀性，以及复合地基增强体的成桩质量和承载力。

**6.1.5** 地基处理所采用的材料，应结合处理目的，根据场地类别符合有关标准对耐久性设计和使用的要求。

**6.1.6**地基处理施工中应有专人负责质量控制和监测，并做好施工记录；当出现异常情况时，应及时会同有关部门研究解决。施工结束后应按国家有关规定进行工程质量检验和验收。

## 换填法

**6.2.1** 换填法适用于浅层软弱土层或不均匀土层的地基处理。包括淤泥、淤泥质土、松散素填土、杂填土等地基处理以及暗塘、暗浜、暗沟等浅层处理和低洼区域的填筑。

**6.2.2** 换填厚度应根据置换软弱土的分布范围、深度以及下卧土层的承载力确定。

**6.2.3** 换填材料的选用应符合下列要求：

**1** 粗粒土料。如碎石、卵石、角砾、圆砾，其中粒径大于2mm的颗粒质量应大于总质量的50%，不均匀系数应大于或等于5，曲率系数宜为1～3，级配应良好；砂石最大粒径不宜大于50mm，不得含有植物残体、生活垃圾等杂质；

**2** 细粒土料。如砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂，其中粒径大于2mm的颗粒质量小于总质量的50%，土料中有机质含量不得大于5%，不得含有粒径大于100mm的黏土块、污染土和生活垃圾等；

**3** 灰土。体积配合比宜为2:8或3:7。石灰宜选用新鲜的消石灰，其最大粒径不得大于5mm。土料宜选用粉质黏土，不宜使用块状黏土，且不得含有松软杂质，土料应过筛且最大粒径不得大于15mm；

**4**  工业废渣料。在有充分依据或成功经验时，可采用性能稳定、无腐蚀性和无放射性危害的工业废渣料，但应经过现场试验证明其经济技术效果良好且施工措施完善后方可使用；

**5**  土工合成材料。加筋垫层所选用土工合成材料的品种与性能及填料，应根据工程特性和地基土质条件，按照现行国家标准《土工合成材料应用技术规范》GB 50290 的要求，通过设计计算并进行现场试验后确定；

**6** 当现场土体适宜进行原地固化时，宜采用添加固化剂与原地土进行拌合固化处理。

**6.2.4** 换填施工应分层进行，换填压实质量，应用压实系数*λ*c控制，并应符合下列规定：

**1** 换填厚度小于3m时，*λ*c不应小于0.97；

**2**  换填厚度大于3m时，基底下3m以内*λ*c不应小于0.97，3m以下不应小于0.94；

**3** 压实系数*λ*c为土的控制干密度ρd与最大干密度ρdmax的比值，土的最大干密度宜采用击实试验确定，粗粒土料的最大干密度可取2.1t/m3~2.2t/m3；

**4** 矿渣等工业废料的压实系数可根据满足承载力设计要求的试验结果，按最后两遍压实的压陷差确定。

**6.2.5** 土工合成材料施工，应符合下列规定：

**1** 下铺地基土层顶面应平整；

**2** 土工合成材料铺设顺序应先纵向后横向，且应把土工合成材料张拉平整、绷紧，严禁有皱折；

**3**  土工合成材料的连接宜采用搭接法、缝接法或胶结法，接缝强度不应低于原材料抗拉强度，端部应采用有效方法固定，防止筋材拉出；

**4** 应避免土工合成材料暴晒或裸露，阳光暴晒时间不应大于8h。

**6.2.6** 换填后的地基承载力宜通过现场载荷试验确定。

**6.2.7** 对于工程量较大的换填垫层，应按所选用的施工机械、换填材料及场地的土质条件进行现场试验，以检验压实效果，确定分层压(夯)实施工方法和施工参数等。

**6.2.8** 换填施工质量检验必须分层进行，应在每层的压实系数符合设计要求后铺填上层土。

**6.2.9** 对于厚度在10m以内的流动性大，且基本无硬壳层的大面积流塑状淤泥也可采用挤淤置换法进行处理。挤淤置换的宽度、深度以及换填材料应结合现场状况、材料来源并根据计算确定。换填深度除考虑沉降和滑移稳定外，还应置换到使地基承载力大于换填体荷载所需深度—至较好的持力层。强制挤淤换填往往不能把软弱层完全挤出，对于换填后地基沉降必须有所考虑。

## 排水静力固结法

**6.3.1** 排水静力固结法适用于处理淤泥、淤泥质土、吹填土等饱和黏性土地基。排水静力固结法通过堆载、真空负压等静荷载作用，同时进行排水，达到预期的软土沉降固结，改善软土的变形，提供地基承载力。排水静力固结法可分为堆载预压、真空预压、真空联合堆载预压、增压式真空预压以及降水自重固结等。

**6.3.2** 排水静力固结法设计应具备下列资料：

**1** 场地的工程地质资料，包括各土层的、重度、界限含水率、压缩系数、压实曲线、水平与竖向固结系数、渗透系数、抗剪强度等物理力学指标和地下水位、承压水层、透水透气层及地下水补排条件等；

**2** 工程对地基的要求，包括地基承载力、地基土强度、固结度、允许沉降量和差异沉降量等； 预压时间与工期等；

**3** 场地周边建筑物与道路分布情况、建筑物与地下结构特征、基础类型及地下管网分布埋深情况等；

**6.3.3** 对于重要工程，应在现场选择代表性场地进行预压试验，在预压过程中应进行地基竖向变形、侧向位移、孔隙水压力、地下水位变化等项目的监测；试验地块预压结束后，应进行静力触探、十字板剪切、标贯、瑞利波等现场原位试验及室内土工试验。根据试验地块的资料数据，对全场区进行排水预压设计，或对已有的初步设计进行修正。

**6.3.4** 对以变形控制的预压场地，经预压达到设计总沉降量和平均固结度后方可卸载。对以提高地基承载力或场地整体稳定性的预压场地，经预压后地基承载力提高及场地稳定性满足地基处理设计要求后方可卸载。

**6.3.5** 根据工程需要及预压时间受限，残余沉降或工后沉降不满足工程要求时，宜采用超载预压，超载可采用加高堆载、选用高容重物料、增加真空度、提高增压等方式。

**Ⅰ 堆载预压**

**6.3.6** 堆载预压法的设计应包括下列内容：

**1** 选择竖向排水体，确定其断面尺寸、间距、排列方式和深度，确定水平向排水体的布置、厚度和材料；竖向排水体可采用普通砂井、袋装砂井和塑料排水板，宜采用正方形或等边三角形布置。排水砂井平面井距偏差应小于井径，垂直度偏差应小于1.5%，埋入砂垫层中的长度不应小于500mm。

**2** 确定预压区范围、预压荷载大小、荷载分级、加载速率、预压时间和卸载标准；

**3** 计算地基土的固结度、强度增长、抗滑稳定性和变形；

**4** 提出监测要求和目的，确定监测项目、监测设备、监测方法、控制标准、测点布置和数量。

**6.3.7** 竖向排水体的间距可根据软土固结特性和预定时间内所要求达到的固结度确定。设计时，竖向排水体的间距可按井径比*n*选用（*n*=*d*e/*d*w，*d*w为竖向排水体直径，对塑料排水板可取*d*w=*d*p）。塑料排水板和袋装砂井的间距可按*n*=15~22选用，普通砂井的间距可按*n*=6~8选用。塑料排水板的当量换算直径可按下式计算：

*d*p=2(*b*+*δ*)/π （6.3.7）

式中：*d*p—塑料排水板当量换算直径（mm）；

*b—* 塑料排水板宽度（mm）；

*δ—* 塑料排水板厚度（mm）。

**6.3.8** 竖向排水体插入深度应符合下列规定：

**1** 根据需处理的软土埋深、厚度、分层土的性状，软基处理要求、处理后的地基稳定性、工后沉降及堆载预压工期确定；

**2** 对以地基抗滑稳定性控制的工程，竖向排水体插入深度宜超过滑动面深度不小于于3m；

**3** 对沉降变形控制的预压场地工程，竖向排水体插入深度应根据设计确定的预压时间达到所需的固结沉降指标确定；

**4** 竖向排水体宜穿透受压土层；当竖向排水体未穿过受压土层时，应分别计算竖向排水体深度范围内的平均固结度和竖向排水体底面以下受压土层的平均固结度，该该两部分固结度和所完成沉降变形量应满足设计要求。

**6.3.9** 预压荷载、范围、加载速率应符合下列规定：

**1** 预压荷载值应根据设计要求确定。当总沉降与工后沉降有限制性要求是，宜采用超载预压，超载量大小应根据预压时间内预期完成的沉降计算确定，并宜使预压荷载下受压土层各点的有效竖向应力大于建筑物荷载引起的相应点的附加应力；

**2** 预压荷载顶面的范围应不小于建筑物基础外缘的范围；

**3** 加载速率应根据待处理软土层的强度确定；当待处理软土层的强度满足总预压荷载下的稳定性要求时，可一次性加载；如不满足应分级逐渐加载，待前期预压荷载下土强度的增长满足下一级荷载下的稳定性要求时，方可加载下一级荷载。

**6.3.10** 预压地基最终沉降变形可根据实测沉降变形数据按下列公式推算（经验双曲线法）：

 (6.3.10-1)

 (6.3.10-2)

式中： —满载时间的实测沉降变形量（cm）；

—满载开始时的实测沉降变形量（cm）；

—满载预压时间（s），从满载时刻算起；

—最终沉降变形量（cm）；

、—计算参数，可根据实测数据确定，见图6.3.10。



图6.3.10　、值确定示意图

**6.3.11** 预压地基的应变固结度可根据实测沉降变形数据按下列公式推算：

 (6.3.11)

式中：—相应荷载下*t*时刻软土应变固结度。

**6.3.12** 预压地基的应力固结度可根据实测孔隙水压力资料按下列公式推算：

 (6.3.12)

式中：*U*rz——地基应力固结度；

*Δ*u——预压过程中孔隙水压力消散值（kPa）；

 *P*——预压荷载（kPa）；

 *u*0——预压前超静孔隙水压力（kPa）。

**6.3.13** 堆载预压的水平排水体可采用透水性良好的砂垫层，当场地周边缺少砂料或软土强度过低时，可采用无砂垫层作为排水垫层。采用砂垫层时，厚度不应小于500mm，砂料宜采用中粗砂，含泥量不宜大于5%；

**6.3.14** 采用无砂垫层作为水平排水体时，应将竖向排水体与水平透水软管绑扎并宜覆盖透水土工布，形成水平排水体系。无砂垫层的排水管主管、次管宜采用外径50mm~70mm的波纹滤管。

**6.3.15** 采用堆水预压时，预压场地分区面积不宜大于20000m2，其挡水围堰的高度不宜大于2m，宽度应通过稳定性计算确定。围堰迎水面宜敷设不透水塑料膜。

**6.3.16** 堆载预压法施工宜按下列步骤进行：

**1** 施工准备与工作面清理；

**2** 铺设砂垫层与竖向排水体施工；排水板插入软土中应平直、不扭曲。排水板连接应采用滤膜内芯带平搭接方式，搭接长度不宜小于200mm；

**3** 采用无砂垫层堆载预压法时铺设水平排水管路；

**4** 监测仪器及观测桩点埋设；

**5** 堆载预压；终止堆载与卸载；监测与观测。

**6.3.17** 采用无砂垫层施工时宜符合下列规定：

**1**  在排水板施工前，应先在淤泥表面铺设一层塑料编织布，也可采用轻质泡沫塑料板作为施工平台，轻质泡沫塑料板尺寸宜为2m× 2m；

**2** 铺设由水平排水管和竖向排水板组成的排水通道。横向滤管应布设在相邻两排塑料排水板中间，每根塑料排水板和滤管宜采用缠绕或自拉锁固定的方式进行连接；

**3** 竖向排水板的布置宜为梅花型或正方形，板头出地面的长度宜为800mm~1000mm；

**6.3.18** 采用覆水预压施工时宜符合下列规定：

**1**  密封膜的厚度、抗拉强度、延伸率应符合设计要求，宜铺设三层厚度为0.08mm~0.10mm的聚 乙烯薄膜或聚氯乙烯薄膜，发现破损应及时修补；

**2**  在土质发生剧烈变化的区域宜采取堆筑高于地面300mm，宽1000mm虚土方的方法，减缓土质急剧变化段的沉降差。在排水板打设过程中，应及时用砂或干土将排水板孔填塞并捣实；

**3** 注水加载预压时，第一次加水深度宜为200mm，在检查密封膜不渗漏后，按级加水。根据沉降观测值严格控制加水量，每级加水深度不应大于500mm。

**6.3.19** 堆载预压期间监测与观测尚应符合下列规定：

**1** 沉降速率不应大于15mm/d，边缘处水平位移不应超过5mm/d；

**2**  根据监测数据推断软土层地基强度稳定性增长情况；

**3** 确定终止堆载预压条件和卸载时间。

**Ⅱ 真空预压**

**6.3.20** 真空预压设计应包括下列内容：

**1** 预压区范围、面积和分块大小；竖向排水体断面尺寸、间距、排列方式和深度；真空度固结度与总沉降、工后沉降、地基承载力等。

**2**  真空预压施工工艺；加载与卸载要求；预压期间观测与终止预压条件等；

**3** 真空预压地基处理验收条件与标准。

**4** 真空预压场地范围每边扩展不宜小于3.0m；真空预压场分区面积可为10000m2~30000m2；真空预压场地边线与周边建筑物和地下管线等的距离不宜小于10m。

**6.3.21** 真空预压宜选用塑料排水板，间距宜为1.0m~1.5m，采用正方形或三角形布置。排水板插入深度应根据软地层厚度，按单面或双面排水要求确定。预压场地四周压膜沟深度应设置在不透水的黏性土层中，并采用黏土密封墙密封，密封墙厚度不宜小于1.2m，渗透系数应小于1×10-5cm/s。

**6.3.22** 水平排水垫层宜采用含泥量不大于5%的中砂或粗砂，厚度不宜小于0.5m，渗透系数不宜小于1cm/s；水平排水垫层中应设置排水滤管，滤管横向间距宜为6m~7m，纵向间距宜为15m~30m。

**6.3.23** 当采用无砂垫层作为水平排水垫层时，在打设塑料排水板前先铺设一层质量为150g/m2~ 200g/m2的塑料编织布； 铺设水平滤管，滤管横向间距宜为2倍塑料排水板间距，纵向间距宜为15m~30m；排水板宜与水平滤管采用缠绕或自拉锁固定的方式连接牢固，其上再铺设1层质量不低于200g/m2的无纺土工布。

**6.3.24** 密封膜宜采用2 ~3层聚乙烯或聚氯乙烯薄膜，单层密封膜的技术要求应符合表6.3.24的规定。

表6.3.24 密封膜的技术要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 抗拉强度(MPa) | 断裂伸长率 (%) | 直角撕裂强度 (kN/m) | 厚度(mm) |
| 纵向 | 横向 |
| ≥18.5 | ≥116.5 | ≥1220 | ≥140 | 0.12~0.16 |

**6.3.25**　抽真空设备宜采用射流泵，真空压力不应小于95kPa。抽真空设备宜均匀布置于预压场区，每台设备的控制面积宜为900m2~1100m2；抽真空设备开启数量应根据预压下的固结度与强度增长情况调整。

**Ⅲ 增压式真空预压**

**6.3.26** 增压式真空预压设计尚应包括增压式真空预压施工工艺、降水增压时间及压力及压力卸载分级与终止预压时间等。预压场地范围较大时，分区面积可为50000m2~80000m2，且每块预压面积宜尽可能大且呈方形。预压场区边线与周边建筑物和地下管线等的距离不宜小于15m。

**6.3.27** 增压式真空预压采用防淤堵塑料排水板，其主要性能指标参见表6.3.27.

**表6.3.27 防淤堵塑料排水板主要性能指标**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 型号项目 | A型板 | B型板 | C型板 | 条件 |
| 厚度（mm） | 3.5±0.2 | 4.0±0.2 | 4.5±0.2 |  |
| 宽度（mm） | 100±2 |  |
| 抗弯折性能 | 无撕裂 | 180度对折5次 |
| 芯板肋条数（条） | 30 |  |
| 纵向通水量（cm3/s) | ≥25 | ≥40 | ≥50 | 侧向压力为350KPa |
| 防淤堵塑料排水板抗拉强度（kN/10cm) | ≥1.5 | ≥2.0 | ≥2.0 | 干态，延伸率10％时 |
| 滤膜渗透系数（cm/s) | ≥5\*10-3 | 试件在水中浸泡24h |
| 滤膜等效孔径（mm) | 0.06～0.13 | 以*O*95计 |
| 气力比降（直径3cm） | 686pa-1000pa | 工业酒精98％ |
| 滤膜抗拉强度（N/cm) | 纵向干态 | ≥15 | ≥20 | ≥25 | 延伸率10％，测试夹距2cm |
| 横向湿态 | ≥10 | ≥20 | ≥25 | 延伸率15％，水中浸泡24h，测试夹距2cm |

**6.3.28**  水平排水管采用钢丝软管，支管间距宜为2倍排水板间距，主管间距宜30m~50m，选用手型接头、三通、四通等专用接头直接连接塑料排水板；密封膜宜采用2 ~3层聚乙烯或聚氯乙烯薄膜。

**6.3.29** 抽真空设备宜选用水环式真空泵与“不倒翁”式集水井配套使用，水环式真空泵在进气孔封闭状态下，其真空压力不应小于95kPa。抽真空设备宜每块预压区布置一套抽真空机组，每套机组可抽真空面积为 50000~100000 m2。

**6.3.30** 固结度和强度增长计算可按本标准第6.3.12条、6.3.13条、6.3.15条公式计算。最终沉降量可按本标准第6.3.16条公式计算，其中沉降计算经验系数*ξ*宜按当地经验取值，无当地经验时可取1.05~1.35，对淤泥层、淤泥质土层及其他饱和含水黏性土层，预压荷载超过等载时宜取大值。

**6.3.31** “不倒翁”集水井结构及安装应符合下列规定：

**1** 不倒翁集水井为上小下大的筒体结构，包括埋设于真空膜下方的下半节罐体和安装在真空膜以上的上半节罐体，以及设置于下半节罐体底部的一台潜水泵。

**2**  下半节罐体中上部筒壁上开设有八个集水口，每个集水口可负担 1000m2 抽真空，即每个不倒翁集水井可负担 5000m2~10000m2 抽真空，每个集水口分别与膜下真空主管适当位置的正三通相连接，组成膜下真空系统。

**3**  根据气平衡计算，罐体整体高度为 2m 以上，下半节罐体直径为 1.5m，整体体积大于 2m³。

**4** 不倒翁集水井材质为耐腐蚀聚丙烯，施工中严禁使用金属罐体。

**5**  抽真空系统宜采用节能型水环式真空泵，每台真空泵有 8~10 个抽气口，每个抽气口连接一个不倒翁集水井。

**6** 真空管路的连接应严格密封，在真空管路中设置单向止回阀和进水过滤器。

**6.3.32** 降水增压系统布置应满足以下要求：

**1** 降水增压系统应包括降水增压泵和降水增压管路系统，降水增压管路系统由水平降水增压管路系统和垂直管路系统组成；

**2**  降水增压管管体的垂直渗透系数宜为 10-1～10-4cm/s，具有一定的抗拉强度和伸缩性。降水管有钢丝弹横外编织透水滤布，一次性形成，顶端置罗旋反扣接头封堵管底，另一端接罗旋反扣接头与滤管连接并且内置真空芯管，形成降水井，把真空送至底部，使水分向降水管底部集中，真空由底部向上扩撒，同时水位下降至降水管管底，形成降水作用降水增压管技术指标宜符合表6.3.32 的要求；

表 6.3.32 降水增压管的技术要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 单位 | 指标 |
| 力学特性 | 窄条拉伸 | 断裂强度 | T | KN/5cm | ≥0.8 |
| W | ≥0.6 |
| 断裂伸长率 | T | % | ≥12 |
| W | ≥12 |
| 扁平率 | 2% | kN | ≥0.4 |
| 3% | kN | ≥0.8 |
| 4% | kN | ≥1.2 |
| 5% | kN | ≥2.5 |
| 圆球顶破强力 | kN | ≥1.1 |
| 水力特性 | 垂直渗透系数 | cm/s | ≥0.1 |
| 等效孔径O95 | mm | 0.1-0.25 |

**3** 水平降水增压管路系统与水平排水管路系统应分层设置，以保证管路系统的正常工作；

**4** 垂直降水增压管路应考虑排水板布置的情况，单个降水增压集水井单元可覆盖 10000m2，应放置于其覆盖区域的形心位置，打设深度不宜超过排水板长度，在不穿透加固层的情况下，应尽量增加降水增压管长度；

**5** 降水增压泵宜均匀布置在加固区四周，必要时也可适量布置在加固区中部，注气降水增压应在施工中后期进行，以增大加固区土体的压力，破除排水板附近土体的淤堵，提高加固区土体的固结排水效率。

**6** 初始降水增压的时刻应控制在加固区固结度为 40%时，开始降水增压时的注气压力应根据土体加固情况，采用阶梯式增加压力。降水增压压力宜为0～0.04MPa，若加固深度较大，注气压力宜适当加大；

**7** 考虑到降水增压注气对真空度的影响，应采用间歇式注气法，每次降水增压时间控制在1.5～2.0 小时，当真空度下降 10～15kPa 时，应停止单次降水增压，待真空度稳定在 80kPa后，再打开注气阀门。

**6.3.33** 密封膜铺设应符合下列规定：

**1** 密封膜下应铺设一层无纺土工布；

**2**  密封膜加工后的边长应大于加固区相应边长4m，当加固区地质条件复杂时，应加长密封膜并松弛铺设；

**3** 当密封膜采用热合法拼接时，膜的搭接宽度应大于15mm，不应有热合不紧或融穿现象，孔洞应及时修补；

**4** 铺膜应从上风侧开始，铺膜时风力不应大于5级；

**5** 密封膜宜铺设三层，膜周边可采用挖沟埋膜，平铺并用粘土覆盖压边、围埝沟内及膜上覆水等方法进行密封。

**6.3.34** 试抽气时间宜为4d~10d，发现问题应及时处理。正式抽气阶段膜下真空压力应符合设计要求。抽气期间应经常检查密封膜，破损及漏气处应及时修补。

**Ⅳ 真空联合堆载预压**

**6.3.35** 为提高真空预压效果，在维持真空预压的同时增加堆载预压（增压），实现真空联合堆载预压。当需要增大预压总沉降或减少工后沉降，提高预压处理地基承载力，缩短预压时间时，在不发生预压场地失稳的条件下，可采取通过真空联合堆载预压方式实现超载预压。

**6.3.36** 真空联合堆载预压观测指标应符合下列要求：

**1** 预压软土层的侧向位移（向内）速率不宜大于3mm/d；

**2**  预压软土层的沉降速率不宜大于30mm/d；

**3**  孔隙水压力消散速率不宜小于20kPa；

**6.3.37**　真空和堆载联合预压时，堆载体的坡肩线宜与真空预压边线重合，对于一般软黏土膜上堆载应在真空预压满载10d后进行。对于高含水率的淤泥类土，应在真空预压满载20d~30d后开始堆载。

**6.3.38**堆载前需在膜上铺设编织布或无纺布等土工物作为保护层，保护层上先用人工铺设100~300mm 厚的砂垫层。堆载施工时可采用轻型运输工具，但不得损坏密封膜。在进行上部堆载施工时，应密切观察膜下真空度的变化，发现漏气应及时处理。

**6.3.39**当堆载采用覆水时，覆水面积应小于真空预压分区面积，挡水围堰外坡脚距离密封沟边缘的距离宜大于5m。 挡水围堰高度不宜大于2m，宽度应通过稳定性计算确定。

**6.3.40**　真空联合堆载预压施工除满足上述规定外，尚应符合本章第6.3节真空预压的有关规定。

## 排水动力固结法

**6.4.1**排水动力固结法适用于表层覆盖有一定厚度的碎石土、砂土、粉土以及素填土、杂填土的饱和淤泥、淤泥质土地基的处理。排水动力固结法的附加荷载主要来源于如冲压、强夯等动力荷载，按其处理工艺可分为降水夯实法、竖井夯实法以及复合排水夯实法等。排水动力固结法施工前，应进行现场试验，确定其适用性、加固效果和施工工艺。

**6.4.2** 排水动力固结处理范围应大于建构筑物基础范围，每边超出基础外缘的宽度宜为基底下设计处理深度的1/2~2/3，且不应小于3m；对于可液化地基，基础边缘的处理宽度不应小于5m。

**6.4.3** 排水动力固结法应采用信息化施工。在现场施工过程中应实时进行观测及检测，根据观测数据实时进行施工信息反馈，修正设计和施工。

**Ⅰ 降水夯实法**

**6.4.4** 降水夯实法适用于高水位条件下、表层有一定厚度砂性土层的饱和软土地基的浅层处理，其处理深度不宜超过6m。

**6.4.5** 降水夯实设计应包括下列内容：

**1**  降水夯实土层性状、处理深度、降水条件及对周边环境的影响；

**2** 降水夯实范围和降水方式及设备（轻型井点、真空管井、潜水泵排、明排等），降排水管网铺设安装；

**3**  夯实工艺、夯击能、夯点布置与间距、夯击遍数等施工参数，夯击设备（夯锤、振动碾压、冲击碾压）等；

**4** 监测项目、监测设备、监测方法、控制标准、测点布置和数量。

**6.4.6** 当降水夯实处理的土层上部为软土层，或场地地下水位较高、夯坑易积水时，宜先进行降水至起夯面以下2m~3m，并在表面铺填厚度不小于2m的粗砂石块层。

**6.4.7** 降水夯实处理前应选择有代表性的区域进行试夯，通过实测降水效果、夯沉量、地下水位、孔隙水压力监测、地面隆起以及夯前夯后加固效果确定夯击能、夯击遍数、单点击数、间隔时间、与降水的搭接时间等施工参数。试夯时的夯击能对砂土等粗粒土层可取1000kN·m~6000kN·m，软土上部含砂量较大的土层或粗粒土覆盖层较厚时，宜增加夯击能级；黏性土等细粒土土层可取500kN·m~3000kN·m。

**6.4.8** 夯点间距宜根据待处理土层厚度和土质条件等确定，对厚度大和土质差的软土层夯点间距宜为5m~7m；对土层较薄的砂土夯点间距宜为3m~6m；遍与遍之间的夯点位置应错开布置，达到整个场区处理均匀。

**6.4.9** 夯点的夯击数，应根据现场试夯的夯击击数和夯沉量关系曲线确定，夯沉量宜符合下列规定：

**1**  当软土地基上覆土层较厚、且以砂性土为主时，最后两击的平均夯沉量宜符合表6.4.9的要求；

表6.4.9 降水夯实处理最后两击平均夯沉量

|  |  |
| --- | --- |
| 单击夯击能*E* (kN·m) | 最后两击平均夯沉量不大于以下数值（mm） |
| *E* < 4000 | 100 |
| 4000≤ *E* < 6000 | 150 |
| *E* ≥ 6000 | 应通过试验确定 |

**2**  对于上覆土层较薄、含水量大的软土层，宜多遍少击，使土层持续密实；

**3**  夯坑周围地面不应发生过大的隆起；

**4**  不因夯坑过深而发生提锤困难。

**6.4.10** 每遍强夯间歇时间宜根据软土中超静孔隙水压力消散大于80%所需时间结合工程经验确定。

**6.4.11** 当采用冲击压实或振动碾压法进行夯实处理时，其分层厚度、施工参数及压实指标应根据现场试验或地区经验确定；初步设计时，可按表6.4.11采用。

表6.4.11 分层厚度、施工参数及地基压实指标

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分层厚度(m) | 遍数 | 行驶速度(km／*h*) | 地基土压实指标 |
| 冲击压实 | 振动碾压 | 冲击压实 | 振动碾压 | 冲击压实 | 振动碾压 | 建筑区域 | 其它区域 |
| 0.4～0.6 | 0.3～0.4 | 8～10 | 6～8 | 6～8 | 1.5～2.0 | *λ*c≥0.97 | *λ*c≥0.95 |
| 0.6～0.8 | 0.4～0.6 | 10～15 | 8～10 | 6～8 | 1.5～2.0 |
| 0.8～1.0 | — | 15～20 | — | 6～8 | — |
| 1.0～1.2 | — | 20～25 | — | 6～8 | — |

**6.4.12** 降水夯实法处理后地基沉降计算与承载力特征值确定，应通过现场静载荷试验、原位测试和土工试验按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007确定，初步设计时也可根据地区经验确定。

**6.4.13** 降水夯实处理场地的标高控制应考虑场地土层和施工填料的成分与密实情况、场地设计标高、基础标高、降水夯击工艺和参数、工后沉降等因素，结合试验区处理前后的实测标高综合确定。

**6.4.14** 降水夯实法施工宜按下列步骤进行：

**1**  实现场区“七通一平”的进场条件；

**2**  安装设置降排水系统，预埋孔隙水压力计和水位观测管，进行场区首次降水；

**3**  动态监测地下水位变化，当达到设计水位并稳定至少两天后，拆除场区内的降水设备，然后标记夯点位置进行第一遍夯实；

**4** 第一遍夯后即可安装降水设备进行第二遍降水，按设计要求进行第二遍夯实施工；

**5** 重复步骤3、4，直至达到设计的夯实遍数；全部夯实工作结束后进行推平和碾压；

**6** 坑内或场地积水应及时排除，对细颗粒土，应经过晾晒满足要求后方可施工。

**6.4.15** 强夯施工设备机具的选用应符合下列规定：

**1**  强夯机宜采用起重能力为15t以上的履带式起重机或其它专用设备，起吊高度宜为5m~30m；应有足够强度、方便灵活的自动脱钩器。

**2**  夯击时宜采取辅助门架或其它安全措施防止臂杆后仰，履带接地压力宜小于地基承载力特征值或在地表铺设粗粒土或路基箱进行施工；

**3**  夯锤宜采用圆柱形钢制或铸铁制的平底锤，质量宜为8t~ 40t，锤底面积宜为4m2~6m2，锤底静 接地压力宜为20kPa~80kPa；对黏性土或加固深度小于5m时，宜取小值；对砂性土、含水率小于25%的土或加固深度大于 5m时宜取大值；

**4** 夯锤应设置不少于三个上下贯通的气孔，孔径宜为250mm~300mm，施工中应保持气孔通畅；

**6.4.16** 当地下水位距地表2m以下且表层为非饱和土时，可直接进行夯击；当地下水位较高或表层为饱和土时，宜采用人工降低地下水位或铺填0.5m~2.0m厚的粗粒土材料后进行夯击。坑内或场地内积水应及时排除。雨季施工应及时采取排水措施，防止夯坑积水，加固区周围应设置排水沟。

**6.4.17** 当强夯施工所产生的振动对邻近建筑物或设备可能产生有害影响时，施工前应查明邻近地上、地下建构筑物和各种地下管线的位置、基础形式及标高等，据此采取相应的隔振措施。强夯振动的安全距离不宜小于20m，在邻近居住或工作区域，安全距离不应小于50m。施工时应由距邻近建筑物近处向远处夯击，并应设置振动监测点。振动影响大时可采取隔振沟等措施。

**Ⅱ 竖井夯实法**

**6.4.18** 竖井夯实法适用于液性指数IL大于0.75的黏性土、杂填土等软土地基，特别是淤泥和淤泥质土的地基处理。竖井夯实法的夯实设备宜选用强夯机，当施工过程需要大面积填土施工时，也可采用大功率冲击压实设备。

**6.4.19** 竖井夯实法设计应包括下列内容：

**1**  处理范围和处理深度；

**2**  夯实设备机具与夯实工艺和施工参数；

**3**  竖向排水体和水平排水体系；

**4** 监测项目与监测设备仪器、监测方法、控制标准、监测点布置和数量等。

**6.4.20** 竖井夯实法应设置与动力加载系统相适用的竖向和水平向排水体系，竖向排水体可选用塑料排水板、袋装砂井、砂石桩等方式；水平排水体系通常由砂垫层、盲沟和集水井组成。

**6.4.21** 竖井夯实法在夯击前，应保证软土地基顶面有一定厚度的施工垫层，满足冲压或强夯等动力设备施工条件，其厚度可根据现场实际情况，结合原地表标高、交工面标高、预计沉降量和地质条件等综合确定。填土垫层应符合下列规定：

**1** 填土应在砂垫层及竖向排水体施工完毕后进行堆填，在满足软土地基稳定前提下宜尽快填至设计标高，以使软土在静力荷载作用下排水固结。当填土厚度大时，在后续的夯击施工过程中宜适当加大夯击能量；

**2** 对于原场地有一定厚度的硬壳土层，其与砂垫层的厚度之和大于2m时，可在其上直接进行夯击施工；

**3** 对于原场地表直接为软黏土的地基，则在砂垫层、盲沟和集水井施工完毕后，需要填筑一定厚度的山土或杂土作为施压垫层后方可进行夯击施工。

**6.4.22** 竖向排水体宜采用袋装砂井或塑料排水板。袋装砂井的直径宜为7cm，深度与普通砂井相同，砂袋材料应采用合成纤维、黄麻、塑料等材料编织物。塑料排水板应有足够的抗拉强度，沟槽表面平滑，尺寸准确，能保持一定的过水面积，抗老化能力在两年以上，并且耐酸碱性抗腐蚀性。塑料排水板质量性能应符合本规范表6.3.9的要求。

**6.4.23** 竖向排水体深度应以穿透软土层为准，如果软土层较为深厚设备能力有限时，可选用不同深度设计值进行固结度计算，根据固结度-时间关系和施工实际确定经济合理的打设深度。

**6.4.24** 竖向排水体可采用等边三角形和正方形排列的平面布置方式。竖向排水体的平面间距可参照静荷载作用下的设计方法进行计算并依据工程经验确定。当采用塑料排水板时其平面间距宜为1.0m~1.6m，对于水平方向排水性能相对较好的粉质黏土取大值。

**6.4.25** 水平排水砂垫层宜选用含泥量小于5%的中粗砂、豆石等透水性好的散粒材料。砂垫层厚度不应小于500mm，当地表即为含水量大且层厚的软弱黏性土层时，砂垫层厚度宜为800mm~1000mm。

**6.4.26** 在处理区域全场地应布设纵横交汇的排水盲沟。盲沟宽400mm~600mm，其底面应比砂垫层底面低200mm~400mm，盲沟底面以1%~2%的排水坡度往集水井方向加深，盲沟间距宜为20m~30m。在纵横盲沟交汇处设置直径约为500mm的集水井，泵排至场外，保持地下水位在砂垫层底面以下。整个施工过程期间应及时抽排水，夯击完成后宜继续抽排水不少于28d。

**6.4.27** 在软黏土顶面应有一定厚度的表层硬壳层或者填筑一定厚度的填土作为夯击施压垫层。其厚度可根据现场实际情况，结合原地表标高、交工面标高、预计沉降量和地质条件等综合确定。

**6.4.28** 强夯夯击应遵循夯击能由低到高，加固由浅及深的原则。夯击能的选择应符合下列规定：

**1** 应对软土层施加充分的动载，大幅度增长动孔隙水压力，避免夯击能过高使软土大量隆起或水平挤出；

**2** 当夯前软黏土顶面覆盖土层较薄时，夯击能应采取由低到高，逐级加能的方法，第一遍夯击能宜采用800kN·m ~1500kN·m，以后各遍夯击能可逐渐加大至1500 kN·m ~3000kN·m；

**3** 当夯前软黏土顶面的覆盖土层较厚（深厚填土或硬壳层）时，可采用2000kN·m~3500kN·m的夯击能多遍次夯击；

**4** 满夯夯击能宜为400kN·m~1000kN·m。

**6.4.29** 夯点位置可采用等边三角形或正方形方式布置，夯点间距可取夯锤直径的（2.5~3.5）倍，以后各遍夯点间距可与第一遍相同，也可适当减小。当土质差、软土层厚时应适当增加夯点间距。满夯可以0.75倍夯锤直径点距和行距搭夯或选用一夯挨一夯交错相切或一夯压半夯方式。

**6.4.30** 夯点的夯击击数，应通过现场试夯依据实测夯沉量、位移观测值和孔压增量变化并结合当地工程经验确定。缺乏当地经验时可依据下列条件确定：

**1**  夯沉量控制：记第*n*、*n*+1、*n*+2击的夯沉量分别为Δ*S*n、Δ*S*n+1、Δ*S*n+2，当出现Δ*S*n<Δ*S*n+1<Δ*S*n+2时，则单点夯击击数取*n*；

**2**  孔压控制：当第*n*次夯击时，孔隙水压力增量Δ*u*n突然减小或趋近于零，则夯击击数可取*n*；

**3**  变形控制：当第*n*次夯击时，夯点周围的水平方向（径向）应变累计值*ε*n达到一定的量而该次径向应变增量Δ*ε*n趋于零，则单点夯击击数取*n*；

**4**  地表控制：当夯点周围土体明显隆起或夯坑附近地面产生明显振动且振动持续时间较长时，应停止夯击。

**6.4.31** 竖井夯实法应按少击多遍的原则施工，对于高饱和的软黏土（淤泥和淤泥质土），应适当增加夯击遍数。最后满夯加固表层土，使地基整体均匀。经多遍夯击后仍未达到预期效果时，宜考虑加密排水板间距，加强降排水措施以改善排水条件，促进软土的排水固结。

**6.4.32** 夯击间隔时间宜根据软土中超静孔隙水压力消散80%以上所需时间或工程经验确定，一般为5~15天。

**6.4.33** 竖井夯实法施工宜按下列步骤进行：

**1**  实现“七通一平”的进场条件；

**2**  进行施工放线、施工前的准备工作，并可同步进行现场静、动触探，十字板剪切等；

**3**  铺设砂垫层、设置盲沟、集水井，同步埋设孔压计、沉降板、监测桩等；

**4** 竖向排水体施工（塑料排水板等）；填土垫层施工；夯击施工，过程同步进行各种监测；

**5** 施工期间的场区监测；夯后场区原位测试、载荷板试验等；竣工验收等。

**6.4.34** 场区地层分布不均匀时，应通过处理过程中的原位测试（十字板、静力触探、动力触探试验等）结果，确定最后一遍夯击完成后地基承载力是否达到设计要求。对于达不到设计要求的区域应进行局部补夯。

**Ⅲ 复合排水夯实法**

**6.4.35** 复合排水夯实法适用于表层覆盖（或吹填）一定厚度砂性土层的饱和淤泥、淤泥质土地基的处理。复合排水夯实法通过在软土地基中构建快速抽排水体系并结合动力夯击促使其加速排水压密固结。

**6.4.36** 复合排水体系由深部的竖向排水体和浅部的主动抽排系统以及转换层共同组成。转换层及以下设置竖向排水体，转换层及以上设置主动抽排系统，如图6.4.36所示。



1-覆盖（吹填）土层；2-饱和黏性土层；3-转换层；4-轻型井点管；

5-塑料排水板；6-集水总管；7-连接导管；8-连接真空泵

图6.4.36 复合排水体系示意图

**6.4.37** 转换层应位于施工作业面1.5m以下，饱和黏性土层顶面以上位置，具有较好的渗排水性能，且厚度不应小于500mm。

**6.4.39** 转换层的构建可通过有组织吹填方式或外购砂性土铺填方式形成，宜选用含泥量小于5%的中粗砂、豆石等透水性好的散粒材料。当既有场地作业面1.5m以下，深部饱和黏性土层顶面以上范围内存在一定厚度（≥0.5m）且渗透系数相对较大（≥10-4cm/s）的砂性土层时，也可将其直接作为转换层利用。

**6.4.40** 主动抽排系统应根据转换层层厚及埋置深度确定，当转换层在作业面以下6m范围内，宜采取轻型井点方式；当转换层在6m以下时，可采取真空管井、真空砂井等方式。抽水竖井深度应超过于转换层底部不小于500mm。

**6.4.41** 深部饱和黏性土中设置的竖向排水体可采用塑料排水板、袋装砂井及砂石井等不同方式，竖向排水体顶部应与转换层有效搭接，地下水排出通畅。

**6.4.42** 竖向排水体应穿透软土层，对以地基承载力或稳定性控制的工程，打设深度应低于危险滑动面以下3m；对以沉降控制的工程，打设深度应满足工程对地基残余沉降量的要求。

**6.4.43** 当采用竖向或水平向布设的真空管网抽排系统降排水不影响强夯施工时，除必要的技术间歇时间外，可采用连续降排水夯击方式。

**6.4.44**　竖向排水体可结合现场覆土（吹填）进程和工程状况，通过合理规划，于覆土（吹填）之前或期间进行实施。

**6.4.45**　夯实施工完毕后尚应进行一段时间（不宜少于60天）的降排水维护作业，绘制沉降实测时程曲线，推算工后沉降，达到设计工后沉降控制标准后，停止抽排水维护工作。

## 6.5土体固化法

**6.5.1** 土体固化法适用于处理淤泥、淤泥质土软土、黏性土、砂土、素填土及吹填土等软土地基，土中有机质含量不应大于10%。土体固化法处理软土地基可分为浅层土固化处理和深层土固化处理两类。浅层土固化处理深度宜小于3m，深层固化土处理深度不宜大于8m。固化处理后的土体不应产生对周围土层和地下水的污染。

**6.5.2** 软土固化的固化剂可选用硅酸盐基固化剂、硫酸盐基固化剂、氧化钙基固化剂、氧化镁基固化剂、无机盐类聚合物固化剂以及水泥、石灰、粉煤灰等胶凝剂。应根据土体工程性质，土与地下水的PH值、土的有机质含量，以及土体固化深度与施工工艺等条件，选用适宜的固化剂。使用前应采集待固化的土试样，进行固化配比试验，确定现场使用的固化剂配合比。

**6.5.3** 软土固化土应选择能提高土的力学性能的固化剂，并应符合下列规定：

**1** 固化剂产品的技术性能指标应符合现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T486及其他现行行业有关标准的规定；

**2** 液体固化剂溶液的固体含量不宜大于3%，不得有沉淀或絮凝现象；粉状固化剂的细度不宜大于0.074mm标准筛筛余量不宜大于15%；

**3** 固化剂类型与配比应根据土质情况经室内试验确定。

**6.5.4** 软土固化土配合比试验可按下列步骤进行：

**1** 原材料品质检验与固化剂试件制备；

**2** 固化土配合比试验；

**3** 固化土试样无侧限抗压强度、防渗与防水、密度等物理力学指标试验；

**4** 整理试验资料数据，提交配合比试验报告。

**6.5.9** 原材料试验应选取拟固化土及固化剂试样进行下列试验：

1 土的颗粒分析，测定液限和塑限、有机质含量、含水率、pH值；

2 对于水泥固化剂应测定其强度等级，初、终凝时间和安定性；

3 对于石灰固化剂宜测定有效氧化钙和氧化镁的含量。

**6.5.10** 固化土混合料室内试验应符合下列规定：

**1** 固化土混合料的配合比应准确，拌和均匀，达到最佳含水率状态，满足各项技术指标要求；

**2** 固化土混合料的固结时间可按现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T486的有关规定执行；用于地基处理时，固化时间不应小于6h；

**3** 固化土混合料的体积安定性应符合现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T486的有关规定；固化土试样经65℃蒸养24h后，应在蒸煮箱中自然冷却，试件表面不应有裂纹；

**4** 固化土混合料抗压强度试件应在20℃±2℃的温度下保湿养护不少于7d，其中浸水时间不少于ld，然后进行无侧限抗压强度试验，并取不少于6个试件抗压强度的平均值。

**6.5.12** 软土固化土地基可采用深层搅拌法、喷射搅拌法、喷铣拌合法、注浆法等工法施工。浅层土体固化宜采用干粉与现场翻挖土就地拌合填筑，并进行碾压密实或低能量强夯密实。深层土体固化宜选用多轴搅拌设备、高压旋喷设备及轮铣搅拌设备等进行施工作业。

**6.5.13** 软土固化施工前应在现场进行固化土试验，根据室内不同固化剂类型固化土配比试验成果，选择确定适应场地土层及大学生条件的施工配比与施工工艺及参数。现场固化土施工气温不宜低于4℃，并应避免雨天施工。

**6.5.14** 采用干粉与现场翻挖土就地拌合填筑应符合下列规定：

**1** 固化土地基表面应进行清表，场地四周设置地面排水措施；

**2**  固化处理前应检测待固化土的实际含水率，并根据土的实际含水量对固化与配合比继续调整；当现场翻挖的土中存在大量垃圾或有机质含量大于30%时，不宜用于固化土拌合；

**3** 采用液体固化剂进行固化施工时，宜将固化剂溶液的80%~90%直接掺人土中拌和，剩余固化剂溶液可在成型后喷洒封层；

**6.5.15** 深层软土固化土施工可参照现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79的有关规定执行。固化软土地基承载力、沉降量等可参照现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79中的有关规定进行计算。

## 复合地基法

**6.6.1** 复合地基设计时应综合考虑软土地基的特殊性和场地条件，选用适当的增强体和施工工艺。并在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工，验证其适用性，确定设计参数和处理效果。

**6.6.2** 复合地基承载力特征值应通过现场复合地基载荷试验确定，或采用增强体的载荷试验结果和周边土的承载力特征值结合经验确定，初步设计时，可按下列公式估算：

**1** 对散体材料增强体复合地基应按下式计算：

 (6.6.2-1)

式中： —复合地基承载力特征值（kPa）；

 —处理后桩间土承载力特征值（kPa），可按地区经验确定；

*n*—复合地基桩土应力比，可按地区经验确定；

*m*—面积置换率，*m*=*d*2/*de*2；*d*为桩身平均直径（m），*de*为一根增强体分担的处理地基面积的等效直径（m）；等边三角形布置时*de*=1.05*s*，正方形布置时*de*=1.13*s*，矩形布置时*de*=1.13，*s*、 *s*1、*s*2分别为增强体间距、纵向增强体间距和横向增强体间距。

**2** 对有粘结强度增强体复合地基应按下式计算：

 (6.6.2-2)

式中：—单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值；

 —单桩竖向承载力特征值（kN）；

—桩的截面积（m2）；

—桩间土承载力发挥系数，可按地区经验取值。

**6.6.3** 增强体单桩竖向承载力特征值应通过现场载荷试验确定。初步设计时，可按下列公式估算：

式中：—桩的周长（m）；

 —桩周第*i*层土的侧阻力特征值（kPa），可按地区经验确定；

—桩长范围内第*i*层土的厚度（m）；

—桩端端阻力发挥系数，可按地区经验取值；

—桩端端阻力特征值（kPa），可按地区经验确定；对于水泥搅拌桩、旋喷桩应取未经修正的桩端地基土承载力特征值。

**6.6.4** 有粘结强度复合地基增强体桩身强度应满足式（6.6.4-1）的要求。当复合地基承载力验算考虑基础埋深的深度修正时，增强体桩身强度应满足（6.6.4-2）的要求，深度修正系数应取1.0。

 (6.6.4-1)

] (6.6.4-2)

式中：—桩体试块（边长150mm立方体）标准养护28d的立方体抗压强度平均值（kPa）；

—基础底面以上土的加权平均重度（kN/m3），地下水位以下取有效重度；

*d*—基础埋置深度（m）；

—深度修正后的复合地基承载力特征值（kPa）。

**6.6.5** 复合地基变形计算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。复合土层的分层应与天然地基相同，各复合土层的压缩模量可按下式计算：

 (6.6.5)

式中：—基础底面下天然地基承载力特征值（kPa）。

**6.6.6** 复合地基的沉降计算经验系数可根据地区沉降观测资料统计值确定，无经验取值时，可采用表6.6.6的数值。

**表6.6.6 沉降计算经验系数*ψ*s**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 4.0 | 7.0 | 15.0 | 20.0 | 35.0 |
| *ψ*s | 1.0 | 0.7 | 0.4 | 0.25 | 0.2 |

注： 为变形计算深度范围内压实模量的当量值，应按下式计算：

式中：—加固土层第*i*层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

—加固土层下第*j*层土附加应力系数沿土层厚度的积分值。

**6.6.7** 复合地基处理范围：当采用散体材料复合地基增强体时，地基处理面积应大于基础或建筑物底层平面的面积，超出建筑物外墙基础底面外缘的宽度，每边不宜小于处理土层厚度的1/2，且不应小于3m；当采用有粘结强度复合地基增强体时，可只在基础范围内布置竖向增强体，并可根据建筑物的荷载分布、基础形式和地基土性状，合理布置竖向增强体参数。

**6.6.8** 复合地基处理的深度应根据建筑场地的土质情况、工程要求和施工工艺等综合确定。增强体长度应进入相对硬土层中，当相对硬土层的埋藏较深时，可按建筑物地基变形允许值确定。

**6.6.9** 复合地基桩顶和基础之间应设置褥垫层，褥垫层可选用中砂、粗砂、石粉、粒径不大于30mm的碎石土或级配砂石，褥垫层厚度宜取300mm~500mm。褥垫层的夯填度宜取0.8.~0.9，采用碎石土、石粉等材料铺设褥垫层时，夯填度宜取小值。

**6.6.10** 多桩型复合地基适用于处理存在浅层欠固结土、湿陷性土、液化土等特殊土，或场地土层具有不同深度相对硬层以及存在软弱下卧层，地基承载力和变形要求较高时的地基处理。

**6.6.11** 多桩型复合地基垫层设置，对刚性长、短桩复合地基宜选择砂石垫层，垫层厚度宜取对复合地基承载力贡献较大桩直径的1/2；对刚性桩与其它材料增强体组合的复合地基，垫层厚度宜取刚性桩直径的1/2。

**6.6.12**不同类型复合地基的设计、施工可按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79的有关规定执行。

# 桩基础

## 一般规定

**7.1.1**软土地基中的桩基宜选择低压缩性土层作为桩端持力层。当桩端平面以下存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层承载力与沉降变形验算。同一结构单元内的桩基不应选择压缩性差异较大的土层作桩端持力层，不宜采用部分摩擦桩加部分端承桩。

**7.1.2**桩基类型的选择应考虑软土的挤土效应、流变性和扰动后的强度降低等软土特性对桩基及周边的影响。挤土沉管灌注桩在淤泥和淤泥质土层中应用时，应通过现场试桩确定其适用性。

**7.1.3**采用挤土桩时，应采取消减孔隙水压力、控制沉桩速率等技术措施，减小挤土效应对成桩质量、邻近建筑物、道路、地下管线和基坑边坡等产生的不利影响。

**7.1.4**桩周围软土因自重固结、场地填土、地面大面积堆载、降低地下水位等原因而产生的沉降大于基桩的沉降时，应分析计算桩侧负摩阻力对基桩的影响。

**7.1.5**出现负摩阻力的桩基设计应符合下列规定：

**1** 软土场地填土前应采取预设塑料排水板等措施，待填土地基沉降稳定后方可成桩；

**2** 对于地表有大面积堆载的建筑物，应采取减小地面沉降对建筑物桩基影响的措施；

**3** 对于欠固结土宜采取先期排水预压、提高软土固结度等措施；

**4** 对软土地基进行加固处理，减小或消除桩侧负摩阻力。

**7.1.6** 采取先成桩后开挖基坑施工顺序时，应合理安排土方开挖路线与分层开挖深度，防止开挖过程中软土滑移挤推已完成的桩基。

**7.1.7**软土地基的桩基不宜考虑承台土承担的荷载，当采用整体箱基或有地下室时，可考虑补偿作用。

**7.1.8**当作用于桩基上的外力主要为水平力或高层建筑承台下为软弱土层时，应根据使用要求对桩顶变位的限制，对桩基的水平承载力进行验算。当外力作用面的桩距较大时，桩基的水平承载力可视为各单桩的水平承载力的总和。当承台侧面的土未经扰动或回填密实时，可计算土抗力的作用。当水平推力较大时，宜设置斜桩。

**7.1.9**当抗震设防区桩基的承台周围为可液化土或地基承载力特征值小于40kPa（或不排水抗剪强度小于15kPa）的软土，且桩基水平承载力不满足计算要求时，可将承台外每侧1/2承台边长范围内的土进行加固或换填。

**7.1.10**对于桩侧土不排水抗剪强度小于10kPa且长径比大于50的桩，应进行桩身压屈验算。

**7.1.11**软土地基中受地震作用的灌注桩，桩身配筋长度应穿过可液化土层和软弱土层，进入稳定土层的深度（不包括桩尖部分）应按计算确定：对于碎石土，砾、粗、中砂，密实粉土，坚硬黏性土尚不应小于 2～3 倍桩身直径，对其它非岩石土尚不宜小于 4～5 倍桩身直径。

**7.1.12**软土地基中受负摩阻力的桩、因先成桩后开挖基坑而随地基土回弹的灌注桩配筋长度应穿过软弱土层并进入稳定土层，进入的深度不应小于2～3倍桩身直径。

**7.1.13**软土地基上的多层建筑物，当天然地基承载力基本满足要求时，可采用减沉复合疏桩基础。

**7.1.14**软土地基中的建筑桩基，在其施工过程及建成后使用期间，应进行系统的沉降观测直至沉降稳定。

## 桩基承载力

**7.2.1**单桩承载力应通过单桩静载荷试验确定。当基础承受水平荷载控制时，应进行桩的水平载荷试验；当基础受上拔荷载时，应进行抗拔试验。

**7.2.2**单桩竖向极限承载力特征值Ra应按下式确定：

式中：*R*a—单桩竖向承载力特征值（kN）；

*Q*u—单桩竖向极限承载力标准值（kN）；

*K*—安全系数，可取*K*≥2。

**7.2.3**对于端承型桩基、桩数少于4根的摩擦型柱下独立桩基、或由于地层土性、使用条件等因素不宜考虑承台效应时，基桩竖向承载力特征值应取单桩竖向承载力特征值。

**7.2.4**对于符合下列条件之一的摩擦型桩基，宜考虑承台效应确定其复合基桩的竖向承载力特征值，并可采用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94进行计算。

**1**上部结构整体刚度较好、体型简单的建（构）筑物；

**2**对差异沉降适应性较强的排架结构和柔性构筑物；

**3**按变刚度调平原则设计的桩基刚度相对弱化区；

**4**软土地基的减沉复合疏桩基础。

**7.2.5** 符合下列条件之一的桩基，当桩周土层产生的沉降超过基桩的沉降时，在计算基桩承载力时应计入桩侧负摩阻力：

**1** 桩穿越较厚松散填土、欠固结土、液化土层进入相对较硬土层时；

**2** 桩周存在软弱土层，邻近桩侧地面承受局部较大的长期荷载，或地面大面积堆载（包括填土）时；

**3**由于降低地下水位，使桩周土有效应力增大，并产生显著压缩沉降时。

**7.2.6** 桩侧负摩阻力及其引起的下拉荷载，当无实测资料时可按《建筑桩基技术规范》JGJ94进行计算。

**7.2.7** 群桩基础及单桩的抗拔承载力的确定应符合下列规定：

**1** 对于设计等级为甲级和乙级建筑桩基，基桩的抗拔极限承载力应通过现场单桩上拔静载荷试验确定；如无当地经验时，单桩的抗拔承载力可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94估算，并通过现场试桩验证：

**2**应验算群桩基础呈整体破坏和呈非整体破坏时单桩抗拔承载力。

## 桩基沉降计算

**7.3.1**下列桩基应进行变形计算：

**1**地基基础设计等级为甲级的建筑物桩基；

**2** 地基基础设计等级为乙级的体形复杂、荷载分布显著不均匀或桩端平面以下存在软弱土层的建筑桩基；

**3** 软土地基多层建筑减沉复合疏桩基础。

**7.3.2**建筑桩基沉降变形计算值不应大于桩基沉降变形允许值。桩基沉降变形可用沉降量、沉降差、整体倾斜及局部倾斜等指标表达。桩基变形指标应按下列规定选用：

**1** 由于土层厚度与性质不均匀、荷载差异、体型复杂、相互影响等因素引起的地基沉降变形，对于砌体承重结构应由局部倾斜控制；

**2** 对于多层或高层建筑和高耸结构应由整体倾斜值控制；

**3** 当其结构为框架、框架–剪力墙、框架–核心筒结构时，尚应控制柱（墙）之间的差异沉降。

**7.3.3** 建筑桩基沉降变形允许值和桩中心距不大于6倍桩径的桩基的最终沉降量，以及单桩、单排桩、桩中心距大于6倍桩径的疏桩基础的沉降计算，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的有关规定执行。

**7.3.4**计算桩基沉降时，应考虑相邻基础的影响，采用叠加原理计算；桩基等效沉降系数可按独立基础计算。

**7.3.5**当桩基形状不规则时，可采用等代矩形面积计算桩基等效沉降系数，等效矩形的长宽比可根据承台实际尺寸和形状确定。

**软土地基减沉复合疏桩基础**

**7.3.6**当软土地基上多层建筑，地基承载力基本满足要求（以底层平面面积计算）时，可设置穿过软土层进入相对较好土层的疏布摩擦型桩，由桩和桩间土共同分担荷载。该种减沉复合疏桩基础，可按下列公式确定承台面积和桩数：

 （7.3.6-1）

 （7.3.6-2）

式中：—桩基承台总净面积；

—承台底地基承载力特征值；

—承台面积控制系数，；

—基桩数；

—桩基承台效应系数，可按本规范表7.3.5取值。

**7.3.7**减沉复合疏桩基础中点沉降可按下列公式计算：

 （7.3.7-1）

 （7.3.7-2）

 （7.3.7-3）

 （7.3.7-4）

式中：—桩基中心点沉降量；

—由承台底地基 土附加压力作用下产生的中点沉降（图7.3.9）；

—由桩土相互作用产生的沉降；

—按荷载效应准水久值组合计算的假想天然地基平均附加压力；

—承台底以下第层土的压缩模量，应取自重压力至自重压力与附加压力段的模量值；

—地基沉降计算深度 范围的土层数：沉降计算深度按确定；

、—桩身范围内按厚度加权的平均桩侧极限摩阻力、平均压缩模量；

—桩身直径，当为方形桩时，= 1.27 （为方形桩截面边长）；

—等效距径比；

、—承台底至第层、第层土底面的距离；

、—承台底至第层、第层土层底范围内的角点平均附加应力系数；根据承台等效面积的计算分块矩形长宽比及深宽比，由本规范附录 D 确定；其中承台等效宽度；、为建筑物基础外缘平面的宽度和长度；

—荷载效应准永久值组合下，作用于承台底的总附加荷载（kN）；

—基桩刺入变形影响系数；按桩端持力层土质确定，砂土为1.0，粉土为1.15，黏性土为1.30；

—沉降计算经验系数；无当地经验时，可取1.0~1.1。



图.7.3.7 复合疏桩基础沉降计算的分层示意图

**7.3.8** 软土地基中群桩基础桩侧土水平抗力系数的比例系数m与成桩工艺系数可参考《建筑桩基技术规范》JGJ94选取。有当地工程经验时宜按当地经验选用。

**7.3.9**计算轴心受压混凝土桩正截面受压承载力时，一般取稳定系数*ψ*=1.0。对于高承台基桩、桩身穿越不排水抗剪强度小于10kPa的软弱土层的基桩，应考虑压屈影响，按桩身正截面受压承载力乘以*ψ*折减。其稳定系数*ψ*可根据桩身压屈计算长度*l*c和桩的设计直径*d*或矩形桩短边尺寸*b*，根据表7.3.9确定。

**表7.3.9 桩身稳定系数*ψ***

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ≤7 | 8.5 | 10.5 | 12 | 14 | 15.5 | 17 | 19 | 21 | 22.5 | 24 |
|  | ≤8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| ψ | 1.00 | 0.98 | 0.95 | 0.92 | 0.87 | 0.81 | 0.75 | 0.70 | 0.65 | 0.60 | 0.56 |
|  | 26 | 28 | 29.5 | 31 | 33 | 34.5 | 36.5 | 38 | 40 | 41.5 | 43 |
|  | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 |
| ψ | 0.52 | 0.48 | 0.44 | 0.40 | 0.36 | 0.32 | 0.29 | 0.26 | 0.23 | 0.21 | 00.19 |

注：为矩形桩短边尺寸，为桩直径。

**7.3.10**计算偏心受压混凝土桩正截面受压承载力时，可不考虑偏心距的增大影响。对于高承台基桩、桩身穿越不排水抗剪强度小于10kPa的软弱土层的基桩，应考虑桩身在弯矩作用平面内的挠曲对轴向力偏心距的影响，应将轴向力对截面重心的初始偏心矩*e*i乘以偏心矩增大系数*η*，偏心距增大系数*η*的具体计算方法可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010执行。

## 桩基础施工

**7.4.1**. 软土地层桩基类型有灌注桩、预制桩及复合桩等。应根据桩基设计、地层分布、施工环境等条件，选择满足要求的桩基施工工艺。正式施工前应进行工艺性试桩，检验施工设备与施工工艺的适应性，确定施工技术参数与编制施工方案。

**7.4.2** 采用旋挖成孔灌注桩工法施工宜符合下列规定：

**1** 当灌注桩桩中心距小于3d桩径，或在深厚新近填土层、吹填土、淤泥土及淤泥质土层等稳定性差的地层进行成孔施工时，应采取跳桩施工，并在相邻孔混凝土达到终凝或灌注时间间隔不宜小于24h后施工。成孔施工应不间断完成，不得无故中断或停止作业；

**2**作业场地的平整度、承载力应满足旋挖钻机作业要求，保证旋挖钻机作业安全平稳；

**3** 旋挖钻成孔灌注桩应根据不同的地层情况及地下水位埋深，埋设钢护筒并选择泥浆护壁成孔工艺，保持孔壁稳定；

**4** 旋挖钻进时，应根据桩径、桩深、地层情况，可参考表7.4.2选用旋挖钻斗类型与钻进参数；

表7.4.2旋挖钻斗与钻进参数选用表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 地层条件 | 钻头选用 | 转速（r/min) | 回次进尺（m/回次） | 提钻速度（m/s) |
| 黏性土 | 单层底旋挖钻斗、短螺旋钻头、分体式钻斗 | 20～50 | ≤0.8 | ≤0.8 |
| 杂填土、淤泥土、淤泥质土、砂土、松散砂砾石层 | 双层底旋挖钻斗 | 20～30 | ≤0.5 | ≤0.6 |

**5** 钻进成孔过程中，应控制钻具的升降速度，钻具提出护筒前应及时补充泥浆，始终保持孔内液面高度，确保孔壁稳定。

**7.4.3** 采用回转钻进成孔灌注桩工法宜符合下列规定：

**1**当桩孔直径大于1.2m、桩孔深度大于30m时宜选用反循环工艺成孔工艺，护壁泥浆与地层地下水位宜保持不小于20kPa的水头压差；

**2** 反循环作业应保持泥浆循环沟槽畅通，保持足够泥浆流量顺畅回流至孔内；

**3** 钻遇砂砾石层或卵砾石层时，应将钻头提离孔底，并加大砂石泵排量，防止堵塞钻头水口，损坏钻头切削刃；

**4** 在淤泥土及淤泥质土层中钻进，应控制钻速，加大排量，防止钻头泥包，排渣不畅；

**5**钻进过程中若出现涌砂或坍塌现象，应及时将钻具提离孔底，控制泵量并向孔内输送符合性能要求的泥浆；

**6** 正循环作业在易坍塌缩颈的软土层宜选用平底钻头、轻压慢转、大泵量、稠泥浆钻进，并控制钻进速度；

**7.4.4** 采用预制桩应在施工前进行沉桩工艺性试桩，确定沉桩施工参数及停止沉桩的标准。沉桩工艺性试桩试验数量不宜少于5根，有条件时宜利用工程桩进行试沉桩。

**7.4.5** 预制桩施工可采用锤击或静压工法。沉桩方法与施工机械应根据设计要求、场地岩土工程条件、周边环境等因素选择。施工时应采取有效措施减少沉桩施工振动和挤土的影响。当在基坑内或沉桩场地附近存在基坑时，应考虑沉桩施工对基坑安全稳定的影响。沉桩施工期间应对周边建(构)筑物、道路和地下管线进行施工监测。

**7.4.6** 沉桩施工顺序宜按下列原则确定：

**1** 桩间距大于5d且距周边建 (构)筑物大于10m且施工场地较开阔时，宜从中间开始向四周进行；桩间距小于5d且场地狭长、两端距建 (构)筑物大于10m时，宜从中间开始向两端进行；桩间距小于5d且一侧距离建 (构)筑物小于10m时，宜从毗邻建 (构)筑物的一侧开始由近及远布置；

**2** 先施工长桩、大直径桩，后施工短桩、小直径桩；

**3** 先施工主楼 （高层）桩，后施工裙房 （低层）桩；

**4** 先施工密距桩，后施工疏距桩；桩间距小于3.5d时，应采用间隔沉桩施工。

**7.4.7**采用锤击法施打大面积密集桩群时，对饱和黏性上地基，应设置塑料排水板，间距宜为1.0～1.5m，深度宜为10～12m。采用静压法施工间隔时间不宜大于3h。当桩较密集，或地层为淤泥土、淤泥质土及饱和黏性土时，应设置塑料排水板消减超孔压或采取引孔等措施。在压桩施工过程中应对总桩数10％的桩设置上涌和水平偏位观测点，定时检测桩的上浮量及桩顶水平偏位值，若上涌和偏位值较大，应采取复压等措施。

**7.4.8** 预应力管桩用作抗拔桩时，宜采用单节桩。需要采用多节桩时，宜采用机械连接或堆焊焊接方式连接，连接部位应满足抗拔承载力要求，并应进行防腐处理。

**7.4.9**灌注桩后注浆施工应符合下列规定：

**1**淤泥、淤泥质土、饱和黏性土等软土地层，以及含流动地下水等地层应通过试验确定其后注浆施工可行性；

**2** 桩端后注浆宜采用预埋注浆钢管注浆，桩侧后注浆宜采用缠绕高压胶管进行注浆；桩端宜采用压密式注浆或压裂式工艺，桩侧宜采用渗入式注浆或压裂式注浆工艺；

**3** 后注浆作业时，应做好过程质量监控，真实、完整记录泵量、泵压、水泥用量、压浆时间等注浆数据。后注浆作业应一次完成，不得无故中断。

**7.4.10** 注浆终止压力、注浆泵流量、注浆量等参数可按下列条件确定：

**1** 注浆终止压力应根据桩周土层与桩端持力层性质、注浆点深度注浆工艺等条件综合确定；

**2** 注浆流量不宜大于75L/min；

**3** 单桩注浆量的设计应根据桩径、桩长、桩端与桩侧土层性质、单桩承载力增幅等因素确定，可按下式估算：

 *G*C = *α*p *d* +*α*s *n d* (7.4.10)

式中 *α*p 、*α*s——分别为桩端、桩侧注浆量经验系数，*α*p =1.5～1.8，*α*s=0.7～1.1；对于卵砾石层、中粗砂层及裂隙空洞等取较高值；

 *n* ——桩侧注浆断面数；

 *d* ——桩设计直径（m）；

*G*C——注浆量，以水泥质量计（t）；对独立单桩、桩距大于6d的群桩的注浆量宜按上述估算值乘以1.2的系数；

**4** 注浆施工应记录注浆起讫时间、压力变化、注入浆量及终止注浆时的注浆压力等。

**5** 当满足下列条件之一时可终止注浆：

**1）**注浆总量和注浆压力均达到设计要求；

**2）**浆液注入缓慢但注浆总量超过设计预估值的75%，且注浆压力超过设计值。

**6** 当注浆压力长时间低于正常值或周围桩孔串浆及地面冒浆，应改为间歇注浆，间歇时间宜为30min～60min，或调低浆液水灰比。

**7.4.11** 长螺旋钻孔压灌桩施工宜符合下列规定：

**1** 当需要穿越厚层砂土、碎石土、水位以下的新近代沉积土以及塑性指数大于25的高塑性黏土时，应通过成桩工艺试验确定其适用性；成桩工艺试验内容应包括钻进速度、提升速度、混凝土坍落度、泵送量、钢筋笼沉放等工艺参数；试桩数量不宜少于3根；

**2**成桩直径不宜大于1200mm，成桩深度不宜大于40m，充盈系数宜为1.0~1.2，且桩的任一断面直径不得小于设计直径；桩顶混凝土超灌高度不应小于300mm；

**3** 施工中各工序应连续进行，缩短间隔时间。如间隔时间超过混凝土初凝时间，应将混凝土输送泵及管内混凝土清除。成桩完成后，应及时清除钻杆及输送管内残留混凝土。长时间停置时，应用清水清洗钻杆、混凝土输送管、输送泵；

**4**施工前应进行场地平整，场地地基承载力应满足机械设备安装、施工与行走要求，场地高差不宜大于200mm；长螺旋钻机行走道路坡度不宜大于15°。

**7.4.12** 劲性复合桩施工前应进行成桩工艺试验。劲性复合桩中各单体桩桩位的允许偏差应为±10mm，散刚复合桩、柔刚复合桩与三元复合桩的垂直度允许偏差应为0.5%。

**7.4.13** 散刚复合桩施工时，宜在原地用同一桩机，先施工散体桩，再施工刚性桩。当土层松软时，散体桩宜采用复打或扩底工艺。

**7.4.14** 柔刚复合桩施工时，宜先施工柔性桩，再施工刚性桩。刚性桩施工宜在柔性桩施工后 6h 内进行。

**7.4.15** 三元复合桩施工宜先打散体桩，后打柔性桩，形成散柔复合桩，再在散柔复合桩中施工刚性桩。刚性桩施工宜在散柔性桩施工后6h内进行。

**7.4.16** 静钻根植桩的施工应先按照设计要求进行钻孔和扩底，然后注入桩端水泥浆和桩周水泥浆，最后将桩植入钻成孔内至设计标高。

**7.4.17** 根植桩植桩施工应符合下列要求：

**1** 桩的植入应和注浆保持连续，植桩应在桩端水泥浆初凝前完成；

**2** 植桩时，应采用检测尺对桩进行定位，桩位允许偏差为 30mm；

**3** 植桩时，桩的垂直度允许偏差为 0.5%；

**4** 接桩时，应采用专用工具将已沉桩节固定，然后吊装上节桩；

**5** 当最后一节桩沉至地面附近时，应采用送桩器将桩进行固定、校正和送桩。

**7.4.18** 成桩混凝土的强度等级应符合设计要求；混凝土坍落度、初（终）凝时间及配比应满足施工要求；混凝土配制材料、水灰比、外掺剂等应符合现行国家有关规范标准的规定。

**7.4.19** 承台基坑开挖施工中，挖土应均衡分层进行，对流塑状软土的基坑开挖，高差不应超过1m。

# 基坑工程

## 一般规定

**8.1.1**基坑支护设计时，应综合考虑基坑周边环境、岩土工程条件、基坑开挖工况等因素。除有特殊要求外，各种临时性支护结构需保证安全和正常使用时间为不少于一年。

**8.1.2**软土地层基坑支护设计应按表8.1.2的规定确定基坑周边环境等级和支护结构的水平位移控制值。

表8.1.2 支护结构最大水平位移控制值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 环境等级 | 适用范围 | 支护结构水平位移控制值 |
| 一级 | 基坑开挖影响范围内存在浅基础房屋、桩长小于基坑开挖深度的摩擦桩基础建筑物、轨道交通设施、隧道、防渗墙、雨（污）水管、供水总管、煤气总管、管线共同沟等重要建（构）筑物、设施 | 水平位移控制值取30mm且不大于0.0025H |
| 二级 | 一级与三级以外的基坑 | 水平位移控制值取45~50mm且不大于0.005H |
| 三级 | 开挖深度不大于10m、基坑周边五倍基坑开挖深度范围内无任何建筑、管线等需要保护的建（构）筑物 | 水平位移控制值取60~100mm且不大于0.01H |

注1 *H*为基坑开挖深度；

注2 软土地层基坑开挖影响范围取5H；

注3 表中水平位移控制值与基坑开挖深度的关系需同时满足。

**8.1.3**根据建筑基坑破坏后果的严重程度，基坑支护工程按表8.1.3确定其安全等级和重要性系数。同一基坑不同部位，可根据周边环境、地质条件选择不同的安全等级。

表8.1.3 基坑支护安全等级及重要性系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 安全等级 | 破坏后果 | 基坑和环境条件 | 重要性系数γ0 |
| 一级 | 支护结构破坏或土体失稳、变形对主体结构施工安全或基坑周边环境影响很严重 | 1 基坑开挖深度大于12m；2 支护结构作为主体结构的一部分；3 基坑开挖影响范围内有地铁、隧道等大型地下设施或重要管线；4 1.3倍基坑深度范围内软土层厚度大于5m。 | 1.1 |
| 二级 | 支护结构破坏或土体失稳、变形对主体结构施工安全或基坑周边环境影响严重 | 除一级和三级以外的基坑工程 | 1.0 |
| 三级 | 支护结构破坏或土体失稳、变形对主体结构施工安全或基坑周边环境影响不严重 | 基坑开挖深度小于5m且5倍开挖深度范围内无特殊要求保护的建（构）筑物和重要管线。 | 0.9 |

注1：基坑只要符合一级基坑四项条件中的一项，即定为一级。

注2：基坑和环境条件栏中，从一级开始，最先符合该级标准者，即可划分为该等级。

注3：重要管线系指破坏后果严重或很严重的管线，如燃气、供水、重要通信或高压电力电缆等。

**8.1.4**软土地层基坑工程设计方案宜根据岩土工程条件、场地周边堆载情况、环境条件、基坑开挖工况和使用要求等进行经济和技术比选确定。

**8.1.5**软土地层基坑工程设计前应具备下列资料：

1 拟建场地岩土地层详细勘察资料；

2 场地红线及周边地形图；

3 基坑开挖影响范围内已有建（构）筑物类型、基础形式、基础埋深等；

4 基坑内及周边管线、地铁、人防工程等地下设施的分布和现状；

5 基坑周边道路及车辆载重情况，基坑周围地面堆载情况；

6 已有类似基坑工程的相关资料。

**8.1.6**软土地层基坑工程设计应包括下列内容：

1 分析和评估软土工程特性和地下水埋藏条件对基坑支护体系的影响；

2 影响基坑安全的软土处理方案；

3 基坑支护体系的比选；

4 基坑稳定性验算；

5 基坑支护结构受弯、受剪承载力和变形计算；

6 基坑土方开挖技术要求；

7 基坑降水、止水方法与要求；

8 环境影响分析与保护要求；

9 质量检测及监控预警要求。

**8.1.7**软土抗剪强度取值应符合下列规定：

1计算基坑侧壁土压力时，淤泥及淤泥质土应采用有效应力，并宜采用三轴固结不排水抗剪强度指标；计算基坑整体稳定性是宜采用三轴不固结不排水抗剪强度指标；

2 软土的隆起稳定验算宜采用十字板剪切强度或三轴不固结不排水抗剪强度指标。

**8.1.8**软土基坑开挖的降水或截水方案应根据周边环境以及水文地质条件确定。当基坑底部埋藏有承压水时，应进行基坑底抗突涌稳定验算。

**8.1.9**软土地区基坑工程应遵循“动态设计与信息化施工”要求，应根据监测信息对设计与施工进行动态调整。

## 8.2基坑支护结构

**8.2.1**基坑支护结构应满足承载力极限状态和正常使用极限状态的设计计算和验算要求。

**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力计算，应采用承载力极限状态下荷载效应的基本组合设计值、结构构件承载力的设计值，并按照式8.2.2-1、8.2.2-2计算：

*γ0 Sd ≤ Rd* （8.2.2-1）

*Sd = γF SK* （8.2.2-2）

式中：*γ*0 *——*支护结构重要性系数，按本规范表8-2取值；

 *S*d ——承载能力极限状态的作用基本组合的效应设计值；

 *R*d ——结构构件的承载力设计值；

 *γ*F ——荷载分项系数，不应小于1.25；

 *S*K ——作用标准组合的效应。

**2** 整体滑动、坑底隆起失稳、挡土构件嵌固段推移、锚杆与土钉拔动、支护结构倾覆与滑移、土体渗透破坏等稳定性计算与验算，均应符合式8.2.2-3要求：

 （8.2.2-3）

式中：*R*K ——抗滑力、抗滑力矩、抗倾覆力矩、锚杆和土钉的极限抗拔承载力等土的抗力标准值；

 *K* ——安全系数。

**3** 由支护结构水平位移、基坑周边建（构）筑物、地铁、交通隧道、地下建构筑物、地下管线、综合管廊、地面道路、地面沉降、地下水渗流等控制的正常使用极限状态设计，应符合式8.2.2-4要求：

*S*d *≤ C* （8.2.2-4）

式中：*S*d ——作用标准组合的效应（位移、沉降等）设计值；

 *C* ——支护结构水平位移、基坑周边建（构）筑物、地铁、交通隧道、地下建构筑物、地下管线、综合管廊、地面道路、地下管线、地面沉降、地下水渗流等的限值。

**8.2.2**主动土压力系数*k*a和被动土压力系数*k*p，以及第i层土底面处作用在支护结构上的主动土压力强度*e*ai、被动土压力强度*e*pi应分别按以式8.2.2-5 ~ 8.2.2-10计算：

**1**主动土压力系数

 （8.2.2-5）

被动土压力系数

 （8.2.2-6）

**2**土压力强度应按式8.2.2-7~8.2.2-10计算：

1. 当土、水压力合算时：

 （8.2.2-7）

 （8.2.2-8）

1. 当土、水压力分算时：

 （8.2.2-9）

 （8.2.2-10）

1. 当*e*ai＜0时，应取*e*ai = 0

式中：*k*ai、*k*pi —— 第*i*层土的主动土压力系数或被动土压力系数；

 、—— 按有效、计算的第*i*层土的主动土压力系数或被动土压力系数；

*e*ai、*e*pi——第*i*层底面处土的主动土压力强度或被动土压力强度；

*q*0、*p*zi—— 地面附加均布压力或邻近建（构）筑物基底处附加压力传递到第*i*层土底面处的竖向压力；

、——第*i*层土的重度或有效重度；

m——相应于基坑底面处的土层序号；

n——相应于计算至最后一层土的序号；

——地下水的重度；

*h*i——第i层土的厚度；

*ha*i、*hb*i——相应于桩、墙后或桩、墙前地下水水面到计算层层底的距离；

、——第*i*层土的粘聚力或有效粘聚力标准值；

、——第*i*层土的内摩擦角或有效内摩擦角标准值。

**8.2.3**在深厚淤泥或淤泥质土等软土场地，不宜采用放坡支护。存在下列情况之一的软土地区基坑工程，不应采用土钉墙支护：

**1** 淤泥或淤泥质土厚度超过2m；

**2** 开挖前未经专门降水处理；

**3** 基坑安全等级与环境等级为二级以上等级。

**8.2.4**软土地区基坑支护结构采用双排桩时，桩型宜选用灌注桩，且桩径不宜小于800mm，排桩的中心距不宜小于桩直径的3.0倍；当基坑底部处于淤泥、淤泥质土层中，排桩应穿过软土层进入下卧硬土层深度不小于2.0m。

**8.2.5**软土地区基坑排桩支护设计应符合以下规定：

**1** 当基坑开挖深度大于5m时，不宜采用常规悬臂桩支护；

**2** 双排桩桩端宜穿过软土层，进入硬土层；

**3** 当软土地层深厚或邻近既有建筑物、管线等对变形敏感的建构筑物时，不宜采用桩锚支护结构；

**4** 排桩支护采用“跳桩”法施工，相邻施工两桩间距不应小于5倍桩径，或相邻排桩完成混凝土浇捣施工时间间隔不应小于36h。

**8.2.6**有条件采用锚杆支护时，锚杆锚固段不宜设置在淤泥、淤泥质土内。当采用预应力锚杆时，应考虑蠕变对锚杆预应力损失的影响。

**8.2.7**软土地层采用地下连续墙支护时，墙身嵌入深度应满足整体稳定性要求，且地下连续墙宜穿过淤泥及淤泥土层，并可对墙底被动区软土进行加固。

**8.2.8**地下连续墙设计时应符合下列规定：

**1** 地下连续墙嵌入坑底以下的有效深度，应满足基坑抗隆起稳定性要求、抗渗流稳定性要求和整体稳定性要求；

**2** 地下连续墙顶部应设置足够刚度的钢筋混凝土冠梁以增加地下连续墙墙段之间的横向整体性。冠梁的宽度不宜小于地下连续墙厚度，冠梁高度不宜小于500mm，地下连续墙竖向主筋应锚入冠梁内；

**3** 地下连续墙主筋保护层在基坑内撑不宜小于50mm，基坑外侧不宜小于70mm；

**4** 采用动态设计法，根据基坑施工与检测信息，及时调整地下连续墙设计。

**8.2.9**软土地区基坑采用内支撑支护时，内支撑结构需形成稳定的结构体系，满足强度、变形和稳定性要求，且内支撑立柱桩应有一定的埋深和抗压、抗拔承载能力。

**8.2.10**基坑开挖深度小于5m时，可采用水泥土挡墙支护，当开挖范围内存在有机质土或泥炭质土时，应通过试验确定其适用性。

**8.2.11**软土地区基坑支护结构的变形控制值应根据周边环境及坑内永久支护结构变形允许条件等因素进行确定，且变形控制值应符合下列规定：

**1** 基坑开挖后邻近建（构）筑物的沉降差、局部倾斜、整体倾斜及基础倾斜不应超过现行国家行业及地方标准规定的允许值；邻近道路和各种管线的变形不应超过相关规范的规定或影响其正常使用；当邻近有地铁时，应按地铁控制要求进行控制；

**2** 支护结构最大水平位移控制值宜取表8-1的规定的较小值，且不应超过正常使用极限状态荷载效应标准组合作用下支护结构位移的计算值。

## 基坑地下水控制

**8.3.1**软土地区基坑的设计与施工中，应对地下水采取有效的控制，防止地下水渗入基坑造成渗流破坏或坑壁坍塌，防止地下水大幅波动对基坑周围环境造成危害。

**8.3.2**软土地区基坑可采用混凝土地下连续墙、水泥土连续墙、水泥土搅拌桩、高压旋喷桩等形成截水帷幕进行封闭截水。

**8.3.3**截水帷幕应插入相对不透水层，插入深度不应小于1.5m，当基坑土层存在局部透水层时，可根据透水层位置选用满足止水要求的悬挂式截水帷幕。

**8.3.4**当基坑周边环境允许采用基坑降水措施，基坑内的降水深度宜控制在开挖面以下1.0~1.5m。

**8.3.5**当基坑底面下有承压水时，或基坑底部附近具有产生渗透变形条件时，应进行抗突涌、抗渗流破坏稳定性验算。当不满足突涌稳定性要求时，应对该承压水含水层采取减压措施。

**8.3.6**为检验止水帷幕的效果，可在基坑开挖前进行抽水试验检验。

**8.3.7**在基坑开挖和降水的同时，应加强对邻近建（构）筑物、地下工程、道路、管线的沉降观测，评价降水造成的影响，对应采取有效控制措施。

## 基坑工程施工

**8.4.1**软土地区基坑工程施工前，应根据工程设计文件进一步确定场地地质情况、周边环境和地下水埋藏条件。应地质条件和设计要求、选择满足现场施工条件与环境保护要求的施工方法，减少对软土的扰动，控制地层位移对周边环境的影响。

**8.4.2**软土基坑开挖宜符合下列规定：

**1** 基坑开挖前，应根据基坑支护设计要求编制施工方案，并做好基坑变形、坑底涌水等应急准备工作；

**2** 宜自上而下分层开挖，分层开挖厚度不应大于1.5m。每层开挖后应保护好坡脚，避免坡脚长时间浸水；

**3** 软土基坑面积较大时需分段开挖，分段开挖长度不宜大于10m。当基坑周边有对变形敏感建（构）筑物或地下管线时应适当减小分段长度；

**4** 基坑周边严禁超载，施工材料、临时设施和车辆荷载不得超过设计要求。如需临时堆土或留作回填土时，应按设计要求堆土；滨海软土地区基坑周边3倍基坑深度范围内严禁堆土；

**5** 基坑开挖过程中，应做好基坑内的抽排水工作，防止开挖面长时间浸水。开挖至设计标高后，需采取有效的截排水措施；

**6** 基坑开挖过程中，应综合考虑土方开挖对支护结构、工程桩以及其他设施的影响，必要时采取加固措施；

**7** 开挖过程中应加强基坑变形、基坑渗漏水及周边设施沉降的监测工作；

**8** 当主体结构采用桩基础且基础桩已施工完成时，应根据开挖面下软土的性状，限制每层开挖深度，不得造成基础桩偏位；

**9** 对采用内支撑的支护结构，宜采用局部开槽方法支模浇筑混凝土支撑或安装钢支撑；开挖到支撑作业面后，应及时进行支撑的施工；

**10** 挖至坑底时，避免扰动基底持力层土层的原状结构；

**11** 对重力式水泥土墙，沿水泥土墙方向应分区段开挖，每一开挖区段的长度不宜大于40m；

**12** 对面积较大的基坑可采用岛式开挖方式，但应重视不对称开挖对结构受力造成的不利影响。

**8.4.3**对高灵敏度软土基坑，施工和使用过程中，应采取措施减少临近交通道路或其他扰动源对土的扰动。

**8.4.4**基坑开挖时应对软土的触变性和流动性采取措施，当采用排桩保护时，必须进行桩间土的保护，防止软土侧向挤出。当周边有建(构)筑物时，宜设置截水帷幕保护桩间土。

**8.4.5**淤泥层土方开挖，应采用小型挖掘机，并采取防机械沉陷的措施。

**8.4.6**软土地区基坑坑底可采用搅拌桩、旋喷桩等方法对其进行局部或整体加固，加固体应按实体或格栅式布置，加固体参数宜根据经验适当调整；也可采用换土垫层、注浆法等方式，增加被动土压力。

**8.4.7**软土地区基坑开挖过程中，出现下列情况时，应暂停开挖，并采用有效控制措施。

**1** 基坑周边建（构）筑物沉陷变形突然增大，管道爆裂、道路下沉、地面塌陷等；

**2** 支护结构位移达到设计规定的位移限值；

**3** 支护结构位移速率增长且不收敛；

**4** 支护结构构件出现影响整体结构安全性的损坏；

**5** 基坑侧壁或坑底出现渗漏水突然增大；

**6** 基坑坑底发生涌土或隆起失稳。

**8.4.8**基坑土方开挖过程中，特别是雨季、汛期施工时，若发生异常情况，应立即采取处理措施，并加强监测。

**8.4.9**地下室未完成前，不宜进行基坑回填。若需提前回填，应先论证侧壁侧向稳定性和抗浮稳定性。地下室建好后，基坑侧壁与结构外墙之间的空间应及时回填，回填材料宜采用流态固化土；当采用其他散体材料回填时，散体材料的有机质含量不应大于3%，密实度应满足设计要求，并应对回填密实度进行检验。不得采用淤泥或淤泥质土进行回填。

## 基坑工程监测

**8.5.1**基坑工程监测范围应根据基坑设计深度、地质条件、周边环境情况以及支护结构类型、施工工法等综合确定。采用施工降水时，尚应考虑降水及地面沉降的影响范围。

**8.5.2**基坑监测应以仪器监测为主，以现场巡查为辅。基坑工程监测对象宜包括：

**1** 支护结构；

**2** 基坑及周围土体；

**3** 地下水状况；

**4** 周边环境包括基坑周边建（构）筑物、地铁、交通隧道、地下建构筑物、地下管线、综合管廊、地面道路、地面沉降等。

**5** 其他应监测的内容。

**8.5.3**监测点的布置应能满足监测要求。软土地区基坑开挖影响的范围随开挖深度的增加而增大，从基坑边缘向外5倍开挖深度范围内的建（构）筑物均应为监测对象。

**8.5.4**对高灵敏性软土，应重点检查施工扰动情况，支撑施作是否及时，侧壁有无软土挤出，开挖暴露面是否及时封闭等。

**8.5.5**当基坑底部附近有软弱土层，基坑可能发生隆起或整体失稳时，应在坑底设置监测点，监测坑底的位移和隆起量。

**8.5.6**坑底隆起监测点的布置应符合下列规定：

**1** 监测点宜按纵向或横向断面布置，断面宜选择在基坑的中央以及其他能反应变形特征的位置，断面数量不宜少于2个；

**2** 同一断面上监测点横向间距宜为10~30m，数量不宜少于3个；

**3** 监测标志宜埋入坑底以下20cm~30cm。

**8.5.7**基坑工程监测必须确定监测报警值，监测报警值应满足基坑工程设计、地下结构设计以及周边环境中被保护对象的控制要求。监测报警值由基坑工程设计方确定。

**8.5.8**当出现下列情况之一时，必须立即进行危险报警，并应对基坑支护结构和周边环境中的保护对象采取应急措施。

**1** 监测数据达到监测报警值的累计值；

**2** 基坑支护结构或周边土体的位移值突然明显增大或基坑出现流沙、管涌、隆起、陷落或较严重的渗漏等；

**3** 基坑支护结构的支撑或锚杆体系出现过大变形、压屈、断裂、松弛或拔出的迹象；

**4** 周边建筑的结构部分、周边地面出现较严重的突发裂缝或危害结构的变形裂缝；

**5** 周边管线变形突然明显增长或出现裂缝、泄露等；

**6** 根据当地工程经验判断，出现其他必须进行危险报警的情况。

**8.5.9**监测数据的处理与信息反馈宜采用专业软件，专业软件的功能和参数应符合规范的有关规定，并宜具备数据采集、处理、分析、查询和管理一体化以及监测成果可视化的功能。

# 监测、检验与验收

## 一般规定

**9.1.1** 软土地基上的建筑物应在施工期间及使用期间进行沉降观测，直至沉降稳定为止。

**9.1.2** 基坑工程监测时间应从开挖开始至地下室施工、回填完成周边环境变形稳定为止。

**9.1.3** 一级边坡或滑塌影响区内存在建（构）筑物的边坡工程在施工及运行期间应进行监测。

**9.1.4** 当采用打入式或振动进行挤土桩施工时，应考虑施工对2.5倍桩长范围周边环境的影响，当采用静压式施工时，应考虑施工对1.3倍桩长范围内周边环境的影响，该范围内的建筑、地下管线、市政设施均应进行监测。

**9.1.5**  地基基础工程质量检验应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202的有关规定，并符合下列规定：

**1**  施工中采用涉及安全、环保、节能的材料、构件应按要求进行进场检验；

**2**  各施工工序应进行质量自检，施工工序之间应进行交接质量检验；

**3** 施工质量检验应包括下列内容：

**1)** 天然地基应进行基槽（坑）检验；

**2)** 处理地基应进行地基处理效果检验；

**3)** 桩基应进行桩位、桩长、桩径、桩身质量和单桩承载力检验；

**4)** 基础与桩基承台施工完成后，应对所用材料强度及施工质量进行检验；

**5)** 基坑工程施工完成后应对支护桩（墙）和支撑进行质量检验，并应对锚杆、土钉进行承载力检验；

**6)** 边坡工程施工完成后应对支护桩（墙）、喷射混凝土、抗滑桩、坡面防护结构等进行质量检验，并应对锚杆进行承载力检验。

**9.1.6** 地基基础工程施工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规范》GB50202的有关规定，并符合下列规定：

**1** 地基基础工程施工质量应符合验收规定的要求；

**2** 质量验收的程序应符合验收规定的要求；

**3** 工程质量的验收应在施工单位自行检查评定合格的基础上进行；

**4** 质量验收应进行分部、分项工程验收；

**5** 质量验收应按主控项目和一般项目验收。

**9.1.7** 地基基础工程验收应符合应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202的有关规定，并符合下列规定：

**1**  施工质量验收应提供下列资料：

**1)** 工程勘察成果文件；

**2)** 设计文件及其会审记录，技术交底资料；

**3)** 施工组织设计，专项施工方案；

**4)** 施工中采用的材料、建筑构配件和设备的自检、复检记录或报告；

**5)** 施工记录，工程测量、定位放线记录；

**6)** 隐蔽工程或分部分项验收材料；

**7)** 工程监测记录和报告；

**8)** 施工单位自检报告；

**9)** 开工报告、竣工报告及竣工图。

**2**  施工质量应按下列要求进行验收：

**1)** 工程质量验收应在施工单位自检合格基础上进行；

**2)** 施工中使用的材料、构配件以及施工的部品部件（单元体）应提供检验成果报告；

**3)** 隐蔽工程在隐蔽前应进行验收，并形成验收文件；

**4)** 工程的观感质量应由验收人员现场检查、记录，并应共同签字确认。

**3**  施工质量验收合格应符合下列规定：

**1)** 符合勘察、设计文件的要求；

**2)** 符合本规范和相关技术规范的规定。

## 监测

**I地基JC**

**9.2.1** 填方、填海、预压地基，强夯，振冲桩、砂石桩、土和灰土挤密桩、水泥粉煤灰碎石桩等地基处理工程，应对地面沉降进行长期监测，施工过程中应对土体变形、孔隙水压力等进行监测。堆载预压项目应在施工过程对地面沉降、水平位移、深层位移、孔隙水压力等进行监测，地面沉降应观测至稳定。

**9.2.2** 当有邻近建筑或地下管线时，应对周边环境的影响进行监测；若施工过程中需要降水时，应对地下水位进行监测。

**II 基础JC**

**9.2.3** 当周边有邻近建筑时，应进行沉降(或上浮)、倾斜监测，沉降点根据建筑分布布置，每幢建筑沉降点不得少于6-8个，倾斜观测点不少于4个，控制建筑最大变形量小于20mm；当周边为桩基建筑，应控制建筑沉降小于10mm；周边建筑不均匀沉降量应小于本规范的允许值。桩基施工过程中，应对周边建筑物裂缝标记的变化进行监测。

**9.2.4** 当场地周边埋设有地下管线时，应在埋设位置对应的地面布点进行地面沉降监测，布点间距10-15m，对于煤气管道及其它重要设施，应控制其最大变形小于20mm，速率小于1mm/d；对于自来水管、地下电缆，应控制其最大变形小于30mm，速率小于2mm/d。

**9.2.5** 当桩基施工会产生振动时，应进行地面振动加速度监测，应控制地面振动加速度小于（0.5~0.8）m/s2。

**9.2.6** 甲、乙级建筑或挤土桩布桩较密时，应进行场地内孔隙水压力、土体隆起和位移、工程桩变形监测。孔隙水压力、土体变形监测数量不宜少于3处，工程桩变形监测数量不宜少于总桩数的1％。

**III 基坑JC**

**9.2.7** 基坑开挖监测包括支护结构监测和周边环境监测，监测内容包括支护结构变形、地下水位及周边建筑、地下管线和其他市政设施的沉降和位移。一级基坑尚应进行构件内力、土体变形及土压力、孔隙水压力监测；当采用锚杆时，应对锚杆应力进行监测，监测锚杆数量不得少于5％，且不得少于6根，详见表9.2.7。

**表9.2.7 基坑监测项目选择表**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 基坑类别监测项目 | 一级 | 二级 | 三级 |
| 围护桩（墙）顶水平位移 | 应测 | 应测 | 应测 |
| 围护桩（墙）顶水平位移 | 应测 | 应测 | 应测 |
| 围护桩（墙）内力 | 宜测 | 可测 | 可测 |
| 深层水平位移 | 应测 | 应测 | 宜测 |
| 立柱竖向位移 | 应测 | 宜测 | 宜测 |
| 支撑内力 | 应测 | 宜测 | 可测 |
| 立柱内力 | 可测 | 可测 | 可测 |
| 锚杆（索）内力 | 应测 | 宜测 | 可测 |
| 土钉内力 | 宜测 | 可测 | 可测 |
| 坑底隆起 | 宜测 | 可测 | 可测 |
| 围护桩（墙）侧向土压力 | 宜测 | 可测 | 可测 |
| 孔隙水压力 | 宜测 | 可测 | 可测 |
| 地下水位 | 应测 | 应测 | 应测 |
| 土层分层竖向位移 | 宜测 | 可测 | 可测 |
| 周边地表竖向位移 | 应测 | 应测 | 宜测 |
| 周围建（构）筑物 | 竖向位移 | 应测 | 应测 | 应测 |
| 倾斜 | 应测 | 宜测 | 可测 |
| 水平位移 | 应测 | 宜测 | 可测 |
| 周边建（构）筑物、地表裂缝 | 应测 | 应测 | 应测 |
| 周围管线变形 | 应测 | 应测 | 应测 |

**9.2.8** 支护结构变形监测布置：测斜点间距20m～50m，坡顶变形测点间距不宜大于20mm；周边监测范围包括基坑边至相当于3倍开挖深度的距离内的建(构)筑物沉降倾斜、地下管线(所在地面)变形监测，若采取降水措施，监测范围应相当于5倍水位降深的距离。构件应力、土体变形、土压力及孔隙水应力的监测与布置应根据设计要求进行。

**9.2.9** 施工前，应对周边进行现状调查，收集地下管线资料，提出应采取的措施和建议，提交调查报告。

**9.2.10** 在支护结构施工过程中，按要求埋设支护结构监测点，采取测点保护措施，开挖前，各项监测项目均应埋设到位，并取得开挖前的初值。

**9.2.11**  开挖过程中，一般1~2天测一次，测试数据变化大或开挖后期应加密监测；封底及底板施工完成后，可加大监测时间间距，支撑拆除前后，应进行监测；并应记录气候条件、开挖情况，如遇到异常情况时，应立即发出警报。

**9.2.12** 降水监测主要是在基坑内外布置地下水位观测孔监测降水过程中的地下水动态变化，基坑邻近建（构）筑物、管线附近应布置水位观测孔。

**IV 边坡JC**

**9.2.13** 边坡工程监测项目主要分为位移监测和应力监测。位移监测点的水平布设间距可根据边坡类型、边坡安全等级确定，应力监测点布设位置、间距应根据设计要求、支护结构受力特征、地质条件和边坡工程安全等级综合确定，且应力监测点与位移监测点宜布设在同一断面。

**9.2.14** 边坡工程可根据安全等级、地质环境、边坡类型、支护结构类型和变形控制要求，按表9.2.14选择监测项目。

表9.2.14 边坡工程监测项目表

| 监测项目 | 测点布设位置 | 边坡工程安全等级 |
| --- | --- | --- |
| 一级 | 二级 | 三级 |
| 深层水平位移 | 支护结构或预估支护结构变形最大处 | 应测 | 应测 | 选测 |
| 坡顶水平位移和沉降 | 支护结构顶部或预估支护结构变形最大处 | 应测 | 应测 | 应测 |
| 地表裂缝 | 坡顶背后1.0H（岩质）~1.5H（土质）范围内 | 应测 | 应测 | 应测 |
| 坡顶建（构）筑物变形 | 边坡坡顶建（构）筑物基础、墙面 | 应测 | 应测 | 应测 |
| 管线 | 管线节点、转角处、位移变化敏感或预测变形较大处 | 应测 | 应测 | 应测 |
| 降雨、洪水与时间关系 | — | 选测 | 选测 | 选测 |
| 锚杆拉力 | 外锚头或锚杆主筋 | 应测 | 选测 | 可测 |
| 支护结构变形 | 主要受力构件 | 应测 | 选测 | 可测 |
| 支护结构应力 | 应力最大处 | 选测 | 选测 | 可测 |
| 地下水、渗水与降水关系 | 出水点 | 应测 | 选测 | 可测 |

注：**1.**在边坡塌滑区内有重要建（构）筑物，破坏后果严重时，应加强对支护结构的应力监测；

**2.***H*—边坡高度（m）。

**9.2.15** 土质边坡深层水平位移监测点数量不宜少于3个，管底应嵌入到稳定岩土层；坡顶位移监测点间距不宜大于30m，且不少于3个点；非预应力锚杆监测点不宜少于3%，预应力锚杆监测点不少于5%，且均不应少于3根。

**9.2.16** 边坡施工过程中，一般1-2周测一次，当边坡工况发生变化或测试数据变化大或暴雨期应加密监测；边坡竣工后第一年可1-2月观测一次；第二年每3-6月观测一次直至边坡变形稳定。每次监测应记录气候条件、边坡工况，如遇到异常情况时，应立即发出警报。

**V 周边建（构）筑物 JC**

**9.2.17** 沉降观测点应布置在建筑角点、边线、柱位上，布置建筑结构变化位置，布点间距不宜超过2个柱位，每座建筑沉降点不宜少于6个。

**9.2.18** 应在离被测建筑30m~50m外稳定位置上设置2~3个工作基准点，应定期进行水准联测。

**9.2.19** 应采用N3、或S3精密水准仪，二、三级测量精度，要求每3层测一次，封顶后前半年每2个月测一次，后半年每3个月测一次，第2年每4个月测一次，第三年以后每半年测一次，要求观测至建筑沉降达到稳定。

**9.2.20** 当桩基建筑沉降速率小于0.01 mm/d；浅基(包括地基处理)建筑沉降速率小于0.04mm/d，且延续时间达100d以上时，可认为该建筑沉降已达到相对稳定标准。

**9.2.21** 垂直度监测应在建筑内布置(内控点)，与施工单位放样点应一致，每座建筑垂直度监测点不宜少于4个，要求采用200×200铁板布置于底层，每层楼板相应位置开出200×200的孔洞。

**9.2.22** 应采用垂准仪测试，垂直度测量误差不得超过5mm/100m。

**9.2.23** 每3层监测一次，沉降观测封顶后应再监测3-4次，直至沉降稳定；垂直度观测至封顶。

## 检验

**I地基 JY**

**9.3.1** 天然地基基槽（坑）开挖到底后，应进行基槽（坑）检验。当发现地质条件与勘察报告和设计文件不一致、或遇到异常情况时，应结合地质条件提出处理意见。

**9.3.2** 地基工程施工质量的检验与验收，应在施工完成并在间歇期后进行。间歇期应符合下列规定：

**1** 间歇期对黏性土地基不宜少于28d，对粉土地基不宜少于14d，其他地基不应少于7d；

**2** 有粘结强度增强体的复合地基承载力检测宜在施工结束28d后进行；

**3** 当设计对龄期有明确要求时，应满足设计要求。

**9.3.3** 处理地基承载力与质量检验，应符合下列规定：

**1** 处理地基应进行地基承载力和变形评价、处理范围和有效加固深度内的地基均匀性评价，以及复合地基增强体的成桩质量和承载力评价；

**2** 处理地基承载力检验应采用载荷试验，对有黏结强度复合地基增强体尚应进行单桩静载荷试验；

**3** 换填、压实、强夯、预压、注浆等方法处理后的地基和散体材料复合地基增强体应进行密实度和施工质量检验，有黏结强度复合地基增强体应进行强度及桩身完整性检验。对设计要求消除地基液化、湿陷性的地基，应进行消除桩间土的液化、湿陷性效果检验。

**9.3.4** 处理地基的检验数量，应符合下列规定：

**1** 、土工合成材料地基、粉煤灰地基、强夯地基、注浆地基、预压地基的承载力检验数量为每300m2不应少于1点，超过3000m2部分每500m2不应少于1点，每单位工程不应少于3点。采用原位测试方法检验处理地基施工质量时，单位工程检验数量不应少于10点，超过3000m2部分每500m2不应少于1点，检测同一土层的试验有效数据不应少于6个。

**2** 砂石桩、高压喷射注浆桩、水泥土搅拌桩、土和灰土挤密桩、水泥粉煤灰碎石桩、夯实水泥土桩等复合地基的承载力检验数量不应少于总桩数的0.5％，且不应少于3点。有单桩承载力或桩身强度检验要求时，检验数量不应少于总桩数的0.5％，且不应少于3根。有桩身完整性检验要求时，检验数量不应少于总桩数的10％，且不应少于10根。

**3** 除上述两款指定项目外，其他项目可按检验批抽样。复合地基中增强体的检验数量不应少于总数的20%。

**9.3.5** 地基承载力检验方式、试验点、荷载板面积应符合下列规定：

**1** 加载方式应采用慢速维持荷载法。地基承载力检验时，静载试验最大加载量不应小于设计要求的承载力特征值的2倍。

**2** 检验点位应在施工完成后随机选择；当考虑最不利状态设计时，最不利部位应有试验点。

**3** 地基载荷试验采用的承压板尺寸应按设计或有关规范确定。素土和灰土地基、砂和砂石地基、土工合成材料地基、粉煤灰地基、注浆地基、预压地基的载荷试验的承压板面积不应小于1.0m2；强夯地基载荷试验的承压板面积不应小于2.0m2。复合地基载荷试验的承压板尺寸应根据设计的面积置换率计算确定。

**II 基础 JY**

**9.3.6** 桩基施工完成后应对承载力和桩身质量进行检验。

**9.3.7** 预制桩、钢桩应对接桩质量、锤击及静压的技术指标进行检验；灌注桩应对孔深（桩长）、孔底沉渣厚度、混凝土强度等进行检验，嵌岩桩还应对桩端的岩性和入岩深度进行检验。

**9.3.8** 灌注桩每浇注50m3必须留置1组混凝土强度试件，不足50m3的桩，每连续浇筑12h必须留置1组混凝土强度试件。对单柱单桩，每根桩至少应留置1组混凝土强度试件。

**9.3.9** 为设计提供依据的试验桩检测应依据设计确定的基桩受力状态，采用相应的静载试验方法确定单桩极限承载力，检测数量应满足设计要求，且在同一条件下不应少于3根；当预计工程桩总数小于50根时，检测数量不应少于2根。

**9.3.10** 工程桩应采用低应变法检测桩身完整性，检测数量不应少于总桩数的20％，且不应少于10根，每根柱子承台下的桩抽检数量不应少于1根。直径大于800mm的混凝土嵌岩桩还应采用钻芯法或声波透射法检测桩身完整性，检测桩数不应少于总桩数的10%。

**9.3.11** 混凝土桩的桩身完整性检测数量应符合下列规定：

**1** 建筑桩基设计等级为甲级，或地基条件复杂、成桩质量可靠性较低的灌注桩工程，检测数量不应少于总桩数的30％，且不应少于20根；其他桩基工程，检测数量不应少于总桩数的20％，且不应少于10根；

**2** 除符合本条上款规定外，每个柱下承台检测桩数不应少于1根；

**3** 大直径嵌岩灌注桩或设计等级为甲级的大直径灌注桩，应在本条第1、2款规定的检测桩数范围内，按不少于总桩数10％的比例采用声波透射法或钻芯法检测。

**9.3.12** 当符合下列条件之一时，应采用单桩竖向抗压静载试验进行承载力验收检测。检测数量不应少于同一条件下桩基分项工程总桩数的1％，且不应少于3根；当总桩数小于50根时，检测数量不应少于2根。

**1**  设计等级为甲级的桩基；

**2**  施工前未按本规范第9.3.8条进行单桩静载试验的工程；

**3**  施工前进行了单桩静载试验，但施工过程中变更了工艺参数或施工质量出现了异常；

**4**  地基条件复杂、桩施工质量可靠性低；

**5**  本地区采用的新桩型或新工艺；

**6**  施工过程中产生挤土上浮或偏位的群桩。

**9.3.13** 除本规范第9.3.11条规定外的工程桩，单桩竖向抗压承载力可按下列方式进行验收检测：

 **1** 当采用单桩静载试验时，检测数量宜符合本规范第9.3.11条的规定；

 **2** 预制桩和满足高应变法适用范围的灌注桩，可采用高应变法检测单桩竖向抗压承载力，检测数量不宜少于总桩数的5％，且不得少于5根。

**9.3.14** 对于端承型大直径灌注桩，当受设备或现场条件限制无法检测单桩竖向抗压承载力时，可选择下列方式之一，进行持力层核验：

 **1** 采用钻芯法测定桩底沉渣厚度，并钻取桩端持力层岩土芯样检验桩端持力层，检测数量不应少于总桩数的10％，且不应少于10根；

 **2** 采用深层平板载荷试验或岩基平板载荷试验，检测应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007和《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定，检测数量不应少于总桩数的1％，且不应少于3根。

**9.3.15** 无筋扩展基础、钢筋混凝土扩展基础、筏形与箱形基础施工验收应对轴线位置、混凝土强度等进行检验，其中无筋扩展基础还应对砂浆强度进行检验。

**9.3.16** 岩石锚杆基础施工验收应对抗拔承载力、孔深、锚固体强度等进行检验。锚杆抗拔承载力的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小于6根。

**9.3.17** 沉井与沉箱施工验收应对混凝土强度、井（箱）壁厚度、封底前下沉速率、终沉后刃角平均标高、刃角中心线位移、四角中任何两角高差等进行检验。

## 验收

**I地基 YS**

**9.4.1** 地基处理工程的验收，当采用一种检验方法检测结果存在不确定性时，应结合其它检验方法进行综合判断。

**9.4.2** 换填、压实地基施工验收应符合下列规定：

**1** 砂和砂石地基施工验收应对地基承载力、配合比和压实系数等进行检验；

**2** 粉煤灰地基施工验收应对地基承载力和压实系数等进行检验；

**3** 土工合成材料地基施工验收应对地基承载力、土工合成材料强度及土工合成材料延伸率等进行检验。

**9.4.3** 预压、夯实地基及注浆加固地基施工验收应对地基承载力、处理后地基土的强度及变形指标等进行检验。

**9.4.4** 复合地基施工验收应符合下列规定：

**1** 砂石桩复合地基施工验收应对复合地基承载力、桩体密实度、填料量、孔深等进行检验；

**2** 高压旋喷桩复合地基、水泥土搅拌桩复合地基施工验收应对单桩与复合地基的承载力、水泥用量、桩长和桩身强度等进行检验，水泥土搅拌桩复合地基还应对搅拌叶的回转直径进行检验；

**3** 土和灰土挤密桩复合地基、夯实水泥土桩复合地基施工验收应对复合地基承载力、桩体填料平均压实系数及桩长等进行检验，其中夯实水泥土桩复合地基还应对桩身强度进行检验；

**4** 刚性桩复合地基施工验收应对单桩及复合地基承载力、桩长、桩径、桩身完整性、桩身强度等进行检验。

**II 基坑 YS**

**9.4.6** 基坑支护结构施工前应对原材料等进行检验，施工过程中应检验施工工序及各项施工参数，施工完成后应进行质量验收。

**9.4.7** 围护结构施工完成后的质量验收应在基坑开挖前进行，支锚结构的质量验收应在对应的分层土方开挖前进行。

**9.4.8** 基坑开挖过程中，应对基坑开挖面的围护墙表观质量，支护结构的变形、渗漏水情况以及支撑竖向支承构件的垂直度偏差等项目进行检测。

**9.4.9** 灌注桩排桩施工验收应符合下列规定：

**1** 灌注桩排桩应对孔深、桩身完整性、混凝土强度、嵌岩深度、钢筋笼主筋间距等进行检验；

**2** 灌注桩排桩应采用低应变法检测桩身完整性，检测桩数不应少于总桩数的20％，且不应少于5根。采用桩墙合一时，低应变法检测桩身完整性的检测数量应为总桩数的100％；采用声波透射法检测的灌注桩排桩数量不应低于总桩数的10％，且不应少于3根。当根据低应变法或声波透射法判定的桩身完整性为Ⅲ类、Ⅳ类时，应采用钻芯法进行验证；

**3** 灌注桩每浇注50m3必须留置1组混凝土强度试件，单桩不足50m3的桩，每连续浇筑12h必须留置1组混凝土强度试件。有抗渗等级要求的灌注桩还应留置抗渗等级检测试件，一个级配不应少于3组。

**9.4.10** 截水帷幕的施工验收应符合下列规定：

**1** 截水帷幕采用水泥土搅拌墙时，应对水泥用量、桩长、导向架垂直度、桩径等进行检验，其中三轴水泥土搅拌桩还应对桩身强度进行检验；

**2** 截水帷幕采用渠式切割水泥土连续墙时，应对墙体强度、水泥用量、墙体长度、垂直度、墙厚等进行检验；

**3** 截水帷幕采用高压喷射注浆时，应对水泥用量、桩长、钻孔垂直度、桩身强度等进行检验；

**4** 基坑开挖前截水帷幕的强度指标应满足设计要求，强度检测应采用钻芯法。截水帷幕采用单轴水泥土搅拌桩、双轴水泥土搅拌桩、三轴水泥土搅拌桩、高压喷射注浆时，检测数量不应少于总桩数的1%，且不应少于3根。截水帷幕采用渠式切割水泥土连续墙时，检测数量沿基坑周边不应少于每50延米1个取芯点，且不应少于3个。

**9.4.11** 钢板桩围护墙、预制混凝土板桩围护墙的施工验收应对桩长、桩身弯曲度、桩顶标高等进行检验，其中预制混凝土板桩围护墙还应对凹凸槽尺寸进行检验。

**9.4.12** 咬合桩围护墙的施工验收应对导墙定位孔孔径、导墙定位孔孔口定位、钢套管顺直度、成孔孔径、成孔垂直度、成孔孔深等进行检验。

**9.4.13** 型钢（预制桩）水泥土搅拌墙的施工验收应符合下列规定：

**1** 三轴水泥土搅拌桩和渠式切割水泥土连续墙应对桩身（墙体）强度、水泥用量、桩长（墙体长度）、垂直度、桩径（墙厚）等进行检验。其中墙体强度应采用钻芯法确定，三轴水泥土搅拌桩的检测数量不应少于总桩数的1%，且不得少于3根；渠式切割水泥土连续墙的检测数量不应少于每50延米1个取芯点，且不应少于3个。

**2** 内插型钢（预制桩）的施工验收应对强度进行检验。

**9.4.14** 土钉墙支护施工验收应对土钉抗拔承载力、土钉长度、分层开挖厚度、喷射混凝土面层强度及厚度等进行检验。土钉抗拔承载力的检测数量不应少于土钉总数的1%，且同一土层中的土钉检测数量不应小于3根。

**9.4.15** 地下连续墙施工验收应符合下列规定：

**1** 成槽及墙体验收应对墙体强度、槽壁垂直度、槽段深度、槽底沉渣厚度等进行检验；

**2** 钢筋笼验收应对钢筋笼长度、钢筋笼宽度、钢筋笼安装标高、主筋间距等进行检验；

**3** 兼作永久结构的地下连续墙，应对预埋钢筋接驳器等进行检验，取每500套为一个检验批，每批应抽查3件，复验内容为外观、尺寸、抗拉强度等；

**4** 施工结束后应采用声波透射法对墙体混凝土质量进行检测，检测墙段数量不应少于同条件下总墙段的20%，且不得少于3幅，每个检测墙段的预埋声测管数不应少于4个。当地下连续墙作为主体地下结构构件时，应对每个墙段进行检测。当根据声波透射法判定的墙体质量不合格时，应采用钻芯法进行验证。

**9.4.16** 重力式水泥土墙施工验收应符合下列规定：

**1** 水泥土搅拌桩施工验收应对桩身强度、水泥用量、桩长等进行检验；

**2** 水泥土搅拌桩的桩身强度检测应采用钻芯法，取芯数量不应少于总桩数的1%，且不得少于6根。

**9.4.17** 基坑工程中土体加固施工验收应符合下列规定：

**1** 采用水泥土搅拌桩、高压喷射注浆等土体加固的桩身强度检测应采用钻芯法，取芯数量不应少于总桩数的0.5%，且不得少于3根；

**2** 注浆法加固结束28d后，应采用静力触探、动力触探、标准贯入等原位测试方法对加固土层的施工质量进行检测。检测点的位置应根据注浆加固布置和现场条件确定，检验数量每200m2不应少于1点，且不应少于5点。

**9.4.18** 内支撑施工验收应符合下列规定：

**1**  采用钢筋混凝土支撑时，应对混凝土强度、截面宽度、截面高度等进行检验；

**2**  采用钢支撑时，应对外轮廓尺寸、预加应力等进行检验；

**3**  钢立柱的施工验收应对截面尺寸（立柱）、立柱长度、垂直度等进行检验。

**9.4.19** 锚杆施工验收应对锚杆抗拔承载力、锚固体强度、预加力、锚杆长度等进行检验。锚杆抗拔承载力的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小于3根。

**9.4.20** 与主体结构相结合的基坑支护施工验收应符合下列规定：

**1**  竖向支承桩柱的施工验收应对支承桩柱定位、支承柱的垂直度等进行检验；

**2**  支承桩施工完成后，应采用声波透射法、钻芯法或低应变法进行桩身完整性检测，检测数量不少于总桩数的20%，且不少于10根；

**3** 钢管混凝土支承柱在基坑开挖后应采用低应变法对柱体质量进行检测，检测数量应为总桩数的100％。当发现支承柱缺陷时，应采用声波透射法或钻芯法进行验证。

**III 边坡 YS**

**9.4.21** 边坡工程施工前应对原材料等进行检验，施工过程中应检验施工工序及各项施工参数，施工完成后应进行质量验收。

**9.4.22** 边坡锚杆施工验收应对锚杆承载力、锚杆（索）锚固长度、预应力锚杆（索）的张拉力、锚固力等进行检验。锚杆承载力的检测数量不应少于锚杆总数的5%，自由段位于I、II、III类岩石内时不应少于锚杆总数的1.5%，且均不应少于5根。

**9.4.23** 喷射混凝土应对面板厚度、强度等进行检验，检测数量为每500m2不应少于1组，每组不应少于3个点。

**9.4.24** 挡土墙施工验收应对挡土墙埋置深度、墙身材料强度、分层压实系数等进行检验。

**9.4.25** 边坡开挖施工验收应对坡率、坡底标高等进行检验。

本标准用词说明

**1** 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1）**表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

**2）**表示严格,在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

**3）**表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

**4）**表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2** 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本标准；

不注日期的，其最新版适用于本标准。

《混凝土结构设计规范》GB 50010

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《岩土工程勘察规范》GB 50021

《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046

《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107

《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202

《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003

《工程勘察通用规范》GB 55017

《建筑桩基技术规范》JGJ 94

《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

中国工程建设标准化协会标准

软土地区建筑技术规程

Technical code for building in soft soil area

T/CECS1XXX-2023

条文说明

制定说明

《软土地区建筑技术规程》制定过程中，编制组进行软土地区设计、施工、检测与监测的调查研究，总结了我国软土地区建筑技术的实践经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，通过大量工程实践取得了软土地区建筑设计、施工、检测与监测技术参数。

本标准要重点解决的是我国软土地区建筑地基基础设计、施工、监测和检验缺少统一的技术标准，标准在以下方面实现突破：（1）总结研究软土地基综合处理技术；（2）总结研究软土地区地基及基础设计要点、计算方法；（3）总结研究软土地区地基基础综合施工技术，施工关键技术及要点；（4）总结研究软土地区建筑、结构设计技术措施要点。同时,标准解决目前软土地区的有关建筑技术规定零分布在相关的各本规范中,没有形成完整的体系,存在相互衔接不够,相互矛盾,工程技术人员使用不便等问题。标准总结、梳理几十年来我国软土地区工程建设成熟的经验、失败的教训，消化吸收国外软土地区建设工程的先进经验，推广我国现有的成熟可靠的科研成果，对工程中遇到的软土问题有针对性的进行研究、探索、解决，使得软土地区的建筑工程技术标准系统化、专业化、集成化。本规范拟在以下方面有所创新与突破。

为便于广大技术和管理人员在使用《软土地区建筑技术规程》时能正确理解和执行条款规定，《软土地区建筑技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了《软土地区建筑技术规程》的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

**目 录**

**[1](#_Toc136359696)** [总 则 87](#_Toc136359696)

**[2](#_Toc136359697)** [术语和符号 88](#_Toc136359697)

**[3](#_Toc136359698)** [基本规定 89](#_Toc136359698)

**[4](#_Toc136359699)** [勘 察 90](#_Toc136359699)

[4.1 一般规定 90](#_Toc136359700)

[4.2 勘察重点 90](#_Toc136359701)

[4.3 取土与土工实验 90](#_Toc136359702)

**[5](#_Toc136359703)** [设 计 92](#_Toc136359703)

[5.1 地基变形和稳定性控制原则 92](#_Toc136359704)

**[6](#_Toc136359705)** [地基处理 97](#_Toc136359705)

[6.1 一般规定 97](#_Toc136359706)

[6.2 换填法 98](#_Toc136359707)

[6.3 排水静力固结法 99](#_Toc136359708)

[6.4 排水动力固结法 103](#_Toc136359709)

[6.5 土体固化法 111](#_Toc136359710)

[6.6 复合地基法 112](#_Toc136359711)

**[7](#_Toc136359712)** [桩基础 114](#_Toc136359712)

**[8](#_Toc136359713)** [基坑工程 115](#_Toc136359713)

[8.1 一般规定 115](#_Toc136359714)

[8.2 基坑支护结构 116](#_Toc136359715)

[8.3 基坑地下水控制 118](#_Toc136359716)

[8.4 基坑工程施工 119](#_Toc136359717)

[8.5 基坑工程监测 120](#_Toc136359718)

**[9](#_Toc136359719)** [监测、检验与验收 122](#_Toc136359719)

[9.1 一般规定 122](#_Toc136359720)

[9.2 监测 122](#_Toc136359721)

# 总 则

**1.0.1~1.0.4** 在软土地区进行建设，防止地基变形过大或地基不均匀沉降超标，保证建筑工程质量和建（构）筑物的安全使用，做到技术先进、经济合理、保护环境，这是制订本标准的宗旨和指导思想。

在建设中必须全面贯彻国家的建设方针，坚持按正常的基建程序进行勘察、设计和施工。软土地区建设除遵照本标准外，尚应重视地方经验，因地制宜，采取防治措施。

本规范是根据我国软土地区的特征编制的，软土地区的建设工程除应执行本规范的规定外，对本规范未规定的有关内容，尚应执行有关现行的国家强制性标准的规定。

# 术语和符号

# 基本规定

**3.1.6** 本条规定地基基础设计等级为甲级的建筑物和乙类的重要建筑物应进行长期的沉降观测，其目的是为建筑物后期的维护管理提供指导，同时，也为地区的软土研究积累经验与数据。

# 勘 察

## 一般规定

4.1.4软土地基处理前后软土的性质会有很大改变，处理前的勘察目的主要为地基处理设计服务，处理后勘察的结果为后续地基基础设计服务。

## 勘察重点

**4.2.5**桩基工勘察除应进行一般物理力学试验外，尚应进行下列试验项目：

**1** 当需验算下卧层强度时，对桩尖以下压缩范围内的黏性土宜进行三轴不固结不排水剪切试验；

**2** 对需估算沉降的桩基工程，应进行压缩试验，试验最大压力应大于上覆自重压力与附加压力之和；

**3** 需查明土层的应力历史，并进行固结沉降计算时，应进行高压固结试验，提供*p*c、*C*c、*C*s值；需测算沉降速率时，尚应进行固结系数的测定，提供*C*v和*C*h值；

**4** 当桩端持力层为基岩时，应采取岩样进行饱和单轴抗压强度试验，必要时尚应进行软化试验；对软岩和极软岩，可进行天然湿度的单轴抗压强度试验。对破碎和极破碎的岩石，宜进行原位测试，也可进行点荷载试验。

## 取土与土工实验

**4.3.3**试验报告中的压缩系数（*a*1-2）应为相应于垂直压力为100kPa~200kPa的值，并应按下列规定评价地基土的压缩性；

**1** 当*a*1-2小于0.1MPa-1时，应确定为低压缩性土；

**2** 当*a*1-2大于等于0.1MPa-1且小于0.5MPa-1时，应确定为中压缩性土；

**3** 当a1-2大于等于0.5MPa-1时，应确定为高压缩性土；

# 设 计

## 地基变形和稳定性控制原则

**5.1.1** 用公式计算地基地基承载力的方法有两大类，一类为临界荷载公式，另一类称为极限荷载公式。采用临界荷载公式的国家比较少，主要从前苏联规范传入我国，一直沿用到现在，国家标准《建筑地基基础设计规范》就采用该类公式。极限荷载公式在许多国家都得到了推广应用，在我国一些行业标准和地方标准中得到应用，上海地方标准《地基基础设计规范》就采用了该类公式。

研究表明，Hansen公式的应用比较广泛，Skempton公式在软土地区应用较多。但Skempton公式中采用不固结不排水强度指标计算，对取土和土工试验提出了比较高的要求，影响了Skempton公式在我国的普遍推广使用。Hansen公式从原则上说可以适用于任何土类，在国内外许多设计规范中被推荐。我国《港口工程地基规范》、《水闸设计规范》等目前均采用Hansen公式计算地基承载力。根据与试验结果的对比表明Hansen公式适用于上海地区的土层，考虑到天津市《岩土工程技术规范》也采用该公式，本规范推荐采用该公式对软土地基承载力进行估算。

**5.1.2** 上世纪六十年代编制上海市《地基基础设计规范》时，根据72幢天然地基建筑物和构筑物的沉降观测资料，与四种常用的计算方法，即不考虑侧向变形的分层总和法、黄文熙法、叶戈洛夫法和等值层法进行了对比。不考虑侧向变形的分层总和法与实测值较为接近，同时又因计算简便，推荐为上海地基天然地最终沉降量的计算方法后沿用至今。国家标准《建筑地基基础设计规范》也采用分层总和法。在六十年代收集的实测资料中，55%项目的沉降计算值小于实测值，1963版的上海《地基基础设计规范》中规范计算值应乘以大于1的经验系数；1975年修订时，经验系数根据附加应力水平采用1.2~1.3；1989年修订时，经验系数根据附加应力水平采用0.7~1.3，仅在附加应力小于40kPa时取0.7，其余情形皆大于1.0。国家标准《建筑地基基础设计规范》GB5007对于压缩模量当量小于7MPa的软土，仅在附加应力不大于0.75承载力特征值时，沉降经验系数取0.7，其他情形沉降经验系数取值为1.0~1.4。

条文说明：5.4.10对于泥塘、滩涂、新近吹填土等，人员、设备很难甚至无法进入的面积较大的软土地基，宜对包括建构筑物、道路管线在内的整个场区进行预处理，为后续施工作业创造条件，并使整个场区上部新近吹填土、淤泥、淤泥质土层基本完成自重及部分附加荷载下的压缩固结，减少后期沉降。对于承载力和沉降控制要求较高的建构筑物区域尚须根据具体情况采用复合地基、桩基等进行二次处理。

**5.1.3**对于软土地区，用于载荷试验的试桩与工程桩皆在地面完成，试桩得到的单桩承载力与实际工程桩存在两个主要的差别：其一，需扣除开挖段桩身侧摩阻力，得到有效桩长的实际承载力，可以通过传感器量测桩身轴力进行扣除或采用双套管对开挖段的侧摩阻力进行隔离；其二，基坑开挖后，工程桩周土体围压减小，势必导致承载力的降低，不能简单将地面试桩承载力扣除开挖段后得到的有效桩长承载力作为工程桩的承载力，否则相对于工程实际偏于不安全。开挖后抗拔桩承载力的损失比例可采用有限元法、基于Mindlin解的简化分析方法等进行预估，并对地面试桩得到的承载力进行折减后采用。

此外，基坑开挖卸荷造成的土体回弹使得桩身上半部份受到向上的摩擦力而下半部分受到向下的摩擦力，桩身产生预拉力。抗拔桩考虑深开挖过程的桩身设计应进行两阶段的校核：其一是开挖过程中桩身受力与抗拉强度的验算，其二是正常使用阶段的验算，将桩基正常使用时上拔力引起的轴力与开挖卸荷回弹引起的轴力进行叠加，得到抗拔桩在工作状态时的受力状态，叠加后可能产生更大的拉力，导致桩基在未达到设计荷载时已发生破坏。对于承压桩，由于配筋率较低和非全长配筋，存在桩身由于土体加弹而拉断的可能。

**5.1.4** 根据当前大面积地面荷载设计和施工中存在的问题，进行大面积荷载的分类。大面积荷载的种类包括：

**1** 建筑物范围内的地面堆载：包括单层工业厂房、露天车间和单层仓库的内部生产堆料、 工业设备等地面堆载等。

**2** 大面积填土荷载：不仅包括景观填土，还有新建围堤、垃圾填埋场、煤场堆料等内容；

大面积地面荷载设计和施工中的重要问题一方面是保证自身所在区域的地基稳定性，另一方面由于大面积填土变形影响范围广，因此应重视验算大面积地面荷载对邻近建筑物和市政设 施、地下管线的影响。

**5.1.5** 在加荷过程中，土体排水固结使土的体积压缩，地基产生沉降，但与此同时土体的强度得到提高，地基的稳定性得以相应提高，在控制加荷速率的条件下利用这一规律可以提高承载力，保证工程的安全，堆载预压法的原理就在于此。如果对加荷速率不加以控制，地基土的剪切破坏形成较大的侧向水平位移，使地基土的竖向变形增大，从表面看是沉降过大，但实际上并不完全是由于固结变形引起的。地面的沉降掩盖了沉层的局部剪切破坏，如果不采取措施，最终会酿成整体破坏的事故。

**5.1.6**软土地基上具有大面积地面荷载的仓库、车间、展厅等存在的地基问题主要表现为：地面大量凹陷；柱基、墙基偏转下沉，引起柱身、墙身水平撕裂；吊车车轨发生卡轨、滑行等停车事故。可分别从堆载设计、堆载下地基加固和主体建筑物基础三个方面采取措施：

**（1）**设有吊车及地面荷载在5kPa以上的仓库、车间、展厅，以及堆载数量与范围不能严格控制的仓库、车间、展厅，宜采用桩基；

**（2）**设有吊车及地面荷载在3~5kPa以上的仓库、车间、展厅，按地质情况及厂房结构对不均匀沉降的敏感程度，可采用桩基或天然地基；

**（3）**采用天然地基时，应严格控制堆载限额、堆载范围及堆载速度，堆载点离墙、柱净距至少为50cm。

**（4）**当地面堆载可能引起钢筋混凝土柱基发生较大倾斜时，应适当增加柱内侧配筋，并考虑 加强柱与屋架的节点构造以及预估屋架下弦出现压力的可能性。对于两阶或两阶以上的单层工业厂房边柱，台阶柱变截面处上下内侧也宜适当增加配筋，放大建筑物的净空尺寸，以便有调整余地。

**（5）**为减少和防止吊车梁因大面积堆载造成基础倾斜、沉降而带来的不良后果，可结合具体条件，选择下列措施：

**1）**放大吊车顶面与屋架下弦的净空，取 300mm～500mm 或更大些。

**2）**增加吊车边缘与上柱边缘之间的净距，取 100mm 或更大些。

**3）**加宽钢筋混凝土吊车梁腹部，并按吊车轨道可能移动的幅度和偏位产生较大的扭距大小在梁内配置抗扭钢筋。

**5.1.7**减少大面积填土对周围环境影响的防治措施包括减小作用荷载、进行地基处理措施、对已建建筑物进行隔离和基础托换等三个方面。对于已知填土，邻近区域建筑物设计中应采取措施减小填土对建筑物的影响，如利用围护结构隔离、增加单桩竖向承载力、独立承台间设置联系梁等方法。在填土处理措施中也可采用砂垫层、土工布、土工格栅、加筋土挡墙等技术措施。建筑物范围内的地面堆载可采用设置架空层、进行地基处理等方法减少对建筑物的影响

**5.1.8**：近年来随着地下车库和地下室工程的日益增多和深度增加，采用抗拔桩仍是软土地区普遍采用的抗浮措施。确定单桩竖向抗拔极限承载力最可靠的方法是进行单桩竖向抗拔静载荷试验。

管桩作为抗拔桩时，影响桩身抗拔承载力的因素较多，需要验算钢棒及镦头抗拉强度、端板孔口抗剪强度、接桩连接强度、桩顶（采用填芯混凝土）与承台连接处强度等桩身结构强度。取以上计算得到的最小值作为桩身抗拔承载力设计值，并满足荷载效应基本组合作用下基桩的上拔荷载。从理论计算看，端板与预应力钢棒连接强度是抗拔桩的薄弱环节，当预应力管桩作为抗拔桩时，端板厚度需要作适当加强。管桩内采用微膨胀混凝土填芯并内设插筋是管桩与承台连接的较好方式，填芯高度和插筋应进行验算。在试验研究方面，浙江省进行了管桩（PC500（100）AB型）结构抗拉性能的试验研究，从单桩结构强度、焊缝、填芯等方面进行了拉伸破坏性试验。在11根试桩中，6根拉力直接作用于端板上的试桩中5根首先出现墩头断裂、端板拉脱，另1根先出现桩身裂缝再出现墩头断裂。5根填芯后拉力通过钢筋施加的试桩，3根首先出现桩身裂缝，1根墩头断裂，另1根未破坏；5根试桩均未出现填芯段滑移，桩身裂缝均首先出现在套箍尾端。试验结果表明，在接头焊缝质量和填芯质量保证的前提下，拉伸作用下桩身混凝土首先出现环裂，但管桩仍能继续承载，然后是墩头断裂或环向裂缝宽度达到1.0~1.5mm从而导致管桩破坏。室内试验的受力情况与工程实际情况虽不尽相同，但也提供了一些有益的参考。

扩底抗拔桩和桩侧注浆抗拔桩皆能有效提高抗拔承载力。从承载机理来说，上拔过程中，扩大头塑性区由扩大头顶端逐步向四周扩展，最终呈半个椭圆形，扩大头牵动土体运动的范围约为扩大头直径的3倍。扩底抗拔桩由于扩大头“锁卡”效应，扩大头及影响范围内侧摩阻力大幅提高，呈桩身“摩擦剪切”和桩端 “局部压缩冲剪”共同控制的破坏模式，桩长越短，扩底后承载力提高比例越大，扩底的效率越高。当浅层有相对较硬的土层且便于扩底时，能充分发挥扩大头的作用且效率高、承载力提高比例大、经济效益明显，宜采用扩底抗拔桩。桩侧注浆抗拔桩由于浆液对桩土接触面的加固，全桩长范围内侧摩阻力皆有较大幅度提高，当桩径大、桩长长时，扩底部分承载力与总承载力比例较低，且施工难度也会加大，宜采用桩侧后注浆抗拔桩。

**5.1.9** 厚层软土在强烈地震作用下，孔隙水压力升高，强度和刚度急剧降低，在常驻剪应力的作用下，出现局部破坏甚至塑性流动，导致建筑物过大和不均匀沉陷，可能引起建筑物的损坏或倒塌，至少影响建筑物功能。饱和软土的震陷是一个逐步发展积累的过程，除了软土的类型(包括结构特性、湿度、密度等)，主要影响因素有:初始应力状态、动应力幅值、振动次数。

自从1964年美国阿拉加斯、日本新泻地震以来，地震引发的软土地基震陷愈来愈受到国内外地震工程界的重视。天津市的汉沽、新港、北塘和南郊地区分布有海相沉积的淤泥质土层。在唐山地震中这些地区的建筑物出现突然下沉及倾斜。新港地区1975年建造的四层住宅，震前沉降48cm，震后附加沉降38cm，倾斜30%。汉沽化肥厂深井泵房下沉38cm，井管连接部位错断。

我国软土震陷实录局限于8、9度地区，7度区的震陷是未知的空白。《建筑抗震设计规范》（GB50011）规定８度（0.3ｇ）和９度时，当塑性指数小于15，天然理水量*Ｗ*s≥0.9液限*Ｗ*L；液性指数IL≥0.75时的饱和粉质粘土可判为震陷性软土。《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ83）规定设防烈度7、8、9度对应的临界等效剪切波速分别小于90、140、200m/s时，甲级建筑物和对沉降有严格要求的乙级建筑物应进行专门的震陷分析计算。有文献认为对7度区，地基承载力标准值小于70kPa的软土还是应该考虑震陷的可能性。

本条根据《建筑抗震设计规范》，就软土震陷采取了与减轻液化影响相同的5条措施，主要包括增强基础刚度、减小上部荷载、增强结构刚度、提升适应变形的能力等。

# 地基处理

## 一般规定

**6.1.1** 本条规定是在选择地基处理方案前应完成的工作，其中强调要进行现场调查研究，了解当地地基处理经验和施工条件，调查邻近建筑、地下工程、管线和环境情况等。

**6.1.2** 本条规定了在确定软土地基处理方法时宜遵循的步骤。着重指出在选择软土地基处理方案时,宜根据各种因素进行综合分析，初步选出几种可供考虑的地基处理方案，其中强调包括选择两种或 多种地基处理措施组成的综合处理方案。工程实践证明，当岩土工程条件较为复杂或建筑物对地基要求较高时，采用单一的地基处理方法，往往满足不了设计要求或造价较高，而由两种或多种地基处理措施组成的综合处理方法可能是最佳选择。软土地基处理是经验性很强的技术工作，相同的地基处理工艺，相同的设备，在不同成因和条件的场地上处理效果不尽相同；在一个地区成功的地基处理方法，在另一个地区使用，也需根据场地的特点对施工工艺进行调整，才能取得满意的效果。因此，软土地基处理方法和施工参数确定时，应进行相应的现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，以检验设计参数和处理效果。

**6.1.3** 大面积软土地基处理方法一般常用于占地面积较大且对变形要求不太敏感的港口、码头以及堆场等建设项目，随着经济建设的发展，这些新近形成的大面积软土地基越来越多地应用于房屋开发建设，而房屋建筑及各种室内外管线的使用安全对地基承载力尤其沉降变形控制提出了更高的要求。但在多数情况下，这些开山填谷、围海造地形成的大面积场地交给建设单位开发建设时，往往还是一片滩涂，泥、水混杂，人员、设备很难甚至根本无法进入施工。事实上，从项目安全和技术、施工可行性角度，只有通过类似真空预压、堆载预压、强夯等这样一些大面积软土地基处理技术，对包括建筑物、道路管线在内的所有区域进行一次全面改良和加固，才能使一块无法直接上人、上设备，更无法直接作为天然地基使用的“毛地”变成一块可大兴土木的“宝地”。对于大面积软土场地整个区域的加固处理可有效提高地基承载能力，同时也可促使整个场地的新近地层基本完成自身压缩固结，减少后期沉降，确保将来建筑物、室内外管线、道路等设施的正常使用安全。因此，相对于后续针对建筑物具体情况和要求，可能发生的建筑物地基二次处理，这种大面积软土地基处理的意义往往在于是一次预处理。

**6.1.4** 本条是软土地基处理工程的验收检验的基本要求。换填地基、预压地基、压实地基、夯实地基和注浆加固地基的检测，主要通过静载荷试验、静力和动力触探、标准贯人或土工试验等检验处理地基的均匀性和承载力。对于复合地基，不仅要做上述检验，还应对增强体的质量进行检验，需要时可采用钻芯取样进行增强体强度复核。

**6.1.5** 软土地基处理采用的材料，一方面要考虑地下土、水环境对其处理效果的影响，另一方面应符合环境保护要求，不应对地基土和地下水造成污染。地基处理采用材料的耐久性要求，应符合有关规范的规定。现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB50046对工业建筑材料的防腐蚀问题进行了规定，现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010对混凝土的防腐蚀和耐久性提出了要求，应遵照执行。

**6.1.6** 地基处理工程是隐蔽工程。施工技术人员应掌握所承担工程的地基处理目的、加固原理、技术要求和质量标准等，才能根据场地情况和施工情况及时调整施工工艺和施工参数，实现设计要求。地基处理工程同时又是经验性很强的技术工作，根据场地勘测资料以及建筑物的地基要求进行设计，在现场实施中仍有许多与场地条件和设计要求不符合的情况，要求及时解决。地基处理工程施工结束后，必须按国家有关规定进行质量检验和验收。

## 换填法

**6.2.1** 软弱土层系指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其它高压缩性土层构成的地基。在建筑地基的局部范围内有高压缩性土层时，应按局部软弱土层处理。换填法适用于处理各类浅层软弱地基。当在建筑范围内上层软弱土较薄时，则可采用全部置换处理。对于较深厚的软弱土层，采用换填法处理应考虑其经济性，同时，当仅用局部置换上层软弱土层时，下卧软弱土层在荷载作用下的长期变形可能依然很大。例如，对较深厚的淤泥或淤泥质土类软弱地基，采用垫层仅置换上层软土后，通常可提高持力层的承载力，但不能解决由于深层土质软弱而造成地基变形量大对上部建筑物产生的有害影响；或者对于体型复杂、整体刚度差、或对差异变形敏感的建筑，均不应采用浅层局部换填的处理方法。对于建筑范围内局部存在松填土、暗沟、暗塘、古井、古墓或拆除旧基础后的坑穴，可采用换填法进行地基处理。在这种局部的换填处理中，保持建筑地基整体变形均匀是换填应遵循的最基本的原则。

**6.2.2** 开挖基坑后，利用分层回填夯压,，也可处理较深的软弱土层。但换填基坑开挖过深，常因地下水位高，需要采用降水措施；坑壁放坡占地面积大或边坡需要支护及因此易引起邻近地面、管网、道路与建筑的沉降变形破坏；再则施工土方量大、弃土多等因素，常使处理工程费用增高、工期拖长、对环境的影响增大等。因此，换填法的处理深度通常控制在3m以内较为经济合理。大面积填土产生的大范围地面负荷影响深度较深，地基压缩变形量大，变形延续时间长，与换填垫层浅层处理地基的特点不同，因而大面积填土地基的设计施工应按照现行国家标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79有关规定执行。

**6.2.3** 在填筑施工方法、填料粒径、级配和夯实施工工艺参数相同的条件下，地基处理效果一般差别较小；由此表明，依据对地基处理后的强度和变形要求，进行填料搭配（粒径、级配）设计是非常必要的。

**1** “良好级配”一般指不均匀系数*C*u≥5，曲率系数*C*c=1～3；工程经验及试验表明：在岩性及地质条件相近的情况下，用控制最大粒径和有一定级配要求，进行填筑填料设计，并选用合理的填筑夯实施工方法，可以达到良好级配、填筑层整体均匀的效果。

**2** 特殊性岩土应经人工处理后符合填筑材料要求方可做为填筑材料。

**6.2.4** 采用矿渣等工业废料进行换填时的压实指标，由于干密度试验难于操作，误差较大。所以其施工的控制标准按目前的经验，在采用8t以上的平碾或振动碾施工时可按最后两遍压实的压陷差小于2mm控制。

**6.2.5** 在地基土层表面铺设土工合成材料时，应保证地基土层顶面平整，防止土工合成材料被刺穿、顶破

**6.2.6** 经换填处理后的地基，由于理论计算方法尚不够完善，或由于较难选取有代表性的计算参数等原因，而难于通过计算准确确定地基承载力，所以，本条强调经换填处理的地基其承载力宜通过试验、尤其是通过现场原位试验确定。

**6.2.7~6.2.11** 对换填过程质量控制及一些特殊情况下的换填设计、施工及检验作出规定。

## 排水静力固结法

**6.3.1** 排水静力固结法是一种较为典型的针对大面积软土地基的综合处理方法，该类方法无论从理论分析，还是设计、施工环节控制都较为成熟，可以参照相关现行国家标准结合已有工程经验和测试成果进行分析设计。排水静力固结法的附加荷载主要来源于如堆载、真空负压等静态作用力，按其处理工艺一般分为堆载预压、真空预压、真空和堆载联合预压。降水预压、电渗排水预压以及多种软土处理专利性工法也大都属于排水静力固结法这一大类，是上述三种经典处理方法的变通或延伸，其核心都离不开加速软土体的“排水”和促进软土体的“固结”。“排水”是条件、是措施；“固结”是目的，是结果。本条提出适用于排水静力固结法地基处理的土类。对于在持续荷载作用下体积会发生很大压缩，强度会明显增长的土，这种方法特别适用。对超固结土，只有当土层的有效上覆压力与预压荷载所产生的应力水平明显大于土的先期固结压力时，土层才会发生明显的压缩。竖井排水预压对处理泥炭土、有机质土和其它次固结变形占很大比例的土处理后仍有较大的次固结变形，应考虑对工程的影响。当主固结变形与次固结变形相比所占比例较大时效果明显。

**6.3.2** 对重要工程，应预先选择代表性地段进行预压试验，通过试验区获得的竖向变形与时间关系曲线，孔隙水压力与时间关系曲线等推算土的固结系数。固结系数是预压工程地基固结计算的主要参数，可根据前期荷载所推算的固结系数预计后期荷载下地基不同时间的变形并根据实测值进行修正，这样就可以得到更符合实际的固结系数。此外,由变形与时间曲线可推算出预压荷载下地基的最终变形、预压阶段不同时间的固结度等，为卸载时间的确定、预压效果的评价以及指导全场的设计与施工提供主要依据。

**6.3.3** 设计时应根据所计算的建筑物最终沉降量并对照建筑物使用期间的允许变形值，确定预压期间应完成的变形量，然后按照工期要求，选择排水竖井直径、间距、深度和排列方式，确定预压荷载大小和加载历时，使在预定工期内通过预压完成设计所要求的变形量，使卸载后的残余变形满足建筑物允许变形要求。对排水井穿透压缩土层的情况，通过不太长时间的预压可满足设计要求，土层的平均 固结度一般可达90%以上。对排水竖井未穿透受压土层的情况，应分别使竖井深度范围土层和竖井底面以下受压土层的平均固结度和所完成的变形量满足设计要求。这样要求的原因是，竖井底面以下受压土层属单向排水，如土层厚度较大，则固结较慢，预压期间所完成的变形较小，难以满足设计要求，为提高预压效果，应尽可能加深竖井深度，使竖井底面以下受压土层厚度减小。

**6.3.4** 超载预压可缩短处理工期，减少工后沉降量。工程应用时应进行试验性施工，在保证整体稳定条件下实施。

**Ⅰ 堆载预压**

**6.3.5** 竖井间距的选择，应根据地基土的固结特性，预定时间内所要求达到的固结度以及施工影响等通过计算、分析确定。根据我国的工程实践，普通砂井之井径比取6~8，塑料排水带或袋装砂井之井径比取15~22，均取得良好的处理效果。近几年的工程实践表明，采用比较大的等效孔径的塑料排水板，吹填土等软土地基的加固效果更有保证，即使软土中的细颗粒透过滤膜进入到排水板内部，也会被真空泵抽走，不会影响工程质量。

**6.3.6** 竖井宜穿透受压土层。对受压土层深厚，竖井很长的情况，虽然考虑井阻影响后，土层径向排水平均固结度随深度而减小，但井阻影响程度取决于竖井的纵向通水量qw与天然土层水平向渗透系数kh的比值大小和竖井深度等。对深厚受压土层,在施工能力可能时，应尽可能加深竖井深度，这对加速土层固结，缩短工期是很有利的。

**6.3.7~6.3.9** 软土地基处理施工过程中，还需根据现场实测资料来推算最终沉降量及固结度，以便对地基处理过程质量进行控制，判断是否达到设计卸载条件，是否满足设计要求。根据实测沉降曲线推算地基的最终沉降量有多种方法，目前常用的有经验双曲线法和三点法。本规范推荐的是经验双曲线法，它是将满载后的所有观测结果都参与统计分析，剔除异常点后求得 和 值，从而求得最终沉降量。在用经验公式推算最终沉降量前，均应舍去实测S~t曲线上的不合理点，并拟合成一条光滑曲线。

实际施工过程中，由于孔隙水压力测试元件数量、仪器精度、干扰因素等制约和影响，地基应力固结度不如利用地表沉降标观测资料推算的地基应变固结度直观和可靠；另外，用沉降法得到的是整个土层的平均值，而孔隙水压力只反映某一点的固结，只有足够数量的观测点，取得整个土层孔隙水压力的分布资料，才可以计算出土层的平均固结度。因此，软土地基处理设计和施工中一般采用地基应变固结度控制指标。

**6.3.10** 砂垫层砂料宜选用中粗砂，含泥量应小于5%，砂料中可混有少量粒径小于50mm的砾石。砂垫层的干密度应大于1.5g/cm3，其渗透系数宜大于1×10-2cm/s。中粗砂垫层应严格按要求分层摊铺，尽 可能减少“拱淤”现象。

**6.3.11** 无砂垫层施工在天津、浙江温州、台州等地区得到有效实践及应用，经证明是一种大面积高压缩性吹填软土地基处理的行之有效的方法，因此，本条对无砂垫层施工技术要求作出规定。

**6.3.12** 塑料排水板施工所用套管应保证插入地基中的带子平直、不扭曲。塑料排水板的纵向通水量除 与侧压力大小有关外，还与排水带的平直、扭曲程度有关。扭曲的排水板将使纵向通水量减小。因此施工所用套管应采用菱形断面或出口段扁矩形断面，不应全长都采用圆形断面。袋装砂井施工所用套管直径宜略大于砂井直径，主要是为了减小对周围土的扰动范围。插板机后退施插排水板，可避免插 板机把排水板芯压入地面。

**6.3.13** 本条款对无砂垫层施工的关键点及相应施工工艺进行了描述。无纺土工布可以防止淤泥涂抹和堵塞水平排水管道，使排水通畅。

**6.3.14** 本条款对覆水预压施工中极易造成裂缝的防治方法进行说明。

**6.3.15** 对堆载预压工程，当荷载较大时，应严格控制加载速率，防止地基发生剪切破坏或产生过大的塑性变形。工程上一般根据竖向变形、边桩水平位移和孔隙水压力等监测资料按一定标准控制。同时，按观测资料进行地基稳定性控制又是一项复杂的工作，控制指标取决于多种因素，如地基土的性质、地基处理方法、荷载大小以及加载速率等。软土地基的失稳通常经历从局部剪切破坏到整体剪切破坏 的过程，这个过程要有数天时间。因此，应对孔隙水压力、竖向变形、边桩水平位移等观测资料进行 综合分析，密切注意它们的发展趋势，这是十分重要的。对铺设有土工织物的堆载工程，要注意突发性的破坏。

**Ⅱ 真空预压**

**6.3.16** 在真空预压区边缘，由于真空度会向外部扩散，其加固效果不如中部，为了使预压区加固效果 比较均匀，预压区应大于建筑物基础轮廓线，并不小于3.0m。

**6.3.17** 工程经验表明，在距真空预压边界15m范围内会产生较为明显的沉降，20m以外沉降和侧向位移会较小。

**6.3.18** 工程经验表明，当黏土密封墙的黏粒含量大于15%，渗透系数应小于1×10-5cm/s，可以起到密封的作用。

**6.3.19** 对淤泥及淤泥质黏土，按照目前的施工工艺，膜下真空荷载能达到85kPa以上，当加固区周边条件复杂需要采取黏土密封墙等措施时，膜下真空荷载一般也可能到80kPa。

**6.3.20** 真空预压需要达到的应变固结度是根据建筑物对地基允许沉降和差异沉降的使用要求而定的。

**6.3.21** 基于固结理论，加固时间与排水距离的平方成反比，塑料排水板间距越小，真空预压加固时间越短。由于真空预压处理的软土多为低渗透性土，塑料排水板间距一般不超过1.1m。虽然减小排水板间距对缩短加固时间有一定效果，但塑料排水板打设费用也会增加很多，目前工程中应用的最小间距为0.7m，因此，真空预压常用的塑料排水板间距为0.7m~1.1m。

**6.3.22** 中砂或粗砂中的含泥量是指公称粒径不大于0.08mm的颗粒质量占砂料总质量的百分比。天津港地区真空预压及真空联合堆载预压工程中水平排水砂垫层的厚度多采用0.4m，均取得了满意的加 固效果。针对砂资源的紧张情况，调查结果显示，有采用排水盲沟代替砂垫层作为水平排水通道的工程实例，也取得了较理想的加固效果。

**6.3.23** 打设塑料排水板前先铺设1层塑料编织布，主要是为了尽量减少软土对排水板板头和滤管的污染，确保排水通畅；密封铺膜前再铺设1层无纺土工布，主要是为了防止连接好的塑料排水板和水平滤管扎破密封膜。另外上下2层布对膜下真空度的传递非常有利。

**6.3.24** 目前抽真空设备种类较多，尽管有些功率小的抽真空设备在进气孔封闭时也可以形成不小于 95kPa的真空压力，但是在有水气补充的情况下，抽真空效果不理想，规范推荐采用功率不低于7.5kW的抽真空设备。

**6.3.25** 每台抽真空设备控制面积是以功率不低于7.5kW考虑的，根据工程经验，抽真空设备的功率低于7.5kW时，加固效果不易保证。多项工程实际运行结果表明，施工后期抽真空设备开启数量在80%以上时，施工质量较好。

**6.3.26** 当软土表层承载力很低，直接铺设砂垫层很困难，且打设塑料排水板时容易产生翻浆冒泥现象，为此提出了二次处理的方法。工程实践表明，二次处理的方法可有效解决上述问题，效果比较理想。

**6.3.27** 由于各种原因射流真空泵全部停止工作，膜内真空度随之全部卸除，这将直接影响地基预压效果，并延长预压时间，为避免膜内真空度在停泵后很快降低，在真空管路中应设置止回阀和截门。当预计停泵时间超过24h时，则应关闭截门。所用止回阀及截门都应符合密封要求。

**6.3.28** 密封膜最下一层和砂垫层相接触，膜容易被刺破，最上一层膜易受环境影响，如老化、刺破等。膜的密封有多种方法，就效果来说，以膜上全面覆水最好。

**Ⅲ 真空和堆载联合预压**

**6.3.29** 真空和堆载联合预压加固，二者的加固效果可以叠加，符合有效应力原理，并经工程试验验证。

**6.3.30** 在预压初期，地基在真空预压荷载下的沉降量较大，而该部分沉降量不会对地基失稳造成影响，工程经验表明，在真空联合堆载期间，地基的沉降速率在30mm/d以下较好。

**6.3.31~6.3.32**堆载施工应保护真空密封膜，采取必要的保护措施。

## 排水动力固结法

**6.4.1** 软土地基的处理，其核心离不开“排水”和“固结”，“排水”是条件、是措施；“固结”是目的，是结果。在时间工期允许的情况下，对饱和黏性土（淤泥、淤泥质土）地基的处理应优先采用排水静力固结方法。但从目前的工程需求和技术现状来看，传统降排水技术结合强夯工艺为代表的动力固结方式无疑是满足日益高效的开发建设速度的最好选择。

排水动力固结法系人们为了适应经济建设的快速发展需求，将以强夯为主的经济、快捷、高效的动力固结方法与预压法中的排水体系或抽排系统有机结合，创造性地应用于高水位状态下的尤其是围海造地新近吹填形成的大面积饱和软土地基处理的一种新方法。排水动力固结法不是简简单单的一种技术方法，更多的是指针对高水位状况下的软弱土地基的不同条件和性状，通过在被处理土体中设置有效排水体系，或利用高效抽排水系统，降低地下水位并改善软土中孔隙水压力消散条件以便利用强夯、冲压等动力固结方式对软弱土地基进行快速有效加固处理的一种技术思路和手段。排水动力固结法在广东、江苏、福建以及辽东半岛等地的软土地基处理中都有大量的成功应用。

**6.4.2** 排水动力固结法加固软土地基，由于地基土层的复杂性，动力固结理论发展尚不完善，影响因素又很复杂繁多，特别是加固含水量高、压缩性大的淤泥或淤泥质土时，尚不能作精确的理论计算和分析，还没有一套成熟的设计计算方法。目前，排水动力固结法加固软土地基设计时常采用工程类比法和经验法。因此，规定施工前应在施工现场有代表性的场地上进行试夯或试验性施工。

**6.4.3** 由于基础的应力扩散作用和抗震设防需要，强夯处理范围应大于建筑物基础范围，具体放大范围可根据建筑结构类型和重要性等因素考虑确定。对于一般建筑物，每边超出基础外缘的宽度宜为基底下设计处理深度的1/2~2/3，并不宜小于3m。 对可液化地基，根据现行国家标准《建筑抗震设 计规范》GB 50011的规定，扩大范围应超过基础底面下处理深度的1/2，并不应小于5m。

**6.4.4** 由于地基土性及分布的复杂性与变异性、固结与设计理论的不完善、设计原始参数的不确定性，为保证软土地基处理的设计、施工质量，并保证处理后地基的质量与均匀性，应采用信息化施工方法（Realtime Construction Control，简称：RCC）；施工中必须配合有比较完善的过程监测和效果检测措施。通过过程监测数据可以了解工程的进展和加固过程中的问题，并可以判断加固工程是否达到了预期的目的，从而决定加固工程的中止及后续工程开始的时间；通过原位测试和室内试验等手段对加固后地基土进行检验，与加固前进行比较，可以真实、直观和定量地反映加固的效果。

**Ⅰ 降水夯实法**

**6.4.5** 降水夯实法是先采用降水方法使地下水位降低，对地基土进行浅层加固，并形成表层硬层，再采用低能级强夯进行深层加固。该法对上海、江苏、浙江、山东、福建、广东、广西等沿江沿河地区特有的夹砂饱和黏性土地基处理效果较好，施工时必须根据土层条件采用合理的降水工艺和强夯工艺，保证地下水位降至设计要求才能进行强夯施工。

**6.4.6** 近年来，一种新型的冲击压实机具及冲击压实技术开始在我国得到推广应用，冲击压实机的英文是“high energy impact compactor”或“impact roller”，直译为高能量冲击压实机，国内也称为“冲击式压路机”、“冲击碾”等，该设备是上世纪五十年代初由南非国Aubrey Berrange 先生首创，将压实轮由圆形改为非圆形，一改近一个世纪以来传统压路机的设计思路，创立了压实作业中连续冲击、碾压作用于土体，从而获得深层压实效果的全新设计理念，被国际工程机械行业视为压实机械发展史中的重大革命。目前冲击压实机不断改进和完善，发展成高能量连续式和高能量间断式，压实轮形状有三边、四边、五边和六边形的实体、空体及可填充式等十几个品种的冲击压实机械系列产品。冲击压实技术是使用冲击压实机对地基进行压实加固的一项工艺，虽然通常的概念是“冲击压实技术”，但冲击压实设备施工过程中不仅有冲击，同时也有揉压、碾压的过程，而且碾压作用对于压实地基也起到了较大的作用，因此有时也称为“冲击碾压技术”。之所以把这一工艺上升为技术高度，是因为冲击压实设备的操作有一定的技术要求，而且针对不同的土质情况需要有不同的施工工艺，而不是一种单纯的压实机具，冲击压实机必须得到合理的使用才能发挥最大的技术经济优势。

目前工程中常用的冲击压实设备的压实功介于振动压路机和强夯之间，其压实效果远优于振动压路机。但采用大的压实功是有限度的，如果超过某一限度，再采用大压实功的方式来提高土基压实度，不但经济上不合理，甚至功能过大，会破坏土基结构，效果适得其反。

**6.4.7~6.4.12** 降水夯实法处理地基应设置合理的降水系统和排水系统。排水系统宜采用施工区域四周挖明沟，并设置集水井。降水深度及降水持续时间应根据土质条件和地基有效加固深度要求来确定，并在降水施工期间对地下水位进行动态监测(宜每天2~3次)，严格控制强夯施工时地下水位达到规定 的深度，且稳定2d后方可拔管施工。此外降水夯实法中夯击次数与夯击能是低能级强夯设计中的一个重要参数，原则是结合地基加固要求使土的竖向压缩变形最大而水平位移最小。单击夯能不宜过大也不能太小，过大易破坏下卧原状土的结构，过小则无法有效加固下卧软土层，对于不同地基土来说夯击能与夯击次数也不同，应根据场地的具体情况来定。第一遍夯击能应较小，但不应小于400kN·m，夯击击数为1击~3击,第二遍夯击能为第一遍夯能的1.5倍~3倍，击数1击~3击。具体夯击能应按场地情况及通过试夯来确定。

**6.4.13** 应根据基础埋深和试夯时所测得的夯沉量，确定起夯面标高、夯坑回填方式和夯后标高。

**6.4.14** 两遍夯击之间应有一定的时间间隔，应根据超静孔隙水压力的消散和软土结构恢复情况进行确定。土中超静孔隙水压力的消散速率与土的类别、夯点间距等因素有关，有条件时最好能在试夯前埋设孔隙水压力监测传感器，通过试夯确定超静孔隙水压力的消散时间，一般要求在超静孔隙水压力消散80%，且间隔时间5d~15d后即可进行下一遍强夯。

**6.4.15** 冲击压实设备在软土地基处理工程中的统计资料较少，本条参考《高填方地基技术规范》GB 51254相关规定。

**6.4.16** 如地表层为黏性土或粉性土且地下水位较高的情况，宜采用人工降低地下水位，或在地表层铺设一定厚度的松散性材料。加固区周围亦应设置排水沟，若加固区边长大于30m时，中间应设置网格形排水沟，最大排水距离为15m。另外，如果发现有地下水上升到夯坑中，则应设法将地下水降低或排除后再进行夯击，以免造成夯击能量的损失。

**Ⅱ 竖井夯实法**

**6.4.17** 竖井夯实法的关键在于改善地基土的排水条件，即设置与加载系统相适应的垂直向和水平向排水体系；前者如砂井、袋装砂井、塑料排水板等，后者通常由砂垫层、盲沟和集水井组成，作用是使夯实过程及其后能将饱和软土层中的孔隙水加速引出场地外，促进软土的固结。李彰明、冯遗兴等提出的静动力排水固结法就是典型的竖井夯实法，最早在深圳、珠海、惠州、海南等地针对不同的建构筑物的软土地基进行了大量的工程实践及监测测试，取得了成功，积累了丰富的经验。此后，该法在软土地基处理项目中逐步获得推广应用。

**6.4.18** 施工前软土地基顶面具备或人工回填一定厚度的施工垫层，可相对降低场地地下水位，满足冲压或强夯等动力设备施工条件。

**6.4.19** 根据对比试验及工程经验，在获得同样加固效果的条件下，竖井夯实法中塑料排水板的间距可比排水静力固结法的要大，一般为1.0m~1.4m。对于水平方向排水性能相对较好的粉质黏土，间距可适当加大，如取1.6m~1.8m。本规范建议取值为1.0m~1.6m。

**6.4.20** 塑料排水板的深度应以穿透软土层为准，如果压缩层较为深厚则也可由计算确定。

**6.4.21** 砂垫层一般要求选用含泥量小的砂土或豆石等透水性好的散粒材料。若为细砂，其中还可设软式透水管或横向塑料排水板；若为粗砂、含泥量较少时，一般可不设置人工材料。而砂体厚度的确定则主要考虑两方面因素：一是渗流排水性；二是对施工机械的承力作用。在冲击压力作用下，土体中水在瞬时会向上喷出，但在绝大部分时间内会沿着厚度小于100mm的砂层渗流外排。考虑到施工夯击对地面沉降的影响，砂垫层厚度应大于或等于500mm。当含水量大、层厚又处于地表的软土层，鉴于插设塑料排水板有利于施工设备行走的要求，亦需适当加厚砂垫层，一般选为800mm~1000mm。

**6.4.22** 集水井底面需比周围盲沟深60cm~100cm。集水井和盲沟的施工顺序可依据场地条件而定。当原地表有一定厚度的硬壳层保证可以行走人并进行盲沟集水井安全开挖施工时，可先进行盲沟和集水井施工后再进行砂垫层铺设施工。当原地表直接为软黏土，机械无法行走或无法进行盲沟集水井施工时，可先进行砂垫层铺设施工，并在砂垫层施工完毕后开挖铺设盲沟和设置集水井。

**6.4.23** 施压垫层的作用是避免夯锤与软土直接接触，避免软土层产生较大的剪切变形。另外施压垫层的存在还起着预压荷载、冲击垫层、应力扩散及维持残余后效力等有益作用。其厚度可根据现场实际情况而定，如原地表标高、交工面标高、预计沉降量和地基条件等。

**6.4.24** 竖井夯实法要选用合理的夯击参数和施工顺序，这样冲击荷载的作用不对软黏土过分扰动，尽量保持软黏土的微观结构性，软土层在多遍夯击下不断排水固结，强度不断提高。对软黏土来说，静荷载作用下的排水固结份额仍是基本的，动荷载作用下的固结量是附加的，其作用不是两者的简单叠加，而是相辅相成，相互促进的关系。中国建筑科学研究院地基基础研究所席宁中团队在某工程排水动力固结法试验中，以三个月为时间期限计算强夯动力固结与覆土静力固结在软土地基处理中的贡献比，其分析结果如下表所示：

**表6.4.43 强夯作用占淤泥质土层固结贡献比**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 总固结度 | 等效静力固结度 | 强夯动力固结度 | 强夯贡献占比 | 等效静力贡献占比 |
| 对比区 | 76.23% | 65.45% | 10.78% | 14.14% | 85.86% |
| 试验区 | 85.83% | 71.73% | 14.09% | 16.42% | 83.58% |

注：对比区采用降水夯实法，试验区采用复合排水夯实法。

表6.4.43表明对比区强夯作用占淤泥质土层固结贡献比为14.14%，试验区为16.42%，而等效静力作用则贡献了80%以上的固结度，这也说明了尽管采用强夯动力固结方式，但上覆土的静力作用贡献仍占下卧淤泥质土层固结的主要部分。同时，上表中试验区强夯贡献占比高于对比区，也侧面反映了排水动力固结法软黏土中设置竖向排水体的必要性和作用。

**6.4.25** 夯击能的选择要考虑两方面的因素：①应给软土施加充分的动载，使土中孔隙水压力大幅度增长；②要避免过高夯击能使软土大量隆起或水平挤出，即避免过分扰动，破坏土的结构。

以前认为强夯应彻底破坏土的结构，使土产生液化，然后再排水固结，触变恢复。这种思路完全不适宜于细粒饱和黏性土的加固。因为软土灵敏度高，软土结构遭受破坏后大幅度降低软土层的渗透性，土体结构和强度需很长时间才能恢复，不利于排水固结。

因此，夯击能的选择应从较低能量开始，使浅层软土率先排水固结，强度增长，在表层形成硬壳层，此后再逐渐加大能量，软土排水固结后强度逐渐得到提高，其抵抗动荷载的能力增强，夯击能量逐层向深部传递。此即为“夯击能由低到高，加固由浅及深”的技术思路。

**6.4.26** 满夯的作用是加固表层土，即加固单夯点间未压密土，深层加固时的坑侧松动土及整平夯坑回填土；故满夯单击夯能可选用400kN·m~1000kN·m，如果夯击能过大，反而会造成新的凹凸不平现象。

**6.4.27-6.4.29** 单点夯击数即工程上所谓的收锤标准，夯击作用时，单点击数是一个重要指标。总的原则是，要以较少的冲击次数产生较大的孔隙水压力和较小的剪切变形。当冲击次数大于某一值时，孔压增长速率比较缓慢而残余变形却有继续增长的趋势。这是由于孔压升高，有效应力降低，土体强度有一定的衰减的缘故。现场施工经验表明：当夯击击数超过一定值时，土体不但不能压密，反而产生过大的侧向挤出，同时孔隙水压力增量变小并趋向于零。动力夯击工艺应用于饱和软土地基的处理，要求夯击时软土中的动应力小于其动强度，处理过程中不发生破坏性的大变形；单点击数可依据实测沉降、位移观测值和孔压增量来控制。

一般而言，合理的夯击次数与单击夯击能、土质条件等因素有关。在单击夯击能确定条件下，应根据土质情况来掌握夯击次数。对于含水量大的地基土，原则上要多遏少击，使地基土在夯击能作用下能继续密实。本规范给出的四种具体控制方法，满足任何一条即停止夯击，以便确定该点停夯标准。单点击数虽受到限制，而夯击遍数则可增加，用反复多遍的方法来保证软土的充分排水固结。如果多遍夯击后仍达不到预期效果，宜考虑加密排水板距离，加强降排水等措施（如采用降排结合的复合排水方式）来改善排水固结的效果，这样可以减少夯击遍数，加快施工进度。同时，上述各项初选的参数均应根据监测结果及时进行调整，以确保加固效果。

**6.4.30** 竖井夯实法施工中一般按设计确定夯击遍数。但在地质条件分布不均匀的情况下，通过加固过程中的自检（十字板、静力触探、动力触探试验）的结果确定是否完成最后一遍夯击后地基承载力达到要求，如果不能达到要求，则须要进行局部补夯。

**Ⅲ 复合排水夯实法**

**6.4.31** 随着经济建设的快速发展，对软土地基处理的技术和工期要求也逐步提高。大量工程建设不仅要求对软土地基浅部承载力提高，对深部海相或三角洲相的淤泥及淤泥质土地层也要求进行必要的加固处理，以控制过大后期沉降的发生。因此，如何加快软土地基中孔隙水的排出，同时又能满足和利用强夯等动力设备快速施工作业一直是困扰岩土工程师们的两大难题，也是制约排水动力固结法软土处理技术发展的关键所在。

复合排水夯实法通过在软土地基中构建快速抽排水体系并结合动力夯击促使软土地基加速排水压密固结。该工法的目的是这样实现的：根据需加固区域的土质分层条件，建立转换层，转换层根据土质条件确定，要求为渗透系数相对较大（10-4cm/s以上）的连续土体（如砂性土层），其层厚应大于0.50m。转换层以下设置静力排水通道（如塑料排水板等），转换层上设置动力排水通道（主动抽排系统）。由于水平转换层的存在，可使下部淤泥或淤泥质土体经塑料排水板排出的地下水再次通过浅层布置的真空动力抽排系统迅速排出。

转换层应设置在软弱地基处理场地表面1.5m以下，深部饱和黏性土层顶面以上，由具有一定厚度（0.5m以上）且渗透系数相对较大（10-4cm/s以上）的砂性土构成。地基处理设计人员可在围海造地项目吹填前期介入，结合项目吹填进程、吹填材料来源和性质，合理规划、构建水平转换层，设计深部饱和黏性土中竖向排水通道（如塑料排水板）与浅部主动抽排系统（如轻型井点管网）相结合的复合排水体系。对于既有软土地基，当拟处理场地地表1.5m以下，深部饱和黏性土顶面以上存在渗透性质较好的砂性土层时，也可直接加以利用作为水平转换层。

实现主动性抽排（轻型井点管网）与被动性排水通道（塑料排水板）的间接、分级、接力式抽排水后，场地深部饱和黏性土中竖向排水通道的设置间距可不受轻型井点管的设置间距制约，而是根据淤泥及淤泥质土层具体情况，依据相关理论或规范进行分析计算并针对性地进行设计。由于深部饱和黏性土中竖向排水通道的增加，地下水水平渗流路径的缩短，势必加速抽排过程及强夯后孔隙水压力的消散。加快工程施工进度的同时，由于同步构建了针对深部饱和黏性土实际意义上的堆载预压体系（塑料排水板+水平转换层+上覆土层+深沟明排体系），也可促使深部饱和黏性土在上部静覆盖压力（上覆土层）、动力荷载（强夯）及其残余后效力的共同作用下加速排水固结，这样亦可增进该工法对于深部淤泥及淤泥质软土地层的处理效果，有效加固影响深度大幅增加。其基本施工工艺步骤如下：

步骤1、转换层的实现，复合排水体系的建立；

步骤2、针对深部饱和黏性土的堆载预压体系的建立，周边排水体系的完善和处理；

步骤3、交替降排水、动力固结施工（根据施工过程监（检）测情况确定交替施工遍次，直至满足设计要求）；

步骤4、地基处理效果检验；

步骤5、交工验收。

复合排水夯实法强调将软土表面静覆盖压力（如砂垫层、硬壳层、填土层）、动力荷载（如强夯、冲压）及其残余后效力与快速抽排体系（主动抽排：真空、泵吸；被动排水：砂井、袋装砂井、塑料排水板）进行有机结合对饱和软土地基进行加固，是一种兼具动力与静力双重固结模式的复合排水固结方法，具有施工工期短，加固影响深度大，处理效果好的优点。该法尤其适用于围海造地新近吹填形成的具有浅部吹填土+深部饱和黏性土的“二元”地层结构特征的大面积软土地基的加固处理。目前已在福建、广东、河北、辽宁等地沿海软土地基处理项目中大量成功应用。

**6.4.32** 竖向排水通道的深度应以穿透软土层为准，如果压缩层较为深厚则也可由计算确定。

**6.4.33** 对于围海造地或需要大量覆土的软土地基处理项目，复合排水夯实法有其独特的优势。地基处理设计人员应在项目吹填（覆土）前期介入，依据地勘资料及项目情况，分析吹填（覆土）材料来源和性状，统筹规划吹填（覆土）方式、步骤及总体建设计划，结合后续可能采取的地基处理方法和思路，合理构建针对场地下部饱和黏性土地层的抽排水系统和预压体系，既可快速展开地基处理施工作业、避免一些重复工序或浪费，又可充分发挥排水动力固结法的优势及其施工后效作用（类堆载预压效应、类真空预压效应），获得技术、经济和时间的最佳综合效益。

**6.4.34** 复合排水夯实法施工应遵循“先轻后重、逐级加能、轻重适度、少击多遍”的原则，促使软土体在适量的静（覆盖）力、反复作用的动力荷载及其残余后效力的超载作用下，快速固结，工后沉降减小，地基承载力提高。

**6.4.35** 一般情况下，复合排水夯实法施工中采用轻型井点管网降排场地地下水和强夯夯击施工是分遍次交替进行的，当场地地下水位维持在地表2m以下，且轻型井点管或布设在转换层中的水平向管网真空抽排系统降排水不影响强夯施工作业时，除必要的技术间歇时间外，也可采用连续降排水夯击方式。

**6.4.36** 复合排水夯实法在转换层构建过程中同步形成了针对下部饱和黏性土层的预压体系，因而强夯施工后应继续进行一定时间的降排水维护作业，以便充分发挥该法的工艺优势及其施工后效作用，获得技术、经济和时间的最佳综合效益，这也是该工法区别于其它既有软土地基处理技术的关键环节。

## 土体固化法

**6.5.1** 目前，软土地基中采用固化法处理的实践案例还不多。对于高含水率的软土地基，固化法通常宜在场地晾晒一定时间后再开展。

**6.5.2** 固化剂是一种能将砂土、黏土、淤泥、淤泥质土、生活垃圾等固化，并增强土体的强度，提高承载力，增加抗渗、抗冻性能的一种新型建筑胶凝材料。工程中常用的土体固化剂有以下几类：

① 石灰水泥类无机固化剂。固化机理是结合土体中的水分、形成胶凝成分来胶结土壤，堵塞土体 的毛细结构，从而形成强度和稳定性。此类固化剂固化软土的早期强度不高，且由于固化剂加入量较大，形成胶凝的过程会产生较大的变形，固化土容易干缩，形成裂缝，破坏结构，影响水稳定性。

② 矿渣类干粉土体固化剂。固化机理是利用活性激发成分促进固化剂水化和产生胶结土体颗粒 的胶凝物质，并且在一定程度上激发土颗粒本身的活性，在固化剂和土颗粒之间进一步形成有效的作用力，并且保留部分活性成分，在较长的时间内稳定地增加强度。此类固化剂采用的是水硬性成分，防水抗冻性能较好，但适用的土体类型有限。

③ 高聚类离子土体固化剂。固化机理是利用聚合物交联形成立体结构包裹和胶结土粒，或者利用表面活性剂改变土粒表面亲水性质，形成有效的抗水能力，在土体压实的基础上，可以得到较好的抗压强度。此类固化剂一般采用水溶液的形态与土混合，施工方便；加入催化聚合成分或者直接利用土体成分来实现交联，固化土的早期强度和后期稳定强度均可以满足要求；适用的土类型比较多，适 应性比较好，但抗水性能比较差，遇水强度急剧降低。

④ 电离子溶液类固化剂。固化机理是利用强离子来破坏土颗粒表面的双电层结构，减弱土颗粒表面与水的化学作用力，并且从根本上改变土颗粒的表面性质，使其趋于憎水性，在压力作用下使得土体形成强度和良好的抗水性能，其中还包括一定的离子交换促使土颗粒具备一些活性，从而促进土体的稳定和强度。此类固化剂施工需要的用水量比较大，对土体成分有一定的要求。

**6.5.3** 目前，国内浅层固化软土的施工常见的有场地混合处理法、管内混合处理法以及其它一些拌合工艺。规范推荐的场地混合处理方法，是将软土在纳填场地静置排干明水并经晾晒后，往软土中添加 固化剂，拌和形成固化土混合料的固化处理方法。

## 复合地基法

**6.6.1** 复合地基强调由地基土和增强体共同承担荷载，对于地基土为欠固结土、湿陷性土、可液化土等特殊土，必须选用适当的增强体和施工工艺，消除欠固结性、湿陷性、液化性等，才能形成复合地基。复合地基处理的设计、施工参数有很强的地区性，因此强调在没有地区经验时应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工，验证其适用性，并进行必要的测试，以确定设计参数和处理效果。

**6.6.2-6.6.3** 复合地基承载力的计算表达式对不同的增强体大致可分为两种：散体材料桩复合地基和有粘结强度增强体复合地基。本规范分别给出其估算时的设计表达式。对散体材料桩复合地基计算时桩土应力比n应按试验取值或按地区经验取值。但应指出，由于地基土的固结条件不同，在长期荷载作用下的桩土应力比与试验条件时的结果有一定差异，设计时应充分考虑。处理后的桩间土承载力特征值与原土强度、类型、施工工艺密切相关，对于可挤密的松散砂土、粉土，处理后的桩间土承载力会比原土承载力有一定幅度的提高；而对于黏性土特别是饱和黏性土，施工后有一定时间的休止恢复期，过后桩间土承载力特征值可达到原土承载力；对于高灵敏性的土，由于休止期较长，设计时桩间土承载力特征值宜采用小于原土承载力特征值的设计参数。对有粘结强度增强体复合地基，本规范根据试验结果增加了增强体单桩承载力发挥系数和桩间土承载力发挥系数，其基本依据是，在复合地基静载荷试验中取s/b或s/d等于0.01确定复合地基承载力时，地基土和单桩承载力发挥系数的试验结果。一般情况下，复合地基设计有褥垫层时，地基土承载力的发挥是比较充分的。

**6.6.4** 复合地基增强体的强度是保证复合地基工作的必要条件，必须保证其安全度。对具有粘结强度的复合地基增强体应按建筑物基础底面作用在增强体上的压力进行验算，当复合地基承载力验算需要进行基础埋深的深度修正时，增强体桩身强度验算应按基底压力验算。

**6.6.5** 复合地基沉降计算目前仍以经验方法为主。本规范推荐以分层总和法为基础的计算方法。各地可根据地区土的工程特性、工法试验结果以及工程经验，采用适宜的方法，以积累工程经验。

**6.6.6** 由于软土地区复合地基的建筑物沉降观测资料较少,本规范沿用现行国家行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79推荐的地基沉降计算经验系数与沉降计算深度范围内压缩模量当量值的关系。

**6.6.7** 处理的深度应根据现场土质情况、工程要求和成孔设备等因素综合确定。当以降低土的压缩性、提高地基承载力为主要目的时，宜对基底下压缩层范围内压缩系数α1-2大于0.40MPa-1或压缩模量小于6MPa的土层进行处理。对相对硬土层埋藏较深地基，桩的长度应按建筑物地基的变形允许值确定，如存在软弱下卧层时，应验算其变形，按允许变形控制设计。

**6.6.8** 桩距应根据设计要求的复合地基承载力、建筑物控制沉降量、土性、施工工艺等综合考虑确定。 设计的桩距首先要满足承载力和变形量的要求。从施工角度考虑，尽量选用较大的桩距，以防止新打桩对已打桩的不良影响。

**6.6.9** 两种及两种以上桩型的复合地基设计、施工与检测应通过试验确定其适用性和设计、施工参数。

**6.6.10** 根据近年来复合地基理论研究的成果，复合地基的垫层厚度与增强体直径、间距、桩间土承载力发挥度和复合地基变形控制等有关，褥垫层过厚会形成较深的负摩阻区，影响复合地基增强体承载力的发挥；褥垫层过薄复合地基增强体水平受力过大，容易损坏，同时影响复合地基桩间土承载力的发挥。

# 桩基础

**7.1.1**软土地基减沉复合疏桩基础的设计应遵循两个原则，一是桩和桩间土在受荷变形过程中始终确保两者共同分担荷载，因此单桩承载力宜控制在较小范围，桩的横截面尺寸一般宜选择*φ*200～*φ*400(或200mm×200mm～300mm×300mm)，桩应穿越上部软土层，桩端支承于相对较硬土层；二是桩距*s*a＞(5~6)d，以确保桩间土的荷载分担比足够大。

减沉复合疏桩基础承台型式可采用两种，一种是筏式承台，多用于承载力小于荷载要求和建筑物对差异沉降控制较严或带有地下室的情况；另一种是条形承台，但承台面积系数(承台与首层面积相比)较大，多用于无地下室的多层住宅。桩数除满足承载力要求外，尚应经沉降计算最终确定。

**7.1.2**本条说明关于桩身稳定系数的相关内容。工程实践中，桩周围为超软弱土，即土的不排水抗剪强度小于10kPa的情况应考虑桩身稳定系数确定桩身受压承载力，即将计算的桩身受压承载力乘以稳定系数*ψ*。

# 基坑工程

## 一般规定

**8.1.1**基坑支护属于临时性支护结构，考虑到地下室施工时间，故基坑正常使用是一年，当廊道或管线基坑可适当减少。由于支护结构变形和截水帷幕的渗漏量会随着时间的增加而增加，如果基坑开挖后超过一年，需要对支护结构和截水帷幕的作用进行安全评估，必要时进行检测加固。对于采用支护桩或地下连续墙结合内支撑的支护结构，其正常使用年限可以延长至两年。

**8.1.2**原有的基坑规范对基坑设定安全等级的主要作用是在设计中确定重要性系数和变形控制值，没有分开安全等级和环境等级，在实际中不太符合需求，为此将变形控制根据环境等级来控制，可以放松对周边建筑物基坑的变形控制标准，相对灵活合理。若基坑开挖影响范围内存在特殊要求的建（构）筑物、设施，除满足变形要求外，基坑支护设计、施工、监测方案还需得到相关管理部门的同意。

**8.1.3**以破坏后果严重程度，将支护结构划分为三个安全等级。对基坑支护而言，破坏后果具体表现为支护结构破坏、土体变形过大对基坑周边环境及主体结构施工安全的影响。支护结构的安全等级，主要反映在设计时支护结构及其构件的重要性系数和各种稳定性安全系数的取值上。

**8.1.4**在软土地区进行基坑工程施工时，受地质和水文条件影响更大，周边环境复杂，施工难度大，易发生基坑边坡失稳、坑底隆起、突泥突水和支护结构失效等工程问题，因而在基坑支护设计应综合考虑各种因素。尤其是基坑周边施工荷载，直接关系到基坑施工的安全性，严禁超过设计要求的地面荷载限值，若不可避免超过设计规定荷载时，应根据实际情况重新进行计算并根据计算结果采取加固措施。

**8.1.5**软土参数的选取决定了作用于支护结构上土压力、水压力的计算结果，并最终影响支护结构形式的选择。例如不同的试验方法可以得出不同的抗剪强度指标c、φ值，造成此不同结果的主要原因之一是试验过程的排水情况不同。由于软土通常渗透性低，如果基坑开挖速度快，开挖卸荷后土体中的剪应力很快产生，没有充分时间进行固结排水，因而应用不排水条件下的土、水合算总应力法的抗剪强度c、φ值参数。由于是土水合算，其土压力中已包括了水压力的影响。

**8.1.6**土的抗剪强度指标取直接快剪强度是较低的，按此指标计算是偏安全的。软土地基，考虑到有一定的固结，但按固结快剪有时指标偏大，因此取固结快剪强度指标按0.75进行折减，折减后与直接快剪强度指标比较，可取两者的大值。当基坑暴露时间较长时，应同时考虑软土强度随时间的变化。

**8.1.7~8.1.8**土压力是作用在基坑围护结构上的主要荷载，土压力值的大小直接决定了围护结构的入土深度、桩(墙)身配筋率等基本参数，从而影响围护结构的安全性与经济性。土压力值不仅与土体本身性质有关，而且与围护结构变形模式、变形大小、墙(桩)土界面模式、施工时间、降水固结等很多因素有关，随着基坑施工工况的不同，土压力值处于不断变化中。土压力可以分为主动土压力、静止土压力和被动土压力，而影响软土地区基坑稳定性的主要是主动土压力与被动土压力的不平衡问题。被动区抗力稳定性计算是指排桩、地下连续墙和钢板桩等支护形式中，由于被动区抗力不足而产生所谓的“踢脚”破坏，及嵌固端长度不足导致隆起等稳定性问题。

**8.1.9**当基坑底部存在软弱土层时，易发生坑底隆起破坏，当基坑底面以下存在承压水和具有渗透变形条件时，易发生渗流破坏，应进行抗渗流破坏和抗隆起稳定性验算，若验算不满足要求时，可采取加深加强截水帷幕及加强坑底加固等措施加以解决。

**8.1.10**软土性质的不确定性、地面和地下水位的变化以及各种施工质量问题的出现都可能危及基坑的安全。为防止基坑出现安全险情或事故，在施工过程中必须采用信息化施工方法，将勘察、设计、施工、监测的信息进行相互反馈，根据反馈的信息及时调整设计和施工参数，对异常情况及时采取处理措施。

## 基坑支护结构

**8.2.1**软土中的基坑工程，开挖前应在勘察和实地调查的基础上确定土体加固项目、方法和要求，条件允许时可采用排水固结法处理，并宜采用灌注桩、地下连续墙等空间刚度较大的围护结构，以控制由围护结构施工所引起的地层位移对周边环境产生的影响。

**8.2.2**本条是关于支护结构强度、稳定性和变形计算中应采取何种极限状态及何种荷载效应组合的规定，它与现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009和国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153保持一致。

**8.2.3**软土地区场地环境复杂，土质条件差，地下水丰富，尤其是淤泥或淤泥质土场地，采用放坡支护时，应进行整体稳定性验算和坑底抗隆起稳定性验算，深厚软土放坡坡度缓，放坡影响范围大，需大挖大填，不宜采用放坡支护。

**8.2.4**土钉墙主要靠土钉与土层之间的锚固力保持坑壁的稳定，适用于土钉墙支护的土体必须具有临时的自稳能力，以避免在分层开挖施工土钉时失稳。淤泥质土以及饱和软土层和淤泥由于不具备临时自稳能力，施工过程中容易塌方，所以不宜采用土钉墙进行支护。复合土钉墙由于综合了几种支护形式的优点，所以使用范围非常广泛，但大量的工程经验表明当场地内埋藏有厚层淤泥时，土钉和锚杆成孔困难，锚杆机土钉锚固力较低；当基坑侧壁有承压水作用时，就易出现流砂、流土，引起地面沉降；当坡脚存在软土地层时，容易产生整体失稳；当基坑环境等级和安全等级较高时，变形控制能力较弱，不宜采用土钉墙和复合土钉墙进行基坑支护。

**8.2.5**该条是对排桩桩径与间距的要求。本条规定排桩桩径不宜小于600mm，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，以达到受力与经济合理的要求，同时还要满足施工条件的要求。

**8.2.6**钢板桩支护是一种施工简便、经济与快捷的支护方法。由于钢板桩本身柔性较大，一般会有较大的变形，因此，软土层较厚，深度大于7.0m，以及对周边环境影响、变形限制严格的基坑不宜采用钢板桩支护。而且在软土地层，钢板桩拔出时，对周边场地和建筑物会有较大的影响，工程经验表明沉桩和拔桩均有影响，但拔桩的影响大过沉桩。拔桩之前要经充分论证，对重要管线或已有建筑物产生较大的影响时，可不拔除钢板桩，或加固后拔除。拔桩时，应将基坑基本回填到位，地面板桩两侧放石粉或中粗砂，使得在振拔时回填入空隙。必要时充填水泥砂浆、或回填后补充注浆加固。

**8.2.7**土层锚杆的蠕变是导致锚杆预应力损失的原因之一，工程实践表明塑形指数大于17的土层对蠕变较为敏感，因而在淤泥、淤泥质土以及软弱粘性土层中设置锚杆时应进行锚杆的蠕变试验，以确定锚杆随时间延长逐渐松弛，锚固力降低，变形增大的程度，以便采取相应的对策。

**8.2.8**地下连续墙具有刚度大、整体性好、耐久性及抗渗性好、施工振动少、噪声低、逆作法施工安全性高等优点，已经越来越多地被广泛应用，如深圳水库防渗墙、广州地铁工程等。对于软土地区，软土通常含水量高、承载力低、自稳能力差、地下水丰富，因而地下连续墙需插入基坑底下一定深度，并进行基坑抗倾覆稳定性验算，在满足要求后，再进行基坑整体稳定性、基坑底抗隆起及基坑抗突涌、抗渗流稳定性验算。

**8.2.9**软土层中的基坑后地面荷载较大的基坑，需用“圆弧法”验算土体的整体稳定性。支护结构被动区为软土时，尚需计算支护结构的变形，防止因被动区支护结构变形引起过大的内支撑附加应力和弯矩。必要时应进行被动区加固。

**8.2.10**根据国内大量工程实例表明，水泥土挡墙作为基坑临时支护结构时，基坑开挖深度不宜大于5m，这主要由技术和经济两方面因素决定。搅拌桩体结余刚性桩和柔性桩之间，它的抗拉强度比抗压强度小得多，其按重力式挡墙计算就是利用结构本身抗压不抗拉的特点，当基坑开挖深度加大时，其承受水平向的荷载加大，必然要大幅度增加墙体宽度，致使采用此工法显得不够经济合理。当土体性状差，被动区土压力较小时，加大桩的嵌入深度是有效方法之一，另外一种方法就是在被动区进行搅拌加固，以改善被动区的土性。

当用于处理有机质土和泥炭质土时，单独用加大水泥含量处理效果较差，因为有机质使土层具有较大的水容量、塑性、膨胀性、低渗透性和一定的酸性，从而阻碍水泥水化反应的进行，影响水泥土凝固和强度增长，对这类土应通过室内试验，选择恰当的固化剂和外掺剂。

## 基坑地下水控制

**8.3.1**地下水对基坑工程的安全及基坑周围环境的影响很大，如果控制不好，会给基坑工程和周围环境带来严重危害。

**8.3.2**截水帷幕大多采用搅拌桩和旋喷桩，目前已发展了大直径搅拌桩、三轴搅拌桩和双轮铣搅拌桩，高压旋喷桩多利用支护结构桩桩间旋喷或摆喷形成截水帷幕。截水帷幕应交接良好，截水有效。

**8.3.3**竖向截水帷幕的形式有两种，一种是插入隔水层，另一种是不透水层相对较深，帷幕悬挂在透水层中。前者作防渗计算时，只需计算通过防渗帷幕的水量，后者还需考虑绕过帷幕涌入基坑的水量。

**8.3.4**抽水试验具有非常重要的意义，可以进一步了解场地范围内含水层的水文地质参数和富水程度，以及和水源的联系情况，设计前必须通过专门的现场水文地质抽水试验，测定较为准确的含水层的水文地质参数，提高降水设计精度。抽水试验成果的可靠性与试验过程中的地下水位测量将都和测量频率密切相关，为避免人为因素引起的较大测量误差以及试验初期测量频率不足，抽水试验中的地下水位测量宜采用自动监测。

**8.3.5**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。

## 基坑工程施工

**8.4.1**软土处理后强度应能满足施工机械荷载要求，主要的加固项目包括：地下连续墙墙底注浆加固，主动土压力区土体稳定加固，被动区加固，桩间土加固，基坑挡墙转角处外侧因斜撑作用而形成的大抗力被动区的土体加固，以及为槽壁稳定而在槽壁两侧进行的土体加固等；主要土体加固方法可采用水泥搅拌桩、旋喷注浆、注浆、振冲碎石桩等。

**8.4.2**软土基坑如果一步挖土深度过大或非对称、非均衡开挖，可能导致基坑内局部土体失稳、滑动，造成立柱桩、基础桩偏移。另外软土的流变特性明显，基坑开挖到某一深度后，变形会随着暴露时间增长。因此，软土地区基坑的支撑设置应先撑后挖并且越快越好，尽量缩短基坑每一步开挖时的无支撑时间。

**8.4.3**当需要在高灵敏度软土中开挖基坑时，振动控制是基坑安全最主要的环节，位于交通干道的基坑工程，对振动源控制比较困难，因此，应对土的强度指标进行折减、采用对土层扰动较小的施工工艺和工法，并主要以控制施工速度、孔隙水压力来减少对土体强度的影响。

**8.4.4**土的触变性是指在外力作用下，土的结构强度剧烈降低，甚至发生流动，外力停止后随时间增长逐渐恢复结构和强度的现象。软土的触变性尤为显著，基坑采用排桩支护时，循环振动作用极易造成软土结构破坏，当含水量较高时产生流动，造成桩间土侧向挤出或流失，因而需要采用一定的保护措施。

**8.4.5**淤泥层采用小型挖掘机土方开挖是减少或防止先施工工程桩发生位移的措施之一。软土基坑开挖时，经常发生已施工的工程桩移位、倾斜甚至断桩的现象。如果条件允许，软土地区应先挖基坑，再施工程桩，如果先施工程桩，则基坑开挖时应加倍小心，按设计要求分层开挖，并采用防沉措施避免机械设备挤压到工程桩。

**8.4.6**基底处于软弱土（淤泥、淤泥质土）时，经常对坑底以下的被动侧土体进行加固，加固的方法通常为深层搅拌桩、高压旋喷桩、注浆加固等。此时土体的土工参数得到了明显提高，*c*、*φ*值等应做相应调整。

**8.4.7**大量工程实践表明，多数基坑工程事故是有征兆的。基坑工程施工和使用期间及时发现异常现象和事故征兆并采取有效措施是防止事故发生的重要手段。不同的土质条件、支护结构形式、施工工艺和环境条件，基坑的异常现象和事故征兆会不一样，应能加以判别。当支护结构变形过大、变形不收敛、地面下沉、基坑出现失稳征兆等情况时，及时停止开挖并立即采取防止事故发生和扩大的有效措施。

## 基坑工程监测

**8.5.1**基坑开挖、降水可能对周边环境安全及正常使用产生不利影响，基坑工程设计方应根据基坑设计深度、支护结构的选型、施工工法、地质条件以及周边环境条件等明确监测范围，一般将基坑边缘以外1倍~3倍基坑开挖深度范围内需要保护的周边环境作为监测对象。采用基坑降水时，应根据降水影响计算和当地工程经验预估地面沉降影响范围，以确定降水影响的监测范围。

**8.5.2**本条将基坑工程现场监测的对象分为五大类。支护结构包括围护墙、支撑、立柱、冠梁和围檩等；基坑及周边土体指的是基坑开挖影响范围内的坑内、坑外土体；地下水包括基坑内外原有水位、承压水状况、降水或回灌后的水位；周边建筑指的是在基坑开挖影响范围之内的建筑物、构筑物；周边管线及设施主要包括供水管道、排污管道、通信、电缆、煤气管道、人防、地铁、隧道等，这些都是城市生命线工程；周边重要的道路是指基坑开挖影响范围之内的高速公路、国道、城市主要干道和桥梁等。此外，根据工程的具体情况，可能会有一些其他应监测的对象，由设计和有关单位共同决定。

**8.5.3**基坑监测范围主要依据是基坑开挖影响范围。不同开挖面积、不同地质条件、不同围护形式，其影响范围很难定量化，根据一般工程经验，基坑影响范围一般不大于3倍基坑深度。对于软土地区，基坑影响范围宜达到基坑边线以外5倍以上基坑深度，并符合工程保护范围的规定或按工程要求确定。

**8.5.4**软土通常具有一定的结构性，这种结构性会在扰动作用下遭到破坏，尤其是高灵敏性软土，受到施工扰动后强度显著降低，甚至形成流动状态，施工过程中应采取措施，减少对软土的扰动。此外，软土含水量高、有很大的流变性，随时间的增加，土压力、变形逐渐增大，基坑的安全性会逐渐降低。

**8.5.5**基坑隆起监测点的埋设和施工过程中的保护比较困难，监测点不宜设置过多，以能够测出必要的基坑隆起数据为原则，监测剖面数量不宜少于2个，同一剖面上监测点数量不宜少于3个，基坑中央宜设监测点，依据这些监测点绘出的隆起断面图可以基本反映出坑底的变形变化规律。

**8.5.6**监测报警是建筑基坑工程实施监测目的之一，是预防基坑工程事故发生、确保基坑及周边环境安全的重要措施。监测报警值是监测工作的实施前提，是监测期间对基坑工程正常、异常和危险三种状态进行判断的重要依据，因此基坑工程监测必须确定监测报警值。监测报警值应由基坑工程设计方根据基坑工程的设计计算结构、周边环境中被保护对象的控制要求等确定。

**8.5.7**本条列出的都是在工程实践中总结出来的基坑及周边环境出现的危险情况，一旦出现这些情况，将可能严重威胁基坑以及周边环境中被保护对象的安全，必须立即发出危险报警，通知建设、设计、施工、监理以及其他单位及时采取措施，保证基坑及周边环境的安全。工程实践中，由于疏忽大意未能及时报警或报警后未引起各方足够重视，贻误排险或抢险时机，从而造成工程事故的例子很多，应吸取这些教训，严格执行本条文。

**8.5.8**目前基坑工程监测技术发展很快，主要体现在监测方法的自动化、远程化、以及数据处理和信息管理的软件化。建立基坑工程监测数据处理和信息管理系统，利用专业软件帮助实现数据的实时采集、分析、处理和查询，使监测成果反馈更具有时效性，并提高成果可视化程度，更好地为设计和施工服务。

# 监测、检验与验收

## 一般规定

**9.1.1** 建筑物在沉降稳定前不得进行竣工验收。沉降稳定状态的判断可参照《建筑变形测量规范》JGJ8的相关规定。在使用期间，由于地基沉降或受其他因素影响的情况下，出现明显沉降时，应继续进行沉降观测，沉降观测点应设置为长期观测点。沉降观测由使用单位或原建设单位委托。建筑物在使用期间，可能受其他施工因素影响产生变形，也需要进行变形观测。

**9.12**一级边坡或滑塌影响区内存在建（构）筑物的边坡工程竣工验收后的监测时间不少于2年，由边坡施工期间的第三方单位实施。如边坡出现安全隐患或出现工况变化时，需要对潜在影响区内的建（构）筑物及边坡进行使用期间的监测。

**9.13**当采用打入式或振动静压式施工时，其对周边环境影响有两部分：一是挤土所产生的周边地面的隆起；二是振动产生的影响。采用静压式施工时，振动很小，对周边环境影响主要为挤土产生的，故打入式或振动静压式施工的影响范围大于静压式施工的影响范围。静压式施工影响范围一般按1.3倍桩长范围来考虑，振动式施工应扩大一倍约2.5倍桩长范围。

## 监测

**9.2.1** 填方、填海、预压地基、强夯、振冲桩、碎石桩、土和灰土挤密桩、水泥粉煤灰碎石桩等地基处理技术，对原来地基土采用置换或挤压方式，对其扰动较大，土体的固结，孔隙水压力的消散，都需要经过一定的时间才能完成，故应对地面沉降进行长期监测，借以评价地基处理效果，若沉降较大，说明未达到预期效果，土体固结未完成，若沉降在允许范围内，则说明这技术是可行的。

**9.2.2**  当施工时周边有邻近建筑或地下管线时，则应查明其建筑、结构情况，对沉降有没特别要求，以制定出相应的监测方案；若施工过程中有降水，因为随着水位降低，土体会有一定程度的流失，且重新固结，会引起较大的地面沉降，应对周边建筑、地下水位进行观测。

**9.2.3** 对周边建筑进行沉降(或上浮)观测时，在建筑物的四角，大转角处及沿外墙每隔10~15 m或每2~3个柱基础上应布置沉降观测点，且每幢建筑的点数不得少于6~8个；至少在建筑物的四个转角上应布置倾斜观测点，测量不均匀沉降差。另外当有裂缝时，要用尺子量出裂缝的长度、宽度，并用照相机拍摄下来，并在施工过程中跟踪监测。

**9.2.4**：施工前应首先查明地下管线类型、位置，并用白灰等作出标志，土体的沉降及水平位移都会产生地下管线的破坏，造成严重的后果，所以应沿管道每隔8~15 m埋设水平及沉降观测点进行观测，对可能存在的险情及时预警。

**9.2.5** 当桩基在软土地基施工时，因土层较差，施工振动时会对土体产生水平向的波动，进行地面振动加速度监测能直观的反映土体水平振动程度，指导施工。

**9.2.6**：对甲、乙级建筑或挤土桩布桩较密时，在施工过程中土体受到严重挤压，会引起地面的隆起，对已施工的工程桩有可能挤得严重偏位或断裂，对其进行深层土体水平位移及沉降监测，能有助于了解土体挤压情况；在已施工的工程桩上布设沉降及水平观测点，能有助于了解工程桩的变位及倾斜情况；另外，对场地内土体进行孔隙水压力监测，了解孔隙水压力变化，以防土体液化。

**9.2.7**：基坑开挖是一个复杂的过程，它牵涉到基坑工程本身及周边建筑、管线的安全，对基坑工程实行监测，进行信息化施工，有助于设计人员根据监测结果调整设计。防止出现突发事故，造成不可挽回的损失。

基坑开挖监测由两部分组成，一部分是基坑本身的监测，另外一部分是周边环境监测。一个基坑即使它本身是安全的，但对周边环境造成很大破坏，也不能说该基坑设计是成功的。支护结构监测主要包括坑顶水平位移、坑顶沉降、深层土体水平位移，有降水时应监测地下水位，采用锚杆时应进行锚杆抗拔监测。当基坑等级为一、二级时还需对钢筋应力、土压力、孔隙水压力、桩墙内力、立柱变形，支撑轴力及变形进行监测。周边安全监测主要包括周边地面、道路、管线及建筑物沉降、建筑物倾斜、垂直度，对已存在的裂缝作出相关标记。

**9.2.8**：测斜管主要监测土体深层水平位移，它反映土体在各个深度的移动情况，埋置深度应不小于2倍开挖深度且大于围护桩长，间距15~30 m；坡顶水平及沉降监测点沿基坑四周布置，每隔10~20 m。因基坑开挖会引起周边土体移动。周边监测应足以覆盖整个影响范围，一般不小于3倍开挖深度，对覆盖范围内的建筑、管线、道路均应监测。当采用降水措施时，应降水影响范围呈漏斗型，漏斗的坡度取决于渗透系数，在整个漏斗范围内周边环境均应进行监测。

**9.2.9**：基坑开挖前，需对周边管线类型、位置，相邻建筑物的结构型式、裂缝、倾斜情况作详细调查，提交调查报告，对可能有危险的地方应制定出详细监测方案，以便指导基坑开挖。

**9.2.10**：在基坑开挖前，监测元件均应埋设到位。沉降及水平位移观测的基准点应埋在不受开挖影响范围内，保证为不动点，且不少于3个基准点，以防在其中一个或二个受到意外破坏时不受影响，且在开挖前完成2次以上初读数观测；测斜管的埋设应提前完成，开始初读数观测时应保证测斜管孔周边土体已经固结密实，测得原始数据才有效。

**9.2.11**：基坑开挖过程中，施工方应指派专人与监测方配合，告知基坑开挖深度，施工异常等情况，有利于监测方安排监测次数，做到有的放矢，真正起到报警作用。监测频率可根据施工进度及监测数据作动态调整，超过规范要求或设计允许值时及时报警，在雨天应加大监测力度。

所提供的监测报告或简报中应标明监测元件布置情况，累计位移及本次位移施工情况，气象条件等，并画出相关分析曲线，作简要分析，对未来发展趋势作出评估

**9.2.12**：降水监测主要布置水位观测孔，通过监测地下水位变化，评估降水效果，当水降不下去，应加设井点，更换泵功率，当水位降得快时，可减少降水台班，节约造价。