建筑与市政地基基础通用标准

（条文说明）

2020年9月26日

目录

[1 总 则 4](#_Toc52099905)

[2 基本规定 5](#_Toc52099906)

[3 勘察成果要求 6](#_Toc52099907)

[附则3A 勘察成果的一般要求 6](#_Toc52099908)

[附则3B 勘察成果的特定要求 6](#_Toc52099909)

[4 天然地基与处理地基 7](#_Toc52099910)

[4.2 地基设计 7](#_Toc52099911)

[4.4 施工及验收 11](#_Toc52099912)

[5 桩基与复合桩基 12](#_Toc52099913)

[5.4 施工及验收 12](#_Toc52099914)

[附则5A 桩顶竖向力和水平力 12](#_Toc52099915)

[附则5B 基桩竖向承载力特征值 12](#_Toc52099916)

[附则5C 基桩水平承载力特征值 13](#_Toc52099917)

[附则5D 桩基沉降变形计算 13](#_Toc52099918)

[附则5F 预制桩连接要求 14](#_Toc52099919)

[附则5G 桩基施工组织设计文件 15](#_Toc52099920)

[6 基础 16](#_Toc52099921)

[6.1 一般规定 16](#_Toc52099922)

[6.2 扩展基础 17](#_Toc52099923)

[6.3 筏形基础 19](#_Toc52099924)

[6.4 施工及验收 20](#_Toc52099925)

[7 基坑工程 21](#_Toc52099926)

[7.2 支护结构设计 21](#_Toc52099927)

[7.3 地下水控制设计 24](#_Toc52099928)

[7.4 施工与验收 25](#_Toc52099929)

[附则7A 支护结构水平荷载计算 26](#_Toc52099930)

[附则7B 支护结构内力及变形计算 27](#_Toc52099931)

[附则7C 基坑稳定性验算 27](#_Toc52099932)

[附则7D 排桩的设计和构造 28](#_Toc52099933)

[附则7E 地下连续墙的设计和构造 31](#_Toc52099934)

[附则7F 内支撑体系的设计和构造 32](#_Toc52099935)

[附则7G 锚杆的设计和构造 35](#_Toc52099936)

[附则7H 重力式水泥土墙的设计和构造 35](#_Toc52099937)

[附则7J 土钉墙的设计和构造 36](#_Toc52099938)

[附则7K 地下水控制要点 36](#_Toc52099939)

[7K.1 地下水控制设计与构造 36](#_Toc52099940)

[7K.2 降水、回灌施工要点 37](#_Toc52099941)

[附则7L 支护结构施工要点 38](#_Toc52099942)

[7L.1 排桩施工要点 38](#_Toc52099943)

[7L.2 钢板桩施工要点 38](#_Toc52099944)

[7L.3 地下连续墙施工要点 38](#_Toc52099945)

[7L.4 劲芯水泥土墙施工要点 40](#_Toc52099946)

[7L.5 支撑施工要点 40](#_Toc52099947)

[7L.6 锚杆施工要点 41](#_Toc52099948)

[7L.7 重力式水泥土墙施工要点 41](#_Toc52099949)

[7L.8 土钉施工要点 41](#_Toc52099950)

[8 边坡工程 43](#_Toc52099951)

[8.1 一般规定 43](#_Toc52099952)

[8.2 支挡结构设计 44](#_Toc52099953)

[8.3 边坡排水与坡面防护设计 44](#_Toc52099954)

[8.4 施工及验收 44](#_Toc52099955)

[附则8A 边坡支护结构常用形式 46](#_Toc52099956)

[附则8B 边坡稳定性分析 46](#_Toc52099957)

[附则8C 支挡结构设计 47](#_Toc52099958)

[附则8D 锚杆防腐构造 49](#_Toc52099959)

[附则8E 边坡工程排水与坡面防护设计 49](#_Toc52099960)

[附则8F 专项施工方案要求 51](#_Toc52099961)

[附则8G 挡墙支护施工要点 51](#_Toc52099962)

[附则8H 边坡工程排水施工要点 52](#_Toc52099963)

[附则8I 边坡工程监测要求 52](#_Toc52099964)

[附录F 单桩竖向极限承载力标准值*Q*uk 53](#_Toc52099965)

[附录G 桩侧阻力和端阻力 54](#_Toc52099966)

[附录K 桩身承载力 60](#_Toc52099967)

# 1 总 则

条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

**1.0.1**  本标准以地基基础工程的目标与功能性能要求为基础，以保障人民生命财产安全、人身健康、工程安全、生态环境安全、公众权益和公共利益，以及促进能源资源节约利用等“正当目标”为基础，以覆盖地基基础工程全过程或主要阶段为范围，以目标要求、功能要求为指导层，以性能要求和可接受方案（具有可操作性或可验证性的具体技术方案或途径）为实施层的全文强制性标准，确保本标准既囿于“正当目标”，又具有唯一性和较强的可操作性和实用性。

**1.0.2**  地基基础工程是一套系统工程，其设计目标与施工工艺、过程质量把控等密切相关，因此，执行本标准必须按本标准规定的全套技术要求实施。

**1.0.3** 本标准未作规定的地基基础工程按照第2章要求进行设计施工。

# 2 基本规定

本章内容为《建筑与市政地基基础通用规范》完全一致，条文说明详见《规范》。

# 3 勘察成果要求

## 附则3A 勘察成果的一般要求

本附则是在搜集对比了全国各地部分勘察报告，综合整理而来，旨在明确勘察成果的形式和内容，便于设计、施工及验收过程中对勘察成果的即查即用。

## 附则3B 勘察成果的特定要求

我国幅员辽阔，不良地质作用、地质灾害和特殊性岩土分布广泛。本附则主要参考了国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021-2009中对溶洞（土洞），崩塌、滑坡、泥石流勘察成果的要求；同时参考了国家标准《湿陷性黄土建筑规范》GB 50025-2004、《膨胀土地区建筑技术规范》GB50112-2013、《盐渍土地区建筑技术规范》GB/T50942-2014、行业标准《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ118-2011对特殊性岩土勘察成果的要求。不同的不良地质作用、地质灾害和特殊性岩土，其勘察侧重点不同，勘察成果的体现也应更具针对性。

# 4 天然地基与处理地基

## 4.2 地基设计

**4.2.1** 本条规定源自国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011第5.2.1、5.2.2条和国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011- 2010第4.2.2、4.2.3和4.2.4条。地基抗震承载力调整系数*ζ*a应按表1采用。

**表1 地基抗震承载力调整系数**

|  |  |
| --- | --- |
| 岩土名称和性状 | *ζ*a |
| 岩石，密实的碎石土，密实的砾、粗、中砂，*f*ak≥300 的黏性土和粉土 | 1.5 |
| 中密、稍密的碎石土，中密和稍密的砾、粗、中砂，密实和中密的细、粉砂，150kPa<*f*ak<300kPa的黏性土和粉土，坚硬黄土 | 1.3 |
| 稍密的细、粉砂，100kPa≤*f*ak<150kPa 的黏性土和粉土，可塑黄土 | 1.1 |
| 淤泥，淤泥质土，松散的砂，杂填土，新近堆积黄土及流塑黄土 | 1.0 |

**4.2.2** 本条规定源自国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011第5.2.3、5.2.6条和附录C、附录D和附录J。

天然地基承载力特征值的确定方法主要有三类：（1）由现场载荷板试验确定。（2）根据土层的不同，可采用标准贯入试验、十字板试验、静力触探试验、动力触探试验、旁压试验、扁铲侧胀试验、波速试验等原位测试方法，结合原位试验参数与地基承载力特征值之间的经验关系间接推定地基承载力特征值。（3）根据土的抗剪强度指标，以理论公式计算，计算结果为地基承载力极限值或地基临界承载力。地基极限承载力除以安全系数可得地基承载力特征值。安全系数的取值与地基基础设计等级、荷载性质、土的抗剪强度指标的可靠程度以及地基条件等因素有关，具有一定主观性。上述方法中，由现场载荷板试验确定的天然地基承载力特征值是最准确、可靠的方法。

**4.2.3** 本条规定部分源自行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012附录B和附录C。现场复合地基静载荷试验分为单桩复合地基静载荷试验和多桩复合地基静载荷试验。对于有粘结强度增强体的复合地基，由于受桩长、载荷板面积以及褥垫层厚度等因素的影响，单桩复合地基载荷试验不能全面反映复合地基的承载特性，必要时应通过多桩复合地基载荷试验确定。

本条将采用增强体载荷试验结果和其周边土的承载力特征值确定的复合地基承载力特征值估算式统一简化为**，**其中复合地基承载力系数按附则4D确定。复合地基承载力系数由两部分组成，一部分是桩间土承载力发挥系数；另一部分是由于增设增强体在桩间土承载力发挥的基础上增加的承载力发挥系数，式中为基桩形状系数。式（）和（）中为桩土承载力特征值之比，定义为单桩的竖向承载力标准值与桩间土承载力特征值的比值再乘以复合地基中桩体实际竖向抗压承载力修正系数和桩体竖向抗压承载力发挥系数。

**4.2.4** 本条规定源自国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011第5.2.7。

软弱下卧层是持力层下面，地基土受力范围内强度相对软弱的土层。由于软弱下卧层的地基承载力较小，在地基附加应力作用下容易出现承载力不足而破坏的现象，危及上部结构的安全，因而需要对软弱下卧层顶面处进行地基承载力验算。

处理地基的软弱下卧层验算，对压实、夯实、注浆加固地基及散体材料增强体复合地基等应按压力扩散角，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的方法验算，对有粘结强度的增强体复合地基，按其荷载传递特性，可按实体深基础法验算。

**4.2.5** 本条规定源自国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011第5.3.5、5.3.6条和行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012第7.1.7和7.1.8条。

**1** 压缩模量的取值，考虑到地基变形的非线性性质，一律采用固定压力段下的Es值必然会引起沉降计算的误差，因此采用实际压力下的Es值，即

式中：*e*0——土自重压力下的孔隙比；

——从土自重压力至土的自重压力与附加压力之和压力段的压缩系数。

**2** 地基压缩层范围内压缩模量*E*s的加权平均值提出按分层变形进行*E*s的加权平均方法。

设：

则：

式中：——压缩层内压缩模量的当量值(MPa)；

*E*si——压缩层内第i层土的压缩模量(MPa)；

*A*i——压缩层内第i层土的附加应力面积（m2)。

**4.2.6** 本条规定源自国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011第5.3.2、5.3.3和5.3.4条。本条规定了地基变形的允许值。

对表4.2.6中高度在100m以上高耸结构物(主要为高烟囱)基础的倾斜允许值和高层建筑物基础倾斜允许值，分别说明如下：

(一)高耸构筑物部分：(增加H＞100m时的允许变形值)

**1** 国内外规范、文献中烟囱高度H＞100m时的允许变形值的有关规定：1）我国《烟囱设计规范》GBJ 51-83(表2)

**表2 地基允许倾斜值和沉降值**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 烟囱高度H(m) | 100<H≤150 | 150<H≤200 | 200<H |
| 基础允许倾斜值 | ≤0.004 | ≤0.003 | ≤0.002 |

上述规定的基础允许倾斜值，主要根据烟囱筒身的附加弯矩不致过大。

2）前苏联地基规范CHИП 2.02.01-83(1985年)(表3)

**表3 地基允许倾斜值和沉降值**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 烟囱高度H(m) | 地基允许倾斜值 | 地基平均沉降量(mm) |
| 100＜H＜200 | 1/(2H) | 300 |
| 200＜H＜300 | 1/(2H) | 200 |
| 300＜H | 1/(2H) | 100 |

3)基础分析与设计(美)J．E．BOWLES(1977年)

烟囱、水塔的圆环基础的允许倾斜值为0.004。

4)结构的允许沉降(美)M．I. ESRIG(1973年)

高大的刚性建筑物明显可见的倾斜为0.004。

**2** 确定高烟囱基础允许倾斜值的依据：

1)影响高烟囱基础倾斜的因素

①风力；

②日照；

③地基土不均匀及相邻建筑物的影响；

④由施工误差造成的烟囱筒身基础的偏心。

上述诸因素中风、日照的最大值仅为短时间作用，而地基不均匀与施工误差的偏心则为长期作用，相对的讲后者更为重要。根据1977年电力系统高烟囱设计问题讨论会议纪要，从已建成的高烟囱看，烟囱筒身中心垂直偏差，当采用激光对中找直后，顶端施工偏差值均小于H/1000，说明施工偏差是很小的。因此，地基土不均匀及相邻建筑物的影响是高烟囱基础产生不均匀沉降(即倾斜)的重要因素。

确定高烟囱基础的允许倾斜值，必须考虑基础倾斜对烟囱筒身强度和地基土附加压力的影响。

2)基础倾斜产生的筒身二阶弯矩在烟囱筒身总附加弯矩中的比率

我国烟囱设计规范中的烟囱筒身由风荷载、基础倾斜和日照所产生的自重附加弯矩公式为：

式中：*G*——由筒身顶部算起h/3处的烟囱每米高的折算自重(kN)；

*h*——计算截面至筒顶高度(m)；

*H*——筒身总高度(m)；

——筒身代表截面处由风荷载及附加弯矩产生的曲率；

——混凝土总变形系数；

——筒身日照温差，可按20℃采用；

——基础倾斜值；

——由筒身顶部算起0.6*H*处的筒壁平均半径(m)。

从上式可看出，当筒身曲率较小时附加弯矩中基础倾斜部分才起较大作用，为了研究基础倾斜在筒身附加弯矩中的比率，有必要分析风、日照、地基倾斜对上式的影响。在为定值时，由基础倾斜引起的附加弯矩与总附加弯矩的比值为：

显然，基倾附加弯矩所占比率在强度阶段与使用阶段是不同的，后者较前者大些。

现以高度为180m、顶部内径为6m、风荷载为50kgf/m2的烟囱为例：

在标高25m处求得的各项弯矩值为

总风弯炬 *M*w＝13908.5tm

总附加弯矩 *M*f＝4394.3 tm

其中：风荷附加 *M*fw＝3180.4 tm

日照附加 *M*r＝395.5 tm

地倾附加 *M*fj＝818.4(＝0.003)

可见当基础倾斜0.003时，由基础倾斜引起的附加弯矩仅占总弯矩(Mw＋Mf)值的4.6％，同样当基础倾斜0.006时，为10％。综上所述，可以认为在一般情况下，筒身达到明显可见的倾斜(0.004)时，地基倾斜在高烟囱附加弯矩计算中是次要的。

但高烟囱在风、地震、温度、烟气侵蚀等诸多因素作用下工作，筒身又为环形薄壁截面，有关刚度、应力计算的因素复杂，并考虑到对邻接部分免受损害，参考了国内外规范、文献后认为，随着烟囱高度的增加，适当地递减烟囱基础允许倾斜值是合适的。

(二)高层建筑部分

这部分主要参考《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》JGJ 6有关规定及编制说明中有关资料定出允许变形值。

**1** 我国箱基规定横向整体倾斜的计算值，在非地震区宜符合≤*b*/(100H)，式中，*b*为箱形基础宽度；*H*为建筑物高度。在箱基编制说明中提到在地震区值宜用。

**2** 对刚性的高层房屋的允许倾斜值主要取决于人类感觉的敏感程度，倾斜值达到明显可见的程度大致为1/250，结构损坏则大致在倾斜值达到1/150时开始。

## 4.4 施工及验收

**4.4.1** 本条规定源自国家标准《建筑施工组织设计规范》 GB/T 50502-2009第3.0.1、6.1、6.2、6.3、6.4和6.5条。

按照 GB50300-2013规定（表 B 建筑工程的分部工程、分项工程划分），地基与基础工程为建筑工程的分部工程。地基基础工程共划分了10个子分部71个分项工程，每个子分部根据自己的施工特点分别划分不同的分项，具体执行中相应施工组织设计文件（施工方案）应根据本工程特点进行细化。对于大型地基基础工程仅有施工方案可能不能满足指导施工要求，可加入施工组织设计的编制依据、主要内容、审批程序等内容。

# 5 桩基与复合桩基

## 5.4 施工及验收

**5.4.1** 桩基在现场施工时均需要在现场进行现场试验或试验性的施工，以根据地质条件选择适宜的桩机设备，确定各项施工技术参数，减少桩基施工对周边环境的影响。

在深厚淤泥层、流砂层、岩溶等不良地层中进行桩基施工时，容易出现桩身缩颈、断桩、桩位出现较大偏差、桩身倾斜等质量问题。在这些地层条件中施工时，应采取有针对性的质量保证措施。

泥浆是影响泥浆护壁成孔灌注桩成孔质量好坏的重要因素，施工过程中应注意检测泥浆的各项指标，其中泥浆比重是最直观、最重要的指标之一。泥浆比重过大既影响钻速，又使孔壁泥皮增厚，泥浆比重过小则护壁性能差，容易塌孔。

在复杂地层中施工灌注桩时，为确保桩端持力层满足设计要求，应进行施工勘察。

预制桩施工应采用专用送桩器，严禁将工程桩用作送桩器。

**5.4.3** 沉渣厚度大小不仅影响端阻力的发挥，而且也影响侧阻力的发挥值。灌注混凝土之前应对孔底沉渣厚度进行检测。对于端承型桩，沉渣厚度不应大于50mm；对摩擦型桩，不应大于100m；对抗拔、抗水平力桩，不应大于200mm。

## 附则5A 桩顶竖向力和水平力

**5A.0.1~5A.0.5** 规定了一般建筑物和受水平力（包括力矩和水平剪力）较小的高层建筑群桩基础中桩顶作用效应计算方法。桩顶竖向力和水平力的计算，应是在上部结构分析将荷载凝聚于柱、墙底部的基础上进行。这样，对于柱下独立基础，按承台为刚性板和反力呈线性分布的假定，得到计算各桩顶竖向力和水平力公式。对于桩筏、桩箱基础，则按各柱、剪力墙、核心筒底部荷载进行计算。

## 附则5B 基桩竖向承载力特征值

**5B.0.1~5B.0.2** 本条规定了基桩竖向承载力特征值和承台土分担系数确定方法。

按照桩基设计时，一般不考虑桩间土对承载力的贡献，承台土分担系数取0。

摩擦型群桩在竖向荷载作用下，由于桩土相对位移，桩间土对承台产生一定竖向抗力，成为桩基竖向承载力的一部分而分担荷载。当桩间土和承台（筏板）之间设置类似于复合地基的褥垫层时，桩间土承载力发挥系数可取0.65~0.90，承台土分担系数可公式（5B.0.2）计算。

**5B.0.3** 本条给出了桩间土和承台（筏板）之间设置褥垫层的要求，包括褥垫层厚度、垫层材料等。

## 附则5C 基桩水平承载力特征值

**5C.0.1~5C.0.2** 对于无地下室，作用于承台顶面的弯矩较小的情况，本条规定了考虑群桩效应的基桩水平承载力特征值*R*h确定方法。群桩效应包括桩的相互影响效应、桩顶约束效应、承台侧向土抗力效应、承台底摩阻效应。

**5C.0.3~5C.0.4** 影响单桩水平承载力和位移的因素包括桩身截面抗弯刚度、材料强度、桩侧土质条件、桩的入土深度、桩顶约束条件。如对于低配筋率的灌注桩，通常是桩身先出现裂缝，随后断裂破坏；此时，单桩水平承载力由桩身强度控制。对于抗弯性能强的桩，如高配筋率的混凝土预制桩和钢桩，桩身虽未断裂，但由于桩侧土体塑性隆起，或桩顶水平位移大大超过使用允许值，也认为桩的水平承载力达到极限状态。此时，单桩水平承载力由位移控制。由桩身强度控制和桩顶水平位移控制两种工况均受桩侧土水平抗力系数的比例系数*m*的影响，但是，前者受影响较小，呈*m*1/5的关系；后者受影响较大，呈*m*3/5的关系。

桩的水平变形系数*α*，由桩身计算宽度*b*0、桩身抗弯刚度*EI*、以及土的水平抗力系数沿深度变化的比例系数*m*确定。*m*值对于同一根桩并非定值，与荷载呈非线性关系，低荷载水平下，*m*值较高；随荷载增加，桩侧土的塑性区逐渐扩展而降低。因此，*m*取值应与实际荷载、允许位移相适应。

## 附则5D 桩基沉降变形计算

**5D.0.2、5D.0.5** 管桩水泥土复合基桩基础的最终沉降量计算采用单向压缩分层总和法，并计入桩身弹性压缩量。管桩水泥土复合基桩可分为有管桩段与无管桩段，两段的轴力分布、弹性模量有较大差异，应分段计算桩身压缩量。

竖向作用下，管桩—水泥土界面未发生滑移，二者能共同承担外部竖向荷载，符合等应变假定，有管桩段桩身材料弹性模量可采用考虑面积比的复合模量。水泥土材料弹性模量宜根据试验确定，当无试验资料时可近似取水泥土无侧限抗压强度的（600~1000）倍，水泥土强度高者取高值，反之取低值。内力测试结果表明，竖向荷载作用下桩身轴力基本呈折线分布，拐点在管桩底端。基于桩侧阻力矩形分布假定给出了桩身压缩系数确定方法。桩身压缩折减系数则考虑了桩侧阻力实际分布形式与矩形分布假定的差异。

## 附则5F 预制桩连接要求

**5F.0.1** 本条给出了钢桩焊接连接质量要求。

焊接是钢桩施工中的关键工序，必须严格控制质量。如焊丝不烘干，会引起烧焊时含氢量高，使焊缝容易产生气孔而降低其强度和韧性，因而焊丝必须在200℃~300℃温度下烘干2h。

现场焊接受气候的影响较大，雨天浇焊时，由于水分蒸发会有大量氢气混入焊缝内形成气孔。大于10m/s的风速会使自保护气体和电弧火焰不稳定。雨天或刮风条件下施工，必须采取防风避雨措施，否则质量不能保证。

焊缝温度未冷却到一定温度就锤击，易导致焊缝出现裂缝。浇水骤冷更易使之发生脆裂。因此，必须对冷却时间予以限定且要自然冷却。1min停歇，母材温度即降至300℃，此时焊缝强度可以经受锤击压力。

外观检查和无破损检验是确保焊接质量的重要环节。超声或拍片的数量应视工程的重要程度和焊接人员的技术水平而定，这里提供的数量，仅是一般工程的要求。还应注意，检验应实行随机抽样。

**5F.0.2~5F.0.4** 本条给出了混凝土预制桩连接质量要求。

混凝土预制桩接头处的连接强度均不应低于桩身强度的1.2倍，以保证力的传递并可使接头的位置不受限制。对于预制桩用作抗拔桩的接头连接，应进行专门的设计。当采用植桩工艺施工时，可减少接头不利因素的影响。

当混凝土预制桩采用机械螺锁式接头接桩时，应符合下列规定：

（1）接桩时，下节桩段的桩头宜高出地面0.8~1.2m。

（2）桩吊到位时方可安装插件，严禁到位前安装。

（3）桩拼接时，严禁用撬杠扳动插杆进行对正连接孔，若发现插杆已被扳动，应更换插杆。

（3）安装插杆后应用专用把手拧紧，并用专用卡板检查插杆的安装高度，保证安装尺寸在允许误差内。

（4）螺锁式连接接桩、卡扣的安装顺序应符合下列规定：

1）检查桩两端制作的尺寸偏差及连接卡扣件，无受损后方可吊装施工。卸下上、下节桩两端的保护装置并清理接头残物。

2）将插杆有螺纹端涂上密封材料（由环氧树脂、环氧树脂固化剂按照合适的比例组成），然后将其安装在上下节张拉端的小螺帽上；在下节桩张拉端的小螺帽上；在下节桩的固定端大螺帽里安装弹簧、垫片、锁片及中间螺帽。用专用检测工具检测大小螺母、中间螺母端面距桩端面深度与插杆球端距桩端面深度，其允许偏差应符合表4的规定。

**表4 上下桩之间连接安装允许偏差**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 深度（mm） | 允许偏差（mm） | 测点数 |
| 连接大小螺母距装端面深度 | 大螺母 | 4.0 |  | 按连接大小螺母数量 |
| 小螺母 | 3.0 |
| 中间螺母端面距桩端面深度 | | 0.5 |  | 按中间螺母数量 |

3）在下节桩端面安放足够的密封材料，操作时间在2min以内，初凝时间不超过6h，终凝时间不超过12h。

4）在专人指挥下，将插杆与中间螺母的轴线移到同一条直线上，缓缓插入，严禁碰撞。插接后，密封材料宜溢出接口，接口应无缝隙。

（5）拼接后的上节桩压入地下3m后方可拆卸起吊钢绳。

（6）当温度低于10℃，环氧树脂、固化剂不能拌合时，可加热处理，但加热温度应加以控制，宜在20~30℃。

（7）一般不宜截桩。截桩时，应采用有效措施确保预制桩的质量。截桩时，宜采用锯桩器，严禁采用大锤横向敲击截桩、强行扳拉截桩或液压夹具强制夹破。钢棒保护层厚度范围内的混凝土宜用小电动锤凿除，严禁锯齿碰到钢棒。

（8）抗拔接头的连接过程应保留照片或影像资料，作为桩基验收资料。

## 附则5G 桩基施工组织设计文件

**5G.0.1** 本条给出了桩基工程施工组织设计或施工方案应包括的主要内容。

**5G.0.10** 对于挤土桩、锤击法施工的预制桩、人工挖孔桩等，施工方案中应制定监测监控措施，保证施工质量及人员安全。

**5G.0.12** 对于静压法施工的预制桩、管桩水泥土复合基桩等，施工设备自重大、平面尺寸大，在施工平面图中应标明施工作业面边界，避免临时设施侵占施工作业面，保证施工进度与安全。

# 6 基础

## 6.1 一般规定

**6.1.1**  基础应有一定的埋置深度。在确定埋置深度时，应综合考虑建筑物的高度、体型、地基土质、抗震设防烈度等因素。基础埋置深度可从室外地坪算至基础底面，并宜符合下列规定：1.天然地基或复合地基，可取房屋高度的1/15； 2. 桩基础，不计桩长，可取房屋高度的1/18。位于岩石地基上的工程结构，其基础埋深应满足抗滑稳定性要求。当地基可能产生滑移时，应采取有效的抗滑移措施。当基础埋置在易风化的岩层上，施工时应在基坑开挖后立即铺筑垫层。

**6.1.2**  本条规定了混凝土基础的设计内容：受冲切承载力计算、受剪切承载力计算、抗弯计算、受压承载力计算。承台混凝土强度等级低于柱或桩的混凝土强度等级时，应按现行《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定验算柱下或桩顶承台的局部受压承载力，避免承台发生局部受压破坏。

**6.1.3**  建筑物基础存在浮力作用时应进行抗浮稳定性验算。抗浮稳定性不满足设计要求时，可采用增加压重或设置抗浮构件等措施。在整体满足抗浮稳定性要求而局部不满足时，也应采取必要的措施保证抗浮稳定性。具体可执行行业标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019的相关规定。

**6.1.4**  基础结构的耐久性应根据设计使用年限、现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的环境类别规定以及水、土对钢、混凝土腐蚀性的评价进行设计。

**1**  二类和三类环境中，设计使用年限为50年的基础结构混凝土耐久性应符合表5的规定。

**表5 二类和三类环境基础结构混凝土耐久性的基本要求**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 环境类别 | | 最大水胶比 | 最小水泥用量  （kg/m3） | 混凝土最低强度等级 | 最大氯离子含量(%) | 最大碱含量（kg/m3） |
| 二 | a | 0.55 | 250 | C25 | 0.20 | 3.0 |
| b | 0.50(0.55) | 275 | C30(C25) | 0.15 | 3.0 |
| 三 | a | 0.45(0.50) | 300 | C35(C30) | 0.15 | 3.0 |
| b | 0.40 | 300 | C40 | 0.10 | 3.0 |

注：（1）氯离子含量(系指其占胶凝材料总量的百分比；

（2）预应力构件中最大氯离子含量为0.06%，最小水泥用量为300kg/m3；混凝土最低强度等级应按表中规定提高两个等级；

（3）当混凝土中加入活性掺和料或能提高耐久性的外加剂时，可适当降低最小水泥用量；

（4）当有可靠工程经验时，二类环境中的最低混凝土强度等级可降低一个等级。

（5）处于严寒或寒冷地区二b、三a类环境中的混凝土应使用引气剂，并可采用括号内的有关参数；

（6）当使用非碱活性骨料时，对混凝土中碱含量不做限制。

**2**  桩身裂缝控制等级及最大裂缝宽度应根据环境类别和水土介质腐蚀性等级按表6规定选用。

**表6 桩身的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限制**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 环境类别 | | 钢筋混凝土桩 | | 预应力混凝土桩 | |
| 裂缝控制等级 | ωlim(mm) | 裂缝控制等级 | ωlim(mm) |
| 二 | a | 三 | 0.20（0.30） | 二 | -- |
| b | 三 | 0.20 | 二 | -- |
| 三a、三b | | 三 | 0.20 | 一 | -- |

注：（1）水、土为强、中腐蚀时，抗拔桩裂缝控制等级应提高一级；

（2）二a类环境中，位于稳定地下水位以下的基桩，其最大裂缝宽度限制可采用括号中的数值。

**3** 二、三类环境中，设计使用年限100年的基础结构应采取专门的有效措施。耐久性环境类别为四类和五类的基础结构，其耐久性要求应符合有关标准的规定。

4 对三、四、五类环境基础结构，受力钢筋宜采用环氧树脂涂层带肋钢筋。

**6.1.5**  对处于抗震设防区的承台受弯、受剪、受冲切承载力进行抗震验算时，应根据现行《建筑抗震设计规范》GB 50011，将上部结构传至承台顶面的地震作用效应乘以相应的调整系数；同时将承载力除以相应的抗震调整系数γRE，予以提高。

## 6.2 扩展基础

**6.2.1**  对于配置间接钢筋的混凝土结构构件，其局部受压区的截面尺寸应满足现行《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定。

**6.2.2** 桩基承台的作用是将上部结构柱（墙）的荷载传递给桩，柱和桩以集中荷载的方式作用在承台上，对承台产生冲切，包括柱对承台的冲切、基桩对承台的冲切、群桩对箱形、筏形承台的冲切。承台冲切破坏是局部脆性破坏，以冲切破坏锥体发生错动变形的形式发生，为满足承台结构安全，承台抗冲切承载力必须大于或等于集中荷载产生的冲切力。桩基承台的构造，除满足受冲切、受剪切、受弯承载力和上部结构的要求外，尚应符合下列要求：

**1** 承台的宽度不应小于500mm。边桩中心至承台边缘的距离不宜小于桩的直径或边长，且桩的外边缘至承台边缘的距离不小于150mm。对于条形承台梁，桩的外边缘至承台梁边缘的距离不小于75mm。

**2** 承台的最小厚度不应小于300mm。

**3** 承台的配筋，对于矩形承台，其钢筋应按双向均匀通长布置(图1a)，钢筋直径不宜小于12mm，间距不宜大于200mm；对于三桩承台，钢筋应按三向板带均匀布置，且最里面的三根钢筋围成的三角形应在柱截面范围内(图1b)。

承台梁的主筋除满足计算要求外，尚应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010关于最小配筋率的规定，主筋直径不宜小于12mm，架立筋不宜小于10mm，箍筋直径不宜小于6mm(图1c)；柱下独立桩基承台的最小配筋率不应小于0.15％。钢筋锚固长度自边桩内侧(当为圆桩时，应将其直径乘以0．886等效为方桩)算起，锚固长度不应小于35倍钢筋直径，当不满足时应将钢筋向上弯折，此时钢筋水平段的长度不应小于25倍钢筋直径，弯折段的长度不应小于10倍钢筋直径。

  
图1 承台配筋

1-墙；2-箍筋直径≥6mm；3-桩顶入承台≥50mm；4-承台梁内主筋除须按计算配筋外尚应满足最小配筋率；5-垫层100mm厚C15混凝土

**4** 承台混凝土强度等级不应低于C20；纵向钢筋的混凝土保护层厚度不应小于70mm，当有混凝土垫层时，不应小于50mm，且不应小于桩头嵌入承台内的长度。

**5** 承台之间的连接应符合下列要求：

1) 单桩承台，应在两个互相垂直的方向上设置连系梁。

2) 两桩承台，应在其短向设置连系梁。

3)有抗震要求的柱下独立承台，宜在两个主轴方向设置连系梁。

4)连系梁顶面宜与承台位于同一标高。连系梁的宽度不应小于250mm，梁的高度可取承台中心距的1/10~1/15，且不小于400mm。

5)连系梁的主筋应按计算要求确定。连系梁内上下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。

**6.2.3**  柱下桩基础独立承台应分别对柱边和桩边、变阶处和桩边连线形成的斜截面进行受剪计算。当柱边外有多排桩形成多个剪切斜截面时，尚应对每个斜截面进行验算。

**6.2.4** 考虑到独立基础的高度一般是由冲切或剪切承载力控制，基础板相对较厚，如果用其计算最小配筋量可能导致底板用钢量不必要的增加，因此提出对阶形以及锥形独立基础，可将其截面折算成矩形，其折算截面的宽度b0及截面有效高度h0按附则6A确定，并按最小配筋率0.15％计算基础底板的最小配筋量。

## 6.3 筏形基础

**6.3.1~6.3.2** 平板式筏基的板厚通常由冲切控制，因此平板式筏基设计时板厚必须满足受冲切承载力的要求。本条平板式筏基的最小板厚仅适用于多层建筑，对高层建筑不宜低于500mm。平板式筏基内筒、柱边缘处以及筏板变厚度处剪力较大，应进行抗剪承载力验算。筏形基础的平面尺寸，应根据工程地质条件、上部结构的布置、地下结构底层平面以及荷载分布等因素综合确定。对单幢高层建筑物，在地基土比较均匀的条件下，基底平面形心宜与结构竖向永久荷载重心重合。当不能重合时，在作用的准永久组合下，偏心距e≤0.1*W*/*A*，式中：*W*为与偏心距方向一致的基础底面边缘抵抗矩(m3)；A为基础底面积(m2)。

**6.3.3~6.3.4** 梁板式筏基底板的正截面受弯承载力现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定进行计算。梁板式筏基底板的最小板厚仅适用于多层建筑，对高层建筑不宜低于400mm。按基底反力直线分布计算的梁板式筏基，其基础梁的内力可按连续梁分析，边跨跨中弯矩以及第一内支座的弯矩值宜乘以1.2的系数。梁板式筏基的底板和基础梁的配筋除满足计算要求外，纵横方向的底部钢筋尚应有不少于1/3贯通全跨，顶部钢筋按计算配筋全部连通，底板上下贯通钢筋的配筋率不应小于0.15％。带裙房的高层建筑下的整体筏形基础，其主楼下筏板的整体挠度值不宜大于0.05％，主楼与相邻的裙房柱的差异沉降不应大于其跨度的0.1％。

## 6.4 施工及验收

**6.4.1** 基础工程施工前，应编制施工组织设计或专项施工方案。筏形基础地下室施工完毕后，应及时进行基坑回填工作。填土应按设计要求选料，回填时应先清除基坑中的杂物，在相对的两侧或四周同时回填并分层夯实，回填土的压实系数不应小于0.94。

**6.4.2** 灌注桩混凝土强度检验源自国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202-2018第5.1.3条。

**附则A** 本附则源自国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011附录U和行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008第5.9.10条第2、3款。对柱下阶梯形和锥形、矩形承台斜截面受剪承载力计算时的截面计算有效高度和宽度的确定作出相应规定。

**附则B** 本附则源自国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011附录P。对冲切临界截面周长及极惯性矩计算公式做出相应的规定。

# 7 基坑工程

**7.1.4** 实际工程中常有因对基坑周边环境因素缺乏准确了解而造成的工程事故，本条对影响基坑工程设计与施工安全的主要周边环境因素调查进行了较为详细的规定，在基坑支护设计前应先查明基坑周边环境条件，并按获取的周边环境条件进行设计。主要环境因素包括：建（构）筑物、地下管线、城市轨道交通线路、地表荷载等，应结合具体工程建设要求，开展不局限于本条内容的环境调查。

**7.1.5**  支护结构选型是个系统工程，应在确保基坑和周边环境安全基础上，在工程造价、工期、施工可靠度等方面寻找平衡点。

**7.1.6** 支护结构作为分析对象时，作用在支护结构上的力或间接作用为荷载。除土体直接作用在支护结构上形成土压力之外，周边建筑物、施工材料、设备、车辆等荷载虽未直接作用在支护结构上，但其作用通过土体传递到支护结构上，也对支护结构上土压力的大小产生影响。支挡结构的位移、土的冻胀，及特殊土的遇水变化等也会使土压力发生改变。本条列出影响土压力的各种因素，其目的是为了在土压力计算时，要把各种影响因素考虑全。

由于朗肯土压力方法的假定概念明确，与库仑土压力理论相比具有能直接得出土压力的分布，从而适合结构计算的特点，受到工程设计人员的普遍接受，且经过二十多年国内基坑工程应用的考验，实践证明是可行的。

**7.1.7** 室内土工试验的试验样是采用钻孔样，容易扰动，且固结加载常与原状土差异较大，试验提供的土体力学参数有时难以反映土体自身，故建议土体的计算参数取值应结合原位试验的物理力学指标综合确定；另外，在软土、特殊土等地区，尚应考虑基坑施工扰动土体、土体遇水软化等因素的不利影响。

基坑工程是个实践性学科，概念设计和经验分析和判断非常重要，不能仅仅局限理论的计算分析是否安全。

## 7.2 支护结构设计

**7.2.1**本条针对支护结构结构分析、构件设计、变形控制及稳定性验算进行具体规定。

**1** 本款的承载能力极限状态设计方法的通用表达式依据国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153而定。对承载能力极限状态，由材料强度控制的结构构件的破坏类型采用极限状态设计法，按公式（7.2.1-1）给出的表达式进行设计计算和验算，荷载效应采用荷载基本组合的设计值，抗力采用结构构件的承载力设计值并考虑结构构件的重要性系数。

国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153的规定，对于安全等级为一级、二级、三级的结构重要性系数分别不应小于1.1、1.0和0.9。基坑支护结构内力的计算方法统一列入附则7B中。

**2** 本款的正常使用状态设计方法的通用表达式依据国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153而定。以支护结构水平位移限值等为控制指标的正常使用极限状态的设计表达式也与有关结构设计规范保持一致。基坑支护结构的变形计算方法统一列入附则7B中。同时，该款中明确了支护结构水平位移、基坑周边建（构）筑物和地面沉降等限值的取值原则。

**3** 本款涉及岩土稳定性的承载能力极限状态，采用单一安全系数法，按公式（7.2.1-3）给出的表达式进行计算和验算，适用于基坑整体滑动、支护结构的滑移和倾覆、坑底隆起等稳定性验算及锚杆的抗拔承载力验算等。计算方法统一列入附则7C中。

**7.2.5** 钢支撑的整体刚度依赖于构件之间的合理连接。支撑构件的设计除确定构件截面外，应重视节点的构造设计，钢支撑构件的拼接应满足截面等强度的要求。

**7.2.7** 本条针对采用逆作法施工时利用地下结构梁板作为支撑的设计与构造规定。

**1**  当采用梁板体系且结构开口较多时，可简化为仅考虑梁系的作用，进行在一定边界条件下，在周边水平荷载作用下的封闭框架的内力和变形计算，其计算结果是偏安全的。当梁板体系需考虑板的共同作用，或结构为无梁楼盖时，应采用平面有限元的方法进行整体计算分析，根据计算分析结果并结合工程概念和经验，合理确定用于结构构件设计的内力。

当主体地下水平结构需作为施工期的施工作业面，供重载施工机械进行施工作业时，此时水平构件不仅需承受坑外水土的侧向水平向压力，同时还承受施工机械的竖向荷载。因此其构件的设计在满足正常使用阶段的结构受力及变形要求之外，尚需满足施工期水平向和竖向两种受荷状态的受力和变形要求。

**2** 主体地下水平结构作为基坑施工期的水平支撑，需承受坑外传来的水土侧向压力。因此水平结构应具有直接的、完整的传力体系。如同层楼板面标高出现较大的高差时，应通过计算采取有效的转换结构以利于水平力的传递。另外，应在结构楼板出现较大面积的缺失区域以及地下各层水平结构梁板的结构分缝以及施工后浇带等位置，通过计算设置必要的水平支撑传力构件。

**3** 在主体地下水平结构与支护结构相结合的工程中，梁柱节点位置由于竖向支承钢立柱的存在，使得该位置框架梁钢筋穿越与钢立柱的矛盾十分突出，将框架梁截面宽度适当加大，以缓解梁柱节点位置钢筋穿越的难题。当钢立柱采用钢管混凝土柱，且框架梁截面宽度较小，框架梁钢筋无法满足穿越要求时，可采取环梁节点、加强连接环板或双梁节点等措施，以满足梁柱节点位置各个阶段的受力要求。

**7.2.8** 本条针对劲芯水泥土墙的设计和构造进行具体规定。

**1** 水泥土墙内插芯材可选用型钢或预制混凝土构件，但均应对芯材强度验算。

**2** 在基坑外侧水土压力作用下，劲芯水泥土墙的素水泥土段需承担局部剪应力，应进行芯材边缘之间素水泥土段的错动抗剪承载力和受剪截面最小的最薄弱面抗剪承载力验算。根据芯材之间的水泥土抗剪破坏模式，最大剪应力出现在坑外水土压力最大的标高位置，一般位于开挖面附近，但其剪切面位置则与水泥土搅拌桩的工艺及芯材有关。

对于采用水泥土搅拌桩内插型钢作为挡土构件时，其剪切面包括型钢翼缘边所在截面和水泥土最薄弱截面。

**3** 本款提出了水泥土搅拌墙28d龄期无侧限抗压强度最低限值。

**4** 劲性水泥土搅拌墙内插预制混凝土桩。接头无论机械连接还是抱箍焊接，连接质量受人为影响，是薄弱环节；而且接头处理需要时间，接头多施工复杂，风险大，故使用时限制一个接头。

**7.2.9** 水泥土墙搅拌桩采取内插加筋体有利于提高坝体的抗剪强度。

为加强水泥土墙的整体性，减少变形，水泥土墙顶需内插钢筋，并设置钢筋混凝土压顶，压顶同时可防止因雨水从墙顶渗入水泥土格栅。

重力式水泥土墙靠桩与桩的搭接形成整体，桩施工应保证垂直度，以满足搭接宽度要求。桩的搭接宽度不小于150mm。当搅拌桩较长时，应考虑施工时垂直度偏差问题，增加设计搭接宽度。

**7.2.11** 预应力锚杆柔性支护结构是由预应力锚杆、喷射混凝土面层、锚下承载结构及排水系统组成的一种支护基坑的结构型式，采用预应力锚杆柔性支护结构对基坑进行支护的方法称为预应力锚杆柔性支护。

采用预应力锚杆柔性支护方法的所有锚杆全部为预应力锚杆，并按一定的水平间距和竖向间距布置，锚杆张拉后，全部按预应力设计值进行锁定；锚杆的锚头处设置有锚下承载结构；基坑坡面采用喷射混凝土对坡面岩土体进行防护，并与锚杆、锚下承载结构形成支护结构体系；基坑坡面、坡和坡底设置有排水系统。可根据基坑周边环境要求，调整设计锚杆布置及其预应力设计值，实现控制基坑侧壁变形和保障基坑周边环境正常使用功能的目标。

锚杆的预应力对控制预应力锚杆柔性支护基坑的变形具有重要影响，较低的预应力不利于控制基坑变形。但是工程实践和理论研究表明，基于对基坑变形控制目标的锚杆预应力存在阈值，超过阈值后，增加预应力对进一步控制边坡变形意义不大。

**7.2.12** 基坑土体加固是针对软土地区基坑开挖过程中的临时性地基处理，其目的是确保施工期间基坑自身的安全和基坑周边环境安全，加固对象为软弱土体。在放坡开挖边坡区域或分段开挖基坑的坑内土体抗滑移稳定性不足时，可以对斜坡坡底的土体作适当加固。

土体加固设计与地质条件、环境保护要求、基坑稳定性、基坑支护形式、施工要求等密切相关。土体加固设计应明确对加固范围和加固后的技术指标，以便施工的可操作性，并满足工程安全和环境保护要求。不同的支护形式对土体加固影响也较大，比如重力式水泥土墙的被动区土体加固可较好的控制墙体变形。

土体加固宜在挡土结构施工完成后、基坑开挖前进行。从周边环境保护的角度出发，先施工挡土结构，再施工坑内土体加固，则对周边环境保护有利，故作此规定。

当在基坑设计和工程计算中考虑加固作用时，加固体应进行必要的试验和质量检测，以检测结果判断加固的有效性。

## 7.3 地下水控制设计

**7.3.1** 在高地下水位地区，深基坑工程设计施工中的关键问题之一是如何有效的实施对地下水的控制。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。

地下水控制方法包括:截水、降水、集水明排、地下水回灌。

当坑底以下有承压水时，还要考虑坑底突涌问题；若减压降水施工风险比较大，方案选型时应考虑围护和降水一体设计，降水与回灌一体化设计。

截水帷幕自身应具有一定的强度，满足设计对围护结构变形的要求。同时其自身抗渗能力、深度和连续性是必要的。对于水泥土类，要重视强度和均匀性。对于地下连续墙，要重视入土深度、密实度和接缝密封性。对封闭式截水帷幕，预先进行坑内抽水试验检查截水帷幕质量是个简单有效的方法。

降水应遵循按需降水原则，对基坑分层、分区降水可减少抽水量，减小周边环境影响。停止降水和封井也是地下水控制重要的环节。停止降水工况需要满足结构抗浮安全。对于疏干井，井点停止运行后地下水位对工程无影响，可以将井点填埋在底板之下。对于减压井，根据工程需要部分井会穿底板后封井，需解决穿底板的止水问题，封井常常面临承压水涌上的危险，应采取可靠的封井措施。

**7.3.2** 回灌采用管井，可以满足压力回灌的要求、增加单井回灌量。将回灌井布置在保护对象附近，保护效果更为直接。为了减少成井对保护对象的扰动，故要求回灌井与保护对象之间有一定间距。降水与回灌具有动态联动性，目的是控制坑外水位，减少地下水开采量，故应同步，并对回灌效果进行动态监测。

**7.3.3** 地下水控制过程中如果控制不好，会进一步恶化地下水水质，而且地下水的污染几乎是不可逆的，很难修复。同层回灌是防止进一步恶化地下水水质的有效方法；非同层回灌时，回灌水源要求应不低于回灌目的含水层地下水水质。

**7.3.5** 本条针对截水帷幕的构造进行具体规定。

**1** 搅拌桩只要桩体能够相互搭接、桩体连续、渗透系数小于10－6cm/s是可以起到截水效果的，但施工存在垂直度偏差，故搅拌桩咬合搭接是关键。

**2** 采用渠式切割水泥土搅拌墙时，在转角部位需将锯链式切削刀具全部拔出，调整方向后再重新插入并横向推进；当转角较多时，会对施工工效产生一定影响。因此，采用锯链式施工设备施工的等厚度水泥土搅拌墙应尽量取直，减小转角的数量，以减少切削刀具拔出和插入的次数，提高施工工效。

采用铣削式深搅水泥土搅拌墙时，国内现有的铣削式设备施工形成的单幅墙长度为2.8m，通过幅与幅之间的咬合搭接形成连续的搅拌墙体。为了确保相邻墙段之间形成可靠的搭接，后施工的墙段与先施工墙段咬合搭接尺寸不应小于300mm，并应根据成墙深度和墙体平面内的垂直度偏差综合确定。

**3** 高压喷射注浆直径比较难以控制，与土性和喷射压力等有关，故高压喷射注浆宜通过试验确定直径。高压喷射注浆由于无搅拌头，成桩直径可靠度偏低，且垂直度也较低，故对地下水位较高、渗透性较强的地层，可采用双排高压喷射注浆帷幕，桩间的搭接尺寸也应保证深层截水帷幕的连续、隔水可靠。为保证与支护桩（墙）密接，高压喷射注浆应在支护桩（墙）后施工。

## 7.4 施工与验收

**7.4.1** 基坑工程在建筑行业内是属于高风险的技术领域，全国各地基坑工程事故的发生率虽然逐年减少，但仍不断地出现。究其原因，不按设计要求施工、施工质量低劣、施工安全防范措施不到位等往往是造成这些基坑工程事故的重要原因。所以，基坑工程根据支护结构安全等级，环境条件、工程地质及水文地质条件，支护结构类型和变形控制要求等编制专项施工方案，并应包括基坑工程施工安全专项方案，采取合理、可行、有效的施工技术与安全措施，对确保基坑工程施工质量安全至关重要。

**7.4.2** 对于锚杆或钢支撑，土方开挖前必须施加预应力，方能实现按设计共同作用的假定。土钉、锚杆都要注浆，需要养护时间才能达到设计强度，否则承载力达不到设计要求，降低安全度。

基坑施工过程中周边有作业，常常会相互影响施工质量，同时会影响工程安全，故必须协商工程顺序，并加强监测，确保安全。

**7.4.4** 本条是对逆作法的施工进行规定。

**1** 与永久柱结合的竖向支承柱垂直度偏差对楼扶梯宽度及建筑使用空间的影响更为显著，必须严格控制，故本标准规定必须结合工程实际情况计算确定对应的控制标准。

**2** 逆作法中结构柱、墙出现的水平接缝的处理是逆作法关键技术之一。逆作法竖向结构水平接缝处理应确保竖向结构在正常使用阶段和水平向受荷时接缝位置的应力能有效、可靠传递，并保证水密性与气密性。竖向结构水平缝的处理需重点关注并处理好如下质量问题：（1）由于先期结构已浇筑混凝土的阻隔，导致后期结构混凝土浇筑时产生的气体不能排除；（2）后浇筑的混凝土由于自身收缩而产生缝隙，以及表面出现离析水和气泡；（3）混凝土侧压力和浇捣速度过快造成模板变形而产生的混凝土面下沉。超灌法、注浆法和灌浆法三种接缝处理方式在大量工程中已经得到成功应用，并取得了良好的效果。

**7.4.5** 截水帷幕施工时关键要注重垂直度，保证咬合搭接有效宽度。

**7.4.7** 本条列出的都是在工程实践中总结出的基坑及周边环境危险情况，一旦出现这些情况，将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、监理及其他相关单位及时采取措施，保证基坑及周边环境的安全。

**7.4.8** 基坑工程施工质量检验和验收的具体检测方法和检验要求应根据《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202执行。

## 附则7A 支护结构水平荷载计算

**7A.0.1~7A.0.4** 本条规定作用在支护结构上水平荷载：包括土压力、水压力、局部附加荷载作用下土中附加竖向应力、局部附加荷载作用下的土中附加竖向应力计算。

本附则中水平荷载借鉴朗肯主动土压力理论进行土压力计算，附则中的公式根据99版《基坑支护技术规范》经验，提供的水平荷载模式为矩形土压力模式。

实际土压力数值大小与支护结构的位移密切相关，即不同的位移值对应着不同的土压力计算模式。因此，在基坑支护设计时，应结合支护结构的位移采取合理的土压力计算值。

## 附则7B 支护结构内力及变形计算

**7B1~7B2** 本附则为支护结构的内力及变形计算规定，总体计算思路如下：

首先，根据基坑开挖深度、地质条件确定围护结构的嵌固深度（详见附则7B.1），针对悬臂式排桩、地下连续墙，其嵌固深度通过绕桩底的倾覆稳定性进行确定；对于单支点排桩、地下连续墙，嵌固深度通过绕支撑点的踢脚稳定性验算进行确定；对于多支点排桩、地下连续墙，嵌固深度通过整体稳定性验算进行确定，其中整体稳定性验算是否考虑滑动面外锚杆及土钉锚固力的有利作用，可结合各地经验另行确定，公式中未予以体现；通过上述嵌固深度计算所得到的嵌固深度尚应满足基本的嵌固深度构造要求。

考虑到全国各地针对支护结构稳定性验算具有显著的地方经验做法，在上述支护结构嵌固深度计算完成后，结合地方经验，进行其他模式的稳定性验算，具体验算方法和安全系数取值详见附则7C。

其次，结合上述计算所得的嵌固深度进行支护结构的内力及变形计算，支护结构内力和变形、支点力计算值根据基坑开挖及地下结构施工过程的不同工况，按弹性支点法进行计算（详见附则7B.2）。其中，作用在支护结构的荷载按附则7A进行确定，具体土的水平抗力系数的比例系数、支锚刚度则按《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-99计算方法确定。

最后，在求得支护结构及支点力后，进行支护结构构件内力设计。

## 附则7C 基坑稳定性验算

**7C.1.1** 本条为整体滑动稳定性验算公式。滑弧稳定性验算应采用搜索的方法寻找最危险滑弧。由于目前程序计算已能满足在很短时间对圆心及圆弧半径以微小步长变化的所有滑动体完成搜索，所以不提倡采用先设定辅助线，然后在辅助线上寻找最危险滑弧圆心的简易方法。最危险滑弧的搜索范围限于通过挡土构件底端和在挡土构件下方的各个滑弧。因支护结构的平衡性和结构强度已通过结构分析解决，在截面抗剪强度满足剪应力作用下的抗剪要求后，挡土构件不会被剪断。因此，穿过挡土构件的各滑弧不需验算。

**7C.2.1** 本条是对悬臂结构的稳定性验算的规定，是绕挡土构件底部转动的整体极限平衡，控制的是挡土构件的倾覆稳定性。计算图示中的墙前和墙后水土压力计算方法及倾覆稳定性系数根据地区经验确定。

**7C.2.2** 带支撑的排桩、地下连续墙支护的抗倾覆稳定性又称抗踢脚稳定性，踢脚破坏为作用于围护结构两侧的土压力均达到极限状态，因而使得围护结构（特别是围护结构插入坑底以下的部分）大量地向开挖区移动，以至于整个开挖破坏。本条取最下道支撑或锚拉点以下的支挡构件作为脱离体，将作用于支挡构件上的外力进行力矩平衡分析，从而求得抗倾覆稳定性系数。同样，计算图示中的墙前和墙后水土压力计算方法及倾覆稳定性系数根据地区经验确定。

**7C.2.3、7C.3.1** 这两条分别验算重力式水泥土墙的抗倾覆稳定性和抗水平滑移稳定性。抗倾覆稳定性验算的是墙体绕前趾O的力矩平衡，其中主动区倾覆作用力矩为墙后水土压力对O点的力矩，而抗倾覆力矩则为被动区抗力对O点的力矩和墙体自重抗倾覆力矩的总和。验算中所涉及的墙前和墙后水土压力、墙底的抗滑力计算方法及稳定性系数可根据地区经验确定。

**7C.4.1、7C.4.2** 隆起破坏之发生，是由于开挖面外土体载重大于开挖底部土体的抗剪强度，使得土体产生滑动而导致开挖面底部土体产生向上隆起之现象。验算坑底隆起的极限分析计算公式有许多，例如Terzaghi和Peck（1943）、Peck（1969）、Bjerrum和Eide（1965）等。

7C.4.1条以桩、墙底作为基准面，按基坑开挖后坑内外土体自重和竖向荷载作用下，桩、墙底以下地基土的承载力和稳定来判别坑底的抗隆起稳定性。虽然本法是对设定的计算基面进行验算，也没有考虑基坑开挖面以上土体抗剪强度的影响，有一定的近似性，但是本法已为工程实践所采用，故列入近年来较多采用Prandlt公式确定地基承载力系数Nq和Nc。

7C.4.2条规定对坑底土体的抗隆起稳定性进行基于圆弧滑动模式的验算。该方法假定底面隆起破坏之破坏面为圆弧形且滑动面通过桩、墙底底，利用力矩平衡法进行分析。力矩平衡法的圆心固定在开挖面处。

抗隆起稳定性系数可根据地区经验确定。

**7C.5.1、7C.5.2** 公式（7C.5.1）和公式（7C.5.2）是两种典型渗流模型的渗透稳定性验算公式。其中公式（7C.5.2）用于渗透系数为常数的均质含水层的渗透稳定性验算，公式（7C.5.2）用于基底下有水平向连续分布的相对隔水层，而其下方为承压含水层的渗透稳定性验算(即所谓突涌)。如该相对隔水层顶板低于基底，其上方为砂土等渗透性较强的土层，其重量对相对隔水层起到压重的作用,所以，按公式（7C.5.2）验算时，隔水层上方的砂土等应按天然重度取值。

## 附则7D 排桩的设计和构造

**7D.0.1** 排桩的设计计算详见本标准附则7B。

**7D.0.2** 对于有筋桩和无筋桩搭配的咬合式排桩，当无筋桩仅起止水作用时，其直径可较有筋桩小，桩身强度等级可低于有筋桩，桩身长度也可较有筋桩短，但需满足抗渗流和咬合面抗剪、防渗漏的计算要求。当采用硬法咬合时，无筋桩桩径不宜过小，避免切割桩体过程中桩身碎裂。基于施工便利性等因素的考虑，大部分工程都采用相同直径的咬合桩。



（a）有筋桩和无筋桩搭配的咬合式排桩



（b）有筋桩和有筋桩搭配的咬合式排桩

图2 咬合式排桩平面布置形式

1-钢筋圆形配置的有筋桩；2-无筋桩；3-钢筋矩形配置的有筋桩。

有筋桩和无筋桩搭配的咬合式排桩（如图2），无筋桩的存在加大了受压区混凝土的面积，对咬合式排桩承载力的提高有一定作用。考虑到桩间咬合面对结构承载力的弱化，按T形截面计算可能使设计偏于不安全。因此，计算时只计入有筋桩的承载力，把无筋桩对承载力的贡献作为结构的安全储备。

**7D.0.3** 用于支护的预制钢筋混凝土桩原则上宜用单节桩，当需要接桩时应严格控制接头数量。预制钢筋混凝土桩用于基坑工程中，接头的连接质量与强度直接影响到基坑支护结构的施工安全与质量。用于基坑支护的钢筋混凝土预制桩主要承受水平力产生的弯矩和剪力，其接头所承受的弯矩和剪力远高于建筑桩基础的管桩接头。一旦预制钢筋混凝土桩接头的连接强度不足，易出现基坑安全事故，甚至发生基坑坍塌、周边建筑物倾斜甚至倒塌等严重安全事故。预制钢筋混凝土桩与灌注桩不同，灌注桩通过钢筋笼之间的搭接焊可满足搭接焊处的抗弯强度和桩身等强度设计要求。而钢筋混凝土预制桩的连接主要通过端板焊接、机械连接或端板与机械连接组合连接的方式，不同的连接方式对施工质量的控制及现场施工人员的水平要求也不一样，同时不同的连接方式的接头抗弯性能也不一致。当用于基坑的钢筋混凝土预制桩涉及多节桩接桩时，为控制接头的连接质量，确保基坑支护的稳定，接头不管采用何种连接方式，均应满足于桩身等强度的要求，并应对桩身接头进行承载力计算。

**7D.0.4** 钢板桩和混凝土板桩打入时会产生挤土效应，如采用锤击打入也会对周围环境造成噪声污染，在板桩拔除时也会进一步产生土体的变形，对周围环境造成影响。

**7D.0.6** 悬臂桩桩径不宜小于600mm、锚拉式排桩与支撑式排桩桩径不宜小于400mm，是通常情况下桩径的下限，桩径的选取主要还是应按照弯矩大小与变形要求确定，以达到受力与桩承载力匹配，同时还要满足经济合理和施工条件的要求。根据工程经验，对大桩径或黏性土，排桩的净间距在900mm以内，对于小桩径或砂土，排桩的净间距在600mm以内较常见。软土地区，相邻桩净距不宜大于300mm。

对混凝土灌注桩的构造规定，以保证排桩作为混凝土构件的基本受力性能。有些情况下支护桩不宜采用非均匀配置纵向钢筋，如采用泥浆护壁水下灌注混凝土成桩工艺而钢筋笼顶端低于泥浆面，存在钢筋笼顶与桩的孔口高差较大等难以控制钢筋笼方向的情况。

**7D.0.7** 排桩采用咬合的形式，其目的是使排桩既能作为挡土构件，又能起到截水作用，从而不用另设截水帷幕。由于需要达到截水的效果，对咬合排桩的施工垂直度就有严格的要求，否则，当桩与桩之间产生间隙，将会影响截水效果。

**7D.0.8** 本条对预制钢筋混凝土桩构造提出具体要求。其中，考虑到预制桩与冠梁的锚固直接影响结构的整体性及共同受力，故对空心和实心预制桩与冠梁的连接构造要求提出了具体的锚固要求。

**7D.0.9** 钢筋混凝土板桩采用墙体自防渗时，通常均在坑外板桩接缝处设注浆防渗或在锁口中设置密封止水材料等防渗措施，但根据以往较多的工程实践，但其效果并不理想。随着环境条件要求日益严格，基坑开挖深度的加深，近年来开挖深度较大的钢板桩支护工程中，建议采用桩间拼缝侧孔注浆、三轴搅拌桩或等厚度水泥土搅拌墙内植桩、墙背高压旋喷等方式，以提高止水效果。

**7D.0.10** 钢板桩围护结构对于止水要求不是很高时，可采用锁口内嵌填黄油、沥青或其它密封止水材料加强止水效果，但当防渗要求高时，则需在坑外另行设置截水帷幕，以确保止水效果。

## 附则7E 地下连续墙的设计和构造

**7E.0.2** 对环境条件要求高、槽段深度较深，以及槽段形状复杂的基坑工程，应通过槽壁稳定性验算，合理划分槽段的长度和确定相应的施工工艺。当地下连续墙先后施工时，主体结构与附属结构连接处宜采用T型幅接头。

**7E.0.3** 地下连续墙槽段施工接头可分为柔性接头和刚性接头，柔性接头可采用圆形锁口管接头、波纹管接头、橡胶止水带接头、楔形接头、工字形型钢接头、套铣接头、钢筋混凝土预制接头、预制地下连续墙现浇接头等；刚性接头包括穿孔钢板接头、钢筋承插式接头等。

**7E.0.4** 根据基坑各项稳定性指标确定的地下连续墙深度范围内应全长范围布置纵向钢筋；因隔断承压含水层而需要加深的部分，可仅布设构造钢筋。当地下连续墙纵向钢筋配筋量较大，钢筋布置无法满足净距要求时，实际工程中常采用将相邻两根钢筋合并绑扎的方法调整钢筋净距，目的是使混凝土浇筑密实。

**7E.0.7** 地下连续墙采用分幅施工，墙顶设置通长的冠梁有利于增强地下连续墙的整体性。冠梁宜与地下连续墙迎土面平齐，以便保留导墙，对墙顶以上土体起到挡土护坡的作用，避免对周边环境产生不利影响。

**7E.0.8** 利用基坑围护的地下连续墙兼作地下结构外墙，在深度超过15m的基坑工程中较为普遍。工程中多采用单一墙（图3a），此时基坑内部槽段接缝位置应设置钢筋混凝土壁柱，并留设隔潮层、设置砖衬墙。采用叠合墙（图3c）时，地下连续墙墙体内表面应进行凿毛处理，并留设剪力槽和插筋等预埋措施，确保与内衬结构墙之间剪力的可靠传递。复合墙（图3b）和叠合墙在基坑开挖阶段，仅考虑地下连续墙作为基坑围护结构进行受力和变形计算；在正常使用阶段，可以考虑内衬钢筋混凝土墙体的复合或叠合作用。



（a） （b） （c）

图3 两墙合一地下连续墙

（a）单一墙；（b）复合墙；（c）叠合墙

地下连续墙竖向承载力的计算，根据国内外关于地下连续墙承重的研究和大量的工程实践，可参照桩基竖向承载力的计算原则。当地下连续墙仅作为地下室外墙、承受较小的竖向荷载时，在墙顶设置统一的圈梁，槽段间采用柔性接头也能够满足承重和沉降控制要求。

**7E.0.9** 地下连续墙的防水薄弱点在槽段接缝和地下连续墙与基础底板的连接位置，因此应设置必要的构造措施保证其连接和防水可靠性。

## 附则7F 内支撑体系的设计和构造

**7F.0.1** 支撑结构上的主要作用力是由挡土构件传来的水土压力和坑外地表荷载所产生的侧压力。考虑到施工期间混凝土支撑作为施工人员的通道以及结构施工时作为混凝土输送管道的支架等可能发生的零星荷载，支撑设计时顶面作用的活荷载一般可考虑4kPa左右。对于温度变化和加在钢支撑土的预压力对支撑结构的影响，由于目前对这类超静定结构所做的试验研究较少，难以提出确切的设计计算方法。温度变化的影响程度与支撑构件的长度有较大关系，根据经验和实测资料，对长度超过40m的钢支撑宜考虑10%-20%支撑内力的变化影响。目前的理论方法，尚难以在设计阶段对支撑立柱之间或立柱与周边挡土构件之间的差异沉降进行计算分析，基坑工程在实施过程中，当差异沉降的监测数据较大时，应进行计算分析并采取必要的技术措施进行控制。

**7F.0.2** 支撑轴线应避开主体工程的柱网轴线，其目的是减小支撑体系对主体结构施工时的影响。

支撑结构平面布置的原则应结合具体工程灵活掌握。通常情况下支撑优先选用均匀布置且平面具有一定开敞空间的对撑或对撑桁架体系。

基坑阳角处的受力比较复杂，是应力集中的部位。基坑平面的设计首先应尽量避免出现阳角。当不可避免时，需作特别加强，即使在两个方向上加设对撑，也往往由于荷载的不对称性而使墙体产生复杂的受力与变形，无足够的经验可借鉴时，可对阳角处的坑外地基进行加固。

深基坑设置多道支撑时，支撑的数量和标高除满足支护结构的承载力要求外，尚应根据施工常用的土方车辆和挖土机规格，机械挖土时通常需要有不小于3m的净高。

**7F.0.3** 实际工程中支撑和冠梁及腰梁、排桩或地下连续墙以及立柱等连接成一体并形成空间结构。因此，在一般情况下应考虑支撑体系在平面上各点的不同变形与排桩、地下连续墙的变形协调作用而优先采用整体分析的空间分析方法。但是，目前支护结构的空间分析方法由于建立模型相当复杂，部分模型参数的确定也没有积累足够的经验，该方法尚未达到实用的程度，因此，目前将空间支护结构简化为平面结构的分析方法和平面有限元法应用较为广泛。

**7F.0.4** 型钢组合支撑由工厂预制标准件和螺栓现场组装，较适用于平面形状比较规则的基坑。但是不规则平面形状基坑更为常见，在这种情况下可以根据基坑形状定制非标准件或结合混凝土支撑；非标准件重复利用率低，节点构造复杂，应尽量避免使用。

不同类型的构件应采用各自对应的计算单元进行计算，除了型钢支撑梁按照杆单元外，腰梁宜按照梁单元，三角传力件可按照平面板单元模拟计算。

考虑到施工平台及栈桥堆载较大，远超一般型钢组合支撑的竖向承载能力，因此通常情况下型钢组合支撑不考虑兼做施工平台或栈桥，施工机械也不能直接在其上施工作业，需要设置堆场或栈桥时，应脱开独立设置。

预应力鱼腹梁为由上弦梁、直腹杆、斜腹杆、桥架和下弦钢绞线组成，通过张拉下弦钢绞线施加预应力形成的鱼腹形钢构件。预应力鱼腹梁钢绞线的设计计算简图：

鱼腹梁受力计算简图宜按图4采用。

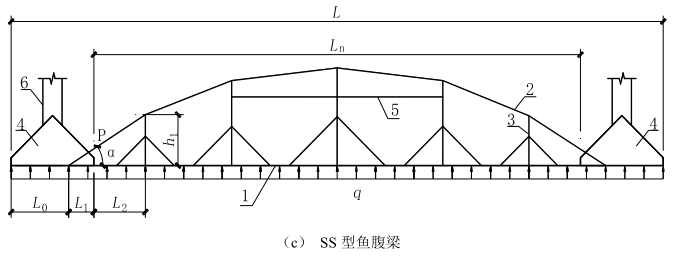
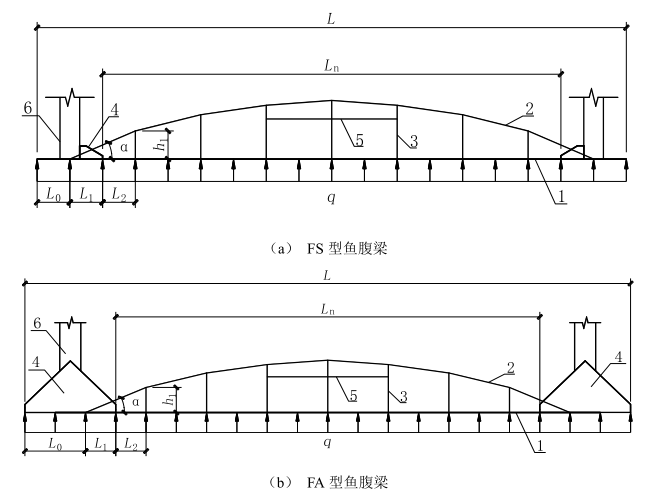


图4 鱼腹梁的受力计算简图

1-上弦梁（腰梁）；2-钢绞线；3-直腹杆；4-连接件（上弦梁端头）；5-连杆；6-对撑或角撑

**7F.0.5** 立柱的作用是保证水平支撑的竖向稳定，加强支撑体系的空间刚度和承受水平支撑传来的竖向荷载，要求具有较好的自身刚度和较小的垂向位移。工程中最常采用的立柱是角钢格构式立柱，插入钻孔灌注立柱桩中共同承受竖向荷载；当仅承受单根竖向斜撑等较小的荷载时，也可采用直接在地基土中插入H型钢兼作立柱和立柱桩。

**7F.0.6~7F.0.7** 支撑结构，尤其是钢结构支撑的整体刚度依赖于构件之间的合理连接。支撑构件的设计除确定构件截面外，须重视节点的构造设计，钢结构支撑构件的拼接应满足截面等强度的要求。常用的连接方法有焊接和螺栓连接。普通钢支撑的预应力控制值宜为设计轴力的50%-80% ；轴力自动补偿系统钢支撑的轴力施加值则应根据变形控制确定。

钢腰梁在基坑内的拼接点由于操作条件限制不易做好，尤其在靠挡土构件一侧的翼缘连接板较难施工。设计时应将接头设置在截面弯矩较小的部位，并尽可能加大安装段的长度，以减小安装节点的数量。钢支撑与腰梁的连接节点，受力比较复杂，应力也相对比较集中，为防止支撑和腰梁的局部失稳，减小节点处的变形，通常都在该处设置加劲板。

轨道交通基坑开挖中常采用钢管撑，应在支撑两端焊接钢垫箱，并在侧墙留孔边设置补强钢筋和防水钢板。钢垫箱拆除后应对侧墙钢筋焊接恢复，并采用微膨胀混凝土对侧墙留孔填充修补，必要时采取增加钢筋网片或注浆堵漏等措施。另有一些要求较低的基坑常在穿墙段采用H型钢撑，预埋止水钢板后直接浇筑在墙体内。

**7F.0.8** 格构式立柱为确保了混凝土导管的顺利穿越，根据经验，格构式立柱的截面不宜小于380mm×380mm。

在基坑施工过程中，立柱除承受竖向荷载外，也可能受到土方不均匀开挖或机械碰撞等水平力的作用，立柱与立柱桩之间必须具有可靠的整体性连接，因此立柱插入灌注立柱桩的长度不宜小于3m。。

## 附则7G 锚杆的设计和构造

锚杆的蠕变是导致锚杆预应力损失的主要因素之一。淤泥或淤泥质土、泥碳或泥碳质土等软塑或流塑的粘性土层，以及塑性指数大于17的黏性土层，上述地层中的锚杆具有蠕变性。为有效控制预应力损失，确保工程安全，在上述地层中设计锚杆时，需要通过蠕变试验了解锚杆变形随时间的变化规律，从而合理确定锚杆的设计参数和荷载水平，控制锚杆蠕变量。

基坑工程中使用的常规锚杆容易对地下空间造成二次开挖困难等诸多影响。很多地方出台了限制使用锚杆的政策来解决地下空间的“红线”问题。可回收锚杆能够比较好的解决此类问题。可回收锚杆一般为压力型锚杆或压力分散型锚杆，压力型锚杆锚固体验算端部承载力。

锚杆布置应避免群锚效应，其间距、排距不能过小。为了使锚杆与周围土层有足够的接触应力，规定锚固体上覆土层厚度不宜小于4.0m，上覆土层厚度太小，其接触应力也小，锚杆与土的粘结强度会较低。考虑锚杆水平分力、竖向分力作用对锚杆设计的影响，规定了适宜的水平倾角，设计时，应按尽量使锚杆锚固段进入粘结强度较高土层的原则确定锚杆倾角。

## 附则7H 重力式水泥土墙的设计和构造

**7H.0.3~7H.0.5** 重力式水泥土墙的破坏形式主要包括：整体倾覆、整体滑移、整体失稳滑动、墙底隆起、墙身抗拉、抗压或抗剪断裂、地下水渗透破坏。其中墙的嵌固深度和宽度是两个主要设计参数，整体滑动稳定性、基坑隆起稳定性与嵌固深度密切相关，而与墙宽基本无关；而倾覆稳定性、滑移稳定性不仅与嵌固深度有关，而且与墙宽有关。有关资料的分析研究结果表明，一般情况下，当墙的嵌固深度满足整体稳定条件时，抗隆起条件也会满足。因此，常常是整体稳定性条件决定嵌固深度下限。采用按整体稳定条件确定的嵌固深度，再按墙的抗倾覆条件计算墙宽，此墙宽一般能够同时满足抗滑移条件。

**7H.0.6** 水泥土墙的上述各种稳定性验算基于重力式结构的刚体假定，故应保证搅拌墙为整体。墙体满足抗拉、抗压和抗剪要求是保证搅拌墙为整体的前提条件。在验算截面的选择上，需选择内力组合最不利的截面、墙身水泥土强度较低的截面，本条规定的计算截面，是应力较大处或水泥土强度较低处，作为验算的重点部位。

## 附则7J 土钉墙的设计和构造

采用土钉墙、复合土钉墙进行支护时，应采用工程经验类比或数值分析方法对其变形进行预测，当变形预测值满足要求时方可采用。土钉墙、复合土钉墙变形计算目前还没有成熟的方法，可根据工程类比法或数值分析方法进行预估，然后通过严密的监测手段来确认，并进行信息化施工。

土钉墙的整体稳定性分析方法较多，本标准给出的是一个半经验半理论公式，形式比较简单，使用较为方便。土钉墙是随着土方的开挖逐渐形成的，所以施工阶段基坑的稳定性尤为重要，因此必须对不同开挖阶段进行整体稳定性验算。复合土钉墙整体稳定性分析方法与土钉墙一致，只是在抗滑力矩中考虑截水帷幕、微型桩和预应力锚杆的作用。

当基坑底部存在软弱土层时，易发生坑底隆起破坏，故应进行验算，验算不满足要求时，可采取加深加强截水帷幕及增加微型桩等措施加以解决。

需要特别说明的是，土钉抗拔力验算仅是确定土钉长度的一种方法，由简化的土压力计算的土钉拉力并不代表土钉实际受到的最大拉力，土钉的最大拉力是由整体稳定验算决定的。所以土钉应力监测的结果不一定与由简化的土压力计算的土钉拉力相对应。

复合土钉墙是由土钉墙和截水帷幕、微型桩、预应力锚杆等组合形成的基坑支护技术，工程中使用的组合形式很多很复杂，主要有下列6种：①土钉墙＋预应力锚杆；②土钉墙＋截水帷幕＋预应力锚杆；③土钉墙＋截水帷幕；④土钉墙＋微型桩＋预应力锚杆；⑤土钉墙＋截水帷幕＋微型桩＋预应力锚杆；⑥土钉墙＋截水帷幕插筋＋预应力锚杆，其适用的情况也有所区别，但由于基坑深度超过12m后坡脚应力集中明显，且出现事故后很难修复，破坏后果严重，因此，复合土钉墙不宜在超过12m深度的基坑中使用。

## 附则7K 地下水控制要点

### 7K.1 地下水控制设计与构造

**7K.1.1** 降水井类型及适用范围，根据目前常用的降水设备和的工程实践经验制定。降水管井泛指抽汲地下水的大直径抽水井，可分为疏干井和减压井。井点(well point)泛指小直径抽水井，如轻型井点、喷射井点等。

**7K.1.4~7K.1.5** 减压降水井布置在基坑截水帷幕以内一般称为坑内减压降水，反之可称为坑外减压降水。当受施工条件限制，或为满足基坑工程的特殊需要以及环境保护要求时，也可同时采取坑内减压降水和坑外减压降水措施。开挖深度内的承压水降压应综合考虑环境因素，遵守“按需减压”的原则，根据工况分阶段制定承压水水位控制标准，制定降水运行方案。

当截水帷幕未完全隔断或未有效阻断基坑内外承压含水层之间的水力联系，宜进行专项承压水降水设计，根据实际水文地质条件、截水帷幕的隔水效应等，建立三维地下水非稳定渗流数值模型，进行专门水文地质渗流计算，确定井群数量、井深、滤管长度等。

承压水风险大，一旦降水井出水质量出现问题，开挖后难以补井，故备用井富裕度应高于疏干井。

**7K.1.6** 若采用PVC管，开孔率低，容易折断，出水量小；故宜采用钢管。真空井点管壁外的滤网一般设两层，内层滤网采用30目~80目的金属网或尼龙网，外层滤网采用3目~10目的金属网或尼龙网；管壁与滤网间应留有间隙，可采用金属丝螺旋形缠绕在管壁上隔离滤网，并在滤网外缠绕金属丝固定。

**7K.1.7** 喷射井点的常用尺寸参数：外管直径为73mm~108mm，内管直径为50mm~73mm，过滤器直径为89mm~127mm，井成孔直径为400mm~600mm，井孔比滤管底部深1m以上。喷射井点的常用多级高压水泵，其流量为50 m3/h~80m3/h，压力为0.7MPa~0.8MPa。每套水泵可用于20根~30根井管的抽水。

### 7K.2 降水、回灌施工要点

**7K.2.1** 成井、滤料、洗井是降水井质量的关键环节，应加强控制。

**7K.2.3** 减压井分步按需降水有利于节约水资源、减少对周边环境影响。减压井一旦停止运行，容易出现突涌重大事故，故应设置双电源。

**7K.2.5** 泥浆反循环成孔工艺，孔壁较干净，试验成果表明，单井回灌量较大。加强活塞洗井也可增加单井回灌量。动力回填法提高过滤层渗透性。

## 附则7L 支护结构施工要点

### 7L.1 排桩施工要点

**7L.1.2** 本条是针对当排桩附近存在既有建筑物、地下管线等环境且需要保护时排桩施工应注意的一些问题。这些问题处理不当，经常会造成基坑周边建筑物、地下管线等被损害的工程事故。因具体工程的条件不同，应具体问题具体分析，结合实际情况采取相应的有效保护措施。

**7L.1.3** 根据工程情况，对于环境保护要求较高的工程或地质条件较复杂的情况下不应在原位进行试成孔。非原位试成孔的孔位在试成孔结束后应采用素混凝土或其他材料密实封填。

**7L.1.4** 咬合式排桩施工前，为了提高钻孔咬合桩孔径口的定位精度并提高就位效率，应在桩顶上部沿咬合桩两侧施作导墙。导墙顶面宜高出施工场地地面100mm，以防地表水流入孔内。

### 7L.2 钢板桩施工要点

**7L.2.1** 钢板桩锁口空隙较小，锁口有缺损和变形的钢板桩，不能保证锁口有效咬合和顺利沉桩。为防止桩体拔出和拔桩带出泥土在土体中形成空隙造成周围土体变形，故规定拔桩后应及时注浆充填。

### 7L.3 地下连续墙施工要点

**7L.3.3** 地导墙是保证地下连续墙轴线位置及成槽质量的关键。导墙的形式有预制和现浇两种。现浇导墙较为普遍，质量易保证；预制导墙应用比较少，质量不易控制。现浇导墙有“L”、倒“L”、“][”等形状，导墙形状可根据不同的土质条件选用。当土质较好时，可选用倒“L”形。导墙底部应置于原状土层，以保证成槽过程中槽壁稳定和竖向承载力满足地下连续墙施工的荷载要求。导墙底标高低于地下连续墙顶标高，是为了保证墙顶泛浆混凝土凿除过程中导墙外侧的土体不暴露，从而减少对环境的影响。导墙外侧应采用密实的黏性土回填夯实，导墙上部宜与道路连成整体。在暗浜区域或松散杂填土层中，可事先加固导墙两侧土体，并将导墙底加深至原状土中。

**7L.3.4** 护壁泥浆的配比试验、室内性能试验、现场试验是为了保证护壁泥浆满足特定条件的工程施工需要。在松散及渗透系数较大的土层中进行成槽施工时，应针对性的调整泥浆配合比，适当增大黏度。对槽底泥浆和沉淀物进行置换清除可以采用底部抽吸、顶部补浆方法来实现，使底部泥浆比重不大于1.2，以减少槽底沉渣厚度。槽壁坍塌严重时，应将槽段回填，调整施工工艺参数后重新成槽施工。

**7L.3.5** 根据每个槽段的宽度尺寸，决定挖槽的幅数和次序。对于挖槽分3幅的槽段，可采用先两边后中间的顺序，抓斗入槽、出槽应慢速、稳定，避免形成涡流冲刷槽壁，引起坍方。单元槽段成槽挖土过程中，抓斗中心应对准导墙上的孔位标志，保证挖土位置准确。

应根据现场条件合理安排成槽顺序，相邻两幅连续墙深度不一致时，宜先施工较深部分的地下连续墙。转角L形槽段、异形槽段宜作为后成槽的双雄槽段，减少坍方趋势，保证工程质量。

**7L.3.6** 分节吊放钢筋笼在同一个平台上制作和预拼装，可保证钢筋接驳器、注浆管、超声波探测管等预埋件位置和钢筋笼几何尺寸的正确，同时也便于做出拼接标记，保证吊放拼装过程中的精度。

钢筋笼高宽比、高厚比较大，纵横钢筋连接的笼体整体刚度较差，为防止吊放过程中产生不可恢复的变形，应设置纵横向钢筋桁架、外侧钢筋剪刀撑、笼口上部钢筋剪刀撑、吊点加固筋等加强钢筋笼刚度的构造钢筋。钢筋笼的整体吊放应进行验算，并应对经验算的钢筋笼进行试吊放。

钢筋笼吊放的机具包括起重机械和起重索具，起重机具在吊放钢筋笼前应进行验算，起重机吊放钢筋笼行走路线的地基承载力也应进行验算。

成槽完成后、吊放钢筋笼前，应实测当时导墙顶标高，计入卡住吊筋的搁置型钢横梁高度，根据设计标高换算出钢筋笼吊筋的长度，以保证各种预埋件的位置准确。

**7LM.3.7** 由于地下连续墙采用泥浆护壁成槽，接头混凝土面上必然附着有一定厚度的泥皮，如不清除，浇筑混凝土时在槽段接头面上会形成一层夹泥带，基坑开挖后，在水压作用下可能从这些地方渗漏水及冒砂。为了减少这种隐患，保证地下连续墙的质量，施工中必须采取有效的方法进行清刷混凝土壁面，接头处必须刷洗干净，不留泥砂和污物。

**7L.3.8** 两墙合一地下连续墙和主体结构变形协调至关重要。一般情况下主体结构工程桩较深，而地下连续墙深度较浅，不可能和主体工程桩处于同一持力层；另一方面地下连续墙分布于地下室的周边，工作状态下与桩基的上部荷载分担不均，不均匀的上部荷载分担对变形协调有较大的影响；而且由于施工工艺的因素，地下连续墙成槽时采用泥浆护壁，槽段为矩形断面且长度较大，槽底清淤难度较钻孔灌注桩大。因此主体结构沉降过程中地下连续墙和工程桩之间可能会产生差异沉降，如果不采取针对性的措施控制差异沉降，地下连续墙与主体结构之间可能产生开裂现象，甚至影响结构的正常使用。地下连续墙墙底注浆可作为控制差异沉降的一种手段。

### 7L.4 劲芯水泥土墙施工要点

**7L.4.2** 渠式切割水泥土搅拌墙施工时，当墙体深度不大于25m，切割箱先行挖掘横向推进速度可达2.0m/h时，可采用直接注入固化剂搅拌成墙的一工序施工方法；当墙体深度大于40m或先行挖掘横向推进速度小于2.0m/h时，应采用三工序施工法。两工序施工法一般用于墙体局部收尾处使用。

渠式切割水泥土搅拌墙施工，在基坑转角处或结束施工拔出时，应及时补充回灌水泥浆液。在条件许可的情况下，宜在墙体外拔出切割箱，形成十字形接头。**7L.4.3** 在密实砂土、卵砾石等硬质地层中进行铣削式水泥土搅拌墙作业时，下沉和提升速度应缓慢。采用单次注浆工艺作业时，仅在提升过程中注入水泥浆液，提升速度应适当降缓，确保水泥浆液和土体充分搅拌。根据铣削设备下沉和提升过程中的喷浆次数，可以分为单浆液模式和双浆液模式两种。当地层较软弱，墙体深度小于20m时宜采用单浆液模式，即搅拌下沉和提升过程中均注入水泥浆液。当地层复杂、墙体深度较深时宜采用双浆液模式，即搅拌下沉过程中注入膨润土浆液，搅拌提升过程中注入水泥浆液，双浆液模式可以避免因槽段施工时间超过水泥浆液初凝时间而导致提杆困难，可提高深槽施工或施工因故中断情况下的安全性。

当穿越深厚砂层、杂填土较厚等复杂地层时，铣削式水泥土搅拌墙作业应采用跳槽施工顺序，确保墙幅铣削搭接效果，避免顺槽式施工两个洗轮铣削强度（一侧铣削水泥土墙体，一侧铣削原位土体）不同造成墙体偏位的情况。

### 7L.5 支撑施工要点

**7L.5.3** 为保证排桩、地下连续墙等挡土构件的混凝土质量，混凝土浇筑过程中有泛浆高度的要求，该泛浆高度范围内的混凝土可能夹杂泥浆，且可能达不到设计强度等级要求。冠梁施工前应凿除泛浆混凝土至设计挡土构件顶标高。

土方开挖时，应清除支撑底模，避免底模附着在支撑底部。若采用混凝土垫层作底模，必须在支撑以下士方开挖时及时清理干净，否则附着的底模在基坑后续施工过程中一旦发生脱落，可能造成人员伤亡事故。为了方便清除混凝土垫层底模，应在支撑与底模之间设置隔离措施。

**7L.5.4** 为了保证挡土构件与钢腰梁间传力的均匀、可靠，对于钢腰梁与挡土构件之间的空隙，应采用混凝土或水泥砂浆进行填实。

钢支撑应严防因挡土构件变形或施工撞击等原因而产生脱落事故。无腰梁体系中，应在地下连续墙内预埋钢板，并安装钢支撑支承牛腿。有腰梁体系中，挡土构件、腰梁支承牛腿、腰梁及钢支撑牛腿之间应可靠焊接。

**7L.5.6** 立柱施工的定位与垂直度偏差控制是确保立柱竖向承载能力满足设计要求的关键，因此在施工时，宜采用有效的装置和仪器对立柱的定位、垂直度和转向进行调整。

立柱桩桩孔直径大于立柱截面尺寸，若立柱周围与土体之间存在空隙，其实际的跨度将大于设计计算跨度，为保证立柱在各种工况下的稳定性，立柱桩施工完毕后应在立柱周边空隙采用砂石均匀回填密实。

### 7L.6 锚杆施工要点

**7L.6.1** 压力分散型锚杆各单元锚杆筋体长度不一，为防止张拉失误，外露应做好标记。

**7L.6.2** 软土层施工锚杆对土体扰动较大，施工时易造成地面沉降。 锚杆张拉和锁定是锚杆施工的最后一道工序，也是检验锚杆性能最直观的方式。

### 7L.7 重力式水泥土墙施工要点

**7L.7.1** 重力式水泥土墙由单根桩搭接组成格栅形式或实体式墙体，控制施工质量的关键是水泥土的强度、桩体的相互搭接、水泥土桩的完整性和深度。

### 7L.8 土钉施工要点

**7L.8.1** 土钉墙、复合土钉墙施工均是随着土方开挖分层分段施工，由于土钉注浆体终凝以后才能提供土钉的抗拔承载力，随着注浆体强度增长，土钉抗拔力提高，但土钉养护时间过长时影响施工工期，根据工程经验规定上层土钉墙施工完成养护2天后方可开挖下一层土方，是安全和工期的协调后选取的。土钉墙工程中由于开挖过快，土钉抗拔力不足，引起了许多塌方事故，故统一规定各层养护时间为两天。

土钉墙支护基坑土方开挖后临空面临时是稳定的，但变形随时间会增大，如遇下雨等不利条件时很容易塌方，所以应及时封闭临空面，规定应在24h内完成土钉安设和喷射混凝土面层，在软土地层中开挖时，应在12h内完成土钉安设和喷射混凝土面层。

复合土钉墙一般都有截水帷幕或微型桩超前加固，所以施工应符合“超前支护，分层分段，逐层施作，限时封闭，严禁超挖”的原则。

# 8 边坡工程

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 边坡排水、坡面防护、边坡支护形式和边坡整体稳定性都是边坡工程设计的重要内容。为满足边坡支挡结构的稳定性与耐久性和防止边坡支挡结构失效、坍塌等事故的发生，在边坡工程设计时需要从边坡排水、坡面防护、支护形式和边坡整体稳定性这几个方面综合考虑。

综合考虑场地地质条件、边坡变形控制的难易程度、边坡重要性及安全等级、施工可行性及经济性、选择合理的支护设计方案是设计成功的关键。为便于确定设计方案，附则8A介绍了工程中常用的边坡支护形式。

当坡顶附近有重要建（构）筑物时除应保证边坡整体稳定性外，还应控制边坡工程变形对坡顶建（构）筑物的危害。边坡的变形值大小与边坡高度、坡顶建（构）筑物荷载的大小、地质条件、水文条件、支护结构类型、施工开挖方案等因素相关，变形计算复杂且不够成熟，有关规范均未提出较成熟的计算方法，工程实践中可根据地区经验，采用工程类比的方法，从设计、施工、变形监测等方面采取措施控制边坡变形。

**8.1.2** 在设计工作年限内，支挡与防护结构的耐久性是保证支挡结构正常使用的必要条件，且受环境条件影响显著。因此，在支挡结构设计阶段，应当对支挡结构所处的环境条件进行评估并采取相应的措施。

**8.1.3** 滑坡、崩塌是山区建设中常见的不良地质作用和地质灾害，其对工程建设危害极大，必须引起高度重视。施工前应根据工程地质、水文地质及施工影响等因素，分析滑坡、崩塌可能发生或发展的原因，提前采用预防性措施。对具有发展趋势并威胁建筑物安全使用的滑坡、崩塌，应进行整治，防止滑坡继续发展。

**8.1.4**  边坡塌滑区的坡顶水平位移、垂直位移、地表裂缝是反映边坡的变形状态及变形幅度、稳定性状态的关键要素，尤其是边坡的水平位移，能够直观地表达出边坡的变形及稳定性，而边坡垂直变形、地表裂缝是边坡水变形在不同方面的变化特征，同时也直接表明对坡顶建（构）筑物变形的影响程度，四者同时监测可以互为验证，并以此作为评估边坡工程安全状态、预防灾害的发生、避免产生不良社会影响以及为动态设计和信息化施工提供实测数据。

**8.1.5**  对于边坡高度大于30m的岩质边坡、边坡高度大于15m的土质边坡或土、岩混合及地质环境条件复杂的边坡风险很大，其地质条件和力学参数难以准确查明，应更慎重对待，深入研究和论证。

地质环境条件复杂程度可依据地形地貌、区域地质背景、地质构造、地层岩性、工程地质条件、水文地质条件等因素划分为复杂、中等、简单等三个等级。本标准所指地质环境条件复杂的边坡，指设计的边坡所处的地质环境复杂程度为复杂的边坡。

## 8.2 支挡结构设计

**8.2.1** 在建筑边坡工程设计中，支挡结构地基承载力、支挡结构及其基础强度（包括抗压、抗弯、抗剪、局部抗压承载力、锚杆锚固体的抗拔承载力及锚杆杆体抗拉承载力）、支挡结构稳定性等验算（包括结构整体倾覆和滑移）是支挡结构承载力计算和稳定性计算的基本要求，是边坡工程满足承载能力极限状态的基本控制要素，也是使边坡工程设计工作年限与被保护建设工程设计工作年限相一致和支护结构安全的重要保证。考虑到影响边坡及其支护结构变形的因素复杂，工程条件繁多，目前尚无实用的统一理论计算方法用于工程实践，为保证边坡及支护结构满足正常使用极限状态条件，可以依据地区经验、工程类比、数值分析及信息法施工等来进行变形分析。

**8.2.3**  埋设在岩层与土体中的锚杆的使用寿命取决于其耐久性。对寿命的最大威胁则来自腐蚀。预应力锚杆埋设在地层深处，工作条件十分恶劣，常常受到腐蚀介质的侵扰。为规避锚杆腐蚀风险，确保岩土锚固工程的长期稳定性，本条对永久性锚杆及腐蚀环境中的临时性锚杆的防腐保护构造设计作出了严格的规定。

## 8.3 边坡排水与坡面防护设计

**8.3.1**  本条对边坡排水设计提出了基本要求。边坡的稳定与安全和水的关系密切，边坡排水设计的边坡工程设计的重要内容，许多边坡支挡结构失效、边坡坍塌等边坡工程事故，通常都与边坡排水不畅、边坡排水系统设计不合理等有重要关系。

**8.3.2**  本条对边坡坡面防护提出了基本要求。边坡岩体风化、剥落及掉块等影响边坡坡面的耐久性或正常使用，甚至可能对人身财产安全及对周围环境造成危害，因此应对边坡坡面进行防护设计。

## 8.4 施工及验收

**8.4.1**  边坡工程与生态环境有着密切的联系，边坡处理不当，将破坏环境，毁坏生态平衡，造成人身损害和财产损失，尤其是工程地质环境条件复杂、稳定性差的边坡工程属于高风险的技术领域。多年来，全国各地边坡工程事故时有发生，究其原因不按设计要求施工、施工质量低劣、施工安全防范措施不到位等往往是造成这些边坡工程事故的重要原因。

边坡工程根据支挡结构安全等级，环境条件、工程地质及水文地质条件、支挡结构类型和变形控制要求等编制施工组织设计及专项施工方案，并采取合理、可行、有效的施工技术与安全措施，对确保边坡工程施工质量安全至关重要。

边坡工程施工组织设计是贯彻实施设计意图、执行规范，确保工程进度、工期、工程质量，指导施工活动的主要技术文件，施工单位应认真编制，严格审核，实行多方会审制度。施工组织设计中应包括工程概况、施工组织管理、施工准备、施工部署、施工方案、施工进度计划、质量保证体系及措施、安全管理及文明施工。

**8.4.2** 边坡的稳定性要求严禁开挖边坡的坡脚，坡脚对于边坡稳定性至关重要，滑动面往往位于坡脚区域不远的地方，同时不得随意挖土，应该遵循保持边坡稳定的开挖作业顺序。对于大面积开挖和爆破作业对于边坡稳定来说存在较大风险，在施工时需设计进行确认复核，未经设计同意不得进行。边坡开挖过程中，需要做好排水工作，保持坡面和坡脚不得积水。

岩石边坡爆破施工，需要采取一定的减震或者减少对环境影响的措施，减少对边坡和周边环境的影响。边坡开挖完成后，坡体的稳定性要求尽快进行防护处理，进行护坡和支护施工，保证边坡的稳定性。在边坡施工过程中，应严格按时设计规定的荷载限值进行控制，不得随意堆载。

**8.4.4** 锚杆施工时，由于工艺的要求需要进行钻孔，不可避免会在原围护结构上进行钻孔，但是在钻孔施工时应该对原有围护、构件和周边建构筑物基础进行研究分析，避免损失原有支挡结构、构件以及邻近建构筑物等的基础。在锚杆张拉时应制定技术方案，避免相近的锚杆在张拉时互相影响。

**8.4.6** 抗滑桩属于保证边坡稳定的主要技术措施，在施工时为了保证边坡的稳定以及成桩的质量，要求必须分段间隔进行开挖施工。桩的主要受力钢筋的接头不得设置的边坡土体的薄弱面处，施工时应避免接头处于土石分界面和滑动面处，为了保证桩的施工质量，桩身混凝土应连续灌注。

**8.4.7** 在多年冻土地区及季节性冻土地区进行边坡施工时，应防止土体融化对边坡稳定造成的破坏影响。在冰冻的时候土体的强度很大，边坡不容易失稳，但在土体融化期，土体强度会大幅降低，给边坡稳定性带来较大的影响，所以在施工时需要采取一定的措施保证在融化期时边坡的稳定。

**8.4.8** 边坡工程监测方案是监测单位实施监测工作的重要技术依据和文件。边坡工程监测项目的确定应根据安全等级、地质环境、边坡类型、支护结构类型和变形控制要求等条件综合分析选择。支挡结构安全等级为一级的边坡工程施工时，必须对坡顶水平位移、垂直位移、地表裂缝和坡顶建（构）筑物进行监测。边坡工程监测时间和监测频率应能及时反映监测项目的重要发展变化情况，以便对设计与施工进行动态控制，保证边坡及周边环境的安全。监测方法的选择应综合考虑各种因素，合理易行，有利于适应施工现场条件的变化和施工进度的要求。

**8.4.9** 挡土墙利用自身重力和抗剪强度等抵抗坡体水土压力，墙体材料强度、埋置深度和墙身施工质量对挡土墙施工质量发挥主要作用，在施工完成后应进行检验。抗滑桩及排桩式锚杆的桩基应按照桩基验收的标准进行成桩质量的检验，检验数量和项目应符合相关的技术标准的要求。锚杆是边坡锚固工程中的重要构件，锚杆的检测对边坡锚固工程的质量与安全起着至关重要的作用，施工质量主要通过锚杆的抗拔承载力检测，预应力锚杆需要进行锁定力的控制，保证提供足够的拉力。喷射混凝土的厚度和强度对于边坡的稳定性有至关重要的作用，验收时应对面层厚度及混凝土强度进行检验。边坡开挖完成后主要对边坡坡率、坡底标高、平整度和土性进行检验。

**8.4.10** 预应力锚杆的验收试验是检验锚杆的拉拔承载力、筋体受拉自由段长度和蠕变率能否满足设计与规范要求，判别锚杆质量是否合格的唯一科学而可靠的方法。若不对每根工程锚杆严格按规范规定的要求进行验收试验，势必会在锚固工程中或多或少地混有一些不合格锚杆，大大增加锚固工程的安全风险。对国内一些发生事故的锚固工程的分析表明，没有按规范要求对锚杆进行严格地验收试验，是锚固工程滋生严重病害与破坏事故的主要原因之一。因此，必须对每根工程锚杆进行验收试验。

附则8A 边坡支护结构常用形式

**8A.0.1** 综合考虑场地地质条件、边坡变形控制的难易程度、边坡重要性及安全等级、施工可行性及经济性设计成功的关键。为便于确定设计方案，本条介绍了工程中常用的边坡支护形式。

附则8B 边坡稳定性分析

**8B.0.1** 对于均质土体边坡，一采用圆弧滑动面条分法进行边坡稳定性计算。对于圆弧形滑裂面，本标准建议采用简化毕肖普法进行计算，通过多种方法的比较，证明该方法有很高的准确性，已经得到国内外的公认。以往广泛应用的瑞典法，虽然求解简单，但计算误差较大，过于安全而造成浪费，所以瑞典法不再列入标准。

**8B.0.3** 对于折线滑动面，采用传递系数隐式解法优于显式解法，故本标准建议采用传递系数隐式解法。无论是隐式解法和显式解法，传递系数都存在一个缺陷，即对折线形滑面有严格的要求，如果两滑面间的夹角（即转折点处的两倾角的差值）过大，就会出现不可忽视的误差。因而当转折点处的两倾角的差值超过10°时，需要对滑面进行处理，以消除尖角效应。一般可采用对突变的倾角做圆弧连接，然后在弧上插点，来减少倾角的变化值，使其小于10°，处理后，处理后误差可以达到工程要求。

附则8C 支挡结构设计

**8C.1.1** 一般认为，库仑公式计算水平荷载（主动土压力）比较接近实际，故本条规定采用库仑公式计算水平荷载。

**8C.1.2** 在墙背直立光滑、土体表面水平时，采用库仑公式和朗金公式计算的水平荷载结果是一致的，本条基于朗金公式给出水平荷载强度计算公式，计算更为方便。

**8C.1.4** 本条水平荷载是按挡墙后有较陡的稳定岩石边坡情况下推导得出的。研究结论认为，稳定岩石与土之间的摩擦角对水平荷载计算值影响很大。随稳定岩石与土体之间的摩擦角的增加，水平荷载会明显减小；随粘聚力值的增大而增加；随稳定岩石角度的增加而有所减小，但影响值明显比稳定岩石与土之间的摩擦角影响小。因此，稳定岩石坡面与填土间的摩擦角取值宜根据试验确定。当无试验资料时，稳定岩石坡面与填土间的摩擦角可取填土内摩擦角的0.4倍~0.7倍。一般对黏性土与粉土取低值，对砂性土与碎石土取高值。

**8C.2.1** 重力式挡墙形式的选择对挡墙的安全与经济影响较大。在同等条件下，挡墙中水平荷载以仰斜最小，直立居中，俯斜最大，因此仰斜式挡墙较为合理。但是，不同的墙型往往使挡墙条件（如挡墙高度、填土质量）不同，故重力式挡墙形式应综合考虑多种因素而确定。

**8C.2.3~8C.2.4** 抗滑移稳定性验算和抗倾覆稳定性验是重力式挡墙设计中十分重要的一环。当抗滑移稳定性不满足要求时，可采取增大挡墙断面尺寸、墙底做成逆坡、换土做成砂石垫层等措施使抗滑移稳定性满足要求。当抗倾覆稳定性不满足要求时，可采取增大挡墙断面尺寸、增长墙趾或改变墙背做法（如在直立墙背上做卸荷台）等措施使抗倾覆稳定性满足要求。

**8C.3.2** 挡墙水平荷载与岩土力学性质、边坡高度、支护结构位移和大小等因素相关。从理论分析和实测资料看，采用锚喷支护采用预应力锚杆时的水平荷载大于主动土压力，本标准采用水平荷载修正系数来反应其影响。岩质边坡变形小，应力释放快，锚杆对岩体约束后侧向压力增大不明显，故对非预应力锚杆不考虑侧压力的增大，预应力锚杆考虑1.1的增大值。

**8C.3.4**  锚杆杆体与锚固体材料之间的锚固力一般高于锚固体与土层间的锚固力，因此，土层锚杆的锚固段长度计算结果一般均为式（8C.3.4-1）控制。极软岩和软质岩中的锚固破坏一般发生于锚固体与岩层间，硬质岩中的锚固端破坏可发生在锚杆杆体与锚固体材料之间，因此，岩石锚杆锚固段长度应分别按式（8C.3.4-1）和（8C.3.4-2）计算，取其中的大值。

**8C.3.5** 锚喷支护是分层开挖、分层设置锚杆及面层形成的。每一开挖状况都可能是不利工况，因此，需要对每一开挖工况进行锚喷支护整体滑动稳定岩石。由于稳定性验算采用的是极限平衡法，与锚杆预加力无关，因而，验算公式中不含锚杆预应力项。

**8C.4.2** 从理论分析和实测结果看，影响锚杆挡墙侧向压力（水平荷载）分布图形的因素复杂，主要为挖方、挡墙位移大小与方向、锚杆层数及弹性大小、是否采用逆作施工方法、墙后岩土类别和硬软等情况。不同条件时分布图形可能是三角形、梯形或矩形，仅用侧向压力随深度成线性增加的三角形应力图已不能反映侧向压力的实际情况。

**8C.4.3** 本条对满足特定条件时的侧向压力分布图形作了梯形分布规定，与国内外工程实测资料和相关标准一致。主要原因为逆作施工法的锚杆对边坡变形约束作用、支撑作用及岩石和硬土的竖向拱效应明显，使边坡侧向压力向锚固点传递，造成矩形应力分布图形与有支撑时基坑土压力分布图形不同。

**8C.6.1** 岩质边坡在稳定性较好时，锚喷支护中的锚杆多采用全长粘结性锚杆，主要是由于全长粘结性锚杆具有性能可靠、使用年限长，便于岩石边坡施工的优点，一般长度不宜过长。工程实践证明，系统锚杆按行列式或菱形排列规律布设的加固效果优于其它布设方式，且锚杆间的最大间距，以确保两根锚杆间的岩体稳定。锚杆最大间距与岩体类型有关，边坡岩体类型等级越低，最大间距应当越小。对于系统锚杆未能加固的局部不稳定区域或不稳定块体，可采用随机布设的、数量较少的随机锚杆进行加固，以确保岩质边坡局部区域及不稳定块体的稳定性。

**8C.6.2** 锚杆轴线与水平面的夹角小于10°后，锚杆外端灌浆饱满度难以保证，因此建议夹角一般不小于10°。而锚杆倾角过大时，锚杆有效水平拉力下降较多，同时将对格构梁作用较大的垂直分力，对施工期间锚杆挡墙的竖向稳定不利，因此，锚杆倾角宜为10o~35 o。

提出锚杆间距控制主要考虑到当锚杆间距过密时，由于“群锚效应”锚杆承载力将降低，锚固段应力影响区域土体被拉坏可能性增大。另外，选用间距大和承载力高的锚杆有利于降低工程造价。

**8C.6.3** 重力式挡墙基底做成逆坡对增加重力式挡墙的稳定性有利，但基底逆坡坡度过大，将导致墙踵陷入地基中，也会使保持重力式挡墙墙身的整体性变得困难。为避免这一情况，本条对地基的逆坡坡度作了限制。

附则8D 锚杆防腐构造

**8D.0.1** 按锚杆的服务年限及所处环境有无腐蚀性来确定锚杆不同的防护等级与标准，能满足锚杆适用期间的化学稳定性，也是国外相关标准对锚杆防腐保护的基本要求。

**8D.0.5** 为保证锚杆锚固段预应力筋的保护层厚度，应设置对中支架。对处于腐蚀环境中的永久性拉力型锚杆，当锚杆受力时，锚固段灌浆体受拉易开裂，为阻止地下水的侵入，应设置波形管。波形管的功能是阻止地下水对筋体的侵蚀，但该管必须与水泥浆有足够的粘结强度，而不影响将锚杆拉力传递给地层。

**8D.0.6** 根据国际预应力混凝土协会对锚杆腐蚀破坏事故的调查统计表明，锚头及其附件的腐蚀破坏占有较大的比重。因此，本条规定永久性锚杆张拉作业完成后，应及时对外露的筋体、锚具和承压板进行防腐保护。永久性锚杆外露的筋体、锚具与承压板用混凝土封闭时，如果混凝土厚度小于50mm，容易出现收缩龟裂、大气水的渗入，常导致锚头被包裹的砂浆仅20mm~30mm，拨开保护层后，发现钢绞线、锚具及承压板均有比较严重的锈斑，因此，本条规定封闭保护锚头的混凝土厚度应具有一定的厚度。

附则8E 边坡工程排水与坡面防护设计

**8E.0.2** 坡面、地表的排水设施应结合地形和天然水系进行布设，并作好进出口的位置选择和处理，防止出现堵塞、溢流、漏、积、冲刷等现象。地表排水沟(管)排放的水流不得直接排人饮用水水源、养殖池等水源。

**8E.0.3** 截水沟根据具体情况可设一道或数道。设置截水沟的作用是拦截来自边坡或山坡上方的地面水、保护边坡不受冲刷。截水沟的横断面尺寸需经流量计算确定。为防止边坡的破坏，截水沟应经过详细水文、地质、地形等调查后确定截水沟的位置。截水沟应采取有效的防渗措施，出水口应引伸到边坡范围以外，出口处设置消能设施，确保边坡的稳定性。水和急流槽主要用于陡坡地段的坡面排水或者用在截、排水沟出水口处的坡面坡度大于10％、水头高差大于1m的地段，达到水流的消能和减缓流速的目的。

**8E.0.5** 仰斜式排水孔是采用小直径的排水管在边坡体内排除深层地下水的一种有效方法，它可以快速疏干地下水，提高岩土体抗剪强度，防止边坡失稳，并减少对岩(土)体的开挖，加快工程进度和降低造价，因而在国内外边坡工程中得到广泛的应用。近年来，在广东、福建、四川等省取得了良好的应用效果，最长排水孔已达50m，仰斜式排水孔钻孔直径一般为75mm~150mm，仰角不应小于6°，长度应伸至地下水高集或潜在滑动面。孔内透水管直径一股为50mm~100mm。透水管应外包1层~2层渗水土工布防止泥土将滲水孔堵塞，管体四周宜用透水土工布作反滤层。

**8E.0.7** 边坡防护工程只能在稳定边坡上设置。对于边坡稳定性不足和存在不良地质因素的坡段，应先采用治理措施保证边坡整体安全性，再采取坡面防护措施，坡面防护措施应能保持自身稳定。当边坡支护结构与坡面防护措施联合使用时，可统一进行计算。

**8E.0.8** 工程防护包括喷护、铺杆挂网喷浆、浆砌片石护坡、格构梁和护面墙等不同结构形式的工程防护。砌体防护用于边坡坡面防护时，应注意与边坡沟或仰斜排(泄)水孔等配合使用防止边坡产生变形破坏。浆砌片石护坡高度较大时，应设置防滑耳墙，保证护坡砌体稳定。

**8E.0.9** 护面墙主要是一种浆砌片石覆盖层，适用于防护易风化或风化严重的软质岩石或较破碎岩石挖方边坡，以及坡面易受侵蚀的土质边坡。护面墙除自重外，不承受其他荷重，也不承受墙背土压力。护面墙高度一般不超过10m，可以分级，中间设平台，墙背可设耳墙，纵向每隔10m宜设一条伸缩缝，墙身应预留泄水孔，基础要求稳固，顶部应封闭。墙基软弱地段，可用拱形结构跨过。

**8E.0.10** 植物防护形式较多，其中三维植被网以热塑树脂为原料，采用科学配方，经挤出、拉伸、焊接、收缩等工序而制成其结构分为上下两层，下层为一个经双面拉伸的高模量基础层，强度足以防止植被网变形，上层由具有一定弹性的、规则的、四凸不平的网包组成。由于网包的作用，能降低雨滴的冲蚀能量，并通过网包阻挡坡面雨水，同时网包能很好地固定充填物(土、营养土、草)不被雨水冲走，为植被生长创造良好条件。另外，三维网固定在坡面上，直接对坡面起固筋作用。当植物生长茂盛后，根系与三维网盘错、连接、纠缠在一起，坡面和土相接，形成一个坚固的绿色复合保护整体，起到复合护坡的作用。

湿法喷播是一种以水为载体的机械化植被建植技术。它采用专门的设备(喷播机)施工。种子在较短时间内萌芽、生长成株、覆盖坡面，达到迅速绿化，稳固边坡之目的。

客土喷播是将客土(提供植物生育的基盘材料)、纤维(基盘辅助材料)、侵蚀防止剂、缓效肥料和种子按一定比例，加人专用设备中充分混合后，喷射到坡面，使植物获得必要的生长基础，达到快速绿化的目的。

附则8F 专项施工方案要求

**8F.0.1** 在边坡工程施工中经常见到为赶工期无序开挖、野蛮开挖的现象，因而造成在治理施工中的灾害和损失，是边坡工程事故的多发阶段。编制施工组织设计及专项施工方案是贯彻、领会设计意图、确保边坡施工质量、安全、工期目标得以实现的基础性文件，因此编制施工组织设计及有关专项施工方案显得十分必要。施工方案编制应结合不同治理方案的项目特点及现场条件编制，并要明确施工期间的重点保护对象，规定挖土要有序开挖，严禁超挖，为支护等工序创造施工条件和便利服务。当需要采取包括开挖时，应严格按照设计要求及爆破施工方案施工，并应办理相应的施工手续，进行相应的监测，预防造成工程事故及对周边建构筑物的影响。

另外，结合项目特点明确有关施工顺序对稳定性较差的边坡，制定合理的施工工序十分必要。如对牵引式滑坡，滑坡前缘应是重点保护对象，不应在采取适当的加固措施前就先进行开挖施工；如对推移式滑坡，应先对后缘裂缝进行封闭及卸载后再进行其他工序施工。

**8F.0.4** 危险源识别及相应的应急措施应结合项目特点及项目所在的地势特点进行危险源的识别。边坡工程施工除常规的雷电、机械、用电、吊装及上面提到的挖土、爆破等危险源外，场地内外的防、排水也是一个常见的危险源。

信息化施工是将施工过程、施工工序与监测、信息反馈、动态设计融为一体的施工方法，近年来愈来愈得到重视，尤其对地质情况复杂、环境条件复杂、稳定差的边坡工程，对确保施工期间的安全和稳定显得尤为关键。

**8F.0.5** 当边坡位移较大、速率大，接近控制值时，应立即暂停施工，组织勘查、设计、施工及经验丰富的专家进行会诊，查清原因，及时采取工程措施，确保边坡安全。

附则8G 挡墙支护施工要点

**8G.0.3** 挡墙支护施工时应设置排水系统主要是防止挡墙水流不畅，水位升高，造成挡墙后水土压力增大，对挡墙的安全稳定性产生威胁，为了防止水土流失需要设置反滤层，保证挡墙土体的稳定。挡墙干砌不利于挡墙的整体性，且由于块石的表面很不规则，干砌不可避免地形成缝隙，极易成为挡墙后填土流失的通道，给挡墙的安全造成极大的安全隐患，因此，本条规定严禁干砌。挡墙砌筑时，除预留施工缝、沉降缝等，砌体内的垂直通缝会削弱挡墙的整体性，因此，本条规定墙体砌筑时不应有垂直通缝。为了保证挡墙的施工质量，在施工时换填地基应按照设计要求分层铺筑，夯实，夯实度应满足设计要求。

**8G.0.4** 目前张拉锚杆一般采用限位板，锚杆锁定时，主要依靠筋体的弹性回缩带动工作锚具中的夹片回位实现对筋体的紧固，而筋体回缩过程中会造成预应力的损伤。因此，一般情况下，预应力锚杆张拉时进行适当的超张拉是减小锚杆锁定时预加力损失的必要方法。当采取可靠的无损张拉措施时，可不进行超张拉。

附则8H 边坡工程排水施工要点

**8H.0.1** 工程实践证明，边坡事故与水的原因有很大关联。锚喷支护的坡体稳定是锚喷支护成功的关键，在施工时坡体的排水系统非常关键，同时为了保证排水系统不影响坡体的稳定，需要采取一定的防渗处理。施工前完成临时性排水设施不仅有助于施工的正常进行，也有利于边坡的稳定与安全。同时，在施工期间，应采取必要的措施，对临时排水设施进行维护，以保证其正常运行。

**8H.0.4** 各类水经各种途径进入坡体内，一方面增加了坡体的重量，增加了滑动力，同时减少了滑面的抗剪强度，严重影响边坡的稳定，故一般坡体工程都设有挡排水系统，包括地表挡排水、坡体内排水等排水设施，可有效提高边坡的稳定性，尽量减少了水对边坡的影响，效果较好。

附则8I 边坡工程监测要求

**8I.0.1** 边坡工程监测项目的确定可根据其地质环境、安全等级、边坡类型、支护结构类型和变形控制等条件，经综合分析后确定。为做好边坡工程监测工作，本条给出了边坡工程监测工作的最低要求。

**8I.0.3** 边坡工程及支护结构的变形值的大小与边坡高度、地质条件、水文条件、支护类型、坡顶荷载等多因素有关，变形计算复杂且不成熟，国家现行有关标准均未提出比较成熟的计算理论。因此，目前较准确地提出边坡工程变形预警值也是困难的，特别是对岩体或岩土体边坡工程变形控制标准更难提出统一的判断标准，工程实践中只能根据地区经验，采取工程类比的方法确定。

**8I.0.4** 对地质环境条件特别复杂的、采用新技术治理的一级边坡工程，由于缺少相关的实践经验和试验验证，为确保边坡工程安全和发展边坡工程监测理论及技术，应建立有效的、可靠的监测系统获取该类型边坡工程长期监测数据。

附录F 单桩竖向极限承载力标准值*Q*uk

**F.0.1** 本条给出了桩周岩土阻力提供的单桩竖向极限承载力标准值的估算方法。

计算公式中增加了桩侧、桩端阻力综合调整系数，考虑大直径灌注桩、嵌岩桩、后注浆灌注桩、管桩水泥土复合基桩等常用桩型桩侧、桩端阻力的影响。

**F.0.2~F.0.3** 场地内由于岩土层变化，任一点单桩竖向极限承载力标准值是不相同的。估算的单桩竖向极限承载力标准值最小值不应小于场内所有桩承载力平均值的0.85倍。

**F.0.4** 施工前进行检测并确定单桩极限承载力，目的是为设计单位选定桩型和桩端持力层、掌握桩侧桩端阻力分布并确定基桩承载力提供依据，同时也为施工单位在新的地基条件下设定并调整施工工艺参数进行必要的验证。

**F.0.5** 不论是为设计提供依据的试验桩检测和施工后为验收提供依据的工程桩检测，试桩数量都应由设计人在了解场地地质全貌基础上综合确定，且不应少于3根。

**F.0.6** 对单桩进行静载试验时，最小加载量应取公式(F.0.1)估算的单桩竖向极限承载力标准值*Qj*uk。试验操作时，可以适当提高加载量。

**F.0.9** 本条给出了一种新的根据静载试验结果确定单桩竖向极限承载力标准的方法。

**1** 当所有试验桩的检测结果*Qj*ut均不小于设计估算值*Qj*uk时，认为设计估算单桩承载力是安全的，取场地内所有桩估算承载力的平均值作为单桩竖向极限承载力标准值*Q*uk。

**2** 当至少有1根桩检测结果*Qj*ut小于设计估算值*Qj*uk时，说明设计估算时采用的计算参数偏高，首先找出离散系数*ηj*max最小的第*j*根桩（检测结果与估算值之比最小），并用该离散系数对场地内所有桩估算值的平均值进行折减。

当同时满足如下两个条件，可以认为设计估算单桩承载力总体上是安全的，取场地内所有桩估算值的平均值作为单桩竖向极限承载力标准值*Q*uk。

1）所有试验桩的检测结果之和不小于所有试验桩的设计估算值之和；

2）检测结果的最小值不小于折减后的场地内所有桩估算值的平均值的0.85倍。

**F.0.10** 对场地地层条件熟悉且有类似工程经验，试桩位置地层条件与勘察报告所建议地层条件基本吻合时，可以按照现行的单桩极限承载力标准值确定方法，即当检测结果极差不大于平均值的30%时，取检测结果的平均值作为单桩极限承载力标准值。

附录G 桩侧阻力和端阻力

**G.0.2** 本条给出了泥浆护壁钻（冲）孔桩、干作业钻孔桩、大直径灌注桩、嵌岩桩、后注浆灌注桩、混凝土实心桩、混凝土空心桩、钢管桩、管桩水泥土复合基桩、异型预制桩等常用桩型承受竖向受压作用时的桩侧、桩端阻力综合调整系数及桩径或边长；同时给出了等直径桩、扩底桩、管桩水泥土复合基桩、异型预制桩等桩型承受竖向上拔作用时的桩侧、桩端阻力综合调整系数及桩径或边长。

管桩水泥土复合基桩（又称水泥土复合基桩）是基于水泥土桩和预应力高强混凝土管桩两种桩型的特点提出的一种新桩型，由作为芯桩使用的预应力高强混凝土管桩、包裹在芯桩周围的水泥土桩和填芯混凝土优化匹配复合而成（图5）。这里的“优化匹配”体现在水泥土强度、管桩水泥土复合基桩选型的规定中。



图5 管桩水泥土复合基桩

1-锚固钢筋；2-填芯混凝土；3-复喷段；4-预应力高强混凝土管桩；5-水泥土桩

按照本标准第G.0.5条规定，与桩身水泥土配比相同的室内水泥土试块（边长为70.7mm的立方体）在标准养护条件下28d龄期的立方体抗压强度平均值不应低于2.5MPa。管桩水泥土复合基桩可按下列要求进行选型：

**1** 水泥土桩直径与管桩直径之差，应根据环境类别、承载力要求、桩侧土性质等综合确定，且不应小于300mm；

**2** 水泥土桩直径与管桩直径之比可按表7的规定确定，水泥土强度高者取低值，反之取高值：

**表7 水泥土桩直径与管桩直径之比**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| d(mm) | 300 | 400 | 500 | 600 | 800 |
| D/d | 2.7~3.0 | 2.0~2.5 | 1.7~2.2 | 1.5~2.0 | 1.4~1.8 |

**3** 管桩长度应根据计算确定，且不宜小于水泥土桩长度的2/3；

**4** 管桩可按本标准附则5E的有关规定选用预应力高强混凝土管桩。

水泥土桩由高喷搅拌法施工，水泥土初凝前通过静压或振动等方式同心植入预应力高强混凝土管桩，施工速度快，无挤土效应，不产生泥浆。

对于管桩水泥土复合基桩，极限侧、端阻力标准值可根据岩土工程勘察报告或本标准表G.0.1-1规定的泥浆护壁钻孔桩极限侧、端阻力标准值乘以提高倍数得到。根据搜集到的39组单桩竖向抗压静载试验及内力测试资料，统计不同土层对应的管桩水泥土复合基桩极限侧阻力标准值如表8所示，与岩土工程勘察报告或本标准表G.0.1-1规定的泥浆护壁钻孔桩极限侧阻力标准值对比，前者约为后者的1.5倍~1.6倍。且多数试桩为桩头材料破坏，桩侧摩阻力尚未充分发挥，本标准规定的提高倍数1.5~1.6是偏于保守的。

**表8 极限侧阻力标准值**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土的名称 | 土的状态 | （kPa） |
| 填土 | — | 30~42 |
| 淤泥 | — | 18~28 |
| 淤泥质土 | — | 30~42 |
| 黏性土 |  | 38~58  58~80  80~102  102~126  126~144  144~152 |
| 粉土 |  | 36~64  64~94  94~124 |
| 粉细砂 | 稍密  中密  密实 | 34~70  70~96  96~130 |

**G.0.4** 灌注桩后注浆是灌注桩的辅助工法。该技术旨在通过桩底桩侧后注浆固化沉渣（虚土）和泥皮，并加固桩底和桩周一定范围的土体，以大幅提高桩的承载力，增强桩的质量稳定性，减小桩基沉降。该技术目前已列入《建筑业10项新技术》，并已应用于全国数以千计的桩基工程中。

桩底后注浆管阀的设置数量应根据桩径大小确定，最少不少于2根，对于直径大于1200mm的桩应增至3根。目的在于确保后注浆浆液扩散的均匀对称及后注浆的可靠性。桩侧注浆断面间距视土层性质、桩长、承载力增幅要求而定，宜为6m~12m。

浆液水灰比是根据大量工程实践经验提出的。水灰比过大容易造成浆液流失，降低后注浆的有效性，水灰比过小会增大注浆阻力，降低可注性，乃至转化为压密注浆。因此，水灰比的大小应根据土层类别、土的密实度、土是否饱和诸多因素确定。当浆液水灰比不超过0.5时，加入减水、微膨胀等外加剂在于增加浆液的流动性和对土体的增强效应。确保最佳注浆量是确保桩的承载力增幅达到要求的重要因素，过量注浆会增加不必要的消耗，应通过试注浆确定。这里推荐的用于预估注浆量的公式是以大量工程经验确定有关参数推导提出的。关于注浆起始时间和顺序的规定是大量工程实践经验的总结，对于提高后注浆的可靠性和有效性至关重要。

规定终止注浆的条件是为了保证后注浆的预期效果及避免无效过量注浆。采用间歇注浆的目的是通过一定时间的休止使已压入浆提高抗浆液流失阻力，并通过调整水灰比消除规定所述的两种不正常现象。

**G.0.5** 本条给出了管桩水泥土复合基桩（ZL 201010189668. 7）技术要求。

**1** 水泥品种、掺量及水灰比

水泥品种与强度等级对水泥土成桩质量至关重要，应根据工程要求确定。宜优先选用42.5级及以上的普通硅酸盐系列水泥。在某些地区的地下水中含有大量硫酸盐，因硫酸盐与水泥发生反应时，对水泥土具有结晶性侵蚀，会出现开裂、崩解而丧失强度。为此应选用抗硫酸盐水泥，使水泥土中产生的结晶膨胀物质控制在一定的数量范围内，借以提高水泥土的抗侵蚀性能。

水泥掺量可取被加固土质量的20%~35%，当土质较差或设计要求水泥土强度较高时，水泥掺量可取高值。

水泥浆水灰比应根据地层条件及设备条件通过现场试验确定，可取0.8~1.5，生产实践中常用1.0。对于地下水位以上地层或设备喷射有困难等情况，水灰比可取高值。

**2** 管桩选型

按本标准附则5E有关规定，预应力高强混凝土管桩可选用A型、AB型、B型、C型。特殊工况下，桩身上部芯桩和下部芯桩可以选用不同类型的预应力高强混凝土管桩，例如：下节芯桩选用PHC 500 AB 100，上节芯桩选用PHC 500 AB 125，可有效提高桩顶材料综合强度；下节芯桩选用普通A型预应力高强混凝土管桩，上节芯桩选用复式配筋预应力高强混凝土管桩，可有效改善水平承载性能。

**3**  水泥土强度

当桩长范围内为成层土时，应选择主要土层进行室内水泥土配合比试验，并以其中的较弱土层对应的标准养护条件下28d龄期的立方体抗压强度平均值作为计算依据。

管桩水泥土复合基桩中的水泥土桩和管桩共同承担上部荷载，考虑到管桩—水泥土界面粘结性能、管桩与水泥土荷载分担比等因素，水泥土强度存在下限值。与桩身水泥土配比相同的室内水泥土试块（边长为70.7mm的立方体）在标准养护条件下28d龄期的立方体抗压强度平均值不应低于2.5MPa。

**4**  水泥土桩施工

水泥土桩采用高喷搅拌法施工。高喷搅拌法综合了高压喷射与搅拌法两种工艺的优点。由高压浆液形成高速喷射流束，冲击、切割、破碎地层土体，同时采用搅拌翅等强制搅拌水泥浆液与地基土，可有效控制桩身均匀性、成桩直径，返浆量小，提高了施工效率。

水泥土桩施工参数如浆液压力、气压、水压及流量、喷嘴数量及直径、搅拌翅直径、钻杆下沉与提升速度、钻杆旋转速度等由成桩工艺性试验确定，在施工中应严格控制，不得随意更改。在确保水泥土桩桩顶标高、有效桩长、桩径、垂直度、水泥土强度达到设计要求的前提下，施工单位可根据本工程的施工经验、土质条件等对施工参数作必要的调整。

表9列出了部分实际工程的高喷搅拌法水泥土桩施工参数，供参考。

表9 部分实际工程水泥土桩施工参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地层条件 | 素填土、粉土、黏性土、砂土 | |
| 施工参数 | | |
| 空气 | 压力（MPa） | 0.7 |
| 流量（m3/min） | 1~2 |
| 喷嘴间隙（mm）及个数 | 1~2（1~4） |
| 浆液 | 水灰比 | 0.8~1.2 |
| 压力（MPa） | 4~30 |
| 流量（L/min） | 35~280 |
| 钻头 | 喷嘴孔径（mm）及个数 | 2.4~2.8（1~4） |
| 搅拌翅外径（mm） | 350~900 |
| 钻杆 | 钻杆外径（mm） | 219、299 |
| 提升速度（cm/min） | 20~50 |
| 旋转速度（r/min） | 18~23 |

搅拌次数是保证水泥土质量均匀的重要施工措施，根据工程经验，桩身深度范围内每米的搅拌次数大于300次时，桩身水泥土质量能够满足设计要求。

需要提高强度或增加喷搅次数而采取复搅复喷措施的部位一般指桩顶部位、芯桩底部、塑性指数较高的黏土层以及因故停浆或喷浆不连续的部位等。复喷复搅段长度宜根据作用在桩顶及芯桩底部荷载大小、土质条件、水泥用量、水灰比、浆液流量、提升速度、施工异常情况等因素综合确定。

**5** 管桩植入施工

管桩植入水泥土桩的合理时机应在水泥土初凝前，同时确保管桩与水泥土桩的同轴度。管桩垂直度控制对管桩水泥土复合基桩成桩质量相当关键，应制定可靠的垂直度控制措施。

水泥土初凝前特指：在该时段内水泥土保持流塑状态，管桩同心植入水泥土桩后，不影响水泥土的成桩形态、后期强度以及管桩—水泥土界面剪切强度。根据已有的工程经验，在正常施工条件下，水泥土桩施工完成后（2~3）小时，水泥土尚未初凝。综合考虑多种因素，推荐管桩施工与水泥土桩施工完成时间间隔为（0.5~1.0）小时，最大不宜超过2小时。

**6** 管桩水泥土复合基桩施工常见问题

管桩水泥土复合基桩施工过程中出现的一些常见问题可按表10进行处理。在施工前应做好有针对性的应急预案，施工过程中根据施工现场实际情况，快速找出原因，并及时采取相应的处理措施，确保水泥土插芯组合桩施工质量。

表10 施工常见问题处理措施

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 常见问题 | 发生原因 | 处理措施 |
| 桩位偏差 | 定位不准；  施工中垂直度偏差超出规定值 | 对水泥土桩及管桩施工采用全站仪定位、复检；  采用线锤或经纬仪控制水泥土桩与管桩施工时的垂直度 |
| 管桩水泥土复合基桩直径小 | 浆液压力小；  浆液流量小 | 调整浆液压力、流量、钻杆提升速度、钻杆旋转速度、搅拌翅直径等施工参数 |
| 桩身水泥土强度达不到设计要求 | 水泥掺量小；  水灰比大；  搅拌不匀；  局部喷浆量小、喷浆不连续 | 增大水泥掺量；  减小水灰比；  减小钻杆提升速度、增加搅拌均匀程度及喷浆量、连续喷浆 |
| 水泥土断桩 | 喷浆不连续 | 恢复供浆后喷头提升或下沉1.0m后再行下沉或提升施工，保证接茬 |
| 钻进下沉困难、电流值高、跳闸 | 电压偏低；  土质坚硬，阻力太大；  遇大块石等障碍物；  漏电 | 调高电压；  加大浆液压力；  更换合适的钻具；  开挖排除障碍物；  检查电缆接头，排除漏电 |
| 浆液过早用完或剩余过多 | 供浆管路堵塞、漏浆；  钻杆提升速度过慢或过快；  投料不准、加水量少或过多；  钻进过程耗浆量太大 | 检修注浆泵及供浆管路；  调整钻杆提升速度；  重新标定投料量及加水量；  减小钻进耗时 |
| 注浆泵堵塞、供浆管路堵塞、爆裂，喷嘴堵塞 | 水泥浆杂质多；  供浆管路内有杂物；  杂物进入喷嘴 | 增加水泥浆过滤遍数或更换过滤网；  拆洗供浆管路、注浆泵；  检查拆洗喷嘴 |
| 注浆泵压力剧增或剧减 | 喷浆嘴或注浆管路堵塞；  喷浆嘴或注浆管路漏浆；  喷杆磨损漏浆 | 拆洗检查；  更换喷杆 |
| 注浆泵压力不稳 | 注浆泵内进气；  注浆泵内进入硬质颗粒；  注浆泵机械磨损 | 排除空气；  拆洗检查；  更换磨损件 |
| 空气压缩机不工作 | 线路或电机出现问题；  喷气嘴堵塞或供气管路堵塞 | 检查线路及电机；  检查清洗供气管路、喷气嘴及钻头内部气腔 |
| 水泥浆进入空气压缩机储气罐 | 钻头在地下时气被憋住，造成回浆 | 提起钻头，清洗空气压缩机储气罐 |
| 注浆泵压力、钻杆提升速度等施工参数与设计不符 | 喷嘴直径与设计不符；  供浆管路堵塞；  调速电机控制器出现问题 | 检查喷嘴直径；  检查供浆管路；  检查或更换调速电机控制器 |
| 冒浆多 | 土质太黏，搅拌不动；  遇硬土或障碍物下沉困难；  浆液流量过大；  喷浆下沉、提升速度小  水灰比过大 | 加强搅拌；  清除障碍物；  调整浆液流量；  加大升降速度及喷搅遍数  减少水灰比 |
| 不返气、不返浆 | 供气、供浆管路堵塞；  下沉过快，上层黏土层封住返气、返浆通道 | 疏通供气、供浆管路；  降低下沉速度；  提起钻头，待返气、返浆后再行下沉施工 |
| 相邻桩附近冒气、冒水 | 距离施工桩太近；  临近桩施工完成时间较短； | 间隔施工；  增加相邻桩施工时间间隔； |
| 埋钻 | 钻头埋置地下较深时，钻杆停止转动同时不喷气、不喷浆；  遇流砂等土层 | 降低钻进速度；  检查电路及设备，防止出现钻杆停止转动等故障；  维修设备时，应将钻杆提至地面 |
| 管桩施工达不到设计标高 | 管桩施工与水泥土桩施工完成时间间隔过长；  接桩时间过长；  水灰比小或注浆量少；  压桩力或激振力不足；  桩身偏斜，压入土中；  水泥土不均匀 | 减少时间间隔；  缩短接桩时间；  增大水灰比或注水搅拌；  加大压桩力或激振力；  确保管桩位置及垂直度；  增加喷搅次数 |
| 管桩掉入水泥土中 | 水灰比过大；  管桩未封底 | 减小水灰比；  管桩封底；  施工时采取控制措施 |
| 管桩内腔进浆 | 管桩顶、底封闭不严密；  接桩漏焊 | 管桩顶、底封严；  焊接严密 |

**7**  单桩竖向抗压静载试验

单桩竖向抗压静载试验方法应按附录H的有关规定执行，其中的桩头处理方法、刚性承压板尺寸大小及单桩竖向承载力取值方法是已有管桩水泥土复合基桩工程检测经验的总结。

附录K 桩身承载力

**K.0.1** 本条给出了钢筋混凝土轴心受压桩正截面受压承载力验算方法。

在式(K.0.1-1)、(K.0.1-2)中纳入了桩身稳定系数。

预制桩施工一般有抱压法、锤击法、顶压法、植入法、中掘法等。表K.0.1-1给出了不同施工方法对应的成桩工艺系数。

**K.0.5** 本条给出了管桩水泥土复合基桩桩身竖向抗压、竖向抗拔承载力验算方法。

单桩竖向抗压静载试验表明，在极限荷载作用下，桩头呈现管桩、水泥土先后破坏的渐进破坏模式；而在轴向压力设计值对应荷载作用下，管桩与水泥土均未发生破坏。即在轴向压力设计值对应荷载作用下，桩头未发生渐进破坏，管桩与水泥土共同变形、共同承担上部竖向荷载。因此，验算轴心受压情况下桩身竖向承载力时，应同时考虑管桩与水泥土两种材料的承载性能。

式(K.0.5-1)基于管桩验算了桩头材料强度，式(K.0.5-2)验算了管桩底端处水泥土材料强度，式(K.0.5-2)验算了管桩—水泥土界面抗拔力。在本标准第G.0.5条给出的水泥土材料强度范围及表K.0.5给出的应力比情况下，桩顶轴向压力设计值一般由管桩材料强度控制，因此桩头材料验算时仅给出了基于管桩材料强度的验算公式，而未给出基于水泥土材料强度的验算公式。管桩—水泥土界面摩阻力在抗拔与抗压时基本一致，因此受拉调整系数规定值较高，一般取0.80~0.95。

基于桩身取芯与室内配比试验，研究了耕土、粉质黏土、粉土、粉细砂、粉砂等土质条件下高喷搅拌水泥土桩桩身水泥土强度与室内相同配比试块强度关系：水泥掺入比为20%~35%时，桩身水泥土强度与室内配比水泥土强度的比值不低于0.84；水泥土强度比值随着水泥掺入比的增加略有减小，随深度增加略有增大。大量的深层搅拌桩实测资料也表明，水泥掺入比为13.5%~20%时，桩体强度与室内配比水泥土强度比值一般为0.44~0.87。由于高喷搅拌水泥土桩桩身搅拌均匀，桩身水泥土强度与室内配比水泥土强度比值宜高于深层搅拌桩相应值，结合高喷搅拌水泥土强度实测值，高喷搅拌水泥土桩桩身水泥土强度与室内配比水泥土强度比值可取0.6。

水泥土立方体抗压强度平均值作为水泥土抗压强度标准值使用，其材料性能分项系数取1.6。

轴向压力设计值对应荷载作用下，预应力高强混凝土空心桩与水泥土共同变形，符合等应变假定，应力比实测值与二者弹性模量之比接近。表K.0.5给出了轴向压力设计值对应荷载作用下，管桩与水泥土的应力比取值范围，可在初步设计时选用。