

北京市地方标准

DB

编 号：DB11/489-2007

备案号：J10944-2007

建筑基坑支护技术规程

Technical specification of retaining and
protecting for building foundation excavation

2007-07-04 发布

2008-01-01 实施

北京市建设委员会
北京市质量技术监督局

联合发布

北京市地方标准

建筑基坑支护技术规程

Technical specification of retaining and
protecting for building foundation excavation

编 号:DB11/489-2007

备案号:J10944-2007

主编部门:中国土木工程学会

北京市勘察设计研究院

中国建筑科学研究院

北京城建科技促进会

批准部门:北京市建设委员会

北京市质量技术监督局

施行日期:2008 年 1 月 1 日

2007 北京

关于发布北京市地方标准 《建筑基坑支护技术规程》的通知

京建科教〔2007〕766号

各区、县建委，各局、总公司，各有关单位：

根据北京市建设委员会《关于印发“北京市工程建设技术标准2003年度编制计划”的通知》（京建科教〔2003〕261号）的要求，由中国土木工程学会主编的《建筑基坑支护技术规程》已经有关部门审查通过。现批准该规程为北京市地方标准，编号为DB11/489-2007，建设部备案号为J10944-2007，自2008年1月1日起实施。其中第3.1.2，3.1.4，3.1.5（1）、（2）、（3），3.1.6，3.1.7，3.7.3，3.7.4，3.7.5，3.7.6，3.7.8，3.7.13，3.8.1，6.3.6，6.4.2条（款）为强制性条文，必须严格执行。

该规程由北京市建设委员会和北京市质量技术监督局共同负责管理，由中国土木工程学会负责解释工作。

北京市建设委员会
二〇〇七年八月一日

关于同意北京市《建筑基坑支护技术规程》地方标准备案的函

建标标备便〔2007〕24号

北京市建设委员会：

你单位《关于北京市工程建设标准〈建筑基坑支护技术规程〉申请备案的函》收悉。经研究，建议将第3.1.2、3.1.4、3.1.5(1)、(2)、(3)、3.1.6、3.1.7、3.7.3、3.7.13、6.3.6、6.4.2条修改后作为强制性条文；同意第3.7.4、3.7.5、3.7.6、3.7.8、3.8.1条作为强制性条文；不同意第3.7.7条作为强制性条文。同意该标准作为“中华人民共和国工程建设地方标准”备案，备案号为：J10944-2007。(强制性条文见附件)。

该项标准的备案公告，将刊登在近期出版的《工程建设标准化》刊物上。

附件：北京市地方标准《建筑基坑支护技术规程》强制性条文

建设部标准定额司

二〇〇七年三月二日

前 言

本规程为条文强制性标准，其中第 3.1.2，3.1.4，3.1.5 (1)、(2)、(3)，3.1.6，3.1.7，3.7.3，3.7.4，3.7.5，3.7.6，3.7.8，3.7.13，3.8.1，6.3.6，6.4.2 条（款）为强制性条文，必须严格执行。

本规程是按北京市建设委员会京建科教〔2003〕261 号文件《关于印发“北京市工程建设技术标准 2003 年编制计划”的通知》要求，由中国土木工程学会等单位共同编制。在标准编制过程中，编制组结合北京市岩土工程特点、进行了深入的调查研究，在认真总结了北京市建筑基坑支护工程的经验，并在广泛征求意见的基础上，经反复讨论、修改形成。

本规程共分 7 章和 3 个附录，主要内容包括：1、总则，2、术语、符号，3、基本规定，4、放坡，5、排桩、地下连续墙，6、土钉墙，7、地下水控制等。附录 A 为规范性附录，附录 B、C 为资料性附录。

为提高规程质量，请各单位在执行本规程过程中，积累资料，认真总结经验，随时将有关意见和建议反馈给北京城建科技促进会（北京市宣武区广莲路甲 5 号北京建设大厦 1011 室，邮编：100055，电话传真：010 - 63989081，E - mail：cjch@sohu.com），以供今后修订时参考。

本规程主要编制单位和主要起草人：

主 编 单 位：中国土木工程学会

北京市勘察设计研究院

中国建筑科学研究院

北京城建科技促进会

中国科学院地质与地球物理研究所

北京市机械施工有限公司

北京建材地质工程公司

中基发展建设工程集团有限责任公司

中航勘察设计研究院

建设综合勘察研究设计院

主要起草人：张 雁 沈小克 杨 斌 周与诚 杨素春
李 虹 秦四清 孙保卫 何世鸣 杨生贵
汪一帆 徐教宇 王建明 杨俊峰 李耀刚
王秀丽

目 次

1	总则	1
2	术语、符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	5
3.1	设计原则	5
3.2	勘察要求	8
3.3	支护结构选型	11
3.4	水平荷载	12
3.5	被动土压力计算	17
3.6	质量检测	18
3.7	基坑开挖	18
3.8	开挖监控	20
4	放坡	22
4.1	一般规定	22
4.2	设计	22
4.3	稳定性验算	22
4.4	施工	23
4.5	质量检验	23
5	排桩、地下连续墙	24
5.1	嵌固深度计算	24
5.2	结构内力和位移计算	27
5.3	截面承载力计算	28
5.4	锚杆计算	28

5.5	构造要求·····	32
5.6	施工·····	35
5.7	质量检测·····	36
6	土钉墙·····	38
6.1	一般规定·····	38
6.2	设计·····	38
6.3	施工·····	44
6.4	质量检验与监测·····	48
7	地下水控制·····	49
7.1	一般规定·····	49
7.2	集水明排·····	51
7.3	降水·····	51
7.4	截水·····	58
7.5	回灌·····	59
7.6	监测·····	60
附录 A	基坑支护设计文件内容 ·····	61
附录 B	关于深基坑工程方案审查的有关规定 ·····	67
附录 C	基坑支护设计文件审查表 ·····	70
附加说明	·····	71
条文说明	·····	73

1 总 则

1.0.1 为了使北京地区建筑基坑支护的勘察、设计、施工和监控工作规范化，做到技术先进、经济合理，保护环境，确保基坑边坡稳定，并保证基坑周边环境安全，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于北京地区建筑基坑支护的勘察、设计、施工和监控。

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

1.0.4 建筑基坑支护工程除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行标准和北京市地方标准的相关规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 建筑基坑 building foundation pit

为进行建筑物（包括构筑物）基础与地下室施工所开挖的地面以下空间。

2.1.2 基坑侧壁 side of foundation pit

构成建筑基坑围体的某一侧面。

2.1.3 基坑周边环境 surroundings around foundation pit

基坑开挖影响范围内既有建（构）筑物、道路、地下设施、地下管线、岩土体及地下水体等的统称。

2.1.4 基坑支护 retaining and protecting for foundation excavation

为保证地下结构施工及基坑周边环境的安全，对基坑侧壁及周边环境采用的支挡、加固与保护措施。

2.1.5 排桩 soldier piles

以某种桩型按队列式布置组成的基坑支护结构。

2.1.6 地下连续墙 diaphragm wall

用机械施工方法成槽，并形成的钢筋混凝土地下墙体。

2.1.7 土钉墙 soil nailing

采用土钉加固的基坑侧壁土体与护面等组成的支护结构。

2.1.8 土层锚杆 soil anchor

由设置于钻孔内、端部伸入稳定土层中的钢筋或钢绞线与孔内注浆体组成的受拉杆体。

2.1.9 冠梁 cap beam

设置在支护结构顶部的钢筋混凝土连梁。

2.1.10 腰梁 middle beam

设置在支护结构顶部以下传递支护结构与锚杆或内支撑支点

力的钢筋混凝土梁或钢梁。

2.1.11 支点 fulcrum

锚杆或支撑体系对支护结构的水平约束点。

2.1.12 支点刚度系数 stiffness coefficient of fulcrum bearing

锚杆或支撑体系对支护结构的水平向反作用力与其位移的比值。

2.1.13 嵌固深度 embedded depth

桩墙结构在基坑开挖底面以下的埋置深度。

2.1.14 地下水控制 groundwater controlling

为保证支护结构施工、基坑挖土、地下室施工及基坑周边环境安全而采取的排水、降水、截水或回灌措施。

2.1.15 截水帷幕 curtain for cutting off water

用于阻截或减少基坑侧壁及基坑底地下水流入基坑而采用的连续止水体。

2.2 符 号

2.2.1 抗力和材料性能

c_k ——土的黏聚力标准值；

φ_k ——土的内摩擦角标准值；

e ——土的孔隙比；

$e_{pj k}$ ——基坑开挖面下 j 点水平抗力标准值；

f_{ck} 、 f_c ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；

f_{cmk} 、 f_{cm} ——混凝土弯曲抗压强度标准值、设计值；

f_{py} 、 f'_{py} ——预应力钢筋的抗拉、抗压强度设计值；

f_y 、 f'_y ——普通钢筋的抗拉、抗压强度设计值；

f_{yk} 、 f_{pyk} ——普通钢筋、预应力钢筋抗拉强度标准值；

k ——土的渗透系数；

K_{pi} ——第 i 层土被动土压力系数；

- k_s ——基坑开挖面以下土体弹簧系数；
 k_{Ti} ——第 i 支点的支点刚度系数（弹簧）系数；
 m ——地基土水平抗力系数的比例系数；
 N_d ——锚杆轴向受拉承载力设计值；
 w ——土的天然含水量；
 γ ——土的重力密度（重度）。

2.2.2 作用和作用效应

- e_{ajk} —— j 点水平荷载标准值；
 K_{ai} ——第 i 层土主动土压力系数；
 M ——弯矩设计值；
 M_c ——弯矩计算值；
 N ——轴向力设计值；
 T_{cj} ——第 j 层支点力计算值；
 T_d ——锚杆或内支撑支点力设计值；
 V ——剪力设计值；
 V_c ——剪力计算值。

2.2.3 几何参数

- A ——桩（墙）身截面面积；
 b ——墙身厚度；
 d ——桩身设计直径；
 h ——基坑开挖深度；
 h_d ——支护结构嵌固深度设计值；
 s_a ——排桩中心距。

2.2.4 计算系数

- γ_o ——建筑基坑侧壁重要性系数。

3 基本规定

3.1 设计原则

3.1.1 本规程所列各种支护结构,除有特殊要求外,均应按保证安全和正常使用一年的临时性结构进行设计。

3.1.2 基坑支护结构应按下列两种极限状态进行设计:

1 承载能力极限状态:对应于支护结构达到最大承载能力或土体失稳、过大变形导致支护结构失效或基坑周边环境破坏;

2 正常使用极限状态:对应于支护结构的变形或地下水作用已妨碍地下结构施工或影响基坑周边环境的正常使用功能。

3.1.3 根据基坑的开挖深度 h 、邻近建(构)筑物及管线与坑边的相对距离比 α 和工程地质、水文地质条件,按破坏后果的严重程度将基坑侧壁的安全等级分为三级,支护结构设计中应根据不同的安全等级选用重要性系数:一级取 $\gamma_0=1.10$;二级取 $\gamma_0=1.00$;三级取 $\gamma_0=0.90$ 。

表 3.1.3 基坑侧壁安全等级划分

开挖深度 h (m)	环境条件与工程地质、水文地质条件								
	$\alpha < 0.5$			$0.5 \leq \alpha \leq 1.0$			$\alpha > 1.0$		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
$h > 15$	一级			一级			一级		
$10 < h \leq 15$	一级			一级		二级	一级	二级	
$h \leq 10$	一级	二级		二级	三级		二级	三级	

注:1. h ——基坑开挖深度。

2. α ——相对距离比 $\alpha = \frac{x}{h_a}$ 。为管线、邻近建(构)筑物基础边缘(桩基础桩端)离坑口内壁的水平距离与基础底面距基坑底垂直距离的比值,见图 3.1.3。

3. 工程地质、水文地质条件分类:

I 复杂——稍密以下碎石土、砂土和填土,软塑~流塑粘性土,地下水位在

基底标高之上，且不易疏干；

Ⅱ 较复杂——中密碎石土、砂土和填土，可塑粘性土，地下水位在基底标高之上，但易疏干；

Ⅲ 简单——密实碎石土、砂土和填土，硬塑～坚硬粘性土，基坑深度范围内无地下水。

坑壁为多层土时可经过分析按不利情况考虑。

4. 如邻近建（构）筑物为价值不高的、待拆除的或临时性的，管线为非重要干线，一旦破坏没有危险且易于修复，则 α 值可提高一个范围值；对变形特别敏感的邻近建（构）筑物或重点保护的古建筑等有特殊要求的建（构）筑物、当基坑侧壁安全等级为二级或三级时，应提高一级安全等级；当既有基础（或桩基础桩端）埋深大于基坑深度时应根据基础距基坑底的相对距离、附加荷载、桩基础形式以及上部结构对变形的敏感程度等因素综合确定 α 值范围及安全等级。
5. 同一基坑周边条件不同可分别划分为不同的安全等级。

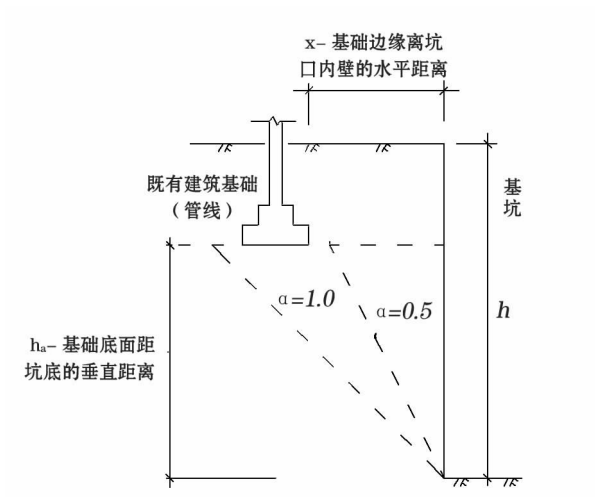


图 3.1.3 相邻建筑基础与基坑相对关系示意图

3.1.4 支护结构设计、施工应取得以下基本资料：

- 1 建筑场地及其周边，地表至基坑底面下一定深度范围内地

层结构、土（岩）的物理力学性质，地下水分布、含水层性质、渗透系数和施工期地下水位可能的变化等资料；

2 标有建筑红线、施工红线的总平面图及基础结构设计图；

3 建筑场地内及周边的地下管线、地下设施的位置、深度、结构形式、埋设时间及使用现状；

4 邻近已有建筑的位置、层数、高度、结构类型、完好程度、已建时间、基础类型、埋置深度、主要尺寸、基础距基坑侧壁的净距等；

5 基坑周围的地面排水情况，地面雨水、污水、上下水管道排入或漏入基坑的可能性及其管理控制体系资料；

6 施工期间基坑周边的地面堆载及车辆、设备的动、静载情况等；

3.1.5 支护结构设计应考虑其结构水平变形、地下水的变化对周边环境的水平及竖向变形的影响，并应符合下列规定：

1 对于安全等级为一级和对周边环境变形有限定要求的二级建筑基坑侧壁，应确定支护结构的水平变形限值。最大水平变形值应满足正常使用要求；

2 应按邻近建筑结构形式及其状况控制周边地面竖向变形；

3 当邻近有重要管线或支护结构作为永久性结构时，其水平变形和竖向变形应按满足其正常工作的要求控制；

4 当无明确要求时，最大水平变形限值：一级基坑为 $0.002h$ ，二级基坑为 $0.004h$ ，三级基坑为 $0.006h$ 。

3.1.6 当场地内有影响基坑施工的地下水时，应根据场地及周边区域的工程地质条件、水文地质条件、周边环境情况和支护结构与基础型式等因素，确定地下水控制方法。降水设计应保证不致因降水引起周边环境产生过量沉降；截水帷幕应控制不致因渗漏而引起水土流失。当场地周围有地表水径流、排泄或地下管涵渗漏时，应切断水源并对基坑采取截水、封堵、导流等保护措施

施。

3.1.7 基坑支护设计应按下列规定进行计算和验算：

1 基坑支护结构均应进行承载能力极限状态的计算，计算内容应包括：

- 1) 基坑侧壁土体稳定性计算；
- 2) 支护排桩、地下连续墙的受压、受弯、受剪承载力计算；
- 3) 当有锚杆或支撑时，进行截面承载力计算和稳定性验算。

2 对于安全等级为一级及对支护结构变形有特殊要求的二级建筑基坑侧壁，尚应对支护结构变形及周边地面变形进行验算。

3 地下水控制计算和验算应包括：

- 1) 根据支护结构设计要求进行地下水位控制计算；
- 2) 抗渗透稳定性验算；
- 3) 基坑底突涌稳定性验算。

3.1.8 基坑支护设计除应符合本规程第 3.1.7 条的规定外，尚应包括质量检测及施工监控的要求等内容。

3.1.9 支护设计应选择符合支护结构实际条件的计算工况，并在确认参数的合理性、计算结果的可靠性后，方可将计算结果用于设计。

3.1.10 基坑支护设计文件内容应符合本规程附录 A 的要求。

3.2 勘察要求

3.2.1 在建筑场地的初步勘察阶段，应搜集工程地质和水文地质资料，进行工程地质调查，在初勘基础上对岩土工程条件进行分析，预测基坑工程中可能产生的主要岩土工程问题。

3.2.2 拟建工程详细勘察成果应提供基坑工程设计、施工所需的场地、岩土地层和地下水等基础资料，对基坑工程、支护方案提出建议。当详勘资料不能满足基坑工程设计需要时，应为基坑设计补充专项勘察。

3.2.3 专项勘察应包括以下内容：

1 重点查明各层地下水的类型、水位（承压水头）、补给条件和动态变化及其渗透性；

2 调查基坑周围 1~2 倍基坑深度范围内相邻建筑物的地基基础类型、基础埋深及建成时间、沉降变形和损坏情况并分析其原因；

3 调查基坑周围 1~2 倍基坑深度范围内的地铁、道路、管线类型及其重要性，地下、地面贮水、输水等用水设施及其渗漏情况。当已有资料不能满足要求时，可用坑探或物探方法查明。

3.2.4 勘探的范围应按基坑的复杂程度及工程地质与水文地质条件确定。对于水平方向分布稳定的地层单元，勘探测试范围不应小于基坑周边范围。当地层空间分布不稳定、跨越工程地质单元或需查明专门问题时，勘探范围应根据支护设计需要扩大，查明不利岩土层的分布。

3.2.5 勘探点宜沿基坑边线布置。勘探点间距应按基坑的复杂程度及工程地质与水文地质条件确定，一般可取 15~30m。当地层水平方向变化较大，有相对不利的岩土层或软弱结构面时，应增加勘探点。

3.2.6 勘探点深度应按基坑的复杂程度及工程地质与水文地质条件确定，并应满足设计计算的要求。控制性勘探孔不宜少于基坑勘探点总数的 1/3，其深度不宜小于基坑深度的 2 倍。一般性勘探点应穿过支护结构底部的相对软弱地层。在基坑工程勘探深度内遇中等风化及微风化岩石时，可根据岩石类别及支护要求适当减少深度。

3.2.7 勘探方法宜采用钻探，必要时可辅以坑探和物探。对一般黏性土、粉土，应采取不扰动试样；对软土宜进行静力触探；对砂土和碎石土应进行标准贯入试验或圆锥动力触探试验；松散的人工堆积层应视其成份采取试样或进行轻便动力触探或标准贯

入试验，不得仅进行地层描述。

3.2.8 岩土不扰动试样的采取和原位测试的数量，应保证每一主要岩土层的代表性数据不少于 6 组；渗透系数宜通过现场试验确定，当设计需要且模拟工况适合时，可进行适量的室内渗透试验。对岩质基坑，当存在顺层软弱结构面时，应在室内或现场测定结构面的抗剪强度。

3.2.9 剪切试验可根据设计需要或工程经验选择静三轴压缩试验或直接剪切试验，宜采用固结不排水剪或固结快剪指标。必要时应做残余抗剪强度试验及侧压力系数试验。对特殊性岩土应作专门性试验。

3.2.10 场地水文地质勘察应达到以下要求：

1 查明地下水含水层和隔水层的层位、埋深和分布情况，查明各含水层（包括上层滞水、潜水、承压水）的补给条件和水力联系；

2 对于含水层，应分层提供渗透系数；

3 分析施工过程中水位变化对支护结构和基坑周边环境的影响，提出应采取的措施。

3.2.11 基坑工程的岩土工程勘察成果，除应符合一般要求外，尚应包括下列内容：

1 提供基坑工程设计所需的地层结构、岩土的物理力学性质指标以及含水层水文地质参数指标；

2 评价地下水对基坑工程的影响，提出地下水控制方法的建议；

3 对施工过程中形成的流砂、流土、管涌及整体失稳等现象的可能性进行评价并提出预防措施。对具有特殊性质的岩土，应分析其对基坑工程的影响，并提出对设计施工的相应措施的建议；

4 评价基坑工程与周边环境的相互影响并提出设计、施工应

注意的事项和必要的保护措施的建议；

5 提供平面图、地层剖面图及与支护设计有关的岩土试验成果图表。

3.3 支护结构选型

3.3.1 支护结构方案的选择应根据基坑周边环境限制、开挖深度、工程地质与水文地质条件、施工工艺及设备条件、周边相近条件基坑的经验、施工工期及施工季节等条件，选择排桩、地下连续墙、土钉墙、放坡及组合型式等支护结构型式，北京地区常用支护结构型式见表 3.3.1。

表 3.3.1 支护结构选型表

结构形式	适 用 条 件
排桩或地下连续墙	1. 适于基坑侧壁安全等级一、二、三级 2. 当地下水位高于基坑底面时，应采用降水、排桩加截水帷幕或地下连续墙
土钉墙	1. 基坑侧壁安全等级宜为三级 2. 单一土钉墙支护深度不得超过 10m 3. 当地下水位高于基坑底面时，应采取降水或截水措施
放 坡	1. 基坑侧壁安全等级宜为三级 2. 施工场地应满足放坡条件 3. 可独立或与上述其他结构结合使用 4. 当地下水位高于坡脚时，应采取降水措施

3.3.2 支护结构选型应考虑结构的空间效应和受力特点，采用有利支护结构材料受力特性的型式。

3.3.3 对于基坑上部采用放坡或土钉墙，下部采用排桩或地下连续墙的情况，放坡或土钉墙支护的高度 (h_1) 大于基坑总深度的 1/2 时，应考虑桩（墙）顶部以上土体与桩（墙）支护结构间的相互影响，并应严格控制桩（墙）顶部的水平位移。

3.4 水平荷载

3.4.1 支护结构设计时，所采用的荷载效应组合，应符合下列规定：

1 支护结构构件承载力计算时，按承载能力极限状态下的荷载效应基本组合；

2 支护结构整体稳定性计算时，按承载能力极限状态下荷载效应的基本组合，但其分项系数取 1；

3 支护结构水平位移计算时，按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合。

3.4.2 当支护结构位于地下水位以下时，作用在支护结构上的荷载除土压力外，还应考虑地下水压力的作用。对砂土或碎石土应按水土分算方法计算，对黏性土或粉土可按水土合算方法计算。

3.4.3 当基坑周边有邻近建筑物时，在计算土压力时应考虑建筑物荷载的影响。

3.4.4 支护结构上的水平荷载应按本地可靠经验确定，当无可靠经验时土压力的计算宜采用朗肯土压力理论。按朗肯土压力计算时，作用在支护结构上任意点的水平荷载标准值 e_{ak} 可按下列公式计算（图 3.4.4）：

1 对于黏性土、粉土和地下水位以上的砂土、碎石土：

$$e_{ak} = (\sigma_k + \sum \gamma_i h_i) K_a - 2c_k \sqrt{K_a} \quad (3.4.4-1)$$

2 对于地下水位以下的砂土、碎石土：

$$e_{ak} = (\sigma_k + \sum \gamma_i h_i) K_a - 2c_k \sqrt{K_a} + (z - h_{wa}) (1 - K_a) \gamma_w \quad (3.4.4-2)$$

式中 K_a ——计算点土层的主动土压力系数，按本规程第 3.4.5 条规定计算；

σ_k ——支护结构外侧附加荷载产生的作用于深度 z 处的竖向附加应力标准值，按本规程第 3.4.6 条规定计算；

h_i ——第 i 层土的厚度；

γ_i ——第 i 层土的重度；

c_k ——采用三轴固结不排水试验或直剪固结快剪试验方法确定的计算点土层的黏聚力标准值；

z ——计算点深度；

h_{wa} ——基坑外侧水位深度；

γ_w ——水的重度。

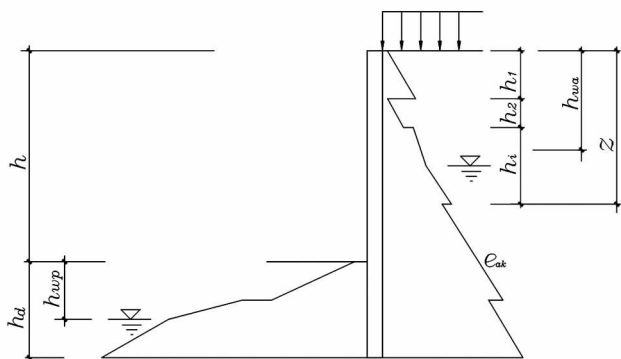


图 3.4.4 水平荷载标准值计算简图

3.4.5 计算点土层的主动土压力系数 K_a 应按下式计算：

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right) \quad (3.4.5)$$

式中 K_a ——计算点土层的主动土压力系数；

φ_k ——采用三轴固结不排水试验或直剪固结快剪试验方法确定的计算点土层的内摩擦角标准值。

3.4.6 支护结构外侧地面荷载、建筑物荷载等产生的竖向附加应力标准值 σ_k 可按下列规定计算：

1 当支护结构外侧地面考虑施工材料堆放、行车等荷载时，

宜按满布的均布荷载计算，计算深度处的竖向附加应力标准值 σ_k 可按下式计算（图 3.4.6-1）：

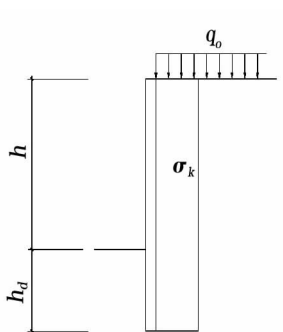


图 3.4.6-1 地面无限均布荷载作用下竖向附加应力图

$$\sigma_k = q_0 \quad (3.4.6-1)$$

式中 q_0 ——均布荷载。

2 当距支护结构外侧地面下一定深度 d_h 处作用有宽度为 b 的条形基础荷载时，基坑外侧深度 CD 范围内计算深度处的竖向附加应力标准值 σ_k 可按下式计算（图 3.4.6-2）：

$$\sigma_k = (p - \gamma d_h) \frac{b}{b + 2b_1} \quad (3.4.6-2)$$

式中 p ——基础下基底压力标准值；

d_h ——基础埋深；

γ ——基底以上土的平均重度。

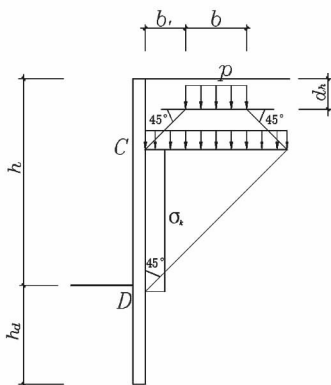


图 3.4.6-2 条形（矩形）均布荷载作用下竖向附加应力图

3 当距支护结构外侧地面下一定深度 d_h 处作用有宽度为 b 、长度为 l 矩形基础荷载时，基坑外侧深度 CD 范围内计算深度处的竖向附加应力标准值 σ_k 可按式计算（图 3.4.6-2）：

$$\sigma_k = (p - \gamma d_h) \frac{bl}{(b + 2b_1)(l + 2b_1)} \quad (3.4.6-3)$$

4 当支护结构外侧地面荷载可按局部条形、矩形荷载考虑时，可分别按公式（3.4.6-2）或公式（3.4.6-3）计算附加竖向应力标准值 σ_k ，并取 $d_h = 0$ （图 3.4.6-2）。

3.4.7 作用在支护结构上的水平荷载分布应按下列规定计算：

1 应按实际土层划分，分层计算层顶和层底水平荷载标准值；

2 当计算的水平荷载标准值 e_{ak} 小于零时，应取 $e_{ak} = 0$ 。

3.4.8 当临近基坑的建筑物基础低于基坑底面时，且外墙距支护结构净距 b 小于 $h \times \tan(45^\circ - \varphi_k/2)$ 时，可按下列方法计算作用在支护结构上任意点的有限宽度土体水平荷载标准值 e_{ak} （图 3.4.8）：

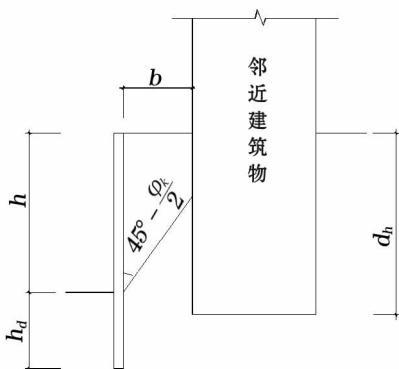


图 3.4.8 有限范围土体的土压力计算简图

1 当计算点深度 $z \leq b \times \operatorname{ctg} (45^\circ - \varphi_k/2)$, 或 $z \geq b \times \operatorname{ctg} (45^\circ - \varphi_k/2) + d_h$ 时, 按本规程第 3.4.4 条的规定计算。

2 当计算点深度 $b \times \operatorname{ctg} (45^\circ - \varphi_k/2) < z < b \times \operatorname{ctg} (45^\circ - \varphi_k/2) + d_h$ 时:

1) 对于黏性土、粉土和地下水位以上的砂土、碎石土:

$$e_{ak} = (2 - n_b) n_b \sum \gamma_i h_i K_a - 2c_k n_b \sqrt{K_a} \quad (3.4.8-1)$$

2) 对于地下水位以下的砂土、碎石土:

$$e_{ak} = (2 - n_b) n_b \sum \gamma_i h_i K_a - 2c_k n_b \sqrt{K_a} + (z - h_{wa}) (1 - K_a) \gamma_w \quad (3.4.8-2)$$

式中 h ——基坑深度;

z ——计算点深度;

d_h ——临近建筑物基础埋置深度;

n_b ——系数, $n_b = b / h \operatorname{tg} (45^\circ - \varphi_k/2)$ 。

3.4.9 对于基坑上部采用放坡或土钉墙, 下部采用排桩或地下连续墙的情况, 支护结构上的水平荷载宜按下列规定计算:

式中 K_p ——计算点土层的被动土压力系数，应按本规程第 3.5.2 条规定计算。

3.5.2 计算点土层的被动土压力系数 K_p 应按下式计算：

$$K_p = tg^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_k}{2} \right) \quad (3.5.2)$$

式中 K_p ——计算点土层的被动土压力系数；

φ_k ——采用三轴固结不排水试验或直剪固结快剪试验方法确定的计算点土层的内摩擦角标准值。

3.6 质量检测

3.6.1 支护结构施工及使用的原材料和半成品应遵照有关施工验收标准进行检验。

3.6.2 对基坑侧壁安全等级为一级或对构件质量有怀疑的安全等级为二级或三级的支护结构应进行质量检测。

3.6.3 检测方法及检测要求应符合相关标准规范的相关规定。

3.6.4 检测工作结束后应提交包括下列内容的质量检测报告：

- 1 检测点分布图；
- 2 检测方法与仪器设备型号；
- 3 资料整理及分析方法；
- 4 结论及处理意见。

3.7 基坑开挖

3.7.1 应根据支护结构设计要求和降排水要求，确定基坑开挖方案。

3.7.2 基坑开挖前，应根据工程的结构形式、基础设计深度、地质条件、气候条件、周围环境、施工方法、施工工期和地面附加荷载等有关资料，进行基坑开挖方案设计。

3.7.3 基坑开挖方案内容主要应包括开挖方法、开挖时间、土

方开挖顺序、坡道位置设定、运输车辆行走路线、开挖监测方案，以及对支护结构及周边环境需采取的保护措施等。

3.7.4 对基坑边界周围地面、槽底应采取有效的截排水措施，防止漏水、渗水流入坑内。对渗漏水应及时排出，避免在基坑内长期积聚。

3.7.5 基坑周边严禁超堆荷载。

3.7.6 土方开挖应符合分层、分段、适时的原则，严禁超挖。

3.7.7 土方开挖过程中，特别是在冬季、夏季施工时，应根据天气变化，及时调整开挖方案，采取必要的安全、环境保护措施。

3.7.8 发生异常情况时，应立即停止挖土，并应立即查清原因，待采取相应措施后，方可继续开挖施工。

3.7.9 基坑开挖时，应对平面控制桩、水准点、基坑平面位置、水平标高、边坡坡度等进行经常性复测检查。

3.7.10 开挖过程中，应采取有效措施对支护结构、工程桩和槽底进行防护，禁止扰动基底原状土。当采用机械开挖土方时，应在基坑底预留 150～300mm 厚的土层，由人工挖掘修整，以保持坑底土体原状结构。

3.7.11 基坑开挖完成后，应及时清底验槽，减少地基土暴露时间，防止暴晒或雨水浸泡而破坏地基土的原状结构。

3.7.12 基坑验槽后，应及时浇注垫层封闭基坑；垫层应做到基底满封闭，并应及时进行基础工程施工。

3.7.13 基础结构完成后，应及时对施工肥槽进行回填，回填时应采用分层夯实，并应满足设计密实度的要求。回填土不得用腐植土、冻土。

3.8 开挖监控

3.8.1 基坑开挖应制定系统的开挖监控方案。监控方案应包括监控目的、监测项目、监控报警值与控制值、监测方法及精度要求、监测点的布置、监测周期、工序管理和记录制度以及信息反馈系统等。

3.8.2 监测点的布置应满足监控要求，基坑边缘以外 1~2 倍开挖深度范围内的需要保护物体均应作为监控对象。

3.8.3 基坑工程施工时应对外周边环境进行现场巡查。巡查对象应包括地表与周边建筑物、围墙、道路等裂缝及异常水体渗漏等内容。

3.8.4 监测项目可按表 3.8.4 选择。

表 3.8.4 基坑监测项目表

基坑侧壁安全等级监测项目	一级	二级	三级
支护结构水平位移	应测	应测	应测
周边环境变形	应测	应测	宜测
地下水位	应测	应测	宜测
锚杆拉力	应测	宜测	可测
桩、墙内力	宜测	可测	可测
支护结构沿深度方向水平位移观测	宜测	可测	可测
支护结构界面上侧向压力	可测	可测	可测

3.8.5 位移观测基准点数量不应少于两点，且应设在影响范围以外。

3.8.6 监测项目在基坑开挖前应测得初始值，且不应少于两次。

3.8.7 基坑监测项目的监控报警值应根据监测对象的有关规范要求、设计要求和工程经验及既有监测对象现状拟定，并结合现场监测成果的分析综合判定。

3.8.8 各项监测的时间间隔应根据施工进度确定。当监测数据达到报警值时应加密观测次数，同时应及时分析原因，并采取有效可行的预防措施。当有事故征兆时，应立即采取应急措施。

3.8.9 基坑开挖监测过程中，应根据设计要求提交阶段性监测结果报告，工程结束时应提交完整的监测报告。报告内容应包括：

- 1 工程概况；
- 2 监测项目和各测点的平面和立面布置图；
- 3 采用仪器设备和监测方法；
- 4 监测数据处理方法和监测结果过程曲线；
- 5 监测结果分析。

4 放 坡

4.1 一般规定

4.1.1 当场地地下水位较低,或采取人工降水措施,且具有放坡开挖条件,放坡开挖不会对周边环境产生不利影响时,可采用局部或全深度放坡。

4.1.2 应合理确定放坡坡度,以保证坡壁的稳定性和减少土方开挖量。

4.2 设 计

4.2.1 当基坑深度范围内侧壁为密实的碎石土、黏性土、风化岩石或其它良好土质、基坑较浅且地下水影响轻微时,可采用垂直边坡。

4.2.2 对深度大于 5m 的土质边坡,宜设置分级过渡平台,各级过渡平台的宽度宜为 1.0~1.5m。岩石边坡过渡平台的宽度不应小于 0.5m。

4.2.3 当深度不具备全深度或分级放坡开挖时,上段可自然放坡并对坡面进行保护处理,下段可采用其它支护形式。

4.3 稳定性验算

4.3.1 放坡设计应进行边坡整体稳定性验算,必要时进行有效加固及支护处理。

4.3.2 对于土质边坡的整体稳定性验算,可按平面问题考虑,采用瑞典条分法计算。对于多级边坡,应验算不同工况的整体稳定性。

4.3.3 基坑整体稳定性验算,其危险滑裂面均应满足下式要求:

$$M_s/M_R \geq 1.2 \quad (4.3.3)$$

式中: M_R ——作用于危险滑裂面上的总滑动力矩标准值,

$\text{kN} \cdot \text{m}$;

M_s ——作用于危险滑裂面上的抗滑力矩标准值, $\text{kN} \cdot \text{m}$

4.4 施 工

4.4.1 在基坑周围影响边坡稳定的范围内, 应对地面采取防水、截水等保护措施, 防止雨水等地面水浸入, 影响边坡土体稳定。

4.4.2 应对坡面进行保护处理。对于土质边坡或易于软化的岩质边坡, 在开挖时应采取相应的排水和坡脚、坡面与坡顶保护措施。基底设置排水沟时, 应离开坡脚至少 300mm (依土层情况而定), 并做防水保护, 以免坡脚处出现坍塌。

4.4.3 在基坑周边堆置土方、建筑材料、或沿基坑边缘移动运输工具和其它机械, 一般应距基坑上部边缘不少于 2.0m, 弃土堆置高度不应超过 1.5m, 并且不能超过设计荷载值。对于侧壁土含水量丰富地段, 不宜在基坑边堆置弃土或其它附加荷载。

4.5 质量检验

土方开挖的质量检验应符合表 4.5 要求

表 4.5 质 量 检 验

项 目	允许偏差或允许值（mm）			检验方法
	柱基、基槽	基 坑		
		人工	机械	
标 高	—50	±30	±50	水准仪
长度、宽度（由设计中心 线向两边量测）	+200 —50	+300 —100	+500 —150	经纬仪，钢尺
边 坡	设计要求			观察或用坡度尺检查
表面平整度	20	20	20	用 2m 靠尺和楔形塞尺检 查

5 排桩、地下连续墙

5.1 嵌固深度计算

5.1.1 悬臂式排桩、地下连续墙等支护结构的嵌固深度 h_d 应符合下列规定：

$$h_p \sum E_{pj} - 1.2\gamma_0 h_a \sum E_{ai} \geq 0 \quad (5.1.1)$$

式中 $\sum E_{pj}$ ——排桩、地下连续墙底以上根据本规程第 3.5.1 条确定的基坑内侧各土层被动土压力标准值 e_{pj} 计算的合力；

h_p ——合力 $\sum E_{pj}$ 作用点至排桩、地下连续墙底的距离；

$\sum E_{ai}$ ——排桩、地下连续墙底以上根据本规程第 3.4.4 条确定的基坑外侧各土层水平荷载标准值 e_{ai} 计算的合力；

h_a ——合力 $\sum E_{ai}$ 作用点至桩、墙底的距离。

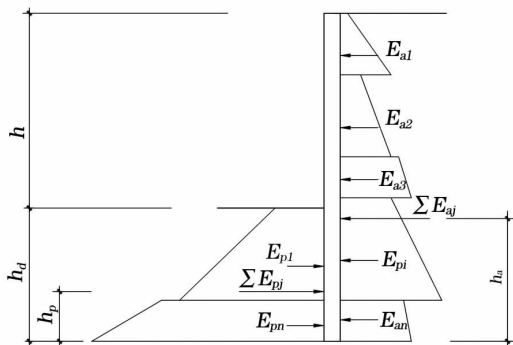


图 5.1.1 悬臂式支护结构嵌固深度计算

5.1.2 单层支点排桩、地下连续墙等支护结构的嵌固深度 h_d 应符合下列规定：

$$h_p \sum E_{pj} + T_{k1}(h_{T1} + h_d) - 1.2\gamma_0 h_a \sum E_{ai} \geq 0 \quad (5.1.2-1)$$

$$T_{k1} = \frac{h_{a1} \sum E_{ac} - h_{p1} \sum E_{pc}}{h_{T1} + h_{c1}} \quad (5.1.2-2)$$

式中 T_{k1} ——水平支点力；

h_{T1} ——支点至基坑底面的距离；

h_d ——嵌固深度；

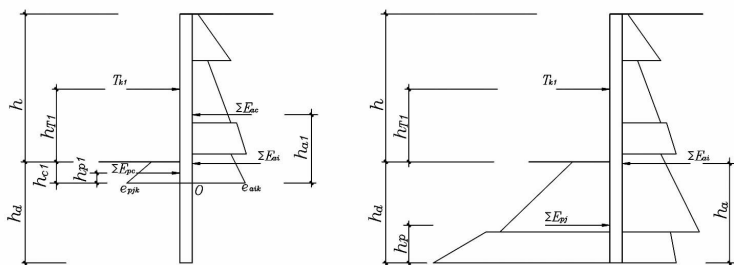
h_{a1} ——合力 $\sum E_{ac}$ 作用点至设定弯矩零点 O 的距离；

$\sum E_{ac}$ ——设定弯矩零点位置以上基坑外侧各土层水平荷载标准值的合力；

h_{p1} ——合力 $\sum E_{pc}$ 作用点至设定弯矩零点 O 的距离；

$\sum E_{pc}$ ——设定弯矩零点位置以上基坑内侧各土层水平抗力标准值的合力；

h_{c1} ——基坑底面至设定弯矩零点 O 的距离。



(a) 嵌固深度计算

(b) 支点力计算

图 5.1.2 单层支点支护结构嵌固深度计算

基坑底面以下支护结构设定弯矩零点 O 处至基坑底面的距离 h_{c1} 可按式确定：

$$e_{aik} = e_{pj k} \quad (5.1.2-3)$$

式中 e_{aik} ——水平荷载标准值；

$e_{pj k}$ ——水平抗力标准值。

5.1.3 多层支点的排桩、地下连续墙等支护结构的嵌固深度 h_d 宜按圆弧滑动简单条分法确定，并应符合现行行业标准 JGJ120《建筑基坑支护技术规程》的有关规定。

5.1.4 排桩、地下连续墙等支护结构的嵌固深度 h_d 除应满足本规程第 5.1.1、5.1.2 和 5.1.3 条的规定外，还应同时满足基底抗隆起的要求，抗隆起验算可按下列公式计算（图 5.1.4）：

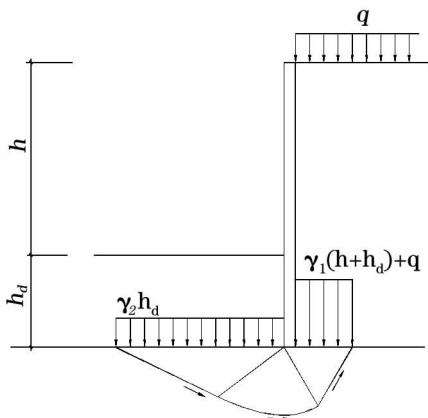


图 5.1.4 基坑底土体抗隆起稳定性验算简图

$$\frac{\gamma_2 h_d N_q + C_k N_c}{\gamma_1 (h + h_d) + q} \geq 1.6 \quad (5.1.4-1)$$

$$N_q = e^{\pi tg \varphi_k} tg^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_k}{2} \right) \quad (5.1.4-2)$$

$$N_c = (N_q - 1) / tg \varphi_k \quad (5.1.4-3)$$

式中 γ_1 ——基坑外地面至桩墙底各土层天然重度的加权平均值 (kN/m^3)；
 γ_2 ——基坑内开挖面至桩墙底各土层天然重度的加权平均值 (kN/m^3)；
 q ——基坑外地面荷载 (kPa)；

N_c 、 N_q ——地基承载力系数。

c_k ——桩墙底以下土层采用三轴固结不排水试验或直剪固结快剪试验方法确定的黏聚力标准值；

φ_k ——桩墙底以下土层采用三轴固结不排水试验或直剪固结快剪试验方法确定的内摩擦角标准值。

5.2 结构内力和位移计算

5.2.1 当基坑的深度、周边环境、地质条件或地面荷载不同时，应按实际周边条件对计算剖面进行划分并分别进行计算。对每一个计算剖面，应取不利条件下的计算参数。

5.2.2 基坑分层开挖时，应对实际开挖过程的各工况分别进行结构计算，并应按各工况结构计算的最大值进行支护结构设计。当支护结构的锚杆或临时支撑需要在地下结构的施工过程中拆除时，地下结构应能形成可靠的替换支撑，并对锚杆或临时支撑拆除及地下结构形成支撑作用后的各工况分别进行结构计算。

5.2.3 排桩或地下连续墙支护结构，应根据基坑深度和规模、基坑周边环境条件和地质条件、基坑侧壁安全等级等因素，按下列要求选择结构计算方法：

1 宜采用平面受力条件的杆系有限元弹性支点法；

2 符合空间受力条件时，可用符合实际边界条件的空间结构分析方法；

3 对安全等级为三级的基坑侧壁，悬臂式及单层支点结构计算的支点力 T_{k1} 、截面弯矩 M_k 、剪力 V_k 也可按本规程第 5.1.1 条和第 5.1.2 条确定的静力平衡条件计算（图 5.1.1、图 5.1.2）。

5.2.4 当采用平面杆系有限元弹性支点法进行结构计算时，结构的支点的边界条件、锚杆刚度、支撑刚度、支护结构嵌固段土的水平抗力计算宽度和水平抗力系数应按现行行业标准 JGJ120

《建筑基坑支护技术规程》的有关规定确定。

5.3 截面承载力计算

5.3.1 确定排桩或地下连续墙的截面时，截面弯距设计值 M 、截面剪力设计值 V 应按下列公式计算：

$$M = 1.25 \gamma_0 \eta M_k \quad (5.3.1-1)$$

$$V = 1.25 \gamma_0 V_k \quad (5.3.1-2)$$

式中 γ_0 ——结构构件重要性系数；

η ——弯矩折减系数，当采用截水帷幕或悬臂式桩墙支护时， η 取 0.9，其它情况 η 取 0.8；

M_k ——截面弯距标准值，宜按第 5.2.3 条规定计算；

V_k ——截面剪力标准值，宜按第 5.2.3 条规定计算。

5.3.2 混凝土结构的排桩和地下连续墙的截面承载力应按下列规定计算：

1 沿周边均匀配置纵向钢筋的圆形截面排桩和矩形截面地下连续墙，其正截面受弯承载力和斜截面承载力计算应符合现行国家标准 GB50010《混凝土结构设计规范》的有关规定，并应符合有关构造要求；

2 沿周边不均匀配置纵向钢筋的圆形截面排桩，其受弯承载力可按现行行业标准 JGJ120《建筑基坑支护技术规范》规定计算；

3 其它材料、形状的截面承载力计算按国家现行规范的有关规定执行。

5.4 锚杆计算

5.4.1 确定锚杆数量和长度时，锚杆轴向拉力设计值 N 应按下列公式计算：

$$N = 1.25 \gamma_0 T_k / \cos \theta \quad (5.4.1)$$

式中 N ——锚杆轴向拉力设计值；

T_k ——锚杆水平拉力标准值，宜按本规程第 5.2.3 条规定计算；

θ ——锚杆倾角。

5.4.2 锚杆抗拔力应符合下式规定：

$$N \leq N_d \quad (5.4.2)$$

式中 N_d ——锚杆轴向受拉承载力设计值，应按本规程第 5.4.3 条规定确定。

5.4.3 锚杆轴向受拉承载力设计值应按下列规定确定：

1 安全等级为一级及缺乏地区经验的二级基坑侧壁，应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的有关规定进行锚杆的基本试验，锚杆轴向受拉承载力设计值可取基本试验确定的极限承载力除以受拉抗力分项系数 γ_s 。

2 基坑侧壁安全等级为二级且有邻近工程经验时，可按下式计算锚杆轴向受拉承载力设计值，并应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的有关规定进行锚杆验收试验。

$$N_d = \frac{\pi}{\gamma_s} \cdot d \sum q_{sik} l_i \quad (5.4.3)$$

式中 N_d ——锚杆轴向受拉承载力设计值；

d ——锚杆锚固体直径；

l_i ——第 i 层土中直孔部分锚固段长度；

q_{sik} ——土体与锚固体的极限摩阻力标准值，应根据当地经验取值；当无经验时可按表 5.4.3 取值；

γ_s ——锚杆轴向受拉抗力分项系数，可取 1.3。

3 对于黏土层中的锚杆应进行蠕变试验。锚杆蠕变试验可按现行行业标准 JGJ120《建筑基坑支护技术规程》的有关规定进行。

4 基坑侧壁安全等级为三级时，可按公式 (5.4.3) 确定锚

杆轴向受拉承载力设计值。

表 5.4.3 土体与锚固体极限摩阻力标准值

土的名称	土的状态	q_{sik} (kPa)
填 土		16~20
淤 泥		10~16
淤泥质土		16~20
黏性土	$I_L > 1$	18~30
	$0.75 < I_L \leq 1$	30~40
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	40~53
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	53~65
	$0.0 < I_L \leq 0.25$	65~73
	$I_L \leq 0$	73~80
粉 土	$e > 0.90$	22~44
	$0.75 < e \leq 0.90$	44~64
	$e \leq 0.75$	64~100
粉砂、细砂	稍 密	22~42
	中 密	42~63
	密 实	63~85
中 砂	稍 密	54~74
	中 密	74~90
	密 实	90~120
粗 砂	稍 密	90~130
	中 密	130~170
	密 实	170~220
砾 砂	中密、密实	190~260

注：表中 q_{sik} 系采用直孔一次常压灌浆工艺计算值，当采用二次灌浆、扩孔工艺时可根据试验确定。

5.4.4 确定锚杆杆体断面时，锚杆杆体的截面面积应符合下式规定：

1 普通钢筋截面面积：

$$A_s \geq \frac{N}{f_y} \quad (5.4.4-1)$$

2 预应力钢筋截面面积:

$$A_p \geq \frac{N}{f_{py}} \quad (5.4.4-2)$$

式中 A_s 、 A_p ——锚杆杆体的普通钢筋、预应力钢筋截面面积；
 f_y 、 f_{py} ——普通钢筋、预应力钢筋抗拉强度设计值。

5.4.5 锚杆自由段长度 l_f 应按下式计算（图 5.4.5）：

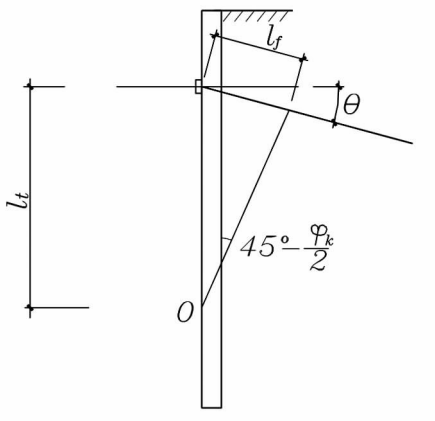


图 5.4.5 锚杆自由段长度计算简图

$$l_f = l_t \cdot \sin \left(45^\circ - \frac{1}{2} \varphi_k \right) / \sin \left(45^\circ + \frac{1}{2} \varphi_k + \theta \right) \quad (5.4.5)$$

式中 l_t ——锚杆锚头中点至基坑底面以下基坑外侧荷载标准值与基坑内侧抗力标准值相等处（图 5.4.5 中的 O 点）的距离；

φ_k ——土体各土层厚度加权内摩擦角标准值；

θ ——锚杆倾角。

5.4.6 锚杆锁定值应根据支护结构变形要求及锚固段地层条件确定，宜取为锚杆轴向受拉承载力设计值的 0.50~0.65 倍。

5.5 构造要求

5.5.1 排桩间距应根据排桩受力及桩间土稳定条件确定，排桩间距宜取 $1.5 \sim 2.5d$ (d 为桩径)，最大净间距不宜大于 $600 \sim 900\text{mm}$ ；桩径大时取大值，桩径小时取小值；黏性土取大值，砂土取小值。

5.5.2 排桩的混凝土强度等级不宜低于 C20。

5.5.3 排桩的纵向受力钢筋应采用 HRB335 或 HRB400 级钢筋，数量不宜少于 8 根。箍筋宜采用 HPB235 级钢筋，并宜采用螺旋筋，纵向受力钢筋的保护层厚度不应小于 35mm ；水下灌注混凝土时，不宜小于 50mm 。其它构造要求应符合现行国家标准 GB50010《混凝土结构设计规范》的有关规定。

5.5.4 排桩顶部应设钢筋混凝土冠梁与桩身连接，冠梁宽度不宜小于桩径，冠梁高度不宜小于桩径的 0.6 倍，但不得小于 400mm 。

5.5.5 桩间土的防护应符合下列规定：

1 基坑开挖后，应及时对排桩的桩间土采取防护措施，可采用内置钢丝网或钢筋网的喷射混凝土护面等处理方法。基坑底面以上无含水层且土质较好时，对暴露时间较短的基坑，可不作桩间土护面；

2 当存在地下水且不设截水帷幕时，应在含水层部位设置泄水孔，泄水孔的做法参见本规程第 6.3.8 条。

5.5.6 悬臂式地下连续墙厚度不宜小于 600mm ，地下连续墙—锚杆或地下连续墙—内支撑结构的墙厚不宜小于 400mm 。地下连续墙槽段长度应根据槽壁稳定性及钢筋笼起吊能力划分，宜为 $4 \sim 8\text{m}$ 。

5.5.7 地下连续墙混凝土强度等级不宜低于 C25，地下连续墙作为地下室外墙时还应按有关规范的规定，并满足墙体的抗渗设计要求。

5.5.8 地下连续墙的配筋应符合下列要求：

- 1 地下连续墙的纵向受力钢筋应采用 HRB335 或 HRB400 级钢筋，钢筋直径不宜小于 20mm；
- 2 箍筋宜采用 HPB235 级钢筋，直径不宜小于 16mm，间距宜为 200～300mm；
- 3 纵向受力钢筋的保护层厚度不宜小于 50mm。

5.5.9 地下连续墙墙段之间的连接接头应符合下列规定：

- 1 对地下连续墙的防渗或墙段间连接刚度有特殊要求时，应采用刚性接头型式；
- 2 无防渗、截水要求或对墙段间连接刚度要求不高时，可采用柔性或刚性接头型式。

5.5.10 地下连续墙顶部应设置钢筋混凝土冠梁，冠梁宽度不宜小于地下连续墙厚度，高度不宜小于墙厚的 0.6 倍。

5.5.11 当地下连续墙用作地下室外墙时，与地下室结构的连接可采用在地下连续墙内预埋钢筋、接驳器、钢板等，预埋钢筋宜采用 HPB235 级钢筋，连接钢筋直径大于 20mm 时，宜采用接驳器连接。

5.5.12 冠梁应符合下列规定：

- 1 冠梁不作受力构件时，排桩或地下连续墙受力主筋锚入冠梁的钢筋长度可取冠梁高度与 30 倍钢筋直径的较小值。冠梁作为受力构件时，排桩或地下连续墙受力主筋锚入冠梁的钢筋长度应满足现行国家标准 GB50010《混凝土结构设计规范》中钢筋锚固长度的有关规定；
- 2 冠梁不作受力构件时可按构造配筋；支护结构计算中冠梁作为受力构件时，应按实际受力情况配筋，并应符合现行国家标准 GB50010《混凝土结构设计规范》的有关规定；
- 3 冠梁的混凝土强度等级不宜低于 C20。

5.5.13 锚杆尺寸和构造应符合下列要求：

1 土层锚杆自由段长度应满足本规程第 5.4.5 条的要求，且不宜小于 5m；

2 土层锚杆锚固段长度应满足本规程第 5.4.3 条的规定，且不宜小于 4m；

3 锚杆杆体外露长度应满足锚杆底座、腰梁尺寸及张拉作业要求；

4 锚杆直径宜为 110~150mm；

5 锚杆杆体安装时，应设置定位支架，定位支架间距宜为 1.5~2.0m。

5.5.14 锚杆布置应符合下列规定：

1 锚杆上下排垂直间距不宜小于 2.0m，水平间距不宜小于 1.5m；

2 锚杆锚固体上覆土层厚度不宜小于 4.0m；

3 锚杆倾角宜为 15° ~ 25° ，且不应大于 45° 。

5.5.15 锚杆注浆体宜采用水泥浆或水泥砂浆，其强度等级不宜低于 M10。

5.5.16 排桩冠梁以上可设置砖砌挡土墙，并应满足以下要求：

1 当挡土高度小于 2.5m 时，可按以下构造要求配置：

1) 挡土墙厚度可取 240mm 或 370mm；

2) 挡土墙需设钢筋混凝土构造柱，构造柱间距不大于 3.2m，截面高度同墙厚，截面宽度 200~300mm。配筋 4~6 根，锚入冠梁内不小于 500mm；

3) 挡土墙顶做压顶梁；

4) 挡土墙体与构造柱咬合砌筑。

2 当挡土高度为 2.5~4.0m 时，挡土墙厚度可取为 370mm，钢筋混凝土构造柱尺寸和配筋应按计算确定。宜在墙高中部加设圈梁，圈梁截面尺寸可取为 370mm×240mm。

5.6 施 工

5.6.1 排桩的施工应符合下列要求：

1 排桩桩位施工偏差不宜大于 50mm，桩的垂直度偏差不宜大于 1.0%，并且不应影响地下结构的施工；

2 当排桩不承受垂直荷载时，钻孔灌注桩桩底沉渣不宜超过 200mm。当兼作承重结构时，桩底沉渣按现行行业标准 JGJ94《建筑桩基技术规范》的有关要求执行；

3 采用灌注桩工艺的排桩宜采取隔桩施工的成桩顺序，并应在灌注混凝土 24h 后进行邻桩成孔施工；

4 沿周边非均匀配置纵向钢筋的排桩，钢筋笼在绑扎、吊装和安放时，钢筋笼纵向钢筋的平面角度误差不应大于 10° ；

5 排桩施工的其它要求应按现行行业标准 JGJ94《建筑桩基技术规范》执行；

6 对排桩施工有特殊要求时，应按其特殊要求执行。

5.6.2 地下连续墙的施工应符合下列要求：

1 施工前宜进行地下连续墙成槽试验，并根据试验结果确定施工工艺和技术参数；

2 槽段的长度、厚度、深度、倾斜度偏差应符合下列要求：

1) 槽段长度（沿轴线方面）允许偏差 $\pm 50\text{mm}$ ；

2) 槽段厚度允许偏差 $\pm 10\text{mm}$ ；

3) 槽段倾斜度 $\leq 1/150$ 。

3 地下连续墙施工的其它要求应符合现行国家标准 GB50202《建筑地基基础工程施工质量验收规范》的有关规定。

4 对地下连续墙施工有特殊要求时，应按其特殊要求执行。

5.6.3 当无特殊要求时，冠梁的施工应符合现行国家标准 GB50204《混凝土结构工程施工质量验收规范》的有关规定。

5.6.4 锚杆的施工应符合下列要求：

1 锚杆孔位垂直方向偏差不宜大于 100mm，偏斜角度不应

大于 2° ；锚杆孔深和杆体长度不应小于设计长度；

2 锚杆注浆时，一次注浆管距孔底距离宜为 100~200mm；

3 一次注浆采用水泥浆时，水泥浆的水灰比宜为 0.45~0.5；采用水泥砂浆时，宜选用灰砂比 1:1~1:2、水灰比 0.38~0.45 的配比；二次高压注浆宜使用水灰比 0.45~0.55 的水泥浆。

4 二次高压注浆压力宜控制在 2.5~5.0MPa 之间，注浆时间可根据注浆工艺试验确定或一次注浆锚固体强度达到 5MPa 后进行。

5 锚杆张拉与锁定应符合下列要求：

1) 锚固段强度应大于 15MPa 并达到设计强度的 75% 后方可进行张拉；

2) 锚杆张拉顺序应考虑对邻近锚杆的影响；

3) 锚杆宜张拉至设计荷载的 0.9~1.0 倍后，再按设计要求锁定；

4) 锚杆张拉时的锚杆杆体应力不应超过锚杆杆体强度标准值的 0.75 倍。

5.6.5 腰梁的施工应符合下列要求：

1 型钢腰梁的焊接应按现行国家标准 GB50205《钢结构工程施工质量验收规范》的有关规定执行；

2 腰梁垂直方向误差应小于 50mm，且应保证锚杆杆体不与腰梁相接触。

5.7 质量检测

5.7.1 排桩的检测应符合下列要求：

1 宜采用低应变动测法检测桩身完整性，检测数量不宜少于总桩数的 10%，且不得少于 5 根；

2 当根据低应变动测法判定的桩身缺陷可能影响桩的水平承

载力时，应采用钻芯法补充检测，检测数量不宜少于总桩数的 2%，且不得少于 3 根。

5.7.2 地下连续墙宜采用声波透射法检测墙身结构质量，检测槽段数应不少于总槽段数的 20%，且不应少于 3 个槽段。

5.7.3 锚杆的检测应符合下列要求：

- 1 锚杆抗拔力检测数量应取锚杆总数的 5%，且不少于 3 根；
- 2 锚杆抗拔力检测应随机抽样，抽样应能代表不同地层土性和不同抗拔力要求；对施工质量有疑义的锚杆应进行抽检；
- 3 应在锚杆浆体强度达到 15MPa 或达到设计强度的 75% 以上时，方可进行锚杆抗拔力试验；
- 4 锚杆抗拔力试验的最大试验荷载应取锚杆轴向受拉承载力设计值 N_d 。

6 土钉墙

6.1 一般规定

6.1.1 土钉墙适用于地下水位低于基坑底面或可经人工降水措施降低地下水位，影响范围内无重要建筑或地下管线，地下空间允许施作土钉的基坑。

6.1.2 土钉墙适用于填土、黏性土、粉土、砂土、卵砾石等土层。

6.1.3 当场地土质不均匀、开挖深度较深、周边建（构）筑物变形控制要求较严时，宜采用土钉墙与预应力锚杆、护坡桩、超前微型桩等联合支护。

6.1.4 土钉墙设计施工应考虑施工作业周期和季节、振动等环境因素对陡坡开挖面上暂时裸露土体稳定性的影响。

6.1.5 土钉墙设计施工应包括现场测试与监控内容，无监测方案不得进行施工。

6.1.6 土钉可采用钻孔、打入等方式设置。

6.2 设计

6.2.1 根据工程经验，可采用工程类比方法，初步确定土钉墙设计基本参数。

6.2.2 土钉墙设计应包括下列内容：

- 1 确定土钉墙的平面、剖面尺寸及分层施工高度；
- 2 确定土钉的类型、布置方式和间距；
- 3 确定土钉的直径、长度、倾角；
- 4 确定土钉钢筋（钢管）的类型、直径和构造；
- 5 确定注浆参数与注浆方式；
- 6 确定土钉与面层的连接构造（参见附录 A）；
- 7 混凝土面层与坡顶防护设计；

8 土钉抗拉拔承载力计算；

9 土钉墙整体稳定分析验算；

10 提出质量控制及施工与监测要求；

11 对重要的工程，宜采用经本市相关部门鉴定通过的数值方法对土钉墙支护进行变形分析，并根据监测结果分析，进行动态反馈设计。

6.2.3 土钉锚固体与岩土体极限摩阻力参数宜以现场测试结果为依据。

6.2.4 土钉锚固体与土体极限摩阻力标准值 q_{sik} 可取现场实测平均值的 0.8 倍。进行初步设计或无现场实测资料时，可按表 6.2.4 的数据取值，施工过程中应按本规程第 6.4 节的规定进行验证、调整。

表 6.2.4 土钉锚固体与土体极限摩阻力标准值 q_{sik}

土的名称	土的状态	q_{sik} (kPa)
填 土		16~20
淤 泥		10~16
淤泥质土		16~20
黏性土	$I_L > 1$	18~30
	$0.75 < I_L \leq 1$	30~40
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	40~53
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	53~65
	$0.0 < I_L \leq 0.25$	65~73
	$I_L \leq 0.0$	73~80
粉 土	$e > 0.90$	20~40
	$0.75 < e \leq 0.90$	40~60
	$e \leq 0.75$	60~90
粉细砂	稍 密	20~40
	中 密	40~60
	密 实	60~80

土的名称	土的状态	q_{sik} (kPa)
中 砂	稍 密	40~60
	中 密	60~70
	密 实	70~90
粗 砂	稍 密	60~90
	中 密	90~120
	密 实	120~150
砾砂、卵石	中密、密实	130~160

注：表中数据为常压注浆值，当采用高压注浆时可按试验确定或按经验适当提高。

6.2.5 土钉墙设计的计算可取单位支护长度并按平面应变问题进行分析。

6.2.6 单根土钉抗拉承载力计算应按公式 6.2.6 的进行计算：

$$1.25\gamma_0 T_{jk} \leq T_{dj} \quad (6.2.6)$$

式中 T_{jk} ——第 j 根土钉受拉荷载标准值，可按本规程第 6.2.7 条确定；

T_{dj} ——第 j 根土钉抗拉承载力设计值，可按本规程第 6.2.9 条确定。

6.2.7 单根土钉受拉荷载标准值可按下式计算：

$$T_{jk} = \zeta e_{ajk} s_{xj} s_{zj} / \cos \alpha_j \quad (6.2.7)$$

式中 ζ ——荷载折减系数，根据本规程第 6.2.8 条确定；

e_{ajk} ——第 j 个土钉位置处的基坑水平荷载标准值；

s_{xj} 、 s_{zj} ——第 j 根土钉与相邻土钉的平均水平、垂直间距；

α_j ——第 j 根土钉与水平面的夹角。

6.2.8 荷载折减系数 ζ 可按下式计算：

$$\zeta = tg^{\frac{\beta - \varphi_k}{2}} \left[\frac{1}{tg^{\frac{\beta + \varphi_k}{2}}} - \frac{1}{tg^{\beta}} \right] / tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right) \quad (6.2.8)$$

式中 β ——土钉墙坡面与水平面的夹角。

6.2.9 对于基坑侧壁安全等级为二级的土钉抗拉承载力设计值应按试验确定，基坑侧壁安全等级为三级时可按下式计算（图 6.2.9）：

$$T_{dj} = \frac{1}{\gamma_s} \pi d_{nj} \sum q_{sik} l_i \quad (6.2.9)$$

式中 γ_s ——土钉抗拉抗力分项系数，取 1.3；

d_{nj} ——第 j 根土钉锚固体直径；

q_{sik} ——土钉穿过第 i 层土土体与锚固体极限摩阻力标准值，应由现场试验确定，如无试验资料，可按本规程表 6.2.4 确定；

l_i ——第 j 根土钉在直线破裂面外穿越第 i 层稳定土体内的长度，破裂面与水平面的夹角为 $\frac{\beta + \varphi_k}{2}$ 。

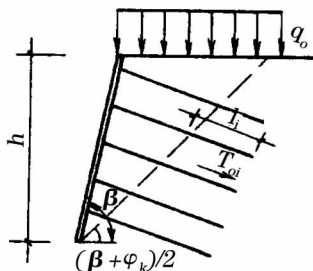


图 6.2.9 土钉抗拉承载力计算简图

6.2.10 土钉墙应根据施工期间不同开挖深度及可能滑动面采用圆弧滑动简单条分法（图 6.2.10）按下式进行整体稳定性验算：

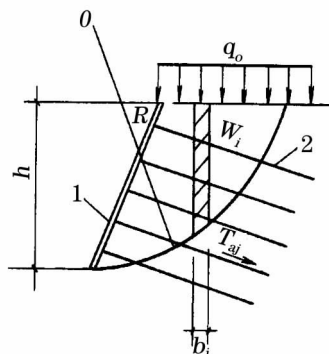


图 6.2.10 整体稳定性验算简图

1—喷射混凝土面层 2—土钉

$$\sum_{i=1}^n c_{ik} L_i s + s \sum_{i=1}^n (W_i + q_0 b_i) \cos \theta_i \tan \varphi_{ik} + \sum_{j=1}^m T_{nj} \times \left[\cos (a_j + \theta_i) + \frac{1}{2} \sin (a_j + \theta_i) \tan \varphi_{ik} \right] - s \gamma_k \gamma_0 \sum_{i=1}^n (w_i + q_0 b_i) \sin \theta_i \geq 0 \quad (6.2.10)$$

式中 n ——滑动体分条数； m ——滑动体内土钉数； γ_k ——整体滑动分项系数，可取 1.3； γ_0 ——基坑侧壁重要性系数； w_i ——第 i 分条土重 b_i ——第 i 分条宽度； c_{ik} ——第 i 分条滑裂面处土体固结不排水（快）剪黏聚力标准值； φ_{ik} ——第 i 分条滑裂面处土体固结不排水（快）剪内摩擦角标准值； θ_i ——第 i 分条滑裂面处中点切线与水平面夹角；

α_j ——土钉与水平面之间的夹角；

L_i ——第 i 分条滑裂面处弧长；

s ——计算滑动体单元厚度；

T_{nj} ——第 j 根土钉在圆弧滑裂面外锚固体与土体的极限抗拉力，可按本规程第 6.2.11 条确定。

6.2.11 单根土钉在圆弧滑裂面外锚固体与土体的极限抗拉力可按下式确定：

$$T_{nj} = \pi d_{nj} \sum q_{sik} l_{ni} \quad (6.2.11)$$

式中 l_{ni} ——第 j 根土钉在圆弧滑裂面外穿越第 i 层稳定土体内的长度。

6.2.12 土钉墙构造设计应符合下列规定：

1 土钉墙墙面坡度宜为 1:0.2~1:0.5，一般不宜大于 1:0.1；
2 土钉必须和混凝土面层有效连接，应设加强钢筋等构造措施；

3 土钉的长度宜为土钉墙支护高度的 0.5~1.2 倍，密实砂土和坚硬黏土可取低值；对软塑黏性土不应小于 1.0 倍。顶部土钉的长度宜适当增加；

4 土钉间距宜为 1.2m~2.0m，局部软弱土中可小于 1.2m；

5 土钉与水平面夹角宜为 $5^\circ \sim 20^\circ$ 。当用压力注浆且有可靠排气措施时倾角可接近水平。当上层土较软弱时，可适当增大倾角。当遇有局部障碍物时，允许调整钻孔位置和方向；

6 土钉钢筋宜用 HRB335 级钢筋，钢筋直径宜为 16mm~32mm，钻孔直径宜为 80mm~130mm；

7 土钉注浆材料宜采用水泥浆或水泥砂浆，其强度等级不宜低于 M10；

8 喷射混凝土面层的厚度宜为 80~150mm，混凝土强度等级不宜低于 C20。混凝土面层内应设置钢筋网，钢筋直径宜为 6~10mm，间距宜为 150~300mm。当面层厚度大于 120mm 时，

宜设置双层钢筋网；

9 钢筋网搭接长度应大于 300mm。

6.2.13 当基坑开挖深度较深、基坑侧壁土质较差，可在土钉支护中局部采用预应力锚杆与土钉的联合支护方法，以控制基坑侧壁水平位移，增强基坑侧壁的稳定性和整体性。

6.2.14 局部预应力锚杆位置宜设置在加固基坑侧壁的中上部，长度不小于按常规设计土钉长度的 1.35 倍。当设置两排及以上预应力锚杆时，其竖向间距宜为原土钉间距的 2~3 倍。

6.2.15 当局部预应力锚杆施加的预应力值较大时，应设腰梁，腰梁截面尺寸由施加的预应力锚杆的抗拔力等确定。

6.2.16 当基坑侧壁由于土质较差、侧壁土坡自稳性差时，可采用超前微型桩局部补强。

6.2.17 超前微型桩的直径宜取 108~150mm，间距宜为 500 ~ 1000 mm。

6.3 施 工

6.3.1 土钉墙可按下列流程施工：

1 应按设计要求开挖工作面，修整边坡、埋设喷射混凝土厚度控制标志；

2 当预喷射混凝土时，其厚度宜为 30mm~50 mm；

3 安设土钉（包括成孔、插钢筋、注浆、安设连接件等）；

4 绑扎钢筋网，喷射混凝土；

5 设置坡顶、坡面和坡脚的排水系统。

6.3.2 基坑开挖和土钉墙施工应按设计要求自上而下分段分层进行，在上层土钉注浆体及喷射混凝土面层达到设计强度的 70% 后方可开挖下层土方。

6.3.3 在机械进行土方作业时，严禁坡壁出现超挖或松动坡壁土体。坡壁宜采用小型机具辅以人工修整，坡面平整度的允许偏

差宜为 $\pm 20\text{mm}$ ，在坡面喷射混凝土支护前，应清除坡面虚土。

6.3.4 支护分层开挖深度和施工作业顺序应保证裸露边坡在规定完成支护时间内保持自立。竖向开挖深度应与土钉竖向设计间距相对应。

6.3.5 对于高含水量的黏性土和无天然黏结力的砂土等自稳能力差的土体应立即进行支护，对易坍塌土体可采用以下措施：

- 1 对修整后的坡壁立即喷上一层薄砂浆或混凝土，待凝结后再进行成孔；
- 2 在水平方向分小段间隔开挖并进行支护；
- 3 先将作业深度上的坡壁做成较缓斜坡，待土钉设置后再清坡；
- 4 在开挖前进行超前支护或加固土体。

6.3.6 土钉墙施工应采取有效的地表排水、内部排水以及基坑排水等措施。

6.3.7 基坑周边地表应构筑排水沟并硬化地表，以防止地表水向地下渗透，使径流远离边坡。

6.3.8 在必要的位置，支护面层宜插入长度为 $400\sim 600\text{mm}$ ，直径不小于 40mm 的导引排水管，以疏排混凝土面层后的滞水。

6.3.9 不宜在冬施条件下进行土钉墙施工。

6.3.10 喷射混凝土施工应符合下列规定：

- 1 喷射混凝土的原材料应满足下列规定：
 - 1) 优先选用普通硅酸盐水泥，强度等级不宜低于P.O.32.5；
 - 2) 采用干净的中、粗砂，含水量宜为 $5\%\sim 7\%$ ；
 - 3) 采用干净的砾石，粒径不宜大于 15mm ；
 - 4) 使用速凝剂前，应做与水泥的相容性试验及水泥净浆凝结效果试验。

2 喷射混凝土施工机具的选用应符合下列规定：

1) 混凝土喷射机应密封性良好, 输料连续均匀, 允许输送骨料最大粒径为 25mm, 输送水平距离不宜小于 100m, 垂直距离不宜小于 30m;

2) 选用的空压机应满足喷射机工作风压和耗风量的要求, 一般选用 $9\text{m}^3/\text{min}$ 以上的空压机;

3) 混合料的搅拌宜采用强制式搅拌机;

4) 输料管应能承受 0.8MPa 以上的压力, 并应有良好的耐磨性能;

5) 供水设施应保证喷头处足够的水压, 即水压应大于 0.2MPa。

3 混合料的配比与拌制应符合下列规定:

1) 水泥与砂石之重量比宜为 1 : 4~1 : 4.5, 砂率宜为 45%~55%, 水灰比宜为 0.4~0.45;

2) 原材料称量允许偏差, 水泥和速凝剂为 $\pm 2\%$, 砂石材料为 $\pm 5\%$;

3) 混合料应拌合均匀, 搅拌机拌合时间不少于 2min;

4) 混合料宜随拌随用, 不掺速凝剂时, 存放时间不应超过 2h; 掺速凝剂时, 存放时间不应超过 20min。

4 喷射混凝土作业应符合下列规定:

1) 喷射作业应分段分片依次进行, 同一分段内喷射顺序应自下而上, 一次喷射厚度宜为 40~70mm;

2) 喷射时, 喷头与受喷面应垂直, 宜保持 0.6~1.0m 的距离;

3) 喷射混凝土的回弹率不应大于 15%;

4) 喷射混凝土终凝 2h 后, 应喷水养护, 养护时间, 根据气温环境等条件, 一般为 3~7d。

5 喷射混凝土中的钢筋网铺设应遵守下列规定:

1) 钢筋网与土层坡面净距不应小于 30mm;

2) 采用双层钢筋网时, 第二层钢筋网应在第一层钢筋网被混凝土覆盖后铺设;

3) 钢筋网应与土钉或其它锚定装置连结牢固, 喷射混凝土时钢筋不得晃动。

4) 当与排桩、地下连续墙等联合使用时, 面层钢筋应与排桩冠梁、地下连续墙进行有效连接。

6.3.11 土钉施工应符合下列规定:

1 土钉原材料应符合下列规定:

1) 土钉钢筋使用前应调直、除锈、除油;

2) 注浆材料宜用水泥浆或水泥砂浆, 水泥浆水灰比宜为 0.5, 水泥砂浆配合比宜为 1:1~1:2 (重量比), 水灰比宜为 0.38~0.45;

3) 水泥砂浆应拌合均匀, 随拌随用, 一次拌合的砂浆应在初凝前用完。

2 土钉成孔应符合下列规定:

1) 孔深允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$;

2) 孔径允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$;

3) 土钉孔位允许偏差为 $\pm 100\text{mm}$;

4) 成孔倾角偏差为 $\pm 3^\circ$ 。

3 注浆作业应遵守下列规定:

1) 注浆前, 应将孔内残留及松动的废土清除干净; 注浆开始或中途停止超过 30min 时, 应用水或稀水泥浆润滑注浆泵及其管路;

2) 注浆时, 注浆管应插至距孔底 250mm~500mm 处, 在孔口部位宜设置止浆塞及排气管, 并应及时补浆;

3) 土钉钢筋应在孔内居中设置, 定位器间距不应大于 2m。

6.4 质量检验与监测

6.4.1 土钉墙应按下列规定进行质量检测。

1 土钉采用抗拉试验检测承载力，同一条件下，试验数量不宜少于土钉总数的 1%，且不宜少于 3 根，土钉验收合格标准为：土钉抗拉极限承载力平均值应不小于设计采用值，最小值应大于设计采用值的 0.9 倍。

2 喷射混凝土厚度检查应符合下列规定：

- 1) 厚度可采用钻孔法或其它方法检查；
- 2) 检查数量宜为每 100m^2 取一组，每组不少于 3 个点；
- 3) 合格条件为，全部检查孔处厚度的平均值应大于设计厚度，最小厚度不小于设计厚度的 80%，并不应小于 50mm。

6.4.2 土钉墙支护监测应包括下列内容：

- 1 对坡顶水平位移及沉降进行监测；
- 2 地表开裂状态（位置、裂宽）的观察；
- 3 周边建筑物和重要管线等设施的变形监测与裂缝观察；
- 4 基坑渗、漏水和基坑内外的地下水位变化。应特别加强雨天和雨后的监测，以及对各种可能危及支护安全的水害来源进行仔细观察。

6.4.3 应及时分析处理监测数据。当基坑顶部水平位移与当时的开挖深度之比如超过 3‰时，应密切加强观察，分析原因并及时采取技术措施。

7 地下水控制

7.1 一般规定

7.1.1 地下水控制方法分为集水明排、降水、截水和回灌等类型，可单独或组合使用，并宜按表 7.1.1 选用。

表 7.1.1 地下水控制方法及适用条件

适用条件 降水井类型		土质类别	渗透系数 (m/d)	降水深度 (m)
集水明排		填土、黏性土、粉土、砂土	<20.0	<5
降水	真空井点	粉质黏土、粉土、细砂、中细砂	$0.1 \sim 20.0$	单级 <6 多级 <12
	喷射井点	粉土、砂土	$0.1 \sim 20.0$	<20
	管井	粉质黏土、粉土、砂土、碎石土、岩石	>1	不限
	渗井	粉质黏土、粉土、粉细砂、碎石土	>0.1	不限
	辐射井	粉砂、细砂、中砂、粗砂、卵石和黏性土	>0.1	不限
截水		黏性土、粉土、砂土、碎石土、岩石	不限	
回灌		填土、粉土、砂土、碎石土	$0.1 \sim 20.0$	

7.1.2 对于弱透水地层中的浅基坑，当基坑环境简单、含水层较薄、水量较小、降水深度较小，且不易产生流砂、流土、潜蚀、管涌、淘空、塌陷等现象时，可考虑采用集水明排；在其它情况下宜采用降水、截水措施或截水—降水综合措施。

7.1.3 选择地下水控制方法应考虑对地下水资源和环境的影响，对基坑侧壁安全等级为一级的基坑应进行专门的水文地质勘察。提供的地下水控制设计所需资料和分析成果包括：

1 地层岩性、厚度及顶、底板标高；

2 地下水类型、地下水位标高与动态规律以及各含水层之间的关系；

3 各含水层的水文地质参数以及与降水有关的工程地质参数；

4 各含水层的补给、径流条件，基坑与附近大型地表水源的距离关系及其水力联系；

5 降水对基坑周边环境的影响；

6 基坑开挖施工的气象资料及基坑维持时间；

7 各含水层的水质及地下水控制方法对地下水环境的影响。

7.1.4 当降水影响基坑及周边环境正常使用的安全或对地下水资源产生较大影响时，宜采用截水或回灌方法。回灌可采用同层回灌或异层回灌，异层回灌应考虑上层水导入下层水时可能引起的地下水水质的变化。

7.1.5 当基坑底为隔水层且层底作用有承压水时，应依据公式 7.1.5 进行坑底突涌验算，必要时可采取封底隔渗或降压井抽水措施保证坑底土层稳定。

$$h_p \geq 1.1 \frac{\gamma_w}{\gamma} H \quad (7.1.5)$$

式中 h_p ——基坑底至承压含水层顶板的距离，m；

H ——承压水头高于含水层顶板的高度，m；

γ_w ——水的重度， kN/m^3 ；

γ ——土的重度， kN/m^3 。

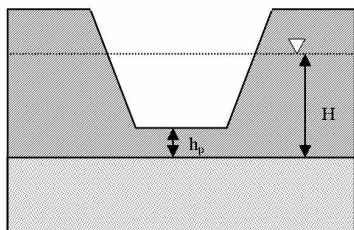


图 7.1.5

7.2 集水明排

7.2.1 排水沟和集水井可按下列规定布置：

1 排水沟和集水井宜布置在拟建建筑基础边净距 0.4m 以外，排水沟边缘离开边坡坡脚不宜小于 0.3m；在基坑四角或每隔 30~40m 应设一个集水井；

2 排水沟底面应比挖土面低 0.3~0.4m，集水井底面应比沟底面低 0.5m 以上。

7.2.2 排水沟、集水井截面应根据排水量确定，排水量 Q' 应满足下列要求：

$$Q' \geq 1.5Q \quad (7.2.2)$$

式中 Q ——基坑总涌水量，可按表 7.3.3 计算。

7.2.3 抽水设备应根据排水量大小及基坑深度确定。

7.2.4 当基坑侧壁出现分层渗水时，可按不同高程设置导水管、导水沟等构成明排系统。当基坑侧壁渗水量较大或不能分层明排时，宜采用导水降水方法。基坑明排尚应考虑地表排水。当地表水对基坑侧壁产生冲刷时，宜在基坑外采取截水、封堵、导流等措施。

7.2.5 基坑明排期间尚应采取有效措施，防止分层渗水（或导水管）过程中带走含水层中的细颗粒土、引发土体流失。

7.3 降水

7.3.1 降水井宜在基坑外采用封闭式布置，在地下水补给方向降水井间距应适当加密。当基坑面积较大、开挖较深时，可在基坑内增设降水井。

1 真空井点间距可取 0.8~2.0m，亦可按本规程 7.3.3 条确定；

2 喷射井点间距可取 1.5~3.0m，亦可按本规程 7.3.3 条确定；

3 管井井间距应根据水文地质参数按本规程 7.3.3 条确定。
对三级基坑且有经验时井间距可取 6.0~15m;

4 渗井井间距可根据现场试验确定;

5 辐射井的布置,应使其辐射管最大限度的控制基坑降水范围,可根据含水层的厚度和层数设置单层或多层辐射管,辐射管的长度宜为 20~70m,最下层辐射管距井底应大于 1.0m。

7.3.2 降水井的深度应根据设计降水深度、含水层的埋藏分布和降水井的出水能力确定。设计降水深度在基坑范围内不宜小于基坑底面以下 0.5m。

7.3.3 降水井的数量 (n)、井点间距 (a) 可按下列公式计算,并应进行降水方案优化。

$$n = 1.1Q/q \quad (7.3.3-1)$$

$$\text{线形基坑:} \quad a = L / (n - 1) \quad (7.3.3-2)$$

$$\text{圆形基坑:} \quad a = L / n \quad (7.3.3-3)$$

式中 Q ——基坑总涌水量, m^3 , 均质无界含水层可按表 7.3.3 计算;

q ——设计单井出水量, m^3/d , 可按 7.3.4 条确定;

L ——沿基坑周边布置降水井的总长度, m 。

表 7.3.3 基坑涌水量计算表

降水井类别	圆形基坑	线形基坑
潜水完整井	$Q = \frac{1.366k(2H-S)S}{lg[(R+r_0)/r_0]}$	$Q = \frac{kL(H^2-h^2)}{R}$
承压水完整井	$Q = \frac{2.73kMS}{lg[(R+r_0)/r_0]}$	$Q = \frac{2kLMS}{R}$
潜水非完整井	$Q = \frac{1.366k(H^2-h^2)}{lg[(R+r_0)/r_0] + (h-l)/l \times lg(1+0.2h/r_0)}$	
承压水非完整井	$Q = \frac{2.73kMS}{lg[(R+r_0)/r_0] + (M-l)/l \times lg(1+0.2M/r_0)}$	

注: 1. 式中:

Q ——基坑计算涌水量, m^3/d ;

k ——含水层的渗透系数, m/d;

H ——潜水含水层厚度, m;

M ——承压水含水层厚度, m;

S ——设计降水深度, m;

R ——引用影响半径, m;

h ——基坑动水位至含水层底板的深度, m;

l ——滤管有效工作部分长度, m;

L ——基坑长度, m;

r_0 ——基坑等效半径, m, 矩形或不规则形状基坑 $r_0 = 0.565 \sqrt{F}$, F 为基坑面积, m^2 , 如已确定井位布置, $r_0 = \sqrt[n]{r_1 \cdot r_2 \cdots r_n}$, r_1 、 $r_2 \cdots r_n$ 为各降水井至基坑中心的距离, n 为井数。

2. 当场区水文地质条件明确时, 可以采用数值法进行设计。

7.3.4 设计单井出水量可按下列规定确定:

1. 井点出水能力可按 $36 \sim 60 m^3/d$ 确定;
2. 真空喷射井点出水量可按表 7.3.4 确定;

表 7.3.4 喷射井点设计出水量

型 号	外管 直径 (mm)	喷 射 管		工 作 水压力 (MPa)	工 作 水流量 (m^3/d)	设计单井 出水流量 (m^3/d)	适用含水层 渗透系数 (m/d)
		喷嘴 直径 (mm)	混合室 直径 (mm)				
1.5 型并列式	38	7	14	0.6~0.8	112.8~163.2	100.8~138.2	0.1~5.0
2.5 型圆心式	68	7	14	0.6~0.8	110.4~148.8	103.2~138.2	0.1~5.0
4.0 型圆心式	100	10	20	0.6~0.8	230.4	259.2~388.8	5.0~10.0
6.0 型圆心式	162	19	40	0.6~0.8	720	600~720	10.0~20.0

3 管井的出水量 q (m^3/d) 可按下列公式确定:

$$q = 120\pi r l \sqrt[3]{k} \quad (7.3.4)$$

式中 r ——过滤器半径 (m);

l ——过滤器进水部分长度 (m);

k ——含水层渗透系数 (m/d)。

4 辐射井的出水量 q (m^3/d) 可按下列公式计算:

$$\text{承压水: } q = \frac{2.73kMS}{lg \frac{R}{r_0}}$$

$$\text{潜水: } q = 1.36k \frac{H^2 - h_w^2}{lg \frac{R}{r_0}}$$

式中: k ——含水层的渗透系数 (m/d);

S ——设计降水深度 (m);

M ——承压水含水层的厚度 (m);

H ——潜水含水层的厚度 (m);

h_w ——井中动水位 (m);

R ——影响半径 (m);

r_0 ——引用半径 (m), $r_0 = 0.25^{\frac{1}{n}}L$ 或 $r_0 = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$;

n ——辐射管根数;

A ——辐射管控制面积 (m^2)。

7.3.5 过滤器长度宜按下列规定确定:

1 真空井点和喷射井点的过滤器长度不宜小于含水层厚度的 1/3;

2 管井过滤器长度对承压水含水层宜与含水层厚度一致, 对潜水含水层宜不小于动水位至含水层底板的厚度。

7.3.6 管井降水水位降深可按下列方法计算确定, 当水位降深不满足本规程第 7.3.2 条时, 可通过调整井数、布井方式, 使降深满足降水设计要求。

1 基坑降水深度稳定流计算方法:

1) 潜水完整井:

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{1.366k} \left(lgR - \frac{1}{n} lg r_1 r_2 \cdots r_n \right)}$$

(7.3.6-1)

2) 承压完整井

$$S = \frac{0.366Q}{kM} \left(\lg R - \frac{1}{n} \lg r_1 r_2 \cdots r_n \right) \quad (7.3.6-2)$$

式中 S ——任意点处的地下水位降深, m;
 $r_1 r_2 \cdots r_n$ ——任意点距各井中心处的距离, m。

2 基坑降水深度非稳定流计算方法:

1) 潜水完整井:

$$S_{r,t} = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q \ln \frac{2.25at}{\sqrt[n]{r_1^2 \cdot r_2^2 \cdots r_n^2}}}{2\pi k}} \quad (7.3.6-3)$$

2) 承压完整井:

$$S_{r,t} = \frac{Q \ln \frac{2.25at}{\sqrt[n]{r_1^2 \cdot r_2^2 \cdots r_n^2}}}{4\pi kM} \quad (7.3.6-4)$$

式中 $S_{r,t}$ ——任意时间任意点处的地下水位降深, m;
 a ——含水层的导水系数, m^2/d ;
 t ——抽水时间, d。

3 对水文地质条件和基坑形状复杂的工程, 可采用数值法计算降水深度, 并对降水方案进行优化。

7.3.7 当采用井点或辐射井技术进行降水, 井点、辐射井的总出水量大于基坑出水量一倍以上时, 可不进行基坑降水水位预测。

7.3.8 当基坑开挖遇多层含水层时, 宜分层进行计算, 位于基底之上的含水层出水量按疏干 ($s=H$) 考虑。

7.3.9 深大基坑除按计算布设降水井外, 宜视情况在基坑内布设一定数量的渗井或抽水井, 当含水层位于基底以上且含水层渗透性较差时可在周边抽水井之间布设一定数量的渗井。

7.3.10 采用渗井降水工程, 除渗井引渗能力满足基坑实际出水量外, 尚应确定下部含水层水位上升值满足基坑开挖要求。当下

部含水层水位上升较高时，可采用抽渗结合的方法。利用渗井时应避免上层水导入下层水造成下层水水质的不良变化。

7.3.11 在降水漏斗范围内因降水引起的地层沉降量可按分层总和法计算评价。

7.3.12 真空井点结构和施工应符合下列技术要求：

1 滤管直径可采用 38~110mm 的金属管，管壁上渗水孔直径为 12~18mm，呈梅花状排列，孔隙率应大于 15%；管壁外应设两层滤网，内层滤网宜采用 30~80 目的金属网或尼龙网，外层滤网宜采用 3~10 目的金属网或尼龙网；管壁与滤网间应采用金属丝绕成螺旋形隔开，滤网外应再绕一层粗金属丝；

2 当一级井点降水不满足降水深度要求时，亦可采用多级井点降水方法；

3 井点管的设置可采用射水法、钻孔法和冲孔法成孔，井孔直径不宜大于 300mm，孔深宜比滤管底深 0.5~1.0m。成孔后应冲洗钻孔，稀释泥浆。在井管与孔壁间及时用洁净中粗砂填灌密实均匀，投入滤料的数量应大于计算值的 85%。用高压水反冲洗后，再进行黏土封孔。黏土封孔厚度应不小于 1m；

4 井点使用前，应进行试抽水，当确认无漏水、漏气等异常现象后，应保证连续不断抽水；

5 在抽水过程中应定时观测水量、水位、真空度，并使真空度保持在 55kPa 以上。

7.3.13 喷射井点的结构及施工应符合下列要求：

1 井点的外管直径宜为 73~108mm，内管直径为 50~73mm，过滤器直径为 89~127mm，井孔直径不宜大于 600mm，孔深应比滤管底深 1m 以上。过滤器的结构与真空井点相同。喷射器混合室直径可取 14mm，喷嘴直径可取 6.5mm，工作水箱不应小于 10m³；

2 工作水泵可采用多级泵，水压宜大于 0.75MPa；

3 井孔的施工与井管的设置方法与真空井点相同；

4 井点使用时，正常工作水压力宜为 $0.25H$ （ H 为扬程）；正常工作水流量宜取单井排水量。

7.3.14 管井结构及施工应符合下列要求：

1 管井施工应根据地层条件选用冲击钻、螺旋钻、回转钻或反循环等方法钻进；

2 管井成孔直径宜选择 $600\sim 700\text{mm}$ 。管井井管直径应根据含水层的富水性及水泵性能选取，且井管外径不宜小于 200mm ，井管内径宜大于水泵外径 50mm ；

3 沉砂管长度不宜小于 1m ；

4 管井过滤管、砾料、泥浆应符合现行国家标准《供水管井技术规范》GB50296 的规定；

5 管井成孔宜用干孔或清水钻进。若采用泥浆护壁管井，成井后必须及时充分洗井，保持管井与含水层的畅通。

7.3.15 渗井结构及施工应符合下列要求：

1 渗井施工宜采用螺旋钻、工程钻成孔，对易缩易塌地层可用套管法成孔。宜清水钻进；

2 渗井成孔直径宜选择 $200\sim 500\text{mm}$ ，可直接填入洗净的砂、砾或砂砾混合料或置入无砂混凝土滤水管、钢筋笼、铁滤水管等，并在井周填入适当砾料；

3 渗井应进入下部含水层中不小于 2.0m 。

7.3.16 辐射井结构及施工应符合下列要求：

1 集水井施工宜采用沉井法或反循环钻机钻进，要求预留辐射管位置并对应相应含水层；

2 辐射管施工宜采用顶管机、水平钻机，也可采用千斤顶法；

3 辐射井直径宜大于 2.0m ，以满足井内辐射管施工为准；辐射管的直径宜为 $50\sim 150\text{mm}$ ；

4 辐射井宜封底防止进水，且可随钻进抽排水；

7.3.17 管井和辐射井抽水设备应选用深井泵或深井潜水泵，水泵的出水量应根据地下水位降深和排水量大小选用，并应大于设计值的 20%~30%。水泵应置于设计深度，水泵吸水口应始终保持在动水位以下。

7.3.18 管井、辐射井等竣工后应进行单井试抽检查降水效果，必要时调整降水方案。降水初期和降水过程中，抽排水的含砂量应符合下列规定：

- 1 管井抽水半小时内含砂量小于 1/10000；
- 2 管井正常运行时含砂量小于 1/50000；
- 3 辐射井抽水半小时内含砂量小于 1/20000；
- 4 辐射井正常运行时含砂量小于 1/200000。

7.4 截 水

7.4.1 采用截水必须查清场区及邻近场地的地层结构、水文地质特征，了解地下水渗流规律，基坑出水量、截水帷幕内外的水压力及坑底浮力，以此作为截水帷幕或封底底板厚度的设计依据。

7.4.2 落底式竖向截水帷幕应插入下卧不透水层，其插入深度宜不小于 2~3m 或按下式计算：

$$l=0.2h_w-0.5b$$

式中 l ——帷幕插入不透水层的深度，m；

h_w ——作用水头，m；

b ——帷幕厚度，m。

7.4.3 当地下含水层渗透性较强，厚度较大时，可采用悬挂式竖向截水与坑内井点降水相结合或采用悬挂式竖向截水与水平封底相结合的方案。

7.4.4 截水帷幕插入弱透水地层中时，应进行基底渗流稳定、

隆起验算。如果符合要求，坑外可不布设降水井，坑内需根据类似工程经验布设降水井以控制地下水在基底以下。否则，坑外宜按降水设计计算结果布设降水井或坑内布设降压井，降水井或降压井结构可按本规程第 7.3.14 条要求设置。

7.4.5 截水帷幕施工方法、工艺和机具的选择应根据场地工程地质、水文地质及施工条件等综合确定。

7.5 回 灌

7.5.1 当施工降水影响区域已有建筑物、构筑物 and 地下管线对地面沉降有严格要求和施工降水对地下水资源有较大影响时，可考虑回灌。回灌可采用管井、砂井、砂沟等。

7.5.2 回灌井（砂井、砂沟）与降水井的距离可根据计算和当地经验确定。回灌井的间距应与降水井点相适应。同层回灌的回灌井与降水井的距离不宜小于 6m。

7.5.3 为保护已有建筑物、构筑物和地下管线设置的回灌井，其间距应根据降水井的间距和被保护物的平面位置确定。

7.5.4 同层回灌时回灌井宜进入稳定水面下 1m，且位于渗透性较好的土层中，过滤器的长度应大于降水井过滤器的长度。

7.5.5 异层回灌可在场区内进行。回灌井的数量、直径、回灌方式可根据场区水文地质条件和基坑出水量综合确定。回灌井的结构和施工可参照本规程第 7.3.14 条。

7.5.6 回灌井的灌砂量应取井孔体积的 95%，填料宜采用含泥量不大于 3%、不均匀系数在 3~5 之间的纯净中粗砂。

7.5.7 回灌用水必须是清洁水，回灌设施应经常检查，防止堵塞。为保护已有建筑物、构筑物和地下管线进行的回灌，在回灌井的附近应设置水位观测孔，并根据水位观测孔观测的水位变化调节回灌水量。为保护地下水资源进行的回灌，回灌井应定期进行回扬，以保证回灌井的高效运行。

7.5.8 根据工程环境的要求，回灌水量可通过水位观测孔中水位变化进行控制和调节，不宜超过原水位标高。

7.6 监 测

7.6.1 应定时测量地下水位，及时掌握地下水位的变化；

7.6.2 临近基坑的建筑物及各类地下管线应设置沉降观测点，定时观测其沉降，掌握沉降量及变化趋势；

7.6.3 在基坑中心或群井干扰最小处及基坑四周，应布设一定数量的观测孔，定时测定地下水位，掌握基坑内、外地下水位的变化；

7.6.4 降水运行期间，应定期测量抽排水的含砂量。

7.6.5 降水运行期间，宜定时量测排水量。

附录 A 基坑支护设计文件内容

A.0.1 基坑支护设计文件应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 周边环境条件；
- 3 工程地质及水文地质条件；
- 4 设计方案选择；
- 5 支护结构设计；
- 6 地下水控制设计；
- 7 基坑支护施工与质量控制要点；
- 8 监控方案与应急预案；
- 9 计算书；
- 10 施工图。

A.0.2 基坑工程概况部分应明确下列内容：

- 1 基坑周长、面积、开挖深度、设计使用年限；
- 2 ± 0.00 标高、自然地面标高及其相互关系。

A.0.3 基坑周边环境条件部分应明确下列内容：

- 1 邻近建（构）筑物、道路及地下管线与基坑的位置关系；
- 2 邻近建（构）筑物的工程重要性、层数、结构型式、基础型式、基础埋深、建设及竣工时间、结构完好情况及使用状况；
- 3 邻近道路的重要性、交通负载量、道路特征、使用情况；
- 4 地下管线（包括供水、排水、燃气、热力、供电、通信、消防等）的重要性、特征、埋置深度、走向、使用情况；
- 5 环境平面图应标注与基坑之间的平面关系及尺寸；条件复杂时，还应画剖面图并标注剖切线及剖面号；剖面图应标注邻近建（构）筑物的埋深、地下管线的用途、材质、规格尺寸、埋深等。

A.0.4 工程地质及水文地质条件部分应明确下列内容：

1 与基坑有关的地层描述，包括岩性类别、厚度、工程地质特征等；

2 含水层的类型，含水层的厚度及顶、底板标高，含水层的富水性、渗透性、补给与排泄条件，各含水层之间的水力联系，地下水位标高及动态变化；

3 地层简单且分布稳定时，可绘制一个概化剖面；对于地层变化较大的场地，宜沿基坑周边绘制地层展开剖面图。图中标明基坑支护设计所需的各有关地层物理力学性质参数如： γ 、 c_k 、 φ_k 、 k 等。

A.0.5 设计方案应明确下列内容：

1 分析工程地质特征，指明应重点注意的地层；

2 分析地下水特征，明确需进行降水或止水控制的含水层；

3 分析基坑周边环境特征，预测基坑工程对环境的影响，明确需保护的邻近建（构）筑物、管线、道路等，提出相应的保护措施；

4 结合上述分析，划分基坑安全等级；基坑周边条件差异较大者，应分段划分其安全等级，各分段可采用不同的支护方式；

5 根据上述分析，提出可行的支护和地下水控制设计方案。

A.0.6 常见支护结构型式的设计内容应包括：

1 排桩支护：桩型、桩径、桩间距、桩长、嵌固深度及桩顶标高；桩身混凝土强度等级及配筋情况；冠梁的截面尺寸、配筋及顶面标高；

2 锚杆：锚杆直径、自由段、锚固段及锚杆总长；锚杆间距、倾角、标高及数量；锚杆杆体材质、注浆材料及其强度等级，锚杆与连梁或压板的连接；锚杆轴向拉力设计值、锁定值；

3 土钉墙：边坡开挖坡率，各层土钉的设置标高，水平、竖

向间距；各层土钉直径、长度、倾角、杆体材料规格、注浆材料及其强度等级；面层钢筋网、加强筋、混凝土强度、厚度、土钉与面层的连接方式等。

A.0.7 地下水控制设计内容应包括下列内容：

1 基坑降水设计：包括降水方法、基坑涌水量、井间距、数量及井位、井径、井深、过滤网、滤料；降水维持时间；地下水位、出水含砂量监测；地面沉降的估算、及其对周边环境的影响的评价、相应的保护措施；降水设备及连接管线；坑内降水时，降水井与地下室底板的连接方式及防渗处理措施、降水结束后的封井要求等；

2 基坑截水设计：截水范围、方法及其工艺参数等。

A.0.8 基坑支护施工与质量控制要点应包括下列内容：

- 1 施工场地的硬化；
- 2 地表水控制要求、地下水控制施工工艺及质量标准；
- 3 土钉墙、护坡桩、锚杆等工艺流程及质量标准；
- 4 土方开挖顺序及要求；
- 5 材料质量及其控制措施；
- 6 人员、机械设备的组织管理；
- 7 季节性施工技术措施；
- 8 需特殊处理的工序及注意事项。

A.0.9 监控方案与应急预案应包括下列内容：

1 监控方案：基坑支护结构及周边环境监测点平面布置图，监控项目的监测方法，基准点、监测点的位置及埋设方式，监测精度，变形控制值、报警值，监测周期及监测仪器设备的名称、型号、精度等级，中间监测成果的提交时间和主要内容；

2 应急预案：根据基坑周边环境、地质资料及支护结构特点，对施工中可能发生的情况逐一加以分析说明，制定具体可行的应急、抢险方案。

A. 0. 10 计算书应包括以下内容：

1 基坑支护设计参数：基坑深度、地下水位深度、土钉墙放坡角度、超载类型及超载值，基坑侧壁重要性系数等。

2 基坑相关土层名称及其参数取值，如土层厚度 γ 、 c_k 、 φ_k 、 k 等，土压力计算模式，水土合算或水土分算。

3 当采用计算软件计算时，应注明所采用的计算机软件名称。

4 计算结果应包括的内容：

排桩：桩径、桩间距、桩长及嵌固深度；最大弯矩及其位置；最大位移及其位置；配筋量及配筋方式；支护结构受力简图；

锚杆：自由段、锚固段长度；直径、倾角及杆体材料、数量；受拉承载力设计值；

土钉墙：土钉位置及长度；水平向及垂直向间距、直径、倾角及杆体材料及规格；土钉抗拉承载力设计值；土钉墙整体稳定分析验算；必要时进行变形计算。

A. 0. 11 施工图应包括：

1 设计说明：设计使用年限、周边环境设计条件及需要说明的其他事项；

2 基坑周边环境条件图：建（构）筑物的平面分布、尺寸、基底埋深、使用状况等。道路与基坑之间的平面关系、尺寸，地下管线的用途、材质、管径尺寸、埋深等；

3 基坑支护平面布置图：

支护桩平面布置，应标明桩的编号、桩径、桩间距及平面位置，桩中心线与建筑物边轴线及基础承台或底板外边线的位置关系；

锚杆平面布置标明锚杆编号、锚杆间距及平面位置；

土钉墙平面布置标明建筑物边轴线、基础边承台或底板边

线、基坑开挖上边线、下边线及其与建筑物边轴线的位置关系。

4 基坑支护结构立面图：

排桩立面图标明排桩的布置、冠梁标高、冠梁与上部结构的关系（如土钉墙、砖墙）、锚杆布置及其标高等；

土钉墙立面图标明面层钢筋网、加强筋、土钉的间距及连接方式。

5 基坑支护结构剖面图及局部大样图：

基坑支护结构剖面图应标明自然地面标高、槽底标高、桩顶桩底标高、周围建构筑物管线等情况。支护桩的竖向、横向截面配筋图，配筋图应标明配筋数量、钢筋布置形式、钢筋规格、级别、保护层厚度等，非对称配筋时应在配筋图上明确标示方向；

冠梁施工图包括梁的截面尺寸、梁顶标高，混凝土强度及配筋图等；

人工挖孔桩应提交护壁设计施工图。当采用钢筋混凝土护壁时，应标明混凝土强度等级及配筋；

锚杆剖面详图标明锚杆设置标高，锚杆自由段、锚固段长度及总长，锚杆直径、倾角及杆体材料、数量，锚杆与连梁或压板的连接等；

锚杆施工说明应对锚杆浆体材料、配比、浆体设计强度、注浆压力及受拉承载力设计值等加以说明；对锚杆的基本试验及验收提出具体要求；

土钉墙剖面图标明自然地面标高，边坡开挖坡率，各层土钉设置标高，各层土钉直径、长度、倾角、杆体材质及面层混凝土强度、厚度等；

土钉与面板连接大样图应采用可靠的连接构造形式，依据土钉受力大小，土钉与加强筋宜采用“T”字型或“L”型焊接，或其它可靠连接形式。

土钉墙施工说明应对土钉浆体材料、配比、浆体设计强度等

加以说明。

6 基坑降水平面布置图：标明井的类型、编号、井间距、排水系统及供电系统布设等；

7 降水井、观测井构造大样图：降水井及观测井结构图标明井的直径，实管、滤水管的长度，井的深度，滤料，过滤网，膨润土的回填深度和标高；

8 基坑监测点布置平面图。

附录 B 关于深基坑工程 方案审查的有关规定

B.0.1 北京市工程建设标准 (DBJ01—80—2003)《建筑工程施工技术管理规程》规定:

10.3.5 基坑支护施工组织设计(施工方案)的管理应满足以下要求:

1 基坑支护施工组织设计(或施工方案)必须由具有一定设计能力和施工经验、具有中级职称以上的工程技术人员承担,并应通过注册土木工程师(岩土)审核。

2 基坑支护施工组织设计(施工方案)实行分级审查。凡未经审查或经审查不合格的基坑支护施工组织设计(施工方案)不得交付施工。

3 同时满足下列条件的,基坑支护施工组织设计(施工方案)由设计单位技术负责人或分管负责人审查,并填写《基坑支护设计文件审查表》,对基坑支护设计的安全性负审查责任。

a 基坑深度小于(含)10m;

b 基坑开挖深度内无地下水,或有地下水但施工降水对基坑周边建筑物、道路、重要的地下管线电缆等设施无重大影响;

c 基坑开挖深度主要影响区范围内无建筑物、道路、重要的地下管线电缆等设施。

4 不符合上述条件的,其基坑支护施工组织设计(施工方案)由建设单位组织专家组(或委托专业机构)审查,专家组成员应具有高级工程师职称或注册岩土工程师资格,人数不得少于5人,且注册岩土工程师不少于1/2。并填写《基坑支护设计文件审查表》,对基坑支护设计的安全性负审查责任。

5 审查材料包括下列文件:

a 岩土工程勘察报告；

b 基坑开挖深度范围内建（构）筑物、道路、地上、地下管线电缆等资料；

c 拟建建筑物基础平面图等资料；

d 基坑支护施工组织设计或施工方案；

e 计算书和图纸。

6 基坑支护施工组织设计（或施工方案）审查内容应包括以下方面：

a 支护结构设计内容、承载力计算及变形验算是否符合国家有关工程建设强制性标准和规范，采取的技术安全措施是否有效；

b 是否确保基础施工安全及基坑周边群众生命财产安全，是否损害公共利益。

B.0.2 建设部建质〔2004〕213号文印发《危险性较大工程安全专项施工方案编制及专家论证审查办法》有关规定：

第五条 建筑施工企业应当组织专家组进行论证审查的工程

（一）深基坑工程

开挖深度超过 5m（含 5m）或地下室三层以上（含三层），或深度虽未超过 5m（含 5m），但地质条件和周围环境及地下管线极其复杂的工程。

（二）地下暗挖工程

地下暗挖及遇有溶洞、暗河、瓦斯、岩爆、涌泥、断层等地质复杂的隧道工程。

（三）高大模板工程

水平混凝土构件模板支撑系统高度超过 8m，或跨度超过 18m，施工总荷载大于 10kN/m^2 ，或集中线荷载大于 15kN/m 的模板支撑系统。

（四）30m 及以上高空作业的工程

(五) 大江、大河中深水作业的工程

(六) 城市房屋拆除爆破和其它土石方爆破工程

第六条 专家论证审查

(一) 建筑施工企业应当组织不少于 5 人的专家组，对已编制的安全专项施工方案进行论证审查。

(二) 安全专项施工方案专家组必须提出书面论证审查报告，施工企业应根据论证审查报告进行完善，施工企业技术负责人、总监理工程师签字后，方可实施。

(三) 专家组书面论证审查报告应作为安全专项施工方案的附件，在实施过程中，施工企业应严格按照安全专项方案组织施工。

附录 C 基坑支护设计文件审查表

基坑支护设计文件审查表

审查时间：20 年 月 日

表 1：审查结论表

委托单位					
工程名称					
工程地址					
支护类型		支护面积	m ²	基坑深度	m
审查结论	通过 <input type="checkbox"/>		经修改通过 <input type="checkbox"/>		不通过 <input type="checkbox"/>
修 改 意 见					
审查人员				审查负责人或 专家组组长	
审查机构					

附加说明

北京地区建筑基坑支护技术规程编制机构：

编制领导小组：刘小军 卫 明 陈国义

编制顾问小组：黄熙龄 刘金砺 张在明 袁炳麟 黄志仑
常士骠 顾宝和 丁金粟 黄 强

主要编制单位：中国土木工程学会

北京市勘察设计院

中国建筑科学研究院

北京城建科技促进会

中国科学院地质与地球物理研究所

北京市机械施工有限公司

北京建材地质工程公司

中基发展建设工程集团有限责任公司

中航勘察设计院

建设综合勘察研究设计院

主 编：张 雁 沈小克

副主编：杨 斌 周与诚

主要编制人员(排名不分先后)：

杨素春 李 虹 秦四清 孙保卫

何世鸣 杨生贵 汪一帆 徐教宇

王建明 杨俊峰 李耀刚 王秀丽

北京市地方标准

建筑基坑支护技术规程

**Technical specification of retaining and
protecting for building foundation excavation**

DB11/489—2007

条文说明

2007 北 京

目 次

1	总则	77
3	基本规定	79
3.1	设计原则	79
3.2	勘察要求	81
3.3	支护结构选型	82
3.4	水平荷载	84
3.5	被动土压力计算	103
3.7	基坑开挖	104
3.8	开挖监控	104
4	放坡	106
4.1	一般规定	106
4.2	设计	107
4.3	稳定性验算	108
4.4	施工	108
5	排桩、地下连续墙	109
5.1	嵌固深度计算	109
5.2	结构内力和位移计算	111
5.3	截面承载力计算	112
5.4	锚杆计算	112
5.5	构造要求	114
5.6	施工	119
5.7	质量检测	121
6	土钉墙	123
6.1	一般规定	123
6.2	设计	123
6.3	施工	125

6.4	质量检验与监测	126
7	地下水控制	127
7.1	一般规定	127
7.2	集水明排	128
7.3	降水	129
7.4	截水	133
7.5	回灌	133
7.6	监测	134

1 总 则

1.0.1 改革开放以来,随着北京城市建设的高速发展,基坑工程向深、大、难方向发展,基坑支护的重要性已愈显突出。同时,由于基坑支护工程引发的工程安全问题也越来越引起重视。目前,有关基坑支护的标准规范,如国标、行标虽有涉及,有的甚至较为全面,但从北京地区多年的基坑工程实践来看,针对性还不是太强,基坑工程安全事故时有发生,并呈上升趋势。为了使北京地区建筑基坑支护的勘察、设计、施工和监控工作等做到规范化,达到技术先进、经济合理,确保基坑边坡的稳定以及基坑周围建筑物、道路及地下设施的安全,北京市建设委员会适时地组织编制了本规程。

所谓技术先进,就是要求基坑支护工程的设计和施工要采用先进的技术、先进的设计方法与施工工艺;经济合理,就是指在保障基坑工程安全可靠和适用的条件下,做到造价低廉、省工省时,综合经济效益最好;保护环境,就是要求基坑支护工程的设计和施工要注意环境保护,包括工程建设期间的环境、水资源环境等;基坑工程的安全性不仅要保障基坑边坡的稳定,不影响基坑工程及地下结构的施工,同时要保证基坑周围建筑物、道路及地下设施的安全。

1.0.2 本条主要阐明本规程的适用范围。对于其它非建筑基坑工程,或本规程未作规定的其它支护方法,并非排除不可使用,仍可参照使用。

1.0.3 本条主要明确了建筑基坑支护工程应考虑的主要因素及对设计、施工与监控提出总的要求。强调设计与施工应充分了解和掌握与基坑支护工程有关的资料数据与要求,考虑因地、因时,做到精心勘查、合理设计、精心施工、严格监控。

1.0.4 明确在建筑基坑支护工程中所涉及的内容、在本规程中

没有明确规定的，尚应符合现行国家标准和北京地区地方标准的相关规定。在本规程中已经明确的内容虽与国标及北京地区其它标准中相关内容的规定不一致，但与国家工程建设标准强制性条文没有矛盾、或条文强制要求更严的，应照本规程的规定执行。

针对现行相关国标、行标及北京地区规范荷载效应及其组合取值不一致的问题，同时考虑建筑基坑支护为临时性构筑物的特点，在符合现行国家标准 GB50009《建筑结构荷载规范》、GB50010《混凝土结构设计规范》、GB50007《建筑地基基础设计规范》相关规定的原则下，采用极限状态设计表达式进行设计。除弯距设计值分项系数根据临时构筑物的特点进行适当调整外，其它均应符合现行国家标准及北京地区规范中的相关规定。执行规定不一致时，从严执行。

3 基本规定

3.1 设计原则

3.1.1 建筑基坑支护工程，一般情况下均为临时性构筑物。因而本条明确除有特殊要求或为永久性支护结构，其设计对象均为临时性的，其支护结构的控制目标应保证支护结构安全和正常使用一年。并且，本规程所有条款，在没有特别注明时，均应以此为控制目标。

3.1.2 本规程规定基坑支护结构设计采用极限状态设计方法。对于支护结构构件承载力计算、支护结构整体稳定性计算，按承载能力极限状态进行计算；对于支护结构水平位移计算，按正常使用极限状态进行计算。

3.1.3 支护工程安全等级划分主要是为了在基坑支护工程设计、施工、监控中根据基坑工程的不同条件及不同情况加以区分其重要性而分别对待。本规程深基坑工程安全等级的划分主要考虑了破坏后果及影响的严重性、基坑深度（小于10m、10~15m、大于15m）、地质条件复杂程度（复杂、比较复杂、简单）、地下水控制对周边的影响程度（影响严重、有一定影响、影响轻微）、拟建建筑基坑边线与邻近既有建筑（构）筑物或重要管线边缘净距与其基础底距离基坑底相对距离比（小于0.5、0.5~1.0、大于1.0）（图3.1.3）工程复杂程度（包括基坑工程及周边环境条件）等综合确定，并分为三个等级。可根据基坑侧壁不同情况确定的安全等级选用侧壁重要性系数并分别进行基坑各侧壁支护设计。当基坑支护采用内支撑支护形式时，应采用侧壁重要性系数大的进行设计。如果邻近建（构）筑物为价值不高的、待拆除的或临时性的，管线为非重要干线，一旦破坏没有危险且易于修复，尽管离基坑较近，其 α 值可提高一个范围值；但对变形特别敏感的邻近建（构）筑物或重点保护的古建筑物等有特殊要求的

建（构）筑物、当基坑侧壁安全等级为二级或三级时，应提高一级安全等级；当基础（包括地基经 CFG 桩复合地基处理）或桩基础桩端埋深大于基坑开挖深度时，由于情况较为复杂，应根据基础距基坑底的相对距离、附加荷载大小，桩基础型式（箱筏或独立承台）以及上部结构对变形的敏感程度等因素综合确定 α 值范围及安全等级。

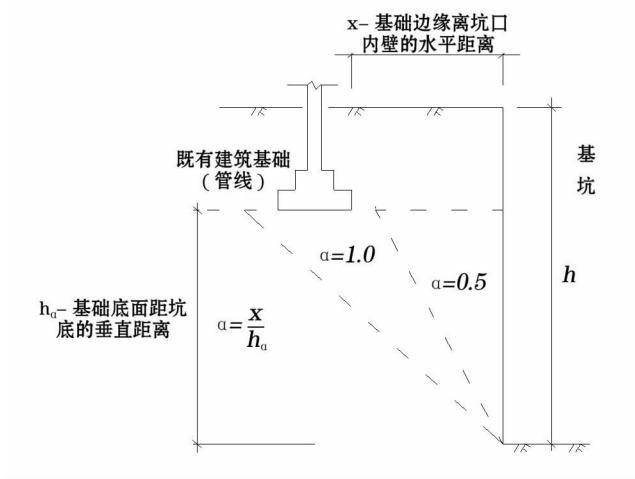


图 3.1.3 相邻建筑基础与基坑相对关系示意图

- 3.1.4 本条强调了基坑支护设计、施工所需要的基本资料，特别强调了 3.1.4.3~3.1.4.6 款对基坑支护设计、施工的重要性。
- 3.1.5 本条强调支护结构设计应考虑其结构水平变形、地下水的变化对周边环境的水平及竖向变形的影响，从而根据允许的受影响程度确定支护结构的水平变形控制限值。其限值应满足正常使用要求或根据工程经验确定。当无明确的设计要求及工程经验值时，根据北京地区经验，可按推荐值进行控制。
- 3.1.6 本条强调了地下水控制的原则，包括在施工期间的地表、

地下水控制原则。特别强调了降水设计应以对地下水资源和环境影响最小为原则，符合可持续发展、保护地下水资源的国策。

3.1.7 本条规定了基坑支护设计应进行的计算和验算内容。

3.1.8 本条强调了质量检测和施工监控应是设计内容中不可欠缺的内容。

3.1.9 本条强调了在基坑工程设计中应确认其计算工况、计算参数等与实际工程相符，并在确认计算结果的可靠性后方可用于设计。

3.1.10 本条明确了基坑支护设计文件内容应符合的要求。

3.2 勘察要求

3.2.1 根据主体结构的初勘阶段成果可对基坑支护提出支护方案选择的建议。因此，本条对初勘不做专门规定，而只要求根据初勘成果提出基坑支护方案的初步选择建议。

3.2.2 在详勘阶段所测取的工程地质资料是支护结构设计的基本依据。因为主体结构详勘的目的主要是为主体结构设计提供依据，因此部分工程的详勘报告有可能不能有效地满足基坑支护设计的基本要求，此时应进行专门勘察。

3.2.3 基坑周边环境勘查有别于一般的岩土勘察，其调查对象是基坑周围可能因基坑支护施工或基坑开挖导致失去平衡或引发破坏的地上、地下既有结构物、设施等物体。基坑支护对基坑周边 1~2 倍基坑深度范围内地上、地下物的保护十分重要，因此应重点查明，为基坑支护设计提供依据。

3.2.4 深基坑建筑物的详细勘察，目前大多数是沿建筑物外轮廓布置勘探工作，使基坑的设计和施工依据资料不充分。但对所有工程都要求扩大勘察范围的可操作性不强，故本条规定了要求扩大勘察范围的情况。

3.2.5 基坑支护结构设计重点考虑基坑边线及周边 1~2 倍基坑

深度范围内的地层条件，应重点查明。在北京地区，除应注意岩土层的水平方向变化外，还应重点查明表层填土的变化。由于北京地区有悠久的历史建设活动，人工堆积层的范围变化和厚度变化可能非常大，而人工堆积层的空间分布及其工程特性对支护结构的稳定性影响显著，所以应特别关注。

3.2.6 北京地区一般高层建筑的勘察多数可以满足基坑支护设计的勘探深度要求。但当遇有地下室埋深较大的建筑或纯地下建筑物时，勘察的钻探孔深度有可能不能有效满足支护设计的要求，所以本规程提出勘探深度的要求。

3.2.9 基坑工程设计计算时，计算指标、计算方法、安全度是配套的，故土的抗剪强度试验方法应慎重选取。三轴试验受力明确，又可控制排水条件，但取样和试验难度较大，因此不排除在有经验地区作直剪试验。由于在设计计算时，有的用总应力法，有的用有效应力法，所以试验的排水条件应与计算方法一致。当设计者采用有效应力计算时，可作三轴不排水剪并测量孔隙水压力。

3.2.10 对地下水作用的正确认识分析及其相关问题的妥当处理是支护结构设计成功的重要的基本条件，也是支护结构侧向荷载计算的重要指标。因此，应认真查明地下水的性质和特性，并对地下水可能影响周边环境的潜在问题提出相应的治理措施建议，作为设计参考。

3.2.11 在获得岩土及周边环境有关资料的基础上，基坑工程勘察报告应提供支护结构的设计、施工、监测及信息施工的有关建议，作为设计、施工参考。

3.3 支护结构选型

3.3.1 本条根据北京地区深基坑工程实践经验及常用支护结构型式，规定了适用条件。其中采用单一土钉墙支护，规定使用深

度不得超过 10m，其安全等级保持与现行行标的一致。但根据北京地区经验，本条明确当与预应力锚杆、排桩、地下连续墙等组合使用时，可突破此深度限制及安全等级限制。

3.3.2 本条明确在支护结构选型时应考虑结构的空间效应和受力特点，采用有利支护结构材料受力特性的型式，优化设计。

3.3.3、3.4.9 本条主要针对北京地区经常选用基坑上部采用放坡或土钉墙、下部采用排桩或地下连续墙的组合支护型式，在实际设计中往往不考虑桩（墙）顶部以上土体与桩（墙）支护结构间的相互影响而导致计算中低估上部土体对桩（墙）支护结构的作用效应、使计算结果偏于不安全。如将土钉墙部分的土层重力按作用在桩墙顶面的分布荷载考虑并按朗肯土压力方法计算作用在桩墙上的水平荷载（第 3.4.9 条第 1 款的方法），实际上是将桩墙顶部以上的土压力人为的略去（见图 3.3.3）。通过不同基坑深度的实例试算，当上部土钉墙支护高度 h_1 等于 $0.5h$ 时（坡度 $1:0.2$ 左右），第 3.4.9 条第 2 款的计算结果与第 3.4.9 条第 1 款相比，土压力大 $5\% \sim 15\%$ ，最大弯距大 $5\% \sim 20\%$ ，第一排锚杆（锚杆设置在桩顶）拉力大 $20\% \sim 60\%$ 。安全储备随放坡或土钉墙支护高度（ h_1 ）与基坑总深度的比值的增大而降低，特别当放坡或土钉墙支护的高度（ h_1 ）大于基坑总深度的 $1/2$ 时，其降低幅度明显。因此，本条强调当放坡或土钉墙支护的高度（ h_1 ）大于基坑总深度的 $1/2$ 时，应考虑桩（墙）顶部以上土体与桩（墙）支护结构间的相互影响并按第 3.4.9 条第 2 款的简化方法计算，同时应严格控制桩（墙）顶部的水平位移。

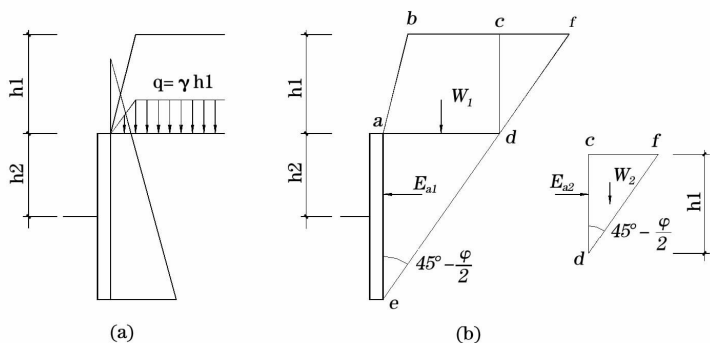


图 3.3.3 基坑上部采用土钉墙下部采用排桩或地下连续墙时的土压力计算问题

3.4 水平荷载

3.4.1 针对基坑支护一般为临时性的特点，本条对支护结构设计时，所采用的荷载效应组合作了规定，其中对支护结构整体稳定性计算、支护结构水平位移计算时的荷载效应组合作了特别规定。

3.4.4 作用在支护结构上的水平荷载的计算是一个比较复杂的问题，受多方面因素影响，如：土层分布随空间的变化只能靠有限的勘察钻孔描述，土的抗剪强度指标取值的误差，地下水水压力的作用和土的含水量的变化的影响，基坑开挖产生的土和支护结构的变形所引起的土压力的重分布，地下构筑物对土压力的影响等。目前，鉴于常用的经典朗肯土压力和库仑土压力理论都有自身的适用条件及上述因素，提出应结合经验选择合理计算方法。由于大多数情况下，朗肯土压力假定和适用范围与基坑支护结构的条件较为接近，能用简单的公式进行分层土的土压力分布的计算，因此，在国内采用的较多并积累了一定的工程应用经验，本规程专门规定了朗肯土压力计算方法的要求。由于地下水

作用的区别，对黏性土和无黏性土分别采用水土合算和水土分算的计算公式，并对土的抗剪强度指标所用的试验方法作出规定。

3.4.6 支护结构外侧的附加荷载，包括周边建筑物荷载、地面施工荷载、道路车辆荷载等，会对支护结构土压力一定产生作用，特别是建筑物荷载对支护结构的作用明显。因各种附加竖向荷载对土压力的影响不可忽略，本条给出了不同几何形状的分布荷载产生的土层附加竖向应力的计算公式。这些计算公式都是简化公式，虽存在一定误差，但基本上能满足工程应用。

3.4.8 当临近基坑的建筑物基础低于基坑底面时，且外墙距支护结构净距 b 小于 $h \times \tan(45^\circ - \varphi_k/2)$ 时，有限宽度土体作用在支护结构上任意点的水平荷载标准值 e_{ak} 可按本条规定的简化方法计算。简化方法假定土体为刚塑性体、不考虑土体与墙体的摩擦力、基于极限平衡原理推导如下：

1. 计算模型

当墙背光滑，坡顶水平时，朗肯与库仑土压力理论得到的主动土压力计算时的剪切破坏角均为 $\theta = 45^\circ + \varphi/2$ ，剪切破坏角是个定值，与深度无关，如图 3.4.8-1 中 A 所示。然而，当离基坑侧壁一定距离有已有构筑物存在时，滑动土体的剪切破坏面不能剪穿已有构筑物，此时朗肯与库仑土压力理论中的剪切破坏面不成立，如图 3.4.8-1 中 B 所示。可以看出，由于已有构筑物的存在，使滑动土体不再是经典土压力理论中描述的三角形滑动体，而成为梯形体。因此不能够采用经典的朗肯或库仑土压力理论计算有限土体产生的主动土压力，应采用有限土体土压力的计算方法进行计算。

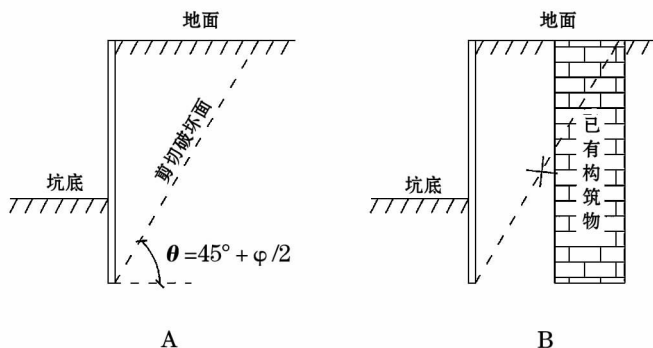


图 3.4.8-1 破坏模式分析

假设：1) 土体为刚塑性体，不考虑土体与桩墙之间的摩擦力；

2) 已有构筑物埋深大于桩墙埋深。则对于图 3.4.8-2 中 B 所示的有限范围土体的情况，可以建立图 3.4.8-2 所示的土体受力计算模型。梯形滑动土体 abcd 沿滑面 ab 向下滑动，在重力 W 、桩墙抗力 E_a 、下部不动土体反力 R 以及下部土体对上部土体的黏结力 K 作用下，处于极限平衡状态。桩墙抗力 E_a 与主动土压力大小相等方向相反。

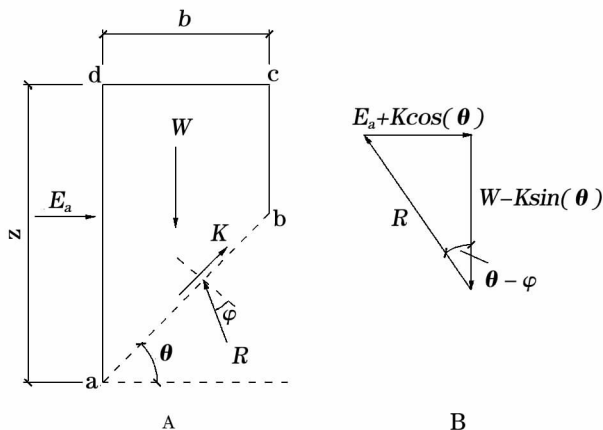


图 3.4.8-2 主动土压力计算简图

2. 基本方程

根据极限平衡原理，梯形滑动土体 abcd 每延米土体的总重 W 为

$$W = \gamma b \left(z - \frac{b}{2} \tan \theta \right) \quad (1)$$

剪切破坏面下部不动土体对上部土体的黏结力 K 为

$$K = \frac{bc}{\cos \theta} \quad (2)$$

W 垂直向下， K 与滑动面平行且向斜上方。 R 为滑面下方不动土体对 abcd 滑体的反力，此反力与土体内摩擦角 φ 有关，大小未知，方向已知， R 的方向与滑动面的法线成 φ 角。将 K 分解为垂直方向与水平方向的力，因滑体 abcd 处于平衡状态，则垂直方向力（ W 与 K 垂直分量），水平方向力（ E_a 与 K 水平向分量）与 R 三力共点，即可形成图 3.4.8-2 中 B 所示封闭力三角形。则主动土压力合力 E_a 为

$$E_a = \left[\gamma b \left(z - \frac{b}{2} \tan \theta \right) - b c \tan \theta \right] \tan (\theta - \varphi) - b c \quad (3)$$

主动土压力强度 e_a 微分表达式为

$$e_a = \frac{dE_a}{dz} \quad (4)$$

式中, γ ——土的重度, kN/m^3 ;

b ——已有构筑物距基坑的距离, 即有限土体宽度, m ;

z ——计算点深度, m ;

θ ——滑动破坏面与水平面的夹角, $^\circ$;

φ ——土的内摩擦角, $^\circ$;

c ——土的黏聚力, kPa ;

3. 破坏面

极限平衡理论解土压力问题的关键在于确定破坏面。对于经典的朗肯土压力理论与库仑土压力理论中三角形滑动体而言, 按照极限平衡理论导出的破坏面与深度无关, 破坏面与水平面的夹角始终为 $45^\circ + \varphi/2$ (主动土压力)。从式 (3) 可以看出, 对于土体边界条件不同于经典理论的有限土体主动土压力 E_a 直接受滑动破坏面 θ 的影响。

当深度 z 一定时, E_a 为剪切破坏角 θ 的函数。按照极限平衡理论, 当 $dE_a/d\theta$ 时, E_a 取极值, 即为主动土压力合力, 并可求得真正剪切破坏角 θ 值。式 (3) 对 θ 求导得

$$\begin{aligned} \frac{dE_a}{d\theta} &= \gamma b z (1 + \tan^2 (\theta - \varphi)) - \frac{1}{2} \gamma b^2 (1 + \tan^2 \theta) \tan (\theta - \varphi) \\ &\quad - \frac{1}{2} \gamma b^2 (1 + \tan^2 (\theta - \varphi)) \tan \theta - b c (1 + \tan^2 \theta) \tan (\theta - \varphi) \\ &\quad - b c \tan \theta (1 + \tan^2 (\theta - \varphi)) \end{aligned} \quad (5)$$

令 $\frac{dE_a}{d\theta} = 0$, 求得

$$\theta = \arctg \left[\frac{1}{2(\gamma b \operatorname{tg} \varphi + 2c \operatorname{tg} \varphi)} (-2\gamma b - 4c + 2(\gamma^2 b^2 + 4\gamma bc + 4c^2 + 2\gamma b z \operatorname{tg}^3 \varphi + 2\gamma^2 b z \operatorname{tg} \varphi + \gamma^2 b^2 \operatorname{tg}^2 \varphi + 4\gamma b c \operatorname{tg}^2 \varphi + 4\gamma z c \operatorname{tg}^3 \varphi + 4\gamma z c \operatorname{tg} \varphi + 4c^2 \operatorname{tg}^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}) \right] \quad (6)$$

由式(6)可以看出, 由于已有构筑物的存在, 使滑动土体剪切破坏角 θ 不再是一般朗肯土压力理论所给出的定值 $45^\circ + \varphi/2$, 而是一个变量, 它与土体物理力学性质、有限土体宽度以及深度有关, 其一般表达式为

$$\theta = f(\varphi, b, z, \gamma, c) \quad (7)$$

剪切破坏角 θ 与深度、土内摩擦角、土黏聚力及有限土体宽度的关系如下各图所示。

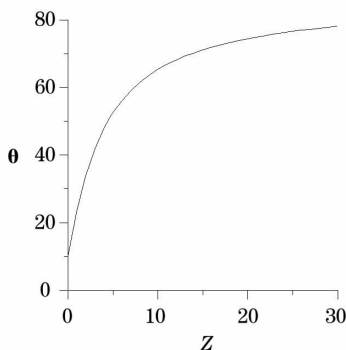


图 3.4.8-3 θ 与 z 的关系

($\gamma=20\text{kN}/\text{m}^3$; $c=15\text{kPa}$; $\varphi=20^\circ$; $b=3\text{m}$)

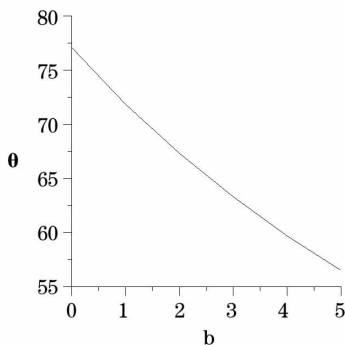
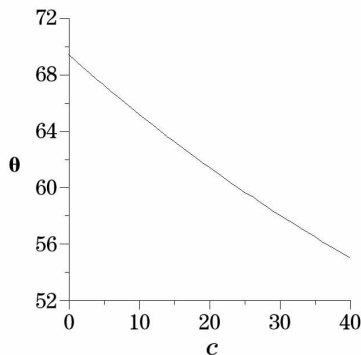
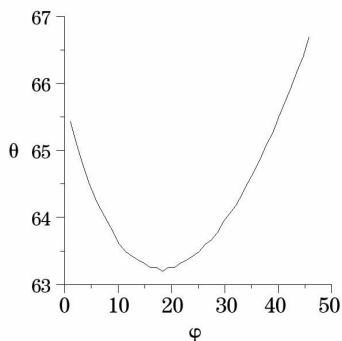


图 3.4.8-4 θ 与 b 的关系

($\gamma=20\text{kN}/\text{m}^3$; $c=15\text{kPa}$; $\varphi=20^\circ$; $z=10\text{m}$)

图 3.4.8-5 θ 与 c 的关系

($\gamma=20\text{kN/m}^3$; $z=10\text{m}$; $\varphi=20^\circ$; $b=3\text{m}$)

图 3.4.8-6 θ 与 φ 的关系

($\gamma=20\text{kN/m}^3$; $z=10\text{m}$; $c=15\text{kPa}$; $z=3\text{m}$)

从图 3.4.8-3 可以看出, 随着深度的增加, 剪切破坏角成非线性增长。图 3.4.8-4、图 3.4.8-5 则表明土黏聚力和有限土体宽度与剪切破坏角均成负相关。图 3.4.8-6 显示, 随着土内摩擦角的增大, 剪切破坏角先是减小, 随后增大。

总之, 有限土体剪切破坏角是个不确定值, 它与计算深度、土内摩擦角、土黏聚力及有限土体宽度有密切关系。在进行有限土体土压力计算时, 必须考虑这些影响因素。

4. 土压力强度

将 (6) 式代入 (3) 式, 即可得到总主动土压力 E_a 。 θ 随深度 z 的变化使得土压力强度 e_a 不再随深度线性分布, 因此很难求得式 (4) 的表达式, 即 dE_a/dz 的表达式。但可以采用差分的形式表达

$$e_a|_{z=\frac{z_1+z_2}{2}} = \frac{\Delta E_a}{\Delta z} = \frac{E_a|_{z=z_2} - E_a|_{z=z_1}}{z_2 - z_1} \quad (8)$$

然而, 式 (8) 只适合于滑动破坏土体为梯形的情况, 如若计算深度较小, 有限土体宽度足够宽, 剪切破坏土体为三角形

时，仍然需采用经典的土压力理论进行土压力强度计算。

① 当 $z \leq b \tan(45^\circ + \varphi/2)$ 时，剪切破坏面通过地面，此时破坏模式与经典的土压力破坏模式相同，则依照朗肯理论进行计算；

② 当 $z > b \tan(45^\circ + \varphi/2)$ 时，桩墙后的剪切破坏土体为梯形体（如图 3.4.8-1 中 B 所示），此时先根据（6）式计算剪切破坏角，然后代入（3）式，再依据（8）式进行土压力强度计算。

5. 实例

前提条件：土重度 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ 、土的黏聚力 $C = 10 \text{ kPa}$ 、内摩擦角 $\varphi = 20^\circ$ ；计算深度 15 m ；有限土体宽度 $b = 3 \text{ m}$ 。 $b \tan(45^\circ + \varphi/2) = 4.284 \text{ m}$

① 当 $z \leq 4.284 \text{ m}$ 时 采用朗肯理论进行土压力强度计算。

② 当 $z > 4.284 \text{ m}$ 时，不同深度时的前切破坏角采用（7）式进行计算；总土压力用（4）式子计算；土压力强度采用（9）式计算。计算结果如下表。

表 1 有限土体土压力计算结果

$z \text{ (m)}$	$\theta \text{ (}^\circ\text{)}$	$E_a \text{ (kN)}$	$e_a \text{ (kPa)}$
5	52.31105	61.513	40.804
6	55.97798	102.317	46.092
7	58.95736	148.409	50.758
8	61.42108	199.167	54.913
9	63.42643	254.08	58.645
10	65.20260	312.725	62.021
11	66.69229	374.746	65.096
12	67.95279	439.842	67.907
13	69.09871	507.749	70.496

z (m)	θ (°)	E_a (kN)	e_a (kPa)
14	70.07274	578.245	72.887
15	70.98947	651.132	75.104

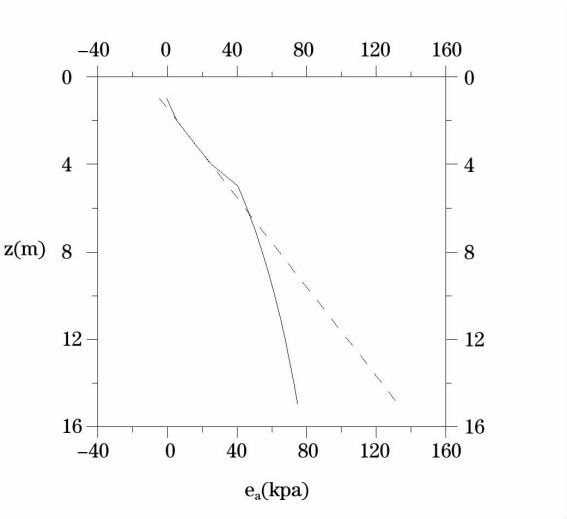


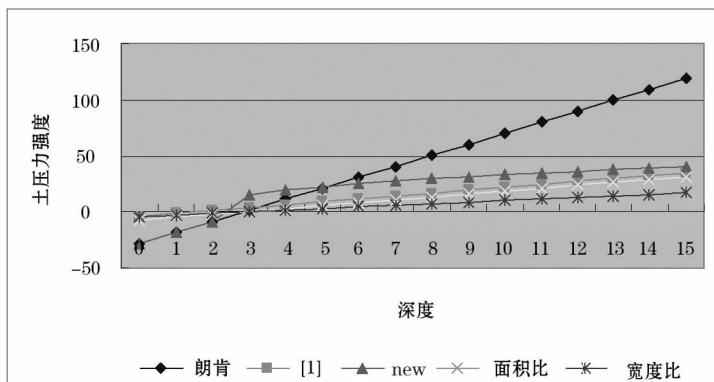
图 3.4.8-7 土压力强度分布

图中虚线为朗肯土压力计算结果，实线为采用上述方法计算（简称 new 方法）的结果。由图可知，分析得到的有限土体产生的主动土压力计算值比朗肯土压力计算结果要小，采用常规的朗肯土压力计算方法偏于安全。但上述分析计算方法较为烦琐，不便于规程采用。编制组对上述两种方法、以及文献 [1]、[2] 方法进行分析计算，经对比分析，本规程决定采用文献 [1] 建议的简化方法。其中文献 [1] 方法在对 θ 求导（公式（5））中，忽略了对 $\tan\theta$ 求导，从而得到公式（3.4.8-1）、（3.4.8-2）（有误差）。

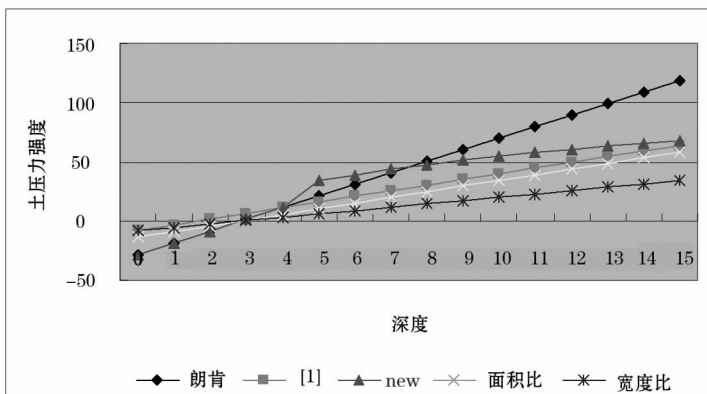
各种计算方法对比：

计算 1

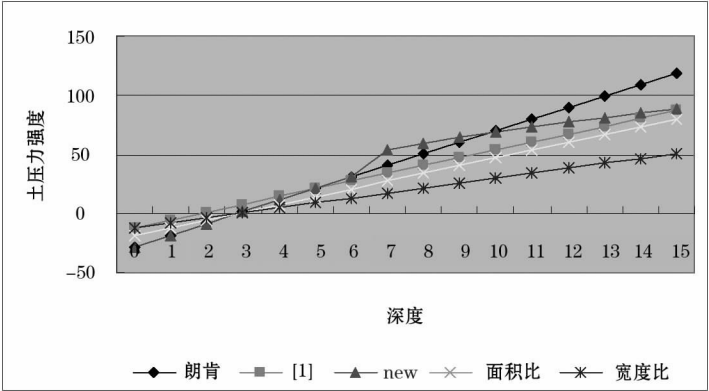
土重度 $\gamma=20\text{kN}/\text{m}^3$ 、土的黏聚力 $C=20\text{kPa}$ 、内摩擦角 $\varphi=20^\circ$ ；计算深度 $H=15\text{m}$ ；



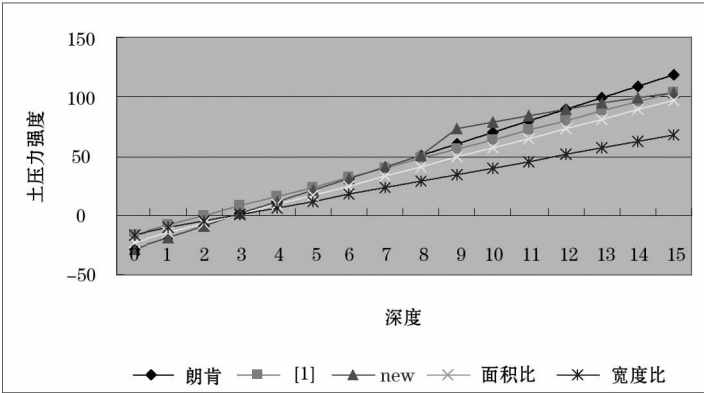
有限土体宽度 $b=0.1H$



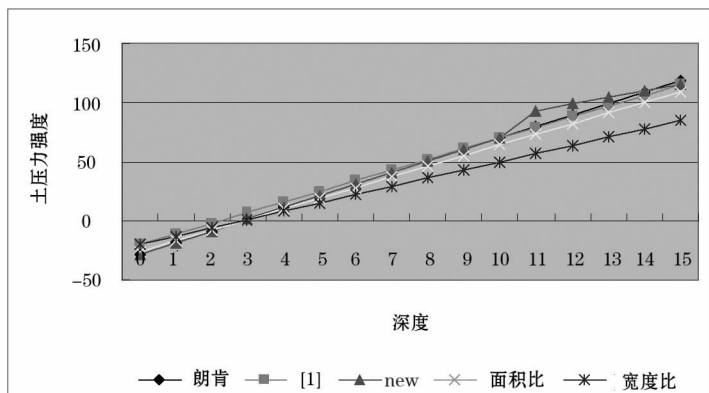
有限土体宽度 $b=0.2H$



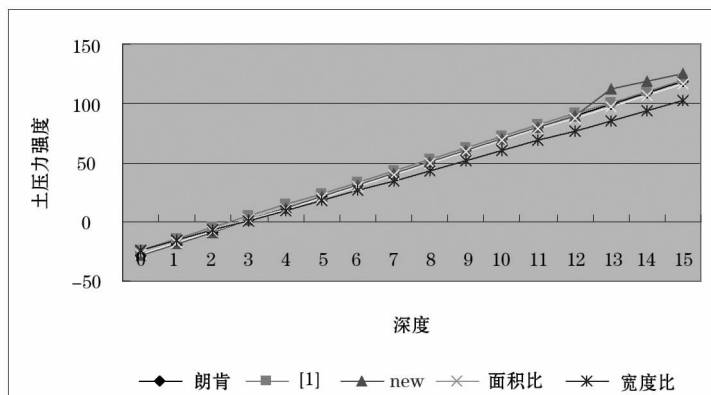
有限土体宽度 $b=0.3H$



有限土体宽度 $b=0.4H$

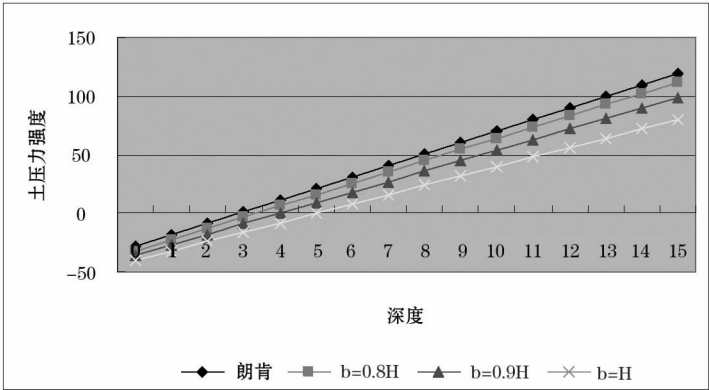


有限土体宽度 $b=0.5H$



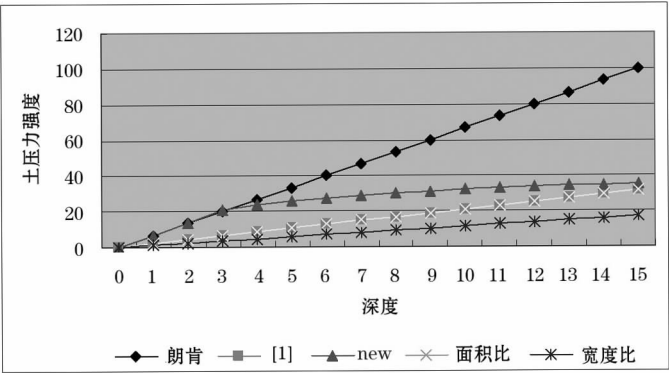
有限土体宽度 $b=0.6H$

有限土体宽度继续增加，new 方法、面积比、宽度比三种方法土压力强度已经与朗肯土压力相同。

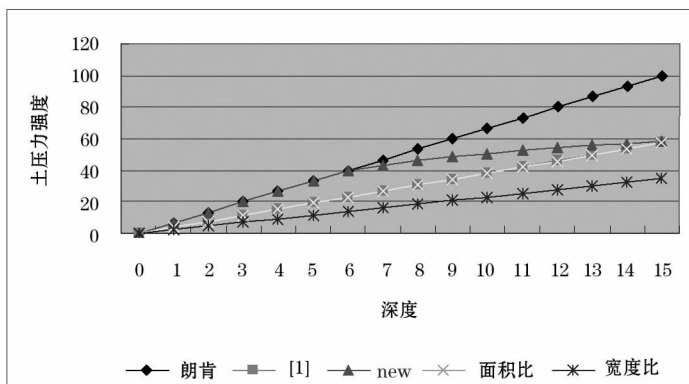


计算 2

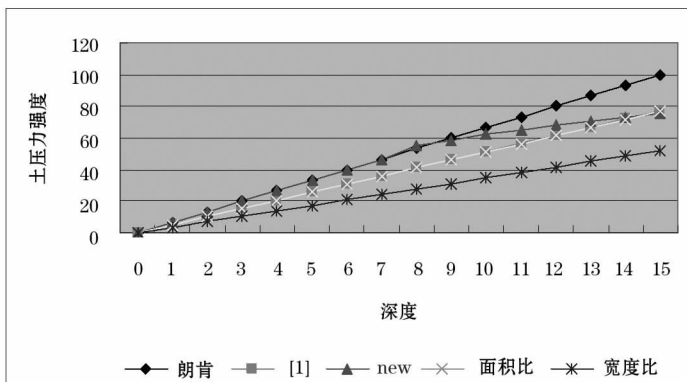
土重度 $\gamma=20\text{kN/m}^3$ 、土的黏聚力 $C=0\text{kPa}$ 、内摩擦角 $\varphi=30^\circ$ ；计算深度 $H=15\text{m}$ ；



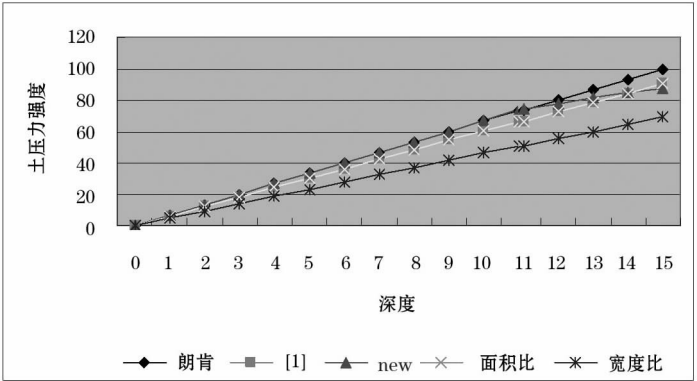
有限土体宽度 $b=0.1H$



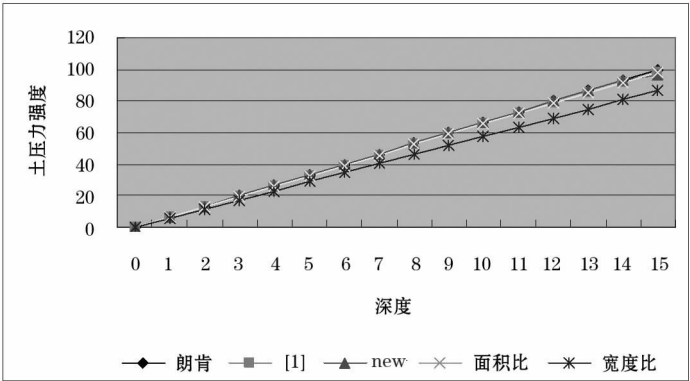
有限土体宽度 $b=0.2H$



有限土体宽度 $b=0.3H$

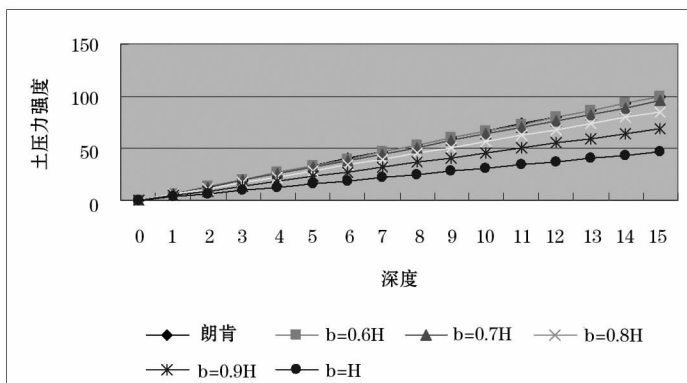


有限土体宽度 $b=0.4H$



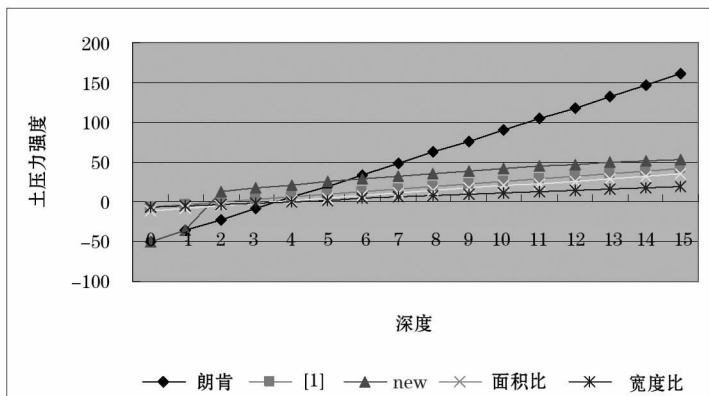
有限土体宽度 $b=0.5H$

有限土体宽度继续增加，new 方法、面积比、宽度比三种方法土压力强度已经与朗肯土压力相同。

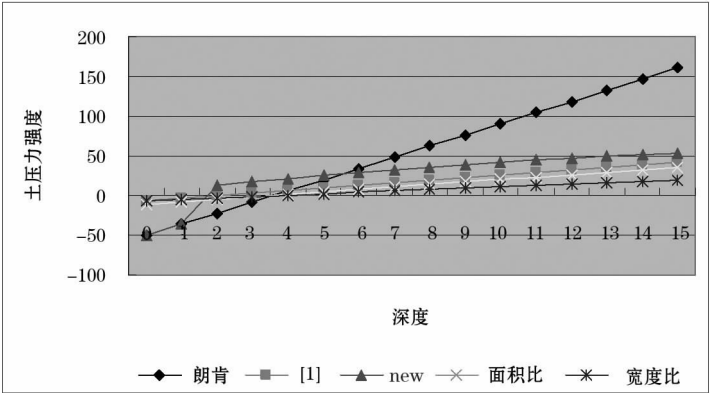


计算 3

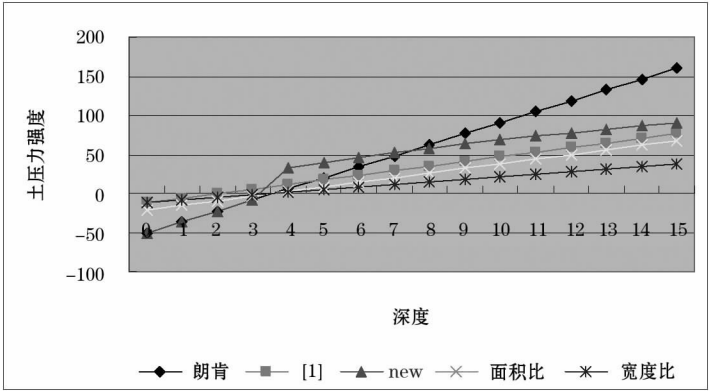
土重度 $\gamma=20\text{kN/m}^3$ 、土的黏聚力 $C=30\text{kPa}$ 、内摩擦角 $\varphi=10^\circ$ ；计算深度 $H=15\text{m}$ ；



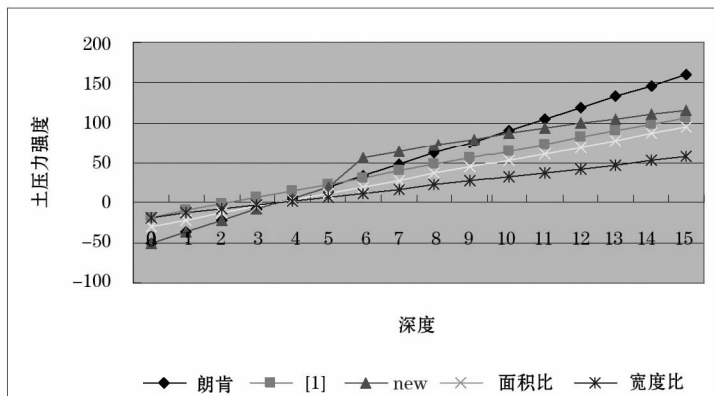
有限土体宽度 $b=0.1H$



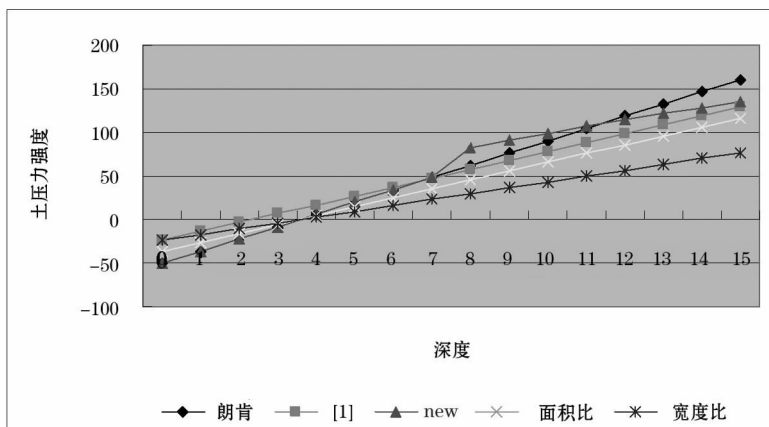
有限土体宽度 $b=0.2H$



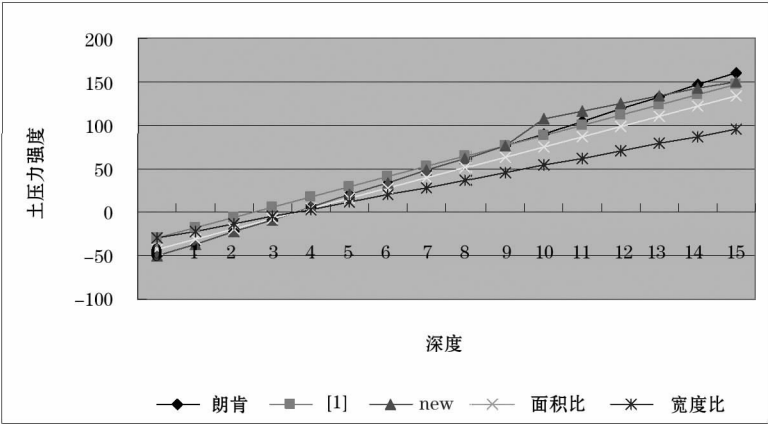
有限土体宽度 $b=0.3H$



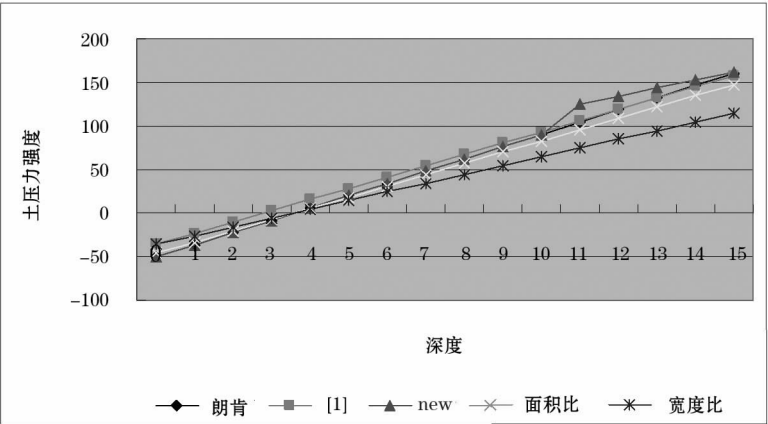
有限土体宽度 $b=0.4H$



有限土体宽度 $b=0.5H$

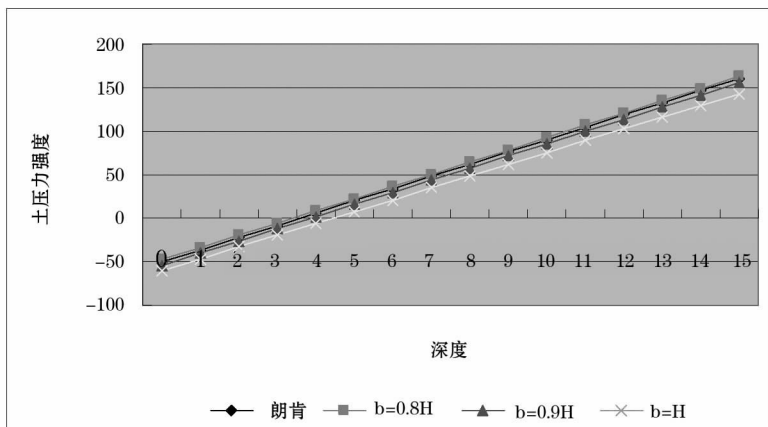


有限土体宽度 $b=0.6H$



有限土体宽度 $b=0.7H$

有限土体宽度继续增加，new 方法、面积比、宽度比三种方法土压力强度已经与朗肯土压力相同。



注：朗肯方法即为朗肯土压力方法；[1]方法即为文献[1]方法；new方法即为理论推导方法；面积比方法即取面积比为折减系数的方法；宽度比方法即为取折减系数为有限土体宽度 B 与 $H/\tan(45^\circ + \varphi/2)$ 比值的方法。

[1] 高印立．有限土体土压力的计算探讨 [J]．建筑科学，2000，16（5）：53～56

[2] 何颐华等．双排护坡柱试验与计算的研究 [J]．建筑结构学报．1996，17（2）：58～66

3.5 被动土压力计算

3.5.1 支护结构的计算中，朗肯被动土压力是作为土对嵌固段提供的抗力考虑的。朗肯被动土压力主要用于第 5.1.1 条和第 5.1.2 条嵌固深度的计算，也用于第 5.2.3 条第 3 款安全等级为三级的悬臂式和单层支点的结构计算。

按第 5.2.3 条规定，排桩和地下连续墙结构计算宜采用杆系有限元弹性支点法，该方法的嵌固段抗力计算采用的是弹性应力

应变关系的 m 法，未涉及朗肯被动土压力。但是，按 m 法计算的土的抗力不应超过朗肯被动土压力，否则土将进入塑性状态。此时，朗肯被动土压力是作为 m 法计算土的抗力的上限值使用的。

3.7 基坑开挖

3.7.1、3.7.2 强调应根据支护结构设计要求和降排水要求确定基坑开挖方案。并且，基坑开挖方案要求符合设计条件及要求。

3.7.3 本条规定了基坑开挖方案应包括的内容，特别强调应考虑与支护结构型式相适应的开挖方式、开挖时间、开挖顺序、降排水措施、监测方案以及对支护结构、周围建（构）筑物、管线需采取保护措施等的重要性。

3.7.4、3.7.5 强调基坑截排水、超堆荷载对基坑稳定与安全的重要性与必要性。

3.7.6 本条强调土方开挖要遵照执行的原则，特别明确严禁超挖。

3.7.7 本条特别强调应考虑冬季、雨季等气候影响因素对开挖的影响。

3.7.8 本条强调了在土方开挖中，发生异常情况时，即发生与原设计条件及设计工况等不符现象时，应立即停止开挖，并强调因在查清原因和采取相应措施后，方可继续开挖施工。

3.7.9~3.7.13 对基坑开挖、支护结构、工程桩和槽底的防护及保护、肥槽回填施工质量提出了基本要求。

3.8 开挖监控

3.8.1~3.8.6、3.8.9 主要对监控要求、监控内容、监测方法及监测报告等提出了具体规定。

3.8.7 本条强调监控报警值、控制值应根据监测对象的有关规

范设计要求和工程经验等确定控制目标值。同时，应结合现场监测成果的分析进行综合判定。

3.8.8 强调当监测数据超过报警值时应采取措施，包括预防措施和应急处理事故的措施。

4 放 坡

4.1 一般规定

4.1.1 本条强调放坡的适用条件，重要的是土体本身应具有一定自稳能力，又不受地下水影响，同时周边环境条件允许时，方可采用放坡。

4.1.2 确定放坡坡度时，应综合考虑其安全性、经济性和可行性，不同土层，不同坡高决定坡度的取值。下表适用于临时性边坡，仅供参考，最终应通过整体稳定性验算确定。

土质边坡放坡坡度允许值

土的类别	密实度或状态	坡度容许值（高宽比）	
		坡高在 5m 以内	坡高 5~10m
碎石土	密 实	1 : 0.35~1 : 0.5	1 : 0.5~1 : 0.75
	中 密	1 : 0.5~1 : 0.75	1 : 0.75~1 : 1.00
	稍 密	1 : 0.75~1 : 1.00	1 : 1.00~1 : 1.25
粉 土	$S_r \leq 0.5$	1 : 1.00~1 : 1.25	1 : 1.25~1 : 1.50
粉质黏土	坚 硬	1 : 0.33~1 : 0.5	
	硬 塑	1 : 1.00~1 : 1.25	
	可 塑	1 : 1.25~1 : 1.50	
黏性土	坚 硬	1 : 0.75~1 : 1.00	1 : 1.00~1 : 1.25
	硬 塑	1 : 0.85~1 : 1.25	1 : 1.25~1 : 1.50
	可 塑	1 : 1.00~1 : 1.25	
杂填土	中密或密实的 建筑垃圾	1 : 0.75~1 : 1.00	
砂 土		1 : 1.00 (或自然休止角)	

岩石边坡放坡坡度允许值

岩土类别	风化程度	坡度容许值（高宽比）	
		坡高在 8m 以内	坡高 8~15m
硬质岩石	微风化	1 : 0.10~1 : 0.20	1 : 0.20~1 : 0.35
	中等风化	1 : 0.20~1 : 0.35	1 : 0.35~1 : 0.50
	强风化	1 : 0.35~1 : 0.50	1 : 0.50~1 : 0.75
软质岩石	微风化	1 : 0.35~1 : 0.50	1 : 0.50~1 : 0.75
	中等风化	1 : 0.50~1 : 0.75	1 : 0.75~1 : 1.00
	强风化	1 : 0.75~1 : 1.00	1 : 1.00~1 : 1.25

4.2 设 计

4.2.1 垂直边坡对地下水、侧壁土质条件及开挖施工要求较高，无特殊要求尽量不采用垂直边坡。若采用垂直边坡时，首先应按下列式估算侧壁土体自然稳定的最大临界深度 H_c ，以确定垂直边坡的高度。

$$H_c = \frac{2C}{\gamma \sqrt{K_a}} \text{ 或 } H_c = \frac{2C}{\gamma} \tan (45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \quad (1)$$

式中， C 为土的内聚力标准值（kPa）， γ 为土的天然重度（kN/m³）， K_a 为朗金主动土压力系数。应用上式时应注意：

1) 坑壁由于吸水或失水等原因，一旦形成裂隙，公式不成立；

2) 基坑附近有超载时，应重新验算坑壁的稳定性。

4.2.2 对于深度大于 5m 的土质边坡，整体稳定性较差，建议采用分级放坡，中间加过渡平台，平台的宽度不小于 0.5m，以提高整体稳定性。分级的高度可根据现场的实际情况及土层土性而定，分级的坡度应根据分层土性而定，一般宜采用下缓上陡的形式。

4.2.3 本条强调自然放坡可与其它支护型式结合起来综合选用。如在开挖高度范围内，上部为较好的砂、黏性土层，可采用坡度

较小的土钉墙支护，下部为密实的卵石层，可采用较为经济、可行的自然放坡即可。

4.3 稳定性验算

4.3.2、4.3.3 对于土质边坡稳定分析计算，规程推荐采用考虑平面问题的瑞典条分法是基于该方法计算简单、方便，工程应用较为普及的原因。稳定系数应大于 1.2 是根据工程实践经验确定的。当采用多级边坡时，应对每一级段边坡分别验算稳定性。

4.4 施 工

4.4.1 本条特别强调土层中含水量的变化对边坡稳定性影响很大，所以在施工中要做好外来水的疏排至关重要。

4.4.2 为防止由于土体裸露，使坡面土体风化而塌落，应对放坡坡面采取保护处理。坡脚是最薄弱地方，往往被忽视，尤其在基坑底周边设置的排水沟，对于砂性土层，很容易与水一起涌出，造成坡脚失稳，所以建议排水沟应离开坡脚至少 300mm，并做好防“淤”处理。

4.4.3 本条强调基坑周边附加荷载的大小及距坑边距离，可直接影响放坡土体的稳定。

5 排桩、地下连续墙

5.1 嵌固深度计算

5.1.1~5.1.3 排桩、地下连续墙结构计算时，嵌固段土的抗力采用弹性地基梁方法计算较符合实际，但弹性地基梁方法是建立在弹性材料基础上，当所取计算参数正确且限于弹性阶段时其结果才会合理，而土体是弹塑性材料，弹性地基梁解的结果正确与否取决于计算出的基坑内侧土抗力是否超过土的弹性界限。因此，在采用弹性地基梁方法计算桩的嵌固段抗力时，可以用被动土压力作为抗力限值，使计算出的弹性地基梁基坑内侧应力小于或少量超过被动土压力的要求，并已此作为确定嵌固深度的基本条件。

本规程采用 JGJ120 - 99《建筑基坑支护技术规程》计算嵌固深度的方法，同样将嵌固深度计算分为悬臂式、单支点、多支点三种支护结构情况采用不同的计算公式。

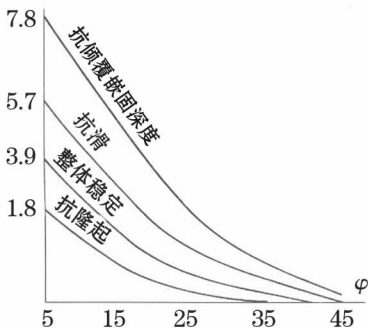


图 5.1 极限状态嵌固深度系数图

根据 JGJ120 - 99《建筑基坑支护技术规程》提供的资料，对悬臂式支护结构当 $C=0$ ， φ 为 $5^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 变化范围的各种极限状

态计算结果嵌固深度系数如图 1，从图可见在极限状态下要求嵌固深度大小的顺序依次是抗倾覆、抗滑移、整体稳定性、抗隆起，而按本规程式 (5.1.1) 抗倾覆要求确定的嵌固深度，基本上都保证了其它各种验算所要求的安全系数。

对于单支点支护结构，由于结构的平衡是依靠锚杆或支撑形成的支点及桩的嵌固段土抗力共同提供反力，必须具有足够的嵌固深度以形成一定的反力保证结构稳定，采用了传统的等值梁法确定嵌固深度，按式 (5.1.2-1) 确定的嵌固深度值也大于整体稳定及抗隆起的要求。

对于多支点支护结构，只要支点具有足够的承载力，结构在水平方向不需要嵌固深度亦可平衡，除满足结构计算要求，嵌固深度可由土体整体稳定控制。因此，规定了按 JGJ120-99《建筑基坑支护技术规程》附录 A 的整体稳定的圆弧滑动条分法确定嵌固深度。该规定未考虑锚杆或支撑对土体整体稳定的有利作用。

5.1.4 隆起破坏是基坑的另一种破坏形态。对桩墙支护结构，即使支护结构自身很牢固，也可能会因桩墙嵌固深度过小，产生基底土体的隆起而造成基坑的破坏。隆起破坏一般发生在软土地层上，北京地区的土性相对较好，一般隆起稳定不起控制作用。基坑的抗隆起稳定性主要与桩墙结构嵌固深度大小有关。通常情况下，虽然按本规程要求确定嵌固深度的支护结构能满足抗隆起要求，但作为一种破坏形态，在特定条件下抗隆起稳定验算还是必要的。目前，各种文献介绍的抗隆起稳定验算公式较多，且方法不统一。本规程采用了常见的以极限平衡理论为基础的 Prandtl 地基极限承载力方法得出的公式。为与 GB50007《建筑地基基础设计规范》中相关内容的安全系数取值相统一，同样取为大于或等于 1.6。

5.2 结构内力和位移计算

5.2.1 本规程对桩锚支护结构采用的是平面应力问题计算方法，因此，当沿基坑的周边建筑物荷载、地层土性分布、基坑深度、变形要求等设计条件不同时，应针对不同的基坑周边条件分别进行设计计算，方能符合实际状况。本条强调了设计计算应对基坑周边条件加以区分，不应按设计参数的平均值或任一剖面的数值代表整体情况，如果取值不当，对有些部位会出现设计安全度不足而造成危害。对已合理划分的计算剖面，规定取不利条件下的计算参数，其目的也是为了保证同一剖面的各部位都能符合规程要求的安全度。

5.2.2 支护结构分析应分工况计算，考虑实际分层开挖的不同阶段支护结构的内力和变形情况。因为有时最大弯距、剪力或位移，并不一定出现在开挖到基底时的最后工况。同理，当地下结构施工过程中要求拆除锚杆，并用楼板结构替代锚杆的作用时，锚杆拆除时的工况支护结构内力也有可能大于基坑开挖到基底时的受力状况。

5.2.3 目前我国支护结构设计中常用的方法为弹性支点方法。多年来的工程实践证明，当嵌固深度合理时，用弹性支点方法和朗肯土压力理论确定支护结构内力及变形较为合理，已被大家普遍接受，在正常设计条件下的工程实践检验是安全可靠的。但考虑到传统的设计方法，悬臂式结构按极限平衡法及单层支点结构按等值梁法的计算方法的简捷且可采用手算，本规程还是保留了该计算方法。但因该方法无法计算支护结构位移，且对较复杂的边界条件和约束条件会产生难以控制的计算误差，规定用该方法计算仅限定在安全等级为三级的基坑中使用。

5.2.4 由于平面杆系有限元弹性支点法的具体要求在行业标准 JGJ120—99《建筑基坑支护技术规程》已有明确规定，为避免重复并符合国家工程建设标准编制的要求，本条采用了引用相关

规范的写法。

5.3 截面承载力计算

5.3.1 该条是将计算的结构内力标准值转换为设计值的规定。系数 1.25 是结构可靠度设计标准中荷载分项系数的体现。由于满足荷载和荷载效应的线性关系，将荷载基本组合的永久荷载分项系数放在荷载效应计算后相乘与在永久荷载标准值上相乘，其计算结果是相同的。行业标准 JGJ120—99《建筑基坑支护技术规程》采用的是当时编制时的《建筑结构荷载规范》要求的永久荷载分项系数，即 1.25。但修订后的现行 GB50009—2001《建筑结构荷载规范》为符合国家提高建筑结构可靠度标准的要求，将永久荷载分项系数由 1.25 调整为 1.35。由于基坑支护结构为临时性结构，且该系数采用 1.25 已广泛使用，本规范编制时仍沿用现行 JGJ120—99《建筑基坑支护技术规程》的取值，未进行相应提高。另外，公式 (5.3.1-1) 和 (5.3.1-2) 中增加了弯矩折减系数 η 。并规定：当采用截水帷幕或悬臂式桩墙支护时， η 取 0.9~1.0，其它情况 η 取 0.8~1.0。其理由是考虑目前北京地区的实际工程经验，对作为临时性的支护结构，对有经验的地区和有充分了解的地层，一定程度上放松了安全度的标准。但实际设计时要慎用，并要求 η 值不能低于 0.8。

5.3.2 该条规定对排桩、地下连续墙等混凝土结构，应符合现行国家相关混凝土结构规范的设计规定。结构构件设计计算时，执行相关规范，本规程不再另行规定。

5.4 锚杆计算

5.4.1 式 (5.4.1) 是将锚杆支点水平力标准值转变为锚杆轴向力设计值的公式，式中系数 1.25 的含义是永久荷载分项系数值。

5.4.2 式 (5.4.2) 是锚杆承载力极限状态下的设计表达式。

5.4.3 本条强调了锚固段与土之间的锚杆承载力设计值应通过现场试验确定的取值原则，分别对不同基坑侧壁安全等级提出了承载力的确定方法。表 5.4.3 给出的土体与锚固体极限摩阻力值是早期的试验数据统计结果，是根据我国土层锚杆施工技术水平以一次常压灌浆工艺为基础的统计值。由于我国各地区地层特性差异较大，且施工水平参差不齐。对于二次高压灌浆工艺，根据灌浆压力大小、二次高压灌浆方法（普通二次高压灌浆和重复分段高压灌浆）的不同，土体与锚固体极限黏结强度会不同程度上有所提高。由于目前缺少北京地区近年实际工程锚杆极限承载力试验的完整资料，所以未针对北京地区情况对该表数值进行修改，而仍沿用相关资料中早期的统计数值。因此，使用该表数值时应注意与实际摩阻力会有差别，并应根据经验和施工工艺的不同合理使用。

锚杆抗力分项系数取 1.30 是与传统安全系数法相配套的。按本节规定进行锚杆设计，转换为安全系数法，对应于安全等级一、二、三级，其安全系数分别大致相当于 1.78，1.62，1.46。

5.4.4 该条是对锚杆杆体强度的要求。当锚杆拉力确定后，锚杆抗拔力除满足第 5.4.2 条由摩阻力控制的承载力要求外，还应满足由杆体强度控制的承载力要求。杆体强度控制要求，也就是杆件截面面积按 GB50017《钢结构设计规范》中轴心受力构件或 GB50010《混凝土结构设计规范》中正截面受拉承载力计算的要求确定。

5.4.5 锚杆自由段长度是按基坑开挖到坑底工况时潜在滑移面位置确定的，滑移面以内的土体是不稳定的，此范围内的锚杆段对抗拔力不起作用，是非锚固段。非锚固段是客观存在的，不是设计时可随意取值的。因此，锚杆自由段的范围应该应设在此滑移面之外。通常此滑移面可按公式（5.4.5）计算，滑移面与桩墙结构的交点 O 取桩墙两侧主动土压力和被动土压力强度的相

等的力平衡点较为合理。自由段长度除满足按公式 (5.4.5) 计算的长度外, 还应满足第 5.5.13 条第 1 款不小于 5m 的规定。自由段不小于 5m 的要求, 是为了使锚杆张拉锁定后减少锁定拉力的损失, 并使锚杆在正常工作状态下受力稳定的要求。

5.4.6 正常情况下, 锚杆锁定后随基坑开挖和支护结构的进一步变形, 锚杆拉力相对与锁定拉力的增长不宜过大。为控制锚杆工作状态下的拉力不超过承载力的设计要求, 同时也要满足变形控制的要求, 取锁定拉力为锚杆承载力设计值的 0.50~0.65。

5.5 构造要求

5.5.1 桩锚支护体系在北京地区广泛采用, 是安全可靠、技术成熟、施工方便的支护形式。基坑开挖深度 $h \leq 8\text{m}$ 采用排桩支护的, 多用悬臂结构; 开挖深度 h 在 12~20m 的一般采用排桩和锚杆, 可在桩顶上设置土钉墙或砖砌挡土墙。

护坡桩直径一般多为 600 mm、800 mm 和 1000 mm, 护坡桩中心距分别为 1.2、1.6 和 2.0m 左右。本条规定护坡桩最大净间距不宜大于 600~900 mm, 一方面是充分利用北京地区相对于沿海软土地区土质自稳能力较好、易于形成土拱效应的特点, 一方面也是基于实践中的经验和教训, 要求充分注意不同季节、不同地段、不同土质条件、不同的地下水条件或者降水效果等因素, 需要综合考虑。一般桩直径大时, 净间距稍大; 桩直径小时, 净间距小。老城区人工填土厚、基坑周边管道复杂、渗水严重的区域, 北京北部和东部地区地层上部细粒土层厚、降水效果稍差的区域, 排桩净间距不宜太大。黏性土其自稳能力和颗粒连接性较好的, 可以取大值; 相反, 砂土地层较厚或较松散, 应该取小值。现有工程实践中也有采用大直径桩小间距的实例, 通常是为了配合采用高压喷射注浆帷幕的情况。

实践中也有采用小直径长螺旋钻机施工直径 400 mm 护坡桩的

实例，为保证护坡桩的施工质量，本条明确了最小桩径要求，不建议采用人工洛阳铲施工更小直径桩的做法。

5.5.3 排桩混凝土标号、钢筋等级、钢筋保护层厚度等规定是按照《建筑桩基技术规范》等规范要求而制定的。排桩纵向钢筋数量的规定，一方面考虑到北京地区基坑设计的实际情况，一方面也考虑相关规范的要求而作出的。

5.5.4 现有护坡设计计算，桩顶和连续墙顶部冠梁一般按构造要求设计，但是从提高排桩和地下连续墙的整体性看，冠梁的作用不可忽视。尤其是首层锚杆设置在冠梁上时，冠梁兼作锚杆传力结构，其设计应该通过计算决定。

基于实际工程中的做法和结构构造要求，规定了冠梁的截面尺寸，并要求冠梁和排桩或连续墙的顶部连接要满足 GB50010—2002《混凝土结构设计规范》的要求。冠梁宽度不小于桩直径，是为了保证排桩或地下连续墙竖向钢筋锚入冠梁后，保护层厚度满足要求。对冠梁高度的规定是为了满足排桩或连续墙受力主筋锚入其中的长度要求，一般护坡桩直径或连续墙厚度为 600 mm 时，构造要求的冠梁高度为 400 mm 左右，桩直径或连续墙厚度为 800 mm 时，冠梁高度为 600 mm 左右。混凝土强度等级不低于排桩和连续墙的强度等级，一般采用 C25。

5.5.5 桩间土的防护措施一般采用喷射混凝土护面的方法，鉴于目前北京地区的基坑工程的使用季节条件，基坑的使用要经历雨季或者冬季，加之坑边不明地下水和场区施工和生活用水的影响，设计和施工中均要求进行护面。本规程也给出了可以不做护面的限值条件，可根据具体工程条件采用。采用高压喷射注浆帷幕和排桩结合的情形自然也应属于此类。

含水层中设置泄水孔的做法在土钉墙的设计和施工中有明确要求，排桩支护的桩间土的防护可按土钉墙一节中的有关要求采用。桩间土在存在有外来渗水影响的情况下，也应该充分重视泄

水，以保证壁面的稳定，确保坑内作业的正常施工。

5.5.6 相对于排桩来说，地下连续墙支护结构在北京地区采用不多。一方面是北京地区土层和地下水疏干条件较沿海软土地区要好，地下水降低引起的地面沉降也易于控制，一方面也有施工周期和工程造价的因素。北京地区采用地下连续墙较早的项目有王府井宾馆、京广中心大厦、北京首都机场货场运路、中国银行总部大厦等项目，近期有国家大剧院核心筒部位、LG大厦和财源中心等项目。可以预计，随着城市建设开发的深入、相邻建（构）物关系的日趋复杂、随着国家对地下水资源管理的加强、随着规划建设中对红线管理的延伸，地下连续墙护坡结构在北京建筑基坑支护中的运用将会越来越多。

考虑较常用的抓斗规格的适应性以及支护深度，连续墙的厚度采用较多的是 600 mm 和 800 mm。水利水电项目的薄壁抓斗施工连续墙厚度可以为 400 mm 甚至更小，一般多用于单纯堤防和库区的防渗之用，用于建筑基坑支护也有其实用价值，但是对于厚度小于 400 mm 以下的地下连续墙来说，完全可以用排桩和高压喷射注浆帷幕来代替，因此条文规定了最小厚度限制。

槽段划分与成槽施工工艺、土质条件、混凝土灌注方法等有关。单纯的抓斗单次开槽宽度一般为 2.6~2.8m，前后两个单元槽的长度就是 6m，如果结合采用两钻（孔）配一抓或者三钻（孔）配两抓，前后两个单元槽的长度就接近 8.0m。但在混凝土灌注中，一般采用两根导管同时灌注，根据相关规范的要求，导管之间的距离不超过 3.0m，导管距槽段端部不超过 1.5m，适宜常规灌注方式的槽段长度一般在 6.0m 左右。所以条文规定除考虑槽壁的稳定和钢筋笼的起吊能力外，同时考虑成槽和混凝土灌注的要求，明确槽段长度不大于 8.0m。

5.5.7 作为支护结构的连续墙，C25 等级的混凝土能满足隔水和临时防渗的要求，兼作永久结构使用时，应以永久结构防渗设

计为主。

5.5.8 纵向受力钢筋的混凝土保护层厚度规定为 70 mm，是考虑到连续墙施工比排桩要求高，钢筋骨架安装、就位更复杂、准确定位相应较难而定。

5.5.9 理论和实践都表明，连续墙的隔水和挡土的薄弱环节是竖向接头的设计和施工。本条所指刚性和柔性接头型式是针对接头材料性质和构造型式而言，钻凿式接头、钢质（圆管或工字钢）接头管、钢质 U 型接头箱、钢筋笼隔板等都属于刚性接头。对于有防渗要求及墙段连接刚度要求的，应采用刚性接头。

5.5.11 当地下连续墙兼作地下结构外墙时，为了传递结构荷载（剪力、轴力和弯矩），需要与结构底板、楼板、梁或墙体形成有效连接，而需要在地下连续墙体内预埋或预留一些埋件。结构接头的型式有：预埋钢筋、预埋钢板、预埋连接器（接驳器）、预留剪力槽、钻孔埋筋、钢筋对焊等。

预埋钢筋就是把连接钢筋事先固定在地下连续墙的钢筋笼上，将其弯折在钢筋笼表面，用泡沫板等材料遮盖住，待基坑开挖到相应位置时，将泡沫板和预埋点周围的混凝土凿除，露出预埋钢筋并将其扳直。实践表明扳直钢筋时，直筋 16 mm 及其以下的圆钢筋容易扳直，所以规范规定预埋钢筋采用 HPB235 级钢筋。而直筋大于 22 mm 时，很难扳直，而且在常温弯折时会产生裂缝，解决的办法是采用接驳器连接等方法。

5.5.12 冠梁作为一般联系梁时，配筋按照构造要求配置。作为锚杆传力结构时，应该根据受力要求进行设计计算，执行 GB50010—2002《混凝土结构设计规范》。

5.5.13 锚杆自由段长度应超出设计计算的潜在滑裂面，同时为防止因自由段过短造成锚杆预应力施加后其弹性位移过小、一旦安装误差和锚头松动形成较大的预应力损失，所以规定了最小的自由段长度。

试验资料和理论研究表明：锚杆受力时，沿锚固段全长的黏结应力分布是不均匀变化的。受荷初期，黏结应力峰值在临近自由段处，随着荷载增大，其峰值向锚杆深部转移，但其锚固段端部的应力则会降低。根据有关锚杆荷载传递机制的研究结果表明，锚杆锚固长度超过一定值后，其承载力随锚杆长度的提高不是线性增长的，但北京地区实际工程中也有超过 20.0m 锚固段的情形。鉴于试验测试资料的缺乏，本规范对上限值没有明确，只规定了锚固段长度的下限。

定位支架设置的目的是为了保持杆体居中，规定支架的距离不超过 2.0m。

5.5.14 锚杆设置是以排和列的群体形式出现的，如果其间距太小，地层中的应力区重叠会引起应力叠加和锚杆位移增加，从而影响锚杆抗拔力的有效发挥，即产生“群锚效应”，所以本条规定了最小排距和水平间距。实践中也有排距小于 1.5m 的情况，可以在施工中改变相邻锚杆的倾角以降低群锚效应。为了使锚杆周围形成足够的土层接触应力，保证锚固效果，规范规定锚固体上覆土层厚度不宜小于 4.0m。

锚杆的作用是提供对桩墙结构的水平拉力，理论上讲，其倾角越小越好，但是倾角太小，会影响注浆和锚固效果；倾角越大，水平拉力占锚杆抗拔力的总体比例越小，相应来说也就越不经济，所以条文规定了适宜倾角的范围值。

5.5.15 关于锚杆注浆材料强度等级的规定，国内规范有不同要求。JGJ120—99《建筑基坑支护技术规程》规定锚杆锚固体强度等级不宜低于 M10，GB50330—2002《建筑边坡工程技术规范》规定浆体材料 28 天的无侧限抗压强度不应低于 25~30MPa。锚杆荷载传递和受力机制分析和试验结果表明：在土体对锚固体的握裹、锚固体本身的材料性能及其对杆体的握裹、杆体本身的材料性能等条件中，一般土体对锚固体的握裹是最薄弱的。本规程

采用了与 JGJ120—99《建筑基坑支护技术规程》一致的规定。

5.5.16 排桩之上设置砖砌挡土墙，有利于护坡桩施工时避开场地原有旧基础、管线等地下障碍物的影响并降低工程造价。由于上部砖墙易于拆除，有利于主体结构施工完成后室外管线的敷设。本规程结合北京地区工程实践经验，规定挡土墙高度不能超过 4m，并按照砌体结构和混凝土结构的要求，给出了一般配置要求，并明确挡土墙高度超过 2.5m 时，应进行构造柱尺寸及其配筋的验算。

5.6 施 工

5.6.1 排桩的施工目前在北京地区常用的有泥浆护壁成孔（反循环、正循环、冲击钻及旋挖静态护壁）和长螺旋钻机成孔，少数工程采用人工挖孔方法施工。尤其近年来发展起来的长螺旋钻机成孔、管内泵送混凝土后插钢筋笼成桩的施工工艺应用极为广泛，该方法的应用对成桩工艺是一个革命性的变革，在文明施工、提高效率、确保质量、减少泥浆污染等方面都有不可比拟的优势。

该工艺方法主要靠振动锤及传力管实现，振动锤常用的有 DZ-15 及 DZ-22，传力管刚度要高，常用直径为 $\varphi 135 \sim 300\text{mm}$ 。钢筋笼前端可以是“V”型或“W”型或其它易于插入到设计深度的型式，确保下笼过程中前端不被冲开。

其工艺流程主要是：测放主要轴线及标高→放桩位→钻机就位→钻进至设计标高→按规定速度边泵送砼边提拔钻杆至地表→钢筋笼内穿入传力管→插入钢筋笼→拔出传力管→移位施工下一根桩。

其中保护层垫块沿笼纵向至少每 4m 设一组，每组不少于 4 块，确保钢筋笼居中，保证保护层厚度及桩垂直度。

钢筋笼入孔时，应对准孔位，缓慢轻放，避免碰撞孔壁，

下笼过程中如遇阻力，不得强行下入，应查明原因后继续下笼。

如采用人工挖孔或旋挖钻机成孔施工，应严格按 DBJ/T01—26—2003《建筑安装分项工程施工工艺规程》认真执行，确保安全、质量。

5.6.2 地下连续墙的施工，应考虑对周围环境的保护要求，主要内容有：

1 成槽及基坑开挖过程中对邻近建筑物、构筑物 and 地下管线的影响。

2 施工过程中噪声、振动以及废气泥浆等对居民和市容的影响。

槽段开挖前应沿地下连续墙墙面两侧构筑导墙。导墙多采用现浇钢筋混凝土结构。导墙应筑于坚实的地层上，背后需要回填时，应用黏性土分层夯实，必要时可填筑素混凝土，不得漏浆。导墙应及时加设墙间支撑。现浇混凝土达到设计强度前，重型施工机械设备不得在导墙附近停置或作业。

地下连续墙成槽时应加强观测，防止槽壁失稳塌落。在可能漏失泥浆的土层中施工时，应适当提高泥浆黏度并备好堵漏材料，当坍塌严重时，应及时回填并重新成槽。

泥浆拌制，宜选用膨润土，使用前应取样进行配比试验。新鲜泥浆应存放 24h 以上或添加分散剂，使膨润土或黏土充分水化后方可使用。

5.6.4 由于地层条件或施工条件的限制，有时钻孔位置不能完全按设计要求布置，这就难免使孔位有适当的偏差，但为了确保锚杆的整体作用，规范中对锚杆孔位误差作了规定。

水泥砂浆或纯水泥浆的配合比直接影响着注浆体的强度、密实性和施工的顺利进行。水灰比太小，可注性差，易堵管，影响注浆作业的正常进行；水灰比太大，浆液易离析，注浆体密实度

不易保证，硬化过程中易收缩，将影响锚固效果。本规范给出的水灰比能满足一般注浆的要求。

二次高压注浆（以北京地铁支护工程为例）主要是劈裂一次灌浆形成的结石体，并向周围土体渗透、挤压、扩散。若一次注浆的浆液尚未形成一定强度的结石体时即进行二次高压注浆，难以实现二次高压注浆效果；若在结石体强度过高时进行二次高压注浆，则由于注浆工艺的限制，不能冲开水泥结石体二次高压注浆无法实施。因此，选择二次高压注浆的适宜时机尤为重要。根据已有实践经验，规定二次高压注浆应在一次灌浆的结石体强度近似达到 5.0MPa 时进行。为了使二次注浆时有足够的浆液有效地向土体扩散、挤压，二次高压注浆应由下向上进行。

在锁定过程中，张拉荷载一般都要回缩，故应超张拉至 0.9~1.0 倍的锚杆设计轴向拉力值，然后再卸荷锁定，以保证锚杆预应力值满足设计要求，同时也检验了锚杆承载力能否达到设计值。

锚杆施工应考虑对临近建构筑物、地下管线的影响，北京某大厦基坑施工因为在临近建筑下施工锚杆（和土钉），采用了常规的施工方法，导致该建筑物倾斜，赔偿额高达上亿元，后果极为严重。正确的方法应当是采用“跳打”结合“打一根灌一根”进行施工，将锚杆（或土钉）成孔施工对临近建构筑物的影响降至最小，确保其安全。

5.7 质量检测

5.7.1~5.7.2 基坑支护结构中的排桩、地下连续墙的施工一般均采用现场灌注混凝土的方法，与支模浇筑混凝土施工方法相比，较易出现混凝土质量缺陷。而排桩、地下连续墙的承载性能主要表现为抗弯和抗剪承载力，桩（墙）身混凝土的完整性对抗弯和抗剪承载力的影响很大。因此，本规程强调混凝土完整性的

检测，检测方法、检测数量等要求参考现行标准《建筑地基基础设计规范》、《建筑地基基础施工质量验收规范》、《建筑基桩检测技术规范》的有关规定。

6 土钉墙

6.1 一般规定

6.1.1、6.1.2 主要对土钉墙的水文地质条件的适用性进行了规定。这是由于土钉墙的施工工艺要求开挖侧壁土体必须具有一定时间的自稳能力决定的。

6.1.3 本条除了对土钉墙适用的基坑深度及安全等级作了明确规定指出，对于开挖深度超过规定，对周边建（构）筑物变形控制较严时，可采用土钉墙与预应力锚杆、护坡桩、超前微型桩等联合支护型式。

6.1.4 本文强调土钉墙设计施工时应考虑施工周期、气候季节（雨季、冬施）、外界振动等环境因素对陡坡开挖面暂时裸露土体、松散饱和或较干的粉土（砂）层坡体稳定性的影响。

6.1.5 本条强调土钉墙设计施工必须要有监控方案，监控方案应符合本规程相关规定。

6.1.6 本条主要针对北京地区土钉墙施工常用土钉设置工艺，提出可采用钻孔、打入等方式。设计人员应该注意，当采用打入式土钉时，土钉锚固体与土体极限摩阻力标准值宜取低值，除非有特殊手段能保证注浆效果与质量。

6.2 设计

6.2.1 本条主要针对目前土钉墙设计理论在国内外还处于相对不太完善与成熟的前提下，强调工程经验，采用工程类比方法指导初步设计的必要性。对于地区规程，本条更具针对性。

6.2.2 本条主要规定了土钉墙设计应包括的主要内容。其中土钉墙与面层的连接构造、混凝土面层与坡顶的防护设计往往是设计中较易忽视的内容，而恰恰又是引发土钉墙工程质量事故的主要原因。目前北京地区基坑工程事故中采用土钉墙支护型式的占

首位。由于设计原因造成事故的比例也较高。因此，本条特别提出，对重要工程，指土钉墙支护深度超过 10m 的、或周边环境条件要求严的基坑工程，宜采用经本市相关部门鉴定通过的有限元分析方法，对土钉墙支护进行变形分析，并结合施工监测结果分析，进行动态反馈设计。

6.2.3 本条强调土钉墙设计所采用的土钉与周围土体之间的界面黏结强度参数应以现场实测结果为依据。

6.2.4 表 6.2.4 提供推荐值仅为初步设计或无现场资料时参考使用。在同等地质条件下，建议打入式土钉取低值。当土钉施工中有具体措施保证注浆质量时，取高值。当采用高压注浆时可按试验确定或按经验适当提高。

6.2.5、6.2.7 根据目前对土钉墙的工作机理研究成果，本规程采用平面应变假设。假定单个钉体承受局部土体压力并考虑坡体倾角对土钉墙承受荷载的有利削弱作用。

6.2.9 对于基坑侧壁安全等级为三级的土钉墙支护、其土钉抗拉承载力设计值计算可假定土钉墙破坏型式为直线型破裂面。考虑侧壁坡体倾角原因，其破坏面倾角与水平面夹角取为 $(\beta + \varphi_k) / 2$ ，与直立坡体的夹角 $\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_k}{2}$ 相比，偏与安全。值得注意的是所计算得到的土钉抗拉承载力设计值应满足土钉材料强度要求。

6.2.10 由于土钉墙施工工艺的要求，土钉墙设计应保证土钉墙施工每个阶段的坡体稳定性。因此，本条强调，应对土钉墙施工期间的不同开挖深度以及基底以下可能产生的滑动面，采用圆弧滑动简单条分法进行整体稳定性验算。

6.2.11 本条指出，在进行土钉墙整体稳定性验算时，土钉的有形作用只能计及土钉在圆弧滑裂面以外的有效抗拉力。

6.2.12 本条主要对土钉墙的构造提出了具体要求。特别对土钉

与面层的连接、为控制侧壁土体变形的构造措施、土钉长度等从构造方面进行了强调，特别是土钉与面层连接应严格按照现行相关规范要求确保土钉与面层连接牢固、受力合理。对于面层厚度，应根据土钉墙支护高度逐渐加厚。当采用预应力锚杆与土钉联合支护时，面层厚度还应满足局部受压验算要求。

6.2.13~6.2.15 提出了采用局部预应力锚杆与土钉联合支护的构造等定性技术措施，以指导目前预应力锚杆与土钉联合支护的设计与施工。预应力锚杆与土钉联合支护其作用机理更为复杂，目前对此认识还不十分深入，只能根据以往理论研究、工程实践与实测分析，综合在构造及定性（概念）设计角度予以规定。由于土钉墙支护侧壁变形一般均为中部鼓出型（支护深度较大时），因此预应力锚杆建议宜设置在加固侧壁的中部，同时为了充分发挥预应力锚杆限制侧壁水平变形的作用，建议锚杆间宜保证一定的间距，并应比常规设计相应位置处土钉长度长 0.35 倍。

6.2.16、6.2.17 针对侧壁土坡自稳性差的工程，可采用超前微型桩进行局部补强后施作土钉墙。本条对超前微型桩的构造要求进行了规定。

6.3 施 工

6.3.2~6.3.4 本条对土钉墙施工顺序、坡面稳定与保护等要求作了规定。

6.3.5 本条针对北京地区经常遇到的土钉墙支护基坑、局部存在高含水量的黏性土和无天然黏结力的砂土等自稳能力差的土层，可采取的技术措施。

6.3.6~6.3.8 本条明确土钉墙施工时采取的排水措施应包括地表排水、内部排水以及基坑排水等内容，并提出相关技术措施。

6.3.9 本条专门针对冬施条件下进行土钉墙施工作了限制，当冬施不可避免时，必须有相应的结构、构造与防排水措施，以避

免冻胀引起的土钉墙破坏。

6.4 质量检验与监测

6.4.1 2 对混凝土面层，本款仅强调对面层的厚度提出检测方法 & 要求，而对面层砼强度未提出检测要求。主要是考虑到根据目前土钉墙混凝土面层施工，只要材料、配合比、喷射工艺按照本规程要求进行施工，砼强度的离散程度不应是影响土钉墙面层工作的控制因素。反之，目前北京地区土钉墙面层施工中，恰恰是由于施工时修坡不认真，由于面层厚度得不到保证使得钢筋网片与砼不能形成一个完整的整体发挥作用而发生工程质量事故。同时，面层砼强度检测方法目前还不具有典型性与可操作性。因此本款仅对砼面层厚度提出检测方法 & 要求。

6.4.2、6.4.3 本条对土钉墙支护监测内容、检测数据提出了具体要求。特别对施工中常常容易忽视的渗漏水观测、裂缝观察等提出了要求。

7 地下水控制

7.1 一般规定

7.1.1 对于地下水位以下开挖基坑时，需要考虑的问题主要有：1. 能否疏干基坑内的地下水，得到便利安全的作业面；2. 在造成水头差条件下，基坑侧壁和底部土体是否稳定；3. 由于地下水的降低，是否会对邻近建筑、道路和地下设施造成不利影响。

本规范中的地下水控制是指在最大限度地保护地下水资源和基坑周边环境的前提下，为保证支护结构施工、基坑挖土、地下室施工安全所采取的控制基坑内外地下水位的方法。合理确定地下水控制的方案是保证工程质量，加快工程进度，取得良好社会效益的关键。根据北京市地下水赋存状态和地下水资源形势，本规范中强调地下水控制方案要重视社会责任，最大限度减少抽取地下水量，避免地下水环境质量恶化。

表 7.1.1 列出了北京市基坑支护工程中经常采用的四种地下水控制方法及其适用范围。为满足基坑支护工程和保护地下水资源和周边环境的需要，往往需要多种方法的组合使用。地下水控制方法的选用应注意以下几个方面：

- (1) 含水层埋藏条件及其水位；
- (2) 各含水层的水质对地下水控制方法的限制；
- (3) 含水层的渗透性及其对基坑支护和开挖的作用；
- (4) 场地周边地下水开采情况及其停抽后对本工程的影响；
- (5) 场地周边环境的限制要求。

7.1.3 基坑侧壁安全等级依据表 3.1.4 确定。本规范规定，只要基坑的一个侧壁安全等级定为一級，就应进行基坑及其周边一定范围的专门水文地质勘察。对于位于单一水文地质单元的基坑，勘察范围应不小于基坑范围以外一倍基坑深度。对于位于多

个水文地质单元或所在地水文地质条件变化较大的基坑，勘察范围应适当扩大，满足制定地下水控制方案的需要。

7.1.4 在基坑周围环境复杂时，地下水控制方案的确定应充分论证和预测地下水位降低对环境的影响和变化，防止发生因地下水的改变而引起的地面下沉、道路开裂、管线错位、建筑物偏斜、损坏等危害。如存在上述危害的可能性，宜采用截水或回灌的方法，以使基坑外地下水位不产生大的变化。

基于北京市的具体情况，如降低地下水位可能抽取大量的地下水资源，并且地层组合条件和场地条件可满足截水或回灌措施的要求，宜采用截水或回灌方法。当采用回灌方法时，需要考虑各层水混合后对地下水环境的影响，应避免上层水导入下层水引起下层水水环境的恶化。

7.1.5 当基坑下有不透水层或弱透水层，且其下有承压水层时，由于在基坑开挖过程中，上覆岩土自重减小，当承压水的压力大于上覆有效土层的重力时，基坑底部的薄弱处将发生隆起，甚至冲破上覆土层。因此，需要验算结果确定是否布设减压井，以降低承压水的压力。

7.2 集水明排

7.2.1~7.2.5 集水明排是在基坑内设置排水沟和集水井，用抽水设备将基坑中水从集水井抽出，达到疏干基坑内积水的目的。集水明排可单独采用，亦可与其它方法结合使用。当含水层底板位于基坑底面以上或基坑地面接近含水层底板时，降水方法可能存在疏不干问题，需要集水明排。当实际工程中出现采用集水明排补救降水方法出现的疏不干问题，预留的肥槽满足不了技术要求的情况时，排水沟和集水井的设置要验算对边坡支护结构稳定性的影响。

集水明排需要注意避免出现流砂、管涌、边坡塌陷、地面沉

降等问题。

7.3 降 水

7.3.1 本条规定了降水井的布置原则。对于三级基坑且有经验时的井间距应根据含水层的渗透性和基础底板至含水层底板的距离确定，当含水层渗透性差或基础底板至含水层底板的距离较小时，易取小值，当含水层渗透性好或基础底板至含水层底板的距离较大时，易取大值。当含水层较厚且要求的水位降深较小时，也可根据经验适当加大井间距。对于辐射井的布置，由于目前在理论上还没有解决辐射井相互干扰的水位计算问题，因此只能通过试验或相同条件下的成功经验来确定辐射井辐射管的具体分布和数量，使之控制基坑范围内的有效水位降深达到降水技术要求。而对于多层含水层或条件复杂的地区，当辐射井不能单独完成降水工作，由于成本较高，应慎重选择辐射井降水方法。

7.3.3 本条规定了线型基坑和圆型基坑的降水井数量计算方法。考虑到井管堵塞或抽气会影响排水效果，在计算出的井数基础上加10%。表7.3.3是一般情况下基坑总涌水量常用的典型计算公式。基坑涌水量计算是依据不同的水文地质条件、降水区形状、面积、支护设计对降水的要求进行的，列出的公式并不能满足所有工程的需要，因此，实际工程中可以根据需要参照有关的水文地质、工程地质手册和教材，选择符合水文地质条件的计算公式。对于复杂工程或水文地质条件复杂但明确时，鼓励采用数值法进行设计。由于工程场区含水层厚度并不均匀，且地下水存在一定的流向和流速，当依据公式计算的降水井数量在均匀布点后有可能满足不了局部位置地下水位降低要求，而某些位置也有可能超深降低地下水位，因此，应根据布点后降水效果的估计和预测，优化降水井的布置和数量以及降水井的深度。

7.3.4 单井出水量取决于所在地区的水文地质条件、过滤器的

结构、成井工艺和抽水设备能力。本条根据经验和理论规定了降水单井的出水能力。对于辐射井的出水能力计算，从实际的情况看，所列公式并不能完全满足工程精度要求，在实际工程中可根据经验或试验修正辐射井的出水量。

需要注意的是，在降水设计预测计算中，设计分配每个降水井的出水量不应大于降水井的出水能力。在群井抽水情况下，随着地下水位的下降和井群的相互干扰，基坑总涌水量会逐渐减少，各单井的出水量也将不断降低，当各单井出水能力满足不了总涌水量的要求时，基坑范围内的地下水位将不再降低，如基坑内地下水位降低程度不能满足工程施工要求，需要重新确定单井出水量，即小于单井出水能力。

7.3.6 当检验干扰井群的单井流量满足基坑涌水量的要求后，降水井的数量和间距就能确定。为了确保基础施工在干燥的基坑中进行，应进一步对由于干扰井群的抽水疏干后所降低基坑地下水位进行验算。

基坑中心及关键部位的水位下降值的验算，是降水设计的核心，它决定了整个降水方案是否成立，这也涉及到降水井的结构和布局的变更等一系列优化过程，也是一个试算过程。

对于水文地质条件复杂或基坑形状复杂的工程，采用解析解方法计算有时达不到要求，而用数值法计算可更好的模拟基坑内外的降水深度，这对降水方案设计优化很有意义。

除此之外，也可以采用专门的水文地质勘察如群井抽水试验或降水工程施工前试验性群井降水，在现场实测出基坑范围内总降水量和各个降水井水位降深的关系，以及地下水位下降与时间的关系，利用这些关系拟合出相关曲线，以推测各种布井条件下基坑水位下降值，以便选择出最佳的降水方案。此种方法是最直接也有效的方法，对水文地质结构比较复杂的基坑降水计算尤为合适。

7.3.7 在降水设计中采用井点或辐射井技术的水位预测目前还是最不准的。井点降水中，由于井点数量很多，井点间距较小，一方面计算工作量很大，另一方面每个井点的出水量很难控制，用管井理论计算结果与实际情况差异很大，一般情况下，目前普遍采用的井点间距和单井出水能力已远大于基坑来水量，因此当总出水量大于基坑来水量一倍以上时，可以不用预测地下水位降低程度。

辐射井降水的水位预测，尤其是两个以上辐射井同时干扰抽水情况下的水位预测计算，目前还没有合适的计算公式，因此，只能以辐射井的集水管的分布范围及其抽水能力来控制，即辐射井应是降水区的各降水含水层出水量一倍以上，一般情况下可以达到降水深度要求。

7.3.9 随着深大基坑的大量出现，其降水受到高度重视，为加速地下水位的下降、提高降水效果，并为基坑开挖土方创造条件，应根据地层条件优先考虑在基坑内布设一定数量的渗井，条件不具备时也可布设抽水井。当上下层水水质混合后不影响地下水环境时，可在基坑四周的抽水井之间布设渗井，以在含水层渗透系数较小，抽水井影响范围有限时提高降水效果、加速地下水位的下降。

7.3.10 采用渗井降水的工程，主要通过引渗井将上层水引渗至基坑底部以下强导水层中消纳，达到降水的目的。一般情况下，采用渗井方法要符合三个条件：上部含水层的渗透性要低于下部含水层；基坑出水量要小于下部含水层水位上升至基底以下0.5m时可消纳的水量；下部含水层水位应远低于基坑底面。采用渗井降水需要考虑三方面的问题：

一是需要多少渗井才能满足将上层水全部导入下部强含水层，下部强含水层能否快速消纳。需要注意的是渗井的出水能力与成井质量关系很大，现实中常会出现渗井出水能力不足造成上

层水水位降不下去的情况。

二是在接纳上层水的下部强含水层水位将上升，抬升的水位如果在基坑底面以上，不能满足降水技术要求，可以采用抽渗结合的方法。水位变化预测可以用达西公式和裘布依公式等计算。

三是北京市的上层水水质一般较差，采用渗井把上层水导入下层水会造成下层水水质恶化，因此，采用渗井方法应以不恶化下层水水环境为前提。目前降水工作完成后的封井，有时也不能有效封堵地下水之间通过渗井过滤层的联系，会造成长时间的影响。

7.3.11 随着城市建设越来越密集，施工降水引起的地面沉降对临近建（构）筑物及各类管线等的影响越来越不能忽视，如何评价这种影响成为施工降水设计重要的内容。目前比较常用的方法是采用线性变形体计算模型，用分层总和法计算地面沉降量。采用分层总和法计算评价地面沉降应先计算基坑及其周边地下水位降低值，并确定基坑及周边的孔隙水压力变化，然后通过确定有效应力增量计算地面沉降增量。由于分层总和法的理论假定条件遵循虎克定律，应力—应变呈直线关系，土体任何一点都不能产生塑性变形等等，与土体的实际应力—应变状态不相一致，同时公式中采用的计算参数系室内有侧限固结试验测得的压缩模量，试验条件与基础底面压缩层不同深度处的实际侧限条件不同等，因此计算值与实际值有一定出入，考虑到工程的安全性，采用分层总和法计算结果偏于安全，本规范中规定，可以用分层总和法计算结果评价地面沉降的影响。

7.3.18 由于降水井和供水井不同，降水井是短期行为，供水井是长期使用，只要降水井在降水期间不会产生不良地质现象和降水设备正常运转就行，因此，降水井在抽水初期和运行后的含砂量远小于供水井的含砂量。由于辐射井的辐射管反滤层的形成和基坑开挖后土层的减薄容易造成不良地质现象，因此，对辐射井

抽水半小时和运行时的含砂量要求比管井要求严格。

7.4 截 水

7.4.2~7.4.4 竖向截水帷幕的形式有两种：一种是插入隔水层，另一种是含水层相对较厚，帷幕悬吊在透水层中。前者须进行基底渗流稳定、隆起验算，必要时可加深竖向截水帷幕深度或采用基坑内设降压井保证施工安全。后者需要考虑绕过帷幕涌入基坑的水量，评价基坑内降水井数量和布置及其可能造成的周边环境问题，必要时进行封底或采用其它方法。

7.5 回 灌

7.5.1 基坑开挖或降水后不可避免地要造成周围地下水位下降，从而使该地段的地面沉降和地下构筑物因不均匀沉降而受到不同程度的损伤。为减少这类影响，可对保护区内采取回灌措施。如果建筑物离基坑远，且为均匀透水层，中间无隔水层时，则可采用最简单、最经济的回灌沟的方法，如果建筑物离基坑近，且为弱透水层或有隔水层时，则必须用回灌井或回灌砂井。如果从保护地下水资源角度考虑时，可以用回灌方法把抽取的地下水回灌至同层或异层中，异层回灌需考虑各层水水质的差异和影响。

7.5.2 回灌井与降水井之间应根据同层回灌或异层回灌分别确定。对于同层回灌，当回灌井与抽水井距离过小时，水流彼此干扰大，透水通道易贯通，将加大抽水负担，也有可能使降水效果大大降低，同时，基于保护周边环境时，也很难是被保护物地下水位保持在原始状态。条文中确定的同层回灌的回灌井与降水井的距离不宜小于6m，在北京是一个偏小的距离，对于砂类土或许可行，对于碎石类土则距离太小。回灌井与降水井的距离应根据含水层的透水性、厚度等，通过计算确定，一方面最大限度减

少抽水井抽取的水量，另一方面确保被保护物的安全。对于异层回灌，回灌井与降水井的距离没有限制，但要确保回灌井成井质量和抽水层位和回灌层位之间的封堵效果。

7.5.3 从保护已有建筑物、构筑物 and 地下管线设置回灌井，主要是确保在被保护物周围地下水位没有大的变化，这就要求合理设置回灌井的位置和井的间距，使基坑降水的影响范围不超过回灌井并排的范围。一般而言，回灌井平面布置主要根据降水井和被保护物的位置确定，回灌井的数量应根据抽水井数量、降低地下水位影响范围和程度、回灌井的效用等综合确定。

7.5.6 回灌砂井的砂必须是纯净的中粗砂，不均匀系数和含泥量均应保证砂井有良好的透水性，使注入的水尽快向四周渗透。

7.5.7 由于回灌设施的效率是回灌措施成败的关键，因此对回灌井的日常维护是施工过程中的重要工作。一方面，回灌用水要保持清洁，以防止堵塞，另一方面，应定期对回灌井进行回扬，清洗透水通道，保证回灌井的效率。

为保护已有建筑物、构筑物 and 地下管线进行的回灌，回灌水量应根据实际的地下水位的变化及时调节，既要防止回灌水量过大而渗入基坑影响施工，又要防止回灌水量过小，使地下水位失控影响回灌效果，因此，要求在基坑附近设置一定数量的观测孔，定时进行观测和分析，以便及时调整回灌水量。

7.5.8 有时回灌后引起的地下水位升高可能造成如已有地下室漏水等不良现象，为避免不必要的灾害产生，回灌后引起的水位不宜超过原水位标高，因此，应在回灌井和被保护物之间设置一定数量的观测孔，定时进行观测和分析，以便及时调整回灌水量。

7.6 监测

7.6.1 对于一个基坑而言，一般情况下，初期抽水量较大，后

期出水量逐渐减小到一个稳定程度。在抽水后期，许多基坑会出现降水井水位较低，水泵抽不上来水的情况，这就要求抽水过程中应定时对降水井中地下水位进行量测，并宜对抽水量进行量测，根据降水井的水位情况及抽水量，及时调整各井抽水量，确保水泵能够正常运转。

7.6.2 基坑降水可引起基坑周边一定范围内的地面沉降，对临近基坑的建筑物及各类地下管线可能造成不利影响，因此，应在临近基坑的建筑物及各类地下管线上设置沉降观测点、定时观测沉降，通过沉降量及变化趋势分析对建（构）筑物的影响程度，以便及时采取工程措施。

7.6.3 降水井水位一般情况下不能代表基坑中心及周边地下水位变化情况，因此，在基坑中心或群井干扰最小处及基坑四周，应布设一定数量的观测孔。通过定时量测坑内、外观测孔中地下水位变化，可以准确判断降水效果，有效指导基坑开挖进程。

7.6.4 降水运行期间，已经出现过降水井抽水（或明排中）含砂量过大，造成基坑或周边的地面塌陷，危害很大，为避免出现类似现象，本规范明确规定了降水运营期间的抽水含砂量限值，这就要求降水期间定时测量抽排水的含砂量，如果含砂量超过允许值，必须采取诸如停抽、补井等工程措施。

7.6.5 定时量测抽排水量有两个作用，一是根据抽排水量的变化适当增减抽排水井的运行时间，达到运行经济和对环境影响最小化的目的，二是可以了解施工降水量的情况。量测抽排水量可以用堰箱法和流量计法等。