

修 订 说 明

根据《河南省住房和城乡建设厅关于印发 2026 年工程建设标准编制（修订）计划的通知》（豫建科〔2026〕53 号）的要求，编制组在总结《河南省基坑工程技术规范》DBJ41/139-2014 实施情况的基础上，结合我省实际，通过反复讨论、修改和完善，对本标准进行局部修订。

本标准的主要技术内容：总则、术语和符号、基本规定、勘察与环境调查、土压力与水压力、基坑工程稳定性、土钉支护、悬臂式支护、支挡式支护、其他形式支护、盖挖法与逆作法、地下水控制、基坑监测。

本次局部修订的主要内容有：1.调整各章节内容，与国家现行有关标准相协调；2.细化基坑超过设计使用年限相应条款；3.完善基坑工程安全评估相应条款；4.调整抗隆起稳定性计算方法等。

本标准由河南省住房和城乡建设厅负责管理，由郑州大学综合设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请寄送郑州大学综合设计研究院有限公司（郑州市金水区文化路 97 号，邮政编码：450002）

本标准下划线部分为修改的内容。

本次局部修订的主编单位：郑州大学综合设计研究院有限公司

河南省建院勘测设计有限公司

本次局部修订的参编单位：中化地质河南局集团有限公司

郑州大学

郑州交通发展投资集团有限公司

郑州大学建设科技集团有限公司

河南省大河基础建设工程有限公司

河南省城乡规划设计研究总院股份有限公司

中铁建设集团中原建设有限公司

黄河科技学院

河南理工大学

河南省建设基础工程有限公司

黄淮学院

山西冶金岩土工程勘察有限公司

第五工程代建管理办公室

河南省省直保障性住房建设管理中心

本次局部修订的主要起草人员：周同和 付进省 赵迷军 高 伟 张四化

宋建学 赵海生 郭院成 吉建华 陈秀云

任 磊 许丁亮 李永松 赵鸿杰 宋进京
何德洪 李 晴 杨文强 马伟召 张小平
王 智 李志永 朱 翔 齐瑞文 王 辉
李贝哲 陈 阳 张 泓 张 震

本次局部修订的主要审查人员：

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	6
4	勘察与环境调查	11
4.1	一般规定	11
4.2	工程勘察与测试	11
4.3	环境调查	14
4.4	勘察报告	14
5	土压力与水压力	16
5.1	一般规定	16
5.2	静止土压力	16
5.3	主动土压力	16
5.4	被动土压力	19
5.5	特殊情况下的土压力	20
6	基坑工程稳定性	24
6.1	一般规定	24
6.2	整体稳定性	24
6.3	抗倾覆稳定性	28
6.4	抗滑移稳定性	29
6.5	抗渗流稳定性	30
6.6	抗隆起稳定性	31
7	土钉支护	33
7.1	一般规定	33
7.2	土钉墙	33
7.3	复合土钉墙	38
8	悬臂式支护	43
8.1	一般规定	43
8.2	排桩	43
8.3	双排桩	45
8.4	地下连续墙	48
9	支挡式支护	51
9.1	一般规定	51
9.2	排桩-预应力锚杆	51
9.3	双排桩-预应力锚杆	55
9.4	排桩-内支撑	56
9.5	型钢水泥土搅拌墙-锚杆	58
10	其他形式支护	61
10.1	一般规定	61
10.2	放坡	61
10.3	排桩-复合土钉	62

10.4 联合支护	64
11 盖挖法与逆作法	66
11.1 一般规定	66
11.2 设计	66
11.3 支护结构施工与土方开挖	68
11.4 施工监测	70
12 地下水控制	72
12.1 一般规定	72
12.2 截水帷幕	73
12.3 集水明排	74
12.4 降水设计与施工	74
13 基坑监测	81
13.1 一般规定	81
13.2 监测要求	81
13.3 应急措施	82
13.4 监测报告	83
附录 A 锚杆抗拔试验要点	84
附录 B 降水引起的沉降计算	88
附录 C 基坑总涌水量计算	90
附录 D 建（构）筑物地基变形限值	93
本规范用词说明	94
引用标准名录	95
附：条文说明	96

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	3
3	Basic Requirement.....	6
4	Investigation of Foundation Excavation and Surrounding Area.....	11
4.1	General Requirements.....	11
4.2	Engineering Investigation and Tests.....	11
4.3	Investiagtion of Surrounding Area.....	14
4.4	Investigation Report.....	14
5	Earth Pressure and Water Pressure.....	16
5.1	General Requirements.....	16
5.2	Earth Pressure at Rest.....	16
5.3	Active Earth Pressure.....	16
5.4	Passive Earth Pressure.....	19
5.5	Earth Pressure in Particular Cases.....	20
6	Stability of Foundation Excavation.....	24
6.1	General Requirements.....	24
6.2	Global Stability.....	24
6.3	Stability Against Overturning.....	28
6.4	Anti-sliding Stability.....	29
6.5	Anti-seepage Stability.....	30
6.6	Vertical Stability.....	31
7	Soil nail.....	33
7.1	General Requirements.....	33
7.2	Soil Nailing Wall.....	33
7.3	Composite Soil Nailing Wall.....	38
8	Embedded Supporting.....	43
8.1	General Requirements.....	43
8.2	Soldier Pile Wall.....	43
8.3	Double-row-pile Wall.....	45
8.4	Diaphragm.....	48
9	Retaining Structures.....	51
9.1	General Requirements.....	51
9.2	Soldier Pile Wall and Prestressed Anchor.....	51
9.3	Double-row-pile Wall and Prestressed Anchor.....	55
9.4	Soldier Pile Wall and Strut.....	56
9.5	Steel Cement-soil Wall and Anchor.....	58
10	Other Retaining and Protection for Excavations.....	61
10.1	General Requirements.....	61
10.2	Slope Excavation.....	61

10.3	Soldier Pile Wall and Composite Soil Nailing Wall.....	62
10.4	Combined Supporting.....	64
11	Cover-excavation Method and Reversed Construction Method.....	66
11.1	General Requirements.....	66
11.2	Design.....	66
11.3	Construction of Retaining and Protection Structure.....	68
11.4	Inspection and Monitoring.....	70
12	Groundwater Controlling.....	72
12.1	General Requirements.....	72
12.2	Curtain for Cutting Off Drains.....	73
12.3	Drainage Galleries.....	74
12.4	Design and Construction of Dewatering.....	74
13	Safety Monitoring.....	81
13.1	General Requirements.....	81
13.2	Safety Monitoring.....	81
13.3	Emergency Protocol.....	82
13.4	Monitoring Report.....	83
Appendix A	Kernel of Anchor Pull out Test.....	84
Appendix B	Analysis of Settlement Due to Dewatering.....	88
Appendix C	Simplified Calculation for Water Discharge in Excavation Pit.....	90
Appendix D	Allowable Subsoil Deformation of Building and Structure.....	93
	Explanation of Wording in This Code.....	94
	List of Quoted Standards.....	95
	Addition: Explanation of Provisions.....	96

1 总 则

1.0.1 为了在河南省行政区域内的基坑工程中做到安全适用、保护环境、技术先进、经济合理，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于一般地质条件下基坑工程的勘察、设计、施工、检测与安全监测。对膨胀土、盐渍土、湿陷性黄土等特殊土条件下的基坑工程，应在积累工程经验的基础上参照执行。

1.0.3 基坑工程设计、施工和监测，应综合考虑地质条件、基坑开挖深度、基坑周边环境条件与保护要求、主体工程要求、施工季节变化、施工能力等因素，做到因地制宜、精心设计、安全施工、严格监控。

1.0.4 基坑工程除应符合本规范的规定外，尚应符合国家及河南省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 基坑 excavations

为进行建（构）筑物地下部分的施工由地面向下开挖出的空间。

2.1.2 基坑周边环境 surroundings around excavations

与基坑开挖相互影响的周边建（构）筑物、地下管线、道路、岩土体与地下水体的统称。

2.1.3 支护结构 retaining and protection structure

支挡或加固基坑侧壁的结构。

2.1.4 设计使用年限 design workable life

设计规定的从基坑开挖至完成基坑使用功能的时段。

2.1.5 支挡式结构 retaining structure

以挡土构件或以挡土构件为主配合锚杆或支撑的支护结构。

2.1.6 土钉 soil nail

植入土中并注浆形成的承受拉力的杆件。

2.1.7 土钉墙 soil nailing wall

由随基坑开挖分层设置的、按一定间距纵横向分布的土钉、喷射混凝土面层与土钉范围内的土体所组成的重力式支护结构。

2.1.8 复合土钉墙 composite soil nailing wall

土钉墙与预应力锚杆、微型桩、水泥土桩、混凝土排桩等支挡构件中的一种或多种组成的复合型支护结构，分为水泥土桩复合土钉、微型桩复合土钉等。

2.1.9 排桩 soldier pile wall

沿基坑侧壁按一定间距要求排列设置的支护桩与冠梁组成的支挡式结构部件或悬臂式支挡结构。

2.1.10 双排桩 double-row-piles wall

沿基坑侧壁按一定间距要求排列设置的由前、后排桩和连梁组成的支挡式结构。

2.1.11 锚杆 anchor

由筋体（钢绞线、普通钢筋、热处理钢筋或钢管）、注浆固结体、锚具、连接器所组成的一端与挡土结构连接，另一端锚固在稳定岩土体内的受拉杆件。

2.1.12 排桩-复合土钉 soldier pile wall-composite soil nail

由排桩与土钉组成的复合型支护结构。

2.1.13 内支撑 strut

设置在基坑内的由钢筋混凝土或钢构件组成的用以支撑挡土构件的结构部件。

2.1.14 冠梁 capping beam

设置在排桩顶部的纵向钢筋混凝土连续梁。

2.1.15 腰梁 waling

设置在挡土构件侧面直接承受锚杆或内支撑作用的梁式构件。

2.1.16 复合支护 composite supporting

由重力式与支挡式支护结构组合形成的支护体系。包括复合土钉，通过加筋材料或灌浆形成的加筋土支护结构等。

2.1.17 联合支护 combined supporting

同一支护剖面中，上下采用二种或二种以上不同支护形式组成的支护结构。

2.1.18 盖挖法 cut-and-cover

在盖板及支护体系保护下，进行土方开挖、结构施工的一种地下工程施工方法。盖挖法可分为盖挖顺作法和盖挖逆作法。

2.1.19 地下水控制 groundwater control

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

2.1.20 截水帷幕 curtain for cutting off drains

用以阻隔或减少地下水通过基坑侧壁或坑底流入基坑和控制基坑外地下水位的截水体；底端未穿透含水层时称为悬挂式帷幕。

2.1.21 集水明排 open pumping

由排水沟、集水井、泄水管、输水管等组成的排水系统将地表水、地下水、渗漏水排泄至基坑外的方法。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

E_{ak} 、 E_{pk} ——主动土压力、被动土压力标准值；

G ——支护结构自重；

M ——弯矩设计值；

M_k ——荷载标准组合的弯矩值；

N ——轴向拉力或轴向压力设计值；

N_k ——荷载标准组合的轴向拉力值或轴向压力值；

p_{ak} 、 p_{pk} ——主动土压力强度、被动土压力强度标准值；

q ——降水井的单井流量；

q_0 ——地面均布荷载；单井出水能力；

s —— 建筑物基础或地面的沉降量；基坑地下水位降深；

S_d —— 荷载基本组合的效应设计值；

S_k —— 荷载标准组合的效应设计值；

u —— 孔隙水压力；

V —— 剪力设计值；

V_k —— 荷载标准组合的剪力值。

2.2.2 材料性能和抗力

c —— 土的黏聚力；

E_s —— 土的压缩模量；

f_{py} —— 预应力钢筋的抗拉强度设计值；

f_y —— 普通钢筋的抗拉强度设计值；

k —— 土的渗透系数；

R_k —— 锚杆或土钉的极限抗拔承载力标准值；

q_{sk} —— 锚杆或土钉的极限侧阻力标准值；

R —— 影响半径；

γ —— 土的天然重度；

γ_w —— 地下水的重度；

φ —— 土的内摩擦角；

2.2.3 几何参数

A —— 构件的截面面积；

b —— 截面宽度；

d —— 桩、锚杆、土钉的直径或基础埋置深度；

h —— 基坑深度或构件截面高度；

h_{wa} —— 基坑外地下水位距主动土压力强度计算点的垂直距离；

h_{wp} —— 基坑外地下水位距被动土压力强度计算点的垂直距离；

H —— 潜水含水层厚度；

l_a —— 锚杆锚固段长度；

h_d —— 挡土构件的嵌固深度；

l_f —— 锚杆自由段长度；

M —— 承压含水层厚度；

r_w —— 降水井半径；

s —— 排桩间距、排距；

β —— 土钉墙坡面与水平面的夹角；

α —— 锚杆、土钉的倾角或支撑轴线与水平面的夹角。

2.2.4 设计参数和计算系数

K ——稳定性安全系数；

K_0 ——静止土压力系数；

K_a ——主动土压力系数；

K_p ——被动土压力系数；

m ——土的水平反力系数的比例系数；

γ_F ——作用基本组合的综合分项系数；

γ_0 ——支护结构重要性系数；

ζ ——主动土压力的坡面倾斜折减系数；

ψ_w ——降水沉降计算经验系数。

3 基本规定

3.0.1 基坑工程设计使用年限应根据基坑工程的设计、施工及使用条件确定。一般条件下，基坑工程设计使用年限不宜小于2年且不应超过5年。对超过设计使用年限、经安全评估或按评估结果进行加固处理的基坑工程，延长设计使用年限不宜超过2年。

3.0.1A 支护结构的设计工作年限确定应符合下列规定：

- 1 设计工作年限应从支护结构或构件进入受力状态时起算；
- 2 当基坑支护结构作为主体结构的一部分时，支护结构的设计工作年限不应小于主体结构设计工作年限；
- 3 临时性支护结构设计工作年限宜为基坑工程设计使用年限。

3.0.2 基坑工程支护结构重要性系数应根据基坑工程设计等级确定，但不应小于1.0。

3.0.3 基坑支护结构安全等级划分应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120的规定，基坑工程设计等级宜根据基坑开挖深度、基坑周边环境等因素，分为以下三级：

- 1 位于复杂地质条件及软土地区的二层及超过二层地下室的基坑工程，开挖深度大于15m的基坑工程，周边环境保护要求高或基坑采用支护结构与主体结构相结合的基坑工程，开挖深度大于7m的膨胀性土或填土、大于10m的湿陷性黄土基坑工程，设计等级为甲级；
- 2 开挖深度小于7m、周边环境条件简单的基坑工程，设计等级为丙级；
- 3 除甲级和丙级以外的基坑工程，设计等级为乙级。

3.0.4 基坑工程勘察应符合下列规定：

- 1 勘察范围应根据开挖深度及场地的岩土工程条件确定，当开挖边界外无法布置勘探点时，应通过调查取得相应资料；
- 2 勘探孔的深度应满足基坑支护结构设计要求；
- 3 场地水文地质勘察应查明开挖范围及邻近场地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；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。

3.0.5 基坑工程应进行周边环境调查，并形成调查报告。

3.0.6 基坑工程设计、施工应取得下列基本资料：

- 1 满足基坑工程设计要求的岩土工程勘察报告；
- 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 建筑场地及基坑周边环境调查报告；
- 4 施工期间基坑周边的地面堆载及车辆、设备等特殊荷载条件。

3.0.7 基坑工程的支护设计参数可由室内试验和十字板剪切试验、静力触探、标准贯入试验等原位测试方法，结合地区经验综合分析后提供。采用的土的抗剪强度指标，应符合下列规

定：

- 1 对淤泥、淤泥质土及欠固结土，应采用三轴不固结不排水剪强度指标；
- 2 对正常固结的饱和黏性土应采用在土的有效自重应力下预固结的三轴不固结不排水剪强度指标；
- 3 对砂类土，应采用有效应力强度指标，或根据原位测试结果采用经验值；
- 4 对非饱和土，可采用直剪快剪指标；
- 5 对膨胀土、盐渍土、湿陷性黄土，可根据工程情况对土强度指标进行折减；
- 6 对灵敏度较高的土，基坑邻近有交通频繁的主干道或其他对土的扰动源时，计算采用的土强度指标宜适当折减；
- 7 验算软土抗隆起稳定性时，可采用十字板剪切强度或三轴不固结不排水剪强度指标。

3.0.8 基坑支护结构设计应采用以分项系数表达的极限状态设计表达式进行计算。基坑稳定性验算的荷载效应组合，应按承载能力极限状态下荷载效应的基本组合，作用分项系数为1.0。基坑支护结构构件承载力计算的荷载效应组合，应按承载能力极限状态下荷载效应的基本组合，采用简化规则计算时，作用分项系数可取1.35。基坑支护结构构件按正常使用极限状态计算的荷载效应组合，应采用荷载效应的标准组合。

3.0.9 基坑工程设计应包括下列内容：

- 1 支护结构体系与地下水控制的方案选择；
- 2 基坑稳定性验算；
- 3 支护结构的承载力和变形计算；
- 4 环境影响分析与保护设计；
- 5 地下水控制设计；
- 6 土方开挖要求；
- 7 基坑工程安全监测要求；
- 8 支护结构质量检测、检验要求。
- 9 涉及危大工程的重点部位和环节，基坑周边环境安全和工程施工安全保障措施。

3.0.10 与主体结构相结合的基坑支护结构的设计计算除应符合本规范规定外，尚应符合国家现行规范关于结构耐久性要求的规定。

3.0.11 支护结构设计选型可根据基坑工程设计等级、周边环境条件、地下水条件等按表3.0.11选择。

表 3.0.11 支护结构选型

支护形式		适用条件	
		设计等级	说明
支挡式	排桩-预应力锚杆	甲级、乙级、丙级	1 地下连续墙宜同时用作主体地下结构外墙，可同时用于截水；
	双排桩-预应力锚杆		2 锚杆不宜用在软土层和高水位的碎石土、砂土层中； 3 当邻近基坑有建筑物地下室、地下构筑物等，锚杆的有效锚固长度

	排桩-内支撑		不足时，不应采用锚杆；
	地下连续墙-内支撑		4 当锚杆施工会造成基坑周边建（构）筑物的损害或违反城市地下空间规划等规定时，不应采用锚杆
	型钢水泥土搅拌墙-锚杆		
	支护结构与主体结构相结合的逆作法、盖挖法		
悬臂式	排桩	乙级、丙级	1 排桩适用于变形控制不严格的基坑工程；
	双排桩		2 双排桩、地下连续墙适用于变形控制较严格的基坑工程
	地下连续墙		
土钉墙式	土钉墙	乙级、丙级	1 土钉墙用于地下水位以上或经降水的非软土基坑，且基坑深度不宜大于 12m；
	预应力锚杆复合土钉墙		2 预应力锚杆复合土钉墙适用于地下水位以上或经降水的非软土基坑，且基坑深度不宜大于 15m；
	水泥土桩复合土钉墙		3 水泥土桩复合土钉墙用于非软土基坑时，基坑深度不宜大于 12m；用于淤泥质土基坑时，基坑深度不宜大于 6m；不宜用在高水位的碎石土、砂土、粉土层中；
	微型桩复合土钉墙		4 微型桩复合土钉墙适用于地下水位以上或经降水的基坑，用于非软土基坑时，基坑深度不宜大于 12m
	排桩-复合土钉	甲级、乙级、丙级	土钉可采用锚杆替代
	联合支护	甲级、乙级、丙级	上部可采用放坡、土钉墙、复合土钉墙，下部可采用排桩-预应力锚杆、双排桩-预应力锚杆等支护形式
	放坡	乙级、丙级	1 施工场地应满足放坡条件； 2 可用于联合支护

注：当基坑不同部位的周边环境条件、土层性状、基坑深度等不同时，可分别采用不同的支护形式。

3.0.12 支护结构设计应符合下列规定：

1 对支护结构变形有限制的基坑工程，应进行变形验算，变形限值应满足相关标准和地下工程施工要求；

2 支护结构承载力设计应考虑最不利作用，结构材料不得先于黏结强度或与土体界面强度发生破坏；

3 除经有关单位同意或主管部门批准外，支护结构不得超越用地红线。

3.0.13 基坑支护设计的地面超载取值不宜小于 20kPa，并应考虑邻近基础施工、基坑开挖的影响和振动荷载的作用。

3.0.14 基坑工程的变形限值应根据保护对象的总沉降控制、倾斜与局部倾斜、扭转与局部扭转、结构应力、开裂与裂缝宽度控制要求等综合确定，并应根据工况控制目标完成情况结合工程经验进行动态调整。

3.0.15 基坑工程施工方案应包括下列内容：

1 工程概况，包含基坑工程基本情况和特点、地质条件、周边环境条件、基坑支护及地

下水控制设计、土方开挖设计、施工平面布置、施工要求及风险辨识与分级等；

2 施工计划，包含基坑工程施工进度安排、材料与设备计划及劳动力计划；

3 施工工艺技术，包含施工技术参数、工艺流程、施工方法及操作要求及检查要求；

4 施工保证措施，包含组织保障措施、技术措施、监测监控措施等；

5 施工管理及作业人员配备和分工，包含施工管理人员、专职安全人员、特种作业人员及其他作业人员配备和分工；

6 验收要求，包括验收标准、验收程序及人员、验收内容；

7 应急处置措施；

8 施工设计计算文件及相关施工图纸。

3.0.16 基坑工程应在支护结构与帷幕施工、土方开挖与降水施工、使用与维护期间进行基坑工程安全监测。

3.0.17 基坑工程施工时宜利用基坑工程监测信息进行反分析，实施信息施工法。施工期间应对变形控制指标按实施阶段和工况节点进行控制目标分解；当阶段性控制目标或工况节点控制目标超标时，应立即采取措施在下一阶段或工况节点时实现累加控制目标。

3.0.18 土方开挖应严格按照设计要求进行，严禁超挖。基坑周边地面堆载不得超过设计规定的限值；土钉及复合土钉支护结构未达到承载力和强度要求时不得堆载。

3.0.19 下列工程应进行安全评估：

1 超过设计使用年限的基坑工程。

2 中断施工及维护后恢复施工，且对支护结构安全性存疑的基坑工程。

3 因水体浸泡、地震等灾害，导致局部支护结构失效、坍塌等的基坑工程。

4 拟加深、扩大及改变使用条件的基坑工程。

3.0.20 基坑工程的安全评估宜包括下列内容：

1 使用现状与周边环境条件变化情况调查；

2 支护结构外观质量、帷幕渗漏、基坑降水实施运行等情况检查；

3 支护结构强度检测与承载力检测；

4 支护土体抗剪强度指标、含水量变化、地下水位变化等的勘察；

5 承载能力极限状态与正常使用极限状态的设计复核；

6 结合检测、监测成果进行必要的分析与判断，给出评估结论；

7 对于不满足承载力、变形、稳定性、耐久性要求的，应分析评价周边环境的影响，提出加固处理建议。

3.0.21 下列工程的设计与施工方案应进行专家论证：

1 开挖深度超过 5m（含 5m）的基坑（槽）的基坑工程；

2 开挖深度 3m~5m，但地质条件、周围环境和地下管线复杂，或影响毗邻建、构筑物安全的基坑（槽）的基坑工程；

- 3 出现事故、超过设计使用年限或发生重大变更重新设计的基坑工程；
- 4 采用新结构、新技术的基坑工程。

河南省住房和城乡建设厅信息公开浏览专用

4 勘察与环境调查

4.1 一般规定

4.1.1 在进行基坑工程勘察前，需详细了解设计意图、周边环境保护要求和目标，并应取得以下资料和信息：

- 1 附有建筑物轮廓线或建筑红线及室内外地坪标高的总平面图；
- 2 附近区域既有基坑工程的相关资料与使用情况；
- 3 包括基坑设计深度、基坑平面尺寸、主体建筑物的建筑特征、可能采用的支护类型、对基坑工程勘察的特殊要求等内容的“基坑工程勘察任务书”。

4.1.2 基坑工程的岩土勘察宜与基坑工程环境调查同步进行。

4.2 工程勘察与测试

4.2.1 基坑工程勘察宜在基坑开挖边线外 1 倍~2 倍基坑开挖深度范围内均匀布置勘探点；对于软土、填土分布场地，宜扩大勘察范围。当开挖边界外无法布置勘探点时，除应通过调查搜索取得相关勘察资料外，尚应结合场地内的勘察资料进行综合分析。复杂场地应增加勘探点数量。

4.2.2 勘探点布置间距应根据工程地质、水文地质条件和基坑工程设计等级取 15m~30m，每一地质剖面不宜少于 3 个点，地层变化较大时，应加密勘探点。

4.2.3 勘探孔的深度不应小于基坑开挖深度的 2 倍。当在要求深度内遇坚硬黏性土、碎石土和稳定岩层时，勘探孔深度可按岩土类别和支护设计要求适当减小；基坑底面以下存在软弱土层或承压水含水层时，勘探孔深度应穿过软弱土层或承压含水层。对支护桩控制性勘探孔深度，应达到持力层以下不少于 3 倍桩端直径，且不少于 5m；对一般支护桩，勘探孔深度应达到桩端以下不少于 3m。

4.2.4 取土勘探点（孔）应在勘探范围内均匀分布，并不少于总勘探点数的 1/3，每一取土孔均应分层采取土试样，每一岩土层的土工试验不得少于 6 组数据。

4.2.5 基坑工程勘察测试参数应根据基坑工程设计等级、可能的支护结构类型与施工方法等确定。对设计等级为甲级、乙级的基坑工程，除室内土工试验外，尚应针对不同地层情况进行十字板剪切试验、静力触探试验和标准贯入试验等原位测试。室内试验与原位测试方法应符合表 4.2.5-1、表 4.2.5-2 的规定。

表 4.2.5-1 室内试验方法

试验类别	测试参数	试验方法	试验用途
物理性质	w ρ G_s	含水量试验 密度试验 颗粒比重试验	土的基本参数计算
	颗粒级配曲线 不均匀系数 C_u 有效粒径 d_{10} 中间粒径 d_{30} 平均粒径 d_{50} 限制粒径 d_{60}	颗粒分析试验	评价流砂、管涌可能性
水理性质	渗透参数 k_v 、 k_h	渗透试验	土层渗透性评价，降水、抗渗计算
力学性质	$e-p$ 曲线， $e-\lg p$ 曲线 先期固结压力 p_c 超固结比 OCR 压缩指数 C_c 回弹指数 C_s	固结试验	土体应力历史评价、土体变形及回弹量计算
	内摩擦角 φ_{cq} 黏聚力 c_{cq}	直剪固结 快剪试验	土压力计算及稳定性验算
	内摩擦角 φ_s 黏聚力 c_s	直剪慢剪试验	土压力计算及稳定性验算
	内摩擦角 φ_{cu} (总应力) 黏聚力 c_{cu} (总应力) 有效内摩擦角 φ' 有效黏聚力 c'	三轴固结不排水剪 (CU) 试验	土压力计算及稳定性验算
	有效内摩擦角 φ' 有效黏聚力 c'	三轴固结排水剪 (CD) 试验	土压力计算
	内摩擦角 φ_{uu} 黏聚力 c_{uu}	三轴不固结不排水剪 (UU) 试验	施工速度较快，排水条件差的黏性土基坑的稳定性验算
	无侧限抗压强度 q_u 灵敏度 S_l	无侧限抗压强度试验	稳定性验算
	静止土压力系数 K_0	静止土压力系数试验	静止土压力计算

注：砂层宜做砂土休止角试验。

表 4.2.5-2 原位测试方法

测试方法	适用土层	试验用途
静力触探试验 (包括单桥、双桥和孔压孔压)	黏性土、粉性土、砂土、素填土、冲填土	1 获得直观的连续的土性变化柱状图，划分土层； 2 估算土的力学参数；

		3 孔压静探的消散试验可估算土的固结系数
标准贯入试验	砂土和粉性土，也可用于一般黏性土	1 判定砂土和砂质粉土的密实度； 2 估算砂土和砂质粉土的内摩擦角和压缩模量
十字板剪切试验	饱和软黏土	1 测定原位应力条件下软黏土的不排水抗剪强度； 2 估算软黏土的灵敏度； 3 判定软黏土的固结历史； 4 验算软黏土基坑的整体稳定性
旁压试验	黏性土、粉性土和砂土等	1 估算土的旁压模量、旁压剪切模量及侧向基床系数； 2 估算软黏土的不排水抗剪强度和砂土的内摩擦角； 3 自钻式旁压试验可确定土的原位水平应力（或静止土压力系数）
扁铲侧胀试验	黏性土、粉性土和松散~中密的砂土	1 获得直观连续的土性变化柱状图，划分土层、判定土类； 2 估算土的静止土压力系数和侧向基床系数； 3 估算黏性土的不排水抗剪强度； 4 估算土的压缩模量

4.2.6 应判断地下水类型，查明各含水层水位、水量、补给和排泄条件，对多层地下时水应分层测量其水头高度。当地质条件复杂、基坑面积较大、降水较深时，宜采用现场抽（注）水试验方法测定土层的水文地质参数。抽水试验应合理布置水位观测孔。

4.2.7 应评价降低地下水位或截水的可能性，分析降低地下水位对已有建筑和地面沉降的影响，并应对基坑开挖与支护结构使用期内地下水位的变化幅度进行分析。

4.2.8 勘察工作提交的资料与参数应满足下列要求：

- 1 土的常规物理试验指标；
- 2 土的抗剪强度指标的提交应符合下列规定：
 - 1) 对软土、淤泥及淤泥质土、欠固结土，应提供三轴不固结不排水剪强度指标或现场十字板剪切强度指标；
 - 2) 对正常固结的饱和黏性土，应提供在土的有效自重应力下预固结的三轴不固结不排水剪强度指标；
 - 3) 土体排水条件好，有条件固结时，可提供三轴固结不排水剪强度指标；
 - 4) 对砂类土，应提供有效强度指标或根据原位测试结果提供经验值；
 - 5) 对非饱和土，可提供直剪快剪指标；
 - 6) 需要验算软黏土基坑抗隆起稳定性时，应提供十字板剪切强度或三轴不固结不排水剪强度或土的无侧限抗压强度；
 - 7) 对膨胀土、盐渍土、湿陷性黄土、填土、灵敏度较高的土，进行强度指标折减时应应对折减情况加以说明。
- 3 砂土休止角；
- 4 场地各含水层的水文地质参数。

4.3 环境调查

4.3.1 基坑工程环境调查范围应为基坑开挖与降水影响范围。对临近铁路、地铁、隧道工程或有特殊保护要求的工程，应按有关规定执行。

4.3.2 环境调查内容应符合下列规定：

- 1 基坑影响范围内的建（构）筑物结构类型、层数、地基基础类型、尺寸、埋深、持力层、基础荷载大小及上部结构现状；
- 2 基坑及周边 2 倍~3 倍基坑深度范围内存在的各类地下设施、地上设施，包括供水、供电、供气、排水、通讯、热力等管线或管道的准确位置、材质和性状，及对变形的承受能力；
- 3 拟建、已建及同期施工的相邻建设工程基坑支护类型和开挖、支护、降水和基础施工等情况；
- 4 场地周围和邻近地区地表水汇流、排泄情况，地面和地下贮水、输水设施的渗漏情况及其对基坑开挖的影响程度；
- 5 基坑周边道路的位置及车辆载重情况以及其他动荷载情况；
- 6 可能影响基坑稳定性的不良地质作用。

4.3.3 基坑影响范围内建（构）筑物、道路、地下管线等，应布设标记作好原始记录，并宜拍摄影像资料存档。

4.4 勘察报告

4.4.1 勘察报告内容应符合下列规定：

- 1 勘察目的、要求和任务；
- 2 工程概况及基坑工程设计等级；
- 3 场地工程地质条件，地层结构、岩土物理力学性质及工程参数的建议值，工程参数的可靠性评价；
- 4 场地水文地质条件应包括：
 - 1) 地下水埋藏情况和水位变化幅度、含水层的渗透系数等降水或截水设计所需参数，必要时尚应提供不同降深的涌水量和影响半径；
 - 2) 地下水对基坑工程设计和施工及使用期的影响评价；
 - 3) 对施工降水或截水的可能性和方案提出建议。
- 5 对场地周边环境条件以及基坑开挖、支护和降水对其影响的程度作出评价；
- 6 对基坑工程的设计、施工和监测提出建议；
- 7 根据工程需要提供专门的测试报告、检测报告；
- 8 对基坑侧壁的稳定性评价，预测基坑可能的破坏形式和因工程活动引起的基坑侧壁稳定性变化。

4.4.2 岩土工程勘察与基坑工程勘察同步进行时，应在岩土工程勘察报告中采用专门章节论述基坑工程的勘察内容。

4.4.3 基坑工程勘察报告所附图表应符合下列规定：

- 1 勘探点平面位置图，其上应附有基坑开挖边线和周边建筑物、管线、道路的分布；
- 2 工程地质剖面图，必要时尚应绘制垂直基坑边线的地质剖面图，地质剖面图上宜附有基坑开挖底线；
- 3 有代表性的钻孔柱状图；
- 4 野外和室内试验成果的有关图表；
- 5 与基坑工程设计计算相关的图表；
- 6 当利用岩土工程勘察报告专门章节替代基坑工程勘察报告时，所附图表必须符合上述规定。

5 土压力与水压力

5.1 一般规定

5.1.1 基坑支护结构承受的土体侧向压力应包括土压力、水压力和地面超载引起的侧向压力。砂性土土压力宜按水土分算原则计算，粉土、黏性土可按水土合算原则计算。

5.1.2 对悬臂式、支挡式支护结构，当位移控制要求严格时，应采用静止土压力；当位移控制较严格时，宜采用介于主动土压力与静止土压力之间的土压力值。

5.1.3 土压力计算应考虑因雨水、地下管线渗漏形成的滞水压力作用和土体抗剪强度指标的降低。

5.2 静止土压力

5.2.1 静止土压力强度标准值，可按下列式计算：

$$p_0 = K_0 \left(\sum \gamma_i h_i + q_0 \right) \quad (5.2.1)$$

式中： p_0 ——静止土压力强度标准值（kPa）；

γ_i ——第*i*层土的重度（kN/m³），地下水位以上取天然重度，地下水位以下取浮重度；

h_i ——第*i*层土的厚度（m）；

q_0 ——地面的均布超载（kPa）；

K_0 ——静止土压力系数。

5.2.2 静止土压力系数 K_0 宜由试验确定，当无试验条件时也可按式（5.2.2-1）或式（5.2.2-2）计算：

$$\text{正常固结土：} \quad K_0 = 1 - \sin \varphi' \quad (5.2.2-1)$$

$$\text{超固结土：} \quad K_0 = \sqrt{OCR} (1 - \sin \varphi') \quad (5.2.2-2)$$

式中： φ' ——土的有效内摩擦角（°）；

OCR ——黏性土的超固结比。

5.3 主动土压力

5.3.1 主动土压力强度标准值 p_{ak} 应符合下列规定（图 5.3.1）：

1 碎石土及砂土可按式（5.3.1-1）、式（5.3.1-2）计算：

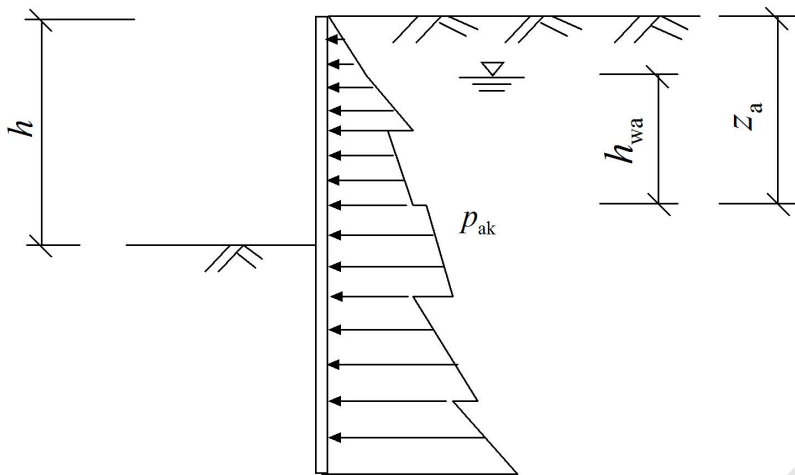


图 5.3.1 主动土压力强度标准值计算

1) 当计算点位于地下水位以上时:

$$p_{ak} = \sigma_{ak} K_{ai} \quad (5.3.1-1)$$

2) 当计算点位于地下水位以下时:

$$p_{ak} = (\sigma_{ak} - u_a) K_{ai} + u_a \quad (5.3.1-2)$$

式中: K_{ai} ——第 i 层土的主动土压力系数, 可按本规范第 5.3.4 条规定计算;

σ_{ak} ——作用于深度 z_a 处的竖向应力标准值 (kPa), 可按本规范第 5.3.2 条规定计算;

z_a ——计算点深度 (m);

u_a ——支护结构外侧计算点处的水压力 (kPa), 可按本规范第 5.3.3 条规定计算。

2 粉土及黏性土可按下式计算:

$$p_{ak} = \sigma_{ak} K_{ai} - 2c_{ik} \sqrt{K_{ai}} \quad (5.3.1-3)$$

式中: c_{ik} ——第 i 层土黏聚力标准值 (kPa)。

3 当按以上规定计算的基坑开挖面以上主动土压力强度标准值小于零时, 应取零。

5.3.2 基坑外侧竖向应力标准值计算应符合下列规定:

1 基坑外侧竖向应力标准值 σ_{ak} 应按下式计算:

$$\sigma_{ak} = \sigma_{ac} + \sum \Delta \sigma_{k,j} \quad (5.3.2-1)$$

$$\sigma_{ac} = \gamma_{ma} z_a \quad (5.3.2-2)$$

式中: σ_{ac} ——计算点深度 z_a 处由土的自重产生的竖向总应力 (kPa);

$\Delta \sigma_{k,j}$ ——基坑外侧计算点深度 z_a 处第 j 个附加荷载作用产生的附加竖向应力标准值 (kPa);

γ_{ma} ——深度 z_a 以上土的加权平均重度 (kN/m³), 地下水位以上取天然重度, 地下水位以下取饱和重度。

2 当支护结构外侧地面作用满布附加荷载 q_0 时（图 5.3.2-1），基坑外侧任意深度附加竖向应力标准值 $\Delta\sigma_k$ 可按下式计算：

$$\Delta\sigma_k = q_0 \quad (5.3.2-3)$$

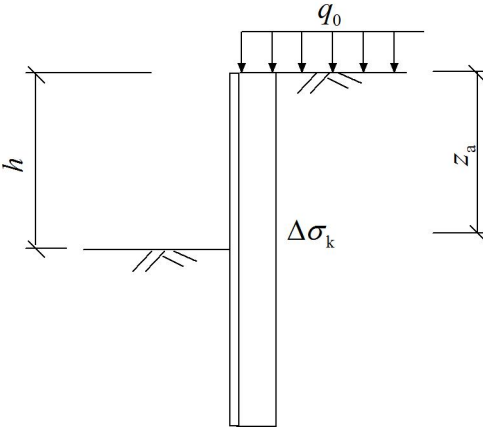


图 5.3.2-1 地面均布荷载时基坑外侧附加竖向应力计算

3 当距支护结构外侧 a 处地表作用有宽度为 b 的条形附加荷载 q_1 时（图 5.3.2-2），基坑外侧土中附加竖向应力标准值 $\Delta\sigma_k$ ，可按下式计算：

$$\Delta\sigma_k = q_1 \frac{b}{b + 2a} \quad (5.3.2-4)$$

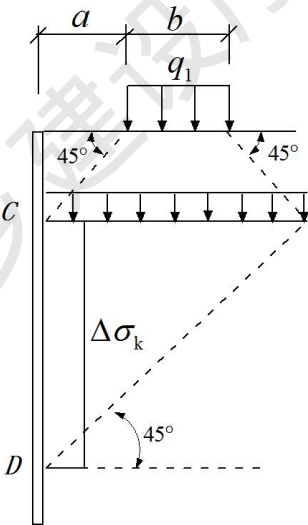


图 5.3.2-2 地表局部条形荷载作用时基坑外侧附加竖向应力计算

4 对条形基础下的附加荷载（图 5.3.2-3），基坑外侧土中的附加竖向应力标准值 $\Delta\sigma_k$ 可按式（5.3.2-4）计算，相应计算参数应按图 5.3.2-3 取值。

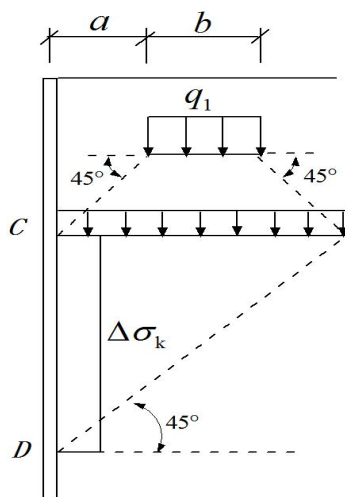


图 5.3.2-3 条形基础下附加荷载作用时基坑外侧附加竖向应力计算

5.3.3 基坑内外无渗流条件时，支护结构外侧作用的水压力，应根据基坑外侧的静止地下水位按式（5.3.3）计算。当基坑内外地下水有稳态渗流时，应考虑渗流力作用。

$$u_a = \gamma_w h_{wa} \quad (5.3.3)$$

式中： γ_w ——水的重度（ kN/m^3 ）；

h_{wa} ——基坑外侧地下水位至主动土压力强度计算点的垂直距离（ m ）。

5.3.4 主动土压力系数 K_{ai} 宜按下式计算：

$$K_{ai} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{ik}}{2} \right) \quad (5.3.4)$$

式中： φ_{ik} ——第 i 层土的内摩擦角标准值（ $^\circ$ ）。

5.4 被动土压力

5.4.1 被动土压力强度标准值 p_{pk} 计算应符合下列规定（图 5.4.1）：

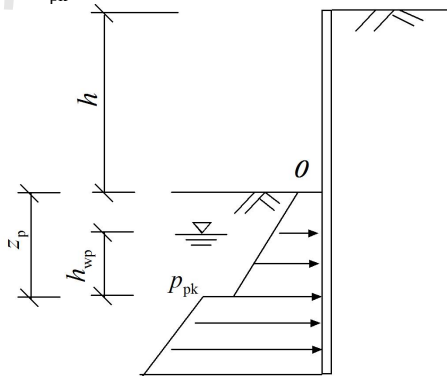


图 5.4.1 被动土压力标准值计算

1 对于砂土及碎石土，可按式（5.4.1-1）和式（5.4.1-2）计算：

1) 当计算点位于地下水位以上时：

$$p_{pk} = \sigma_{pk} K_{pi} \quad (5.4.1-1)$$

2) 当计算点位于地下水位以下时:

$$p_{pk} = (\sigma_{pk} - u_p)K_{pi} + u_p \quad (5.4.1-2)$$

式中: σ_{pk} ——作用于基坑底面以下深度 z_p 处的竖向应力标准值 (kPa), 按本规范第 5.4.2 条规定计算;

K_{pi} ——第 i 层土的被动土压力系数, 应按本规范第 5.4.4 条规定计算;

u_p ——支护结构内侧计算点处的水压力 (kPa), 可按本规范第 5.4.3 条规定计算。

2 对于粉土及黏性土, 可按下式计算:

$$p_{pk} = \sigma_{pk}K_{pi} + 2c_i\sqrt{K_{pi}} \quad (5.4.1-3)$$

5.4.2 作用于基坑底面以下深度 z_p 处的竖向应力 σ_{pk} 可按下式计算:

$$\sigma_{pk} = \gamma_{mp}z_p \quad (5.4.2)$$

式中: γ_{mp} ——深度 z_p 以上土的加权平均重度 (kN/m³), 地下水位以下取饱和重度, 地下水位以上取天然重度。

5.4.3 基坑内外无渗流条件时, 支护结构内侧作用的水压力应根据基坑外侧的静止地下水位按式 (5.4.3) 计算。当基坑内外地下水有稳态渗流时, 应考虑渗流力作用。

$$u_p = \gamma_w h_{wp} \quad (5.4.3)$$

式中: h_{wp} ——基坑内侧地下水位至被动土压力强度计算点的垂直距离 (m)。

5.4.4 被动土压力系数宜按下式计算:

$$K_{ai} = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_{ik}}{2}) \quad (5.4.4)$$

5.5 特殊情况下的土压力

5.5.1 当邻近基坑侧壁的建筑物基础底标高低于基坑底面, 且外墙距支护结构净距 a 小于 $h\tan(45^\circ - \varphi_k/2)$ 时 (图 5.5.1), 作用在支护结构上任意点的土压力强度标准值 p_{ak} 应符合下列要求:

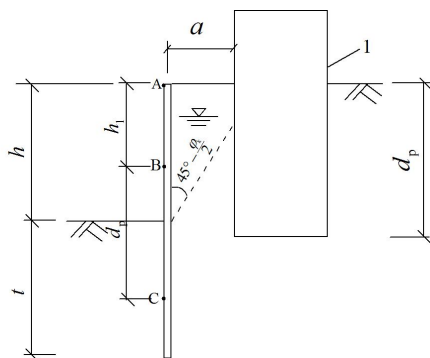


图 5.5.1 有限范围土体的土压力计算

1—邻近建筑物; $h_1 = a / \tan(45^\circ - \varphi_k/2)$

- 1 当计算点位于 B 点以上或 C 点以下时，可按本规范第 5.3.1 条规定计算土压力；
- 2 当计算点位于 B 点与 C 点之间时，土压力计算宜符合下列规定：
 - 1) 对于黏性土、粉土和地下水位以上的砂土、碎石土可按下式计算：

$$p_{ak} = (2 - n_b) n_b \sum \gamma_i h_i K_a - 2c_k n_b \sqrt{K_a} \quad (5.5.1-1)$$

- 2) 对于地下水位以下的砂土、碎石土可按下式计算：

$$p_{ak} = (2 - n_b) n_b \sum \gamma_i h_i K_a + h_{wa} (1 - K_a) \gamma_w \quad (5.5.1-2)$$

$$n_b = a / [h \tan(45^\circ - \varphi_k / 2)] \quad (5.5.1-3)$$

式中： d_p ——邻近建筑物基础埋置深度（m）；

5.5.2 地面不规则条件下（图 5.5.2），支护结构上的主动土压力可按下列各式计算：

$$p_a = \gamma h' \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi_k}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi_k}} \quad (5.5.2-1)$$

$$p'_a = K_a \gamma (h' + z') - 2c_k \sqrt{K_a} \quad (5.5.2-2)$$

$$p''_a = K_a \gamma (h' + z'') - 2c_k \sqrt{K_a} \quad (5.5.2-3)$$

式中： β ——地表斜坡面与水平面的夹角（°）；

z' ——地表水平面与地表斜坡和支护结构相交点的距离（m）；

h' ——地表斜坡和支护结构相交点距基坑底面的距离（m）；

z'' ——地表斜坡水平面与地表斜坡和支护结构相交点的距离（m）。

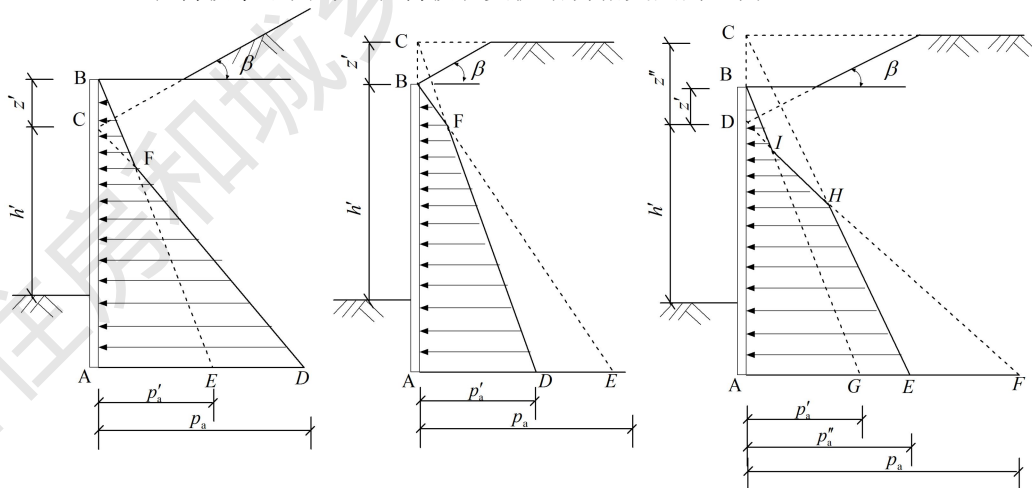


图 5.5.2 地面非水平时，支护结构上主动土压力的计算

5.5.3 邻近基坑侧壁既有建筑为复合地基时，土压力计算宜符合下列规定：

- 1 对刚性桩复合地基，作用于既有建筑基底土体的超载值 q_1 可按基底天然地基承载力特征值的 1.2 倍取用；当桩端位于基坑底面以下时，可不考虑桩端平面处的超载值（图 5.5.3a）；

当桩端位于基坑底面以上时，桩端平面位置处的超载值 q_2 可按应力扩散法计算得到的附加应力值取用，复合土层设计参数宜按天然地基取用（图 5.5.3b）；

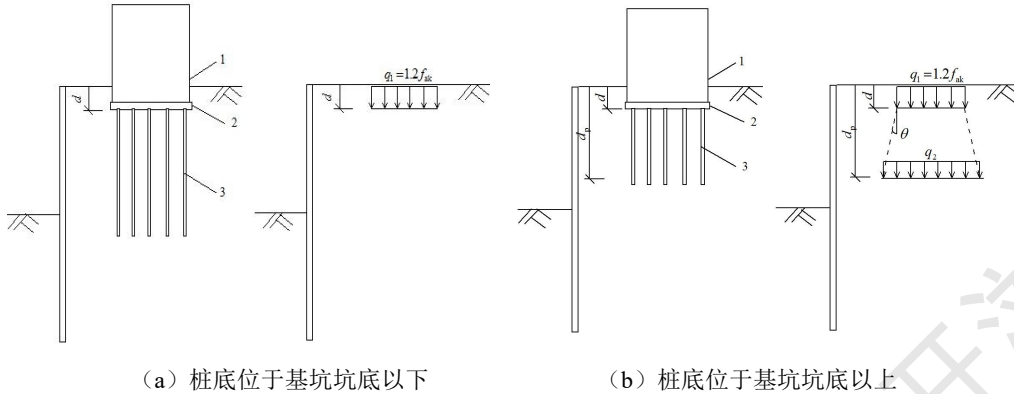


图 5.5.3 邻近既有建筑刚性桩复合地基时土压力的计算

1—既有建筑；2—褥垫层；3—刚性桩

2 对水泥土桩、灰土桩复合地基或散体材料桩复合地基，可将基底附加应力作为超载值取用，复合土层土体强度指标应按复合土层计算。

5.5.4 对水泥土桩、灰土桩与碎石桩、砂桩复合地基，复合土层的土体强度指标 φ_{sp} 、 c_{sp} 的计算宜符合下列规定：

1 内摩擦角宜采用下式估算：

$$\varphi_{sp} = \arctan[m\mu_p \tan \varphi_p + (1-m\mu_p) \tan \varphi_s] \quad (5.5.4-1)$$

$$\mu_p = \frac{n}{1+m(n-1)} \quad (5.5.4-2)$$

2 碎石桩、砂桩复合地基黏聚力强度指标可按下列下式计算：

$$c_{sp} = (1-m\mu_p)c_s \quad (5.5.4-3)$$

3 水泥土搅拌桩、灰土桩、高压旋喷桩、夯实水泥土桩复合地基黏聚力强度指标宜按下式计算：

$$c_{sp} = m\mu_p c_p + (1-m\mu_p)c_s \quad (5.5.4-4)$$

式中： φ_p 、 φ_s ——分别为桩体材料和土的内摩擦角（°）；

c_p 、 c_s ——分别为桩体材料和土的黏聚力（kPa）；

m ——面积置换率；

n ——复合地基桩土应力比。

5.5.5 邻近基坑侧壁的既有建筑为桩基础时，土压力的计算宜符合下列规定：

1 作用于既有建筑基底的超载值 q_1 可按基底天然地基承载力特征值的 10%~20% 取用（图 5.5.5a）；

2 桩端位于拟开挖基坑坑底深度以上时，作用于桩底平面位置处的超载值 q_2 可按应力

扩散法计算得到的附加应力值取用（图 5.5.5b）；

3 桩间土抗剪强度指标可按天然地基取用。

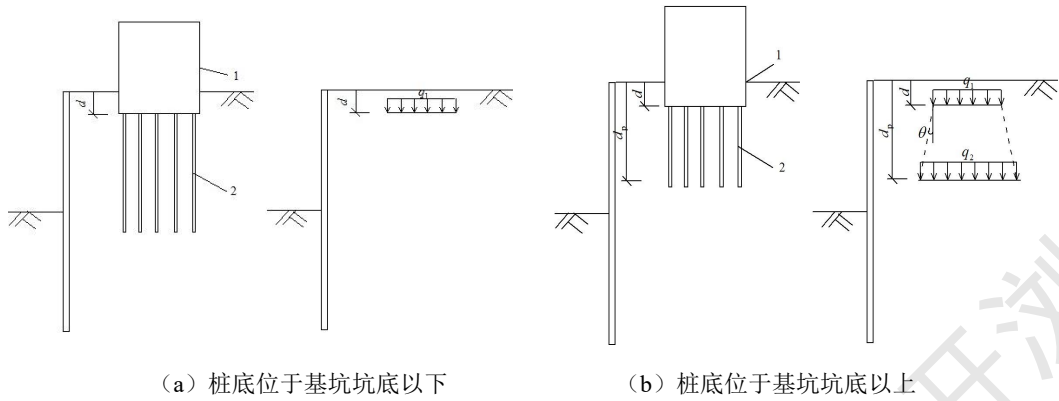


图 5.5.5 邻近既有建筑桩基础时土压力的计算

1—既有建筑；2—基桩

6 基坑工程稳定性

6.1 一般规定

6.1.1 基坑工程稳定性验算应包括下列内容：

- 1 整体稳定性；
- 2 支护结构抗倾覆稳定性；
- 3 支护结构抗滑移稳定性；
- 4 抗渗流稳定性；
- 5 抗隆起稳定性。

6.1.2 稳定性验算采用的土体抗剪强度指标，应根据土质条件、工程实际情况和稳定性计算方法确定。

6.1.3 基坑的整体稳定性宜采用圆弧滑动法计算。有软土夹层、倾斜基岩面等情况时，宜采用非圆弧滑动面，按总应力法计算。

6.1.4 基坑整体稳定性验算应符合下式要求：

$$\frac{M_R}{M_S} \geq K_s \quad (6.1.4)$$

式中： M_S 、 M_R ——作用于危险滑弧面上的滑动力矩标准值（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）和抗滑力矩标准值（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）；

K_s ——整体稳定安全系数。

6.1.5 对支挡式支护结构，应通过水平抗滑移稳定性、上部抗倾覆稳定性、下部踢脚稳定性和整体稳定性分析确定支点力。

6.1.6 支护结构整体稳定安全系数应符合下列规定：

- 1 放坡覆盖喷射混凝土面层支护，不应小于 1.2；
- 2 土钉墙、复合土钉墙支护，不应小于 1.25；
- 3 悬臂式、支挡式支护，不应小于 1.3；
- 4 对黏性土，计算中不计渗流力作用时，各种支护整体稳定性安全系数不应小于 1.4。

6.2 整体稳定性

6.2.1 整体稳定性验算宜采用圆弧滑动条分法，并应符合下列规定（图 6.2.1）：

- 1 无地下水时，可按下式验算整体稳定性：

$$\frac{\sum (q_0 + \gamma h_i) b_i \cos \alpha_i \tan \varphi + \sum c L_i + M_p / R}{\sum (q_0 + \gamma h_i) b_i \sin \alpha_i} \geq K_s \quad (6.2.1-1)$$

式中： γ ——第 i 土的天然重度 (kN/m^3)；

h_i ——第 i 土条高度 (m)；

α_i ——土条底面中心至圆心连线与垂线的夹角 ($^\circ$)；

φ ——土的内摩擦角 ($^\circ$)；

c ——土的黏聚力 (kPa)；

L_i ——第 i 土条弧面的长度 (m)；

q_0 ——地面超载 (kPa)；

b_i ——第 i 土条宽度 (m)；

M_p ——每延米中由桩提供的抗滑力矩 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)；

R ——滑动圆弧的半径 (m)；

K_s ——基坑整体稳定安全系数。

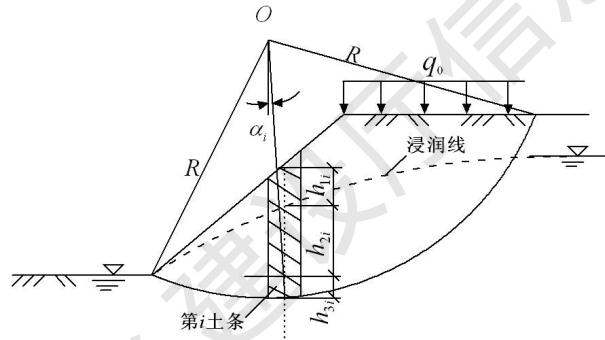


图 6.2.1 整体稳定性验算

2 当基坑内外有地下水位差时，可按下列式验算整体稳定性：

$$\frac{\sum (q_0 + \gamma_1 h_{1i} + \gamma'_2 h_{2i} + \gamma'_3 h_{3i}) b_i \cos \alpha_i \tan \varphi + \sum c L_i + M_p / R}{\sum (q_0 + \gamma_1 h_{1i} + \gamma_{\text{sat},2} h_{2i} + \gamma_{\text{sat},3} h_{3i}) b_i \sin \alpha_i} \geq K_s \quad (6.2.1-2)$$

式中： h_{1i} ——第 i 土条浸润线（地下水位渗流线）以上的高度 (m)；

γ_1 ——与 h_{1i} 相对应土的天然重度 (kN/m^3)；

h_{2i} ——第 i 土条浸润线以下坑内水位以上土条高度 (m)；

γ'_2 、 $\gamma_{\text{sat},2}$ ——与 h_{2i} 相对应的土的浮重度和饱和重度 (kN/m^3)；

h_{3i} ——第 i 土条坑内水位以下的高度 (m)；

γ'_3 、 $\gamma_{\text{sat},3}$ ——与 h_{3i} 相对应的土的浮重度和饱和重度 (kN/m^3)。

3 对于非圆弧滑动面，宜采用 Janbu 普遍条分法验算。

6.2.2 悬臂式排桩和双排桩支护应计算圆弧切桩与圆弧通过桩端时的基坑整体稳定性，圆弧切桩时（图 6.2.2）应考虑切桩阻力产生的抗滑作用，桩提供的抗滑力矩可按下列式计算确定：

$$M_p = R_l \cos \alpha_i \sqrt{\frac{2M\gamma h_1 (K_p - K_a)}{d + \Delta d}} \quad (6.2.2)$$

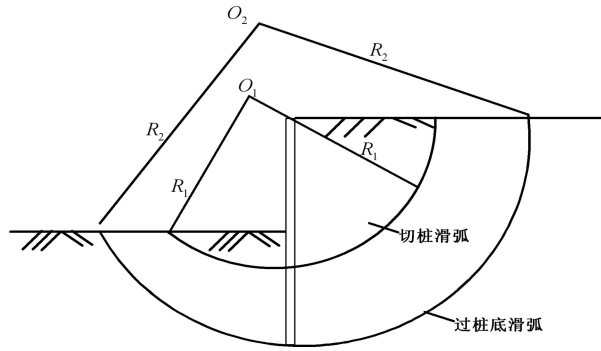


图 6.2.2 排桩支护整体稳定性验算

式中： α_i ——桩与滑弧切点至圆心连线与垂线的夹角 ($^\circ$)；

M ——单桩抗弯承载力 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)；

h_1 ——切桩滑弧面至坡面的深度 (m)；

γ —— h_1 范围内土的重度 (kN/m^3)；

R_1 ——切桩滑弧半径 (m)；

d ——桩径 (m)；

Δd ——桩间净距 (m)；

K_a 、 K_p ——分别为主动土压力系数和被动土压力系数，可按本规范第 5 章规定计算。

6.2.3 土钉墙整体稳定性验算 (图 6.2.3) 应符合下式要求：

$$\frac{s \sum (q_0 + \gamma h_i) b_i \cos \alpha_i \tan \varphi + \sum c L_i s + \sum T_j [\cos(\alpha_i + \theta_i) + \sin(\alpha_i + \theta_i) \tan \varphi / 2]}{s \sum (q_0 + \gamma h_i) b_i \sin \alpha_i} \geq K_s \quad (6.2.3)$$

式中： s ——土钉（锚杆）的水平间距 (m)；

θ_i ——土钉（锚杆）与水平方向夹角 ($^\circ$)；

T_j ——第 j 排土钉（锚杆）在滑弧外的抗拔承载力设计值 (kN)。

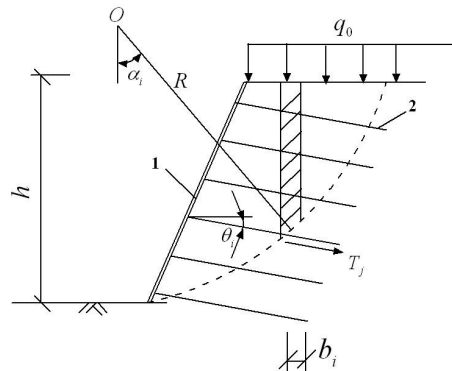


图 6.2.3 土钉墙整体稳定性验算

1—喷射混凝土面层； 2—土钉（锚杆）

6.2.4 复合土钉支护稳定性计算，不应考虑水泥土帷幕、水泥土桩及直径小于 250mm 微型桩的作用；对直径不小于 300mm 的超前支护钢筋混凝土排桩，可考虑桩身抗剪强度的作用，并应验算基坑底面以下桩的水平承载力。

6.2.5 锚拉式支护结构可采用圆弧滑动条分法（图 6.2.5）按下式进行整体稳定性验算：

$$\frac{\sum \{c_j l_j + [(q_j b_j + \Delta G_j) \cos \theta_j - u_j l_j] \tan \varphi_j\} + \sum R'_{k,k} [\cos(\theta_k + \alpha_k) + \psi_v] / s_{x,k}}{\sum (q_j b_j + \Delta G_j) \sin \theta_j} \geq K_s \quad (6.2.5)$$

式中： K_s ——圆弧滑动整体稳定安全系数；

c_j 、 φ_j ——第 j 土条滑弧面处土的黏聚力（kPa）、内摩擦角（°）；

b_j ——第 j 土条的宽度（m）；

θ_j ——第 j 土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角（°）；

l_j ——第 j 土条的滑弧段长度（m），取 $l_j = b_j / \cos \theta_j$ ；

q_j ——作用在第 j 土条上的附加分布荷载标准值（kPa）；

ΔG_j ——第 j 土条的自重（kN），按天然重度计算，水下部分宜取浮重度；

$R'_{k,k}$ ——第 k 层锚杆在圆弧滑动体外锚固承载力设计值（kN）；

α_k ——第 k 层锚杆的倾角（°）；

$s_{x,k}$ ——第 k 层锚杆的水平间距（m）；

θ_k ——滑弧面在第 k 层锚杆处的法线与垂直面的夹角（°）；

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

$h_{wa,j}$ ——基坑外地下水位至第 j 土条滑弧面中点的垂直距离（m）；

$h_{wp,j}$ ——基坑内地下水位至第 j 土条滑弧面中点的垂直距离（m）；

ψ_v ——计算系数；可按 $\psi_v = 0.5 \sin(\theta_k + \alpha_k) \tan \varphi$ 取值。

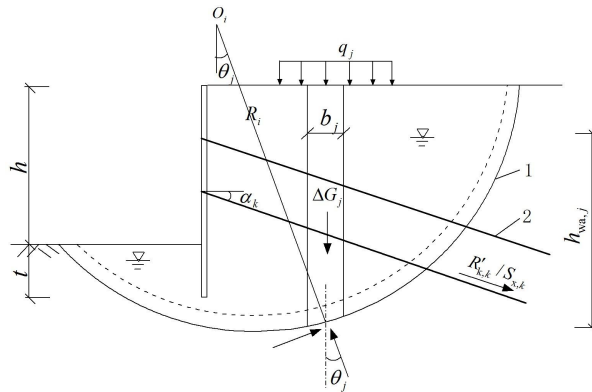


图 6.2.5 圆弧滑动条分法整体稳定性验算

1—任意圆弧滑动面；2—锚杆

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

6.3 抗倾覆稳定性

6.3.1 悬臂式支护结构抗倾覆稳定性(图 6.3.1)应满足下式要求:

$$\frac{h_p E_{pk}}{h_a E_{ak}} \geq K_t \quad (6.3.1)$$

式中: K_t ——抗倾覆稳定安全系数,不应小于 1.3;

E_{pk} ——被动土压力标准值合力(kN/m);

E_{ak} ——主动土压力标准值合力(kN/m);

h_p ——合力 E_{pk} 作用点至桩墙底的距离(m);

h_a ——合力 E_{ak} 作用点至桩墙底的距离(m)。

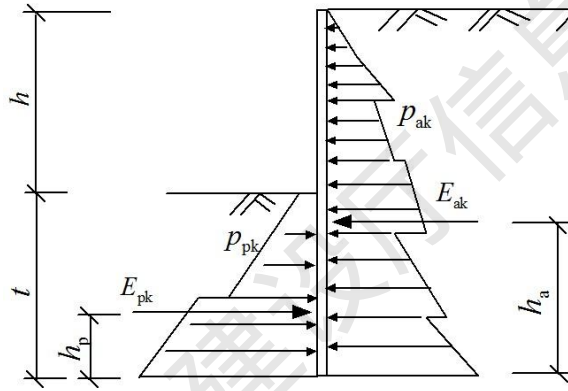


图 6.3.1 悬臂式支护结构抗倾覆稳定性验算

6.3.2 单层支点支护结构抗倾覆稳定性(图 6.3.2-1)应符合式(6.3.2-1)要求,支点力(图 6.3.2-2)应按式(6.3.2-2)、(6.3.2-3)计算确定。

$$\frac{h_p E_{pk} + \lambda T_{cl}(h_{T1} + t)}{h_a E_{ak}} \geq K_t \quad (6.3.2-1)$$

$$T_{cl} = \frac{h_{a1} E_{ac} - h_{p1} E_{pc}}{h_{T1} + h_{cl}} \quad (6.3.2-2)$$

$$T_{cl} = 1.3(E_{ak} - E_{pk}) \quad (6.3.2-3)$$

式中: T_{cl} ——单层支点支护结构的支点力(kN);

λ ——支点力系数;对锚杆、预应力锚杆可取 1.35;

h_{T1} ——支点至基坑底面的距离(m);

t ——支护结构嵌固深度(m)。

E_{ac} ——设定弯矩零点位置以上各土层主动土压力标准值合力(kN/m);

h_{a1} ——合力 E_{ac} 作用点至设定弯矩零点的距离 (m) ;
 E_{pc} ——设定弯矩零点位置以上被动土压力标准值合力 (kN/m) ;
 h_{p1} ——合力 E_{pc} 作用点至设定弯矩零点的距离 (m) ;
 h_{c1} ——基坑底面至设定弯矩零点位置的垂直距离 (m) ; 弯矩零点可采用坑底下主动土压力和被动土压力强度相等点。

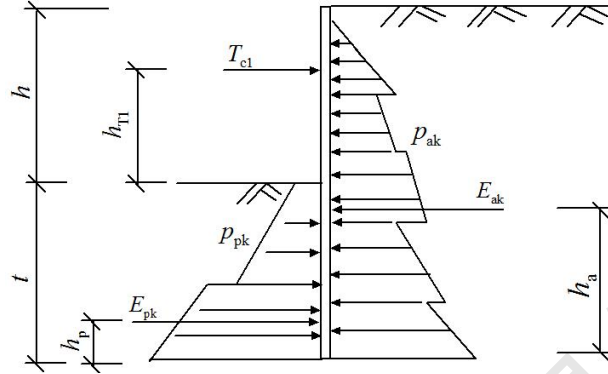


图 6.3.2-1 单层支点支护结构抗倾覆稳定性验算

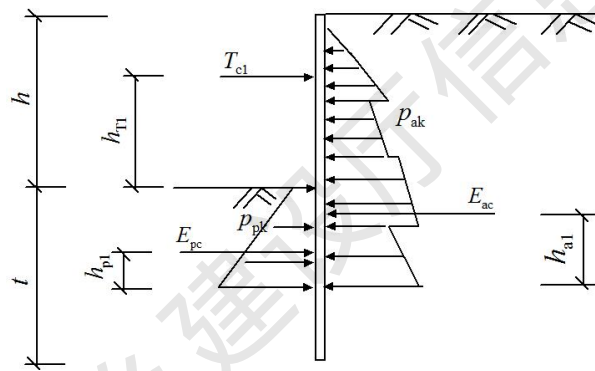


图 6.3.2-2 单层支点支护结构支点力计算

6.3.3 单层支点支护结构尚应按式(6.3.3)进行绕支点的踢脚稳定性分析, 稳定安全系数不应小于 1.3。

$$\frac{(h_{T1} + t - h_p)E_{pk}}{(h_{T1} + t - h_a)E_{ak}} \geq K_t \quad (6.3.3)$$

6.3.4 多层支点支护结构除应进行倾覆稳定性验算外, 尚应进行绕最下层支点的踢脚稳定性验算, 验算方法应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

6.4 抗滑移稳定性

6.4.1 重力式支护结构抗滑移稳定性验算应满足下式要求:

$$\frac{G \tan \delta + c b + E_p}{E_a} \geq K_s \quad (6.4.1)$$

式中: G ——支护结构自重 (kN/m) ;

c ——黏聚力，一般情况下取 0，当基底土处于饱和状态时，可取土的黏聚力；
 δ ——墙底与土的外摩擦角，一般情况下，可取土体有效内摩擦角的 2/3，排水条件下，可取土体有效内摩擦角；
 b ——支护结构滑动面宽度（m）；
 E_p ——基坑被动土压力（kN/m）；
 E_a ——基坑主动土压力（kN/m）；
 K_s ——抗滑移稳定安全系数，可取 1.3。

6.4.2 桩墙—锚杆支护结构应进行沿锚杆端部、嵌固段滑移在内的抗滑移稳定性验算。

6.5 抗渗流稳定性

6.5.1 抗渗流稳定性验算（图 6.5.1）应满足下式要求：

$$\frac{\gamma_{\text{sat}} t}{\gamma_w \left(\frac{1}{2} h' + t \right)} \geq K_h \quad (6.5.1)$$

式中： K_h ——基坑底土层抗渗流稳定安全系数，可取 1.1；
 γ_{sat} ——基坑底土层 t 深度范围内土的饱和重度（kN/m³）；
 h' ——基坑内外地下水位的水头差（m）；
 γ_w ——水的重度（kN/m³）。

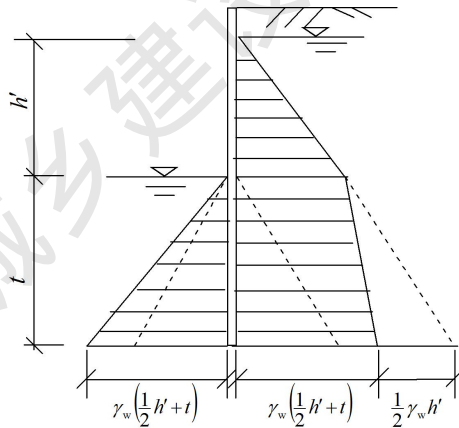


图 6.5.1 基坑抗渗流稳定性验算

6.5.2 当上部为不透水层下部有承压水层时（图 6.5.2），应按下式验算基坑的抗突涌稳定性：

$$\frac{\gamma_{\text{sat}} (t + \Delta t)}{P_w} \geq K_h \quad (6.5.2)$$

式中： K_h ——基坑底土层抗突涌稳定安全系数，可取 1.2；
 γ_{sat} ——透水层以上土的饱和重度（kN/m³）；
 $t + \Delta t$ ——透水层顶面距基坑底面的深度（m）；
 P_w ——承压含水层的水压力（kPa）。

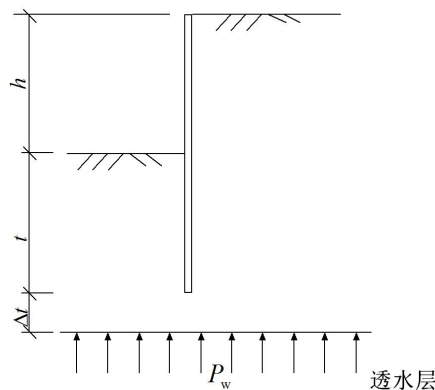


图 6.5.2 有承压水层时基坑抗渗流稳定性验算

6.6 抗隆起稳定性

6.6.1 因基坑外的荷载及由于土方开挖造成基坑内外的压差,使支护桩端以下土体向上隆起时(图 6.6.1),抗隆起稳定性宜按下式验算:

$$\frac{M_t \gamma + M_c c_k}{\gamma(h+t) + q_0} \geq K_D \quad (6.6.1)$$

式中: K_D ——抗隆起稳定安全系数,可取 1.8;

M_t 、 M_c ——按土的抗剪强度指标确定天然地基承载力特征值时的承载力系数,宜按《建筑地基基础设计规范》GB50007 的规定取值;

c_k ——支护结构底面土体黏聚力标准值(kPa);

γ ——土的重度,水位以下取浮重度(kN/m^3);

q_0 ——地面均布荷载,对局部超载应取应力扩散至支护结构底面的附加应力值(kPa)。

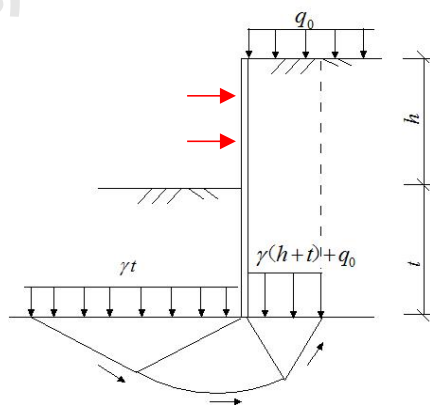


图 6.6.1 支护结构底端平面抗隆起稳定性验算

6.6.2 当基坑底承载力不足或基坑底某一深度存在软弱下卧层时,坑底抗隆起稳定性验算部位尚应包括软弱下卧层。软弱下卧层的抗隆起稳定性(图 6.6.2)宜按下式验算:

$$\frac{M_t \gamma D + M_c c_k}{\gamma(h+D) + q_0} \geq K_D \quad (6.6.2)$$

式中： D ——软弱下卧层顶面距基坑底距离（m）。

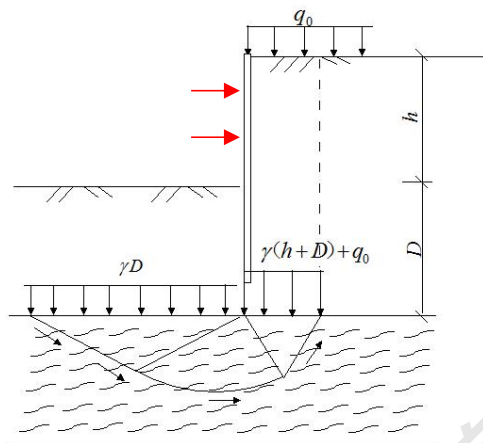


图 6.6.2 软弱下卧层的抗隆起稳定性验算

6.6.3 考虑支护桩墙抗弯承载力时，基坑底土体向上涌起的抗隆起稳定性（图 6.6.3）宜按下式验算：

$$\frac{M_p + \int_0^\pi \tau_0 t d\theta}{(q_0 + \gamma h)t^2 / 2 - hc_m t} \geq K_D \quad (6.6.3)$$

式中： K_D ——考虑支护桩墙弯曲抗力作用的抗隆起稳定性安全系数，可取 1.4；

M_p ——基坑底部处支护桩墙单位宽度抗弯承载力（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；

c_m ——支护结构外侧基坑底部以上土体黏聚力标准值的加权平均值（ kPa ）。

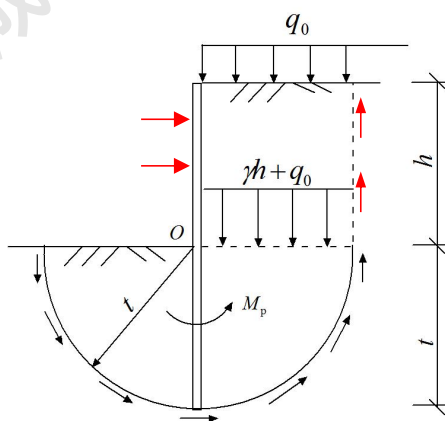


图 6.6.3 基坑底抗隆起稳定性验算

7 土钉支护

7.1 一般规定

7.1.1 土钉墙、复合土钉墙的设计与施工应充分考虑地下水、地表水、地下管线渗漏的可能性，并采取相应的防水、降水与排水措施。

7.1.2 复合土钉墙可用于粉质黏土、粉土、砂土、湿陷性黄土以及存在淤泥质土层的基坑工程。

7.1.3 复合土钉墙基坑支护可根据超前支护体类型和材料采用下列形式：

- 1 截水帷幕复合土钉墙；
- 2 预应力锚杆复合土钉墙；
- 3 微型桩复合土钉墙；
- 4 钢管或型钢复合土钉墙；
- 5 土钉墙与截水帷幕、预应力锚杆、微型桩中的两种及两种以上形成的复合支护形式。

7.1.4 预应力锚杆复合土钉墙用于软土基坑、侧壁外存在较厚回填土的基坑。存在雨水入渗或管线水渗漏时，宜采用全长黏结型锚杆。

7.1.5 土钉、锚杆承载力检验应采用现场拉拔试验，现场拉拔试验应按附录 A 进行，并应符合下列规定：

1 锚杆（土钉）承载力现场抗拔试验，对永久性支护工程中的锚杆，最大试验荷载应取锚杆轴向受拉承载力设计值的 2 倍；临时性支护工程中的锚杆，最大试验荷载不应小于锚杆轴向拉力标准值的 1.3 倍。试验应采用分级循环加荷法；

2 在最大试验荷载下，锚头位移应相对稳定；

3 锚杆弹性变形不应小于自由段长度变形计算值的 80%，且不应大于自由段长度与 1/2 锚固段长度之和的弹性变形计算值；

4 判定土钉抗拔承载力时，可从试验结果中扣除破裂面范围内土钉的侧阻力值。

7.1.6 锚杆及土钉墙支护工程施工质量检验应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202 的规定。

7.2 土钉墙

7.2.1 土钉墙的设计内容应符合下列规定：

1 根据工程类比和工程经验，选择合适的筋体材料、注浆材料及注浆方式，计算确定土钉的长度、直径、间距、倾角等；

2 土钉墙的内部稳定性、整体稳定性和抗滑稳定性分析；

3 土钉墙基底承载力验算、沉降估算,当不满足要求时应选择复合土钉支护或采用其他支护形式;

- 4 土钉抗拔承载力验算和筋体材料抗拉承载力验算;
- 5 面层混凝土配筋设计及构造设计;
- 6 对需控制基坑周边环境位移的工程尚应进行支护变形估算;
- 7 土钉墙变形估算值可采用增量法结合工程经验确定。

7.2.2 土钉墙的构造应符合下列规定:

- 1 土钉锚固体直径宜为 80mm~150mm;
- 2 土钉墙侧壁坡比宜小于 1:0.2,土钉水平方向倾角宜为 10°~15°;
- 3 土钉筋体宜选用直径为 16mm~28mm 的 HRB400、HRB500 钢筋;
- 4 土钉长度 L 应由计算确定, L 与开挖深度 h 之比宜为 0.6~1.5;
- 5 土钉水平间距可取 1.0m~2.0m,垂直间距应根据土层条件和计算确定,宜为 0.8m~2.0m,砂土层中宜取小值;
- 6 沿土钉全长应设置定位支架,间距宜取 1.5m~2.5m,土钉钢筋保护层厚度不宜小于 20mm;
- 7 喷射混凝土面层的厚度宜为 80mm~150mm;钢筋网直径应按计算确定,宜为 6mm~8mm,网筋间距 150mm~300mm,当面层厚度大于 120mm 时,宜设置二层钢筋网。钢筋网外应设置加强筋,加强筋直径不应小于土钉筋体直径的 1/2。喷射混凝土强度等级不宜低于 C20。

7.2.3 下列情况下应进行土钉墙整体稳定性复核:

- 1 分层开挖超挖或开挖深度超过基坑设计深度时;
- 2 开挖面发现地质情况与勘察成果不符或临空面发现有软弱土层或流砂时;
- 3 施工过程中基坑侧壁或基底发生水浸泡可能影响基坑安全时。

7.2.4 土钉承载力计算应符合下列规定:

- 1 单根土钉承受的轴向拉力标准值可按式 (7.2.4-1) 计算:

$$N_{jk} = \frac{1}{\cos \alpha_j} \zeta p_j S_{xj} S_{yj} \quad (7.2.4-1)$$

$$p_j = p_{ja} + p_q \quad (7.2.4-2)$$

式中: N_{jk} ——第 j 根土钉轴向拉力标准值 (kN);

α_j ——第 j 根土钉与水平面之间的夹角 (°);

S_{xj} ——第 j 根土钉与相邻土钉的平均水平距离 (m);

S_{yj} ——第 j 根土钉与相邻土钉的平均垂直距离 (m);

ζ ——侧壁倾斜时的荷载折减系数,可根据式 (7.2.4-5) 确定;

- p_j ——土钉深度位置的土体侧压力 (kPa) ;
- p_{ja} ——由土体自重引起的侧压力 (kPa) , 宜按图 7.2.4 和式 (7.2.4-3) 确定, 也可采用朗肯土压力模型计算, 但应对下部土钉承担的土压力进行折减, 折减系数可根据土层情况和土钉墙计算宽度取 0.6~1.0;
- p_q ——地表及土体中附加荷载引起的侧压力 (kPa) , 侧压力分布可按图 7.2.4 确定。

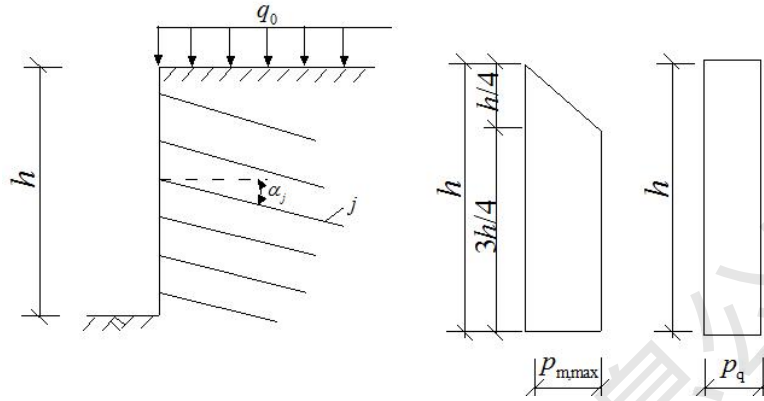


图 7.2.4 土体侧压力分布简图

- 2 下部土钉位置土体自重引起的侧压力值可按下列式计算:

$$p_{m,max} = \frac{8E_a}{7h} \quad (7.2.4-3)$$

$$E_a = \frac{1}{2} K_a \gamma h^2 \quad (7.2.4-4)$$

式中: h ——基坑开挖深度 (m) ;

E_a ——主动土压力 (kN/m) ;

γ ——基坑底面以上各层土的重度标准值 (kN/m³) , 按不同土层分层厚度取加权平均值, 有地下水作用时应考虑地下水变化造成的重度变化;

K_a ——主动土压力系数; 可按基坑底面以上各层土分别计算后取加权平均值。

- 3 侧壁倾斜时的荷载折减系数 ζ 可按下列式计算:

$$\zeta = \tan \frac{\beta - \varphi_m}{2} \left(\frac{1}{\tan \frac{\beta + \varphi_m}{2}} - \frac{1}{\tan \beta} \right) / \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_m}{2} \right) \quad (7.2.4-5)$$

式中: β ——土钉墙坡面与水平面的夹角 (°) ;

φ_m ——基坑底面以上各土层按厚度加权的等效内摩擦角平均值 (°) 。

- 4 土钉抗拔承载力设计应符合下列式要求:

$$\frac{R_{jk}}{K} \geq N_{jk} \quad (7.2.4-6)$$

式中: K ——土钉抗拔承载力安全系数, 应根据土层条件、基坑变形控制要求确定, 不应小于 1.6;

R_{jk} ——第 j 根土钉极限抗拔承载力标准值 (kN)。

5 土钉极限抗拔承载力标准值应通过现场拉拔试验结果确定，也可按下式估算：

$$R_{jk} = \pi d_{nj} \sum q_{sk,i} l_{ji} \quad (7.2.4-7)$$

式中： d_{nj} ——第 j 道土钉注浆体直径 (m)，可根据施工工艺确定，采用成孔注浆型土钉时，可取钻头直径；

l_{ji} ——第 j 道土钉在破裂面以外第 i 个土层中的长度 (m)；

$q_{sk,i}$ ——土钉注浆体与第 i 个土层极限侧阻力标准值 (kPa)，可按表 7.2.4 取值。

表 7.2.4 土钉极限侧阻力标准值

土的名称	土的状态	q_{sk} (kPa)
素填土	—	15~30
淤泥质土	—	10~20
黏性土	$I_L > 1$	20~30
	$0.75 < I_L \leq 1$	30~45
	$0.25 < I_L \leq 0.75$	45~60
	$0 < I_L \leq 0.25$	60~70
	$I_L \leq 0$	80~90
粉土	$e > 0.90$	30~45
	$0.75 < e \leq 0.90$	45~65
	$e < 0.75$	65~80
砂土	松散	35~50
	稍密	50~65
	中密	65~80
	密实	80~100

注：采用二次注浆时，表中侧阻力可乘以 1.2~1.3 的系数

6 土钉配筋面积可按下式计算：

$$A_{sj} \geq \frac{1.35 N_{jk}}{f_{yj}} \quad (7.2.4-8)$$

式中： A_{sj} ——第 j 根土钉筋体配筋面积 (mm²)；

f_{yj} ——第 j 根土钉筋体抗拉强度设计值 (MPa)。

7 土钉注浆水泥用量设计应根据孔径、土钉长度计算确定，且不应小于土钉锚固体重量的 1.3 倍；

8 土钉端部采用锚板锚杆方式时，应验算土钉与面层连接处混凝土局部抗压强度，土钉端部拉力标准值应通过计算确定。

7.2.5 土钉墙基底承载力验算应符合下列规定：

- 1 基底压力平均值不应大于基底土承载力特征值；
- 2 基底压力最大值应小于基底土承载力特征值的 1.2 倍。

7.2.6 土钉墙施工可按下列顺序进行：

- 1 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 喷射底层混凝土；
- 3 钻孔安设土钉、注浆、安设连接件；
- 4 绑扎钢筋网、加强筋，分层喷射混凝土；
- 5 设置坡顶、坡面和坡脚的排水系统。

7.2.7 土钉墙土方开挖施工应符合下列规定：

- 1 开挖和土钉施工应按设计要求自上而下、分层分段进行。分层开挖深度除满足设计的土钉竖向排距要求外，对砂性土应以自稳高度为宜；开挖段长宜为 15m~25m，预留土墩长宽尺寸不应小于 5m；
- 2 机械开挖时不得碰撞支护结构；机械开挖后，应辅以人工修整坡面；坡面喷射混凝土支护前，应清除坡面虚土；
- 3 土方开挖后应在 24h 内完成土钉及喷射混凝土施工，对自稳性差的砂性土、碎石土等应在开挖后立即进行底层喷射混凝土施工；
- 4 上层土钉注浆体及喷射混凝土面层达到设计强度的 70%或在其龄期达到 72h 后方可开挖下层土方；
- 5 开挖后发现土层与设计条件不符时，应停止开挖，反馈设计。

7.2.8 土钉成孔施工应符合下列规定：

- 1 孔深不应小于设计值；
- 2 孔径不应小于设计值；
- 3 孔距允许偏差 $\pm 100\text{mm}$ ；
- 4 成孔倾角偏差小于 3° 。

7.2.9 喷射混凝土作业应符合下列规定：

- 1 喷射作业应分段进行，同一分段内喷射顺序应自下而上，一次喷射厚度不宜大于 40mm；
- 2 喷射混凝土时，喷头与受喷面应保持垂直，距离宜为 0.6m~1.0m；
- 3 喷射混凝土终凝 2h 后，应喷水养护，冬季施工应采用覆盖措施养护，养护时间应根据气温确定，宜为 3d~7d。
- 4 喷射混凝土面层中的钢筋网铺设应满足下列要求：
 - 1) 当土钉墙采用单层网片时，网片应居中设置；当采用双层网片时应按设计要求保证钢筋保护层厚度；
 - 2) 钢筋网应在喷射一层混凝土后铺设，钢筋网与土钉应连接牢固；
 - 3) 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。

7.2.10 土钉钢筋与喷射混凝土面层的连接，对重要的工程或支护面层侧压力较大时，可采用锚板（图 7.2.10-a）连接方式；一般工程可在土钉端头部两侧沿土钉长度方向焊短段钢

筋（图 7.2.10-b），并与面层内连接相邻土钉端部的通长加强筋互相焊接。

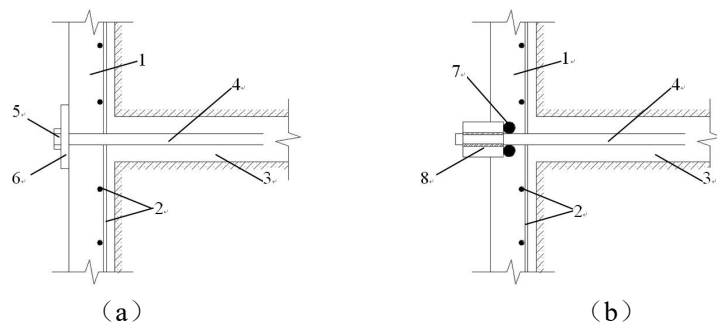


图 7.2.10 土钉与面层的连接

1—喷射混凝土；2—钢筋网；3—注浆体；4—土钉钢筋；5—螺母；6—垫板；

7—加强筋；8—钉头钢筋

7.2.11 土钉注浆应符合下列规定：

- 1 宜选用水泥浆或水泥砂浆，其强度不宜低于 20MPa；水泥浆的水灰比宜为 0.50~0.55，水泥砂浆的水灰比宜为 0.40~0.45，灰砂比宜为 1:0.5~1:1；
- 2 水泥浆、水泥砂浆应拌合均匀，随拌随用，一次拌合的水泥浆、水泥砂浆应在初凝前用完；
- 3 注浆作业应符合下列要求：
 - 1) 注浆前应将孔内残留或松动的杂土清除干净；注浆开始或中途停止超过 30min 时，应采用水或稀水泥浆润滑等措施保证注浆泵及其管路畅通；
 - 2) 注浆时，注浆管应插至距孔底 200mm~250mm 处，孔口部位宜设置止浆塞及排气管。

7.2.12 土钉墙质量检验应符合下列规定：

- 1 应采用现场抗拔试验检验土钉承载力，同一条件下试验数量不宜少于土钉总数的 1%，每组不应少于 3 根；
- 2 喷射混凝土厚度应采用钻孔检测，钻孔数量宜每 500m² 喷射混凝土不少于 1 组，每组不应少于 3 点。

7.2.13 土钉墙安全监测应包括下列内容：

- 1 坡顶水平位移及沉降监测；
- 2 地面裂缝位置、宽度的观测；
- 3 周边建筑物和重要管线等设施的变形监测与裂缝观测；
- 4 基坑渗水、漏水和基坑内外的地下水位变化，雨天及雨后对各种可能危及支护结构安全的水害来源的巡视。

7.3 复合土钉墙

7.3.1 复合土钉墙设计应包括下列内容：

- 1 支护体系与各构件选型及布置；

- 2 支护结构强度与承载力计算；
- 3 整体稳定性、基底承载力、抗隆起稳定性及抗渗流稳定性验算；
- 4 各构件之间的连接及构造设计；
- 5 变形分析预测及周边环境保护要求；
- 6 地下水和地表水控制；
- 7 土方开挖要求；
- 8 施工工艺及技术要求；
- 9 质量检验和监测要求；
- 10 可采用的应急措施。

7.3.2 复合土钉墙设计应符合下列规定：

1 预应力锚杆的设计及构造应符合下列要求：

- 1) 锚杆筋体可采用钢绞线、HRB400 或 HRB500 钢筋、精轧螺纹钢及无缝钢管；
注浆水泥用量应根据锚杆孔径、长度计算确定，且不应小于锚固体重量的 1.3 倍；
- 2) 预应力锚杆水平间距不宜小于 1.5m，垂直间距不宜小于 2.5m，锚固段上覆土层厚度不宜小于 4.0m；
- 3) 预应力锚杆钻孔直径宜为 110mm~150mm，与水平面夹角宜为 10° ~ 25° ；钻孔注浆预应力锚杆沿长度方向每隔 1m~2m 设一组定位支架；
- 4) 锚杆杆体外露长度应满足锚杆张拉锁定的需要；锚具型号及尺寸、垫板截面刚度应能满足预应力值稳定的要求；
- 5) 注浆材料可采用水泥浆或水泥砂浆，注浆应采用二次高压注浆工艺，注浆体强度不宜低于 20MPa。

2 截水帷幕的设计及构造应符合下列要求：

- 1) 水泥土墙体可选用深层搅拌桩、高压旋喷桩、长螺旋压灌水泥土桩咬合施工形成，咬合尺寸宜为 200mm~250mm；
- 2) 水泥土墙最小厚度不宜小于 500mm，渗透系数不应大于 10^{-6} cm/s；
- 3) 嵌固深度应符合截水要求，且宜穿过透水层 1m~2m。

3 微型桩可采用树根桩、注浆钢管桩、无砂混凝土小桩、插入土中的型钢、直径小于 300mm 的预制桩等，微型桩桩身抗压强度不宜低于 20MPa；

- 4 软土基坑工程的微型桩宜插入基底下相对较好土层；
- 5 预应力锚杆复合土钉墙进行整体稳定性验算时，宜对预应力锚杆的作用适当折减。

7.3.3 复合土钉墙基底承载力应符合下列规定：

- 1 对直径小于 250mm 的微型桩，可考虑插入坑底以下桩、墙的竖向承载力的作用，按式 (7.3.3-1)、式 (7.3.3-2) 验算基坑底面处基底承载力；

$$f_{ak} + (\pi d \sum q_{sik} l_i + q_p A_p) \frac{1}{2sB} \geq \gamma(h+t) + q_0 \quad (7.3.3-1)$$

$$1.2f_{ak} \geq p_{\max} \quad (7.3.3-2)$$

式中： f_{ak} ——基坑底面处的地基承载力特征值（kPa）；

B ——复合土钉墙计算宽度（m）；

s ——超前支护桩水平间距（m）；

$p_{\max}$ ——基底压力最大值（kPa）；

q_{sik} ——入土深度范围桩长所在 i 土层极限桩侧阻力标准值（kPa）；

q_p ——超前支护桩桩端阻力特征值（kPa）；

γ ——土钉支护体的重度（kN/m³）；

h ——基坑开挖深度（m）；

t ——微型桩的入土深度（m）；

q_0 ——地面均布荷载（kPa）。

2 对直径大于 250mm 的混凝土微型桩和连续水泥土桩墙，可按式（10.3.3）验算桩端平面处的地基承载力。

7.3.4 复合土钉墙的施工应符合下列规定：

1 微型桩施工应符合下列要求：

- 1) 桩位偏差不应大于 50mm，垂直度偏差应小于 1/100；
- 2) 树根桩、无砂混凝土桩、钢管桩成孔宜优先选用人工或机械洛阳铲、长螺旋等干作业方式，有地下水或易塌孔时可选择锚杆钻机等水冲成孔；
- 3) 微型桩注浆施工宜采用孔底注浆方式，并应采取封孔措施保证注浆压力不小于 0.5MPa；采用水泥浆液注浆时，水泥浆水灰比宜取 0.45~0.55，采用水泥砂浆时水灰比宜为 0.55~0.65，灰砂比宜为 1:0.5~1:1；
- 4) 混凝土桩施工宜采用钻孔压灌成桩工艺，当采用导管浇筑混凝土时，应采取措施保证混凝土密实质量或采用免振捣混凝土；
- 5) 预制混凝土桩不宜接桩，桩底标高应符合设计要求，当采用静压方法压入困难时，可采用引孔措施。

2 水泥土桩墙施工应符合下列要求：

- 1) 搅拌桩应采用湿法施工工艺，不得采用干法施工工艺；
- 2) 施工前应进行试验性施工确定成桩搅拌工艺、水泥浆配合比、添加剂等；
- 3) 桩位偏差不应大于 50mm，垂直度偏差不应大于 1/150；
- 4) 相邻搅拌桩施工间隔，黏性土不应大于 12h，砂性土不应大于 8h；当间隔时间不满足时，应进行预搅拌，预搅拌时不得注浆；

- 5) 高压旋喷桩应采用隔孔分序作业,相邻孔作业间隔时间黏性土不宜小于 24h,砂性土不宜小于 12h;
 - 6) 当桩身需要插筋时,宜在搅拌桩完成后 6h~8h、旋喷桩施工完成后 3h~4h 内完成插筋作业;插筋宜采用自重或压入方法;筋体焊接应保证焊接质量。
- 3 预应力锚杆施工应符合下列要求:
- 1) 应优先采用长螺旋或洛阳铲成孔或采用回转挤密钻进工艺;
 - 2) 对易塌孔的土层、水下施工,宜采用跟管钻进工艺,必要时可采用泥浆护壁工艺;
 - 3) 对地下水位以上含大块卵石等较坚硬土层及风化岩地层,宜采用气动潜孔锤或气动冲击回转钻进工艺;
 - 4) 先张拉后注浆锚固的全黏结预应力锚杆施工时,可在张拉后对自由段进行套管内注浆,其注浆管应与锚杆杆体一起置入套管内;
 - 5) 锚杆张拉应先进行超张拉再锁定,超张拉最大荷载不应大于锚杆承载力设计值的 1.1 倍且不宜大于杆体抗拉强度标准值的 60%;锚杆拉力锁定值宜为锚杆承载力设计值的 0.4 倍~0.6 倍,锁定后应根据压力计监测结果和设计要求进行补张拉。
- 4 采用打入方法施工土钉或锚杆,应符合下列要求:
- 1) 对易产生液化的粉土、粉质黏土、砂土,不应采用振动击入方法,可采用静压顶进方法或自钻工艺施工;
 - 2) 注浆施工应设置止浆塞,注浆完成后应维持注浆压力 1min~2min;
- 5 土钉或锚杆施工穿透水泥土帷幕时,应采用钻具钻孔;注浆时孔壁应设置止浆袋;
- 6 开挖前应对超前支护桩、墙进行质量检验,对不满足设计要求的部位应进行设计复核或采取补救加固措施。

7.3.5 复合土钉墙施工质量检验时,应在施工前、施工中和施工后对微型桩、水泥土桩、锚杆和土钉等进行检验,并应符合下列规定:

- 1 微型桩应进行桩径、桩长、桩位与垂直度偏差、桩身混凝土强度与完整性、钢材强度和外观尺寸等检验;
- 2 水泥土桩应进行桩位、水泥质量、配合比质量、钻杆垂直度、注浆压力与注浆量、钻杆回转和喷浆搅拌提升速度等检查,并应采用取芯法进行桩身强度检验;
- 3 锚杆、土钉施工应进行筋体材料强度检验、外观检查和锚孔直径、孔位、长度、倾角等检验;设置自由段的锚杆尚应进行自由段长度、套管、内抹黄油及其封闭质量、封孔止浆材料的检查;施工中应进行注浆压力、注浆量、水泥用量与配合比等的检查;施工后应在达到设计要求的龄期时进行承载力检验。

7.3.6 复合土钉墙安全监测应符合下列规定:

- 1 应进行基坑侧壁顶部沉降和地面裂缝监测；
- 2 当支护深度大于 10m 时，宜进行超前支护桩的沉降与水平位移监测；对水泥土帷幕应进行墙体裂缝检查与监测；
- 3 对预应力锚杆应进行锁定力及锚杆轴力的监测；
- 4 对基坑影响范围内的地下污水管线、自来水管线，除进行变形监测外，尚应进行管沟存水等管线渗漏检查；
- 5 地下水位水下施工锚杆或土钉时，应进行孔隙水压力监测；
- 6 现场监测应采用仪器量测与巡视检查相结合的方式，施工单位应有专人负责。

8 悬臂式支护

8.1 一般规定

8.1.1 悬臂式支护可采用混凝土灌注桩、钢板桩、预制钢筋混凝土板桩等支护体形式，适用于变形限值不严格的设计等级为乙级、丙级的基坑工程；当土质为软塑~流塑状软黏土或坑外地下水控制要求较高时，不宜采用。

8.1.2 双排桩支护适用于场地土软弱或开挖深度较大、支锚环境受限制的基坑工程。

8.1.3 地下连续墙适用于各种复杂环境和不同地质条件的基坑工程。

8.1.4 排桩、双排桩纵向间距应满足桩间土体稳定性要求。当考虑截水时，可与素混凝土桩或水泥土桩咬合形成咬合排桩支护结构。

8.2 排桩

8.2.1 排桩支护结构的设计应符合下列规定：

1 排桩支护结构的设计内容应包括桩的嵌固深度和截面尺寸确定、桩的内力与变形计算、桩的承载力计算及构件和节点的设计、验算；

2 排桩嵌固深度计算值 h_d 可按抗倾覆稳定性计算确定，嵌固深度计算结果小于 $0.4h$ 时应取 $0.4h$ （ h 为基坑开挖深度）；

3 当基坑底为碎石土或砂土，基坑内排水且有渗透水压力作用时，侧向止水的排桩嵌固深度尚应满足本规范第 6.5.1 条的规定；

4 排桩可根据受力条件分段按平面问题进行结构计算，当排桩间距符合本规范第 8.3.1 条的规定时，水平荷载计算宽度可取桩的中心距。

8.2.2 排桩支护结构变形与沉降计算应符合下列规定：

1 排桩水平位移计算可采用现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的“弹性支点法”；

2 排桩支护结构地面沉降范围、沉降量计算可采用三角形法（图 8.2.2），按式（8.2.2-1）、式（8.2.2-2）进行。

$$x_0 = (h + t) \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (8.2.2-1)$$

$$\delta_{\max} = \frac{2S_w}{x_0} \quad (8.2.2-2)$$

式中： x_0 ——地表沉降范围（m）；

$\delta_{\max}$ ——地表最大沉降量（mm）；

- h ——基坑开挖深度 (m)；
- t ——基坑开挖面以下支挡结构的长度 (m)；
- φ ——支挡结构所穿越土层的加权平均内摩擦角 (°)；
- S_w ——支挡结构侧移面积 (mm²)；宜考虑支护体整体水平滑移变形，整体水平滑移可取5mm~15mm。

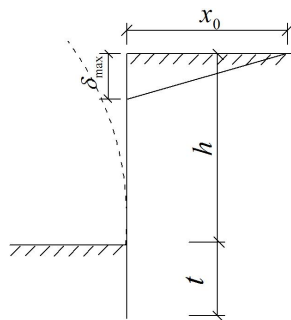


图 8.2.2 地表沉降三角形计算模式

8.2.3 灌注桩排桩支护的构造应符合下列规定：

- 1 灌注桩排桩直径不宜小于 600mm，并宜取 50mm 的模数；对直径不小于 800mm 的大直径灌注桩，宜考虑施工对周边环境的不利影响；
- 2 桩身混凝土设计强度等级宜为 C30~C35，且不应低于 C25；
- 3 桩间距应满足式 (8.3.1-2)、式 (8.3.1-3) 的要求，净距宜为 300mm~900mm，砂性土或软黏土中宜采用较小桩间距，钻孔桩、冲孔桩最小桩间距不宜小于 1.5m。当桩间净距大于 500mm 时，应对桩间土采取钢板网喷射混凝土等防护措施，并在护面设置泄水孔；
- 4 采用与素混凝土桩或水泥土桩咬合支护方案时，灌注桩排桩与素混凝土桩或水泥土桩的咬合宽度不宜小于 250mm；
- 5 灌注桩排桩纵向受力钢筋宜沿截面均匀对称、全断面布置，并可按内力分布沿桩身分段配置，纵向受力钢筋应有一半以上通长配置。纵向受力钢筋宜采用 HRB400、HRB500 或 HRB600 钢筋，钢筋直径不应小于 16mm，钢筋净距不宜小于 80mm，纵向钢筋接头不宜设在受力较大处，并应尽量减少钢筋接头。纵向受力钢筋保护层厚度不宜小于 35mm；
- 6 箍筋宜采用螺旋箍筋，并宜采用 HRB400 级钢筋。箍筋直径不应小于 8mm，间距宜为 150mm~300mm；
- 7 排桩桩顶应设置钢筋混凝土冠梁，并宜沿基坑形成封闭结构。桩顶纵向钢筋应锚入冠梁内，冠梁混凝土强度等级不应低于 C25，宽度宜大于排桩桩径 100mm，高度不宜小于 400mm，桩纵筋锚固长度、冠梁配筋应满足现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的要求。对处于转角及高差变化部位的冠梁应予以加强；
- 8 在支护结构平面阴角处宜设置角撑，阳角处宜设置拉梁。

8.2.4 灌注桩排桩的施工应符合下列要求：

- 1 排桩应采用间隔成桩的施工顺序；已完成混凝土浇筑的桩与邻桩成孔安全距离不应

小于 4 倍桩径，或间隔时间不应小于 36h。咬合排桩的施工，施工次序、施工机具和施工工艺应符合相关规范的规定。混凝土泛浆高度不应小于 500mm；

2 钢筋笼制作时应设置加强箍筋，加强箍筋应满足吊放过程中钢筋笼的整体性要求，钢筋笼骨架不得产生不可恢复的变形。加强箍筋应焊接封闭，直径不宜小于 12mm，间距不宜大于 2m；

3 冠梁施工前，应将支护桩桩顶浮浆凿除清理干净，桩顶以上出露的钢筋长度应达到设计要求；

4 桩身范围内存在较厚的粉土、砂土层时，宜适当提高护壁泥浆比重和增加泥浆黏度，必要时可采用膨润土泥浆护壁。

8.2.5 混凝土灌注桩质量检验应符合下列规定：

1 施工前应检查钢筋笼长度、外观、焊接质量，并应检验钢筋材质；

2 施工中应校核桩位、垂直度，轴线和垂直轴线方向桩位偏差均不宜超过 50mm，垂直度偏差不宜大于 1/200；混凝土灌注前应检查桩底沉渣，其厚度不宜超过 100mm；应预留混凝土试块，桩身抗压强度试验每 50m³ 混凝土不应少于 1 组试块，且每台班不应少于 1 组试块；

3 冠梁施工前应检测桩身完整性，检测桩数宜为总桩数的 100%；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；

4 对检验结果不满足设计要求的，应进行设计复核或采取补救加固措施。

8.2.6 排桩支护安全监测应符合下列规定：

1 对支护深度大于 7m 的基坑，宜进行排桩桩身内力监测；

2 应进行排桩桩顶水平位移、地面沉降与裂缝监测；

3 宜进行深层土体水平位移监测。

8.3 双排桩

8.3.1 双排桩的平面布置宜采用等间距矩形布置（图 8.3.1），双排桩支护结构前后排距宜满足式（8.3.1-1），且不应大于支护高度的 1/2；水平间距应满足式（8.3.1-2）和式（8.3.1-3）。

$$s_1 \geq \frac{h}{2} \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (8.3.1-1)$$

当支护桩为圆形时
$$s_2 \leq 0.9(1.5d + 0.5) \quad (8.3.1-2)$$

当支护桩为矩形时
$$s_2 \leq 1.5b + 0.5 \quad (8.3.1-3)$$

式中： s_1 ——双排桩支护结构前后排距（m）；

s_2 ——双排桩支护结构前、后排桩的水平间距（m）；

h ——双排桩支护高度（m）；

d ——桩径 (m)；

b ——桩截面沿基坑侧壁方向宽度 (m)。

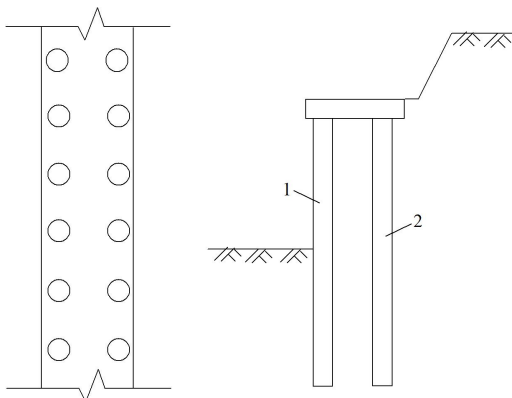


图 8.3.1 双排桩的平面布置形式

1—前排桩；2—后排桩

8.3.2 双排桩支护结构构造应符合下列规定：

- 1 排桩直径不宜小于 600mm；嵌固深度，对淤泥质土，不宜小于 1 倍基坑开挖深度；对一般黏性土、砂土，不宜小于 0.6 倍基坑开挖深度；
- 2 前排桩和后排桩可采用不同直径、不同类型桩；
- 3 排桩、冠梁、连梁或压顶板的混凝土强度等级不应小于 C25，冠梁及连梁的宽度不宜小于排桩直径，高度不应小于 400mm，压顶板厚度不应小于 250mm；
- 4 双排桩支护侧壁宜设置喷射混凝土面层，必要时可采用短土钉加固前后排桩支护土体或形成双排桩复合土钉支护；
- 5 当需要设置截水帷幕时，宜将帷幕墙设置在后排桩外侧，并应使排桩与帷幕墙紧贴；当不能紧贴时宜采用灌浆加固等处理措施，或采用咬合排桩截水方案。

8.3.3 双排桩支护设计、施工应符合下列规定：

- 1 双排桩支护结构设计计算可按现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 规定执行；当在前后排桩中间设置水泥加固土并形成整体工作性能时，可按空间组合结构计算双排桩内力；
- 2 当有工程经验时，也可采用前后排桩分担土压力的计算模型，前后排桩土压力可按本规范第 9.3.3 条规定计算；双排桩支护结构内力计算宜简化成排架模式，并应根据受力条件按平面问题计算；
- 3 支护桩、连梁或压顶板的弯矩、剪力设计值应按下列公式计算：

$$M = 1.35\gamma_0 M_k \quad (8.3.3-1)$$

$$V = 1.35\gamma_0 V_k \quad (8.3.3-2)$$

式中： M 、 M_k ——分别为截面弯矩设计值、标准值 (kN·m)；

V 、 V_k ——分别为截面剪力设计值、标准值（kN·m）。

4 整体稳定性、抗滑移稳定性、抗渗流稳定性和抗隆起稳定性验算，应满足本规范第6章的规定，抗倾覆稳定性（图 8.3.3）应符合下式要求：

$$\frac{E_p h_p + Ga}{E_a h_a} \geq K_t \quad (8.3.3-3)$$

式中： K_t ——双排桩的抗倾覆稳定安全系数，应不小于 1.3；

h_p ——被动土压力合力作用点至前排桩桩底竖向距离（m）；

h_a ——主体土压力合力作用点至前排桩桩底竖向距离（m）；

E_a ——主动土压力合力（kN/m）；

E_p ——被动土压力合力（kN/m）；

G ——双排桩和桩间土的自重之和（kN/m）；

a ——双排桩和桩间土的重心至前排桩边缘的水平距离（m）。

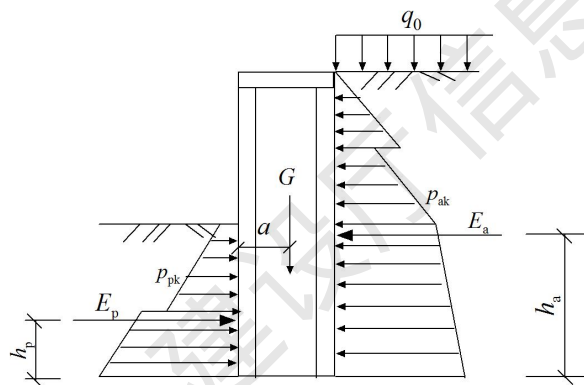


图 8.3.3 双排桩抗倾覆计算简图

5 双排桩与连梁受拉钢筋的搭接长度不应小于 1.5 倍受拉钢筋的锚固长度 l_a ，其节点构造尚应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 对框架顶层端节点的有关规定；

6 双排桩支护结构中设置水泥土帷幕墙时，宜先施工帷幕墙后施工混凝土排桩。

8.3.4 双排桩施工和质量检验除应符合本规范第 8.2.4 条、第 8.2.5 条的规定外，尚应对沉渣厚度进行严格控制，重要工程宜采用桩端后注浆技术。

8.3.5 双排桩支护安全监测除满足一般排桩支护监测要求外，尚应符合下列规定：

1 基坑开挖过程中监测内容应包含下列项目：

- 1) 支护结构顶部水平位移；
- 2) 前、后排桩的桩身水平位移；
- 3) 前、后排桩的内力；
- 4) 连梁的内力。

2 各监测项目监测报警值应根据变形计算结果和设计控制要求确定。

8.4 地下连续墙

8.4.1 地下连续墙的设计应符合下列规定：

- 1 地下连续墙可根据受力条件分段按平面问题计算，计算单元宽度可取单位宽度或一个槽段；
- 2 作用在地下连续墙上的土压力可按本规范第 5 章有关规定进行计算；
- 3 嵌固深度、结构内力、变形等计算可按现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定执行；
- 4 地下连续墙正截面受弯及斜截面受剪承载力计算应按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的相关规定执行。

8.4.2 地下连续墙的构造应符合下列规定：

- 1 地下连续墙墙体和槽段施工接头应满足防渗设计要求，混凝土抗渗等级不宜小于 P6 级。墙体混凝土设计强度等级不应低于 C30，水下浇筑时混凝土强度等级应按相关规范要求提高；
- 2 地下连续墙纵向钢筋宜沿墙身均匀配置，并可根据内力分布沿墙体深度分段配置，但应有一半以上纵向钢筋通长配置。纵向钢筋宜采用 HRB400 或 HRB500 钢筋，直径不宜小于 16mm，钢筋净距不宜小于 75mm。水平钢筋可采用 HRB400 钢筋，直径不宜小于 12mm；
- 3 地下连续墙钢筋笼封头钢筋形状应与施工接头相匹配，封头钢筋与水平钢筋宜采用焊接。钢筋笼两侧的端部与接头管（箱）或相邻墙段混凝土接头之间应留有不大于 150mm 的间隙，钢筋笼下端 500mm 长度范围内宜按 1：10 收成闭合状，且与槽底之间宜留不小于 500mm 的间隙；
- 4 地下连续墙厚度应根据成槽机的规格、墙体的抗渗要求、墙体的受力和变形计算等综合确定。现浇地下连续墙的墙厚宜为 600mm、800mm、1000mm 和 1200mm。地下连续墙主筋保护层厚度在内侧不宜小于 50mm，外侧不宜小于 70mm；
- 5 地下连续墙顶部应设置钢筋混凝土圈梁将各段墙体连成整体，圈梁宜与地下连续墙外侧平齐；
- 6 地下连续墙单元槽段的平面形状，应根据墙段的结构受力特性、槽壁稳定性、环境条件和施工条件等因素综合确定。单元槽段的平面形状可采用“一”字形、L 形、T 形等，单元槽段也可组合成格形或圆筒形等形式；
- 7 单元槽段长度应根据施工现场地质条件、成槽设备、槽壁稳定性等因素确定，长度宜为 4m~6m；当临近建筑物或重要管线时，宜采用 4m 的短槽段。

8.4.3 地下连续墙的施工应符合下列规定：

- 1 地下连续墙施工应设置钢筋混凝土导墙，导墙施工应符合下列规定：
 - 1) 导墙应采用现浇钢筋混凝土结构，导墙底部应置于原状土层，高度不应小于 1.2m，导墙底标高宜低于地下连续墙设计顶标高 200mm；导墙外侧应采用黏性土填实；

导墙的强度及稳定性应满足成槽设备及顶拔接头管（箱）施工的要求；

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

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

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

4 地下连续墙成槽施工应符合下列规定：

- 1) 地下连续墙的成槽工艺和成槽机械应根据工程地质、场地环境、泥浆处理等条件合理确定；
- 2) 单元槽段宜采用跳幅间隔施工顺序；
- 3) 每个单元槽段的挖槽分段不宜超过 3 个；
- 4) 挖槽时应加强观测，当槽壁发生较严重的坍塌时，应及时回填并妥善处理；
- 5) 挖槽结束后，应检查槽位、槽深、槽宽及槽壁垂直度，合格后方可进行清槽换浆。

5 槽段的长度、厚度、垂直度等应符合下列规定：

- 1) 槽段的长度允许偏差 $\pm 2\%$ ；
- 2) 槽段厚度允许偏差 $+1.5\%$ ， -1% ；
- 3) 槽段垂直度允许偏差 $\pm 1/150$ ；
- 4) 墙面局部突出不应大于 100mm；
- 5) 墙面上的预埋件位置偏差不应大于 100mm。

6 槽段接头施工应符合下列规定：

- 1) 接头管（箱）应满足混凝土浇筑时的强度、刚度和变形要求；
- 2) 混凝土槽段接头应在钢筋笼入槽前进行刷壁，刷壁次数不应小于 20 次，清刷后的接头不得夹泥；接头管（箱）安装时，应贴紧槽段垂直缓慢沉放至槽底；
- 3) 接头管（箱）应在混凝土初凝至终凝过程中微量提动，并根据初凝、终凝时间确定允许起拔时间和高度，按时限量起拔。

7 钢筋笼制作和吊放应符合下列规定：

- 1) 钢筋笼制作场地应平整，平面尺寸应满足制作和拼装要求；
- 2) 采用分节吊装的钢筋笼应在制作场地进行预拼装成型；
- 3) 应设置纵横向桁架、剪刀撑等加强钢筋笼整体刚度的构造措施；钢筋笼应设置保护层垫块；
- 4) 应对钢筋笼整体吊放和吊放机具进行安全验算；

5) 钢筋笼应在刷壁、清槽、泥浆置换完成后及时入槽。

8 地下连续墙混凝土应采用导管法连续浇筑，并应符合下列规定：

1) 施工前导管接缝应进行水密性试验，导管内应设置隔水栓；

2) 混凝土坍落度宜为 180mm~220mm，初凝时间不宜小于 8h；

3) 混凝土浇筑过程中导管埋入混凝土液面以下的深度宜为 2m~4m；

4) 每根导管分担的浇筑面积宜均等，导管距槽段两侧端部不宜大于 1.5m；

5) 浇筑上升速度不宜小于 3m/h；

6) 混凝土浇筑面宜高出设计标高 300mm~500mm，凿去浮浆后的墙顶混凝土强度应满足设计要求。

9 自成槽至混凝土浇筑完成的累计槽壁暴露时间不宜超过 24 h。

8.4.4 地下连续墙施工质量检验应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202 的规定。

9 支挡式支护

9.1 一般规定

9.1.1 支挡式支护包括排桩、双排桩与预应力锚杆，排桩、地下连续墙与内支撑，型钢水泥土搅拌墙-锚杆，喷射混凝土-锚杆等支护形式，适用于开挖深度较大、变形控制较严格的基坑工程。

9.1.2 支护桩、墙作为地下结构的一部分时，应按永久结构进行承载力与耐久性设计。

9.1.3 锚拉式支护，锚杆排距不宜小于 2.5m，相邻锚杆锚固体水平中心距不宜小于 6 倍锚固体直径且不应小于 1.5m；不能满足上述要求时，可采用调整相邻锚杆倾角、锚固段位置等措施减小锚杆间的相互作用。

9.1.4 采用大角度斜锚时，应进行排桩、双排桩的竖向承载力验算。嵌固段桩长提供的桩承载力安全系数不应小于 2.0。

9.1.5 排桩-内支撑、排桩-预应力锚杆的变形计算可按现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的规定执行，其中锚杆刚度应取锚杆的受拉变形刚度，锚杆受拉变形刚度宜通过试验确定。双排桩-预应力锚杆、型钢水泥土搅拌墙-锚杆的变形计算可参照排桩-预应力锚杆的方法进行。

9.1.6 预应力锚杆注浆水泥用量应根据锚杆孔径、长度计算确定，普通预应力锚杆不应小于锚固体重量的 1.3 倍~1.5 倍，旋喷锚杆不应小于锚固体重量的 20%~30%，囊式锚杆不应小于锚固体重量的 1.1 倍。

9.1.7 锚杆、支撑施工前应进行支护桩、支护墙体完整性和强度等的质量检验，对存在质量问题的支护体应进行评估，必要时应进行加固处理或调整局部锚杆或支撑设计。

9.2 排桩-预应力锚杆

9.2.1 排桩-预应力锚杆支护的排桩桩长、桩径、嵌固深度、混凝土强度、配筋及锚杆长度、直径、锚固体强度、筋体等应通过土压力平衡、锚杆竖向分力对排桩竖向承载力的要求、整体稳定性、抗倾覆稳定性等计算确定。腰梁，冠梁等应根据锚杆拉力、梁的刚度和稳定性要求，按计算确定。

9.2.2 支护结构计算模型采用弹性支点法时，土的水平抗力系数的比例系数宜由试验取得，有经验时也可按下式计算：

$$m_i = \frac{1}{v} (0.2\varphi_{ik}^2 - \varphi_{ik} + c_{ik}) \quad (9.2.2)$$

式中： m_i ——第 i 层土的水平抗力系数的比例系数（MN/m⁴）；

φ_{ik} ——第 i 层土的固结不排水（快）剪内摩擦角标准值（°）；

c_{ik} ——第 i 层土的固结不排水（快）剪黏聚力标准值（kPa）；

v ——基坑底面处位移量限值（mm），可按地区经验确定，无经验时可取 5mm~10mm。

9.2.3 采用弹性支点法计算灌注桩排桩内力时，排桩刚度系数可取 0.75~0.85，弯矩可按经验进行折减。

9.2.4 锚杆设计应包括下列内容：

- 1 锚杆选型、布置和安设角度；
- 2 锚杆轴力、锚固体长度、直径和筋体材料；
- 3 锚杆施工工艺、注浆体材料及强度；
- 4 外锚头及腰梁尺寸、材料；
- 5 锚杆锁定荷载值、张拉荷载值；
- 6 试验和监测要求。

9.2.5 锚杆选型与构造应符合下列规定：

1 设置自由段的预应力锚杆，自由段长度不应小于 5m，锚固段长度不应小于 6m 且不宜大于 15m；旋喷锚杆、扩体锚杆自由段在破裂面以外的长度不宜小于 1m，锚固段长度不宜小于 10 倍锚固体直径。锚杆锚固段不应设置在未经处理的软弱土层、不稳定土层；

2 锚固段的上覆土层厚度，普通锚杆不宜小于 4m，扩体锚杆不宜小于 7m；当条件允许，锚杆可以穿越建筑物基础以下空间时，锚杆与条形基础（天然地基或复合地基）底面的垂直距离不宜小于 2 倍基础宽度；

3 锚固体直径大于 250mm 的锚杆，水平净距不应小于锚固体长度的 1/8~1/12，砂性土取高值、黏性土取低值；对扩体锚杆，端部净距不应小于扩体直径的 1 倍且不小于 1m；

4 锚杆倾角不宜小于 15°，不应大于 45°；

5 建筑物基础、管线以及地面沉降控制要求严格的工程，除采取可靠措施控制施工引起的沉降变形外，不宜采用变径、旋喷或扩体锚杆；

6 预应力锚杆自由段筋体应采用油脂涂抹并采用波纹管或塑料软管作套管与土体隔开，套管与孔壁间应采用水泥浆或水泥砂浆灌注；

7 锚杆注浆材料可选择水泥浆或水泥砂浆，对膨胀土、湿陷性黄土基坑工程宜采用水泥砂浆，二次注浆应采用水泥浆；

8 锚杆预加力值（锁定值）应根据地层条件及支护结构变形要求确定，宜取锚杆轴向拉力设计值的 0.6 倍~0.8 倍；

9 锚杆总长度不宜小于支护深度的 0.8 倍。

9.2.6 锚杆轴向抗拔承载力标准值的确定应符合下列规定：

1 设计等级为甲级的基坑工程，应进行锚杆基本试验，锚杆轴向抗拔承载力标准值可取基本试验确定的极限承载力除以安全系数 K ；对于塑性指数大于 17 的黏性土层中的锚杆应进行锚杆蠕变试验，蠕变试验可按附录 A 规定进行；

2 基坑工程设计等级为乙级、丙级时，可按下式估算锚杆轴向抗拔承载力标准值：

$$R_t = \frac{\pi}{K} (d \cdot \sum q_{sk,i} l_i + d_1 \xi \sum q_{sk,j} l_j) \quad (9.2.6)$$

式中： R_t ——锚杆轴向抗拔承载力标准值（kN）；

d_1 ——扩孔段锚固体直径（m）；

d ——非扩孔锚杆或扩孔锚杆的直孔段锚固体直径（m）；

l_i ——第 i 层土中直孔部分锚固段长度（m）；

l_j ——第 j 层土中扩孔部分锚固段长度（m）；

$q_{sk,i}$ 、 $q_{sk,j}$ ——土体与锚固体的极限侧阻力标准值（kPa），可按表 9.2.6 取值；

ξ ——扩孔部分锚固体侧阻增强系数，可取 1.1~1.3，砂土取高值；

K ——安全系数，不应小于 1.8。

表 9.2.6 锚杆极限侧阻力标准值

土的名称	土的状态	q_{sk} (kPa)
填土	——	16~20
淤泥	——	10~16
淤泥质土	——	16~20
黏性土	$I_L > 1$	21~38
	$0.75 < I_L \leq 1$	38~53
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	53~68
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	68~84
	$0.0 < I_L \leq 0.25$	84~96
	$I_L \leq 0$	96~120
粉土	$e > 0.90$	22~44
	$0.75 < e \leq 0.90$	44~64
	$e < 0.75$	64~100
粉细砂	稍密	22~46
	中密	46~63
	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：当采用二次注浆工艺时，表中数值可乘以 1.3~1.5 的系数。

9.2.7 锚杆轴向抗拔承载力标准值应符合下式规定：

$$R_t \geq 1.35 \gamma_0 N_k \quad (9.2.7-1)$$

$$N_k = \frac{F_b s}{b_a \cos \theta} \quad (9.2.7-2)$$

式中： N_k ——锚杆轴向拉力标准值（kN）；

F_b ——挡土构件计算宽度内的弹性支点水平反力（kN），可按现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 规定计算，也可按静力平衡或等值梁法计算；

s ——锚杆水平间距（m）；

b_a ——挡土结构计算宽度（m）；

θ ——锚杆倾角（°）。

9.2.8 锚杆筋体截面面积应根据锚杆抗拔承载力设计值按下式计算确定：

$$A \geq \frac{R_t}{\gamma_P f_{pt}} \quad (9.2.8)$$

式中： γ_P ——锚杆张拉施工工艺控制系数，当预应力筋为单束时可取 1.0，当预应力筋为多束时可取 0.9；

f_{pt} ——钢筋、钢绞线抗拉强度设计值（kPa）。

9.2.9 腰梁设计可采用 H 型钢、槽钢等现场加工制作，也可采用现浇混凝土方式，施工时应采取垫块等措施使其平整、连续，倾角应符合设计要求。

9.2.10 锚杆施工、质量检验应符合下列要求：

- 1 锚杆钻孔位置在水平方向误差不宜大于 100mm，钻孔在垂直方向偏斜度不应大于 3%。
- 2 注浆管宜与锚杆杆体绑扎在一起，一次注浆管距孔底宜为 100mm~200mm，二次注浆管的出浆孔应进行可灌密封处理。
- 3 浆体应按设计配制，一次灌浆宜选用灰砂比 1：1~1：2、水灰比 0.38~0.45 的水泥砂浆，或水灰比 0.45~0.50 的水泥浆，二次高压注浆宜使用水灰比 0.45~0.55 的水泥浆。
- 4 一次注浆压力宜在 0.3MPa~0.5MPa 之间，二次高压注浆压力宜在 2.5MPa~5.0MPa 之间；二次注浆时间可根据注浆工艺试验确定或在一次注浆锚固体强度达到 5MPa 后进行；对注浆较灵敏的土层应降低二次注浆压力或根据变形监测结果调整二次注浆压力。
- 5 软土层中施工锚杆时，应采取跳打施工次序，并应严格控制每天的锚杆施工数量和缩短单根锚杆施工时间。
- 6 地下水位以下施工时，应采用套管跟进施工工艺，严格控制冲水压力；必要时也可采用泥浆或水泥浆护壁成孔；锚杆注浆应设置止浆袋，对可能产生流土流水的锚孔应采取超前封堵措施。
- 7 锚杆施工前宜对桩间土采取喷射混凝土防护；当桩间土为砂层时，应采取分层开挖、及时喷射混凝土的防护措施，且分层厚度不宜大于 800mm，以保证桩间土体的稳定。
- 8 锚杆的张拉与施加预应力（锁定）应符合下列规定：
 - 1) 锚固段强度大于 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) 锚杆宜张拉至锚杆轴向拉力设计值的 0.9 倍~1.0 倍后, 再按设计要求锁定;
 - 4) 锚杆张拉控制应力不应超过锚杆杆体强度标准值的 0.75 倍。
 - 9 设计等级为甲级、乙级基坑工程应按本规范附录 A 进行锚杆验收试验;
 - 10 设计等级为甲级的基坑工程, 应进行注浆体强度检验, 注浆体强度检验试块数量每 30 根锚杆不少于 1 组, 每组试块数量为 6 块。
- 9.2.11 排桩-预应力锚杆支护结构的安全监测应符合下列要求:**
- 1 应进行地面沉降、深层土体水平位移监测;
 - 2 设计等级为甲级的基坑工程, 应进行锚杆轴力监测并应符合下列规定:
 - 1) 监测锚杆应具有代表性, 监测锚杆数量不应少于工程锚杆总数的 2%, 且不应少于 3 根;
 - 2) 锚杆张拉锁定后最初 10d 应每天测定一次, 11d~30d 每 3d 测定一次, 此后每 10d 测定一次, 必要时 (如开挖、降雨、下排锚杆张拉、出现突变征兆等) 应加密监测次数;
 - 3) 监测结果应及时反馈给设计单位, 必要时可采取重复张拉, 适当放松或增加锚杆数量以确保基坑安全。
 - 3 应进行桩顶水平位移监测, 设计等级为甲级的基坑工程, 尚应对排桩桩顶沉降量和桩身内力进行监测。

9.3 双排桩-预应力锚杆

- 9.3.1** 双排桩-预应力锚杆支护结构适用于具有外锚条件、设计等级为甲级的深基坑工程。
- 9.3.2** 双排桩设计与构造要求应符合下列规定:
- 1 前后排桩的选型及其桩长、桩径、排距, 锚杆选型、布置等, 应通过设计计算与工期、造价比较后综合确定。
 - 2 根据设计需要, 前后排桩可以选择不同直径、不同材料的桩。
 - 3 双排桩的桩间距应符合本规范第 8.3.1 条的规定, 双排桩前后排距应根据现场工作面、前后排桩尺寸、土压力分担比等因素综合确定。
 - 4 双排桩顶部宜采用梁板或平板连成整体, 平板板厚不宜小于 250mm, 梁板板厚不应小于 150mm。
- 9.3.3** 双排桩-预应力锚杆支护结构设计宜采用前后排桩与土体相互作用的计算模型, 有经验时也可采用弹性法土压力分配系数模型 (图 9.3.3)。矩形布置的双排桩-预应力锚杆支护结构, 弹性法模型土压力分配系数宜按下列方法确定:

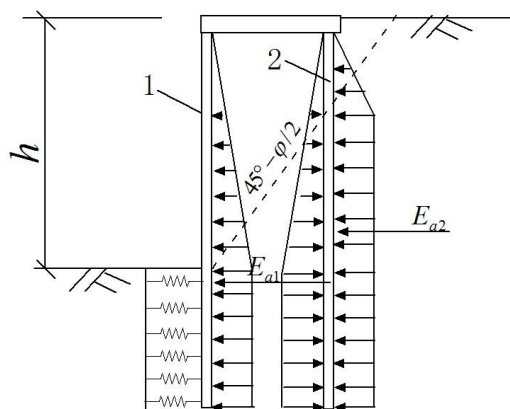


图 9.3.3 双排桩-预应力锚杆计算简图

1—前排桩；2—后排桩

1 土压力分配系数可按下列公式计算：

$$\beta = 2 \frac{L}{L_0} - \left(\frac{L}{L_0} \right)^2 \quad (9.3.3-1)$$

式中：\$L_0\$——破裂面与地表交线与基坑开挖线间的距离（m），宜取 \$H \tan(45^\circ - \varphi_m / 2)\$；

\$L\$——双排桩支护结构宽度（m）。

2 前、后排桩土压力可按下列公式计算：

$$E_{a1} = \beta E_a \quad (9.3.3-2)$$

$$E_{a2} = (1 - \beta) E_a \quad (9.3.3-3)$$

式中：\$E_a\$——前、后排桩承担的主动土压力之和（kN/m）。

9.3.4 双排桩-预应力锚杆支护施工与质量检验可按本规范第 9.2 节的规定执行。

9.3.5 双排桩-预应力锚杆支护结构安全监测除应满足本规范第 8.3.5 条、第 9.2.11 条的规定外，尚应进行连梁或桩顶连续板的内力监测。

9.4 排桩-内支撑

9.4.1 排桩-内支撑支护适用于施工场地狭窄、外锚条件受到限制、地质条件较差、基坑环境条件复杂、受锚杆施工影响较大、不宜采用锚拉式支护的基坑工程，以及基坑较深或需要严格控制基坑变形的基坑工程。

9.4.2 排桩-内支撑支护结构的选型应根据基坑周边环境条件、地质条件、基坑规模、设计等级、施工条件等，采用混凝土支撑、钢管支撑、锚杆与支撑配合使用、与主体结构相结合的支撑等方式，并应通过方案比较确定。内支撑的选型和布置应根据下列因素综合考虑确定：

- 1 基坑的平面形状、尺寸和深度；
- 2 场地可形成支撑条件；
- 3 基坑周边环境要求和邻近地下工程的影响；
- 4 地下结构的布置，土方开挖和地下结构工程的施工顺序及方法。

9.4.3 排桩-内支撑支护结构的设计应包括：排桩嵌固深度的设计、排桩结构设计；内支撑

内力、变形计算；立柱及其稳定性等的设计。

9.4.4 对于形状复杂、环境要求高的基坑工程，宜采用现浇混凝土支撑，应优先采用平面支撑体系。平面支撑体系应符合下列规定：

- 1 应由腰梁、水平支撑和立柱组成支撑体系；
- 2 根据工程具体情况，可增加对撑、对撑桁架、角撑、角撑桁架、边桁架等结构；
- 3 支撑轴线的平面位置应避开主体工程地下结构的柱网轴线；
- 4 相邻支撑水平间距不宜小于 4m，采用机械开挖时，不宜小于 8m；
- 5 沿腰梁长度方向水平支撑点间距，钢腰梁不宜大于 4m，混凝土腰梁不宜大于 9m。

9.4.5 斜撑体系适用于基坑平面尺寸大，形状复杂的基坑工程，且宜满足下列要求：

- 1 上部无锚杆或水平支撑时，支护高度不宜大于 8m；
- 2 场地工程地质条件应能满足基坑内预留土墩的斜撑安装和受力前土墩稳定要求；
- 3 斜撑基础应有足够的水平和竖向承载力。

9.4.6 平面支撑体系设计应符合下列规定：

- 1 在竖向平面内，水平支撑层数应根据基坑开挖深度、工程地质条件等因素，通过计算确定；
- 2 上下层水平支撑轴线应布置在同一竖向平面内，竖向相邻水平支撑净距不宜小于 3m，采用机械开挖时不宜小于 4m；
- 3 设定的各层水平支撑，不得影响主体工程地下结构的施工；
- 4 宜利用排桩围护结构顶的水平圈梁兼作第一道水平支撑腰梁，当第一道水平支撑标高低于墙顶圈梁时，可另设腰梁，但不宜低于地面以下 3m；
- 5 采用多道支撑时，最下层支撑的标高应尽可能降低；
- 6 立柱应布置在纵横向支撑的交点处或桁架式支撑的节点处，并应避开主体结构梁、柱、承重墙，立柱间距不宜大于 15m；
- 7 立柱下端应支承在较好土层或立柱桩上，埋入深度或桩长应满足支撑结构对立柱承载力和变形的要求。

9.4.7 斜撑体系及其布置应符合下列规定（图 9.4.7）：

- 1 竖向斜撑体系应由斜撑、腰梁、斜撑基础等组成，斜撑长度大于 15m 时，宜在斜撑中部设立柱；
- 2 斜撑宜采用型钢或组合型钢截面形式，也可采用钢管或扩体钢管桩；
- 3 斜撑宜均匀布置，水平间距不宜大于 6m；
- 4 斜撑与基坑底面夹角不宜大于 35°，地下水位较高的软土地区不宜大于 25°，并宜与基坑内预留土坡一致。斜撑基础与排桩围护结构水平间距不宜小于排桩围护结构在开挖面下嵌固深度的 1.5 倍；斜撑与腰梁、基础，腰梁与排桩围护墙间的连接应满足斜撑水平和竖向分力的传递要求。

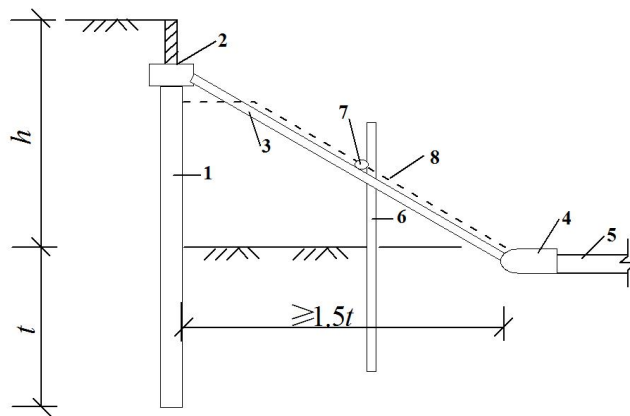


图 9.4.7 竖向斜撑体系

1—围护墙；2—墙顶梁；3—斜撑；4—斜撑基础；5—基础压杆；6—立柱；7—系杆；8—土堤

9.4.8 排桩-内支撑支护结构应分段按平面问题计算，计算方法应符合现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定。当锚杆与支撑配合使用时，应对锚杆刚度的计算值进行折减。

9.4.9 支撑预加压力不宜大于支撑力设计值的 0.4 倍~0.6 倍。支撑构件的长细比不应大于 75，连系构件长细比不应大于 120，立柱长细比不宜大于 25。各类支撑构件的构造应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010、《钢结构设计标准》GB50017 的有关规定。

9.4.10 支撑拆除前应在主体结构与支撑结构间设置可靠的换撑传力构件。

9.4.11 支撑体系施工应符合下列规定：

1 支撑系统的安装、拆除应与基坑的施工工况相协调；支撑系统穿越主体结构外墙或底板时应采取止水措施；

2 钢支撑在施加预压力前应检查连接状况，分级施加至设计值时须再检查连接情况。

9.4.12 钢及混凝土支撑体系施工质量检验应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202 的规定。

9.4.13 排桩-内支撑支护结构安全监测应符合下列规定：

- 1 应进行地面沉降、深层土体水平位移监测；
- 2 应进行排桩桩身内力监测、桩身水平位移监测；
- 3 应进行水平支撑内力、变形监测，竖向支撑沉降监测。

9.5 型钢水泥土搅拌墙-锚杆

9.5.1 型钢水泥土搅拌墙-锚杆支护结构可用于需要设置截水帷幕的基坑工程。

9.5.2 支护土层存在较厚淤泥、淤泥质土、有机质含量较高的土时，宜采用全置换水泥土施工技术。

9.5.3 型钢水泥土搅拌墙的设计厚度，当采用三轴搅拌、渠式切割水泥土墙时不宜小于 650mm，当采用双排单轴喷射搅拌时桩径不宜小于 550mm；28d 水泥土强度不应小于 1.0MPa；渗透系数应小于 10^{-6}cm/s ；内插型钢宜采用 H 型钢。

9.5.4 型钢水泥土搅拌墙-锚杆支护结构的锚杆设置应通过计算确定，设计应包含锚杆施工时水泥土孔的封闭措施。

9.5.5 型钢水泥土搅拌墙的墙体计算抗弯刚度，只应计算内插型钢的截面刚度。在进行支护结构内力和变形计算以及基坑抗隆起、抗倾覆、整体稳定性等各项稳定性分析时，支护结构的深度应取型钢的插入深度，不应计入型钢端部以下水泥土搅拌墙的作用。型钢水泥土搅拌墙的内力计算与强度验算可按现行国家行业标准《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199 进行。

9.5.6 内插型钢的设计应符合下列规定：

1 内插型钢的垂直度不应大于 1/200；

2 当型钢采用钢板焊接而成时，应按照现行国家行业标准《焊接 H 型钢》YB/T 3301 的有关要求焊接成型；

3 型钢宜采用整材；当需采用分段焊接时，应采用坡口焊等强焊接。对接焊缝的坡口形式和要求应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的有关规定，焊缝质量等级不应低于二级。单根型钢中焊接接头不宜超过 2 个，焊接接头的位置应避免设在支撑位置或开挖面附近等型钢受力较大处；相邻型钢的接头竖向位置宜相互错开，错开距离不宜小于 1m；

4 对周边环境要求较高，桩身在粉土、砂性土等透水性较强的土层中或对搅拌桩抗裂和抗渗要求较高时，宜增加型钢插入密度；

5 型钢水泥土搅拌墙的转角部位宜插型钢。

9.5.7 型钢水泥土搅拌墙的顶部应设置封闭的钢筋混凝土冠梁。冠梁的高度和宽度应满足可能起拔型钢的需要，并应符合下列规定：

1 冠梁截面高度不应小于 600mm，截面宽度宜比搅拌桩直径大 350mm；

2 内插型钢应锚入冠梁，冠梁主筋应避免开型设置。型钢顶部高出冠梁顶面不应小于 500mm，型钢与冠梁间的隔离材料应采用不易压缩的材料；

3 冠梁的箍筋宜采用四肢箍，直径不宜小于 8mm，间距不应大于 200mm；在冠梁与支撑交点位置，箍筋宜适当加密。由于内插型钢而未能设置封闭箍筋的部位宜在型钢翼缘外侧设置封闭箍筋予以加强。

9.5.8 型钢插入与拔出施工应符合下列规定：

1 型钢宜在搅拌桩施工结束后 30min 内插入，插入前应检查其平整度和接头焊缝质量；

2 型钢的插入必须采用牢固的定位导向架，在插入过程中应采取措施保证型钢垂直度。型钢插入到位后应用悬挂构件控制型钢顶标高，并与已插好的型钢牢固连接；

3 型钢宜依靠自重插入，当型钢插入有困难时可采用辅助措施下沉，严禁采用多次重复起吊型钢并松钩下落的插入方法；

4 拟拔出回收的型钢，插入前应先在干燥条件下除锈，并在其表面涂刷减摩材料。完

成涂刷后的型钢，在搬运过程中应防止碰撞和强力擦挤。减摩材料如有脱落、开裂等现象应及时修补；

5 型钢拔除前，水泥土搅拌墙与主体结构地下室外墙之间的空隙必须回填密实。在拆除支撑和腰梁时，应将残留在型钢表面的腰梁限位或支撑抗剪构件、电焊疤等清理干净。型钢起拔宜采用专用液压起拔机。

9.5.9 水泥土搅拌墙施工应符合下列要求：

1 对环境保护要求高的基坑工程，宜选择挤土量小的搅拌机头，并应通过试成桩及其监测结果确定施工参数；

2 邻近保护对象施工时，搅拌下沉速度宜控制在 $0.5\text{m/min}\sim 0.8\text{m/min}$ ，提升速度宜控制在 1m/min 内；喷浆压力不宜大于 0.8MPa ；

3 对需要保护的建筑物、地下管线，当地基存在灵敏度较高的土层时，应根据孔隙水压力监测结果调整施工速率、施工参数。

9.5.10 型钢水泥土搅拌墙支护结构施工质量检验应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202 的规定。

9.5.11 型钢水泥土搅拌墙-锚杆支护结构安全监测应符合下列要求：

- 1 应进行地面沉降、深层土体水平位移监测；
- 2 应按本规范第 9.2.11 条的规定进行锚杆轴力监测；
- 3 宜进行型钢应力监测；
- 4 水泥土搅拌桩施工时应进行孔隙水压力监测。

10 其他形式支护

10.1 一般规定

10.1.1 当基坑周边开阔，开挖面以上一定范围内无地下水或采取降低地下水措施时，可采用放坡覆盖混凝土面层支护。

10.1.2 排桩-复合土钉支护结构适用于可以采用土钉支护但对支护结构和被保护对象变形控制要求较为严格、外锚条件受到限制的基坑工程，或可采用土钉支护但基底承载力较差的基坑工程。

10.1.3 联合支护适用于地下水位较深或允许降低到一定深度，坑外具备一定地下锚固空间的基坑工程。

10.2 放坡

10.2.1 放坡坡比应按稳定性计算确定；无经验时，初步设计放坡坡比可按表 10.2.1-1 和表 10.2.1-2 选用。

表 10.2.1-1 土质基坑侧壁坡比容许值

序号	坑壁土类别	密实度或状态	坡比容许值	
			坡高在 5m 以内	坡高 5~10m
1	碎石土	密实 中密 稍密	1: 0.35~1: 0.50 1: 0.50~1: 0.75 1: 0.75~1: 1.00	1: 0.50~1: 0.75 1: 0.75~1: 1.00 1: 1.00~1: 1.25
2	粉土	$S_r < 0.5$	1: 1.00~1: 1.25	1: 1.25~1: 1.50
3	粉质黏土	坚硬 硬塑 可塑	1: 0.33~1: 0.50 1: 1.00~1: 1.25 1: 1.25~1: 1.50	1: 1.00~1: 1.25 1: 1.25~1: 1.50 1: 1.50~1: 1.75
4	黏土	坚硬 硬塑 可塑	1: 0.75~1: 1.00 1: 0.85~1: 1.25 1: 1.00~1: 1.25	1: 1.00~1: 1.25 1: 1.25~1: 1.50
5	杂填土	中密、密实的建筑垃圾	1: 0.75~1: 1.00	——
6	砂土		1: 1.00 (或自然休止角)	——

表 10.2.1-2 岩质基坑侧壁坡比容许值

序号	坑壁岩石类别	风化程度	坡比容许值	
			坡高在 8m 以内	坡高 8~15m

1	硬质岩石	微风化	1: 0.10~1: 0.20	1: 0.20~1: 0.35
		中风化	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
2	软质岩石	微风化	1: 0.35~1: 0.50	1: 0.50~1: 0.75
		中风化	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

注： 1 硬质岩石指新鲜岩石饱和单轴抗压强度大于或等于 30MPa 的岩石；

2 软质岩石指新鲜岩石饱和单轴抗压强度小于 30MPa 的岩石。

10.2.2 对深度大于 7m 的土质基坑，宜分级放坡并设置过渡平台。过渡平台宽度不宜小于 0.8m。

10.2.3 放坡开挖时，坡面防护应符合下列规定：

1 应采取地面防水、截水、坡面泄水、坡面防护等措施。基底设置排水沟时，应采取可靠措施避免坡脚处土体坍塌；

2 坡面防护措施可采用水泥砂浆抹面、浆砌片石、在坡脚或坡面堆砌砂土袋、打入压脚短钢（木）桩、坡面铺设抗拉和防水的土工布或覆盖喷射混凝土面层等。对自稳性差的土层应减小分层开挖深度并及时施工喷射混凝土面层；对膨胀土基坑，应及时覆盖避免水分流失和雨水浸湿；

3 坡面采用喷射混凝土方法进行防护时，挂网可采用钢筋网、钢丝网或钢板网，采用钢丝网或钢板网时应用加强钢筋网固定，钢筋网的固定钢筋间距不宜大于 1m，插入土中深度不宜小于 0.5m。喷射混凝土厚度不宜小于 50mm，强度等级不宜低于 C20。

10.2.4 放坡开挖前，应校核点位放线，合理安排土方运输车辆行走路线；放坡土方开挖过程中，应校核坡度、水平标高，采取可靠措施保护定位桩和水准控制点。

10.2.5 夜间施工时，现场照明应能满足施工要求；雨天不应进行土方开挖施工；进行降水的基坑工程，应将地下水控制在开挖面以下不小于 0.8m 处方可进行开挖施工。

10.2.6 放坡开挖工程施工质量检验、安全监测应符合下列规定：

1 应检查坡面平整度、坡度、标高及基坑长度、宽度等几何尺寸是否符合设计要求；

2 当开挖土层与设计条件不符时，应反馈设计并进行复核，必要时可进行局部支护处理；

3 应进行坡顶水平位移、过渡平台、地面沉降监测；对开挖深度大于 10m 的基坑，宜进行土体水平位移监测；

4 应有专人负责对坡面、地面裂缝及其发展情况进行检测与巡视；应对排水管线、可能存在的地下管线渗漏情况进行巡视检查。

10.3 排桩-复合土钉

10.3.1 排桩-复合土钉支护结构可设计为排桩与土钉的组合，也可设计为排桩、土钉与预应力锚杆的组合。排桩-复合土钉支护结构的设计应符合下列规定：

1 排桩直径不宜小于 400mm，应配置钢筋；排桩应具备足够的插入深度，桩端应到达相对较好的土层；当需要考虑排桩水平承载力作用时，应进行截面承载力计算；

2 土钉与预应力锚杆复合作用时，应考虑锚杆张拉对土钉和锚杆承载力不能同步发挥的影响；

3 土钉和预应力锚杆与混凝土面层的连接宜采用锚板连接方式，设计时应进行局部抗压承载力、抗剪和冲切承载力验算；

4 设计等级为甲级、乙级的基坑工程，土钉、锚杆承载力安全系数分别不应小于 1.8、1.6；土钉、锚杆筋体材料承载力安全系数分别不应小于 2.0、1.8；

5 抗剪强度小于 15kPa 的软黏土、淤泥质土，当采用锚杆置换部分土钉时，锚杆不应设置自由段。

10.3.2 当排桩直径大于 600mm，土钉、锚杆上下排距不小于 1.5m、水平间距不小于 2m 时，排桩内力与支护结构变形计算可按排桩-预应力锚杆支护结构的计算方法进行。

10.3.3 采用土钉模式计算排桩-复合土钉时，应符合下列要求：

- 1 应考虑排桩嵌固段水平承载力的作用，并应进行排桩抗剪强度、抗弯承载力验算；
- 2 排桩嵌固段顶部水平承载力的设计值不应大于排桩桩身抗剪承载力值；
- 3 排桩嵌固段水平承载力可由基坑坑底下主动土压力与被动土压力之差计算得到；
- 4 应按下列式验算桩端平面处的地基承载力（图 10.3.3）：

$$\frac{f_{ak} + \tan^2(45^\circ + \varphi/2) \gamma_m (t - 0.5)}{\gamma(h+t) + q_0} \geq 1.0 \quad (10.3.3)$$

式中： f_{ak} ——桩端土承载力特征值；

γ_m ——被动区桩端以上土的加权平均重度（kN/m³），水位以下取有效重度；

φ ——桩端土层土的内摩擦角；

γ ——主动区土的加权平均重度（kN/m³），水位以下取有效重度；

h ——基坑开挖深度（m）；

t ——排桩嵌固深度（m）；

q_0 ——地面均布荷载（kPa）。

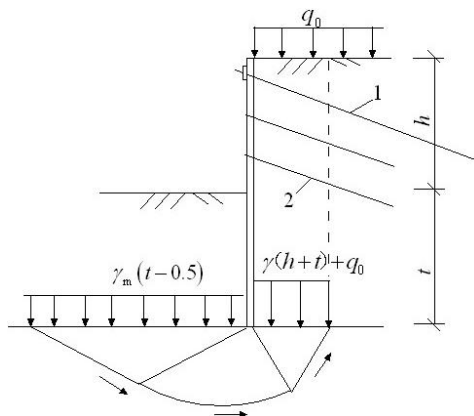


图 10.3.3 排桩-复合土钉支护结构底端平面承载力验算

1—预应力锚杆；2—土钉

10.3.4 排桩-复合土钉支护结构的施工应符合本规范第 7 章和第 8 章的规定。

10.3.5 排桩复合土钉施工质量检验与安全监测除应满足本规范对复合土钉墙的规定条款外，尚应符合下列要求：

1 应进行排桩桩身完整性检验，检验数量 100%，检验方法宜采用低应变动测法对产生断桩、严重缩颈的排桩，应进行补救处理或修改设计；

2 应进行桩身内力监测和锚杆轴力监测；设自由段的预应力锚杆，当锁定后的预应力损失超过锁定值 20%时，应进行补张拉；

3 应进行深层土体水平位移监测；宜进行排桩桩顶沉降监测，排桩竖向沉降量应满足设计限值，最大不宜超过 20mm。

10.4 联合支护

10.4.1 联合支护上部可采用土钉、复合土钉支护，下部宜采用排桩（双排桩）-支锚体系、地下连续墙-支锚体系、型钢水泥土搅拌墙-支锚体系。联合支护的变形计算可将上部简化成超载采用相应的方法进行，侧壁顶部的水平位移可采用上部、下部计算或估算结果进行叠加的方法。

10.4.2 应根据开挖深度、上部变形控制要求、外锚条件、保护建筑的沉降变形控制条件，结合主体结构设计情况和当地工程经验选择联合支护体系。当基坑上部位移控制要求不严格且具备一定的放坡条件时，上部可选择土钉支护；当基坑上部变形控制较严格或不具备放坡条件时，上部应选择复合土钉支护。

10.4.3 上部土钉、复合土钉支护的高度不应大于 0.4 倍的基坑深度。

10.4.4 宜按整个基坑深度计算的破裂面进行上部土钉设计；可采用上部土钉或复合土钉等效成竖向荷载作用在下部支护结构顶面的模型进行下部支护结构计算（图 10.4.4）。

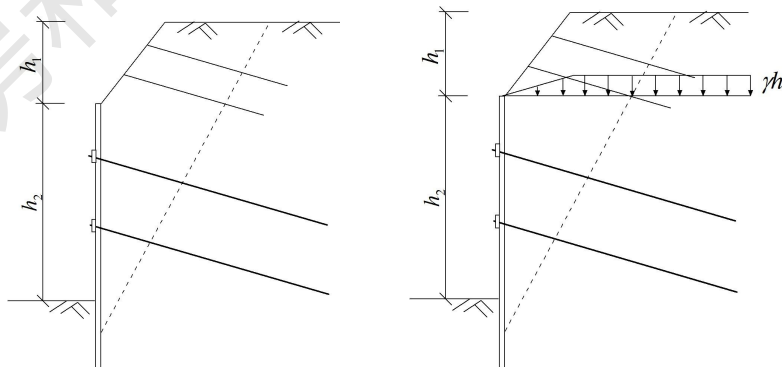


图 10.4.4 联合支护结构等效作用

10.4.5 可采用使上部土钉超过破裂面一定长度的方法（图 10.4.4），控制联合支护上部土钉、复合土钉支护的变形及地面裂缝。

10.4.6 联合支护的施工与质量检验应根据支护形式按本规范相关章节的规定执行。

10.4.7 联合支护的安全监测应符合下列规定：

1 应进行地面沉降、被保护建筑物、地下管线变形监测，并应同时进行上部支护和下部支护顶部、上部支护底部的水平位移监测和排桩沉降监测；

2 应进行深层土体水平位移监测；

3 水下施工锚杆、土钉时，应进行孔隙水压力监测，当孔隙水压力骤增可能引起被保护建筑物地基、地下管线发生较大变形时，应采取措施或调整施工工艺，必要时修改设计；

4 应进行下部支护排桩、地下连续墙、支撑、锚杆等的内力监测；上部采用锚杆复合土钉支护时，尚应进行锚杆轴力监测。

11 盖挖法与逆作法

11.1 一般规定

11.1.1 盖挖法适用于占用道路且需要尽快恢复道路正常通行的基坑工程或对支护结构水平位移有严格限制的基坑工程。根据工程具体情况，盖挖法可采用盖挖顺作法和盖挖逆作法。

11.1.2 盖挖法支护可根据工程条件、工期、基坑周边环境保护要求选择地下连续墙-内支撑、排桩-内支撑、排桩-锚杆等支护体系；当采用逆作法施工时，也可采用支护结构与主体结构相结合的设计方案。

11.1.3 支护结构与主体结构相结合的设计，应分别按基坑支护各设计工况与主体结构各设计工况进行。与主体结构相关的构件之间的结点连接、变形协调与防水构造应满足主体结构的设计要求。作用在支护结构上的荷载除应符合本规范第5章的规定外，尚应同时考虑施工时的主体结构自重及施工荷载；作用在主体地下结构外墙上的土压力应采用静止土压力。

11.1.4 盖挖法施工前必须复核现场施工条件，当现场实际施工条件发生变化或与设计条件不符时，应及时反馈。

11.1.5 应结合地面交通的情况确定盖挖法工程的实施方案，合理选择工程施工方法、出入口的位置和数量、施工机具的选择和配置等。

11.1.6 盖挖法与逆作法施工质量检验应符合下列规定：

- 1 墙体混凝土质量应采用超声波透射法进行检验；
- 2 立柱桩可采用超声波透射法检验桩身完整性，桩身完整性应全数检验；
- 3 钢管混凝土立柱在基坑开挖后应采用超声波透射法或钻孔取芯方法对立柱质量作进一步检验。

11.2 设计

11.2.1 盖挖法与逆作法基坑工程可利用地下结构的楼盖作水平内支撑。地下结构的楼盖应采取与施工及使用状态相符的计算模型进行内力分析和截面设计，且应与围护结构可靠连接，以满足施工阶段和正常使用阶段的各种功能要求。

11.2.2 用作水平支撑的地下结构楼盖宜采用梁板式，并应符合下列规定：

- 1 现浇钢筋混凝土结构楼板厚度不应小于 120mm；
- 2 楼盖不宜有大面积的竖向错台，当结构设计不能避免时，应采取适当的措施保证水平力的传递；

3 设缝的梁板结构，应在缝内增设传递水平力的构件；

4 剪力墙在楼板处应设置通长的暗梁，暗梁的截面及配筋应能满足施工阶段构件变形及强度要求，并与洞口处的连梁钢筋贯通，且不应小于连梁的配筋面积。

11.2.3 盖挖法与逆作法基坑工程的竖向支撑结构构件，宜选用钢管混凝土柱、型钢混凝土组合柱或钢筋混凝土柱。竖向支撑结构的设计应符合下列规定：

1 竖向支撑结构宜采用一根结构柱对应布置一根或二根临时立柱和立柱桩的形式；

2 立柱应按偏压构件进行承载力和稳定性验算；立柱桩应进行单桩竖向承载力验算和沉降计算；

3 立柱的长细比不应大于 25，并应根据其安装就位的垂直度允许偏差，考虑竖向荷载的偏心影响；

4 在主体结构底板施工之前，相邻立柱桩间以及立柱桩与邻近基坑围护墙之间的差异沉降不宜大于柱距的 $1/400$ ，且不宜大于 20mm。作为立柱桩的灌注桩宜采用桩端后注浆措施。

11.2.4 盖挖法的盖板体系应根据使用功能要求、施工条件、周边环境等，选用永久盖板体系或临时盖板体系。盖板结构应满足强度、刚度以及稳定性要求。

11.2.5 永久盖板体系应按永久结构的标准施作，宜采用现浇钢筋混凝土结构，并应符合下列要求：

1 永久盖板与两侧围护结构应根据防水要求采用刚性连接或搭接。刚性连接时，应保障节点的防水效果；搭接时，应按设计要求控制围护结构的水平移位。

2 永久盖板及盖板梁作为路面时，除应符合地下结构的要求外，还应满足路面交通的需要。

11.2.6 临时盖板体系的设计应符合下列规定：

1 作为承重结构使用时，应明确上覆荷载大小、类型及负荷方式；

2 临时盖板体系应有防渗漏、排水措施，并应设置横向及纵向排水坡。作为路面使用时，盖板面和原路面应顺坡相接；

3 盖板梁可选用钢筋混凝土梁、型钢梁或钢桁架梁，并应符合下列规定：

1) 盖板梁宜单独设置，也可与首道支撑结合设置。当盖板梁兼作首道支撑时，宜选用现浇钢筋混凝土结构；盖板梁应与围护结构刚性连接，同时满足竖向与水平承载要求；

2) 盖板梁挠度不应超过设计规定限值或跨度的 $1/400$ ，必要时应设置中间立柱。

4 临时盖板可采用预制钢筋混凝土盖板或钢盖板。采用预制钢筋混凝土盖板时，混凝土强度等级不应低于 C30，盖板厚度不宜小于 80mm，每一块预制盖板上预留的吊装孔或吊装环不应少于 2 个，宜设于纵向 $1/4$ 跨处，并宜避开路面板主筋。钢盖板的长度宜为 2.0m~3.0m，盖板宽度宜为 1.0m，厚度宜为 0.15m~0.20m。相邻钢盖板在侧边预留孔洞和卡槽

进行锚固连接，钢盖板与盖板梁搭接处应采用螺钉与定位夹具板限制位移。

11.2.7 进行构件的承载力及稳定性验算时，围护结构体系的内力及支点力的设计值，应按其施工阶段和使用阶段中各个工况中可能出现的最不利内力组合值确定。

11.2.8 盖挖法和逆作法除进行设计阶段的支护、降水方案、监测方案设计外，尚应根据盖挖法施工情况进行必要的施工设计，以确保施工安全。

11.2.9 盖挖法施工设计应在完成支护设计方案评审后进行，盖挖法施工设计应包括下列内容：

- 1 分步开挖各工况下围护结构的内力及变形；
- 2 换撑设计及措施；
- 3 施工荷载有可能超过使用荷载部位的结构内力和变形；
- 4 在达到龄期前有可能承受荷载部位的结构内力和变形；
- 5 围护墙和支承柱在底板未封闭前的承载力、变形和稳定性。

11.3 支护结构施工与土方开挖

11.3.1 地下连续墙应采用具有自动纠偏功能的设备施工；施工前宜进行成槽试验，确定施工艺流程和槽段长度、泥浆比重、混凝土配合比、导管内初存混凝土量、导管内混凝土控制高度等各项技术参数。

11.3.2 立柱及立柱桩的施工应符合下列规定：

- 1 立柱桩混凝土的浇筑面宜高出设计桩顶 500mm，立柱周围的空隙应用碎石回填密实，并宜采用注浆措施。
- 2 立柱施工过程中应按表 11.3.4 有关要求定位和垂直度控制，对格构柱、H 型钢柱，尚应同时控制扭转偏差。
- 3 立柱采用钢管混凝土柱时，宜通过现场充填试验确定钢管混凝土柱的施工工艺与施工参数。

11.3.3 混凝土浇筑除应符合混凝土结构施工一般要求外，尚应符合下列规定：

- 1 结构顶板宜采用早强混凝土；
- 2 结构边墙、中墙和底板、中板宜以变形缝为界，分别浇筑混凝土；
- 3 宜在前后浇筑的墙、柱混凝土结合面处的模板上预留注浆孔。

11.3.4 竖向结构构件施工允许偏差应符合表 11.3.4 的规定。

表 11.3.4 竖向结构构件允许偏差

竖向结构构件		垂直度允许偏差			构件尺寸允许偏差	
混凝土桩		$H/100$			桩径 d : -20mm	
柱	钢管混凝土柱	单层柱	$H \leq 10m$	$H/1000$	直径 D	$\pm D/500$
			$H > 10m$	$H/1000$ 且 $\leq 25mm$		$\pm 5mm$

		多节柱	单节柱	$H/1000$ 且 $\leq 10\text{mm}$	构件长度 L		$\pm 3\text{mm}$
			柱全高	$\leq 35\text{mm}$			
	型钢柱	单层柱	$H \leq 10\text{m}$	$H/1000$	截面高度 h	$h < 500$	$\pm 2\text{mm}$
			$H > 10\text{m}$	$H/1000$ 且 $\leq 25\text{mm}$		$500 < h < 1000$	$\pm 3\text{mm}$
		多节柱	单节柱	$H/1000$ 且 $\leq 10\text{mm}$		$h > 1000$	$\pm 4\text{mm}$
			柱全高	$\leq 35\text{mm}$	截面宽度 b		$\pm 3\text{mm}$
墙	地下连续墙	$H/350$			厚度 W		$+35\text{mm}$
					墙面平整度		$< 5\text{mm}$
	下返墙	$H/300$			厚度 W		$+40\text{mm}$
					平面平整度		$< 5\text{mm}$

注： H —立柱高度（m）。

11.3.5 水平结构施工时宜采用支模法施工，当有可靠经验时也可以利用土胎模施工。

11.3.6 在施工每一层水平结构时，相应的上、下层混凝土墙应预留竖向钢筋，预留长度应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。混凝土墙宜下返 800mm~1200mm，有防水要求时边跨混凝土墙还应上返 300mm~500mm。

11.3.7 正作混凝土墙体与下返墙体混凝土连接宜按图 11.3.7 施工。填充的无浮浆混凝土应为高一强度等级的微膨胀混凝土。

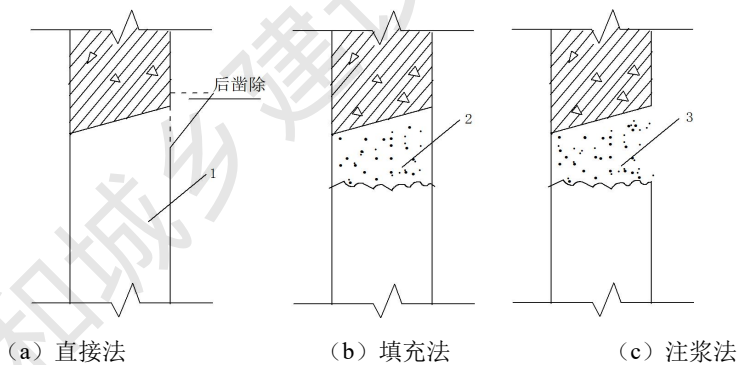


图 11.3.7 正作混凝土与下返墙体的连接构造

1—浇筑混凝土；2—填充无浮浆混凝土；3—压入水泥浆

11.3.8 梁、楼板、底板与竖向结构的连接施工应符合下列规定：

- 1 当型钢或钢管中间支承柱与梁之间的连接采用钻孔法时，每穿过一根钢筋应立即将孔的双面满焊后，再进行下一穿筋施工；
- 2 当型钢或钢管中间支承柱与梁之间的连接采用钢板传力法时，钢板与型钢宜采用竖向焊接，焊缝应满足设计要求；
- 3 当地下连续墙与地下室底板连接处设有止水条，且中间支承柱与底板连接时，柱的四周应设置止水环。

11.3.9 土方开挖应符合下列规定：

1 宜采用小型挖掘机与人工挖土相结合，地下连续墙与中间支承柱周边 1.0m 范围内的土方应采用人工挖土；土方运输宜采用传送带或小型提升设备。顶板底标高以上 100mm 范围内，以及柱帽及墙体下返处，均应由人工开挖；

2 开挖宜采用斜面放坡，分层、分段（块）、均衡、对称开挖，严禁超挖。开挖参数应视土（石）质情况及支撑方式确定；

3 基坑开挖时，不得碰撞损坏围护结构、永久立柱和临时立柱等既有结构；

4 基坑开挖后，应根据情况对围护排桩的桩间土体或地下连续墙墙段连接处进行保护，一旦发现渗漏水、涌泥、涌砂、涌水等情况，应立即采取有效措施处理；

5 梁、楼板下土方应在混凝土强度达到设计要求后开挖，挖出的土应及时运走，禁止堆放在楼板上或基坑周边 1 倍基坑深度范围内；

6 采用逆作法施工开挖下层土石方时，应及时清理上层结构底模，并确保作业安全；

7 当土石方采用爆破施工时，应采用控制爆破，确保基坑及既有结构的稳定；

8 盖挖法工程宜结合楼梯口位置设置出土口，出土口间距不宜超过 50m。出土口周围应设置圈梁，圈梁位置可按主体结构柱网确定。

11.4 施工监测

11.4.1 盖挖法和逆作法施工除应进行第三方安全监测外，必须进行施工监测。

11.4.2 施工监测应符合下列规定：

1 应根据基坑工程设计与安全等级、支护结构特点、支护开挖施工工艺、变形控制要求等确定监测项目，无特殊要求时可根据现行国家行业标准《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311 规定的基坑施工安全等级，按表 11.4.2 确定施工监测项目；

表 11.4.2 施工监测项目

监测项目	基坑施工安全等级	
	一级	二级
围护桩（墙）水平位移与竖向位移	应测	应测
土体深层水平位移	应测	应测
锚杆轴力	应测	应测
支撑内力	应测	应测
立柱竖向位移	应测	应测
立柱柱身倾斜	应测	宜测
盖板竖向位移	应测	宜测
坑底隆起	宜测	可测
孔隙水压力	宜测	可测
地下水水位	应测	应测
土体分层沉降位移	宜测	可测
地表竖向位移	应测	应测

邻近地下管线位移与渗漏	应测	应测
-------------	----	----

2 地表沉降、临时立柱与围护结构的变形及内力、坑底隆起与土体的分层位移、支撑和锚杆的内力等的测点宜成组布置，以方便信息处理与分析；

3 应对监测数据进行分析 and 预测，并应进行各阶段控制目标分解；当监测数据超过阶段控制标准或工程险情发生时，应及时预警，并增加监测频率。

11.4.3 基坑底部隆起监测宜分层进行。施工前，预先在各分层开挖土方底面以下 0.5m 附近埋设沉降标。底部隆起监测孔沿基坑长度方向，宜每 15m~20m 设置 1 个断面，每断面至少设 1 个监测孔位。底部隆起监测频率应与地面沉降监测频率相同。

11.4.4 承受动荷载的临时盖板，应明确巡视检查的项目，并提高巡视检查的频率。

11.4.5 盖板竖向支撑结构位移及内力监测断面布设间距不宜大于 20m，在结构断面变化处应设置监测断面。

12 地下水控制

12.1 一般规定

12.1.1 应根据场地及周边区域的工程地质条件、水文地质条件、周边环境条件以及支护结构与基础形式等因素，确定地下水控制方法。当场地周围有地表水汇流、排泄或地下水管渗漏时，应提出对基坑安全采取的设计控制与保护措施。当基坑降水通过市政管线外排时，宜设置多个排泄点，并应复核强降雨条件下市政管线的外排能力。地下水的排放应符合国家、地方关于地下水管理的相关规定。

12.1.2 基坑工程地下水控制施工应符合设计要求。

12.1.3 地下水控制设计应具备下列资料：

- 1 含水层的类型、厚度、埋深及渗透系数；
- 2 地下水位标高及各层地下水之间的水力联系状况；
- 3 地下水与地表水的水力联系；含水层的补给、迳流、排泄条件，基坑与附近大型地表水源的距离及水力联系；
- 4 基坑开挖深度、平面尺寸，基坑周围建（构）筑物与地下管线情况等周围环境条件以及基坑支护结构形式；
- 5 基坑工程的使用年限以及近3年～5年内的降雨资料。

12.1.4 截水帷幕的选择应考虑支护形式、施工可行性等；条件许可时宜选用截水帷幕与支护相结合的形式。

12.1.5 截水帷幕的厚度应满足基坑防渗要求，截水帷幕的渗透系数不宜大于 $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。

12.1.6 基坑底封底截水时应进行整体抗浮验算，封底方式可采取高压旋喷或其他合适的方法。

12.1.7 降水井、输排水管线、降水水泵的扬程与功率应通过计算确定，并应进行施工设计。降水系统的施工和维护应符合现行国家行业标准《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311 的要求。

12.1.8 对存在渗透系数较低的粉质黏土与粉土交互土层，采用管井降水不能达到设计要求时，可采用设置竖向导渗井或局部井点配合降水的方案。

12.1.9 对存在承压水的基坑工程，当不能形成全封闭降水时，宜设置减压井控制承压水头，疏干井深度不应到达承压含水层。

12.1.10 基坑工程降水期间应进行抽水含砂量、降水井水位、地下水位、基坑周边环境变形的监测，各种监测指标应满足设计或现行国家有关技术标准的规定。降水引起的建筑物沉降和地面沉降估算可按本规范附录 B 进行。

12.1.11 基坑工程降水应采用信息施工法。

12.1.12 地下水控制施工的质量检验应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202 的规定。

12.2 截水帷幕

12.2.1 截水应与支护结构统一设计，基坑外围应尽可能利用挡土结构进行全部或部分截水，坑中坑宜采用局部水泥土搅拌墙或塑性混凝土桩墙帷幕截水。

12.2.2 截水形式宜根据场地地层条件、施工对基坑周边环境的影响和环境保护要求选择三轴搅拌桩墙、咬合桩墙、渠式切割水泥土墙等。土层渗透性大时宜采用落底式；竖向截水墙穿过透水层确有困难时，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。

12.2.3 利用排桩支护结构作为截水帷幕的一部分时，宜在桩间采用高压旋喷桩、水泥土搅拌桩、塑性混凝土桩或素混凝土桩等，与排桩咬合形成截水帷幕。

12.2.4 落底式竖向截水帷幕应插入下卧隔水层不少于 1.5m，同时应满足抗渗设计要求且不应小于按式（12.2.4）计算的结果：

$$l = 0.2h_w - 0.5b \quad (12.2.4)$$

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）。

12.2.5 帷幕底部为透水层的悬挂式帷幕或在黏性土不透水层下面有含承压水的砂层时，应进行抗渗流稳定性验算。抗渗流稳定性不满足要求时，应在基坑底部采取加固措施或增加截水帷幕的插入深度。

12.2.6 截水帷幕设计施工应符合下列规定：

1 水泥土搅拌桩或高压旋喷桩截水帷幕排数不宜小于 2 排；水泥土搅拌桩搭接长度不宜小于 200mm，旋喷桩不宜小于 250mm；水泥掺入量不宜小于被加固土体重量的 12%；

2 在动水条件下施工截水帷幕时宜添加速凝剂，并应通过现场试验确定其适用性；

3 咬合排桩的设计施工，应符合现行国家行业标准《咬合式排桩技术标准》JGJ/T 396 的规定；

4 渠式切割水泥土墙设计施工，应符合现行国家行业标准《渠式切割水泥土连续墙技术规程》JGJ/T 303 的规定。

12.2.7 截水帷幕施工质量检验应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202 的规定。

12.2.8 截水帷幕的渗漏检验宜采用现场抽水试验进行，有条件时应配合高密度电法检验渗漏位置。

12.3 集水明排

12.3.1 基坑内宜设置排水沟、集水井、盲沟等，以疏导基坑内明水。排水沟和集水井应沿基坑周边布置。多级放坡开挖时，可在分级平台上设置排水沟。排水沟、集水井尺寸应根据排水量确定。排水沟宽不应小于 0.3m，沟底应比基坑开挖面低 0.3m~0.4m。集水井应根据水量设置，直径宜为 0.6m~0.8m，井距宜为 20m~40m，井底与沟底的差值不宜小于 0.5m，开挖至坑底时集水井应比基坑底面低 1m~2m。集水井应尽可能设置在基坑阴角附近。

12.3.2 采用集水明排时，应在基坑周围地面采取截水、封堵、导流等措施，防止地表水对基坑边坡产生冲刷与入渗后形成潜蚀。基坑外侧排水沟宜布置在基坑上边线以外不小于 0.5m。

12.3.3 集水井中的水应采用抽水设备抽至地面。盲沟中宜回填级配砾石作为滤水层。抽水设备应根据排水量大小及基坑深度确定，可设置多级抽水系统。

12.3.4 排水量应满足下式要求：

$$V \geq 1.5Q \quad (12.3.4)$$

式中：V——排水量（m³/d）；

Q——基坑总涌水量（m³/d），可按本规范附录 C 计算。

12.3.5 抽水设备应根据排水量大小及设计扬程确定。

12.3.6 当基坑侧壁出现渗水时，可设置导水管、导水沟等明排系统。

12.3.7 导渗法适用于上层滞水被阻隔，下部含水层水位已满足降水要求的基坑工程。

12.3.8 导渗井宜采用砂（砾）渗井、管井等形式，并应穿越整个导渗层进入下部含水层中；水平间距可取 3.0m~6.0m。导渗井可与疏干井统一配置。

12.3.9 导渗井群的总流量应满足基坑排水量和疏干水量的要求，可按下式估算：

$$q = k'FI \quad (12.3.9-1)$$

$$Q = nq \quad (12.3.9-2)$$

式中：Q——导渗井群的总流量（m³/d）；

q——导渗井的流量（m³/d）；

n——导渗井总数；

k'——导渗井的垂直向渗透系数（m/d）；

F——导渗井的水平截面积（m²）；

I——渗透坡降，对于均质填料，取 1.0。

12.4 降水设计与施工

12.4.1 基坑降水可采用真空井点、喷射井点、管井、集水明排等方法，也可多种方法联合

运用，管井、真空井点、喷射井点的适用条件宜符合表 12.4.1 的规定。

表 12.4.1 各种降水方法的适用条件

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

12.4.2 降水设计内容应符合下列规定：

- 1 确定井点类型；
- 2 降水系统设计；
- 3 分析降水对周围环境的影响，并提出相应的措施；
- 4 确定降水观测要求，布置水位观测孔、地表沉降观测点和建筑物沉降观测点；
- 5 设置回灌井点时，应进行渗流分析并设计回灌系统。

12.4.3 真空井点可沿基坑周边布置，当环境许可或基坑边长较大、或地下水渗透系数较大时，可在基坑内设置管井配合降水。

12.4.4 真空井点的间距宜为 1.0m~2.0m；喷射井点的间距宜取 1.5m~3.0m；管井井点的间距应根据计算确定，且不宜小于 12m。井点宜垂直设置，特殊情况下也可倾斜设置。对采用放坡开挖的基坑，井点管距基坑边不宜小于 1m。当真空井点、喷射井点的井口至设计降水水位的深度大于 6m 时，可采用多级井点降水，多级井点上下级的高差宜取 4m~5m。

12.4.5 降水井在基坑外缘采用封闭式布置时，井间距应大于 15 倍井管直径，在地下水补给方向应适当加密；当基坑面积较大并需要控制降水深度深时，应在基坑内设置管井或真空井点配合降水。

12.4.6 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。基坑内降水的深度宜控制在开挖面以下 0.5m~1.0m，可能产生管涌时，应适当加深。

12.4.7 按地下水稳定渗流计算井距、井的水位降深和单井流量时，影响半径 (R) 宜通过试验确定。缺少试验时，可区别潜水含水层、承压含水层分别按式 (12.4.7-1) 和式 (12.4.7-2) 计算并结合当地经验取值：

$$R = 2s_w \sqrt{kH} \quad (12.4.7-1)$$

$$R = 10s_w \sqrt{k} \quad (12.4.7-2)$$

式中： R ——降水影响半径 (m)；

s_w ——井水位降深 (m)；当井水位降深小于 10m 时，取 $s_w = 10m$ ；

k ——渗透系数 (m/d)；

H ——潜水含水层厚度 (m)。

12.4.8 基坑涌水量设计应符合下列规定：

1 对于窄长形基坑（长宽比大于 10），当含水层为潜水时，流向完整基坑的涌水量可按下列式估算：

$$Q = \frac{kL(2H-s)s}{R} + \frac{1.366k(2H-s)s}{\lg R - \lg\left(\frac{B}{2}\right)} \quad (12.4.8-1)$$

式中：\$L\$——基坑长度（m）；

\$B\$——基坑宽度（m）；

\$s\$——地下水位降深（m）。

2 当含水层为承压水时，流向完整基坑的涌水量可按下列式估算：

$$Q = \frac{2kMLs}{R} + \frac{2.73kMs}{\lg R - \lg\left(\frac{B}{2}\right)} \quad (12.4.8-2)$$

式中，\$M\$——承压含水层厚度（m）。

3 对于非完整基坑，可按完整基坑的涌水量予以折减的办法进行估算；

4 对于块状基坑（长宽比小于 10），可将不同形状的基坑简化为圆形基坑，其涌水量可按本规范附录 C 的“大井法”估算；

5 块状基坑简化为圆形基坑时，其等效半径可按下列方法计算：

1) 对矩形基坑，等效半径宜按下式计算：

$$r_0 = \eta \frac{L+B}{4} \quad (12.4.8-3)$$

式中：\$r_0\$——基坑等效半径；

\$\eta\$——简化系数，当 \$B/L \leq 0.3\$ 时，取 1.14；当 \$B/L > 0.3\$ 时，取 1.16。

2) 对于不规则近似圆形基坑，应符合下列规定：

$$\frac{L}{B} > 2.5 \text{ 时} \quad r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} \quad (12.4.8-4)$$

$$\frac{L}{B} < 2.5 \text{ 时} \quad r_0 = \frac{L_c}{2\pi} \quad (12.4.8-5)$$

式中：\$F\$——基坑面积（m²）；

\$L_c\$——基坑周长（m）。

3) 对于不规则多边形基坑，可采用下列式计算：

$$r_0 = \sqrt[3]{r_1 \cdot r_2 \cdots r_n} \quad (12.4.8-6)$$

式中：\$r_1\$、\$r_2\$……\$r_n\$——多边形顶点至多边形中心点的距离（m）。

12.4.9 单井出水量可按下列方法确定：

1 可取用抽水试验的单井出水量，或采用下列方法进行估算：

1) 完整承压水井

$$q = 2.73 \frac{kMs}{\lg R - \lg r_w} \quad (12.4.9-1)$$

式中： r_w ——井半径（m）；

q ——单井允许涌水量（m³/d）。

2) 潜水完整井

$$q = 1.366k \frac{(2H - s)s}{\lg R - \lg r_w} \quad (12.4.9-2)$$

3) 承压水非完整井（ $l > 5r$ ）

$$q = 2.73 \frac{kls}{\lg \frac{1.6l}{r_w}} \quad (12.4.9-3)$$

式中： l ——过滤器工作长度（m），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；管井过滤器长度宜与含水层厚度一致。

4) 潜水非完整井

$$q = 1.366ks \left(\frac{l + s}{\lg R - \lg r_w} + \frac{l}{\lg \frac{0.66l}{r_w}} \right) \quad (12.4.9-4)$$

12.4.10 井点数量与井点间距可按下列公式计算：

$$n = 1.1 \frac{Q}{q} \quad (12.4.10-1)$$

$$a = \frac{L_1}{n} \quad (12.4.10-2)$$

式中： n ——井点个数（个）；

a ——井点间距（m）， a 应大于 15d（d 为井管直径）；

L_1 ——基坑四周井点布置的总长度（m）。

12.4.11 应进行单井出水能力复核。降水井单井出水能力应大于按本规范第 12.4.9 条计算的单井出水量。各类井点经验出水能力宜符合下列规定：

- 1 真空井点经验出水能力可取 36m³/d~60m³/d；
- 2 喷射井点经验出水量可按表 12.4.11 取值；

表 12.4.11 喷射井点经验出水量

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)				
38	7	14	0.6~0.8	112.8~163.2	100.8~138.2	0.1~5.0
68	7	14	0.6~0.8	110.4~148.8	103.2~138.2	0.1~5.0
100	10	20	0.6~0.8	230.4	259.2~388.8	5.0~10.0
162	19	40	0.6~0.8	720	600~720	10.0~20.0

3 管井的单井出水能力可按式计算：

$$q_0 = 120\pi r_s l \sqrt[3]{k} \quad (12.4.11)$$

式中： q_0 ——管井的单井出水能力（ m^3/d ）；

r_s ——过滤器半径（ m ）。

12.4.12 降水设计应在满足降水深度的条件下，按下列方法对群井抽水时各井点出水量进行验算，并以此来复核井点数；

1) 对于潜水完整井，应满足下式要求：

$$y_0 > 1.1 \frac{Q}{n\psi} \quad (12.4.12-1)$$

$$y_0 = \sqrt{H^2 - \frac{0.732Q}{k} \left(\lg R_0 - \frac{1}{n} \lg nr_0^{n-1} r_w \right)} \quad (12.4.12-2)$$

$$\psi = \frac{q}{l} \quad (12.4.12-3)$$

$$R_0 = r_w + R \quad (12.4.12-4)$$

式中： y_0 ——降水要求的单井井管进水部分长度（ m ）；

ψ ——管井进水段单位长度进水量（ m^3/d ）；

R_0 ——井群中心至补给边界的距离（ m ）；

r_0 ——圆周布井时各井至井群中心的距离（ m ）。

2) 对于承压完整井， y_0 可按式计算：

$$y_0 = H' - \frac{0.366Q}{kM} \left(\lg R_0 - \frac{1}{n} \lg nr_0^{n-1} r_w \right) \quad (12.4.12-5)$$

式中： H' ——承压水头至该含水层底板的距离（ m ）；

M ——承压含水层厚度（ m ）。

当过滤器工作部分长度小于 $2/3$ 含水层厚度时，应采用非完整井公式计算。若求出的 y_0 、 ψ 不满足式（12.4.12-1）时，应调整井点数量和井点间距，再进行上述验算，直至满足式（12.4.12-1）后，再进行基坑降水深度验算。

12.4.13 真空井点构造和施工应符合下列规定：

1 滤管直径可采用 38mm~110mm 的金属管，管壁上渗水孔直径宜为 12mm~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 目~80 目的金属网或尼龙网，外层滤网宜采用 3 目~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 井点的施工可采用射水法、钻孔法和冲孔法成孔，成孔直径不宜大于 300mm，孔深宜比滤管底深 0.5m~1.0m。在井管与孔壁间应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%。在地面以下 1m 范围内应用黏土封孔；

3 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;

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

12.4.14 喷射井点的构造及施工应符合下列规定:

1 井点的外管直径宜为 73mm~108mm, 内管直径宜为 50mm~73mm, 过滤器直径宜为 89mm~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 井孔的施工和井管的设置方法与真空井点相同;

4 井点使用时, 水泵的起动泵压不宜大于 0.3MPa。正常工作水压力宜为 0.25P₀(扬水高度); 正常工作水流量宜取单井出水量。

12.4.15 管井构造及施工应符合下列规定:

1 管井成孔宜采用清水钻进, 若采用泥浆护壁成孔, 井管下沉后必须充分洗井, 保持滤网的畅通;

2 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 3m;

4 钢制、铸铁和钢筋骨架过滤器的孔隙率分别不宜小于 30%、23%和 50%;

5 井管外滤料宜选用磨圆度较好的硬质岩石, 不宜采用棱角状石渣料、风化料或其他黏质岩石。滤料规格宜满足下列要求:

1) 砂土含水层滤料应满足下式要求:

$$D_{50}=6d_{50}\sim 8d_{50} \quad (12.4.15-1)$$

式中: D_{50} ——小于该粒径的填料质量占总填料质量 50%所对应的填料粒径(mm);

d_{50} ——小于该粒径的土的质量占总土质量 50%所对应的含水层土颗粒的粒径(mm)。

2) 对 $d_{20}<2\text{mm}$ 的碎石土含水层, 滤料应满足下式要求:

$$D_{50}=6d_{20}\sim 8d_{20} \quad (12.4.15-2)$$

式中: d_{20} ——小于该粒径的土的质量占总土质量 20%所对应的含水层土颗粒的粒径(mm);

3) 对 $d_{20}\geq 2\text{mm}$ 的碎石土含水层, 宜充填粒径为 10mm~20mm 的滤料;

4) 滤料的不均匀系数应小于 2。

12.4.16 抽水水泵的排水量应根据地下水位降深和出水量大小选用, 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。成井后应进行单井试抽检查降水效果, 必要时调整降水方案。

12.4.17 排水系统宜采用承插式接头的铸铁水管、钢筋混凝土水管、强度韧性较高的 PVC

管材。相邻接头之间的局部倾斜值不应大于 0.0025；采用焊接接头时，不应大于 0.006。

12.4.18 应在基坑内、外布置观测井。观测井位置和数量应能满足基坑降水对基坑水位、被保护建筑物下方水位的监测要求。观测井用作备用降水井时，其设计施工与使用维护应按工程降水井要求进行。

12.4.19 降水施工期间，应对抽水携砂量进行定期检测，降水过程中，保证含砂量小于设计要求且不应不大于 1/50000。

13 基坑监测

13.1 一般规定

13.1.1 基坑工程安全监测应包括基坑支护结构安全监测和基坑环境安全监测。基坑安全监测应分为第三方监测和施工监测。

13.1.2 基坑周边环境安全监测范围应为基坑开挖上口线以外 3 倍开挖深度以内的区域,以及基坑降水、支护体施工影响范围内有需保护对象(各类地上建筑、地下设施)的区域。有特殊要求时,尚应按照其要求确定监测范围。

13.1.3 基坑工程设计文件中应注明基坑安全监测项目、监测频率、监测点位置与数量等技术要求和环境保护要求,并应明确监测控制值、预警值等指标。

13.1.4 监测方案应根据设计要求和现场踏勘、收集有关资料的基础上编制,并应经建设、设计、监理等单位认可。

13.1.5 基坑安全监测开展之前应对原始状态进行记录,并宜保留影像资料;监测过程中应记录观测时的天气情况、施工现场工况及其他异常情况。同一监测项目的观测仪器、观测人员、观测路线和观测方法宜保持不变,并应尽量在基本相同的环境条件下作业。

13.1.6 施工单位应严格按施工监测方案 and 设计要求开展施工监测和巡视,当监测结果和第三方监测报告差异较大时,应及时组织建设单位、监测单位、监理单位和基坑工程设计单位进行会商研判,必要时应通过专家论证查明原因。

13.1.7 当基坑工程设计或施工有重大变更时,应及时调整监测方案,每次观测后应对观测数据及时进行处理和分析,并将监测结果和评价及时反馈给相关单位,当监测数据达到监测预警指标时应立即通报委托方及相关单位。

13.2 监测要求

13.2.1 第三方监测项目除应对基坑施工影响范围内建筑物、地面和地下工程设施的沉降、位移等进行监测外,尚应满足本规范第 7 章~第 12 章的相关规定和设计要求。施工单位实施的施工监测应符合本规范第 11.4.2 条的规定。

13.2.2 基坑工程监测频率应按表 13.2.2 确定;对膨胀土、填土、湿陷性黄土基坑工程,应根据开挖深度、天气等条件适当增加监测频率。

表 13.2.2 监测频率

工期时间段	当前开挖深度		
	<5m	5m~10m	>10m
底板浇筑前	1 次/2d	1 次/d	2 次/d
底板浇筑 1d~10d	1 次/2d	1 次/d	1 次/d
底板浇筑 10d 后	1 次/5d	1 次/3d	1 次/2d

13.2.3 当基坑工程安全监测中出现下列情况之一时，应立即报警：

- 1 监测数据达到预警值；预警值如设计有明确要求时应按设计执行，设计无明确要求时可按表 13.2.3 确定；
- 2 基坑外地下管线变形突然快速增长或出现严重渗漏；基坑出现侧壁严重渗漏、流砂；基坑底出现突涌、隆起或陷落等；
- 3 基坑支护结构的支撑或锚杆体系出现过大变形、压屈、断裂、松弛或拔出的迹象；
- 4 水下施工维护桩、帷幕、锚杆、土钉时，孔隙水压力骤增，被保护建筑物、管线沉降明显、基坑周边土体发生开裂或裂缝急剧增大；
- 5 土钉墙、复合土钉墙出现超过 50mm 的地面裂缝，或雨中、雨后发生雨水入渗，在短时间内产生较大的地面沉降或水平位移；
- 6 帷幕桩墙渗漏严重、产生流土或水泥土桩墙产生超过 1mm 的水平贯通裂缝；
- 7 基坑周边建筑物（构筑物）墙体或结构产生裂缝；
- 8 根据当地工程经验判断，出现其他必须报警的情况。

表 13.2.3 基坑工程监测预警指标

序号	项目		累计值						变化速率（mm/d）		
			绝对值			相对值					
			甲级	乙级	丙级	甲级	乙级	丙级	甲级	乙级	丙级
1	墙（坡）顶水平位移		30mm	40mm	50mm	0.002H	0.004 H	0.006 H	3	4	5
2	墙（坡）顶沉降		30mm	40mm	50mm	0.002H	0.004 H	0.006 H	3	4	5
3	支护结构深层水平位移		50mm	60mm	70mm	0.003H	0.005 H	0.007 H	3	4	5
4	锚杆、内支撑轴力	最大值	0.75f	0.80f	0.85f	/	/	/	/	/	/
		最小值	0.50N, 且相应水平位移达到位移预警值的 80%			/	/	/	/	/	/
5	立柱沉降		30mm	40mm	50mm	/	/	/	3	4	5
6	被保护对象处地下水位		1m	2m	3m	/	/	/	500	750	1000
7	基坑施工影响范围内建筑物、地面和地下构筑物沉降		20mm~50mm			0.002D			3		
8	建筑物扭转					1/500~1/3000					

注：H—基坑深度；f—构件承载力设计值；N—钢支撑、锚杆承载力设计值；D—相邻承重结构水平距离；

13.2.4 当采用基坑周边建筑物沉降量或倾斜指标作为报警依据时，应将附录 D 中规定的限值减去一定的初始值，同时应限制因平面扭转引起建筑物开裂。

13.3 应急措施

13.3.1 预警通知发出后应加密观测，跟踪量测各种监测指标的发展变化情况；有关参建单位应进行分析研判，并立即采取相应处理措施消除安全隐患。

13.3.2 基坑工程变形或支护结构内力超过限值时，可采取调整分层、分段土方开挖方案，回填反压，加大预留土墩，坑外卸载，增设锚杆、支撑，调整降水方案等措施。

13.3.3 邻近建筑物开裂或倾斜超过限值时，应采取下列应急措施：

1 因支护结构位移过大引起，应立即停止基坑开挖，回填反压或基坑侧壁卸载，待变形稳定、查明原因后采取相应的措施；

2 因土钉、锚杆施工引起，应调整土钉、锚杆施工工艺，必要时改为支撑；

3 因降水原因引起，应采取回灌等措施调整控制水位降深；

4 因帷幕渗漏、锚杆孔位渗漏或产生流土等引起，应及时设置反滤、导流等措施，并可采用水泥浆注浆加固帷幕；

5 因帷幕、支护桩、工程桩施工产生超孔隙水压力引起，应调整施工速度，必要时调整施工工艺或修改设计。

13.3.4 邻近地下管线破裂时，应采取下列应急措施：

1 立即关闭危险管道阀门，防止产生火灾、爆炸、毒物泄露等安全事故；

2 停止基坑开挖，采取回填反压、基坑侧壁卸载等措施控制管线变形与管线基础沉降；

3 及时加固、修复或更换破裂管线。

13.4 监测报告

13.4.1 监测报告应分为监测日报、阶段监测报告和监测总报告。

13.4.2 监测日报中应包括下列内容：

1 当日的天气情况和施工现场工况；

2 各监测点的本次测试值、单次变化值、变化速率以及累计值和相应的曲线图；

3 巡视检查的记录；

4 监测项目正常或异常的判断性结论及建议的处理措施；

5 对达到或超过监测预警值的监测点应有预警提示。

13.4.3 阶段监测报告应包括下列内容：

1 本阶段的起止时间及节点工况；

2 各监测点的本阶段累计量、变化速率和相应的曲线图；

3 本阶段异常变化记录及相应处理措施与效果评价；

4 对后续施工监测、监控重点的提示。

13.4.4 监测总报告应包括下列内容：

1 工程概况，包括工程地质条件、水文地质条件和基坑周边环境条件等；

2 基坑工程支护设计、设计变更及施工情况；

3 监测方法及过程，包括监测依据、监测项目、测点布置、观测设备以及观测方法、监测频率、监测预警值、监测过程中异常变化记录及相应处理措施与效果评价；

4 各监测项目全过程的发展变化分析及整体评述；

5 监测结论与建议。

附录 A 锚杆抗拔试验要点

A.1 一般规定

- A.1.1** 试验锚杆的参数、材料、施工工艺及其所处的地质条件应与工程锚杆相同。
- A.1.2** 锚杆抗拔试验应在锚固段注浆固结体强度达到 15MPa 或达到设计强度的 75%后进行。
- A.1.3** 加载装置（千斤顶、油泵）的额定压力必须大于最大试验压力，且试验前应进行标定。
- A.1.4** 加载反力装置的承载力和刚度应满足最大试验荷载的要求，加载时千斤顶应与锚杆同轴。
- A.1.5** 计量仪表（测力计、位移计、压力表）的精度应满足试验要求。
- A.1.6** 试验锚杆宜在自由段与锚固段之间设置消除自由段摩阻力的装置。
- A.1.7** 最大试验荷载下的锚杆杆体应力，不应超过其极限强度标准值的 0.85 倍。

A.2 基本试验

- A.2.1** 同一条件下的极限抗拔承载力试验的锚杆数量不应少于 3 根。
- A.2.2** 确定锚杆极限抗拔承载力的试验，最大试验荷载应大于预估破坏荷载，且试验锚杆杆体截面面积应符合第 A.1.7 条对锚杆杆体应力的规定；不符合时，应按第 A.1.7 条对钢筋强度的要求确定最大试验荷载，必要时，可增加试验锚杆的杆体截面面积。
- A.2.3** 锚杆极限抗拔承载力试验宜采用循环加载法，其加载分级和锚头位移观测时间应按表 A.2.3 确定。

表 A.2.3 循环加载试验的加载分级与锚头位移观测时间

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

- 注：1 锚杆加载前应预先施加初始荷载，初始荷载应取锚杆轴向拉力标准值的 10%；
- 2 每级加、卸荷载稳定后，在观测时间内测读锚头位移不应少于 3 次；
- 3 在每级荷载的观测时间内，当锚头位移增量不大于 1.0mm 时，可视为位移稳定；当观测时间内

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

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

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

A.2.5 锚杆试验中遇下列情况之一时,应终止继续加载:

- 1 从第二级加载开始,后一级荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生位移增量的 5 倍;
- 2 锚头位移不收敛;
- 3 锚杆杆体破坏。

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

A.2.7 锚杆极限抗拔承载力应按下列方法确定:

- 1 单根锚杆的极限抗拔承载力,在某级试验荷载下出现第 A.2.5 条规定的终止继续加载情况时,应取终止加载时的前一级荷载值;未出现时,应取最大试验荷载值;
- 2 参加统计的试验锚杆,当极限抗拔承载力的极差不超过其平均值的 30%时,锚杆极限抗拔承载力标准值可取平均值;当级差超过其平均值的 30%时,宜增加试验锚杆数量,并根据级差过大的原因,按实际情况重新进行统计后确定锚杆极限抗拔承载力标准值。

A.3 蠕变试验

A.3.1 蠕变试验的锚杆数量不应少于 3 根。

A.3.2 蠕变试验的加载分级和锚头位移观测时间应按表 A.3.2 确定。在观测时间内荷载必须保持恒定。

表 A.3.2 蠕变试验加载分级与锚头位移观测时间

加载分级	0.50 N_k	0.75 N_k	1.00 N_k	1.20 N_k	1.50 N_k
观测时间 t_2 (min)	10	30	60	90	120
观测时间 t_1 (min)	5	15	30	45	60

注:表中 N_k 为锚杆轴向拉力标准值。

A.3.3 每级荷载按时间间隔 1min、5min、10min、15min、30min、45min、60min、90min、120min 记录蠕变量。

A.3.4 试验时应绘制每级荷载下锚杆的蠕变量-时间对数 ($s-\lg t$) 曲线。蠕变率应按式计

算：

$$k_B = \frac{s_2 - s_1}{\lg t_2 - \lg t_1}$$

(A.3.4)

式中： k_B ——锚杆蠕变率；
 s_1 —— t_1 时间测得的蠕变量（mm）；
 s_2 —— t_2 时间测得的蠕变量（mm）。

A.3.5 锚杆的蠕变率不应大于 2.0mm。

A.4 验收试验

A.4.1 锚杆抗拔承载力验收试验的最大试验荷载，不应小于锚杆承载力标准值的 1.6 倍，同时应符合第 A.1.7 条对锚杆杆体应力的要求。

A.4.2 锚杆抗拔承载力验收试验可采用单循环加载法，其加载分级和锚头位移观测时间应按表 A.4.2 确定。

表 A.4.2 逐级加载试验的加载分级与锚头位移观测时间

最大试验荷载	分级荷载与锚杆轴向拉力标准值 N_k 的百分比（%）							
$1.4N_k$	加载	10	40	60	80	100	120	140
	卸载	10	30	50	80	100	120	—
$1.3N_k$	加载	10	40	60	80	100	120	130
	卸载	10	30	50	80	100	120	—
$1.2N_k$	加载	10	40	60	80	100	—	120
	卸载	10	30	50	80	100	—	—
观测时间（min）		5	5	5	5	5	5	10

- 注：1 锚杆加载前应预先施加初始荷载，初始荷载应取锚杆轴向拉力标准值的 10%；
- 2 每级加、卸荷载稳定后，在观测时间内测读锚头位移不应少于 3 次；
- 3 在每级荷载的观测时间内，当锚头位移增量不大于 1.0mm 时，可视为位移稳定；当观测时间内锚头位移增量大于 1.0mm 时，应在该级荷载下再延长观测时间 60min，并应每隔 10min 测读锚头位移 1 次；当该 60min 内锚头位移增量小于 2.0mm 时，可视为锚头位移收敛；当锚头位移稳定或收敛后，方可施加下一级荷载；
- 4 锚杆验收试验，也可在逐级加载至最大试验荷载后一次卸载至初始荷载。

A.4.3 锚杆试验时，当遇本规范第 A.2.5 条规定的终止继续加载情况时，应终止继续加载。单根锚杆的极限抗拔承载力应按第 A.2.7 条第 1 款的规定确定。

A.4.4 单循环加载试验应绘制锚杆的荷载-位移（ $Q-s$ ）曲线。锚杆的位移不应包括试验反力装置的变形。

A.4.5 验收试验中，符合下列要求的锚杆应判定合格：

- 1 在最大试验荷载下，锚杆位移稳定或收敛；

2 对拉力型锚杆，在最大试验荷载下测得的总位移量应大于自由段长度理论弹性伸长量的 80%，且应小于自由段长度与 $1/2$ 锚固段长度之和的理论弹性伸长量。

附录 B 降水引起的沉降计算

B.0.1 降水引起的天然地基或地面沉降可采用式 (B.0.1) 进行计算:

$$s = \psi_w \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma'_{zi} \Delta h_i}{E_{si}} \quad (\text{B.0.1})$$

式中: s ——降水引起的地层变形量 (m);

ψ_w ——沉降计算经验系数,可按地区工程经验取值。无经验时,对软土地层,宜取 $\psi_w = 1.0 \sim 1.2$, 对一般地层可取 $0.6 \sim 1.0$, 对压缩模量大于 8MPa 的土层可取 $0.4 \sim 0.6$, 对密实砂层可取 $0.2 \sim 0.4$;

$\Delta \sigma'_{zi}$ ——降水引起的地面下第 i 土层中点处的附加有效应力 (kPa); 对黏性土, 应取降水结束时土的固结度下的附加有效应力;

Δh_i ——第 i 层土的厚度 (m);

E_{si} ——第 i 层土的压缩模量 (kPa); 应取土的自重应力至自重应力与附加有效应力之和的压力段的压缩模量值。

B.0.2 基坑外土中各点降水引起的附加有效应力宜采用地下水渗流分析方法按稳定渗流计算; 当符合非稳定渗流条件时, 可按地下水非稳定渗流计算。附加有效应力计算应符合下列规定 (图 B.0.2):

1 计算点位于初始地下水位以上时, 按下式计算:

$$\Delta \sigma'_{zi} = 0 \quad (\text{B.0.2-1})$$

2 计算点位于降水后水位与初始地下水位之间时, 按下式计算:

$$\Delta \sigma'_{zi} = \gamma_w a_0 \quad (\text{B.0.2-2})$$

3 计算点位于降水后水位以下时, 按下式计算:

$$\Delta \sigma'_{zi} = \gamma_w s_i \quad (\text{B.0.2-3})$$

式中: γ_w ——水的重度 (kN/m^3);

a_0 ——计算点至初始地下水位的垂直距离 (m);

s_i ——计算点对应的地下水位降深 (m)。

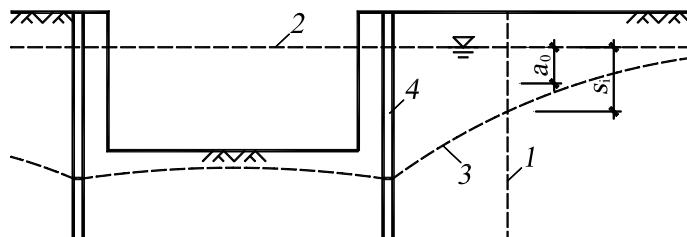


图 B.0.2 降水引起的附加有效应力计算

1—计算剖面 1；2—初始地下水位；3—降水后的水位；4—降水井

B.0.3 确定土的压缩模量时，应考虑土的超固结比对压缩模量的影响。

B.0.4 对水泥土桩或散体材料桩复合地基，可不考虑增强体的作用，按天然地基方法计算；对刚性桩复合地基，应考虑按复合土层模量进行分层沉降量计算，其复合模量计算应符合现行国家行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的规定。

B.0.5 对采用筏板基础的建筑、地下车库、地下水池等，当水位降深超过基底较大时，应考虑浮力变化对基础不均匀沉降的影响。

附录 C 基坑总涌水量计算

C.0.1 群井按大井简化的均质含水层潜水完整井的基坑降水总涌水量可按下列公式计算（图 C.0.1）：

$$Q = \pi k \frac{(2H_0 - s_0)s_0}{\ln(1 + \frac{R}{r_0})} \quad (\text{C.0.1})$$

式中： Q ——基坑降水的总涌水量（ m^3/d ）；

k ——渗透系数（ m/d ）；

H_0 ——潜水含水层厚度（ m ）；

s_0 ——基坑水位降深（ m ）；

R ——降水影响半径（ m ）；

r_0 ——沿基坑周边均匀布置的降水井群所围面积等效圆的半径（ m ）；可按

$r_0 = \sqrt{A/\pi}$ 计算，此处， A 为降水井群连线所围的面积。

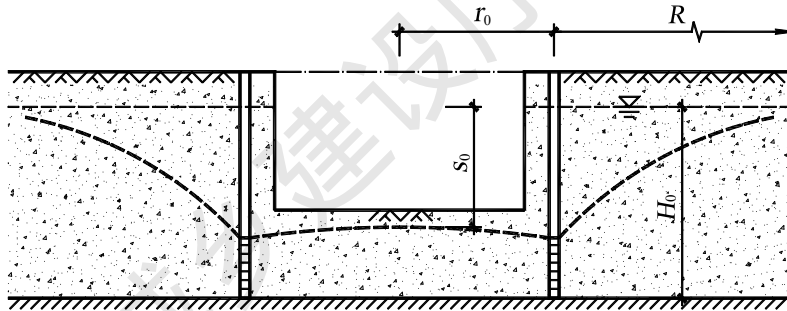


图 C.0.1 均质含水层潜水完整井的基坑涌水量计算

C.0.2 群井按大井简化的均质含水层潜水非完整井的基坑降水总涌水量可按下列公式计算（图 C.0.2）：

$$Q = \pi k \frac{H_0^2 - h^2}{\ln(1 + \frac{R}{r_0}) + \frac{h_m - l}{l} \ln(1 + 0.2 \frac{h_m}{r_0})} \quad (\text{C.0.2})$$

$$h_m = \frac{H_0 + h}{2}$$

式中： h ——降水后基坑内的水位高度（ m ）；

l ——过滤器进水部分的长度（ m ）。

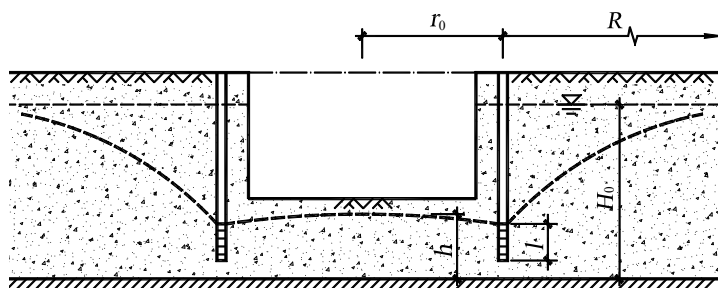


图 C.0.2 均质含水层潜水非完整井的基坑涌水量计算

C.0.3 群井按大井简化的均质含水层承压水完整井的基坑降水总涌水量可按下列公式计算（图 C.0.3）：

$$Q = 2\pi k \frac{Ms_0}{\ln(1 + \frac{R}{r_0})} \quad (C.0.3)$$

式中：M——承压含水层厚度（m）。

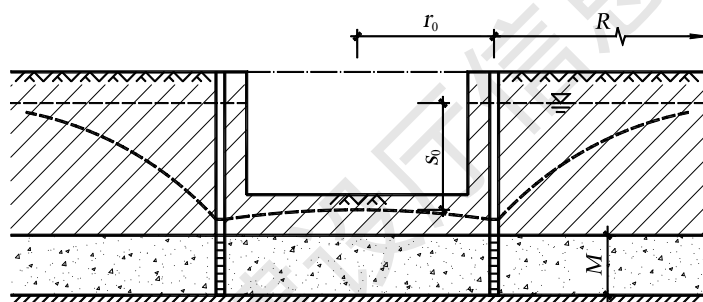


图 C.0.3 均质含水层承压水完整井的基坑涌水量计算

C.0.4 群井按大井简化的均质含水层承压水非完整井的基坑降水总涌水量可按下式计算（图 C.0.4）：

$$Q = 2\pi k \frac{Ms_0}{\ln(1 + \frac{R}{r_0}) + \frac{M-l}{l} \ln(1 + 0.2 \frac{M}{r_0})} \quad (C.0.4)$$

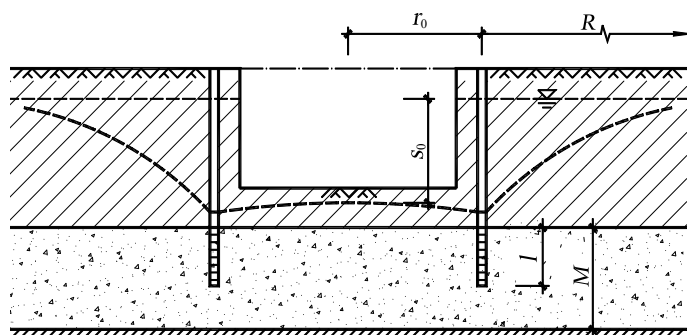


图 C.0.4 均质含水层承压水非完整井的基坑涌水量计算

C.0.5 群井按大井简化的均质含水层承压水-潜水非完整井的基坑降水总涌水量可按下式计算（图 C.0.5）：

$$Q = \pi k \frac{(2H_0 - M)M - h^2}{\ln(1 + \frac{R}{r_0})} \tag{C.0.5}$$

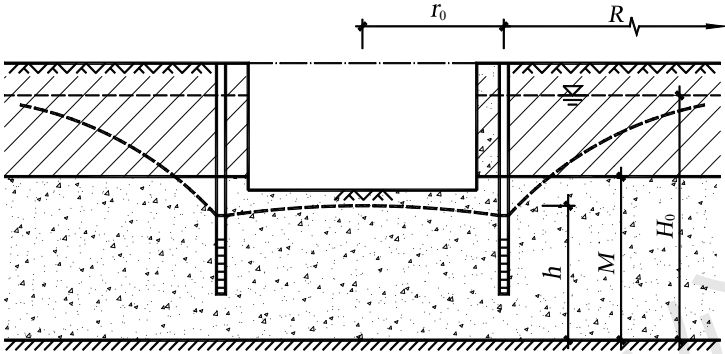


图 C.0.5 均质含水层承压-潜水非完整井的基坑涌水量计算

附录 D 建（构）筑物地基变形限值

D.0.1 单层和多层建筑物的地基变形允许值应符合表 D.0.1 的规定。

表 D.0.1 单层和多层建筑物的地基变形限值

变形特征		地基变形限值	
		中、低压缩性土	高压缩性土
砌体承重结构基础的局部倾斜		0.0015	0.0025
工业与民用建筑相邻柱基的沉降差	(1) 框架结构	0.0015/ l	0.0025/ l
	(2) 砌体墙填充的边排柱	0.0007/ l	0.001/ l
	(3) 当基础不均匀沉降时不产生附加应力的结构	0.005/ l	0.005/ l
桥式吊车轨面的倾斜（按不调整轨道考虑）	纵向	0.003	
	横向	0.002	

注：1 l 为相邻桩基的中心距离（mm）；

2 倾斜指基础倾斜方向两端点的沉降差与其距离的比值；

3 局部倾斜指砌体承重结构沿纵向 6~8m 内基础两点的沉降差与其距离的比值。

D.0.2 高层建筑和高耸结构地基变形限值应符合 D.0.2 的规定。

表 D.0.2 高层建筑和高耸结构地基变形限值

变形特征		地基变形限值
高层建筑基础的倾斜	$H_g \leq 24$	<u>0.002</u>
	$24 < H_g \leq 60$	<u>0.0015</u>
	$60 < H_g \leq 100$	<u>0.001</u>
	$H_g > 100$	<u>0.001</u>
高耸结构基础的倾斜	$H_g \leq 20$	<u>0.006</u>
	$20 < H_g \leq 50$	<u>0.004</u>
	$50 < H_g \leq 100$	<u>0.003</u>
	$100 < H_g \leq 150$	<u>0.002</u>
	$150 < H_g \leq 250$	<u>0.0015</u>

注： H_g 为自室外地面起算的建筑物高度（m）。

本规范用词说明

1 为了便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这么做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 2 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120
- 3 《混凝土结构设计标准》 GB/T 50010
- 4 《建筑基坑工程监测技术标准》 GB 50497
- 5 《钢结构设计标准》 GB50017
- 6 《型钢水泥土搅拌墙技术规程》 JGJ/T 199
- 7 《焊接 H 型钢》 YB/T 3301
- 8 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 9 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 10 《建筑深基坑工程施工安全技术规范》 JGJ 311
- 11 《咬合式排桩技术标准》 JGJ/T 396
- 12 《渠式切割水泥土连续墙技术规程》 JGJ/T 303
- 13 《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79

河南省工程建设标准

河南省基坑工程技术规范

DBJ 41/139—2014

条文说明

目 次

3	基本规定	96
4	勘察与环境调查	100
4.4	勘察报告	100
5	土压力与水压力	101
5.5	特殊情况下的土压力	101
6	基坑工程稳定性	84
6.2	整体稳定性	102
6.4	抗滑移稳定性	102
8	悬臂式支护	103
8.3	双排桩	103
9	支挡式支护	104
9.2	排桩-预应力锚杆	104
10	其他形式支护	106
10.1	一般规定	106
10.3	排桩-复合土钉	106
11	盖挖法与逆作法	104
11.4	施工监测	114
12	地下水控制	115
12.1	一般规定	115
12.2	截水帷幕	115
13	基坑监测	116
13.1	一般规定	116
13.2	监测要求	116
13.3	应急措施	117
13.4	监测报告	117

3 基本规定

3.0.1 本次修订确定了基坑工程设计使用年限的上限，主要基于以下考虑：

1 近年来，全国出现了大量超期服役基坑。经调查，河南地区大多超期基坑在正常监测及使用维护条件下，一般没有严重影响基坑使用的情况。

2 根据现行国家标准《工程结构通用规范》GB55001-2021，临时性建筑结构的设计工作年限为5年。

3 本规范中支护结构的抗拉、弯、剪等分项系数均为1.35，大于现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-2012中的1.25，支护设计可满足5年内临时结构安全度。

本次修订增加了超过设计使用年限的基坑工程年限要求。

3.0.1A 现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001-2021 中将“设计使用年限”修订为“设计工作年限”。主要原因为结构在超过设计年限后，仍然可以继续使用，采用“设计工作年限”更准确。基于上述解释可以认为，结构的“使用年限”是包括“设计工作年限”和“后续工作年限”。“设计工作年限”和“设计使用年限”主要是看设计是否考虑了超期继续使用的情况。如要求不经大修继续使用，则需确定“设计工作年限”，如设计未考虑继续使用，则确定“设计使用年限”。

对于常规主体结构，设计要求达到“工作年限”后，不经过大修还可以继续使用，所以对于结构工程来说，用“工作年限”是合适的。

对于基坑工程，设计要求在某年限内完成回填，未考虑各种继续使用的情况。达到年限后，不能保证“不需要大修”即可使用。故基坑工程用“设计使用年限”更准确。

对于支护结构，当基坑支护结构与主体结合时，支护结构按主体结构设计要求执行，即要求不经过大修还可以继续使用。故对于永久性支护结构，用“工作年限”更合适。而临时性支护结构，其“工作年限”不能超过“设计使用年限”。

本次修订提出了支护结构的设计工作年限，并确定了设计工作年限的起算时间。

3.0.7 本条规定了基坑工程设计时抗剪强度指标的选取原则，主要是根据现场土体的排水条件及固结条件来确定。此外，基坑开挖受扰动后，土体发生应力释放、膨胀、收缩开裂和“触变现象”，强度急剧衰减，特别是本条第5、6款中的土变化特别大，为避免直接取用抗剪强度试验参数所带来的设计不安全或不合理，选取土的抗剪强度指标时，需考虑到施工工况、土体受力情况及基坑开挖造成的边界条件改变等各种影响，经综合分析，合理取值。缺少经验时，则应取偏于安全的试验方法得出的抗剪强度指标。

3.0.14 本条规定了基坑工程的变形限值的确定原则，应作为基坑工程设计的重要内容和工程工作。工程实践中，采用符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202

规定的变形限值，往往不一定能够满足基坑开挖对周边环境保护的要求。基坑工程的各种变形限值，应在充分取得环境调查资料的基础上，分析基坑变形形态与变形值、支护结构施工、打桩施工等对需要保护建筑物、管线的变形、内力、稳定性的影响，采取符合现行国家有关技术标准规定的方法确定。

此外，对于周边需要保护的建筑物、管线，除控制不均匀沉降外，值得关注的另一个重要控制指标是扭转与局部扭转。扭转与局部扭转对建筑物开裂的形态、位置会产生重要影响。仅采用不均匀沉降判断建筑物开裂形式及其发展不够全面，往往可能影响决策、导致事故的发生。

3.0.16 基坑工程围护体施工或工程桩施工、使用与维护期间，基坑监测行为的不规范，可能对周边环境和基坑安全带来严重后果。基坑监测的不规范行为包括：维护结构或截水帷幕施工期间不进行基坑周边环境监测，或监测滞后带来的监测原始数据的缺失；围护体施工方法不当未能及时监测造成周边建筑开裂；基坑后期使用与维护期间不监测，或监测不到位，未能及时发现问题及时采取措施，引起如锚杆、支撑应力损失过大造成基坑侧壁位移过大、建筑物沉降或倾斜超过限值等。

3.0.18 土方超挖或不按设计要求开挖造成基坑工程发生危险的情况时有发生，特别对于土钉支护或锚杆支护，当土钉或锚杆注浆体或锚固体强度未达到其设计强度时，基坑周边堆载极易使基坑产生过大变形，从而造成基坑周边地面沉陷过大，危及周边地下管线、邻近道路和建（构）筑物的正常使用，特别是基坑周边地下管网较密集时，地下管线爆裂的现象时有发生。为防止上述情况的发生，特制定本条规定。

3.0.19 本条为新增条款，规定了需要安全评估的基坑工程。

1 基坑超过设计使用年限时，需对基坑工程进行安全评估。包括在使用期间正常进行监测、使用维护等工作的超期基坑工程以及其他各种原因导致超过设计使用年限的基坑工程。

2 当基坑施工后，由于工程烂尾等原因，导致基坑工程的监测、使用维护等工作停止，停工期间的基坑情况无据可查，再恢复施工时，应对支护结构进行安全评估。

3.0.20 本条为新增条款，规定了需要基坑工程安全评估的主要内容。

3.0.21 本条为新增条款，规定了需要进行设计及施工方案论证的情况。

对于超过设计使用年限的基坑，包括超过原设计使用年限和加固后超过加固设计使用年限 2 种情况。

重大设计变更包括：周边环境条件、基坑深度、地质条件等与原设计不符引起的支护结构设计选型发生颠覆性变化等情况。

4 勘察与环境调查

4.4 勘察报告

4.4.2 目前，基坑工程勘察很少单独进行，大多数与主体建筑勘察一并完成，但是由于勘察时各种因素限制，勘探点的布置范围、支护设计所需参数等内容不满足基坑工程的要求，特别是在复杂场地和不同地貌单元交接处，由于支护设计需要，必须有实测地质剖面，因此，主体建筑勘察报告必须符合本节要求。

5 土压力与水压力

5.5 特殊情况下的土压力

5.5.1 本条规定了基坑邻近建筑物基础形成有限土体时，作用在支护结构上有限土体土压力的计算方法。目前，对于有限土体土压力问题存在两个误区：

1 不考虑邻近建筑物与支护结构形成有限土体的情况，即支护结构上的土压力仍按朗肯土压力理论计算，上部结构和基础自重按附加荷载形式作用在基础底面位置。由于没有考虑有限土体对支护结构土压力的降低效应，这种计算方法可能会过度夸大作用在支护结构上的土压力，使得支护结构设计过于保守，偏于不经济。

2 不考虑有限土体在支护结构上产生的土压力，即不计算支护结构上的土压力，认为该部分土压力为 0，这种方法偏于不安全，在工程设计中应当避免。

根据目前规范组有限土体土压力的相关研究成果，本条给出了支护结构不同位置处土压力的计算方法。

5.5.3~5.5.4 既有建筑为复合地基条件下土压力的计算方法，参考了近年来复合地基的相关研究成果，特别是关于复合地基中复合土层抗剪强度指标的研究成果，同时，该计算方法在河南地区特别是在郑州地区的基坑工程设计和实践中进行了大量的应用，结果比较符合实际情况，因此，按照该方法计算既有建筑为复合地基条件下的土压力是合理可行的。

6 基坑工程稳定性

6.2 整体稳定性

6.2.2 对于排桩支护结构，当排桩桩径较小或桩体强度较低，桩依靠自身强度不足以抵抗桩两侧被动土压力和主动土压力差时，桩体容易产生折断，特别是桩体插入深度较大时，极易造成桩体的破坏。因此，仅按计算圆弧通过桩端时进行基坑的整体稳定性验算，则容易忽略掉某些特殊情况(桩体折断的情况等)，必须考虑计算圆弧切桩时的基坑整体稳定性。

6.4 抗滑移稳定性

6.4.1 重力式支护结构抗滑移稳定性验算时，不同时计入重力式支护结构基底土体的黏聚力和摩擦力的作用，一般情况下，仅考虑重力式支护结构与基底土体之间的摩擦力作用，当基底土体处于饱和状态时，土体不排水剪的内摩擦角为 0，此时仅应考虑土体黏聚力作用。

采用上述计算原则的原因在于，当重力式支护结构在墙后主动土压力作用下产生滑移时，基底土体与重力式支护结构间产生滑动摩擦，土体与支护结构间的黏结强度已经破坏，此时，支护结构处于抗滑移的最不利状态，验算抗滑移稳定性时不再计入土体黏聚力的贡献。

此外，如同时考虑黏聚力与摩擦阻力，可通过研究分析调整稳定安全系数的方法保证抗滑移的稳定性。

8 悬臂式支护

8.3 双排桩

8.3.1 根据河南地区经验，双排桩内力计算宜简化成排架模型，结合前后排桩的土压力分配模型，采用弹性支点法进行计算。在弹性支点法中，土的水平抗力系数的比例系数，系采用“m”法计算得到。采用“m”法时，桩能否与桩间土形成一个工作整体至关重要，当桩间距较大时，桩与桩间土不能整体工作，此时，采用“m”法计算得到的土的水平反力系数存在较大误差。因此，参考现行国家行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94，对双排桩桩间距和排间距进行了限制。

本条对排桩间距的规定，同样适用于排桩支护。

9 支挡式支护

9.2 排桩-预应力锚杆

9.2.2 本条规定计算土的水平抗力系数的比例系数时，基坑底面处位移量限值 Δ 无经验时可取 5mm~10mm，这与现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定有所不同。根据河南地区大量的工程实测结果，排桩的水平位移通常在 5mm~10mm 范围内，因此，本条规定放宽了对位移限值 Δ 取 10mm 的一般经验性限制。

以下结合郑州三环快速化工程灌注桩水平承载力试验得到土的水平抗力系数的比例系数 m 值的相关结果加以说明。

三环快速路工程全长 40 多公里，共进行了 22 组单桩的水平承载力试验。其中，北环东段及其与中州大道交汇处附近路段工程地质条件相对较差。

以中州大道森林公园试验场地为例，进行了 4 根循环荷载、2 根维持荷载作用下的单桩水平承载力试验，试桩情况见表 1。

表1 中州大道森林公园试验场单桩水平承载力试验试桩一览表

试桩编号	试验类型	桩径 (mm)	桩长 (m)	配筋率 (%)	注浆情况
HS1	循环加载	1200	40	>0.65	桩侧注浆
HS2	循环加载	1200	40	>0.65	桩侧注浆
HS3	循环加载	1200	40	>0.65	桩侧未注浆
HS4	循环加载	1200	40	>0.65	桩侧未注浆
HS5	维持加载	1200	40	>0.65	桩侧注浆
HS6	维持加载	1200	40	>0.65	桩侧注浆

试验场地位于中州大道与北环立交绿化带内，桩顶位于自然地面下 2m 左右，试验桩长 40m，直径 1.2m。15m 以上土层为粉土与粉质黏土互层，属于郑州东北部软土；15m 以下土层为较好的粉土、粉细砂、粉砂、粉质黏土。

HS1 桩循环荷载试验的水平力-时间-作用点位移 ($H-t-Y_0$) 曲线和水平力-位移梯度 ($H-\Delta Y_0 / \Delta H$) 曲线，如图 1 所示。

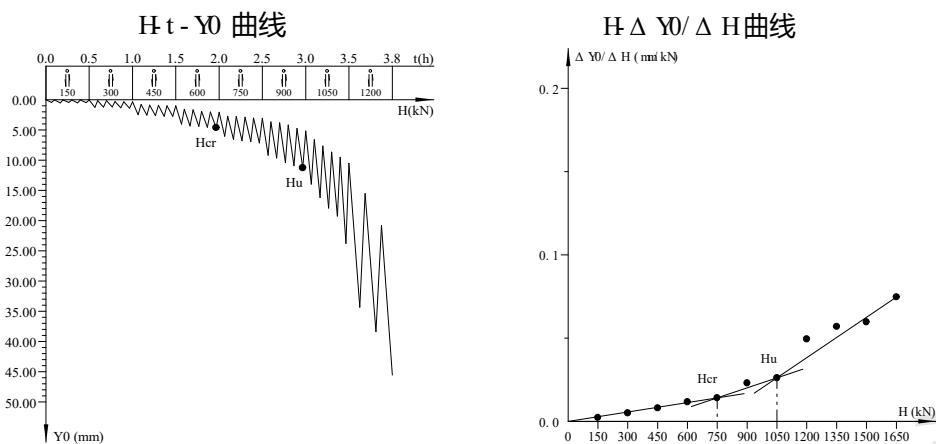


图1 HS1桩循环荷载试验 $H-t-Y_0$ 曲线和 $H-\Delta Y_0 / \Delta H$ 曲线

从图1可以看出，试验荷载加到750kN时，水平位移值为4.9mm，曲线下降趋势较明显，并出现了拐点，可以确定该桩的单桩水平临界荷载值（ H_{cr} ）为750kN。

各桩的单桩水平临界荷载 H_{cr} 和对应的水平位移值列于表 2。

表2 中州大道森林公园试验场单桩水平承载力试验结果

试桩编号	单桩水平临界荷载 H_{cr} (kN)	水平位移 (mm)
HS1	750	4.9
HS2	600	4.9
HS3	450	4.2
HS4	600	4.8

采用《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 给出的 m 值的经验公式和按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 根据水平荷载试验结果确定 m 值的方法，计算确定该场地土的水平抗力系数的比例系数 m 值，结果列于表 3。采用经验公式计算时，排桩的水平位移取桩的水平位移实测结果。

表3 森林公园试验场地地基土水平抗力系数的比例系数 m

试桩编号	《建筑基坑支护技术规程》经验公式法	《建筑桩基技术规范》水平荷载试验法
HS1	21	20.6
HS2	16	15.2
HS3	12	11.8
HS4	13	13.5

由表 2 和表 3 可知，采用单桩水平荷载试验方法计算得到的土的抗力系数的比例系数 m 值，与采用桩的实际水平位移按现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 经验公式计算得到的 m 值吻合较好。如按 Δ 取 10mm 计算， m 值的计算结果明显偏小，需要对 Δ 值适当放宽，本条放宽到 5mm~10mm，在河南地区来说是合理可行的。

10 其他形式支护

10.1 一般规定

10.1.2 排桩-复合土钉支护在河南的工程应用已有 20 年的历史，近年来，仅有中国建筑学会标准《基坑工程复合支护技术标准》T/ASC 41-2023 中对相关技术进行统一规定。本规范将其列入地方标准，目的是为了更好的推广使用该技术。

排桩-复合土钉支护结构，又称排桩复合全粘结锚杆支护结构，可以认为是介于土钉支护与桩锚支护两者之间的一种支护形式。桩锚支护需要的外锚地下空间较大，而排桩复合土钉相对较小；土钉与微型桩复合土钉、水泥土桩复合土钉等支护深度相对较小，且变形计算相对困难，排桩复合土钉可以克服这些缺点，因此，该支护形式在河南地区适用性较强。近年来，排桩复合土钉支护已积累大量实际工程经验，支护深度已超过了 20m，本次修订删除了支护深度的限制。

10.3 排桩-复合土钉

10.3.1 本条第 5 款的规定源于工程实践，采用预应力锚杆（设置自由段）置换部分土钉的复合土钉，遇到降水入渗作用时发生坍塌的例子较常见，分析表明，存在自由段的预应力锚杆与土钉共同工作的问题较多，且对软土层，浸水后容易发生自身稳定性问题。本款的规定同样适用于微型桩复合土钉、水泥土桩复合土钉。

10.3.2 鉴于目前设计普遍采用理正等商业软件，为方便变形计算，在满足本条规定的原则条件下，可以采用排桩-预应力锚杆支护结构的计算方法进行变形计算。某工程实例：

1 工程概况

华电郑州机械设计研究院有限公司科研技术大楼基坑工程设计开挖深度 15.6m，该工程位于郑州市龙子湖高校园区湖心环路与湖心一路交叉口西北角。

2 工程地质条件

场地属于黄河冲积平原区，地貌单一。场地现为耕地，地形较平坦，最大高差约 1.0m。根据野外静探、钻探揭示，场地勘探深度 80m 范围内主要为第四纪全新世、晚更新世沉积的地层。现将勘察深度内的土层按其不同的成因、时代及物理力学性质差异分为 13 个工程地质单元层，各层土的岩性特征及埋藏条件分述如下：

①粉土夹粉砂(Q₄^{al}):层底埋深 1.7m~3.6m,层底高程 80.42m~82.06m,层厚 1.7m~3.6m。

地层呈黄褐色，稍湿，中密，干强度低，韧性低，偶见锈黄色斑纹，触摸稍有砂感。局部夹粉砂，稍密，主要矿物成分为石英、长石及少量云母。该层浅部约 0.3m~0.4m 为耕植土，以粉土为主，含大量植物根系及少量腐殖质。

②粉砂夹粉土(Q_4^{al}):层底埋深 4.5m~7.5m,层底高程 76.48m~79.25m,层厚 2.3m~4.5m。

地层呈黄褐色、灰褐色,稍湿-饱和,稍密,主要矿物成分为石英、长石及少量云母,偶见蜗牛壳碎片及褐灰色腐殖质斑纹。夹粉土,稍湿-湿,中密-密实,干强度低、韧性低,触摸稍有砂感。该层局部发育有②-1层粉土。

②-1粉土(Q_4^{al}):层底埋深 2.9m~5.9m,层底高程 78.13m~80.98m,层厚 0.5m~1.6m。

地层呈黄褐色、灰褐色,稍湿-湿,稍密-中密,干强度低、韧性低,触摸稍有砂感。局部为粉质黏土薄层,软塑-可塑,切面稍光滑。

③粉质黏土夹粉土(Q_4^{al}):层底埋深 7.4m~10.8m,层底高程 72.96m~76.43m,层厚 0.5m~4.0m。

地层呈灰黑色,局部褐灰色,软塑-可塑,干强度中,韧性中,含少量腐殖质,稍有腥臭味,触摸有砂感。局部夹粉土,稍密-中密,触摸砂感强。本层局部混杂少量细砂、中砂。

④中砂(Q_4^{al}):层底埋深 12.0m~14.5m,层底高程 69.24m~71.77m,层厚 1.5m~6.5m。

地层呈灰褐色、黄褐色,饱和,中密-密实,主要矿物成分为石英、长石及少量云母。

⑤粉土夹粉质黏土(Q_4^{al}):层底埋深 12.7m~15.5m,层底高程 68.26m~71.07m,层厚 0.5m~1.6m。地层呈黄褐色,湿,密实,干强度低、韧性低,触摸砂感强,偶见蜗牛壳碎片。局部夹粉质黏土薄层,可塑,切面稍光滑。

⑥粉砂(Q_4^{al}):层底埋深 16.0m~18.6m,层底高程 65.43m~67.76m,层厚 1.5m~4.6m。

地层呈黄褐色,饱和,中密-密实,主要矿物成分为石英、长石及少量云母,偶见蜗牛壳碎片。局部夹粉土薄层,中密-密实,触摸砂感强。

⑦细砂(Q_4^{al}):层底埋深 31.5m~33.3m,层底高程 50.72m~52.25m,层厚 15.4m~16.8m。

地层呈黄褐色,饱和,密实,主要矿物成分为石英、长石及少量云母,偶见蜗牛壳碎片。该层局部发育有⑦-1层粉质黏土薄层、透镜体。

⑦-1粉质黏土(Q_4^{al}):层底埋深 53.26m~56.26m,层底高程 27.5m~30.5m,层厚 0.5m~1.5m。地层呈黄褐色,可塑,干强度中,韧性中,切面稍光滑。该层仅在场址中、南部局部呈薄层、透镜体状分布。

基坑施工过程中,⑦-1层以下土层对基坑稳定性影响较小,故不再列出。

勘察期间,本场地地下水水位埋深在自然地面以下约 5.2m~5.5m(高程约 78.5m)。据调查,本场地历史最高地下水位埋深约 1.0m(高程约 83.0m),自然条件下地下水位年变幅约 1.5m,推测其设计基准期内年平均最高地下水位约为 1.0m(高程约 83.0m)。

地下水的补给主要为大气降水补给,排泄主要为蒸发、人为开采地下水及工程建设施工降水等。根据本场地地下水埋藏、分布特征及区域水文地质资料,本场地地下水类型可分为潜水及微承压水,受降水入渗及农田灌溉影响,勘察期间场地浅部地下水位以上第①、②、②-1层土含水量局部偏高。地下水主要赋存于约 42.0m 以浅粉砂、细砂、中砂及粉土层中。约 8.0m~9.0m 以浅的粉土、粉质黏土层主要为潜水弱透水层;以下至 42.0m 左右深

度范围内的粉砂、细砂层主要为微承压水透水层。

根据本场地室内土工试验结果，并结合本场地周边已有试验成果资料，对地基土的快剪和三轴不固结不排水（UU）剪切试验结果进行统计，分别列于表 4、表 5。

表 4 直剪（快剪）试验成果建议值

层号	①	②	②-1	③	④	⑤	⑥	⑦
黏聚力 c_k (kPa)	12.9	8.5	17.0	14.8	0*	13.0	2.0*	0*
内摩擦角 φ_k (°)	22.2	22.6	21.7	7.5	30.0*	16.0	25.0*	30.0*
层号	⑦-1	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	
黏聚力 c_k (kPa)	27.4	23.7	0*	29.6	45.0	30.9	2.0*	
内摩擦角 φ_k (°)	8.9	11.0	30.0*	13.5	10.5	17.7	25.0*	

注：带*者为经验值。

表 5 三轴不固结不排水（UU）剪切试验抗剪强度指标建议值（ c_u 、 φ_u ）

层号	①	②	②-1	③	④	⑤	⑥	⑦
黏聚力 c_u (kPa)	11.7	6.0	12.1	11.6	0*	12.5	2.0*	0*
内摩擦角 φ_u (°)	17.3	21.8	15.2	7.0	30.0*	15.5	25.0*	30.0*

注：带*者为经验值。

根据原位测试及土工试验结果，结合地区建筑经验，综合确定地基土承载力特征值及压缩模量，结果见表 6。

表 6 地基土承载力特征值及压缩模量

层号	①	②	②-1	③	④	⑤	⑥	⑦	⑦-1	⑧
土名	粉土夹粉砂	粉砂夹粉土	粉土	粉质黏土夹粉土	中砂	粉土夹粉质黏土	粉砂	细砂	粉质黏土	粉质黏土夹粉土
f_{ak} (kPa) 建议值	140	130	105	95	240	160	200	260	200	240
压缩模量 $E_{s0.1-0.2}$ (MPa)	9.0	12.0	5.6	4.5	22.0	10.5	18.5	23.0	8.0	9.5
压缩性评价	中	中	中	高	低	中	低	低	中	中

3 工程设计

根据场地条件和土质情况，采用上部放坡、下部排桩复合土钉支护结构方案。排桩直径 0.6m，土钉设置 4 排，水平间距 1.5m，排距 2.0m，长度分别为 15m 和 14m。支护剖面示意图如图 2 所示。

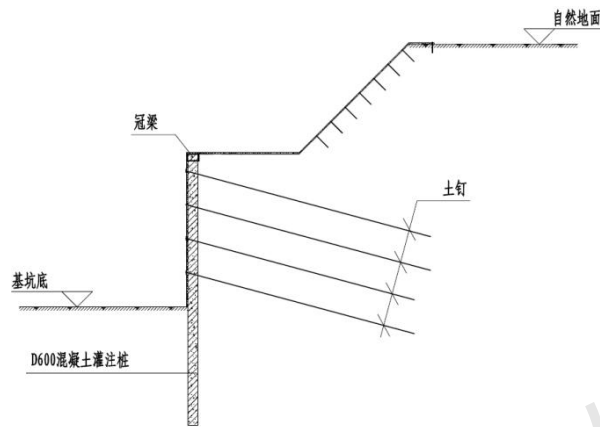
具体设计方法如下：

1) 复合土钉内力计算

(1) 采用桩锚支护结构计算模型，根据相关规范进行桩锚支护结构设计，计算出锚杆

的轴力标准值 N_k ，支锚刚度，以及各层锚杆所在位置处破裂面长度等。

(2) 计算破裂面以内锚杆自由段侧阻 Q_i ，并乘以相应的安全系数 K ，得出锚杆轴力标准值的调整值 KQ_i 。



(3) 根据上述两步计算出的锚杆轴力标准值 N_k 及其调整值 KQ_i , 得出土钉最大轴力标准值 N_{km} , 按照 N_{km} 的基本组合值 N' 进行土钉配筋计算。

2) 排桩设计

(1) 根据桩锚支护结构计算模型计算出相应的桩身最大负弯矩。

(2) 根据桩锚支护结构计算结果,对支护结构上的支反力进行调整,得出排桩复合土钉支护结构中排桩起控制作用的最大负弯矩,通过与原桩锚支护结构最大负弯矩比较,可以得出排桩复合土钉支护结构的桩身配筋。

(3) 变形设计: 采用桩锚支护结构模型计算支护结构变形, 在此基础上根据经验适当调整设计限值。

(4) 进行抗倾覆稳定性验算。

(5) 进行整体稳定性分析。

利用理正深基坑设计软件进行桩锚支护结构的计算。计算模型如图3所示。

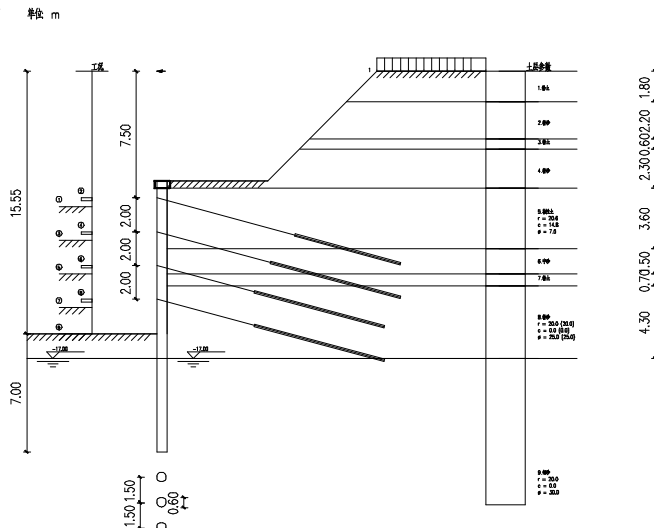


图3 桩锚支护结构计算模型

支护结构设计计算结果如表 7~表 10 所示。

表7 锚杆内力设计结果

支锚道号	最大内力/弹性法 (kN)	最大内力/经典法 (kN)	内力计算设计值 (kN)	内力实用设计值 (kN)
1	98.07	44.74	134.84	134.84
2	144.31	102.91	198.43	198.43
3	175.93	220.17	241.90	241.90
4	172.07	178.41	236.60	236.60

表8 锚杆配筋设计结果

支锚道号	支锚类型	钢筋或 钢绞线配筋	自由段长度 实用值 (m)	锚固段长度 实用值 (m)	实配[计算]面积 (mm ²)	锚杆刚度 (MN/m)
1	锚杆	1S15.2	8.5	6.5	140.0[114.4]	2.96
2	锚杆	1S17.8	7.0	8.0	191.0[168.4]	4.84
3	锚杆	1S21.6	6.0	8.0	285.0[205.3]	8.29
4	锚杆	1S21.6	6.0	8.0	285.0[200.8]	8.29

表9 排桩内力设计结果

段号	内力类型	弹性法计算值	经典法计算值	内力设计值	内力实用值
1	基坑内侧最大弯矩 (kN.m)	296.04	415.49	346.00	346.00
2	最大剪力 (kN)	251.44	265.10	345.73	345.73

表10 排桩配筋设计结果

选筋类型	级别	钢筋实配值	实配[计算]面积 (mm ² 或mm ² /m)
纵筋	HRB 400	15 ϕ 20	4712 [4644]
箍筋	HPB 300	ϕ 8@100	1005 [929]
加强箍筋	HRB 400	E20 ϕ 2000	314

变形计算结果：支护结构最大水平位移为 33mm，桩顶部最大水平位移 27mm，最大沉降 31mm。

利用瑞典条分法验算整体稳定性：支护结构整体稳定性安全系数 1.428，大于规范要求的 1.35。

分工况验算支护结构抗倾覆稳定性：最小抗倾覆安全系数为 1.394，大于规范要求的 1.25。

结构内力调整值的计算：排桩-复合土钉支护结构第 i 排土钉在滑裂面内的侧阻力分别为三角形，故锚杆轴向拉力标准值调整值为 $0.5 Q_i$ ，土钉与土体间相对位移较小，计算时应对土钉侧阻力进行折减，各层土参数设计取值如表 11。

表 11 破裂面内各层土与土钉侧阻力值

序号	土性	重度 (kN/m ³)	锚固体侧阻力 (kPa)
①	粉土夹粉砂	17.65	15
②	粉砂夹粉土	20.19	20
②-1	粉土	18.95	15
③	粉质黏土夹粉土	20.6	10
④	中砂	20.25	20
⑤	粉土夹粉质黏土	20.06	15
⑥	粉砂	20.00	20

破裂面内各排锚杆（土钉）轴力标准值调整值计算如下表：

表 12 各排锚杆（土钉）轴力标准值调整值

锚杆序号	破裂面内锚杆长度 (m)	钻孔直径 (mm)	锚杆（土钉）轴力调整值
1	5.9	150	13.9
2	4.7	150	13.2
3	3.5	150	14.5
4	2.2	150	10.5

锚杆（土钉）在滑裂面位置处为最大轴力点，考虑滑裂面内侧阻力作用，土钉端部轴力标准值 N'_k 计算结果如下表。

表 13 土钉支点处轴力调整计算结果

序号	锚杆轴力标准值 N_k (kN)	锚杆轴力调整值 KQ_i (kN)	土钉端部轴力标准值 N'_k (kN)	土钉最大轴力标准值 N_{km} (kN)
1	98.07	13.9	84.17	111.97
2	144.31	13.2	131.11	157.51
3	175.93	14.5	161.43	190.43
4	172.07	10.5	161.57	182.57

根据表 13 中土钉最大轴力标准值，计算土钉配筋，结果如表 14 所示。

表 14 土钉配筋设计结果

支锚道号	支锚类型	钢绞线配筋	土钉长度 (m)	实配[计算]面积(mm ²)
1	土钉	2S15.2	15.0	280.0[130.6]
2	土钉	2S15.2	15.0	280.0[183.8]

3	土钉	2S15.2	14.0	280.0[222.2]
4	土钉	2S15.2	14.0	280.0[213.1]

桩身弯矩与配筋调整:

根据各排锚杆支反力调整值计算排桩弯矩结果如表 15 所示。

表 15 排桩内侧最大弯矩调整计算

支锚道号	锚杆轴力 调整值 KQ_i (kN)	结构计算宽度 b_a (m)	锚杆间距 s (m)	支反力调整值 ΔF_{hi} (kN)	支反力作 用位置 H_i (m)	$\Delta F_{hi}H_i$ (kN·m)	考虑折减 后调整值 (kN·m)
1	13.9	1.50	1.50	13.4	7.35	98.5	71.2
2	13.2	1.50	1.50	12.8	5.35	68.5	49.5
3	14.5	1.50	1.50	14.0	3.35	46.9	33.9
4	10.5	1.50	1.50	10.1	1.35	13.6	9.8

根据式 (1.7), 可得:

$$M'_{\max} = M_{\max} - \sum \Delta F_{hi} H_i = 296.0 - 164.4 = 131.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

根据以上计算,考虑到设计时缺乏实测经验,在桩锚计算的配筋结果的基础上减少 15% 配筋率,配筋设计如下。

表 16 排桩配筋计算(实配)结果

纵筋	级别	实配钢筋	实配面积 (mm ²)
复合土钉计算成果	HRB400	8E18	2034
复合土钉实配结果	HRB400	16E18	4069
桩锚模式计算结果	HRB400	15E20	4712

4 工程应用情况

该基坑工程在完成地下二层的施工时,桩顶水平位移、桩身深层水平位移、基坑顶部沉降、土钉轴力监测结果如图 4、表 17 和表 18 所示。

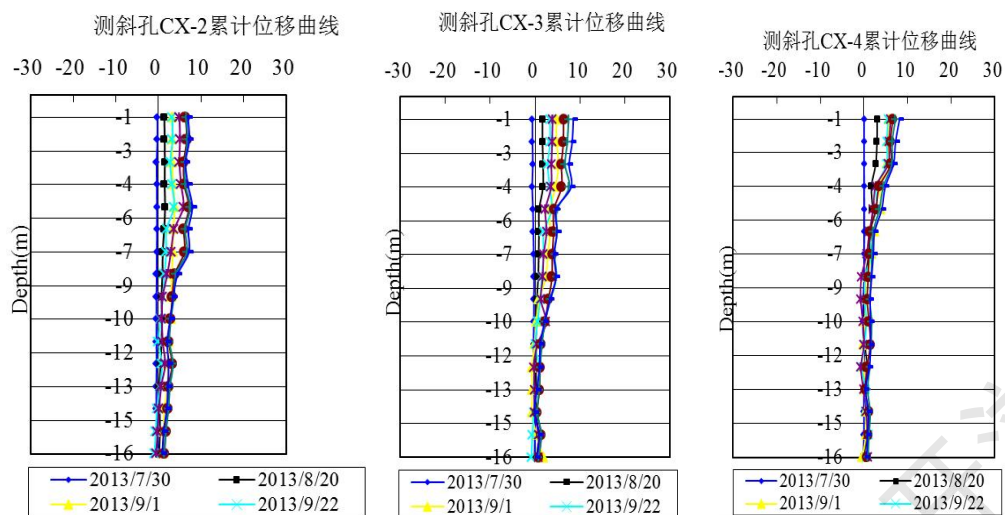


图 4 深层土体位移曲线

表 17 水平位移及沉降监测结果与计算结果比较

监测项目	基坑顶部水平位移 (mm)	桩顶水平位移 (mm)	最大土体水平位移 (mm)	基坑顶部沉降 (mm)
监测数据平均值	8.2	4.8	8.2	16.56
设计计算值	—	27	33	31

表 18 土钉轴力监测结果与计算结果比较

监测项目	第一排土钉轴力 (kN)	第二排土钉轴力 (kN)	第三排土钉轴力 (kN)	第四排土钉轴力 (kN)
开挖至坑底后 土钉轴力平均值	64.58	135.53	182.31	176.54
计算结果	84.17	131.11	161.43	161.57

11 盖挖法与逆作法

11.4 施工监测

11.4.2 本条规定了施工监测的相关要求,这些规定本质上是对施工单位为主体进行的监测的要求,其目的是由于盖挖法基坑工程在河南地区应用相对较少,缺乏经验,通过施工监测,施工单位能及时通过监测信息反馈,采取相应的控制措施,满足施工时反应及时、控制及时的需要,从而避免工程事故的发生;同时,施工监测也是施工单位信息化施工的需要。但应注意,上述规定并不意味着不需要第三方进行监测工作。

12 地下水控制

12.1 一般规定

12.1.2 地下水控制必须保证基坑内土方开挖的正常施工、被动区土体的稳定性、渗流稳定性（不得发生突涌）、基坑外地下管线和需要保护的建筑物或构筑物不因水位降深过大而引发损害。

此外，地下水控制施工过程中，应严格控制坑外地下水位及抽水携砂量。长期以来，基坑工程地下水控制很少考虑基坑外地下水降深不受控制引发的地下水资源浪费、地下水下降引发的环境问题和大面积地面沉降带来的若干城市问题。以郑州东区为例，新区开发建设期间，方圆 282 平方公里区域地下水位下降 8m~12m，已经造成城市地下管线沉降、路面下沉开裂、影响地表植被生长和沙漠化等灾难性的后果。近年来，河南地区多个地市地下水位显著回升，地下水控制施工时，水位降深更大，降水引起的各种问题更加突出。

因此，需要严格控制基坑外侧水位降深、严格限制抽水携砂量，以保护城市岩土工程环境和减少地下水资源浪费。几年前，北京市对基坑工程降水做出的设置截水帷幕的相关规定，实施效果较好。

12.2 截水帷幕

12.2.1 塑性混凝土是一种以膨润土、黏土等掺合材料取代普通混凝土中部分骨料而形成的低强度、低弹性模量的防渗材料，可采用工厂化生产，由于施工前可进行配合比试验，从而可以保证抗渗性能的要求。塑性混凝土灌注桩一般可采用螺旋钻管内泵送混凝土技术施工、也可采用灌注桩的成孔工艺，成孔后灌入工厂化生产的塑性混凝土形成灌注桩；当桩体相互咬合形成桩墙时，可作为基坑的截水帷幕使用。

13 基坑监测

13.1 一般规定

13.1.2 现行国家行业标准《建筑深基坑工程施工安全技术标准》JGJ 311/T 规定：深基坑工程环境调查范围应不小于基坑开挖上口线以外、1 倍开挖深度范围；而工程实践经验表明，当基坑工程需要降水时，其影响范围远大于 1 倍开挖深度。因此，实际工程中可根据降水影响范围划定安全监测区域。

13.1.6 基坑安全监测不同于常规工程测量，一般不需要精确确定点位的绝对位置（平面位置和高程），而重点在于平面位置和高程的“变化”。因此，安全监测理论上说并不需要保障诸如“前后视距相等”等绝对高程测量中的基本原则，但更严格要求“等精度”观测，从而精确获得“变化量”。这是基坑安全监测最显著的特点。

13.2 监测要求

13.2.3 相对于现行国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497，本条目对安全预警指标有所调整。

现行国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 表 8.0.4 规定：对于安全等级为一级、二级（包括三级）的基坑工程，锚索拉力等报警值分别是其极限承载力设计值的 60%~80% 和 70%~80%。而现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 第 4.7.7 条规定：锚杆锁定值宜取锚杆轴向拉力标准值的 0.75 倍~0.9 倍。根据规定，锚杆拉力标准值是其极限抗拔承载力除以安全系数（对应安全等级一级、二级、三级支护结构，分别取 1.8, 1.6 和 1.4），由此可知，对应安全等级一级、二级、三级支护结构，锚杆锁定值应取锚杆极限承载力 0.55 倍~0.71 倍。这些规定使得实际工程中基坑仍处于安全状态时，锚杆拉力却经常超过报警值，影响基坑工程正常施工。

根据河南省基坑工程安全监测实践经验，安全预警指标进行了相应的调整。

本次局部修订增加了支撑轴力和锚杆轴力下限值的要求。根据大量工程实测，很多基坑锚杆、内支撑轴力小于《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 规定的下限值要求，但未发生较大变形，此时进行预警是没有必要的。故本次修订在现行《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 的基础上，提出了轴力下限值与水平位移的双控要求，在满足轴力小于锚杆或支撑轴力设计值的 50%且变形接近预警值时，方达到预警条件。

13.3 应急措施

13.3.1 安全隐患一般是指：变形较大，超过报警值且相关措施采取情况没有大的改善；周边建构筑物变形持续发展或已影响正常使用。

13.4 监测报告

13.4.2 在基坑监测前要设计好各种记录表格和报表。记录表格和报表应按照监测项目、根据监测点的数量分布合理的设计。记录表格的设计应以数据记录 and 处理的方便为原则，并留有一定的空间，以便对监测中观测到和出现的异常情况作及时的记录。监测报表一般形式有当日报表、周报表、阶段报表。其中，当日报表最重要，通常作为施工调整和安排的依据；周报表通常作为参加工程例会的书面文件，对一周的监测成果作简要的汇总，阶段报表作为基坑施工某个阶段监测数据的小结。

监测日报表应及时提交给业主、监理、施工、设计、管线与道路监察等有关单位，并另备一份经工程建设或现场监理工程师签字后返回存档，作为报表收到及监测工程量结算的依据。报表中应尽可能配备形象化的图形或曲线，如测点位置图或桩墙体深层水平位移曲线图等，使工程施工管理人员能够一目了然。报表中呈现的必须是原始数据，不得随意修改、删除，对有疑问或由人为和偶然因素引起的异常点应在备注中说明。

在绘制各监测项目时程曲线、速率时程曲线以及在各种不同工况和特殊日期变化发展的形象图时，应将工况点、特殊日期以及引起变化显著的原因标在各种曲线和图上，以便较直观地看到各监测项目物理量变化的原因。上述这些曲线不是在撰写监测报告时才绘制，而是应该用 Excel 等软件或在监测办公室的墙上用坐标纸每天加入新的监测数据，逐渐延伸，并将预警值绘制在图上，这样每天都可以看到数据的变化趋势和变化速度，以及接近预警值的程度。

13.4.4 任何一个监测项目从方案拟定、实施到完成后对数据进行分析整理，除积累大量第一手的实测资料外，通常能总结出相当的经验和有规律性的东西，不仅对提高监测工作本身的技术水平有很大的促进，对丰富和提高基坑工程的设计和施工技术水平也是很大的促进。因此，监测报告撰写最好由亲自参与每天的监测和数据整理工作的测量员结合每天的监测日记写出初稿，再由既有监测工作和基坑设计实际经验，又有较好的岩土力学和地下结构理论功底的专家进行分析、总结和提高，这样的监测总结报告才具有监测成果的价值，不仅对类似工程有较好的借鉴作用，而且对该领域的科学与技术发展起到推动作用。