上海市标准

基坑工程设计规程

SHANGHAI STANDARD
CODE FOR DESIGN OF EXCAVATION ENGINEERING

DBJ-61-97

主编单位：上海市勘察设计协会
批准部门：上海市建设委员会
施行日期： 1997 年 9 月 1 日

李琦 尹骥 管飞
2005 同济大学
unigeotek@yahoo.com.cn

目　次

1　总则 …… (1)
2　主要术语、符号 …… (2)
2.1　术语 …… (2)
2.2　符号 …… (4)
3　基本规定 …… (9)
4　岩土勘察 …… (12)
4.1　一般规定 …… (12)
4.2　勘察 …… (12)
4.3　测试参数 …… (13)
4.4　勘察成果 …… (15)
5　土压力和水压力 …… (16)
5.1　一般规定 …… (16)
5.2　静止土压力 …… (16)
5.3　水土分算的土压力和水压力 …… (17)
5.4　水土合算的土压力 …… (20)
5.5　动用土压力 …… (21)
5.6　特殊情况下的土压力 …… (22)
6　水泥土围护结构 …… (25)
6.1　一般规定 …… (25)
6.2　设计 …… (26)
6.3　施工要点 …… (32)
7　板式支护体系 …… (34)

7.1 一般规定…… (34)
7.2 板桩墙围护结构的设计与施工…… (48)
7.3 钻孔灌注桩围护墙的设计与施工…… (49)
7.4 地下连续墙围护结构的设计与施工…… (51)
8 与主体地下结构相结合的支护结构…… (53)
8.1 一般规定…… (53)
8.2 逆作法基坑设计要点…… (53)
8.3 逆作法基坑施工要点…… (56)
9 支撑及土层锚杆结构的设计与施工…… (57)
9.1 内支撑结构设计的一般规定…… (57)
9.2 支撑结构体系的选型与布置…… (57)
9.3 内支撑体系的荷载及内力计算…… (63)
9.4 支撑构件截面承载力计算和变形规定…… (64)
9.5 支撑结构的构造要求…… (66)
9.6 支撑结构的施工要点…… (69)
9.7 土层锚杆支撑系统设计与施工…… (70)
10 管道沟槽开挖工程 …… (81)
10.1 一般规定 …… (81)
10.2 设计要点 …… (82)
11 降水工程与土方开挖 …… (86)
11.1 一般规定 …… (86)
11.2 井点降水 …… (86)
11.3 回灌措施 …… (90)
11.4 放坡开挖 …… (90)
11.5 有支护结构的基坑开挖 …… (91)
12 环境保护和监测 …… (93)
12.1 一般规定 …… (93)
12.2 环境保护 …… (98)
12.3 监测…… (103)
附录A 本《规程》用词说明…… (107)
附加说明…… (108)

2 主要术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 基坑——房屋建筑和市政工程结构的基础或地下建筑物施工时开挖的地坑。

2.1.2 基坑工程——为保证基坑施工、主体地下结构的安全和周围环境不受损害而采取的支护结构、降水和土方开挖与回填的工程总称，包括勘察、设计、施工、监测等。

2.1.3 支护结构——基坑工程中采用的围护墙、支撑(或土层锚杆)、围檩、防渗帷幕等结构体系的总称。

2.1.4 围护墙——安全承受坑侧水、土压力和坑外一定范围内固定或临时荷载作用的墙体。

2.1.5 支撑体系——由围檩、支撑(或土层锚杆)、立柱等结构组成的体系。

2.1.6 水泥土围护体系——用搅拌机械将水泥和土强行搅拌，形成以一定方式连续搭接的水泥土围护墙体所构成的防水挡土体系。

2.1.7 板式支护体系——由桩排式围护墙或板墙式围护墙、支撑体 系、防渗结构所构成的防水挡土体系。

2.1.8 流土——在地下水渗流作用下，土体颗粒随地下水渗流而发生的移动现象，流砂也属于流土类型。

2.1.9 管涌——在地下水渗流作用下，土体中的细小颗粒随渗流水通过粗大土颗粒的孔隙，发生移动或被带出的现象，也称为潜蚀。管涌严重时，可在土体中形成土洞，并引起地表的塌陷。

2.1.10 井点降水——在基坑开挖前，预先沉入深于坑底的一系列井管，利用抽水设备连续抽水，在井管周围形成降水漏斗，使地下水位低于坑底的降水方法。常用的有轻型井点、喷射井点、深井井点等。

2.1.11 水、土压力——作用于围护墙体与土体界面上的水压力和土压力。

2.1.12 侧向基床系数——土体某点所受的侧向压力与相应的侧向位移的比值(kN/m^3)。

2.1.13 侧向基床比例系数——侧向基床系数随深度变化的比例系数(kN/m^4)。

2.2 符　　号

2.2.1　土的物理力学指标

a_{1-2}——土在 100～200kPa 压力时的压缩系数(MPa^{-1})；

c——土的粘聚力(kPa)；

c'——土的有效粘聚力(kPa)；

c_o——水泥土的粘聚力(kPa)；

c_{cu}——土的固结不排水粘聚力(kPa)；

c_u——土的不排水抗剪强度(kPa)；

Cu——土的不均匀系数；

$(c_u)_v$——十字板不排水抗剪强度(kPa)；

d_{10}——有效粒径，土粒累计质量百分数为 10% 的粒径；

d_{60}——限制粒径，土粒累计质量百分数为 60% 的粒径；

e_o——土的天然孔隙比；

E_s——土的压缩模量(MPa)；

I_L——土的液性指数；

I_P——土的塑性指数；

k_v、k_h——土的垂直向、水平向渗透系数；

p_c——土的先期固结压力(kPa)；

q_u——无侧限抗压强度(kPa)；

w——土的含水量(%)；

γ——土的天然重度(kN/m^3)；

γ'——土的浮重度(kN/m^3)；

γ_w——水的重度(kN/m^3)；

γ_o——水泥土的重度(kN/m^3)；

δ——土层锚杆与土体间的摩擦角；

τ——土的抗剪强度(kPa)；

ϕ——土的内摩擦角(°)；

ϕ'——土的有效内摩擦角(°)；

ϕ_o——水泥土挡墙底土的内摩擦角(°)；

2.2.2　土压力系数和材料系数

E——材料弹性模量(MPa)；

B_L——混凝土支撑构件的抗弯刚度(N/mm^2)；

f_p——锚杆(索)材料的标准强度值(kPa)；

K_a——主动土压力系数；

K_o——静止土压力系数；

K_p——被动土压力系数；

K_B——支撑弹簧刚度系数；

k_H——土的侧向基床系数；

k_v——土的竖向基床系数；

k_y——锚杆土体延伸系数；

N——标准贯入击数；

N_c、N_γ、N_q——承载力系数；

p_a——主动土压力强度；

p_o——静止土压力强度；

p_p——被动土压力强度；

p_w——水压力强度；

α_f——支撑刚度或钢板桩惯性矩折减系数；

β——钢板桩弹性抵抗矩折减系数或锚杆扩大头承载力系数；

μ——土的泊松比；

η——水泥土置换率。

5

2.2.3 荷载及作用力

F_a——墙后主动土压力(kN/m)；

F_p——墙前被动土压力(kN/m)；

F_w——水压力；

M_R——抗滑动力矩(kN－n_1)；

M_s——滑动力矩(kN－m)；

N_t——锚杆(索)的设计轴力(kN)；

N_v——锚杆拉力的竖向分力与墙体重之和(kN)；

p_{cz}——承压水层顶板上覆土的自重压力(kN/m^2)；

p_{wy}——承压水层的水头压力(kN/m^2)；

$\triangle p$——土中的附加压力(kPa)；

Q——围护墙与土体间摩阻力与墙体端承力之和(kN)；

Q_L——线分布荷载(kN/m)；

q——地面均布超载(kPa)；

R_L——锚杆扩大头部支承力；

W_s——土体自重(kN)；

W_w——围护墙自重；

σ——锚固段中部上覆压力。

2.2.4 几何参数

a——荷载离基坑边的距离；

A——水泥土格栅型围护墙格栅面积或支撑、土层锚杆的截面积；

b——荷载分布宽度；

B——水泥土围护墙宽度；

B_j——基坑宽度；

B_s——沉降影响最大的宽度；

d——桩或钢筋的直径；

D——围护墙插入坑底以下的深度；

d_w——地下水埋深；

h_o——基坑开挖深度；

H——围护墙高度或建筑物高度；

$\triangle h_w$——基坑内外地下水位之差；

L_a——土层锚杆的锚固段长度；

L_f——土层锚杆的自由段长度；

L_m——土层锚杆的全长度；

L_j——基坑长边长度；

S——基坑周围地面的沉降量；

S_{max}——基坑周围地面的最大沉降量；

S_w——井点降水引起的地面沉降量；

$\triangle S$——差异沉降量；

T_1——基坑外侧地下水位至不透水土层顶面的距离；

T_2——基坑内侧地下水位至不透水土层顶面的距离；

V_H——基坑底土体隆起量；

V_O——墙后土体总损失量；

V_R——围护墙侧向变位引起的土体损失量；

U——格栅型水泥土围护墙的格子周长；

α——地表斜坡面与水平面的夹角；

δ_H——计算点围护墙的水平位移；

δ_{OH}——围护墙顶的水平位移。

2.2.5 安全系数

K_{HL}——墙底抗滑安全系数；

K_J——水泥土加固体强度不均匀安全系数；

K_L——抗隆起安全系数；

K_Q——墙体抗倾覆安全系数；

K_{wz}——围护墙底地基土承载力安全系数；

K_S——抗渗流安全系数；

K_Z——整体圆弧抗滑动安全系数；

K_y——抗承压水头安全系数；

K_D——坑底稳定性安全系数；

K_{mj}——土层锚杆强度安全系数；

K_{ml}——土层锚杆长度安全系数；

K_{ms}——土层锚杆深部破裂稳定性安全系数；

K_{mv}——土层锚杆竖向稳定性安全系数。

3 基本规定

3.0.1 基坑工程根据其重要性分为以下三级：

3.0.1.1 符合下列情况之一时，属一级基坑工程：

(1)支护结构作为主体结构的一部分时；

(2)基坑开挖深度大于、等于 10 米时；

(3)距基坑边两倍开挖深度范围内有历史文物、近代优秀建筑、重要管线等需严加保护时。

3.0.1.2 除一级和三级以外的均属二级基坑工程；

3.0.1.3 开挖深度小于 7 米，且周围环境无特别要求时，属三级基坑工程。

3.0.2 位于地铁、隧道等大型地下设施安全保护区范围内的基坑工程，以及城市生命线工程或对位移有特殊要求的精密仪器使用场所附近的基坑工程，应遵照市府有关文件和规定执行。

3.0.3 除主管部门批准外，围护墙和土层锚杆等不得超越用地红线。

3.0.4 基坑工程设计应具备下列资料：

3.0.4.1 岩土工程勘察报告；

3.0.4.2 邻近建筑物和地下设施的类型、分布情况和结构质量的检测资料；

3.0.4.3 用地退界线及红线范围图、场地周围地下管线图、建筑总平面图、地下结构平面和剖面图。

3.0.5 基坑工程设计安全系数，由基本安全系数和附加安全系数的乘积组成。不同支护体系的安全系数取值见有关各章。

3.0.6 基坑工程不同支护体系的计算模式应与其所采用的土性指标、土工试验方法、设计安全系数相适应。

3.0.7 基坑工程设计应包括下列内容：

3.0.7.1 支护体系的方案比较和选型；

3.0.7.2 支护结构的强度和变形计算；

3.0.7.3 基坑内外土体的稳定性验算；

3.0.7.4 围护墙的抗渗验算；

3.0.7.5 降水要求；

3.0.7.6 确定挖土工况；

3.0.7.7 确定环境保护的要求和监测内容等。

3.0.8 基坑工程设计应考虑下列荷载：

3.0.8.1 土压力、水压力；

3.0.8.2 一般地面超载；

3.0.8.3 影响区范围内建、构筑物荷载；

3.0.8.4 施工荷载以及邻近基础施工的影响，如打桩、基坑开挖等；

3.0.8.5 支护结构作为主体结构的一部分时，应考虑地震作用；

3.0.8.6 需要时，宜结合工程经验考虑温度影响和混凝土收缩、徐变引起的间接作用及时空效应。

3.0.9 被动侧土的强度计算指标宜根据坑内降水、坑底加固、工程桩类型和密集程度等，并结合工程经验作适当调整。

3.0.10 基坑工程的土方开挖方式，分无支护开挖和有支护开挖两类。

3.0.10.1 场地开阔，且位移限制要求不严，经验算能保证土坡稳定时，可采用无支护的放坡开挖。采用放坡开挖的基坑工程必须配备必要的应急对策措施；

3.0.10.2 放坡开挖受限制时，应采用有支护的土方开挖方式。

3.0.11 支护结构按其工作机理和材料特性，分为水泥土挡墙体系和板式支护体系两类。

3.0.11.1 水泥土挡墙体系，通常以其自重和刚度保护坑壁，一般不设支撑，适用于开挖深度不超过7米的基坑，超过7米时，可采用水泥土复合结构支护体系；

3.0.11.2 板式支护体系通常由围护墙、支撑或土层锚杆及防渗帷幕等组成，适用于开挖深度超过4米的基坑。当环境对位移限制不严且开挖深度小于、等于4米时，可采用悬臂式板桩墙支护。

3.0.12 当围护墙兼作地下室外墙时，应与主体结构地下室的底板、楼板等有可靠的连接构造，确保变形协调，并采取有效的地下室排水、防潮措施。通过方案比较，当技术、经济合理可行时，宜采用逆作法施工进行设计。

4 岩土勘察

4.1 一般规定

4.1.1 基坑工程的岩土勘察宜与主体建筑的地基勘察同时进行。制定勘察方案时，应结合基坑工程支护设计与施工的要求统一布置勘察工作量，当已有勘察资料不能满足基坑工程设计参数要求时，应进行补充勘察。

4.1.2 基坑工程岩土勘察应提供下列资料：

4.1.2.1 场地土层的成因类型、结构特点、土层性质及夹砂情况；

4.1.2.2 基坑及围护墙边界附近场地填土、暗浜及地下障碍物等不良地质现象的分布范围与深度，并通过图件资料反映其对基坑的影响情况；

4.1.2.3 场地浅层潜水和坑底深部承压水的埋藏条件、土层的渗流特性及产生管涌、流砂的可能性；

4.1.2.4 支护结构设计所需的土、水等参数。

4.1.3 岩土勘察的方法、手段及工作量宜按基坑类别合理选择和确定。对一、二级基坑工程宜采用多种勘探测试方法，综合分析评价岩土的特性参数。

4.2 勘察

4.2.1 岩土勘察工作量应满足基坑工程等级的不同要求，并针对支护结构设计与施工的需要，选择合理的勘探测试方法。

4.2.2 应查明基坑开挖深度及围护墙边界附近范围内的暗浜、地下管线及障碍物的分布及埋藏情况，当浅层用小螺纹孔勘探难以查明时，可采用浅层物探方法进行普查。

4.2.3 勘探测试孔宜布置在基坑周边线围护墙附近，其相邻孔的间距以20～35m为宜，当基坑体型或土层条件复杂时，宜适当加密勘探点，转角处宜有勘探孔。

4.2.4 基坑工程勘探测试孔的深度应满足支护结构稳定性验算的要求，一般不宜小于基坑开挖深度的2.5倍。对一、二级基坑工程宜穿透淤泥质软弱土层。

4.2.5 钻探取样、测试的竖向间距在基坑支护结构范围内以1～2m为宜，当基坑开挖深度范围内遇有粉性土、砂土夹层时，应加密取样。为可靠确定不同土性的取样位置，可参照静力触探试验曲线的线型特点，确保夹层土中取到不扰动土样。采用的取土器及取土方法应符合土性特点，保证取样的质量。

4.2.6 勘察时应及时测量孔内初见水位和静止水位，当地下水有可能与邻近地表水体沟通时，应查明其补给条件、水位变化规律。当地下水对围护结构有腐蚀性影响时，尚应查明污染源及地下水的流向；当基坑坑底以下有承压水时，应测量其水头的高度和含水层的界面。

4.2.7 勘探孔施工结束后，应及时回填。基坑内勘探孔的封孔材料应采用粘土球。

4.3. 测试参数

4.3.1 岩土工程测试参数应根据基坑等级、支护结构类型、设计与施工要求等确定。常用测试参数和方法可参见表4.3.1。

4.3.2 基坑工程的支护设计参数可由室内试验测定。土体的抗剪强度可用总应力法，二、三级基坑可采用直剪固结快剪峰值指标。但选用土体抗剪强度指标时应考虑围护结构的类别，基坑受力特性以及排水和环境条件等因素。

4.3.3 一级基坑工程土体抗剪强度指标，宜采用三轴固结不排水压缩试验的有效应力指标或直剪慢剪指标。当地质条件复杂、基

坑面积较大时，尚应进行现场十字板剪切试验、静力触探试验、旁压试验等原位测试方法，并通过综合分析评价其测试参数设计值。

4.3.4 当土层夹砂变化较复杂且需要进行降水设计时，宜采用现场抽(注)水试验方法测定土层的渗透系数指标。

4.3.5 当支护工程设计需要时，应采用专门原位测试方法，测定设计所需的基床系数等参数。

常见测试参数和方法　　表 4.3.1

测试参数	试验方法	工程应用
含水量 ω	含水量试验	水、土压力验算
密　度 ρ	密度试验	
不均匀系数 $C_u=\frac{d_{60}}{d_{10}}$	颗粒分析	评价流砂、管涌可能性
压缩模量　E_s 压缩指数　C_c 固结系数　C_v 回弹指数　C_s 超固结比　OCR	固结试验 先期固结压力试验 固结试验、测回弹	土体变形计算 土体回弹量计算 土的应力历史评价
内摩擦角　ϕ 内聚力　c	直剪固结快剪试验 (提供峰值平均值)	稳定性验算
总应力抗剪强度 ϕ_{cu} c_{cu} 有效抗剪强度 ϕ'_c	三轴固结不排水剪试验 直剪慢剪试验	土压力及稳定性验算
无侧限抗压强度 q_u 十字板抗剪强度 $(c_u)_v$	无侧限抗压强度试验 现场十字板剪切试验	稳定性验算
渗透系数　k	渗透试验、(k_v、k_h)、 抽(注)水试验	降水、抗渗计算

4.4　勘察成果

4.4.1 勘察成果报告应对基坑支护结构影响深度范围内的土层埋藏条件、分布和特性进行综合分析评价，并提供支护结构设计和施工所需的各项参数。

4.4.2 在勘探点平面布置图及工程地质剖面图中，除表述正常的土层分布外，尚应对暗浜、填土、地下障碍物等不良的地质现象描述清楚。

4.4.3 阐明场地浅部潜水及深部承压水的埋藏条件、水位变化幅度以及土层的渗流条件，并对产生流砂、管涌、塌方可能性作出评价。

4.4.4 提供基坑支护结构影响范围内各土层物理、力学试验指标的统计值。

4.4.4.1 对三级基坑工程可提供范围值(最大和最小)、算术平均值。当土质不均、设计需要时，尚应提供统计的子样数、均方差、变异系数及最大、最小算术平均值；

4.4.4.2 对一、二级基坑工程，应提供最大、最小算术平均值，统计子样数、均方差、变异系数。当强度变异系数大于 30% 时，宜剔除最大、最小值后再统计其算术平均值。对各土层抗剪强度指标的统计方法应采用最小二乘法或按 τ 值散点图绘制平均抗剪强度线，确定 ϕ、c 平均值。

4.4.5 提供各种原位测试的单孔成果图表，并按厚度加权平均法统计各土层的平均值。

4.4.6 勘察报告应针对场地岩土条件及周围环境，提出适宜的支护结构类型及环境保护措施，以及预防工程事故等方面的建议。

5 土压力和水压力

5.1 一般规定

5.1.1 土体作用在围护墙上的侧压力，宜按水土分算的原则计算（侧压力等于土压力和水压力之和）。有工程经验时，也可按水土合算的原则计算侧压力。

5.1.2 土体作用在围护墙上的侧压力计算应考虑下列因素：

5.1.2.1 土的物理力学性质（土的重度、抗剪强度）；

5.1.2.2 墙体相对土体的变位方向和大小；

5.1.2.3 地面坡度、地面超载和邻近基础荷载；

5.1.2.4 地下水位及其变化；

5.1.2.5 支护结构体系的刚度；

5.1.2.6 基坑工程的施工方法和施工顺序。

5.1.3 土压力的计算分：静止土压力、主动土压力、被动土压力和动用土压力（包括提高的主动土压力、降低的被动土压力和增大的被动土压力）。

5.1.4 计算水压力时应考虑地下水的渗流条件。

5.2 静止土压力

5.2.1 静止土压力强度按(5.2.1)式计算。

$$p_o = (\sum \gamma_i h_i + q) K_o \qquad (5.2.1)$$

式中 p_o——计算点处的静止土压力强度(kPa)；

γ_i——计算点以上各层土的重度(kN/m³)。地下水位以上取天然重度，地下水位以下取水下重度；

h_i——各土层的厚度(m)；

q——地面的均布超载(kPa)；

K_o——计算点处土的静止土压力系数。

5.2.2 静止土压力系数可由试验测定或用经验方法估算。

5.2.2.1 静止土压力系数的测定可由室内 K_o 试验、现场旁压试验、扁胀试验测定；

5.2.2.2 按经验方法确定静止土压力系数时，宜按(5.2.2.2)式计算。

$$K_o = a - \sin\phi' \qquad (5.2.2.2)$$

式中 K_o——正常固结土的静止土压力系数；

ϕ'——土的有效内摩擦角(°)；

a——砂土、粉土取 a = 1；粘性土、淤泥质土取 a = 0.95。

5.3 水土分算的土压力和水压力

5.3.1 按水土分算原则计算土压力时，可采用总应力抗剪强度指标，按(5.3.1-1)式计算主动土压力和(5.3.1-2)式计算被动土压力。

$$p_a = (q + \sum \gamma_i h_i) Ka - 2c\sqrt{Ka} \qquad (5.3.1-1)$$

$$p_p = \sum \gamma_i h_i K_p + 2c\sqrt{K_p} \qquad (5.3.1-2)$$

式中 p_a——计算点处的主动土压力强度(kPa)，

$p_a \leqslant 0$ 时，取 $p_a = 0$；

p_p——计算点处的被动土压力强度(kPa)；

γ_i——计算点以上各土层的重度(kN/m³)，地下水位以上取天然重度，地下水位以下取水下重度；

h_i——各土层的厚度(m)；

Ka——计算点处土的主动土压力系数，

$Ka = tg^2(45° - \phi/2)$；

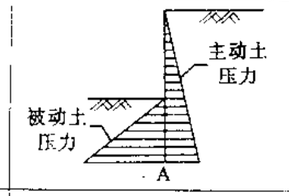
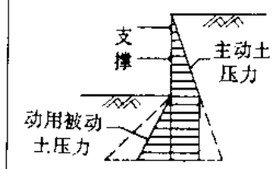
K_p——计算点处土的被动土压力系数，

$K_p = tg^2(45° + \phi/2)$；

c，ϕ——计算点处土的总应力抗剪强度指标。按三轴固结不排水试验或直剪固结快剪试验峰值强度指标取用。

5.3.2 土压力分布模式可按表5.3.2，根据支护结构的类型、入土深度和侧向变位条件选用。

土压力分布模式 **表5.3.2**

		Ⅰ型	Ⅱ型
土压力分布图式			
适用条件	围护结构	水泥土或悬臂板式围护结构	有支撑板式围护结构
	侧向变位条件	整体水平位移或绕A点转动或两者的组合	顶底端位移小，近开挖面附近位移大

5.3.3 按水土分算原则计算水压力时，应按有无产生地下水的渗流情况，采用不同的水压力分布模式。

5.3.3.1 地下水无渗流时，作用于围护墙上主动土压力侧的水压力，在基坑内地下水位以上按静水压力三角形分布计算；在基坑内地下水位以下水压力按矩形分布计算（水压力为常量），并不计作用于围护墙被动土压力侧的水压力，见图5.3.3.1。

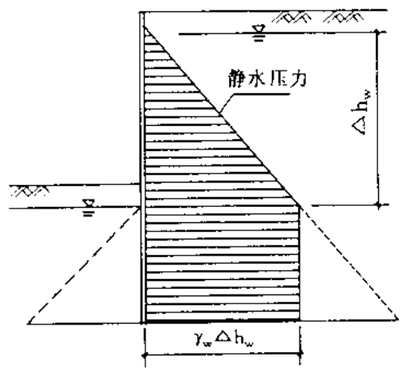


图5.3.3.1 地下水无渗流时的水压力分布模式

5.3.3.2 地下水有稳定渗流时，作用于围护墙上主动土压力侧的水压力分布可按以下近似方法计算：

(1)按图5.3.3.2(1)计算：

1)基坑内地下水位处的水压力，由该处的静水压力$\gamma_w \triangle h_w$值减去$\triangle p_{w1}$计算。

$$\triangle p_{w1} = i_a \gamma_w \triangle h_w \qquad (5.3.3.2-1)$$

式中 $\triangle p_{w1}$——基坑开挖面处水压力修正值(kPa)；

i_a——基坑外的近似水力坡降，$i_a = \dfrac{0.7\triangle h_w}{h_{w1} + \sqrt{h_{w1}h_{w2}}}$；

$\triangle h_w$——基坑内、外侧地下水位之差；

h_{w1}、h_{w2}——基坑外侧、基坑内侧地下水位至围护墙底端的高度(m)。

2)围护墙底端处的水压力由基坑开挖深度处的静水压力$\gamma_w \triangle h_w$减去$\triangle p_{w2}$计算。

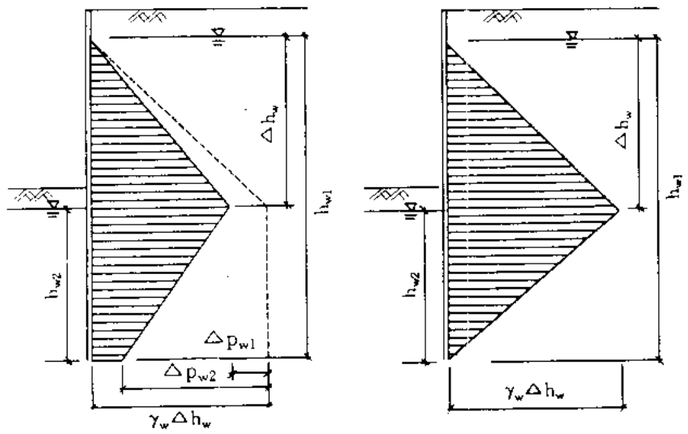
$$\triangle p_{w2} = i_a \gamma_w h_{w1} + i_p \gamma_w h_{w2} \qquad (5.3.3.2-2)$$

式中 $\triangle p_{w2}$——围护墙底端处水压力的修正值(kPa)；

i_p——基坑内被动区的近似水力坡降，

$$i_p = \frac{0.7\triangle h_w}{h_{w2} + \sqrt{h_{w1} h_{w2}}}$$

(2)按图5.3.3.2(2)所示，基坑内地下位处的静水压力为$\gamma_w \triangle h_w$，围护墙底端处为零的直线分布计算水压力。



(1) (2)

图5.3.3.2 地下水有稳态渗流时的近似水压力分布模式

5.4 水土合算的土压力

5.4.1 水泥土围护结构的土压力按水土合算原则计算，见6.2.2。

5.4.2 主动土压力按水土合算原则计算时，可用经验的主动土压力系数η_a按(5.4.2)式计算。

$$p_a = \eta_a (q + \Sigma \gamma_i h_i) \qquad (5.4.2)$$

式中 γ_i——各土层的天然重度(kN/m³)；

h_i——各土层的厚度(m)；

η_a——土的经验主动土压力系数。

5.4.2.1 经验土压力系数η_a可根据工程经验在0.55～0.75的范围内选用；

5.4.2.2 当缺乏经验时，对粘性土和淤泥质粘性土，可根据土的天然孔隙比e_o，按表5.4.2.2估算：

经验主动土压力系数η_a **表5.4.2.2**

土 层	经验主动土压力系数η_a
粘性土(褐黄色)	$\eta_a = 0.37 + 0.26e_o$
淤泥质粘性土	$\eta_a = 0.50 + 0.15e_o$

5.5 动用土压力

5.5.1 提高的主动土压力系数可根据场地工程条件按表5.5.1采用。

提高的主动土压力系数 **表5.5.1**

对差异沉降有严格限制的建筑物(或地下设施)位于距基坑外侧	提高的主动土压力系数
$0.5h_o$	K_o
$(0.5\sim1.0)h_o$	$(K_a + K_o)/2$

5.5.2 降低的被动土压力宜按以下方法确定：

5.5.2.1 降低的被动土压力强度，根据围护墙的容许最大侧向

位移值，按极限的被动土压力强度乘以0.5～0.9的经验系数确定；

5.5.2.2 用侧向弹性地基反力法，按(5.5.2.2－1)式或(5.5.2.2－2)式计算过渡的被动土压力强度。

$$p_H = k_H \cdot \delta_H \qquad (5.5.2.2-1)$$

式中 p_H——计算点的过渡被动土压力强度(kPa)；

δ_H——计算点处围护墙向土体方向的水平位移(m)；

k_H——计算点土的侧向基床系数(kN/m³)。

$$p_H = mZ \cdot \delta_H \qquad (5.5.2.2-2)$$

式中 m——计算点土的侧向基床比例系数(kN/m⁴)；

Z——计算点在基坑底面以下的深度(m)。

k_H和m值宜由现场试验确定，或由原位测试按经验关系确定，无条件进行试验时，可按表7.1.15.3选用。

5.5.3 在板式围护结构体系中验算破坏极限状态稳定性时，被动土压力按5.3.1计算后，宜再乘以表5.5.3的增大系数C_P'。

被动土压力增大系数C_P' **表5.5.3**

ϕ_c(°)	10	15	20	25	30	35	40	45
C_P'	1.06	1.11	1.18	1.27	1.39	1.54	1.77	2.09

注：表内ϕ_c(等效内摩擦角)按被动土压力相等的原则确定。

5.6 特殊情况下的土压力

5.6.1 在基坑外侧地表有局部均布荷载时，附加的侧向土压力按(5.6.1)式近似计算。

$$\triangle p_H = \frac{2q}{\pi}(\beta - \sin\beta\cos 2\alpha) \qquad (5.6.1)$$

式中 $\triangle p_H$——附加侧向土压力(kPa)；

q——地表局部均布荷载(kPa)；

α、β——见图5.6.1所示，以弧度计。

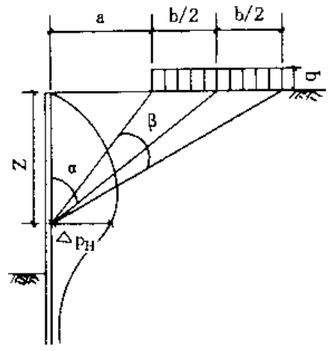


图5.6.1 地表局部均布荷载引起的附加侧向压力

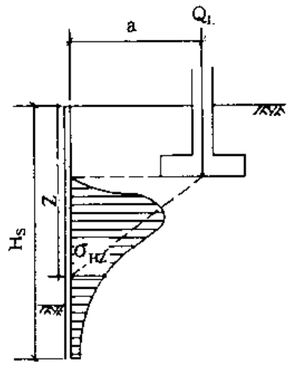


图5.6.2 相邻基础荷载引起的侧向土压力

5.6.2 相邻基础荷载引起的附加侧向土压力按(5.6.2－1)或(5.6.2－2)式计算。

当 $m \leqslant 0.4$ $\quad \triangle p_H = \dfrac{Q_L}{H_s}\dfrac{0.203n}{(0.16+n^2)^2}$ $\qquad (5.6.2-1)$

$m > 0.4$ $\quad \triangle p_H = \dfrac{4Q_L}{\pi H_s}\dfrac{m^2 n}{(m^2+n^2)^2}$ $\qquad (5.6.2-2)$

式中 Q_L——相邻基础底面处的线均布荷载(kN/m)；

m、n——分别为a/H_S、Z/H_S的比值；a、Z见图5.6.2；

H_S——相邻基础底面以下的围护墙体高度。

5.6.3 基坑外侧地面不规则时，作用于围护墙上的土压力按图5.6.3中的阴影部分计算。基坑底面处的主动土压力按(5.6.3－1)式、(5.6.3－2)式及(5.6.3－3)式计算。

$$p_a = \gamma \cdot z\cos\alpha \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}} \qquad (5.6.3-1)$$

$$p_a' = K_a \cdot \gamma(z + h') - 2c\sqrt{K_a} \qquad (5.6.3-2)$$

$$p_a'' = K_a \cdot \gamma(z + h'') - 2c\sqrt{K_a} \qquad (5.6.3-3)$$

式中 α——地表斜坡面与水平面间的夹角；

z——地表斜坡面延长线与围护墙的交点至基坑底面的距离(m)；

h'——地表斜坡面延长线与围护墙的交点至地表水平面的距离(m)；

h''——地表斜坡面延长线与围护墙的交点至围护墙顶端的距离(m)；

γ——开挖深度范围内土层天然重度的加权平均值。

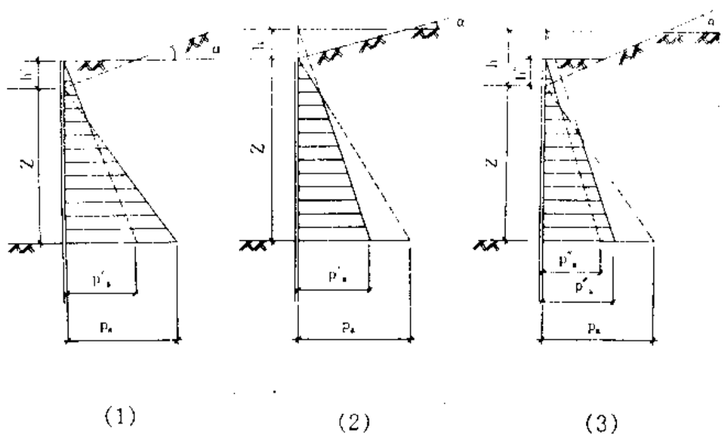


图 5.6.3 基坑外侧地面不规则时主动土压力的计算图式

6 水泥土围护结构

6.1 一般规定

6.1.1 水泥土围护结构是采用搅拌机将水泥和土强行搅拌，形成连续搭接的水泥土柱状加固体挡墙。水泥土加固体的渗透系数不大于 $10cm^{-7}/s$，水泥土围护墙兼作隔水帷幕。

6.1.2 格栅形水泥土挡墙，其截面置换率通常为 0.6～0.8，相邻桩搭接长度不小于 20cm。为增加墙体的整体性，宜在前后两排桩体中插毛竹。墙顶设厚度不小于 150mm 的封闭混凝土路面。

6.1.3 水泥土围护结构应采用湿法(喷浆)施工，开挖深度一般不超过 7m。采用干法(喷粉)施工时，开挖深度不宜超过 5m。水泥土围护结构应有可靠的质检措施，以确保有效桩长范围内桩体强度的均匀性。

6.1.4 基坑开挖深度 h_o 不大于 5m 时，墙体宽度和深度可按经验确定：墙宽 $B=(0.6\sim0.8)h_o$，插入深度 $D=(0.8\sim1.2)h_o$。确定 B、D 时，应考虑土层分布的特性、周围环境条件和地面荷载情况。

6.1.5 加固体的强度取决于水泥掺合量和令期。水泥掺合量以每立方加固体所拌和的水泥重量计，常用掺合量为 200～250 kg/m^3，常用的水泥为 425# 普通硅酸盐水泥。水泥土围护体的强度以令期一个月的无侧限抗压强度 q_u 为标准，q_u 应不低于 0.8MPa。水泥土未达设计强度前不得开挖基坑。

为改善水泥土加固体的性能和提高早期强度，宜掺加外掺剂。经常使用的外掺剂有碳酸钠、氯化钙、三乙醇胺、木质素磺酸钙等。

6.1.6 本章所列安全系数适用于二级工程，对一级工程应乘以 1.2 系数，三级工程可乘以 0.9 系数。

6.2 设　计

6.2.1 水泥土围护结构的设计应包括稳定、抗渗和抗滑动计算，以及墙体结构强度、抗倾覆稳定、受谷仓土压力条件限制的格栅断面尺寸的验算。

6.2.2 作用于水泥土围护结构的主动和被动土压力按图 6.2.2 计算图式进行计算：

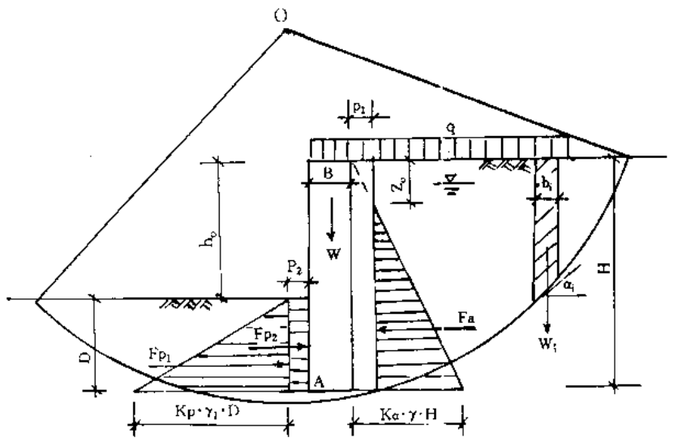


图 6.2.2　计算图式

图中：

$$P_1 = 2C \cdot tg(45^\circ - \phi/2) \qquad (6.2.2-1)$$

$$P_2 = 2C_1 \cdot tg(45^\circ + \phi_1/2) \qquad (6.2.2-2)$$

$$Z_0 = \frac{2C}{\gamma \cdot tg(45^\circ - \phi/2)} \qquad (6.2.2-3)$$

式中　C——墙底以上各土层粘聚力按土层厚度的加权平均值(kPa)；

C_1——墙底至基坑底之间各土层粘聚力按土层厚度的加权平均值(kPa)；

ϕ——墙底以上各土层内摩擦角按土层厚度的加权平均值(°)；

ϕ_1——墙底至基坑底之间各土层内摩擦角按土层厚度的加权平均值(°)；

γ——墙底以上各土层天然重度按土层厚度的加权平均值(kN/m^3)。

6.2.2.1 墙后主动土压力按(6.2.2.1)式计算：

$$F_a = (\gamma H^2/2 + qH) \cdot Ka - 2CH \cdot \sqrt{K_a} + 2C^2/\gamma \qquad (6.2.2.1)$$

式中　F_a——墙后主动土压力(kN/m)；

q——地面荷载(kPa)；

H——水泥土围护结构的墙高(m)；

K_a——主动土压力系数，$Ka = tg^2(45^\circ - \phi/2)$，当 $Ka < 0.55$ 时，取 $Ka = 0.55$。

6.2.2.2 墙前被动土压力按(6.2.2.2)式计算：

$$F_p = F_{p1} + F_{p2} \qquad (6.2.2.2)$$

$$= (\gamma_1 D^2/2) \cdot K_p + 2C_1 D \cdot \sqrt{K_p}$$

式中　F_p——墙前被动土压力(kN/m)；

γ_1——基坑底至墙底间各土层天然重度按土层厚度的加权平均值(kN/m^3)；

D——水泥土围护结构的插入深度(m)；

K_p——被动土压力系数，$K_p = tg^2(45^\circ + \phi_1/2)$，当 $K_p > 1.82$ 时，取 $K_p = 1.82$。

6.2.3 水泥土围护结构采用圆弧滑动法，按(6.2.3)式验算其整

体稳定性，渗透力的作用采用替代法，计算图式见图6.2.2。

$$K_z = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i l_i + \sum_{i=1}^{n} (q_i b_i + w_i)\cos\alpha_i \cdot \mathrm{tg}\phi_i}{\sum_{i=1}^{n} (q_i b_i + w_i)\sin\alpha_i} \qquad (6.2.3)$$

式中 l_i——第i条土条沿滑弧面的弧长(m)，$l_i = b_i/\cos\alpha_i$；

q_i——第i条土条处的地面荷载(kN/m)；

b_i——第i条土条宽度(m)；

w_i——第i条土条重量(kN)。不计渗流力时，坑底地下水位以上取天然重度，坑底地下水位以下取浮重度。当计入渗透力作用时，坑底地下水位至墙后地下水位范围内的土体重度在计算分母(滑动力矩)时取饱和重度，在计算分子(抗滑动力矩)时取浮重度；

α_i——第i条滑弧中点的切线和水平线的夹角(°)；

K_z——对应于每一滑弧的整体稳定安全系数，当不计渗透力时，其最小值应不小于1.0。

按(6.2.3)式验算时，应找出安全系数最小的滑弧面，一般最危险滑弧在墙底以下0.5～1.0m。当墙底下面有软弱夹层时，应增大计算深度，直至K_z值增大为止。

验算切墙滑弧安全系数时，可取墙体强度指标$\phi = 0$，$C = (1/15 \sim 1/10)q_u$。当加固体无侧限抗压强度$q_u > 1$MPa时，可不计算切墙滑弧安全系数。

6.2.4 水泥土围护墙体沿墙底面滑动的安全系数按(6.2.4)式计算。

$$K_{HL} = \frac{\text{墙体抗滑力}}{\text{墙体滑动力}} = \frac{W\mathrm{tg}\phi_o + C_o B + F_p}{F_a} \qquad (6.2.4)$$

式中 W——墙体自重，$W = \gamma_o BH$(kN)；

B——墙宽(m)；

γ_o——墙体平均重度，根据水泥掺量取(18～19)kN/m³，坑底深度下取浮重度；

ϕ_o、C_o——墙底土层的内摩擦角(°)和粘聚力(kPa)；

K_{HL}——墙底抗滑安全系数，应不小于1.2。当基坑边长不大于20m时，K_{HL}应不小于1.0。

6.2.5 水泥土围护结构的抗渗计算由图6.2.5－1、6.2.5－2所示，按下列步骤进行：

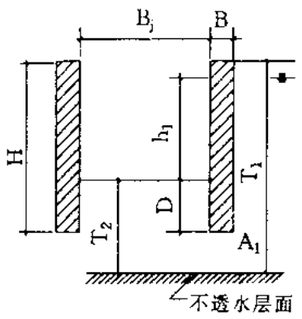


图6.2.5－1 抗渗计算图

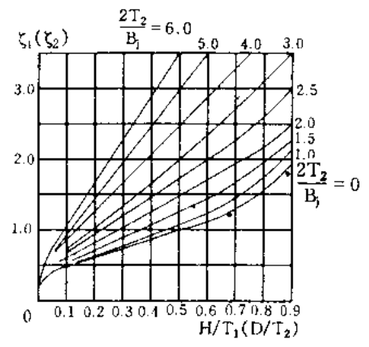


图6.2.5－2 抗渗计算曲线

6.2.5.1 确定地下水位及不透水层的层面位置。地下水位一般取天然地面下0.5m。雨季开挖时，取天然地面标高。不透水层深度取无明显夹砂层的粘土或粉质粘土层深度。当$H > 0.9T_1$时，取$H = 0.9T_1$；$D > 0.9T_2$时，取$D = 0.9T_2$；

6.2.5.2 抗渗计算。

(1)按图6.2.5－1和图6.2.5－2，由H/T_1及$2T_2/B_j = 0$，查得阻力系数ζ_1，再由D/T_2和$2T_2/B_j$查得阻力系数ζ_2；

(2)按(6.2.5.2-1)式计算单宽流量:

$$q_o = k_v \cdot h_1 \cdot \frac{1}{\zeta_1 + \zeta_2} \qquad (6.2.5.2-1)$$

式中 q_o——围护结构单位宽度的渗流量($m^3/m/s$);

k_v——土的垂直向渗透系数(m/s)。

(3)按(6.2.5.2-2)式计算出口处 A_1 点的水头;

$$h_F = h_1 \cdot \zeta_2/(\zeta_1 + \zeta_2) \qquad (6.2.5.2-2)$$

(4)按(6.2.5.2-3)式计算出口段平均渗透坡降,应满足抗渗安全要求。

$$J_F = h_F/(D+B) \leqslant J_c/K_s \qquad (6.2.5.2-3)$$

式中 J_c——临界坡降,取 $J_c = 1.0$;

K_s——抗渗安全系数。当墙底为砂土、砂质粉土或有明显的砂性土夹层时取3.0,其它土层取2.0。

6.2.6 水泥土围护结构按(6.2.6)式验算墙体绕前趾A的抗倾覆安全系数。

$$K_Q = \frac{DF_{P1}/3 + DF_{P2}/2 + BW/2}{(F_a - K_a \cdot qH)(H - Z_o)/3 + K_a \cdot qH^2/2} \qquad (6.2.6)$$

式中 K_Q——抗倾覆安全系数,应不小于1.1。当基坑边长不大于20m时,应不小于1.0。

6.2.7 水泥土围护结构的截面通常呈格栅型,每个格子的土体面积F应满足(6.2.7)式的要求。

$$C/\gamma \geqslant K_f \cdot F/u \qquad (6.2.7)$$

式中 u——格子的周长(m),按图6.2.7规定的边框线计算;

K_f——安全系数,对砂土和砂质粉土取1.0,粘土取2.0。

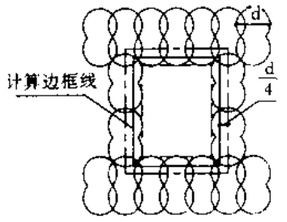


图6.2.7 格栅截面布置验算

6.2.8 水泥土加固体坑底截面处的应力应符合(6.2.8-1)和(6.2.8-2)式的要求。

$$\sigma_1 = \gamma_o h_o - 6M/B^2 > 0 \qquad (6.2.8-1)$$

$$\sigma_2 = \gamma_o h_o + q + 6M/(\eta \cdot B^2) \leqslant q_u/2K_J \qquad (6.2.8-2)$$

式中 $M = (h_o - Z_o)Fa_o/3 + qh_o^2 \cdot Ka/2(kN \cdot m)$;

$Fa_o = \gamma(h_o - z_o)^2 \cdot Ka/2(kN)$;

h_o——开挖深度(m);

η——墙体截面水泥土置换率,为水泥土加固体和墙体截面积之比;

K_J——安全系数。考虑水泥土加固体强度的不均性,通常取2.0,当墙体插毛竹时,可取 $K_J = 1.5$。

6.2.9 当水泥土围护结构符合 $D = (0.8 \sim 1.2)h_o$, $B = (0.8 \sim 1.0)h_o$ 时,墙顶的水平位移量可按(6.2.9)式估算。

$$\delta_{OH} = \frac{0.18\zeta \cdot K_a \cdot L \cdot h_o^2}{D \cdot B} \qquad (6.2.9)$$

式中 δ_{OH}——墙顶估算水平位移(cm);

L——开挖基坑的最大边长(m);

ζ——施工质量影响系数,取0.8~1.5。

对边长 L 较大的基坑，宜在中间局部增加墙宽，形成土墩，以减小墙体位移。

6.3 施工要点

6.3.1 根据设计要求、场地和地质条件、施工机械性能制订周密的施工组织设计和操作大纲，确保水泥掺合的均匀度和水泥与土体的搅拌均匀性。

6.3.2 围护墙体应采用连续搭接的施工方法，严格控制桩位和桩身的垂直度，并确保足够的搭接长度和形成连续的墙体。

6.3.3 水泥土围护结构湿法施工应符合下列要求：

6.3.3.1 各类施工机械的性能应由专业部门进行鉴定，并作试桩、进行桩身强度和施工工艺的检验。湿法施工宜采用双轴搅拌机；

6.3.3.2 施工桩位偏差不超过 5cm，桩身垂直度误差不超过 1%；

6.3.3.3 水泥浆液的水灰比应控制在 0.45～0.50 范围内；

6.3.3.4 成桩应采用二次搅拌工艺，喷浆搅拌时钻头的提升（或下沉）速度不宜大于 0.5m/min，钻头每转一圈的提升（或下沉）量以 1.0～1.5cm 为宜；

6.3.3.5 搭接施工的相邻桩的施工间歇时间应不超出 10～16 小时；

6.3.3.6 压浆速度应和提升（或下沉）速度相配合，确保额定浆量在桩身长度范围内均匀分布。

6.3.4 水泥土围护结构干法施工应符合下列要求：

6.3.4.1 粉体发送器必须有计量装置，在喷粉成桩过程中应能随时监测其喷粉量。粉体发送器和整套喷粉机械的特性指标应经专业部门鉴定；

6.3.4.2 桩中心偏位应不大于 5cm，桩身垂直度误差不超过 1%；

6.3.4.3 应采用干燥、新鲜水泥，严禁用受潮结块水泥；

6.3.4.4 成桩应采用二次搅拌工艺，喷粉搅拌时，钻头每转一圈的上提（或下沉）量以 1.0～1.5cm 为宜，确保有效桩长范围内桩体强度的均匀性；

6.3.4.5 搭接施工的相邻桩的施工间歇时间不超过 2 小时；

6.3.4.6 离地表 1m 时应有防止水泥粉外扬的屏蔽装置。

6.3.5 水泥土围护结构的质量检验应按成桩施工期、开挖前和开挖期三个阶段进行。

6.3.5.1 成桩施工期质量检验包括机械性能、材料质量、掺合比试验等资料的验证，以及逐根检查桩位、桩长、桩顶高程、桩身垂直度、桩身水泥掺量、上提喷浆（喷粉）速度、外掺剂掺量、水灰比、搅拌和喷浆起止时间、喷浆（喷粉）量的均匀度、搭接桩施工间歇时间等；

6.3.5.2 基坑开挖前的质量检测应在围护结构路面浇筑之前进行。检测包括桩身强度的验证和桩位、桩数的复核。对开挖深度超过 5m 的基坑应采用钻取桩芯或静力触探的方法检验桩长和桩身强度：

（1）钻取桩芯宜采用 ϕ110 钻头，连续钻取全桩长范围内的桩芯，桩芯应呈硬塑状态并无明显的夹泥、夹砂断层。有效桩长范围内的桩身强度应符合设计要求；

（2）静力触探应在成桩后第三天（喷粉搅拌）或第七天（喷浆搅拌）进行，所测得的比贯阻力应不低于原状土指标的 2 倍。

6.3.5.3 基坑开挖期的质量检测主要通过直观检验开挖面桩体的质量以及墙体和坑底渗漏水情况，如不符合设计要求应立即采取必要的补救措施，防止出现工程事故。

7 板式支护体系

7.1 一般规定

7.1.1 板式支护体系由围护墙结构、支撑与围檩体系，以及防渗与止水结构等组成。板式围护墙结构的常用型式有桩排式围护墙和板墙式围护墙。

7.1.2 桩排式围护墙连续排桩的常用桩型有钻孔灌注桩、钢板桩、钢筋混凝土板桩，以及型钢等结构型式。板墙式围护墙的常用结构有现浇和预制钢筋混凝土地下连续墙结构。

7.1.3 板式支护基坑应有稳定可靠的支撑与围檩结构体系。采用坑内支撑和围檩结构体系时，支撑和围檩结构的常用型式有钢结构和钢筋混凝土结构。支撑立柱在基坑开挖面以上的结构型式有组合型钢格构式立柱、型钢立柱和钢管立柱等。基坑开挖面以下的立柱桩常用钻孔灌注桩和预制桩。

7.1.4 板式支护基坑在环境条件容许和满足设计要求时，也可采用有围檩的坑外锚拉结构体系。坑外锚拉结构的型式有水平拉杆与锚碇结构和土层斜锚杆结构等。

7.1.5 板式支护基坑应有可靠的防渗与止水结构。坑外防渗结构的常用型式有连续搭接的水泥土搅拌桩帷幕、高压喷射注浆帷幕和注浆帷幕等防渗帷幕墙结构。

7.1.6 板式支护体系的结构选型，应根据工程地质与水文地质条件、环境条件、施工条件，以及基坑使用要求与基坑规模等因素，通过技术和经济比较确定。

7.1.7 板式支护体系的设计计算，应根据支护结构的特性、基坑使用要求，以及环境要求与施工条件等因素，正确选择和确定地基土的物理力学性质指标与设计计算方法。设计计算工况应完整，

包括基坑分层开挖与设置支撑的施工期和地下主体结构分层施工与换撑施工期等的各种工况条件。

7.1.8 板式支护体系的设计与验算应包括下列主要内容：

7.1.8.1 基坑底部土体的抗隆起稳定性和抗渗流或抗管涌稳定性验算；

7.1.8.2 围护墙结构的抗倾覆稳定性验算；

7.1.8.3 围护墙结构和地基的整体抗滑动稳定性验算；

7.1.8.4 围护墙结构的内力和变形计算；

7.1.8.5 支撑或锚碇与围檩体系的结构内力、变形和稳定性计算；

7.1.8.6 支撑竖向立柱的结构内力、变形和稳定性计算；

7.1.8.7 支护结构的构件截面强度和节点构造设计与计算；

7.1.8.8 基坑外地表变形和土体移动的验算；

7.1.8.9 围护墙结构兼作工程主体结构时，尚应按照主体结构设计所遵循的规范，验算长期荷载作用时的结构内力和变形等。

7.1.9 基坑底部土体的抗隆起稳定性验算应包括下列内容：

7.1.9.1 按(7.1.9.1)式验算围护墙底地基承载力。计算图式见图7.1.9.1：

$$K_{wz}=\frac{\gamma_2 D N_q + c N_c}{\gamma_1 (h_o + D) + q} \qquad (7.1.9.1)$$

式中 γ_1——坑外地表至围护墙底，各土层天然重度的加权平均值(kN/m^3)；

γ_2——坑内开挖面以下至围护墙底，各土层天然重度的加权平均值(kN/m^3)；

h_o——基坑开挖深度(m)；

D——围护墙在基坑开挖面以下的入土深度(m)；

q——坑外地面荷载(kPa)；

N_q、N_c——地基土的承载力系数。根据围护墙底的地基土特性计算：

$$N_q = e^{\pi tg\phi} tg^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1)/tg\phi$$

c、ϕ——分别为围护墙底地基土粘聚力(kPa)和内摩擦角(°)；

K_{wz}——围护墙底地基承载力安全系数。一级基坑工程取2.5；二级基坑工程取2.0；三级基坑工程取1.7。

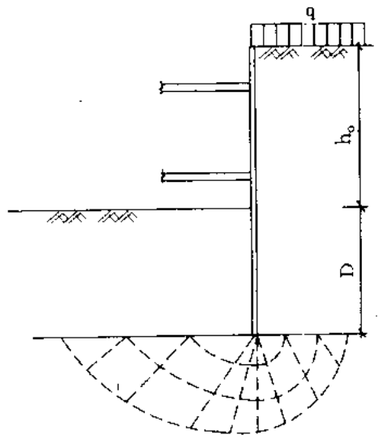


图7.1.9.1　围护墙底地基承载力验算图式

7.1.9.2　按(7.1.9.2)式验算基坑底部土体的抗隆起稳定性：

$$K_L = M_{RL}/M_{SL} \qquad (7.1.9.2)$$

式中　M_{RL}——抗隆起力矩(kN－m/m)，$M_{RL} = R_1 K_a tg\phi + R_2 tg\phi + R_3 C$

$$R_1 = D\left(\frac{\gamma h_o^2}{2} + qh_o\right) + \frac{1}{2} D^2 q_f (\alpha_2 - \alpha_1 + \sin\alpha_2\cos\alpha_2 - \sin\alpha_1\cos\alpha_1) - \frac{1}{3}\gamma D^3(\cos^3\alpha_2 - \cos^3\alpha_1);$$

$$R_2 = \frac{1}{2} D^2 q_f + \left[\alpha_2 - \alpha_1 - \frac{1}{2}(\sin 2\alpha_2 - \sin 2\alpha_1)\right] - \frac{1}{3}\gamma D^3 [\sin^2\alpha_2\cos\alpha_2 - \sin^2\alpha_1\cos\alpha_1 + 2(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1)];$$

$$R_3 = h_o D + (\alpha_2 - \alpha_1)D^2;$$

$$q_f = \gamma h_o' + q_o$$

γ——围护墙底以上地基土各土层天然重度的加权平均值(kN/m³)；

D——围护墙在基坑开挖面以下的入土深度(m)；

Ka——主动土压力系数，取 $Ka = tg^2(\pi/4 - \phi/2)$；

c、ϕ——滑裂面上地基土的粘聚力(kPa)和内摩擦角(弧度)的加权平均值；

h_o——基坑开挖深度(m)；

h_o'——最下一道支撑距地面的深度(m)；

α_1——最下一道支撑面与基坑开挖面间的水平夹角(弧度)，见图7.1.9.2；

α_2——以最下一道支撑点为圆心的滑裂面圆心角(弧度)，见图7.1.9.2；

q——坑外地面荷载(kPa)；

M_{SL}——隆起力矩(kN－m/m)，$M_{SL} = \frac{1}{2}(\gamma h_o' + q)D^2$；

K_L——抗隆起稳定性安全系数。一级基坑工程取2.5；二级基坑工程取2.0；三级基坑工程取1.7。

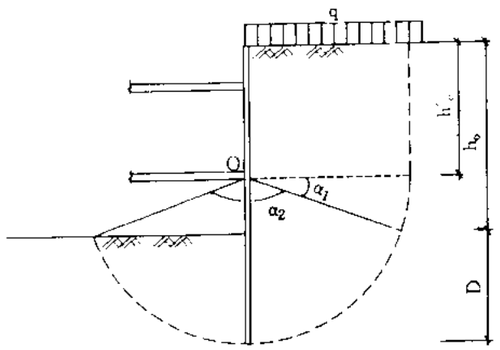


图7.1.9.2　基坑底抗隆起计算简图

7.1.10　围护墙底部土体的抗渗流或抗管涌稳定性，可按(7.1.10)式验算。

$$K_S = i_c / i \qquad (7.1.10)$$

式中　i_c——坑底土体的临界水力坡度，根据坑底土的特性计算：$i_c = (G_s - 1)/(1 + e)$；

G_s——坑底土的比重；

e——坑底土的天然孔隙比；

i——坑底上的渗流水力坡度，$i = h_w / L$；

h_w——基坑内外土体的渗流水头(m)，取坑内外地下水位差，见图7.1.10；

L——最短渗径流线总长度(m)，$L = \sum L_h + m \sum L_v$；

$\sum L_h$——渗径水平段总长度(m)；

$\sum L_v$——渗径垂直段总长度(m)；

m——渗径垂直段换算成水平段的换算系数，单排帷幕墙时，取 m = 1.50；多排帷幕墙时，取 m = 2.0；

K_s——抗渗流或抗管涌稳定性安全系数，取 1.5～2.0。基坑底土为砂性土、砂质粉土或粘性土与粉性土中有明显薄层粉砂夹层时取大值。

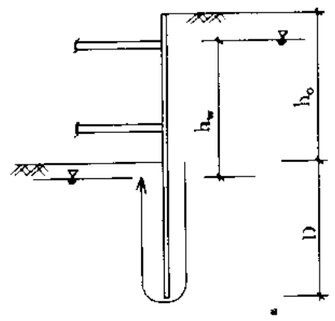


图7.1.10　坑底土体渗流计算简图

7.1.11　基坑开挖面以下有承压水层时，应按(7.1.11)式验算基坑底部土的抗承压水头的稳定性，见图7.1.11所示。

$$K_y = p_{cz} / p_{wy} \qquad (7.1.11)$$

式中　p_{cz}——基坑开挖面以下至承压水层顶板间复盖土的自重压力(kN/m²)；

p_{wy}——承压水层的水头压力(kN/m²)；

K_y——抗承压水头的稳定性安全系数，取1.05。

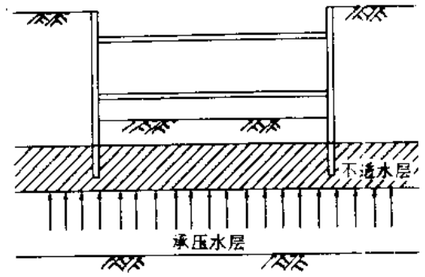


图 7.1.11　坑底抗承压水示意图

7.1.12　板式围护墙结构的抗倾覆稳定性，可按(7.1.12)式验算见图 7.1.12。

$$K_Q = M_{RC}/M_{OC} \qquad (7.1.12)$$

式中　M_{RC}——抗倾覆力矩(kN－m)。取基坑开挖面以下围护墙入土部分坑内侧压力，对最下一道支撑或锚碇点的力矩。坑内侧压力计算按 7.1.13 规定执行；

M_{OC}——倾覆力矩(kN－m)。取最下一道支撑或锚碇点以下围护墙坑外侧压力，对最下一道支撑或锚碇点的力矩。坑外侧压力计算按 7.1.13 规定执行；

K_Q——抗倾覆稳定性安全系数，一级基坑工程取 1.20；二级基坑工程取 1.10；三级基坑工程取 1.05。

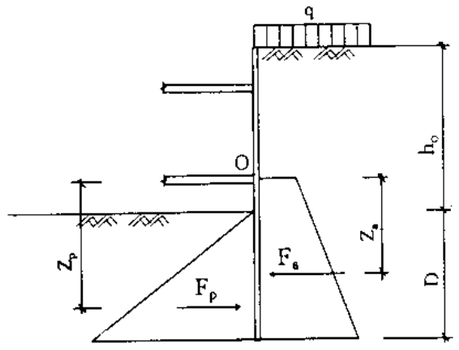


图 7.1.12　抗倾覆稳定计算简图

7.1.13　抗倾覆 稳定性验算时，围护墙的坑内、外土压力、水压力，分别按下列方法计算：

7.1.13.1　地面水平、墙面垂直时，坑外极限主动土压力，按 5.3 的规定计算。坑内极限被动土压力强度按(7.1.13.1)式计算。

$$p_p = \Sigma\gamma_i h_i \cdot K_p + 2c\sqrt{K_{ph}} \qquad (7.1.13.1)$$

式中　p_P——计算点处的被动土压力强度(kPa)；

γ_i——计算点以上各层土的天然重度(kN/m³)，地下水位以下取水下重度；

h_i——计算点以上各层土的厚度(m)；

K_p、K_{ph}——计算点处的被动土压力系数，

$$K_p = \frac{\cos^2\phi}{\left[1-\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\cdot\sin\phi}{\cos\delta}}\right]^2}$$

$$K_{ph}=\frac{\cos^2\phi\cdot\cos^2\delta}{[1-\sin(\phi+\delta)]^2};$$

C、ϕ——计算点处土的粘聚力(kPa)和内摩擦角(°)；

δ——计算点处地基土与墙面间的摩擦角(°)，取 $\delta=(\frac{2}{3}\sim\frac{3}{4})\phi$。地基土较差时(如淤泥质粘土)，取大值反之取小值，且 $\delta\leqslant 20$。无坑内降水措施时取 $\delta=0$。

7.1.13.2 作用在围护墙上的水压力计算，见图7.1.13.2。AB之间按静水压力直线分布，确定B、C、D、E各点的水压力按7.1.10的渗径直线比例法确定。

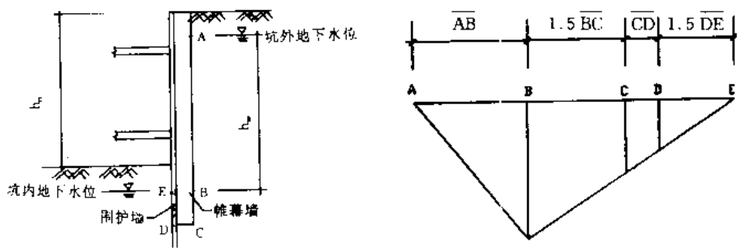


图7.1.13.2 作用于围护墙上的水压力计算简图

7.1.14 板式支护结构和地基的整体滑动稳定性验算，通常采用通过墙底土层的圆弧滑动面计算。当墙底以下地基土有软弱层时，尚应考虑可能发生的非圆弧滑动面情况。有渗流时，应计及渗

流力的作用。用总应力法确定土体的抗剪强度，并采用固结快剪峰值指标时，宜按6.2.3采用简单条分法计算。当不计支撑或锚碇力的作用，且考虑渗流力作用时，整体抗滑动稳定性的容许最小安全系数应不小于1.25。考虑支撑或锚碇力作用时，整体稳定可不验算，除非支撑或锚碇失效。

7.1.15 板式支护体系中，围护墙结构的内力和变形宜采用竖向弹性地基梁的基床系数法计算。计算时应考虑支撑或锚碇点的位移、施工工况及支撑刚度等对结构内力与变形的影响。

7.1.15.1 围护墙结构采用竖向弹性地基梁基床系数法的计算图式见图7.1.15.1。坑内开挖面以上的内支撑点，以弹性支座模拟。坑内开挖面以下作用在围护墙面的弹性抗力，根据地基土的性质和施工措施等条件确定，并以均布的水平弹簧支座模拟。弹性抗力的分布通常取开挖面处为零，开挖面以下一定深度内三角形分布，其下按矩形分布。有工程实践经验时，弹性抗力的分布也可取梯形或阶梯形等其它分布形式。围护墙底以垂直弹簧支座模拟；

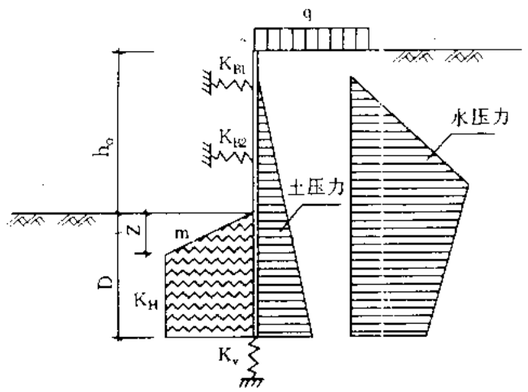


图 7.1.15.1　板式围护墙计算简图

7.1.15.2　基坑内支撑点弹性支座的压缩弹簧系数 K_B，应根据支撑体系的布置和支撑构件的材质与轴向刚度等条件，按(7.1.15.2)式确定：

$$K_B=\frac{2\alpha EA}{l\cdot S} \qquad (7.1.15.2)$$

式中　K_B——内支撑的压缩弹簧系数(kN/m/m)；

α——与支撑松弛有关的折减系数，一般取 0.5～1.0；混凝土支撑或钢支撑施加预压力时，取 $\alpha=1.0$；

E——支撑结构材料的弹性模量(kN/m^2)；

A——支撑构件的截面积(m^2)；

l——支撑的计算长度(m)；

S——支撑的水平间距(m)。

7.1.15.3　基坑开挖面以下，水平弹簧支座和垂直弹簧支座的

压缩弹簧刚度 K_H 和 K_v，可按(7.1.15.3－1)和(7.1.15.3－2)式计算：

$$K_H=k_H bh \qquad (7.1.15.3-1)$$

$$K_v=k_v bh \qquad (7.1.15.3-2)$$

式中 K_H、K_v——分别为水平向和垂直向压缩弹簧刚度(kN/m)；

k_H、k_v——分别为地基土的水平向和垂直向基床系数(kN/m^3)，宜由现场试验确定，或参照类似工程的经验确定。当无条件进行现场试验时，可根据地基土的性质，按表7.1.15.3－1和表7.1.15.3－2选用。开挖面以下三角形分布区的水平向基床系数 $k_H=mz$，m 为水平向基床系数沿深度增大的比例系数，可根据地基土的性质，按表 7.1.15.3－3 选用。z 为影响深度，一般取开挖面以下 3～5m。坑底地基土软弱或受扰动较大时取大值，反之取小值；

b、h——分别为弹簧的水平向和垂直向计算间距(m)。

水平向基床系数 k_H　　表 7.1.15.3－1

地基土分类		k_H(kN/m³)
流塑的粘性土		3000～15000
软塑的粘性土和松散的粉性土		15000～30000
可塑的粘性土和稍密～中密粉性土		30000～150000
硬塑的粘性土和密实的粉性土		150000 以上
松散的砂土		3000～15000
稍密的砂土		15000～30000
中密的砂土		30000～100000
密实的砂土		100000 以上
水泥土搅拌桩加固置换率 25%	水泥掺量＜8%	10000～15000
	水泥掺量＞12%	20000～25000

垂直向基床系数 k_v　　表 7.1.15.3－2

地基土分类	k_v(kN/m³)
流塑的粘性土	5000～10000
软塑的粘性土和松散的粉性土	10000～20000
可塑的粘性土和稍密～中密的粉性土	20000～40000
硬塑的粘性土和密实的粉性土	40000－100000
松散的砂土(不含新填砂)	10000－15000
稍密的砂土	15000－20000
中密的砂土	20000～25000
密实的砂土	25000－40000

比例系数 m　　表 7.1.15.3－3

地基土分类		m(kN/m⁴)
流塑的的粘性土		1000～2000
软塑的的粘性土、松散的粉砂性土和砂土		2000～4000
可塑的粘性土、稍密～中密的粉性土和砂土		4000～6000
坚硬的粘性土、密实的粉性土、砂土		6000～10000
水泥土搅拌桩加固、置换率＞25%	水泥掺量＜8%	2000～4000
	水泥掺量＞12%	4000～6000

7.1.15.4　板式围护墙结构的坑外侧压力，包括土压力、水压力和渗流压力等。主动侧土压力的计算，与支护结构及地基土的位

移，以及所采取的施工措施等有关，应根据土压力的发挥状态，分别按极限主动土压力(5.3.1.1)式和静止土压力(5.2.1)式计算。水压力的计算，按7.1.13.2规定执行。

7.1.16 板式围护墙结构坑外地面均布荷载，通常取20kPa计算。当坑外地面非水平面，或者有邻近建构筑物荷载、施工荷载以及车辆荷载等其他类型荷载时，应按实际情况取值。由上述荷载引起作用于围护墙的侧向压力按5.6的有关规定计算。

7.1.17 板式支护体系围护墙的顶部，应设置封闭圈梁(或称锁口梁)。圈梁的高度和宽度由计算确定，且不宜小于围护墙的厚度。当围护墙采用钻孔灌注桩或现浇地下连续墙结构时，与圈梁相接部分的混凝土强度等级必须符合设计要求。墙内竖向钢筋锚入圈梁内的长度，宜按受拉锚固要求考虑。围护墙顶嵌入圈梁的深度不宜小于50mm。

7.1.18 板式支护体系围护墙结构的墙面倾斜度和平整度，应根据地下主体结构的使用要求、环境条件等因素确定，通常对于板桩墙或钻孔灌注桩的排桩墙，墙面的倾斜度不宜大于1/200；对于现浇钢筋混凝土地下连续墙不宜大于1/250。钻孔灌注桩或地下连续墙的墙面局部突出，不应大于100mm。预埋件位置的偏差，不应大于50mm。

7.2 板桩墙围护结构的设计与施工

7.2.1 板桩墙支护结构中，常用的板桩型式有等截面U型、H型钢板桩，矩形截面的钢筋混凝土板桩，以及型钢或组合式板桩等。

7.2.2 板桩墙的设计计算应按7.1的有关规定执行。单道支撑或锚碇式板桩墙的计算可按《地基基础设计规范》(DBJ08－11－89)第九章第四节锚碇板桩的有关规定执行。

7.2.3 板桩墙结构围檩的分段位置应设在锚碇或支撑水平间距的1/3处，围檩结构的内力按刚性支座连续梁计算。

7.2.4 确定U型钢板桩构件的惯性矩和弹性抵抗矩时，应根据锁口状态，分别乘以折减系数α和β。当桩顶设有整体圈梁及支撑点或锚头设有整体围檩时，取α＝β＝1.0；桩顶不设圈梁或围檩分段设置时取α＝0.6，β＝0.7。

7.2.5 采用坑外单道锚碇式结构的板桩围护墙，在确定锚碇拉杆标高和锚碇结构时，应考虑板桩墙受力的合理性和施工的方便性，以及对环境的影响。

7.2.6 锚碇钢拉杆宜采用3号钢或焊接性能好、延伸率不低于18%的高强度钢。拉杆间距取板桩宽度的整数倍，当采用U型钢板桩和钢围檩，且围檩与钢拉杆连接时，拉杆的间距宜取桩宽的偶数倍。

7.2.7 基坑转角处的围护板桩，应根据转角的平面形状做成相应的异形转角板桩，且转角桩和定位桩的桩长宜适当加长；通常比围护桩长0.5～1.0m。

7.2.8 板桩支护结构的基坑采用墙体自防渗时，墙体结构的抗渗等级不宜小于S6级，并在板桩接缝处设置可靠的防渗止水构造。对于预制钢筋混凝土板桩围护墙，混凝土的设计强度等级不宜低于C30，沉桩后应在坑外接缝处或榫槽孔内注浆防渗，注浆材料的强度等级不应低于M15。对于钢板桩围护墙，当采用锁口式防水构造时，沉桩前应在锁口内嵌填黄油、沥青或其它密封止水材料，必要时可在沉桩后坑外锁口处注浆防渗。

7.2.9 板桩围护墙的施工按《地基与基础工程施工验收规范》(GBJ202－83)和《地基基础设计规范》(DBJ08－11－89)的规定执行。

7.3 钻孔灌注桩围护墙的设计与施工

7.3.1 钻孔灌注排桩支护结构的内力、变形按7.1.15计算。单桩断面和配筋按圆形受弯杆件设计。桩径不宜小于500mm。连

续排桩间的净距宜采用100～150mm，也可根据需要调整。

7.3.2 钻孔灌注排桩墙的单桩纵向受力钢筋宜沿截面均匀对称布置，按受力大小沿深度分段配置。钢筋笼的箍筋宜采用直径6～8mm的螺旋箍筋，间距200～300mm，加强箍应焊接封闭，间距宜取2.0m，直径12～14mm。

7.3.3 钻孔灌注排桩的混凝土设计强度等级不应小于C20，主筋混凝土保护层厚度不宜小于50mm。

7.3.4 钻孔灌注排桩的外侧应设置防渗帷幕。防渗帷幕应贴近围护桩，其净距不宜大于150mm。防渗帷幕的深度按坑底垂直抗渗流稳定性验算确定，其底部宜进入不透水土层。

7.3.5 灌注桩外侧的防渗帷幕宜采用连续搭接的水泥土搅拌桩，其搭接长度不宜小于200mm。防渗帷幕厚度根据基坑开挖深度、土层条件、环境保护要求等综合考虑确定，顶部宜设置厚度不小于150mm的混凝土面层，并与桩顶圈梁整浇成一体。当土层渗透性大或环境保护要求较严时，宜在搅拌桩与灌注桩之间注浆，浅部地层有较厚的砂土或粉性土时，可采用灌注桩套打在搅拌桩里的措施，提高成桩质量和防渗性能。

7.3.6 场地、设备等条件限制时，也可采用旋喷桩等其他方法进行防渗处理。

7.3.7 钻孔灌注排桩的桩顶宜设置钢筋混凝土圈梁并兼作支撑围檩。桩内主筋锚入圈梁的长度由计算确定。

7.3.8 钻孔灌注排桩的桩顶泛浆高度可取桩长的5%，且应保证圈梁底标高处及以下的桩身混凝土强度满足设计要求。

7.3.9 钻孔灌注排桩的桩位偏差不应大于d/12(d为桩身设计直径)；桩身垂直度偏差不应超过1/200；桩身因扩颈造成局部突起不应大于100mm。

7.3.10 除本节规定外，钻孔灌注排桩的施工尚应符合《钻孔灌注桩施工规程》(DBJ08－202－92)的有关规定。

7.4 地下连续墙围护结构的设计与施工

7.4.1 地下连续墙单元槽段的平面形状，有一字形、L型、T型以及多边形等。单元槽段的平面形状和成槽长度，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，由计算确定。现浇钢筋混凝土一字形槽段的成槽长度，通常为6～8米。

7.4.2 地下连续墙的墙厚和墙深度应按7.1的有关规定，由设计计算确定。现浇钢筋混凝土的常用墙厚为600～800mm，预制钢筋混凝土的墙厚不宜大于500mm。

7.4.3 钢筋混凝土地下连续墙的构造应符合下列要求：

7.4.3.1 现浇混凝土的设计强度等级不应低于C20；预制混凝土的设计强度等级不应低于C30；

7.4.3.2 受力钢筋应采用Ⅱ级钢筋，直径不宜小于16mm；构造钢筋可采用Ⅰ级钢筋，直径不宜小于12mm；

7.4.3.3 单元槽段的钢筋笼应装配成一个整体。必须分段时，宜采用焊接或机械连接，接头位置宜选在受力较小处，并相互错开。当采用搭接接头时，接头的最小搭接长度不宜小于45倍的主筋直径，且不小于1.50m；

7.4.3.4 地下连续墙与主体结构连接或作为主体结构的一部分时，应按主体结构要求设计，并满足围护结构的受力要求。预留在地下连续墙内的锚固钢筋长度应符合有关规范规定；

7.4.3.5 现浇地下连续墙主钢筋的保护层厚度不宜小于70mm。预制地下连续墙的保护层厚度不应小于30mm；

7.4.3.6 钢筋笼两侧的端部与接头管或相邻墙段混凝土接头面之间应留有不大于150mm的间隙，钢筋下端500mm长度范围内宜按1:10收成闭合状，且钢筋笼的下端与槽底之间宜留有不小于500mm的间隙。

7.4.4 地下连续墙围护结构的墙顶通常设置钢筋混凝土顶圈梁，

围檩可采用钢筋混凝土或型钢结构。顶圈梁和围檩必须与地下连续墙可靠固定。

7.4.5 地下连续墙围护结构，其墙体混凝土的抗渗等级不宜小于S6级，当墙段之间的接缝不设止水带时，应选用锁口圆弧形，槽形或V型等可靠的防渗止水接头，其接头面必须严格清刷，不得存有夹泥或沉渣。

7.4.6 地下连续墙围护结构的施工按《地基与基础工程施工及验收规范》(GBJ202－83)和《地基基础设计规范》(BJ08－11－89)的规定执行。

8 与主体地下结构相结合的支护结构

8.1 一般规定

8.1.1 主体工程建设或环境条件有特殊要求的基坑工程，宜采用与主体地下结构相结合的支护结构形式，主体工程采用逆作法施工。利用主体地下结构的梁板作为围护结构的内支撑，且支护结构的围护墙宜与主体地下室的外墙相结合。

8.1.2 按逆作法施工的基坑支护设计应与主体工程设计密切配合，除具备2.0.3规定所需的资料外，还应具备下列资料：

8.1.2.1 完整的工程设计资料，包括完整的建筑设计和结构设计文件和图纸；

8.1.2.2 地下主体结构的使用及防水或排水要求；

8.1.2.3 逆作法的工程范围，包括地下结构逆作法的同时，地面主体建筑的施工要求等。

8.1.3 在方案和技术经济比较时，应预估围护结构和主体结构基础沉降的适应性。

8.2 逆作法基坑设计要点

8.2.1 围护结构的形式，宜采用地下连续墙结构。地下主体结构的内墙或板梁系统作为围护结构的内支撑和围檩体系。

8.2.2 坑外土压力采用静止土压力计算。

8.2.3 支护体系的设计计算工况，应按地下主体结构的受力体系和相应的基坑开挖深度等不同条件分别确定。

8.2.4 逆作法基坑支护体系的设计内容和方法，应遵照第7章"板式支护体系"和第9章"支撑及土层锚杆结构的设计与施工"的有关规定进行。

8.2.5 地下主体工程的设计应按逆作法基坑支护体系设计计算成果，验算其强度、变形和稳定性，并同时满足两种荷载状况的设计要求。

8.2.6 支撑立柱体系的设计，应结合主体工程的结构布置，地上部分和地下部分同时施工的要求，以及受荷大小等综合考虑，其结构形式通常采用格构式钢立柱或 H 型钢及钢管立柱等。当结合主体工程的柱或墙布置竖向立柱或立柱桩时，立柱或立柱桩的轴线定位和承载能力应与主体工程的柱或桩的轴线定位和承载能力相一致。

8.2.7 地下主体结构的梁板，兼作施工平台或栈桥时，其构件的强度和刚度应按两种工况受荷的联合作用进行设计。立柱和立柱桩的荷载应包括施工平台或栈桥所承受的施工荷载。

8.2.8 同层地下主体结构的梁板标高有高差时，应设置可靠的水平力传递转换结构。转换结构应有足够的刚度，并满足抗剪和抗扭承载能力的要求。

8.2.9 竖向立柱的沉降，应满足主体结构的受力和变形要求。在主体结构底板施工之前，立柱桩间，以及立柱桩与基坑围护墙之间的差异沉降不宜大于 20mm，且不宜大于 1/400 柱距。

8.2.10 围护墙为主体结构的外墙（简称单一墙）时，墙的沉降和结构强度应同时满足施工和使用两种不同功能的受力和使用要求。墙与地下结构梁板的连接，应满足主体结构的受力要求。底板应采用整体连接，接头钢筋采用焊接或机械连接。

8.2.11 围护墙作为主体结构外墙的一部分时，应在围护墙的内侧设置钢筋混凝土内衬（简称复合墙）。复合墙的内力和强度应按施工期和使用期的不同情况，分别计算。当内外墙结合面能够承受剪力时，使用阶段的墙体厚度可取复合墙厚之和，按整体墙计算。当内外墙结合面不能承受剪力时，使用阶段的墙体内力宜按内外墙的刚度分配。围护墙与主体地下结构梁板的连接要求同

8.2.10。

8.2.12 围护墙结构与主体地下结构外墙之间设置防水构造层或排水通道时，见图 8.2.12。围护墙和地下结构外墙应按各自的受力状况，分别进行计算。但主体地下结构的梁板应可靠地与围护墙连接，并宜按刚性构造考虑。连接点的位置应按计算要求确定。

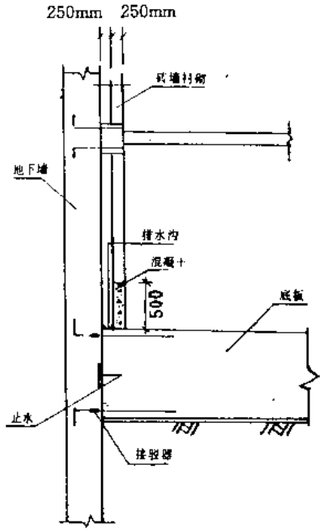


图 8.2.12 外墙排水及止水构造图

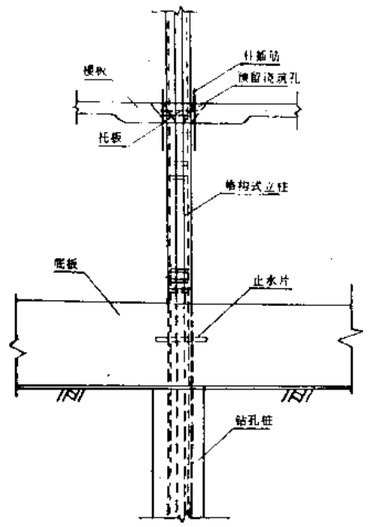


图 8.2.14 立柱止水构造图

8.2.13 地下主体结构楼板上的预留孔（包括设备预留孔，立柱预留孔，施工预留孔等）应验算开口处的应力和变形。必要时宜设置孔口边梁或临时钢支撑等传力构件。立柱预留孔尚应考虑替换结构及主体结构的施工要求。

8.2.14 主体结构底板与围护结构的连接，以及立柱穿过底板的

连接，除满足受力和变形要求外，应设置可靠的止水构造，见图8.2.14。

8.3 逆作法基坑施工要点

8.3.1 主体地下结构的施工，应在围护结构、防渗结构、竖向支撑立柱，以及基坑降水等施工完毕，并达到设计要求后进行。

8.3.2 逆作法施工应严格按照设计要求，编制详细的施工组织设计。作为围护墙支撑与围檩体系的地下主体结构的内墙和楼层板梁，应待混凝土达到设计强度后，才能进行其下的土方开挖。

8.3.3 施工程序和施工工况应与设计工况相一致。土方开挖应严格按照均匀、分层的原则进行，严禁超挖。当与地面主体结构平行施工时，应均衡协调，主体结构与立柱的受力和沉降应符合设计要求。

8.3.4 按设计要求合理确定土方开挖和运输方式。当采用机械下坑开挖时，严禁机械碰撞立柱。当设置临时施工栈桥和平台时，应进行专门的设计。

8.3.5 混凝土向下逆作施工构件的底模，应具有足够的强度和刚度，防止构件施工时的变形和裂缝。

8.3.6 施工期间使用的竖向支撑立柱，应在主体地下结构形成整体，待地下主体结构的受力符合设计要求后才能拆除。

9 支撑及土层锚杆结构的设计与施工

9.1 内支撑结构设计的一般规定

9.1.1 内支撑结构必须采用稳定的结构体系和可靠的连接构造，同时应具有足够的刚度。对于安全等级为一级的基坑，支撑构件除必须满足承载力的要求外，还应满足变形要求。

9.1.2 内支撑结构的常用型式有单层或多层平面支撑体系和竖向斜撑体系。

9.1.3 一般情况下，在支撑结构上不考虑运行施工机械和堆放材料。

9.1.4 当必须利用支撑构件兼作施工平台或栈桥时，应进行专门的设计。

9.1.5 支撑结构材料可以采用钢或混凝土。通常宜优先采用钢结构支撑，对于形状比较复杂或有其它特殊要求的基坑，可采用现浇混凝土支撑结构。

9.1.6 内支撑结构设计应包括下列内容：

9.1.6.1 支撑材料选择和结构体系的布置；

9.1.6.2 支撑结构的内力和变形计算；

9.1.6.3 支撑构件的强度和稳定验算；

9.1.6.4 支撑构件的节点设计；

9.1.6.5 支撑结构的安装和拆除设计。

9.2 支撑结构体系的选型与布置

9.2.1 支撑结构的选型与布置应根据下列因素综合考虑确定：

9.2.1.1 基坑平面的形状、尺寸和开挖深度；

9.2.1.2 基坑周围的环境保护要求和邻近地下工程的施工情

况；

9.2.1.3 主体工程地下结构的布置；

9.2.1.4 土方工程和主体地下结构的施工顺序和施工方法；

9.2.1.5 围护结构的设计。

9.2.2 平面支撑体系布置应符合下列规定：

9.2.2.1 平面支撑体系通常由围檩、水平支撑和立柱三部分组成；

9.2.2.2 根据工程的具体情况，水平支撑可以用对撑、对撑桁架、斜角撑、斜撑桁架以及边桁架和八字撑等构件组成的平面结构体系，见图 9.2.3 和图 9.2.4。对于规则的方形基坑也可以采用内环形平面结构体系；

9.2.2.3 支撑布置不应妨碍主体工程的施工；

9.2.2.4 相邻支撑之间的水平距离应满足土方工程的施工要求，通常不宜小于 4 米，当采用机械挖土时，不宜小于 8 米；

9.2.2.5 基坑平面形状有向内凸出的阳角时，应在阳角的两个方向上设置支撑点，如图 9.2.3(1)。必要时应对阳角处的坑外地基进行加固处理；

9.2.2.6 沿围檩长度方向水平支撑点的间距，对于钢围檩不宜大于 4 米，对于混凝土围檩不宜大于 9 米；

9.2.2.7 围护墙为地下连续墙，且在每个槽段的墙体上有不少于 2 个支撑点时，可用设置在墙体内的暗梁代替围檩。

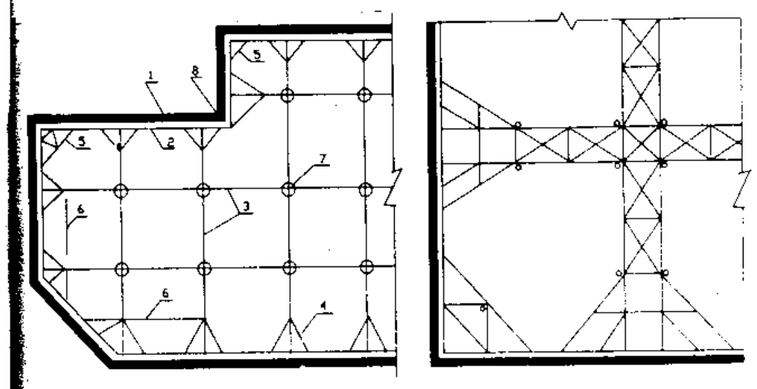
9.2.3 钢结构支撑的平面布置宜采用下列方式：

9.2.3.1 通常情况下优先采用相互正交、均匀布置的对撑或对撑桁架体系，见图 9.2.3；

9.2.3.2 对于长条形基坑宜采用单向布置的对撑或桁架式对撑体系，在基坑四角设置水平角撑；

9.2.3.3 相邻支撑之间的水平距离较大时，应在支撑端部两侧与围檩之间设置八字撑。八字撑宜左右对称，长度不大于 9 米，与

围檩夹角宜为 60 度。当支撑端部的八字撑不对称，且轴向力相差较大时，应在相邻主支撑的八字撑节点间增设水平连系杆；



(1)对撑体系　　(2)桁架式对撑体系

图 9.2.3　钢支撑平面布置

1.围护墙　2.围檩　3.水平支撑　4.八字撑
5.角撑　6.连系杆　7.立柱　8.阳角

9.2.4 混凝土结构支撑的平面布置除 9.2.3 的方式外，还可采用下列布置方式：

9.2.4.1 平面形状比较复杂的基坑，可采用边桁架和对撑或角撑组成的平面支撑体系，见图 9.2.4；

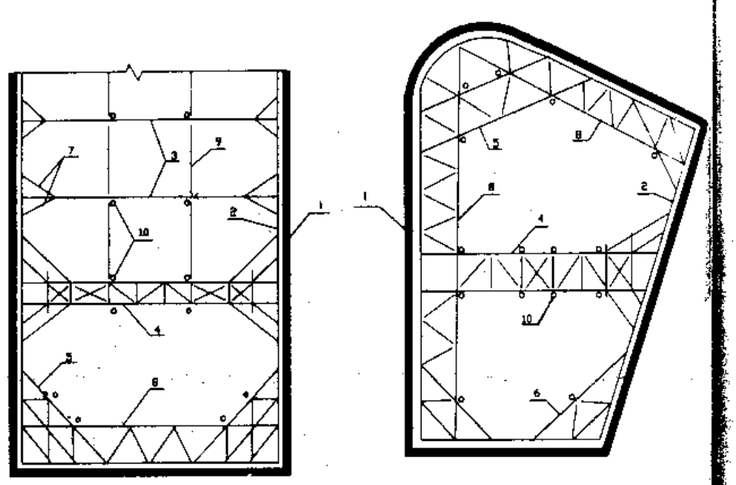


图 9.2.4　混凝土支撑的平面布置

1.围护墙　2.围檩　3.对撑　4.对撑桁架　5.斜撑桁架
6.斜角撑　7.八字撑　8.边桁架　9.连系杆　10.立柱

9.2.4.2　在支撑平面中需要留设较大作业空间时，宜采用边桁架和对撑桁架或斜撑桁架组成的平面支撑体系，对规则的方形基坑可采用斜撑桁架组成的平面支撑体系或内环形平面支撑体系；

9.2.4.3　基坑平面为圆弧状时，水平支撑宜辐射形布置，并适当加强圆弧段拱脚处的支撑和围护结构构件。

9.2.5　平面支撑体系的竖向布置应符合下列规定：

9.2.5.1　在竖向平面内，水平支撑的层数应根据基坑开挖深

度、土方工程施工、围护结构类型及工程经验，由围护结构的计算工况确定；

9.2.5.2　上、下各层水平支撑的轴线应尽量布置在同一竖向平面内。竖向相邻水平支撑的净距不宜小于 3 米，当采用机械下坑开挖及运输时不宜小于 4 米；

9.2.5.3　设定的各层水平支撑标高，不得妨碍主体工程施工；

9.2.5.4　通常情况下应利用围护墙顶的水平圈梁兼作第一道水平支撑的围檩。当第一道水平支撑标高低于墙顶圈梁时，可另设围檩，但不宜低于自然地面以下 2.5 米；

9.2.5.5　当为多层支撑时，最下一层支撑的标高在不影响主体结构底板施工的条件下，应尽可能降低；

9.2.5.6　立柱应设置在纵横向支撑的交点处或桁架式支撑的节点处，并应避开主体工程梁、柱及承重墙的位置；

9.2.5.7　立柱的间距应根据支撑构件的稳定和竖向荷载的大小确定，但不宜超过 15 米。立柱下端应支承在较好的土层上，开挖面以下的埋入长度应满足支撑结构对立柱承载力和变形的要求。

9.2.6　对于平面尺度大的基坑，当符合下列条件时，可采用竖向斜撑体系，见图 9.2.6：

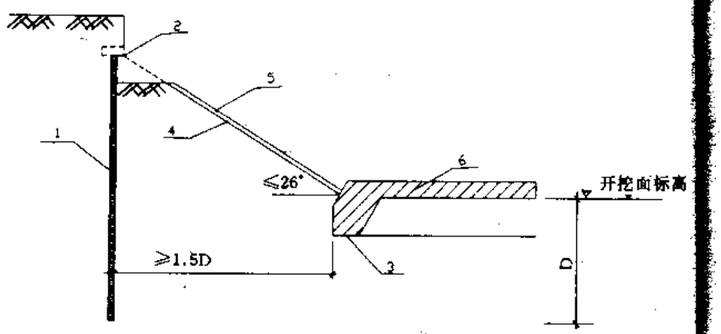


图 9.2.6　竖向斜撑体系

1. 围护墙　2. 围檩　3. 斜撑基础
4. 斜撑　　5. 土堤　6. 压杆或底板

9.2.6.1　基坑开挖深度不大于 7 米；

9.2.6.2　场地的岩土工程条件能满足基坑内预留土堤在斜撑安装和受力前的边坡稳定；

9.2.6.3　斜撑基础具备可靠的水平和垂直承载能力。

9.2.7　竖向斜撑体系通常由斜撑、围檩和斜撑基础等构件组成。当斜撑长度大于 15m 时，宜在斜撑中部设置立柱。

9.2.8　竖向斜撑宜均匀对称布置，水平间距不宜大于 6m。

9.2.9　斜撑宜采用型钢或组合型钢截面。斜撑坡度不宜大于

1:2，并与基坑内土堤的稳定边坡相一致，同时斜撑基础与围护墙之间的水平距离也不宜小于围护墙插入深度的 1.5 倍。斜撑与围檩及斜撑与基础之间的连接，以及围檩与围护墙之间的连接应满足斜撑水平分力和垂直分力的传递要求。

9.3　内支撑体系的荷载及内力计算

9.3.1　作用在支撑结构上的水平荷载应包括由水、土压力和基坑外的地面荷载及相邻建(构)筑物引起的围护墙侧向压力、支撑预加压力及温度变化的影响等。这些影响可由支护结构的静力特征确定。

9.3.2　作用在支撑结构上的竖向荷载应包括结构自重和支撑顶面的施工活荷载。通常情况施工活荷载取 4kPa。

9.3.3　确定支撑结构的计算模型时可采用以下假定：

9.3.3.1　计算模型的尺寸取支撑构件的中心距；

9.3.3.2　现浇混凝土支撑构件的抗弯刚度，按弹性刚度乘以折减系数 0.6；

9.3.3.3　钢支撑采取分段拼装或拼接点的构造不能满足截面等强度连接要求时，按铰接考虑。

9.3.4　支撑构件的内力和变形计算可按如下方法确定：

9.3.4.1　对于平面形状较为复杂的支撑体系，宜按空间杆系模型计算，计算模型的边界条件按以下原则确定：

(1)　在支撑与围檩、立柱的节点处，以及围檩转角处设置竖向铰支座或弹簧；

(2)　基坑四周与围檩长度方向正交的水平荷载为不均匀分布，或者支撑刚度在平面内分布不均匀，可在适当位置上设置避免模型整体平移或转动的水平约束。

9.3.4.2　对于平面形状规则，相互正交的支撑体系，其内力和变形可按以下简化方法确定：

（1） 支撑轴向力，按围护墙沿围檩长度方向的水平反力乘以支撑中心距计算。当支撑和围檩斜交时，按水平反力沿支撑长度方向的投影计算；

（2） 垂直荷载作用下，支撑的内力和变形按单跨或多跨梁计算，计算跨度取相邻立柱的中心距；

（3） 立柱轴向力，取纵横向支撑的支座反力之和；

（4） 混凝土围檩在水平力作用下的内力和变形按多跨连续梁计算，计算跨度取相邻支撑点的中心距。钢围檩的内力和变形宜按简支梁计算，计算跨度取相邻水平支撑的中心距；

（5）当水平支撑与围檩斜交时，尚应考虑水平力在围檩长度方向引起的轴向力作用。

9.4 支撑构件截面承载力计算和变形规定

9.4.1 支撑构件的截面承载力应根据围护结构在各个施工阶段的荷载作用效应包络图进行计算。

9.4.2 围檩的截面承载力计算应符合下列规定：

9.4.2.1 通常情况，可按水平方向的受弯构件计算。当围檩与水平支撑斜交或围檩作为边桁架的弦杆时，应按偏心受压构件计算，围檩的受压计算长度取相邻支撑点的中心距。钢结构围檩，当拼接点按铰接考虑时，其受压计算长度宜取相邻支撑点中心距的1.5倍；

9.4.2.2 围檩构造符合9.5.4.3及9.5.7.4的要求时，可不验算竖向平面内的截面承载力；

9.4.2.3 现浇混凝土围檩的支座弯矩，可乘以0.8～0.9的调幅系数折减，但跨中弯矩应相应增加。

9.4.3 支撑的截面承载力计算应符合以下规定：

9.4.3.1 支撑应按偏心受压构件计算。截面的偏心弯距除竖向荷载产生的弯矩外，尚应考虑轴向力对构件初始偏心距的附加

弯距。构件截面的初始偏心距可取支撑计算长度的2～3/1000，对于混凝土支撑不宜小于20mm，对于钢结构支撑不宜小于40mm；

9.4.3.2 支撑节点符合9.5.5.3及9.5.8.4的构造要求时，支撑的受压计算长度按下列规定确定：

（1） 在竖向平面内取相邻立柱的中心距；

（2） 在水平面内取与计算支撑相交的横向水平支撑的中心距；

（3） 钢结构支撑，当纵、横向支撑不在同一平面内相交时，平面内的受压计算长度取与计算支撑相交的相邻横向水平支撑中心距的1.5～2.0倍；

（4） 当纵横向水平支撑的交点处未设置立柱时，支撑的受压计算长度按以下规定确定：在竖向平面内，现浇混凝土支撑取支撑全长，钢结构支撑取支撑全长的1.2倍；在水平面内取与计算支撑相交的相邻横向水平支撑或连系杆中心距的1.0～1.2倍。

9.4.3.3 斜角撑和八字撑的受压计算长度在两个平面内均取支撑全长。当斜角撑中间设有立柱或水平连系杆时，其受压计算长度可参照9.4.3.2取用；

9.4.3.4 现浇混凝土支撑在竖向平面内的支座弯距可乘以0.8～0.9的调幅系数折减，但跨中弯距应相应增加；

9.4.3.5 支撑结构内力计算未考虑支撑预压力或温度变化的影响时，截面验算时的支撑轴向力宜分别乘以1.1～1.2增大系数。

9.4.4 立柱截面承载力计算应符合下列规定：

9.4.4.1 立柱截面承载力应按偏心受压构件计算。开挖面以下立柱的竖向和水平承载力按单桩承载力验算；

9.4.4.2 立柱截面的弯距应包括下列各项：

（1） 竖向荷载对立柱截面形心的偏心弯距；

（2） 支撑轴向力1/50的横向力对立柱产生的弯距；

(3) 土方开挖时，作用于立柱的侧向土压力引起的弯距。

9.4.4.3 立柱受压计算长度取竖向相邻水平支撑的中心距，最下一层支撑以下的立柱取该层支撑中心线至开挖面以下5倍立柱直径(或边长)处的距离。

9.4.5 支撑构件的变形应符合下列规定：

9.4.5.1 支撑构件的变形可根据构件刚度，按结构力学的方法计算。混凝土支撑构件的抗弯刚度可按(9.4.5.1)式计算：

$$B_L = 0.6E_c J \qquad (9.4.5.1)$$

式中 B_L——混凝土支撑构件的抗弯刚度(N/mm^2)；

E_c——混凝土弹性模量(N/mm^2)；

J——支撑构件截面惯性矩(mm^4)，对于混凝土桁架取等效惯性矩。

9.4.5.2 支撑构件在竖向平面内的挠度宜小于其计算跨度的1/600～1/800；

9.4.5.3 围檩、边桁架及主支撑构件的水平挠度宜小于其计算跨度1/1000～1/1500。

9.5 支撑结构的构造要求

9.5.1 支撑构件的长细比应不大于75，连系构件的长细比应不大于120；立柱的长细比应不大于25。

9.5.2 各类钢结构支撑构件的构造除符合本节的有关规定外，尚应符合国家现行《钢结构设计规范》(GBJ17－88)的有关规定。构件长度的拼接宜采用高强螺栓连接或焊接，拼接点的强度不应低于构件的截面强度。格构式的组合构件，不应采用钢筋作为缀条。

9.5.3 各类现浇混凝土支撑构件的构造除符合本节的有关规定外，尚应符合国家现行《混凝土结构设计规范》(GBJ10－89)的有关规定。混凝土的强度等级不应低于C20。

9.5.4 钢围檩的构造应符合下列规定：

9.5.4.1 钢围檩的截面宽度应大于300mm，可以采用H型钢，工字钢或槽钢以及它们的组合截面；

9.5.4.2 钢围檩的现场拼装点位置应尽量靠近支撑点，并不应超过围檩计算跨度的三分点以外，围檩分段的预制长度不应小于支撑间距的两倍。现场拼装节点的强度，应符合9.5.2的规定；

9.5.4.3 钢围檩安装前，应在围护墙上设置安装牛腿。安装牛腿可用角钢或直径不小于25mm的钢筋与围护墙主筋或预埋件焊接组成钢筋牛腿，其间距不宜大于2m。牛腿焊缝应由计算确定；

9.5.4.4 钢围檩与混凝土围护墙之间应留设宽度不小于60mm的水平向统长空隙，其间用强度等级不低于C30的细石混凝土填嵌；

9.5.4.5 支撑与围檩斜交时，在围檩与围护墙之间应设置由计算确定的剪力传递构造。此时嵌填混凝土的宽度应满足剪力传递构件的锚固要求；

9.5.4.6 基坑平面的转角处，当纵横向围檩不在同一平面相交时，其节点构造应满足两个方向围檩端部的相互支承要求。

9.5.5 钢支撑的构造应符合下列规定：

9.5.5.1 钢支撑的截面可以采用H型钢、钢管、工字钢或槽钢，以及它们的组合截面；

9.5.5.2 水平支撑的现场安装节点应尽量设置在纵横向支撑的交汇点附近。相邻两榀横向(或纵向)水平支撑间的纵向(或横向)支撑的安装节点数不宜多于两个。节点强度应符合9.5.2条的规定；

9.5.5.3 纵向和横向支撑的交汇点宜在同一标高上连接。当纵横向支撑采用重叠连接时，其连接构造及连接件的强度应满足支撑在平面内的强度和稳定要求。

9.5.6 钢支撑与钢围檩的连接可采用焊接或螺栓连接。节点处支撑与围檩的翼缘和腹板均应加焊加劲板，加劲板的厚度不小于

10mm，焊缝高度不小于6mm。

9.5.7 现浇混凝土支撑和围檩的构造应符合下列规定：

9.5.7.1 混凝土支撑体系应在同一平面内整浇。基坑平面转角处的纵、横向围檩应按刚节点处理；

9.5.7.2 支撑的截面高度（竖向截面尺寸）除满足9.5.1的长细比要求外，不应小于其竖向平面计算跨度的1/20。围檩的截面高度（水平向截面尺寸）不应小于其水平向计算跨度的1/8，截面宽度不应小于支撑的截面高度；

9.5.7.3 支撑和围檩的纵向钢筋直径不宜小于16mm，沿截面四周纵向钢筋的最大间距应小于200mm。箍筋直径不应小于8mm，间距不应大于250mm。支撑的纵向钢筋在围檩内的锚固长度不宜小于30倍钢筋直径；

9.5.7.4 混凝土围檩与围护墙之间不应留水平间隙。在竖向平面内围檩可采用吊筋与墙体连接，吊筋的间距一般不大于1.5m，直径应根据围檩及水平支撑的自重，由计算确定；

9.5.7.5 当混凝土围檩与地下连续墙之间需要传递水平剪力时，应在墙体上沿围檩长度方向预留由计算确定的剪力钢筋或剪力槽。

9.5.8 立柱的构造应符合下列规定：

9.5.8.1 基坑开挖面以上的立柱宜采用格构式钢柱，或钢管及H型钢立柱；

9.5.8.2 基坑开挖面以下的立柱宜采用直径不小于650mm的钻孔灌注桩（可利用工程桩），或与开挖面以上立柱截面相同的钢管及H型钢桩。当为钻孔灌注桩时，其上部钢立柱在桩内的埋入长度应不小于钢立柱长边的4倍，并与桩内钢筋笼焊接；

9.5.8.3 立柱桩在基坑开挖面以下的埋入长度除符合9.2.5.7的要求外，并宜大于基坑开挖深度的2倍，且穿过淤泥或淤泥质土层；

9.5.8.4 立柱与水平支撑的连接可采用铰接构造，但连接件在竖向和水平方向的连接强度应大于支撑轴向力的1/50。当采用钢牛腿连接时，钢牛腿的强度和稳定应由计算确定。

9.6 支撑结构的施工要点

9.6.1 支撑结构的安装与拆除顺序，应同基坑支护结构的设计工况相一致。

9.6.2 支撑安装应符合下列规定：

9.6.2.1 在基坑竖向平面内，土方施工应严格遵守分层开挖、先支撑后开挖的原则；

9.6.2.2 土方分层分区开挖时，支撑可随开挖进度分区安装，但一个区段内的支撑应形成整体；

9.6.2.3 支撑安装应采用开槽架设。当支撑顶面需运行挖土机械时，支撑顶面的安装标高宜低于坑内土面20～30cm，钢支撑与基坑土之间的空隙应用粗砂回填。并在挖土机及土方车辆的通道处架设道板。

9.6.3 现浇钢筋混凝土支撑必须在混凝土强度达到设计强度80%以上，才能开挖支撑以下的土方。采用爆破法拆除支撑结构前，必须对周围环境和主体结构采取有效的安全防护措施。

9.6.4 利用主体结构换撑时，应符合下列要求：

9.6.4.1 主体结构的楼板或底板混凝土强度达到设计强度的80%以上；

9.6.4.2 在主体结构与围护墙之间设置可靠的换撑传力构造；

9.6.4.3 在主体结构楼盖局部缺少部位，应在适当部位设置临时支撑系统。支撑截面应按换撑传力要求，由计算确定；

9.6.4.4 当主体结构的底板和楼板分块施工或设置后浇带时，应在分块或后浇带的适当部位设置可靠的传力构件。

9.6.5 立柱穿过主体结构底板以及支撑结构穿越主体结构地下

室外墙的部位，必须采用可靠的止水构造措施。

9.6.6 钢支撑预加压力的施工应符合下列要求：

9.6.6.1 千斤顶必须有计量装置；

9.6.6.2 施加预压力的机具设备及仪表应由专人使用和管理，并定期维护校验，正常情况下每半年校验一次，使用中发现有异常现象应重新校验；

9.6.6.3 支撑安装完毕后，应及时检查各节点的连接状况，经确认符合要求后方可施加预压力，预压力的施加宜在支撑的两端同步对称进行；

9.6.6.4 预压力应分级施加，重复进行。一般情况下，预压力控制值不宜小于支撑设计轴力的50%，但也不宜过高。当预压力控制值取用支撑设计轴力的80%以上时，应防止围护结构的外倾、损坏和对坑外环境的影响；

9.6.6.5 预压力加至设计要求的额定值后，应再次检查各连接点的情况，必要时对节点进行加固，待额定压力稳定后予以锁定；

9.6.6.6 支撑端部的八字撑可在主支撑施加压力后安装。

9.6.7 支撑安装的容许偏差应符合下列规定：

9.6.7.1 钢筋混凝土支撑截面尺寸：+8mm，-5mm；

9.6.7.2 支撑中心标高及同层支撑顶面的标高差：±30mm；

9.6.7.3 支撑两端的标高差：不大于20mm及支撑长度的1/600；

9.6.7.4 支撑挠曲度：不大于支撑长度的1/1000；

9.6.7.5 立柱垂直度：不大于基坑开挖深度的1/300；

9.6.7.6 支撑与立柱的轴线偏差：不大于50mm；

9.6.7.7 支撑水平轴线偏差：不大于30mm。

9.7 土层锚杆支撑系统设计与施工

9.7.1 板式支护结构，当基坑外地层条件、环境条件许可时，基坑

开挖可采用土层锚杆系统的支撑体系。

9.7.2 灌浆土层锚杆系统由锚杆(索)、自由段、锚固段及锚头、垫块等组成，如图9.7.2。作为基坑支护的锚杆，使用年限一般在两年以内，可按临时性锚杆设计。

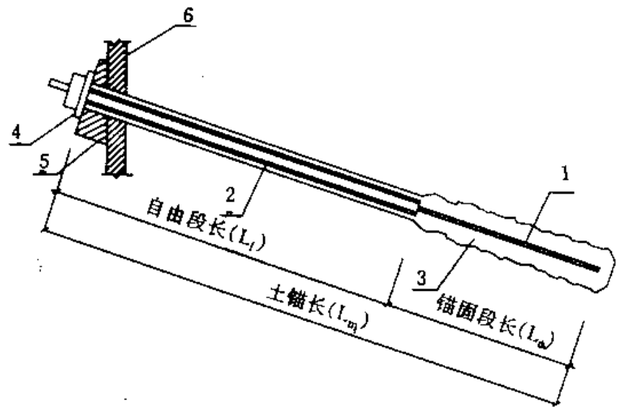


图9.7.2 灌浆土层锚杆系统

1—锚杆(索) 2—自由段 3—锚固段

4—锚头 5—垫块 6—围护结构

9.7.3 土层锚杆的倾角，根据地层分布、环境要求及施工工艺确定，以15°～35°为宜。

9.7.4 锚固段宜设置于粘性土、粉性土及砂土地层中，对于淤泥质土层应通过试验确定。锚固段型式有圆柱型、扩大端部型及连续球型，见图9.7.4。

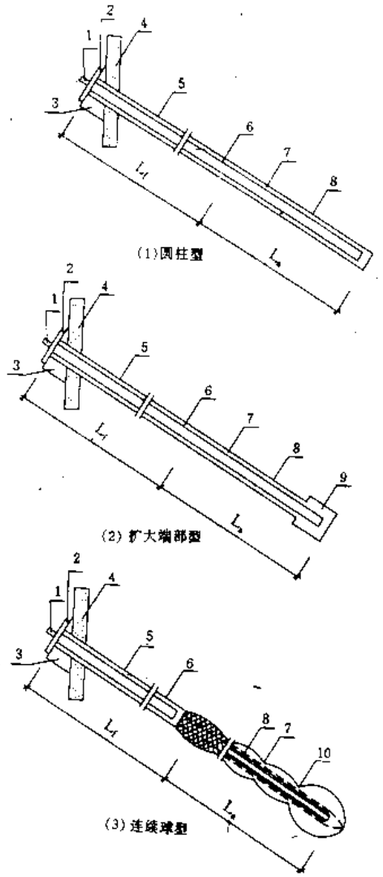


图 9.7.4 锚固段型式

1.锚具 2.承压板 3.台座 4.围护结构
5.钻孔 6.注浆防腐处理 7.预应力筋
8.圆柱型锚固体 9.端部扩大头 10.连续球型
L_f.自由段长度 La.锚固段长度

9.7.5 土锚支护设计包括锚杆(索)截面选择、锚固段长度、截面及自由段长度计算、锚头及围檩设计,稳定性验算等。当土锚使用时间超过两年或所处环境有腐蚀性时,须进行防腐设计。

9.7.6 土层锚杆(索)截面积按(9.7.6)式计算。

$$A = \frac{K_{mj} N_t}{f_{ptk}} \qquad (9.7.6)$$

式中 A——锚杆或锚索的截面积(m^2);

N_t——土层锚杆(索)设计轴向拉力(kN);

f_{ptk}——锚杆(索)材料的设计标准强度值(kPa);

K_{mj}——安全系数,取 $K_{mj}=1.3$。

9.7.7 土层锚杆(索)总长度按(9.7.7)式计算。

$$Lm = La + L_f \qquad (9.7.7)$$

式中 Lm——锚杆(索)总长度(m);

La——锚固段长度,由计算确定(m);

L_f——自由变形段长度(m),应取超过滑裂面0.5~1.0m的长度。

9.7.8 圆柱型水泥压浆锚杆的锚固段长度 La 按(9.7.8)式计算。

$$La = \frac{K_{ml} N_t}{\pi d_m \tau} \qquad (9.7.8)$$

式中 d_m——锚固段直径,取钻头直径的1.2倍(m);

K_{ml}——锚固安全系数,取 $K_{ml}=1.5$;当使用年限超过两年或周围环境要求较高时,可取 $K_{ml}=2.0$;

τ——锚固体与土层之间的剪切强度,$\tau = C + \sigma \mathrm{tg}\delta$;

C——土体之内聚力(kPa);

σ——锚固段中点的上覆正压力(kPa);

δ——锚固段与土体之间的摩擦角,通常取

$$\delta \approx (\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2})\phi_。$$

当采用二次压力注浆工艺时，取 $\delta = \phi$，其中 ϕ 为土体的固结快剪的内摩擦角峰值，锚固段穿过二层及二层以上土层时，取加权平均值。表 9.7.8 的试验值可供估算类似土层锚固段长度时选用。

锚固体与土层的极限摩阻力试验值　　表 9.7.8

土层名称	埋藏深度(m)	极限摩阻力 τ(kPa)
褐黄色粉质粘土层	0～3.0	33
灰色粉质粘土层	1.5～7.5	43
灰色淤泥质粘土层	3.0～6.5	22
灰色粉质粘土层	6.5～14.0	22～40
灰色粘土层	14.0～20.0	32
灰色粉砂层	20 以下	64

9.7.9　端部扩大型锚杆的锚固段长度 La，按(9.7.9)式计算。

$$L_a = \frac{K_{mi}(N_t - R_t)}{\pi d_m \tau} + L_1 \qquad (9.7.9)$$

式中　L_1——扩大端部的长度(m)；

R_t——扩大端部的抗拔能力(kN)，

$$R_t = \frac{\pi}{4}(d_m^2 - d)\beta_o \cdot \tau + \pi d_1 L_1 \tau;$$

d——锚杆直径(m)；

d_1——扩大端部的直径(m)；

β_o——扩大端部承载力系数，取 $\beta_o = 9.0$。

9.7.10　土层锚杆围护墙的稳定性验算按下列规定进行：

9.7.10.1　上层锚杆围护墙整体稳定性验算按 7.1.14 的规定进行；

9.7.10.2　单层锚杆围护墙按图 9.7.10.2 验算深层滑移的稳定性，验算步骤如下：

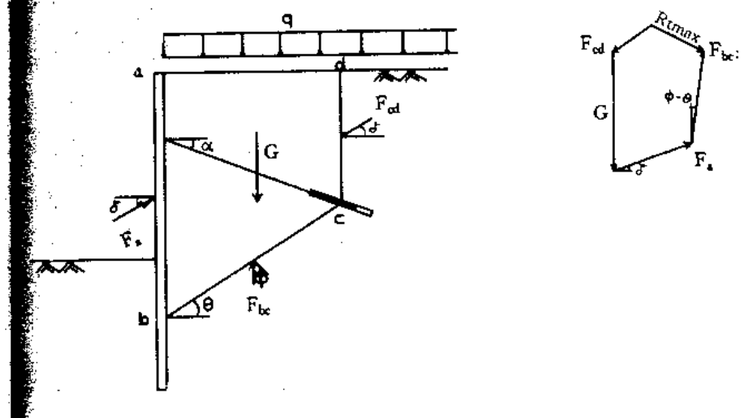


图 9.7.10.2　单层锚杆深部破裂的稳定性计算

G——滑动土体的重量(包括地面超载)、F_n——作用于围护结构上主动土压力的合力、F_{cd}——作用于 cd 面上的主动土压力合力、F_{bc} - bc 面上的反力的合力、ϕ——土体的内摩擦角 δ——围护结构与土体的摩擦角、θ——深部滑移面与水平面的夹角、α——锚杆倾角

(1)　通过锚固段中点 c 与围护墙的假想支承点 b 连一直线，再过 c 点作竖直线交地面于 d 点，确定土体稳定性验算的范围；

(2)　力系验算，包括土体自重及地面超载 G，围护墙主动土压

力的合力 Fa，cd 面上体主动土压力的合力 F_{cd}，bc 面上的支持力 F_{bc}；

(3) 作力多边形，求出力多边形的平衡力，即锚杆拉力 R_{tmax}；

(4) 按(9.7.10.2)式计算深层滑移稳定性安全系数 K_{ms}：

$$\frac{R_{tmax}}{N_t} \geqslant K_{ms} \qquad (9.7.10.2)$$

式中 N_t——土层锚杆设计轴向拉力(kN)；

K_{ms}——深层稳定安全系数$K_{ms}=1.2\sim1.5$，一级基坑取1.5。

9.7.10.3 两层及两层以上土层锚杆围护墙深层滑移稳定性的验算见图 9.7.10.3，其分析方法同单层锚杆体系，在单元体内存在 bc、be 及 bec 三个可能滑动面，分别利用力多边形求出锚杆所需要的最大拉力 $R_{t(bc)max}$、$R_{t(be)max}$、$R_{t(bec)max}$，相应的安全系数均不应小于1.2~1.5；

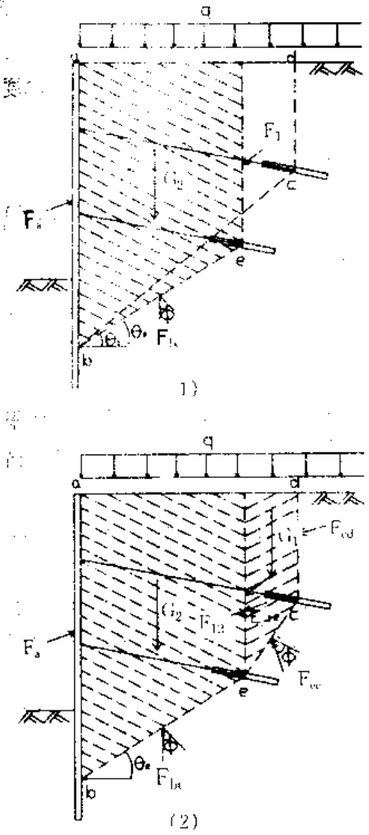


图 9.7.10.3 双层锚杆深部破裂稳定性验算

9.7.10.4 当锚固段的中点低于基坑开挖面时，可不必进行深层滑移稳定性验算；

9.7.10.5 土层锚杆围护墙属下列情况之一时，需进行竖向稳

定性验算：

（1） 土层锚杆的倾角大于30°时；

（2） 围护结构为钢筋混凝土板桩或地下连续墙，插入深度较小，且下卧层非常软弱时；

竖向稳定性按(9.7.10.5)式计算：

$$\frac{Q}{N_v} \geqslant K_{mv} \qquad (9.7.10.5)$$

式中 N_v——锚杆拉力 N_t 的竖向分力与墙体自重之和(kN)；

Q——墙体与土层之间的摩阻力与墙体端部承载力之和(kN)；

K_{mv}——安全系数，$K_{mv}=1.2$。

9.7.11 锚头连接应牢固可靠，不松动，装拆方便并便于重复张拉。常用的锚头型式有螺栓型(适用于锚杆)、JM12 系列夹片锚具等(适用于锚索)。

9.7.12 锚杆材料宜选用钢绞线、高强钢丝及高强变形螺纹钢筋。

9.7.13 围檩设计见 9.4.2。

9.7.14 土层锚杆钻孔定位误差应小于50mm，孔斜误差小于±1°，孔斜偏离轴线不大于3%的钻孔深度，钻孔深度通常比锚杆长度增加 20～40cm。

9.7.15 锚杆的沉放应有定位装置，以保证锚固段有足够的保护层厚度。锚杆的自由段应与注浆锚固体隔离。

9.7.16 锚固段注浆应分两次进行，第一次灌注水泥砂浆，第二次应在第一次注浆初凝后进行，压注纯水泥浆，注浆压力不大于上覆压力的2倍，也不大于 8.0MPa。

9.7.17 注浆浆液配比(重量比)，可按表 9.7.17 采用：

土层锚杆注浆浆液配合比(重量比) **表 9.7.17**

注浆次序	浆液	425 硅酸盐水	水	砂(d<0.5mm)	早强剂
第一次	水泥砂浆	1	0.4	0.3	0.035
第二次	水泥浆			-	

9.7.18 锚固体强度达到75%的设计强度时，方可进行张拉施加预应力，符合要求后锁定。

9.7.19 锚杆强度的验收试验宜与施加预应力结合进行。验收试验应分级加荷到设计荷载的 1.2 倍，并绘制 P－S 曲线、S－t 曲线。锁定荷载宜取设计荷载的 0.8 倍，并根据锚杆内应力损失情况，重复张拉补足预应力。

9.7.20 土层锚杆正式施工前应按下列规定进行基本试验：

9.7.20.1 基本试验的数量，不少于施工工程锚杆的3%，且不少于3根；

9.7.20.2 基本试验应包括：土锚的极限承载力、土锚的荷载～位移曲线(P－S 曲线)、位移随时间变化曲线(S－t 曲线)、土锚的弹性变形、塑性变形、锚头的残余变形量等；

9.7.20.3 基本试验应按分级和循环加荷的方法进行，分级及循环次序见表 9.7.20.3。临时性土锚基本试验的最终加载为设计荷载的 1.5 倍，永久性锚杆基本试验的最终加载为设计荷载的 2.0 倍。

9.7.21 埋置于粘土地层的永久性锚杆须进行蠕变或松弛试验，试验要求及步骤见《土层锚杆设计与施工规范》(CECS22:90)。

基本试验步骤　　表 9.7.20.3

次序	张拉荷载分级	观察时间(min)		备注
		砂性土	粘性土	
1	$0.10N_t$	5	5	基准荷载
2	$0.25N_t$	5	5	
3	$0.50N_t$	5	5	
4	$0.75N_t$	5	5	第一荷载循环
5	$0.50N_t$	5	5	
6	$0.75N_t$	5	5	
7	$1.00N_t$	5	10	第二荷载循环
8	$0.75N_t$	5	5	
9	$0.50N_t$	5	5	
10	$0.75N_t$	5	5	
11	$1.00N_t$	5	10	
12	$1.20N_t$	10	15	
13	$1.40N_t$	15	20	
14	$1.50N_t$	15	20	
15	$1.00N_t$	5	10	
16	$0.50N_t$	5	5	
17	$0.10N_t$	–	–	量取弹性与残余变形

10　管道沟槽开挖工程

10.1　一般规定

10.1.1　本章主要包括各类市政管线和污水涵管埋设开挖时的各种侧向支护结构的设计原则和施工要点。

10.1.2　市政开槽埋设应按管线布置图确定开挖深度，方型涵管的开槽宽度由外包尺寸决定，圆形管道开挖沟槽底宽度不小于表10.1.2所列的标准值。

圆形管道开挖沟槽底宽度标准值　　表 10.1.2

槽底宽度(mm) / 深度(m) 管线(mm)	<2.00	2.00～2.49	2.50～2.99	3.00～3.49	3.50～3.99	4.00～4.49	4.50～4.99	5.00～5.49	5.50～5.99	6.00～6.50	>6.50
φ230	1400	1400	1400	1400	1400						
φ300	1450	1450	1450	1450	1450	1450					
φ450	1750	1750	1750	1750	1750	1750					
φ600	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950			
φ800	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200			
φ1000		2450	2450	2450	2450	2450	2550	2550	2550		
φ1200		2650	2650	2650	2650	2650	2750	2750	2750	2750	
φ1350			2800	2800	2800	2800	2900	2900	2900	2900	3000
φ1500			3000	3000	3000	3000	3100	3100	3100	3100	3200
φ1650			3150	3150	3150	3150	3250	3250	3250	3250	3350
φ1800			3350	3350	3350	3350	3450	3450	3450	3450	3550
φ2000				3650	3650	3650	3750	3750	3750	3750	3850
φ2200				3850	3850	3850	3850	3950	3950	3950	4050
φ2400					4100	4110	4200	4200	4200	4200	4300
φ2700						4600	4700	4700	4700	4700	4800
φ3000							4900	4900	4900	4900	5000

10.1.3 各种侧向支护结构的适用范围如下：

10.1.3.1 放坡开挖的开挖深度一般在3m之内，对粘性土地基可以不用井点降水。对有砂性土夹层的地基且开挖深度超过2.5m时，应采用井点降水；

10.1.3.2 横列板系统的支护开挖深度宜在3m之内，通常不应超过5m，开挖期应配备井点降水；

10.1.3.3 钢板桩支护的开挖深度宜不小于5m。适用于周围环境允许打、拔钢板桩和配置井点降水的地段，对一、二级工程，应采取相应的环境保护措施；

10.1.3.4 混凝土板桩支护常用于因环境保护的需要不能起拔、回收钢板桩的工程。在现浇管道或箱涵工程中，混凝土板桩也可作为永久性结构的一部分；

10.1.3.5 树根桩支护常用于因施工环境的限制而无条件采用其它方法进行施工的场合，且可不配置井点降水。开挖深度不宜超过6m；

10.1.3.6 水泥土复合式挡土结构常用于无条件在沟槽外采用井点降水或不宜用钢板桩的工程，开挖深度可达9m。

10.2 设计要点

10.2.1 本节所列设计方法均以二级工程为标准，对一级工程和三级工程应将安全系数分别乘以1.2和0.8的系数。

10.2.2 在施工环境复杂、安全系数达不到所规定的标准时，可按管节长度分段开挖埋设，控制每分段长度的方法适当降低安全系数，但不得低于规定标准值的80%。

10.2.3 各种形式的支护设计应符合下列原则：

10.2.3.1 放坡开挖

（1） 对粘性土地基，当开挖深度小于3m时，边坡坡度可按1:0.75至1:1的范围内选择。对砂性土地基，当开挖深度大于2.5m时，宜先井点降水，后放坡开挖；

（2） 开挖深度超过3m时，应采用圆弧滑动法验算边坡稳定，具体计算方法见第6章。计算时应按井点降水漏斗线确定地下水位。

10.2.3.2 横列板式支护

（1） 横列板系统包括横列板、竖板和支撑等构件，宜采用标准构件施工；

（2） 开挖深度大于3m时按(10.2.3.2)式验算坑底稳定性；

$$K_D = \frac{5.7C_u}{\gamma h_o + q} \qquad (10.2.3.2)$$

式中 C_u——坑底土体不排水抗剪强度(kPa)，采用现场十字板强度或参考室内不排水剪切强度指标；

γ——坑底以上土体天然重度，按土层厚度的加权平均值(kN/m^3)；

h_o——开挖深度(m)；

q——地面荷载(kPa)；

K_D——坑底稳定安全系数，取$K_D \geqslant 1.2$。

（3） 采用井点降水时，其降水深度应达到坑底0.5m以下；

（4） 坑底稳定安全度不足或不能满足环境保护要求时，应进行坑底加固。加固方法可采用搅拌桩、高压喷射注浆或劈裂注浆等，加固后的坑底土体强度可按复合地基确定。

10.2.3.3 钢板桩支护

（1） 钢板桩支护系统由钢板桩、围檩和支撑等构件组成，开挖深度小于6m时，宜选用成套标准构件施工。钢板桩的插入深度和开挖深度之比宜在0.5～0.8范围内选取，钢板桩和围檩可选用30～40号槽钢；

支撑在沿沟槽方向宜每隔2.5～3.0m布置一组。垂直方向

的间隔，宜按 1.5～2.0m 布置，槽底应设底撑，管顶位置的支撑与管顶的距离应不小于 20cm；

（2） 当开挖深度超过 6m 时，应进行支护系统的结构应力和强度计算，计算方法按第 7 章；

（3） 在开挖深度不超过 6m，井点降水系统工作良好的条件下，可不验算槽底的土体稳定。当开挖深度超出 6m，应按第 6 章采用圆弧滑动法验算坑底土体稳定，安全系数取 1.0。

10.2.3.4 混凝土板桩支护

（1） 土压力计算按图 6.2.2 的计算图式进行；

（2） 设计内容和要求按钢板桩；

（3） 混凝土板桩兼作主体结构的一部分时，应满足永久性结构的设计要求。

10.2.3.5 树根桩支护

（1） 树根桩支护墙体由一排连续的树根桩和混凝土顶梁组成。常用的桩径为 ϕ200～ϕ300，相邻桩间隙不宜大于 5cm，必要时可在墙后注浆增强其抗渗漏性能。树根桩的插入深度宜按 0.6～1.0 倍开挖深度确定；

（2） 树根桩桩身混凝土强度等级不应低于 C20；

（3） 支撑、围檩布置和槽底土体稳定计算按钢板桩支护；

（4） 土压力按图 6.2.2 的图式计算。桩身强度验算取管顶支撑点至土压力合力零点位置的桩长，按简支梁法计算跨中最大弯矩，桩内各断面按此最大弯矩配筋，计算图式见图 10.2.3.5。

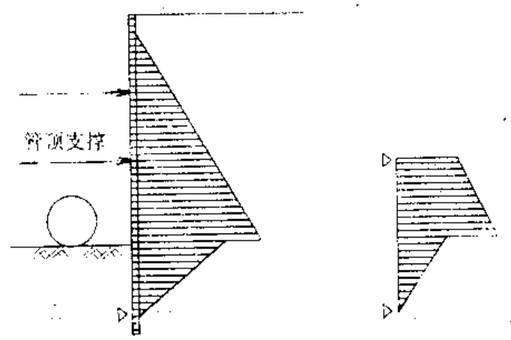


图 10.2.3.5 树根桩支护计算简图

10.2.3.6 水泥土复合挡土结构：

（1） 复合式支护结构由搅拌桩挡土墙、支撑位置的灌注桩（或树根桩）和支撑组成；

（2） 连续搭接搅拌桩围护墙的墙厚不小于 1.2m，为改善墙体的受力状态，也可设计成拱形。支撑宜沿沟槽纵向每隔 3～4.5m 设置，垂直方向宜按 1.5～2.5m 间距布置围檩。支撑位置通常采用两根 ϕ500～ϕ600，混凝土强度等级大于 C20 的灌注桩作为撑脚，桩顶设混凝土顶梁；

（3） 水泥土挡墙应验算墙身结构的拉应力和剪应力。灌注桩按连续梁法进行强度设计。支撑承受整跨土压力作用，按第 9 章进行设计；

（4） 整体稳定性验算按 10.2.3.3(3)的规定进行。

11 降水工程与土方开挖

11.1 一般规定

11.1.1 本章适用于无支护和有支护结构的基坑土方开挖及与之相适应的降水工程。

11.1.2 降水工程和土方开挖的设计，应综合考虑支护结构型式、埋入深度、地质、气候条件、环境要求、施工方法等因素。

11.1.3 基坑开挖前，应根据基坑设计和场地条件，编写土方开挖施工组织设计。挖土机械的通道布置、挖土顺序、土方驳运、建材堆放以及井点降水等，都应避免引起对围护结构、基坑内的工程桩、支撑立柱和周围环境等的不利影响。

11.1.4 机械挖土，应严格控制开挖面坡度和分层厚度，防止边坡和挖机下的土体滑动。

11.1.5 当基坑开挖深度大，坑底土层的垂直渗透系数也相应较大时，应验算坑底土体的抗隆起、抗管涌和抗承压水的稳定性。当承压含水层埋藏较浅时，应设置减压井，降低承压水头或采取其它有效的坑底加固措施。

11.1.6 基坑开挖和降水工程的设计，在特殊环境需要时，如在地铁、隧道等重要建(构)筑物附近，除作稳定性验算外，应按3.0.2条的规定执行。

11.1.7 土方开挖工程的施工，应实行信息管理和动态监测。

11.2 井点降水

11.2.1 井点降水应根据基坑规模、开挖深度、各土层渗透性能等合理选择井点类型、设备和降水方法。常用井点类型和适用范围见表11.2.1。

井点类型及适用条件　　表11.2.1

井点类型 \ 适用条件	渗透系数 (cm/s)	降低水位深度 (m)	上质类别
轻型井点及多层轻型井点	10^{-2}～10^{-5}	3～6 6～10(多级)	粉砂、砂质粉土、粘质粉土、含薄层粉砂的粉质粘土
喷射井点	10^{-3}～10^{-6}	8～20	粉砂、砂质粉土、粘质粉土、粉质粘土、含薄层粉砂夹层的粘土和淤泥质粘土
深井井点	$\geq 10^{-5}$	>10	粉砂、砂质粉土、含薄层粉砂的粉质粘土、富含薄层粉砂的粘土和淤泥质粘土
电渗井点	$<10^{-6}$	根据选用的井点确定	粉质粘土、粘土

11.2.1.1 粘性土地基中，基坑开挖深度小于3m时，可采用重力排水；开挖深度超过3m时，宜采用井点降水；

11.2.1.2 砂性土地基中，基坑开挖深度超过2.5m时，宜采用井点降水；

11.2.1.3 降水深度超过6m时，宜采用多级轻型井点或喷射井点降水，也可采用深井井点降水，或在深井井点中加设真空泵的综合降水方法；

11.2.1.4 放坡开挖或无隔水帷幕围护的基坑，降水井点宜设

置在基坑外；有隔水帷幕围护的基坑，降水井点宜设置在基坑内，当环境许可或设计有要求时也可设置在坑外。隔水帷幕的设置深度应大于坑内降水深度，并进入到不透水土层；

11.2.1.5 基坑内降水，在基坑开挖过程中，降水深度应深于开挖面0.5～1.0m以下，开挖至坑底时，降水深度应在基坑底以下0.5～1.0m之间；

11.2.1.6 井点降水应确保砂滤层施工质量，做到出水常清。对出水混浊的井点管应予更换或停闭；

11.2.1.7 为减少井点降水对周围环境的影响，可在降水管与受保护对象之间设置回灌井点或回灌砂井、砂沟。

11.2.2 基坑外降水应按(11.2.2)式验算井点降水的影响范围，无资料时，可按轻型双排井点内侧1:10、单排井点两侧1:4的降水水力坡度估计。

$$R = 2 \cdot \triangle h \sqrt{h_w \cdot k} \qquad (11.2.2)$$

式中 R——影响半径(m)；

$\triangle h$——水位降低深度(m)；

h_w——含水层计算厚度(m)；

k——土层渗透系数(m/d)。

11.2.3 井点降水引起周围地面的沉降量可按(11.2.3)式计算。

$$S = \sum \frac{\alpha_{i(1-2)} \cdot \triangle p_i \cdot h_i}{1 + e_{oi}} \qquad (11.2.3)$$

式中 S——沉降量(cm)；

$\alpha_{i(1-2)}$——第i土层100～200kPa的压缩系数(kPa^{-1})；

e_{oi}——第i土层的初始孔隙比；

$\triangle p_i$——第i土层因降水产生的自重附加应力(kPa)；

h_i——第i土层的厚度(cm)。

11.2.4 井点降水设计应包括下列内容：

11.2.4.1 确定井点类型；

11.2.4.2 降水系统设计及泵房平面布置；

11.2.4.3 基坑纵、横剖面降水曲线设计；

11.2.4.4 确定降水观测要求，布置观测孔；

11.2.4.5 设置回灌井点时，降水系统设计应包括回灌系统。

11.2.5 井点降水布置原则和施工要点。

11.2.5.1 常用轻型井点的成孔孔径应根据土质条件和成孔深度确定，孔径常用ϕ250～ϕ300，间距1.2～2.0m。冲孔深度应超过滤管管底0.5m；

11.2.5.2 常用喷射井点的成孔孔径为ϕ400～ϕ600，间距3.0～6.0m，孔深宜超过滤管管底1.0m；

11.2.5.3 深井井点的间距为14～18m，深井泵吸水口宜高于井底1.0m以上；

11.2.5.4 电渗降水正、负极的距离：采用轻型井点时，宜为0.8～1.0m；采用喷射井点时，宜为1.2～1.5m。电压梯度可采用0.5V/cm，工作电压不宜大于60V，土中通电时的电流密度宜为0.5～1.0A/m^2，宜采用间歇通电；

11.2.5.5 井点成孔应垂直。井点管滤头宜设置在透水性较好的土层中，必要时可采取扩大井点滤层等措施；

11.2.5.6 放坡开挖的基坑，井点管距坑边不宜小于1.0m，机房距坑边不宜小于1.5m；

11.2.5.7 井点降水设备的排水口应与坑边保持一定距离，防止排出水回渗流入坑内；

11.2.5.8 拔除井点管后的孔洞，应立即用砂土填实。对于穿过不透水层进入承压含水层的井管，拔除后应用粘土球填衬封死，杜绝井管位置发生管涌；

11.2.5.9 当坑底承压水头较高时，井点井管宜保留至底板做完后再拔除。

11.3 回灌措施

11.3.1 当基坑周围有建筑物或地下管线需要保护或坑外水位降低较多时，宜采用回灌措施。回灌措施包括回灌井点、回灌砂井、回灌砂沟和水位观测井等。

11.3.2 回灌井点（砂井、砂沟）与降水井点的距离不宜小于6.0m。

11.3.3 回灌井点的间距应与降水井点相适应。

11.3.4 回灌井点或砂井的深度，宜设在长期降水曲线下1.0m左右，并位于渗透性较好的土层中，过滤段的长度应大于抽水井过滤段的长度。

11.3.5 回灌用水必须是清洁水，回灌设施应经常检查，防止堵塞。

11.3.6 在回灌井点保护范围内应设置水位观测孔，根据水位调节回灌水量。

11.4 放坡开挖

11.4.1 开挖深度不超过4.0m的基坑，当场地允许，并经验算能保证土坡稳定性时，可采用放坡开挖。

11.4.2 开挖深度超过4.0m的基坑，有条件采用放坡开挖时，宜设置多级平台分层开挖，每级平台的宽度不宜小于1.5m。

11.4.3 采用放坡开挖时，应对基坑稳定性备有周全的应急对策和措施。

11.4.4 放坡开挖的基坑，设计和施工应符合下列要求：

11.4.4.1 边坡稳定性验算可采用简单条分法，见6.2.3。对于正常固结土，可用总应力法确定土体的抗剪强度，采用固结快剪峰值指标。安全系数应根据土层性质和基坑规模等条件确定：一级基坑取1.38～1.43；二、三级基坑取1.25～1.30。快速卸荷的

边坡验算，当采用直剪快剪试验的峰值指标时，安全系数可相应减小20%；

11.4.4.2 采用简单条分法验算稳定性时，对于土层性质变化较大的土坡，应分别采用各土层的重度和抗剪强度。当含有可能出现流砂的土层时，宜采用井点降水或电渗排水措施，渗透力可采用替代重度法计算；

11.4.4.3 坡顶或坑边不宜堆土或堆载，遇有不可避免的附加荷载时，稳定性验算应计入附加荷载的影响；

11.4.4.4 土方开挖应在降水达到要求后，采用分层开挖的方式施工，分层厚度不宜超过2.5m；

11.4.4.5 土质较差且施工期较长的基坑，边坡宜采用钢丝网水泥喷浆或高分子聚合材料覆盖等措施进行护坡；

11.4.4.6 放坡开挖应采取有效措施降低坑内水位和排除地表水，严禁地表水或基坑排出的水倒流回渗入基坑。

11.5 有支护结构的基坑开挖

11.5.1 土方开挖的顺序、方法必须与设计工况相一致，并遵循“开槽支撑、先撑后挖、分层开挖、严禁超挖”的原则。

11.5.2 除设计允许外，挖土机械和车辆不得直接在支撑上行走操作。

11.5.3 采用机械挖土方式时，严禁挖土机械碰撞支撑、立柱、井点管、围护墙和工程桩。

11.5.4 应尽量缩短基坑无支撑暴露时间。对一、二级基坑，每一工况下挖至设计标高后，钢支撑的安装周期不宜超过一昼夜，钢筋混凝土支撑的完成时间不宜超过两昼夜。

11.5.5 采用机械挖土，坑底应保留200～300mm厚基土，用人工挖除整平，并防止坑底土扰动。

11.5.6 对面积较大的一级基坑，土方宜采用分块、分区对称开挖

和分区安装支撑的施工方法，土方挖至设计标高后，立即浇筑垫层。工程桩桩头应在垫层浇筑后处理。

11.5.6.1 同一基坑当深浅不同时，土方开挖宜先从浅基坑开始，待浅基坑底板浇筑后，再开始挖较深基坑的土方。对相邻两个同时施工的基坑工程，土方开挖宜先从深基坑开始，待基坑底板浇筑后，再开始挖另一个较浅基坑的土方；

11.5.6.2 基坑中有局部加深的电梯井、水池等，土方开挖前应对其边坡作必要的加固处理。

11.5.7 基坑土方不宜用水力机械开挖。

11.5.8 面积很大的基坑，不宜设置对撑的水平支撑时，可采用中心岛盆式开挖（先挖基坑中间部分的土方），或采用留中心土墩开挖（先挖基坑边缘部分的土方）的方式施工。

11.5.8.1 中心岛盆式开挖部分的范围应根据岛后土堤边坡的稳定性、支撑的架设、围护结构的变形量、降水效果和基础结构设计要求等因素确定；

11.5.8.2 中心岛土方开挖应遵循分层、均匀、对称的原则；

11.5.8.3 中心岛周边土堤边坡可按 11.4.4.5 的措施进行保护或对土堤进行降水处理。

12 环境保护和监测

12.1 一般规定

12.1.1 基坑周围地下管线和建（构）筑物的位置和状况是基坑工程设计的重要原始资料，必须事先调查清楚。基坑周围环境的保护是设计的一项重要内容，设计应预估基坑施工对周围环境可能产生的各种不良后果，在设计中提出相应的措施。

12.1.2 基坑工程的监测是设计的必要部分，设计应明确提出监测项目和具体要求，在选择设计安全系数和其它参数时，应考虑现场监测的水平和可靠性。凡受实际监测值影响的设计内容必须在设计文件中明确表示。

12.1.3 对位于地铁、隧道及合流污水工程等大型地下构筑物安全保护区内的基坑，应按市府颁布的有关文件确定其环境保护标准。

12.1.4 各类建筑物对差异沉降的承受能力可按表 12.1.4－1 和表 12.1.4－2 的规定确定相应的控制标准。对重要、特殊的建筑结构应作专门的调研，然后决定允许的变形控制标准。

12.1.5 各类地下管线对差异沉降的承受能力因管线的新旧、埋设情况、材料结构、管节长度和接头构造不同而相差甚远，必须事先调查清楚。接头是管线最易受损的部位，表 12.1.5 列出的几种接头技术标准，可作为管接头对差异沉降产生相对转角的承受能力的设计和监控依据。对难以查清的煤气管、上水管及重要通讯电缆管，可按相对转角 1/100 作为设计和监控标准。

12.1.6 距基坑边 1.0 倍开挖深度范围内的地下管线，应尽可能先暴露后开挖。对难以全线暴露的管线，至少应挖出接头，并在接头位置设置测量标点。在施工前已漏水的上水管和下水管，应先

修复或移位后，再进行基坑工程的施工。

差异沉降和相应建筑物的反应　　表 12.1.4－1

建筑结构类型	$\frac{\delta}{L}$（L 为建筑物长度，δ 为差异沉降）	建筑物反应
1、一般砖墙承重结构，包括有内框架的结构；建筑物长高比小于 10； 有圈梁； 天然地基（条形基础）	达 1/150	分隔墙及承重砖墙发生相当多的裂缝，可能发生结构破坏
2、一般钢筋混凝土框架结构	达 1/150	发生严重变形
	达 1/500	开始出现裂缝
3、高层刚性建筑（箱型基桩、桩基）	达 1/250	可观察到建筑物倾斜
4、有桥式行车的单层排架结构的厂房；天然地基或桩基	达 1/300	桥式行车运转困难，不调整轨面水平难运行，分隔墙有裂缝
5、有斜撑的框架结构	达 1/600	处于安全极限状态
6、一般对沉降差反应敏感的机器基础	达 1/850	机器使用可能会发生困难，处于可运行的极限状态

建筑物的基础倾斜允许值　　表 12.1.4－2

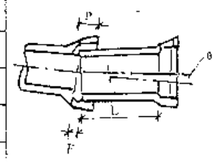
建筑物类别		允许倾斜
多层和高层建筑基础	H≤24m	0.004
	24m＜H≤60m	0.003
	60m＜H≤100m	0.002
	H＞100m	0.0015
高耸结构基础	H≤20m	0.008
	20m＜H≤50m	0.006
	50m＜H≤100m	0.005
	100m＜H≤150m	0.004
	150m＜H≤200m	0.003
	200m＜H≤250m	0.002

注：①H 为建筑物地面以上高度。

②倾斜是基础倾斜方向二端点的沉降差与其距离的比值。

各类管子接头的技术标准

表 12.1.5

管材 / 尺寸	铸铁管								钢筋混凝土管			钢管		说明
管内径 mm	接头类型					管节长度 m	管壁厚度 mm	每100只接头允许漏水量 公升/15分	管节长度 m	承插接头接口间隙 mm	每100只接头允许漏水量 公升/15分	管壁厚度 mm	焊接接头每100只接头允许渗水量 公升/15分钟（水压＜7kg/cm²）	
	承插式接头				法兰接头									
	承口长度 Pmm	调剂转角 θ	限制开口 Fmm	接口间隙 Δmm	橡皮垫厚度 mm									
75	90	5°00′	8.1	3~5	3~5	3	9	–	–	–	–	4.5	–	1. 钢筋混凝土管直径 75～300 为有应力钢筋混凝土管；直径 400～1200 为预应力钢筋混凝土管。管节接头用橡胶圈止水。 2. 铸铁管承插式接头中调剂借转角等参数如图 1－2。  图 1－2 承插接头中嵌缝材料用浇铅或石棉水泥。 3. 钢管材料一般为 16Mn 钢或 A_3 钢。
100	95	4°00′	8.2	3~5	3~5	3	9	3.15	3	10	5.94	5	1.76	
150	100	3°30′	10.3	3~5	3~5	4	9	5.27	3	15	8.91	4.5~6	2.63	
200	100	3°5′	12.5	3~5	3~5	4	10	7.02	3	15	11.87	6~8	3.51	
300	105	3°00′	16.9	3~5	3~5	4	11.4	10.54	4	17	17.81	6~8	5.27	
400	110	2°28′	18.3	3~5	3~5	4	12.8	14.05	4.98	20	23.75	6~8	7.02	
500	115	2°05′	19.2	3~5	3~5	5	14	17.56	4.93	20	29.63	6~8	8.78	
600	120	1°49′	20.0	3~5	3~5	5	15.4	21.07	4.98	20	35.62	8~10	10.54	
700	125	1°37′	20.8	3~5	3~5	5	16.5	24.58	4.98	20	41.56	8~10	12.20	
800	130	1°29′	21.7	3~5	3~5	5	18.0	28.10	4.98	20	47.49	8~12	14.05	
900	135	1°22′	22.5	3~5	3~5	5	19.5	31.61	4.98	20	53.43	10~12	15.80	
1000	140	1°17′	23.3	3~5	3~5	5	22	35.12	4.98	20	59.37	10~12	17.55	
1200	150	1°09′	25.0	3~5	3~5	5	25	42.15	4.98	20	71.24	10~12	21.07	
1500	165	1°01′	27.5	3~5	3~5	5	30	52.63	–	–	89.05	10~12	23.34	
1800	–	–	–	–	3~5	5	–	–	–	–	106.86	10~14	31.61	
2000	–	–	–	–	–	5	–	–	–	–	118.73	10~14	35.12	

12.2 环境保护

12.2.1 基坑工程设计应预估下列因素对周围环境的影响：

12.2.1.1 围护墙体渗漏引起的环境影响：

（1） 对无明显夹泥、砂的渗漏产生周围土体沉降量按(12.2.1.1)式估算：

$$S = \triangle P \cdot \triangle H_w / E_{1-2} \qquad (12.2.1.1)$$

式中 S——土体沉降量(m)；

$\triangle H_w$——降水面和初始地下水位面的高差，

取$\triangle H_w = h_o$(m)；

E_{1-2}——降水深度范围内土层的压缩模量(kPa)；

$\triangle P$——降水期沉降计算的附加应力，

$\triangle P = \triangle H_w \cdot \gamma_w / 4$(kPa)； γ_w 为水重度。

（2） 夹泥、砂的渗漏会导致流砂现象，酿成工程事故，对于可能产生流砂的土层开挖前，应有可靠的应急预防措施，杜绝流砂现象的产生。

12.2.1.2 围护结构位移、变形和坑底土体隆起引起的环境影响。

围护墙体及支撑系统的位移、变形和坑底土体隆起引起基坑周围土体的沉降、变形如图 12.2.1.2 所示，可按下列各式估算：

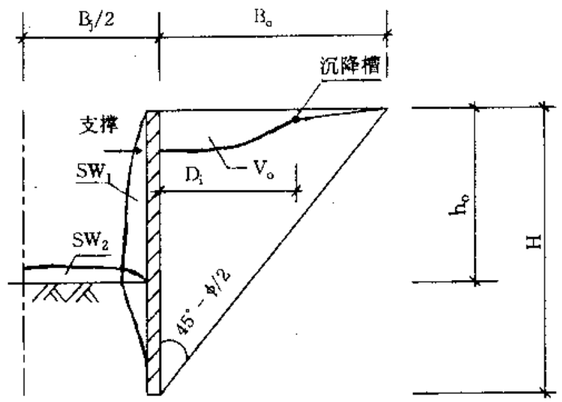


图 12.2.1.2 基坑开挖期的土体变形

（1） 基坑开挖对周围土体沉降的影响范围按(12.2.1.2－1)式估算：

$$B_o = H \cdot tg(45° - \phi/2) \qquad (12.2.1.2-1)$$

式中 B_o——土体沉降影响范围(m)；

H——围护结构深度(m)；

ϕ——土体内摩擦角(°)，取 H 深度范围内各土层按厚度的加权平均值。

（2） 基坑周围的最大沉降值按(12.2.1.2－2)式估算：

$$S_{max} = V_o \cdot tg(45° - \phi/2)/h_o \qquad (12.2.1.2-2)$$

式中 S_{max}——土体最大沉降值(m)；

V_o——墙后土体损失量(m^3/m)。V_o 包括由墙体位移、

变形引起的土体损失 S_{W1} 和坑底土体隆起引起的 S_{W2} 两部分。S_{W1} 可取支撑和墙体变形的计算值或同类工程用测斜仪监测的实测值。S_{W2} 为基坑底的土体隆起量(m^3/m)，取同类工程实测值，或按下式计算：

$S_{W2} = B_j(0.5h_o + 0.04h_o^2)/300$；

B_j 为基坑宽度(m)；

h_o 为开挖深度(m)。

(3) 墙后沉降影响最为严重的范围，按(12.2.1.2-3)式估算：

$$D_i = \frac{h_o}{\sqrt{2\pi}\cdot tg(45^\circ - \phi/2)} \qquad (12.2.1.2-3)$$

式中 D_i——墙后沉降最为严重的范围(m)；

(4) D_i 范围内最大差异沉降率按(12.2.1.2-4)式估算。

$$I_{max} = 1.53V_o\cdot tg^2(45^\circ - \phi/2)/h_o^2 \qquad (12.2.1.2-4)$$

式中 I_{max}——D_i 范围内的最大差异沉降率。

12.2.1.3 钢板桩围护基坑，回填土和钢板桩拔桩对周围环境的影响可按下列方法估算：

(1) 市政管线沟槽及基坑地下室外墙外间隙的回填土，其密度通常低于原状土，由此引起的土体损失按(12.2.1.3-1)式计算：

$$V_b = b_o h_o(\rho_o - \rho)/\rho_o \qquad (12.2.1.3-1)$$

式中 V_b——纵向每延米的土体损失量(m^3/m)；

b_o——回填宽度(m)；

ρ_o、ρ——原状土和回填土的密度(kg/cm^3)。

(2) 拔钢板桩引起的土体损失按(12.2.1.3-2)式计算：

$$V_D = bL \qquad (12.2.1.3-2)$$

式中 V_D——纵向每延米的土体损失量(m^3/m)；

b——钢板桩厚度(m)；

L——钢板桩长度(m)。

(3) 由($V_b + V_D$)产生基坑周围的最大沉降量按(12.2.1.2-2)式计算，最大差异沉降率按(12.2.1.2-4)式计算，严重影响范围按(12.2.1.2-3)式计算。

12.2.1.4 沿基坑纵向的差异沉降，可按开挖方案参照上述方法计算，当开挖深度不同时，应计算其差异沉降率。

12.2.2 基坑开挖设计应采取下列措施保护周围环境：

12.2.2.1 对有环境保护要求的基坑工程，不宜在围护墙外侧采用井点降水。必须设置时应采取地基加固、回灌和隔水帷幕等措施进行保护；

12.2.2.2 围护墙本身应具有良好的抗渗漏特性，墙体(包括接头)的渗透系数不应大于 10^{-6}cm/s。开挖前发现墙体质量不符合设计要求时，应采用注浆等方法进行抗渗补强。开挖期发现墙体渗漏，则应及时分析原因，堵塞渗漏通道；

12.2.2.3 应按基坑工程等级确定地面沉降和墙体侧向位移的控制标准，当无特殊规定时表 12.2.2.3 的指标可作为一、二级基坑设计和监测的控制依据。三级基坑，通常宜按二级基坑的标准控制，当环境条件许可时可适当放宽。确定变形控制标准时，应考虑变形的时空效应，并控制监测值的变化速率，一级工程宜控制在2mm/天之内，二级工程在3mm/天之内。当变化速率突然增加或连续保持高速率时，应及时分析原因，采取相应对策；

一、二级基坑变形的设计和监测的控制 表 12.2.2.3

	墙顶位移(cm)		墙体最大位移(cm)		地面最大沉降(cm)	
	监控值	设计值	监控值	设计值	监控值	设计值
一级工程	3	5	5	8	3	5
二级工程	6	10	8	12	6	10

12.2.2.4 相继或同时开工的相邻基坑工程，必须事先协调施工进度，以确定设计工况，避免相互产生危害；

12.2.2.5 已进入开挖期的基坑，不允许有1.5倍桩长范围内相邻基坑进行打入桩的施工；

12.2.2.6 工程桩为打入桩的基础工程，围护桩(包括水泥土搅拌桩、灌注桩)不允许和打入桩同时施工。二者的间歇期，在有孔隙水压力监测时，控制土的固结度应不低于80%；在无孔隙水压力监测时，砂质粉土不少于20天，淤泥质粘土不少于30天；

12.2.2.7 邻近建筑物或地下管线进行搅拌桩施工时，应严格控制喷浆时钻头提升速度和水灰比，并根据监测资料调节施工速度和合理安排工序；

12.2.2.8 当设计需要时，宜采用下列有效的地基加固方法和施工措施保护周围环境：

(1) 墙后、管线底部和现有房基的注浆加固：注浆应在开挖前进行，墙后注浆深度应大于开挖深度；管底注浆深度不应小于2m；房基注浆深度宜大于5m。并采用自上而下分层注浆的方法施工；

(2) 坑底注浆加固：加固指标和范围由设计计算选定。最小宽度应大于3m，深度不超出围护墙埋入深度，注浆工艺应确保无泛浆上冒现象，宜采用劈裂注浆工艺；

(3)坑底搅拌桩加固：加固指标和范围由设计计算选定。通常沿墙脚布置搅拌桩，采用搭接施工，最小加固宽度宜大于1.2m，加固深度不超出围护墙埋入深度；

(4) 开挖期跟踪注浆：重要管线或保护建筑等的相应位置预埋注浆管，在基坑开挖前预注浆，开挖期根据监测资料，进行跟踪注浆控制沉降量。二次注浆宜采用双液注浆；

(5) 基础托换：紧靠基坑的房屋及构筑物，采用树根桩或锚杆静压桩进行基础托换。托换应在基坑开挖前进行，桩长度不小于围护墙深度；

(6) 高压喷射注浆：场地窄小的基坑工程，采用高压喷射注浆对周围管线、建筑物基础进行加固，也可用于墙体的修补和加固；

(7) 施加支撑预应力：采用钢支撑时，施加支撑预应力是减小围护墙后土体变形的有效措施，预应力值宜大于设计轴力的50%。

12.3 监测

12.3.1 基坑工程监测应符合下列要求：

12.3.1.1 确保基坑工程的安全和质量；

12.3.1.2 对基坑周围环境进行有效的保护；

12.3.1.3 检验设计所采取的各种假设和参数的正确性，并为改进设计、提高工程整体水平提供依据。

12.3.2 基坑工程监测项目应包括下列各项：

12.3.2.1 墙顶水平位移：用经纬仪和前视固定点形成测量基线，测量墙顶各测点和基线距离变化，精度为1mm；

12.3.2.2 孔隙水压力：用埋设孔隙水压力计的方法监测，精度不低于1kPa，监测渗漏和土体固结度变化，预测土体变形和基坑稳定；

12.3.2.3 土体侧向变形：用测斜仪测试，精度1mm。放坡开挖时监测土坡稳定；有支护开挖时监测墙后土体水平位移和土体稳定性；

12.3.2.4 墙体变形：在墙体内预埋测斜管，用测斜仪监测墙体变形，精度为1mm；

12.3.2.5 墙体土压力：用预埋在墙后和墙前入土段墙面上的土压力计测试，精度不低于1/100(F·S)，分辨率不低于5kPa；

12.3.2.6 支撑轴力：用安装在支撑端部的轴力计测试，精度不低于1/100(F·S)；

12.3.2.7 坑底隆起：埋设分层沉降管，用沉降仪监测不同深度

土体在开挖过程中的隆起变形，精度不低于1mm；

12.3.2.8 地下水位测试：用设置水位管的方法测试，水位计的标尺最小读数为1mm；

12.3.2.9 锚杆拉力：在锚杆上安装钢筋计，精度不低于1/100(F·S)；

12.3.2.10 基坑周边地面建筑的沉降和倾斜度：用经纬仪和水准仪测量，沉降测量精度不低于1mm；

12.3.2.11 基坑周围地下管线的垂直的水平位移：通常在管线接头位置安装测点，用经纬仪和水准仪测量，测试精度不低于1mm；

12.3.2.12 墙顶和立柱沉降监测：用水准仪监测，精度不低于1mm。

12.3.3 监测仪器和设备应符合下列要求：

12.3.3.1 监测仪器除了灵敏度和精度满足设计要求外，必须有良好的稳定性和可靠度，一般不应采用电阻应变式测头；

12.3.3.2 孔隙水压力计、土压力计、钢筋计和轴力计等应在埋设安装之前进行重复标定，标定资料和稳定性资料经现场监理审核后方可埋设安装；

12.3.3.3 现场使用的测斜仪应有计量部门颁发的质量合格证书和完整的规格、质保书。测斜管应有包括断面尺寸、平整度和纵向扭转误差角等内容的质检证书，用由硬塑料(PVC)制作的测斜管适宜于埋设在混凝土构件内；埋在土中的测斜管纵向应有良好的柔度。

12.3.4 现场监测资料应满足下述要求：

12.3.4.1 监测单位应按设计要求制定监测大纲，包括：

(1) 测试项目和各测点布置的平面、立面图；

(2) 采用的测头和仪器的标定资料和型号、规格；

(3) 测试频率和资料整理所采用的计算式和方法；

(4) 各测试项目的报警值。

12.3.4.2 监测资料应符合下述要求：

(1) 使用正规的监测记录表格，数据应及时计算整理，并由记录人、校核人签字后上报现场监理和有关部门；

(2) 监测记录必须有相应的工况描述；

(3) 对监测值的发展及变化情况应有评述，当接近报警值时应及时通报现场监理，提请有关部门关注。

12.3.4.3 工程结束时应有完整的监测报告，报告应包括全部监测项目、监测值全过程的发展和变化情况、监测期相应的工况、监测最终结果及评述。

12.3.5 各级基坑工程的监测项目可按表12.3.5进行选择。

各级基坑工程的监测项目选择表　　表 12.3.5

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
一级工程	√	√	√	√	O	O	√	O	O	√	√	√	√
二级工程	√	√	O	O	O	O	O	O	O	O	√	√	√
三级工程	√		O				O		O	O	O	√	√

注:√为必测项目,O为选测项目。

(1)墙顶水平位移。

(2)墙顶沉降。

(3)孔隙水压力。

(4)土体侧向变形。

(5)墙体变形。

(6)墙体土压力。

(7)支撑轴力。

(8)坑底隆起。

(9)地下水位。

(10)锚杆拉力。

(11)立柱沉降。

(12)周围建筑物沉降和倾斜。

(13)周围地下管线和位移。

附录A　本《规程》用词说明

A.0.1　执行本规程条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便执行中区别对待。

A.0.1.1　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"。

A.0.1.2　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"。

A.0.1.3　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"或"可",反面词采用"不宜"或"不可"。

A.0.2　条文中指明应按其它有关标准、规范执行时,写法为"应符合……的规定"或"应按……执行"。非必须按所指定的标准、规范或其它规定执行时,写法为"可参照……"。

附加说明：本《规程》主编单位、参编单位、主要起草人、参加起草人名单

主编单位：上海市勘察设计协会

参编单位：华东建筑设计研究院
中船总公司第九设计研究院
上海市隧道工程设计院
同济大学
上海岩土工程勘察设计研究院
上海铁道大学
上海港湾工程设计研究院
上海工程勘察设计公司
上海建工(集团)总公司第三建筑发展总公司
上海建工(集团)总公司第二建筑工程公司
上海建工(集团)总公司第四建筑工程公司
上海建工(集团)总公司基础工程公司
上海市第二市政工程公司

主要起草人

陈宗梁	高秀理	陈绪禄	朱小林	蔡博芳
张耀庭	张师德	刘玉华	季良华	何汉灏
陶兆生	李象范	叶柏荣		

参加起草人

黄　芝	杨伟量	周国鸣	顾德洪	包安文
陈坚峰	宦剑铭	李志栋	黄洪聪	徐　征
邱式忠	杨仁杰	李海光		

本《规程》各章主要编写人和参加编写人名单

章别	章　　名	主要编写人和参加人
第一章	总　　则	张耀庭
第二章	主要术语、符号	朱小林
第三章	基本规定	张耀庭　陈坚峰
第四章	岩土勘察	季良华
第五章	土压力和水压力	朱小林
第六章	水泥土围护结构	陈绪禄　刘玉华　宦剑铭　朱竹平
第七章	板式支护体系	高秀理　陶兆生　张耀庭
第八章	与主体地下结构相结合的支护结构	高秀理　陈宗梁　陶兆生
第九章	支撑及土层锚杆结构的设计与施工	蔡博芳　李象范　叶柏荣
第十章	管道沟槽开挖工程	陈绪禄　刘玉华　李志栋　包安文
第十一章	降水工程与土方开挖	张师德　何汉灏
第十二章	环境保护和监测	陈绪禄　宦剑铭　刘玉华　黄洪聪