

建筑深基坑工程施工安全技术规范

Technical Specification for Safety Construction of Deep Building Foundation Pits

1 总 则

1.0.1 为了在建筑深基坑工程实施的各个环节中贯彻执行国家有关的技术经济政策，做到保障安全、技术先进、经济适用、保护环境，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于建筑深基坑工程的现场勘查与环境调查、设计、施工、风险分析及基坑工程安全监测、基坑的安全使用与维护管理。

1.0.3 建筑深基坑工程应综合考虑深基坑及其周边一定范围内的工程地质、水文地质、开挖深度、周边环境保护要求、降排水条件、支护结构类型及使用年限、施工工期条件等因素，并结合工程经验制定施工安全技术措施。

1.0.4 建筑深基坑工程安全技术除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 基坑 construction pit

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 风险控制 Risk control

为减少或降低深基坑安全风险损失所采取的处置对策、技术措施及应急方案。

2.1.3 基坑支护 retaining of construction pit

为保护地下主体结构施工和基坑周边环境的安全，对基坑采用的临时性支挡、加固、保护与地下水控制的措施。

2.1.4 基坑侧壁 side of foundation pit

构成基坑围体的某一侧面。

2.1.5 基坑周边环境 surroundings around foundation pit

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

2.1.6 支护结构 retaining structure

支挡或加固基坑侧壁的承受荷载的结构。

2.1.7 设计使用年限 design service life

设计规定的从基坑开挖到预定深度至完成基坑支护使用功能的时段。

2.1.8 支挡式结构 retaining structure

以挡土构件和锚杆或支撑为主要构件，或以挡土构件为主要构件的支护结构。

2.1.9 锚拉式支挡结构 anchored retaining structure

以挡土构件和锚杆为主要构件的支挡式结构。

2.1.10 内撑式支挡结构 strutted retaining structure

以挡土构件和支撑为主要构件的支挡式结构。

2.1.11 悬臂式支挡结构 cantilever retaining structure

以顶端自由的挡土构件为主要构件的支挡式结构。

2.1.12 动态设计法 method of information design

根据信息施工法和施工勘察反馈的资料，对地质结论、设计参数及设计方案进行验证，对原设计条件有较大变化，及时补充、修改原设计的设计方法。

2.1.13 排桩 arrayed-pile wall

沿基坑侧壁排列设置的支护桩及冠梁所组成的支挡式结构部件或悬臂式支挡结构。

2.1.14 双排桩 double-row-piles wall

沿基坑侧壁排列设置的由前、后两排支护桩和梁连接成的刚架及冠梁所组成的支挡式结构。

2.1.15 地下连续墙 diaphragm wall

分槽段用专用机械成槽、浇筑钢筋混凝土所形成的连续地下墙体。亦可称为现浇地下连续墙。

2.1.16 锚杆 anchor

由杆体（钢绞线、普通钢筋、热处理钢筋或钢管）、注浆形成的固结体、锚具、套管、连接器所组成的一端与支护结构构件连接，另一端锚固在稳定岩土体内的受拉杆件。杆体采用钢绞线时，亦可称为锚索。

2.1.17 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。支撑构件采用钢材、混凝土时，分别称为钢内支撑、混凝土内支撑。

2.1.18 支撑体系 bracing system

由钢或钢筋混凝土构件组成的用以支撑基坑侧壁的结构体系。

2.1.19 冠梁 continuum girder

设置在挡土构件顶部的钢筋混凝土连梁。

2.1.20 腰梁 waling

设置在挡土构件侧面的连接锚杆或内支撑的钢筋混凝土或型钢梁式构件。

2.1.21 土钉 soil nail

设置在基坑侧壁土体内的承受拉力与剪力的杆件。例如，成孔后植入钢筋杆体并通过孔内注浆在杆体周围形成固结体的钢筋土钉，将设有出浆孔的钢管直接击入基坑侧壁土中并在钢管内注浆的钢管土钉。

2.1.22 土钉墙 soil nailing wall

由随基坑开挖分层设置的、纵横向密布的土钉群、喷射混凝土面层及原位土体所组成的支护结构。

2.1.23 复合土钉墙 composite soil nailing wall

土钉墙与预应力锚杆、微型桩、旋喷桩、搅拌桩中的一种或多种组成的复合型支护结构。

2.1.24 重力式水泥土墙 gravity cement-soil wall

水泥土桩相互搭接成格栅或实体的重力式支护结构。

2.1.25 膨胀岩土 expansive rock and soil

富含亲水性矿物并具有明显的吸水膨胀与失水收缩特性的高塑性软岩和黏土。

2.1.26 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。

2.1.27 截水帷幕 waterproof curtain

用以阻隔或减少地下水通过基坑侧壁与坑底流入基坑和防止基坑外地下水位下降的幕墙状竖向截水体。

2.1.28 落底式帷幕 closed waterproof curtain

底端穿透含水层并进入下部隔水层一定深度的截水帷幕。

2.1.29 悬挂式帷幕 unclosed waterproof curtain

底端未穿透含水层的截水帷幕。

2.1.30 降水 dewatering

为防止地下水通过基坑侧壁与基底流入基坑，用抽水井或渗水井降低基坑内外地下水位

的方法。

2.1.31 集水明排 open pumping

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

2.1.32 安全监测 safety monitoring

对基坑施工过程中支护结构及周边市政工程内力、变形信息进行收集、汇总、分析和反馈的技术活动。

2.1.33 安全预警 safety alerting

在基坑工程施工中，通过安全监测，针对可能引发生产安全事故的征兆所采取的预先报警和事前控制的技术措施。

2.1.34 应急预案 Contingency Plan

针对基坑工程施工过程中可能发生的事故或灾害，为迅速、有序、有效地开展应急与救援行动、降低事故损失而预先制定的全面、具体的实施方案。

2.1.35 安全技术验收 safety action appraising

对涉及基坑安全技术的实施结果根据相关标准进行确认的活动。

2.1.36 信息施工法 construction method information

根据施工现场的地质情况和监测数据，对地质条件、设计成果进行印证，以及对施工安全性进行判断，必要时修正施工方案的施工方法。

2.1.37 风险评估 Risk Assessment

对深基坑安全风险发生可能性及其损失进行辨识、分析与评价过程。

2.1.38 风险分级 Risk classification

根据深基坑安全风险发生可能性及其损失进行风险等级划分。

2.1.39 动态风险管理 Dynamic risk management

利用深基坑施工监测和信息化技术等手段，对已评估的风险进行实时监控、循环跟踪与应急决策的全过程。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

G —支护结构、土的自重；

J —渗透力；

q —降水井的单井流量；

s —降水引起的建筑物基础或地面的固结沉降量；

s_0 —基坑地下水位降深；

s_d —基坑地下水水位的设计降深；

u —孔隙水压力；

v —挡土构件的水平位移。

2.2.2 材料性能和抗力

c —土的粘聚力；

E_s —锚杆杆体或支撑的弹性模量或土的压缩模量；

k —土的渗透系数；

R —影响半径；

γ —土的天然重度；

γ_{cs} —水泥土重度；

φ —土的内摩擦角；

2.2.3 几何参数

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；

z_{wa} —基坑外地下水水位距地面的深度；

z_{wp} —基坑内地下水水位距地面的深度；

H —潜水含水层厚度；

l_a —锚杆锚固段长度；

l_d —支护结构的嵌固深度、插入深度；

l_f —锚杆自由段长度；

l_0 —受压支撑构件的长度；

M —承压含水层厚度；

r_w —降水井半径；

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。

S_j —周边建（构）筑物距深基坑边的水平距离

H_j —周边建（构）筑物距深基坑底的垂直距离

2.2.4 设计参数和计算系数

K —稳定性安全系数；

λ —支撑不动点调整系数；

ψ_w —沉降计算经验系数。

R —深基坑安全风险

P —深基坑安全风险发生概率

C —深基坑安全风险损失

3 基本规定

3.0.1 建筑深基坑工程施工安全等级划分应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 规定的地基基础设计等级，结合基坑本体安全、工程桩基与地基施工安全、基坑侧壁土层与荷载条件、环境安全等，按表 3.0.1 规定划分。

表 3.0.1 建筑深基坑工程施工安全等级

施工安全等级	划分条件
一级	1 复杂地质条件及软土地区的二层及二层以上地下室的基坑工程 2 开挖深度大于 15m 的基坑工程 3 周边环境条件复杂 4 基坑采用支护结构与主体结构相结合的基坑工程 5 基坑工程设计使用年限超过 2 年 6 侧壁为填土或软土场地因开挖施工可能引起工程桩基发生倾斜、地基隆起等改变桩基、地铁隧道设计性能的工程 7 基坑侧壁受水浸湿可能性大或基坑工程降水深度大于 6m 或降水对周边环境有较大影响的工程 8 地基施工对基坑侧壁土体状态及地基产生挤土效应或超孔隙水压力较严重的工程 9 具有震动荷载作用且超载大于 50kPa 的工程 10 对支护结构变形控制要求严格的工程。
二级	《建筑地基基础设计规范》GB50007 规定的地基基础设计等级为乙级及设计等级为丙级的工程

3.0.2 建设单位应进行基坑环境调查，查明周边市政管线现状及渗漏情况，邻近建筑物基础形式、埋深、结构类型、使用状况；相邻区域内正在施工和使用的基坑工程情况；相邻建筑工程打桩振动及重载车辆通行等情况。

3.0.3 施工安全等级为一级的基坑工程设计应按有关国家技术规范要求经过必要的设计计算提出基坑变形与相关管线和建筑物沉降等控制指标;施工安全等级为二级的基坑工程可按《建筑地基基础施工质量验收规范》GB50202 中二、三级基坑对变形规定的要求执行。

3.0.4 深基坑工程设计与施工组织设计时,应将开挖影响范围内的塔吊荷载等纳入设计计算范围,并应满足现行行业标准有关塔吊安全技术规定的要求。

3.0.5 对施工安全等级为一级的基坑工程,应进行基坑安全监测方案的评审;对特别需要或特殊条件下的施工安全等级为一级的基坑工程宜进行基坑安全风险评估;对设计文件中明确提出变形控制要求的基坑工程,监测单位应将编制的监测方案经过基坑工程设计单位审查后实施。

3.0.6 建设单位应组织土建设计、基坑工程设计、工程总承包及基坑工程施工与基坑安全监测单位进行图纸会审和技术交底,并应留存记录。

3.0.7 施工单位在基坑工程实施前应进行下列工作:

1 组织所有施工技术人员熟悉设计文件、工程地质与水文地质报告、安全监测方案和相关技术标准,并参与基坑工程图纸会审和技术交底;

2 进行施工现场勘查和环境调查,进一步了解施工现场、基坑影响范围内地下管线、建筑物地基基础情况,必要时制定预先加固方案;

3 掌握支护结构施工与地下水控制、土方开挖、安全监测的重点与难点,明确施工与设计及监测进行配合的义务与责任;

4 按照评审通过的基坑工程设计施工图、基坑工程安全监测方案、施工勘查与环境调查报告等文件,编制基坑工程施工组织设计,并应按照有关规定组织施工开挖方案的专家论证;施工安全等级为一级的基坑工程尚应编制施工安全专项方案。

3.0.8 基坑工程施工组织设计应包含以下主要内容:

1 支护结构施工对环境的影响预测及控制措施;

2 降水与排水系统设计;

3 土石方开挖与支护结构、降水配合施工的流程、技术与要求;

4 雨、冬季期间开挖施工、地下管线渗漏等极端条件下的施工安全专项方案;

5 基坑工程安全应急预案;

6 基坑安全使用与维护要求与技术措施。

3.0.9 基坑开挖过程中发现地质条件或环境条件与原地质报告、环境调查报告不相符合时,应停止施工,及时会同相关设计、勘察单位进行设计验算或设计修改后方可恢复施工。

3.0.10 支护结构施工应采取可靠技术手段减少对主体工程桩、周边保护建筑物、地下设施的影响；支护结构的拆除应符合本规范第 6 章的有关规定。

3.0.11 基坑工程的降水与排水应按有关设计要求严格控制降水深度、出水含砂量，对可能产生管涌和突涌、流土、淘蚀的工程，应考虑技术措施和预案。截水帷幕、降排水、封井处置与维护的具体技术选型和施工安全要求应符合本规范第 7 章的规定。

3.0.12 土石方开挖前应制定详细的安全措施，并应对支护结构施工质量进行检验，合格后方可进行，检验要求应符合本规范第 10 章规定的要求。

3.0.13 支护结构施工与基坑开挖期间，支护结构达到设计强度要求前，严禁在设计预计的滑裂面范围内堆载；临时土石方的堆放应进行包括自身稳定性、邻近建筑物地基和基坑稳定性验算。

3.0.14 膨胀土、可能发生冻胀的土、高灵敏度土等场地深基坑工程的施工安全应符合本规范第 9 章规定的要求，湿陷性黄土基坑工程应满足《湿陷性黄土地区建筑基坑工程安全技术规程》JGJ167 的要求。

3.0.15 基坑工程施工过程中应全面落实信息化施工技术，当安全监测结果达到报警值后，应启动应急预案，组织专家会同基坑设计、监测、监理等单位，进行专门论证，查明原因后恢复施工。

3.0.16 当施工过程中发生安全事故时，必须采取有效措施，首先确保施工人员及保护建筑物内人员的生命安全、保护好事故现场，按规定程序立即上报，并及时分析原因，采取有效措施避免再次发生事故。

4 现场勘查与环境调查

4.1 一般规定

4.1.1 基坑工程现场勘查与环境调查应在已有勘察报告和基坑设计文件的基础上，根据工程条件及可能采用的施工方法、工艺，初步判定需要补充的岩土工程参数及周边条件。

4.1.2 在现场勘查与环境调查之前应取得以下资料：

- 1 工程勘察报告和基坑工程设计文件；
- 2 附有坐标和周边已有建（构）筑物的总平面布置图；
- 3 基坑及周边地下管线、人防工程及其他地下构筑物、障碍物分布图；
- 4 拟建建（构）筑物相对应的±0.000 绝对标高、结构类型、荷载情况、基础埋深和地基基础型式及地下结构平面布置图；

5 基坑平面尺寸及场地自然地面标高、坑底标高及其变化情况；

6 当地常用的降水方法和施工资料等。

4.2 现场勘查及环境调查要求

4.2.1 基坑周边环境调查应查明以下内容：

1 周围 2~3 倍基坑深度范围内建（构）筑物的高度、结构类型、基础型式、尺寸、埋深、地基处理情况和建成时间、沉降变形、损坏情况等使用现状；

2 周围 2~3 倍基坑深度范围内各类地下管线的类型、材质、分布、重要性、使用情况、对施工振动和变形的承受能力，地面和地下贮水、输水等用水设施的渗漏情况及其对基坑工程的影响程度；

3 对基坑及周围 2~3 倍基坑深度范围内存在的旧建筑基础、人防工程、其他洞穴、地裂缝、河流水渠、人工填土、边坡等不良工程地质现象，应查明其空间分布特征和对基坑工程的影响；

4 基坑周边道路及运行车辆载重情况；

5 基坑周边地表水的汇集和排泄情况；

6 基坑周边正在进行抽降地下水施工时，应查明降深、影响范围和可能的停抽时间，以及对基坑侧壁土性指标的影响。

7 基坑周边有振动荷载时，应查明其影响范围和程度；

8 相邻已有基坑工程的支护方法、开挖和使用对本基坑工程安全的影响；

9 相邻工程盾构顶进、爆破等施工作业对本基坑安全的影响。

4.2.2 对施工安全等级为一级、周边分布有地下管网的基坑工程应采用以物探为主、坑探为辅的勘查调查方法，查明地下管网的分布情况；对安全等级为二级的基坑工程应采用坑探方法予以查明。

4.2.3 现场勘查的勘探点间距应根据地层复杂程度，结合原勘察报告和设计支护类型确定，宜为 20m~35m，地层复杂时应加密勘探点；在基坑支护结构位置及基坑转角处应布置勘查点。

4.2.4 勘探深度应根据支护结构设计深度和降水井设计深度确定；当开挖深度范围内遇到岩石时，可根据岩石类别和支护要求适当减少勘查深度。

4.2.5 勘探孔及探井施工结束后，应及时回填密实，回填质量应满足相关规定。

4.2.6 当支护土层存在大于 2m 的填土时，应通过实验提供填土的重度和抗剪强度实验结果。

4.2.7 基坑工程勘查与环境调查中的安全防护应按现行国家标准《岩土工程勘察安全规范》GB50585 的有关规定执行。

4.3 现场勘查与环境调查成果

4.3.1 现场勘查与环境调查报告应包括下列主要内容：

- 1 勘查与环境调查目的、方法；
- 2 拟采用的支护结构设计类型、基坑平面尺寸及深度，主体结构基础类型及平面布置；
- 3 与本规范第 4.2.1 条调查内容相对应的调查方法、实验方法、检测方法及调查结果与结论。

4.3.2 现场勘查与环境调查报告应包括下列附件：

- 1 现场勘查与环境调查平面布置图，平面布置图应包括：
 - 1) 勘查点（含原勘察报告的勘探点）平面位置图；
 - 2) 拟建建（构）筑物轮廓线和周围已有建（构）筑物荷载、基础类型、埋深、地基处理深度等；
 - 3) 相关地下管线的分布、埋深及分布情况；
 - 4) 周边道路的分布及动荷载情况。
- 2 沿基坑边线的工程地质剖面图和垂直基坑边线的工程地质剖面图；
- 3 室内试验和原位测试结果有关图表；
- 4 必要的地层层面等值线图。

4.3.3 现场勘查与环境调查报告应明确载明引用原有《岩土工程勘察》报告的内容及核查变化情况，对设计文件的修改意见和建议，以及基坑工程施工和使用过程中的注意事项。

5 施工安全专项方案设计

5.0.1 施工单位应根据环境条件、地质条件、设计文件等基础性资料和相关工程建设标准，结合自身施工经验，针对各级风险工程编制施工安全专项方案，经施工单位技术负责人签认后，报监理审查。

5.0.2 监理单位应组织对施工安全专项方案的审查，填报施工方案安全性评估表和施工组织合理性评估表，对施工安全专项方案的审查应邀请专家、相关单位和人员参加。

5.0.3 基坑工程施工安全专项方案设计应满足下列要求：

- 1 应有针对危险源及其特征和安全等级的具体安全技术应对措施；
- 2 应按照消除、隔离、减弱危险源的顺序选择基坑工程安全技术措施；

3 应采用有可靠依据和科学的分析方法确定安全技术方案的可靠性和可行性；

4 应根据工程施工特点提出安全技术方案实施过程中的控制原则、明确重点监控部位和最低监控指标要求。

5.0.4 应根据施工图设计文件、风险评估结果、周边环境与地质条件、施工工艺设备、施工经验等选择相应的安全分析、安全控制、监测预警、应急救援技术。

5.0.5 应根据事故发生的可能性设定报警指标，提出可行的抢险方案和加固措施；对施工现场的临时堆土、塔吊设置，应进行包括稳定性在内的计算复核。

5.0.6 安全专项方案应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 工程地质与水文地质条件；
- 3 风险因素分析；
- 4 工程危险控制重点与难点；
- 5 施工方法和主要施工工艺；
- 6 基坑与周边环境安全保护要求；
- 7 监测实施要求；
- 8 变形控制指标与报警值；
- 9 施工安全技术措施；
- 10 应急方案；
- 11 组织管理措施。

5.0.7 施工单位应根据审查意见修改完善施工安全专项方案，报监理单位审批后方可正式施工，同时报建设单位备案。

6 支护结构施工

6.1 一般规定

- 6.1.1 基坑工程施工前应根据设计文件，结合现场条件和周边环境保护要求、气候等情况，编制支护结构施工方案。临水基坑施工方案编制应考虑波浪、潮位等对施工的影响，并应符合防汛主管部门的相关规定。
- 6.1.2 基坑支护结构施工应与降水、开挖相互协调，各工况和工序应符合设计要求。
- 6.1.3 基坑支护结构施工与拆除不应影响邻近市政管线、地下设施与周围建（构）筑物等的正常使用，必要时应采取减少环境影响的措施。
- 6.1.4 支护结构施工应对支护结构自身、已施工的主体结构和邻近道路、市政管线、地下设施、周围建（构）筑物等进行监测，并应根据监测结果及时调整施工方案，采取有效措施减少支护结构施工对基坑及周边环境安全的影响。
- 6.1.5 施工现场道路布置、材料堆放、车辆行走路线等应符合荷载设计控制要求；当采用设置施工栈桥措施时，应进行施工栈桥的专项设计。
- 6.1.6 基坑工程施工中，如遇邻近工程进行桩基施工、基坑开挖、边坡工程、盾构顶进、爆破等施工作业，应根据实际情况协商确定相互间合理的施工顺序和方法，必要时应采取减少相互影响。
- 6.1.7 支护结构施工前应进行试验性施工，以评估施工工艺和各项参数对基坑及周边环境的影响程度；必要时调整参数、工法或反馈修改设计选择合适的方案，以减少对周边环境的影响。
- 6.1.8 基坑开挖支护施工导致邻近建筑物不均匀沉降过大时，应采取调整支护体系或施工工艺、施工速度，或设置隔离桩、加固既有建筑地基基础、反压与降水纠偏等措施。

6.2 土钉支护

- 6.2.1 土钉墙支护施工应配合挖土和降水等作业进行，并应符合下列要求：
- 1 挖土分层厚度应与土钉竖向间距协调同步，逐层开挖并施工土钉，禁止超挖；挖土分段段长不得超过设计规定值；预留土墩尺寸不应小于设计值；
 - 2 开挖后应及时封闭临空面，应在 24h 内完成土钉安设和喷射混凝土面层；在淤泥质地层开挖时，应在 12h 内完成土钉安设和喷射混凝土面层；对可能产生流动的土，土钉上下排距较大时，宜将开挖分为二层并应严格控制开挖分层厚度，及时喷射混凝土底面层；
 - 3 上一层土钉完成注浆后，应满足设计要求或至少间隔 72h 方可允许开挖下一层土方；
 - 4 施工期间坡顶应严格按照设计要求控制施工荷载；
 - 5 土钉支护应设置排水沟、集水坑、坑内排水沟离边壁宜大于 1m；坡面应按设计要求

分层设置水平向泄水管；

6 周边环境变形控制指标要求高时，应严格控制土方开挖设备及其他振动源对土钉侧壁发生碰撞和产生振动；

7 环境调查结果显示基坑侧壁地下管线存在渗漏可能，或存在地表水补给的工程，应反馈修改设计，适当提高土钉设计安全度，必要时调整支护结构方案。

6.2.2 土钉施工应符合下列要求：

1 成孔孔径、角度、长度应符合设计要求；

2 采用洛阳铲施工时，应先降低地下水位，严禁在地下水位以上采用洛阳铲成孔；

2 当成孔过程中遇有障碍物或成孔困难需调整孔位及土钉长度时，应对土钉承载力及支护结构安全度进行复核计算，并应根据复核计算的结果调整土钉尺寸与杆体筋材；

3 采用钻机钻孔时，钻机移位应调整好机架及钻臂，保持机体平衡。作业完毕后，应将钻机停放在安全地带，进行清洗和保养。

4 对于灵敏度较高的粉土、粉质粘土及可能产生液化的土体，禁止采用振动法施工土钉；

5 设有水泥土截水帷幕的土钉支护结构，土钉成孔过程中应采取措施防止流土、流砂；

6 对空隙较大的土层，应采用较小的水灰比并应采取二次注浆方法保证土钉的设计承载力。

6.2.3 喷射混凝土作业应符合下列要求：

1 作业人员应佩戴防尘口罩、防护眼镜等防护用具，并避免直接接触液体速凝剂，不慎接触后应立即用清水冲洗；非施工人员不得进入喷射混凝土的作业区，施工中喷嘴前严禁站人；

2 喷射混凝土施工中应经常检查输料管、接头的使用情况，当有磨损、击穿或松脱时应及时处理；

3 喷射混凝土作业中如发生输料管路堵塞或爆裂时，必须依次停止投料、送水和供风；

4 冬季施工时应采取混凝土施工防冻措施，保证混凝土强度；

5 面层绑扎钢筋不宜过短；加强筋宜采用矩形布置并应保证焊接质量和与土钉端部阻滑钢筋可靠连接。

6.2.4 施工过程中应对产生的地面裂缝进行观测和分析，对因各工况条件下由于“基底”承载力不足引起侧壁下沉反射至地表的裂缝宽度较大时，应反馈设计，采取增设微型桩等超前支护，形成复合土钉；对因土钉水平位移较大形成地表裂缝较大时，应调整土钉长度或增设微型桩、锚杆等。

6.2.5 软土地层中，应避免采用土钉与有自由段的预应力锚杆、上下间隔布置的复合土钉支护形式。

6.3 水泥土重力式围护墙

6.3.1 应根据土层地质条件及加固深度、水泥土维护墙设计要求，选择二轴或三轴搅拌桩机进行施工，对有机质含量较大及不易搅拌均匀的土层严禁采用单轴搅拌机施工水泥土桩墙。

6.3.2 水泥土重力式围护墙应通过试验性施工，调整空压机输出压力和注浆压力，减小对周边环境的影响。

6.3.3 水泥土搅拌桩机施工过程中，其下部严禁站人。桩机移动过程中机械设备及施工人员不得在其周围活动，移动路线上不应有障碍物。

6.3.4 水泥土重力式围护墙施工时若遇有明浜、洼地，应抽水和清淤，并应回填素土压实。

6.3.5 型材或钢筋插入围护墙体时应采取可靠的定位措施，并应在成桩后 16h 内施工完毕。

6.3.6 围护墙体应采用连续搭接的施工方法，且应控制桩位偏差和桩身垂直度，保证有足够的搭接长度满足设计要求。施工中因故停浆时，应将钻头下沉（抬高）至停浆点以下（以上）0.5m 处，待恢复供浆时再喷浆搅拌提升（下沉）。

6.3.7 按成桩施工期、基坑开挖前和基坑开挖期三个阶段进行质量检测。

6.4 地下连续墙

6.4.1 地下连续墙成槽过程中，槽段边应根据槽壁稳定的要求控制施工荷载。

6.4.2 邻近水边的地下连续墙施工，应考虑地下水位变化对槽壁稳定的影响。

6.4.3 地下连续墙施工与相邻建（构）筑物的水平安全距离不宜小于 1.5m。

6.4.4 地下连续墙施工应设置钢筋混凝土导墙及施工道路，导墙养护期间，重型机械设备不宜在导墙附近作业或停留。

6.4.5 位于暗浜区、扰动土区、浅部砂性土中的槽段或邻近建筑物保护要求较高时，宜采用三轴水泥土搅拌桩对槽壁进行加固。

6.4.6 新拌制泥浆应经充分水化，贮放时间不应少于 24h。泥浆配合比应按土层情况试配确定，遇土层极松散、颗粒粒径较大、含盐或受化学污染时，应配制专用泥浆。新拌制、循环泥浆性能指标应符合相关规范要求。

6.4.7 成槽施工时应符合下列规定：

1 单元槽段应综合考虑地质条件、结构要求、周围环境、机械设备、施工条件等因素进行划分，单元槽段长度宜为 4m~6m；

2 槽内泥浆面不应低于导墙面 0.3m，同时槽内泥浆面应高于地下水位 0.5m 以上；

3 单元槽段宜采用跳幅间隔施工顺序。

6.4.8 钢筋混凝土预制接头应达到设计强度的 100%后方可运输及吊装，吊装的吊点位置及数量应根据计算确定。

6.4.9 钢筋笼吊装所选用的吊车应满足吊装高度及起重量的要求，主吊和副吊应根据计算确定。钢筋笼吊点布置应根据吊装工艺和计算确定，并进行整体起吊安全验算，按计算结果

配置吊具、吊点加固钢筋、吊筋等。

6.4.10 钢筋笼吊装前必须对钢筋笼进行全面检查，防止有剩余的钢筋断头、焊接接头等遗留在钢筋笼上。

6.4.11 钢筋笼采用双机抬吊作业时，应统一指挥，动作应配合协调，载荷应分配合理。

6.4.12 在保护设施不齐全、监管人不到位的情况下，严禁人员下槽、孔内清理障碍物。

6.4.13 应经常检查各种卷扬机、成槽机、起重机钢丝绳的磨损程度，并按规定及时更新。起重机械进场前进行检验，施工前进行调试，施工中应定期检验和维护，重视监督检查工作质量。

6.4.14 水下混凝土应采用导管法连续浇筑，并应符合下列规定：

- 1 导管管节连接应密封、牢固，施工前应试拼并进行水密性试验；
- 2 钢筋笼吊放就位后应及时灌注混凝土，间隔不宜超过 4h；
- 3 水下混凝土初凝时间应满足浇筑要求，水下浇筑时混凝土强度等级应按相关规范要求提高。

6.4.15 外露传动系统应有防护罩，转盘方向轴应设有安全警告牌。

6.4.16 成槽机、起重机工作时，回转半径内不应有障碍物，吊臂下严禁站人。

6.4.17 成槽机、履带吊应在平坦坚实的路面上作业、行走和停放。

6.4.18 履带吊机在吊钢筋笼行走时，载荷不得超过允许起重量的 70%，钢筋笼离地不得大于 500mm，并应栓好拉绳，缓慢行驶。

6.4.19 履带吊起重钢筋笼时应先稍离地面试吊，确认钢筋笼已挂牢，钢筋笼刚度、焊接强度等满足要求时，再继续起吊。

6.4.20 风力大于 6 级时，应停止钢筋笼及预制地下连续墙板的起吊工作。

6.5 灌注桩排桩围护墙

6.5.1 维护结构的灌注桩施工，当采用泥浆护壁的冲、钻、挖孔方法工艺时，应按有关规范要求控制桩底沉渣厚度与泥皮厚度。

6.5.2 钢筋保护层厚度应满足设计要求，并不应小于 30mm。

6.5.3 灌注桩施工时应保证钻孔内泥浆液面高出地下水位以上 0.5m，受水位涨落影响时，应高出最高水位 1.5m。

6.5.4 钻机施工应符合下列要求：

- 1 作业前应对钻机进行检查，各部件验收合格后才能使用；
- 2 钻头和钻杆连接螺纹应良好，钻头焊接牢固，不得有裂纹；
- 3 钻机钻架基础应夯实、整平，并满足地基承载能力，作业范围内地下无管线等地下障

碍物。作业现场与架空输电线路的安全距离符合规定。

4 钻进中，应随时观察钻机的运转情况，当发生异响、吊索具破损、漏气、漏渣、以及其他不正常情况时，应立即停机检查，排除故障后，方可继续开工。

5 桩孔净间距过小或采用多台钻机同时施工时，相邻桩应间隔施工，完成浇筑混凝土的桩与邻桩间距不应小于4倍桩径，或间隔施工时间宜大于36h。

6 泥浆护壁成孔时发生斜孔、塌孔或沿护筒周围冒浆以及地面沉陷等情况应停止钻进，经采取措施后方可继续施工。

7 采用气举反循环时，其喷浆口应遮拦，并应固定管端。

6.5.5 冲击成孔前以及过程中应经常检查钢丝绳、卡扣及转向装置，冲击时应控制钢丝绳放松量。

6.5.6 对非均匀配筋的钢筋笼吊放安装时，应保证钢筋笼的安放方向与设计方向一致。

6.5.7 混凝土浇注完毕后，应及时在桩孔位置回填土方或加盖盖板。

6.5.8 遇有湿陷性土层，地下水位较低，既有建筑物距离基坑较近时，应避免采用泥浆护壁的工艺进行灌注桩施工。

6.5.9 冠梁施工前应对所有灌注桩进行完整性检测，对不满足水平承载力的桩，应进行统计并反馈设计。

6.6 板桩围护墙

6.6.1 作业区内应无高压线路，作业区应有明显标志或围栏。桩锤在施打过程中，操作人员必须在距离桩锤中心5m以外监视。

6.6.2 组装桩机设备时，应对各紧固件进行检查，在紧固件未拧紧前不得进行配重安装。组装完毕后，应对整机进行试运转，确认各传动机构、齿轮箱、防护罩等良好，各部件连接牢靠。

6.6.3 板桩围护施工过程中，应加强周边地下水位以及超孔隙水压力的监测。

6.6.4 严禁吊桩、吊锤、回转或行走等动作同时进行。打桩机带锤行走时，应将桩锤放至最低位。打桩机在吊有桩和锤的情况下，操作人员不得离开岗位。

6.6.5 插桩后，应及时校正桩的垂直度。桩入土3m以上时，严禁用打桩机行走或回转动作来纠正桩的垂直度。

6.6.6 遇有雷雨、6级以上大风等恶劣气候时，应停止一切作业。并应将打桩机顺风向停放，增设缆风绳，或将桩立柱放倒在地面上。

6.6.7 作业中，当停机时间较长时，应将桩锤落下垫好。检修时不得悬吊桩锤。

6.6.8 作业后，应将打桩机停放在坚实平整的地面上，将桩锤落下垫实，并切断动力电源。

6.6.9 板桩打设前宜沿板桩两侧设置导向架。导向架应有一定的强度及刚性，不得随板桩打设而下沉或变形，施工时应经常观测导架的位置及标高。

6.6.10 采用振动桩锤作业时，悬挂振动桩锤的起重机，其吊钩上必须有防松脱的保护装置。振动桩锤悬挂钢架的耳环上应加装保险钢丝绳。

6.6.11 板桩围护墙基坑邻近建（构）筑物及地下管线时，应采用静力压桩法施工，并应根据环境状况控制压桩施工速率。

6.6.12 静力压桩作业时，应有统一指挥，压桩人员和吊装人员密切联系，相互配合。起重机的起重臂下严禁站人。

6.6.13 钢板桩施工应符合以下规定：

1 钢板桩的规格、材质及排列方式应符合设计或施工工艺要求。钢板桩堆放场地应平整坚实，组合钢板桩堆高不宜超过 3 层；

2 钢板桩打入前应进行验收，桩体不应弯曲、锁口不应有缺损和变形。后续桩与先打桩间的钢板桩锁口使用前应通过套锁检查。

6.6.14 混凝土板桩施工应符合以下规定：

1 混凝土板桩构件强度达到设计强度 30%后方可拆模，达到设计强度的 70%以上方可吊运，达到设计强度 100%方可沉桩；

2 混凝土板桩打入前应进行桩体外形、裂缝、尺寸等检查；

3 混凝土板桩沉桩中，凹凸榫应楔紧。

6.7 型钢水泥土搅拌墙

6.7.1 施工现场应先进行场地平整，清除搅拌桩施工区域的表层硬物和地下障碍物。现场道路的承载能力应满足桩机和起重机平稳行走的要求。

6.7.2 型钢的插入应符合下列要求：

1 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，并与已插好的型钢可靠连接；

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

3 当采用振动锤插入时，应通过监测以检验其对环境的影响；

4 型钢的插入施工不应在六级及以上风力时进行。

6.7.3 型钢的拔除与回收应符合下列要求：

1 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，并宜采用液压千斤顶配以吊车进行；

2 当基坑内外水头不平衡时，不得拔除；

3 周边环境条件复杂、环境保护要求高、拔除对其影响较大时，型钢不宜回收；

4 回收型钢施工，应编制包括浆液配比、注浆工艺、拔除顺序等内容的施工安全方案。

6.7.4 采用型钢水泥土搅拌墙作为基坑支护结构时，基坑开挖前应检验水泥土搅拌桩的桩身

强度，强度指标未达到设计要求时，应采取相应措施。

6.8 沉井与沉箱

6.8.1 拟建工程周边存在建（构）筑物、管线等环境变形要求严格时，宜采用沉箱施工工法。

6.8.2 沉井与沉箱制作时外排脚手架应与模板脱开。

6.8.3 沉箱工程施工应采用远程遥控机械化施工技术。

6.8.4 刃脚施工结束后达到设计强度 100%，方可进行后续施工。

6.8.5 沉井（箱）挖土下沉应分层、均匀、对称进行，应根据现场施工情况采取止沉或助沉措施，控制沉井（箱）平稳下沉。

6.8.6 作业人员从常压环境进入高压环境或从高压环境回到常压环境均应符合相关程序与规定。

6.8.7 开舱前应详细检查各项装置的功能，施工时应按操作规程使用。

6.8.8 供气间应保持通风，冬季室内温度应保持在 18℃ 左右。氧气设备应指定专人负责，严禁烟火。

6.8.9 高压氧舱的各种设备及附属设施的使用均应符合相关规定，严禁违章操作。

6.8.10 工作室有人状态下的氧浓度控制在 19%~23%，二氧化碳的最大含有率为 5000ppm（5%）。舱门外侧应安装一台氧监测仪，同时应配备一台便携式测氧仪可在沉箱内随时监测氧浓度。

6.8.11 沉箱在严格执行换气的同时应用气体测试仪测定是否含有有害气体。如果含有有害气体，按缺氧换气的方法排出有害气体，有毒气体的排放应符合国家规定的允许排放值。

6.8.12 工作室应配置多台沼气类浓度报警装置，增强通风。

6.8.13 在工作室内必须严格遵守以下规定：

- 1 照明设备应使用防爆阻燃电具，工作电压不得超过 12V；
- 2 工作室应使用灭弧式电路开关器；
- 3 工作室应使用阻燃式供暖设备；
- 4 气压超过 0.1MPa 时，不宜进行焊接、熔断等产生弧光的作业；
- 5 火种和易燃易爆物品严禁带入工作室，标识应该明显；
- 6 工作室及过渡舱及移动减压舱均需配备泡沫灭火器。

6.8.14 使用加压室必须遵守以下规定：

1 开始使用前应仔细检查进排气设备以及通话警报装置的工作状况，如发现异常必须立即进行维修；

- 2 加压时不应使用纯氧；
- 3 除了必要的出入口外，应关好主室和副室门，而且保证各室内的气压相等；
- 4 随时监视气闸室内的状态以确保无异常情况发生；

5 应对加压室内的设备装置的工作状况以及有无异常情况进行定期检查,如发现异常必须立即进行维修;

6 未达到减压要求时,作业人员应及时进入减压室,在减压室内进行再加压,加压到减压前气压,按照规定时间进行减压。

6.8.15 如必须进入高压工作室进行焊接工作时,应对高压工作室内的气体进行化验,有毒气体及燃爆性气体等安全指标达标后,方可进行焊接工作。

6.8.16 沉井与沉箱施工,除应满足土方开挖要求外,尚应采用措施减少降水施工对周围环境的影响。

6.9 内支撑

6.9.1 支撑系统的施工与拆除顺序,应与支护结构的设计工况相一致,应严格遵守先撑后挖的原则;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应采取止水构造措施。

6.9.2 支撑结构上不应堆放材料和运行施工机械,当需要利用支撑结构兼做施工平台或栈桥时,应进行专门设计。

6.9.3 基坑开挖过程中应对基坑回弹引起的立柱上浮进行监测,施工单位根据监测数据调整施工参数,必要时采取相应的整改措施。

6.9.4 混凝土冠梁、腰梁与支撑杆件宜整体浇筑,超长支撑杆件宜分段浇筑养护。混凝土支撑应达到设计强度的 70%后方可进行下方土方的开挖。

6.9.5 钢支撑的施工应符合下列要求:

- 1 钢支撑吊装就位时,吊车及钢支撑下方禁止有人员站立,现场做好防下坠措施;
- 2 支撑端头应设置封头端板,端板与支撑杆件应满焊;
- 3 支撑与冠梁、腰梁的连接应牢固,钢腰梁与围护墙体之间的空隙应填充密实;采用无腰梁的钢支撑系统时,钢支撑与围护墙体的连接应满足受力要求。

6.9.6 钢支撑的预应力施加应符合下列要求:

- 1 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应力;预应力应均匀、对称、分级施加;
- 2 预应力施加过程中应检查支撑连接节点,必要时应对支撑节点进行加固;预应力施加完毕后应在额定压力稳定后予以锁定;
- 3 钢支撑使用过程应定期进行预应力监测,必要时应对预应力损失进行补偿。

6.9.7 立柱桩施工前应对其单桩承载力进行验算,竖向荷载应按最不利工况取值,立柱在基坑开挖阶段应考虑以下竖向荷载作用:支撑与立柱的自重、支撑构件上的施工荷载等。

6.9.8 立柱桩采用钻孔灌注桩时,宜先安装立柱,再浇筑桩身混凝土。基坑开挖前,立柱周边的桩孔应均匀回填密实。

6.9.9 支撑拆除应在可靠换撑形成并达到设计要求后进行，且应符合下列要求：

- 1 支撑拆除时应设置安全可靠的防护措施和作业空间，并应对主体结构采取保护措施；
- 2 钢筋混凝土支撑的拆除，应根据支撑结构特点、永久结构施工顺序、现场平面布置等确定拆除顺序；
- 3 钢筋混凝土支撑采用爆破拆除的，爆破孔宜在钢筋混凝土支撑施工时预留，支撑与围护结构或主体结构相连的区域宜先行切断。

6.9.10 拆除施工前，必须对施工作业人员进行书面安全技术交底。

6.9.11 进行人工拆除作业时，作业人员应站在稳定的结构或脚手架上操作，支撑构件应采取有效的下坠控制措施，方可切断两端的支撑，被拆除的构件应有安全的放置场所。

6.9.12 机械拆除施工时，应按照施工组织设计选定的机械设备及吊装方案进行施工，严禁超载作业或任意扩大使用范围。供机械设备使用的场地必须保证足够的承载力。作业中机械不得同时回转、行走。

6.9.13 机械拆除作业时，对较大尺寸的构件或沉重的材料，必须采用起重机具及时吊下。拆卸下来的各种材料应及时清理，分类堆放在指定场所，严禁向下抛掷。

6.9.14 爆破拆除工程应根据周围环境作业条件、拆除对象、建筑类别、爆破规模，按照现行国家标准《爆破安全规程》（GB 6722）将工程分为 A、B、C 三级，并采取相应的安全技术措施。爆破拆除工程应做出安全评估并经当地有关部门审核批准后方可实施。

6.9.15 从事爆破拆除工程的施工单位，必须持有工程所在地法定部门核发的《爆破物品使用许可证》，承担相应等级的爆破拆除工程。爆破拆除设计人员应具有承担爆破拆除作业范围和相应级别的爆破工程技术人员作业证。从事爆破拆除施工的作业人员应持证上岗。

6.9.16 施工单位必须依据拆除工程安全施工组织设计或安全专项施工方案，在拆除施工现场划定危险区域，并设置警戒线和相关的安全标志，应派专人监管。

6.10 土层锚杆

6.10.1 锚杆的设置应避免对相邻建（构）筑的基础产生不利影响。

6.10.2 锚杆设计、施工选型应符合下列要求：

- 1 锚杆承载力高、变形量小和需锚固于地层较深处的工程，可选用注浆型预应力锚杆；地层开挖后必须立即提供初始预应力的工程或抢险工程，可选用机械型预应力锚杆、聚氨酯锚杆；
- 2 承载力要求较低或地层腐蚀性强的土层，可选用压力型预应力锚杆；
- 3 承载力要求较高，可选用拉力分散型锚杆和压力分散型锚杆，有条件时可选用旋喷或变节、扩大端锚杆；
- 4 需要进行地层加固或容许有适量变形时，可选用全长粘结型锚杆；
- 5 使用功能完成后，不允许筋材滞留于地层内的工程，应采用可回收锚杆；

6 对注浆压力有严格控制的土层，可采用聚胺脂注浆锚杆或自钻式锚杆。

6.10.3 锚杆正式施工前应进行锚杆杆体、锚头、套管、注浆管路的检查。

6.10.4 锚孔钻进作业时，应保持钻机及作业平台稳定牢靠，除钻机操作人员还应安排至少1人协助作业，作业人员应佩戴安全带、安全帽等防护用品。

6.10.5 采用高压注浆工艺施工的锚杆，应采取跳打、控制钻进速度、成孔冲水压力等措施，减少施工过程对周边环境的影响。

6.10.6 锚杆在不稳定地层钻孔，或地层受扰动易导致水土流失而危及邻近建（构）筑物稳定性时，应采用套管跟进施工工艺。

6.10.7 当成孔过程中遇有障碍物或成孔困难需调整孔位及锚杆长度时，应对锚杆承载力及支护结构安全度进行复核。

6.10.8 锚杆杆体制作完成后应尽早使用，不宜长期存放，对存放时间较长的杆体，在使用前必须进行严格检查。制作完成的杆体不得露天存放，宜存放在干燥清洁的场所；当存放环境潮湿时，杆体外露部分应进行防潮处理。应避免机械损伤或介质侵蚀污染杆体。

6.10.9 施工中应对锚杆位置、钻孔直径、钻孔深度和角度、锚杆杆体长度和杆体插入长度进行检查。

6.10.10 注浆浆液应搅拌均匀，随搅随用，并在初凝前用完。严防石块、杂物混入浆液。并对浆液配合比、压力、注浆量进行检查。

6.10.11 全长粘结型锚杆应抽查锚杆的锚固体饱满度；预应力锚杆应抽查预应力施加情况。

6.11 与主体结构相结合支护结构及逆作法

6.11.1 地下室水平构件与支撑相结合时，结构水平构件宜采用木模或钢模进行施工，采用的模板支撑地基应满足承载力和变形要求。

6.11.2 在楼板结构水平构件上留设的临时施工洞口位置宜上下对齐，应满足施工及自然通风等要求；

6.11.3 支护结构形成的侧墙与主体结构外墙复合受力时，应在结合面连接部位处设置剪力槽等剪力传递构造措施。

6.11.4 逆作法施工时还应符合下列规定：

1 应按柱距和层高合理选择土石方作业机械，必要时可采用“两层一挖”逆作法；

2 合理设置出土预留洞口的位置和数量，满足土方和材料垂直运输和流水作业的需要，预留洞口在边跨，以及梁板作为土方、材料堆放场地或车辆行驶通道等临时场地时，要事先验算圈梁和楼板的承载力，承载力不足时须进行加强，并经设计复合认可；

3 地下室施工时应采用鼓风法从地面向地下送风到工作面，鼓风功率应不低于 $1\text{kW}/1000\text{m}^3$ ；

4 宜采用专门的大型自动提土设备垂直运输土石方，运输轨道设置在主体结构的，要

对结构承载力进行验算，并经设计同意；

5 当逆作梁板混凝土强度达到设计强度等级的 90%并经设计同意时才能进行下层土石方的开挖，必要时加入早强剂和提高混凝土的配制强度等级；

6 应复核地下室核心筒未完成之前临时柱允许上部结构可施工的层数，地下室未完成之前上部结构施工不得超过此允许层数；

7 应采用信息化施工方法，监测围护结构的垂直与水平变形、基坑隆起、室外地面沉降、建筑沉降等；

8 宜设置降水井超前降水，保持降水至地下室完成。

6.11.5 临时结构拆除时应采取措施确保主体结构的质量不受影响。

6.12 截水帷幕与坑内加固

6.12.1 截水帷幕采用双轴水泥土搅拌桩或三轴水泥土搅拌桩时，宜先施工隔水帷幕，再施工灌注排桩，双轴水泥土搅拌桩施工应符合本规范 6.3 节的相关要求；三轴水泥土搅拌桩施工应符合本规范第 6 章的相关要求。隔水帷幕与灌注桩间不应存在间隔。

6.12.2 砂层中采用水泥土截水帷幕，应对其阻渗效果进行检验，对其渗透系数应进行验算；当不满足相关规范要求或阻渗效果差时，应增加合适的添加剂，满足抗渗设计要求。

6.12.3 灌注桩排桩围护墙结合截水帷幕作为支护结构时应符合下列规定：

- 1 截水帷幕与灌注桩排桩之间的净距不宜大于 200mm；
- 2 在明（暗）浜区域截水帷幕水泥掺入比应提高 3%~5%；
- 3 在粉性土及砂土中，当环境保护要求较高时，宜在灌注桩与截水帷幕之间采取注浆等措施。

6.12.4 截水帷幕相邻搅拌桩的搭接时间间隔不宜大于 24 小时。

6.12.5 特殊情况下采用高压喷射注浆法作为局部截水帷幕时，应采用复喷工艺，喷浆下沉或提升速度不应大于 100mm/min。

6.12.6 对安全等级为一级的基坑工程，应先进行基坑围护施工，再进行坑内土体加固施工。

6.12.7 采用搅拌桩加固施工时，搅拌桩桩顶标高以上部分宜进行低掺量回掺。

6.12.8 高压喷射射浆法应根据工程需要采用单管法、双管法和三管法进行施工。高压喷射注浆法加固施工应符合下列要求：

1 施工前应根据现场环境和地下埋设物的位置情况，确定高压喷射注浆的孔位；

2 高压喷射注浆宜采用水泥浆，可根据需要在水泥浆液中加入速凝剂、悬浮剂等，掺和料与外加剂的种类及掺量应通过试验确定；

3 使用高速搅拌机的水泥浆搅拌时间不应小于 30s；使用普通搅拌机的水泥浆搅拌时间不应小于 90s，水泥浆从制备到使用完毕的时间不应超过 4h；

4 有特殊要求的工程可采用复喷施工技术措施，复喷施工应先喷一遍清水再喷一遍或两遍水泥浆；

5 相邻两桩施工间隔时间不应小于 48h，先后施工的两桩间隔不应小于 4~6m。

6.12.9 注浆法加固施工应符合下列要求：

1 浆液应采用搅拌机充分搅拌均匀，搅拌应缓慢不停顿，搅拌时间应小于浆液的初凝时间；搅拌均匀后的浆液应经筛网过滤后进行泵送注浆；

2 当钻到设计深度后，应通过钻杆注入封闭泥浆，直到孔口溢出泥浆方可提杆；当提杆至中间深度时，应再次注入封闭泥浆；

3 注浆可采用塑料阀管注浆、花管注浆和压密注浆等方法；

4 注浆管上拔时宜采用拔管机。

7 降水与排水

7.1 一般规定

7.1.1 基坑工程地下水控制应根据场地工程地质与水文地质条件、基坑挖深、地下水降深以及环境条件综合确定，宜按工程要求、含水层性质、周边环境条件等选择明排、真空井点、喷射井点、管井、渗井和辐射井等方法，并可与隔水帷幕和回灌等方法组合使用，并应优先选择对地下水资源影响小的隔水帷幕、自渗降水、回灌等方法。

7.1.2 基坑穿过相对不透水层，且不透水层顶板以上一定深度范围内的地下水通过井点降水不能彻底解决时，应根据需要采取必要的排水、处理等措施。

7.1.3 管井降水、集水明排应采取措施严格控制出水含砂量，在降水水位稳定后降水后其含砂率(砂的体积：水的体积)粗砂地层应小于 1/50000、细砂和中砂地层应小于 1/20000。

7.1.4 抽排出的水应进行处理，妥善排出场外，防止倒灌流入基坑。

7.1.5 采用不同地下水控制方式时，可行性或风险性评价应符合下列规定：

- 1 集水明排方法时，应评价产生流砂、流土、潜蚀、管涌、淘空、塌陷等的风险性；
- 2 隔水帷幕方法时，应评价隔水帷幕的深度和可能存在的风险；
- 3 回灌方法时，应评价同层回灌或异层回灌的可能性。采用同层回灌时，回灌井与抽水井的距离可根据含水层的渗透性计算确定；
- 4 降水方法时，应对引起环境不利影响进行评价，必要时采取有效措施，确保不致因降水引起的沉降对邻近建筑和地下设施造成危害；
- 5 自渗降水方法时，应评价上层水导入下层水对下层水环境的影响，并按评价结果考虑方法的取舍。

7.1.6 对地下水采取施工降水措施时，应符合下列规定：

- 1 降水过程中应采取有效措施，防止土颗粒的流失；
- 2 防止深层承压水引起的流土、管涌和突涌，必要时降低基坑下含水层中的承压水头；
- 3 评价抽水造成的地下水资源损失量，结合场地条件提出地下水综合利用方案建议。

7.1.7 应编制晴雨表，安排专人负责收听中长期天气预报的工作，并根据天气预报及时调整施工进度。雨前要对已挖开未进行支护的侧壁边坡采用防雨布进行覆盖，配备足够多抽水设备，雨后及时排走基坑内积水。

7.1.8 坑外地面沉降、建筑物与地下管线不均匀沉降值或沉降速率超过设计允许值时，应分析查找原因，提出对策。

7.2 降水与隔水方法选择

7.2.1 降水方法应根据地质条件、降水目的、降水技术要求（降水范围、降水深度、降水时间等）、降水工程可能涉及的环境保护范围等进行确定，并符合下列规定：

- 1 基础施工时地下水位应保持在基坑底面以下 0.5 以下或满足设计施工要求；
- 2 能防止土颗粒的流失；
- 3 能防止深层承压水引起的流土、管涌和突涌，并可通过措施降低基坑下的承压水头；
- 4 抽排地下水对地下水资源影响较小且能充分利用；
- 5 抽排地下水对基坑周边现状的影响在可控范围之内。

7.2.2 当采用引渗井点作为降水方法时，应考虑上部含水层的水质是否存在污染和引渗井点的降水能力随时间不断衰减以及混合水位变化。

7.2.3 对承压含水层进行减压降水时，应根据工程环境条件、水文地质条件、隔水帷幕插入承压含水层的深度等选择采用基坑外降水、基坑内降水或坑内、外结合的降水方式。

7.2.4 当上部含水层水质较差，应评价多层地下水混合管井降水对下部含水层水环境的影响；当采用混合管井降水时，宜在降水停止后应采取有效措施确保管井不使上下含水层连通。

7.2.5 考虑土质情况与降水深度的降水方法可按表 7.2.5 选用。

表 7.2.5 工程降水方法及适用条件

适用条件		土质类别	渗透系数 (m/d)	降水深度 (m)
集水明排		填土、粘性土、粉土、砂土	<20.0	<5
降水井	真空井点	粉质粘土、粉土、砂土	0.1~20.0	单级<6 多级<12
	喷射井点	粉土、砂土	0.1~20.0	<20
	管井	粉质粘土、粉土、砂土、碎石土、岩石	>1	不限
	渗井	粉质粘土、粉土、砂土、碎石土	>0.1	不限
	辐射井	粘性土、粉土、砂土、碎石土	>0.1	不限

7.2.6 同一工程可根据地层特点、支护型式、周边环境条件等不同要求，在不同的部位选用适合的隔水方法，并可采用多种隔水组合方式。隔水方法可按表 7.2.6 选用。

表 7.2.6 隔水方法及适用条件

适用条件		土质类别	适用挖深(m)	施工及场地等其他条件
隔水方法				
沉箱		各种地层条件	不限	地下水控制面积较小，如竖井等
地下连续墙		除岩溶外的各种地层条件	不限	基坑周围施工宽度狭小，邻近基坑边有建筑物或地下管线需要保护
连续排列的排桩墙	桩锚+搅拌桩帷幕	粘性土、粉土等地层条件，搅拌桩不适用砂、卵石等地层	不限	基坑较深、临近有建筑物不允许放坡、不允许附近地基有较大下沉和位移等条件
	桩锚+旋喷桩帷幕	粘性土、粉土、砂土、砾石等各种地层条件	不限	基坑较深、临近有建筑物不允许放坡、不允许附近地基有较大下沉和位移等条件
	钻孔咬合桩	粘性土、粉土、砂土、砾石等各种地层条件	不限	—
SMW 工法		粘性土和粉土为主的软土地区	6~10	采用较大尺寸型钢和多排支点时深度可加大
组合隔水帷幕	旋喷或深层搅拌法水泥土重力式挡墙	淤泥、淤泥质土、粘性土、粉土	不宜超过 7m	1 基坑周围具备水泥土墙的施工宽度； 2 对周围变形要求较严格时慎用
	袖阀管注浆法	各种地层条件	不宜大于 12m	在支护结构外形成止水帷幕，与桩锚、土钉墙等支护结构组合使用
	土钉墙与止水帷幕结合式、土钉墙与止水帷幕分离式	填土、粘性土、粉土、砂土、卵砾石等土层	不宜大于 12m	1 安全等级为二级的非软土地地； 2 基坑周围有放坡条件，临近基坑无对位移控制严格的建筑物和管线等
	长螺旋旋喷搅拌水泥土桩	各种土层条件	不限	适用于在已施工护坡桩间做止水帷幕，能够克服砂卵石等硬地层条件
冻结法		粘性土、粉土、砂、卵石等各种地层，砾石层中效果不好	不限	大体积深基础开挖施工、含水量高地层，25m~50m 的大型和特大型基坑更据造价与工期优势
坑底水平封底隔水		粘性土、粉土、砂土、卵砾石等土层	不限	—

7.3 排水、降水

I 集水明排

7.3.1 排水沟和集水坑宜布置于地下结构外边距坡脚不小于 0.5m。

7.3.2 排水沟深度和宽度应根据基坑排水量确定，沟底宽不宜小于 0.3m，坡度不宜小于 0.1%；集水坑大小和数量应根据地下水量大小和积水面积确定，且直径(或宽度)不宜小于 0.6m，其底面应比排水沟沟底深不宜小于 0.5m，间距不宜大于 30m。

7.3.3 水沟或集水井的排水量和基坑涌水量宜符合下列规定：

1 水沟或集水井的排水量满足下式要求：

$$V \geq 1.5Q \quad (7.3.3)$$

式中， V —排水量（ m^3/d ）；

Q —基坑涌水量（ m^3/d ）。

2 基坑涌水量可根据经验或参照邻近工程排水情况确定，在没有经验的情况下，可根据附录 XX1、XX2 估算；

7.3.4 集水坑壁应有防护结构，并采用碎石滤水层、泵头包纱网等措施。

7.3.5 当基坑壁出现分层渗透水时，可针对性地设置导水管，将水引入排水沟。

7.3.6 当基坑开挖深度超过地下水位之后，排水沟与集水井的深度应随开挖深度不断加深，并及时将集水井中的水排出基坑。

7.3.7 排水设备宜采用潜水泵、离心泵或污水泵，水泵的泵量、扬程、水量可根据排水量大小及基坑深度确定。

II 管井降水

7.3.8 降水井宜在基坑外缘环圈式布置；当基坑面积较大，且局部有深挖区域时，也可在基坑内布置。

7.3.9 降水井点可用冲孔法或钻孔法成孔，成孔施工应符合下列规定：

1 施工前先查明有关地下构筑物及地下电源、水、煤气管道的情况，及时按国家有关规定采取防护措施；

2 保持机械设备整齐完好，磨损控制在标准范围内，齿轮及齿轮啮合处润滑良好；

3 钻机转动部分应有安全防护装置，开钻前应检查齿轮箱和其他机械传动部分是否灵敏、安全、可靠；

4 施工现场的沟、坑等处应有防护装置或明显标志，护孔管理好后应加盖或设置警戒线，泥浆池要设置防护栏杆；

5 在架空输电线附近施工，应严格按安全操作规程的有关规定进行施工，高压线的正下方不得堆放吊车等设备，钻架与高压线之间应有可靠的安全距离；

6 夜间施工要有足够的照明设备，钻机操作台、传动及转盘等危险部位，主要通道不能留有黑影。

7.3.10 轻型井点降水运行应符合下列规定：

1 总管与真空泵接好后，开动真空泵开始试抽水，检查泵的工作状态是否正常，如发现问题应及时排除；

2 检查支管、总管路的密封性，如密封性不好，必须采取措施，保证真空泵的真空度达

到 0.08MPa 以上；

3 试抽水一切正常后预抽水时间为 15 天后开始正式抽水运行；

4 降水运行期间，现场实行 24 小时值班制，保证真空泵 24 小时连续工作，经常检查泵的工作状态是否正常及抽水管路的密封性，如发现问题要及时排除；

5 及时做好降水记录。

7.3.11 管井降水抽水运行应符合下列规定：

1 每成井施工完一口井即投入试运行一口，以便及时抽通水井，确保井的出水量；

2 试运行之前，需测定各井口和地面标高、静止水位，然后开始试运行，以检查抽水设备、抽水与排水系统能否满足降水要求；

3 安装前应对泵体和控制系统作一次全面细致的检查；

4 试运行抽水时间控制在 3 天，即每口井成井结束后连续抽水 3 天，以检查出水质量和出水量；

5 坑内疏干井需在基坑开挖前 20 天开始抽水，以满足预抽水时间，保证降水效果；

6 抽出的地下水分别进入到集水箱后，由集水箱内水泵排到基坑边的排水沟；

7 注意对降水井的保护，严禁挖土机破坏；

8 井点降水时应减缓降水速度，均匀出水，减少土粒带出；

9 当发生涌水、涌砂应及时封堵，必要时回填土体稳定险情；

10 井点应连续运转，避免间歇和反复抽水，保证降水位缓慢下降、达到降深要求后，调整抽水井布局，保证动水位稳定，减小在降水期间引起的地面沉降量。

7.3.12 降水维护管理宜符合下列要求：

1 定时巡视降排水系统的运行情况，及时发现和处理系统运行的故障和隐患；

2 在更换水泵时应先量测井深，掌握水泵安全合理的下入深度；

3 注意对井口的防护、检查，防止杂物掉入；

4 当发生停电时，应及时更换电源，尽量缩短因断电而停止抽水的时间间隔，备用发电机保持良好，要随时处于准备发动状态；

5 发现出水、涌砂，应立即查明原因，协同施工单位及时处理。

7.3.13 井点的拔除在基础及已施工部分的自重大于浮力的情况下进行，所留孔洞用砂或土填塞，对地基有隔水要求时，地面下 2m 可用粘土填塞密实。

7.4 截水、隔水与失效预防

I 高压喷射注浆隔水

7.4.1 高压喷射注浆法隔水帷幕适用于淤泥、淤泥质土、流塑、软塑或可塑粘性土、粉土、砂土、黄土、素填土、和碎石土等地层；当土含有较多大粒径块石、大量植物根茎或含有较高的有机质以及地下水流速过大或已涌水时，应通过现场试验确定其适用性。

7.4.2 当砂砾层地下水位较高、开挖出现部分渗水或涌水，或采用抽水方法可能导致基坑周围地面下沉以及建筑物密集地区严禁抽水时，可设置高压喷射注浆法形成隔水帷幕。

7.4.3 高压喷射注浆法隔水帷幕应伸入相对不透水层。

7.4.4 高压喷射注浆形成的隔水或加固体强度及范围，应现场试验确定；无现场试验资料时，也可参照类似土质条件的工程经验。

II 压力注浆隔水

7.4.5 压力注浆法隔水帷幕适用于处理粉土、砂土、黄土、素填土和碎石土等地层。

7.4.6 当土层变化大需分段注浆时，可采用套管护壁注浆法或袖阀管注浆法，进行分段注浆。

7.4.7 当土层存在动水或土层较软弱时，可采用双液注浆法来控制浆液的作用范围；并应控制好两种浆液混合后的凝固时间；以及两种浆液混合后在管内的时间应小于浆液的凝固时间。

III 三轴水泥土搅拌桩墙隔水

7.4.8 三轴水泥土搅拌桩适用于粘性土(硬塑及以下)、粉土、砂土(中密及以下)等土层，对于湿陷性土、冻土、膨胀土、盐渍土等特殊土地层，则应结合当地工程经验应用。

7.4.9 三轴水泥土搅拌桩作为隔水帷幕，应采用套接1孔法施工，其抗渗性能应满足墙体自防渗要求，渗透系数不宜大于 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 。

7.4.10 三轴水泥土搅拌桩内插型钢作为复合支护结构时，对于环境条件要求较高、桩身在砂土、粉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。

7.4.11 三轴水泥土搅拌桩作为单独布置的隔水帷幕，应符合以下规定：

1 搅拌桩与挡土桩墙的净距不宜大于150mm；

2 对于环境条件要求较高、桩身在砂土、粉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，宜增加搅拌桩宽度或排数，或在搅拌桩与挡土桩墙间设置注浆等加强隔水措施。

7.4.12 在局部场地空间不足、桩身在砂土、粉土等透水性较强的土层中也可采用多排三轴水泥土搅拌桩内套打挡土桩墙布置。

7.4.13 三轴水泥土搅拌桩应通过试成桩试验确定搅拌机械的注浆泵输送量、水泥浆从输送管到达搅拌机喷浆口的时间、下沉和提升速度、水泥浆液水灰比等工艺参数，以及成桩工艺与施工步骤。水泥土搅拌桩的成桩工艺应保证水泥土强度和型钢较易插入。

7.4.14 单桩搅拌次数或搅拌时间应能保证水泥土搅拌桩的成桩质量。搅拌机头在正常情况下为一上一下进行工作，对含砂量大的土层，宜增加次数。

7.4.15 三轴水泥土搅拌桩间搭接施工的间隔时间不宜大于 24h，如超过 24h，搭接施工时应放慢搅拌速度。若无法搭接或搭接不良，应作为冷缝记录处理，在搭接处采取补做搅拌桩或旋喷桩等技术措施。

7.4.16 三轴水泥土搅拌桩墙对于硬质土层，当成桩有困难时，可采用预先松动土层的先行钻孔套打方式施工。

7.4.17 采用三轴水泥土搅拌桩时，基坑开挖前应检验水泥土搅拌桩的桩身强度，强度指标应符合设计要求，钻孔取芯完成后的空隙应注浆填充。

7.4.18 三轴水泥土搅拌桩墙在基坑开挖期间应检查开挖面墙体的质量以及渗漏水情况。

7.4.19 三轴水泥土搅拌桩在整个施工过程中应进行周边环境全过程监测，实施信息化管理指导施工。

7.4.20 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调整施工参数。当邻近保护对象时，搅拌下沉速度宜控制在 0.5m/min~0.8m/min，提升速度宜控制在 1m/min 内；喷浆压力不宜大于 0.8MPa。

7.4.21 三轴水泥土搅拌桩内插型钢，型钢拔出前应将地下室外墙与搅拌桩间填密实，型钢采取跳拔，拔出时应对周边环境进行监测，并对型钢拔出后留下的空隙应及时进行注浆填充。

IV 钢板桩隔水

7.4.22 钢板桩作为隔水帷幕应为锁口式构造。选取钢板桩作为挡土结构及隔水帷幕时应考虑钢板桩的打入(拔除)的可行性，以及评估施工对周围环境的影响。

7.4.23 钢板桩打入可采用排桩打入(或称屏风法)施工方法。钢板桩在拔除前应先用振动锤振动钢板桩，拔除后的桩孔应采用注浆回填。打入与拔除时应对周边环境进行监测。

V 钻孔咬合桩隔水

7.4.24 兼作隔水帷幕的钻孔咬合桩宜采用软切割全套管钻机施工。全套管钻孔咬合桩适用于粘性土、粉土、砂土、填土、碎石土及风化岩层。

7.4.25 全套管钻孔咬合桩施工，应针对产生砂土管涌的不同条件，采取不同的克服砂土管涌的技术措施，随时观察孔内地下水和穿越砂层的动态，按少取土多压进的原则操作，确保套管超前。

7.4.26 为防止第一序列桩的混凝土管涌，第二序列桩施工应符合下列要求：

- 1 第一序列桩混凝土的坍落度不宜超过 18cm；
- 2 套管底口应始终保持超前于开挖面 2.5m 以上；
- 3 如遇套管底无法超前时，可向套管内注入水来平衡第一序列桩混凝土的压力，阻止“管涌”的发生。

VI 袖阀管注浆法隔水

7.4.27 袖阀管注浆法适用于砂土、粉性土、粘性土和一般填土层。选择前应进行技术和经济论证，对于地下水流速较大的工程要慎重应用。

7.4.28 对重要工程，注浆设计前必须进行室内浆液配比试验和现场注浆试验。

7.4.29 现场注浆试验孔的布置应选取具代表性的地段，并在土层中宜采用钻孔取芯结合注水试验检验隔水防渗效果。

VII 冻结法隔水

7.4.30 冻结法隔水帷幕选择时应考虑经济合理性、冻结时间，冻胀融沉对周边环境的影响。

7.4.31 采用冻结法的工程勘察应探明包括含水层埋深、厚度、渗透系数、地下水位及变化幅度，以及含水层与地表水的水力联系等，当受冻层地下水活动频繁时，还应提供该含水层的地下水流向、流速等资料，并应增加土层的原始地温、结冰温度、导热系数、比热和冻胀率等和冻土的抗压强度、剪切强度、抗折强度、融沉率等物理力学特性指标。

7.4.32 冻结孔施工过程应采取措施减小成孔引起土层沉降，及时监测倾斜指标，并采取针对性的防偏措施确保质量。

7.4.33 冻结管应选用导热和低温性能好的材质，冻结管接头强度验算和加强应考虑拔管和冻结壁的变形影响；冻结管下入地层后应进行试压。

7.4.34 冰冻站安装应进行管路密封性试验，并应采取措施保证冻结站的冷却效率，正式运转后不得无故停止或减少供冷，必要时应采取应急预案。

7.4.35 应对冻结壁设置测温孔对冻结过程进行监控，测温孔的布置和测温精度、测温频率等要求应满足设计和有关规范要求。

7.4.36 开挖前应对冻结壁的形成进行检测分析，并对冻结运转参数进行评估；检验合格以及施工准备工作就绪后方可进行试开挖，试开挖判定具备开挖条件后可进行正式开挖。

7.4.37 开挖过程中，应维持地层的温度稳定，并对冻结壁进行位移和温度监测。

7.4.38 冻结壁解冻过程应继续对土层和周边环境进行监测，必要时尚应对地层进行补偿注浆等措施，冻结壁全部融化后应继续监测直到沉降达到控制要求。

7.4.39 冻结工作结束后，应对遗留在地层中的冻结管进行填充，以及进行封孔，并保留记录，冷冻站拆除时宜回收盐水，不得随意排放污染环境。

VIII 渗流变形判定与预防

7.4.40 截水、隔水措施应用于各种支护形式中，以避免基坑开挖和降水造成周边地下水的流失，对周围环境造成影响。应采取的措施防止以下几种情况引起止水措施失效：

- 1 止水深度不够，地下水渗流越过帷幕底部产生管涌、流砂现象；
- 2 止水帷幕桩身平面位置、垂直度偏差过大，帷幕渗漏严重；
- 3 止水帷幕桩的水泥掺入量不够或施工工艺不合理问题造成桩体质量差，渗透系数过大，难以起到止水效果；
- 4 帷幕施工完不经充分养护，帷幕桩体强度很低时就急于开挖土方，造成帷幕的破坏；
- 5 由于支护结构变形造成止水帷幕的剪切破坏；
- 6 人为破坏止水帷幕，如随意开挖出土通道破坏原本封闭的止水帷幕。

7.4.41 土的渗透变形判别应符合下列规定：

- 1 土的渗透变形特征应根据土的颗粒组成、密度和结构状态等因素综合分析确定；
 - 1) 土的渗透变形宜分为流土、管涌、接触冲刷和接触流失四种类型；
 - 2) 黏性土的渗透变形主要是流土和接触流失两种类型；
 - 3) 对于重要工程或不易判别渗透变形类型的土，应通过渗透变形试验确定。
- 2 土的渗透变形判别应包括下列内容：
 - 1) 判别土的渗透变型类型；
 - 2) 确定流土、管涌的临界水力比降；
 - 3) 确定土的允许水力比降。
- 3 土的不均匀系数应采用下式计算：

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (7.4.41-1)$$

式中， C_u —土的不均匀系数；

d_{60} —小于该粒径的含量占总土重 60%的颗粒粒径(mm)；

d_{10} —小于该粒径的含量占总土重 10%的颗粒粒径(mm)。

4 细颗粒含量的确定应符合下列规定：

1) 级配不连续的土：颗粒大小分布曲线上至少有一个以上粒组的颗粒含量小于或等于 3%的土，称为级配不连续的土。以上述粒组在颗粒大小分布曲线上形成的平缓段的最大粒径和最小粒径的平均值或最小粒径作为粗、细颗粒的区分粒径 d ，相应于该粒径的颗粒含量为细颗粒含量 P ；

2) 级配连续的粗、细颗粒的区分粒径为：

$$d = \sqrt{d_{70} \cdot d_{10}} \quad (7.4.41-2)$$

式中， d_{70} —小于该粒径的含量占总土重 70%的颗粒粒径(mm)。

5 无黏性土渗透变形类型的判别可采用以下方法：

1) 不均匀系数小于等于 5 的土可判为流土；

2) 对于不均匀系数大于 5 的土可采用下列判别方法：

—流土：

$$P \geq 35\% \quad (7.4.41-2)$$

过渡型取决于土的密度、粒级和形状：

$$25\% \leq P < 35\% \quad (7.4.41-4)$$

—管涌：

$$P < 25\% \quad (7.4.41-5)$$

3) 接触冲刷宜采用下列方法判别：

对双层结构地基，当两层土的不均匀系数均等于或小于 10，且符合下式规定的条件时，不应发生接触冲刷。

$$\frac{D_{10}}{d_{10}} \leq 10 \quad (7.4.41-6)$$

式中， D_{10} 、 d_{10} —分别代表较粗和较细一层土的颗粒粒径(mm)，小于该粒径的土重占总土重的 10%。

4) 接触流失宜采用下列方法判别：

对于渗流向上的情况，符合下列条件将不会发生接触流失。

—不均匀系数等于或小于 5 的土层：

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5 \quad (7.4.41-7)$$

式中， D_{15} —较粗一层土的颗粒粒径(mm)，小于该粒径的土重占总土重的 15%；

d_{85} —较细一层土的颗粒粒径(mm)，小于该粒径的土重占总土重的 85%；

——不均匀系数等于或小于 10 的土层：

$$\frac{D_{20}}{d_{10}} \leq 7 \quad (7.4.41-8)$$

式中， D_{20} —较粗一层土的颗粒粒径(mm)，小于该粒径的土重占总土重的 20%；

d_{10} —较细一层土的颗粒粒径(mm)，小于该粒径的土重占总土重的 70%

6 流土与管涌的临界水力比降宜采用下列方法确定：

1) 流土型宜采用下式计算：

$$J_{cr} = (G_s - 1)(1 - n) \quad (7.4.41-9)$$

式中， J_{cr} —土的临界水力比降；

G_s —土粒比重；

n —土的孔隙率(以小数计)。

2) 管涌型或过渡型可采用下式计算：

$$J_{cr} = 2.2(G_s - 1)(1 - n)^2 \frac{d_5}{d_{20}} \quad (7.4.41-10)$$

式中， d_5 、 d_{20} —分别为小于该粒径的含量占总土重的 5%和 20%的颗粒粒径(mm)。

3) 管涌型也可采用下式计算：

$$J_{cr} = \frac{42d_3}{\sqrt{\frac{K}{n^3}}} \quad (7.4.41-11)$$

式中， K —土的渗透系数(cm/s)；

d_3 —小于该粒径的含量占总土重 3%的颗粒粒径(mm)。

7 无黏性土的允许比降宜采用下列方法确定：

1) 以土的临界水力比降除以 1.5~2.0 的安全系数，当渗透稳定对水工建筑物的危害较

大时，安全系数取 2.0；对于特别重要的工程也可取安全系数 2.5；

2) 无试验资料时，可根据表 7.4.41 选用经验值。

表 7.4.41 无黏性土允许水力比降

允许水力 比 降	渗透变形类型					
	流土型			过渡型	管涌型	
	$C_u \leq 3$	$3 < C_u \leq 5$	$C_u \geq 5$		级配连续	级配不连续
$J_{允许}$	0.25~0.35	0.35~0.50	0.50~0.80	0.25~0.40	0.15~0.25	0.10~0.20

注：本表不适用于渗流出口有反滤层的情况。

7.4.42 截水、隔水措施失效的处理宜采用以下措施：

- 1 设置导流水管，采用遇水膨胀材料或采用压密注浆、聚氨脂注浆等方法堵漏；
- 2 快硬早强混凝土浇筑挡墙；
- 3 在基坑内壁采用高压旋喷或水泥土搅拌桩增设止水帷幕；
- 4 结合以上措施配合坑内井点降水。

7.5 回灌

7.5.1 当降水影响区域已有建(构)筑物、地下管线等对地面沉降有严格要求和降水对地下水资源有较大影响时，宜采用回灌法控制降水对环境的影响，可采用管井、砂井、砂沟、大口井和渗坑等方式。

7.5.2 回灌法适用于填土、粉性土、砂性土、碎石土等地基土，地下水回灌方法及适用条件可按表 7.5.2 选用。

表 7.5.2 地下水回灌方法及适用条件

适用条件 回灌方法	土质类别	渗透系数 (m/d)	回灌方式
管井	填土、粉土、砂土、碎石土、裂隙基岩	0.1~20.0	异层回灌
砂井	砂土、碎石土	-	异层回灌
砂沟	砂土、碎石土	-	同层回灌
大口井	填土、粉土、砂土、碎石土	-	异层回灌
渗坑	砂土、碎石土	-	同层回灌

7.5.3 回灌井应布置在被保护建筑与井点之间，井口并须用粘土封口，以防止空气进入。

7.5.4 回灌方案确定后，应结合工程实际情况进行现场试验、试验性施工或根据工程经验确定施工参数及工艺。

7.5.5 回灌过程中应不断增加注水压力才能保持稳定的注水量，并在贮水箱进出口处设置滤网，以减轻注水管堵塞的现象。

7.5.6 回灌砂井中的砂宜为不均匀系数在 3~5 之间的纯净中粗砂，回灌砂井的灌砂量应取井孔体积的 9.5%，填料宜采用含泥量不大于 3%。

7.5.7 回灌水的水头高度可根据回灌水量调整，严禁超灌引起湿陷事故。

7.5.8 回灌井点与降水井点同时使用，如因故一方停止，另一方必须立即停止工作。

7.5.9 回灌水水质要符合水质标准，不得低于原地下水水质，回灌后不会引起区域性地下水水质污染。

7.5.10 回灌运行时，发生以下一种或几种现象，可判断系统出现了堵塞现象：

- 1 随着回灌时间的增长，回灌井的水位突然上升或连续上升，单位回灌量逐渐减少；
- 2 当保持一定水头时，随着回灌时间的增长回灌量逐渐减少；
- 3 当保持一定的回灌量时，随着回灌时间的延长，回灌水位逐渐上升，以致水从井口溢出；
- 4 回灌井经过长时间运行后，单位回灌量或回扬时单位涌水量逐渐减少；
- 5 过滤器两端的压力差持续增大。

7.5.11 预防回灌堵塞可采用下列方法：

- 1 回灌井成井时，应加强洗井，充分清洗岩层裂隙通道；
- 2 采用真空回灌或加压回灌时，经常检查回灌装置的密封效果，如发现漏气，及时处理；
- 3 回扬洗井时，在回扬水管路安装单流阀或“U”型管，或把扬水管出口没入水中，形成水封；
- 4 回灌运行过程中，应定期检测回灌水源水质，对未达标的项目及时采取措施处理；
- 5 掌握好回灌量和地下水位的动态变化，及时检查有无堵塞现象；
- 6 回灌运行中，若发现物理、化学沉淀堵塞时，需立即停灌，深入分析堵塞原因，针对具体情况及时采取有效措施处理；
- 7 在基岩对井系统中应在回灌管路上安装精度为 50 μ m、缠绕棒式滤芯的粗过滤装置；

8 在孔隙型对井回灌系统中除必须安装粗过滤器外,还必须同时安装精度为 3~5 μm 的精过滤器,不仅要过滤悬浮物,而且通过启用精过滤器将孔隙水中滋生的部分细菌滤掉,有效防止回灌时井内的微生物堵塞。

7.5.12 根据回灌井产生的堵塞性质和原因,对于回灌管路的堵塞,可直接用连续反冲洗方法处理;对于回灌井本身产生的堵塞,可用间歇停泵反冲洗与压力灌水相结合的方法处理。

7.6 环境影响预测与控制

7.6.1 当降水工程区域以及降水影响范围内存在已有建筑物、构筑物、地下管线等时,应预测其对工程环境影响。预测项目应包括下列内容:

- 1 地面沉降、塌陷、淘空、地裂等;
- 2 建筑物、构筑物、地下管线开裂、位移、沉降变形等;
- 3 基坑(槽)边坡失稳,产生流砂、流土、管渗、潜蚀等;
- 4 水质变化。

7.6.2 对工程环境影响情况的预测可采用根据调查或实测资料进行判断、根据建筑物结构形式、荷载大小、地基条件进行预测计算以及采用分层总和法计算等方法。

7.6.3 当坑底以下有承压水时,必须采取坑底地基加固或降低承压水头等必要的治理措施。

7.6.4 降水水位的预测计算应符合下列要求:

- 1 合理选择水位预测计算公式;
- 2 预测计算降水区内的任意点地下水位,均能满足降水工程的要求;
- 3 在降水水位预测计算过程中,应考虑井周三维流、紊流的附加水头影响。
- 4 设计采用的渗透系数 K 值应接近设计降水深度水位降深资料计算的 K 值。

7.6.5 管井降水水位预测可按附录 XX3 进行计算。

7.6.6 降水引起的地面沉降量可按下列公式计算:

$$s = \psi_w \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma'_{zi} \cdot \Delta h_i}{E_{si}} \quad (7.6.6)$$

式中, s —降水引起的建筑物基础或地面的固结沉降量(m);

ψ_w —沉降计算经验系数,应根据地区工程经验取值,无经验时宜取 1;

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

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有效应力增量之和的压力段的压缩模量值, 应考虑土的超固结比对压缩模量的影响; 对粘性土、粉土取压缩模量, 对砂土取弹性模量。

7.6.7 基坑外土中各点降水引起的有效应力增量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。有效应力增量也可根据计算的地下水位降深, 按下列公式计算:

1 计算点位于初始地下水位以上时

$$\Delta\sigma'_{zi}=0 \quad (7.6.7-1)$$

2 计算点位于降水水位与初始地下水位之间时

$$\Delta\sigma'_{zi}=\gamma_w a_0 \quad (7.6.7-2)$$

3 计算点位于降水水位以下时

$$\Delta\sigma'_{zi}=\gamma_w s_i \quad (7.6.7-3)$$

式中, γ_w —水的重度 (kN/m³);

s_i —计算点对应的地下水位降深(m);

s_0 —计算点至初始地下水位的垂直距离(m)。

7.6.8 减少基坑降水对周边环境的影响可采取下列措施:

1 应优先采用挡水作用的支护结构, 如深层搅拌桩、钢板桩、砼灌注桩或地下连续墙等, 并尽可能把降水井点立管埋设在支护墙的内侧(基坑一侧), 井点立管的深度应浅于支护墙的深度;

2 增加滤水管长度, 减少进水流速, 滤水管外填砾料保持透水层不与滤水管直接接触;

3 滤水管外包两层 60 目井底布, 使降水井抽水含砂量符合国家有关规范要求;

4 根据被保护对象的情况可通过调整降水井数量、间距或深度, 控制降水曲线;

5 靠保护物一侧设止水帷幕, 降水井布置在止水帷幕内;

6 在保护建筑物附近设回灌井眼, 降水开始对其水位进行回灌, 使保护建筑物周边地下水位保持不变或控制在自然变幅以内;

7 限定单泵出水量, 防止因出水量过大, 地下水流速过急, 带动细砂涌入井内, 造成地基土破坏。

8 在保证地下水位降达到要求时, 减少抽水量。即用最小的抽水量达到降水要求。

9 降水运行开始抽降时要间隔逐一启动水泵, 先启动远离保护建筑物的降水井, 后启

动保护建筑物近处降水井；

10 降水结束时要间隔逐一关闭水泵，先关闭保护建筑物近处降水井，后关闭远离保护建筑物降水井。

7.7 降水工程验收

7.7.1 降水工程施工质量应按《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202 进行验收，管井、大口井、辐射井等还宜按《供水管井验收规范》等规范和设计文件进行验收。

7.7.2 井点降水工程验收应包括以下主要内容：

- 1 井的施工记录是否齐全；所用材料的规格、型号是否和设计要求一致；
- 2 井的深度、井径是否和设计一致；管井沉砂厚度是否符合要求；各个井点的水泵和井点管与排水总管已安装调试完毕；排水管道满足排水量的要求；
- 3 井的出水量是否满足设计要求；
- 4 全部降水运行时，抽排水的粗砂含量应小于 1/5 万，中砂含量应小于 1/2 万，细砂含量应小于 1/1 万；
- 5 点井降水井的平面位置和数量是否和设计一致，如有变更是否经设计及有关人员确认；
- 6 对降水运行的操作和管理人员已完成技术交底和安全交底；各种施工记录是否齐全、完整、准确，所有资料是否有相关人员签字；
- 7 供电线路和电箱的布设满足降水要求，备用电源已准备完毕，已配备符合要求的备用水泵和有关设备及材料；
- 8 在基坑中心、最远边侧、井间分水岭处和基坑底任意部位，实际降水深度应等于或深于设计预测的降水深度，并应稳定 24 h。

7.7.3 降水成井施工验收后，在基坑开挖前应进行生产性抽水试验，检验基坑出水量和水位降深是否满足基坑开挖和设计要求；

7.7.4 井点降水工程应检查真空度、井点间距等；集水明排工程应检查排水沟的断面、坡度以及集水坑（井）数量等。

8 土石方开挖

8.1 一般规定

8.1.1 深基坑土石方开挖宜根据支护形式分别采用无围护结构的放坡开挖、有围护结构无内支撑的基坑开挖以及有围护结构有内支撑的基坑开挖等开挖方式。

8.1.2 深基坑土石方开挖前，应根据该工程基础结构形式、基坑支护形式、基坑深度、地质条件、气候条件、周边环境、施工方法、施工周期和地面荷载等相关资料，确定深基坑土石方开挖安全施工方案。

8.1.3 深基坑土石方开挖的安全施工方案，应综合考虑工程地质与水文地质条件、环境保护要求、场地条件、基坑平面尺寸、开挖深度、支护结构形式、施工方法等因素，临水基坑还应考虑最高水位和潮位等因素。

8.1.4 基坑开挖必须遵循先设计后施工的原则；应按照分层、分段、分块、对称、均衡、限时的方法，确定开挖顺序。土石方开挖应防止碰撞支护结构。基坑开挖前，支护结构、基坑土体加固、降水等应达到设计和施工要求。

8.1.5 施工道路布置、材料堆放、挖土顺序、挖土方法等应减少对周边环境、支护结构、工程桩等的不良影响。

8.1.6 挖土机械、运输车辆等直接进入基坑进行施工作业时，应采取保证坡道稳定的措施，坡道坡度不宜大于 1:8，坡道的宽度应满足车辆行驶的安全要求。

8.1.7 位于市中心等施工场地极为紧张的情况下，可根据施工需要设置施工栈桥。施工栈桥应根据周边场地条件、基坑形状、支撑布置、施工方法进行专项设计，施工过程中应按要求对施工栈桥的荷载进行控制。

8.1.8 基坑开挖应符合下列安全要求：

1 基坑周边、放坡平台的施工荷载应按照设计要求进行控制；基坑开挖的土方不应在邻近建筑及基坑周边影响范围内堆放，并应及时外运；

2 基坑开挖应采用全面分层开挖或台阶式分层开挖的方式；分层厚度按土层确定，开挖过程中的临时边坡坡度按计算确定；

3 机械挖土时，坑底以上 200mm~300 mm 范围内的土方应采用人工修底的方法挖除，放坡开挖的基坑边坡应采用人工修坡方法挖除，严禁超挖。基坑开挖至坑底标高应及时进行垫层施工，垫层应浇筑到基坑围护墙边或放坡开挖的基坑坡脚；

4 邻近基坑边的局部深坑宜在大面积垫层完成后开挖；

5 机械挖土应避免对工程桩产生不利影响挖土机械不得直接在工程桩顶部行走；挖土机械严禁碰撞工程桩、围护墙、支撑、立柱和立柱桩、降水井管、监测点等，其周边 200mm~300mm 范围内的土方应采用人工挖除；

6 基坑开挖深度范围内有地下水时，应采取有效的降水与排水措施，确保地下水在每层土方开挖面以下 50 cm，严禁有水挖土作业；

7 基坑周边必须安装防护栏杆。防护栏杆高度不应低于 1.2m；防护栏杆应安装牢固，材料应有足够的强度；基坑内设置供施工人员上下的专用梯道。

8.1.9 基坑开挖过程中，若基坑周边相邻工程进行桩基、基坑支护、土方开挖、爆破等施工作业时，应根据实际情况合理、安全地确定相互之间的施工顺序和方法，必要时应采取可靠的安全技术措施。

8.1.10 基坑开挖应采用信息化施工和动态控制方法，应根据基坑支护体系和周边环境的监测数据，适时调整基坑开挖的施工顺序和施工方法。

8.1.11 基坑开挖的安全施工应符合《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120）和《建筑施工土石方工程安全技术规范》（JGJ180-2009）《建筑边坡工程技术规范》（GB50330—2002）的相关要求。

8.2 土石方开挖选型

I 放坡开挖

8.2.1 采用放坡开挖的基坑，应验算基坑边坡的整体稳定性。多级放坡应同时验算各级边坡和多级边坡的整体稳定性。基坑坡脚附近有局部深坑时，且坡脚与局部深坑的距离小于 2 倍深坑的深度，应按深坑的深度验算边坡稳定性。

8.2.2 放坡开挖的基坑边坡坡度应根据土层性质、开挖深度确定，各级边坡坡度不宜大于 1:1.5，淤泥质土层中不宜大于 1:2.0；多级放坡开挖的基坑，坡间放坡平台宽度不宜小于 3.0m，且不应小于 1.5m。

8.2.3 放坡开挖的基坑应采用降水等固结边坡土体的措施。单级放坡基坑的降水井宜设置在坡顶，多级放坡基坑的降水井宜设置在坡顶、放坡平台；降水对周边环境有影响时，应设置隔水帷幕。基坑边坡位于淤泥、暗浜、暗塘等较软弱的土层时，应进行土体加固。

8.2.4 放坡开挖的基坑，边坡表面应按下列要求采取护坡措施：

1 护坡宜采用现浇钢筋混凝土面层，也可采用钢丝网水泥砂浆或钢丝网喷射混凝土等方式。

2 护坡面层宜扩展至坡顶和坡脚一定的距离，坡顶可与施工道路相连，坡脚可与垫层相连。

3 现浇钢筋混凝土和钢丝网水泥砂浆或钢丝网喷射混凝土护坡面层的厚度、强度等级及配筋情况根据设计确定。

8.2.5 放坡开挖的基坑，坡顶应设置截水明沟，明沟可采用铁栅盖板或水泥预制盖板。

II 无内支撑的基坑开挖

8.2.6 采用复合土钉支护的基坑开挖施工应符合下列要求：

- 1 隔水帷幕的强度和龄期应达到设计要求后方可进行土方开挖；
- 2 基坑开挖应与土钉施工分层交替进行，应缩短无支护暴露时间；
- 3 面积较大的基坑可采用岛式开挖方式，先挖除距基坑边 8m~10m 的土方，再挖除基坑中部的土方；
- 4 应采用分层分段方法进行土方开挖，每层土方开挖的底标高应低于相应土钉位置，且距离不宜大于 200mm，每层分段长度不应大于 30m；
- 5 应在土钉养护时间达到设计要求后开挖下一层土方。

8.2.7 采用水泥土重力坝式围护墙的基坑开挖施工应符合下列要求：

- 1 水泥土重力式围护墙的强度和龄期应达到设计要求后方可进行土方开挖；
- 2 开挖深度超过 4m 的基坑应采用分层开挖的方法；边长超过 50m 的基坑应采用分段开挖的方法。
- 3 面积较大的基坑宜采用盆式开挖方式，盆边留土平台宽度不应小于 8m。
- 4 土方开挖至坑底后应及时浇筑垫层，围护墙无垫层暴露长度不宜大于 25m。

III 有内支撑的基坑开挖

8.2.8 有内支撑的基坑开挖施工应根据地质与水文地质条件、环境保护要求、场地条件、基坑平面尺寸、开挖深度，选择以下几种支撑型式：

- 1 灌注桩排桩围护墙采用钢筋混凝土支撑；
 - 2 型钢水泥土搅拌桩墙，宜采用钢筋混凝土支撑，狭长形的基坑采用型钢支撑。
 - 3 板桩围护墙的结构形式，宜采用型钢支撑。
 - 4 地下连续墙，宜采用钢筋混凝土支撑。
 - 5 除上述支撑型式外，也有采用型钢支撑与钢筋混凝土支撑的组合型式。
- 8.2.9 采用内支撑支护结构的深基坑土石方开挖形式，可以分为明挖法和暗挖法（盖挖法）。
- 8.2.10 对于基坑开挖深度超过 6m 或土质情况较差的基坑可以采用多道内支撑形式。

8.2.11 多道内支撑基坑开挖遵循“分层支撑、分层开挖、限时支撑、先撑后挖”的原则，且分层厚度须满足设计工况要求，支撑与挖土相配合，严禁超挖，在软土层及变形要求较为严格时，应采用“分层、分区、分块、分段、抽条开挖，留土护壁，快挖快撑，先形成中间支撑，限时对称平衡形成端头支撑，减少无支撑暴露时间”等方式开挖。

8.2.12 分层支撑和开挖的基坑上部可采用大型施工机械开挖，下部宜采用小型施工机械和人工挖土，在内支撑以下挖土时，每层开挖深度不得大于 2m，施工机械不得损坏和挤压工程桩及降水井。

8.2.13 立柱桩周边 300mm 土层及塔吊基础下钢格构柱周边 300mm 土层须采用人工挖除，格构柱内土方由人工清除。

8.3 与支护结构配合施工的土石方开挖

8.3.1 基坑开挖应按照先撑后挖、限时支撑、分层开挖、严禁超挖的方法确定开挖顺序，应减小基坑无支撑暴露开挖时间和空间。混凝土支撑应在达到设计要求的强度后进行下层土方开挖；钢支撑应在质量验收并施加预应力后进行下层土方开挖。

8.3.2 挖土机械和运输车辆不得直接在支撑上行走或作业；支撑系统未考虑施工机械作业荷载时，严禁在底部已经挖空的支撑上行走或作业。

8.3.3 土方开挖过程中应对临时边坡范围内的立柱与降水井管采取保护措施，应均匀挖去其周围土体。

8.3.4 面积较大或周边环境保护要求较高的基坑，应采用分块开挖的方法。分块大小和开挖顺序应根据基坑工程环境保护等级、支撑形式、场地条件等因素确定，应结合分块开挖方法和顺序及时形成支撑或水平结构。

8.3.5 施工栈桥及立柱桩的设置应综合考虑临时材料堆放及挖土机械、土方运输车辆、混凝土泵车、搅拌车等施工荷载。施工栈桥在满足临时材料堆放及交通运输等施工安全需要的前提下，尽可能的减小设置面积，以减少栈桥下坑内挖土的难度。立柱桩的设计间距须满足坑内小型挖土机械的移动和操作时的安全要求。

8.3.6 岛式土方开挖应符合下列要求：

1 边部土方的开挖范围应根据支撑布置形式、围护墙变形控制等因素确定；边部土方应采用分段开挖的方法，应减小围护墙无支撑或无垫层暴露时间。

2 中部岛状土体的高度不宜大于 6m。高度大于 4m 时，应采用二级放坡形式，坡间放坡平台宽度不应小于 4m，每级边坡坡度不宜大于 1: 1.5，总边坡坡度不应大于 1: 2.0。高

度不大于 4m 时，可采取单级放坡形式，坡度不宜大于 1: 1.5。

3 中部岛状土体的各级边坡和总边坡应验算边坡稳定性。

4 中部岛状土体的开挖应均衡对称进行；高度大于 4m 时，应采用分层开挖的方法。

8.3.7 盆式土方开挖应符合下列要求：

1 中部土方的开挖范围应根据支撑形式、围护墙变形控制、坑边土体加固等因素确定；中部有支撑时应先完成中部支撑，再开挖盆边土方。

2 盆边土体的高度不宜大于 6m，盆边上口宽度不宜小于 8m；盆边土体的高度大于 4m 时，应采用二级放坡形式，坡间放坡平台宽度不应小于 3m，每级边坡坡度不宜大于 1: 1.5，总边坡坡度不应大于 1: 2.0；高度不大于 4m 时，可采取单级放坡形式，坡度不宜大于 1: 1.5；对于环境保护等级为一级的基坑工程，盆边上口宽度不宜小于 10m，二级放坡的坡间放坡平台宽度不应小于 5.0m，采用单级放坡形式的坡度不宜大于 1: 2.0。

3 盆边土体的各级边坡和总边坡应验算边坡稳定性。

4 盆边土体应分块对称开挖，分块大小应根据支撑平面布置确定，应限时完成支撑。

5 盆式的开挖的边坡必要时可采取降水、护坡、土体加固等措施。

8.3.8 狭长型基坑的土方开挖应符合下列要求：

1 采用钢支撑的狭长型基坑可采用纵向斜面分层分段开挖的方法，斜面应设置多级放坡；分段长度宜为 3m~8m，分层厚度宜为 3m~4m。

2 纵向斜面边坡总坡度不应大于 1: 3.0，各级边坡坡度不应大于 1: 1.5，各级边坡平台宽度不应小于 3.0m，多级边坡超过二级应设置加宽平台，加宽平台宽度不应小于 9.0m，加宽平台之间的土方边坡不应超过二级；纵向斜面边坡长时间暴露时宜采取护坡措施；各级边坡、各阶段形成的多级放坡和纵向总边坡的稳定性的验算应符合《建筑边坡工程技术规范》GB50330 的相关要求。

3 每层每段开挖和支撑形成的时间应符合设计要求。

4 纵向斜面分层分段开挖至坑底时，应按照设计要求和基础底板施工缝设置要求。限时进行垫层和基础底板的浇筑，基础底板分段浇筑的长度不宜大于 25m，基础底板施工完毕后方可进行相邻纵向边坡的开挖。

5 狭长型基坑可采用一端向另一端开挖的方法，也可采用从中间向两端开挖的方法。

6 第一道支撑采用钢筋混凝土支撑时，钢筋混凝土支撑底以上的土方可采用不分段连续开挖的方法，其余土方可采用斜面分层分段开挖的方法。

8.3.9 采用逆作法、盖挖法进行暗挖施工时，应符合下列要求：

- 1 基坑土方开挖和结构工程施工的方法和顺序应满足设计工况要求。
- 2 基坑土方分层、分段、分块开挖后按照施工方案的要求限时完成水平结构施工。
- 3 狭长型基坑暗挖时，宜采用分层分段开挖方法，分段长度不宜大于 25m。
- 4 面积较大的基坑应采用盆式开挖方式，盆式开挖的取土口位置，与基坑边的距离不宜小于 8m。
- 5 基坑暗挖作业应根据结构预留洞口的位置、间距、大小增设强制通风设施。
- 6 基坑暗挖作业应设置足够的照明设施，照明设施应根据挖土过程配置。

8.4 石方开挖与爆破

8.4.1 岩质坡体开挖有条件时宜采用坡率法，坡体的坡率应根据稳定分析确定，也可按照工程类比的原则参考同类岩层已有的稳定坡率值分析确定。

8.4.2 对整体稳定的岩质坡体开挖时，一般可不进行支护。采用爆破法施工时，应采取合理的爆破施工工艺减小对周边环境的影响。当坡体顶部边缘有建筑物或岩体抗拉强度较低时，坡体的上部宜采用锚杆支护，以减小可控制岩体开挖后的卸荷裂隙。

8.4.3 爆破施工时，应编制爆破设计，按爆破图表和说明书严格施工，并根据爆破效果及时修正有关参数。

8.4.4 爆破参数应根据工程类比法或通过现场试炮确定。

8.4.5 开挖工作面的岩石爆破时，周边眼应采用低密度、低爆速、低猛度、高爆力的炸药，并应采用毫秒雷管或导爆索同时起爆。当炸药用量较多，对周边影响较大时，可分段起爆。

9 特殊性土基坑工程

9.1 一般规定

9.1.1 特殊性土深基坑工程施工应根据气候条件、地基的胀缩等级、场地的工程地质及水文地质情况和支护结构类型，结合建筑经验和施工条件，因地制宜采取安全技术措施。

9.1.2 土方开挖前，完成地表水系导引措施，并按设计要求完成基坑四周坡顶防渗层、截流沟施工。

9.1.3 开挖应尽量避免雨天施工，并根据作业面周边的地形条件采取地表水截排措施，避免施工期间各类地表水进入工作面。

9.1.4 开挖施工过程中，应对设计开挖面进行保护，防止雨淋冲刷或坡面土体失水。

9.1.5 基坑周边必须进行有效防护，并设置明显的警示标志；基坑周边要设置堆放物料的限重牌，严禁堆放大量的物料。

9.1.6 对土石方开挖后不稳定或欠稳定的边坡，应根据边坡的地质特征和可能发生的破坏等情况，采取自上而下、分段跳槽、及时支护的逆作法或部分逆作法施工。严禁无序大开挖、大爆破作业。

9.1.7 在土石方施工过程中，当发现不能辨认的液体、气体及弃物时，应立即停止作业，做好现场保护，并报有关部门处理后方可继续施工。

9.1.8 边坡施工过程中现场发现危及人身安全和公共安全的隐患时，必须立即停止作业，排除隐患后方可恢复施工。

9.1.9 场地排水应符合下列要求：

- 1 施工前及施工过程中应及时合理地布置好排水系统，应使场地及其附近无积水；
- 2 排水困难场地或基坑有被水淹没可能时，应在场地外设置排水系统、护坡或挡土墙；
- 3 在地下水位较高场地，除挡导表面水外，应在坑底设置集水井、排水沟，以降低场地的地下水位。

9.1.10 对基坑进行开挖和施工，应符合下列规定：

- 1 基坑开挖时，应及时采取措施防止坑壁坍塌；基坑挖土接近基底设计标高时，宜在其上部预留 150mm~300mm 土层，待下一工序开始前继续挖除；
- 2 当基坑挖至设计规定的深度或标高时，应进行验槽，验槽后，应及时浇混凝土垫层或采取封闭坑底措施，封闭方法可选用喷（抹）1:3 水泥砂浆或土工塑料膜覆盖。

9.1.11 基坑工程完成使用寿命后，应及时回填。

9.1.12 地下工程施工超出设计地坪后，应进行回填，并宜将散水和室内地面施工完毕后，再进行地上工程的施工。

9.1.13 基坑使用单位必须对排水和防护措施进行有效的定期检查和记录，保证各种措施和发挥正常作用。

9.1.14 各种地面排水、防水设施的检查和维护应符合下列规定：

1 每年雨季或山洪到来前，对山前防洪截水沟、缓洪调节池、排水沟、集水井等均应进行检查，清除淤积物，保证排水畅通；

2 对建筑物防护范围内的防水地面、排水沟、散水的伸缩缝和散水与外墙的交接处，室内生产、生活用水多的室内地面及水池、水槽等均应定期检查，若有缝隙，应及时修补；

3 建筑物的室外地面应经常保持原设计的排水坡度，若有积水，应及时疏导、填平；

4 建筑物周围 6m 以内不得堆放阻碍排水的物品或垃圾，保持排水畅通。

5 每年冻结前，均应对有可能冻裂的水管采取保温措施。

9.1.15 开挖过程中如出现特殊地段(包括软弱层、多岩隙层、涌水段、有管网段、附近有建筑物或构筑物段)应立即停止施工，根据现场实际情况会同建设单位、监理单位，设计单位进行专题研究，制定相应的施工措施，按制定的措施组织实施。

9.1.16 特殊性土深基坑工程应按信息反馈法要求进行监测和施工。

9.1.17 湿陷性黄土场地和具有湿陷性的盐渍土的基坑工程，除符合本规程外，尚应符合《湿陷性黄土地区建筑基坑工程安全技术规程》JGJ167 的相关规定。

9.2 膨胀土基坑工程

9.2.1 支护结构成孔时不得向孔内灌水，成孔后宜当天灌注或浇筑封闭。

9.2.2 在上一级边坡处理完成之前，严禁下一级边坡开挖；

9.2.3 开挖过程中，应对开挖边坡进行连续安全监测，并安排专人巡查，发现边坡出现变形、裂缝等坡体失稳迹象时，撤离附近及滑坡体下方机械和人员，并设置警示标志，并及时报告监理人及主管部门，研究确定处理方案，并组织实施。待处理后方可继续开挖施工。

9.2.4 按设计要求形成开挖面后，应立即开展后续项目施工作业，避免开挖面长期暴露。

9.2.5 施工阶段实际揭露的膨胀土分布情况或土体膨胀特性可能与设计勘察结果存在一定的差别。差别较大时，应根据开挖揭露的实际情况对支护方案进行必要调整。调整原则如下：

1 当膨胀土分布区域界线发生变化时，应根据实际情况进行调整；

2 当膨胀土等级发生变化时，应调整方案，并相应调整保护措施；

3 当地层中存在连通性较好的缓倾坡角软弱结构面时,应分析开挖期间可能的失稳区域和滑坡规模,并根据分析结果研究处理方案;

4 当开挖过程中揭露局部区域膨胀性发生变化时,应针对局部区域进行处理方案;局部开挖轮廓应考虑边坡稳定需要确定。

9.2.6 膨胀土基坑开挖应符合下列规定:

1 开挖过程中,必须采取有效防护措施减少大气环境的影响,分层、分段开挖,一次工作面开展不宜过大,分段长度宜为 15m~30m;

2 开挖与坡面防护分级跟进作业,本级边坡开挖完成后,及时进行边坡防护处理,单级边坡防护自下而上进行。在上一级边坡处理完成之前,严禁下一级边坡开挖;

3 土方开挖按照从上到下分层分段依次进行,开挖层一次不宜超过 3.0m,严禁采用掏根法挖土或将坡面挖成反坡;

4 土方开挖应按设计开挖轮廓线预留保护层,保护层厚度应根据不同基坑段的地质条件确定,弱膨胀土预留保护层厚度不小于 300mm,中强膨胀土预留保护层厚度不小于 500mm。

5 对于中强膨胀土,在基坑设计开挖断面轮廓的坡脚处宜预留土墩,土墩宽度(底板宽度方向 2m,高度 2m,土墩边坡与开挖轮廓设计边坡相同);

6 在分级开挖过程中,应采取逐层设临时截流沟、逐层排水的方式,合理地分区、分片开挖,及时排走施工区的积水,减少地表水和地下水对开挖施工的影响;

7 出现滑坡时,应及时处理,再向下开挖;若分析预测存在较大的滑坡可能时,则应结合具体情况研究确定处理方案及施工作业程序;

8 在开挖施工过程中,应避免重型设备在上一级马道和坡顶上行驶、开挖好的马道和坡顶及坡面堆放渣土和其他施工材料;不可避免时必须经过稳定复核计算;

9 当开挖作业面接近支护层时,应根据开挖揭露的地层情况,监视膨胀土地层分布、膨胀特性的变化情况,发现地层情况与设计勘探成果差异较大时,应及时会同相关单位人员研究处置措施;

10 施工过程中,遇不慎雨淋、泡水、失水干裂等情况,应及时处理;

11 开挖料运至指定地点堆放。弃土场弃料按照表层土、弱膨胀土和中强膨胀土分区域堆放。

9.2.7 基坑侧面和底面的防护应符合下列规定:

1 完成保护层开挖后,应立即采取防坡面雨淋、防土体蒸发失水的临时防护措施,避免出现饱水软土、失水干裂等现象;

- 2 边坡的临时防护措施宜采用防雨布(低规格复合土工膜)进行防护;
- 3 对于未及时以换填土覆盖的裸坡, 视天气情况进行洒水保湿处理;
- 4 基坑底面形成后, 除采取保护措施外, 应迅速进行垫层施工。

9.2.8 开挖施工过程中的地质编录与施工记录应符合下列规定:

- 1 开挖过程中, 应对开挖揭露的地层情况、岩性、地下水、膨胀性等情况进行记录, 发现与前期勘探成果差异较大时, 应及时通知监理、勘察及设计人员, 研究处置措施;
- 2 按设计要求开挖到设计轮廓后, 应对开挖面进行地质编录;
- 3 开挖过程中基坑坡发生局部变形或滑塌时, 应对变形体或滑塌体进行专门描述。

9.2.9 膨胀土基坑工程地表及地下水处理应符合下列规定:

- 1 开挖前, 应根据现场地形及汇水条件、基坑四周地面水系情况, 做好地表水导引及坡顶截排水方案;
- 2 开挖施工前, 应按设计要求做好地表水导引及截排措施;
- 3 在坡顶设置防护层, 保护范围应延伸到坡顶纵截水沟外侧, 并进行硬化;
- 4 坡顶截水沟应做好铺砌及防渗漏处理, 截水沟应结合地形条件分段布置向坑外排放的排水通道, 排水通道之间的截水沟底坡平顺, 严禁截水沟排水不畅, 当地形条件复杂时可适当采取一定的挖填措施;
- 5 坡顶截流堰与纵向截水沟之间地面应做成倾向截水沟一侧的缓坡, 以确保排水畅通, 严禁坡顶积水。

9.2.10 施工期间基坑排水应符合下列规定:

- 1 在开挖过程中, 应根据揭露的水文地质情况, 以及开挖形成的基坑排水条件, 及时做好开挖坡面和基坑积水引排措施, 严禁在基坑坡表面及坡脚积水;
- 2 施工期间应针对不同类型的地下水特点, 结合施工组织安排选择合理的应对措施;
 - 1) 当上层滞水水量较丰或不能做到连续施工, 开挖施工期间可能导致开挖面或坡脚积水时, 应在坡底做好临时引排措施。临时排水沟应距坡脚一定距离(一般 3m 左右), 必要时做好防护, 并对汇水及时进行引排(或抽排), 严禁坡脚积水造成土体软化;
 - 2) 开挖揭露富含水的透水夹层时, 应根据夹层所处的位置、夹层透水性、夹层厚度, 结合永久排水设计制定好开挖期间临时引排方案;
 - 3) 对于基坑底承压水, 应根据承压水头和覆土厚度复核开挖期间覆土层的抗浮稳定性和渗透稳定性以及基坑渗水量, 并根据分析结果采取相应的处理措施。

9.2.11 土方开挖质量检查和验收主要内容应符合下列要求:

- 1 地表水系导引是否合理可行，当涉及当地灌排系统临时改变时，应经相关单位同意；
- 2 截流沟是否能有效导引基坑外来水，截流沟是否顺畅，是否存在漏水通道；
- 3 坡顶截水堰是否连续完整，能有效阻挡外来水进入施工基坑；
- 4 截水堰与截流沟之间是否存在可能积水的低凹区域；
- 5 截流沟对外排水通道是否畅通，是否存在外水倒灌可能。

9.2.12 施工期间出现滑坡的处理应符合下列规定：

- 1 当出现滑坡时，设计单位应根据具体工程地质条件分析滑坡破坏模式、破坏机理及诱发因素，结合滑坡的范围、深度、方量、地下水情况，制定相应的处理方案；
- 2 对受裂隙面控制的浅层滑坡，可采取清挖并回填的方式进行处理；
- 3 滑坡清理应自上而下、自外而内逐步清理，范围应保证超过滑动面 1m。清挖时应注意保持后缘清挖边坡的稳定；
- 4 滑坡清理后应立即进行回填。回填应按土方填筑要求逐层进行，每层回填层新老土结合面应开挖成台阶状；
- 5 回填土料宜采用非膨胀粘性土或水泥改性土，亦可采用弱膨胀土作为回填土料。严禁采用中、强膨胀土作为回填土料；
- 6 若滑坡区存在地下水渗流现象，需采取引排措施对地下水进行疏排；
- 7 除了浅层滑坡外，当不同地层或不同岩性界面分布软弱面时，还存在深层滑坡的可能，当开挖揭露此类潜在滑面时，应提前采取抗滑工程措施。

9.2.13 施工期安全监测应符合下列规定：

- 1 对中、强膨胀土基坑，特别是对深基坑的中、强膨胀土基坑，需根据工程实际情况因地制宜地设置安全监测设施；
- 2 监测设施的设置和施工，宜结合膨胀土支护措施的施工方法、排（降）水的方式等情况实施，并尽量使基坑监测设施与施工期临时监测设施相结合；
- 3 安全监测基坑开挖期间宜重点监测土体裂缝发展、坡肩深部位移、地下滞水层出露位置，必要时可通过埋设简易观测墩监测开挖边坡的变形情况；
- 4 对已埋监测设施应按设计要求进行观测，及时进行资料整理和分析，若在观测过程中发现异常现象应马上上报，并随后提供书面监测报告；

9.2.14 除用仪器设备进行监测外，还应重视和加强日常人工巡视检查，并符合下列规定：

- 1 应定期由熟悉工程并具有实践经验的相关工程技术人员负责进行；
- 2 巡视检查前应根据膨胀土基坑段的特点制订切实可行的巡视检查制度，规定巡视检查

的时间、部位、内容和要求，并确定巡视检查路线和顺序；

3 巡视检查分为施工期人工巡视检查和运行期人工巡视检查。施工期巡查一般每日 1~2 次；

4 主要检查项目应包括有无裂缝和异常变形、截水沟有无堵塞和破损，坑坡或护坡有无裂缝、隆起、滑动、塌坑、错断或渗水、冒水等现象。

9.3 可能发生冻胀的基坑工程

9.3.1 基坑工程冬季施工应以“快速开挖、快速施工”和“防坍塌、防冻、防滑”作为的重点工作，加强对基坑顶部和底部等重点部位和重点环节的监控，确保施工安全。

9.3.2 基坑施工现场应加强对临边、坡道等安全防护设施的设置。

9.3.3 对可能发生冻胀的基坑，没有保温防冻措施的，除正常设计计算外，应单独按冻胀力进行设计验算（按冻胀力计算时可不计土侧压力）。

9.3.4 对基坑侧壁为强冻胀土的基坑工程，宜采用保温措施和遮阳准备工作。

9.3.5 基坑工程施工应符合下列规定：

1 对于设计深度位于多冰、少冰冻土或岩石中的基坑，寒季、暖季均可进行开挖施工；

2 对于设计基础位于高含冰量冻土中的基坑，原则上在 3、4、5、9、10、11 月份的寒季方可进行开挖施工，受工期影响及进度要求、必须在暖季施工时，基坑开挖前，做好工序衔接安排；

3 对于基坑底部可能出现的高含冰量冻土开挖，提前做好爆破施工准备；

4 对于底部设计有隔温层的基坑，还应做好材料准备，一旦基坑开挖到位、检验合格后，及时进行基础施工及基坑回填；

5 基坑开挖后，对多年冻土天然上限、多年冻土类型进行判定。对地质条件与设计不符时，及时提出并采取相应的处理措施。

9.3.6 采用爆破法开挖基坑时应符合下列规定：

1 当冻土爆破开挖深度大于 1.0 米时，采取分层开挖，分层高度依钻爆机具性能及人员操作难度而定；

2 为缩短基坑暴露时间，对于长、大基坑，采取分段开挖、分段进行基础施工；对于短、小基坑，根据施工机械、人员、钻爆机具的配置情况，采取一次全断面开挖，并及时进行基础施工；

3 在冻土中钻孔，使用旋转工作的煤电钻，钻杆采用螺旋形钻杆，钻头采用燕尾形钻头；

4 冻土爆破所用炸药使用具有良好防水性能的岩石乳化炸药,孔内起爆雷管采用具有良好防水、抗静电性能的非电导爆管毫秒雷管,实现孔内微差爆破,孔外使用电雷管对汇集、绑扎成束的导爆管脚线进行起爆,以起爆孔内非电雷管;

5 炮孔布置应基坑中央(方形基坑)或沿基坑轴线(长条形基坑)布置掏槽炮孔,掏槽孔的深度宜深于周边炮孔 200mm 左右;

6 可将钻孔作业安排在白天、在遮阳棚的保护下进行,将装药、联线、起爆及出碴作业安排在夜间进行,起爆前拆除遮阳棚及支架,并对爆破区采用橡胶炮被进行覆盖,防止冻土块飞溅,并做好相应的爆破安全警戒工作。

9.3.7 暖季施工应符合下列规定:

1 对于高含冰量冻土基坑开挖,开挖作业安排在夜间 12:00 至次日清晨 8:00 进行;

2 白天对基坑采取覆盖措施,搭设遮阳防雨棚,并严禁露天作业;

3 对于基坑开挖暴露出的冻土坑壁,为防止其融化,使用聚胺脂保温板通过支撑附着在坑壁上保温。

9.3.8 对可能发生冻胀的基坑,宜采用逆作法或半逆作法施工。

9.3.9 对可能发生冻胀的基坑,使用锚拉支护时,应增大锚杆截面面积,提高杆材抗拉能力,防治锚杆出现断裂破坏。

9.3.10 对可能发生冻胀的基坑,应加强对基坑壁的支护,并设置观测点,随时观测边坡及毗邻建筑物、构筑物的变化,及时发现隐患,并采取有效措施。

9.3.11 对相邻建、构筑物有保护要求,对支护结构变形要求严格的工程,在冻土融化阶段,应加强土体沉降、结构位移和锚杆拉力的监测,当锚杆产生应力松弛、拉力下降时,应重新张拉至设计要求。

9.3.12 渗漏水形成的大冰柱、冰溜应及时清除。

9.3.13 对可能发生冻胀的基坑,应尽早回填或对具备条件的部分回填。

9.4 盐渍土基坑工程

9.4.1 盐渍土地基坑工程施工,应根据盐渍土的特性和设计要求,合理安排施工程序,防止施工用水和场地雨水流入基坑,应在施工组织设计中明确提出防止施工用水渗漏的要求。

9.4.2 盐渍土地基坑施工前应先完成下列工作:

1 收集并熟悉有关施工图、岩土工程勘察报告等资料;

2 结合工地现场实际情况,了解本地区盐渍土经验,编制施工组织设计;

3 平整施工场地，做好原地面临时排水设施，清除地表盐壳和不符合设计要求的表土，并碾压密实；对过湿或积水洼地以及软弱地基，应按设计要求做好排水、清淤换填工作。

9.4.3 施工的时间和程序安排应符合下列要求：

1 施工时间选择应考虑当地盐渍土的水盐状态，力求在不发生冻结、也不积水的枯水季节施工，除采用不冻结的土或采取特殊措施外，不宜冬季施工；

2 在冬季或雨季进行施工时，应采取防冻、防雨雪、排洪等措施，防止管道冻裂漏水以及突发性山洪侵入基坑等。

9.4.4 施工期间各种用水，必须引至排水系统，不得随意排放；各用水点，均应与基坑保持一定距离，其最小净距应符合表 9.4.4 的规定，混凝土基础不宜采用浇淋养护。

表 9.4.4 施工用水点距离基坑的最小净距

施工用水种类	距离基础边缘的最小净距 (m)
浇砖用水	10
临时给水管道	10
浇料场、淋灰池、混凝土搅拌站	20
水池	水池的直径或宽度，最小净距不小于 20

9.4.5 盐渍土地基处理施工完成后，应检验处理效果，判定是否能满足设计要求。

9.4.6 盐渍土地区基坑工程在施工、使用和维护期间，均应考虑盐渍土的溶陷性、盐胀性和腐蚀性，并采取必要的措施确保建设工程的使用功能、安全性、稳定性和耐久性。

9.4.7 场地排水应符合下列要求：

- 1 施工前及施工过程中应及时合理地布置好排水系统，应使场地及其附近无积水；
- 2 排水困难场地或基坑有被水淹没可能时，应在场地外设置排水系统、护坡或挡土墙；
- 3 在地下水位较高场地，除挡导表面水外，应在坑底设置集水井、排水沟，以降低场地的地下水位。

9.4.8 对基坑进行开挖和施工，应符合下列规定：

1 基坑开挖时，应及时采取措施防止坑壁坍塌；基坑挖土接近基底设计标高时，宜在其上部预留 150mm~300mm 土层，采用人工挖除；

2 当基坑挖至设计规定的深度或标高时，应进行验槽，验槽后，应及时浇混凝土垫层或采取封闭坑底措施，封闭方法可选用喷（抹）1:3 水泥砂浆或土工塑料膜覆盖。

9.4.9 基坑工程完成使用寿命后，应及时回填。

9.4.10 地下工程施工超出设计地坪后，应进行回填，并宜将散水和室内地面施工完毕后，再进行地上工程的施工。

9.4.11 基坑使用单位必须对排水和防护措施进行有效的定期检查和记录，保证各种措施和发挥正常作用。

9.4.12 各种地面排水、防水设施的检查和维护应符合下列规定：

1 每年雨季或山洪到来前，对山前防洪截水沟、缓洪调节池、排水沟、集水井等均应进行检查，清除淤积物，保证排水畅通；

2 对建筑物防护范围内的防水地面、排水沟、散水的伸缩缝和散水与外墙的交接处，室内生产、生活用水多的室内地面及水池、水槽等均应定期检查，若有缝隙，应及时修补；

3 建筑物的室外地面应经常保持原设计的排水坡度，若有积水，应及时疏导、填平；

4 建筑物周围 6m 以内不得堆放阻碍排水的物品或垃圾，保持排水畅通。

5 每年冻结前，均应对有可能冻裂的水管采取保温措施。

9.5 软土基坑工程

9.5.1 围护结构应采用地下连续墙、加筋水泥土搅拌墙或钻孔灌注桩，按有关规程进行施工和验收。基坑在围护结构施工期间应进行施工监测，采取以优化施工参数为主的施工措施，控制由围护结构施工所引起的地层位移对周边环境产生的影响。

9.5.2 土体加固应符合下列规定：

1 基坑开挖前应按设计要求和环境条件确定土体加固的项目、方法和要求；

2 主要的加固项目应包括：地下连续墙墙底注浆加固，土坡稳定加固，被动区加固，基坑截水帷幕，基坑挡墙转角处外侧因斜撑作用而形成的大抗力被动区的土体加固，以及在砂性地层中为确保成槽过程中的槽壁稳定而在槽壁两侧进行的土体加固等；

3 土体加固方法可采用水泥搅拌桩、旋喷注浆、单液或双液分层注浆或超前降水等；

4 在开挖前必须进行加固效果检测，达到设计要求后方可开挖。

9.5.3 开挖前必须备齐经检验合格的钢支撑、围檩、预应力设备、支撑配件以及支撑轴力量测组件等所需的器材和设备，对一级基坑，必须准备好复加预应力的装置。

9.5.4 必须按设计要求打设稳定支撑的立柱桩，立柱的垂直度偏差应小于 1/300。

9.5.5 立柱与支撑的连接构造应对支撑有三维约束作用而又不影响施加支撑预应力。

9.5.6 对撑的长条形深基坑：必须按设计要求分段开挖和浇筑底板，每段开挖中又分层、分小段，并限时完成每小段的开挖和支撑，并符合下列规定：

1 在有保护对象侧预留土堤，挖除中间部分无保护对象侧的土方，并及时安装其间支撑；

2 当支撑一侧有保护对象时，应将预留土堤限时分段开挖并架设支撑；当支撑两侧有保护对象时，应依次将每根支撑两端的土堤限时、对称挖除并架设支撑；

3 将该层剩余土方挖除。

9.5.7 采用斜向支撑结构时，首先撑好标准段内的 2 根对撑，再挖斜撑范围内的土方，最后挖除坑内的其余土方。斜撑范围内的土方，应自基坑角点沿垂直于斜撑方向向基坑内分层、分段、限时地开挖并架设支撑。对长度大于 20m 的斜撑，应先挖中间再挖两端。

9.5.8 逆筑法施工的基坑在顶板和中楼板之间、中楼板和底板之间的土层开挖中，可将上道支撑随下面土层逐段开挖而拆下并安装于下道支撑位置，每段开挖和支撑施工必须按设计要求限时完成。

9.5.9 支撑安装必须确保支撑端头与地下连续墙或围檩均匀接触，并设防止钢支撑端部移动脱落的构造措施，支撑就位后应及时准确地施加预应力。

9.5.10 在开挖过程中应按监测方案定时测量立柱的回弹，并及时调节立柱与支撑拉紧装置上的木楔，以释放桩回弹后作用于支撑的向上顶力。

9.5.11 钢筋混凝土支撑应按设计要求分段、限时施工，并按《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 执行。

9.5.12 开挖过程中应及时封堵地下连续墙接缝或墙体上的渗漏点。

9.5.13 采用地下连续墙作为支护结构的基坑，遇地下障碍物而改变支护结构型式施工时，应在该局部挡墙内侧限时施加密封钢板，以利在发生水土流失时能快速而可靠地进行封堵。

9.5.14 在底板、中楼板和顶板的施工过程中，应按设计规定的步骤和时间拆除各道支撑。

9.6 高灵敏度土与厚填土基坑工程

9.6.1 对灵敏度高的软土，基坑临近交通繁忙的主干道或其它对土的扰动源时，计算采用的土强度指标应根据实际环境条件适当进行折减。基坑施工和使用过程中，应减少对土的扰动。

9.6.2 对软土应考虑其触变性和流动性，基坑宜采用封闭式支护结构（地下连续墙、型钢水泥土墙、排桩加旋喷桩等），当采用排桩支护时，必须加强桩间土的支护，严防软土侧向挤出。

9.6.3 具有溶陷性的盐渍土基坑工程，应严格防止浸水。当无法避免浸水时，应进行浸水试验，测其浸水后的特性参数，按浸水试验结果设计。

9.6.4 在基坑内进行工程桩施工应符合下列规定：

1 桩施工前，要充分考虑施工对土扰动影响的深度和范围，合理地安排施工顺序，减

少对土集中扰动的的时间；

- 2 严禁在临近基坑底部形成空孔，必要时对被动区或坑脚土体进行预加固；
- 3 严禁扰动基坑底部的土体，必要时采取隔震措施；
- 4 采取措施加速临近基坑工程桩混凝土的凝固；
- 5 当工程桩施工已对基坑内侧底部土体产生不利影响时，应及时采取土体高压注浆和封闭裂缝等措施进行处理；

6 在保证施工工期的前提下放慢施工速度，采取隔排隔桩施工，减少对土的集中扰动时间；

- 7 要控制钻进和施工速度，防止剪切液化的发生；
- 8 必要时在基坑设计深度底面上，桩顶应设置 0.70~1.0m 的保护桩长。

9.6.5 对松散、强度低、自稳性差的填土基坑，在设计、监测及施工中应符合下列要求：

- 1 合理选取填土层物理力学参数决定了基坑支护设计的成功与否。应进行土钉基本试验，以便合理调整填土层物理力学参数；
- 2 因杂填土，其自立性差，开挖速度不宜过快，防止土体长期处于不稳定状态之下。

10 检验与监测

10.1 一般规定

10.1.1 围护结构施工过程中，应对原材料质量、施工机械、施工工艺、施工参数等进行检验。

10.1.2 基坑土方开挖前，应复核设计条件，对已经施工的围护结构质量进行检验，检验合格后方可进行土方开挖。

10.1.3 基坑土方开挖及地下结构施工过程中，每个工序施工结束后，均应对该工序的施工质量进行检验；检验发现的质量问题应进行整改，整改合格后方可进入下道施工工序。

10.1.4 施工现场平面、竖向布置应与支护设计要求一致，布置的变更应经设计认可。

10.1.5 基坑施工过程中除应按《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的规定进行第三方专业监测外，施工方应同时编制并实施施工监测，监测方案应包括以下内容：

- 1 工程概况；
- 2 监测依据和项目；
- 3 监测人员配备；
- 4 监测方法、精度和主要仪器设备；
- 5 测点布置与保护；
- 6 监测频率、监测报警值；
- 7 异常情况下的处理措施；
- 8 数据处理和信息反馈。

10.1.6 根据环境调查结果，分析评估基坑周边环境的变形敏感度，结合第三方监测确定的变形报警值，由基坑支护设计单位提出各个施工阶段施工监测的变形报警值。必要时在基坑施工前对周边敏感的建筑物及管线设施预先采取加固措施。

10.1.7 施工过程中，根据专业监测和施工监测结果，及时分析评估基坑的安全状况，改进施工方案。

10.1.8 监测标志应稳固、明显，位置应避开障碍物，便于观测；对监测点应有专人负责保护，监测过程应有工作人员的安全保护措施。

10.1.9 遇到连续降雨等不利天气状况时，应加强基坑监测，监测工作不得中断；并应同时采取措施确保监测工作的安全。

10.2 检验

10.2.1 基坑检验应包括以下内容：

- 1 原材料质量；
- 2 围护结构施工质量；
- 3 现场施工场布；
- 4 土方开挖及地下结构施工工况
- 5 降排水质量；
- 6 回填土质量；
- 7 其他需要检验的内容。

10.2.2 原材料的质量检验按国家相关规范进行。

10.2.3 围护结构施工质量检验包括施工过程质量检验和施工完成后的质量检验两部分。

10.2.4 围护结构施工过程主要检验施工机械的性能、施工工艺及施工参数的合理性。

10.2.5 围护结构施工完成后的质量检验主要内容及方法见表 10.2.5。

表 10.2.5 围护结构质量检验的内容及方法

围护结构		检验内容	检验方法
支护结构	排桩	混凝土强度*、桩位偏差、桩身完整性	1 混凝土或水泥土强度 查取芯报告； 2 几何参数，如桩径、 桩距等用直尺量； 3 标高由水准仪测量； 4 其余根据具体情况确定。
	型钢水泥土搅拌墙	桩位偏差、桩长*、水泥土强度*、型钢长度及焊接质量	
	地下连续墙	混凝土强度*、接头渗水	
	锚杆	锚杆平面及竖向位置、锚杆与腰梁连接节点、腰梁与后靠结构之间的密合程度等	
	土钉墙	放坡坡度、土钉平面及竖向位置、土钉与喷射混凝土面层连接节点	
	自然放坡	坡度、中间平台宽度	
止水帷幕	水泥搅拌桩	成桩状况、渗透性能	
	高压旋喷桩		
	咬合桩	桩径、桩间搭接量	
地基加固	水泥土桩	水泥土强度	
	压密注浆		
支撑	混凝土支撑	截面尺寸、平直度等	
	钢支撑	支撑与腰梁连接节点、围檩与后靠结构之间的密合程度等	
	竖向立柱	平面位置、顶标高、垂直度等	

注：对安全等级为二级的基坑，打*号的内容可不检验。

10.2.6 对安全等级为一级的基坑工程，设置封闭的止水帷幕时，开挖前应通过坑内预降水措施检验帷幕止水效果。

10.2.7 施工现场平面、竖向布置检验的主要内容包括：

- 1 出土坡道、出土口位置；

- 2 堆场位置及堆载大小；
- 3 重车行驶区域；
- 4 大型施工机械停靠点；
- 5 塔吊位置。

10.2.8 土方开挖及地下结构施工工况检验的主要内容包括：

- 1 各工况的基坑开挖深度；
- 2 坑内各部位土方高差及过渡坡率；
- 3 内支撑、土钉、锚索等有无及时施工，养护时间；
- 4 土方开挖的竖向分层及平面分块；
- 5 拆撑之前的换撑措施是否完成。

10.2.9 混凝土内支撑施工时，在混凝土浇筑前，应对支架、模板等进行检验，确保支架系统稳定承载。

10.2.10 降排水质量检验的主要内容包括：

- 1 地表排水沟、集水井、地面硬化；
- 2 坑内外井点位置；
- 3 降水系统运行状况；
- 4 坑内临时排水措施。
- 5 外排通道的可靠性。

10.2.11 基坑施工完成后检验回填土的种类及密实度。

10.2.12 检验的具体内容、方法及要求尚应满足设计要求及《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 等相关规范的规定。

10.3 施工监测

10.3.1 施工监测应采用仪器监测与巡视检查相结合的方法。

10.3.2 施工监测应符合以下要求：

- 1 施工监测应包括以下内容：
 - 1) 基坑周边地面沉降；
 - 2) 周边重要建筑沉降；
 - 3) 周边建筑物、地面裂缝；
 - 4) 支护结构裂缝；

5) 坑内外地下水位。

2 对安全等级为一级的基坑工程，施工监测的内容尚应包括：

1) 围护墙（边坡）顶部水平位移；

2) 围护墙（边坡）顶部竖向位移；

3) 坑底隆起；

4) 支护结构与主体结构相结合时，主体结构的相关监测。

10.3.3 用于监测的仪器应按测量仪器有关要求定期标定。

10.3.4 基坑工程施工过程每天应有专人进行巡视检查，巡视检查宜包括以下内容：

1 支护结构：

1) 冠梁、围檩、支撑有无裂缝出现；

2) 围护墙、支撑、立柱有无明显变形；

3) 止水帷幕有无开裂、渗漏；

4) 墙后土体有无裂缝、沉陷和滑移；

5) 基坑有无涌土、流砂、管涌。

2 施工工况：

1) 土质情况是否与勘察报告一致；

2) 基坑开挖分段长度、分层厚度、临时边坡、支锚设置是否与设计要求一致；

3) 场地地表水、地下水排放状况是否正常，基坑降水、回灌设施是否运转正常；

4) 四周超载是否满足设计要求。

3 周边环境：

1) 周边管道有无破损、泄漏情况；

2) 周边建筑裂缝发展情况；

3) 周边道路开裂、沉陷情况；

4) 邻近基坑及建筑的施工状况；

5) 收集周边公众反映，为正常施工提前预警。

4 监测设施：

1) 基准点、监测点完好状况；

2) 监测元件的完好和保护情况；

3) 有无影响观测工作的障碍物。

10.3.5 巡视检查宜以目视为主，可辅以锤、钎、量尺、放大镜等工器具以及摄像、摄影等

手段进行，并应做好巡视记录、与仪器监测数据进行综合分析，如发现异常情况和危险情况，应及时通知有关各方。

11 安全应急预案与响应

11.1 应急预案

11.1.1 施工单位应根据施工现场安全管理、工程特点、环境特征和危险等级，制定建筑施工安全专项应急预案，并报监理审核，建设单位批准、备案。当出现基坑坍塌或人身伤亡事故时，应急响应必须由建设单位或工程总承包单位牵头组织实施。

11.1.2 应根据施工安全专项应急预案演练和实战的结果，对应急预案的适用性和可操作性组织评价，并进行修改和完善。

11.1.3 基坑工程安全应急预案编制应包括以下内容：

- 1 编制目的和依据；
- 2 施工项目危险源与风险分析，包括：
 - 1) 围护结构变形过大或基坑失稳；
 - 2) 围护结构渗漏水；
 - 3) 坑底承压水突涌；
 - 4) 相邻建筑物倾斜或沉降过大；
 - 5) 地下管线爆裂。
- 3 预测与控制技术及措施，应包括以下内容：
 - 1) 事故特征分析、结果预测；
 - 2) 报警及指挥系统设计；
 - 3) 控制技术手段；
 - 4) 安全技术措施的选择和采用。
- 4 应急组织机构及人员组成与职责；
- 5 应急响应，应包括以下内容：
 - 1) 信息发布时间、范围与方式；
 - 2) 应急人员来源及数量、联系方法，工种、班组的划分及班组长岗位的确定；队伍的集合、调度与指挥；
 - 3) 应急物资、材料、设备的采购、存放、调度与使用；应急救援设备、物资、器材

的维护和定期检测的要求；

- 4) 交通管制与保通、水平与垂直运输的保障；
- 5) 专家决策与支持系统。
- 6 培训与演练的计划与实施。

11.1.4 基坑变形超过报警值时应调整分层、分段土方开挖施工方案，加大预留土墩，坑内堆砂袋、回填土、增设锚杆、支撑等。

11.1.5 围护结构刚度不足，变形过大时，增加临时支撑（斜撑、角撑）；支撑加设预应力；调整支撑的竖向间距；基坑周边卸载或坑内压载。

11.1.6 围护结构、支撑、周围地表、坑底土体隆起变形速率急剧加大，基坑有失稳趋势时，进行局部或全部回填，待结构稳定后进行地基或支撑加固处理。

11.1.7 开挖土方不均衡、支撑延时导致围护墙和支撑变形速率过大，基坑回弹和周围土体变位过大，采取调整开挖及支护部位的施工工序及参数。

11.1.8 坑底隆起变形过大时，应在基坑外加设沉降监测点，并应采取以下方法处置：

- 1 采取坑内加载反压或坑内沿周边插入板桩防止坑外土向坑内挤压，坑底被动区采取注浆加固；
- 2 采取分区、分步开挖，并及时浇筑快硬混凝土垫层；
- 3 采取中心岛法开挖施工。

11.1.9 围护结构严重渗水、漏泥或开挖面以下冒水时的处置应符合下列规定：

- 1 当渗漏点位于基坑开挖面以上时，可采用坑内引流、封堵或坑外快速注浆的方式进行堵漏；

- 2 当渗漏点位于基坑开挖面以下时，应分析坑内观察井的水位情况，采用加大坑内降水、坑内、坑外快速封堵的方法进行处理。

11.1.10 边壁出现流砂时，应立即停止基坑开挖并回填土方反压流砂，再将板桩紧贴围护结构打入坑底，并在流砂层采取注浆加固处理。

11.1.11 坑底出现流砂时，应采取坑内降水补救措施，降低地下水位，或将板桩紧贴围护结构打入坑底，增大围护结构入土深度，减小动水压力。

11.1.12 暴雨来临前，降水施工用配电盘、箱应置于高处，并做防雨处理。防止暴雨淹没引发安全事故。

11.1.13 坑外地下水位下降速率过快引起周边建筑与地下管线沉降速率超过警戒值，应调整抽水速度减缓地下水位下降速度。有回灌条件时，应启动回灌井工作或施工回灌井进行回灌。

11.1.14 出现管涌时，可采取以下方式进行处理：

- 1 坑周降水法降低水头差；
- 2 设置反滤层封堵流土点。

11.1.15 坑底突涌时的处置应符合下列规定：

1 查明突涌原因，对于因勘察孔、监测孔封孔不当引起的单点突涌，采用坑内围堵平衡水位后，施工降水井降低水位后进行快速注浆处理；

2 对于不明原因的坑底突涌，应结合坑外水位孔的水位监测数据，判断是否属围护体系渗漏引起，对围护渗漏引起的坑底突涌应采用坑内回填平衡、坑底加固、坑外快速注浆或冰冻法的方法进行处理。

11.2 应急响应

11.2.1 基坑工程安全应急预案应当针对以下情况作出响应：

1 基坑支护结构水平位移或周围建（构）筑物、地下管线不均匀沉降或支护结构构件内力超过限值时；

2 建筑物裂缝超过限值或土体分层竖向位移或地表裂缝宽度突然超过报警值时；

3 施工过程中出现大量涌水、涌砂时；

4 基坑底部隆起变形超过报警值时；

5 基坑施工过程中遭遇大雨或暴雨天气，出现大量积水时；

6 基坑施工过程中因各种原因导致人身伤亡事故发生时。

11.2.2 应急响应应包括以下过程与反应：

1 应急实施主体及应急响应的指挥网络系统，应急响应的决策、报告流程；

2 应急响应的物质、设备、材料的就位；

3 应急响应；

4 根据工程危险源的发生情况，提出的对危险源的处理技术与方法。

11.2.3 运行维护过程出现险情，应根据预测和监测资料，判断危险程度，适时启动应急预案并采取防治措施。停电、降水设备损坏等造成地下水位升高，应及时启动应急预案，并明确应急生效时间。

11.3 基坑抢险与安全事故处置

11.3.1 基坑工程施工引起邻近建筑物开裂及倾斜事故，应采取下列措施：

- 1 立即停止基坑开挖，回填反压、基坑侧壁卸载；
- 2 增设锚杆或支撑；
- 3 采取回灌、降水等措施调整降深；
- 4 在建筑物基础周围采用注浆进行加固土体；
- 5 邀请专家和设计单位制订建筑物的纠偏方案并组织实施；
- 6 必要时应及时疏散人员。

11.3.2 邻近地下管线破裂，应采取以下应急措施：

- 1 立即关闭危险管道阀门，防止产生火灾、爆炸等安全事故；
- 2 停止基坑开挖，回填反压、基坑侧壁卸载；
- 3 及时加固、修复或更换破裂管线。

12 基坑安全风险评估与风险控制

12.1 一般规定

12.1.1 基坑工程安全分析与风险评估应在施工组织设计完成后、施工开展前阶段完成，基坑工程安全技术分析应符合下列规定：

- 1 作用效应分析，确定临时结构或构件的作用效应；
- 2 结构抗力及其它性能分析，确定结构或构件的抗力及其它性能；
- 3 材料及相关地基岩土材料的强度、弹性模量、变形模量等物理力学性能指标，应根据有关的试验方法标准经试验确定，对于多次周转使用的材料应考虑多次重复使用对其性能的影响。
- 4 分析可采用计算、模型试验或原型试验等方法。

12.1.2 基坑工程在出现下列情况下，应进行基坑安全风险评估：

- 1 存在影响基坑工程安全性的材料低劣、质量缺陷、构件损伤或其它不利状态；
- 2 对邻近建（构）筑物或设施造成安全影响和破坏的基坑；
- 3 达到设计使用年限拟继续使用的基坑；
- 4 改变现行设计方案，进行加深、扩大及使用条件改变的基坑；
- 5 遭受自然灾害、事故或其它突发事件影响的基坑。
- 6 其他有特殊使用要求和规定的基坑；

12.1.3 基坑施工时和使用中应采取多种方式进行安全监测，有特殊要求的安全等级为一级的基坑工程宜结合监测数据建立基坑安全风险动态预警系统。

12.1.4 周边环境安全分析与评估应遵循不影响建（构）筑物及设施等的正常使用、不破坏景观、不造成环境污染的基本原则。安全分析应包括施工危险源辨识、施工安全风险评价和施

工技术方案对基坑工程的安全分析。危险源辨识应包含所有和基坑工程施工相关的场所、环境、设备、车辆、施工工艺及人员及活动中存在的危险源，并应确定危险源可能产生的严重性及其后果。

12.1.5 基坑周边变形控制应符合下列要求：

1 基坑周边地面沉降不得影响相邻建(构)筑物的正常使用，所产生的差异沉降不得大于建(构)筑物地基变形的允许值；

2 基坑周边土体沉降和侧向变形不影响邻近各类管线的正常使用，不超过管线变形的允许值；

3 基坑周边土体沉降不造成周边既有城市道路、地铁、隧道及储油、储气等重要设施发生结构破坏、渗漏或影响其正常运行。

12.1.6 基坑侧壁与地面变形控制应按设计要求进行，当设计无具体要求时，宜根据基坑安全等级和对应条件按表 12.1.6-1、表 12.1.6-2 规定的限值控制。

表 12.1.6-1 基坑侧壁最大变形限值

基坑安全等级	基坑侧壁水平位移	基坑支护结构沉降
一级	30mm 或 3‰ H	10mm~20mm
二级	50mm 或 5‰ H	20mm~50mm

表 12.1.6-2 基坑侧壁地面最大沉降限值

基坑安全等级	地面最大沉降量控制要求	对应条件
一级	1‰ H	基坑周围 H 范围内设有地铁、共同沟、煤气管、大型压力总水管等重要建筑物及设施
二级	1.5‰ H	距基坑周围 H 范围内设有重要干线水管，对沉降敏感的大型构筑物、建筑物

注： H 为基坑开挖深度。

12.1.7 基坑开挖导致邻近建(构)筑物的允许变形应按设计要求控制，无具体指标时可按《建筑地基基础设计规范》GB50007 中要求进行控制。应综合建（构）筑物的修建年代、维修改造加固等因素，考虑已发生的沉降量初始值对控制指标进行修正，并应注意地基产生不均匀沉降对建筑结构造成的不利影响。

12.1.8 基坑邻近管线采用承插式接头的铸铁水管、钢筋混凝土水管两个接头之间的局部倾斜值不应大于 2.5‰；采用焊接接头的水管两个接头之间的局部倾斜值不应大于 6‰；采用焊接接头的煤气管两个接头之间的局部倾斜值不应大于 2‰。

12.1.9 应根据基坑现场施工作业特点，对施工时和使用中中可能存在的风险，制定风险控制措施和基坑事故应急救援专项预案。

12.2 安全分析与风险评估

12.2.1 基坑工程安全风险评估内容和程序应符合下列规定：

1 初步调查与风险辨识：

- 1) 查阅基坑工程相关资料，包括基坑工程勘察、周边状况评估、设计图及变更、现场检测和监测、地基处理和加固、施工竣工等资料；
 - 2) 调查基坑工程历史，包括施工、维护、用途和使用条件改变、加固处理及受灾等情况；
 - 3) 现场踏勘，根据资料核对实物，调查基坑工程实际使用情况、查看已发现的问题，听取有关人员的意见等；
 - 4) 进行风险界定与风险识别，确定风险清单。
- 2 根据初步调查结果及风险评估要求，制定风险评估方案，包括：
- 1) 工程概况，包括工程等级、深度、周边环境，支护设计及基坑形成时间等；
 - 2) 风险评估的目的、范围、内容和要求；
 - 3) 风险评估依据和标准，主要包括风险评估所依据的标准及有关的技术资料等；
 - 4) 检测项目和选用的检测方法以及抽样检测的数量；
 - 5) 风险评估人员、仪器设备情况和工作进度计划及所需要的配合工作；
 - 6) 现场施工安全措施和环保措施。
- 3 现场调查与工程检测：
- 1) 详细研究相关资料，当基坑工程地质勘察资料不完整或检测过程中发现其它工程地质问题时，应按本规范第 4 章的规定执行；
 - 2) 对设计和施工、使用和维护、加固和处理等过程以及基坑的恒定荷载、活动荷载及偶然荷载作用和其他间接作用进行调查核实；
 - 3) 对材料性能进行检测分析，当设计有要求且不怀疑材料性能有变化时，可采用设计值，当无资料或存在问题时，应按国家现行有关检测技术标准，进行现场取样或现场测试；
 - 4) 对支护结构及构件进行检查，当有资料时，可进行现场抽样复核，当无资料或资料不完整时，应通过对支护结构的现场调查和分析，按国家现行有关检测技术标准，对重要和有代表性的支护结构和构件进行现场抽样检测，确有必要时，应全数检测；
 - 5) 对附属工程进行检查和检测，重点检查基坑工程排水系统的设置和其使用功效，对其他影响安全的附属结构也应进行检查。
- 4 当发现调查和检测资料不充分或不准确时，应及时补充；
- 5 根据调查与检测数据，对各支护结构及构件的安全性进行分析验算，包括整体稳定性和局部稳定性分析，分析基坑风险发生原因，应对支护结构及构件的安全性、正常使用性进行分项风险评估。

12.2.2 基坑工程安全风险评估标准应考虑安全风险发生的可能性及其损失，安全风险等级标准应按表 12.2.5 划分。

表 12.2.5 基坑工程安全风险标准

损失等级 可能性等级		A	B	C	D	E
		灾难性的	非常严重的	严重的	需考虑的	可忽略的
1	频繁的	I 级	I 级	I 级	II 级	III 级
2	可能的	I 级	I 级	II 级	III 级	III 级
3	偶尔的	I 级	II 级	III 级	III 级	IV 级
4	罕见的	II 级	III 级	III 级	IV 级	IV 级
5	不可能的	III 级	III 级	IV 级	IV 级	IV 级

12.2.3 基坑安全风险评估宜采用层次分析法、事故法和事件树法等量化风险评估方法，风险评估中应综合基坑本身安全风险和对周边环境影响风险进行评估。

12.2.4 根据基坑工程安全风险评估等级，应提出风险控制措施。风险控制的基本对策包括风险消除、风险降低、风险转移和风险自留。

12.3 风险控制

12.3.1 基坑工程安全风险控制应在基坑施工和使用中全过程实施，并应根据基坑工程特点和要求，制定现场事故应急抢险预案。

12.3.2 基坑工程安全技术控制措施的实施应符合下列规定：

- 1 应根据安全等级、制定安全规划和安全技术控制措施；
- 2 安全技术控制措施应符合安全技术分析的要求；
- 3 安全技术控制措施实施程序的更改应处于控制之中；
- 4 安全技术控制措施应按施工流程及工序、施工工艺进行实施；
- 5 应以数据分析、信息分析以及过程监测反馈设计为基础，控制安全技术措施实施的过程、过程之间的相互作用。

12.3.3 基坑工程施工现场应按应急预案做好下列抢险准备：

- 1 增加基坑变形监测手段与频次的措施；
- 2 储备截水堵漏的必要器材；
- 3 抢险所需的钢材、水泥、草袋及堵漏材料等；
- 4 应急通道畅通。

12.3.4 当出现下列情况之一时，应立即停止施工，并对基坑支护结构和周边环境保护对象采取风险处置措施：

- 1 当现场监测数据达到基坑环境变形限值；
- 2 基坑支护结构或周边土体的位移出现异常情况或基坑出现渗漏、流砂、管涌、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 周边建(构)筑物的结构部分、周边地面出现可能持续发展的不均匀沉降或较严重的开裂、塌陷等；

5 根据当地工程经验判断，出现其它事故征兆必须应急处理的情况。

12.3.5 设置有截水帷幕的基坑出现漏水、流土、坑内降水使坑外地面或道路下沉、建筑物倾斜、管道断裂等风险时，应立即停止坑内降水，并及时采用粘土或水泥土阻塞夯实，并采取加混凝土封砌渗漏或用化学浆液、树脂等处理截水帷幕的渗漏，必要时重新补做隔水帷幕。

12.3.6 因土方开挖引起流砂、涌土或坑底隆起失稳时，应立即停止基坑挖土，进行堆料反压。如周围环境条件允许时，可配合进行坑外降水。

12.3.7 因支护结构桩墙嵌固深度不足导致支护桩墙内倾或踢脚失稳，应立即停止土方开挖，并在桩墙前堆土反压、增设支撑或基坑外侧挖土卸载，或对被动区采用打桩或其他加固措施。

12.3.8 当引起基坑变形超过允许值且变形速率持续增加、将要发生或已发生坍塌、失稳或变形较大的基坑，应立即进行基坑回填，增加临时内撑预应力或预应力锚杆的锚固力、坑底加设斜撑等措施，待基坑变形暂时稳定后进行加固处理。

13 基坑安全使用与维护

13.1 一般规定

13.1.1 基坑工程施工完毕，应在按规定的程序和内容组织验收合格后，方可使用，基坑工程的安全管理与维护工作应由下道工序施工单位承担。

13.1.2 基坑使用单位应明确负责人和岗位职责，进行基坑安全使用与维护技术安全交底和培训，制定必要的应急处置、监测异常时的处理程序，检查作业安全交底与应急处置演练，并应制定检查、维护等制度。

13.1.3 基坑开挖（支护）单位在将工程移交下一道作业工序的接收单位时，应同时将相关的水文、工程地质、支护、环境状况分析等安全技术资料和各种评估报告同时移交，并应办理移交签字手续。移交手续应由工程监理单位组织，移交和接收单位共同参加。

13.2 使用安全措施

13.2.1 基坑工程应在四周设置高度大于 0.15 m 的防水围挡，并应设置防护栏杆，防护栏杆埋深不应小于 0.60m，高度宜为 1.00~1.20m，栏杆柱距不得大于 2.0m，距离坑边水平距离不得小于 0.50m。

13.2.2 基坑周边 1.2m 范围内不得堆载，3m 以内限制堆载，坑边严禁重型车辆通行。当支护设计中已考虑堆载和车辆运行时，必须按设计要求进行，严禁超载。

13.2.3 在基坑边 1 倍基坑深度范围内建造临时住房或仓库时，应经基坑支护设计单位允许，并经施工企业技术负责人、工程项目总监批准，方可实施。基坑开挖及施工过程中不得随意

破坏结构节点。

13.2.4 基坑的上、下部和四周必须设置排水系统，流水坡向及坡率应明显和适当，不得积水。基坑上部排水沟与基坑边缘的距离应大于 2m，排水沟底和侧壁必须做防渗处理。基坑底部四周应设置排水沟和集水坑。

13.2.5 雨季施工时，应有防洪、防暴雨的排水措施及应急材料、设备，备用电源应处在良好的技术状态。

13.2.6 在基坑的危险部位、临边、临空位置，设置明显的安全警示标识或警戒。

13.2.7 当夜间进行基坑施工时，设置的照明必须充足，灯光布局合理，防止强光影响作业人员视力，不得照射坑上建筑物，必要时应配备应急照明。

13.2.8 基坑开挖前，应根据专项施工方案应急预案中所涉及的机械设备与物资进行准备，确保完好、并存放现场便于随时立即投入使用。

13.2.9 基坑四周每一边，应设置不少于 2 个人员上下坡道或爬梯，不得在坑壁上掏坑攀登上下。

13.3 维护安全措施

13.3.1 使用单位应对后续施工中存在的影响基坑安全的行为及时制止，消除可能发生的安全隐患。

13.3.2 使用单位应有专人对基坑安全进行巡查，每天早晚各 1 次，雨季应增加巡查次数，并应做好记录，发现异常情况应立即报告项目安全负责人，并通报基坑监测单位和基坑围护施工单位；应有专人检查基坑周围原有的排水管、沟，确保不得有渗水漏水迹象；当地表水、雨水渗入土坡或挡土结构外侧土层时，应立即采取截、排等处置措施。

13.3.3 降水维护应符合下列规定：

1 降水期间应对抽水设备和运行状况进行维护检查，每天检查不应少于 3 次，并应观测记录水泵的工作压力、真空泵、电动机、水泵温度，电流、电压、出水等情况，发现问题及时处理，使抽水设备始终处在正常运行状态。降水期间不得随意停抽；

2 对所有井点要有明显的安全保护标识，避免井点破坏，影响降水效果；

3 注意保护井口，防止杂物掉入井内，检查排水管、沟，防止渗漏，冬季降水应采取防冻措施；

4 根据基坑开挖深度和施工进度，按计划分期、分批开启降水井，做到按需降水；在更换水泵时，应测量井深，掌握水泵安装的合理深度，防止埋泵；

5 应掌握引渗井的水位变化,当引渗井水位上升且接近基坑底部时,应及时洗井或做其它处理,使水位恢复到原有深度;

6 发现基坑(槽)出水、涌砂,应立即查明原因,组织处理;

7 当发生停电时,应及时更新电源,保持正常降水;

8 基坑挖土时应保护好降水井点,避免井点破坏,影响降水效果。

13.3.4 对盐渍土、膨胀性土及冻土的坡面和坡顶 3 米以内应采取防水及防冻措施。

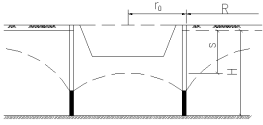
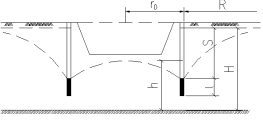
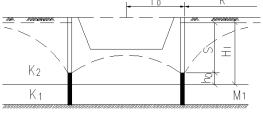
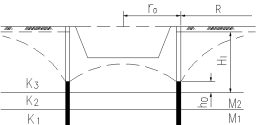
13.3.5 对基坑每次监测数据应及时进行分析整理并应通知有关责任主体;当变形值超过设计警戒值时,应发出预警,停止施工,撤离人员,并应按应急预案中的措施进行处理。

13.3.6 地下结构施工至地面后,对基槽应及时回填,回填质量应按照相关规范和设计要求进行控制。

13.3.7 对于超过设计使用年限的基坑工程,应由原支护设计单位、施工单位进行复核,复核结果不满足现行规范要求时,应采取加固措施。

附录 A 潜水含水层涌水量计算(稳定流)

表 A 潜水含水层涌水量计算表(稳定流)

图形	计算公式	适用条件
	$Q = 1.366k \frac{(2H - S)S}{\lg(R + r_0) - \lg r_0}$	①潜水完整井; ②均质含水层; ③基坑远离边界。
	$Q = 1.366k \frac{H^2 - \bar{h}^2}{\lg \frac{R + r_0}{r} + \frac{\bar{h} - l}{l} \lg(1 + 0.2 \frac{\bar{h}}{r})}$	①潜水非完整井; ②均质含水层; ③基坑远离边界。
$\bar{h} = \frac{H + h}{2}$		
	$Q = \frac{1.366k_2(H_1^2 - h_0^2) + 2.73k_1M_1(H_1 - h_0)}{\lg(R + r_0) - \lg r_0}$	①双层构造; ②上下层渗透系数相差不大; ③边界远离基坑。
	$Q = \frac{1.366}{\lg(R + r_0) - \lg r_0} (2M_1k_1 + 2M_2k_2 + h_1k_3 + h_0k_3)(H_1 - h_2)$	①三层构造; ②其他条件同上。

附录 B 承压含水层涌水量计算（稳定流）

表 B 承压含水层涌水量计算表（稳定流）

图形	计算公式	适用条件
	$Q = 2.73k \frac{MS}{\lg(R+r_0) - \lg r_0}$	①承压完整井； ②均质含水层； ③基坑远离边界。
	$Q = \frac{2.73kMS}{\lg \frac{R+r_0}{r_0} + \frac{M-l}{l} \lg(1+0.2 \frac{M}{r})}$	①承压非完整井； ②均质含水层。
	$Q = 2.73\bar{k} \frac{MS}{\lg \frac{R+r_0}{r_0}}$ $k = \frac{\sum k_i H_i}{\sum H_i}$ $M = H_1 + H_2 + H_3$	①多层承压含水层； ②基坑远离地表水体补给。

注：表中， Q —基坑涌水量（ m^3/d ）；

k —渗透系数（ m/d ）；

H —潜水含水层水头高度（ m ）；

R —影响半径（ m ）；

h —基坑动水位至含水层底板深度（ m ）；

S —水位降深（ m ）；

r_0 —基坑半径（ m ）；

l —过滤器有效工作部分长度（ m ）。

附录 C 管井降水水位预测

C.0.1 圆形或矩形状基坑潜水完整井，可采用下式计算：

$$1 \text{ 非稳定流} \quad s_{r,t} = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q^2 \left(\frac{2.25 \alpha t}{\sqrt{r_1^2 - r_2^2 - r_3^2 - \dots - r_n^2}} \right)}{2\pi K^2}} \quad (\text{C.0.3-1})$$

当 $\frac{r_1^2}{4\alpha t} \leq 0.1$ 时采用

$$2 \text{ 稳定流} \quad s_{r,t} = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{1366K^2} \left[\lg R - \frac{1}{n} \lg(r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \dots r_n) \right]} \quad (\text{C.0.3-2})$$

C.0.2 圆形或矩形状基坑承压水完整井:

$$1 \text{ 非稳定流} \quad s_{r,t} = \frac{Q^2 \left(\frac{2.25 \alpha t}{\sqrt{r_1^2 - r_2^2 - r_3^2 - \dots - r_n^2}} \right)}{4\pi K^2 M} \quad (\text{C.0.3-3})$$

当 $\frac{r_1^2}{4\alpha t} \leq 0.1$ 时采用

$$2 \text{ 稳定流} \quad s_{r,t} = \frac{0.366Q}{MK^2} \left[\lg R - \frac{1}{n} \lg(r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \dots r_n) \right] \quad (\text{C.0.3-4})$$

C.0.3 条形基坑除可按上述方法计算外, 也可按下式(C.0.3-5)、(C.0.3-6)计算:

$$1 \text{ 潜水完整井} \quad s_r = H - \sqrt{k_1^2 + \frac{X}{R} (H^2 - k_1^2)} \quad (\text{C.0.3-5})$$

$$2 \text{ 承压完整井} \quad s_r = H_1 - \left(h_2 + \frac{H_1 - h_2}{R} X \right) \quad (\text{C.0.3-6})$$

式中, $s_{r,t}$ —任意距离, 任意时间的水位降深(m);

α —含水层导压系数(m^2/d);

t —抽水时间(d);

M —降水井排处的承压含水层厚度(m);

H —潜水含水层厚度;

H_1 —承压含水层水头值(m);

h_1 —降水井排处的含水层厚度(m);

h_2 —降水井排处的承压水水头值(m);

X —任意点至井排的距离(m);

S_x —距井排处的水位下降值(m);

$r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ ——降水井至任意计算点的距离(m)。

C.0.4 降水水位预测计算,也可根据多孔抽水试验,按实测抽水影响范围内不同距离的观测孔水位降深资料,建立相应的统计方程,计算不同布井条件下的基坑降水水位的统计预测值。

C.0.5 对于降水地质条件复杂的降水工程,在具备资料,工期允许的条件下,也可采用数值法或物理模拟试验进行降水水位预测计算。

地基基础工程讲义

9 基坑工程

9.1. 一般规定

9.1.1 岩、土质场地建、构筑物的基坑开挖与支护。包括：放坡开挖，桩式和墙式支护、岩层或土层锚杆以及采用逆作法施工的基坑工程应符合本章的规定。

9.1.2 基坑支护设计应确保岩土开挖、地下结构施工的安全，并使周围环境不受损害。

9.1.3 基坑工程设计应包括下列内容

- 支护结构体系的方案和技术经济比较；
- 基坑支护结构体系的稳定性验算；
- 支护结构的强度、稳定和变形计算；
- 地下水控制设计；
- 对周边环境影响的控制设计；
- 基坑土方开挖施工方案；
- 基坑工程的监测要求。

- 9.1.4 基坑工程设计安全等级、结构设计使用年限、结构重要性系数，应根据基坑工程的设计、施工及使用条件按有关规范的规定采用。
- 9.1.5 基坑支护结构设计应符合下列规定：
 - 1 所有支护结构设计均应满足强度和变形计算以及土体稳定性验算的要求；
 - 2 设计等级为甲级、乙级的基坑工程，应进行因土方开挖、降水引起的基坑内外土体的变形计算；
 - 3 高地下水位地区设计等级为甲级的基坑工程，应按9.9节的规定进行地下水控制的专项设计。

- 9.1.6 基坑工程设计采用的土的强度指标，应符合下列规定：
 - 1 对淤泥及淤泥质土，应采用三轴不固结不排水剪强度指标；
 - 2 对正常固结的饱和粘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；当施工挖土速度较慢，排水条件好，土体有条件固结时，可采用三轴固结不排水剪强度指标；
 - 3 对砂类土，采用有效强度指标；
 - 4 验算软粘土隆起稳定性时，可采用十字反剪切强度或三轴不固结不排水剪强度指标；
 - 5 灵敏度较高的土，基坑临近有交通频繁的主干道或其他对土的扰动源时，计算采用土的强度指标宜适当进行折减。
 - 6 应考虑打桩、地基处理的挤土效应等施工扰动原因造成对土强度指标降低的不利影响。

- 9.1.7 因支护结构变形、岩土开挖及地下水条件变化引起的基坑内外土体变形应符合下列规定：
 - 1 不得影响地下结构尺寸、形状和正常施工；
 - 2 不得影响既有桩基的正常使用；
 - 3 对周围已有建、构筑物引起的地基变形不得超过地基变形允许值；
 - 4 不得影响周边地下建（构）筑物、地下轨道交通设施及管线的正常使用。
- 9.1.8 基坑工程设计应具备以下资料：
 - 1 岩土工程勘察报告；
 - 2 建筑物总平面图、用地红线图；
 - 3 建筑物地下结构设计资料，以及桩基础或地基处理设计资料；
 - 4 基坑环境调查报告，包括基坑周边建（构）筑物、地下管线、地下设施及地下交通工程等的相关资料。

- 9.1.9 基坑土方开挖应严格按设计要求进行，不得超挖。基坑周边堆载不得超过设计规定。土方开挖完成后应立即施工垫层，对基坑进行封闭，防止水浸和暴露，并应及时进行地下结构施工。

-

- 9.2 基坑工程勘察与环境调查
- 勘察：
 - 9.2.1 勘察范围
 - 9.2.2 查明场区水文地质资料及与降水有关的参数
 - 9.2.3 当场地水文地质条件复杂，应进行现场抽水试验，并进行水文地质勘察。
 - 9.2.4 评价特殊土
 - 9.2.5 岩体基坑工程勘察
- 环境调查：
 - 9.2.6 调查范围和调查内容

- 9.3 土压力
- 9.3.2 主动土压力、被动土压力可采用库仑或朗肯土压力理论计算。当对支护结构水平位移有严格限制时，应采用静止土压力计算。
- 9.3.3 作用于支护结构的土压力和水压力，对砂性土宜按水土分算计算；对粘性土宜按水土合算计算；也可按地区经验确定。
- 9.3.4 基坑工程采用止水帷幕并插入坑底下部相对不透水层时，基坑内外的水压力，可按静水压力计算。
- 9.3.5 当按变形控制原则设计支护结构时，作用在支护结构的计算土压力可按支护结构与土体的相互作用原理确定，也可按地区经验确定。

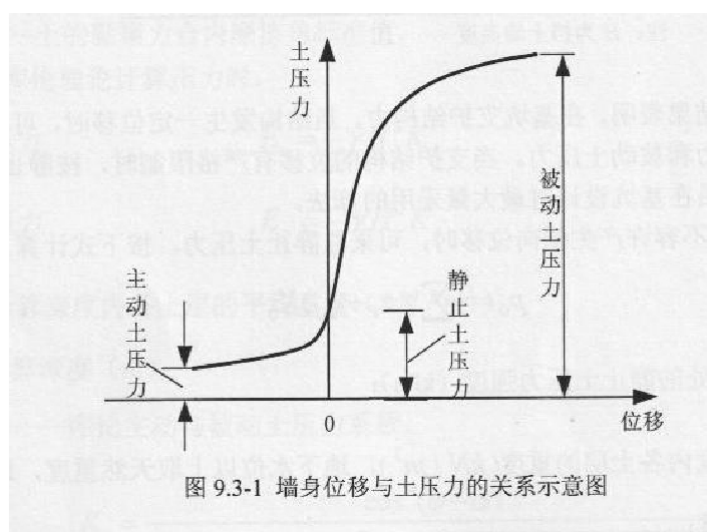


图 9.3-1 墙身位移与土压力的关系示意图

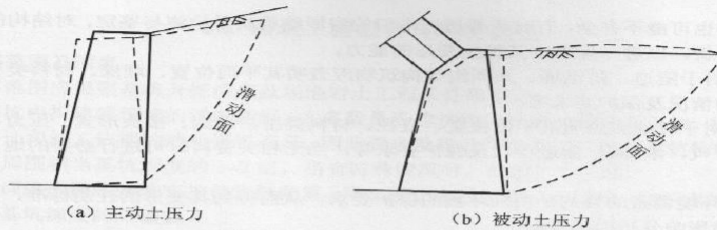


图 9.3-2 产生主动或被动土压力的情况

墙后填土达到主动或被动极限平衡状态的情况与填土性质及墙体位移大小和方式有刚性挡土墙产生主动和被动土压力所需的墙顶位移如表 9.3-1 所示。

表 9.3-1 产生主动和被动土压力所需的墙顶位移

土类	应力状态	位移形式	所需位移
砂土	主动	平移或绕基底转动	0.001H
	被动	平移	0.05 H
	被动	绕基底转动	0.1 H
黏土	主动	平移或绕基底转动	0.004 H
	被动	—	—

注：H 为挡土墙高度

大量工程实践结果表明，在基坑支护结构中，当结构发生一定位移时，可按古典土

9.4 设计计算

- 9.4.1 基坑支护结构设计时，作用的效应设计值应符合下列规定：
 - 1 基本组合的效应设计值可采用简化规则，应按下列公式进行计算：
 - $S_d = 1.25 S_K$ (9.4.1-1)
 - 式中 S_d ——基本组合的效应设计值；
 - S_K ——标准组合的效应设计值。
 - 2 对于轴向受力为主的构件， S_d 简化计算可按下列公式进行：
 - $S_d = 1.35 S_K$ (9.4.1-2)

- 9.4.2 支护结构的入土深度应满足基坑支护结构稳定性及变形验算的要求，并结合地区工程经验综合确定。有地下水渗流作用时，应满足抗渗流稳定的验算，并宜插入坑底下部不透水层一定深度。

9.4.3 桩、墙式支护结构设计计算的相关规定：

1 桩、墙式支护结构定义及其适用范围

2 桩、墙式支护结构的设计计算内容：

- 1) 确定桩、墙的入土深度
- 2) 支护结构的内力和变形计算
- 3) 支护结构的构件和节点设计；
- 4) 基坑变形计算，必要时提出对环境保护的工程技术措施；
- 5) 支护桩、墙作为主体结构一部分时，尚应计算在建筑荷载作用下的内力及变形；
- 6) 基坑工程的监测要求。

- 9.4.4根据基坑周边环境的复杂程度及环境要求，按下列规定进行变形控制设计，并采取相应的保护措施：
 - 1.根据基坑周边的环境保护要求，提出基坑的各项变形设计控制指标；
 - 2.预估基坑开挖对周边环境的附加变形值，其总变形值应小于其允许变形值；
 - 3.应从支护结构施工、地下水控制及开挖等三个方面分别采取相关措施保护周围环境。

- 9.4.5支护结构的内力和变形分析，宜采用侧向弹性地基反力法计算。土的侧向地基反力系数可通过单桩水平载荷试验确定。
- 9.4.6 支护结构应进行稳定验算。稳定验算应符合本规范附录V的规定。当有可靠工程经验时，稳定安全系数可按地区经验确定。
- 9.4.7 地下水渗流稳定性验算，应符合下列规定：
 - 1.当坑内外存在水头差时，粉土和砂土应按本规范附录W进行抗渗流稳定性验算；
 - 2.当基坑底上部土体为不透水层，下部具有承压水头时，坑内土体应按本规范附录W进行抗突涌稳定性验算；

表 V.0.1 支护结构的稳定性验算

结构类型 稳定性 验算	桩、墙式支护	
	悬臂桩倾覆稳定	带支撑桩的倾覆稳定
计算方法 与稳定安全系数		
计算简图		
计算方法 与 稳定安全系数	<p>悬臂支护桩在坑内外水、土压力作用下, 对 O 点取距的倾覆作用, 应满足下式规定:</p> $K_t = \frac{\sum M_{E_p}}{\sum M_{E_a}}$ <p>式中: $\sum M_{E_a}$——主动区倾覆作用力矩总和 (kN·m); $\sum M_{E_p}$——被动区抗倾覆作用力矩总和 (kN·m); K_t——桩、墙式悬臂支护抗倾覆稳定安全系数, 取 $K_t \geq 1.30$。</p>	<p>最下一道支撑点以下支护桩在坑内外水、土压力作用下, 对 O 点取距的倾覆作用应满足下式规定:</p> $K_1 = \frac{\sum M_{E_p}}{\sum M_{E_a}}$ <p>式中: $\sum M_{E_a}$——主动区倾覆作用力矩总和 (kN·m); $\sum M_{E_p}$——被动区抗倾覆作用力矩总和 (kN·m); K_1——带支撑桩、墙式支护抗倾覆稳定安全系数, 取 $K_1 \geq 1.30$。</p>
备注		

续表 V.0.1

结构类型 稳定性 验算	桩、墙式支护		
	隆起稳定		整体稳定
计算方法 与稳定安全系数			
计算方法 与 稳定安全系数	<p>基坑底部土体的强度稳定性应满足下式规定:</p> $K_D = \frac{N_c \tau_0 + \gamma D}{\gamma(H+D) + q}$ <p>式中: N_c——承载力系数, $N_c = 5.14$; τ_0——由十字板试验确定的总强度 (kPa); γ——土的重度 (kN/m³); K_D——入土深度底部土抗隆起稳定安全系数, 取 $K_D \geq 1.60$; D——支护结构入土深度 (m); H——基坑开挖深度 (m); q——地面荷载 (kPa)。</p>	<p>基坑底部土体的强度稳定性应满足下式规定:</p> $K_D = \frac{M_p + \int \tau_0 d\theta}{(q + \gamma H) D^2 / 2}$ <p>式中: M_p——支护桩、墙横截面抗弯强度标准值 (kN·m); K_D——基坑底部土抗隆起稳定安全系数, 取 $K_D \geq 1.40$。</p>	<p>按圆弧滑动面法, 验算基坑整体稳定性, 应满足下式规定:</p> $K_R = \frac{M_R}{M_S}$ <p>式中: M_S、M_R——分别为对于危险滑动面上滑动力矩和抗滑力矩 (kN·m); K_R——整体稳定安全系数, 取 $K_R \geq 1.30$。</p>
备注	适用于支护桩底为软土 ($\varphi = 0$) 的基坑		

附录 W 基坑抗渗流稳定性计算

W.0.1 当上部为不透水层，坑底下某深度处有承压水层时，基坑底抗渗流稳定性可按下列公式验算（图 W.0.1）。

$$\frac{\gamma_m(t+\Delta t)}{P_w} \geq 1.1$$

式中： γ_m ——透水层以上土的饱和重度（ kN/m^3 ）；

$t+\Delta t$ ——透水层顶面距基坑底面的深度（m）；

P_w ——含水层水压力（ kPa ）。

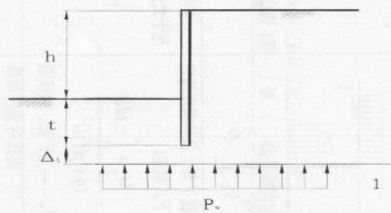


图 W.0.1 基坑底抗渗流稳定验算示意图
1—透水层

W.0.2 当基坑内外存在水头差时，粉土和砂土应进行抗渗稳定性验算，渗流的水力梯度不应超过临界水力梯度。

9.5 支护结构内支撑

- 9.5.1 支护结构的内支撑必须采用稳定的结构体系和连接构造，优先采用超静定内支撑结构体系，其刚度应满足变形计算要求。
- 9.5.2 分析原则
 - 1 变形协调
 - 2 承载力和变形符合国家现行结构设计规范；
 - 3 内支撑周边侧向土压力值变化较大时；
 - 4 空间分析
- 9.5.3 支撑结构的施工与拆除顺序，应与支护结构的设计工况相一致，必须遵循先支撑后挖的原则。

9.6 土层锚杆

- 9.6.1 土层锚杆锚固段不应设置在未经处理的软弱土层，不稳定土层和不良地质地段及钻孔注浆引发较大土体沉降的土层。
- 9.6.2 锚杆杆体材料
- 9.6.3 锚杆布置和锚固体强度
- 9.6.4 锚杆设计内容
- 9.6.5 锚杆预应力筋面积（分项系数1.35）
- 9.6.6 土层锚杆锚固段长度应按基本试验确定
- 9.6.7 锚杆张拉规定
- 9.6.8 锚杆自由段的规定
- 9.6.9 锚杆试验（附录Y）

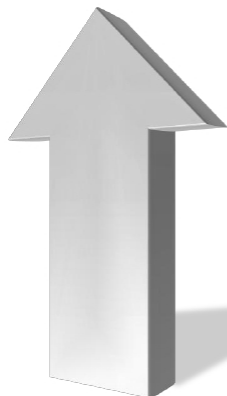
- 9.7 基坑工程逆作法
- 9.8 岩体基坑工程
- 9.9 地下水控制
- 9.9.6 高地下水位地区，当水文地质条件复杂，基坑周边环境要求高，设计等级为甲级的基坑工程，应进行地下水控制专项设计，并应包括下列内容：
 - 1 应具备专门的水文地质勘察资料、基坑周边环境调查报告及现场抽水试验资料；
 - 2 基坑降水风险分析及降水设计；
 - 3 降水引发的地面沉降计算及环境保护措施；
 - 4 基坑渗漏的风险预测及抢险措施；
 - 5 降水运营、监测与管理措施。

复合土钉墙技术与监测

《建筑基坑工程监测技术实施手册》 编制组
国家标准《复合土钉墙基坑支护技术规范》 编制组



主要内容



- 一、国内当前基坑工程现状及发展趋势
- 二、《复合土钉墙基坑支护技术规范》释义
- 三、《建筑基坑工程监测技术规范》实施中的问题
- 四、远程监控预警

深基坑工程？

- 深基坑是指开挖深度超过 5m 的基坑、或深度未达到 5m 但地质情况和周围环境较复杂的基坑。
- ----- 建设部《建筑工程预防坍塌事故若干规定》

环境较复杂？

- 1) 与邻近建筑物、重要设施的距离在开挖深度以内的基坑；
- 2) 基坑影响范围内（不小于 2 倍的基坑开挖深度）有历史文物、近代优秀建筑、重要管线等需严加保护的基坑。

----- 山东省工程建设标准《建筑基坑工程监测技术规范》

现场地质情况较复杂？

- 1) 基坑周边存在面积较大的厚层有机质填土；
- 2) 基坑周边存在特软弱的淤泥质粘土；
- 3) 基坑周边存在暗浜、暗塘、暗井、古河道；
- 4) 临近江、海、河边并有水力联系；
- 5) 存在渗透性较大的含水层并有承压水；
- 6) 基坑潜在滑塌范围内存在岩土界面且岩体结构面向坑内倾斜等情况。

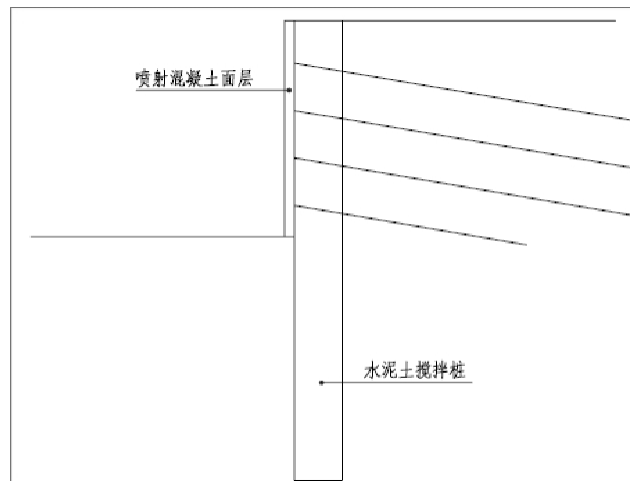
复合土钉支护技术

《复合土钉墙基坑支护技术规范》（GB50739-2011）

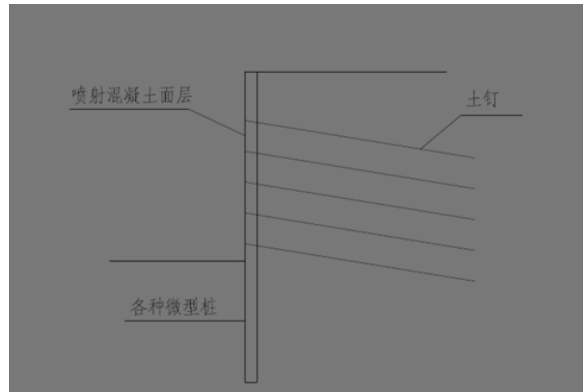
复合土钉支护的概念和形式

- 所谓复合土钉支护即土钉支护与其他形式的加固手段相结合，以满足不同地质条件和工程要求的土钉支护方式。

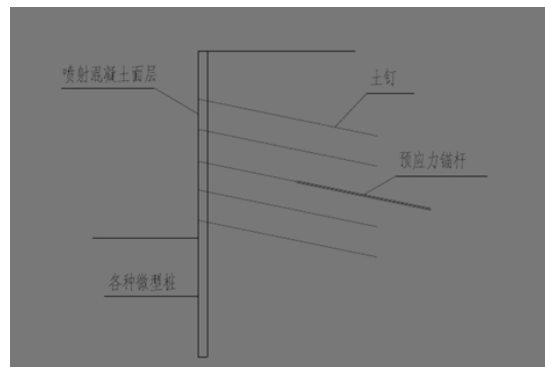
对于地下水位较高，土层软弱地层中应用土钉支护所遇到的问题可用增加防渗帷幕方法加以解决。防渗帷幕形成封闭开挖空间，基坑内部降水不影响周边地下水位，有利保护环境；防渗帷幕同时又是超前支护，对开挖面土体位移起到限制作用，有利减少水平位移；防渗帷幕形成相对干燥的开挖面，有利于提高喷射混凝土面层的施工质量；防渗帷幕或超前支护插入基坑底部开挖面一定深度，增加边坡抗滑移能力，防止基坑底部隆起和管涌的产生。防渗帷幕可以采用水泥土搅拌桩或高压旋喷桩施作，也可在防渗帷幕中插入钢管或型钢。



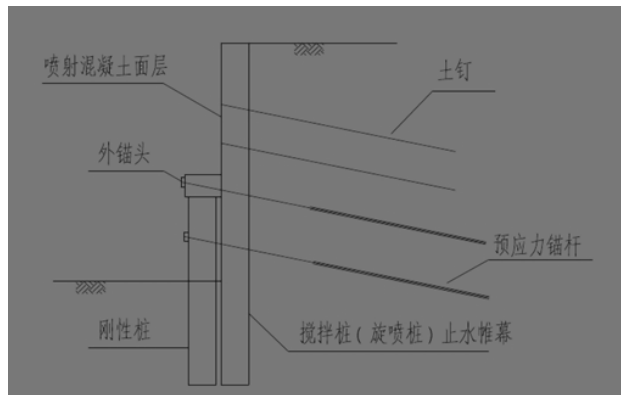
防渗帷幕+土钉支护



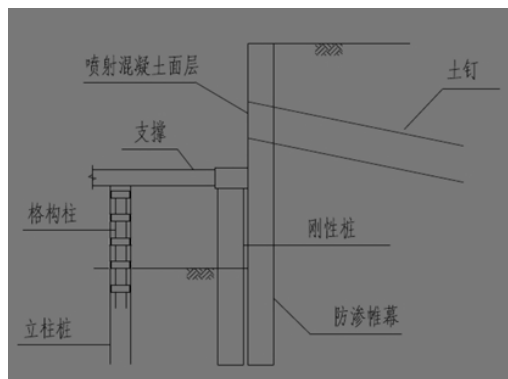
当地层松软但地下水位很低或地层透水性很差时，可不设防渗帷幕，但可用微型桩组成超前支护。微型桩的作用可防止开挖过程中局部坍塌，也有利阻止基坑底部隆起。



土钉支护一般水平位移偏大，当周边环境对位移有较高要求时，可根据需求将一、二排土钉按预应力土层锚杆要求施工，并施加预应力，以减少水平位移量。对于按设预应力锚杆的部位，应施作微型桩作为超前支护



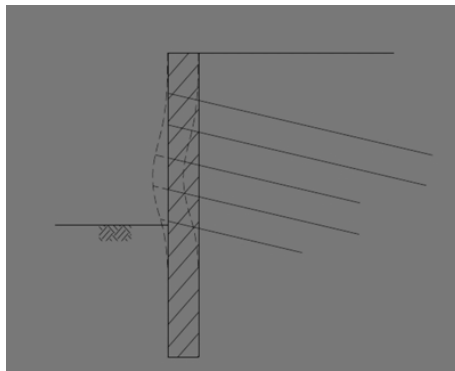
当基坑开挖深度很深时，全部采用复合土钉支护风险太大。这时，往往浅层部分采用复合土钉支护，深层部分采用桩锚结构。该形式既提高了基坑支护的安全等级，又最大限度地节省造价。



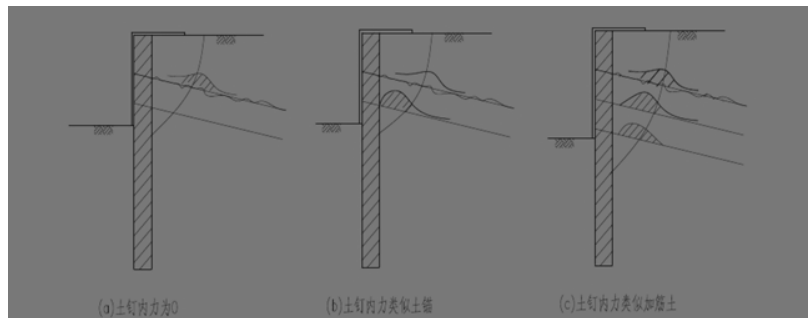
当浅层地层土性较好，而下层地层为深厚的淤泥地层时，在浅部土性较好的地层中采用土钉支护，而深层采用排桩+支撑的形式。该种组合形式充分利用上层地层较好的特点施作复合土钉支护，节省了围护桩的工程量，省掉一道支撑，使大部分土方在无支撑覆盖的情况下开挖，提高挖土效率，有利于缩短工期。

第三章 复合型土钉支护受力变形性状

- 土钉支护是随开挖随支护、逐层开挖、逐层支护，直到预定的开挖深度，支护完成。下层土体的开挖肯定引起上层土钉内力和侧向变形的增加，但上一层土体已不是原状土体，而是由土钉、注浆体及土体组成的复合加筋土体，该加筋土体抵抗侧向变形的能力要比原状土体大得多，因此开挖引起下层土体的侧向位移并不能使上层土体产生同样的位移。越下层土体承受上层土体的压力越大，当挖出侧向土体时，产生的压缩量、侧向变形量越大。根据以上分析，土钉支护边坡位移量应是上面较小，而下面较大，呈现“鼓肚子”现象。



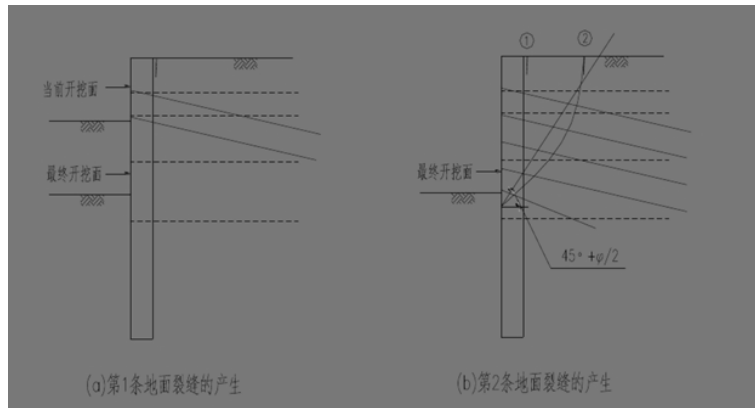
土钉支护“鼓肚子”现象



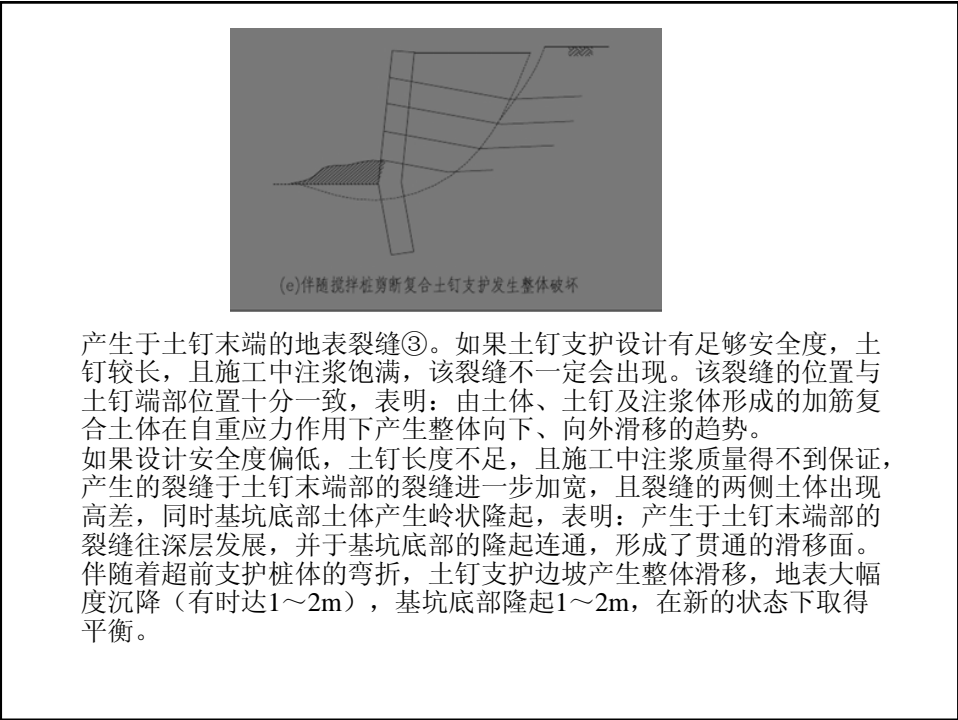
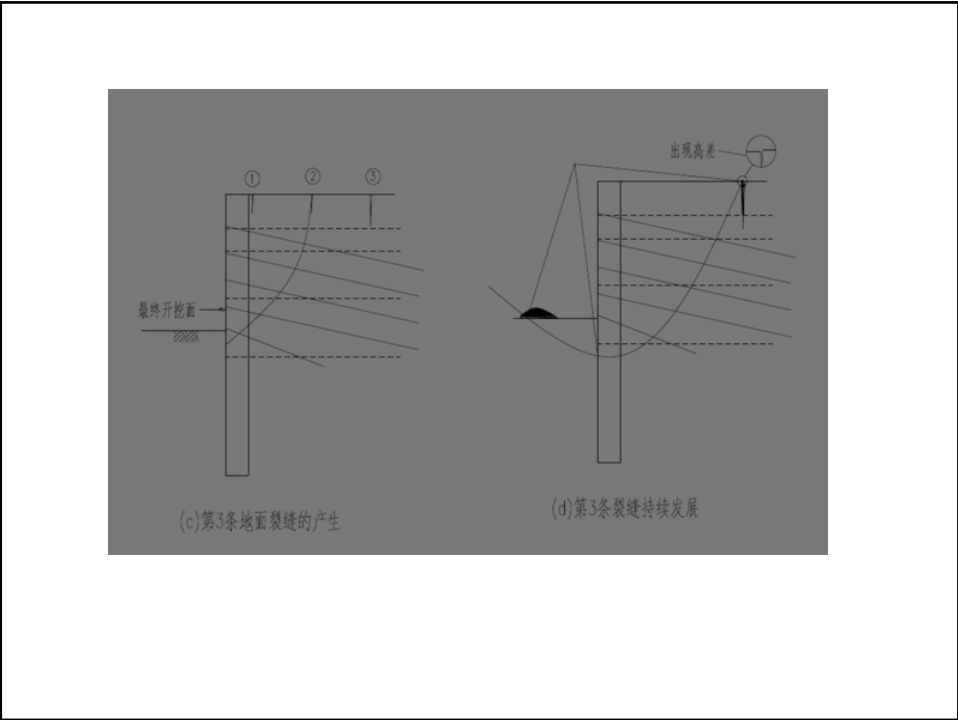
土钉受力过程可分为三个阶段。(1)土钉打入并注浆，浆液凝固之前，起不到约束土体变形的作用，因此内力为零。(2)土钉打入地层并注浆，且注浆体凝固，地层成为加筋复合体。如果进一步开挖下一层土体，下一层土体侧向位移并影响到上层的加筋复合体，该加筋复合体在下层土体的牵动下，产生继续侧向变形的趋势，但拉力集中在土钉的端部，且沿土钉长度快速衰减。(3)随着基坑继续开挖，深度增加，产生土体侧向位移的范围也在增加。加筋复合地层中的土钉拉力也逐步增加，且拉力的最大值也往后移动，拉力峰值出现的位置随土钉所处位置不同而不同。通常情况下，越靠上的土钉，其拉力峰值越靠后，越靠下的土钉其拉力峰值越靠前。将各排土钉拉力峰值联系起来，即是该边坡的潜在滑裂面。

可见土钉的作用是：初始阶段约束、限制面层进一步产生侧向位移；基坑开挖到底以后，形成的“土钉组”联系滑动土体和稳定土体，使其不在潜在滑裂面处分离，与桩—锚结构中锚杆的受力是完全不同的。锚杆是将支挡结构（桩）所承受的水土压力以拉力的形式，通过自由段传递到锚固段，锚固段以剪应力的形式将拉力分布到稳定土层中去。

土钉支护基坑边坡变形破坏过程



- 第①条裂缝是指土体与超前支护的水泥土搅拌桩等之间的裂缝，该裂缝是可以避免的。只要及时封堵，不使地表水渗入地下，引起土体强度恶化，通常情况下不会危及基坑安全。
- 第②组地表裂缝的位置与 $45^\circ + \frac{\varphi}{2}$ 的滑动面与地表面的交线位置一致。该裂缝的出现表明：由于最危险滑动区产生向下滑移趋势，而土体的抗剪强度已接近充分发挥。由于土钉群的存在，土体强度的不足部分由土钉作用补充，所以该裂缝一般不会发展成危险破坏面。该危险滑动面应该就是土钉拉力峰值的连线。

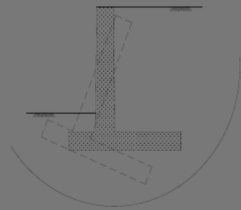


产生于土钉末端的地表裂缝③。如果土钉支护设计有足够安全度，土钉较长，且施工中注浆饱满，该裂缝不一定会出现。该裂缝的位置与土钉端部位置十分一致，表明：由土体、土钉及注浆体形成的加筋复合土体在自重应力作用下产生整体向下、向外滑移的趋势。如果设计安全度偏低，土钉长度不足，且施工中注浆质量得不到保证，产生的裂缝于土钉末端部的裂缝进一步加宽，且裂缝的两侧土体出现高差，同时基坑底部土体产生岭状隆起，表明：产生于土钉末端部的裂缝往深层发展，并于基坑底部的隆起连通，形成了贯通的滑移面。伴随着超前支护桩体的弯折，土钉支护边坡产生整体滑移，地表大幅度沉降（有时达1~2m），基坑底部隆起1~2m，在新的状态下取得平衡。

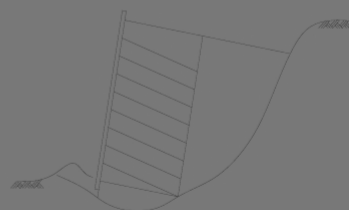
土钉支护边坡构不成重力坝体的破坏模式

- 国内外有一些研究者把土钉支护边坡看成是由加筋土体组成的重力坝结构认为土钉支护的基坑边坡，经过土钉加固后形成了宽度为 L （土钉长度）、高度为 H （土钉支护高或基坑深度）的类似重力坝的结构体。在坝后土压力作用下，坝体有绕趾部转动的可能性，因此会发生 δ_0 的地表裂缝。这样的破坏模式有两点必须满足：①被加固体必须接近为刚体；②重力坝的基面必须是十分坚硬的基岩或比上部坝体显著坚硬的地层。实际上，要满足以上两条是做不到的。因此，在中国已施工的数千个土钉支护基坑中，从没有发生类似重力坝的破坏模式即发生绕趾部转动和沿基面滑移。

在分析土钉支护的破坏模式时，必须注意到开挖引起的地层应力的变化。当开挖至基坑底部以后，若发生上部位移大、下部位移小而发生绕趾部转动的趋势时，趾部的应力集中必须首先使趾部基底面产生塑性变形，由于趾部地层三维受力的解除而强度大幅度降低，所以趾部塑性变形区会很快的扩展。其结果是坝体的底部和坝体的前部塑性变形区连成整片，必然是坝体下沉而坑底隆起，表现为整体滑移破坏。



重力坝整体滑移失稳



土钉支护整体滑移破坏

第四章 复合型土钉支护设计

- 所需要收集的资料
- (1) 地质勘察报告
- (2) 总图及周边环境
- (3) 地下结构底板平面图和基础图及桩位图
- (4) 场地施工布置图

土钉支护设计准则

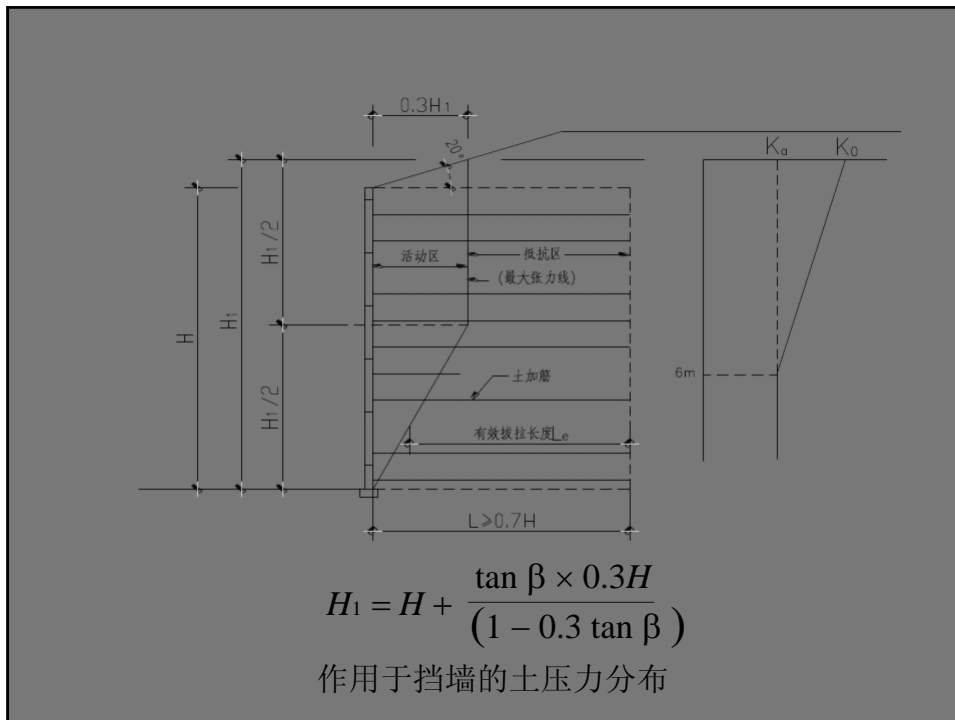
- 土钉支护适用于二、三级基坑围护工程。土钉支护施工过程中，存在着一段非支护、自由变形期，土钉支护基坑的位移量有一半左右来自该自由变形阶段。因此，土钉支护基坑的位移量很难满足一级基坑的变形要求。复合型土钉支护可以满足一级基坑的变形要求，即复合型土钉支护可以用于一级基坑支护工程。
- 用于基坑工程的土钉支护采用分项系数表示的极限状态设计表达式进行设计，该极限状态又可分为承载能力极限状态和正常使用极限状态。前者是承载力控制，后者是变形控制。

设计方法的选择

- 建立在极限平衡状态的土钉支护设计方法可分为“荷载法”和“滑动面”法。计算出的水土压力总和，如果采用相同的强度假定，两种方法应该得出相同设计结果。

“土压力”法（即“荷载法”）

- 即假定水土压力垂直作用于竖直临空面上，以此为基础设计内部的加固构件（如土钉），并验算其外部稳定性。对于传统的悬臂式结构或重力式挡墙结构多采用此方法，假定墙后土体的土压力的分布形式作用于挡墙上。设计土压力的大小、分布形式和作用位置根据试验、经验或经典土压力理论确定。土压力法用于土钉支护设计却不十分合适，因为土钉支护所安设的地层是复杂多变的，一般情况下为非均质的，并且土体抗剪强度和土体与水泥浆的粘结力变化范围很大。



“滑动面”法（即稳定分析法）

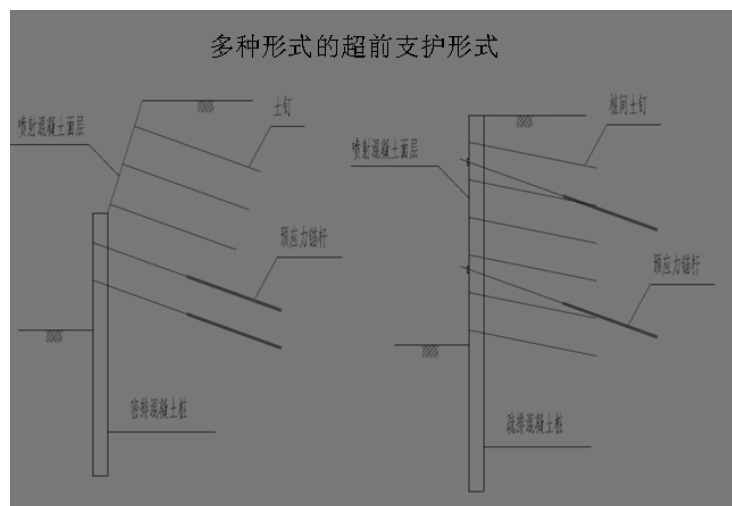
- 滑动面极限平衡设计方法考虑潜在破坏面以外土体在各种力作用下的极限平衡条件，以求取该滑动土体的稳定性。这种稳定分析方法已广泛地应用于加固土坡的稳定分析中，并且应用实践证明能够得到与实际情况相一致的结果。用滑动面极限平衡分析土钉支护边坡的最大好处是：(1)该方法考虑了被加固边坡的内部、外部和混合形式的潜在滑移面，并评估了每一个滑移面的滑弧稳定性；(2)这种方法不需要事先确定最大张力线（即土钉最大拉力的连线）；(3)这种方法对非均质成层地层，不同形式的附加超载、不同形式几何断面有很好的适用性，比简化土压力模式更方便、更准确。用滑动面法设计土钉支护的局限性表现为满足平衡条件的各种土钉布置方式不能给出优化的方案，更不能给出变形值。滑动面方法还须与其他合适的方法相结合，以完成一完整的设计。

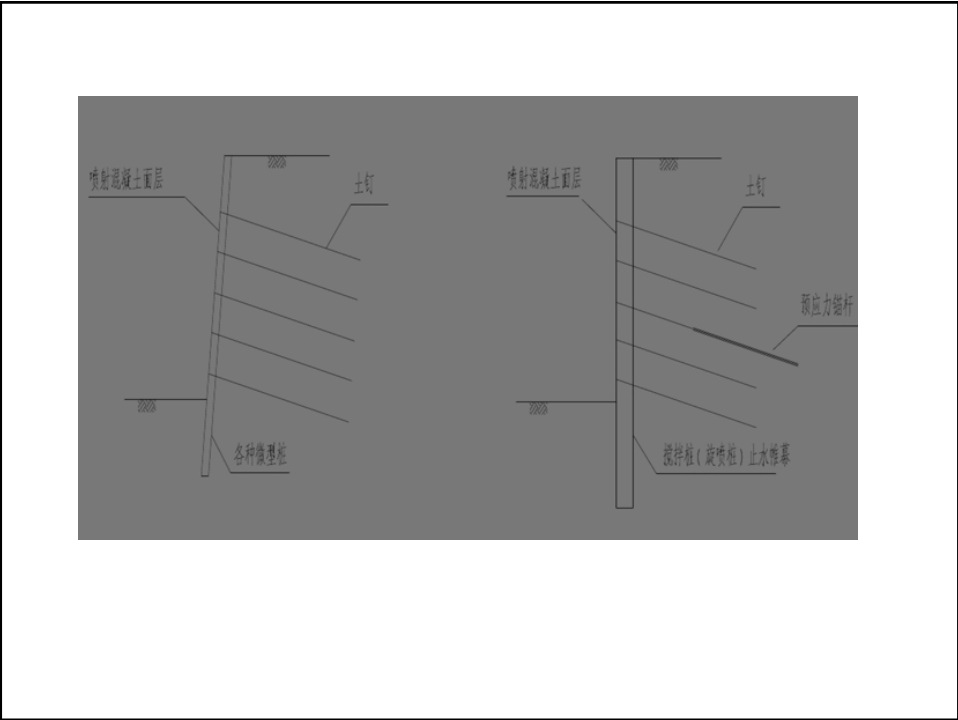
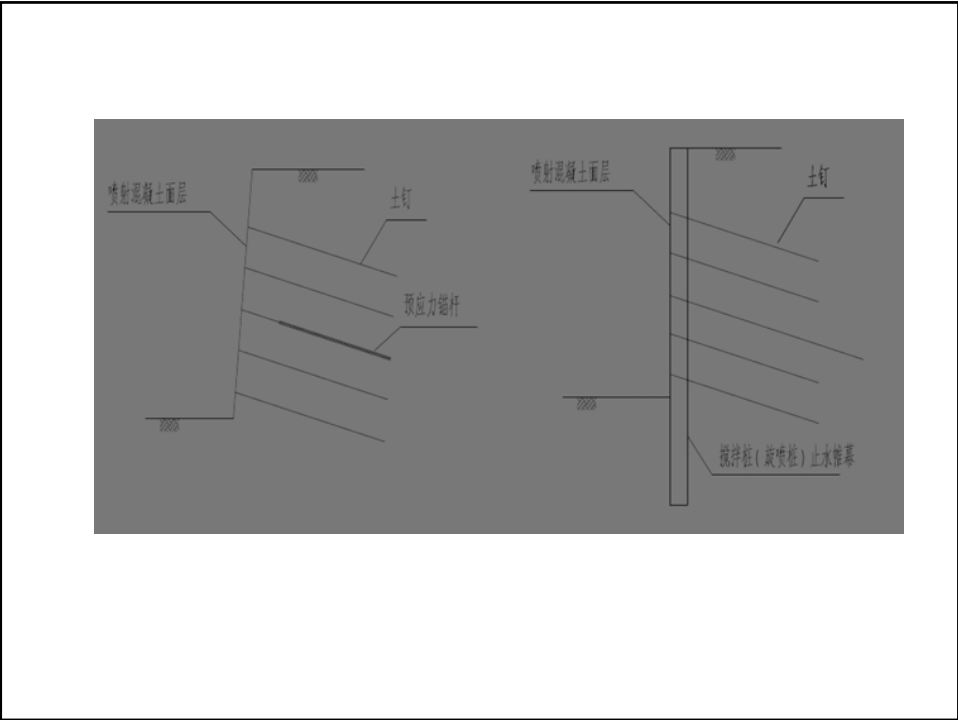
复合土钉支护设计步骤

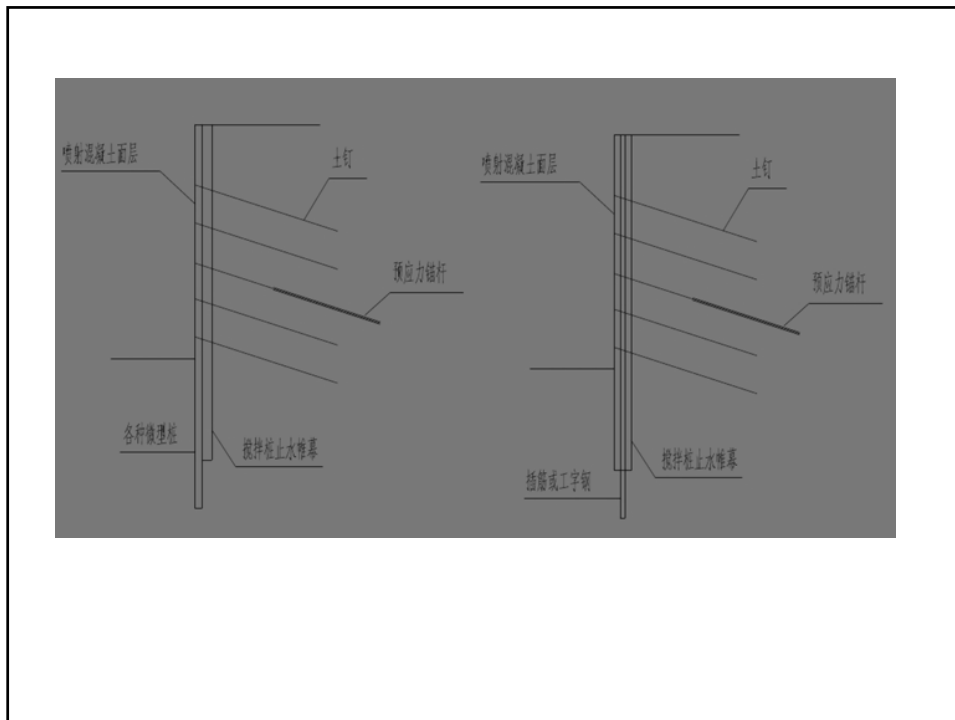
一、超前支护的形式、排数和插入深度

在高地下水位场区超前支护发挥防渗帷幕作用，形成基坑内外隔绝，在坑内部实施降水措施时，不影响坑外部地下水位，因降水引起坑外地下水位下降而影响周边环境；超前支护又是超前加固，增加土体自立性和稳定性；超前支护的坑底土体加固，减少或避免基坑底部的管涌和隆起，克服了土钉支护没有插入深度的缺点。

根据基坑所处场地土质及水文条件的不同，超前支护有时需要同时满足以上需求，有时仅要求满足以上一项或两项。根据超前支护发挥作用的不同，发展了多种形式的超前支护。

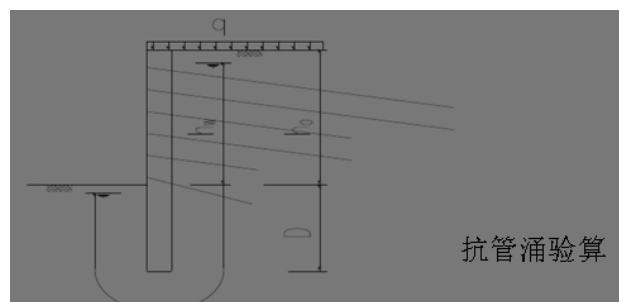






1. 防渗止水超前支护

- (1) 尽量使防渗帷幕插入渗透性较小的淤泥质土 1.0m 以上。
- (2) 当不能进入隔水层时，应按渗流理论分析产生动水压力的大小及产生涌土、流砂的可能性

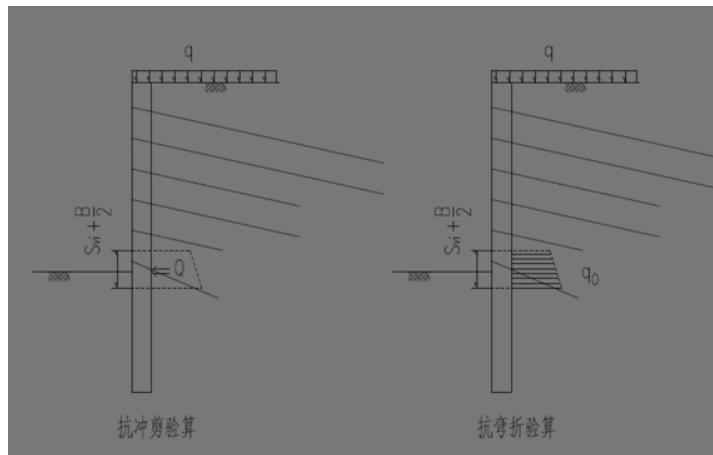


2. 防止土体坍塌，坑底隆起的超前支护

- 当基坑开挖面在地下水位以上或虽在地下水位以下但地层本身几乎不透水，但土质松散、强度低，在开挖过程中会出现边坡的局部塌漏，会存在基坑底部隆起风险，或整体稳定不能满足要求，这时，开挖前打入一定量的预制桩、微型桩（如树根桩）、钢管或木桩，对解决以上问题是有效的。

3. 兼有防渗效果和土体加固作用的超前支护

- 在水泥土搅拌桩中打入或插入微型桩或型钢，水泥土桩形成防渗帷幕，微型桩或型钢对水泥土桩起加固作用，以免弯折或剪断，该类超前支护形式适用于透水性较强，土体强度很低，但又开挖较深（如挖深6.0~10.0m）的基坑工程。当开挖至下一层而还没有施作土钉及喷射混凝土面层时，已暴露出来的水泥土桩发挥临时支护作用，防止帷幕后的泥土被挤出。为此，要验算水泥土桩发生冲剪破坏和弯折破坏的可能性。



• 混凝土桩根部强度验算

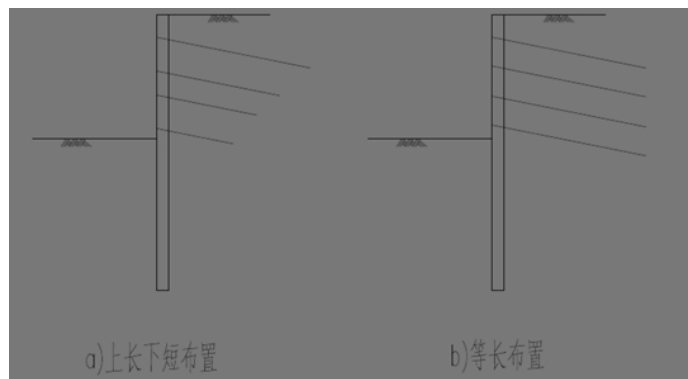
4. 超前支护与预应力锚固复合型式

- 有些复合土钉支护或者有超前支护与土钉的复合形成的土钉支护；或者为预应力锚杆与土钉的复合形式。其中一排、二排或多排采用预应力锚杆。如果超前支护是刚性桩，则是桩—锚结构与土钉的复合型式。在该形式中，如果桩—锚结构为主，则土钉的利用仅是为减少桩、锚的工程量，降低造价；如果土钉支护为主，预应力锚杆采用是为了施加预应力以约束支护体系的变形。

二、土钉的形式和布置

- 1.土钉的形式
- 常用土钉有两种形式：当地层条件可以钻倾斜孔，并能短时间（如数小时）内维持孔壁稳定时首先应选用钻孔注浆的成钉方式。该类土钉与土体有较好的结合，因此有较高的抗拔能力。另一种形式土钉为钢管打入式，该类土钉施工方便，但注浆效果不确定，质量较难控制。该类土钉适用与淤泥、软黏土或松散的粉细砂地层。

- 2.土钉的布置方式
- 边坡失稳作为土钉支护的主要破坏模式，则应上长下短或统一长度布置。土钉布置还应顾及地层的分布不同，因此在统一长度的基础上，发展出了中间较长而上小端较短的布置方式。



• 3.土钉的间距和长度

- 土钉的间距是指竖向排间距和水平向的土钉之间的间距。土钉的间距是由加固地层的性状决定的。土层的整体性越好，可采用越稀疏的土钉；土体完整性越差，必须采用较密的土钉，使之相互影响起到约束土体变形的作用。
- 土钉长度是由滑动面的位置决定的。滑动面的位置又取决于基坑开挖深度和被加固边坡土性的力学特性。因此土钉长度主要决定因素为：基坑开挖深度、土体的力学特性以及基坑边坡的位移要求。

• 4.规范方法确定的土钉长度

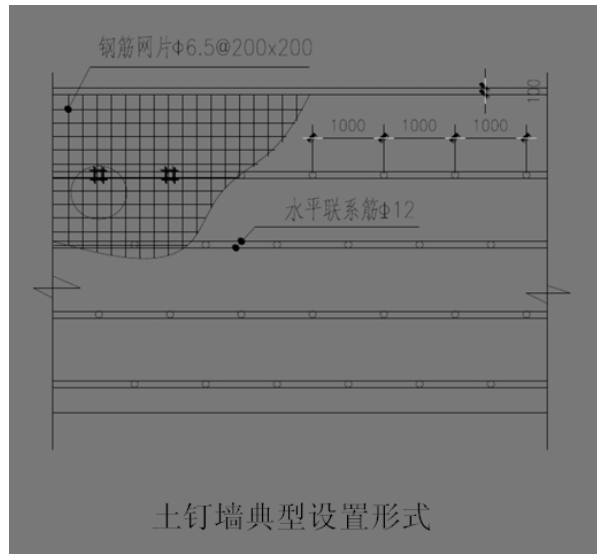
- 目前我国关于土钉支护的现行规范确定土钉长度的方法是借鉴土层锚杆的方法，认为土钉像土层锚杆那样承受墙后的水土压力，滑裂面以外的锚固段长度范围与地层的粘结力（或摩阻力）平衡土钉对应面积所承受的水土压力。据此土钉长度为：

$$LL \quad + \geq \frac{KT}{\pi D \tau}$$
$$T = [K_a (h_i r_i + q) + r_w h_{wi}] S_{vi} \cdot S_{hi}$$

- 各字母表示的意义可参见书中相关内容。

- 5.土钉的倾角
- 安设土钉的方向以水平方向最好，它与地层水平位移方向一致，能最大程度地发挥对土体变形的约束作用。但水平安设土钉是困难的，困难表现在水平成孔无法进行土钉孔的注浆。因此，土钉墙中的拉筋时常以一定的角度（ $^{\circ}$ ） $25^{\circ}\sim 5$ 设置。

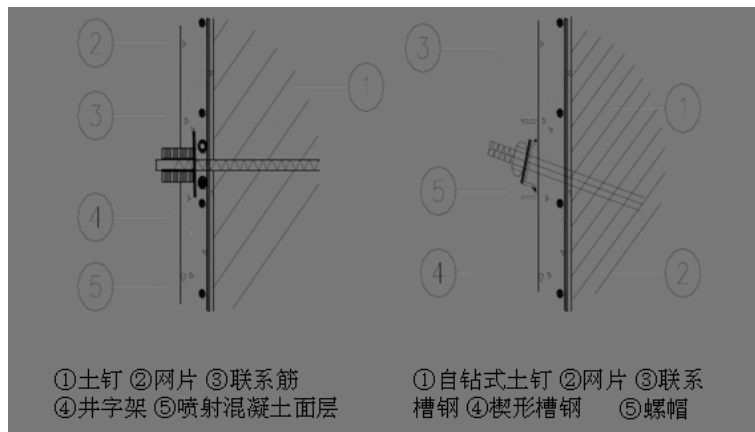
- 6.土钉支护面层设计
- 土钉支护的面层多为配以钢筋网片的喷射混凝土组成。之所以采用喷射混凝土面层，是由于喷射混凝土能很好地适应各种开挖面的形状，与开挖岩（土）有很好的粘结强度。喷射混凝土最大的优点是早强，能尽快封闭开挖面。喷射混凝土的凝固时间可以通过掺入一定量的早强剂进行调整凝结时间。面层喷射混凝土的厚度一般为 $100\sim 200\text{mm}$ 。面层中的钢筋网片是至关重要的构造措施，多采用直径 $4、6.5、8\text{mm}$ 的钢筋双向间距 $200\times 200\text{mm}$ 焊接或绑扎而成。面层中设有加强钢筋，是采用较粗的钢筋将土钉头部联系起来。



土钉墙典型设置形式

土钉墙典型设置形式

- 7.土钉头部设计
- 土钉头部指土钉与面层直接的联接构件。由于土钉无须施加预拉力，因此头部构造与土层锚杆头部相比要简单一些。只要保证土钉支护服务期间土钉不与面层及面层中的网片不脱开即可，其构造会因为采用土钉材料不同而有差异。



①土钉 ②网片 ③联系筋
④井字架 ⑤喷射混凝土面层

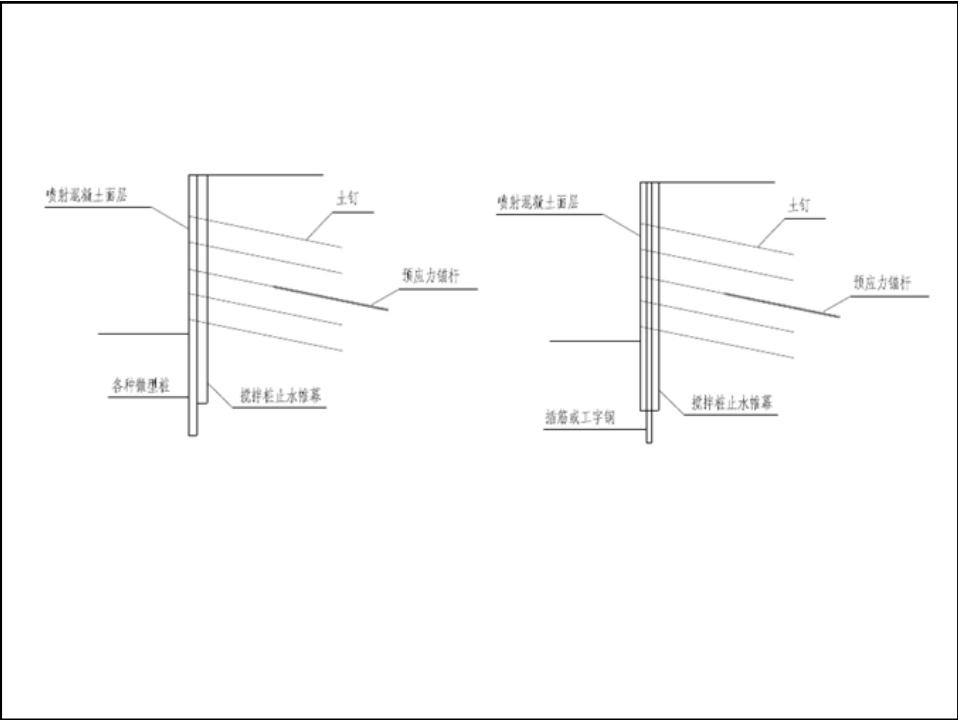
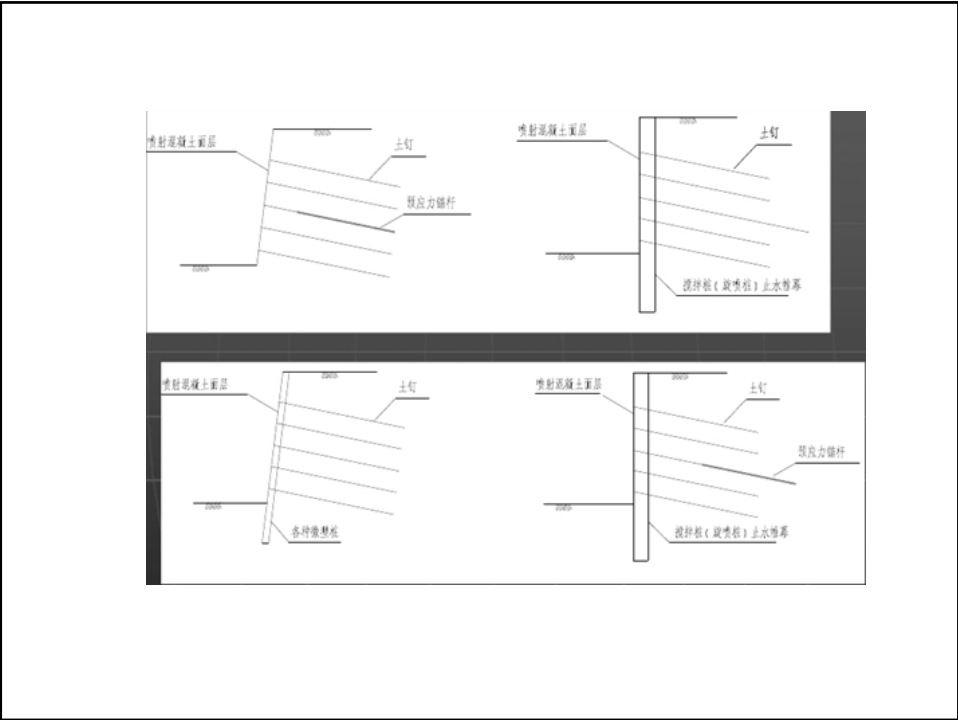
①自钻式土钉 ②网片 ③联系
槽钢 ④楔形槽钢 ⑤螺帽

一、回顾

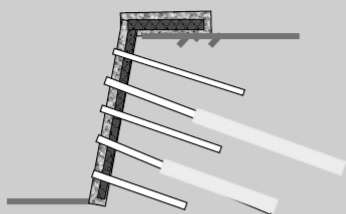
- 1997年夏季在上海地区，将水泥土搅拌桩加固技术与土钉支护技术相结合；产生第一例“复合型土钉支护”形式，并在1997年10月中国岩石力学与工程学会锚固与注浆分会重庆会议上宣布土钉支护突破了地层条件的限制，在高水位，松软地层中成功采用，使土钉支护技术的应用范围得到极大扩展。

二、复合型土钉支护形式发展

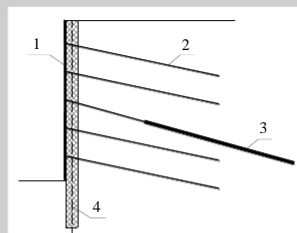
- 第一例复合型土钉支护是将水泥土搅拌桩作为防渗帷幕和超前支护，解决了基坑工程中的隔水防渗，作为超前支护解决了土体的自立性和与喷射混凝土的粘结问题。超前支护有一定的插入深度解决了基坑底部隆起、管涌和流砂问题。在这十年中，根据地层条件和环境要求发展了多种形式的土钉支护。



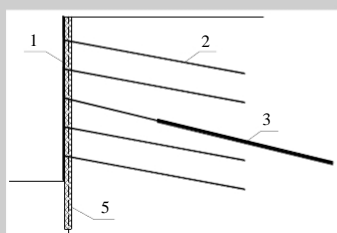
复合土钉墙



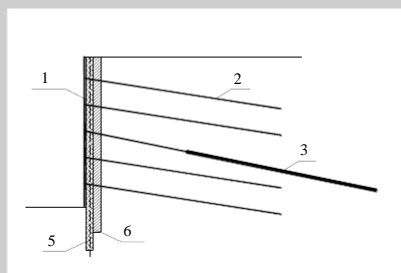
(a) 土钉墙+预应力锚杆



(b) 土钉墙+截水帷幕+预应力锚杆



(c) 土钉墙+微型桩+预应力锚杆

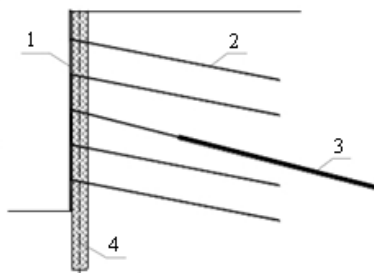


(d) 土钉墙+ 搅拌桩截水帷幕+微型桩+预应力锚杆

超前支护的作用——

1. 控制变形;
2. 提高自稳能力;
3. 隔水。

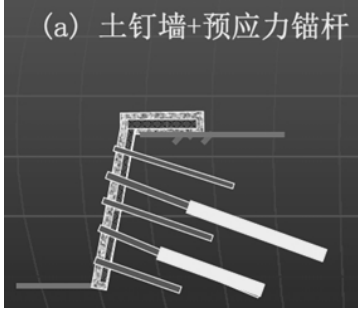
预应力锚杆——控制变形。



复合土钉墙

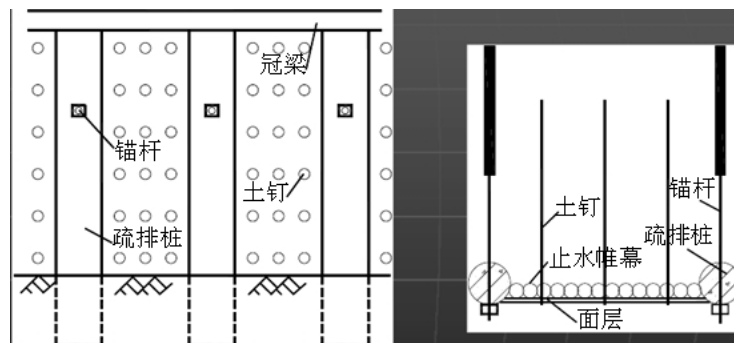
适用范围：非软土，坑深12~15m。

(a) 土钉墙+预应力锚杆

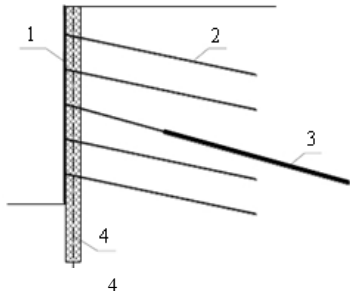


- 适用于地下水位以上或经降水的非软土基坑。
- 当土钉墙坡度大于 $1:0.5$ 时，基坑深度不宜大于 $15m$ 。

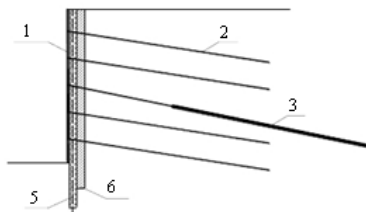
坑深超过 $15m$ 或受周边环境限制满足不了条件，怎么办？



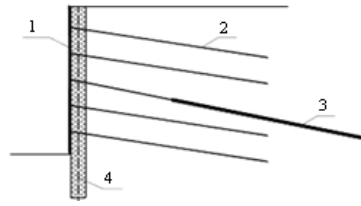
疏排桩—复合土钉墙支护体系



➤适用于场地有薄层软弱夹层和对变形控制有较严格要求的工程。



➤适用于以上两种情况且相对较深的基坑工程。



下列情况不宜用土钉墙和复合土钉墙：

- ① 在基坑开挖深度范围内，存在不良土层（软土、流塑和软塑粘性土、松散砂土和填土）总厚度大于**6m**。
- ② 在基坑开挖深度范围内，软土或松散填土厚度大于**3m**。
- ③ 基坑垂直开挖深度超过**12m**（无坡率）。
- ④ 基坑开挖深度范围内有承压水的地层。
- ⑤ 坑底以上存在压力水头大于**5m**的砂土、粉土含水层。

土钉墙

能合理利用土体的自稳能力

结构轻型、柔性大，良好的抗震性和延性

密封好，表面完全覆盖

土钉群体作用

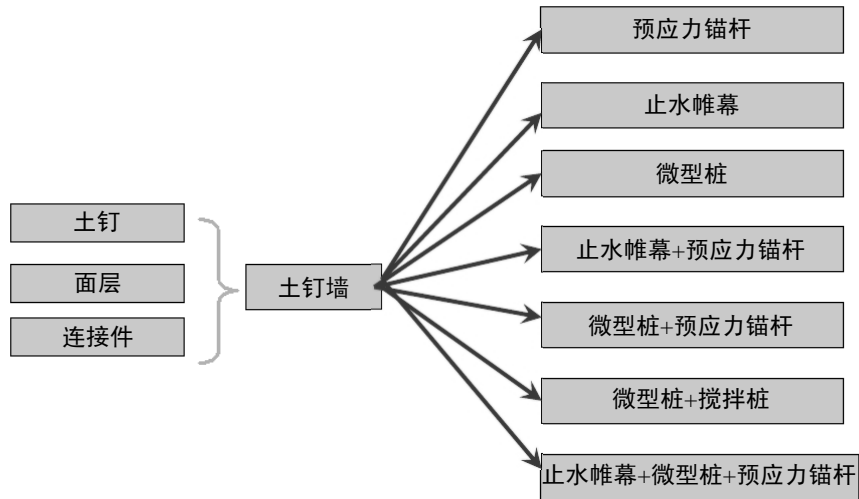
所需场地小，支护结构不占用空间

施工速度快、设备简单

孔径小、穿透能力强，对坡面形状要求低



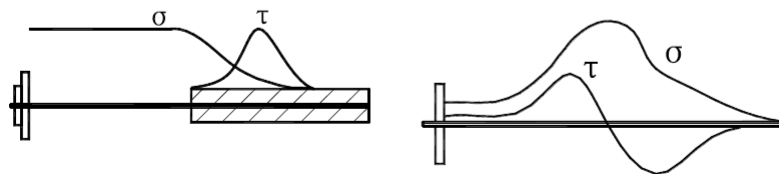
• 复合土钉支护结构的基本结构及组合形式



钉是钉、锚是锚

- 锚杆，由锚头、自由段及锚固段组成
- 土钉也称为全长粘结型锚杆，全长与土体粘结，不分自由段与锚固段
- 区别：

① 拉力分布



(a) 预应力锚杆； (b) 土钉

②对土体的约束机制

③密度及施工质量要求

④设计承载力与锚头结构

⑤施工规模:

⑥挡土墙工作机理

⑦施工顺序:

⑧注浆工艺:

钉是钉，锚是锚，钉锚形似，但受力机理却不同

钉是钉，锚是锚，钉锚形似，但受力机理却不同

- 虽然在施工土钉和土锚采用了相同或相似的工艺，但复合型土钉支护与桩锚体系却是完全不同的受力体系，因此不宜借用锚杆的设计方法设计土钉。
- 桩—锚体系中的锚杆，是将刚性排桩所承受的水土压力，以拉力的形式传递到稳定地层中，再以剪应力形式分布到稳定地层，借以维系排桩的稳定性。锚固段的受力是外端部最大，越往深处拉力或剪应力分布越小。同此桩—锚结构的破坏形式多表现为土层锚杆被拉断或被拔出，使排桩向基坑内倾倒。

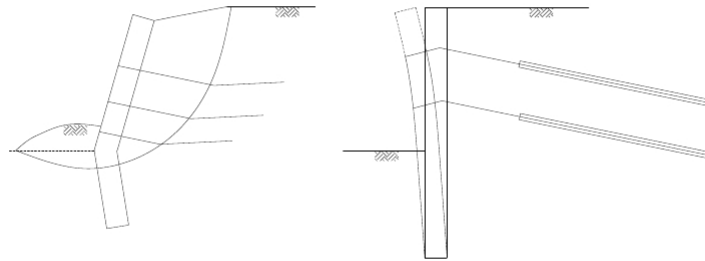


图 6. 土钉支护 桩—锚结构破坏方式比较

-
- 桩—锚体系是典型的荷载—结构体系，外荷载为水土压力，桩锚为承力构件。复合土钉支护的土钉形式类似土层锚杆，超前支护的水泥土搅拌桩形式上类似排桩。但实质上存在很大的差异，表现为开挖过程中，水泥土桩对土体位移的限制，约束作用远比排桩小，因此开挖以后随着土体的侧向位移，存在于土体的水土压力大部份释放掉，因此作用于面层或水泥土桩上残余水土压力非常小，时常不被监测到。
 - 置于地层的土钉，发挥约束土体继续侧向变形的作用，因此，沿土钉的剪应力分布表现为在潜在滑裂面处最大，向两端逐渐减小。土钉“缝合”稳定土体与滑动土体。
-

-
- 另外，土钉支护的工程实践，包括产生破坏的工程中，绝少见
到土钉被拉断或被拔出案例。
 - 通过分析，可以清楚地发现土钉受力完全不同于土层锚杆受力。
钉是钉，锚是锚，不应用计算土锚的公式设计土钉。
-

复合土钉墙中的止水帷幕

- 通常情况下桩端穿过坑底无需太长。最好是在搅拌桩中插入微型桩，效果较好
- 帷幕厚度也无需过大，一般设置1~2排桩，排数再多对基坑变形帮助并不大。
- 选择止水帷幕形式时要注意对不同地质条件的适应性
 - 深层搅拌法
 - 高压喷射法
 - 冲孔咬合水泥土桩

搅拌桩存在时位移

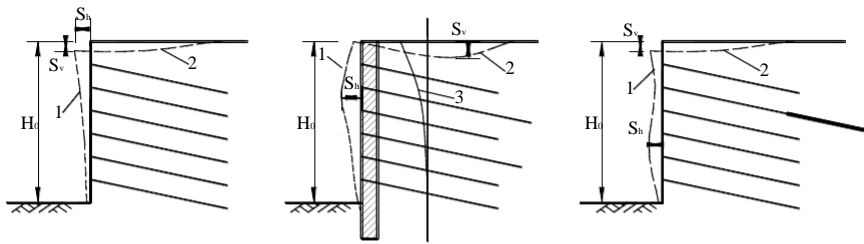
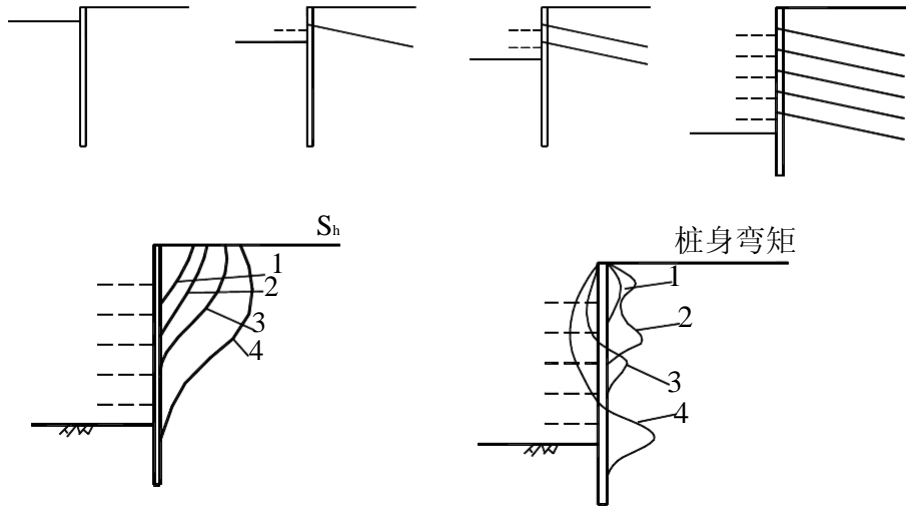


图9-9 复合土钉墙与土钉墙的变形比较
(a) 土钉墙；(b) 搅拌桩复合土钉墙；(c) 锚杆复合土钉墙

复合土钉墙中的锚杆

- 锚杆的设计承载力不需太大，锚杆设计承载力不宜超过2~3倍土钉极限承载力
-
- 锚杆应设置在基坑的中上部。不宜设置在第一排
- 锚杆张拉后再开挖下一层土方

复合土钉墙中的微型桩

- 桩的刚度越大，与土钉墙的复合作用效果越差
- 微型桩与土钉墙复合作用时，通常情况下都不是被剪切破坏的，而是被冲弯或者土体从桩之间滑出

- ②微型桩复合土钉墙的破坏模式有两种：a.类似于搅拌桩复合土钉墙的整体剪切失稳破坏，桩被剪断，土钉被拔出或弯断，面层被撕裂成几块。b.非整体性破坏，主要表现为土体剪切破坏后，土方从桩间坍塌，微型桩未被破坏，或被坍塌土方冲剪折断破坏。
- 目前尚不清楚这两种破坏形式的产生条件，但经验表明微型桩与土体的刚度比是个重要因素。刚度比较小、即微型桩刚度较小或土质较硬时，常常表现为第1种破坏形式，刚度比较大时常常表现为第2种；

对复合型土钉支护机理认识发展，使设计理论更符合工程实际

- 1. 在编制土钉支护设计施工规程（CECS96:97）时，人们对土钉支护的受力，变形机理认识不是很深刻，较多的参考了相近工程的设计方法。
-

- (1) 计算土钉支护的外部稳定性，借用了重力坝的设计模式，认为土钉加固土体形成刚性重力坝，要保证其抗滑移，抗倾覆或地基承载力的稳定性。

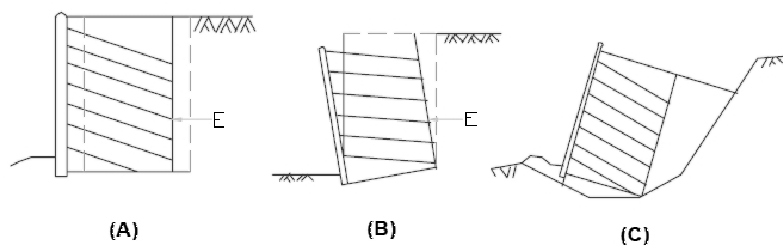


图 3. 类比于重力坝，计算外部稳定性

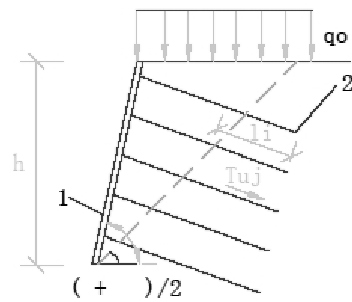
A: 抗滑移:

B: 抗倾覆:

C: 地基承载力验算:

$$K_H = \frac{E}{\sum \tau} \geq 1.2 \quad K_q = \frac{0.5BW}{l/3hE} \geq 1.5, B = 0.7 \sim 0.85l \quad \text{Terzaghi公式:}$$

- (2) 设计土钉长度和密度，借用了土层锚固的设计方法，用潜在滑裂面的以外部分的锚固力，抵抗相应位置的水土压力。



$$1.25\gamma_0 T_{jk} \leq T_{uj}$$

$$T_{uj} = \frac{1}{\gamma_s} \sum_{i=1}^n q_{ik} l_{ij} \pi$$

$$T_{jk} = \xi e_{ajk} S_{xj} S_{zj} / \cos \alpha_j$$

图 4. 类比于桩—锚结构，计算土钉长度

-
- 借助边坡稳定的极限分析方法，确定土钉支护内部稳定性和整体稳定性。
-

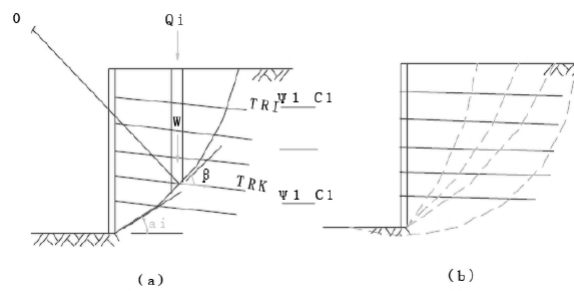
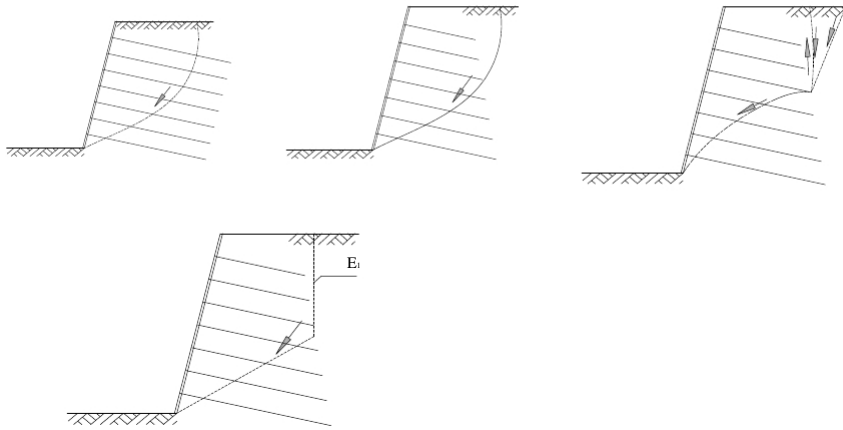


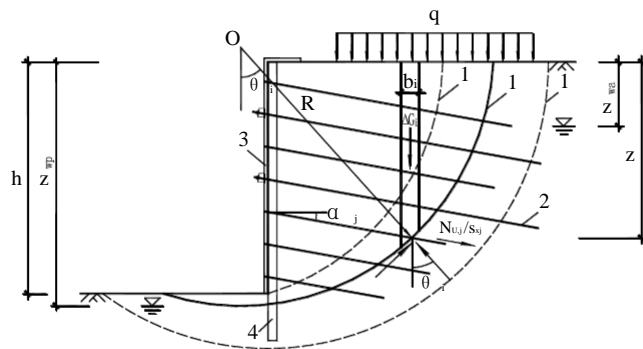
图 5. 类比于边坡，计算内部稳定性和整体稳定性

- (1) 内部稳定性，按施工工况，分阶段计算施工过程中的边坡稳定性
- (2) 整体稳定性，计算最终工况边坡稳定性

所谓的内部稳定性是指破裂面全部或部分穿过被加固土体内部时的土坡稳定性，如图9-15所示，部分穿过时的破坏模式又称为混合破坏，如图9-15b、c、d所示。



计算简图如图9-16所示。对于施工时不同开挖高度和使用不同位置，对应于每个圆心沿滑移面滑动的安全系数定义为滑移面上抗滑力矩与下滑力矩之比。



$$K_s = K_{s0} = \frac{\sum c_i L_i + \sum W_i \cos \theta_i \tan \varphi_i}{\sum W_i \sin \theta_i}$$

$$K_s = K_{s0} + \gamma_1 K_{s1} = K_{s0} + \gamma_1 \frac{\sum N_{i,j} \cos(\theta_j + \alpha_j) + \sum N_{u,j} \sin(\theta_j + \alpha_j) \tan \varphi_j}{s_{x,j} \sum W_i \sin \theta_i}$$

$$K_s = K_{s0} + \gamma_1 K_{s1} + \gamma_2 K_{s2} + \gamma_3 K_{s3} + \gamma_4 K_{s4}$$

$$K_{s2} = \frac{\sum P_{i,j} \cos(\theta_j + \alpha_j) + \sum P_{u,j} \sin(\theta_j + \alpha_j) \tan \varphi_j}{s_{x,j} \sum W_i \sin \theta_i}$$

$$K_{s3} = \frac{f_{v3} A_3}{\sum W_i \sin \theta_i} \quad K_{s4} = \frac{f_{v4} A_4}{s_{x,j} \sum W_i \sin \theta_i}$$

-
- 2. 复合土钉支护形不成刚性重力坝，土钉受力机理完全不同于土层锚杆，复合型土钉支护只能是人工加固过的边坡：
-

-
- (3) 复合土钉墙破坏过程表明复合土钉支护的边坡属性
 - 复合土钉支护从变形到破坏过程，可以描述为三组裂缝五个阶段。
-

第一阶段：基坑尚未开挖到底，就在搅拌桩后出现第一组裂缝；

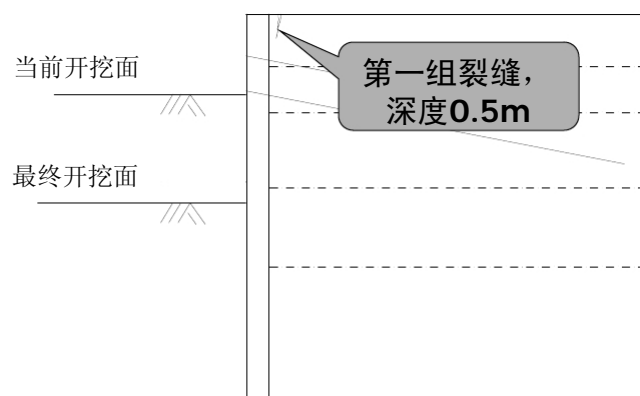


图 8. 第一阶段

第一阶段：基坑尚未开挖到底，就在搅拌桩后出现第一组裂缝；

- 通常情况在开挖至1.8m~2.0m深；
- 也可能在施工完第一排土钉开挖第二层土体时产生；
- 由于搅拌桩和桩后土体的刚度相差较大导致的，同时与土钉注浆压力也有关。

第二阶段：基坑边坡土体在沿 $45^\circ + \Phi/2$ 方向的潜在滑裂面与坑外地表面相交位置出现第二组裂缝；

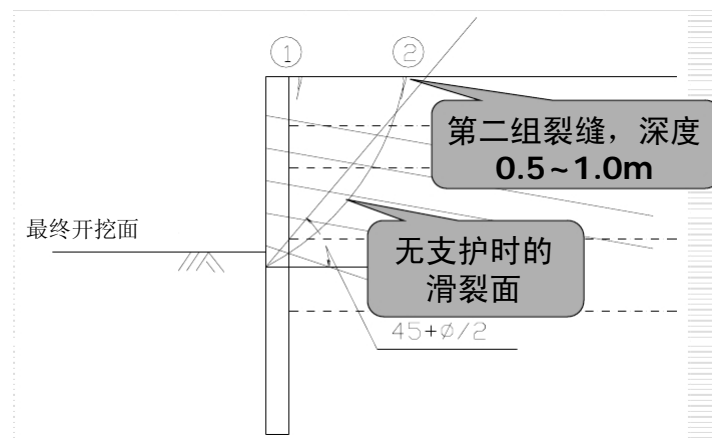


图 9. 第二阶段

第二阶段：基坑边坡土体在沿 $45^\circ+\pi/2$ 方向的潜在滑裂面与坑外地面相交位置出现第二组裂缝；

- 土体自身的强度逐渐发挥，并达到了较高的应力水平而产生的裂缝。
- 对于没有土钉支护的土质边坡，第二阶段显示的滑裂面就是最危险滑裂面。

第三阶段：基本上是在土钉末端位置，地表出现一条竖直的第三组裂缝，且裂缝比较深，同时坑底墙趾前 $2\sim 3\text{m}$ 左右隆起一个“小土包”

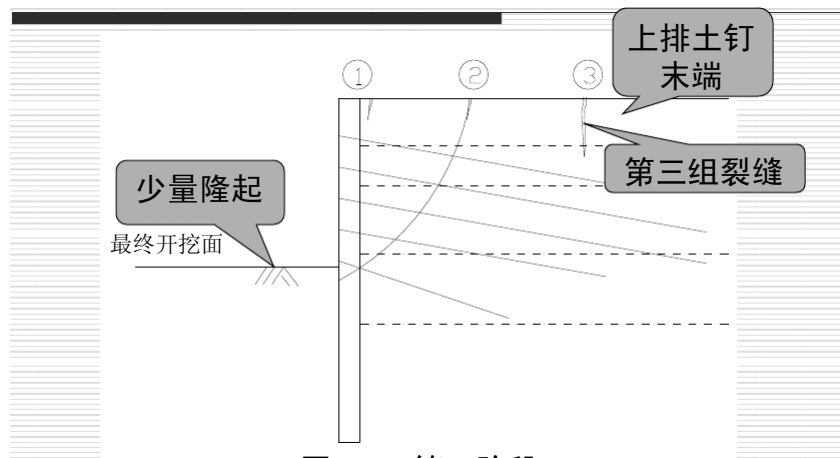


图 10. 第三阶段

第三阶段：基本上是在土钉末端位置，地表出现一条竖直的第三组裂缝，且裂缝比较深，同时坑底墙趾前2~3m左右隆起一个“小土包”

- 设计安全度偏低，或施工中有超挖，地面超载过大等现象，第三组裂缝就会产生且十分明显。
- 裂缝通常在土钉的端部或靠近端部1~2m处，往往产生于基坑单边长度中部呈弧形分布。
- 土体强度已充分发挥，土钉作用也充分调动，基坑接近极限平衡状态。

第四阶段：第三组裂缝持续发展，两侧土体产生高差，基坑底部有隆起。

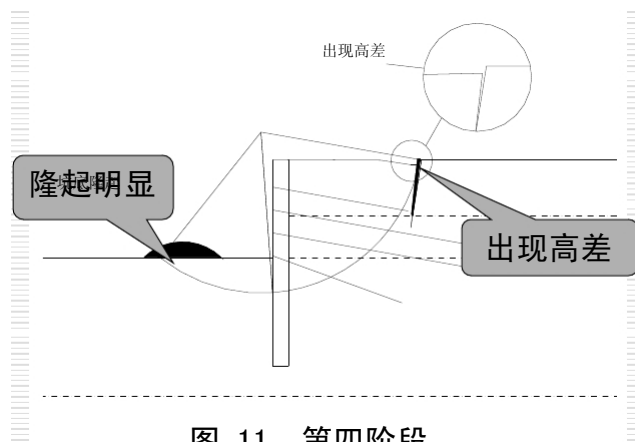


图 11. 第四阶段

第四阶段：第三组裂缝持续发展，两侧土体产生高差，基坑底部有隆起。

- 坑底土体的岭状隆起通常在距围护水泥桩2~3m处，表明第三组裂缝即最危险滑裂面已接近贯穿全部土体，边坡滑动破坏将在很短时间（可能几分钟）内发生。
- 此时需要立即进行基坑回填。

第五阶段：水泥土搅拌桩被剪断，滑裂面完全贯通，土体下滑。

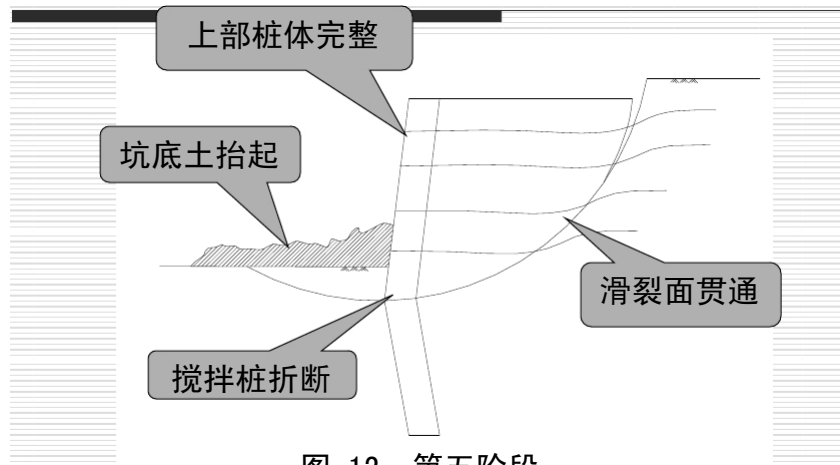


图 12. 第五阶段

第五阶段：水泥石搅拌桩被剪断，滑裂面完全贯通，土体下滑。

- 边坡破坏后，可以观察到明显的滑弧；
 - 土钉并没有完全拔出，但是土钉注浆体与周围土体的锚固作用已经完全发挥，土钉产生弯折；
-

结论：复合型土钉支护的基坑的失稳是比较典型的边坡破坏

- 边坡的构成要素为：边坡范围的土体、作为超前支护的水泥石搅拌桩，以及注浆土钉。
 - 土钉的一个重要作用是将土体联成整体，促使潜在的滑移面往后转移，使更多的土体参与抗滑。
-

四、复合土钉支护的整体稳定性计算

- 双圆弧滑动法
 - 一般边坡的计算方法
 - 有限元方法（强度折减法等）
-

五、施作土钉的工艺的发展

（1）钻孔植入法

- 即首先钻孔 $\Phi 80-100$ ，清孔后，植入土钉，再通一次注浆和二次注浆将土钉与土体粘结成一体，该方法类似于锚杆施工方法，由于可进行反复注浆，因此土钉与地层可有效地粘结，能共同受力，凡是可成孔的地层中都应该采用该方法。
-

(2) 钢管打入法

- 在淤泥土层中，成孔以后不能维持，人们见简单的将钢管强力冲击入地层，通过钢管注浆，增加钢管与土体的粘结力。该方法虽然在软土层中大量应用，但不是一个好方法，主要缺陷是注浆量太少。在管壁和土体之间很少有水泥浆液，严重影响土钉与地层的粘结。粘结不好就不能形成共同工作体。
-

-
- ## (3) 水平单管旋喷或搅拌地层，形成一定直径的水泥浆土，在水泥土中植入变形钢筋，钻杆或高强钢丝形成大直径土钉。该方法已在许多工程中应用。效果很佳，得益于施作土钉的同时，将土体进行了加固。在淤泥地层中，该方法取代钢管击入法，对边坡稳定是十分有益的。
-

地下水位

据统计，70%以上的基坑工程事故是水害直接或间接造成的。



曲阳路流砂



董家渡浦东隧道渗水

有必要对基坑开挖中地下水危害种类进行科学的划分。

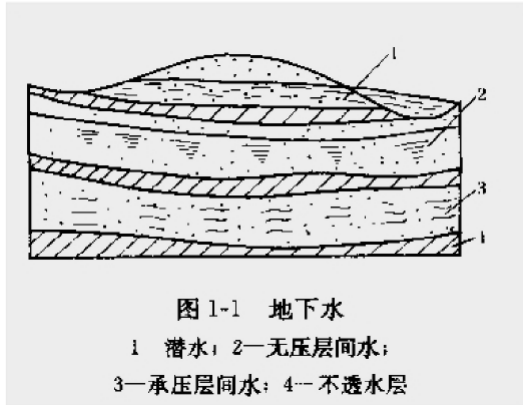


万达地下墙渗漏



9号线七宝路站房屋沉降

地下水流的基本性质



地下水分潜水和层间水两种。

潜水即从地表算起第一层不透水层以上含水层中所含的水，这种水无压力，属于重力水。

层间水即夹于两不透水层之间含水层中所含的水。如果水未充满此含水层，水没有压力，称无压层间水；如果水充满此含水层，水则带有压力，称承压层间水(因 $l-I$)。

■ 动水压力 G_D

推论:

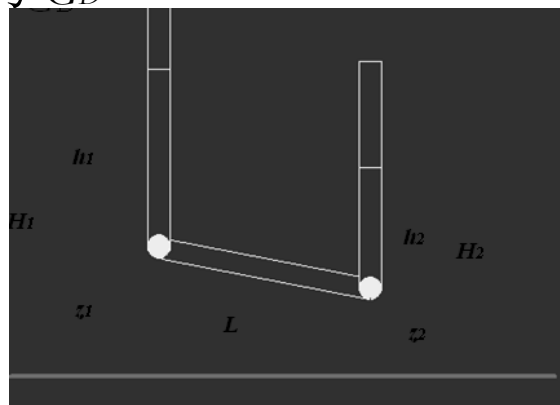
水的单位阻力 T :

$$T = \gamma_w (H_1 - H_2) / L$$

$$T = \gamma_w I$$

动水压力 G_D

$$G_D = -T = -\gamma_w I$$



动水压力 G_D

$$G_D = -\gamma_w I \quad I = (H_1 - H_2) / L$$

流砂现象: $G_D \geq \gamma'_w$ (土的浸水重度)

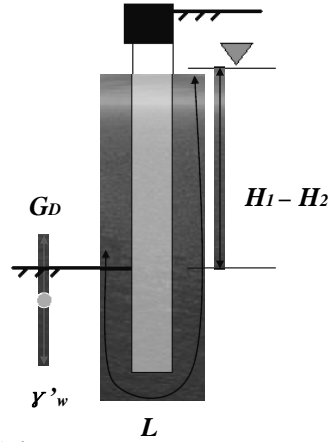
多发生在颗粒级配均匀而细的粉、细砂等砂性土中。

防治措施: 1) 降水; 2) 防水帷幕

临界坡度 I_{cr} $G_D = \gamma'_w$

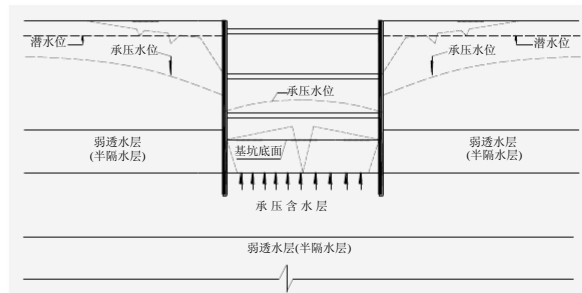
$$\gamma_w I_{cr} = \gamma'_w \quad I_{cr} = \gamma'_w / \gamma_w = (\gamma_{sat} - \gamma_w) / \gamma_w$$

防止管涌: $I_{cr} \geq k I$



1 基坑突涌破坏 (承压水)

当基坑开挖深度足够大, 承压含水层顶板以上土层的重量不足以抵抗承压含水层顶板处的承压水头压力时, 基坑开挖面以下的土层将发生突涌破坏



基坑工程中降水方案的选择与设计应满足下列要求:

- (1) 基坑开挖及地下结构施工期间，地下水位保持在基底以下0.5-1.0m;
- (2) 深部承压水不引起坑底隆起;
- (3) 保证降水期间临近建筑物及地下管线的正常使用;
- (4) 保证基坑边坡的稳定。

2 围护结构开裂、空洞引起的流砂（潜水、承压水）

在砂层、粉砂层、砂质粉土或其他透水性较好的夹层中，止水帷幕或围护墙因开裂、空洞等，致使大量的地下水夹带砂粒涌入基坑，坑外产生水土流失。

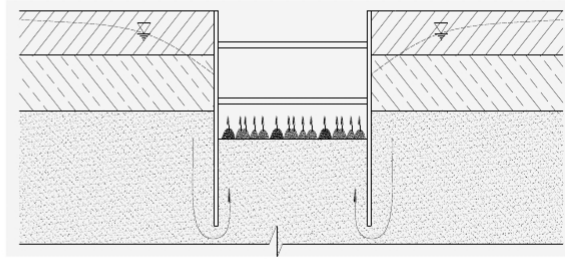
围护墙体向地面塌陷一侧移动

漏空成洞穴

基坑底面

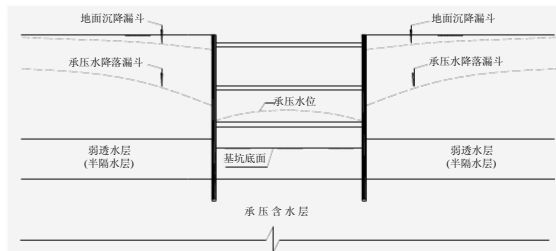
3 坑底砂性土层管涌破坏（潜水、承压水）

在砂性土层中开挖基坑，如不采取井点降水措施或井点降水未达到预定效果，在坑内外水头差作用下，基坑底部可能产生冒水翻砂现象。



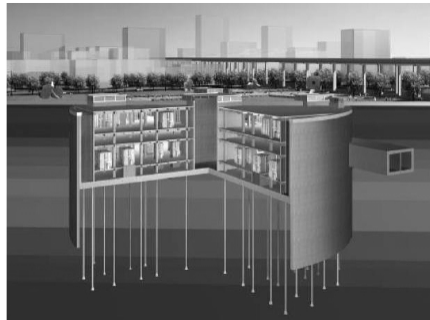
4 环境岩土工程问题

减压降水后，在承压含水层中形成了水位降落漏斗，必然在基坑周围引起地面变形。地面沉降的分布形态与承压水降落漏斗的分布形态基本上相似的。



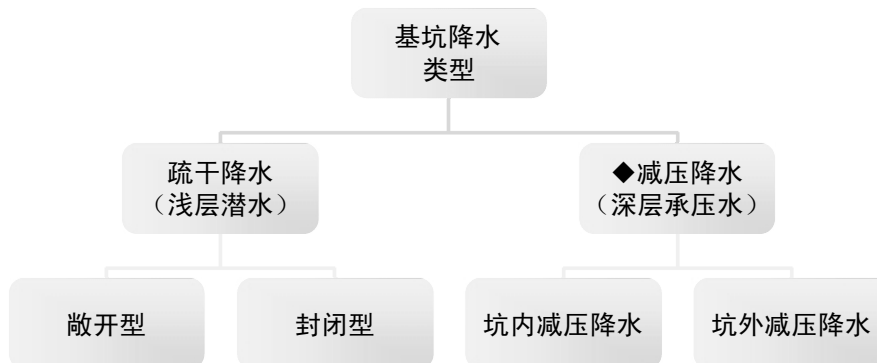
5 地下结构抗浮问题（潜水、承压水）

降水工程结束后，地下结构的重量以及基础底面至承压含水层顶板之间的残留土层的重量不足以抵抗承压水头的顶托力或潜水含水层的浮力时，地下结构将会发生上浮。一旦发生了上浮现象，地下结构的复位将十分艰难。



基坑降水的若干类型

了解什么工况下适合采用什么降水方法是设计基坑降水方案的前提。



基坑降水的若干类型

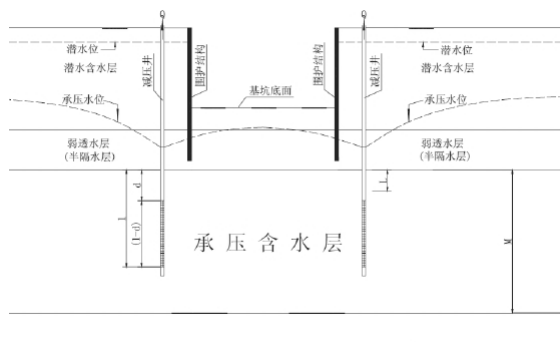
- 坑内降水：
 - 开挖施工不便；
 - 井管暴露长度较大时，需设置支架固定井管；
 - 后期封井难度大；
 - 有利于控制减压降水对环境的不利影响。
- 坑外降水：
 - 对施工影响小
 - 减压降水对环境的不利影响较大

优缺点正好相反

基坑降水的若干类型

➤ 减压降水

情形I

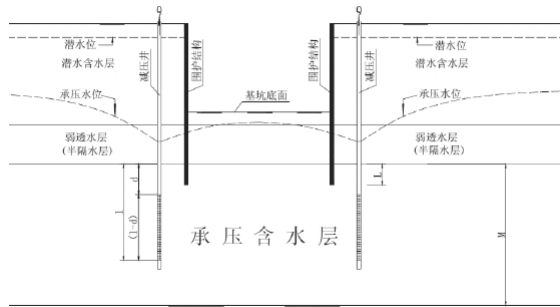


隔水帷幕未进入目的含水层的顶板以下，宜优先考虑选用坑外减压降水。

基坑降水的若干类型

➤减压降水

情形11-1

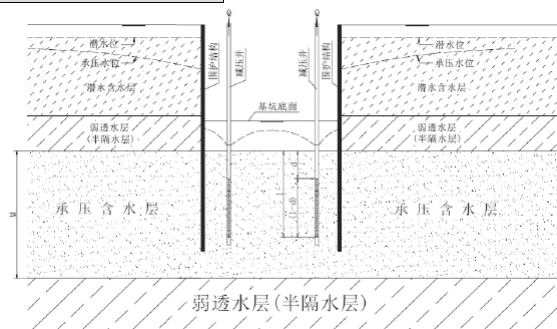


隔水帷幕进入目的含水层中，但含水层中隔水帷幕的长度较小。宜优先考虑选用坑外减压降水。

基坑降水的若干类型

➤减压降水

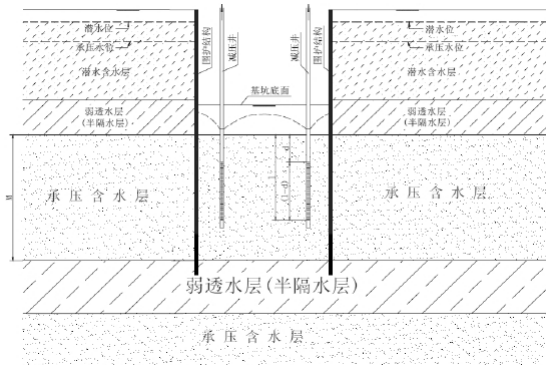
情形11-2



隔水帷幕进入目的含水层中，且含水层中隔水帷幕的长度较大。宜选用坑内减压降水。

基坑降水的若干类型

➤ 减压降水

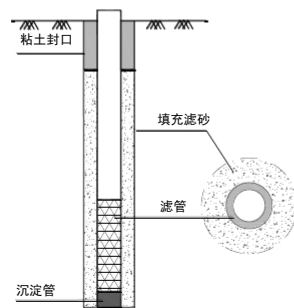


情形III

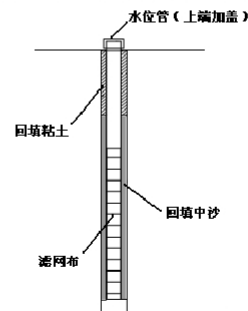
隔水帷幕完全贯穿目的含水层。宜选用坑内减压降水。

9、水位观测

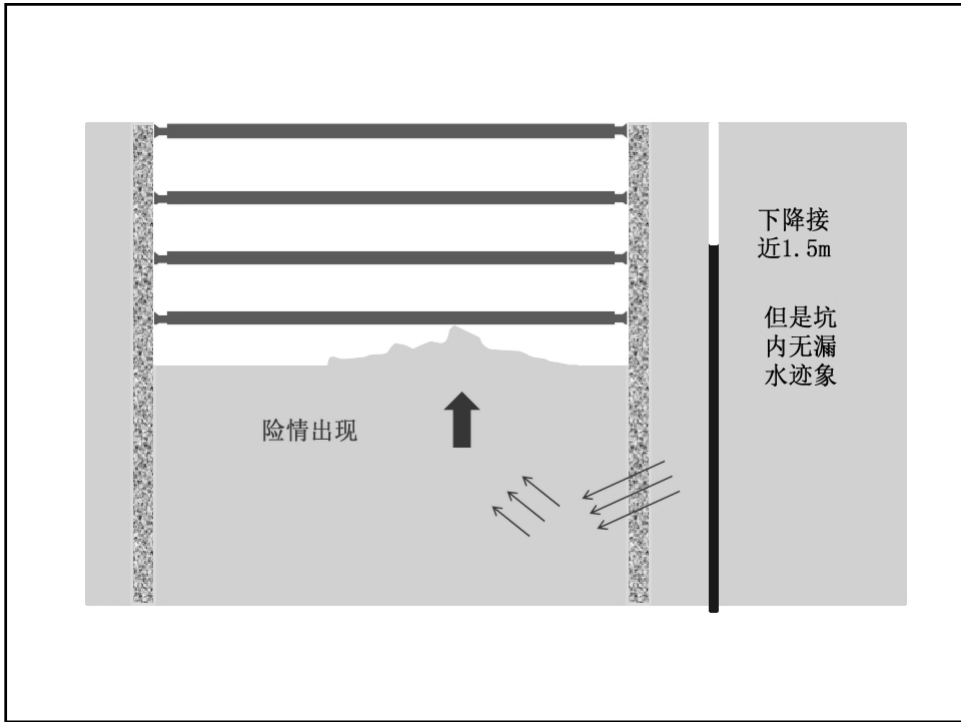
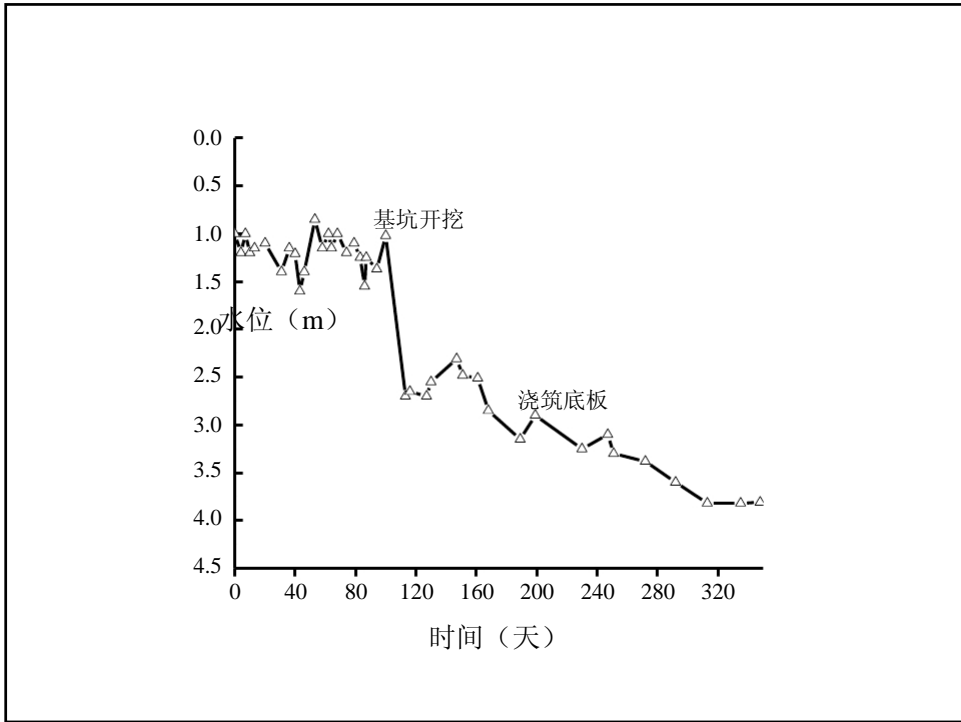
基坑工程地下水位监测包含坑内、坑外水位监测。通过水位观测可以控制基坑工程施工过程中周围地下水位下降的影响范围和程度，防止基坑周边水土流失。另外可以检验降水井的降水效果，观测降水对周边环境的影响。



承压水水位监测示意图



潜水水位监测示意图

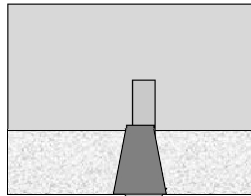




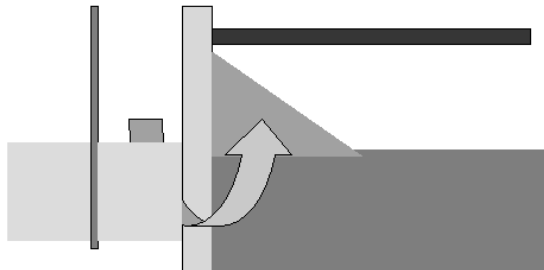
坑底堵漏情况

围护结构渗漏对策

围护结构渗漏对策1：坑内封堵

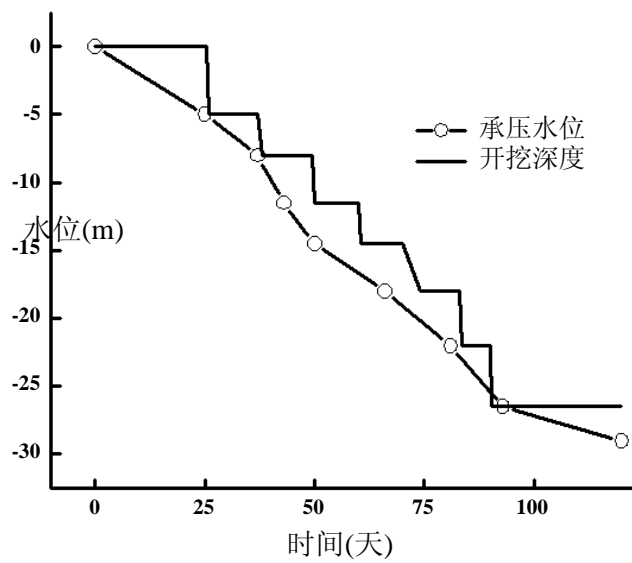
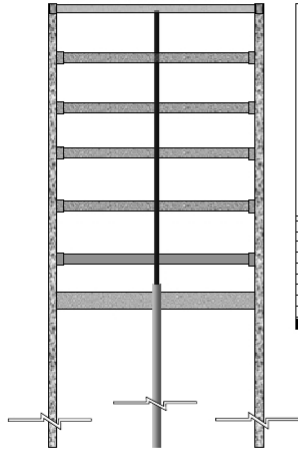


围护结构渗漏对策2：局部回填后，坑外注浆（双液、聚氨酯）



堵漏必须考虑渗漏宽度和流速两个主要因素，尽量争取在静水条件下注浆

承压水位观测





地层分层沉降、水平位移和水位监测