

山西省工程建设地方标准

基坑工程逆作法技术标准

Technical standard for top-down method of building
foundation excavations

DBJ04/T XXX—XXXX

（征求意见稿）

批准部门：山西省住房和城乡建设厅

主编单位：太原市建筑设计研究院

施行日期：XXXX 年 X 月 X 日

前 言

本标准是根据山西省住房和城乡建设厅《2024 年工程建设地方标准制（修）订计划》的要求，由太原市建筑设计研究院主编，会同山西省建筑科学研究院集团有限公司等有关设计、施工、研究和教学单位，制订了《基坑工程逆作法技术标准》DBJ04/T XXX—XXXX。

本标准共分 14 章和 3 个附录，主要技术内容有总则、术语和符号、基本规定、岩土勘察与环境调查、侧压力计算、稳定性验算、外围护结构、立柱（桩）、永临结合水平支撑体系、防水工程、土方挖运、地下水控制、监测、施工安全管理。

本标准由山西省住房和城乡建设厅负责管理，太原市建筑设计研究院负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中，请各单位结合工程实践认真总结经验，注意积累资料，随时将意见和建议反馈给太原市建筑设计研究院（地址：太原市杏花岭区新建路 80 号，邮编：030002），以供今后修订时参考。

本标准主编单位：太原市建筑设计研究院

本标准参编单位：山西省建筑科学研究院集团有限公司

太原市市政工程设计研究院

山西省勘察设计院有限公司

山西钢铁建设（集团）有限公司

本标准主要起草人员：张 晨 何 亮 闫洁民 潘 力

申光凝 关千军 马永林 吴正杰

卜 飞 贺武斌 王敏泽 侯燕梅

李 霞 任 磊 车家亮 王志坚

本标准主要审查人员：

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	8
4	岩土勘察与环境调查	11
4.1	一般规定	11
4.2	勘探与测试	12
4.3	室内试验	15
4.4	勘察成果	16
4.5	环境调查	18
5	侧压力计算	19
5.1	一般规定	19
5.2	永临结合的荷载组合	19
5.3	参数选取	22
5.4	计算原则	22
5.5	水平荷载与折算荷载	22
6	稳定性验算	28
6.1	一般规定	28
6.2	整体稳定性	28
6.3	抗隆起稳定性	31
6.4	抗渗流稳定性	32
6.5	嵌固深度	33
7	外围护结构	36
7.1	一般规定	36

7.2	地下连续墙·····	36
7.3	钢筋混凝土灌注桩排桩·····	45
7.4	咬合桩·····	50
8	立柱（桩）·····	52
8.1	一般规定·····	52
8.2	设计·····	52
8.3	施工·····	53
8.4	检测与验收·····	54
9	永临结合水平支撑体系·····	56
9.1	一般规定·····	56
9.2	设计·····	56
9.3	施工·····	57
9.4	检测与验收·····	58
10	防水工程·····	59
10.1	一般规定·····	59
10.2	设计·····	60
10.3	施工·····	62
10.4	验收·····	63
11	土方挖运·····	65
11.1	一般规定·····	65
11.2	取土路径·····	66
11.3	土方开挖·····	66
11.4	土方运输·····	67
11.5	土方回填·····	69
12	地下水控制·····	71
12.1	一般规定·····	71
12.2	设计·····	71
12.3	施工、运行维护与检测·····	75

13	监测	79
13.1	一般规定	79
13.2	监测与巡视检查	80
13.3	信息采集与处理	87
14	施工安全管理	89
14.1	一般规定	89
14.2	作业环境空间	89
14.3	超危大工程	90
14.4	风险分级管控与隐患排查	90
	本标准用词说明.....	92
	引用标准名录.....	93
	条文说明.....	95

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	4
3	Basic Requirement	8
4	Geotechnical Investigation and Environmental Survey	11
4.1	General Requirement	11
4.2	Exploration and Testing	12
4.3	Laboratory Experiment	15
4.4	Investigation Results	16
4.5	Environmental Survey	18
5	Calculation of Lateral Pressure	19
5.1	General Requirement	19
5.2	Combination of Permanent and Temporary Loads	19
5.3	Parameters Selection	22
5.4	Principles of Calculation	22
5.5	Horizontal Load and Equivalent Load	22
6	Stability of Excavations	28
6.1	General Requirement	28
6.2	Overall Stability Analysis	28
6.3	Heaving Resistant Stability Analysis	31
6.4	Seepage Resistance Stability Analysis	32
6.5	Stable Embedded Depth Analysis of Retaining Structures	33
7	Retaining Walls	36
7.1	General Requirement	36

7.2	Diaphragm Wall·····	36
7.3	Contiguous Bored Pile Wall·····	45
7.4	Secant Pile Wall·····	50
8	Vertical Supports·····	52
8.1	General Requirement·····	52
8.2	Design·····	52
8.3	Construction·····	53
8.4	Inspection and Examination·····	54
9	Permanent-Temporary Combined Horizontal Support System·····	56
9.1	General Requirement·····	56
9.2	Design·····	56
9.3	Construction·····	57
9.4	Inspection and Examination·····	58
10	Waterproofing of Underground Works·····	59
10.1	General Requirement·····	59
10.2	Design·····	60
10.3	Construction·····	62
10.4	Examination·····	63
11	Earth Excavation and Transportation·····	65
11.1	General Requirement·····	65
11.2	Excavation Path·····	66
11.3	Earth Excavation·····	67
11.4	Earth Transportation·····	69
11.5	Earthwork Backfilling·····	69
12	Groundwater Control·····	71
12.1	General Requirement·····	71
12.2	Design·····	71
12.3	Construction Operation and Maintenance & Inspection·····	75

13	Monitoring	79
13.1	General Requirement	79
13.2	Monitoring and Walkaround Inspection	80
13.3	Monitoring Management	87
14	Manngement of Safety and Constrction	89
14.1	General Requirement	89
14.2	Work Space Environment	89
14.3	Projects that are of significant risk and fall into a certain size category	90
14.4	Risk Classification Control and Hazard Investigation	90
	Explanation of Wording in This Specification	92
	List of Quoted Standards	93
	Explanation of Provisions	95

1 总 则

1.0.1 为确保建筑与市政基坑工程逆作法做到安全适用、保护环境、技术先进、经济合理、质量可靠，制定本标准。。

1.0.2 本标准适用于山西省行政区域内建筑与市政基坑工程逆作法的勘察、设计、施工、检测、验收与监测。

1.0.3 建筑与市政基坑工程应综合考虑岩土与水文地质条件、周边环境、主体结构形式等因素，因地制宜、合理选型、精细设计、精心施工、严格监控，同时应遵循动态设计、信息化施工的原则。

1.0.4 建筑与市政基坑工程逆作法除应符合本标准规定外，尚应符合国家、行业和山西省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 基坑 excavations

为进行建（构）筑物地下部分的施工由地面向下开挖出的空间。

2.1.2 逆作法 top-down method

全部或部分利用主体地下结构作为基坑工程施工期间的支护结构，自上而下按照工况施工地下结构、开挖坑内土方的施工工法。

2.1.3 分界层 interface layer

基坑工程逆作法施工中首先施工的地下水平结构层，即主体结构顺作与逆作的分界层。

2.1.4 上下同步逆作法 synchronous construction of super-structures and underground structures

向下逆作施工地下结构的同时，向上施工分界层以上主体结构的施工工法。

2.1.5 永临结合 combination of permanent and temporary works

指在基坑工程设计与施工中，将临时支护结构（如地下连续墙、排桩等）与主体永久结构进行统筹设计，使同一结构体系既满足基坑施工期间的支护功能，又满足建筑物使用期间的结构受力及耐久性要求的一种工程技术措施。

2.1.6 两墙合一 dual-purpose diaphragm wall

地下连续墙兼作基坑围护墙和主体地下结构的外墙。

2.1.7 桩墙合一 dual-purpose pile wall 灌注排桩兼作基坑围护桩和主体地下结构外墙的一部分。

2.1.8 铣削深搅水泥土搅拌墙 cutter soil mixed wall

通过配置在钻具底端的两组铣轮水平轴向旋转下沉掘削原位土体至设计深度后，提升喷浆旋转搅拌形成矩形水泥土槽段，再将相邻槽段通过铣削搭接形成连续的等厚度水泥土搅拌墙体。。

2.1.9 立柱（桩）vertical support

逆作法施工中将施工阶段竖向荷载传递到地基的竖向支承结构，由竖向支承桩和竖向支承柱组成。。

2.1.10 设计工作年限 design workable life

设计规定的从基坑项目施工开始到预定深度至完成基坑支护使用功能的时段。

2.1.11 基坑周边环境 surroundings around excavations

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

2.1.12 先期地下结构 pre-construction underground structures

逆作阶段基础底板形成之前施工的地下水平结构和地下竖向结构。

2.1.13 后期地下结构 post-construction underground structures

基础底板施工完成之后再进行施工的地下水平结构和地下竖向结构。

2.1.14 超灌法 excessive concreting method

后期地下竖向结构施工时，采用浇捣孔或者喇叭口等措施浇筑混凝土，使浇筑面超出施工缝一定高度的施工方法。

2.1.15 灌浆法 grouting method

后期地下竖向结构混凝土浇筑时，与先期地下结构之间预留一定的间隙，其后采用灌浆料进行充填密实的施工方法。

2.1.16 注浆法 slip casting method

后期地下竖向结构混凝土浇筑完成后，在与先期地下结构之间接缝部位，采用注浆材料进行加压注浆的施工方法。

2.1.17 监控信息化管理系统 monitoring management system

将自动采集、人工采集的数据进行存储、分析、处理、查询并自动进行预测及预报警的系统。

2.1.18 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。

2.1.19 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。

2.1.20 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取的截水、降水、排水、回灌等措施。

2.1.21 降水 dewatering

为防止地下水通过基坑侧壁与坑底流入基坑，用抽水井或渗水井降低基坑内外地下水位的方法。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

E_{ak} 、 E_{pk} ——主动土压力、被动土压力标准值；

G ——支护结构和土的自重；

J ——渗透力；

M ——弯矩设计值；

M_k ——荷载标准组合的弯矩值；

N ——轴向拉力或轴向压力设计值；

N_k ——作用标准组合的轴向拉力值或轴向压力值；

P_0 ——基坑地面附加压力的标准值；

P_{ak} 、 P_{pk} ——主动土压力强度标准值、被动土压力强度标准值；

P_s ——分布土反力；

P_{s0} ——分布土反力初始值；

Q ——单井涌（抽水）量；

q_0 ——均布附加荷载标准值；

q_k ——作用于型钢水泥土搅拌墙的计算截面处的侧压力强度标准值；

R_d ——结构构件抗力设计值；

R_h ——弹性支点水平反力；
 R_k ——锚杆或土钉的极限抗拔承载力标准值；
 s ——固结沉降量；
 s_d ——设计水位降深；
 S_d ——作用组合的效应设计值；
 S_k ——作用标准组合效应；
 τ_1 ——作用于型钢与水泥土之间的搅拌墙的错动剪应力设计值；
 τ_2 ——作用于水泥土墙最薄弱截面处的局部剪应力设计值；
 u ——孔隙水压力；
 V ——剪力设计值；
 V_k ——作用标准组合的剪力值；
 V_{1k} ——作用于型钢与水泥土之间单位深度范围内的错动剪力标准值；
 V_{2k} ——作用于水泥土墙最薄弱截面处单位深度范围内的剪力标准值；
 v ——挡土构件的水平位移。

2.2.2 材料性能和抗力

C ——正常使用极限状态下支护结构位移或建筑物基础、地面沉降的限值；
 c ——土的黏聚力；
 E ——弹性模量；
 E_c ——锚杆的复合弹性模量；
 E_m ——锚杆固结体的弹性模量；
 E_s ——锚杆杆体或支撑的弹性模量或土的压缩模量；
 f_c ——混凝土弯曲抗压强度设计值；
 f_{cs} ——水泥土开挖龄期时的轴心抗压强度设计值；
 f_{py} ——预应力筋的抗拉强度设计值；
 f_y ——钢筋的抗拉强度设计值；
 f ——型钢的抗弯强度设计值；
 f_v ——型钢的抗剪强度设计值；

τ ——水泥石抗剪强度设计值；
 τ_{sk} ——水泥石抗剪强度标准值；
 H ——潜水初始含水层厚度；
 k ——土的渗透系数；
 M ——含水层厚度；
 q_{sk} ——土与锚杆或土钉的极限粘结强度标准值；
 R_{k} ——锚杆或土钉墙的极限抗拔承载力标准值；
 R ——影响半径；
 γ_{cs} ——水泥石墙的重度；
 γ ——土的天然重度；
 γ_{w} ——地下水的重度；
 φ ——土的内摩擦角。

2.2.3 几何参数

A ——构件的截面面积；
 A_{p} ——预应力钢筋的截面面积；
 A_{s} ——普通钢筋的截面面积；
 b ——截面宽度；
 D ——搅拌桩设计直径；
 d ——桩、锚杆、土钉的直径或基础埋置深度；
 d_{e1} ——型钢翼缘处水泥石墙体的有效厚度；
 d_{e2} ——水泥石最薄弱截面处墙体的有效厚度；
 h ——基坑深度；
 I ——型钢沿弯矩作用方向的毛截面惯性矩；
 I_0 ——受压支撑构件的长度；
 L_1 ——相邻型钢翼缘之间的净距；
 L_2 ——水泥石相邻最薄弱截面的净距；
 M ——承压含水层厚度；
 r_{w} ——降水井半径；
 S ——锚杆间距；
 t_{w} ——型钢腹板厚度；
 W ——型钢沿弯矩作用方向的截面模量；

α ——锚杆、土钉的倾角或支撑轴线与水平面的夹角；

θ ——滑弧面法线与垂直面的夹角。

2.2.4 设计参数和计算系数

k_s ——土的水平反力系数；

k_R ——弹性支点轴向刚度系数；

K ——安全系数；

K_a ——主动土压力系数；

K_e ——嵌固稳定安全系数；

K_0 ——静止土压力系数；

K_p ——被动土压力系数；

m ——土的水平反力系数的比例系数；

α ——支撑松弛系数；

γ_F ——作用基本组合的综合分项系数；

γ_0 ——支护结构重要性系数；

ζ ——主动土压力折减系数；

λ ——支撑不动点调整系数；

μ ——墙体材料的抗剪断系数。

3 基本规定

3.0.1 逆作法宜采用全部或部分支护结构与主体结构相结合的形式。包括围护结构与主体地下结构外墙相结合(采用两墙合一或桩墙合一的方式);水平支撑体系全部或部分采用主体地下水平结构;竖向立柱(桩)与主体结构柱、桩相结合。

3.0.2 逆作法设计、施工方案应根据基坑工程实际施工进度和周边环境保护条件,由建设、设计、施工单位对比制定、协同完成。其相应设计、施工、检测与监测方案应经专项论证通过后方可实施。

3.0.3 逆作法施工中的主体结构应满足建筑结构的承载力、变形和耐久性的控制要求。

3.0.4 基坑工程逆作法设计应具备下列资料:

- 1 基坑工程岩土勘察报告;
- 2 拟建场地及周边环境调查测绘图;
- 3 规划用地条件及建筑规划设计成果;
- 4 主体工程设计资料;
- 5 主体工程地基基础资料;
- 6 逆作法实施需求。

3.0.5 逆作法基坑工程应进行专项设计,其专项设计方案须经专家论证通过,专项设计应包括下列内容:

- 1 逆作法施工步骤;
- 2 围护结构的设计;
- 3 逆作水平结构体系的设计;
- 4 竖向立柱(桩)的设计;
- 5 逆作施工平台层的设计;
- 6 围护结构、逆作水平结构和竖向立柱之间的连接构造与防水设计;
- 7 施工阶段临时构件的设置、拆除方式以及与主体结构的受力

转换设计。

3.0.6 基坑工程逆作法施工前应根据勘察设计文件编制相应施工组织设计，施工组织设计应包括下列内容：

- 1 围护结构施工方案；
- 2 竖向立柱（桩）的施工方案；
- 3 先期地下结构施工方案，包括水平结构与竖向结构节点施工方案；
- 4 后期地下结构施工方案，包括先期施工地下结构和后期施工地下结构的接缝处理方案；
- 5 逆作施工阶段临时构件的拆除方案；
- 6 地下水控制、土方挖运、监测方案；
- 7 施工安全与作业环境控制方案；
- 8 应急处置措施。

3.0.7 基坑工程逆作法施工前应根据勘察设计文件编制相应施工组织设计，施工组织设计应包括下列内容：

- 1 围护结构施工方案；
- 2 竖向立柱（桩）的施工方案；
- 3 先期地下结构施工方案，包括水平结构与竖向结构节点施工方案；
- 4 后期地下结构施工方案，包括先期施工地下结构和后期施工地下结构的接缝处理方案；
- 5 逆作施工阶段临时构件的拆除方案；
- 6 地下水控制、土方挖运、监测方案；
- 7 施工安全与作业环境控制方案；
- 8 应急处置措施。

3.0.8 基坑工程逆作法施工前应编制专项施工方案并经专家论证通过后方可实施，专项施工方案应包括以下内容：

- 1 工程概况：危大工程概况和特点、施工平面布置、施工要求和技术保证条件；
- 2 编制依据：相关法律、法规、规范性文件、标准、规范及施

工图设计文件、施工组织设计等；

3 施工计划：包括施工进度计划、材料与设备计划；

4 施工工艺技术：技术参数、工艺流程、施工方法、操作要求、检查要求等；

5 施工安全保证措施：组织保障措施、制度保障措施、安全技术措施、监测监控措施等；

6 施工管理及作业人员配备和分工：施工管理人员、专职安全生产管理人员、特种作业人员、其他作业人员等；

7 验收要求：验收标准、验收程序、验收内容、验收人员等；

8 应急处置措施；

9 计算书及相关施工图纸。

3.0.9 逆作法基坑工程施工应采取有效地下水控制措施，并结合地下结构的布置，合理组织结构楼板施工与土方挖运的流水作业。

3.0.10 逆作法基坑工程应根据基坑周边环境的状况及保护要求确定基坑变形控制指标，并应从围护结构施工、基坑降水及土方挖运等三方面分别采取相应措施减小对周围环境的影响。

3.0.11 逆作法基坑工程应进行信息化施工，并应对基坑支护体系、地下结构和周边环境进行全过程监测和巡视检查。

3.0.12 施工中应根据作业环境及施工方案要求，采取安全控制措施，设置有效通风、排气、照明及电力设施。。

4 岩土勘察与环境调查

4.1 一般规定

4.1.1 逆作法基坑工程岩土勘察与评价应包括以下内容：

1 查明与逆作法基坑工程有关的岩土分布特征、地层结构、工程特性及不良地质作用等，提供满足基坑工程设计、施工所需的岩土工程参数；

2 查明地下水埋藏条件，包括地下水类型、补给来源、水位标高及水位季节性变化幅度和土层的渗透性等，判定、评价地下水对基坑的不良影响；

3 对岩层中开挖的基坑，查明岩体的岩性、产状、风化程度，结构面的类型（尤其是软弱面）、力学性质、发育程度、闭合状态、充填与充水情况、各结构面组合关系以及软质岩石开挖暴露后工程性能恶化对基坑稳定性的影响；

4 对影响基坑稳定性的不良地质作用，提出防治方案建议；根据岩土条件对基坑支护、地下水控制和基坑工程方案提出建议；

5 对饱和粉土和饱和砂土应进行液化评价；对软塑、流塑状态的黏性土应评价其灵敏度；

6 对湿陷性黄土应按《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025 评价湿陷类型和湿陷等级；

7 对膨胀土应测定膨胀力，计算膨胀变形量、收缩变形量和胀缩变形量，确定胀缩等级；

8 对盐渍土应测定其易溶盐含量，确定含盐类型，评价溶陷性、盐胀性和腐蚀性；

9 对填土应查明堆填或填筑的方式和形成时间，分析填料性质、分布范围，评价填土地基的稳定性和均匀性。

4.1.2 逆作法基坑工程应对基坑工程影响范围进行基坑周边环境条件专项调查，调查范围不宜小于开挖边界外 2 倍~3 倍开挖深度。

调查内容包括：

1 复核带有坐标、用地和建筑红线等条件及周边既有建（构）筑物的总平面测绘图，并调查原有土地的历史性质和环境影响标；

2 基坑周围邻近建(构)筑物的高度、结构类型、基础形式、尺寸、埋深、地基处理情况、使用现状及对基坑开挖变形的承受能力；

3 邻近地下管线的类型、材质、分布、重要性、使用情况、对施工振动和变形的承受能力，地面和地下储水、输水等用水设施的渗漏情况及其对基坑工程的影响程度，周边市政道路、轨道交通、地下管线（缆、沟）、人防工程及其他地下建（构）筑物的分布图及相关资料；

4 拟建建筑（市政）工程 ± 0.000 绝对高程、结构类型、荷载情况、基础底埋深和地基处理方法及基础形式；

5 拟建场地地面标高、坑底标高和基坑平面尺寸及分工况施工场地总平面布置方案图，场地周边地表水汇流、排泄条件、基坑四周道路及运行车辆载重情况。

6 场地附近正在抽降地下水的施工现场，应调查其降深、影响范围和可能的停抽时间。

7 相邻已有基坑工程的支护方法及对拟建场地的影响

8 场地及基坑附近地区已有的勘察资料、区域性常用基坑支护形式及地下水控制方法和经验等资料。。

4.1.3 对位于边坡附近的逆作法基坑工程，应评价边坡稳定性及边坡对逆作法基坑工程的影响，对不稳定边坡或基坑工程实施可能造成边坡失稳的基坑工程，应对边坡进行专门勘察，提供边坡治理设计所需岩土参数，并对边坡治理方案提出建议。

4.1.4 对位于既有水系（河浜、湖泊）、轨道交通工程附近的逆作法基坑工程，应评价逆作法基坑工程对环境的影响，并应采取预加固措施，严格控制基坑工程的影响指标，满足环境保护的要求。

4.2 勘探与测试

4.2.1 勘探点布置应符合下列要求：

1 勘探点布置范围，应根据基坑开挖深度及场地岩土工程条件和设计要求确定，不宜小于基坑周边 1 倍基坑开挖深度范围。

2 对地形或地质条件复杂的基坑，可扩大勘探点布置范围。当基坑外无法布置勘探点时，应通过调查取得相关资料并结合基坑范围内勘察资料进行综合对比分析。

3 勘探点宜沿基坑边线布置，间距宜为 15m~30m,每一主要剖面不宜少于 3 个勘探点。在正方形基坑中心部位、基坑支护结构附近及不规则基坑的转角处宜布置勘探点。

4 对软塑、流塑状态的黏性土及人工填土分布较厚的区域、基坑施工困难的地层及暗沟、暗塘等异常地段，应加密勘探点并扩大勘探范围。

5 勘探点宜全部为取土样钻孔和原位测试孔，其中取土样钻孔的数量宜为勘探点总数的 1/2~2/3。对以湿陷性黄土为主的基坑，取土样钻孔中探井的数量应为取土样钻孔总数的 1/2~2/3,且不应少于 2 个。

6 岩体出露条件较好、构造较简单的岩石基坑，可采用实测地质剖面或探井、探槽以代替钻探工作。

7 当地下水对基坑工程有较大影响时，应根据工程实际情况布设一定数量的水文地质试验孔和观测孔。

4.2.2 勘探深度应满足基坑工程的坑底抗隆起和支护结构稳定性计算的要求，不宜小于基坑深度的 2 倍~2.5 倍；当此深度内遇有厚层坚硬黏性土、碎石土及稳定岩层时，可适当减小勘探深度；当存在较厚软弱土层、粉土夹层或因降水、截水需要时，勘探深度应适当加深。

4.2.3 勘察工作应采用钻（掘）探取样、原位测试及室内试验等多种手段，原位测试应根据地层按下列要求选择：

- 1 粉土、黏性土和砂土应进行标准贯入试验及静力触探试验；
- 2 软塑、流塑状态的黏性土宜进行静力触探及十字板剪切试验；
- 3 碎石土应进行重型或超重型动力触探试验，当配合钻探分段进行试验时，每次连续试验深度不宜小于 1.0m；

- 4 全风化、强风化岩层宜进行剪切波速测试和重型动力触探试验;
- 5 当采用连续墙支挡结构时, 宜进行基床系数载荷试验;
- 6 安全等级为一级的基坑, 土的静止土压力系数宜采用自钻式旁压试验或扁铲侧胀试验确定;

7 以杂填土、砂土、碎石土或风化岩层为主的一级基坑, 宜采用现场直剪试验确定抗剪强度指标。

4.2.4 取样和原位测试应符合下列要求:

- 1 取样和进行原位测试的竖向间距 1.0m~2.0m, 原状土样质量等级应不低于 II 级;
- 2 每一主要土层的不扰动试样应不少于 6 件, 原位测试数据应不少于 6 个(组);
- 3 当地层不均匀时, 应增加取土样或原位测试数量;
- 4 采用嵌岩的桩(连续墙)作为支护结构的基坑, 每一主要岩层及嵌岩段, 均应采取不少于 6 组满足单轴极限抗压强度试验的岩样。

4.2.5 对于厚度大于 3m 的人工填土, 应视其成分采取试样或进行动力触探或标准贯入试验, 并提供重度和抗剪强度参数值。

4.2.6 受地下水影响的逆作法基坑工程, 应测量初见水位和稳定水位, 确定地下水类型。稳定水位的量测应符合下列要求:

- 1 稳定水位可在钻孔、探井或测压管内直接量测;
- 2 量测时间宜在勘探结束后进行, 量测读数至厘米, 精度不低于 $\pm 2\text{cm}$;
- 3 量测间隔时间应按地层的渗透性确定。

4.2.7 对于场地水文地质条件复杂、降水深度较大且缺乏经验的基坑工程, 应通过现场试验确定水文地质参数。基坑工程水文地质参数的测定应符合下列规定:

- 1 含水层的渗透系数及导水系数宜采用抽水试验、注水试验确定;
- 2 含水层的给水度宜采用抽水试验确定, 松散岩类含水层的给水度, 可采用室内试验确定; 岩石裂隙、岩溶的给水度, 可采用裂

隙率、岩溶率代替，有经验时可采用经验值；

3 影响半径可通过计算求得，当工程需要时，可采用实测法确定。

4.2.8 勘探孔及探井施工结束后，应及时夯实回填。基坑内水位以下勘探孔的封孔材料宜采用黏土球。

4.3 室内试验

4.3.1 室内试验项目及应根据工程特点、岩土性质和工程分析计算需要确定。其内容应符合现行《建筑基坑工程技术标准》（DBJ04/T 306）的要求。

4.3.2 对需进行降水、截水设计的基坑工程，应进行垂直及水平渗透试验。

4.3.3 当考虑土的应力历史或估算相邻建筑在基坑降水后的沉降量时，应进行土的先期固结压力试验。

4.3.4 土的抗剪强度指标试验方法可按表 4.3.4 的规定选用。

表 4.3.4 土的抗剪强度指标试验方法

土的名称	计算方法	测定参数	试验方法
地下水位以上 黏性土、黏质粉土	总应力法	c_{cq} 、 φ_{cq} 或 c_{cu} 、 φ_{cu}	应采用直剪固结快剪或三轴固结不排水剪
地下水位以下 正常固结、超固结 黏性土、黏质粉土	总应力法	c_{cq} 、 φ_{cq} 或 c_{cu} 、 φ_{cu}	应采用直剪固结快剪或三轴固结不排水剪
地下水位以下欠固 结黏性土、黏质粉土	总应力法	c_{uu} 、 φ_{uu} 或 c_q 、 φ_q	宜采用有效自重压力下预固结的三轴不固结不排水剪或直剪快剪
砂质粉土	有效应力法	c' 、 φ' 或 c_d 、 φ_d	应采用测孔隙水压力的三轴固结不排水剪或三轴固结排水剪；有经验时，也可采用直剪慢剪

注：1 c_{cq} 、 φ_{cq} 表示直剪固结快剪强度指标；

2 c_q 、 φ_q 表示直剪快剪强度指标； c_{cu} 、 φ_{cu} 表示三轴固结不排水抗剪强度指标；

3 c_{uu} 、 φ_{uu} 表示三轴不固结不排水抗剪强度指标；

4 c_d 、 φ_d 表示三轴固结排水抗剪强度指标；

5 c' 、 φ' 表示有效应力抗剪强度指标。

4.3.5 对安全等级为一级、浸水可能性较大的自重湿陷性黄土地基的基坑工程，应测定天然状态及饱和状态下的抗剪强度指标。

4.4 勘察成果

4.4.1 岩土物理力学性质指标应分层统计，各项指标均应提供范围值、算术平均值、标准差、统计子样数及变异系数，各土层抗剪强度指标黏聚力 c 、摩擦角 φ 应提供标准值。

4.4.2 对砂土、碎石土和风化岩层的抗剪强度指标黏聚力 c 、摩擦角 φ 值，可根据休止角及原位测试指标并结合野外描述综合分析确定。

4.4.3 对黄土进行湿陷性评价时，自重湿陷量计算值及湿陷量计算值宜从基坑顶面算起。

4.4.4 对湿陷土、液化土、盐渍土、膨胀岩土、高灵敏度土、人工填土、风化岩和残积土等特殊岩土分布区的基坑工程，应针对其特殊性质对基坑工程的影响进行分析评价。

4.4.5 地下水作用的评价应包括下列内容：

1 验算基坑边坡稳定性时，应考虑地下水对基坑边坡稳定的不利影响；

2 在地下水位下降的影响范围内，应分析地面沉降及其对工程和周边环境的影响；

3 在有水头压差的粉细砂、粉土地层中，应分析产生潜蚀、流土、管涌的可能性；

4 对软质岩、强风化岩、残积土、湿陷性土、膨胀岩土、人工填土和盐渍土，应评价地下水的聚集和散失所产生的软化、崩解、湿陷、胀缩和潜蚀等有害作用。

4.4.6 临近边坡的基坑，应分析评价边坡整体稳定性及边坡与基坑工程的相互影响，并根据分析评价结果提出相应防护和治理措施的建议。

4.4.7 基坑工程岩土勘察报告包括以下内容：

- 1 勘察目的、任务要求和依据的技术标准；**
- 2 拟建工程概况及基坑的平面尺寸、深度和周边环境条件；**
- 3 勘察方法（调查、钻探、取样、原位测试及室内试验）和勘察工作量；**
- 4 场地地形、地貌、地层结构、地质构造、岩土性质及分布规律和特征；**
- 5 岩土物理力学性质指标统计、选用及建议值；**
- 6 场地地下水的类型、层数、埋藏条件、水位变化幅度及地下水作用的评价和地下水控制设计所需水文地质参数的建议值；**
- 7 不良地质作用、特殊性岩土对基坑工程危害程度的评价及防护、治理措施建议；**
- 8 对基坑开挖、支护结构选型及地下水控制方案提出建议，并说明施工中应注意的问题；**
- 9 对基坑工程与邻近建（构）筑物及周边环境的相互影响进行评价，并提出设计、施工应注意的事项、需要采取的保护措施及检测和监测工作的建议。**

4.4.8 基坑工程岩土勘察报告应附下列图表：

- 1 勘探点平面布置图，应附拟建建(构)筑物轮廓线、基坑开挖范围线及周边已有建筑物、道路等，有条件时宜结合环境调查标明各种管线与地下障碍物的分布情况；**
- 2 沿基坑周边的工程地质剖面图，并宜标明基坑开挖深度线；**
- 3 有代表性的钻孔柱状图；**
- 4 原位测试和室内试验成果图表；**
- 5 地质条件复杂或岩土分析评价需要时，宜绘制关键地层层面等高线图和等厚度线图；**
- 6 特殊性岩土或特殊地质问题的专门性图表。**

4.5 环境调查

4.5.1 环境调查前应取得拟建场地现状地形测绘图，图中应明确标注周边环境要素。应包括以下内容：

- 1 规划土地界限；用地和建设红线等规划条件；
- 2 周边既有建（构）筑物、市政道路、轨道交通、主要管线（架空、入地及接驳）位置；
- 3 周边在建工程（基坑工程、主体工程）位置及概况；
- 4 周边未来建设规划条件。

4.5.2 环境调查应包括以下内容：

- 1 拟建场地及周边既有建（构）筑物的现状测绘；
- 2 拟建场地历史使用情况，污染水土状况及治理调查；
- 3 复核周围邻近建(构)筑物的高度、结构类型、基础形式、尺寸、埋深、地基处理情况、使用现状及对基坑开挖变形的承受能力；
- 4 详细调查邻近地下管线的类型、材质、分布、重要性、位置、使用情况及敷设方式（架空或埋地）及其对施工振动和变形的承受能力，地面和地下储水、输水等用水设施的渗漏情况及其对基坑工程的影响程度，周边市政道路、轨道交通、地下管线（缆、沟）、人防工程及其他地下建（构）筑物的分布图及相关资料，了解产权及行政管理部门对拟建项目的许可条件；

5 拟建建筑（市政）工程规划竖向、结构类型、荷载情况、基础形式及埋深、地基处理方法；基坑平面尺寸及分工况施工场地总平面布置，场地周边地表水汇流、排泄条件、基坑四周道路及车辆运行限载要求；

6 场地附近在施基坑、地下水抽降工程施工方式、影响范围和可能持续时间；

7 场地及基坑附近地区已有的勘察资料、区域性常用基坑支护形式及地下水控制方法和经验等资料。

5 侧压力计算

5.1 一般规定

5.1.1 基坑支护结构设计应考虑下列荷载：

- 1 土压力；
- 2 水压力；
- 3 开挖影响范围内建（构）筑物的作用荷载、地面堆载、施工荷载及邻近场地施工的影响；
- 4 支护结构作为主体结构一部分时，尚应考虑人防和地震荷载等上部结构的作用；
- 5 其他不利于基坑稳定的荷载。

5.1.2 基坑支护结构计算时应考虑下列因素：

- 1 土的物理力学性质（包括土的重度、抗剪强度指标等）；
- 2 地下水位、渗流及其变化；
- 3 支护体系的刚度、插入深度和横向位移；
- 4 挡墙和土体间的摩擦特性；
- 5 基坑工程的施工方法、施工阶段和施工顺序；
- 6 冻胀、温度变化等产生的影响。

5.1.3 作用在基坑围护结构上土压力的计算模式，应根据围护结构与土体的位移情况以及采取的施工措施确定，并应符合下列规定：

- 1 基坑开挖阶段，作用在围护结构外侧的土压力宜取主动土压力；需要严格限制支护结构的水平位移时，围护结构外侧的土压力可取静止土压力；
- 2 采用围护结构与主体结构相结合的设计时，地下结构正常使用期间作用在围护结构外侧的土压力应取静止土压力。

5.2 永临结合的荷载组合

5.2.1 基坑支护结构设计时，采用荷载组合应符合下列规定：

1 支护结构构件承载能力极限状态计算应采用荷载基本组合；
2 支护结构整体稳定极限状态计算应采用荷载基本组合，其分项系数取 1；

3 支护结构水平位移计算应采用正常使用极限状态下荷载标准组合。

5.2.2 逆作法基坑工程结构设计，当安全等级为一级、二级时，其支护结构重要性系数 γ_0 分别不小于 1.1、1.0。

5.2.3 支护结构、基坑周边建筑物和地面沉降、地下水控制的计算和验算应采用下列设计表达式：

1 承载能力极限状态

1) 支护结构构件或连接因超过材料强度或过度变形的承载能力极限状态设计，应符合下式要求：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (5.2.3-1)$$

式中： γ_0 —— 支护结构重要性系数，应按本标准第 3.0.6 条的规定采用；

S_d —— 作用基本组合的效应（轴力、弯矩等）设计值；

R_d —— 结构构件的抗力设计值。

对临时性支护结构，作用基本组合的效应设计值应按下式确定：

$$S_d = \gamma_F S_k \quad (5.2.3-2)$$

式中： γ_F —— 作用基本组合的综合分项系数，不应小于 1.25；

S_k —— 作用标准组合的效应。

2) 整体滑动、坑底隆起、挡土构件嵌固段推移、锚杆与土钉拔动、支护结构倾覆与滑移等稳定性计算和验算，均应符合下式要求：

$$\frac{R_k}{S_k} \geq K \quad (5.2.3-3)$$

式中： R_k —— 抗滑力、抗滑力矩、抗倾覆力矩、锚杆和土钉的极

限抗拔承载力等土的抗力标准值；

S_k ——滑动力、滑动力矩、倾覆力矩、锚杆和土钉的拉力等作用标准值的效应；

K ——稳定性安全系数，各类稳定性安全系数应按本标准各章的规定取值。

2 正常使用极限状态

由支护结构的位移、基坑周边建筑物和地面的沉降等控制的正常使用极限状态设计，应符合下式要求：

$$S_d \leq C \quad (5.2.3-4)$$

式中： S_d ——作用标准组合的效应（位移、沉降等）设计值；

C ——支护结构的位移、基坑周边建筑物和地面的沉降的限值。

5.2.4 支护结构重要性系数与作用基本组合的效应设计值的乘积（ $\gamma_0 S_d$ ）可采用下列内力设计值表示：

弯矩设计值

$$M = \gamma_0 \gamma_F M_k \quad (5.2.4-1)$$

剪力设计值

$$V = \gamma_0 \gamma_F V_k \quad (5.2.4-2)$$

轴向力设计值

$$N = \gamma_0 \gamma_F N_k \quad (5.2.4-3)$$

式中： M ——弯矩设计值（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；

M_k ——按作用标准组合计算的弯矩值（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；

V ——剪力设计值（ kN ）；

V_k ——按作用标准组合计算的剪力值（ kN ）；

N ——轴向拉力设计值或轴向压力设计值（ kN ）；

N_k ——按作用标准组合计算的轴向拉力或轴向压力值

(kN)。

5.3 参数选取

5.3.1 土的物理力学性能指标可根据室内试验、原位测试，结合地区经验综合确定。

5.3.2 土体重度指标应取其平均值，并按下列规定取值：

- 1 地下水位以上的土体，应取天然重度；
- 2 地下水位以下的土体，对碎石土、砂土、砂质粉土取有效重度；
- 3 地下水位以下的土体，对黏性土、黏性粉土取饱和重度。

5.3.3 土体的抗剪强度应按本标准第 4.3.4 条确定，对灵敏度较高的土、严重液化土，当基坑邻近有交通频繁、施工扰动等原因造成对土体强度有不利影响时，应对其参数进行适当折减。

5.4 计算原则

5.4.1 作用于支护结构上的土压力和水压力，计算方法应符合下列要求：

1 对于透水性较强的碎石土、砂土和砂质粉土，可采取水土分算方法；

2 对于透水性较差的黏性土、黏质粉土，可采用水土合算方法，也可根据地区经验合理确定。计算水位应根据施工期间可能出现的最高水位选取。

5.4.2 作用于支护结构上的主动土压力、被动土压力可采用朗肯或库伦土压力理论计算，有成熟经验也可采用其他计算方法。当对支护结构的水平位移要严格限制时，宜采用静止土压力计算。

5.5 水平荷载与折算荷载

5.5.1 一般情况下，主动土压力强度标准值、被动土压力强度标准

值宜根据朗肯土压力理论按下列公式计算（图 5.5.1）：

1 对于地下水位以上或水土合算的土层

$$p_{ak} = K_{a,i} \sigma_{ak} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} \quad (5.5.1-1)$$

$$K_{a,i} = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_i}{2}) \quad (5.5.1-2)$$

$$p_{pk} = K_{p,i} \sigma_{pk} + 2c_i \sqrt{K_{p,i}} \quad (5.5.1-3)$$

$$K_{p,i} = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi_i}{2}) \quad (5.5.1-4)$$

式中： p_{ak} —— 支护结构外侧，第 i 层土中计算点的主动土压力强度标准值（kPa）；当 $p_{ak} < 0$ 时应取 $p_{ak} = 0$ ；

σ_{ak} 、 σ_{pk} —— 分别为支护结构外侧、内侧计算点的土中竖向总应力标准值（kPa）；

$K_{a,i}$ 、 $K_{p,i}$ —— 第 i 层土的主动土压力系数、被动土压力系数；

c_i 、 φ_i —— 第 i 层土的黏聚力（kPa）、内摩擦角（°）；

p_{pk} —— 支护结构内侧，第 i 层土中计算点的被动土压力强度标准值（kPa）。

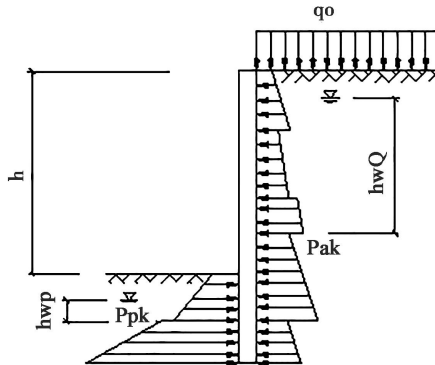


图 5.5.1 土压力计算

2 对于水土分算的土层

$$p_{ak} = K_{a,i}(\sigma_{ak} - u_a) - 2c_i\sqrt{K_{a,i}} + u_a \quad (5.5.1-5)$$

$$p_{pk} = K_{p,i}(\sigma_{pk} - u_p) + 2c_i\sqrt{K_{p,i}} + u_p \quad (5.5.1-6)$$

式中： u_a 、 u_p ——支护结构外侧、内侧计算点的水压力（kPa）。

3 静止土压力

静止土压力强度，可按下列式计算：

$$p_0 = K_0 \sum \gamma_i h_i \quad (5.5.1-7)$$

式中： p_0 ——计算点处静止土压力强度标准值（kPa）；

γ_i ——第 i 层土的重度（kN/m³）；

h_i ——第 i 层土的厚度（m）；

K_0 ——静止土压力系数。

5.5.2 静止水压力计算应符合下列要求：

1 地下水无渗流时，作用在支护结构上的静止水压力，对地下水位以下的砂质粉土、砂土和碎石土，在基坑内、外侧按静止水压力三角形分布计算，黏性土、黏质粉土可取零；

2 地下水有稳定渗流时，对安全等级为一级的基坑，宜用流网法分析，计算作用于支护结构上的水压力。

5.5.3 土中竖向应力标准值应按下列式计算：

$$\sigma_{ak} = \sigma_{ac} + \sum \Delta \sigma_{k,j} \quad (5.5.3-1)$$

$$\sigma_{pk} = \sigma_{pc} \quad (5.5.3-2)$$

式中： σ_{ac} ——支护结构外侧由土自重产生的竖向总应力；

$\Delta \sigma_{k,j}$ ——支护结构外侧由第 j 个附加荷载作用下产生的土中竖向应力标准值；

σ_{pc} ——支护结构内侧由土自重产生的竖向总应力。

5.5.4 附加荷载作用下土中附加竖向应力标准值按下列规定计算

(图 5.5.4-1) :

1 均布荷载:

$$1) \quad \Delta\sigma_k = 0 (Z_a < L) \quad (5.5.4-1)$$

$$2) \quad \Delta\sigma_k = q_0 (Z_a \geq L) \quad (5.5.4-2)$$

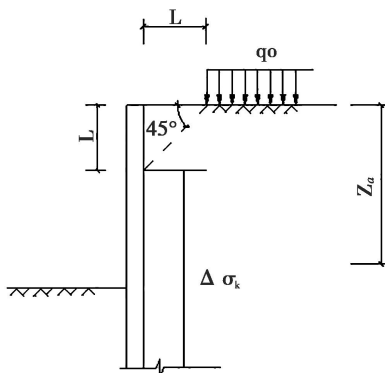


图 5.5.4-1 均布荷载产生附加竖向应力简图

式中: Z_a ——支护结构顶面至土中附加竖向应力计算点的竖向距离 (m)。

2 条形与矩形荷载:

1) 对条形基础下的附加荷载 (图 5.5.4-2) :

当 $d + a/\tan\theta \leq Z_a \leq d + (3a+b)/\tan\theta$ 时

$$\Delta\sigma_k = \frac{p_0 b}{b + 2a} \quad (5.5.4-3)$$

式中: p_0 ——基础底面附加压力标准值 (kPa) ;

d ——基础埋置深度 (m), 对作用在地面的条形、矩形附加荷载, 取 $d=0$;

b ——基础宽度 (m) ;

a ——支护结构外边缘至基础的水平距离 (m) ;

θ ——附加荷载的扩散角 ($^\circ$), 宜取 $\theta=45^\circ$;

Z_a ——支护结构顶面至土中附加竖向应力计算点的竖向距离 (m)。

当 $Z_a < d + a/\tan 45^\circ$ 或 $Z_a > d + (3a+b)/\tan 45^\circ$ 时, 取 $\Delta\sigma_k=0$ 。

2) 对矩形基础下的附加荷载 (图 5.5.4-2) :

当 $d + a/\tan\theta \leq Z_a \leq d + (3a+b)/\tan\theta$ 时

$$\Delta\sigma_k = \frac{p_0 bl}{(b+2a)(l+2a)} \quad (5.5.4-4)$$

式中: b ——与基坑边垂直方向上的基础尺寸 (m) ;

l ——与基坑边平行方向上的基础尺寸 (m) 。

当 $Z_a < d + a/\tan 45^\circ$ 或 $Z_a > d + (3a+b)/\tan 45^\circ$ 时, 取 $\Delta\sigma_k=0$ 。

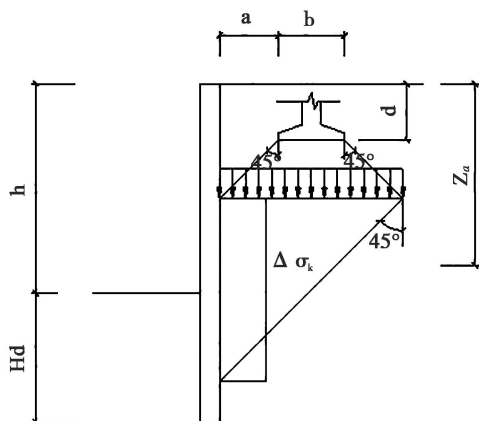


图 5.5.4-2 条形或矩形基础产生附加竖向应力简图

3 支护结构上部土体放坡时, 可将上部放坡看作附加荷载 q_0 ($q_0 = \gamma h_0$) (图 5.5.4-3) :

$$1) Z_a \leq a \text{ 时, } \Delta\sigma_k = 0 \quad (5.5.4-5)$$

$$2) a \leq Z_a \leq (a+b) \text{ 时, } \Delta\sigma_k = q_0 \frac{Z_a - a}{b} \quad (5.5.4-6)$$

$$3) Z_a > (a+b) \text{ 时, } \Delta\sigma = q_0 \quad (5.5.4-7)$$

式中: b ——与基坑边垂直方向上放坡宽度尺寸 (m) ;

h_0 ——放坡高度 (m) ;

a —— 支护结构外边至放坡坡脚的水平距离 (m)。

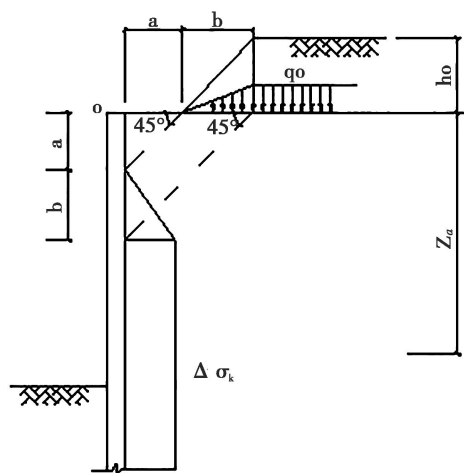


图 5.5.4-3 上部放坡产生附加竖向应力简图

6 基坑稳定性

6.1 一般规定

6.1.1 逆作法基坑工程应进行稳定性验算。

6.1.2 基坑稳定性分析时，对于湿陷性黄土地，需注意雨水、渗水等外界水环境变化的影响；对于软弱土地，则需注意扰动和基坑暴露时间对土体强度的影响。

6.2 基坑整体稳定性验算

6.2.1 采用圆弧滑动条分法对支挡结构和坡率法基坑进行整体稳定性验算时，应符合下式的规定（图 6.2.1）：

$$\min\{K_{s,1}, K_{s,2}, \dots, K_{s,i}, \dots\} \geq K_s \quad (6.2.1-1)$$

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

(6.2.1-2)

式中： K_s ——圆弧滑动整体稳定安全系数；基坑工程安全等级为一级、二级的支挡结构， K_s 分别不应小于 1.35、1.3；

$K_{s,i}$ ——第 i 个滑动圆弧的抗滑力矩与滑动力矩的比值；抗滑力矩与滑动力矩之比的最小值宜通过搜索不同圆心及半径的所有潜在滑动圆弧确定；

C_j, φ_j ——第 j 土条滑弧面处土的黏聚力 (kPa)、内摩擦角 (°)，按本标准相关规定取值；

b_j ——第 j 土条的宽度 (m)；

θ_j ——第 j 土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角 (°)；

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

- q_j ——作用在第 j 土条上的附加分布荷载标准值 (kPa)；
- ΔG_j ——第 j 土条的自重 (kN)，按天然重度计算；
- u_j ——第 j 土条在滑弧面上的孔隙水压力 (kPa)；渗流水力梯度可忽略不计时，对地下水位以下的砂土、碎石土、粉土，在基坑外侧，可取 $u_j = \gamma_w h_{wa,j}$ ，在基坑内侧，可取 $u_j = \gamma_w h_{wp,j}$ ；在地下水位以上或对地下水位以下的黏性土，取 $u_j = 0$ ；
- γ_w ——地下水重度 (kN/m³)；
- $h_{wa,j}$ ——基坑外侧地下水位至第 j 土条滑弧面中点的垂直距离 (m)；
- $h_{wp,j}$ ——基坑内侧地下水位至第 j 土条滑弧面中点的垂直距离 (m)；
- $R'_{k,k}$ ——第 k 层锚杆或土钉对圆弧滑动体的抗拔力值 (kN)；应取锚杆或土钉在滑动面以外的锚固段极限抗拔承载力标准值与锚杆或土钉杆体受拉承载力标准值 ($f_{ptk}A_p$ 或 $f_{yk}A_s$) 的较小值；锚固体的极限抗拔承载力应按本标准相关规定计算，但锚固段应取滑动面以外的长度；对悬臂式、双排桩支挡结构不考虑

$$\text{?} R'_{k,k} [\cos(\theta_k + \alpha_k) + \psi_v] / S_{x,k} \text{ 项；}$$

- α_k ——第 k 层锚杆或土钉的倾角 (°)；
- θ_k ——滑动面在第 k 层锚杆或土钉处的法线与垂直面的夹角 (°)；
- $S_{x,k}$ ——第 k 层锚杆或土钉的水平间距 (m)；
- ψ_v ——计算系数；可按 $\psi_v = 0.5 \sin(\theta_k + \alpha_k) \tan \varphi$ 取值；
- φ ——第 k 层锚杆或土钉与滑弧交点处土的内摩擦角 (°)。

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

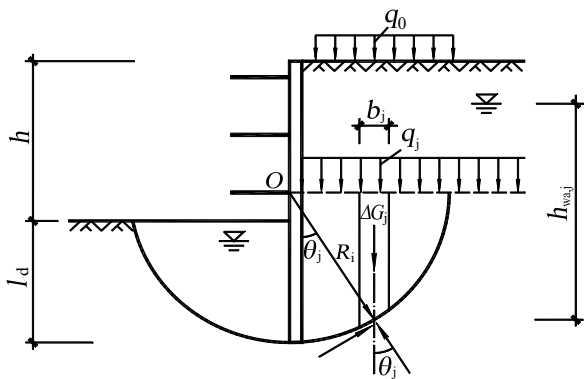


图 6.2.2 以最下层支点为轴心的圆弧滑动稳定性验算

6.3 基坑抗隆起稳定性验算

6.3.1 悬壁式支挡结构可不进行隆起稳定性验算。

6.3.2 支撑式支挡结构应按式 (6.3.2) 进行坑底抗隆起稳定性验算 (图 6.3.2-1)。

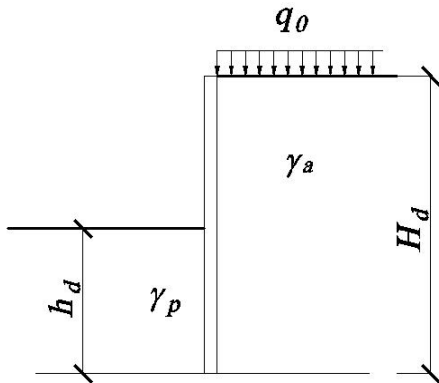


图 6.3.2-1 基坑底抗隆起稳定性验算

$$\frac{\gamma_p h_d N_q + c(N_q - 1) \cot \varphi}{\gamma_a H_d + q_0} \geq K_{lq} \quad (6.3.2)$$

式中: K_{lq} ——坑底隆起安全系数, 基坑工程安全等级为一级、二级

的支挡结构， K_{1q} 分别不应小于 1.8、1.6；

γ_a 、 γ_p ——分别为基坑外侧、基坑内侧支挡结构底面以上土层的加权平均重度（ kN/m^3 ）；

c 、 φ ——支挡结构底面下土的黏聚力（ kPa ）、内摩擦角（ $^\circ$ ）；

N_q ——承载力系数； $N_q = k_p e^{\pi \tan \varphi}$ ； $k_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$ ；

q_0 ——地面均布荷载（ kPa ）；

h_d ——挡土构件的嵌固深度（ m ）。

当支挡结构底部有软弱下卧层时，验算部位应包括软弱下卧层（图 6.3.2-2），此时式（6.3.2）中的 γ_a 、 γ_p 应取软弱下卧层顶面以上土的加权平均重度。

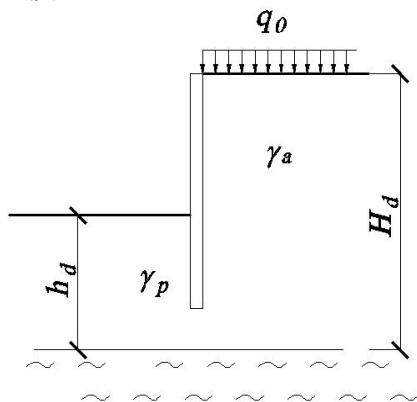


图 6.3.2-2 支挡结构下有软弱下卧层时基坑底抗隆起稳定性验算

6.4 抗渗流稳定性

6.4.1 坑底以下有水头高于坑底的承压水含水层，且未用截水帷幕隔断其基坑内外的水力联系时，承压水作用下的坑底突涌稳定性应符合式（6.4.1）的规定（图 6.4.1）：

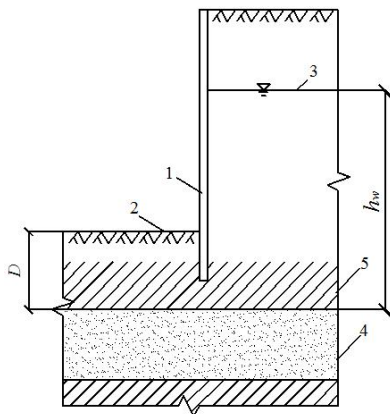


图 6.4.1 坑底土体的突涌稳定性验算

1—截水帷幕；2—基底；3—承压水测管水位；4—承压水含水层；5—隔水层

$$\frac{D\gamma}{h_w\gamma_w} \geq K_h \quad (6.4.1)$$

式中： K_h ——突涌稳定性安全系数； K_h 不应小于 1.1；

D ——承压水含水层顶面至坑底的土层厚度（m）；

γ ——承压水含水层顶面至坑底土层的天然重度（ kN/m^3 ）；
对多层土，取按土层厚度加权的平均天然重度；

h_w ——承压水含水层顶面的压力水头高度（m）；

γ_w ——水的重度（ kN/m^3 ）。

6.4.2 悬挂式截水帷幕底端位于碎石土、砂土或粉土含水层时，对均质含水层，地下水渗流的流土稳定性应符合式（6.4.2）的规定，对渗透系数不同的非均质含水层，宜采用数值方法进行渗流稳定性分析。采用悬挂式帷幕截水时的流土稳定性验算示意如图 6.4.2 所示。

6.5 嵌固深度

6.5.1 悬臂式支挡结构的嵌固深度 h_d 应符合式（6.5.1）要求（图

6.5.1) :

$$\frac{\sum_{j=1}^m E_{pj} y_{pj1}}{\sum_{i=1}^n E_{ai} y_{ai1}} \geq K_e \tag{6.5.1}$$

式中： K_e —— 嵌固稳定安全系数；基坑工程安全等级为一级、二级、的悬臂式支挡结构， K_e 分别不应小于 1.25、1.2；
 E_{ai} —— 基坑外侧第 i 层土主动土压力合力标准值（kN）；
 E_{pj} —— 基坑内侧第 j 层土被动土压力合力标准值（kN）；
 y_{ai1} 、 y_{pj1} —— E_{ai} 、 E_{pj} 作用点至挡土构件底端的距离（m）。

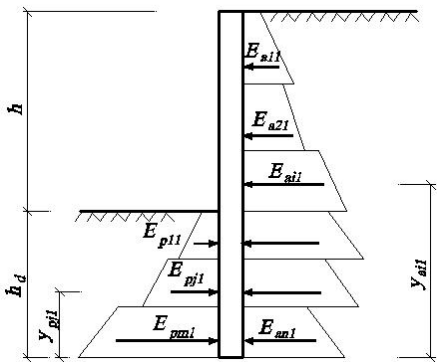


图 6.5.1 悬臂式排桩结构嵌固深度计算简图

6.5.2 单层支撑的支挡式结构的嵌固深度 h_d 应符合式（6.5.2）的要求（图 6.5.2）：

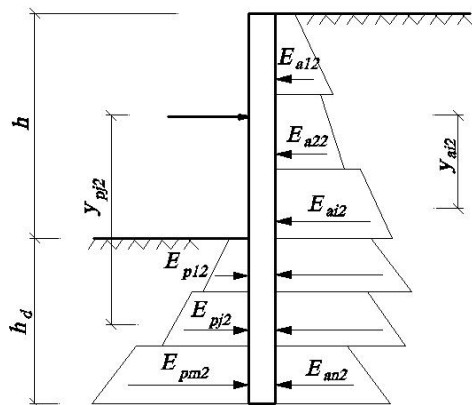


图 6.5.2 单层支撑的支挡式结构嵌固深度计算简图

$$\frac{\sum_{j=1}^m E_{pj} y_{pj2}}{\sum_{i=1}^n E_{ai} y_{ai2}} \geq K_e \quad (6.5.2)$$

式中： K_e —— 嵌固稳定安全系数；基坑工程安全等级为一级、二级的支撑式支挡结构， K_e 分别不应小于 1.25、1.2；

E_{ai} —— 基坑外侧第 i 层土主动土压力合力标准值（kN）；

E_{pj} —— 基坑内侧第 j 层土被动土压力合力标准值（kN）；

y_{ai2} 、 y_{pj2} —— E_{ai} 、 E_{pj} 作用点至支点的距离（m）。

6.5.3 在满足支护结构变形与稳定性的前提下，支挡结构的嵌固构造深度，对悬臂式结构不宜小于 $1.2h$ （ h 为基坑深度）；对单支点支挡式结构不宜小于 $0.8h$ ；对多支点支挡式结构不宜小于 $0.5h$ 。

7 外围护结构

7.1 一般规定

7.1.1 逆作法基坑工程外围护结构形式可根据土（岩）层的性质、地下水条件、周边环境保护要求及施工技术条件和区域经验综合确定。围护结构与主体地下结构外墙相结合时，采用两墙合一或桩墙合一的方式。

7.1.2 外围护结构设计时应考虑逆作法施工的特点和工况要求，土方分层开挖深度应符合设计工况要求，且应满足逆作法水平结构体系的施工空间要求。

7.1.3 基坑周边围护结构采用弹性支点法计算时，地下水结构梁板的弹性支点刚度系数，宜通过对结构楼板整体进行线弹性结构分析，根据支点力与水平位移的关系确定。

7.1.4 外围护结构在施工中应通过现场监测和检测及时掌握和控制围护结构施工质量，并应按照建设管理要求采取保护环境的措施。

7.1.5 围护结构的设计、施工和检测尚应符合国家现行标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120、《建筑地基基础工程施工规范》GB51004和《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202的有关规定及《建筑基坑工程技术标准》DBJ04/T-306的有关规定。

7.2 地下连续墙

I 设计

7.2.1 地下连续墙采用现浇钢筋混凝土地下连续墙，主筋的保护层厚度在迎土面不应小于 70mm，在迎坑面不应小于 50mm。

两墙合一的地下连续墙可采用单一墙、复合墙和叠合墙的形式。

1 单一墙：仅采用地下连续墙作为地下结构外墙，墙体应同时

满足基坑开挖和永久使用两种不同阶段的受力和变形要求；

2 叠合墙：地下连续墙作为地下结构外墙的一部分，它与内侧设置的钢筋混凝土内衬墙间的结合面可承受剪力。永久使用阶段计算时的墙体厚度可取地下连续墙与内衬墙厚度之和；

3 复合墙：地下连续墙作为地下结构外墙的一部分，它与内侧设置的钢筋混凝土内衬墙间的结合面不承受剪力。永久使用阶段的墙体内力宜按地下连续墙与内衬墙的刚度比例进行分配。

7.2.2 两墙合一的地下连续墙的设计计算与验算应符合下列规定：

1 地下连续墙应分别按照承载能力极限状态和正常使用极限状态进行承载力计算、变形和裂缝验算；

2 叠合墙和复合墙应分别根据基坑施工工况和永久使用阶段的工况，按内外墙实际受力进行墙体内力计算与变形验算；

3 两墙合一地下连续墙在永久使用阶段应进行正常使用极限状态的水平裂缝验算，一般环境条件下，迎土面最大裂缝宽度不应大于 0.3mm，迎坑面最大裂缝宽度不应大于 0.2mm，裂缝验算时取用的计算保护层厚度宜取 30mm；

4 地下连续墙墙身的防水等级应结合主体地下结构外墙防水等级确定；

5 地下连续墙与主体结构连接处应根据其受力特性和连接刚度进行节点设计；

6 墙体承受上部结构竖向荷载时，应根据相关规范分别按照承载能力极限状态和正常使用极限状态计算地下连续墙的竖向承载力和沉降量。两墙合一的地下连续墙竖向承载力可参照灌注桩的单桩竖向承载力计算方法进行估算，墙体截面有效周长应取与周边土体接触部分的长度，墙底持力层宜选择压缩性较低的土层，墙体有效长度应取基坑开挖面以下的入土深度，并根据受力和变形协调的要求可进行墙底后注浆。其竖向承载力宜通过现场静荷载试验确定；

7 当由多幅地下连续墙共同承担上部结构竖向荷载时，槽段施工接头宜采用刚性接头，且应进行接头抗剪承载力计算；

8 墙顶承受竖向偏心荷载时，应按偏心受压构件计算正截面受

压承载力；

9 墙顶圈梁与地下连续墙及上部结构的连接处应验算截面受剪承载力。

7.2.3 当地下连续墙作为主要竖向承重构件时，可采取如下措施协调地下连续墙与主体结构之间的差异沉降：

- 1 宜选择压缩性较低的土层作为地下连续墙持力层；
- 2 应对地下连续墙采取墙底注浆的加固措施；
- 3 宜在地下连续墙附近的基础底板下设置工程桩；
- 4 采用长短墙组合的方式。

7.2.4 两墙合一的地下连续墙，混凝土强度等级不宜低于 C35，防水混凝土的抗渗等级应符合现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB55030 的规定。其在基坑施工阶段的设计应符合本标准相关规定；永久使用阶段的设计及耐久性要求除应符合本节规定外，尚应符合国家现行有关规范、标准的规定和主体结构设计的要求。当有人防要求时，两墙合一地下连续墙的设计应符合现行国家标准《人民防空地下室设计规范》GB50038 的有关规定。

7.2.5 两墙合一的地下连续墙与主体结构构件的连接及防水构造应符合下列规定：

1 地下连续墙与主体结构构件的连接可采用墙内预埋钢筋、钢筋接驳器、锚板和剪力槽等；

2 地下连续墙上的预埋钢筋和接驳器不应贯穿全截面，其端部与地下连续墙迎土面外表面的距离不宜小于 200mm；

3 地下连续墙与地下结构梁板之间宜设置贯通的结构环梁，并通过预埋钢筋、剪力槽等方式与结构环梁连接；地下连续墙宜通过预埋钢筋接驳器、剪力槽等方式与基础底板连接，当基础底板厚度不小于 1m 时，宜在基础底板中设置构造环梁，地下连续墙通过预埋钢筋与构造环梁连接；地下连续墙与地下结构边柱、结构墙宜通过预留插筋或钢筋接驳器的方式连接；

4 主体结构的沉降后浇带延伸至地下连续墙位置时，宜在对应沉降后浇带位置留设槽段分缝，分缝位置应采取可靠的截水措施；

5 剪力槽应设置于地下连续墙纵筋内侧，剪力槽的宽度不宜小于 100mm，高度不宜小于 150mm。

6 地下连续墙槽段施工接头外侧可设置高压喷射注浆等防渗构造措施；内侧宜设置扶壁式构造柱或框架柱，当地下连续墙内侧设有构造衬墙时，应在地下连续墙与衬墙间设置排水通道；

7 地下连续墙与主体结构连接的接缝位置可根据地下结构的防水等级要求，设置刚性止水片、遇水膨胀橡胶止水条或预埋注浆管等构造措施。

7.2.6 地下连续墙槽段接头防水设计应符合下列规定：

1 在粉土、砂土等透水性强的土层中，宜在地下连续墙的槽段接头位置采用内外两层防水措施，外侧宜设置隔水加固措施，加固深度宜大于基坑开挖深度；内侧宜设置结构壁柱或内衬墙；

2 当基坑开挖面以上分布有承压含水层时，地下连续墙内侧宜设置钢筋混凝土内衬墙。

7.2.7 两墙合一地下连续墙在使用阶段需要开设外接通道时，应根据开洞位置采取相应的加强措施和隔水加固措施，其开洞范围内可根据开洞工艺要求配置 GFRP 筋代替钢筋。

7.2.8 地下连续墙位于扰动土区、淤泥、浅部砂土、粉土中或邻近有保护要求的建筑物时，地下连续墙两侧宜进行槽壁加固。

II 施工

7.2.9 地下连续墙施工前应通过试成槽确定成槽施工各项技术参数。

7.2.10 地下连续墙成槽应采用具有纠偏功能的成槽设备。地下连续墙成槽范围内遇下列情况宜采用抓铣结合的方法成槽：

- 1 深度超过 60m；
- 2 进入标贯击数 N 大于 50 的密实砂层；
- 3 进入岩层。

7.2.11 护壁泥浆应符合下列规定：

- 1 护壁泥浆应根据地质条件进行试配，泥浆配合比应按现场试

验确定；

2 新拌制的泥浆应充分水化后储存 24h 以上方可使用；

3 成槽时泥浆的供应及处理系统应符合泥浆使用量的要求，应采用泥浆检测仪器检测泥浆指标，槽段开挖结束后及钢筋笼入槽前应对槽底泥浆和沉淀物进行置换；

4 循环泥浆应采取再生处理措施，泥浆含砂率大于 7%时应采用除砂器除砂。

7.2.12 地下连续墙钢筋笼制作场地应平整，平面尺寸应符合制作和拼装要求；采用分节吊放的钢筋笼应在场地同胎制作，并应进行试拼装；钢筋笼上的预埋钢筋、机械连接接头和剪力槽应符合安装精度要求。

7.2.13 地下连续墙钢筋笼吊筋长度应根据导墙标高计算确定，应在每幅槽段钢筋笼吊放前测量吊点处的导墙标高，并应确定吊筋长度。

7.2.14 地下连续墙的混凝土浇筑前墙底沉渣厚度不应大于 150mm，两墙合一时不应大于 100mm。

7.2.15 两墙合一的地下连续墙应进行墙底注浆，墙底注浆应符合下列要求：

1 注浆管应采用钢管，注浆管宜设置在墙体中部，且应沿槽段长度方向均匀布置；

2 单幅槽段注浆管数量不应少于 2 根，槽段长度大于 6m 宜增设注浆管；注浆管下端应伸至槽底一下 200mm~500mm；

3 注浆管应在混凝土初凝之后，终凝之前进行清水开塞；

4 注浆宜在成墙 48h 后进行；注浆量应符合设计要求，注浆压力宜控制在 0.2MPa~0.4MPa。

7.2.16 地下连续墙在与地下竖向、水平结构连接部位处，应凿出和清理剪力槽、预埋件，并应清除墙面疏松混凝土。

III 检测与验收

7.2.17 两墙合一地下连续墙施工质量检测应符合下列规定：

1 槽壁垂直度、深度、宽度及沉渣应全数进行检测，当采用套

铣接头时应对接头处进行两个方向的垂直度检测；成槽垂直度不应大于 1/300；

2 现浇墙体的混凝土质量应采用超声波透射法进行检测，检测数量不应少于墙体总量的 20%,且不应少于 3 幅；

3 墙身混凝土抗压强度试块每 100m³混凝土不应少于 1 组，且每幅槽段不应少于 1 组，每组 3 件；墙身混凝土抗渗试块每 5 幅槽段不应少于 1 组，每组 6 件。

4 应全数检测沉渣厚度，沉渣厚度不应大于 100mm；

5 槽段宽度允许偏差为 0~+50mm;墙面平整度应小于 100mm；

6 钢筋笼安装深度允许偏差不大于 20mm；

7 预埋件位置偏差不宜大于 10mm。

7.2.18 必要时可对两墙合一的地下连续墙的混凝土采用钻孔取芯方法进行强度质量检测，单幅墙身的钻孔取芯数量不应少于 2 个；钻孔取芯完成后应对芯孔进行注浆填充密实。

7.2.19 作为临时围护结构的地下连续墙，其槽壁垂直度、深度、宽度及沉渣检测数量应为总数的 20%；有可靠的施工经验时，可不进行超声波透射法检测。

7.2.20 护壁泥浆应采用测量仪器进行检测，施工过程中应检测泥浆指标，应符合表 7.2.20 的规定。

7.2.21 地下连续墙钢筋笼的制作与安装允许偏差应符合表 7.2.21 的规定。

7.2.22 地下连续墙成槽及墙体允许偏差应符合表 7.2.22 规定。

表 7.2.20 泥浆性能指标

项	序	检查项目			性能指标	检查方法	
一般项目	1	新拌制泥浆		比重		1.03~1.10	比重计
				黏度	黏性土	20s~25s	黏度计
					砂土	25s~35s	
	2	循环泥浆		比重		1.05~1.25	比重计
				黏度	黏性土	20s~30s	黏度计
					砂土	30s~40s	
	3	清基 (槽)后的 泥浆	现浇地下 连续墙	比重	黏性土	1.10~1.15	比重计
					砂土	1.10~1.20	
				黏度		20s~30s	黏度计
				含砂率		≤7%	洗砂瓶

表 7.2.21 钢筋笼制作与安装允许偏差

项	序	检查项目		允许偏差		检查方法
				单位	数值	
主控项目	1	钢筋笼长度		mm	±100	用钢尺量，每片钢筋网检查上中下 3 处
	2	钢筋笼宽度		mm	0 -20	
	3	钢筋笼安装标高	临时结构	mm	±20	
			永久结构	mm	±15	
	4	主筋间距		mm	±10	任取一断面，连续量取间距，取平均值作为一点，每片钢筋网上测 4 点
一般项目	1	分布筋间距		mm	±20	
	2	预埋件及槽底注浆管中心位置	临时结构	mm	≤10	用钢尺量
			永久结构	mm	≤5	
	3	预埋钢筋和接驳器中心位置	临时结构	mm	≤10	用钢尺量
			永久结构	mm	≤10	
	4	钢筋笼制作平台平整度		mm	±20	用钢尺量

表 7.2.22 地下连续墙成槽及墙体允许偏差

项	序	检查项目		允许值		检查方法
				单位	数值	
主控项目	1	墙体强度		不小于设计值		28d 试块强度或 钻芯法
	2	槽壁 垂直度	临时结构	$\leq 1/200$		20%超声波 2 点/幅
			永久结构	$\leq 1/300$		100%超声波 2 点/幅
	3	槽段深度		不小于设计值		测绳 2 点/幅
一般项目	1	导墙 尺寸	宽度（设计墙厚 +40mm）	mm	± 10	用钢尺量
			垂直度	$\leq 1/500$		用线锤测
			导墙顶面平面度	mm	± 50	用钢尺量
			导墙平面定位	mm	≤ 10	用钢尺量
			导墙顶标高	mm	± 20	水准测量
	2	槽段 宽度	临时结构	不小于设计值		20%超声波 2 点/幅
			永久结构	不小于设计值		100%超声波 2 点/幅
	3	槽段位	临时结构	mm	≤ 50	钢尺 1 点/幅
			永久结构	mm	≤ 30	
	4	沉渣 厚度	临时结构	mm	≤ 150	100%测绳 2 点/幅
			永久结构	mm	≤ 100	
	5	混凝土坍落度		mm	180~220	坍落度仪
	6	地下 连续墙 表面 平整度	临时结构	mm	± 150	用钢尺量
			永久结构	mm	± 100	

7.3 钢筋混凝土灌注桩排桩

I 设计

7.3.1 灌注桩排桩可采用桩墙合一的形式作为主体地下结构外墙的一部分，其桩身混凝土强度等级不应低于 C30，主筋的保护层厚度不应小于 35mm(水下灌注桩的主筋保护层厚度不得小于 50mm)，垂直度允许偏差应为 1/200。

7.3.2 灌注桩排桩采用桩墙合一的灌注桩排桩，设计应符合下列规定：

1 灌注桩排桩在迎坑侧宜贴合地下结构外墙设置，当需要在灌注桩排桩与地下结构外墙间设置防水等衬垫层时，应在地下结构楼板位置设置水平传力构件；

2 灌注桩排桩除应符合基坑开挖阶段的承载能力极限状态的设计要求外，地下结构正常使用期间，灌注桩排桩尚应进行水压力和全部静止土压力等水平荷载作用下的承载能力极限状态和正常使用极限状态设计；

3 地下结构外墙宜进行水压力和按桩墙抗弯刚度分配的静止土压力等水平荷载作用下的承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

7.3.3 桩墙合一的灌注桩与主体结构之间宜设置结构连接措施，承受竖向荷载时灌注桩应进行桩端后注浆。

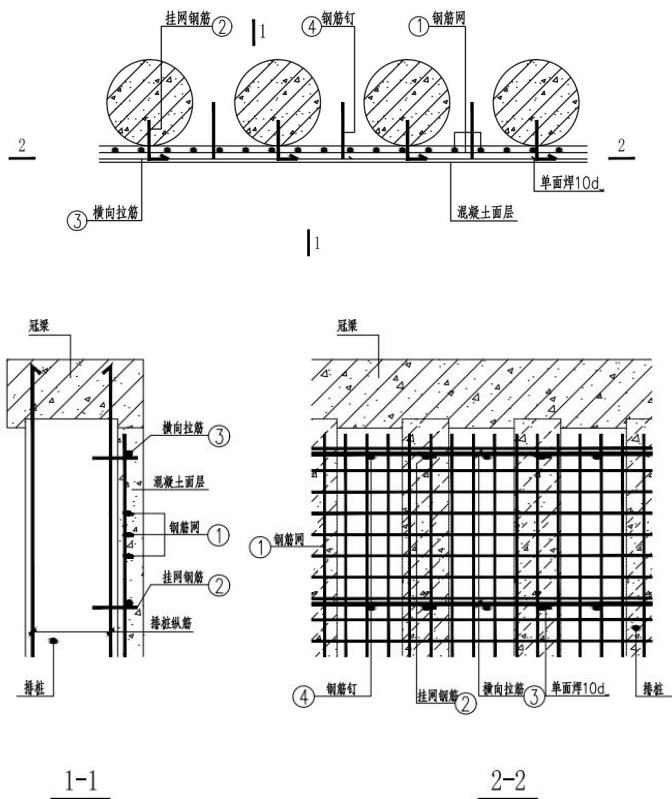
7.3.4 采用桩墙合一时，内侧现浇地下结构外墙厚度不应小于 300mm，迎水面保护层厚度不应小于 50mm。防水做法应符合《建筑与市政工程防水通用规范》GB55030 的规定。

7.3.5 采用桩墙合一时，灌注桩排桩的桩间土防护应采用内置钢筋网或钢丝网的喷射混凝土面层，并应符合下列规定：

1 喷射混凝土面层的厚度不宜小于 50mm,混凝土强度等级不宜低于 C20,混凝土面层内配置的钢筋网纵横向间距不宜大于 200mm;

2 钢筋网或钢丝网宜采用挂网钢筋与桩体连接，挂网钢筋直径不宜小于 14mm,挂网钢筋可采用预埋插筋或植筋；

3 喷射混凝土面层直接作为外模时，平整度允许偏差宜为 5mm。



7.3.5 灌注桩排桩桩间土连续防护构造

II 施工

7.3.6 灌注桩排桩施工前应通过试成孔确定成孔机械、施工工艺、孔壁稳定的技术参数，试成孔数量不宜少于 2 个。

7.3.7 灌注桩排桩成孔机械应保证垂直度，桩墙合一的灌注桩排桩，宜采用成孔质量易于控制的设备，孔底沉渣厚度不宜大于 100mm。

7.3.8 灌注桩排桩采用泥浆护壁成孔时，桩身范围内存在松散的粉土、砂土、软土等易坍塌或流动的软弱土层时，宜采取下列措施：

- 1 采用膨润土造浆，提高泥浆黏度；
- 2 先施工隔水帷幕，后施工围护排桩；
- 3 在围护桩位置宜采取预加固措施。

7.3.9 灌注桩排桩钢筋笼吊筋长度应根据地坪标高和设计桩顶标高计算确定，并固定牢靠。

III 检测与验收

7.3.10 当灌注桩排桩作为临时围护结构时，其施工和质量检测应符合下列规定：

1 灌注桩成孔结束后，灌注混凝土之前，应对每根桩的成孔中心位置、孔深、孔径、垂直度、孔底沉渣厚度进行检测；

2 桩身混凝土抗压强度试块，每 50m³混凝土不应少于 1 组，且每根桩不应少于 1 组，每台班不应少于 1 组；

3 桩身完整性宜采用低应变动测法检测。低应变动测检测桩数不宜少于总桩数的 20%，且不得少于 5 根。当判定的桩身质量存在问题时，应采用钻孔取芯方法进一步验证桩身完整性及混凝土强度。

7.3.11 桩墙合一灌注桩排桩的质量检测除符合本标准第 4.3.13 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 应采用低应变动测法检测桩身完整性，检测比例应为 100%；应采用声波透射法检测桩身混凝土质量，检测的围护桩数量不应低于总桩数的 10%，且不应少于 5 根；

2 当根据声波透射法判定的桩身质量不合格时，应采用钻孔取芯方法进一步验证桩身完整性及混凝土强度，钻孔取芯完成后应对芯孔进行注浆填充密实；

3 当对排桩的竖向承载力有要求时，宜对其进行静载荷试验检测，比例不宜低于 1%，且不应少于 3 根；

4 挂网喷浆喷射混凝土试块数量每 300m²取一组，每组试块不应

少于 3 块；喷射混凝土厚度可通过凿孔检查。

7.3.12 排桩应按现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 等有关施工规定进行施工及检测，灌注桩排桩质量检验标准应符合表 7.3.12 的规定。

表 7.3.12 灌注桩排桩质量检验标准

项	序	检查项目		允许值或允许偏差		检查方法
				单位	数值	
主控项目	1	孔深		不小于设计值		测钻杆长度或用测绳
	2	桩身完整性		设计要求		灌注桩排桩应采用低应变法检测桩身完整性，检测桩数不宜少于总桩数的 20%，且不得少于 5 根。采用桩墙合一时，低应变法检测桩身完整性的检测数量应为总桩数的 100%；采用声波透射法检测的灌注桩排桩数量不应低于总桩数的 10%，且不应少于 3 根。当根据低应变法或声波透射法判定的桩身完整性为Ⅲ类、Ⅳ类时，应采用钻芯法进行验证
	3	混凝土强度		不小于设计值		28d 试块强度或钻芯法
	4	嵌岩深度		不小于设计值		取岩样或超前钻孔取样
	5	钢筋笼主筋间距		mm	±10	用钢尺量
一般项目	1	垂直度		$\leq 1/100$ ($\leq 1/200$)		测钻杆，用超声波或井径仪测量
	2	孔径		不小于设计值		测钻头直径
	3	桩位		mm	≤ 50	开挖前量护筒，开挖后量桩中心
	4	钢筋笼质量	长度	mm	±100	用钢尺量
		钢筋连接质量		设计要求		实验室试验
		箍筋间距		mm	±20	用钢尺量
		笼直径		mm	±10	用钢尺量
	5	沉渣厚度		mm	≤ 200	用沉渣仪或重锤测
	6	混凝土坍落度		mm	180~220	坍落度仪
	7	钢筋笼安装深度		mm	±100	用钢尺量
	8	混凝土充盈系数		≥ 1.0		实际灌注量与理论灌注量的比
	9	桩顶标高		mm	±50	水准测量，需扣除桩顶浮浆层及劣质桩体

7.4 咬合桩

I 设计

7.4.1 咬合桩平面布置可采用有筋桩和无筋桩、有筋桩和有筋桩搭配两种形式。

7.4.2 有筋桩混凝土设计强度等级不应低于 C25,无筋桩应采用设计强度等级不低于 C20 的混凝土。桩墙合一的咬合桩混凝土强度设计等级不宜低于 C30, 承受竖向荷载时咬合桩宜进行桩端后注浆。受力钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 50mm。

7.4.3 咬合桩垂直度允许偏差应为 1/300;相邻桩咬合宽度不宜小于 150mm,考虑施工偏差后的桩底最小咬合量不应小于 50mm。

7.4.4 咬合桩宜折算为等厚度墙体进行内力和变形计算, 并应符合下列规定:

1 抗弯刚度计算时宜仅考虑有筋桩;

2 内力验算应包括围护桩自身弯矩、剪力, 有筋桩与无筋桩密排组合形式尚应验算咬合面局部受剪承载力。

7.4.5 采用桩墙合一的设计时, 应符合本标准第 7.3 节的有关规定。

II 施工

7.4.6 施工前应通过试成孔确定施工设备、工艺参数、成孔时间、取土面高度和混凝土的凝结时间。试成孔数量应根据工程规模和施工场地地层特点确定, 且不应少于 1 组。

7.4.7 咬合桩施工可采用硬切割或软切割的施工方法, 宜根据桩长、周边环境条件、工程地质条件和水文地质条件确定。

7.4.8 咬合桩施工前, 应在桩顶上部沿咬合桩两侧先行施工导墙。导墙应按照承载力及稳定性的要求采用现浇钢筋混凝土结构。

7.4.9 用于咬合桩成孔的钢套管在使用前, 应对其顺直度进行检查和校正, 整根套管的顺直度允许偏差应小于 1/500。

7.4.10 钢筋笼应整体制作, 钢筋笼上预留的插筋、接驳器应符合安

装精度要求。

7.4.11 钢筋笼吊放时应采取限位措施，矩形钢筋笼或有预埋件的钢筋笼转角允许误差应为 5° 。

7.4.12 混凝土浇筑应及时拔套管，起拔量不应超过 100mm,保持混凝土高出套管底端 2.5m。混凝土浇筑过程中，套管应来回转动。

III 检测与验收

7.4.13 桩墙合一咬合桩的桩身完整性检测应采用声波透射法，检测数量不应低于总桩数的 10%，且不应少于 5 根；当根据声波透射法判定的桩身质量不合格时，应采取钻孔取芯方法进一步验证桩身完整性及混凝土强度。

7.4.14 除应符合本节规定外，咬合桩的设计、施工与检测尚应符合现行行业标准《咬合式排桩技术标准》JGJ/T396 的相关规定。

8 立柱（桩）

8.1 一般规定

8.1.1 逆作法基坑工程竖向支承结构包括立柱和立柱桩。

8.1.2 立柱截面及型式应综合考虑主体建筑的使用功能需求、结构布置、上下同步逆作法的建设要求以及不同工况承受荷载等因素。

8.1.3 当立柱和立柱桩结合地下结构柱或墙和工程桩布置时，立柱和立柱桩的定位应与主体地下结构的柱或墙及其工程桩的定位一致，并应满足主体结构对其承载力和构造的要求。

8.1.4 立柱（桩）宜采用一根结构柱位置布置一根立柱桩的型式，当一根立柱桩无法满足逆作法施工阶段的承载力与沉降变形要求时，也可采用一根结构柱位置周围布置多根临时立柱桩的型式，其连接构造尚应满足永久使用阶段设计要求。

8.1.5 根据逆作阶段承受的竖向荷载与主体结构的设计要求，支承立柱可采用钢筋混凝土立柱、钢管混凝土立柱、型钢组合立柱等型式。其截面尺寸应根据计算确定，型钢组合立柱的截面宽度不宜小于 420mm；钢管混凝土立柱的钢管直径不宜小于 500mm；立柱长细比不应大于 25。

8.2 设计

8.2.1 立柱在基坑开挖阶段承受的竖向设计荷载包括地下结构自重、同时施工的上部结构自重、结构板梁上的临时施工荷载等。

8.2.2 立柱应按偏心受压构件进行承载力计算和稳定性验算，立柱桩应进行单桩竖向承载力计算与沉降验算。立柱与立柱桩的设计计算应符合国家现行结构设计标准的规定。

8.2.3 立柱与水平结构构件连接节点应根据计算设置抗剪钢筋、栓钉或钢牛腿等有效且便于施工的抗剪措施。

8.2.4 当立柱需二次外包混凝土形成主体结构永久框架柱时，立柱

的型式与截面设计应与地下结构梁、板和柱的截面相协调，并应采取构造措施以保证结构整体受力与节点连接构造的可靠性。框架柱位置处的立柱宜在地下结构底板混凝土浇筑完成后，逐层在立柱外侧浇筑混凝土形成地下结构的永久框架柱，临时立柱在永久框架柱完成并达到设计强度要求后方可拆除。

8.2.5 钢筋混凝土立柱钢筋配置及插入立柱桩的长度应根据现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T50010 计算确定，且不应小于 2.0m；钢管混凝土立柱、型钢组合立柱设计与构造应满足现行《组合结构通用规范》GB55004 规定，钢管外的混凝土保护层厚度不应小于 100mm，型钢外的钢筋混凝土厚度不应小于 150mm。立柱在穿越基础底板位置应设置可靠的截水措施。

8.2.6 在主体结构基础底板施工之前，相邻立柱（桩）间以及立柱（桩）与基坑围护墙之间的差异沉降不宜大于 $1/400$ 柱距，且不宜大于 20mm。

8.2.7 立柱桩应采用钢筋混凝土灌注桩，其桩端应采用后注浆措施。

8.3 施 工

8.3.1 立柱桩的施工应符合《建筑桩基技术规范》JGJ94 的相关要求。立柱桩与钢管立柱或型钢组合立柱的等径或异径连接应便于施工与质量控制。

8.3.2 立柱桩成孔工艺应结合场地土（岩）层及地下水分布，通过试打确定。为保证其承载力及沉降变形满足设计要求，应采取减少构件拼接时间和接头数量、适配泥浆比重、加强沉渣处理、桩端后注浆等有效措施严格控制沉渣厚度。

8.3.3 型钢组合立柱、钢管立柱制作宜采用工厂制作，其连接质量应满足设计要求。构件拼接尺寸应根据施工现场存放、吊装与焊接质量要求相适应。

8.3.4 钢管混凝土立柱、型钢组合立柱与立柱桩钢筋笼的施工连接与吊装入孔应辅以定桩和送桩装置，严格控制其定位、垂直度和转

角，确保其平面允许偏差同时满足上部立柱定位要求。施工现场应根据所编制专项方案先行试吊。

8.3.5 钢管混凝土立柱施工应符合下列要求：

- 1 钢管混凝土立柱内的混凝土应与立柱桩的混凝土连续浇筑完成；
- 2 钢管混凝土立柱内的混凝土宜与立柱桩的混凝土采用相同强度等级；
- 3 钢管混凝土立柱外部混凝土的上升高度应满足立柱桩混凝土泛浆高度要求。

8.3.6 型钢组合混凝土立柱施工应符合下列要求：

- 1 型钢组合立柱外部混凝土的上升高度应满足立柱桩混凝土泛浆高度；
- 2 型钢组合立柱在立柱桩泛浆高度以上至地面范围内应以碎石填灌并辅以注浆。

8.3.7 立柱外包混凝土结构浇筑前，立柱表面应清理干净。柱顶梁底混凝土应浇筑密实。

8.4 检测与验收

8.4.1 立柱和立柱桩的施工质量检测应符合下列要求，并满足表 8.4.1 的规定：

- 1 立柱桩成孔垂直度不应大于 1/150，立柱范围内的成孔垂直度不应大于 1/200，立柱桩成孔垂直度应全数检查；
- 2 立柱和立柱桩定位偏差不应大于 10mm；
- 3 立柱的垂直度应满足设计要求，且不宜大于 1/300；
- 4 立柱与立柱桩可采用超声波透射法检测桩身完整性，桩身完整性应全数检测。

表 8.4.1 立柱与立柱桩的质量检验标准

项	序	检查项目	允许偏差		检查方法
			单位	数值	

主控 项目	1	立柱桩柱定位	mm	≤ 10	用钢尺量
	2	立柱的垂直度	$\leq 1/300$		经纬仪测量或线锤测量
一般 项目	1	立柱桩成孔垂直度	$\leq 1/200$		用超声波或井径仪测
	2	立柱插入立柱桩的长度	mm	± 50	用钢尺量

8.4.2 钢管混凝土立柱在基坑开挖后应采用敲击法检测立柱质量，检测数量不应少于 20%。必要时可采用声波透射法或钻孔取芯方法对立柱质量作进一步检测。

9 永临结合水平支撑体系

9.1 一般规定

9.1.1 永临结合水平支撑体系宜采用梁板结构以增加平面刚度。

9.1.2 永临结合水平支撑体系的梁板结构，其截面尺寸与布置应满足建筑使用功能、设备安装和局部连续施工条件的要求。

9.1.3 逆作法中永临结合水平支撑结构的分析、设计及构造应同时满足基坑逆作法施工阶段和主体结构使用阶段的要求。其耐久性和相关防水、防腐等要求尚应满足现行有关标准的规定。

9.1.4 对于坡道、楼梯间、设备间（井）、临时取土口等特殊不宜采用永临结合进行逆作法施工的部位，应布置临时支撑以确保基坑工程阶段的安全和后续施工的便利。

9.2 设计

9.2.1 基坑逆作法施工阶段的水平支撑体系，可采用简化方法或有限元整体分析方法进行计算。利用永久地下结构水平构件兼作为水平支撑、施工平台或栈桥时，其构件的承载力和变形应同时按水平向和竖向受荷状态进行计算，并应同时满足基坑逆作法实施工况和主体结构永久使用阶段的包络设计要求。

9.2.2 永临结合水平支撑结构在设计计算时，应考虑由立柱桩之间及立柱桩与基坑外围护之间的差异变形引起的结构次应力，并应采取防止有害裂缝产生的技术措施。

9.2.3 永临结合水平支撑体系设计应符合下列规定：

- 1 作为支撑的地下结构水平构件应通过计算确定水平刚度；
- 2 对地下结构的同层楼板面存在高差的部位，应验算该部位构件的弯、剪、扭承载能力，必要时应设置可靠的水平转换结构或临时支撑等措施；对于坡道位置应进行整体计算，并应增设临时支撑；
- 3 对结构楼板的洞口（楼梯、管井）、车（坡）道开口部位及取

土口，当洞口两侧的梁板不能满足水平传力要求时，应在缺少结构楼板处设置临时支撑措施；

4 在各层结构留设结构分缝或基坑施工期间不能封闭的后浇带位置，应通过计算设置临时水平传力构件。

9.2.4 对于永临结合的框架梁可采用宽扁梁，当受到使用功能限制框架梁截面宽度不能满足要求时，可在梁柱节点位置采用梁端沿宽度方向加腋、设置环梁、钢环板、柱帽或双梁等措施。

9.2.5 永临结合水平支撑体系在施工期间的预留孔洞应符合下列规定：

1 同层楼板上需根据施工运输的要求设置多个孔洞时，孔洞的数量和位置不得影响地下结构作为水平支撑的受力和变形的要求；

2 对地下结构楼板上的垂直施工运输临时预留孔洞，应验算水平力和施工荷载作用下孔洞周边构件的承载力和变形，并应采取加强措施；

3 对基坑工程施工后需要封闭的临时孔洞，应预先在洞口周边设置钢筋或抗剪预埋件等结构连接措施；对有防水要求的洞口应设置膨胀止水条、刚性止水板或预埋注浆管等止水构造措施。

9.2.6 对于人防结构、水池结构等需要一次性浇筑施工的结构，应沿竖向和平面合理布设水平支撑和临时立柱，合理让出需后期一次性浇筑完成的相应竖向与水平结构。

9.3 施 工

9.3.1 水平结构与周边围护墙之间，应根据施工期间的水平传力要求以及主体结构永久使用阶段的结构受力要求，设置可靠的连接措施。

9.3.2 结构水平构件与竖向结构连接部位，应按设计和施工要求预留柱、墙竖向连接钢筋；竖向连接钢筋应采取技术措施进行保护。

9.3.3 结构水平构件与两墙合一地下连续墙连接部位的钢筋、接驳器等预埋件，应按设计和施工要求进行连接，应在界面处理完善后方可进行混凝土浇筑施工。（详附录节点）

9.3.4 结构水平构件与作为竖向支承结构的立柱的连接应符合支护与主体结构设计与构造要求。

9.3.5 应在结构水平构件与竖向结构连接部位留设满足混凝土浇筑下料和振捣要求的下层柱、墙混凝土浇筑孔。

9.3.6 宜在结构水平构件或竖向结构中预埋施工照明管线，施工照明管线宜与永久照明管线布设相结合。

9.4 检测与验收

9.4.1 结构水平构件施工工况应与设计工况相一致，施工质量检测还应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的要求。

9.4.2 后期结构浇筑的梁柱接头和墙梁接头应采用超灌法、注浆法或灌浆法等接缝处理措施确保水平混凝土浇筑质量。

9.4.3 采用超灌法时，竖向结构混凝土宜采用高流态低收缩混凝土，也可采用自密实混凝土。浇筑混凝土液面应高出接缝标高不小于 300mm。

9.4.4 采用注浆法时，待后期竖向结构施工完成后，采用注浆料通过预先设置的通道对水平接缝进行处理，注浆料宜采用高流态低收缩材料，强度高于原结构一个等级。注浆宜选用下列方式：

1 在接缝部位预埋专用注浆管，混凝土初凝后，通过专用注浆管注浆；

2 在接缝部位预埋发泡聚乙烯接缝棒，混凝土强度达到设计要求后用稀释剂溶解接缝棒，形成注浆管道进行注浆；

3 混凝土强度达到设计要求后，在接缝部位用钻头引洞，安装有单向功能的注浆针头，进行定点注浆。。

9.4.5 采用灌浆法时，水平接缝处应预留不小于 50mm 的间距，采用高于原结构混凝土强度等级的灌浆料填充。采用的模板应密封严密，与上下结构搭接 100mm 以上，灌浆口应与出浆口对应布置，并应沿灌浆方向单向施工。

10 防水工程

10.1 一般规定

10.1.1 逆作法工程防水设计工作年限不应低于工程结构设计工作年限。

10.1.2 逆作法地下工程防水类别、工程防水环境类别、工程防水等级等应符合《建筑与市政工程防水通用规范》GB55030 的规定。

10.1.3 工程使用的防水材料应满足耐久性要求，卷材防水层应满足接缝剥离强度和搭接缝不透水性要求。

10.1.4 工程防水应进行专项防水设计。

10.1.5 防水材料的耐久性应与工程防水设计工作年限相适应。

10.1.6 防水材料选用应符合下列规定：

- 1 材料性能应与工程使用环境条件相适应；
- 2 每道防水层厚度应满足防水设防的最小厚度要求；
- 3 防水材料影响环境的物质和有害物质限量应满足要求。

10.1.7 外露使用防水材料的燃烧性能等级不应低于 B2 级。

10.1.8 地下工程迎水面主体结构应采用防水混凝土，并应符合下列规定：

- 1 防水混凝土应满足抗渗等级要求；
- 2 防水混凝土结构厚度不应小于 250mm；
- 3 防水混凝土的裂缝宽度不应大于结构允许限值，并不应贯通；
- 4 寒冷地区抗冻设防段防水混凝土抗渗等级不应低于 P10。

10.1.9 受中等及以上腐蚀性介质作用的地下工程应符合下列规定：

- 1 防水混凝土强度等级不应低于 C35；
- 2 防水混凝土设计抗渗等级不应低于 P8；
- 3 迎水面主体结构应采用耐侵蚀性防水混凝土，外设防水层应满足耐腐蚀要求。

10.1.10 防水节点构造设计应符合下列规定：

- 1 附加防水层采用防水涂料时，应设置胎体增强材料；
- 2 结构变形缝设置的橡胶止水带应满足结构允许的最大变形量；
- 3 穿墙管设置防水套管时，防水套管与穿墙管之间应密封。

10.1.11 排水设施应具备汇集、流径、排放等功能。地下工程集水坑和排水沟应做防水处理，排水沟的纵向坡度不应小于 0.2%。

10.2 设 计

10.2.1 地下工程现浇混凝土结构防水做法应符合下列规定：

1 主体结构防水做法应符合表 10.2.1 的规定。

表 10.2.1 主体结构防水做法

防水等级	防水做法	防水混凝土	外设防水层		
			防水卷材	防水涂料	水泥基防水材料
一级	不应少于 3 道	为 1 道，应选	不少于 2 道； 防水卷材或防水涂料不应少于 1 道		
二级	不应少于 2 道	为 1 道，应选	不少于 1 道； 任选		
三级	不应少于 1 道	为 1 道，应选	—		

注：水泥基防水材料指防水砂浆、外涂型水泥基渗透结晶防水材料。

2 叠合式结构的侧墙等工程部位，外设防水层应采用水泥基防水材料。

10.2.2 明挖法地下工程防水混凝土的最低抗渗等级应符合表 10.2.2 的规定。

表 10.2.2 明挖法地下工程防水混凝土最低抗渗等级

防水等级	市政工程现浇混凝土结构	建筑工程现浇混凝土结构	装配式衬砌
一级	P8	P8	P10
二级	P6	P8	P10
三级	P6	P6	P8

10.2.3 明挖法地下工程结构接缝的防水设防措施应符合表 10.2.3 的规定。

表 4.2.4 明挖法地下工程结构接缝的防水设防措施

施工缝				变形缝				后浇带				诱导缝					
混凝土界面处理剂或外涂型水泥基渗透结晶型防水材料	预埋注浆管	遇水膨胀止水条或止水胶	中埋式止水带	外贴式中孔型橡胶止水带	外贴式中孔型止水带	可卸式止水带	密封嵌缝材料	外贴防水卷材或外涂防水涂料	补偿收缩混凝土	预埋注浆管	中埋式止水带	遇水膨胀止水条或止水胶	外贴式止水带	中埋式中孔型橡胶止水带	密封嵌缝材料	外贴式止水带	外贴防水卷材或外涂防水涂料
不应少于 2 种				应选	不应少于 2 种				应选	不应少于 1 种				应选	不应少于 1 种		

10.2.4 基底至结构底板以上 500mm 范围及结构顶板以上不小于 500mm 范围的回填层压实系数不应小于 0.94。

10.2.5 民用建筑地下室顶板防水设计应符合下列规定：

- 1 应将覆土中积水排至周边土体或建筑排水系统；
- 2 与地上建筑相邻的部位应设置泛水，且高出覆土或场地不应小于 500mm。

10.3 施 工

10.3.1 防水施工前应依据设计文件编制防水专项施工方案。

10.3.2 雨天、雪天或五级及以上大风环境下，不应进行露天防水施工。

10.3.3 防水材料及配套辅助材料进场时应提供产品合格证、质量检验报告、使用说明书、进场复验报告。防水卷材进场复验报告应包含无处理时卷材接缝剥离强度和搭接缝不透水性检测结果。

10.3.4 防水施工前应确认基层已验收合格，基层质量应符合防水材料施工要求

10.3.5 铺贴防水卷材或涂刷防水涂料的阴阳角部位应做成圆弧状或进行倒角处理。

10.3.6 防水混凝土施工应符合下列规定：

- 1 运输与浇筑过程中严禁加水；
- 2 应及时进行保湿养护，养护期不应少于 14d；
- 3 后浇带部位的混凝土施工前，交界面应做糙面处理，并除积水和杂物。

10.3.7 防水卷材施工应符合下列规定：

- 1 主体结构侧墙和顶板上的防水卷材应满粘，侧墙防水卷材不应竖向倒槎搭接。
- 2 支护结构铺贴防水卷材施工，应采取防止卷材下滑、脱落的措施；防水卷材大面不应采用钉钉固定；卷材搭接应密实。
- 3 当铺贴预铺反粘类防水卷材时，自粘胶层应朝向待浇筑混凝土；防粘隔离膜应在混凝土浇筑前撕除。

10.3.8 应在防水层验收合格后进行下一道工序的施工。防水层施工完成后，应采取成品保护措施。

10.3.9 中埋式止水带施工应符合下列规定：

- 1 钢板止水带采用焊接连接时应满焊；
- 2 橡胶止水带应采用热硫化连接，连接接头不应设在结构转

角部位，转角部位应呈圆弧状；

3 自粘丁基橡胶钢板止水带自粘搭接长度不应小于 80mm,当采用机械固定搭接时，搭接长度不应小于 50mm；

4 钢边橡胶止水带铆接时，铆接部位应采用自粘胶带密封。

10.3.10 防水层施工应采取绿色施工措施，并应符合下列规定：

1 基层清理应采取控制扬尘的措施；

2 基层处理剂和胶粘剂应选用环保型材料；

3 液态防水涂料和粉末状涂料应采用封闭容器存放，余料应及时回收；

4 当防水卷材采用热熔法施工时，应控制燃料泄漏，高温或封闭环境施工，应采取措施加强通风；

5 当防水涂料采用热熔法施工时，应采取控制烟雾措施；

6 当防水涂料采用喷涂施工时，应采取防止污染的措施；

7 防水工程施工应配备相应的防护用品。

10.3.11 地下连续墙墙幅接缝渗漏应采取注浆、嵌填等措施进行止水处理。

10.3.12 桩头应涂刷外涂型水泥基渗透结晶型防水材料，涂刷层与大面防水层的搭接宽度不应小于 300mm。防水层应在桩头根部进行密封处理。

10.3.13 有防水要求的地下结构墙体应采用穿墙防水对拉螺杆栓套具。

10.4 验 收

10.4.1 防水工程施工完成后应按规定程序和组织方式进行质量验收。

10.4.2 防水工程质量检验合格判定标准应符合表 10.4.2 的规定。

表 6.0.3 防水工程质量检验合格判定标准

工程类型		工程防水类别		
		甲类	乙类	丙类
建筑工程	地下工程	不应有渗水，结构背水面无湿渍	不应有滴漏、线漏，结构背水面可有零星分布的湿渍	不应有线流、漏泥砂，结构背水面可有少量湿渍、流挂或滴漏
市政工程	地下工程	不应有渗水，结构背水面无湿渍	不应有线漏、线漏，结构背水面可有零星分布的湿渍和流挂	不应有线流、漏泥砂，结构背水面可有少量湿渍、流挂或滴漏

10.4.3 有降水要求的地下工程应在停止降水三个月后进行防水工程质量检验；无降水要求的暗挖法地下工程应在二次衬砌结构完成后进行防水工程质量检验。

11 土方挖运

11.1 一般规定

11.1.1 逆作法基坑工程土方挖运施工方案作为基坑工程专项施工方案的重要组成部分，应根据岩土工程与水文地质条件、周边环境保护要求、场地条件、基坑平面尺寸、开挖深度、结构梁板平面布置、支护结构形式、施工方法、降排水要求、周边环境、施工工期及气候条件、工程经济等因素综合制定，临水基坑尚应考虑水位等因素。

11.1.2 逆作法基坑工程土方挖运专项施工方案应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 取土口留设位置及逆作施工平台层的加固区域；
- 3 土方的分层分段范围和开挖方法；
- 4 运土车辆、机械的行走路线；
- 5 土方挖运与逆作法结构施工及养护的时间要求；
- 6 支护结构的成品保护措施；
- 7 挖运机械与劳动力配备；
- 8 卸土场地及土方外运条件；
- 9 质量、安全、文明与环境保护措施；
- 10 基坑监测与应急预案。

11.1.3 对于基坑工程施工场地存在的地上或地下管线及设施，建设单位应事先取得相关管理部门或单位的同意，在施工中采取拆改、移迁或保护措施。

11.1.4 基坑工程施工前，建设单位应组织对施工场地及其周边可能发生的危及安全的地质灾害情况，进行危险性评估，制定并采取处理措施消除影响。

11.1.5 在土方开挖过程中，如发现有文物、古墓、古迹遗址或古化石、爆炸物或危险化学品等，应妥善保护现场，并立刻报有关主管

部门处理后，方可继续进行开挖。

11.1.6 当地下水位高于开挖基底高程时，应采取有效降水措施，并在水位降至基底不小于 0.5m 时再开挖。

11.1.7 基坑开挖应在坡顶、坡面、坡脚设置截水墙、排水沟、引水槽等妥善的截排水措施。有效防止地表水、地下水对基坑造成的不利影响。

11.1.8 基坑周边施工材料、设施或车辆荷载严禁超过设计允许的地面荷载限值。基坑周边路面宜硬化处理，地面设置防渗排水措施。

11.1.9 基坑逆作区域的分层土方开挖条件应按照如下内容验收：

- 1 开挖下层土方时上层结构强度达到设计要求；
- 2 临时支护体系安装验收完毕；
- 3 相邻立柱（桩）之间、立柱（桩）与围护墙之间的差异沉降应控制在设计要求范围内；
- 4 地下通风及照明设施设置完备；
- 5 机械设备配备与逆作土方挖运条件相配套；
- 6 基坑疏干降水降至开挖面以下 0.5~1.0m，承压水降压至满挖面抗承压水突涌稳定性的要求；
- 7 上层逆作结构的下排架模板及垫层拆除完毕。

11.1.10 对于基坑工程施工场地存在的地上或地下管线及设施，建设单位应事先取得相关管理部门或单位的同意，在施工中采取拆改、移迁或保护措施。

11.2 取土路径

11.2.1 逆作法基坑工程取土路径应与施工现场出入口、场内道路、逆作区域车辆机械行走路径、取土口设置、土方水平与竖向分区分层挖运方式相适应。

11.2.2 施工现场出入口应与外部交通联系有效衔接，其数量尚应满足土方外运量与工期进度的要求。在施工现场出入口，应设置车辆清洗装置及场地。土方清运车辆应采取封闭措施，严禁沿途抛撒。

11.2.3 场内道路与逆作区域机械与车辆行走路径有效连接，逆作区域对应结构承载力应按照土方挖运条件的需求进行设计。

11.2.4 逆作区域地下结构楼板中宜设置一定数量的取土口，取土口的布置应符合以下要求：

1 取土口设置的数量、间距应根据土方开挖量、挖土工期、运输方式及基坑平面形状确定；

2 在软土地层的逆作法施工中，取土口间的水平净距不宜超过30m；

3 取土口平面尺寸应符合挖土机械和施工材料垂直运输的作业要求；

4 地下各层楼板与顶板洞口位置宜上下相对应；

5 取土口宜设置在各挖土分区的中部位置，且不宜紧贴基坑的围护结构；

6 取土口的布置应符合挖土分块流水的需要，每个流水分块应至少布置一个出土口；当底板土方采用抽条开挖时，应符合抽条开挖时的出土要求；

7 取土口位置应考虑场地内部交通畅通，并应与外部道路形成较好的连接。

11.2.5 取土口应采取下列构造措施：

1 取土口边缘应设置防护上翻梁，其截面尺寸可取200mm×300mm，并应涂有显著标识；

2 逆作施工平台层应设置集水明排措施，雨水及施工用外来水不应回灌至基坑内；

3 取土口四周宜设置挡水槛，宜设置避雨措施。

11.3 土方开挖

11.3.1 土方开挖按照设计要求的施工工况，根据土质条件、基坑形状及取土条件等因素，采用分区、分块的挖土方式，并及时形成支撑。

11.3.2 应综合考虑地下水平结构施工流水及设置结构施工缝的要

求合理划分各层开挖分块大小。开挖过程中，应定期观测开挖深度、标高和坑壁坡度，复核其是否符合设计要求。需要进行地下水控制的基坑，应随时监测水位标高。

11.3.3 土方开挖应充分利用机械化施工，应根据基坑土质条件、平面形状、开挖深度、挖土方法、施工进度、挖机作业空间的限制等因素，选择噪声小、效率高、废气排放少的挖土设备。

11.3.4 软土地层中大面积深基坑开挖宜采用盆式挖土，盆边土的留设形式应符合围护设计工况要求；盆边土宜采用抽条式挖土，抽条宽度应符合设计要求。

11.3.5 五类以上岩体地区土方采用控制爆破以后开挖时，爆破作业前应做好地下结构的防护。

11.3.6 逆作法基坑土方开挖尚应符合下列规定：

- 1 应根据边坡稳定性验算确定放坡开挖的坡度及坡高；
- 2 挖土时应对竖向支承柱采取保护措施，竖向支承柱两侧土方高差不应大于 1.5m；
- 3 土方开挖应符合基坑设计开挖工况，严禁超挖；
- 4 除垂吊模板外，应及时拆除并清理结构楼板的模板及支撑体系；
- 5 应严格保护降水井、预留插筋及监测元件等。

11.3.7 基底以上应预留不小于 300mm 厚土方采用人工清底，以确保基底原土层不被超挖与扰动。清底后应及时浇捣混凝土垫层。

11.3.8 逆作挖土取土口位置宜设置集土坑，集土坑不宜放置在基坑周边，集土坑深度不宜超过 1.5m。

11.3.9 基坑土方开挖时，可采取下列措施减少对环境的影响：

- 1 有环境保护要求侧的取土口与基坑边距离宜大于 1 倍取土口边长；
- 2 宜先开挖周边环境保护要求较低一侧的土方，再开挖环境保护要求较高一侧的土方；
- 3 应根据基坑的平面特点采用分块开挖的方法，分块大小和开挖顺序应根据基坑环境保护要求、场地条件、结构施工缝位置等因素

确定,并应结合分块开挖方法和顺序及时分块形成水平结构或垫层,缩短基坑无支撑暴露时间;

4 基坑与被保护对象之间的地表超载不得超过设计规定。

11.3.10 土方开挖过程中,应在坑内设置通风、换气、照明和用电设施设备。

11.4 土方运输

11.4.1 基坑工程逆作法土方运输包括水平及垂直运输。。

11.4.2 土方水平运输可采用挖土机翻运、水平传输带传输、推土机推土、小型装载机装运、翻斗车装运、卡车装运等方式。

11.4.3 在逆作施工平台层取土时,可选用长臂挖机、伸缩臂挖机、抓斗、升降机或传输带将土方垂直提升至地面层。当采用上下同步逆作法时,施工平台层上应为垂直取土机械留设足够的作业空间。

11.4.4 应在施工平台层明确各区域的施工荷载,并应采取隔断的方式进行平面布置,防止施工荷载超出设计要求。

11.4.5 利用下坑栈桥、坡道或垂直升降设备系统的方式进入坑内装运土方时,应符合下列规定:

1 下坑栈桥、坡道应综合考虑运输车辆的型号、载重、车辆爬坡能力等进行专项设计,下坑栈桥应有防滑和车辆缓冲平台;

2 应对支护结构、工程桩、降水井、监测点等设置防撞保护措施与警示标识;

3 垂直升降设备系统及车辆出入平台应进行专项设计,升降系统应通过相关安全部门的验收合格后方可使用。

11.5 土方回填

11.5.1 地下结构施工完成,结构外墙与基坑侧壁间肥槽应排除积水,清除虚土和建筑垃圾,及时回填;土方回填宜对称、均衡,回填面积较大的区域,应采取分层、分块(段)回填压实的方法。

11.5.2 基础外墙有防水要求的,应在外墙防水施工完毕且验收合格后方可回填,防水层外侧宜设置保护层。

11.5.3 基坑边坡或围护墙与基础外墙之间的土方回填，应与基础结构及基坑换撑施工工况保持一致，以回填作为基坑换撑的，应根据地下结构层数、设计工况分阶段进行土方回填，基坑设置混凝土或钢换撑带的，换撑带底部应采取保证回填密实的措施。

11.5.4 回填较深的基坑，土方回填应控制降落高度。

11.5.5 回填土料应符合设计要求，分层填土压实系数应满足设计要求。

11.5.6 土方回填前，应根据工程特点、土料性质、设计压实系数、施工条件等合理选择压实机具，并确定回填土料含水量控制范围、铺土厚度、压实遍数等施工参数。重要土方回填工程或采用新型压实机具的，应通过填土压实试验确定施工参数。

11.5.7 在建筑物转角、空间狭小等机械压实不能作业的区域，可采用人工压实的方法或者流态固化土、自密实回填土技术，流态固化土、自密实回填土材料应先期确定配比和物理力学技术指标。

12 地下水控制

12.1 一般规定

12.1.1 逆作法基坑工程的地下水控制应综合考虑下列因素：

1 地下水控制影响范围内的地下水类型、地下水位与动态规律、各含水层之间以及地下水与基坑周边相邻地表水体的水力联系性质；

2 各含水层的水文地质参数、与地下水控制相关的岩土体的物理力学参数；

3 基坑开挖深度、面积，周边建筑物与地下管线的情况和基坑支护结构形式；

4 逆作施工工况、地下结构的布置及土方挖运流程等。

12.1.2 基坑降水可采取排水、截水、隔水、降水以及降低承压水水压等综合措施；集水坑明排不得在可能发生管涌、流土等渗透变形的场地使用。截水帷幕应根据工程地质条件、水文地质条件及施工条件等，选用水泥土搅拌桩帷幕、地下连续墙或咬合式排桩。

12.1.3 降水方法应根据基坑规模、土层与含水层性质、施工工况进行选择。在渗透性较弱的黏性土、淤泥质土地层中宜选用轻型井点降水、喷射井点降水、真空管井降水等；在渗透性较强的砂土、粉土地层中可采用集水明排、管井降水等。

12.1.4 降水井应在基坑开挖前完成施工，并经检验合格，降排水系统试运行正常后，方可进行下一步施工。

12.1.5 逆作法基坑工程应进行预疏干降水，疏干降水的持续时间应考虑基坑面积、开挖深度及地质条件等因素，并结合逆作施工工况中逆作结构的稳定与变形要求综合确定；土方开挖前坑内地下水位应降至分层开挖面以下 0.5m~1.0m。

12.2 降水

12.2.1 地下水控制设计时宜采用数值分析方法预测逆作法基坑内外地下水位变化，并预测地下水控制对周边环境的影响。

基坑降水设计应与基坑支护体系设计统一考虑。基坑降水设计内容应包括以下内容：

- 1 降水井、观测井及回灌井的布置、井结构设计、截水帷幕设计、排水管线设计；
- 2 提出降水施工、运营、基坑安全监测要求；
- 3 对特殊复杂工程应进行专项研究设计；
- 4 降水时应计算总排水量及各降水井排水量；
- 5 对地下水资源、地面沉降有影响时，应将水质符合标准的地下水充分利用。

12.2.2 降水方法的适用范围可按表 12.2.2 选用。

表 12.2.2 降水方法的适用范围

名 称		适用地层	渗透系数 (m/d)	降低水位 (m)
集水坑明排				<2
井点 降水	喷射井点	填土、黏性土、粉土、粉砂	0.1~20.0	8~20
	真空井点	黏性土、粉土、粉砂、细砂	0.1~20.0	单级<6、 多级<20
管 井		粉土、砂类土、碎石土、 岩溶裂隙	>0.1	>5
引渗井		多层隔水层含水层相间分布 下部含水层的水位低于上部 含水层水位	0.1~20.0	将上层水引渗到 下层含水层

12.2.3 基坑内潜水地下水水位应降低至基坑底面下 0.5m~1.5m。黏性土取大值。井的布置应符合下列要求：

- 1 降水井平面位置应结合建筑底板梁柱布置，深度宜小于帷幕深度；
- 2 回灌井宜布置在基坑帷幕以外与需保护的建筑之间，且与降水井距离不宜小于 6m，深度宜小于帷幕深度，且应进入原静止水位 1m 以下；

3 观测孔的设置不宜与降水井、回灌井距离太近，应满足其孔内水位要有代表性的要求；

4 减压井可控制承压含水层水压，减压井宜布置于基坑中部。

12.2.4 真空井点降水的井间距宜取 0.8m~2.0m。当真空井点的井口至设计降水水位的深度大于 6m 时，可采用多级井点降水，多级井点上下级的高差宜取 4m~5m。真空井点出水能力可取 36m³/d~60m³/d；

12.2.5 喷射井点降水的井间距宜取 1.5m~3.0m。当喷射井点的井口至设计降水水位的深度大于 6m 时，可采用多级井点降水，多级井点上下级的高差宜取 4m~5m。喷射井点的出水能力可按表 12.2.5 取值。

表 12.2.5 喷射井点的出水能力

外管 直径 (mm)	喷射管		工作 水压力 (MPa)	工作水流量 (m ³ /d)	设计单井 出水流量 (m ³ / d)	适用含水层 渗透系数 (m/d)
	喷嘴 直径 (mm)	混合室 直径 (mm)				
38	7	14	0.6~0.8	112.8~163.2	100.8~138.2	0.1~5.0
68	7	14	0.6~0.8	110.4~148.8	103.2~138.2	0.1~5.0
100	10	20	0.6~0.8	230.4	259.2~388.8	5.0~10.0
162	19	40	0.6~0.8	720.0	600.0~720.0	10.0~20.0

12.2.6 管井设计单井出水量可根据抽水试验成果 Q - s 曲线确定，并按照过滤管允许进水流量及管井出水能力进行复核。

过滤管允许进水流量可按下式计算：

$$Q_g = \pi \cdot n \cdot v_g \cdot D_g \cdot l \tag{12.2.6-1}$$

式中： Q_g —— 过滤管允许进水流量（m³/s）；

n —— 过滤管进水面层有效孔隙率，宜按过滤管面层孔隙率的 50% 计算；

v_g —— 过滤管允许进水流速，宜取 0.03 m/s~ 0.08m/s；

D_g —— 过滤管外径（m）；

l ——过滤管有效进水长度，宜按过滤管长度的 85% 计算（m）。

管井的单井出水能力可下式估算：

$$q = 120 \cdot \pi \cdot r_s \cdot l \cdot \sqrt[3]{k} \tag{12.2.6-2}$$

式中： r_s ——过滤器半径（m）；
 k ——含水层渗透系数（m/d）。

12.2.7 井点布置应与先期地下结构的柱网布置协调，井位应避开工程桩、柱、结构梁、墙等构件，宜靠近支承柱且便于挖土机械作业。

管井井径应根据抽水目的层的岩性、厚度、埋深、富水性、水力性质、上覆地层特征及及钻进工艺确定，井径宜为 500mm~800mm。非填砾过滤管管井井径，应比设计过滤管面层外径大 50mm；填砾过滤管井径，应比设计过滤管面层外径大 150mm~300mm。

管井材质宜采用钢管，并应符合施工工艺、降水井保护与降水运行可靠性的要求。疏干降水管井钢管壁厚不宜小于 4mm，减压降水管井钢管壁厚不宜小于 6mm。

12.2.8 管井过滤器类型应按表 12.2.8 选用。

表 12.2.8 管井过滤器类型选择

含水层性质		过滤器类型
碎石土	$d_{20} < 2\text{mm}$	填砾过滤器，非填砾过滤器
	$d_{20} \geq 2\text{mm}$	非填砾过滤器
砂土	粗砂、中砂	缠丝过滤器、填砾过滤器
	细砂、粉砂	填砾过滤器、包网过滤器
具有裂隙、溶洞（其中有大量充填物）的基岩		骨架过滤器、缠丝过滤器或填砾过滤器

注：1 在基岩含水层中，当裂隙、溶洞（其中很少充填物）稳定时，可不设过滤器；

2 砂土类含水层采用包网过滤器宜根据具体情况确定。

12.2.9 基坑降水应采用截流或回灌等方式减少坑外水位降深，控制地面下沉。回灌水位控制不应高于原地下水位。

12.3 施工、运行维护与检测

12.3.1 逆作法基坑工程降水施工前应结合专项设计及施工方案做好试验性降水，对预测点及关键地点进行观测；通过布置观测井，观测周边及坑内水位变化，以便及时调整排水量或采取回灌等措施。

12.3.2 管井的施工与运行维护应符合下列要求：

1 管井的成孔施工工艺应适合地层特点，对不易塌孔、缩颈的地层宜采用清水钻进；钻孔深度宜大于降水井设计深度 0.3m~0.5m，成孔垂直度偏差不应大于 1/100；

2 采用泥浆护壁时，应控制泥浆比重（成孔施工中的泥浆比重不宜大于 1.15,井管安装阶段的泥浆比重不宜大于 1.10,填砾阶段的泥浆比重不宜大于 1.05），且应在钻进到孔底后清除孔底沉渣并立即置入井管、注入清水，投入滤料；遇塌孔时不得置入井管；

3 滤料厚度应按含水层的岩性确定，宜为 150mm~300mm，其中粉细砂含水层段宜为 150mm~200mm；滤料填充体积不应小于计算量的 95%，高度宜超过过滤管上端 1.0m；填充滤料后，应及时洗井，洗井应直至过滤器及滤料滤水畅通，并应抽水检验井的滤水效果；

4 井管外径不应小于 200mm,且应大于抽水泵体最大外径 50mm 以上，成孔孔径应大于井管外径 300mm 以上；井管安装应准确到位，不得损坏过滤结构；井管连接应确保井管不脱落或渗漏；井管外侧应安装扶正器，每两组扶正器最大间距不应大于 10m；

5 应采用空压机或活塞洗井至出水清澈，洗井后井管内沉淀物的厚度不应大于井深的 0.5%,出水稳定后含砂量体积比不应大于 1/20000；

6 抽水泵安装应稳固，泵轴应垂直；井内动水位应高于抽水泵进水口 2m；

7 达到设计降深时的管井出水量不应小于其设计流量，在同一水文地质单元内结构基本相同的管井出水量应相近。

12.3.3 真空井点和喷射井点的施工与运行维护应符合下列要求：

1 真空井点和喷射井点的成孔工艺可选用清水或泥浆钻进、高压水套管冲击工艺（钻孔法、冲孔法或射水法），对不易塌孔、缩颈的地层也可选用长螺旋钻机成孔；成孔深度宜大于降水井设计深度 0.5m~1.0m；

2 钻进到设计深度后，应注水冲洗钻孔、稀释孔内泥浆；滤料填充应密实均匀，滤料宜采用粒径为 0.4mm~0.6mm 的纯净中粗砂；

3 滤料柱顶面以上应用黏性土填实至孔口，封填黏土材料直径不应大于井管与孔壁之间间隙宽度的 1/3；

4 管井口应密封，并应分别设置与抽水泵排水管连接的排水孔和与真空泵排气管连接的排气孔，排水管与排气管均应设置单向阀。

5 成井后应及时洗孔，并应抽水检验井的滤水效果；抽水系统不应漏水、漏气；

6 抽水时的真空度应保持在 55kPa 以上，且抽水不应间断。应对开挖后暴露的井管、过滤器和填砾层进行封闭。

12.3.4 减压降水管井的施工与运行，除应符合本标准第 9.3.4 条外，尚应符合下列规定：

1 成井施工中应按设计要求实施封闭措施，回填黏土球或黏土的高度、体积不应小于设计值的 95%；

2 抽水井和备用井均应安装抽水泵，抽水泵的排水能力不应小于设计流量和扬程；

3 基坑内观测井水位应符合当前施工工况的设计安全水位要求。

12.3.5 回灌管井的施工与运行，除符合本标准第 12.3.2 条外，尚应符合下列规定：

1 滤料柱顶面以上应用黏土球封填，封填高度不应小于 5m，黏土球顶面以上应用混凝土或注浆封填至孔口；

2 回灌井施工结束至正式回灌应至少有 2 周~3 周的休止期;

3 回灌方式应根据回灌目的含水层的性质和回灌量确定; 自然回灌的水源压力宜为 0.1MPa~0.2MPa, 加压回灌压力宜为 0.2MPa~0.5MPa, 回灌压力不宜超过过滤器顶端以上的覆土重量;

4 回灌水量应根据回灌影响范围内水位观测井的水位变化进行动态调节。

12.3.6 坑内降水井井顶部宜设置在地下结构顶板底部以下。减压降水井顶部标高应高于目标承压含水层初始承压水位 0.5m~1.0m。土方开挖过程中降水井管不宜割除。

12.3.7 基坑开挖过程中, 应对降水井管进行保护。降水井管与各层楼板、支撑之间应有侧向固定措施。

12.3.8 地下水控制应实行全过程运行信息化管理。当基坑周边环境复杂或地下水控制运行风险较大时, 应设置地下水控制运行风险控制系统。

12.3.9 基坑内降水施工时, 可采取下列措施减少对环境的影响:

1 设置隔水帷幕减小降水对保护对象的影响;

2 采用悬挂帷幕时应结合抽水试验对降水的影响范围进行估算;

3 应采用能减小被保护对象下地下水位变化幅度的降水系统布置方式, 并应避免采用可能危害保护对象的降水施工方法;

4 可设置回灌水系统以保持保护对象周边的地下水位。

12.3.10 抽水系统在使用期的维护应符合下列要求:

1 降水期间应对井水位和抽水量进行监测, 当基坑出现渗水时, 应采取有效措施;

2 采用管井时, 应对井口采取防护措施, 井口宜高于地面 200mm 以上, 应防止物体坠入井内;

3 冬季负温环境下, 应对抽排水系统采取防冻措施。

12.3.11 抽水系统的使用期应满足主体结构的施工要求。当主体结构有抗浮要求时, 停止降水的时间应满足主体结构施工期的抗浮要求。

12.3.12 对基坑周边地表汇水、基底表面汇水, 可采用明沟及集水

井排水；对坑底以下渗出的地下水，可采用盲沟排水；当建、构筑物基础底板与支护结构间不能设置明沟时，基坑坡脚处也可采用盲沟排水。

12.3.13 沿排水沟宜每隔 20m~40m 设置一口集水井；集水井的净截面尺寸应根据排水流量确定，集水井应采取防渗措施。

12.3.14 回灌宜首选同层地下水回灌；当非同层回灌时，回灌水源的水质不应低于回灌目标含水层地下水的水质。

12.3.15 轻型井点及管井施工质量检测应符合下列规定：

1 成孔及成井过程中，应对成孔的孔径、孔深、泥浆相对密度进行检测，检测数量不应少于成孔总数的 50%；

2 成井过程中应检测滤料、止水材料的回填高度及数量、回填密实度，检测数量 100%；

3 成井结束后应检测管井的洗井效果、管内沉淀高度及出水含砂率，检测数量 100%；

4 抽水过程中应检测井点出水效果，井点有效数不应低于 90%，检测数量 100%。

12.3.16 地下水控制措施的检测除应符合本节规定外，尚应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工规范》GB51004、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202、《建筑与市政地下水控制技术规范》JGJ111 有关规定。

13 监测

13.1 一般规定

13.1.1 逆作法基坑工程自支护构件开始施工至基坑工程和降水结束全周期内，除施工单位自行施工监测和巡视检查外，建设单位应委托有资质第三方监测单位对基坑工程及周边环境安全进行有效监测和巡视检查。。

13.1.2 逆作法基坑监测工作开展前应具备下列资料：

- 1 基坑红线图、地形图及建筑总平面图等工程设计资料；
- 2 基坑工程岩土勘察资料；
- 3 基坑支护设计资料；
- 4 基坑工程影响范围内的市政道路、建(构)筑物、地下管线与设施等有关资料；
- 5 基坑工程专项施工方案；
- 6 其他相关资料。

13.1.3 逆作法基坑工程监测应按基坑工程的安全等级、相应的基坑周边环境保护要求和设计施工技术要求等条件编制专项监测方案。专项监测方案应包含下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 监测目的与编制依据；
- 3 建设场地工程地质和水文地质条件及基坑周边环境概况；
- 4 监测内容及项目；
- 5 基准点、监测点的布设与保护；
- 6 监测方法及精度；
- 7 监测周期和监测频率；
- 8 监测报警值及异常情况下的监测措施；
- 9 监测数据处理与信息反馈；
- 10 监测人员的配备；

11 监测仪器设备及检定要求；

12 作业安全及其他管理制度。

13.1.4 逆作法基坑工程应对支护结构、施工工况、基坑周边环境监测设施进行巡视检查。监测宜采用监控信息化管理，实现动态设计和信息化施工。

13.1.5 逆作法监测应符合国家现行标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB50497、《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 和《地下建筑工程逆作法技术规程》JGJ165 及《建筑基坑工程技术标准》DBJ04/T-306 的有关规定。

13.2 监测与巡视检查

13.2.1 逆作法基坑工程监测项目应根据基坑工程安全等级、场地土特点、基坑支护形式、施工工艺等因素综合确定。基坑支护体系的监测项目宜根据基坑工程安全等级参照表 13.2.1 选用。

表 13.2.1 逆作法基坑监测项目

监测项目	类别
支护体系巡察	应测
围护结构顶部水平、竖向位移	应测
围护体系裂缝巡察	应测
围护结构深层水平位移	应测
立柱竖向位移	应测
立柱内力	宜测（应测）
立柱桩内力	宜测

永临结合水平梁板内力		宜测
逆作结构构件裂缝巡察		应测
围护结构内力		宜测
围护结构侧向土压力		宜测
坑底隆起		宜测
地下水位		应测
土体分层竖向位移		宜测
周边地表竖向位移		应测
周边建筑	竖向位移	应测
	倾斜	应测
	水平位移	宜测
周边建筑裂缝、地表裂缝		应测
周边管线	竖向位移	应测
	水平位移	宜测
周边道路竖向位移		应测

注：当采用上下同步逆作法施工时，支承柱内力为应测项目。

13.2.2 围护结构水平位移和竖向位移监测点布置应符合下列规定：

1 围护结构顶部水平、竖向位移监测点宜为共用点，监测间距不宜大于 20m,关键部位宜加密，且每条边监测点不应少于 3 个，基坑

每边的中部、阳角处应布置测点；

2 围护结构计算受力和变形较大处宜布置监测点；

3 周边环境有重点保护对象处监测点应加密；

4 围护结构竖向位移测点与相邻支承柱竖向位移测点宜布置在同一断面上；

5 监测点布置尚应符合设计和施工要求。

13.2.3 立柱位移监测点布置应符合下列规定：

1 监测点宜布置在支承柱计算受力、变形较大的部位；

2 行车通道区域的支承柱宜布置测点；

3 监测点数量不应少于支承柱总数的 20%,且不应少于 5 根；

4 对于面积较大的取土口，沿取土口周边方向宜加密监测点；

5 布置测点时，宜确保有 2 个相互垂直的断面连续布置。

13.2.4 立柱内力监测点宜根据立柱的结构形式和受力计算布置，内力监测传感器应对称布置。

13.2.5 水平梁、板内力监测点布置应符合下列规定：

1 监测断面应选在梁、板中计算受力较大的部位；

2 行车通道的首层梁、板应适当加密监测点；

3 每处设置传感器不少于 2 个，呈正交布置；

4 对于梁的内力监测，应在各层楼板相对应的梁中分别选择几个截面埋设传感器，各截面的上下皮钢筋各布设一个传感器；取土口处的梁埋设传感器时，宜上下左右各布设一个。

13.2.6 坑底隆起（回弹）监测点布置宜根据基坑面积、取土口位置连续布置测点，形成 2 个相互垂直的断面。

13.2.7 监测频率应按照下列规定确定：

1 应符合最短观测时间间隔和快速预警的要求；

2 应能系统反映所测变形的变化过程；

3 应能在要求的观测时间间隔内反映变形速率的特征。

表 13.2.7 现场仪器监测频率

基坑工程安全等级	施工进度		监测频率
一级	开挖深度 h	$\leq H/3$	1 次/ (2~3) d
		$H/3 \sim 2H/3$	1 次/ (1~2) d
		$2H/3 \sim H$	(1~2) 次/d
	底板浇筑后时间 (d)	≤ 7	1 次/d
		7~14	1 次/3d
		14~28	1 次/5d
		>28	1 次/7d
二级	开挖深度 h	$\leq H/3$	1 次/3d
		$H/3 \sim 2H/3$	1 次/2d
		$2H/3 \sim H$	1 次/d
	底板浇筑后时间 (d)	≤ 7	1 次/2d
		7~14	1 次/3d
		14~28	1 次/7d
		>28	1 次/10d

注：1 h —基坑开挖深度； H —基坑设计深度；

2 支撑结构开始拆除到拆除完成后 3d 内监测频率加密为 1 次/d；

3 基坑工程施工至开挖前的监测频率视具体情况确定；

4 当基坑工程安全等级为三级时，检测频率可视具体情况适当降低；

5 宜测、选测项目的仪器监测频率可视具体情况适当降低。

13.2.8 监测项目的累计值 and 变化速率均应设置报警值。监测报警值应根据地层条件、设计计算、周边环境中被保护对象的变形控制要求及当地经验等因素确定。

当出现下列情况之一时，应进行报警：

1 监测数据累计值或变化速率达到报警值；

2 相邻竖向支承桩间以及竖向支承柱与临近基坑围护结构之间差异沉降达到报警值；

- 3 基坑支护结构或周边土体的位移值突然增大或基坑出现流沙、管涌、陷落或较严重的渗漏；
- 4 基坑支护结构的支撑体系出现过大的变形、压屈、断裂、松弛或拔出的迹象；
- 5 水平结构梁板或其他支撑构件出现较明显的受力裂缝；
- 6 周边建筑的结构部分、周边地面出现较严重的突发裂缝或危害结构的变形裂缝；
- 7 周边管线变形突然明显增长或出现裂缝、泄漏；
- 8 根据当地工程经验，出现其他应进行危险报警的情况。

表 13.2.8-1 基坑工程安全等级确定的预警值

序号	监测项目	支护类型	基坑工程安全等级					
			一级			二级		
			累计值		变化 速率 (mm/d)	累计值		变化 速率 (mm/d)
			绝对值 (m)	相对基坑 设计深度 H 控制值		绝对值 (m)	相对基坑 设计深度 H 控制值	
1	围护墙顶部水平位移	灌注桩, 地下连续墙	20~30	0.2%~ 0.3%	2~3	30~40	0.3%~ 0.5%	2~4
2	围护墙顶部竖向位移	灌注桩、地下连续墙	10~20	0.1%~ 0.2%	2~3	20~30	0.3%~ 0.5%	2~3
3	深层水平位移	灌注桩、地下连续墙	30~50	0.3%~ 0.4%	2~3	40~60	0.4%~ 0.6%	3~5
4	立柱竖向位移		20~30	—	2~3	20~30	—	2~3
5	墙表竖向位移		25~35	—	2~3	35~45	—	3~4
6	坑底隆起（回弹）		累计值（30~60）mm，变化速率（4~10）mm/d					
7	支撑轴力		最大值：（60%~80%） f_2 最小值：（80%~100%） f_y			最大值：（70%~80%） f_2 最小值：（80%~100%） f_y		
9	土压力		（60%~70%） f_1			（70%~80%） f_1		

10	孔隙水压力		
11	围护桩内力	(60%~70%) f_2	(70%~80%) f_2
12	立柱内力		

- 注：1 H——基坑设计深度； f_1 ——荷载设计值； f_2 ——构件承载能力设计值，锚杆为极限抗拔承载力； f_y ——钢支撑，锚杆预应力设计值。
- 2 累计值取绝对值和相对基坑设计深度 H 控制值两者的较小值。
- 3 当监测项目的变化速率达到表中规定值或连续 3 次超过该值的 70%应预警。
- 4 底板完成后，监测项目的位移变化速率不宜超过表中速率预警值的 70%。
- 5 表中数值按土质基坑及支护结构考虑，对于岩质基坑，应结合具体情况调整取值。

表 13.2.8-2 基坑工程周边环境监测预警值

监测对象 \ 项目				累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	备注
1	地下水位变化			1000~2000 (常年变幅以外)	500	
2	管线 位移	刚性 管道	压力	10~20	2	直接 观察点数据
			非压力	10~30	2	
		柔性管线		10~40	3~5	
3	临近建筑位移			小于建筑物地基 变形允许值	2~3	
4	临近道路 路基沉降	高速公路、 道路主干		10~30	3	
		一般城市道路		20~40	3	
5	裂缝宽度	建筑结构性 裂缝		1.5~3 (既有裂缝) 0.2~0.25 (新增裂缝)	持续发展	
		地表裂缝		10~15 (既有裂缝) 1~3 (新增裂缝)	持续发展	

注：1 建筑整体倾斜累计值达到 2/1000 或倾斜速度连续 3d 大于 0.0001H/d (H 为建筑承重结构高重) 时应预警。

2 建筑物地基变形允许值应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定取值。

13.3 信息采集与处理

13.3.1 应在基坑围护结构施工之前完成监控信息化管理系统的安装、调试工作，以确保监测工作正常运行。

13.3.2 监控信息化管理系统宜采集下列用于分析计算的基础资料：

1 设计相关资料：岩土工程勘察报告，设计图纸，邻近建筑物、地下构筑物、地下管线、道路、敏感设施等环境资料；

2 施工相关资料：施工组织设计，检测、监测方案，监理方案等。

13.3.3 监控信息化管理系统应具有监测数据人工或自动采集、传输，合理性判断与过滤，工况记录，围护结构、水平结构、立柱（桩）、周边环境安全状态计算分析和趋势预测，安全预报警，显示，发布，报表输出，查询，现场巡检管理，工程资料管理的功能。

13.3.4 监控信息化管理系统运行应符合下列规定：

- 1 每次人工监测完成后应及时将监测数据上传至监控信息化管理系统；
- 2 所有监测数据必须完整、有效，不得出现阶段性归零；
- 3 上传监测数据时，必须有相对应的工况信息。

14 施工安全管理

14.1 一般规定

14.1.1 逆作法基坑工程施工前应依据相关规范、规定，结合勘察设计文件、施工合同、施工组织设计编制专项施工方案。并经专家论证通过后方可实施。

14.1.2 对于逆作法基坑工程实施过程中涉及到的超过一定规模的危险性较大的分部分项工程，应按照相关规定编制专项施工方案，并经专家论证通过后方可实施。

14.1.3 逆作法基坑工程应重视全过程复核设计条件、设计工况，对于可能出现的工况、条件变化，须事前提交参建各方，设计单位应根据信息化施工过程及时动态调整设计。

14.1.4 参建各方应结合信息化监测成果，对基坑安全条件实时查验。

14.1.5 施工现场应做好降噪、减排、绿色低碳环保措施。

14.2 作业环境空间

14.2.1 逆作法基坑工程施工期间应重视作业环境的影响。应选择安全先进有效的施工工艺工法、机械。

14.2.2 对于在密闭、狭小空间进行土方开挖及逆作施工，须配备监测、通风排气、照明设施设备，现场应有紧急逃生通道且具有明显标识。

14.2.3 作业空间应合理布置人员、机械设备，并配有安全监督，做好安全避让与警示、疏导。

14.2.4 对于先期地下结构、降水设施、监测标志等应做好防撞警示标识等成品保护措施。

14.3 超危大工程

14.3.1 逆作法基坑工程施工过程中，对于设计深基坑、吊装、拆除等超过一定规模的危险性较大的分部分项工程应严格按照编制指南编制专项施工方案。

14.3.2 超危大工程专项施工方案应包括以下内容：

1 工程概况：危大工程概况和特点、施工平面布置、施工要求和技术保证条件；

2 编制依据：相关法律、法规、规范性文件、标准、规范及施工图设计文件、施工组织设计等；

3 施工计划：包括施工进度计划、材料与设备计划；

4 施工工艺技术：技术参数、工艺流程、施工方法、操作要求、检查要求等；

5 施工安全保证措施：组织保障措施、制度保障措施、安全技术措施、监测监控措施等；

6 施工管理及作业人员配备和分工：施工管理人员、专职安全生产管理人员、特种作业人员、其他作业人员等；

7 验收要求：验收标准、验收程序、验收内容、验收人员等；

8 应急处置措施；

9 计算书及相关施工图纸。

14.3.3 超危大专项施工方案应经总包单位审核通过后，报监理、建设单位批准上会论证。未经专家论证通过的专项施工方案不得进行施工。

14.3.4 参建各方应按照行政主管部门规定，对超危大工程进行验收。

14.4 风险分级管控与隐患排查

14.4.1 应按照《山西省建筑施工安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防体系建设指南》对逆作法基坑工程设计分部分项进行施工安全风险分级管控和隐患排查治理。

14.4.2 通过事前和事中防范双重预防，对危险源的风险进行分级管控和对隐患进行排查治理，预防安全生产事故发生。

14.4.3 施工中应采用双重预防机制对安全风险进行梳理、核查，明确职责划分，并备有安全应急预案和应急处置措施。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《工程结构通用规范》GB55001
《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002
《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003
《钢结构通用规范》GB55006
《混凝土结构通用规范》GB55008
《工程勘察通用规范》GB55017
《工程测量通用规范》GB55018
《建筑与市政工程防水通用规范》GB55030
《建筑与市政工程施工质量控制通用规范》GB55032
《建筑与市政施工现场安全卫生与职业健康通用规范》

GB55034

《建筑地基基础设计规范》GB50007
《建筑结构荷载规范》GB50009
《混凝土结构设计标准》GB/T 50010
《建筑抗震设计标准》GB/T 50011
《钢结构设计标准》GB50017
《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025
《工业建筑防腐蚀设计标准》GB50046
《地下工程防水技术规范》GB50108-2008
《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB502028
《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204
《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205
《混凝土结构工程施工规范》GB50666
《建筑变形测量规范》JGJ8
《钢筋焊接及验收规程》JGJ18
《建筑地基处理技术规范》JGJ79

《建筑桩基技术规范》 JGJ94
《建筑桩基检测技术规范》 JGJ106
《钢筋机械连接技术规程》 JGJ107
《建筑与市政工程地下水控制技术规范》 JGJ 111
《湿陷性黄土地区建筑基坑工程安全技术规程》 JGJ167
《建筑深基坑工程施工安全技术规范》 JGJ311-2013
《建筑工程逆作法技术标准》 JGJ432
《建筑基坑工程技术标准》 DBJ04/T306
《湿陷性黄土地勘察及地基处理技术规范》DBJ04/T312-2015
《地下连续墙技术标准》 DBJ04/T377
《建筑基坑降水工程技术标准》 DBJ04/T405

山西省工程建设地方标准

基坑工程逆作法技术标准

DBJ04/T 306—XXXX

条 文 说 明

编制说明

《基坑工程逆作法技术标准》DBJ04/T 306-XXXX，是根据山西省住房和城乡建设厅《2024 年工程建设地方标准制（修）订计划》（晋建科字〔2024〕82 号）的要求编制。本标准经山西省住房和城乡建设厅 X 年 X 月 X 日以第 X 号公告批准、发布。

本标准是由太原市建筑设计研究院主编，会同山西省建筑科学研究院集团有限公司等有关设计、施工、研究和教学单位共同完成的。

本次修订的主要技术内容为：

1. 本标准共分 14 章和 3 个附录，主要技术内容有总则、术语和符号、基本规定、岩土勘察与环境调查、侧压力计算、稳定性验算、外围护结构、立柱（桩）、永临结合水平支撑体系、防水工程、土方挖运、地下水控制、监测、施工安全管理。

本标准由山西省住房和城乡建设厅负责管理，太原市建筑设计研究院负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中，请各单位结合工程实践认真总结经验，注意积累资料，随时将意见和建议反馈给太原市建筑设计研究院（地址：太原市杏花岭区新建路 80 号，邮编：030002），以供今后修订时参考。

编制组总结 2008 年以来山西省相关逆作法基坑工程实例、并通过省内地铁 2 号线长度 23.345km 线路、22 座车站及山西省其他重要工程的深基坑结构设计及应用情况进行了调查研究，结合山西省的工程经验和实践成果，同时参考了现行国家、行业标准和其他省、市地方标准，并通过征求意见取得了本标准制订技术内容的有关重要技术参数。

为了便于广大设计、施工、科研、院校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编

制了本标准的条文说明，对条文的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	基本规定	3
4	岩土勘察与环境调查	4
4.1	一般规定	4
4.2	勘探与测试	4
4.3	室内试验	4
4.4	勘察成果	4
4.5	环境调查	4
5	侧压力计算	5
5.1	一般规定	5
5.2	永临结合的荷载组合	5
5.3	参数选取	5
5.4	计算原则	5
5.5	水平荷载与折算荷载	5
6	稳定性验算	6
6.1	一般规定	6
6.2	整体稳定性	6
6.3	抗隆起稳定性	6
6.4	抗渗流稳定性	6
6.5	嵌固深度	6
7	外围护结构	7
7.1	一般规定	7

7.2	地下连续墙·····
7.3	钢筋混凝土灌注桩排桩·····
7.4	咬合桩·····
8	立柱（桩）·····
8.1	一般规定·····
8.2	设计·····
8.3	施工·····
8.4	检测与验收·····
9	永临结合水平支撑体系·····
9.1	一般规定·····
9.2	设计·····
9.3	施工·····
9.4	检测与验收·····
10	防水工程·····
10.1	一般规定·····
10.2	设计·····
10.3	施工·····
10.4	验收·····
11	土方挖运·····
11.1	一般规定·····
11.2	取土路径·····
11.3	土方开挖·····
11.4	土方运输·····
11.5	土方回填·····
12	地下水控制·····
12.1	一般规定·····
12.2	设计·····
12.3	施工、运行维护与检测·····

13 监测.....

13.1 一般规定.....

13.2 监测与巡视检查.....

13.3 信息采集与处理.....

14 施工安全管理.....

14.1 一般规定.....

14.2 作业环境空间.....

14.3 超危大工程.....

14.4 风险分级管控与隐患排查.....

本标准用词说明.....

引用标准名录.....

条文说明.....

1 总 则

1.0.1 近年来,我省基本建设规模发展迅猛,越来越多的高层建筑和城市基本设施项目需要开挖基坑,尤其是近年来,开挖规模和深度不断突破,基坑开挖深度从 10m 深发展到现在的 40 多米深,如地铁 1 号线迎泽东大街站基坑深度达 42.3m。我省广大岩土工程工作者针对工程实际解决了大量技术难题,总结了适应我省地质特点的很多方法。我省基坑科研与工程实践大量增加,通过工程实践积累了不少经验,也汲取了一些基坑工程的事故教训,总结了针对我省地质特点的湿陷性黄土、高水位的饱和黄土、高灵敏度土、液化土、杂填土等有效的设计理念与施工方法。但不合理的设计,低劣的施工质量,不周密的管理造成了基坑工程事故仍时有发生,所以提高设计技术,控制施工质量,加强监管,确保环境安全与工程安全,经济合理是从事基坑工程项目的技术与管理人员应遵守的基本原则。

编制过程中,编制组总结 2008 年以来山西省相关逆作法基坑工程实例、并通过对省内地铁 2 号线长度 23.345km 线路、22 座车站及山西省其他重要工程的深基坑结构设计及应用情况进行了调查研究,结合山西省的工程经验和实践成果,同时参考了现行国家、行业标准和其他省、市地方标准,并通过征求意见取得了本标准制订技术内容的有关重要技术参数。

4 岩土勘察

4.1 一般规定

4.1.1 基坑工程的岩土勘察宜与拟建主体建筑的岩土勘察同步进行，应同时满足主体建筑和基坑工程勘察的要求，在勘察成果报告中应有专门章节对基坑工程进行分析评价。当已有勘察资料不能满足基坑工程设计和施工要求时，应进行专项勘察或补充勘察。

基坑工程岩土勘察要解决的主要问题和侧重面与一般建筑地基勘察不同，为了使基坑工程岩土勘察工作有的放矢、目标明确，本条对基坑工程岩土勘察应解决的主要问题和评价内容作了相应规定，可满足一般基坑工程的要求，对特殊工程则应进行专门研究。液化土、高灵敏度土，常常因为施工方法或施工工艺选择不当，在基坑工程施工过程中就出现问题甚至事故，本条第5款的规定，就是为基坑工程设计时合理选择施工方法和施工工艺提供依据。

特殊性岩土具有独特的成因、成分、地域分布等特征和特殊的岩土工程特性，如果勘察评价执行不到位、缺乏针对性的工程措施，对工程的安全和正常使用均可能产生危害。本条对拟建工程场地分布有特殊性岩土提出了岩土工程勘察成果的基本要求。当拟建场地遇有湿陷性土、膨胀土、盐渍土、填土等特殊性岩土时，岩土工程勘察成果应有专门的分析评价。

另外，根据行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012及本标准对土、水压力分算、合算方法及土的抗剪强度指标类别的规定，粉土又分为黏质粉土与砂质粉土。为了与此相适应，可将粉土进一步划分为黏质粉土和砂质粉土，划分界限参照国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307及北京、上海、浙江等省市的地方标准确定。

表 1 粉 土 分 类

土的名称	颗 粒 级 配	塑性指数 I_p
黏质粉土	粒径小于 0.005mm 的颗粒质量超过或等于总质量 10%	$7 < I_p \leq 10$
砂质粉土	粒径大于 0.075mm 的颗粒质量不超过总质量 50%， 粒径小于 0.005mm 的颗粒质量不超过总质量 10%	$3 < I_p \leq 7$

注：以颗粒级配为主，塑性指数仅作参考。塑性指数由相应于 76g 圆锥仪沉入土中深度为 10mm 时测定的液限计算而得。

4.1.2 本条规定了在进行基坑工程勘察之前应取得或应搜集的一些与基坑有关的基本资料。主要包括能反映拟建建（构）筑物与已有建（构）筑物和地下管线之间关系的相关图纸、拟开挖基坑失稳影响范围内的基本情况、基坑的深度、大小和当地的工程经验等。

4.1.3 很多位于边坡附近的基坑工程，由于对边坡的危害及边坡对基坑开挖的不利影响认识不足，从而造成工程事故。为了避免此类事故发生，本条对边坡附近基坑工程的岩土勘察作了相应规定。

4.2 勘探与测试

4.2.1 基坑失稳范围一般为基坑深度的 1 倍，因此规定勘探点布置范围不宜小于基坑外 1 倍基坑开挖深度范围，考虑到支护结构采用土钉、锚杆（索）时，失稳影响范围较大，当支护结构可能采用土钉、锚杆（索）或地形、地貌及地质条件复杂时，根据需要应适当扩大勘探点布置范围。由于深基坑多在城市，各种建筑物密集，对所有工程都要求扩大勘察范围的可操作性不强，考虑到这一点，本条第 2 款规定在开挖边界外，无法布置勘探点时，可通过调查和搜集相关资料并结合基坑范围内勘探结果进行综合分析评价。本条第 3 款规定勘探点间距宜为 15m~30m，地层简单时，可取大值；地层较复杂时，可取小值或中值；地层复杂时，可根据情况采用小值或适当加密勘探点。对湿陷性黄土场地，为准确查明湿陷类型和湿陷等级，本条第 5 款对探井数量作了相应规定。

4.2.2 本条规定勘探点深度不宜小于基坑深度的 2 倍~2.5 倍，主要是为了满足一般土层条件下支护设计和施工的要求。若为厚层软

弱土或坚硬土层时，可适当加深或减小勘探深度。

4.2.3 原位测试是岩土勘察不可缺少的重要手段之一，它是在原位的应力条件下对土体进行测试，其测试结果有较好的可靠性和代表性，但原位测试指标确定的岩土设计参数大部分是建立在统计的经验基础上，有很大的地区性和土类的局限性，因此，在选择原位测试方法时应根据岩土条件、设计对参数的要求、地区经验和测试方法的适用性等综合考虑确定。本条针对不同地层规定了相应的原位测试方法，可供勘察时选择。

4.2.5 人工填土尤其杂填土的成分杂乱，物理力学性质及空间分布极不规律，当其厚度较大时，对支护结构的稳定性影响显著，应特别关注。因此，厚度大于 3.0m 的人工填土，勘察时不能只进行简单的地层描述，对粉土、黏性土为主的素填土，应进行标准贯入试验并采取不扰动土样进行相关项目室内试验；对建筑垃圾、生活垃圾或工业垃圾为主的杂填土，应进行动力触探试验并根据试验结果结合类似工程综合分析，提供基坑支护设计所需有关岩土参数建议值。必要时杂填土的重度可通过大体积密度试验确定。

4.2.6 稳定水位可在钻孔、探井或测压管内直接量测，其间隔时间按地层的渗透性确定：对砂土和碎石土不得少于 0.5h，对粉土和黏性土不得少于 8h。对临近地表水体的场地，应注意地下水位受地表水动态变化的影响，地下水、地表水水位应同步量测，并注明量测时间。

当存在多层地下水，且某些层位的地下水对基坑工程有影响时，应设置专门地下水位观测孔，采取有效止水措施，分层测量地下潜水位及承压水头。影响基坑工程的多层地下水分层水位（水头）的观测，尤其是承压水压力水头的观测，对基坑工程的设计和施工十分重要，但目前不少勘察人员不重视或忽视此项工作，从而造成勘察资料欠缺，直接影响基坑工程的设计和施工。

4.2.7 对场地水文地质条件复杂或降水深度较大而缺乏工程经验的大型基坑工程，查明场地的水文地质条件至关重要，因为在高水位的粉土、粉砂地层中进行基坑支护设计与施工时，地下水控制措

施的成功与否是保证基坑开挖与支护结构安全的关键，室内土工试验提供的渗透系数与实际出入较大，多数情况下难以满足地下水控制设计计算要求，所以本条规定此类工程宜采用现场试验测定有关水文地质参数。

具体工程勘察中，应根据地层、岩性、透水性和工程重要性等条件，确定水文地质参数测定方法。基坑工程水文地质参数常用测定方法见下表：

表 2 水文地质参数测定方法

参 数	测定方法
水位	钻孔、探井或测压管观测
渗透系数、导水系数	抽水试验、提水试验、注水试验、压水试验、室内渗透试验
给水度、释水系数	单孔抽水试验、非稳定流抽水试验、地下水位长期观测、室内试验
越流系数	多孔抽水试验
单位吸水率	注水试验、压水试验
毛细水上升高度	试坑观测、室内试验

为了使渗透系数等水文地质参数更接近工程实际情况，重大工程应采用抽水试验、注水试验等现场测试方法确定。一般工程可按室内试验方法并结合场地边界条件和实际工程经验综合分析确定。

水文地质现场试验工作，周期较长，费用较高，试验工作布置、试验方法选择的是否合理，都将直接影响试验数据的准确性和试验费用，因此，为了保证试验数据准确、试验工作布置及试验方法选择合理，现场进行抽水试验、注水试验时，宜符合下列规定：

（1）抽水试验和注水试验布置

①试验应布置在不同地貌单元、不同含水层（组）且富水性较强的地段；

②在需人工降低地下水位的区段布置试验孔；

③抽水试验的观测孔宜垂直或平行地下水流向；

④在含水构造复杂且富水性较强的地段分层或分段进行抽水

试验；对潜水与承压水应分别进行抽水试验。

(2) 抽水试验

①抽水试验方法可参考表 3 确定：

表 3 抽水试验方法和应用范围

试验方法	应用范围
钻孔或探井简易抽水	粗略估算弱透水层的渗透系数
不带观测孔抽水	初步测定含水层的渗透系数
带观测孔抽水	较准确测定含水层的各种参数

②抽水试验孔井结构与施工降水使用的要近于一致，试验水位宜采用 3 次降深，最大降深应接近工程设计所需的地下水位降深的标高；

③水位量测应采用同一方法与仪器、读数单位对抽水孔为厘米，对观测孔为毫米；

④当涌水量与时间关系曲线和动水位与时间关系曲线在一定的范围内波动，而没有持续上升或下降时，可认为已经稳定。稳定水位的延续时间：卵石、圆砾和粗砂含水层为 8h，中砂、细砂和粉砂含水层为 16h，基岩含水层（带）为 24h；

⑤抽水试验应同时观测水位和水量，抽水结束后应量测恢复水位。

(3) 注水试验可在试坑或钻孔中进行，注水稳定时间宜为 4h～6h。

4.2.8 为防止地表水沿勘探孔下渗或承压水沿勘探孔上升，从而给基坑开挖施工带来不良影响，本条规定勘探工作结束后，应及时按要求夯实回填勘探孔。

4.2.9 限于场地条件，城市中多数基坑工程无法按要求在基坑外一定范围布置勘探点，相应勘察资料只能通过调查取得。因此本条强调基坑周边环境条件调查宜作为专项勘察工作进行，并对调查范围和调查内容作了具体规定。当已有资料不能满足基坑工程设计和施工要求时，本条第 3 款规定，可采用坑探或物探等方法查明基坑周边环境及地质条件。

4.3 室内试验

4.3.1 本条第 1~3 款是基坑岩土勘察中最基本的试验项目,一般工程都应进行。为避免不同方法造成试验结果的差异,液、塑限试验宜采用联合测定法。对土粒比重(土粒相对密度)试验,由于其变化幅度不大,目前多数试验室都不进行此项试验,而是根据经验确定,这样做与实际结果误差不大,一般情况下是可行的。第 4~9 款主要是针对一些特殊性岩土室内试验项目的要求和规定,基坑岩土勘察中遇到此类岩土时,均应进行这些项目的试验。

我省是全国黄土集中连续分布的主要地区之一,省内黄土普遍具有湿陷性。

我省的盐渍土主要分布于运城、大同、朔州一带。

我省的膨胀岩土主要分布于阳泉、长治、晋城一带。

4.3.2 渗透是液体在多孔介质中运动的现象,渗透系数是表达这一现象的定量指标,由于影响渗透系数的因素十分复杂,目前室内和现场各种方法测定的渗透系数往往差别很大,这主要是边界条件不同所致。为避免因渗透系数确定不合理,而造成降水设计和渗透分析计算的失误,有条件时,宜通过现场试验确定渗透系数,对室内试验确定的渗透系数应根据不同边界条件并结合实际工程经验进行适当修正后使用。

室内测定土的渗透系数,对不同的土应选用不同的试验方法,常水头试验适用于砂土;变水头试验适用于粉土和黏性土;对透水性很差的软弱黏性土可通过固结试验测定固结系数、体积压缩系数来计算渗透系数。

4.3.4 土的抗剪强度指标随排水、固结条件及试验方法的不同有多种类型的参数,不同试验方法做出的抗剪强度指标结果差异很大,计算和验算时不能任意取用,应采用与基坑开挖过程土中孔隙水的排水和应力路径基本一致的试验方法得到的指标。根据行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012 及本标准对土、水压力分算、合算方法及土的抗剪强度指标类别的规定,本条表 4.3.4 对土的抗剪

强度指标的试验方法作了相应规定。

鉴于三轴剪切试验力学概念明确，能够控制排水状态，故土的抗剪强度试验宜优先考虑采用三轴剪切试验方法。但三轴试验无论设备、取样、试样制备、操作及计算都比直剪试验复杂的多，就目前我省各勘察单位的试验设备及取样和试验水平的实际状况来看，要求所有工程都进行三轴剪切试验还不太现实，直剪试验将会与三轴剪切试验并存，短时间内不会被三轴剪切试验完全取代。因此，根据我省实际情况，本标准采用了上述两种试验方法均可选用的处理办法。但从发展的角度，应提倡使用三轴剪切试验强度指标，并与已有成熟应用经验的直剪试验指标进行对比。无论采用哪种试验方法，试验时均应根据土的性质，使排水条件、加荷速率等，尽可能与工程实际一致。

4.3.5 对湿陷性黄土基坑，行业标准《湿陷性黄土地区建筑基坑工程安全技术规程》JGJ 167—2009 强制性条文第 3.1.5 条规定：“对安全等级为一级且易于受水浸湿的坑壁以及永久性坑壁，设计中应采用天然状态下的土性参数进行稳定和变形计算，并应采用饱和状态（ $s_r=85\%$ ）条件下的参数进行校核；校核时其安全系数不应小于 1.05”。为满足湿陷性黄土基坑支护设计计算及校核需要，本条对安全等级为一级、且受水浸湿可能性较大的自重湿陷性黄土场地的基坑工程，提出了应同时测定天然状态及饱和状态下抗剪强度指标的试验要求。对安全等级为二、三级的湿陷性黄土基坑工程，不作统一规定，是否进行饱和状态下抗剪强度指标的试验，可根据受水浸湿的机率和具体设计要求确定。

4.4 勘察成果

4.4.1 岩土的物理力学性质指标是基坑设计和施工的重要参数，基坑安全等级不同，在参数的确定和指标的选取上可以有不同的方法。由于抗剪强度测试方法不同，指标的变异性和离散性都有较大差异，从指标的适用性、可靠性以及基坑工程的安全性考虑，不论基坑安全等级如何，设计和施工所需岩土参数，都应选用精确的统计方法。

基坑工程需提供的岩土参数可参考下表选择：

表 4 基坑工程岩土参数选择表

开挖施工方法		重度	黏聚力	内摩擦角	静止侧压力系数	无侧限抗压强度	十字板剪切强度	基床系数	水平抗力系数的比例系数	回弹及回弹再压缩模量	弹性模量	渗透系数	土体与锚固体粘结强度	桩基设计参数
支护 开挖	排桩	√	√	√	√	√	○	√	○	○	√	√	○	○
	地下连续墙	√	√	√	√	√	○	√	○	√	√	√	○	○

注：表中○表示可提供、√表示应提供、—表示可不提供。

4.4.2 砂土、碎石土、风化岩及杂填土都难以采取不扰动土样进行室内试验，对一般基坑工程，砂土的抗剪强度指标 c 、 ϕ 值，可根据休止角及原位测试指标综合分析确定，碎石土、风化岩及杂填土可根据原位测试指标并结合野外描述和工程经验综合分析确定。对重大基坑工程，抗剪强度指标 c 、 ϕ 值则宜通过现场直接剪切试验确定。

4.4.3 由于地基与基坑的受力条件不同，黄土的湿陷性对地基和基坑的危害性也有所不同，对地基而言，湿陷带来的危害主要来自基础底面以下，而基坑则不同，基坑顶面以下开挖深度范围内的湿陷土层，无论深浅，如果发生湿陷都会给基坑安全带来危害，只是危害程度不同而已。因此本条规定，基坑工程湿陷性评价时，自重湿陷量计算值及湿陷量计算值宜从基坑顶面算起，湿陷性判别计算方法与建筑地基相同。

4.4.4 本条所列特殊性岩土，在山西的基坑工程中经常遇到，由于本身的特殊性，这些岩土对基坑的稳定性和安全施工影响较大，岩土分析评价应具有针对性。

4.4.5 地下水对基坑工程的作用，按其机制可以分为两类，一类是力学作用；一类是物理、化学作用。本条是地下水作用应评价的主要内容。

1 验算基坑边坡稳定性时需考虑地下水渗流对边坡稳定的影响。对基坑支护结构的稳定性验算时，不管是采用水土合算还是水土分算，都需要首先将地下水的分布特征搞清楚，才能比较合理地确定作用在支护结构上的水土压力。

2 在地下水位下降的影响范围内，施工降排水引起的潜水位或承压水头的下降，一方面减少了水的浮托力、增加了土的有效压力，使土体产生附加沉降变形；另一方面，产生的动水压力可能使粉细砂地层产生流砂、潜蚀现象，也可能使软弱黏性土地层出现“流泥”现象。从而引起局部地层被掏空，造成基坑周围建（构）筑物下沉、地面产生塌陷，当不均匀沉降超过建（构）筑物、地下管线及其他市政设施承受变形的能力时，还将发生建（构）筑物倾斜、墙体裂

缝及地下管线错位、开裂等现象，以致造成建（构）筑物不能正常使用、供水、供气的漏失和中断，以及下水管道堵塞等环境问题。

3 在含水粉细砂和粉土地层中，当基坑内外产生水头差时，由于渗流作用可能产生潜蚀、流土或管涌现象，从而造成基坑破坏。以上几种现象，都是因为基坑底部某个部位的最大渗流水力比降大于临界水力比降所致。流土和管涌的判别方法见本标准附录 C。

4.4.6 本条是针对边坡附近基坑工程的规定和要求。

4.4.7 由于基坑工程的规模大小、工程特点、水文地质及工程地质条件、环境条件等差别很大，要求勘察报告的内容完全相同既不实际也不合理。因此，本条所列内容仅是在一般情况下的基本要求，如有特殊要求时则应增加相应的内容。基坑工程岩土勘察与拟建建筑物岩土勘察同时进行，报告中应有专门章节对基坑工程进行论述和评价，论述和评价的内容应满足本条要求。

4.4.8 本条为一般情况下基坑工程岩土勘察报告应附的图表，可以根据具体需要适当增减。

5 侧压力计算

5.1 一般规定

5.1.1、5.1.2 土压力、水压力是作用在基坑支护结构上的主要荷载，其取值大小对支护结构的内力和变形计算均有影响。水压力包括潜水压力、承压水压力和渗流压力。

一般地面荷载，指坑边的临时荷载，如零散的建筑材料、小型施工器材等，通常可按 $15\text{kPa}\sim 20\text{kPa}$ 考虑，施工材料堆放场地、重车行驶通道等，通常可按 30kPa 考虑，应根据现场实际情况进行复核。

开挖影响范围内有建（构）筑物存在时，土压力的计算中应考虑其对支护结构的作用，可根据基础形状、埋深简化为集中力、条形或均布荷载进行计算，在此主要指天然地基上的浅基础。

施工荷载是指在基坑开挖期间，作用在坑边或支护结构上、数量较大且时间较长或频繁出现的荷载，如利用上道支撑作为施工栈桥时的挖土机、卡车运行荷载，坑边作为施工堆料场地的荷载等。

邻近工程基础施工如打桩或基坑开挖时，产生相互影响容易引发工程事故，应予以重视。这里所说的打桩，是指采用锤击式或静压式施工的挤土桩或部分挤土桩，如钢筋混凝土预制柱、PHC 桩、钢管桩等。

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

5.2 永临结合的荷载组合

5.2.1 基坑支护结构设计应从强度、稳定和变形三个方面满足设计

要求，应分别采用不同的荷载组合效应进行计算。

5.3 参 数 选 取

5.3.3 因为土的抗剪强度指标随排水、固结条件及试验方法的不同有很多类型的参数，不同试验方法做出的抗剪强度指标的结果差异很大，计算和验算时不能任意取用，应采用与基坑开挖过程土中孔隙水的排水和应力路径基本一致的试验方法得到的指标。

土的抗剪强度指标试验方法有三轴剪切试验与直接剪切试验。理论上讲，用三轴试验更科学合理，但目前大量工程勘察仅提供了直接剪切试验的抗剪强度指标，致使采用直接剪切试验强度指标设计计算的基坑工程为数不少，在支护结构设计上积累了丰富的工程经验。从目前的岩土工程试验技术的实际发展状况看，直接剪切试验尚会与三轴剪切试验并存，不会被三轴剪切试验完全取代。但从发展的角度，应提倡用三轴剪切试验强度指标，但应与已有成熟工程应用经验的直接剪切试验指标进行对比。目前，在缺少三轴剪切试验强度指标的情况下，用直接剪切试验强度指标计算土压力和验算土的稳定性是符合我省现实情况的。因此，为适应目前的现实状况，本标准采用了上述两种试验方法均可选用的处理方法。

由于基坑开挖过程是卸载过程，基坑外侧的土中总应力变化情况是小主应力减小，大主应力不增加，黏性土在剪切过程可看作是不排水的。而且，在我省常见高水位场地且常做有截水帷幕，可认为土体也不排水。因此认为，土压力计算与稳定性分析时，均采用在土的有效自重应力下预固结的三轴不固结不排水抗剪强度指标或固结快剪较符合实际情况。

为避免个别工程勘察项目抗剪强度试验数据粗糙对直接取用抗剪强度试验参数所带来的设计不安全或不合理，选取土的抗剪强度指标时，尚需将剪切试验的抗剪强度指标与土的其他室内与原位试验的物理力学参数进行对比分析，判断其试验指标的可靠性，防止误用。当抗剪强度指标与其他物理力学参数的相关性较差，或岩土勘察资料中缺少符合实际基坑开挖条件的试验方法的抗剪强度指

标时，在有经验时应结合类似工程经验和相邻、相近场地的岩土勘察试验数据并通过可靠的综合分析判断后合理取值。缺少经验时，则应取偏于安全的试验方法得出的抗剪强度指标。

软黏土灵敏度高，在受如打桩或土钉施工等扰动后强度下降明显，常常从凝聚状态迅速过渡到胶溶状态，发生触变现象。因此，灵敏度土强度降低的不利影响是不可忽视的。

5.4 计算原则

5.4.1 在计算作用于支护结构上的荷载时，对于地下水位以下的土体，须同时考虑土压力和水压力的作用。在采用水土分算方法时，土压力和水压力分别作为作用于支护结构上的两项荷载；在采用水土合算方法时，土压力和水压力合并计算，作为作用于支护结构上的总荷载。

在理论上，土压力源于土颗粒的堆积挤压作用，水压力源于孔隙水的孔隙水压作用，而地下水又对颗粒产生或多或少的悬浮作用。土压力和水压力应该是分别作用于支护结构上的，土压力应按有效重度计算，水压力应按孔隙水压力计算。实际上，黏性土的渗透系数很小，具有黏聚性，地下水对土颗粒的浮力和作用于支护结构上的孔隙水压力均很小，故黏性土、黏质粉土可以近似按水土合算方法计算，对于碎石土、粉土、砂质粉土和砂土，渗透系数较大，黏聚性很小，采用水土分算方法比较合理。为便于计算和偏于安全考虑，计算水压力时采用静水压力而非孔隙水压力。从以往的工程设计经验看，这样处理的结果与实际情况比较符合，并已被工程界广泛接受。

土层的渗透性不同，地下水对地下水位以下土层作用于支护结构上的侧压力的影响也不同。在水土分算时，水压力的分布模式的选择需区分地下水有无渗流的情况。对于采用截水帷幕且进入坑底相对不透水层时，虽然基坑内外有水头差，但可近似认为无渗流产生，按静水压力考虑。

5.5 水平荷载与折算荷载

5.5.1 挡土结构上的土压力计算是个比较复杂的问题，根据不同的计算理论和假定，得出了多种土压力计算方法。库仑土压力理论和朗肯土压力理论是工程中常用的两种经典土压力理论，但这两种理论的假设与实际工作情况有一定的出入，均是近似的方法，与实际测试数据有一定差别。一些试验证明，库仑土压力理论在计算主动土压力时，与实际较为接近。在计算被动土压力时，其计算结果往往偏大。

由于朗肯土压力方法的假定概念明确，与库仑土压力理论相比具有能直接得出土压力的分布、从而适合结构计算的优点，受到工程设计人员的普遍接受。但是，由于朗肯土压力是建立在半无限土体的假定之上，在实际基坑工程中基坑的边界条件有时不符合这一假定，如基坑邻近有建筑物的地下室时，支护结构与地下室之间是有限宽度的土体；再如，对排桩顶面低于自然地面的支护结构，通常是将桩顶以上土的自重化作均布荷载作用在桩顶平面上，然后再按朗肯公式计算土压力，但是当桩顶位置较低时会出现桩顶以上土层的自重折算成荷载后计算的土压力明显小于这部分土重实际产生的土压力。对于这类基坑边界条件，按朗肯土压力计算会有较大误差。所以，当朗肯土压力方法不能适用时，应考虑采用其他计算方法解决土压力的计算精度问题。

库仑土压力理论（滑动楔体法）的假定适用范围较广，对上面提到的两种情况，库仑方法能够计算出土压力的合力，但是不好解决成层土的土压力分布问题，不利于结构计算。为此，本标准规定在不符合时朗肯土压力计算条件，可采用库仑方法计算土压力。但库仑方法在考虑墙背摩擦角时计算的被动土压力偏大，不应用于被动土压力的计算。

考虑结构与土相互作用的土压力计算方法，理论上更科学，从长远考虑该方法应是岩土工程中支挡结构计算技术的一个发展方向。从促进技术发展角度，对先进的计算方法不应加以限制。但是，

目前考虑结构与土相互作用的土压力计算方法在工程应用上尚不够成熟，现阶段只有在有经验时才能采用，如方法使用不当反而会弄巧成拙。

静止土压力系数宜通过试验测定。当无试验条件时，对正常固结土也可按表 5 估算。

表 5 静止土压力系数 K_0

土类	坚硬土	硬-可塑黏性土、粉质黏土、砂土	可-软塑黏性土	软塑黏性土	流塑黏性土
K_0	0.2~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.75	0.75~0.8

也可按下式进行估算：

正常固结土

$$K_0 = 1 - \sin \varphi'$$

超固结土

$$K_0 = (1 - \sin \varphi')^{0.5}$$

式中： φ' ——土的有效内摩擦角。

对于位移要求严格的支护结构，在设计时可按静止土压力作为侧向土压力，但要采用合理的支护结构形式。

需要指出的是，经典的库伦和朗肯土压力理论均是作用于刚性支护结构上的土压力。而相对柔性的支护结构的土压力分布情况要比较复杂，设计时应根据具体情况进行分析，选择适当的土压力值。有条件时可采用现场实测、反演分析等方法总结地区经验，使得设计更加合理可靠。

5.5.2 计算水压力时，应按有无产生地下水渗流的情况，采用不同的水压力分布模式。

支挡结构主动土压力侧的水压力按静水压力分布时，其静水压力在基坑内地下水位以上按三角形分布，以下按矩形分布。

对于地下水有稳定渗流的情况，应考虑渗流产生的水头损失，水压力分布与静水压力不一致。对安全等级为一级的基坑，宜绘制地下水流网分析围护结构前后的水压力。但在实际工程中，设计人员希望采用简单的近似方法而不专门绘制流网，可考虑按下图所示的近似方法，取基

坑内地下水位处的静水压力 P_w 为 $2\gamma_w \frac{\Delta h \cdot \Delta h_w}{\Delta h_w + 2\Delta h}$ 、支护结构底端处为 0 的直线分布计算作用于支护墙主动土压力侧的水压力。

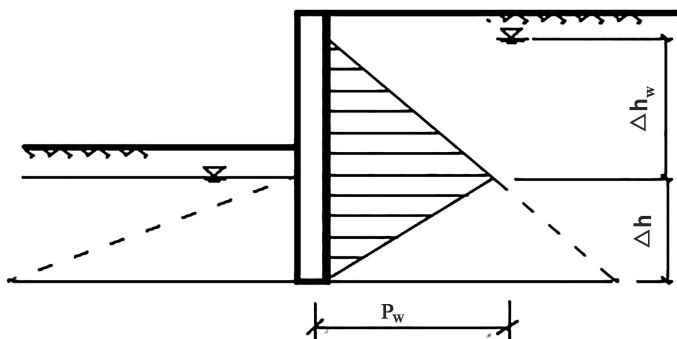


图 1 地下水稳定渗流时水压力

6 稳定性验算

6.1 一般规定

6.1.1 基坑工程的整体稳定性验算是基坑工程设计的重要内容，应依据不同支护结构类型采用相应的验算方式。

6.1.2 在基坑稳定性分析时，应特别注意基坑开挖过程中场地条件变化对土体抗剪强度的影响，并预估由此带来的基坑稳定性问题，提前采取相关措施。对于区域性软弱土（液化土、灵敏性土等）需注意扰动对土体强度的影响。

6.2 整体稳定性

6.2.1 支挡结构的整体滑动稳定性验算公式（6.2.1-2）以瑞典条分法边坡稳定性计算公式为基础，在力的极限平衡关系上，增加了锚杆或土钉拉力对圆弧滑动体圆心的抗滑力矩项。由于极限状态下的平衡关系与锚杆预加力无关，因而验算公式中不含锚杆预应力项。

滑弧稳定性验算应采用搜索的方法寻找最危险滑弧。最危险滑弧的搜索范围限于通过挡土构件底端和在挡土构件下方的各个滑弧。因支护结构的平衡性和结构强度已通过结构分析解决，在截面抗剪强度满足剪应力作用下的抗剪要求后，挡土构件不会被剪断。因此，穿过挡土构件的各滑弧不需验算。

当圆弧滑动体位于地下水位以下，并同时穿过砂土、黏性土时，在滑弧面上，黏性土的抗剪强度指标需要采用总应力强度指标，砂土的抗剪强度指标需要采用有效应力强度指标，并应考虑水压力的作用。

在复合土钉墙中，微型桩、搅拌桩或旋喷桩对总抗滑力矩是有贡献的，但难以定量。当无经验时最好不考虑其抗滑作用，当作安全储备来处理。需要考虑其作用时，只能根据经验和水泥土桩、微型桩的设计参数适当考虑其抗滑作用。

6.3 抗隆起稳定性

6.3.1 对于锚拉式支挡结构和支撑式支挡结构，由于锚杆和支撑只能对支护结构提供水平向平衡力，对隆起破坏不起作用，因此对深度较大的基坑，当土的强度较低时，只能通过增加挡土构件入土深度来提高抗隆起稳定性。

抗隆起稳定性计算是一个复杂的问题。本标准式（6.4.1）所提供的公式是基于地基极限承载力的 Prandtl（普朗德尔）极限平衡理论公式。由于理论假定与实际情况的差异，式（6.4.1）不适用于挡土构件嵌固尝试很小的情况。需要说明的是，当按本标准抗隆起性验算公式计算的安全系数不满足要求时，虽然不一定发生隆起破坏，但可能会带来其他不利后果。

6.4 抗渗流稳定性

6.4.1 为防止由于深处承压水的水压力而引起的基坑隆起和突涌，需验算基坑底不透水层厚度与承压水水头压力的关系，基坑开挖后不透水层的安全厚度也由此式决定。

6.5 支护结构嵌固深度的验算

6.5.1 悬臂式支挡结构的稳定入土深度与支挡结构绕底部转动的整体稳定有关。

6.5.2 单层锚杆和单层支撑的支挡结构的稳定入土深度与绕支点转动的整体稳定有关。

6.5.3 排桩结构入土深度应先满足基坑支护变形与稳定性要求，其最小入土深度尚应满足本条规定。

本条对排桩结构入土深度的规定系结合区域岩土工程特性，根

据本标准编制和修订期间对多个建筑与市政工程的基坑设计与施工实例总结分析而得。数值较 JGJ 120—2012 更严格。

太原轨道交通 2 号线建设初始，相关设计、施工单位函询标准编制组，针对本条的工程应用，标准编制组相关专家给予条文解释。随后标准编制组针对太原轨道交通 2 号线所有明挖区段进行分组调研，专项课题对涉及本标准若干条文进行专项分析汇总，所提构造入土深度符合当地区域性岩土特性。在太原轨道交通 1 号线初设时，标准编制组针对沿线岩土特性针对性的对支挡结构入土深度进行了合理分段，对于软土地段和复杂岩土、水文地段仍然沿用本条规定。

7 外围护结构

7.1 一般规定

7.1.1 逆作法基坑工程中的外围护结构与常规的基坑围护结构形式类似。

两墙合一的地下连续墙较为普遍地应用于逆作法基坑工程的外围护结构，适用于开挖深度较深、环境保护要求较高的基坑工程。

灌注桩排桩和咬合桩在顺作法工程中常用于临时围护结构，但在逆作法工程中也可以作为地下室外墙的一部分在永久使用阶段发挥一定作用，凸显其一定的经济性。。

7.1.2 逆作法施工中考虑到结构模板搭设、钢筋预留等施工需求，各工况下的实际开挖深度应采用逆作法施工的实际深度。

7.1.3 逆作法基坑周边围护结构采用弹性支点法计算，当梁板平面布置规整，腰梁或冠梁的挠度可忽略不计时，可参照临时水平支撑刚度的计算方法估算地下水平结构的支点刚度，支撑截面面积取单个标准跨内支撑围护结构的梁、板的截面面积总和，支撑水平间距取标准跨的跨度。

7.1.4 基坑围护结构施工，可采取下列措施减少对环境的影响：

1 在粉性土或砂土地层中进行地下连续墙施工，宜采用减小地下连续墙单幅槽段宽度、调整泥浆配比、槽壁预加固等措施；

2 灌注桩排桩施工可采用优质泥浆护壁、提高泥浆相对密度、加长护筒、在搅拌桩中套打等措施提高灌注桩成孔质量以及控制孔壁坍塌。

7.2 地下连续墙

7.2.1 根据山西省工厂预制及施工吊运安装现状，一般采用现浇钢筋混凝土地下连续墙。随着装配式构件工厂化发展和吊装机械水平的提高，逐步推行预制地下连续墙构件。

7.2.2 3 地下连续墙的裂缝控制及验算依据现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 中有关规定选取计算裂缝用的保护层厚度,并根据环境作用等级确定地下连续墙的表面裂缝计算宽度限值。

地下连续墙永久使用阶段墙体一侧表面接触室内干燥空气,另一侧表面接触水或湿润土体,因此两侧表面应按照不同的环境作用等级确定最大裂缝宽度限值。一般环境条件下,在永久地下水位以下的地下连续墙迎土面处于长期湿润环境,最大裂缝宽度限值为 0.3mm;地下连续墙迎坑面和在永久地下水位以上的迎土面处于干湿交替环境,最大裂缝宽度限值为 0.2mm。

6 根据国内外关于地下连续墙承重的研究和大量的工程实践,地下连续墙的竖向承载力计算可参照桩基竖向承载力的计算原则,采用经验参数法预估墙幅的竖向极限承载力。地下连续墙的静载荷试验也可参照单桩竖向静载荷试验的方法实施。

地下连续墙成槽过程中容易产生槽底沉渣,两墙合一地下连续墙作为主体结构在永久使用阶段需要与地下结构变形协调,墙底注浆有利于提高地下连续墙的承载能力以及沉降控制。当地下连续墙墙身范围以黏性土为主、墙底进入较好的岩层且槽底沉渣厚度控制可靠时,可不进行注浆。

两墙合一地下连续墙宜进行墙底注浆加固。单幅槽段注浆管数量不应少于 2 根,宜设置在墙厚中部,且应沿槽段长度方向均匀布置,注浆管间距不宜大于 3m。

7.2.4 地下连续墙是水下浇筑的结构构件,为使地下连续墙的墙身实际混凝土强度达到设计要求,施工前应通过配比试验确定水下混凝土的配制参数。

7.2.8 地下连续墙槽壁加固宜根据加固深度要求采用三轴水泥土搅拌桩、渠式切割水泥土搅拌墙或铣削深搅水泥土搅拌墙,桩体或墙体的垂直度允许偏差不应超过 1/200。槽壁加固深度一般低于基坑开挖面以下 3m,桩体直径 650mm~850mm,槽壁加固与地下连续墙的间隙根据加固深度及施工能力等综合确定,一般为 50mm~

100mm。特殊情况下，如工作面狭小、限高等，无法满足搅拌桩设备施工需要，可考虑采用旋喷、摆喷等加固形式。

7.2.9 应结合工程实际情况，对于环境保护要求较高的工程或地质条件较复杂的情况下应采用非原位试成槽。

通过试成槽选择适合场地土质条件、满足设计要求的机械设备、工艺参数等。

试成槽过程中应定时检测护壁泥浆指标，记录成槽过程中的情况及成槽时间等；成槽至设计标高后应按设计要求的时间间隔进行槽壁垂直度、槽底沉渣厚度的检测。非原位试成槽的槽段在试成槽结束后应及时回填，位于基坑内的试验槽段在基坑开挖面以下应采用混凝土回填，基坑开挖面以上可采用土或中粗砂回填，必要时可采用注浆法对回填区域进行加固。当试验槽段位于基坑外时可采用土或中粗砂回填。

7.2.11 通过泥浆试配与现场检验确定泥浆的配比，检验内容主要包括稳定性、形成泥皮性能、泥浆流动特性及泥浆相对密度。遇有含盐或受化学污染的土层时，应配制专用泥浆。

泥浆分离净化通常采用机械、重力沉降和化学处理的方法。除砂器选择应根据砂的颗粒大小及需处理的泥浆方量来确定。

7.2.12 分节制作钢筋笼宜采用机械连接。预留的剪力槽、插筋、接驳器等预埋件标高、位置应复核，为确保基坑开挖时方便凿出，可采取在保护层中设置夹板等措施。

7.2.13 鉴于槽壁坍方等原因可能导致导墙沉降，为确保预埋插筋、接驳器标高的准确，钢筋笼吊放前需测量导墙标高并根据实测标高确定吊筋长度。

7.3 钢筋混凝土灌注桩排桩

7.3.1 桩墙合一即围护排桩与地下结构外墙相结合，根据围护排桩在永久使用阶段所分担的荷载类型，可以分为只分担水平向荷载的桩墙“水平向结合”以及同时分担水平和竖向荷载的桩墙水平和竖向

“双向结合”。在太原市迎泽大街某综合办公楼工程实践中桩墙合一技术得到应用并获得了良好的效果。

7.3.2 水平向结合的桩墙合一围护结构根据“桩墙”之间的空间距离关系以及建筑专业防水保温层等的设置需求,分为“桩墙”之间设置传力板带型和“桩墙”紧贴型。当根据建筑功能需求须在地下室外墙外侧设置一定厚度的建筑保温层时,“桩墙”之间由于存在相对软夹层而无法有效传力,可在各层结构楼板位置设置传力板带确保“桩墙”的荷载传递;当“桩墙”之间仅需设置厚度极薄的防水层时,桩墙紧贴可以实现荷载的传递。桩墙合一的构造详见附图。

基坑开挖阶段灌注桩排桩围护结构的设计方法与常规的围护结构一致。永久使用阶段桩墙合一结构体系作为一个共同作用的受力体,应按各自较为不利的工况进行设计,围护桩外侧施加的荷载可考虑隔水帷幕有效的情况下,坑外水土压力均作用于围护桩进行计算;对于地下室外墙,外侧荷载可考虑隔水帷幕失效的情况下,地下水从桩缝渗入水压力直接作用于地下室外墙,另外施加部分静止土压力(按桩墙的抗弯刚度进行分配)进行计算。

7.3.6 试成孔至设计标高并完成一清后,静置一段时间(一般根据成孔到成桩的施工时间来估算或根据设计要求),从开始测得初始值后,每 3h~4h 间隔测定一次孔径曲线(含孔深、桩身扩径缩径)、垂直度、沉渣厚度等,以核对地质资料、检验施工设备、施工工艺及泥浆指标等是否符合工程要求,在正式施工前调整选择好施工参数。根据工程情况,对于环境保护要求较高的工程或地质条件较复杂的情况下不应在原位进行试成孔。非原位试成孔的孔位在试成孔结束后应采用素混凝土或其他材料密实封填。

7.3.7 作为桩墙合一的排桩围护结构,垂直度控制是比较重要的,成孔机械一般选择钻架配重大、钻杆扭矩大的设备。同时还需减少围护沉降,以减少与主体结构的差异沉降。严格控制沉渣厚度,通过泥浆反循环的工艺可有效控制沉渣厚度。

7.3.8 灌注桩排桩成孔施工可采取以下质量保证措施:

- 1 采用膨润土泥浆护壁,提高泥浆黏度,可有效防止孔壁塌孔、

缩径；

2 先施工隔水帷幕，再施工灌注桩排桩；

3 围护结构位置采用水泥土搅拌桩预加固主要是控制灌注桩成孔过程中孔壁的稳定，预加固的水泥土搅拌桩水泥掺量一般为7%~8%。

7.4 咬合桩

7.4.1 咬合桩通过相邻两根桩之间的咬合，使其既能作为挡土构件，又同时兼作止水帷幕。

先行间隔施工的被咬合的混凝土灌注桩称为Ⅰ序桩，后续插入并咬合相邻Ⅰ序桩的混凝土灌注桩称为Ⅱ序桩。对于有筋桩和有筋桩密排组合形式，Ⅰ序桩通常采用矩形钢筋笼桩或型钢加筋桩，Ⅱ序桩通常采用圆形钢筋笼桩。

咬合桩施工工艺振动小、噪声低，且对周边地层扰动较常规工艺小很多，特别有利于在环境保护要求较高的环境施工。咬合桩施工过程中，套筒全程跟进，对于工程地质和水文地质条件特别复杂的工程都较适用，孔壁不会坍塌，流土、流砂现象也比较容易控制，充盈系数较小，成桩质量可靠。

7.4.3 咬合桩自身能够起到止水作用，可以不另设止水帷幕，但须保证相邻桩有一定的咬合量，因此应严格保证咬合桩的施工垂直，避免桩与桩之间产生间隙。随着桩长的增加，应对咬合式排桩垂直度、平面定位、咬合量提出更为严格的要求，或者在咬合式排桩外侧设置辅助隔水措施。

7.4.6 每组试成孔中应包括2根Ⅰ序桩和1根Ⅱ序桩。软法咬合相关工艺参数包括Ⅱ序桩开钻时间、成孔时间、成桩时间及套管底口低于开挖面的距离等。

7.4.7 咬合桩分为硬切割与软切割两种施工方法。硬切割是指Ⅱ序桩在相邻Ⅰ序桩混凝土终凝后对其切割成孔的施工方法，具有在成孔过程中结合清障的技术特点，适用于硬质地下障碍物密集的复杂

地质条件,硬切割咬合桩应采用全套管全回转钻机配备双壁钢套管进行成孔施工。软切割是指Ⅱ序桩在相邻Ⅰ序桩混凝土初凝前对其切割成孔的施工方法,相比硬切割工艺,清障能力有所不足,但经济性显著,适用于普通软土地质条件下的咬合式排桩施工。软法咬合桩成孔设备宜采用全套管钻机或旋挖钻机。

7.4.8 导墙结构形式应根据地质条件和施工荷载等经计算确定,且导墙厚度不宜小于 200mm,混凝土强度等级不宜低于 C20。导墙上应设置定位孔,其直径宜比桩径大 20mm~40mm。导墙顶面宜高出地面 100mm,以防止地表水流入桩孔内。导墙示意如图所示。

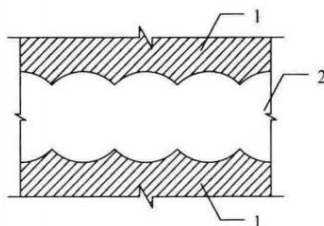


图 11 导墙示意

1—导墙; 2—导墙定位孔

7.4.9 应先检查和校正单节套管的顺直度,然后检查按桩长配置的全长套管的顺直度,并对各节套管标记编号,按序拼装。

7.4.11 配矩形钢筋笼的Ⅰ序桩下放时,可采用在钢筋笼两侧绑扎强度较低易切割的材料(如 PVC 管),确保精确就位,以防止安装偏差造成后续咬合切割损伤钢筋。

钢筋笼平面要限位,竖向要防止上浮或下沉,浇筑混凝土时应采取措施固定钢筋笼,如采用钢丝绳悬挂在吊车吊钩上,当需要拆套管或导管时可采用槽钢将钢筋笼悬挂在下节套管顶部,如此反复直至混凝土浇筑至设计标高并拔出所有套管,过程中应当注意在每节套管起拔时,吊车始终要将钢筋笼吊紧,并保持同一标高不变,以免钢筋笼上下起伏后无法重新回到原来标高。在钢筋笼底部焊上 4 根垂直定位钢筋,定位钢筋的长度应根据实际成孔深度而定,即在测好孔深后再进行四根定位钢筋的断料及焊接工作。另外钢筋笼底部

可加设钢筋网片或加焊抗浮钢板。

7.4.12 应边浇筑混凝土边拔套管有利于套管的顺利起拔，套管底低于混凝土面 2.5m 可有效防止塌孔，避免影响混凝土质量。

套管内有水时，应采取水下混凝土浇筑工艺，并配备抽水泵，在混凝土浇筑过程中将孔内水抽排出，且混凝土应浇筑至导墙顶部，保证有一定的超灌高度，以保证桩头混凝土质量。

11 土方挖运

11.3 土方开挖

11.3.4 软弱土开挖时，宜选用接地比压小的施工机械，当场地土不能满足机械行走要求时，可采用铺设工具式路基箱板等措施。

开挖时土方不宜堆放在基坑边缘，应随挖随运。如确实需要临时性堆放，应视挖土边坡处的土质情况、边坡坡度和高度，由设计确定堆放的安全距离，确保基坑的稳定。

11.3.5 石方开挖应根据岩石的类别、风化程度和节理发育程度等确定开挖方式：

- 1 对软质岩石和强风化岩石，可以采用机械开挖或人工开挖；
- 2 对于坚硬岩石宜采取爆破开挖；
- 3 对开挖区周边有防震要求的重要结构或设施的地区进行开挖，宜采取机械和人工开挖或控制爆破。

12 地下室控制

12.1 一般规定

12.1.1 地下水控制应根据工程需要和水文地质的特点，分析评价地下水对工程及环境的作用和影响，预测地下水对工程施工可能产

生的后果并提出防治措施。工程降水应收集下列资料：

1 地层、岩性、构造、含水层与隔水层的分布、地下水类型、水质、水量、渗透系数、补给、径流、排泄条件等；

2 周边重要建筑物地基基础情况，各种构筑物的分布以及自然景观、人文景观和市政设施的分布；

3 应了解地下水位变化特征、地下水的流向、地下水与地表水的水力联系和补排条件；

4 多层含水层的分层水位；各含水层的渗透系数、影响半径、越流系数、给水度等水文地质参数。

周边环境或水文地质条件复杂的逆作法基坑，应进行专项水文地质勘察，并应根据专项水文地质勘察成果制定地下水控制设计方案。专项水文地质勘察应符合国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB50021、《供水水文地质勘察规范》GB50027 和《建筑与市政地下水控制工程技术规范》JGJ111 的有关规定。

11.3.5 石方开挖应根据岩石的类别、风化程度和节理发育程度等确定开挖方式：

1 对软质岩石和强风化岩石，可以采用机械开挖或人工开挖；

2 对于坚硬岩石宜采取爆破开挖；

3 对开挖区周边有防震要求的重要结构或设施的地区进行开挖，宜采取机械和人工开挖或控制爆破。

12.2 设计

12.2.1 疏干降水设计应符合下列规定：

1 应结合逆作法基坑施工工况采用便于土方开挖的疏干降水方法；

2 低渗透性土层中，宜采用真空降水管井；

3 疏干降水井的间距和深度应根据地质条件、基坑施工工况及开挖深度确定。

减压降水设计应符合下列规定：

1 减压降水井的间距和深度应根据含水层性质、基坑支护结构形式、周边环境保护等级要求确定；

2 减压降水井宜采用管井；

3 减压降水井的数量应符合降压要求，此外还应设置备用井和观测井。备用井数量不宜少于减压降水井数的 20%，观测井数量不应少于减压降水井数的 10%。当观测井与备用井构造相同时，观测井可兼作备用井。

地下水回灌设计应符合下列规定：

1 浅层潜水回灌可采用回灌砂井和回灌砂沟，微承压水、承压水回灌宜采用回灌管井；

2 回灌井、回灌沟的深度与间距(长度)应通过计算确定；

3 回灌井和回灌沟均应设置在基坑外侧。当与坑内降水同步进行回灌时，回灌井及回灌沟的底埋深不宜超过隔水帷幕的深度；当与坑外降水同步进行回灌时，回灌井及回灌沟与降水井的间距不宜小于 6.0m；

4 回灌用水不应污染地下水，可采用自来水或经水质处理后的同源地下水。

12.3 施工、运行维护与检测

12.3.12 基坑外侧排水系统的设置应符合下列规定：

1 排水系统的排水能力不应小于设计排水量的 1.2 倍；

2 地表排水系统应采取防渗及三级沉淀措施；

3 集水井、排水沟宜布置在距离隔水帷幕外不小于 0.5m 处；

4 基坑内排水系统应在坑内排水管集中部位设置合理的接入口。

基坑内排水系统的设置应符合下列规定：

1 降水井排水管宜通过结构开口接入基坑外侧排水系统；

2 当排水管通过在地下结构板上设置预留孔接入基坑外侧排水系统时，应在预留孔周边做好结构止水措施；

3 井点数量较多时，可在地下一层结构上设置集水桶、集水箱作为排水中转站。

11.3.4 对于监控信息化管理，监测数据上传的及时性是十分重要的。

监测数据的真实、完整、有效是判断基坑与周围环境安全与否的前提，严禁监测人员编造数据，严禁漏报、瞒报监测数据。当监测数据达到或超过报警值时，基坑或者周围环境已经处于不利状况，数据上传的及时性更为重要，如果数据上传滞后，可能会丧失采取应急措施的宝贵时间。如果不具备上传数据的条件，监测人员应通过其他方式上报监测数据，例如通过电话、传真、人工送达等方式。

基坑施工的工况信息是十分重要的，监测数据应当与工况相匹配。仅有监测数据，无法准确地反映基坑和周围环境的状况，从而无法对工程的安全状态作出准确评估，而且在没有工况信息的情况下，无法判断监测数据的真实性、准确性。

13 监 测

13.1 一 般 规 定

13.1.1 本条对基坑监测的时间范围及监测形式进行了规定，即在基坑施工至回填结束前均需进行监测，监测既要求施工方自行监测，也要求要有建设单位委托的第三方监测。

13.3 信息采集与处理

13.3.1 监控信息化管理系统的安装、调试是实施监控信息化管理的前提条件，除了要保证网络畅通、监控信息化管理系统硬件及软

件的正常工作以外，还需对监测人员进行监测数据上传至监控信息化管理系统的培训，以及其他系统用户的使用培训，保证工程各方用户对于系统的熟练使用。

11.3.3 监控信息化管理系统应具有对人工采集的数据进行合理性校检，对自动采集的数据进行过滤的功能，并应具有安全性分析和趋势判断功能。监控信息化管理系统宜能根据监测数据预估施工对围护结构、水平结构、竖向支承结构、周边环境的影响，并根据设定的报警值进行预报警。

11.3.4 对于监控信息化管理，监测数据上传的及时性是十分重要的。

监测数据的真实、完整、有效是判断基坑与周围环境安全与否的前提，严禁监测人员编造数据，严禁漏报、瞒报监测数据。当监测数据达到或超过报警值时，基坑或者周围环境已经处于不利状况，数据上传的及时性更为重要，如果数据上传滞后，可能会丧失采取应急措施的宝贵时间。如果不具备上传数据的条件，监测人员应通过其他方式上报监测数据，例如通过电话、传真、人工送达等方式。

基坑施工的工况信息是十分重要的，监测数据应当与工况相匹配。仅有监测数据，无法准确地反映基坑和周围环境的状况，从而无法对工程的安全状态作出准确评估，而且在没有工况信息的情况下，无法判断监测数据的真实性、准确性。