建筑基坑工程技术标准

Technical standard for building foundation excavations

（征求意见稿）

**前 言**

本标准是根据山西省住房和城乡建设厅《2022年工程建设地方标准制（修）订计划（第二批）》的要求，由山西建设投资集团有限公司、山西省建筑设计研究院有限公司共同主编、会同山西钢铁建设（集团）有限公司等有关设计、施工、研究和教学单位，修订了《建筑基坑工程技术标准》DBJ04/T306-2014。

本标准共分16章和12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、土压力计算、基坑稳定性、支护结构选型、支护结构、土钉墙及复合土钉墙、重力式挡土墙、坡率法、土体加固、地下水控制、基坑开挖与回填、环境影响评价及保护措施、基坑监测。

本标准由山西省住房和城乡建设厅负责管理，山西建设投资集团有限公司负责具体技术内容解释。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山西建设投资集团有限公司（地址：山西示范区新化路8号，邮编030032）以供今后修订时参考。

主编单位：山西建设投资集团有限公司

山西省建筑设计研究院有限公司

参编单位：山西钢铁建设（集团）有限公司

太原市建筑设计研究院

山西省建筑科学研究院集团有限公司

山西省勘察设计研究院有限公司

太原市市政工程设计研究院

太原理工大学

山西裕祥岩土工程有限公司

主要起草人员：张循当 李卫俊 吴正杰 贾迎泽 李玉屏 李英涛 宋宇光

史卫平 弓晓丽 王志坚 史晋荣 何 亮 王敏泽 梁 进

关千军 贺武斌 潘 力 车家亮 卜 飞 何 鑫 闫洁民

申光凝 任 磊

**目 录**

[1 总 则 1](#_Toc4626)

[2 术语和符号 2](#_Toc8034)

[2.1 术语 2](#_Toc11480)

[2.2 符号 4](#_Toc7032)

[3 基本规定 9](#_Toc9470)

[4 岩土勘察 14](#_Toc30958)

[4.1 一般规定 14](#_Toc6535)

[4.2 勘探与测试 16](#_Toc22708)

[4.3 室内试验 19](#_Toc5556)

[4.4 勘察成果 21](#_Toc5841)

[5 土压力计算 24](#_Toc13329)

[5.1 一般规定 24](#_Toc24507)

[5.2 荷载组合 24](#_Toc25328)

[5.3 参数选择 25](#_Toc21861)

[5.4 计算原则 25](#_Toc7610)

[5.5 水平荷载 25](#_Toc27090)

[6 基坑稳定性 31](#_Toc18871)

[6.1 一般规定 31](#_Toc813)

[6.2 基坑整体稳定性验算 31](#_Toc6727)

[6.3 支挡结构嵌固深度的验算 34](#_Toc23992)

[6.4　基坑抗隆起稳定性验算 35](#_Toc16281)

[6.5 基坑底抗渗流稳定性验算 37](#_Toc523)

[7 支护结构选型 40](#_Toc31843)

[7.1 一般规定 40](#_Toc6782)

[7.2 现场周边环境 40](#_Toc25140)

[7.3 支护结构和适用条件 41](#_Toc2227)

[8 支挡结构 43](#_Toc12611)

[8.1 排桩支护 43](#_Toc25753)

[8.2 钢板桩 57](#_Toc32761)

[8.3 型钢水泥土搅拌墙 62](#_Toc6240)

[8.4 地下连续墙 73](#_Toc12166)

[8.5 锚杆 81](#_Toc10550)

[8.6 内支撑结构 90](#_Toc7731)

[8.7 逆作法 97](#_Toc31430)

[9 土钉墙及复合土钉墙 105](#_Toc19807)

[9.1 一般规定 105](#_Toc3021)

[9.2 设计 106](#_Toc8260)

[9.3 构造 111](#_Toc23623)

[9.4 施工与检测 113](#_Toc16885)

[10 重力式水泥土墙 117](#_Toc29177)

[10.1 一般规定 117](#_Toc29746)

[10.2 设计 117](#_Toc22121)

[10.3 构造 122](#_Toc22026)

[10.4 施工与检测 123](#_Toc391)

[11 坡率法 125](#_Toc26723)

[11.1 一般规定 125](#_Toc32392)

[11.2 设 计 125](#_Toc2011)

[11.3 施 工 126](#_Toc17612)

[12 土体加固 127](#_Toc3749)

[13 地下水控制 129](#_Toc19656)

[13.1 一般规定 129](#_Toc9800)

[13.2 基坑降水设计 132](#_Toc26940)

[13.3 管井降水 134](#_Toc20594)

[13.4 基坑降水施工 137](#_Toc28494)

[13.5 截水帷幕 138](#_Toc10037)

[14 基坑开挖和回填 141](#_Toc19513)

[14.1 一般规定 141](#_Toc6257)

[14.2 开挖方案 141](#_Toc23984)

[14.3 土方开挖 142](#_Toc15664)

[14.4 土方回填 143](#_Toc18985)

[15 环境影响评价及保护措施 145](#_Toc13631)

[15.1 一般规定 145](#_Toc16553)

[15.2 评估内容 146](#_Toc28756)

[15.3 基坑变形预估 146](#_Toc971)

[15.4 环境保护措施 147](#_Toc22896)

[16 基坑监测 150](#_Toc530)

[16.1 一般规定 150](#_Toc15981)

[16.2 监测点布置 153](#_Toc3531)

[16.3 监测方法 153](#_Toc23761)

[16.4 报警值 154](#_Toc6413)

[16.5 监测频率 155](#_Toc1629)

[16.6 报告编写 157](#_Toc16020)

[附录A 锚杆抗拔试验要点 158](#_Toc8944)

[A.1 一般规定 158](#_Toc26244)

[A.2 基本试验 158](#_Toc3685)

[A.3 蠕变试验 160](#_Toc19167)

[A.4 验收试验 161](#_Toc13778)

[附录B 土钉抗拔试验要点 163](#_Toc22472)

[附录C 土的渗透变形 166](#_Toc15783)

[附录D 井水位降深预测 170](#_Toc13759)

[附录E 圆形截面混凝土支护桩的正截面抗弯承载力表 174](#_Toc30837)

[附录F 基坑涌水量估算 178](#_Toc13694)

[附录G 钢板桩截面类型 181](#_Toc25940)

[附录H 沉桩方法及沉桩设备的选用 186](#_Toc32178)

[附录J 型钢水泥土搅拌墙常用规格及计算参数 188](#_Toc26340)

[附录K 常用预应力混凝土预制桩选型 189](#_Toc22174)

[附录L 锚杆杆体材料力学性能 191](#_Toc32498)

[附录M 常用的钢支撑及钢腰梁构件技术参数 192](#_Toc29474)

[本标准用词说明 197](#_Toc5115)

[引用标准名录 198](#_Toc10848)

**Contents**

1 Gereral Provisions 1

2 Terms amd Symbols 2

2.1 Terms 2

2.2 Symbols 4

3 Basic Requirement 9

4 Geotechnical Investigation 14

4.1 General Requirement 14

4.2 Exploration and Testing 16

4.3 Laboratory Experiment 19

4.4 Investigation Results 20

5 Calculation of Earth Pressure 23

5.1 General Requirement 23

5.2 Load Combination 23

5.3 Parameters Selection 24

5.4 Principles of Calculation 24

5.5 Horizontal Load 24

6 Stability of Foundation Pit 30

6.1 General Requirement 30

6.2 Overall Stability Analysis 30

6.3 Stable Embedded Depth Analysis of Retaining Structures 33

6.4 Heaving Resistant Stability Analysis 34

6.5 Seepage Stability Analysis 36

7 Selection of Bracing and Retaining 39

7.1 General Requirement 39

7.2 In-situ Surrounding around Excavations 39

7.3 Application Conditions of Bracing and Retaining 40

8 Bracing and Retaining 42

8.1 Surrorting of Reinforced Soldier Pile Wall 42

8.2 Steel Sheet Pile 56

8.3 Soil Mixed Wall 61

8.4 Diaphragm Wall 72

8.5 Anchor 79

8.6 Strut 88

8.7 Inverse Method 95

9 Soil Nailing Wall and Composite Soil Nailing Wall 103

9.1 General Requirement 102

9.2 Design 104

9.3 Construction Measures 109

9.4 Construction and Examination 111

10 Gravity Retaining Wall 115

10.1 General Requirement 115

10.2 Design 115

10.3 Construction Measures 120

10.4 Construction and Examination 122

11 Slope Ratio Method 123

11.1 General Requirement 123

11.2 Design 123

11.3 Construction 124

12 Soil Reinforcement 125

13 Groundwater Control 127

13.1 General Requirement 127

13.2 Dewatering Design 128

13.3 Tube Well Precipitation 130

13.4 Dewatering Project 132

13.5 Curtain for Cutting-off Drains 132

14 Excavation and Backfilling 135

14.1 General Requirement 135

14.2 Excavation Scheme 135

14.3 Soil Excavation 136

14.4 Earthwork Backfilling 137

15 Environmenal Impact Assessmet and Prevetion Measures 139

15.1 General Requirement 139

15.2 Evaluation Contents 140

15.3 Prediction of Foundation Pit Deformation 140

15.4 Prevention Measures 141

16 Monitoring 144

16.1 General Requirement 144

16.2 Layout of Monitorring Points 147

16.3 Monintoring Methods 147

16.4 Warning Value 148

16.5 Monitoring Frequency 149

16.6 Report Writing 151

Appendix A Kernel of Anchor Pull-out Test 152

A.1 General Requirement 152

A.2 Basci Test 152

A.3 Creep Test 154

A.4 Verification Test 155

附录B Kernel of Soil Nail Pull-out Test 157

附录C Seepage Deformation of Soil 160

附录D Dropdown Calculation of Partially Penetrating Well 164

附录E Flexural Capacity Table of Reinforced Concrete Pile 168

附录F Estimation of Foundation Pit Water Inflow 172

附录G Section Type of Steel Sheet Pile 175

附录H Method and Equipement Selections of Pile-Sinking 180

附录J Used Specifications and Calculation Parameters of Steel Cement-soil Mixing Wall 182

附录K Selection of Used prestressed concrete precast pile 183

附录L Mechanical properties of anchor rod material 185

附录M Used technical parameters of steel strut and steel waist beam components常用 186

Terminology of this standard 191

List of Quoted Standards 192

Addition: Explanation of Provisions

# 1 总 则

**1.0.1** 为使山西行政区域内建筑基坑工程做到安全可靠、技术先进、经济合理，并满足基坑周边环境保护要求，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于山西省行政区域内建筑基坑支护工程的勘察、设计、施工、土方开挖及监测。

**1.0.3** 建筑基坑支护工程应综合考虑地质条件、周边环境、地下结构形式等因素，因地制宜，合理选型、优化设计、精心施工、严格监测。

**1.0.4** 建筑基坑工程除应符合本标准规定之外，尚应符合现行国家、行业和山西省地方标准的相关规定。

# 2 术语和符号

## 2.1 术语

**2.1.1**基坑 excavations

为进行建(构)筑物地下部分的施工由地面向下开挖出的空间。

**2.1.2** 基坑影响范围 affected　scope　of excavations

基坑工程引起的水平位移、地面沉降及地下水变化影响的区域。

**2.1.3**设计工作年限design workable 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。

**2.1.4** 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。

**2.1.5** 基坑支护 retaining and protection for excavations

为保证地下结构施工和基坑周边环境的安全，对基坑采取的支挡、加固、保护与地下水控制的措施。

**2.1.6**支护结构 retaining and protection structure

支挡或加固基坑侧壁的结构。

**2.1.7**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。

**2.1.8**挡土构件 structural member for earth retaining

设置在基坑侧壁并嵌入基坑底面的支护结构竖向构件。例如，支护桩、地下连续墙。

**2.1.9** 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。

**2.1.10** 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。

**2.1.11** 支撑式支挡结构 strutted retaining structure

以挡土构件和支撑为主要构件的支挡式结构。

**2.1.12**排桩 soldier 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。

**2.1.13** 双排桩 double-row-piles wall

沿基坑侧壁排列设置的由前、后两排支护桩和连梁组成的刚架式支挡结构。

**2.1.14** 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。

**2.1.15** 锚杆 anchor

由杆体（钢绞线、普通钢筋、预应力螺纹钢筋或钢管）、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。

**2.1.16**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。

**2.1.17** 冠梁 capping beam

设置在挡土构件顶部的钢筋混凝土连梁。

**2.1.18**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。

**2.1.19**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。

**2.1.20** 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。

**2.1.21**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。

**2.1.22**重力式水泥土墙 gravity cement-soil wall

水泥土桩相互搭接成格栅（状）或实体（状）的重力式支护结构。

**2.1.23** 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。

**2.1.24** 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。

**2.1.25**截水帷幕 curtain for cutting off drains

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

**2.1.26**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。

**2.1.27**钢板桩steel sheet piling

钢材经冷弯或热轧工艺加工的、带有连接锁口的钢构件，可分为冷弯钢板桩和热轧钢板桩。

**2.1.28**钢板桩墙steel sheet pile wall

钢板桩通过锁口连接形成的连续墙体。

**2.1.29** 钢板桩支护结构retaining structure of steel sheet pile

由钢板桩墙、锚杆（索）、支撑等构件组成的为基坑提供支挡抗力的结构体系。

## 2.2 符号

**2.2.1** 作用和作用效应

**、**——主动土压力、被动土压力标准值﹔

**——支护结构和土的自重﹔

**——渗透力﹔

**——弯矩设计值﹔

**——荷载标准组合的弯矩值﹔

**——轴向拉力或轴向压力设计值﹔

**——作用标准组合的轴向拉力值或轴向压力值﹔

**——基坑地面附加压力的标准值﹔

**、**——主动土压力强度标准值﹑被动土压力强度标准值﹔

**——分布土反力﹔

**——分布土反力初始值﹔

**——单井涌（抽水）量﹔

**——均布附加荷载标准值﹔

**——结构构件抗力设计值﹔

**——弹性支点水平反力﹔

**——锚杆或土钉的极限抗拔承载力标准值﹔

**——固结沉降量﹔

**——设计水位降深﹔

**——作用组合的效应设计值﹔

**——作用标准组合效应﹔

**——孔隙水压力﹔

**——剪力设计值﹔

**——作用标准组合的剪力值﹔

**——挡土构件的水平位移。

**2.2.2** 材料性能和抗力

**——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﹔

**——土的粘聚力﹔

**——弹性模量﹔

**——锚杆的复合弹性模量﹔

**——锚杆固结体的弹性模量﹔

**——锚杆杆体或支撑的弹性模量或土的压缩模量﹔

**——混凝土弯曲抗压强度设计值﹔

**——水泥土开挖龄期时的轴心抗压强度设计值﹔

**——预应力筋的抗拉强度设计值﹔

——钢筋的抗拉强度设计值﹔

**——潜水初始含水层厚度﹔

**——土的渗透系数﹔

**——含水层厚度﹔

**——土与锚杆或土钉的极限粘结强度标准值﹔

**——锚杆或土钉墙的极限抗拔承载力标准值﹔

**——影响半径﹔

**——水泥土墙的重度﹔

**——土的天然重度﹔

**——地下水的重度﹔

——土的内摩擦角﹔

**2.2.3** 几何参数

**——构件的截面面积﹔

**——预应力钢筋的截面面积﹔

**——普通钢筋的截面面积﹔

**——截面宽度﹔

**——桩、锚杆、土钉的直径或基础埋置深度﹔

**——基坑深度或构件截面高度﹔

**——受压支撑构件的长度﹔

**——承压含水层厚度﹔

**——降水井半径﹔

**——锚杆间距﹔

**——锚杆、土钉的倾角或支撑轴线与水平面的夹角﹔

**——滑弧面法线与垂直面夹角﹔

**2.2.4** 设计参数和计算系数

**——土的水平反力系数﹔

**——弹性支点轴向刚度系数﹔

**——安全系数﹔

**——主动土压力系数﹔

**——嵌固稳定安全系数﹔

**——静止土压力系数﹔

**——被动土压力系数﹔

**——土的水平反力系数的比例系数﹔

**——支撑松弛系数﹔

**——作用基本组合的综合分项系数﹔

**——支护结构重要性系数﹔

**——主动土压力折减系数﹔

**——支撑不动点调整系数﹔

**——墙体材料的抗剪断系数。

# 3 基本规定

**3.0.1** 基坑支护设计应规定其设计工作年限。基坑支护的设计工作年限不应小于一年。

**3.0.2** 基坑支护应满足下列功能要求：

1 保证支护结构体系的强度和变形满足要求；

2 保证基坑周边建（构）筑物、地下管线、道路、城市轨道交通等市政设施的安全和正常使用；

3 保证主体地下结构的施工空间和安全。

**3.0.3** 根据环境条件、工程地质和水文地质条件，将场地类型分为I （复杂）、II （较复杂）、III （简单）三类：

1 存在下列情况之一时为I类：

1) 基坑侧壁受水浸湿可能性大，且坑壁土多为填土层，Ⅲ级以上自重湿陷性黄土，新近堆积黄土；

2) 基坑工程降水深度大于6m，降水对周边环境有较大影响；

3) 基坑影响范围内为高灵敏土、严重液化土、膨胀潜势为强的膨胀岩土、III级强溶陷或强盐胀性盐渍土；

4) 基坑影响范围内既有建（构）筑物对变形反应敏感；

5) 土岩组合边坡基岩倾向与基坑放坡方向一致，且基岩倾角大于15°。

2 存在下列情况之一时为II类：

1) 基坑侧壁受水浸湿可能性较大；

2) 降水对周边环境有一定影响；

3) 坑壁土为II级自重湿陷性黄土、中等液化土、膨胀潜势为中等的膨胀岩土、II级中溶陷或中盐胀性盐渍土。

3 存在下列条件之一的为III类：

1) 基坑侧壁受水浸湿可能性较小；

2) 自然水位在坑底之下；

3) 土岩组合边坡基岩倾向与基坑放坡方向相反。

**3.0.4** 基坑工程按表3.0.4划分为三个安全等级。

**表3.0.4 基坑工程安全等级划分**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 开挖深度*h*（m） | 环境条件与工程地质、水文地质条件 | | | | | | | | |
| *α*<1.0 | | | 1.0≤*α*≤2.0 | | | *α*>2.0 | | |
| I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| *h*>15 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 |
| 7<*h*≤15 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 二级 | 一级 | 二级 | 二级 |
| *h*≤7 | 一级 | 一级 | 二级 | 一级 | 二级 | 二级 | 二级 | 三级 | 三级 |

注：1 *h*——基坑开挖深度（m）；

2 ——相对距离比（=*x*/*h*′），为邻近建筑物基础外边沿距基坑侧的水平距离与基础底面距基坑底垂直距离的比值（见图3.0.4）；

3 基坑开挖深度≥20m时，设计前应进行专题咨询论证。

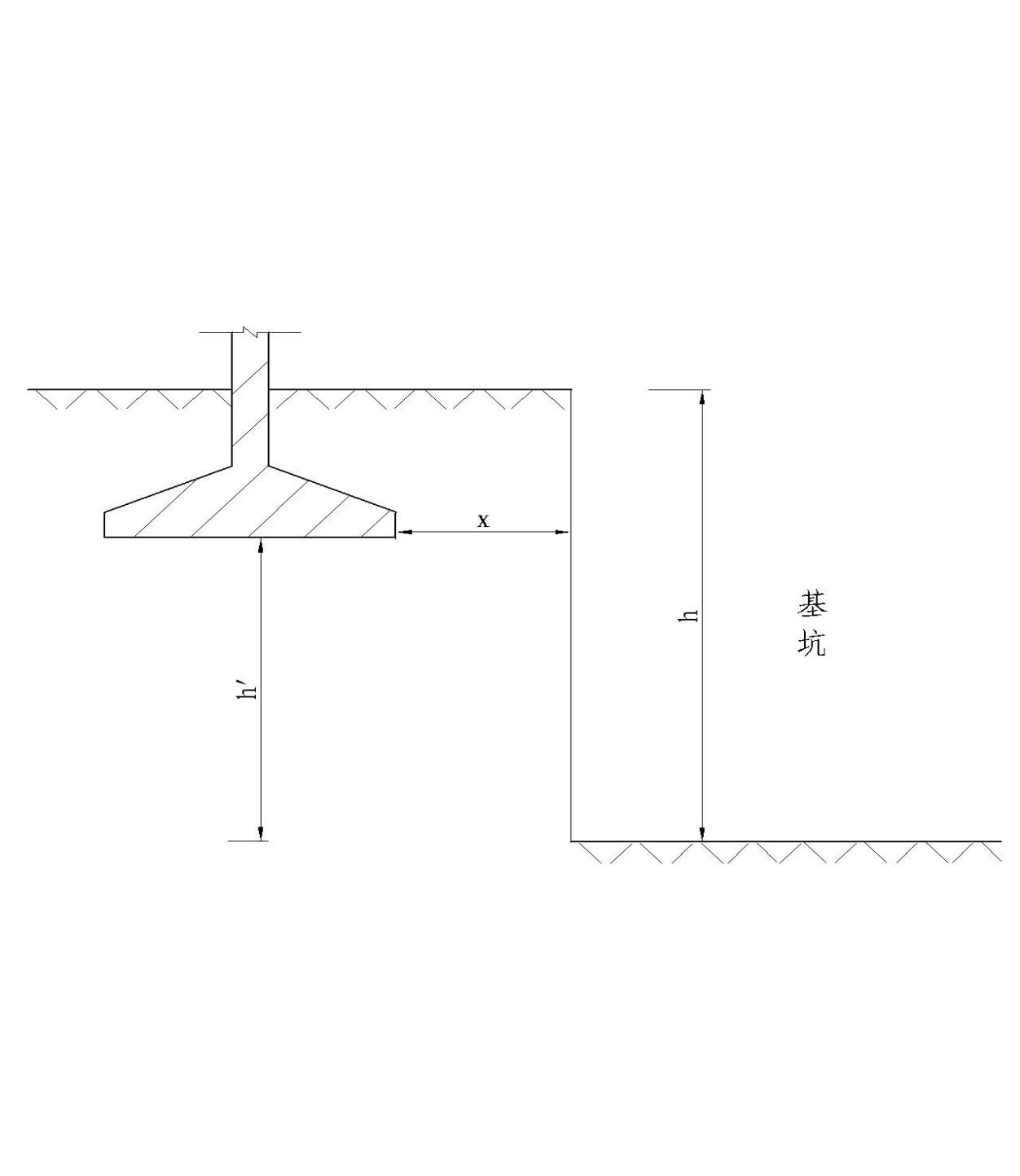


图3.0.4 相邻建筑物基础(管线)与基坑相对关系示意

基础(管线)外边缘距基坑侧壁的水平距离

基础(管线)底面距坑底面的垂直距离

既有建筑物基础(管线)

**3.0.5** 同一基坑依周边条件不同，可取不同的安全等级。

**3.0.6** 基坑工程支护结构设计时，对安全等级为一级、二级、三级时，其侧壁支护结构的重要性系数分别不小于1.1、1.0、0.9。

**3.0.7**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：

|  |  |
| --- | --- |
| *γ*0*S*d ≤*R*d | （3.0.7-1） |

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 = *γ*F *S*k | （3.0.7-2） |

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：

|  |  |
| --- | --- |
| *R*k/*S*k≥*K* | （3.0.7-3） |

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 ≤ *C* | （3.0.7-4） |

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。

**3.0.8** 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（*γ*0*S*d）可采用下列内力设计值表示：

弯矩设计值

|  |  |
| --- | --- |
| *M* =*γ*0*γ*F *M* k | （3.0.8-1） |

剪力设计值

|  |  |
| --- | --- |
| *V* =*γ*0*γ*F *V* k | （3.0.8-2） |

轴向力设计值

|  |  |
| --- | --- |
| *N* =*γ*0*γ*F *N* k | （3.0.8-3） |

式中： *M*——弯矩设计值 (kN·m)；

*M*k——按作用标准组合计算的弯矩值(kN·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)。

**3.0.9** 基坑工程设计前应取得下列资料：

1 用地和建筑红线图、场区地形图及地下工程结构施工图（含桩位图）；

2 满足基坑设计的岩土工程勘察报告；

3 基坑周边既有建（构）筑物资料；

4 基坑周边可能的地面堆载及动荷载。

**3.0.10** 基坑工程岩土勘察资料应包含下列内容：

1 土层划分及描述；

2 地下水的类型、地下水位高程及变化幅度；

3 各含水层的水力联系、补给、径流条件及土层的渗透系数；

4 各土层的抗剪强度指标的建议值；

5 土工试验成果汇总表；

6 各土层的湿陷指标、触变性指标、承载力指标；

7 支护及降水方案的建议。

**3.0.11** 基坑工程设计文件应包括下列内容：

1 基坑设计总说明：工程概况（工程地址、周边环境条件、结构设计概况、基坑尺寸等）、设计依据、工程地质及水文地质条件、基坑安全等级、支护结构形式（对基坑及周边环境的控制）、地下水控制设计、对周边环境影响的控制措施、材料及主要设计参数、基坑开挖与回填要求、支护结构施工要求、基坑工程检测、监测与维护要求、验收检验要求条件、其他；

2 基坑设计总平面图；

3 支护结构平面布置图、剖面图、节点详图；

4 地下水控制设计平面图、帷幕及井的结构；

5 设计计算：支护结构体系上的作用和作用组合确定、基坑支护体系的稳定性验算、支护结构的承载力、稳定和变形计算。

**3.0.12** 基坑支护工程的施工及土方开挖应具备下列条件：

1 基坑设计施工图；

2 基坑影响范围内管网管线布置图；

3 专项施工方案；

4 周围环境的监测方案及初始值测定；

5 基坑安全等级为一级、二级的工程，基坑支护设计方案专家论证意见；

6 超过一定规模的危大工程专项施工方案的专家论证意见。

**4 岩土勘察**

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 基坑工程岩土勘察与评价内容，应根据不同勘察阶段的要求及基坑安全等级综合确定。基坑工程岩土勘察应解决的主要问题包括：

1 查明与基坑开挖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；并提供满足基坑工程设计、施工所需的岩土参数；

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，应查明岩体的岩性、产状、风化程度，结构面（尤其是软弱面）的类型、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 对影响基坑侧壁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、地下水控制和基坑开挖施工方案提出建议；

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进行灵敏度评价；

6 对湿陷性黄土应按《湿陷性黄土地区建筑规范》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；

9 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；

10 对软土应查明成因类型、分布特征，分析固结历史、结构性和灵敏度。

**4.1.2** 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。对周边环境条件复杂、开挖深度超过20m的一级基坑工程，宜针对基坑工程的设计、施工要求提供专项勘察报告。

**4.1.3** 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。

**4.1.4** 在进行基坑工程岩土勘察之前应取得以下资料：

1 附有坐标、用地和建筑红线及周边既有建（构）筑物的总平面布置图；

2 场地内及周边地下管线、人防工程及其它地下构筑物的分布图；

3 拟建建（构）筑物±0.000绝对标高、结构类型、荷载情况、基础埋深和地基处理方法及基础形式；

4 拟建场地地面标高、坑底标高和基坑平面尺寸；

5 场地及基坑附近地区已有的勘察资料、当地常用的基坑支护形式及地下水控制方法和经验等资料。

**4.1.5** 对位于边坡附近的基坑工程，应评价边坡稳定性及边坡对基坑工程的影响，对不稳定边坡或基坑开挖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。

**4.1.6** 土的分类定名，应符合国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021及《建筑地基基础设计规范》GB50007有关规定，对粉土尚应进一步按表4.1.6划分为黏质粉土和砂质粉土。

**表4.1.6 粉 土 分 类**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土的名称 | 颗 粒 级 配 | 塑性指数Ip |
| 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＜Ip≤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＜Ip≤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。

## 4.2 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，当支护结构可能采用土钉、锚杆（索）且条件允许时，基坑外勘探点布置范围不宜小于基坑开挖深度的1.5倍～2倍；

2 对地形或地质条件复杂的基坑，可根据需要适当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分析；

3 勘探点宜沿基坑边线布置，间距宜为15 m～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有勘探点；

4 对软塑、流塑状态的黏性土及人工填土分布较厚的区域或可能造成基坑设计、施工困难的地层以及暗沟、暗塘等异常地段，应适当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，探井数量宜为取土样孔总数的1/2～2/3，且不少于2个；

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

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

**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；在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 一级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 规模较大，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 采取土试样和进行原位测试的竖向间距1.0m～2.0m，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不应少于6件，原位测试数据不应少于6个（组）；

3 在基坑影响范围内，厚度大于0.5m的夹层或透镜体，应取土试样或进行原位测试；

4 当地层不均匀时，应增加取土样或原位测试数量；

5 采用嵌岩桩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** 一、二级基坑工程，软塑、流塑状态黏性土的灵敏度，宜采用十字板剪切试验测定。

**4.2.6** 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。

**4.2.7** 遇到地下水时，应测量初见水位和稳定水位并确定地下水类型，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，并应在勘探结束后统一量测稳定水位，量测读数至厘米，精度不低于±2cm。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。

**4.2.8** 对工程有影响的地下水和地表水，应取水样进行水质分析，取样数量一般工程不应少于2件，大型工程不应少于3件。水质分析项目及评价应符合国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021有关规定。

**4.2.9** 当场地水文地质条件复杂或降水深度较大而且缺乏经验的大型基坑工程，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。

**4.2.10** 勘探孔及探井施工结束后，应及时夯实回填，回填质量应满足相关规定。基坑内水位以下勘探孔的封孔材料宜采用黏土球。

**4.2.11** 根据工程需要，基坑周边环境条件调查，宜作为专项勘察工作进行，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 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；

2 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 基坑开挖范围内存在旧建筑基础、人防工程、其它洞穴、厚层人工填土、高陡边坡时，应查明其空间分布特征和对基坑工程的影响。当已有资料不能满足要求时，可用坑探或物探等方法查明；

4 场地周围和邻近地区地表水汇流、排泄条件和基坑四周道路及运行车辆载重情况；

5 场地附近正在抽降地下水的施工现场，应查明其降深、影响范围和可能的停抽时间；

6 相邻已有基坑工程的支护方法及对拟建场地的影响。

## 4.3 室内试验

**4.3.1** 室内试验项目及要求应根据工程特点、岩土性质和工程分析计算需要确定。一般应进行下列试验：

1 不扰动粉土、黏性土样均应进行密度、含水量、比重、液限、塑限和固结试验，固结试验最大压力应大于土的有效自重压力与附加压力之和；

2 粉土应进行颗粒分析试验；

3 砂土应进行颗粒分析试验和水上、水下休止角试验；

4 黄土及以粉土、黏性土为主的素填土应进行湿陷性试验，试验方法应符合《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025的有关规定；

5 膨胀岩土应进行膨胀与收缩试验，试验方法应符合《膨胀土地区建筑技术规范》GB50112的有关规定；

6 盐渍土应进行溶陷性、盐胀性、腐蚀性试验，试验方法应符合《盐渍土地区建筑技术规范》GB/T 50942的有关规定；

7 软塑、流塑状态黏性土宜进行灵敏度试验；

8 岩石试样应进行饱和单轴抗压强度试验或天然湿度单轴抗压强度试验。

9 目测鉴定土试样中含有机质时，应进行有机质含量试验。

**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** 土的抗剪强度指标的试验方法，可按表4.3.4规定选用。

**表4.3.4土的抗剪强度指标试验方法**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 岩土名称 | 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 | ccu、ϕcu或  ccq、ϕcq | 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 | ccu、ϕcu或  ccq、ϕcq | 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 | cuu、ϕuu或  cq、ϕq | 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  cd、ϕd | 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、ccq、ϕcq表示直剪固结快剪强度指标；

1. cq、ϕq表示直剪快剪强度指标；ccu、ϕcu表示三轴固结不排水抗剪强度指标；
2. cuu、ϕuu表示三轴不固结不排水抗剪强度指标；
3. cd、ϕd表示三轴固结排水抗剪强度指标；
4. 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场地的基坑工程，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c、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c、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** 对软土、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性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** 位于斜坡地段的基坑，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。

# 5 土压力计算

## 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、施工荷载及临近场地施工的影响；

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。

## 5.2 荷载组合

**5.2.1** 支护设计时，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采用荷载基本组合；

2 支护结构整体稳定极限状态计算采用荷载基本组合，其分项系数取1；

3 支护结构水平位移计算采用正常使用极限状态下荷载标准组合。

**5.2.2** 支护结构应根据作用的荷载，按本标准3.0.7、3.0.8条规定进行承载力计算和稳定性验算。

## 5.3 参数选择

**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** 土体重度指标取其平均值，并按下列规定取用：地下水位以上的土体，应取其天然重度；地下水位以下的土体，对碎石土、砂土、砂质粉土取有效重度；黏性土、黏性粉土取饱和重度。

**5.3.3** 土体的抗剪强度按本标准4.3.4条确定，对灵敏度较高的土、严重液化土，当基坑临近有交通频繁、施工扰动等原因造成对土体强度有不利影响时，应考虑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，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；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它计算方法。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

**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

|  |  |
| --- | --- |
|  | （5.5.1-1） |
|  | （5.5.1-2） |
|  | （5.5.1-3） |
|  | （5.5.1-4） |

式中： ——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<0时应取＝0；

**——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)；

**——分别为第*i*层土的主动土压力系数、被动土压力系数；

**——分别为第*i*层土的粘聚力(kPa)、内摩擦角(°)；

**——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

|  |  |
| --- | --- |
|  | （5.5.1-5） |
|  | （5.5.1-6） |

式中：——分别为支护结构外侧、内侧计算点的水压力(kPa)。

3 静止土压力

静止土压力强度，可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （5.5.1-7） |

式中：——计算点处静止土压力强度标准值（kPa）；

——第*i*层土的重度（kN/m3）；

——第*i*层土的厚度（m）；

——静止土压力系数。

**5.5.2** 静止水压力计算：

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。

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式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （5.5.3-1） |
|  | （5.5.3-2） |

式中：——支护结构外侧由土自重产生的竖向总应力；

——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；

——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.  （5.5.4-1）
2.  （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：——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*θ*≤≤*d+*(3*a*+*b*)/tan*θ*时

|  |  |
| --- | --- |
|  | （5.5.4-3） |

式中：——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（°），宜取*θ=*45°；

**——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**<*d*＋*a*/tan45°或**>*d*＋(3*a*+*b*)/tan45°时，取。

2）对矩形基础下的附加荷载（图5.5.4-2）：

当*d*＋*a*/tan*θ*≤**≤*d+*(3*a*+*b*)/tan*θ*时

|  |  |
| --- | --- |
|  | （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**<*d*＋*a*/tan45°或**>*d*＋(3*a*+*b*)/tan45°时，取。



**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，可将上部放坡看做附加荷载（图5.5.4-3）：

1) **≤*a*时， （5.5.4-5）

2) *a*≤**≤（*a*+*b*）时， （5.5.4-6）

3) **＞（*a*+*b*）时， （5.5.4-7）

式中：*b* ——与基坑边垂直方向上放坡宽度尺寸（m）；

——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** 基坑支护工程应进行整体稳定性验算，必要时尚应进行基坑底抗隆起稳定性和抗渗流稳定性验算。不同支护结构类型应按如下规定验算相关的稳定性内容。

1板式支挡结构的稳定性验算内容包括整体稳定性、抗倾覆稳定性、坑底抗隆起稳定性和抗渗流稳定性；

2 重力式水泥土墙的稳定性验算内容包括整体稳定性、抗倾覆稳定性、坑底抗隆起稳定性、抗滑移稳定性和抗渗流稳定性，有关稳定性验算应符合本标准8.9相关规定；

3 土钉墙和复合土钉墙支护的有关稳定性验算应符合本标准8.8相关规定。

**6.1.2** 在基坑稳定性分析时，对于高灵敏度土场地需注意扰动对土体强度的影响；湿陷性黄土场地则需注意雨水、渗水等外界水变化的影响；软弱土场地需考虑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** 板式支挡结构和坡率法基坑整体稳定性可采用圆弧滑动条分法进行验算，应按下式进行整体稳定性验算（图6.2.1）：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.2.1-1） |
|  | （6.2.1-2） |

式中：——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、三级的支挡结构，*Ks*分别不应小于1.35、1.3、1.25；

——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；

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

——第j土条的宽度 (m)；

——第j土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角 (°)；

——第j土条的滑弧段长度 (m)，取；

——作用在第j土条上的附加分布荷载标准值 (kPa)；

——第j土条的自重 (kN)，按天然重度计算；分条时，格栅式重力挡墙可按土体考虑；

——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，在基坑内侧，可取；在地下水位以上或对地下水位以下的黏性土，取；

——地下水重度 (kN/m3)；

——基坑外侧地下水位至第j土条滑弧面中点的垂直距离 (m)；

——基坑内侧地下水位至第j土条滑弧面中点的垂直距离 (m)；

——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（或）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、格栅式重力挡墙，不考虑项；

——第k层锚杆或土钉的倾角 (°)；

——滑动面在第k层锚杆或土钉处的法线与垂直面的的夹角 (°)；

——第k层锚杆或土钉的水平间距 (m)；

——计算系数；可按取值；

——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6.2.1 圆弧滑动条分法整体稳定性验算

1－任意圆弧滑动面；2－锚杆或土钉

**6.2.2** 锚拉式支挡结构和支撑式支挡结构，当坑底以下为软土时，其嵌固深度应按式（6.2.2）进行以最下层支点为轴心的圆弧滑动稳定性验算（图6.2.2）：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.2.2） |

式中：——以最下层支点为轴心的圆弧滑动稳定安全系数；基坑工程安全等级为一级、二级、三级的支挡式结构，分别不应小于2.2、1.9、1.7；

**、——第j土条在滑弧面处土的粘聚力 (kPa)、内摩擦角 (°)，按本标准相关规定取值；

——第j土条的滑弧段长度 (m)，取；

——作用在第j土条上的竖向附加分布荷载标准值 (kPa)；

——第j土条的宽度 (m)；

——第j土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角 (°)；

——第j土条的自重 (kN)，按天然重度计算。



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 支挡结构嵌固深度的验算

**6.3.1** 悬臂式支挡结构的嵌固深度应符合式（6.3.1）要求（图6.3.1）：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.1） |

式中：—— 嵌固稳定安全系数；基坑工程安全等级为一级、二级、三级的悬臂式支挡结构，分别不应小于1.25、1.2、1.15；

—— 基坑外侧第层土主动土压力合力标准值 (kN)；

—— 基坑内侧第层土被动土压力合力标准值 (kN)；

、—— 分别为、作用点至挡土构件底端的距离 (m)。

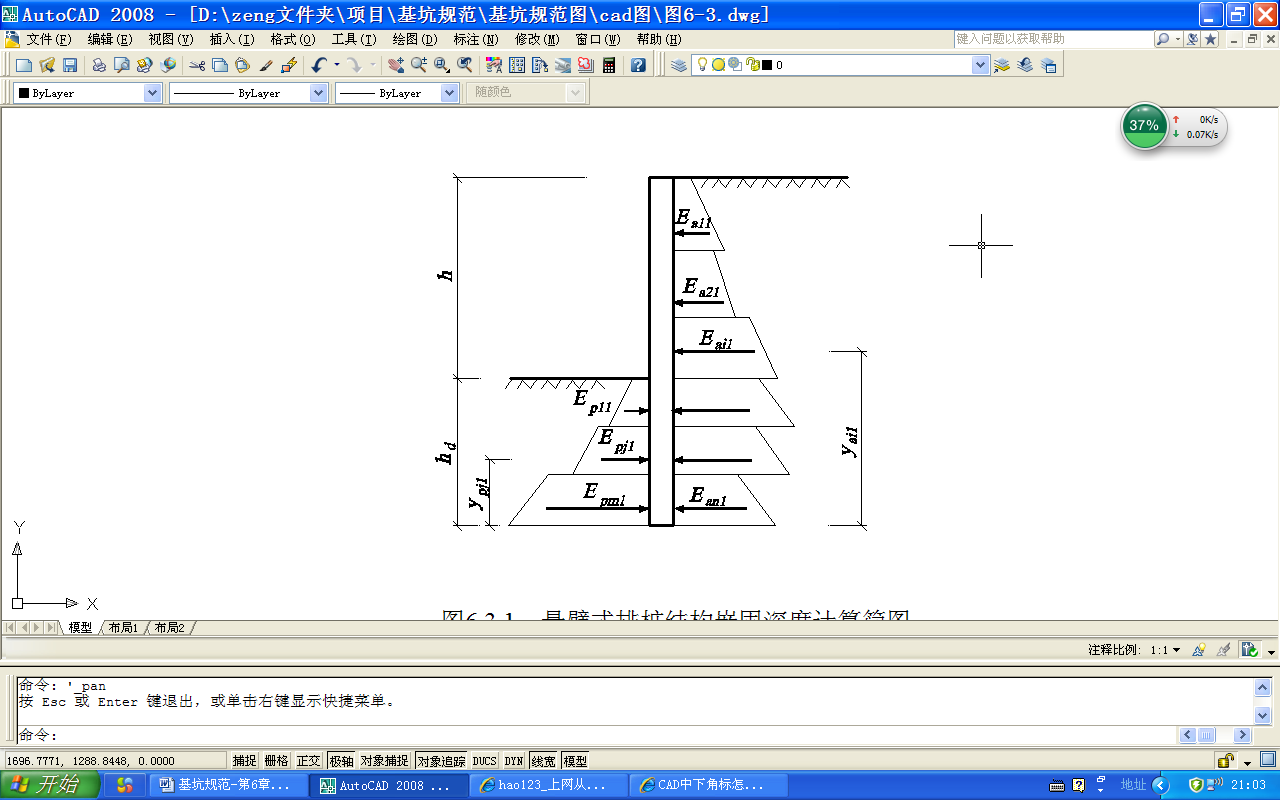


图6.3.1 悬臂式排桩结构嵌固深度计算简图

**6.3.2** 单层锚杆和单层支撑的支挡式结构的嵌固深度应符合式（6.3.2）要求（图6.3.2）：

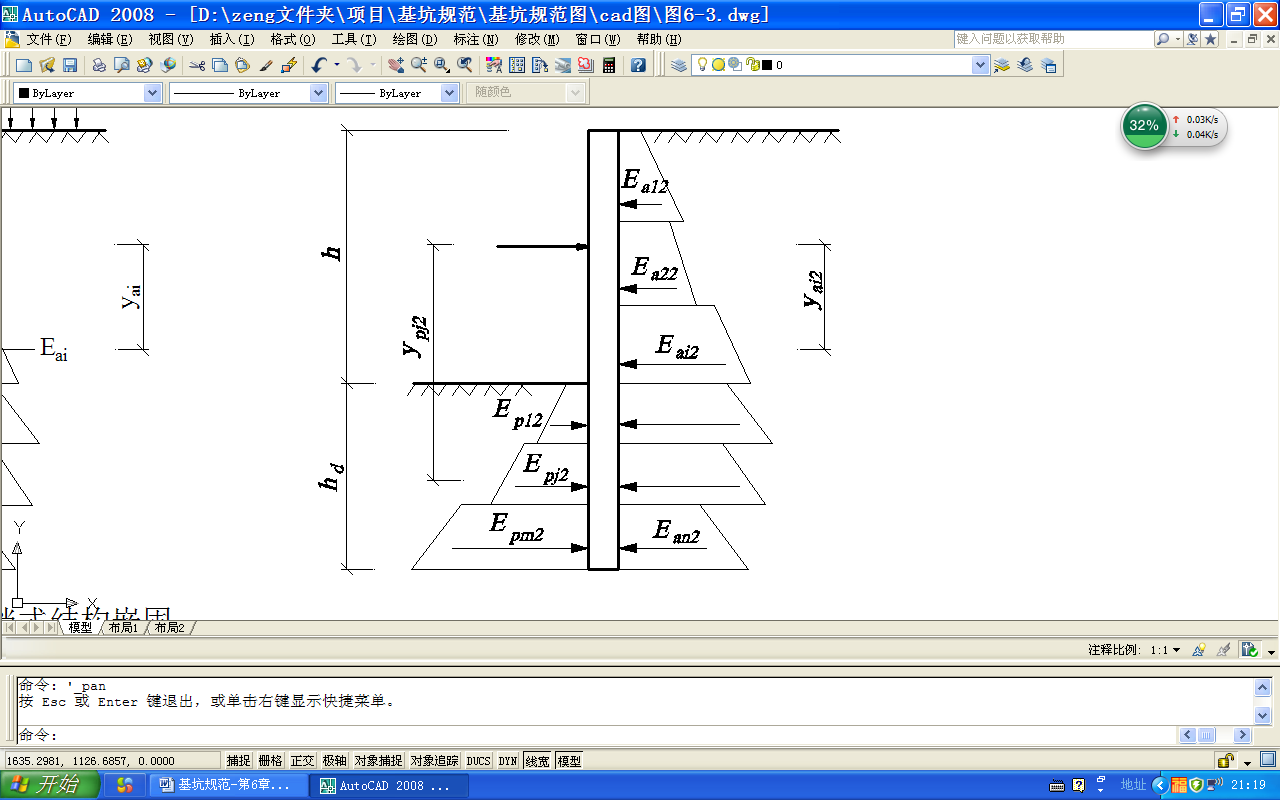


图6.3.2 单层锚杆和单层支撑的支挡式结构嵌固深度计算简图

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6.3.2） |

式中： —— 嵌固稳定安全系数；基坑工程安全等级为一级、二级、三级的锚拉式支挡结构和支撑式支挡结构，分别不应小于1.25、1.2、1.15；

—— 基坑外侧第层土主动土压力合力标准值 (kN)；

—— 基坑内侧第层土被动土压力合力标准值 (kN)；

、—— 分别为、作用点至支点的距离 (m)。

**6.3.3** 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1.2（为基坑深度）；对单支点支挡式结构不宜小于0.8；对多支点支挡式结构不宜小于0.5。

## 6.4 基坑抗隆起稳定性验算

**6.4.1** 悬壁式支挡结构可不进行隆起稳定性验算。

**6.4.2** 锚拉式支挡结构和支撑式支挡结构应按式（6.4.2）进行坑底抗隆起稳定性验算（图6.4.2-1）。

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6.4.2-1) |

图6.4.2-1 基坑底抗隆起稳定性验算

式中： ——坑底隆起安全系数, 基坑工程安全等级为一级、二级、三级的支挡结构，分别不应小于1.8、1.6、1.4；

、——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/m3)；

**、——支挡结构底面下土的粘聚力 (kPa)、内摩擦角 (°)；

——承载力系数；；。

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6.4.2-2），此时式（6.4.2）中的、应取软弱下卧层顶面以上土的加权平均重度。

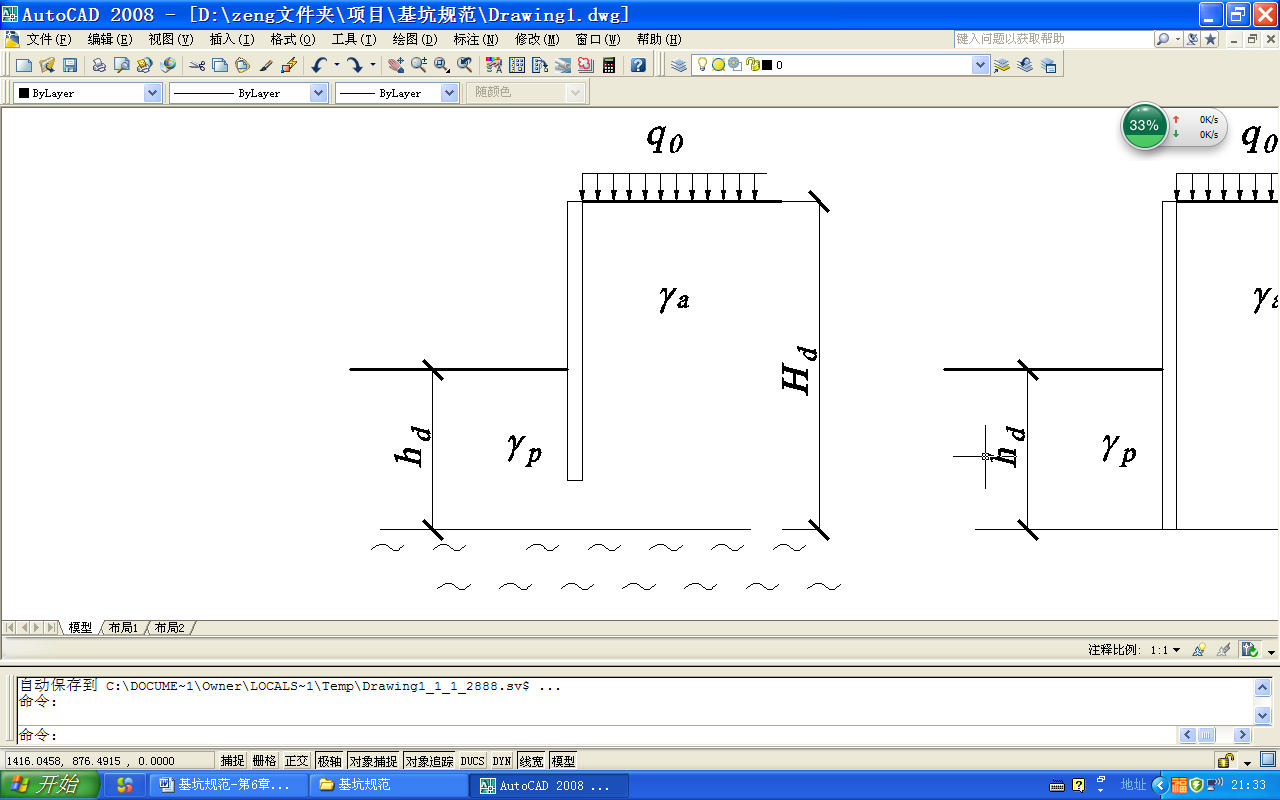


图6.4.2-2 支挡结构下有软弱下卧层时基坑底抗隆起稳定性验算

**6.4.3** 对无支护桩、墙（包括喷锚支护边坡），采用一定坡率放坡的边坡，如坡脚或坡脚以下有软塑～流塑状的黏性土、淤泥、淤泥质土分布，应按图6.4.3所示模型进行坑底抗隆起稳定性验算，并应满足式（6.4.3）的要求。



图6.4.3 放坡条件下的坑底抗隆起验算

图6.4.3中，取开挖深度h为坡底土承载力的计算宽度，如放坡宽度b大于h，则应取放坡宽度b为计算宽度。

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6.4.3) |

式中：*P*——*0A*宽度范围内验算土层以上的总荷载，包括土体重量以及地面超载 (kN)， ；

*R*u——按*0A*宽度计算的验算土层的极限承载力合力 (kN)，。

## 6.5 基坑底抗渗流稳定性验算

**6.5.1** 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（6.5.1）规定（图6.5.1）：

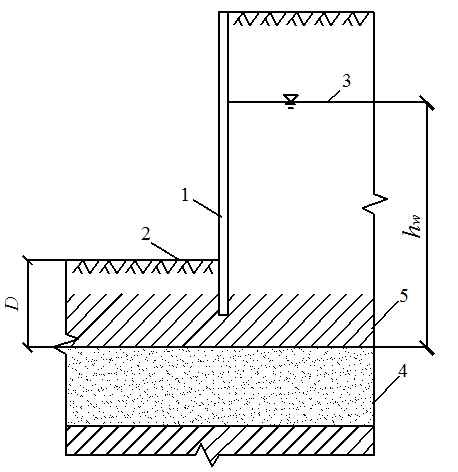


图6.5.1 坑底土体的突涌稳定性验算

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

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6.5.1) |

式中： ——突涌稳定性安全系数；不应小于1.1；

——承压水含水层顶面至坑底的土层厚度 (m)；

**——承压水含水层顶面至坑底土层的天然重度 (kN/m3)；对多层土，取按土层厚度加权的平均天然重度；

——承压水含水层顶面的压力水头高度 (m)；

——水的重度 (kN/m3)。

**6.5.2** 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（6.5.2）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（图6.5.2）。

****

（a）潜水 （b）承压水

图6.5.2 采用悬挂式帷幕截水时的流土稳定性验算

1-截水帷幕； 2-基坑底面； 3-含水层；

4-潜水水位； 5-承压水测管水位； 6-承压水含水层顶面

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6.5.2) |

式中：——流土稳定性安全系数；基坑工程安全等级为一、二、三级的支挡结构，分别不应小于1.6、1.5、1.4；

——截水帷幕在坑底以下的插入深度 (m)；

**——潜水面或承压水含水层顶面至基坑底面的土层厚度 (m)；

——土的浮重度 (kN/m3)；

——基坑内外的水头差 (m)；

———水的重度 (kN/m3)。

**6.5.3** 坑底以下为级配不连续的不均匀砂土、碎石土含水层时，应进行土的管涌可能性判别。

# 7 支护结构选型

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 支护结构选型时，应综合考虑下列因素：

1 基坑开挖深度；

2场地工程地质与水文地质条件；

3 基坑周边环境条件（包括基坑内工程桩条件）及对变形的承受能力；

4 主体地下结构和基础形式、施工顺序与方法、基坑平面形状及尺寸；

5 支护结构的空间效应和受力特点、支护结构材料的受力性状、支护结构施工工艺的可行性；

6 施工条件及施工季节；

7 当地的工程经验；

8 经济指标、环保水平和施工工期。

**7.1.2** 经综合分析比较，选择安全可靠，技术可行，施工方便，经济合理的支护结构形式。

**7.2 现场周边环境**

**7.2.1** 支护结构选型前，应考虑基坑周边2倍开挖深度范围内下列周边环境条件：

1 既有建（构）筑物的结构类型、层数、位置、基础形式和尺寸、埋深、使用年限、用途等；

2 各种既有地下管线、地下构筑物的类型、位置、尺寸、埋深、使用年限、用途等；对既有供水、污水、雨水等地下输水管线，尚应包括其使用状况及渗漏状况；

3 道路的类型、位置、宽度、车辆行驶情况、最大车辆荷载等；

4 地下轨道交通设施及其运营情况、变形控制等要求；

5 调查确定基坑开挖与支护结构设计工作年限内施工材料、施工设备等施工荷载的情况；

6 雨季时场地周围地表水汇流和排泄条件，地表水的入渗对土层性状影响的状况；

7 拟建、已建及同期施工的相邻建设工程基坑工程的支护方法。

**7.2.2** 当在2倍~3倍开挖深度范围内有优秀历史建筑、精密仪器与设备的厂房、轨道交通设施、隧道、防汛设施、自来水总管、煤气总管等重要建（构）筑物设施时尚应调查这些被保护对象的状况。

**7.3 支护结构和适用条件**

**7.3.1** 支护结构的类型、适用条件可按表7.3.1选用。

**表7.3.1 支护结构类型及适用条件**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 结构类型 | | 适 用 条 件 | 安全  等级 |
| 基坑深度、环境条件、土类和地下水条件 |
| 支挡结构  （排桩、钢板桩、型钢水泥土搅拌墙、地下连续墙） | 锚拉结构 | 适用于较深的基坑；当锚杆施工会造成基坑周边建（构）筑物的损害或违反城市地下空间规划等规定时，不应采用锚拉结构 | 一级  二级  三级 |
| 内支撑结构 | 适用于较深的基坑；当变形控制要求严格时宜选用 |
| 悬臂结构 | 适用于较浅的基坑；当变形制要求严格时或存在较厚软土地层时不宜选用 |
| 逆作结构 | 适用于周边环境条件很复杂、面积较大、开挖深度较大或形状很复杂的基坑 |
| 土钉墙及复合土钉墙 | 单一土钉墙 | 适用于地下水位以上或降水的非软土基坑，且基坑深度不宜大于12m | 二级  三级 |
| 预应力锚杆复合土钉墙 | 适用于地下水位以上或降水的非软土基坑，且基坑深度不宜大于15m |
| 水泥土桩复合土钉墙 | 用于非软土基坑时，基坑深度不宜大于12m；用于淤泥质土基坑时，基坑深度不宜大于6m；不宜用在高水位的碎石土、砂土层中 |
| 微型桩复合土钉墙 | 适用于地下水位以上或降水的基坑，用于非软土基坑时，基坑深度不宜大于12m；用于淤泥质土基坑时，基坑深度不宜大于6m |
| 重力式水泥土墙 | | 适用于淤泥质土、淤泥基坑，基坑深度不宜大于7m；当变形控制要求严格时不宜选用 | 二级  三级 |
| 放坡 | | 适用于周边环境简单、具备放坡场地条件的基坑；当基坑深度较大时，可采用放坡与上述支护结构形式相结合 | 二级  三级 |

注：1 当基坑不同部位的周边环境条件，土层性状、基坑深度不同时，可在不同部位分别采用不同的支护结构；

2 当基坑潜在滑动面内有建（构）筑物、重要的地下管线时，不宜采用土钉墙；

3 支护结构可采用上、下部以不同结构类型组合的形式。

**7.3.2** 不同支护结构形式的结合处应考虑各结构间的变形协调问题，不同支护结构之间应有可靠的连接措施，应采取有效构造措施保证支护结构的整体性。

**7.3.3** 支护结构上部采用土钉墙或放坡，下部采用支挡结构时，上部土钉墙或放坡应符合本标准对其支护结构形式的规定，支挡结构应考虑上部土钉墙或放坡的作用。

**7.3.4** 当坑底以下为软弱土时，可采用水泥土搅拌桩、高压喷射注浆等方法对坑底土体进行局部或整体加固，水泥土搅拌桩、高压喷射注浆加固体宜采用格栅或实体形式。

**7.3.5** 基坑开挖采用放坡或支护结构上部采用放坡时，应按本标准第6.2.1条的规定验算边坡的滑动稳定性，放坡坡面应设置防护层。

# 8 支挡结构

## 8.1 排桩支护

**Ⅰ 一般规定**

**8.1.1** 排桩支护结构选型应综合考虑以下因素：基坑深度、土的性质、地下水条件、基坑周边环境条件、施工场地条件、施工季节、施工工艺可行性及施工工期等。基坑较深或基坑周边环境对支护结构位移的限制严格时，宜采用锚拉式支挡结构（锚杆+排桩支护）、支撑式支挡结构（内支撑+排桩支护）。基坑较浅且基坑周边环境对支护结构位移的限制不严格时，可采用悬臂式排桩结构。当场地不具备锚拉式、支撑式和悬臂式结构施工及基坑深度适宜时，可考虑采用双排桩结构。

**8.1.2** 排桩桩型一般为钢筋混凝土排桩、钢筋混凝土预制桩、钢板（管）桩（见本标准8.2）等。支护排桩的桩型与成桩工艺应根据桩所穿越土层的性质、地下水条件及基坑周边环境要求等因素，按安全适用、经济合理的原则进行选择，并应符合《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T406、《预应力混凝土预制桩技术标准》T/SXCAS013等的有关规定。当基坑周边环境或场地地质条件复杂时，不应采用挤土效应严重、易塌孔、易缩径或震动较大的排桩施工工艺。

**8.1.3** 对需要隔水的基坑，基坑支护应由排桩和隔水帷幕构成。隔水帷幕可采用连续搭接的水泥土搅拌桩、等厚度水泥土搅拌墙或高压喷射注浆等，宜优先采用三（多）轴水泥搅拌桩施工工艺。隔水帷幕宜设置在钢筋混凝土排桩外侧，在施工场地条件受到限制时，也可采用排桩与帷幕桩套打方式或混凝土咬合桩工艺。

**8.1.4** 排桩结构应根据具体形式与受力、变形特性等采用下列分析方法：

1 锚杆-排桩结构，可以将整个结构分解为挡土结构、锚拉结构(锚杆及腰梁、冠梁)分别进行结构分析；挡土结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行结构分析；作用在锚拉结构上的荷载应取挡土结构分析时得出的支点力；

2 内支撑-排桩结构，可将整个结构分解为挡土结构、内支撑结构后分别进行结构分析；挡土结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行结构分析，内支撑结构可按平面结构进行分析，挡土结构传至内支撑的荷载应取挡土结构分析时得出的支点力；对挡土结构与内支撑结构分析时，应考虑其相互之间的变形协调；

3 悬臂式排桩、双排桩结构，宜采用平面杆系结构弹性支点法进行结构分析；

4 当有可靠经验时，可采用空间结构分析方法对排桩结构进行整体分析或采用数值分析方法对支挡式结构与土进行整体分析。

**8.1.5** 采用平面杆系结构弹性支点法进行设计计算时，应根据基坑各部位的不同深度、周边不同环境条件、地层条件等因素，划分设计计算剖面。对任一计算剖面，应按其最不利情况（工况）进行设计计算。

**8.1.6** 排桩支护结构进行设计计算时，应根据基坑开挖过程施工工况进行计算，并应按各施工工况的最大内力值和支点力值进行承载力计算。支撑式支挡结构，当需要在地下主体结构施工过程拆除或增加支撑并以主体地下结构构件替换时，应将其作为设计工况。替换锚杆或支撑的主体地下结构构件应满足各工况的承载力、变形及稳定性要求。对大跨度的主体地下结构部位，采用设置临时支撑替换锚杆或支撑的方式时，临时支撑尚应满足各工况的受压承载力、变形及稳定性要求。

**8.1.7** 结构构件的承载能力计算应根据本标准第3.0.7条对承载能力极限状态下荷载效应基本组合的规定确定支护结构构件的内力设计值。

**8.1.8** 在能保证桩顶以上边坡稳定和周围场地施工条件许可时，应降低桩顶标高，以便于主体建筑地下室进行管线穿越。

**Ⅱ 设计计算**

**8.1.9** 排桩设计计算应包括下列内容：

1 支护结构的内力及变形计算；

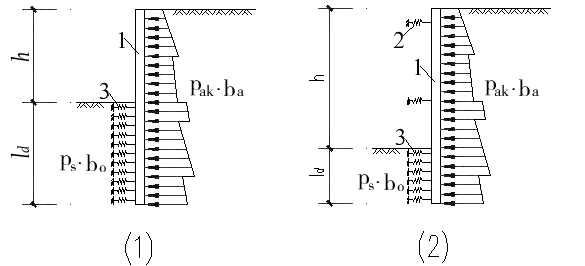
2 整体稳定性计算，抗倾覆稳定验算，必要时进行抗隆起稳定性和抗突涌、抗渗流稳定性等验算；

3 排桩嵌固长度计算，桩径、桩距及桩长设计，桩身承载力计算；

4 基坑外地表变形的估算；

5 当排桩支护与主体结构相结合时，尚应按照主体结构的相关要求，验算使用阶段的结构内力和变形。

**8.1.10** 支护结构采用平面结构弹性支点法计算时，应采用图8.1.10-1的计算图形进行支护桩的内力(弯矩、剪力)、位移、支点力及嵌固段的土的抗力计算。此时，嵌固段土对挡土结构的作用应按本标准第8.1.11条规定的分布弹簧进行简化；锚杆或支撑对挡土结构的作用应按本标准第8.1.14～8.1.16条规定的边界条件进行简化。

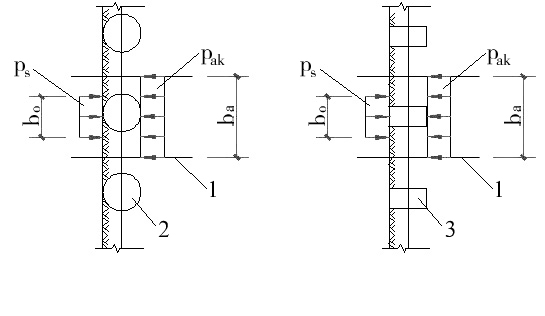


（a） （b）

图8.1.10-1弹性支点法计算

（a） 悬臂式支挡结构 （b）锚拉式支挡结构或支撑式支挡结构

1—挡土构件； 2一由锚杆或支撑简化而成的弹性支座； 3—计算土反力的弹性支座



（a） （b）

图8.1.10-2排桩计算宽度

（a） 圆形截面排桩计算宽度 （b）矩形或工字型截面排桩计算宽度

1—排桩对称中心线； 2一圆形桩； 3—矩形桩或工字型桩

注：排桩取单桩进行结构分析时，土压力计算宽度*ba*取排桩间距*Sa*，土反力计算宽度*b0*

按本标准第8.1.12条的规定取值。

**8.1.11** 排桩竖向挡土构件嵌固段的分布土反力可按式（8.1.11-1）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.1.11-1） |

挡土构件嵌固段上的基坑内侧分布土反力应符合式（8.1.11-2）条件：

|  |  |
| --- | --- |
| *P*Sk≤*E*pk | （8.1.11-2） |

当不符合式(8.1.11-2 )的计算条件时，应增加挡土构件的嵌固长度或取=时的分布土反力。

式中： ——挡土构件嵌固段的分布土反力（kPa）；

——土的水平反力系数，对多层土，按不同土层分别取值（kN/m3）；

——分布土反力计算点的挡土构件水平位移值（m）；

——挡土构件嵌固段的分布土反力初始值（kPa），挡土构件嵌固段上的基坑内侧初始分布土反力可按本标准公式（5.5.1-1）或公式（5.5.1-5）计算，但应将公式中*p*ak用*p*s0代替、用代替、*u*a用*u*p代替，且不计（）项；

*P*Sk ——作用在挡土构件嵌固段上的基坑内侧土反力合力（kN），按公式（8.1.11-2）计算；

Epk——挡土构件嵌固段上的被动土压力标准值（kN）,按本标准公式（5.5.1-3）或（5.5.1-6）计算。

土的水平反力系数可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.1.11-3） |

式中：——土的水平反力系数的比例系数（MN/m4），对多层土，按不同土层分别取值；

——计算点距地面的深度；

——计算工况的基坑开挖深度。

土的水平反力系数的比例系数宜按桩的水平载荷试验及地区经验取值，缺少试验和经验时，可按式（8.1.11-4）进行计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.1.11-4） |

式中：、——土的黏聚力（kPa）、内摩擦角（°），按本标准第5.3.3条规定确定，对多层土，按不同土层分别取值；

——基坑底面处的挡土构件水平位移量（mm），当挡土构件嵌固段处的实际水平位移小于10mm时，可取 =10mm。

**8.1.12** 排桩的单桩土反力计算宽度应按下列公式规定计算：

圆形桩

|  |  |
| --- | --- |
| =0.9(1. 5+0. 5) (≤1m) | (8.1.12-1) |
| =0. 9(+1) (>1m) | (8.1.12-2) |

式中： ——单桩土反力计算宽度（m）；

——桩的直径（m）。

矩形桩

|  |  |
| --- | --- |
| =1. 5*b*+0. 5 (*b*≤1m) | (8.1.12-3) |
| = *b* +1 (*b* >1m) | (8.1.12-4) |

式中：*b*——矩形桩的宽度（m）。

按式(8.1.2.4-1)~式(8.1.2.4-4)计算的单桩土反力计算宽度大于排桩间距时，应取。

**8.1.13** 锚杆和内支撑对挡土构件(排桩)的作用应按式（8.1.13）确定弹性支点水平反力：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.13 ) |

式中：*Fh*——挡土构件在计算宽度内的弹性支点水平反力（kN）；

——弹性支点刚度系数（kN/ m）；采用锚杆时可按本标准第8.1.14条的规定确定，采用支撑时可按本标准第8.1.16条的规定确定；

——支点的水平位移值（m）；

——设置支点时，支点的初始水平位移值（m）；

*Ph*——挡土构件在计算宽度下的弹性支点预加水平力（kN）；采用锚杆或竖向斜撑时，可取*Ph*= *P*·cosα/S，此处，*P*为锚杆的预加轴向拉力值或支撑的预加轴向压力值，α为锚杆倾角或支撑仰角，S为锚杆或支撑的水平间距；采用水平内支撑时，可取*Ph*=*P*/*S*；对不预加轴向压力的支撑，应取*Ph* =0；锚杆的预加轴向拉力*P*宜取(0. 75*NK*～0. 9 NK)，支撑的预加轴向压力*P*不应大于0. 8*NK*，此处，*NK*为锚杆轴向拉力标准值或支撑轴向压力标准值，锚杆轴向拉力标准值应按本标准第8.1.15条确定。

**8.1.14** 对锚拉式支挡结构，锚杆的弹性支点刚度宜通过本标准附录A·2的锚杆基本试验确定。

当锚杆腰梁或冠梁的挠度可忽略不计时，弹性支点刚度系数宜按式（8.1.14-1）确定：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.14-1) |

式中： 、——锚杆循环加荷或逐级加荷试验中(*-*)曲线上对应锚杆锁定值与设计值的荷载值；锚杆进行预张拉时，应取在相当于预张拉荷载的加载量下卸载后的再加载曲线上的荷载值；

、——(*-*)曲线上对应于荷载为、的锚头位移值；

——结构计算宽度；

——锚杆间距。

对钢绞线锚杆或钢筋锚杆，在缺少试验资料时，可按式（8.1.14-2）和式（8.1.14-3）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.14-2) |
|  | (8.1.14-3) |

式中： ——锚杆杆体的弹性模量（kPa）；

——锚杆的组合弹性模量（kPa）；

——锚杆杆体的截面面积（m2）；

——锚杆固结体的截面面积（m2）；

——锚杆的自由段长度（m）；

——锚杆的锚固段长度（m）；

——锚杆注浆体的弹性模量（kPa）；

——锚杆间距（m）。

**8.1.15** 锚杆的轴向拉力标准值应按式（8.1.15）确定：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.15) |

式中： ——锚杆的轴向拉力标准值（kN）；

α——锚杆倾角（°）；

——锚杆间距（m）。

**8.1.16** 对支撑式支挡结构，弹性支点刚度系数*kR*宜通过对支撑体系整体进行线弹性结构分析得出的支点力与水平位移的关系确定。对水平对撑，当支撑腰梁或冠梁的挠度可忽略不计时，弹性支点刚度系数kR可按式（8.1.16）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.16) |

式中：λ——支撑不动点调整系数：支撑两对边基坑的土性、深度、周边荷载等条件相近，且分层对称开挖时，取λ=0. 5；支撑两对边基坑的土性、深度、周边荷载等条件或开挖时间有差异时，对土压力较大或先开挖的一侧，取λ=0. 5～1. 0，且差异大时取大值，反之取小值，对土压力较小或后开挖的一侧，取(1-λ)；当基坑一侧取λ=1时，基坑另一侧应按固定支座考虑；对竖向斜撑构件，取λ=1；

——支撑松弛系数，对混凝土支撑和预加轴向压力的钢支撑，取 =1.0，对不预加支撑轴向压力的钢支撑，取=0.8～1. 0；

——支撑材料的弹性模量（kPa）；

——支撑的截面面积（m2）；

——水平对撑间距（m）；

——受压支撑构件的长度（m）。

**8.1.17** 整体稳定性计算，抗倾覆稳定验算，抗隆起稳定性和抗突涌、抗渗流破坏稳定性等验算；按本标准第6章的规定计算。

**8.1.18** 双排桩支挡结构计算，前、后排桩的净距不宜大于基坑深度的0.25倍或3m，可采用图8.1.18-1的结构模型，前、后排桩的桩顶连梁应按图8.1.18-2布置。

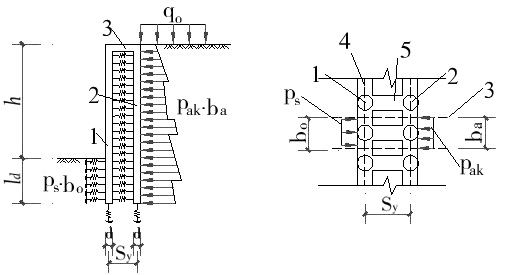


图8.1.18-1 双排桩计算 图8.1.18-2 双排桩桩顶梁布置

1—前排桩；2—后排桩；3—连梁； 1—前排桩；2—后排桩；3—排桩对称中心线；

4—桩顶冠梁；5—连梁；

**8.1.19** 双排桩计算采用图8.1.18-1的结构模型时，作用于后排桩上的土压力应按本标准第五章的规定计算，前排桩嵌固段上的土反力应按本标准第8.1.11条的规定计算。前、后排桩的桩间土体对桩侧的压力可按式（8.1.19-1）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.19-1) |

式中： ——前、后排桩间土体对桩侧的压力(kPa)，可按作用在前、后排桩上的压力相等考虑；

——桩间土的水平刚度系数(kN/m3 )；

——前、后排桩水平位移的差值（m），当其相对位移减小为正值；当其相对位移增加时，取=0；

——前、后排桩间土体对桩侧的初始压力(kPa)。

桩间土的水平刚度系数可按式（8.1.19-2）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.19-2) |

式中： ——计算深度处，前、后排桩间土体的压缩模量（kPa）；当为成层土时，应按计算点的深度分别取相应土层的压缩模量；

——双排桩的排距(m)；

d ——桩的直径(m)。

前、后排桩间土体对桩侧的初始压力可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.19-3) |
|  | (8.1.19-4) |

式中： ——支护结构外侧，第层土中计算点的主动土压力强度标准值(kPa)；

——基坑深度(m)；

——基坑底面以上各土层按土层厚度加权的等效内摩擦角(°)；

——计算系数，当计算的大于1时，取=1。

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.20-1) |

**8.1.20** 双排桩支挡结构的嵌固深度应满足抗倾覆稳定性要求，嵌固稳定安全系数应按下列公式计算(图8.1.20)：

式中： ——嵌固稳定安全系数；基坑工程安全等级一、二、三级的支挡结构，分别不小于1. 25， 1. 2和1. 15；

 、——基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力的标准值（kPa）；

、——基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力至前排桩底端的距离（m）；

——双排桩、桩顶连梁和桩间土的重力之和（kN）；

——双排桩、桩顶连梁和桩间土的重心至前排桩边缘的水平距离（m）。

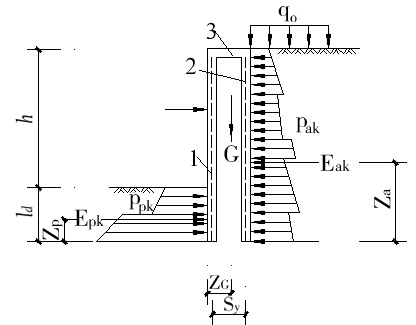


图8.1.20 双排桩抗倾覆稳定性验算

1—前排桩；2—后排桩；3—连梁

**8.1.21** 钢筋混凝土排桩的正截面受弯承载力计算应符合下列规定：

1 沿周边均匀配置纵向钢筋的圆形截面的支护桩，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定进行正截面受弯承载力计算。

2 沿受拉区和受压区周边局部均匀配置纵向钢筋的圆形截面的支护桩，其正截面受弯承载力应符合按图8.1.21和式(8.1.21-1) ～ (8.1.21-2)计算：

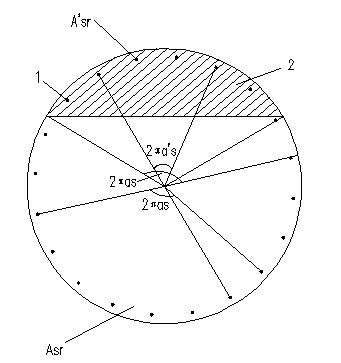


图8.1.21 沿受拉区和受压区周边局部均匀配置纵向钢筋的圆形截面

1一构造钢筋；2—混凝土受压区

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.21-1) |
|  | (8.1.21-2) |

混凝土受压区圆心半角的余弦应符合下列要求：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.21-3) |

式中： ——对应于受压区混凝土截面面积的圆心角(rad)与的比值；

——对应于周边均匀受拉钢筋的圆心角(rad)与的比值：值宜在1/6～1/3之间选取，通常可取0.25；

——对应于周边均匀受压钢筋的圆心角(rad)与的比值：宜取≤0.25。

——构件截面面积（m2）；

、——沿周边均匀配置在圆心角, ；内的纵向受拉、受压钢筋截面面积；

——圆形截面的半径（m2）；

——纵向钢筋所在圆周的半径（m2）；

——钢筋的抗拉强度设计值（kN/m2）；

——混凝土轴心抗压强度设计值（kN/m2）；

——矩形截面的相对界限受压区高度，应按现行《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定取值。

计算的受压区混凝土截面面积的圆心角(rad)与的比值宜符合下式条件：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.21-4) |

当不符合上述条件时，其正截面受弯承载力可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.1.21-5) |

注：本条适用于截面受拉区内纵向钢筋不少于3根的圆形截面的情况。

3 沿圆形截面受拉区和受压区周边实际配置的均匀纵向钢筋的圆心角应分别取为和，、为受拉区、受压区配置均匀纵向钢筋的根数。配置在圆形截面受拉区的纵向钢筋按全截面面积计算的最小配筋率不宜小于0.2%和中的较大者，此处，为混凝土轴心抗拉强度设计值。在不配置纵向受力钢筋的圆周范围内应设置周边纵向构造钢筋，纵向构造钢筋直径不应小于纵向受力钢筋直径的二分之一，且不应小于10mm；纵向构造钢筋的环向间距不应大于圆截面的半径和250mm两者的较小值，且不得少于1根。

**8.1.22** 混凝土桩的斜截面受剪承载力应按现行《混凝土结构设计规范》GB50010的规定计算，其剪力设计值应按本标准第8.1.7条确定。

**8.1.23**其他材料、截面形状的支护桩，其受弯、受剪承载力的计算应按国家现行的有关规范的规定执行。

**Ⅲ 构造要求**

**8.1.24** 钢筋混凝土排桩的构造应按下列原则选取：

1 桩的直径应根据基坑深度、土层性质、锚杆或支撑层数和施工场地条件等因素，按其承受的弯矩和剪力值确定。桩径不宜小于600mm，并宜取50mm的模数；

2 排桩的中心距不宜大于桩直径的2.0倍；

3 桩的嵌固深度应满足本标准第6章的规定；

4 钢筋混凝土排桩纵向受力钢筋宜沿全截面均匀对称布置。并可按内力分布沿桩身分段配筋，纵向受力钢筋应有一半以上通长配置。

**8.1.25** 钢筋混凝土排桩的配筋、桩身混凝土强度等级和钢筋保护层厚度应符合下列规定：

1 排桩的纵向受力钢筋宜选用HRB400，HRB500级钢筋，根数不宜少于8根，净间距不应小于60mm；排桩顶部设置钢筋混凝土构造冠梁时，纵向钢筋锚入冠梁的长度宜取冠梁高度；冠梁按结构受力构件设置时，桩身纵向受力钢筋伸入冠梁的锚固长度应符合现行《混凝土结构设计规范》GB50010对钢筋锚固的有关规定；

2 箍筋宜选用HPB300、HRB400级钢筋，宜采用螺旋式箍筋，箍筋直径不宜小于6mm，间距宜取150～300mm，对桩身剪力较大的部位，尚应符合本标准第8.1.7条受剪承载力的要求；

3 沿桩身配置的加劲箍应满足钢筋笼起吊安装要求，加强筋宜选用HPB300, HRB400, HRB500级钢筋，加强筋直径不宜小于16mm，间距宜取1000～2000mm；

4 桩身棍凝土强度等级不应低于C25；

5 纵向受力钢筋的保护层厚度不应小于35mm；采用水下灌注混凝土工艺时，不应小于50mm；

6 当沿桩身分段配置纵向受力主筋时，分段配置的纵向钢筋的锚固长度应符合现行《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定。

**8.1.26** 排桩顶部应设置冠梁。混凝土冠梁的宽度不宜小于桩径，高度不宜小于桩径的0.6倍，混凝土强度等级不宜低于桩身混凝土的强度等级。冠梁钢筋应符合构造配筋要求。冠梁作为支撑或锚杆的传力构件或按空间结构设计时，尚应按受弯梁进行截面设计。冠梁纵向钢筋的保护层厚度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定。

**8.1.27** 冠梁顶面标高不宜高于主体建筑供水、排水、供热、电力、通信等地下管线与支护结构相交处的管线底面。排桩桩顶低于自然地面时，排桩顶面以上的支护应符合本标准对相应支护结构形式的有关规定。

**8.1.28** 排桩结构应对桩间土采取防护措施。采用内置钢筋网或钢丝网的喷射混凝土护面时：喷射混凝土面层厚度不宜小于80mm，混凝土强度等级不宜小于C20；混凝土面层内配置的钢筋网的纵横向何距不宜大于200mm；钢筋网应配置横向拉筋，拉筋直径不宜小于12mm，拉筋可采用植筋或膨胀螺栓与桩身连接，钢筋网宜采用桩间土内打入直径不小于12mm的钢筋钉固定，钢筋钉打入桩间土中的长度不应小于排桩净间距的1.5倍且不应小于500mm。

**8.1.29** 双排桩排距宜取2d~5d，连梁的宽度不应小于d，高度不宜小于0.8d，且不应小于600mm，连梁高度与双排桩排距的比值宜取1/6～1/3。

**8.1.30** 双排桩结构的嵌固深度对一般黏性土、砂土，不宜小于0.6*h*(*h*为基坑深度)。前排桩桩端宜处于桩端阻力高的土层，采用泥浆护壁灌注桩时，施工时的孔底沉渣厚度不应大于50mm，或应采用桩底后注浆加固沉渣。双排桩的排间土为软土、松散砂层，宜对排间土体进行加固。

**8.1.31** 双排桩应按偏心受压、偏心受拉构件进行截面承载力计算，连梁应根据其跨高比按普通受弯构件或深受弯构件进行截面承载力计算。双排桩结构的截面承载力和构造应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定。

**8.1.32** 双排桩与连梁节点处，桩与连梁受拉钢筋的搭接长度不应小于 (为受拉钢筋的锚固长度)。双排桩后排桩桩顶配筋需加强。其节点构造尚应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010对框架顶层端节点的有关规定。

**8.1.33** 对需要隔水的基坑，采用钢筋混凝土排桩支护时，宜先施工隔水帷幕后施工钢筋砼排桩。

**8.1.34** 灌注桩排桩与帷幕围护墙尚应符合下列规定：

1 隔水帷幕与排桩之间的净距不宜小于200mm；

2 排桩与隔水帷幕采用套打式布置时，排桩外侧隔水帷幕的净厚度应满足隔水要求，且不宜小于500mm；

3在粉性土及砂土中，当环境保护要求较高时，宜在排桩与隔水帷幕之间采取注浆等措施。

**Ⅳ 施工与检测**

**8.1.35** 排桩应按现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94、《建筑基桩检测技术规范》JGJ106、《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T406、《预应力混凝土预制桩技术标准》T/SXCAS013等有关施工规定进行施工及检测。

**8.1.36** 当排桩桩位附近存在既有地下管线、地下构筑物时，应根据其位置、类型、材料特性、使用状况等采取防护措施，不得对其造成损害。并按其变形控制的要求采取下列相应的防护措施：

1宜采取间隔成桩的施工顺序；对混凝土灌注桩，应在混凝土浇筑36h后，方可进行相邻桩的成孔施工；相邻桩的成孔安全距离不应小于4倍桩径；

2 对松散或稍密的砂土、稍密的粉土、软土等软弱土层，钻孔灌注桩应采取改善泥浆性能等措施；

3 钢筋混凝土排桩成孔过程出现流砂、流土等塌孔情况时，应暂停成孔施工并及时采取针对性的措施进行处理，防止继续塌孔；

4当成孔过程中遇到不明障碍物时，应查明其性质，且在不会危害周边环境的情况下方可继续施工。

## 8.2 钢板桩

**Ⅰ 一般规定**

8.2.1 钢板桩支护结构适用于以黏性土、粉土、砂土为主的一般地质土层，对湿陷性黄土或碎石土等土层，应结合工程经验或通过现场试验确定其适用性。

8.2.2 钢板桩支护结构设计应明确支护结构的设计工作年限。当无特殊要求时，钢板桩支护结构应按临时性支护结构设计。当按永久性支护结构设计时，其设计工作年限不应低于被保护的建（构）筑物设计工作年限。

8.2.3 钢板桩支护结构设计应根据周边环境的重要性及对变形的适应能力、支护结构的内力和变形计算结果等因素，确定其变形限值和周边环境变形限值，变形值应满足正常使用要求和环境保护要求。

8.2.4 钢板桩支护结构设计时，应根据实际条件选择计算模型和施工工况，并应在确认模型及参数的合理性、施工的可行性和计算结果的可靠性后，将计算结果用于设计。

8.2.5 钢板桩沉桩方法有振动法、锤击法和静压法，具体应根据地质条件、场地条件、周边环境要求、沉桩深度、噪声及振动控制要求等因素综合确定，可按本标准附录H选用。

8.2.6 钢板桩支护设计应分析振动沉桩对周围环境的不利影响，以及施工结束后钢板桩拔除的可行性和对周围环境的不利影响，并提出相应的措施。

**Ⅱ 设计计算**

8.2.7 钢板桩支护结构设计计算应包括下列内容：

1 支护结构类型；

2 支护结构强度及变形计算；

3 整体稳定性验算，必要时尚应进行基坑底抗隆起稳定性和抗渗流稳定性验算；

4 桩长及嵌固深度计算，构件截面选型及计算；

5 钢板桩沉桩及拔除对周边环境影响的控制设计；

6 作为止水帷幕功能的地下水控制设计；

7 基坑变形监测要求。

8.2.8 钢板桩支护结构类型有悬臂式、锚拉式、支撑式，钢板桩支护结构选型应综合分析周边环境限制条件、开挖深度、工程地质与水文地质条件、施工工艺及设备条件、周边相似条件支护工程的工程经验、施工工期及施工季节等因素，可按本标准表7.3.1选择。

8.2.9 钢板桩支护结构应根据其类型与受力、变形特性等按下列方法进行计算分析：

**1** 对于锚拉式钢板桩支护结构，可将整个结构分解为钢板桩墙和锚拉结构分别进行分析；钢板桩墙宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析；作用在锚拉结构上的荷载应取钢板桩墙分析时得出的支点力；

**2** 对于支撑式钢板桩支护结构，可将整个结构分解为钢板桩墙、内支撑结构分别进行分析；钢板桩墙宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析；内支撑结构可按平面结构进行分析，钢板桩墙传至内支撑的荷载应取钢板桩墙分析时得出的支点力；对钢板桩墙和内支撑结构分别进行分析时，应考虑其相互之间的变形协调；

**3** 对于悬臂式钢板桩支护结构，宜采用平面杆系结构弹性支点法进行结构分析；

**4** 当有可靠经验时，可采用空间结构分析方法对钢板桩墙进行整体分析或采用数值分析方法对钢板桩墙与土进行整体分析。

8.2.10 对支撑式钢板桩支护结构，支撑和腰梁的设计除应符合本标准的相关规定外，还宜符合下列规定：

1 腰梁宜用型钢或组合型钢结构；

2 腰梁与钢板桩之间的空隙应采用钢楔块或混凝土填实；

3 转角部位与支撑斜交相连的围檩，应有避免围檩产生顺向滑移的抗剪措施。

8.2.11 对锚拉式钢板桩支护结构，锚杆（索）的设计除应符合本标准的相关规定外，还应符合下列规定：

1 锚杆（索）施工需要在钢板桩上开孔，宜在钢板桩沉桩结束后统一开孔，利于后期在锚杆（索）端头设置围檩。

2 钢板桩开孔位置在地下水位以下的，应采取合理有效的措施防止发生涌水涌砂。

8.2.12 钢板桩支护结构设计时整体稳定应应符合本标准第6章相关规定。钢板桩构件受弯、抗剪承载能力计算应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017的相关规定。

8.2.13 钢板桩支护结构设计内力和稳定性计算可参照本标准相关规定，钢板桩的承载力验算应符合国家标准《钢结构设计标准》GB50017的相关规定，钢板桩截面计算可参照现行标准《钢板桩支护技术规程》T/CECS720的相关规定。

8.2.14 钢板桩支护结构应按土方分层开挖、加撑（锚）、拆换撑（锚）等各工况进行结构分析，并应按其中最不利作用效应进行进行结构构件设计。

8.2.15 当基坑上部采用自然放坡或土钉墙护坡、下部采用钢板桩支护结构类型时，钢板桩支护结构计算应考虑上部放坡或土钉墙的作用，并按本标准的相关规定验算上部边坡的滑动稳定性。

8.2.16 采用钢板桩墙作为截水帷幕时应符合本标准第9章和现行行业标准《钢板桩支护技术规程》T/CECS720-2020第6章的相关规定。

**Ⅲ 布置与构造**

8.2.17 钢板桩是由生产厂家根据客户需求进行加工制作的成品构件，钢板桩规格有热轧钢板桩和冷弯钢板桩，其性能和相关参数可参照国家现行行业产品标准《热轧钢板桩》GB/T20933和《钢板桩》JG/T196。钢板桩截面形式宜采用U型（拉森式），也可采用Z型、直线型和帽型（图8.2.17），常用的钢板桩截面型号及参数见本标准附录G。

（a）U型 （b）Z型

（c）直线型 (d) 帽型

图8.2.17钢板桩常用截面形式

8.2.18 钢板桩宜采用整材，通用长度一般为6m、9m、12m、15m、18m，最大长度不宜超过24m。钢板桩也可以采用焊接接长，接头不应超过2个，接头位置不宜设置在支撑或受力较大部位。

8.2.19 钢板桩的平面布置形状应尽量平直整齐，避免不规则的转角，应便于地下结构施工，如因场地空间有限或其它特殊情况须用钢板桩作为地下结构的外模时，钢板桩与地下结构之间应设置木板或油毡等不可压缩的隔离材料，以利后期钢板桩的拔除。

8.2.20 钢板桩平面布置应考虑周围既有建（构）筑物、管线、高空电缆等障碍物到钢板桩水平和垂直方向最小距离，应满足打桩设备最小作业空间要求。

8.2.21 钢板桩为多次周转重复使用的材料，在使用过程中会发生板桩的变形、损伤，应定期进行矫正与修补。重复使用的钢板桩在支护结构设计计算时应按现行有关规定对强度性能和截面参数进行适当折减。

**Ⅳ 施工与检测**

8.2.22 钢板桩沉桩施工常采用振动法，振动法可以采用吊车悬吊振动锤，也可以由挖掘机直接改装成机械手进行一体化施工。对振动、噪音比较敏感或保护要求较高的场所宜选用高频免共振振动锤，也可以采用静压法。

8.2.23 振动法沉桩应根据地质条件、钢板桩型号、入土深度、施工场地条件、周边环境要求等因素选择合适的振动锤或机械手，可按本标准附录H选择。

8.2.24 钢板桩沉桩插打方式包括逐根式和屏风式，一般常采用逐根式，逐根式施工前应根据现场条件确定沉桩顺序，刚开始宜沿板桩墙轴线方向对称向两侧推进施工，待形成一段整体桩墙后再向一侧连续沉桩。对于成桩精度要求较高或插打较长钢板桩，宜采用屏风式，还应设置导向架，导向架应有一定的强度和刚度，不得随沉桩而下沉或变形。

8.2.25 静压沉桩法一般适用于软土地层，应采用逐根式，每根桩应一次连续压到底，中间不得无故停歇。

8.2.26 锤击法沉桩穿透力比较强，可适用于坚硬土层，在硬黏土中沉桩时，宜采用重锤低击方式；在密实的砂性土中沉桩时，宜采用小锤快打方式。

8.2.27 钢板桩在坚硬的黏性土、砂土和碎石土等土层沉桩困难时，可采用预钻孔或高压射水等辅助措施。对于特别坚硬土层或较长钢板桩，施工前应结合工程经验或进行沉桩试验确定其适用性。

8.2.28 作为止水帷幕功能使用时，应在平面上形成连续封闭的钢板桩墙，施工中可采取下列措施：

**1** 当遇地下大块孤石等障碍物不能正常沉桩时，可采用弧线绕过，避开障碍物，保持钢板桩墙的连续性。

**2** 桩墙一侧发生倾斜过大，无法纠偏时，不能采用标准宽度的钢板桩进行封闭合拢时，可采用异型钢板桩、连接件等方法进行调整，或采用骑缝搭接的方式保证合拢。

**3** 在平面转角处宜根据平面布置采用特制的转角钢板桩或连接件。

8.2.29 钢板桩支护结构一般情况对打入的钢板桩应拔除回收，钢板桩拔除可采用振动法或静力法，钢板桩拔除前应具备下列条件：

1 已拆除支撑、围檩、锚杆（索）端头与钢板桩相连的辅助构件；

2 基坑肥槽按设计要求回填完成；

3 对周边环境产生的不利影响进行了分析并采取了有效措施。

8.2.30 拔桩顺序宜与沉桩顺序相反，对于封闭式钢板桩墙，拔桩的起点宜离开转角部位不少于5根桩，当周边环境保护要求较高时，应采取分次、分段、间隔拔桩。

8.2.31 钢板桩拔除后留下的孔洞应及时填充处理，填充材料可采用砂土、水泥浆或水泥砂浆，应填充密实。

8.2.32 钢板桩支护结构施工完毕、土方开挖至设计标高后，应对钢板桩墙桩身弯曲度、桩身垂直度、锁口咬合程度、板桩墙平直度、支护结构变形、板桩墙渗漏等项目进行检验，检验标准应符合表8.2.32的规定。

表 8.2.32钢板桩墙质量检验标准

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 | 序 | 检测项目 | 允许值或允许偏差 | | | 检测方法 |
| 单位 | 数值 | |
| 主控项目 | 1 | 桩长 | 不小于设计值 | | | 钢尺量测 |
| 2 | 桩身弯曲度 | mm | ≤2%桩长 | | 钢尺量测 |
| 3 | 桩顶标高 | mm | ±100 | | 水准仪量测 |
| 一般项目 | 1 | 锁口平直度及光滑度 | 无电焊渣或毛刺 | | | 用1m长的桩段做通过试验 |
| 2 | 轴线位置 | mm | | ±100 | 经纬仪或钢尺量测 |
| 3 | 垂直度 | ≤ 1%桩长 | | | 经纬仪或水平靠尺量测 |
| 4 | 锁口咬合程度 | 紧密 | | | 目测 |
| 5 | 板桩墙平直度 | 每10延米不大于100mm，且累计不超过200mm | | | 经纬仪或钢尺量测 |
| 6 | 板桩墙渗漏 | 局部渗漏 | | | 目测 |

## 8.3 型钢水泥土搅拌墙

**Ⅰ 一般规定**

**8.3.1** 型钢水泥土搅拌墙适用于填土、淤泥质土、黏性土、粉土、砂性土、 饱和黄土等地层建筑和市政工程基坑支护。对淤泥、泥炭土、有机质土以及地下水具有腐蚀性和无工程经验的地区，必须通过现场试验确定其适用性。

**8.3.2** 型钢水泥土搅拌墙的设计与施工应综合考虑工程地质与水文地质、周边环境条件与要求；重视地方经验，因地制宜，并与地基加固、基坑降水和土方开挖等相结合，合理选择型钢水泥土搅拌墙的工艺参数；强化施工质量控制与管理，确保基坑和主体结构施工的安全，并满足周边环境保护的要求。

**8.3.3** 型钢水泥土搅拌墙作为基坑支护结构，其设计原则、勘察要求、荷载作用、承载力与变形计算和稳定性验算等应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的有关规定。采用在三轴水泥土搅拌桩内插型钢时应符合现行行业标准《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T199 的相关规定。

**Ⅱ 设 计**

**8.3.4** 型钢水泥土搅拌墙中水泥土搅拌桩的直径宜采用 650mm、850mm、1000mm；所用水泥宜采用普通硅酸盐水泥，内插型钢宜釆用Q235B、Q355B，规格、型号及有关要求宜按国家现行标准《热轧H型钢和部分T型钢》 GB/T 11263和《焊接H型钢》YB 3301选用。（常用型钢选型详见附录J）。

**8.3.5** 型钢水泥土搅拌墙中的三轴水泥土搅拌桩和型钢应符合下列要求：

1 搅拌桩28d龄期无侧限抗压强度不应小于设计要求且不宜小于0. 5MPa；

2 水泥宜釆用强度等级不低于P • O 42. 5级的普通硅酸盐水泥，材料用量和水灰比应结合土质条件和机械性能等指标通过现场试验确定，并宜符合表8.3.5的规定。计算水泥用量时，被搅拌土体的体积可按搅拌桩单桩圆形截面面积与深度的乘积计算。在型钢依靠自重和必要的辅助设备可插入到位的前提下水灰比宜取小值；

3 在填土、淤泥质土等特别软弱的土中以及在较硬的砂性土、砂砾土中，钻进速度较慢时，水泥用量宜适当提高。

表8.3.5三轴水泥土搅拌桩材料用量和水灰比

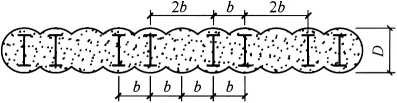
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土质条件 | 单位被搅拌土体中的材料用量 | | 水灰比 |
| 水泥(kg/m3) | 膨润土(kg/n?) |
| 黏性土 | ≽360 | 0〜5 | 1.5 〜2.0 |
| 砂性土 | ≽325 | 5~10 | 1.5 〜2. 0 |
| 砂砾土 | ≽290 | 5〜15 | 1.2 〜2.0 |

**8.3.6** 型钢水泥土搅拌墙中的三轴水泥土搅拌桩可兼作为截水帷幕，搅拌桩应采用套接一孔法施工。其抗渗性能应满足墙体自防渗要求，在砂性土中搅拌桩施工宜外加膨润土。

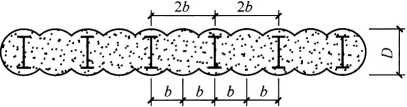
**8.3.7** 型钢水泥土搅拌墙中型钢的间距和平面布置形式应根据计算确定，常用的内插型钢布置形式可采用密插型、插二跳一型和插一跳一型(图8.3.7)三种。



1. 密插型



1. 插二跳一型



1. 插一跳一型

图 8.3.7 内插型钢布置形式

**8.3.8** 型钢水泥型钢水泥土搅拌墙支护结构的计算与验算应包括下列内容：

1内力和变形计算；

2整体稳定性验算；

3抗倾覆稳定性验算；

4坑底抗隆起稳定性验算；

5抗渗流稳定性验算；

6基坑外土体变形估算。

**8.3.9** 型钢水泥土搅拌墙的墙体计算抗弯刚度，只应计算内插型钢的截面刚度。在进行支护结构内力和变形计算以及基坑抗隆起、抗倾覆、整体稳定性等各项稳定性分析时，支护结构的深度应取型钢的插入深度，不应计入型钢端部以下水泥土搅拌桩的作用。

**8.3.10** 水泥土搅拌桩的入土深度，除应满足型钢的插入要求之外，尚应满足基坑抗渗流稳定性的要求。

**8.3.11** 型钢水泥土搅拌墙内插型钢的截面承载力应按下列规定验算：

1 作用于型钢水泥土搅拌墙的弯矩全部由型钢承担，并应符合下式规定：

≼f (8.3.11-1)

式中：—支护结构重要性系数；

—作用于型钢水泥土搅拌墙的弯矩标准值（N •mm）；

—型钢沿弯矩作用方向的截面模量（mm3）；

f—型钢的抗弯强度设计值（N/mm2）。

2 作用于型钢水泥土搅拌墙的剪力全部由型钢承担，并应符合下式规定:

≼fv (8.3.11-2)

式中：—作用于型钢水泥土搅拌墙的剪力标准值(N)；

*S*—型钢计算剪应力处以上毛截面对中和轴的面积矩 (mm3)；

*I*—型钢沿弯矩作用方向的毛截面惯性矩(mm4)；

—型钢腹板厚度(mm)；

fv—型钢的抗剪强度设计值(N/mm2)。

**8.3.12** 型钢水泥土搅拌墙应对水泥土搅拌桩桩身局部受剪承载力进行验算。局部受剪承载力应包括型钢与水泥土之间的错动受剪承载力和水泥土最薄弱截面处的局部受剪承载力，并应按以下规定进行验算：

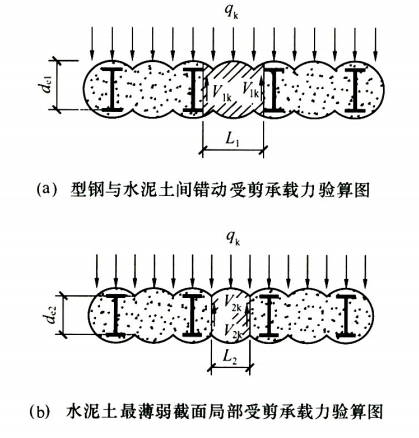


图8.10.12 搅拌桩局部收件承载力计算示意

1型钢与水泥土之间的错动受剪承载力[图8.10.12(a)] 应按下列公式进行计算：

（8.3.12-1）

（8.3.12-2）

=*q*k*L*1/2 （8.3.12-3）

（8.3.12-4）

式中： —作用于型钢与水泥土之间的错动剪应力设计值(N/ mm2)；

—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(N/mm)；

*q*k一作用于型钢水泥土搅拌墙计算截面处的侧压力强度标准值(N/mm2)；

*L*1—相邻型钢翼缘之间的净距(mm)；

—型钢翼缘处水泥土墙体的有效厚度(mm2)；

—水泥土抗剪强度设计值(N/mm2)；

—水泥土抗剪强度标准值(N/mm2),可取搅拌桩 28d龄期无侧限抗压强度的1/3。

2在型钢间隔设置时，水泥土搅拌桩最薄弱截面的局部受剪承载力［图8. 10.12 (b)］应按下列公式进行计算：

（8.3.12-5）

（8.3.12-6）

=*q*k*L*2/2 （8.3.12-7）

式中： —作用于水泥土最薄弱截面处的局部剪应力设计值(N/ mm2)；

—作用于水泥土最薄弱截面处单位深度范围内的剪力标准值(N/mm)；

*L*2—水泥土相邻最薄弱截面的净距(mm)；

—水泥土型钢翼缘处墙体的有效厚度(mm2)。

**Ⅲ 构造**

**8.3.13** 型钢水泥土搅拌墙中的搅拌桩应符合下列规定:

1当搅拌桩达到设计强度，**且**龄期不小于28d后方可进行基坑开挖；

2搅拌桩的入土深度宜比型钢的插入深度深0.5m〜1.0m；

3搅拌桩体的垂直度不应大于1/200。

**8.3.14** 型钢水泥土搅拌墙中内插劲性芯材宜采用H型钢，H型 钢截面型号宜按下列规定选用：

1当搅拌桩直径为650mm时，内插H型钢截面宜釆用 H500X300, H500X200；

2当搅拌桩直径为850mm时，内插H型钢截面宜釆用 H700X300；

3当搅拌桩直径为1000mm时，内插H型钢截面宜采用 H800X300, H850X300。

**8.3.15** 型钢水泥土搅拌墙中内插型钢应符合下列规定：

1内插型钢的垂直度不应大于1/200；

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

3型钢宜采用整材；当需采用分段焊接时，应采用坡口焊等强焊接。对接焊缝的坡口形式和要求应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81的有关规定，焊缝质量等级不应低于二级。单根型钢中焊接接头不宜超过2个，焊接接头的位置应避免设在支撑位置或开挖面附近等型钢受力较大处；相邻型 钢的接头竖向位置宜相互错开，错开距离不宜小于1m,且型钢接头距离基坑底面不宜小于2m；

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

5型钢水泥土搅拌墙的转角部位宜插型钢；

6除环境条件有特殊要求外，内插型钢宜预先釆取减摩措施，并拔除回收。

**8.3.16** 型钢水泥土搅拌墙的顶部应设置封闭的钢筋混凝土冠梁。 冠梁宜与第一道支撑的腰梁合二为一。冠梁的高度和宽度应由设计计算确定，计算时应考虑型钢穿过对冠梁截面的削弱影响，同时应满足起拔型钢时的需要，并应符合下列规定：

1冠梁截面高度不应小于600mm,截面宽度宜比搅拌桩直径大350mm；

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

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

**8.3.17** 型钢水泥土搅拌墙支护体系的腰梁应符合下列规定：

1型钢水泥土搅拌墙可采用型钢（或组合型钢）腰梁或钢筋混凝土腰梁，并结合钢管支撑、型钢（或组合型钢）支撑、钢筋混凝土支撑等内支撑体系或锚杆体系设置；

2型钢水泥土搅拌墙支护体系的腰梁宜完整、封闭，并与支撑体系连成整体。钢筋混凝土腰梁在转角处应按刚节点进行处理，并通过构造措施确保腰梁体系连接的整体性；

3钢腰梁或钢筋混凝土腰梁应采用托架（或牛腿）和吊筋与内插型钢连接。水泥土搅拌桩、H型钢与钢腰梁之间的空隙应用钢楔块或高强度等级细石混凝土填实。

**8.3.18** 当釆用竖向斜撑并需支撑在型钢水泥土搅拌墙冠梁上时， 应在内插型钢与冠梁之间设置竖向抗剪构件。

**8.3.19** 在型钢水泥土搅拌墙中搅拌桩桩径变化处或型钢插入密度变化处，相应搅拌桩桩径较大区段或型钢插入密度较大区段宜作适当延伸过渡。

**8.3.20** 型钢水泥土搅拌墙与其他形式支护结构连接处，应采取有效措施确保基坑的截水效果。

**Ⅳ 施工**

**8.3.21** 三轴水泥土搅拌桩施工应根据地质条件和周边环境条件、 成桩深度、桩径等选用不同形式和不同功率的三（多）轴搅拌桩机，与其配套的桩架性能参数应与搅拌机的成桩深度相匹配，钻杆及搅拌叶片构造应满足在成桩过程中水泥和土能充分搅拌的要求。

**8.3.22** 水泥土搅拌桩施工前，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，遇明浜、暗塘或低洼地等不良地质条件时应抽水、清淤、回填素土并分层夯实。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。

**8.3.23** 水泥土搅拌桩施工前，应按照搅拌桩桩位布置图进行测量放样并复核验收。根据确定的施工顺序，安排型钢、配套机具、水泥等物资的放置位置。

**8.3.24** 根据型钢水泥土搅拌墙的轴线开挖导向沟，应在沟槽边设置搅拌桩定位型钢，并应在定位型钢上标出搅拌桩和型钢插入位置。

**8.3.25** 搅拌桩机和供浆系统应预先组装、调试，在试运转正常后方可开始水泥土搅拌桩施工。

**8.3.26** 施工前应通过成桩试验确定搅拌下沉和提升速度、水泥浆液水灰比等工艺参数及成桩工艺；测定水泥浆从输送管到达搅 拌机喷浆口的时间。当地下水有侵蚀性时，宜通过试验选用合适的水泥。

**8.3.27** 型钢定位导向架和竖向定位的悬挂构件应根据内插型钢的规格尺寸制作。

**8.3.28** 水泥土搅拌桩施工时桩机就位应对中，平面允许偏差应为±20mm,立柱导向架的垂直度不应大于1/250。

**8.3.29** 搅拌下沉速度宜控制在0.5m/min〜lm/min,提升速度宜控制在1 m/min~2m/min,并保持匀速下沉或提升。提升时不应在孔内产生负压造成周边土体的过大扰动，搅拌次数和搅拌时间应能保证水泥土搅拌桩的成桩质量。浆液泵送量应与搅拌下沉或提升速度相匹配，保证搅拌桩中水泥掺量的均匀性。

**8.3.30** 对于硬质土层，当成桩有困难时，可釆用预先松动土层的先行钻孔套打方式施工。

**8.3.31** 搅拌机头在正常情况下应上下各一次对土体进行喷浆搅拌，对含砂量大的土层，宜在搅拌桩底部2m〜3m范围内上下重复喷浆搅拌一次。

**8.3.32** 水泥浆液应按设计配比和拌浆机操作规定拌制，并应通过滤网倒入具有搅拌装置的贮浆桶或贮浆池，采取防止浆液离析的措施。在水泥浆液的配比中可根据实际情况加入相应的外加剂，各种外加剂的用量均宜通过配比试验及成桩试验确定。

**8.3.33** 三轴水泥土搅拌桩施工过程中，应严格控制水泥用量，宜釆用流量计进行计量。因搁置时间过长产生初凝的浆液，应作为废浆处理，严禁使用。

**8.3.34** 施工时如因故停浆，应在恢复喷浆前，将搅拌机头提升或下沉0. 5m后再喷浆搅拌施工。

**8.3.35** 水泥土搅拌桩搭接施工的间隔时间不宜大于24h,当超过24h时，搭接施工时应放慢搅拌速度。若无法搭接或搭接不良，应作为冷缝记录在案，并应经设计单位认可后，在搭接处采取补救措施。

**8.3.36** 若长时间停止施工，应对压浆管道及设备进行清洗。

**8.3.37** 搅拌桩施工时可采用在螺旋叶片上开孔、添加外加剂或其他辅助措施，以避免黏土附着在钻头叶片上。

**8.3.38** 型钢插入应符合以下规定：

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

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

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

**8.3.39** 型钢的拔除回收应符合以下规定：

**1**拟拔出回收的型钢，插入前应先在干燥条件下除锈，再在其表面涂刷减摩材料。完成涂刷后的型钢，在搬运过程中应防止碰撞和强力擦挤。减摩材料如有脱落、开裂等现象应及时修补；

**2**型钢拔除前水泥土搅拌墙与主体结构地下室外墙之间的空隙必须回填密实。在拆除支撑和腰梁时应将残留在型钢表面的腰梁限位或支撑抗剪构件、电焊疤等清除干净。

**3**型钢起拔宜采用专用液压起拔机；

**4**型钢拔出后留下的空隙应及时注浆填充，并应编制包括浆液配比、注浆工艺、拔除顺序等内容的专项方案。

**5**周边环境条件复杂、支护要求高的基坑工程，型钢不宜回收。

**8.3.40** 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lm/min内；喷浆压力不宜大于0. 8MPa。

**8.3.41** 型钢水泥土搅拌墙检查与验收包括：

1在施工期间过程控制的内容包括：验证施工机械性能，材料质量，检查搅拌桩和型钢的定位、长度、 标高、垂直度，搅拌桩的水灰比、水泥掺量，搅拌下沉与提升速度，浆液的泵压、泵送量与喷浆均匀度，水泥土试样的制作，外加剂掺量，搅拌桩施工间歇时间及型钢的规格，拼接焊缝质量等；

2在型钢水泥土搅拌墙的成墙质量验收时，主要应检查搅拌桩体的强度和搭接状况、型钢的位置偏差等；

3在基坑开挖期间应检查开挖面墙体的质量，腰梁和型钢的密贴状况以及渗漏水情况等。

**8.3.42** 采用型钢水泥土搅拌墙作为支护结构的基坑工程，其支撑（或锚杆）系统、土方开挖等分项工程的质量验收应按国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202和 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120等有关规定执行。

**8.3.43** 焊接H型钢焊缝质量应符合设计要求和现行行业标准 《焊接H型钢》YB 3301和《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 的有关规定。H型钢的允许偏差应符合表8. 3.43的规定。

表**8.3.43 H**型钢允许偏差

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检查项目 | 允许偏差  (mm) | 检査数量 | 检査方法 |
| 1 | 截面高度 | 土 5. 0 | 每根 | 用钢尺量 |
| 2 | 截面宽度 | ±3.0 | 每根 | 用钢尺量 |
| 3 | 腹板厚度 | -1.0 | 每根 | 用游标卡尺量 |
| 4 | 翼缘板厚度 | -1.0 | 每根 | 用游标卡尺量 |
| 5 | 型钢长度 | ±50 | 每根 | 用钢尺量 |
| 6 | 型钢挠度 | L/500 | 每根 | 用钢尺量 |

注：表中L为型钢长度。

**8.3.44** 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。水泥土搅拌桩的桩身强度宜釆用浆液试块强度试验确定，也可以采用钻取桩芯强度试验确定。桩身强度检测方法应符合下列规定：

1浆液试块强度试验应取刚搅拌完成而尚未凝固的水泥土搅拌桩浆液制作试块，每台班应抽检1根桩，每根桩不应少于2个取样点，每个取样点应制作3件试块。取样点应设置在基坑坑底以上1m范围内和坑底以上最软弱土层处的搅拌桩内。试块应及时密封水下养护28d后进行无侧限抗压强度试验；

2钻取桩芯强度试验应采用地质钻机并选择可靠的取芯钻具，钻取搅拌桩施工后28d龄期的水泥土芯样，钻取的芯样应立即密封并及时进行无侧限抗压强度试验。抽检数量不应少于总桩 数的2%，且不得少于3根。每根桩的取芯数量不宜少于5组， 每组不宜少于3件试块。芯样应在全桩长范围内连续钻取的桩芯 上选取，取样点应取沿桩长不同深度和不同土层处的5点，且在基坑坑底附近应设取样点。钻取桩芯得到的试块强度，宜根据钻取桩芯过程中芯样的情况，乘以1.2-1.3的系数。钻孔取芯完成后的空隙应注浆填充。

**8. 3. 45** 水泥土搅拌桩成桩质量检验标准应符合表8.3.45的规定。

表**8.3.45**水泥土搅拌桩成桩质量检验标准

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检査项目 | 允许偏差或允许值 | 检查数量 | 检查方法 |
| 1 | 桩底标高 | + 50mm | 每根 | 测钻杆长度 |
| 2 | 桩位偏差 | 50mm | 每根 | 用钢尺量 |
| 3 | 桩径 | 士 10mm | 每根 | 用钢尺量钻头 |
| 4 | 施工间歇 | <24h | 每根 | 查施工记录 |

**8.3.46** 型钢插入允许偏差应符合表8.3.46的规定。

表**8.3.46**型钢插入允许偏差

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检查项目 | 允许偏差或允许值 | 检査数量 | 检査方法 |
| 1 | 型钢顶标高 | 士 50mm | 每根 | 水准仪测量 |
| 2 | 型钢平面位置 | 50mm （平行于基坑边线） | 每根 | 用钢尺量 |
| 10mm （垂直于基坑边线） | 每根 | 用钢尺量 |
| 3 | 形心转角 | 3° | 每根 | 量角器测量 |

**8.3.47** 型钢水泥土搅拌墙验收的抽检数量不宜少于总桩数的 5%。

## 8.4 地下连续墙

**Ⅰ 一般规定**

**8.4.1** 采用地下连续墙进行基坑支护设计施工应综合考虑以下因素：

1 拟建场地工程地质条件和水文地质条件；

2 地基处理方式和基础类型；

3 基坑围护尺寸和施工场地布置；

4 连续墙施工机械和泥浆清运机械的行走站位；

5 基坑工程施工实施工况的影响；

6 基坑边既有建（构）筑物及地下埋藏物对基坑工程的影响。

**8.4.2** 地下连续墙支挡方式分为悬臂式地下连续墙支护、地下连续墙—内支撑组合支护和地下连续墙—锚杆（索）组合支护。

**8.4.3** 在基坑开挖深度低于场地稳定地下水位的情况下，地下连续墙还可兼作截水抗渗墙使用。

**Ⅱ 设计计算**

**8.4.4** 地下连续墙计算与验算应包括以下内容：

1 地下连续墙入土深度计算；

2 地下连续墙内力与变形计算宜采用弹性地基梁法，计算时应考虑支撑或锚杆的位移、施工工况、支撑刚度及周边环境对连续墙结构内力和变形的影响；

3 地下连续墙整体稳定性验算、抗倾覆稳定性验算、坑底抗隆起稳定性验算、抗渗流稳定性验算；

4 基坑外地表变形及土体位移的计算，必要时应提出相应的工程技术措施；

5 地下连续墙兼作工程主体结构时，尚应按照主体结构相关规范要求，验算永久使用阶段的结构内力和变形。

**8.4.5** 地下连续墙的常用墙厚为600mm、800mm、1000mm和1200mm。地下连续墙的厚度应按照以下条件确定：

1 地下连续墙受力、变形和抗渗的设计计算；

2 基坑围护尺寸和场地边界条件对墙厚的要求；

3 地下连续墙成槽工艺和成槽机械的参数规格。

地下连续墙内力、变形计算和稳定性验算应参照排桩进行。地下连续墙正截面受弯承载力和斜截面受剪承载力计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定。

**Ⅲ 构造要求**

**8.4.6** 地下连续墙槽段及其长度的划分，应根据墙段的结构受力特性、成槽侧壁稳定性、环境条件和施工条件等因素综合确定。槽段的平面形状有一字形、L形、T形等。一字形槽段长度不宜大于6m，L形、T形等槽段各肢长度总和不宜大于6m，对于基坑边界土层条件复杂或相邻建（构）筑物条件复杂的施工场地，槽段长度应适度缩短。

**8.4.7** 基坑工程的环境保护等级为一级或基坑开挖深度范围的土层中粉性土或砂土较厚时，根据成槽工艺对成槽质量的要求，可采用槽壁预加固的措施。槽壁预加固宜采用水泥土搅拌桩或等厚度水泥土搅拌墙，地下连续墙两侧应同时设置。

**8.4.8** 地下连续墙槽段之间的施工接头可分为柔性接头和刚性接头两种。地下连续墙槽段之间接头应按下列原则选用：

1 当槽段间不传递应力时可选取柔性接头，如圆弧形接头管接头、波形管接头、楔形接头、型钢接头；

2 当地下连续墙作为主体地下结构外墙，且需要形成整体墙体时，宜采用刚性接头，并应根据实际受力状态验算槽段接头的承载力。刚性接头包括十字形穿孔钢板接头、钢筋承插式接头、十字形型钢插入式接头。

**8.4.9** 地下连续墙墙体应满足防渗设计要求，混凝土抗渗等级不宜小于P6级。墙体混凝土设计强度等级不应低于C30，水下浇注时混凝土强度等级应按相关规范要求提高。

**8.4.10** 地下连续墙纵向受力钢筋宜沿墙身两侧均匀布置，并可根据计算内力分布沿墙体深度分段配筋，但应有不低于50%纵向钢筋通长配置。纵向钢筋宜采用HRB400 、HRB500钢筋，直径不宜小于16mm，钢筋净距不宜小于75mm。水平钢筋及构造钢筋可采用HPB300或HRB400级钢筋，直径不宜小于12mm，间距宜取200mm~400mm。

**8.4.11** 地下连续墙应根据钢筋笼吊装过程中的整体稳定性和钢筋笼骨架不产生塑性变形的要求，设置纵横向起吊桁架，并应根据实测导墙标高来确定钢筋笼吊筋的长度。桁架主筋宜采用HRB400级或HRB500级钢筋，直径不宜小于20mm。

**8.4.12** L形槽段墙体水平钢筋锚入对边墙体内应满足锚固长度要求，且宜与对边水平钢筋焊接，转角处宜设置斜向加强钢筋。

**8.4.13** T形槽段外伸腹板宜设置在迎土面一侧，外伸腹板长度不宜小于成槽设备最小成槽长度。外伸腹板与翼板之间设置加强筋。

**8.4.14** 地下连续墙主筋保护层厚度在基坑内测不宜小于50mm，基坑外侧不宜小于70mm。

**8.4.15** 地下连续墙钢筋笼封头钢筋形状应与施工接头相匹配。封头钢筋与水平钢筋宜采用焊接。钢筋笼两侧的端部与接头管（箱）或相邻墙段混凝土接头面之间应留有不小于150mm的间隙，钢筋笼下端500mm长度范围内宜按1：10收成闭合状，且与槽底之间宜留有不小于500mm的间隙。

**8.4.16** 地下连续墙顶部应设置钢筋混凝土冠梁将其连成整体，冠梁宽度不宜小于墙厚，高度不宜小于墙厚的0.6倍，冠梁宜按地下连续墙与基坑外侧平齐的原则布置。冠梁按结构受力构件设置时，墙身纵向受力钢筋伸入冠梁的锚固长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010对钢筋锚固的有关规定。当不能满足锚固长度的要求时，其钢筋末端可采取机械锚固措施。

**Ⅳ 施工与检测**

**8.4.17** 地下连续墙的施工应根据地质条件的适应性及基坑周围环境等因素选择成槽工艺及相应设备。地下连续墙施工前应通过成槽试验确定合适的护壁泥浆配比、施工工艺、槽壁稳定等技术参数。

**8.4.18** 地下连续墙施工应设置钢筋混凝土导墙，导墙宜采用现浇钢筋混凝土结构，混凝土强度不宜低于C20，导墙施工应符合下列要求：

1 导墙应采用现浇钢筋混凝土结构，导墙底部应置于坚实的土层上，高度不应小于1.5m；净距宜为设计地下连续墙厚度加宽30～50mm；导墙底标高宜低于地下连续墙设计顶标高，且不宜小于200mm；导墙外侧应采用黏性土填实；

2 导墙应满足成槽设备及顶拔接头管（箱）时的强度及稳定性要求；

3 遇暗浜时应进行土体加固；遇松散填土层较厚或遇有障碍物时，应进行清除并进行土体加固或做深导墙；

4 导墙混凝土强度达到70%后可以拆模，拆模后应及时加设墙间支撑，并按要求控制导墙周围的施工荷载。

**8.4.19** 护壁泥浆使用前应根据材料和地质条件进行试配，并进行室内性能试验，泥浆配合比宜按现场试验确定。泥浆拌制宜选用膨润土。新拌制的泥浆应经充分水化，贮放时间不应少于24h或添加分散剂，待膨润土或黏土充分水化后方可使用；成槽时泥浆的供应及处理系统应满足泥浆使用量的要求。单元槽段开挖结束后及钢筋笼入槽前，应对槽底泥浆、沉淀物进行置换和清除。清底1h后，槽底处的泥浆比重不大于1.2，槽底淤积厚度不大于200mm。成槽过程护壁泥浆液面应高于地下水位500mm以上，且不应低于导墙顶面300mm。

**8.4.20** 护壁泥浆应采用测量仪器进行检测，施工过程中应经常检测泥浆指标。

**8.4.21** 基坑开挖深度范围内为粉土、砂土、人工填土和湿陷性黄土时，宜采取调整泥浆配合比、槽壁预加固、预降水等措施提高槽壁稳定性。

**8.4.22** 地下连续墙成槽施工应符合下列要求：

1 单元槽段长度应根据施工现场地质条件、成槽设备、槽壁稳定等因素确定，长度宜为4m～6m；

2 在土层条件复杂或相邻建（构）筑物条件复杂的施工场地单元槽段宜采用跳幅间隔施工顺序；

3 每个单元槽段的挖槽分段不宜超过3个。

**8.4.23** 槽段接头施工应符合下列要求：

1 接头管（箱）应满足混凝土浇筑时的强度、刚度和变形要求，能有效的阻止混凝土绕流；

2 混凝土槽段接头应在钢筋笼人槽前对相邻槽段混凝土端面进行清刷，刷壁次数不应少于20次，清刷后的接头不得夹泥；接头管安装时，应贴紧槽段垂直缓慢沉放至槽底；

3 接头管应在混凝土初凝至终凝过程中微量提动，并应根据初凝、终凝时间确定允许起拔时间和高度，按时限量起拔；

4 槽段接头防渗宜采用高压喷射注浆进行加强。

**8.4.24** 地下连续墙混凝土应采用导管法浇筑，施工前导管接缝宜进行水密性试验，导管内应设置隔水栓；混凝土浇筑过程中导管埋入混凝土面以下的深度宜为2m～4m；每根导管分担的浇筑面积宜均等，导管距槽段两侧端部不宜大于1.5m；混凝土应连续浇筑，且浇筑上升速度不宜小于3m/h。

**8.4.25** 地下连续墙的混凝土浇筑面宜高出设计标高300mm～500mm,凿去浮浆后的墙顶混凝土强度应满足设计要求；混凝土坍落度宜为180mm～220mm，初凝时间不宜小于8h；混凝土强度应比设计墙身强度提高一等级进行配制。

**8.4.26** 钢筋笼制作和吊放应符合下列要求：

1 钢筋笼制作场地应平整，平面尺寸应满足制作和拼装要求；

2 采用分节吊放的钢筋笼应在制作场地进行预拼装成型；

3 应设置纵横向桁架、剪力撑等加强钢筋笼整体刚度的构造措施，钢筋笼整体吊放应进行安全验算；

4 应对钢筋笼吊放的机具进行安全验算；

5 钢筋笼吊筋的长度宜根据导墙标高确定；

6钢筋笼应设置保护层垫块，纵向间距为3m～5m，横向设置2块～3块；定位垫板宜采用4mm～6mm厚钢板制作，并与主筋焊接。钢筋笼应在刷壁、清槽、泥浆置换完成后及时入槽。

**8.4.27** 地下连续墙的质量检测应符合下列规定：

1 应进行成槽检测，一般结构的成槽检测可抽测总槽段数的20%，且不少于10幅；当地下连续墙作为主体地下结构构件时，应对每个槽段进行成槽检测；

2 应进行槽底沉渣厚度检测；当地下连续墙作为主体地下结构构件时，应对每个槽段进行槽底沉渣厚度检测；

3 地下连续墙作为主体地下结构构件时，其质量检测尚应符合相关规范的要求。

**8.4.28** 地下连续墙施工质量检测应符合表8.4.28规定。

**表8.4.28 地下连续墙质量检测标准**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检查项目 | | 允许偏差或允许值 | |
| 单位 | 数值 |
| 1 | 导墙 | 宽度（设计墙厚+50） | mm | ±10 |
| 墙面平整度 | mm | ≤5 |
| 导墙平面位置 | mm | ±10 |
| 2 | 泥浆 | 清孔后泥浆比重 | — | ≤1.2 |
| 3 | 成槽 | 垂直度 | — | ≤1/200 |
| 沉渣厚度 | mm | ≤200 |
| 槽孔深度 | mm | +100.0 |
| 4 | 钢筋笼 | 保护层厚度 | mm | +10.0 |
| 长度 | mm | ±100 |
| 宽度 | mm | 0～20 |
| 钢筋笼安装深度 | mm | ±50 |
| 主筋间距 | mm | ±10 |
| 分布筋间距 | mm | ±20 |
| 预埋钢筋和接驳器中心位置 | mm | ±10 |
| 预埋件中心位置 | mm | ±10 |
| 5 | 混凝土 | 坍落度 | mm | 180～220 |
| 充盈系数 | — | 1.0～1.2 |
| 墙顶标高 | mm | ±50 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 注： | 1 | 地下连续墙混凝土充盈系数为实际混凝土体积与设计墙身计算体积加实际高出  部分体积之和的比值。墙顶标高应为扣除泛浆后高度； |
|  | 2 | 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；墙身混凝土抗渗试块每5幅槽段不应少于1组。 |

**8.4.29** 地新拌制泥浆、循环泥浆的性能指标应分别符合表8.4.29-1、8.4.29-2的要求。对于特殊地质条件下的工程，泥浆性能指标可通过试验作必要调整。

**表8.4.29-1 新拌制泥浆性能指标**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检查项目 | | 性能指标 | 检验方法 |
| 1 | 比重 | | 1.03～1.10 | 泥浆比重秤 |
| 2 | 黏度 | 黏性土 | 19S～25S | 500ml/700ml漏斗法 |
| 砂性土 | 30S～35S |
| 3 | 胶体率 | | ＞98% | 量筒法 |
| 4 | 失水量 | | ＜30ml/30min | 失水量仪 |
| 5 | 泥皮厚度 | | ＜1mm | 失水量仪 |
| 6 | PH值 | | 8～9 | PH试纸 |
|  |  | |  |  |

**表8.4.29-2 循环泥浆性能指标**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检查项目 | | 性能指标 | 检验方法 |
| 1 | 比重 | | 1.05～1.20 | 泥浆比重秤 |
| 2 | 黏度 | 黏性土 | 19S～30S | 500ml/700ml漏斗法 |
| 砂性土 | 30S～40S |
| 3 | 胶体率 | | ＞98% | 量筒法 |
| 4 | 失水量 | | ＜30ml/30min | 失水量仪 |
| 5 | 泥皮厚度 | | ＜1mm～3mm | 失水量仪 |
| 6 | PH值 | | 8～10 | PH试纸 |
| 7 | 含砂率 | 黏性土 | ＜4% | 洗砂瓶 |
| 砂性土 | ＜7% |

## 8.5 锚杆

**I 一般规定**

**8.5.1** 锚拉结构宜采用钢绞线锚杆；承载力较低时，也可采用钢筋锚杆；当环境保护不允许在支护结构使用功能完成后锚杆杆体滞留于基坑周边地层内时，应采用可拆芯钢绞线锚杆。

**8.5.2** 锚杆成孔的排土量不应超过锚杆体积；上方存在变形要求严格的建筑物或构筑物时，不宜采用扩大头锚杆，并应加大锚杆间距；锚杆末端不宜设在建筑物或构筑物下方。

**8.5.3** 锚杆注浆宜采用二次压力注浆工艺。

**8.5.4** 锚杆锚固段不宜设置在淤泥、淤泥质土及松散填土层内。

**8.5.5** 在复杂地质条件下，应通过现场试验确定锚杆的适用性。

**II 设计计算**

**8.5.6** 锚杆的极限抗拔承载力应符合下式要求：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.5.6） |

式中：——锚杆抗拔安全系数；安全等级为一级、二级、三级的基坑工程，分别不应小于1.8、1.6、1.4；

**——锚杆轴向拉力标准值(kN)；

**——锚杆极限抗拔承载力标准值(kN)。

**8.5.7** 锚杆的轴向拉力标准值应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.5.7） |

式中：**——锚杆的轴向拉力标准值(kN)；

**——挡土构件计算宽度内的弹性支点水平反力(kN)，按本标准第8.1.13条的规定确定；

*S*——锚杆水平间距(m)；

**——挡土结构计算宽度(m)；

——锚杆倾角(°)。

**8.5.8** 锚杆极限抗拔承载力应按下列规定确定：

1 锚杆极限抗拔承载力应通过抗拔试验确定，试验方法应符合本标准附录A的规定；

2 锚杆极限抗拔承载力标准值也可按下式估算，但应按本标准附录A规定的抗拔试验进行验证：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.5.8） |

式中： *d* ——锚杆的锚固体直径(m)；

——锚杆的锚固段在第*i*土层中的长度(m)；锚固段长度为锚杆在理论直线滑动面以外的长度，理论直线滑动面按本标准第8.5.9条的规定确定；

——锚固体与第*i*土层之间的极限粘结强度标准值(kPa)，应根据工程经验并结合表8.5.8取值。

**表8.5.8 锚杆的极限粘结强度标准值**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土的名称 | 土的状态或密实度 | (kPa) | |
| 一次常压注浆 | 二次压力注浆 |
| 填土 |  | 16～30 | 30～45 |
| 淤泥质土 |  | 16～20 | 20～30 |
| 黏性土 | *I*L＞1 | 18～30 | 25～45 |
| 0.75＜*I*L≤1 | 30～40 | 45～60 |
| 0.50＜*I*L≤0.75 | 40～53 | 60～70 |
| 0.25＜*I*L≤0.50 | 53～65 | 70～85 |
| 0＜*I*L≤0.25 | 65～73 | 85～100 |
| *I*L≤0 | 73～90 | 100～130 |
| 粉土 | *e*＞0.90 | 22～44 | 40～60 |
| 0.75≤*e*≤0.90 | 44～64 | 60～90 |
| *e*＜0.75 | 64～100 | 80～130 |
| 粉细砂 | 稍密 | 22～42 | 40～70 |
| 中密 | 42～63 | 75～110 |
| 密实 | 63～85 | 90～130 |
| 中砂 | 稍密 | 54～74 | 70～100 |
| 中密 | 74～90 | 100～130 |
| 密实 | 90～120 | 130～170 |
| 粗砂 | 稍密 | 80～130 | 100～140 |
| 中密 | 130～170 | 170～220 |
| 密实 | 170～220 | 220～250 |
| 砾砂 | 中密、密实 | 190～260 | 240～290 |
| 风化岩 | 全风化 | 80～100 | 120～150 |
| 强风化 | 150～200 | 200～260 |

注： 1 采用泥浆护壁成孔工艺时，应按表取低值后再根据具体情况适当折减；

2 采用套管护壁成孔工艺时，可取表中的高值；

3 采用扩孔工艺时，可在表中数值基础上适当提高；

4 采用二次压力分段劈裂注浆工艺时，可在表中二次压力注浆数值基础上适当提高；

5 当砂土中的细粒含量超过总质量的30%时，按表取值后应乘以0.75的系数；

6 对有机质含量为5%～10%的有机质土，应按表取值后适当折减；

7 当锚杆锚固段长度大于16m时，应对表中数值适当折减。

3 当锚杆锚固段主要位于黏土层、淤泥质土层、填土层时，应考虑土的蠕变对锚杆预应力损失的影响，并应根据蠕变试验确定锚杆的极限抗拔承载力。锚杆的蠕变试验应符合按本标准附录A的规定；

4 当采用扩大头锚杆或锚固体直径大于250mm的锚杆时，应对土体提供的整体抗拔承载力进行验算；

5 锚固段长度除应满足受力计算外，尚应满足土层锚杆锚固段长度不小于6.0m，岩石锚杆锚固段长度不小于3.0m，承压式锚杆锚固段长度不小于2.0m；

6 当计算锚杆锚固段长度大于16m时，可采用荷载分散型锚杆。

**8.5.9** 锚杆的非锚固段长度应按下式确定，且不应小于5.0m（图8.5.9）：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.5.9） |

式中：——锚杆非锚固段长度（m）；

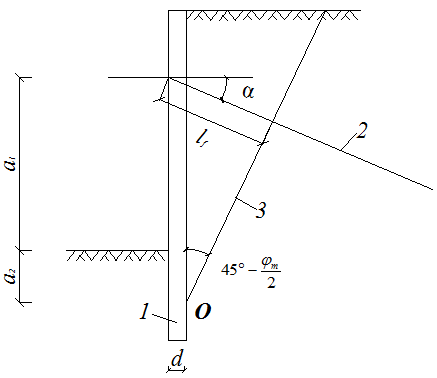
**——锚杆的倾角(°)；

——锚杆的锚头中点至基坑底面的距离（m）；

**——基坑底面至挡土构件嵌固段上基坑外侧主动土压力强度与基坑内侧被动土压力强度等值点O的距离（m）；对多层土地层，当存在多个等值点时应按其中最深处的等值点计算；

*d*——挡土构件的水平尺寸（m）；

——O点以上各土层按厚度加权的等效内摩擦角(°)。



1－挡土构件；2－锚杆；3－理论直线滑动面

**图8.5.9 理论直线滑动面**

**8.5.10** 锚杆杆体的受拉承载力应符合下式规定：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.5.10） |

式中：*N*——锚杆轴向拉力设计值（kN），按本标准第3.0.8的规定计算；

**——预应力筋抗拉强度设计值（kPa）；当锚杆杆体采用普通钢筋时，取普通钢筋强度设计值；

**——预应力筋的截面面积（m2）。

**8.5.11** 锚杆锁定值宜取锚杆轴向拉力标准值的0.75倍～0.9倍，且应与本标准第8.1.13条中的锚杆预加轴向拉力一致。

**8.5.12** 锚杆的布置应符合下列规定：

1 锚杆的水平间距不宜小于1.5m；对多层锚杆，其竖向间距不宜小于2.0m；当锚杆的间距小于1.5m时，应根据群锚效应对锚杆抗拔承载力进行折减或改变相邻锚杆的倾角；

2 锚杆锚固段的上覆土层厚度不宜小于4.0m；

3 锚杆倾角宜取15°～25°，不应大于45°，不应小于10°；锚杆的锚固段宜设置在强度较高的土层内；

4 当锚杆上方存在天然地基的建筑物或地下构筑物时，宜避开易塌孔、变形的地层。

**8.5.13** 锚杆构造及材料选用应符合下列规定：

1 锚杆成孔直径宜取100mm～200mm；扩大头锚杆或扩孔锚杆最大孔径不宜大于锚杆间距的1/6；

2 锚杆自由段的长度不应小于5m，且穿过潜在滑动面进入稳定土层的长度不应小于1.5m；杆体在自由段应设置隔离套管；

3 锚杆杆体的外露长度应满足腰梁、台座尺寸及张拉锁定的要求；

4 应沿锚杆杆体全长设置定位支架；定位支架应能使相邻定位支架中点处锚杆杆体的注浆固结体保护层厚度不小于10mm，定位支架的间距宜根据锚杆杆体的组装刚度确定，对自由段宜取1.5m～2.0m；对锚固段宜取1.0m～1.5m；定位支架应能使各根钢绞线相互分离；

5 锚杆杆体用钢绞线应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T5224的有关规定；

6 钢筋锚杆的杆体宜选用HRB400、HRB500螺纹钢筋；

7 钢绞线用锚具应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T14370的规定；

8 钢筋锚杆采用千斤顶张拉后对螺栓进行紧固的锁定方法，螺栓与杆体钢筋的连接、螺母的规格应满足锚杆拉力的要求；

9 锚杆注浆应采用水泥浆或水泥砂浆，注浆固结体强度不宜低于20MPa，荷载分散型不宜低于35MPa。

**8.5.14** 锚杆腰梁可采用型钢组合梁或混凝土梁。锚杆腰梁应按受弯构件设计。其截面承载力应符合现行国家标准的规定，当锚杆锚固在混凝土冠梁上时，冠梁应按受弯构件设计。

**8.5.15** 锚杆腰梁应根据实际约束条件按连续梁或简支梁计算。计算腰梁的内力时，腰梁的荷载应取结构分析时得出的支点力设计值。

**8.5.16** 型钢组合腰梁可选用双槽钢或双工字钢，槽钢之间或工字钢之间应用缀板焊接为整体构件，焊缝连接应采用贴角焊。双槽钢或双工字钢之间的净间距应满足锚杆杆体平直穿过的要求。

**8.5.17** 采用型钢组合腰梁时，腰梁应满足在锚杆集中荷载作用下的局部受压稳定与受扭稳定的构造要求。当需要增加局部受压和受扭稳定性时，可在型钢翼缘端口处配置加劲肋板。

**8.5.18** 混凝土腰梁、冠梁宜采用斜面与锚杆轴线垂直的梯形截面；腰梁、冠梁的混凝土强度等级不宜低于C25。采用梯形截面时，截面的上边水平尺寸不宜小于250mm。

**8.5.19** 采用楔形钢垫块时，楔形钢垫块与挡土构件、腰梁的连接应满足受压稳定性和锚杆垂直分力作用下的受剪承载力要求。采用楔形混凝土垫块时，混凝土垫块应满足抗压强度和锚杆垂直分力作用下的受剪承载力要求，且其强度等级不宜低于C25。

**8.5.20** 当锚杆倾角较大时，应计算腰梁与挡土构件之间的连接在锚杆垂直分力作用下的受剪承载力与挡土结构的竖向承载力。

**8.5.21** 对压力型锚杆，应验算注浆体的受压承载力。

**8.5.22** 可拆芯锚杆的回收应在地下室肥槽回填至锚头设计标高或在地下室外墙与支护结构之间设置传力结构后，进行拆除回收。

**III 施工与检测**

**8.5.23** 当锚杆穿过的地层附近存在既有地下管线、地下构筑物时，应在调查或探明其位置、走向、类型、使用状况等情况后再进行锚杆施工。

**8.5.24** 锚杆的成孔应符合下列规定：

1 钻孔深度应超过锚杆设计长度的0.3m～0.5m；

2 应根据土层性状和地下水条件选择套管护壁、干成孔或泥浆护壁成孔工艺，成孔工艺应满足孔壁稳定性要求，湿陷性黄土地层中应采用干成孔工艺；

3 在易塌孔、水位高的地层中成孔时，应采用双动力、套管全跟进成孔工艺；

4 对地下水位较高的地层，应采取防止孔口涌水、涌泥砂的措施；

5 在高塑性指数的饱和黏性土层成孔时，不宜采用泥浆护壁成孔工艺；

6 当成孔过程中遇不明障碍物时，在查明其性质前不得钻进；

7 成孔应间隔进行，成孔后应及时插入杆体及注浆；

8 选用扩孔钻头或高压注浆扩孔时，应通过现场试验确定其适用性。

**8.5.25** 锚杆杆体的制作安装应符合下列规定：

1 钢绞线锚杆杆体绑扎时，钢绞线应平行、间距均匀；杆体插入孔内时，应避免钢绞线在孔内弯曲或扭转；

2 当锚杆杆体选用HRB400、HRB500钢筋时，其连接宜采用机械连接、双面搭接焊、双面帮条焊；采用双面焊时，焊缝长度不应小于杆体钢筋直径的5倍；

3 杆体制作和安放时应除锈、除油污、避免杆体弯曲；

4 采用套管护壁工艺成孔时，应在拔出套管前将杆体插入孔内；采用非套管护壁成孔时，杆体应匀速推送至孔内。

**8.5.26** 锚杆的注浆应符合下列规定：

1 注浆液采用水泥浆时，水灰比宜取0.50～0.55，湿陷性黄土地层中，水灰比宜取0.45-0.50；采用水泥砂浆时，水灰比宜取0.40～0.45，灰砂比宜取0.5～1.0，拌和用砂宜选用中粗砂；

2 水泥浆或水泥砂浆内可掺入提高注浆固结体早期强度或微膨胀的外加剂，其掺入量宜按室内试验确定；

3 注浆管端部至孔底的距离不宜大于200mm；注浆及拔管过程中，注浆管口应始终埋入注浆液面内，应在水泥浆液从孔口溢出后停止注浆；注浆后，当浆液液面下降时，应进行孔口补浆；

4 采用二次压力注浆工艺时，注浆管应在锚杆末端（1/4～1/3）锚固端长度范围内设置注浆孔，孔间距宜取500mm～800mm，每个注浆截面的注浆孔宜取2个；二次压力注浆宜采用水灰比0.50～0.55的水泥浆；二次注浆管应固定在杆体上，注浆管的出浆口应采取逆止构造；二次压力注浆应在水泥浆初凝后、终凝前进行，终止注浆的压力不应小于1.5MPa；

5 采用二次压力分段劈裂注浆工艺时，注浆宜在固结体强度达到5MPa后进行，注浆管的出浆孔宜沿锚固段全长设置，注浆顺序应由内向外分段依次进行；

6 设有截水帷幕时，地下水位以下的锚杆注浆应采取孔口封堵措施；

7 冬期施工时，应对注浆液采取保温措施，浆液温度应保持在5°C以上；

8 注浆量应通过现场试验确定，并不小于成孔体积1.5倍。

**8.5.27** 锚杆的施工偏差应符合下列要求：

1 钻孔孔位的允许偏差应为50mm；

2 钻孔倾角的允许偏差应为3°；

3 杆体长度应大于设计长度；

4 自由段的套管长度允许偏差应为±50mm。

**8.5.28** 组合型钢锚杆腰梁、冠梁、钢台座的施工应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205的有关规定；混凝土锚杆腰梁、混凝土台座的施工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的有关规定。

**8.5.29** 预应力锚杆张拉锁定时应符合下列要求：

1 当锚杆固结体的强度达到15MPa或设计强度的75%后，方可进行锚杆的张拉锁定；

2 拉力型钢绞线锚杆宜采用钢绞线束整体张拉锁定的方法；荷载分散型锚杆按照设计要求采用差异分步张拉；

3 锚杆锁定前，应按表8.5.32的张拉值进行锚杆预张拉；锚杆张拉应平缓加载，加载速率不宜大于0.1*N*k/min（*N*k为锚杆轴向拉力标准值）；在张拉值下的锚杆位移和压力表压力应保持稳定，当锚头位移不稳定时，应判定此根锚杆不合格；

4 锁定时的锚杆拉力应考虑锁定过程的预应力损失量；预应力损失量宜通过对锁定前、后锚杆拉力的测试确定；缺少测试数据时，锁定时的锚杆拉力可取锁定值的1.1倍～1.15倍；

5 锚杆锁定应考虑相邻锚杆张拉锁定引起的预应力损失，当锚杆预应力损失严重时，应进行再次锁定；锚杆出现锚头松弛、脱落、锚具失效等情况时，应及时进行修复并对其进行再次锁定；

6 张拉锁定后应保护杆体的外露部分，当锚杆需要再次张拉锁定时，锚具外杆体的长度和完好程度应满足张拉要求。

**8.5.30** 对使用期限大于2年的锚杆，防腐蚀可采取下列处理措施：

1 非预应力锚杆的自由段位于土层中时，可采用除锈、刷沥青船底漆、沥青玻纤布缠裹其层数不少于二层；

2 预应力锚杆，其自由段可按本条1款进行防腐蚀处理后装入套管中；自由段套管两端100mm～200mm长度范围内用黄油充填，外绕扎工程胶布固定；

3 对位于无腐蚀性岩土层内的锚固段应除锈，水泥浆保护层厚度应不小于25mm；

4 对位于腐蚀性岩土层内的锚杆的锚固段和非锚固段，应采取特殊防腐蚀处理；

5 经过防腐蚀处理后，非预应力锚杆的自由段外端应埋人钢筋混凝土构件内50mm以上；对预应力锚杆，其锚头的锚具经除锈、涂防腐漆三层后应采用钢筋网罩、现浇混凝土封闭，且混凝土强度等级不应低于C30，厚度不应小于100mm，混凝土保护层厚度不应小于50mm。

**8.5.31** 对使用期限小于2年的锚杆，防腐蚀可采取下列处理措施：

1 非预应力锚杆的自由段，可采用除锈后刷沥青防锈漆处理；

2 预应力锚杆的自由段，可采用除锈后刷沥青防锈漆或加套管处理；

3 外锚头可采用外涂防腐材料或外包混凝土处理。

**8.5.32** 锚杆抗拔承载力的检测应符合下列规定：

1 检测数量不应少于锚杆总数的5%，且同一土层中的锚杆检测数量不应少于3根；

2 检测锚杆应采用随机抽样的方法选取；

3 抗拔承载力检测值应按本标准表8.3.32取值；

4 检测试验应按本标准附录A的验收试验方法进行；

5 当检测的锚杆不合格时，应扩大检测数量。

**表8.5.32 锚杆的抗拔承载力检测值**

|  |  |
| --- | --- |
| 支护结构的安全等级 | 抗拔承载力检测值与轴向拉力标准值的比值 |
| 一级 | 1.4 |
| 二级 | 1.3 |
| 三级 | 1.2 |

## 8.6 内支撑结构

**Ⅰ 一般规定**

**8.6.1** 内支撑结构支护适用于基坑开挖较深，基坑周边不允许锚杆施工和周边环境对基坑土体的水平位移控制要求更严格的情况。

**8.6.2** 内支撑结构的常用型式有单层或多层平面支撑体系和竖向斜撑体系，构件可采用钢结构支撑、钢筋混凝土结构支撑、型钢混凝土结构支撑。

**8.6.3** 内支撑结构必须采用稳定的结构体系和可靠的连接构造，支撑体系应具有足够的强度、刚度和稳定性要求。

**8.6.4** 一般情况下，在支撑结构上不考虑施工机械运行和材料堆放等作用。当必须利用支撑构件兼作施工平台或栈桥时，或者采取逆作法施工时，应进行专门的设计。

**8.6.5** 钢结构支撑体系可采用轴力伺服系统控制变形。

**Ⅱ 内支撑体系选型和布置**

**8.6.6** 内支撑结构选型应符合下列原则：

1 宜采用受力明确、连接可靠、施工方便的结构形式；

2 宜采用对称平衡性、整体性强的结构形式；

3 应与主体地下结构的结构形式、施工顺序协调，应便于主体结构施工；

4 应利于基坑土方开挖和运输；

5 需要时，应考虑内支撑结构作为施工平台。

**8.6.7** 内支撑结构应综合考虑基坑平面的形状、尺寸、开挖深度、周边环境条件、主体结构的形式等因素，选用下列内支撑形式（图8.6.7）：

1 水平对撑或斜撑，可采用单杆、桁架、八字形支撑；

2 正交或斜交的平面杆系支撑；

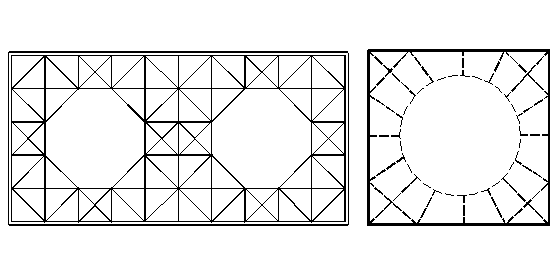
3 环形杆系或板系支撑；

4 竖向斜撑。

单向斜支撑及平面角撑示意图 双向对顶平面支撑示意图

1⎯竖向斜支撑；2⎯平面角撑；3⎯冠梁；4⎯ 腰梁；5⎯斜支撑基础；

6⎯横向水平撑；7⎯纵向水平撑；8⎯立柱；9⎯ 八字撑；10⎯立柱基础



桁架型对顶平面支撑示意图 环型平面支撑示意图

**图8.6.7 内支撑布置的基本形式**

**8.6.8** 内支撑的平面布置应符合下列规定：

1 内支撑的布置应满足主体结构的施工要求，宜避开地下主体结构的墙、柱；

2 相邻支撑的水平间距应满足土方开挖的施工要求；采用机械挖土时，应满足挖土机械作业的空间要求，且不宜小于4m；

3 当采用环形支撑时，环梁宜采用圆形、椭圆形等封闭曲线形式；并应按使环梁弯矩、剪力最小的原则布置辐射支撑；宜采用环形支撑与腰梁或冠梁交汇的布置形式；

4 水平支撑应设置与挡土构件连接的腰梁；当支撑设置在挡土构件顶部所在平面时，应与挡土构件的冠梁连接；在腰梁或冠梁上支撑点的间距，对钢腰梁不宜大于4m，对混凝土腰梁不宜大于9m；

5 当需要采用相邻水平间距较大的支撑时，宜根据支撑冠梁、腰梁的受力和承载力要求，在支撑端部两侧设置八字斜撑杆与冠梁、腰梁连接，八字斜撑杆宜在主撑两侧对称布置，且斜撑杆的长度不宜大于9m，斜撑杆与冠梁、腰梁之间的夹角宜取45°～60°；

6 当设置支撑立柱时，临时立柱应避开主体结构的梁、柱及承重墙；对纵横双向交叉的支撑结构，立柱宜设置在支撑的交汇点处；对用作主体结构柱的立柱，立柱在基坑支护阶段的负荷不得超过主体结构的设计要求；立柱与支撑端部及立柱之间的间距应根椐支撑构件的稳定要求和竖向荷载的大小确定，且对混凝土支撑不宜大于15m，对钢支撑不宜大于20m。

7 基坑向内突出的阳角应设置可靠的双向约束。

**8.6.9** 内支撑的竖向布置应符合下列规定：

1 支撑与挡土构件之间不应出现拉力；

2 支撑应避开主体地下结构底板和楼板的位置，并应满足主体地下结构施工对墙、柱钢筋连接的要求；当支撑下方的主体结构楼板在支撑拆除前施工时，支撑底面与下方主体结构楼板间的净距不宜小于700mm；

3 支撑至基底的净高不宜小于3m；

4 采用多层水平支撑时，各层水平支撑宜布置在同一竖向平面内，层间净高不宜小于3m。

**8.6.10** 竖向斜支撑通常由斜撑、腰梁或冠梁、斜支撑基础组成。斜支撑宜均匀布置，水平间距由计算确定，斜撑与腰梁或冠梁以及与基础的连接应满足抗斜撑水平分力与竖向分力的要求。设置斜撑基础时，应考虑与主体结构底板施工的关系。

**Ⅲ 内支撑结构设计计算**

**8.6.11** 内支撑结构设计时，应考虑地质条件的复杂性和基坑开挖步序的变化而出现的偶然状况，并应在设计上采取必要的防范措施。内支撑结构宜采用超静定结构；在复杂环境或软弱土质中，应选用平面或空间的超静定结构。内支撑结构，应考虑支护结构个别构件的提前失效而导致土压力作用位置的转移，并宜设置必要的赘余支撑。

**8.6.12** 内支撑结构分析应符合下列原则：

1 水平对撑与水平斜撑，应按偏心受压构件进行计算；支撑的轴向压力应取支撑间距内挡土构件的支点力之和；腰梁或冠梁应按以支撑为支座的多跨连续梁计算，计算跨度可取相邻支撑点的中心距；

2 矩形平面形状的正交支撑，可分解为纵横两个方向的结构单元，并分别按偏心受压构件进行计算；

3 不规则平面形状的平面杆系支撑、环形杆系或环形板系支撑，可按平面杆系结构采用平面有限元法进行计算；对环形支撑结构，计算时应考虑基坑不同方向上的荷载不均匀性；当基坑各边的土压力相差较大，在简化为平面杆系时，尚应考虑基坑各边土压力的差异产生的土体被动变形的约束作用，此时，可在水平位移最小的角点设置水平约束支座，在基坑阳角处不宜设置支座；

4 在竖向荷载作用下内支撑结构宜按空间框架计算，当作用在内支撑结构上的施工荷载较小时，可按连续梁计算，计算跨度可取相邻立柱的中心距；

5 竖向斜撑应按偏心受压杆件进行计算；

6 当有可靠经验时，宜采用三维结构分析方法，对支撑、腰梁与冠梁、挡土构件进行整体分析。

**8.6.13** 平面支撑体系结构构件内力可按下列计算：

1 当不考虑纵横向水平支撑的互相作用且支撑与腰梁正交时，支撑的轴向压力标准值按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.6.13-1） |

式中：——支撑的轴向力标准值（kN）；

**——挡土构件在计算宽度内的弹性支点水平反力（kN），按8.1.13公式计算；

——，和为左右两支撑间的中心距。

2 支撑的轴向压力设计值可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.6.13-2） |

式中：——支撑构件的轴向压力设计值；

**——支护结构重要系数按3.0.6条的有关规定取值；

**——内力分布不均匀及温度变化影响系数，一般可取1.2。

**8.6.14** 混凝土支撑构件及其连接的受压、受弯、受剪承载力计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的规定；钢支撑结构构件及其连接的受压、受弯、受剪承载力及各类稳定性计算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的规定，钢支撑的承载力计算应考虑安装偏心误差的影响，偏心距取值不宜小于支撑计算长度的1/1000，且对混凝土支撑不宜小于20mm，对钢支撑不宜小于40mm。

**8.6.15** 立柱计算内力可按下列计算：

立柱内力宜根据支撑条件按空间杆系结构力学计算；也可按轴心受压构件计算，轴向力设计值可按下式确定：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8.6.15） |

式中：——水平支撑及柱自重产生的轴力设计值；

——第层支撑交汇于本立柱的最大受力杆件的轴力设计值；

——支撑层数。

**Ⅳ 内支撑结构构造要求**

**8.6.16** 混凝土支撑的构造应符合下列规定：

1 混凝土的强度等级不应低于C30；

2 支撑构件的截面高度不宜小于其竖向平面内计算长度的1/20；

3 支撑构件的纵向钢筋直径不宜小于16mm，沿截面周边的间距不宜大于200mm；箍筋的直径不宜小于8mm，间距不宜大于250mm。纵向受力筋在腰梁中的锚固长度不小于*l*a；

4 支撑结构的交点处均应设置腋角；

5 混凝土支撑构件的构造，尚应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的有关规定。

**8.6.17** 钢支撑的构造应符合下列规定：

1 钢支撑构件可采用钢管、型钢及其组合截面；

2 钢支撑受压杆件的长细比不应大于75，受拉杆件长细比不应大于120；

3 钢支撑连接宜采用螺栓连接，必要时可采用焊接连接；

4 当水平支撑与腰梁斜交时，腰梁上应设置牛腿或采用其它能够承受剪力的连接措施；

5 采用竖向斜撑时，腰梁和支撑基础上应设置牛腿或采用其它能够承受剪力的连接措施；腰梁与挡土构件之间应采用能够承受剪力的连接措施；斜撑基础应满足竖向承载力和水平承载力要求；

6 钢支撑构件的构造，尚应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的有关规定。

**8.6.18** 腰梁的构造应符合下列规定：

1 腰梁的材料宜采用钢材或钢筋混凝土，并宜连续布置；

2 钢腰梁可采用H型钢、工字钢、槽钢或其组合截面等，当采用组合截面时，组合截面构件间应采用缀板连接；

3 钢筋混凝土腰梁强度等级应不低于C30，腰梁的截面高度（水平方向）不宜小于其水平方向计算跨度的1/10，腰梁的截面宽度不应小于支撑的截面高度；

4 腰梁应与围护结构连接牢靠、受力均匀、稳定，具体连接构造应根据支撑及腰梁自重等因素由计算确定。

**8.6.19** 立柱的构造应符合下列规定：

1 立柱可采用钢格构、钢管、型钢或钢管混凝土等形式；

2 当采用灌注桩作为立柱的基础时，钢立柱锚入桩内的长度不宜小于立柱长边或直径的4倍；

3 立柱长细比不宜大于25；

4 立柱与水平支撑的连接可采用铰接；

5 立柱与钢支撑之间应设置可靠钢支架（联系梁）进行连接，钢支架（联系梁）应能有效约束水平支撑侧向和竖向的位移；

6 立柱穿过主体结构底板的部位，应有有效的截水措施。

**Ⅴ 内支撑结构施工与检测**

**8.6.20** 内支撑结构的施工与拆除顺序，应与设计工况一致，必须遵循先支撑后开挖的原则。

**8.6.21** 设计时应考虑土方开挖运输对支撑的要求，包括支撑、立柱和坡道。并且考虑开挖、运输机械的作业空间和转弯半径等。

**8.6.22** 混凝土支撑的施工质量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的规定。

**8.6.23** 混凝土腰梁施工前应将排桩、地下连续墙等挡土构件的连接表面清理干净，混凝土腰梁应与挡土构件紧密接触，不得留有缝隙。

**8.6.24** 钢支撑的安装质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205的规定。

**8.6.25** 钢腰梁与排桩、地下连续墙等挡土构件间隙的宽度宜小于100mm，并应在钢腰梁安装定位后，用强度等级不低于C30的细石混凝土填充密实。

**8.6.26** 对预加轴向压力的钢支撑，施加预压力时应符合下列要求：

1 预加力值宜取支撑轴向压力标准值的0.5倍~0.8倍；

2 对支撑施加压力的千斤顶应有可靠、准确的计量装置；

3 千斤顶压力的合力点应与支撑轴线重合，千斤顶应在支撑轴线两侧对称、等距放置，且应同步施加压力；

4 千斤顶的压力应分级施加，施加每级压力后应保持压力稳定10分钟后方可施加下一级压力；预压力加至设计规定值后，应在压力稳定10分钟后，方可按设计预压力值进行锁定；

5 支撑施加压力过程中，当出现焊点开裂、局部压曲等异常情况时应卸除压力，在对支撑的薄弱处进行加固后，方可继续施加压力；

6 当监测的支撑压力出现损失时，应再次施加预压力。

**8.6.27** 支撑拆除应在替换支撑的结构构件达到换撑要求的承载力后进行；当主体结构底板和楼板分块浇筑或设置后浇带时，应在分块部位或后浇带处设置可靠的传力构件；支撑的拆除应根据支撑材料、型式、尺寸等具体情况采用人工、机械和爆破等方法。

**8.6.28** 立柱的施工应符合下列要求：

1 立柱桩混凝土的浇筑面宜高于设计桩顶500mm；

2 采用钢立柱时，立柱周围的空隙应用碎石回填密实，并宜辅以注浆措施；

3 立柱的定位和垂直度宜采用专门措施进行控制，对格构柱、H型钢柱，尚应同时控制方向偏差。

**8.6.29** 内支撑的施工偏差应符合下列要求：

1 支撑标高的允许偏差应为30mm；

2 支撑水平位置的允许偏差应为30mm；

3 临时立柱平面位置的允许偏差应为50mm，垂直度的允许偏差应为1/150；

4 立柱用作主体结构构件时，立柱平面位置的允许偏差应为10mm，垂直度允许偏差应为1/300。

## 8.7 逆作法

**Ⅰ 一般规定**

**8.7.1** 支护结构与主体结构相结合的逆作法施工设计方案应根据基坑工程实际施工环境和进度，由建设、设计、施工单位密切协作共同制定。其设计、施工、检测与监测方案应经专项论证通过后方可实施。

**8.7.2** 逆作法的土方清运，分段结构施工应满足设计工况的要求。

**8.7.3** 逆作法结构构件永临结合形式包括：地下连续墙兼作主体结构、水平支撑兼作主体结构和竖向支撑构件兼作主体结构。

**Ⅱ 地下连续墙兼作主体结构**

**8.7.4** 地下连续墙兼作主体结构可采用单一墙、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。

**8.7.5** 地下连续墙兼作主体结构在基坑施工阶段的设计、计算应符合本标准相关规定，永久使用阶段的设计计算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。

**8.7.6** 地下连续墙兼作主体结构的设计计算应符合下列规定：

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、变形计算和裂缝计算；

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不同情况，按内外墙实际受力进行墙体内力与变形计算；

3 地下连续墙使用阶段最大裂缝宽度限值为0.2mm，裂缝验算时取用的计算保护层厚度为30mm。当有特殊耐久性要求时，应根据相关规范进行控制；

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的设计计算；

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。兼作主体结构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，墙体有效长度应取基坑开挖面以下的入土深度，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。

**8.7.7** 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。

**8.7.8** 兼作主体结构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，预埋钢筋直径不宜大于20mm，并采用HPB300级钢筋；需连接的主体结构构件钢筋直径大于20mm时，宜采用预埋钢筋接驳器连接；

2 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；

3 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；

4 兼作主体结构的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可靠的防水措施，其开洞范围内可根据开洞工艺要求配置GFRP筋代替钢筋；

5 兼作主体结构的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；

6 兼作主体结构的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。

**8.7.9** 兼作主体结构的地下连续墙的成槽应采用具有自动纠偏功能的成槽设备。

**8.7.10** 兼作主体结构的地下连续墙接头形式的选择应满足地下结构防渗要求，可采用圆形接头、十字钢板接头、H型钢接头等形式。

**8.7.11** 钢筋笼制作时，~~应在~~钢筋笼上预留的剪力槽、插筋、接驳器等预埋件应有可靠固定。

**8.7.12** 兼作主体结构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。

**8.7.13** 兼作主体结构的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。

**8.7.14** 兼作主体结构的地下连续墙的施工与质量检测除应符合本标准8.2节的要求外，质量检测尚应符合下列要求：

1 应全数检测成槽垂直度，成槽垂直度不应大于1/300；

2 应全数检测沉渣厚度，沉渣厚度不应大于100mm；

3 槽段宽度允许偏差为0～+50mm；墙面平整度应小于100mm；

4 钢筋笼安装深度允许偏差不大于20mm；

5 预埋件位置偏差不宜大于10mm；

6 墙体混凝土质量应采用超声波透射法进行检测，同类型槽段的检测数量不应少于10%，且不应少于3幅。

**8.7.15** 必要时可对兼作主体结构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。

**Ⅲ 水平支撑兼作主体结构**

**8.7.16** 水平支撑兼作主体结构宜采用梁板结构以增加水平刚度。对用作支撑的地下结构水平构件，可采用简化方法或有限元整体分析方法进行计算。对于主体地下结构水平构件兼作为施工平台或栈桥时，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，并应同时满足基坑开挖实施工况和主体结构永久使用阶段的设计要求。

**8.7.17** 水平支撑兼作主体结构的设计计算中，宜考虑由立柱桩之间的差异变形及立柱桩与围护墙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。

**8.7.18** 水平支撑兼作主体结构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保水平刚度；

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 对结构楼板的洞口及车道开口部位，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等措施；

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。

**8.7.19** 当主体地下结构为梁板结构时，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，宜在梁柱节点位置采用梁端宽度方向加腋、环梁、钢环板、柱帽或双梁等措施。

**8.7.20** 作为支撑的地下水平结构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。

**8.7.21** 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。

**8.7.22** 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。

**8.7.23** 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。

**8.7.24** 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。

**8.7.25** 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。

**8.7.26** 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。

**8.7.27** 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。

**Ⅳ 竖向支承构件兼作主体结构**

**8.7.28** 基坑竖向支承结构包括立柱和立柱桩。竖向支撑构件兼作主体结构的设计应符合下列规定：

1 兼作主体结构的竖向支承构件，应综合考虑主体的建筑使用功能空间的需求、地下结构布置、地下结构施工时地上结构的建设要求以及受荷大小等因素；当立柱和立柱桩结合地下结构桩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；

2 兼作主体结构的竖向支承构件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施工阶段的承载力与沉降要求时，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试用阶段设计要求；

3 根据逆作阶段承受的竖向荷载与主体结构的设计要求，支承立柱可采用角钢格构柱、H型钢柱或钢管混凝土柱等型式。截面尺寸应根据计算确定，角钢格构柱的截面宽度不宜小于420mm；钢管混凝土柱的钢管直径不宜小于500mm；立柱长细比不应大于25，立柱桩宜采用灌注桩。

**8.7.29** 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。

**8.7.30** 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。

**8.7.31** 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抗剪措施。

**8.7.32** 当立柱需外包混凝土形成主体结构框架柱时，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能拆除。

**8.7.33** 立柱插入立柱桩的深度应根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010计算确定，且不应小于2.0m；钢管混凝土立柱插入立柱桩部分，钢管外的混凝土保护层厚度不应小于100mm。立柱在穿越基础底板位置应设置可靠的截水措施。

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

**8.7.35** 立柱和立柱桩的施工应符合建筑桩基技术规范JGJ94的相关要求。

**8.7.36** 立柱施工应符合下列要求：

1 钢立柱宜工程焊接制作；

2 钢管混凝土立柱，应先安放立柱，再进行立柱桩混凝土的浇筑；

3 立柱在施工过程中应采用专用装置保证定位、垂直度和转向偏差满足要求。

**8.7.37** 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与立柱桩的混凝土采用不同强度等级时，施工时应控制其交界面处于低强度等级混凝土一侧；

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。

**8.7.38** 立柱桩后注浆施工应符合《建筑桩基技术规范》JGJ94的相关要求。

**8.7.39** 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。

**8.7.40** 立柱和立柱桩的施工质量检测应符合下列要求：

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 立柱桩可采用超声波投射法检测桩身完整性，桩身完整性应全数检测。

**8.7.41** 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%。必要时可采用超声波透射法或钻孔取芯方法对立柱质量作进一步检测。

# 9 土钉墙及复合土钉墙

## 9.1 一般规定

**9.1.1** 土钉墙支护适用于地下水位以上的粘性土、粉土、砂土、填土等一般土质。当土钉墙用于杂填土、饱和黄土及砂土、碎石土层时，应采取有效措施保证成孔质量。基坑边坡的坡率不宜大于1：0.2，水位以下应采用帷幕截水措施。

**9.1.2** 根据基坑深度、周边环境、地下水位及变形要求，可采用土钉墙或复合土钉墙。

**9.1.3** 复合土钉墙的类型：

1 土钉墙+截水帷幕；

2 土钉墙+微型桩；

3 土钉墙+预应力锚杆；

4 土钉墙+截水帷幕+预应力锚杆；

5 土钉墙+微型桩+预应力锚杆。

**9.1.4** 软土地层中基坑开挖深度不宜大于6m，其它地层中基坑直立开挖深度不宜大于12m，可放坡的基坑开挖深度不宜大于15m。

**9.1.5** 土钉墙及复合土钉墙应按照承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。支护结构的构件强度、基坑稳定性、土钉的抗拔承载力等应按承载能力极限状态进行验算；支护结构的位移、基坑周边环境的变形应按正常使用极限状态进行验算。

**9.1.6** 土钉墙、复合土钉墙不宜用于以下条件：

1 安全等级为一级的基坑；

2 对用地红线有严格要求的基坑；

3 坑壁为灵敏度较高的土层；

4 水位以下采用打入钢管工艺时的液化土层。

**9.1.7** 常用的土钉类型有成孔注浆钢筋土钉和钢管土钉，应优先选用成孔注浆钢筋土钉。

**9.2 设计**

**9.2.1** 初步设计时土钉长度及间距可按表9.2.1选用，首层土钉标高应避开地下管线，距地表不宜大于2.0m，最下层土钉距基坑底面间距不宜大于土钉竖向间距的1/2。

**表9.2.1 土钉长度与间距经验值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 土的名称 | 土的状态 | 水平间距（m） | 竖向间距（m） | 土钉长度与基坑深度比 |
| 素填土 | — | 1.0～1.2 | 1.0～1.2 | 1.2～2.0 |
| 淤泥质土 | — | 0.8～1.2 | 0.8～1.2 | 1.5～3.0 |
| 粘性土 | 软塑 | 1.0～1.2 | 1.0～1.2 | 1.5～2.5 |
| 可塑 | 1.2～1.5 | 1.2～1.5 | 1.0～1.5 |
| 硬塑 | 1.4～1.8 | 1.4～1.8 | 0.8～1.2 |
| 坚硬 | 1.8～2.0 | 1.8～2.0 | 0.5～1.0 |
| 粉土 | 稍密～中密 | 1.0～1.5 | 1.0～1.4 | 1.2～2.0 |
| 密实 | 1.2～1.8 | 1.2～1.5 | 0.6～1.2 |
| 砂土 | 稍密～中密 | 1.2～1.6 | 1.0～1.5 | 1.0～2.0 |
| 密实 | 1.4～1.8 | 1.4～1.8 | 0.6～1.0 |

**9.2.2** 单根土钉的极限抗拔承载力应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （9.2.2） |

式中： ——土钉抗拔安全系数，安全等级为二、三级的土钉墙，分别不应小于

1.6、1.4；

——第*j*层土钉的轴向拉力标准值（kN）；

——第*j*层土钉的极限抗拔承载力标准值（kN）。

**9.2.3** 单根土钉的轴向拉力标准值可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （9.2.3） |

式中： ——第*j*层土钉的轴向拉力标准值（kN）；

——第*j*层土钉的倾角（）；

——墙面倾斜时的主动土压力折减系数，可按本标准9.2.4条确定；

——第*j*层土钉轴向拉力调整系数，可按本标准公式（9.2.5-1）计算；

——第*j*层土钉处的主动土压力强度标准值（kPa）；

——土钉的水平间距（m）；

——土钉的垂直间距（m）。

**9.2.4** 坡面倾斜时的主动土压力折减系数可按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （9.2.4） |

式中：——土钉墙坡面与水平面的夹角（）；

——基坑底面以上各土层按土层厚度加权的等效内摩擦角平均值（）。

**9.2.5** 土钉轴向拉力调整系数可按下列公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （9.2.5-1） |
|  | （9.2.5-2） |

式中： ——第*j*层土钉至基坑顶面的垂直距离（m）；

——基坑深度（m）；

——作用在以、为边长的面积内的主动土压力标准值（kN）；

——计算系数；

——经验系数，可取0.6~1.0 （硬塑以上粘性土取0.5，一般粘性土取0.6；砂土、软土取0.7；淤泥取1.0）；

*n*——土钉层数。

**9.2.6** 单根土钉的极限抗拔承载力应按下列规定确定：

1 对安全等级为二级的土钉墙，单根土钉的极限抗拔承载力应通过抗拔试验确定，其试验方法应符合本标准附录B的规定；

2 对安全等级为三级的土钉墙，单根土钉的极限拉拔承载力标准值可按下式估算，并通过土钉抗拔试验进行验证，其试验方法应符合本标准附录B的规定；

|  |  |
| --- | --- |
|  | （9.2.6） |

式中： ——第*j*层土钉的锚固体直径（m）；对成孔注浆土钉，按成孔直径计算，

对打入钢管土钉，按钢管外径计算；

—第*j*层土钉在第*i*土层的极限粘结强度标准值（kPa），应根据经验或按表9.2.6取值；

——第*j*层土钉在滑动面外第*i*土层中的长度（m），直线滑动面与水平面的夹角取。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土的名称 | 土的状态 | （kPa） | |
| 成孔注浆土钉 | 打入钢管土钉 |
| 素填土 |  | 15～30 | 20～35 |
| 淤泥质土 |  | 10～20 | 15～25 |
| 粘性土 | 0.75＜ *I*L ≤1 | 20～30 | 20～40 |
| 0.25＜ *I*L ≤0.75 | 30～45 | 40～55 |
| 0＜ *I*L ≤0.25 | 45～60 | 55～70 |
| *I*L ≤0 | 60～70 | 70～80 |
| 粉土 | 稍密～中密 | 40～80 | 50～90 |
| 砂土 | 松散 | 35～50 | 50～65 |
| 稍密 | 50～65 | 65～80 |
| 中密 | 65～80 | 80～100 |
| 密实 | 80～100 | 100～120 |

**表9.2.6 土钉的极限粘结强度标准值**

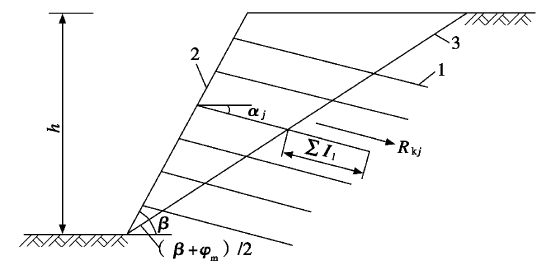


图9.2.6 土钉抗拔承载力计算

1—土钉；2—喷射混凝土面层；3—滑动面

3 当按本条第（1~2）款确定的土钉极限抗拔承载力标准值大于杆体受拉承载力标准值时，应取，其中为杆体的屈服强度标准值。

**9.2.7** 土钉杆体的受拉承载力应符合下式规定：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （9.2.7） |

式中： ——第*j*层土钉的轴向抗力设计值（kN）；

——土钉杆体的抗拉强度设计值（kPa）；

——土钉杆体的截面积（m2）。

**9.2.8** 土钉墙及复合土钉墙应根据施工期间不同开挖深度及可能滑动面按下列规定对基坑开挖的各工况进行整体滑动稳定性验算：

1 整体滑动稳定性可采用圆弧滑动条分法进行验算；

2 采用圆弧滑动条分法时，其整体稳定性应符合下列规定（图9.2.8）：

 （9.2.8-1）

|  |
| --- |
| （9.2.8-2） |

式中：——圆弧滑动稳定安全系数；安全等级为二级、三级的土钉墙与复合土钉墙，分别不应小于1.3、1.25；

——第*i*个圆弧滑动体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；

**、——分别为第*j*土条滑弧面处土的粘聚力（kPa）、内摩擦角（）；

——第*j*土条的宽度（m）；

——第*j*土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角（）；

——第*j*土条的滑弧长度（m），取；

——作用在第*j*土条上的附加分布荷载标准值（kPa）；

——第*j*土条的自重（kN），按天然重度计算；

**——第*j*土条在滑弧面上的孔隙水压力（kPa）；对地下水位以下的砂土、碎石土、粉土，当地下水是静止的或渗流水力梯度可忽略不计时，在基坑外侧，可取**＝*γ*w*h*wa，*j*，在基坑内侧，可取**＝*γ*w*h*wp，*j*；对地下水位以上的各类土和地下水位以下的粘性土，取**＝0；

*γ*w——地下水重度（kN/m3）；

*h*wa，*j*——基坑外地下水位至第*j*土条滑弧面中点的深度（m）；

*h*wp，*j*——基坑内地下水位至第*j*土条滑弧面中点的深度（m）；

——第*k*层土钉或锚杆在滑动面以外的锚固段的极限抗拔承载力标准值与杆体受拉承载力标准值（或）的较小值（kN）；锚固段的极限抗拔承载力标准值应按本标准第9.2.6条和8.5.8条的规定计算，但锚固段应取圆弧滑动面以外的长度；

——第*k*层土钉或锚杆的倾角（）；

——滑动面在第*k*层土钉或锚杆处的法线与垂直面的的夹角（）；

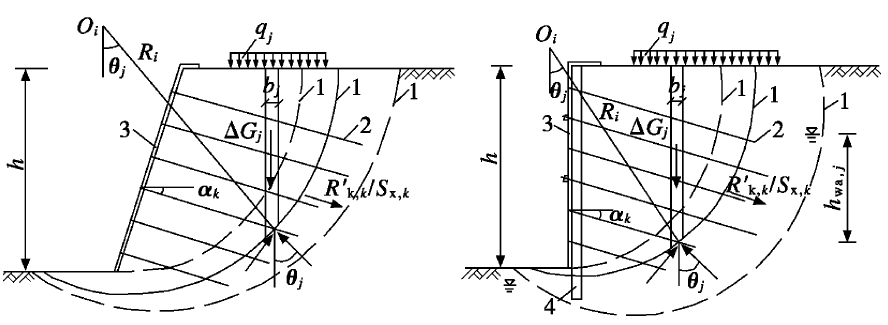
——第*k*层土钉或锚杆的水平间距（m）；

——计算系数；可按取值；

——第*k*层土钉或锚杆与滑弧交点处土的内摩擦角（）。

3当基坑面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。

4 微型桩、水泥土桩复合土钉墙，滑弧穿过其嵌固段的土条可适当考虑桩的抗滑作用。



（a）土钉墙在地下水位以上 （b）水泥土桩或微型桩复合土钉墙

图9.2.8 土钉墙整体滑动稳定性验算

1—滑动面； 2—土钉或锚杆； 3—喷射混凝土面层； 4—水泥土桩或微型桩

**9.2.9**基坑底面以下有软弱下卧层的土钉墙，应按本标准6.4.3条进行坑底抗隆起稳定性验。

**9.2.10**当地下水位高于坑底时，水泥土桩复合土钉墙兼做截水帷幕时应按本标准6.5节的规定进行地下水渗透稳定性验算。

**9.3 构造**

**9.3.1** 土钉墙宜采用洛阳铲成孔的钢筋土钉。对易塌孔的松散或稍密的砂土、稍密的粉土、填土，或易缩径的软土宜采用打入式钢管土钉。对洛阳铲成孔或钢管土钉打入困难的土层，宜采用机械成孔的钢筋土钉。

**9.3.2** 土钉水平间距和竖向间距宜为0.8m~2.0m；当基坑较深、土的抗剪强度较低时，土钉间距应取小值。土钉倾角宜为5°~20°。土钉长度应按各层土钉受力均匀、各土钉拉力与相应土钉极限承载力的比值相近的原则确定。

**9.3.3** 成孔注浆钢筋土钉的构造应符合下列要求：

1 成孔直径宜取70mm～120mm；

2 土钉钢筋宜采用HRB400级钢筋，钢筋直径宜采取16mm～32mm；

3 应沿土钉全长设置对中定位支架，其间距宜取1.5m～2.5m，土钉钢筋保护层厚度不宜小于20mm；

4 土钉孔注浆材料可采用水泥浆或水泥砂浆，其强度不宜低于20MPa。

**9.3.4** 钢管土钉的构造应符合下列要求：

1 钢管的外径不宜小于48mm，壁厚不宜小于3mm；钢管的注浆孔应设置在钢管末端（*l*/2～2*l*/3）范围内，*l*为钢管土钉的总长度；每个注浆截面的注浆孔宜取2个，且应对称布置，注浆孔的孔径宜取5mm～8mm，注浆孔外应设置保护倒刺；

2 钢管土钉的连接采用焊接时，接头强度不应低于钢管强度；可采用数量不少于3根、直径不小于16mm的钢筋沿截面均匀分布拼焊，双面焊接时钢筋长度不应小于钢管直径的2倍。

**9.3.5** 喷射混凝土面层的构造应符合下列规定：

1 喷射混凝土面层厚度宜取80mm～100mm；

2 喷射混凝土设计强度等级不宜低于C20；

3 喷射混凝土面层中应配置钢筋网和通长的加强钢筋，钢筋网采用HPB300级钢筋，钢筋直径宜取6mm～10mm，钢筋网间距宜取150mm～250mm；钢筋网间的搭接长度应大于300mm；加强钢筋的直径宜取14mm～20mm；当充分利用土钉杆体的抗拉强度时，加强钢筋的截面面积不应小于土钉杆体截面面积的二分之一；

4 土钉与加强钢筋宜采用焊接连接，其连接应满足承受土钉拉力的要求；当在土钉拉力作用下喷射混凝土面层的局部受冲切承载力不足时，应采用设置承压钢板等加强措施；

5 当土钉墙面层后存在潜水或滞水时，应在含水层部位的墙面设置泄水孔或采取其他疏水措施。

**9.3.6** 采用预应力锚杆复合土钉墙时，预应力锚杆应符合下列要求：

1 宜采用钢绞线锚杆；

2 当预应力锚杆用于减小地面变形时，锚杆宜布置在土钉墙的较上部位；用于增强面层抵抗土压力的作用时，锚杆应布置在土压力较大及墙背土层较软弱的部位；

3 锚杆的拉力设计值不应大于土钉墙墙面的局部受压承载力；

4 预应力锚杆应设置自由段，自由段长度应超过土钉墙坡体的潜在滑动面；

5 锚杆与土钉墙的喷射混凝土面层之间应设置腰梁连接，腰梁可采用槽钢腰梁或混凝土腰梁，腰梁与喷射混凝土面层应紧密接触，腰梁规格应根据锚杆拉力设计值确定；

6 除符合上述规定外，锚杆的构造尚应符合本标准第8.5节有关规定。

**9.3.7** 采用微型桩复合土钉墙时，微型桩应符合下列要求：

1 应根据微型桩施工工艺对土层特性和基坑周边环境条件的适用性选用微型钢管桩、型钢桩或灌注桩等桩型；

2 采用微型桩时，宜同时采用预应力锚杆；

3 微型桩的直径、规格应根据对复合墙面的强度要求确定；采用成孔后插入微型钢管桩、型钢桩的工艺时，成孔直径宜取130mm～300mm，对钢管，其直径宜取48mm～250mm，对工字钢，其型号宜取I10～I22；孔内应灌注水泥浆或水泥砂浆并充填密实；采用微型混凝土桩时，其直径宜取200mm～300mm；

4 微型桩的间距应满足土钉墙施工时桩间土的稳定性要求；

5 微型桩伸入基坑底面的长度宜大于桩径的5倍，且不应小于1m；

6 微型桩应与喷射混凝土面层贴合。

**9.3.8** 采用水泥土桩复合土钉墙时，水泥土桩应符合下列要求：

1 应根据水泥土桩施工工艺对土层特性和基坑周边环境条件的适用性选用搅拌桩、旋喷桩等桩型；

2 伸入基坑底面的长度宜大于桩径的2倍，且不应小于1m，水泥土桩同时兼做截水帷幕时，桩长应符合本标准13.1.4条和13.1.5条要求；

3 水泥土桩应与喷射混凝土面层贴合；

4 桩身28d无侧限抗压强度不宜小于1MPa。

**9.4 施工与检测**

**9.4.1** 土钉墙应按土钉层数分层设置土钉、分层喷射混凝土、分层分段开挖基坑。

**9.4.2** 上层土钉注浆体及喷射混凝土面层达到设计强度的70%后方可进行下层土方开挖和土钉施工，严禁超前超深开挖。

**9.4.3** 当有地下水时，对易产生流砂或塌孔的砂土、粉土、碎石土等土层，应通过现场试验确定土钉成孔工艺和措施。

**9.4.4** 钢筋土钉成孔时应符合下列要求：

1 土钉成孔范围内存在地下管线等设施时，应在查明其位置并避开后，再进行成孔作业；

2 应根据土层的性状选择洛阳铲、螺旋钻、冲击钻、地质钻等成孔方法，采用的成孔方法应能保证孔壁的稳定性、减小对孔壁的扰动；

3 当成孔遇不明障碍物时，应停止成孔作业，在查明障碍物的情况并采取针对性措施后方可继续成孔；

4 对易塌孔的松散土层宜采用机械成孔工艺；成孔困难时，可采用注入水泥浆等方法进行护壁；

5 湿陷性土层应采用干作业成孔工艺。

**9.4.5** 钢筋土钉杆体的制作安装应符合下列要求：

1 钢筋使用前，应调直并清除污锈；

2 当钢筋需要连接时，宜采用搭接焊、帮条焊连接；焊接应采用双面焊，双面焊的搭接长度或帮条长度应不小于主筋直径的5倍，焊缝高度不应小于主筋直径的0.3倍；

3 对中支架的断面尺寸应符合土钉杆体保护层厚度要求，对中支架可选用直径6mm～8mm的钢筋焊制；

4 土钉成孔后应及时插入土钉杆体，遇塌孔、缩径时，应在处理后再插入土钉杆体。

**9.4.6** 钢筋土钉注浆应符合下列规定：

1 注浆材料可选用水泥浆或水泥砂浆；水泥浆的水灰比宜取0.45～0.55；水泥砂浆的水灰比宜取0.40～0.45，灰砂比宜取0.5～1.0，拌合用砂宜选用中粗砂，按重量计的含泥量不得大于3%；

2 水泥浆或水泥砂浆应拌合均匀，一次拌合的水泥浆或水泥砂浆应在初凝前使用；

3 注浆前应将孔内残留的虚土清除干净；

4 将注浆管与土钉杆体同时插入孔内，注浆管端部至孔底的距离不宜大于200mm；注浆及拔管时，注浆管口应始终埋入注浆液面内，应在新鲜浆液从孔口溢出后停止注浆；注浆后，当浆液液面下降时，应进行补浆。

**9.4.7** 打入式钢管土钉施工时应符合下列规定：

1 钢管端部应制成尖锥状；顶部宜设置防止钢管顶部施打变形的加强构造；

2 注浆材料应采用水泥浆；水泥浆的水灰比宜取0.5～0.6；

3 注浆压力不宜小于0.6MPa；应在注浆至管顶周围出现返浆后停止注浆；当不出现返浆时，可采用间歇注浆的方法。

**9.4.8** 喷射混凝土面层施工应符合下列规定：

1 细骨料应选用中粗砂，含泥量小于3%；

2 粗骨料宜选用粒径不大于20mm的级配砾石；

3 水泥与砂石的重量比宜取1：4～1：4.5，砂率宜取45%～55%，水灰比宜取0.4～0.45；

4 使用速凝剂等外加剂时，应通过试验确定外加剂掺量；

5 喷射作业应分段依次进行，同一分段内喷射顺序应自下而上均匀喷射，一次喷射厚度宜取30mm～80mm；

6 喷射混凝土时，喷头与土钉墙墙面应保持垂直，其距离宜为0.6m～1.0m；

7 喷射混凝土终凝2h后应及时喷水养护；

8 钢筋与坡面的间隙应大于20mm；

9 钢筋网可采用绑扎固定；钢筋连接宜采用搭接焊，焊缝长度不应小于钢筋直径的10倍；

10 采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被喷射混凝土覆盖后铺设。

**9.4.9** 土钉墙的施工偏差应符合下列要求：

1 土钉位置允许偏差100mm；

2 土钉倾角允许偏差3o；

3 土钉杆体长度不应小于设计长度；

4 钢筋网间距允许偏差±30mm；

5 微型桩桩位允许偏差50mm；

6 微型桩垂直度允许偏差0.5%。

**9.4.10** 复合土钉墙中预应力锚杆的施工应符合本标准第8.5节的有关规定。微型桩的施工应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的有关规定。水泥土桩的施工应符合《建筑地基处理技术规范》JGJ79的有关规定。

**9.4.11** 土钉墙的质量检测应符合下列规定：

1 应对土钉的抗拔承载力进行检测，抗拔试验可采用逐级加荷法；土钉的检测数量不宜少于土钉总数1%，且同一土层中的土钉检测数量不应少于3根；对安全等级为二级、三级的基坑，土钉抗拔承载力检测值不应小于土钉轴向拉力标准值的1.3倍、1.2倍；检测土钉应采用随机抽样的方法选取，检测试验应在土钉注浆固结体强度达到10MPa或达到设计强度等级的70%后进行；试验方法应符合本标准附录B的规定；

2 土钉墙面层喷射混凝土应进行现场试块强度试验，每500m2喷射混凝土面积试验数量不应少于一组，每组试块不应少于3个；

3 应对土钉墙的喷射混凝土面层厚度进行检测，每500m2喷射混凝土面积检测数量不应少于一组，每组的检测点不应少于3个；全部检测点的面层厚度平均值不应小于厚度设计值，最小厚度不应小于厚度设计值的80%；

4 复合土钉墙中的预应力锚杆，应按本标准第8.5条规定进行抗拔承载力检测；

5 复合土钉墙中的水泥土搅拌桩或旋喷桩用作帷幕时，应按《建筑地基处理技术规范》JGJ79的规定进行质量检测。

# 10 重力式水泥土墙

## 10.1 一般规定

**10.1.1** 重力式水泥土墙适用于细颗粒填土、淤泥、淤泥质土、一般粘性土、非密实砂土。

**10.1.2** 重力式水泥土墙施工方法可采用深层搅拌法或高压喷射注浆法。

**10.1.3** 采用重力式水泥土墙进行支护的基坑深度不宜超过7m。

**10.1.4** 地下水位较高时，重力式水泥土墙可兼做截水帷幕。

**10.1.5** 对地基土或地下水有强腐蚀性的基坑应通过试验确定其适用性。

**10.1.6** 对要穿过地下水流动性强的地区或具承压性的含水砂层以及密实砂层的水泥土墙，不应采用高压旋喷桩工艺。

**10.2 设计**

**10.2.1** 重力式水泥土墙的抗滑移稳定性应符合下式规定（图10.2.1）：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （10.2.1） |

式中： *K*sl——抗滑移稳定安全系数，其值不应小于1.2；

*E*ak、*E*pk——作用在水泥土墙上的主动土压力、被动土压力标准值（kN/m），按本标准第5.5.1条的规定确定；

*G*——水泥土墙的自重（kN/m）；

*u*m——水泥土墙底面上的水压力（kPa）；水泥土墙底面在地下水位以下时，可取*u*m＝*γ*w（*h*wa＋*h*wp）/2，在地下水位以上时，取*u*m＝0；

*h*wa——基坑外侧水泥土墙底处的水头高度（m）；

*h*wp——基坑内侧水泥土墙底处的水头高度（m）；

*c*、*φ*——水泥土墙底面下土层的粘聚力（kPa）、内摩擦角（）；

*B*——水泥土墙的底面宽度（m）。

**10.2.2** 重力式水泥土墙的抗倾覆稳定性应符合下式规定（图10.2.2）：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （10.2.2） |

式中： *K*ov——抗倾覆稳定安全系数，其值不应小于1.3；

*a*a——水泥土墙外侧主动土压力合力作用点至墙趾的竖向距离（m）；

*a*p——水泥土墙内侧被动土压力合力作用点至墙趾的竖向距离（m）；

——水泥土墙自重与墙底水压力合力作用点至墙趾的水平距离（m）。

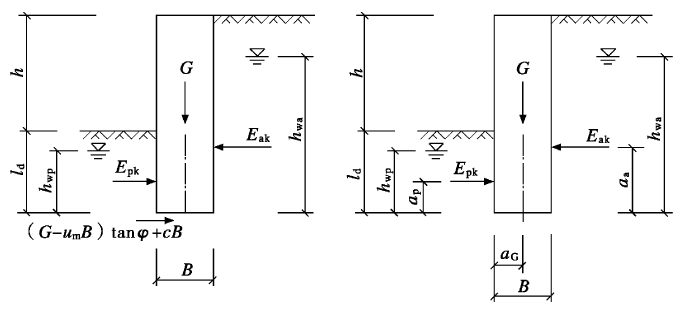


图10.2.1 抗滑移稳定性验算 图10.2.2 抗倾覆稳定性验算

**10.2.3** 重力式水泥土墙应按下列规定进行圆弧滑动稳定性验算：

**1** 可采用圆弧滑动条分法进行验算；

**2** 采用圆弧滑动条分法时，其稳定性应符合下式规定（图10.2.3）：

 （10.2.3-1）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | （10.2.3-2） |  |  |  |

式中：——圆弧滑动稳定安全系数，其值不应小于1.3；

——第*i*个圆弧滑动体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；

、——分别为第*j*土条滑弧面处土的粘聚力（kPa）、内摩擦角（）；

——第*j*土条的宽度（m）；

——第*j*土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角（）；

——第*j*土条的滑弧长度（m），取；

——作用在第*j*土条上的附加分布荷载标准值（kPa）；

——第*j*土条的自重（kN），按天然重度计算；分条时，水泥土墙可按土体考虑；

**——第*j*土条在滑弧面上的孔隙水压力（kPa）；对地下水位以下的砂土、碎石土、粉土，当地下水是静止的或渗流水力梯度可忽略不计时，在基坑外侧，可取**＝*γ*w*h*wa，*j*，在基坑内侧，可取**＝*γ*w*h*wp，*j*；对地下水位以上的各类土和地下水位以下的粘性土，取**＝0；

*γ*w——地下水重度（kN/m3）；

*h*wa，*j*——基坑外地下水位至第*j*土条滑弧面中点的深度（m）；

*h*wp，*j*——基坑内地下水位至第*j*土条滑弧面中点的深度（m）。

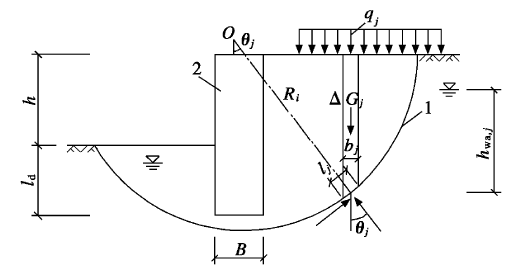


图10.2.3 整体滑动稳定性验算

1—任意圆弧滑动面；2—重力式水泥土墙

**3**当墙底以下存在软弱下卧土层时，稳定性验算的滑动面中尚应包括由圆弧与软弱土层层面组成的复合滑动面。

**10.2.4** 重力式水泥土墙，其嵌固深度应符合下列坑底隆起稳定性要求：

**1**抗隆起稳定性可按公式(10.2.4-1)～公式(10.2.4-3)验算，墙底端平面下土的抗隆起稳定性验算见图10.2.4-1：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10.2.4-1) |
|  | (10.2.4-2) |
|  | (10.2.4-3) |

式中：*Klq*——抗隆起安全系数；安全等级为二级、三级的重力式水泥土墙，分别不应小于1.6、1.4；

**——基坑外重力式水泥土墙底面以上土的天然重度（kN/m3）；对地下水位以下的砂土、粉土取浮重度；对多层土取各层土按厚度加权的平均重度；

**——基坑内重力式水泥土墙底面以上土的天然重度（kN/m3）；对地下水位以下的砂土、粉土取浮重度；对多层土取各层土按厚度加权的平均重度；

*D*——重力式挡墙的嵌固深度；

*h*——基坑深度（m）；

**——地面均布荷载（kPa）；

**、**——承载力系数；

*c*、*ϕ*——分别为重力式水泥土墙底面以下土的粘聚力（kPa）、内摩擦角（）。

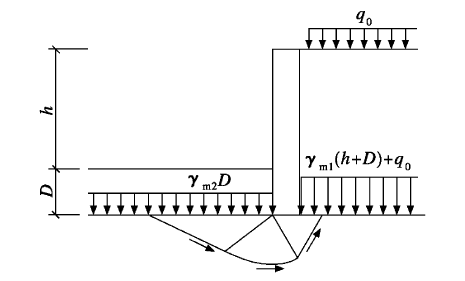


图10.2.4-1墙底端平面下土的抗隆起稳定性验算

**2**当重力式水泥土墙底面以下有软弱下卧层时，墙底面土的抗隆起稳定性验算的部位尚应包括软弱下卧层（图10.2.4-2）。此时，公式10.2.4-1中的**、**应取软弱下卧层顶面以上土的天然重度，对地下水位以下的砂土、粉土取浮重度；对多层土取各层土按厚度加权的平均重度；*D*为坑底至软弱下卧层顶面的土层厚度。*c*、*ϕ*分别为软弱下卧层的粘聚力、内摩擦角。

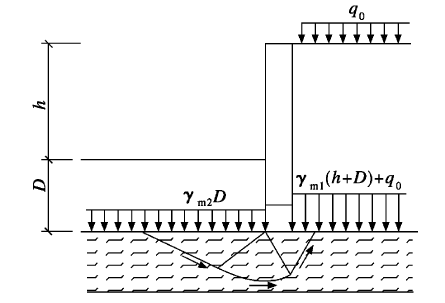


图10.2.4-2软弱下卧层的抗隆起稳定性验算

**10.2.5**当地下水位高于坑底时，重力式水泥土墙应按本标准6.5节的规定进行地下水渗透稳定性验算。

**10.2.6** 重力式水泥土墙墙体的正截面应力应符合下列规定：

1 拉应力：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （10.2.6-1） |

2 压应力：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （10.2.6-2） |

3 剪应力：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （10.2.6-3） |

式中： *M*i——水泥土墙验算截面的弯矩设计值（kN·m/m）；

*B*——验算截面处水泥土墙的宽度（m）；

**——水泥土墙的重度（kN/m3）；

*z*——验算截面至水泥土墙顶的垂直距离（m）；

**——水泥土开挖龄期时的轴心抗压强度设计值（kPa），应根据现场试验或工程经验确定；

——荷载综合分项系数，不小于1.25；

*E*aki*、E*pki——验算截面以上的主动土压力标准值、被动土压力标准值（kN/m），

验算截面在坑顶以上时，取*E*pki=0；

*G*i——验算截面以上的墙体自重（kN/m）；

*μ*——墙体材料的抗剪断系数，取0.4～0.5。

**10.2.7** 重力式水泥土墙的正截面应力验算时，计算截面应包括以下部位：

1 基坑面以下主动、被动土压力强度相等处；

2 基坑底面处；

3 水泥土墙的截面突变处。

**10.3 构造**

**10.3.1** 重力式水泥土墙宜采用水泥土搅拌桩相互搭接成格栅状的结构形式，也可采用水泥土搅拌桩相互搭接成实体的结构形式。搅拌桩的施工工艺宜采用喷浆搅拌法。

**10.3.2**重力式水泥土墙应通过室内配比试验确定水泥品种及掺量、外加剂品种及掺量、水泥土设计强度等参数。

**10.3.3** 重力式水泥土墙的嵌固深度，应通过计算确定，同时要满足对淤泥质土，不宜小于1.2*h*，对淤泥，不宜小于1.3*h*；重力式水泥土墙的宽度，对淤泥质土，不宜小于0.7*h*，对淤泥，不宜小于0.8*h*。

注：*h*为基坑深度。

**10.3.4**重力式水泥土墙采用格栅形式时，每个格栅内的土体面积应符合下式要求：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （10.3.4） |

式中： *A*——格栅内土体的截面面积（m2）；

*δ*——计算系数；对粘性土，取＝0.5；对砂土、粉土，取＝0.7；

*c*——格栅内土的粘聚力（kPa），按本标准第5.3节的规定确定；

*u*——计算周长（m），按图10.3.4计算；

——格栅内土的天然重度（kN/m3）；对成层土，取水泥土墙深度范围内各层土按厚度加权的平均天然重度。

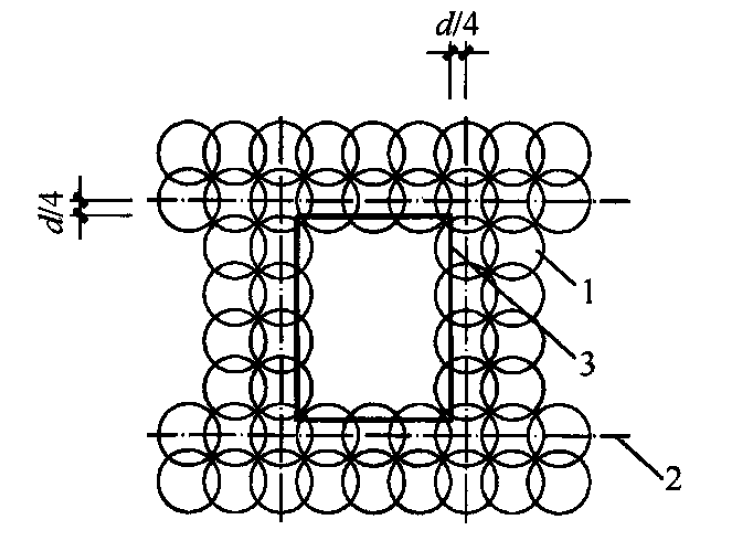


图10.3.4 格栅式水泥土墙

1－水泥土桩；2－水泥土桩中心线；3－计算周长

水泥土格栅的面积置换率，对淤泥质土，不宜小于0.7；对淤泥，不宜小于0.8；对一般粘性土、砂土，不宜小于0.6。格栅内侧的长宽比不宜大于2。

**10.3.5** 水泥土桩的搭接宽度不宜小于150mm。

**10.3.6** 水泥土墙根据土压力分布可采用变截面形式。

**10.3.7** 水泥土墙体28d无侧限抗压强度不宜小于1.2MPa。当需要增强墙身的抗拉性能时可在水泥土桩内插入杆筋。杆筋可采用钢筋、钢管，杆筋的插入深度宜大于基坑深度，杆筋应锚入面板内。

**10.3.8** 水泥土墙顶面宜设置混凝土连接面板，面板厚度不宜小于150mm，混凝土强度等级不宜低于C20。

**10.4 施工与检测**

**10.4.1** 水泥土桩的施工应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79的规定。

**10.4.2** 水泥土墙施工，应在前桩水泥土未凝固前（一般不超过12h）进行后续桩的施工，以保证墙体连续性，对施工间隔时间较长的搭接缝应采取加桩加强措施。

**10.4.3** 重力式水泥土墙的质量检测应符合下列规定：

1 应采用开挖法检测水泥土固结体的直径、搭接宽度、位置偏差、垂直度；

2 应采用钻芯法检测水泥土的单轴抗压强度及完整性、水泥土墙的深度。进行单轴抗压强度试验的芯样直径不应小于80mm。检测桩数不宜少于总桩数的1％，且不应少于6根。

# 11 坡率法

## 11.1 一般规定

**11.1.1** 坡率法是通过调整、控制基坑边坡放坡率和采取构造措施保证基坑边坡稳定的方法。当场地地下水位较低、基坑外具备足够的放坡场地、放坡开挖又不会对相邻的建（构）筑物、管线产生不利影响时，可采用全深度或局部的放坡开挖方法。

**11.1.2** 当基坑深度小于5m时，可采用单阶放坡，不设过渡平台；当基坑深度大于5m时，宜采用分阶放坡开挖。各级过渡平台的宽度，对土质边坡宜为1.0m～1.5m，对岩石边坡不宜小于0.5m。

**11.1.3** 当不具备全深度放坡或分阶放坡开挖条件时，上部可采用放坡，下部可采用其它支护方式。

**11.1.4** 遇到下列情况之一时，边坡的坡高和坡度应通过稳定性分析计算确定：

1 坡顶边缘附近有较大荷载；

2 边坡的坡高和坡率超过了本标准表11.2.1中的允许值；

3 有外倾软弱结构面的边坡。

## 11.2 设 计

**11.2.1** 单阶放坡的坡率应根据经验，按工程类比的原则确定。当无经验，且土质均匀、无不良地质现象时，可按表11.2.1确定。

**表11.2.1 边坡坡率允许值**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 岩土类别 | 岩土性状 | 坑深在5m之内 | 坑深5m～10m |
| 杂填土 | 中密-密实 | 1：0.75～1：1.00 | - |
| 黄土 | 黄土状土（Q4）  马兰黄土（Q3）  离石黄土（Q2）  午城黄土（Q1） | 1：0.50～1：0.75  1：0.30～1：0.50  1：0.20～1：0.30  1：0.10～1：0.20 | 1：0.75～1：1.00  1：0.50～1：0.75  1：0.30～1：0.50  1：0.20～1：0.30 |
| 粉土 | 稍湿 | 1：1.00～1：1.25 | 1：1.25～1：1.50 |
| 黏性土 | 坚硬  硬塑  可塑 | 1：0.75～1：1.00  1：1.00～1：1.25  1：1.25～1：1.50 | 1：1.00～1：1.25  1：1.25～1：1.50  1：1.50～1：1.75 |
| 砂土 | - | 自然休止角  （内摩擦角） | - |
| 碎石土（填充物为坚硬、硬塑状态的黏性土、粉土） | 密实  中密  稍密 | 1：0.35～1：0.50  1：0.50～1：0.75  1：0.75～1：1.00 | 1：0.50～1：0.75  1：0.75～1：1.00  1：1.00～1：1.25 |
| 碎石土  （充填物为砂土） | 密实  中密  稍密 | 1：1.00  1：1.40  1：1.60 | - |

**11.2.2** 对应进行边坡整体稳定性验算的边坡，当不满足稳定性要求时，应进行有效加固及支护处理。

## 11.3 施 工

**11.3.1** 在基坑周围影响边坡稳定的范围内，应对地面采取防水、截水等保护措施，防止地表水浸入，影响边坡土体稳定。

**11.3.2** 在基础外侧，宜设不透水的排水沟和集水坑，如有积水应及时排出。

**11.3.3** 放坡开挖的基坑，坡面应采取护坡措施，护坡应符合下列要求：

1 护坡可采用现浇钢筋混凝土面层，也可采用钢筋网喷射混凝土等方式；

2 护坡与坡体间宜设置垂直于坡面的插筋，插筋长度不宜小于0.5m，间距不宜大于1m；

3 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；

4 现浇钢筋混凝土和钢筋网喷射混凝土护坡面层的厚度不宜小于60mm，混凝土强度等级不宜低于C20；面层钢筋应双向设置，钢筋直径不宜小于6mm，间距不宜大于250mm。

**11.3.4** 在基坑周边堆置土方、建筑材料、或设置运输通道，距基坑上口边线不宜小于2.0m，弃土堆置高度不应超过1.5m，并且不能超过设计规定。

**11.3.5** 在基坑开挖和使用期间，应对边坡位移和沉降进行观测，当边坡有失稳迹象时，应及时采取坡脚反压、坡顶卸荷或其他有效措施。

# 12 土体加固

**12.0.1** 为提高土体强度和降低基坑外土体变形，确保基坑自身的安全和基坑周边环境安全，可在基坑开挖前或开挖过程中对土体进行加固，加固范围涉及基坑内、基坑外两部分。

**12.0.2** 在确定土体加固方案之前，应具备以下资料：

1岩土工程勘察报告、周边环境条件、周围地下管线、地下障碍物、既有建筑物基础资料；

2 基坑支护设计要求变形控制指标；

3 既有建筑物及周边环境检测监测结果；

4 场地施工条件。

**12.0.3** 加固方案确定应综合考虑以下因素：

1 工程地质及水文地质条件；

2 基坑稳定和变形控制要求；

3 基坑支护结构类型；

4 加固目的和加固时间；

5 环境保护要求；

6 现场条件及施工要求；

7 加固施工过程中产生的附加应力。

**12.0.4** 基坑内土体加固宜按下列原则进行：

1 基坑内土体加固后应达到减少隆起和渗流稳定的目的；

2 基坑内土体加固可采用搅拌、高压旋喷、注浆、降水等方法；加固平面布置形式可采用满堂式、格栅式、裙边式、抽条式、墩式、墙肋式等；

3加固范围应结合基坑支护设计、拟建建筑物地基处理方法和基础形式综合考虑。可整体加固或局部加固。局部加固时，宽度和深度按稳定性和变形计算要求确定。

**12.0.5** 基坑外土体加固宜按下列原则进行：

1基坑外土体加固处理目的为增强土体及周边既有建筑物稳定性，减小主动土压力；

2基坑外土体加固范围按抗滑稳定性计算，基坑外既有建筑物的加固应结合基坑内降水影响半径考虑；

3基坑外土体加固可采用搅拌、高压旋喷、注浆、微型桩等地基处理方法。

**12.0.6** 土体加固过程中应进行监测，包括基坑支护结构的水平位移，基坑外土体沉降、隆起和周边既有建筑物变形，确保土体加固的有效性和安全性。

# 13 地下水控制

## 13.1 一般规定

**13.1.1** 应收集和掌握与工程有关的水文地质条件、相关含水层水位变化特点，并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。

**13.1.2** 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应了解历年最高水位、最低水位、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。

**13.1.3** 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（渗透变形计算见附录C）。

**13.1.4** 当坑底以下存在连续分布、埋深较浅的隔水层时，应采用落底式帷幕。落底式帷幕进入下卧隔水层的深度应满足下式要求，且不宜小于1.5m：



式中：——帷幕进入隔水层的深度（m）；

——基坑内外的水头差值（m）；

——帷幕的厚度（m）。

**13.1.5** 当坑底以下含水层厚度大而需采用悬挂式帷幕时，帷幕进入透水层的深度应满足本规范6.5.2条、6.5.3条对地下水从帷幕底绕流的渗透稳定性要求，并应对帷幕外地下水位下降引起的基坑周边建（构）筑物、地下管线沉降进行分析。

## 13.2 基坑降水设计

**13.2.1** 基坑降水设计应包括降水井、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；并提出降水施工、运营、基坑安全监测要求。基坑降水设计应与基坑支护体系设计统一考虑。对特殊复杂工程应进行专项研究设计。降水时应计算总排水量及各降水井排水量，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。

**13.2.2** 降水方法的适用范围可按表13.2.2选用。

**表13.2.2 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 | 电渗井点 | 粘性土 | <0.1 | <6 |
| 喷射井点 | 填土、粘性土、粉土、粉砂 | 0.1～20.0 | 8～20 |
| 真空井点 | 粘性土、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 |
| 大口井 | | 砂类土、碎石土 | 1.0～200.0 | 5～20 |
| 辐射井 | | 粘性土、砂土、砾砂 | 0.1～20.0 | <20 |
| 引渗井 | | 粘性土、砂土 | 0.1～20.0 | 将上层水引渗到  下层含水层 |

**13.2.3** 在降水范围内存在上层滞水、弱透水层中潜水、多层隔水层含水层相间分布，且下部含水层的水位（或水头）低于上部含水层水位，或下部含水层经抽水后满足以上要求时可考虑采用引渗井。

**13.2.4** 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；回灌井宜布置在基坑帷幕以外与维护建筑之间，且与降水井距离不宜小于6 m，深度宜小于帷幕深度，且应进入原静止水位1 m以下；观测孔与降水井及回灌井距离不宜太近，应满足其孔内水位要有代表性的要求。基坑下若存在承压含水层应进行验算。必要时可设置减压井控制承压含水层水压，减压井宜布置于基坑中部。

基坑内潜水地下水水位应降低至基坑底面下0.5m～1.5m。粘性土取大值。

**13.2.5** 真空井点降水的井间距宜取0.8m～2.0m；喷射井点降水的井间距宜取1.5m～3.0m；当真空井点、喷射井点的井口至设计降水水位的深度大于6m时，可采用多级井点降水，多级井点上下级的高差宜取4m～5m。

真空井点出水能力可取36 m3/d～60 m3/d；

喷射井点出水能力可按表9.2.4取值。

**表13.2.5 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  (m3/d) | 设计单井  出水流量  (m3／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～l0.0 |
| 162 | 19 | 40 | 0.6～0.8 | 720.0 | 600.0～720.0 | 10.0～20.0 |

**13.2.6** 降水井结构设计，井径要满足抽水设备的使用要求，宜大于水泵外径50mm；滤管外径不宜小于200mm；管径外填滤料的厚度不小于100mm，滤料规格应磨圆较好，级配与含水层颗粒组成适宜，确保抽水不出浑水；管井成孔直径应满足填充滤料的要求，井管均应设置井底封底。

井深设计宜综合考虑动水位、井损、沉砂管、单井出水能力等因素，井底沉砂管长度不宜小于2m。

**13.2.7** 基坑降水引起的地面附加沉降量较大时，应采用截流或回灌等方式减少坑外水位降，控制地面下沉带来的负面影响。

**13.2.8** 回灌水位控制一般应不高于原地下水水位。

## 13.3 管井降水

**13.3.1** 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：

 （13.3.1-1）

式中：——过滤管允许进水流量（m3/s）；

——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；

——过滤管允许进水流速，宜取0.03 m/s~ 0.08m/s；

——过滤管外径（m）；

—— 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：

 （13.3.1-2）

式中：——过滤器半径（m）；

k——含水层渗透系数（m/d）。

**13.3.2** 降水井数可根据基坑涌水量和设计单井出水量下式计算：

 （13.3.2）

式中：——降水井数量；

——基坑涌水量（m3/d）；

——管井的单井出水量（m3/d）。

**13.3.3** 降水井的深度可根据基底深度、降水深度、含水层的埋藏分布、地下水类型、降水井的设备条件以及降水期间的地下水位动态等因素按下式确定：

 （13.3.3）

式中：Hw——降水井点深度（m）；

Hw1——基底深度（m）；

Hw2——降水水位距离基坑底要求的深度（m）；

Hw3——可按i·r0取值；i为水力坡度，在降水井分布范围内宜为1/10~1/15；r0为降水井分布范围的等效半径或降水井排间距的1/2（m）；

Hw4——降水期间的地下水位变幅（m）；

Hw5——降水井过滤器工作长度（m）；

Hw6——沉砂管长度（m），宜为1m~3m。

**13.3.4** 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。

**13.3.5** 井管管径应根据管井设计出水量、过滤管允许进水流速、含水层埋深、开采段长度、过滤管类型等因素综合确定。

**13.3.6** 过滤管类型应根据含水层的性质按下表选用。

**表13.3.6 降水管井过滤器类型选择**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 含水层性质 | | 过滤器类型 |
| 碎石土 | d20＜2mm | 填砾过滤器，非填砾过滤器 |
| d20≥2mm | 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。 | | |

**13.3.8** 降水管井填砾过滤管的滤料规格，可根据含水层岩性计算确定。

**13.3.9** 填砾过滤管滤料的充填厚度和高度应符合下列规定：

1 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；

2 滤料高度宜超过过滤管上端1.0m。

## 13.4 基坑降水施工

**13.4.1** 基坑降水施工前应进行试验性降水，对预测点及关键地点进行观测。降水施工时应布置观测井，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，消除坑外不良影响。

**13.4.2** 降水井、回灌井成井后要及时洗井，含砂量应小于万分之五。

**13.4.3** 回灌用水应采用清水。

**13.4.4** 基坑降水施工前应编制降水施工应急预案。降水过程中应进行降水水位、出水量及水质和环境监测，并应做好观测记录。

**13.4.5** 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。

**13.4.6** 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。

**13.4.7** 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。

**13.4.8** 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。

## 13.5 截水帷幕

**13.5.1** 基坑截水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、高压旋喷或摆喷注浆帷幕、地下连续墙或咬合式排桩等。

**13.5.2** 水泥土搅拌法帷幕施工符合下列规定：

1 可采用单轴、双轴、多轴搅拌工艺施工，施工工艺参数应通过试验确定；

2 孔位偏差不应超过50mm，垂直度偏差不应超过1%；

3 停止搅拌的位置高于帷幕设计顶面0.5m，当水泥土搅拌因故中途停止，继续搅拌应与停止搅拌前的固结体搭接，其搭接长度不应小于1.0m；

4 喷浆搅拌下沉、提升速度和重复次数应符合设计和工艺要求，并有施工过程记录。

5 搅拌桩水泥浆液的水灰比可根据含水层粒径大小确定，单轴宜取0.45～0.55，三轴宜取1.2~2.0，粒径较粗时宜采用较大值。搅拌桩的水泥掺量宜取土的天然质量的15%-20％。

**13.5.3** 水泥土搅拌桩直径宜取450mm～1000mm，搅拌桩的搭接宽度应符合下列规定：

1 单排搅拌桩帷幕的搭接宽度，当搅拌深度不大于10m 时，不应小于150mm;当搅拌深度为10m~15m时，不应小于200mm；当搅拌深度大于15m时，不应小于250mm；

2 对地下水位较高、渗透性较强的地层，宜采用双排搅拌桩截水帷幕；搅拌桩的搭接宽度可比单排搅拌桩减少50mm；

3 多轴搅拌工艺宜采用套接一孔法施工。

**13.5.4** 三轴水泥土搅拌桩截水帷幕施工应符合下列规定：

1 应采用套接孔法施工，相邻桩的搭接时间间隔不宜大于24h；

2 当帷幕墙前设置混凝土排桩时，宜先施工截水帷幕，后施工灌注排桩；

3 当采用多排三轴水泥土搅拌桩内套挡土桩墙方案时，应控制三轴搅拌桩施工对基坑周边环境的影响。

**13.5.5** 采用高压旋喷、摆喷注浆帷幕时，注浆固结体的有效半径宜通过试验确定；缺少试验时，可根据土的类别及其密实程度、高压喷射注浆工艺，按工程经验采用；摆喷注浆的喷射方向与摆喷点连线的夹角宜取10°～25°，摆动角度宜取20°～30°。水泥土固结体的搭接宽度，当注浆孔深度不大于10m时，不应小于150mm；当注浆孔深度为10m～20m时，不应小于250mm；当注浆孔深度为20m～30m时，不应小于350mm。对地下水位较高、渗透性较强的地层，可采用双排高压喷射注浆帷幕。

**13.5.6**  高压喷射注浆应按水泥土固结体的设计有效半径与土的性状确定喷射压力、注浆流量、提升速度、旋转速度等工艺参数，对较硬的黏性土、密实的砂土和碎石土宜取较小提升速度、较大喷射压力；当缺少类似土层条件下的施工经验时，应通过现场试验确定施工工艺参数。

# 14 基坑开挖和回填

## 14.1 一般规定

**14.1.1** 基坑开挖前，应具备工程地质与水文地质勘察资料，了解气象、环境等相关信息，查明施工场地影响范围内原有建（构）筑物及地下管线等情况。

**14.1.2** 基坑开挖前，对施工场地及其周边可能发生崩塌、滑坡、泥石流等危及安全的情况，建设单位应组织进行地质灾害危险性评估，并制定处理措施。

**14.1.3** 基坑工程施工场地存在地上或地下管线及设施时，建设单位应事先取得相关管理部门或单位的同意，并在施工中采取保护措施。

**14.1.4** 开挖过程中发现有文物、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，并立刻报有关主管部门处理后，再继续开挖。

**14.1.5** 在开挖区域及上开挖线以外2倍基坑深度范围内，有测量用的永久性标桩或地质、地震部门设置的长期观测设施，或存在有碍开挖施工的既有建（构）筑物、道路、管线、沟渠、塘堰、墓穴、树木等，应加以保护或妥善处理。当因施工必须损毁时，必须事先取得其归属或管理权所在单位或个人的书面同意。

**14.1.6** 基坑开挖应有妥善的截排水措施。坡顶、坡面、坡脚可设置截水墙、排水沟、引水槽等有效防止地表水、地下水对基坑造成的不利影响。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。

**14.1.7** 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。

**14.1.8** 基坑周边路面宜硬化处理，地面设置防渗排水措施。

**14.1.9** 基坑回填应排除积水，清除虚土和建筑垃圾，填土应按设计要求选料，分层填土压实，对称进行，且压实系数应满足设计要求。

## 14.2 开挖方案

**14.2.1** 基坑开挖应根据支护结构形式、降排水要求、周边环境、施工工期及气候条件等，编制专项开挖方案。

**14.2.2** 开挖方案应包括开挖方法、开挖时间、开挖顺序、分段长度、分层深度、坡道位置设定、车辆行走路线、安全措施、环境保护措施、监测方案、应急预案和抢险措施等内容，根据施工周期还应包括雨期、冬期施工措施。

**14.2.3** 支护分层开挖深度和施工的作业顺序应保证修整后的外露边坡能在规定的时间内保持自立，并在限定的时间内完成支护，且应尽量缩短边壁土体的外露时间。

## 14.3 土方开挖

**14.3.1** 土方开挖前应进行定位放线，确定预留坡道类型。开挖坡度应通过计算确定。

**14.3.2** 基坑开挖应按设计要求的施工顺序分层、分段、适时、均衡开挖。

**14.3.3** 土方开挖过程中，应定期观测开挖深度、标高和边坡坡度，验证其是否符合设计要求。地下水埋深小于基坑开挖深度时，应随时观测水位标高。

**14.3.4** 土方开挖应有专人负责，并应符合下列规定：

1 严格按开挖方案执行；

2 土方开挖应结合支护、降水方案，紧密配合；

3 边开挖、边测量，确保分层深度、分段长度、基坑坡度等；

4 开挖至锚杆、土钉施工作业面时，开挖面与锚杆、土钉的高差不宜大于500mm，严禁超挖；

5 基坑开挖过程中应采取有效措施防止碰撞支护结构、工程桩、降水井、监测点等或扰动基底原状土。

**14.3.5** 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。

**14.3.6** 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。

**14.3.7** 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。

**14.3.8** 基坑的四周应设置安全围栏并应牢固可靠。围栏的高度不应低于1.2m，并应设置明显的安全警告标识牌。当基坑较深时，应设置人员上下的专用通道。

**14.3.9** 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。

**14.3.10** 夜间施工时，现场应具备充足的照明条件，不得留有照明死角。电源线应采用架空设置；当不具备架空条件时，可采用地沟埋设，在车辆的通行地段，电源线埋置前应加装护管。

**14.3.11** 安排在雨期开挖的工作面不宜过大，应逐段、逐片的分期完成。重要的或特殊的基坑工程，不宜安排在雨期开挖。

**14.3.12** 冬期开挖土方时，当可能引起邻近建（构）筑物的地基或其它地下设施产生冻结破坏时，应采取相应的防冻措施。

**14.3.13** 开挖至基底标高后，应及时进行地下结构施工。

**14.3.14** 当开挖揭露的实际土层性状或地下水情况与设计依据的勘察资料不符，或出现异常情况、不明物体时，应立即停止挖土并采取相应措施。

**14.3.15** 支护结构或基坑周边环境出现本规范（）条规定的报警情况或其它险情时，应立即停止开挖，并应根据危险产生的原因和进一步发展的破坏形式，采取控制或加固措施。

**14.3.16** 基坑变形超过报警值时应加强观测，必要时采取堆土反压、临时斜支撑、竖向微型桩、地面卸土、基坑回填等应急措施。

## 14.4 土方回填

**14.4.1** 地下结构施工完成，结构外墙与基坑侧壁间肥槽应及时回填。宜对称、均衡地进行土方回填，回填面积较大的区域,应采取分层、分块(段)回填压实的方法。

**14.4.2**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。

**14.4.3**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。

**14.4.4**回填较深的基坑,土方回填应控制降落高度。

**14.4.5** 永久性土方回填的边坡坡度应符合设计要求。使用时间较长的临时性土方回填的边坡坡度,应根据当地经验或通过稳定性计算确定。

**14.4.6**回填土料应符合设计要求。

**14.4.7**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。

**14.4.8** 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、自密实回填土材料先期确定配比和物理力学技术指标。

# 15 环境影响评价及保护措施

## 15.1 一般规定

**15.1.1**基坑工程施工前应调查距基坑边2倍~3倍基坑深度范围内各保护对象的现状。调查内容：建（构）筑物的建造年代，建筑类别，层数，结构形式，材料强度，基础形式及埋深，地基处理及桩基设计，建筑物沉降及质量现状；地下管线及设施的平面位置，埋深，结构型式，保护要求等。

**15.1.2** 基坑工程的环境保护等级可按表15.1.2分为三级；

**表15.1.2 基坑工程的环境保护等级**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 环境保护对象 | 保护对象与基坑  的距离关系 | 基坑工程的环境  保护等级 |
| 优秀历史建筑、有精密仪器与设备的厂房、其它采用天然地基或短桩基础的重要建筑物、轨道交通设施、隧道、防汛墙、污水管、自来水总管、煤气总管、共同沟等重要建（构）筑物或设施 | s≤H | 一级 |
| H<s≤2H | 二级 |
| 2H<s≤4H | 三级 |
| 较重要的自来水管、煤气管、污水管等市政管线、采用天然地基或短桩基础的建筑物等 | s≤H | 二级 |
| H<s≤2H | 三级 |

注：1 H为基坑开挖深度；s为保护对象与基坑开挖边线的净距；

2 基坑工程环境保护等级可根据基坑各边的不同环境情况分别确定；

3 位于轨道交通设施、优秀历史建筑、重要管线等环境保护对象周边的建筑工程，应遵照政府有关文件和规定执行。

**15.1.3**基坑工程的设计应根据基坑工程的环境保护等级进行变形控制设计，并采取相应的保护措施。基坑周边地面沉降不得影响相邻建（构）筑物的正常使用，基坑周边的土体变形不得影响各类管线的正常使用。

**15.1.4**基坑工程回填结束前，应对周围环境进行监测，并根据监测实时提供的数据对设计和施工进行动态调整。

## 15.2 评估内容

**15.2.1** 基坑工程对环境的影响评估应分为坑内环境与周边环境。

**15.2.2** 坑内环境的评估包括以下内容：

1基坑工程支护结构变形或基底隆起使坑内已有工程桩受到横向挤推作用而造成倾斜、偏位及断桩等不良影响；

2基坑工程支护结构变形使坑内降水、排水系统、内支撑立柱等设施破坏破坏；

3挖土机械类型选用不当，机械停放位置和行车路线不合理，挖土方式和顺序安排不当，以及挖出土方临时堆放位置和数量控制不严等对坑内已有工程桩的完整性产生不利影响；

4基坑支护结构施工先于工程桩施工时，工程桩桩型选择和沉桩方式不当对已建基坑支护结构产生推挤和振动等不利影响。

**15.2.3** 基坑工程对周边环境影响的评估包括以下内容：

1 支护结构的施工和坑内土方开挖，使基坑侧壁发生局部破坏或整体失稳滑移，引起邻近建（构）筑物的变形；

2 长时间、大幅度的基坑降水引起的建（构）筑物变形开裂及大范围地面沉降；

3 时间效应与季节因素对基坑变形的影响；

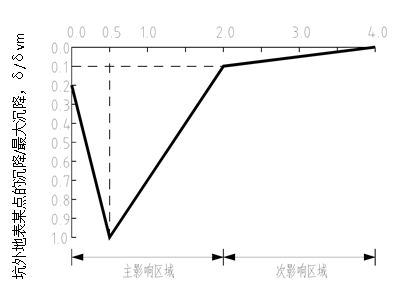
4 基坑边坡突发的局部浸水引起边坡失稳，造成地下管网及建筑物的破坏；

5 防渗措施失效、侧壁水土流失，土层淘空，引起相邻建（构）筑物变形，地面沉降，地下管线断裂；

6 基坑施工的噪声、振动等对周边环境和居民生活产生的不利影响。

## 15.3 基坑变形预估

**15.3.1** 对于板式支护体系，基坑变形估算可采用经验方法预估基坑开挖引起的围护墙后的地表沉降。可根据图15.3.1确定沉降的影响范围、最大沉降的位置及沉降曲线分布；其中最大地表沉降可按δvm=0.8δhm(δhm为围护结构最大侧移)计算。



坑外地表某点距围护墙外侧的距离/基坑开挖深度，*d/H*

图15.3.1围护墙后地表沉降预估曲线

注：*δhm*可根据板式支护体系围护墙的内力和变形宜采用竖向弹性地基梁法计算，计算时应考虑支撑或锚拉点的位移、施工工况、支撑刚度及周边基底深坑等对围护结构内力与变形的影响或其他方法确定。

**15.3.2** 因降水引起的地层变形可按下式估算。

粘性土层：

式中： ——压缩系数；

——初始孔隙比；

——地下水位下降引起的压力差；

——计算土层的厚度。

砂土层：

——砂层的弹性模量。

## 15.4 环境保护措施

**15.4.1** 基坑工程在设计及施工过程中，除应满足支护结构的稳定性和承载力要求外，尚应考虑其对周边环境的影响，并采取相应环境保护措施。

**15.4.2** 环境保护措施可从支护结构施工、基坑降水及土方开挖三个方面来考虑，必要时可对影响范围内的建（构）筑物及管线采取土体加固、结构托换、架空管线等防范措施。

**15.4.3** 支护结构施工过程的环境保护措施包括以下内容：

1板桩围护墙施工时，应采用适当的工艺和方法减少沉桩时的挤土与振动影响；板桩拔出时应采用边拔边注浆等措施；

2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、槽壁预加固及降水等措施；

3灌注排桩施工可选用在搅拌桩中套打、提高泥浆比重、采用优质泥浆护壁等措施提高灌注桩成孔质量以及控制孔壁坍塌；

4锚杆、土钉施工时，应考虑有否满足锚杆、土钉伸入的地下空间，是否会对周围环境产生影响。特别是在已有建筑物下的锚杆、土钉施工（成孔、压力灌浆）对相邻建筑物基础下土层的影响，应避免引起建筑物的沉降；

5搅拌桩施工过程中应通过控制施工速度、优化施工流程，减少搅拌桩挤土效应对周围环境的影响；

6邻近古树名木进行有泥浆污染的围护墙施工时，宜采取钢板桩等有效隔离措施。

**15.4.3** 基坑降水过程中的环境保护措施包括以下内容：

1应利用经验公式或通过抽水试验对降水的影响范圈进行估算，并采取相关控制措施；

2在降水系统的布置和施工方面，应考虑尽量减少保护对象下地下水位变化的幅度；

3井点降水系统宜远离保护对象，相距较近时，应采取适当布置方式及措施减少降水深度；

4降水井施工时，应避免采用可能危害保护对象的施工方法；

5设置隔水帷幕减小降水对保护对象的影响；

6设置回灌水系统以保持保护对象下的地下水位。

**15.4.4** 基坑土方开挖过程中的环境保护措施包括以下内容：

1 基坑土方开挖方法、支撑和拆撑顺序应与设计工况相一致。土方宜采用分区、对称开挖和分区安装支撑的施工方法，并应尽量缩短基坑无支撑暴露时间；

2基坑土方开挖过程中，应做好场地的施工用水，生活污水和雨水的疏导排水处理，不使地面水渗入基坑周边；当地面出现裂缝时，应及时采用黏土或水泥砂浆封堵；

3土方开挖时应控制基坑周边的超载，对有重车通过的地段，应进行道路硬化或加固道路地基；

4 对存在相邻基坑工程的基坑项目，对相邻基坑工程应根据最不利工况，选择合适的支护结构型式减少相互影响；应事先协调双方的施工进度，施工顺序，避免或减少相互干扰与影响。宜先开挖较深基坑，后开挖较浅的基坑。

**15.4.5** 对基坑周围的保护对象，可选用下列地基加固方法和措施：

1）在基坑开挖前，对邻近基坑的建（构）筑物和地下设计等可采用锚杆静压桩或树根桩进行基础托换；

2）基坑开挖前，在基坑和保护对象之间设置隔离桩等隔离措施；

3）基坑开挖前，在保护对象的侧面和底部设置注浆管，对其土体注浆预加固。

**15.4.6**基坑工程实施应做好整个地下工程的计划安排，充分考虑基坑开挖的时空效应，尽量缩短工期，减少基坑暴露时间。尽快组织相关部门验槽，分段分块及时施工及回填。

# 16 基坑监测

## 16.1 一般规定

**16.1.1** 在基坑工程回填结束前，除施工方自行监测外，建设方应委托第三方对基坑支护体系及周边环境安全进行有效监测。

**16.1.2** 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** 岩土工程勘察报告；

**3** 基坑支护设计资料；

**4** 基坑工程影响范围内的建(构)筑物、地下管线与设施等有关资料；

**5** 基坑工程施工方案；

**6** 其它相关资料。

**16.1.3** 基坑监测应根据基坑工程安全等级、环境保护等级和设计施工技术要求等编制监测方案。监测方案应包括以下内容：

1工程概况：主体建筑工程概况、建设场地岩土工程条件及基坑周边2-3倍基坑深度范围内的环境状况、基坑工程专项设计说明及相关图、基坑安全等级、使用年限等；

2编制依据；

3监测内容及项目：监测对象、仪器监测项目、巡视检查项目；

4监测点布设及技术要求：监测人员的配备、监测仪器设备及标定要求、基准点、监测点的布置与保护、监测方法及精度、监测期和监测频率、监测报警及异常情况下的监测措施；

5监测信息：监测数据、监测点随时间变化的曲线、信息处理、反馈；

6作业安全及其他管理措施。

**16.1.4** 监测项目应根据基坑工程安全等级、环境保护等级、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**16.1.4**选用。

**表16.1.4 基坑监测项目选择**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 基坑安全等级  监测项目 | | 一级 | 二级 | 三级 |
| 围护墙(边坡)顶部水平位移 | | 应测 | 应测 | 应测 |
| 围护墙(边坡)顶部竖向位移 | | 应测 | 应测 | 应测 |
| 深层水平位移 | | 应测 | 应测 | 宜测 |
| 立柱竖向位移 | | 应测 | 应测 | 宜测 |
| 围护墙内力 | | 宜测 | 选测 | 选测 |
| 支撑轴力 | | 应测 | 应测 | 宜测 |
| 立柱内力 | | 选测 | 选测 | 选测 |
| 锚杆轴力 | | 应测 | 宜测 | 选测 |
| 坑底隆起 | | 选测 | 选测 | 选测 |
| 围护墙侧向土压力 | | 选测 | 选测 | 选测 |
| 孔隙水压力 | | 选测 | 选测 | 选测 |
| 地下水位 | | 应测 | 应测 | 应测 |
| 土体分层竖向位移 | | 选测 | 选测 | 选测 |
| 周边地表竖向位移 | | 应测 | 应测 | 宜测 |
| 周边建筑 | 竖向位移 | 应测 | 应测 | 应测 |
| 倾斜 | 应测 | 宜测 | 选测 |
| 水平位移 | 宜测 | 选测 | 选测 |
| 周边建筑裂缝、地表裂缝 | | 应测 | 应测 | 应测 |
| 周边管线 | 竖向位移 | 应测 | 应测 | 应测 |
| 水平位移 | 选测 | 选测 | 选测 |
| 周边道路竖向位移 | | 应测 | 宜测 | 选测 |

注：1、监测实施过程中，可根据基坑支护形式选择相应监测项目；

2、对于岩质基坑，可根据具体情况适当减少监测项目。

**16.1.5** 支护结构巡视检查宜包括以下内容：

1 支护结构成型质量：

2 冠梁、支撑、围檩有无裂缝出现；

3 支撑构件有无变形、开裂；

4 钢板桩有无变形，搭接处是否能够咬合；

5 地下连续墙接头处有无渗漏；

6 锚杆锚头有无松动，锚具夹片有无滑动，腰梁及支座有无变形，连接处是否破损；

7 土钉墙土钉有无滑脱，土钉墙面层有无开裂和错动；

8 重力式水泥土墙格栅状墙顶及墙体后有无变形、开裂；

10 型钢水泥土搅拌墙的侧壁是否有型钢出露，顶部是否有裂缝；

11 基坑侧壁和截水帷幕有无渗水、漏水、流砂等。

**16.1.6** 施工工况巡视检查宜包括以下内容：

1 开挖后暴露的土质情况与岩土勘察报告有无差异；

2 基坑开挖分段长度及分层厚度是否与设计要求一致，有无超长、超深开挖；

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 基坑周围地面堆载情况，有无超堆荷载。

**16.1.7** 基坑周边环境巡视检查宜包括以下内容：

1 地下管道有无破损、泄漏情况；

2 周边建（构）筑物有无裂缝出现；

3 周边道路（地面）有无裂缝、沉陷；

4 邻近基坑及建(构)筑物的施工情况。

**16.1.8** 监测设施巡视检查宜包括以下内容：

1 基准点、测点完好状况；

2 有无影响观测工作的障碍物；

3 监测元件的完好及保护情况；

4 根据设计要求或当地经验确定的其他巡视检查内容。

**16.1.9** 当基坑位于轨道交通设施、隧道等大型地下设施安全保护区范围内，以及邻近城市生命线工程或附近存在优秀历史建筑和有特殊使用要求的仪器设备厂房时，应按照相关管理部门的要求明确监测项目和报警值。

## 16.2 监测点布置

**16.2.1**监测点布置应根据基坑工程等级、环境保护等级、地下管线现状、支护体系的类型、基坑形状以及基坑施工方案等因素综合确定。监测期间建设方及施工方应协助监测单位保护监测设施。

**16.2.2** 围护墙或基坑边坡顶部的水平位移和竖向位移监测点应沿基坑周边布置，基坑周边中部、阳角处应布置监测点，监测点水平间距不宜大于20m，每边监测点数目不宜小于3个。

**16.2.3** 围护墙或土体深层水平位移监测点宜布置在基坑周边中部、阳角处及有代表性的部位，监测点水平间距宜为20m~50m，每边监测点数目不应少于1个。

**16.2.4** 立柱竖向位移监测点宜布置在基坑中部、多根支撑交汇处、地质条件复杂的立柱上，监测点不应少于立柱总根数的5%，且均不应少于3根。

**16.2.5** 围护墙内力监测点应布置在受力、变形较大且有代表性的部位，竖向间距宜为2m~4m；支撑内力监测点宜布置在支撑内力较大或在整个支撑系统中起控制作用的杆件上，每层支撑的内力监测点不应少于3个；锚杆的内力监测点应选择在受力较大且具有代表性的位置，每层锚杆的内力监测点数量应为该层锚杆总数的1%~3%，并不应少于3根。

**16.2.6** 坑底隆起（回弹）监测点宜按纵向或剖面布置，同一剖面上监测点横向间距宜为10m~30m，数量不应少于3个。

**16.2.7** 围护墙侧向土压力监测点应布置在受力、土质条件变化较大或其他有代表性的部位，平面布置上基坑每边不宜少于2个监测点，竖向布置上监测点间距宜为2m~5m，下部宜加密。

**16.2.8** 孔隙水压力监测点宜布置在基坑受力、变形较大或有代表性的部位，竖向布置上监测点宜在水压力变化影响深度范围内按土层分布情况布设，竖向间距宜为2m~5m，数量不宜少于3个。

## 16.3 监测方法

**16.3.1** 基坑工程的现场监测应采用仪器监测与巡视检查相结合的方法。监测方法应综合考虑基坑工程特点、现场条件、设计要求、地区经验和测试方法的适用性等因素确定。

**16.3.2** 同一基坑工程的监测，宜固定观测人员和仪器，并应采用相同的观测方法和观测路线施测。在当日监测后应对监测资料分析整理，并提交当日报表及变化曲线；当监测值达到报警值，应及时签发报警通知。

**16.3.3** 变形测量点宜分为基准点、工作基点和变形监测点。对通视条件较好的小型工程，可不设置工作基点。基准点设置应符合下列要求：

**1** 在施工前埋设，并经观测确定其稳定后，方可投入使用；

**2** 在施工场地影响范围外设置，不宜少于3个；

**3** 监测期间应定期联测，检验其稳定性；

**4** 整个监测期间应采取有效措施，确保正常使用。

**16.3.4** 监测仪器和元件应符合下列要求：

**1** 监测仪器除了灵敏度和精度满足设计要求以外，必须有良好的稳定性和可靠度；

**2** 孔隙水压力计、土压力计和支撑轴力计等监测元件在埋设安装前应进行标定**；**

**3** 现场使用的监测仪器、监测元件应有计量部门颁发的质量合格证书和质保书，监测仪器应按规定定期校验。

**16.3.5**巡视检查应对自然条件、支护结构、施工工况、周边环境、监测设施等的检查情况进行详细记录，必要时应有巡查照片；如发现异常，应及时通知建设方及相关单位。

**16.3.6**巡视检查记录应及时整理，并与监测数据综合分析。

## 16.4 报警值

**16.4.1**基坑工程监测必须确定监测报警值，监测报警值应根据基坑工程设计、地下主体结构设计以及周边环境中被保护对象对变形的敏感度确定。

**16.4.2** 基坑工程监测报警值应以监测项目的累计变化量和变化速率两个值控制。

**16.4.3** 基坑支护体系监测项目的报警值应满足设计要求，当设计无明确要求时，可参考表16.4.3采用。

**表16.4.3根据基坑工程安全等级确定的报警值**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 基坑工程安全  等级  监测项目 | 一级 | | 二级 | | 三级 | |
| 变化速率  （mm/d） | 累计值  (mm) | 变化速率  （mm/d） | 累计值  （mm） | 变化速率  （mm/d） | 累计值  （mm） |
| 围护结构侧向最大位移 | 2～4 | 0.4%*H* | 3～5 | 0.6%*H* | 3～5 | 0.8%*H* |
| 支撑轴力 | 最大值：构件承载能力设计值的80%  最小值：钢支撑预应力设计值的80% | | | | | |

注：1. *H*为基坑开挖深度（m）；

2. 报警值可按基坑各边情况分别确定。

**16.4.4**周边环境监测项目的报警值应根据基坑周边环境对附加变形的承受能力确定。当无明确要求时，围护墙侧向最大位移、地面最大沉降、地下水位变化可参考表16.4.4采用。

**表16.4.4 根据基坑工程环境保护等级确定的报警值**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 基坑工程环境保护  等级  监测项目 | 一级 | | 二级 | | 三级 | |
| 变化速率  (mm/d) | 累计值  (mm) | 变化速率  (mm/d) | 累计值  （mm） | 变化速率  （mm/d） | 累计值  （mm） |
| 围护墙侧向最大位移 | 2～3 | 0.18%H | 3～5 | 0.3%H | 5 | 0.7%H |
| 地面最大沉降 | 0.15%H | 0.25%H | 0.55%H |
| 地下水位变化 | 变化速率（mm/d）：300，累计值（mm）：1000 | | | | | |

注：1. *H*为基坑开挖深度（m）。

2. 报警值可按基坑各边情况分别确定。

3. 当同一监测项目按以上规定取值不同时，取最小值。

## 16.5 监测频率

**16.5.1**基坑工程监测频率的确定应满足能系统反映监测对象所测项目的重要变化过程而又不遗漏其变化时刻的要求。

**16.5.2** 基坑工程监测工作应贯穿于基坑工程和地下工程施工全过程。监测期应从基坑工程施工前开始，直至地下工程完成为止。对有特殊要求的基坑周边环境的监测应根据需要延续至变形趋于稳定后结束。

**16.5.3** 监测项目的监测频率应综合考虑基坑类型、基坑及地下工程的不同施工阶段以及周边环境、自然条件的变化和当地经验而确定。当监测值相对稳定时，可适当降低监测频率。对于应测项目，在无数据异常和事故征兆的情况下，可适当降低监测频率。对于应测项目，在无数据异常和事故征兆的情况下，开挖后现场仪器监测频率可按表16.5.3确定。

**表16.5.3 现场仪器监测频率**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 施工工况  监测项目分类 | 土方开挖前 | 从基坑开始开挖到结构底板浇筑完成后3天 | 结构底板浇筑完成后3天到  地下结构施工完成 | |
| 各道支撑开始拆除到  拆除完成后3天 | 一般情况 |
| 应测项目 | 影响明显时1次/天，不明显时1~2次/周 | 1次/天 | 1次/天 | 2~3次/周 |
| 选测项目 | 1次/周 | 2~3次/周 | 2~3次/周 | 1次/周 |

**16.5.4** 当出现下列情况之一时，应提高监测频率：

**1** 监测数据达到报警值；

**2** 监测数据变化较大或者速率加快；

**3** 存在勘察未发现的不良地质；

**4** 超深、超长开挖或未及时加撑等违反设计工况施工；

**5** 基坑及周边大量积水、长时间连续降雨、市政管道出现泄漏；

**6** 基坑附近地面荷载突然增大或超过设计限值；

**7** 支护结构出现开裂；

**8** 周边地面突发较大沉降或出现严重开裂；

**9** 邻近建筑突发较大沉降、不均匀沉降或出现严重开裂；

**10** 基坑底部、侧壁出现管涌、渗漏或流土等现象；

**11** 基坑工程发生事故后重新组织施工；

**12** 出现其他影响基坑及周边环境安全的异常情况。

**16.5.5**当有危险事故征兆时，应及时跟踪监测。

## 16.6 报告编写

**16.6.1**阶段性报告应包括下列内容：

**1** 该监测阶段相应的工程、气象及周边环境概况；

**2** 该监测阶段的监测项目及监测点的布置图；

**3** 各项监测数据的整理、统计及监测成果的过程曲线；

**4** 各监测项目监测值的变化分析、评价及发展预测；

**5** 相关的设计和施工建议。

**16.6.2**总结报告应包括下列内容：

1 工程概况；

2 监测依据；

3 监测项目；

4 监测点布置；

5 监测设备和监测方法；

6 监测频率；

7 监测报警值；

8 各监测项目全过程的发展变化分析及整体评述；

9 监测工作结论与建议。

# 附录A 锚杆抗拔试验要点

## A.1 一般规定

**A.1.1** 试验锚杆的参数、材料、施工工艺及其所处的地质条件应与工程锚杆相同。

**A.1.2** 锚杆抗拔承载力检测应随机抽样，抽样应能代表不同地层土性和不同抗拔力要求，宜分层检测；对施工质量有疑义的锚杆应进行抽检。

**A.1.3** 锚杆抗拔试验应在锚固段注浆固结体强度达到15MPa或达到设计强度的75%后进行。

**A.1.4** 加载装置(千斤顶、油压系统)的额定压力必须大于最大试验压力，且试验前应进行标定。

**A.1.5** 加载反力装置的承载力和刚度应满足最大试验荷载的要求，加载时千斤顶应与锚杆同轴。

**A.1.6** 计量仪表(位移计、压力表)的精度应满足试验要求。

**A.1.7** 试验锚杆宜在自由段设置消除自由段摩阻力的装置。

**A.1.8** 最大试验荷载下的锚杆杆体应力，不应超过其极限强度标准值的0.85倍。

## A.2 基本试验

**A.2.1** 同一条件下极限抗拔承载力试验的锚杆数量不应少于3根。

**A.2.2** 确定锚杆极限抗拔承载力的试验，最大试验荷载不应小于预估破坏荷载，且试验锚杆的杆体截面面积应符合本标准第A.1.7条对锚杆杆体应力的规定。必要时，可增加试验锚杆的杆体截面面积。

**A.2.3** 锚杆极限抗拔承载力试验宜采用多循环加载法，其加载分级和锚头位移观测时间应按表A.2.3确定。

**表A.2.3 多循环加载试验的加载分级与锚头位移观测时间**

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

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

**A.2.5** 锚杆极限抗拔承载力试验，其锚头位移测读和加卸载应符合下列规定：

1 初始荷载下，应测读锚头位移基准值3次，当每间隔5min的读数相同时，方可作为锚头位移基准值；

2 每级加、卸荷载稳定后，在观测时间内测读锚头位移不应少于3次；

3 在每级荷载的观测时间内，当锚头位移增量不大于0.1mm时，可施加下一级荷载；否则应延长观测时间，并应每隔30min测读锚头位移1次，当连续两次出现1h内的锚头位移增量小于0.1mm时，可施加下一级荷载；

4 加至最大试验荷载后，当未出现本标准第A.2.6条规定的终止加载情况，且继续加载后满足本标准第A.1.7条对锚杆杆体应力的要求时，宜继续进行下一循环加载，加卸载的各分级荷载增量宜取最大试验荷载的10％。

**A.2.6** 锚杆试验中遇下列情况之一时，应终止继续加载：

1 从第二级加载开始，后一级荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量大于前一级荷载产生的单位荷载下的锚杆位移增量的5倍；

2 锚头位移不收敛；

3 锚杆杆体破坏。

**A.2.7** 多循环加载试验应绘制锚杆的荷载—位移(*Q*—*s*)曲线、荷载—弹性位移(*Q*—*s*e)曲线和荷载—塑性位移(*Q*—*s*p)曲线。锚杆的位移不应包括试验反力装置的变形。

**A.2.8** 锚杆极限抗拔承载力标准值应按下列方法确定：

1 锚杆的极限抗拔承载力，在某级试验荷载下出现本标准第A.2.6条规定的终止继续加载情况时，应取终止加载时的前一级荷载值；未出现时，应取终止加载时的荷载值；

2 参加统计的试验锚杆，当极限抗拔承载力的极差不超过其平均值的30%时，锚杆极限抗拔承载力标准值可取平均值；当级差超过其平均值的30%时，宜增加试验锚杆数量，并应根据级差过大的原因，按实际情况重新进行统计后确定锚杆极限抗拔承载力标准值。

## A.3 蠕变试验

**A.3.1** 蠕变试验的锚杆数量不应少于三根。

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

**表A.3.2 蠕变试验的加载分级与锚头位移观测时间**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 加载分级 | 0.50 *N*k | 0.75 *N*k | 1.00 *N*k | 1.20*N*k | 1.50*N*k |
| 观测时间*t*2(min) | 10 | 30 | 60 | 90 | 120 |
| 观测时间*t*1(min) | 5 | 15 | 30 | 45 | 60 |

注：表中*N*k为锚杆轴向拉力标准值。

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

**A.3.4** 试验时应绘制每级荷载下锚杆的蠕变量—时间对数(*s*—lg*t*)曲线。蠕变率应按下列公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (A.3.4) |

式中： *k*c——锚杆蠕变率；

*s*1——*t* 1时间测得的蠕变量(mm)；

*s*2——*t*2时间测得的蠕变量(mm)。

**A.3.5** 锚杆的蠕变率不应大于2.0mm。

## A.4 验收试验

**A.4.1** 锚杆抗拔承载力检测试验，最大试验荷载不应小于本标准第8.3.3.10条规定的抗拔承载力检测值。

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

**表A.4.2 单循环加载试验的加载分级与锚头位移观测时间**

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

**A.4.3** 锚杆抗拔承载力检测试验，其锚头位移测读和加、卸载应符合下列规定：

1 初始荷载下，应测读锚头位移基准值3次，当每间隔5min的读数相同时，方可作为锚头位移基准值；

2 每级加、卸荷载稳定后，在观测时间内测读锚头位移不应少于3次；

3 当观测时间内锚头位移增量不大于1.0mm时，可视为位移收敛；否则，观测时间应延长至60min，并应每隔10min测读锚头位移1次，当该60min内锚头位移增量小于2.0mm时，可视为锚头位移收敛，否则视为不收敛。

**A.4.3** 锚杆试验中遇本标准第A.2.6条规定的终止继续加载情况时，应终止继续加载。

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

**A.4.5** 检测试验中，符合下列要求的锚杆应判定合格：

1 在抗拔承载力检测值下，锚杆位移稳定或收敛；

2在抗拔承载力检测值下测得的弹性位移量应大于杆体自由段长度理论弹性伸长量的80%。

**A.4.6** 检验报告应包含下列内容：

1 委托方名称，工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，基坑安全等级、深度、支护形式，设计要求，检测目的，检测依据，检测数量，检测日期；

2工程地质条件描述；

3 受检锚杆的材料、尺寸、编号、位置、和相关施工记录；

4 检测方法，检测仪器设备，检测过程叙述；

5 受检锚杆的检测数据，实测与计算分析曲线、表格和汇总结果；

6 与检测内容相应的检测结论。

# **附录B 土钉抗拔试验要点**

**B.0.1** 试验土钉的参数、材料、施工工艺及所处的地质条件应与工程土钉相同。

**B.0.2** 土钉抗拔试验应在注浆固结体强度达到10Mpa或达到设计强度等级的70%后进行。

**B.0.3** 加载装置（千斤顶、油压系统）的额定压力必须大于最大试验压力，且试验前应进行标定。

**B.0.4** 加荷反力装置的承载力和刚度应满足最大试验荷载的要求，加载时千斤顶应与土钉同轴。

**B.0.5** 计量仪表（位移计、压力表）的精度应满足试验要求。

**B.0.6** 在土钉墙面层上进行试验时，试验土钉应与喷射混凝土面层分离。

**B.0.7** 最大试验荷载下的土钉杆体应力不应超过其屈服强度标准值。

**B.0.8** 同一条件下的极限抗拔承载力试验的土钉数量不应少于3根。

**B.0.9** 确定土钉极限抗拔承载力的试验，最大试验荷载不应小于预估破坏荷载，且试验土钉的杆体截面面积应符合本标准第B. 0. 7条对土钉杆体应力的规定。必要时，可增加试验土钉的杆体截面面积。

**B.0.10** 土钉抗拔承载力检测试验，最大试验荷载不应小于本标准第9.4.11条规定的抗拔承载力检测值。

**B.0.11** 确定土钉极限抗拔承载力的试验和土钉抗拔承载力检测试验可采用单循环加载法，其加载分级和土钉位移观测时间应按表B.0.11确定。

**表B.0.11 单循环加载试验的加载分级与士钉位移观测时间**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测读间隔（min） | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 |
| 加载量与最大试验荷载的百分比(%) | 初始荷载 | — | — | — | — | — | 10 |
| 加载 | 10 | 50 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 卸载 | 10 | 20 | 50 | 80 | 90 | — |

注：单循环加载试验用于士钉抗拔承载力检测时，加至最大试验荷载后，可一次卸载至最大试验荷载的10%。

**B.0.12** 土钉极限抗拔承载力试验，其土钉位移测读和加卸载应符合下列规定:

1 初始荷载下，应测读土钉位移基准值3次，当每间隔5min的读数相同时，方可作为土钉位移基准值;

2 每级加、卸载稳定后，在观测时间内测读土钉位移不应少于3次;

3 在每级荷载的观测时间内，当土钉位移增量不大于0.1mm时，可施加下一级荷载;否则应延⻓观测时间，并应每隔30min测读土钉位移1次;当连续两次出现1h内的土钉位移增量小于0.1mm时，可施加下一级荷载。

**B.0.13** 土钉抗拔承载力检测试验，其土钉位移测读和加、卸载应符合下列规定:

1 初始荷载下，应测读土钉位移基准值3次，当每间隔5min的读数相同时，方可作为土钉位移基准值;

2 每级加、卸载稳定后，在观测时间内测读土钉位移不应少于3次;

3 当观测时间内土钉位移增量不大于1.0mm时，可视为位移收敛;否则，观测时间应延⻓至60min，并应每隔10min测读土钉位移1次;当该60min内土钉位移增量小于2.0mm时，可视为土钉位移收敛，否则视为不收敛。

**B.0.14** 土钉试验中遇下列情况之一时，应终止继续加载：

1 从第二级加载开始，后一级荷载产生的单位荷载下的土钉位移增量大于前一级荷载产生的单位荷载下的土钉位移增量的5倍；

2 土钉位移不收敛；

3 土钉杆体破坏。

**B.0.15** 试验应绘制土钉的荷载—位移（*Q*—*s*）曲线。土钉的位移不应包括试验反力装置的变形。

**B.0.16** 土钉极限抗拔承载力标准值应按下列方法确定:：

1 土钉的极限抗拔承载力，在某级试验荷载下出现本标准B.0. 14条规定的终止继续加载情况时，应取终止加载时的前一级荷载值;未出现时，应取终止加载时的荷载值;

2 参加统计的试验土钉，当满足其级差不超过平均值的30%时，土钉极限抗拔承载力标准值可取平均值;当级差超过平均值的30%时，宜增加试验土钉数量，并应根据级差过大的原

因，按实际情况重新进行统计后确定土钉极限抗拔承载力标准值。

**B.0.17** 检测试验中，在抗拔承载力检测值下，土钉位移稳定或收敛应判定士钉合格。

**B.0.18** 检验报告应包含下列内容：

1 委托方名称，工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，基坑安全等级、深度、支护形式，设计要求，检测目的，检测依据，检测数量，检测日期；

2工程地质条件描述；

3 受检土钉的材料、尺寸、编号、位置、和相关施工记录；

4 检测方法，检测仪器设备，检测过程叙述；

5 受检土钉的检测数据，实测与计算分析曲线、表格和汇总结果；

6 与检测内容相应的检测结论。

# 附录C 土的渗透变形

**C.0.1** 土的渗透变形可分为以下四种形式：

1 流土；

2 管涌；

3 接触冲刷；

4 接触流失。

其中1、2类渗透变形主要出现在单一地基中，3、4类主要出现在双层地基中。对黏性土而言，渗透变形主要为流土和接触流失。

**C.0.2** 无黏性土渗透变形形式的判别应符合下列要求：

1 不均匀系数小于和等于5的土，其渗透变形为流土。

2 对于不均匀系数大于5的土，可采用下列方法判别：

1) 流土：

|  |  |
| --- | --- |
| Pc≥35% | (C.0.2-1) |

2) 过渡型取决于土的密度、粒级、形状：

|  |  |
| --- | --- |
| 25%≤Pc<35% | (C.0.2-2) |

3) 管涌：

|  |  |
| --- | --- |
| Pc<25% | (C.0.2-3) |

式中： Pc——土的细粒颗粒含量，以质量百分率计(%)。

4) 土的细粒含量可按下列方法确定：

级配不连续的土，级配曲线中至少有一个以上的粒径级的颗粒含量小于或等于3%的平缓段，粗细粒的区分粒径df以平缓段粒径级的最大和最小粒径的平均粒径区分，或以最小粒径为区分粒径，相应于此粒径的含量为细颗粒含量。对于天然无黏性土，不连续部分的平均粒径多为2mm。

级配连续的土，区分粗粒和细粒粒径的界限粒径df，按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (C.0.2-4) |

式中： df——粗细粒的区分粒径(mm)；

d70——小于该粒径的含量占总土重70%的颗粒粒径(mm)；

d10——小于该粒径的含量占总土重10%的颗粒粒径(mm)。

5) 土的不均匀系数可采用下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (C.0.2-5) |

式中： Cu——土的不均匀系数；

d60——占总土重60%的土粒粒径(mm)；

d10——占总土重10%的土粒粒径(mm)。

3 接触冲刷宜采用下列方法判别：

对双层结构的地基，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，不会发生接触冲刷。

|  |  |
| --- | --- |
|  | (C.0.2-6) |

式中： D10,d10——分别代表较粗和较细一层土的土粒粒径( 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：

1. 不均匀系数等于或小于5的土层：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (C.0.2-7) |

式中： D15——较粗一层土的土粒粒径 (mm)，小于该粒径的土重占总土重的15%；

D85——较细一层土的土粒粒径(mm)，小于该粒径的土重占总土重的85%。

1. 不均匀系数等于或小于10的土层：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (C.0.2-8) |

式中： D20——较粗一层土的土粒粒径(mm)，小于该粒径的土重占总土重的20%；

D70——较细一层土的土粒粒径(mm)，小于该粒径的土重占总土重的70%。

**C.0.3** 流土与管涌的临界水力比降确定方法：

1 流土型宜采用下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (C.0.3-1) |

式中： Jcr——土的临界水力比降；

GS——土粒的相对密度，即土粒密度与水的密度之比；

n——土的孔隙率（以小数计）。

2 管涌型或过渡型宜采用下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (C.0.3-2) |

式中： d5、d20——分别占总土重的5%和20%的土粒粒径(mm)。

3 管涌型也可采用下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (C.0.3-3) |

式中： k——土的渗透系数()；

——占总土重3%的土粒粒径(mm)。

4 土的渗透系数应通过渗透试验测定。若无渗透系数试验资料，可根据下式计算近似值：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (C.0.3-4) |

式中： d20——占总土重20%的土粒粒径(mm)。

**C.0.4** 无黏性土的允许水力比降确定方法：

1 以土的临界水力比降除以1.5的安全系数；

2 无试验资料时，可根据表C.0.4选用经验值。

**表C.0.4无黏性土允许水力比降**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 允许水力比降 | 渗透变形形式 | | | | | |
| 流土型 | | | 过渡型 | 管 涌 型 | |
| Cu≤3 | 3< Cu≤5 | Cu≥5 | 级配连续 | 级配不连续 |
| J允许 | 0.25～0.35 | 0.35～0.50 | O.50～0.80 | O.25 ～0.10 | O.15～0.25 | 0.10 ～0.20 |

注：本表不适用于渗流出口有反滤层情况。若有反滤层作保护，则可提高2～3倍。

**C.0.5** 两层土之间的接触冲刷临界水力比降可按下式计算：

如果两层土都是非管涌型土，则

|  |  |
| --- | --- |
|  | (C.0.5) |

式中： d10——代表细层的粒径(mm)，小于该粒径的土重占总土重的10%；

D20——代表粗层的粒径( mm)，小于该粒径的土重占总土重的20%。

# 附录D 井水位降深预测

**D.0.1** 降水设计应对基坑范围内地下水位进行验算，对基坑外影响区域内的地下水位进行预估，计算时应符合下列要求：

1 对于截水帷幕已完全隔断的含水层基坑内排水可不做降水水位验算及预测，对减压含水层应进行水位预测；

2 当水文地质条件复杂、水位降深较大或相邻建筑物较近时，降水工程宜采用地下水流解析法计算基坑内及降水影响区各点水位或建立地下水模型通过数值模拟方法进行水位计算；

3 在水位预测计算过程中，应考虑井周截水帷幕三维流、紊流的附加水头影响。

**D.0.2** 对于均质无限边界、出水量相同的管井降水工程，块状基坑中心及周边水位降幅按下列公式进行预测：

1 基坑中心的水位降深

潜水完整井：

 （D.0.2-1）

承压含水层完整井：

 （D.0.2-2）

式中：——水位降深（m）；

——潜水含水层厚度（m）。



2 任意点的水位降深：

潜水完整井：

 （D.0.2-3）

式中：s——水位降深（m）；

——降深计算点至各降水井的距离（m）；



——单个降水井出水量（m3/d）。

承压含水层完整井：

 （D.0.2-4）

**D.0.3** 在无限分布均质各向同性无越流条件下，非稳定流干扰井计算，采用下列公式：

1 潜水含水层中按任意方式布井的任意点水位下降值公式：

（D.0.3-1）



当时也可按下式计算：



（D.0.3-2）



式中：——预测点j处t时刻的地下水位下降值（m）；



——井函数；



——潜水含水层厚度（m）；



——第i眼井的抽水量（m3/d）；



——压力传导系数（m2/d)；



——抽水时间（d)；



——降水井编号，i=1，2，3…，n;



——第i抽水井到预测点j的距离（m）。



2 承压含水层中按任意方式布井的干扰井公式：

（D.0.3-3）



当时也可按下式计算：



（D.0.3-4）



**D.0.4** 线状基坑降水水位预测可按下列公式计算：

 （D.0.4）

式中：——距降水井排x处的水位下降值(m)；

——潜水含水层厚度（m)；



——降水井排处的潜水含水层厚度（m)；



——任意点至井排的距离（m)。



**D.0.5** 采用悬挂式截水帷幕的基坑降水形成的基坑内外的水位可按下式D.0.5-1、D.0.5-2进行预测，条件复杂时宜采用数值模拟法计算。

1 承压水

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.5-1） |

式中：S——水位降深（m）；

Q——流量(m3/d)；

k——渗透系数(m/d)；

M——含水层厚度（m）；

R——影响半径（m）；

r——计算点距离（m）；

&——渗透阻力系数。

2 潜水

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.0.5-2） |

式中：S——水位降深（m）；

Q——流量(m3/d)；

H——潜水水层厚度（m）；

K——渗透系数(m/d)；

R——影响半径（m）；

r——计算点距离（m）；

&——渗透阻力系数。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | | | |
| 0.5 | 1 | 3 | 10 | 30 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 |
| 0.1 | 0.00391 | 0.122 | 2.04 | 10.4 | 24.3 | 42.8 | 53.8 | 69.5 | 79.5 | 90.3 |
| 0.3 | 0.00297 | 0.0908 | 1.29 | 4.97 | 9.23 | 14.5 | 17.7 | 21.8 | 24.9 | 28.2 |
| 0.5 | 0.00165 | 0.0494 | 0.656 | 2.26 | 4.21 | 6.55 | 7.86 | 9.64 | 11.0 | 12.4 |
| 0.7 | 0.000506 | 0.0167 | 0.237 | 0.879 | 1.69 | 2.67 | 3.24 | 4.01 | 4.58 | 5.13 |
| 0.9 | 0.000042 | 0.0015 | 0.0251 | 0.128 | 0.334 | 0.528 | 0.664 | 0.846 | 0.988 | 1.11 |

**表D.0.5 渗透阻力系数&**

注：进水断面长度（m）。

# 附录E 圆形截面混凝土支护桩的正截面抗弯承载力表

**E.0.1** 圆形截面混凝土支护桩的正截面抗弯承载力表中的参数包括以下内容：

1 本表适用于用HRB400钢筋，；

2 混凝土保护层厚度为50mm，；

3 适用于截面内纵向钢筋均匀布置且数量不少于6根的情况；

4 本附录中*A*s为钢筋截面面积，*D*为桩的直径。

**E.0.2** C25 圆形截面混凝土支护桩的正截面受弯承载力见表E.0.2。

**表E.0.2 C25 圆形截面混凝土支护桩的正截面受弯承载力*M***

单位（kN·m）

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *D* (mm)  *A*s (cm2) | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
| 20 | 163.2 |  |  |  |  |  |  |
| 30 | 233.3 |  |  |  |  |  |  |
| 40 | 300.3 | 371.7 |  |  |  |  |  |
| 50 | 365.1 | 452.3 | 540.3 |  |  |  |  |
| 60 | 427.6 | 529.6 | 636.2 | 742.4 |  |  |  |
| 70 | 488.5 | 607.0 | 729.1 | 851.6 | 978.4 | 1106.0 |  |
| 80 | 547.3 | 681.4 | 821.3 | 959.8 | 1103.3 | 1241.1 | 1386.2 |
| 90 | 606.8 | 756.9 | 908.7 | 1066.2 | 1226.0 | 1380.4 | 1542.9 |
| 100 | 665.3 | 828.8 | 997.5 | 1170.2 | 1345.6 | 1523.6 | 1694.9 |
| 110 |  | 901.3 | 1084.1 | 1271.1 | 1461.2 | 1654.3 | 1850.7 |
| 120 |  | 971.9 | 1171.5 | 1373.3 | 1578.7 | 1787.4 | 1999.9 |
| 130 |  |  | 1256.2 | 1471.9 | 1697.8 | 1922.7 | 2151.9 |
| 140 |  |  | 1341.5 | 1571.4 | 1811.8 | 2051.5 | 2295.9 |
| 150 |  |  |  | 1671.7 | 1927.0 | 2181.9 | 2441.8 |
| 160 |  |  |  | 1767.7 | 2036.5 | 2313.6 | 2589.6 |
| 170 |  |  |  |  | 2153.5 | 2437.9 | 2728.1 |
| 180 |  |  |  |  | 2264.6 | 2563.2 | 2878.9 |
| 190 |  |  |  |  |  | 2689.4 | 3020.0 |

**E.0.3** C30圆形截面混凝土支护桩的正截面受弯承载力见表E.0.3。

**表E.0.3 C30圆形截面混凝土支护桩的正截面受弯承载力*M***

单位（kN·m）

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *D* (mm)  *A*s (cm2) | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
| 20 | 166.2 |  |  |  |  |  |  |
| 30 | 238.4 |  |  |  |  |  |  |
| 40 | 307.0 | 379.3 |  |  |  |  |  |
| 50 | 373.1 | 461.7 | 550.7 |  |  |  |  |
| 60 | 436.7 | 543.0 | 648.8 | 756.0 |  |  |  |
| 70 | 500.1 | 621.9 | 743.7 | 867.6 | 995.7 | 1123.9 |  |
| 80 | 561.3 | 697.5 | 837.8 | 978.3 | 1123.7 | 1269.8 | 1406.9 |
| 90 | 621.6 | 774.5 | 930.4 | 1087.0 | 1249.2 | 1412.8 | 1567.6 |
| 100 | 680.8 | 849.9 | 1020.8 | 1192.8 | 1371.1 | 1551.3 | 1722.9 |
| 110 |  | 923.4 | 1108.6 | 1300.7 | 1495.8 | 1684.2 | 1882.8 |
| 120 |  | 994.9 | 1197.6 | 1404.9 | 1615.6 | 1829.3 | 2035.1 |
| 130 |  |  | 1283.4 | 1504.8 | 1729.8 | 1958.3 | 2190.7 |
| 140 |  |  | 1369.9 | 1611.4 | 1853.2 | 2098.9 | 2337.1 |
| 150 |  |  |  | 1707.7 | 1970.4 | 2231.8 | 2485.9 |
| 160 |  |  |  | 1810.6 | 2081.2 | 2356.3 | 2636.8 |
| 170 |  |  |  |  | 2200.7 | 2492.3 | 2789.8 |
| 180 |  |  |  |  | 2313.4 | 2619.5 | 2931.7 |
| 190 |  |  |  |  |  | 2747.7 | 3075.0 |

**E.0.4** C35圆形截面混凝土支护桩的正截面受弯承载力见表E.0.4。

**表E.0.4 C35圆形截面混凝土支护桩的正截面受弯承载力*M***

单位（kN·m）

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *D* (mm)  *A*s (cm2) | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
| 20 | 169.0 |  |  |  |  |  |  |
| 30 | 243.0 |  |  |  |  |  |  |
| 40 | 313.1 | 386.3 |  |  |  |  |  |
| 50 | 380.5 | 470.4 | 560.2 |  |  |  |  |
| 60 | 446.9 | 553.4 | 660.5 | 768.5 |  |  |  |
| 70 | 509.6 | 633.7 | 757.3 | 882.5 | 1011.5 | 1139.9 |  |
| 80 | 573.5 | 713.4 | 853.2 | 995.4 | 1142.4 | 1280.2 | 1425.5 |
| 90 | 634.6 | 788.7 | 947.4 | 1106.2 | 1270.5 | 1426.0 | 1590.0 |
| 100 | 696.3 | 865.2 | 1039.3 | 1213.9 | 1394.7 | 1576.8 | 1748.6 |
| 110 |  | 939.6 | 1132.8 | 1323.9 | 1522.0 | 1711.9 | 1912.2 |
| 120 |  | 1014.9 | 1218.5 | 1429.7 | 1643.9 | 1850.1 | 2067.5 |
| 130 |  |  | 1309.9 | 1537.1 | 1759.6 | 1991.3 | 2226.5 |
| 140 |  |  | 1397.6 | 1639.5 | 1885.5 | 2135.1 | 2375.3 |
| 150 |  |  |  | 1743.1 | 2004.7 | 2270.2 | 2526.7 |
| 160 |  |  |  | 1841.1 | 2116.4 | 2396.0 | 2680.6 |
| 170 |  |  |  |  | 2238.2 | 2534.7 | 2836.8 |
| 180 |  |  |  |  | 2352.3 | 2663.5 | 2980.7 |
| 190 |  |  |  |  |  | 2793.5 | 3126.1 |

**E.0.5** C40圆形截面混凝土支护桩的正截面受弯承载力见表E.0.5。

**表E.0.5 C40圆形截面混凝土支护桩的正截面受弯承载力*M***

单位（kN·m）

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *D* (mm)  *A*s (cm2) | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
| 20 | 170.9 |  |  |  |  |  |  |
| 30 | 246.6 |  |  |  |  |  |  |
| 40 | 318.1 | 391.6 |  |  |  |  |  |
| 50 | 386.7 | 477.4 | 567.3 |  |  |  |  |
| 60 | 454.3 | 561.9 | 669.6 | 777.7 |  |  |  |
| 70 | 519.8 | 643.6 | 768.1 | 893.8 | 1023.0 | 1150.5 |  |
| 80 | 582.6 | 724.5 | 865.7 | 1008.9 | 1156.5 | 1303.2 | 1437.3 |
| 90 | 646.4 | 804.0 | 961.5 | 1121.6 | 1287.0 | 1441.9 | 1605.2 |
| 100 | 709.0 | 881.6 | 1054.7 | 1231.0 | 1413.3 | 1596.2 | 1766.8 |
| 110 |  | 956.9 | 1149.7 | 1342.9 | 1543.0 | 1733.2 | 1933.8 |
| 120 |  | 1033.2 | 1241.3 | 1450.3 | 1666.8 | 1873.7 | 2091.9 |
| 130 |  |  | 1328.9 | 1559.4 | 1783.8 | 2017.5 | 2254.0 |
| 140 |  |  | 1422.9 | 1663.1 | 1912.1 | 2164.2 | 2405.0 |
| 150 |  |  |  | 1768.1 | 2033.0 | 2301.4 | 2558.9 |
| 160 |  |  |  | 1874.2 | 2155.5 | 2428.3 | 2715.5 |
| 170 |  |  |  |  | 2269.6 | 2569.5 | 2874.7 |
| 180 |  |  |  |  | 2384.9 | 2699.8 | 3020.3 |
| 190 |  |  |  |  |  | 2844.4 | 3167.7 |

**E.0.6** 不同钢筋直径对应的钢筋截面面积As可按表E.0.6查取。

**表E.0.6 不同钢筋直径对应的钢筋截面面积*A*s**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢筋直径 (mm) | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 25 | 28 | 32 |
| *A*s (mm2) | 153.9 | 201.1 | 254.5 | 314.2 | 380.1 | 490.9 | 615.8 | 804.2 |

# 附录F 基坑涌水量估算

**F.0.1** 均质、无限边界含水层中块状基坑涌水量估算时可简化为圆形，采用“大井法”按下列公式选用。

1 当基坑为不规则形状长宽比小于等于2.5时，基坑等效半径可采用下列公式计算：

（F.0.1-1）



2 潜水完整井的基坑涌水量可按下列公式估算：

 （F.0.1-2）

式中：——降水井围成的面积（m2）；

——基坑涌水量（m3/d）；

——渗透系数（m/d）；

——潜水含水层初始厚度（m）；

——水位降深（m）；

——降水影响半径（m）；

——基坑等效半径(m)。

3 承压水完整井的基坑涌水量可按下列公式估算：

 （F.0.1-3）

式中：——承压水层厚度（m）。

4 承压-潜水完整井的基坑涌水量可按下列公式计算：

 （F.0.1-4）

式中：——基坑动水位至含水层底板的距离（m）。

5 潜水非完整井的基坑涌水量可按下列公式估算：

 （F.0.1-5）

式中：——滤管有效工作部分长度（m）；

——平均动水位（m），。

6 承压水非完整井的基坑涌水量可按下列公式估算：

 （F.0.1-6）

**F.0.2**  均质、无限边界含水层中条形基坑涌水量可按下列公式计算：

1潜水完整井：

 （F.0.2-1）

2 承压水完整井：

 （F.0.2-2）

式中：——降水宽度（m）；

——降水长度（m）。

**F.0.3** 当基坑采用落底式截水帷幕时，坑内排水为疏干式排水，基坑总排水量可按式F.0.3-1进行估算。当基坑下部承压含水层存在向上的越流补给时其稳定排水量可按式F.0.3-2进行估算。

1 基坑疏干排水时总排水量可用下式估算：

 （F.0.3-1）

式中：——基坑内总排水量（m3/d）；

——第i层含水层给水度，宜通过试验确定，无试验资料时，可取经验值；

——基坑面积（m2）；

——第i层含水层水位降深（m）。

2 基坑下部存在承压含水层越流补给时其稳定排水量可按下式估算：

 （F.0.3-2）

式中：——向上的稳定越流排水量（m3/d）；

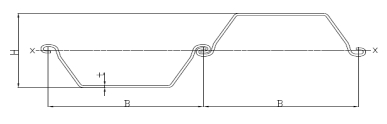
——弱透水层垂向渗透系数（m/d）；

——透过弱透水层的水力坡度。

**F.0.4** 当基坑采用悬挂式竖向截水帷幕时，应充分考虑截水帷幕插入含水层的深度对地下水渗流规律的影响，初步设计或条件简单时基坑涌水量可按非完整井“大井法”估算，条件复杂时宜采用数值模拟计算。

# 附录G 钢板桩截面类型

**G.0.1** 冷弯U型钢板桩外形见图G.0.1。



图G.0.1 冷弯U型钢板桩外形

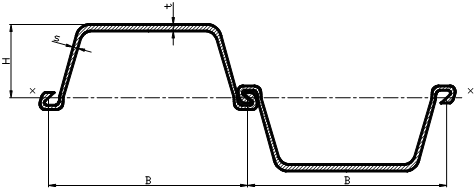
**G.0.2** 冷弯U型钢板桩参数见表G.0.2。

表G.0.2 冷弯U型钢板桩参数

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 型号 | 公称宽度  *B*  mm | 高度  *H*  mm | 厚度  *t*  mm | 截面面积  *S*a  cm2/m | 重量*W*  kg | | 说明: C:\Users\ADMINI~1\AppData\Local\Temp\ksohtml19072\wps2.png惯性矩  *I*x  cm4/m | 截面  模量  *W*x  cm3/m |
| 单根  kg/m | 每延米kg/m2 |
| CRSP-U-736 | 415 | 285 | 8 | 126.95 | 51.59 | 161.72 | 10482 | 736 |
| CRSP-U-900\* | 415 | 285 | 10 | 203.56 | 65.2 | 159.8 | 12831 | 900 |
| CRSP-U-1068\* | 415 | 285 | 12 | 241.72 | 77.31 | 189.75 | 15224 | 1068 |
| CRSP-U-937 | 415 | 355 | 8 | 173.84 | 54.96 | 136.47 | 16626 | 937 |
| CRSP-U-1148 | 415 | 355 | 10 | 218.01 | 69.41 | 171.14 | 20382 | 1148 |
| CRSP-U-1367 | 415 | 355 | 12 | 258.21 | 82.35 | 202.7 | 24263 | 1367 |
| CRSP-U-1045 | 450 | 360 | 8 | 173.83 | 57.64 | 136.46 | 18815 | 1045 |
| CRSP-U-1165 | 450 | 360 | 9 | 196.06 | 65.17 | 153.91 | 20973 | 1165 |
| CRSP-U-1283 | 450 | 360 | 10 | 219.52 | 72.76 | 172.32 | 23092 | 1283 |
| CRSP-U-919 | 500 | 285 | 8 | 138.68 | 56.93 | 108.86 | 13091 | 919 |
| CRSP-U-1126\* | 500 | 285 | 10 | 174.15 | 71.87 | 136.71 | 16046 | 1126 |
| CRSP-U-1335\* | 500 | 285 | 12 | 207.23 | 85.32 | 162.68 | 19028 | 1335 |
| CRSP-U-1167 | 500 | 355 | 8 | 148.19 | 60.3 | 116.33 | 20721 | 1167 |
| CRSP-U-1433\* | 500 | 355 | 10 | 184.33 | 76.09 | 144.7 | 25442 | 1433 |
| CRSP-U-1705\* | 500 | 355 | 12 | 219.77 | 180.72 | 172.52 | 30265 | 1705 |
| CRSP-U-1252 | 525 | 360 | 8 | 143.11 | 62.35 | 112.34 | 22533 | 1252 |
| CRSP-U-1538\* | 525 | 360 | 10 | 179.54 | 78.65 | 140.94 | 27687 | 1538 |
| CRSP-U-1832\* | 525 | 360 | 12 | 211.67 | 93.15 | 166.16 | 32980 | 1832 |
| CRSP-U-2118 | 525 | 360 | 14 | 245.42 | 107.77 | 192.66 | 38118 | 2118 |
| CRSP-U-1026 | 550 | 285 | 8 | 127.91 | 60.06 | 100.41 | 14626 | 1026 |
| CRSP-U-1259\* | 550 | 285 | 10 | 160.99 | 75.8 | 126.38 | 17938 | 1259 |
| CRSP-U-1492\* | 550 | 285 | 12 | 191.75 | 90.03 | 150.52 | 21266 | 1492 |
| CRSP-U-1299 | 550 | 355 | 8 | 135.12 | 63.92 | 106.07 | 23052 | 1299 |
| CRSP-U-1597\* | 550 | 355 | 10 | 170.24 | 80.61 | 133.64 | 28339 | 1597 |
| CRSP-U-1900\* | 550 | 355 | 12 | 202.32 | 95.5 | 158.82 | 33733 | 1900 |
| CRSP-U-1390 | 575 | 360 | 8 | 135.25 | 65.49 | 106.17 | 25011 | 1390 |
| CRSP-U-1470 | 575 | 360 | 8.5 | 144.01 | 69.68 | 113.05 | 26464 | 1470 |
| CRSP-U-1550 | 575 | 360 | 9 | 152.76 | 74 | 119.91 | 27905 | 1550 |
| CRSP-U-1630 | 575 | 360 | 9.5 | 161.6 | 78.28 | 126.86 | 29334 | 1630 |
| CRSP-U-1708\* | 575 | 360 | 10 | 170.18 | 82.58 | 133.6 | 30751 | 1708 |
| CRSP-U-1864 | 575 | 360 | 11 | 188.16 | 91.23 | 147.7 | 33551 | 1864 |
| CRSP-U-2034\* | 575 | 360 | 12 | 201.64 | 97.86 | 158.29 | 36615 | 2034 |
| CRSP-U-2351 | 575 | 360 | 14 | 233.52 | 113.18 | 183.31 | 42323 | 2351 |
| CRSP-U-2067 | 600 | 350 | 12 | 201.27 | 99.78 | 158 | 36178 | 2067 |
| CRSP-U-1458 | 600 | 360 | 8 | 135.47 | 67.06 | 106.35 | 26251 | 1458 |
| CRSP-U-1543 | 600 | 360 | 8.5 | 144.16 | 71.4 | 113.17 | 27777 | 1543 |
| CRSP-U-1627 | 600 | 360 | 9 | 152.92 | 75.76 | 120.04 | 29291 | 1627 |
| CRSP-U-1711 | 600 | 360 | 9.5 | 161.8 | 80.14 | 127.02 | 30793 | 1711 |
| CRSP-U-1793 | 600 | 360 | 10 | 170.29 | 84.54 | 133.68 | 32282 | 1793 |
| CRSP-U-1418 | 610 | 285 | 10 | 161.3 | 80.5 | 126.62 | 20207 | 1418 |
| CRSP-U-1681 | 610 | 285 | 12 | 191.32 | 95.7 | 150.19 | 23952 | 1681 |
| CRSP-U-1802 | 610 | 355 | 10 | 170.24 | 85.3 | 133.64 | 31990 | 1802 |
| CRSP-U-2143 | 610 | 355 | 12 | 202.01 | 101.2 | 158.58 | 38034 | 2143 |

注：型号带“\*”号为推荐常用规格。

**G.0.3** 热轧U型钢板桩外形见图G.0.3。



图G.0.3 热轧U型钢板桩外形

**G.0.4** 热轧U型钢板桩参数见表G.0.4。

表G.0.4 热轧U型钢板桩参数

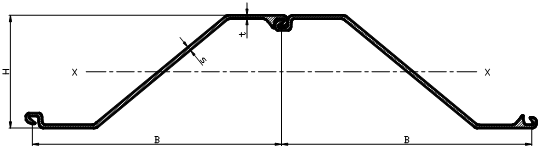
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 型号 | 公称  宽度  *B*  mm | 公称  高度  *H*  mm | 厚度 | | 截面面积  *S*a  cm2/m | 重量*W*  kg | | 惯性矩  *I*x  cm4/m | 截面  模量  *W*x  cm3/m |
| 腹板  厚度  *t*  mm | 翼缘  厚度  *s*  mm | 单根  kg/m | 每延米  kg/m2 |
| HRSP-U-870 | 400 | 100 | 10.5 | -- | 153.0 | 48.0 | 120.1 | 8740 | 870 |
| HRSP-U-1340 | 400 | 125 | 13.0 | -- | 191.0 | 60.0 | 149.9 | 16800 | 1340 |
| HRSP-U-1560 | 400 | 145 | 12.7 | 9.4 | 197.3 | 62.0 | 155.0 | 22580 | 1560 |
| HRSP-U-1785 | 400 | 146 | 15.0 | 9.7 | 220.8 | 69.3 | 173.3 | 26090 | 1785 |
| HRSP-U-1520\* | 400 | 150 | 13.1 | -- | 186.0 | 58.4 | 146.0 | 22510 | 1520 |
| HRSP-U-2270\* | 400 | 170 | 15.5 | -- | 242.5 | 76.1 | 190.4 | 38600 | 2270 |
| HRSP-U-3150 | 500 | 200 | 24.3 | -- | 267.6 | 105.0 | 210.1 | 63000 | 3150 |
| HRSP-U-2000 | 500 | 210 | 11.5 | -- | 197.4 | 77.5 | 155.0 | 42000 | 2000 |
| HRSP-U-2500 | 500 | 210 | 15.6 | -- | 222.0 | 87.5 | 175.0 | 52500 | 2500 |
| HRSP-U-3040 | 500 | 210 | 20.0 | -- | 262.0 | 103.0 | 206.0 | 63840 | 3040 |
| HRSP-U-3820 | 500 | 225 | 27.6 | -- | 306.0 | 120.1 | 240.2 | 86000 | 3820 |

**续表G.0.4**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 型号 | 公称  宽度  *B*  mm | 公称  高度  *H*  mm | 厚度 | | 截面面积  *S*a  cm2/m | 重量*W*  kg | | 惯性矩  *I*x  cm4/m | 截面  模量  *W*x  cm3/m |
| 腹板  厚度  *t*  mm | 翼缘  厚度  *s*  mm | 单根  kg/m | 每延米  kg/m2 |
| HRSP-U-1200 | 600 | 160 | 11.0 | 8.0 | 137.2 | 64.6 | 107.7 | 19220 | 1200 |
| HRSP-U-1200 | 600 | 180 | 9.8 | 9.0 | 140.0 | 66.1 | 110.1 | 21600 | 1200 |
| HRSP-U-1255 | 600 | 180 | 10.0 | -- | 147.8 | 69.6 | 116.0 | 22580 | 1255 |
| HRSP-U-1260 | 600 | 180 | 10.0 | 10.0 | 151.0 | 71.0 | 118.3 | 22660 | 1260 |
| HRSP-U-1800\* | 600 | 180 | 13.4 | -- | 173.2 | 81.6 | 136.0 | 32400 | 1800 |
| HRSP-U-1600 | 600 | 190 | 10 | -- | 156.1 | 73.5 | 122.6 | 30400 | 1600 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| HRSP-U-1400 | 600 | 210 | 10.0 | 8.0 | 136.5 | 64.3 | 107.1 | 29410 | 1400 |
| HRSP-U-2020 | 600 | 210 | 12.5 | -- | 177.5 | 83.6 | 139.3 | 42426 | 2020 |
| HRSP-U-2700\* | 600 | 210 | 18.0 | -- | 225.5 | 106.2 | 177.0 | 56700 | 2700 |
| HRSP-U-1530 | 600 | 211 | 11.0 | 8.6 | 145.9 | 68.7 | 114.5 | 32260 | 1530 |
| HRSP-U-1670 | 600 | 215 | 10.2 | 8.4 | 154.2 | 72.6 | 121.0 | 35950 | 1670 |
| HRSP-U-2500\* | 750 | 225 | 14.5 | 10.2 | 187.5 | 110.4 | 147.2 | 56240 | 2500 |

注：型号带“\*”号为推荐常用规格。

**G.0.5** 热轧Z型钢板桩外形见图G.0.5。



图G.0.5 热轧Z型钢板桩外形

**G.0.6** 热轧Z型钢板桩参数见表**G.0.6**。

表G.0.6 热轧Z型钢板桩参数

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 型号 | 公称宽度  *B*  mm | 公称高度  *H*  mm | 厚度 | | 截面面积  *S*a  cm2/m | 重量  *W*  kg | | 惯性矩  *I*x  cm4/m | 截面  模量  *W*x  cm3/m |
| 腹板  *t*  mm | 翼缘  *s*  mm | 单根  kg/m | 每延米  kg/m2 |
| HRSP-Z-1800 | 700 | 420 | 9.0 | 9.0 | 139.2 | 76.5 | 109.3 | 37800 | 1800 |
| HRSP-Z-2015 | 700 | 422 | 10.6 | 10.5 | 158.0 | 86.8 | 124.0 | 42470 | 2015 |
| HRSP-Z-2600 | 700 | 460 | 12.3 | 12.2 | 187.4 | 103.0 | 147.1 | 59840 | 2600 |
| HRSP-Z-2760 | 700 | 461 | 13.2 | 13.2 | 200.2 | 110.0 | 157.2 | 63620 | 2760 |

# 附录H 钢板桩沉桩方法及沉桩设备的选用

**H.0.1**根据地层土质情况，可按表H.0.1选用钢板桩沉桩方法。

**表H.0.1沉桩方法对地层的适用性**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 沉桩方法  地层土质情况 | | 振动沉桩法 | 锤击沉桩法 | 静压沉桩法 |
| 以黏性土、粉土、砂土为主的普通地层  （标准贯入试验击数） | 0-10 | 非常容易 | 不合适，容易下沉失控 | 不合适  设备底座反力不足 |
| 11-20 | 容易 | 容易 | 合适 |
| 21-30 | 合适 | 容易 | 较困难，高压射水辅助 |
| 31-40 | 较困难，高压射水辅助 | 合适 | 很困难，预钻孔 |
| 41-50 | 很困难，高压射水辅助 | 较困难 | 不合适 |
| >50 | 不推荐 | 很困难 | 不推荐 |
| 穿越粒径≤30mm碎石土夹层（碎石土夹层厚度m） | 0-1 | 合适 | 容易 | 较困难 |
| 1.1-2 | 较困难，高压射水辅助 | 合适 | 很困难，预钻孔 |
| 2.1-3 | 不合适 | 较困难 | 不合适 |
| >3 | 不推荐 | 很困难 | 不推荐 |

**H.0.2**根据沉桩方法及设备特点，可按表H.0.2选用钢板桩沉桩设备。

**表H.0.2沉桩方法及设备特点**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 沉桩方法  设备  特点 | 锤击沉桩法 | 振动沉桩法 | | 静压沉桩法 |
| 吊车悬吊  振动锤 | 机械手 |
| 工作原理 | 靠柴油动力带动活塞强制桩锤下落 | 桩锤的上下振动力 | 桩锤的上下振动力，还有机械手施加的辅助力 | 通过液压装置将桩压入 |
| 设备体量 | 大 | 大 | 小 | 小 |
| 噪音 | 大 | 中 | 小 | 无 |
| 振动 | 大 | 大 | 小 | 无 |
| 耗能 | 大 | 大 | 大 | 中 |
| 施工速度 | 中 | 快 | 很快 | 慢 |
| 优点 | 打桩穿透力强 | 打桩和拔桩均可 | 施工效率高，打桩和拔桩均可 | 无噪音和振动，打桩和拔桩均可，可在狭小空间作业 |
| 缺点 | 噪音和振动较大，有废气污染，施工效率低 | 噪音和振动较大，需要吊车配合 | 大小臂伸展高度有限，桩长不宜超过15m | 施工效率低，压桩力小，受地层条件影响大 |

**H.0.3** 振动锤锤型和机械手型号可按表H.0.3选用。

**表H.0.3振动锤锤型和机械手技术性能参数**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 设备型号 | 动力 | 最大激振力（t） | 适用钢板桩长度（m） | 备注 |
| 1 | 机械手小松360 | 液压 | 35 | ≤12 |  |
| 2 | 机械手日立400 | 液压 | 40 | ≤12 |  |
| 3 | 机械手日立450 | 液压 | 45-50 | ≤15 |  |
| 4 | 机械手住友460 | 液压 | 50-55 | ≤15 |  |
| 5 | 机械手沃尔沃460 | 液压 | 55-60 | ≤15 |  |
| 6 | 永安DZ90振动锤 | 电动90KV | 65-67 | ≤15 | 采用50吨履带吊车悬吊 |
| 7 | 永安DZ120振动锤 | 电动120KV | 75-77 | ≤18 | 采用50吨履带吊车悬吊 |
| 8 | 永安DZJ180振动锤 | 电动180KV | 135-139 | ≤24 | 采用80吨履带吊车悬吊 |

# 附录J 型钢水泥土搅拌墙常用规格及计算参数

**J.0.1**型钢水泥土搅拌墙常用规格及计算参数见表H.0.1。

# 附录K 常用预应力混凝土预制桩选型

**K.0.1** PRC管桩的结构形式，配筋及相关参数见表K.0.1。

**表 K.0.1 PRC 管桩桩身配筋及相关参数表（I型）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 规格  （代号-外径-壁 厚） | 型号 | 单节最大长度  L  (m) | 预应力钢  棒数量与  直径  (mm) | 非预应  力钢筋  数量与  直径  (mm) | 螺旋筋直  径  (mm) | 混凝土有效预压应力 *σ*pc  (MPa) | 纵向主  筋分布  圆周直  径 *D*p  (mm) | 换算截面抵抗矩 W0  (mm3 ×106 ) | 桩身受弯  承载力设  计值[M]  (kN·m) | 桩身斜受  剪承载力  设计值[V]  (kN) | 桩身轴心受拉承载力设计值[N]  (kN) | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）[R]  (kN) | 按标准组合计算的抗裂弯矩*M*k≤  (kN·m) | 按标准组合计算的抗裂拉力*N*k≤  (kN) | 理论  重量  (kg/m) |
| PRC Ⅰ 600(110) | AB | 17 | 14φ10.7 | 14C12 | 5 | 6.31 | 506 | 18.367 | 407 | 336 | 1071 | 4255 | 230 | 1103 | 440 |
| B | 18 | 14φ12.6 | 14C12 | 8.41 | 18.590 | 491 | 366 | 1488 | 272 | 1486 |
| C | 19 | 16φ12.6 | 16C12 | 9.42 | 18.704 | 543 | 379 | 1700 | 292 | 1675 |
| D | 20 | 20φ12.6 | 20C12 | 11.30 | 18.931 | 637 | 403 | 2125 | 332 | 2036 |
| PRC Ⅰ 600(130) | AB | 16 | 16φ10.7 | 16C12 | 5 | 6.36 | 506 | 19.674 | 451 | 375 | 1224 | 4824 | 247 | 1260 | 499 |
| B | 18 | 16φ12.6 | 16C12 | 8.47 | 19.929 | 544 | 410 | 1700 | 293 | 1697 |
| C | 19 | 20φ12.6 | 20C12 | 10.21 | 20.156 | 644 | 436 | 2125 | 331 | 2070 |
| D | 20 | 20φ14.0 | 20C14 | 12.10 | 20.420 | 762 | 462 | 2618 | 374 | 2482 |
| PRC Ⅰ 700(110) | AB | 19 | 18φ10.7 | 18C12 | 6 | 6.70 | 590 | 27.088 | 618 | 448 | 1377 | 5124 | 350 | 1411 | 530 |
| B | 20 | 22φ10.7 | 22C12 | 7.99 | 27.278 | 726 | 470 | 1683 | 388 | 1697 |
| C | 21 | 20φ12.6 | 20C12 | 9.72 | 27.554 | 801 | 497 | 2125 | 439 | 2084 |
| D | 22 | 24φ12.6 | 24C12 | 11.28 | 27.819 | 910 | 520 | 2550 | 487 | 2444 |
| PRC Ⅰ 700(130) | AB | 18 | 18φ10.7 | 18C12 | 6 | 5.94 | 590 | 29.276 | 616 | 480 | 1377 | 5850 | 356 | 1425 | 605 |
| B | 19 | 18φ12.6 | 18C12 | 7.93 | 29.610 | 745 | 520 | 1913 | 419 | 1923 |
| C | 20 | 22φ12.6 | 22C12 | 9.42 | 29.875 | 870 | 547 | 2338 | 467 | 2303 |
| D | 22 | 24φ14.0 | 24C14 | 12.00 | 30.376 | 1094 | 591 | 3142 | 553 | 2983 |

**续表 K.0.1**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 规格  （代号-外径-壁 厚） | 型号 | 单节最大长度  L  (m) | 预应力钢  棒数量与  直径  (mm) | 非预应  力钢筋  数量与  直径  (mm) | 螺旋筋直  径  (mm) | 混凝土有效预压应力 *σ*pc  (MPa) | 纵向主  筋分布  圆周直  径 *D*p  (mm) | 换算截面抵抗矩 W0  (mm3 ×106 ) | 桩身受弯  承载力设  计值[M]  (kN·m) | 桩身斜受  剪承载力  设计值[V]  (kN) | 桩身轴心受拉承载力设计值[N]  (kN) | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）[R]  (kN) | 按标准组合计算的抗裂弯矩*M*k≤  (kN·m) | 按标准组合计算的抗裂拉力*N*k≤  (kN) | 理论  重量  (kg/m) |
| PRC Ⅰ 800(110) | B | 21 | 24φ10.7 | 24C12 | 6 | 7.52 | 690 | 37.748 | 940 | 535 | 1836 | 5992 | 519 | 1862 | 620 |
| C | 23 | 24φ12.6 | 24C12 | 9.93 | 38.281 | 1116 | 579 | 2550 | 618 | 2494 |
| PRC Ⅰ 800(130) | B | 21 | 28φ10.7 | 28C12 | 6 | 7.63 | 690 | 41.429 | 1071 | 596 | 2142 | 6876 | 574 | 2169 | 711 |
| C | 23 | 28φ12.6 | 28C12 | 10.06 | 42.051 | 1271 | 647 | 2975 | 685 | 2904 |

注：表中 PRC 管桩（Ⅰ型）的混凝土强度等级为 C80。

# 附录L 锚杆杆体材料力学性能

**L.0.1** 钢绞线抗拉强度标准值、设计值应符合表L.0.1的规定：

**表L.0.1 钢绞线抗拉强度标准值、设计值**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 种类 | 符号 | 直径*d*（mm） | 抗拉强度标准值*f*ptk（N/mm²） | 抗拉强度设计值*f*py（N/mm²） | 弹性模量*E*s（N/mm²） |
| 7股 | *A*s | 9.5、12.7、15.2 | 1720 | 1220 | 1.95×105 |
| 1860 | 1320 |
| 1960 | 1390 |

**L.0.2** 精轧螺纹钢筋抗拉强度标准值、设计值应符合表L.0.2的规定：

**表L.0.2 精轧螺纹钢筋抗拉强度标准值、设计值**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 种类 | 符号 | 直径*d*（mm） | 抗拉强度标准值*f*pyk（N/mm²） | 抗拉强度设计值*f*py（N/mm²） | 弹性模量*E*s（N/mm²） |
| 精轧螺纹钢筋 | *A*T | 18、25、32、  40、50 | 785 | 650 | 2.0×105 |
| 930 | 770 |
| 1080 | 900 |

**L.0.3** 无粘结钢绞线主要技术参数应符合表L.0.3的规定：

**表L.0.3 无粘结钢绞线主要技术参数**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 公称直径（mm） | 公称横截面积（mm²） | 防腐润滑脂含量（g/m） | 护套厚度（mm） | *κ* | *μ* |
| 9.5 | 54.8 | ≥32 | ≥1.0 | ≤0.004 | ≤0.09 |
| 12.7 | 98.7 | ≥43 |
| 15.2 | 140.0 | ≥50 |

注：*κ*为考虑无粘结钢绞线护套壁局部偏差对摩擦的影响系数；

*μ*为钢绞线与护套壁之间的摩擦系数。

**L.0.4** 普通螺纹钢筋的抗拉强度标准值、设计值应符合表L.0.4的规定：

**表L.0.4 普通螺纹钢筋的抗拉强度标准值、设计值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 直径*d*（mm） | 抗拉强度标准值*f*yk（N/mm²） | 抗拉强度设计值*f*y（N/mm²） | 弹性模量  *E*s（N/mm²） |
| HRB335 | 6~50 | 335 | 300 | 2.0×105 |
| HRB400 | 400 | 360 |
| RRB500 | 500 | 435 |

# 附录M 常用的钢支撑及钢腰梁构件技术参数

**M.1** 常用的钢管支撑

**M.1.1** 常用的钢管支撑构件规格见表M.1.1。

**表M.1.1 常用的钢管支撑构件规格**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢管  外径  （mm） | 钢管  壁厚  （mm） | 钢材  材质 | 法兰盘  厚度  （mm） | 法兰盘  直径  （mm） | 法兰盘  螺栓孔数量  （个） | 螺栓孔  直径  （mm） | 螺栓公称  直径  （mm） | 标准节长度  （m） |
| 500 | 10 | Q345 | 12~20 | 640 | 12 | 22~26 | 20~24 | 0.2、0.3、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、9.0、11.0 |
| 609 | 16 | Q235 | 20~30 | 740 | 16 | 22~26 | 20~24 |
| 630 | 16 | Q235 | 20~30 | 780 | 16 | 22~26 | 20~24 |
| 800 | 16 | Q235 | 20~30 | 950 | 16 | 24~29 | 22~27 |
| 800 | 20 | Q235 | 20~30 | 950 | 16 | 24~29 | 22~27 |
| 800 | 20 | Q345 | 20~30 | 950 | 16 | 24~29 | 22~27 |

**M.1.2** 常用的钢管支撑构件几何参数见表M.1.2。

**表M.1.2 常用的钢管支撑构件几何参数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢管  外径  （mm） | 钢管  壁厚  （mm） | 钢材  材质 | 截面积  （cm2） | 截面  惯性矩  *I*x（cm4） | 截面  抵抗矩  *W*x（cm3） | 面积矩  *S*x（cm3） | 回转半径  *i*x（cm） |
| 500 | 10 | Q345 | 153.94 | 46220 | 1849 | 1201 | 17.33 |
| 609 | 16 | Q235 | 298.07 | 131117 | 4306 | 2814 | 20.97 |
| 630 | 16 | Q235 | 308.63 | 145539 | 4620 | 3017 | 21.72 |
| 800 | 16 | Q235 | 394.08 | 302907 | 7573 | 4918 | 27.72 |
| 800 | 20 | Q235 | 490.09 | 372957 | 9324 | 6085 | 27.59 |
| 800 | 20 | Q345 | 490.09 | 372957 | 9324 | 6085 | 27.59 |

**M.1.3** 各类钢管支撑最大轴向荷载标准计算假定条件如下：

1 法兰盘增加的重量按钢管自重的25%计算，平均至钢支撑每延米重量；

2 x、y轴偏心距按4cm考虑；

3 竖向弯矩仅考虑自重引起及支撑顶面活载（4kPa×钢管外径）引起的弯矩，不考虑立柱隆沉引起的附加弯矩；

4 重要性系数按1.0考虑；

5 荷载分项系数按1.25考虑；

6 未考虑预应力装置的不利影响。

**M.1.4** 根据计算各类钢管支撑最大轴向荷载设计值如下：

1 Φ500×10（Q345）钢管支撑最大轴向荷载设计值见表M.1.4-1。

**表M.1.4-1 Φ500×10（Q345）钢管支撑最大轴向荷载设计值（kN）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平计算弯矩设计值  （kN·m） | 受压计算长度（m） | | | | | | | | |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 0 | 2675 | 2545 | 2401 | 2248 | 2086 | 1918 | 1750 | 1585 | 1425 |
| 30 | 2536 | 2412 | 2277 | 2132 | 1980 | 1823 | 1667 | 1513 | — |

2 Φ609×16（Q235）钢管支撑最大轴向荷载设计值见表M.1.4-2。

**表M.1.4-2 Φ609×16（Q235）钢管支撑最大轴向荷载设计值（kN）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平计算  弯矩设计值  （kN·m） | 受压计算长度（m） | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 0 | 4146 | 4023 | 3892 | 3747 | 3591 | 3426 | 3248 | 3061 | 2866 | 2666 | 2462 | 2260 | 2058 | 1865 |
| 75 | 3933 | 3818 | 3696 | 3560 | 3415 | 3260 | 3096 | 2921 | 2740 | 2553 | 2363 | 2175 | 1986 | 1803 |
| 125 | 3695 | 3586 | 3471 | 3343 | 3207 | 3065 | 2911 | 2750 | 2582 | — | — | — | — | — |

3 Φ630×16（Q235）钢管支撑最大轴向荷载设计值见表M.1.4-3。

**表M.1.4-3 Φ630×16（Q235）钢管支撑最大轴向荷载设计值（kN）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平计算  弯矩设计值  （kN·m） | 受压计算长度（m） | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 0 | 4358 | 4236 | 4106 | 3961 | 3806 | 3640 | 3461 | 3273 | 3077 | 2873 | 2667 | 2460 | 2253 | 2051 |
| 75 | 4152 | 4037 | 3915 | 3778 | 3632 | 3477 | 3310 | 3136 | 2952 | 2761 | 2568 | 2373 | 2178 | 1988 |
| 125 | 3920 | 3811 | 3695 | 3567 | 3431 | 3285 | 3128 | 2967 | 2796 | 2618 | — | — | — | — |

4 Φ800×16（Q235）钢管支撑最大轴向荷载设计值见表M.1.4-4。

**表M.1.4-4 Φ800×16（Q235）钢管支撑最大轴向荷载设计值（kN）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平计算  弯矩设计值  （kN·m） | 受压计算长度（m） | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 0 | 6112 | 5990 | 5860 | 5716 | 5565 | 5400 | 5223 | 5035 | 4837 | 4627 | 4406 | 4178 | 3943 | 3703 |
| 125 | 5752 | 5640 | 5520 | 5388 | 5250 | 5098 | 4937 | 4765 | 4585 | 4392 | 4190 | 3980 | 3765 | 3543 |
| 250 | 5338 | 5233 | 5123 | 5002 | 4875 | 4736 | 4588 | 4431 | 4266 | 4091 | 3907 | 3717 | 3521 | 3318 |

5 Φ800×20（Q235）钢管支撑最大轴向荷载设计值见表M.1.4-5。

**表M.1.4-5 Φ800×20（Q235）钢管支撑最大轴向荷载设计值（kN）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平计算  弯矩设计值  （kN·m） | 受压计算长度（m） | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 0 | 7595 | 7445 | 7288 | 7116 | 6933 | 6733 | 6523 | 6297 | 6060 | 5807 | 5543 | 5268 | 4986 | 4696 |
| 125 | 7236 | 7096 | 6950 | 6788 | 6618 | 6431 | 6236 | 6025 | 5803 | 5568 | 5322 | 5066 | 4802 | 4531 |
| 250 | 6830 | 6698 | 6560 | 6408 | 6250 | 6075 | 5892 | 5696 | 5491 | 5272 | 5045 | 4806 | 4562 | 4310 |

6 Φ800×20（Q345）钢管支撑最大轴向荷载设计值见表M.1.4-6。

**表M.1.4-6 Φ800×20（Q345）钢管支撑最大轴向荷载设计值（kN）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平计算  弯矩设计值  （kN·m） | 受压计算长度（m） | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 0 | 10275 | 10055 | 9815 | 9548 | 9271 | 8971 | 8657 | 8320 | 7961 | 7593 | 7207 | 6812 | 6415 | 6017 |
| 125 | 9921 | 9707 | 9476 | 9220 | 8953 | 8665 | 8365 | 8041 | 7700 | 7348 | 6981 | 6605 | 6227 | 5850 |
| 250 | 9528 | 9321 | 9097 | 8851 | 8593 | 8317 | 8028 | 7720 | 7392 | 7058 | 6710 | 6352 | 5993 | 5636 |

**M.2 常用的型钢支撑**

**M.2.1** 常用的型钢支撑构件规格见表M.2.1。

**表M.2.1 常用的型钢支撑构件规格**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| H型钢  规格 | 钢材  材质 | 端头板  厚度  （mm） | 端头板螺  栓孔数量  （个） | 翼缘  螺栓孔间距  （mm） | 螺栓孔  直径  （mm） | 螺栓公称直径  （mm） | 标准节  长度（m） |
| 300×300×10×15 | Q345 | 16~20 | 4或8 | 100 | 21.5~25.5 | 20~24 | 0.2、0.3、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0、10.0、11.0、12.0 |
| 350×350×12×19 | Q345 | 16~20 | 4或8 | 100 | 21.5~25.5 | 20~24 |
| 400×400×13×21 | Q345 | 16~20 | 4或8 | 100 | 21.5~25.5 | 20~24 |

**M.2.2** 常用的型钢支撑构件几何参数见表M.2.2。

**表M.2.2 常用的型钢支撑构件几何参数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| H型钢  规格 | 截面  积A  （cm2） | 截面  惯性矩Ix（cm4） | 截面  抵抗矩Wx  （cm3） | 面积  矩Sx  （cm3） | 回转  半径ix  （cm） | 截面  惯性矩Iy  （cm4） | 截面  抵抗矩Wy（cm3） | 面积  矩Sy（cm3） | 回转  半径iy  （cm） |
| 300×300×10×15 | 118.5 | 20200 | 1350 | 732 | 13.10 | 6750 | 450 | 341 | 7.55 |
| 350×350×12×19 | 171.9 | 39800 | 2280 | 1246 | 15.20 | 13600 | 776 | 587 | 8.88 |
| 400×400×13×21 | 218.7 | 66600 | 3330 | 1800 | 17.50 | 22400 | 1120 | 848 | 10.10 |

**M.2.3** 各类H型钢支撑最大轴向荷载标准计算假定条件如下：

1 端板增加的重量按型钢自重的6%计算，平均至钢支撑每延米重量；

2 x、y轴偏心距按2cm考虑；

3 竖向弯矩仅考虑自重引起及支撑顶面活载（4kPa×H型钢宽度）引起的弯矩，不考虑立柱隆沉引起的附加弯矩；

4 重要性系数按1.0考虑；

5 荷载分项系数按1.25考虑；

6 未考虑预应力装置的不利影响。

**M.2.4** 根据计算各类H型钢支撑最大轴向荷载设计值如下：

**1** H300×300×10×15（Q345）型钢支撑最大轴向荷载设计值见表M.2.4-1。

**表M.2.4-1 H300×300×10×15（Q345）型钢支撑最大轴向荷载设计值（kN）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平计算弯矩设计值  （kN﹒m） | x轴（强轴）受压计算长度（m） | | | | | | | | | | |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 0 | 1958 | 1890 | 1806 | 1701 | 1576 | 1434 | 1284 | 1136 | 997 | 870 | 756 |
| 水平计算弯矩设计值  （kN﹒m） | y轴（弱轴）受压计算长度（m） | | | | | | | | | | |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 0 | 1836 | 1728 | 1587 | 1416 | 1234 | 1059 | 906 | 777 | 669 | 567 | 478 |

**2** H350×350×12×19（Q345）型钢支撑最大轴向荷载设计值见表M.2.4-2。

**表M.2.4-2 H350×350×12×19（Q345）型钢支撑最大轴向荷载设计值表（kN）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平计算弯矩设计值  （kN﹒m） | x轴（强轴）受压计算长度（m） | | | | | | | | | | |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 0 | 3085 | 3005 | 2909 | 2792 | 2651 | 2486 | 2299 | 2097 | 1892 | 1573 | 1503 |
| 40 | 2559 | 2491 | 2409 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 水平计算弯矩设计值  （kN﹒m） | y轴（弱轴）受压计算长度（m） | | | | | | | | | | |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 0 | 2941 | 2805 | 2639 | 2428 | 2189 | 1940 | 1701 | 1484 | 1298 | 1121 | 969 |

**3**  H400×400×13×21（Q345）型钢支撑最大轴向荷载设计值见表M.2.4-3。

**表M.2.4-3 H400×400×13×21（Q345）型钢支撑最大轴向荷载设计值表（kN）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平计算弯矩设计值（kN﹒m） | x轴（强轴）受压计算长度（m） | | | | | | | | | | |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 0 | 4160 | 4076 | 3977 | 3858 | 3719 | 3555 | 3367 | 3153 | 2922 | 2678 | 2433 |
| 40 | 3669 | 3594 | 3504 | 3398 | 3274 | 3128 | 2961 | 2771 | 2565 | 2349 | 2131 |
| 水平计算弯矩设计值（kN﹒m） | y轴（弱轴）受压计算长度（m） | | | | | | | | | | |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 0 | 4001 | 3843 | 3657 | 3431 | 3166 | 2872 | 2574 | 2288 | 2027 | 1771 | 1550 |
| 40 | 3496 | 3346 | 3169 | 2955 | 2709 | 2440 | 2171 | — | — | — | — |

**M.3 常用的钢围檩构件**

**M.3.1** 常用的钢围檩构件规格见表M.3.1。

**表M.3.1 常用的钢围檩构件规格**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢围檩规格 | 材质 | 骨架排列方式 | 骨架 | 骨架中心间距（mm） | 内侧组件  （面向基坑） | 外侧组件  （面向围护墙） |
| H400×400 | Q235 | — | H400×400×13×21 | — | 无 | 无 |
| 2H488×300 | Q235 | 竖向 | 2H488×300×11×18 | 300 | 无 | 无 |
| 2H400×400 | Q235 | 竖向 | 2H400×400×13×21 | 400 | 无 | 无 |
| 2I45C | Q235 | 竖向 | 2I45C | 450 | 通长钢板700×20 | 通长钢板700×12 |
| 2H700×300 | Q235、Q345 | 竖向 | 2H700×300×13×24 | 300 | 无 | 无 |
| 2I56C | Q235、Q345 | 竖向 | 2I56C | 710 | 通长钢板900×20 | 通长钢板900×20 |

**M.3.2**  常用的钢围檩构件几何参数见表M.3.2。

**表M.3.2 常用的钢围檩构件几何参数**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢围檩  规格 | 截面积*A*（cm2） | 截面惯性矩*I*x（cm4） | 截面抵抗矩*W*x（cm3） | 截面惯性矩*I*y（cm4） | 截面抵抗矩*W*y（cm3） | 面积矩*S*x（cm3） |
| H400×400 | 218.69 | 65362 | 3267 | 22406 | 1120 | 1800 |
| 2H488×300 | 315.44 | 136274 | 5585 | 87184 | 2906 | 3100 |
| 2H400×400 | 437.38 | 130723 | 6536 | 216444 | 5411 | 3600 |
| 2I45C | 464.00 | 188830 | 7096 | 157676 | 4505 | 4424 |
| 2H700×300 | 457.50 | 389214 | 11121 | 124566 | 4152 | 6249 |
| 2I56C | 675.95 | 375163 | 11463 | 492480 | 10944 | 7099 |

# 本标准用词说明

**1** 为了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，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

《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003

《工程勘察通用规范》GB55017

《工程结构通用规范》GB55001

《混凝土结构通用规范》GB55008

《钢结构通用规范》GB55006

《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB55015

《建筑地基基础设计规范》GB50007

《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202

《建筑基坑工程监测技术规范》GB50497

《复合土钉墙基坑支护技术规范》GB50739

《水力发电工程地质勘察规范》GB50287

《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB50307

《岩土工程勘察规范》GB50021

《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025

《土方与爆破工程施工及验收规范》GB50201

《建筑基坑支护技术规程》JGJ120

《建筑基坑工程技术规范》YB9258

《湿陷性黄土地区建筑基坑工程安全技术规程》JGJ167

《建筑地基基础勘察设计规范》DBJ04-258

上海市工程建设规范《基坑工程技术规范》DG/TJ08-61

北京市地方标准《建筑基坑支护技术规程》DB11/489

天津市工程建设标准《建筑基坑工程技术规程》DB29-202

湖北省地方标准《基坑工程技术规程》DB42/159

浙江省标准《建筑基坑工程技术规程》DB33/T1008

河南省基坑工程技术规范DBJ 41/139

山西省工程建设地方标准

建筑基坑工程技术标准

**DBJ04/T306－2023**

条文说明

**修订说明**

《建筑基坑工程技术规程》DBJ04/T306-2023，根据山西省住房和城乡建设厅《2022年工程建设地方标准制（修）订计划（第二批）》晋建科字〔2022〕232号的要求修改编制。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。

本标准是在《建筑基坑工程技术规程》 DBJ04/T306-2014基础上修订而成，上一版的主编单位是山西建筑工程（集团）总公司、太原理工大学，参编单位是山西省设计审核室、山西省勘察设计研究院、山西省建筑设计研究院、山西省建筑科学研究院、中国水电基础局有限公司、山西裕祥基础工程有限公司、太原市建筑设计研究院、山西建勘岩土工程有限公司、山西省交通科学研究院、中北大学、山西建筑职业技术学院、太原市建设工程质量监督站、太原建工集团有限公司、山西建工建筑工程检测有限公司、山西建工集团基础分公司、山西机械化建设集团公司、山西冶金岩土工程勘察总公司、山西太行建设开发有限公司、阳泉市建筑设计院、吕梁市建筑勘察设计院，主要起草人是张循当、梁仁旺、贾迎泽、李康、贺永俊、史卫平、原永智、胡启胜、王敏泽、何亮、杨振甲、李根、李永伟、苏培仁、史晋荣、弓晓丽、韩云山、杨印旺、经明、张吉人、曾国红、马克生、贺武斌、葛忻声、都智刚、吴正杰、张霞、李建国、李保华、周兴高、张世嫒、王惠荣、董彦莉、相兴华、张佩琳、江志安、程培武、荆和平、闫金忠、王昌威。

本次修订的主要技术内容为：1.将《钢板桩支护技术规程》DBJ04/T328-2016合并入本标准；2.第8章支护结构中增加了钢板桩、型钢水泥土搅拌墙的相关内容；3.对原有章节的顺序进行了调整；4.增加了附录F基坑涌水量估算、附录G钢板桩截面类型、附录H沉桩方法及沉桩设备的选用、附录J型钢水泥土搅拌墙常用规格及计算参数、附录K常用预应力混凝土预制桩选型、附录L锚杆杆体材料力学性能、附录M常用的钢支撑及钢腰梁构件技术参数；5.充实了各类支护结构构造与施工的有关规定；6.细化了新增内容的类型、使用、规格参数及性能。

编制组通过对省内地铁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修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规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

**目 录**

[1 总则 202](#_Toc29459)

[3 基本规定 203](#_Toc17496)

[4 岩土勘察 205](#_Toc12600)

[4.1 一般规定 205](#_Toc4857)

[4.2 勘探与测试 207](#_Toc21830)

[4.3 室内试验 210](#_Toc30116)

[4.4 勘察成果 212](#_Toc17646)

[5 土压力计算 215](#_Toc21330)

[5.1 一般规定 215](#_Toc19215)

[5.2 荷载组合 215](#_Toc29709)

[5.3 参数选择 216](#_Toc7592)

[5.4 计算原则 217](#_Toc29574)

[5.5 水平荷载 218](#_Toc30859)

[6 基坑稳定性 221](#_Toc6539)

[6.1 一般规定 221](#_Toc6799)

[6.2 基坑整体稳定性验算 221](#_Toc20205)

[6.3 支护结构的稳定入土深度的验算 221](#_Toc8516)

[6.4 基坑抗隆起稳定性验算 222](#_Toc23256)

[6.5 基坑底抗渗流稳定性验算 222](#_Toc24454)

[7 支护结构选型 223](#_Toc13227)

[7.1 一般规定 223](#_Toc27997)

[7.2 现场周边环境 223](#_Toc18386)

[7.3 支护结构及适用条件 223](#_Toc25603)

[8 支护结构 226](#_Toc1586)

[8.1 排桩支护 226](#_Toc3856)

[8.2 钢板桩 233](#_Toc27426)

[8.3 型钢水泥土搅拌墙 239](#_Toc15881)

[8.4 地下连续墙 250](#_Toc23643)

[8.5 锚杆 252](#_Toc19739)

[8.6 内支撑结构 254](#_Toc26599)

[8.7 逆作法 257](#_Toc8139)

[9 土钉墙及复合土钉墙 262](#_Toc12533)

[9.1 一般规定 262](#_Toc7652)

[9.2 设 计 263](#_Toc21757)

[10 重力式水泥土墙 268](#_Toc22642)

[10.1 一般规定 268](#_Toc11399)

[10.2 设计 268](#_Toc19162)

[10.3 构造 268](#_Toc15964)

[12 土体加固 270](#_Toc24021)

[13 地下水控制 271](#_Toc8473)

[13.1 一般规定 271](#_Toc816)

[13.2 基坑降水设计 274](#_Toc26231)

[13.3 管井降水 276](#_Toc14448)

[13.5 截水帷幕 279](#_Toc17866)

[15 环境影响评价及保护措施 282](#_Toc28632)

[15.1 一般规定 282](#_Toc10119)

[15.2 评估内容 282](#_Toc6756)

[15.3 基坑变形预估 283](#_Toc453)

[16 基坑监测 284](#_Toc8871)

[16.1 一般规定 284](#_Toc13858)

[16.2 监测点布置 284](#_Toc26558)

[16.3 监测方法 284](#_Toc25456)

[16.4 报警值 284](#_Toc180)

# 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2005年以后，开挖规模和深度不断突破，基坑开挖深度从10米深发展到现在的25米深，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。建筑基坑的设计施工以往多使用中华人民共和国行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120和《建筑基坑工程技术规范》YB9258。近年来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。为规范我省基坑工程的设计、施工、监测、验收等，编制了本标准。（搜集地铁调研、潇河新城等项目基坑资料）

# 3 基本规定

**3.0.1** 根据2022年1月1日起实施的工程建设强制性规范《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003-2021第2.1.4条第2款，明确基坑工程设计应规定工作年限，且设计工作年限不应小1年。本条将原标准中“设计使用年限”改为“设计工作年限”，此名称是与工程建设强制性规范《工程结构通用规范》GB55001-2021中的用词相统一。基坑支护是为主体结构地下部分施工而采取的临时措施，地下结构施工完成后，基坑支护也就随之完成其作用，由于支护结构的使用期短，因此，设计时采用的荷载通常不考虑长期作用。为了防止工程技术人员忽略由千延长支护结构使用期而带来的荷载、材料性能、基坑周边环境等条件的变化，避免超越设计状况，设计时应确定支护结构的工作年限。支护结构的工作年限不应小于一年，除考虑了主体地下结构施工工期的因素外，也考虑到施工季节对支护结构的影响。

**3.0.2** 基坑工程是为保证地面向下开挖形成的地下空间在地下结构施工期间的安全稳定所采取的基坑支护、地下水控制及环境保护等临时性技术措施。因基坑开挖涉及基坑周边环境安全，支护结构除满足主体结构施工要求外，尚需满足基坑周边环境安全要求。因此，基坑支护结构的设计和施工应把保护基坑周边环境安全放在重要位置。

**3.0.3～3.0.6** 本标准依据《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153对结构等级确定的原则，根据破坏后果严重程度以及破坏的可能性大小对安全等级定量化分为三个等级，主要反映在支护结构的重要性系数取值上。

**3.0.11** 本条是结合工程建设强制性规范《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003-2021第2.2.5条修改的，进一步规定了基坑工程设计的主要内容，特别是细化了基坑支护设计计算的内容。为确保基坑工程的安全，在基坑支护结构、地下水控制等设计时必须严格执行，确保基坑周围土体的稳定性，不得发生土体的滑动破坏，不得出现流砂、流土、管涌以及支护结构、支撑体系的失稳；支护结构（包括支撑体系或铀杆结构）的强度应满足构件强度和稳定设计的要求；基坑开挖造成的地层移动及地下水位变化引起的地面变形，不得超过基坑周边建（构）筑物、地下设施等的变形允许值，不得损坏工程桩及影响地下结构的正常施工。基坑工程设计应进行地下水控制设计，并对基坑开挖与回填、支护结构施工、基坑工程质量检验、基坑工程监测等提出明确要求，以确保基坑工程及周边环境安全。设计单位应掌握基坑工程施工场地条件，如工程地质条件、水文地质条件，周边建（构）筑物，道路、市政管线等市政设施情况；对基坑工程设计计算结果，设计单位应有专人校审。

**3.0.12** 本条是根据住建部《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》【2018】37号令、住建部“《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》有关问题的通知”（建办质〔2018〕31号文）及山西省《危险性较大的分部分项工程安全管理实施细则》建办质【2019】156号文件的要求进行修改的。

**4 岩土勘察**

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 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、软土等特殊性岩土时，岩土工程勘察成果应有专门的分析评价。

**4.1.2～4.1.3** 考虑到目前多数基坑工程都不单独进行岩土勘察的现状，本条规定基坑工程的岩土勘察一般可与拟建主体建筑的地基勘察同步进行，其勘察报告应同时满足主体建筑和基坑工程的设计要求，并应有基坑工程分析评价的专门章节。但在实际工程中，由于主体建筑和基坑工程的设计很多情况下不是由同一单位承担，在进行拟建主体建筑的地基勘察时，往往基坑工程的设计单位尚未确定，基坑设计对勘察的详细要求无法全面了解，这样的话对一些环境条件复杂、开挖深度和规模较大的基坑工程，与拟建主体建筑同时进行勘察所提供的成果报告，难以完全满足设计需要。因此，当已有勘察资料不能满足基坑工程设计和施工要求时，则应进行补充勘察或针对性专项勘察。

**4.1.4** 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。

**4.1.5** 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。

**4.1.6** 根据行业标准《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120-2012）及本规范对土、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，本条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》（GB50307-2012）及北京、上海、浙江等省市的地方标准确定。

由于现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）（2009年版）、《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2012）及山西省地方标准《建筑地基基础勘察设计规范》（DBJ04-258-2008）均未对粉土进一步划分亚类，而行业标准《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120-2012）虽然将粉土进一步划分为黏质粉土和砂质粉土，但并未给出划分界限，鉴于上述原因，本条黏质粉土、砂质粉土的划分界限主要考虑了以下几点：

1　国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）（2009年版）、《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）砂土与粉土、黏性土与粉土均分别以粒径大于0.075mm的颗粒质量是否超过50%和塑性指数是否等于或小于10作为划分界限，本条亦按此界限作为粉土的上、下限划分标准；

2　国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011），虽未将粉土进一步划分为黏质粉土和砂质粉土，但在地基承载力深、宽修正时以黏粒含量（粒径小于0.005mm的颗粒质量）10%为界，分别给出了不同的深、宽修正系数，这说明粉土在黏粒含量大于等于10%与黏粒含量小于10%时工程特性有明显区别，因此本条将黏粒含量10%作为黏质粉土、砂质粉土的主要划分界限；

3　国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB50307-2012）及《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》（DBJ11-501-2009），均采用塑性指数划分黏质粉土、砂质粉土，方法简单易行，并减少部分试验工作量，有经验时可以采用。但由于粉土易扰动、水分易析出，液、塑限试验（尤其是Ip≤10时）准确性难以保证，因此，本条只将塑性指数列为参考指标。

**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与评价。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4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** 软塑、流塑状态黏性土一般难以取到不扰动土样，为避免土样扰动对灵敏度试验结果的影响，本条要求对软塑、流塑状态的黏性土，一、二级基坑工程宜采用十字板剪切试验测定灵敏度。

**4.2.6** 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。

**4.2.7**本条规定的稳定水位间隔时间是至少需要的时间。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。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。为避免这种现象发生，本条对此作了明确规定。

**4.2.9** 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：

**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：

⑴ 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。

⑵ 抽水试验

① 抽水试验方法可参考下表确定：

**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。

⑶ 注水试验可在试坑或钻孔中进行，注水稳定时间宜为4h～6h。

**4.2.10** 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。

**4.2.11** 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，本条第三款规定，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5～10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，从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》（JGJ120-2012）及本规范对土、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，本规范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》（JGJ167-2009）强制性条文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（sr＝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：

**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 |
| 放坡开挖 | | √ | √ | √ | — | √ | ○ | — | — | — | — | √ | — | — |
| 支护开挖 | 土钉墙 | √ | √ | √ | — | √ | ○ | — | — | — | √ | √ | √ | — |
| 排桩 | √ | √ | √ | √ | √ | ○ | √ | ○ | ○ | √ | √ | ○ | ○ |
| 钢板桩 | √ | √ | √ | ○ | √ | ○ | √ | ○ | ○ | √ | √ | ○ | — |
| 地下  连续墙 | √ | √ | √ | √ | √ | ○ | √ | ○ | √ | √ | √ | ○ | ○ |
| 水泥  土挡墙 | √ | √ | √ | — | √ | ○ | — | — | — | √ | √ | — | — |

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、地下管线及其它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规范附录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时，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 土压力计算

## 5.1 一般规定

**5.5.1～5.1.2** 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15kPa～20kPa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 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。

**5.2.2** 结构按承载能力极限状态设计中，应考虑各种作用组合。由于基坑支护结构是房屋地下结构施工过程中的一种围护结构，使用周期短，因此，基坑支护结构的土压力基本组合的效应设计值可采用简化计算，可取标准组合的1.25倍，但对于轴向受力为主的构件应取1.35倍。

## 5.3 参数选择

**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，具有粘聚性，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，粘聚性很小，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

**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，库伦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下表估算。

**静止土压力系数K0**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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



超固结土



式中：——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为、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。

**地下水稳定渗流时水压力**

# 6 基坑稳定性

## 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。

## 6.2 基坑整体稳定性验算

**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 支护结构的稳定入土深度的验算

**6.3.1** 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。

**6.3.2** 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。

**6.3.3** 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根据区域性岩土工程特性，根据本规范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JGJ120-2012更严格。

太原轨道交通2#线建设初始，相关设计、施工单位函询规范组，针对本条的工程应用，规范组相关专家给予条文解释。随后规范组针对太原轨道交通2#线所有明挖区段进行分组调研，专项课题对涉及本规范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#线初设时，规范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。

## 6.4 基坑抗隆起稳定性验算

**6.4.1** 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。本规范式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，当按本规范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。

## 6.5 基坑底抗渗流稳定性验算

**6.5.1**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。

**7 支护结构选型**

**7.1 一般规定**

**7.1.1** 基坑支护结构的选型应综合考虑各种因素，同时应重点结合当地的工程经验，采用多种方案进行技术、经济分析比较，最终选定的支护结构形式应安全可靠、技术可行、施工方便、经济合理。

**7.2 现场周边环境**

**7.2.1** 基坑周边环境条件是基坑支护设计的重要依据之一。城市内新建建筑物的周边通常都存在既有建（构）筑物、各种市政地下管线、道路、地下轨道交通设施等，而基坑支护的作用主要是保护其周边环境不受损害。同时，基坑周边既有建筑物荷载会增加作用在支护结构上的荷载，支护结构的施工也需要考虑周边建筑物地下室、地下管线、地下构筑物、地下轨道交通设施等的影响。实际工程中因对基坑周边环境条件缺乏准确了解或忽视而造成的工程事故时有发生。为了使基坑支护设计针对性更强，应准确查明基坑周边环境条件，并按这些环境条件进行设计，施工时应防止对其造成破坏。

**7.2.2** 对基坑周边存在有对变形敏感的重要建（构）筑物时，应加大调查范围，采取更加可靠的基坑支护设计方案。

**7.3 支护结构及适用条件**

**7.3.1** 在本标准中，支挡式结构是由挡土构件和锚杆（索）或支撑组成的支护结构体系的总称，这类支护结构体系都可用弹性支点法的计算简图进行结构分析，其受力机理明确，计算方法和工程实践相对成熟，是目前应用最多也较为可靠的支护结构形式。其结构形式主要有悬臂式、双排桩、锚拉式、支撑式。

悬臂式支挡结构顶部位移较大，内力分布不均匀，但可省去支撑和锚杆，当基坑较浅且基坑周边环境对支护结构位移的限制不严格时，可采用此类支挡结构形式。双排桩支挡结构是一种刚架结构形式，其内力分布特性明显优于悬臂式结构，水平位移也比悬臂式结构小得多，适用的基坑深度比悬臂式结构略深，但占用场地较大，当不适合采用其他支护结构形式且在场地条件及基坑深度均满足要求的情况下，可采用双排桩支挡结构。

锚拉式支挡结构和支撑式支挡结构易于控制水平变形，挡土构件内力分布均匀，当基坑较深或基坑周边环境对支护结构位移要求严格时，常采用这种结构形式。从技术角度来看，支撑式支挡结构比锚拉式支挡结构适用范围更宽，但内支撑的设置给后期土方开挖及主体结构施工带来的影响较大，而锚拉式支挡结构可以给后期土方开挖及主体结构施工提供很大的便利。所以，当能采用其他支护结构形式时，一般不首选内支撑结构，但锚拉式结构也有其适用条件。锚杆长期留在地下，给相邻地域的使用和地下空间开发利用造成障碍，不符合保护环境和可持续发展的要求。我省目前还没有禁止锚杆侵入红线之外的地下区域的规定，但锚杆一般也应尽量不超越用地红线，同时也尽可能不击入邻近建（构）筑物基础之下。

近年来，山西地区仅太原市有部分工程深基坑采用地下连续墙作为支护体系，其工程实践经验较少，参考全国其他地区的经验，采用地下连续墙作为支护体系的基坑工程，一般均为基坑开挖深度深、面积大，且周边环境保护要求较高的工程，一般情况下，宜同时用作主体地下结构的外墙，否则，其支护费用偏高。因此，如确需要采用地下连续墙作支护结构，在方案确定前宜开展充分的技术经济分析。

近年来，我省城市基础设施建设规模发展迅猛，越来越多的建(构)筑物和市政建设项目需要开挖基坑，大部分基坑工程具有工期紧、施工场地狭小、周边环境复杂等特点，为适应基坑支护需要，兴起了一种钢板桩支护方式。钢板桩支护特点具有施工简便、快捷高效、挡土和止水双重功能、能拔出重复利用，基于以上优越性，钢板桩支护方式逐渐受到越来越多人们的重视和采用。

型钢水泥土搅拌墙，通常称为SMW工法桩，是基于深层搅拌桩施工工艺发展起来的，这种结构充分发挥了水泥土混合体和型钢的力学特性，具有经济、工期短、隔水性强、对周围环境影响小等特点。型钢水泥土搅拌墙支护结构在主体结构完成后，可以将H型钢从水泥土搅拌桩中拔出，达到回收和再次利用的目的。因此该工法与常规的支护形式相比不仅工期短，施工过程无污染，场地整洁干净、噪声小，而且可以节约社会资源，避免支护体在主体结构施工后永久遗留于地下，成为地下障碍物。型钢水泥土搅拌墙近年来在我省基坑工程中广泛应用，积累了丰富的经验。

土钉墙作为一种经济、简便、施工快捷、不需要大型施工设备的基坑支护形式，在工程中应用较多。土钉墙是被动受力的支护结构，当土体产生变形或有变形趋势后土钉才会受力，因此随着土方开挖土钉墙坡体内总是会产生大大小小的裂缝，成为良好的渗流通道。大量工程实践表明，许多土钉墙的破坏都是由于地下水以及各种地表水和管道渗水的作用引起的，因此土钉墙必须做好防排水工作，且自身不宜作为挡水结构。另外，目前土钉墙设计中的一些问题尚未解决或没有成熟、统一的认识，比如土钉墙作为一种结构形式，还没有完整的实用结构分析方法；土钉墙位移计算问题没有得到根本解决。由于目前土钉墙的通常做法是土钉不施加预应力，只有在基坑有一定变形后土钉才会达到工作状态下的受力水平，因此，理论上土钉墙位移和沉降较大。

土钉墙与水泥土桩、微型桩和预应力锚杆可以组合形成多种复合土钉墙，不同的组合形式作用不同，应根据实际工程需要选择。

水泥土墙使用的土质条件较窄，实际工程应用也不普遍，一般在深度不大的软土基坑，由于锚杆没有合适的锚固土层，不能提供足够的锚固力，内支撑又会增加主体地下结构施工的难度，当技术、经济、工期综合分析比较较优时，才会选择水泥土墙这种支护形式。水泥土墙一般采用搅拌桩，墙体材料是水泥土，其抗拉、抗剪强度较低。因此，只有按重力式结构设计时，才会具有一定优势。本标准对水泥土墙的规定，均指重力式结构。

# 8 支护结构

## 8.1 排桩支护

**Ⅰ 一般规定**

**8.1.1～8.1.3** 此3条是排桩支护结构中，对各种具体支护形式适用条件的规定。土排桩支护结构受力明确，计算方法及工程经验较为成熟，是目前基坑工程中应用最为广泛同时也较为可靠的支护形式。在支护结构选型时，应根据本规范第8.1.1～8.1.3条综合考虑其适用条件。

**8.1.4** 支挡式结构应根据具体形式与受力、变形特性等采用下列分析方法：

第1～3款方法的分析对象为支护结构本身，不包括土体。土体对支护结构的作用视作荷载或约束。这种分析方法将支护结构看作杆系结构，一般都按线弹性考虑，是目前最常用和成熟的支护结构分析方法，适用于大部分支挡式结构。

本条第1款针对锚杆—排桩结构，是对如何将空间结构分解为两类平面结构的规定。首先将挡土结构(排桩)取作分析对象，按梁计算。排桩结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析。

由于排桩端部嵌入土中，土对结构变形的约束作用与通常结构支承不同，土的变形影响不可忽略，不能看作固定端。锚杆作为梁的支承，其变形的影响同样不可忽略，也不能作为铰支座或滚轴支座。因此，排桩按梁计算时，土和锚杆对挡土结构的支承应简化为弹性支座，应采用本节规定的弹性支点法计算简图。经计算分析比较，分别用弹性支点法和非弹性支座计算的排桩内力和位移相差较大，说明按非弹性支座进行简化是不合适的。

腰梁、冠梁的计算较为简单，只需以挡土结构分析时得出的支点力作为荷载，根据腰梁、冠梁的实际约束情况，按简支梁或连续梁算出其内力，将支点力转换为锚杆轴力。

本条第2款针对内支撑—排桩结构，其结构的分解简化原则与锚杆一排桩结构相同。同样，首先将挡土结构(排桩)取作分析对象，按梁计算。排桩结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析，分解出的内支撑结构按平面结构进行分析，将排桩结构分析时得出的支点力作为荷载反向加至内支撑上，内支撑计算分析的具体要求见本规范第8.4节。值得注意的是，将内支撑—排桩结构分解为挡土结构和内支撑结构并分别独立计算时，在其连接处是应满足变形协调条件的。当计算的变形不协调时，应调整在其连接处简化的弹性支座的弹簧刚度等约束条件，直至满足变形协调。

本条第3款悬臂式排桩结构是内支撑—排桩和锚杆—排桩结构的特例，对挡土结构而言，只是将锚杆或支撑所简化的弹性支座取消即可。双排桩支挡结构按平面刚架简化，具体计算模型见本规范8.1.18。

本条第4款指出有两种可供选择的计算方法。

实际的支护结构一般都是空间结构。空间结构的分析方法复杂，当有条件时，希望根据受力状态的特点和结构构造，将实际结构分解为简单的平面结构进行分析。本规范有关支挡式结构计算分析的内容主要针对平面结构。但会遇到一些特殊情况，按平面结构简化难以反映实际结构的工作情况。此时，需要按空间结构模型分析。但空间结构的分析方法复杂，不同问题要不同对待，难以作出细化的规定。通常，需要在有经验时，才能采用合理的空间结构模型进行分析。按空间结构分析时，应使结构的边界条件与实际情况尽可能接近，这需要设计人员有较强的结构设计经验和水平。

考虑结构与土相互作用的分析方法是岩土工程中先进的计算方法，是岩土工程计算理论和计算方法的发展方向，但需要可靠的理论依据和试验参数。目前，将采用该类方法对支护结构计算分析的结果直接用于工程设计中尚不成熟，仅能在已有成熟方法计算分析结果的基础上用于分析比较，不能滥用。采用该方法的前提是要有足够的把握和经验。

传统和经典的极限平衡法可以手算，在许多传统教科书和技术手册中都有介绍。由于该方法的一些假定与实际受力状况有一定差别，且不能计算支护结构位移，目前已很少采用了。经与弹性支点法的计算对比，在有些情况下，特别是对多支点结构，两者的计算弯矩与剪力差别较大。本规范取消了用极限平衡法进行支护结构计算的有关规定。

**8.1.5** 支护结构简化为竖向平面结构模型计算时，沿基坑周边的各个竖向平面的设计条件常常是不同的。除了各部位基坑深度、周边环境条件及附加荷载可能不同外，地质条件的变异性是支护结构不同于上部结构的一个很重要的特殊性。自然形成的成层土，各土层的分布及厚度往往在基坑尺度的范围内就存在较大的差异。因而，当基坑深度、周边环境及地质条件存在差异时，这些差异对支护结构的土压力荷载的影响不可忽略。本条从设计计算的原则上强调了按基坑周边的实际条件划分设计与计算剖面的要求，具体划分为多少个剖面，应根据工程的实际情况来确定，每一个剖面也应按剖面内的最不利情况取设计计算参数。

**8.1.6** 基坑支护结构的有些构件，如锚杆与支撑，是随不同基坑深度的开挖过程逐步设置的，基坑各设计工况是指各开挖深度下锚杆或支撑逐步设置时，支护结构所处的每一受力与变形状态。一般情况下，基坑开挖到基底时受力与变形最大，但也会出现开挖中间过程的某种内力大于开挖到基底时的内力值。因此，可能会出现按基坑开挖深度的某一中间过程的受力进行支护结构构件的截面设计或锚杆抗拔力的确定。特别应强调的是，在地下室结构施工过程中，当用结构楼板作为支撑替代锚杆或支护结构的支撑时，此时支护结构构件的受力状态会是最大受力状态。

**8.1.7** 本规范的结构构件极限状态设计表达式(3.0.7-1)在具体应用到各种结构构件的承载力计算时，将公式中的荷载基本组合的效应设计值与结构构件的重要性系数相乘以后，用内力设计值代替。这样在各章的结构构件承载力计算时，各具体表达式或公式中就不再出现符号了，已含在内力设计值中。但计算内力设计值时，不能忘记要乘以。根据内力的具体意义，其设计值可为弯矩设计值M、剪力设计值V或抽向拉力、压力设计值T等。对于作用在支护结构上的土压力荷载的标准组合，当按朗肯方法计算时，土性参数黏聚力c、摩擦角及土的重度Y按本规范第5.3.1～5.3.3条的规定取值，朗肯土压力荷载的标准组合按本规范第5.5.1、5.5.2条的各公式计算。

**8.1.8** 本条是从后期主体结构施工上的考虑。因为，当排桩及冠梁高于后期主体结构各种地下管线的标高时，会给后续的施工造成障碍，需将其凿除，所以，排桩桩顶的设计标高，在不影响基坑的稳定及基坑外环境变形的要求时，宜避开主体建筑地下管线通过的位置。一般情况下，主体建筑各种管线引出接口的埋深不大，是容易做到的。但如果将桩顶降至管线以下，影响了支护结构的稳定或变形要求，则应首先按满足稳定或变形要求考虑桩顶的设计标高。

**Ⅱ 设计计算**

**8.1.10～8.1.16** 这些条款是对弹性支点法计算方法的规定。弹性支点法的计算主要应注意以下问题：

1 土的反力项为。增加了常数项后，基坑面以下的土压力分布可由不考虑土的自重作用的矩形分布变为考虑土的自重作用的随深度线性增长的三角形分布。两者的挡土结构嵌固段两侧的土压力之和是相同的，但按朗肯土压力计算时，基坑外侧基坑面上方和下方均采用主动土压力荷载，形式上直观、与其他章节表达统一、计算上简化。

2 排桩嵌固段的土反力上限值应满足控制条件。由于土反力与土的水平反力系数的关系采用线弹性模型，计算出的土反力将随位移的增加线性增长。但实际上土的抗力是有限的，如采用摩尔一库仑强度准则，则不应超过被动土压力。

**8.1.18、8.1.19** 实际的基坑工程中，在某些特殊条件下，锚杆、土钉、支撑受到实际条件的限制而无法实施，而采用单排悬臂桩又难以满足承载力、基坑变形等要求或者采用单排悬臂桩造价明显不合理的情况下，双排桩刚架结构是一种可供选择的基坑支护结构形式。与常用的单排悬臂桩结构、锚杆—排桩结构、内支撑—排桩结构相比，双排桩刚架结构有以下特点：

1 与单排悬臂桩相比，双排桩为刚架结构，其抗侧移刚度远大于单排悬臂桩结构，其内力分布明显优于悬臂结构，在相同的材料消耗条件下，双排桩刚架结构的桩顶位移明显小于单排悬臂桩，其安全可靠性、经济合理性优于单排悬臂桩。

2 与内支撑—排桩结构相比，由于基坑内不设支撑，不影响基坑开挖、地下结构施工，同时省去设置、拆除内支撑的工序，大大缩短了工期。在基坑面积很大、基坑深度不很大的情况下，双排桩刚架支护结构的造价低于内支撑—排桩支挡结构。

3 与锚杆—排桩结构相比，在某些情况下，双排桩刚架结构可避免锚杆—排桩结构难以克服的缺点，如：1)在拟设置锚杆的部位有已建地下结构、障碍物，锚杆无法实施；2)拟设置锚杆的土层为高水头的砂层(有隔水帷幕)，锚杆无法实施或实施难度、风险大；3)拟设置锚杆的土层无法提供要求的锚固力；4)拟设置锚杆的工程，地方法律、法规规定支护结构不得超出用地红线。此外，由于双排桩具有施工工艺简单、不与土方开挖交叉作业、工期短等优势，在可以采用悬臂桩、内支撑—排桩结构、锚杆—排桩结构条件下，也可以在考虑技术、经济、工期等因素并进行综合分析对比后合理选用。

**8.1.20** 双排桩的整体稳定性验算问题与单排悬臂桩类似，应满足作用在后排桩上的主动土压力与作用在前排桩嵌固段上的被动土压力的力矩平衡条件。与单排桩不同的是，在双排桩的抗倾覆稳定性公式8.1.20中，是将双排桩与桩间土看作整体并将其作为力的平衡分析的对象，并且考虑了土与桩自重的抗倾覆作用。公式中只是嵌固深度的安全系数，不包括锚杆、支撑的安全系数，锚杆、支撑的安全储备及安全系数在本规范的其它条款中规定只是嵌固深度的安全系数，不包括锚杆、支撑的安全系数，锚杆、支撑的安全储备及安全系数在本规范的其他条款中规定。 有专家认为被动土压力不能充分发挥，设计人员应考虑此风险并留安全储备。在具体工程设计时，可以按地质场地条件，特别是对软弱场地地段，设计计算时可将值按基坑等级分别提高到1.45、1.4、1.3。

**8.1.21** 构件的正截面承载力包括受弯承载力、受压承载力和受拉承载力。支挡式结构承受的荷载主要是水平力，一般不产生轴向力或轴向力可忽略。因此，排桩通常按受弯构件考虑。当排桩承受较大竖向荷载或对轴向力较大的双排桩，则可能需要按偏心受压或偏心受拉构件考虑。排桩通常是圆形截面，也可能会采用矩形截面等其他截面，对沿截面周边均匀配置纵向受力钢筋的圆形截面和其他各种截面的混凝土桩，都可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010计算正截面受弯承载力，本规范对此内容不再重复。

在混凝土排桩截面设计时，沿截面受拉区和受压区周边局部均匀配筋这种非对称配筋形式有时是需要的，可以提高截面的受弯承载力。但对沿截面周边非均匀配置纵向受力钢筋的情况，《混凝土结构设计规范》GB50010未作规定，因此，本规范给出了沿受拉区和受压区周边局部均匀配筋时的正截面受弯承载力的计算方法。

**8.1.22** 由于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010中没有对圆形截面的斜截面承载力进行规定，所以采用了将圆形截面等代成矩形截面，然后再按上述规范中矩形截面的斜截面承载力公式计算。

**Ⅲ 构造要求**

**8.1.24** 本条规定：

1 钢筋混凝土支护桩桩径不宜小于600mm，是一般情况下桩径的下限，桩径的大小还是应按桩的受力大小及变形要求确定，同时满足经济合理、当地施工技术及现场施工条件的要求。钢筋混凝土支护桩桩距的确定需要考虑桩间土的稳定性要求；

2 根据本地区的工程经验，对粉土、粉质黏土，桩间净间距不宜大于900mm，对砂土，桩间净间距不宜大于600mm。当桩间净间距大于300mm时，需验算桩间土隔水帷幕局部抗剪承载力。隔水帷幕28天龄期无侧限抗压强度标准值不应小于设计要求且不宜小于0.8MPa；

3 对桩的嵌固深度的要求，是通常情况下桩的嵌固深度要求的下限。桩长的选取主要还是应按弯矩大小与变形要求确定，以达到受力与经济合理的要求。但考虑到场地地基的不确定性及施工技术的限制，根据本地工程经验对桩的嵌固深度做出最小的限制；

4 为保证钢筋混凝土支护桩的受力，支护桩不宜采用非均匀配置纵向钢筋。

**8.1.25** 该条对混凝土灌注桩的构造规定，主要是参照《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 中有关规定，通常情况下是应该满足的，以保证钢筋混凝土支护桩作为混凝土构件的受力性能。

**8.1.26** 冠梁施工质量的重要性有时受到一些人的忽视，实际上冠梁的作用还是很大的。冠梁通过传递剪力调整桩与桩之间力的分配，当锚杆或支撑设置在冠梁上时，更是通过冠梁将排桩上的土压力传递到锚杆与支撑上。由于冠梁与桩的连接处是混凝土两次浇注的结合面，当该结合面混凝土的强度不够或钢筋锚固力不够时，会达不到传递剪力的设计要求。本条的规定就是为了在施工上保证冠梁与桩的连接能够有效地传递剪力。

**8.1.29** 双排桩的排距、连梁高度是双排桩设计的重要参数。根据相关文献的报道，排距过小受力不合理，排距过大刚架效果减弱，排距合理的范围为2d～5d。双排桩顶部水平位移随连梁高度的增大而减小，但当梁高大于1d时，再增大梁高桩顶水平位移基本不变了。因此，刚架梁高度不宜小于0.8d，且连梁高度与双排桩排距的比值取1/6～1/3为宜。

**8.1.30** 根据结构力学的基本原理及计算分析结果，双排桩刚架结构中的桩与单排的受力特点有较大的区别。锚拉式、支撑式、悬臂式排桩，在水平荷载作用下只产生弯矩和剪力，而双排桩刚架结构在水平荷载作用下，桩的内力除弯矩、剪力外，轴力不容小视。前排桩的轴力为压力，后排桩的轴力为拉力。在其他参数不变的条件下，桩身轴力随着双排桩排距的减小而增大。桩身轴力的存在，使得前排桩发生向下的竖向位移，后排桩发生向上的竖向位移。前后排桩出现不同方向的竖向位移，就意味着双排桩刚架出现了向基坑方向的整体倾斜，增大了双排桩刚架顶部的水平位移。此外，正如普通刚架结构对相邻柱间的沉降差非常敏感一样，双排桩刚架结构前、后排桩沉降差对结构的内力、变形影响很大。某一实例的计算分析表明，在其他条件不变的情况下，桩顶水平位移、桩身最大弯矩随着前、后排桩沉降差的增大基本呈线性增加。与前后排桩桩底沉降差为0相比，当前后排桩桩底沉降差与排距之比等于0.002时，计算的桩顶位移增加24%,桩身最大弯矩增加10%。后排桩由于全桩长范围有土的约束，向上的竖向位移很小。减小前排桩沉降的有效的措施有：桩端选择强度较高的土层；泥浆护壁钻孔桩需控制沉渣厚度；采用桩底后注浆技术等。

**8.1.31** 双排桩的桩身内力有弯矩、剪力、轴力，因此需按偏心受压、偏心受拉构件进行设计。双排桩连梁两端均有弯矩，在根据《混凝土结构设计规范》GB50010判别连梁是否属于深受弯构件时，按照连续梁考虑。

**8.1.32** 本规范的双排桩结构是指由相隔一定间距的前、后排桩及桩顶梁构成的刚架结构，桩顶与连梁的连接按完全刚接考虑，其受力特点类似于混凝土结构中框架顶层，因此，该处的连接构造需符合框架顶层端节点的有关规定。

**8.1.33、8.1.34** 先施工隔水帷幕，再施工钢筋混凝土支护桩，有利于保证隔水帷幕的施工质量，减少支护施工对周边环境的影响。

**Ⅳ 施工与检测**

**8.1.35** 基坑支护中排桩的常用桩型与建筑桩基的基桩基本相同，主要桩型的施工要求在现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94中已作规定。因此，本规范仅对桩用于基坑支护时的一些特殊施工要求进行了规定，对桩的常规施工要求不再重复。

**8.1.36** 本条规定的是当桩的附近存在既有建筑物、地下管线等环境且需要保护时，桩的施工应注意的一些问题。这些问题处理不当，经常会造成工程事故。因具体工程的条件不同，应具体问题具体分析，结合实际情况采取相应的有效保护措施。

## 8.2 钢板桩

**Ⅰ 一般规定**

8.2.1 与传统支护结构类型相比，钢板桩支护结构具有施工简便、快捷高效、施工周期短、兼具挡土和止水双重功能、能拔出重复利用、施工成本低等优点，钢板桩支护领域越来越广泛，受到市场青睐，带动了钢板桩行业发展。

针对我省地质情况，钢板桩支护适用于以黏性土、粉土、砂土为主的一般地质土层，在湿陷性黄土和粒径不超过30mm、层厚不超过2m碎石土也积累了一些施工经验，目前还没有在岩石地质施工经验。对于特别坚硬土层或者较大粒径、较厚碎石土层，如果没有施工经验，应通过现场试验确定其适用性。

8.2.2**~**8.2.4 钢板桩支护设计施工以往多参照国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120和《钢板桩支护技术规程》T/CECS720-2020，近年来我省钢板桩支护领域科研与工程实践大量增加，通过工程实践积累了不少经验，也汲取了一些应用工程的事故教训，总结了针对我省地质特点的设计理念与施工方法。

8.2.5 本条列举了三种沉桩方法，在附录G对这三种方法的适用情况和特点进行了详细分析，可根据工程实际情况参考选用，目前我省常用振动法，锤击法和静压法很少采用。

8.2.6 目前钢板桩沉桩和拔除常用振动法，振动法施工可使桩周围土层扰动或液化，会影响临近地基的稳定性，如果临近有非常重要建（构）筑物、地下管线或者年代比较久的危房、老化的管线，建议采用其它支护结构类型。采用振动法打拔钢板桩会有地面震动影响，根据经验，震动影响的范围在半径4～6m之内，周边环境对振动比较敏感的，施工前应组织有关部门做好调查和采取有效保护措施，确保周边环境安全。在选用钢板桩支护结构时，要提前分析钢板桩拔除的可行性，如果无法拔桩，钢板桩材料就需要一次摊销，会显著加大施工成本。另外，钢板桩拔除产生的危害必须引起重视，由于拔桩过程中桩身会带出一部分土体，留下桩孔，可能引起地面变形，甚至影响邻近建（构）筑物结构或地下管线安全，本规程在钢板桩施工与检测章节专门制定了拔桩要点和相应措施。

**Ⅱ 设计计算**

8.2.7 基坑周边环境条件是钢板桩支护结构设计的重要依据之一。实际工程中因对基坑周边环境条件缺乏准确了解或忽视而造成的工程事故时有发生。为了使钢板桩支护设计针对性更强，应准确查明基坑周边环境条件，并按这些环境条件进行设计，施工时应防止对其造成破坏。

8.2.8 应根据工程实际情况，选择合适的钢板桩支护结构类型，本标准7.3.1具体列出了适用条件。

悬臂式支护结构顶部位移较大，当基坑较浅且基坑周边环境对支护结构位移的限制不严格时，可采用此支护类型。

锚拉式支护结构一般适用于基坑面积和基坑跨度较大的工程，锚拉方式多采用锚杆或锚索，一般需要在钢板桩上开孔，所以锚拉式只适合设置1道锚杆或锚索的情况，对于较深基坑，如果条件允许，可采用上部放坡或土钉墙的形式，基坑深度不宜大于10m。锚拉方式也可采用简单的钢丝绳拉结，钢丝绳一端固定于钢板桩支护结构围檩上，另一端固定于专门设置的锚碇上，锚碇可采用打入1~3根钢板桩，锚碇的距离应设置在钢板桩支护结构计算滑动面以外范围，基坑深度不宜大于10m。

锚拉式支护结构选择受地质条件和周边环境条件影响比较多，一定要慎重选择并分析可行性，特别是周边建（构）筑物地下基础或地下管线埋设情况是否满足锚杆（索）施工条件，还有红线范围以外地下空间规划的要求。

支撑式支护结构受限条件少，适用范围比较广，可设置多道支撑，可用于深度10m~15m较深的基坑。

8.2.11采用锚拉式支护结构，为满足锚杆（索）施工要求，需要在钢板桩上开孔。如果在沉桩前开孔，每根桩沉桩高度不一致，开孔不在统一平面上，造成后期锚杆（索）腰梁施工困难，所以要求沉桩全部结束后再统一开孔，在钢板桩上统一划线确定锚杆（索）位置，按划线位置在对应钢板桩上开孔，保证开孔在一水平面上。

**Ⅲ 布置与构造**

8.2.17 根据生产工艺不同，钢板桩可分为热轧和冷弯两种规格，热轧工艺比较复杂，锁口咬合紧密，截水性能好于冷弯工艺，冷弯工艺比较简单，但钢板桩强度性能要好于热轧工艺，从施工成本考虑，冷弯钢板桩比较经济，目前我省市场上主要采用冷弯U型钢板桩。

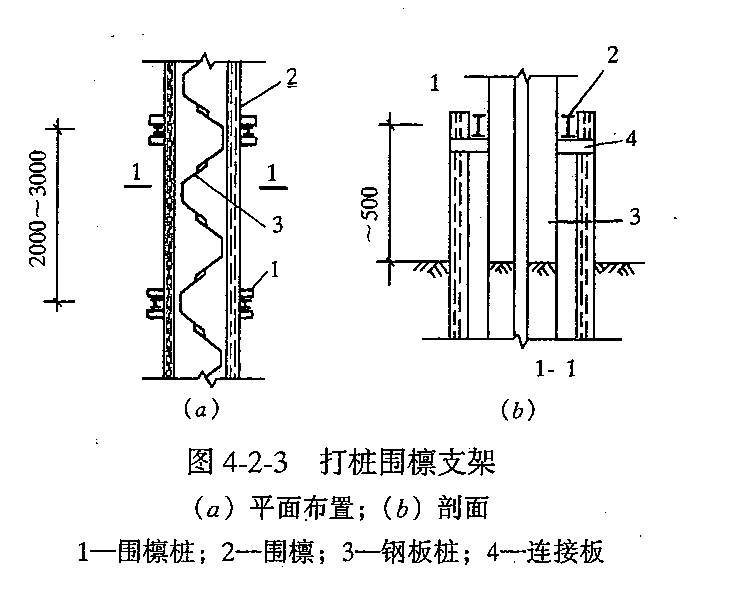
8.2.18 钢板桩单根长度受运输工具限制，桩长不宜超过18m，目前我省应用最长24m钢板桩实例是在太原跨汾河摄乐大桥中央主桥墩深基坑支护，基坑深度约13m，采用整根24m钢板桩，设置两道钢支撑。钢板桩一般采用整材，如果工程需要也可以采用焊接接长，焊接接长难度比较大，难点一个是接长后必须保证两侧锁扣顺直，另一个是接头质量满足等强度要求。焊接接头应在U型桩腹板两侧设置连接板，腹板及翼缘对接部位焊接，锁扣部位不焊接，保证锁扣不变形、内部光滑无焊瘤。

**Ⅳ 施工与检测**

8.2.22**～**8.2.23 钢板桩振动法既可以打桩又能拔桩，是目前最常用的一种沉桩方法。振动法可以采用吊车悬吊振动锤施工，也可以由挖掘机直接改装成机械手进行一体式施工。机械手施工非常灵活快捷，施工速度快，目前工程上基本都是采用机械手施工，其缺点是打桩精度不高，一般会受到桩长和地质条件限制，在使用时应结合工程经验适当选择，桩长不宜超过15m。振动沉桩的原理是通过振动减小桩与土之间的摩阻力，在沉桩过程中，振动力通过桩体传递到桩周围的土，扰动土体产生轻微液化，显著减小了桩与土之间的摩擦力，因而只需很小的振动力就可以把桩沉入到土中，通过这种原理也能轻松实现拔桩。

8.2.24 逐根式沉桩是采取单根打入，易向一边倾斜，累积误差不易纠正，成桩精度难以控制，打桩长度不宜超过15m，施工方便快捷，是目前常用的一种方式。逐根式沉桩应控制好前两根成桩精度，对后续沉桩起到导向作用，然后采用左右跳打的方式，待形成一段桩墙（一般20根左右）后，再向一侧连续沉桩。

屏风式沉桩需要安装足够高度的辅助导向架，先将10**～**20根钢板桩成排插入预先安装好的辅助导向架内并联锁形成一片桩墙，然后将桩墙两端1～2根桩打入深度2～3m，再将中间的桩也打入相同深度，重复以上操作，分批次施打，直至将全部钢板桩打至设计深度。屏风式沉桩精度高、止水效果好、施工质量有保证，适用于打桩精度要求较高或采用较长钢板桩的工程。该方法的缺点是需要安装辅助导向架，施工较为繁琐，较逐根式施工速度慢。

辅助导向架一般由双侧围檩、围檩桩和连接板组成，具体做法可参考图1。  


（a）平面布置；（b）剖面

1-围檁桩；2-双侧围檁；3-钢板桩；4-连接板

图1 辅助导向架示意图

8.2.25**～**8.2.26 锤击法穿透能力比较强，适合在非常坚硬的土层中沉桩作业，但其缺点是噪音比较大、冲击能量影响范围广，不适合周围环境条件敏感和限制施工的场地。静压法是一种无振动无噪音的液压静力压桩方法，在黏性土中压桩效果非常有效，在密实的砂土中压桩效果不是很好；静压法在对振动和噪音非常敏感的场地是最有效的方法，但施工效率低、作业成本高。静压法沉桩原理是将液压装置通过固定在已沉入的钢板桩上而提供反力，同时夹持住钢板桩的桩身将钢板桩压入土中（图2）；桩机体型小，自身不能起吊钢板桩，需要吊车配合。目前这两种方法在我省很少使用。

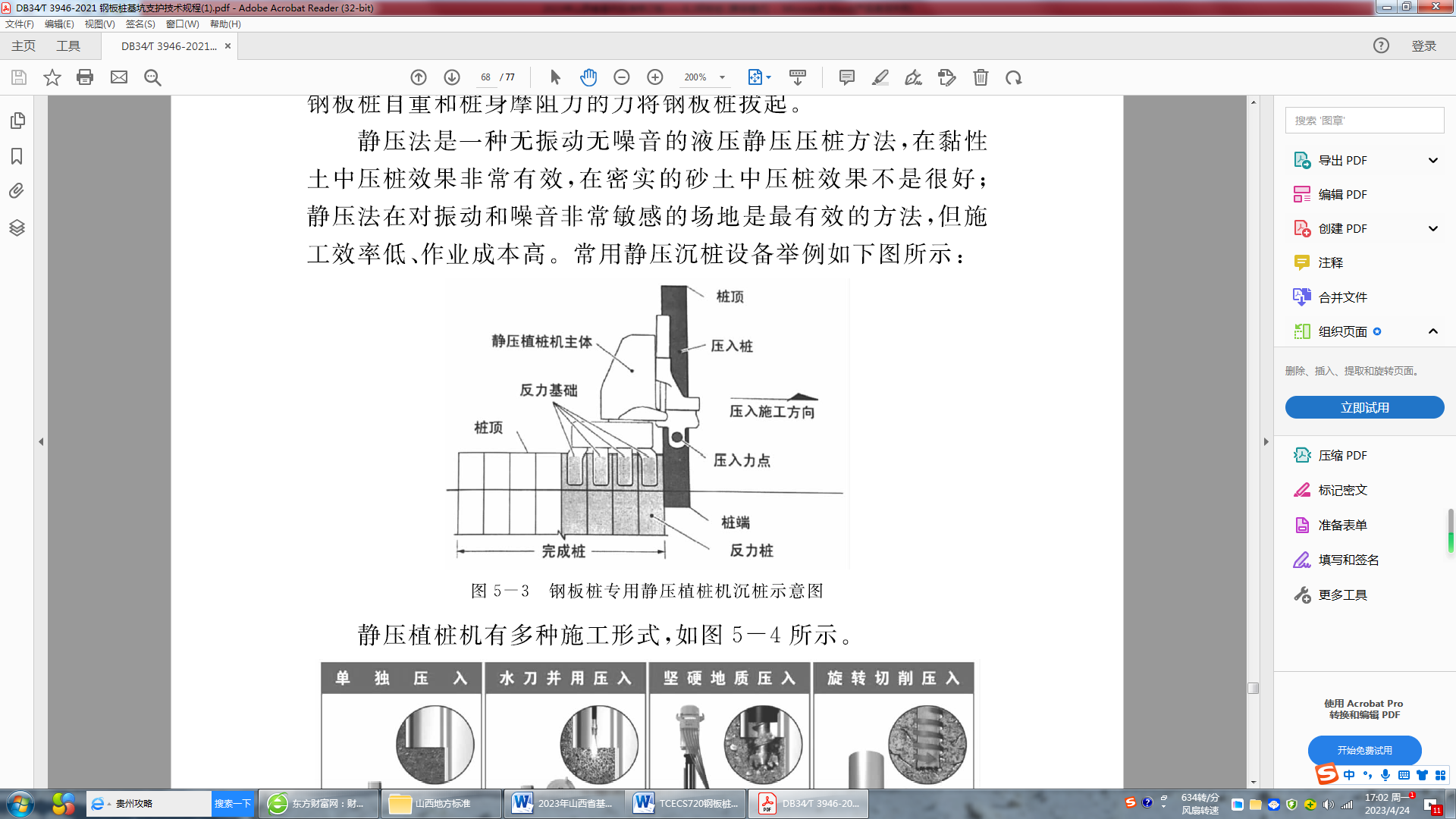


图2 钢板桩专用静压植桩机沉桩示意图

8.2.27 坚硬的土层一般指的是标贯击数大于30的黏性土、砂土和碎石土，还有含水率极小的湿陷性黄土特殊地质，容易出现沉桩困难，对此，可以采用预钻孔或高压射水等辅助措施。预钻孔或高压射水措施，能够有效地减小沉桩阻力，也可降低噪音和振动。预钻孔可以采用水泥搅拌桩机，尽量避免带出土体，使土体松动即可。高压射水法由安装在钢板桩上的喷管、喷嘴和压力装置组成，通过压力装置和连接于喷管上的喷嘴将水压送至桩底以冲散桩底土，从而减小桩端阻力。高压射水装置的布置可参考图3。



图3 高压射水装置布置图

8.2.28 钢板桩沉桩过程中，会造成钢板桩顶部向打桩行进方向倾斜，当倾斜过大时，可采用异形钢板桩的方法进行调整（图4），异形钢板桩为上窄下宽楔形。如果没有异形桩，也可以采用骑缝搭接的方式进行合拢，即在倾斜过大的部位进行最后封闭合拢，合拢时互相延长，形成一段搭接长度。



1—已打入钢板桩；2—楔形钢板桩；3—拟打入钢板桩

图4 采用异形桩纠倾示意图

钢板桩墙转角处发生漏水、流泥现象比较普遍，往往容易造成工程事故。其原因除了施工精度控制不严外，主要是对转角桩使用要求不高。本条文对此作了要求，目前常用的转角桩形式可参考图5。

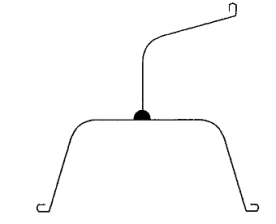
**

图5 转角桩连接件截面形式示意图

8.2.29 钢板桩支护结构最后要将打入的钢板桩拔除，在拔桩前应认真研究分析拔桩需要满足的条件。由于施工过程是动态的，虽然在前期钢板桩支护结构设计时就已经考虑了拔桩的可行性，但在后期会发生很多不确定因素。最明显的就是施工场地的变化，后期新建建（构）筑物基础已建成，场地就变小了很多，如果周围空间狭小，就要考虑拔桩设备上到新建基础上去作业，重点是新建基础顶板强度是否能满足拔桩设备作业条件。常用拔桩设备机械手自重加上拔桩施加力将近40~50吨，机械手拔桩最大作业跨度一般为6~10m，如果新建基础顶板的强度经设计人员确认不能承受拔桩设备机械手上去作业，机械手最大作业跨度又不能伸到最远拔桩部位，可以考虑在新建基础上面设置钢路基箱进行拔桩。钢路基箱一般采用H型钢加工制作成井字框架，上面铺设钢板，成型后的平面尺寸宽度4~6m、长度8~10m。钢路基箱的原理是将长方向两端放置在新建基础墙壁或柱承重结构上，与基础顶板不接触，不让顶板受力，拔桩设备机械手上到钢路基箱上作业。

8.2.30**～**8.2.31 拔桩过程中，一般或多或少都会形成桩孔，容易造成相邻地面沉降和出现裂缝，因此，如果拔桩部位邻近有保护要求严格的建（构）筑物、地下管线或道路等，应引起特别重视，加强沉降观测，并对桩孔及时采取有效处理措施。拔桩顺序一般从基坑变形较小的部位开始，宜分次、分段、间隔拔桩，尽量不要采用一次连续拔桩的方法，并控制拔桩速度。

8.2.32 钢板桩支护结构在基坑土方挖开后，应对桩墙成型质量进行检验与验收，按现行验收标准相关规定，钢板桩支护结构应属于“地基与基础”分部工程中“基坑支护”子分部工程中的“板桩围护墙”分项工程，钢板桩施工数量较大时应分批验收，每批重量60t可划分为一个检验批。

## 8.3 型钢水泥土搅拌墙

**Ⅰ 一般规定**

**8.3.1**本条规定明确了规程的适用范围，型钢水泥土搅拌墙一 般适用于填土、淤泥质土、黏性土、粉土、砂性土、饱和黄土等地层。对于杂填土地层，施工前需清除地下障碍物；对于粗砂、 砂砾等粗粒砂性土地层，应注意有无明显的流动地下水，以防止固化剂尚未硬化时流失而影响工程质量。

在无工程经验及特殊地层地区，必须通过现场试验确定型钢水泥土搅拌墙的适用性。淤泥、泥炭土、有机质土、地下水具有腐蚀性的地层中含有影响搅拌桩固化剂硬化的成分，会对搅拌桩 的质量造成不利的影响，因此，须通过现场试验确定型钢水泥土搅拌墙的可行性和适用性；对湿陷性土、冻土、膨胀土、盐渍土等特殊土，本规程尚不能考虑其固有的特殊性质的影响，其特殊性质的影响需根据地区经验加以考虑，并通过现场试验确定型钢水泥土搅拌墙的适用性后，方可按本规程的相关内容进行设计与施工。

**8.3.2** 型钢水泥土搅拌墙仅为基坑工程中的一个分项，其设计、施工和质量检查与验收应纳入整个基坑工程的范畴中，必须与基坑工程的其他分项（包括地基加固、基坑降水、支护体系和土方开挖等）相结合，并结合工程地方经验，综合考虑工程地质条件、水文地质条件、主体结构与基坑情况、周边环境条件与要求、工程造价等因素，切实做到精心设计、精心施工，确保基坑工程和主体结构的施工安全，满足周边环境保护的要求。

**Ⅱ 设 计**

**8.3.4** 目前，工程中多釆用普通硅酸盐水泥进行三轴水泥土搅拌桩的施工，相关经验积累都是建立在此基础上的。

内插型钢多采用标准型号的型钢，也有工程中采用非标准的焊接型钢，但需要通过设计计算来确定非标准型钢的具体参数,并满足各种工况下型钢受力、变形计算和相关规范的要求。

国内引进的机械设备多为直径650mm和850mm两种，经过改进，还有施工直径达到1000mm的国产化机械设备，目前国内工程中大量应用的多为650mm、850mm和1000mm 三种。

型钢水泥土搅拌墙中三轴水泥土搅拌桩和内插型钢都应根据设计要求和工艺特点确定相应的材料及其合理用量。

1水泥土搅拌桩的桩身强度

型钢水泥土搅拌墙应进行素水泥土段的错动受剪承载力和薄弱面局部受剪承载力计算，通过对本规程编制过程中收集到的46项工程实例进行计算，得到了水泥土的受剪承载力要求；根据水泥土的抗压强度和抗剪强度的换算关系，可以得出水泥土的最小抗压强度指标；经过三维有限元分析复核，得出在开挖深度10m左右的基坑工程中，水泥土搅拌桩的桩身强度不宜低于0.5MPa。

从设计、施工和检测角度可以得出，软弱土层中开挖深度10m左右的基坑工程，水泥土的无侧限抗压强度不宜低于0.5MPa。在实际工程设计中，特别是在基坑开挖深度较深、土层较为软弱的情况下，设计人员应根据土层条件、开挖深度和型 钢间距进行素水泥土段的受剪承载力计算，依据设计计算的结果提出具体的水泥土搅拌桩的强度要求。

2水泥土搅拌桩釆用的水泥

我国的工程实践中三轴水泥土搅拌桩施工多采用P • 042. 5级普 通硅酸盐水泥。当土层软弱、开挖较深或对三轴水泥土搅拌桩的 桩身强度有较高要求时，也可以釆用更高强度等级的水泥。

3水泥土搅拌桩中的水泥用量、水灰比控制和膨润土

三轴水泥土搅拌桩的水泥用量和水灰比直接关系到三轴水泥土搅拌桩的桩身强度和施工质量。对于不同的土层条件，三轴水泥土搅拌桩的水泥用量和水灰比控制都不尽相同。水泥用量宜根据不同的土质条件、施工效率及型钢的插入综合确定，当土质条件存在差异时，水泥用量也应有所差别。当水泥用量相同时，淤泥质黏土的加固强度明显低于砂性土。目前，国内以黏性土为主的地区，三轴水泥土搅拌桩多采用20%的水泥掺入比，被搅拌土体的质量按照1800kg/m3计算，单位加固土体的水泥用 量即为360kg。由于施工机械的原因，当在较硬的土层中施工时，钻进速度较慢，需要适当提高水泥浆液用量保证搅拌桩机的正常运作。当水泥浆液注入量过多时，由于水泥土搅拌桩中的含水量增多，反而会降低强度和防水性能。

水泥浆应根据地质条件、施工条件不同确定合适的配合比。水泥浆液的水灰比不仅影响水泥土搅拌桩的强度和防水性能，也影响到注浆泵的压送能力以及黏性土中水泥土搅拌桩的均一性和 工作效率。在施工条件允许范围内，水灰比越小，搅拌桩的强度及防水性能越好。膨润土的加入可以改善水泥浆液的黏稠度，有助于提高水泥土搅拌桩的搅拌均匀性，增强成桩后的桩体抗渗透性能。

4水泥用量的计算

三轴水泥土搅拌桩单幅桩由3个圆形截面搭接组成。对于首开幅，单幅桩的被搅拌土体体积应为3个圆形截面面积与深度的乘积；釆用套接一孔法连续施工时，后续单幅桩的被搅拌土体体积应为2个圆形截面面积与深度的乘积，圆形相互搭接的部分应重复计算。

**8.3.6**三轴水泥土搅拌桩除作为型钢水泥土搅拌墙的一部分外, 也可以单独用作与其他支护结构结合的截水帷幕、水利工程中永 久性截水帷幕以及地基加固等，其设计要求应分别遵照相应规范 的规定，一般情况下渗透系数宜达到1 xlO7cm/s。一般情况下基坑工程中不进行截水帷幕渗透系数的专项检测，根据工程实践 经验，当水泥土搅拌桩桩体搅拌均匀且满足设计强度要求时，其 抗渗能力也可以达到要求。对于重大工程和永久性截水帷幕，应 根据设计要求进行渗透性试验，确定截水效果。

**8.3.7**型钢水泥土搅拌墙中的内插型钢应均匀布置，工程实践 中内插型钢的间距不宜超过2们即“跳一”布置。当出现特殊 情况，需要增大内插型钢间距时，应验算水泥土搅拌桩的局部受剪承载力。

**8.3.8**型钢水泥土搅拌墙作为基坑支护结构，其设计计算方法 应遵照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120中的相关规定。有经验时，土体变形估算也可以釆用有限元数值模拟的方法进行。

**8.3.9**型钢水泥土搅拌墙是由三轴水泥土搅拌桩和内插型钢组成的，起到既挡土又截水的双重功效，在型钢水泥土搅拌墙的设计中型钢和水泥土的相互作用是个值得探讨的问题。我国型钢水泥土搅拌墙之所以能够在大量工程中广泛采用，其中很重要的原因就是内插型钢在基坑工程结束后可以回收重复利用，大大降低了工程造价。但需要回收的型钢表面要涂上减摩材料以降低型钢与水泥土间的粘结力，这直接影响了型钢与水泥土之间的相互作用。

针对型钢与水泥土的组合刚度问题，编制组采用不同截面和含钢量的水泥土结合型钢的组合梁进行了室内模型试验，试验中釆用不同的加载方式对涂减摩材料和不涂减摩材料的组合梁分别 进行了试验，通过量测挠度的方式，得出组合梁的刚度，并与单 独型钢的刚度进行对比分析。主要试验研究成果如下：

1在正常工作条件下，当墙体变位较小时，水泥土对墙体 的刚度提高作用是显著的，水泥土对型钢水泥土搅拌墙的刚度有 提高作用。按照不考虑水泥土刚度提高作用求得的墙体变位值比适当考虑水泥土刚度提高作用求得的墙体变位值大。

2墙体趋于弯曲破坏时，在弯曲破坏发生处，型钢与水泥土的粘结会完全破坏，此时，型钢单独受力，当在型钢上涂刷减摩材料时，型钢与水泥土的粘结破坏现象更为明显。故验算承载能力极限状态下型钢水泥土搅拌墙的受弯承载力时，不应考虑水泥土的贡献。

3不同含钢量的型钢水泥土组合梁其破坏模式有所不同， 含钢量较低的大截面组合梁由于有水泥土的约束，其破坏形式为加载平面内的弯曲破坏；相反，含钢量较高的小截面梁中水泥土的约束则相对较弱，其破坏模式更多为加载平面外的失稳破坏， 因此加载过程中水泥土的约束对型钢水泥土搅拌墙刚度的发挥及 稳定性有着重要作用。

根据本次试验工作和国内外研究成果，从基坑工程安全角度出发，釆用承载能力极限状态进行型钢水泥土搅拌墙的受力计算中不考虑水泥土的作用。

**8.3.10**型钢水泥土搅拌墙是复合挡土截水结构，水泥土搅拌桩 作为截水体系应深入到基底以下一定深度。当基坑工程遇到承压 水问题时，水泥土搅拌桩除应满足基坑开挖到底时基坑抗渗流稳 定性外，还应结合基坑工程总体设计满足承压水处理的要求，截 断或部分截断承压含水层。当截断承压水需要加深三轴水泥土搅 拌桩时，深度宜控制在30m以内；超过30m时，宜采用接钻杆 的方式进行施工。

**8.3.11**型钢水泥土搅拌墙作为支护结构的一种，其内力与变形 设计应遵照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120中 的有关规定，*M*K、*V*k分别是釆用弹性支点法进行计算得到的作用于型钢水泥土搅拌墙的弯矩和剪力。进行承载力计算时，可根据包络图取最大值，作用内力应分别乘以支护结构重要性系数 (γ0)和设计分项系数(1.25)。

**8.3.12**基坑外侧水土压力作用下，型钢水泥土搅拌墙的素水泥土段需要承担局部剪应力，应进行型钢边缘之间素水泥土段的错动受剪承载力和受剪截面面积最小的最薄弱面受剪承载力验算。 根据型钢间水泥土抗剪破坏模式，最大剪应力出现在坑外水土压力最大的区域，一般位于开挖面位置。

在大多数工程中的局部受剪承载力验算时，型钢与水泥土之间的错动受剪承载力作为控制指标，水泥土最薄弱面受剪承载力 验算作为校核。在进行型钢与水泥土间错动受剪承载力计算时， *d*el应取迎坑面型钢边缘至迎土面水泥土搅拌桩边缘的距离，基坑开挖过程中为避免迎坑面水泥土掉落伤人，多将型钢外侧的水泥土剥落。

虽然目前工程中搅拌桩的取芯强度普遍不高，但从实际应用情况来看，工程均可以安全实施，并未因为局部抗剪不足而发生破坏。综合以上国内外的研究成果以及型钢水泥土搅拌墙技术的实际应用情况，水泥土抗剪强度标准值*τc*取*qu*/3是合理的。与行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120中对于支护结构的设计安全水准的相关规定相统一，在确保总安全系数为2的前提下，进行水泥土的抗剪计算时考虑1.6的材料抗力分项系数以及 1.25的荷载分项系数。

**Ⅲ 构造**

**8.3.13**当在工期紧张等情况下满足不了水泥土搅拌墙龄期达到28d要求时，可通过加早强剂等特殊措施保证水泥土搅拌墙在土方开挖时的强度满足设计要求。

**8.3.14**型钢水泥土搅拌墙是水泥土与型钢等劲性芯材的组合结构，芯材宜采用型钢等抗弯强度较高的劲性材料。工程中常用 H488X300X11X18, H500X200X10X 16、H700X300X13X24、H800X300X14X26的标准H型钢，经过计算也有采用如 H700X300X12X14、H850X300X16X24 的非标准型钢。目前也有个别工程采用了钢管、拉森板桩、混凝土预制桩等作内插劲性材料。

**8.3.15** 不同开挖深度的基坑，设计对型钢规格和长度要求不尽相同。一般情况下，内插型钢宜采用整材，当特定条件下型钢需采用分段焊接时，为达到分段型钢焊接质量的可控性以及施工的规范化，确保支护结构的安全，本规程规定分段型钢焊接应采用坡口焊接，焊接等级不低于二级。考虑到型钢现场焊接以及二级焊 缝抽检率仅为20%的因素，本条文另外对型钢焊接作了具体要求。单根型钢中焊接接头数量、焊接位置，以及相邻型钢的接头竖向位置错开等要求由设计人员根据工程的实际情况确定，焊接接头的位置应避免在型钢受力较大处（如支撑位置或开挖面附近）设置。

**8.3.16**在板式支护体系中，冠梁对提高围护体系的整体性，并使围护桩和支撑体系形成共同受力的稳定结构体系具有重要作用。当采用型钢水泥土搅拌墙时，由于桩身由两种刚度相差较大的材料组成，冠梁作用的重要性更加突出。

**1** 为便于型钢拔除，型钢需锚入冠梁，并高于冠梁顶部一定高度。一般该高度值不应小于500mm,根据具体情况略有差异；

**2**型钢整个截面锚入冠梁，为便于今后拔除，冠梁和型钢 之间采用一定的材料隔离，因此型钢对冠梁截面的削弱是不能忽 略的。

综合上述两个方面的因素，对于型钢水泥土搅拌墙的冠梁, 必须保证一定的宽度和咼度，同时在构造上也应有一定的加强措施。

冠梁与型钢的接触处，一般需采用一定的隔离材料。若隔离 材料在围护受力后产生较大的压缩变形，对控制基坑总的变形量是不利的。因此，一般釆用不易压缩的材料如油毡等。

冠梁的箍筋直径和间距由计算确定，一般采用四肢箍。对于因内插型钢导致箍筋不能封闭的部位，宜在型钢翼缘部位外侧设置小封闭箍筋构成小边梁予以加强。

**8.3.17**在型钢水泥土搅拌墙基坑的支撑体系中，支撑与腰梁的连接、腰梁与型钢的连接以及钢腰梁的拼接，特别是后两者是保 证整个腰梁支撑体系的整体性的关键。应对节点的构造充分重视，节点构造应严格按设计图纸施工。钢支撑杆件的拼接一般应 满足等强度的要求，但在实际工程中钢腰梁的拼接受现场施工条 件限制，很难达到这一要求，应在构造上对拼接方式予以加强， 如附加缀板、设置加劲肋板等。同时，应尽量减少钢腰梁的接头数量，拼接位置也尽量放在腰梁受力较小的部位。

支撑腰梁应与型钢水泥土搅拌墙进行可靠连接。

当基坑面积较大，需分块开挖，或在市政工程狭长形基坑中，常碰到腰梁不能统一形成整体就需部分先开挖的情况（所谓 “开口基坑”），这时对于支撑体系尤其是钢腰梁的设置有一些需要特别注意的地方：

1当釆用水平斜支撑体系时，应考虑沿腰梁长度方向的水平力作用对型钢水泥土搅拌墙的影响，一般不应直接利用墙体型 传递水平力，以免造成型钢和水泥土之间的纵向拉裂，对墙体抗渗产生不利影响。应根据设计计算结果在型钢和腰梁之间设置抗剪构件。

2当基坑转角处支撑体系釆用水平斜撑时，需考虑双向水平力对支撑体系的作用，应采取加强措施防止腰梁和支撑的移位失稳。腰梁在转角处应设在同一水平面上，并有可靠的构造措施连成整体。腰梁与墙体的接触面宜用钢楔块或高强度的细石混凝土嵌填密实，使腰梁与墙体型钢间可以均匀传递水平剪切力。当 与斜撑相连的腰梁长度不足以传递计算水平力时，除在腰梁和型钢间设置抗剪构件外，还应结合釆用合理的基坑开挖措施，以确保支撑水平分力的可靠传递。

**3**当内支撑釆用钢支撑且需要预加轴力时，应按计算确定 预加的轴力大小，防止预加轴力过大引起型钢水泥土搅拌墙向基 坑外侧变形而影响周边环境安全。

**8.3.18**当基坑内支撑体系中采用斜撑时，需考虑支撑竖向分力 产生的冠梁沿型钢向上的剪力，并在型钢与冠梁之间设置抗剪构 件（如抗剪角钢、栓钉等）。

**8.3.19**当型钢水泥土搅拌墙中搅拌桩桩径发生变化，或型钢插 入密度发生改变，为防止支护结构刚度的突变对整体支护结构受 力不利，宜将较大直径的搅拌桩或型钢插入密度较大的区段作适 当延伸过渡。

**8.3.20**当采用型钢水泥土搅拌墙与其他支护结构（如地下连续墙等）共同作为支护结构时，在两种支护结构连接处应采取高压喷射注浆等截水措施。

**Ⅳ 施工**

**8.3.21**三轴搅拌机有螺旋式和螺旋叶片式两种搅拌机头，搅拌转速也有高低两挡转速(高速挡35r/min~40r/min和低速挡16r/min)。砂性土及砂砾性土中施工时宜采用螺旋式搅拌机头，黏性土中施工时宜采用螺旋叶片式搅拌机头。

在实际工程施工中，型钢水泥土搅拌墙的施工深度取决于三轴搅拌桩机的施工能力，一般情况下施工深度不超过45m。为了保证施工安全，当搅拌深度超过30m时，宜釆用钻杆连接方法施工(加接长杆施工的搅拌桩水泥用量可根据试验确定)。

**8.3.24**定位型钢设置应牢固，搅拌桩位置和型钢插入位置标志要清晰。导向沟开挖和定位型钢设置见图8.3.24和表8.3.24。

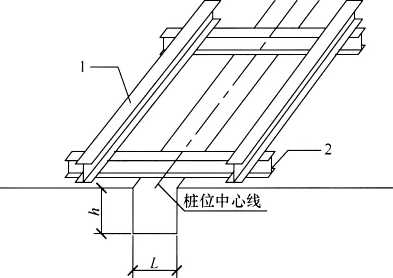


图8.3.24导向沟开挖和定位型钢设置参考

1—上定位型钢,2一下定位型钢

表**8.3.24**搅拌桩直径与各参数关系参考表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 搅拌桩直径  （mm） | *h*  (m) | *L*  (m) | 上定位型钢 | | 下定位型钢 | |
| 规格 | 长度（m） | 规格 | 长度（m） |
| 650 | 1 〜1. 5 | 1.0 | H300X300 | 8〜12 | H200X200 | 2. 5 |
| 850 | 1-1. 5 | 1. 2 | H350X350 | 8〜12 | H200X200 | 2. 5 |
| 1000 | 1-1.5 | 1.4 | H400X400 | 8〜12 | H200X200 | 2. 5 |

**8.3.26**在正式施工前，按施工组织设计中的水泥浆液配合比与水泥土搅拌桩成墙工艺进行试成桩，是确定不同地质条件下适合的成桩工艺，确保工程质量的重要途径。通过试成桩确定实际成桩步骤、水泥浆液的水灰比、注浆泵工作流量、三轴搅拌机头下沉或提升速度及复搅速度，对地质条件复杂或重要工程是必需的。

**8.3.27** H型钢定位装置详见图8.3.27。

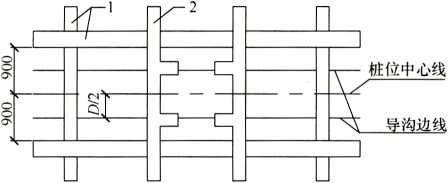


图8.3.27 H型钢定位装置参考

1 •定位型钢；2-型钢定位卡

**8.3.28**桩架垂直度的控制主要是为了保证搅拌桩的垂直度。

**8.3.29~8.3.30**对于相同性能的三轴搅拌机，降低下沉速度或提升速度 能增加水泥土的搅拌次数并提高水泥土的强度，但延长了施工时 间，降低了施工功效。在实际操作过程中，应根据不同的土性来确定搅拌下沉与提升速度。

三轴搅拌桩施工一般有跳打方式、单侧挤压方式和先行钻孔套打方式。

1跳打方式

该方式适用于N （标贯基数）值30以下的土层，是常用的施工顺序（图8.3.29.1）。先施工第一单元，然后施工第二单元，第三单元的A轴和C轴插入到第一单元的C轴及第二单元的A轴孔中，两端完全重叠。依此类推，施工完成水泥土搅拌桩。

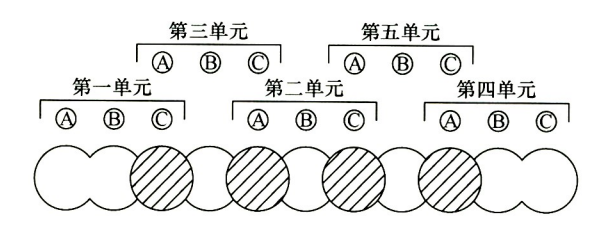


图8.3.29.1 跳打方式施工顺序

2单侧挤压方式

该方式适用于N值30以下的土层。受施工条件的限制，搅 拌桩机无法来回行走或搅拌桩转角处常用这种施工顺序（图8.3.29.2）,先施工第一单元，第二单元的A轴插入第一单元的C轴中，边孔重叠施工，依此类推，施工完成水泥土搅拌桩。

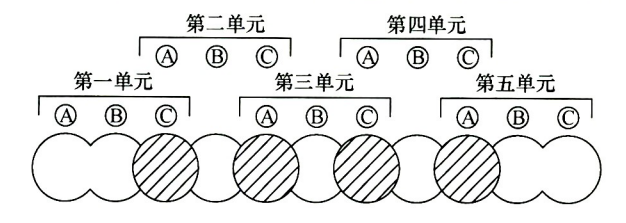


图8.3.29.2 单侧挤压方式施工顺序

3 先行钻孔套打方式

适用于N值30以上的硬质土层，在水泥土搅拌桩施工时，用装备有大功率减速机的钻孔机，先行施工如图13所示的al、a2、a3等孔，局部松散硬土层。然后用三轴搅拌机用跳打或单 侧挤压方式施工完成水泥土搅拌桩。搅拌桩直径与先行钻孔直径 关系参见表8.3.29.3。先行钻孔施工松动土层时，可加入膨润土等外加剂加强孔壁稳定性。

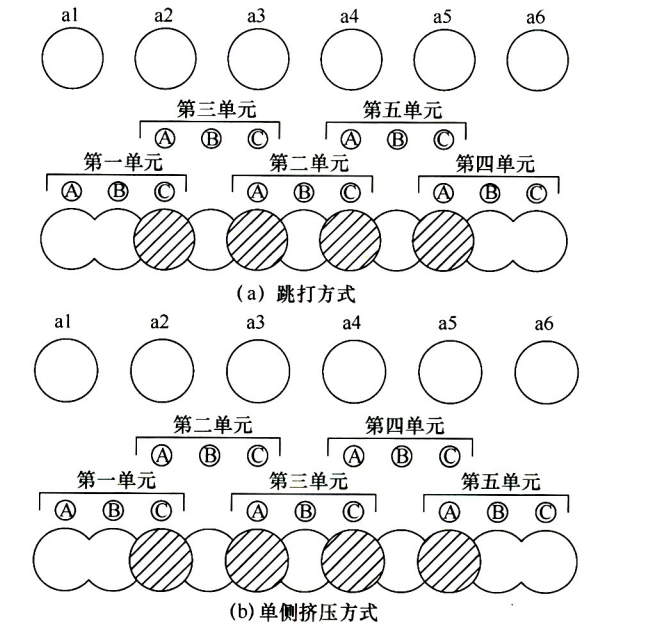


图8.3.29.3 先行钻孔套打方式施工顺序

搅拌桩直径与先行钻孔直径关系表 **（mm）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 搅拌桩直径 | 650 | 850 | 1000 |
| 先行钻孔直径 | 400〜650 | 500〜850 | 700〜1000 |

**8.3.37**水泥土搅拌桩在黏性土层施工时，黏土易粘在搅拌头的叶片上，与叶片一起旋转，影响搅拌效果，俗称“糊钻”。对此可使用添加外加剂（如分散剂），增加钻头上刮刀数量，及经常清理钻头与螺旋叶片上黏土的方法处理。在螺旋叶片上开孔的主要目的是减少黏土的粘附面积，从而减小粘附力。

**8.3.38**如水灰比掌握适当，依靠自重型钢一般都能顺利插入。但在砂性较重的土层，搅拌桩底部易堆积较厚的砂土，宜釆用静力在一定的导向机构协助下将型钢插入到位。应避免采用自由落体式下插，这种方式不仅难以保证型钢的正确位置，还容易发生偏转，垂直度也不易确保。

**8.3.39**在H型钢表面涂抹减摩材料前，必须清除H型钢表面铁锈和灰尘。减摩材料涂抹厚度大于1mm,并涂抹均匀，以确保减摩材料层的粘结质量。

将型钢表面的腰梁限位或支撑抗滑构件、焊疤等清除干净是为了使型钢能顺利拔出。

型钢回收过程中，不论釆取何种方式来减少对周边环境的影响，影响还是存在的。因此，对周边环境保护要求特别高的工程，以不拔为宜。

## 8.4 地下连续墙

**I 一般规定**

**8.4.1** 地下连续墙与内支撑（锚索）结合基坑支护设计与施工日渐增多，取得了较好的社会和经济效益。已广泛应用于建筑与市政工程的基坑支护中。选择地下连续墙方案应综合考虑本条所指多方面的因素,避免在实施过程中对基坑周边环境造成破坏。如：在湿陷性黄土地区连续墙成槽湿作业、泥浆制备等造成的该地区土体的浸水影响；挖孔取土桩基的施工方式和顺序对支护体系的影响等。

**8.4.2** 悬臂式地下连续墙支护多应用于规模较小的设备深基础基坑工程。地下连续墙-内支撑组合支护和地下连续墙-锚杆（索）组合支护多应用于地下多层的规模较大的深基础基坑工程。

**8.4.3** 以下两种情况可将地下水位以下的连续墙兼做截水帷幕

1 连续墙深度已超出需设的截水帷幕桩长度；

2 截水帷幕桩可实施深度不能满足工程截水要求。

**Ⅱ 设计计算**

**8.4.4** 对于地下连续墙-内支撑组合支护和地下连续墙-锚杆（索）组合支护的复杂基坑工程除应做本条所述的计算内容外，尚应利用空间整体分析软件做整体协同分析。

**Ⅲ 构造要求**

**8.4.6** 对于基坑周边环境要求高、连续墙槽段深度大、槽段形状复杂的基坑工程，应通过验算槽壁的稳定性来划分槽段的长度并以此选择相适应的成槽设备和工艺。

**8.4.7**适用于地下连续墙兼做主体结构的支护工程以及不易成槽的地下连续墙基坑工程。

**8.4.8** 地下连续墙施工常用接头方式：

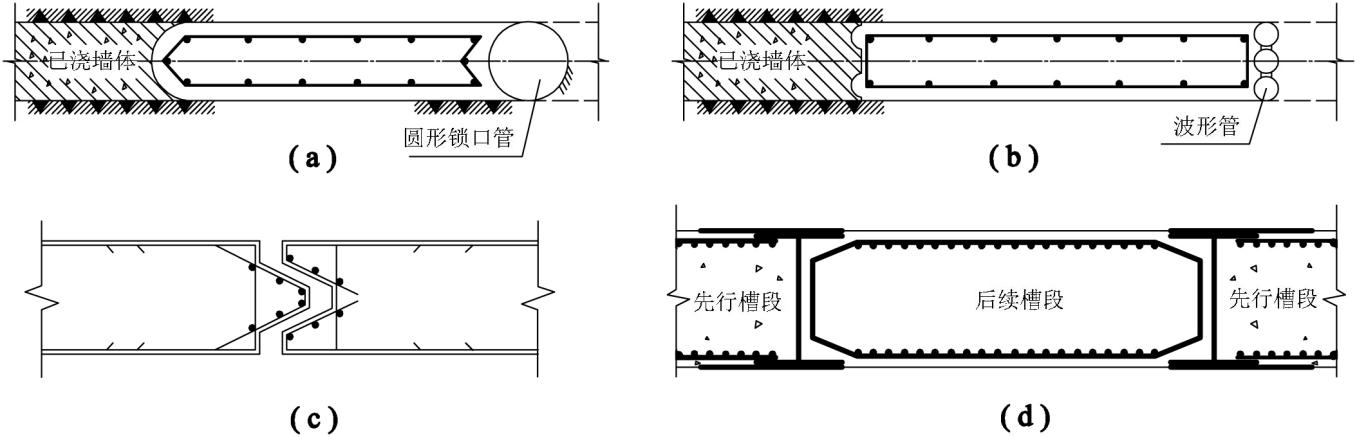
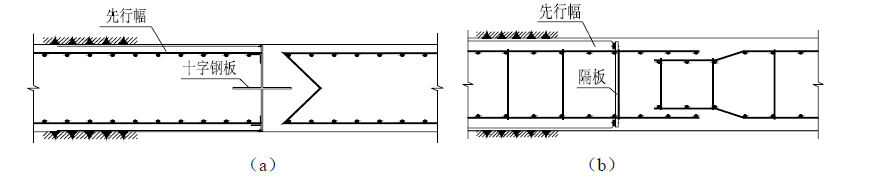


图8.2. 8.a 地下连续墙柔性接头

(a)圆形锁头管接头 (b)波形管接头 (c)楔形接头 (d)型钢接头

 图8.2.8.b 地下连续墙刚性接头

(a)十字型穿孔钢板、十字星钢板刚性接头 (b)钢筋型刚性接头

对于一般纯支护用途的地下连续墙宜采用柔性接头，对于根据受力特性需形成整体或兼做主体结构外墙的工程应采用刚性接头。

**8.4.10** 地下连续墙纵向钢筋宜沿墙身均匀布置，并可根据计算内力分布沿墙体深度分段配筋，但应有不低于50%纵向钢筋通长配置。纵向钢筋宜采用HRB335级或HRB400级钢筋，直径不宜小于16mm，钢筋净距不宜小于100mm。水平钢筋可采用HRB335级或HRB400级钢筋，现浇地下连续墙水平钢筋直径不宜小于16mm。

**8.4.11** 根据计算确定的地下连续墙钢筋应在深度范围内全长配置（也可分段配置），在墙底仅起截水帷幕作用的范围内采用构造配筋。为保证墙体混凝土浇筑质量，对于配筋量较大难以满足钢筋净距要求的纵筋常采用并筋绑扎，计算结果做相应调整。

**Ⅳ 施工与检测**

**8.4.17** 成槽试验一般选择在非工程槽段部位，当有成熟施工经验时也可在工程槽段部位实施。

**8.4.18** 导墙的设置目的是保证轴线定位和成槽质量。导墙底部应置于满足承载力要求的原状土层且应低于连续墙顶标高。导墙外侧应用密实黏性土夯填，导墙顶部应与周边硬化道路连成整体。导墙周边应限载，防止过载引起导墙侧移或破坏。

**8.4.22** 本条几种措施旨在防止槽壁坍塌影响成槽和施工工期。

## 8.5 锚杆

**Ⅰ 一般规定**

8.5.1 锚杆杆体留存于周边地下，将会对后续工程产生重大影响，尤其是在本工程划定的红线区域以外施工锚杆，可能会遇到邻边单位的阻止。采用可回收或可拆除式锚索，在实际工程中有较大的可操作性。

**Ⅱ 设计计算**

**8.5.7** （1）当排桩间距1.5m，锚索间距1.5m，杆体采用3根直径15.2钢绞线，锚固体直径150mm时，弹性支点刚度系数可按照下表选取：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **10** | 14913.225 | 12602.008 | 10911.041 | 9620.182 | 8602.447 |
| **11** | 14790.469 | 12514.241 | 10845.185 | 9568.950 | 8561.459 |
| **12** | 14669.718 | 12427.688 | 10780.120 | 9518.262 | 8520.859 |
| **13** | 14550.922 | 12342.323 | 10715.831 | 9468.107 | 8480.643 |
| **14** | 14434.034 | 12258.124 | 10652.304 | 9418.479 | 8440.805 |
| **15** | 14319.010 | 12175.065 | 10589.525 | 9369.367 | 8401.339 |
| **16** | 14205.805 | 12093.125 | 10527.483 | 9320.766 | 8362.240 |

注：—弹性支点刚度系数（kN/m）；

—锚杆长度（m）；

—锚杆自由段长度（m）。

（2）锚杆通常是以群体的形式出现，如果锚杆布置的很密，土层中受力区的重叠会引起应力叠加和锚杆位移，从而使锚杆极限抗拔力不能有效发挥，这就是通常说的“群锚效应”，锚杆极限抗拔力会因群锚效应而减小。群锚效应与锚固体间距、直径、长度及地层性状等因素有关。必须注意的是，采用扩大头锚杆或直径大于250mm的锚杆时，由于锚杆拉力较大，不仅产生“群锚效应”，其计算拉力的叠加，有可能大于锚杆设置区段整个土体所能提供的抗拔承载力，应对土体的整体所能提供的抗拔承载力进行验算。

**8.5.8** 荷载分散型锚杆可分为拉力分散型锚杆和压力分散型锚杆。

拉力分散型锚杆应由若干拉力型单元锚杆组合而成，各拉力型单元锚杆的锚固段应位于锚杆总锚固段的不同部位。适用于锚杆承载力要求较高的软岩或土体工程。

压力分散型锚杆应由若干压力型单元锚杆组合而成，各压力型单元锚杆的锚固段应位于锚杆总锚固段的不同部位。适用于锚杆承载力要求较高或防腐等级要求较高的软岩或土体工程。

**8.5.10** 当锚杆杆件的受拉荷载设计值确定后，杆件截面面积的确定可根据《混凝土结构设计规范》确定。

**8.5.11** 位移控制要求严格时，锚杆锁定力值可适当提高。

**III 施工与检测**

**8.5.24** 在孔壁不稳定地层中，或地层受扰动导致水土流失而危及邻近建筑物或构筑物的稳定时，宜采用套管护壁钻孔。近几年，我国已生产有双动力、套管全跟进设备。

套管护壁钻孔是指必须采用套管全跟进护壁的钻孔形式。套管护壁钻孔对钻孔周边的扰动小，钻头位于套管内，只掏出套管内的土体，不掏或很少掏出套管外的土体，较少的扰动钻孔周边的土体。在水压力较大的地层中，可避免水压引起的沿钻孔流水、流泥，有利于保证注浆饱满度和注浆质量，提高孔壁地层与注浆体的粘结强度。

**8.5.26** 根据地质条件和工程需要，锚杆注浆时为了改善水泥浆液的性能，水泥浆液中可以适量加入相应的外加剂，其含量不宜大于水泥用量的5%。

## 8.6 内支撑结构

**Ⅰ 一般规定**

**8.6.1～8.6.3** 随着我省经济迅速发展，深基坑工程越来越多，内支撑支护结构在各地均有广泛采用。目前以钢结构支撑与钢筋混凝土结构支撑为主，也有工程立柱支撑采用钢管混凝土、水平支撑采用型钢混凝土。钢支撑与钢筋混凝土支撑各有优缺点，设计与施工时应根据现场条件进行优选。内支撑结构的设计计算多属于结构力学与结构设计内容，本节主要强调结构体系的稳定性、节点构造的可靠性以及承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求。

**8.6.4** 内支撑结构设计时，支撑构件范围内的顶面的活荷载可取3kN/m2~4kN/m2，以考虑施工期间支撑作为施工人员的通道以及用作施工泵送混凝土管道的支架。当利用支撑构件兼作施工平台或栈桥时，或者采取逆作法施工时，应进行专门的设计。

**Ⅱ 内支撑体系选型与布置**

**8.6.6** 内支撑结构选型时应考虑主体地下结构以及基坑形状，目前工程较多采用简化计算，所以选用的形式应受力明确，结构对称。如果作为施工平台时应进行专门设计。

**8.6.7** 内支撑布置形式有许多种，但归纳起来大致有四类：单向的对顶支撑；双向对顶支撑；环形支撑；竖向斜支撑。规范中列了几种常见形式，实际工程应根据现场情况设计合理的形式。

**8.6.8** 内支撑的平面布置应同时满足基坑工程开挖及支撑结构安全要求，采用机械施工时应满足施工机械的最小空间尺寸。基坑面积较大时平面支承应加设立柱来保证垂直位移，立柱间距应根据计算确定，但不宜太大。根据国内一些城市的经验，内支撑平面长度应有一定的限制，过长对位移控制不利，一般不宜大于150m。

基坑阳角处的受力比较复杂，是应力集中的部位，稍有疏忽易在这些部位出现问题。基坑平面的设计首先应尽量避免出现阳角。当不可避免时，需作特别加强。

**8.6.9** 设置多层平面支撑时，上下层杆件宜布置在同一竖直面上，有利于立柱的设置，也有利于基坑施工。

**8.6.10** 竖向斜支撑应在基坑内设置基础，如果利用桩承台或基础作为支点时，应进行验算并征得结构设计单位的同意。

**Ⅲ 内支撑体结构设计计算**

**8.6.11** 内支撑结构纵横两个方向土压力及变形不完全相等，当内支撑结构成为可变体系时，容易发生整体失稳。为防止施工开挖过程中出现施工偶然状态，应使用超静定体系，并设置赘余支撑。

**8.6.12** 内支撑支护结构一般由围护体系与支撑体系两部分组成，围护结构与支撑结构共同组成空间结构体系，两者共同承受土体的约束及荷载的作用，因此支撑体系的水平位移包括两部分：第一部分是荷载作用下支撑体系的变形；第二部分是刚体位移，该部分是由于开挖过程中，基坑侧壁上荷载不同而发生的。刚体位移的发生使得基坑侧壁上的荷载重新调整，直至调整平衡。在考虑刚体位移时一般采用有限元建模，通过计算机计算，但计算出来的结果容易出现异常，实施前应根据经验进行复核。在不考虑刚体位移时，可采用简化计算。

**8.6.13** 简化计算是将围护结构与支撑结构考虑相互作用后单独计算，围护体系沿基坑周边取单位长度围护（桩）墙为计算单元。建立如下图所示的计算模型。



*R*c1= *K*c1·*δ*1

*R*c2= *K*c2·*δ*2

图中*q*为地面荷载，、为水平支撑对围护结构的支撑力，、为支撑水平变形刚度，*、*为支撑点的水平位移。

在支撑体系设计计算中，应考虑支撑预加应力和温度变化影响，支撑杆件内力分布不均匀及温度变化影响系数取1.2是根据国内一些省市的工程经验确定的。

**Ⅳ 内支撑体结构构造要求**

**8.6.16～8.6.19** 内支撑杆件与节点的构造要求是以往的工程经验的总结，并遵循《混凝土结构设计规范》GB50010和《钢结构设计标准》GB50017的相关规定。目前对内支撑结构计算还不完善，构造要求是对设计计算的补充，因此正确的构造设计是非常重要的。

**Ⅴ 内支撑体结构施工与检测**

**8.6.20** 为了保证支撑的受力与设计相符，施工中应保证开挖工况与设计工况一致，特别要注意土方开挖的对称性以保证基坑周边土压的对称性。

**8.6.26** 钢支撑在安装后，在施加预压力的过程中，应密切观察桩、墙体变形，以及上层支撑的状态。同时为了保证桩、墙体受力均匀，规定逐级加压。

**8.6.29** 对钢支撑，当夏期施工产生较大温度应力时，应及时对支撑采取降温措施。当冬期施工降温产生的收缩使支撑端头出现空隙时，应及时用铁楔将空隙楔紧。

## 8.7 逆作法

**Ⅰ 一般规定**

**8.7.1 ～8.7. 3** ~~半~~逆作法基坑工程是指兼作（临时或永久）支护结构的主体结构构件在满足岩土设计和结构设计的要求下，先行实施竖向结构，依照自上而下的施工顺序完成竖向结构与各结构层水平结构的连接，并以此形成安全有效的支撑体系的基坑工程。2008年以来，地下超过3层，深度大于16米的多个深基坑工程在太原市的交通和商业繁华地区陆续展开。针对基坑工程的一次性投入成本较高，而使用期相对主体工程较短的特点，建设单位与设计、施工单位经过多方面的调研，开始在本地区实施主体结构与支护结构共同作用半逆作法施工的基坑工程。经过多年的实际操作，在设计、工法、土方清运等方面积累了很多当地经验，设计施工节点得到了进一步的优化，取得了良好的社会和经济效益。本规范发布以来至本次修订期间，多个全逆作法基坑工程也已相继完成并投入使用。对深大基坑的设计施工起到了促进作用。

主体结构和支护结构相结合的三种方式：

第一种：地下连续墙兼做主体结构。通过单一墙、叠合墙和复合墙的方式完成“两墙合一”或“三墙合一”。

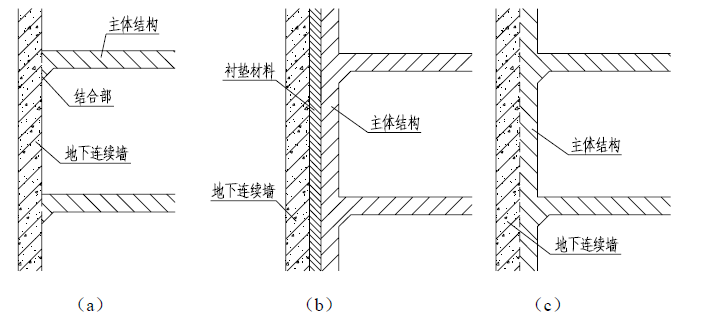
第二种：水平支撑构件（支撑梁）兼做主体结构水平梁系。通过宽扁梁、现浇混凝土空心楼盖、加厚水平楼板等方式提高水平支撑的抗弯、抗剪承载力，并依据现行主体结构设计要求满足主体工程使用阶段的设计要求。

第三种：竖向支撑构件与主体结构。是指在基坑实施过程中，根据支护设计需要，利用（部分或全部）支撑立柱桩完成基坑支护需求，在支护任务完成后，通过外包叠合、局部拆除的方式完成向主体结构柱的转变。

基坑工程实施过程多以其中几种或全部组合的方式进行。

**Ⅱ 地下连续墙兼作主体结构**

**8.7.4** 地下连续墙兼作主体结构可采用单一墙、复合墙和叠合墙的形式。



两墙合一地下连续墙

（a）单一墙；（b）复合墙；（c）叠合墙

**8.7.6** 处于非干湿交替的室内潮湿环境（在单一墙内侧设置隔潮层和内隔墙时），属于现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 中规定的一般环境条件，裂缝宽度可按0.3mm 控制，保护层厚度在大于30mm 时取30mm。特殊情况下，对处于干湿交替环境下的地下连续墙进行裂缝验算时，裂缝宽度限值应取0.2mm。

地下连续墙竖向承载力的计算，可参照桩基竖向承载力的计算原则。当地下连续墙仅作为地下室外墙、承受较小的竖向荷载时，在墙顶设置统一的圈梁，槽段间采用柔性接头也能够满足承重和沉降控制要求。

**8.7.7** 兼作主体结构的地下连续墙和主体结构变形协调至关重要。

一般情况下主体结构工程桩的深度大于地下连续墙深度，不可能处于同一持力层；另外地下连续墙分布于地下室的周边，正常使用状态下与桩基承担的上部荷载存在较大差异，对于两者的变形协调有较大的影响；再者施工工艺的不同，地下连续墙成槽时采用泥浆护壁，槽段为矩形断面且长度较大，槽底清淤难度较钻孔灌注桩大。因此主体结构沉降过程中地下连续墙和工程桩之间可能会产生差异沉降，如果不采取针对性的措施控制差异沉降，地下连续墙与主体结构之间可能产生开裂现象，甚至影响结构的正常使用。地下连续墙墙底注浆可作为控制差异沉降的一种手段。本条已给出了其他几种控制差异沉降的技术措施。

**8.7.8** 地下连续墙在槽段接头位置较可能发生渗漏，因此在接头位置内外都需要设置隔水防渗的加强技术措施。工程中常采用在地下连续墙内侧槽段接缝位置设置刚性防水抗渗混凝土内衬墙（地下连续墙与内衬墙界面位置涂水泥基渗透结晶型防水材料），在地下连续墙外侧槽段接缝位置加打高压旋喷桩截水。

**8.7.10** 兼作主体结构的地下连续墙采用的接头形式在满足结构受力性能的前提下，可优先选用防水性能更好的刚性接头。

**8.7.14** 兼作主体结构的地下连续墙由于是永久结构，在成槽垂直度、沉渣厚度等方面要求比临时地下连续墙的要求高。

**8.7.15** 兼作主体结构的地下连续墙的墙身强度检测通常采用试块抗压强度试验的方法。在对墙身混凝土强度产生异议时，可采用钻孔取芯的方法进行强度检测，作为墙身强度检测的参考依据。

**Ⅲ 水平支撑兼作主体结构**

**8.7.16** 水平支撑兼作主体结构的设计中可用受力明确的梁板（或现浇混凝土空心楼盖）结构体系作为水平支撑施工时需要在梁间预留孔洞，梁周边预留止水片，在逆作法完毕后再浇筑封闭；也可采用结构楼板后作的梁格体系，在开挖阶段仅浇筑框架梁作为内支撑梁，梁格空间均可作为出土口，基础底板浇筑后再封闭楼板结构。另外，结构水平构件与支撑相结合设计中也可采用无梁楼盖作为水平支撑，其整体性好、支撑刚度大，并便于结构模板体系的施工。在无梁楼盖上设置施工孔洞时，一般需设置边梁并附加截水构造。无梁楼板一般在梁柱节点位置设置一定长宽的柱帽，逆作阶段竖向支承钢立柱的尺寸一般占柱帽尺寸的比例较小，因此，无梁楼盖体系梁柱节点位置钢筋穿越矛盾相对梁板体系比较容易解决。对用作支撑的结构水平构件，当采用梁板体系且结构开口较多时，可简化为仅考虑梁系的作用，。当梁板体系需考虑板的共同作用，或结构为无梁楼盖时，应采用平面有限元的方法进行整体计算分析，根据计算分析结果并结合工程概念和经验，合理确定用于结构构件设计的内力。

**8.7.17** 水平支撑兼作主体结构的设计中，立柱桩的竖向变形应严格控制。其竖向变形主要包含两个方面，一是基坑开挖卸荷引起的立柱向上的回弹隆起，另一方面为在已施工完成的水平结构和施工荷载等竖向荷重的加载作用下，立柱桩的沉降。过大的立柱桩竖向变形量和立柱桩间的差异变形，将引发对已施工完成结构的不利影响，因此在主体地下水平结构构件设计时，应通过必要的计算与构造措施来控制有害裂缝的产生。

**8.7.18** 水平支撑结构应具有直接的、完整的传力体系。当同层楼板面标高出现较大的高差时，应通过计算采取有效的转换结构以利于水平力的传递和扩散。另外，在结构楼板开洞面积较大区域和各层水平结构梁板的结构缝以及后浇带等位置，应通过计算和构造措施设置必要的水平支撑传力体系。

**8.7.19** 水平支撑兼作主体结构的设计中，梁柱节点处由于竖向立柱桩的存在，使得该位置框架梁钢筋穿越立柱桩的问题十分突出。支护设计应与主体设计在方案前期充分沟通协调，有条件地增大框架梁截面宽度，以降低梁柱节点位置钢筋穿越的难度。当采用钢管混凝土立柱桩时，可采取如环梁节点、加强连接环板或双梁节点等措施，以满足梁柱节点位置的各个阶段的受力要求。

**Ⅳ 竖向支撑构件兼作主体结构**

**8.7.28** 竖向支撑构件兼作主体结构的工程中，由于逆作阶段结构梁板的自重较大，立柱部分多采用承载力较高而断面小的角钢拼接格构立柱或钢管混凝土立柱。

**8.7.30** 兼作主体结构的竖向支撑立柱应将其垂直度允许偏差计入竖向荷载偏心的影响，偏心距应按计算跨度乘以允许偏差，并按双向偏心考虑。当利用各层水平结构体系作为支护结构的水平内支撑体系时，其水平支撑的刚度可假定为无限大，立柱假定为无水平位移。

**8.7.31** 竖向支撑构件的立柱与结构梁板节点的设计，应确保节点在基坑逆作施工阶段能够可靠地承担和传递结构梁板的自重和各种施工工况荷载。

**8.7.34** 在逆作实施阶段，立柱桩在上部荷载的作用下以及基坑开挖后土体应力释放的影响下，将发生竖向变形。当立柱桩承载不均匀时，立柱桩之间及立柱桩与地下连续墙之间可能产生较大的差异沉降，引起水平结构梁板或支撑的次生应力。如差异沉降过大，将会使水平结构梁板或支撑产生裂缝，甚至影响结构体系的安全。因此，采用支护结构与主体结构相结合逆作法设计的工程中，必须要控制竖向支承构件的不均匀沉降。通过桩端后注浆措施增大立柱桩的承载力、减少立柱桩的沉降量是缩小立柱桩差异沉降的有效措施。

**9 土钉墙及复合土钉墙**

**9.1 一般规定**

**9.1.1** 土钉墙支护结构中主要受力构件是土钉，土钉成孔多采用人工洛阳铲掏土，此工艺适合的地层是粘性土和粉土，其次是稍密的砂土，土质坚硬的红粘土和砾石、卵石均不适应。如果采用锚杆钻机成孔工艺，则钻孔成本会大幅度提高，土钉墙造价的优势就得不到体现。采用直接打入型土钉，打入机械多为气动冲击器，也不适合于坚硬土质和密实的砂、砾层。

边坡的坡率小于1：0.2可增大边坡的稳定性，满足土钉在本工况未完成前边坡的稳定。

**9.1.3** 地下水位高于基坑底标高，同时基坑周边不允许降低地下水位时，应采用截水帷幕与土钉相结合的复合结构；截水帷幕长度和渗流性按基坑渗流稳定性和基坑周边建筑物沉降变形要求进行设计。截水帷幕一般采用水泥土搅拌桩，对基坑可起到超前支护作用，搅拌桩连续墙与土钉墙的面层叠加后可增大面层的刚度，提高抗剪强度。

如果基坑深度较大，土钉墙+截水帷幕复合结构对基坑变形和稳定性控制仍不能满足要求时，可采用土钉墙+截水帷幕+预应力锚杆复合结构。

土钉墙+预应力锚杆常用在边坡开挖深度大，对基坑变形要求较高的基坑工程，预应力锚杆可分担较大的水平荷载，同时减少边坡的变形，提高边坡的稳定性。

土钉墙+微型桩常用于需要直立开挖的基坑，基坑开挖深度内不见地下水，土体松散，自立性差，坡顶对变形要求较严格。采用微型桩与土钉墙复合，起到超前支护作用，减少基坑变形，由于微型桩嵌入到基坑底面一定深度，提高了基坑的稳定性。若基坑深度较大，坡顶建筑物对变形要求严格时，可采用土钉墙+微型桩+预应力锚杆复合结构。

**9.1.4** 我省采用土钉墙和复合土钉墙支护的基坑，当地下水位高于基坑底标高，采用截水帷幕+土钉墙+预应力锚杆，基坑深度可达10～13m，常规的土钉墙较适合的基坑深度为6～9m。

**9.1.6** 土钉墙作为一种“轻型”支护结构，属于柔性支护体系，如果基坑坡顶1～1.5倍基坑深度范围内有建筑物、管线，则不应采用土钉墙或复合土钉墙支护。当建筑物作为临时设施可采用锚杆、微型桩复合土钉墙控制变形。

土钉、锚杆均是水平支护构件，原则上是不允许超出规划红线，进入他人地下空间。随着《中华人民共和国物权法》的实施，对地下空间的维权意识越来越强，土钉锚杆的使用受到很大的限制。

土钉、锚杆成孔作业时均会对地基土产生施工扰动破坏，特别是采用振动冲击成孔工艺时，对土的扰动更大。高灵敏度土质结构受到扰动破坏后，很难恢复其原有强度，大大削弱了土钉锚杆的抗拔力。

**9.1.7** 成孔注浆钢筋土钉先用钻机等机械设备在土体中钻孔，成孔后置入杆体，然后沿全长注入水泥浆，水泥结石体强度高，直径大，抗拔力较高，质量较可靠。直接打钢管土钉多采用直径48mm的焊接钢管，把钢管加工成花管并加倒刺，即作为受拉杆件，又作为注浆管，其缺点是水泥浆液很难形成圆柱状结石体，受钢管直径限制，土体与钢管周边结石体的有效摩阻面较成孔注浆钢筋土钉小，抗拔力不高。

**9.2 设 计**

**9.2.1** 土钉墙不同于以往任何一种挡土结构。不论是重力式支挡结构，还是排桩，地连墙支挡结构，主动土压力均是全部直接作用在支挡结构上，而土钉墙的主动土压力并非全部作用在面层上，大部分直接作用在土钉上，这是土钉墙与其他挡土结构受力特性的本质不同。

土钉墙上作用的土压力不符合库仑土压力假定条件，也不符合朗肯土压力理论的假定，故不能直接引用其理论公式。根据工程实测数据对朗肯土压力理论进行修正，得到了土钉墙的经验土压力分布曲线，修正系数见第9.2.5条。目前普遍把土钉所受的最大拉力视为主动土压力，主动土压力作用在潜在破裂面处的土钉上，面层所受的土压力仅为主动土压力的一少部分。

**9.2.4** 朗肯主动土压力是在假定墙背垂直的条件下推导而来的，坡面倾斜时，主动土压力减小，其值可通过对折减的办法得到。

**9.2.5** 主动土压力分布调整系数

土钉轴向拉力调整系数是认为作用在土钉墙上的主动土压力之和仍为郎肯土压力，只不过不再是上小下大的三角形分布形式，根据经验将其调整为近似梯形分布的形式。



主动土压力分布调整系数

（a）计算模型 （b）郎肯主动土压力 （c）主动土压力调整系数 （d）调整后土压力



（9.2.5-1）

（9.2.5-2）



如图所示，令第*j*条土钉调整系数所承担的主动土压力为,调整后为调整前的倍，假定与基坑深度*h*为线性关系，其值在墙底处为小于1的，在墙顶处为大于1的，第*j*条土钉的深度为，由图示几何关系可得公式：9.2.5-1、9.2.5-2。

因所有土钉承担的总主动土压力在调整前后保持不变，故有



将9.2.5-2式代入解之，得到：



（9.2.5-3 ）

调整后的土压力强度曲线如图（d）所示，该曲线能够较好的模拟绝大多数工程的实测结果。是个重要的经验数据，与土的抗剪强度及含水量有关，一般=0.6～1.0。

**9.2.8** 土钉墙是分层开挖、分层设置土钉及面层形成的。每一开挖状况都可能是不利工况，也就需要对每一开挖工况进行土钉墙整体滑动稳定性验算。圆弧滑动条分法一直广泛采用，大量工程应用证明是符合实际情况的。

考虑到圆弧滑动条分法需要适用于复合土钉墙的要求，公式（9.2.8-2）增加了锚杆作用下的抗滑力矩项，因锚杆和土钉对滑动稳定性的作用是一样的，公式中将锚杆和土钉的极限拉力用同一符号表示。由于土钉墙整体稳定性验算采用的是极限平衡法，假定锚杆和土钉同时达到极限状态，与锚杆预加力无关，因而，验算公式中不含锚杆预应力项。

复合土钉墙中锚杆应施加预应力，预应力的大小应考虑土钉与锚杆的变形协调，土钉在基坑有一定变形发生后才受力，预应力锚杆随基坑变形拉力也会增长。土钉和锚杆同时达到极限状态是最理想的，选取锚杆长度和确定锚杆预加力时，应按此原则考虑。

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。对水泥土桩，其截面的抗剪强度不能按全部考虑。因为水泥土桩比土的刚度大的多，当水泥土桩达到强度极限时，土的抗剪强度还未充分发挥，而土达到极限强度时，水泥土桩在此之前已被剪断，即两者不能同时达到极限。对微型钢管桩，当土达到极限强度时，微型钢管桩是有上拔趋势的，而不是剪切强度控制。因此，尚不能定量给出水泥土桩、微型桩的抵抗力矩，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。当无经验时，最好不考虑其抗滑作用，当作安全储备来处理。

**10 重力式水泥土墙**

**10.1 一般规定**

**10.1.2** 深层搅拌法与高压喷射注浆法相比较而言，深层搅拌法成桩桩体断面尺寸更稳定，更容易保证桩与桩的咬合，同时施工成本也更低，因此广泛运用。但有时受场地作业面或施工空间的限制，可采用水泥高压喷射注浆法。

**10.1.5** 在地下水存在腐蚀性时，水泥搅拌桩的设计要慎重。在太原市晋源区某场地进行过专门试验，该场地地下水对混凝土的腐蚀性为中等到严重，采用矿渣硅酸盐水泥，掺和水泥量重量10%的粉煤灰，28d水泥土无侧限抗压强度最小值也大于1.5MPa。

**10.2 设计**

**10.2.1~10.2.3** 按重力式设计的水泥土墙，其破坏形式包括以下几类：①墙整体倾覆；②墙整体滑移；③沿墙体以外土中某一滑动面的土体整体滑动；④墙下地基承载力不足而使墙体下沉并伴随基坑隆起；⑤墙身材料的应力超过抗拉、抗压或抗剪强度而使墙体断裂；⑥地下水渗流造成的土体渗透破坯。重力式水泥土墙的设计，墙的嵌固深度和墙的宽度是两个主要设计参数，土体整体滑动稳定性、基坑隆起稳定性与嵌固深度密切相关，而基本与墙宽无关。墙的倾覆稳定性、墙的滑移稳定性不仅与嵌固深度有关，而且与墙宽有关。

**10.2.6** 水泥土墙的上述各种稳定性验算基于重力式结构的假定，应保证墙为整体。墙体满足抗拉、抗压和抗剪要求是保证墙为整体条件。

**10.3 构造**

**10.3.2** 水泥搅拌桩桩体的固化剂宜采用普通硅酸盐水泥，强度等级不宜低于42.5 级，水灰比不宜大于0.5，水泥掺入比应根据土质条件确定且不宜小于15%。单轴搅拌桩水泥掺入比可取15％～20％，三轴搅拌桩水泥掺入比20%～22%，高压旋喷桩水泥掺入比25%～35%。

**10.3.7** 第6款考虑到山西地方经验及山西土质特性，每米水泥掺入量为60kg，其28d无侧限抗压强度值一般大于1.5Mpa，结合国标要求，建议水泥搅拌桩28d无侧限抗压强度值要求不小于1.2MPa，水泥土体局部段抗拉强度的提高也可采用在水泥土墙内侧设置钢筋（丝）网片喷射混凝土加强带的做法。

**12 土体加固**

**12.0.1** 常规的基坑土体加固包括水泥土搅拌、注浆、高压喷射注浆、降水、微型桩等方法。其中水泥土搅拌法包括单轴搅拌桩、双轴搅拌桩、三轴搅拌桩及多轴搅拌桩。注浆法按照浆液在土中的流动方式可分为渗透注浆、压密注浆、劈裂注浆；按照施工方法可分为袖阀管注浆、直接注浆法、埋管注浆法、低坍落度砂浆压密注浆法、柱状布袋注浆法、后退式注浆法等；按照注浆材料可分为水泥浆液和化学浆液。常见的高压喷射注浆法有旋喷法、定喷法和摆喷法；按施工工艺可分为单管法、双管法和三管法，此外还包括超高压喷射注浆法、全方位超高压喷射注浆法等新型工艺。微型桩按桩型和施工工艺可分为树根桩、预制桩及注浆钢管桩等。

# 13 地下水控制

## 13.1 一般规定

**13.1.1** 地下水直接影响着岩土体的工程特性和状态，因此，勘察中要求查明与工程有关的水文地质条件，评价地下水对岩土体和建筑物的作用和影响，预测可能产生的岩土工程危害，为设计和施工提供必要的水文地质资料。不仅要查明地下水的天然状态和天然条件，评价地下水对岩土体和建筑物的作用和影响，更重要的是要分析、预测在人为工程活动中地下水天然状态和天然条件变化后对岩土体和建筑物的作用，预测可能产生的后果，提出防治措施。

1 评价施工采取降、排水措施可能引起的周边建筑物变形、市政道路的下沉、塌陷、地下水动态的变化和地下管线及各种设施的变形等不利影响，并提出防治措施。

2 基坑下有承压水含水层时，评价承压水头对基坑稳定性的影响。

3 预测开挖引起管涌、流土的可能性。

4 评价地下水对岩土的软化、崩解、湿陷、潜蚀等有害作用。

5 调查周边人防工程等人工洞室及渠系的充水情况，评价对基坑的影响。

6 评价降水带来的地下水资源及环境的影响。

含水层是指饱含地下水又导水的地层，而隔水层（或称不透水层）指地下水渗透率小到可以忽略不计的地层。划分含水层和隔水层是评价水文地质条件的基础工作，主要由岩土的透水性强弱、含水性质和工程环境条件综合决定。

地下水位包括历年最高水位、最低水位、静止水位、初见水位、稳定水位等。埋测压管是测量地下水位较准确的方法。

历年最高水位、最低水位指长期观测孔中历年地下水达到的最高、最低记录。

静止水位系指天然条件下的地下水水位，也指没有人为抽水前处于相对稳定状态时地下水位；稳定水位一般指抽水试验中某时间段内不随时间变化或变化很小时的水位。稳定水位和自然静止水位是计算渗透系数、涌水量等地下水参数的重要数据之一。

初见水位的测量，一般在工程勘察中从钻具带上的土样中观测，土样由湿到很湿带水时的标高，即为初见水位。在测得初见水位后，粘性土每隔20min～30min，砂土每隔5min～10min测量水位一次，连续两次水位相差小于2cm，即为静止水位。

**13.1.2** 在调查地下水与地表水的水力联系时，尤其应注意查明地下水与江、河、湖、海大水体的水力联系。

施工期间的降水会直接造成地下水位降低，引起城市水资源减少。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，使粘性土地层中也可能出现“流泥”现象，从而引起局部地层被掏空，造成沿线路两侧建筑物下沉，周围地面产生塌陷。当不均匀沉降超过地下管线及其它市政设施承受变形的能力时，还将发生各种设施的错位、开裂等现象，以致造成供水、供气的漏失和中断，以及下水管道堵塞等环境问题。

降水井点施工中，泥浆废液还可能引起周围环境的污染、阻碍交通和堵塞下水道等环境问题，所以必须加强管理，防止泥浆废液流入城市下水管网和污染周围环境。降排水期间，对排出的地下水须合理安排出路，防止淹没农田、道路或周围建筑物。

室内渗透试验求得的渗透系数往往与实际出入较大，应分析使用。由于在某些情况下现场抽水试验难度大，室内试验结果尚有参考意义。下面列出的渗透系数经验值可供参考。

岩土的渗透系数经验值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 岩土工程 | 渗透系数k | |
| （m/d） | （cm/S） |
| 粘土 | ＜0.001 | ＜1.2×10-6 |
| 粉质粘土 | 0.001～0.100 | 1.2×10-6～1.2×10-4 |
| 粉土 | 0.100～0.500 | 1.2×10-4～6.0×10-4 |
| 黄土 | 0.250～0.500 | 3.0×10-4～6.0×10-4 |
| 粉砂 | 0.500～1.000 | 6.0×10-4～1.2×10-3 |
| 细砂 | 1.000～5.000 | 1.2×10-3～6.0×10-3 |
| 中砂 | 5.000～20.000 | 6.0×10-3～2.4×10-2 |
| 均质中砂 | 35.000～50.000 | 4.0×10-2～6.0×10-2 |
| 粗砂 | 20.000～50.000 | 2.4×10-2～6.0×10-2 |
| 均质粗砂 | 60.000～75.000 | 7.0×10-2～8.6×10-2 |
| 圆砾 | 50.000～100.000 | 6.0×10-2～1.2×10-1 |
| 卵石 | 100.000～500.000 | 1.2×10-1～6.0×10-1 |
| 无充填的卵石 | 500.000～1000.000 | 6.0×10-1～1.2×100 |
| 稍有裂隙岩石 | 20.000～60.000 | 2.4×10-2～7.0×10-2 |
| 裂隙多的岩石 | ＞60.000 | ＞7.0×10-2 |

渗透系数的计算，是水文地质工作中一件非常重要而且是比较复杂的事。由于水文地质条件和抽水试验井的完整性，布局不等同，计算公式就会随之变化。

利用稳定流抽水试验计算渗透系数k，仍为目前勘察报告中常用的方法。但由于公式推导时的假设条件与实际水文地质条件不符，抽水试验时，井壁及其周围含水层可能产生紊流、三维流的影响，同一水文地质条件下，算出的k值不是常数，故计算时尽量考虑这些因素的影响。

对具有多层结构、边界附近或承压转无压等较为复杂情况的抽水井，可参照有关水文地质、工程地质手册选用计算公式，或根据映射法和势的迭加理论及水文地质条件进行推导。在选用或推导公式时，应当考虑地下水类型（潜水、承压水、承压一无压水）与补给、排泄边界条件、抽水井的完整性（完整井、非完整井）以及抽水井的布置等水文地质条件，注意各公式的适用条件，避免盲目采用。计算法求影响半径时，可采用下表所列公式计算。

**影响半径计算公式**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 计 算 公 式 | | 适用条件 | 备注 |
| 潜 水 | 承压水 |
| lgR= | lgR= | 1.完整井  2.一个观测孔 | 结果偏大 |
| lgR= | lgR= | 二个观测孔 | 精度可靠 |
| lgR= | lgR= | 单孔 | 一般偏大 |
| R=2S | R=10S | 单孔 | 概略计算 |

松散类岩土给水度可参考下表的经验值。

**岩土给水度的经验值**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 岩土名称 | 给水度μ | 岩土名称 | 给水度μ |
| 粉砂与粘土 | 0.100～0.150 | 粗砂及砾砂 | 0.250～0.350 |
| 细砂与泥质土 | 0.150～0.200 | 粘土胶结的砂岩 | 0.020～0.030 |
| 中砂 | 0.200～0.250 | 裂隙灰岩 | 0.008～0.100 |

## 13.2 基坑降水设计

**13.2.1** 地下水控制方法包括：截水、降水、集水明排，地下水回灌不作为独立的地下水控制方法，但可作为一种补充措施与其他方法一同使用。仅从支护结构安全性、经济性的角度，降水可消除水压力从而降低作用在支护结构上的荷载，减少地下水渗透破坏的风险，降低支护结构施工难度等。但降水后，随之带来对周边环境的影响问题。在有些地质条件下，降水会造成基坑周边建筑物、市政设施等的沉降而影响其正常使用甚至损坏。降水引起的基坑周边建筑物、市政设施等沉降、开裂、不能正常使用的工程事故时有发生。另外，有些城市地下水资源紧缺，降水造成地下水大量流失、浪费，从环境保护的角度，在这些地方采用基坑降水不利于城市的综合发展。

根据具体工程的特点，基坑工程可采用单一地下水控制方法，也可采用多种地下水控制方法相结合的形式。如悬挂式截水帷幕+坑内降水，基坑周边控制降深的降水+截水帷幕，截水或降水+回灌，部分基坑边截水+部分基坑边降水等。

**13.2.2** 降低地下水位的方法可根据地质情况和不同的施工方法，经过经济、技术比较后选用不同的降水、排水方法。

集水坑明排的费用最便宜。主要是在基坑设置排水沟，利用排水沟将渗水集中到集水坑（井）中，然后排走。适用于地层强度较高，但富水性不太强（渗透系数小于20m/d）的降水工程。

井点降水适用于易发生流沙、管涌的地层，但渗透性较弱（渗透系数在0.1m/d～20.0m/d之间）的地层，费用较高，特别是电渗井点和喷射井点，费用较为昂贵。

电渗井点主要用于渗透系数小于0.5m/d的粘性土极弱透水层中，是利用电渗现象使地下水流入井点后再排走。采用该方法时，阴阳极之间的电压梯度需达到规定值，所以应注意了解施工范围内土层导电率是否适宜电渗降水的需要。

多级真空井点（轻型井点）主要适用于渗透系数为0.1m/d～20.0m/d的粉土、粉砂、细砂及淤泥质土层中的降水。在粉细砂中，每级最大降深3m～4m，粉土和淤泥质土层中，每级最大降深一般可达5.0m～5.5m。

喷射井点适用地层同多级真空井点，降低水位可达8m～20m，但由于费用较昂贵，一般在多级真空井点达不到要求时采用。

管井适用于厚度较大的砂类土、碎石土含水层或多层含水层及岩溶裂隙含水层，渗透系数k值一般宜大于1.0m/d。采用管井降水时，可以选用不同的水泵类型来满足水位降低的要求。

大口井降水，费用较管井便宜，一般适用于地下水位埋藏深度在20m以内，含水丰富且透水性较强的砂类土和碎石土含水层的降水工程，以及某些受场地条件限制难以采用机械化施工的降水工程。

**13.2.3** 引渗降水是指在降水场地的一定深度内，存在两层以上的含水层，且下层的渗透能力大于上层，在下层水位（或水头）低于降水深度的条件下，人为地沟通上下含水层，在水位差的作用下，上层地下水就会通过井孔自然地流到下部含水层中，从而无需抽水即可达到降低地下水的目的。

在降水范围内存在局部上层滞水、弱透水层中潜水、多层隔水层含水层相间分布，且上层含水层的水量不大且疏不干，下部含水层水位可通过自排或抽降使其低于基坑施工要求的控制水位；当兼有疏干要求时，引渗井还需按排水固结要求加密引渗井。

采取其他降水措施后使其低于上部含水层水位后，满足条件也可采用引渗井进行降水。

引渗井按结构类型分砂砾引渗井及管井引渗井。

引渗井根据引渗条件，可以划分为浅层引渗、深层引渗、深浅结合引渗三种类型。

浅层引渗降水指将上层滞水通过引渗井自然渗到埋藏较浅的下部含水层。浅层引渗主要适用于降水深度较小（一般小于7m），上层滞水含水层为弱透水层的粘质粉土或粉土，水量较少，入渗目的层埋藏于10m～20m左右，为中等透水的粉、细砂层，含水层厚度为2m～5m，属潜水或微承压水，水位埋深10m～15m，能消纳一定入渗水量。当沟通两层地下水后，引渗井点中的混合水位保持在7m～10m,雨季略有抬升。

深层引渗降水是指上部地下水（上层滞水或潜水）通过引渗井自然入渗到埋深较深的下部砂、卵石含水层中，即第二入渗目的层中，达到基坑降水的目的。

深浅结合引渗降水指采用浅层自渗不能完全满足降水要求，而采用深层引渗工作量较大，成本提高或不能满足特殊降水要求时，将二者结合起来降水的方法。

**13.2.4** 当基坑下有承压含水层时，由于基坑开挖减少了基坑底部隔水层的厚度，在承压水头压力作用下，基坑底部岩土体有产生隆起、裂开甚至冲毁等变形，造成基坑突涌的危险。坑底不透水土层抗浮稳定性一般可以按与的关系进行评价：当时，认为是安全的；反之，当，则可能产生基坑突涌，应采用降低承压水头避免基坑失稳。上述式中，分别为土、水的重度；H、h分别为基坑底板和承压水头至含水层顶板的距离。

## 13.3 管井降水

**13.3.1** 管井设计出水量一方面取决于含水层的基本特征，如渗透系数、降深、单井影响半径等，另一方面取决于过滤管的尺寸、进水部分的长度。同时为了保证管井的正常运行，降水井的出水量应小于管井出水能力，管井出水能力受井壁允许进水流速和过滤管允许进水流速的制约。当管井出水量过大时，将导致过大的井壁进水流速和过滤管进水流速，如果井壁进水流速大于某临界值时，含水层中的细小颗粒将被带入井内，即发生管涌性涌砂、滤料堵塞等不良后果。井壁允许进水流速和过滤管允许进水流速是管井设计的两个很重要的参数，井壁允许进水流速是井身进水段直径和长度的依据，过滤管允许进水流速是过滤管直径和长度设计的依据。管井进水流速大，带动含水层细颗粒的能力就强，井水含砂量就高，所以管井允许进水流速大小与井水含砂量密切相关。

过大的过滤管进水流速会使过滤管堵塞严重，这也是管井设计的基本法则之一，对于降水管井，过滤管允许进水流速采用0.03m/s～0.08m/s较为合适，其下限相当于供水管井的标准，其上限相当于国外规定的上限值，确定范围较宽，在实际工作中，应根据含水层的颗粒组成和渗透性确定，当含水层颗粒较细，渗透性较差，宜取低值，反之，粗颗粒含水层，渗透性好，宜取大值。

对于松散含水层管井，管井设计出水量确定可参考下述步骤进行：  
 (1)选择适合的水文地质计算公式，计算管井在设计降深下的管井出水量。  
 (2)根据管井设计中有关数据和取水目的层的渗透系数，首先确定井壁允许进水流速和过滤管允许进水流速，然后分别计算其允许进水流量，最后确定管井出水能力(流量)。  
 (3)复核管井出水能力是否满足要求，如管井出水能力小于计算的管井出水量，则应重新设计管井结构，当管井结构难以改变时，则应减少管井出水量使之低于管井出水能力，最后确定管井设计出水量。  
 对于岩层中的管井，井壁允许进水流量已无实际意义，过滤管允许进水流量即为管井出水能力，因此确定管井设计出水量时仅复核过滤管允许进水流量即可。

**13.3.4** 松散层中的管井管径，应采用井壁允许进水流速复核，并符合下式的要求：





式中：一井径（m)；

—设计单井出水量（m3/d)；

—过滤管工作部分长度（m)；

一井壁允许进水流速（m/d)。

**13.3.8** 砂土类含水层不均匀系数大于10时，应除去筛分样中部分粗颗粒后，重新筛分,直至不均匀系数小于10时，取其d50确定滤料规格。否则计算的滤料粒径偏大,各种含水层中不同类型过滤管的有效孔隙率值见下表：

各种含水层中不同类型过滤管的有效孔隙率值

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 含水层类别 | 粉砂含泥层 | 粉砂层 | 细砂层 | 中砂层 | 粗砂层 | 粗砂砾石层 | 卵石砾石层 |
| 含水层的给水度μ | 0.054 | 0.084 | 0.126 | 0.150 | 0.185 | 0.240 | 0.240 |
| 适宜的经验填砾规格（毫米） | 1-1.5 | 1-1.5 | 2.5-3 | 6-7.5 | 10-12 | 8-20 | 24-30 |
| 填砾的给水度μ1 | 0.150 | 0.150 | 0.185 | 0.240 | 0.240 | 0.240 | 0.240 |
| 包网或缠丝过滤管孔隙率ρ | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.65 |
| 填砾过滤管孔隙率ρ | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.65 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 包网或缠丝过滤管有效孔隙率ρ | 0.0162 | 0.0252 | 0.0505 | 0.075 | 0.0925 | 0.144 | 0.156 |
| 填砾过滤管有效孔隙率ρ | 0.075 | 0.075 | 0.0925 | 0.156 | 0.168 | 0.168 | 0.168 |

在中、细砂及粉砂层中，采用填砾过滤管比采用包网或缠丝过滤管有效孔隙率增大2～4倍以上，因此对增加井的出水量是有利的。在粗砂层中，填砾过滤管对增大井的单位出水量也有相当效果。而在砾石、卵石层中效果不明显，因此，在砾石、卵石中一般采用非填砾过滤管。填砾与过滤管的规格要求如下表：

填砾与过滤管的规格

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 岩层分类 | 砂层标准粒径  （以筛分后的重量计%） | 填砾厚度（mm） | 填砾规格（mm） | 过滤管间隙（mm） |
| 砾石层 | ＞1.00占60～70 | 180 | 3.50～5.00 | 1.50 |
| 粗砂 | ＞0.50占60～70 | 180 | 2.50～3.50 | 1.00～1.50 |
| 中砂 | ＞0.25占60～70 | 180 | 1.50～2.50 | 1.00 |
| 细砂 | ＞0.15占60～70 | 180 | 1.00～1.50 | 0.75 |
| 粉砂 | ＞0.10占60～70 | 180 | 0.70～1.20 | 0.50 |
| 粉土、粉质黏土 | 0.10以下 | 180～200 | 0.70～1.20 | 0.50 |

## 13.5 截水帷幕

**13.5.1** 当地层满足设备经济条件时，帷幕底部宜进入粘性土层一定深度，形成“杯中水”。

灰质硅酸盐水泥需要注意的是，当地下水流速高时，需在水泥浆液中掺入适量的外加剂，如氯化钙、水玻璃、三乙醇胺或氯化钠等。由于不同地区即使土的基本性状相同，成分也会有所差异，对水泥的固结性产生不同影响，因此，当缺少实际经验时，水泥掺量和外加剂品种及掺量应通过试验确定。

**13.5.3** 搅拌桩、旋喷桩帷幕一般采用单排或双排布置形式。理论上，单排搅拌桩、旋喷桩帷幕只要桩体能够相互搭接、桩体连续、渗透系数小于10-6 是可以起到截水效果的，但受施工偏差制约，很难达到理想的搭接宽度要求。假设桩长15m，设计搭接200mm，当位置偏差为50mm、垂直度偏差为1%时，则帷幕底部在平面上会偏差200mm。此时，实际上之间就不能形成有效搭接。如桩的设计搭接过大，则桩的间距减小、桩的有效部分过少，造成浪费和增加工期。所以帷幕超过15m时，单排桩难免出现搭接不上的情况。双排桩帷幕形式可以克服施工偏差的搭接不足，对较深基坑双排桩帷幕比单排桩帷幕的截水效果要好得多。

**13.5.5～13.5.6** 摆喷帷幕一般采用下图所示的平面布置形式。由于射流范围集中，摆喷注浆的喷射长度比旋喷注浆的喷射长度大，喷射范围内固结体的均匀性也更好。实际工程中高压喷射注浆帷幕采用单排布置时常采用摆喷形式。

1-摆喷帷幕

****图6 摆喷帷幕平面形式

旋喷固结体的直径、摆喷固结体的半径受施工工艺、喷射压力、提升速度、土类和土性等因素影响，根据国内一些资料介绍，旋喷固结体的直径一般在下表所列的范围，摆喷固结体的半径约为旋喷固结体半径的1.0倍～1.5倍。

**旋喷注浆固结体有效直径经验值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 土类别  方  法 | | 单管法 | 二重管法 | 三重管法 |
| 黏性土 | 0＜N≤5 | 0.5～0.8 | 0.8～1.2 | 1.2～1.8 |
| 5＜N≤10 | 0.4～0.7 | 0.7～1.1 | 1.0～1.6 |
| 砂土 | 0＜N≤10 | 0.6～1.0 | 1.0～1.4 | 1.5～2.0 |
| 10＜N≤20 | 0.5～0.9 | 0.9～1.3 | 1.2～1.8 |
| 20＜N≤30 | 0.4～0.8 | 0.8～1.2 | 0.9～1.5 |

注：N为标准贯入试验锤击数。

下图是搅拌桩、高压喷射注浆与排桩常见的连接形式。高压喷射注浆与排桩组合的帷幕，高压喷射注浆可采用旋喷、摆喷形式。组合帷幕中支护桩与旋喷、摆喷桩的平面轴线关系应使旋喷、摆喷固结体受力后与支护桩之间有一定的压合面。

旋喷帷幕和摆喷帷幕一般采用双喷嘴喷射注浆。与排桩咬合的截水帷幕，当采用半圆形、扇形摆喷时，一般采用单喷嘴喷射注浆。根据目前国内的设备性能，实际工程中常见的高压喷射注浆的施工工艺参数见下表。



1-支护桩； 2-旋喷固结体或搅拌桩； 3-摆喷固结体； 4-基坑方向

图7 截水帷幕平面形式

**常用的高压喷射注浆工艺参数**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工艺 | 水压（MPa） | 气压（MPa） | 浆压（MPa） | 注浆流量（L/min） | 提升速度（m/min） | 旋转速度（r/min） |
| 单管法 |  |  | 20～28 | 80～120 | 0.15～0.20 | 20 |
| 二重管法 |  | 0.7 | 20～28 | 80～120 | 0.12～0.25 | 20 |
| 三重管法 | 25～32 | 0.7 | ≥0.3 | 80～150 | 0.08～0.15 | 5～15 |

# 14 基坑开挖与回填

## 14.1 一般规定

**14.1.1** 影响基坑开挖的环境因素不止包括基坑开挖范围，考虑到可能采取的土钉、锚索等支护措施，还应尽可能查明基坑周边的建（构）筑物及地下管线等情况，包括类型、埋置深度、宽度、荷载等。

**14.1.2** 目前多数基坑都需要进行支护，很多还涉及到降水问题。在开挖前一定要明确相关的方案。考虑到勘察资料的局限性，任何基坑开挖都要准备好应急预案。

**14.1.7** 为减小降水或地下水对基坑安全的影响，应采取相应的措施。基坑顶部可做成向外侧的一个坡度，或在基坑边缘砌筑截水墙，避免降水流向基坑。基坑开挖深度内如有含水量较丰富的土层，应设置导水孔和引水槽。

**14.1.8**基坑周边如用作施工场地时，一定要严格控制堆载，具体控制指标应按基坑支护设计方案的要求执行。

**14.1.9** 基坑周边地面硬化处理，可降低基坑边通行车辆的荷载对基坑安全的影响，还可防止降水和工地洒水对基坑土的影响。

## 14.2 开挖方案

**14.2.2** 基坑开挖的方法主要取决于基坑支护的形式。不论采用何种支护形式和开挖方法，都要进行严格的监测。应急预案和抢险措施是应对土方开挖不可预知因素的必要方案。通常在基坑开挖过程中，应随时预备砂袋等堆填物，如发现基坑侧壁出现变形位移大于报警值则应立即停止开挖，堆填砂袋，防止基坑继续变形，并立刻进行支护。面积较大的基坑可根据周边环境保护要求、支撑布置形式等因素,采用盆式开挖、岛式开挖等方式施工,并结合开挖方式及时形成支撑或基础底板。

## 14.3 土方开挖

**14.3.2** 采用土钉、锚杆、支撑等形式时，支护施工是随土方开挖分层进行的，设计将每设置一层锚杆、支撑或土钉后，再开挖至下一层锚杆、支撑或土钉的施工面作为一个设计工况。因此，如开挖深度超过下层锚杆、支撑或土钉的施工面标高时，支护结构受力及变形会超越设计状况，也就是通常说的超挖。此外，还要考虑支护施工的进度，进行分段开挖。

**14.3.4**支护设计时，将每一步支护施工面作为一个设计工况，每一步的施工作业都要保证其结构强度达到要求，如盲目抢工期，在上一步支护作业完成后立刻开挖，则可能造成支护结构的破坏和坍塌，酿成重大工程事故。基坑开挖的分层厚度宜控制在3m以内,并应配合支护结构的设置和施工的要求,临近基坑边的局部深坑宜在大面积垫层完成后开挖。

**14.3.5** 灵敏度高的土体在基坑开挖的分层、分段数值上宜小于常规数据，分层厚度宜取0.5-1.5m。

## 14.4 土方回填

**14.4.6** 土料不得采用淤泥和淤泥质土,有机质含量不大于5%,土料含水量应满足压实要求。碎石类土或爆破石碴用作回填土料时,其最大粒径不应大于每层铺填厚度的2/3,铺填时大块料不应集中,且不得回填在分段接头处。

**14.4.7**黏土或排水不良的砂土作为回填土料的,其最优含水量与相应的最大干容重,宜通过击实试验测定或通过计算确定。黏土的施工含水量与最优含水量之差可控制为一4%～+2%,使用振动辗时,可控制为-6%～+2%。回填压实施工时轮(夯)迹应相互搭接,机械压实应控制行驶速度。各块(段)交界面应设置成斜坡形,辗迹应重叠0.5m～1.0m，填土施工时的分层厚度及压实遍数应相关施工规定，上、下层交界面应错开,错开距离不应小于1m。

# 15 环境影响评价及保护措施

### 15.1 一般规定

**15.1.1** 根据《山西省住房和城乡建设厅危险性较大的分部分项工程安全管理实施细则》要求，基坑工程监测应对基坑周边2-3倍基坑深度范围内的环境状况进行说明，故本条中要求调查距基坑边2-3倍基坑深度范围内各保护对象的现状，并对调查对象进行了明确。

**15.1.3**针对基坑周边环境的保护，在基坑工程的设计时就应进行支护结构及周边的变形控制设计，并提出相应的保护措施。基坑周边的影响对象主要有相邻建筑、地面管线等。

**15.1.4**对监测时间范围进行明确，基坑工程回填结束前不仅包括“基坑施工过程”还包括“基坑使用过程”。

### 15.2 评估内容

**15.2.1** 本条规定基坑工程对环境的影响评估主要从哪些方面进行，主要包括坑内环境与周边环境两部分。

### 15.3 基坑变形预估

**15.3.1** 本条预估墙后地表沉降的方法是建立在大基坑统计资料的基础上的经验方法,该方法预测的是地表的沉降,并不考虑周围建(构)筑物存在的影响,可以用来间接评估基坑开挖可能对周围环境的影响。

# 16 基坑监测

## 16.1 一般规定

**16.1.1**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。

**16.1.3**本条内容对原条文进行了调整，具体内容与《山西省住房和城乡建设厅危险性较大的分部分项工程安全管理实施细则》相关要求一致。

**16.1.5**本条对基坑巡视检查内容进行了明确，具体与本规范第八章中支护形式相对应。

## 16.2 监测点布置

**16.2.1** 本条对基坑监测点布置的考虑因素进行了规定，为保证监测工作的可持续性，强调了监测期间建设方及施工方应协助监测单位保护监测设施。

## 16.3 监测方法

**16.3.1** 本条对基坑工程的现场监测的方法提出了总要求，并把仪器监测与巡视检查放在同等重要的地位，根据大量工程实践表明，巡视检查能够有效弥补仪器监测的不足，应该提高对巡视检查这一方法的重视。

## 16.4 报警值

**16.4.3**基坑支护体系监测项目的报警值应由设计单位明确，本条中所提变化速率及累计值仅为参考，可根据基坑工程实际条件参考使用。