 T/CECS XXXX-2018



中国工程建设标准化协会标准

城市超浅埋暗挖大断面地下通道

支护技术规程

Technical specification for retaining and protection of urban ultra-shallow buried passage excavation with rectangular large-section

（征求意见稿）

中国计划出版社

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018年第二批协会标准制定、修改计划>的通知》（建标协字[2018]030号）的要求，标准编制组广泛调查研究，认真总结工程实践经验，参考有关国内标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分为7章和3个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、支护结构、预注浆、地下水控制、开挖与监测。

本标准由中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会归口管理，由建研地基基础工程有限责任公司负责具体技术内容解释。本标准在执行过程中，如有需要修改和补充之处，请将有关意见和建议寄至建研地基基础工程有限责任公司（地址：北京市北三环东路30号，邮编：100013）。

主 编 单 位：建研地基基础工程有限责任公司

参 编 单 位：北京市轨道交通建设管理有限公司

中国建筑科学研究院有限公司

江西中恒地下空间科技有限公司

北京工业大学

北京市勘察设计研究院有限公司

东南大学

北京城建道桥建设集团有限公司

太原理工大学

中铁十四局集团隧道工程有限公司

中铁十八局集团有限公司

中铁七局集团有限公司

主要起草人员：

主要审查人员：

目 次

[1 总 则 1](#_Toc92898619)

[2 术语和符号 2](#_Toc92898620)

[2.1 术 语 2](#_Toc92898621)

[2.2 符 号 6](#_Toc92898622)

[3 基本规定 9](#_Toc92898623)

[3.1 支护结构形式 9](#_Toc92898624)

[3.2 设计原则 10](#_Toc92898625)

[3.3 勘察要求与环境调查 15](#_Toc92898626)

[3.4 作用荷载 17](#_Toc92898627)

[4 支护结构 21](#_Toc92898628)

[4.1 结构分析 21](#_Toc92898629)

[4.2 喷射混凝土墙、板增强作用 25](#_Toc92898630)

[4.3 稳定性验算 26](#_Toc92898631)

[4.4 管棚设计 28](#_Toc92898632)

[4.5 管棚施工与检测 29](#_Toc92898633)

[4.6 支撑结构设计 31](#_Toc92898634)

[4.7 支撑结构施工与检测 35](#_Toc92898635)

[5 预注浆 38](#_Toc92898636)

[5.1 一般规定 38](#_Toc92898637)

[5.2 注浆材料 38](#_Toc92898638)

[5.3 注浆设计 39](#_Toc92898639)

[5.4 注浆施工 41](#_Toc92898640)

[5.5 注浆效果检查 43](#_Toc92898641)

[6 地下水控制 44](#_Toc92898642)

[6.1 一般规定 44](#_Toc92898643)

[6.2 截水 44](#_Toc92898644)

[6.3 降水 47](#_Toc92898645)

[6.4 集水明排 49](#_Toc92898646)

[7 开挖与监测 51](#_Toc92898647)

[7.1 开挖 51](#_Toc92898648)

[7.2 监测 54](#_Toc92898649)

[附录A 弹 性 支 点 法 60](#_Toc92898650)

[附录B 喷射混凝土墙、板增强作用 62](#_Toc92898651)

[附录C 基床反力系数推荐值 65](#_Toc92898652)

[本标准用词说明 66](#_Toc92898653)

[引用标准名录 67](#_Toc92898654)

[条文说明 68](#_Toc92898655)

Contents

[1 General Provisions 1](#_Toc92898619)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc92898620)

[2.1 Terms 2](#_Toc92898621)

[2.2 Symbols 6](#_Toc92898622)

[3 Basic Requirements 9](#_Toc92898623)

[3.1 Choice of Structural Types 9](#_Toc92898624)

[3.2 Principles of Design 10](#_Toc92898625)

[3.3 Investigation of Excavated Site and Surrounding Area 15](#_Toc92898626)

[3.4 Load 17](#_Toc92898627)

[4 Retaining and Protection Structure 21](#_Toc92898628)

[4.1 Structural Analysis 21](#_Toc92898629)

[4.2 Strengthening Effect of Shotcrete Wall and Slab 25](#_Toc92898630)

[4.3 Stability Analysis 26](#_Toc92898631)

[4.4 Design of Pipe-roof 28](#_Toc92898632)

[4.5 Construction and Testing of Pipe-roof 29](#_Toc92898633)

[4.6 Design of Strutted Structure 31](#_Toc92898634)

[4.7 Construction and Testing of Strutted Structure 35](#_Toc92898635)

[5 Advanced Grouting 38](#_Toc92898636)

[5.1 General Requirements 38](#_Toc92898637)

[5.2 Grouting Material 38](#_Toc92898638)

[5.3 Grouting Design Consierations 39](#_Toc92898639)

[5.4 Grouting Construction 41](#_Toc92898640)

[5.5 Grouting Inspection 43](#_Toc92898641)

[6 Groundwater Control 44](#_Toc92898642)

[6.1 General Requirements 44](#_Toc92898643)

[6.2 Cut-off Drains 44](#_Toc92898644)

[6.3 Dewatering 47](#_Toc92898645)

[6.4 Drainage Galleries 49](#_Toc92898646)

[7 Excavations and Monitoring 51](#_Toc92898647)

[7.1 Excavations 51](#_Toc92898648)

[7.2 Monitoring 54](#_Toc92898649)

[Appendix A Elastic Fulcrum Method 60](#_Toc92898650)

[Appendix B Strengthening Effect of Shotcrete Wall and Slab 62](#_Toc92898651)

A[ppendix C Recommended value of Coefficient of Subgrade Reaction 65](#_Toc92898652)

[Explanation of Wording in This Specification 66](#_Toc92898653)

[List of Quoted Standards 67](#_Toc92898654)

[Additon:Explanation of Provisions 68](#_Toc92898655)

1 总 则

1.0.1 为了在城市超浅埋暗挖大断面地下通道支护设计、施工中做到安全适用、保护环境、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于一般地质条件下城市超浅埋暗挖临时性支护的勘察、设计、施工、检测、暗挖开挖与监测。对湿陷性土、多年冻土、膨胀土、盐渍土等特殊土或岩石超浅埋暗挖工程，应结合当地工程经验应用本规程。

1.0.3 超浅埋暗挖支护设计、施工与超浅埋暗挖开挖，应综合考虑地质条件、超浅埋暗挖周边环境要求、主体地下结构要求、施工季节变化及支护结构使用期等因素，因地制宜、合理选型、优化设计、精心施工、严格监控。

1.0.4 超浅埋暗挖支护工程除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 超浅埋暗挖 ultra-shallow buried excavation

为进行建(构)筑物地下通道部分的施工，在薄覆土下进行水平开挖出空间的施工方法。指对于覆跨比*H*0/D≤0.4(*H*0为洞顶覆土厚度，*D*为断面跨度)大断面矩形地下通道暗挖工法。

2.1.2 超浅埋暗挖周边环境 surroundings around ultra-shallow buried excavations

与超浅埋暗挖开挖相互影响的周边建(构)筑物、地下管线、道路、岩土体与地下水体的统称。

2.1.3 超浅埋暗挖支护 retaining and protection for ultra-shallow buried excavations

为保护地下通道主体结构施工和超浅埋暗挖周边环境的安全，对超浅埋暗挖采用的临时性支挡、加固、保护以及地下水控制的措施。

2.1.4 支护结构 retaining and protection structure

支挡或加固超浅埋暗挖端部、顶部、侧壁及底部的结构。

2.1.5 设计使用期限 design workable life

设计规定的从超浅埋暗挖开挖到洞通至完成超浅埋暗挖支护使用功能的时段。

2.1.6 支挡式结构 retaining structure

以管棚和其它挡土构件或支撑为主的，或仅以挡土构件为主的支护结构。

2.1.7 锚拉式支挡结构 anchored retaining structure

以挡土构件和锚杆为主的支挡式结构。

2.1.8 支撑式支挡结构 strutted retaining structure

以挡土构件和支撑为主的支挡式结构。

2.1.9 挡土构件 structural member for earth retaining

设置在超浅埋暗挖侧壁并嵌入超浅埋暗挖掌子面的支挡式结构水平向构件。例如，管棚。

2.1.10 管棚 pipe-roof

沿超浅埋暗挖顶、侧壁、甚至底部排列设置的管棚及端梁组成的支挡式结构部件。

2.1.11 锚杆 anchor

由杆体(预应力螺纹钢筋、普通钢筋或钢管)、注浆固结体、锚具、套管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。

2.1.12 内支撑 strut

设置在超浅埋暗挖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，分别称为型钢内支撑、混凝土内支撑。

2.1.13 锁扣梁 lock the entrance beam

设置在洞口挡土构件端部的将挡土构件连为整体的钢梁或钢筋混凝土梁。

2.1.14 喷射混凝土墙 shotcrete wall

由随超浅埋暗挖开挖分步设置的、封闭的喷射混凝土面层及分布钢筋所组成的支护结构。

2.1.15 预注浆 advanced grouting

在开挖前，为了加固地层、充填空隙或止水，从地面或沿着开挖面一定范围进行的注浆。

2.1.16 地下水控制 groundwater control

为保证支护结构、超浅埋暗挖开挖、地下结构的正常施工，防止地下水变化对超浅埋暗挖周边环境产生影响所采用的截水、降水、排水、回灌等措施。

2.1.17 截水帷幕 curtain for cutting off drains

用以阻隔或减少地下水通过超浅埋暗挖侧壁与坑底流入超浅埋暗挖洞内和控制超浅埋暗挖洞外地下水位下降的幕墙状截水体。

2.1.18 降水 dewatering

为防止地下水通过超浅埋暗挖侧壁与坑底流入超浅埋暗挖洞内，用抽水井或渗水井降低超浅埋暗挖洞内外地下水位的方法。

2.1.19 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、渗漏水排泄至超浅埋暗挖洞外的方法。

2.1.20 围(岩)土 surrounding rock or soil

通道周围的岩土体

2.1.21 围(岩)土压力 surrounding rock or soil pressure

作用于支护或衬砌结构上的岩土压力

2.1.22 埋深 buried depth

通道开挖断面的顶部至自然地面的垂直距离。

2.1.23 中隔墙 the middle wall

相邻两个导洞公用的墙体

2.1.24 台阶法 bench cut method

先开挖导洞上部断面至一定距离，再开挖导洞下部断面，上下部断面同时并进的施工方法。

2.1.25 变形控制基准 deformation control benchmark

为工程安全，对通道施工过程中地面沉降、支护结构变形等监控量测项目设定的变形限值

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

*F*h──支撑的弹性支点反力；

*G*——支护结构和土的自重；

*Mc*——弯矩设计值；

*p*ak、*p*pk——主动土压力强度、被动土压力强度标准值；

*q*──竖向均布土压力标准值；

*q*0——作用于支护结构的荷载；

*s*——降水引起的建筑物基础或地面的固结沉降量；

*s*d——超浅埋暗挖地下水位的设计降深；

*S*d——作用组合的效应设计值；

*S*k——滑动力、滑动力矩、锚杆拉力等作用标准值的效应；

*u*——孔隙水压力；

*v*——挡土构件的向洞内方向上的位移;

*Vc*——剪力设计值；

$σ$──支护结构计算点由土的自重产生的竖向总应力。

2.2.2 材料性能和抗力

*C*——正常使用极限状态下支护结构的位移、通道周边建筑物和地面的沉降的限值；

*c*——土的黏聚力；

*E*——弹性模量；

*k*d——底板下地基土单位基床系数；

*K*d——型钢支架下地基基础的集中基床系数；

*ks——*未开挖段支撑管棚的地基土基床系数；

*KTi*——竖向支撑的支点刚度系数；

*Kz,i*——竖向立柱支撑与其环间混凝土墙协同轴心抗压刚度系数；

*R*d——结构构件的抗力设计值；

*R*k——抗滑力、抗滑力矩、锚杆极限抗拔承载力等土的抗力标准值；

*V*──排水沟的排水能力；

*γ*——土的天然重度；

*γ*w——地下水的重度；

*φ*——土的内摩擦角。

2.2.3 几何参数

*A*c——环间墙体水平向面积；

*A*gz——竖向立柱支撑型钢截面积；

*bs*——荷载计算宽度；

*BT*——导洞开挖宽度；

*B0*——支撑钢架底部型钢横梁宽度；

*h*——通道开挖高度；

*H*──通道埋深，指通道顶至地面的距离；

i——支撑钢架序数；

*I*——截面惯性矩；

*l*c——掌子面至计算点的水平距离；

*l*j——支点力*Tj*至掌子面的水平距离；

*l*mx——抗力合作用点至计算点的水平距离；

*ln*——洞口至掌子面水平距离；

*l0——*假设的一恒定嵌固段长度；

*Lg——*过渡段长度；

*S*——基础分担面积；

*x*——洞口至计算点的水平距离；

*y*——计算点的竖向位移；

*ΔT——*支撑钢架榀间距。

2.2.4 设计参数和计算系数

*k*R——弹性支点抗压刚度系数；

*K*——安全系数；

*K*a——主动土压力系数；

*K*p——被动土压力系数；

*Q*──排水沟的设计流量；

$γ\_{0}$──支护结构重要性系数；

*ξi*——喷射混凝土墙体强度发挥系数。

3 基本规定

3.1 支护结构形式

3.1.1 本规程地下通道支护结构是由管棚、型钢钢架、喷射混凝土衬砌等组合使用的通道支护结构（图3.1.1）。



图3.1.1 支护结构示意图

1-管棚；2-锁脚锚杆；3-型钢钢架；4-喷射混凝土衬砌

3.1.2 当通道基底以下为软土时，应采取预注浆等方法对通道基底土体进行局部或整体加固。

3.1.3 在变形控制要求高、地下水丰富、软弱破碎地层中，可采用预注浆超前支护措施加固地层；也可从地表向通道或周边土体预注浆等加固措施。

3.1.4 洞口应采用全断面预注浆等手段进行预加固。洞口应采用足以承受围(岩)土变形的刚性支撑将开挖面全周封闭并及时做好支护。

3.2 设计原则

3.2.1 地下通道支护设计应规定其设计使用期限。地下通道支护的设计使用期限不应小于一年。

3.2.2 地下通道支护结构应满足下列功能要求：

1 保证地下通道上方及其周边建（构）筑物、地下管线、道路的安全和正常使用；

2 保证地下通道主体地下结构的施工空间。

3.2.3 通道支护结构应能承担通道开挖及主体结构施工期间全部荷载，并应具有足够的强度和刚度，对控制地层变形应起主要作用。

3.2.4 支护结构设计时应采用下列极限状态：

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而破坏，或因过度变形而不适于继续承受荷载，或出现压屈、局部失稳；

2）支护结构及土体整体滑动；

3）通道基底土体隆起而丧失稳定；

4）锁脚锚杆因土体丧失承载力而破坏；

5）地下水渗流引起的土体渗透破坏。

2 正常使用极限状态

1）造成通道周边建（构）筑物、地下管线、道路等损坏或影响其正常使用的支护结构位移；

2）因地下水位下降、地下水渗流或施工因素而造成通道周边建（构）筑物、地下管线、道路等损坏或影响其正常使用的土体变形；

3）影响主体地下结构正常施工的支护结构位移；

4）影响主体地下结构正常施工的地下水渗流。

3.2.5 支护结构、通道周边建（构）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：

$γ\_{0}S\_{d}\leq R\_{d}$ （3.2.5-1）

式中：$γ\_{0}$──支护结构重要性系数，取1.1；

$S\_{d}$──作用基本组合的效应（轴力、弯矩、剪力等）设计值；

$R\_{d}$──结构构件的抗力设计值。

2）支护结构及土体滑动、通道底隆起失稳、锁脚锚杆拔动、土体渗透破坏等稳定性计算和验算，均应符合下式要求：

$\frac{R\_{k}}{S\_{k}}\geq K$ （3.2.5-2）

式中：$R\_{k}$──抗滑力、抗滑力矩、锚杆极限抗拔承载力等土的抗力标准值；

$S\_{k}$──滑动力、滑动力矩、锚杆拉力等作用标准值的效应；

$K$──安全系数。

2 正常使用极限状态

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

$S\_{d}\leq C$ （3.2.5-3）

式中：$S\_{d}$──作用标准组合的效应（位移、沉降等）设计值；

$C$──支护结构的位移和通道周边建筑物、地下管线和地面的沉降的限值。

3.2.6 在支护结构上可能同时出现的荷载，应按满足承载能力和正常使用要求分别进行组合，并按最不利组合进行设计。

3.2.7 作用分类和作用组合的相关要求，除本规程另有规定外，按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60相关规定执行。

3.2.8 支护结构设计不考虑偶然作用和地震作用。

3.2.9 支护设计应按下列要求设定支护结构的水平位移控制值和拱顶沉降值、通道周边环境的沉降控制值：

1 支护结构水平位移控制值和拱顶沉降值、地面沉降控制值应按不影响通道开挖影响范围内道路正常使用的要求确定，并应符合现行相关规范对其允许变形的规定；

2 当通道开挖影响范围内有地下管线时，支护结构水平位移控制值和拱顶沉降值、地面沉降控制值应按不影响其正常使用的要求确定，并应符合现行相关规范对其允许变形的规定。

3 当通道开挖影响范围内地面（或地下）有建（构）筑物时，支护结构位移控制值、建（构）筑物的沉降控制值应按不影响其正常使用的要求确定，并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007中对地基变形允许值的规定。

3.2.10 支护设计应满足下列通道主体结构的施工要求：

1 支护内壁与主体地下结构的净空间和地下水控制应满足主体地下结构及防水的施工要求；

2 采用支撑时，支撑的设置应便于结构及防水的施工。

3 所确定的开挖断面，除应满足通道净空和结构尺寸外，还应考虑支护结构的变形，并预留适当的变形量。预留变形量的大小可根据围(岩)土性质、断面大小、埋置深度、施工方法和支护情况等，通过计算分析或工程类比法进行预测；预留值不宜小于预测值或50mm的较大值，并应根据现场监控量测结果进行调整。

3.2.11 工程结构的设计应以工程勘察资料为依据，根据工程沿线的建设条件，考虑施工和建成以后对环境的影响和环境的改变对结构的作用，通过技术经济、功能效果、环境和社会效益的综合评价，选择施工方法和结构型式。

3.2.12 支护设计应规定支护结构各构件施工顺序及相应的开挖步序。支护开挖各阶段和支护结构使用阶段，均应符合本规程第3.2.4、第3.2.5条的规定。

3.2.13 在季节性冻土地区，支护结构设计应根据冻胀、冻融对支护结构受力和通道内壁的影响采取相应的措施。

3.2.14 土压力及水压力计算、土的各类稳定性验算时，土、水压力的分、合算方法及相应的土的抗剪强度指标类别应符合下列规定：

1 对地下水位以上的黏性土、黏质粉土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标$c$cu、ϕcu或直剪固结快剪强度指标$c$cq、ϕcq，对地下水位以上的砂质粉土、砂土、碎石土，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标$c$´、ϕ´；

2 对地下水位以下的黏性土、黏质粉土，可采用土压力、水压力合算方法；此时，对正常固结和超固结土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标$c$cu、ϕcu或直剪固结快剪强度指标$c$cq、ϕcq，对欠固结土，宜采用有效自重压力下预固结的三轴不固结不排水抗剪强度指标$c$uu、ϕuu；

3 对地下水位以下的砂质粉土、砂土和碎石土，应采用土压力、水压力分算方法；此时，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标$c$´、ϕ´，对砂质粉土，缺少有效应力强度指标时，也可采用三轴固结不排水抗剪强度指标$c$cu、ϕcu或直剪固结快剪强度指标$c$cu、ϕcu代替，对砂土和碎石土，有效应力强度指标ϕ´可根据标准贯入试验实测击数和水下休止角等物理力学指标取值；土压力、水压力采用分算方法时，水压力可按静水压力计算；当地下水渗流时，宜按渗流理论计算水压力和土的竖向有效应力；当存在多个含水层时，应分别计算各含水层的水压力；

4 有可靠的地方经验时，土的抗剪强度指标尚可根据室内、原位试验得到的其他物理力学指标，按经验方法确定。

3.2.15 支护结构设计时，应根据工程经验分析判断计算参数取值和计算分析结果的合理性。

3.3 勘察要求与环境调查

3.3.1 支护工程的岩土勘察应符合下列规定：

1 勘探点范围应根据通道开挖深度及场地的岩土工程条件确定；通道外宜布置勘探点，其范围不宜小于通道底埋置深度的1倍；当通道外无法布置勘探点时，应通过调查取得相关勘察资料并结合场地内的勘察资料进行综合分析；

2 勘探点宜沿通道边布置，其间距宜取15.0m～25.0m；当场地存在软弱土层、暗沟或岩溶等复杂地质条件时，应加密勘探点并查明其分布和工程特性；

3 通道周边勘探孔的深度不宜小于通道底埋置深度的2倍；通道底面以下存在软弱土层或承压含水层时，勘探孔深度应穿过软弱土层或承压含水层；

4 应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021的规定进行原位测试和室内试验，并提出各层土的物理性质指标和力学参数；对主要土层和厚度大于2.0m的素填土，应按本规程第3.2.14条的规定进行抗剪强度试验并提出相应的抗剪强度指标；

5 当有地下水时，应查明各含水层的埋深、厚度和分布，判断地下水类型、补给和排泄条件；有承压水时，应分层测量其水头高度；

6 应对通道开挖与支护结构使用期内地下水位的变化幅度进行分析；

7 当需要降水时，宜采用抽水试验测定各含水层的渗透系数与影响半径；勘察报告中应提出各含水层的渗透系数；

3.3.2 通道支护设计前，应查明下列通道周边环境条件：

1 道路的等级、类型、位置、宽度、结构、道路行驶情况、最大车辆荷载等；

2 各种既有地下管线、材质、位置、尺寸、埋深等；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 既有地上（或地下）建（构）筑物的现状、结构类型、层数、位置、基础形式和尺寸、埋深、使用年限、用途等；

4 雨期时的场地周围地表水汇流和排泄条件。

3.4 作用荷载

3.4.1 计算作用在支护结构上的荷载时，应考虑下列因素：

1 通道内外土体自身（包括地下水）产生的荷载；

2 通道上方道路的车辆及人群荷载；

3 通道上方及周边既有和在建的建（构）筑物荷载；

4 通道上方及周边施工材料和设备荷载；

5 冻胀、温度变化及其他因素产生的作用。

3.4.2 支护结构的设计，应根据结构受力条件、使用要求和所处环境等因素，就施工、使用阶段可能出现的荷载效应进行最不利组合。通道荷载计算示意如图3.4.2所示。



图3.4.2通道荷载计算示意图

3.4.3 作用代表值的相关要求，除本规程另有规定外，按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60相关规定执行。

3.4.4 作用在支护结构上的土压力应按下列规定确定：

1 竖向土压力标准值按下式计算：

$q=γH$ （3.4.3-1）

式中：$q$──竖向均布土压力标准值（kN/m2）；

$γ$──通道上覆土体重度（kN/m3）；

$H$──通道埋深，指通道顶至地面的距离（m）；

2 侧向土压力标准值按下式计算：

1）对地下水位以上或水土合算的土层

$p\_{ak}=σ\_{ak}K\_{a,i}-2c\_{i}\sqrt{K\_{a,i}}$ （3.4.3-2）

$K\_{a,i}=tan^{2}(45°-\frac{φ\_{i}}{2})$ （3.4.3-3）

式中：$p\_{ak}$──支护结构第$i$层土中计算点的主动土压力标准值(kPa)；当$p\_{ak}<$0时，应取$p\_{ak}=$0；

$σ\_{ak}$──支护结构计算点由土的自重产生的竖向总应力(kPa)；

$K\_{a,i}$──第$i$层土的主动土压力系数；

$c\_{i}$、$φ\_{i}$──分别为第$i$层土的黏聚力(kPa)、内摩擦角(°)；按本规程第3.2.14条的规定取值。

2）对水土分算的土层

$p\_{ak}=\left(σ\_{ak}-u\_{a}\right)K\_{a,i}-2c\_{i}\sqrt{K\_{a,i}}+u\_{a}$ （3.4.3-4）

式中：$u\_{a}$──支护结构外侧计算点的水压力(kPa)；对静止地下水，按本规程第3.4.5条的规定取值；当存在渗流时，应考虑渗流对水压力的影响。

3.4.5 对静止地下水的水压力可按下列公式计算：

$u\_{a}=γ\_{w}h\_{wa}$ （3.4.5）

式中：$γ\_{w}$──地下水的重度(kN/m3)，取$γ\_{w}$＝10kN/m3；

$h\_{wa}$──通道外侧地下水位至主动土压力强度计算点的垂直距离(m)；对承压水，地下水位取测压管水位；当有多个含水层时，应以计算点所在含水层的地下水位。

3.4.6 支护结构顶面及侧面附加荷载作用下土中附加应力标准值，应根据附加荷载类型分别计算。

4 支护结构

4.1 结构分析

4.1.1 管棚-支撑-喷射混凝土支护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 管棚支护结构，采用平面杆系结构弹性支点法进行分析；作用在管棚上的荷载应取围(岩)土作用的外部荷载，以及分析时得出的支撑提供的支点力；

2 当有可靠经验时，可采用空间结构分析方法对管棚-支撑-喷射混凝土支护结构进行整体分析，或采用支护结构与围(岩)土相互作用的分析方法对支护结构与围(岩)土进行整体分析。

4.1.2 管棚-支撑-喷射混凝支护结构应对下列设计工况进行结构分析，并应按其中最不利作用效应进行支护结构设计：

1 全断面开挖支护完成时的状况；

2 每个导洞单向开挖支护或相向开挖支护中部相遇贯通时的状况；

3 每个导洞进口段每一步开挖支护至各道封闭成环型钢支架或掌子面时的状况，直至管棚内力和变形均趋于稳定。并且该计算段长度不应小于2.0h范围；

4 在地下主体结构施工过程中，需要以临时支撑或主体结构构件替换既有支撑时的状况；此时，临时支撑或主体结构构件应满足替换后各设计工况下的承载力、变形及稳定性要求；

5 对各个导洞开挖支护时，周围荷载不对等的各种不利状况。

4.1.3 采用平面杆系结构弹性支点法时，宜采用图4.1.3所示的结构分析模型，且应符合下列规定：



图4.1.3 结构分析模型

1 顶部土压力标准值可按3.4节的有关规定确定；

2 侧向土压力标准值可按3.4节的有关规定确定；

3 未开挖段管棚下土反力可按弹性支点法计算求得；

4 作用在单根钢管上的外部荷载、土反力计算宽度应取钢管间距；

5 支撑对管棚作用应按弹性支座考虑，并应按本规程第4.1.5条确定；

6 喷射混凝土墙、板对支撑的增强作用分达标段和过渡段而不同。应按本规程4.2.3条确定。

4.1.4 型钢支架对管棚的支撑作用应按下式确定：

*F*h=*k*R(*v*R-*v*R0) (4.1.4)

式中：*F*h──支撑的弹性支点反力(kN)；

*k*R──弹性支点刚度系数(kN/m)；按本规程第4.1.5 条的规定确定；

*v*R──管棚在支点处的竖向或水平位移值(m)；

*v*R0──设置支撑时，支点的初始竖向或水平位移值(m)。

4.1.5 支撑的弹性支点刚度系数应按下列规定确定：

1 支撑的弹性支点刚度系数分为竖向支点刚度系数和横向支点刚度系数；

2 竖向支点的刚度系数主要由竖向立柱支撑的轴心抗压刚度和其分担承载地基基础的集中基床系数综合构成。当其分担承载地基基础的集中基床系数小于竖向立柱支撑轴心抗压刚度1/8时，竖向支点刚度系数宜仅考虑其下分担承载地基基础的集中基床系数，否则，应将立柱与其基础综合考虑。

3 横向支撑的支点刚度系数应按顶梁、横撑、底梁分别为轴心受压构件计算。

4.1.6 型钢支架分担基础下地基土提供的集中基床系数：

 (4.1.6)

式中：*kdi*——*i*榀支架下地基土的基床系数，按4.1.7条确定(kN/m3)；

*Si*——*i*榀支架下发挥作用的基础面积(达标段按喷射混凝土底板分担面积计算，掌子面紧邻的刚封闭成环的支架底部按底梁底面积计算，过渡段采用线性内插法)，按附录B.0.6条确定(m2)。

4.1.7 地基土的基床系数一般由一下几种方法进行确定：

1 当有平板载荷试验结果时，可利用其p~S曲线回弹再压缩段求得；

2 当无平板载荷试验结果时，也可利用基底平均压力除以(分层综合法估算的)基底平均沉降值而求得，并参照附录C将其修正为回弹再压缩地基土的基床系数；

3 地基土基床系数应考虑实际工况下的情况。当考虑预注浆加固效应时，应视地层情况、加固厚度、注浆质量等，适当提高加固地基土基床系数，应由设计人员根据实际工况条件和工程经验修正确定。

4.1.8 结构分析时，按荷载标准组合计算的变形值不应大于按本规程第3.2.9条确定的变形控制值。

4.2 喷射混凝土墙、板增强作用

4.2.1 喷射混凝土墙、板与型钢支架形成初衬，对支撑结构刚度均有增强作用。

4.2.2 当喷射混凝土强度等级达到设计条件，喷射混凝土墙、板将分担荷载。

4.2.3 过渡段喷射混凝土墙、板的增强作用应按下列规定确定：

1 过渡段划分：初支段根据混凝土底板强度是否达到设计要求强度的80%，划分为两段：达标段与过渡段，如图4.1.3。

2 达标段：喷射混凝土底板强度达到设计要求强度的80%，该部分支护结构沉降趋于稳定，不再考虑产生新的沉降。

3 过渡段：喷射混凝土底板强度尚未达到设计要求强度的80%，该区段喷射混凝土底板强度沿开挖方向逐渐降低，即，底板发挥为基础面积的增大作用宜为线性变化。其墙、板增强作用按附录B确定。

4.2.4 过渡段长度

过渡段长度主要与支点刚度系数有关，即，与通道基底主要压缩土层关系密切，地基土压缩模量越小，则过渡段长度越大。不同基底围(岩)土过渡段长度如表4.2.4。

表4.2.4 过渡段长度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 基底主要土层 | 粉质黏土、粉土、粉砂 | 细、中、粗砂 | 卵石 |
| 过渡段长度 | 1.5h | 1.0~1.2h | 0.5~0.8h |

注：h为洞高

4.2.5 喷射混凝土支护技术应符合《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB50086有关规定。

4.3 稳定性验算

4.3.1 掌子面应按下列规定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，其整体滑动稳定性应符合下列规定（图4.3.1）：

 (4.3.1-1)

 （4.3.1-2）

式中：*K*s──圆弧滑动整体稳定安全系数，不应小于1.3；

*K*s*,i*──第*i*个滑动圆弧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；

*cj*、*φj* ──分别为第*j*土条滑弧面处土的黏聚力(kPa)、内摩擦角(°)，按本规程第3.2.14条的规定取值；

*bj*──第*j*土条的宽度(m)；

*θj*──第*j*土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角(°)；

*lj*──第*j*土条的滑弧段长度(m)，取*lj*＝*bj*/cos*θj*；

*qj*──第*j*土条上的附加分布荷载标准值(kPa)；

*ΔGj*──第*j*土条的自重(kN)，按天然重度计算；

*uj*──第*j*土条在滑面上的水压力(kPa)；采用落底式截水帷幕时，对地下水位以下的砂土、碎石土、砂质粉土，在通道外侧，可取*uj*＝*γ*w*h*wa,*j*在通道内侧，可取*uj*＝*γ*w*h*wp,*j*；滑弧面在地下水位以上或对地下水位以下的黏性土，取*uj*＝0；

*γ*w──地下水重度(kN/m3)；

*h*wa,*j*──通道外侧第*j*土条滑弧面中点的压力水头(m)；

*h*wp,*j*──通道内侧第*j*土条滑弧面中点的压力水头(m)。



图4.3.1 圆弧滑动条分法掌子面整体稳定性验算

3 当围(岩)土体存在软弱夹层时，整体稳定性验算滑动面中尚应包括由圆弧与软弱土层层面组成的复合滑动面。

4.3.2 单个导洞开挖过程和全断面初衬状态下，均应进行抗浮验算，并满足《建筑工程抗浮技术标准》JGJ476规定。

4.4 管棚设计

4.4.1 管棚的直径与成孔工艺应符合下列规定

1 应根据土层的性质、地下水条件及通道周边环境要求经计算选择钢管直径、厚度和管芯充填混凝土等；

2 当管棚的施工影响范围内存在对地基变形敏感、结构抗变形性能差的建(构)筑物或地下管线时，不应采用挤土效应严重、易塌孔、易缩径或有较大震动的施工工艺；

3 成孔需要降水时，降水引起的地层变形应满足周边建(构)筑物和地下管线的要求，否则应采取截水措施。

4.4.2 内部充填混凝土钢管的正截面和斜截面承载力应按钢管混凝土结构计算。

4.4.3 钢管的受弯、受剪承载力应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017的有关规定进行计算，但其弯矩设计值和剪力设计值应按本规程附录A确定。

4.4.4 管棚直径和厚度应根据计算结果确定，但管棚的设计参数应符合下列规定：

1 管棚的长度一般为20～80.0m，在设备能力足够的情况下，管棚长度也可以达到100.0m～150.0m；

2 管棚的直径宜大于或等于90mm；对于大于或等于300mm管棚的中心距不宜大于管直径的2.0倍；

3 钢管壁厚应不小于6mm。钢管之间采用丝扣连接时，管棚壁厚应适当增加。

4 管棚采用管间锁扣连接形式时，管棚直径可取300mm~1000mm。

4.4.5 采用混凝土充填管芯时，混凝土强度等级不宜低于C30，且应充填密实。

4.4.6 管棚两端应设置锁扣梁、柱。锁扣梁、柱的高、宽不宜小于管径。锁扣梁、柱作管棚的传力构件或按空间结构设计时，尚应按受力构件进行截面设计。

4.4.7 管间土应采取防护措施。管间土防护宜采用管间锁扣、注浆、高压旋喷注浆等，内置型钢支架与挂网喷射混凝土形成初衬。喷射混凝土墙、板厚度不宜小于250mm，混凝土强度等级不宜低于C20。

4.5 管棚施工与检测

4.5.1 管棚的施工应参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94对钢桩的有关规定。

4.5.2 当管棚邻近的既有建筑物、地下管线、地下构筑物对地基变形敏感时，应根据其位置、类型、材料特性、使用状况等相应采取下列控制地基变形的防护措施：

1 宜采取间隔成管的施工顺序；

2 管棚成孔过程出现流砂、涌泥、塌孔、缩径等异常情况时，应暂停成孔并及时采取有针对性的措施进行处理，防止继续塌孔；

3 当成孔过程中遇到不明障碍物时，应查明其性质，且在不会危害既有建筑物、地下管线、地下构筑物的情况下方可继续施工。

4.5.3 钢管接头应错开设置，在3.0m内每边钢管接头数量均不宜大于该边钢管数量的25%。

4.5.4 管棚设有预埋件时，应根据预埋件的用途和受力特点的要求，控制其安装位置及方向。

4.5.5 若管棚之间锁扣链接施工，宜采用带有导向杆精准制导仪器的水平钻机或微型盾构机进行施工。

4.5.6 除特殊要求外，管棚的施工偏差应符合下列规定：

1 孔位的允许偏差应为20mm；

2 管允许偏离轴心差应小于0.3%；

3 预埋件位置的允许偏差应为20mm；

4 管棚的其它施工允许偏差应参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的规定。

4.5.7 锁扣梁、柱施工时，应将管端部浮浆、低强度混凝土及破碎部分清除。锁扣梁、柱混凝土浇筑采用土模时，土面应修理整平。

4.5.8 管棚质量检测宜采用低应变动测法检测管身完整性，检测根数不宜少于总根数的20%，且不得少于5根。

4.6 支撑结构设计

4.6.1 洞内支撑结构选用型钢支架与喷射混凝土墙、板的混合支撑。

4.6.2支撑结构应综合考虑其开挖断面的形状、尺寸、长度、周边环境条件、主体结构的形式等因素，选用有中隔墙或无中隔墙的上下或左右对撑或与有斜撑构成封闭支架，可采用施工便捷分段连接组成，并应符合下列原则：

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 应与地下通道主体结构的结构形式、施工顺序协调，应便于主体结构施工；

4 应利于通道土方开挖和运输；

5  需要时，可考虑中部横撑结构作为施工平台。

4.6.3 支撑结构宜采用超静定结构。对个别次要构件失效会引起结构整体破坏的部位宜设置冗余约束。支撑结构的设计应考虑地质条件和环境条件的复杂性。

4.6.4 支撑结构分析应符合下列原则：

1 竖向平面支撑，可分解为水平、竖向两个方向的结构单元，并分别按偏心受压构件进行计算；

2 竖向、横向对撑与斜撑，应按偏心受压构件进行计算；支撑的轴向压力应取支撑分担间距内承受管棚的支点力之和；锁扣梁柱及紧贴管棚的支撑梁、柱，既为一个方向管棚支座的多跨连续梁，又为其正交方向上的轴向受压支撑，复合作用计算。作为承受管棚压力的连续梁其计算跨度可取相邻支撑点的中心距；

3 平面杆系支撑，可按平面杆系结构采用平面有限元法进行计算；计算时应考虑通道不同方向上的荷载不均匀性；建立的计算模型中，约束支座的设置应与支护结构实际位移状态相符，支撑结构边界向通道外位移应设置弹性约束支座，向通道内位移不应设置支座，与边界平行方向应根据支护结构实际位移状态设置支座；

4 当有可靠经验时，宜采用三维结构分析方法，对型钢支架、管棚与锁扣梁、喷射混凝土墙、板进行整体分析。

4.6.5支撑结构分析时，应同时考虑下列作用：

**1** 由管棚、喷射混凝土墙板和围(岩)土传至支撑结构的荷载；

**2** 支撑结构自重；当支撑作为施工平台时，尚应考虑施工荷载；

**3** 当温度改变引起的支撑结构内力不可忽略不计时，应考虑温度应力；

4.6.6 喷射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；型钢刚架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《钢结构设计规范》GB50017的规定；支撑的承载力计算应考虑施工偏心误差的影响，偏心距取值不宜小于支撑计算长度的1/1000，且对混凝土及型钢支撑在受弯作用的两个方向上均不宜小于20mm。

4.6.7 支撑构件的受压计算长度应按下列规定确定：

1 横向支撑在竖向平面内的受压计算长度，取相邻立柱支撑的中心间距；

2 竖向支撑在竖向平面内的受压计算长度，不设置横撑时，取竖向支撑的实际长度；设置横撑时，取相邻横撑的中心间距；

4.6.8 若需预加轴向压力的支撑，预加力值宜取支撑轴向压力标准值的0.5~0.8倍，且应与本规程第4.1.4条中的支撑预加轴向压力一致。

4.6.9 支撑的断面布置应符合下列规定：

1 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 相邻立柱支撑的水平间距应满足土方开挖的施工要求；

3 通道内每一榀钢架应左右连续连接并在同一个竖向平面内；

4 洞顶、底梁及横向支撑应与两侧立柱支撑形成封闭的型钢支架；当支撑设置在两端进口时，横向支撑应与锁扣立柱连接；在立柱上支撑点的竖向间距，不宜大于5.0m。

5 当需要采用较大水平间距的支撑时，宜根据立柱支撑的受力和承载力要求，在支撑端部两侧设置斜撑杆与立柱连接，斜撑杆宜在横撑两端对称布置，且斜撑杆的长度不宜大于2.5m，斜撑杆与立柱之间的夹角宜取45̊~60̊；

6 当设置临时支撑立柱时，临时支撑立柱应避开主体结构的梁、柱及承重墙；对左右正对应的支撑结构，立柱宜设置在横撑的连接点处；立柱与支撑端部及立柱之间的间距应根椐管棚的稳定要求和竖向荷载的大小确定，对型钢支撑不宜大于5.0m；

7 当采用竖向斜撑时，应考虑与主体结构顶、底板施工的关系。

4.6.10 支撑的沿通道方向布置应符合下列规定：

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

2 相邻两榀钢拱架间距应在0.5m~0.9m范围，且应采用直径不小于ɸ22钢筋纵向连接，纵向钢筋沿洞周间距不宜大于300mm,并及时挂网施作喷射混凝土墙、板。

4.6.11 型钢支撑的构造应符合下列规定：

1 型钢支撑受压杆件的长细比不应大于150；

2 型钢支撑连接宜采用螺栓连接，必要时可采用焊接连接；

3 斜撑宜采用焊接连接；

5 立柱支撑与横向支撑的连接可采用螺栓连接或焊接；

6 立柱支撑穿过主体结构顶、底板的部位，应有有效的止水措施。

4.6.12 喷射混凝土墙、板的构造应符合下列规定：

1 喷射混凝土墙、板厚度宜取200mm~350mm；

2 喷射混凝土设计强度等级不宜低于C20；

3 喷射混凝土墙、板中应配置钢筋网和通长的加强钢筋，钢筋网宜采用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不小于300mm；加强钢筋的直径宜取不小于ɸ22mm；

4.6.13 喷射混凝土墙、板的构造，尚应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010以及《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB50086的有关规定。钢支撑构件的构造，尚应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017的有关规定。

4.7 支撑结构施工与检测

4.7.1 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。

4.7.2 喷射混凝土墙、板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》GB50204以及《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》的规定。

4.7.3 锁扣梁、柱施工前应将管棚连接表面清理干净，并与管棚端部紧密接触，不得留有缝隙。

4.7.4 钢拱架的安装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。

4.7.5 型钢支架与管棚或开挖洞面间隙的宽度宜小于50mm，并应在型钢支架安装定位后，在管棚与型钢支架缝隙之间用铁楔将空隙楔紧；在洞面与立柱或底梁之间用C30混凝土填实。

4.7.6 对型钢支撑，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或采用其他可靠连接措施。

4.7.7 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。当主体结构底板和顶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、机械等方法。

4.7.8 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 20mm

2 型钢支架水平位置的允许偏差应为 30mm，

3 型钢支架垂直度的允许偏差应为1/150。

4.7.9 喷射混凝土墙、板的施工应符合下列要求：

1 细骨料宜选用中粗砂，含泥量应小于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 使用速凝剂等外掺剂时，应通过试验确定外加剂掺量；

5 喷射作业应分步依序进行，同一分段内喷射顺序应自下而上均匀喷射，一次喷射厚度宜为30mm～80mm；

6 喷射作业时，喷头与管棚应保持垂直，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 钢筋网与管棚弧面的最小间隙应大于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。

5 预注浆

5.1 一般规定

5.1.1 注浆设计前，应分析工程场地的岩土工程勘察资料，充分调查邻近建（构）筑物基础、地下工程和管线分布等环境情况。当存在较大的风险隐患时，宜取得风险评估报告和相关专项设计资料和专项施工方案资料。

5.1.2 注浆不应对道路、周边建（构）筑物或管线等造成影响。注浆施工应有专人负责质量控制，并进行监测，确保安全。

5.1.3 当缺乏地区经验时，应开展注浆试验，根据试验效果综合确定设计和施工方法。

5.1.4 通道支护当需要严格控制沉降或止水时应采取预注浆措施。

5.2 注浆材料

5.2.1 注浆材料的选择及其配比应根据注浆目的以及所选择的注浆技术及工艺确定，宜选用普通硅酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、超细水泥、水玻璃等，具体配比宜通过室内配合比试验和现场注浆试验确定。

5.2.2 注浆材料的选择应符合以下具体要求：

1 通道短期或临时的止水或加固工程宜采用改性水玻璃单液浆或水泥-水玻璃双液浆。

2 地下水流速快、需要快速凝结的通道支护工程可采用硫铝酸盐水泥浆材；

3 饱和粉细砂等注入困难地层可采用超细水泥浆液，超细水泥最大粒径$D\_{max}$应在12$μm$以下。

5.2.3 水泥基注浆材料的配合比应符合下列规定：

1 水灰比宜为0.7~1.0；

2 宜采用42.5以上强度等级的水泥；

3 早强剂、减水剂、缓凝剂、膨胀剂等外加剂掺量应根据注浆目的和要求，结合相应产品用量指标选择。

5.2.4 配制水泥-水玻璃模数应在2.4~3.2之间，其浓度不应小于40°Be。

5.3 注浆设计

5.3.1 注浆设计应根据注浆的目的和周围环境条件，确定加固土体强度、变形、防渗要求，结合工程地质、水文地质、邻近道路、建(构)筑物、管线等现场条件，确定注浆层位、注浆材料、控制指标、设计参数及施工工艺等。

5.3.2 注浆设计文件应包括工程概况、注浆目的、注浆范围、注浆前准备工作（现场人员、设备、材料）、注浆孔布置图、注浆孔布设参数、注浆材料及配比、注浆施工工艺、注浆参数、注浆效果检查、注浆进度、安全质量环境保护措施等内容。

5.3.3 注浆参数应包括浆液扩散半径、注浆压力、单孔注浆量等。上述参数应通过现场试验确定，当现场试验条件受限时，可参照《建筑工程水泥-水玻璃双液浆技术规程》JGJ/T211，采用理论公式或经验公式计算，或参考同类工程经验确定。水泥基注浆的注浆压力应小于其注浆部位上覆土自重应力，控制在0.1MPa~0.6MPa；

5.3.4 超前小导管注浆设计应符合以下规定：

1 超前小导管宜采用φ30mm~φ40mm的焊接钢管或无缝钢管，长度宜为3.0m~6.0m；在密实卵砾石地层中，可采用1.5m~3.0m的短导管；

2 超前小导管宜沿通道周边且在管棚间土中布设，其环向间距宜与管棚间距协调，且不宜大于400mm，外插角不宜大于20°，水平投影搭接长度不宜小于1.0m；

3 超前小导管注浆的设计终止压力，应小于所在部位上覆土自重应力，且不宜大于0.6MPa，扩散半径不宜小于250mm，注浆速度不宜大于30L/min。

5.3.5 管棚间止水也可以采用管棚注浆，其设计终止压力应小于所在部位上覆土自重应力，且不宜大于0.6MPa，扩散半径不宜小于250mm，注浆速度不宜大于50L/min。

5.3.6 长孔预注浆设计应符合以下规定：

1 宜布设多排注浆孔，可采用梅花形或方形布孔方式；布孔间距宜为浆液扩散半径的1.0倍~1.7倍；

2 每个预注浆循环段长度宜为6.0m~20.0m，搭接长度不宜小于3.0m。

5.3.7 衬砌渗漏止水注浆设计应符合以下规定：

1 若衬砌渗水严重，其渗水点背后宜止水注浆，注浆深度宜为衬砌背后0.5m；

2 衬砌渗漏止水注浆的设计终止压力不宜大于0.5MPa，扩散半径宜为0.5-1.0m，注浆速度不宜大于30L/min；

5.4 注浆施工

5.4.1 注浆施工前宜进行现场注浆试验，检验管路的密闭性，确定和调整注浆设计指标和参数、注浆材料配比及注浆工艺。在确保周边环境安全的情况下，注浆试验的压力不宜小于设计终压。

5.4.2 注浆用止浆塞应与所采用的注浆方式、工艺、注浆压力及地质条件相适应，应有良好的膨胀和耐压性能，在最大注浆压力下应能可靠封闭注浆孔段，并易于安装和卸除。

5.4.3 注浆设备应安装自动流量计、压力计，并在使用前检查其有效性和准确性，误差不应大于5%。使用压力应为压力计量程的1/4-3/4。压力表与管路之间应有空气室、橡胶隔膜等隔浆装置。

5.4.4 注浆施工过程中，应记录孔径、孔深、注浆压力、单孔注浆量等参数。注浆施工期间，应采用自动化监测手段实时监测注浆压力，同时监测注浆区域内和周边地面位移或建（构）筑物变形，监控漏浆、冒浆等情况。当出现异常时，应立即停止注浆并采取措施。

5.4.5 超前小导管注浆施工应符合以下规定：

1 当地层较硬时，超前小导管的前端可加工为200mm~300mm长的尖靴状便于打入，另一端采用φ6mm~φ8mm的钢筋箍进行加固；

2 超前小导管的施工应根据具体地质条件情况，采用直接顶入法、吹管顶入法、重锤打入法、引孔打入法等工艺；

3 注浆宜按照步序跳孔间隔施工。

5.4.6 长孔注浆施工应符合以下规定：

1 长孔注浆加固施工可选用双重管无收缩注浆工艺（WSS工艺）、水平袖阀管注浆工艺、水平旋喷注浆工艺或TGRM前进式注浆工艺；

2 掌子面止浆墙宜采用挂网喷射混凝土或模筑混凝土方法施工；

3 注浆顺序一般按照“由外向内、由上到下、间隔跳孔”的原则进行。

5.4.7 衬砌渗漏止水注浆施工应随开挖工作面推进及时进行。

5.4.8 注浆过程中出现下述情况之一时，应停止注浆：

1 当注浆引起的路面位移或建(构)筑物、管线变形超过报警值时，或地面或建(构)筑物出现裂缝时，或出现跑浆、冒浆等情况时；

2 当注浆压力超出设计注浆压力上限时应停止注浆；静置后注浆压力下降至上限以内时，可继续注浆；

3 当单孔注浆量达到邻近注浆孔平均注浆量的2倍以上时，应停止注浆，查找原因后在确保安全时可继续注浆；

4 当相邻注浆孔发生串浆时应停止注浆，对相邻注浆孔进行有效封堵后可继续注浆。

5.5 注浆效果检查

5.5.1 注浆结束后，应结合注浆施工记录等，对注浆效果进行检查。

5.5.2 对于预注浆，当在软弱地层进行注浆加固时，宜采用土工试验进行效果检验。当在地层中进行止水防渗注浆时，宜采用钻孔取芯试验、注（渗）水试验等方法进行效果检验。

5.5.3 对于衬砌渗漏止水注浆，宜观察衬砌表面渗水情况，同时采用人工敲击法确定其注浆的密实性。

5.5.4 经检查发现的注浆薄弱部位应重新打孔补充注浆。采用钻孔检查的，应在检查完毕后对钻孔注浆封堵。

6 地下水控制

6.1 一般规定

6.1.1 地下水控制应根据工程地质和水文地质条件、通道周边环境要求及支护结构形式选用截水、降水、集水明排方法或其组合。

6.1.2 当降水会对通道周边建（构）筑物、地下管线、道路等造成危害或对环境造成长期不利影响时，应采用截水方法控制地下水。

6.1.3 地下水控制设计应符合本规程第3.2.9条对通道周边建（构）筑物、地下管线、道路等沉降控制值的要求。

6.1.4 当洞底以下有水头高于洞底的承压水时，应采取预注浆、减压措施。

6.2 截水

6.2.1 通道截水方法应根据工程地质条件、水文地质条件及施工条件等，选用通道周围预注浆、水平高压旋喷或摆喷注浆帷幕、锁扣管棚或者其组合形式等。对碎石土、杂填土、泥炭质土、泥炭、PH 值较低的土或地下水流速较大时，高压喷射注浆帷幕宜通过试验确定其适用性或外加剂品种及掺量。

6.2.2 若通道掌子面渗水，则采用全断面预注浆方法以确保作业段始终干燥。

6.2.3 在掌子面进行全断面预注浆前，掌子面应预留不少于3.0m厚度的上一次注浆加固土体，并且在受前方地下水荷载作用下掌子面满足稳定性要求。

6.2.4 截水帷幕在横断面布置上应沿通道周边闭合，且与掌子面前部注浆土体始终形成一可靠止水封闭空间。

6.2.5 采用水平高压旋喷、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。摆喷帷幕的喷射方向与摆喷点连线的夹角宜取10o～25o，摆动角度宜取20o～30o。水泥土固结体搭接宽度，当注浆孔长度不大于10.0m时，不应小于150mm；当注浆孔长度为10.0m～20.0m时，不应小于250mm；当注浆孔深度为20.0m～30.0m时，不应小于350mm。对地下水位较高、渗透性较强的地层，可采用双排水平高压喷射注浆帷幕。

6.2.6 水平高压喷射注浆水泥浆液的水灰比宜取0.9～1.1，水泥掺量宜取土的天然重度的25%～40%。

6.2.7 水平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选择喷射压力、注浆流量、拔管速度、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拔管速度、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。

6.2.8 水平高压喷射注浆截水帷幕施工时应符合下列规定：

1 采用与管棚咬合的高压喷射注浆截水帷幕时，应先进行管棚施工，后进行高压喷射注浆施工，截水帷幕与管棚应充分咬合；

2 高压喷射注浆的施工作业顺序应采用隔孔分序方式，相邻孔喷射注浆的间隔时间不宜小于24h；

3 喷射注浆时，应由远而近均匀喷射；

4 可采用复喷工艺增大固结体半径、提高固结体强度；

5 喷射注浆时，当孔口的返浆量大于注浆量的20％时，可采用提高喷射压力等措施；

6 当因浆液渗漏而出现孔口不返浆的情况时，应将注浆管停置在不返浆处持续喷射注浆，并宜同时采取有效措施，直至出现孔口返浆；

7 喷射注浆后，发现未达到设计要求时，应进行补浆；

8 当喷射注浆因故中途停喷后，继续注浆时应与停喷前的注浆体搭接，其搭接长度不应小于500mm；

9 当注浆孔邻近既有建（构）筑物时，宜采用速凝浆液进行喷射注浆；

10 高压旋喷、摆喷注浆帷幕的施工尚应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79的有关规定。

6.2.9 水平高压喷射注浆的施工偏差应符合下列要求：

1 孔位偏差不大于20mm；

2 注浆孔偏离轴心倾斜不大于0.5%。

6.2.10 截水帷幕的质量检测应符合下列规定：

1 与管棚咬合的高压喷射注浆帷幕，应在通道开挖过程中，检测水泥土固结体的外观；检测点应按随机方法选取或选取施工中出现异常或开挖中出现漏水的部位；

2 对施工质量有怀疑时，可在掌子面超前钻孔检查止水效果。

6.2.11 若通道顶部、两侧采用锁扣管棚止水时，底部即可以采用锁扣管棚，也可以采用高压喷射注浆帷幕，但要确保通道外围与掌子面前始终形成封闭帷幕。

6.3 降水

6.3.1 通道降水可采用管井、真空井点、喷射井点等方法，并宜按表6.3.1的适用条件选用。

表6.3.1 各种降水方法的适用条件

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

6.3.2 降水后通道内的水位应低于洞底0.5m。当主体结构有加深的电梯井、集水井时，坑底应按电梯井、集水井底面考虑或对其另行采取局部地下水控制措施。通道采用截水结合坑外减压降水的地下水控制方法时，尚应规定降水井水位的最大降深值和最小降深值。

6.3.3 降水井在平面布置上应沿通道周边形成闭合状。当地下水流速较小时，降水井宜等间距布置；当地下水流速较大时，在地下水补给方向宜适当减小降水井间距。对长度较小的通道，降水井也可在通道两端布置。

6.3.4 通道地下水位降深应符合下式规定：

*s*i≥*s*d （6.3.4）

式中：*s*i──通道内任一点的地下水位降深(m)；

*s*d──通道地下水位的设计降深(m)。

6.3.5 管井、真空井点及喷射井点系统的地下水降深计算、影响半径、井距、流量、构造、施工与维护等，应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120规定。

6.3.6 抽水系统的使用期应满足地下通道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。

6.3.7 当通道降水引起的地层变形对通道周边环境产生不利影响时，宜采用回灌方法减少地层变形量。回灌方法宜采用管井回灌，回灌应符合下列规定：

1 回灌井应布置在降水井外侧，回灌井与降水井的距离不宜小于6.0m；回灌井的间距应根据回灌水量的要求和降水井的间距确定；

2 回灌井宜进入稳定水面不小于1.0m，回灌井过滤器应位于渗透性强的土层中，且宜在透水层全长设置过滤器；

3 回灌水量应根据水位观测孔中水位变化进行控制和调节，回灌后的地下水位不应超过降水前的水位。采用回灌水箱时，箱内水位应根据回灌水量的要求确定；

4 回灌用水应采用清水，宜用降水井抽水进行回灌。回灌水质应符合环境保护要求。

6.3.8 当导洞内土层含水量大，需要疏干时，宜在导洞底部中间设置一道排水盲沟连续疏干排出洞外，洞通后及时注浆填实。

6.3.9 排水系统的输水能力应满足降水井抽水的总涌水量要求。

6.3.10 降水引起的地层变形计算，按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120规定执行。

6.4 集水明排

6.4.1 对洞底汇水、通道周边地表汇水及降水井抽出的地下水，可采用明沟排水；对洞底渗出的地下水，可采用盲沟排水。

6.4.2 排水沟的截面应根据设计流量确定，排水沟的设计流量应符合下式规定：

*Q*≤*V*/1.5 （6.4.2）

式中：*Q*──排水沟的设计流量（m3/d）；

*V*──排水沟的排水能力（m3/d）。

6.4.3 明沟和盲沟坡度不宜小于0.3％。采用明沟排水时，沟底应采取防渗措施。采用盲沟排出坑底渗出的地下水时，其构造、填充料及其密实度应满足衬砌结构的要求。

6.4.4 沿排水沟宜每隔30.0m～50.0m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。

6.4.5 掌子面渗水宜采用渗水部位插入导水管排出。导水管的间距、直径及长度应根据渗水量及渗水岩土层的特性确定。

6.4.6 采用管道排水时，排水管道的直径应根据排水量确定。排水管的坡度不宜小于0.5%。排水管道材料可选用钢管、PVC管。排水管道上宜设置清淤孔，清淤孔的间距不宜大于10.0m。

6.4.7 通道排水与市政管网连接前应设置沉淀池。明沟、集水井、沉淀池使用时应排水畅通并应随时清理淤积物。

7 开挖与监测

7.1 开挖

7.1.1 通道开挖应符合下列规定：

1 当支护结构构件强度达到开挖阶段的设计要求时，方可开挖通道；

2 对于大跨度通道，可以分隔成几个小跨度导洞隔跨错段开挖，相邻导洞水平错段距离不应小于1.5h，且不得小于6.0m；单个导洞开挖跨度一般不宜大于5.0m；当通道高度大于3.0m时，每个导洞可以采用台阶留核心土法开挖，否则采用全断面留核心土法开挖；

3 型钢刚架架设且挂网喷射混凝土后，方可前挖，应按支护结构设计规定的施工顺序和开挖尺度分步开挖，开挖步距不宜大于750mm，并应及时封闭成环；

4 开挖时，挖土机械不得碰撞或损害喷射混凝土墙面、型钢支撑及其连接件等构件，不得损害管棚、锁脚锚杆及锁扣梁柱；

5 当地下通道采用降水时，应在降水后开挖土方；

6 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明显不符，或出现异常现象、不明物体时，应停止挖土，在采取相应处理措施后方可继续开挖；

7 单个导洞从两端同时向中部开挖时，在两个掌子面达到水平间距2.0h范围，一侧须立即停止开挖并做好掌子面支护。仅保留另一侧开挖并做好支护结构连结，直至洞通。

7.1.2 全断面留核心土法施工应符合下列规定：

1 宜采用小型机械作业，各种机械设备应合理配套；

2 应根据掌子面围(岩)土稳定情况、开挖及支护进度、超挖控制等确定循环进尺，并符合设计规定；

3 核心土高度宜为开挖高度的一半，宽度宜为通道开挖宽度的1/3～1/2，长度不宜超过2.0m；

4 钢架施工时，应采取有效措施控制其下沉和变形；

5 钢架下部左、右角点应施打锁脚锚杆；

6 掌子面超前支护完成后，方可开挖；

7 留核心土每循环进尺宜与其他分部循环进尺相一致。

7.1.3 台阶法施工应符合下列规定

1 台阶数量和台阶高度应综合考虑通道断面高度、机械设备及围(岩)土稳定性等因素确定。台阶开挖高度宜为2.5～3.5m。可采用二台阶法或者三台阶法，台阶数量不宜多于3个；

2 上下台阶前后距离不宜大于3.0m；

3 导洞两侧挖至设计高程后，应立即架设刚架；

4 每个台阶钢架下部左、右角点均应施打锁脚锚杆；

5 下部施工应减少对上部围(岩)土、支护的干扰和破坏；

6 下台阶应在上台阶喷射混凝土强度达到设计强度的50%以后开挖；

7 钢架与喷射混凝土衬砌应及时封闭成环。

7.1.4 软土通道开挖除应符合本规程第7.1.1条的规定外，尚应符合下列规定：

1 应按分层、分段、对称、均衡、适时的原则开挖；

2 应做好预注浆，并使土体加固强度达到要求后，方可开挖。

7.1.5 在未达到设计规定的拆除条件时，严禁拆除中隔墙或支撑。

7.1.6 通道顶部施工材料、设施或车辆荷载严禁超过设计要求的地面荷载限值。

7.1.7 通道开挖和支护结构使用期内，应按下列要求对通道进行维护：

1 雨期施工时，应在洞端、洞底采取有效的截排水措施；对地势低洼的通道，应考虑周边汇水区域地面径流向通道汇水的影响；排水沟、集水井应采取防渗措施；

2 通道端口坡面应作边坡支护，地面宜作硬化或防渗处理；

3 通道周边的施工用水应有排放措施，不得渗入土体内；

4 当导洞渗水、积水或有渗流时，应及时进行疏导、排泄、注浆、截断水源；

5 条件具备时，应及时进行主体地下结构施工；

6 主体地下结构施工时，结构外墙与通道侧壁之间如有空隙应及时回填。

7.1.8 支护结构或通道周边环境出现本规程第7.2.20条规定的报警情况或其他险情时，应立即停止开挖，并应根据危险产生的原因和可能进一步发展的破坏形式，采取控制或加固措施。危险消除后，方可继续开挖。必要时，应对危险部位采取导洞内加强支撑、回填、地面警示、临时支撑等应急措施。当危险由地下水管道渗漏、洞内渗水造成时，尚应及时采取截断渗漏水水源、疏排渗水等措施。

7.2 监测

7.2.1 通道支护设计应根据支护结构类型和地下水控制方法，按表7.2.1选择通道监测项目，并应根据支护结构的具体形式、通道周边环境的重要性及地质条件的复杂性确定监测点部位及数量。选用的监测项目及其监测部位应能够反映支护结构的安全状态和通道周边环境受影响的程度。

7.2.2 支护结构在通道开挖过程与支护结构使用期内，必须进行支护结构的洞顶沉降、洞内收敛监测和通道开挖影响范围内建（构）筑物、地面的沉降和地下水位监测。

表7.2.1 通道监测项目选择

|  |  |
| --- | --- |
| 监测项目 | 监测 |
| 通道周边建（构）筑物、地下管线、道路、地面沉降 | 应测 |
| 洞内收敛 | 应测 |
| 洞顶沉降 | 应测 |
| 支撑轴力 | 宜测 |
| 管棚内力 | 宜测 |
| 立柱支撑沉降 | 宜测 |
| 底板隆起 | 宜测 |
| 土压力 | 宜测 |
| 地下水位 | 应测 |
| 孔隙水压力 | 宜测 |
| 巡视 | 应测 |

注：表内各监测项目中，仅选择实际通道支护形式所含有的内容。

7.2.3 地面沉降监测点应按正交于通道掘进方向上数条平行测线布置，测线水平间距不宜大于7.5m，每条测线与各个导洞中心线交叉点均应设置监测点，通道两侧外1.5(H+h)范围应布置监测点不少于3个。通道周边有管线的部位、通道两侧及地质条件较差的部位应设置监测点。

7.2.4 通道周边建筑物沉降监测点应设置在建筑物的结构墙、柱上，并应分别沿平行、垂直于通道的方向上布设。在建筑物邻通道一侧，平行于通道方向上的测点间距不宜大于15.0m。垂直于通道方向上的测点，宜设置在柱、隔墙与结构缝部位。垂直于通道方向上的布点范围应能反映建筑物基础的沉降差。必要时，可在建筑物内部布设测点。

7.2.5 地下管线沉降监测，当采用测量地面沉降的间接方法时，其测点应布设在管线正上方。当管线上方为刚性路面时，宜将测点设置于刚性路面下。对直埋的刚性管线，应在管线节点、竖井及其两侧等易破裂处设置测点。测点水平间距不宜大于10.0m。

7.2.6 对通道顶面沉降、洞内收敛、支撑轴力、立柱沉降、地下水位、土压力、孔隙水压力进行监测时，监测点应布设在邻近建筑物、地下管线附近通道及地质条件较差的部位，监测点或监测面不宜少于3个。

7.2.7 洞内收敛监测宜采用收敛检测仪，一般监测断面间距不宜大于2.0h，且不大于10.0m，监测断面宜在同一环刚架内。

7.2.8 支撑轴力监测点宜设置在主要支撑构件、受力复杂和影响支撑结构整体稳定性的支撑构件上。宜在同一剖面的支撑上设置测点。

7.2.9 管棚内力监测点应设置在最大弯距截面处的钢管内。

7.2.10 立柱支撑沉降监测点宜设置在通道横断面中间立柱支撑上。

7.2.11 底板隆起监测点宜设置在导洞断面中间部位。

7.2.12 当监测地下水位下降对通道周边建筑物、道路、地面等沉降的影响时，地下水位监测点应设置在降水井或截水帷幕外侧且宜尽量靠近被保护对象。通道内地下水位的监测点可设置在通道内或相邻降水井之间。当有回灌井时，地下水位监测点应设置在回灌井外侧。水位观测管的滤管应设置在所测含水层内。

7.2.13 各类位移观测、沉降观测的基准点应设置在变形影响范围外，且基准点数量不应少于两个。

7.2.14 通道各监测项目采用的监测仪器的精度、分辨率及测量精度应能反映监测对象的实际状况。

7.2.15 应在通道开挖前或测点安装后测得稳定的初始值，且次数不应少于两次。

7.2.16 支护结构顶部沉降监测频次应符合下列要求：

1 通道向前开挖期间，监测不应少于每天一次，直至开挖停止后连续三天的监测数值稳定；

2 当地面、支护结构或周边建（构）筑物出现裂缝、沉降，遇到降雨、降雪、气温骤变，通道出现异常的渗水或漏水，地面荷载增加等各种环境条件变化或异常情况时，应立即进行连续监测，直至连续三天的监测数值稳定；

3 当位移速率大于前次监测的位移速率时，则应进行连续监测；

4 在监测数值稳定期间，应根据稳定值的大小及工程实际情况定期进行监测。

7.2.17 支护结构顶部沉降之外的其他监测项目，除应根据支护结构施工和通道开挖情况进行定期监测外，尚应在出现下列情况时进行监测，直至连续三天监测数值稳定：

1 出现本规程第7.2.16条第2、3款的情况时；

2 降水井抽水等引起地下水位下降时，应进行相邻建（构）筑物、地下管线、道路的沉降观测。

7.2.18 对通道监测有特殊要求时，各监测项目的测点布置、量测精度、监测频度等应根据实际情况确定。

7.2.19 在支护结构施工、通道开挖期间以及支护结构使用期内，应对支护结构和周边环境的状况随时进行巡查，现场巡查时应检查有无下列现象及其发展情况：

1 地面和道路开裂、沉陷；

2 通道周边建（构）筑物、围墙开裂、倾斜；

3 通道周边水管漏水、破裂，燃气管漏气；

4 衬砌表面开裂；

5 管棚或支撑变形，连接破损等；

6 锁脚锚杆部位面层开裂和错动；

7 通道侧壁和截水帷幕渗水、漏水、流砂等；

8 降水井抽水异常，通道排水不通畅。

7.2.20 通道监测数据、现场巡查结果应及时整理和反馈。当出现下列危险征兆时应立即报警：

1 支护结构位移达到设计规定的位移限值；

2 支护结构位移速率增长且不收敛；

3 支护结构构件的内力超过其设计值；

4 通道周边建（构）筑物、道路、地面的沉降达到设计规定的沉降限值；通道周边建（构）筑物、道路、地面开裂；

5 支护结构构件出现影响整体结构安全性的损坏；

6 通道出现局部坍塌；

7 掌子面出现坍塌现象；

8 通道出现流土、管涌现象。

#

附录A 弹 性 支 点 法

A.0.1 通道顶部荷载标准值宜按本规程第3.4.4条规定计算(图4.1.3)。

A.0.2 支护结构的基本挠曲方程应按下式确定(图4.1.3)，支点处的边界条件可按本规程第A.0.3条确定：

当x≤*l*n， (A.0.2-1)

当x>*l*n， (A.0.2-2)

式中：*EI*——计算宽度内支护结构抗弯刚度；

*q0*——作用于支护结构的荷载；

*x*——洞口至计算点的水平距离；

*y*——计算点的竖向位移；

*ln*——洞口至掌子面水平距离；

*ksi*——未开挖段支撑管棚的地基土基床系数；

*bs*——荷载计算宽度，单根钢管，取管间距；

A.0.3 第*j*个(支撑提供)支点边界条件宜按下式确定:

 (A.0.3)

式中：*kTj*——第*j*个支点弹性系数；

*yj*——第*j*个支点位移值；

*y0j*——在*j*支点封闭成环前的位移值。

A.0.4 支护结构内力计算值可按下列规定计算(图A.0.4):



图A.0.4 管棚内力计算简图

 （A.0.4-1）

 （A.0.4-2）

式中：*l*j——支点力*Tj*至掌子面的水平距离；

*l*c——掌子面至计算点的水平距离；

Σ*F*mx——在未开挖段钢管下地基土弹性抗力合力值；

*l*mx——抗力合力作用点至计算点的水平距离；

*l0——*假设的一恒定嵌固段长度，建议取15~20*d*。

附录B 喷射混凝土墙、板增强作用

B.0.1 喷射混凝土墙、板增强作用仅考虑竖向墙体对立柱支撑及其底板基础面积增强效应。

B.0.2 立柱支撑的支点刚度系数，为竖向型钢立柱与其环间混凝土墙协同作用轴心抗压刚度系数，以及其底端地基基础提供的集中基床系数综合作用的结果，如图B.0.2，按下式计算：

 (B.0.2)

式中：*KTi*——竖向支撑的支点刚度系数(kN/m)；

*Kz,i*——竖向立柱支撑与其环间混凝土墙协同轴心抗压刚度系数，按(B.0.3)计算(kN/m)；

*Kdi*——立柱支撑下地基基础提供的集中基床系数，按(B.0.5)计算(kN/m)；



图B.0.2 竖向支点刚度系数计算简图

B.0.3 竖向型钢立柱与其环间混凝土墙协同作用轴心抗压刚度系数为：

 (B.0.3)

式中：*E*g——竖向立柱支撑型钢弹性模量(kN/m2)；

*A*gz——竖向立柱支撑型钢截面积(m2)；

*E*c——喷射混凝土墙体抗压弹性模量设计值(kN/m2)；

*A*c——环间墙体水平向面积(m2)；

*ξi*——喷射混凝土墙体强度发挥系数，按B.0.4确定；

*h*0——竖向支撑的计算高度(一般可近似取计算洞高*h*，m)。

B.0.4 在过渡段内，与立柱协同作用的喷射混凝土墙体支撑，其强度增长系数变化按线性考虑，按下式计算。

 (B.0.4)

式中：*i*——支撑钢架序数(1≤*i≤Lg*/Δ*T*，从掌子面紧邻的第一榀刚封闭支撑钢架逆向排序)；

*ΔT——*支撑钢架榀间距(m)；

*Lg——*过渡段长度(m)。

B.0.5 过渡段立柱支撑下地基基础提供的集中基床系数，按4.1.6条确定。

B.0.6 过渡段立柱支撑下基础，因喷射混凝土底板强度增长程度不同，其发挥面积变化也按线性考虑，按下式计算。

 (B.0.5)

*BT*——导洞开挖宽度(m)；

*B0*——支撑钢架底部型钢横梁宽度(m)；

附录C 基床反力系数推荐值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地基一般特性 | 土的种类 | 基床反力系数*k*（kN/m3） |
| 种 类 | 状 态 |
| 松软土 | 流动砂土、软化湿土、新填土 | 软塑 | 1000~5000 |
| 流塑粘性土、淤泥及淤泥质土、有机质土 | 软塑 | 5000~10000 |
| 粘土及粉质粘土 | 软塑 | 10000~20000 |
| 可塑 | 20000~40000 |
| 软粉质粘土 | 软塑 | 10000~30000 |
| 可塑 | 30000~50000 |
| 中等密实土 | 砂土 | 松散或稍密 | 10000~15000 |
| 中密 | 15000~25000 |
| 密实 | 25000~40000 |
| 碎石土 | 稍密 | 15000~25000 |
| 中密 | 25000~40000 |
| 黄土及黄土状粉土 |  | 40000~50000 |
| 密实土 | 粘土及粘土 | 硬塑 | 40000~100000 |
| 粉土 | 硬塑 | 50000~100000 |
| 碎石土 | 密实 | 50000~100000 |
| 极密实土 | 人工压实的填粉质粘土、硬粘土 |  | 100000~200000 |
| 坚硬土 | 冻土层 |  | 200000~1000000 |
| 岩石 | 硬质 | 软质岩土、中等风化或强风化 | 200000~10000001000000~15000000 |
| 硬质 | 微风化 |
| 桩基 | 摩擦桩 | 软弱土层 | 10000~50000 |
| 端承桩 | 穿过软土层达密实砂层及粘土层 | 5000~150000 |
| 嵌岩桩 | 桩端至岩层 | 8000000 |

# 本标准用词说明

**1** 为方便在执行本标准条文时区别对待，对于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：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2） 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3） 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2** 规程中指明应按其他有关标准、规范执行的，写法为：“应按……执行”或“应符合……的规定（或要求）”。

# 引用标准名录

1 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007

2 《混凝上结构设计规范》 GB 50010

3 《钢结构设计规范》 GB 50017

4 《岩土工程勘察规范》 GB 50021

5 《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》 GB 50086

6 《混凝土结构工程施工质量验收规》 GB 50204

7 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205

8 《地下水环境质量标准》GB/T 14848

9 《公路桥涵设计通用规范》 JTG D60

10 《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79

11 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94

12 《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111

13 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120

14 《建筑工程水泥-水玻璃双液浆技术规程》JGJ/T 211

**中国工程建设协会标准**

**城市超浅埋暗挖大断面地下通道支护技术规程**

**T/CECS XXXX：2018**

条文说明

目 录

[1 总 则 71](#_Toc90026300)

[3 基本规定 73](#_Toc90026301)

[3.1 支护结构形式 73](#_Toc90026302)

[3.2 设计原则 73](#_Toc90026303)

[3.3 勘察要求与环境调查 74](#_Toc90026304)

[3.4 作用荷载 75](#_Toc90026305)

[4 支护结构 77](#_Toc90026306)

[4.1 结构分析 77](#_Toc90026307)

[4.3 稳定性验算 79](#_Toc90026308)

[4.4 管棚设计 80](#_Toc90026309)

[4.5 管棚施工与检测 81](#_Toc90026310)

[4.6 支撑结构设计 82](#_Toc90026311)

[5 预注浆 84](#_Toc90026312)

[5.1 一般规定 84](#_Toc90026313)

[5.2 注浆材料 84](#_Toc90026314)

[5.3 注浆设计 86](#_Toc90026315)

[5.4 注浆施工 86](#_Toc90026316)

[6 地下水控制 88](#_Toc90026317)

[6.1 一般规定 88](#_Toc90026318)

[6.2 截水 88](#_Toc90026319)

[6.3 降水 90](#_Toc90026320)

[6.4 集水明排 91](#_Toc90026321)

[7 开挖与监测 92](#_Toc90026322)

[7.1 开挖 92](#_Toc90026323)

[7.2 监测 94](#_Toc90026324)

1 总 则

1.0.1 本规程是我国第一本超浅埋暗挖大断面矩形地下通道支护技术标准。超浅埋暗挖大断面矩形地下通道暗挖工程在建筑行业内是属于高风险的技术领域，全国各地地下通道工程事故不断出现。不合理的设计低劣的施工质量是造成这些通道事故的主要原因。地下暗挖通道工程中保证环境安全与工程安全，提高支护技术水平，控制施工质量，同时合理地降低工程造价，是从事地下通道工程工作的技术管理人员应遵守的基本原则。通道支护在功能上的两个显著特点是，它不仅用于为主体地下结构的施工创造条件和保证施工安全，更为重要的是要保护通道顶部道路、管线及周边环境不受到危害。通道支护在保护环境方面的要求，对城市地域尤为突出。对此，工程建设及监理单位、通道支护设计施工单位乃至工程建设监督管理部门应引起高度关注。

1.0.2 本条明确了本规程的适用范围。本规程的规定限于超浅埋暗挖大断面矩形临时性通道支护，支护结构是按临时性结构考虑的，因此，规程中有关结构和构造的规定未考虑耐久性问题，荷载及其分项系数按临时性考虑。地下水控制的一些方法也是仅按适合临时性措施考虑的。一般地质地层是指全国范围内第四纪全新世Q4与晚更新世Q3沉积土中，除去某些具有特殊物理力学及工程特性的特殊土类之外的各种土类地层。现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021中定义的有些特殊土是属于适用范围以内的，如软土、混合土、填土、残积土，但是对湿陷性土、多年冻土、膨胀土等特殊土，本规程中采用的土压力计算与稳定分析方法等尚不能考虑这些土的固有的特殊性质的影响。对这些特殊土地层，应根据地区经验在充分考虑其特殊性质对暗挖通道支护的影响后，再按本规程的相关内容进行设计与施工。对岩质地层，因岩石压力的形成机理与土质地层不同，本规程未涉及岩石压力的计算，但有关支护结构的内容，岩石地层的通道支护可以参照。本规程未涵盖的其他内容，应通过专门试验、分析并结合实际经验加以解决。

1.0.3 超浅埋暗挖支护技术涉及岩土与结构的多门学科及技术，对结构工程领域的混凝土结构、钢结构等，对岩土工程领域的浅埋暗挖、桩、地基处理方法、岩土锚固、地下水渗流等，对湿陷性黄土、多年冻土、膨胀土、盐渍土、岩石通道等和按抗震要求设计时，需要同时采用相应规范。因此，在应用本规程时，尚应根据具体的问题，遵守其他相关规范的要求。

3 基本规定

3.1 支护结构形式

3.1.3 地下水丰富、软弱破碎地层中，开挖后变形快，早期压力大，自稳时间短，单靠初期支护不能满足要求时，或工程对地表变形控制严格时应采取用相应的辅助施工措施对土体进行处理，采用何种辅助方法应经过技术经济比较后确定。

3.1.4 通道洞口段开挖时极易发生塌坍、掌子面滑动，地表水下渗使地表下沉、地基承载力不足等情况。因此在选定洞口方案时，应充分考虑到这些不利条件，作到有备无患。通道洞口段多土质不良，或经过多次扰动，加上相关工程影响，使本来不良的地质条件更加恶化。因此结构受力多变且不可预测，故要求对洞口土体进行全断面预加固，同时洞口结构采用刚性支护且宜早封闭，有条件时主体结构应尽早做好。

3.2 设计原则

3.2.1 通道支护是为通道主体结构施工而采取的临时措施，地下结构施工完成后．支护也就随之完成其用途，故支护结构的使用期短，一般情况在一年之内。如果通道开挖后支护结构的使用持续时间较长，荷载可能会随时间发生改变，材料性能和周边环境也可能会发生变化。所以，为了防止人们忽略由于延长支护结构使用期而带来的荷载、材料性能、通道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使用期限，并应在设计文件中给出明确规定。

支护结构的支护期限规定不小于一年，除考虑通道主体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。一年中的不同季节，地下水位、气候、温度等外界环境的变化会使土的性状及支护结构的性能随之改变，而且有时影响较大。受各种因素的影响，设计预期的施工季节并不一定与实际施工的季节相同，即使对支护结构使用期不足一年的工程，也应使支护结构一年四季都能适用。因而，本规程规定支护结构使用期限应不小于一年。

对有特殊施工周期要求工程，应该根据实际情况延长支护期限并应对荷载、结构构件的耐久性等设计条件作和应考虑。

3.2.8 通道支护是为通道主体结构施工而采取的临时措施，使用期短，一般情况在一年之内，故支护结构不考虑偶然作用和地震作用。

3.3 勘察要求与环境调查

3.3.1 本条提出的是除常规勘察之外，针对通道支护工程的特殊勘察要求。

当场地土层分布较均匀时，采用周边勘察孔是可以的，但土层分布起伏大或某些软弱土层仅局部存在时，会使支护设计的岩土依据与实际情况偏离，从而造成工程风险。因此，有条件的场地应按本条要求增设勘察孔。当通道底面以下有承压含水层时，由于在通道开挖后土自重压力的减少，如承压水头高于通道底面应考虑是否会产生含水层水压力作用下顶破上覆土层的突涌破坏。因此，通道底面以下存在承压含水层时，勘探孔深度应能满足测出承压含水层水头的需要。

3.3.2 通道周边环境条件是支护结构设计的重要依据之一。城市地下通道周围通常存在道路、各种市政地下管线、既有地上地下建（构）筑物等，而支护的主要作用之一是保护其周边环境不受损害。同时，通道周边道路及即有地上地下建（构）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道路、地下管线、地上地下建（构）筑物等的影响。为了使支护设计具有针对性，应查明通道周边环境条件，并按这些环境条件进行设计，施工时应防止对其造成损坏。

3.4 作用荷载

3.4.1 通道洞口段开挖时极易发生塌坍、掌子面滑动，地表水下渗使地表下沉、地基承载力不足等情况。因此在选定洞口方案时，应充分考虑到这些不利条件，作到有备无患。通道洞口段多土质不良，或经过多次扰动，加上相关工程影响，使本来不良的地质条件更加恶化。因此结构受力多变且不可预测，故要求对洞口土体进行全断面预加固，同时洞口结构采用刚性支护且宜早封闭，有条件时主体结构应尽早做好。

4 支护结构

4.1 结构分析

4.1.1 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款针对管棚支护结构结构，首先将结构的挡土构件部分取作分析对象，按梁计算。挡土结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析。分解出的支撑结构按平面结构进行分析，将挡土结构分析时得出的支点力作为荷载反向加至支撑上，支撑计算分析的具体要求见本规程第4.6节。值得注意的是，将管棚支护结构分解为挡土结构和支撑结构并分别计算时，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2款针对空间结构体系和针对支护结构与土为一体进行整体分析的两种方法。

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。本规程有关支挡式结构计算分析的内容主要是针对平面结构的。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状态。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，才能建立出合理的空间结构模型。按空间结构分析时，应使结构的边界条件与实际情况足够接近，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把握和经验。

4.1.2 支护结构的构件，是随通道开挖过程逐步设置的，通道按支撑架设的位置分布序开挖。支护结构设计状况，是指设计时就要拟定支撑与通道开挖的关系，设计好开挖与支撑设置的步骤，对每一开挖过程支护结构的受力与变形状态进行分析。因此，支护结构施工和通道开挖时，只有按设计的开挖步骤才能满足符合设计受力状况的要求。一般情况下，支护结构的设计工况仅考虑全断面开挖支护完成时的状况及每个导洞单向开挖支护或相向开挖支护中部相遇贯通时的状况，未考虑管棚变形在从进口至一定开挖地段内的累计效应，计算某个或数个工况的变形值，远小于实际工程发生的沉降、倾斜变形值，此时支护结构构件的变形可能会是最大的。

4.1.3~4.1.9 这几条是对弹性支点法计算方法的规定。弹性支点法的计算要求，总体上保持了《建筑基坑支护技术规程》JGJ120的模式。附录C摘自中国建筑科学研究院地基所(TJ7-74)修改序号16《筏式基础的设计和计算》专题报告

4.3 稳定性验算

4.3.1 支护结构的整体滑动稳定性验算公式（4.3.1-2)以瑞典条分法计算公式为基础。滑弧稳定性验算应采用搜索的方法寻找最危险滑弧。由于目前程序计算已能满足在很短时间对圆心及圆弧半径以微小步长变化的所有滑动体完成搜索，所以不提倡采用经典教科书中先设定辅助线，然后在辅助线上寻找最危险滑弧圆心的简易方法。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。

为了适用于地下水位以下的圆弧滑动体，并考虑到滑弧同时穿过砂土、黏性土的计算问题，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。公式（4.3.1-2）是通过将土骨架与孔隙水一起取为隔离体进行静力平衡分析的方法，可用滑弧同时穿过砂土、黏性土的整体稳定性验算公式。

4.4 管棚设计

4.4.1 国内实际地下通道工程中，采用管内充填混凝土管棚占绝大多数，但有些情况下，需要采用型插入钢管内以提高钢管刚度。只要管内充填密实的且不低于C30混凝土，则二者抗力性能可以叠加，结构受力类型是相同的，可按本章管棚结构进行设计计算。但采用管内插型钢时，应考虑其刚度、构造及施工工艺上的不同特点，不能盲目使用。

4.4.4 为增加管棚整体性或止水需要，可在钢管之间设置锁口，使钢管彼此搭接，形成管幕。常用锁口方式如图4.4.4所示。



图4.4.4 锁口方式

4.4.6 锁扣梁、柱是支护结构的组成部分，起到传力作用，除需满足构造要求外，与管棚连接的梁、柱内力应进行截面设计。

4.5 管棚施工与检测

4.5.1 管棚与建筑桩基水平钢桩相同，钢桩的施工要求在现行国家行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94中已作规定。因此，本规程仅对管棚用于通道支护时的一些特殊施工要求进行了规定，对水平钢桩常规施工要求不再重复。

4.5.2 本条是对当管棚的附近存在既有建筑物、地下管线等环境且需要保护时，应注意的一些管棚的施工问题。这些问题处理不当，经常会造成通道周边建筑物、地下管线等被损害的工程事故。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。

4.5.3 为保证掌子面附近未支护段(一般约3.0m)内，管棚做为多根单管复合梁的可靠性，纵向受力管棚的连接方式和连接接头面积百分率参照了现行国家标准《混凝上结构设计规范》GB50010 对梁类构件的规定。

4.5.7 锁扣梁、柱通过传递剪力调整管与管之间力的分配，当端口导洞开挖时，管棚上的土压力将传递到锁扣梁、柱上。由于锁扣梁、柱与管的连接处结合面薄弱或梁、柱强度、刚度不够时，梁、柱会剪切破坏。因此，应保证锁扣梁、柱与钢管结合面的施工质量。

4.6 支撑结构设计

4.6.1 型钢支架，不仅具有自重轻、安装和拆除方便、施工速度快、可以重复利用等优点，而且安装后能立即发挥支撑作用，对减小由于时间效应而产生的支护结构位移十分有效。但型钢支撑节点构造和安装相对复杂，需要具有一定的施工技术水平。

喷射混凝土墙、板是在通道内现浇而成的结构体系，具有刚度大、整体性好、施工技术相对简单等优点，所以，应用范围较广。但喷射混凝土墙、板需要较长的制作和养护时间，制作后不能立即发挥支撑作用，需要到一定时间才能到达材料强度。

4.6.2 支撑结构形式很多，从结构受力形式划分，可主要归纳为以下几类：中隔墙或无中隔墙的上下或左右对撑或与有斜撑构成封闭支架。每类支撑形式又可根据具体情况有多种布置形式。一般来说，对宽度不大的通道常采用无中隔墙的上下或左右对撑形式；对宽度较大或的通道需采用有中隔墙的上下或左右对撑形式；对大尺寸的通道，还要设置斜撑构成封闭支架；对高度较大、面积较大通道，需要时，应考虑设置中部横撑结构。但需注意，在设置支撑前，无撑支护结构应能够满足承载力、变形和整体稳定要求。对各类支撑形式，支撑结构的布置要重视支撑体系总体刚度的分布，避免突变，尽可能使水平力作用中心与支撑刚度中心保持一致。

4.6.4 实际工程中支撑和管棚以及喷射混凝土等连接成一体并形成空间结构。因此，在一般情况下应考虑支撑体系在平面上各点的不同变形与管棚的变形协协调作用而优先采用整体分析的空间分析方法。但是，支护结构的空间分析方法由于建立模型相对复杂，部分模型参数的确定也没有积累足够的经验，因此，目前将空间支护结构简化为平面结构的分析方法和平面有限元法应用较为广泛。

4.6.5 温度变化会引起钢支撑轴力改变，但由于对钢支撑温度应力的研究较少，目前对此尚无成熟的计算方法。温度变化对钢支撑的影响程度与支撑构件的长度有较大的关系，根据经验，对长度超过40.0m的支撑，认为可考虑10％~20％的支撑内力变化。

4.6.8 预加轴向压力可减小通道开挖后支护结构的竖向位移、检验支撑连接结点的可靠性。但如果预加轴向力过大，可能会使支挡结构产生反向变形、增大通道开挖后的支撑轴力。根据以往的设计和施工经验，预加轴向力取支撑轴向压力标准值的(0.5~0.8）倍较合适。但特殊条件下，不一定受此限制。

4.6.11钢支撑的整体刚度依赖于构件之间的合理连接，其构件的拼接尚应满足截面等强度的要求。常用的连接方法有螺栓连接和焊接。螺栓连接施工方便，速度快，但整体性不如焊接好。焊接一般在现场拼接，由于焊接条件差，对焊接技术水平要求较高。

5 预注浆

5.1 一般规定

5.1.1 为了保证注浆施工质量，确保环境安全，在设计前应取得较为完整的场地工程地质、水文地质资料以及环境资料，特别是周边建构筑物地基基础情况，地下工程和管线情况等。如果环境安全风险较大，应提前开展专项风险评估和风险专项设计、专项施工方案编制等工作。

5.1.3 注浆效果不仅受到不同水文地质条件、工程地质条件、环境条件等的约束，也和注浆材料的选择、配比等密切相关，因此如果缺乏经验，应通过开展注浆试验，选取合适的注浆工艺和合理的注浆方法，并通过室内浆材配比试验和现场注浆试验，确定浆液配比和注浆工艺，为优化设计及后续施工提供依据。

5.2 注浆材料

5.2.1 浆材品种和性能直接关系注浆工程的成败、质量和造价。针对具体条件，所选浆材必须具有可注性、抗分散型、早强、凝结时间可控及材料粒径分布的均匀性、耐久性等特性。

5.2.2 单液水泥浆价格低、结石体强度高，是较粗颗粒地层注浆的主要浆液。改性水玻璃单液浆价格便宜、可注性好，凝胶时间可调，但其长期强度较低，因此适用于短期或临时止水或加固工程。

硫铝酸盐是一种较新型的注浆材料，它具有早强、高强和耐久性好、凝胶时间可调等特点，因此对于地下水流速快、需快速凝结的通道工程较适用。

水泥颗粒直径一般在40~100，比表面积为3170cm2/g左右，所以对于渗透注浆来说，难于注入渗透系数小于5×10-4cm/s的中砂；超细水泥一般平均粒径为4，最大粒径应在10~12以下，可灌入细砂甚至粉砂中，且结石强度较大。

5.2.4 注浆用水玻璃对模数和浓度有一定要求。模数M是描述水玻璃性能的重要参数，定义为水玻璃含二氧化硅的摩尔数与氧化钠的摩尔数的比值。模数大小对注浆的影响很大。模数较小时，二氧化硅含量低，凝结时间长，结石体强度低；模数大时，二氧化硅含量高，凝结时间短，结石体强度高。模数过大过小对注浆都不利。水玻璃的浓度用波美度（°Be）表示。其浓度高低对固结体的性质影响较大，浓度低，强度低，浓度过高，则黏度增加，浆液的可注性较差。本规程建议采用原材料浓度不应小于40°Be，实际应用时，需根据室内试验确定其具体数值并根据需要进行稀释使用。

5.3 注浆设计

5.3.3 在超浅埋暗挖工程中，注浆压力的控制是一个重点。为了避免地面冒浆，要对压力进行有效控制。注浆压力大约等于注浆点位置以上土层厚度的压力。如果地表以上还有结构物传递下来的面荷载，还可以提高注浆压力使其等于注浆点以上土层厚度的压力与结构物荷载压力之和。

5.3.4 对于超浅埋隧道，往往存在于软弱地层，由于拱效应不明显，因此往往采用超前小导管注浆支护。超前小导管注浆必须配合钢拱架使用。北京地区常用的超前小导管直径为32mm；本条规定外插角不宜大于20°，一般为10~15°，以减少超挖。

5.3.6 长孔预注浆技术在20世纪八、九十年代建设的北京复八线较早得到了应用，近20年来，随着北京等城市轨道交通建设施工的迫切需要，通过在注浆设备和工艺的不断改进，本项技术的应用逐步普遍，其主要优点是，和小导管注浆相比，注浆深度能到超过6.0m的极限，加固范围更广；而和大管棚注浆技术相比，操作较为方便，适用范围较广。

5.4 注浆施工

5.4.2 工程中一般使用的止浆塞类型有螺杆挤压胶球式、气胀或水胀胶囊式，以及孔口封闭器等。

5.4.3 压力表在实际注浆工程中易于损坏。为了防止浆液进入压力表和延长压力表的使用寿命，本条规定了压力表和管路之间应设置隔浆装置，具体可采用塑料薄膜来实现。

5.4.4 注浆属于隐蔽工程，但其质量对工程的顺利实施至关重要，而注浆的现场记录是分析注浆效果的主要依据，因此应按照本条要求如实记录获取的施工情况。为了避免人工记录经常出现的不准确、不细致、不及时等种种问题，本条特别强调了采用自动化实施监测手段。另外，还应同时监测注浆影响范围内的环境安全状态，包括道路、建筑物、管线等。

5.4.6 目前，国内地铁工程中长孔注浆加固施工主要采用双重管无收缩注浆工艺（简称为WSS工艺）、水平袖阀管注浆工艺、水平旋喷注浆工艺，近年来北京交通大学、中铁瑞威公司等又开发了TGRM前进式注浆工艺，在地下工程中得到了较好的应用。

5.4.8 在注浆过程中，要严密监测注浆压力。当压力不断提高，同时注浆量逐渐减小一般是正常的。要特别关注压力急剧上升、流量急剧减小的情况，或压力长时间不上升、流量不明显减小等特殊情况，前者可能是管路堵塞，后者可能存在跑漏浆的情况。

6 地下水控制

6.1 一般规定

6.1.1 明排一般只作为帷幕截水、降水或截水与降水组合方法的辅助措施，单独作为地下水控制的措施时具有较大的安全风险，需进行充分的分析、论证。

6.1.3 降水引起的通道周边地层的沉降变形计算宜按照现行的《建筑基坑支护技术规程》JGJ120或《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ111的相关规定执行。降水引起的通道周边建构筑物、地下管线、道路等沉降变形宜利用解析法或数值法预测计算分析。

6.2 截水

6.2.1 不同的截水帷幕形式的设计内容有所不同，施工的种类也较为繁多，选择截水帷幕的形式时既要考虑到实际截水的效果，又要因地制宜、就地取材，必要时通过现场试验，以验证设计的合理性和施工的可行性。

6.2.2 注浆范围内的土层不均匀时，浆液容易向渗透性大的土层先渗透，此类土层应采用分段式注浆，确保截水帷幕的整体封闭。对于存在着较大水流的区域注浆，浆液初凝时间大于10min时会因大量流失而失去加固效果，此类情况下应采取双液注浆，缩短浆液凝固时间。

6.2.5 一般认为单排旋喷帷幕只要固结体能够相互搭接、注浆体连续、渗透系数小于 10-6cm/s 是可以起到截水效果的，但受施工偏差、地层条件、地下水条件制约，有时很难达到理想的搭接宽度要求。而设计搭接过大，则固结体的间距减小、有效部分过少，又会造成浪费和增加工期。故当遇到注浆孔长度较长（如超过15.0m）、地下水位较高、渗透系数加大的地层等情况时，可考虑使用双排注浆帷幕，以克服单排施工偏差的搭接不足的问题。

6.2.7 水平高压喷射注浆固结体的直径或半径受施工工艺、喷射压力、拔管速度、土类和土性等因素影响，主要依靠喷射压力和拔管速度来实现设计直径或半径、保证固结体质量，相同的喷射压力在不同的土层产生桩体直径不一样，应根据具体的土质条件来进行调控。

6.2.8 第1款 旋喷、摆喷注浆固结体的平面轴线关系应使旋喷、摆喷固结体受力后与管棚之间有一定的压合面。

第2款 根据工程经验，在标准贯入锤击数 N＞12 的黏性土、标准贯入锤击数 N＞20 的砂土中，最好采用复喷工艺，以增大固结体半径、提高固结体强度。

6.2.10 截水帷幕是隐蔽工程，帷幕桩质量的检验是确保工程安全质量的重要手段，暗挖施工前应采取有效手段对其进行检验，尤其是深度和连续性的检查是必要的。对于水泥土类隔水帷幕，可采取浆液试块强度试验的方法检测其强度，另外钻芯检验方法除检测芯样强度外，可检测其深度和均匀性。

6.3 降水

6.3.1 近年来洞内轻型井点降水在暗挖工程中应用较多，只是井点打设位置和角度有所不同，即一般采用水平井点和倾斜井点降水。一般情况下在地面无法布置降水井，暗挖断面为弱透水含水层，以及没有承压水影响或承压水影响很小的情况下采用。

6.3.3 应合理进行降水井设计，严格控制降水井的施工质量，确保在降水井运行过程中不会产生水土流失，并在降水井的运行过程中对含砂量的监测，及时规避降水对周边环境的危害。

6.3.5 目前，考虑到城市地下空间开发利用的不断发展，各种地下结构形成了纵横交错的人为隔水边界；同时又要考虑到各地对于地下水保护、生态补给等措施对地下水条件的影响，隔水和补给边界条件对地下工程的影响日渐突出，涌水量计算应给予充分考虑。

6.3.7 地下水回灌场地应选择在通道降水设施和需控制沉降的周边建(构)筑物或地下管线等之间，且回灌井的控制范围应大于周边建(构)筑物或地下管线等与通道相邻侧的边长。对人工回灌地下水要严格控制回灌水量和回灌水质量标准，避免引起次生地质、环境问题；回灌水的水质标准应满足现行国家标准《地下水环境质量标准》GB/T 14848 中的Ⅲ类水水质标准，或不低消纳含水层的水质标准。

6.4 集水明排

6.4.1 集水明排是在通道内设置排水沟和集水井，用抽水设备将水从集水井抽出，达到疏干积水的目的。集水明排可单独采用，亦可与其他方法结合使用。当含水层底板位于暗挖结构底面以上或其底面接近含水层底板时，一般降水方法都存在疏不干问题，需要采用集水明排进行补救。

6.4.4集水井壁应有防护结构，并应采用碎石滤水层、泵头包纱网等措施；水泵的选型可根据排水量大小及通道埋深等确定。

7 开挖与监测

7.1 开挖

7.1.1 本条规定了通道开挖的一般原则。支撑或喷射混凝土是随导洞土方开挖分步设置的，设计将每环支撑或喷射混凝土后，再挖土至下一步支撑或喷射混凝土的施工面作为一个设计工况。因此，如开挖进深超过下步支撑或喷射混凝土的位置时支护结构受力及变形会超越设计状况。这一现象通常称作超挖。许多实际工程实践证明，超挖轻则引起通道过大变形，重则导致支护结构破坏、坍塌，通道周边环境受损，酿成重大工程事故。

钢架施工位置与掌子面间距不宜大于750mm是施工正常作业的要求。不同的施工设备和施工方法，对其施工面高度要求是不同的，可能的情况下应尽量减小这一间距。

降水前如开挖地下水位以下的土层，因地下水的渗流可能导致流砂、流土的发生，影响支护结构、周边环境的安全。降水后，由于土体的含水量降低，会使土体强度提高，也有利于通道的安全与稳定。

7.1.4 软土通道应做好预注浆，使土体得到一定加固，强度达到要求后，方可开挖。如果一步挖土进深过大或非对称、非均衡开挖，可能导致通道内局部土体失稳、滑动，造成管棚、支撑偏移。另外，软土的流变特性明显，通道开挖到某一深度后，变形会随暴露时间增长。因此，软土地层通道的支撑设置应先撑后挖并且越快越好，尽量缩短导洞每一步开挖时的无支撑时间。

7.1.5~7.1.6 通道支护工程属住房和城乡建设部《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》建质［2009］87号文中的危险性较大的分部分项工程范围，施工与通道开挖不当会对通道顶部道路、周边环境和人的生命安全酿成严重后果。从导洞开挖掌子面前方的支撑、喷射混凝土、预注浆未达到设计要求时向前超挖土方，喷射混凝土墙或支撑在未达到设计拆除条件时进行拆除，通道顶部施工材料、设施或车辆荷载超过设计地面荷载限值，至使支护结构受力超越设计状态，均属严重违反设计要求进行施工的行为。管棚、支撑、喷射混凝土墙板未按设计要求设置，喷射混凝土支撑养护时间不足而未达到开挖时的设计承载力，管棚、支撑、锁脚锚杆之间的连接强度未达到设计强度，预加轴力的支撑未按设计要求施加预加力等情况均为未达到设计要求。当主体地下结构施工过程需要拆除局部墙体或支撑时，拆除墙体或支撑后支护结构的状态是应考虑的设计工况之一。拆除墙体或支撑的设计条件，即以主体地下结构构件进行替换的要求或将结构施工长度的要求等，应在设计中明确规定。通道周边施设施是指施工设备、塔吊、临时建筑、广告牌等，其对支护结的作用可按地面荷载考虑。

7.2 监测

7.2.1~7.2.18 由于地质条件可能与设计采用的土的物理、力学参数不符，且通道支护结构在施工期和使用期可能出现土层含水量、通道周边荷载、施工条件等自然因素和人为因素的变化，通过通道监测可以及时掌握支护结构受力和变形状态、通道周边受保护对象变形状态是否在正常设计状态之内。当出现异常时，以便采取应急措施。通道监测是预防不测，保证支护结构和周边环境安全的重要手段。因地面沉降、洞顶沉降、洞内收敛和通道周边建筑物沉降能直观、快速反应支护结构的受力、变形状态及对环境的影响程度，支护结构均应对其进行监测，且监测应覆盖通道开挖与支护结构使用期的全过程。根据支护结构形式、环境条件的区别，其他监测项目应视工程具体情况按本规程第7.2.1条的规定选择。

7.2.19、7.2.20 工程实践表明，多数通道工程事故是有征兆的。通道工程施工和使用期间及时发现异常现象和事故征兆并采取有效措施是防止事故发生的重要手段。不同的土质条件、支护结构型式、施工工艺和环境条件，通道的异常现象和事故征兆会不一样，应能加以判别。当支护结构变形过大、变形不收敛、地面下沉、通道出现失虑证兆等情况时，及时停止开挖并立即回填是防止事故发生和扩大的有效措施。