

城市超小净距浅埋暗挖隧道施工技术标准

山东省工程建设标准



DB37/T 5152 — 2019

J14999 — 2020

城市超小净距浅埋暗挖隧道施工 技 术 标 准

Technical standard for construction of super neighborhood
shallow-buried urban tunnel

2019 - 12 - 31 发布

2020 - 05 - 01 实施

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局

联合发布

中国建材工业出版社



统一书号: 155160 · 1870
定 价: 40.00 元

山东省工程建设标准

城市超小净距浅埋暗挖隧道施工 技 术 标 准

Technical standard for construction of super neighborhood
shallow-buried urban tunnel

DB37/T 5152—2019

住房城乡建设部备案号：J14999—2020

主编单位：济南城建集团有限公司

批准部门：山东省住房和城乡建设厅

山东省市场监督管理局

施行日期：2020年5月1日

中国建材工业出版社

2020 北 京

前 言

根据山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局《关于发布〈2019年山东省工程建设标准制修订计划〉的通知》要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内有关标准，在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分10章，主要内容包括：总则；术语；施工准备；施工方法；辅助施工措施；初期支护；二次衬砌；防排水；超前地质预报；监控量测等。

本标准由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由济南城建集团有限公司负责具体技术内容的解释。

如执行过程中对本标准有任何意见和建议，请寄送济南城建集团有限公司《城市超小净距浅埋暗挖隧道施工技术标准》编制管理组（地址：济南市天桥区汽车厂东路29号，邮编：250031，电话：0531-85829903，传真：0531-85829950，邮箱：cjgcs@sina.com），以供今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人员和主要审查人员：

主 编 单 位：济南城建集团有限公司

参 编 单 位：山东汇通建设集团有限公司

山东省交通规划设计研究院

济南市市政工程设计研究院（集团）有限公司

哈尔滨工业大学

济南轨道交通集团有限公司

山东省物化探勘查院

山东泉建工程检测有限公司

主要起草人员：孙 杰 甄西东 吕仁军 李海宾 姚 猛
刘 洋 石 义 万 利 郑召怡 许 庚
门燕青 陈成鹏 李 虎 尹贻超 孙立建
杨 勇 潘合斌 郭 建 左石波 张太雷
刘付明 高艳飞 张 鷟 陈 彦 金 宝
闫吉祥 李 雷 李宏杰 杜 谦 许记锋
王 笑 潘金刚 于曰江 秘宝星 王 瑶
主要审查人员：刘俊岩 连 峰 李克金 罗永现 林定权
纪文武 温法庆 亓祥成 王 磊

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	施工准备	4
3.1	施工调查	4
3.2	管线保护及交通组织	4
3.3	设计文件现场核对	4
3.4	施工复测和控制测量	5
3.5	施工方案选择及资源配置	6
3.6	施工机械	6
3.7	施工场地与临时工程	8
3.8	作业人员的教育和培训	9
4	施工方法	10
4.1	一般规定	10
4.2	开挖方法	10
5	辅助施工措施	16
5.1	一般规定	16
5.2	隧道竖、斜井	16
5.3	拱顶地表注浆加固	20
5.4	中岩柱加固	21
5.5	建筑物钢管隔离桩施工	22
5.6	城市隧道洞内通风降温	23
5.7	软弱地基处理	23
5.8	隧道掌子面玻璃纤维锚杆预加固	24
5.9	超前管棚	24
5.10	超前小导管	26

5.11	超前锚杆	28
5.12	机械开挖	29
6	初期支护	30
6.1	喷射混凝土	30
6.2	锚杆施工	34
6.3	钢筋网施工	36
6.4	钢架	37
6.5	初支背后填充注浆	38
7	二次衬砌	39
7.1	一般规定	39
7.2	二次衬砌施工	39
7.3	衬砌混凝土施工	42
7.4	拱顶回填注浆	44
8	防排水	46
8.1	一般规定	46
8.2	注浆防水	46
8.3	洞口防排水	47
8.4	结构防排水	48
8.5	施工排水	58
9	超前地质预报	59
9.1	一般规定	59
9.2	地质预报的分级管理与方案设计	60
9.3	地质调查法	62
9.4	钻探法	64
9.5	物理勘探法	65
10	监控量测	67
10.1	一般规定	67
10.2	监控量测项目和技术要求	67
10.3	监控量测方法	71
10.4	量测数据处理与应用	73

本标准用词说明	75
引用标准名录	76
附：条文说明	77

1 总 则

1.0.1 为提高城市超小净距浅埋暗挖隧道工程施工技术水平，做到安全适用、技术先进、经济合理，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于山东省城市超小净距浅埋暗挖隧道工程的施工。

1.0.3 超小净距浅埋暗挖隧道工程施工中应根据地质预报及监控量测信息实施动态管理。

1.0.4 应根据地质复杂程度和隧道特点，识别与评估施工风险，制定不可接受风险控制措施和应急救援预案。

1.0.5 应采用信息化网络技术，推广应用新技术、新工艺、新材料、新设备，提高施工的管理水平和技术水平。

1.0.6 应推广绿色施工技术，在保证质量、安全等基本要求的前提下，通过科学管理和技术进步，最大限度地节约资源，减少对环境的负面影响。

1.0.7 应推广应用智慧建造技术，充分利用 BIM、大数据、物联网和远程监控等技术，利用集成管理平台系统，实现对现场人员、机具与材料、施工进度、工程质量、安全和环境管理的实时监控及预报预警等功能。

1.0.8 在施工过程中，应随时收集原始数据、资料，做好有关的施工记录。工程资料管理应符合《市政工程资料管理规程》DB37/T 5118 的规定。

1.0.9 城市超小净距浅埋暗挖隧道工程的施工，除应符合本标准外，尚应符合国家和山东省现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 超小净距隧道 super neighborhood tunnel

指上下行双洞洞壁净距小于 0.6 倍隧道开挖断面宽度的隧道。

2.0.2 超前地质预报 geology forecast

在分析既有地质资料的基础上,采用地质调查、物探、超前地质钻探等手段,对隧道开挖工作面前方的工程地质和水文地质条件及不良地质体的工程性质、位置、产状、规模等进行探测、分析判断和预报。

2.0.3 超前支护 advanced support

在隧道施工中,对开挖工作面前方围岩进行预加固的支护。

2.0.4 初期支护 primary support

采用复合式衬砌的隧道在开挖后施设的由喷射混凝土与锚杆、钢架、钢筋网等构成的第一次衬砌。

2.0.5 湿拌法喷射混凝土 wet shotcrete

将胶凝料、骨料和水按一定比例拌制的混合料装入喷射机,并输送至喷嘴处,用压缩空气将混合料喷射至受喷面上所形成的混凝土。

2.0.6 玻璃纤维锚杆 glass fiber reinforced polymer anchor

以玻璃纤维增强复合材料筋作为锚杆杆体的锚杆。

2.0.7 三台阶七步开挖法 three steps seven footwork method

以弧形导坑预留核心土法为基本模式,分上、中、下三个台阶七个开挖面,各部位的开挖与支护沿隧道纵向错开,平行推进的施工方法。

2.0.8 双侧壁导坑法 both side drift method

在软弱围岩大跨隧道中,先开挖隧道两侧的导坑,并进行初

期支护，再分部开挖剩余部分的施工方法。

2.0.9 中隔壁法（CD法） center diagram method (CD)

在软弱围岩大跨隧道中，先分部开挖隧道的一侧，并施作中隔壁，然后分部开挖隧道的另一侧，最终封闭成环的施工方法。

2.0.10 交叉中隔壁法（CRD法） center cross diagram method (CRD)

在软弱围岩大跨隧道中，先分部开挖隧道一侧，施作部分中隔壁和横隔板，并封闭成环；再分部开挖隧道另一侧，完成横隔板施工，最终隧道整个断面封闭成环的施工方法。

2.0.11 竖井 vertical shaft

为改善营运通风或施工条件而竖向设置的坑道。

2.0.12 斜井 inclined shaft

为改善营运通风或施工条件按一定倾斜角度设置的坑道。

2.0.13 横通道 horizontal adit

将隧道划分成几个工区进行施工时，为搬运材料和出渣等而设置的横向作业坑道。横通道有时也可用于营运通风。

3 施 工 准 备

3.1 施 工 调 查

3.1.1 施工调查前应查阅设计文件和相关资料，制定调查提纲，并根据调查情况编写书面的施工调查报告。

3.1.2 施工调查应包括下列内容：

1 工程概况：包括工程环境、气候特征、工程地质、水文地质、工程规模、工程特点、地下工程管线情况、施工影响范围内的构（建）筑物和文物情况等。

2 工程的施工条件：包括施工运输、水源、供电、通信、场地布置、征地拆迁情况等。

3 当地原材料及半成品的品种、质量、价格及供应能力等。

4 施工区域周边的主要道路、交通流量和交通影响因素、弃渣场地及容纳能力。

5 对当地生态、环境保护的一般规定和特殊要求，工程对环境可能造成的近、远期影响等。

6 绘制施工调查平面总图。

3.2 管线保护及交通组织

3.2.1 应对影响隧道施工安全的管线进行保护或迁改。

3.2.2 应对隧道开挖线范围内的绿化带进行防渗处理。

3.2.3 应根据周边道路调查情况制定交通组织方案，重型车辆不宜在隧道开挖线内路面行驶。

3.3 设计文件现场核对

3.3.1 设计文件现场核对应包括下列内容：

1 标准、技术条件、设计原则等。

- 2 隧道的平面及纵断面。
 - 3 隧道的勘测资料：如地形、地貌、工程地质、水文地质、钻探图表等。
 - 4 设计各专业的接口及相互衔接的施工方法和技术措施。
 - 5 隧道穿过不良地质地段的设计方案，隧道施工对环境可能造成影响的预防措施。
 - 6 洞口位置、洞门式样、洞口边坡与仰坡的稳定程度、衬砌类型、辅助坑道的类型和位置等。
 - 7 洞内外排水系统和排水方式等。
- 3.3.2 控制桩和水准基点的交接和复核应符合下列规定：**
- 1 隧道控制桩和水准基点的交接，应在建设单位主持下，由设计单位向施工单位逐桩、逐点交接确认。
 - 2 对接收的控制桩和水准基点，应按同等级测量精度进行复核。
 - 3 测量复核结果应呈报监理工程师，审核批复后方可使用。
- 3.3.3 在施工调查和设计文件现场核对后，应将结果及存在的问题，以书面形式报送建设、设计、监理等相关单位。**

3.4 施工复测和控制测量

- 3.4.1 勘测设计单位对施工单位进行交接桩以后，施工单位应对所交的控制点进行复测。复测应包括下列内容：**
- 1 GPS点的基线边长度。
 - 2 导线点的转角、导线点间的距离。
 - 3 水准点间的高差。
 - 4 复测应与相邻标段进行贯通测量，确保标段施工交界处正确衔接。
- 3.4.2 当复测结果与设计单位的勘测成果不符时，应向设计单位书面提出共同复核建议。**
- 3.4.3 控制点复测完成后应编制详细的复测成果书并形成交桩文件，复测成果应报送监理单位和设计单位，复测成果符合要求**

并经监理单位批复后方可进行后续的测量工作。

3.5 施工方案选择及资源配置

3.5.1 隧道施工方案应根据施工条件、地质条件、隧道长度、隧道横断面、埋置深度、工期要求、环境保护资源配置等因素综合选定。

3.5.2 地质复杂及高风险隧道应结合周边环境及现场实际情况分析工程及水文地质资料，进行风险评估，制定施工技术方案和专项应急救援预案。

3.5.3 资源配置应与隧道施工方案相匹配，按照拟定的施工方案和进度安排，计算主要材料、设备、关键施工机械的数量及分阶段消耗量，确定分阶段的进料时间、储存及供应数量。

3.5.4 隧道开挖及运输等大型机械配置应按照经济、高效原则进行配套，并符合下列规定：

1 机械设备的进场时间要满足项目节点工期安排要求。

2 机械设备的选用顺序依次为自有、租用、购置设备，机械设备的组合应进行效率与费用的综合技术经济比较。

3.5.5 隧道物资材料的配置应满足生产需要、降低成本的要求。按照甲供、自购材料的规格、数量，供应时间节点要求，制订相应的招标采购计划。对于较特殊的物资，应提供较准确的供应计划，如有变化提前通知生产厂家及时调整，确保按时供货。

3.5.6 人力资源配置应按隧道规模、进度安排、工序专业类别等要求，编制人力资源需求和使用计划，在满足施工组织的基础上，实现人力资源精干高效。

3.5.7 资金管理应按照工程规模、进度计划、合同价款及支付条件制订管理目标和计划，编制资金流动计划和财务用款计划，对资金的使用应严格监控。

3.6 施工机械

3.6.1 施工机具宜优先使用新能源设备，根据工程特点选用能

源利用率高、智能化和低噪声设备，严禁使用国家、行业、地方政府明令淘汰的设备。

3.6.2 临时用电设备应采用自动控制装置。可建立无线监控系统，对工程大型设备运行状态进行智能化管理。

3.6.3 隧道机械设备的安装应选择适宜的地点，应尽量减少机械运转时的废气、噪声、废液、振动等对周围环境造成污染和影响。各项排放指标均应达到现行国家标准《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523、《污水综合排放标准》GB 8978、《环境空气质量标准》GB 3095 等有关规定。

3.6.4 土质隧道、不适宜爆破施工的隧道，宜选用挖掘机、单臂掘进机、铣挖机等进行开挖。

3.6.5 超前管棚、小导管、预注浆等施工机械的配备应符合下列要求：

1 富水软弱破碎围岩、含水砂层、大变形等不良地质隧道应配置深孔钻孔及深孔高压注浆设备。

2 管棚及预注浆钻孔机械宜选用高效率钻孔机械，钻进速度不应小于 5m/h。

3 预注浆应根据注浆工艺和质量要求配备可调的高压力、大流量注浆机。

3.6.6 锚杆施工宜配置锚杆钻机及注浆机。

3.6.7 喷射混凝土应配置湿喷机、混凝土搅拌站和搅拌运输车，双线及多线隧道宜选用喷射混凝土台车。

3.6.8 钢架加工应配置专用弯曲成型加工机械，钢架安装宜采用专用机械。

3.6.9 混凝土衬砌作业应配置混凝土搅拌站、搅拌运输车、混凝土输送泵及模板台车等机械设备，并满足施工组织计划的要求。

3.6.10 隧道仰拱浇筑应配备仰拱作业栈桥、防干扰作业平台或仰拱模板台车。

3.7 施工场地与临时工程

3.7.1 施工场地布置应遵循下列原则：

- 1 事先统筹规划，分期安排，便于各项施工活动有序进行，避免相互干扰。
- 2 有利于安全生产、文明施工、节约用地和保护环境。
- 3 施工场地宜应用 BIM 技术进行布置。

3.7.2 施工场地布置应包括下列内容：

- 1 确定临时存渣场的位置和范围。
- 2 轨道运输时，洞外出渣线、编组线、牵出线、其他作业线、卸渣码头及转运方式的布置。
- 3 运输道路的引入和其他运输设施的布置。
- 4 确定风、水、电设施的位置。
- 5 确定大型机具设备的组装和检修场地。
- 6 确定混凝土拌合站（场）、预制场及砂、石等材料场和预制构件存放场的布置。
- 7 确定各种生产、生活等房屋的位置。
- 8 场内临时排水系统的布置。

3.7.3 临时工程施工应符合下列规定：

- 1 运输道路应满足运量和行车安全的要求。
- 2 高压、低压电力线路及变压器和通信线路应按有关规定统一布置，及早建成。
- 3 各种房屋按其使用性质应符合相应的安全消防规定，油库的位置应符合有关安全的规定，房屋区内应有通畅的给排水系统。
- 4 临时工程及场地布置应采取保护自然环境的措施。
- 5 隧道弃渣场坡面应按设计进行复垦或绿化，或渣顶整平造田，坡脚应进行防护，防止水土流失。

3.7.4 施工场地布置时，在水源保护地区内不得取土、弃土、破坏植被等，不得设置拌合站、洗车台、充电房等，并不得堆放

任何含有害物质的材料或废弃物。

3.7.5 隧道内、外施工场所应设置禁止标识、警告标识、指令标识、提示标识，并配以相应的警示语句。

3.8 作业人员的教育和培训

3.8.1 隧道施工前和施工过程中，应对管理人员和作业人员进行安全教育。

3.8.2 应根据施工方案、安全施工专项方案对作业人员进行交底和培训。

3.8.3 特种作业人员应持证上岗，其他人员应经培训并考核合格后上岗。

4 施 工 方 法

4.1 一 般 规 定

4.1.1 隧道施工方法的选择应根据环境条件、地质条件、断面大小、埋深、结构形式、隧道长度、设备配置、工期要求、经济效益以及环境保护等因素综合确定。

4.1.2 城市超小净距浅埋暗挖隧道不宜采用钻爆法施工。当确需采用钻爆法时，应通过专家专项论证后方可实施。

4.1.3 隧道地质条件变化时，应及时调整施工方法，做好工序衔接，并采取相应的工程措施。

4.1.4 隧道开挖应根据围岩级别及其自稳能力控制循环进尺。

4.1.5 隧道开挖后，应及时喷射混凝土封闭围岩，并及早完成初期支护。采用分部开挖，初期支护设有钢架时，下部开挖后应及时安装钢架，严禁拱脚长时间悬空。

4.1.6 软弱围岩隧道，初期支护应选用锁脚锚管（杆）、扩大脚拱、临时仰拱等措施，以控制围岩及初期支护变形量。

4.1.7 当围岩地质较差、开挖掌子面不稳定时，可采用喷射混凝土或锚杆等对掌子面进行加固。

4.1.8 采用中隔壁、双侧壁导坑法施工，临时支撑的拆除应在初期支护封闭成环，并通过监控量测确认稳定后进行，一次拆除长度不应大于 15m。拆除过程应加强监控量测。

4.1.9 掌子面上方行车道路面应覆盖厚度不小于 30mm 的钢板。

4.2 开 挖 方 法

4.2.1 城市超小净距浅埋暗挖隧道开挖方法主要有三台阶七步开挖法、中隔壁法（CD 法）、交叉中隔壁法（CRD 法）和双侧

壁导坑法，应根据不同工况合理选用。

4.2.2 三台阶七步开挖法应符合下列规定：

1 三台阶七步开挖法应以机械开挖为主，各分步平行作业，平行施作初期支护，各部位初期支护应衔接紧密，及时封闭成环。

2 仰拱应紧跟下台阶施作，及时闭合构成稳固的支护体系。

3 施工过程中应通过监控量测掌握围岩和支护的变形情况，及时调整支护参数和预留变形量，保证施工安全。

4 应完善洞内临时防排水系统，防止地下水浸泡拱墙脚基础。

5 拱部超前支护完成后，环向开挖上台阶弧形导坑，预留核心土长度宜为 3m~5m，宽度宜为隧道开挖宽度的 1/3~1/2。上台阶每循环开挖支护进尺 V、VI 级围岩不应大于 1 榀钢架间距，IV 级围岩不得大于 2 榀钢架间距。

6 中台阶及下台阶左、右侧开挖进尺应根据初期支护钢架间距确定，最大不得大于 1.5m，开挖高度宜为 3.0m~3.5m，左、右侧台阶错开 2m~3m。

7 上、中、下台阶预留核心土开挖进尺与各台阶循环进尺相一致。

8 仰拱循环开挖长度宜为 2m~3m，开挖后及时施作仰拱初期支护，完成两个隧底开挖、支护循环后，及时施作仰拱，仰拱分段长度宜为 4m~6m。

9 三台阶七步开挖法施工工序见图 4.2.2。

4.2.3 中隔壁法施工应符合下列规定：

1 中隔壁法左右部的台阶高度应根据地质情况、隧道断面大小和施工设备确定。每侧按两部或三部分台阶开挖，开挖后应及时施作初期支护、中隔壁；两侧先后距离宜保持 10m~15m，上下断面的距离宜保持 3m~5m。

2 各部开挖时，相邻部位的喷射混凝土强度应达到设计强度的 70% 以上。

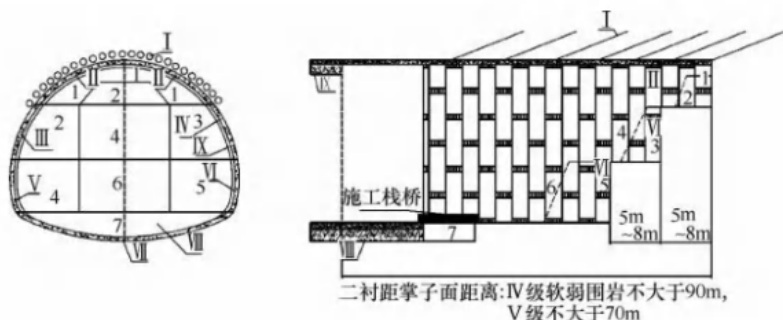


图 4.2.2 三台阶七步开挖法施工工序示意图

I—超前支护；1—上部弧形导坑开挖；II—上部初期支护；2、3—中部两侧开挖；III、IV—中部两侧初期支护；4、5—下部两侧开挖；V、VI—下部两侧初期支护；6-1、6-2、6-3—上、中、下部核心土开挖；7—仰拱开挖；VII—仰拱初期支护；VIII—仰拱及填充混凝土；IX—拱墙二次衬砌

3 中隔壁在浇筑仰拱前逐段拆除。中隔壁一次拆除长度应根据试验段量测结果确定，不宜大于 15m，钢架应逐榀拆除，不得数榀钢架同时拆除。拆除后应及时施作仰拱和二次衬砌。

4 中隔壁拆除试验段长度不宜大于 6m，间隔拆除中隔壁拱架。中隔壁拆除前，中隔壁周围布设变形监测点，记录初始值，拆除作业时随时观测变形情况。

5 特殊情况下可将中隔壁浇筑在仰拱中，待铺设防水板时再割断。

6 钢架拆除过程中，拱顶下沉异常时，暂停钢架拆除并采取加固措施。特别异常时，应立即发出警报，通知洞内人员立即撤离。

7 中隔壁法施工工序见图 4.2.3。

4.2.4 交叉中隔壁法施工应符合下列规定：

1 根据地质条件，隧道断面的分部，应以初期支护受力均匀，便于发挥人力、机械效率为原则，水平方向宜分两部、上下分二至三层开挖。

2 各部开挖及支护应自上而下，开挖后及时施作初期支护、

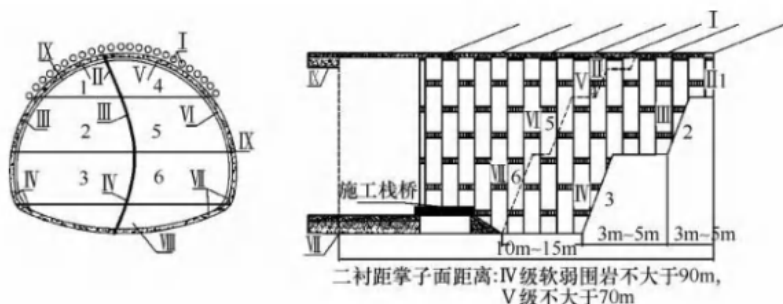


图 4.2.3 中隔壁 (CD) 法施工工序示意图

I—超前支护；1—左侧上部开挖；II—左侧上部初期支护；2—左侧中部开挖；III—左侧中部初期支护；3—左侧下部开挖；IV—左侧下部初期支护；4—右侧上部开挖；V—右侧上部初期支护；5—右侧中部开挖；VI—右侧中部初期支护；6—右侧下部开挖；VII—右侧下部初期支护；7—拆除中隔壁；VIII—仰拱及填充混凝土；IX—拱墙二次衬砌

中隔壁、临时仰拱，步步成环。

3 同一层左右两部开挖工作面相距不宜大于 15m，上下层开挖工作面相距宜保持 3m~4m，且待喷射混凝土强度达到设计强度的 70% 后开挖相邻部位。

4 宜缩短各部开挖工作面的间距，使初期支护尽早封闭成环。

5 中隔壁在浇筑仰拱前逐段拆除。中隔壁一次拆除长度应根据试验段量测结果确定，并不应大于 15m，钢架应逐榀拆除，不得数榀钢架同时拆除。拆除后应及时施作仰拱和二次衬砌。

6 中隔壁拆除试验段长度不宜大于 6m，间隔拆除中隔壁拱架。中隔壁拆除前，中隔壁周围布设变形监测点，记录初始值，拆除作业时随时观测变形情况。

7 钢架拆除过程中，拱顶下沉异常时，暂停钢架拆除并采取加固措施。特别异常时，应立即发出警报，通知洞内人员立即撤离。

8 交叉中隔壁法施工工序见图 4.2.4。

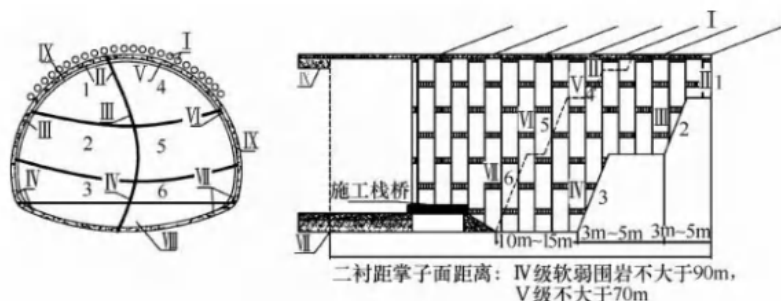


图 4.2.4 交叉中隔壁 (CRD) 法施工工序示意图

I—超前支护；1—左侧上部开挖；II—左侧上部初期支护成环；2—左侧中部开挖；III—左侧中部初期支护成环；3—左侧下部开挖；IV—左侧下部初期支护成环；4—右侧上部开挖；V—右侧上部初期支护成环；5—右侧中部开挖；VI—右侧中部初期支护成环；6—右侧下部开挖；VII—右侧下部初期支护成环；7—拆除中隔壁及临时仰拱；VIII—仰拱及填充混凝土；IX—拱墙二次衬砌

4.2.5 双侧壁导坑法施工应符合下列规定：

1 侧壁导坑形状宜近于椭圆形断面，导坑断面宽度宜为整个断面宽度的 1/3。

2 侧壁导坑、中槽部位宜采用短台阶法开挖，各部距离应根据隧道埋深、断面大小、结构类型等选取。各部开挖后应及时进行初期支护及临时支护，并尽早封闭成环。

3 两侧壁导坑超前中槽部位 10m~15m，可独立同步开挖和支护；中槽部位采用台阶法开挖，并保持平行作业。

4 中槽开挖后，拱部钢架与两侧壁钢架应连接牢固，在两侧壁导坑施工中，钢架的位置应准确定位，各部架设钢架连接后应在同一个垂直面内，避免钢架发生扭曲。

5 侧壁拆除试验段长度不宜大于 6m，侧壁拆除前，侧壁布设变形监测点，记录初始值，拆除作业时随时观测变形情况。

6 侧壁在浇筑仰拱前逐段拆除。侧壁一次拆除长度应根据试验段量测结果确定，不宜大于 15m，钢架应逐榀拆除，不得数榀钢架同时拆除。拆除后应及时施作仰拱和二次衬砌。

7 钢架拆除过程中,拱顶下沉异常时,暂停钢架拆除并采取加固措施。特别异常时,应立即发出警报,通知洞内人员立即撤离。

8 双侧壁导坑法施工工序见图 4.2.5。

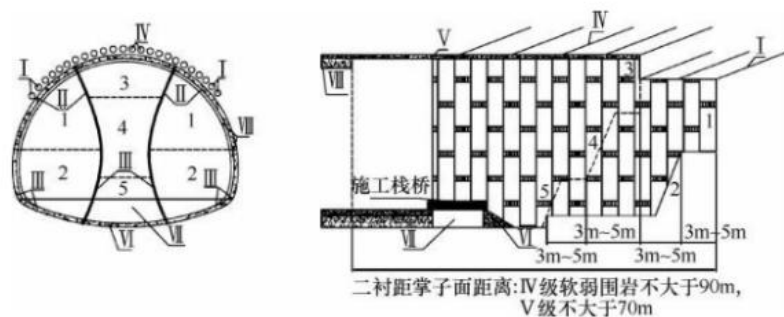


图 4.2.5 双侧壁导坑法施工工序示意图

I—超前支护; 1—左(右)侧导坑上部开挖; II—左(右)侧导坑上部支护;
2—左(右)侧导坑下部开挖; III—左(右)侧导坑下部支护成环; 3—中槽拱部
开挖; IV—中槽拱部初期支护与左右II闭合; 4—中槽中部开挖; 5—中槽下部开
挖; V—中槽下部初期支护与左右III闭合; 6—拆除临时支护; VI—仰拱及填充
混凝土; VII—拱墙二次衬砌

5 辅助施工措施

5.1 一般规定

5.1.1 隧道施工应根据运营通风、施工工期及出渣要求设置竖井或斜井，竖井或斜井的数量、类型、平面位置、断面尺寸、坡度、高程、支护类型和技术要求等应符合现行有关标准的规定。

5.1.2 当隧道底部位于软弱不良地层时，宜采取微型钢管碎石桩等措施加固仰拱底软弱地基。

5.1.3 当软弱土层隧道施工时，掌子面宜采取预留核心土、玻纤锚杆等预加固措施。

5.1.4 当采用长大管棚超前支护时，宜分段设置中继施工管棚工作室。

5.1.5 应根据隧道长度、施工季节采取降温通风措施。

5.1.6 当隧道处于埋深浅、岩层松散破碎、土质地层等地质条件较差且双线隧道间距较小的超小净距隧道时，隧道中岩柱、拱顶宜采取注浆加固。

5.1.7 当隧道开挖外边界距离周边建（构）筑物较近时，应对周边建（构）筑物采取钢管桩隔离和注浆加固等保护措施。

5.1.8 应加强监控量测工作，并及时把量测结果反馈至设计和施工有关人员，进行动态设计和信息化施工。

5.1.9 隧道内供水、供电、供风和照明应符合《公路隧道施工技术规范》JTG F60 的有关规定。

5.2 隧道竖、斜井

5.2.1 竖井位于道路范围内时，宜对竖井设置进行优化，并符合下列规定：

1 各功能区、设备均沿现状道路纵向布置，在满足施工需

求的同时,应减小对现状交通的影响。

2 对竖井占用道路路段进行道路改造,去掉绿化带、隔离带等辅助设施,增大道路通行断面。

3 与现状出入口、行车道进行顺接和交通组织规划,在变向、转弯位置设置导向提示标志。

5.2.2 隧道竖、斜井提升、运输方法应符合下列规定:

1 当斜井井身倾角 $\alpha \leq 12\%$ 时,可采用自卸汽车、装载机或挖掘机配合的无轨运输方式。

2 当斜井倾角 $12\% \leq \alpha \leq 28\%$ 时,可选用轨道矿车或皮带运输方式。

3 当斜井倾角 $28\% \leq \alpha \leq 47\%$ 时,应采用轨道矿车提升。

4 当斜井倾角 $47\% \leq \alpha \leq 70\%$ 时,可采用大型箕斗提升。

5 竖井可采用龙门吊提升。

5.2.3 施工期间,应根据出水量大小设置水仓或临时集水坑贮水,开挖工作面的积水应先排到水仓(或临时集水坑),再排出井外;正洞施工期间,斜井的出水与正洞排水汇集后排出洞外。

5.2.4 斜井采用有轨运输时应符合下列规定:

1 矿车提升的斜井井底应设平坡车场;井口宜采用平车场或卸渣栈桥,有斜坡条件可以利用时,也可采用甩车场。

2 斜井井身纵断面不宜变坡。

3 井身每隔 30m~50m 可设一个躲避洞。

4 井口和井底变坡点应设竖曲线,有轨运输的竖曲线半径宜采用 12m~20m;平面转弯半径不小于 15m。

5 斜井倾角大于 27% 时,井内运输轨道应有防爬措施,每 10m~20m 装设两组防爬装置。

6 斜井钢丝绳应符合《钢丝绳通用技术条件》GB/T 20118、《煤矿安全规程》的规定。

7 提升装置应设置下列保险装置:

1) 防止过卷装置,当提升容器大于正常卸载位置(或出车平台) 0.5m 时,应能自动断电,并能使保险闸发

生作用。

- 2) 防止超速装置, 当提升速度大于最大速度 15% 时, 应能自动断电, 并能使保险闸发生作用。
- 3) 当提升速度超过 3m/s 时, 应装设限速器, 保证提升车辆在达到井口时的速度不大于 2m/s; 限速器凸轮板的旋转角度不应小于 270°。
- 4) 提升绞车应装设深度指示器、开始减速时能自动示警的警铃、司机不离座位即能操纵的常用闸和保险闸。常用闸和保险闸共同使用一套闸瓦制动时, 操纵部分应分开, 双滚筒提升绞车设两套闸。
- 5) 提升机应配正、副司机, 人员上下井时应由正司机开车, 副司机监护。升降人员前, 应先开一次空车, 检查绞车动作情况。
- 6) 斜井无轨运输应有信号指挥、防滑设施、车辆保养等安全技术保障措施。

5.2.5 竖井的断面形式可采用矩形或圆形, 当地质情况较差时宜采用圆形。

5.2.6 井口的锁口圈梁应符合下列规定:

- 1 锁口圈梁应采用钢筋混凝土结构整体一次性浇筑, 并分层浇捣, 每层高度不大于 0.6m。
- 2 锁口圈梁应和下部支护结构连成整体。
- 3 井口的锁口圈应在井身掘进前完成, 竖井底部应设置集水井。

5.2.7 井身支护格栅钢架安装应符合下列规定:

- 1 钢架安装在掌子面开挖初喷完成后立即进行。
- 2 钢架安装前应清除各节钢架底脚下的虚渣及杂物。同时每侧安设 2 根锁脚锚管将其锁定, 底部开挖完成后, 底部初期支护及时跟进, 将钢架全环封闭。
- 3 竖井开挖时, 在钢架的各连接处预留连接板凹槽。初喷混凝土时, 在凹槽处打入木楔, 为架设钢架留出连接板位置。

4 钢架按设计位置安设，在安设过程中当钢架和初喷层之间有较大间隙时，应每隔 2m 用混凝土预制块楔紧，钢架背后用喷混凝土填充密实。

5 钢架纵向连接采用钢筋，环向间距 1m，内外交错呈梅花形布置。

5.2.8 竖井提升作业应符合下列规定：

1 提升机械不得超负荷运行，并应有深度指示器和防止过卷、超速等保护装置以及限速器和松绳信号等。

2 采用罐笼提升时，应符合下列规定：

1) 凡兼作升降人员的单绳提升罐笼，应设置安全保险装置；

2) 罐笼提升时，深井宜采用钢丝绳罐道，浅井宜采用单侧布置的刚性罐道；

3) 采用钢丝绳罐道时，在井口和井底进出车处，应安设承接装置和一段刚性罐道。

3 吊桶提升所用的钩头连接装置应牢固，不得自动脱钩，并应有缓转器。罐笼提升应设置安全可靠的防坠器。吊桶沿稳绳升降时，其最大加速度值不应大于 0.5m/s^2 ，吊桶在无稳绳段升降的最大加速度值不应大于 0.3m/s^2 。

4 工作吊盘的载重不应大于吊盘的设计载重能力。

5 提升用的钢丝绳和各种悬挂使用的钩、链、环、螺栓等连接装置，应具有规定的安全系数，使用前应进行拉力试验，合格后方可安装。使用中应定期检查、维修和更换。

6 井口应设安全栅栏和安全门，通向井口的轨道应设阻车器。

7 竖井深度小于或等于 40m 时，可采用三角架或龙门架作井架。井身大于 40m 时，宜设置凿井、生产阶段共用井架。

5.2.9 施工中竖井口、井底、绞车房和工作吊盘间均应有联系信号或直通电话。

5.3 拱顶地表注浆加固

5.3.1 当隧道处于Ⅴ、Ⅵ级围岩等情况下，宜对拱顶进行地表注浆加固。

5.3.2 注浆参数应通过试验选取。

5.3.3 地表注浆应符合下列规定：

1 先洞口侧、后洞内侧，先外侧、后内侧，地下有流动水时先下游、后上游。

2 应严格控制注浆有效范围，当地层松软破碎时，宜采用跳孔注浆方式。

3 宜采用单向袖阀式注浆工艺。

4 注浆加固范围宜分为浅部阻浆层、拱部止浆垫、拱顶加固层和中间加固层，并应符合下列要求：

1) 注浆顺序宜为：浅部阻浆层、拱部止浆垫、拱顶加固层和中间加固层；

2) 浅部阻浆层、拱部止浆垫厚度宜为 1m~2m；浅部阻浆层、拱部止浆垫、中间加固层注浆孔为竖直孔；拱顶注浆加固区注浆孔为倾斜孔；

3) 水泥浆水灰比宜控制在 0.8 : 1~1 : 1 之间；

4) 浅部阻浆层宜采用膜袋止浆，其他各层宜为花管注浆；

5) 浅部阻浆层注浆压力宜为 0.3MPa~0.6MPa，中间加固层注浆压力宜为 0.6MPa~1.0MPa；

6) 注浆实施过程中应根据需要动态调整注浆参数。当注浆量未达到设计标准但注浆压力达到设计终压，且维持 5min 以上时，停止注浆；当注浆量达到单孔设计注浆量后，若注浆压力未达到设计终压，可通过调整浆液凝胶时间达到设计终压，并停止注浆。

5.3.4 应以单孔注浆量和注浆压力作为控制指标，采用“量-压”双控注浆结束标准进行注浆控制，并符合下列要求：

1 注浆量估算应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规

范》JGJ 79 的要求。

2 当注浆量未达到设计标准但注浆压力达到设计终压，且维持 5min 以上时，可停止注浆。

3 当注浆量达到单孔设计注浆量后，若注浆压力未达到设计终压，可通过调整浆液凝结时间达到设计终压，并停止注浆。

5.3.5 地表注浆后效果判断和检测宜采用下列方法：

1 在注浆前后用钻孔透视仪测定岩层裂隙和溶洞充填程度。

2 钻孔检测：可取芯检测或用钻孔摄影仪拍摄孔壁图像进行检测。

3 声波测试。

5.4 中岩柱加固

5.4.1 中岩柱加固施工应优先采用地表超前加固的方法。

5.4.2 中岩柱地表超前预加固施工应符合下列规定：

1 应优先采用微型钢管桩，纵向梅花形布置，管壁钻注浆眼。

2 钢管桩横、纵向间距宜为 0.8m~1.2m。

3 加固区域钢管桩距隧道开挖轮廓线应不小于 1m，避免扰动开挖面土体。

4 桩底应入岩 2.0m 或低于拱脚 0.5m。

5 注浆加固区高度应不小于拱顶以上 2.0m，宜采用膜袋止浆法控制注浆加固高度。

5.4.3 双液注浆时宜采用阀控法控制注浆浆液配比，应根据地层可注性及渗漏水点串浆情况，动态调整浆液配比，动态调整注浆参数，控制注浆扩散范围。

5.4.4 已开挖段注浆终压不得大于 0.2MPa，未开挖段的注浆终压可至 1.0MPa。

5.4.5 注浆过程中应进行现场巡视，观察有无渗、漏水，地表抬升，支撑弯曲断裂和塌方等现象，并应根据观测情况及时调整注浆参数。

5.4.6 应采用“量-压”双控注浆结束标准进行注浆控制，并符合本标准 5.3.4 的要求。

5.4.7 钻孔过程应安排专人负责，对地质情况及开孔成孔、孔深进行详细记录。在钻孔的过程中，对每个孔的地层变化、钻进状态、地下水及一些特殊情况应及时反馈，采取措施。

5.4.8 注浆管路及连接件、阀门应采用耐高压装置，防止因压力上升导致管路连接部位爆裂伤人。

5.5 建筑物钢管隔离桩施工

5.5.1 隔离桩的桩径、间距和深度应符合设计要求。

5.5.2 隔离桩施工应符合下列规定：

- 1 桩应采用静压或植入等方法施工。
- 2 水泥浆灌注及质量检测应符合本标准 5.3.4 和 5.3.5 的规定。
- 3 施工应采用先成孔，后注浆，再插入钢管的施工步骤。
- 4 桩位偏差不应大于 50mm，垂直度偏差不应大于 1.0%。
- 5 桩孔内应充填密实，灌注过程中应防止钢管上浮。
- 6 桩的接头承载力不应小于母材承载力。

5.5.3 在成孔、注浆或压桩施工过程中，应监测相邻建筑和边坡的变形。

5.5.4 根据环境的腐蚀性、钢管桩的类型、荷载类型（受拉或受压）、钢材的品种及设计使用年限，桩中钢构件应符合耐久性设计的要求。钢管砂浆保护层厚度不应小于 35mm。

5.5.5 桩的质量检查应符合下列规定：

- 1 施工过程中应检查施工状况，检查内容应包括桩基垂直度、桩截面尺寸、桩长、桩距等。
- 2 质量检查应检查桩身完整性，检查数量为总数的 10%，且不少于 3 根。

5.6 城市隧道洞内通风降温

- 5.6.1 施工隧道内气温不宜大于 28℃。
- 5.6.2 使用降温冰降温时，应根据冰块融化时间分批供应，保证洞内冰块不间断。
- 5.6.3 当需采取地表辅助通风措施时，应符合下列规定：
- 1 通风孔距离掌子面不应小于 15m。
 - 2 地面通风孔宜设置在避开车行道的位置。
 - 3 地面通风孔宜采取保护和过滤措施。
- 5.6.4 通风管理应符合下列规定：
- 1 风管应保持平、直、顺，接头严密，破损风管应及时修补或更换。
 - 2 应定期测试粉尘和有害气体的浓度。
 - 3 应定期测试风量、风速、风压，检查通风设备的供风能力和动力消耗，应根据通风测试结果维护通风系统。

5.7 软弱地基处理

- 5.7.1 不良地质和特殊岩土地段施工除应符合本标准要求外，尚应符合现行行业标准《公路隧道施工技术规范》JTGF60 的规定。
- 5.7.2 当采用钢管碎石桩地基处理工艺时，钢管桩制作与施工应符合下列规定：
- 1 钢管上注浆孔宜设置成梅花形。
 - 2 当注浆孔会对钢花管截面刚度有损害时，注浆孔应呈螺旋式布置。
 - 3 隧道仰拱钢拱架宜与钢管桩连接。
 - 4 钢管底部宜加设焊接钢板，焊接钢板直径大于钢管直径、小于钻孔直径，加设钢板后可有效提升钢管桩承载力。
- 5.7.3 水泥浆的制备、灌注应符合《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的规定。
- 5.7.4 管内填充碎石的粒径应符合设计要求，设计无要求时可

使用粒径 10mm~30mm 的碎石。

5.7.5 钢管桩的间距、排距及标高应符合设计要求。

5.8 隧道掌子面玻璃纤维锚杆预加固

5.8.1 当隧道处于不良地质段时，宜采用玻璃纤维锚杆对开挖掌子面进行上台阶预加固后再进行开挖。

5.8.2 玻璃纤维锚杆抗拉强度不应小于 300MPa，剪切强度不应小于 75MPa，扭矩不应小于 34N·m。

5.8.3 隧道开挖后应喷射混凝土封堵掌子面，喷射厚度不宜小于 40mm。

5.8.4 玻璃纤维锚杆在隧道掌子面轮廓线内，开孔按照设计位置，偏差控制在±100mm，纵向步距每循环不宜小于 6m，纵向搭接不宜小于 2m。

5.8.5 钻孔采用锚杆机打孔，锚杆孔的位置、角度、深度应满足设计要求，钻孔直径应大于锚杆直径 15mm。

5.8.6 锚杆钻孔后应及时清孔，清孔采用高压风进行，孔内应无松渣和积水。清孔后将丝接好的玻纤锚杆插入孔内的长度不应小于设计长度的 95%。

5.8.7 玻璃纤维锚杆注浆材料应满足质量要求，不得使用失效或过期材料。注浆材料宜采用双液注浆，注浆配合比应结合实际开挖地层现场试验后确定。

5.8.8 玻璃纤维锚杆采用注浆泵注浆，由高孔位向低孔位进行注浆，注浆过程中注浆压力为应逐渐缓慢提升，初始注浆压力为 0.5MPa~1.0MPa，终压为 1.2MPa。

5.9 超前管棚

5.9.1 在松散破碎的软弱围岩、浅埋地段或隧道围岩变形大时可采用管棚超前支护。

5.9.2 管棚钻机的选择应符合下列规定：

1 应具备可钻深孔的大扭矩和破碎地层中坚硬孤石的高冲

击力。

2 应能准确定位，可多方位钻孔，深孔钻进精确度高。

3 轻便，移动灵活方便。

5.9.3 管棚超前支护参数的选择应符合下列规定：

1 管棚应采用热轧无缝钢管制作，必要时钢管内安装钢筋笼。

2 钢管直径应符合设计要求，设计无要求时直径宜为70mm~180mm，钢管中心间距宜为管径的2~3倍。

3 管棚长度应根据地层情况选用，宜为10m~40m。

4 管棚外插角宜为 $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$ （不包括路线纵坡）。

5 管棚的终端位置应达到防护对象的长度加上因开挖而造成的开挖工作面松弛范围的长度。纵向两组管棚的搭接长度应符合设计要求并应大于3m。

6 管棚不得侵入隧道开挖线内，相邻的钢管不得相撞和立交。钻孔外插角允许偏差 1° ，孔距允许偏差 $\pm 150\text{mm}$ ，孔深允许偏差 $\pm 50\text{mm}$ ，管棚径向误差不大于200mm。

7 管棚注浆前应先做注浆现场试验，注浆参数应通过现场试验按实际情况确定。

5.9.4 管棚钻孔、安装施工应符合下列规定：

1 当钻进地层易于成孔时，宜采用先钻孔、后插管的方法（引孔顶入法）。

2 当地质状况复杂，遇有砂卵石、岩堆、漂石或破碎带不易成孔时，可采用跟管钻进工艺。

3 洞口管棚宜采用套拱定位，套拱部位开挖应视现场地质条件及配套设备确定，应做到套拱底脚坚实、孔口管位置准确。

4 管棚节间应用丝扣连接。

5 管棚安装后，管口应用麻丝和锚固剂封堵钢管与孔壁间空隙，连接压浆管及三通接头。

6 管棚注浆前，应向开挖工作面、拱圈及孔口管周围岩面喷射100mm厚的C25混凝土，以防钢管注浆时岩面缝隙跑浆。

7 注浆后应及时扫排管内胶凝浆液，用水泥砂浆充填密实；对于非压浆孔，可直接充填。

8 每循环管棚施工前，应开挖管棚工作室，工作室大小根据钻机要求确定但不宜小于 2m，管棚工作室顶部扩挖宜为 600mm，两侧宜各扩挖 300mm。管棚施工前，在长管棚设计位置安放至少三榀用工字钢组拼的管棚导向拱架，导向拱架内设置孔口管作为长管棚的导向管，钻机作业过程中导向拱架不应有变形和移位。

5.10 超前小导管

5.10.1 超前小导管宜用于自稳时间短的软弱破碎带、浅埋段、洞口偏压段、砂层段、砂卵石段、断层破碎带等地段的预支护。

5.10.2 小导管的制作应符合下列规定：

1 宜采用直径 38mm~50mm 的无缝钢管制作。

2 在小导管的前端做成约 100mm 长的圆锥状，在尾端焊接直径 6mm~8mm 的钢筋箍。距后端 1000mm 内不开孔，剩余部分按 200mm~300mm 梅花形布设直径 6mm 的溢浆孔。

5.10.3 小导管的钻孔、安设应符合下列规定：

1 小导管的安设应采用引孔顶入法。

2 钻孔方向应顺直。

3 钻孔直径应与注浆管径配套，不宜大于 50mm，孔深应根据小导管长度确定。

4 应采用吹管法清孔。

5 小导管外露长度宜为 300mm，以便连接孔口阀门和管路。

5.10.4 超前小导管施工应符合下列规定：

1 沿隧道拱部均匀布设。

2 间距应根据开挖工作面前方的地质条件和自稳能力确定，间距宜为 300mm~500mm。

3 外插角（与隧道纵轴线的夹角）取值应考虑小导管的长

度和钢架的间距，外插角宜为 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。

4 小导管长度宜为 3.5m~5.0m，小导管之间的搭接长度不得小于 1.0m。

5 小导管应同钢架配合使用。

5.10.5 第一循环小导管安设后应对开挖工作面进行喷射混凝土封闭，厚度应为 100mm~150mm。封闭范围为开挖工作面及邻近开挖工作面 3m 范围的环向开挖面。

5.10.6 小导管注浆应符合下列规定：

1 小导管安装完成后，应进行压水试验，压力不宜大于 1.0MPa。

2 超前小导管注浆设计应根据地质条件、隧道断面大小及支护结构形式选用不同的设计参数。

3 注浆材料可按表 5.10.6 选用。

表 5.10.6 注浆材料的选择

地质条件	细砂	中粗砂	砂砾夹卵石层	砂黏土
空隙率 (%)	30~50	30~50	40~50	30~60
有效注浆率	0.3~0.5	0.3~0.5	0.5~0.7	0.3~0.5
注浆材料	改性水玻璃	CS 浆液	水泥浆	水玻璃

4 水泥浆液应采用拌合桶配制，配制水泥浆或稀释水玻璃浆液时，应防止杂物混入，拌制好的浆液应过滤后使用。

5 注浆应采用专用注浆泵注浆，为加速注浆，可安装分浆器同时多管注浆。

6 配制好的浆液应在规定时间内注完，随配随用。

7 注浆顺序应为由下至上，浆液先稀后浓，注浆量先大后小，注浆压力由小到大。

8 当发生串浆时，应采用分浆器多孔注浆或堵塞串浆孔隔孔注浆。当注浆压力突然升高时应停机查明原因；当水泥浆进浆量很大、压力不变时，应调整浆液浓度及配合比，缩短凝胶时间，采用小流量低压力注浆或间歇式注浆。

9 注浆压力应符合设计要求，浆液应充满钢管及其周围的空隙。

10 超前小导管注浆结束标准为：

1) 单根注浆结束标准：注浆过程中，压力逐渐上升，流量逐渐减少，当压力达到注浆终压，注浆量达到设计注浆量的 80% 以上时，可结束该孔注浆；注浆压力未能达到设计终压，注浆量已达到设计注浆量，并无漏浆现象时，亦可结束该孔注浆；

2) 本循环注浆结束标准：所有注浆孔均达到注浆结束标准，无漏注现象，即可结束本循环注浆。

5.10.7 当采用单液水泥浆时，开挖时间为注浆后 8h，采用水泥-水玻璃浆液时为 4h。

5.10.8 开挖过程中应检查浆液渗透及固结状况，并根据压力-流量曲线分析判断注浆效果，及时调整预注浆方案。

5.11 超前锚杆

5.11.1 超前锚杆主要适用于地下水较少、岩体软弱较破碎、开挖面有可能坍塌的隧道中，应和钢架配合使用。

5.11.2 超前锚杆宜采用砂浆锚杆，锚杆体用螺纹钢筋加工，将钢筋头部加工成扁铲形或尖锥形。

5.11.3 钻孔时用凿岩机或凿岩台车引孔，应控制用水量，以防塌孔。钻孔应保证设计的位置和锚杆外插角。

5.11.4 孔内可利用注浆泵注入早强水泥砂浆。注浆时，以水引路，将拌和好的砂浆装入注浆器充满管路，并将注浆管插入到管口离孔底 100mm。开进风阀门，用高压空气将水泥砂浆压入孔眼中，注浆管逐渐被砂浆向外推挤，注到孔深的 2/3 以上时停止注浆。

5.11.5 推入锚杆，挤出孔内多余的砂浆，锚杆端头与钢架焊接应牢固。

5.12 机械开挖

- 5.12.1 应根据地质情况及开挖施工方法合理选择悬臂掘进机、铰挖机、液压破碎锤等掘进施工机械。
- 5.12.2 采用机械掘进开挖时，应根据施工机械长度选择步距，制定开挖方案，并经论证后实施。
- 5.12.3 机械施工作业过程中应采取洒水降尘措施。
- 5.12.4 选用悬臂掘进机时，应设置专用供电线路和变压器，并随掘进开挖作业齐头前进。
- 5.12.5 应铺设供水管道为悬臂掘进机供水。
- 5.12.6 当岩层为Ⅰ级围岩时，宜采用钻孔劈裂、凿岩机等辅助方式配合悬臂掘进机进行施工。
- 5.12.7 应严格控制超欠挖。
- 5.12.8 开挖清除浮石后应及时进行初支喷护。

6 初期支护

6.1 喷射混凝土

6.1.1 喷射混凝土应采用湿拌喷射法施工。

6.1.2 喷射混凝土的原材料应符合下列规定：

1 喷射混凝土材料进场应进行检验，除符合国家现行的有关标准外，尚应符合表 6.1.2-1 的要求。

表 6.1.2-1 喷射混凝土原材料技术要求

材料名称	技术要求
水泥	1) 宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，强度等级不宜低于 42.5MPa。水泥质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定。 2) 遇含有较高可溶性硫酸盐地层或地下水地段，应按侵蚀类型和侵蚀程度采用相应的抗硫酸盐水泥；水泥的安定性、凝结时间均应合格。骨料与水泥中的碱离子可能发生反应时，应选用低碱水泥；喷射混凝土需要有较高早期强度时，可选用硫铝酸盐水泥或其他早强水泥。 3) 有特殊要求时，应使用相应的特种水泥。
砂、石	1) 粗骨料应采用坚硬耐久连续级配的碎石或卵石，粒径不宜大于 12mm；当使用碱性速凝剂时，不得使用含有活性二氧化硅的石料。按质量计含泥量不应大于 1%，泥块含量不应大于 0.25%。 2) 细骨料应采用坚硬耐久的中砂或粗砂，细度模数宜大于 2.5；砂中小于 0.075mm 的颗粒不应大于 20%；按质量计含泥量不应大于 3%，泥块含量不应大于 0.5%。
水	混凝土拌合用水和养护用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

2 喷射混凝土骨料级配宜控制在表 6.1.2-2 数据范围内。

表 6.1.2-2 喷射混凝土骨料通过各筛径的累计质量百分率 (%)

项目	骨料粒径 (mm)							
	0.15	0.30	0.60	1.20	2.50	5.00	10.00	15.00
优	5~7	10~15	17~22	23~31	35~43	50~60	73~82	100
良	4~8	5~22	13~31	18~41	26~54	40~70	62~90	100

6.1.3 外加剂性能应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定。

6.1.4 喷射混凝土用速凝剂应符合下列规定：

1 速凝剂应与水泥具有良好的适应性，速凝剂掺量应通过试验确定，且不宜大于 10%。

2 掺速凝剂的水泥净浆初凝时间不宜大于 3min，终凝时间不应大于 12min。

3 掺速凝剂的胶砂试件与不掺速凝剂试件的 28d 抗压强度比不应低于 90%。

4 喷射混凝土宜采用无碱或低碱速凝剂。

6.1.5 喷射混凝土的配合比应符合下列规定：

1 喷射混凝土的性能（强度、密实度、黏结力）、回弹率、粉尘浓度应符合现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 的规定。

2 喷射混凝土因施工方法及环境条件的不同，其性能的要求也不同。配合比应满足设计强度和喷射工艺的要求，并通过试验确定。

3 喷射混凝土应满足设计的初期强度、长期强度、厚度及其与围岩面黏结力要求。湿喷射混凝土 3h 强度不应小于 2MPa，1d 强度应大于设计值的 40%。

4 湿喷射混凝土的胶凝材料用量不宜小于 400kg/m³。

5 水泥用量不宜小于 300kg/m³。

6 湿拌法混合时水胶比不宜大于 0.55。

7 胶骨比宜为 1 : 4.0~1 : 4.5。

8 砂率宜为 45%~60%。

9 混凝土拌合物的坍落度宜为 80mm~130mm。

10 湿拌法喷射混凝土的表观密度不应低于 2300kg/m³。

6.1.6 喷射混凝土作业应符合下列规定：

1 喷射混凝土应在受喷面、配筋等质量验收符合要求后方可施工。

2 喷射混凝土施工前应进行试喷，混凝土性能合格后方可进行喷射操作。

3 喷射混凝土应根据现场实际情况，优先采用湿喷工艺，湿拌法喷射混凝土在运输及喷射过程中严禁加水。某些特定条件下采用干喷工艺时，应符合国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 的要求。

4 喷射混凝土的准备工作应符合下列规定：

1) 检查开挖断面净空尺寸；

2) 设置控制喷射混凝土厚度的标志，一般采用埋设钢筋头作标志或者厚度控制钉、喷射线；

3) 检查机具设备和风、水、电等管线路；

4) 选用的空压机应满足喷射机工作风压和耗风量的要求；
压风进入喷射机前应进行油水分离；输料管应能承受 0.8MPa 以上的压力，并应有良好的耐磨性能；

5) 保证作业区内具有良好的通风和照明条件；

6) 喷射混凝土作业的环境温度宜为 5℃~35℃，喷射混凝土拌合物温度宜为 10℃~30℃。

5 喷射作业应分片、分段，喷射顺序应自下而上，每段长度不宜大于 6m。喷射作业应连续进行。

6 混凝土厚度大于 100mm 时，应采用分层喷射。分层喷射时，一次喷射混凝土的厚度不应小于 40mm，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行。当时间间隔大于 1h 时，应采用高压水或压缩空气对混凝土喷层表面进行清洗处理。

7 初喷射混凝土在开挖后及时进行，复喷应根据开挖工作

面的地质情况分层、分时段进行喷射作业，以确保喷射混凝土的支护能力和喷层的设计厚度。复喷射混凝土的一次喷射厚度：拱部为 50mm~100mm，边墙为 70mm~150mm。

8 喷射混凝土应强化工艺管理，降低喷射回弹率。喷射混凝土施工过程中，水平喷射混凝土拌合物回弹率不宜大于 15%，竖直喷射混凝土拌合物回弹率不宜大于 25%。喷射产生的回弹物料，不应重新掺入喷射拌合物中。

9 在喷边墙下部（台阶法施工上半断面拱脚）及仰拱时，需将上半断面喷射时的回弹物清理干净，防止将回弹物卷入下部喷层中形成“蜂窝”而降低支护能力。

6.1.7 受喷岩面的处理应符合下列规定：

1 喷射混凝土施工前，应对受喷岩面进行处理。一般岩面可用高压水冲洗受喷面上的浮尘、岩屑，当岩面遇水容易潮解、泥化时，宜采用高压风吹净岩面。

2 受喷面的小股水或裂隙渗漏水宜采用岩面注浆或导管引排后再喷射混凝土。

3 大面积潮湿的岩面宜采用黏结性强的混凝土，可通过添加外加剂、掺合料改善混凝土的性能。

4 大股涌水宜采用注浆堵水后再喷射混凝土。

6.1.8 喷射混凝土强度检验可从下列方法中选择：

1 用喷大板切割试块（100mm 的立方体），在标准养护条件下养护 28d，用标准试验方法测得的极限抗压强度乘以 0.95。

2 当不具备制作抗压强度标准试块条件时，可喷制混凝土大板，在标准条件下养护 7d 后，用钻芯机取芯制作试块，芯样边缘至大板周边的最小距离不小于 50mm。

3 可直接向边长 150mm 的无底标准试模内喷射混凝土制作试块，抗压试验加载方向应与试块喷射成型方向垂直，其抗压强度换算系数应通过试验确定。

6.1.9 喷射混凝土的厚度应符合下列规定：

1 平均厚度大于设计厚度。

- 2 检查点数的 80%及以上大于设计厚度。
- 3 最小厚度不小于设计厚度的 2/3。
- 6.1.10 喷射混凝土养护应符合下列规定：
 - 1 喷射混凝土应及时保湿养护。混凝土终凝后养护时间不应小于 14d，宜喷水养护。
 - 2 日均温度小于 5℃时不应采用喷水养护。
- 6.1.11 喷射混凝土冬期施工应符合下列规定：
 - 1 洞口喷射混凝土的作业场所应有防冻保暖措施。
 - 2 在结冰的层面上不得进行喷射混凝土作业。
 - 3 作业区的气温和混合料进入喷射机的温度不应小于 5℃。
 - 4 混凝土强度未达到 6MPa 前，且用普通硅酸盐水泥制备的喷射混凝土强度未达到设计强度的 40%前，不得受冻。

6.2 锚杆施工

- 6.2.1 锚杆钻孔应符合下列规定：
 - 1 钻孔机具应根据锚杆类型、规格及围岩等情况选择。
 - 2 按设计要求定出孔位，其允许偏差为±150mm。
 - 3 钻孔应与围岩壁面或其所在部位岩层的主要结构面垂直。
 - 4 钻孔应圆而直，锚杆的钻孔直径应大于杆体直径 15mm。
 - 5 锚杆钻孔深度应大于锚杆设计长度 100mm。
 - 6 砂浆锚杆深度的允许误差应为±50mm。
- 6.2.2 全长黏结型锚杆施工应符合下列规定：
 - 1 锚杆应加垫板，垫板应用螺帽上紧并与喷层面紧贴。
 - 2 锚杆插入长度不得小于设计长度的 95%。
 - 3 水泥砂浆锚杆的原材料、砂浆配合比应符合下列规定：
 - 1) 杆体宜用 HRB400 级带肋钢筋，锚杆体材质的断裂伸长率不得小于 16%，允许抗拉力与极限抗拉力应符合设计要求；
 - 2) 锚杆杆体使用前应平直、除锈、除油；
 - 3) 宜采用中细砂，粒径不应大于 2.5mm，使用前应

过筛；

- 4) 水泥砂浆强度不低于 M20，砂胶比宜为 1 : 1 ~ 1 : 2 (质量比)，水胶比宜为 0.38 ~ 0.45。

4 灌浆作业应符合下列规定：

- 1) 灌浆开始或中途停止时间大于 30min 时，应用水或稀水泥浆润滑注浆罐及其管路；
- 2) 灌浆注浆管应插至距孔底 50mm ~ 100mm，随砂浆的注入缓慢匀速拔出；当杆体插入孔口无砂浆溢出时，应进行补注；灌浆压力不得大于 0.4MPa；
- 3) 砂浆应拌和均匀，随拌随用，一次拌和的砂浆应在初凝前用完。

5 锚杆体插入孔内长度不应小于设计长度的 95%。锚杆安装后不得随意敲击。

6 安装垫板和紧固螺帽应在砂浆体的强度达到 10MPa 后进行。

6.2.3 普通中空锚杆施工应符合下列规定：

1 用于边墙或俯角下倾的锚孔时，锚孔灌浆可采用杆体中空通孔进浆、锚孔口排气的注浆工艺。

2 用于锚孔上倾的仰角时，锚孔灌浆应采用锚孔口进浆、中空锚杆体的中空通孔作排气回浆管的注浆工艺。

6.2.4 组合中空锚杆施工应符合下列规定：

1 组合中空锚杆适用于拱部或锚孔上仰的部位。

2 组合中空注浆锚杆应采用钻孔壁与锚杆体间的空隙进浆。

3 组合中空锚杆用于锚孔向下倾斜的部位时，锚孔俯角不应大于 30°。

4 注浆完成立即安装堵头封堵。

6.2.5 自进式锚杆的施工应符合下列规定：

1 自进式锚杆安装前，应检查锚杆体中孔和钻头的水孔是否畅通。

2 锚杆体钻进至设计深度后，应用水或空气洗孔，直至孔

口返水或返气，方可将钻机和钎尾卸下，并及时安装止浆塞。

3 锚杆灌浆料宜采用纯水泥浆或 1:1 水泥砂浆，水胶比为 0.4~0.5。采用水泥砂浆时砂子粒径不应大于 1.0mm。

4 灌浆料由杆体中孔灌入，水泥石强度达到 10.0MPa 后方可上紧螺母。

6.2.6 锚杆施工应在初喷射混凝土后进行，以保证锚杆垫板有较平整的基面。

6.2.7 在围岩破碎、自稳时间短地段，应采用早强砂浆锚杆或早强中空注浆锚杆，亦可采取增加锚杆数量、选用高强锚杆、加大锚杆长度和直径、加大钻孔直径、提高黏结材料的黏结性能等措施。

6.2.8 小净距隧道先行洞锚杆应避免进入后行洞开挖范围，后行洞锚杆应防止破坏先行洞初支及防水。锚杆注浆压力宜取较小值。

6.2.9 应对浅埋隧道地下管线情况进行深入调查，锚杆施工应避免对管线造成破坏。

6.3 钢筋网施工

6.3.1 钢筋网施工应符合现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 的规定。

6.3.2 钢筋网的材料应符合下列规定：

1 钢筋网材料宜采用 HPB300 钢，钢筋直径宜为 6mm~8mm。

2 网格尺寸宜采用 150mm~300mm，搭接长度应为 1~2 个网格，搭接方式为焊接。

3 钢筋应冷拉调直后使用，钢筋表面不得有裂纹、油污、颗粒或片状锈蚀。

6.3.3 钢筋网铺设应符合下列规定：

1 钢筋网应在初喷射混凝土后安装，钢筋网应与锚杆连接牢固。

- 2 砂层地段应先铺挂钢筋网，沿环向压紧后再喷射混凝土。
- 3 钢筋网应随受喷面的起伏铺设，与受喷面保持一定距离，并与锚杆或其他固定装置连接牢固。
- 4 开始喷射时，应减小喷头至受喷面的距离，并不断调整喷射角度。
- 5 喷射中如有脱落的石块或混凝土块被钢筋网卡住时，应及时清除。

6.4 钢 架

6.4.1 钢管混凝土拱架应符合《隧道薄壁钢管混凝土初期支护施工技术规程》DB37/T 5129 的规定。

6.4.2 钢架加工应符合下列规定：

- 1 宜选用钢筋、型钢等制成。
- 2 型钢钢架宜采用冷弯成型，格栅钢架应采用胎模焊接，并以 1:1 大样控制尺寸。
- 3 钢架加工的焊接不应有假焊，焊缝表面不应有裂纹、焊瘤等缺陷。
- 4 每榀钢架加工完成后应放在水泥地面上试拼，周边拼装允许误差为 $\pm 30\text{mm}$ ，平面翘曲允许偏差应为 $\pm 20\text{mm}$ 。

6.4.3 钢架安装应符合下列规定：

- 1 钢架应在开挖或初喷射混凝土后及时架设。
- 2 安装前应清除底脚下的虚渣及杂物，钢架底脚应置于牢固的基础上。钢架安装允许偏差：钢架间距及其横向位置和高程的允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ ，垂直度偏差为 $\pm 2^\circ$ 。
- 3 钢架拼装可在作业面进行，各节钢架间以连接板螺栓连接并密贴。
- 4 沿钢架外缘每隔 2m 用钢楔或混凝土预制块楔紧。
- 5 钢架应尽量密贴围岩并与锚杆焊接牢固，钢架之间应按设计纵向连接。
- 6 钢架应尽量减少接头个数。

7 采用分部开挖法施工时，钢架拱脚应打设锁脚锚杆（或锚管），锚杆长度不小于 3.5m，每侧数量为 2 组～3 组（每组 2 根）。下半部开挖后钢架应及时落底。

8 钢架应与喷射混凝土形成一体，钢架与围岩间的间隙用喷射混凝土充填密实；各种形式的钢架应全部被喷射混凝土覆盖，保护层厚度不应小于 40mm。

9 开挖下台阶时，根据需要可在拱脚下设纵向托梁，把几排钢架（格栅）连成一个整体。

6.5 初支背后填充注浆

6.5.1 初支喷射混凝土与围岩之间应进行回填灌浆。超挖部分应在喷射混凝土之前预埋填充注浆管。

6.5.2 回填灌浆的范围、孔距、排距、灌浆压力及浆液浓度等，应根据隧道的衬砌结构形式、运行条件及施工方法等分析确定。回填灌浆的范围宜为顶部或顶拱中心角 $90^{\circ} \sim 120^{\circ}$ ，其他部位视衬砌浇筑情况确定。孔距和排距宜为 3m～6m，灌浆压力可采用 0.2MPa～0.3MPa，灌浆孔应深入围岩 0.1m 以上。

6.5.3 土洞回填灌浆宜采用低压灌浆。当支护与衬砌间设有柔性止水时，衬砌浇筑时应预埋注浆管，注浆管宜设置拱顶、拱腰三处，注浆管不得损坏柔性止水和穿透支护。

6.5.4 初期支护闭合成环后应立即进行初支背后注浆。

7 二次衬砌

7.1 一般规定

7.1.1 隧道二次衬砌结构混凝土应密实、表面平整光滑、曲线圆顺，并应满足设计强度、防水、耐久性的要求。

7.1.2 二次衬砌混凝土施工前应对水泥、细骨料、粗骨料、拌制和养护用水、外加剂、掺合料等原材料进行检验。

7.1.3 根据现场的具体情况，应适当增加二次衬砌的外放值（施工正误差），不得侵限。

7.1.4 隧道拱部超挖部分应采用与二次衬砌同强度等级混凝土一次浇筑。

7.1.5 二次衬砌施工的顺序是仰拱超前，墙、拱整体浇筑。边墙基础的水平施工缝位置应避开剪应力最大的截面，并按设计要求做防水处理。

7.2 二次衬砌施工

7.2.1 二次衬砌施作的条件应符合下列规定：

1 二次衬砌施作应在围岩和初期支护变形趋于稳定后进行。

2 在隧道洞口段、浅埋段、围岩松散破碎段，应尽早施作二次衬砌，并应加强衬砌结构。

3 进行二次衬砌的作业区段的初期支护、防水层、环纵向排水系统等均已验收合格。

4 防水层铺设位置宜超前 1~2 倍二次衬砌循环作业长度。

5 隧道中线、高程、断面尺寸应符合设计要求。

6 仰拱上的填充层或铺底调平层已施工完毕，地下水已合理引排，施工缝已按设计处理合格，基础部位的杂物及积水已清理干净。

7 模板台车、拌合站、运输车、输送泵、捣固机械等处于可正常运转状态，设备能力可满足二次衬砌混凝土施工的需要。

8 二次衬砌作业区段的照明、供电、供水、排水系统能满足衬砌正常施工要求，隧道内通风条件良好。

7.2.2 仰拱和底板施工应符合下列规定：

1 施工前，应将隧底清除干净，超挖应采用同级混凝土回填。

2 仰拱超前防水层铺设的距离宜保持 1~2 倍二次衬砌循环作业长度。

3 仰拱的整体浇筑应采用防干扰作业栈桥等架空设施，以保证作业空间和新浇筑混凝土结构不受损坏。

4 仰拱开挖后应及时施作仰拱混凝土，仰拱或底板混凝土应整体浇筑，一次成形，填充混凝土应在仰拱混凝土终凝后进行。

5 仰拱施工缝和变形缝应做防水处理。

6 仰拱填充和底板混凝土强度达到 5MPa 后允许行人通行，达到设计强度的 100% 后允许车辆通行。

7.2.3 模板台车设计制作应符合下列规定：

1 在浇筑混凝土后应保证隧道净空，门架结构的净空应满足洞内车辆和人员的安全通行。

2 模板台车应具有足够的动载荷刚度和强度，安全系数应大于动载荷的 1.6 倍以上，行走系统应具有足够的牵引力和牢固的结构。

3 面板厚度不宜小于 10mm。

4 模板台车长度：直线隧道宜为 9m~12m，曲线隧道宜为 6m~9m。

5 边墙工作窗应分层布置，层高不宜大于 1.5m，每层的间距宜为 2m 左右，其净空不宜小于 450mm×450mm，并设有相应的混凝土输送管支架或吊架；模板的纵横接缝、铰接缝、工作窗口应严密，铰接轴应灵活，能达到伸缩自如与开启的要求。

- 6 模板台车应考虑通风管的穿越形式。
- 7 应设置足够的支撑螺杆和模板径向支撑螺杆。
- 8 安装的附着式振动器应能单独启动。
- 9 应有模板微调机构和锁定机构。
- 10 拱顶部位应预留 2 个以上注浆孔。拱部应具有整体性，以实现顶缸的同步或单步升降。

11 侧模单侧应具有较高的整体性，各丝杠支点具有较高的承压强度。

12 整体台车应具有在坡道上衬砌时的抗溜坡装置和抗上浮装置。

7.2.4 模板台车的使用应符合下列规定：

1 曲线隧道台车就位应考虑内外弧长差引起的左右侧搭接长度的变化，以使弧线圆顺，减少接缝错台。

2 模板与混凝土搭接不应小于 100mm（曲线地段指内侧），撑开就位后检查台车各节点连接是否牢固，有无错动移位情况，模板是否翘曲或扭动，位置是否准确，保证衬砌净空。

3 浇筑混凝土时，混凝土最大下落高度不应大于 2m，台车前后混凝土高度差不应大于 0.6m，左右混凝土高度不应大于 0.5m，单侧一次浇筑不得大于 1m。

4 混凝土振捣应优先选用插入式振捣器；当选用附着式振捣器时，宜采用短时间、多次数、左右对称的方法。

7.2.5 二次衬砌拆模应符合下列规定：

1 在初期支护变形基本稳定后施作的二次衬砌混凝土强度应达到 8MPa 以上。

2 初期支护未稳定前施作的二次衬砌的混凝土强度应达到设计强度的 100%。

3 拆模时混凝土内部与表层、表层与环境之间的温差不应大于 20℃，结构内外侧表面温差不应大于 15℃；混凝土内部开始降温前不应拆模。

7.3 衬砌混凝土施工

7.3.1 混凝土配合比应符合下列规定：

1 混凝土应根据强度等级、耐久性等要求和原材料品质以及施工工艺等进行配合比设计。混凝土配合比应通过计算、试配、调整后确定。配制的混凝土拌合物应满足施工要求，配制成的混凝土应满足设计强度、耐久性等的质量要求。

2 混凝土中的碱含量应符合设计要求。

3 钢筋混凝土中由水泥、矿物掺合料、骨料、外加剂和拌合用水等引入的氯离子总含量不应大于胶凝材料总量的 0.10%。

4 混凝土的最大水胶比和单方混凝土胶凝材料的最低用量应满足设计要求。

7.3.2 混凝土浇筑应符合下列规定：

1 混凝土浇筑前应对模板表面进行彻底打磨，清除锈斑，涂油防锈。

2 混凝土浇筑段的端模（堵头板）应有防止漏浆的措施。

3 采用高效减水剂时，混凝土应做现场坍落度检查，泵送混凝土坍落度宜为 150mm~180mm。

4 混凝土应对称、分层浇筑，分层捣固。捣固宜采用插入式振动器。

5 防止拱部混凝土浇筑出现空穴，拱部宜配制流态混凝土浇筑。

6 混凝土泵送的坍落度不宜过大以避免离析或泌水。如发现坍落度不足，不得擅自加水，应在技术人员的指导下用追加减水剂的方法解决。

7 混凝土浇筑中两侧混凝土浇筑面高差宜控制在 500mm 以内，同时应合理控制混凝土浇筑速度；浇筑混凝土时不应直接冲向防水板板面流至浇筑位置，以防混凝土离析。

8 插入式振动棒在混凝土中移位时，应竖向缓慢拔出，不应在混凝土浇筑仓内平拖。泵送下料口应及时移动，不应用插入

式振动棒将下料口处堆积的拌合物推向远处，振捣时间宜为10s~30s；混凝土振捣时，振捣棒不应接触防水板，以防防水板受到损伤。

9 施工缝的留设位置和处理应符合设计要求。施工过程中，输送泵应连续运转，泵送连续浇筑，避免停歇造成“冷缝”，间歇时间超过规范要求时，按施工缝处理。

10 当混凝土浇筑至作业窗下500mm，作业窗关闭前，应将窗口附近的混凝土浆液残渣及其他脏物清理干净，涂刷脱模剂，将其关闭严密，防止窗口部位混凝土表面出现凹凸不平的补丁甚至漏浆现象。

7.3.3 混凝土浇筑中的温度控制应符合下列规定：

1 混凝土的入模温度应按洞内温度调整。

2 当冬期施工时，混凝土的入模温度不应小于5℃；当夏季施工时，混凝土的入模温度不宜大于洞内温度，且不宜大于30℃。

7.3.4 预留洞室、预埋件的固定应符合下列规定：

1 钢筋混凝土衬砌地段，预留、预埋件应固定在钢筋骨架上。

2 混凝土衬砌地段采取在衬砌台车模板上钻孔，用螺栓固定预留、预埋件。

7.3.5 二次衬砌施工中裂缝的处理应符合下列规定：

1 当混凝土施工过程中出现裂缝，应记录裂缝出现的时间、部位、尺寸和处理情况。

2 拆模后应对渗漏水部位进行衬砌内注浆，并对渗水部位混凝土裂缝进行处理。对宽度小于0.2mm的细小裂缝，可采取密封剂封闭；对宽度大于0.2mm的裂缝，就采用压注注缝胶修补。必要时对裂缝部位混凝土表面实行涂膜封闭。

7.3.6 二次衬砌距掌子面的距离应符合国家现行相关规范及设计的规定，超小净距隧道及土质较差的小净距隧道宜在先行洞二衬完成后，再进行相应位置后行洞掌子面的开挖。

7.4 拱顶回填注浆

7.4.1 二次衬砌拱顶回填注浆常用的方法为注浆导管法、纵向预留管道法，施工中可根据实际需要选用。

7.4.2 二次衬砌混凝土强度达到设计强度的 100% 后应进行拱顶回填注浆，也可在台车模板拆除前进行带模注浆。

7.4.3 注浆导管法：在模板台车拱顶处设锥形堵头、埋设注浆导管或预留注浆孔，注浆孔间距宜为 5m~6m。

7.4.4 纵向预留管道法：穿过挡头板在拱顶防水层内纵向贴置 PVC 管，埋设纵向预留管道（图 7.4.4）。

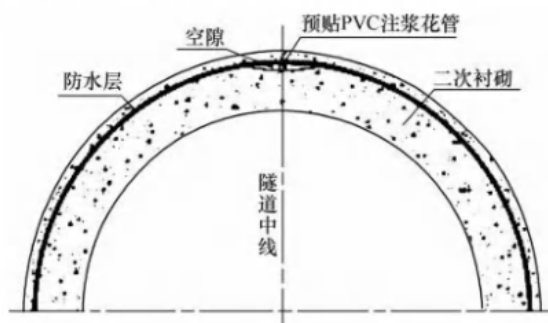


图 7.4.4 预贴 PVC 注浆花管处理拱顶干缩性空隙示意图

7.4.5 实施补充注浆应符合下列要求：

1 注浆管用 $\phi 32$ 钢管制成，长度等于衬砌厚度加 200mm（外露），外露端应有连接管路的装置。注浆管应在衬砌浇筑时预埋或采用钻孔埋设法，钻孔时钻杆应有限深装置，防止钻破防水层。

2 预贴注浆花管采用 $\phi 20\text{mm} \sim 30\text{mm}$ PVC 管，长度等于衬砌段长度加 200mm（外露），外露端应有连接管路的装置。

3 回填注浆应采用微膨胀性的水泥砂浆，有特殊要求的地段可采用强度高、流动性好的自流平水泥浆。自流平水泥基砂浆 3min 后的流动度为不小于 260mm，30min 后的流动度为不小

于 240mm。

4 待孔口封堵材料达到一定强度后，才能开始注浆。

5 注浆顺序宜沿线路上坡方向进行，注浆过程中应时刻观察注浆压力和流量的变化。

6 当注浆压力达到 0.2MPa 或相邻孔出现串浆时，即可结束本孔注浆。

7.4.6 注浆效果检查可采用无损检测法，对不符合要求的地段应进行补孔注浆。

8 防 排 水

8.1 一 般 规 定

8.1.1 隧道工程防排水施工，应按照“以防为宜，限量排放，因地制宜，综合治理”的原则，采取切实可靠的施工措施，达到防水可靠、排水通畅、经济合理的目的。

8.1.2 隧道结构防排水应按照设计施工，并应符合下列规定：

1 应充分利用混凝土自防水能力，隧道混凝土结构抗渗等级不应小于 P6，设计采用防水混凝土时，其抗渗等级不应小于 P8。

2 应重视初期支护的防水能力，可辅以注浆防水和防水层加强防水。

3 应做好施工缝和变形缝防水，确保盲沟、排水管（沟）排水畅通。

4 附属洞室与正洞连接处的防排水系统应与正洞同时同标准完成。

8.1.3 隧道防排水施工时，应重视环境保护。施工排水应进行处理，达标后排放，并应符合现行《污水综合排放标准》GB 8978 的规定。对排、渗水可能造成地下水污染时，应采取隔离措施。

8.2 注 浆 防 水

8.2.1 隧道工程施工应根据地质情况、掘进和支护的方式、支护预期的变形量、相邻隧道的相互影响及其他构筑物的位移、沉降、水资源保护的要求进行注浆防水方案的选择。

8.2.2 对地质预测、预报有大量涌水的软弱地层地段，宜采用地表或洞内全封闭超前预注浆。

8.2.3 在开挖后如有渗漏水或大股涌水时，宜采用支护前围岩注浆。

8.2.4 当初期支护表面有超出设计允许的渗漏水时，应用回填注浆或径向注浆进行处理。

8.2.5 二次衬砌后有渗漏水时应采用衬砌内注浆。

8.2.6 富水隧道宜采用分区隔离防排水技术，区段的长度应根据洞内渗漏水量的大小确定，富水地段可按二次衬砌段长度分区，分区采用带注浆管的背贴式止水带，发生渗漏水时可进行注浆，并应符合下列规定：

1 每个防水分区内埋设注浆圆盘底座（嘴）和注浆软管。具体方法为：将专用注浆圆盘（嘴）点焊在防水板上，周边用密封膏（胶带）密封，防止二次衬砌混凝土施工时水泥浆液堵塞注浆嘴；将软管一端接在注浆嘴上，另一端引至二次衬砌内表面集中面板上，逐一编号，待二次衬砌背后某处漏水需要注浆时，根据该处编号进行注浆堵水。

2 采用分区防水的区段，注浆顺序为：先进行拱顶处回填注浆，再进行背贴式止水带上花软管注浆，最后进行分区的注浆嘴注浆。

8.3 洞口防排水

8.3.1 隧道洞口段边坡、仰坡坡顶的天沟、截水沟应结合永久排水系统修建，应在隧道进洞前施作完成，出水口应防止顺坡散流。隧道洞口排水沟应与路基边沟组成洞口排水系统，其水流应防止冲刷边仰坡和破坏环境。

8.3.2 洞口防排水施工中，应做好重点排水结构（设施）的施工，并应符合下列规定：

1 洞口的排水沟（管）、泄水孔应与洞内（明洞）纵向排水管顺接。

2 明洞的防水层、排水管应与隧道的防水板、排水管顺接。

8.3.3 洞口防排水应保证设计或临时过渡的排水系统畅通无阻，

并应符合下列规定：

- 1 隧道洞顶应整平，地表不应积水。
- 2 地表坑洼、钻孔等处应填不透水土，并分层夯实。
- 3 洞顶有流水的沟槽应予整治，确保水流畅通，必要时应对沟床进行铺砌。

4 洞顶设有高位水池或有河流、水塘、水库等时，应有防渗漏措施，对水池溢水应有疏导设施。

8.3.4 洞外路堑向隧道内为下坡时，应将路基边沟挖成反坡，向路堑处排水，必要时应在洞口外适当位置设横向截水沟。

8.4 结构防排水

8.4.1 铺设排水管、防水板前应对初期支护采用简单易行的锤击声检查，必要时辅以物探手段。对初期支护的渗漏水情况进行检查，并应符合下列规定：

1 初期支护表面应平整，无空鼓、裂缝、松酥，并用喷射混凝土（或砂浆）对基面进行找平处理。

2 初期支护表面应符合铺设防水板的平整度要求。

8.4.2 初期支护面的处理应符合下列规定：

1 钢筋网等凸出部分，先切断后用锤铆平，抹砂浆。

2 有凸出的注浆管头时，先切断，并用锤铆平，后用砂浆填实。

3 锚杆有凸出部位时，螺头顶预留 5mm 切断后，用塑料帽遮盖。

4 通过补喷或凿除使初期支护表面平整圆顺。

8.4.3 排水纵向、横向、环向盲管，中心排水管（沟）的施工应符合下列规定：

1 环向排水盲管沿纵向设置的间距应满足设计要求，并根据洞内渗、漏水的实际情况调整设置排水盲管，纵向排水盲管安装坡度应符合设计要求，通向水沟的泄水管应有足够的泄水坡。

2 排水盲管应紧贴喷射混凝土面安设。施工中应采取适当的保护措施,防止水泥浆窜入堵塞排水盲管。横向排水盲管接头应牢固、水路通畅。环向、纵向、横向排水盲管应通过变径三通连接在一起,整个排水系统的连接应牢固、畅通。

3 排水盲管应固定牢固,施工方法应符合下列规定:

- 1) 按规定画线,确保盲管间距符合设计要求,确保盲管布设位置能有效汇水;
- 2) 管卡的间距应确保固定盲管牢固;
- 3) 用土工布包裹盲管,用扎丝捆好,用管卡固定。

4 防水板后渗漏水应采用横向排水管与侧沟、中心水沟连通。

5 中心排水管(沟)管径符合设计要求,管身不应变形,不应有裂缝,管身上部透水孔畅通。中心排水管(沟)基础的总体坡度、段落坡度、单管坡度应协调一致,并符合设计要求,不应高低起伏。管路埋设好后,应进行通水试验,发现漏水、积水,立即处理。

8.4.4 边墙泄水孔应在浇筑边墙基础(矮边墙)时埋设好,施工时应防止异物堵塞孔口。

8.4.5 在隧道埋深大、节理发育、地下水丰富的情况下,为保证衬砌结构外围排水畅通,消除衬砌结构静水压力,可在初期支护(喷射混凝土层)完成之前视情况埋设排水半管或线形排水板,形成暗埋、永久式排水通道系统,将水引入隧道纵向排水管或通过盲沟(管)引入排水沟排出洞外。

8.4.6 防水板铺设应超前二次衬砌施工 1~2 个衬砌段长度,形成“初期支护表面整修→防水板铺挂→防水板质量检验→二次衬砌施工”的流水作业线。

8.4.7 防水板铺设宜采用专用台车(架)铺设,台车(架)应符合下列规定:

- 1 防水板铺设专用台车(架)宜采用轮轨式。
- 2 台车(架)前端应设有初期支护表面及二次衬砌内轮廓

检查刚架，并有整体移动（上下、左右）的微调机构。

3 台车（架）上应配备能达到隧道周边任一部位的作业平台。

4 台车（架）上应配备辐射状的防水板支撑系统。

5 台车（架）上应配备提升（成卷）防水板的卷扬机和铺放防水板的设施。

8.4.8 防水板材料应符合下列规定：

1 塑料防水板规格、尺寸及允许偏差见表 8.4.8。

表 8.4.8 防水板的规格尺寸及允许偏差

项目	厚度（mm）	宽度（m）	长度（m）
规格	1.5、2.0、2.5、3.0	2.0、3.0、4.0	20 以上
平均偏差	不允许出现负值	不允许出现负值	不允许出现负值
极限偏差	-5%	-1%	—

2 防水板的外观质量应符合下列规定：

- 1) 防水板在规格确定的长度内不允许有接头；
- 2) 防水板表面应平整、边缘整齐，无裂纹、机械损伤、折痕、孔洞、气泡及异常粘着部分等影响使用的缺陷；
- 3) 防水板外观颜色应为材料本色，不应添加颜料和填料，特殊要求除外；
- 4) 在不影响使用的条件下，防水板表面凹痕深度不应超过厚度的 5%。

8.4.9 防水板铺设应符合下列规定：

1 缓冲层一般采用暗钉圈固定，并按下列步骤铺设：

- 1) 铺设前进行精确放样，弹出标准线进行试铺后确定防水板一环的尺寸，尽量减少接头；
- 2) 用带热塑性圆垫圈的射钉将缓冲层平整顺直地固定在基层上，固定点间距：一般拱部 0.5m~0.8m，边墙 0.8m~1.0m，底部 1.0m~1.5m，呈梅花形排列，并左右上下成行固定；

- 3) 缓冲层接缝搭接宽度不应小于 50mm, 一般仅设环向接缝, 当长度不够时, 设轴向接缝应确保上部(靠近拱部的一张)用下部(靠近底部的一张)缓冲层压紧, 并使缓冲层与喷射混凝土表面密贴, 铺设的缓冲层应平顺, 无隆起, 无皱褶。
- 2 防水板铺设应符合下列规定:
 - 1) 防水板铺设前, 应全部检查防水板是否有变色、波纹(厚薄不均)、斑点、刀痕、撕裂、小孔等缺陷, 如果存在质量疑虑, 应进行张拉试验、防水试验和焊缝张拉强度试验, 如发现防水板有裂纹、针孔等应立即修补好;
 - 2) 对检查合格的防水板(含土工布缓冲层), 用特种铅笔画焊接线及拱顶分中线, 并按每循环设计长度截取, 对称卷起备用; 洞内在铺设基面标出拱顶中线, 画出隧道中线第一环及垂直隧道中线的横断面线;
 - 3) 塑料防水板宜从下向上环向铺设, 下部防水板应压住上部防水板, 铺设松紧应适度并留有余量, 实铺长度与初期支护基面弧长的比值为 10 : 8, 确保混凝土浇筑后防水板表面与初期支护面密贴;
 - 4) 分离式防水板采用悬挂铺设。
- 3 防水板的固定应符合下列规定:
 - 1) 防水板的固定可采用热合器, 使防水板融化后与塑料垫圈粘结牢固;
 - 2) 在凸凹较大及拱顶的基面上, 不仅需要加密固定点, 而且应确保加固点间的富余量, 加固后的防水板用手上托或挤压, 防水板不会产生绷紧或破损现象, 能确保防水层与混凝土表面完全密贴。
- 4 防水板焊接应符合下列规定:
 - 1) 热焊机操作手应经过专业培训, 并且人员相对固定;
 - 2) 焊接时, 接缝处应擦洗干净, 焊接接头应平整, 不应

有气泡褶皱及空隙；

- 3) 施工中应尽量减少防水板的搭接头，两幅防水板的搭接宽度符合设计要求并不应小于 150mm；
 - 4) 附属洞室处铺设防水板时，先按照附属洞室的大小和形状加工防水板，并与边墙防水板焊接成一个整体，如附属洞室成形不好，须用同级混凝土使其外观平顺后，方可铺设防水板；
 - 5) 防水板之间的搭接缝应采用双焊缝、调温、调速热楔式自动爬行热合机，细部处理或修补采用手持焊枪，单条焊缝的有效焊接宽度不应小于 15mm；热合器不易焊接的部位可采用热风枪手工焊接；
 - 6) 开始焊接前，应用小块塑料片试焊，以掌握焊接温度和焊接速度；
 - 7) 三层以上塑料防水板的搭接形式应是“T”形接头，并采用焊胶打补丁的方式进行加强，焊缝搭接处应用刀刮成缓角后拼接，使其不出现错台；
 - 8) 焊接应严密，无漏焊、假焊、烤焦、焊穿、外露固定点等，当出现上述情况时应补焊，且用同种材料覆盖焊接。
- 5 防水板的保护应符合下列规定：
- 1) 洞内堆放材料、工具应远离已经铺好防水板的地段，严禁在堆放好的防水材料上来回走动；
 - 2) 防水板施工时严禁吸烟，钢筋焊接作业时，应设临时挡板防止机械损伤和电火花灼伤防水板；
 - 3) 挡头板的支撑物在接触到塑料防水板处应加设橡皮垫层；
 - 4) 采用钢筋混凝土衬砌时，要对钢筋头部进行防护，避免损伤防水板；
 - 5) 绑扎钢筋和衬砌台车就位时，要采取保护措施防止碰撞和刮破塑料板；

- 6) 衬砌浇筑中应特别注意振捣引起的防水板破坏, 避免振捣棒直接接触防水板, 插入式振动棒变换位置时应竖向缓慢拔出, 不应在仓内平拖, 发现损伤应立即修补;
- 7) 在浇筑衬砌混凝土时, 应在混凝土输送泵口处设置防护板, 防止混凝土直接冲击防水板;
- 8) 二次衬砌中预埋件与防水板间距不小于 50mm, 以防止损坏防水板。

6 洞身与横通道、避车洞、斜(竖)井等接口处的防水板铺设与连接是薄弱环节, 应精心施工, 迎水面应平顺, 不应形成水囊、积水槽。

7 施工中应根据围岩级别合理确定开挖工作面与防水板铺设地段的安全距离。分段铺设的防水板的边缘部位应预留大于 600mm 的搭接量并且对预留部分边缘进行有效的保护。

8 防水板的接缝应与衬砌端头错开 0.5m~1.0m。

9 初期支护为钢纤维的, 防水板铺设前应补喷一层水泥砂浆保护层, 以保护防水板不受损伤。

8.4.10 防水板铺设质量检查应符合下列规定:

1 目测及尺量检查:

- 1) 检查防水板有无烤焦、焊穿、假焊和漏焊;
- 2) 检查焊缝宽度是否符合设计;
- 3) 检查焊缝是否均匀连续, 表面平整光滑, 有无波形断面。

2 充气检查: 防水板的搭接缝焊接质量检查应按充气法检查。将 5 号注射针与压力表相接, 用打气筒进行充气, 当压力表达到 0.25MPa 时停止充气, 保持 15min, 压力下降在 10% 以内, 说明焊缝合格; 如压力下降过快, 说明焊缝不严。用肥皂水涂在焊缝上, 有气泡的地方应重新补焊, 直到不漏气为止。

8.4.11 施工缝施工应符合下列规定:

- 1 墙体纵向施工缝不宜设在剪力与弯矩最大处或底板与边

墙的连接处，应留在高出底板顶面不小于 300mm 的墙体上。

2 墙体有预留孔洞时，施工缝距孔洞边缘不应小于 300mm。

3 纵向施工缝浇灌混凝土前，应将其表面凿毛，清除浮粒和杂物，用水冲洗干净，保持湿润，可铺上一层厚 25mm～30mm 的 1:1 水泥砂浆或涂刷混凝土界面剂并及时浇筑混凝土。

4 设止水条的环向施工缝，在端面应预留浅槽，槽应平直，槽宽比止水条宽 1mm～2mm，槽深为止水条厚度的 1/2。

5 施工缝内采用中埋式止水带时，应确保位置准确、固定牢靠。

6 施工中应采取措施保证待贴止水条的混凝土界面洁净。

8.4.12 变形缝施工应符合下列规定：

1 变形缝的位置、宽度、构造形式应符合设计要求。

2 缝内两侧应平整、清洁、无渗水。

3 缝底应先设置与嵌缝材料无黏结力的背衬材料或遇水膨胀止水条。

4 嵌缝应密实。

8.4.13 止水带可选用橡胶止水带，对水压力大、变形大的施工缝、变形缝应选用钢边止水带。橡胶止水带和钢边止水带应采用三元乙丙橡胶制作，不应采用再生橡胶。当设计选用其他新型、成熟、可靠的材料时，其物理性能应符合国家相关标准的要求，并应符合下列规定：

1 止水带外观质量应符合下列规定：

1) 止水带表面不得有开裂、缺胶、海绵状等影响使用的缺陷；

2) 外观质量要求应符合表 8.4.13 的规定。

表 8.4.13 止水带产品外观质量要求

编号	缺陷类型	开挖工作面
1	气泡	直径不大于 1mm 的气泡，每米不应大于 3 处
2	杂质	面积不大于 4mm ² 的杂质，每米不应大于 3 处

表 8.4.13 (续)

编号	缺陷类型	开挖工作面
3	凹痕	不允许有
4	接缝缺陷	高度不大于 1.5mm 的凸起或不平, 每米不应大于 2 处

2 止水带物理力学性能应符合《高分子防水材料 第 2 部分: 止水带》GB 18173.2 的规定。

8.4.14 背贴式止水带施工应符合下列规定:

- 1 施工时按照设计要求的位置放出安装线。
- 2 对与止水带进行粘结的防水板进行擦洗清洁。
- 3 采用粘结法将止水带与防水板连接。
- 4 衬砌台车就位, 安装挡头板时不应损伤止水带。

8.4.15 中埋式止水带施工应符合下列规定:

1 沿衬砌环线每隔 0.5m~1.0m 在端头模板上钻一个 $\phi 12$ 的钢筋孔。

2 将制成的钢筋卡穿过挡头模板, 内侧卡紧止水带的一半, 另一半止水带平靠在挡头板上, 待混凝土凝固后拆除挡头板, 将止水带拉直, 然后弯曲钢筋使其卡紧止水带。

3 止水带端头应加设一背托钢筋, 便于钢筋卡固定止水带。

4 挡头板外侧应加设一背托钢筋, 采用穿板铁丝将钢筋卡与其连接, 以确保安装的止水带不变形。

8.4.16 止水带施工应符合下列规定:

1 止水带埋设位置应准确, 其中间空心圆环应与变形缝重合。

2 止水带定位时, 应使其在界面部位保持平展, 不应使橡胶止水带翻滚、扭结, 如发现有扭结不展现象应及时进行调正。

3 止水带固定时, 应防止止水带偏移, 以免单侧缩短, 影响止水效果。

4 止水带的长度应根据施工要求定制 (一环长), 尽量避免接头。如确需接头, 应符合下列规定:

- 1) 橡胶止水带接头应粘接良好,外观应平整光洁,粘接前应做好接头表面的清刷与打毛,接头处选在二次衬砌结构应力较小的部位,粘接可采用热硫化连接的方法,搭接长度不应小于 100mm,粘接缝宽不小于 50mm;
- 2) 设置止水带接头时,应尽量避免容易形成壁后积水的部位,宜留设在起拱线上下;
- 3) 检查接头处上下止水带的压茬方向应以排水畅通、将水外引为正确方向,即上部止水带靠近围岩,下部止水带靠近隧道二次衬砌;
- 4) 接头强度检查不合格时重新焊接。

5 止水带安装完成后的质量检查应符合下列规定:

- 1) 检查止水带安装的横向位置,用钢卷尺量测内模到止水带的距离,与设计位置相比,偏差不应大于 50mm;
- 2) 检查止水带安装的纵向位置,通常止水带以施工缝或伸缩缝为中心两边对称,用钢卷尺检查,要求止水带偏离中心不能大于 30mm;
- 3) 用角尺检查止水带与二次衬砌端头模板是否正交。

6 浇筑止水带附近的混凝土时,应严格控制振捣的冲击力,避免力量过大而刺破止水带或使止水带偏移。如拆模后发现止水带偏离中心,则应适当凿除或填补部分混凝土,对止水带进行纠偏。

8.4.17 止水条宜选用制品型遇水膨胀止水条,其物理力学性能应符合《高分子防水材料 第 3 部分:遇水膨胀橡胶》GB/T 18173.3 的规定。

8.4.18 止水条施工应符合下列规定:

1 止水条施工方法如下:

- 1) 纵向施工缝:在先浇筑混凝土初凝后、终凝前,根据止水条的规格在混凝土基面中间压磨出一条平直、光滑槽,拆除混凝土模板后,凿毛施工缝,用钢丝刷清

除界面上的浮渣，并涂 2mm~5mm 厚的水泥浆，待其表面干燥后，用配套的粘结剂或水泥钉固定止水条，再浇筑下一环混凝土；

- 2) 环向施工缝：环向施工缝采用在端头模板中间固定木条或金属构件等，混凝土浇筑后形成凹槽。槽的深度为止水条厚度的一半，宽度为止水条宽度。拆模后进行清洗，在浇筑下循环混凝土之前，对预留槽进行清理，清除残渣，磨光槽壁，最后将止水条粘贴在槽中，然后模板台车定位，浇筑下一循环的混凝土。

2 止水条施工应符合下列规定：

- 1) 施工前，应对止水条的宽度、厚度进行检查，确保其符合设计及标准要求；
- 2) 止水条安放前，应对预留槽进行清理，清洗干净、排除杂物；
- 3) 止水条应安装在预留槽内，安装时先在槽内涂抹一层氯丁胶粘剂，使其黏结牢固，并用水泥钉固定，水泥钉的间距不宜大于 600mm；
- 4) 止水条安装应尽量安排在浇筑前 3h~5h，如有困难提前安装应采取缓膨措施，但最长时间不应大于 24h；
- 5) 止水条安装时应顺槽拉紧嵌入，确保止水条与槽底密贴，不应有空隙；
- 6) 止水条接头处应重叠搭接后再粘接固定，沿施工缝形成闭合环路，其间不应留断点。

8.4.19 带注浆孔遇水膨胀止水条施工应符合下列规定：

- 1 安装止水条界面的处理及止水条的固定方法同上。
- 2 将止水条上的预留注浆连接管套入搭接的另一条止水条上连接二通上。
- 3 根据所安装止水条的长度，约在 30m 处安装三通一处，三通的直线两端一头插入止水条内，另一头插入注浆连接管内，丁字端头插入备用注浆管内，以备缝隙渗漏水时注浆。

4 注浆连接管与三通连接件应粘结牢固,保证注浆管通畅。安装在三通上的备用注浆管,应引入二次衬砌内侧。

8.4.20 变形缝嵌缝材料施工应符合下列规定:

1 嵌缝材料要求最大拉伸强度不小于 0.2MPa,最大伸长率大于 300%,且拉、压循环性能 80℃时拉伸-压缩率为±20%。

2 缝内两侧平整、清洁、无渗水,涂刷的基层处理剂符合设计要求。

3 背衬材料的设置应符合设计要求。

4 嵌填密实,与两侧粘接牢固。

8.5 施 工 排 水

8.5.1 隧道施工排水应符合下列规定:

1 隧道内纵向设排水沟,横向应设排水坡,隧底纵横向坡应平顺。

2 洞内顺坡排水沟断面应满足洞内渗漏水 and 施工废水的排出需要。在膨胀岩、土质地层、围岩松软地段,应铺砌水沟或用管槽排水。排水沟应经常清理。

3 洞内反坡排水应采用机械排水,可根据距离、坡度、水量和设备情况布置管路和泵站,一次或分段接力排出洞外。集水坑的容积应按实际排水量确定,其位置确定应减少施工干扰。配备水泵的能力应大于排水量 20%以上,并应有备用台数。

8.5.2 利用辅助坑道排泄正洞水流时,应根据流量的大小与需要设置排水沟,保证排水畅通,严防坑道内积水和漫流。

8.5.3 施工期间应根据现场情况定期对地下水的水质进行检测,当发现异常时应及时与设计单位联系;根据施工需要应对水量、水压进行日常检测。

8.5.4 隧道施工排水污水处理设施应满足设计要求。

9 超前地质预报

9.1 一般规定

9.1.1 隧道施工应进行超前地质预报，并作为工序纳入施工组织管理，给予必要的施作时间。

9.1.2 预报工作应采取地质与物探结合、长短距离预报方法相结合、间接预报与直接揭露相结合的综合预报方法。

9.1.3 应以地质调查分析为基础，综合分析多种预报方法的成果资料，相互印证，得出最终的预报结论，并提出施工措施建议。

9.1.4 当间接预报发现较大或重大地质异常时，应安排超前钻孔探测。

9.1.5 预报任务宜包括：

1 查明隧道开挖掌子面前方一定范围内的工程地质与水文地质情况。

2 查明隧道开挖段近洞壁附近不良地质体分布情况。

3 为施工处理和优化工程设计提供地质资料。

4 为编制竣工文件提供地质资料。

9.1.6 预报内容可包括：

1 地层预报，包括岩体完整性、地层岩性、软弱地层、软弱夹层、破碎地层及其他特殊岩土层等。

2 构造预报，包括断层、节理密集带、褶皱轴部、破碎带等。

3 不良地质体预报，包括溶洞、暗河、采空区、坑洞等。

4 突水突泥预报，包括岩溶管道水、富水断层、富水褶皱、富水地层等。

5 为设计变更或优化而进行的其他探测工作。

9.2 地质预报的分级管理与方案设计

9.2.1 超前地质预报应实行分级管理, 根据地质灾害对隧道施工安全的危害程度, 对工程进行地质灾害分级, 采取不同地质预报方案。

9.2.2 根据对隧道施工安全的危害程度, 地质灾害可分为 A、B、C、D 四级, 其影响因素见表 9.2.2。

A 级: 存在重大地质灾害隐患的地段, 如大型暗河系统, 可溶岩与非可溶岩接触带, 软弱、破碎、富水、导水性良好的地层和大型断层破碎带, 特殊地质地段, 重大物探异常地段, 可能产生大型、特大型突水突泥地段, 诱发重大环境地质灾害的地段, 高地应力、瓦斯、天然气问题严重的地段以及人为坑洞等。

B 级: 存在中、小型突水突泥隐患的地段, 物探有较大异常的地段, 断裂带等。

C 级: 水文地质条件较好的碳酸盐岩及碎屑岩地段、小型断层破碎带, 发生突水突泥的可能性较小。

D 级: 非可溶岩地段, 发生突水突泥的可能性极小。

表 9.2.2 综合超前地质预报地质灾害分级影响因素

施工地质 分级		A	B	C	D
		严重	较严重	一般	轻微
地质复杂程度 (含物探异常)	岩溶发育程度	极强, 厚层块状灰岩, 大型溶洞、暗河, 岩溶密度每平方千米 > 15 个, 最大泉流量 > 50L/s, 钻孔岩溶率 > 10%	强烈, 中厚层灰岩夹白云岩, 地表溶洞落水洞密集、地下以管道水为主, 岩溶密度每平方千米 5~15 个, 最大泉流量 10L/s~50L/s, 钻孔岩溶率 5%~10%	中等, 中薄层灰岩, 地表出现溶洞, 岩溶密度每平方千米 1~5 个, 最大泉流量 5L/s~10L/s, 钻孔岩溶率 2%~5%	微弱, 不纯灰岩与碎屑岩互层, 地表地下以溶隙为主, 最大泉流量 < 5L/s, 钻孔岩溶率 < 2%

续表 9.2.2

施工地质 分级		A	B	C	D
		严重	较严重	一般	轻微
地质复杂程度 (含物探异常)	涌水 涌泥 程度	特大(日出水 10万吨以上)、 大型突水(日出 水1万吨~10 万吨)、突泥、 高水压	中小型突水 (日出水1000t~ 10000t)、突泥	小型涌水 (日出水100t~ 1000t)、涌泥	日出水小于100t, 涌突水可能性 极小
	断层 稳定 程度	大型断层破碎 带,自稳能力 差、富水,可能 引起大型失稳 坍塌	中型断层带, 软弱,中~弱富 水,可能引起中 型坍塌	中小型断 层,弱富水, 可能引起小型 坍塌	中小型断层, 无水,掉块
(地质因素)对隧道 施工影响 程度		危及施工安 全,可能造成重 大安全事故	存在安全隐患	可能存在安 全问题	局部可能存在 安全问题
诱发环境 问题的 程度		可能造成重大 环境灾害	施工、防治不 当,可能诱发一 般环境问题	特殊情况下 可能出现一般 环境问题	无

9.2.3 地质复杂隧道的预测预报应坚持隧道洞内探测与洞外地质勘探相结合、地质方法与物探方法相结合、辅助导坑与主洞探测相结合,开展多层次、多手段的综合超前地质预报,并贯穿于施工全过程。不同地质灾害的预报方式见表 9.2.3。

表 9.2.3 不同地质灾害的预报方式

预报等级	预报方式
A 级预报	宜采用地质分析法、地震波反射法、地质雷达和超前水平钻探进行探测,必要时辅以声波反射法、红外探测和瞬变电磁法等
B 级预报	宜采用地质分析法、地质雷达法进行探测,必要时辅以地震波反射法、超前水平钻探、声波反射法、红外探测和瞬变电磁法等。当发现局部地段工程地质条件复杂时,按 A 级要求实施

续表 9.2.3

预报等级	预报方式
C 级预报	以地质分析法为主。对重要的地质（层）界面、断层或物探异常地段可采用地震波反射法或声波反射法进行探测，必要时采用红外探测和超前水平钻孔
D 级预报	采用地质分析法

9.2.4 复杂隧道超前地质预报应编制实施细则，内容包括超前地质预报实施方案、分段预报内容、方法及技术要点，并编制气象、重要泉点、暗河流量、地下水位等观测计划和观测技术要求。

9.3 地质调查法

9.3.1 地质调查法包括隧道地表补充地质调查和洞内地质素描等。地质调查法应根据隧道已有勘察资料、地表补充地质调查资料、洞内开挖工作面地质素描，通过地层层序对比、地层分界线及构造线地下和地表相关性分析、断层要素与隧道几何参数的相关性分析、邻近隧道内不良地质体的前兆分析等，利用地质理论、地质作图和趋势分析等工具，推测开挖工作面前方可能揭示的地质情况。

9.3.2 隧道地表补充地质调查应在实施洞内地质超前预报前进行，并在实施洞内地质超前预报过程中根据需要随时补充。隧道地表补充地质调查应包括下列主要内容：

- 1 对已有地质勘察成果的熟悉、核查和确认。
- 2 地层、岩性在隧道地表的出露及接触关系，特别是对标志层的熟悉和确认。
- 3 断层、褶皱、节理密集带等地质构造在隧道地表的出露位置、规模、性质及其产状变化情况。
- 4 地表岩溶发育位置、规模及分布规律。
- 5 煤层、石膏、膨胀岩、含石油天然气、含放射性物质等

特殊地层在地表的出露位置、宽度及其产状变化情况。

6 人为坑洞位置、走向、高程等，分析其与隧道的空间关系。

7 根据隧道地表补充地质调查结果，结合设计文件、资料和图纸，核实和修正超前地质预报的重点区段。

9.3.3 地质素描随隧道开挖及时进行，地层岩性变化处、构造发育部位、岩溶发育带附近等复杂、重点地段每开挖循环应进行一次；一般地段每 10m~20m 进行一次。隧道内地质素描应包括下列内容：

1 工程地质：

- 1) 地层岩性：地层时代、岩性、层间结合程度、风化程度等；
- 2) 地质构造：褶皱、断层、节理裂隙特征、岩层产状；断层的位置、产状、性质、破碎带的宽度、物质成分、含水情况以及与隧道的关系；节理裂隙的组数、产状、间距、充填物、延伸长度、张开度及节理面特征、力学性质；分析组合特征，判断岩体完整程度；
- 3) 岩溶：岩溶规模、形态、位置、所属地层和构造部位，充填物成分、状态，以及岩溶展布的空间关系；
- 4) 特殊地层：煤层、沥青层、含膏盐层、膨胀岩和含黄铁矿层等；
- 5) 人为坑洞：隧道影响范围内的各种坑道和洞穴的分布位置及其与隧道的空间关系；
- 6) 地应力：包括高地应力显示性标志及其发生部位，如岩爆、软弱夹层挤出、探孔饼状岩芯等现象；
- 7) 塌方：塌方部位、形态、规模及其随时间的变化特征，并分析产生塌方的地质原因及其对继续掘进的影响；
- 8) 有害气体及放射性危害源存在情况。

2 水文地质：

- 1) 地下水分布、出露形态，围岩的透水性、水量、水压、

水温、颜色、泥砂含量，以及地下水活动对围岩稳定的影响，必要时进行长期观测；地下水的出露形态分为：渗水、滴水、滴水成线、股水（涌水）、暗河；

- 2) 水质分析，地下水对结构材料的腐蚀性；
- 3) 出水点和地层岩性、地质构造、岩溶、暗河等的相关关系；
- 4) 进行地表相关气象、水文观测，判断洞内涌水与地表径流、降雨的关系；
- 5) 必要时应建立涌突水点地质档案。

3 围岩稳定性特征及支护情况：记录不同工程地质、水文地质条件下隧道围岩的稳定性、支护方式以及初期支护后的变形情况。发生围岩失稳或变形较大的地段，应详细分析、描述围岩失稳或变形发生的原因、过程、结果等。

4 影像：对隧道内重要的和具代表性的地质现象应进行摄影或录像。

9.4 钻探法

9.4.1 在富水软弱断层破碎带、岩溶发育区、煤层瓦斯发育区、重大物探异常区等复杂地质地段应采用超前水平钻探预报前方地质情况。

9.4.2 超前水平钻孔每循环钻探长度一般为 30m~50m，必要时也可钻 100m 以上，连续预报时前后两循环钻孔应重叠 5m~8m。

9.4.3 超前钻探钻进过程中，应安设孔口止水装置（或采用防突钻机），防止高压水突出，确保工作人员和机械设备的安全，并使地下水处于可控状态。孔口管应锚固可靠，可采用环氧树脂、锚固剂，亦可采用 HSC 浆液或性能相近的 TGRM 浆液锚固，锚固长度宜为 1.5m~2.0m，孔口管外端应露出开挖工作面 0.2m~0.3m，用以安装高压止水球阀。

9.4.5 对于断层、节理密集带或其他破碎富水地层，断面内每

循环可钻 1 孔。

9.4.6 在岩溶发育区，断面每循环应钻 3~5 个孔，需要揭示溶洞厚度时数量应适当增加，并采用地质雷达等物探手段对溶洞规模、发育特征进行精细探测。

9.4.7 在富含瓦斯的煤系地层或富含石油天然气的沥青质灰岩中，可采用长短结合的钻孔方式将岩体中的有害气体逐渐释放出来。

9.4.8 对于岩溶发育区及裂隙富水区，除采用水平深孔超前探测外，还应结合爆破钻孔作业，加深部分钻孔，其深度应较爆破孔深 2m~4m。

9.5 物理勘探法

9.5.1 物理勘探法具有抑制干扰、能区分有用信号和干扰信号的特点，其主要适用于下列范围：

1 对开挖工作面前方和周围较大范围内的地质构造、洞穴、隐伏含水体等的探测。

2 被探测对象与周围介质之间有明显的物理性质差异。

3 被探测对象具有一定的规模，且地球物理异常有足够的强度。

9.5.2 地球物理勘探有多种方法，应根据探测对象的埋深、规模及其与周围介质的物性差异，选用有效的方法。

9.5.3 TSP 地震波法适用于极软岩至极硬岩的任何地质情况，对断层、软硬岩接触面等面状结构反射信号较为明显。每次预报距离一般为 100m~150m，需连续预报时，前后两次应重叠 10m 以上。

9.5.4 地质雷达法适宜于岩溶、采空区探测，也可用来探测断层破碎带、软弱夹层等不均匀地质体。在完整灰岩地段有效探测长度在 25m 以内，连续预报时前后两次重叠长度在 5m 左右。

9.5.5 地震波负视速度法预报面状地质体效果较好，也可以预报具有一定规模的溶洞、洞穴等。连续预报时前后两次应重叠

10m 以上。

9.5.6 HSP 水平声波剖面法适用于隧道各种地质条件的探测，有效探测距离为 50m~100m。连续预报时前后两次应重叠 10m 以上。

9.5.7 陆地声纳法适合于探查直径大于 0.5m 的溶洞、溶管等不良地质体，连续预报时前后两次应重叠 10m 以上。

9.5.8 红外探测法适用于探测前方是否有水及水体存在方位，每次预报有效探测距离约为 30m。连续预报时前后两次重叠长度应大于 5m。

9.5.9 瞬变电磁法可查明含水地质如岩溶洞穴与通道、煤矿采空区、深部不规则水体等。

10 监控量测

10.1 一般规定

10.1.1 监控量测工作应紧接开挖、支护作业，应按设计要求进行布点和监测，并根据现场施工情况及时调整量测项目和内容。量测数据应及时分析处理，并将结果反馈到施工过程中。

10.1.2 监控量测应纳入施工工序，并贯穿施工的全过程，为施工管理及时提供下列信息：

- 1 围岩稳定性、支护结构承载能力和安全信息。
- 2 二次衬砌合理的施作时间。

3 为施工中调整围岩级别、完善设计方案及参数、优化施工方案及施工工艺提供依据。

10.1.3 监控量测的管理应科学合理，施工中应按监测计划实施，工程竣工后将监测资料整理归档并纳入竣工文件中。

10.1.4 施工现场应成立专门的监控量测小组，责任落实到人，并建立相应的质量保证体系，确保监控量测工作的有效实施，监测资料完整清晰。

10.1.5 现场监控量测工作应包括现场情况的初始调查、编制实施性监控量测计划、测点布设及取得初始监测值、现场监测、提交监测结果、报送周（月）报和编写总结报告。

10.1.6 根据监测精度要求，应减小系统误差，控制偶然误差，避免人为错误。应经常采用相关方法对误差进行检验分析。

10.1.7 监控量测组负责测点的埋设、日常测量、数据处理和仪器保养维修及送检等工作，并及时将监控量测信息反馈于施工和设计。

10.2 监控量测项目和技术要求

10.2.1 隧道监控量测的项目应根据工程特点、规模 and 设计要求

综合选定。量测项目可分为必测项目和选测项目两大类（见表 10.2.1）。

表 10.2.1 监控量测项目及量测仪器

监测项目		常用量测仪器
必测项目	洞内、外观察	现场观察、数码相机、罗盘仪
	拱顶下沉	水准仪、钢挂尺或全站仪
	净空变化	收敛计、全站仪
	地表沉降	水准仪、钢钢尺或全站仪
	中隔墙应力、位移、倾斜	混凝土内应变计、应力计、测缝计、全站仪
	中夹岩弹性波测试	中夹岩弹性波测试仪
	围护桩、墙顶水平位移和沉降	高精度全站仪、水准仪、钢钢尺
	沿线建筑物沉降、倾斜、裂缝	高精度全站仪、水准仪、钢钢尺
	地下管线沉降	精密水准仪、钢钢尺、测杆
选测项目	围岩压力	压力盒
	钢架内力	钢筋计、应变计
	喷射混凝土内力、裂缝	混凝土应变计、测缝计
	二次衬砌内力、裂缝	混凝土应变计、钢筋计、测缝计
	围岩与初期支护接触压力	压力盒
	初期支护与二次衬砌接触压力	压力盒
	锚杆轴力	钢筋计
	隧底隆起	水准仪、钢钢尺或全站仪
	围岩内部位移	多点位移计
	孔隙水压力	孔隙水压力计
	水量	三角堰、流量计
	纵向位移	多点位移计、全站仪

10.2.2 隧道开挖后应及时进行地质素描，有条件时应进行数码成像。

10.2.3 初期支护完成后应进行喷层表面裂缝的观察和记录。

10.2.4 分部开挖法施工的隧道，每个分部施工中应根据工程特

点在表 10.2.1 中所列项目选择必测项目。

10.2.5 浅埋隧道地表沉降测点应在隧道开挖前布设。地表沉降测点和隧道内测点应布置在同一里程断面。一般条件下地表沉降测点纵向间距应按表 10.2.5 的要求布置。

表 10.2.5 地表沉降测点纵向间距

埋深与开挖宽度	纵向测点间距 (m)
$2B < H_0 < 2.5B$	20~50
$B < H_0 \leq 2B$	10~20
$H_0 \leq B$	5~10

注： H_0 ——隧道埋深； B ——隧道最大开挖宽度。

10.2.6 地表沉降测点横向间距为 2m~5m。在隧道中线附近测点应适当加密，隧道中线两侧量测范围应不小于 $H_0 + B$ ，地表有控制性建（构）筑物时，量测范围应适当加宽。

10.2.7 拱顶下沉测点和净空变化测点应布置在同一断面上。监测断面宜为 5m~10m。拱顶下沉测点原则上设置在拱顶轴线附近。当隧道跨度较大时，应在拱顶部位设置三个测点。

10.2.8 净空变化量测测线数，宜按表 10.2.8 布置。

表 10.2.8 净空变化量测测线数

开挖方法	地段	
	一般地段	特殊地段
台阶法	每台阶一条水平测线	每台阶一条水平测线、两条斜测线
分部开挖法	每分部一条水平测线	上部每分部一条水平测线、两条斜测线，其余分部一条水平测线

10.2.9 选测项目应根据设计和施工的特殊要求确定，监测断面应视需要而定，优先在施工初始阶段布置。

10.2.10 不同断面的测点应布置在相同部位，测点应尽量对称布置，以便数据的相互验证。

10.2.11 必测项目的监测频率应根据测点距开挖面的距离及位移速度分别按表 10.2.11-1 和表 10.2.11-2 确定。

表 10.2.11-1 根据开挖面距离确定的监测频率

监测断面距开挖面距离 (m)	监测频率
$(0\sim1) B$	2 次/d
$(1\sim2) B$	1 次/d
$(2\sim5) B$	1 次/(2d~3d)
$>5B$	1 次/7d

- 注：1. B ——隧道最大开挖宽度。
 2. 出现异常情况或不良地质时，应增大监测频率。
 3. 由位移速度决定的监测频率和由距开挖面的距离决定的监测频率之中，原则上采用较高的频率值。

表 10.2.11-2 按位移速度确定的监测频率

位移速度 (mm/d)	监测频率
≥ 5	2 次/d
$1\sim 5$	1 次/d
$0.5\sim 1$	1 次/(2d~3d)
< 0.5	1 次/7d

10.2.12 监控量测控制基准应包括隧道内位移、地表沉降、爆破振动等控制基准。

1 地表沉降控制基准根据地层稳定性、周围建（构）筑物的安全要求分别确定，取最小值。

2 爆破振动控制基准根据支护结构、边坡稳定性、周围建（构）筑物的安全性确定。

3 位移控制基准根据测点距开挖面的距离，宜按表 10.2.12 的要求确定。

表 10.2.12 位移控制基准

类别	距开挖面 $1B$ (U_{1B})	距开挖面 $2B$ (U_{2B})	距开挖面较远
允许值	$65\%U_0$	$90\%U_0$	$100\%U_0$

注： B ——隧道最大开挖宽度； U_0 ——极限相对位移值。

10.2.13 位移管理等级按三级管理，相应的位移管理等级见表 10.2.13。

表 10.2.13 位移管理等级

管理等级	距开挖面 1B	距开挖面 2B
Ⅲ	$U < U_{1B}/3$	$U < U_{2B}/3$
Ⅱ	$U_{1B}/3 \leq U \leq 2U_{1B}/3$	$U_{2B}/3 \leq U \leq 2U_{2B}/3$
Ⅰ	$U > 2U_{1B}/3$	$U > 2U_{2B}/3$

注：U——实测位移值。

10.2.14 测试仪器的精度应满足表 10.2.14-1 及表 10.2.14-2 的要求，测试仪器的量程应满足设计要求，并具有良好的防震、防水、防腐性能。

表 10.2.14-1 监控量测必测项目测试精度

序号	监测项目	测试精度
1	拱顶下沉	0.5mm~1mm
2	净空收敛	0.5mm~1mm
3	地表沉降	0.5mm~1mm

表 10.2.14-2 监控量测选测项目测试精度

序号	监测项目	测试精度
1	围岩与初期支护接触压力	$\leq 0.5\%F.S.$
2	喷射混凝土应变	$\pm 0.1\%F.S.$
3	钢架应力	拉伸 $\leq 0.5\%F.S.$ ，压缩 $\leq 1.0\%F.S.$
4	初期支护与二次衬砌接触压力	$\leq 0.5\%F.S.$
5	二次衬砌内应力	$\pm 0.1\%F.S.$
6	围岩内部位移	0.1mm
7	隧底隆起	0.5mm~1mm

注：F.S.——仪器满量程。

10.3 监控量测方法

10.3.1 现场监测应根据设计文件的要求进行测点埋设、日常量测和数据处理，及时反馈信息，并根据地质条件的变化和施工异常情况，及时调整监控量测计划。

10.3.2 现场测点读数应读三次，取其平均值，并详细记录。

10.3.3 施工过程中应进行洞内、外观察。洞内观察可分开挖工作面观察和已施工地段观察两部分，其内容如下：

1 开挖工作面观察应在每次开挖后进行，及时绘制开挖工作面地质素描图、数码成像、填写开挖工作面地质状况记录表和施工阶段围岩级别判定卡，并与勘查资料进行对比。对已施工地段进行观察，记录喷射混凝土、锚杆和钢架等的工作状态。

2 洞外观察重点应在洞口段和洞身浅埋段，记录地表开裂、地表塌陷、边坡及仰坡稳定状态、地表水渗漏情况等。

10.3.4 隧道净空收敛量测可采用收敛计或全站仪进行。

1 采用收敛计量测时，测点采用焊接或钻孔预埋。

2 采用全站仪量测时，测点应采用膜片式回复反射器作为测点靶标，靶标粘附在预埋件上。量测方法包括自由设站和固定设站两种。

10.3.5 拱顶下沉量测可采用精密水准仪和钢挂尺或全站仪进行，在隧道拱顶轴线附近通过焊接或钻孔预埋测点，测点应与隧道外监测基点进行联测。

10.3.6 地表沉降监测可采用精密水准仪、钢钢水准尺进行。基点应设置在地表沉降影响范围之外。测点采用地表钻孔埋设，测点四周用水泥砂浆固定。当采用常规水准测量手段出现困难时，可采用全站仪量测。

10.3.7 围岩内变形量测可采用多点位移计，多点位移计应钻孔埋设，通过配套的设备读数。

10.3.8 钢架应力量测可采用振弦式传感器、光纤光栅传感器。传感器应成对埋设在钢架的内、外侧，并应符合下列规定：

1 采用振弦式钢筋计或应变计进行型钢应力或应变量测时，应把传感器焊接在钢架翼缘内测点位置，焊接时应注意对传感器的保护。

2 采用振弦式钢筋计进行格栅拱架应力量测时，应将格栅主筋截断并把钢筋计对焊在截断部位。

3 采用光纤光栅传感器进行型钢或格栅拱架应力量测时，应把光纤光栅传感器焊接（氩弧焊）或粘贴在相应测点位置。

10.3.9 接触压力量测可采用振弦式传感器，传感器与接触面要求紧密接触。

10.3.10 混凝土应变变量测可采用振弦式传感器、光纤光栅传感器，传感器固定于混凝土结构内的相应测点位置。

10.3.11 孔隙水压监测可采用孔隙水压计进行，水压计应埋入带刻槽的测点位置，采取措施确保水压计直接与水接触。通过数据采集设备获得各测点读数，并换算出相应孔隙水压力值。

10.3.12 锚杆的拉力监测可采用锚杆拉力计进行。

10.3.13 渗漏水量监测可采用三角堰、流量计进行。

10.4 量测数据处理与应用

10.4.1 监控量测数据的分析处理应包括监测资料的整理、计算和分析。

10.4.2 每次观测后应立即对原始观测数据进行校核和整理，包括原始观测值的校验、物理量的计算、填表制图、误差处理、异常值的剔除、初步分析等，并将校验过的数据输入数据库管理系统。

10.4.3 监控量测数据的计算分析主要包括下列内容：

1 拱顶下沉、净空收敛的位移量，绘制时态曲线。

2 围岩压力与支护间接触压力值，绘制时态曲线和断面压力分布图。

3 初期支护、二次衬砌应力（应变）值，绘制时态曲线，反算结构内力并绘制断面内力分布图。

4 地表沉降值，绘制横向和纵向时态曲线。

5 孔隙水压力值，绘制孔隙水压力的时态曲线及孔隙水压力与深度的关系曲线。

10.4.4 监控量测信息反馈方法可采用经验类比法或理论分析法。施工现场以经验类比法为主，重要工程应综合应用以上两类

方法。

10.4.5 工程安全性评价应根据本标准 10.2.13 条要求的位移管理等级进行，并采用表 10.4.5 相应的工程对策。

表 10.4.5 工程对策

管理等级	工程对策
Ⅲ	正常施工
Ⅱ	加强监测
I	采取相应工程措施并加强监测

本标准用词说明

1 执行本标准条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况均应这样做的用词：

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用词：

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用词，采用“可”。

2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523
《污水综合排放标准》GB 8978
《环境空气质量标准》GB 3095
《钢丝绳通用技术条件》GB/T 20118
《通用硅酸盐水泥》GB 175
《混凝土外加剂》GB 8076
《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086
《高分子防水材料 第2部分：止水带》GB 18173.2
《高分子防水材料 第3部分：遇水膨胀橡胶》GB/T 18173.3
《公路隧道施工技术规范》JTG F60
《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
《混凝土用水标准》JGJ 63
《市政工程资料管理规程》DB37/T 5118
《隧道薄壁钢管混凝土初期支护施工技术规范》DB37/T

5129

山东省工程建设标准

城市超小净距浅埋暗挖隧道施工
技 术 标 准

DB37/T 5152—2019

条 文 说 明

制 定 说 明

《城市超小净距浅埋暗挖隧道施工技术标准》DB37/T 5152—2019 的主编单位是济南城建集团有限公司，参编单位山东汇通建设集团有限公司、山东省交通规划设计研究院、济南市市政工程设计研究院（集团）有限责任公司、哈尔滨工业大学、济南轨道交通集团有限公司、山东省物化探勘查院、山东泉建工程检测有限公司。为便于广大施工、设计、监理、项目管理、科研、学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的规定，本标准编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，供使用者参考。

本标准全面兼顾省内各地区、各企业不同的施工技术水平，突出重点，体现先进性、科学性和可操作性的原则，对城市超小净距浅埋暗挖隧道施工技术标准等主要内容提出要求。在本标准编制过程中，各编制组成员充分表达了自己的观点，讨论稿也经过多次修改，最大限度地吸收了各编制组成员的意见。同时，本标准也经过了广泛的征求意见。

本标准在内容上不与现行标准相矛盾，在应用时可与现行标准或要求相结合。

目 次

1	总则	81
2	术语	83
3	施工准备	84
3.1	施工调查	84
3.3	设计文件现场核对	84
3.4	施工复测和控制测量	84
3.6	施工机械	84
3.7	施工场地与临时工程	84
3.8	作业人员的教育和培训	85
4	施工方法	86
4.1	一般规定	86
4.2	开挖方法	86
5	辅助施工措施	88
5.1	一般规定	88
5.2	隧道竖、斜井	88
5.3	拱顶地表注浆加固	89
5.4	中岩柱加固	90
5.5	建筑物钢管隔离桩施工	90
5.6	城市隧道洞内通风降温	91
5.7	软弱地基处理	91
5.8	隧道掌子面玻璃纤维锚杆预加固	92
5.9	超前管棚	93
5.10	超前小导管	93
5.11	超前锚杆	94
6	初期支护	95

6.1	喷射混凝土	95
6.2	锚杆施工	95
6.3	钢筋网施工	96
6.4	钢架	96
7	二次衬砌	97
7.1	一般规定	97
8	防排水	98
8.1	一般规定	98
8.2	注浆防水	98
8.4	结构防排水	98
10	监控量测	100
10.1	一般规定	100
10.2	监控量测项目和技术要求	102
10.3	监控量测方法	105
10.4	量测数据处理与应用	113

1 总 则

1.0.1 随着经济的发展和城镇化进程的不断加快,城市密度及交通量不断增加,越来越多的城市地下道路工程投入建设。作为地下道路工程中的暗挖掘进方法,由于其对交通及环境影响较小等优点,使其在地下道路施工中扮演了主要角色。在高密度城市中修建暗挖地下道路影响施工的主要因素有:受两侧建筑的影响限制,空间狭窄,左右净距非常小;受纵断及接线的限制,埋深较浅,地质复杂;地下管线密集。

超小净距隧道是其中夹岩柱厚度小于常规小净距隧道中夹岩柱厚度的一种隧道结构形式。其特点是比常规小净距隧道占地少,比连拱隧道造价低,但施工难度大,需要更高的技术水平。因此,研究城市狭窄空间软土超浅埋超小净距隧道修建技术将具有重要的经济价值和理论意义。

1.0.6 在施工过程中推广绿色施工新技术,如绿色施工在线监控技术对用电设备、用水设备、噪声、扬尘等数据采集点进行自动采集,并对环境 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 、环境温湿度、风速风向等分别监控与监测。

1.0.7 目前中国建筑业智慧建造技术蓬勃发展,建设中充分利用BIM、大数据、物联网和远程监控等技术,实现现场人员、安全管理、工程质量、环境管理、施工进度、机具与材料实时感知监控及预报预警等功能管理,提高企业的管理水平。如运用BIM技术,建立工程全专业模型,用于技术管理与项目管理。在技术管理方面用于项目施工组织设计与方案优化、辅助图纸会审与深化设计、施工场地布置、机电管线碰撞检查与优化、施工过程模拟控制、优化细部设计等。

1.0.8 超小净距城市隧道施工资料的形成应与工程进度同步，并应符合《市政工程资料管理规程》（DB37/T 5118—2018）中隧道工程施工记录的要求。

2 术 语

2.0.1 城市超小净距隧道指上下行双洞洞壁净距小于 0.6 倍隧道开挖断面宽度的城市隧道。单纯从超小净距隧道的定义而言，净距小于规范规定值的隧道均可称为超小净距隧道，不仅从替代连拱隧道，而且从最小净距带来的选线、建筑物拆迁、土地征用、环境保护等多方面而言，超小净距隧道都具有很高的经济和工程价值。但超小净距隧道的设计验算和施工安全控制受其所在地区的地质、岩性、构造、节理、发育、完整性、地下水等制约，采用这种结构形式的风险性远远比其他隧道高好多倍。

2.0.6 玻璃纤维锚杆主要由玻璃纤维和增强聚合物构成，其性能取决于玻璃纤维和聚合物的类型及锚杆横断面形状等。其具有以下特点：在隧道工程采用玻璃纤维注浆锚杆预加固后地段，开挖机械可直接开挖破除；杆体全段锚固，玻璃纤维锚杆配合分段注浆管注浆，不但为杆体全段提供锚固力，同时加固了杆周岩体；强度高、质量轻；防静电、阻燃、抗腐蚀、耐酸碱、耐低温等安全性能。

3 施 工 准 备

3.1 施 工 调 查

3.1.1、3.1.2 为确保施工安全，开工前对隧道周边环境进行调查，包括工程环境、气候特征、工程地质、水文地质、地下工程管线情况、构（建）筑物、交通情况、工程规模和工程特点等，施工运输、水源、供电、通信、场地布置、弃渣场地及容纳能力、征地拆迁情况工程的施工条件等。

3.3 设计文件现场核对

3.3.1 项目部核对设计文件，及时沟通，实现动态设计。

3.4 施工复测和控制测量

3.4.1 勘测设计单位对施工单位进行交接桩以后，施工单位应对所交的控制点进行复测，复测 GPS 点的基线边长度、导线点的转角、导线点间的距离、水准点间的高差，复测应与相邻标段进行贯通测量，确保标段施工交界处正确衔接。

3.6 施 工 机 械

3.6.4 如果围岩坚硬，且距两侧建筑较近，就不能选择爆破施工，而应选择悬臂掘进机施工工艺，并根据工期要求配置机械数量。

3.7 施工场地与临时工程

3.7.1、3.7.2 采用 BIM 技术对施工场地进行布置，可事先统筹规划、优化场地布置、节约用地，分期安排，便于各项施工活动有序进行，避免相互干扰。

3.7.3 临时工程施工应按永临结合的原则布置。

3.8 作业人员的教育和培训

3.8.1~3.8.3 开工前对整个项目进行策划，编制施工组织设计，分部分项工程开工前编（专项）施工方案，并对作业人员进行交底和培训，确保隧道施工质量和安全。

4 施 工 方 法

4.1 一 般 规 定

4.1.2 城市超小净距隧道施工影响范围内建（构）筑物普遍较多，爆破施工风险较高，以软弱围岩居多，不建议采用钻爆法施工。如施工影响范围内确无重要建（构）筑物，或围岩强度较高，也可采用钻爆法施工，但应做好风险评估并采取有效措施确保安全。

4.2 开 挖 方 法

4.2.2 三台阶七步开挖法适用于具有一定自稳条件的单线隧道Ⅳ、Ⅴ级围岩地段，也适用于具有一定自稳条件的双线隧道Ⅲ、Ⅳ级围岩地段。二台阶弧形导坑预留核心土法可参照本法实施。对于稳定性较好的双线隧道Ⅲ级围岩及单线隧道Ⅳ级围岩，也可不预留核心土。

4.2.3 中隔壁法一般用于Ⅳ～Ⅴ级围岩的隧道，也可用于浅埋地段隧道。中隔壁法（CD法）通常将隧道分为左、右两部分进行开挖，先在隧道一侧采用二部或三部分层开挖，施作初期支护和中隔墙临时支护，再分台阶开挖隧道另一侧，并进行相应的初期支护。

4.2.4 交叉中隔壁法适用于Ⅴ、Ⅵ级围岩及围岩较差的浅埋地段隧道。交叉中隔壁法（CRD法）通常分部开挖、支护，分部闭合成小环，最后全断面闭合成大环。每开挖一部均及时施作初期支护、中隔壁及临时仰拱。特殊情况下可将中隔壁浇筑在仰拱中，待铺设防水板时再隔断。

4.2.5 双侧壁导坑法一般用于双线隧道Ⅴ、Ⅵ级围岩及浅埋地

段。双侧壁导坑法通常先开挖隧道两侧导坑，及时施作导坑四周初期支护及临时支护，再根据地质条件、断面大小，对剩余部分采用二部或三部开挖。

5 辅助施工措施

5.1 一般规定

5.1.6 在选择小净距隧道的开挖方法时，特别是对Ⅳ、Ⅴ级土质或软弱围岩，或者超小净距隧道，要重点考虑减小中岩柱（墙）的塑性区，减小对中岩柱（墙）的扰动，缩短中岩柱（墙）处于不利状态的时间，及时甚至提前加固中岩柱（墙）。应综合考虑隧道工程地质和水文地质条件、小净距隧道断面形式、尺寸、埋深、施工机械设备、工效、工序转换和工序配合等因素，选取适宜的开挖跨度、开挖顺序和开挖次数，使中岩柱（墙）变形较小，并且支护能够及时施作，及时封闭成环，有效控制中岩柱（墙）的变形。总之，应遵循“少扰动、快加固、勤量测、早封闭”的原则，将中岩柱（墙）的稳定与加固作为小净距隧道的施工重点。

5.2 隧道竖、斜井

5.2.2 斜井无轨运输应有信号指挥、防滑设施、车辆保养等安全技术保障措施。

5.2.3 正洞施工期间，斜井的出水沿水沟顺坡排到斜井底的水仓，与正洞排水汇集一起，用抽水机排出洞外，必要时斜井中间再设接力水仓。

5.2.4 运输轨道与两侧管道、电力线之间的安全距离（有人行道者另计）通常不小于 200mm，铺设双道时两股道上运行车辆之间的间隙通常不小于 500mm。斜井内应有足够的照明措施。有轨运输使用绞车提升时，轨道中应设置托索轮，其间距宜为 10m~15m；当井口有变坡时，通常在变坡段安装一组大托辊；采用甩车场时，应设置立辊；斜井上端有足够的过卷距离，过卷

距离根据巷道倾角、设计载荷、最大提升速度和实际制动力等参数计算确定，并有 1.5 倍的备用系数。

5.2.8 竖井井架结构的荷载按下列两种组合进行计算：

1 正常荷载：井架自重+附属设备重+提升悬吊钢丝绳的工作荷载。

2 特殊荷载：提升钢丝绳的断绳荷载+共轭钢丝绳的 2 倍工作荷载+50%的风荷载。

5.3 拱顶地表注浆加固

5.3.2 注浆施工时应注意实施过程中根据需要动态调整注浆参数和注浆结束标准。

以单孔注浆量和注浆压力作为控制指标，采用“量-压”双控注浆结束标准进行注浆控制。

5.3.3 浅部阻浆层施工的的目的是在浅部形成一层阻浆层，为深部注浆升压创造条件。浅部阻浆层施工，浅部阻浆层宜为 1m~2m，为垂直孔，该层注浆时也可使浆液上返到 2m 以上的浅层，对浅层空隙进行充填注浆。注浆施工宜采用 C-GT 浆液，水泥浆和 GT 浆液的体积比宜控制在 2:1，水泥浆水灰比宜控制在 0.8:1~1:1 之间。

拱部止浆垫为垂直孔，钻孔深度宜为初支结构外边缘。注浆施工宜采用 C-GT 浆液，水泥浆和 GT 浆液的体积比、水灰比、注浆压力应符合设计要求。目的是充填拱顶沉降范围形成的空隙，在拱部形成一个抗压加固层，通过该层注浆后，也可防止其上部注浆时的跑浆，并为其上部注浆创造升压条件。

拱顶注浆加固区为斜孔。膜袋止浆深度应满足设计要求。目的是在拱顶形成注浆加固圈，并对拱部止浆垫薄弱点进一步渗透加固。

中间加固层为直孔，使用钢花管，膜袋止浆深度满足设计要求。注浆终压控制应满足设计要求。目的是对中间层位进行注浆加固，并通过较高压力对该层上下注浆层内的薄弱点进行渗透式补充注浆加固。如图 1 所示。

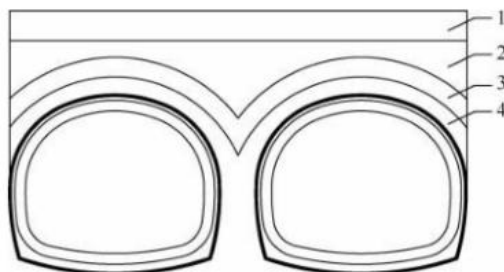


图 1 地层注浆分段加固示意图

1—浅部阻浆层；2—中间加固层；3—拱顶加固层；4—拱部止浆垫

5.4 中岩柱加固

5.4.1 地表注浆加固法是对隧道埋深小于 50m、围岩稳定性较差、开挖过程中可能引起塌方的不良地段，通过从地面向下钻孔注浆，对围岩、地层进行预先加固。如图 2 所示。

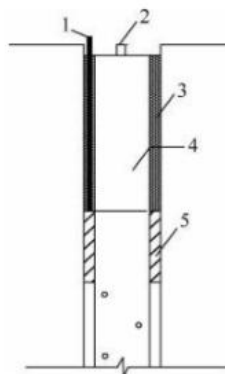


图 2 注浆加固示意图

1—膜袋注浆管；2—注浆管口；3—双浆液封管；

4—钢花管；5—膜袋（填充双浆液）

5.5 建筑物钢管隔离桩施工

5.5.4 微型桩宜采用小直径混凝土桩、型钢及钢管等，特殊情况下也可采用木桩、竹桩、管桩等。采用木桩、竹桩时桩间距宜适当减小。

5.6 城市隧道洞内通风降温

5.6.3 地表排风设施见图 3。

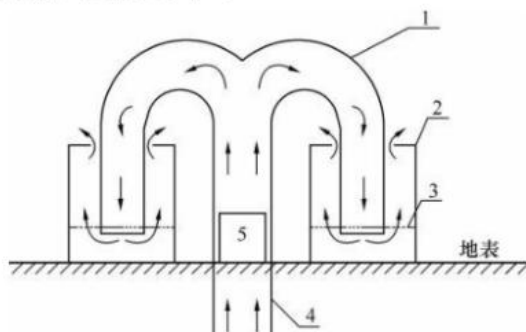


图 3 地表排风设施示意图

1—羊角形导风；2—隔声防撞桶；3—内水位线；
4—导风钢管；5—轴流式抽风机

5.7 软弱地基处理

5.7.2 钢管碎石桩施工工艺见图 4。

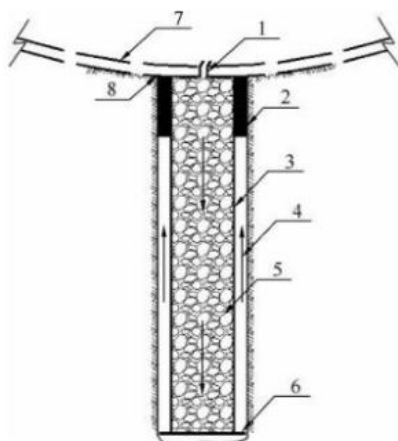


图 4 钢管碎石桩施工示意图

1—注浆口；2—止浆塞；3—钢管桩；4—浆液走向；5—管内填碎石；
6—端承钢板；7—仰拱钢架；8—钢拱架与钢管焊接

5.8 隧道掌子面玻璃纤维锚杆预加固

5.8.1 当施工城市地下道路时,隧道掘进过程中遇到不良地质段(如湿陷性黄土、溶洞、断层等),下穿及侧穿江河、高楼等构(建)筑物时,传统方法是孔口前进式分段注浆或钻杆内水平后退注浆,然后施作管棚,最后分部开挖通过。根据工程难度和开挖断面不同,多采用CRD工法或双侧壁导洞法,掌子面分部多少不一,施工进度慢,工作效率低,临时支护措施费用高。

如果隧道采用“新意法”施工,使用玻璃纤维锚杆对隧道掌子面正前方进行预注浆加固,则加固后可采用全段面法开挖通过,提高工程进度,降低施工风险。

5.8.2 玻璃纤维锚杆具有以下特点:

1 可挖除。在地下工程采用玻璃纤维锚杆预加固后地段,开挖机械(挖掘机、旋臂掘进机、铰挖机等)可直接开挖破除通过,不损坏刀具,为实现隧道的机械化高效施工提供可靠保证。

2 杆体全段锚固,锚注结合。玻璃纤维锚杆配合分段注浆管注浆,不但为杆体全段提供锚固力,同时可加固杆周岩体。

3 强度高、质量轻。高性能的玻璃纤维锚杆的抗拉强度可达到钢质锚杆的1.5倍;质量为同种规格钢质锚杆的 $1/4\sim 1/5$ 。

4 安全性好。具有防静电、阻燃、高度抗腐蚀、耐酸碱、耐低温等优点,满足地下工程安全生产的要求。

5.8.5 当地层软弱较难成孔时,应采用套管跟进,通过套管下入玻璃纤维锚杆,确保锚杆下到设计深度。玻璃锚杆安设完成退钻后,应进行孔口密封,并立即进行注浆,防止因排砂、排水引起地表沉降加剧,确保玻璃纤维锚杆的锚固力。

5.8.7 配制浆液严格按照制浆要求按顺序投料,不应随意增减数量;为避免水泥浆中有杂物而引起堵管,宜在储浆桶上安设滤筛对拌制的浆液进行过滤。

5.8.8 玻璃纤维锚杆注浆时,注浆压力宜逐步提升,当达到1.2MPa并继续注浆10min以上;注浆管口预留溢浆口,作为注

浆的观察窗。

5.9 超前管棚

5.9.1 钻孔完成经检查合格后,将管棚连续接长,由钻机旋转顶进将其装入孔内。

5.9.2 跟管钻进工艺,即将套管及钻杆同时钻入,成孔后取出内钻杆,顶进棚管,拔出外套管。

5.9.3 管棚节间用丝扣连接。管棚单序孔第一节长 6(9)m,双序孔第一节长 3(4.5)m,其余管节长度均为 6(9)m。

5.9.4 管棚不应侵入隧道开挖线内,相邻的钢管不得相撞和立交。钻孔外插角允许偏差 1° ,孔距允许偏差 $\pm 150\text{mm}$,孔深允许偏差 $\pm 50\text{mm}$,管棚径向误差不大于 200mm。

5.9.5 管棚注浆前应先做注浆现场试验,注浆参数应通过现场试验按实际情况确定。

5.9.6 超前管棚支护的长度和钢管外径应满足设计要求。纵向搭接长度应不小于 3m。

5.10 超前小导管

5.10.1 超前导管法适用于 V 级围岩、自稳能力低的地层环境中。

5.10.2 超前小导管直径应按设计要求选用和加工。长度应满足设计要求,纵向搭接长度应不小于 1m。

5.10.3 当压力达到设计注浆终压并稳定 10min~15min,注浆量达到设计注浆量的 80%以上时,可结束该孔注浆。

5.10.4 小导管应根据设计和试验结果确定注浆参数。

5.10.5 为加速注浆,可在小导管前安装分浆器,一次可注入 3 根~5 根小导管。注浆后至开挖的时间间隔,应视浆液种类决定。当采用单液水泥浆时,开挖时间为注浆后的 8h,采用水泥-水玻璃浆液时为 4h 左右。

5.11 超 前 锚 杆

5.11.1 超前锚杆搭接长度应大于 1m，锚杆插入孔内的长度不得小于设计长度。

5.11.2 超前锚杆法适用于Ⅳ～Ⅴ级围岩、开挖数小时内可能剥落或局部坍塌的地层。

5.11.3 超前锚杆根据围岩情况，可采用双层或三层。

5.11.4 一般超前锚杆设置后即可进行开挖，但应保证前后两组支护在纵向有不小于 1m 的水平投影搭接长度。

6 初期支护

6.1 喷射混凝土

6.1.2 可根据不同工程需要采用喷钢纤维混凝土或喷合成纤维混凝土材料。

6.2 锚杆施工

6.2.1 锚杆可选用砂浆锚杆、中空锚杆或自进式锚杆。

组合中空锚杆注浆时，砂浆经中空锚杆体的中空内孔从连接套上的出浆口进入锚孔壁与钢筋杆体间的空隙，锚孔内的砂浆由下向上充盈，锚孔内的空气从排气管排出直至回浆，见图 5。

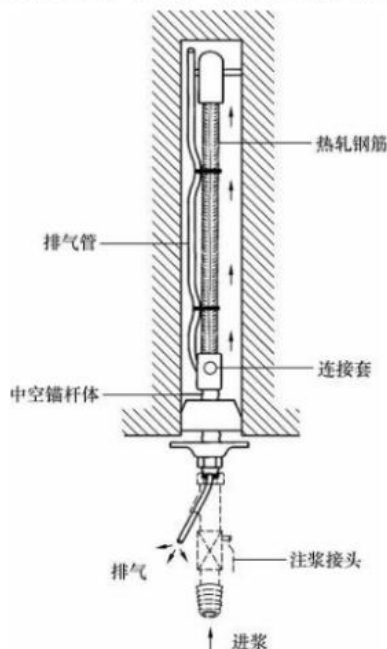


图 5 组合中空锚杆注浆工艺图

6.3 钢筋网施工

6.3.1 钢筋网宜采用数控自动化加工制作工艺。

6.4 钢 架

6.4.3 接头是钢拱架的弱点部位，因此应尽量减少接头数量。围岩压力和变形较大时，若采用普通支护阻止围岩变形，容易使支护衬砌承受更大的围岩压力而导致破坏，采用钢架接头能滑移的可缩式钢架，支护断面会随围岩变形而缩小，允许围岩有较大的变形，并随之卸载，从而维护支护衬砌的稳定。

7 二次衬砌

7.1 一般规定

7.1.2 混凝土生产应采用具有自动计量装置的拌合站、拌合输送车、混凝土输送泵、插入式与附着式组合振捣的机械化作业线。

8 防 排 水

8.1 一 般 规 定

8.1.1 在环境敏感地区以及水量过大影响施工时，应通过围岩预注浆控制地下水的排放流量。防水施工应保证防水板的铺设质量及施工缝、变形缝止水带的安装质量。防水板背后的积水、水流应顺畅地引入排水沟，避免诱发衬砌背后形成静水压力。

8.2 注 浆 防 水

8.2.5 隧道衬砌后表面渗漏水常出现在施工缝处，主要原因是衬砌台车端模封闭不严，易漏浆，造成该处混凝土不密实，产生渗漏。可采用预埋注浆管进行专项注浆。

8.4 结 构 防 排 水

8.4.2 防水板是隧道防水的重要屏障，其铺设质量直接影响防水效果，从隧道后期出现渗漏水情况看，多为防水板破损所致。铺设防水板的基面应平整光滑，无突出异物是保证铺设质量的首要条件。初期支护（喷射混凝土）的表面很难达到要求，所以，在防水板铺设前应用混凝土（或砂浆）将凹坑喷平，并应对凹凸不平情况进行检查。

8.4.9 暗钉圈固定缓冲层示意图见图 6，防水板搭接示意图见图 7。

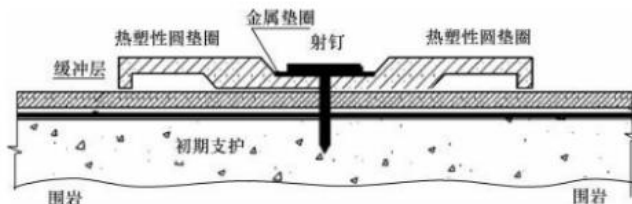


图 6 暗钉圈固定缓冲层示意图

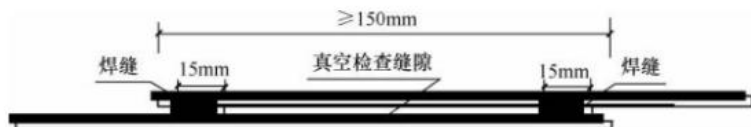


图 7 防水板搭接示意图

8.4.13 二次衬砌结构混凝土施工应连续一次浇筑完成，宜少留施工缝，拱圈、仰拱、底板不得留纵向施工缝。

8.4.19 带注浆孔遇水膨胀止水条安装见图 8。

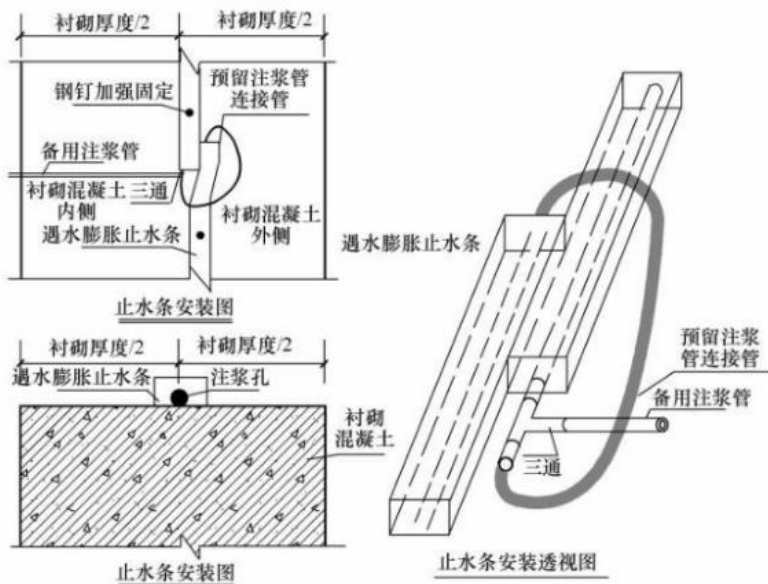


图 8 带注浆孔遇水膨胀止水条安装示意图

10 监控量测

10.1 一般规定

10.1.5 现场监控量测工作一般按照下面的程序进行：

1 初始调查

在施工前对工程的地质条件、地下水状况及施工影响区域内的周边环境进行初始调查，了解其工程的难点、特点和现状，为监测工作的顺利开展做好准备。

2 编制实施性监测计划

现场量测小组按照规程的技术要求，结合隧道设计、工程地质条件等编制其实施性监测计划，应经业主、监理现场审查批准后方可实施。

3 测点布设及取得初始监测值

水准基点、工作基点、监测点的埋设须严格按照相应规范进行，以确保监测数据可靠。测点应在工序开始前布设完毕，并取得监测点的初始观测值，一般取三次观测数据的平均值作为初始观测值。

4 现场监测

现场监测工作由现场监测组实施，并根据监测结果对施工安全及结构的稳定性做出评价。

5 提交监测结果

正常情况下，监测组以周报的形式提交监测数据（包括书面材料和电子文件）。当出现沉降或变形的异常现象时，应立即报告相关部门。

6 报送周报、月报

现场监测数据进行分析处理后，形成周报、月报，遇有特殊情况要形成日报，按要求及时上报各相关部门。

7 编写总结报告

现场监测工作停止后，应在一个月内编写出该工程的施工监测总结报告。

10.1.6 现场监测工作中，根据监测精度要求，应减小系统误差，控制偶然误差，避免人为错误。应经常采用相关方法对误差进行检验分析。同时应对不完整数据进行处理。

1 减小系统误差的方法

根据监测精度要求选择仪器，并考虑仪器的稳定性、耐久性及经济性。通常采用精度高、稳定性好、耐久性好的仪器来减小系统误差；如果监测仪器产生的系统误差不能满足监测精度要求，应根据系统误差产生的原因进行修正。

2 控制偶然误差的方法

引起偶然误差的主要原因有偶然因素，如电源电压波动、对仪表末位读数估读不准确，以及环境因素的干扰等。因此，对不同的监测项目，具体分析产生偶然误差的原因，在监测实施过程中加强管理，提高监测操作人员的技术水平来控制偶然误差。偶然误差一般服从正态分布，在数据处理过程中，进行数据统计检验。

3 避免人为误差的方法

由于测试人员的工作过失所引起的误差，如读错仪表刻度（位数、正负号）、测点与测读数据混淆、记录错误等，造成监测数据不可允许的误差。避免人为误差的措施主要有：加强监测管理，规范监测工作，加强人员培训，提高人员素质。

在数据处理时，此类误差数值一般很大，必须从测量数据中剔除。

4 不完整（或缺损）数据的处理

在监测实施过程中，由于监测仪器被破坏、测点埋设不及时、受施工干扰部分时间段数据没有采集等原因，导致监测数据不完整，以及如拱顶下沉、结构收敛等，监测项目在监测点埋设之前部分位移已经发生。

避免出现这类情况的主要措施：及时埋设测点，加强测点保护，加强监测组织管理，协调好监测与施工之间的关系。

10.1.7 树立规范意识，监测工作要规范化、标准化。包括：
①制定监测项目的实施细则，规范化作业程序，从而提高工作效率，减少工作失误；②数据记录、报表格式标准化，便于数据的处理和分析。

10.2 监控量测项目和技术要求

10.2.1 从理论上讲，凡是能够反映围岩与支护力学形态变化的物理量，都可以作为被测物理量。但是，被测的物理量应尽量能反映围岩与支护力学形态变化，同时要求量测方法在技术、经济上简单、可行。围岩变形乃是围岩力学形态变化最直观的表现。变形量测具有量测结果直观、测试数据可靠、量测仪表长期稳定性好、抗外界干扰性强，同时测试费用低廉的优点。因此在选用测试项目时应将位移量测作为首选量测项目。

必测项目是为了在设计、施工中确保围岩的稳定，并通过判断围岩的稳定性来指导设计、施工的经常性量测。这类量测通常测试方法简单，可靠性高，费用少，而且对监视围岩稳定、指导设计施工有巨大的作用。

选测项目是对一些有特殊意义和具有代表性意义的区段进行补充测试，以求更深入地掌握围岩的稳定状态与锚喷支护的效果，可指导未开挖区的设计与施工。这类量测项目测试较为麻烦，量测项目较多，花费较大，一般只根据需求选择其部分项目。

10.2.2 实践证明，开挖工作面的地质素描和数码成像对于判断围岩稳定性和预测开挖面前方的地质条件是十分重要的。开挖面附近初期支护状态的观察和裂缝描述，对直接判断围岩的稳定性和支护参数的检验也是不可缺少的。在进行地质素描及数码成像的时候，开挖工作面应有良好的照明，以保证地质素描及数码成像的效果。

10.2.6 隧道地表下沉量测横断面方向的测点监测范围边界应设置到隧道开挖影响范围以外，并在开挖影响范围以外设置基点。

地表下沉量测的测点应布设在由设计确定的特别重要的施工地段（包括地表有建筑物地段），施工中地表发生塌陷并经修补过的地段及由地表预先探测到地中存在构筑物或空洞的施工地段，测点应尽量接近构筑物或空洞上方。测点布置见图 9。

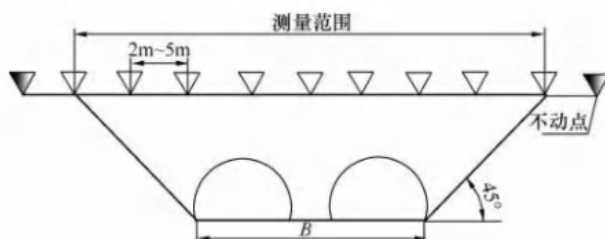


图 9 地表沉降横向测点布置示意图

10.2.8 净空位移量测、拱顶下沉量测原则上在同一断面上进行，而且其他量测项目也应设置在同一断面上。但因围岩及开挖方法、隧道内管线位置等原因，可以适当调整。净空变化量测以水平基线量测为主，必要时设置斜基线（如洞口附近、浅埋区段、有偏压或膨胀性土压的区段、拱顶下沉位移量大的区段），斜测线的设置有助于了解垂直方向的变化情况，当与解析法一起综合判断时，最好也布置斜测线，可参照图 10。分布开挖法临时支护拆除后，应继续进行拱顶下沉和净空收敛量测，测线布置按全断面开挖时的测线进行量测。

10.2.9 选测项目的断面间距应视需要而定，或在有代表性的地段选取若干测试断面。凡是地质条件差、隧道开挖断面积大、施工工序复杂的重要工程，布点应适当加密。为了尽早对隧道设计参数、施工方法、制定的监控基准等进行评价，应在设置有选测项目的隧道开始段就进行布点。选测项目 1~5 项的测点布置见图 11。

选测项目中，多点位移计每断面一般采用 3~5 个钻孔，应

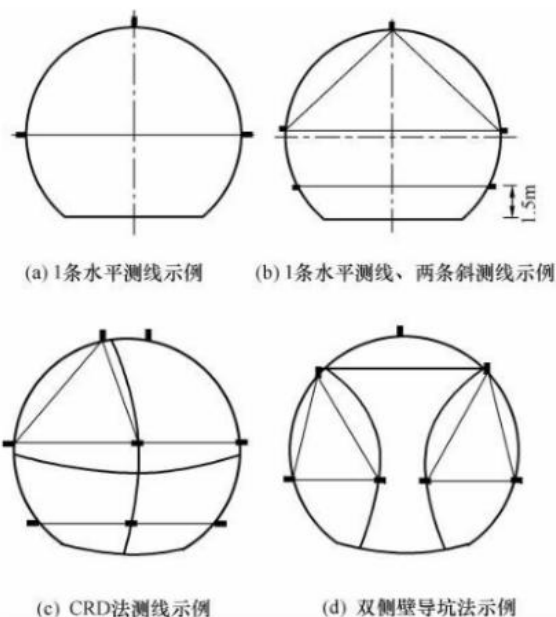


图 10 拱顶下沉量测和净空变化量测的测线布置示例

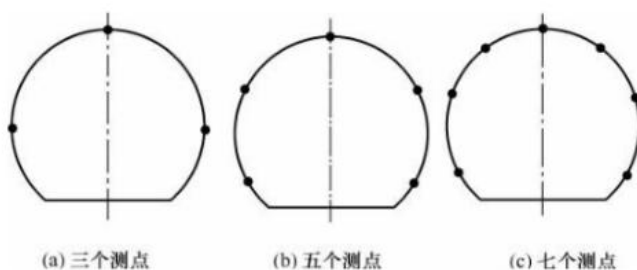


图 11 选测项目的量测仪器布置示例

分布在边墙和拱部。锚杆轴力量测、喷层应力量测、接触压力量测每断面一般设置 3~7 个测点，如有需要可以增加测点。测点应布置在拱顶、拱腰及边墙等部位。测点布置应尽量靠近实际锚杆位置，多点位移计位置应靠近净空位移测点，以便数据上互相验证。用声波法确定围岩松动区范围时，一般需设置三对测孔。

采用多部开挖施工方法的隧道，如有需要可在临时支护上布置应力测点。

10.2.11 由于测线和测点不同，位移速度也不同，因此应以产生最大位移速度来决定量测频率。在塑性流变岩体中，位移长期（开挖后两个月以上）不能收敛时，量测要继续到每月为 1mm 为止。

10.2.12 研究表明，在距开挖工作面 1B 和 2B 处的收敛值分别占规定的允许收敛量的 65% 和 90% 左右，距开挖面较远时围岩和初期支护变形基本稳定。

10.2.14 由于采用的测试仪器不同，量测精度也不同，表 1 为常用测试仪器的最低精度。

表 1 不同测试仪器的精度

测试仪器	信息含量		精度 (mm)
收敛计	相对位移	分量	0.3~0.5
水平仪	绝对位移	分量	0.5~1.0
全站仪	绝对位移	三维向量	1.0

10.3 监控量测方法

10.3.3 在地下工程中，开挖前的地质勘探工作很难提供非常准确的地质资料，所以有必要在隧道每次开挖后进行细致的目测观察，可以预测开挖前方的地质条件以及根据喷层表面状态及锚杆的工作状态分析支护结构的可靠程度。开挖工作面观察应在每次开挖后进行。观察中发现围岩条件恶化时，应立即采取相应处理措施；观察后应及时绘制开挖工作面地质素描图、填写开挖工作面地质状况记录表和施工阶段围岩级别判定卡，并与勘查资料进行对比。

1 对开挖后没有支护的围岩进行目测，主要是了解开挖工作面下列的工程地质和水文地质条件：

1) 岩质种类和分布状态，界面位置的状态；

- 2) 岩性特征：岩石的颜色、成分、结构、构造；
- 3) 地层时代归属及产状；
- 4) 节理性质、组数、间距、规模、节理裂隙的发育程度和方向性，断面状态特征，充填物的类型和产状等；
- 5) 断层的性质、产状、破坏带宽度、特征等；
- 6) 地下水类型、涌水量大小、涌水位置、涌水压力、水的化学成分、湿度等；
- 7) 开挖工作面的稳定状态，顶板有无剥落现象。

2 对已施工地段的观察每天至少应进行一次，其目测内容如下：

- 1) 初期支护完成后对喷层表面的观察以及裂缝状况的描述和记录；
- 2) 有无锚杆脱落或垫板陷入围岩内部的现象；喷射混凝土是否产生裂缝或剥离，要特别注意喷射混凝土是否发生剪切破坏；有无锚杆和喷射混凝土施工质量问题；钢架有无被压屈、压弯现象；是否有底鼓现象。

应将观察到的有关情况 and 现象详细记录，并绘制隧道开挖工作面及两侧素描图，要求每个断面至少绘制 1 张。

观察中如果发现异常现象，要详细记录发现的时间、距开挖工作面的距离以及附近测点的各量测数据。

10.3.4 周边位移可为判断隧道的稳定性提供可靠的信息，同时根据位移速度判断隧道围岩的稳定程度，为二次衬砌提供合理的支护时机。

目前隧道周边位移监控量测可采用接触量测和非接触量测两类，其中接触量测主要用收敛计进行量测，非接触量测则主要用全站仪进行。

用收敛计进行隧道净空收敛量测的方法相对比较简单，即通过布设于洞室周边上两固定点，每次测出两点的净长 L ，求出两次量测的增量（或减量） ΔL ，即为此处净空收敛值。读数时应该读三次，然后取其平均值。

用全站仪进行隧道净空收敛量测的方法包括自由设站和固定设站两种。与传统的接触量测的主要区别在于，非接触量测的测点采用一种膜片式回复反射器作为测点靶标，以取代价格昂贵的圆棱镜反射器。具有回复反射性能的膜片形如塑料胶片，其正面由均匀分布的微型棱镜和透明塑料薄膜构成，反面涂有压敏不干胶，可以牢固地粘附在构件表面上。这种反射膜片，大小可以任意剪裁，价格低廉。通过对比不同时刻测点的三维坐标 $(x(t), y(t), z(t))$ ，可得到该测点在该时段的位移（相对于某一初始状态）。与传统接触式监控量测方法相比，该方法能够获取测点更全面的三维位移数据，有利于结合现行的数值计算方法进行监控量测信息的反馈，同时具有快速、省力、数据处理自动化程度高等特点。

10.3.5 拱顶下沉量测同位移收敛量测一样，都是隧道监控量测的必测项目，最能直接反映围岩和初期支护的工作状态。目前拱顶下沉量测大多数采用精密水准仪和钢钢挂尺等。拱顶下沉监控量测测点的埋设，一般在隧道拱顶轴线处设 1 个带钩的测桩（为了保证量测精度，常常在左右各增加一个测点，即埋设三个测点），吊挂钢卷尺，用精密水准仪量测隧道拱顶绝对下沉量。可用 $\Phi 6$ 钢筋弯成三角形钩，用砂浆固定在围岩或混凝土表层。测点的大小要适中，过小，测量时不易找到；过大，爆破时易被破坏。支护结构施工时要注意保护测点，一旦发现测点被埋掉，要尽快重新设置，以保证数据不中断。拱顶下沉量测示意图见图 12。

拱顶下沉量的确定比较简单，即通过测点不同时刻相对高程 h ，求出两次量测的差值 Δh 即为该点的下沉值。关键是应找出不动点作为参考点（基点）。通常采用下列两种方法：第一种方法是将不动点设置在洞外，每次监控量测从洞外引入，这种方法很烦琐，一般随着隧道的开挖，转站次数也明显增加，故相对测量误差也会增大，现场一般不采用；第二种方法是在开挖面后方一定距离的拱顶处（有时可利用已经稳定的拱顶下沉测点）设置

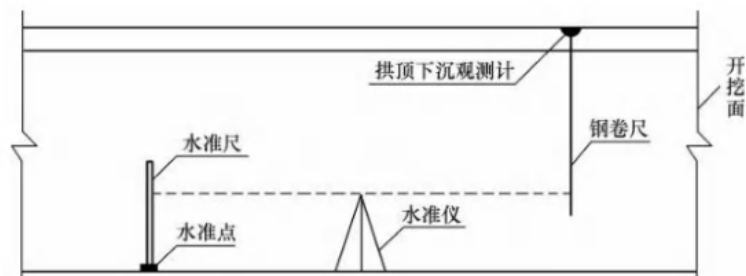


图 12 拱顶下沉量测示意图

为参考点，并假定它为不动点（实际上它仍在下沉，但下沉值与开挖面测点的下沉量相比很小，可以忽略不计），因此这种方法测得的下沉值对判断围岩及初期支护结构的稳定性，精度是足够的，也是有效的，该方法相对简单，因而被广泛采用，但一般在量测一段时间后需要采用第一种方法进行必要的校核。读数时应读两次，然后取其平均值。

拱顶下沉量测也可以用全站仪进行非接触量测，其具体量测方法跟洞周收敛量测方法类似。

10.3.6 为了了解地表下沉的范围、下沉量的大小、下沉量随开挖工作面推进的变化规律以及地表下沉稳定时间，有必要对浅埋地段进行地表下沉监测。

地表下沉量测一般用精密水准仪和钢卷尺进行测量，量测结果能反映浅埋隧道开挖过程中地表变形的全过程，其量测精度一般为 $\pm 1\text{mm}$ 。浅埋隧道地表下沉量测的重要性，随隧道埋深变浅而增大，如表 2 所示。

表 2 地表沉降量测的重要性

埋深	重要性	测量与否
$3D < h$	小	不必要
$2D < h < 3D$	一般	最好量测
$D < h < 2D$	重要性	必须量测
$h < D$	非常重要	必须列为主要量测项目

注：D 为隧道直径，h 为隧道埋深。

地表下沉量测断面宜与洞内周边位移和拱顶下沉量测设置在同一断面,当地表有建筑物时,应在建筑物周围增设地表下沉观测点。在隧道纵向(隧道中线方向)至少布置一个纵向断面。在横断面上至少应布置 11 个测点,两测点的距离为 2m~5m。在隧道中线附近测点应布置密些,远离隧道中线应疏些。

地表下沉量测方法和拱顶下沉量测方法相似,即通过测点不同时刻高程 h , 求出两次量测的差值 Δh , 即为该点的下沉值。需要注意的是,参考点(基点)应设置在工程施工影响范围以外,以确保参考点(基点)不下沉,并在工程开挖前对每一个测点读取初始值。一般在距离开挖面前方 $H+h$ 处(H 为隧道埋深, h 为地下工程的开挖高度)就应对相应测点进行超前监控量测,然后随着工程的进展按一定的频率进行监控量测。在读数时各项限差宜严格控制,每个测点读数误差不宜大于 0.3mm,对不在水准路线上的观测点,一个测站不宜大于 3 个,否则应重读后视点读数。首次观测时,对测点进行连续两次观测,两次高程之差应小于 1.0mm,取平均值作为初始值。

在进行监控观测时,应注意以下观测条件:

- 1 应在水准仪和标尺检验合格后才能进行观测。
- 2 不得在测站和标尺处有震动时进行观测。
- 3 尽量选择在每天同一时间内进行观测,选择在阴天和气温变化小的时间内进行观测,当必须在阳光下观测时,测站上应设置测伞。

4 要用精密水准仪进行基点的联测,其误差不得超过 $\pm 0.5\sqrt{n}\text{mm}$ (n 为测站数),检查周期不得大于 30d。

5 观测应坚持“四固定”原则,即观测人员固定、测站固定、测量延续时间固定、施测顺序固定。

6 沉降观测一般分为二等和三等水准测量,在沉降观测之前应根据监控量测的重要性、使用要求、工程地质条件等因素,综合确定沉降水准测量等级。二等水准测量的闭合差应小于 $\pm\sqrt{0.5n}\text{mm}$ (n 为测站数),三等水准测量的闭合差应小于

$\pm 10\sqrt{n}\text{mm}$ (n 为测站数)。鉴于沉降观测的连贯性,不得任意改变水准点及其高程。

当所测地层表面立尺比较困难时,可以在预埋的测点表面粘贴膜片式反射器作为测点靶标,然后用全站仪进行非接触量测。

10.3.7 为了判断开挖后围岩的松动区、强度下降区以及弹性区的范围,确定围岩位移随深度变化的关系和判断锚杆长度是否适宜,以便确定合理的锚杆长度,有必要对围岩内变形进行监控量测。

围岩内变形量测的设备主要使用位移计,它可量测隧道不同深度处围岩位移量,近几年位移计被广泛应用于地下空间围岩稳定性监测中。在位移计的选择上应注意以下几点:

- 1 安装、量测方便,性能稳定可靠;
- 2 能较长期进行监测;
- 3 造孔方便(孔径 $\phi 40\text{mm}\sim 50\text{mm}$),安装及时;
- 4 锚头抗振,能适应各类围岩,也可在土层中锚固;
- 5 精度能够满足生产、科研的要求;
- 6 价格合理。

位移计按测试装置的工作原理可分为电测式位移计和机械式位移计。电测式位移计是把非电量的位移量通过传感器的机械运动转化为电量变化信号输出,再由导线传送给二次仪表,接受并显示。电测式位移计施测方便,操作安全,能够遥控,适应性强,灵敏度高,但受外界干扰较大,读数易受多种因素的综合影响,稳定性较差且费用较高。目前较多采用机械式位移计。

按位移计可以测取位移量的个数多少,位移计可分为单点位移计和多点位移计。单点位移计只能量测围岩内某一深度处的位移量,而多点位移计可在围岩内部不同深度处埋设多个测点,同时量测围岩内不同深度处的位移量,在工程实践中多点位移计应用较广。每个位移测点均由锚头、位移传递杆和测量端头组成。基准面板上有几个位移测点的锥形测孔,测量时将专用百分表插入基准面板的锥形孔内,插稳之后即可读数,每个测孔测量 3

次,最大差值小于 0.07mm 时取其平均值记入表中。

10.3.8 应力、应变监测属于选测项目,具体监测内容应根据监测计划而定。目前应力、应变监测主要采用振弦式、电容式、光纤光栅等传感器。在一般施工监测中主要以振弦式传感器为主。但如果要对重大隧道进行长期监测或隧道所处地质条件酸碱性较强,则应采用光纤传感器进行现场监控量测,光纤传感器相对于传统的振弦传感器具有抗腐蚀性强、耐用、量测数据精确稳定等优点。

10.3.11 为了了解围岩压力的量值及分布状态,判断围岩和支护的稳定性,分析二次衬砌的稳定性和安全,有必要对围岩与初期支护接触压力和初期支护与二次衬砌接触压力进行监测。接触压力量测仪器根据测试原理和结构可分为液压式测力计和电测式测力计。液压式测力计的优点是结构简单、可靠,现场直接读数,使用比较方便。电测式测力计的优点是测量精度高,可远距离和长期观测。目前使用最为普遍的是振弦式压力盒。在埋设压力盒时,要求接触紧密和平稳,防止滑移,并且需要上面盖一块厚 6mm~8mm、直径与压力盒直径大小相等的钢板。埋设好压力盒后应将其电缆统一编号,并集中放置于事先设计好的铁箱内,以免在施工过程中被压断、拉断。观测时,根据具体情况及要求,定期进行测量,每次每个压力盒的测量应不少于 3 次,力求测量数值可靠、稳定,并做好原始记录。

10.3.12 为了了解混凝土层的变形特征以及混凝土的应力状态,掌握喷层所受应力的的大小,判断喷射混凝土层的稳定状况,判断支护结构长期使用的可靠性以及安全程度,检验二次衬砌设计的合理性,有必要对喷射混凝土和二次衬砌模筑混凝土进行应力量测。

混凝土应变计是量测混凝土应力的常用仪器,量测时将应变计埋入混凝土层内,通过频率测定仪测出应变计受力后的振动频率,然后从事先标定出的频率-应变曲线上求出作用在混凝土层的应变,再转求应力。

当用光纤光栅传感器进行混凝土应变测量时,则应将传感器成对地埋入混凝土内,通过光纤光栅接收仪获得不同时刻的波长,然后把波长转换为混凝土的应变值,再求出应力。

测定混凝土应力时,不论采用哪一种量测法,均应根据具体情况和要求,定期进行测量,每次每个测点的测量应不少于3次,力求测量数据可靠、稳定,并做好原始记录。

10.3.13 孔隙水压力监测在控制隧道开挖导致的地表沉降、确定二次衬砌承受水压力等方面起着十分重要的作用。

孔隙水压监测一般采用孔隙水压计,其埋设方法与土压力盒基本相同,可采用挂布法、顶入法、弹入法、埋置法和钻孔法。

1 在确定孔隙水压计量程时,除了按孔深计算孔隙水压力的变化幅度外,还要考虑大气降水、井点降水等影响因素,以免造成孔隙水压力超出量程,或者量程选用过大,影响测量精度。

2 采用钻孔法施工时,原则上不得采用泥浆护壁工艺成孔。如因地质条件差,不得不采用泥浆护壁时,在钻孔完成之后,需用清水洗孔,直至泥浆全部清除为止。接着,在孔底填入部分净砂后,将孔隙水压计送至设计高程,再在周围填上约0.5m高的净砂作为滤层。

3 封口是孔隙水压计埋设质量好坏的关键工序。封口材料宜使用直径为1cm~2cm、塑性指数 I_p 不小于17的干燥黏土球,最好采用膨润土。封口时应从滤层顶一直封至孔口,如在同一钻孔中埋设多个探头,则封至上一个孔隙水压计的深度。一般来说,为保证封口,孔隙水压计之间的间距应大于1m,以免水压力贯通。在地层的分界处附近埋设孔隙水压计时应十分谨慎,滤层不得穿过隔水层,避免上下层水压力的贯通。

4 如果所测地层土质较软,则可用压入法进行埋设。用外力将孔隙水压力计缓缓压入土中至设计埋设高程。如土质稍硬,则可先用钻孔法钻入一定深度后,再用压入法将探头送至高程。此法的优点在于可节省钻孔的时间和费用。

5 无论采用哪一种方法埋设,都会扰动地层,使初始孔隙

水压力发生变化。为使这一变化对后期测量数据的影响减小到最低限度，一般应在正式测量开始前一个月进行埋设。

10.4 量测数据处理与应用

10.4.1 监测资料的整理、分析是信息反馈的基本工作。数据分析通常采用比较法、作图法和数值计算等，分析各监测物理量值的大小、变化规律、发展趋势。