

铁路工程施工技术指南

铁路隧道工程施工技术指南

TZ 204—2008

主编单位：中铁一局集团有限公司

批准部门：铁道部经济规划研究院

施行日期：2008 年 10 月 20 日

中 国 铁 道 出 版 社

2009 年 · 北 京

铁路工程施工技术指南
铁路隧道工程施工技术指南
TZ 204—2008

*

中国铁道出版社出版发行
(100054, 北京市宣武区右安门西街8号)

出版社网址: <http://www.tdpress.com>

中国铁道出版社出版印刷厂印

开本: 850 mm × 1 168 mm 1/32 印张: 8.25 字数: 220 千字

2008 年 12 月第 1 版 2009 年 8 月第 2 次印刷

统一书号: 15113 · 2828 定价: 38.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换。

发行部电话: 路(021)73170, 市(010)51873172

关于发布《客货共线铁路轨道工程施工技术指南》等四项铁路工程施工技术指南的通知

经规标准〔2008〕176号

各铁路局，投资、集装箱公司，各铁路公司（筹备组）：

为提高客货共线铁路工程施工技术水平，满足铁路工程建设需要，根据《铁路工程建设标准管理办法》（铁建设〔2004〕143号）和《关于印发〈2000年铁路工程建设规范、定额编制计划〉的通知》（铁建设函〔2000〕36号）、《关于印发〈2005年铁路工程建设标准编制计划〉的通知》（铁建设函〔2005〕84号）的要求，经铁道部同意，铁道部经济规划研究院组织完成了《客货共线铁路轨道工程施工技术指南》（TZ 201—2008）、《客货共线铁路路基工程施工技术指南》（TZ 202—2008）、《客货共线铁路桥涵工程施工技术指南》（TZ 203—2008）和《铁路隧道工程施工技术指南》（TZ 204—2008）的编制工作，现予发布，自发布之日起在铁路工程建设中推荐使用。施工企业应发挥自己的技术和管理优势，在上述施工技术指南基础上，研究制定更具体和系统的高标准企业施工标准，确保工程质量。

各单位在使用过程中应结合工程实践，认真总结经验，积累资料。如果发现需要修改和补充之处，请将意见或建议及时反馈给我院。

以上技术指南由铁道部经济规划研究院组织中国铁道出版社出版发行。

铁道部经济规划研究院

二〇〇八年十月二十日

前 言

本技术指南是根据《关于编制 2006 年铁路工程建设标准计划的通知》(铁建设函〔2005〕1026 号)和铁道部经济规划研究院《关于确定部分 2005 年新开标准项目主编单位的通知》的要求,在《铁路隧道施工规范》(TB 10204—2002)基础上修订而成的。

本技术指南共分 18 章,另有 8 个附录。其主要内容包括:总则,术语,施工准备,洞口工程,施工方法,辅助施工方法与措施,钻爆开挖,初期支护,二次衬砌,防排水,施工机械与设备,超前地质预报,监控量测,辅助坑道,通风防尘、风水电供应与通信系统,特殊岩土和不良地质地段隧道施工,环境保护及施工阶段的风险评估等。

本技术指南与《铁路隧道施工规范》(TB 10204—2002)相比,章节和内容的增减情况主要有:

1. 增加了超前地质预报、环境保护、辅助施工方法与措施四章。
2. 增加了施工工艺流程图。
3. 增加了近年来修建隧道较成熟的施工技术,如黄土隧道、高原冻土隧道、切削式洞口、混凝土耐久性等的內容。
4. 施工机械与设备章按作业工序分节,并增加了机械配置参考表及施工实例。
5. 删除了有关整体式衬砌、喷锚衬砌和隧道塌方等内容。

在执行本技术指南过程中,希望各单位结合工程实践,总结经验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见和有关资料寄交中铁一局集团有限公司(地址:陕西省西安市雁

塔路北段1号，邮编：710054），并抄送铁道部经济规划研究院（北京市海淀区羊坊店路甲8号，邮编：100038）。

本技术指南由铁道部经济规划研究院负责解释。

本技术指南主编单位：中铁一局集团有限公司。

本技术指南参编单位：中铁隧道集团有限公司。

本技术指南主要起草人：王秀成、管德鹏、倪光斌、杨志安、董晓光、吴正新、杨世武、高存成、张奕斌、郑军。

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	施工准备	5
3.1	施工调查	5
3.2	设计文件的核对	5
3.3	实施性施工组织设计	6
3.4	施工复测和控制测量	8
3.5	施工机械	9
3.6	施工场地与临时工程	10
3.7	作业人员的教育和培训	11
4	洞口工程	13
4.1	洞口段开挖及防护	13
4.2	明 洞	15
4.3	洞 门	19
5	施工方法	23
5.1	一般规定	23
5.2	全断面法	23
5.3	台 阶 法	25
5.4	三台阶七步开挖法	27
5.5	中隔壁法（CD 法）	29
5.6	交叉中隔壁法（CRD）	31
5.7	双侧壁导坑法	33
6	辅助施工方法与措施	36
6.1	一般规定	36

6.2	井点降水	37
6.3	地表注浆加固	38
6.4	超前小导管	38
6.5	超前锚杆	41
6.6	超前管棚	42
6.7	预注浆	44
6.8	基底处理	52
6.9	其他辅助施工措施	54
7	钻爆开挖	56
7.1	一般规定	56
7.2	隧道超欠挖	57
7.3	钻爆设计	58
7.4	钻眼	60
7.5	装药	62
7.6	连线、起爆	64
8	初期支护	65
8.1	喷混凝土	65
8.2	锚杆	72
8.3	钢筋网	77
8.4	钢架	78
9	二次衬砌	80
9.1	一般规定	80
9.2	二次衬砌施工	81
9.3	衬砌混凝土施工	84
9.4	拱顶回填注浆	89
10	防排水	92
10.1	一般规定	92
10.2	注浆防水	93
10.3	洞口防排水	94

10.4	结构防排水	94
10.5	施工排水	112
11	施工机械与设备	114
11.1	一般规定	114
11.2	钻爆作业	115
11.3	土质隧道开挖作业	115
11.4	装渣运输作业	116
11.5	支护作业	118
11.6	防排水作业	119
11.7	衬砌作业	119
11.8	辅助作业	119
12	超前地质预报	121
12.1	一般规定	121
12.2	地质预报的分级管理与方案设计	121
12.3	地质调查法	124
12.4	钻探法	127
12.5	物理勘探法	127
13	监控量测	129
13.1	一般规定	129
13.2	监控量测项目和技术要求	130
13.3	监控量测方法	135
13.4	量测数据处理与应用	137
14	辅助坑道	141
14.1	一般规定	141
14.2	横洞与平行导坑	142
14.3	斜井	142
14.4	竖井	146
14.5	信号和通信	148
15	通风防尘、风水电供应与通信系统	150

15.1	通风与防尘	150
15.2	供 风	153
15.3	供 水	154
15.4	供 电	155
15.5	照 明	158
15.6	通 信	159
16	特殊岩土和不良地质地段隧道施工	160
16.1	一般规定	160
16.2	富水软弱破碎围岩	160
16.3	岩 溶	161
16.4	风积沙、含水砂层	163
16.5	瓦 斯	164
16.6	岩 爆	169
16.7	挤压性围岩和膨胀岩	170
16.8	黄 土	171
16.9	高原冻土隧道	173
17	环境保护	176
18	施工阶段的风险评估	178
附录 A	开挖工作面观察表	180
附录 B	爆破成缝试验方法	182
附录 C	喷锚支护施工记录	183
附录 D	喷锚支护有关的试验和测定方法	185
D.1	喷混凝土强度检查试件的制作方法	185
D.2	喷混凝土与岩面粘结力的试验方法	185
D.3	喷混凝土实际配合比、水胶比的测定方法	186
附录 E	喷钢纤维混凝土有关的技术要求、试验和测定	188
E.1	钢纤维的技术要求	188
E.2	三分点加载梁试验测定弯曲韧度比	190
E.3	平板加载试验确定韧度指标	191

E.4 纤维混凝土和水泥砂浆收缩裂缝试验方法	192
附录 F 环境类别及作用等级	196
附录 G 铁路隧道围岩分级判定	199
附录 H 施工阶段围岩级别判定卡	201
本技术指南用词说明	202
《铁路隧道工程施工技术指南》条文说明	203

1 总 则

- 1.0.1** 为统一铁路隧道工程施工技术要求，加强施工管理，保证工程质量，确保施工安全，制定本技术指南。
- 1.0.2** 本技术指南适用于新建标准轨距铁路隧道工程的施工。
- 1.0.3** 隧道工程必须按照批准的设计文件施工，在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** 隧道施工应根据地质复杂程度和隧道特点，进行施工风险评估，制定风险规避措施和安全应急救援预案。
- 1.0.5** 隧道施工中应遵守国家有关劳动保护法规，确保作业人员身体健康。积极改善隧道工程施工条件，加强通风、防尘、照明，防止有害气体、辐射对作业人员的危害。
- 1.0.6** 隧道施工应进行环境影响评价、注重环境保护和水土保持，施工中必须遵守污染物排放的国家标准和地方标准，本着“预防为主、防治结合”的原则，防止隧道施工造成周边环境污染和破坏。
- 1.0.7** 隧道防排水应遵循“防、堵、截、排相结合，因地制宜，综合治理”的原则。
- 1.0.8** 隧道工程施工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。
- 1.0.9** 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。竣工后应根据施工特点编写单项和综合的施工技术总结，及时提交竣工文件。
- 1.0.10** 铁路隧道工程施工除应符合本技术指南外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

2 术 语

2.0.1 超前地质预报 advance forecasting of geology

在隧道施工期间,以各种地质调查手段,对隧道开挖工作面前方地质状况进行预测的方法。

2.0.2 预留变形量 excess clearance or camber

针对围岩预计变形量而将设计的隧道开挖断面作适当扩大的预留量。

2.0.3 混凝土结构物耐久性 durability of concrete structure

在预定作用及预期的维修、使用条件下,混凝土结构物及其部件能在预定的期限内维持其正常使用的能力。

2.0.4 胶凝材料 cementitious material, or binder

混凝土中的水泥与粉煤灰、磨细矿渣粉、硅灰等活性矿物掺和料的总称。

2.0.5 水胶比 water to binder ratio

混凝土配制时的用水量与胶凝材料总量之比。

2.0.6 监控量测 monitoring measurement

隧道施工中对围岩和支护动态进行的经常性观察和测量。

2.0.7 全断面法 full face excavation method

按设计断面一次基本开挖成形的施工方法。

2.0.8 台阶法 bench cut method

先开挖上半断面,待开挖至一定距离后再同时开挖下半断面,上下半断面同时并进的施工方法。

2.0.9 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。

2.0.10 中隔壁法 (CD 法) center diagram method

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,然后再分部开挖隧道的另一侧,最终封闭成环的施工方法。

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

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。

2.0.12 岩爆 rock burst

在高地应力硬质围岩中开挖隧道时,围岩应力释放而引起岩块突然爆裂向外抛射、剥离、掉块的现象。

2.0.13 光面爆破 smooth blasting

为获得平整的开挖面,最后起爆周边眼的爆破方法。

2.0.14 超前支护 advanced support

隧道开挖前,将锚杆、小导管、管棚等沿隧道轴向以一定的角度斜插入开挖工作面拱部前方,对围岩进行预加固的支护。

2.0.15 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混凝土与锚杆、钢架、钢筋网等构成的第一次衬砌。

2.0.16 喷混凝土 shotcrete, spray concrete

利用压缩空气以一定喷射压力形成的一种混凝土。

2.0.17 纤维混凝土 fiber reinforced concrete

为了改变混凝土的力学性能,拌和料中掺入纤维的混凝土。

2.0.18 系统锚杆 system bolt

在隧道周边上按一定间距径向布置的锚杆群。

2.0.19 钢架 steel frame or beam support

用钢筋或型钢等制成的支护骨架构件。

2.0.20 管棚 pipe - roof protection

在隧道开挖前,沿开挖轮廓线外,在一定范围内,按一定外

插角和间距插入一定直径的钢管，并压注水泥浆或水泥砂浆，然后将钢管尾部与钢架焊接为一体形成的拱部预支护构件。

2.0.21 预注浆 pioneer grouting

为了固结围岩、封堵地下水或稳定开挖面，隧道开挖前在地面或开挖工作面或沿开挖轮廓线进行的超前注浆。

2.0.22 全断面深孔预（帷幕）注浆 full - closed grouting

属预注浆的一种。沿开挖轮廓线和开挖工作面，按一定的间距、直径、深度进行钻孔，向孔内压注某种浆液，因浆液扩散将钻孔周围一定范围内的围岩固结成一体形成的帷幕注浆。

2.0.23 回填注浆 back filling grouting

复合衬砌完成后，为填充防水板与二次衬砌之间的空隙而进行的灌浆。

2.0.24 二次衬砌 secondary lining

在初期支护内侧施作的模筑混凝土衬砌，与初期支护共同组成复合式衬砌。

2.0.25 施工缝 construction joint

在混凝土浇筑过程中，因设计要求或施工需要分段浇筑，而在先、后浇筑的混凝土之间形成的接缝。

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。调查结束后，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、工程规模和工程特点等。
- 2** 工程的施工条件：包括施工运输、水源、供电、通信、场地布置、弃渣场地及容纳能力、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** 当地的交通运输状况，包括运能、运价、装卸费率等。
- 5** 钻爆法施工所需爆破器材的供应情况及供货渠道等。
- 6** 地方生活供应、医疗、卫生、防疫、民族风俗及居民点的社会治安情况等。
- 7** 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。
- 8** 当地可供利用的劳动力资源状况，包括工费、就业情况等。
- 9** 绘制施工调查平面总图。

3.2 设计文件的核对

3.2.1 设计文件的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 指导性施工组织设计。

8 洞内外排水系统和排水方式等。

9 施工通风方案。

10 弃渣场的设计、位置及渣容量是否能满足施工需要和环保要求。

3.2.2 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，由设计单位持交桩资料向施工单位逐桩、逐点交接确认，遗失的应补桩。

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。

3.2.3 在施工调查和设计文件核对后，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。

3.3 实施性施工组织设计

3.3.1 编制实施性施工组织设计应通过全面的调查研究，按照建设项目的工期要求和投资计划，有计划地合理组织和安排好工期、施工方案、施工方法，并提出劳动力、材料、机具设备等生产资源的合理配置。

3.3.2 实施性施工组织设计中的施工方案、进度计划和现场平面布置，宜在多方案的基础上，经过技术、经济、工期的比较

后，择优确定。

3.3.3 编制实施性施工组织设计应以下列内容为依据：

- 1 国家标准《建设工程项目管理规范》(GB/T 50326)中项目管理实施规划的要求。
- 2 建设工程项目的招标文件及合同文件。
- 3 设计文件、现行的相关国家标准、行业标准及企业标准等。
- 4 调查资料，如气象、交通运输情况、当地建筑材料分布、临时辅助设施的修建条件以及水、电、通信等情况。
- 5 工程建设法律、法规和有关规定文件。
- 6 企业的质量管理、环境管理和职业健康安全管理等体系文件。
- 7 设计单位技术交底纪要。
- 8 企业的实际施工水平。

3.3.4 实施性施工组织设计应包括下列内容：

- 1 地理位置、地理特征、气候气象、工程地质、水文地质、工程设计概况、主要工程数量等。
- 2 合同文件关于工期、安全、质量、文明施工、环境保护等的要求。
- 3 施工条件、工程特征分析（特点、重点、难点）、施工方案。
- 4 施工单位关于工期、安全、质量、文明施工、环境保护的控制目标。
- 5 项目经理部组织机构设置及岗位职责。
- 6 洞口生产场地布置及临时工程规划。
- 7 洞内、外管线布置及风、水、电供应方案。
- 8 编制各工序进度指标、施工总进度计划、单位工程施工进度计划及次级进度计划横道图、网络计划图并标明关键线路。
- 9 洞口工程、进洞、洞身开挖、钻爆设计、装渣运输、初

期支护、二次衬砌、施工通风、施工排水、控制测量、施工测量、超前地质预报、监控量测等工序的施工方法、工艺流程、检验标准、实施要点。

10 机械设备配备、劳动力配备、主要材料分阶段供应计划、主要材料的采购、运输方式等。

11 材料检验、工程计量、资料归档、成本控制、职工培训计划等各项管理制度。

12 关于工程工期、工程质量、安全生产、文明施工、环境保护和雨季、冬季及高温季节施工的组织、技术、经济等保证措施及奖惩条例。

13 施工过程中对环境的直接影响和潜在的影响，对各种影响因素所采取的预防和保护措施。

14 施工阶段风险评估和风险规避措施。

15 隧道施工地区发生自然灾害、施工过程发生紧急情况时的应急预案。

3.3.5 项目管理有关部门的人员应参与实施性施工组织设计的编制，以确保其实用性和针对性。

3.3.6 在实施过程中应根据客观条件、生产资源配置的变化情况及时调整施工组织设计，并及时报送监理工程师批准，实行动态管理。

3.4 施工复测和控制测量

3.4.1 施工复测应按下列程序进行：

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。

2 复测结果与设计单位的勘测成果不符时，必须再次复测进行确认。当确认设计单位勘测资料有误或精度不符合规定要求时，应积极与设计单位协商对勘测成果进行改正。

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，复测成果满足要求并经监理单位批复后方可进行后续的测量工作。

3.4.2 隧道长度大于1 000 m时，应根据隧道横向贯通精度的要求进行平面控制测量设计；隧道相邻两开挖口间的高程路线长度大于5 000 m时，应根据隧道高程贯通精度的要求进行隧道高程控制测量设计。

3.5 施工机械

3.5.1 根据隧道实施性施工组织设计的要求，应配备污染少、能耗小、效率高的施工机械，并宜优先选择电动机械。

3.5.2 施工机械应机况良好，零配件、附件及履历书齐全，施工机械的准备应适应施工进度要求，确保正常施工。

3.5.3 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。在靠近居民区时，各项排放指标均应达到现行国家标准《建筑施工场界噪声限值》(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。

3.5.4 施工机械应根据隧道工程特点参照下列原则进行选型配套：

1 隧道施工机械配置，以实现机械化均衡生产为目的，结合工期和成本目标，配置的生产能力应大于均衡施工能力，均衡施工能力应大于施工进度指标要求。

2 施工中的关键机械，如混凝土的拌和设备、运输设备、支护设备、混凝土输送泵、空压机、通风机、抽水机等必须有备

用数量。

3 浇筑二次衬砌应采用拱、墙整体式的衬砌台车。

4 仰拱施工地段应采用栈桥跨越设备。

3.5.5 按施工机械的用途，其进场、安装、调试与四通（水、电、道路、通信）一平（场地）应同步或交叉进行，使机械尽早投入施工，并逐步形成各工序的机械化作业。

3.6 施工场地与临时工程

3.6.1 施工场地布置应遵循下列原则：

1 有利于安全生产、文明施工、节约用地和保护环境。

2 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。

3.6.2 施工场地布置应包括下列内容：

1 确定卸渣场的位置和范围。

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 汽车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 确定混凝土拌和站（场）、预制场及砂、石等材料场的布置。

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。

3.6.3 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。爆破器材库、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，并避开高压电线。

4 严禁将住房等临时设施布置在受洪水、泥石流、落石、雪崩、滑坡等自然灾害威胁的地点。

5 高位水池应远离隧道中线修建。

6 洞口段为不良地质时，不应在洞顶修建房屋和其他建筑。

7 临时工程及场地布置应采取保护自然环境的措施。

8 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，坡脚必须进行防护，防止水土流失。

3.6.4 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，不得设置拌和站、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。

3.6.5 隧道内、外施工场所应按现行《工作场所职业病危害警示标识》(GBZ 158) 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。

3.6.6 工程竣工时，应修整、恢复受到施工破坏或影响的植被、自然资源等。

3.7 作业人员的教育和培训

3.7.1 隧道施工前和施工过程中，对管理人员、作业人员应经常进行安全教育，提高自我保护意识。

3.7.2 结合隧道施工现场实际，进行质量管理策划，确定质量管理目标，建立质量控制体系、编制质量管理实施计划，并培训作业人员，考核合格后持证上岗，确保隧道工程质量。

3.7.3 隧道施工必须严格执行铁道部现行《铁路工程施工安全技术规程》(TB 10401)，进行危险源辨识和安全风险评估，建立安全生产责任制，编制安全管理实施方案，制定相应的应急预案，培训作业人员考核合格后持证上岗，确保隧道施工安全。

3.7.4 从事隧道施工作业的人员应符合劳动法律、法规的规定，并对其进行培训提高法制观念。特种作业人员培训后持证上岗，

其他人员培训后上岗。

3.7.5 施工过程中应对职工加强技术培训和安全技术交底，在推广新技术和使用新型机械设备时，应对职工进行再培训和安全教育。

3.7.6 根据隧道施工情况，应对作业人员进行定期健康检查，并归入档案进行管理。

4 洞 口 工 程

4.1 洞口段开挖及防护

4.1.1 洞口段工程应结合洞口相邻工程及场地布置统筹规划、及早完成，施工宜避开雨季及严寒季节。

4.1.2 洞口段施工工艺流程见图 4.1.2。

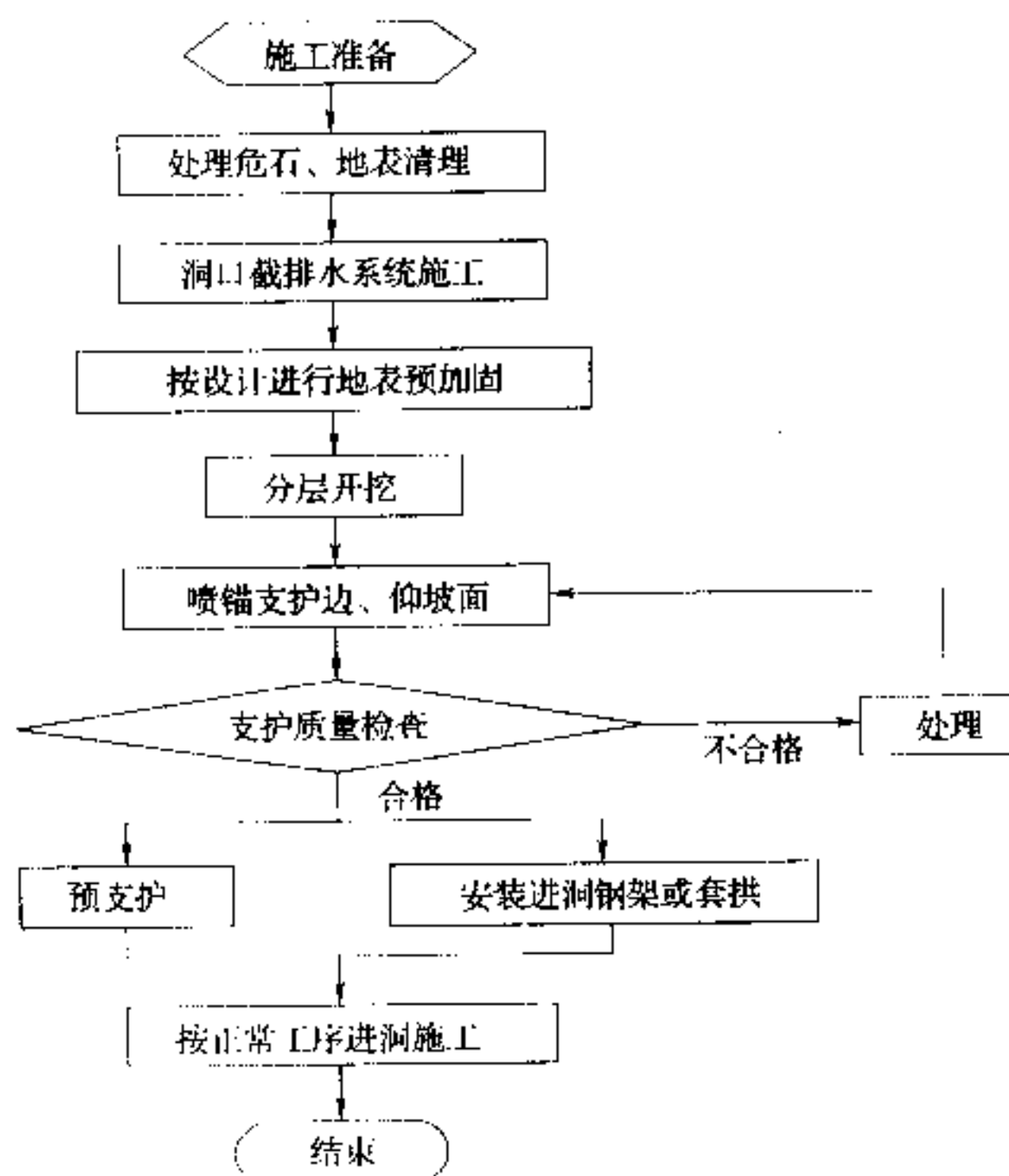


图 4.1.2 洞口段施工工艺流程图

4.1.3 洞口段施工应符合下列规定：

1 洞口段开挖前应首先清除洞口开挖范围内的树木、杂草和树根，检查边、仰坡以上的山坡稳定情况，清除悬石、处理危石。

2 洞口段施工期间实施不间断监测和防护。

3 洞口段边、仰坡防护应符合设计要求和环境保护、水土保持的有关规定。

4 洞口段开挖至隧底高程后，应及时施作排水侧沟及出水口，并与洞外排水系统协调连通。

5 偏压洞口施工应先做好支挡、反压回填等工作后再进行开挖；开挖方法应根据地形情况选定，避免人为因素加剧偏压。

6 施工便道的引入和施工场地的平整应尽量减少对原地貌的破坏和对洞口岩体稳定的影响。

4.1.4 洞口段开挖应符合下列规定：

1 洞口土方采用机械施工时，边、仰坡应预留约 30 cm 的整修层，用人工刷坡并及时夯实整平成型，防止超挖，保证边、仰坡平顺，坡率符合设计要求。

2 洞口土石方应自上而下分层开挖，严禁掏底开挖或上下重叠开挖，结合正洞开挖方法，预留进洞台阶，形成进洞面（洞脸）及边、仰坡，边、仰坡防护和处理措施应同时考虑防止洞口段产生整体滑动。

3 洞口石方开挖宜采用浅孔小台阶爆破，严禁采用洞室爆破，边、仰坡开挖应采用松动控制爆破并预留光爆层，光面爆破成型。施工中应按批准的爆破设计组织施工，严禁超量装药。爆破后，应及时清除松动石块。

4 开挖后坡面应稳定、平整、美观。

5 当洞口段可能出现地层滑坡、崩塌时，应采取相应的工程措施，并应适当放缓坡率，保证施工人员的安全和边、仰坡的稳定。

4.1.5 隧道施工前，洞顶地表水的处理应符合下列规定：

1 洞顶边、仰坡周围的排水系统宜在雨季及边、仰坡开挖前完成。

2 结合现场地形，洞口边、仰坡应及早做好坡面防护，确保洞口稳定。若采用喷锚或砌石护面，坡顶应采取措施防止地表水下渗。

3 洞顶天沟及截、排水沟槽宜采用水泥砂浆或浆砌片石或混凝土铺砌沟底，防止下渗，确保排水畅通。

4 洞口顶部地表的凹坑须填平并进行地表防渗水处理，洞口段的截、排水系统应与其他工程排水系统顺接，排水接入两侧路基边沟内，并不得冲刷路基坡面、桥涵锥体、农田、房舍。

4.1.6 当洞口位于软弱、松散地层或堆积层时，应按“先加固、预支护、后开挖”的原则施工，对永久性防护应按照设计在隧道施工的初期及早完成。根据地质条件和地下水情况，洞口地表可采用下列加固处理的措施：

1 地层为堆积层、断层破碎带、砂砾（卵）土、砂土时宜采用地面注浆措施预加固。

2 有地下水地段，应按设计要求进行注浆止水。

3 地下水位较高的粉砂土、砂质粉土或淤泥质夹薄层砂性土的富水地层、且不适合于注浆堵水的隧道洞口段应首先进行井点降水。

4.1.7 洞口浅埋、软弱破碎段应考虑采用管棚、小导管、锚杆等超前支护措施。

4.2 明 洞

4.2.1 在一般情况下，明洞可采用明挖法施工，其工艺流程见图 4.2.1。

4.2.2 当明洞位于陡峭山坡或破碎、松软地层时，为保证施工安全，宜先施作明洞衬砌轮廓外的整幅或半幅套（护）拱，必

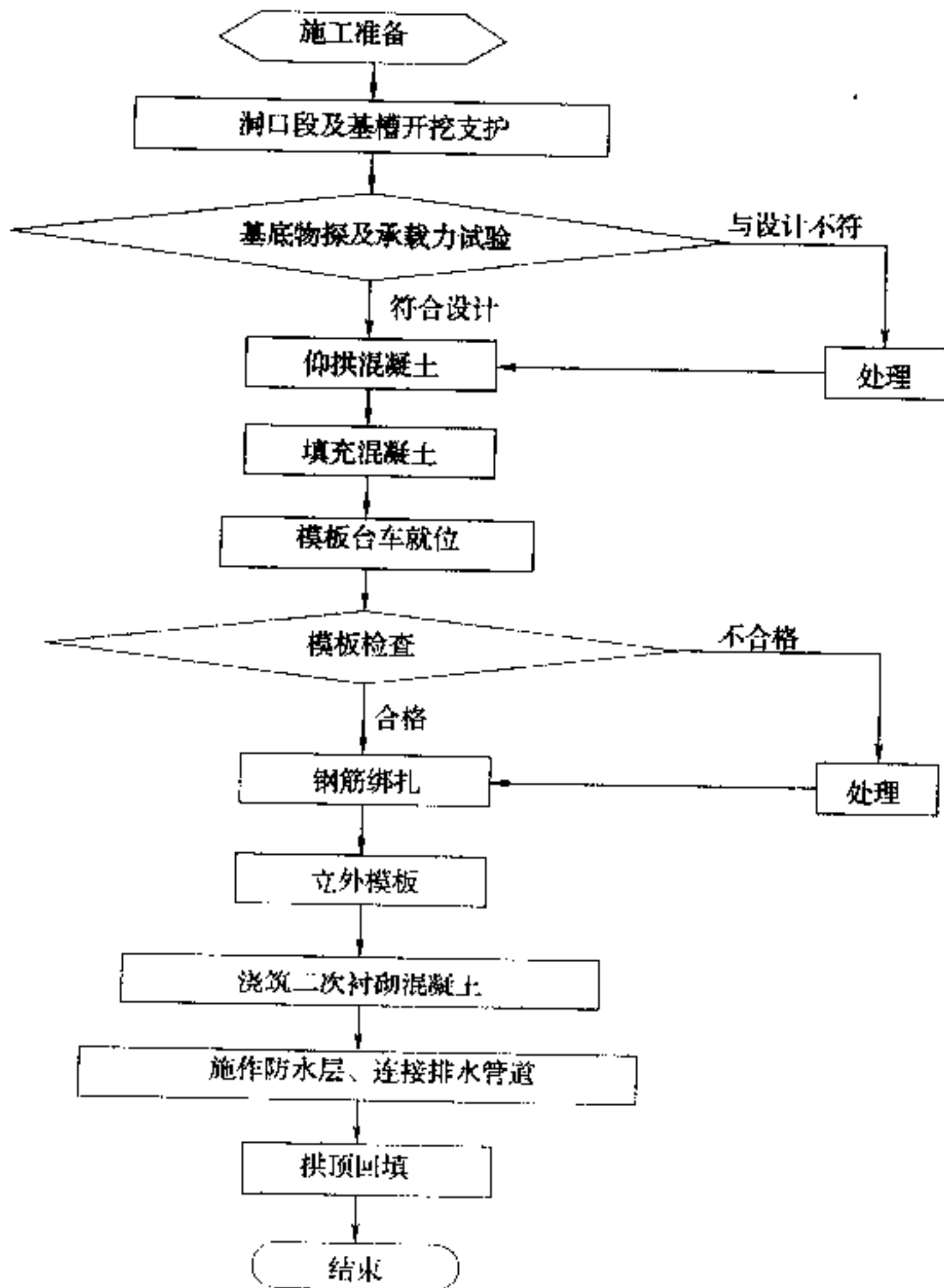


图 4.2.1 明洞施工工艺流程图

要时还应在外侧施作挡墙，然后在套拱护顶下暗挖明洞土石方，并及时支护边墙，成形后按暗挖隧道施作明洞衬砌。明洞暗作法工艺流程见图 4.2.2。

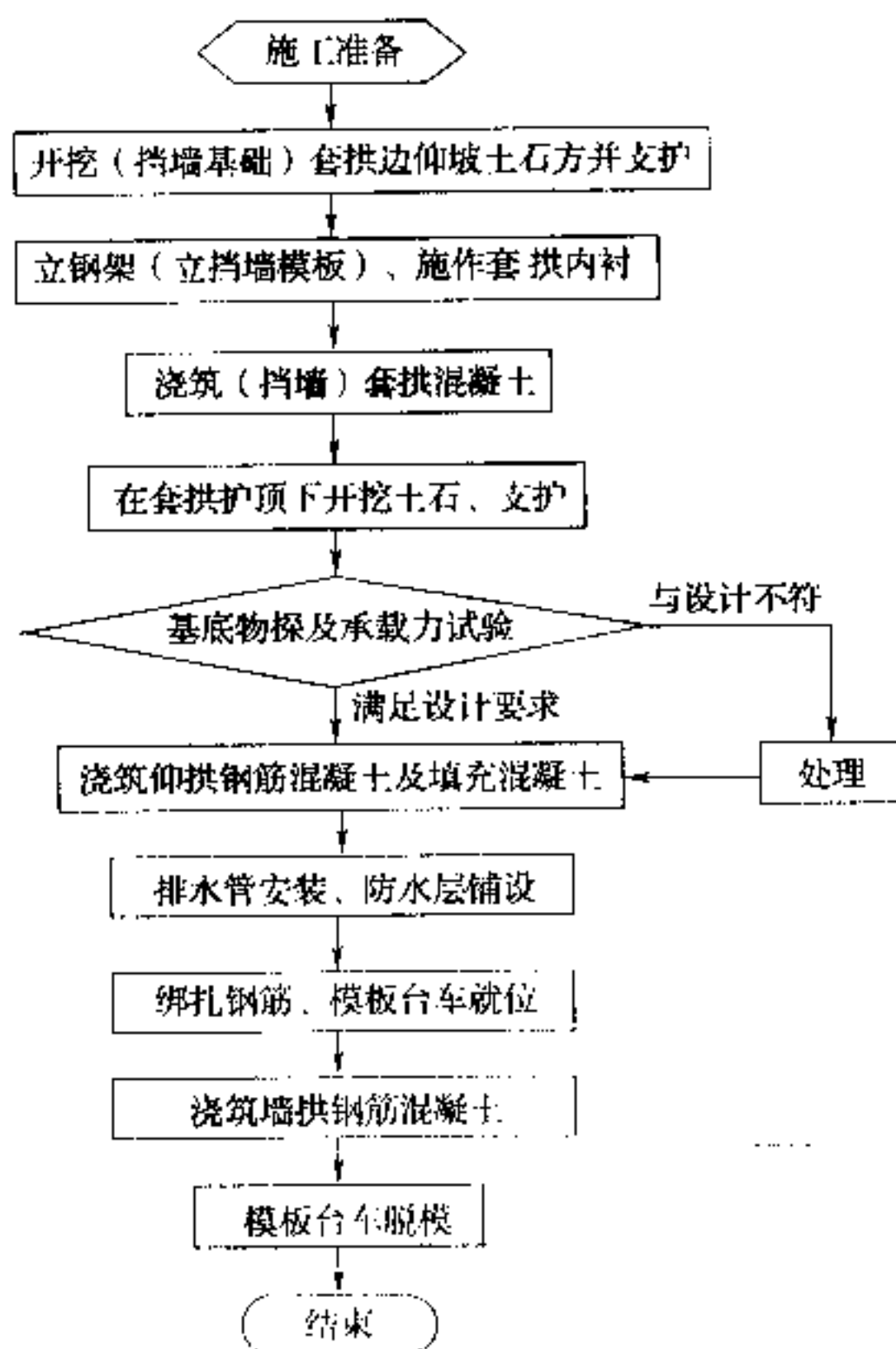


图 4.2.2 明洞暗作法施工工艺流程图

4.2.3 明洞宜及早施作，尽量避开雨季及严寒季节，明洞仰拱应安排在明洞拱墙衬砌施工前浇筑，并应符合下列规定：

1 当隧道采用爆破开挖时，宜在洞身掘进适当距离后施作明洞和洞门。

2 当隧道采用非爆破开挖时，宜先施作明洞和洞门，然后开挖隧道。

4.2.4 明洞基础应设置在稳固的地基上，当两侧墙体地基松软或软硬不均时，应采取措施加以处理，防止地基不均匀沉降。

4.2.5 明洞衬砌结构施工应符合下列规定：

1 明洞浇筑混凝土前应复测中线、高程和模板的外轮廓尺寸，确保衬砌不侵入设计轮廓线。

2 明洞混凝土的浇筑应设挡头板、外模和支架，明洞墙、拱混凝土应整体浇筑。

3 明洞混凝土达到设计强度的 70% 以上，且拱顶回填土高度达到 0.7 m 时，方可拆除明洞内模板。

4.2.6 明洞防排水施工应符合下列规定：

1 明洞外模拆除后应及时施作防水层及排水盲管，并与隧道的防水层和排水盲管顺接，保证排水畅通。

2 明洞施工应和隧道的排水侧沟、中心水沟的出水口及洞顶的截、排水设施统筹安排。

3 明洞外侧的排水盲管应先于填土完成，确保出水口通畅。

4 当采用复合防水板作隔水层时，应满足设计要求及铁道部现行《客货共线铁路路基工程施工技术指南》的相关规定。

4.2.7 明洞回填施工应符合下列规定：

1 明洞回填应在明洞外防水层及排水系统施作完成且混凝土强度达到设计强度的 70% 后进行。

2 侧墙回填应对称进行，石质地层中岩壁与墙背空隙较小时用与墙身同级混凝土回填；空隙较大时用片石混凝土或水泥砂浆砌片石回填密实。土质地层，应将墙背坡面挖成台阶状，用片石分层码砌，缝隙用碎石填塞密实。回填至与拱顶齐平后，再分层满铺填筑至设计高度。

3 拱顶回填分层厚度不大于 0.3 m，两侧回填土面的高差不得大于 0.5 m。采用机械回填时，应在人工夯填超过拱顶 1.0 m 以上后进行。

4 表土层需作隔水层时，隔水层应与边、仰坡搭接平顺，防止地表水下渗。

4.3 洞 门

4.3.1 隧道门及明洞门施工应避开雨季和严寒季节，并及早完成。

4.3.2 隧道门、明洞门的施工方法基本相近，其施工工艺流程见图 4.3.2。

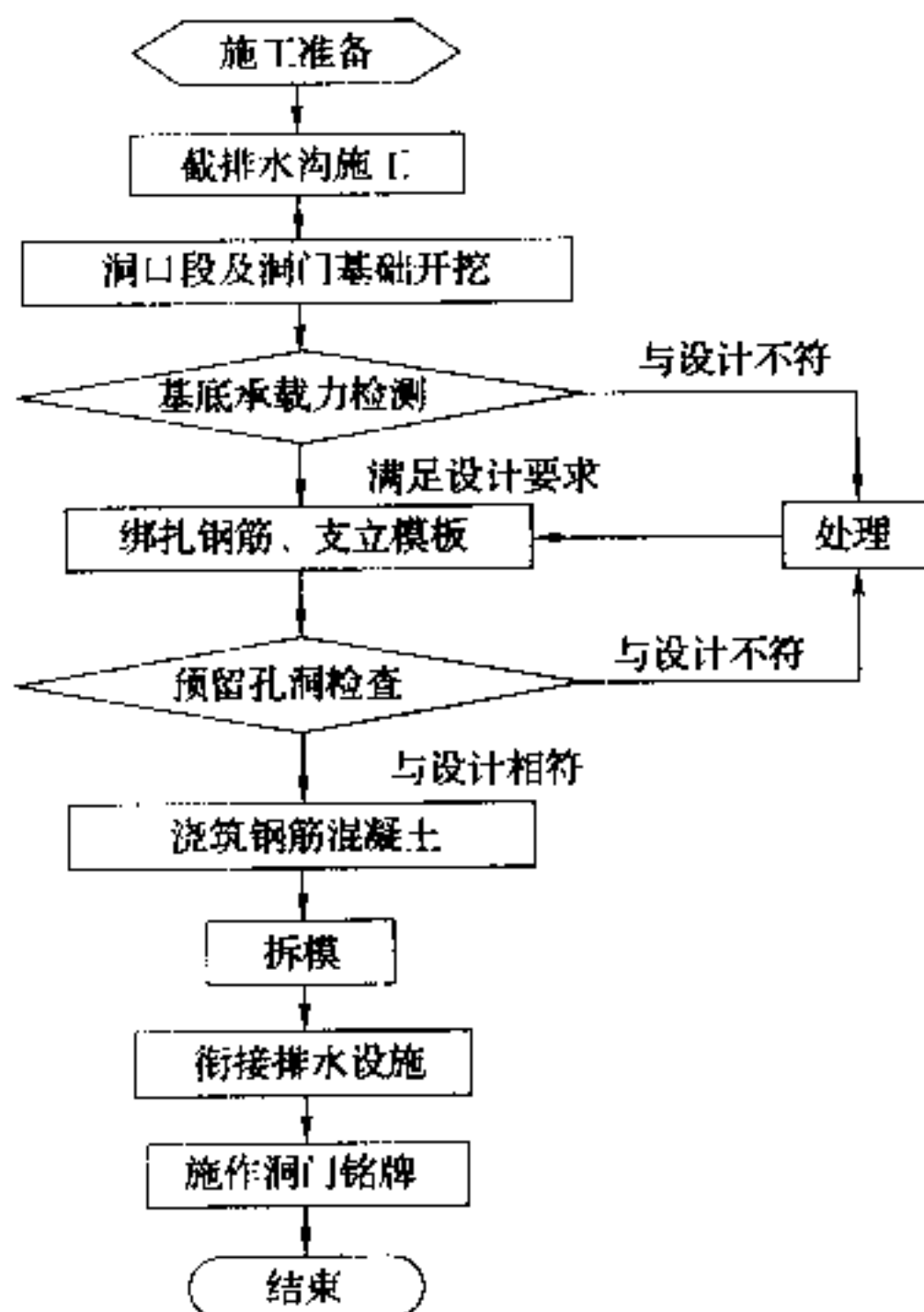


图 4.3.2 端墙式洞门施工工艺流程图

4.3.3 斜切式洞门施工工艺流程见图 4.3.3。

4.3.4 端墙式洞门施工应符合下列规定：

1 端墙应在土石方开挖后及时完成，基础超挖部分应用与基础同级混凝土和基础同步浇筑，端墙及挡、翼墙的开挖轮廓面应符合设计要求。

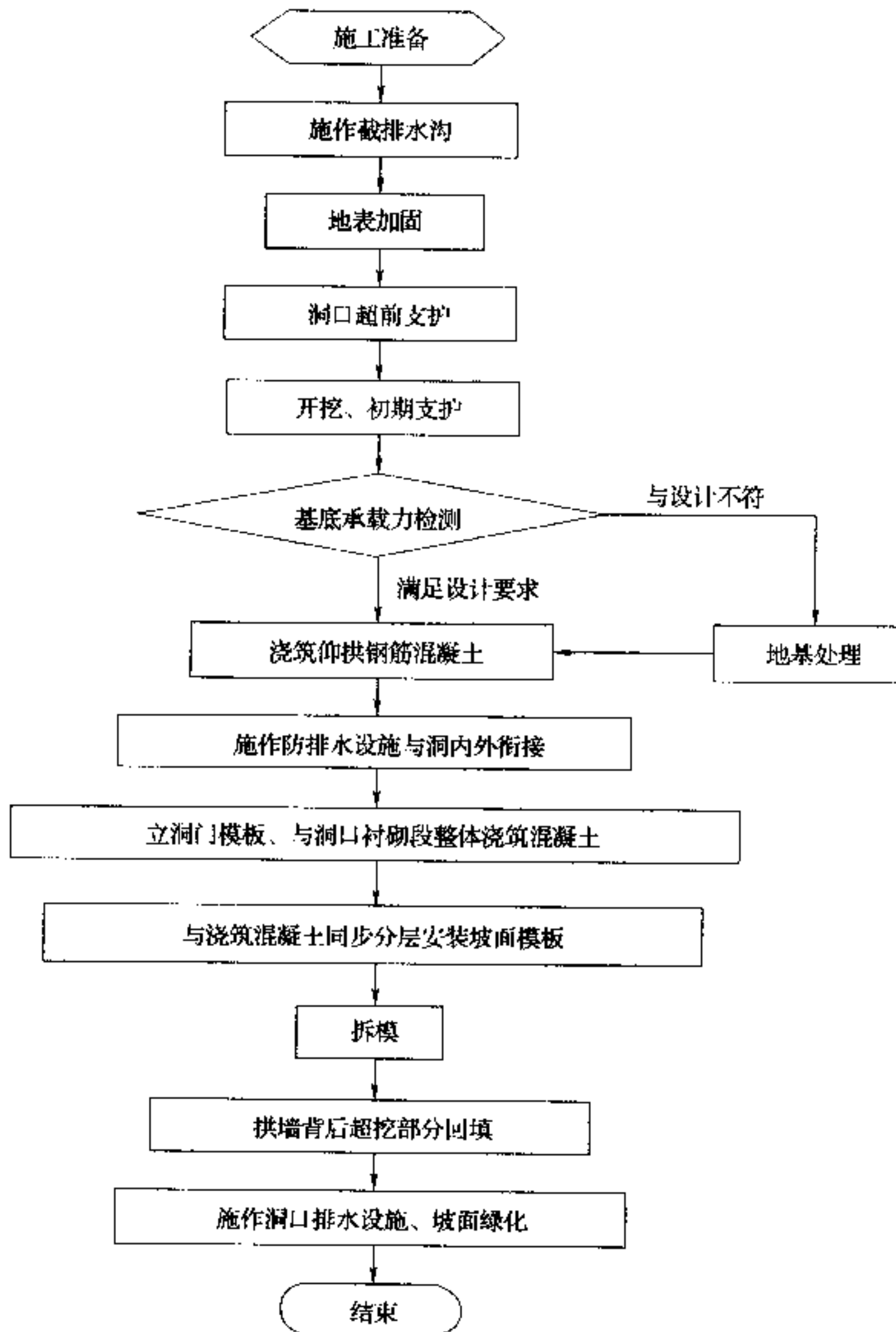


图 4.3.3 斜切式洞门施工工艺流程图

2 端墙及挡、翼墙基础的基底承载力必须满足设计要求，承载力可采用静力触探试验或标准贯入试验检测。

3 端墙及挡、翼墙基础位于软硬不均的地基上时，除按设计要求处理外，还应在软弱地基分界处设沉降缝。

4 端墙与洞口衬砌连接方式应符合设计要求。

5 端墙的泄水孔应与洞外排水系统及时连通。

6 隧道洞门端墙和挡、翼墙，挡土墙的反滤层、泄水孔、施工缝设置应符合设计要求。

7 隧道洞门的截、排水设施应与洞门工程同步施工，当端墙顶部水沟置于填土上时，填土必须夯填密实，必要时应加以铺砌。

8 隧道洞门检查梯、隧道铭牌、号标的设置应符合设计要求。

4.3.5 斜切式洞门施工应符合下列规定：

1 斜切式洞门坡面较平缓的，应尽量与自然地形坡度相一致，为避免开挖边、仰坡时局部坍塌破坏原地貌，宜采用非爆破方法开挖。

2 洞门混凝土达到设计强度后，及时回填边、仰坡超挖部分，恢复自然地形坡面。

4.3.6 浇筑混凝土洞门的模板及拆模应符合下列规定：

1 模板及支（拱）架应根据洞门结构形式、荷载大小、地基土类别、施工设备和材料供应等条件设计。

2 斜切式洞门斜坡面内外模板和挡头板应专门设计和制作，配套使用。

3 模板及支（拱）架应具有足够的强度、刚度和稳定性，能承受所浇筑混凝土的重力、侧压力及施工荷载。

4 模板及支架安装必须稳固牢靠，模板及支架与脚手架之间不得相互连接。模板接缝必须严密不漏浆。

5 模板与混凝土的接触面必须清理干净并涂刷脱模剂。

6 混凝土浇筑前，模板内的积水和杂物应清理干净。

7 拆除模板及支（拱）架的条件：当洞门结构跨度大于 8 m 时，混凝土强度必须达到其设计强度标准值的 100%；当洞门结构跨度小于等于 8 m 时，混凝土强度必须达到其设计强度标准值的 70%。

5 施 工 方 法

5.1 一 般 规 定

5.1.1 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。

5.1.2 隧道各作业面应逐步实现可视化管理，及时掌握各种信息，提高隧道施工的管理水平。

5.1.3 软弱破碎围岩宜采用岩土控制变形分析法施工技术。

5.1.4 采用钻爆法施工时，可在下列施工方法中选择：

- 1 全断面法。
- 2 台阶法（两台阶、三台阶、三台阶七步开挖法、环形导坑预留核心土法）。
- 3 中隔壁法（包括中隔壁法、交叉中隔壁法）。
- 4 双侧壁导坑法。

5.2 全 断 面 法

5.2.1 全断面法施工工序示意图见图 5.2.1。

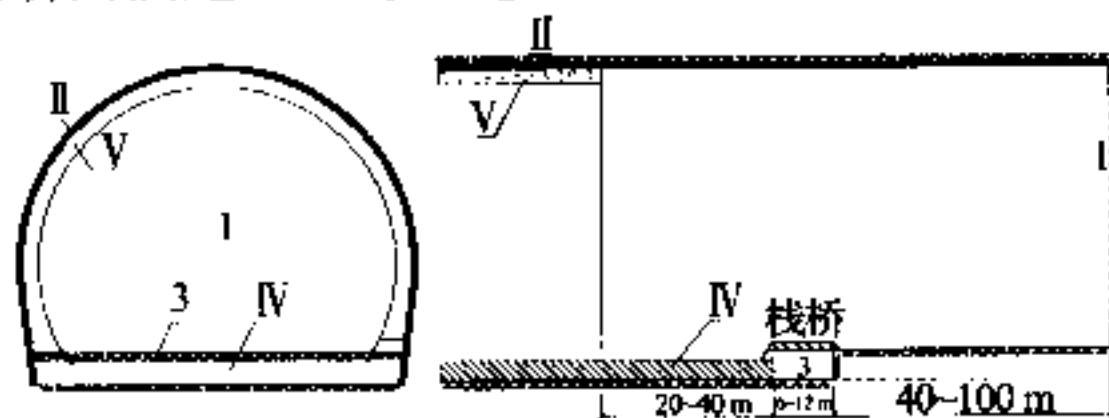


图 5.2.1 全断面法施工工序示意图

I—全断面开挖；II—初期支护；III—隧道底部开挖（捡底）；
IV—底板（仰拱）浇筑；V—拱墙二次衬砌

5.2.2 全断面法施工工艺流程图见图 5.2.2。

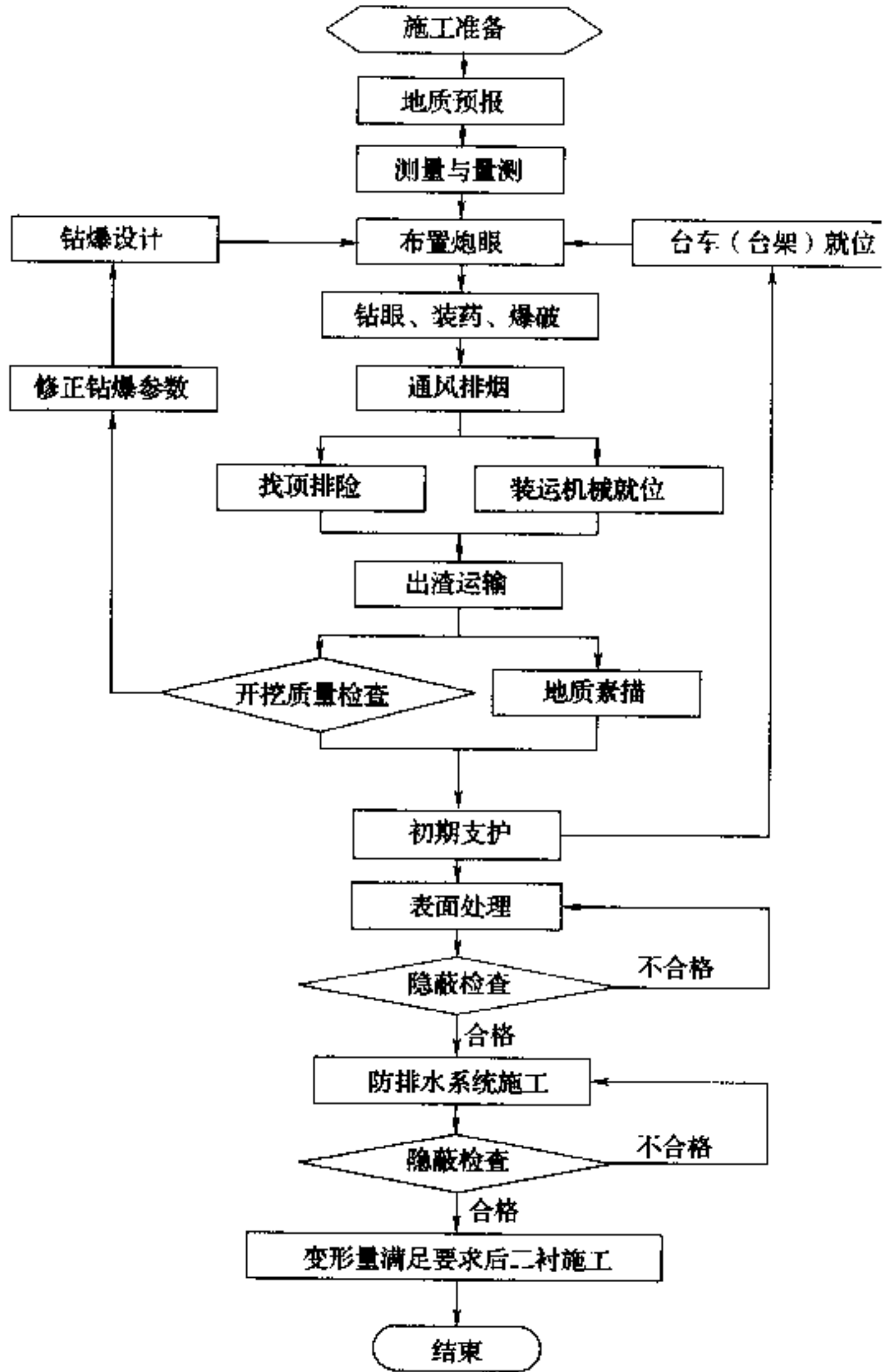


图 5.2.2 全断面法施工工艺流程图

5.2.3 全断面法施工应符合下列规定：

1 全断面法开挖空间大，工序少，应采用大型配套机械化作业，各道工序尽可能平行交叉作业，缩短循环时间。

2 全断面法开挖量大，爆破引起的震动较大，应严格控制一次同时起爆的炸药量，按钻爆设计要求控制炮眼间距、深度和角度，钻眼完毕，按炮眼布置图进行检查并做好记录，对不符合要求的炮眼应重钻，经检查合格后方可装药。

3 钻眼时，周边眼及掏槽眼应定人定岗，并严格控制周边眼外插角。每循环爆破后，应认真查看爆破效果，并根据超欠挖及炮眼痕迹保留率不断优化钻爆参数，改善爆破效果，减少超欠挖。

4 应确定合理的循环进尺，确保两个循环的接茬位置平滑、圆顺。

5 每循环爆破后及时找顶，初期支护施作前应按要求进行地质素描。

5.3 台 阶 法

5.3.1 台阶法有多种开挖方式，可根据地层条件、断面大小和机械配备情况合理选用。台阶法可分上、下两部或上、中、下三部开挖，其演变的有三台阶七步开挖法、弧形导坑预留核心土法等。

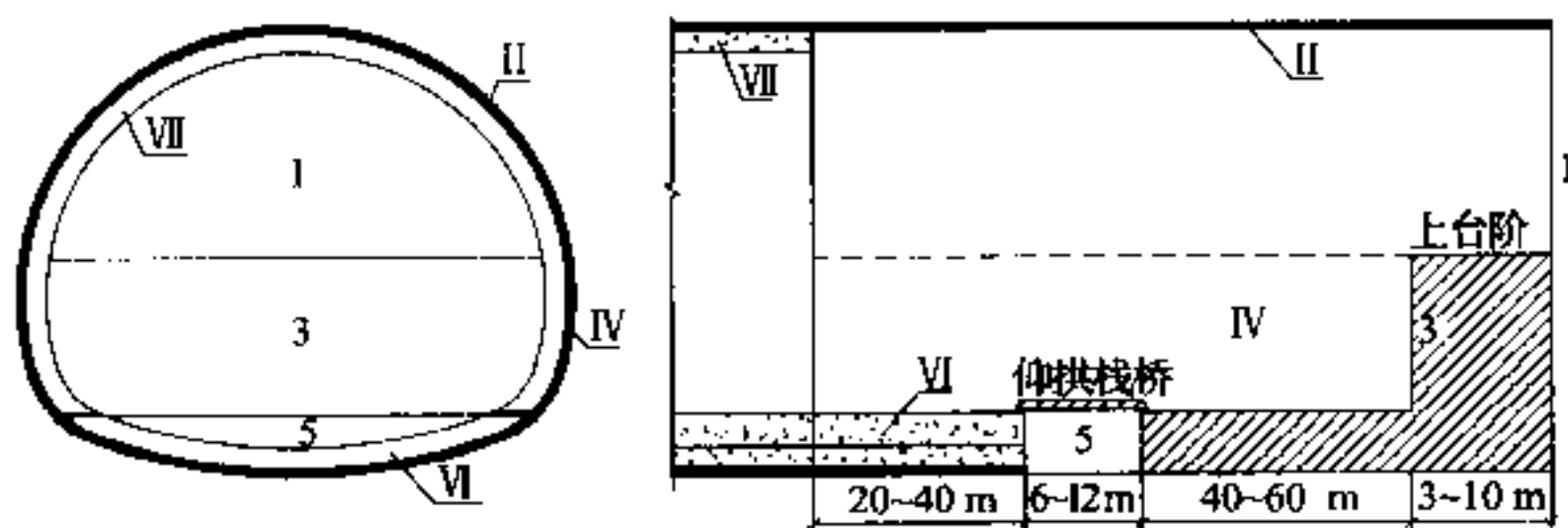


图 5.3.2—1 台阶法施工工序示意图

1—上部开挖；Ⅱ—上部初期支护；3—下部开挖；Ⅳ—下部初期支护；
5—底部开挖（检底）；Ⅵ—仰拱及混凝土填充；Ⅶ—二次衬砌

5.3.2 两部台阶法施工工序示意图见图 5.3.2—1，弧形导坑预留核心土施工工序示意图见图 5.3.2—2。

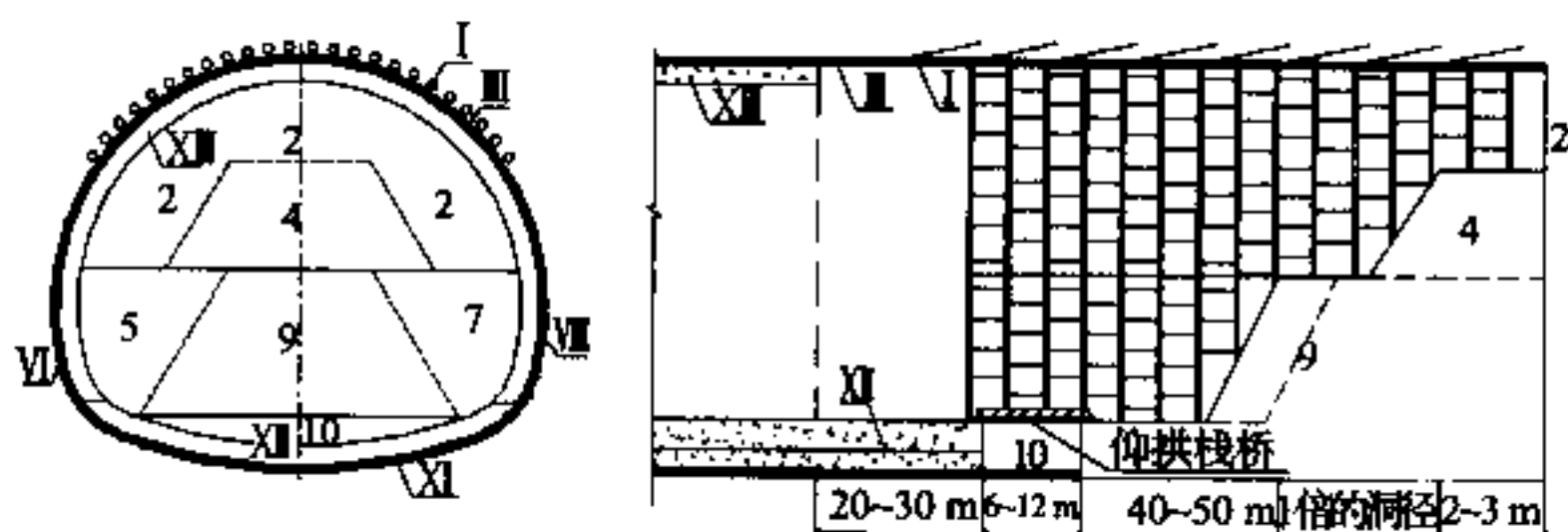


图 5.3.2—2 弧形导坑预留核心土施工工序示意图

I—超前支护；2—上部弧形导坑开挖；III—上部初期支护；4—上部核心土；5、7—两侧开挖；VI、VIII—两侧初期支护；9—下部核心土开挖；10—仰拱开挖（检底）；XI—仰拱初期支护；XII—仰拱及填充混凝土；XIII—拱墙二次衬砌

5.3.3 台阶法施工工艺流程见图 5.3.3。

5.3.4 台阶法施工应符合下列规定：

1 根据围岩条件和施工机械配备情况合理确定台阶长度、台阶高度及台阶数量，其各部形状应有利于保持围岩稳定的前提下尽量便于机械作业。

2 当围岩自稳能力较好，隧道开挖跨度不大时，为方便作业，台阶长度宜控制在 10 ~ 50 m 以内；围岩稳定性较差时，台阶长度宜控制在 3 ~ 10 m。

3 上部断面使用钢架时，可采用扩大拱脚和施作锁脚锚杆（管）等措施，防止拱部下沉变形。上下断面初期支护钢架连接应平顺，螺栓连接应牢固。

4 围岩整体性较差时，施工中应采取措施减少下部开挖时对上部和支护的扰动，下部断面开挖应两侧交错进行，下部断面应在上部断面喷混凝土达到一定强度后开挖。

5 当围岩不稳定时进尺宜为 1 ~ 1.5 m，落底后应立即施作初期支护。

6 仰拱应及时施作，使支护及早闭合成环。

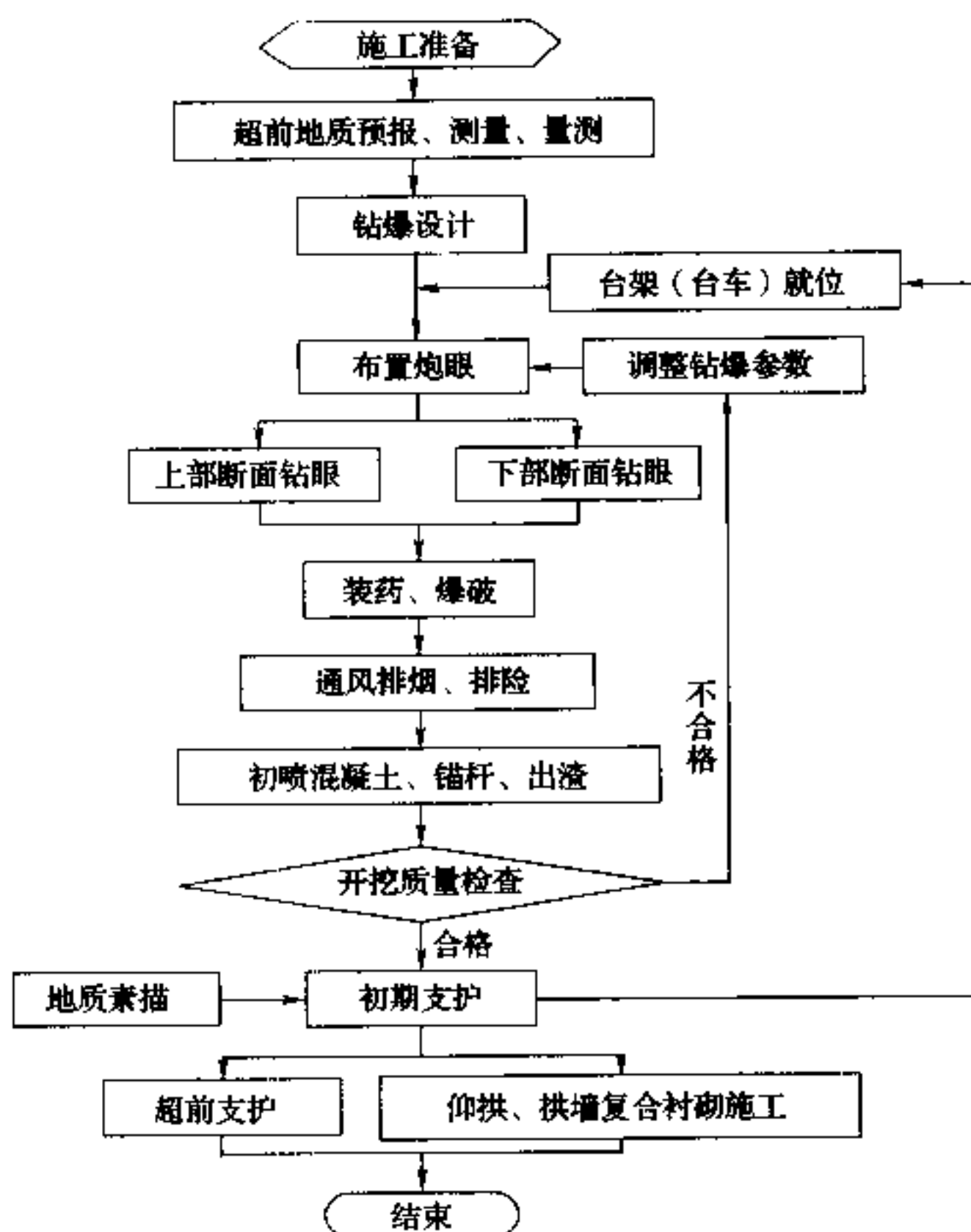


图 5.3.3 台阶法施工工艺流程图

5.4 三台阶七步开挖法

5.4.1 三台阶七步开挖法是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。

5.4.2 三台阶七步开挖法施工工序示意图见图 5.4.2。

5.4.3 三台阶七步开挖法施工工艺流程见图 5.4.3。

5.4.4 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，必要时辅以弱爆

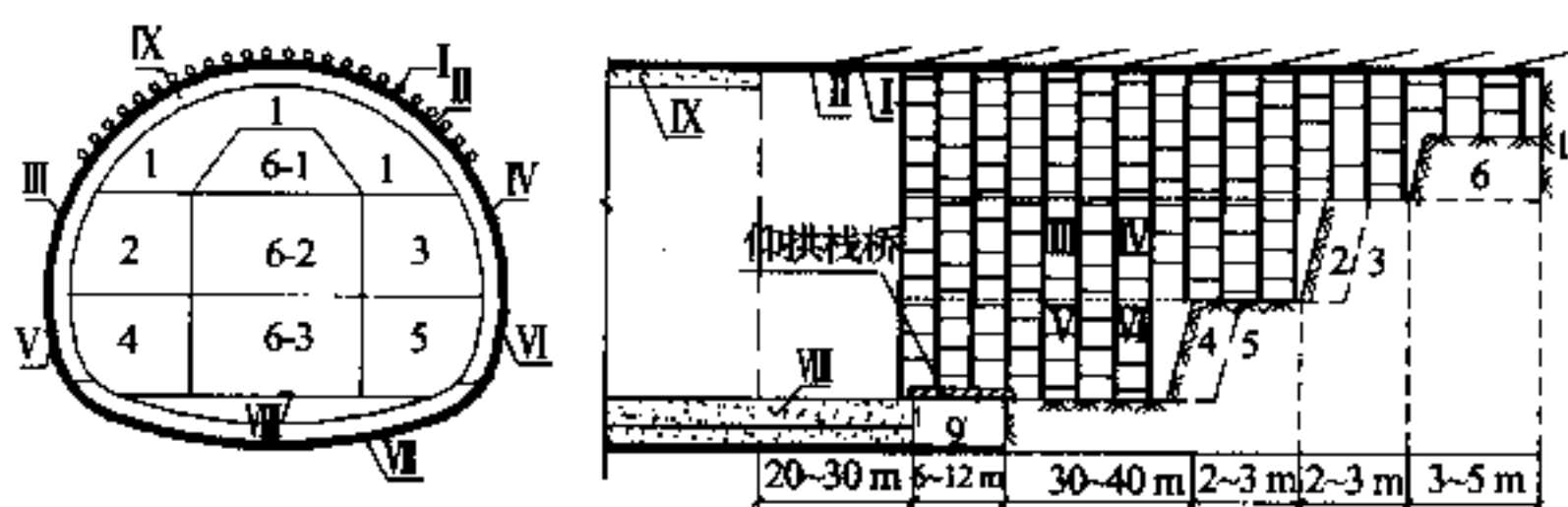


图 5.4.2 三台阶七步开挖法施工工序示意图

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

破，各分步平行作业，平行施作初期支护，各分部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 3~5 m，宽度宜为隧道开挖宽度的 $1/3 \sim 1/2$ 。开挖循环进尺应根据初期支护钢架间距确定，最大不得超过 1.5 m，上台阶开挖矢跨比应大于 0.3。

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，最大不得超过 1.5 m，开挖高度宜为 3~3.5 m，左、右侧台阶错开 2~3 m。

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 2~3 m，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

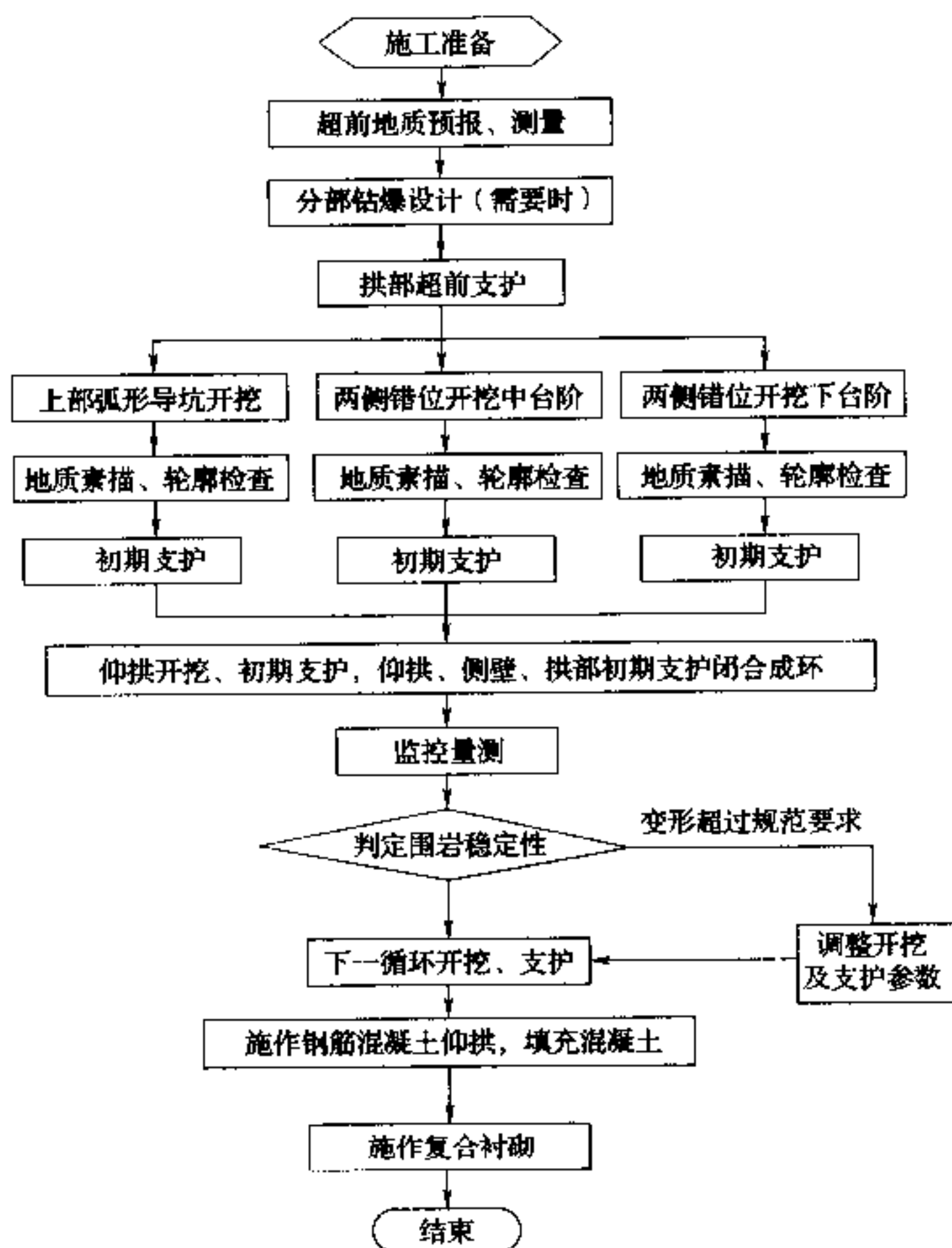


图 5.4.3 三台阶七步开挖法施工工艺流程图

分段长度宜为 4 ~ 6 m。

5.5 中隔壁法 (CD 法)

5.5.1 中隔壁法 (CD 法) 是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壁临时支护, 再分台阶开挖隧道另一侧, 并进行相应

的初期支护的施工方法。

5.5.2 中隔壁法施工工序示意图见图 5.5.2。

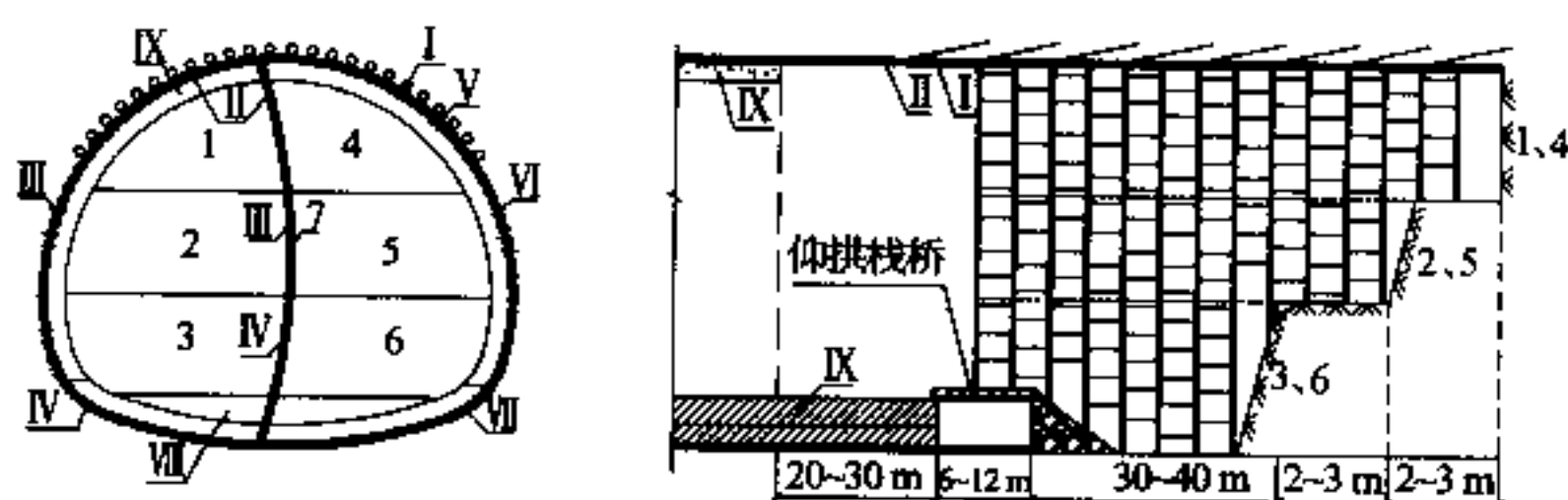


图 5.5.2 中隔壁 (CD) 法施工工序示意图

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

5.5.3 中隔壁法施工工艺流程见图 5.5.3。

5.5.4 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 10 ~ 20 m，上下断面的距离宜保持 3 ~ 5 m。

2 各部开挖时，相邻部位的喷混凝土强度应达设计强度的 70% 以上。

3 先行侧的中隔壁应设置为向外鼓的弧形。

4 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量测结果确定，不宜大于 15 m。临时支护拆除后应及时施作仰拱和二次衬砌。

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。

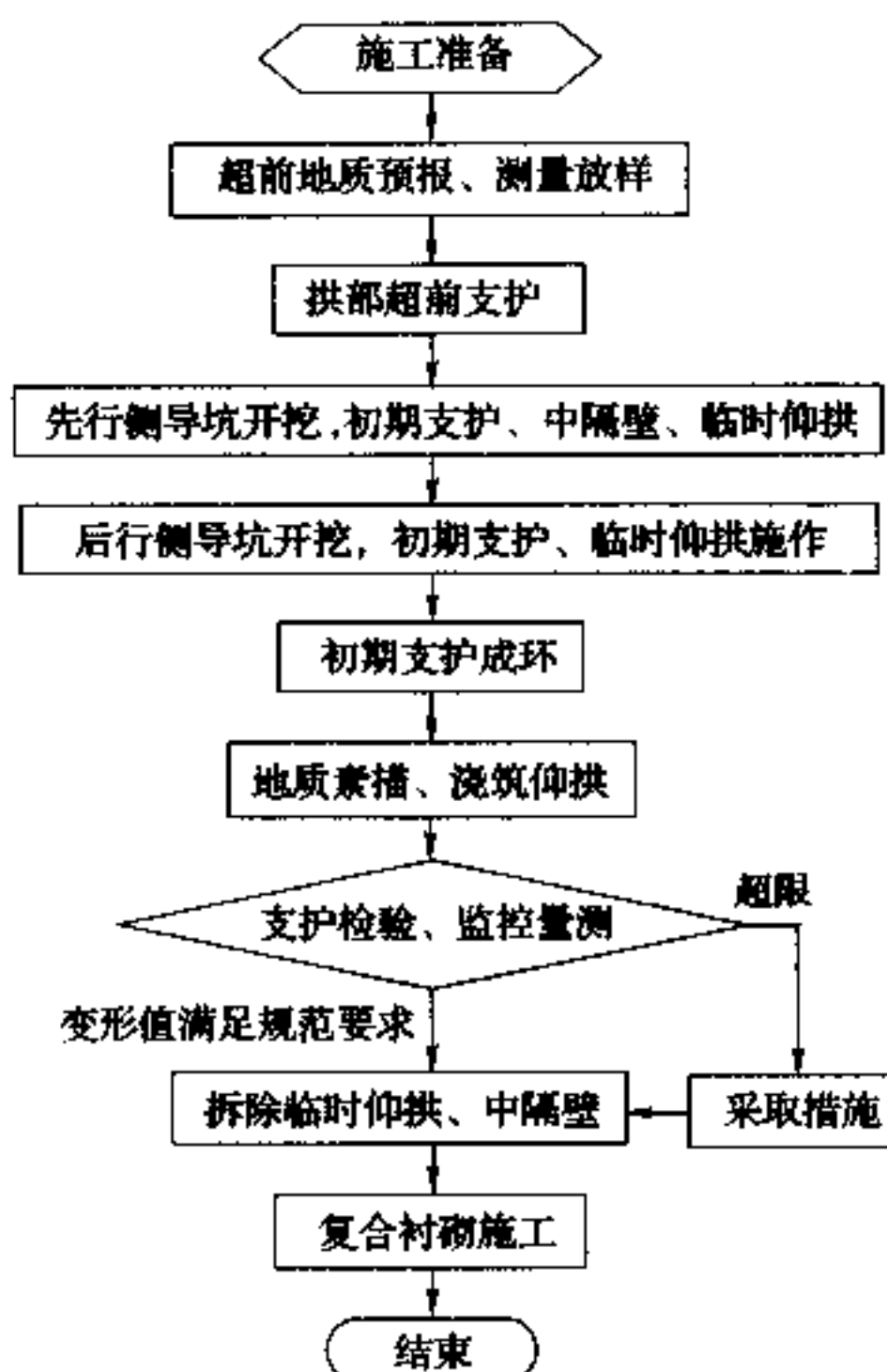


图 5.5.3 中隔壁法施工工艺流程图

5.6 交叉中隔壁法 (CRD)

5.6.1 交叉中隔壁法 (CRD 法) 是分部开挖、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。

5.6.2 交叉中隔壁法施工工序示意图见图 5.6.2。

5.6.3 交叉中隔壁法施工工艺流程见图 5.6.3。

5.6.4 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, 一般水平方向分两部、上下分二至三层开挖。

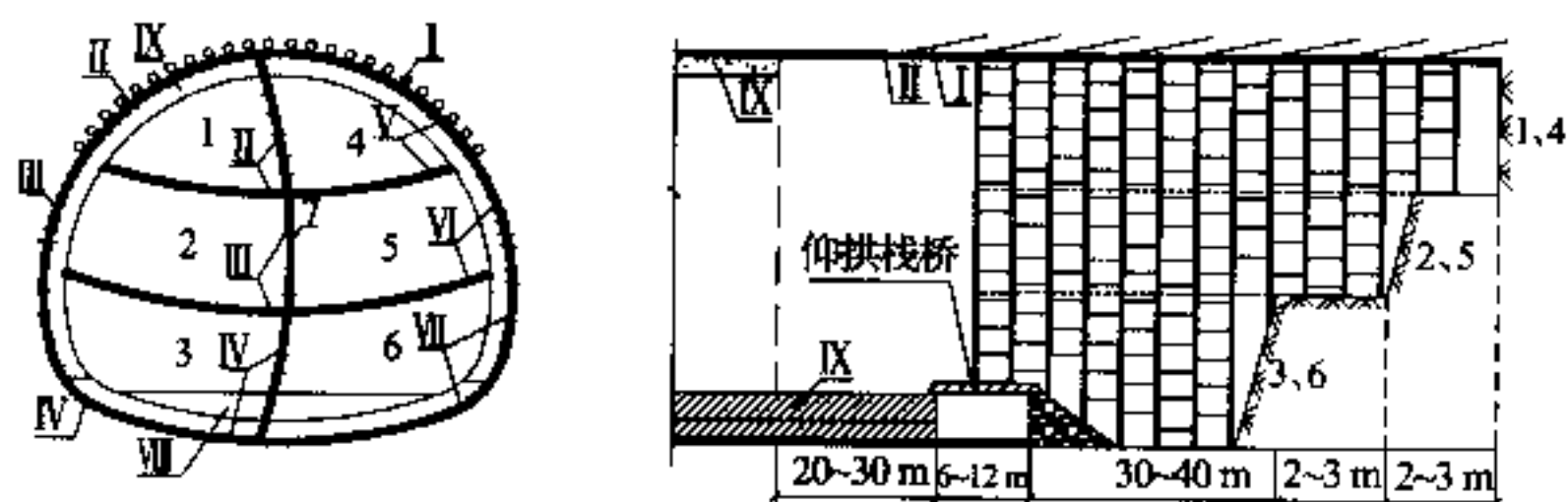


图 5.6.2 交叉中隔壁 (CRD) 法施工工序示意图

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

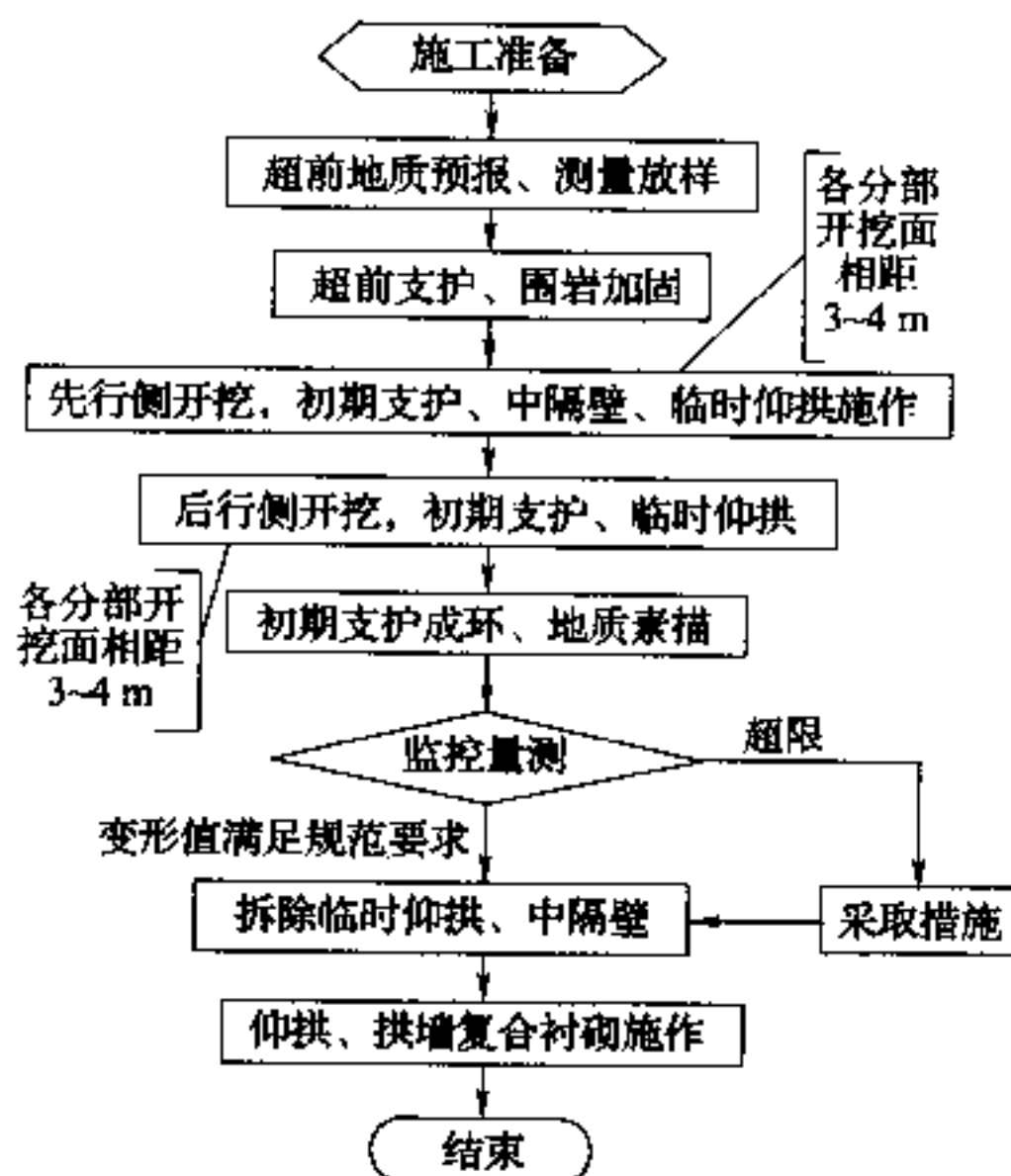


图 5.6.3 交叉中隔壁法施工工艺流程图

2 先行施工部位的临时支撑（中隔壁、临时仰拱），均应有向外（下）鼓的弧度。

3 各部开挖及支护应自上而下，开挖后及时施作初期支护、中隔壁、临时仰拱，步步成环。

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

5 宜缩短各部开挖工作面的间距，使初期支护尽早封闭成环。

6 根据监控量测结果，中隔壁及临时仰拱在仰拱浇筑前逐段拆除，每段拆除长度宜不大于 15 m。

5.7 双侧壁导坑法

5.7.1 双侧壁导坑法是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，然后再根据地质条件、断面大小，对剩余部分采用二部或三部开挖的方法。

5.7.2 双侧壁导坑法施工工序示意图见图 5.7.2。

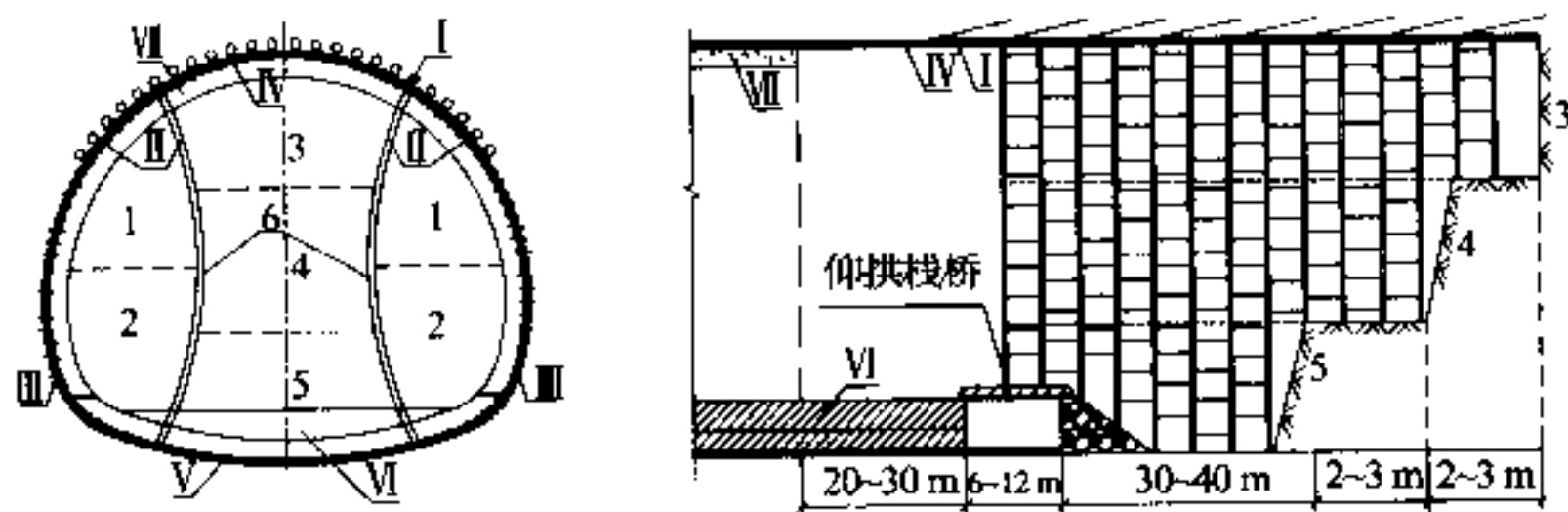


图 5.7.2 双侧壁导坑法施工工序示意图

- 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

5.7.3 双侧壁导坑法施工工艺流程见图 5.7.3。

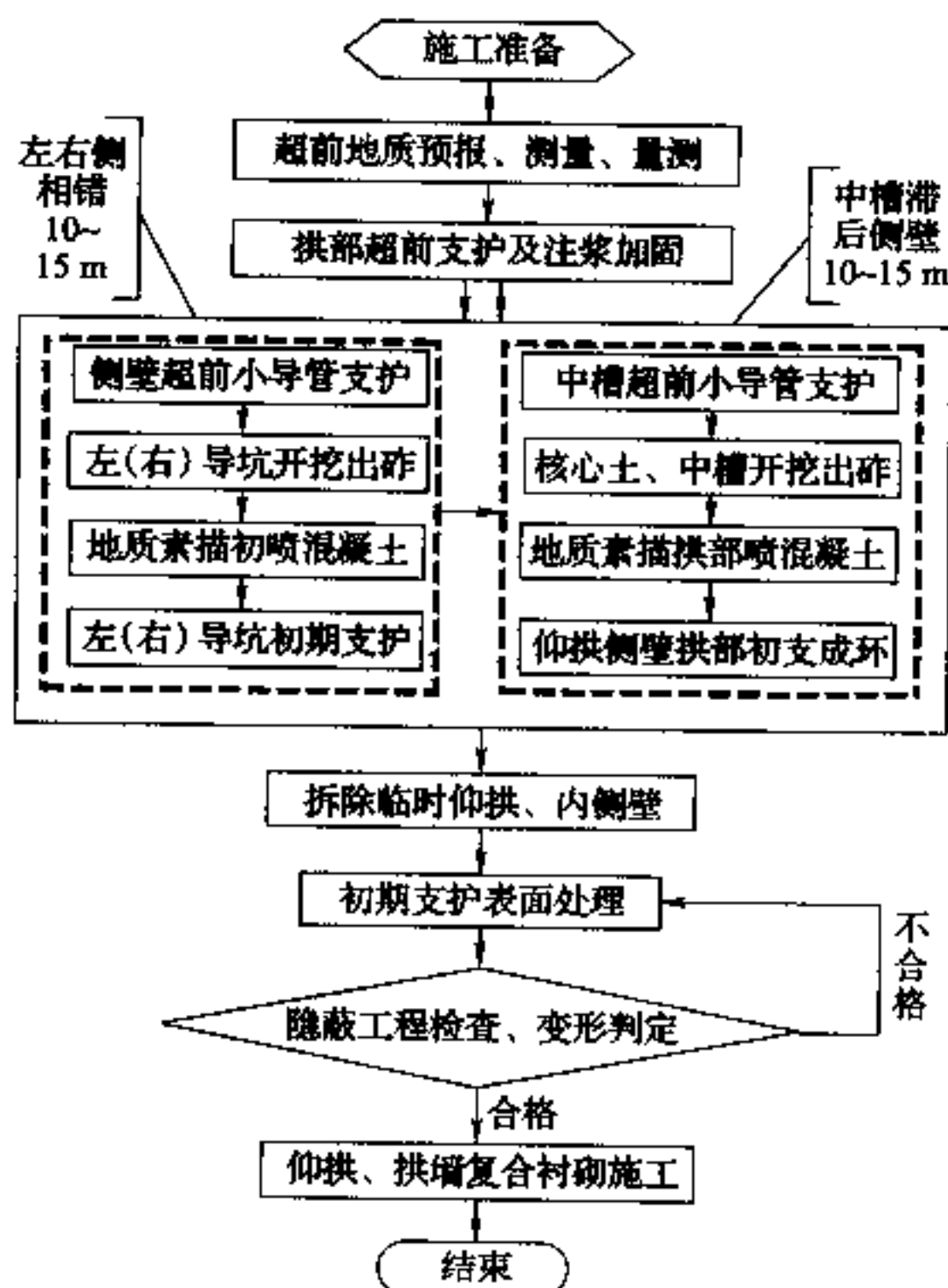


图 5.7.3 双侧壁导坑法施工工艺流程图

5.7.4 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 $10 \sim 15 \text{ m}$ ，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的连接是难点，在

两侧壁导坑施工中，钢架的位置应准确定位，确保各部架设钢架连接后在同一个垂直面内，避免钢架发生扭曲。

5 根据监控量测信息，初期支护稳定后拆除临时支护，一次拆除长度不得大于 15 m，并加强监控量测。

6 临时支护拆除完成后，应及时施作仰拱及二次衬砌。

6 辅助施工方法与措施

6.1 一般规定

6.1.1 隧道穿越断层破碎带、软弱围岩段或富水、浅埋等地段时，应根据围岩情况、施工方法和机械配置，选择辅助施工方法与措施的一种或数种。

6.1.2 地表处理有下列方法（适用于洞口段、浅埋隧道）：

- 1 井点降水。
- 2 注浆预加固（渗透注浆）。
- 3 锚杆（桩）、钢管桩加固。
- 4 高压旋喷桩、搅拌桩加固。

6.1.3 洞内处理有下列方法与措施（适用于洞口段、浅埋隧道、深埋隧道）：

1 稳定开挖工作面的方法与措施：

- 1) 超前预支护（超前锚杆、超前小导管、超前管棚）。
- 2) 临时仰拱。
- 3) 扩大拱脚及锁脚锚杆。
- 4) 喷射混凝土封闭开挖工作面。
- 5) 正面锚杆。

2 地下水处理及围岩加固的方法与措施：

- 1) 洞内井点降水。
- 2) 开挖工作面预注浆（全断面封闭注浆、周边半封闭注浆、小导管注浆、局部注浆、高压旋喷注浆等）。
- 3) 冻结法。
- 4) 钻孔排水。

5) 泄水洞等。

6.2 井点降水

6.2.1 井点降水适用于地下水位较高的粉砂土、砂质粉土或淤泥质夹薄层砂性土等地层。

6.2.2 井点降水应按照场地条件、周围地层的水文地质条件、降水深度及设备条件等进行专项设计。

6.2.3 井点降水必须加强监测并有相应的保护措施，防止地表沉降超限，确保周围建筑物的安全。

6.2.4 井点降水应使地下水位保持在仰拱以下 1.5 m。停止降水时，必须验算涌水量和隧道明洞结构的抗浮稳定性，当不能满足要求时，不得停泵。

6.2.5 各类井点降水的适用条件参见表 6.2.5。

表 6.2.5 各类井点降水适用范围

井点类别	适合地层	土的渗透系数 (m/d)	降低水位深度 (m)
单层轻型井点	粉砂、粉土	0.1 ~ 50	3 ~ 6
多层轻型井点		0.1 ~ 50	6 ~ 12 (由井点层数而定)
电渗井点	黏性土 (含水量大, 普通降水方法不适用的地层)	< 0.1	根据选用的井点确定
管井井点	砂土、碎石土	20 ~ 200	3 ~ 5
喷射井点	粉质黏土、粉砂	0.1 ~ 50	8 ~ 30
深井井点	砂土、碎石土	10 ~ 250	> 15

6.2.6 当隧道地表条件不适合布置井点时，可在隧道内设置管井井点降水。

6.2.7 降水过程中，应加强井点降水系统的维护和检查，保证不断抽水。拆除多层井点应自底层开始逐层向上进行，在下层井点拆除期间，上部各层井点应继续抽水。

6.3 地表注浆加固

6.3.1 当隧道处于埋深浅、地面坡度较平缓、岩层松散破碎、岩溶地区、地下水位较高等情况下宜采用地表注浆预加固和堵水的方法。

6.3.2 地表注浆参数应通过试验选取。

6.3.3 地表注浆顺序宜采用先外侧、后内侧；先洞口侧、后洞内侧；地下水有流动时先下游、后上游。应严格控制内圈注浆时浆液的扩散流失，保证充分固结注浆圈范围内的破碎岩体。当地层松软破碎时，宜采用跳孔注浆方式。

6.3.4 地表注浆宜采用单向袖阀式注浆工法施工。

6.3.5 地表注浆后应对其效果进行判断和检测，按注浆目的不同，采用不同的检测方法，常用的有下列检测方法：

- 1 根据地下水位的变化判断注浆效果。
- 2 根据抽水试验判断注浆效果。
- 3 在注浆前后用钻孔透视仪测定岩层裂隙和溶洞充填程度。
- 4 钻孔检测：可取芯检测或用钻孔摄影仪（电视）拍摄孔壁图像进行检测。
- 5 声波测试。

6.3.6 高压旋喷注浆及拌和桩加固的检测方法有开挖检查、钻孔检查、载荷试验等。

6.4 超前小导管

6.4.1 超前小导管适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。

6.4.2 小导管注浆工艺流程见图 6.4.2。

6.4.3 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，

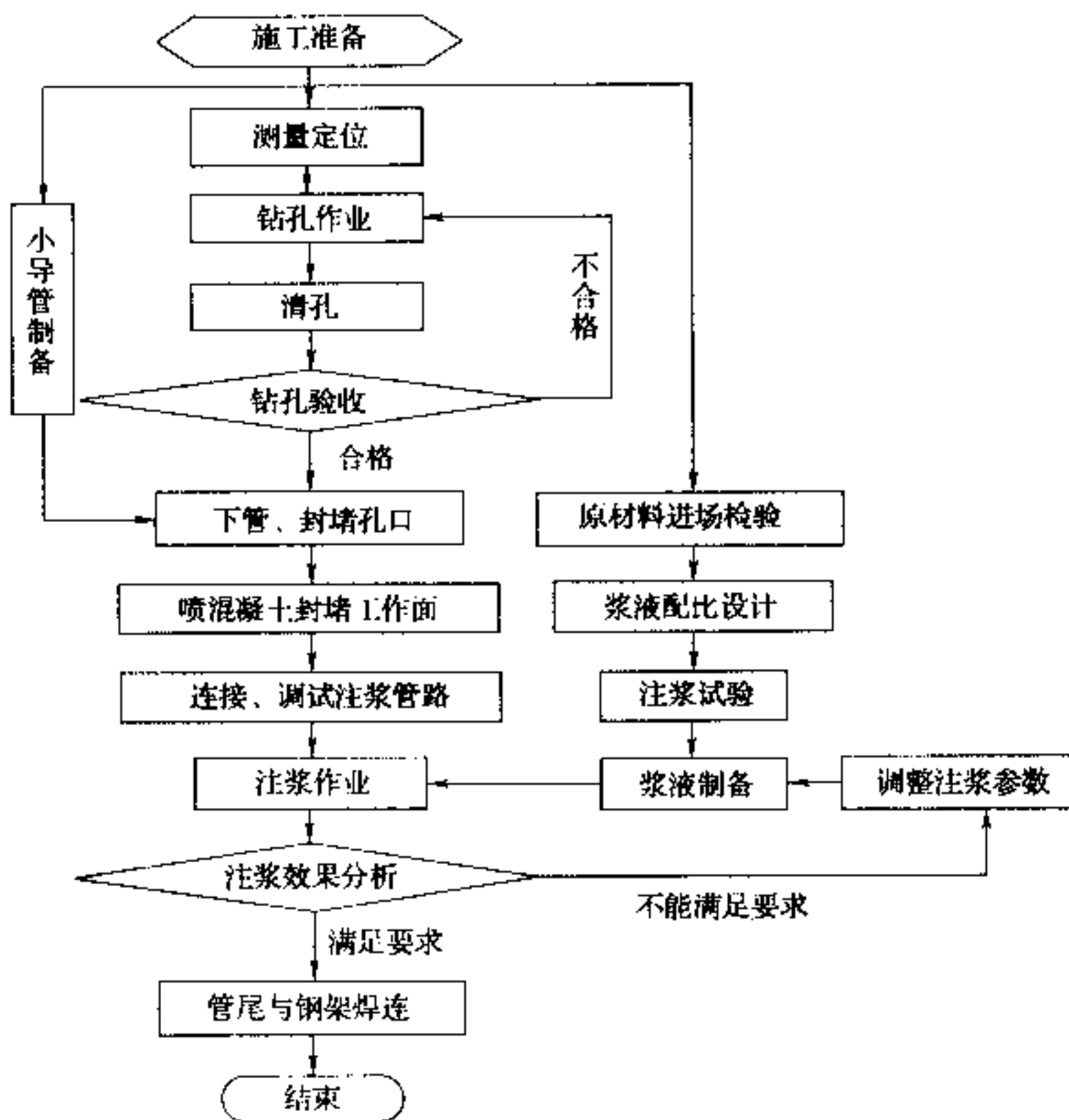


图 6.4.2 小导管注浆工艺流程图

一般间距为 300 ~ 500 mm。

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，一般外插角为 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。

4 小导管长度一般为 3.5 ~ 5.0 m，小导管之间的搭接长度不得小于 1.0 m。

5 小导管应同钢架配合使用。

6.4.4 小导管的制作应符合下列规定：

1 一般采用直径 38 ~ 50 mm 的无缝钢管制作。

2 在小导管的前端做成约 10 cm 长的圆锥状，在尾端焊接

直径6~8 mm 钢筋箍。距后端 100 cm 内不开孔, 剩余部分按 20~30 cm梅花形布设直径 6 mm 的溢浆孔。

6.4.5 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, 一般不大于 50 mm, 孔深视小导管长度确定。
- 4 采用吹管法清孔。
- 5 在孔口端用沾有 CS 胶泥的麻丝缠绕成不小于孔径的纺锤形柱塞, 把小导管插入孔内, 带好丝扣保护帽, 用风钻或风镐打入到设计深度, 使麻丝柱塞与孔壁压紧。
- 6 小导管外露长度一般为 30 cm, 以便连接孔口阀门和管路。

6.4.6 第一循环小导管安设后应对开挖工作面进行喷混凝土封闭, 厚度为 10~15 cm。封闭范围为开挖工作面及临近开挖工作面 3 m 范围的环向开挖面。

6.4.7 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, 压力一般不大于 1.0 MPa, 并根据设计和试验结果确定注浆参数。
- 2 注浆材料可按表 6.4.7 参照选用。

表 6.4.7 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

3 水泥浆液应采用拌和桶配制, 配制水泥浆或稀释水玻璃浆液时, 应防止杂物混入, 拌制好的浆液必须过滤后使用。

4 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。

5 配制好的浆液应在规定时间内注完，随配随用。

6 注浆顺序为由下至上，浆液先稀后浓、注浆量先大后小，注浆压力由小到大。

7 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，则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。

8 注浆压力应符合设计要求，浆液必须充满钢管及其周围的空隙。

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

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

6.4.9 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。

6.5 超前锚杆

6.5.1 超前锚杆是沿开挖轮廓线，以一定的外插角打入开挖工作面，形成对前方围岩的预支护。它主要适用于围岩应力较小，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。其施工工艺流程见图 6.5.1。

6.5.2 超前锚杆施工应符合下列规定：

1 超前锚杆一般采用砂浆锚杆，也可采用组合中空锚杆，砂浆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。

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

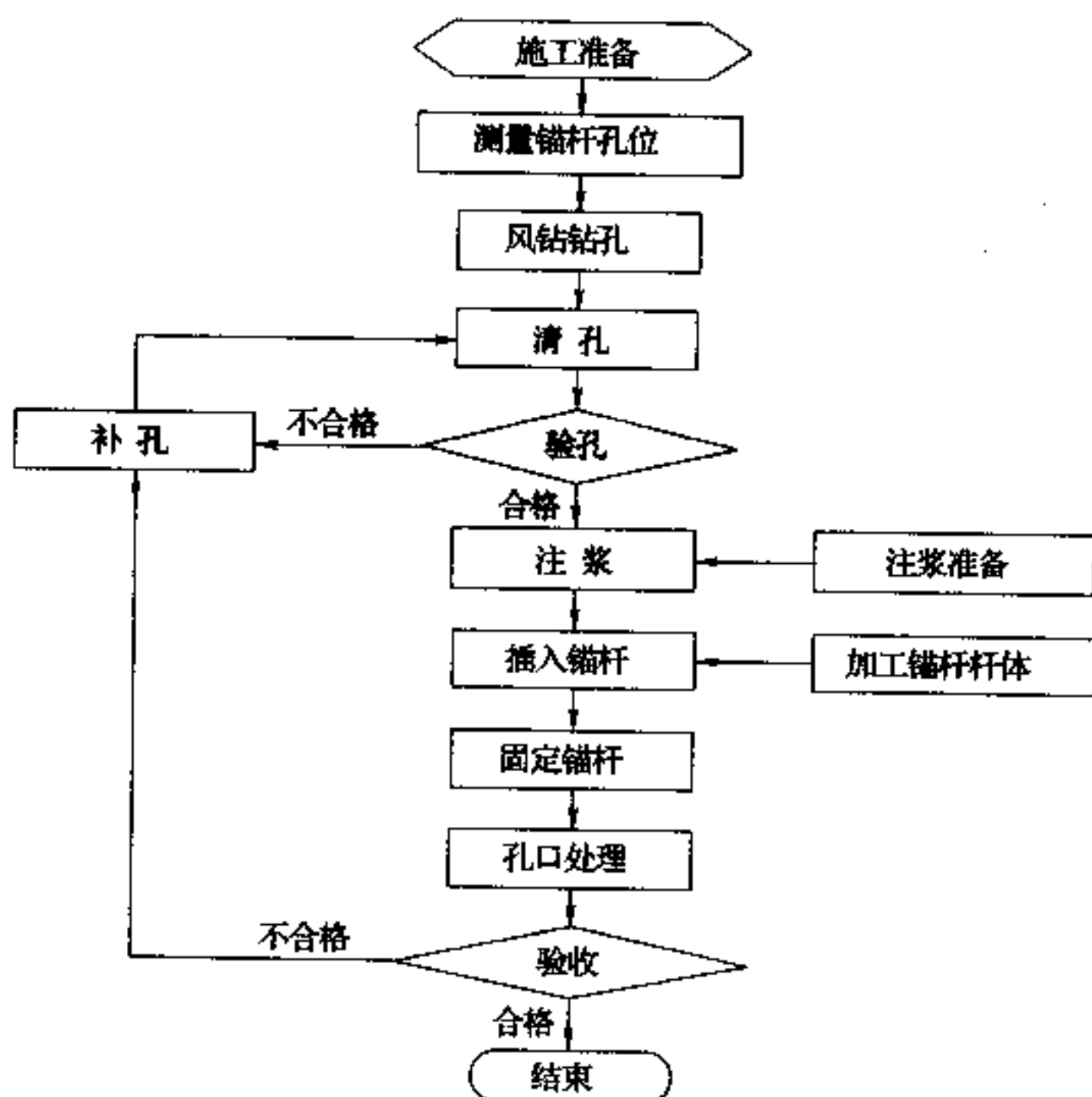


图 6.5.1 超前锚杆施工工艺流程图

3 注浆：砂浆锚杆可利用注浆泵往孔内注入早强水泥砂浆。注浆时，以水引路，将拌和好的砂浆装入注浆器并充满管路，并将注浆管插入到管口离孔底 10 cm。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 $\frac{2}{3}$ 以上时停止注浆。组合中空锚杆注浆工艺应符合《组合中空锚杆技术条件》的规定。

4 推入锚杆，孔内多余的砂浆被挤出孔口，将锚杆端头与钢架焊接牢固。

6.6 超前管棚

6.6.1 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。

6.6.2 管棚超前支护参数的选择应满足下列要求：

- 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，一般为直径 70 ~ 180 mm，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，一般为 10 ~ 40 m。
- 4** 管棚外插角一般为 $0^{\circ} \sim 3^{\circ}$ （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 3 m。

6.6.3 管棚钻机的选择应满足下列要求：

- 1** 应具备可钻深孔的大扭矩，又要有能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。

6.6.4 管棚钻孔、安设施工应符合下列规定：

- 1** 当钻进地层易于成孔时，一般采用先钻孔、后插管（引孔顶入法）的方法。即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。
- 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，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。
- 3** 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。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，要求在钻机作业过程中导向拱架不变形、不移位。
- 4** 洞口管棚一般采用套拱定位，套拱部位开挖应视现场地质条件及配套设备确定，要做到套拱底脚坚实、孔口管位置准

确。

5 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。

6 管棚安装后, 管口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。

7 管棚注浆前, 应向开挖工作面、拱圈及孔口管周围岩面喷射厚 10 cm 厚的 C25 混凝土, 以防钢管注浆时岩面缝隙跑浆。

8 注浆后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, 直接充填即可。

6.6.5 管棚引孔顶入法工艺流程见图 6.6.5。

6.6.6 管棚跟管钻进工艺流程见图 6.6.6。

6.7 预 注 浆

6.7.1 预注浆施工工艺流程见图 6.7.1。

6.7.2 注浆方式的选择应满足下列要求:

1 目前常用的注浆方式主要有全断面封闭预注浆、周边半封闭预注浆、小导管注浆、局部预注浆、地表注浆等几种, 施工时应根据注浆的目的和工程地质条件等因素综合考虑。

2 当隧道埋深在 20 m 以内时, 可采用地表注浆加固围岩; 当隧道埋深超过 20 m 时, 则应采用开挖工作面预注浆。

3 对于排水受限制的山岭隧道, 遇岩石裂缝或断层破碎带时, 可采用以全断面注浆为主, 局部注浆法为辅的注浆方式。

4 围岩破碎、裂隙发育, 可采用周边半封闭预注浆为主, 辅以小导管注浆进行堵水和加固。

5 断面较小的单线隧道, 岩层松散和断层破碎带, 可用小导管注浆加固围岩。

6 裂隙集中涌水, 可采用小导管局部注浆堵水。

6.7.3 根据设计和围岩情况可采用全孔一次性注浆、分段前进式注浆、分段后退式注浆三种方式, 其适用条件和施工方法如

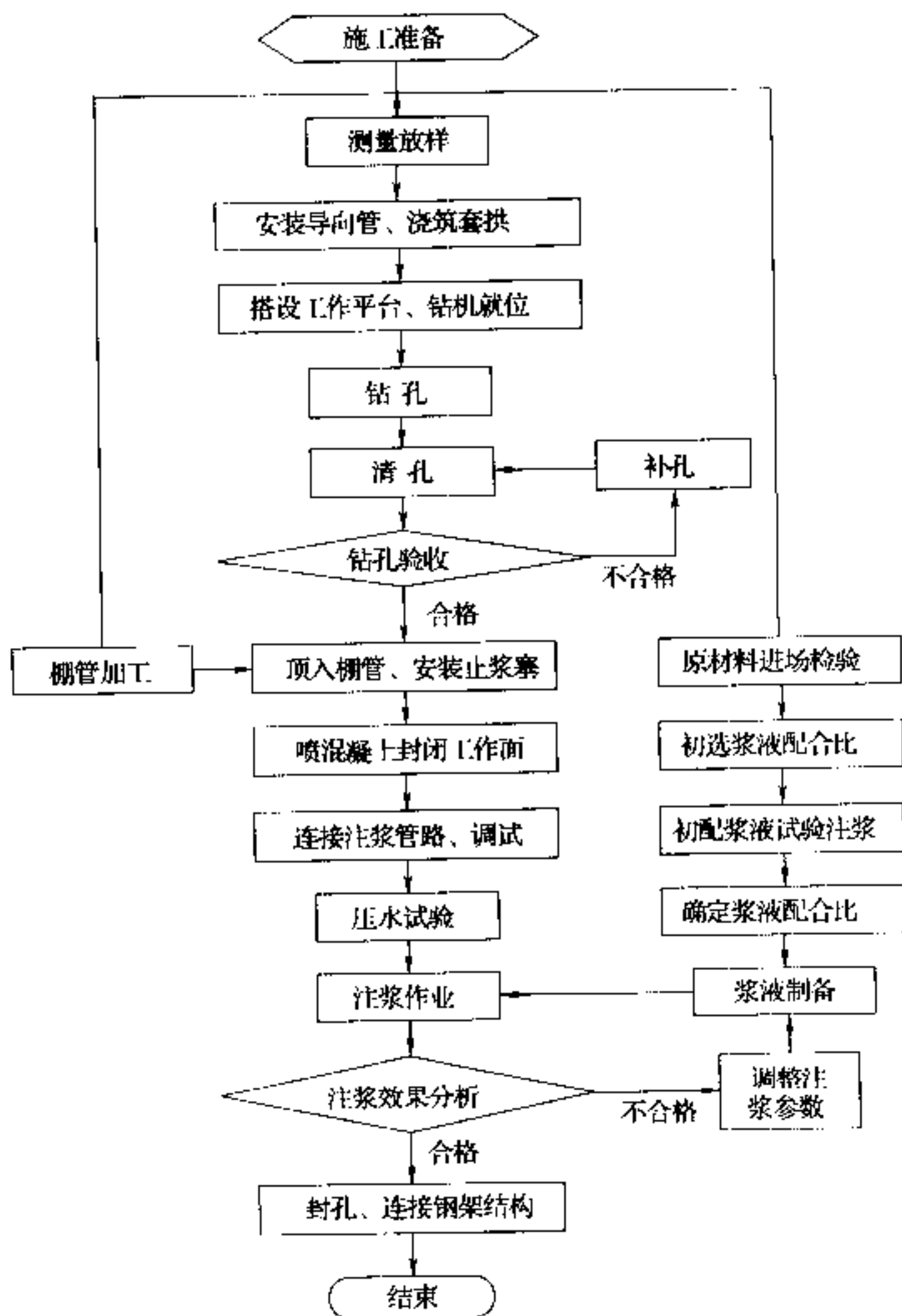


图 6.6.5 管棚引孔顶入法施工工艺流程图

下:

1 对孔深小于 6 m 或地层裂隙较均匀的地层, 可采取全孔一次性注浆, 直接将注浆管路接在孔口管上, 或在孔口处设止浆

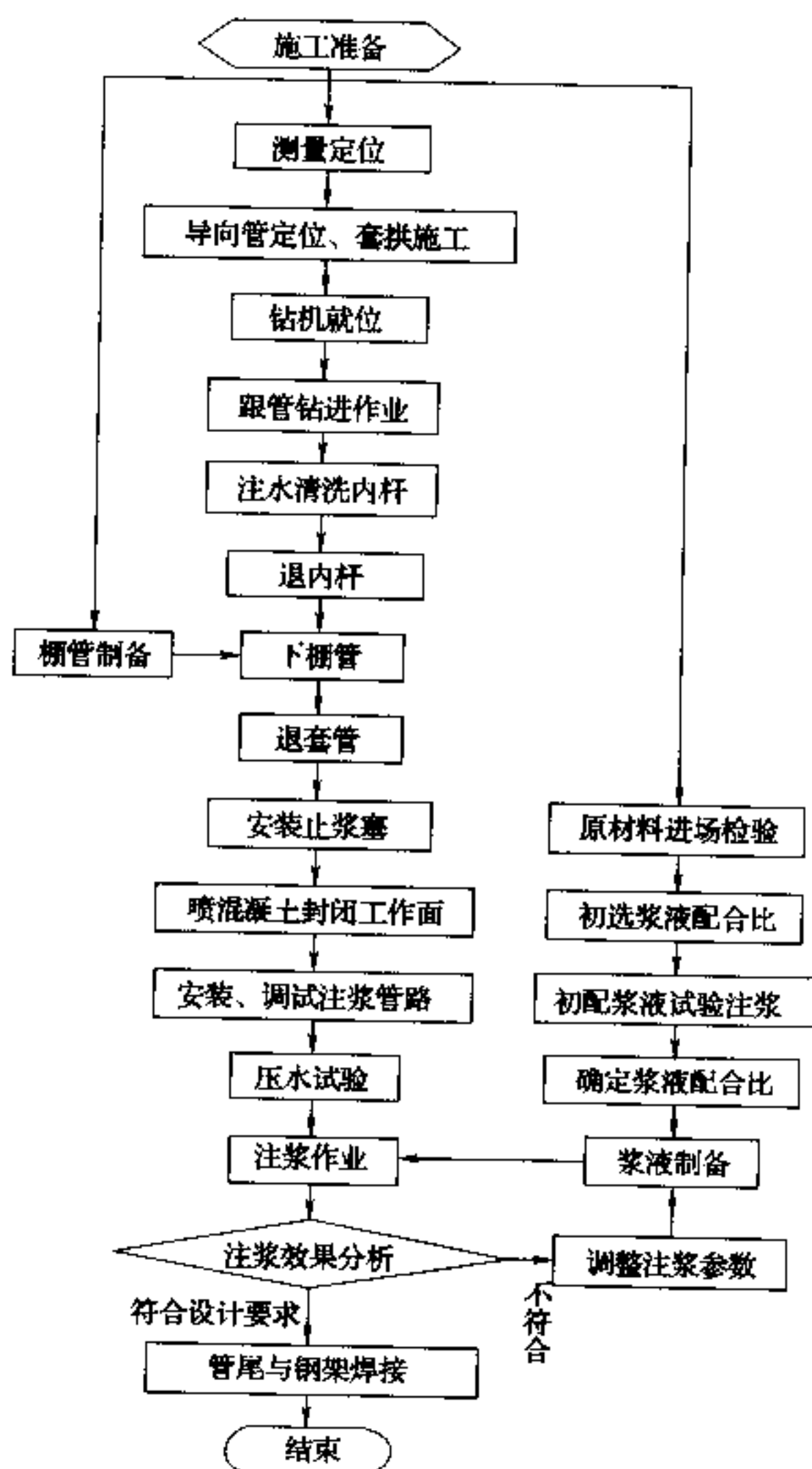


图 6.6.6 管棚跟管钻进工艺流程图

塞，利用孔口管进行全孔注浆施工，其施工方法示意图见图 6.7.3—1。

2 如果钻孔较深，为了适应软弱破碎围岩和裂隙不均匀地

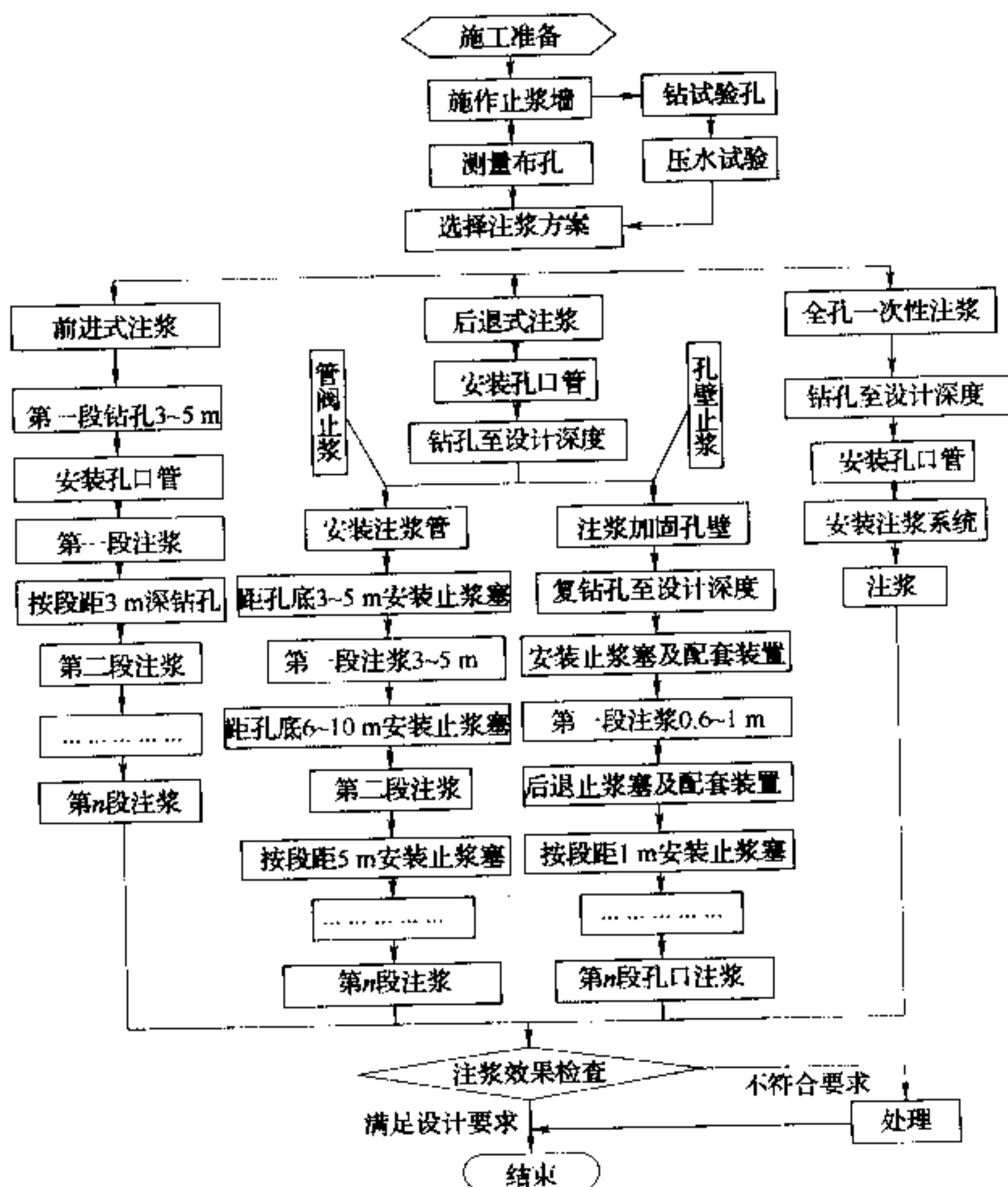


图 6.7.1 预注浆施工工艺流程图

层，保证注浆质量，需要将全孔分为若干段进行注浆。根据钻孔和注浆顺序，又可分为分段前进式或后退式注浆两种：

- 1) 在裂隙发育或破碎难以成孔的岩层，可采用分段前进式注浆，即自孔口开始，钻进一段，注浆一段，直至孔底最后一段注完为止，每次钻孔注浆分段长度根据围岩情

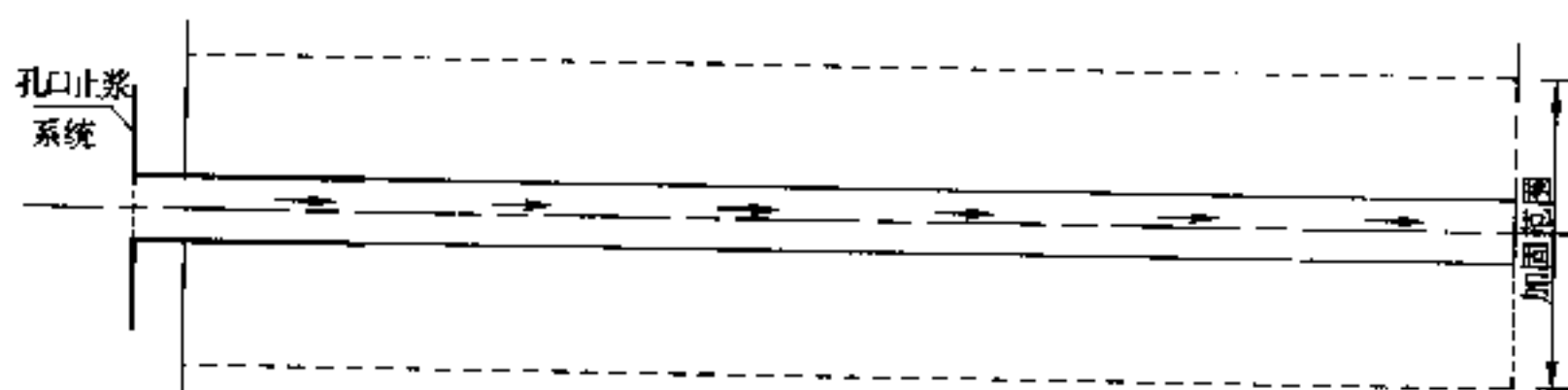


图 6.7.3—1 全孔一次性注浆示意图

况定为 3~5 m。前进式分段注浆采用止浆塞或孔口管法兰盘进行止浆。其施工方法示意图见图 6.7.3—2。

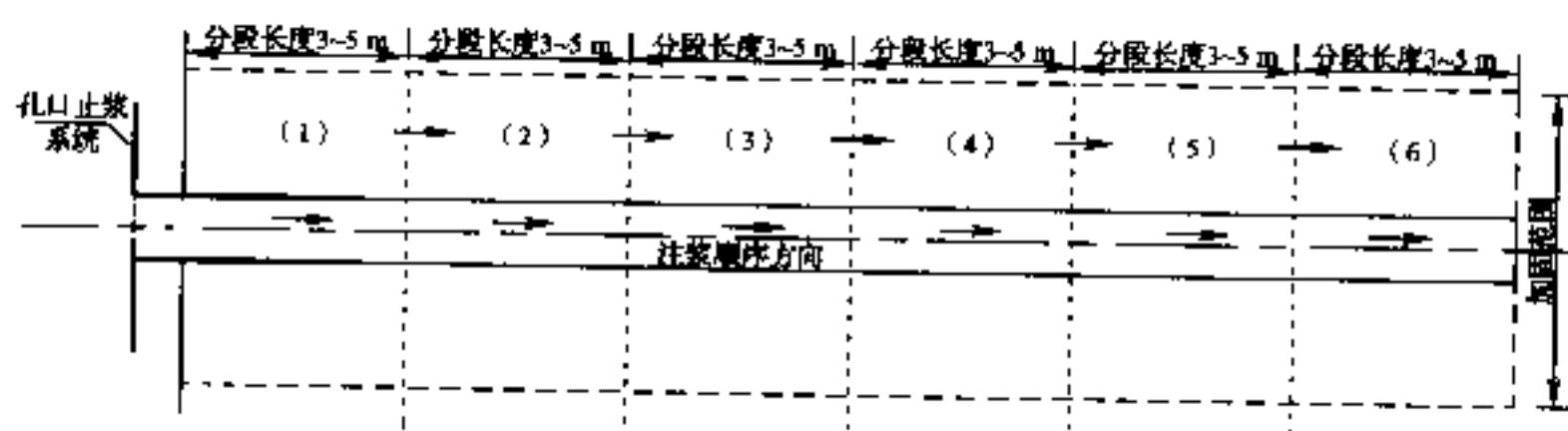


图 6.7.3—2 分段前进式注浆示意图

- 2) 对于围岩局部破碎,但可以成孔的岩层,可采用后退式分段注浆,一次性钻至全孔深,而后在孔内设置止浆塞,从孔底开始,对一个注浆分段进行注浆,第一分段注浆完成后,后退一个分段长度进行第二分段注浆,如此往复,直到将整个注浆段完成,注浆分段长度宜取 0.6~1.0 m。其施工方法示意图见图 6.7.3—3。

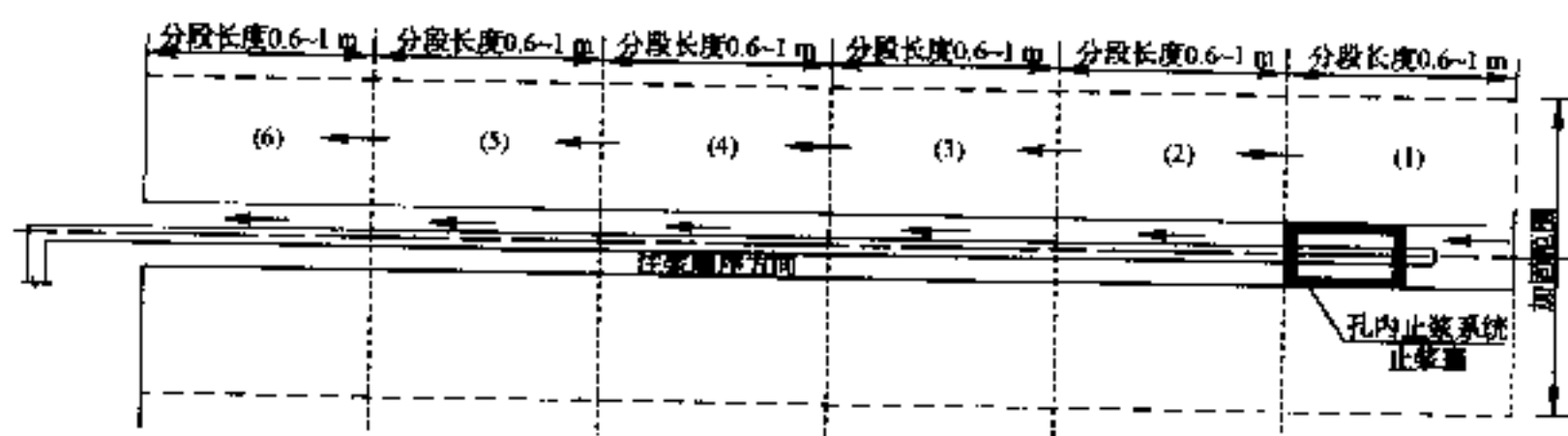


图 6.7.3—3 分段后退式注浆示意图

6.7.4 注浆施工前,除根据注浆工艺要求配备应有的机具设备外,还应视工作条件,做好注浆站的选址与布置,进行试泵

与注水试验，安装注浆管路和止浆塞、止浆岩盘，然后制浆压注，并应满足下列要求：

1 注浆工作站的布置：注浆工作站应尽量靠近工作面，泵站布置不仅要考虑紧凑、操作方便，并应加强通风防尘。若场地狭窄，应采用移动式的注浆工作站。

2 压水试验：注浆前应进行压水试验，以测定岩层的吸水性，核实岩层的渗透性，为注浆时选取泵量、泵压及浆液配方等提供参考依据，同时冲洗钻孔，检查止浆塞效果和注浆管路是否有跑水、漏水现象，注浆管路可参照图 6.7.4 进行连接。

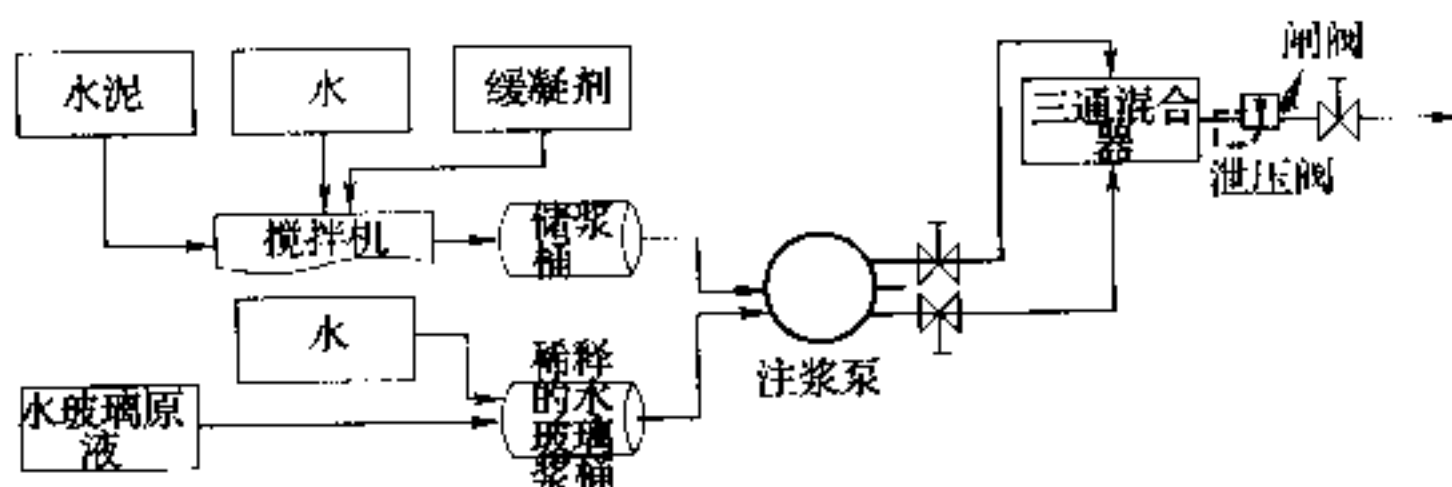


图 6.7.4 压水试验注浆管路连接示意图

6.7.5 注浆材料及浆液配比的选择应满足下列要求：

1 注浆材料及浆液配比应根据工程地质、水文地质条件、注浆目的、注浆工艺、设备和成本等因素选择和调整。

2 注浆材料应来源广、价格适宜。

3 注浆材料形成的浆液具有良好的流动性、可灌性。

4 注浆材料凝胶时间可根据需要调节、固化时收缩小，浆液与围岩、混凝土、砂土等粘结力强，固结体具有高强度和良好的抗渗性、稳定性、耐久性。

5 注浆材料和固结体无毒、无污染、对人体无害。

6 注浆材料要求的注浆工艺及设备简单、操作安全方便。

7 一般情况下应采用水泥基浆材，不宜采用化学浆材。

8 在淤泥质、粉质黏性土、全风化、中强风化及断层破碎带富水和动水条件下宜采用普通水泥 - 水玻璃双液浆，在砂层中

宜采用超细水泥－水玻璃双液浆。

9 注浆前检查注浆材料数量能否满足连续注浆要求，如不能保证连续注浆要求，则要等补足数量或有运输保障供应的情况下才能注浆。

6.7.6 注浆设备的选择应满足下列要求：

1 钻机可选用回转式、冲击式钻机及凿岩机等，注浆孔径一般为 $\phi 70\text{ mm} \sim \phi 130\text{ mm}$ ，钻孔机具应满足注浆段长的要求。

2 在注水泥浆时，宜采用单液注浆泵或泥浆泵；注砂浆时则采用专用砂浆泵；在注双液浆时应采用双液注浆泵。注浆泵的最大压力应达到设计压力的 $1.5 \sim 2.0$ 倍。

3 注浆管根据设计要求选用相应规格的钢管加工或选用袖阀管、TSS 管。

6.7.7 钻孔作业应符合下列规定：

1 钻孔顺序宜先钻内圈孔后外圈孔，先无水孔后有水孔。

2 钻机安装应平整稳固，保证钻杆中心线与设计注浆孔中心线相吻合，在钻孔过程中要经常检查校正钻杆方向。注浆孔的孔底偏差应不大于孔深的 $1/40$ 孔深，检查孔的孔底偏差应不大于孔深的 $1/80$ 孔深，其他钻孔的孔底偏差应小于 $1/60$ 孔深或符合设计规定。

3 钻孔 2 m 后应安装孔口管或注浆管，测量水压力及涌水量，并按表格填写记录，主要内容有按孔号、进尺、起始时间、岩石裂隙发育情况、出现涌水位置、涌水量和涌水压力等。

4 在涌水量大、压力高的地段钻孔时，应先设置带闸阀的孔口管，当出现大量涌水时，拔出钻具，关闭孔口管上的闸阀，再进行注浆；当开挖工作面围岩破碎，应先设置止浆墙和孔口管，孔口管埋入止浆墙深度随最大注浆压力而定，孔口管宜为直径不小于 90 mm 无缝钢管。

6.7.8 注浆作业应符合下列规定：

1 注浆施工前应对不同水灰比、掺加不同掺和料和不同外

加剂的浆液进行试验，选择适合的浆液和配比，按照配比准确计量，严格按顺序加料，拌和后的浆液必须经筛网过滤后方可进入注浆机。

2 止浆墙施作位置及结构形式要根据现场情况和堵水方式来确定，止浆墙厚度一般宜为 3 ~ 8 m，施工时根据需要选取；止浆墙位置的隧道断面应适当扩大 50 ~ 100 cm，必要时可安装少量的径向锚杆，确保止浆墙的稳定；止浆墙施工时，可在周边及拱部预埋注浆管，正式注浆开始时，首先进行注浆填充空隙；待止浆墙混凝土强度达到设计强度的 75% 以上后方可开始钻孔注浆施工。

3 分段注浆时，应设置止浆塞，止浆塞可采用气囊、水囊或橡胶止浆塞，并能承受注浆终压的要求，亦可采用孔口止浆方式。

4 注浆过程中应根据浆液扩散情况、注浆量、注浆压力等参数调整注浆材料和配比。

5 注浆过程中应做好施工记录，包括孔位、孔径、孔深、浆液配比、注浆压力、注浆量、跑浆、串浆等。

6.7.9 注浆结束的标准应满足下列要求：

1 单孔结束标准：注浆压力逐步升高至设计终压，则继续注浆 10 min 以上，进浆量小于初始进浆量的 1/4，检查孔涌水量小于 0.2 L/min。

2 全段注浆结束标准：所有注浆孔均符合单孔结束条件，注浆后隧道预测涌水量小于 $1 \text{ m}^3 / (\text{d} \cdot \text{m})$ 。

6.7.10 注浆结束后，经检查确认浆液固结体达到设计规定的强度后才进行隧道开挖。

6.7.11 当注浆施工过程中出现异常情况时，应采取下列方法进行处理：

1 钻孔过程中遇见突泥、突水情况，立即停钻，进行注浆处理。

2 在开挖工作面有小裂隙漏浆，先用水泥浸泡过的麻丝堵塞裂隙，并调整浆液配比，缩短凝胶时间，若仍跑浆，在漏浆处用风钻钻浅孔注浆固结。

3 当注浆压力突然升高，则只注纯水泥浆或清水，待泵压恢复正常时，再进行双液注浆，若压力不恢复正常，则停止注浆，检查管路是否堵塞。

4 当进浆量很大，注浆压力长时间不升高时，应调整浆液浓度及配合比，缩短凝胶时间，进行小泵量、低压力注浆，使浆液在岩层裂隙中有相对停留时间，便于凝胶；有时也可以进行间歇式注浆，但停留时间不能超过浆液凝胶时间。

5 注浆发生堵管时，先打开孔口泄压阀，再关闭孔口进浆阀，然后停机，查找原因，迅速进行处理。

6 注浆结束时，应先打开泄压管阀门，再关闭进浆管阀门并用清水将注浆管冲洗干净后方可停机。

6.8 基底处理

6.8.1 隧道基底处理一般可采用旋喷桩、树根桩、灰土挤密桩、注浆加固等方法。

6.8.2 旋喷桩适应于砂类土、黏性土、黄土和淤泥等的隧道基底加固。

6.8.3 树根桩适用于淤泥、淤泥质土、黄土、黏性土、粉土、砂土、碎石土及人工填土等的隧道基底加固。

6.8.4 灰土挤密桩适用于处理地下水位以上的湿陷性黄土、素填土和杂填土等隧道基底加固，处理深度一般为 5 ~ 15 m。

6.8.5 袖阀管注浆适合在软黏性土地层中劈裂注浆，是加固隧道底基础极为有效的方法，其通过上下两个阻塞器，能将浆液限定在注浆区段的任一层范围内进行注浆以达到分层注浆效果。袖阀管注浆应满足下列要求：

1 袖阀管系统注浆施工工艺流程见图 6.8.5。

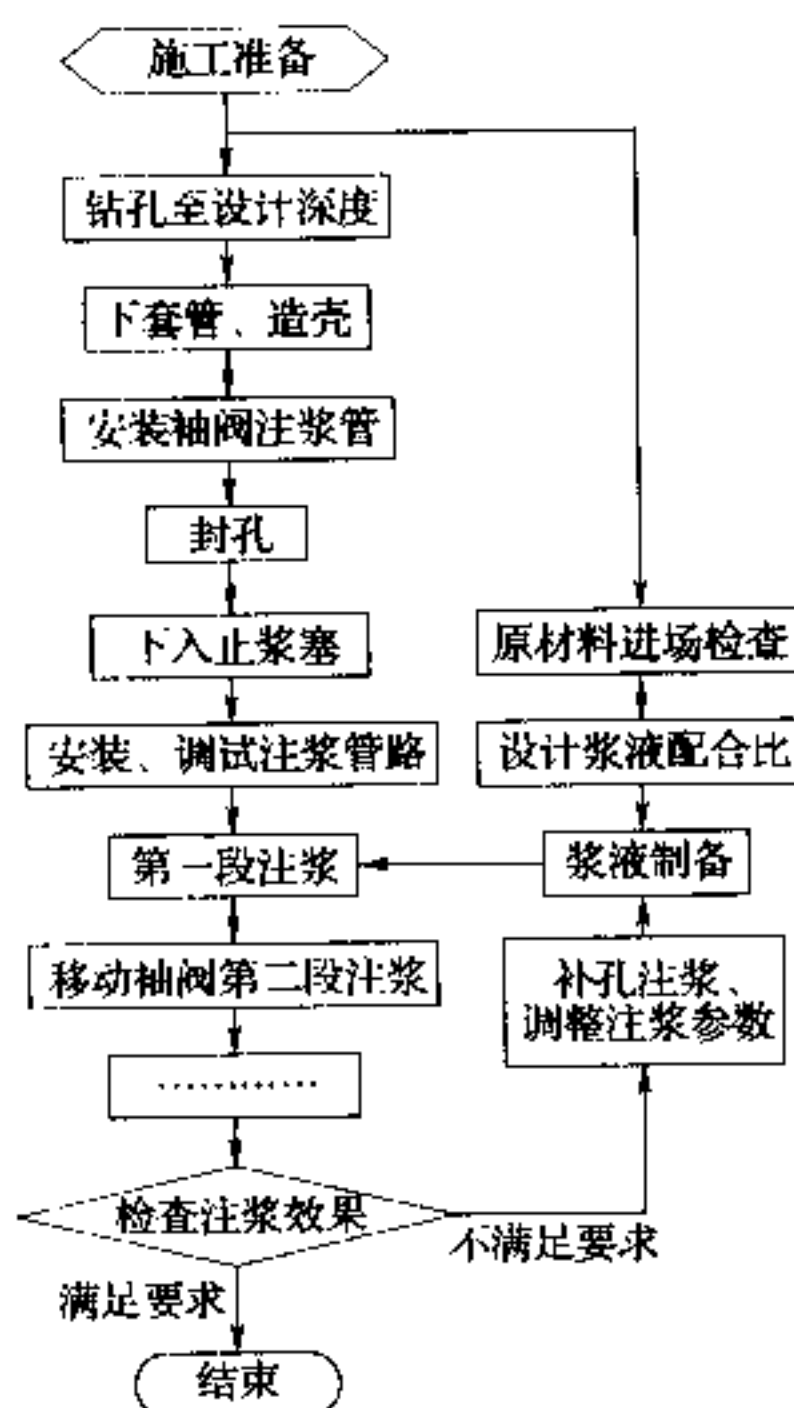


图 6.8.5 袖阀管注浆施工工艺流程图

2 钻孔作业应符合下列要求：

- 1) 钻孔过程中应采用套管跟进、泥浆循环护壁成孔，成孔后须立即清孔。
- 2) 在钻孔过程中应做好详细的钻孔记录，对钻孔进行地质描述，从而有利于下一步的注浆作业施工。
- 3) 按设计要求完成钻孔，安设好袖阀注浆管后，将套管拔出。

3 袖阀注浆管的安设应符合下列要求：

- 1) 在不注浆部位下 A 型袖阀注浆管，在注浆部位下 B 型袖阀注浆管，底部加下闷盖。
- 2) B 管为有孔管，并覆盖橡胶套。下管前必须在最下端

一根 B 管上加下闷盖, 然后利用丝扣连接下一根 B 管, 直到连至注浆段长度。之后, 开始连接 A 管, A 管连接至钻孔深度, 并要求露出地面 10 cm。

- 3) 由于钻孔较深, 下管时可将连接好的袖阀注浆管分为 3 段, 依次下入孔中, 上段即将下完时, 再在孔口连接下一段袖阀注浆管, 直至完成袖阀注浆管的下管作业。
- 4) 将袖阀注浆管沿套管内壁下到钻孔底部后, 在顶部加上闷盖, 然后拔出套管进行封孔作业。在孔底至距地面 3 m 段采用粗砂或砾石密实填充, 在地表以下 3 m 至孔口部位采用速凝水泥砂浆填充封孔, 以防止注浆时返浆。
- 5) 下管过程中应尽量使袖阀注浆管保持竖直。

4 注浆方式一般采取分段后退式注浆工艺, 即利用止浆系统, 在注浆带内由孔底进行注浆, 每次注浆段长 0.6 ~ 1 m。注完第一注浆段后, 将注浆芯管和止浆系统采用管箱上提至第二注浆段, 进行第二注浆段的注浆, 以此下去, 直至完成注浆带。

6.9 其他辅助施工措施

6.9.1 隧道开挖工作面自稳能力差时可采用喷混凝土封闭、锚杆加固、开挖工作面注浆等形式配合分部开挖的施工, 并应满足下列要求:

1 喷混凝土加固应和初喷同时进行, 厚度一般宜为 10 cm 左右。

2 注浆加固可采用钢花管, 布孔方式视开挖工作面情况确定, 注浆方式宜采用发散约束型注浆。

3 锚杆加固可采用玻璃纤维锚杆或其他易拆除的锚杆。

6.9.2 在隧道穿过塌方体、膨胀岩、软弱破碎带等围岩段, 为减少变形, 常采用临时仰拱与各种分部开挖方法相配合的施工辅

助措施，并应满足下列要求：

1 临时仰拱应根据围岩情况及量测数据确定设置区段，可采用型钢仰拱或格栅钢架喷混凝土等。

2 当需要提供水平支撑力时，临时仰拱应设置成水平直线型。

3 特殊情况下临时仰拱作为隧道内运输通道支撑时，可设置为下拱形，并配备纵向连接钢筋。

4 临时仰拱与边墙连接部位应施作锁脚锚管予以加强。

5 临时仰拱应和拱部、墙部初期支护同步施工、螺栓连接，以便迅速闭合。

6 拆除临时仰拱时应加强监控量测工作，必要时应对初期支护予以加强。

6.9.3 在软弱破碎围岩或黄土隧道分部开挖中，为减少变形，常将拱脚扩大 50 ~ 100 cm，以避免拱架整体下沉。

6.9.4 在高地应力下挤压性围岩、膨胀性围岩中，为控制变形，释放地应力，常采用配有长锚杆的柔性支护，锚杆长度一般为 4 ~ 9 m。

7 钻爆开挖

7.1 一般规定

7.1.1 隧道开挖方法应根据地质条件、断面大小、结构形式、机械配备、周围环境等因素综合确定，开挖方法应有利于保护围岩的自承能力。

7.1.2 钻爆作业应符合以下规定：

1 开挖轮廓形状和断面尺寸应符合设计要求，尽量减小开挖轮廓线的放样误差，应采用激光指向仪、隧道激光断面仪等确定开挖轮廓线和炮眼位置。

2 通过爆破试验，选择合理的钻爆参数，并根据地质条件的变化和对振动波的监测，不断优化钻爆参数，实现光面爆破，把对围岩、支护及衬砌的扰动减到最低程度。

3 隧道开挖断面应以二次衬砌设计轮廓线为基准，考虑预留变形量、测量贯通误差和施工误差等因素适当放大，并应满足下列要求：

- 1) 预留变形量应符合设计规定，或根据围岩级别、隧道宽度、埋置深度、施工方法和支护情况等条件，采用工程类比法确定。
- 2) 测量贯通误差应符合现行铁道部现行《新建铁路工程测量规范》(TB 10101) 的规定。
- 3) 施工中应根据量测结果进行分析，及时调整预留变形量。

4 当两相对开挖工作面相距 40 m 时，两端施工应加强联系，统一指挥。当两开挖工作面间的距离剩下 10 ~ 15 m 时，应

从一端开挖贯通。

5 爆破作业时，所有人员应撤至不受有害气体、振动及飞石伤害的安全地点；在有可能发生涌水、突水地段应加强开挖工作面与洞内后部工作点的联系。安全地点至爆破工作面的距离，在独头坑道内不应小于 200 m，当采用全断面开挖时，应根据爆破方法与装药量计算确定安全距离。

6 隧道开挖中所使用爆破器材的运输、贮存、检验、再加工、使用和退库、销毁应符合国家有关法律、法规和现行国家标准《爆破安全规程》(GB 6722) 的规定。施工中对爆破器材必须统一管理、发放，不符合要求的一律不准使用。

7.2 隧道超欠挖

7.2.1 隧道施工应严格控制超欠挖，允许超挖值应按表 7.2.1 进行控制。

表 7.2.1 隧道允许超挖值 (cm)

开挖部位 \ 围岩级别		I	II ~ IV	V、VI
拱 部	平均线形超挖	10	15	10
	最大超挖	20	25	15
边墙线形超挖		10	10	10
仰拱、隧底	平均线形超挖	10		
	最大超挖	25		

注：1 本表适用于炮眼深度不大于 3.0 m 隧道的开挖。炮眼深度大于 3.0 m 时，可根据实际情况另作规定。

2 平均线形超挖值 = $\frac{\text{超挖横断面积}}{\text{爆破设计开挖断面周长 (不包括隧底)}}$ 。

3 最大超挖值是指最大超挖处至设计开挖轮廓切线的垂直距离。

4 表列数值不包括测量贯通误差、施工误差。

5 测量方法可选用表 7.2.2 列出的办法进行。

6 超过表 7.2.1 所列数值的部分按局部坍塌处理。

7.2.2 隧道超欠挖的测定方法见表 7.2.2。

表 7.2.2 隧道超欠挖的测定方法

测定方法及采用的仪器	方法简述
利用激光束测定	用激光指向仪或激光经纬仪射在开挖工作面上的光束测定特定部位的超欠挖的线性值
用全站仪测定	在要测的点位粘贴反光片，用全站仪测定各点的三维坐标，通过计算绘制开挖断面，与设计断面进行比较
用激光隧道限界测量仪测定	由免棱镜测距全站仪和手提电脑组成，对开挖工作面（或任一断面）测量，直接打印出设计断面与实际断面，并标出设定点的超欠挖值
用二次衬砌轮廓刚架作基准测定	当防水板铺设专用台车移动时，用直尺量取需测定点至轮廓刚架的最小距离，并考虑喷混凝土的厚度，以确定超欠挖值

7.2.3 隧道开挖应严格控制欠挖，当围岩完整、石质坚硬时，允许岩石个别突出部分侵入衬砌不大于 5 cm（每 1 m² 不大于 0.1 m²）；拱脚和墙脚以上 1 m 范围内严禁欠挖。

7.2.4 隧道周边炮眼痕迹保存率是衡量开挖面平整度的一个指标，炮眼痕迹保存率应满足表 7.2.4 的规定。

表 7.2.4 各种围岩周边炮眼痕迹保存率

围岩性质	硬 岩	中 硬 岩
炮眼痕迹保存率	≥80%	≥60%

注：炮眼痕迹保存率 = （残留有痕迹的炮眼数/周边眼总数） × 100%。

7.3 钻 爆 设 计

7.3.1 隧道开挖应根据工程地质条件、开挖断面、开挖方法、掘进循环进尺、钻眼机具和爆破器材等结合爆破振动要求进行钻爆设计。施工中应根据爆破效果不断调整爆破参数。

7.3.2 钻爆设计的内容应包括炮眼（掏槽眼、辅助眼、周边眼、底板眼）的布置、深度、斜率和数量，爆破器材、装药量和装药结构，起爆方法和爆破顺序，钻眼机具和钻眼要求、主要技术经济指标及必要的说明等。

7.3.3 掏槽眼的形式有直眼掏槽、楔形掏槽，施工中应根据隧道断面大小、围岩级别以及爆破振动等要求选定。

7.3.4 炮眼布置应符合下列规定：

- 1 周边眼应沿隧道开挖轮廓线布置。
- 2 辅助炮眼应交错均匀布置在周边眼与掏槽眼之间。
- 3 周边炮眼与辅助炮眼的眼底应在同一垂直面上，掏槽炮眼应加深 10 ~ 20 cm。

7.3.5 隧道爆破应采用光面爆破或预留光爆层爆破，光面爆破参数应通过试验确定（试验方法见附录 B）。当无试验条件时，有关参数可参照表 7.3.5 选用。

表 7.3.5 光面爆破参数

岩石类别	周边眼间距 E (cm)	周边眼抵抗线 W (cm)	相对距离 E/W
极硬岩	50 ~ 60	55 ~ 75	0.8 ~ 0.85
硬岩	40 ~ 55	50 ~ 60	0.8 ~ 0.85
软质岩	30 ~ 45	45 ~ 60	0.75 ~ 0.8

- 注：1 表列参数适用于炮眼深度 1.0 ~ 3.5 m，炮眼直径 40 ~ 50 mm，药卷直径 20 ~ 35 mm。
- 2 当断面较小或围岩软弱破碎或对开挖成形要求较高时，周边眼间距 E 应取较小值。
- 3 周边眼抵抗线 W 值应大于周边眼间距 E 值。软岩取较小的 E 值时， W 值应适当增大。 E/W ：软岩取小值，硬岩及小断面取大值。
- 4 装药集中度 q 以装药长度的平均线装药密度计，一般为 0.04 ~ 0.4 kg/m，过大易破坏光爆壁面，施工中应根据炸药类型和爆破试验确定。

7.3.6 根据地质、水文条件和炮眼选择适当的炸药品种和型号。掏槽眼宜选用高猛度的炸药；周边眼宜选用低密度、低爆速、低猛度或高爆力的炸药。采用导爆管和毫秒雷管起爆，毫秒雷管系列的选用应根据钻爆设计所需的段位数和便于操作确定。

7.3.7 爆破效果应满足下列要求：

- 1 硬岩无剥落；中硬岩基本无剥落；软弱围岩无大的剥落或坍塌。

2 钻杆外插角是控制超欠挖的关键，两次爆破形成的台阶尺寸因钻孔机械的不同而相差甚大，应尽量减小台阶尺寸并不宜大于 15 cm。

3 开挖轮廓符合设计要求，开挖面平整。

4 爆破进尺达到设计要求，渣块块度满足装渣要求。

5 炮眼痕迹保存率应符合本技术指南第 7.2.4 条规定并在开挖轮廓面上均匀分布。

6 超欠挖应符合本技术指南第 7.2.1 条、第 7.2.3 条规定。

7.3.8 在浅埋、软弱破碎围岩、邻近有建筑物等特殊情况地段爆破时，应用仪器检测围岩爆破振速和扰动范围，并采取措​​施控制爆破对围岩的扰动程度。爆破振动应监测下列对象：

1 对洞口附近的建筑物和构筑物的振动。

2 对浅埋隧道地表的建筑物和构筑物的振动。

3 对相邻隧道或地下构筑物的振动。

4 每一新的爆破设计实施时对新喷混凝土、刚脱模的二次衬砌混凝土的振动等。

7.3.9 特殊环境下爆破作业中应对噪声、空气污染和粉尘进行监测。

7.3.10 水下隧道应采用微震动爆破技术：选用低爆速炸药、浅眼弱爆破、加密周边眼、短进尺。掏槽眼按抛掷爆破设计；辅助眼按弱爆破设计；周边眼按光面爆破设计，围岩完整时可采用预裂爆破。

7.3.11 土质隧道采用机械开挖时，开挖轮廓线内不小于 30 cm 的围岩应用人工挖除、修整。

7.4 钻 眼

7.4.1 钻眼作业应符合下列要求：

1 炮眼的深度和斜率应符合钻爆设计。

2 当采用手持凿岩机钻眼时，掏槽眼眼口间距和眼底间距的允许误差为 $\pm 5\text{ cm}$ ；辅助眼眼口间距允许误差为 $\pm 10\text{ cm}$ ；周边眼眼口位置允许误差为 $\pm 5\text{ cm}$ ，眼底不得超出开挖断面轮廓线 15 cm 。

3 当开挖面凹凸较大时，应按实际情况调整炮眼深度及装药量，使周边眼和辅助眼眼底在同一垂直面上。

4 钻眼完毕，按炮眼布置图进行检查并做好记录，对不符合要求的炮眼应重钻，经检查合格后方可装药。

5 采用手持凿岩机凿眼，当凿眼高度超过 2.5 m 时应配备与开挖断面相适应的作业台架进行凿眼；钻孔作业应定人定岗，尤其是左右侧周边眼司钻工不宜变动。

6 当采用凿岩台车开挖时，对钻眼的要求，可根据台车的构造性能结合实际情况另行规定。

7.4.2 提高光面爆破效果应采用下列技术措施：

1 周边轮廓线和炮眼的放样宜采用隧道激光断面仪或其他类似的仪器，尽量减少人工操作。周边轮廓线的放样允许误差应为 $\pm 2\text{ cm}$ 。

2 周边眼间距与抵抗线的相对距离要合理，通常减小周边眼间距，爆破后轮廓成形好。

3 装药结构应均匀分布，眼底可相对加强一些。

4 周边眼开眼位置视围岩软硬稍作调整：硬岩在轮廓线上；软岩可向内偏移 $5\sim 10\text{ cm}$ 。

5 尽量减小周边眼外插角的角度，孔深小于 3 m 时外插角的允许斜率宜为孔深的 $\pm 5\%$ ；孔深大于 3 m 时外插角斜率宜为孔深的 $\pm 3\%$ ；外插角的方向应与该点轮廓线的法线方向相一致。并应根据不同的炮眼深度，适当调整斜率。

6 当隧道断面较大或地表建筑物对振动要求较严时，可采用小导洞超前，隧道开挖以“层层剥皮”成形，既能减轻爆破振动，又可提高光面爆破效果。

7.5 装 药

7.5.1 装药作业应符合下列要求：

- 1 爆破工装药前，应与班组长、领工员对装药开挖工作面附近及炮眼等进行全面检查，对检查出的问题及时处理。
- 2 炮眼内岩粉应清理干净。
- 3 炮眼缩孔、坍塌或有裂缝时不得装药。
- 4 装药作业与钻孔作业不能在同一开挖工作面进行。

7.5.2 装药结构应符合下列规定：

- 1 常用的周边眼装药结构有小直径连续装药、间隔装药、导爆索装药和空气柱状装药，见图 7.5.2—1 ~ 图 7.5.2—4。一般情况下宜选用小直径连续装药或间隔装药结构；软岩可采用导爆索装药结构；当眼深不大于 2 m 时，可采用空气柱状装药结构。

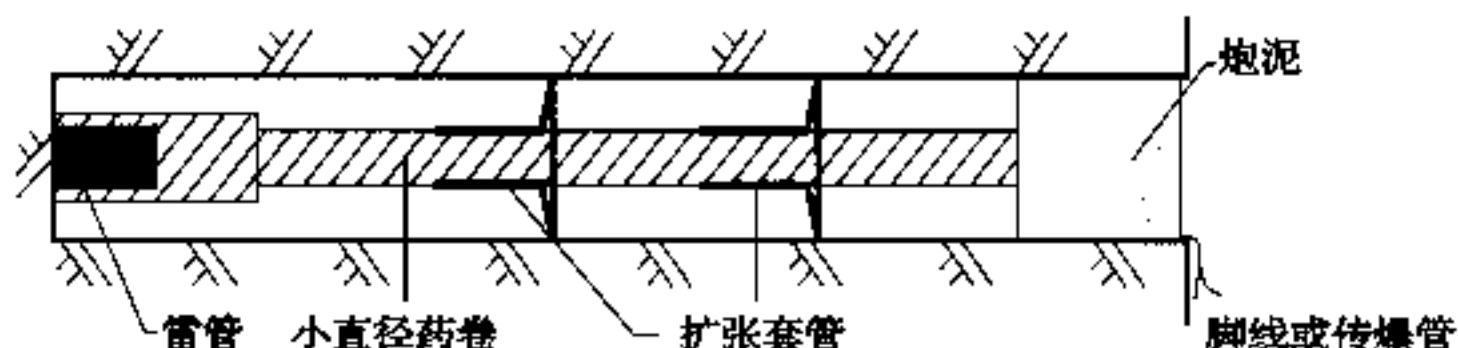


图 7.5.2—1 小直径药卷连续装药结构示意图

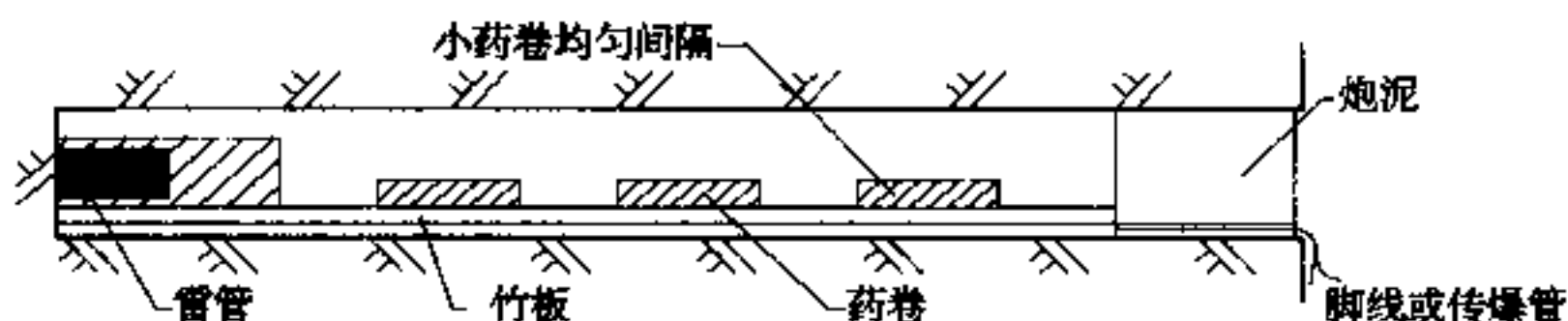


图 7.5.2—2 间隔装药结构示意图

- 2 为提高炸药的能量和爆破效果，应采用反向装药结构；在有瓦斯、煤尘爆炸危险的开挖工作面应采用正向装药结构。
- 3 周边眼按药卷直径不同应采用连续装药或间隔装药结构，其他眼应采用连续装药结构。

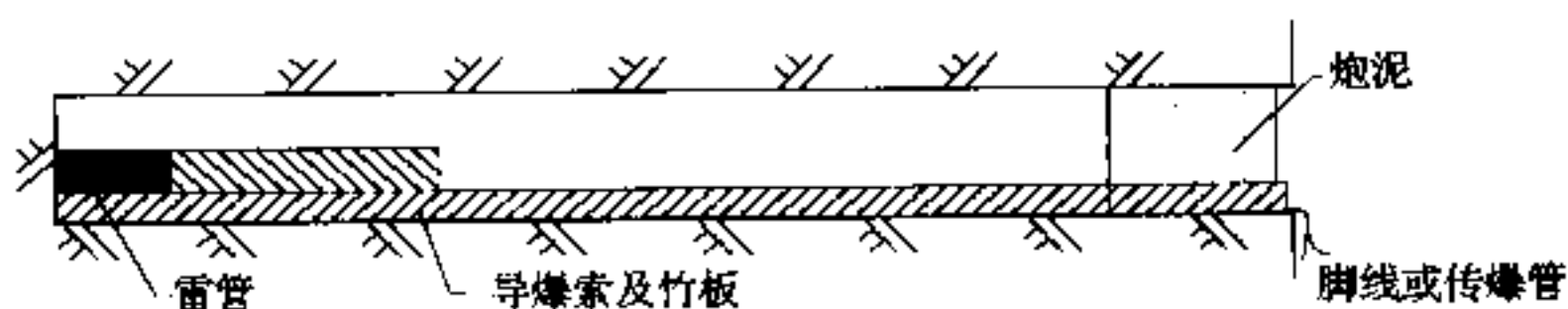


图 7.5.2—3 导爆索装药结构示意图

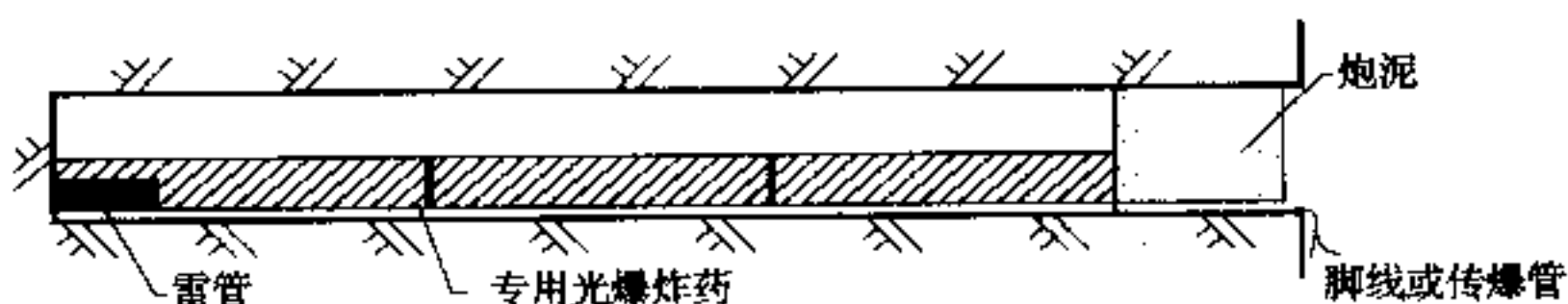


图 7.5.2—4 专用光爆药卷装药结构示意图

7.5.3 装药作业应符合下列规定：

1 尽量采用装药机（有乳化炸药装药机、粉状炸药装药机）装药，以提高装药效率，减少不安全因素。

2 清孔：装药前，采用掏勺或压缩空气吹眼器清除炮眼内的岩粉、积水，防止堵塞，使用压缩空气吹眼器时应避免炮眼内飞出的岩粉、岩块等杂物伤人。

3 验孔：炮眼清理完成后，应采用炮棍检查炮眼深度、角度、方向和炮眼内部情况。发现炮眼不符合要求的，及时处理。

4 装药方法：验孔完成后，爆破工必须按作业规程、爆破设计规定的炮眼装药量、起爆段位进行装药。装药时要一手抓住雷管的脚线，另一手用木质或竹质炮棍将放在眼口处的药卷轻轻的推入炮眼底，使炮眼内各药卷间彼此密接，推入时，用力要均匀。

5 正向装药的起爆药卷最后装入，起爆药卷和所有的药卷的聚能穴朝向眼底；反向装药起爆药卷首先装入，起爆药卷和所有的药卷的聚能穴朝向眼外。

6 堵孔炮泥应满足下列要求：

- 1) 所有装药的炮眼应采用炮泥堵塞，不得用炸药的包装材料等代替炮泥堵塞。

- 2) 宜用炮泥机制作炮泥, 炮泥配合比一般为 1 : 3 的黏土和沙子, 加含有 2% ~ 3% 食盐的水制成, 炮泥应干湿适度。

7 封孔应满足下列要求:

- 1) 最初填塞的炮泥应慢慢用力, 轻捣压实, 以后各段炮泥应依次用力一一捣实。
- 2) 浅孔宜将余孔全部堵塞。
- 3) 炮眼深度小于 1 m 时, 封泥长度不宜小于炮眼深度的 1/2。
- 4) 炮眼深度超过 1 m 时, 封泥长度不宜小于 0.5 m。
- 5) 炮眼深度超过 2.5 m 时, 封泥长度不宜小于 1 m。
- 6) 光面爆破周边眼封泥长度不宜小于 0.3 m。

7.6 连线、起爆

7.6.1 连线起爆作业应符合下列规定:

- 1 每次起爆前, 爆破员必须仔细检查起爆网络。
- 2 在同一开挖断面上, 起爆顺序应由内向外逐层起爆。
- 3 延发时间一般应采用孔内控制。
- 4 放炮员必须最后离开爆破地点, 并必须在有掩护的安全地点进行起爆。

5 爆破前, 班组长必须清点人数, 确认无误后, 方准下达起爆命令。放炮员接到起爆命令后, 必须先发出爆破警号, 至少等 5 s, 方可起爆。

7.6.2 处理瞎炮 (包括残炮) 必须在班组长直接指导下进行, 并应在当班处理完毕, 如果当班未能处理完毕, 放炮员必须同下一班放炮员在现场交接清楚。

8 初期支护

8.1 喷混凝土

8.1.1 喷混凝土施工工艺流程见图 8.1.1。

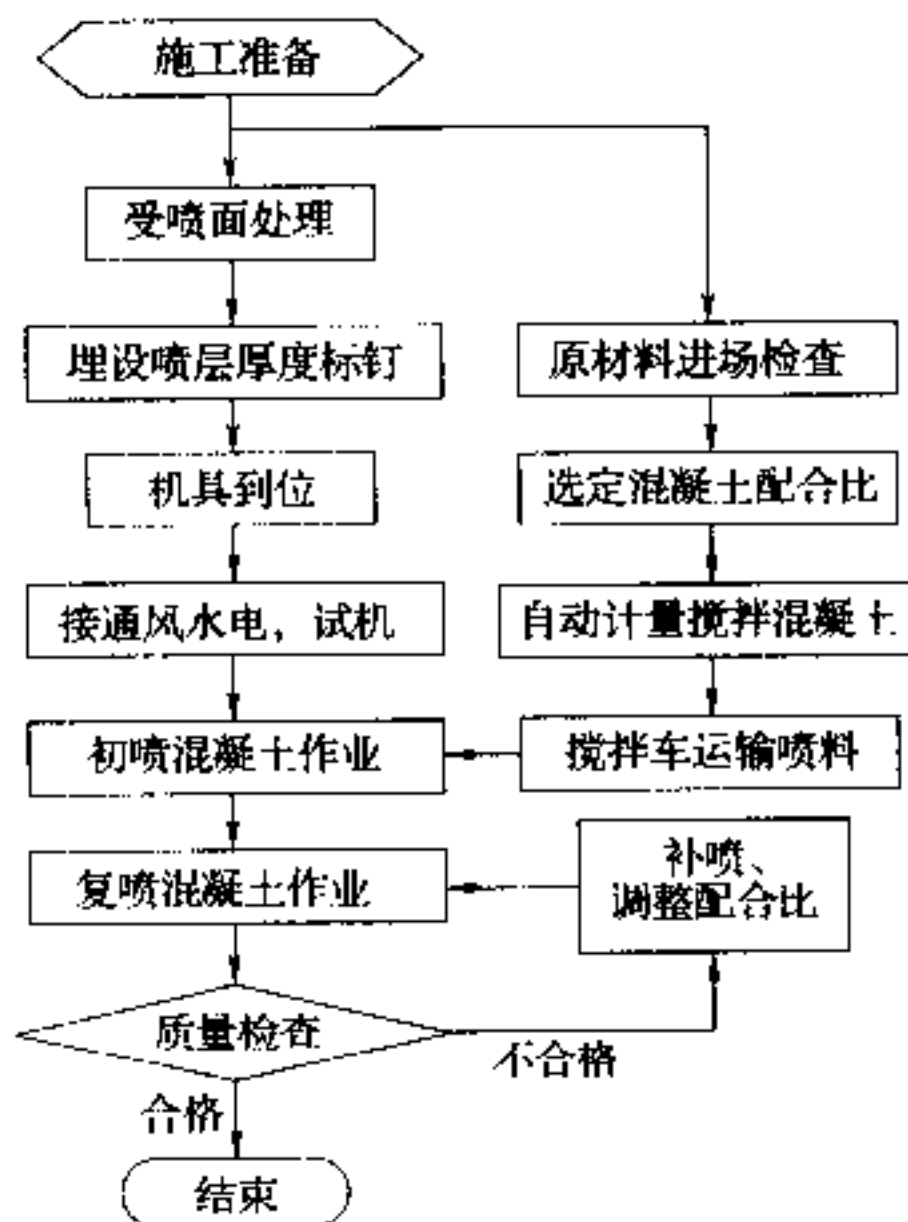


图 8.1.1 喷混凝土工艺流程图

8.1.2 喷混凝土的材料应符合下列规定：

1 喷混凝土材料进场必须进行检验，除符合国家现行的有关标准外，并应符合表 8.1.2 要求。

2 喷混凝土用的骨料级配宜控制在图 8.1.2 所给的范围内。

8.1.3 喷混凝土的配合比应符合下列规定：

表 8.1.2 喷混凝土原材料技术要求

材料名称	技 术 要 求
水泥	<p>1) 应优先采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥, 强度等级不宜低于 42.5 MPa。</p> <p>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。</p> <p>3) 有特殊要求时, 应使用相应的特种水泥</p>
砂、石	<p>1) 粗骨料应采用坚硬耐久的碎石或卵石 (豆石), 或两者混合物。严禁选用具有潜在碱活性骨料, 当使用碱性速凝剂时, 不得使用含有活性二氧化硅的石料。喷混凝土中的石子最大粒径不宜大于 15 mm, 喷射钢纤维混凝土中的石子最大粒径不宜大于 10 mm, 骨料级配宜采用连续级配。按重量计含泥量不应大于 1%, 泥块含量不应大于 0.25%。</p> <p>2) 细骨料应采用坚硬耐久的中砂或粗砂, 细度模数应大于 2.5。砂中小于 0.075 mm 的颗粒不应大于 20%。含泥量不应大于 3%, 泥块含量不应大于 0.5%</p>
水	水质应符合工程用水的有关标准, 水中不应含有影响水泥正常凝结与硬化的有害杂质, 不应使用污水、海水、pH 值小于 4.5 的酸性水、硫酸盐含量按 SO_4^{2-} 计超过水重 1% 的水
外加剂	<p>1) 应对混凝土的后期强度无明显损失; 对混凝土和钢材无腐蚀作用; 不污染环境, 对人体无害。采用低碱或无碱外加剂。</p> <p>2) 在使用外加剂前, 应做与水泥的相容性试验及水泥净浆凝结效果试验, 严格控制掺量; 水泥净浆初凝时间不应大于 5 min, 终凝时间不应大于 10 min</p>

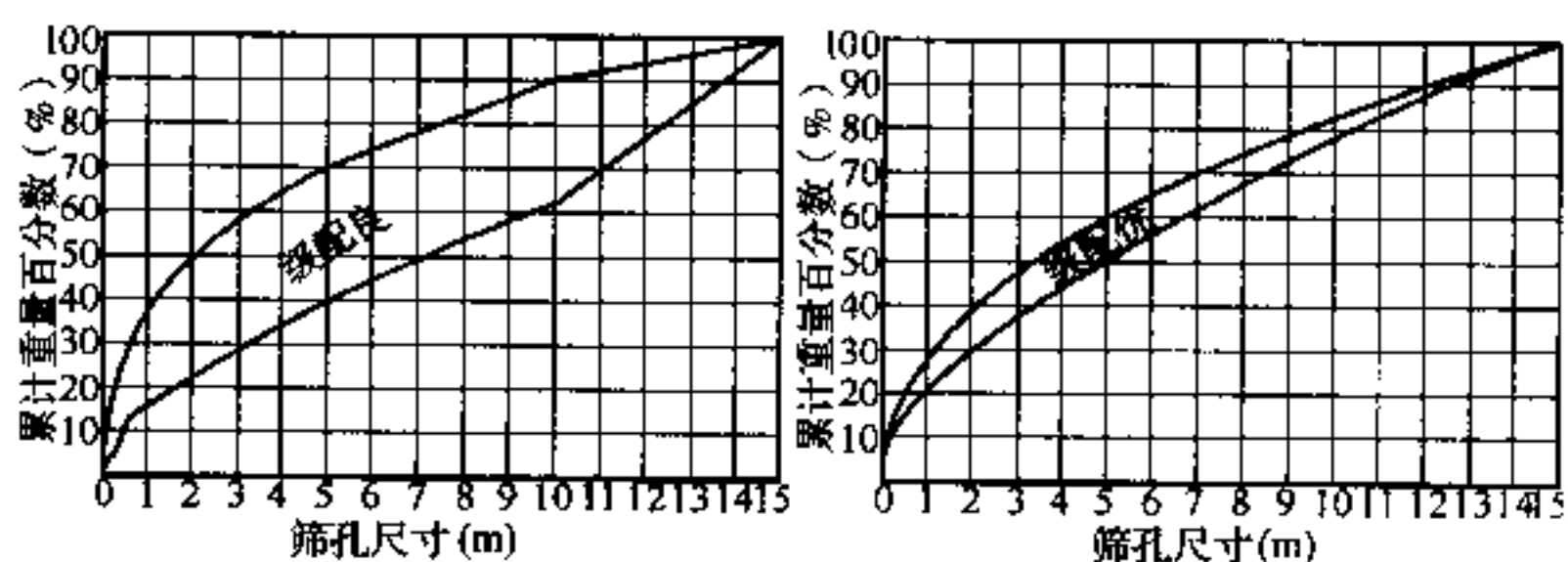


图 8.1.2 喷混凝土粗骨料筛分曲线图

1 喷混凝土的性能 (强度、密实度、粘结力)、回弹率、粉尘浓度应符合国家现行标准《锚杆喷混凝土支护技术规范》(GB 50086) 的规定。

2 喷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,并通过试喷确定。

3 喷混凝土必须满足设计的初期强度、长期强度、厚度及其与围岩面粘结力要求。湿喷混凝土 3 h 强度应达到 1.5 MPa, 24 h 强度应达到 10.0 MPa。

4 湿喷混凝土的胶凝材料用量不宜小于 400 kg/m^3 。

5 水胶比宜为 0.40 ~ 0.50。

6 胶骨比宜为 1:4 ~ 1:5。

7 骨料砂率宜为 45% ~ 60%。

8 混凝土拌和物的坍落度宜为 8 ~ 13 cm (按喷射机性能选择)。

8.1.4 喷混凝土作业应符合下列规定:

1 喷混凝土应根据现场实际情况,优先采用湿喷工艺,某些特定条件下采用干喷工艺时,均应符合铁道部现行《铁路隧道喷锚构筑法技术规范》(TB 10108)、国家标准《锚杆喷混凝土支护技术规范》(GB 50086)的要求。

2 为确保喷射质量,尽快完成喷射作业,宜选定大容量的喷射机和喷射机械手。

3 喷混凝土的准备工作应满足下列要求:

1) 检查开挖断面净空尺寸。

2) 设置控制喷混凝土厚度的标志,一般采用埋设钢筋头作标志。

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;压风进入喷射机前必须进行油水分离;输料管应能承受 0.8 MPa 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通风和照明条件。

6) 喷射混凝土作业的环境温度不得低于 5°C 。

4 受喷岩面的处理应满足下列要求:

- 1) 喷混凝土施工前,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;若为泥、砂质岩面时可挂设细铁丝网(网格宜不大于 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 、线径宜小于 3 mm),用环向钢筋和锚钉或钢架固定,使其密贴受喷面,以提高喷混凝土的附着力。喷混凝土前,宜先喷一层水泥砂浆,待终凝后再喷混凝土。
- 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混凝土。
- 3) 大面积潮湿的岩面宜采用粘结性强的混凝土,可通过添加外加剂、掺和料改善混凝土性能。
- 4) 大股涌水宜采用注浆堵水后再喷射混凝土。

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

6 分层喷射时,一次喷混凝土的厚度不小于 40 mm ,后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行,若终凝 1 h 后再喷射,应先用风水清洗喷射表面。

7 初喷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,以确保喷混凝土的支护能力和喷层的设计厚度;喷混凝土终凝后 3 h 内不得进行爆破作业。复喷混凝土的一次喷射厚度:拱部为 $50 \sim 100\text{ mm}$,边墙为 $70 \sim 150\text{ mm}$ 。

8 喷混凝土应强化工艺管理,降低喷射回弹率。喷混凝土的回弹量:墙部不应大于 15% ,拱部不应大于 25% 。

9 根据具体情况,变换喷嘴的喷射角度和与受喷面的距离,将钢架、钢筋网背后喷填密实,见图 8.1.4—1、图 8.1.4—2。必要时钢架背后采用注浆充填,并不得填充异物。

10 在喷边墙下部(台阶法施工上半断面拱脚)及仰拱时,

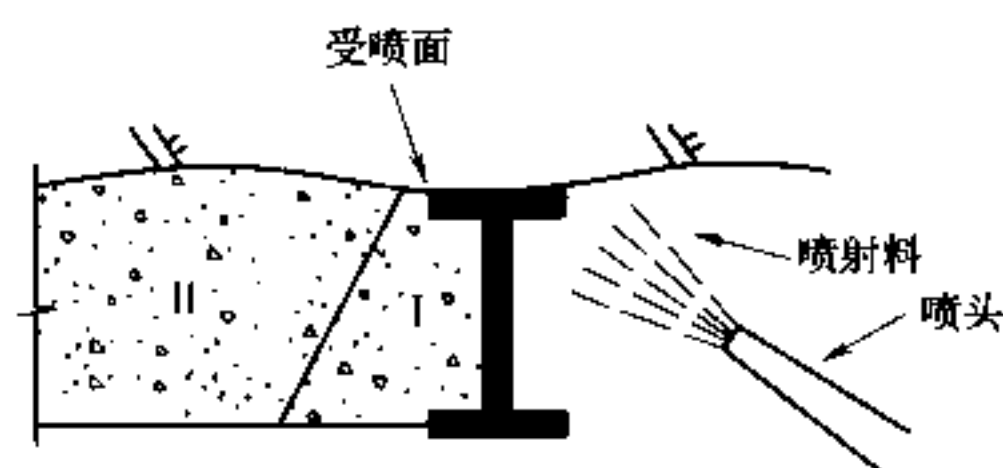


图 8.1.4—1 钢架背后的喷射角度
受喷面

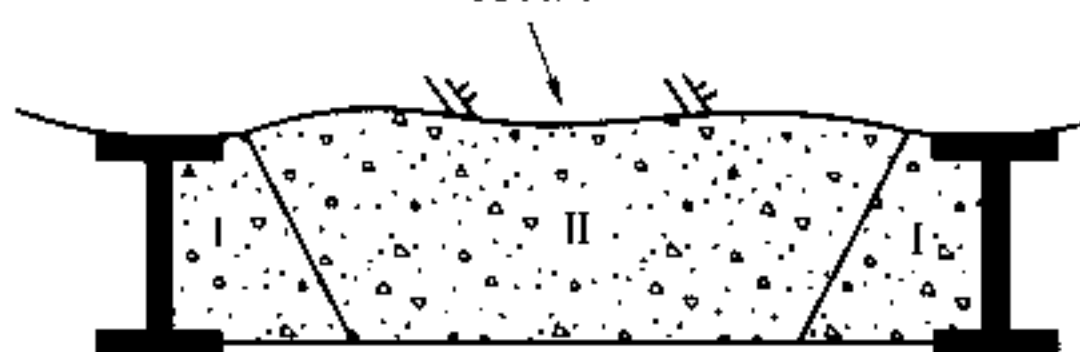


图 8.1.4—2 钢架之间的混凝土喷射顺序

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。

8.1.5 喷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（100 mm 的立方体），在标准养护条件下养护 28 d，用标准试验方法测得的极限抗压强度乘以 0.95，测试方法见附录 E。

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 7 d 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 50 mm。

3 可直接向边长 150 mm 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。

8.1.6 喷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。

8.1.7 喷钢纤维混凝土应符合下列规定:

1 采用喷钢纤维混凝土做初期支护时,应根据围岩地质条件确定喷层厚度;喷钢纤维混凝土的韧度指标应满足围岩地质条件、变形量级和工程类型的要求。

2 喷钢纤维混凝土的材料应符合下列规定:

- 1) 钢纤维内不得有明显的锈蚀、油脂及其他妨碍钢纤维与水泥粘结的杂质,其中因加工不良造成的粘连片、铁屑及杂质不应超过钢纤维重量的1%。钢纤维内不得混有妨碍水泥硬化的化学成分。
- 2) 钢纤维宜用普通碳素钢制成,钢纤维抗拉强度不得小于600 MPa,钢纤维应能承受一次弯折90°不断裂。钢纤维长度宜为20~35 mm,并不得大于输料软管以及喷嘴内径的7/10倍,等效直径为0.3~0.8 mm,长径比为30~80。
- 3) 钢纤维掺量宜根据弯曲韧度指标确定,并应考虑到喷射时钢纤维混凝土各组分回弹率不同的影响。喷钢纤维混凝土的钢纤维的实际含量不宜大于78.5 kg/m³(体积率1.0%)。最小含量可依据钢纤维的长径比参照表8.1.7—1选用。

表 8.1.7—1 钢纤维混凝土中钢纤维的最小实际含量要求

钢纤维的长径比	40	45	50	55	60	65	70	75	80
最小实际含量 (kg/m ³)	65	50	40	35	30	25	20	20	20
最小实际体积率	0.83	0.64	0.51	0.45	0.38	0.32	0.25	0.25	0.25

- 4) 喷钢纤维混凝土的强度等级不应低于C25,并应满足结构设计对抗压强度、抗拉强度、抗折强度的要求。喷钢纤维混凝土使用的水泥强度不应低于42.5 MPa。
- 5) 喷钢纤维混凝土采用的骨料应采用连续级配,粗骨料最大粒径不宜大于10 mm;砂率不应小于50%。
- 6) 喷钢纤维混凝土的原材料中宜加入硅粉或粉煤灰等活

性掺和料。硅粉的掺量为水泥重量的 5% ~ 15% , 粉煤灰的掺量为水泥重量的 15% ~ 30% , 掺和料掺量的选择应通过试验确定。

- 7) 喷钢纤维混凝土应采用无碱速凝剂, 其掺量应根据凝结时间确定, 通常可取水泥用量的 2% ~ 8% 。并应掺入高效减水剂和增塑剂, 其品种和剂量应通过试验或工程经验确定, 并应经现场试喷检验。

3 喷钢纤维混凝土配合比设计应满足下列要求:

- 1) 根据喷钢纤维混凝土抗压强度要求确定水胶比。
- 2) 根据弯曲韧度比和弯拉强度要求确定钢纤维掺量。
- 3) 根据和易性和输料性能确定水、胶凝材料用量。
- 4) 根据骨料粒径和级配、砂的细度及和易性确定砂率。
- 5) 水胶比及胶凝材料用量应符合本技术指南第 8.1.2 条及第 8.1.4 条规定。

4 喷钢纤维混凝土的拌和应满足下列要求:

- 1) 喷钢纤维混凝土的拌和工艺应确保钢纤维在拌和物中分散均匀, 不产生结团, 宜优先采用将钢纤维、水泥、粗细骨料先干拌后加水湿拌的方法, 干拌时间不得少于 1.5 min; 或采用先投放水泥、粗细骨料和水, 在拌和过程中分散加入钢纤维的方法。
- 2) 喷钢纤维混凝土的各种材料的重量, 应按施工配合比和一次拌和量计算确定, 各种材料的称量允许误差应符合表 8.1.7—2 的规定。

表 8.1.7—2 材料称量的允许误差

材料名称	钢纤维	水泥、混合材	粗细骨料	水	外加剂
允许误差 (%)	±2	±2	±3	±1	±2

- 3) 钢纤维混凝土的拌和时间应通过现场拌和试验确定, 不宜小于 3 min (较普通混凝土规定的拌和时间延长 1 ~ 2 min)。

4) 喷钢纤维混凝土的表面宜再喷一层厚度为 10 mm 的水泥砂浆, 其强度不应低于喷钢纤维混凝土的强度。

8.1.8 喷合成纤维混凝土施工应符合下列规定:

- 1 喷混凝土中的合成纤维宜采用聚丙烯纤维。
- 2 喷混凝土中所使用纤维长度宜为 19 mm。
- 3 合成纤维抗拉强度不宜小于 280 MPa。
- 4 合成纤维掺入量为 0.9 kg/m^3 。
- 5 拌和时间宜为 4 ~ 5 min, 且纤维已均匀分散成单丝, 否则至少需要延长拌和时间 30 s 方可使用。
- 6 喷合成纤维混凝土的强度等级应符合设计要求, 粗骨料粒径不宜大于 20 mm。
- 7 喷合成纤维混凝土的水胶比宜为 0.35 ~ 0.45。
- 8 合成纤维加入喷混凝土拌和料中时不需要改变原来的混凝土的配合比。

8.1.9 喷混凝土养护应符合下列规定:

- 1 喷混凝土终凝 2 h 后, 应喷水养护, 时间不得少于 14 d。
- 2 气温低于 5 ℃ 时不得喷水养护。

8.1.10 喷混凝土冬期施工应符合下列规定:

- 1 洞口喷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低于 5 ℃。
- 4 混凝土强度未达到 6 MPa 前, 不得受冻。

8.2 锚 杆

8.2.1 砂浆锚杆施工工艺流程见图 8.2.1。

8.2.2 中空锚杆的规格和性能指标应符合现行铁道行业标准《中空锚杆技术条件》(TB/T 3209—2008) 的有关规定, 中空锚杆施工工艺流程见图 8.2.2。

8.2.3 自进式锚杆施工工艺流程见图 8.2.3。

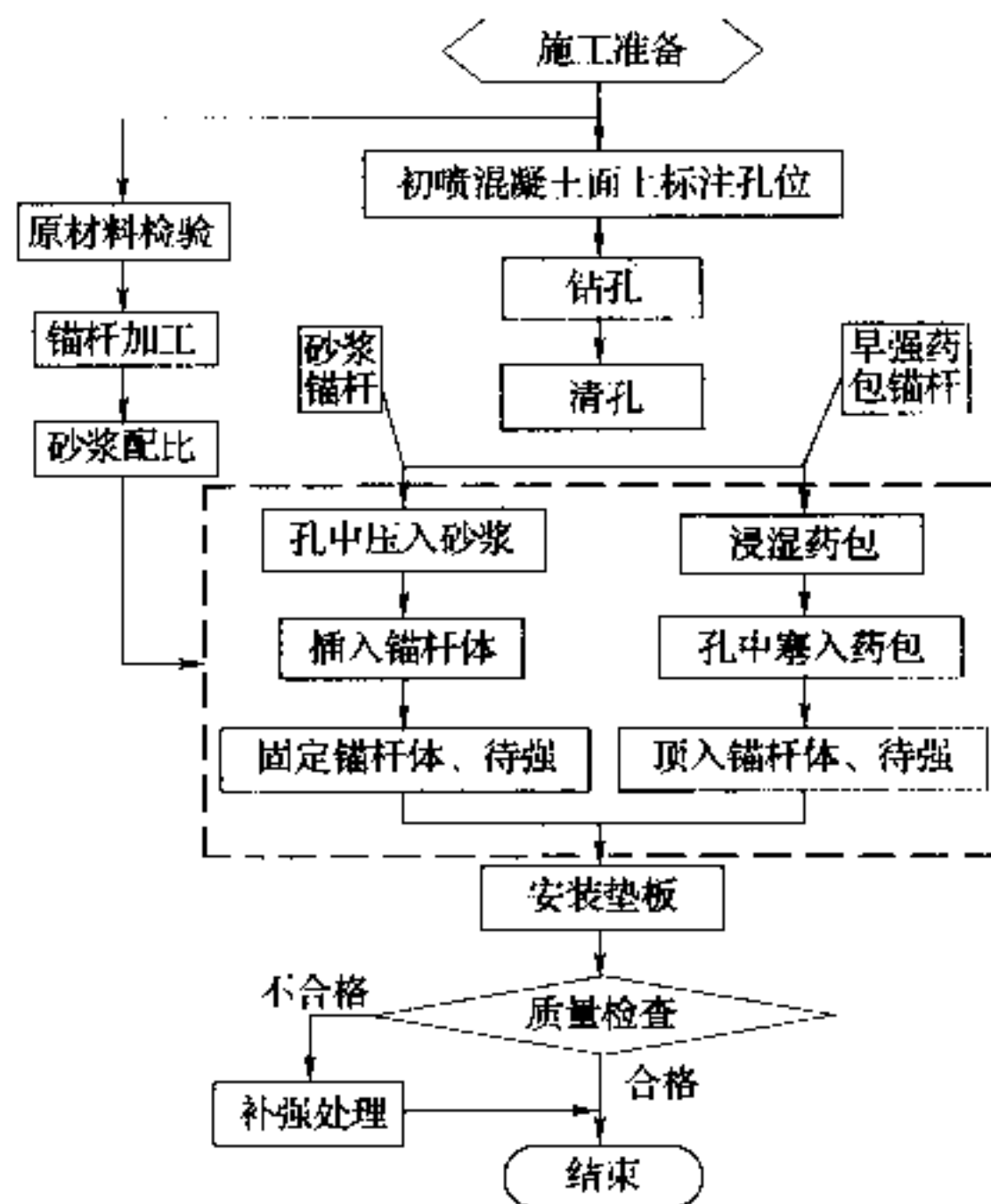


图 8.2.1 砂浆锚杆施工工艺流程图

8.2.4 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 ± 150 mm。
- 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 15 mm。
- 5 锚杆钻孔深度应大于锚杆设计长度 10 cm。
- 6 砂浆锚杆深度的允许误差应为 ± 50 mm。

8.2.5 全长粘结型锚杆施工应符合下列规定：

- 1 锚杆必须加垫板，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、砂浆配合比应满足下列要求：
 - 1) 杆体宜用 HRB335、HRB400 级带肋钢筋，锚杆体材质

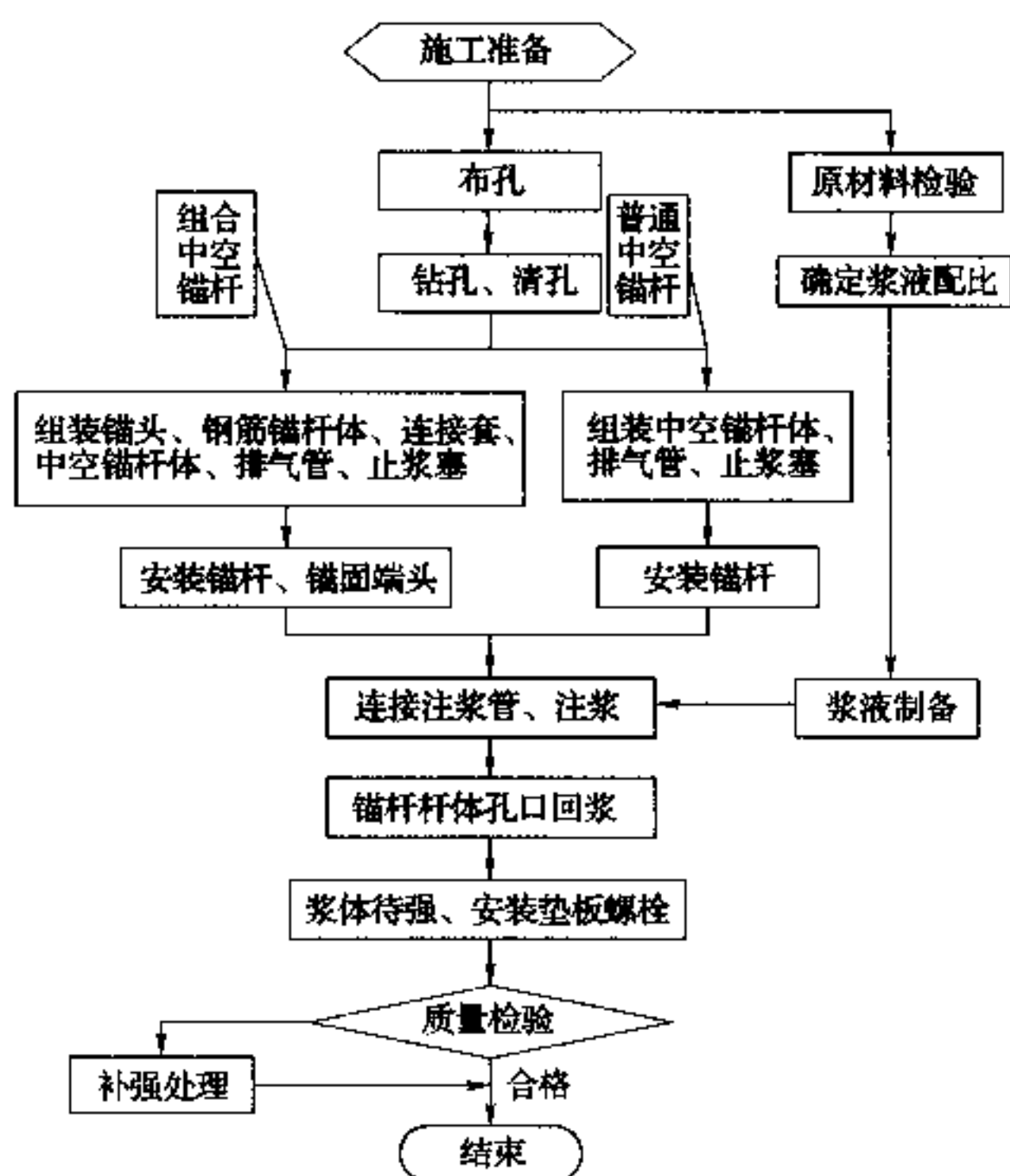


图 8.2.2 中空锚杆施工工艺流程图

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 2.5 mm，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（重量比），水胶比宜为 0.38 ~ 0.45。

4 灌浆作业应满足下列要求：

- 1) 灌浆开始或中途停止超过 30 min 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 50 ~ 100 mm，随砂浆的注入

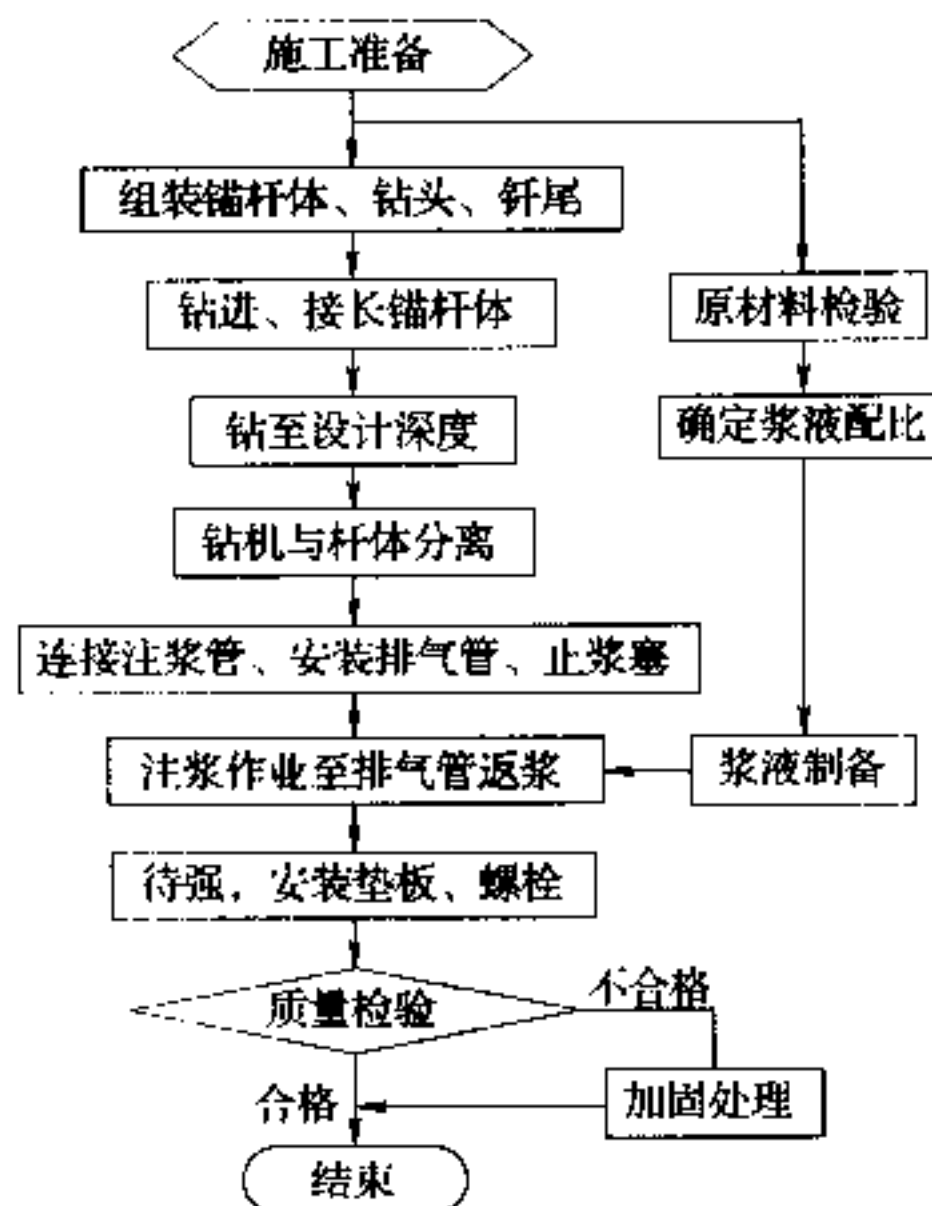


图 8.2.3 自进式锚杆施工工艺流程图

缓慢匀速拔出，杆体插入后若孔口无砂浆溢出，应进行补注。灌浆压力不得大于 0.4 MPa。

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 10 MPa 后进行。

8.2.6 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，锚孔灌浆必须采用锚孔口进浆、中空锚杆体的中空通孔作排气回浆管的注浆工艺。

8.2.7 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 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，注浆完成后应立即安装堵头，见图 8.2.7。

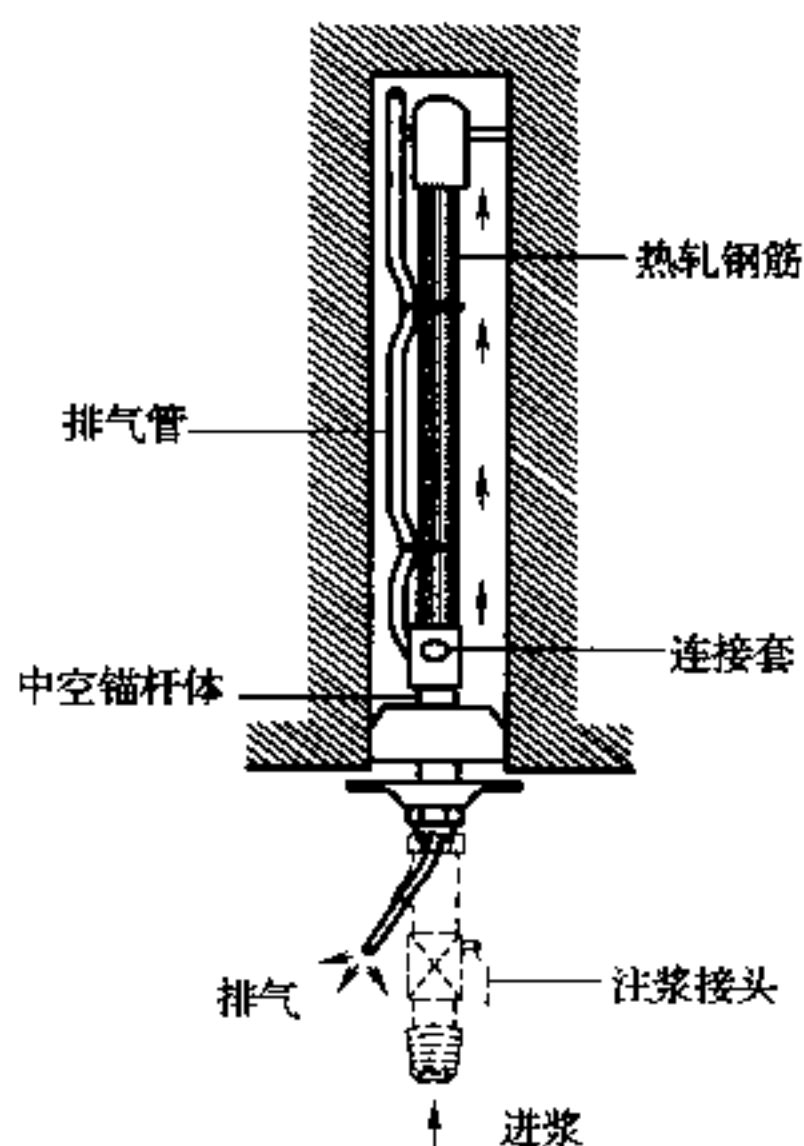


图 8.2.7 组合中空锚杆注浆工艺图

8.2.8 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 1.0 mm。

4 灌浆料由杆体中孔灌入，水泥石强度达 10.0 MPa 后方可上紧螺母。

8.2.9 锚杆施工应在初喷混凝土后进行，以保证锚杆垫板有较平整的基面。

8.2.10 在围岩破碎、自稳时间短、地应力较大地段，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、提高粘结材料的粘结性能等措施。

8.2.11 锚杆施工质量（长度、粘结材料饱满度）可采用无损检测方法进行检查；端锚式锚杆应作锚杆扭力矩—锚固力关系试验，并用标定的力矩拧紧螺母（垫板）。

8.2.12 水下隧道、地下水有腐蚀作用的隧道，锚杆和锚固砂浆应采取相应的防腐措施。

8.3 钢 筋 网

8.3.1 钢筋网施工应符合国家现行《锚杆喷射混凝土支护技术规范》（GB 50086）、《铁路隧道喷锚构筑法技术规范》（TB 10108）的规定。

8.3.2 钢筋网的材料应符合下列规定：

1 钢筋网材料宜采用 HPB235 钢，钢筋直径宜为 6~8 mm。

2 网格尺寸宜采用 150~300 mm，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。

8.3.3 钢筋网铺设应满足下列要求：

1 钢筋网应在初喷混凝土后安装，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。

8.4 钢 架

8.4.1 钢架施工工艺流程见图 8.4.1。

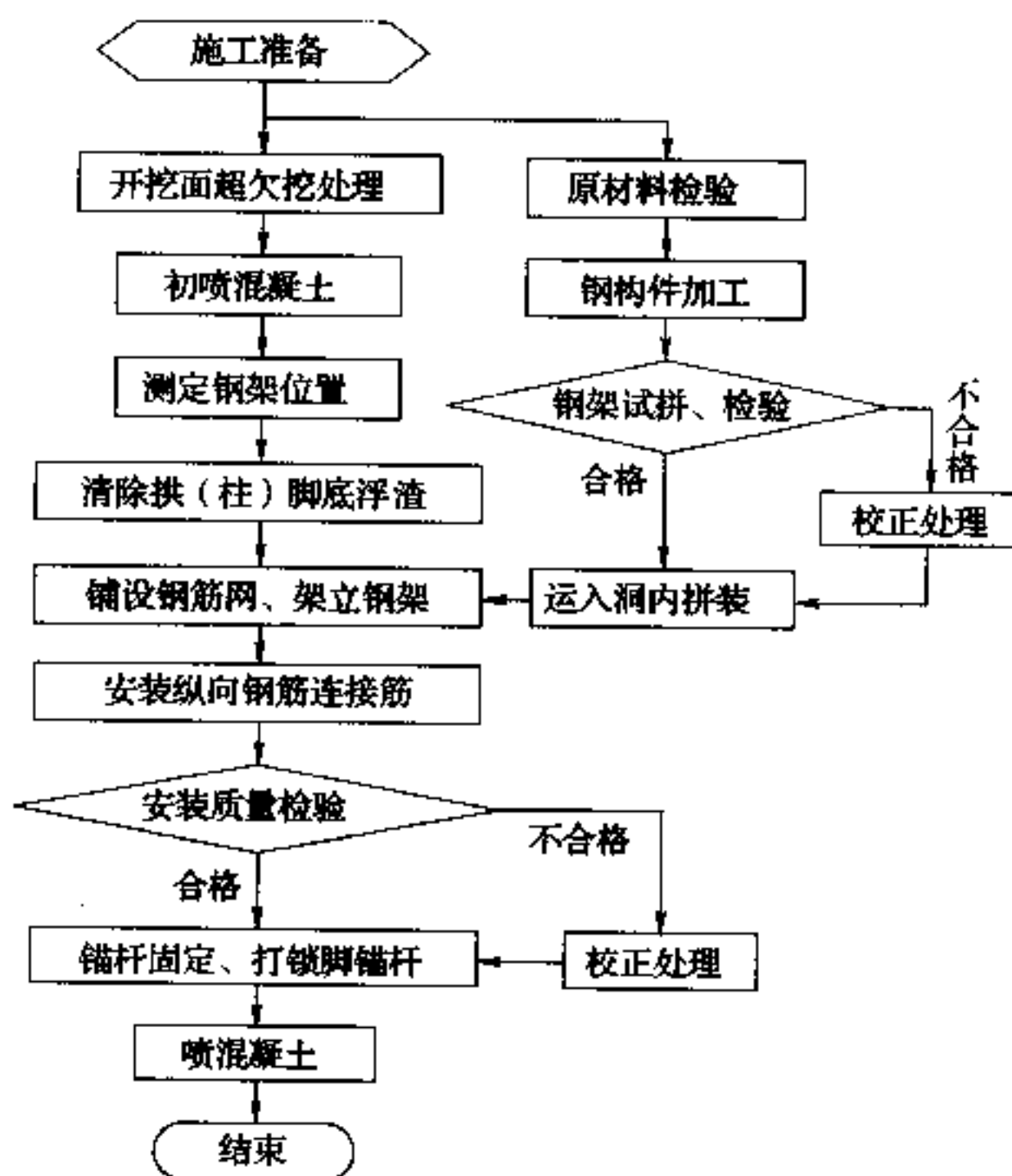


图 8.4.1 钢架施工工艺流程图

8.4.2 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；格栅钢架应采用胎膜焊接，并以 1:1 大样控制尺寸。

3 钢架加工的焊接不得有假焊，焊缝表面不得有裂纹、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 ± 3 cm，平面翘曲允许偏差应为 2 cm。

8.4.3 钢架安装应符合下列规定：

1 钢架应在开挖或初喷混凝土后及时架设。

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 ± 5 cm，垂直度为 $\pm 2^\circ$ 。

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 2 m 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 在膨胀性或地应力大的地层中，钢架接头宜采用能滑移的可缩式钢架。可缩接头处应预留 20 cm 左右宽的部位暂不喷混凝土，待可缩接头合龙或围岩变形基本稳定后，再将预留部位喷满混凝土。

8 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 3.5 m，每侧数量为 2 ~ 3 组（每组 2 根）。下半部开挖后钢架应及时落底。

9 钢架应与喷混凝土形成一体，钢架与围岩间的间隙用喷混凝土充填密实；各种形式的钢架应全部被喷混凝土覆盖，保护层厚度不得小于 4 cm。

10 开挖下台阶时，根据需要在拱脚下可设纵向托梁，把几排钢架（格栅）连成一个整体。

9 二次衬砌

9.1 一般规定

- 9.1.1** 二次衬砌混凝土施工应符合现行《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》(铁建设〔2005〕160号)及《铁路隧道工程施工质量验收标准》(TB 10417)的有关规定。隧道二次衬砌结构混凝土应密实、表面平整光滑、曲线圆顺,满足设计强度、防水、耐久性的要求。
- 9.1.2** 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、掺和料等原材料进行检验,各项技术指标应符合《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》(铁建设〔2005〕160号)及《铁路隧道工程施工质量验收标准》(TB 10417)的有关规定。
- 9.1.3** 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),以免侵限。
- 9.1.4** 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。
- 9.1.5** 二次衬砌施工的顺序是仰拱超前,墙、拱整体浇筑。边墙基础高度的位置(水平施工缝)应避开剪应力最大的截面,并按设计要求作防水处理。
- 9.1.6** 混凝土生产应采用具有自动计量装置的拌和站、拌和输送车、混凝土输送泵、插入式与附着式组合振捣的机械化作业线。
- 9.1.7** 二次衬砌的混凝土,从原材料的检验和选用、混凝土的配比和拌制、浇筑温度的控制和振捣、到衬砌养护的各工序必须按要求操作,防止衬砌裂缝的产生。

9.2 二次衬砌施工

9.2.1 二次衬砌施工工艺流程见图 9.2.1。

9.2.2 二次衬砌施作的条件应符合下列规定：

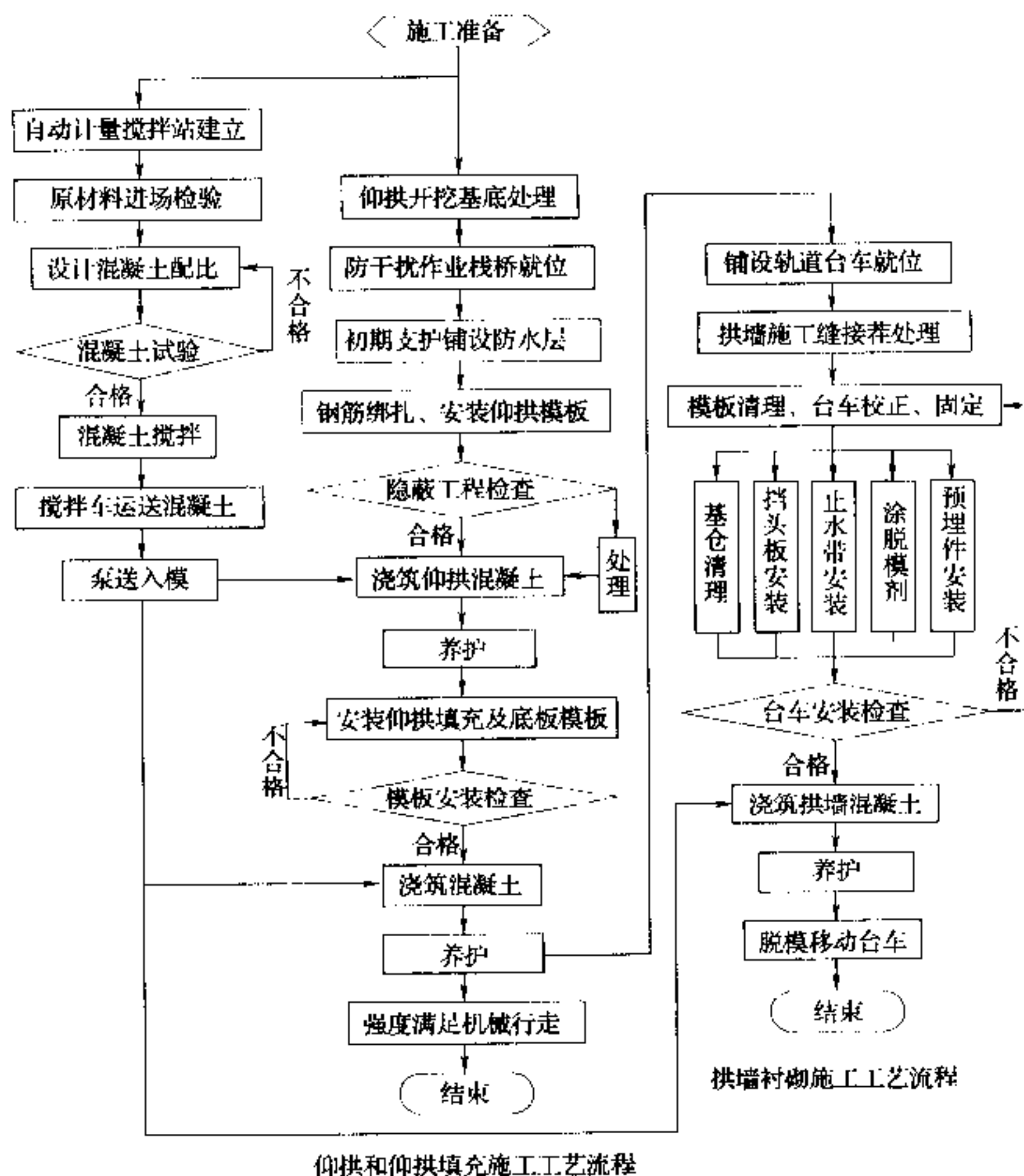


图 9.2.1 二次衬砌施工工艺流程图

1 二次衬砌施作一般应在围岩和初期支护变形趋于稳定后进行,变形趋于稳定应符合:隧道周边变形速率明显下降并趋于缓和;或水平收敛(拱脚附近7 d平均值)小于0.2 mm/d、拱部下沉速度小于0.15 mm/d;或施作二次衬砌前的累计位移值已达极限位移值的80%以上。

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;防水层表面粉尘已清除干净。

4 防水层铺设位置应超前二次衬砌施工18~24 m。

5 隧道中线、高程、断面尺寸必须符合设计要求。

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必须清理干净。

7 模板台车、拌和站、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。

9.2.3 仰拱和底板施工应符合下列规定:

1 施工前,应将隧底虚渣、杂物、泥浆、积水等清理干净,并用高压风将隧底吹洗干净,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倍以上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 隧底开挖后应及时施作仰拱或混凝土找平层,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,采用板式无砟轨道的隧道,底板应与无砟轨道底座统一施工。

5 仰拱施工缝和变形缝应作防水处理。

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

9.2.4 模板台车设计加工应满足下列要求:

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。宜采用 43 kg/m 以上的钢轨为行走轨道。

3 面板厚度不宜小于 10 mm。

4 模板台车长度: 直线隧道宜为 9 ~ 12 m, 曲线隧道宜为 6 ~ 9 m。

5 边墙工作窗应分层布置, 层高不宜大于 1.5 m, 每层的间距宜为 2 m 左右, 其净空不宜小于 45 cm × 45 cm, 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 拱顶部位应预留不少于 2 个注浆孔。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性能和抗上浮性能。

9.2.5 模板台车的使用应满足下列要求:

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 模板应与混凝土有适当的搭接 (≥ 10 cm, 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能超过 2 m, 台车前后混凝土高度差不能超过 0.6 m, 左右混凝土高度不能超过 0.5 m, 严禁单侧一次浇筑超过 1 m 以上。

4 应优先采用插入式振捣器进行混凝土振捣, 当采用附着式振动时, 振动时间尽量采用短时间、多次数左右对称的方法。防止台车因振动时的微移位或弹性变形。

9.2.6 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 8 MPa 以上。

2 初期支护未稳定提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得大于 20 ℃, 结构内外侧表面温差不得大于 15 ℃; 混凝土内部开始降温前不得拆模。

9.3 衬砌混凝土施工

9.3.1 衬砌混凝土材料应符合表 9.3.1 的规定。

表 9.3.1 衬砌混凝土材料的技术要求

材料名称	技 术 要 求
水泥	<p>1) 水泥宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥, 水泥混合材宜采用矿渣或粉煤灰, 水泥的强度等级不应低于 42.5 级, 不宜使用早强水泥。</p> <p>2) 有耐硫酸盐侵蚀要求的混凝土也可选用中抗硫酸盐硅酸盐水泥或高抗硫酸盐硅酸盐水泥。</p> <p>3) 不得使用过期或受潮结块的水泥, 并不得将不同品种或强度等级的水泥混合使用</p>
细骨料	<p>1) 应优先选用天然中粗河砂, 也可选用采用专门机组生产的人工砂, 不宜采用山砂, 不得使用海砂。</p> <p>2) 含泥量不应大于 3%, 泥块、云母、轻物质、硫化物或硫酸盐含量 (折算为 SO_3) 含量不应大于 0.5%, Cl^- 含量不大于 0.02%, 吸水率应不大于 2%。</p> <p>3) 中级细骨料细度模数应为 3.0~2.3, 粗细骨料细度模数 3.7~3.1</p>

续上表

材料名称	技 术 要 求
粗骨料	<p>1) 粗骨料宜选用级配合理、粒性良好、质地均匀坚固、线胀系数小的洁净碎石或碎卵石，不宜采用砂岩碎石，松散堆积密度应大于 $1\,500\text{ kg/m}^3$，紧密空隙率宜小于 40%。</p> <p>2) 含泥量不应大于 1%，泥块含量不大于 0.25%，硫化物或硫酸盐含量（折算为 SO_3）含量不应大于 0.5%，Cl^- 含量不大于 0.02%，针片状颗粒总含量不大于 10，吸水率应不大于 2%。</p>
水	<p>1) 拌制混凝土所用的水，应符合现行《混凝土拌和用水标准》（JGJ 63）的规定，pH 值大于 4.5，不得采用海水。</p> <p>2) 钢筋混凝土用水：不溶物小于 $2\,000\text{ mg/L}$，可溶物小于 $5\,000\text{ mg/L}$，氯化物（以 Cl^- 计）小于 $1\,000\text{ mg/L}$，硫酸盐（以 SO_4^{2-} 计）小于 $2\,000\text{ mg/L}$，碱含量（以当量 Na_2O 计）小于 $1\,500\text{ mg/L}$。</p> <p>3) 素混凝土用水：不溶物小于 $5\,000\text{ mg/L}$，可溶物小于 $10\,000\text{ mg/L}$，氯化物（以 Cl^- 计）小于 $3\,500\text{ mg/L}$，硫酸盐（以 SO_4^{2-} 计）小于 $2\,700\text{ mg/L}$，碱含量（以当量 Na_2O 计）小于 $1\,500\text{ mg/L}$。</p>
外加剂	应符合现行国家标准《混凝土外加剂》（GB 8076）、《混凝土外加剂应用技术规范》（GB 50119）或行业标准一等品及以上的质量要求和其他有关环境保护的规定，品种和掺量应经试验确定。
掺和料	矿物掺和料应选用品质稳定的产品。矿物掺和料的品种宜为粉煤灰、磨细粉煤灰、矿渣粉或硅灰。

9.3.2 钢筋混凝土中钢筋质量指标：屈服强度、抗拉强度、伸长率和冷弯试验，应符合现行国家标准《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》（GB 13013）、《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》（GB 1499）和《低碳钢热轧圆盘条》（GB/T 701）等的规定和设计要求。

9.3.3 钢筋的储存、运输、加工、安装应满足耐久性混凝土施工和设计的要求。

9.3.4 从事钢筋加工和焊（连）接的操作人员必须经考试合格，持证上岗。

9.3.5 混凝土性能应符合下列规定：

1 混凝土的强度必须符合设计要求。混凝土抗压强度在标准条件下养护的试件，试验龄期为 56 d，抗压强度试件应在混凝土的浇筑地点随机抽样制作，其试件的取样与留置频率应符合

《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》的规定。

2 混凝土应制作抗压强度同条件养护法试件。其取样、养护方式和试件留置数量应符合铁道部现行标准《铁路工程结构混凝土强度检测规程》(TB 10426)第6.4节的规定,且抗压强度必须符合设计要求。

3 混凝土的弹性模量必须符合设计要求。弹性模量试件应在混凝土的浇筑地点随机抽样制作,试件制作数量应符合《铁路工程结构混凝土强度检测规程》(TB 10426)第6.4节的规定。

4 混凝土的抗渗等级应符合设计要求。抗渗试件应在混凝土的浇筑地点随机抽样制作。

5 混凝土的早期强度,在不掺缓凝剂的情况下,要求12 h标养试件抗压强度不大于8 MPa或24 h标养试件不大于12 MPa。

9.3.6 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。配制的混凝土拌和物应满足施工要求,配制成的混凝土应满足设计强度、耐久性等的质量要求。当设计对混凝土的耐久性指标无具体要求时,应按《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》的要求确定。

2 混凝土中的碱含量应符合设计要求。设计无具体要求的,当骨料的碱—硅酸反应砂浆棒膨胀率在0.10%~0.20%时,混凝土的碱含量应符合《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》(铁建设〔2005〕160号)第6.3节的规定;当骨料的砂浆棒膨胀率在0.20%~0.30%时,除了混凝土的碱含量应满足《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》的规定外,应在混凝土中掺加具有明显抑制效能的矿物掺和料和外加剂,并经试验证明抑制有效,试验方法可采用《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》附录J规定的方法。

3 钢筋混凝土中由水泥、矿物掺和料、骨料、外加剂和拌和用水等引入的氯离子总含量不应超过胶凝材料总量的 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。当设计无具体要求时，应满足《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》(铁建设〔2005〕160号)第6.3节的规定。胶凝材料的抗蚀系数不得小于0.8。试验方法按《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》(铁建设〔2005〕160号)附录J进行。

9.3.7 混凝土的拌和应符合下列规定：

1 混凝土的拌和宜采用卧轴式、行星式或逆流式拌和机并严格控制拌和时间，拌和时间不应小于3 min。

2 混凝土拌制前，应测定砂、石含水率，并根据测试结果、环境条件、工作性能要求等及时调整施工配合比。

3 混凝土原材料每盘称量偏差应符合《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》的规定。

4 混凝土拌制过程中，应对混凝土拌和物的坍落度进行测定，测定值应符合理论配合比的要求；并应对混凝土拌和物的水胶比进行测定，测定值应符合施工配合比的要求。

5 混凝土拌和物的人模含气量应满足设计要求。当设计无具体要求时，含气量应按《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》(铁建设〔2005〕160号)第6.4节的要求控制。

9.3.8 混凝土浇筑应符合下列规定：

1 混凝土浇筑前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，混凝土应作现场坍落度检查，泵送混凝土一般以15~18 cm为宜(采用减水剂后，混凝土坍落度可降低)。

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 50 cm 以内，同时应合理控制混凝土浇筑速度；浇筑混凝土时不得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，不得在混凝土浇筑仓内平拖。泵送下料口应及时移动，不得用插入式振动棒将下料口处堆积的拌和物推向远处，振捣时间宜为 10 ~ 30 s；混凝土振捣时，振捣棒不得接触防水板，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 50 cm，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。

9.3.9 混凝土浇筑中的温度控制应符合下列规定：

1 混凝土的人模温度应按洞内温度调整。

2 冬期施工时，混凝土的人模温度不应低于 5℃；夏期施工时，混凝土的人模温度不宜高于洞内温度且不宜超过 30℃。

3 施工过程中要估计混凝土温度与拉应力的变化，提出混凝土温度的控制值，并在施工养护过程中实际测定关键截面的中部点温度和离表面约 5 cm 深处的表层温度（包括仰拱和底板），实行严格的温度控制。

4 二次衬砌结构任一截面在任一时间内的内部最高温度与表层温度之差不宜大于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，新浇筑混凝土与上一区段衬砌混凝土或围岩之间的温差不大于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，洒于混凝土表面的养护水温度低于混凝土表面温度的差值不大于 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5 混凝土的降温速率最大不宜超过 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。

9.3.10 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。

9.3.11 混凝土浇筑完毕后，混凝土养护的最低期限应符合《铁路工程结构混凝土强度检测规程》(TB 10426) 第 6.4 节的规定，且不得中断。混凝土养护期间，混凝土内部温度不宜超过 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最高不得大于 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；混凝土内部温度与表面温度之差、表面温度与环境温度之差不宜大于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，养护用水温度与混凝土表面温度之差不得大于 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。当采用养护剂养护时，养护剂应符合《水泥混凝土养护剂》(JC 901) 规定。

9.3.12 二次衬砌施工中裂（纹）缝的处理应满足下列要求：

1 当混凝土施工过程中出现裂（纹）缝，应记录裂（纹）缝出现的时间、部位、尺寸和处理等情况。

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纹进行处理。对 0.2 mm 以下的细小裂纹，采取密封剂封闭裂纹；对于裂纹宽度大于 0.2 mm 的裂缝，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。

9.4 拱顶回填注浆

9.4.1 二次衬砌拱顶回填注浆可采用注浆导管法（预留注浆孔法、纵向预留管道法）或防水板焊接注浆底座法，施工中可根据实际需要选用。

9.4.2 二次衬砌混凝土强度达到设计强度 100% 后应进行拱顶回填注浆。

9.4.3 注浆导管法：在模板台车拱顶处设锥形堵头或预留注浆孔，注浆孔间距宜为 5 ~ 6 m；或者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 9.4.3）。在二衬混凝土终凝后，实施补充注浆并应满足下列要求：

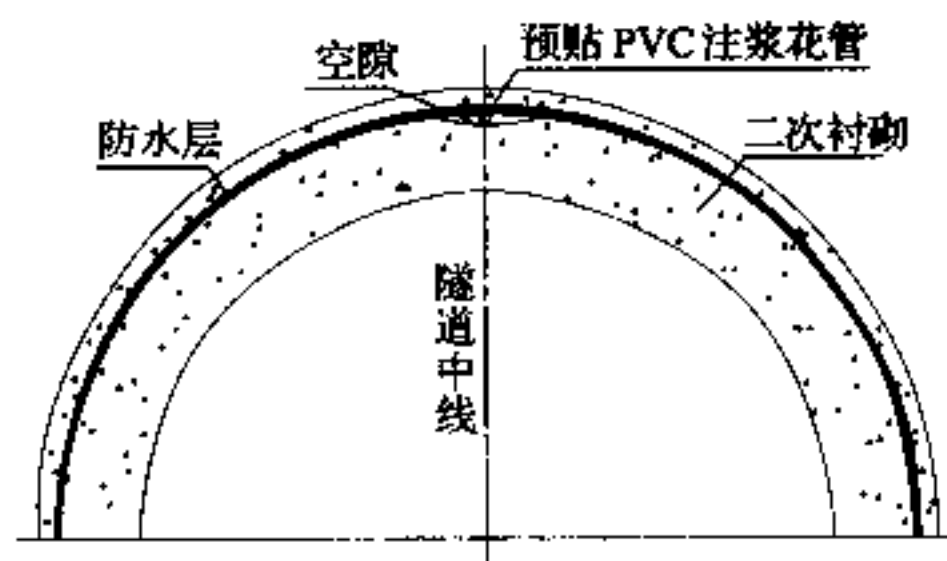


图 9.4.3 预贴 PVC 注浆花管处理
拱顶干缩性空隙示意图

1 注浆管用 $\phi 32$ mm 钢管制成，长度等于衬砌厚度加 200 mm（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 $\phi 20$ mm ~ $\phi 30$ mm PVC 管，长度等于衬砌段长度加 200 mm（外露），外露端应有连接管路的装置。

3 回填注浆压力宜控制在 0.2 MPa 以内。

4 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 3 min 后的流动度为不小于 260 mm，30 min 后的流动度为不小于 240 mm。

5 待孔口封堵材料达到一定强度后，才能开始注浆。

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

7 当注浆压力达到 0.2 MPa 或相邻孔出现串浆时, 即可结束本孔注浆。

9.4.4 拱部防水板焊接注浆底座法应满足下列要求:

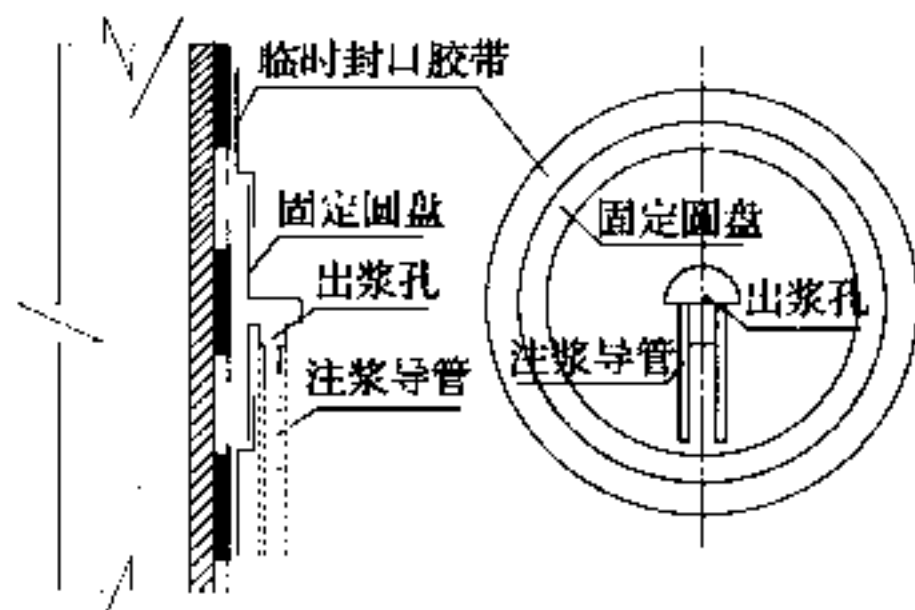


图 9.4.4 注浆底座安装图

1 注浆系统包括注浆底座和注浆导管, 注浆底座的材质必须与防水板材质相同, 注浆底座沿拱顶纵向一排, 间距 3 ~ 4 m。

2 注浆底座采用热熔焊接法固定在防水板的内表面, 固定点不得多于 4 个, 每处的焊接面不大于 10 mm × 10 mm。

3 注浆底座与防水板必须焊接牢固、可靠, 避免浇筑和振捣混凝土时脱落。

4 用塑料胶粘带将注浆底座四周封闭, 避免浇筑混凝土时浆液进入注浆底座内堵塞注浆导管, 注浆导管的引出部位可根据现场的条件确定。

9.4.5 注浆效果检查可采用无损检测法, 对于不符合要求的地段必须进行补孔注浆。

10 防 排 水

10.1 一 般 规 定

10.1.1 隧道工程防排水施工，应按照“防、堵、截、排，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。

10.1.2 隧道结构防排水必须按照设计施工，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得低于 P6，设计采用防水混凝土时，其抗渗等级不得低于 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。

10.1.3 隧道工程防排水施工应积极采用经过试验和鉴定并经实践检验行之有效的新材料、新工艺、新技术，根据工程的水文地质条件、耐久性要求、施工技术水平、防水等级，选用适宜的材料。

10.1.4 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—1996）的规定。对排、渗水可能造成地下水污染时，应采取隔离措施。

10.1.5 隧道工程施工前应对附近的井泉、池沼、水库、溪流等进行调查，必要时进行观测和试验，及时采取相应的措施。

10.2 注浆防水

10.2.1 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。

10.2.2 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。

10.2.3 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。

10.2.4 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。

10.2.5 二次衬砌后有渗漏水时应采用衬砌内注浆。

10.2.6 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。

10.2.7 注浆作业和注浆材料选择可按本技术指南第6.7节和第9.4节的有关规定执行。

10.3 洞口防排水

10.3.1 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及早修建，应在隧道进洞前施作完成，出水口必须防止顺坡散流。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。

10.3.2 洞口防排水施工中，应做好重点排水结构（设施）的施工，并满足下列要求：

1 洞门的排水沟（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。

10.3.3 洞口防排水应保证设计或临时过渡的排水系统畅通无阻，并应满足下列要求：

1 隧道洞顶应整平地表不得积水。

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。

10.3.4 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。

10.4 结构防排水

10.4.1 隧道结构防排水施工工艺流程见图 10.4.1。

10.4.2 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，并用喷混凝土（或砂浆）对基面进行找平处理。

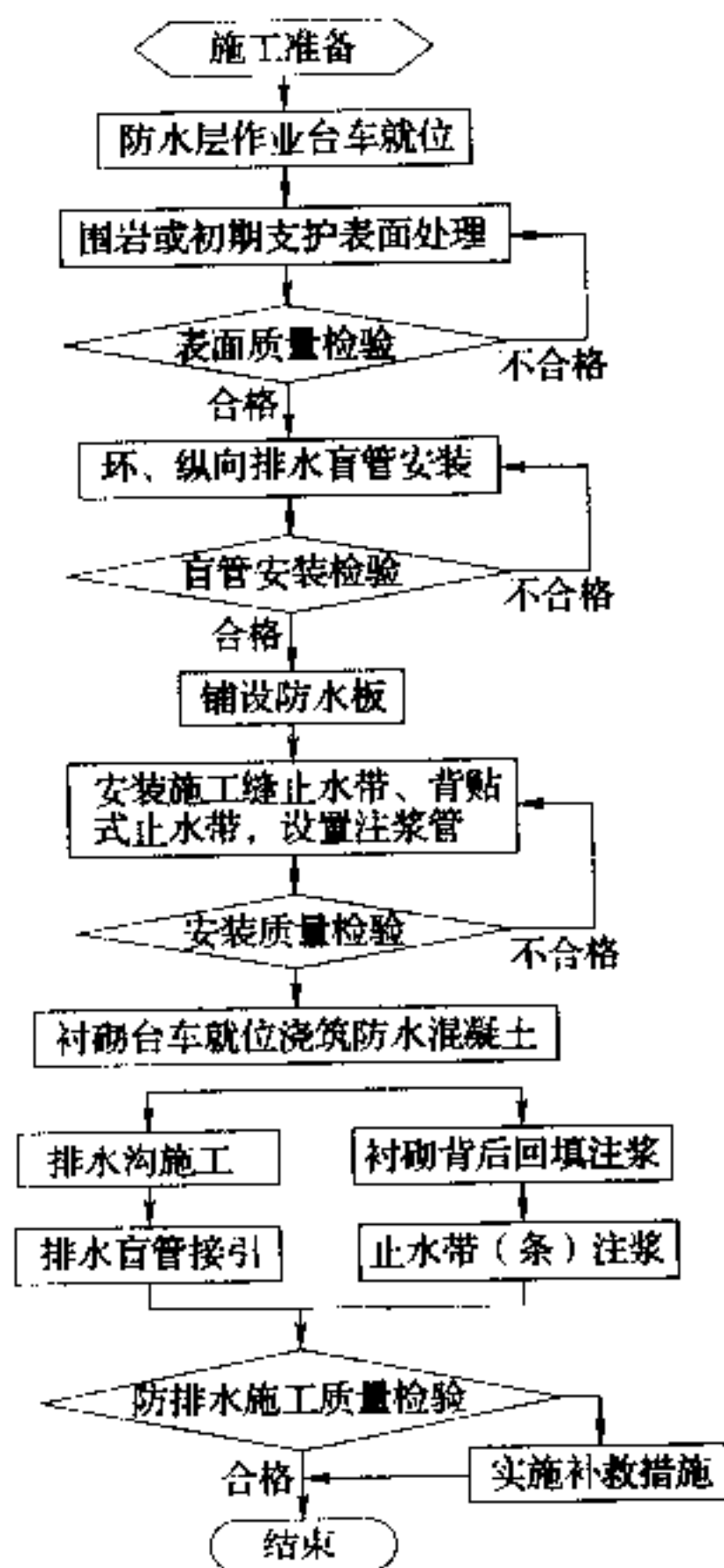


图 10.4.1 结构防排水施工工艺流程图

2 初期支护表面应符合铺设防水板的平整度要求。

10.4.3 初期支护面的处理应满足下列要求：

1 钢筋网等凸出部分，先切断后用锤铆平，抹砂浆（图 10.4.3—1）。

2 有凸出的注浆管头时，先切断，并用锤铆平，后用砂浆填实（图 10.4.3—2）。

3 锚杆有凸出部位时，螺头顶预留 5 mm 切断后，用塑料

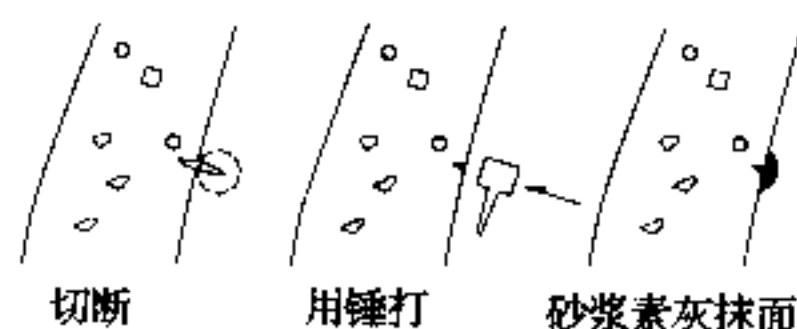


图 10.4.3—1 初期支护面处理

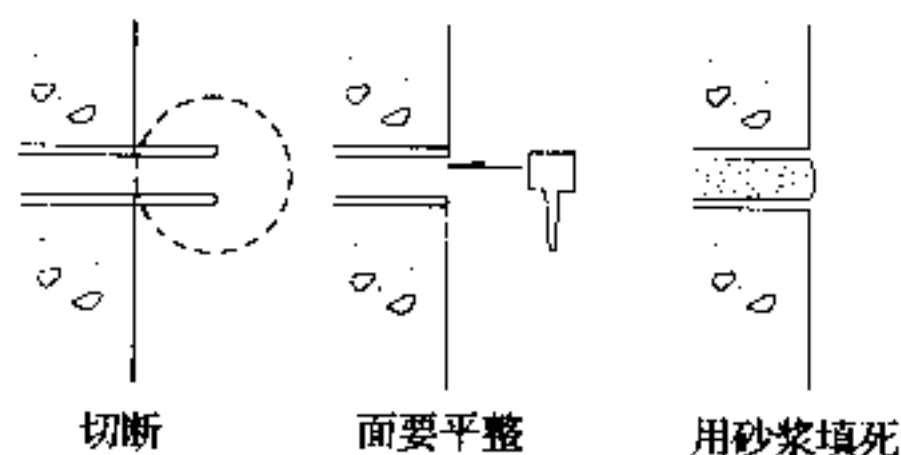


图 10.4.3—2 初期支护面处理

帽遮盖（图 10.4.3—3）。

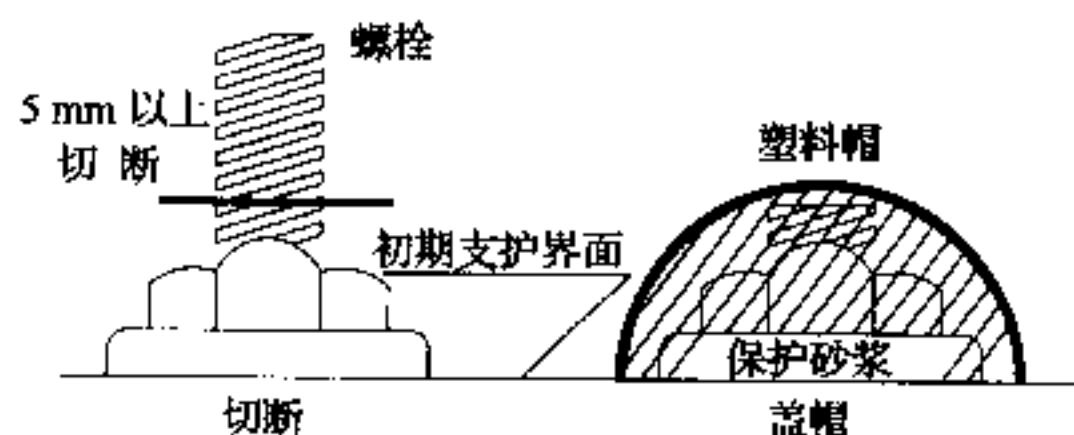


图 10.4.3—3 初期支护面处理

4 通过补喷或凿除使初期支护表面平整圆顺。

10.4.4 排水纵、横、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，并应根据洞内渗、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，施工方法应满足下列要求：

- 1) 按规定划线，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，管身不得变形、不得有裂缝，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，不得高低起伏。管路埋设好后，应进行通水试验，发现漏水、积水，立即处理。

10.4.5 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。

10.4.6 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。

10.4.7 隧道防水板应采用分离式防水板，首先进行缓冲层铺设，然后铺设塑料防水板，防水层施工工艺流程见图 10.4.7。

10.4.8 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。

10.4.9 防水板铺设宜采用专用台车（架）铺设，台车（架）应满足下列要求：

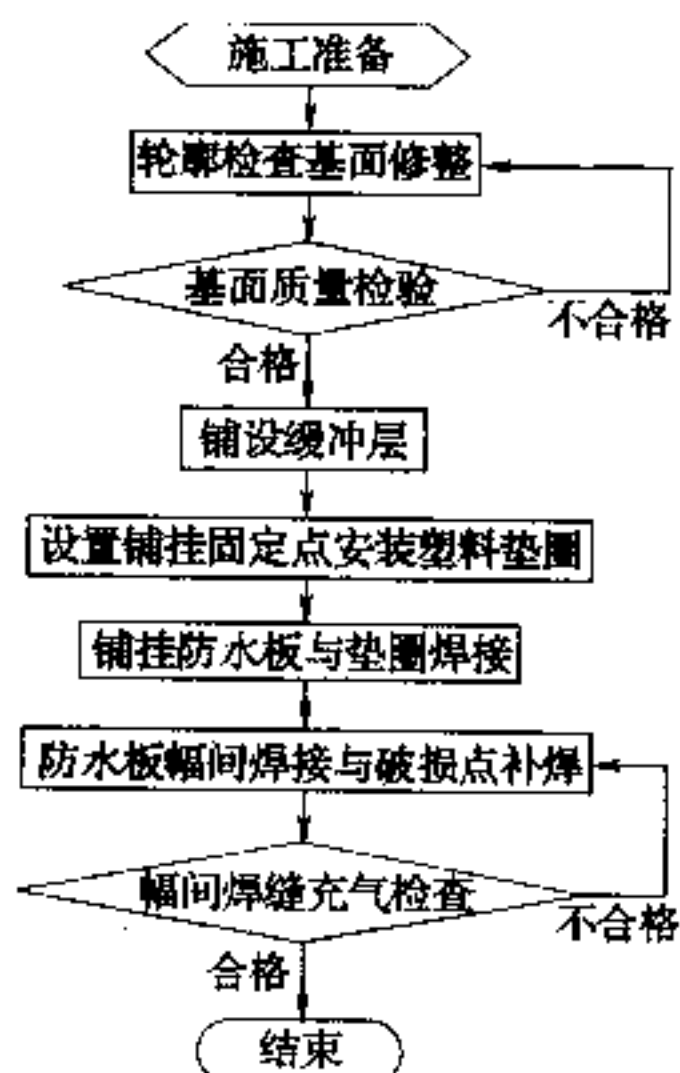


图 10.4.7 防水层施工工艺流程图

- 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。

10.4.10 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 10.4.10—1。

表 10.4.10—1 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满足下列要求:

- 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、气泡及异常黏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,不得添加颜料和填料,特殊要求除外。
- 4) 在不影响使用的条件下,防水板表面凹痕,深度不得超过厚度的5%。

3 防水板物理力学性能应符合表 10.4.10—2 规定。

表 10.4.10—2 防水板的物理力学性能

序号	项 目		指 标		
			EVA	ECB	PE
1	断裂拉伸强度 (MPa)		≥18	≥17	≥18
2	扯断伸长率 (%)		≥650	≥600	≥600
3	撕裂强度 (kN/m)		≥100	≥95	≥95
4	不透水性 (0.3 MPa/24 h)		无渗漏	无渗漏	无渗漏
5	低温弯折性 (°C)		≤-35	≤-35	≤-35
6	加热伸缩量 (mm)	延伸	≤2	≤2	≤2
		收缩	≤6	≤6	≤6
7	热空气老化 (80 °C ×168 h)	断裂拉伸强度 (MPa)	≥16	≥14	≥15
		扯断伸长率 (%)	≥600	≥550	≥550
8	耐碱性 [饱和 Ca(OH) ₂ 溶液 ×168 h]	断裂拉伸强度 (MPa)	≥17	≥16	≥16
		扯断伸长率 (%)	≥600	≥600	≥550
9	人工候化	断裂拉伸强度保持率 (%)	≥80	≥80	≥80
		扯断伸长率保持率 (%)	≥70	≥70	≥70
10	刺破强度 (N)	1.5 mm	300	300	300
		2.0 mm	400	400	400
		2.5 mm	500	500	500
		3.0 mm	600	600	600

4 无纺土工布符合《短纤针刺非织造土工布》(GB/T 17638)标准。

10.4.11 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(图 10.4.11—1),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 $0.5 \sim 0.8 \text{ m}$,边墙 $0.8 \sim 1.0 \text{ m}$,底部 $1 \sim 1.5 \text{ m}$,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得小于 50 mm ,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)压下部(靠近底部的一张)缓冲层压紧,并使缓冲层与喷混凝土表面密贴,铺设的缓冲层应平顺,无隆起,无褶皱。

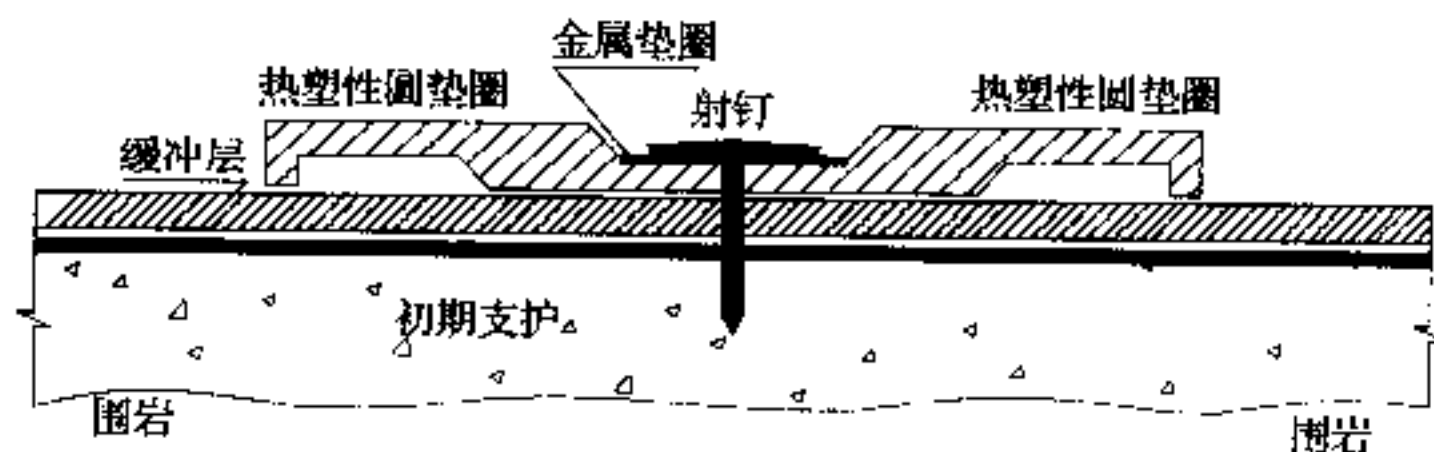


图 10.4.11—1 暗钉圈固定缓冲层示意图

2 防水板铺设应满足下列要求:

- 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,要进行张拉试验、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

笔划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，下部防水板必须压住上部防水板，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 防水板的固定应满足下列要求：

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，而且必须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（图 10.4.11—2）应满足下列要求：

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，接缝处必须擦洗干净，焊缝接头应平整，不得有气泡褶皱及空隙。

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 150 mm。

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。

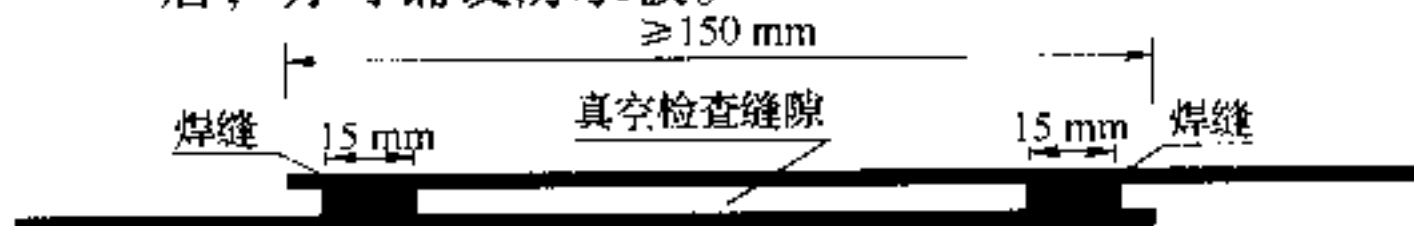


图 10.4.11—2 防水板搭接示意图

- 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 15 mm；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必须是“T”形接头，并采用焊胶打补丁的方式进行加强。焊缝搭接处必须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，若有应予补焊，且用同种材料覆盖焊接。
- 5 防水板的保护应满足下列要求：**
- 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必须加设橡皮垫层。
 - 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，不得在仓内平拖，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 5 cm，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，迎水面要平顺不得形成水囊、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至少 60 cm 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 0.5 ~ 1.0 m。

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。

10.4.12 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 0.25 MPa 时停止充气，保持 15 min，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。

10.4.13 施工缝的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交接处，应留在高出底板顶面不小于 30 cm 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 30 cm。

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 25 ~ 30 mm 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 1 ~ 2 mm，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。

10.4.14 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粘结力的背衬材料或遇水膨胀止水条。

4 嵌缝应密实。

10.4.15 止水带可选用橡胶或塑料止水带。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，不得采用再生橡胶。塑料止水带不得采用再生塑料。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，并应满足下列要求：

1 止水带外观质量应满足下列要求：

1) 止水带表面不允许有开裂、缺胶、海绵状等影响使用的缺陷。塑料止水带外观颜色应为材料本色，不得添加颜料和填料，特殊要求除外。

2) 具体的外观质量要求应符合表 10.4.15—1 的规定。

表 10.4.15—1 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 1 mm 的气泡，每米不得超过 3 处
2	杂 质	面积不大于 4 mm ² 的杂质，每米不得超过 3 处
3	凹 痕	不允许有
4	接缝缺陷	高度不大于 1.5 mm 的凸起或不平，每米不得超过 2 处

2 止水带物理力学性能应满足下列要求：

1) 橡胶止水带的物理力学性能应符合表 10.4.15—2 的规定。

表 10.4.15—2 橡胶止水带的物理力学性能

序号	项 目			B 型	S 型
1	硬度（邵尔 A）（度）			60 ± 5	60 ± 5
2	拉伸强度（MPa）			≥15	≥12
3	扯断伸长率（%）			≥450	≥450
4	压缩永久变形（%）		70 ℃ × 24 h	≤30	≤30
			23 ℃ × 168 h	≤20	≤20
5	撕裂强度（kN/m）			≥30	≥25
6	脆性温度（℃）			≤ - 45	≤ - 45
7	热空气 老化	70 ℃ × 168 h	硬度变化(邵尔 A)(度)	≤ + 6	≤ + 6
			拉伸强度（MPa）	≥12	≥10
			扯断伸长率（%）	≥400	≥400
8	耐碱水	氢氧化钙饱和溶 液 23 ℃ × 168 h	硬度变化(邵尔 A)(度)	≤ + 6	≤ + 6
			拉伸强度（MPa）	≥12	≥10
			扯断伸长率（%）	≥400	≥400
9	臭氧老化 50pphm: 20%，40 ℃，48 h			无龟裂	无龟裂
10 *	橡胶与金属黏合			R 型破坏	

注: * 仅钢边止水带检测橡胶与金属黏合项目。

2) 塑料止水带的物理力学性能应符合表 10.4.15—3 的规定。

表 10.4.15—3 塑料止水带的物理力学性能

序号	项 目		指 标	
			EVA	ECB
1	拉伸强度 (MPa)		≥ 16	≥ 16
2	扯断伸长率 (%)		≥ 600	≥ 600
3	撕裂强度 (kN/m)		≥ 60	≥ 60
4	低温弯折性 (℃)		≤ - 40	≤ - 40
5	热空气老化 (80 ℃ × 168 h)	100% 伸长率 外观	无裂纹	无裂纹
		拉伸强度保持率 (%)	≥ 80	≥ 80
		扯断伸长率保持率 (%)	≥ 70	≥ 70
6	耐碱性 [Ca(OH) ₂ 饱和溶液 × 168 h]	拉伸强度保持率 (%)	≥ 80	≥ 80
		扯断伸长率保持率 (%)	≥ 90	≥ 90

3) 钢边止水带的橡胶的物理力学性能应符合表 10.4.15—2 的规定, 钢边材料应采用热镀锌钢板, 材料性能应符合 GB/T 2518 的规定。

4) 止水带接头部位的拉伸强度指标不得低于表 10.4.15—2、表 10.4.15—3 本体材料的性能。

10.4.16 背贴式止水带施工应符合下列规定:

1 背贴式止水带施工工艺流程见图 10.4.16。

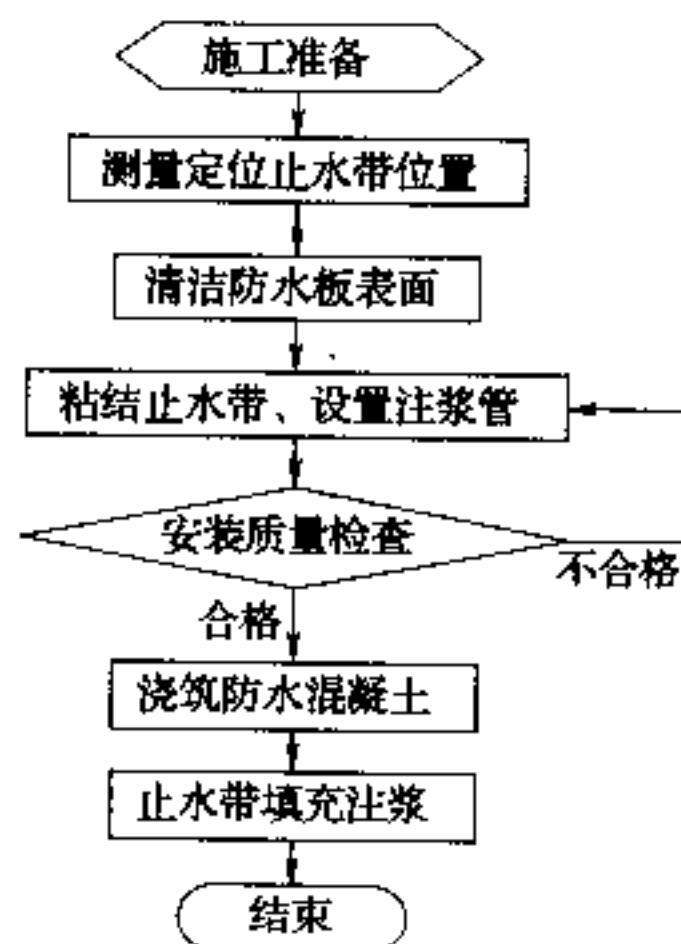


图 10.4.16 背贴式止水带施工工艺流程图

2 背贴式止水带施工应满足下列要求:

- 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, 安装挡头板时不得损伤止水带。

10.4.17 中埋式止水带施工应符合下列规定:

1 中埋式止水带施工工艺流程见图 10.4.17—1。

2 中埋式止水带的固定应满足下列要求:

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

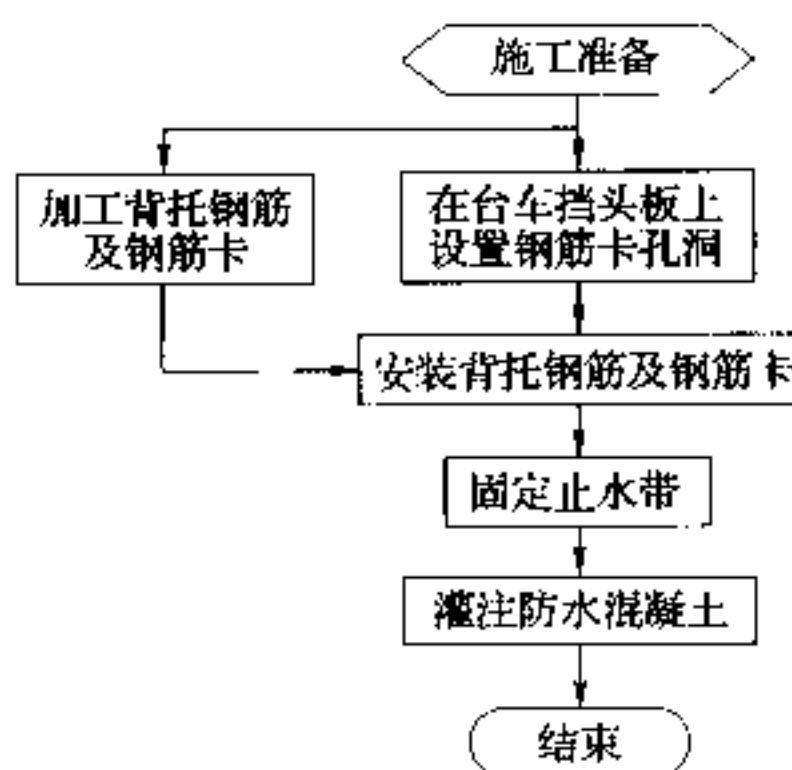


图 10.4.17—1 中埋式止水带施工工艺流程图

- 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，以确保的安装止水带不变形。
- 5) 中埋式止水带施工方法见图 10.4.17—2。

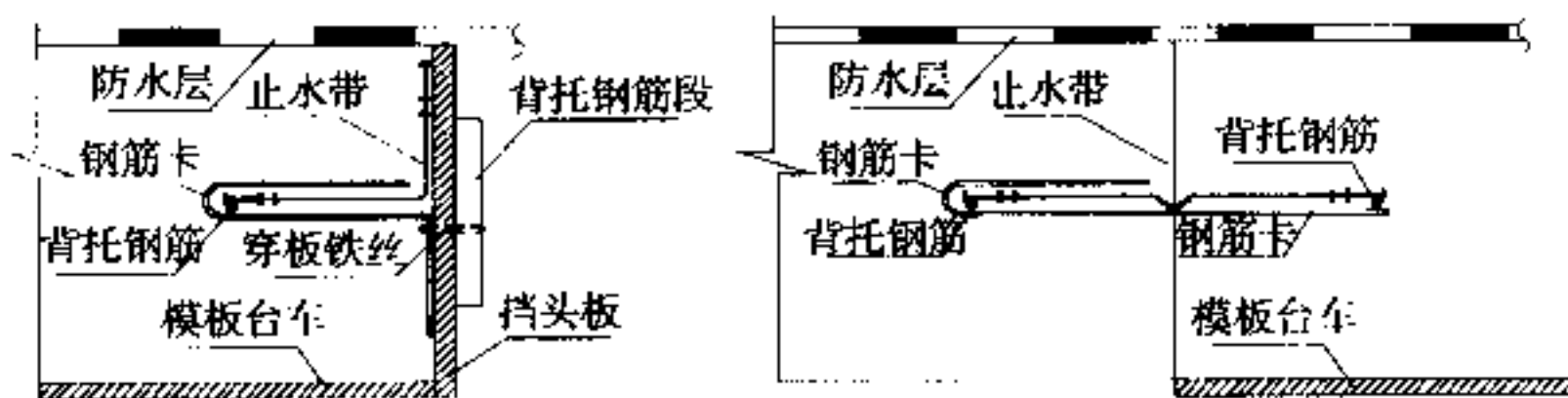


图 10.4.17—2 中埋式止水带施工方法示意图

10.4.18 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 固定止水带时，应防止止水带偏移，以免单侧缩短，影

响止水效果。

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

4 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。

5 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，应满足下列要求（图 10.4.18）：

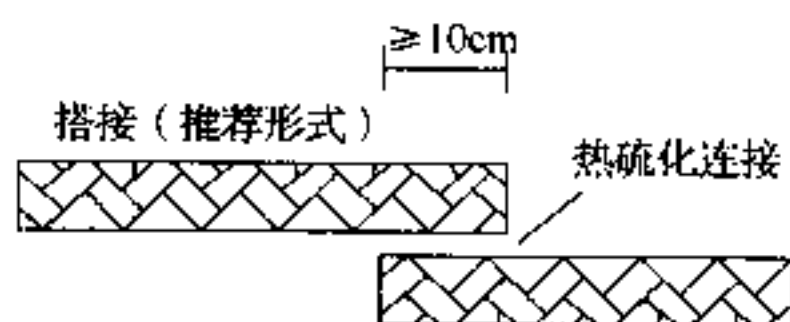


图 10.4.18 止水带常用接头形式

- 1) 橡胶止水带接头必须粘结良好，外观应平整光洁，粘结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，粘结可采用热硫化连接的方法，搭接长度不得小于 10 cm，粘结缝宽不小于 50 mm。
 - 2) 设置止水带接头时，应尽量避免开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。
- 6 止水带安装完成后的质量检查应满足下列要求：
- 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，偏差不应超过 5 cm。
 - 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超过 3 cm。

3) 用角尺检查止水带与二次衬砌端头模板是否正交。

7 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。

10.4.19 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表 10.4.19 的规定。

表 10.4.19 制品型遇水膨胀橡胶止水条物理力学性能

序 号	项 目		指 标
1	硬度 (邵尔 A) (度)		42 ± 7
2	拉伸强度 (MPa)		≥ 3.5
3	扯断伸长率 (%)		≥ 450
4	体积膨胀倍率 (%)		≥ 200
5	反复浸水试验	拉伸强度 (MPa)	≥ 3
		扯断伸长率 (%)	≥ 350
		体积膨胀倍率 (%)	≥ 200
6	低温弯折 $-20^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$		无裂纹
7	防霉等级		优于 2 级

注:硬度为推荐项目,其余均为强制项目;成品切片测试应达到标准的 80%;接头部位的拉伸强度不得低于上表标准性能的 50%;体积膨胀倍率是浸泡后的试样质量与浸泡前的试样质量的比率。

10.4.20 止水条施工应符合下列规定:

- 1 止水条施工工艺流程见图 10.4.20—1。
- 2 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 2~5 mm 厚的水泥浆,待其表

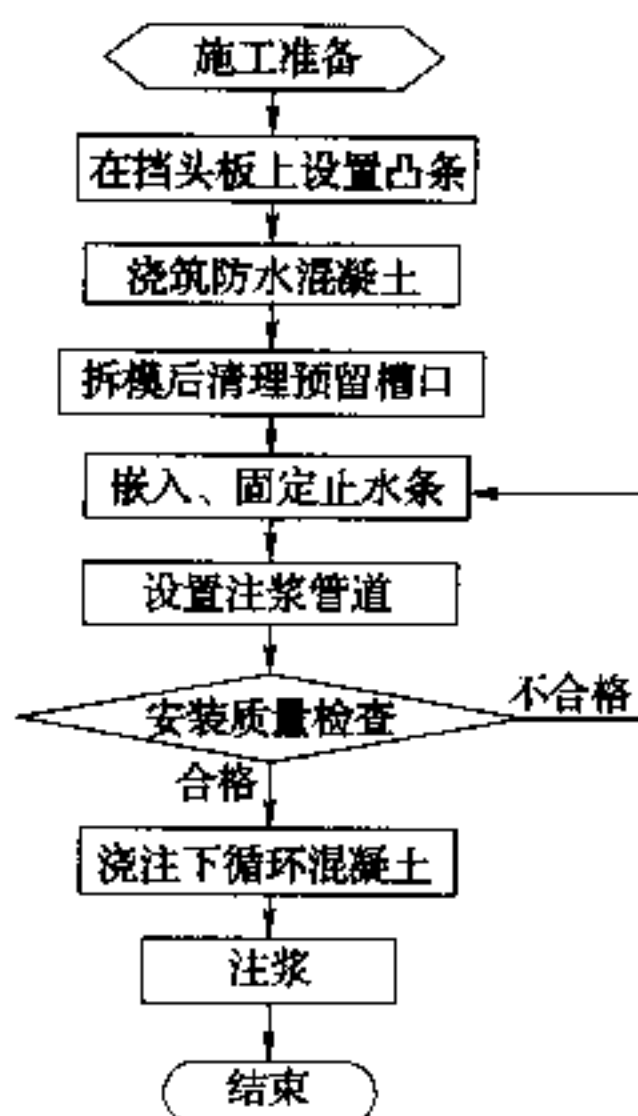


图 10.4.20—1 止水条施工工艺流程图

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。

3 止水条施工应满足下列要求：

- 1) 施工前，必须对止水条的宽度、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，必须对预留槽进行清理，清洗干净、排除杂物。
- 3) 止水条必须安装在预留槽内，安装时先在槽内涂抹一层氯丁胶粘剂，使其粘结牢固，并用水泥钉固定，水

泥钉的间距不宜大于 60 cm。

- 4) 止水条安装应尽量安排在浇筑前 3 ~ 5 h，如有困难提前安装应采取缓膨措施，但最长时间不得超过 24 h。
- 5) 止水条安装时应顺槽拉紧嵌入，确保止水条与槽底密贴，不得有空隙。
- 6) 止水条接头处应重叠搭接后再粘结固定，沿施工缝形成闭合环路，其间不得留断点，见图 10.4.20—2。

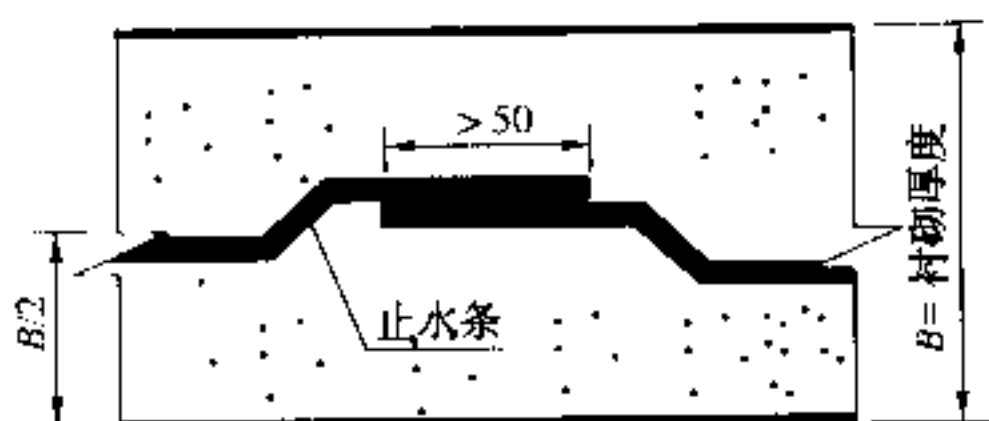


图 10.4.20—2 止水条安装示意图

10.4.21 带注浆孔遇水膨胀止水条施工应满足下列要求：

- 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 30 m 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（图 10.4.21）。
- 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。

10.4.22 变形缝嵌缝材料施工应满足下列要求：

- 1 嵌缝材料要求最大拉伸强度不小于 0.2 MPa，最大伸长率大于 300%，且拉、压循环性能为 80 ℃ 时拉伸 - 压缩率为 $\pm 20\%$ 。
- 2 缝内两侧平整、清洁、无渗水，涂刷的基层处理剂符合

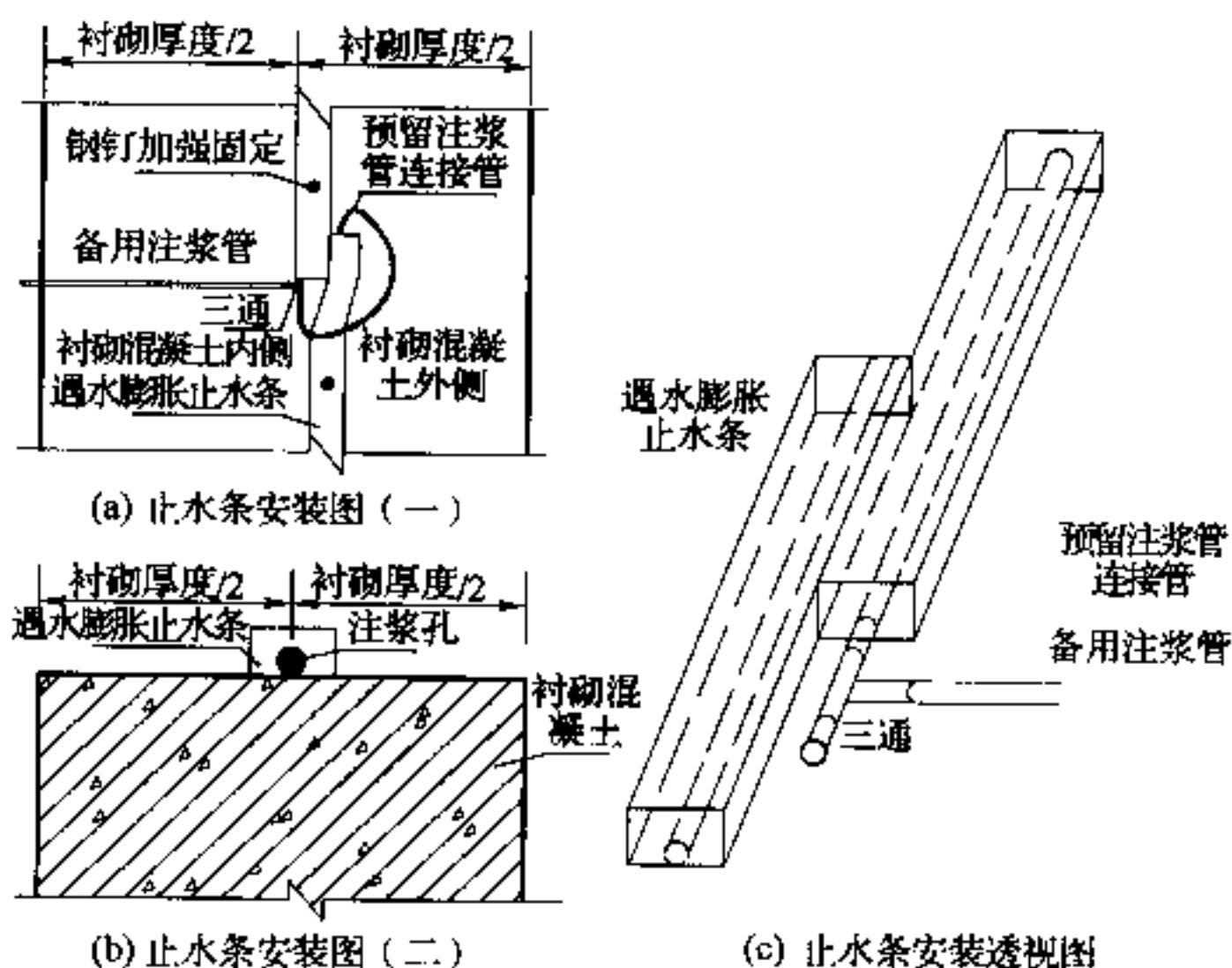


图 10.4.21 带注浆孔遇水膨胀止水条安装示意图

设计要求。

- 3 背衬材料的设置应符合设计要求。
- 4 嵌填密实，与两侧粘结牢固。

10.5 施工排水

10.5.1 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 施工期间运输轨道的道床，应防止阻塞隧底水流，可设横向截水沟并汇入两侧的排水沟。
- 4 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。

10.5.2 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。

10.5.3 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、水压应进行日常检测。

10.5.4 隧道施工排水污水处理设施应满足设计要求，并符合本技术指南第 17.0.7 条的规定。

11 施工机械与设备

11.1 一般规定

11.1.1 隧道施工机械选型配套应坚持“技术先进、减少污染、合理配套”的原则，应根据隧道长度、断面大小、辅助坑道设置、地质条件、施工方法、工期要求，同时考虑操作者劳动安全、劳动强度和劳动条件的改善，减少作业场所环境的污染等因素综合配置，施工机械配置应注重科学发挥机械的总体效率。

11.1.2 隧道施工按有轨、无轨两种运输模式分别配置，组成开挖、装运、初期支护、防排水、衬砌、辅助作业等机械化作业线。

11.1.3 隧道施工机械应尽量选择电动、风动、液压传动机械，减少内燃机械进洞。

11.1.4 施工机械配置的生产能力应大于均衡施工能力，均衡生产能力应大于施工进度指标要求。

11.1.5 混凝土拌和设备、运输设备、混凝土喷射机、混凝土输送泵、通风机、抽水机等应考虑备有余量。

11.1.6 机械的安装、使用、管理、维修和保养，应严格执行有关规定，保证机械使用安全、正常运转，防止发生机械事故。

11.1.7 长大隧道和特长隧道现场应设置维修加工车间，配置专业维修队伍，配备相应的修理加工设备，储备一定数量的零部件和原材料。

11.1.8 应优先选择排污达标、噪声小的机械；洞内使用柴油内燃机械应加设消烟净化装置或掺入柴油净化添加剂，并加强通风；洞内不得使用汽油内燃机械。

11.1.9 瓦斯隧道施工机械的配置应符合铁道部现行《铁路瓦斯隧道技术规范》(TB 10120—2002)的有关规定。高瓦斯和瓦斯突出隧道,必须采用安全防爆型施工机械,并有明显的标志。

11.1.10 在靠近居民区施工时,各种机械设备的噪声应尽量符合《建筑施工场界噪声限值》(GB 12523—90)的要求;污水和有害气体的排放,应达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)和《环境空气质量标准》(GB 3095—1996)等有关规定。

11.1.11 隧道施工机械设备的管理、维修和操作人员应进行专门培训,特种机械操作人员应持证上岗。

11.2 钻爆作业

11.2.1 岩石隧道开挖作业主要采用液压凿岩台车、风动凿岩机等钻孔机械。

11.2.2 钻眼机械按现场情况和施工方法进行选型:

1 全断面开挖:钻眼宜采用液压凿岩台车或台架配合风动凿岩机。单线隧道钻眼可采用门架式凿岩台车或台架配合风动凿岩机,中长和短隧道可采用多功能台架配合风动凿岩机钻眼。清底及开挖仰拱可用反铲挖掘机。

2 台阶法开挖:上部宜采用风动凿岩机钻眼,下部视现场情况选用液压凿岩台车或台架配合风动凿岩机开挖。

3 分部开挖视现场情况选用钻孔机械。

4 平行导坑和横洞断面较小时,宜用风动凿岩机钻孔;断面较大时,宜选用液压凿岩台车钻孔;斜井、竖井的钻孔应以风动凿岩机为主。

11.2.3 炮眼装药作业可采用自动装药和自动堵塞机具。

11.3 土质隧道开挖作业

11.3.1 一般土质隧道采用挖掘机开挖,机械开挖应预留约

30 cm（黄土隧道拱脚、墙脚预留 60 ~ 70 cm）的整修层，用人工风镐或铤挖机整修到隧道开挖轮廓线。硬土、风化岩、漂石等可采用爆破或液压破碎锤进行松动。

11.3.2 浅埋、软岩隧道、地表有民宅等建（构）筑物时，可优先采用单臂掘进机开挖拱部；也可利用挖掘机换装铤挖头沿拱部轮廓线铤挖隔震槽，以控制超欠挖及爆破振动时对地表建（构）筑物的影响。

11.4 装渣运输作业

11.4.1 装渣与运输机械选型应遵循挖、装、运机械能力协调配套的原则，其运输机械配置能力不应小于挖装能力的 1.2 倍。

11.4.2 为减少隧道内的污染气体排放浓度，改善洞内空气质量，双线隧道独头掘进长度在 3 000 m 以上时宜采用有轨运输；单线隧道独头掘进长度在 1 500 m 以上时宜采用有轨运输。装运作业可采用轮式（或履带）装载机和轨道运输组成的混合装运模式。

11.4.3 全断面开挖装渣应采用大斗容的铲装机、挖装机或装载机；台阶法施工的上部宜采用长臂挖掘机扒渣，下部采用铲装机、挖装机或装载机、挖掘机装渣。

11.4.4 平行导坑和横洞断面较小时，可采用挖装机或挖掘机装渣，电瓶车或内燃机车牵引矿车出渣；断面较大时，挖装机装渣，出渣运输采用电瓶车牵引矿车。

11.4.5 斜井运输提升设备及辅助设施应根据斜井断面大小、斜井坡度等条件合理配置。有轨斜井井身装渣宜用耙斗式装岩机或专用挖掘机，运渣宜用大容量侧卸式矿车或箕斗，提升应配以安全设备齐全的大型提升机，并在井口设置与其配套的卸渣栈桥；无轨斜井可采用装载机或挖掘机装渣，大功率的自卸汽车出渣。

11.4.6 竖井井身装渣宜用抓岩机，根据井深和出渣量可选用提升机、吊车、电葫芦等提升设备，配以罐笼或吊桶出渣。

11.4.7 有轨运输洞外应根据需要设置调车、编组、卸渣、进料、设备维修等线路。线路铺设标准和要求应符合下列要求：

- 1 钢轨类型：宜为 38 ~ 43 kg/m。
- 2 道岔型号：宜不小于 6 号的道岔，并安装转辙器。
- 3 轨枕：间距不应大于 0.7 m。
- 4 道床：厚度不应小于 20 cm。
- 5 使用大型轨行式机械时，线路铺设标准应符合机械规格、性能的要求，并保证施工安全。
- 6 有轨运输设单道时，每间隔 300 m 应设一个会车道。
- 7 采用轨行式机械装渣时，轨道应紧跟开挖面；调车线路及时前移。

11.4.8 施工中应建立工程运输调度，根据施工进度编制运输计划，统一指挥，提高运输效率。

11.4.9 运输线路应设专人按标准要求进行维修和养护，使其经常处于良好状态，线路两侧的废渣和杂物应随时清除。

11.4.10 无轨运输车在洞内施工地段、视线不良的曲线上，以及通过岔道和洞口平交道等处时，其行车速度不得大于 10 km/h，其他地段在采取有效的安全措施后，行车速度不应大于 20 km/h。有轨运输施工作业地段的行车速度不得大于 15 km/h，成洞地段不得大于 25 km/h。

11.4.11 有轨运输作业应符合下列安全规定：

- 1 车辆装载高度不得高于斗车顶面 50 cm，宽度不得大于车宽。
- 2 列车连接必须良好，机车摘挂后调车、编组和停留时，应有防溜车措施。
- 3 车辆在同方向行驶时，两组列车的间距不得小于 100 m。
- 4 轨道旁临时堆放的材料，距钢轨外缘不得小于 80 cm，高度不得大于 100 cm。
- 5 卸渣场线路应设安全线并设置 1% ~ 3% 的上坡道，卸渣

码头应搭设牢固，并设有挂钩、栏杆及车挡装置，防止溜车。

6 车辆在洞内行驶时，必须鸣笛或按喇叭，并注意瞭望。严禁非专职人员开车、调车。严禁在行驶中进行摘挂作业。

7 长隧道施工上下班的载人列车，应制定保证安全的措施。

11.4.12 无轨运输作业应符合下列规定：

1 运输道路应铺设路面，洞内与仰拱填充、底板混凝土施工相结合，并做好排水及路面的维修工作。

2 单线隧道采用无轨运输时，每间隔 150 ~ 300 m 应设一处会车段。

11.5 支护作业

11.5.1 支护作业采用的主要机械设备有：锚杆台车、锚杆钻机、液压凿岩台车、气腿式风动凿岩机、混凝土喷射机、喷射台车和喷射机械手、管棚钻机、工程钻机或地质钻机、注浆泵和制浆设备等。

11.5.2 喷混凝土宜采用湿喷工艺。大断面、特长隧道喷混凝土宜选用生产能力高、集装料、拌和和自动喷射于一体的喷射三联机或喷射混凝土机组。

11.5.3 喷混凝土料应采用自动计量的强制式混凝土拌和机或拌和站拌和；运输采用轮胎式或轨行式混凝土拌和运输车。

11.5.4 锚杆钻孔机械根据现场情况选用锚杆台车、锚杆钻机、液压凿岩台车或气动凿岩机。

11.5.5 超前大管棚施工在成孔困难地段应优先选用集钻孔、跟管、注浆三位一体的多功能钻机；能成孔地段，可采用管棚钻机、地质钻机和工程钻机等钻孔机械。超前小导管施工宜采用气腿式凿岩机顶管，也可用凿岩台车、导轨式凿岩机施作。

11.5.6 大管棚、小导管均应配备相应的注浆设备和快速接头。

11.5.7 钢架加工应配置专用弯曲或成型加工设备，钢架安装举升，可采用有固定夹头的挖掘机，大断面钢架架设时宜采用专用

架设设备。

11.5.8 深孔预注浆作业，应优先采用兼备钻孔、跟管、注浆功能的并有孔口止水装置的多功能钻机和相应的注浆设备，应具有高压、大流量，且压力、流量可调式注浆泵，以满足注浆工艺和保证注浆质量的要求。

11.6 防排水作业

11.6.1 防排水作业宜采用轨行式专用作业台架，台架上应配备隧道净空检查的装置、防水板弧形支撑杆、压缩空气接口，以及风镐、电焊机、冲击钻（或射钉枪）、爬焊机、热风焊机等机具。

11.6.2 防水板焊接应采用调温、调速式自动爬行焊接机，局部处理采用热塑焊枪焊接。有条件时防水板铺设宜采用台架式自动铺设机。

11.7 衬砌作业

11.7.1 混凝土衬砌作业必须采用自动计量的混凝土拌和站、混凝土拌和输送车、混凝土输送泵及拱墙整体式钢模台车等机械设备。

11.7.2 混凝土拌和站的生产能力应根据施工高峰期作业面数量、运距、混凝土需求量等因素确定，应选用强制式拌和方式。自动计量装置应满足混凝土配合比计量精度要求。

11.7.3 混凝土运输应采用轮胎式或轨行式混凝土拌和运输车。

11.7.4 仰拱浇筑宜采用防干扰仰拱作业栈桥。

11.8 辅助作业

11.8.1 隧道施工当独头坑道掘进长度超过 150 m 时，应采用机械通风，并配置相应的通风机械。

11.8.2 通风机的功率与通风管的直径应根据独头掘进长度、运

输方式、断面大小和通风方式等计算确定，应选用大直径风管和风量风压可调式高效节能低噪型多级风机。

11.8.3 隧道施工采用机械排水时宜分段设贮水池，根据实际情况配备扬程、流量、性能相适应的抽排水泵（清水泵、泥浆泵、污水泵、砂泵等）。

11.8.4 隧道独头坑道掘进超过 500 ~ 800 m 时应将 10 kV 高压电引入洞内。非作业区一般每 1 000 m 左右安装一台变压器，向两端供电；开挖作业区由专用变压器供电。

12 超前地质预报

12.1 一般规定

12.1.1 铁路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。

12.1.2 综合超前地质预报流程见图 12.1.2。

12.1.3 隧道施工超前地质预报应以地质分析法为基础，针对不同地段地质情况和预报目的，进行必要的技术经济比选，选择有针对性、适用性强的方法和设备，采用一种或几种方法的合理组合，达到预报基本准确、费用低、占用时间少的目标。对重大物探异常地段应采用钻探验证。

12.1.4 超前地质预报应包括（但不限于）以下内容：

1 地层岩性，重点为对软弱夹层、破碎地层、煤层及特殊岩土等。

2 地质构造，重点为对断层、节理密集带、褶皱轴等影响岩体完整性的构造发育情况。

3 不良地质，特别是溶洞、暗河、人为坑洞、放射性、有害气体、高地应力等发育情况。

4 地下水，特别是对岩溶管道水、富水断层、富水褶皱轴及富水地层。

12.1.5 超前地质预报应符合《铁路隧道超前地质预报技术指南》相关规定。

12.2 地质预报的分级管理与方案设计

12.2.1 超前地质预报应实行分级管理，根据地质灾害对隧道施

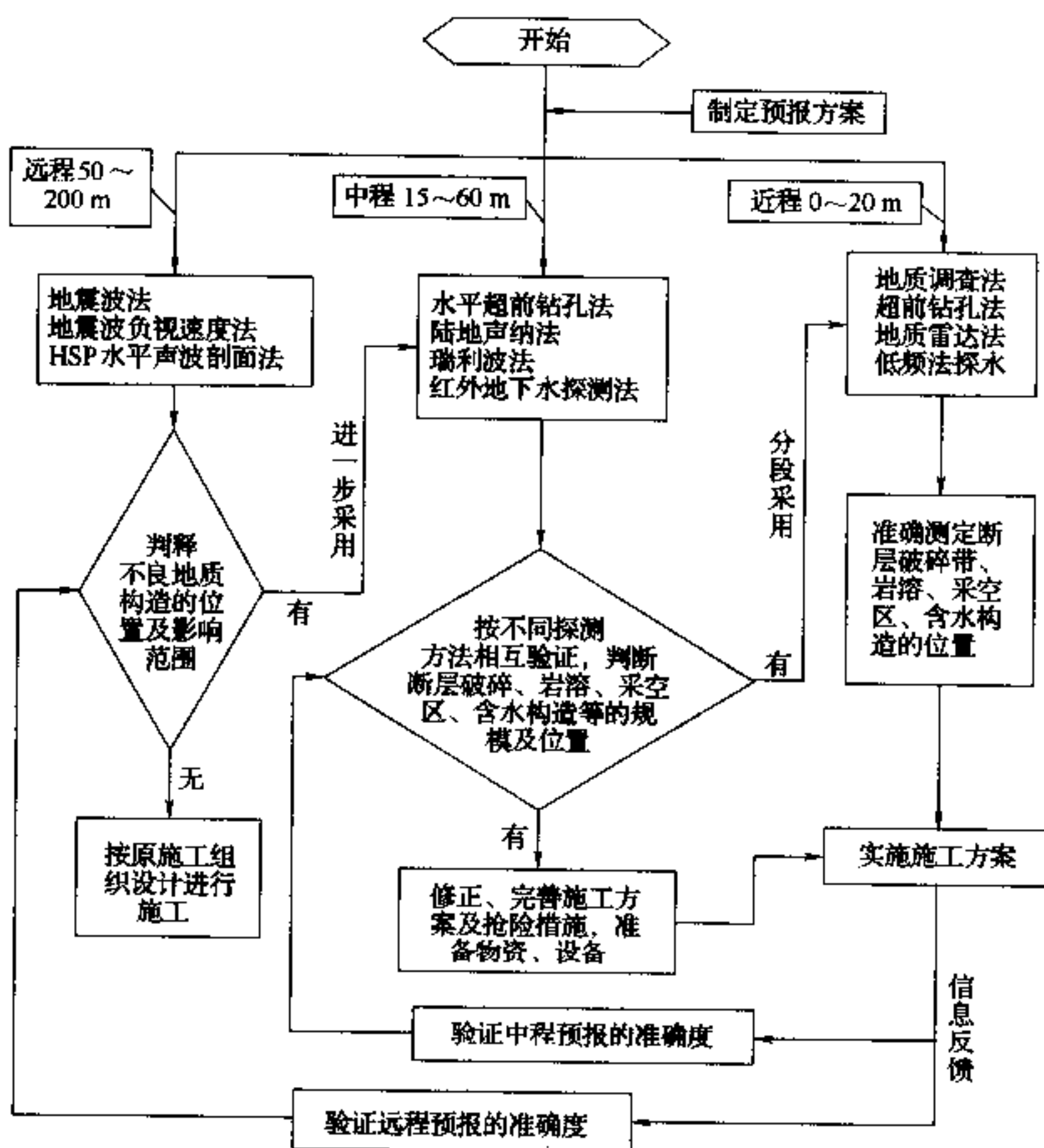


图 12.1.2 综合超前地质预报流程图

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。

12.2.2 根据地质灾害对隧道施工安全的危害程度，地质灾害分为以下四级，其影响因素见表 12.2.2。

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。

表 12.2.2 综合超前地质预报工作分级影响因素

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，岩溶密度每平方公里 >15 个，最大泉流量 $>50 \text{ L/s}$ ，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，岩溶密度每平方公里 $5 \sim 15$ 个，最大泉流量 $10 \sim 50 \text{ L/s}$ ，钻孔岩溶率 $5\% \sim 10\%$	中等，中薄层灰岩，地表出现溶洞，岩溶密度每平方公里 $1 \sim 5$ 个，最大泉流量 $5 \sim 10 \text{ L/s}$ ，钻孔岩溶率 $2\% \sim 5\%$	微弱，纯灰岩，不与互层，地表以溶隙为主，最大泉流量 $<5 \text{ L/s}$ ，钻孔岩溶率 $<2\%$
	涌水涌泥程度	特大（日出水 10 万 t 以上）、大型突水（日出水 $1 \sim 10$ 万 t ）、突泥，高水压	中小型突水（日出水 $1000 \sim 1$ 万 t ）、突泥	小型涌水（日出水 $100 \sim 1000 \text{ t}$ ）、涌泥。	日出水小于 100 t ，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
	地应力影响程度	高应力，严重岩爆（拉森斯判据 <0.083 ，即岩石点荷载强度与围岩最大切向应力的比值），大变形	高应力，中等岩爆（拉森斯判据 $0.083 \sim 0.15$ ），中～弱变形	弱岩爆（拉森斯判据 $0.15 \sim 0.20$ ），轻微变形	无岩爆（拉森斯判据 >0.20 ），无变形
	瓦斯影响程度	瓦斯突出；煤的破坏类型为Ⅲ（强烈破坏煤）、Ⅳ（粉碎煤）、Ⅴ（全粉煤）类，瓦斯放散初速度 ≥ 10 ，煤的坚固系数 ≤ 0.5 ，瓦斯压力 $\geq 0.74 \text{ MPa}$	高瓦斯：全工区的瓦斯涌出量 $\geq 0.5 \text{ m}^3/\text{min}$	低瓦斯：全工区的瓦斯涌出量 $< 0.5 \text{ m}^3/\text{min}$	无
（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

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。

12.2.3 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可采用：

A 级预报：采用地质分析法、地震波反射法、声波反射法、地质雷达、红外探测、超前水平钻探等手段进行综合预报。

B 级预报：采用地质分析法、地震波反射法或声波反射法，辅以红外探测、地质雷达，进行必要的超前水平钻孔。当发现局部地段工程地质条件复杂时，按 A 级要求实施。

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。

12.2.4 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。

12.3 地质调查法

12.3.1 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、临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。

12.3.2 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。

12.3.3 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 10~20 m 进行一次。隧道内地质素描主要内容有：

- 1 工程地质有以下内容：
 - 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 水文地质有以下内容：

- 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 隧道施工围岩分级按附录 H。

5 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。

12.4 钻探法

12.4.1 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。

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

12.4.3 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 1.5 ~ 2.0 m，孔口管外端应露出开挖工作面 0.2 ~ 0.3 m，用以安装高压止水球阀。

12.4.4 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。

12.4.5 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。

12.4.6 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。

12.4.7 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 2 ~ 4 m。

12.5 物理勘探法

12.5.1 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，其主要适用于以下范围：

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。

12.5.2 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。

12.5.3 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 100 ~ 150 m，需连续预报时，前后两次应重叠 10 m 以上。

12.5.4 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 25 m 以内，连续预报时前后两次重叠长度在 5 m 左右。

12.5.5 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 10 m 以上。

12.5.6 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 50 ~ 100 m。连续预报时前后两次应重叠 10 m 以上。

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

12.5.8 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 30 m。连续预报后两次重叠长度应大于 5 m。

13 监控量测

13.1 一般规定

13.1.1 监控量测工作必须紧接开挖、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。

13.1.2 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以下信息：

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（铁路隧道的围岩分级判定可按附录 H）。

13.1.3 监控量测的管理必须科学合理，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。

13.1.4 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。

13.1.5 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。

13.1.6 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。

13.1.7 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。

13.2 监控量测项目和技术要求

13.2.1 隧道监控量测的项目应根据工程特点、规模和设计 requirements 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 13.2.1—1 和表 13.2.1—2）。必测项目在采用喷锚构筑法施工时必须进行；选测项目应根据工程规模、地质条件、隧道埋深、开挖方法及其他要求进行选择。

表 13.2.1—1 监控量测必测项目

序号	监测项目	常用量测仪器	备 注
1	洞内、外观察	现场观察、数码相机、罗盘仪	
2	拱顶下沉	水准仪、钢挂尺或全站仪	
3	净空变化	收敛计、全站仪	
4	地表沉降	水准仪、钢钢尺或全站仪	隧道浅埋段

表 13.2.1—2 监控量测选测项目

序号	监测项目	常用量测仪器
1	围岩压力	压力盒
2	钢架内力	钢筋计、应变计
3	喷混凝土内力	混凝土应变计
4	二次衬砌内力	混凝土应变计、钢筋计
5	初期支护与二次衬砌间接触压力	压力盒
6	锚杆轴力	钢筋计
7	隧底隆起	水准仪、钢钢尺或全站仪
8	围岩内部位移	多点位移计
9	爆破振动	振动传感器、记录仪
10	孔隙水压力	水压计
11	水量	三角堰、流量计
12	纵向位移	多点位移计、全站仪

13.2.2 隧道开挖后应及时进行地质素描，有条件时应进行数码

成像技术。

13.2.3 初期支护完成后应进行喷层表面裂缝的观察和记录。

13.2.4 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 13.2.1—1、表 13.2.1—2 中所列项目选择必测项目。

13.2.5 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 13.2.5 要求布置。

表 13.2.5 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。

13.2.6 地表沉降测点横向间距为 2 ~ 5 m。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，测点布置见图 13.2.6。

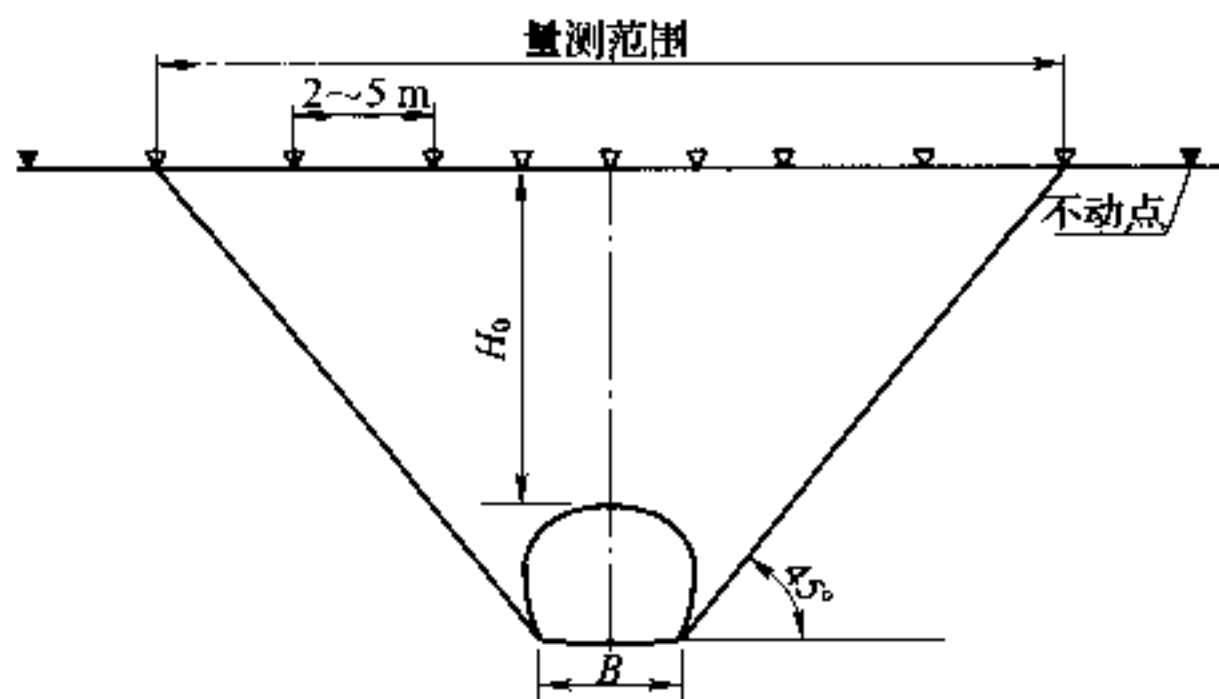


图 13.2.6 地表沉降横向测点布置示意图

13.2.7 拱顶下沉测点和净空变化测点应布置在同一断面上。监测断面及测点按表 13.2.7 要求布置。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（表 13.2.7）。

表 13.2.7 必测项目监测断面间距

围岩级别	断面间距 (m)
V ~ VI	5 ~ 10
IV	10 ~ 30
III	30 ~ 50

注：II 级围岩视具体情况确定间距。

13.2.8 净空变化量测测线数，参照表 13.2.8 布置。

表 13.2.8 净空变化量测测线数

地段 开挖方法	一般地段	特殊地段
全断面法	一条水平测线	—
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

13.2.9 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。

13.2.10 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。

13.2.11 必测项目的监测频率应根据测点的距开挖面的距离及位移速度分别按表 13.2.11—1 和表 13.2.11—2 确定。

表 13.2.11—1 按距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 ~ 1) B	2 次/d
(1 ~ 2) B	1 次/d
(2 ~ 5) B	1 次/2 ~ 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 13.2.11—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 ~ 5	1 次/d
0.5 ~ 1	1 次/2 ~ 3d
< 0.5	1 次/7d

13.2.12 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，可参考表 13.2.12 要求确定。

表 13.2.12 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。

13.2.13 位移管理等级按三级管理，相应的位移管理等级见表 13.2.13。

表 13.2.13 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。

13.2.14 爆破振动控制基准按表 13.2.14 控制，并应满足下列要求：

表 13.2.14 爆破振动安全允许标准

序号	保护对象类别	安全允许振速 (cm/s)		
		<10 Hz	10 ~ 50 Hz	50 ~ 100 Hz
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.5 ~ 1.0	0.7 ~ 1.2	1.1 ~ 1.5
2	一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物	2.0 ~ 2.5	2.3 ~ 2.8	2.7 ~ 3.0
3	钢筋混凝土结构房屋	0 ~ 4.0	3.5 ~ 4.5	4.2 ~ 5.0
4	一般古建筑与古迹	0.1 ~ 0.3	0.2 ~ 0.4	0.3 ~ 0.5
5	水工隧道	7 ~ 15		
6	交通隧道	10 ~ 20		
7	矿山巷道	15 ~ 30		
8	水电站及发电厂中心控制室设备	0.5		
9	新浇大体积混凝土： 龄期：初凝 ~ 3 d 龄期：3 ~ 7 d 龄期：7 ~ 28 d	2.0 ~ 3.0 3.0 ~ 7.0 7.0 ~ 12		

注：1 表列频率为主振频率，系指最大振幅所对应波的频率。

2 频率范围可根据类似工程或现场实测波形选取。选取频率时亦可参考下列数据：洞室爆破 < 20 Hz；深孔爆破 10 ~ 60 Hz；浅孔爆破 40 ~ 100 Hz。

3 有特殊要求的根据现场具体情况确定。

1 选取建筑物安全允许振速时，应综合考虑建筑物的重要性、建筑质量、新旧程度、自振频率、地基条件等因素。

2 省级以上（含省级）重点保护古建筑与古迹的安全允许振速，应经专家论证选取，并报相应文物管理部门批准。

3 选取隧道、巷道安全允许振速时，应综合考虑构筑物的的重要性、围岩状况、断面大小、深埋大小、爆源方向、地震振动频率等因素。

4 非挡水新浇大体积混凝土的安全允许振速，可按本表给出的上限值选取。

13.2.15 测试仪器的精度应满足表 13.2.15—1 及表 13.2.15—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 13.2.15—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	0.5 ~ 1 mm
2	净空收敛	0.5 ~ 1 mm
3	地表沉降	0.5 ~ 1 mm

表 13.2.15—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	$\leq 0.5\% \text{ F.S.}$
2	喷混凝土应变	$\pm 0.1\% \text{ F.S.}$
3	钢架应力	拉伸 $\leq 0.5\% \text{ F.S.}$ ，压缩 $\leq 1.0\% \text{ F.S.}$
4	初期支护与二次衬砌接触压力	$\leq 0.5\% \text{ F.S.}$
5	二次衬砌内应力	$\pm 0.1\% \text{ F.S.}$
6	围岩内部位移	0.1 mm
7	隧底隆起	0.5 ~ 1 mm
8	爆破振动速度	1 mm/s

注：F.S. ——仪器满量程。

13.3 监控量测方法

13.3.1 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。

13.3.2 现场测点读数应读三次，取其平均值，并详细记录。

13.3.3 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、填写开挖工作面观察表和施工阶段

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。

13.3.4 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。

13.3.5 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。

13.3.6 地表沉降监测可采用精密水准仪、铟钢水准尺进行。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。

13.3.7 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。

13.3.8 振弦式传感器通过频率接收仪获得频率读数，依据频率—量测参数率定曲线换算出相应量测参量值。

13.3.9 光纤光栅传感器通过光纤光栅接收仪获得读数，换算出相应量测参量值。

13.3.10 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，并应满足下列要求：

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。

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。

13.3.11 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。

13.3.12 混凝土应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。

13.3.13 爆破振动速度监测可采用振动速度传感器和相应的数据采集设备。传感器固定在预埋件上，通过爆破振动仪自动记录振动速度，分析振动波形和振动衰减规律。

13.3.14 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。

13.3.15 渗漏水量监测可采用三角堰、流量计进行。

13.4 量测数据处理与应用

13.4.1 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。

13.4.2 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。

13.4.3 监控量测数据的计算分析主要包括以下内容：

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。

6 爆破振动速度，绘制振动速度与测点至震源距离关系曲线。

13.4.4 在分析监测数据时，根据散点图进行回归分析，可采用如下指数模型：

$$U = A (e^{-B/t} - e^{-B/t_0})$$

式中 U ——变形值；

A, B ——回归系数；

t_0 ——测点的初始观测时间 (d)；

t ——测点的观测时间 (d)。

13.4.5 应力（应变）监测结果可参照位移回归分析进行。

13.4.6 爆破振动安全允许距离，可根据爆破振动速度按下式计算。

$$R = \left(\frac{K}{V} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \cdot Q^{\frac{1}{3}}$$

式中 R ——爆破振动安全允许距离 (m)；

Q ——炸药量，齐发爆破为总药量，延时爆破为最大一段药量 (kg)；

V ——保护对象所在地质点振动安全允许速度 (cm/s)；

K, α ——与爆破点至计算保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数，可按表 13.4.6 选取，或通过现场试验确定。

表 13.4.6 爆破区不同岩性的 K, α 值

岩 性	K	α
坚硬岩	50 ~ 150	1.3 ~ 1.5
中硬岩	150 ~ 250	1.5 ~ 1.8
软岩	250 ~ 350	1.8 ~ 2.0

13.4.7 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。监控量测信息反馈程序见图 13.4.7。

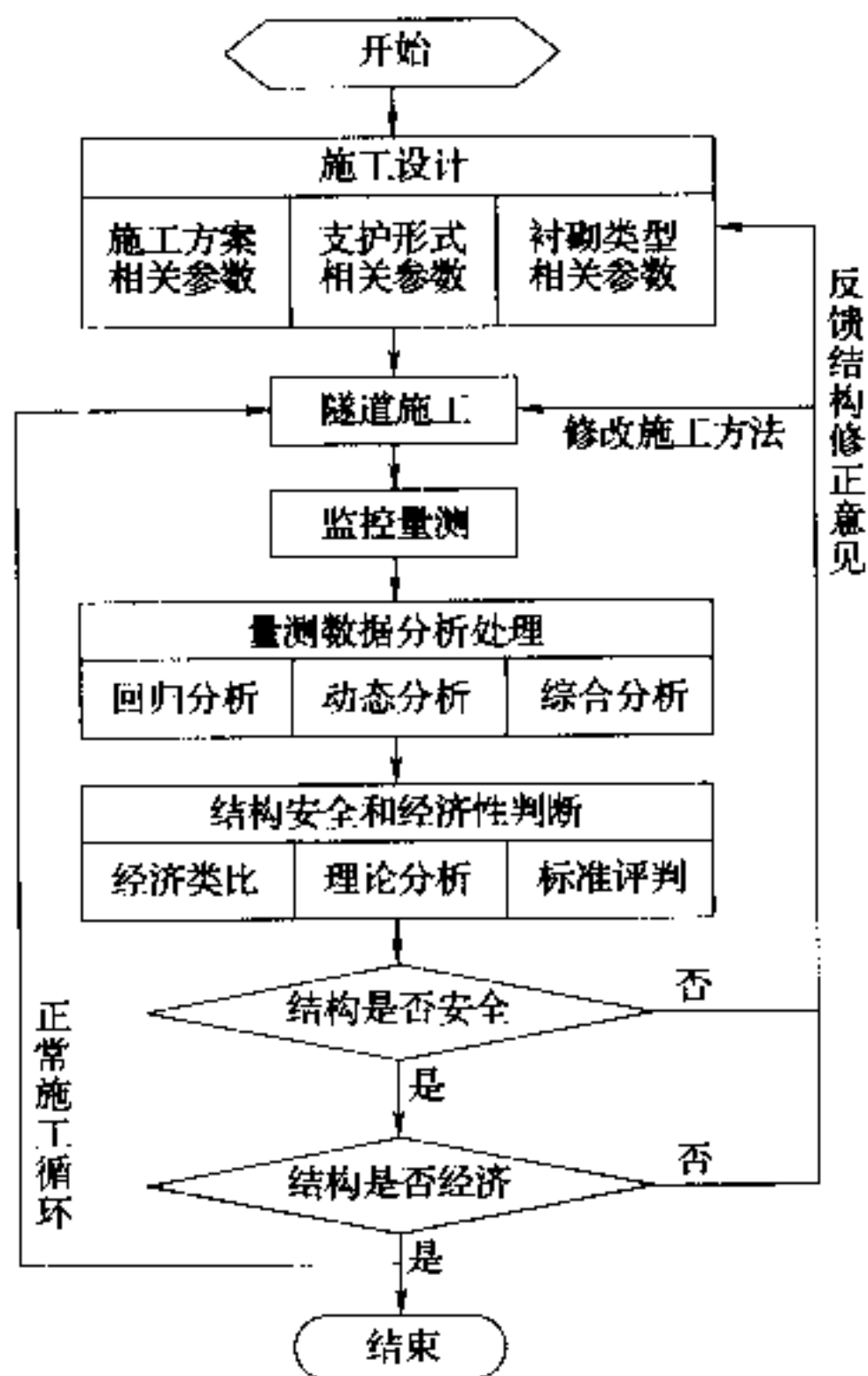


图 13.4.7 监控量测反馈程序框图

13.4.8 工程安全性评价应根据本技术指南第 13.2.13 条要求的位移管理等级进行，并采用表 13.4.8 相应的工程对策。工程安全性评价流程见图 13.4.8。

表 13.4.8 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

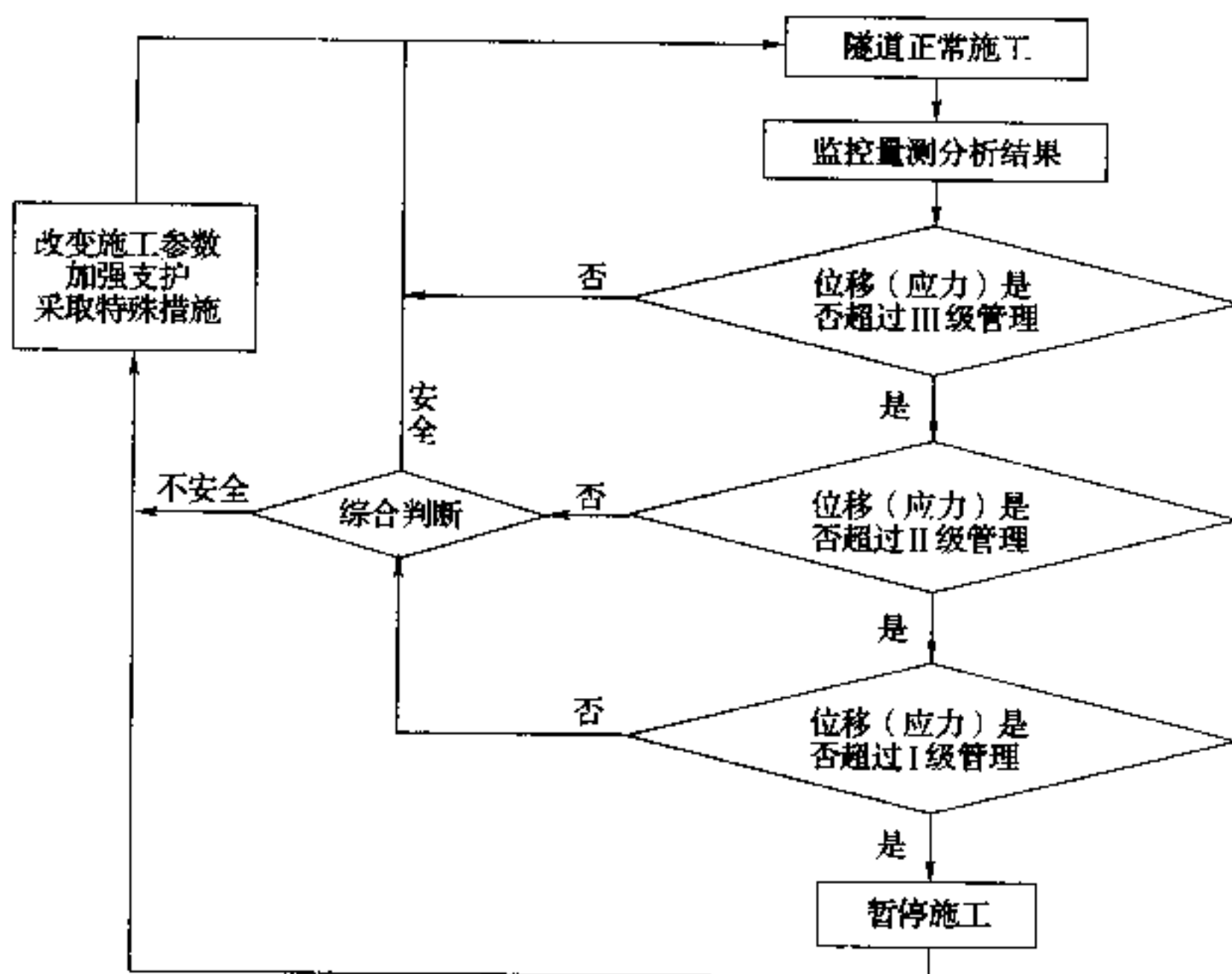


图 13.4.8 工程安全性评价流程图

14 辅助坑道

14.1 一般规定

14.1.1 辅助坑道口的截水、排水系统和防冲刷设施，应在隧道施工前妥善规划，尽早完成。坑道口或斜井的洞门或竖井口锁口圈亦应尽早施作。

14.1.2 辅助坑道支护应符合设计要求。辅助导坑洞口或井口、软弱围岩段、辅助坑道与正洞的连接处应加强支护。辅助坑道与正洞的连接处支护后，应及时施作二次衬砌，在特殊情况下，应在开挖前采取超前支护措施。

14.1.3 辅助坑道废弃应符合下列规定：

1 横洞和平行导坑封闭前应结合排水需要，先做暗沟，并设置检查通道。

2 竖井、斜井有水时，应将水引入隧道侧沟。

3 横洞、平行导坑、斜井的洞口宜用水泥砂浆砌片石封闭，无衬砌时封闭长度宜为 3 ~ 5 m，有衬砌时封闭长度不宜小于 2 m。

4 竖井的井口宜用钢筋混凝土盖板封闭。

5 与隧道正洞连接处宜用水泥砂浆砌片石封闭，其长度不宜小于 2 m。

14.1.4 辅助坑道口边、仰坡开挖及地表恢复应符合环境保护和水土保持的有关规定和设计要求。辅助坑道口边、仰坡开挖不得采用大爆破，开挖坡面应按设计要求及时进行防护和支护，山坡危石应全部清除。

14.1.5 辅助坑道与正洞交叉口施工应符合下列规定：

1 先加固、后开挖。根据地质情况，辅助坑道与正洞边墙相交的 3 ~ 5 m 范围的初期支护应加强，必要时浇筑混凝土衬砌。

2 辅助坑道进入正洞的门洞应浇筑钢筋混凝土（或型钢）“门架”或过梁。

3 辅助坑道进入正洞后的挑顶施工，应从外向内逐步扩大，并始终保持逃生通道的畅通。

14.1.6 辅助坑道施工应进行超前地质预报和现场监控量测。

14.2 横洞与平行导坑

14.2.1 横洞与平行导坑的开挖，应根据围岩级别、断面大小合理选用开挖方法，当横洞开挖工作面与正洞的距离小于 10 m 时，应采取近距离控制爆破技术，降低爆破振速。

14.2.2 横洞与正洞交叉口的洞室跨度大，受力复杂，施工中应根据具体情况进行加固并加强变形监测。

14.2.3 平行导坑应超前于正洞开挖，其超前距离可视施工条件和工期要求确定，一般宜超前横通道间距的 1 ~ 3 倍。

14.2.4 平行导坑的横通道施工，应先加固交叉口后开挖。

14.2.5 横洞和平行导坑都应设完整通畅的排水系统。

14.3 斜井

14.3.1 斜井开挖的钻爆作业除应符合本技术指南第 7.3 节的有关规定外，还应满足下列要求：

1 钻眼方向宜与斜井的倾角一致，眼底应比井底高程略低，避免出现台阶。

2 每个循环进尺都应检测其高程并控制井身的斜度，每隔 10 ~ 20 m 应复核其中线、高程，确保斜井的位置正确。

14.3.2 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；当斜井倾角 $12\% \geq \alpha \geq 28\%$ 时，可选用轨道矿车或皮带运输方式；当 $28\% \leq \alpha \leq 47\%$ 时，应采用

轨道矿车提升；当 $47\% \leq \alpha \leq 70\%$ 时，可采用大型箕斗提升。

14.3.3 斜井施工期间，视出水量大小设水仓或临时集水坑贮水，开挖工作面的积水用潜水泵先排到水仓（或临时集水坑），再用抽水机排出洞外；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。

14.3.4 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 30 ~ 50 m 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 12 ~ 20 m。

14.3.5 斜井倾角大于 27°（15°）时，井内运输轨道必须有防爬措施，每 10 ~ 20 m 装设一组防爬装置。

14.3.6 斜井有轨运输装置应符合下列规定：

1 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），不得小于 20 cm，铺设双道时，两股道上运行车辆之间的间隙不得小于 50 cm。斜井内应有足够的照明措施。

2 斜井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 10 ~ 15 m；当井口有变坡时，必须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量计算确定，并有 1.5 倍的备用系数。

3 轨道铺设的标准和要求应符合下列规定：

1) 左右钢轨顶面的高差不得超过 5 mm。

2) 托索轮及安全闸等轨道辅助设备应与轨道一并铺设。

3) 每根钢轨应安装 2 组防爬设备，每对钢轨应有三根轨距拉杆。

4 除运输车辆升降的最大速度不得大于设计规定外，还应符合下列规定：

- 1) 斜井牵引提升速度应小于 5 m/s ，接近洞口与井底时速度不得超过 2 m/s ，升降加速度不得超过 0.5 m/s 。
- 2) 斜井口必须设置挡车器，并设立专人管理，挡车器必须经常处于正位关闭状态，放车时方可打开。车辆在井内行驶过程中（含途中停留），井内严禁人员通行与作业。
- 3) 当斜井施工长度大于 100 m 时，应在距井口下 20 m 处设挡车器或挡车栏。在接近井底 60 m 左右或岔前 35 m ，设第二道挡车器或挡车栏，其正位是关闭状态，放车时方可打开。
- 4) 井口、井下、卷提升机房应有联系信号，箕斗提升应采用直发式信号。提升、下放与停留，各有明确的色灯和音响、视频等信号规定。设专职信号员，负责接发车工作。提升机司机未得到井口信号员发给信号，不得开动。
- 5) 斜井每隔 100 m 应在轨道上设防溜车装置一处，在接近井底时再设一处。
- 6) 运输钢轨和其他长件材料时，必须有长件材料装卸及进出斜井的安全措施。
- 7) 斜井井底停车场应设避车洞，斜井底附近的固定机械、电器设备与操作人员，均应设置在专用洞室内。

5 乘用人车应符合下列规定：

- 1) 严禁人员乘坐斗车、矿车，当斜井的垂直深度大于 50 m 时，应设运送人员的专门设施。
- 2) 人车必须有车长跟随，车长必须坐在列车行驶方向的前排，手动防溜车装置或制动器手把必须装在该车车长座席处。

- 3) 每班运送人员前，必须检查人车的连接装置、保险链和防溜装置。先放一次空车，证实斜井和轨道无引起掉道的危险，并需接到值班负责人的命令后才可发车。

6 斜井钢丝绳必须符合下列规定：

- 1) 提升钢丝绳必须由专人负责，定期检查，对易损坏、断丝或锈蚀较多的部位，应停车详细检查，断丝的突出部分应在检查时剪下，检查结果记入钢丝绳检查记录中。专项安全检查应符合现行《煤矿安全规程》的规定。
- 2) 提升或制动钢丝绳直径减少 10% 时，必须更换。
- 3) 钢丝绳如遭突然停车等猛烈拉力时，必须立即停车检查。遭受猛烈拉力的一段，发现有损坏或其长度增长 0.5% 以上时，必须更换。钢丝绳使用后期，断丝数或伸长发展突然加快，必须立即更换。
- 4) 各种钢丝绳在一个捻距内断丝截面积同钢丝总截面积之比达到表 14.3.6 规定时，必须更换。

表 14.3.6 钢丝绳在一个捻距内断丝截面积同钢丝总截面积之比

顺序	使用类别	百分比 (%)
1	升降人员和人员物料共用	5
2	专为升降物料用	10
3	平衡钢丝绳	10
4	防坠器的制动钢丝绳	10

7 提升装置必须装设下列保险装置：

- 1) 防止过卷装置，当提升容器超过正常卸载位置（或出车平台）50 cm 时，必须能自动断电，并能使保险闸发生作用。
- 2) 防止超速装置，当提升速度超过最大速度 15% 时，必

须能自动断电，并能使保险闸发生作用。

- 3) 当提升速度超过 3 m/s 时，必须装设限速器，保证提升车辆在达到井口时的速度不超过 2 m/s ；限速器凸轮板的旋转角度不应小于 270° 。
- 4) 提升绞车必须装设深度指示器，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，操纵部分必须分开，双滚筒提升绞车设两套闸。
- 5) 提升机必须配正、副司机，人员上下井时必须由正司机开车，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。

14.3.7 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。

14.4 竖井

14.4.1 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。

14.4.2 井口的锁口圈应符合下列规定：

- 1 锁口圈应采用钢筋混凝土结构。
- 2 锁口圈应高出地面至少 0.25 m 或浇筑环形挡墙，并做好井口场地排水设施。
- 3 锁口圈应和下部井颈、井壁连成整体，当其作为井架基础时，应与井架结构连成整体。
- 4 井口的锁口圈应在井身掘进前完成，并配备井盖。
- 5 在升降人员或物料时，井盖方可开启。

14.4.3 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。

14.4.4 竖井开挖钻爆作业除应符合本技术指南第 7.3 节的规定外，还应符合下列规定：

1 井身开挖宜采用直眼掏槽，当岩层倾斜较大且裂隙明显时，可用楔形或其他形式掏槽，有地下水时可采用立式梯台超前掏槽法。

2 钻眼前应将开挖工作面的石砟清除干净并排除积水，炮眼钻完后，应将孔口临时堵塞。

3 每次爆破后应检测断面，不得有欠挖。每掘进 5 ~ 10 m 应核对一次中线，及时纠正偏斜。

14.4.5 竖井装渣宜用抓岩机；井架吊桶或罐笼出渣，井架采用三角架、帐幕式井架或龙门架；必要时应设稳绳装置和其他施工安全措施。

14.4.6 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，必须设置安全保险装置。

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) 罐笼提升的加速度值，升降人员时，不得大于 0.75 m/s^2 。升降物料时，不得大于 1 m/s^2 。其最大速度，升降人员不得超过用下列公式所求得的数值，且最大不得超过 12 m/s 。

$$V = 0.5 \sqrt{H}$$

式中 V ——最大提升速度 (m/s)；

H ——提升高度 (m)。

升降物料时，其最大速度，不得超过用下列公式所求得的数

值:

$$V=0.6\sqrt{H}$$

在提升速度大于 3 m/s 的提升系统内, 必须设防撞梁和托罐装置, 防撞梁不得兼作他用。

- 4) 采用钢丝绳罐道时, 每根罐道绳的最小刚性系数不得小于 0.5 N/m。各罐道绳张紧力之差不得小于平均张紧力的 5%, 并应符合内侧张紧力大, 外侧张紧力小的布置要求。
- 5) 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 0.5 m/s^2 , 吊桶在无稳绳段升降的最大加速度值不应大于 0.3 m/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 40 m 时, 可采用三角架或龙门架作井架。井身大于 40 m 时, 宜设置凿井、生产阶段共用井架。

14.4.7 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。

14.5 信号和通信

14.5.1 斜井、竖井提升必须有提升信号。绞车房、井底车场、运输调度、水仓、带式输送机集中控制洞室等主要机电设备和开挖开挖工作面, 应安装电话, 能与工地调度室直接联系。

14.5.2 信号的设置应符合下列规定:

- 1** 每一台提升绞车，均应有独立的信号系统。
- 2** 井口与绞车房之间，应采用数码显示的声光兼备的信号装置，并设置直通电话。
- 3** 信号电源应独立可靠，并有电源指示灯。
- 4** 信号系统应简单、可靠，系统上应做到联锁严密，每台提升机应有独立的提升信号，提升信号不得多机共用。
- 5** 信号系统的各种金属外壳，应可靠接地。
- 6** 所有信号装置，应采用具有短路、过载和漏电保护的照明信号综合保护装置配电。

15 通风防尘、风水电供应与通信系统

15.1 通风与防尘

15.1.1 隧道在整个施工过程中，作业环境应符合下列职业健康及安全标准：

1 空气中氧气含量，按体积计不得小于 20%。

2 粉尘容许浓度，每立方米空气中含有 10% 以上的游离二氧化硅的粉尘不得大于 2 mg。每立方米空气中含有 10% 以下的游离二氧化硅的矿物性粉尘不得大于 4 mg。

3 瓦斯隧道施工通风应符合铁道部现行《铁路瓦斯隧道技术规范》(TB 10120) 的有关规定。

4 瓦斯隧道装药爆破时，爆破地点 20 m 内，风流中瓦斯浓度必须小于 1.0%，总回风道风流中瓦斯浓度应小于 0.75%。

5 开挖面瓦斯浓度大于 1.5% 时，所有人员必须撤至安全地点并加强通风。

6 有害气体最高容许浓度：

1) 一氧化碳最高容许浓度为 30 mg/m^3 ，在特殊情况下，施工人员必须进入开挖工作面时，浓度可为 100 mg/m^3 ，但工作时间不得大于 30 min。

2) 二氧化碳按体积计不得大于 0.5%。

3) 氮氧化物（换算成 NO_2 ）为 5 mg/m^3 以下。

7 隧道内气温不得高于 28°C 。

8 隧道内噪声不得大于 90 dB。

15.1.2 隧道施工通风应能提供洞内各项作业所需的最小风量，每人应供应新鲜空气 $3 \text{ m}^3/\text{min}$ ，采用内燃机械作业时，供风量

不应小于 $3 \text{ m}^3 / (\text{min} \cdot \text{kW})$ 。

15.1.3 隧道施工独头掘进长度超过 150 m 时,应采用机械通风。通风设计应根据独头通风长度、断面大小、施工方法、设备条件等综合确定。通风方式宜采用压入式或混合式通风,有条件时宜采用巷道式通风。

15.1.4 隧道施工应采用综合防尘除烟措施:通风的风速全断面开挖不应小于 0.15 m/s ,分部开挖的坑道中不应小于 0.25 m/s ,但均不应大于 6 m/s ;钻眼作业应采用湿式凿岩;喷混凝土采用湿喷工艺;内燃机械应有尾气净化装置;放炮后必须进行喷雾、洒水(不宜淋水的膨胀岩、土质隧道除外)。

15.1.5 通风机的功率与通风管的直径应根据隧道独头掘进长度、运输方式、断面大小和通风方式等计算确定。

15.1.6 通风机的安装与使用应符合下列规定:

1 主风机安装必须满足通风设计的要求,洞内辅助风机应安装在新鲜风流中。对于压入式通风,主风机应架设在距洞口大于 30 m、一定高度的支架上。

2 主风机应保持正常运转,如需间歇时,因停止供风而受影响的开挖工作面必须停止工作。

3 通风机前后 5 m 范围内不得堆放杂物,通风机进气口应设置铁箅,并应装有保险装置。

4 通风机应有适当的备用数量。

5 当巷道内的风速小于通风要求最小风速时,可布设射流风机来卷吸升压,提高风速。

15.1.7 通风管的安装应符合下列规定:

1 通风管应优先采用高强、低阻、阻燃的软质风管,风管挂设应做到平、直,无扭曲和褶皱。

2 压入式通风出风口距开挖工作面的距离不大于 $(4 \sim 5) \sqrt{A}$ (A 为隧洞断面积, m^2)。

3 通风管的节长尽量加大,以减少接头数量,接头应严密,

每 100 m 平均漏风率不宜大于 1%。弯管平面轴线的弯曲半径不得小于通风管直径的 3 倍。

4 隧道施工在断面净空允许的前提下,应采用大直径风管。

5 通风管破损时,应及时修补或更换。当采用软风管时,靠近风机部分,应采用加强型风管。

15.1.8 洞内空气每月至少应取样分析一次。洞内作业人员应定期体检,保障健康。

15.1.9 隧道施工通风一般有以下方式,应根据隧道独头掘进的长度选用:

1 送风式(压入式)见示意图 15.1.9—1。

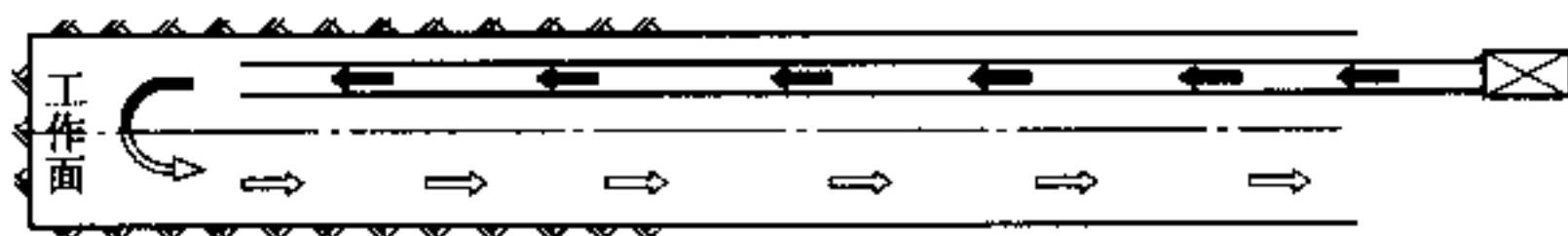


图 15.1.9—1 送风式(压入式)示意图

2 送排风并用式见示意图 15.1.9—2。

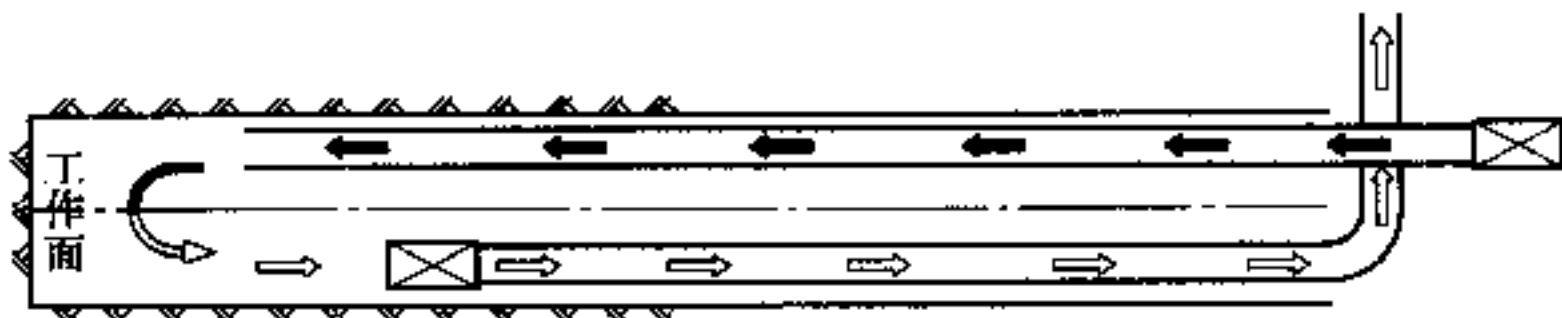


图 15.1.9—2 送排风并用式示意图

3 送排风混合式见示意图 15.1.9—3。

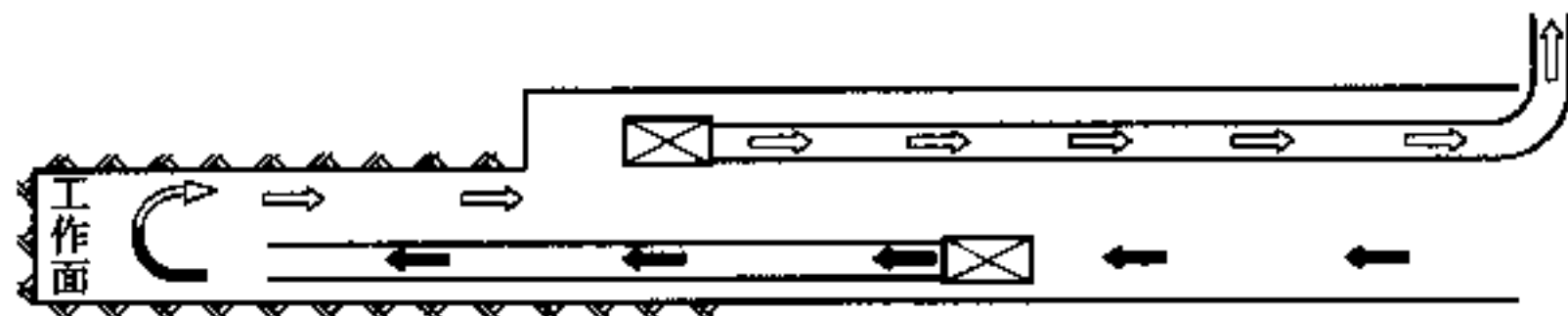


图 15.1.9—3 送排风混合式示意图

4 竖井排风坑道(隧道)送风方式见示意图 15.1.9—4。

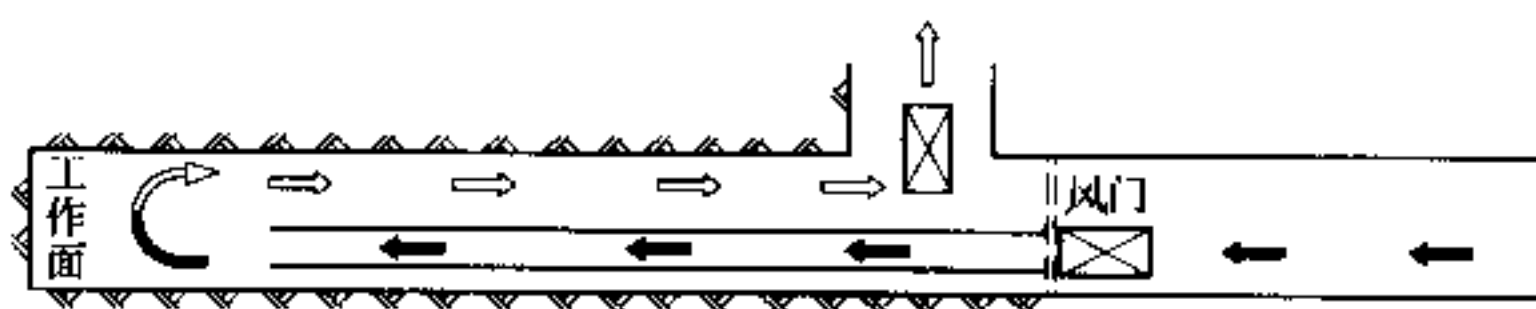


图 15.1.9—4 竖井排风坑道（隧道）送风方式示意图

5 坑道（正洞、平导）通风方式见示意图 15.1.9—5。

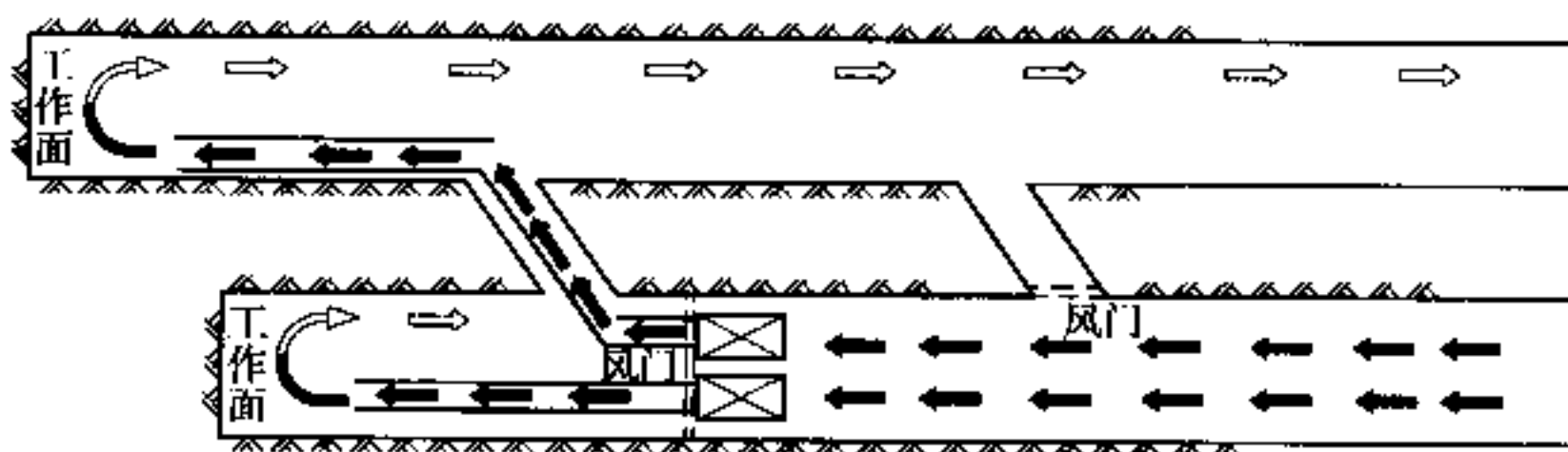


图 15.1.9—5 坑道（正洞、平导）通风方式示意图

15.2 供 风

15.2.1 在电力供应满足时应采用电动空压机供风，空压机的功率应能满足同时工作的各种风动机具的最大耗风量的要求。

15.2.2 空压机站应设在洞口附近，当有多个洞口需集中供风时，可选在靠近用风量最大的洞口。

15.2.3 空压机站可根据当地的气候条件，应有防水、降温 and 保温设施，距离居民区较近时应有防噪声、防振动措施。

15.2.4 空压机风管布置应尽量避免急弯，以减少风压损失。

15.2.5 开挖工作面风动凿岩机风压应不小于 0.5 MPa，高压供风管的直径应根据最大送风量、风管长度、闸阀数量等条件计算确定，独头供风长度大于 2 000 m 时宜考虑设增压风站。

15.2.6 空压机电源应从主配电室分别接线，以免相互干扰。

15.2.7 供风管的安装和使用应符合以下规定：

1 高压供风管应敷设平顺，接头严密，不漏风。

2 在洞外地段,当风管长度大于 100 m 和温度变化较大时应安装伸缩器,供风管应包防寒材料。

3 长度大于 1 000 m 时,应在高压风包最低处设置油水分分离器,定时放出管中的积油和水。

4 供风管前端至开挖面的距离宜保持在 30 m 内,并用分风器连接高压软风管。当采用导坑或台阶法开挖时,软风管的长度不宜大于 50 m。

5 供风管每 200 m 应装一处闸阀。

6 各种闸阀在安装前应拆开清洗,阀门应进行水压强度试验,合格后方可使用。

7 高压供风管在安装前应进行检查,有裂纹、创伤、凹陷等现象时不得使用,管内不得保留有残余物。

8 高压供风管使用中应有专人负责检查、养护。

9 空压机房要配一定数量的灭火器。

15.3 供水

15.3.1 隧道施工供水方案应满足下列要求:

1 工程和生活用水在使用前必须经过水质鉴定。

2 供水量应满足工程和生活用水的需要,水池的容量应能满足洞内外集中用水的需要。

3 有高位自然水源时,应建水池蓄水利用,水池高程应满足隧道掘进到最高点时能保持 0.3 MPa 的水压。

4 采用低位抽水向水池供水时,抽水站水泵扬程应选取取水点与水池高差的 1.5~2 倍,并配有备用水泵。

5 水池和水管应根据当地的气候情况,采取防寒措施。

6 抽水井应做护壁,安装井盖,经常清洗。

7 无条件建造高位水池的隧道,可采用增压泵供水。

15.3.2 隧道开挖工作面凿岩机的工作水压不应小于 0.3 MPa,水管的直径应根据最大供水量、管路长度、弯头数量、闸阀等条

件计算确定。

15.3.3 高压水管的安装应符合下列规定：

- 1 管路敷设应平顺，接头严密，不漏水。
- 2 水池的总输出管路上必须安装总闸阀，主管路上每隔300~500 m安装分闸阀。
- 3 洞内水管前端至开挖工作面的距离宜在50 m内，并用高压软管连接分水器。
- 4 水管在安装前应进行检查，有裂纹、创伤等现象时不得使用，管内不得保留有残余物。
- 5 同时供几个开挖工作面时，在分管处必须安装闸阀。
- 6 蓄水池要加设防护装置。
- 7 抽水房要设专人负责并有电话与调度联系。
- 8 管路使用中应有专人负责检查、养护。

15.4 供 电

15.4.1 施工现场临时用电设备在5台及以上，或设备总容量在50 kW及以上时，应编制施工现场临时用电组织设计。

15.4.2 施工现场临时用电组织设计应符合下列规定：

- 1 根据施工现场需要和用电量的分布情况，合理布局供电线路和供电设备。
- 2 确定电源进线、变电所或配电室、配电装置、用电设备的位置及线路走向。
- 3 进行负荷计算，要按用电设备同时工作时的最大负荷计算用电负荷，合理选择变压器和电线的规格型号。
- 4 设计配电装置，选择电器设备。
- 5 绘制临时用电工程图，主要包括用电工程总平面图、配电装置布置图、配电系统接线图及接地装置设计图。
- 6 临时房屋及其他建筑物应安装避雷设施，并定期检查测试。

7 对变压器、配电室等设置防护装置，制定防护措施。

15.4.3 配电室布置应符合下列规定：

1 配电柜正面的操作通道单列或双列背对背布置不小于 1.5 m，双列面对面布置不小于 2 m。

2 配电室顶棚与地面的距离不低于 3 m，配电柜侧面的维护通道宽度不小于 1 m。

3 配电室内设置值班室或检修室时，边缘距配电柜的水平距离应大于 1 m，并采取屏障隔离。

4 配电室内的电线应涂刷有色油漆，以标明相序，以柜正面方向为基准，其涂色见表 15.4.3。

表 15.4.3 配电室电线涂色分配表

相 别	颜 色	垂直排列	水平排列	引下排列
L1 (A)	黄	上	后	左
L2 (B)	绿	中	中	中
L3 (C)	红	下	前	右
N	淡蓝	—	—	—

5 配电室的门必须向外开，并配锁。

6 有自备电源时，配电柜内必须设置九头闸开关，确保用电安全。

7 配电柜应装设电源隔离开关及短路、过载、漏电保护器。

8 配电柜或配电线路停电维修时，应挂接地线，并应悬挂“禁止合闸，有人工作”停电标志牌。停送电必须有专人负责。

9 配电室应保持清洁，不得堆放任何妨碍操作和维修的杂物。

15.4.4 配电线路的布置应符合下列规定：

1 隧道供电线路应采用三相五线系统，见图 15.4.4。

2 隧道内架空线必须采用绝缘导线。

3 架空线必须架设在专用电杆上，严禁设在脚手架及其他

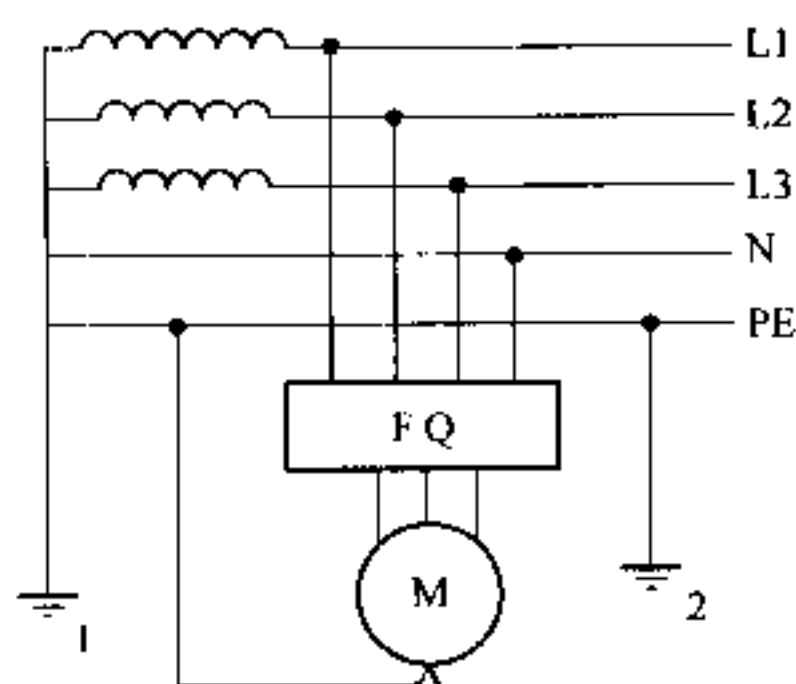


图 15.4.4 隧道供电线路图

注：L1、L2、L3—相线；N—工作零线；PE—保护零线；1—工作接地；
2—重复接地；FQ—漏电保护器；M—电动机

设施上。

4 在跨越铁路、公路、河流、电力线路跨距内，架空线不得有接头。

5 架空线路的跨距不得大于 35 m。

6 动力、照明线在同一横担上架设时，导线相序排列是：面向负荷从左侧起依次为 L1、N、L2、L3、PE。动力，照明线在二层横担上架设时，导线相序排列是：上层横担面向负荷从左侧起依次为 L1、L2、L3；下层横担面向负荷从左侧起依次为 L1、L2、L3、N、PE。

7 架空线的线间距不得小于 0.3 m，靠近电杆的两条线的间距不得小于 0.5 m。

8 架空线路必须有短路保护和过载保护。

9 隧道内配线必须采用绝缘导线或电缆，且距地面高度不小于 2.5 m。

10 隧道内的短路保护用熔断器时，其熔体额定电流不应大于绝缘导线长期连续负载允许载流量的 1.5 倍。

11 在土壤电阻率低于 $200 \Omega \cdot m$ 区域的电杆可不另设防雷

接地装置，但在配电室的架空线或出线处应将绝缘子铁脚与配电室的接地装置相连接。

12 施工现场内所有防雷装置的冲击接地电阻值不得大于 $30\ \Omega$ 。

13 涌水隧道的电动排水设备，瓦斯隧道的通风设备及斜井、竖井内的电气装置应采用双回路输电，并设可靠的切换装置。

15.4.5 隧道供电电压应符合下列规定：

- 1** 供电线路应采用 220/380 V 三相五线系统。
- 2** 动力设备应采用 380 V。
- 3** 照明电压作业地段宜为 36 V，成洞和未作业地段可采用 220 V。

4 线路末端的电压降不得大于 10%。

5 隧道内 220/380 V 供电距离不宜大于 500 m，应采取升压措施或高压进洞。否则设洞内变压器时应在一定距离内设分离开关。

15.4.6 各种电气设备和输变电路应有专人检查维修、调整等，其作业要求应参照国家现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》(JGJ 46)。

15.5 照 明

15.5.1 隧道施工作业地段必须有足够亮度的照明，采用普通光源照明时，其亮度应满足表 15.5.1 的要求。

15.5.2 作业地段采用普通光源施工照明时应符合下列规定：

1 必须使用安全变压器，其容量不宜过大，输入电压 220 V，输出电压有四个等级：36 V、32 V、24 V、12 V，输出端不应高出额定电压的 105%，防止烧坏灯泡。

2 在有渗漏水、滴水地段应用胶皮电缆，开挖工作面附近应用防水灯头。

表 15.5.1 施工作业地段亮度要求

施工作业地段	最低平均亮度 (lx)
施工作业面	30
开挖地段	10
运输巷道	6
特殊作业地段或不安全因素较多地段	15
成洞地段	4
竖井内	8

3 曲线地段和洞室拐弯处应增加照明灯头。

15.5.3 洞内每隔 50 ~ 100 m 应设应急照明灯一盏。

15.5.4 成洞地段尽量采用节能新光源，如低压钠灯、高压钠灯、金卤灯、荧光灯、铊钠灯、钠铊铟灯、镝灯等。

15.6 通 信

15.6.1 洞内各工作面与洞外调度应始终保持通讯畅通，备作突发事件的应急通讯宜选择有线电话。

15.6.2 保护有线电话电线的线管宜用钢管，应布置在不易被机械、落石损伤的地方，宜顺着风、水管路布置。

15.6.3 电话机宜采用防水、防震、防火的防爆电话机，电话机宜安装在距工作面最近的洞室或有防护设施的台架上。

16 特殊岩土和不良地质地段隧道施工

16.1 一般规定

16.1.1 施工前要认真研究分析工程及水文地质资料，结合现场实际情况，作出风险评估，制定完整的施工技术方案，并结合专项应急救援预案，做好人员组织、技术、物资、机械的储备，预防地质灾害的发生。

16.1.2 软弱破碎围岩宜积极采用岩土控制变形分析法施工技术。

16.1.3 软弱及不良地质隧道仰拱距开挖工作面距离宜控制在40 m以内，洞口段、浅埋段、断层破碎带，二次衬砌应及时施作。

16.1.4 隧道施工中发生地质灾害时应立即启动应急救援预案。

16.1.5 根据超前地质预报和监控量测的结果及时调整施工方案。

16.2 富水软弱破碎围岩

16.2.1 富水软弱破碎围岩隧道的开挖应符合下列规定：

1 根据超前地质预报分析结果，采取防塌预防措施，保证开挖工作面的稳定。

2 洞内涌水对周边生态环境影响较大时，宜采用注浆堵水措施。当隧道埋深在20 m以内时，可采用地表注浆；当隧道埋深超过20 m时，则应采用开挖工作面预注浆。

3 单线隧道宜采用台阶法预留核心土环形开挖；双线和多线隧道宜采用中隔壁法、交叉中隔壁法或双侧壁导坑法，并尽早

使初期支护封闭成环。

4 开挖循环进尺宜为 0.5 ~ 1.5 m。

16.2.2 富水软弱破碎围岩隧道的二次衬砌施工应符合下列规定：

1 二次衬砌在初期支护完成后应尽快施作，并予以加强。

2 仰拱必须超前施作，尽早形成闭合结构。

16.2.3 在承压水地段，若容许限量排水，衬砌背后的排水管道必须顺畅地连接到隧道排水沟，防止地下水在衬砌背后聚集对其形成压力；若不容许排水，应修筑抗水压衬砌。

16.3 岩 溶

16.3.1 隧道通过岩溶地区时，施工前应根据设计资料并结合施工现场情况，采用综合超前地质预报，探明溶洞的分布范围、类型、规模、发育程度、填充物、地下水的情况（有无长期补给来源、雨季水量有无增长等）及岩层的稳定程度等，按照以疏为主、堵排结合、因地制宜、综合治理的原则，分别以“疏导、堵填、注浆加固、跨越、宣泄”等措施进行处理。

16.3.2 隧道岩溶地段施工应符合下列规定：

1 施工前应详细了解山顶地表水、出水地点的情况，有条件时采取地表注浆等措施对地表进行必要的处理。

2 应提早作好处理岩溶的方案，并准备足够数量的排水设备和物资。

3 对于岩溶发育地区的隧道，施工中应建立以长距离物探（地震波法）为宏观控制、钻探法为主，其他物探方式为辅，红外线探测连续施测的综合预报管理体系。

4 开挖方法宜采用台阶法，必要时采用 CD 法。在Ⅱ、Ⅲ级围岩条件下，且溶洞仅穿过隧道底部一小部分断面时，可采用全断面法。

5 爆破开挖时，按“密布眼、少装药”的原则进行，遇有

渗漏水时应小心施爆。

6 当隧道只有一侧遇到溶洞时，应先开挖该侧，待支护完成后再开挖另一侧。

16.3.3 隧道岩溶发育地段施工，可根据具体情况采取以下措施进行处理：

1 如果溶洞规模较大，内部充填了大量的泥砂，并含有丰富的地下水，揭穿后很可能发生大规模的突水、突泥，应采用封闭注浆，进行加固处理。

2 岩溶地段的溶洞空腔、暗河的处理应首先选择疏导、连通方案，不应改变地下水总的流动趋势。各类新建的排水暗管应有一定的坡度，防止泥砂淤积。并按实际情况选择下列方法进行处理：

- 1) 如果隧道边墙或底板存在小体积的溶管（溶洞空腔或暗河），且规模较小，可在隧道边墙及底部设置盲沟、暗管、涵洞、倒虹吸、钢管疏导或小型过桥跨越。
- 2) 如果隧道顶部存在溶管（溶洞空腔或暗河），且有水通过，则应在顶部设置暗管跨越或将水引入隧道底部跨越或采用倒虹吸跨越。
- 3) 溶洞空腔仅在隧道底部且较大较深，或者填充物松软不能承载结构物时，可采用梁（边墙梁及行车梁、托梁）、支墩、板或悬臂梁承托纵梁、拱桥跨越，梁、板的两端或拱的拱座应置于稳固可靠的岩层上，并采用混凝土和石砌体加固。
- 4) 当隧道一侧遇到狭长而较深的溶洞，应加深该侧的边墙基础通过。
- 5) 隧道岩溶水较大时，应采用泄水洞宣泄岩溶水，降低地下水位，保持隧道干燥，泄水洞应位于地下水来向的一侧。
- 6) 对于涌水量大、涌水点多、分散、排泄通道不明显的岩溶发育地段，宜按照“先汇集、再引排”的原则采

取辅助导坑、集水廊道结合泄水洞、行洪通道等排水处理方案。

- 7) 当隧道穿越堆积物时,清理时会造成随清随塌的大型塌体,应采用超前预注浆加固周围的堆积物。
- 8) 隧道结构完工后,如果拱部存在较大的空洞,应进行压浆回填,并封填平整地表漏斗,减少地表水下渗。

3 对已停止发育的、跨径较小、无水的溶洞,可根据其与隧道相交的位置及其充填情况,采用混凝土、水泥砂浆砌片石或干砌片石予以回填封闭,同时根据具体地质情况采取加深边墙基础等措施。拱部以上干、空溶洞,可视溶洞的岩石破碎程度采用喷锚支护加固、注浆、加设护拱及拱顶回填的方法进行处理。溶洞在底板下发育可采取水泥砂浆砌片石回填,如有充填物,必须挖除,如有空腔内少量水流动,则回填不能阻断过水通道。

4 施工中遇到一时难以处理的溶洞时,可采用迂回导坑绕过溶洞区,继续进行隧道施工,再行处理溶洞。

16.3.4 岩溶地区隧道支护和二次衬砌应根据溶洞情况予以加强。

16.3.5 二次衬砌施工前,应采用物探手段检查隧道周边环形加固层及层外围岩情况,重点检查拱部、底板、侧边墙 5 m 以内是否存在有害空洞,隧道底部是否密实。

16.4 风积沙、含水砂层

16.4.1 隧道通过风积沙和含水砂层时,应将防水工作放在首位,含水砂层可采用注浆、冻结等方法止水、固结。

16.4.2 风积沙和含水砂层隧道的开挖应符合下列规定:

1 风积沙层隧道开挖应遵循“先支护、后开挖”的原则;含水隧道开挖应遵循“先治水、后开挖”的原则。

2 沙层隧道根据隧道断面大小,宜采用交叉中隔壁法、中隔壁法或临时仰拱台阶法开挖,并应严格控制一次循环进尺长度。

3 开挖时应及时监测拱部支护的实际下沉量,当预留变形

量过大或不足时，应及时调整。

16.4.3 砂层隧道的支护应符合下列规定：

1 可采用注浆方法固结砂层，插板作超前支护。

2 支护应及时，边挖边喷混凝土封闭，遇缝必堵，严防砂粒从支护缝隙中漏出。

16.4.4 开挖地段的排水沟应铺砌、抹面，或用管、槽等将水引至已二次衬砌地段排出洞外。

16.4.5 风积沙和含水砂层隧道的二次衬砌应及早施作。

16.5 瓦 斯

16.5.1 隧道施工时通过地质预报或施工检测表明隧道内存在瓦斯，应定为瓦斯隧道，联系设计单位重新勘测地质，按瓦斯隧道施工的要求组织施工。

16.5.2 瓦斯隧道、瓦斯工区、含瓦斯地段的分类及分级应符合《铁路瓦斯隧道技术规范》(TB 10120)的有关规定。

16.5.3 瓦斯隧道施工应建立专门机构进行通风、防突、防爆及瓦斯检测工作，设置消防设施，编制专项应急预案。高瓦斯工区及瓦斯突出工区应配备救护队。

16.5.4 开工前必须对施工作业人员及管理人员进行安全技术培训，作业人员必须持证上岗。

16.5.5 瓦斯隧道煤系地层宜采用台阶法施工，上下断面的距离应根据围岩的稳定和通风需要确定。

16.5.6 瓦斯工区钻爆作业应符合下列规定：

1 必须采用湿式钻眼。

2 炮眼深度不应小于 0.6 m，炮眼应清除干净，炮眼封泥不严或不足不得进行爆破。

3 必须采用煤矿许用炸药，有突出地段必须使用安全等级不低于三级的煤矿许用的含水炸药。

4 瓦斯工区必须采用电力起爆，必须采用煤矿许用电雷管，

严禁使用秒或半秒级电雷管；使用煤矿许用毫秒延期电雷管时，最后一段的延期时间不得大于 130 ms。

5 严禁反向装药。

6 爆破网路必须采用串联连接方式，严禁将瞬发电雷管与毫秒电雷管在同一串联网路中使用。

7 必须使用防爆型起爆器作为起爆电源，一个开挖面不得同时使用两台及以上起爆器起爆。

8 在非瓦斯工区进行爆破作业时，爆破 15 min 后应巡视爆破地点，检查通风、瓦斯、煤尘、瞎炮、残炮等情况，如有危险必须立即处理。在瓦斯突出工区，揭煤爆破 15 min 后，应由救护队员配戴防毒面具或自救器到工作面对爆破效果、瓦斯浓度等进行检查，确认安全后方可通知送电、开动局部通风机，通风 30 min 后，由瓦斯检测人员检测工作面、回风流瓦斯浓度，在瓦斯浓度小于 1%，二氧化碳浓度小于 1.5% 后，方可解除警戒，允许工作人员进入开挖工作面。

16.5.7 瓦斯突出隧道，应单独编制预防煤与瓦斯突出和揭煤、过煤的实施性施工组织设计，并制定包括技术、组织、安全、通风、抢险、救护等技术组织措施。

16.5.8 瓦斯突出隧道施工，应采用下列防突技术措施：

1 接近突出煤层前，必须对设计标示的各突出煤层位置进行超前探测，标定各突出煤层准确位置，掌握其赋存情况及瓦斯状况。

2 施工时，应至少选用下列 5 种方法中的 2 种对突出危险性进行预测，并相互验证：

- 1) 瓦斯压力法。
- 2) 综合指标法。
- 3) 钻屑指标法。
- 4) 钻孔瓦斯涌出初速度法。
- 5) “R” 指标法。

3 防治煤与瓦斯突出宜采用钻孔排放的措施。

4 防突措施实施后，必须进行效果检验。

16.5.9 石门揭煤时掘进到距石门 5 ~ 10 m 时应打多个超前钻孔，揭开煤层前开挖工作面至煤层之间必须留一定厚度的岩墙：急倾斜煤层留 2 m；缓倾斜煤层留 1.5 m。当煤层压力小于 1 MPa 时采用振动放炮；大于 1 MPa 时应先排气降压，然后再放炮揭煤。

16.5.10 石门揭煤应符合下列规定：

1 揭煤前应进行石门揭煤设计，其内容包括揭开石门、半煤半岩段、全煤层段等各阶段施工方法、支护手段、组织指挥、抢险救灾方案及安全措施等。

2 石门揭煤方法应根据煤层的倾角、厚度选用。

3 石门揭煤爆破应在洞外起爆，洞内必须停电、停止一切作业，人员撤至洞外。

4 揭开煤层后，应检验工作面前方 10 m 上、中、下、左、右范围内煤与瓦斯突出的危险性，确保工作面前方有 5 m 的安全区。

16.5.11 半煤半岩段与全煤层段掘进、支护和二次衬砌施工应符合下列规定：

1 每循环进尺不宜超过 1.0 m，在全煤层中必须采用煤电钻钻孔，应少钻孔、少装药。

2 在半煤半岩中掘进应在岩石炮眼中装药，煤层需爆破时，必须采用松动爆破。

3 在软弱破碎岩层或煤层中掘进，应采用超前支护或预注浆，防止坍塌或瓦斯突出。

4 爆破后应及时喷锚支护，及早施作二次衬砌，及时封闭瓦斯。

5 仰拱应及早施工，保证拱、墙、仰拱衬砌能够形成闭合结构。

6 煤系地层段的二次衬砌应预留注浆孔，二次衬砌完成后应及时注浆，充填空隙，封闭瓦斯。

16.5.12 瓦斯隧道的施工通风应符合下列规定：

1 施工组织设计中，应编制全隧道和各工区的施工通风设计，并考虑各工区贯通后的风流调整和防爆要求。

2 施工期间，应建立瓦斯通风监控、检测的组织系统，测定气象参数、瓦斯浓度、风速、风量等参数。低瓦斯工区可用便携式瓦检仪，高瓦斯工区和瓦斯突出工区除便携式瓦检仪外，尚应配置高浓度瓦检仪和瓦斯自动检测报警断电装置。

3 瓦斯隧道各掘进工作面必须独立通风，通风方式均应选择压入式，严禁任何两个工作面之间串联通风。

4 瓦斯隧道压入式通风主风机风管末端距开挖工作面为30 m左右，但在主风机风管末端位置需要设局扇，局扇工作时的风管口距开挖工作面的距离宜不大于5 m。

5 瓦斯隧道需要的风量，必须按照爆破排烟、同时工作的最多人数以及瓦斯绝对涌出量分别计算，并按允许风速进行检验，采用其中的最大值。

6 按瓦斯绝对涌出量计算风量时，对于低瓦斯工区，应将洞内各处的瓦斯浓度稀释到0.5%以下；对于高瓦斯工区和瓦斯突出工区，其长度较大的独头巷道，应能将工作面风流中的瓦斯浓度稀释到0.5%以下；用平行导坑作巷道式通风的回风道时，平行导坑的瓦斯浓度应小于0.75%。超过时，应采取稀释措施。

7 施工中防止瓦斯积聚的风速不宜小于1 m/s。对瓦斯易于积聚处，应实施局部通风。

8 施工期间，应实施连续通风。因检修、停电等原因停风时，必须撤出人员，切断电源。恢复通风前，必须检查瓦斯浓度，符合规定后才可启动机器。

9 瓦斯工区的通风机应设两路电源，并装设风电闭锁装置。当一路电源停止供电时，另一路应在15 min内接通，保证风机

正常运转。

10 必须有一套同等性能的备用通风机，并经常保持良好的状态。

11 应采用抗静电、阻燃的风管。

12 隧道贯通后，应继续加强通风，防止瓦斯局部积聚。

16.5.13 隧道内瓦斯浓度限制值及超限处理措施应符合表 16.5.13 的规定。

表 16.5.13 隧道内瓦斯浓度限制值及超限处理措施

序号	地 点	限值	超限处理措施
1	低瓦斯工区任意处	0.5%	超限处 20 m 范围内立即停工，查明原因，加强通风监测
2	局部瓦斯积聚（体积大于 0.5 m ³ ）	2.0%	附近 20 m 停工，撤人，断电，进行处理，加强通风
3	开挖工作面风流中	1.0%	停止电钻钻孔
4	煤层爆破后工作面风流	1.0%	超限时继续通风不得进入
5	局部通风机及电气开关 20 m 范围内	0.5%	超限时应停机并不得启动
6	钻孔排放瓦斯时回风流中	1.5%	超限时撤人，停电，调整风量
7	竣工后洞内任何处	0.5%	超限时查明渗漏点，并向设计单位反映，增加运营通风设备

16.5.14 高瓦斯工区和瓦斯突出工区供电应配置两套电源。工区内采用双电源线路，其电源线上不得分接隧道以外的任何负荷。

16.5.15 隧道内高瓦斯工区和瓦斯突出工区必须采用安全防爆型机电设备。非瓦斯工区和低瓦斯工区的机电设备可使用非防爆型，其行走机械严禁驶入高瓦斯工区和瓦斯突出工区。

16.5.16 瓦斯隧道洞口设置值班房，必须坚持 24 h 值班，值班房设洞内工序状态揭示牌，所有进洞人员分工序挂牌上岗、下班

摘牌离岗，其他人员进洞须经过批准后方可进入，洞内施工机械实行进出登记制度，并建立详细记录台账。

16.5.17 瓦斯隧道严禁火源进洞并防止火源的出现。进入瓦斯突出工区的作业人员必须携带个人自救器。

16.5.18 发生瓦斯事故后，应尽快探明事故性质、原因、范围、遇难人数和事故地点所在的位置，以及洞内瓦斯及通风情况，第一时间启动应急预案。

16.6 岩 爆

16.6.1 隧道施工中可能发生岩爆时，应遵循以防为主，防治结合的原则，对开挖面前方的围岩特性，水文地质情况等预测预报，当发现有较强烈岩爆存在的可能性时，应及时研究施工对策，作好施工前的准备。

16.6.2 应根据岩爆强度大小对其进行严格分级，针对不同的岩爆级别可采取下列技术措施：

1 中等岩爆地段，在隧道开挖断面轮廓线外 10 ~ 15 cm 范围内，在边墙及拱部，打设注水孔，并向孔内灌高压水，软化围岩，加快围岩内部的应力释放。

2 强烈岩爆地段，可采用部分摩擦型锚杆（楔管式、缝管式、水胀式等），可及时受力挂网，防止岩爆落石。

3 在工作面上钻多个 $\phi 70$ mm 以上的应力释放孔。

4 先行掘进一个断面积为 15 ~ 30 m² 小导洞，使岩层中的高地应力得以部分释放，再进行隧道的开挖。

5 岩爆强烈的开挖面，采用超前锚杆预支护，锁定前方的围岩。

16.6.3 岩爆隧道的施工应符合下列规定：

1 适当控制循环进尺。

2 采用光面爆破或预裂爆破技术，使隧道周边圆顺，降低岩爆发生的强度；严格控制装药量，减少对围岩的扰动。

3 采用喷射机械手进行网喷纤维混凝土。

4 在拱部及边墙布置预防岩爆的短锚杆，锚杆长度宜为2 m左右，间距宜为0.5 ~ 1.0 m，挂网喷纤维混凝土。

16.6.4 隧道施工中，一旦发生岩爆，应立即采取下列处理措施：

1 停机待避，待安全后进行工作面的观察记录，如岩爆的位置、强度、类型、数量以及山鸣等。

2 增加及时受力的摩擦型锚杆（不能替代系统锚杆），锚杆应装垫板。

3 及时喷纤维混凝土，厚度宜为5 ~ 8 cm。

4 当用台车钻眼，岩爆的强度在中等以下时，可在台车及装渣机械、运输车辆上加装防护钢板，避免岩爆弹射出的块体伤及作业人员和砸坏施工设备。

16.7 挤压性围岩和膨胀岩

16.7.1 挤压性围岩和膨胀岩隧道开挖应根据断面大小采用台阶法、双侧壁导坑法、中隔壁法、交叉中隔壁法等分部开挖法。

16.7.2 挤压性围岩和膨胀岩隧道开挖应符合下列规定：

1 尽量采用非爆破开挖（如机械、人工开挖），减少对围岩的扰动。

2 采用钻爆法开挖时，应短进尺，多循环，开挖断面轮廓应圆顺。

3 开挖后及时支护，封闭暴露的岩体，施作临时仰拱或横撑，支护应尽早封闭成环。

4 严格控制施工用水，防止岩面被水浸泡。

5 加强对围岩内部应力、应变的监测，制定相应的对策。

16.7.3 挤压性围岩和膨胀岩隧道支护应符合下列规定：

1 根据具体情况加大预留变形量（一般20 ~ 30 cm），避免因侵限而造成初期支护的拆除。

2 初期支护应做到“先放后抗、先柔后刚”，即设置可伸缩钢架或活动接头，初期支护可分层施作、逐层加强，并尽早初喷混凝土封闭岩面。

3 初期支护的施作原则是“宁加勿拆”，即在支护上加支护，尽量控制变形的发展。支护体系应及时封闭成环、逐步限制变形。

4 根据地层压力隧道断面可采用圆形断面或椭圆形断面。

5 宜加强初期支护，采用纤维混凝土、长锚杆和重型钢架组合的支护结构。

16.7.4 初期支护变形基本稳定后方可浇筑二衬混凝土，二次衬砌应有足够的强度和刚度。

16.8 黄 土

16.8.1 黄土隧道的施工应根据隧道断面大小、围岩级别采用台阶法、三台阶弧形导坑法、双侧壁导坑法、CRD法等。

16.8.2 黄土隧道的施工应根据断面大小采用机械或人工挖掘，应优先采用机械开挖。

16.8.3 黄土隧道施工防排水应符合下列规定：

1 进洞前按设计做好洞顶、洞门及洞口的防排水系统，排水沟应进行铺砌，防止地表水下渗。

2 雨季前应做好隧道洞门。

3 对地表冲沟、陷穴、裂缝等应采取回填夯实、填土反压、改变地表水径流等措施，将水排至隧道范围以外，洞口浅埋段地表冲沟、陷穴、裂缝等除采用上述方法处理外，还应用砂浆抹面，以免下渗水影响结构安全。

4 地层含水量大时，上、下台阶开挖工作面附近宜开挖横向水沟，将水引至隧道中部纵向排水沟（宜采用管、槽）排出洞外，以免浸泡拱脚。

5 必要时应配合井点降水等措施将地下水位降至隧道仰拱

底部以下 1.5 m，确保施工顺利进行。

16.8.4 黄土隧道的开挖应符合下列规定：

1 双线Ⅳ级围岩、单线Ⅴ级围岩宜采用三台阶弧形导坑法；双线Ⅴ级围岩宜采用交叉中隔壁法（CRD）；双线Ⅴ级围岩洞口浅埋或偏压段宜采用双侧壁导坑法。开挖方法除考虑围岩级别外还应结合土层含水量、施工中变形监测结果综合考虑。

2 墙脚、拱脚等隅角处应预留 60 ~ 70 cm 人工开挖，严禁超挖。

3 开挖循环进尺根据不同围岩级别采用 0.5 ~ 1.5 m。

4 湿陷性黄土隧道基底可采用树根桩、灰土挤密桩、注浆、换填等处理措施。

5 施工中如发现突水、变形异常等不安全因素时，应暂停开挖，加强临时支护，调整施工方案。

6 合理选择工序步距。小型机械作业宜选择上台阶长 5 m，下台阶 15 m。开挖工作面距仰拱和填充的距离 20 ~ 30 m；仰拱与拱墙衬砌之间距离 20 ~ 30 m，当围岩级别低、含水量大时应适当缩短距离。

7 仰拱开挖前应先拆除下部水平横撑，拆除长度应与仰拱长度一致，按先左后右，先上后下顺序进行，不得超长度拆除。

8 严格控制施工用水，采用湿喷工艺，拌和用水在拌和站控制，喷完后用高压风代替水吹洗湿喷机；喷射混凝土和仰拱、填充、二衬混凝土均采用喷雾器喷雾养护取代洒水养护；严格控制混凝土拌和用水，避免混凝土泌水浸泡黄土隧道基底。

16.8.5 黄土隧道初期支护施工应符合下列规定：

1 施工中应参考设计文件采用适宜的预留变形量。

2 施工中要特别注意观察垂直节理，应在拱脚设置测点，监视拱脚下沉的状态。必要时应采取工程措施，防止拱部整体下沉和塌方事故的发生。

3 特殊地段需要施作护拱的应采用大拱脚。

4 开挖后应立即对隧道周边及开挖工作面进行喷混凝土封闭,并及时施作锚杆、钢筋网及型钢钢架。

5 当洞身黄土含水量较大时,应采用煤矿螺旋钻成孔;锚杆宜采用药包式或早强砂浆式锚杆,各种锚杆必须设置垫板。

6 钢架基脚或分部开挖基脚等处设置注浆锁脚锚杆(管)或设置垫板,以控制钢架沉降。钢架每侧应施作锁脚锚杆(管)不少于2~4根,锁脚锚杆直径不小于22 mm,长度不少于3.5 m,外插角 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$,必要时采用锁脚锚管。

16.9 高原冻土隧道

16.9.1 高原冻土隧道洞口段应根据季节温度的变化,进行保温施工,尽可能安排在非冻季节施工,并应符合下列规定:

1 洞口边、仰坡的开挖应遵循“快开挖、快防护”的原则,力求缩短洞口边、仰坡的暴露时间。

2 开挖时,采用分段、分层开挖,并采取保温措施。

3 开挖时采用预留光爆层光面爆破,减少一次起爆装药量,周边眼间隔装药。

4 开挖前,搭设明洞遮阳棚。厚层地下冰暴露部分采用保温板和复合防水板覆盖。明洞开挖后,边坡和基底用粗颗粒土及时换填,然后喷混凝土封闭。

5 施工中应加强监测、检查山坡稳定的情况,并在基面位置开挖一定宽度的排水槽。

16.9.2 洞身施工应符合下列规定:

1 温暖季节,为避免冻融,应采取空调措施,降低洞内环境温度。

2 开挖爆破后,应尽快用喷混凝土封闭围岩表面,控制围岩表层融化。

3 洞内出渣、进料宜采用有轨运输。

4 加强测温工作,进行科学有效的温控工作。

5 施工前,必须对机械设备的选型及配套进行研究,确定适宜的机械配套方案。

6 施工中应加强试验工作,研究合理的施工工艺及施工保障措施,选择合理的支护方式及支护结构,确保砂浆、喷混凝土、衬砌混凝土的施工质量。

16.9.3 衬砌施工应符合下列规定:

1 加快模筑混凝土衬砌速度,确保模筑混凝土衬砌紧跟工作面。

2 低温早强混凝土应连续、对称灌注。

3 灌注低温早强混凝土时,其相邻接触面的温度在 -5°C 以上时,可不予加热,但要提高入模温度和加强覆盖保温。

4 低温早强混凝土拌和温度不高于 30°C ,拌和时抗冻剂先溶化于拌和水中,加气剂宜待混凝土拌和约 30 s 后加入;拌和的材料重量和抗冻剂掺入量需严格按设计控制。

5 根据地质情况变化,围岩稳定状态,监测喷混凝土和模筑混凝土入模温度或硬化期混凝土温度状况,及时修改设计参数或改变施工方法。

6 对衬砌完成地段,继续观察其稳定性,注意衬砌的变形开裂,侵入净空等现象,及时记录,以便与设计单位共同处理,并作出长期稳定性的评价。

7 混凝土拆模时间应满足本技术指南第9.2.7条规定。

8 保证混凝土养护温度,防止冻害。

16.9.4 高原冻土隧道施工中应采取有效的防排水措施以防止高寒隧道冻胀破坏,其防排水、隔热保温层除符合设计要求外,尚应符合下列要求:

1 为防止隧道运营后冻胀破坏和厚层地下冰热融圈扩大,在衬砌前全断面铺设隔热保温板。

2 洞内应设双侧保温水沟,洞外应设深埋保温暗沟,将水排至地表沟内。

3 靠近支护的隔热保温层一侧设复合防水板,另一侧设防水保护层,以防保温层受潮及破坏。

4 衬砌采用低温早强防水混凝土,最大限度提高混凝土自防水能力。

5 按设计要求进行施工缝处理,确保衬砌不渗不漏。

16.9.5 高原冻土隧道供水设施宜布置在洞内,并通过增压泵、高压风等加压降阻措施来满足施工需求。

16.9.6 高原隧道施工的劳动保护措施除应符合国家相关要求外,尚应符合下列规定:

1 参加施工的人员进入高原地区,要遵循“阶梯升高”的原则,到驻地后三天至一周内要保证充分休息或从事少量的轻体力劳动。

2 在进入高原过程中,要严格防止感染和过度疲劳。

3 施工期间,洞内作业工时不应超过4 h。

4 施工中尽量采用机械化,体力劳动强度保持在次重及中等强度以下,如必须从事大强度的体力劳动,应尽可能缩短一次持续劳动时间,增加劳动、休息的交替次数。

5 职工应采用轮休制,在高原工地工作三个月后,再回平原基地休息两个月进行调养。

6 施工期间发生高原反应不能坚持者,应及时返回海拔3 000 m以下的地区。

7 在隧道施工时,必须根据高原的实际情况,研究确定合理的通风及供氧方式,选择合适的通风及供氧设备,保证隧道施工人员的健康与安全。

16.9.7 施工时必须采取一切措施,保护生态环境,将施工影响降至最低。

17 环 境 保 护

17.0.1 隧道施工应保护生态环境，施工中必须遵守污染物排放的国家标准和地方标准，防止隧道施工造成周边环境污染和破坏。隧道施工期间的环境保护措施和相关的设施纳入实施性施工组织设计，落实在施工各个阶段进行设施的安、施工，隧道施工期间设施同时运转、措施同时落实，并不断完善。

17.0.2 邻近江、河、水库等的隧道施工，应严格保护水源不流失。生活、生产污水不经处理不得直接排入江、河、水库。

17.0.3 隧道施工中要控制地下水的排放，防止过量排放造成地表生态环境的破坏。

17.0.4 为避免施工噪声和振动对周边居民的影响，洞口段开挖应采用浅孔弱爆破。施工场地和运输线路利用地形尽量避开噪声和振动敏感区，施工机械应安设消声器，空压机、通风机等接近居民区时，应设置基础减震槽并采取隔音措施。

17.0.5 隧道开挖应采用湿式凿岩，喷混凝土尽量采用湿喷工艺，施工机械优先采用电力驱动，内燃机械、车辆应加装消烟净化装置，尽量减少对周围环境的影响。

17.0.6 隧道施工的弃渣堆放应符合下列规定：

1 隧道开挖的废渣，应堆弃在当地有关部门许可的弃渣场内。如废渣中含有放射性物质，废渣排放后立即按要求进行处理，弃渣场地应远离当地居民居住地点。

2 弃渣场应按设计修筑挡墙，有条件的地方应尽可能复耕，无复耕条件的地方应植草、植树。并修好排水沟，恢复原排水系统，避免诱发灾害的产生。

3 严禁将隧道的废渣弃在受洪水、泥石流、雪崩、滑坡等

自然灾害影响地段及居民居住点的上方，并不得堵塞河流及交通要道。

17.0.7 隧道内、外的施工废水的排放应符合下列规定：

1 隧道内、外的施工废水不得直接排入河沟、河流及农田内，应排在隧道洞口已按设计做好的污水处理池内。

2 隧道内、外的施工废水经污水处理池处理后，经检测达到《污水综合排放标准》或当地有关部门环保要求后方可排入河沟、河流及农田内。

17.0.8 施工生产和生活用地应贯彻十分珍惜、合理利用和切实保护耕地的基本国策，坚持科学用地，坚持节约用地，坚持少占农田。

17.0.9 施工生产和生活用地使用结束后要做好复耕工作，将施工中曾经被占用或者破坏的土地，恢复或者基本恢复到原有的状态。

18 施工阶段的风险评估

18.1.1 隧道施工阶段的风险的评估、监测、处理、管理应参照《铁路隧道风险评估与管理暂行规定》(铁建设〔2007〕200号)有关规定办理。

18.1.2 施工单位应根据设计阶段的评估结果,进一步评估设计确定的主要风险源、风险等级以及采取的降低风险措施的实施的可行性,提出施工阶段的风险评估结果及措施。

18.1.3 施工阶段风险评估,应在施工的全过程中根据风险识别情况,分阶段进行风险监控和管理,力求在确保安全、质量、工期的前提下、把残余风险控制在可接受的水平上。

18.1.4 风险评估流程见图 18.1.4。

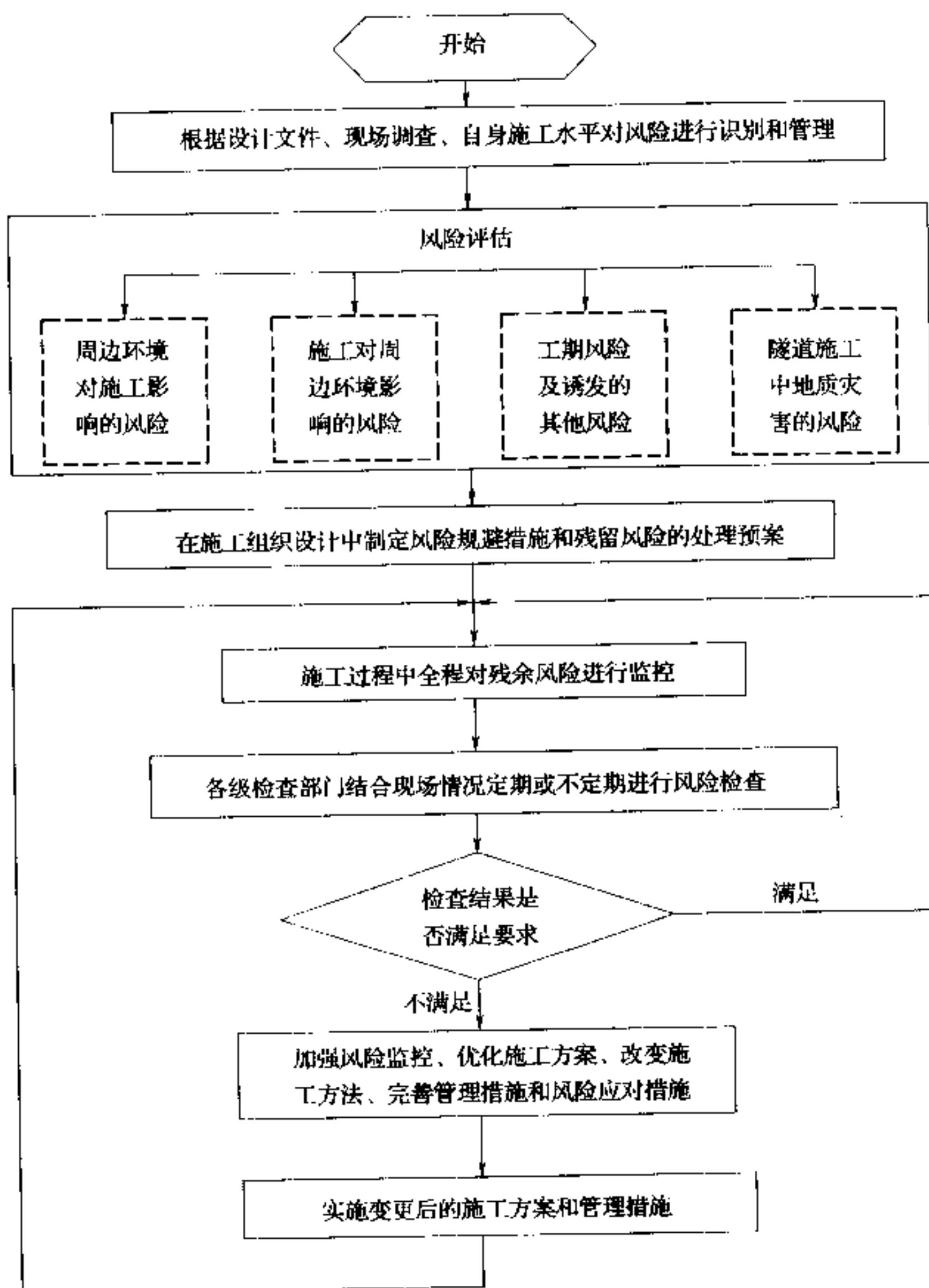


图 18.1.4 风险评估流程图

附录 A 开挖工作面观察表

表 A 开挖工作面观察表

编号: ×××××隧道

开挖工作面里程								埋深(m)							
地层 岩性		围岩 类别	设计		单轴饱和抗 压强度 R_c (MPa)	极硬岩 >60	硬岩 >30~60	较软岩 >15~30	软岩 >5~15	极软岩 ≤ 5	取样 编号	试验 编号			
			实际施工												
开挖 工作 面上 围岩 岩体 结构 特征	层理	产状	单层厚度(m)		层面 特征	与隧轴夹角									
	组次	产状	间距 (m)	长度 (m)	缝宽 (mm)	充填 物	与隧轴 夹角	与隧道的关系(平面示意图)							
	1														
	2														
	3														
	4														
断层	产状	破碎带宽度 (m)		破碎带 特征	与隧轴夹角		围岩弹性纵波速度 (km/s)								

续上表

左边墙															右边墙									
边墙围岩体结构特征	层理	产状	单层厚度(m)			层面特征	与隧轴夹角		节理	层理	产状	单层厚度(m)			层面特征	与隧轴夹角								
	节理	组次	产状	间距(m)	长度(m)	缝宽(mm)	充填物	与隧轴夹角		裂隙	组次	产状	间距(m)	长度(m)	缝宽(mm)	充填物	与隧轴夹角							
	断层	产状	破碎带宽度(m)			破碎带特征	与隧轴夹角			产状	破碎带宽度(m)			破碎带特征	与隧轴夹角									
状态			涌水量 (L/(min·10m))	干燥或湿润	偶有渗水	经常渗水	含泥砂情况	侵蚀类型	取水样编号		试验编号													
地下水	出水位置					<10	10~25	25~125	>125	涌水	水													
稳定性	洞周	稳定	拱部掉块	边墙掉块	拱部坍塌	边墙坍塌		拱部坍塌	边墙坍塌	塌方 > 10 m ³			塌方 < 10 m ³											
	开挖工作面	稳定				拱部坍塌				边墙坍塌		开挖工作面挤出		开挖后至掉块或坍塌的时间										
边墙素描															工程措施及有关参数									
左边墙		右边墙													开挖工作面素描		开挖工作面							
施工方签字															年		月		日					

附录 B 爆破成缝试验方法

B.0.1 光面爆破、预裂爆破应根据成缝试验确定周边眼的装药量、装药结构、堵塞长度和炮眼间距等爆破参数。

B.0.2 成缝试验应按下列步骤进行：

- 1 核对隧道地质情况。
- 2 选择与隧道实际地质条件相似的洞内或露天试验场。
- 3 按施工要求确定炮眼深度。
- 4 单孔爆破成缝试验。

B.0.3 单孔爆破成缝试验前，可先参照本技术指南表 7.3.5 所列光面爆破参数，初选单孔药量、装药集中度及装药结构等参数。

单孔试验时，可通过调整药量、装药结构、堵塞长度等，直到爆破后孔口只出现裂缝不产生爆破漏斗为止。此时装药深度即为实际的临界深度（装药重心至孔口距离）。

B.0.4 光面爆破试验可根据排孔爆破得出的炮眼间距 E ，参照光面爆破参数表 7.3.5 中的相对距离 E/W ，定出不同的抵抗线 W ，进行试验，得出最小抵抗线 W 值。

B.0.5 爆破试验得出的有关参数，应在洞内进行试爆，再次调整各值，得出最佳参数供实际使用。

附录 C 喷锚支护施工记录

工程名称_____ 围岩级别_____

里程范围_____ 记录时间____年____月____日____时

工程部位_____ 记录人员_____

1 原材料、配合比

材料名称	型号	产地	试验报告编号	品质
砂				
石				
水泥				
速凝剂				
水				
锚杆				
钢筋(网)				
锚杆药包				

喷混凝土配合比(水泥:砂:石)_____, 速凝剂掺量_____

锚杆灌浆配合比(水泥:砂)_____, 水灰比_____

2 施工时间

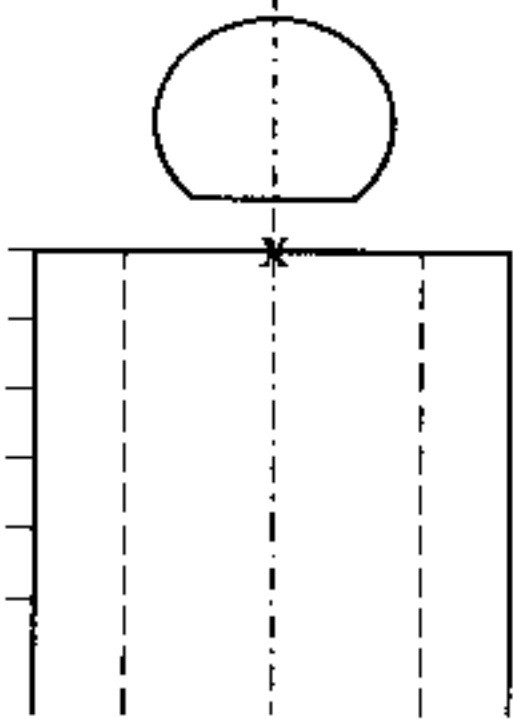
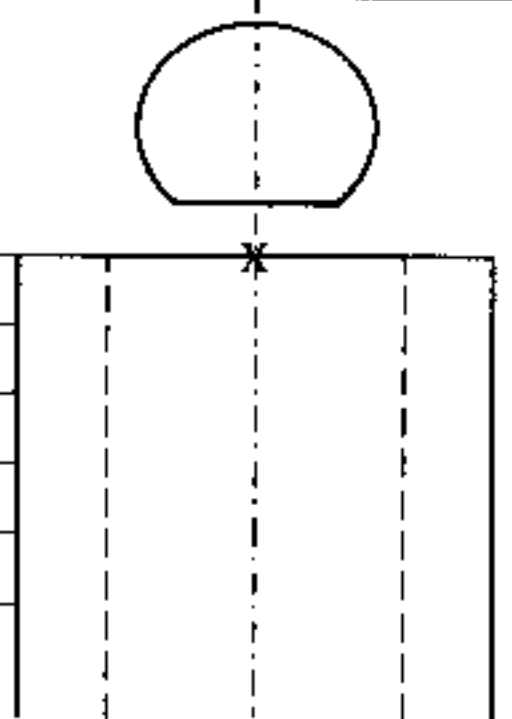
喷锚部位的开挖时间(爆破)____月____日____时

喷射混凝土施作时间____月____日____时至____月____日____时

锚杆施作时间____月____日____时至____月____日____时

3 喷层厚度与锚杆分布图

4 其他(包括:围岩坍塌的时间、地点,过程、原因分析;锚喷作业中发生的机械故障,堵管等事故的次数、原因和排除方法;其他需要记录的事项)

喷层厚度分布图	锚杆分布图
	
喷层面积____m ² 水泥用量____kg 速凝剂量____kg 钢筋网量____张	锚杆数量____根 水泥用量____kg 锚杆药包____包

技术负责人_____

附录 D 喷锚支护有关的试验和测定方法

D.1 喷混凝土强度检查试件的制作方法

D.1.1 采用喷大板切割法应在施工的同时,将混凝土喷射在 $45\text{ cm} \times 35\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ (可制成 6 块) 或 $45\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ (可制成 3 块) 的模型内,当混凝土达到一定强度后,加工成 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的立方体试件,在标准条件下养护至 28 d 进行试验 (精确到 0.1 MPa)。

D.1.2 采用喷大板切割法。当对强度有怀疑时,可用凿方切割法。凿方切割法应在具有一定强度的支护上,用凿岩机打密排钻孔,取出长 35 cm、宽约 15 cm 的混凝土块,加工成 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的立方体试件,在标准条件下养护至 28 d,进行试验 (精确到 0.1 MPa)。

D.2 喷混凝土与岩面粘结力的试验方法

D.2.1 采用成型试验法可在模型内放置面积为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 、厚 5 cm、表面粗糙度近似于实际情况的岩块,用喷混凝土掩埋。当混凝土达到一定强度后,加工成 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的立方体试件,在标准条件下养护至 28 d,用劈裂法进行试验。

D.2.2 采用直接拉拔法可在围岩表面预先设置带有丝扣和加力板的拉杆,用喷混凝土将加力板埋入喷层约 10 cm,试件面积约 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ (周围多余的部分应予清除)。经 28 d 养护,进行拉拔试验。

D.3 喷混凝土实际配合比、水胶比的测定方法

D.3.1 测定步骤应符合下列要求:

1 从受喷面上采取一块刚喷好的混凝土,迅速称出质量各为3 000 g的2份。

2 将第一份混凝土放在瓷盘里,在烘箱中以105℃~110℃烘至恒重。由烘干前后的质量,算出喷混凝土中可烘干水的质量。

3 在取样的同时,用400 g水泥及与施工相同掺量的速凝剂,加160 g水(水胶比为0.4),迅速拌制一份净浆,与第一份混凝土在相同条件下烘至恒重。由烘干前后的质量,算出不可烘干水的质量与水泥质量的比率(即不可烘干水率)。

4 将第二份混凝土放入盛有6~8 kg水的桶中,立即搅散开,使水泥、速凝剂、砂石分离,仔细淘洗清除水泥、速凝剂和粒径小于0.15 mm的细粉。将砂、石在烘箱中以105℃~110℃烘至恒重,筛分并称出质量。

5 根据下式算出水泥质量,即可求出喷混凝土的实际配合比和水胶比。

$$\text{水泥质量} = 3\,000 - \frac{(\text{砂质量} + \text{石质量} + \text{可烘干水质量})}{1 + \text{速凝剂掺量} + \text{不可烘干水率}}$$

注:式中各项材料的质量以克计,要求精确至0.1 g;速凝剂掺量和不可烘干水率均以水泥质量的百分率表示;水重为可烘干水质量与不可烘干水质量之和。

D.3.2 测定时应注意下列事项:

1 采取试样、称重、拌制净浆以及第二份试样在水中搅散开,均应在尽可能短的时间内完成,至迟不得超过5 min。

2 第二份试样在淘洗时,每次倒污水都要经过0.15 mm孔径的筛。

3 计算时,砂、石中小于0.15 mm的细粉,应按原材料中

的比例记入砂、石质量，水泥、速凝剂中大于 0.15 mm 的颗粒，也应按原材料中的比例记入水泥、速凝剂质量中。

附录 E 喷钢纤维混凝土有关的技术要求、试验和测定

E.1 钢纤维的技术要求

E.1.1 钢纤维的分类:

1 钢纤维按生产工艺可分为: 钢丝切断型、薄板剪切型、熔抽型和钢锭铣削型。

2 钢纤维按材质可分为: 碳钢型、低合金钢型和不锈钢型。

3 钢纤维按形状可分为: 平直形和异形。异形钢纤维可分为压痕形、波形、端钩形、大头形和不规则麻面形。

4 钢纤维按抗拉强度可分为 380 级 (抗拉强度不小于 380 N/mm^2 , 小于 600 N/mm^2)、600 级 (抗拉强度不小于 600 N/mm^2 , 小于 $1\,000 \text{ N/mm}^2$)、1 000 级 (抗拉强度不小于 $1\,000 \text{ N/mm}^2$)。

E.1.2 钢纤维的尺寸及其允许偏差:

1 钢纤维的长度或标称长度宜为 20 ~ 60 mm。

2 钢纤维的直径或等效直径宜为 0.3 ~ 0.9 mm。

注: 等效直径系指非圆形截面按截面面积等效原则换算的圆形截面直径。当钢纤维形状为压痕形等不规则截面时, 可采用质量等效原则换算为圆柱体尺寸, 推算出等效直径。

3 钢纤维的长径比宜为 30 ~ 80。

4 钢纤维长度和直径的允许偏差为其尺寸的 $\pm 10\%$ 。

每个验收批随机取样 10 根, 用精度不低于 0.02 mm 的卡尺测量其长度和直径, 合格率不应低于 90%。

注: 对矩形截面的钢纤维, 可测量其截面两边的尺寸换算出等效直径。

对于非圆形不规则截面钢纤维的检验, 每验收批次随机取样

100 根,用精度 0.01 g 的天平称质量,用精度不低于 0.02 mm 的卡尺测量长度,并计算出平均长度 l_{fa} (mm),按下式计算其平均直径 d_{fa} ,平均直径与标称直径相差不应超过 $\pm 10\%$:

$$d_{fa} = 1.13 \sqrt{W_0 / (l_{fa} \gamma)}$$

式中 d_{fa} ——钢纤维的平均直径 (mm);

W_0 ——100 根钢纤维的实测质量 (g);

γ ——钢材的质量密度,取 $7.85 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$ 。

注:对于非圆形截面和端钩形钢纤维,其平均长度应取钢纤维实际曲线长度的平均值。

5 异形钢纤维形状合格率不应低于 85%。

每个验收批随机取样 100 根,逐根检验其形状,如有断钩、单边成形和不符合出厂形状规定的,视为不合格。形状不合格的纤维数不应超过受检试样总数的 15%。

E. 1.3 钢纤维强度和弯折性能:

1 钢纤维的抗拉性能应满足本附录 E. 1.1 条的规定。每批产品随机取样 10 根,按现行国家标准《金属材料室温拉伸试验方法》(GB/T 228) 进行抗拉强度试验。抗拉强度按公式 (E. 1.3) 计算,受检钢纤维抗拉强度平均值不得低于该强度等级钢纤维的规定值,且最小值不得低于规定值的 90%。

$$f_{st} = F / A_{st}$$

式中 f_{st} ——钢纤维的抗拉强度 (N/mm^2);

F ——钢纤维拉断时的荷载值 (N);

A_{st} ——钢纤维的截面面积 (mm^2)。当钢纤维为不规则截面时,可用精度为 0.001 g 的天平称质量,计算其截面面积。

注:钢纤维拉伸试验中,如在夹持处断裂,则该纤维试件数据无效,可另取纤维补充试验。

2 当采用钢丝、钢板为原材料制作钢纤维时,允许以母材做抗拉强度试验。所取母材应为切断成型,且为最后一道工序前

的母材。采用母材做试验时，取样数为5个，受检试件的抗拉强度不得低于该钢纤维强度等级规定的抗拉强度。

3 钢纤维应能承受，10根试样中至少有9根一次弯折90°不断。

E.1.4 检验规则

1 每5t或少于5t的同品种、同规格的钢纤维为一个验收批，按本附录的要求检验验收。

2 在检验中某项要求不合格时，可加倍取样进行复检。复检合格，可确定该产品合格；复检不合格，则确定该产品不合格。

3 杂质检验时，每个验收批随机取样5kg，人工挑选杂质，并称重计算。

E.2 三分点加载梁试验测定弯曲韧度比

三分点加载梁试验的试件（弯曲韧度比评定法）采用喷射成型的大板切割出梁式试件，试件尺寸为100mm×100mm×400mm（或150mm×150mm×550mm）。试验两加载点距离及加载点与邻边支座距离均为100mm（或150mm）。通过试验测得荷载—中点挠度曲线。韧度指数按下式计算：

$$f_o = \frac{T_b l}{bh^2 \delta_{1b}}$$

式中 f_o ——弯曲韧度指数；

T_b ——挠度为2mm处至坐标原点间荷载—挠度曲线下的图形面积；

l ——支点距离；

b ——试件截面宽度；

h ——试件截面高度；

δ_{1b} ——1/150跨距时的中点挠度。

根据韧度指数，可按下式求出弯曲韧度比：

$$R_c = \frac{f_c}{f_{cr}}$$

式中, f_{cr} 为钢纤维混凝土弯拉初裂强度, 即荷载 - 挠度曲线上升段出现明显拐点时对应的强度值, 也可用配合比与该喷钢纤维混凝土相同的普通喷混凝土的弯拉强度。

在隧道工程中作为围岩支护和衬砌的喷钢纤维混凝土, 其弯曲韧度比一般要求不低于 0.70。

E.3 平板加载试验确定韧度指标

试件尺寸见图 E.3, 板的长度、宽度均为 600 mm, 板厚 100 mm。四边简支, 简支边轴线与板边重合, 简支边内缘距离 500 mm, 板中心加载, 接触面为 100 mm × 100 mm。根据试验, 可得到“荷载 - 挠度”曲线和“荷载 - 能量”曲线。用相应于挠度为 25 mm 的变形能 J 来度量喷钢纤维混凝土的韧性。

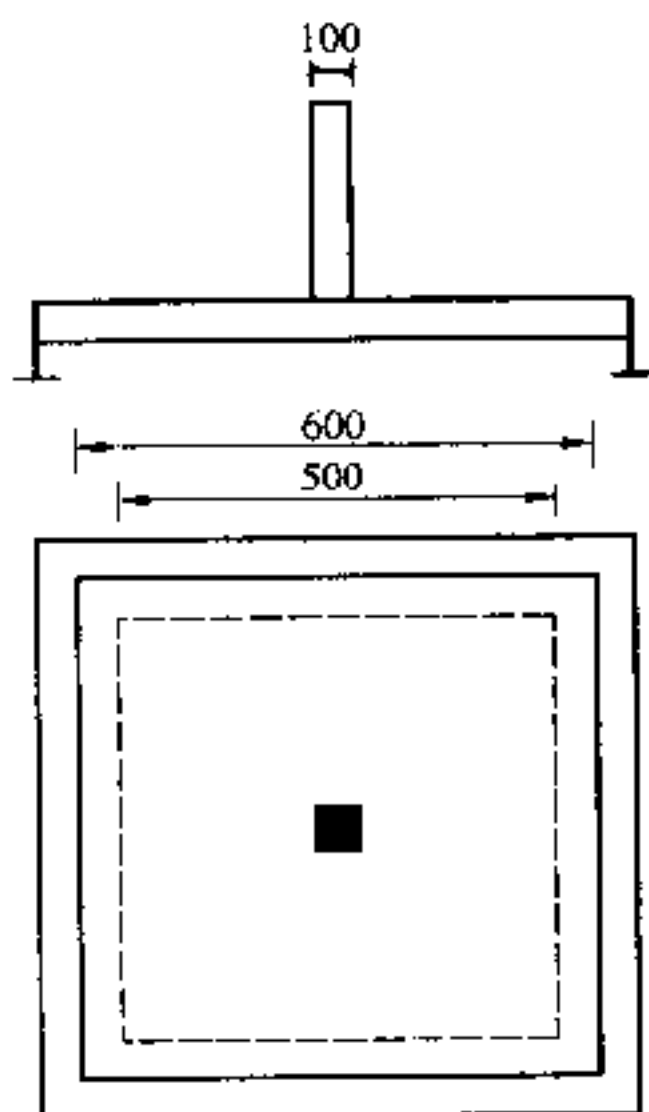


图 E.3 试件尺寸 (mm)

要求相应于 25 mm 的变形能达到下列值:

大变形围岩初期支护	1 000 J
单层永久衬砌	700 J
隧道裂损衬砌修复	500 J

E. 4 纤维混凝土和水泥砂浆收缩裂缝试验方法

E. 4. 1 适用范围

本方法适用于纤维对限制混凝土或水泥砂浆早龄期收缩裂缝有效性的试验或不同养护条件下不同龄期收缩裂缝的对比试验。

E. 4. 2 试件制作

1 试件应满足下列要求:

- 1) 纤维混凝土试件为 600 mm × 600 mm × 63 mm 的平面薄板。模具边框用 63 mm × 40 mm × 6.3 mm 的槽钢制作, 边框内设直径 6 mm 间距 60 mm 的双排栓钉, 栓钉长度分别为 50 mm 和 100 mm, 间隔布置。底模采用厚度不小于 5 mm 的钢板或不小于 20 mm 的密度板, 底板上铺聚乙烯薄膜隔离层。当采用密度板做底模时, 底模下应设木方横肋以确保浇筑混凝土后不变形 (图 E. 4. 2—1)。
- 2) 纤维水泥砂浆试件为 600 mm × 600 mm × 20 mm 的平面薄板。模具边框用高 20 mm 的等肢角钢制作, 边框内设直径 6 mm 间距 60 mm 的单排栓钉, 栓钉长度为 100 mm, 间隔布置 (图 E. 4. 2—2)。

2 早龄期收缩裂缝试验主要用于评定纤维对降低混凝土、水泥砂浆产生早期收缩裂缝的有效性。试件的制作应符合下列规定:

- 1) 当专门用于评定纤维的限裂效能时, 可采用纤维水泥砂浆试件, 其基体配合比为: 水胶比 0.50, 胶砂比 1:1.5。原材料为: 42.5 号普通水泥或硅酸盐水泥,

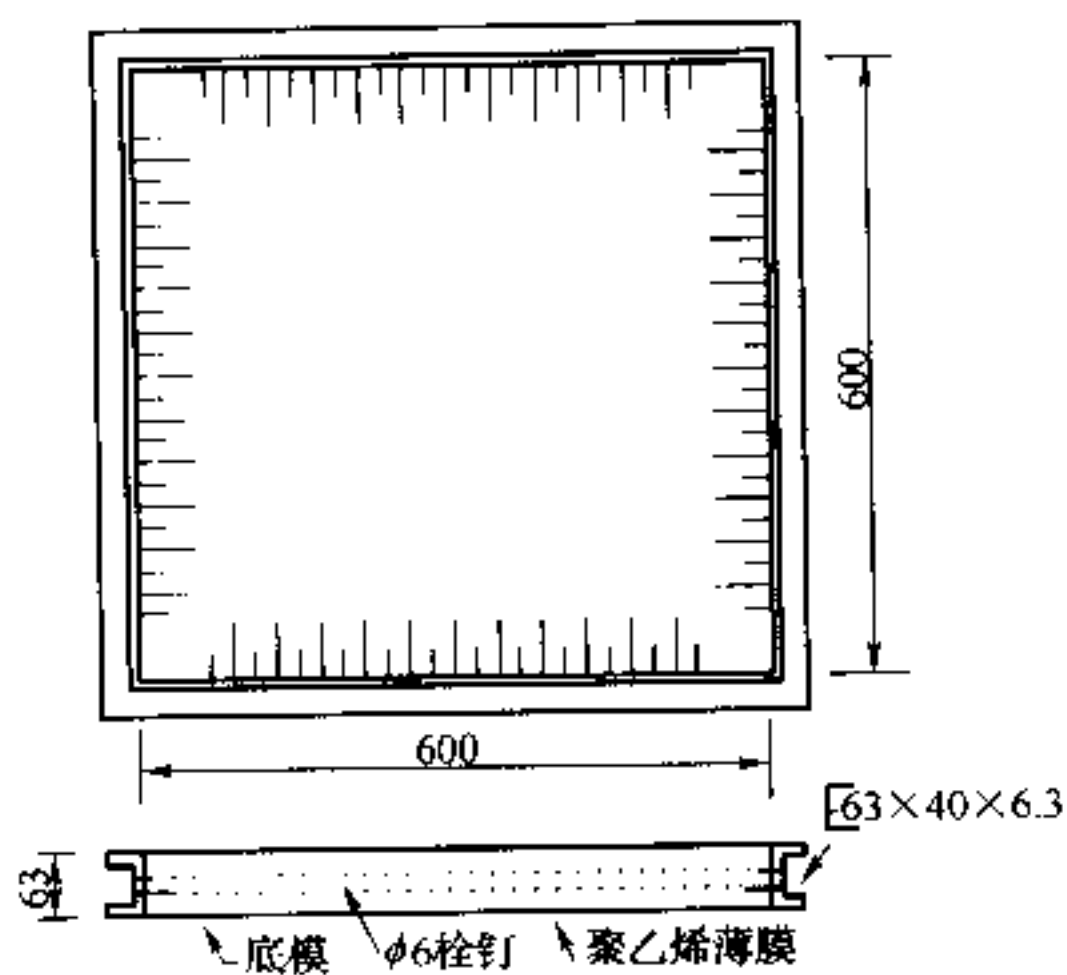


图 E. 4. 2—1 纤维混凝土开裂试验模具 (mm)

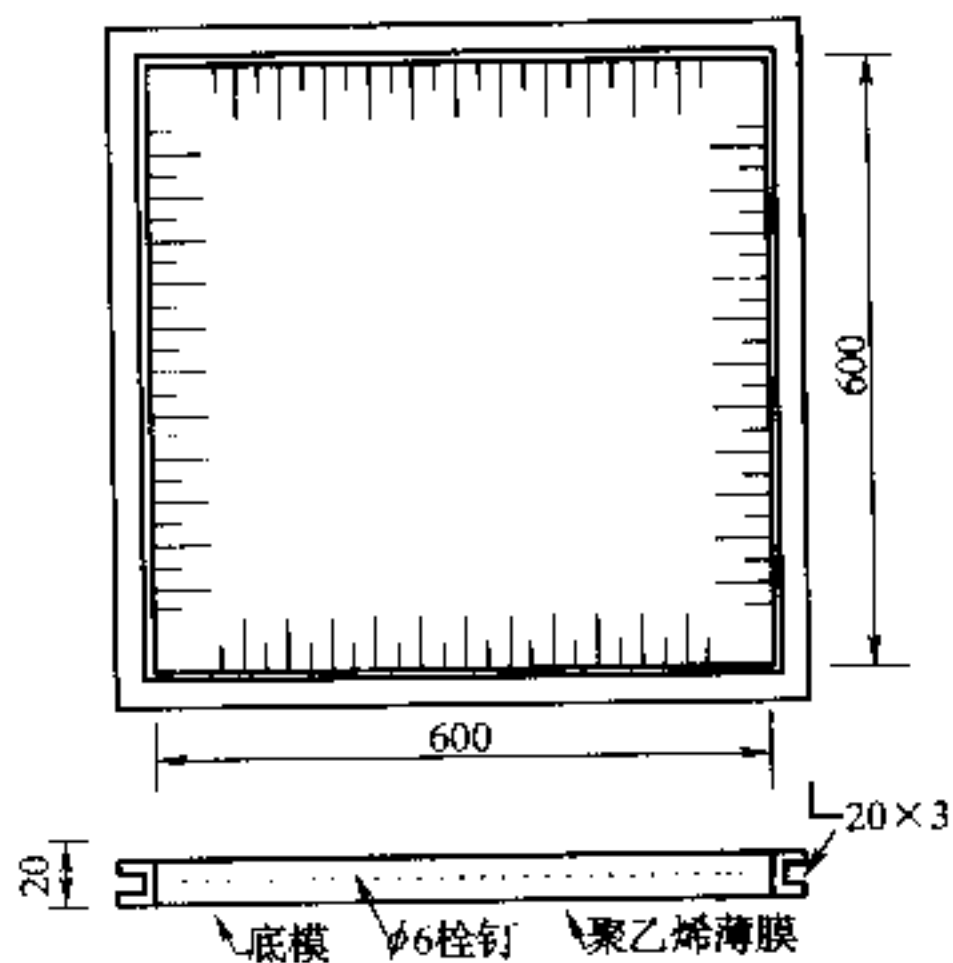


图 E. 4. 2—2 纤维水泥砂浆开裂试验模具 (mm)

中砂河砂；对比砂浆试件的配合比、原材料可与纤维砂浆基体的配合比、原材料相同。

2) 当结合具体工程进行纤维限裂效能评定时，纤维混凝

土应按工程采用的配合比配制，基体混凝土应将纤维混凝土配合比中的纤维取消，其他组分不变。

- 3) 同时成型纤维混凝土（或纤维水泥砂浆）试件和对比用的基体混凝土（或水泥砂浆）试件一组，每组各一个试件，每次试验做2组试件。
- 4) 试件浇筑、振实、抹面后用塑料薄膜覆盖2 h。环境温度宜为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。

3 不同养护条件下混凝土的开裂试验，纤维混凝土和基体混凝土的配合比以及试件数量可根据试验需要确定；浇筑、振实、抹面后的养护条件可根据抗裂评定要求确定。

E. 4.3 试验及评定方法

1 早龄期收缩裂缝试验应符合下列规定：

- 1) 试件成型2 h后取下塑料薄膜，每组试件（1个纤维混凝土试件、1个对比试件）中的每个试件各用1台电风扇吹试件表面，风向平行试件表面，风速 0.5 m/s ，环境温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于60%。成型后24 h观察裂缝数量、宽度和长度。
- 2) 裂缝以肉眼可见裂缝为准，用钢尺测量其长度，可近似取裂缝两端直线距离为裂缝长度。当裂缝出现明显弯折时，可以折线长度之和代表裂缝长度。
- 3) 用读数显微镜（分度值 0.01 mm ）测读裂缝宽度。可取裂缝中点附近的宽度代表该裂缝的名义最大宽度。

2 裂缝总面积应按下列公式计算：

$$A_{\text{cr}} = \sum_{i=1}^n \omega_{i,\text{max}} l_i$$

式中 A_{cr} ——试件裂缝的名义总面积。对纤维混凝土试件记作 A_{fcr} ，对对比用的基体试件记作 A_{mcr} (mm^2)；

$\omega_{i,\text{max}}$ ——第*i*条裂缝名义最大宽度 (mm)；

l_i ——第*i*条裂缝的长度 (mm)。

3 裂缝降低系数 η 应按下列规定计算：

$$\eta = \frac{A_{\text{mcr}} - A_{\text{fcr}}}{A_{\text{mcr}}}$$

4 纤维混凝土及水泥砂浆的早龄期限裂效能等级可取 2 组试验的 η 平均值，按照表 E. 4. 3 的规定评定。

表 E. 4. 3 限裂效能等级评定标准

限裂效能等级	评定标准
一级	$\eta \geq 70$
二级	$55 \leq \eta < 70$
三级	$40 \leq \eta < 55$

5 不同养护条件下不同龄期的收缩裂缝对比试验应符合下列规定：

- 1) 试验的养护条件和龄期可根据试验目的确定。
- 2) 裂缝的测量方法可参照本条的规定执行，限裂效能评定方法可根据相互对比试件的试验结果，参照本条的规定执行。

附录 F 环境类别及作用等级

F.0.1 铁路混凝土结构所处环境类别分为碳化环境、氯盐环境、化学侵蚀环境、冻融破坏环境和磨蚀环境。不同类别环境的作用等级可按表 F.0.1—1 ~ 表 F.0.1—5 所列环境条件确定。

表 F.0.1—1 碳化环境条件特征

作用等级代号	环境条件特征
T1	年平均相对湿度 <60%
	长期在水下（不包括海水）或土中
T2	年平均相对湿度 ≥60%
T3	地上或地下水位变动区
	干湿交替

注：当钢筋混凝土薄型结构的一侧干燥而另一侧湿润或饱水时，其干燥一侧混凝土的碳化锈蚀作用等级应按 T3 级考虑。

表 F.0.1—2 氯盐环境条件特征

作用等级代号	环境条件特征
L1	长期在海水水下区
	离平均水位 15 m 以上的海上大气区
	离涨潮岸线 100 ~ 300 m 的陆上近海区
L2	离平均水位 15 m 以内的海上大气区
	离涨潮岸线 100 m 以内的陆上近海区
	海水潮汐区或浪溅区（非炎热地区）
L3	海水潮汐区或浪溅区（南方炎热地区）
	盐渍土地区露出地表的毛细吸附区
	遭受氯盐冷冻液和氯盐化冰盐侵蚀部位

表 F.0.1—3 化学侵蚀环境条件特征

化学侵蚀类型		作用等级代号			
		H1	H2	H3	H4
硫酸盐侵蚀	环境水中 SO_4^{2-} 含量 (mg/L)	200 ~ 600	600 ~ 3 000	3 000 ~ 6 000	> 6 000
	强透水性环境中 SO_4^{2-} 含量 (mg/kg)	2 000 ~ 3 000	3 000 ~ 12 000	12 000 ~ 24 000	> 24 000
	弱透水性环境中 SO_4^{2-} 含量 (mg/kg)	3 000 ~ 12 000	12 000 ~ 24 000	> 24 000	
盐类结晶侵蚀*	环境中 SO_4^{2-} 含量 (mg/kg)		2 000 ~ 3 000	3 000 ~ 12 000	> 12 000
酸性侵蚀	环境水中 pH 值	6.5 ~ 5.5	5.5 ~ 4.5	4.5 ~ 4.0	
二氧化碳侵蚀	环境水中侵蚀性 CO_2 含量 (mg/l.)	15 ~ 40	40 ~ 100	> 100	
镁盐侵蚀	环境水中 Mg^{2+} 含量 (mg/L)	300 ~ 1 000	1 000 ~ 3 000	> 3 000	

- * 注：1 对于盐渍土地区的混凝土结构，埋入土中的混凝土遭受化学侵蚀；当环境多风干燥时，露出地表的毛细吸附区内的混凝土遭受盐类结晶型侵蚀。
- 2 对于一面接触含盐环境水（或土）而另一面临空且处于干燥或多风环境中的薄壁混凝土，接触含盐环境水（或土）的混凝土遭受化学侵蚀，临空面的混凝土遭受盐类结晶侵蚀。
- 3 当环境中存在酸雨时，按酸性环境考虑，但相应作用等级可降一级。

表 F.0.1—4 冻融破坏环境条件特征

作用等级代号	环境条件特征
D1	微冻地区 + 频繁接触水
D2	微冻地区 + 水位变动区
	严寒和寒冷地区 + 频繁接触水
D3	微冻地区 + 氯盐环境 + 频繁接触水
	严寒和寒冷地区 + 水位变动区
	微冻地区 + 氯盐环境 + 水位变动区
	严寒和寒冷地区 + 氯盐环境 + 频繁接触水
D4	严寒和寒冷地区 + 氯盐环境 + 水位变动区

注：严寒地区、寒冷地区和微冻地区是根据其最冷月的平均气温划分的。严寒地区、寒冷地区和微冻地区最冷月的平均气温 t 分别为： $t \leq -8^\circ\text{C}$ ， $-8^\circ\text{C} < t < -3^\circ\text{C}$ 和 $-3^\circ\text{C} \leq t \leq 2.5^\circ\text{C}$ 。

表 F.0.1—5 磨蚀环境条件特征

作用等级代号	环境条件特征	
M1	风蚀（有砂情况）	风力等级 ≥ 7 级，且年累计刮风时间大于90 d
M2	风蚀（有砂情况）	风力等级 ≥ 9 级，且年累计刮风时间大于90 d
	流冰冲刷	被强烈流冰撞击、磨损、冲刷（冰层水位下0.5 m~冰层水位上1.0 m）
M3	风蚀（有砂情况）	风力等级 ≥ 11 级，且年累计刮风时间大于90 d
	泥砂冲刷	被大量夹杂泥砂或物体磨损、冲刷

附录 G 铁路隧道围岩分级判定

表 G 铁路隧道围岩分级判定

围岩 级别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的 稳定状态 (单线)	围岩弹性纵波 速度 v_p (km/s)
	主要工程地质特征	结构特征和 完整状态		
I	硬质岩(单轴饱和抗压强度 $R_c > 60$ MPa): 受地质构造影响轻微,节理不发育,无软弱面(或夹层);层状岩层为厚层,层间结合良好	呈巨块状整体结构	围岩稳定,无坍塌,可能产生岩爆	> 4.5
II	硬质岩($R_c > 30$ MPa):受地质构造影响较重,节理较发育,有少量软弱面(或夹层)和贯通微张节理,但其产状及组合关系不致产生滑动;层状岩层为中层或厚层,层间结合一般,很少有分离现象,或为硬质岩石偶夹软质岩石	呈大块状砌体结构	暴露时间会长,可能会出现局部小坍塌;边墙稳定;层间结合差的岩层,顶板易塌落	$3.5 \sim 4.5$
	软质岩($R_c \approx 30$ MPa):受地质构造影响轻微,节理不发育;层状岩层为厚层,层间结合良好	呈巨块状整体结构		
III	硬质岩($R_c > 30$ MPa):受地质构造影响严重,节理发育,有层状软弱面(或夹层),但其产状及组合关系尚不致产生滑动;层状岩层为薄层或中层,层间结合差,多有分离现象;或为硬、软质岩石互层	呈块(石)碎(石)状镶嵌结构	拱部无支护时可产生小坍塌,边墙基本稳定,爆破震动过大易塌	$2.5 \sim 4.0$
	软质岩($R_c \approx 5 \sim 30$ MPa):受地质构造影响较严重,节理较发育;层状岩层为薄层,中层或厚层,层间结合一般	呈大块状砌体结构		
IV	硬质岩($R_c > 30$ MPa):受地质构造影响很严重,节理很发育;层状软弱面(或夹层)已基本被破坏	呈碎石状,压碎结构	拱部无支护时可产生较大的坍塌,边墙有时失去稳定	$1.5 \sim 3.0$
	软质岩($R_c \approx 5 \sim 30$ MPa):受地质构造影响严重,节理发育	呈块(石)碎(石)状,镶嵌结构		
	土体:1. 略具压密或成岩作用的黏性土及砂性土; 2. 黄土(Q_1, Q_2); 3. 一般钙质铁、质胶结的碎石土、卵石土、大块石土	1 和 2 呈大块状,压密结构;3 呈巨块状,整体结构		

续上表

围岩级别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态 (单线)	围岩弹性纵波速度 v_p (km/s)
	主要工程地质特征	结构特征和完整状态		
V	石质围岩位于挤压强烈的断裂带内, 裂隙杂乱, 呈石夹土或土夹石状	呈角(砾)碎石状, 松散结构	围岩易坍塌, 处理不当会出现大坍塌, 边墙经常小坍塌; 浅埋时易出现地表下沉(陷)或塌至地表	1.0 ~ 2.0
	一般第四系的半干硬至硬塑的黏性土及稍湿至潮湿的一般碎石土、卵石土、圆砾、角砾土及黄土(Q_3 、 Q_4)	非黏性土呈松散结构, 黏性土及黄土呈松软结构		
VI	软塑状黏性土及潮湿的粉细砂等	黏性土呈易蠕动的松软结构, 砂性土呈潮湿松散结构	围岩极易坍塌变形, 有常涌水时土砂一齐涌出; 浅埋时易塌至地表	< 1.0 (饱和状态土 < 1.5)

注: 表中“围岩级别”和“围岩主要工程地质条件”栏, 不包括膨胀性围岩、多年冻土等特殊岩土。

附录 H 施工阶段围岩级别判定卡

表 H 施工阶段围岩级别判定卡

工程名称	位置		里程				评 定	
			距洞口距离(m)					
岩 性 指 标	岩石类型(名称)		黏聚力 $c =$ MPa; $\phi =$				极硬岩 硬岩 中硬岩 较软岩 软岩 极软	
	单轴抗压极限强度 $R_c =$ MPa		点荷载强度 $I_s =$ MPa					
	变形模量 $E =$ MPa		泊松比 $\nu =$					
	天然重度 $\gamma =$ kN/m ³		其他					
岩 体 完 整 状 态	地质构造影响程度		轻微	较重	严重	极严重	完整 较完整 较破碎 破碎 极破碎	
	地质 结构面	间距(m)	>1.5	0.6~1.5	0.2~0.6	0.06~0.2		<0.06
		延伸性	极差	差	中等	好		极好
		粗糙度	明显 台阶状	粗糙 波纹状	平整光滑 有擦痕	平整光滑		
		张开性 (mm)	密闭 <0.1	部分张开 0.1~0.5	张开 0.5~1.0	无充填张 开>1.0		黏土 充填
	风化程度	未风化	风化轻微	风化颇重	风化严重	风化极严重		
	简要说明							
地下 水状 态	渗水量 [L/(min·10m)]		<10 干燥或湿润	10~25 偶有渗水	25~125 经常渗水	干燥 湿润 偶有渗水 经常渗水		
初始 应力 状态	埋深 $H =$ m							
	地质构造应力状态		其 他					
围岩 级别	I	II	III	IV	V	VI		
备注								
记录者			复核者			日期		

本技术指南用词说明

执行本技术指南条文时，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，在正常情况下均应这样做的用词：

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”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

《铁路隧道工程施工技术指南》

条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

5.2.1 全断面法一般适用于铁路隧道Ⅰ～Ⅱ级围岩，也可用在单线铁路隧道Ⅲ级围岩。

5.3.1 两部台阶法可用在双线隧道Ⅲ级以上围岩，也可用在单线隧道Ⅳ级以上围岩地段。三部台阶法可用在客运专线双线隧道Ⅲ、Ⅳ级围岩、单线隧道Ⅵ级围岩。

5.4.1 三台阶七步开挖法适用于具备一定自稳条件的单线隧道Ⅳ、Ⅴ级围岩地段，也可适用于具备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。

5.5.1 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。

5.5.4 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。

5.6.1 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。

5.7.1 双侧壁导坑法一般用于双线隧道Ⅴ、Ⅵ级围岩及浅埋地段。

6.2.1 在饱水的粉砂土、砂质粉土层或淤泥质夹薄层砂性土的

地层中浆液达不到渗透注入或形成劈裂脉，主要原因是此类地层粒径和空隙太小（0.01 ~ 0.007 4 mm 之间），浆液不能沿空隙注入土层，无法达到渗透注入；且由于此类土具有中压缩性，不易变形等特点，又很难达到劈裂注浆效果。因此在砂质粉土层中注浆固结土层、堵水，效果是不理想的。实践证明开挖工作面预注浆后，开挖时仍有涌水、涌砂的出现。所以仅靠注浆堵水不能保证此类地层的施工安全，必须结合井点降水才能实现。

6.2.5 ~ 6.2.6 按作用原理井点降水种类有重力法降水、真空法降水（包括轻型井点、喷射井点、射流泵井点、深井井点等）、电渗真空降水三类。轻型井点的平面布置形式有线状井点、环圈井点；高程布置有单排、双排及二级井点等。

6.4.1 超前小导管是在隧道开挖工作面采用较多的一种超前支护方法。沿初期支护外轮廓线，以一定外插角。向开挖工作面前方打设 $\phi 38 \text{ mm} \sim \phi 50 \text{ mm}$ 的带泄浆孔的小导管，并进行注浆，充分填充土石空隙、形成一定厚度的固结体。超前小导管注浆的作用主要为：

（1）改良工作面前方的围岩结构，在开挖面以外形成厚度为 0.5 ~ 1.0 m 的加固圈。

（2）超前小导管注浆与钢架、地层共同作用形成超前支护结构，从而保证开挖工作面的稳定，防止开挖工作面松弛、坍塌，控制洞口段地表沉降。

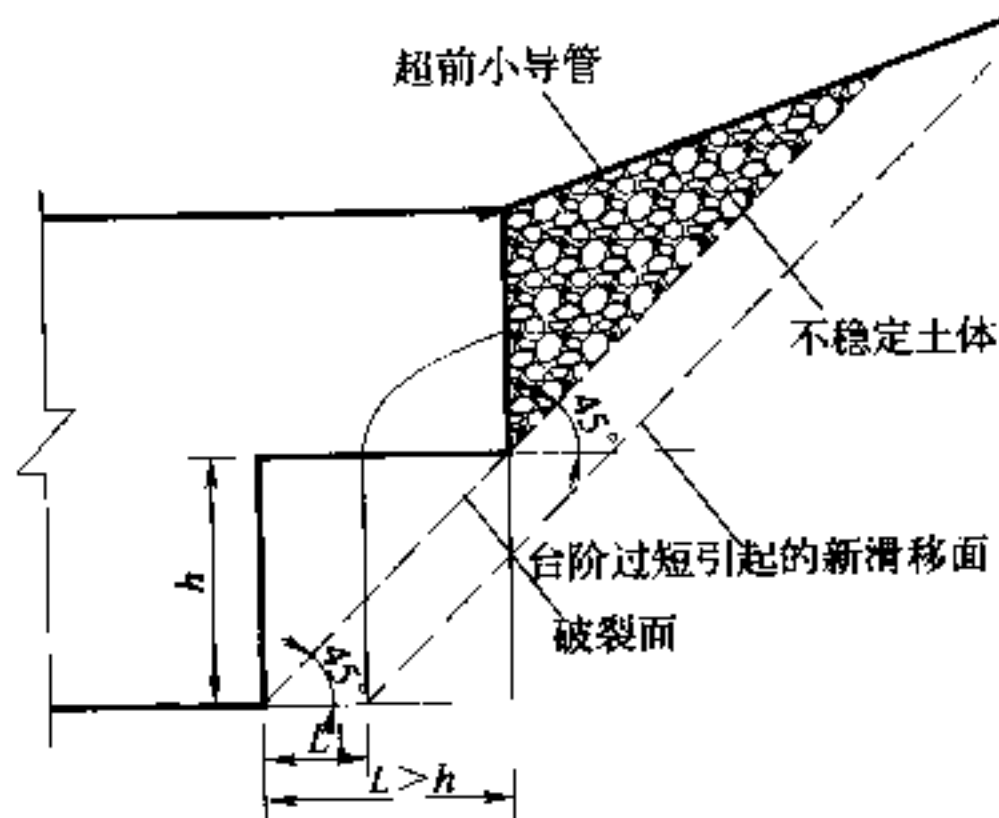
6.4.3 小导管环向间距一般考虑注浆范围相互叠加为原则（说明图 6.4.3—1 和说明图 6.4.3—2），一般按下式计算：

$$L_0 = (1.5 \sim 1.7) R_k$$

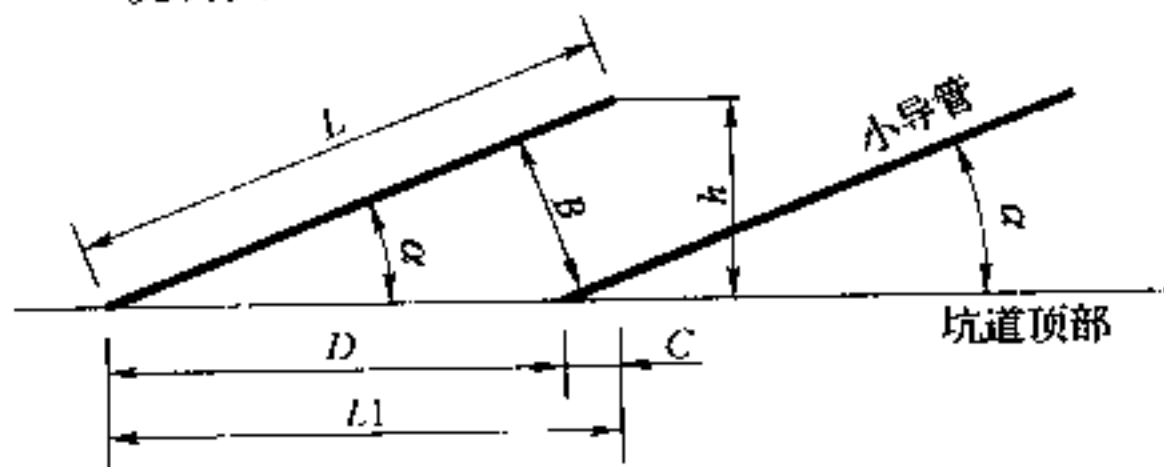
式中 L_0 ——小导管间距（m）；

R_k ——实测浆液扩散半径（m）。

6.4.5 由于喷混凝土是在小导管安设好后进行，所以，在喷混凝土时，小导管应带上保护帽（用竹筒或铁皮制作）以防止喷混凝土堵塞小导管。

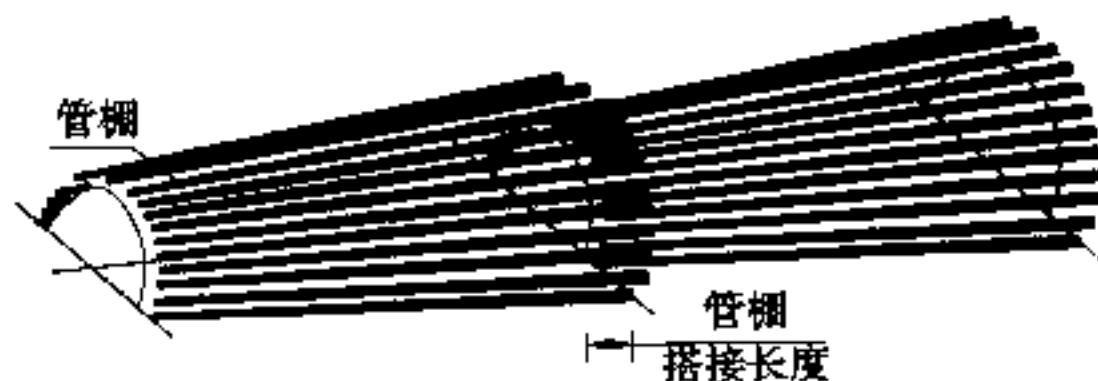


说明图 6.4.3—1 小导管预支护设置示意图



说明图 6.4.3—2 一次掘进进尺及小
导管间的搭接长度示意图

6.6.1 隧道施工过程中，在穿越部分不良地质的区段时，或在隧道开挖进洞时松散破碎、浅埋或隧道围岩变形较大时，需要施工管棚以顺利穿越（说明图 6.6.1）。同时，管棚超前支护具有以下特点：



说明图 6.6.1 超前管棚设置示意图

(1) 是独立的地质围岩加强方法，可以作为永久支护结构

的一部分。

(2) 管棚超前支护与初期支护配合可以发挥更强大的支护效应,同时也非常容易地与其他支护方法联合使用。

(3) 由于管棚支护是超前施作的,管棚在前方开挖工作面和后方初期支护的支持下形成的梁效应可以防止围岩松弛、减少地表沉降、拱顶下沉。可以有效降低滑坡和塌方的危险,是复杂条件下进洞的好办法。也可以提高开挖工作面的稳定性。

(4) 管棚支护注浆后,使管棚和围岩形成整体,有效断面扩大、土压均匀、提高围岩的自承能力。

6.8.2 实践证明,砂类土、黏性土、黄土和淤泥都能进行旋喷加固,一般效果较好。解决了小颗粒土不易注浆加固的难题。但对于砾石直径过大、砾石含量过多及有大量纤维质的腐植土,旋喷质量较差,有时甚至还不如静压注浆的效果,对于地下水流速过大(旋喷浆液无法在注浆管周围凝固)、无填充物的岩溶地段、永久冻土和对水泥有严重腐蚀的地基,均不适合采用旋喷加固。

6.8.3 树根桩直径在 100 ~ 300 mm 范围内,桩长不超过 30 m,布置形式有各种排列的直桩和网状结构的斜桩。树根桩采用的碎石骨料粒径宜在 10 ~ 25 mm 范围内,钢筋笼外径宜小于设计桩径 40 ~ 60 mm。

6.8.4 灰土挤密桩是利用沉管、冲击或爆扩等方法在地基中挤土成孔,然后向孔内夯填灰土成桩。成桩时,通过成孔过程中的横向挤压作用,桩孔内的土被挤向周围,使桩间土得以挤密,然后将备好的灰土分层填入桩孔内,并分层捣实至设计标高,与桩间土组成复合地基,共同承受基础的上部荷载。

灰土挤密桩不论是消除黄土的湿陷性还是提高承载力都是行之有效的方法。但当土的含水量大于 24% 及其饱和度超过 65% 时,在成孔及拔管过程中,桩孔及其周围容易缩颈和隆起,无法挤密成孔,故不适用于处理地下水位以下及处于毛细饱和带的土

层。

7.3.4 岩石隧道全断面深眼爆破设计

(1) 循环进尺的确定

根据实际情况确定 3 ~ 5 m。

(2) 钻眼直径选择

可采用较大钻眼直径如 $\phi 48$ mm。

(3) 炮眼布置

① 工程类比法选定：可根据工程爆破条件查表，确定炮眼数目。

② 按经验公式计算

$$N = K \cdot S \cdot L - Q_g / n \cdot r \cdot L \text{ (个)}$$

式中 N ——全断面炮眼数（不包括光面爆破的）个；

K ——单位岩石体积耗药 t ，可查表，也可计算（kg/ms）；

S ——开挖断面积（ m^2 ）；

n ——各类炮眼装药系数（取平均值），可查表；

r ——炸药的线装药密度（kg/m），根据实际使用的炸药获得；

L ——炮眼深度（m）；

Q_g ——周边光爆药量（kg）。

岩面爆破炮眼数量，由光面爆破设计确定。

③ 炮眼布眼原则

④ 常见的炮眼布置图式

- a. 楔形掏槽，环形布置；
- b. 楔形掏槽，线形布置；
- c. 直眼掏槽，环形布置；
- d. 直眼掏槽，线形布置；
- e. 有下导坑的炮眼布置；
- f. 大孔距小抵抗线炮眼布置。

(4) 允许用药量的确定

$$Q_m = R^3 \cdot (V_{kp}/K)^{3/\alpha}$$

式中 Q_m ——最大一段允许装药量 (kg);

V_{kp} ——振速安全控制标准 (cm/s), 见表 13.2.14;

R ——爆源中心到振速控制点的距离 (m);

K ——与爆破技术、地震波传播途径介质的性质有关的系数, 一般为 30 ~ 200;

α ——爆破振动衰减指数, 一般取 1.5。

(5) 总装药量的计算与炸药的分配

① 单位岩体用药量 K 值的确定

a. 查表

b. 查图

c. 用公式

② 总药量的计算

$$Q = k \cdot S \cdot L$$

式中 Q ——一次爆破装药量 (kg);

S ——开挖断面积 (m^2);

L ——炮眼深度 (m);

k ——软岩隧道爆破单耗 (kg/m^3), 可查表。

③ 炸药量的分配

周边眼、掏槽眼按规定选取药量, 其他炮眼可按下式计算, 最后再从施工方便出发, 可对装药作适当调整, 以单眼装药量为半卷、整卷计量为宜。

$$q = k \cdot \alpha \cdot W \cdot L \cdot \lambda$$

式中 q ——单眼装药量 (kg);

k ——爆破炸药单耗 (kg/m^3);

α ——炮眼间距 (m);

W ——炮眼爆破方向抵抗线 (m);

L ——炮眼深度 (m);

λ ——炮眼所在部位系数, 一般取 0.8 ~ 2.0。

(6) 装药结构

掏槽眼首段采用正向装药起爆, 其他眼采用反向装药起爆, 当采用周边预裂爆破时, 周边眼采用即发雷管正向起爆, 其他与光面爆破相同。

对于钻眼直径为 $\phi 48$ mm 的深眼爆破, 采用 $\phi 42$ mm 的一号抗水硝铵炸药大直径药卷。可避免炸药在深眼中中途熄爆现象。

(7) 合理段间隔时间的选择

掏槽眼爆破段间隔时间为 50 ~ 75 ms, 后继炮眼的爆破段间隔时间受爆破器材条件的限制, 段间隔时间大的达 200 ~ 300 ms。

(8) 起爆顺序的安排

起爆顺序: 应该先掏槽, 而后辅助眼、底板眼、最后周边眼光面爆破。预裂爆破周边眼在掏槽爆破之前起爆, 其他眼仍按上述顺序进行。

7.3.6 常用炸药、雷管参见说明表 7.3.6—1 ~ 表 7.3.6—2。

7.3.7 影响爆破效果的因素:

(1) 地质条件对光面爆破效果影响

① 从实践中获得经验。

② 不同地质条件应采取不同的爆破方法及相应的钻爆参数。

说明表 7.3.6—1 隧道常用炸药

炸药种类	适用范围	主要特性
乳化炸药	无瓦斯和无矿尘爆炸的坚硬岩石、有水孔	抗水性极好, 爆炸威力大, 爆破产生的有毒气体少; 密度 1.05 ~ 1.35 g/mL; 猛度 12 ~ 20 mm; 殉爆距离 5 ~ 12 cm; 爆速 3 100 ~ 5 800 m/s
水胶炸药	无瓦斯和无矿尘爆炸的坚硬岩石、有水孔	抗水性能强, 爆炸威力大, 但感度较浆状炸药高; 密度 1.1 ~ 1.5 g/mL; 猛度 12 ~ 20 mm; 爆力 330 ~ 350 mL; 殉爆距离 6 ~ 25 cm; 爆速 3 500 ~ 4 600 m/s
浆状炸药	无瓦斯和无矿尘爆炸的坚硬岩石、有水孔	抗水性能强, 密度大, 爆炸威力大, 但感度较低; 密度 1.1 ~ 1.5 g/mL; 猛度 15.2 ~ 20.1 mm; 爆力 326 ~ 356 mL; 殉爆距离 10 ~ 20 cm; 爆速 3 200 ~ 5 600 m/s

续上表

炸药种类	适用范围	主要特性
铵油炸药	无瓦斯和无矿尘爆炸的坚硬岩石、有水孔	抗水性能好, 不易结块, 爆轰稳定, 但保存期短; 密度 $0.8 \sim 1.0 \text{ g/mL}$; 猛度 $12 \sim 18 \text{ mm}$; 爆力 $250 \sim 300 \text{ mL}$; 殉爆距离 5 cm ; 爆速 $3300 \sim 3800 \text{ m/s}$
煤矿许用炸药	有瓦斯和矿尘爆炸危险的隧道	爆炸产生的爆热、爆温、爆压相对较低; 有较好的起爆感度和传爆能力; 排放的有毒气体量符合国家标准; 炸药成分中不含金属粉末; 容许含水率不大于 0.3% ; 密度 $0.85 \sim 1.1 \text{ g/mL}$; 猛度 $8 \sim 12 \text{ mm}$; 爆力 $230 \sim 290 \text{ mL}$; 浸水前殉爆距离 $3 \sim 6 \text{ cm}$; 浸水后殉爆距离 $2 \sim 4 \text{ cm}$; 爆速 $3262 \sim 3675 \text{ m/s}$

注: 各种炸药均为系列产品, 因型号不同其性能指标有所差异。

说明表 7.3.6—2 隧道常用雷管

段别	各种产品的系列名称				
	DH-1	GB-6378	DE1	MG803-B	半秒雷管 (s)
1	0	<13	50 ± 15	<10	<0.1
2	25 ± 10	25 ± 10	100 ± 20	25	0.5 ± 0.2
3	50 ± 10	50 ± 10	150 ± 20	50	1.0 ± 0.2
4	75 ± 10	75 ± 15	250 ± 30	75	1.5 ± 0.2
5	100 ± 20	110 ± 15	370 ± 40	100	2.0 ± 0.2
6	150 ± 20	150 ± 15	490 ± 50	125	2.5 ± 0.2
7	200 ± 20	200 ± 20	610 ± 60	150	3.0 ± 0.2
8	250 ± 20	250 ± 25	780 ± 70	175	3.5 ± 0.2
9	310 ± 25	310 ± 30	980 ± 100	200	4.0 ± 0.2
10	390 ± 40	380 ± 35	1250 ± 150	225	4.5 ± 0.2
11	490 ± 45	460 ± 40		250	
12	600 ± 50	550 ± 45		275	
13	720 ± 50	650 ± 50		300	
14	840 ± 50	760 ± 55		325	
15	990 ± 75	880 ± 60		350	
16		1020 ± 70		400	
17		1200 ± 90		450	
18		1400 ± 100		500	
19		1700 ± 130		550	

续上表

段别	各种产品的系列名称				
	DH-1	GB-6378	DE1	MG803-B	半秒雷管 (s)
20		2 000 ± 150		600	
21				650	
22				700	
23				750	
24				800	
25				850	
26				950	
27				1 050	
28				1 150	
29				1 250	
30				1 350	

注：各系列非电导爆管雷管延迟时间 (ms)。

(2) 钻眼精度的影响

① 开眼误差，准确确定出炮眼位置，可减少或排除开眼误差。

② 钻眼角度误差，炮眼愈深，愈要严格控制眼底偏差。周边眼应定岗定人。

③ 钻机本身尺寸大小的影响，机身有一定的外插角度，可选操作净空较小的凿岩机。

④ 测量放线误差，坚持每个循环都用仪器测量放线，尽量采用计算机配合激光仪器放样，无条件的用五寸台坐标法认真放出开挖轮廓及炮眼位置。

(3) 爆破技术本身的影响

① 炸药品种与药卷直径选用应考虑以下因素：

a. 周边眼的炸药与主体炸药相比，爆速要低一些，密度小一些，爆力大一些的炸药，这样利于实现光面爆破。

b. 炸药的直径，应根据炮眼直径来选择，炮眼直径与炸药直径之比称为不偶合系数 D ，实践证明，药卷在有空隙的炮眼中

爆破，形成的冲击波随不偶合系数 D 的增大而衰减。

② 起爆方法不当，也可能引起爆破效果不好，有熄爆现象，光面、预裂爆破一般应选用高精度的毫秒雷管为好。

③ 装药结构与堵塞质量直接影响爆破效果，装药过于集中或者炮眼全长均匀分布都将影响爆破质量，应优先考虑选用光爆炸药进行连续装药，眼底适当加强，否则一般选用导爆索加自制小药卷，用竹片加工成串状装药结构，在软岩可采用导爆索束的装药结构。对于光面爆破、预裂爆破来说，炮眼的堵塞质量也很重要。

④ 掏槽失败或起爆顺序混乱将影响光爆效果，因为掏槽的失败或起爆顺序混乱，都不可能为周边眼提供理想的临空面条件。

8.1.7

1 喷钢纤维喷混凝土的一个主要特点是具有良好的韧性，即在基体混凝土开裂后产生较大塑性变形时能保持承载力不明显降低，可适应岩爆和大变形情况下的应力释放，具有吸收变形的能力。作为初期支护，控制一定程度的开裂是允许的，而钢纤维混凝土的韧性可以有效地适应和控制围岩的变形。

喷钢纤维喷混凝土的韧性是指喷钢纤维喷混凝土在承载过程中承受变形的能力，即喷层产生较大开裂仍可保持强度不明显降低，这是喷钢纤维喷混凝土的一个重要特性。喷钢纤维喷混凝土的韧性可使与岩面紧密贴合的喷层不但具有一定的柔性，而且在与围岩共同变形过程中持续有效地提供支护抗力。

2 钢纤维过长容易堵管。应根据输料软管及喷嘴内径来确定钢纤维的最大长度。

钢纤维最小掺量是根据散布在混凝土中的钢纤维“最小重叠值”(minimum fiber overlap)要求计算的“最大平均间距 s ”(maximum average spacing value)确定的，旨在保证钢纤维在混凝土中分布的均匀性。比利时环境和基础部有关文件推荐，取 s

$=0.4l_f$ 即可保证钢纤维有足够的重叠。

据此可计算钢纤维的最小掺量：

$$\omega_{\min} = \frac{6162}{\alpha^3 \lambda_f^2}$$

式中 ω_{\min} ——钢纤维最小掺量 (kg/m^3)；

s ——钢纤维最大平均间距。

$$\alpha = \frac{s}{l_f}$$

新加坡的地铁工程考虑到喷混凝土的工艺特点，参照公式 $s=0.4l_f$ 的计算结果，并规定了最小掺量不小于 $20 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，其值一并见说明表 8.1.7—2 中。

说明表 8.1.7—2 钢纤维最小掺量 (kg/m^3)

l_f/d_f	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$\alpha=0.45$	43	34	28	23	19	16	14	13	11
$\alpha=0.40$	61	48	39	32	27	23	20	18	16
新加坡地铁	65	50	40	35	30	25	20	20	20

欧洲喷混凝土规范推荐得砂石料级配见说明表 8.1.7—3，可供参考。

说明表 8.1.7—3 砂石料级配参考

ISO 筛径 (mm)		0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	11.2	16
筛量 (重量%)	上限	12	26	50	72	90	100	100	100	100
	下限	4	11	22	37	55	73	90	100	100

喷钢纤维混凝土的原材料中加入硅粉等活性掺和料，有利于提高强度、密实度和耐久性，增加黏稠性，减少回弹，改善后期强度；同时可以改善物料可泵性，减少管道和机械磨耗，防止离析、堵管。

欧洲喷混凝土规范从耐久性出发规定水胶比不宜超过 0.55，最小胶凝材料用量为 $300 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。而挪威规范则提出了与结构工

作环境相应的水胶比和最小胶凝材料用量见说明表 8.1.7—4。

说明表 8.1.7—4 挪威喷混凝土规范规定的水胶比和最小水泥用量

环境等级	环境描述	$W/(c+k \times s)$	建议的最小胶凝材料用量 $(c+k \times s)$
NA	有些侵蚀性	0.60	360 kg/m ³
NMA	较有侵蚀性	0.50	420 kg/m ³
MA	侵蚀性很强	0.45	470 kg/m ³
MMA	高度侵蚀性	0.40	530 kg/m ³

注：表中 W —水重量； s —微硅粉重量； c —水泥重量； k —系数，当微硅粉掺量 $<10\%$ 时， $k=2.0$ ；当微硅粉掺量 $10\% \sim 25\%$ 时， $k=1.0$ ；NA—室外或室内潮湿环境，淡水中结构；MA—咸水中结构，受咸水溅射、喷射时，受侵蚀性气体、盐、其他化学物作用，潮湿环境的冻融循环。

钢纤维混凝土的投料、拌和过程中要尽可能使钢纤维在混凝土基体中均匀分布，或按所要求的方向排列，以保证材料的均质性和方向性。

拌和时要防止纤维结团、纤维产生弯曲或折断，拌和机因超负荷而停止运转、出料口堵塞。

钢纤维混凝土宜用双卧轴强制式拌和机拌和，当钢纤维掺率较高、稠度较大时，拌和机需较大的功率，为避免超载，条文规定一次拌和量不宜大于拌和机额定拌和量的 80% 。

投料顺序和方法与施工条件及钢纤维形状、长径比、体积率等有关，应通过施工现场与实际拌和试验确定。

8.1.8 喷合成纤维混凝土施工应符合下列规定：

喷射合成纤维混凝土中的纤维主要有聚丙烯纤维、聚乙烯纤维、尼龙纤维、玻璃纤维、碳纤维等，其品种、规格较多。

施工中主要使用的合成纤维为聚丙烯纤维，是由丙烯 ($\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$) 聚合而成的高分子化合物，是一种结构规整的结晶性聚合物。聚丙烯不融于水，耐热性能良好，在 $121^\circ\text{C} \sim 160^\circ\text{C}$ 连续耐热，熔点为 $165^\circ\text{C} \sim 170^\circ\text{C}$ ，是一种非极性的聚合物，有良好的电绝缘性能，介电常数为 2.25，有较好的化学稳

定性，与大多数化学品，如酸、碱和有机溶剂接触不发生作用。其物理性能良好，抗拉强度 $3.3 \times 10^7 \sim 4.14 \times 10^7$ (Pa)，抗压强度 $4.14 \times 10^7 \sim 5.51 \times 10^7$ (Pa)，伸长率 200% ~ 700%，洛氏硬度 R85 ~ R110，因此聚丙烯有较好的加工性能，其热加工体积收缩率为 1.6% ~ 2.0%。聚丙烯纤维混凝土所用的长度一般在 5 ~ 50 mm 范围内，因此可称为丙纶短丝，聚丙烯纤维是直接拉丝制成的聚丙烯单丝纤维的束状集合体，每一束中有许多根纤维单丝，在投入拌和时自动散开。聚丙烯纤维是非腐蚀的化学填充物，它对矿质、酸碱基质和无机盐有很好的化学阻抗作用，故聚丙烯纤维有效地阻止了混凝土的塑性收缩和龟裂。聚丙烯纤维加强混凝土是机械作用而不是化学作用，它的加入不需要附加水和改变原来的混凝土配合比，也不影响其他掺和料，外加剂的加入。

杜拉纤维是经过改性和特殊表面处理的聚丙烯单丝纤维，其物理、化学性能非常良好，施工便利，但目前仍处于推广应用阶段。

聚乙烯纤维因为弹性模量低、受荷分担的应力也小，至今还很少用于复合材料。

玻璃纤维混凝土暴露大气中一段时间后，其强度和韧性会有大幅度下降，即由早期的高强度、高韧性向普通混凝土退化，加之其耐碱性不过关，现主要用于结构加固。

碳纤维具有抗拉强度和弹性模量很高、化学性质稳定、与混凝土粘结良好的优点，但由于碳纤维生产成本低，应用受到一定限制。

现场操作人员对尼龙纤维（聚酰胺）混凝土普遍感觉的是其施工性能优于普通混凝土，掺入尼龙纤维可显著地降低混凝土的干缩值，但对抗折、抗压、轴压及应力应变性能与普通混凝土无明显差别，抗渗、阻锈性能有显著改善，从而提高了混凝土的耐久性，但因为它与聚丙烯纤维相比价格昂贵，所以推广与应用

受到限制。

延长拌和时间不会影响纤维的分布和强度。

8.4.3 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。

可缩接头一般在单线隧道设2个，双线隧道设3个；每个可缩接头最大可缩量不宜超过100 mm；可缩接头的滑动阻力，一般采用钢架可能承受最大轴力的50%进行设计。

开挖下台阶时，在拱脚设纵向托梁是防止钢架（格栅）拱脚下沉、变形的有效措施。

10.1.1 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。

10.1.2 本条防水等级要求是参照《铁路隧道防排水技术规范》（TB 10119—2000，J 72—2001）第5.5.1条和第5.2.1条的规定制订。

10.2.5 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。

10.4.2 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。根据铁道部《铁路隧道设计施工有关标准补充规定》（铁建设〔2007〕88号文通知），表面平整度应符

合式要求:

$$D/L \leq 1/10$$

式中 L ——初期支护表面相邻两凸面间的距离;

D ——初期支护表面相邻两凸面之间岩石凹进去的深度。

10.4.3 防水板是隧道防水的主要屏障,而初期支护的平整度直接影响防水板的铺设质量,防水板铺设质量又直接影响防水效果。从隧道后期出现渗漏水情况看,一般因防水板破损所致。铺设防水板的基面应平整、无突出异物是保证铺设质量的重要条件。

10.4.13 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。

10.4.15

(1) 止水带的分类

① 止水带按用途分为两类:

- a. 适用于变形缝用止水带,用 B 表示;
- b. 适用于施工缝用止水带,用 S 表示。

② 止水带按材料分为三类:

- a. 塑料止水带,用 P 表示;
- b. 橡胶止水带,用 R 表示;
- c. 钢边止水带,用 G 表示。

③ 止水带按设置位置分为两类:

- a. 中埋式止水带,用 Z 表示;
- b. 背贴式止水带,用 T 表示。

(2) 止水带产品标记

① 产品应按下列顺序标记,并可根据需要增加标记内容:

产品用途代号—材料代号—设置位置代号—规格(长度×宽度×厚度)

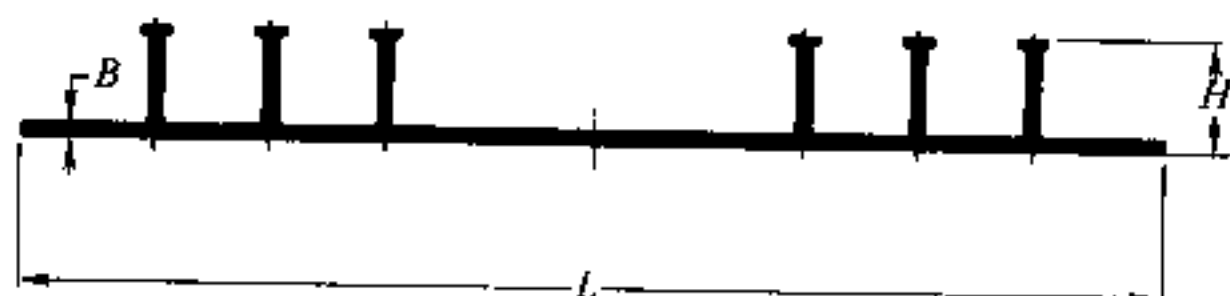
② 标记示例

长度为 12 000 mm,宽度为 400 mm,公称厚度为 8 mm 的变

形缝用中埋式橡胶止水带标记为：B—R—Z—12 000 mm × 400 mm × 8 mm

(3) 止水带的规格尺寸及偏差

① 背贴式止水带图示及规格（说明图 10.4.15—1 及说明表 10.4.15—1）



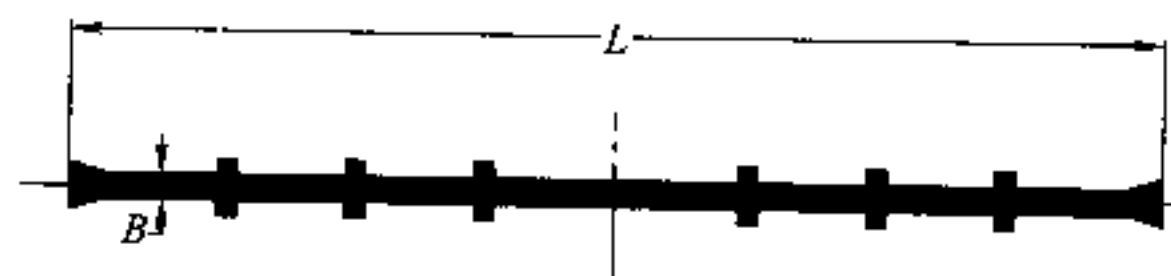
说明图 10.4.15—1 背贴式止水带

说明表 10.4.15—1 背贴式止水带规格尺寸

项 目	常见规格 (mm)
宽度 L	300, 350, 400, 500
厚度 B	4, 6, 8, 10
凸高 H	30, 35, 40, 50

② 中埋式止水带图示及规格

a. 施工缝用中埋式止水带（说明图 10.4.15—2 及说明表 10.4.15—2）

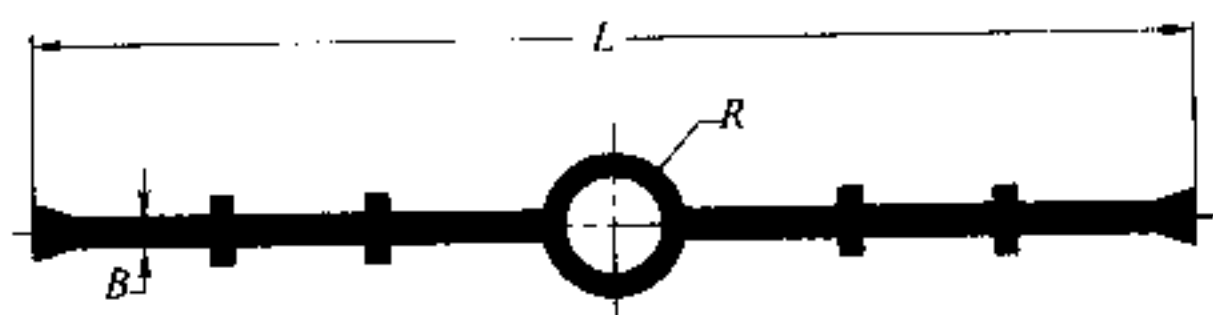


说明图 10.4.15—2 施工缝用中埋式止水带

说明表 10.4.15—2 施工缝用中埋式止水带规格尺寸

项 目	常见规格 (mm)
宽度 L	250, 300, 350, 400
厚度 B	6, 8, 10, 12, 15

b. 变形缝用中埋式止水带（说明图 10.4.15—3 及说明表 10.4.15—3）

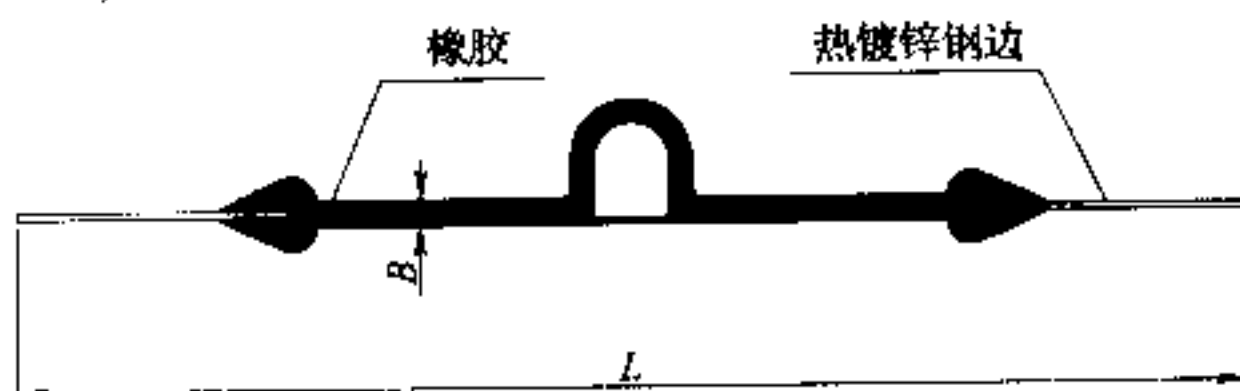


说明图 10.4.15—3 变形缝用中埋式止水带

说明表 10.4.15—3 变形缝用中埋式止水带规格尺寸

项 目	常见规格 (mm)
宽度 L	300, 350, 400
厚度 B	10, 12, 15, 20
半径 R	10, 15

③ 钢边止水带图示及规格 (说明图 10.4.15—4 及说明表 10.4.15—4)



说明图 10.4.15—4 钢边止水带

说明表 10.4.15—4 变形缝用钢边止水带规格尺寸

项 目	常见规格 (mm)
宽度 L	300, 350, 400
厚度 B	6, 8, 10, 12

④ 止水带尺寸偏差要求应符合说明表 10.4.15—5 规定。

说明表 10.4.15—5 止水带的尺寸偏差

项目	厚度 B (mm)			宽度 L	(背贴式止水带) 凸高 H (mm)		中心孔 偏心
	$4 \leq B \leq 6$	$6 < B \leq 10$	$10 < B \leq 20$		$20 < B \leq 35$	$35 < B \leq 50$	
极限 偏差	$0 \sim +1$	$0 \sim +1.3$	$0 \sim +2$	$\pm 3\%$	$0 \sim +2.5$	$0 \sim +3$	不超过 孔厚度 1/3

11.1.4 装渣运输机械的生产能力一般应大于开挖能力的 1.2 倍,衬砌设备的生产能力一般为开挖能力的 1.3 ~ 1.5 倍,以保证隧道施工有足够的“后劲”。

11.2.3 关于液压台车的使用,长期以来一直存在着争议,现在在有相当部分现场不管隧道长短均使用简易开挖台架,作业面现场布置零乱,噪声粉尘污染大,施工人员多,存在较多的安全隐患。当单开挖工作面长度大于或等于 3 km 的隧道,采用大断面开挖时,爆破钻孔应采用液压凿岩台车,也是考虑了施工成本,只有大量推广使用液压台车,提高熟练程度,才可以实现降低成本和提高钻眼机械化。小于 3 km 隧道可采用多功能台架配合钻爆设备进行开挖作业。

在铁路隧道爆破施工中,爆破施工机械自动化水平不断提高,其钻孔、装药、填塞各工序机械化配套,并朝着预装药爆破技术方向发展。起爆方式引入了微电子技术。起爆器材方面,高精度多段无起爆药非电雷管及电雷管,充气起爆系统,低能导爆索起爆系统也不断完善和推广。目前正着力于“铁路隧道散装炸药自动装药设备的研制”的研究,模拟试验验证了其可行性,这将会对隧道爆破机械化带来突破性。

11.4.7 由于一次出渣量的增大,有轨牵引机车一般选用 20 t 及以上电瓶车,采用梭式矿车运渣的容量一般大于 16 m^3 ,侧卸式矿车运渣的容量一般大于 6 m^3 。而翻框式调车器、浮放道岔等专用调车设备也应相应配置。

11.7.1 模板台车的制造质量直接影响到混凝土的质量,故对其制造应提出要求:

(1) 模板台车的外轮廓在浇筑混凝土后应保证隧道净空,门架结构的净空应保证洞内车辆和人员的安全通行,同时预留通风管位置。

(2) 模板台车的门架结构、支撑系统及模板的强度和刚度应满足各种荷载的组合。

(3) 模板台车长度宜为 9 ~ 12 m。

(4) 模板台车边墙作业窗宜分层布置, 层高不宜大于 1.5 m, 每层宜设置 4 ~ 5 个窗口, 其净空不宜小于 45 cm × 45 cm, 并设有相应的混凝土输送管支架或吊架。

(5) 顶模设置通气孔、注浆管。

(6) 模板台车应设置足够的承重螺杆支撑和径向模板螺杆支撑。

(7) 模板台车应采用 43 kg/m 及以上钢轨为行走轨道。

(8) 模板台车应设置大直径通风管通过的位置。

11.7.2 混凝土采用自动计量拌和站拌和, 混凝土拌和站的生产能力应能适应衬砌浇筑的需要, 单线隧道不小于 30 m³/h, 双线隧道不小于 60 m³/h。

11.8

(1) 隧道主要施工机械配置参考表见说明表 11.8—1 和说明表 11.8—2。

说明表 11.8—1 无轨运输施工主要设备配置参考表 (单作业面)

序号	机械名称	规格	隧道长度 ≥ 3 km		隧道长度 < 3 km		备 注
			单线	双线	单线	双线	
开 挖 设 备							
1	液压凿岩台车	2~4 臂	1	1~2			
2	多功能作业台架				1	1	
3	液压钻机	(配液压站)			8~12	16~24	不需空压机
4	风动凿岩机				10~18	20~32	
5	空压机	18~25 m ³ /min			3~5	5~8	
6	挖掘机	0.2~1.2 m ³	1~2	1~2	1~2	1~2	
出渣、装运设备							
7	装载机	2~6 m ³	1	2	1	2	
8	自卸汽车	15~25 t	5~10		3~10	5~12	

续上表

序号	机械名称	规格	隧道长度 ≥ 3 km		隧道长度 < 3 km		备 注
			单线	双线	单线	双线	
9	自卸汽车	15 ~ 40 t		5 ~ 12			
通风设备							
10	轴流通风机	74 ~ 220 kW	≥ 2	≥ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	
11	射流风机	28 ~ 74 kW					根据需要
超前与初期支护、衬砌设备							
12	管棚、锚杆、注浆钻机						根据需要
13	注浆泵	单双液	1 ~ 2	2 ~ 3	1 ~ 2	2 ~ 3	
14	锚孔注浆泵	砂浆泵	1 ~ 2	2 ~ 3	1 ~ 2	2 ~ 3	
15	配料机	30 ~ 60 m ³ /h	1	1	1	1	喷混凝土料
16	拌和机	500 ~ 1 000 L	1	1	1	1	喷混凝土料
17	喷射混凝土三联机及机械手	10 ~ 30 m ³ /h		1 ~ 2		1 ~ 2	
18	湿喷机	5 ~ 12 m ³ /h	2 ~ 4		2 ~ 4		
19	空压机	18 ~ 25 m ³ /min	1 ~ 3	2 ~ 3	1 ~ 3	1 ~ 3	
20	全自动拌和站	50 ~ 75 m ³ /h	1	1	1	1	
21	混凝土输送车	5 ~ 10 m ³	3 ~ 5	5 ~ 9	3 ~ 5	5 ~ 9	拌和式
22	混凝土输送泵	≥ 40 m ³ /h	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	
23	模板台车	9 ~ 12 m	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	
24	仰拱栈桥	≥ 9 m	3 ~ 6	3 ~ 6	2 ~ 4	2 ~ 4	
防 排 水 设 备							
25	防水板台架	移动式	1	1	1	1	
26	热熔爬焊机	自动调温	1	1	1	1	
27	抽水机						根据涌水量

注：特殊地质条件施工设备根据施工需要经论证后配备。

说明表 11.8—2 有轨运输施工主要设备配置参考表（单作业面）

序号	机械名称	规格	隧道长度 ≥ 3 km	隧道长度 < 3 km	备注
开挖设备					
1	液压凿岩台车	2~4 臂	1		
2	多功能作业台架			1	
3	挖掘机	0.2~1.2 m ³	1~2	1~2	
4	液压钻机	（配液压站）		8~12	不需空压机
5	风动凿岩机			10~18	
6	空压机	18~25 m ³ /min		3~5	
出渣、装运设备					
7	大型挖装机	150~250 m ³ /h	1		
8	装载机	2~3 m ³	1	2	
9	牵引机车	≥ 20 t	3~8	3~8	
10	充电机		3~8	3~8	
11	梭矿	16~20 m ³	6~15	4~6	
通 风 设 备					
12	轴流通风机	74~220 kW	≥ 2	1~2	
13	射流风机	28~74 kW			根据需要
超前与初期支护、衬砌设备					
14	管棚、锚杆、注浆钻机				根据需要
15	注浆泵	单双液	1~2	1~2	
16	锚孔注浆泵	砂浆泵	1~2	1~2	
17	配料机	20~60 m ³ /h	1	1	喷混凝土料
18	拌和机	350~1 000 L	1	1	喷混凝土料
19	湿喷机	5~12 m ³ /h	2~4	2~4	
20	空压机	18~25 m ³ /min	1~3	1~3	
21	全自动拌和站	50~75 m ³ /h	1	1	

续上表

序号	机械名称	规格	隧道长度 ≥3 km	隧道长度 <3 km	备注
22	混凝土输送车	5 ~ 10 m ³	3 ~ 5	3 ~ 5	
23	轨行式混凝土输送车	5 ~ 7 m ³	5 ~ 7	3 ~ 5	拌和式
24	混凝土输送泵	≥40 m ³ /h	1 ~ 2	1 ~ 2	
25	模板台车	9 ~ 12 m	1 ~ 2	1 ~ 2	
26	仰拱栈桥	≥9 m	3 ~ 6	2 ~ 4	
防 排 水 设 备					
27	防水板台架	移动式	1	1	
28	热熔爬焊机	自动调温	1	1	
29	抽水机				根据涌水量

注：特殊地质条件施工设备根据施工需要经论证后配备。

(2) 机械设备配置案例。

例一 西康线秦岭Ⅱ线隧道进口

① 工程概况：西秦岭隧道（Ⅱ线）长 18 456 m，先期开挖面积 30 m²，作为地质探洞和Ⅰ线的平行导坑。隧道埋深大部分在 600 m 以上，最大埋深 1 600 m。岩性以花岗岩和混合片麻岩为主，除洞口段和断层破碎带外，石质完整坚硬，岩石的干抗压强度 82 ~ 325 MPa。进口标段长 9 505 m，施工平均月掘进 338 m，最高月掘进 456 m。机械分两阶段配备：第一阶段采用轮式三臂台车、立爪装岩机、电瓶车、8 m³ 梭式矿车；第二阶段采用门架式台车、挖装机、大功率内燃机车和电瓶车、14 m³ 梭式矿车。

② 主要机械配备表

机械名称	规格	功率 (kW)	数量 (台)	机械名称	规格	功率 (kW)	数量 (台)
三臂台车	TH169	135	1	内燃机车	JMD-24 23 t	206	2
门架台车	TH568-10	184	1	轴流通风机	PF110	110	2
立爪装岩机	LZ-120	45	4	轴流通风机	PF14	14	1
挖掘装岩机	ITC312	112	2	内燃发电机组	320GF	320	3

续上表

机械名称	规格	功率 (kW)	数量 (台)	机械名称	规格	功率 (kW)	数量 (台)
梭式矿车	8 m ³	18.5	12	内燃发电机组	120GF	120	1
梭式矿车	14 m ³	18.5	22	电力变压器	630 kVA		2
电瓶车	XK8-7/132 8 t	30	4	电力变压器	315 kVA		2
电瓶车	DE655EB 18 t	149	6				

例二 西南线秦岭隧道进口

① 工程概况：东秦岭双线隧道全长 12.268 km，进口段 6.134 km，右侧距正洞 30 m 设平行导坑。岩性主要为石英岩，辉绿岩，千枚岩等硬质岩，通过 7 条断层，Ⅵ级围岩长度 107 m，其余为Ⅱ～Ⅴ级围岩，全段富水。正洞施工采用无轨运输模式，平导施工采用有轨、无轨混合装运模式。2001 年正洞、平导均实现了 3 000 m 成洞的施工纪录。

② 主要机械配备表

机械名称	规格	功率 (kW)	数量 (台)	机械名称	规格	功率 (kW)	数量 (台)
计算机导引台车	SGBC-CR	165	1	混凝土拌和机	JS750	15	2
三臂台车	TH169	135	1	电动空压机	4L-20/8	130	11
铲装机	ED600T	175	1	轴流通风机	SDF _(C) 12.5	220	2
挖装机	ITC312	112	2	轴流通风机	PF14	14	1
梭式矿车	14 m ³	18.5	28	射流风机	SSF-4P7.1	75	3
电瓶车	14 t	22	14	抽出式风机	SFC-13	45	1
湿喷机	TK961	11	4	内燃发电机组	320GF	320	1
干喷机	HPJ-1	5.5	4	内燃发电机组	120GF	120	1
喷射机械手	Robet-75	115	1	电力变压器	630 kVA		2
注浆泵	KBY	17	2	电力变压器	315 kVA		2
模板台车	12 m	4.4	2	电力变压器	250 kVA		1
混凝土拌和输送车	轮式	206	4	挖掘机	XI2200	69	1
混凝土拌和输送车	轨行式	22	4	挖掘机	HD700	112	1
混凝土输送泵	HBF60	55	5	装载机	WA470	205	1
混凝土拌和机	JZF1000	18.5	1	装载机	LZ40	117	2
混凝土拌和机	JS750	15	2	自卸汽车	VOLVO-A25C	187	5

例三 长梁山隧道4[#]斜井

① 工程概况：朔黄线长梁山双线隧道全长 12.78 km，共设 4 座施工斜井，其中 4[#]斜井井身倾角 22.5°，垂直深度 173.1 m，井身斜长 489.2 m。担负正洞 1 800 m 施工，其中Ⅳ级围岩长 1 035 m，其余为Ⅴ级围岩，平均月成洞 47 m。

② 主要机械配备表

机械名称	规格	功率(kW)	数量(台)	机械名称	规格	功率(kW)	数量(台)
三臂台车	H169	135	1	电动空压机	4L-20/8	130	4
立爪装岩机		45	5	内燃空压机	VY12/T-B	110	1
耙斗装岩机		30	1	轴流通风机	PF110	110	1
侧卸式矿车	5 m ³		18	轴流通风机	PF14	14	1
斗车	0.75 m ³		4	内燃发电机组	320GF	320	1
电瓶车	8 t	22	11	内燃发电机组	120GF	120	1
充电机		17	8	抽水机	各型	7×37	7
湿喷机	TK961	11	5	深井泵	300QK	37	4
干喷机		5.5	2	电力变压器	1510kVA		4
喷射机械手	Robet-75	115	1	提升机	ZJK2/20X	180	1
注浆泵	KBY	17	2	电葫芦	3~5 t		3
模板台车	8 m	4.4	1	卷扬机	JK3	30	1
混凝土拌和输送车	轨行式	22	4	轨行人车	20 座		1
混凝土输送泵	HBF60	55	2	挖掘机	HD700	112	1
混凝土拌和机	JZF750	18.5	2	各型装载机			3
混凝土拌和机	JS500	15	2	各型自卸汽车			5

例四 乌鞘岭隧道大台竖井

① 工程概况：兰新线兰武段乌鞘岭特长隧道设计为两座单线隧道，隧道长 20 050 m。隧道线间距为 40 m，隧道线路纵坡主要为 11‰的单面下坡。乌鞘岭隧道共设计有 13 个斜井、一个竖井和 1 个平洞共 15 个辅助坑道，在施工过程中又增设了 1 个竖井，同时个别坑道的位置进行了调整。施工前期左线为平导，右线一次建成。其中大台竖井井深设计深度为 515.66 m，直径

5.5 m (净空), 为当时同类项目之最。

② 主要机械配备表

序号	机具名称	型 号	单位	数量
1	伞型钻机	FJD-6	台	1
2	风动凿岩机	YT28	台	20
3	长绳悬吊式抓岩机	0.6 m ³	台	1
4	备用发电机	800 kW	台	1
5	卷扬机	2~5 t	台	3
6	空压机	20 m ³ /s	台	5
7	锻钎机	JD ₂ -1	台	1
8	轴流式通风机	34 kW	台	2
9	吊泵	80DGL-75	台	6
10	深井泵	8J35×26	台	2
11	装载机	ZLC-40B-50	台	3
12	自卸汽车	5 t	台	2
13	混凝土喷射机	HFB-5D	台	2
14	变压器	S7-630/10	630 kVA	5
15	钢管井架	煤炭部定型Ⅳ型	台	1
16	吊桶	1.5~3.0 m ³	台	4
17	双层吊盘	单绳	台	1
18	混凝土拌和机	JZm350-750	台	3
19	风镐		台	8
20	主提升绞车	2JK-3.5 m/20	台	1
21	副提升绞车	JK-2.0 m/20	台	1
22	调度绞车	1 t	台	3
23	凿井稳车	JZ-5/500	台	5
24	凿井稳车	2JZ-16/800	台	4
25	凿井稳车	JZ-16/800	台	3
26	凿井稳车	2JZ-10/600	台	1
27	凿井提升天轮	2.5 m	个	1
28	凿井悬吊天轮	单槽 φ600 mm	个	1
29	凿井悬吊天轮	单槽重型 φ1 000 mm	个	5
30	凿井悬吊天轮	双槽重型 φ1 000 mm	个	3

续上表

序号	机具名称	型 号	单位	数量
31	凿井悬吊天轮	双槽重型 $\phi 600$ mm	个	1
32	抽水机	3DA-8×9	台	1
33	钩头	6 t	个	2
34	卸砟台		座	2
35	井盖	钢木自制	个	1
36	安全梯	20 人	个	1

例五 精伊霍线北天山隧道进口

① 工程概况：北天山隧道全长 13 610 m，进口标段长 6 805 m。正洞左侧设全长贯通的平行导坑，线间距 30 m，平导全长 13 540 m，进口标段长 6 770 m。隧道正洞线路纵坡为人字坡，其中进口段 3 810 m 为 13‰ 的上坡，中部 400 m 为 8‰ 的下坡，其余 2 595 m 为 17‰ 的下坡，平导纵坡设计与正洞一致。隧道开工至 2007 年 12 月，共发生 10 次特大涌水及 1 次特大突泥、涌砂。

② 机械配备表

序号	机械设备名称	规格、型号	单位	数量
1	轮胎装载机	LW320 1.5 m ³	台	6
2	挖掘装载机	KL41 280 m ³ /H - ITC312	台	4
3	装载机	ZL40	台	1
4	履带挖掘机	0.2 ~ 1.2 m ³	台	5
5	轴流风机	2×22 kW ~ 2×110 kW	台	4
6	射流风机	45 kW	台	2
7	电动空压机	10 ~ 20 m ³	台	14
8	变压器	6220 kVA	台	15
9	备用发电机	275 kW	台	2
10	可控硅充电机	KCA01-100/300 ~ 380	台	14

续上表

序号	机械设备名称	规格、型号	单位	数量
11	电瓶车	XK14-9/196-JC 14-20 t	辆	25
12	梭式矿车	DSF-14-S14D	辆	35
13	混凝土拌和机	JS500-1000BH	台	3
14	注浆泵	各型	台	15
15	混凝土搅拌运输车	6~8 m ³	台	12
16	轨行式混凝土运输车	6 m ³	台	4
17	混凝土输送泵	50~60 m ³ /h	台	5
18	锚固钻机	YG-60	台	3
19	离心水泵	14SH-19A~28	台	8
20	潜水排污泵	350QW1500-15-90	台	10
21	电焊机	B×315~400	台	8
22	钢筋切断机		台	1
23	钻床	3 kW	台	1
24	车床	CW6140A	台	1
25	弯拱机		台	1
26	自卸汽车	12.5t	台	8
27	洒水车	东风4 000 L	台	1

13.1.5 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,必须经业主、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作出评价。

(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。

13.1.6 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。

避免出现这类情况产生的主要措施：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关系。

13.1.7 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。

13.2.1 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、经济上又简单、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、指导设计施工却有巨大的作用。

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，具有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，一般只根据需要进行选择其部分项目。

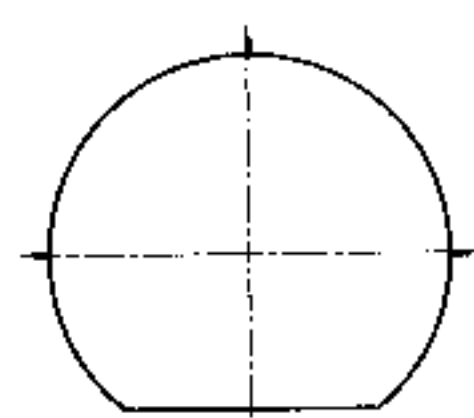
13.2.2 实践证明，开挖工作面的地质素描和数码成像对于判断围岩稳定性和预测开挖面前方的地质条件是十分重要的。开挖面附近初期支护状态的观察和裂缝描述，对直接判断围岩的稳定性和支护参数的检验也是不可缺少的。在进行地质素描及数码成像的时候，开挖工作面应有良好的照明，以保证地质素描及数码成像的效果。

13.2.6 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。

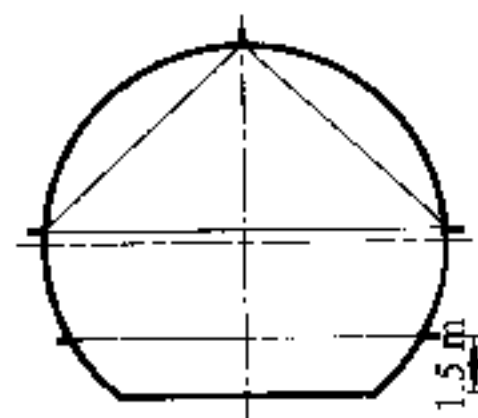
地表下沉量测的测点应布设在由设计确定的特别重要的施工地段（包括地表有建筑物地段），施工中地表发生塌陷并经修补过的地段及由地表预先探测到地中存在构筑物或空洞的施工地段，测点应尽量接近构筑物或空洞上方。

13.2.8 净空位移量测、拱顶下沉量测原则上是在同一断面上进行，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，可参照说明图 13.2.8。

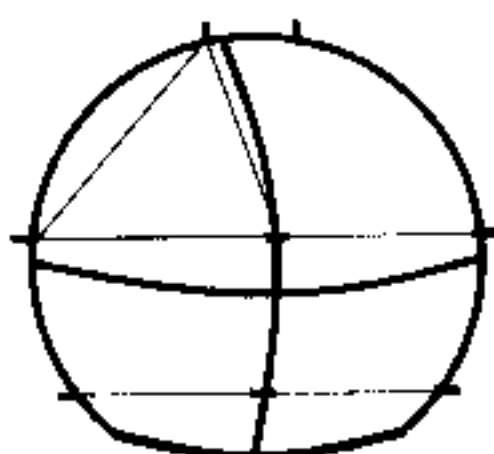
分布开挖法临时支护拆除后，应继续进行拱顶下沉和净空收



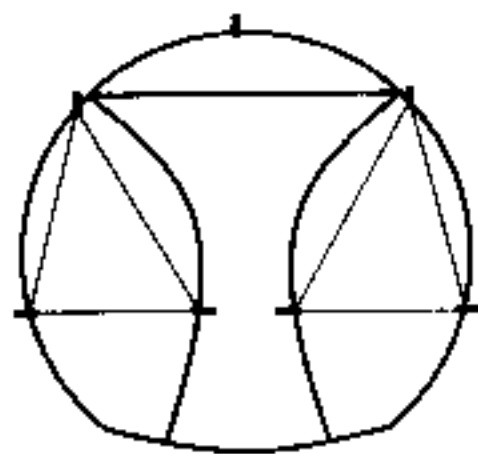
(a) 1 条水平测线示例



(b) 1 条水平测线、两条斜测线示例



(c) CRD 法测线示例



(d) 双侧壁导坑法示例

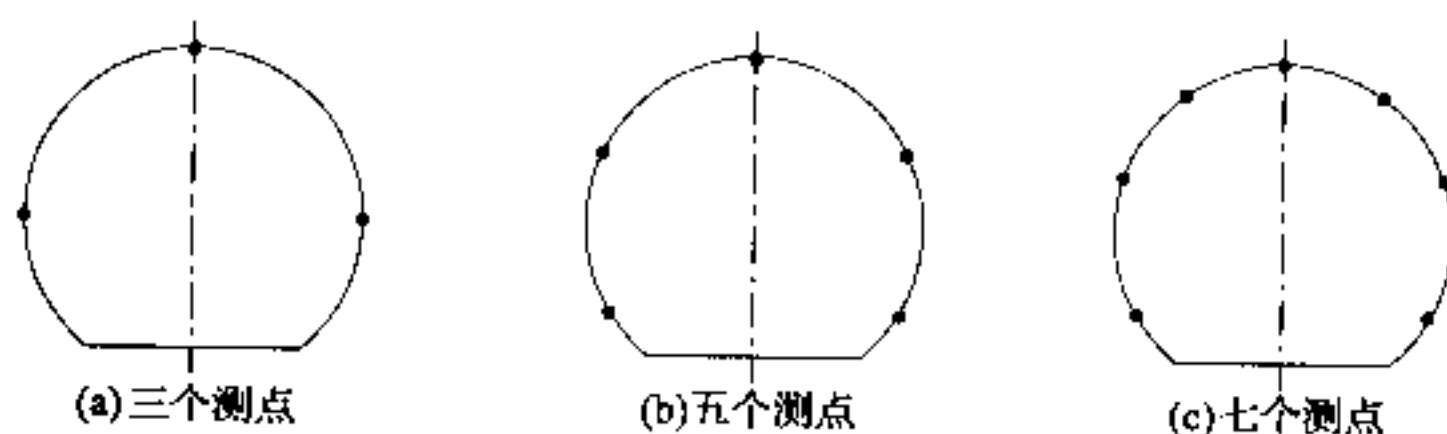
说明图 13.2.8 拱顶下沉量测和净空变化量测的测线布置示例
敛量测，测线布置按全断面开挖时的测线进行量测。

13.2.9 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 项的测点布置可见说明图 13.2.9。

选测项目中，多点位移计每断面一般采用 3~5 个钻孔，应分布在边墙和拱部。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 3 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。



说明图 13.2.9 选测项目的量测仪器布置示例

13.2.11 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 1 mm 为止。

13.2.12 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。按表 13.2.12 所确定的控制基准使隧道开挖的每个阶段都有相应的位移控制基准与之相适应。

13.2.15 由于采用的测试仪器不同，量测精度也不同，说明表 13.2.15 规定的精度，为常用测试仪器的最低精度。

说明表 13.2.15 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

13.3.3 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，通过目测可获得与围岩稳定的直观信息，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、填写开挖工作面观察表（附录 A）

和施工阶段围岩级别判定卡（附录 H），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。喷混凝土是否产生裂缝或剥离，要特别注意喷混凝土是否发生剪切破坏。有无锚杆和喷混凝土施工质量问题。钢架有无被压曲、压弯现象，是否有底鼓现象。

将观察到的有关情况 and 现象，应详细记录，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，要详细记录发现时间，距开挖工作面的距离以及附近测点的各量测数据。

13.3.4 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。

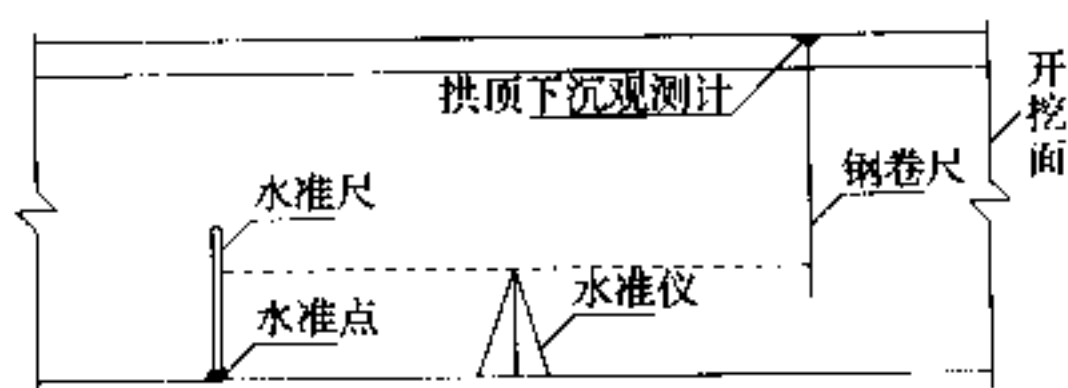
目前隧道周边位移监控量测可采用接触量测和非接触量测两

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 3 次，然后取其平均值 A 。

用全站仪进行隧道净空收敛量测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电影片形如塑料胶片，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，它可以牢固地黏附在构件表面上，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。

13.3.5 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卷尺等。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 3 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 $\phi 6$ mm 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说明图 13.3.5。



说明图 13.3.5 拱顶下沉量测示意图

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。关键是必须找出不动点作为参考点（基点），通常采用以下两种方法：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，这种方法很繁琐，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。读数时应该读两次，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。

13.3.6 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，就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，见说明表 13.3.6。

说明表 13.3.6 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 —隧道直径； h —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 2~5 m。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）必须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超过 0.3 mm，对不在水准路线上的观测点，一个测站不宜超过 3 个，超过时应重读后视点读数，以作核对。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 ± 1.0 mm，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，若必须在阳光下进行观测，测站上应备有测伞。

(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 30 d。

(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 $\pm \sqrt{5n} \text{ mm}$ (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。

13.3.7 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, 就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 $\phi 40 \text{ mm} \sim \phi 50 \text{ mm}$), 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 0.07 mm 时取其平均值记入表中。

13.3.8 应力、应变监测是属于选测项目，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（如海底隧道）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。

13.3.11 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，就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，并且需要在上盖一块厚 6 ~ 8 mm 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。

13.3.12 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_{大小}，判断喷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，就有必要对喷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，然后再转求应力。

当用光纤光栅传感器进行混凝土应变量测时，则应将传感器成对的埋入混凝土内，通过光纤光栅接收仪获得不同时刻的波长，然后在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小于3次，力求测量数据可靠、稳定，并做好原始记录。

13.3.14 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。

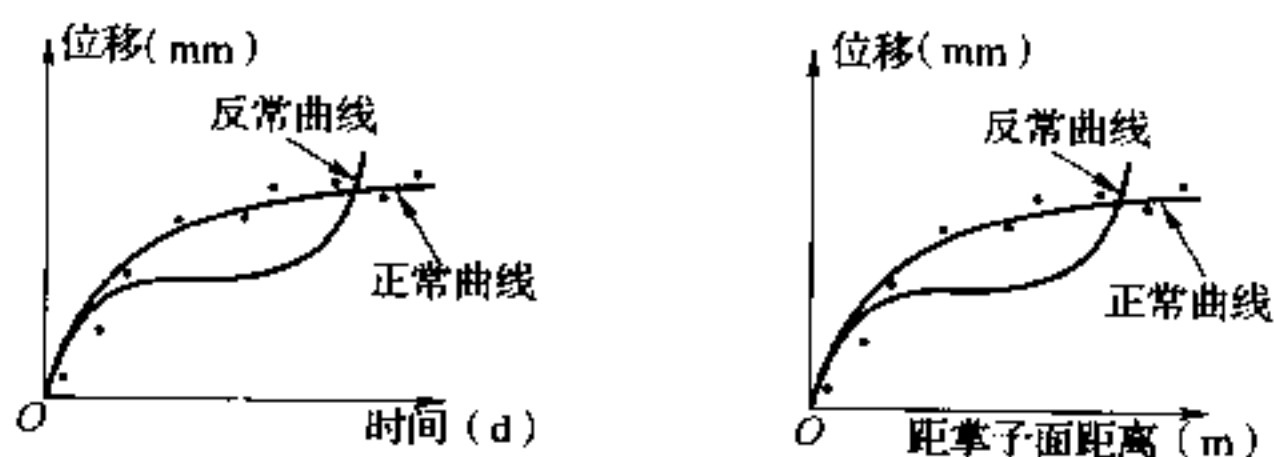
(2) 采用钻孔法施工时，原则上不得采用泥浆护壁工艺成孔。如因地质条件差，不得不采用泥浆护壁时，在钻孔完成之后，需用清水洗孔，直至泥浆全部清除为止。接着，在孔底填入部分净砂后，将孔隙水压计送至设计高程，再在周围填上约

0.5 m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1~2 cm、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1 m,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,都要扰动地层,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。



说明图 13.4.1 时间-位移曲线和距离-位移曲线

13.4.1 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大小、变化规律、发展趋势。首先与控制基准值进行比较,以便对工程的安全状态进行评估。然后,绘制时间-位移曲线散点图和距离-位移曲线散点图,见说明图 13.4.1。如果位移的变化随时间(或距开挖工作面距离)而渐趋稳定,说明围岩处于稳定状态,支护系统是有效、可靠的,见左边的正常曲线。右边的

反常曲线中，出现了反弯点，说明位移出现反常的急骤增长现象，表明围岩和支护已呈不稳定状态，应立即采取相应的工程措施。当监测时态曲线呈现收敛趋势时，还应根据散点图的数据分布状况，选择合适的函数进行回归分析。

13.4.4 对位移监测结果进行回归分析，以预测该测点可能出现的最大位移值及影响范围，以评估结构或建筑物的安全状况，并据此优化施工方法。常用的回归函数包括以下几类：

(1) 地表沉降横向分布规律采用 Peck 公式：

$$S(x) = S_{\max} e^{-\frac{x^2}{2i^2}}$$

$$S_{\max} = \frac{V_1}{\sqrt{2\pi i}}$$

$$i = \frac{H}{\sqrt{2\pi} \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}$$

式中 $S(x)$ ——距隧道中线 x 处的沉降值 (mm)；

S_{\max} ——隧道中线处最大沉降值；

V_1 ——地下工程单位长度地层损失 (m^3/m)；

i ——沉降曲线变曲点；

H ——隧道埋深。

(2) 位移历时回归分析，如地表沉降、拱顶下沉、净空收敛等变形的历时曲线一般采用如下函数进行回归。

$$U = A (e^{-B/t} - e^{-B/t_0})$$

式中 U ——变形值 (或应力值)；

A, B ——回归系数；

t, t_0 ——测点的观测时间 (d)。

(3) 由于地下工程开挖过程中地表纵向沉降、拱顶下沉及净空收敛等位移受开挖工作面的时空效应的影响，多采用指数函数进行回归分析。多数情况下，单个曲线进行回归时不能全面反映沉降历程，通常采用以拐点为对称的两条分段指数函数进行回

归分析。

$$\left. \begin{aligned} S &= A [1 - e^{-B(x-x_0)}] + U_0 \cdots \cdots (x > x_0) \\ S &= -A [1 - e^{-B(x-x_0)}] + U_0 \cdots \cdots (x \leq x_0) \end{aligned} \right\}$$

$$S = A (1 - e^{-Bx}) \cdots \cdots (x \geq x_0)$$

式中 A, B ——回归参数;

x ——距开挖面的距离;

S ——距开挖面 x 处的地表沉降;

x_0 ——拐点。

根据经验,对于地表纵向沉降回归分析一般采用(2)中公式;拱顶下沉、净空收敛变一般采用(3)中公式,对(3)中公式,理论上讲,当 x 较小时, S 趋于 0;若 S 不趋于 0,需考虑监测结果的可靠性。

回归时应注意以下几点:

① 回归分析要有足够多的数据,一般应在一个月的连续测试以后进行;

② 实际发生位移的时间 t_0 都在埋设测点前(地表沉降除外), t_0 是未知的,为考虑 t_0 的影响,使函数拟合得更真实,可选择后 3 种函数回归。

③ 实际回归分析时,还应考虑爆破开挖造成的位移突变台阶的影响。

13.4.5 对应力(应变)监测结果的回归分析一般也采用指数模型:

$$U = A (e^{-B/t} - e^{-B/t_0})$$

13.4.6 实践证明,爆破振动速度衰减经验公式:

$$V_{\max} = K \left[\frac{Q^m}{R} \right]^\alpha$$

能基本反映其衰减规律,其相关性和趋势性较满意。但是公式中的各参数的经验选取方法需作适当调整。

m 为药量指数。当药包尺寸或同段炮眼的分布范围与测点距

离相比值相当小（比例尺寸不到 1:10）时，可以认为同段爆破药包为点药包，取 $m = 1/3$ ；更近距离范围趋于 1/2，当测点距离与同段药包分散相当时，取 $m = 1/2$ 。

K 、 α 值与爆区地形、地质条件和爆破条件等相关，但 K 值更取决于爆破条件的变化， α 值主要取决于地形、地质条件的变化。爆破临空条件好，夹制作用小， K 值就小，反之 K 值大；地形平坦，岩体完整、坚硬 α 值趋小，反之破碎、软弱岩体，起伏地形， α 值趋大。 K 取值范围大部分在 50 ~ 1 000 之内， α 取值在 1.3 ~ 3.0 之间。实际监测时，建议将近距离振动衰减规律和远距离衰减规律分开考虑，当比例距离 $R' = R/Q^m \leq 10$ ，认为是近距离振动，当 $R' = R/Q^m > 10$ 认为是远距离振动。近距离振动 K 值较大，可达 500 以上， α 值较大，可取 2.0 ~ 3.0；远距离爆破振动，衰减指数 $K = 130 \sim 500$ ， $\alpha = 1.3 \sim 2.0$ 。

14.3.4 矿车提升的斜井井口，在不增大提升能力的前提下，平车场比甩车场具有较大的提升能力和通过能力，结合井口缓坡地形选择甩车场形式，可大大减少地面土方工作量，且有利于提升系统的合理布置。

14.4.6 竖井单绳提升常用的容器有罐笼和箕斗，吊桶仅用于竖井开凿阶段。

14.5.1 为了保证提升安全，斜井、竖井的提升信号除箕斗采用直发式（即装载点与提升机房直接联络）外，其他提升方式应采用中继转发式，一般在井门设中继提升信号房，专设信号人员，负责车场、摘挂钩点、装载点与提升机房，中继转发信号联络，确保人身及设备的安全。

14.5.2 本条 1 ~ 5 款是参照《矿山井巷工程施工及验收规范》第 9.7.1 条制订。第 6 款的提升声、光信号可根据习惯确定具体内容。信号电压规定不超过 127 V，能既保证声、光信号可靠动作，又保证操纵信号人员的安全用电。

16.7.1 隧道膨胀岩的产生原因：软质膨胀岩层（如页岩、蒙

脱石质泥岩、变质安山岩、蛇纹岩及黏板岩等),特别是这些岩层经过断裂、褶皱作用而产生的破碎带,开挖暴露后受风化和水的影响,便发生体积膨胀;或当膨胀岩层破碎,节理、裂隙中含有活动性矿物成分的黏土充填物时,往往在开挖暴露后即行膨胀,当吸水后,膨胀力增长很快;也有膨胀岩层中不含或只含少量的活动性矿物成分,也不受水的影响,但由于强烈的地质构造作用使破裂带中聚集了潜在的应力(以剪应力为主的构造应力),随着隧道的开挖,潜在应力得到释放而产生强大的膨胀性地压力。一般V、VI级围岩在2个月内产生超常变形,可判断为挤压性围岩;当围岩内含蒙脱石、伊利石等达到一定数量,隧道开挖后围岩遇到客气中的水分,一般2~3 d变形较大且快,可判断为膨胀岩。

16.7.4 乌鞘岭隧道挤压性围岩段施工简介:

(1) 工程概况:

乌鞘岭隧道两座单线隧道,各长20 050 m,线间距为40 m。隧道穿越了四条区域性大断层F4、F5、F6、F7,均处在越岭地段,埋深400~1 050 m,断层带累计宽度1 565 m。越岭段穿越奥陶系安山岩、三叠系砂岩夹页岩、加里东期闪长岩,志留系板岩夹千枚岩,通过中等富水区(奥陶系、志留系及断层带),弱富水区(三叠系)与贫水区(加里东期闪长岩)三大水文地质分区。F7断层破碎带宽度852 m,围岩以断层泥砾岩为主,局部为碎裂岩,呈灰绿色、灰白色,围岩破碎,由于受挤压影响,手捏呈砂砾状、粉末状。无明显的地下水出露,呈潮湿状,为V级围岩,属于高地应力、软弱围岩地段。

(2) 施工监测及初期支护变形情况:

在YDK177+690~440段共布设监测断面51个,用5条基线监测围岩的收敛变形,获取数据153组。埋设压力盒130个,其中二次衬砌监测断面10个,获取数据80组。围岩松弛圈大于3.7 m,变形最大值出现在异形断面处。施工中曾发生较大变形,

拱顶下沉 200 ~ 300 mm, 边墙收敛 400 ~ 600 mm, 最大拱顶下沉 485 mm, 边墙收敛 773 mm。出现支护裂损、钢架扭曲, 净空超限。上半断面初期支护约需 50 d 左右达到基本稳定状态 (变形速率为 2 ~ 3 mm/d); 下半断面开挖后支护闭合成环 15 d 左右, 整个初期支护达到基本稳定状态 (变形速率为 1 ~ 2 mm/d); 初期支护拆换过程中, 爆破影响范围为前后 10 m 左右。

(3) 施工措施:

① 对变形量进行预测, 留足变形量, 避免因侵限拆换初期支护, 并为加强初期支护的层厚留有余地。将原预留变形量 100 mm 变为 400 mm。

② 留核心土台阶法开挖, 上下台阶保持 5 ~ 8 m, 以便初期支护尽早闭合成环; 仰拱超前拱墙, 距离下台阶为 15 m 左右。

③ 加强超前支护和初期支护。超前小导管环向间距由原来 40 cm 缩小到 20 cm, 数量由 31 根增加到 51 根; 小导管长度为 4.0 m, 每茬炮打设一次, 进尺控制在 2.0 ~ 2.5 m 之间, 搭接长度保持在 1.5 m 左右, 不小于 1.0 m。系统锚杆长度从 4 m 调整到 6 m。钢架 I16 变为 I20, 间距由 3 榀/2 m 变为 2 榀/m, 每榀钢架增设长度为 6.0 m 的锁脚锚杆 12 根。根据变形情况加层施做初期支护, 其厚度分别是 25 cm、20 cm……。

④ 根据监测结果施作拱墙二次衬砌。挤压性围岩变形短时间很难达到规范要求的稳定值, 据推算乌鞘岭隧道的变形达到稳定约需 3 年时间, 所以在初期支护基本稳定后, 浇筑“刚强”的二衬结构, 以抵抗余存的变形压力, 将二衬钢筋混凝土由原 50 cm 厚变为 80 cm 主筋的纵向间距由原来的 200 mm 缩小到 125 mm。

16.8.5 秦东黄土隧道施工简介:

(1) 工程概况: 郑西客运专线秦东隧道位于陕西省潼关县, 长度 7 684 m, 为双线黄土隧道, 开挖断面达 163.81 m²。隧道正洞累计 IV 级围岩段长 7 300 m, V 级围岩段长 384 m。设计三座

斜井作为辅助坑道，其中 1 号斜井长 992 m，2 号斜井长 1 084 m，3 号斜井长 336 m。1 号、2 号斜井作为临时通道，3 号斜井竣工后作为紧急出口，按永久结构设计，斜井总长为 2 421 m。

(2) 围岩状况、隧道埋深、各工序步距及变形监测结果：

① 双侧壁导坑法：洞口浅埋段，砂质黄土、严重自重湿陷性，V 级围岩，平均含水量 21.2%，施工步距及变形见说明表 16.8.5—1。

说明表 16.8.5—1 双侧壁导坑法施工步距及变形

隧道埋深		6.7 ~ 47 m			
仰拱距开挖面的距离 (m)		20	30	35	40
二衬距仰拱的距离 (m)		20	30	35	40
累计变形量 (mm)	水平收敛	150	173	186	215
	拱顶下沉	143	181	194	196

由表得出结论：洞口浅埋段，仰拱距离开挖面 20 m，二衬距离仰拱 20 m，累计变形量 ≤ 150 mm，满足设计预留变形量 150 mm 的要求。

② 三台阶弧形导坑预留核心土法：砂质黄土，平均含水量 18.4%，IV 级围岩，施工步距及变形见说明表 16.8.5—2。

说明表 16.8.5—2 三台阶弧形导坑预留核心土法施工步距及变形

隧道埋深		157 ~ 213 m			
仰拱距开挖面的距离 (m)		20	30	40	50
二衬距仰拱的距离 (m)		20	30	40	50
累计变形量 (mm)	水平收敛	115	142	158	165
	拱顶下沉	109	136	152	162

由表得出结论：IV 级围岩一般段，仰拱距离开挖面 30 m，二衬距离仰拱 30 m，累计变形量小于趋近于 150 mm，满足设计预留变形量 150 mm 的要求。

③ 三台阶弧形导坑预留核心土法：粉质黏土，平均含水量

26.6%，Ⅳ级围岩，属富含水地段，施工步距及变形见说明表 16.8.5—3。

说明表 16.8.5—3 三台阶弧形导坑预留核心土法施工步距及变形

隧道埋深		213 ~ 222 m			
仰拱距开挖面的距离 (m)		20	30	40	50
二衬距仰拱的距离 (m)		20	30	40	50
累计变形量 (mm)	水平收敛	142	193	256	318
	拱顶下沉	148	208	269	323

由表得出结论：Ⅳ级围岩富水段（含水量 $\geq 25\%$ ），仰拱距离开挖面 20 m，二衬距离仰拱 20 m，累计变形量小于趋近于 150 mm，满足设计预留变形量 150 mm 的要求，但需要对Ⅳ级围岩设计的初期支护进行局部加强。

④ CRD 法：砂质黄土，平均含水量 12.4%，Ⅴ级围岩，施工步距及变形见说明表 16.8.5—4。

说明表 16.8.5—4 CRD 法施工步距及变形

隧道埋深		0 ~ 30 m			
仰拱距开挖面的距离 (m)		20	30	40	50
二衬距仰拱的距离 (m)		20	30	40	50
累计变形量 (mm)	水平收敛	11	14.3	15.7	16.9
	拱顶下沉	10	13.8	15.2	16.4

由表得出结论：含水量较小的浅埋段，仰拱距离开挖面 30 m、二衬距离仰拱 30 m，累计变形量小于趋近于 150 mm，满足设计预留变形量 150 mm 的要求。

(3) 位移及受力监测结果：

① 位移监测显示：埋深 < 50 m 浅埋大断面黄土隧道采用双侧壁和 CRD 施工，Ⅴ级围岩净空相对位移普遍超过规范（TB 10003—2001）允许值，最大达到 2.0%。临时中壁拆除前，拱顶下沉与水平收敛之比约为 1。最大收敛速率平均达到 17.5 mm/d。据此，对大断面黄土隧道施工监控提出以下建议基

准值（见说明表 16.8.5—5）。

说明表 16.8.5—5 大断面黄土隧道施工监控建议基准值

埋深 (m)		< 50		50 ~ 300	
围岩级别		V 级	IV 级	V 级	IV 级
水平收敛	速率 (mm/d)	18	12	21	17
	相对变形量 (%)	2.0	1.3	2.5	2.0
拱顶下沉		为水平收敛基准值的 0.5 ~ 1.0 倍			

注：双侧壁及 CRD 断面，在中壁拆除前可取 1.0 倍。

② 受力测试显示：双侧壁和 CRD 初期支护及中壁主要受压，拉应力主要出现在初期支护拱部与中壁连接处以及中壁上。CRD 中壁承受到较大荷载，尤其是随着另一侧的开挖将出现显著的拉压变化，对中壁的承载性能及稳定性影响较大。在不对称架设横撑情况下，CRD 横撑将出现较大受拉荷载，横撑接头应考虑抗拉强度要求。

③ 起拱线及其以下部位，采用 3 ~ 4 m 锚杆是适宜的，可有效控制塑性区范围。而拱部 3 m 锚杆，目前看受力微弱，其合理长度有待继续测试。

④ 综合而言，相对其他大断面黄土隧道开挖阶段普遍达到 10 ~ 20 cm 的净空变形情况看，秦东隧道埋深 1 ~ 2 倍洞径浅埋地段采用双侧壁和 CRD 试验工法，地表下沉、净空变形和塑性区范围均受到有效控制。从力学角度看，双侧壁和 CRD 是浅埋大断面黄土隧道安全可靠的施工方法，但在工艺上应严格按技术要求进行，其中关键环节是横撑应及时紧跟开挖面，避免中壁出现较大拉压变化而降低承载性能。同时开挖下半断面时要预先处理好上半断面支护拱脚的稳定性。

17.0.1 隧道施工应注意保护生态环境，满足国家规定的环境质量要求。建设项目环境保护管理条例规定：建设产生污染的建设项目，必须遵守污染物排放的国家标准和地方标准；在实施重点污染物排放总量控制的区域内，还必须符合重点污染物排放总量

控制的要求。中华人民共和国水土保持法规定：造成水土流失危害的单位和个人，有责任排除危害，并对直接受到损害的单位和个人赔偿损失。

17.0.3 隧道工程的地下水位较高，虽然堵水投入大、施工难度大，但绝不能无限量排水。曾有在生态环境较脆弱的地区，因隧道施工大量排水，导致地面泉眼干涸、植被枯萎，甚至举村迁移的惨痛教训。所以在隧道施工中对“堵、防、截、排”的治水原则要因地制宜、灵活掌握。

17.0.4 当隧道施工在城市期间或施工场地附近有居民居住时，减少、控制、消除噪声源是防止噪声危害的根本措施。施工机械如通风机、空压机连续作业时间长要修筑机房隔声，装载机、挖掘机、汽车等应安装消声装置，从声源上降低噪声。

17.0.5 在施工生产中产生的粉尘通常以混合的形式存在，它对工人身体危害最严重，易导致工人患矽肺病。粉尘的预防措施是施工开挖机械采用湿式凿眼机，要经常喷雾洒水，喷混凝土采用湿喷机。合理通风及时修补通风管道，防止漏风，加强施工环境中粉尘浓度的监测。

17.0.6 固体废物是指在施工生产、日常生活活动中产生的污染环境的固态、半固态废弃物。如开挖隧道产生的土石沙料，施工废料，报废机械设备、零配件、边角料，包装箱、水泥袋，生活垃圾等。对不能回收利用的固体废物，应选择适当的地方堆放，严防污染水源、大气、土壤。对弃渣需要设置弃渣挡墙时，应委托设计单位设计，严格施工质量，严禁弃渣挡墙坍塌事故的发生。

17.0.7 《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 检测指标三级指标指：排入设置二级污水处理厂的城镇排水系统的污水，但工地往往要执行当地有关部门制定的排放要求。

17.0.8 此条根据中华人民共和国水土保持法规定：一切单位和个人都有保护水土资源、防治水土流失的义务。修建铁路、公路

和水利工程，应当尽量减少破坏植被，在铁路、公路两侧地界以内的山坡地，必须修建护坡或者采取其他土地整治措施。

17.0.9 此条根据中华人民共和国水土保持法规定：修建铁路、公路和水工程，工程竣工后，取土场、开挖面和废弃的砂、石、土存放地的裸露土地，必须植树种草，防止水土流失。