

铁路工程施工技术指南

铁路隧道防排水施工技术指南

TZ 331—2009

主编单位：中铁隧道集团有限公司

批准部门：铁道部经济规划研究院

施行日期：2009年04月13日

中国铁道出版社

2009年·北京

铁路工程施工技术指南
铁路隧道防排水施工技术指南
TZ 331—2009

*

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>

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 850 mm × 1 168 mm 1/32 印张: 4.25 字数: 106 千字

2009年6月第1版 2009年8月第2次印刷

统一书号: 15113·2977 定价: 20.00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《铁路隧道防排水 施工技术指南》等2项铁路 工程施工技术指南的通知

经规标准〔2009〕73号

为提高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《关于编制2006年铁路工程建设标准计划的通知》(铁建设函〔2005〕1026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《铁路隧道防排水施工技术指南》(TZ 331—2009)、《铁路给水排水施工技术指南》(TZ 209—2009)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

二〇〇九年四月十三日

前 言

本技术指南是根据铁道部《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《关于委托编制2006年铁路工程建设标准的通知》(经规标准〔2006〕45号)的要求,在《铁路隧道防排水技术规范》(TB 10119—2000)基础上编制的。

本技术指南共分13章,其主要内容包括:总则,术语,地表处理,注浆防水,施工排水,降水施工,衬砌背后排水系统,防水层防水,二次衬砌防水混凝土,施工缝、变形缝防水,侧沟、中心排水管(沟)排水,寒冷与严寒地区防排水,管片衬砌防水等。

本技术指南在编制过程中,认真总结了我国铁路隧道防排水施工的经验和教训,学习和借鉴国际先进标准,重点对施工过程中的工艺、方法、措施和质量控制目标作出了规定,反映了防排水工程施工的新技术、新材料、新工艺、新方法,突出了铁路隧道防排水的技术特点。

在执行本技术指南的过程中,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,请及时将意见及有关资料寄交中铁隧道集团有限公司(河南省洛阳市陵园东路3号,邮政编码:471009),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,邮政编码: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:中铁隧道集团有限公司。

本技术指南参编单位:中铁西南科学研究院。

本技术指南主要起草人:邹 翀、杨世武、李 蓉、郭大焕、曹正喜、周振国、陈文义、高存成、陈庆怀、唐小杉、吕传田、卓越、李治国。

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	地表处理	5
3.1	一般规定	5
3.2	地表排水系统	5
3.3	地表加固	7
3.4	明挖施工段防排水	8
4	注浆防水	10
4.1	一般规定	10
4.2	全断面预注浆	10
4.3	帷幕注浆	15
4.4	周边小导管预注浆	16
4.5	径向注浆	18
4.6	回填注浆	19
5	施工排水	20
5.1	一般规定	20
5.2	顺坡排水	20
5.3	反坡排水	20
5.4	钻孔排水	21
5.5	辅助坑道排水	22
5.6	特殊洞室防排水	23
6	降水施工	25
6.1	一般规定	25
6.2	降水施工	25

7	衬砌背后排水系统	29
7.1	一般规定	29
7.2	材料要求	29
7.3	基面处理	29
7.4	排水系统施工工艺	31
8	防水层防水	35
8.1	一般规定	35
8.2	材料要求	35
8.3	基面处理	37
8.4	铺设工艺	37
8.5	质量检测	44
8.6	明洞防水层防水	45
9	二次衬砌防水混凝土	48
9.1	一般规定	48
9.2	材料要求	48
9.3	施 工	50
10	施工缝、变形缝防水	56
10.1	一般规定	56
10.2	材料要求	56
10.3	施 工	60
11	侧沟、中心排水管(沟)排水	70
11.1	一般规定	70
11.2	侧 沟	70
11.3	中心排水管(沟)	71
11.4	水沟连接	74
11.5	检查井	75
12	寒冷与严寒地区防排水	76
12.1	一般规定	76
12.2	施 工	76

13	管片衬砌防水	80
13.1	一般规定	80
13.2	管片防水	80
13.3	管片接缝防水	81
13.4	螺栓孔、注浆孔防水	84
	本技术指南用词说明	85
	《铁路隧道防排水施工技术指南》条文说明	86

1 总 则

- 1.0.1** 为统一铁路隧道防排水施工技术要求，加强施工管理，保证工程质量，制定本技术指南。
- 1.0.2** 本技术指南适用于铁路客运专线、客货共线新建隧道的防排水工程施工。
- 1.0.3** 铁路隧道防排水采用的材料、工艺、设备应满足质量可靠、性能优良的要求，其措施应行之有效，应积极采用新技术、新材料、新工艺、新设备。
- 1.0.4** 铁路隧道防排水材料应具备生产许可证、产品合格证和试验检验报告等相关证明。隧道防排水材料的规格及性能应满足国家或行业的有关标准及设计要求。
- 1.0.5** 铁路隧道防排水应综合采用注浆堵水、防水板和防水混凝土防水、施工缝和变形缝的防水，以及排水系统排水等多种措施，形成完整的防排水系统，达到隧道防排水要求。
- 1.0.6** 在铁路隧道防排水施工中，防排水施工人员应经培训合格后上岗，隧道防排水各工序间应有交接检查并填写记录。
- 1.0.7** 铁路隧道防排水施工应重视环境保护，施工前应对周围环境进行调查，并进行全过程监控和必要的试验。
- 1.0.8** 铁路隧道防排水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 隧道防水 water - proofing of tunnel

防止隧道渗漏水而采取的工程措施。

2.0.2 预注浆 pioneer grouting

工程开挖前使浆液预先充填围岩裂隙，达到堵塞水流、加固围岩目的所进行的注浆。可分为工作面预注浆（即超前预注浆）、地面预注浆（包括竖井地面预注浆和平巷地面预注浆）等。

2.0.3 帷幕注浆 curtain grouting

工程开挖前预先加固开挖轮廓线外一定范围的岩体，以形成帷幕，达到堵水、加固围岩目的所进行的预注浆。

2.0.4 凝胶时间 gel time

浆液自配制时起到不流动时止的这段时间。

2.0.5 施工排水 construction drainage

在隧道内外设置排水设施，排放、疏干或减缓隧道内地下水的工程措施。

2.0.6 钻孔排水 drain boring

从开挖面向围岩深度钻孔以排放围岩中地下水或处理涌水的方法。

2.0.7 降水施工 consturction with groundwater lowering method

在隧道开挖中为降低地下水位的辅助施工法，有洞内轻型井点降水、管井降水等。

2.0.8 防水板 water - proofing board

采用由工厂生产的具有一定厚度和抗渗能力的高分子薄板，一般铺设在初期支护与二次衬砌之间作为隔水层。

2.0.9 热塑性垫圈 thermoplastic washer

固定缓冲层用的塑料垫圈，可与防水板热熔焊接。

2.0.10 无钉铺设 non - nails layouts

将塑料防水板通过热熔焊接固定于暗钉圈上的一种铺设方法。

2.0.11 背衬材料 backing material

嵌缝作业时填塞在嵌缝材料底部并与嵌缝材料无黏结力的材料，其作用在于缝隙变形时使嵌缝材料不产生三向受力。

2.0.12 防水混凝土 water - proofing concrete

防水混凝土是以调整混凝土的配合比，掺外加剂、掺和料或使用新品种水泥等方法提高自身的密实性、憎水性和抗渗性，并采用相应的施工工艺使其抗渗等级不小于 P8。

2.0.13 胶凝材料 cementitious material, or binder

用于配制混凝土的水泥与粉煤灰、磨细矿渣粉和硅灰等活性矿物掺和料的总称。

2.0.14 水胶比 water to binder ratio

混凝土配制时的用水量和胶凝材料总量之比。

2.0.15 分区防水 water proofing by seetim

针对隧道所处段落水环境不同，在二衬背后采取纵向防串流措施后分段防水措施。

2.0.16 施工缝 construction joint

施工中由于混凝土不连续灌注工艺而出现的缝隙。

2.0.17 变形缝 deformation joint

为防止衬砌承受温度、不均匀沉降等因素引起的附加应力所设置的构造缝。

2.0.18 遇水膨胀止水条 water swelling strip

具有遇水膨胀性能的遇水膨胀腻子条和遇水膨胀橡胶条的统称。

2.0.19 管片 segment

盾构隧道衬砌环的基本单元，管片的类型有钢筋混凝土管片、钢纤维混凝土管片、钢管片、铸铁管片、复合管片等。

2.0.20 密封垫沟槽 gasket groove

为使密封垫正确就位、牢固固定、并使垫片被压缩的体积得以储存，而在管片混凝土环、纵面预设的沟槽。

2.0.21 密封垫 gasket

由工厂加工预制，在现场粘贴于管片密封垫沟槽内，用于管片接缝防水的垫片。分为以弹性压密止水的具有特殊形状断面的弹性橡胶密封垫和以遇水膨胀止水的遇水膨胀橡胶密封垫两类。

2.0.22 螺孔密封圈 bolt hole sealing washer

为防止管片螺栓孔渗漏水而设置的密封垫圈。通常将它套在螺杆上，利用螺母、垫片压密，从而堵塞混凝土孔壁与螺栓间的孔隙，满足防水要求。

2.0.23 壁后注浆 back - filling grouting of segment

盾构隧道施工时，以充填管片背后建筑孔隙，达到管片环的早期稳定，防止围岩松动和隧道蛇行以及控制地表沉降为目的而进行的注浆，它包括同步注浆、即时注浆和补充注浆等。

3 地表处理

3.1 一般规定

- 3.1.1** 进行地表处理前应对隧道附近的地面、井泉、池沼、水库及河流进行调查、观测与试验，分析其对隧道渗漏水的影响，并编制相应的地表处理计划。
- 3.1.2** 天沟、截水沟等的走向应结合地形条件选择对地面植被破坏最小、排水畅通的方案，并结合永久排水系统先行修建。
- 3.1.3** 在施工期间，应对隧道周围的地表水采取有效的截水、排水、挡水和防洪措施，防止地表水流入隧道内。
- 3.1.4** 隧道、明挖施工段与辅助坑道等排水系统与洞外排水系统的连接应保证水流通畅、有效，并应防止破坏地表环境。
- 3.1.5** 地表排水应防止地表径流对边坡、仰坡、结构基础的冲刷和淘蚀，保证洞门结构或相邻构筑物的稳定、安全。
- 3.1.6** 采用地表注浆等地表防水措施时，必须先于隧道施工并对其效果进行评估。

3.2 地表排水系统

- 3.2.1** 为防止洞口及明挖施工段边、仰坡范围内的地表水下渗和冲刷，应在边、仰坡坡顶修建截、排水沟。
- 3.2.2** 排水沟、截水沟宜在边、仰坡开挖前修建完成。排水沟、截水沟排水应顺畅，无淤积阻塞。
- 3.2.3** 截水沟应设在距边、仰坡开挖边缘至少 5 m 距离的地方，黄土地区应在 10 m 以上。为防止泥砂淤塞，截水沟坡度不得小于 3‰。当土质纵坡大于 200‰，石质纵坡大于 400‰时，应分

段采用不低于 M7.5 水泥砂浆砌片石铺砌，保证截水沟的稳定。截水沟根据地形可设计成单侧或双侧排水，并与路堑排水系统顺接，出水口必须防止顺坡散流、冲刷，危害线路及农田房舍。

3.2.4 隧道洞门的排、截水设施宜与洞门工程同步施工，挡墙翼墙式及单侧挡墙式洞门的洞顶排水一般情况宜采用单向排水。

3.2.5 洞外路堑的水不宜流入隧道，当出洞方向路堑为上坡时，应在距离洞口 2 m 处设一道截水沟，拦截洞外路面积水，并宜将洞外侧沟做成与线路坡度相反且不小于 2‰ 的反坡侧沟。

3.2.6 洞口排水沟与截水沟的设置范围、高程和砌体尺寸的施工允许偏差应符合表 3.2.6 的规定。

表 3.2.6 排水沟、截水沟砌体尺寸允许偏差

序号	项目	允许偏差
1	设置范围	±20 cm
2	沟底高程	±2 cm
3	水沟纵坡	0.5% 设计坡度，且无积水
4	水沟宽度	±3 cm
5	水沟侧墙铺砌高度	-1 cm
6	水沟铺砌厚度	-1 cm

3.2.7 隧道洞门端墙和翼墙、挡护墙的反滤层、泄水孔、变形缝设置应符合设计要求，确保泄水孔排水通畅。当设计对泄水孔无要求时，施工应符合下列规定：

1 泄水孔宜在距底板 1 m 高度范围内，按间隔 2 m 的梅花状布设。

2 泄水孔与岩体间宜铺设长 30 cm、宽 30 cm、厚 20 cm 的卵石或碎石作反滤层。

3.2.8 洞口及边、仰坡周围的排水系统应经常检查，并保持其良好的畅通状态，保证洞门结构及边、仰坡的安全。

3.3 地表加固

3.3.1 当隧道覆盖层较薄或地表水有可能渗入隧道时，施工前应对地表的积水、坑、洼等进行处理，并符合下列要求：

1 洞口附近和浅埋地段洞顶地表应平整，不积水。

2 地表坑洼、钻孔、探坑、陷坑等应用不透水土回填，并分层夯实。

3 黄土陷穴和岩溶孔洞等特殊地质的处理应符合设计要求。

4 洞顶有流水的沟槽应予整治，确保水流畅通，必要时宜对沟床进行铺砌。

5 周边影响范围内有河流、水塘等时，应有防渗漏措施。

3.3.2 隧道建成后，地质勘察和施工留下的探坑等应回填密实，不得积水。

3.3.3 洞口排水沟和截水沟可采用 M5 浆砌片石砌筑，砌缝砂浆应饱满密实；不铺砌石质水沟的缝隙应填塞密实；填土中的水沟基底土应夯实。

3.3.4 对于浅埋隧道和洞口浅埋段地质条件差或有涌水时，宜采用地表注浆进行加固处理。地表注浆前，首先应做好洞顶截水沟，再按设计进行地表封闭及注浆加固。地表注浆施工工艺流程见图 3.3.4。

3.3.5 地表注浆应满足下列要求：

1 地表注浆时钻孔应严格按照设计孔位开孔，并保证孔向准确。

2 地表注浆施工必须坚持先试验后施工的原则，以便选定注浆参数最佳值。

3 地表注浆加固 15 d 后方可进行洞内施工。

3.3.6 地表注浆应合理进行施工组织，制定严格的施工现场环境保护措施和预案，防止注浆施工影响环境。

3.3.7 地表注浆应根据注浆设计、注浆工艺、地表状况及地质

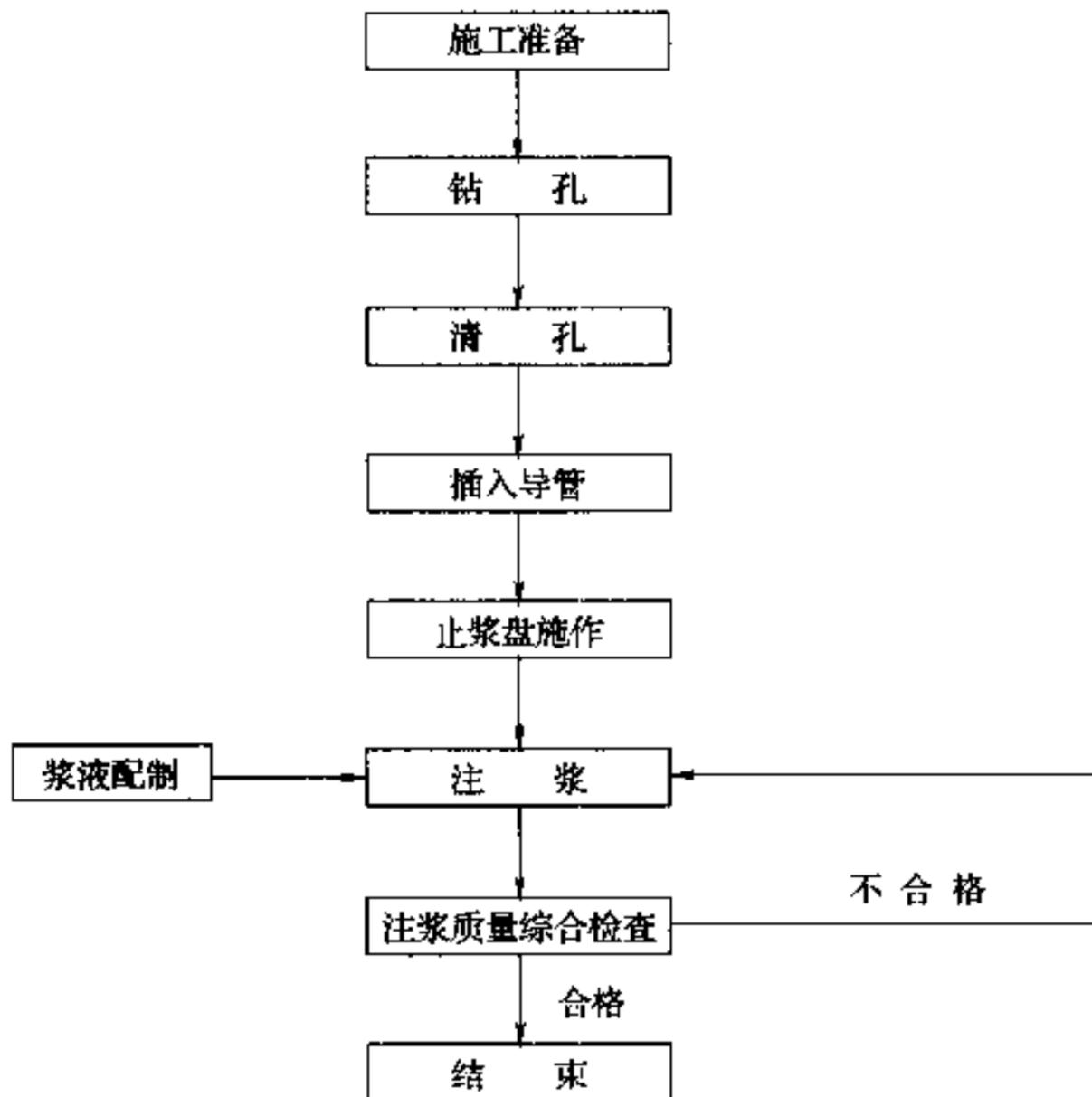


图 3.3.4 地表注浆施工工艺流程图

条件，进行各种设备、材料和浆液配比的选择和调整。

3.4 明挖施工段防排水

3.4.1 为了防止明挖施工段明洞背后积水和洞内漏水，应在明洞衬砌背后铺设防水层，在衬砌拱脚背后（或边墙脚背后）应设置纵向坡度不小于 2‰ 的纵向排水管，衬砌边墙背后每隔 8 ~ 10 m 设置竖向排水管，衬砌墙脚设泄水管，衬砌外汇集之水通过竖向排水管和与其相接的纵向排水管，由泄水管引入洞内侧排水沟。

3.4.2 明挖施工段降水施工时应符合下列规定：

1 地下水位应降至工程底部最低高程 50 cm 以下，降水作业应持续至结构完成回填完毕。

2 隧道底板范围内的集水井，在施工降水结束后应用微膨胀混凝土填筑密实。

3.4.3 当明挖施工段较长时，可横向拉槽向地势较低一侧排水；当槽的纵坡过陡时应设置急流槽或跌水连接。

3.4.4 明挖施工段衬砌背后排水设施应与回填同时施工，并使渗水顺畅排出。

3.4.5 明挖施工段回填土保护层施工应符合下列规定：

1 基坑内杂物应清理干净，无积水。

2 结构外 80 cm 以内宜用灰土、黏土或亚黏土回填，其中不得含有石块、碎砖、灰渣及有机杂物，也不得有冻土。

3 拱圈灌筑完成，拆除外模，施作防水层，随即回填拱背。

4 拱圈、边墙混凝土达到设计强度 70% 且拱顶回填高度达到 0.7 m 以上时，方可拆除隧道衬砌拱架。

5 回填施工应均匀对称进行，并分层夯实，其两侧回填的土面高差不得大于 50 cm；人工夯实每层厚度不得大于 25 cm，机械夯实每层厚度不得大于 30 cm，并应防止损伤防水层。

6 明挖施工段顶部回填土厚度超过 50 cm 方可采用机械回填碾压。

7 明洞结构在回填后应铺设隔水层，隔水层应优先选用黏土，在黏土取材困难时，可选用复合隔水层，最大限度地减少工程对环境的影响，隔水层与边坡应搭接良好。

4 注浆防水

4.1 一般规定

- 4.1.1 注浆施工应根据设计并结合工程实际制定注浆方案。
- 4.1.2 注浆施工时，应根据现场试验进行参数调整和工艺完善，保证注浆效果。
- 4.1.3 注浆材料宜以水泥系材料为主，浆液配合比应经现场试验确定。
- 4.1.4 注浆过程中应做好施工记录（如注浆里程、孔位、孔径、孔深、浆液配合比、注浆压力、注浆量等），注浆结束后应对注浆钻孔及检查孔封填密实。
- 4.1.5 注浆过程中应加强监控量测，当围岩或支护结构发生较大变形、窜（跑）浆等异常情况时，可采取下列措施：
- 1 降低注浆压力或采用间歇注浆，直至停止注浆。
 - 2 改变注浆材料或缩短浆液凝胶时间。
 - 3 对窜（跑）浆部位进行封堵。
 - 4 调整注浆实施方案。

4.2 全断面预注浆

- 4.2.1 在富水地段或软弱地层（即水压和涌水量较大，且围岩自稳能力差的地层）可采用全断面预注浆进行加固堵水，主要加固隧道开挖轮廓线以外的一定范围以及隧道开挖面，加固范围宜为开挖线外 3~8 m。
- 4.2.2 全断面预注浆方案、参数设计宜按下列原则确定：
- 1 根据地层裂隙状态、地下水情况、加固范围、设备性能、

浆液扩散半径和对注浆效果的要求等综合因素确定注浆孔数、布孔方式及钻孔角度。

2 深孔预注浆初始循环应根据水压、水量、地层完整性及设计压力确定止浆墙的形式。

3 深孔预注浆段的长度应视具体情况合理确定，宜为 15 ~ 50 m，掘进时必须保留止水岩盘的厚度，一般为 5 ~ 8 m；浅孔预注浆段的长度应视具体情况合理确定，宜为 5 ~ 15 m，掘进时必须保留止水岩盘的厚度，一般为 2 ~ 4 m。

4 全断面预注浆设计压力应根据围岩水文地质条件合理确定，宜比静水压力大 0.5 ~ 1.5 MPa；当静水压力较大时，宜为静水压力的 2 ~ 3 倍，注浆泵的量程应达到设计压力的 1.3 ~ 1.5 倍。

5 注浆方式应根据水文地质情况、机械设备等因素综合确定。

6 钻孔孔位允许偏差深孔为 ± 5 cm，浅孔为 ± 1 cm，钻孔偏斜率允许偏差为孔深的 $\pm 0.5\%$ ，同时应满足设计要求。

7 钻孔注浆应采取隔孔钻注。

8 预注浆单孔注浆结束的条件为：深孔各段均达到设计终压并稳定 10 min，且注浆量不小于设计注浆量的 80%、进浆速度为开始进浆速度的 1/4；浅孔达到设计终压。

9 检查孔的渗水量应小于设计允许值，浆液固结体达到设计强度后方可开挖。

4.2.3 注浆前应进行压水或压稀浆试验，判断地层的吸浆和扩散情况，确定浆液浓度、注浆压力和注浆量。

4.2.4 注浆材料应按下列原则合理选用。

1 浆液具有良好流动性、可注性。

2 浆液耐久性强。

3 固化时体积收缩小，与岩体、混凝土、砂土等有一定的粘结力。

4 浆液结石率高，固结后有较高的强度和抗渗性。

5 稳定性好，注浆时浆液不产生离析和沉淀。

6 原材料来源丰富、价格适宜，便于运输与储存，在常温、常压下较长时间存放不改变其基本性质。

7 浆液无毒、无臭，不污染环境，对人体无害。

8 浆液对注浆设备、管路、混凝土结构物及橡胶制品等无腐蚀性，容易清洗。

9 浆液配制方便，工艺及设备简单，操作容易、简便。

10 在动水条件下，注浆材料除了满足上述原则外，还应满足抗分散性好、早期强度高、凝胶时间可调、结石体抗冲刷性能好等要求。

4.2.5 预注浆视围岩状况可采取前进式分段注浆、后退式分段注浆和全孔一次性注浆施工工艺。钻孔注浆分段长度根据地质情况确定，深孔宜为3~10 m，浅孔宜为1~5 m。前进式分段注浆和后退式分段注浆施工工艺流程见图4.2.5—1~图4.2.5—2。

4.2.6 进行后退式分段注浆时，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，必要时可采用孔口管法兰盘止浆方式。

4.2.7 当在涌水量大、水压高或围岩破碎的地段钻孔时，应先施做止浆墙和设置带闸阀的孔口管。孔口管应为无缝钢管，直径应根据开孔钻头选择，不宜小于 $\phi 90$ mm。孔口管埋入止浆墙深度依据最大注浆压力确定，宜比止浆墙厚度长50 cm。当出现大量涌水时，应拔出钻具，关闭孔口管上的闸阀，待作好准备后进行注浆。

4.2.8 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的配比。

4.2.9 预注浆应在分析资料的基础上进行注浆效果检查，主要采用下列方法：

1 分析 $P-Q-t$ 曲线法： $P-t$ 曲线应呈上升趋势， $Q-t$ 曲线应呈下降趋势，注浆结束时，注浆压力达到设计终压，注浆速度达到设计速度。

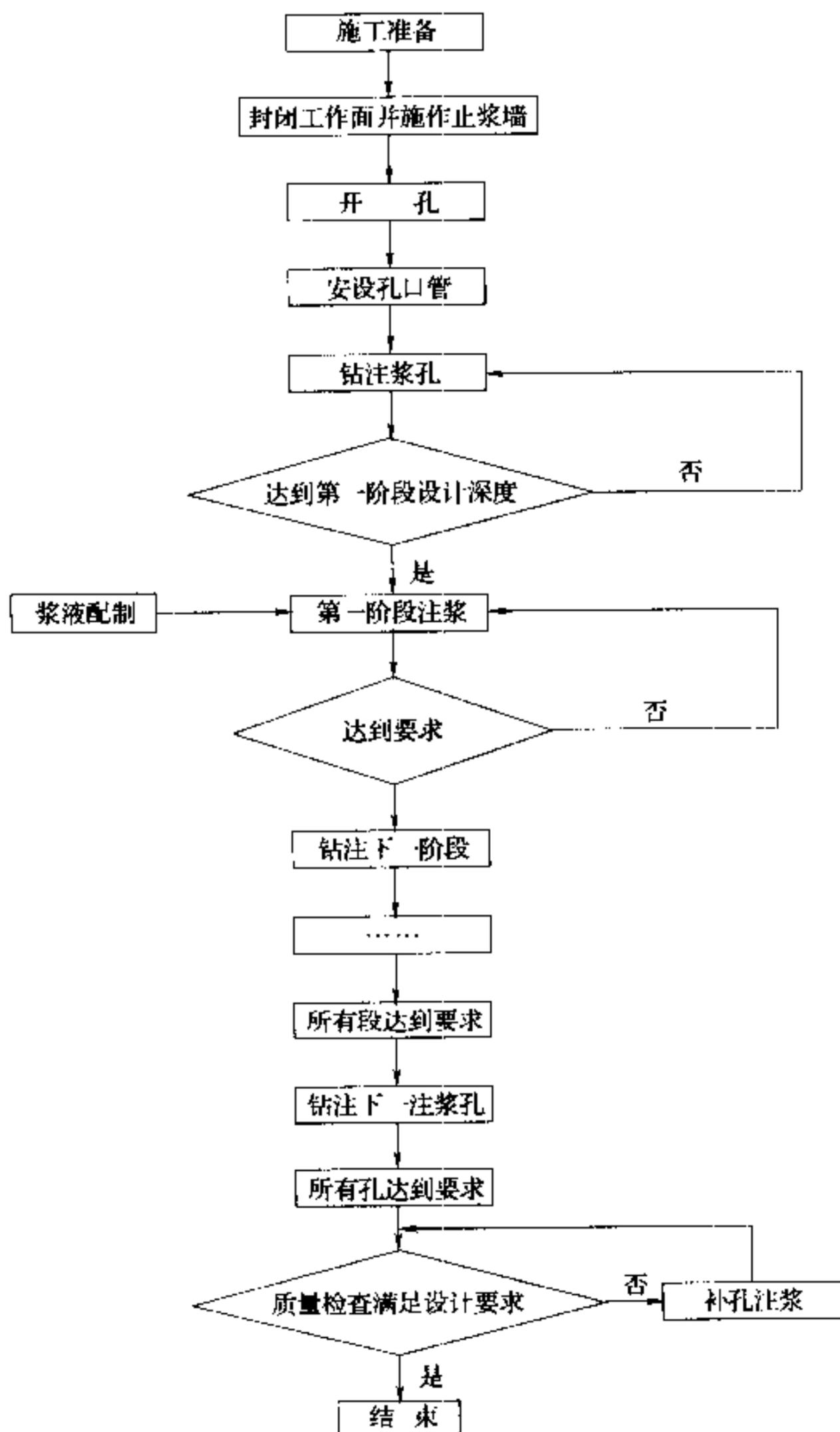


图 4.2.5—1 前进式分段注浆施工工艺流程图

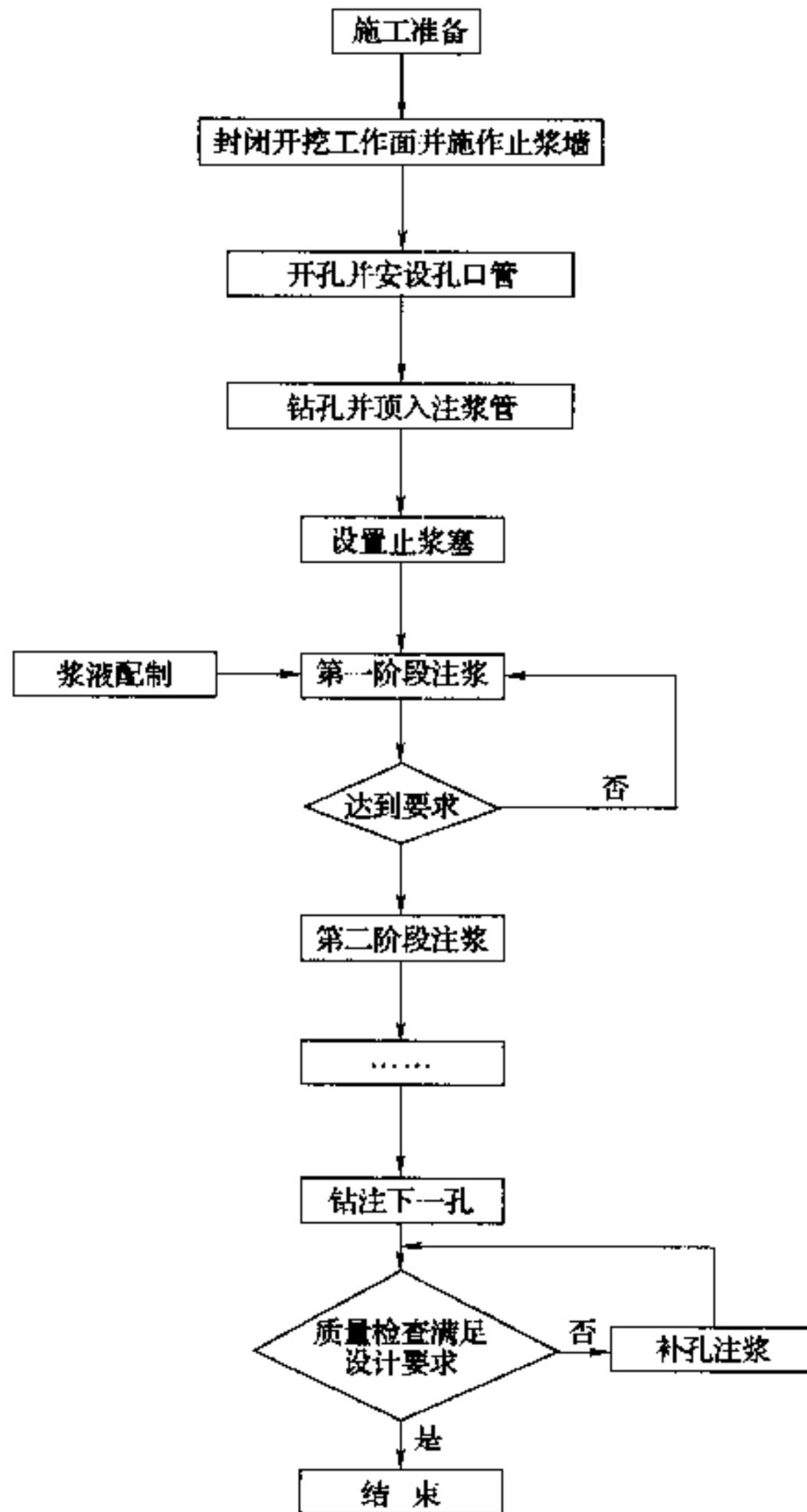


图 4.2.5—2 后退式分段注浆施工工艺流程图

2 反算浆液充填率法：整理注浆资料，统计单孔、全段注浆

量，反算浆液充填率，当地层含水量不大时，浆液填充率应达到70%以上，当地层含水量较大时，浆液填充率应达到80%以上。

3 钻检查孔法：按总注浆孔的5%~10%设计检查孔，检查孔应在均布的原则下，结合注浆资料的分析布设；检查孔应无涌泥、涌砂，不塌孔，渗水量应小于 $0.2 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ 或小于设计涌水量，否则应予补注。

4 钻孔取芯法：通过钻孔取芯观察地层的注浆加固效果。

5 压水试验法：对检查孔进行压水试验，当吸水量大于 $1.0 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ 时，必须进行补充注浆。

6 流量测试法：采取连续测试渗流量的方法，当所测渗流量小于设计值时，则注浆效果满足要求。

7 有条件时，还可采用物探等方法进行检查。

4.2.10 钻孔注浆施工中，钻孔注浆设备的配套应满足设计要求。

4.3 帷幕注浆

4.3.1 在富水地段（即涌水量较大，但水压不大，且围岩有一定自稳能力的地层）可采用帷幕注浆进行加固堵水，主要加固隧道开挖轮廓线以外的一定范围，此范围宜为3~8 m。

4.3.2 帷幕注浆的注浆材料可按4.2.4条要求选用。

4.3.3 注浆前应做压水或压稀浆试验，确定浆液种类和浓度。

4.3.4 帷幕注浆方案、参数设计宜按下列原则确定：

1 根据地层裂隙状态、地下水情况、加固范围、设备性能、浆液扩散半径和对注浆效果的要求等综合分析确定注浆孔数、布孔方式及钻孔角度。

2 帷幕注浆段的长度应视具体情况合理确定，宜为15~50 m；掘进时必须保留止水岩盘的厚度，一般为5~8 m。

3 岩石地层帷幕注浆设计压力应根据水文地质条件合理确定，宜比静水压力大0.5~1.5 MPa；注浆泵的量程应达到设计压力的1.3~1.5倍。

4 注浆方式应根据水文地质情况、机械设备等综合因素选择。

5 钻孔孔位允许偏差为 ± 5 cm, 钻孔偏斜率允许偏差为 $\pm 0.5\%$ 孔深, 同时应满足设计要求。

6 钻孔注浆应采取隔孔钻注。

7 帷幕注浆单孔注浆结束的条件为各孔段均达到设计终压并稳定 10 min, 且注浆量不小于设计注浆量的 80%、进浆速度为开始进浆速度的 1/4。

8 帷幕注浆检查孔的渗水量应小于设计允许值, 浆液固结体达到设计强度后方可开挖。

4.3.5 帷幕注浆通常采取前进式分段注浆施工工艺, 其施工工艺流程图可参照图 4.2.5—1。

4.3.6 帷幕注浆后效果检查可参照 4.2.9 条规定。

4.4 周边小导管预注浆

4.4.1 周边小导管预注浆主要是通过小导管对隧道开挖周边围岩进行注浆加固, 满足开挖需要。周边小导管预注浆主要适用于水压和水量较小、围岩有一定自稳能力的地层或作为全断面预注浆和帷幕注浆后的补充注浆。其注浆材料一般采取水泥浆、水泥—水玻璃双液浆等。

4.4.2 周边小导管注浆方案、参数设计宜按下列原则确定:

1 应根据地层裂隙状态、地下水情况、加固范围、浆液扩散半径和对注浆效果的要求等综合分析确定注浆孔数及布孔位置。

2 注浆孔一般沿开挖工作面周边轮廓线钻设, 外插角 $10^\circ \sim 15^\circ$, 钻孔深度应视具体情况合理确定, 宜为 3 ~ 6 m。

3 设计注浆压力一般为 0.5 ~ 1 MPa, 并根据施工实际情况合理确定。

4 周边小导管注浆宜按由下往上的顺序施作, 并采取有效

措施防止窜浆。

5 单孔注浆结束的条件为达到设计终压，且注浆量不小于设计注浆量的 80%。

6 周边小导管预注浆后浆液固结体达到设计强度后方可开挖。

4.4.3 周边小导管预注浆工艺宜采用全孔一次性注浆工艺，其工艺流程见图 4.4.3。

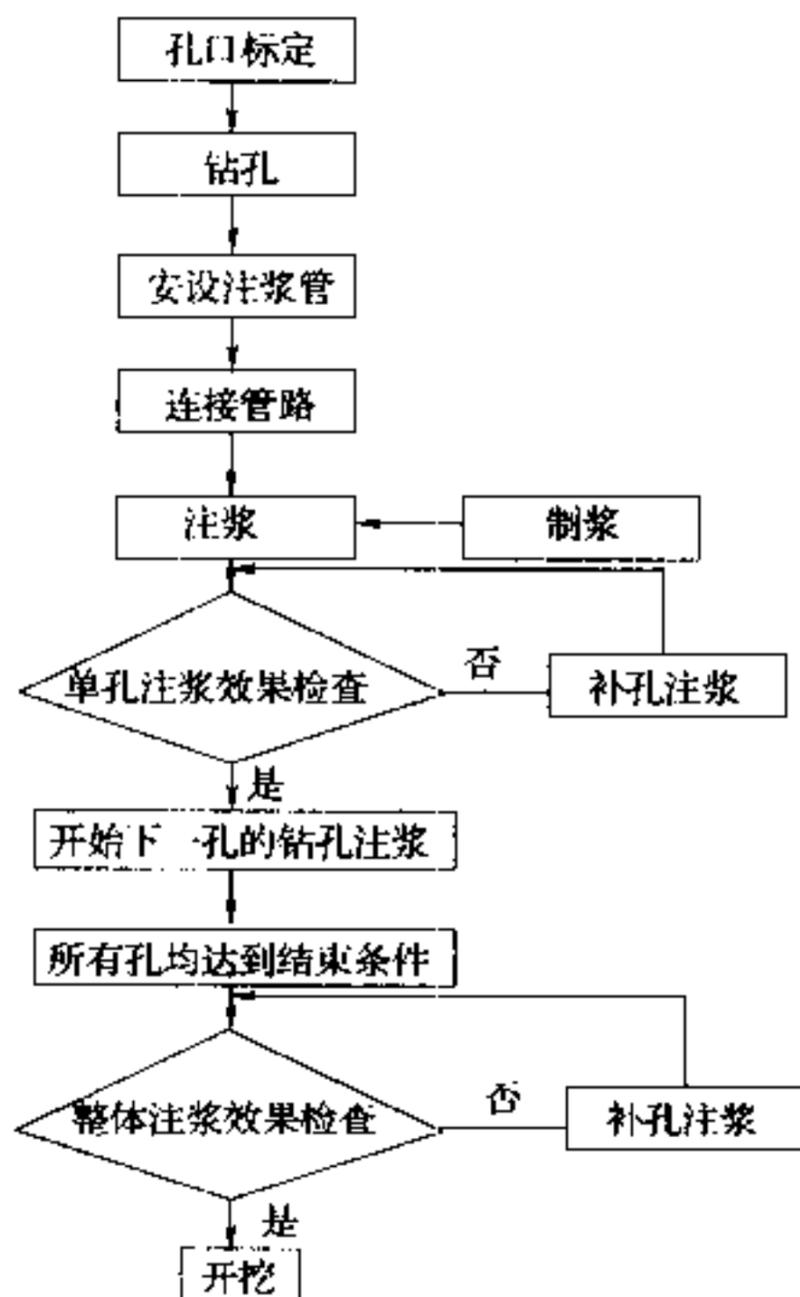


图 4.4.3 周边小导管预注浆工艺流程图

4.4.4 周边小导管宜采用注浆花管，管径宜为 32 ~ 50 cm，管的间距宜为 0.2 ~ 0.4 m，可采用风动凿岩机顶入。

4.4.5 周边小导管预注浆后，必须在分析资料的基础上进行注

浆效果检查，当未达到设计要求时，必须进行补充注浆。

4.5 径向注浆

4.5.1 当初期支护出现大面积渗漏水或支护结构变形较大时，应采用径向注浆进行堵水加固。

4.5.2 径向注浆材料宜选用耐久性好、强度高，以及无收缩性和无污染的水泥基材料，并尽量采用高浓度浆液。

4.5.3 径向注浆施工工艺流程见图 4.5.3。

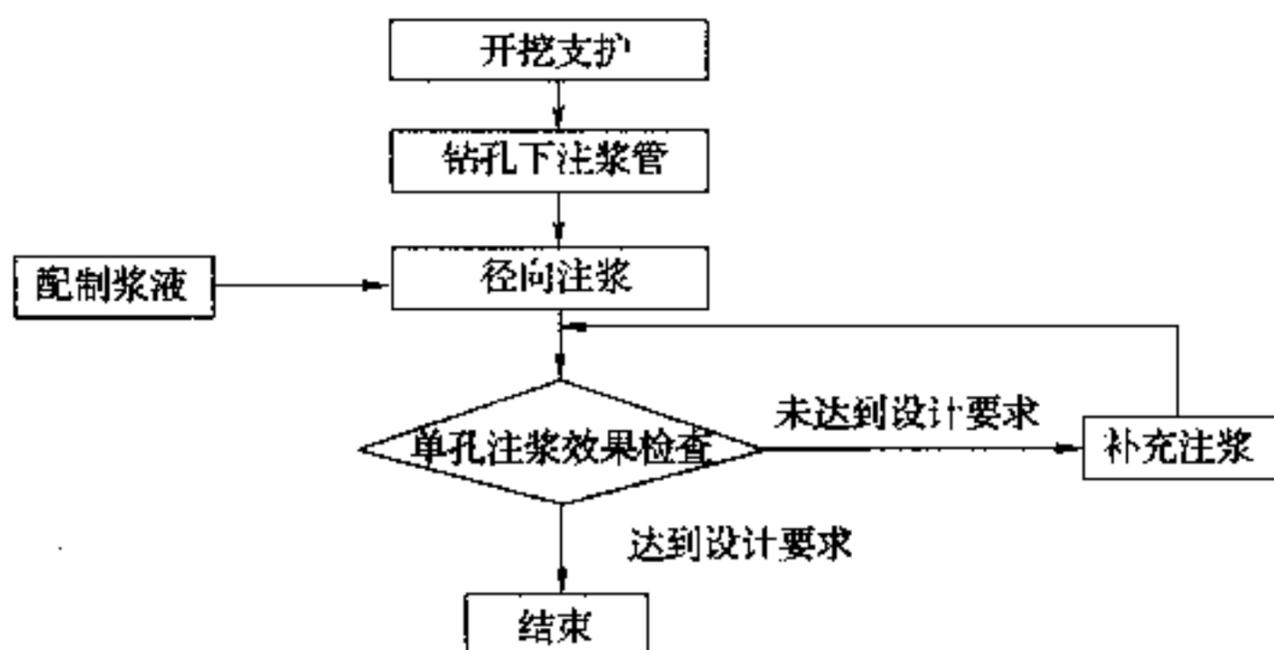


图 4.5.3 径向注浆施工工艺流程图

4.5.4 径向注浆参数可按表 4.5.4 采用。现场注浆施工中应根据地层特点，不断地进行注浆参数的调整和完善。

表 4.5.4 径向注浆参数

序号	参数名称	参 数 值
1	孔间距 (m)	0.2 ~ 0.4
2	孔深 (m)	5 ~ 6
3	注浆速度 (L/min)	10 ~ 50
4	注浆终压 (MPa)	1 ~ 1.5
5	单孔注浆量 (m ³)	按 $Q = \pi R^2 H n \alpha (1 + \beta)$ 式计算确定。式中： Q ——注浆量 (m ³)； R ——扩散半径 (m)； H —— 注浆段长度 (m)； n ——地层裂隙度或空隙率； α ——浆液填充率； β ——浆液损失率

4.5.5 径向注浆孔宜按梅花形布置，径向注浆管宜采用注浆花管，直径宜为 32 ~ 50 cm。

4.5.6 径向注浆采用全孔一次性注浆方式进行，并采取防止窜浆的措施。

4.5.7 注浆顺序宜采用由下往上、由少水处到多水处、隔孔跳排钻注。

4.5.8 注浆结束条件以定量定压相结合的原则进行控制。

4.5.9 径向注浆结束后应达到设计规定的允许渗漏水量要求。

4.6 回 填 注 浆

4.6.1 衬砌混凝土施工时应在拱部预留回填注浆孔。

4.6.2 回填注浆应重点对拱部防水板与衬砌间的空隙进行注浆充填。

4.6.3 回填注浆应在衬砌混凝土达到设计强度的 70% 后进行。

4.6.4 回填注浆终压不宜大于 0.2 MPa。

5 施工排水

5.1 一般规定

- 5.1.1 施工排水应根据设计要求并结合实际情况引水归槽，集中引排，设置排水系统，确保排水畅通，保障隧道施工安全。
- 5.1.2 施工中产生的废水，应经处理达标后排放。
- 5.1.3 一侧水沟施工时，应设横向截水沟将水汇入另一侧的排水沟，不应阻塞隧底水流。

5.2 顺坡排水

- 5.2.1 洞内顺坡排水时，应在隧道单侧或双侧设排水沟，排水沟大小依隧道坡度及涌水量确定。
- 5.2.2 洞内顺坡排水水沟断面及坡度应能满足隧道内渗漏水和施工废水的排出需要，排水沟应经常清理以防堵塞。
- 5.2.3 施工时临时排水沟的设置应与永久排水沟统筹考虑。
- 5.2.4 在膨胀岩、土质地层、围岩松软地段，可根据需要铺砌水沟或用管槽排水。
- 5.2.5 仰拱、底板混凝土浇筑前应将基底虚渣、杂物、积水等清除干净；施作仰拱时应在作业区前端设置临时集水井，并妥善解决排水管路跨基坑问题。
- 5.2.6 底板坡面应平顺，浇筑底板混凝土应考虑作业期间的基坑排水，确保排水畅通。

5.3 反坡排水

- 5.3.1 洞内反坡排水可根据距离、坡度、水量和设备情况布置

管路、水仓和泵站，一次或分段接力排出洞外。

5.3.2 设置隧道及辅助坑道的排水泵站时，主排水泵站和辅设排水泵站位置、排水能力，集水坑的有效容积应符合设计规定。

5.3.3 长大隧道在地下水发育地段进行反坡施工（包括斜井和竖井施工）时，反坡排水系统应具有两个独立的供电系统。

5.3.4 反坡排水时，配备抽水机的抽水能力应大于预测最大涌水量的20%以上，并应有足够数量的备用抽水设备，同时满足施工要求。

5.3.5 洞内反坡排水应采用机械抽水，主要有下列两种方式：

1 隧道较短、线路坡度较缓时，分段开挖反坡侧沟，在侧沟每一分段上设一集水坑，用抽水机将水排出洞外。

2 隧道较长、涌水量较大时，开挖面的积水宜通过小型水泵抽到最近的集水坑内，再用抽水机从集水坑通过水管直接或分段将水排出洞外。

5.3.6 反坡排水时，应根据施工中的变化及时调整排水能力。

5.4 钻孔排水

5.4.1 采用钻孔排水前，应对工程地质和水文地质作详细的调查分析，必要时进行超前探测，判断地下水流方向，从而确定钻孔位置、方向、孔数和钻进深度。

5.4.2 钻孔排水施工时，应采取下列安全预防措施：

1 非钻孔施工人员必须撤出。

2 当隧道向下坡开挖时，应测算水量、水压、水的流速、泥沙含量等，备足抽水设备。

3 孔口应预先埋管设阀，控制排水量，防止钻孔时承压水冲击及淹没坑道等灾害发生。

4 钻孔至预期深度尚未出水时，可会同设计部门进一步进行地质和水文的勘测工作，重新判定地下水情况。

5.5 辅助坑道排水

5.5.1 辅助坑道口截水、排水系统和防冲刷设施，应在辅助坑道施工前按设计要求尽早完成。辅助坑道洞门应尽早施作。

5.5.2 采用泄水洞排水应符合下列要求：

1 根据水源方向、位置、流量、流速、含泥量的大小，选择泄水洞的位置、方向、断面形式、大小和坡度，并确保排水通畅，防止泄水洞淤塞。

2 拦截地下水时，泄水洞应设置在地下水流方向的上游；疏干地层时，泄水洞高程应低于隧道高程，以利降低地下水位。

3 永久泄水洞应施作衬砌，在泄水洞衬砌上留有足够的泄水孔以引入地下水，必要时，可增加导坑或导水管将正洞的水引入泄水洞排出。

5.5.3 应充分利用横洞或平行导坑降低正洞水位，使正洞水流通过横洞或平行导坑引出洞外。横洞和平行导坑排水应满足下列要求：

1 横洞和平行导坑内应设排水沟，其过水断面、坡度应满足隧道正洞排水的要求。

2 横洞底部应有不小于 3‰ 的横向排水坡度；平行导坑纵向坡度应与正洞一致，其底部高程应较隧道底面低 0.2 ~ 0.6 m。

3 当隧道正洞为反坡时，平行导坑应分段设集水坑排水。排水设备的能力应大于隧道正洞和平行导坑涌水量之和。

5.5.4 斜井排水应符合下列要求：

1 斜井掘进排水，宜采用边掘边排的方法。

2 当斜井单点涌水量大于 50 m³/h 时，应采取注浆等措施进行封堵。

3 斜井宜在井底处设立中心水仓，高差在 100 m 以上的斜井中部可设置固定水仓，作为斜井施工排水的中转站。斜井排水宜采取分段截排水的措施，将作业面的积水采用水泵吸到中心集

水仓，中心集水仓中的水利用水泵转排到固定水仓，然后再从固定水仓排出井外。固定水仓设置的位置不得影响井内运输和安全。当斜井中部未设固定水仓，则作业面的积水采用水泵直接排至井外。

4 抽排水设备应根据排水需要，选用体积小、移动及维修方便的水泵。

5 斜井的两侧应设置排水沟，侧沟中的水可截至积水坑后排出。

5.5.5 竖井排水应符合下列要求：

1 竖井凿井期间的排水方案应根据竖井的水文地质资料、井身深度及各施工阶段井身涌水量大小等因素确定。

2 当竖井单点涌水量大于 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 时，应采取注浆等措施进行封堵。

3 竖井宜在井底设置固定水仓（或集水坑），用抽水设备将水抽出井外，固定水仓（或集水坑）设置的位置不得影响井内运输和安全。

4 竖井井口应作好外围防水工作，可设置截水沟和排水沟，防止地表水流入。

5.6 特殊洞室防排水

5.6.1 特殊洞室应根据使用要求采取适当的防排水措施。

5.6.2 特殊洞室排水系统（泵站、水仓、管道、排水沟等）的设置，应根据隧道和特殊洞室的涌水量、施工组织安排、使用期限及便利施工等因素确定。

5.6.3 特殊洞室施工前，应查明附近地表水源及汇水情况，掌握历年降水量和最高洪水位资料，并结合具体情况做好洞顶、坑道口、车场的截水与排水系统，必要时应设置防洪及地表防渗设施。

5.6.4 特殊洞室穿越有突水可能或地下水发育地段前应进行超

前探水，超前探测距离不宜小于 30 m。

5.6.5 变电洞室应采取防水、防潮措施，洞顶、洞壁应无湿渍。

5.6.6 其他洞室应采取防水措施，洞顶、洞壁应不渗不漏。

6 降水施工

6.1 一般规定

- 6.1.1 铁路隧道内涌水或地下水位较高时，可采用降水法进行处理。
- 6.1.2 降水施工应根据降水的要求，选择降水方法、降水设备，编制降水施工方案。
- 6.1.3 降水过程中，应设水位观测井，及时测定动水位，调整降水参数，保证降水效果。
- 6.1.4 为确保降水运行正常和开挖安全，必须采用双电源，并安装自动切换装置。
- 6.1.5 应重视降水影响范围内地表环境的保护，建立监控量测体系进行降水监测。

6.2 降水施工

6.2.1 洞内轻型井点降水施工应遵循下列原则：

- 1 宜根据现场条件及地层情况用钻机钻孔或用喷射成孔进行井点埋设。
- 2 井点间距宜为 0.8 ~ 1.6 m。
- 3 滤管顶端应埋设在开挖基底面以下 1.0 ~ 1.2 m 或根据计算确定，每组井点埋设深度必须保持一致。
- 4 井点管的方向可竖直或根据具体情况倾斜 50° ~ 55° 。
- 5 钻孔深度必须比滤管底端深 0.5 m，孔壁与井管之间应及时用粗砂填实。孔口下至少 0.5 m 的深度内应用黏土填塞密实，以防漏气。

6 当遇到黏土层时，应防止产生砂滤层脱空现象。

7 井点埋设后，应进行试验，埋管合格后再装上弯联管，并与总管连接。

8 总管与泵的位置应按设计安装，各部连接应严密，防止漏气。

9 井点系统安装完毕后，应进行试验性运转，检查系统的真空度。

10 正式运转后，应根据泥砂含量及降水速度判断排水管开启的大小及泵的流量，并及时进行调整。

11 抽水过程中，应经常检查管路有无漏气及“死井”，如有“死井”可进行疏通或重新埋设井点。

12 洞内轻型井点降水后水位线应低于隧底开挖线 0.5 ~ 1.0 m。

13 洞内轻型井点降水应视水量大小确定二次衬砌施作后或铺设防水板前拆除降水管。

6.2.2 管井降水施工应遵循下列原则：

1 钻孔钻进中应保持泥浆比重在 1.1 ~ 1.5，尽量采用地层自然造浆，必要时应采用人工造浆。终孔后应彻底清孔，直到返回泥浆内不含泥块，泥浆的比重控制在 1.05 左右，返出的泥浆含砂量小于 8% 后可终孔提钻，成孔孔径不小于 $\phi 650$ mm，钻孔垂直度允许偏差为 $\pm 1\%$ 孔深。

2 安装井管时应根据设计井深，先将井管排列、组合，沉放井管时所有深井的底部应按高程控制，并且保持井口高程一致。井管应平稳入孔，每节井管的两端口要找平，确保焊接垂直，完整无隙，保证焊接强度，避免脱落。

3 填砾粒径必须按抽水含水层的颗粒分析资料确定。填砾进入现场后，应经筛分试验确定是否合格。降水井的填砾施工均应按设计要求进行。

4 为了防止上部土层中的水沿砾料进入抽水井内，宜在降

压井填砾顶部填一定厚度的黏土止水，其上再用黏土填实，一直填到地面。

5 洗井宜采用活塞空压机联合洗井的方法。

6 泵体安装完毕应进行试抽水，测定抽水井和观测井的水位变化。水位恢复后再进行试验性抽水。

6.2.3 基坑降水时，对于疏干井应给予充分的预抽水时间（不少于20 d），尽量多抽水，将水位控制在基坑开挖面以下1~3 m；对于减压井，为减少降水对周围环境的影响，应按需降水，水位控制应按照稳定性分析中的基坑开挖深度和承压安全水位埋深表进行。

6.2.4 降水运行期间，观测井应每天至少监测一次；减压井在条件许可的情况下，可采用自动监测，便于及时了解坑外的水位变化情况。

6.2.5 地下水位观测井的位置和间距应按设计要求布置，可用井点管作为观测井；在开始抽水时，每隔2 h观测一次，以了解整个系统的降水机能及地下水位下降规律；当地下水位降到预期高程前，可每天观测2次；当地下水位降到预期高程后，可几天或一周观测一次，直至降水结束；但当遇到下雨或有异常情况时，应加密观测。

6.2.6 为了通过降水期间观测地层中孔隙水压力的变化，预计地基强度、变形以及边坡的稳定性应设置孔隙水压力测点，孔隙水压力应每天观测一次；当有异常情况时，如基坑施工过程中发现边坡裂缝或基坑周围发生较大沉陷、产生裂缝等，必须加密观测，每天不应少于2次。

6.2.7 流量观测宜采用流量计或堰箱。若发现流量过小且水位降低缓慢甚至降不下去时，可考虑改用流量较大的水泵，若是流量较大而水位降低较快则可改用小流量泵，以免现有水泵无水发热，流量观测次数应与地下水位观测同步。

6.2.8 应对降水影响范围以内的建筑物和地下管线进行沉降观测；沉降观测的基准点应设置在井点影响范围之外；沉降观测可

用水准仪和分层沉降仪进行，遇到降水较深且土层较多时，可增设分层标，以便了解各土层的沉降量，从而校核沉降计算；沉降观测次数应每天一次；异常情况下应加密观测，每天不应少于两次。

7 衬砌背后排水系统

7.1 一般规定

- 7.1.1 初期支护施作前应对集中出水处进行预处理。
- 7.1.2 初期支护表面应无明显渗漏水，否则应进行渗漏水处理。
- 7.1.3 衬砌背后排水系统应根据初期支护后洞内出水情况按设计要求施作，排水系统应连接牢固、水流通畅，通向洞内排水沟的排水盲管应有足够的排水坡度。
- 7.1.4 衬砌背后排水系统应尽可能满足可维护的需要。

7.2 材料要求

- 7.2.1 排水盲管的管材、直径应符合设计要求，透水孔的规格、间距应符合有关标准的规定。
- 7.2.2 环向盲管宜采用外包土工布与不易锈蚀的螺旋钢丝构成的软式透水管。环向盲管应具有一定的弹性和良好的透水性，而且能承受不小于 0.5 MPa 的压力。
- 7.2.3 纵向排水盲管宜采用外包加强土工布的渗水盲管，其管径由围岩渗漏水量的大小决定。
- 7.2.4 横向排水盲管宜采用 PVC 管或渗水盲管，管径应符合设计要求。

7.3 基面处理

- 7.3.1 喷射混凝土作业前，岩面如有渗漏水应做下列处理。
 - 1 对于大股涌水宜采用注浆堵水后再喷射混凝土，一般情况下可顺涌水出露点打孔，压注速凝浆液（如水泥—水玻璃浆

液) 进行封堵。

2 对小股水或裂隙渗漏水, 视具体情况进行岩面注浆(布孔宜密, 钻孔宜浅) 或采用小导管沿隧道周边环形注浆进行封堵。

3 对集中出水点可顺水路(节理、裂隙) 设置排水半管或线形排水板, 将水引到隧底水沟或纵向排水管, 其施工示意可参照图 7.3.1。

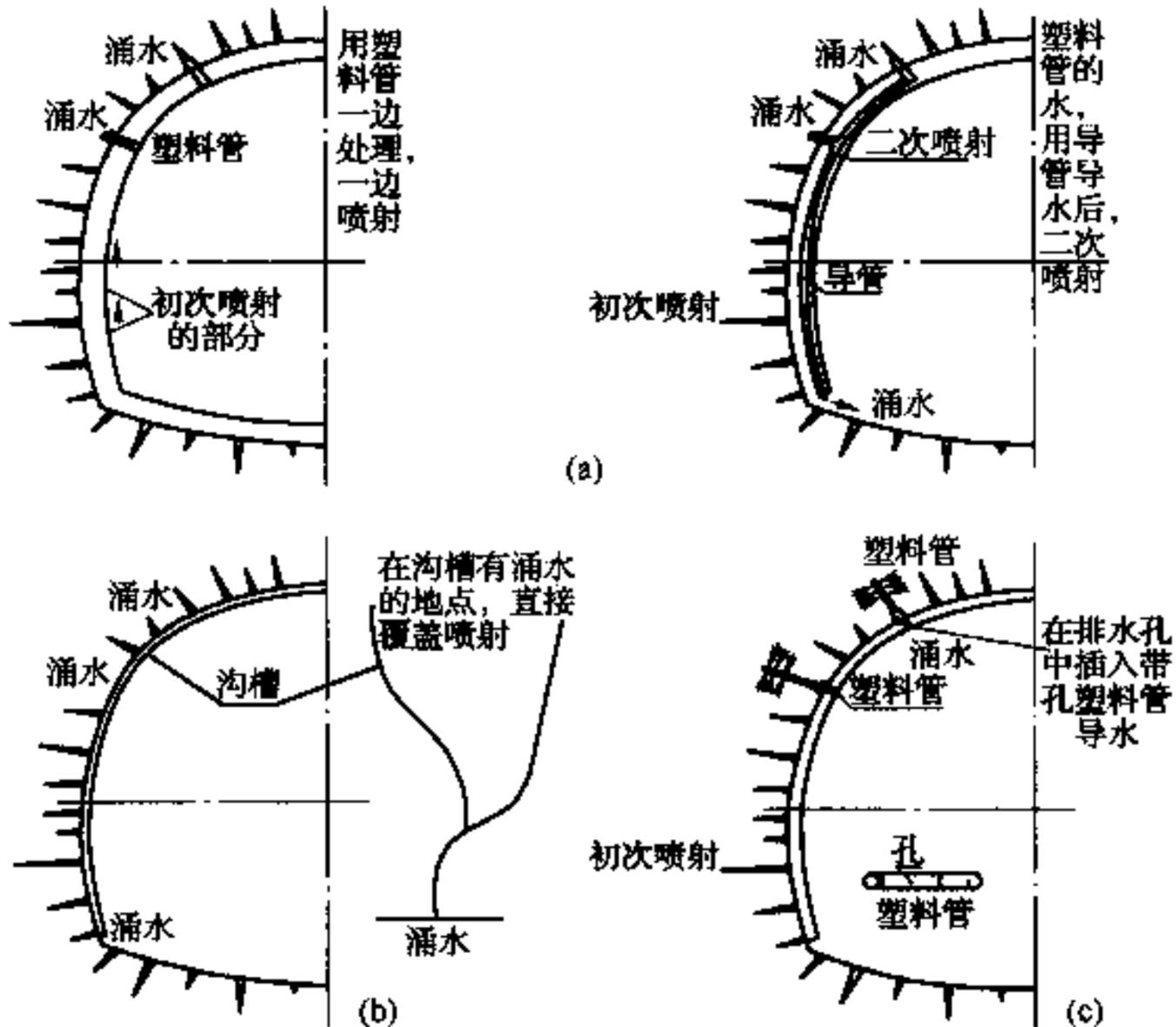


图 7.3.1 有涌水、渗水岩面喷射前的处理图

7.3.2 在富水断层破碎地段施作初期支护前, 应处理好围岩的涌水和渗漏水, 预防塌方的发生。

1 在少量集中渗水、淋水地段, 在将要通过的透水层部位, 可采用排水孔法或排水管法, 布置一定数量的排水孔或埋设排水管, 将渗、淋水集中到排水孔(管)内导出; 也可采用金属网法, 通过在钢筋网背后铺过滤层或隔水层, 将其固定在围岩上,

通过软管排水，随即喷射混凝土。

2 当涌水较大，支护时对主要涌水口可暂不进行封堵支护，先行引排，施作衬砌后再对涌水封堵。

7.3.3 基面出现股状涌水时，宜采用局部注浆、围截注浆法进行封堵，防止大量涌水夹带泥砂淘蚀地层，造成围岩失稳；封堵后的剩余水量可用排水盲管集中将水引入洞内排水沟排出。

7.4 排水系统施工工艺

7.4.1 环向、纵向排水盲管施工主要有钻定位孔、安装锚栓、铺设盲管、安装连接等环节，其施工流程见图 7.4.1。

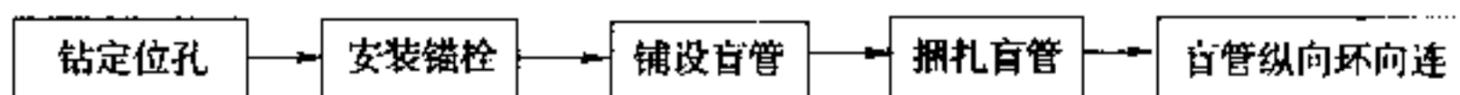


图 7.4.1 环向、纵向排水盲管施工工艺流程图

7.4.2 环向排水盲管沿纵向设置的间距应符合设计要求，并宜根据洞内渗、漏水的实际情况，在地下水较大的地段加密设置；在无渗漏水地段，宜根据设计每隔 5 ~ 10 m，在喷混凝土表面安装环向排水盲管，使隧道在使用期内，因地下水的迁移变化而产生的渗漏水能顺利排出洞外。

7.4.3 环向排水盲管布设时沿环向应尽量圆顺，尤其在拱顶部位不得起伏不平，应尽可能走基面的低凹处和有出水点的地方；环向排水盲管安装时应先用钢卡等固定，使其紧贴渗水基面，尽量减小地下水渗入到排水盲管的阻力；环向排水盲管应采取适当的保护措施，防止泥砂、喷混凝土料或杂物进入排水盲管，堵塞管道。

7.4.4 纵向排水盲管宜用土工布等渗水材料包裹，使在纵向盲管位置的渗水尽量流入管内；纵向排水盲管的管径应由围岩渗漏水量的大小决定，盲管中间不得有凹陷、扭曲等，以防泥砂淤积堵塞；纵向排水盲管应按设计规定的排水坡度安装，当设计无要求时，其坡度不宜小于 2‰。

7.4.5 横向排水盲管通常采用硬质塑料管，其上部应有一定的缓冲层；横向排水盲管的设置间距宜为 5 ~ 15 m 或根据水量适当调整，坡度宜为 2%；横向排水盲管施工时应先在纵向排水盲管上预留接口，然后在仰拱及填充混凝土施工前接长至侧沟或中心排水管（沟）。

7.4.6 纵向排水盲管、环向排水盲管、横向排水盲管应用变径三通连为一体，形成完整的排水系统，确保其排水通畅。

7.4.7 环、纵向排水盲管可按下列步骤与方法施作：

1 按规定划线，划线时注意盲管尽可能走基面的低凹处和有出水点的地方，以使盲管位置准确合理。

2 钻定位孔，定位孔间距宜为 30 ~ 50 cm，在凹凸不平处应适当增加固定点。

3 将膨胀螺栓打入定位孔。

4 排水盲管布置时应尽量顺直，并与初期支护表面密贴，空隙不得大于 5 cm，盲管与喷混凝土基面脱开的长度不得大于 10 cm，不得有扭曲现象，尽量减小地下水渗入排水盲管的阻力。

5 排水盲管应用扎丝捆好并用钢卡固定在膨胀螺栓上。

6 环、纵向排水盲管可采用三通相连，施工中三通管预留位置应准确，且接头牢固，并符合设计要求。

7 排水盲管应固定牢固，并采取适当的保护措施，防止泥砂、喷混凝土料或杂物进入。

8 对集中出水点，应铺设单根排水盲管，并用速凝砂浆将周围封堵，使地下水从管中集中引出。

9 当隧道初期支护表面有大面积渗漏水，可设双根或多根排水盲管或塑料排水板，将水引入纵向排水盲管。

7.4.8 排水板宜按下列步骤与方法铺设：

1 铺设排水板前，应先清理铺设基面，必要时应用喷混凝土找平，使基面没有明显凹凸处。

2 铺设排水板前，应先把土工布作为缓冲层铺在已经完成

的隧道初期支护上，铺设固定土工布的钢钉和垫片不应存在明显突起，以免影响排水板的铺设。

3 选用的排水板的长度宜与隧道设防的周边长度一致，避免出现搭接。

4 在排水板铺设过程中，应有专人进行检查，不要让杂物、岩土等进入排水板的正面空间，确保排水板的空间畅通，发现排水板有破损处应及时修补，以免留下渗漏水隐患。

5 捆扎钢筋时应尽量避免损伤排水板，二衬模筑混凝土应有较好的和易性，使其能充填密实排水板的凹壳，将混凝土与防水板形成一体。

7.4.9 在隧道埋深大、节理发育、地下水丰富的情况下，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，形成暗埋、永久式排水通道系统，将水引出集中处理。暗埋排水半管安装见图 7.4.9。

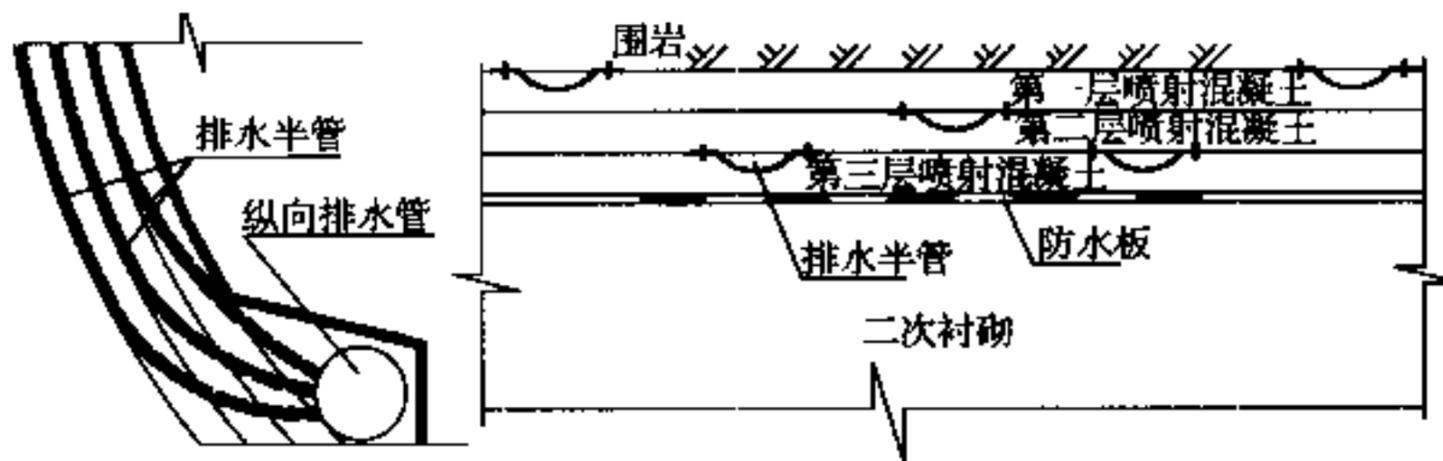


图 7.4.9 暗埋排水半管安装示意图

7.4.10 排水半管埋设的施工工艺应符合下列规定：

1 当隧道开挖后在围岩表面有线流或股流时可设排水半管，在排水半管周围喷射厚度为 1~2 cm 水泥砂浆后，再进行喷射混凝土作业。

2 隧道同一断面只能铺设一道排水半管，避免造成初期支护出现薄弱断面或薄弱带。

3 排水半管铺设时，利用工作平台，根据裂缝形状或打孔

位置，排水半管紧贴岩面，用水泥钉每隔 30 cm 对称钉牢，然后喷射速凝水泥砂浆封固。

4 施工中必须严格控制各喷层厚度，保证排水半管埋设质量，避免凿槽或返工。各层排水半管铺设或各喷层的间歇时间必须在前一层喷射混凝土终凝后进行。

5 必要时在无渗漏水地段，也可每隔一定间距安设排水半管，使隧道在使用期内因地下水的迁移变化而产生的渗漏水能顺利排出洞外。

8 防水层防水

8.1 一般规定

8.1.1 采用复合式衬砌的隧道，在初期支护与二次衬砌之间宜用分离式防水层。分离式防水层应由防水板和缓冲层组成。防水板和缓冲层的选材、铺设工艺和质量标准均应符合设计要求，并考虑隧道的工程地质、水文地质和环境条件等综合因素。

8.1.2 防水板铺设应超前二次衬砌施工 1~2 个衬砌段长度，并与开挖工作面保持一定的安全距离，铺设完防水板的地段应采用可靠的保护措施防止损伤防水板。

8.2 材料要求

8.2.1 缓冲层材料宜采用土工布，选用的土工布应符合下列要求：

- 1 具有一定的厚度，其单位面积质量不宜小于 300 g/m^2 。
- 2 具有良好的导水性。
- 3 技术性能要求见表 8.2.1。

表 8.2.1 土工布主要技术性能

项 目	单 位	技术指标	备 注
断裂能力	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$	≥ 10 (纵横向)	规格按单位面积质量，实际规格介于表中相临规格之间时，采用内值法计算相应考核指标。 $K=1.0 \sim 9.9$
断裂延伸率	%	≥ 20 (纵横向)	
CBR 顶破强力	kN	≥ 2.1	
垂直渗透系数	$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	$K \times (10^{-1} \sim 10^{-3})$	
撕破强力	kN	≥ 0.33 (纵横向)	
化学稳定性		强度下降不小于 20%	
生物稳定性		强度下降不小于 5%	
可燃性等级		V 或 VI	

4 具有适应初期支护由于荷载或温度变化引起的变形能力。

5 具有良好的化学稳定性和耐久性，能抵抗地下水或混凝土、水泥砂浆析出水的侵蚀。

8.2.2 防水板宜选用高分子材料，在规格确定的长度内不允许有接头；防水板表面应平整、边缘整齐，无裂纹、机械损伤、折痕、孔洞、气泡及异常粘着部分等影响使用的缺陷；防水板除特殊要求外，外观颜色应为材料本色，不得添加颜料和填料；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%。防水板的规格尺寸及允许偏差见表8.2.2—1。防水板应具备耐刺穿性好、柔性好、耐久性好等特点，并具备一定的阻燃性。其物理力学性能指标见表8.2.2—2。

表 8.2.2—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	—

表 8.2.2—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/24h)	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
		收缩	≤6	≤6
7	热空气老化 (80 °C × 168h)	断裂拉伸强度 (MPa)	≥16	≥14
		扯断伸长率 (%)	≥600	≥550

续上表

序号	项 目		指 标			
			EVA	ECB	PE	
8	耐碱性 [Ca(OH) ₂ 饱和 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)	防水板厚度 (mm)	1.5	300	300	300
			2.0	400	400	400
			2.5	500	500	500
			3.0	600	600	600

8.2.3 热塑性垫圈应采用与防水板相熔的材质。

8.3 基面处理

8.3.1 在铺设防水层之前应对基面（初期支护表面）的渗漏水，外露的突出物及表面凸凹不平处进行检查处理。

8.3.2 渗漏水的处理宜采用注浆堵水或排水盲管、排水板将水引入侧沟，保持基面无明显渗漏水。

8.3.3 对于基面外露的锚杆头，钢筋头、螺杆钉头等突出物应予割除。

8.3.4 基面应平整，无空鼓、裂缝、松酥，表面平整度应符合(8.3.4)式要求，否则应进行喷射混凝土或抹水泥砂浆找平处理。

$$D/L \leq 1/10 \quad (8.3.4)$$

式中 L ——基面相邻两凸面间的距离 ($L \leq 1 \text{ m}$)；

D ——基面相邻两凸面间凹进去的深度。

8.4 铺设工艺

8.4.1 防水板铺设包括铺设准备、缓冲层铺设、防水板铺设、

防水板焊接等环节。其施工工艺流程见图 8.4.1。

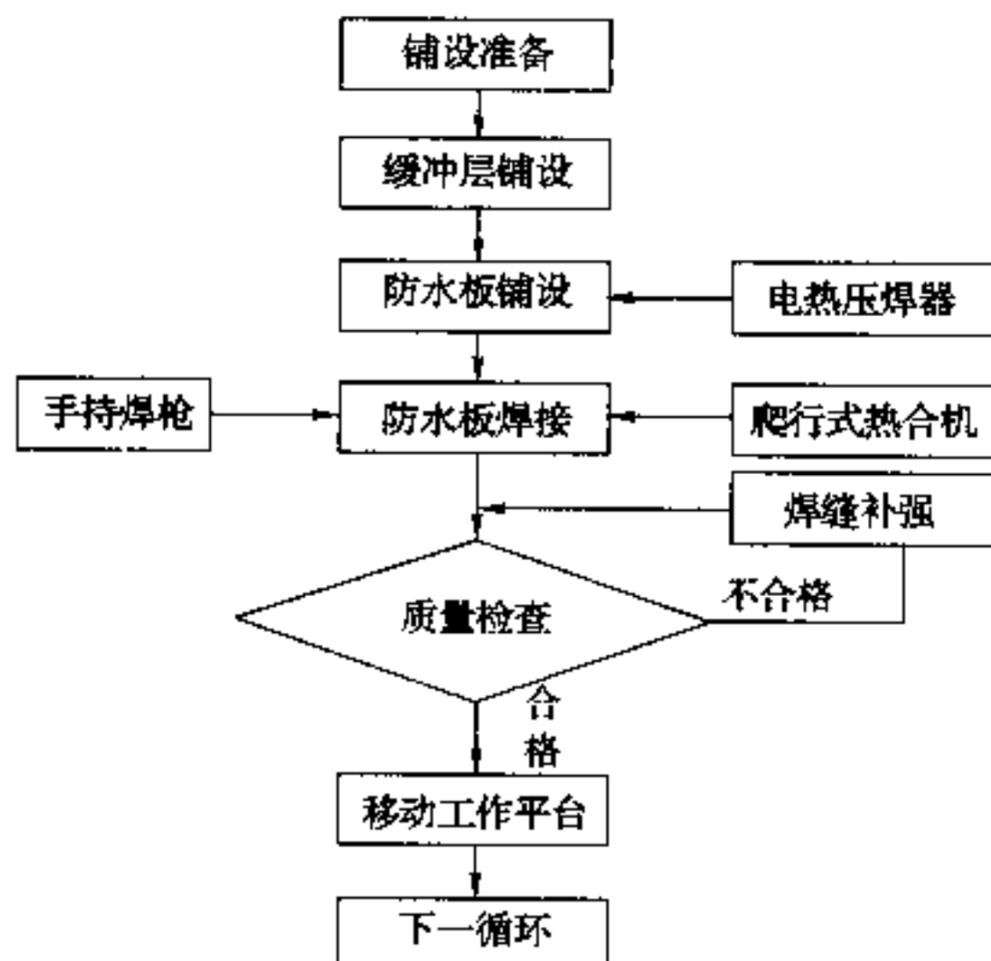


图 8.4.1 防水板施工工艺流程图

8.4.2 铺设准备工作主要包括下列内容：

- 1 洞外检验防水板及缓冲层材料质量。
- 2 对检验合格的防水板，用特种铅笔画出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。
- 3 铺设防水板的专用台车就位。
- 4 缓冲层（土工布）和防水板，放在台车的卷盘上。
- 5 在铺设基面标出拱顶线，画出每一环隧道中线及垂直隧道中线的横断面线。

8.4.3 缓冲层铺设时应满足下列要求：

- 1 铺设缓冲层时先在隧道拱顶部位标出纵向中线，并根据基面凹凸情况留足富余量，宜由拱部向两侧边墙铺设。
- 2 用射钉或膨胀螺栓将热塑性垫圈和缓冲层平顺地固定在基面上（图 8.4.3），固定点间距宜为拱部 0.5 ~ 0.8 m、边墙 0.8 ~ 1.0 m、底部 1 ~ 1.5 m，呈梅花形排列，基面凹凸较大处

应增加固定点，使缓冲层与基面密贴。

3 缓冲层接缝搭接宽度不应小于 5 cm。

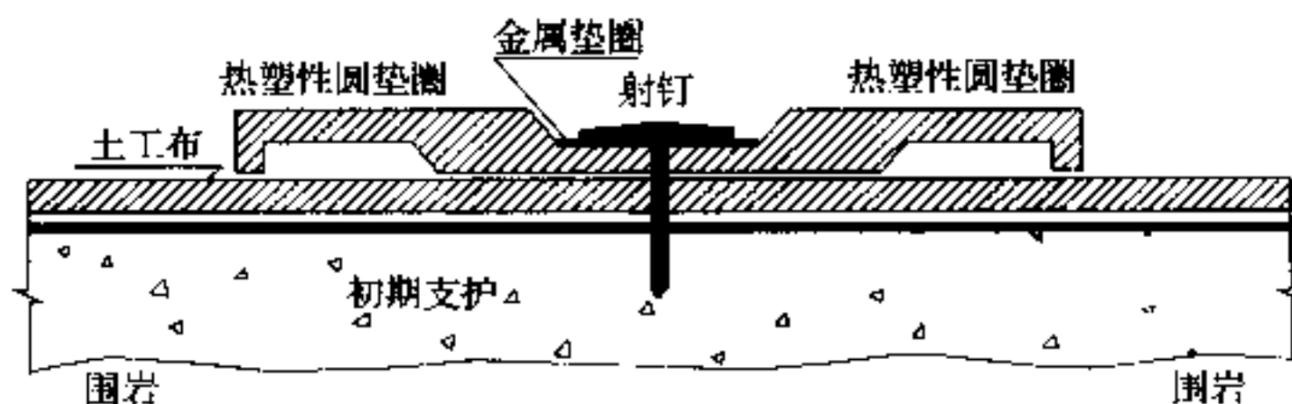


图 8.4.3 热塑性垫圈固定缓冲层示意图

8.4.4 防水板一般采用专用台车铺设，有条件时也可采用防水板自动铺设机铺设。专用台车应满足下列要求：

1 专用台车与衬砌模板台车的行走轨道应为同一轨道；轨道的中线和轨面高程允许误差应为 ± 10 mm。

2 台车前端应设有内轮廓检查钢架，并有整体移动（上下、左右）的微调机构。

3 台车上应配备能达到隧道周边任一部位的作业平台。

4 台车上应配备辐射状的防水板支撑系统。

5 台车上应配备提升（成卷）防水板的卷扬机和铺设防水板的设施。

6 台车上应设有激光（点）接收靶。

8.4.5 防水板与热塑性垫圈连接应采用电热压焊器热熔焊接，使防水板与热塑性垫圈融化粘结为一体；防水板的固定应松紧适度并留有余量，以保证混凝土浇筑后与初期支护表面密贴。防水板设置见图 8.4.5。

8.4.6 防水板应按下列要求铺设：

1 铺设前进行精确放样，进行试铺后确定防水板一环的尺寸，尽量减少接头。

2 采用从拱部向两侧边墙铺设，下部防水板应压住上部防水板，松紧应适度并留有余量，保证防水板全部面积均能抵到基

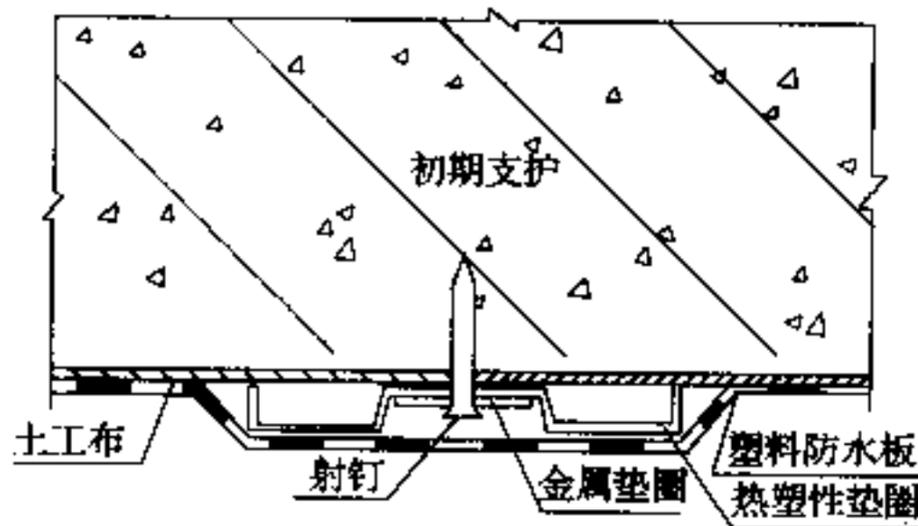


图 8.4.5 防水板设置图

面。

3 两幅防水板的搭接宽度不应小于 15 cm，分段铺设的防水板的边缘部位应预留至少 20 cm 的搭接余量，并对预留边缘部位进行有效的保护。

4 对热合机不易焊接的部位可采用手持焊枪焊接，并确保其质量。

8.4.7 隧道与避车洞或其他坑道相交处会出现曲线阳角，避车洞与后墙相交处会出现曲线阴角，隧道衬砌大小断面衔接时，堵头墙与衬砌会形成曲线阴角和阳角衔接。对阴、阳角处防水层铺设宜按图 8.4.7—1 施作。

1 阴角时防水层施作：防水板弯折前的搭接边 L 大于弯折后的焊贴边 I ，为使弯折后搭接平展，可在弯折前分成 n 段并于分段处剪成口宽为 $(L - I) / n$ 的三角形缺口，则弯折后缺口能平展闭合，达到平顺焊接防水板的目的（图 8.4.7—2）。

2 阳角时防水层施作：防水板弯折前的搭接边 I 小于弯折后的焊贴边 L ，为使弯折后搭接平展，可在弯折前分成 n 段并于分段处剪成一条缝，弯折后缝边张开成口宽为 $(L - I) / n$ 的三角形缺口，则防水板才得以平顺焊接（图 8.4.7—3）。

8.4.8 防水板焊接应符合下列要求：

1 焊接时，接缝处必须擦洗干净，且焊缝接头应平整，不

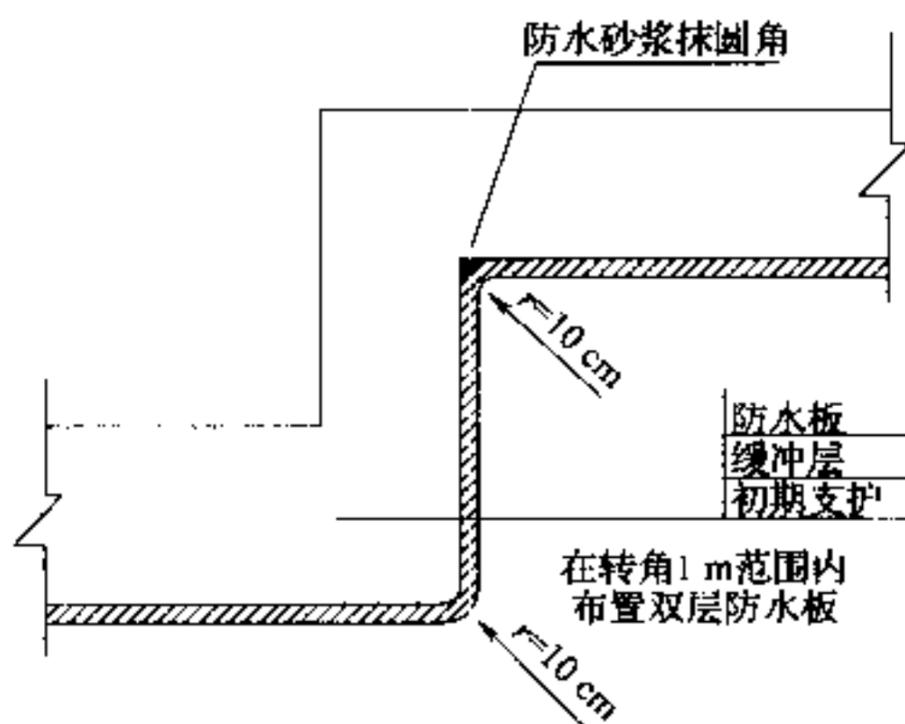


图 8.4.7—1 阴、阳角处防水层施作示意图

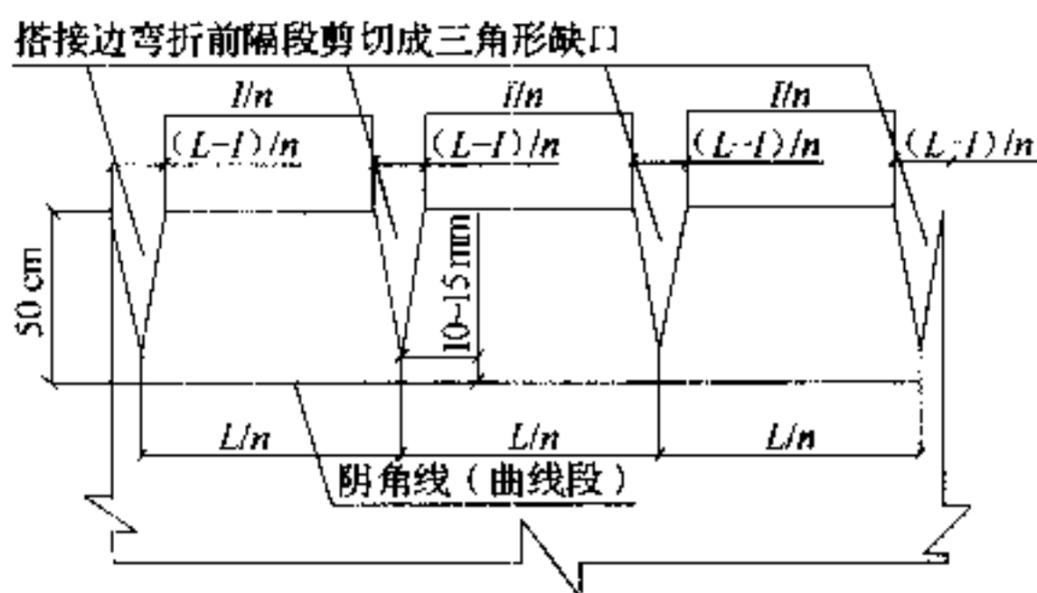


图 8.4.7—2 阴角处防水板搭接平面展示图

得有气泡褶皱及空隙。

2 防水板的焊接应采用双焊缝，以调温、调速热楔式自动爬行式热合机热熔焊接，细部处理或修补可采用手持焊枪焊接；自动爬行式热合机有“温度”和“速度”两个控制因素，焊楔温度高时，焊机行走速度应快；焊楔温度低时，焊机行走速度应慢；应由专业人员来负责防水板的焊接以保证焊缝质量。

3 开始焊接前，应在小块塑料片上试焊，以掌握焊接温度和焊接速度。

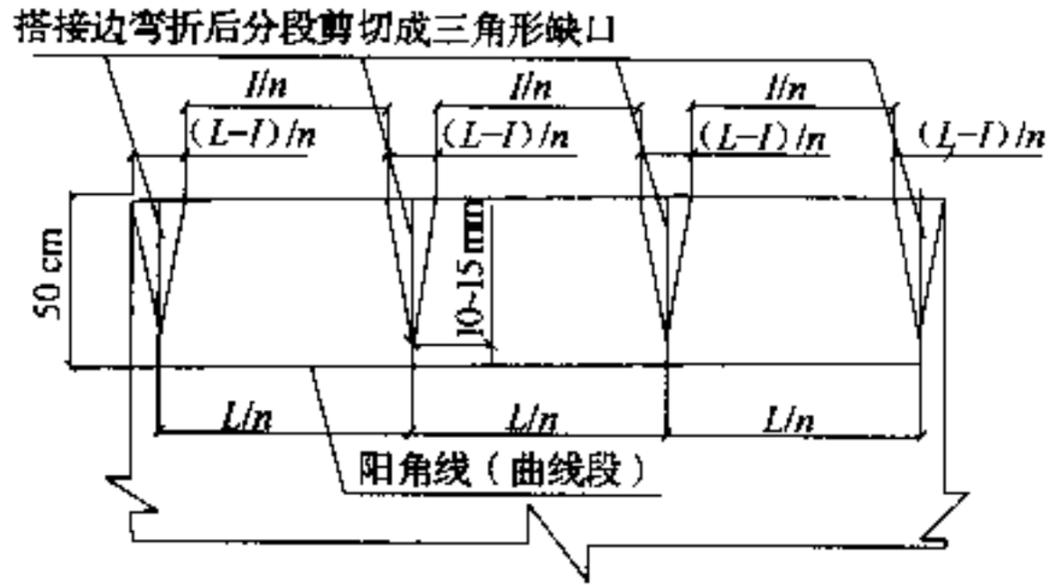


图 8.4.7—3 阳角处防水板搭接平面展示图

4 单条焊缝的有效焊接宽度不应小于 15 mm (图 8.4.8—1)。

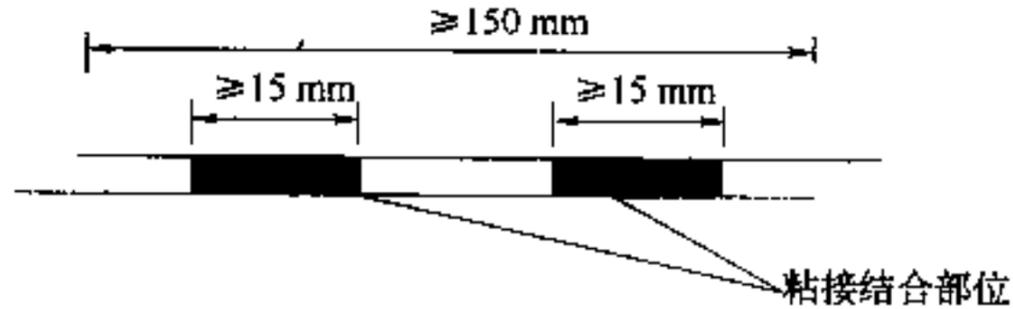


图 8.4.8—1 有效焊缝宽度

5 防水板搭接缝应与施工缝错开不小于 50 cm 的距离。

6 宜先将防水板在洞外地面连接成 6 m 宽的整幅，再拿到洞内铺挂，以减少在洞内的焊接量；洞内焊接时，应先将两幅防水板铺挂定位，端头各预留 20 cm，由一人在焊机前方约 50 cm 处将两端防水板扶正，另一人手握焊机，将焊机保持在离基面 5 ~ 10 cm 的空中，以试调好的恒定的速度向前行走，中途不能停顿，整条焊缝的焊接应一气呵成。

7 防水板纵向搭接与环向搭接处，除按正常施工外，应再覆盖一层同类材料的防水板材，用热熔焊接法焊接；环向搭接时，下层防水板应压住上层防水板。

8 多层防水板焊接时，搭接部位的焊缝必须错开，不得有三层以上的接缝重叠 (图 8.4.8—2)。

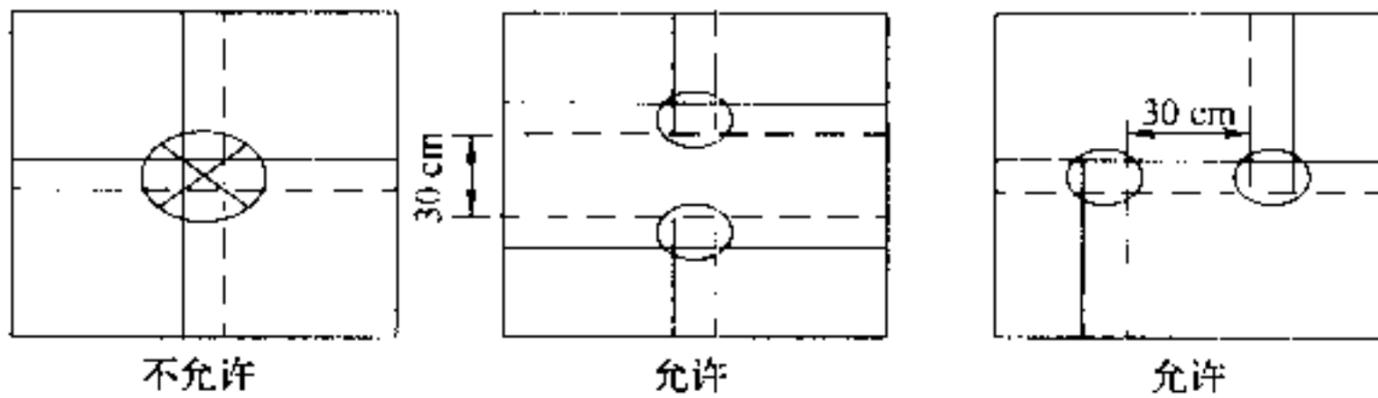


图 8.4.8—2 防水板搭接示意图

9 焊缝若有漏焊、假焊应予补焊，若有烤焦、焊穿处，以及外露的固定点，必须用塑料片覆盖焊接。

8.4.9 防水板的保护应符合下列要求：

- 1 已铺好防水板地段严禁用爆破法捡底或处理欠挖。
- 2 任何材料、工具应尽量远离已铺好防水板的地段堆放。
- 3 挡头板的支撑物在接触到防水板处必须加设衬垫。
- 4 绑扎钢筋、安装模板和衬砌台车就位时，应在钢筋保护层垫块外包土工布防止碰撞或刮破防水板。

5 钢筋焊接作业时，防水板要用阻燃材料进行覆盖，避免焊接火花损伤防水板。

6 浇筑混凝土时应避免混凝土直接冲击防水板，必要时可在混凝土输送泵出口处设置防护板。

7 捣固时，应避免振捣器与防水板直接接触。

8 对受到损伤的防水板，要在损伤处进行标志，并及时修补。

8.4.10 防水板的防火管理应符合下列规定：

1 防水板应保管在没有火气的地点，保管场所应有注意防火的标志并设置灭火器。

2 防水板施工作业中，应对火源及可燃物进行严格管理，火源和可燃物应分开。

3 当在已铺设防水板段附近进行钢筋焊接等明火作业时，应严格落实防火管理措施，明确防火负责人，安全员应现场监督。

4 防水板施工场所应有禁止吸烟的标志并设置灭火设备。

8.5 质量检测

8.5.1 防水板铺设质量宜采用下列方法检查：

1 目测检验：用手将已固定好的防水板上托或挤压，检查其与基面的密贴程度及预留量；检查防水板表面铺设质量（包括有无烤焦、焊穿、假焊和漏焊），尺量焊缝宽度和固定点间距是否符合设计要求，焊缝表面是否平整光滑、有无波形断面等。

2 充气检查：防水板搭接缝的焊接质量应按充气法检查（即密封性检查），将5号注射针与压力表相接，然后进行充气，当压力表达到规定压力（一般为0.25 MPa）时停止充气，保持10 min以上，若压力下降在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。检查采取随机抽样方法，环向焊缝每衬砌循环抽试2条，纵向焊缝每衬砌循环抽试1条。现场检测时，可根据需要抽取完整的环向或纵向焊缝进行检测，充气检测的长度不宜大于40 m。防水板焊缝检查见图8.5.1。

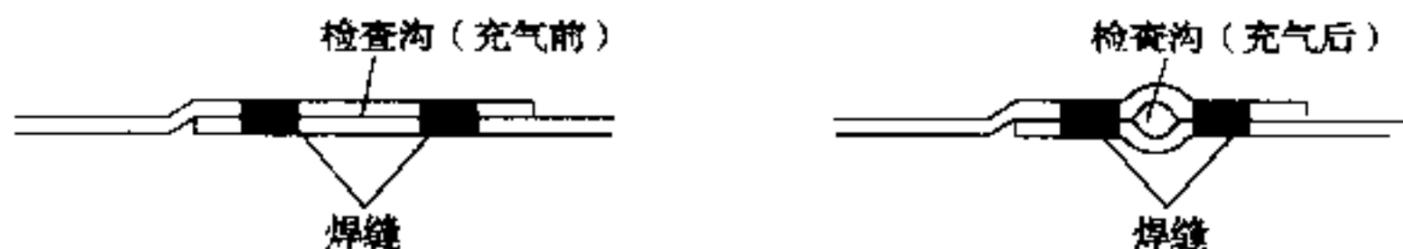


图 8.5.1 防水板焊缝检查示意图

3 对防水板补焊处可采用负压检查方法（即真空罩）进行检验，如焊缝密封性不合格应进行再次修补直到检测合格。

8.5.2 防水板手工焊缝可采用目测方法检查，即观察沿焊缝外边缘是否有溶浆均匀溢出，若有需进行机械检测；机械检测方法是用平口螺丝刀沿焊缝外边缘（没有溶浆均匀溢出的部位）稍用力，检查是否有虚焊、漏焊部位，若有漏点，应做好标记并及时修补。

8.5.3 防水板所有破损修补处都应进行质量检测。

8.6 明洞防水层防水

8.6.1 明洞防水层宜采用环向铺设，并应尽量减少防水层搭接的次数；必须设搭接缝时，应结合整个明洞施工工序将搭接处预留在易于施工的地方，且应与施工缝错开不小于 50 cm 的距离；路堑偏压式明洞，宜于一侧墙顶处设一道纵向搭接缝，其他形式明洞则不应留纵向搭接缝。

8.6.2 铺设防水层时，如果明洞外表面不够平顺光滑，应作 1 ~ 2 cm 水泥砂浆找平层，防水板铺设完毕后，应施作 3 ~ 5 cm 厚的水泥砂浆保护层，以免回填土石时破坏防水板。当明洞铺设两层防水板时，上下环向焊接缝应错开 1/2 幅宽，防水层中间应夹一层土工布排水层。

8.6.3 防水层应在明洞混凝土达终凝后铺设，从明洞顶向两侧自然下垂铺设，不用暗钉固定，只是搭接焊时应设临时挡板防止机械损伤和电火花烧伤防水层。

8.6.4 为保证搭接牢靠，两幅防水层的搭接宽度不宜小于 15 cm，铺设时预留合适的搭接余量，以防止洞顶回填后绷紧防水板使其胀破影响防水效果或防水板过长堆积影响回填密实效果。

8.6.5 防水板之间采用双焊缝进行热熔焊接，焊缝宽度不得小于 15 mm，焊缝强度不得小于防水板本身强度的 70%，焊缝应严密、连续、不间断，不得漏焊、假焊、焊焦、焊穿。

8.6.6 土工布之间采用搭接法进行连接，搭接宽度为 5 cm，搭接缝部位可采用点粘法，搭接缝尽量与防水板搭接缝错开。土工布铺设时应平整，不得过紧或过松，以免影响已铺好的防水板平整性及回填土的密实效果。

8.6.7 明洞与隧道防水层搭接时，隧道防水层应延伸至明洞，并与明洞防水层搭接良好，见图 8.6.7。

8.6.8 明洞开挖起坡点始于边墙顶（拱脚）时，宜先在边墙背

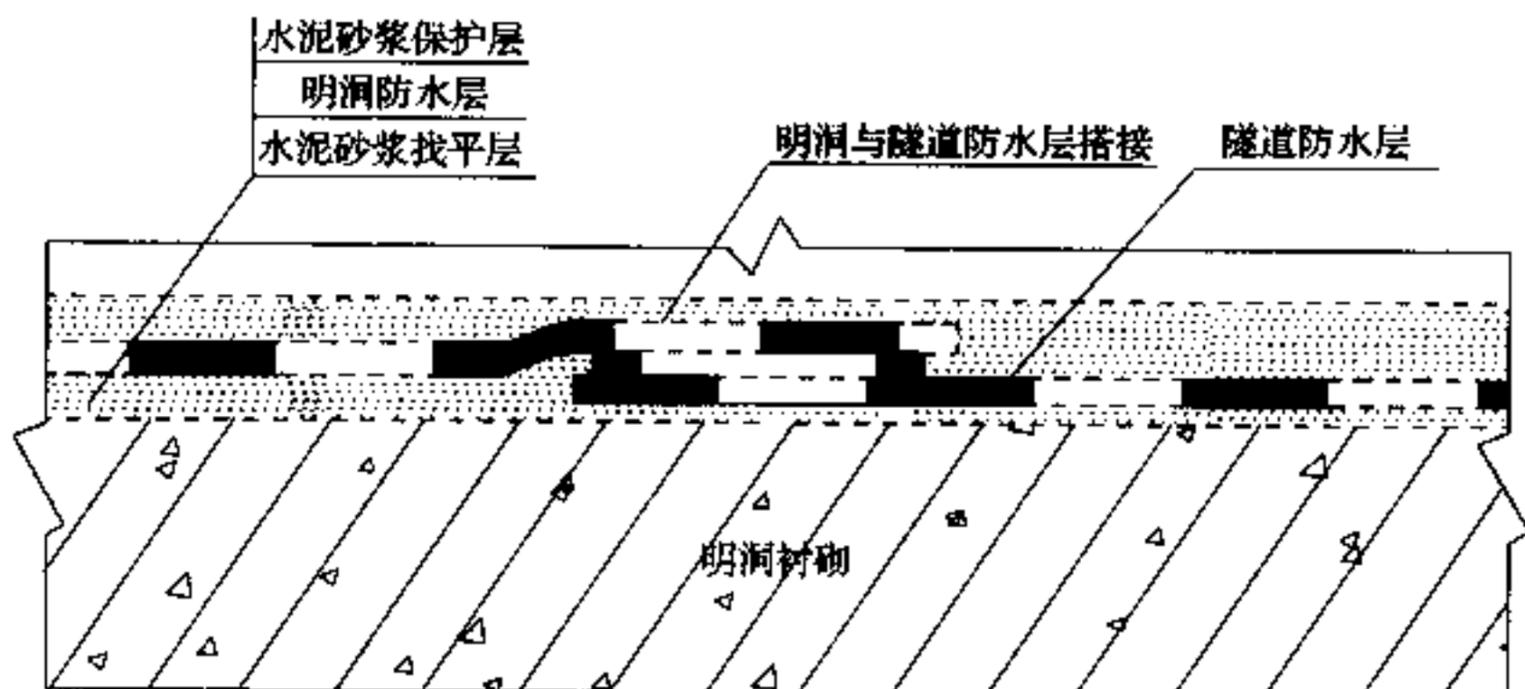


图 8.6.7 明洞与隧道防水层搭接示意图

后铺设防水层，然后浇筑明洞边墙（图 8.6.8），防水层与边坡的搭接应良好。防水层铺设工艺应符合下列要求：

1 从墙脚开始，预留好拱部需铺设的防水层长度，并考虑充足的搭接长度。

2 拱脚以上防水层先卷起并采取适当措施压靠于侧坡上或临时支架上，使下部边墙防水板自然下垂，要有一定松弛度，使防水层与凹凸处相密贴。

3 防水板衔接采用热合机进行双焊缝焊接。

4 防水板在设有盲沟位置以半包裹形式铺设，并在盲沟两侧采用锚固钉加固。

8.6.9 明洞防水层施工质量控制应符合下列要求：

1 应按防水层设计及施工技术要求进行施工过程控制。

2 防水层及其配套材料必须有出厂合格证、质量检验报告和现场抽样试验报告。

3 防水层铺设基面应平顺，阴阳角处应做成圆弧形，并符合本技术指南 8.3.4 条和 8.4.7 条的规定。

4 防水板的搭接处必须采用双焊缝焊接，并采用充气法进行质量检查（见 8.5.1 条）。

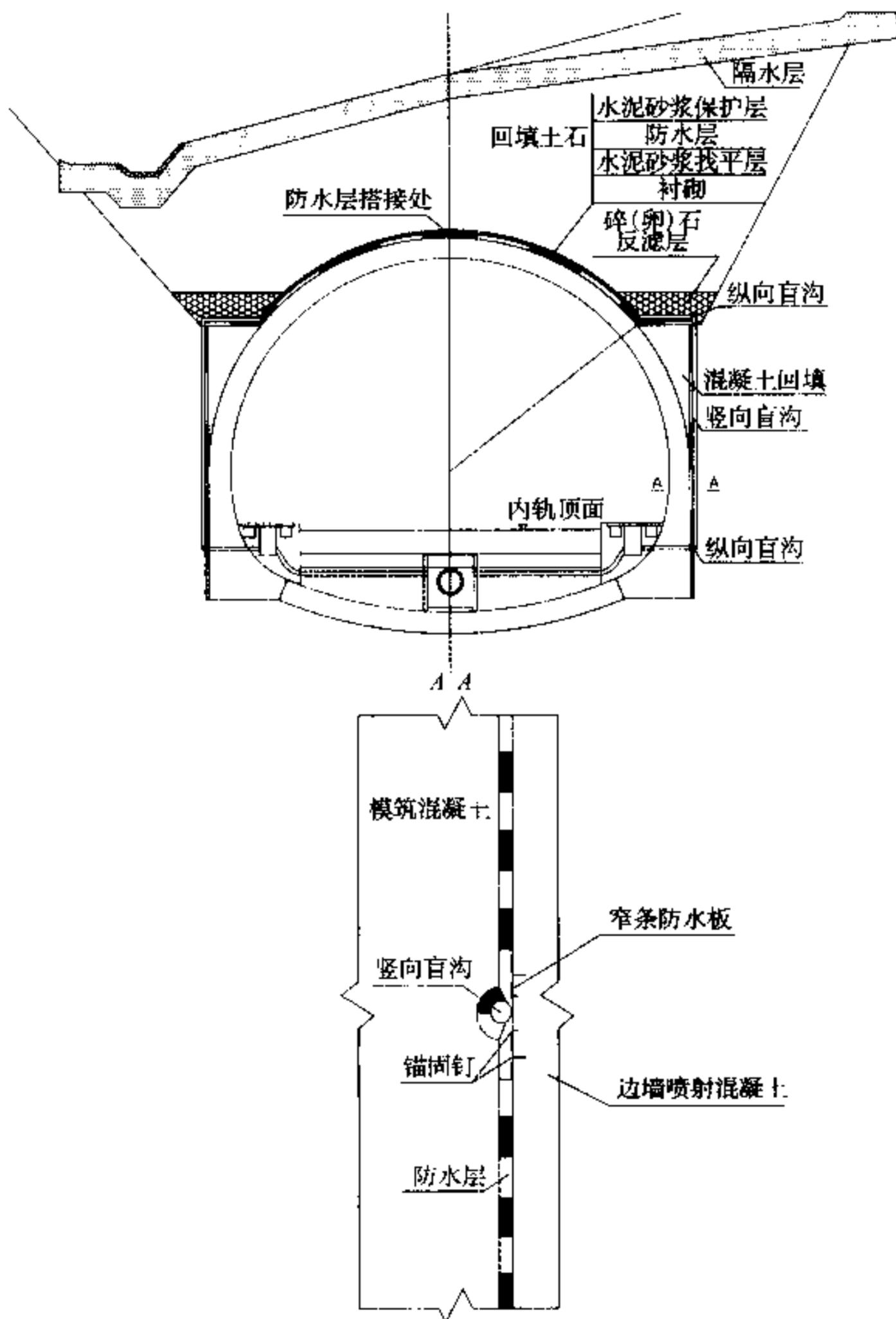


图 8.6.8 墙顶（拱脚）开挖时明洞防水层布置图
 （其中 A—A 为防水层在竖向盲沟处的铺设图）

9 二次衬砌防水混凝土

9.1 一般规定

9.1.1 复合式衬砌的二次衬砌应采用防水混凝土，其施工应符合国家现行标准的规定，并满足设计的等级、抗渗性、耐久性等要求。

9.1.2 防水混凝土施工前应对原材料进行检验，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》及《客运专线铁路隧道工程施工质量验收暂行标准》（铁建设〔2005〕160号）的规定。

9.1.3 防水混凝土一般应通过掺用外加剂及矿物掺和料配制而成，混凝土的配合比应通过试验确定。

9.1.4 具有抗渗要求的混凝土，试配时的抗渗等级应比设计值提高 0.2 MPa，并不得小于 P8。其混凝土的抗渗性能，应采用标准养护条件下混凝土抗渗试件的试验结果评定，试件应在混凝土浇筑地点制作。

9.1.5 二次衬砌防水混凝土应达到结构密实、表面平整光滑、曲线圆顺、颜色均匀，不得有漏筋、蜂窝、孔洞、疏松、麻面和缺棱掉角等缺陷。

9.2 材料要求

9.2.1 拌制混凝土用的水泥应符合下列要求：

1 水泥的强度等级宜为 42.5 级，水泥的技术要求应满足国家现行标准的有关规定。

2 应根据介质条件、冻融作用等情况选用适宜的水泥，不

宜使用早强水泥，使用矿渣硅酸盐水泥必须掺用高效减水剂。

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。

9.2.2 混凝土用的砂、石料应符合下列要求：

1 砂宜采用中砂，应选用级配合理、质地均匀坚固、吸水率低、空隙率小的洁净天然河砂，不宜使用山砂，不得采用海砂，含泥量不应大于3%，泥块含量不应大于0.5%。

2 石子宜采用连续级配，粒型良好、质地均匀坚固、线膨胀系数小的洁净碎石，也可采用碎卵石，不宜采用砂岩碎石，最大粒径不应大于40 mm，用泵送时不应大于输送管径的1/3。吸水率不应大于1.5%，含泥量不应大于1%，泥块含量不应大于0.25%。

3 不得使用具有碱—碳酸盐反应活性的骨料。

9.2.3 混凝土中掺用的外加剂应符合下列要求：

1 防水混凝土应采用减水率高、坍落度损失小、适量引气、质量稳定、能满足混凝土耐久性要求的外加剂产品。当将不同功能的外加剂复合使用时，应有良好的适应性，应优先选用多功能复合外加剂，其品种和掺量应经试验确定。

2 使用的外加剂必须符合国家现行标准一等品及以上的质量要求，并符合其他有关环境保护的规定。

9.2.4 混凝土中掺用的矿物掺和料应符合下列要求：

1 防水混凝土可掺入一定数量的矿物掺和料，矿物掺和料应选用品质稳定的产品，其掺量应经过试验确定。

2 矿物掺和料的技术要求应符合国家现行标准的规定。

9.2.5 拌制和养护混凝土用的水应符合下列要求：

1 应符合国家现行《混凝土用水标准》(JGJ 63)的规定。

2 应为无侵蚀性、不含有害物质的可饮用水。

9.2.6 每立方米混凝土中各类材料的总碱量 (Na₂O 当量) 应符合国家现行《铁路混凝土工程预防碱—骨料反应技术条件》(TB/T 3054) 的规定，并不得大于3 kg。

9.2.7 防水混凝土应尽量避免使用含氯离子的外加剂，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，不应大于胶凝材料总量的0.10%。

9.2.8 纤维混凝土中所用的纤维应符合下列要求：

1 钢纤维可选用碳钢型、低合金钢型和不锈钢型材质，宜采用直径（等效直径）为0.3~0.9 mm，长度为20~60 mm，长径比为30~80 mm的钢纤维。

2 合成纤维可选用聚丙烯睛（睛纶）纤维、聚丙烯（丙纶）纤维、改性聚酯（涤纶）纤维和聚酰胺（尼龙）纤维，并宜采用直径为10~100 μm，长度为4~25 mm的细纤维。

3 纤维材料的技术要求应符合《纤维混凝土结构技术规程》（CECS 38：2004）的规定。

9.3 施 工

9.3.1 二次衬砌防水混凝土施工应符合现行《铁路混凝土工程施工技术指南》（TZ 210）及《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》（铁建设〔2005〕160号）的规定。

9.3.2 防水混凝土施工配合比应根据混凝土原材料品质、设计强度等级、耐久性以及施工工艺对工作性的要求，通过计算、试配、试件检测、调整后确定，配制成的混凝土应满足设计强度等级、耐久性指标等质量要求。

9.3.3 混凝土配合比选定试验的检验项目应包括坍落度、泌水率、含气量、抗渗性、抗裂性、抗压强度，配制成的混凝土拌和物应满足施工工艺要求，并应遵守下列基本规定：

1 为提高混凝土的耐久性，改善混凝土的施工性能和抗裂性能，宜适量掺加优质粉煤灰或硅灰等矿物掺和料，矿物掺和料掺量不宜小于胶凝材料总量的20%。当粉煤灰掺量大于30%时，水胶比不宜大于0.45，处于冻融环境中的混凝土的粉煤灰的掺量不宜大于30%。

2 不同环境条件下的混凝土的水胶比、胶凝材料用量，应符合《铁路混凝土工程施工技术指南》(TZ 210—2005)表 7.4.2—1 的规定。

3 混凝土入泵坍落度宜控制在 150 ~ 180 mm，入泵前坍落度每小时损失值不应大于 30 mm，坍落度总损失值不应大于 60 mm。

9.3.4 防水混凝土配料必须按配合比准确称量。计量允许偏差应为胶凝材料、水、外加剂 $\pm 1\%$ ；粗细骨料 $\pm 2\%$ 。

9.3.5 防水混凝土搅拌应符合下列规定：

1 混凝土必须采用微机控制计量的强制式拌和机械搅拌，搅拌时间应根据外加剂的技术要求确定，且不应小于 3 min。

2 纤维混凝土搅拌时应确保纤维在拌和物中分散均匀、不发生结团，宜优先采用将纤维、水泥、粗细骨料干拌均匀后再加水湿拌的工艺，有条件时还可采用纤维分散机布料。

9.3.6 防水混凝土运输应符合下列规定：

1 宜采用内壁平整光滑、不吸水、不渗漏的运输设备进行混凝土运输。

2 采用混凝土搅拌车运输时，运输过程中宜以 2 ~ 4 r/min 的转速搅动，到达现场时应高速旋转 20 ~ 30 s 后再浇筑。

3 混凝土运输、浇筑及间歇的全部时间不应超过混凝土的初凝时间。

9.3.7 防水混凝土浇筑应符合下列规定：

1 浇筑所用模板及支（拱）架安装必须稳固牢靠，接缝严密不漏浆液。浇筑混凝土前，模板内的积水和杂物应清理干净，模板与混凝土的接触面必须清理干净并涂刷隔离剂。

2 混凝土入模时的温度不宜高于 30 ℃，也不应低于 5 ℃，当平均温度持续 3 d 低于 5 ℃或最低温度低于 3 ℃时，应按冬期施工处理。

3 施工工艺或强度不同的混凝土必须分开浇筑。

4 仰拱混凝土必须整幅浇筑,拱圈、仰拱和底板不得留纵向施工缝。边墙纵向水平施工缝宜设置在洞内侧沟盖板底与边墙进水孔之间,其位置应保证该水平缝的止水带下缘能避开边墙进水孔(管);环向施工缝应避开地下水和裂隙水较多的地段,并宜与变形缝结合设置;墙体有预留孔洞时,施工缝距孔洞边缘不应小于30 cm。

5 混凝土应从低处向高处分层连续浇筑完成,当必须间歇时,应在前层混凝土初凝前,开始浇筑次层混凝土,否则,应按施工缝处理方法处理。

6 在混凝土施工缝处接续浇筑新混凝土时,应凿除原混凝土表面的水泥砂浆和松弱层,经凿毛处理的混凝土应用水冲洗干净。浇筑新混凝土前,对垂直施工缝宜在旧混凝土面上涂刷一层水泥净浆;对水平施工缝应在旧混凝土面上铺一层厚10~20 mm、水胶比混凝土略小的1:2的水泥砂浆,或铺一层厚约30 cm的混凝土,其粗骨料宜比新浇混凝土减少10%。

7 对混凝土结构或钢筋稀疏的钢筋混凝土结构,应在施工缝处补插锚固钢筋,钢筋直径不应小于16 mm,间距不应大于20 mm。

9.3.8 混凝土浇筑过程中,应随时进行振捣混凝土使其均匀密实,并与模板紧密连接。振捣时应避免漏振、欠振和超振,应加强检查模板支撑的稳定性和接缝的密合情况,防止漏浆。

9.3.9 防水混凝土养护应符合下列规定:

1 应在浇筑完毕后的12 h以内对混凝土采取保温、保湿养护。

2 养护时,养护水温度与混凝土表面温度之差不得大于15℃。

3 拆模后可能与流动水接触的混凝土,应在混凝土与流动水接触前采取有效的保温、保湿养护措施,并增加养护时间(至少14 d)。

4 直接与海水或盐渍土接触的混凝土,应保证其强度在达到设计强度以前不受侵蚀,并尽可能推迟混凝土与海水或盐渍土

直接接触的龄期（不宜少于6周）。

9.3.10 防水混凝土拆模应符合下列规定：

- 1 混凝土拆模时的强度应符合设计要求。
- 2 拆模宜按立模顺序逆向进行，拆模及拆除临时埋设于混凝土中的木塞和其他预埋部件时，均不得损伤混凝土。
- 3 拆模时不得影响或中断混凝土的养护工作，且混凝土结构表面温度与周围气温的温差不应大于20℃。
- 4 拆模后的混凝土结构，应在混凝土达到100%设计强度后，方可承受全部设计荷载。
- 5 混凝土强度达到5 MPa前，不应在其上安装模板及支架。
- 6 拆模后，应继续对混凝土进行养护，养护时间不应小于14 d。

9.3.11 防水混凝土质量检验应符合下列规定：

- 1 混凝土原材料（水泥、矿物掺和料、细骨料、粗骨料、外加剂、水等）进场后，应对其品种、规格、数量以及质量证明书等进行验收核查，并按规定的频率取样复检，对于不合格的原材料，应按有关规定清除出场。
- 2 混凝土施工过程中，应对混凝土拌和物的性能进行抽检，检验结果应满足设计和施工要求。
- 3 应对混凝土的力学性能和耐久性能进行检查。混凝土耐久性的基本要求应符合表9.3.11—1的规定，当混凝土处于氯盐环境、化学侵蚀环境或冻融破坏环境时，混凝土的耐久性指标还应分别符合表9.3.11—2～表9.3.11—4的规定。

表 9.3.11—1 混凝土的电通量

设计使用年限级别		一（100年）	二（60年）、三（30年）
56 d 电通量（C）	< C30	< 2 000	< 2 500
（按混凝土不同强度等级）	C30 ~ C45	< 1 500	< 2 000
	≥ C50	< 1 000	< 1 500

表 9.3.11—2 氯盐环境下混凝土的电通量

设计使用年限级别	— (100 年)		二 (60 年)、三 (30 年)	
环境作用等级	L1	L2、L3	L1	L2、L3
56 d 电通量 (C)	<1 000	<800	<1 500	<1 000

表 9.3.11—3 化学侵蚀环境下混凝土的电通量

设计使用年限级别	— (100 年)		二 (60 年)、三 (30 年)	
环境作用等级	H1、H2	H3、H4	H1、H2	H3、H4
56 d 电通量 (C)	<1 200	<1 000	<1 500	<1 000

表 9.3.11—4 冻融破坏环境下混凝土的抗冻性

设计使用年限级别	— (100 年)	二 (60 年)	三 (30 年)
环境作用等级	D1、D2、D3、D4	D1、D2、D3、D4	D1、D2、D3、D4
抗冻等级 (56 d)	F300	≥F250	≥F200

4 混凝土强度必须符合设计要求，应采用标准养护试件和同条件养护的试件检测结构实体强度。

5 混凝土拆模且养护结束后的实体混凝土的质量检验：

- 1) 应用肉眼或放大镜观察实体混凝土结构表面是否存在非外力裂缝。当有非外力裂缝时，裂缝宽度不得大于 0.2 mm，并不得贯通；
- 2) 采用钢筋混凝土保护层厚度检查仪测定现场混凝土的实际厚度时，要求实际厚度不小于设计值，否则可将混凝土凿开实测；
- 3) 当对混凝土耐久性有疑问时，可在混凝土实体结构上随机钻芯抽取混凝土芯样，测定实体混凝土的电通量。

6 混凝土的抗渗等级应符合设计要求。施工现场应按规定留置抗渗检查试件，并按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GBJ 82) 的规定进行试验评定，试件

留置组数应符合下列规定：

- 1) 隧道衬砌每 200 m 应制作检查试件 1 组 (6 个)，不足 200 m 时，也应留置 1 组；
- 2) 当使用的材料、配合比或施工工艺发生变化时，应另行制作检验试件 1 组。

9.3.12 防水混凝土衬砌结构外观和尺寸偏差应符合下列规定：

1 混凝土结构表面应密实、平整，不得有露筋、蜂窝等缺陷。缺陷必须进行修补，修补后，可采用目测或放大镜对缺陷进行外观检验，接茬面周边应能见到挤出的修补材料，不得留有缝隙。当对修补质量有怀疑时，可采取钻芯取样、金属敲击法等进行检验。

2 混凝土结构外形尺寸允许偏差和检验方法应符合表 9.3.12 的规定。

表 9.3.12 结构外形尺寸允许偏差和检验方法

序号	项 目	允许偏差 (mm)	检验方法
1	边墙平面位置	±10	尺量
2	拱部高程	+30 0	水准仪测量
3	边墙、拱部表面平整度	15	2 m 靠尺检查或自动断面仪测量

注：平面位置以隧道设计中线为准进行量测。

10 施工缝、变形缝防水

10.1 一般规定

10.1.1 二次衬砌的施工缝、变形缝防水施工应符合国家现行标准的规定和设计要求。

10.1.2 二次衬砌的施工缝、变形缝构造必须满足密封防水要求。

10.1.3 二次衬砌混凝土应连续浇筑完成，宜少留纵向施工缝；分段浇筑时，应先做仰拱或底板，后做拱墙；边墙水平施工缝宜低于洞内排水侧沟盖板底面，但需高于边墙进水孔至少要有止水带半幅宽的距离。

10.2 材料要求

10.2.1 止水带宜采用橡胶、塑料、橡塑（氯乙烯合成橡胶）止水带或金属止水带等。橡胶止水带和钢边橡胶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。

10.2.2 对于水压高、预计变形大的地段，施工缝、变形缝施工宜选用钢边橡胶止水带或钢板止水带。

10.2.3 中埋式止水带宜选用橡胶止水带或钢边橡胶止水带，当遇有腐蚀性介质时宜选用氯丁橡胶止水带；橡胶止水带的防霉等级不应小于2级；在低温情况下，宜选用三元乙丙橡胶止水带；背贴式止水带宜选用防水板材质的塑料止水带。

10.2.4 橡胶止水带的材质、形状、尺寸、物理机械性能应符合设计及国家现行《橡胶止水带》（HG/T 2288）的规定。

10.2.5 中埋式止水带的宽度宜采用300~350 mm，并视水压力大小调整。

10.2.6 止水带外观质量应符合下列要求：

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 止水带产品外观质量应符合表 10.2.6 的规定。

表 10.2.6 止水带产品外观质量要求

序号	缺陷名称	工作 面
1	气泡	直径不大于 1 mm 的气泡，每米不允许超过 3 处
2	杂质	面积不大于 4 mm ² 的杂质，每米不允许超过 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

10.2.7 橡胶、塑料止水带的物理力学性能应分别符合表 10.2.7—1 和表 10.2.7—2 的规定，止水带接头部位的拉伸强度指标不得低于该说明表中本体材料的性能。

表 10.2.7—1 橡胶止水带物理力学性能

序号	项 目		性能指标		
			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

续上表

序号	项 目		性能指标		
			B 型	S 型	
8	耐碱水	Ca (OH) 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 (50 × 10 ⁻⁸ , 20%, 40 ℃, 48 h)		无龟裂		
10	橡胶与金属粘合		R 型破坏		

注：① 仅钢边止水带检测橡胶与金属粘合项目。

② B 型适用于变形缝用止水带；S 型适用于施工缝用止水带；R 型指橡胶止水带。

③ 本表参照 GB 18173.2 制定，其中压缩永久变形指标反映了橡胶止水带的使用性能，是重要的指标项目。

钢边橡胶止水带的钢边材料应采用热镀锌钢板，其物理力学性能应符合表 10.2.7—1 的规定，材料性能应符合 GB/T 2518 的规定。

表 10.2.7—2 塑料止水带物理力学性能

序 号	项 目		技术指标	
			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

10.2.8 制品型遇水膨胀橡胶止水条宜选用矩形断面，厚度不宜小于 20 mm，其外观不允许有开裂、凹痕、气泡、杂质、明疤等影响使用的缺陷；制品型遇水膨胀止水条应具有缓膨胀性能，其 7 d 的膨胀率不应大于最终膨胀率的 60%。制品型遇水膨胀橡胶止水条的性能指标应符合表 10.2.8 的规定。

表 10.2.8 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
		体积膨胀率（%）	≥ 200
6	低温弯折（-20℃ × 2 h）		无裂纹
7	防霉等级		≥ 2 级

注：表中硬度为推荐采用项目，其余为强制执行项目；成品切片测试应达到表中性能指标的 80%；接头部位的拉伸强度不得低于表中性能指标的 50%；体积膨胀率是浸泡后的试样质量与浸泡前的试样质量的比率。

10.2.9 变形缝嵌缝材料及背衬材料应符合下列要求：

1 嵌缝材料：最大拉伸强度不小于 0.2 MPa，最大伸长率大于 300%，级别不应小于 8 020（80℃时，拉伸—压缩率不小于 ±20%），与混凝土具有良好粘接性能和抗老化性能。

2 嵌缝材料宜选用聚硫建筑密封膏 B 类一等品或优等品。

3 涂刷的基层处理剂应符合设计要求。

4 背衬材料的设置应符合设计要求。

10.2.10 变形缝填缝材料

1 填缝板材质的选择应考虑变形缝处的相对变形量、承受

水压力的、与填缝板接触的介质、使用的环境条件以及混凝土断面尺寸等。

2 隧道宜选用聚乙烯泡沫塑料板材或沥青木丝板。

3 聚乙烯泡沫塑料板的物理力学性能应满足表 10.2.10 的技术指标。

表 10.2.10 聚乙烯泡沫塑料板物理力学性能

项 目	单 位	指 标	项 目	单 位	指 标
表观密度	g/cm ³	0.10 ~ 0.19	吸水率	g/cm ³	≤0.005
抗拉强度	MPa	≥0.15	延伸率	%	≥100
抗压强度	MPa	≥0.15	硬度 (邵尔 A)	度	50 ~ 60
撕裂强度	kN/m	≥4.0	压缩永久变形	%	≤3.0
加热变形 (+70℃)	%	≤2.0			

10.3 施 工

10.3.1 施工缝和变形缝的设置与施工应符合下列规定：

1 施工缝

- 1) 边墙纵向施工缝不应留置在剪力与弯矩最大处或底板与边墙的交接处，而应留置在高出底板顶面不小于 30 cm，且宜在水沟盖板底面以下的墙体上；
- 2) 当墙体有预留孔洞时，施工缝距孔洞边缘不应小于 30 cm；
- 3) 设置止水条的环向施工缝，宜在端面预留浅槽，槽应平直，槽宽应比止水条宽 1 ~ 2 mm，槽深应为止水条厚度的 1/2；
- 4) 施工缝采用中埋式止水带时，应确保其位置准确、牢固可靠；
- 5) 施工缝可采用单一防水构造和复合防水构造两种形式；

6) 施工中应保证待贴止水条或预设止水带的混凝土界面洁净。

2 变形缝

1) 变形缝的位置、宽度、防水构造形式应符合设计要求；

2) 用于沉降的变形缝的宽度宜为 20 ~ 30 mm，用于伸缩的变形缝的宽度宜小于此值，用于沉降的变形缝得允许沉降量差值不应大于 30 mm；

3) 环境温度高于 50 ℃ 处的变形缝，可采用 2 mm 厚的紫铜片或 3 mm 厚不锈钢等金属止水带；

4) 变形缝的两侧应平整、清洁、无渗水；

5) 变形缝底应先设置与嵌缝材料无粘接能力的背衬材料或遇水膨胀止水条；

6) 变形缝嵌缝应密实。

10.3.2 施工缝处连续浇筑混凝土应符合下列规定：

1 先浇混凝土表面必须凿毛，并凿除先浇混凝土表面的水泥砂浆和松软层，用水冲洗干净。凿毛时，混凝土必须达到的强度：水冲洗凿毛时，0.5 MPa；人工凿毛时，2.5 MPa；风动机凿毛时，10 MPa。

2 纵向施工缝后浇混凝土前，应在凿毛后的先浇混凝土面上，铺一层厚 25 ~ 30 mm、水胶比较混凝土略小的 1:1 水泥砂浆，或铺一层厚约 30 cm 的混凝土，其粗骨料宜比后浇混凝土减少 10%，然后按设计要求设置止水条或止水带，再涂刷水泥净浆或混凝土界面处理剂，及时浇筑混凝土。

3 环向施工缝后浇混凝土前，应将其表面浮浆和杂物清除后，设置制品型遇水膨胀止水条或中埋式止水带，涂刷水泥净浆或混凝土界面处理剂，并及时浇筑混凝土。

4 浇捣靠近止水带附近的混凝土时，应严格控制浇捣的冲击力，避免力量过大而刺破止水带，同时还必须充分振捣，保证

混凝土与止水带紧密结合，施工中如发现有破裂现象应及时修补。

5 二次衬砌脱模后，若发现施工中有走模现象，致使止水带过分偏离中心，则应适当凿除或填补部分混凝土，对止水带进行纠偏。

10.3.3 施工缝和变形缝的处理宜采用两种以上的防水措施，并符合下列规定：

1 纵向施工缝应粘贴制品型遇水膨胀止水条和安设止水带的复合方式进行防水处理。

2 环向施工缝应设置中埋式止水带和背贴式止水带的复合方式进行防水处理。

3 制品型遇水膨胀止水条应牢固地安装在缝表面或预留槽内。

4 可采用中埋式止水带和预埋注浆管路的复合方式进行防水处理。

10.3.4 几种施工缝、变形缝防水构造形式应按下列各图、设置：

1 常用的复合防水构造形式见图 10.3.4—1 ~ 图 10.3.4—3，图中 L 、 L_1 按止水带类别确定。

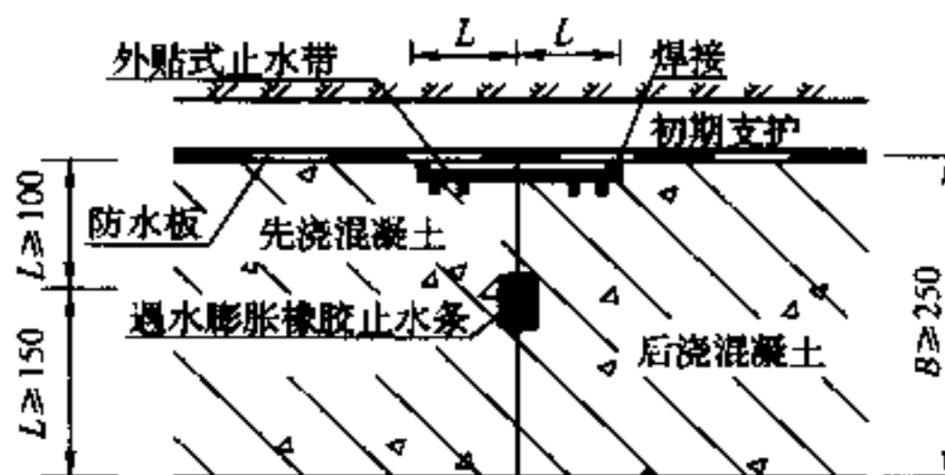


图 10.3.4—1 背贴式止水带和止水条复合防水构造形式（单位：mm）

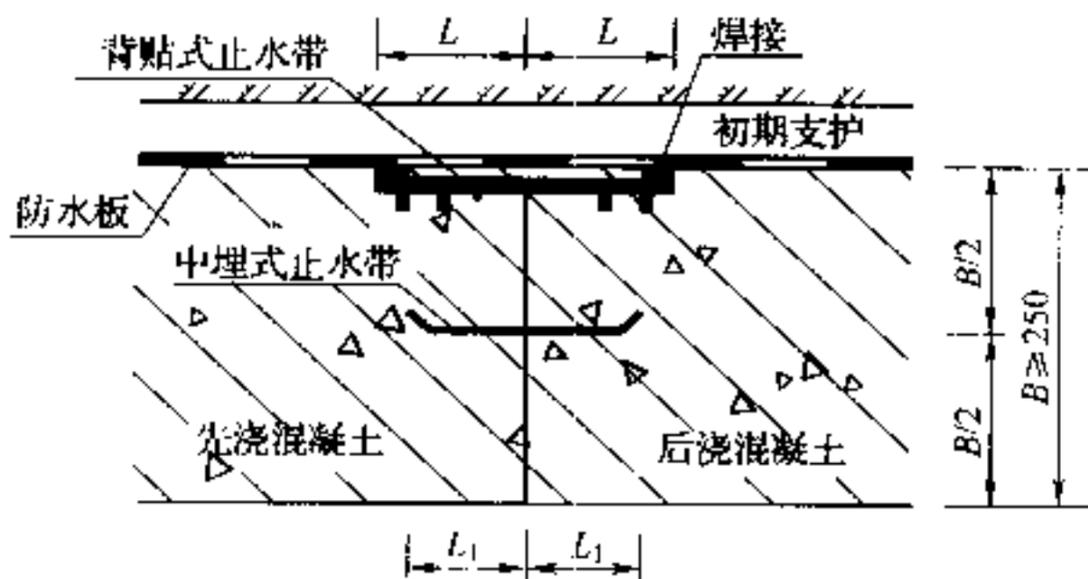


图 10.3.4—2 背贴式止水带和中埋式止水带复合防水构造形式 (单位: mm)

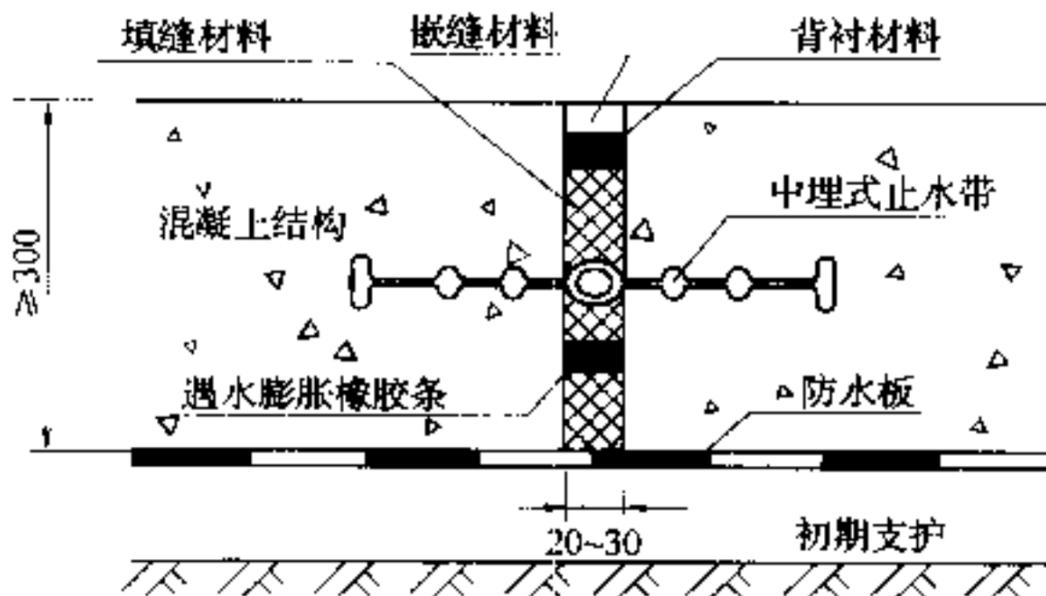


图 10.3.4—3 中埋式止水带与遇水膨胀止水条、嵌缝材料复合防水构造形式 (单位: mm)

2 其他新型、经济、可靠的防水构造形式, 如预埋注浆管的施工缝构造形式、带接水盒的变形缝构造形式见图 10.3.4—4 和图 10.3.4—5。

10.3.5 止水带安装的位置应符合下列要求:

1 止水带埋设的位置宜按衬砌厚度的一半确定, 其安装的径向位置, 较设计允许偏差为 ± 5 cm, 安装的纵向位置允许偏离中心为 ± 3 cm。

2 止水带应与衬砌端头模板正交, 以确保止水带安装方向和质量。

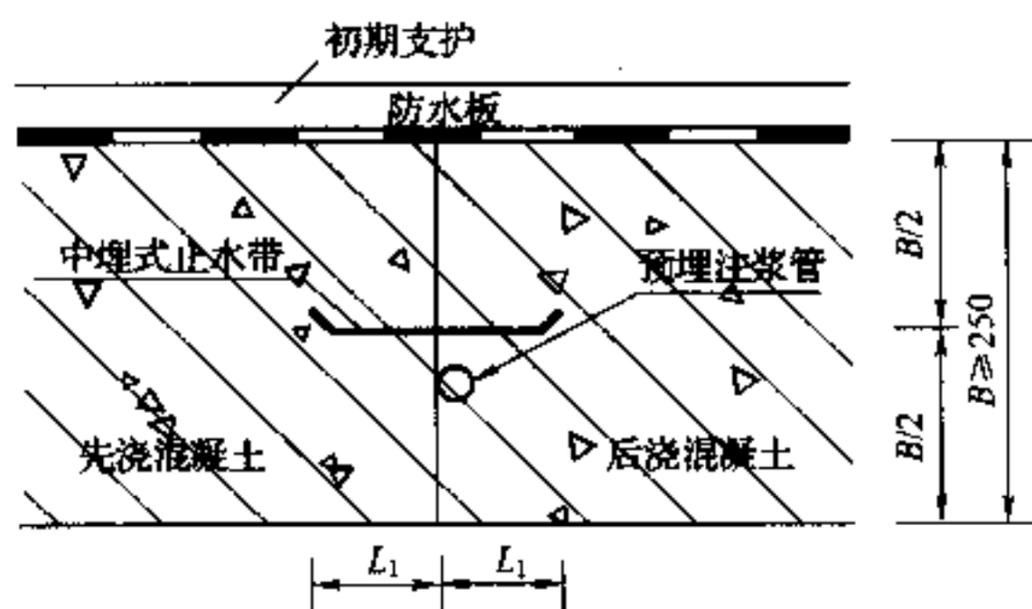


图 10.3.4—4 中埋式止水带和预埋注浆管的施工缝构造形式 (单位: mm)

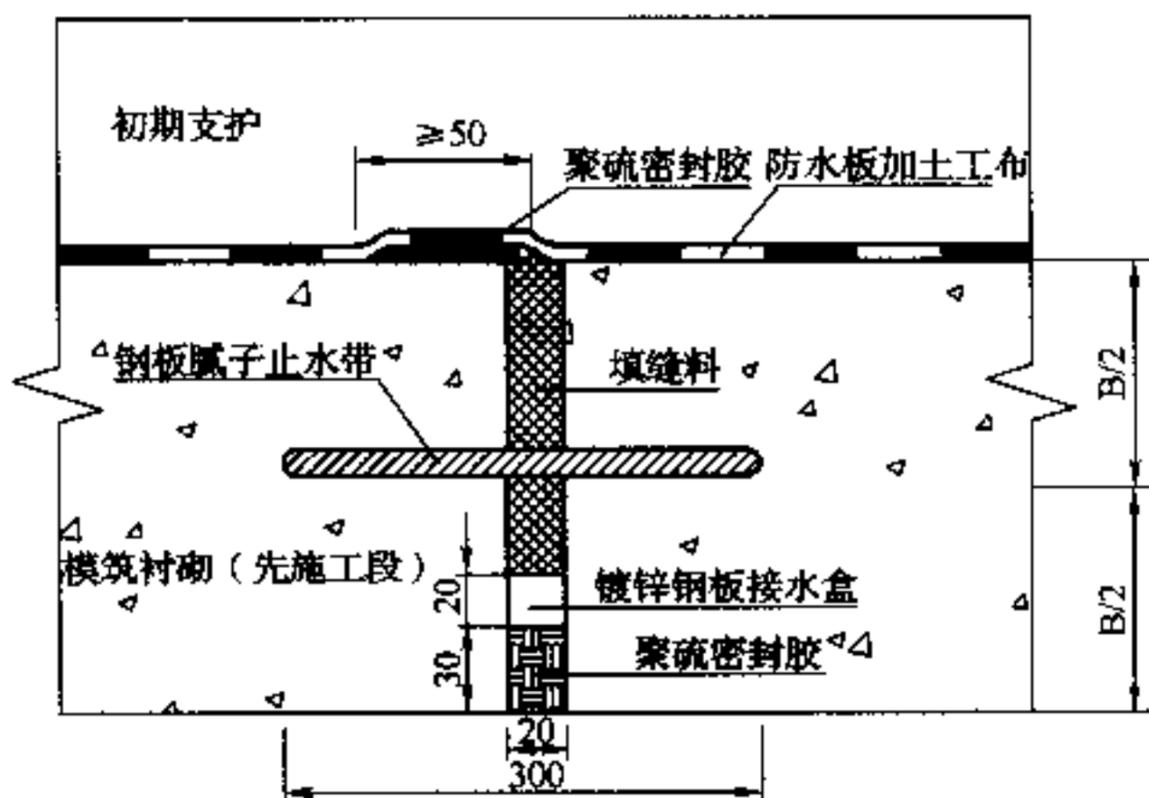


图 10.3.4—5 带接水盒的变形缝构造形式 (单位: mm)

10.3.6 止水带的长度应根据施工要求事先向生产厂家定制 (一环长), 尽量避免接头, 当确需接头时, 应采取搭接、复合连接、对接等形式, 见图 10.3—6。

1 止水带接头必须焊接良好, 接头外观应平整光洁。

2 止水带连接前应做好接头表面的清刷与打毛, 搭接长度不得小于 10 cm, 宜采用小型热焊机进行焊接, 焊缝宽度不得小于 50 mm。

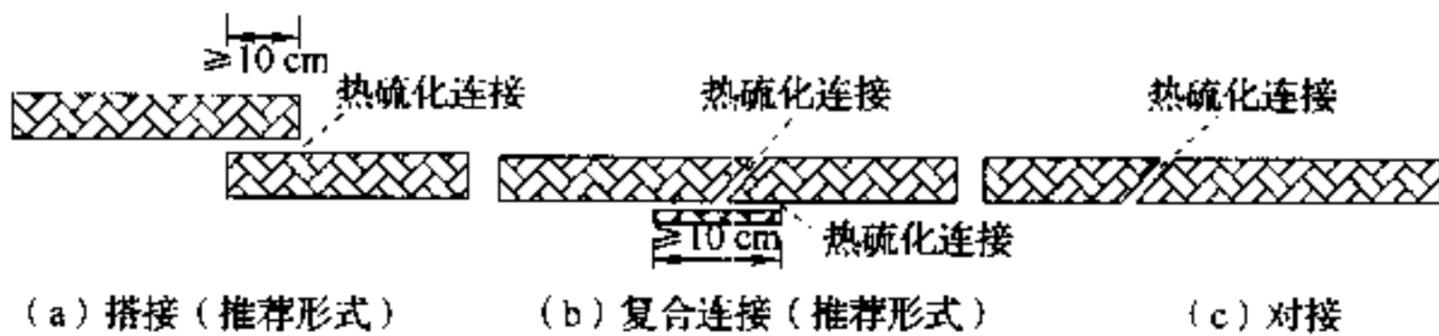


图 10.3.6 橡胶止水带常用接头形式

3 塑料止水带宜采用止水带塑料焊接机进行焊接。

4 橡胶止水带接头宜采用热压机硫化搭接胶合，接头强度不应低于母材的 80%。

5 采用以冷接法专用黏结剂连接时，搭接长度不得小于 20 cm，黏结剂涂刷应均匀（按照产品说明书指示顺序操作）并压实。

10.3.7 止水带的施工应符合下列规定：

1 采用中埋式止水带时，应确保位置准确、固定牢靠，其中心空心圆环应与变形缝的中心线重合。

2 中埋式止水带的安装应利用附加钢筋、卡子、铁丝、模板等将止水带固定，宜采用专用钢筋套或扁钢固定，采用扁钢固定时，止水带端部应先用扁钢夹紧，并将扁钢与结构内钢筋焊牢，固定扁钢用的螺栓间距宜为 50 cm。

3 中埋式止水带在转弯处应做成圆弧形，橡胶止水带的转角半径不应小于 200 mm，钢片橡胶止水带不应小于 300 mm，且转角半径应随止水带的宽度增大而相应加大。

4 中埋式止水带应固定在挡头模板上，中埋式止水带先施工一侧混凝土时，其端模应支撑牢固，严防漏浆。固定止水带时不能在止水带上穿孔打洞，不得损坏止水带本体部分，应防止止水带偏移，以免单侧缩短，影响止水效果。安装止水带时，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，将预制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，然后弯钢筋卡紧止水带。浇筑另一端混凝土时应用箱形模板保护。

5 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正。

6 固定中埋式止水带的方法见图 10.3.7—1 ~ 图 10.3.7—3。

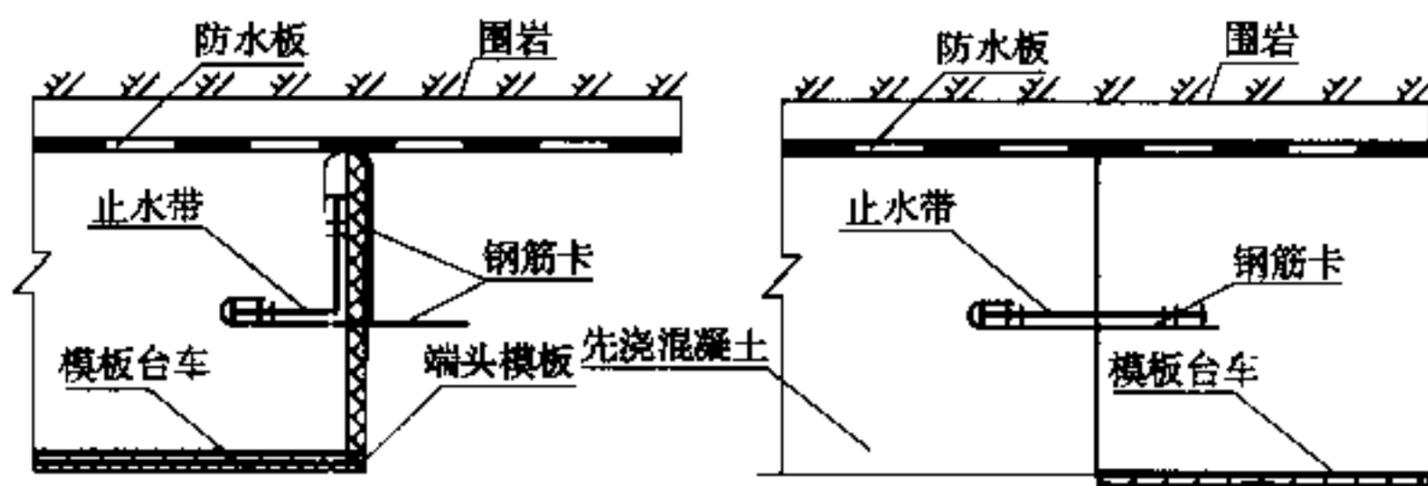


图 10.3.7—1 固定中埋式止水带方法

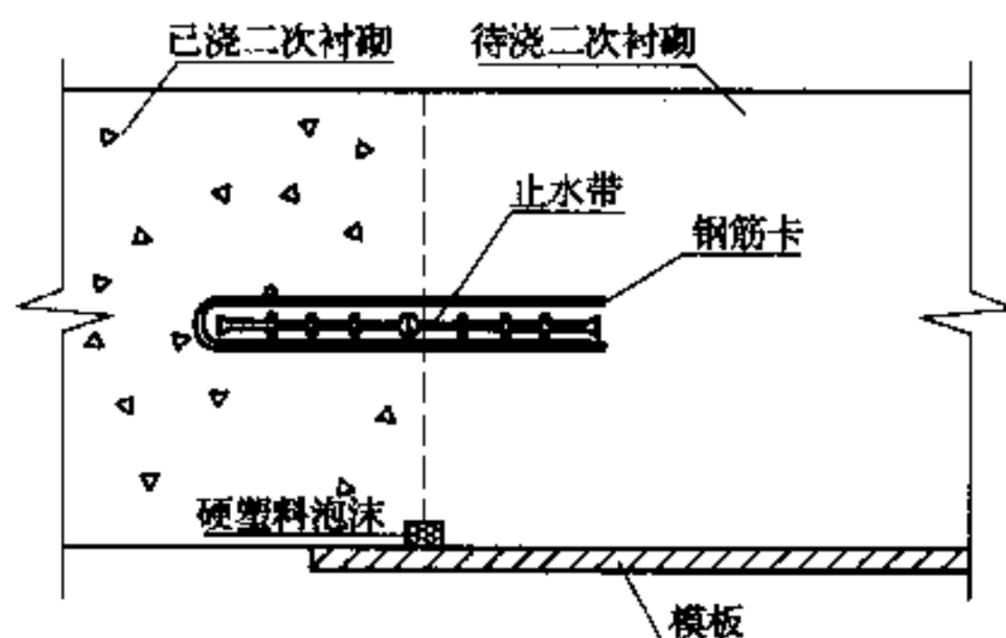


图 10.3.7—2 在混凝土中固定中埋式止水带

10.3.8 制品型遇水膨胀止水条的施工应采用预留槽嵌入法，并符合下列规定：

- 1 挡头板制作时应考虑预留安装止水条的浅槽。
- 2 拆除混凝土模板后，修整预留槽，将止水条嵌入槽内，并用配套的胶粘剂或水泥钉固定止水条，再浇筑下一环混凝土。

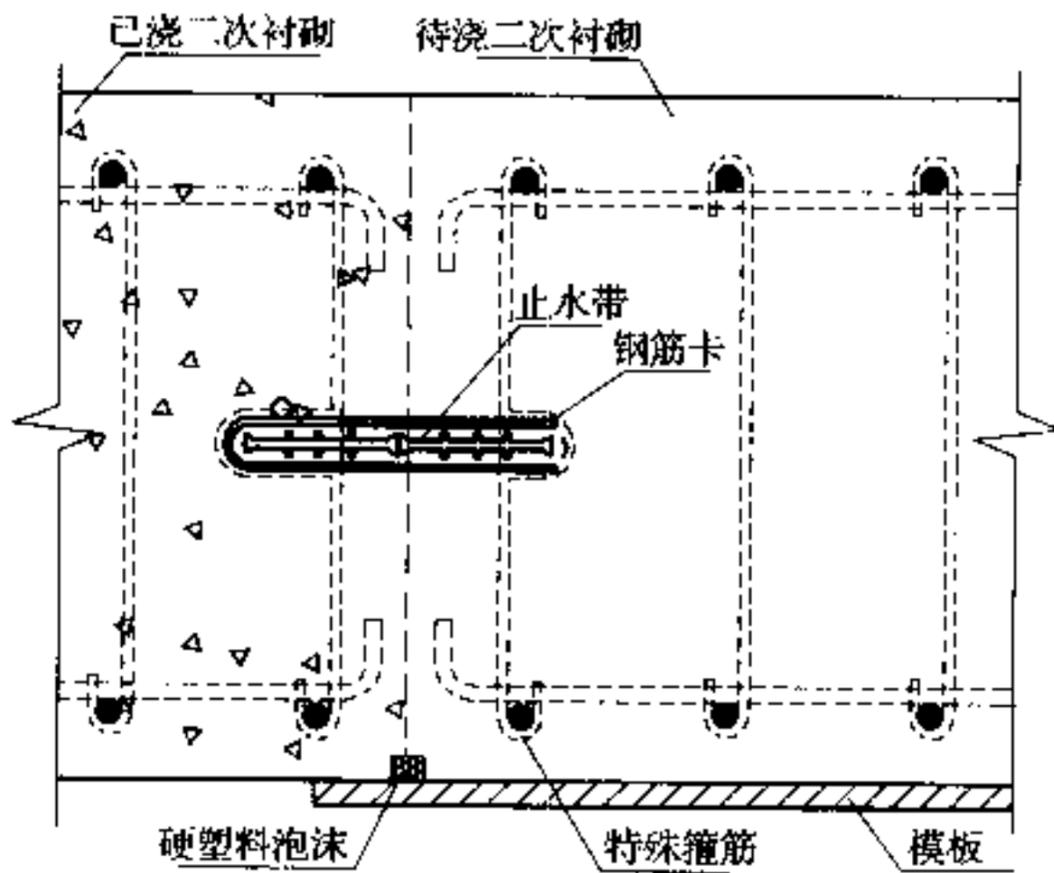


图 10.3.7—3 在钢筋混凝土中固定中埋式止水带

3 遇水膨胀止水条接头处应重叠搭接后再粘接固定，沿施工缝形成闭合环路，其间不得留断点，搭接长度不应小于50 mm，见图 10.3.8。

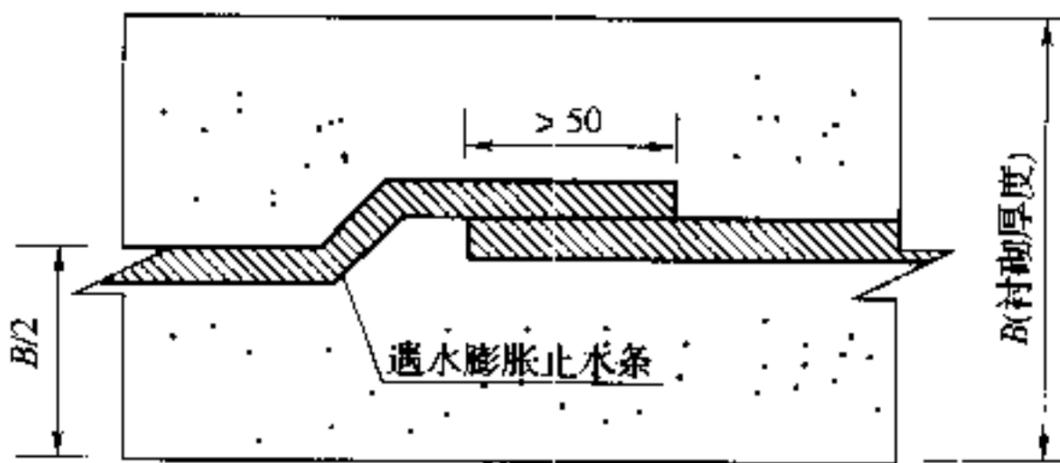


图 10.3.8 遇水膨胀止水条搭接示意图

4 止水条定位后至浇筑下一环混凝土前，应避免被水浸泡，必要时应加涂缓膨剂，防止其提前膨胀。

10.3.9 对于富水隧道，宜在二次衬砌部位采用分区隔离防水技术，隧道分区防水示意图 10.3.9。

1 在施工缝处安设全断面出浆预埋注浆管、带注浆孔遇水

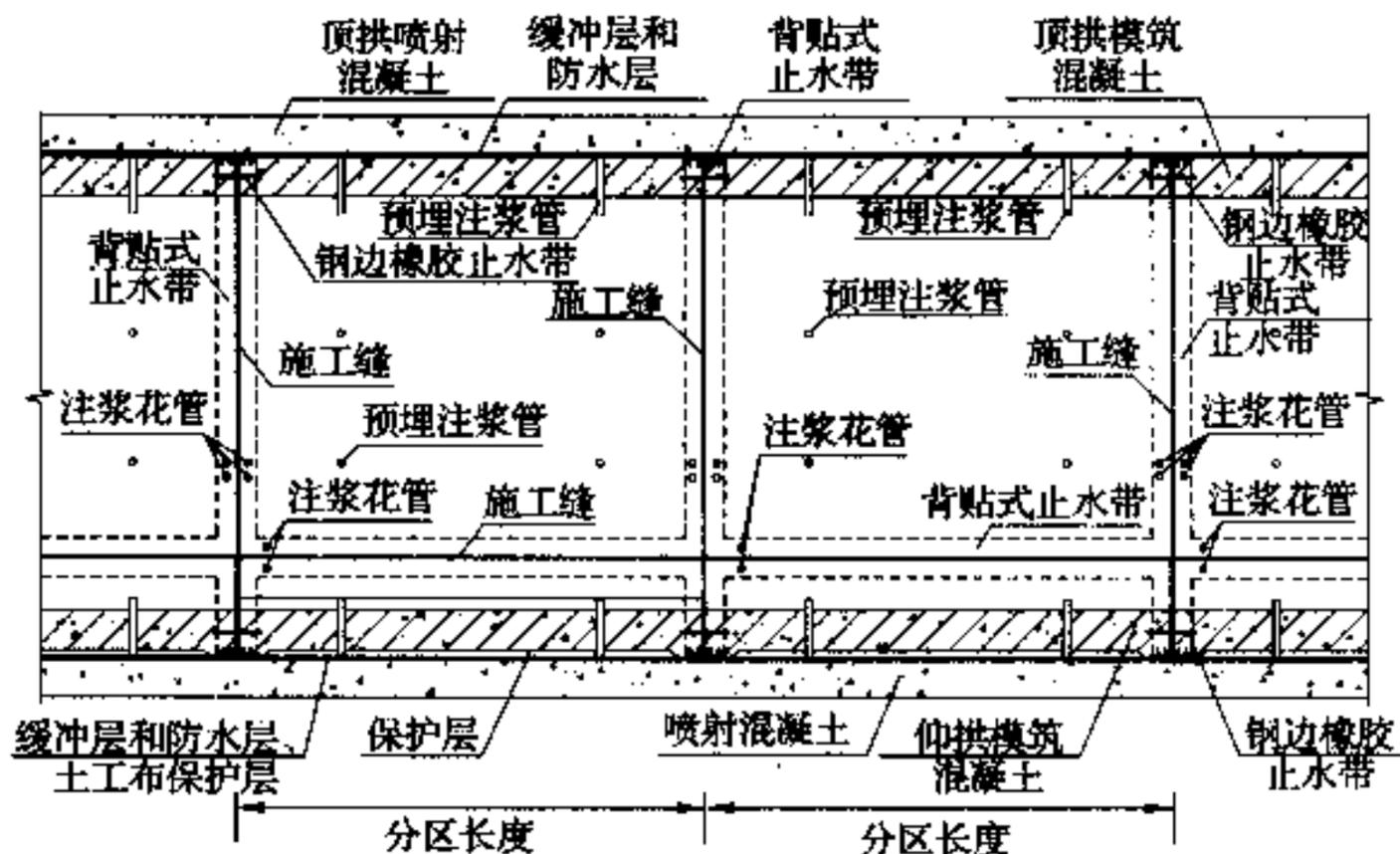


图 10.3.9 隧道分区防水示意图

膨胀止水条等。

2 背贴式止水带应与防水板焊接或粘结。

3 预埋注浆管和带注浆孔遇水膨胀止水条可在浇筑混凝土时预埋施工缝处，发生渗漏水时即可进行注浆堵水。

10.3.10 全断面出浆预埋注浆管的安装应符合下列规定：

1 在安装模板的同时，将注浆管安装在混凝土表面上，注浆管间的空隙用快凝水泥填补。

2 注浆管应紧贴混凝土用固定夹固定，固定夹的间距不得大于 25 cm。

3 注浆管的末端套入喇叭接口，并与封闭的聚氯乙烯 (PVC) 增强注浆导管连接。

4 PVC 增强注浆导管必须暴露在混凝土外面并应注意保护。

5 注浆管必须覆盖施工缝的整个长度，两根相邻的注浆管末端必须重叠约 10 ~ 15 cm。

6 衬砌边墙下边的管路应超出混凝土端头 20 cm，以利于

仰拱混凝土浇筑后的补充注浆。

7 注浆材料可用聚氨酯、丙烯酸盐等。

10.3.11 带注浆孔遇水膨胀止水条的安装应符合下列规定：

1 安装止水条界面的处理及止水条的固定方法可按本技术指南 10.3.8 条要求办理。

2 将止水条上的预留注浆连接管套入另一条止水条上。

3 止水条每 30 m 处安装一个三通，三通的直通部分一头插入止水条内，另一头插入注浆连接管内。丁字端头插入备用注浆管内，以备接缝渗漏水时注浆。

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

10.3.12 变形缝嵌缝施工应符合下列规定：

1 应保证缝内两侧平整、清洁、无渗水、无积水，并涂刷与嵌缝材料相容的基层处理剂。

2 先设置与嵌缝材料无粘结力的背衬材料，背衬材料的设置应符合设计要求。

3 嵌缝材料与混凝土表面宜留有一定的距离，一般视温度高低宜留 5 ~ 10 mm，嵌填应密实，与两侧粘接牢固。

11 侧沟、中心排水管（沟）排水

11.1 一般规定

11.1.1 侧（排水）沟、中心排水管（沟）应严格按设计要求施工，确保其排水通畅。

11.2 侧 沟

11.2.1 隧道内侧沟的布置、结构形式、沟底高程、纵向坡度、断面尺寸以及侧沟外墙距线路中心线的距离均应符合设计要求。

11.2.2 侧沟与隧道边墙应连接牢固，必要时可在墙部加设短钢筋，使边墙与沟壁连成一体。

11.2.3 进水孔、泄水孔、泄水槽的位置、间距和尺寸应符合设计要求。

11.2.4 侧沟盖板应铺设齐全、平稳、顺直，其规格尺寸和强度应符合设计要求。

11.2.5 侧沟旁设有集水井时，集水井宜与侧沟、路面同时施工。

11.2.6 侧沟进水孔的孔口端应低于该处路面的高程，底板或仰拱施作时不得堵塞孔口。

11.2.7 隧道边墙下部通过纵、环向排水盲管将水引入侧沟中，并在每段纵向排水盲管中部设置泄水管，泄水管的设置应根据水量适当调整。

11.2.8 排水盲管、侧沟和孔、槽等组成的排水系统应有良好的排水效果，做到洞内排水顺畅，无淤积堵塞，进水孔、泄水孔、泄水槽畅通，排污水时应有密闭措施。

11.3 中心排水管（沟）

11.3.1 中心排水管（沟）的布置、结构形式、沟底高程、纵向坡度、埋设深度均应符合设计要求。根据隧道所在地区的不同，中心排水管（沟）埋设深度宜为 0.5 ~ 2.0 m。

11.3.2 中心排水管的管材应符合国家标准《混凝土和钢筋混凝土排水管》(GB/T 11836—1999) 三级管的要求。

11.3.3 中心排水管（沟）断面面积应根据隧道长度、纵向坡度、地下水渗流量，通过水力计算确定。

11.3.4 中心排水管管身不应变形和有裂缝；中心排水管管段拼装形式应符合设计要求，预制管段的内径、壁厚不应小于设计厚度；施工时，应注意检查中心排水管（沟）预制管段的规整性和管壁强度。

11.3.5 中心排水管上部应设置进水孔，并确保进水孔畅通，不得有盲孔，上部进水孔的位置、间距、数量应满足设计要求。

11.3.6 中心排水沟盖板的预制、搬运、安装不得有断板现象，盖板安装就位后，应用砂浆将接缝填实。

11.3.7 中心排水管基础的总体坡度、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。

11.3.8 中心排水管（沟）开挖断面形状尺寸应符合设计要求，宜超挖 10 cm，并用与回填层同强度等级的混凝土回填；中心排水管（沟）底面高程每 50 m 随机抽查 10 个点，允许偏差应为 ± 5 mm。

11.3.9 双线隧道 I、II 级围岩段中心排水沟的开挖宜与隧底光爆层的开挖同步进行。

11.3.10 无仰拱地段的中心排水管（沟）宜设反滤层，反滤层的砂、石粒径和含泥量应符合设计要求。

11.3.11 有仰拱地段的中心排水管直接埋设于仰拱填充混凝土中，其设置见图 11.3.11。

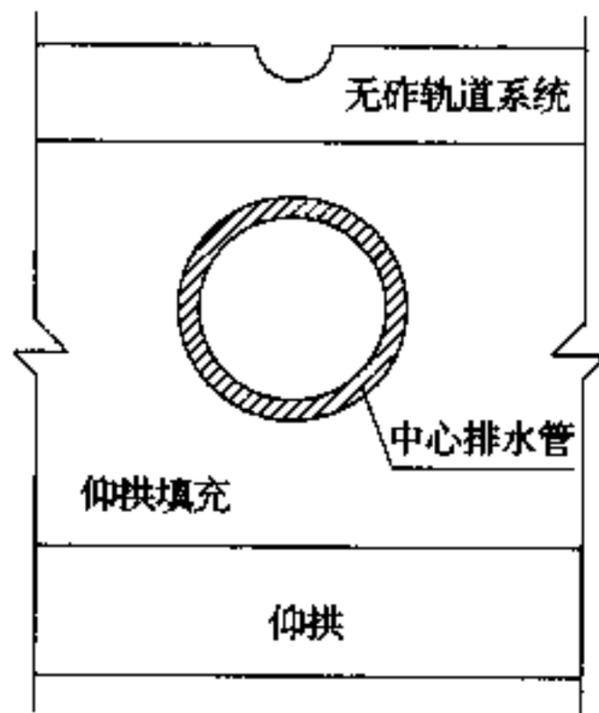


图 11.3.11 有仰拱断面中心排水管设置示意图

11.3.12 在软弱破碎地段（无仰拱），中心排水管管段铺设时应在其下安设混凝土预制块定位。中心排水管施工时，应先挖基槽，将不良岩体用强度较高的碎石替换，并用混凝土找平基面，使基础既平整又密实，为管段顺利铺设创造条件。无仰拱断面中心排水管设置见图 11.3.12。

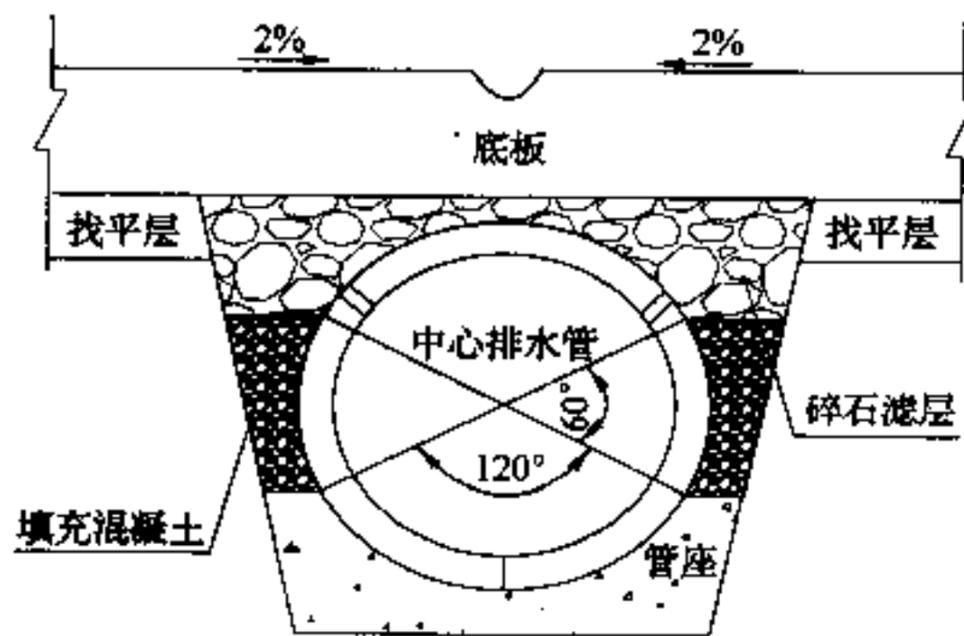


图 11.3.12 无仰拱断面中心排水管设置示意图

11.3.13 在无仰拱地段进行中心排水管管段铺设时，应先保证将具有透水孔的一面朝上，管段逐个放稳后，再用水泥砂浆将管

段间接缝密封填实，待砂浆凝固后，应逐段进行通水试验，发现漏水，及时处理，之后用土工布覆盖管段透水孔，并注意检查在横向导水管出口处与中心排水管的连接方式。

11.3.14 在无仰拱地段，中心排水管周围碎石应分层回填，回填时应注意保护管段的稳定及其上部透水性；浇筑底板混凝土前，用土工布覆盖碎石顶面，防止水泥浆漏入水沟；浇筑底板混凝土后，应立即进行水沟试水，将漏入的水泥浆冲洗干净。无仰拱地段中心排水管施工流程见图 11.3.14。

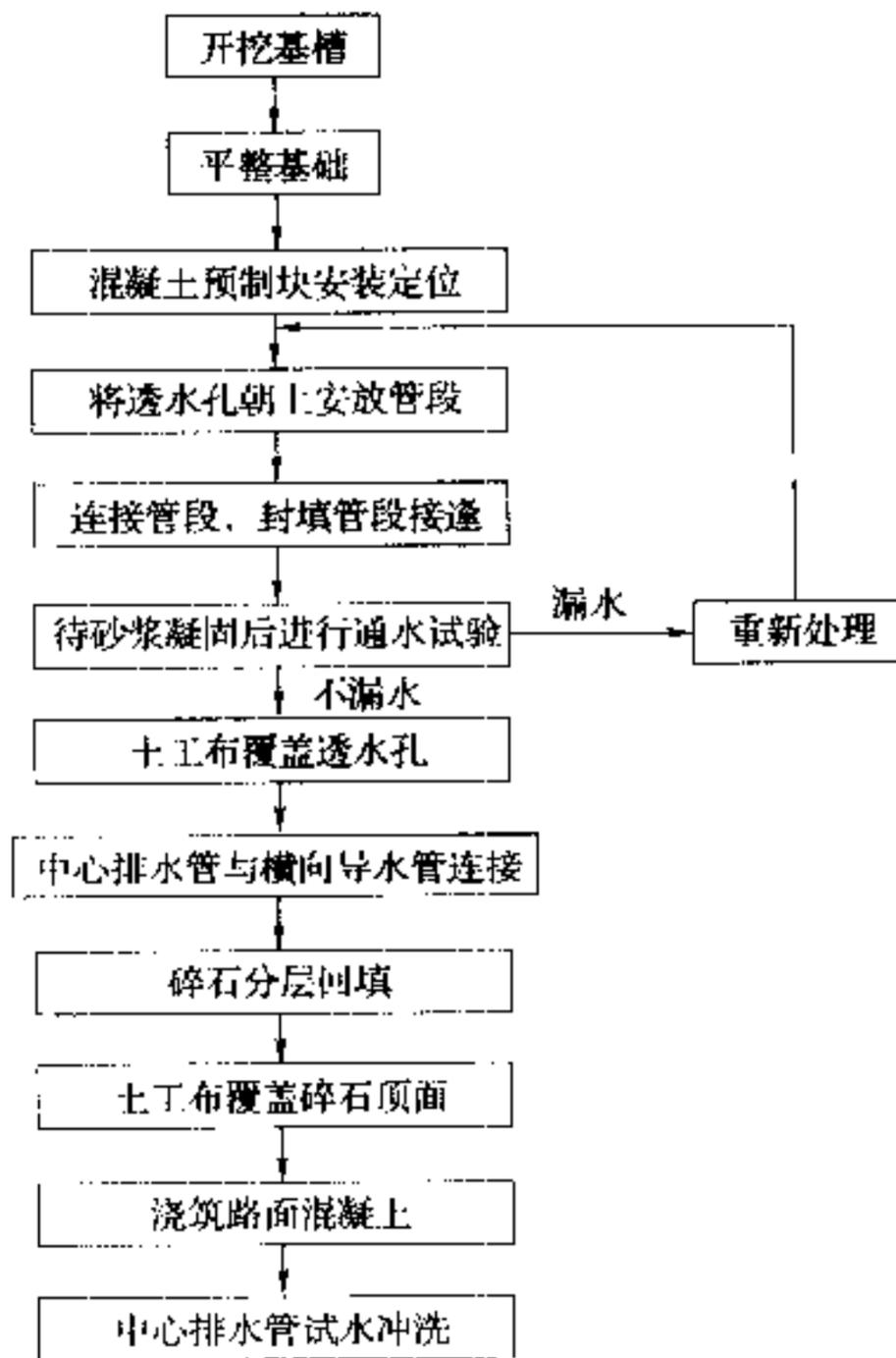


图 11.3.14 无仰拱地段中心排水管施工流程图

11.4 水沟连接

11.4.1 侧沟与中心排水管（沟）的连接形式应符合设计要求。中心排水管接头可采用钢丝网水泥砂浆抹带接口，中心排水管接口断面见图 11.4.1。

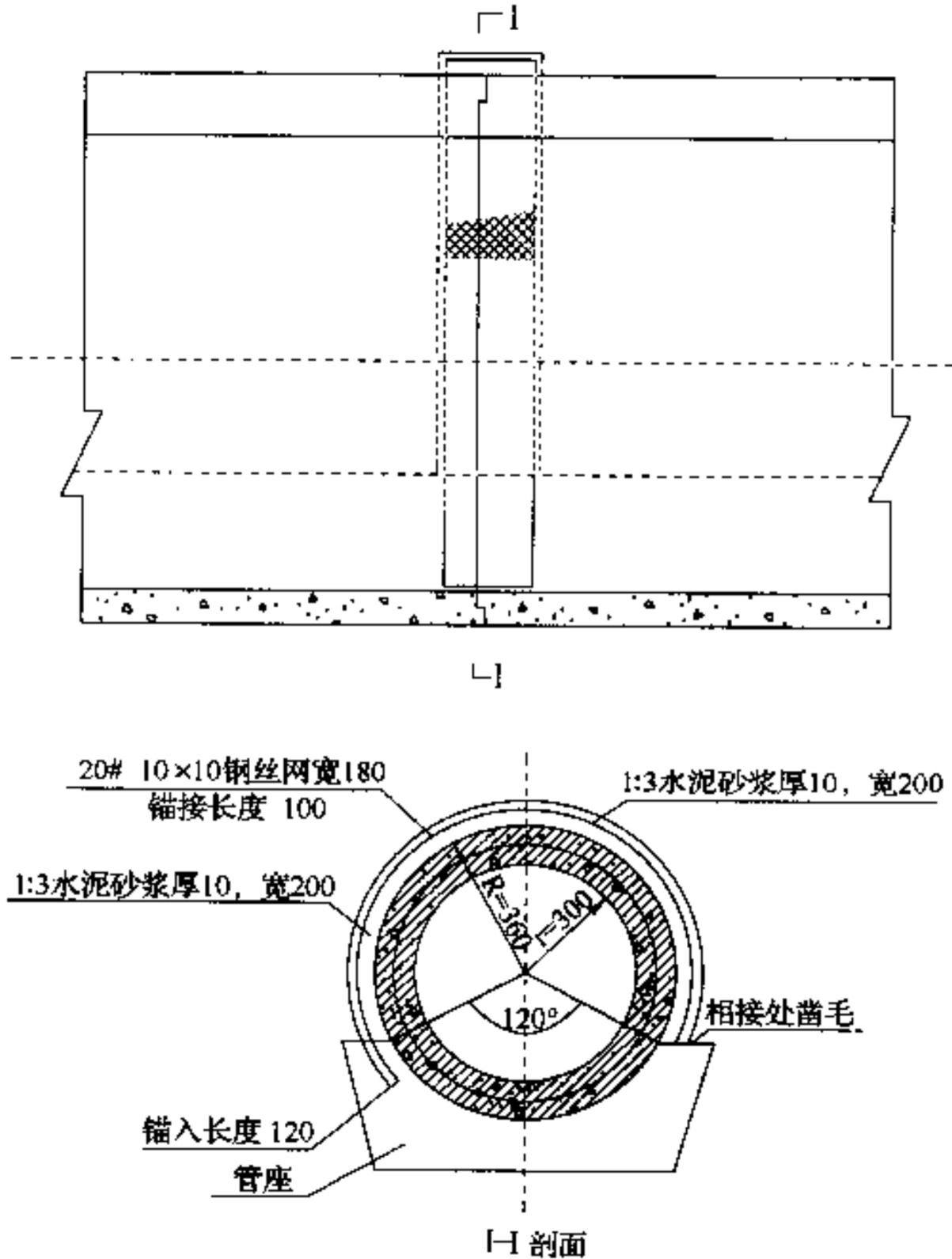


图 11.4.1 中心排水管接口断面图（单位：mm）

11.4.2 隧道内两侧水沟与中心排水管（沟）通过横向引水管连接，横向引水管的直径不宜小于 100 mm，坡度不应小于 2%，

其纵向间距应根据地下水量确定。横向引水管与中心排水管的连接见图 11.4.2。

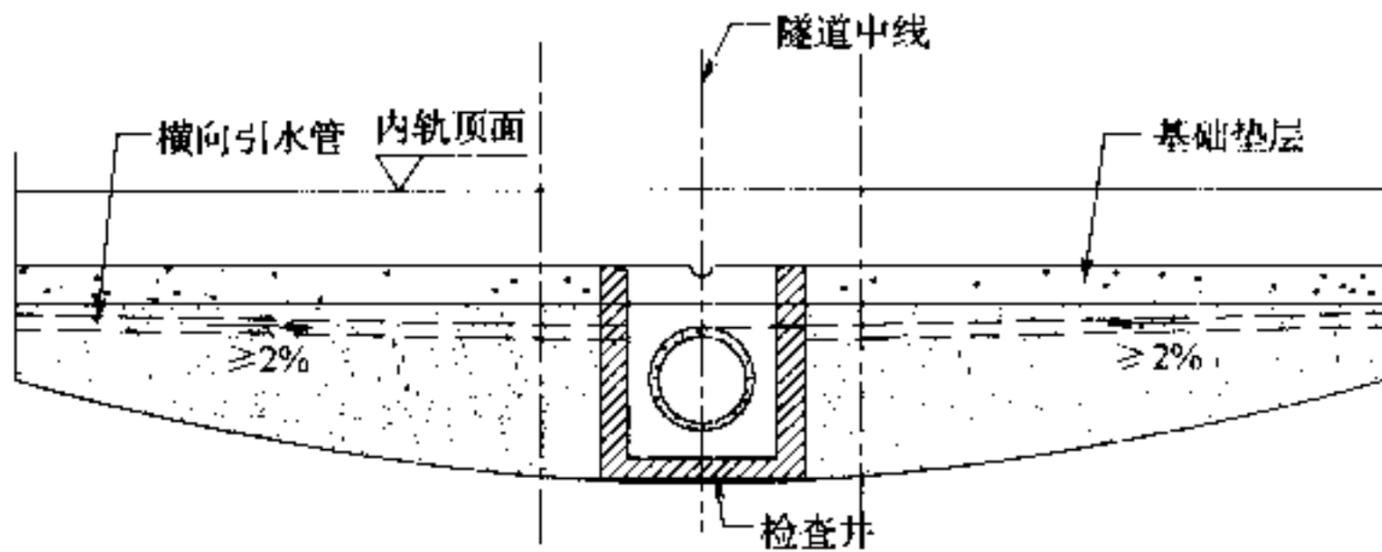


图 11.4.2 中心排水管埋设断面图

11.4.3 中心排水管埋设好后，应进行通水试验，发现漏水、积水，及时处理。

11.5 检查井

11.5.1 中心排水管（沟）纵向应按间距 50 m 设沉沙池，在直线段每 50 m 及交叉、转弯、变坡处，应设置检查井。

11.5.2 检查井的位置、数量和结构形式不得影响行车安全，并应便于清理和检查。

11.5.3 检查井井壁外边缘距衬砌断面变化处不宜小于 1 m，也不宜设置于施工缝、变形缝处。

11.5.4 检查井的井壁厚度应符合设计要求，允许偏差为 ± 10 mm。

11.5.5 检查井底部宜设沉沙池。

11.5.6 检查井口应设活动盖板，盖板下宜垫 10 mm 厚的橡胶垫圈，检查井盖板的规格、强度应符合设计要求。

12 寒冷与严寒地区防排水

12.1 一般规定

12.1.1 寒冷和严寒地区隧道的防水应以堵为主，洞口、结构和排水系统应增加保温措施，防止冬季水流冻结造成病害，危及行车和人身安全。隧道二次衬砌施工时，对防水混凝土应采取抗裂、防渗、抗冻等措施。

12.1.2 寒冷和严寒地区冬季有水隧道的冻害地段，应设置保温水沟、中心深埋水沟、防寒泄水洞和采用电加热等防寒措施，保证水流畅通，防止冻害。

12.2 施工

12.2.1 最冷月平均气温在 -5°C 以下地区，隧道排水沟形式应按表 12.2.1 的规定选用。

表 12.2.1 不同气温的排水沟形式

最冷月平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)	黏性土最大冻结深度 (m)	主排水沟形式
$-5 \sim -15$	1.0 ~ 1.5	双侧保温水沟
$-15 \sim -25$	1.5 ~ 2.5	中心深埋水沟
低于 -25	>2.5	防寒泄水洞

12.2.2 保温水沟应采用浅埋方式（即小于隧道内最大冻结深度），宜在两端洞口 150 ~ 400 m 范围内双侧设置，低洞口可适当加长。保温水沟上部设双层盖板，在两层盖板间充填保温材料，保温层厚度不应小于 30 cm，保温材料宜采用矿渣、沥青玻璃棉、矿渣棉、泡沫聚氨酯、泡沫塑料等，并应有防潮措施。

12.2.3 中心深埋水沟应将水沟埋置于隧道内冻结深度以下，并满足下列要求：

1 水沟断面形式应根据地质条件选用 U 形、圆形、箱形或拱形，在Ⅲ～Ⅵ级围岩中，拱形水沟应铺底。

2 水沟埋置深度应结合当地气温、冻结深度、水量、水温、水沟坡度，以及隧道走向与寒冷季节主导风向等条件确定，并宜大于当地黏性土的最大冻结深度。

3 水沟回填除应满足保温、渗水性好的要求外，还应防止石屑、泥沙渗入水沟引起水沟淤积。

4 水沟应设置检查井，检查井间距为 30～50 m，断面形式可采用方形或圆形，检查井下应设沉淀池，以便清淤，检查井应设双层盖板，盖板之间应填塞干草或泡沫聚氨酯等其他保温材料。

12.2.4 防寒泄水洞的施工，应满足下列要求：

1 防寒泄水洞拱部及边墙应留有足够的泄水孔，其间距不宜小于 1 m。

2 为便于对防寒泄水洞的检查及夏季通风，宜每隔 150～200 m 设一检查井，中心检查井设于线路中心线上，侧检查井设于大避车洞内，检查井应设双层盖板，盖板之间应填塞保温材料。

12.2.5 设置保温水沟，中心深埋水沟或防寒泄水洞的隧道，应修筑盲管（沟）、泄水孔、横沟、横导沟、洞外暗沟、保温出水口等设施，并要求做到：

1 盲管（沟）的设置深度不宜小于 1 m，可在盲管（沟）处增设保温墙。

2 汇集于纵向或环向盲管（沟）的地下水，通过泄水孔流入保温水沟中，泄水孔的断面宜按计算确定。

3 中心深埋水沟通过隧底横沟与盲管（沟）连接，横沟的坡度不宜小于 5%。

4 设防寒泄水洞的隧道，横沟应以暗挖的横导洞代替，衬砌背后盲管（沟）与横导洞以钻孔沟通，钻孔直径不宜小于 10 cm。当钻孔处于Ⅳ～Ⅵ级围岩时，宜安装“花管”，防止钻孔堵塞。

5 保温水沟和防寒泄水洞的水流出隧道后，应采用暗沟通过路堑地段流入地形低洼处。暗沟应埋置于冻结深度以下，其坡度不宜小于 5%，并每隔 50 m 设一检查井和沉淀坑。

6 最冷月平均气温低于 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 地区，中心深埋水沟、防寒泄水洞、洞外暗沟均应设防寒出水口。当出水口地形较陡时，其结构宜用端墙式；地形平坦时，宜用掩埋保温圆包头式。

12.2.6 寒冷和严寒地区二次衬砌混凝土施工时，除应按照本技术指南第 9 章相关规定执行外，还应符合下列规定：

1 当环境昼夜平均气温连续 3 d 低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或最低气温低于 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，混凝土的抗压强度在达到设计强度 30% 前或未达到 5 MPa 前，均不得受冻。浸水冻融条件下的混凝土开始受冻时，其强度不得小于设计强度的 75%。

2 搅拌混凝土前，应先通过热工计算，并经试拌确定水和骨料需要预热的最高温度，尽可能保证混凝土的人模温度不低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。水泥、矿物掺和料、外加剂等可在使用前运入暖棚进行自然预热，但不得直接加热。掺减水剂的混凝土，应通过试验确认电热法养护对其强度无影响后，方可采用。

3 混凝土的配制宜选用较小的水胶比和较小的坍落度，骨料中不得混有冰雪、冻块和易被冻裂的矿物质。加热处理时水加热的温度不宜高于 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；骨料不加热时，水温可加热至 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上，并应先投入骨料，和热水搅拌均匀后再投入水泥；骨料加热的温度不应高于 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；当混凝土出现坍落度减小或发生速凝现象时，应重新调整拌和料的加热温度。混凝土搅拌时间宜较常温施工时延长 50% 左右。

4 混凝土的运输容器应有保温措施，运输时间应缩短，并

尽量减少中间倒运环节。

5 混凝土在浇筑前，应清除模板及钢筋表面的冰雪和污垢。当环境气温低于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，应将直径大于或等于 25 mm 的钢筋和金属预埋件加热至正温。混凝土结构施工缝的处理应符合本技术指南第 10 章有关规定，当先浇混凝土面和外露钢筋（预埋件）暴露在冷空气中，应采取防寒保温措施。

6 当混凝土强度达到《铁路混凝土工程施工技术指南》第 7.10.1 条和第 10.1.3 条抗冻强度规定后，方可拆除模板。当环境温差在 $10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围时，模板拆除后的混凝土表面宜采取临时覆盖措施。采用外部热源加热养护的混凝土，养护期结束后的环境温度仍在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时，应待混凝土冷却至 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下且混凝土与环境之间的温差不大于 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后，方可拆除模板。

7 寒冷和严寒地区混凝土施工时应增加其与结构同条件养护的施工试件不少于 2 组，此种试件应在解冻后方可试压。

13 管片衬砌防水

13.1 一般规定

13.1.1 铁路隧道管片衬砌结构应以管片防水为基础，以接缝防水、螺栓孔与注浆孔防水为重点，辅以特殊部位防水处理，形成一套完整的防水体系。

13.1.2 衬砌管片应采用高精度管片，管片接缝采用密封垫，螺栓孔与注浆孔采用密封垫圈。

13.1.3 管片衬砌支护后，当设计有特殊防水要求、在管片内增设二次混凝土衬砌时，其施工方法按设计要求执行。

13.1.4 管片必须按照设计要求制作、安装，经抗渗检验合格后方可使用。

13.1.5 隧道管片衬砌防水应考虑长期运用中便于检修保养。

13.2 管片防水

13.2.1 隧道管片防水应提高其混凝土自防水性能，管片自防水包括管片本体防水和管片外涂防水。

13.2.2 管片应采用防水混凝土制作，其材料选用应符合国家现行有关标准的规定。

13.2.3 防水混凝土管片可采用外涂防水材料的方式提高防水性能，当隧道处于侵蚀性介质的地层时，管片耐侵蚀系数不应低于0.8，必要时可涂刷耐侵蚀的防水涂层。

13.2.4 管片外防水涂层的选择应符合下列规定：

1 耐化学腐蚀性、抗微生物侵蚀性、耐水性、耐磨性良好，且无毒或低毒。

2 在管片外弧面混凝土裂缝宽度达到 0.3 mm 时，仍能抗最大埋深处水压，不渗漏。

3 具有防杂散电流的功能，体积电阻率高。

4 施工简便，且能在冬季操作。

13.2.5 管片外防水涂层的施工应符合下列规定：

1 管片养护结束，表面湿度不大于 9%。

2 管片背部的空穴、缺损，用聚合物快凝水泥填平，清除基面上的突起物，用钢丝刷清除管片上的浮灰、浮砂。

3 按配比将涂料混合搅拌均匀，分层涂刷均匀，控制涂膜厚度不得过厚、过薄，第二道涂层涂刷的方向必须和第一道的涂刷方向垂直，两道涂层间隔时间根据涂料品种、作业环境的温度与湿度等确定。

4 待表面涂料达到实干后，方可起吊重新堆放，涂料没有完全固化成膜前，严禁水淋和灰砂的沾污。

5 涂层必须粘结牢固，表面平整，无空鼓、脱落、破损等现象。

13.2.6 管片外防水涂层宜采用环氧煤焦油、环氧—聚氨酯、改性沥青、环氧与氯磺化聚乙烯复合涂料等，同时也可辅以无机水性高渗透密封剂，加强抗渗、抗腐蚀性。

13.2.7 衬砌管片外防水涂层除应涂刷于管片背面外，还应涂刷在环、纵面橡胶密封条外侧的混凝土上。

13.3 管片接缝防水

13.3.1 管片接缝防水应选择具有合理构造形式、良好回弹性及遇水膨胀性、耐久性、耐水性的橡胶类材料。

13.3.2 管片至少应设置二道密封垫沟槽，其外形应与沟槽相匹配；弹性密封橡胶垫与遇水膨胀橡胶密封垫的性能应符合有关规定。

13.3.3 管片接缝密封垫应满足在设计水压和接缝最大张开值下

不渗漏的要求。密封垫沟槽的截面积应为密封垫截面积的 1 ~ 1.5 倍，使密封垫完全压入密封沟槽内。

13.3.4 管片弹性密封材料防水应符合下列规定：

1 在设计水位下不漏水，能承受千斤顶顶力、注浆压力及衬砌使用阶段的截面内力，千斤顶的反复推力作用下和管片变形时不失去水密性。

2 有相当的弹性，在承受往复压力后复原能力强，能承受千斤顶的推力及螺栓的紧固力。

3 具有足够的粘结力、耐久性、抗老化性和良好的化学稳定性等。

4 具有均质性，施工方便，不会影响管片拼装精度，安装完成后能立即承受荷载等。

13.3.5 管片接缝防水材料必须满足设计要求，并应满足下列要求：

1 所采用的防水材料，必须按设计要求和生产厂家的质量指标分批进行抽检。

2 采用遇水膨胀橡胶防水材料时，运输和存放必须采取防潮措施，并设专用库房存放。

3 防水材料专用库房应按规定配备消防设施。

13.3.6 管片防水密封条粘贴应遵守下列规定：

1 按管片型号使用，严禁使用尺寸不符或有质量缺陷的产品。

2 在管片角隅处加贴自粘性橡胶薄片时，其尺寸应符合设计要求。

3 环面纠偏要求粘贴传力衬垫材料时，必须按正确位置粘贴。

4 变形缝、柔性接头等管片接缝防水的处理应按设计图纸要求实施。

5 管片防水密封条粘贴后，在运输、堆放、拼装前应有防

雨、防潮措施，拼装时应逐块检查。

13.3.7 管片嵌缝防水材料应满足下列要求：

- 1 具有水密性、良好的化学稳定性及对气候变化的适应性。
- 2 与潮湿混凝土结合力强，在湿润状态下易于施工。
- 3 具有弹塑性，伸缩性小，伸缩及复原性好。
- 4 硬化时不受水分影响。
- 5 施工后应尽快成为非粘接，完全硬化时间短。

13.3.8 管片嵌缝防水应符合下列规定：

- 1 在管片内侧环、纵向边沿应设置嵌缝槽，其深宽比应大于 2.5，槽深宜为 25 ~ 55 mm，单面槽宽宜为 3 ~ 10 mm。
- 2 不定形嵌缝材料应有良好的不透水性、潮湿面粘结性、耐久性、弹性和抗下坠性；定形嵌缝材料应有与嵌缝槽能紧贴密封的特殊构造，有良好的可卸换性和耐久性。
- 3 嵌缝作业区的范围与嵌填嵌缝槽的部位，除了根据防水等级要求设计外，还应视工程的特点与要求而定，槽缝应清洗干净，使用专用工具填塞平整密实。
- 4 嵌缝防水施工必须在盾构千斤顶顶力影响范围外进行，同时应根据盾构施工方法、隧道的稳定性确定嵌缝作业开始的时间。
- 5 嵌缝作业应在接缝堵漏和无明显渗水后进行，嵌缝槽表面混凝土如有缺损，应采用聚合物水泥砂浆或特种水泥修补牢固；嵌缝材料嵌填时，应先涂刷基层处理剂，嵌填应密实、平整。

13.3.9 管片嵌缝槽的槽底宜设斜楔口，当采用定形嵌缝材料时，两槽边可设为平行状，见图 13.3.9 (1) ~ (3)；采用不定形的嵌缝材料时，可设小型槽口，见图 13.3.9 (4)；深度比要求大于 2.5（槽深度为 20 ~ 55 mm，单面槽宽宜为 3 ~ 10 mm）。

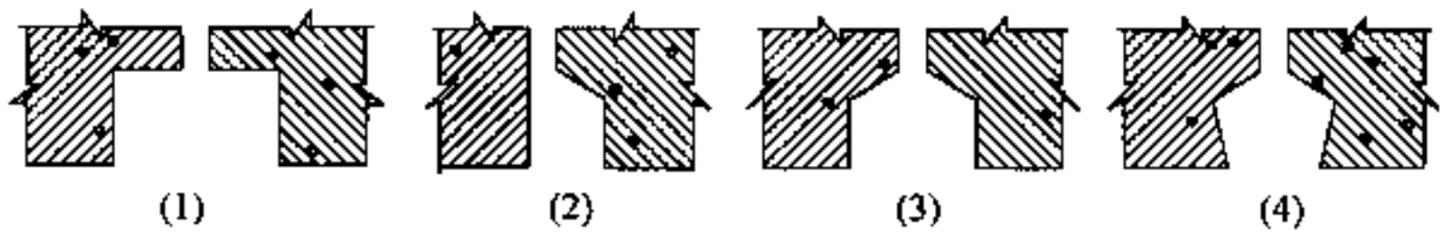


图 13.3.9 管片嵌缝槽构造形式图

13.4 螺栓孔、注浆孔防水

13.4.1 管片上的螺栓孔应采用螺孔密封圈防水，密封圈的外形应与螺孔、螺栓相匹配，并有利于压密止水或膨胀止水。

13.4.2 螺栓孔防水应符合下列规定：

- 1 管片肋腔的螺孔口应设置锥形倒角的螺孔密封圈沟槽。
- 2 螺孔密封圈应采用合成橡胶、遇水膨胀橡胶制品。
- 3 螺孔密封圈应压入密封圈沟槽，使密封圈与螺栓、螺孔混凝土压密贴。

13.4.3 封堵注浆孔的防水材料应满足下列要求：

- 1 伸缩性好、不失水密性。
- 2 能承受螺栓坚固力。
- 3 有耐久性而且耐老化。

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，在正常情况下均应采用这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

(4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词：采用“可”。

《铁路隧道防排水施工技术指南》

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。

1.0.1 我国在 50 多年铁路隧道建设过程中，隧道防排水的设计、施工和运营养护均取得了一定的经验和成果。为了更好地推广应用隧道防排水的有效经验和成果，适应我国现阶段铁路隧道建设的需要，故制定本技术指南。

1.0.2 ~ 1.0.5 根据铁道部铁建设〔2007〕88 号文件（关于印发《铁路隧道设计施工有关标准补充规定》的通知）精神，隧道防排水设计应采取“防、堵、截、排，因地制宜，综合治理”的原则，应进行环境评价，重视环境保护。对下穿江、河、城市及对环境有特殊要求的隧道，宜采取全封闭不排水的原则；对岩溶、高压水和适当排水不会影响环境的隧道，宜采取以堵为主，限量排放的原则；排水对环境确无影响时，宜采取排水的原则，并考虑排水措施的可维护性。

“防”：即要求隧道衬砌结构具有一定的自防水能力，能防止地下水渗入，如采用防水混凝土或防水板等。

“堵”：在隧道施工过程中，有渗漏水时，可采用注浆、喷涂等方法堵住；运营后渗漏水地段也可采用注浆、喷涂，或用嵌填材料、防水抹面等方法堵水。

“截”：隧道顶部如有地表水易于渗漏处所或有坑洼积水，应设置截、排水沟和采取清除积水的措施。

“排”：即隧道应有排水设施并充分利用，以减少渗水压力和渗水量，但必须注意大量排水后对周围环境引起的后果，如地层细颗粒流失、降低围岩稳定性及造成当地农田灌溉和生活用水困难等，应事先妥善处理。

隧道防排水工作，应结合水文地质条件、施工技术水平、工程防水等级、材料来源和成本等，因地制宜，选择适宜的方法，以达到“防水可靠，排水通畅，线路基床底部无积水，经济合理的目的”。

随着科学技术的发展，隧道工程防排水的新材料、新工艺、新技术也不断出现，只要是符合国家现行标准，满足设计要求，经实践检验质量和性能可靠的，都可以使用。铁路隧道防排水材料的选用应符合环保无毒的要求，排水盲管（沟）、缓冲层、防水板、止水条、止水带、背衬材料、嵌缝材料等在长期使用中不允许有毒（害）物质滤出。

3.2 隧道洞口处，截水沟、排水沟、施工便道的走向往往有多种方案可供选择，应结合地形条件选择对地面植被破坏最小、排水畅通的方案。

4.1.3 水泥系注浆材料宜选用强度等级不低于 32.5R 的水泥。使用水泥—水玻璃浆液时，应掺入增加耐久性的外加剂，以提高浆液的后期强度，其他浆液材料应符合有关规定。单液水泥浆性能的调整方式如下：

（1）调整水泥浆液的凝胶时间：浆液中可掺入氯化钙、水玻璃等促凝剂；

（2）为提高浆液稳定性和可灌性，可掺分散剂或悬浮剂（膨润土、甲基纤维素、羟乙基纤维素、聚乙烯醇、聚丙烯酸及基盐类等）；

（3）为控制水泥浆液扩散范围，提高注浆堵水效果，可在水泥浆液中掺加速凝剂或早强剂；

（4）为降低浆液在含水层中的稀释率，改善浆液的强度，可在水泥浆中掺入一定的增强型防水剂，使浆液水化物质呈胶状

且在输浆管内承压后不脱水，以加大单液水泥浆的黏度与胶凝时间的可调范围；

(5) 注浆前应对浆液的配合比、工艺流程进行现场试验合格后再施工。

4.2.2

3 深孔预注浆段越长，连续开挖段相应也越长，工期会越短，但钻孔越深，钻孔速度相应越低，进度会减慢。因此，合理确定注浆段长度是加快注浆进度，迅速渡过不良地质地段的关键。选择预注浆的段长，不仅要考虑工程地质和水文地质条件，主要应把相同孔隙率或裂隙宽度的地层放在同一注浆段内，以便浆液均匀扩散，而且要考虑工作实际，不使成本增大过多，还需要考虑钻孔时间，充分发挥钻机效率，缩短工程建设工期。

4 如量测静水压力有困难时，可参考下列经验公式确定最大设计压力，并根据注浆试验结果进行修正：

$$\text{地表注浆 } P = (0.2 \sim 0.5) H_1$$

$$\text{洞内注浆 } P = (0.2 \sim 0.5) H_1 K$$

式中 H_1 ——孔口至静水位高度 (m)；

K ——洞内修正系数，宜取 1.2 ~ 2.0；

P ——注浆设计压力 (MPa)。

注浆压力是浆液在裂隙中扩散、充填、压实、脱水的动力。注浆压力太低，浆液扩散范围有限，不能充填裂隙。注浆压力太高，会引起裂隙扩大，岩层移动和抬升，浆液易扩散到预定注浆范围以外，造成浪费。特别在浅埋隧道，会引起地表隆起，破坏地面设施，造成事故。因此，合理选择注浆压力是注浆成败的关键。

5 预注浆的注浆方式一般分为：前进式注浆、后退式注浆、综合注浆、全孔一次性注浆、群孔一次注浆等。

6 钻孔精度是注浆效果好坏的关键，因此，要尽量保证开孔偏差和钻孔偏斜率在允许范围以内。

8 注浆结束压力控制在使泵压达到预定值时，会自动停泵，

不致于发生超压。如注浆过程中出现较大的跑浆，经间歇注浆后达到或接近终压也可结束注浆。整治涌水突泥时，其终压值根据客观条件的变化，可选择合理的上限值和下限值与导坑突水量作为结束注浆的条件。

4.2.3

说明表 4.2.3—1 按试验孔压水流量选择注浆材料及浆液浓度

项 目	试验注浆孔的压水流量 (L/min)				
	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 500	500 ~ 1 000	> 1 000
浆液类型	单液水泥浆	单液水泥浆	水泥—水玻璃浆	水泥—水玻璃浆	水泥—水玻璃浆
水灰比	1:1 ~ 0.8:1	0.8:1 ~ 0.6:1	1:1 ~ 0.8:1	0.6:1 ~ 0.8:1	0.6:1
水泥外加剂用量 (%)	氯化钙 3% ~ 5% 或水玻璃 3% ~ 5% 或三乙醇胺 0.05% 及食盐 0.5%				
水玻璃浓度 (Be°)			35 ~ 40	35	30 ~ 35
水泥浆与水玻璃体积比			1:1 ~ 1:0.8	1:0.8 ~ 1:0.6	1:0.6 ~ 1:0.3
凝固时间 (min)	300 ~ 400		2 ~ 3	1 ~ 2	< 1

- 注：1 本表根据《锚固与注浆技术手册》（中国岩土力学与工程学会岩石锚固与注浆技术专业委员会）制定。
- 2 本表适用于裂隙含水岩层。
- 3 水灰比为重量比，外加剂用量为占水泥重量的百分率。
- 4 浆液浓度为起始浓度，可在注浆过程中根据实际情况调整。
- 5 破碎岩层无水时，采用水泥浆掺入外加剂的浆液较适宜，水灰比多为 0.6:1 ~ 0.8:1。
- 6 当处理断层破碎带，地下水流速很大时，则宜先注入惰性材料，如中、粗砂或岩粉等，以充填过水通道，增加浆液流动阻力，减少跑浆，然后注入水泥—水玻璃双液浆堵水。

说明表 4.2.3—2 注浆孔吸水率与浆液起始浓度关系

钻孔吸水率 [L / (min · m · m)]	浆液起始浓度 (水灰比)	钻孔吸水率 [L / (min · m · m)]	浆液起始浓度 (水灰比)
0.01 ~ 0.1	8:1	3.0 ~ 5.0	1:1
0.1 ~ 0.5	6:1	5.0 ~ 10.0	0.5:1 (加掺和料)
0.5 ~ 1.0	4:1	> 10	0.5:1 (加掺和料)
1.0 ~ 3.0	2:1		

注：其他浆液起始浓度可参考水泥浆液起始浓度试验确定。

为防止压注速度过大造成上压过快返浆、漏浆等现象，影响注浆质量，因此需要先确定注浆孔的吸水率。吸水率为单位时间内每米钻孔在每米水压作用下的吸水量，可通过压水试验按下式计算：

$$q = Q / (H \cdot h)$$

式中 q ——钻孔吸水率 $[L / (\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})]$ ；

Q ——单位时间内钻孔在恒压下的吸水量 (L/min) ；

H ——试验时所使用的压力 (10 kPa) ；

h ——试验钻孔长度 (m) 。

如用某浓度级水泥浆液注浆过程中，吸浆率约为吸水率的80% ~ 85%时，可认为浓度适宜；注浆压力保持不变，吸浆量随注浆时间延长逐渐减少时，或当吸浆量不变而压力却逐渐升高时，均属于浓度适中，不需改变浆液浓度；如果连续压入20 ~ 30 min后，注浆压力和吸浆量均无改变或改变不大，即可换用较浓一级的浆液。

如遇有冒浆或岩层破碎带、大裂隙、岩溶发育地层时，应越级加浓或采取间歇注浆、水泥—水玻璃注浆等措施。在岩溶发育的石灰石岩层注浆，浆液浓度可参考说明表4.2.5—3进行选择。

说明表 4.2.3—3 石灰石岩层浆液起始参考浓度

钻孔吸水率 $(L/\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$	<0.1	0.1 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	>1:0
浆液起始浓度 (水灰比)	>4:1	4:1 ~ 2:1	2:1 ~ 1:1	<1:1

4.2.4 注浆是用压送设备将具有胶结性的浆液通过注浆孔有目的地注入含水地层中，浆液以填充、渗透、挤密和劈裂等形式，使其扩散、膨胀、胶凝或固化，以充填岩石裂隙或赶挤孔隙中的水分和空气后占据其位置。浆液将裂隙胶结成一个整体，形成一个防水性能高和稳定性良好的“结石体”，从而提高围岩的抗渗性能，防止开挖时涌水，改善地下工程的施工条件。

注浆材料的品种很多，且某种材料不可能符合条文中所有条件，因此必须根据工程地质和水文地质情况、注浆目的、注浆工

艺、成本和设备等因素综合考虑，合理选用注浆材料。本条文强调合理选用，不一定非要全部满足条文规定的原则，而应结合工程实际有所侧重考虑。

说明表 4.2.4—1 按注浆的目的选择浆液材料

注浆目的	工艺技术	浆液类别
基岩防渗	渗透及脉状注浆	水泥浆、聚氨酯浆、AC-MS浆、水泥砂浆
回填注浆	渗透、挤密注浆	水泥浆、水泥砂浆
堵水注浆	渗透及脉状注浆	水泥—水玻璃浆、水玻璃浆、聚氨酯浆、AC-MS浆
预注浆	渗透及脉状注浆	水泥浆、水泥—水玻璃浆

说明表 4.2.4—2 按地质条件及施工对象选择注浆材料

地质条件	施工对象	堵水	充填	防渗	备注
岩层	> 0.1 mm 裂隙	单液水泥浆、水泥—水玻璃浆			
	< 0.1 mm 裂隙	丙烯酸			
特殊地质条件 (破碎带、断层、溶洞等)		骨料 + 单液水泥浆、骨料 + 水泥—水玻璃浆、单液水泥浆、水泥黏土浆、水泥—水玻璃浆			根据地层内有无充填及空洞大小选择骨料
混凝土 二次衬砌	壁内	丙烯酸、聚氨酯类（如裂隙较大，亦可用水泥—水玻璃浆）		丙凝	大裂缝用水泥浆
	壁后	单液水泥浆、水泥—水玻璃浆等			小裂缝用化学浆

常用注浆材料的特点及范围：

(1) 单液水泥类浆液

以水泥或在水泥中加入一定量的附加剂为原材料，用水配制成浆液。附加剂为分散剂、悬浮剂，如水玻璃、氯化钙、三乙醇胺（速凝早强作用）和氯化钠等复合附加剂。

单液水泥类浆液属于颗粒性材料，适用于注浆量大的预注浆及裂隙宽度大于 15 mm 的围岩注浆。

单液水泥浆的特点为：水泥作为注浆材料，来源丰富，价格

便宜；浆液结石体强度较高，一般 28 d 的抗压强度为 5 ~ 25 MPa，抗渗性能好。采用单液方式注入，工艺及设备简单，操作方便；由于水泥是颗粒材料，可注性差；浆液凝固时间长，不能准确控制；浆液在动水情况下容易流失，结石率较低，并且易析水沉淀。

(2) 水泥—水玻璃双液浆

水泥—水玻璃浆液是以水泥和水玻璃为主剂，两者按一定的比例，采用双液方式注入，必要时加入速凝剂和缓凝剂所形成的注浆材料。这种浆液克服了单液水泥浆的凝结时间长且难以控制、动水条件下结石率低等缺点，提高了水泥注浆的效果，扩大了水泥注浆的范围。适用于隧道大涌水、突泥封堵及岩溶流塑粒土的劈裂固结，在地下水流速较大的地层中采用这种混合型浆液可达到快速堵漏的目的。也可用于防渗和加固注浆，它是隧道施工中的主要浆材。

水泥—水玻璃浆液特点为：浆液可控性好，凝胶时间可准确控制在几秒至几十分钟范围内；浆液凝结后的结石率高；材料来源丰富、价格便宜；结石体易粉化。该浆液适宜于 0.2 mm 以上裂隙及 1 mm 以上粒径的砂层使用。

(3) 超细水泥浆液

由极细的水泥颗粒组成，中粒径小于 4 μm 的颗粒占 50%，而其他水泥粒径小于 4 μm 不足 10%。超细水泥浆液的特性为：在同样水灰比的情况下，超细水泥浆液的黏度比普通水泥和胶体水泥浆液都低；超细水泥浆液比其他水泥浆液具有较好的稳定性；浆液结石强度高。超细水泥颗粒有较高的化学活性，能够较好地凝结硬化，获得高的早期和后期强度。龄期 3 d 即可达 25 MPa 以上；凝胶时间可准确控制在几十秒至几十分钟范围内调节；浆液的可注性较好。

(4) 聚氨酯浆液

聚氨酯浆液分为非水溶性聚氨酯浆液和水溶性聚氨酯浆液。

非水溶性浆液由多异氰酸酯和多羟基化合物聚合而成，只溶于有机溶剂，不溶于水。其特点是：浆液相对密度 1.036 ~ 1.125，遇水开始反应，因此不易被地下水冲稀或冲失，可用于岩层裂隙细微、压不进去或涌水大、流速大的动水条件下堵漏，止水效果好。浆液遇水反应时发泡膨胀，进行二次渗透，扩散均匀，有较大的扩散半径和凝固体积比，注浆效果好。结石体抗压强度高，抗渗性能好。浆液黏度低，可注性好，可与水泥注浆相结合；采用单液系统注浆，工艺设备简单。浆液受外部的水或水气影响较大，甚至药品本身含有的微量水也可使体系发泡，所以存放、使用都需十分注意。预聚体稳定性差，要密闭保存。不污染环境。发泡体积受外界压力影响，外压大，发泡体积小，外压小，发泡体积大。注浆后，管路、设备需用丙酮、二甲苯等溶剂清洗。

水溶性浆液是由预聚体和其他外加剂所组成，具有亲水性。其特点是：浆液相对密度 1.10，黏度约为 0.1 Pa·s，浆液能均匀地分散或溶解在大量水中，凝胶后形成包有大量水的弹性体。浆液的凝胶时间可以根据催化剂或缓凝剂的用量在几分钟到几十分钟之间调节，凝胶体的抗压强度与包水量有关。结石体的抗渗性能好，可用于地下工程的防渗堵漏。

4.2.6 进行后退式分段注浆时，首先将止浆塞及其他配套装置放入注浆管中，对底部一个注浆分段段长进行注浆施工，第一段注浆完成后，将止浆塞恢复到原状，后退一个分段长度进行第二段注浆，如此循环，直到将整个注浆段完成。止浆塞应采用富于弹性且耐磨性能好的橡胶制作，止浆塞直径应小于钻孔直径的 2~4 mm，长度为 100 mm，并能承受注浆终压的要求，必要时可多个止浆塞合并使用。

4.5 铁路隧道的初期支护为永久性结构，长期渗水将减弱其结构强度，此外为了保证二次衬砌的施工质量，也必须对初期支护大面积渗漏水进行治理。

当地层裂隙不太发育时，钻孔后下入注浆花管就可以进行径向注浆；当地层裂隙比较发育时，宜采用 TSS 管，以减少或防止注浆施工中串浆的发生，从而提高径向注浆加固效果。

径向注浆压力定为 1 ~ 1.5 MPa，是对于水量和水压不大的情况，如果涌水压力很大，则要根据注浆试验确定。

4.6.3 回填注浆时间的确定，是以衬砌是否承受回填注浆压力作用为依据的，避免结构过早受力而产生裂缝。因此，回填注浆应在衬砌混凝土达到设计强度 70% 后进行。

5.3.2 排水泵站的设置及集水坑的有效容积设计等，与隧道消防排水、汛期雨水等有密切关系，应注意相关专业的验收要求和规定。

5.4 采用钻孔排水时，应着重对静水压力、涌水量进行调查分析，在水压力较高（大于 2 MPa）时，应特别注意对现场施工人员人身安全的保护，不允许施工人员站在正对孔口的位置，防止高压水冲出伤人；当涌水量大时，为了现场施工人员能尽快撤离，非钻孔施工人员必须撤出现场。

5.5.2 水量、水压较大时可采用泄水洞排水，但应满足以下条件：

(1) 洞内涌水与地表直接连通，受天气影响明显。表现为一旦下大雨，洞内水量急剧增加，雨停后，水量很快减小。

(2) 高压富水地区，出水通道的位置和方向能够确定。

(3) 长期排水不会对当地居民的生产、生活造成大的影响。

5.6.1 当特殊洞室作为隧道的永久排水洞、通风洞或其他用途时，其防排水应按照使用要求办理。

6.1.1 降低地下水位的方法主要有集水明排和井点降水两类，降水方法及其适用范围见说明表 6.1.1。集水明排是指在基坑中开挖集水井和集水沟，用泵将水从集水井中抽出从而疏干基坑的方法。分层挖土时，随着挖土面的下移，需在新的开挖面上重挖集水井和集水沟。该方法适合于弱透水地层中的浅基坑，尤其是

说明表 6.1.1 降水方法及适用范围

适用范围		适用地层	渗透系数 (cm/s)	降水深度 (m)
降水方法				
集水明排		含薄层粉砂的粉质黏土, 黏质粉土, 砂质粉土, 粉细砂	$1 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-4}$	<5
井点降水	轻型井点 多级轻型井点	同上	$1 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-4}$	<6 6~10
	喷射井点	同上	$1 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-4}$	8~20
	电渗井点	黏土, 淤泥质黏土, 粉质黏土	$< 1 \times 10^{-7}$	根据选用的井点确定
	管井 (深井)	含薄层粉砂的粉质黏土, 砂质粉土, 各类砂土, 砾砂, 卵石	$> 1 \times 10^{-6}$	>10
	砂 (砾) 渗井	含薄层粉砂的粉质黏土, 黏质粉土, 砂质粉土, 粉土, 粉细砂	$> 5 \times 10^{-7}$	根据下伏含水层的性质及埋深确定

在基坑环境简单、含水层较薄, 降水深度较小的情况下, 采用集水明排是比较经济的。井点降水是通过在地下水施加作用力, 利用带有过滤器的井管埋入含水层中, 从管中抽取地下水, 从而达到降低地下水位的目。根据施加作用力的方式以及抽水设备的不同, 井点降水有轻型井点、喷射井点、电渗井点、管井井点和深井井点等。其中轻型井点主要适用于地下水位较高, 一级井点降水深度为 3~6 m, 二级井点降水深度为 6~9 m, 多级可至 12 m。喷射井点在设计时其管路平面布设和立面布设与轻型井点基本相同。基坑面积较大时, 采用环形布设。基坑宽度小于 10 m 时采用单排线型布设; 大于 10 m 时可作双排布设。喷射井点间距一般为 2~3.5 m。当采用环形布设时, 进出口 (道路) 处的井点间距可扩大为 5~7 m。电渗井点阴极布设与轻型井点布设或喷射井点布设相同, 阳极布设在阴极与基坑上缘之间。阴、阳极之间的距离, 当采用轻型井点时, 为 0.8~1.0 m; 采用喷射井点时, 为 1.2~1.5 m。阴、阳极的数量宜相等, 必要

时阳极数量可多于阴极数量。管井井点系统根据基坑平面形状或沟槽宽度，以及所需降水深度，沿基坑四周呈环形或沿基坑（或沟槽）两侧呈直线形布设，井点一般沿基坑周围距开挖边坡上缘为 1.0 ~ 2.0 m，井距可以通过计算得到，一般为 15 ~ 25 m 左右。环境要求高，有隔水帷幕（或连续墙），采用坑内降水，一般用管井（深井）井点效果好。管井（深井）井点布设在坑内，按棋盘点状布置，井距可通过计算得到，一般为 10 ~ 20 m 左右。需要注意的是：坑内降水，既要满足降水要求，即降水后坑内水位要低于基坑底以下 0.5 ~ 2 m；又要不低于基坑周边隔水帷幕底高程，一般应使降低后坑内水位在隔水帷幕底高程上方 2 m 左右。

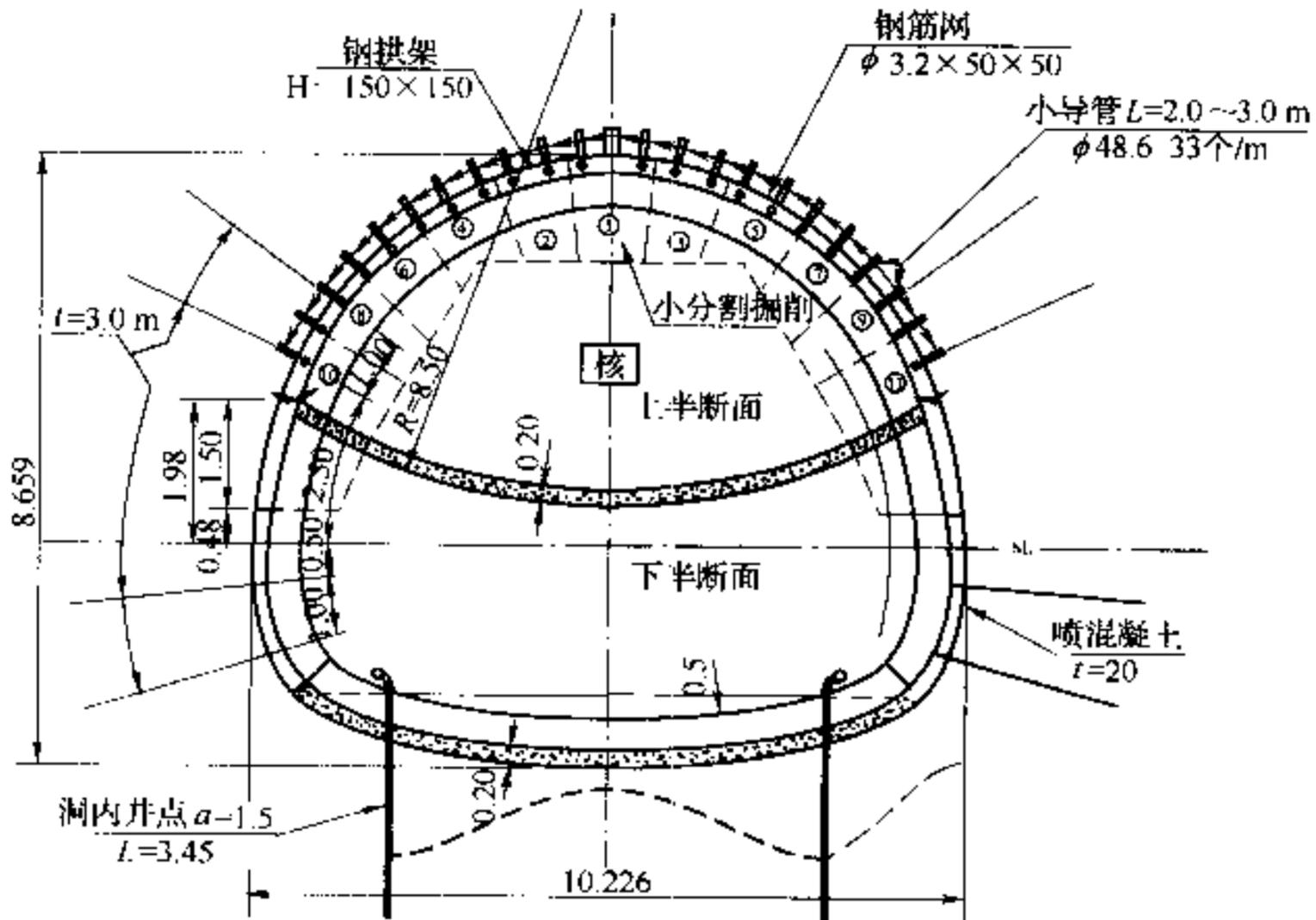
对于地下水位以下的土层为一般均匀性的、较厚的、自由排水的砂性土，则用普通井点系统或单井群井均可有效地降水；若为成层土或黏质砂土时，则需采用滤网并适当缩短井点间距，同时还应采用井外的砂粒倒滤层。当基坑底下有一薄层黏土，且下面为砂层，则需考虑采用将喷射井点或深井打入该砂层，用以减除下层的水压力，以免基底隆起或破坏。

6.1.2 降水施工方案主要适用于以下情况与条件：

- (1) 地下水位较浅的砂石类或粉土类土层；
- (2) 周围环境容许地面有一定沉降；
- (3) 止水帷幕密闭，坑内降水时坑外水位下降不大；
- (4) 采取了有效措施，足以使邻近地面沉降控制在允许值以内；
- (5) 具有地区性的成熟经验，证明降水对周围环境不产生大的不良影响。

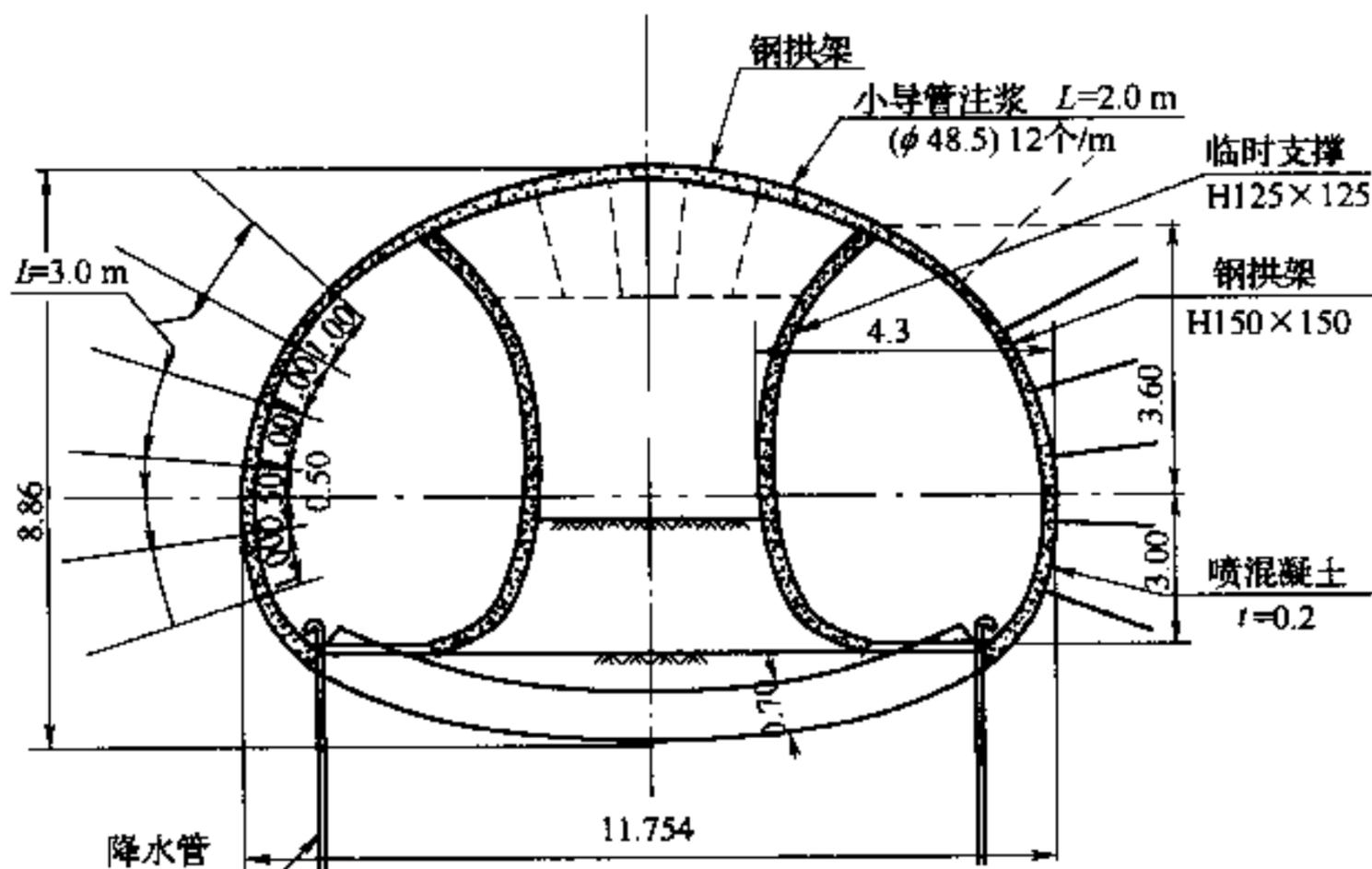
6.2.1 洞内轻型井点降水是将一系列井点管埋设于洞内开挖底面以下的地层中，并将这些井点都连接到抽水总管，用真空泵（射流泵）和水泵将地下水抽出，以降低地下水位，使开挖面处保持干燥或少水状态，改善施工条件，加快施工速度。洞内轻型

井点降水主要适用于渗透系数为 $0.1 \sim 80 \text{ m/d}$ 的砾砂、粗砂、中砂及细砂层等地层，其降低地下水位的深度受诸多条件限制，尤其受设备限制，一般单层井点系统能降低地下水位 $3 \sim 6 \text{ m}$ 。井点的布设应根据施工方法及地下水位的实际情况灵活选择，一般是在开挖上半断面时埋设井点。当大断面开挖，地下水位在隧道中偏下位置时，或地下水虽在拱顶以上；但在开始施工阶段，通过竖井将水位已降到底部时，洞内降水方式多放在下半断面墙脚处，无论正台阶法施工或 CRD 工法施工，这种布置方式是很合适的，详见说明图 6.2.1—1、6.2.1—2。

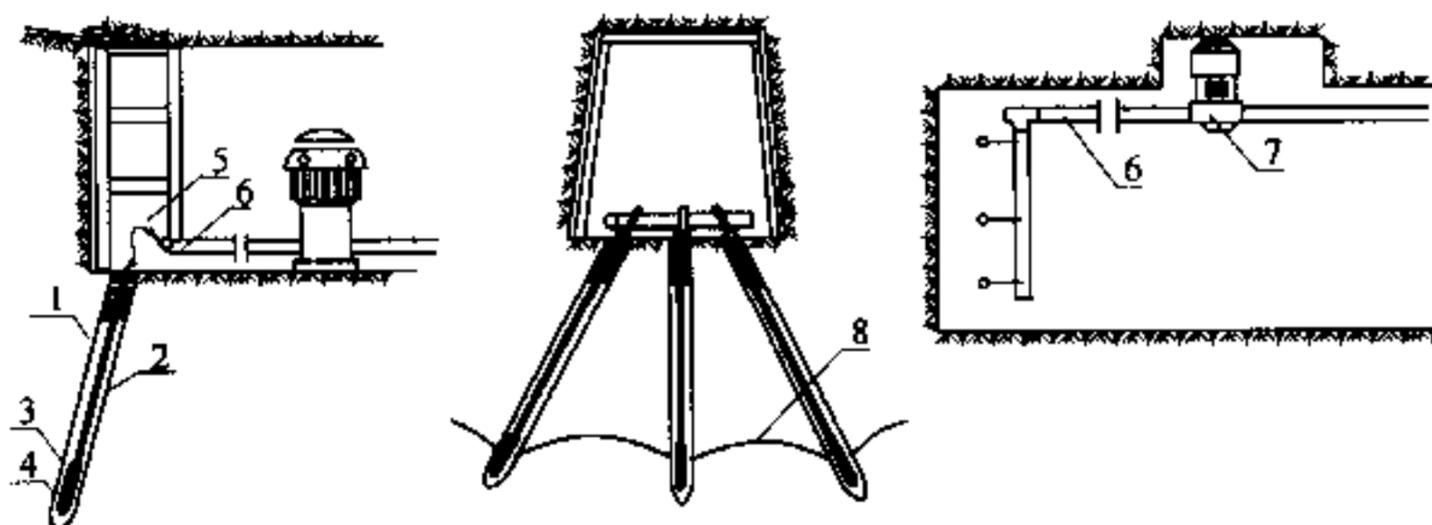


说明图 6.2.1—1 正台阶施工洞内井点降水图例

井点系统主要由井点、抽水总站和泵站等设备组成，其结构示意图见说明图 6.2.1—3。其中井点由滤管、喷嘴及井点管组成，井点系统的泵站设备种类很多，常用的有真空泵和射流泵两种。洞内轻型井点降水所需主要机具设备见说明表 6.2.1。



说明图 6.2.1—2 CRD 工法施工洞内井点降水图例



说明图 6.2.1—3 井点系统结构示意图

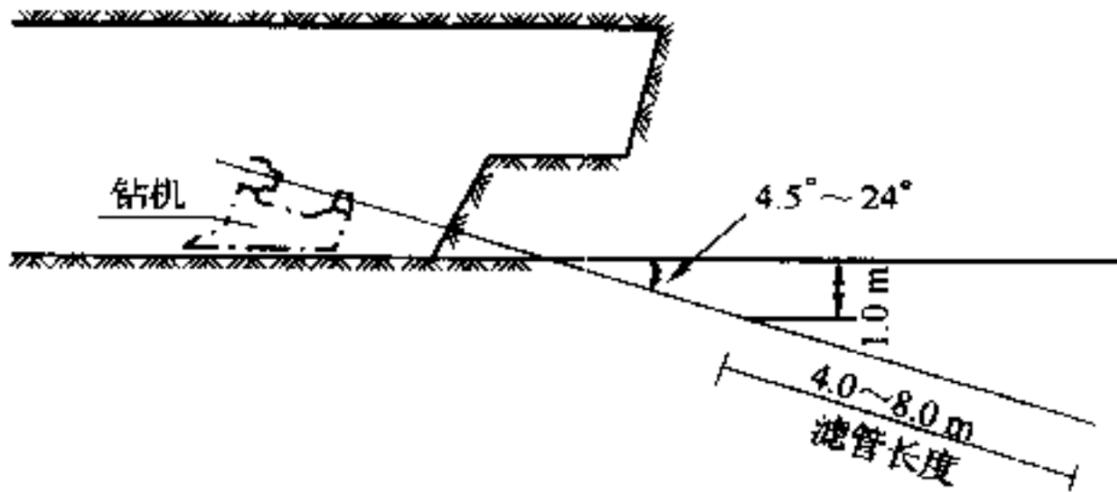
注：1—井点管；2—砂滤层；3—滤管；4—喷嘴；

5—弯联管；6—抽水总管；7—泵站；8—降水曲线

对渗透性较差的细砂层等地层，在条件允许时，也可考虑采用洞内水平井点降水法。斜设井点采用水平钻机成孔，井点管选用 $Dg48$ 钢管加工，总长度 $12 \sim 16$ m，其中滤管长度为 $4 \sim 8$ m。井点布设在隧道两侧边墙底部，纵向水平距离 $8 \sim 14$ m，斜设角度 $4.5^\circ \sim 24^\circ$ ，其相对位置见说明图 6.2.1—4。

说明表 6.2.1 井点降水主要机具设备

名称	规格	单位	数量	备注
真空泵	SZZ 型或 SZB 型	台	2	真空泵站用, 备用 1 台
抽水泵	BA 型	台	2	真空泵站用, 备用 1 台下坡排水时不用
气水分离箱		台	1	真空泵站用
离心泵		台	2	射流泵站用, 备用 1 台
射流器		个	2	射流泵站用, 备用 1 台
水箱		个	1	
真空表		块	2	
水压表		块	2	
抽吸总管	$\phi 150$ mm 无缝钢管	m		根据需要配备
井管	$\phi 25$ mm 无缝钢管	根		每根长 1 m, 根据要求配备
滤管	$\phi 50$ mm 无缝钢管 缠双层滤网	根		每根长 1 m 左右, 根据需要配备
喷嘴	内径 50 mm 钢管加工	个		根据需要配备
阀门	1.6 MPa	只		根据需要配备



说明图 6.2.1—4 洞内水平井点降水位置图

滤管和滤层是人工降水工作中一个十分重要的环节, 良好的滤管和滤层既渗透性好, 又能将土粒阻挡于滤层之外。反之, 在真空和动水压力作用下, 移动到滤层周围的细颗粒通过滤层和滤管不断地被抽吸, 使抽出的水含泥砂量大, 造成地基土流失, 引

起地面沉降。为了防止土粒随水流被抽吸带出，滤管、滤料和滤层厚度，均应按规定设置，并保证施工质量。滤网孔径应根据土的粒径来选择，下井管前必须严格检查滤网，发现破损或包扎不牢、不严密应及时修补。滤料粒径应根据土质条件确定，不易太大，以免失去过滤作用。井点管上部1~5 m范围内用黏土封孔，亦可防止将土粒带出。

7.4.2 环向排水盲管的作用是在初期支护与塑料板防水层之间提供过水通道，并使地下水汇集到纵向排水管。当隧道初期支护表面有大面积渗漏水，可增设双根或多根排水盲管或塑料排水板，将水引入纵向排水盲管。

7.4.4 纵向排水盲管主要有两个作用：一是将环向排水盲管流下之水经其排至横向盲管；二是将防水层阻挡之水经纵向盲管上部透水孔向管内疏导。纵向排水盲管一般在防水板施作前安设，安设中应防止出现管身高低起伏不定，平面上出现忽内忽外的现象，避免造成纵向盲管淤塞导致排水不畅。纵向排水盲管在布设时应注意其细部构造，首先应用土工布将其包裹，使泥砂不得进入管内；其次，应用防水卷材将其半裹，使从上部流下之水在纵向盲管位置尽量流入管内。纵向排水盲管在整个隧道排水系统中是一个中间环节，起着承上启下的作用，施工中应注意检查与上部环向盲管的连接，由于两管一般采用简单搭接的连接方式，因此应避免两管之间被喷射混凝土隔断。另外还应检查与横向排水盲管的连接（在设中心排水沟的情况下），两管一般采用三通管连接，三通管留设位置应准确，接头应牢固，防止松动脱落。

7.4.5 横向排水盲管位于衬砌基础的下部，布设方向与隧道轴向垂直，是连接纵向排水盲管与中心排水管（或侧沟）的过水通道。横向排水盲管通常为硬质塑料管，施工中先在纵向盲管上预留接口，然后在仰拱及填充混凝土施工前接长至中心排水管（沟）。

8.2.1 土工布是较常用的缓冲层材料，它能有效防止防水板被

表面凹凸不平的基面损坏。因为大面积施工时很难做到基面平整、无坚硬凸起物，而要起到这一作用，土工布就必须有一定的厚度，故本条中规定了单位面积质量的最小限值。由于渗排水是要长期进行的，故要求土工布还应具有良好的渗水、过滤性能（即化学稳定性）并能耐地下水（包括有腐蚀性的地下水）、微生物等的腐蚀。初期支护后，围岩仍在继续变形，因此也要求土工布有良好的弹性及物理力学性能，以适应这种变形。

8.2.2 防水板一般为工厂定型产品，具有厚薄均匀、质量稳定、施工方便和对环境无污染的优点。防水板的种类很多，有橡胶型、塑料型和其他化工类产品，幅宽从2~4 m不等。以下列举国内经常使用的几种产品，供施工使用时参考。

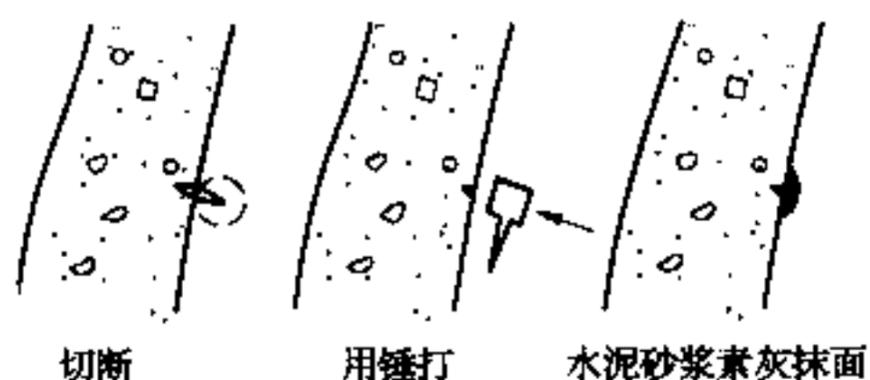
EVA系乙烯—醋酸乙烯共聚物，特点是抗拉及抗裂强度较大、相对密度小，具有突出的柔软性和延伸率较大的优点，施工方便，防水效果优良。

ECB系乙烯—沥青共聚物，防水板厚1.0~2.0 mm，在奥地利、瑞士、意大利、韩国等国家的隧道中应用较多，其抗拉强度、延伸率、抗刺穿能力等性能均优于EVA和PE，在有振动、扭曲等复杂环境下也能实现坚固的防水目的，但铺设稍难，造价也高。

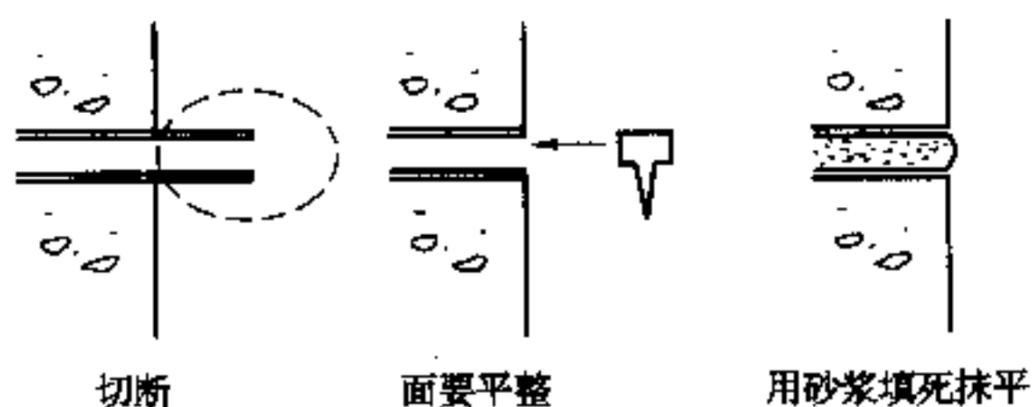
8.3.1~8.3.3 防水板是隧道防水的重要屏障，其铺设质量直接影响防水效果。从隧道后期出现渗漏水情况看，多为防水板破损所致。铺设防水板的基面应平整，无突出异物，这是保证铺设质量的首要条件，大面积施工时难以做到基面平整，所以，在防水板铺设前应用混凝土（或水泥砂浆）将凹坑喷平，并将其纳入施工、检验工序。基面处理可参考说明图8.3.1~说明图8.3.3进行。

（1）钢筋网等凸出部分，先切断后用锤击，然后以水泥砂浆抹平（说明图8.3.1）。

（2）有凸出的管道时，切断后用水泥砂浆抹平（说明图8.3.2）。

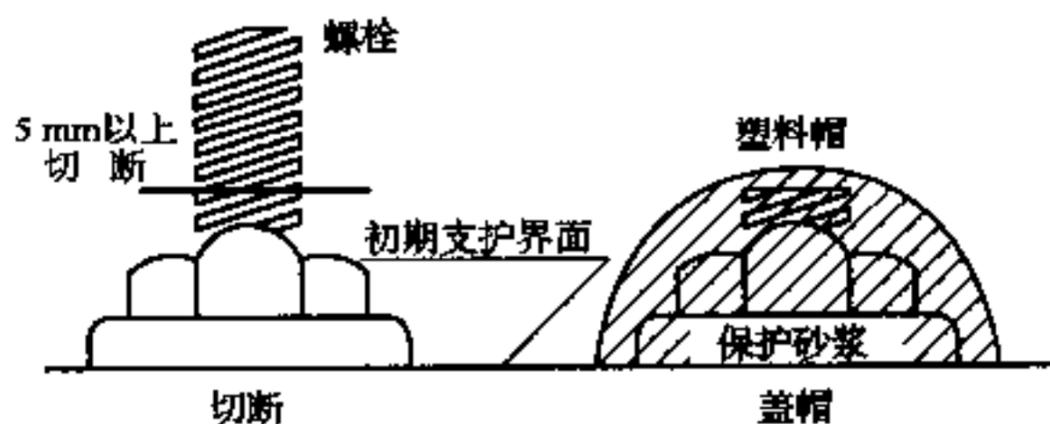


说明图 8.3.1 基面处理之一



说明图 8.3.2 基面处理之二

(3) 锚杆有凸出部位时，螺帽顶预留 5 mm 切断后，用塑料帽处理（说明图 8.3.3）。

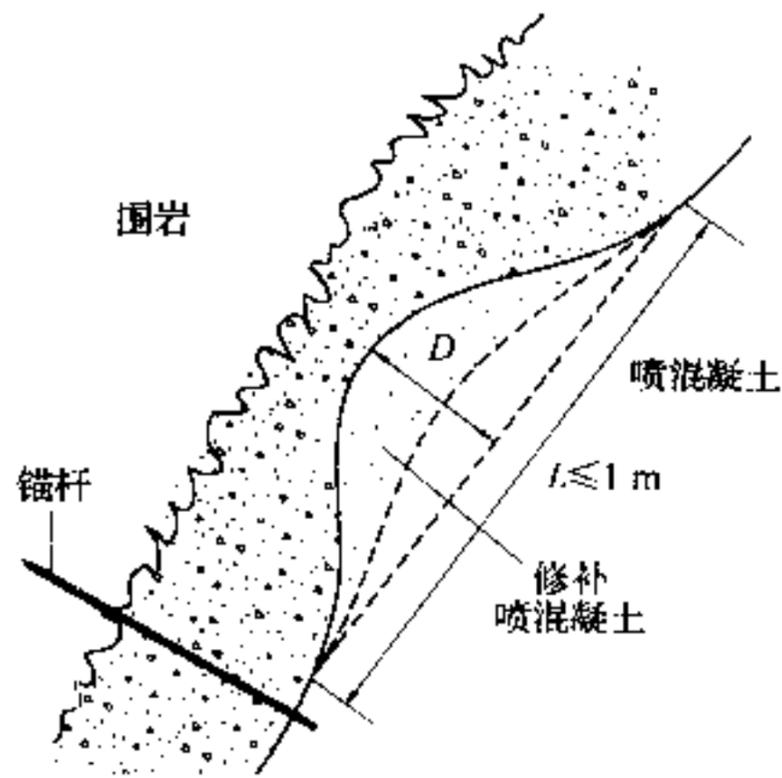


说明图 8.3.3 基面处理之三

8.3.4 根据近年来铁路、公路隧道施工经验，喷射混凝土的平整度只要达到规定的要求，铺设的防水板与混凝土喷层间的狭小缝隙，在浇筑二衬时混凝土能够将其挤压密贴，不会形成地下水的通道。因此，为使喷射混凝土平整度达到本条文要求，应对混凝土凹凸面进行修整（见说明图 8.3.4）。

8.4.3 缓冲层的作用：一是防止初期支护基面的高低不平或突

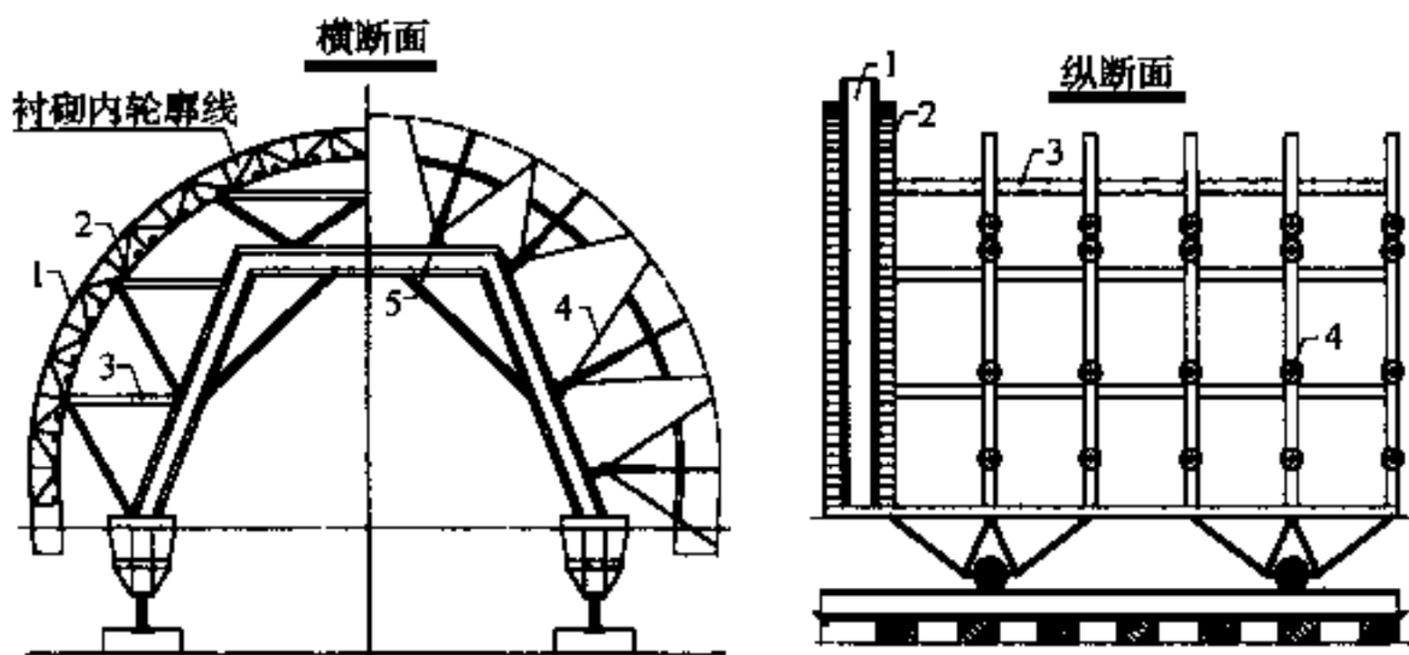
出物刺破防水板；二是有的缓冲层具有渗水、过滤性能，可将通过初期支护的地下水排走。目前可供选择的缓冲层材料主要有土工合成材料和 PE 泡沫塑料两种。土工合成材料俗称土工布，系用合成纤维材料经热压针刺以无纺工艺制作；PE 泡沫塑料是由化学交联、发泡制成的封闭孔式泡沫塑料，具



说明图 8.3.4 混凝土凹凸面表面修整

有良好的弹性及物理力学性能。缓冲层铺设时，工程上一般采用射钉和热塑性垫圈相配套的机械固定方法，应用热塑性垫圈焊接固定塑料防水板，最终形成无钉孔铺设的防水层。

8.4.4 在铺挂土工布和防水板前，应对铺挂基面进行检查和修整。在铺挂台车前端，安装有与衬砌内轮廓一致的钢架和环形扶梯，供作业人员检查基面的平整度和轮廓尺寸。台车应设有不同高度的作业平台，便于及时处理基面的缺陷。土工布和防水板应配卷成与铺挂方法和断面相适的长度，放在台车的卷盘上。防水板宜由拱顶中心向两侧铺设，施工人员可同时进行施工互不干扰，且防水板的自重可分散到两侧而不致集中，有利于施工操作与安装固定，同时也便于相邻板间焊接牢固。但铺设时应注意留有铺挂余量，防止固定点间的防水板被绷紧形成“弦线”（建议拱部固定点间距为 40 ~ 50 cm），导致浇筑二衬时防水板与初期支护间形成空隙。防水板的伸缩支撑杆前应有与隧道开挖轮廓弧度相同的扇形支撑，不得采用点支撑。专用台车参见说明图 8.4.4。



说明图 8.4.4 防水板铺挂专用台车示意图

1—衬砌内轮廓检测钢架；2—扶梯；

3—作业平台；4—防水板扇形支撑；5—门架

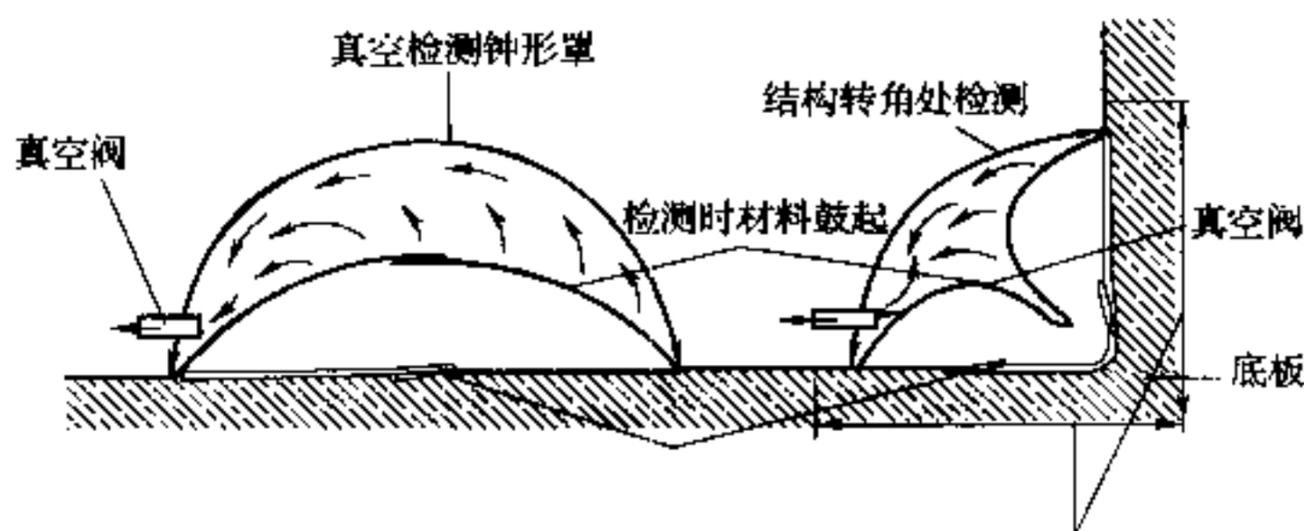
8.4.8 防水板接缝较多，防水的关键取决于焊缝密封的程度。防水板的拼接应采用双焊缝工艺，焊接接缝处必须擦洗干净，用双焊缝焊机焊接。国内经常采用的是双焊缝自动热合技术，这种方法一方面能保证焊接质量，另一方面也便于充气检查。在焊缝搭接的部位焊缝必须错开，不允许有 3 层以上的接缝重叠。焊缝搭接处必须用刀刮成缓角后拼接，使其不出现错台。下层防水板压住上层防水板的规定，是为了使防水板外侧上部的渗漏水能顺利流下，不至于积聚在防水板的搭接缝处而形成隐患。

8.4.10 防水板和背后缓冲材的不燃性正在研究之中，迄今难燃性的材料已经出现，不燃性的材料还没有开发出来。许多材料一旦发生燃烧会产生大量的烟灰—氧化碳，其中包括有害气体。因此，防水施工时，要采取有效措施避免洞内发生火灾。

8.5.1 防水板铺设质量检查应先目测检验，然后采用充气法或负压检查法检验。

负压法检查防水板的焊接密封性在有条件时可采用。对于防

水板手工焊缝处、结构转角处焊缝、不规则焊缝（如T型缝）和防水板由于钢筋焊接等造成的破损处修补等，可采用钟形罩负压检测方法对这些部位进行密封性检测。检测时必须根据焊缝形状、结构转角形状、防水板修补位置等，来选择适当形状的钟形罩（一般有 $1/8 \sim 5/8$ 的球体形状可供选择），见说明图8.5.1。在需要检测的焊缝或修补处涂上检测液（一般为肥皂水），并将钟形罩放在检测部位，然后用抽气筒进行抽气，直到压力达到 -0.05 MPa ，观察检测液是否有气泡，如果有气泡，表明此处防水板焊缝密封性不合格，需要进行再次修补直到检测合格；若保持负压超过 10 min ，而检测液不起泡，表明此处焊缝密封性合格。



说明图 8.5.1 不同形状的钟形罩检测焊缝

9.1.1 二次衬砌防水混凝土的防水等级要求高，一些施工时无水的隧道（特别是明洞、浅埋地段），随着时间的推移和外界条件的变化，在运营期有可能发生渗漏。二次衬砌作为结构防水的最后一道防线，应采用防水混凝土技术。

9.1.3 防水混凝土包括普通防水混凝土、外加剂防水混凝土、掺和料防水混凝土和膨胀防水混凝土等。普通防水混凝土是以调整配合比的方法，在普通混凝土基础上提高其自身的密实性和抗渗性；外加剂防水混凝土是在混凝土拌和物中加入少量改善混凝土抗渗性的有机物或无机物，如减水剂、防水剂、引气剂等外加剂；掺和料防水混凝土是在混凝土拌和物中加入少量的硅粉、磨细矿粉、粉煤灰等无机物，以增加混凝土的密实性和抗渗性；膨

胀防水混凝土是以膨胀水泥为胶结料，利用其水化过程中形成大量体积增大的结晶来改善混凝土的孔结构，提高其抗渗性能。随着混凝土技术的进步，现已由单一品种的防水混凝土改进为采用综合性多功能外加剂的掺入，来弥补单一品种防水混凝土的不足。

9.1.4 考虑施工现场与实验室条件的差别，实验室试配的防水混凝土其抗渗水压值应比设计要求提高 0.2 MPa，以利保证施工质量和混凝土的防水性能。

9.2.1 混凝土用水泥根据隧道结构所处的环境条件和工程需要，宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。水泥的强度等级应符合设计要求。

为确保隧道防水混凝土的抗渗等级及抗压强度，防水混凝土所采用的水泥强度等级宜为 42.5 级。水泥的技术要求的检验要求应符合说明表 9.2.1—1 ~ 说明表 9.2.1—2 的规定。

说明表 9.2.1—1 水泥的技术要求

序号	项 目	技 术 要 求	备 注
1	比表面积	$\leq 350 \text{ m}^2/\text{kg}$ (硅酸盐水泥、抗硫酸盐水泥)	按《水泥比表面积测定方法(勃氏法)》(GB/T 8074)检验
2	80 μm 方孔筛筛余	$\leq 10.0\%$ (普通硅酸盐水泥)	按水泥细度检验方法(80 μm 筛筛析法)》(GB/T 1345) 检验
3	游离氧化钙含量	$\leq 1.0\%$	按《水泥化学分析方法》(GB/T 176) 检验
4	碱含量	$\leq 0.80\%$	
5	熟料中 C_3A 含量	非氯盐环境下 $\leq 8\%$ 氯盐环境下 $\leq 10\%$	按《水泥化学分析方法》(GB/T 176) 检验后计算求得
6	氯离子含量	不宜大于 0.10% (钢筋混凝土)	按《水泥原料中氯的化学分析方法》(JC/T 420) 检验

注：① 当骨料具有碱—硅酸反应活性时，水泥的碱含量不应超过 0.60%；

② C40 及以上混凝土用水泥的碱含量不宜超过 0.60%。

说明表 9.2.1—2 水泥的检验要求

序号	检验项目	检验要求			
		质量证明文件检查		抽样试验检验	
1	烧失量	√	每厂家，每批号证明 品检查的文件。施工单位均全部 施工检查。	√	同厂家、同品种、同强度、同出厂日期、且连续进场每水为 500 t (袋装水泥每 200 t) 一批，不足上述数量时，按一批计。施工单位每批抽样试验一次；监理单位见证取样，检测次数为 10% 但不少于 20%。
2	氧化镁	√		√	
3	三氧化硫	√		√	
4	细度	√		√	
5	凝结时间	√		√	
6	安定性	√		√	
7	强度	√		√	
8	碱含量	√		√	
9	助磨剂名称及掺量	√		√	
10	石膏名称及掺量				
11	混合材名称及掺量	√			
12	熟料 C ₃ A 含量	√			

9.2.2 砂、石料质量控制和检验：

骨料质量中最为重要的就是粗骨料的粒形和级配，如果粒形和级配好，就可以在保证混凝土施工性能的前提下最大限度地减少用水量和浆体量，提高混凝土的强度和耐久性。骨料的堆积密度和表观密度是骨料级配的反映，堆积密度越大，则级配越好，空隙率越小。对粗骨料而言，40% 空隙率是最低要求。针、片状颗粒含量反映粗骨料粒形的优劣，实践证明针片状颗粒含量最好不大于 5%。

粗、细骨料的含泥量多少直接影响防水混凝土的质量，尤其是对混凝土的抗渗性影响较大。特别是黏土块，其体积不稳定，干燥时收缩、潮湿时膨胀，对混凝土有较大的破坏作用，必须严格控制粗、细骨料的含泥量。采用天然河砂配制混凝土时，砂中

含泥量、泥块含量、云母、轻物质、有机物、硫化物及硫酸盐等有害物质含量应符合说明表 9.2.2—1 规定。

说明表 9.2.2—1 砂中有害物质限值

项 目	< C30	≥ C30
含泥量 (%)	≤ 3.0	≤ 2.5
泥块含量 (%)	≤ 0.5	
云母含量 (%)	≤ 0.5	
轻物质含量 (%)	≤ 0.5	
氯离子含量 (%)	≤ 0.02	
硫化物及硫酸盐含量 (折算成 SO ₃) (%)	≤ 0.5	
有机物质含量 (用比色法试验)	颜色不应深于标准色, 如果深于标准色, 则应按水泥胶砂强度试验方法进行强度对比试验, 抗压强度比不应低于 0.95	

细骨料应采取砂浆棒法检验其碱活性, 且砂浆棒的膨胀率应小于 0.10%, 否则应按标准要求采取技术措施, 检验数量和方法应符合说明表 9.2.2—2 的规定。

说明表 9.2.2—2 细骨料的检验要求

序号	检验项目	检验要求		
1	细度模数	√	√	连续进场的同料源、同品种、同规格的细骨料每 400 m ³ (或 600 t) 为一批, 不足上述数量时也按一批计。施工单位每批抽样试验一次; 监理单位平行检验或见证取样检验的次数为施工单位抽样试验次数的 10% 或 20%, 但至少一次。
2	吸水率	√		
3	含泥量	√	√	
4	泥块含量	√	√	
5	坚固性	√		
6	云母含量	√	√	
7	轻物质含量	√	√	
8	有机物含量	√	√	
9	硫化物及硫酸盐含量	√		
10	CL ⁻ 含量	√		
11	碱活性	√		

下列情况之一时
检验一次: ①任何
新选料源; ②连续
使用同料源, 同品
种, 同规格细骨料
达一年。施工单位
试验检验, 监理单
位见证取样检测或
平行检验。

当粗骨料为碎石时，碎石的强度应用岩石抗压强度表示，且岩石抗压强度与混凝土强度等级之比不应小于 1.5，若粗骨料为卵石，卵石的强度可用压碎指标值表示，施工过程中碎石的强度可用压碎指标值进行控制。均应符合说明表 9.2.2—3 的规定。

说明表 9.2.2—3 粗骨料的压碎指标 (%)

混凝土强度等级	< C30			≥ C30		
	沉积岩	变质岩或深成的火成岩	火成岩	沉积岩	变质岩或深成的火成岩	火成岩
碎石	≤16	≤20	≤30	≤10	≤12	≤13
卵石	≤16				≤12	

粗骨料的坚固性用硫酸钠溶液循环浸泡方法进行检验，试样经 5 次循环后，其重量损失率应符合说明表 9.2.2—4 的规定；

说明表 9.2.2—4 粗骨料的坚固性指标

结构类型	混凝土结构
重量损失率 (%)	≤8

粗骨料的有害物质含量应符合说明表 9.2.2—5 的规定；

说明表 9.2.2—5 粗骨料的有害物质含量 (%)

项 目	有害物质含量 (%)
含泥量 (%)	≤1.0
泥块含量 (%)	≤0.25
针、片状颗粒总含量 (%)	≤10
硫化物及硫酸盐含量 (折算成 SO ₃ %) (%)	≤0.5
氯离子含量 (%)	≤0.02
卵石中的有机质含量 (用比色法试验)	颜色不应深于标准色，当深于标准色，则应按水泥胶砂强度试验方法进行强度对比试验，抗压强度比不应小于 0.95

粗骨料应采用岩相法检验其矿物组成。若粗骨料含有碱—硅酸反应活性矿物，其砂浆棒膨胀率应小于 0.10%，否则应按标准要求采取技术措施，粗骨料的检验数量和检验方法应符合说明表 9.2.2—6 的规定。

说明表 9.2.2—6 粗骨料的检验要求

序号	检验项目	检验要求			
1	颗粒级配	√	下列情况之一时， 检验一次： 任何新选料源； 连续使用同料源同 品种，同规格、的粗 骨料达一年。 施工单位试验检验， 监理单位见证取样检 测或平行检验	√	连续进场的同料 源、同品种、同规格 的粗骨料每 400 m ³ (或 600 t) 为一批， 不足上述数量时也按 一批计。施工单位每 批试验一次；监理单 位平行检验或见证取 样检测的次数为施工 单位抽样试验次数的 10% 或 20%，但至少 一次
2	岩石抗压强度	√			
3	吸水率	√			
4	空隙率	√			
5	压碎指标	√		√	
6	坚固性	√			
7	针、片状颗粒含量	√		√	
8	含泥量	√		√	
9	泥块含量	√		√	
10	硫化物及硫酸盐含量	√			
11	Cl ⁻ 含量	√			
12	有机质含量 (卵石)	√		√	
13	碱活性	√			

9.2.3 防水混凝土添加外加剂是提高防水混凝土质量的一个重要手段，用于隧道衬砌防水混凝土的外加剂的技术性能应符合国家或行业标准一等品级以上的质量要求。

混凝土外加剂种类较多，且均有相应标准。使用时其质量及技术指标应符合国家现行标准及行业标准的规定。外加剂的检验项目、方法和批量应符合相应标准的规定。

根据调查由于混凝土施工质量差，对混凝土耐久性重视不够，许多隧道工程建成后几年就出现钢筋锈蚀、混凝土开裂、渗漏水严重。因此做好混凝土耐久性的防护工作已可不容缓。通常

混凝土浇筑后达到抗渗的要求很容易，但是渗漏水现象依然存在，其原因大多数是由于裂缝控制不利造成渗漏。因此，控制裂缝产生是保证混凝土自防水以及耐久性能的重要环节。为改善混凝土的抗裂性，需要控制硅酸盐水泥中的 C_3A 含量，而且 C_3S 的含量不宜过高。除此之外，近几年广泛用于城市地铁二衬混凝土抗裂防水技术的新材料较好的解决了裂缝控制及防渗的问题，尤其是在隧道二衬防水混凝土这种大体积混凝土的浇筑过程中，单靠控制水化热的措施不足以保证控制裂缝的产生，比较有效的作法是掺加 CSA 抗裂防水剂，这种复合外加剂引入了堵塞混凝土毛细孔、增强密实功能、补偿“硬化后的收缩”等新概念，该项技术在大体积混凝土浇筑中应用后能够控制裂缝产生，提高混凝土衬砌自防水的能力，效果明显，在长大输水隧洞二衬混凝土中推广应用取得了成功，可以在铁路隧道中推广使用。

外加剂的性能应满足表说明 9.2.3—1 的要求；

说明表 9.2.3—1 外加剂的技术要求

序号	项 目	指 标
1	水泥净浆流动度 (mm)	≥ 240
2	硫酸钠含量 (%)	≤ 10
3	Cl^- 含量 (%)	≤ 0.2
4	碱含量 ($Na_2O + 0.658K_2O$) (%)	≤ 10.0
5	减水率 (%)	≥ 20
6	含气量 (%)	用于配制非抗冻混凝土时 ≥ 3.0 用于配制抗冻混凝土时 ≥ 4.5
7	坍落度保留值 (用于泵送混凝土) (%)	30 min: ≥ 180 60 min: ≥ 150
8	常压泌水率比 (%)	≤ 20
9	压力泌水率比 (用于泵送混凝土) (%)	≤ 90
10	抗压强度比 (%)	3 d ≥ 130 28 d ≥ 120
11	对钢筋锈蚀作用	无锈蚀

续上表

序号	项 目		指 标		
12	收缩率比 (%)		≤135		
13	相对耐久性指标 200 次 (%)		≥80		
14	预应力混凝土 Cl ⁻ 含量 (%)		0.06		
15	限制膨胀指标	补偿收缩 (抗裂防水混 凝土)	限制膨胀率/ × 10 ⁻⁴	水中 14 d	≥1.5
				空气中 28 d	≥2.5
	填充混凝土	限制收缩率/ ×10 ⁻⁴	水中 14 d	≤2.0	
			空气中 28 d	≤2.0	

抗裂防水剂的性能能应满足说明表 9.2.3—2 的要求;

说明表 9.2.3—2 抗裂防水剂的技术要求

序 号	项 目	技术要求		
1	细度 (%)	0.315 mm 筛筛余 < 15		
2	含水率 (%)	≤3.0		
3	氯离子含量 (%)	≤0.05		
4	氧化镁含量 (%)	≤5.0		
5	总碱量 (%)	≤0.60		
6	凝结时间	初凝 (min)	≥45	
		终凝 (h)	≤10	
7	限制膨胀率 (%)	水 中	7d	≥0.025
			28d	≤0.10
		空气中	21d	≥ -0.010
8	抗压强度 (MPa)	7 d	≥25.0	
		28 d	≥45.0	
9	抗折强度 (MPa)	7 d	≥4.5	
		28d	≥6.5	
10	塑性膨胀率 (%)	≥0		

续上表

序号	项目	技术要求	
11	渗透高度比 (%)	≤40	
12	泌水率比 (%)	≤70	
13	48h 吸水量比 (%)	≤75	
14	凝结时间差 (min)	初凝	≥ -90
		终凝	—

注：“—”表示提前。

外加剂质量检验数量和检验方法应符合说明表 9.2.3—3 的规定。

说明表 9.2.3—3 外加剂的检验要求

序号	检验项目	质量证明文件检查		抽样试验检验		
		√	√	√	√	√
1	匀质性	√	每品种、每厂家检查质量证明文件。施工单位全部检查。	√	下列情况之一时，检验一次： 何新选料源； 使用同厂家同批号、同品种产品达6个月及达6个月的品。施工单位试验检验；监理单位见证取样检测或平行检验	同厂家、同批号、同等级、同出厂日期的产品，不足按一批计。施工单位抽样检验次数为每批、见证或检测的10%或20%但至少一次。
2	水泥净浆流动度	√		√		
3	硫酸钠含量	√		√		
4	Cl ⁻ 含量	√		√		
5	碱含量	√		√		
6	减水率	√		√		
7	坍落度保留值	√		√		
8	常压泌水率比	√		√		
9	压力泌水率比	√		√		
10	含气量	√		√		
11	凝结时间差	√		√		
12	抗压强度比	√		√		
13	对钢筋的锈蚀作用	√		√		
14	耐久性指数	√		√		
15	收缩率比	√		√		

9.2.4 矿物掺和料的技术要求应符合说明表 9.2.4—1 的规定。

说明表 9.2.4—1 粉煤灰的技术要求

序号	项目名称	技术要求	
		C50 以下混凝土	C50 及以上混凝土
1	细度 (%)	≤20	≤12
2	Cl ⁻ 含量 (%)	不宜大于 0.02	
3	需水量 (%)	≤105	≤100
4	烧失量 (%)	≤5.0	≤3.0
5	含水率 (%)	≤1.0 (干排灰)	
6	SO ₃ 含量 (%)	≤3	
7	CaO 含量 (%)	≤10 (硫酸盐侵蚀环境)	

注：因条件所限当烧失量指标达不到表中要求，而在其他指标符合表中要求的情况下，经试验证明能满足混凝土耐久性要求时，烧失量指标可适当放宽，但用于 C50 以下混凝土时，不得大于 8%，用于 C50 及以上混凝土时，不得大于 5%。

硅灰的技术要求应符合说明表 9.2.4—2 的规定；

说明表 9.2.4—2 硅灰的技术要求

序号	项目	技术要求
1	烧失量 (%)	≤6
2	Cl ⁻ 含量 (%)	不宜大于 0.02
3	SiO ₂ 含量 (%)	≥85
4	比表面积 (m ² /kg)	≥18 000
5	需水量比 (%)	≤125
6	含水率 (%)	≤3.0
7	活性指数 (%)	28 d ≥85

9.2.6 国内外大量研究表明，碱含量是影响混凝土耐久性的关键因素之一。因此施工中必须严格控制混凝土中各类材料的含碱量。

当骨料的碱—硅酸反应砂浆棒膨胀率在 0.10% ~ 0.20% 时，混凝土的碱含量应满足说明表 9.2.6 的规定。

说明表 9.2.6 混凝土最大碱含量

设计使用年限级别	100 年	最大碱含量 (kg/m ³)
环境条件	干燥环境	3.5
	潮湿环境	3.0
	含碱环境	*

注：①带“*”号的混凝土必须换用非碱活性骨料。

②干燥环境是指不直接与水接触、空气平均相对湿度长期不大于 75% 的环境；潮湿环境是指直接与水接触、干湿交替变化的环境、水下或与潮湿土壤接触以及空气平均相对湿度长期大于 75% 的环境；含碱环境是指直接与海水、含碱工业废水、钾（钠）盐等接触的环境；干燥环境或潮湿环境与含碱环境交替变化时，均按含碱环境对待。

9.3.3 混凝土的原材料和配合比的选择只是决定混凝土质量的必要条件，正确的施工工艺才能保证二次衬砌混凝土优良的品质。混凝土混和料的计量和拌和应在有微机控制的拌和站进行。

9.3.5 防水混凝土的搅拌质量控制和检验应符合下列规定：

(1) 混凝土搅拌前，应测定砂、石含水率，并根据测试结果和理论配合比调整材料用量，提出施工配合比。当遇雨天或含水率有明显变化时，应增加含水率检测次数。

(2) 混凝土拌和物的坍落度应符合理论配合比的要求允许偏差宜为 ±20 mm；入模含气量应符合设计要求，当设计对含气量无具体要求时，含气量应按说明表 9.3.5—1 控制；

说明表 9.3.5—1 混凝土含气量

环境条件	混凝土无抗冻要求	混凝土有抗冻要求		
		D1	D2、D3	D4
含气量 (%)	≥2.0	≥4.0	≥5.0	≥5.5

(3)新浇筑与邻接的已硬化混凝土或岩土介质间的温差不得大于 20 ℃。

(4)要配置高质量的混凝土，用水量一般要在 160 kg/ m³ 以下。拌和用水可采用饮用水。当采用其他来源的水时，水的品质应符合说明表 9.3.5—2 的要求，配制的水泥砂浆或混凝土的 28 d 抗压强度不得低于用蒸馏水（或符合国家标准的生活用水）拌制的对应砂浆或混凝土抗压强度的 90%；不得采用海水，当混凝土处于氯盐锈蚀环境时，拌和用水中 Cl⁻ 含量应大于 200 mg/L。养护用水除不溶物、可溶物可不作要求外，其他项目也应符合说明表 9.3.5—2 的规定。养护用水不得采用海水。

说明表 9.3.5—2 拌和用水的品质指标

序号	项 目	钢筋混凝土	混凝土
1	pH 值	>4.5	>4.5
2	不溶物, mg/L	<2 000	<5 000
3	可溶物, mg/L	<5 000	<10 000
4	氯化物 (以 Cl ⁻ 计), mg/L	<1 000	<3 500
5	硫酸盐 (以 SO ₄ ²⁻ 计), mg/L	<2 000	<2 700
6	碱含量 (以当量 Na ₂ O, 计) 5 mg/L	<1 500	<1 500

9.3.9 混凝土养护包括温度和湿度两个方面。养护不仅是洒水，还要控制混凝土的温度变化，尽管隧道内湿度较大，但仍应保证混凝土表面温度与内部温度和所接触的大气温度、围岩温度以及已浇筑区段的二次衬砌混凝土温度不出现过大的差异，施工中应采取保温、散热的综合措施。防水混凝土浇水养护的时间应符合说明表 9.3.9 的规定。

9.3.10 目前隧道二次衬砌混凝土由于受快速施工的影响，早期强度普遍较高，以致于拆模时间较早，往往在拆模时混凝土的温度还较高，模板的拆除会造成较大的降温速率而产生开裂，更不能在混凝土表面温度尚高时拆模并浇洒冷水。

说明表 9.3.9 不同混凝土潮湿养护的最低期限

混凝土类型	水胶比	大气潮湿 (50% < RH < 75%) 无风, 无阳光直射	
		洞内平均气温 T (°C)	潮湿养护期限 (d)
胶凝材料中掺有矿物掺和料	≥ 0.45	$5 \leq T < 10$	21
		$10 \leq T < 20$	14
		$T \geq 20$	10
	≤ 0.45	$5 \leq T < 10$	14
		$10 \leq T < 20$	10
		$T \geq 20$	7
胶凝材料中未掺矿物掺和料	≥ 0.45	$5 \leq T < 10$	14
		$10 \leq T < 20$	10
		$T \geq 20$	7
	≤ 0.45	$5 \leq T < 10$	10
		$10 \leq T < 20$	7
		$T \geq 20$	7

过早拆模, 混凝土强度不足, 很可能造成衬砌沉降变形、开裂等情况的发生。过晚拆模, 衬砌台车脱模困难。为保证隧道衬砌的安全和使用功能, 提出了拆模时混凝土的强度要求。该强度通常反映为同条件养护混凝土试件的强度。

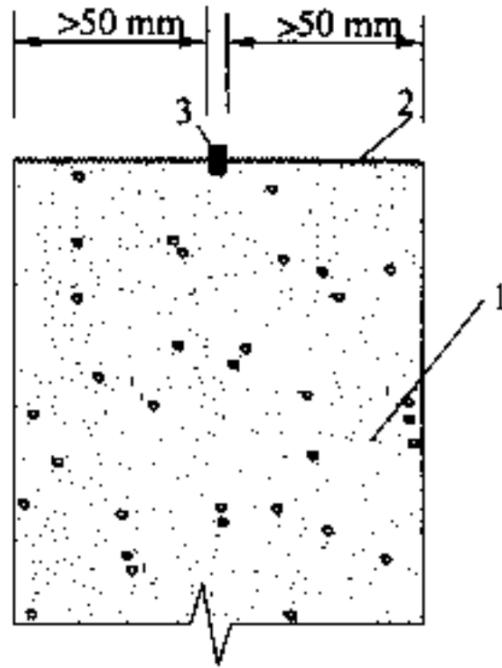
10.3.1 本条根据《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2005) 13.2.5 条制定。

混凝土施工缝不应随意留置, 其位置应事前在施工技术方案中确定。一般情况下顺隧道方向以衬砌台车或衬砌移动台架的长度为一个浇筑段留置施工缝。水平方向原则上不留施工缝, 必须留置时, 留置位置应在边墙脚以上 1 m 和拱脚以下 30 cm 的范围内。

10.3.3 遇水膨胀止水条应采取防过早膨胀措施并粘贴牢固。其安装见说明图 10.3.3—1 ~ 说明图 10.3.3—2。

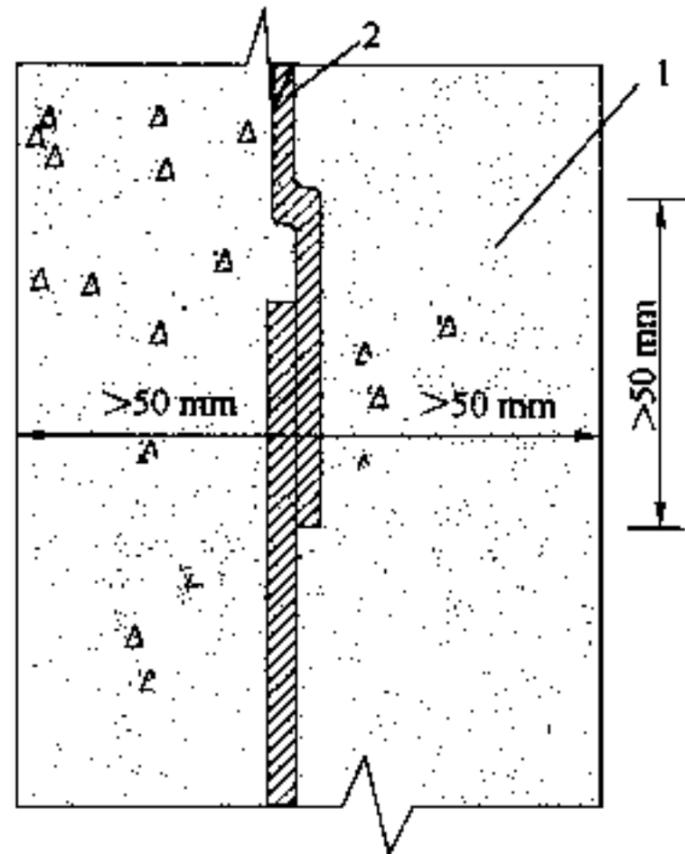
10.3.4 施工缝、变形缝防水除了条文中所列的几种构造形式外, 还可以考虑采用以下两种防水构造形式, 见说明图

10.3.4—1 ~ 说明图 10.3.4—2。



说明图 10.3.3—1 遇水膨胀
止水条安装断面图

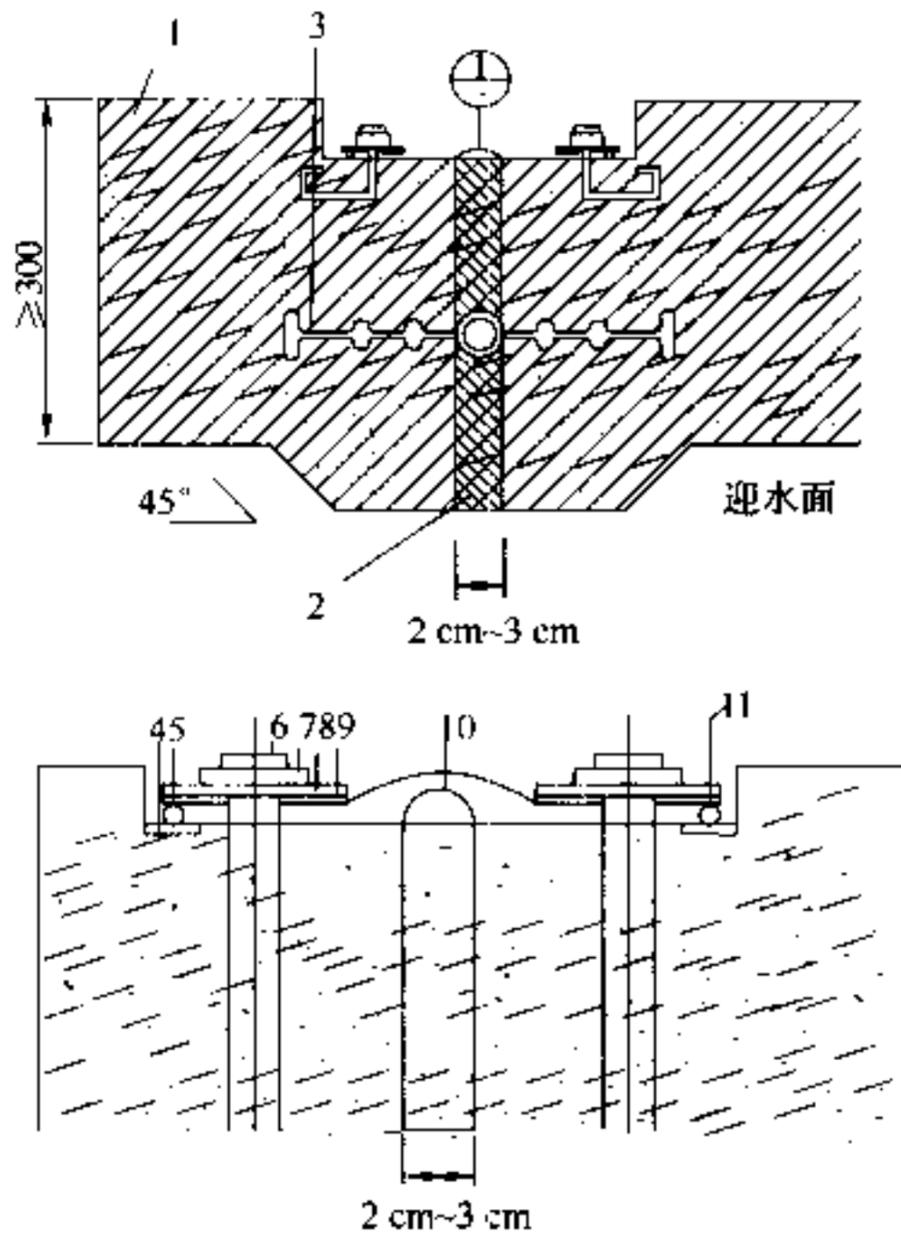
注：1—主体结构；2—施工缝；
3—遇水膨胀止水条



说明图 10.3.3—2 遇水膨胀止
水条搭接平面图

注：1—主体结构；2—遇水膨胀止水条

10.3.5 ~ 10.3.7 中埋式止水带施工时常存在以下问题：一是埋设位置不准，严重时止水带一侧往往折至缝边，根本起不到止水的作用。二是顶、底板、止水带下部的混凝土不易振捣密实，气泡也不易排出，且混凝土凝固时产生的收缩易使止水带与下面的混凝土产生缝隙，从而导致变形缝漏水。三是中埋式止水带安装，在先浇一侧混凝土时，其端模被止水带分两块，这给支模造成困难，故条文要求端模支撑牢固，严防漏浆。施工时由于端模支撑不牢，不仅造成漏浆，而且也不敢按规定要求进行振捣，致使变形缝处的混凝土密实性较差，从而导致渗漏水。四是止水带的接缝是止水带本身的防水薄弱处，因此接缝数愈少愈好，考虑到工程规模不同，缝的长度不一，故对接缝数量未做严格的限定。五是转角处止水带不能折成直角，故条文对止水带的安装作了规定，并增加了在混凝土和钢筋混凝土中固定中埋式止水带的

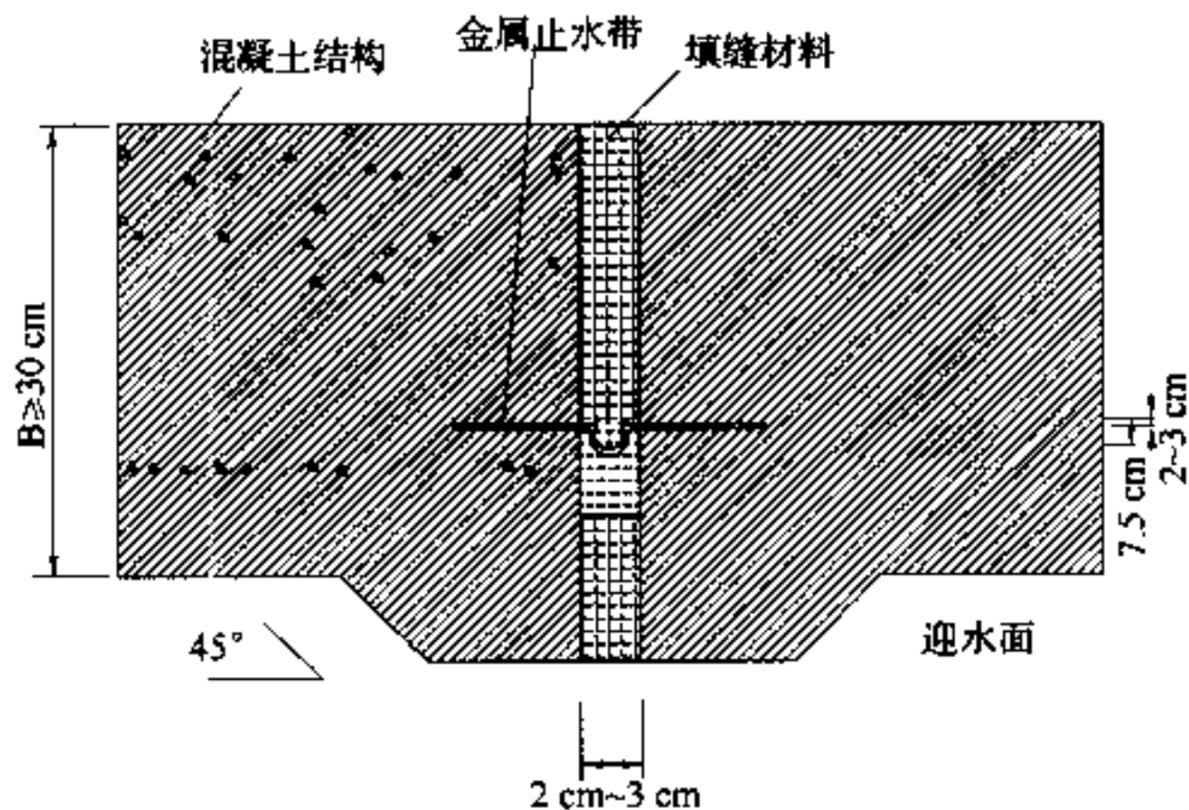


说明图 10.4—1 中埋式止水带与可卸式止水带复合防水构造形式

1—混凝土结构；2—填缝材料；3—中埋式止水带；4—预埋钢板；5—紧固件压板；6—预埋螺栓；7—螺母；8—垫圈；9—紧固变形缝的施工件压块；10—Ω型止水带 11—紧固件圆钢

方法。

10.3.9 对于富水隧道，近年来国际上较成功的防水方法是采用分区隔离的防水技术。分区部位可以采取防止地下水纵向窜流的措施，解决了以往在二次衬砌出现渗漏水时，难以准确的找到出水点并予以治理的问题，变被动堵水为主动注浆防水，在防水板处设背贴式止水带，既解决了防水板损伤后渗漏水乱窜的问题，又在接缝外侧增设了一道防水设施，止水带热焊于防水板上，质量可靠、施工方便，防水效果好，此外，在止水带外侧设置的预埋注浆管，可通过



说明图 10.3.4—2 中埋式金属止水带

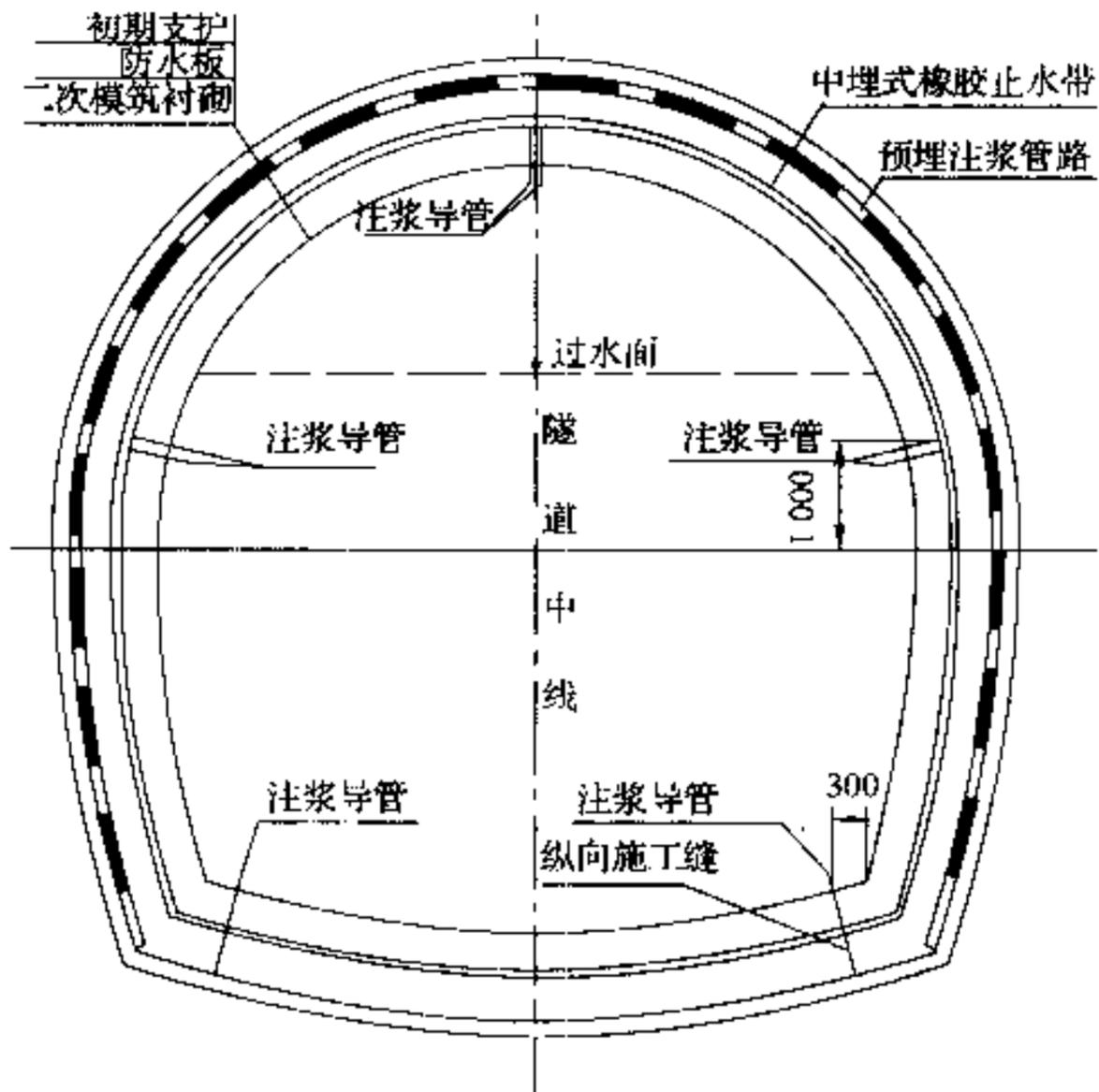
注浆将二次衬砌与止水带之间不密实的缝隙填实，确保接缝不漏水。

10.3.10 ~ 10.3.11 施工缝防水同时采用背贴式止水带与遇水膨胀止水条，或者采用中埋式止水带与可全断面出浆的注浆管的防水措施，可以提高施工缝防水的有效性。预埋注浆管和带注浆孔遇水膨胀止水条可在浇筑混凝土时预埋在该区域二次衬砌混凝土施工缝处，发生渗漏水时即可进行注浆堵水，因此，条文增加了预埋注浆管和带注浆孔遇水膨胀止水条的安装施工方法的规定。

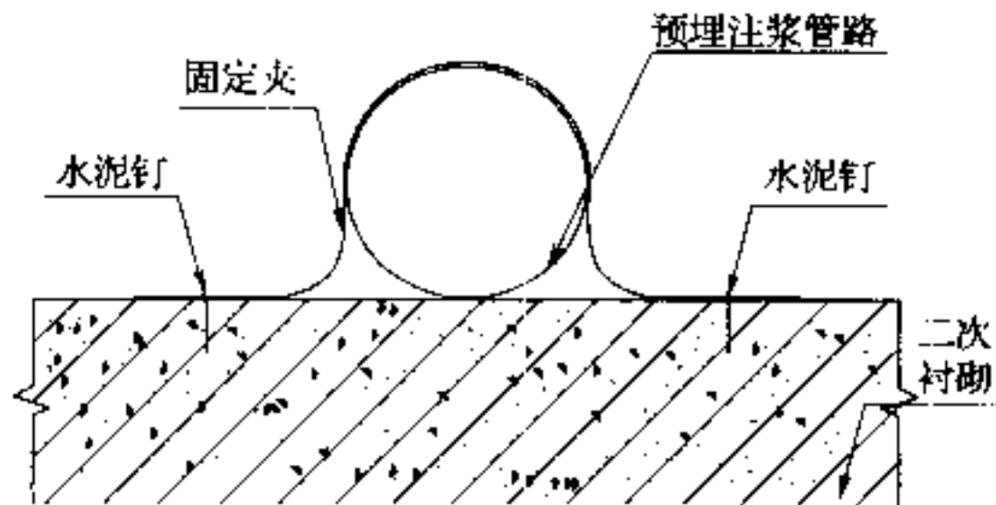
施工缝预埋注浆管的布设方式见隧道接缝处理系统断面示意图（说明图 10.3.10—1），预埋注浆管的安装固定方式见说明图 10.3.10—2，带注浆孔遇水膨胀止水条安装示意图见说明图 10.3.10—3。

10.3.12 要使嵌缝的密封材料具有良好的防水性能，除了密封材料本身要密实外，缝内两侧的基面处理也十分重要，否则密封材料与基面粘结不紧密，就起不到防水作用。另外缝底的背衬材料不可忽视，否则会使密封材料三向受力，对密封材料的耐久性和防水性都有不利影响。

12 由于影响隧道内气温、水温的因素较多。目前确定防寒水沟



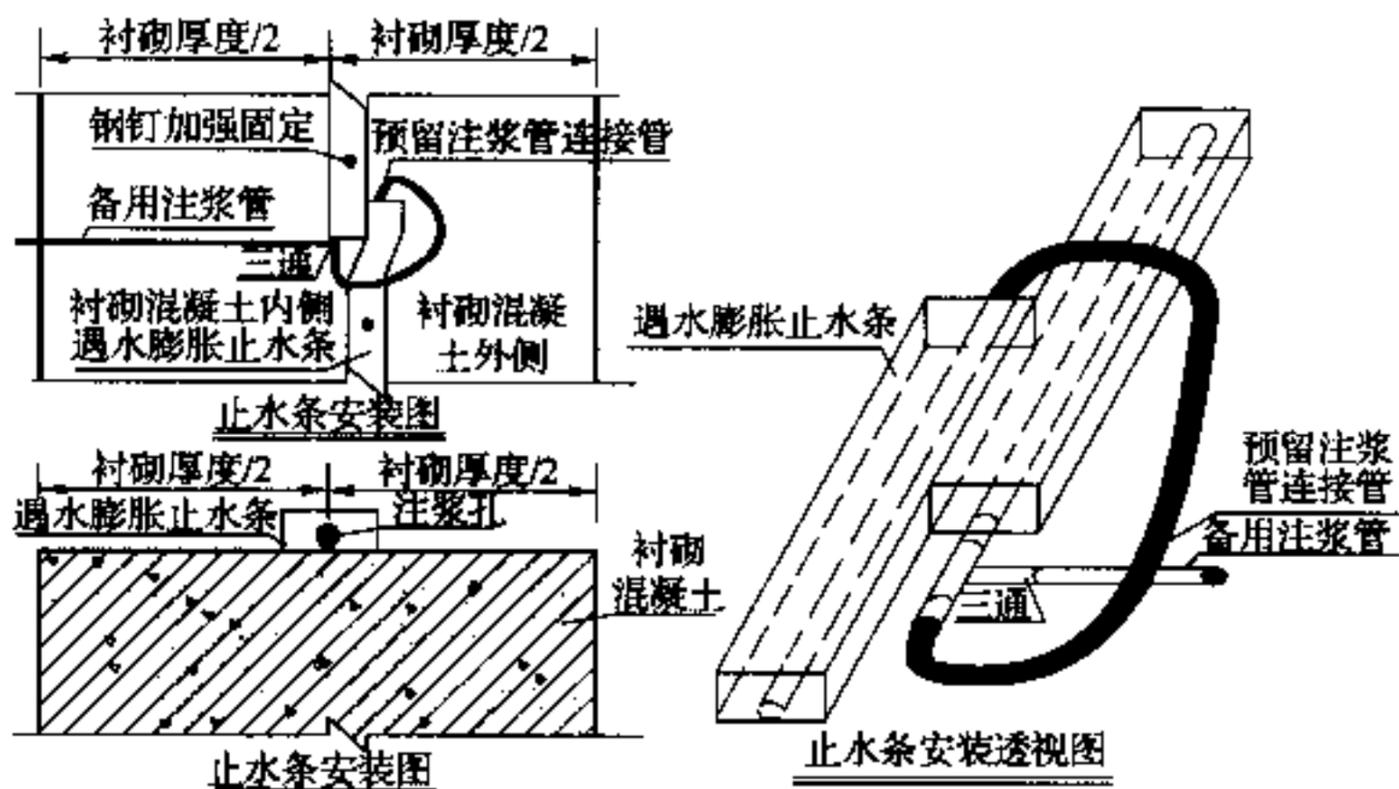
说明图 10.3.10—1 隧道接缝处理系统断面示意图



说明图 10.3.10—2 预埋注浆管的安装固定示意图

的形式与长度，主要根据工程类比，即根据当地最冷月平均气温和参照邻近的隧道确定。

据对华北、东北地区隧道的调查结果显示，处于华北地区的丰沙、京原、京承三条铁路共 260 多座隧道，其最冷月平均气温



说明图 10.3.10—3 带注浆孔遇水膨胀止水条安装示意图

在 $-5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。多年来，这些隧道大部分采用一般水沟，未采取防寒措施，并没有出现水沟冻结现象。所以最冷月平均气温在 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的寒冷地区，水沟均可不设防寒措施。

最冷月平均气温低于 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的寒冷与严寒地区，只要确定冬季有水，其水沟均应采取防寒措施。华北太焦线所在地区，1951~1976 年最冷月平均气温 $-10.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，隧道均在 1970~1978 年建成，设计水沟采取了防寒措施，而 1977 年该线最冷月平均气温达 $-12.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，全线 56 座隧道有 6 座出现水沟冻结，引起隧底道床结冰，严重影响行车安全。东北魏塔线修建于 1970~1973 年，当地最冷月平均气温 $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，设计水沟采取了防寒措施，1973 年建成通车，当年冬季，全线 31 座隧道有 5 座水沟冻结。以上两线的隧道，凡水沟出现冻结的，均在原高式侧沟上改用双层盖板，有些在两层盖板之间还加入了防寒材料，且洞外修筑了在冻结线以下的深埋暗沟，才消除了隧道内的水沟冻结现象。但这两线的隧道，凡在改建为单侧保温水沟者，其另一侧仍然产生隧底冻结和引起轨道隆起现象。1973~1979 年修建的京通线，凡隧道采用单侧保温水沟者，也有此病害，所以本条文规

定最冷月平均气温 $-5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，黏性土最大冻结深度 $1.0 \sim 1.5\text{ m}$ ，宜设置双侧保温水沟，可仅在两端洞口 $150 \sim 400\text{ m}$ 范围内设置，低洞口可适当加长。

目前东北的哈尔滨局共有 100 多座隧道，主要水沟形式为中心深埋水沟，其水沟一般深埋在当地冻结线以下，1971 ~ 1979 年，在东北嫩林线白卡尔隧道试验深埋保温水沟（其最冷月平均气温达 $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），水沟深埋一般在轨顶高程下 $1.2 \sim 1.4\text{ m}$ ，采用沥青玻璃棉做保温材料，结果水沟连年冻结；长图线 1977 ~ 1978 年新建的土门岭隧道（全长 565 m ），当地最冷月平均气温 $-18\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，采用单侧保温水沟，以矿渣作为保温材料，深埋 1.6 m ，隧道建成后也出现水沟局部冻结现象，所以条文规定：最冷月平均气温 $-15\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ （黏性土最大冻结深度 $1.5\text{ m} \sim 2.5\text{ m}$ ）宜设置中心深埋水沟及有关的设置要求。

当地最冷月平均气温低于 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地区，其黏性土最大冻结深度大于 2.5 m ，岩石冻结深度达 5.5 m 以上，如将中心水沟设置在冻结线以下，采用明挖法，施工困难，且遇松软围岩，深拉槽会影响边墙稳定。目前东北地区嫩林线、牙林线、呼中支线等共 8 座隧道采用暗挖法施工的防寒泄水洞排水，效果良好。故条文规定：最冷月平均气温低于 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，宜设置防寒泄水洞并提出有关的设置要求。

凡采用上述三种防寒水沟的隧道，按设计规范规定：“其配套排水设施应能防寒”，以保证洞内外排水系统水流畅通。

为深入探索，铁道部已组织课题组正在进行研究，待其成果鉴定后可作进一步补充和完善。

有关防水方面的措施，本技术指南中增加了提高混凝土自防水性能的防裂混凝土和柔性防水技术等内容。因为隧道防水的主要防线是二次衬砌混凝土，实践证明，自防水能力的提高除了要求混凝土的抗渗性能以外，严格控制裂缝的发生是关键。混凝土很容易达到 P8 以上的抗渗指标，而水的问题却很难解决，主要

是混凝土裂缝的控制不力，出现漏水。“十隧九漏”成为通病，隧道建成后的修补维护难度大、效果差，往往是事倍功半，浪费极大。随着近年来有关部门对该领域的研究和试验实施，如应用控制裂缝产生的抗裂防渗混凝土技术以及对衬砌微裂缝、施工缝和变形缝采用注入化学浆液的柔性防水技术的推广应用，取得了一些成果，值得借鉴。具体内容可参见本技术指南第9章、第10章及其条文说明。

13.1.1 管片衬砌渗漏水的位置是管片的接缝、管片自身小裂缝、注浆孔等，其中以管片接缝处为防水重点。目前国内接缝防水的对策主要是采用水膨胀橡胶，显著改善了盾构法隧道的防水性。管片衬砌的防水包括管片自防水和其附属措施（如管片外防水涂层）防水、管片接缝防水、注浆防水等。

13.3.1 对于采用单层装配式衬砌的盾构法隧道而言，管片接缝防水是最重要的，故条文中对此提出了要求。

13.3.2 对接头防水而言，在满足衬砌管片自身抗渗性和管片制作精度的条件下，密封材料是不可缺少的。弹性密封橡胶垫与遇水膨胀橡胶密封垫的性能应符合说明表 13.3.2—1 ~ 说明表 13.3.2—2 的规定。

说明表 13.3.2—1 弹性橡胶密封垫物理性能

序号	项 目		指 标	
			氯丁橡胶	三元乙丙胶
1	硬度（邵尔 A）（度）		45 ± 5 ~ 60 ± 5	55 ± 5 ~ 70 ± 5
2	伸长率（%）		≥ 350	≥ 330
3	拉伸强度（MPa）		≥ 10.5	≥ 9.5
	热空气老化 (70 °C × 96 h)	硬度变化值(邵尔 A)	≤ + 8	≤ + 6
		拉伸强度变化率(%)	≥ - 20	≥ - 15
		扯断伸长率变化率(%)	≥ - 30	≥ - 30
5	压缩永久变形（70 °C × 24 h）（%）		≤ 35	≤ 28
6	防霉等级		达到与优于 2 级	

说明表 13.3.2—2 遇水膨胀橡胶密封垫物理性能

序号	项 目		指 标			
			PZ-150	PZ-250	PZ-400	PZ-600
1	硬度 (邵尔 A) (度)		42 ± 7	42 ± 7	45 ± 7	48 ± 7
2	拉伸强度 (MPa) ≥		3.5	3.5	3	3
3	扯断伸长率 (%) ≥		450	450	350	350
4	体积膨胀率 (%) ≥		150	250	400	600
5	反复 浸水 试验	拉伸强度 (MPa) ≥	3	3	2	2
		扯断伸长率 (%) ≥	350	350	250	250
		体积膨胀率 (%) ≥	150	250	500	500
6	低湿弯折 (-20 °C × 2 h)		无裂纹	无裂纹	无裂纹	无裂纹
7	防霉等级		达到与优于 2 级			

注：表中硬度为推荐项目；成品切片测试应达到性能指标的 80%；接头部位的拉伸强度不得低于表中性能指标的 50%；体积膨胀率为膨胀后的体积与膨胀前的体积对比率。

13.3.8 管片嵌缝密封材料包括未定型和定型材料，其作业要求分别为：

(1) 未定型嵌缝密封材料：

①嵌缝作业的准备：清理嵌缝槽内污垢，检查作业范围内的嵌缝槽有无冒水、滴漏、慢渗，对前两种现象应堵漏止水，对有湿渍或慢渗的嵌缝槽，应采用潮湿面粘结的密封胶或膨胀密封胶；管片嵌缝槽如有碎裂、缺损，应予修补，其方法同密封垫沟槽的修补。

②嵌缝作业的要则：如用密封胶类材料嵌填，应先涂冷底子，再自下而上填塞密封胶，使之平整密实；嵌缝作业用刮刀抹填或嵌缝枪嵌注均可；如于密封胶外加封加固材料，既可直接填塞于嵌缝槽面层，也可加封于嵌缝槽两侧；加封材料宜为聚合物水泥砂浆、环氧密封膏、纤维水泥等，并应于结合面先涂刷混凝土界面处理剂处理；拱顶部的外封加固材料应能速凝，以免坠

落；水膨胀腻子类密封材料应与控膨材料配合使用，槽口必须用外封加固材料。

(2) 定形嵌缝密封材料：

①加强嵌缝槽边沿的修补。

②将预制成形的材料嵌入嵌缝槽，正确安设就位，应用木锤击入，使之紧密贴合。

③在环缝嵌缝槽内的密封条应无接头，密封条环缝与纵缝、段与段的结合应紧密，必要时采用特殊十字接头密封件。

④在预制成形密封件靠扩张材料与嵌缝槽张紧密封时，扩张材料的设置应正确密贴；采用泄水型的嵌缝时，应将泄水口设在排水沟附近。