

中国工程建设协会标准

隧道工程防水技术规范

Technical code for tunnel engineering waterproofing

CECS 370: 2014

主编单位：上海市隧道工程轨道交通设计研究院

清华大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2014年9月1日

中国工程建设标准化协会公告

第170号

关于发布《隧道工程防水技术规范》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈中国工程建设标准化协会2007年第一批标准制、修订项目计划〉的通知》(建标协字[2007]31号)的要求，由上海市隧道工程轨道交通设计研究院、清华大学等单位编制的《隧道工程防水技术规范》，经本协会建筑防水专业委员会组织审查，现批准发布，编号为CECS 370: 2014，自2014年9月1日起施行。

中国工程建设标准化协会

二〇一四年五月二十六日

前言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈中国工程建设标准化协会2007年第一批标准制、修订项目计划〉的通知》(建标协字[2007]31号)的要求，制定本规范。

本规范共分11章，主要内容包括：总则，术语，基本规定，混凝土结构自防水，明挖法隧道，矿山法隧道，盾构法隧道，沉管法隧道，顶管法、箱涵顶进法隧道，其他隧道工程和隧道防水工程质量验收。

本规范由中国工程建设标准化协会建筑防水专业委员会归口管理，由上海隧道工程轨道交通设计研究院负责具体技术内容的解释。在执行过程中，如发现有需要修改和补充之处，请将意见和有关资料寄送解释单位(地址：上海市中山西路1999号申隧设计大厦，邮政编码：200235)。

主编单位：上海市隧道工程轨道交通设计研究院

清华大学

参编单位：长江科学院

西南交通大学

交通运输部公路科学研究院

中铁西南科学研究院有限公司

长江勘测规划设计研究院

上海隧道股份有限公司

中国建筑科学研究院

住房和城乡建设部科技与产业化发展中心

中铁一局集团有限公司

广东省煤炭建设集团有限公司

浙江华东工程科技发展有限公司

煤炭科学研究院开采设计研究分院

成都市嘉洲新型防水材料有限公司

金华市欣生沸石开发有限公司

大连细扬防水工程集团有限公司

北京圣洁防水材料有限公司

北京可立特科技发展有限公司

北京龙阳伟业科技股份有限公司

南通沪望塑料科技发展有限公司

上海大聚建筑工程有限公司

湖南省白银新材料有限公司

澳大利亚敏益集团香港敏益有限公司

主要起草人：张革 安雪晖 张勇 周虎 朱祖熹 李蓉 汪在芹 王华平 杨其新 魏涛 陈磊 朱雁飞 孟维孝 乔国华 吕联亚 周庆 邵高峰 冯志强 叶大为 陈士兴 樊细杨 杜昕 刘靖 王伟 吴晓根 许宝根 王成明 冯进雄

主要审查人：杨我清 姚源道 王如路 朱志远 陆忠良 邵理中 祝和权 郭德友 周永祥

1 总 则

- 1.0.1 为规范隧道工程防水设计、施工及验收,做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于公路、铁路、地铁、市政、水利、水电、矿井等隧道工程的防水设计、施工和验收。
- 1.0.3 隧道工程防水采用的新材料、新技术、新工艺应经试验验证、鉴定,确保工程质量和安全。
- 1.0.4 隧道工程防水设计、施工及验收除应符合本规范规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

- 2.0.1 隧道 tunnel
开挖地层建造的通道,是一种地下建筑物。包括城市地下铁道、公路、铁路隧道、水工隧洞、矿井巷道等。
- 2.0.2 隧道工程防水 tunnel waterproofing
为满足隧道工程的防水质量要求和耐久年限所进行的防水设计、施工和维护等工作的总称。
- 2.0.3 隧道工程防水等级 tunnel engineering waterproof grade
根据隧道工程的使用要求、用途、重要程度和使用年限所划分的不同防水设防级别,允许渗漏水量的标准。
- 2.0.4 防水混凝土 waterproof concrete
抗渗性能良好的混凝土,浇筑质量要求均匀密实,抗渗等级不得低于P6。
- 2.0.5 明挖法隧道 cut and cover tunnel
按照先敞口放坡开挖或在围护结构内开挖,再浇筑地下构造,最后进行回填的顺序修筑的隧道。
- 2.0.6 复合式衬砌 composite lining
由围岩初期支护与二次衬砌结合或地下连续墙等围护结构与内衬结合共同组成的衬砌结构。
- 2.0.7 型钢水泥土搅拌墙 soil mixing wall
在连续套管的多轴水泥土搅拌内插入型钢形成的复合挡土止水结构。
- 2.0.8 全包防水 whole charter waterproofing
选用高聚物改性沥青类、合成高分子类卷材或塑料防水板等将地下构筑物全部包裹,以形成完整防水层。
- 2.0.9 局部外包防水 partial outer waterproofing
与全包防水相对,仅用防水层将地下构筑物的部分包裹,再结合结构自身以形成的防水层。
- 2.0.10 接缝防水 joint waterproof
采用防水密封材料对构筑物的接缝进行密封,以防止液体、气体、固体的侵入,起到水密、气密的作用。
- 2.0.11 暗挖法隧道 subsurface-excavation-method tunnel
采用不开挖地面,在地下挖洞施工的隧道。矿山法(或新奥法)隧道、盾构法隧道、顶管法隧道、箱涵顶进法隧道等均属于暗挖法隧道。
- 2.0.12 矿山法隧道 mining-method tunnel
传统的矿山法隧道是指用钻眼爆破的方法修筑的隧道,又称钻爆法隧道。随着喷锚支护的出现,在矿山法的基础上,进而发展出新奥法。
- 2.0.13 无气喷涂 airless spraying
利用柱塞泵,隔膜泵等机械形式增压,经抗压管输送至无气喷枪嘴释放液压,瞬时雾化后喷向被涂物表面,形成涂膜层。
- 2.0.14 喷膜防水 spray-on waterproofing
将配制好的药液通过喷膜设备,计量搅拌、混合、输送至喷枪枪头或在喷嘴外高速均匀混合,喷射到隧道衬砌表面,形成具有一定强度和韧度的薄膜,使之满足防水的要求。
- 2.0.15 盾构法隧道 shield tunnel
采用盾构掘进机全断面开挖,钢筋混凝土管片作为衬砌支护进行修筑的隧道。

2. 0. 16 沉管法隧道 immersed tube tunnel

在坞中预制管段，经浮运下沉到事先浚挖的沟槽中，并连接而成的水底隧道。

2. 0. 17 顶管法、箱涵顶进法隧道 pipe-jacking and box-culvert-jacking tunnel

先开挖竖向工作井，再将预制钢筋混凝土管节或箱体顶入土层中，并排除箱内土体而构筑的隧道。有时需借助管幕或管棚等辅助方法。

2. 0. 18 隧道接头防水 tunnel joint waterproof

隧道结构连接部位的防水。根据不同的隧道结构形式、施工方法，将会有不同的接头，包括隧道管节(段)之间、衬砌(管片)之间、隧道与工作井、连接通道，地下车站之间等部位的防水。

2. 0. 19 水工隧洞 hydraulic tunnel

水利水电工程中为满足灌溉、发电、供水、泄水、引水、排沙、施工导流和通航等需要而修建的具有封闭断面的地下输水通道。

2. 0. 20 有压隧洞 pressurized tunnel

洞内充满水流、洞壁周边承受水压力的水工隧洞。

2. 0. 21 无压隧洞 free-flow tunnel

洞内具有自由水面的水工隧洞。

2. 0. 22 高压隧洞 highly pressurized tunnel

洞内水头压力水头超过100m的水工隧洞。

2. 0. 23 高流速隧洞 high velocity tunnel

洞内水流流速大于20m/s的水工隧洞。

2. 0. 24 防水闸门 waterproof gate

在矿井下为预防地下水突然涌入其他矿井巷道而专门设置的截水闸门。

2. 0. 25 防水闸墙 waterproof lock wall

矿井井下防水的一项主要安全设施。在井下巷道设计中，对水患威胁严重的部位，应在适当地点预留防水闸门硐室和水闸墙的位置，使矿井形成分翼、分水平或分采区隔离开采。

2. 0. 26 止浆墙 grouting wall

在巷道中需要注浆的地段，预先构筑可承受最大注浆压力(压强)并防止向巷道中漏浆、跑浆的混凝土构筑物。

3 基本规定

3. 0. 1 隧道工程防水的设计和施工应做好工程地质及水文地质勘察工作，遵循“防、截、堵相结合，刚柔相济，因地制宜，综合治理”的原则，在满足防水等级标准要求且不会造成地面沉降等环境危害的情况下可采用排水措施。

3. 0. 2 进行隧道防水设计时应具备下列技术资料：

1 与隧道工程相关的环境调查报告；

2 隧道沿线的工程地质和水文地质勘察报告；

3 隧道工程技术要求的资料、隧道总体规划与设计的要求，包括围护结构、隧道主体结构、给排水、通风、消防等设计资料。

3. 0. 3 隧道工程防水应根据隧道使用功能和技术条件，按表3. 0. 3-1中的标准选定相应的防水等级。隧道工程不同防水等级的适用范围，应根据工程的重要性和使用中对防水的要求按表3. 0. 3-2选定。

表3. 0. 3-1 隧道工程防水标准

防水等级	防水标准
一 级	不允许渗水,结构表面无湿渍
二 级	不允许漏水,结构表面可有少量湿渍;总湿渍面积不应大于总防水面积的 2/1000;任意 100m ² 防水面积上的湿渍不超过 3 处,单个湿渍的最大面积不大于 0.2m ² ;平均渗漏量不大于 0.05L/(m ² ·d),任意 100m ² 防水面积上的渗漏量不大于 0.15L/(m ² ·d)
三 级	有少量漏水点,不得有线流和漏泥砂 任意 100m ² 防水面积上的漏水或湿渍点数不超过 7 处,单个漏水点的最大漏水量不大于 2.5L/d,单个湿渍的最大面积不大于 0.3m ²
四 级	有漏水点,不得有线流和漏泥砂 整个工程平均漏水量不大于 2L/(m ² ·d);任意 100m ² 防水面积上的平均漏水量不大于 4L/(m ² ·d)

表3.0.3-2 不同防水等级的适用范围

防水等级	适用范围
一 级	人员长期停留的隧道;因有少量湿渍会使物品变质、失效的储物隧道及严重影响设备正常运转和危及工程安全运营的部位;极重要的战备工程
二 级	人员经常活动的隧道;在有少量湿渍的情况下不会使物品变质、失效的储物隧道及基本不影响设备正常运转和工程安全运营的部位;重要的战备工程
三 级	人员临时活动的隧道;一般战备工程
四 级	对渗漏水无严格要求的隧道;允许大量排水的隧道

3.0.4 隧道工程的防水设计,应做到定级准确、方案可靠、施工简便、耐久适用、经济合理。

3.0.5 隧道工程防水设计应考虑地表水、地下水、毛细管水等的作用,以及由于人为因素引起的附近水文地质改变的影响。新建、改造的隧道工程,宜结合防水等级进行防排水设计;隧道工程出地面的附属结构的防水设防高度,应高出设计地面标高500mm以上。

3.0.6 隧道工程的主体结构应采用防水混凝土,并应根据防水等级的要求采取相应防水措施。

3.0.7 隧道工程的预制构件接缝、变形缝(诱导缝)、施工缝、后浇带、穿墙管(盒)、预埋件、预留通道接头、桩头等细部构造,应加强防水措施。

3.0.8 隧道工程的排水沟、地漏、出入口、窗井、风井等,应有防倒灌措施,寒冷环境下的排水沟应有防冻措施。

3.0.9 隧道工程的防水设防要求,应根据使用功能、使用年限、水文地质、结构形式、环境条件、施工方法及材料性能等因素合理确定。明挖法地下工程的防水设防要求应按表3.0.9-1选用;暗挖法地下工程的防水设防要求应按表3.0.9-2选用。

表3.0.9-1 明挖法隧道工程防水设防要求

工程部位		主体结构					施工缝				后浇带			变形缝 (诱导缝)										
防水措施		防水混凝土	防水卷材	防水涂料	塑料防水板	膨润土防水材料	金属防水板	遇水膨胀止水条(胶)	外贴式止水带	中埋式止水带	外抹防水砂浆	外涂防水涂料	预埋注浆管	补偿收缩混凝土	外贴式止水带	遇水膨胀止水条(胶)	预埋注浆管	防水密封材料	中埋式止水带	外贴式止水带	可卸式止水带	防水密封材料	外贴防水卷材	外涂防水涂料
防水等级	一级	应选一至二种					应选二种				应选	应选二种			应选	应选二种			应选	应选二种				
	二级	应选一种					应选一至二种				应选	应选一至二种			应选	应选一至二种			应选	应选一种至二种				
	三级	宜选一种					宜选一至二种				应选	宜选一至二种			应选	宜选一至二种			应选	宜选一至二种				
	四级	—					宜选一种				应选	宜选一种			应选	宜选一种			应选	宜选一种				

注：遇水膨胀止水条(胶)应选用缓胀型的产品。

表3.0.9-2 暗挖法隧道工程防水设防要求

工程部位		二衬结构					二衬施工缝					二衬变形缝(诱导缝)						
防水措施		防水混凝土	塑料防水板	防水砂浆	防水涂料	防水卷材	金属防水层	外贴式止水带	预埋注浆管	遇水膨胀止水条(胶)	防水密封材料	中埋式止水带	水泥基渗透结晶型防水涂料	中埋式止水带	外贴式止水带	可卸式止水带	防水密封材料	遇水膨胀止水条(胶)
防水等级	一级	必选	应选一至二种					应选一至二种					应选	应选一至二种				
	二级	必选	应选一种					应选一种					应选	应选一种				
	三级	宜选	宜选一种					宜选一种					应选	宜选一种				
	四级	宜选	宜选一种					宜选一种					应选	宜选一种				

注：遇水膨胀止水条(胶)应选用缓胀型的产品。

- 3.0.10 处于侵蚀性介质中的隧道工程，应采用耐侵蚀的防水混凝土、防水砂浆及有耐腐蚀功能的防水卷材或防水涂料等防水材料。
- 3.0.11 结构刚度较小或受振动作用的隧道工程，宜采用延伸率较大的卷材、涂料等柔性防水材料。
- 3.0.12 隧道工程防水设计内容应包括：
 - 1 选定防水等级和设防要求；
 - 2 防水混凝土的抗渗等级和其他技术指标、质量保证措施；
 - 3 接缝与防水层选用的材料及其技术指标、质量保证措施；
 - 4 工程细部构造的防水措施，选用的材料及其技术指标、质量保证措施；
 - 5 工程的防排水系统、地面挡水、截水系统及工程各种洞口的防倒灌措施。

4 混凝土结构自防水

4.1 一般规定

- 4.1.1 防水混凝土应通过调整配合比或掺加外加剂、掺合料等措施配制而成，强度不得低于C30，抗渗等级不得小于P6。
- 4.1.2 防水混凝土的施工配合比应通过试验确定，抗渗等级应比设计要求提高一级(0.2MPa)。
- 4.1.3 防水混凝土应根据需要设定混凝土的强度、抗渗、抗冻、耐磨和抗侵蚀等要求。
- 4.1.4 在寒冷、侵蚀环境中的隧道工程，防水混凝土的抗渗等级不得低于P8，抗冻等级不得低于F300。

4. 1. 5 隧道工程防水混凝土的设计抗渗等级，应符合表4. 1. 5的规定。

表4. 1. 5 防水混凝土设计抗渗等级

工程埋置深度H(m)	设计抗渗等级
H<10	P6
10≤H<20	P8
20≤H<30	P10
H≥30	P12

注：1 本表适用于Ⅳ、Ⅴ级围岩(土层及软弱围岩)；
2 山岭隧道抗水压衬砌地段防水混凝土的抗渗等级不得低于P12。

4. 1. 6 防水混凝土的配合比设计应符合下列规定：

- 1 胶凝材料总量不得小于320kg / m³；
- 2 砂率不宜低于35%；
- 3 水胶比宜小于0. 50，且不得大于0. 55；
- 4 掺用引气剂的防水混凝土，其含气量宜控制在3%~5%；
- 5 防水混凝土的干燥收缩率应在800×10⁻⁶以下；
- 6 防水混凝土的泌水量不得大于3ml / mm²。

4. 1. 7 防水混凝土结构底板的垫层强度不应低于C15，厚度不应小于100mm，在弱土层中不应小于150mm。

4. 1. 8 防水混凝土结构应符合下列规定：

- 1 结构厚度不应小于250mm；
- 2 迎水面裂缝宽度不得大于0. 2mm，背水面裂缝宽度不得大于0. 3mm，并不得贯通；
- 3 迎水面钢筋保护层厚度应复合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB / T 50476中的相关规定。

4. 1. 9 特殊工程地段和抗渗等级较高的现浇混凝土，可采用掺入复合型抗裂防水剂与矿物掺合料，以提高混凝土的抗裂性、密实性及防水性。复合型抗裂防水剂应符合国家现行标准《砂浆、混凝土防水剂》JC 474、《混凝土膨胀剂》GB 23439等的有关规定。

4. 1. 10 防水混凝土可根据工程抗裂需要掺入钢纤维或合成纤维，钢纤维及合成纤维应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ / T 221的规定。

4. 1. 11 防水混凝土中各类材料的总碱量(Na₂O当量)不得大于3kg / m³。

4. 1. 12 新拌混凝土硬化后，实测混凝土中的氯离子含量对于钢筋混凝土不应超过胶凝材料总量的0. 1%，对于预应力混凝土不得超过胶凝材料总量的0. 06%。

4 混凝土结构自防水

4. 1 一般规定

4. 1. 1 防水混凝土应通过调整配合比或掺加外加剂、掺合料等措施配制而成，强度不得低于C30，抗渗等级不得小于P6。

4. 1. 2 防水混凝土的施工配合比应通过试验确定，抗渗等级应比设计要求提高一级(0. 2MPa)。

4. 1. 3 防水混凝土应根据需要设定混凝土的强度、抗渗、抗冻、耐磨和抗侵蚀等要求。

4. 1. 4 在寒冷、侵蚀环境中的隧道工程，防水混凝土的抗渗等级不得低于P8，抗冻等级不得低于F300。

4. 1. 5 隧道工程防水混凝土的设计抗渗等级，应符合表4. 1. 5的规定。

表4. 1. 5 防水混凝土设计抗渗等级

工程埋置深度H(m)	设计抗渗等级
H<10	P6

$10 \leq H < 20$	P8
$20 \leq H < 30$	P10
$H \geq 30$	P12

注：1 本表适用于Ⅳ、Ⅴ级围岩(土层及软弱围岩)；

2 山岭隧道抗水压衬砌地段防水混凝土的抗渗等级不得低于P12。

4. 1. 6 防水混凝土的配合比设计应符合下列规定：

- 1 胶凝材料总量不得小于 $320\text{kg}/\text{m}^3$ ；
- 2 砂率不宜低于35%；
- 3 水胶比宜小于0.50，且不得大于0.55；
- 4 掺用引气剂的防水混凝土，其含气量宜控制在3%~5%；
- 5 防水混凝土的干燥收缩率应在 800×10^{-6} 以下；
- 6 防水混凝土的泌水量不得大于 $3\text{ml}/\text{mm}^2$ 。

4. 1. 7 防水混凝土结构底板的垫层强度不应低于C15，厚度不应小于100mm，在弱土层中不应小于150mm。

4. 1. 8 防水混凝土结构应符合下列规定：

- 1 结构厚度不应小于250mm；
- 2 迎水面裂缝宽度不得大于0.2mm，背水面裂缝宽度不得大于0.3mm，并不得贯通；
- 3 迎水面钢筋保护层厚度应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476中的相关规定。

4. 1. 9 特殊工程地段和抗渗等级较高的现浇混凝土，可采用掺入复合型抗裂防水剂与矿物掺合料，以提高混凝土的抗裂性、密实性及防水性。复合型抗裂防水剂应符合国家现行标准《砂浆、混凝土防水剂》JC 474、《混凝土膨胀剂》GB 23439等的有关规定。

4. 1. 10 防水混凝土可根据工程抗裂需要掺入钢纤维或合成纤维，钢纤维及合成纤维应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221的规定。

4. 1. 11 防水混凝土中各类材料的总碱量(Na_2O 当量)不得大于 $3\text{kg}/\text{m}^3$ 。

4. 1. 12 新拌混凝土硬化后，实测混凝土中的氯离子含量对于钢筋混凝土不应超过胶凝材料总量的0.1%，对于预应力混凝土不得超过胶凝材料总量的0.06%。

4. 2 防水混凝土原材料

4. 2. 1 防水混凝土所使用的水泥，应符合下列规定：

- 1 在不受侵蚀性介质和冻融作用时，宜采用普通硅酸盐水泥、硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥；
- 2 当防水混凝土中掺入粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等活性矿物掺合料时，宜采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥；
- 3 在受侵蚀性介质作用时，应按介质的性质选用相应的水泥；
- 4 在受冻融作用时，应选用普通硅酸盐水泥。

4. 2. 2 活性矿物掺合料的技术性能指标应符合下列要求：

- 1 粉煤灰应满足现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596中Ⅰ级或Ⅱ级粉煤灰的技术性能指标要求，强度等级高于C60的防水混凝土宜选用Ⅰ级粉煤灰；
- 2 粒化高炉矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046的技术性能指标要求；
- 3 硅灰应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690的技术性能指标要求。

4. 2. 3 防水混凝土粗细骨料应符合下列规定：

- 1 粗骨料宜采用连续级配，其最大粒径不宜大于40mm，含泥量不得大于1.0%，泥块含量不得大于0.5%；泵送时其最大粒径不应大于输送管径的1/4；吸水率不应大于1.5%；不得使用碱活性骨料，其他要求应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685的规定。
- 2 细骨料宜采用中砂，含泥量不得大于3.0%，泥块含量不得大于1.0%。其要求应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684的规定。

4. 2. 4 拌制混凝土所用的水，应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63的规定。

4. 2. 5 防水混凝土可根据工程需要掺入减水剂、膨胀剂、防水剂、密实剂、引气剂、复合型外加剂等，外加剂的品种和掺量应经试验

确定，外加剂的质量应符合国家现行有关标准的规定。

4.3 防水混凝土施工

4.3.1 防水混凝土配料应准确称量。每盘计量允许偏差应符合下列规定：

- 1 水泥、水、外加剂、掺合料应控制在 $\pm 1\%$ 之内；
- 2 砂、石应控制在 $\pm 2\%$ 之内。

4.3.2 防水混凝土拌合物必须采用强制式搅拌，搅拌时间不应少于60s。掺外加剂时，应根据外加剂的技术要求确定搅拌时间。

4.3.3 防水混凝土拌合物在运输时如出现离析，应进行二次搅拌。当坍落度损失到不能满足施工要求时，应加入原水胶比的水泥浆或二次掺加减水剂进行搅拌，严禁直接加水。

4.3.4 模板施工应符合下列规定：

- 1 固定模板不宜使用对穿螺栓，如固定模板的螺栓必须穿过混凝土结构时，可采用工具式螺栓或螺栓加堵头，螺栓上应加焊方形止水环。拆模后应采取加强防水措施，将留下的凹槽封堵密实，并宜在迎水面涂刷防水涂料。
- 2 模板搭建中使用的紧固螺钉及分离器，在混凝土硬化后，应做到各个部位均不出现漏水的情况。
- 3 使用分离器兼用的特殊紧固金属零件，去除后应采用防水性能高的砂浆填充等方法进行处理。
- 4 嵌入的金属零件顶端与混凝土表面的深度应大于保护层厚度；防水性能要求高的时候，不得使用分离器和紧固螺钉。

4.3.5 防水混凝土应采用机械振捣，避免漏振、欠振和过振；使用自密实防水混凝土时则应避免振捣。

4.3.6 防水混凝土应连续浇筑，宜减少施工缝。当留设施工缝时，应符合下列规定：

- 1 墙体水平施工缝不应留在剪力与弯矩最大处或底板与侧墙的交接处，应留在高出底板表面不小于300mm的墙体上；拱(板)墙结合的水平施工缝，宜留在拱(板)墙接缝线以下150mm~300mm处；墙体有预留孔洞时，施工缝距孔洞边缘不应小于300mm。
- 2 垂直施工缝应避开地下水和裂隙水较多的地段，并宜与变形缝相结合。

4.3.7 大体积防水混凝土的施工，应采取下列措施：

- 1 在设计许可的情况下，宜采用混凝土60d强度作为设计强度；
- 2 应采用低热、中热水泥，或掺加粉煤灰、磨细矿渣粉等掺合料；
- 3 在炎热季节施工时，应采取降低原材料温度、减少混凝土运输时吸收外界热量等降温措施；
- 4 混凝土内部可预埋管道，进行水冷散热；
- 5 防水混凝土的入模温度应低于30℃，其中心温度与表面温度的差值不应大于25℃，混凝土表面温度与大气温度的差值也不应大于20℃。

4.3.8 防水混凝土浇筑后应及时进行养护，养护龄期不应少于14d，养护期间应进行保温保湿养护。

4.3.9 防水混凝土结构内部设置的各种钢筋或绑扎铁丝，不得接触模板。

4.3.10 防水混凝土的冬季施工，入模温度不应低于5℃，宜掺入混凝土防冻剂等外加剂，并应采取保温保湿养护等综合措施。

4.3.11 混凝土的拌和、运输应保证浇筑连续进行，尽量减少转运次数，缩短运输和浇筑间隔时间。因停歇过久导致混凝土已初凝或已失去塑性时，应作废料处理。

5 明挖法隧道

5.1 一般规定

5.1.1 明挖法隧道应根据结构构造形式、防水等级、周边环境、水头压力、腐蚀情况等采用全包防水或局部外包防水，构造形式包括：放坡开挖式的隧道结构、分离式隧道衬砌结构、复合式隧道衬砌结构、叠合式隧道衬砌结构等。

5.1.2 明挖法隧道的永久结构混凝土均采用防水混凝土，并应满足本规范第4章的相关要求。参与永久受力的围护结构的混凝土也应采用防水混凝土，当结构埋深在20m以内时，抗渗等级仍应根据埋深按本规范表4.1.5取值；但结构埋深大于20m时，抗渗等级不得小于P8。

5.1.3 明挖法隧道，除叠合衬砌结构外，结构防水设防均应按本规范表3.0.9-1设置。

5.1.4 明挖法隧道外防水层宜以防水涂料、防水卷材及膨润土防水毯等为主，特殊部位及环境要求下也可采用塑料防水板及金属防水板等。

5 明挖法隧道

5.1 一般规定

5.1.1 明挖法隧道应根据结构构造形式、防水等级、周边环境、水头压力、腐蚀情况等采用全包防水或局部外包防水，构造形式包括：放坡开挖式的隧道结构、分离式隧道衬砌结构、复合式隧道衬砌结构、叠合式隧道衬砌结构等。

5.1.2 明挖法隧道的永久结构混凝土均应采用防水混凝土，并应满足本规范第4章的相关要求。参与永久受力的围护结构的混凝土也应采用防水混凝土，当结构埋深在20m以内时，抗渗等级应根据埋深按本规范表4.1.5取值；但结构埋深大于20m时，抗渗等级不得小于P8。

5.1.3 明挖法隧道，除叠合衬砌结构外，结构防水设防均应按本规范表3.0.9-1设置。

5.1.4 明挖法隧道外防水层宜以防水涂料、防水卷材及膨润土防水毯等为主，特殊部位及环境要求下也可采用塑料防水板及金属防水板等。

5.2 隧道外防水层设计

5.2.1 涂料防水层可采用有机防水涂料或无机防水涂料，宜涂刷或喷涂于隧道结构的迎水面。

5.2.2 防水涂料的选择应符合下列要求：

- 1 具有良好的耐水性、耐久性、耐腐蚀性及耐菌性；
- 2 环保、难燃；
- 3 无机防水涂料应具有良好的潮湿基面粘结性、耐磨性，有机防水涂料应具有较好的延伸性及较大适应基层变形能力；
- 4 潮湿基层宜选用与潮湿基面粘结力大的防水涂料，或采用先涂无机防水涂料而后再涂有机防水涂料的复合防水涂层；
- 5 低温施工时宜选用反应型涂料；
- 6 有腐蚀性介质的地下环境宜选用耐腐蚀性较好的有机防水涂料。

5.2.3 采用有机防水涂料时，基层阴阳角应做成圆弧形，阴角直径宜大于30mm，阳角直径宜大于10mm，在底板转角部位应增加胎体增强材料，并增涂防水涂料。

5.2.4 掺外加剂、掺合料的水泥基防水涂料厚度不得小于3.0mm，水泥基渗透结晶型防水涂料的用量不应小于1.5kg/m²，有机防水涂料的厚度不得小于1.5mm。

5.2.5 无机防水涂料和有机防水涂料的性能指标应分别符合表5.2.5-1、5.2.5-2的规定。

表5.2.5-1 无机防水涂料的性能指标

涂料种类	抗折强度 (MPa)	粘结强度 (MPa)	一次抗渗性 (MPa)	二次抗渗性 (MPa)	冻融循环 (次)
掺外加剂、掺合料水泥基防水涂料	≥4	≥1.0	≥0.8	—	≥50
水泥基渗透结晶型防水涂料	≥2.8	≥1.0	≥1.0	≥0.8	≥50

表5.2.5-2 有机防水涂料的性能指标

涂料种类	可操作 时间 (min)	潮湿基面 粘结强度 (MPa)	抗渗性 (MPa)			浸水168h 后拉伸 强度 (MPa)	浸水168h 后断裂 伸长率 (%)	耐 水 性 (%)	表干 (h)	实干 (h)
			涂膜 (120min)	砂浆 迎水面	砂浆 背水面					
反应型	≥20	≥0.5	≥0.3	≥0.8	≥0.3	≥1.7	≥400	≥80	≤12	≤24
自由基 类(型)	—	≥0.1	≥0.3	≥0.8	≥0.3	≥0.5	≥200	≥80	≤0.01	≤0.1
水乳型	≥50	≥0.2	≥0.3	≥0.8	≥0.3	≥0.5	≥350	≥80	≤4	≤12
聚合物水泥	≥30	≥1.0	≥0.3	≥0.8	≥0.6	≥1.5	≥80	≥80	≤4	≤12

注：1 浸水168h后的拉伸强度和断裂伸长率是在浸水取出后只经擦干即进行试验所得的值；

2 耐水性指标是指材料浸水168h后取出擦干即进行试验，其粘结强度及抗渗性的保持率。

- 5.2.6 有条件大面积施工的隧道工程,可采用喷涂技术进行防水涂层的施工。喷涂型防水涂层宜包括:喷涂聚脲防水涂层、喷涂型聚合物防水涂层或砂浆防水层、丙烯酸盐膜防水涂层、喷涂型橡胶沥青防水涂层等。
- 5.2.7 喷涂聚脲防水涂料性能指标应符合现行行业标准《喷涂聚脲防水工程技术规程》JGJ/T 200中的Ⅱ型产品的规定。
- 5.2.8 聚合物水泥防水涂料性能指标应符合现行国家标准《聚合物水泥防水涂料》GB/T 23445中Ⅱ型或Ⅲ型产品的规定。
- 5.2.9 在隧道工程中应优先选用能与现浇混凝土直接粘结,且有良好施工性能的预铺防水卷材,其性能指标应符合现行国家标准《预铺/湿铺防水卷材》GB/T 23457的规定。
- 5.2.10 防水卷材的品种规格和层数的选择,应根据地下工程防水等级、地下水位高低及水压力作用状况、结构构造形式和施工工艺等因素确定。
- 5.2.11 卷材防水层的卷材品种可按表5.2.11-1选用,并应符合下列规定:
- 1 卷材外观质量、品种规格应符合现行国家或行业标准;
 - 2 卷材及其胶粘剂应具有良好的耐水性、耐久性、耐刺穿性、耐腐蚀性和耐菌性;

表5.2.11-1 卷材防水层的卷材品种

类 别	品 种 名 称
高聚物改性沥青类防水卷材	弹性体(SBS)改性沥青防水卷材
	(高聚物)改性沥青聚乙烯胎防水卷材(PEE)
	聚酯胎自粘聚合物改性沥青防水卷材
	无胎体自粘橡胶沥青防水卷材
合成高分子类防水卷材	三元乙丙橡胶防水卷材
	聚氯乙烯防水卷材
	聚乙烯丙纶复合防水卷材
	高密度聚乙烯自粘胶膜防水卷材

3 不同品种卷材的厚度应符合表5.2.11-2的规定。

表5.2.11-2 不同品种的卷材厚度

卷 材 品 种	高聚物改性沥青类防水卷材			合成高分子类防水卷材			
	弹性体改性 沥青防水 卷材、改性 沥青聚乙烯胎 防水卷材	自粘聚合物 改性沥青 聚酯胎 防水卷材	自粘橡胶 沥青防水 卷材	三元乙丙 橡胶防水 卷材	聚氯乙烯 防水卷材	聚乙烯 丙纶复合 防水卷材	高密度聚 乙烯自粘 胶膜防水 卷材
单层厚度 (mm)	≥4	≥3	≥1.5	≥1.5	≥1.5	≥0.7	≥1.2
双层 总厚度 (mm)	≥(4+3)	≥(3+3)	≥(1.5+ 1.5)	≥(1.2+ 1.2)	≥(1.2+ 1.2)	卷材(规定芯层 厚度0.5), ≥(0.7+0.7) 粘结料: ≥(1.3+1.3)	—

5.2.12 高聚物改性沥青类防水卷材的主要物理性能应符合表5.2.12的要求。

表5.2.12 高聚物改性沥青类防水卷材的主要物理性能

项 目		性 能 要 求				
		弹性体改性沥青防水卷材			自粘聚合物 改性沥青 聚酯胎 防水卷材	自粘橡胶 沥青防水 卷材(无胎体、 树脂膜)
		聚酯毡胎体	玻纤毡胎体	聚乙烯膜胎体		
可溶物含量 (g/m ²)		3mm 厚≥2100 4mm 厚≥2900			3mm 厚 ≥2100	—
拉 伸 性 能	拉 力 (N/50mm)	≥800 (纵 横 向)	≥500(纵 向) ≥500(横 向)	≥200(纵 向) ≥200(横 向)	≥450 (纵 横 向)	≥200 (纵 横 向)
	延 伸 率 (%)	最大拉力时 ≥40(纵 横 向)	—	断裂时≥250 (纵 横 向)	最大拉力时 ≥30(纵 横 向)	断裂时≥200 (纵 横 向)
低温柔度(℃)		-25,无裂纹				
热老化后 低温柔度(℃)		-22,无裂纹				
不透水性		压力 0.3MPa,保持时间 120min,不透水				

5. 2. 13 合成高分子类防水卷材的主要物理性能应符合表5. 2. 13的要求。

表5. 2. 13 合成高分子类防水卷材的主要物理性能

项 目	性 能 要 求				
	三元乙丙橡胶防水卷材	聚氯乙烯防水卷材	聚乙烯丙纶复合防水卷材	高密度聚乙烯自粘胶膜防水卷材	TPO 防水卷材
断裂拉伸强度	≥7.5MPa	≥10MPa	≥50N/10mm	≥500N/50mm	≥12MPa
断裂伸长率(%)	≥450	≥200	≥300	≥400	≥500
低温弯折性(℃)	-40	-25	-20	-25	-40
不透水性	压力 0.3MPa,保持时间 120min,不透水				

5. 2. 14 粘贴各类防水卷材必须采用与卷材材性相容的胶粘材料,其粘结质量应符合表5. 2. 14的要求。

表5. 2. 14 防水卷材粘结质量要求

项 目		弹性体改性 沥青防水卷材、 改性沥青 聚乙烯胎防水 卷材粘合面	自粘聚合 物改性沥 青聚酯胎 防水卷材 粘合面	自粘橡胶 沥青防水 卷材 粘合面	三元乙丙橡胶 和聚氯乙烯 防水卷材 胶粘剂	合成 橡胶 胶粘带	高密度聚 乙烯自粘 胶膜防水 卷材粘合面
剪切状态 下的粘合性 (卷材-卷材)	标准试验 条件 (N/10mm)	≥12 或卷材断裂					
粘结剥 离强度 (卷材-卷材)	标准试验 条件 (N/10mm)	≥8	≥12 或卷材断裂	≥12 或 卷材断裂	—	≥12 或 卷材断裂	
	浸水 168h 后保持率 (%)	≥70	≥70	≥70	—	≥80	
与混凝土 粘接强度 (卷材-混凝土)	标准试验 条件 (N/10mm)	—	≥15 或卷材断裂	≥15 或卷材断裂	≥20 或 卷材断裂		

5. 2. 15 隧道工程中采用聚乙烯丙纶复合防水卷材的性能,应符合现行国家标准《高分子增强复合防水片材》GB/T 26518的规定。

5.2.16 膨润土防水毯的性能指标应符合表5.2.16的要求。

表5.2.16 膨润土防水毯性能指标

项 目		性 能 指 标		
		GCL-NP	GCL-OF	GCL-AH
单位面积质量(g/m ² 、干重)		≥4000 且不小于规定值		
膨润土膨胀指数(ml/2g)		≥24		
拉伸强度(N/10cm)		≥600	≥700	≥600
最大负荷下伸长率(%)		≥10	≥10	≥8
剥离强度	非制造布-编织布(N/10cm)	≥40	≥40	—
	PE膜-非制造布(N/10cm)	—	≥30	—
渗透系数(cm/s)		≤5×10 ⁻⁹	≤5×10 ⁻¹⁰	≤1×10 ⁻¹⁰
流失量(mL)		≤18		
吸蓝量(g/100g)		≥30		

注：GCL-NP为针刺法钠基膨润土防水毯；GCL-OF为针刺覆膜法钠基膨润土防水毯；GCL-AH为胶粘法钠基膨润土防水板。

5.3 隧道外防水层施工

5.3.1 隧道外防水层基面应符合下列规定：

- 1 无机防水涂料基面应干净、平整、无浮浆和明显积水；
- 2 有机防水涂料基面宜干燥，无气孔、凹凸不平、蜂窝麻面等缺陷；
- 3 卷材防水层的基面应平整坚实、清洁，并符合所用卷材的施工要求，基面平整度应符合表5.3.1的要求。

表5.3.1 防水材料基面平整度要求

防水材料种类	D / L
塑料防水板	≤1 / 6
膨润土防水毯	≤1 / 6
其他柔性防水卷材	≤1 / 20

注：D是指初期支护基面相邻两凸面间凹进去的深度；L是指初期支护基面相邻两凸面间的距离。

5.3.2 涂料、卷材防水层严禁在雨天、雾天、五级风及以上时施工。

5.3.3 涂料防水层不得在施工环境温度低于5℃及高于35℃或烈日暴晒时施工。涂膜固化前如有降雨可能时，应及时做好已完涂层的保护工作。

5.3.4 卷材防水层施工时，冷粘法、自粘法施工的环境气温不宜低于5℃，热熔法、焊接法施工的环境气温不宜低于-10℃。施工过程中下雨、下雪时，应做好已铺卷材的防护工作。

5.3.5 涂料施工前，基层阴阳角应倒角或做成圆弧形。有机防水涂料施工完后应及时做保护层，保护层应符合下列规定：

- 1 顶、底板保护层厚度不应小于70mm，顶板防水层与保护层之间宜设置隔离层；
- 2 侧墙背水面保护层应采用20mm厚1：2.5水泥砂浆；
- 3 侧墙迎水面保护层宜选用软质保护材料或20mm厚1：2.5水泥砂浆。

5.3.6 防水涂料应分层刷涂或喷涂，涂层应均匀，不得漏刷漏涂；接槎宽度不应小于100mm。防水涂料宜采用外防外涂。

5.3.7 丙烯酸盐喷膜防水层厚度不应小于3.0mm，防水加强层厚度不应小于1.0mm。

5.3.8 防水卷材施工前，基层的阴阳角应做成倒角或圆弧形，并涂刷基层处理剂；当基面潮湿时，应涂刷湿固化型胶粘剂或潮湿界面隔离剂。基层处理剂的配制与施工应符合下列要求：

- 1 基层处理剂应与卷材及其粘结材料的材性相容；
- 2 基层处理剂喷涂或刷涂应均匀一致，不露底，表面干燥后方可铺贴卷材。

5.3.9 铺贴各类防水卷材应符合下列规定:

- 1 应铺设卷材加强层;
- 2 结构底板垫层混凝土部位的卷材可采用空铺法或点粘法施工,其粘结位置、点粘面积按设计要求确定,侧墙采用外防外贴法的卷材及顶板部位的卷材应采用满粘法施工;
- 3 卷材与基面、卷材与卷材间的粘结必须紧密、牢固,铺贴完成的卷材应平整顺直,搭接尺寸应准确,不得产生扭曲和褶皱;
- 4 卷材搭接处和接头部位应粘贴牢固,接缝处宜采用材性相容的密封材料封严;
- 5 铺贴立面卷材防水层时,应采取措施防止卷材下滑;
- 6 铺贴双层卷材时,上下两层和相邻两幅卷材的接缝应错开1/3~1/2幅宽,且两层卷材不得相互垂直铺贴。

5.3.10 不同品种防水卷材的搭接宽度应符合表5.3.10的要求。

表5.3.10 不同品种防水卷材的搭接宽度

卷 材 品 种	长边、短边搭接宽度(mm)
弹性体改性沥青防水卷材	100
改性沥青聚乙烯胎防水卷材	100
自粘聚合物改性沥青聚酯胎防水卷材	80
自粘橡胶沥青防水卷材	80
三元乙丙橡胶防水卷材	100/50 (胶粘剂/胶粘带)
聚氯乙烯防水卷材	60/80 (单焊缝/双焊缝)
	100
聚乙烯丙纶复合防水卷材	100(粘结料)
高密度聚乙烯自粘胶膜防水卷材	长边 70~80 短边 80(胶粘带)

5.3.11 铺贴胎体增强材料时,应使胎体层充分浸透防水涂料,不得有露茬、褶皱。

5.3.12 采用外防外贴法铺贴卷材防水层,应符合下列规定:

- 1 先铺平面,后铺立面,交接处应交叉搭接。
- 2 临时性保护墙宜用石灰砂浆砌筑,内表面宜做找平层,用模板代替临时性保护墙时,应在模板表面涂刷隔离剂。
- 3 从底面折向立面的卷材与永久性保护墙的接触部位,应采用空铺法施工;卷材与临时性保护墙或围护结构模板的接触部位,应将卷材临时贴附在该墙上或模板上,并将顶端临时固定。
- 4 当不设保护墙时,从底面折向立面的卷材接槎部位应采取可靠的保护措施。
- 5 混凝土结构完成,铺贴立面卷材时,应先将接槎部位的各层卷材揭开,并将其表面清理干净,如卷材有局部损伤,应及时进行修补;高聚物改性沥青类卷材接槎的搭接长度宜为150mm,合成高分子类卷材接槎的搭接长度宜为100mm;当使用两层卷材时,卷材应错槎接缝,上层卷材应盖过下层卷材。

5.3.13 采用外防内贴法铺贴卷材防水层,应符合下列规定:

- 1 混凝土结构的保护墙内表面应抹厚度为20mm的1:3水泥砂浆找平层,然后铺贴卷材;
- 2 卷材宜采用预铺反粘法施工,铺贴在保护墙上的卷材可空铺或点粘,卷材防水层应与后续浇筑的混凝土紧密粘结;
- 3 卷材宜先铺立面,后铺平面,铺贴立面时,应先铺转角,后铺大面。

5.3.14 卷材防水层经检查合格后,应及时做保护层,保护层应符合下列规定:

- 1 顶板卷材防水层上的细石混凝土保护层厚度:采用机械碾压回填土时,不宜小于70mm;采用人工回填土时,不宜小于50mm;防水层与保护层之间宜设置隔离层。
- 2 底板卷材防水层上的细石混凝土保护层厚度不应小于50mm。
- 3 侧墙卷材防水层宜采用软质保护材料或铺抹20mm厚的1:2.5水泥砂浆层。

5.3.15 膨润土防水毯的织布面应与结构外表面或底板垫层混凝土密贴,膨润土防水板的膨润土面应与结构外表面或底板垫层密贴。

5.4 隧道混凝土结构防水细部构造

5.4.1 结构后浇带防水构造应符合下列要求:

- 1 后浇带的接缝防水处理应符合图5.4.1-1~图5.4.1-3的规定;
- 2 后浇带应采用补偿收缩混凝土浇筑,其强度等级应高于两侧混凝土一个强度等级;
- 3 后浇带混凝土应在两侧混凝土结构完成42d后施工,且应保温保湿养护不少于14d。



图5.4.1-1 后浇带防水构造(一)

1-先浇混凝土; 2-钢边橡胶止水带; 3-结构主筋; 4-后浇补偿收缩混凝土

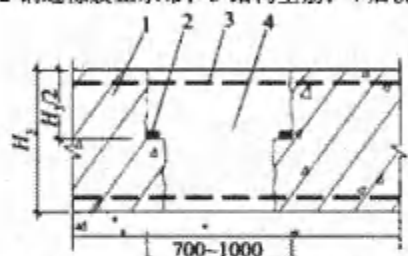


图5.4.1-2 后浇带防水构造(二)

1-先浇混凝土; 2-遇水膨胀止水条(胶); 3-结构主筋; 4-后浇补偿收缩混凝土

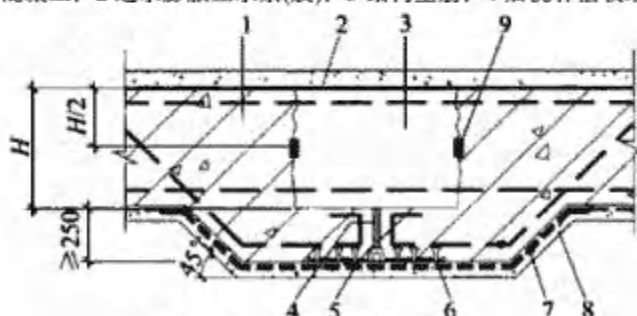


图5.4.1-3 后浇带超前止水构造

1-先浇混凝土; 2-钢丝网片; 3-后浇带; 4-填缝材料; 5-外贴式止水带; 6-细石混凝土保护层; 7-卷材防水层; 8-垫层混凝土; 9-遇水膨胀止水条(胶)

5.4.2 混凝土结构穿墙管防水构造应符合下列要求:

1 结构变形或管道伸缩量较小时, 穿墙管可采用主管直接埋入混凝土内的固定式防水法(图5.4.2-1); 管道本体应加焊止水环或设置遇水膨胀材料, 且管道与结构垂直接缝面可采用预留凹槽的方法, 嵌填密封材料于凹槽中。

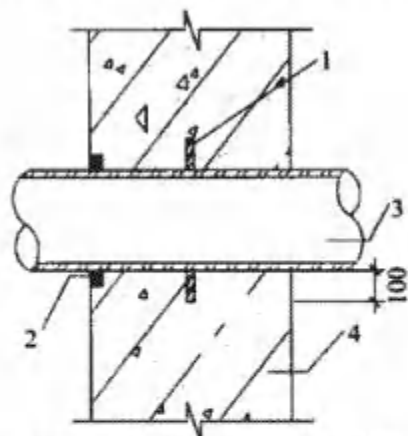


图5.4.2-1 固定式穿墙管防水构造

1-止水环; 2-密封材料; 3-主管; 4-混凝土结构

2 结构变形或管道伸缩量较大或有更换要求时, 应采用套管式防水法(图5.4.2-2); 套管应加焊止水环。

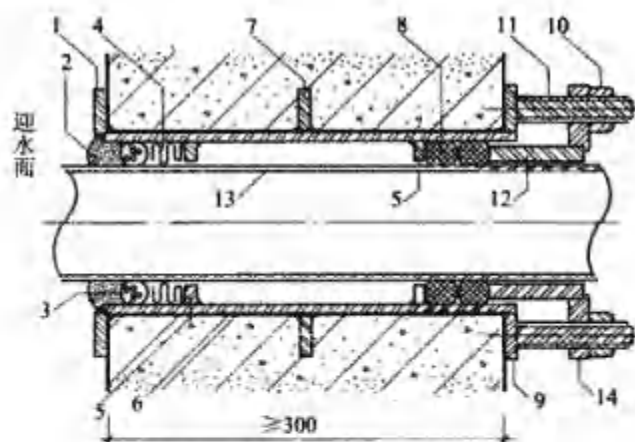


图5.4.2-2 套管式穿墙管防水构造

1-翼环；2-密封材料；3-背衬材料；4-充填材料；5-挡圈；6-套管；7-止水环；8-橡胶圈；9-翼盘；10-螺母；11-双头螺栓；12-短管；13-主管；14-法兰盘

5.4.3 混凝土结构桩基础的桩头防水构造应符合下列要求：

1 桩头与底板混凝土接缝面施作聚合物水泥防水砂浆或水泥基渗透结晶防水涂料时，聚合物水泥防水砂浆的厚度宜控制在10mm~15mm，水泥基渗透结晶防水涂料用量不应少于1.5kg/m²。

2 结构底板外防水层应在桩头处做好封边处理(图5.4.3)。

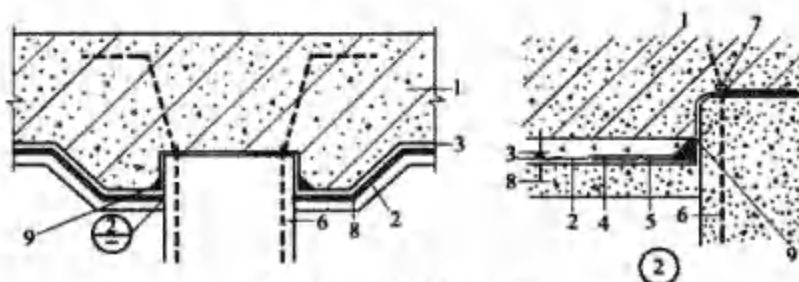


图5.4.3 桩头防水构造

1-结构底板；2-底板防水层；3-细石混凝土保护层；4-聚合物水泥防水砂浆；5-水泥基渗透结晶型涂料；6-桩基受力筋；7-遇水膨胀止水条(胶)；8-混凝土垫层；9-密封材料

5.4.4 隧道内所有集水池(井)、横截沟、排水沟(槽)等结构底板、侧墙内侧均应涂抹聚合物水泥防水砂浆，厚度宜为10mm~20mm；聚合物水泥防水砂浆应符合现行行业标准《聚合物水泥防水砂浆》JC/T 984的要求。

5.4.5 变形缝、诱导缝的防水材料设置方式应根据设计的防水等级、最大水压、预计变形量大小确定。

5.4.6 变形缝设置的止水带宜首选中埋式止水带，其次可选外贴式止水带，附贴式或可卸式等内装式止水带以及低模量和高模量嵌缝密封胶，具体设防道数应按本规范表3.0.9-1设置，具体做法如图5.4.6-1~5.4.6-3所示。

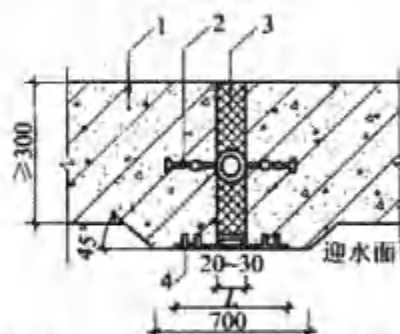


图5.4.6-1 底板变形缝防水构造

1-混凝土结构；2-中埋式止水带；3-填缝材料；4-外贴式止水带

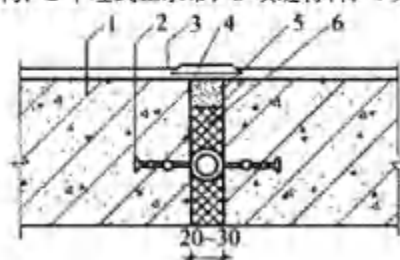


图5. 4. 6-2 顶板变形缝防水构造

1-混凝土结构；2-中埋式止水带；3-防水层；4-隔离层；5-密封材料；6-填缝材料

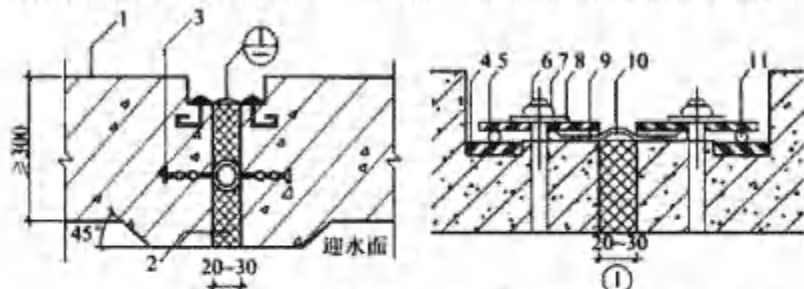


图5. 4. 6-3 底板变形缝中埋式止水带与可卸式止水带复合使用

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-紧固件压块；10-Ω型止水带；11-紧固件圆钢

5. 4. 7 施工缝接缝面应凿毛或涂刷混凝土界面剂、水泥基渗透结晶型防水涂料等。

5. 4. 8 垂直施工缝中宜设置预埋式注浆管或遇水膨胀止水胶，与中埋式止水带形成双道防水；水平施工缝中宜设置钢板止水带、单组分聚氨酯膨胀密封胶、预埋式注浆管等两种材料组合形成双道防水(图5. 4. 8)。逆作施工缝宜设置遇水膨胀止水胶和预埋式注浆管。施工缝防水具体设防道数应按本规范表3. 0. 9-1设置。

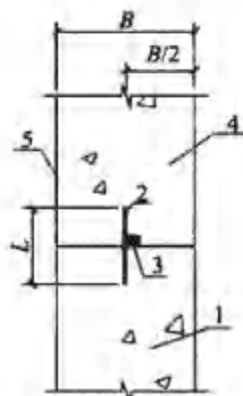


图5. 4. 8 施工缝防水构造

1-先浇混凝土；2-钢板止水带；3-遇水膨胀止水胶；4-后浇混凝土；5-结构迎水面

注：钢板止水带宽度L：400≥L≥200。

5. 4. 9 橡胶止水带的材质、形状、尺寸、物理机械性能应符合现行国家标准《高分子防水材料 第2部分 止水带》GB 18173. 2的规定；钢边橡胶止水带的物理力学性能应符合表5. 4. 9的规定，其中的钢边材料应为镀锌钢板，材料性能应符合现行国家标准《连续热镀锌钢板及钢带》GB / T 2518中的相关规定。

表5. 4. 9 钢边橡胶止水带的物理力学性能

项目	硬度 (邵氏 A)	拉伸 强度 (MPa)	扯断 伸长率 (%)	压缩永 久变形 (70℃× 24h) (%)	扯裂 强度 (N/mm)	热老化性能 (70℃×168h)			拉伸永 久变形 (70℃× 24h 拉伸 100%)	橡胶与钢带 粘合试验	
						硬度 变化 (邵氏 A)	拉伸 强度 (MPa)	扯断 伸长率 (%)		破坏 类型	粘合 强度 (MPa)
性 指 标	62±5	≥18.0	≥400	≤35	≥35	≤+8	≥16.2	≥320	≤20	橡胶 破坏 (R)	≥6

5. 4. 10 遇水膨胀橡胶止水条宜选用矩形断面，其外观不应有开裂、凹痕、气泡、杂质、明疤等缺陷；制品型遇水膨胀止水条应具有缓膨胀性能，其7d的膨胀率不应大于最终膨胀率的60%。遇水膨胀橡胶止水条应在施工中有牢固粘贴、固定的措施。

5. 4. 11 遇水膨胀橡胶止水条的物理力学性能应符合表5. 4. 11的要求。

表5. 4. 11 遇水膨胀橡胶止水条胶料物理力学性能

项 目		指 标
硬度(邵尔 A)(度)		42±7
拉伸强度(MPa)		≥3.5
扯断伸长率(%)		≥450
体积膨胀倍率(%)		≥200
反复浸水试验	拉伸强度(MPa)	≥3
	扯断伸长率(%)	≥350
	体积膨胀率(%)	≥200
低温弯折(-20℃×2h)		无裂纹
防霉等级		优于2级

注：1 成品切片测试应达到标准的80%；

2 硬度为推荐项目，其余为强制项目；

3 接头部位的拉伸强度不得低于表中性能指标的50%；

4 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。

5.5 隧道排水

5.5.1 制定隧道工程防水方案时，应根据工程情况选用合理的排水措施，防止影响周边环境。

5.5.2 有自流排水条件的隧道工程，应优先采用自流排水法；无自流排水条件且防水要求较高的地下工程，可采用渗排水、盲沟排水、盲管排水、塑料排水板排水、机械抽水等排水方法，但应防止由于排水造成水土流失危及地面建筑物及农田水利设施。通向江、河、湖、海的排水口高程，低于洪(潮)水位时，应采取防倒灌措施。

5.5.3 渗排水适用于无自流排水条件、防水要求较高且有抗浮要求的隧道工程，并符合下列规定：

1 渗排水层应设置在工程结构底板下面，由过滤层与集水管组成(图5.5.3)。

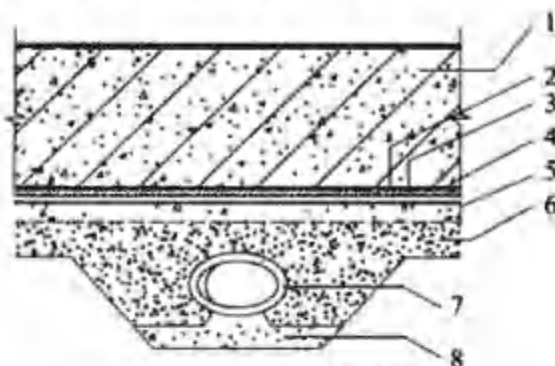


图5.5.3 渗排水层构造

1-结构底板；2-细石混凝土；3-底板防水层；4-混凝土垫层；5-隔浆层；6-粗砂过滤层；7-集水管；8-集水管座

2 过滤层当采用砂卵石时，砂卵石过滤层总厚度宜为300mm，较厚时应分层铺填。过滤层与集水管周边土层接触处，应采用厚度为100mm~150mm，粒径为5~10mm的石子铺填；过滤层顶面与结构底面之间，宜干铺一层卷材或30mm~50mm厚的1:3水泥砂浆作隔浆层。

3 集水管应设置在粗砂过滤层下部，坡度不宜小于1%，且不得有倒坡现象；集水管之间的距离宜为5m~10m；渗入集水管的地下水导入集水井后应用泵排走。

5.6 基坑工程防排水

5.6.1 在地下水水位高、地层渗透性好、降水易诱发沉降的地区，基坑围护结构应具有止水功能，形成连续的止水帷幕。

5.6.2 地下水位较高的粉细砂、粉砂、粉土地层中的基坑，当采用排桩式围护结构时，除应设置连续的桩外止水帷幕外，尚应对桩间土采取土体加固措施。

5.6.3 采用型钢水泥土搅拌墙作为围护结构或采用三轴搅拌桩作为止水帷幕时，应采用套接一孔法施工，以保证止水帷幕的连续性。

5.6.4 作为围护结构的钻孔灌注桩施工时应采取防坍孔措施，避免因坍孔影响邻桩和隔水帷幕施工。

5.6.5 利用地下连续墙作为外墙的单层衬砌地下结构，地下连续墙槽段的接头处应设置止水构造，当钢筋笼内设有大量钢筋等贯穿墙

体的构件时,可采取在迎土面设置附加防水层等措施,以保证地下连续墙整体防水效果。

5.6.6 地下连续墙与现浇内衬作为叠合墙承载的地下结构,对于地下连续墙槽段接头等薄弱部位宜设置加强防水措施。

5.6.7 用作主体结构的地下连续墙施工应符合下列规定:

- 1 护壁泥浆所用的膨润土应符合现行国家标准《膨润土》GB/T 20973中钻井泥浆用膨润土的规定;
- 2 钢筋吊装前应有效地清孔,槽底泥浆比重不应大于1.15,浇筑混凝土前槽底沉渣厚度不应大于100mm;
- 3 当地下连续墙不采用铣接接头时,施工时应采用刷壁器多次刷壁,直至在刷壁器上无泥土附着物。

5.6.8 基坑开挖施工应符合下列规定:

- 1 应持续有效地采取坑内降水措施,并及时抽排坑内外明水。
- 2 开挖过程中应对围护渗漏处及时进行封堵处理,并防止土体颗粒随渗漏流失;当渗漏严重,可采取迎水面注浆的堵漏措施。
- 3 当地下连续墙和内衬设计为叠合结构时,基坑开挖时应应对地下连续墙的凸出、夹泥、裂缝、空洞等缺陷采用防水混凝土或防水砂浆进行修补,并确保模板安装前地下连续墙表面无渗漏。

5.6.9 结构的回填阶段,防水施工应符合下列规定:

- 1 浇筑在墙体中的钢支撑构件应设置止水片,混凝土围檩、支撑可按现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108中的逆作结构处理;
- 2 全包防水层与未拆除的围檩、支撑、抗拔桩、泄水孔等节点应作局部加强处理,避免因局部缺陷影响整体防水效果;
- 3 底板泄水孔应待结构防水体系完全形成及结构顶板覆土完工后再封闭。

5.6.10 采用逆作法施工的基坑,逆作施工缝防水构造可按国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108-2008中第8.4.2条的规定,并结合基坑开挖方案合理确定施工缝位置。当条件具备时,宜在结构上部预留振捣孔下料孔等施工构造,以确保接缝处混凝土密实。

6 矿山法隧道

6.1 一般规定

6.1.1 矿山法隧道防水设计应根据工程地质、水文地质状况、结构特点、施工方法、环境条件和气候条件等因素进行,结构应采用防水混凝土。

6.1.2 矿山法隧道工程防水等级的划分,除特殊地段外,应按本规范第3章的规定执行。

6.1.3 对隧道有影响的地表沟谷和坑洼的积水、渗水,应采用疏导、勾补、铺砌和填平等措施。

6.1.4 附属洞室与正洞连接处的防水标准应与正洞标准一致。

6.1.5 对可能渗入隧道的水库、池沼、溪流、井泉水,应按“以堵为主、限量排放”的原则,在设计中提出处理措施,并应根据地下水量、水压的情况,选择相应的注浆堵水措施。

6.1.6 围岩破碎、富水、易坍塌地段及可能存在突水、突泥的地段,应采用注浆加固围岩等措施,并应采取分段隔离防水措施;其衬砌结构应考虑水压的影响,加强后的衬砌结构承受水压能力不宜小于0.5MPa。衬砌结构应采用防水混凝土,其抗渗等级不应小于P10。

6.1.7 特殊工程地段及抗渗等级较高的现浇混凝土内表面防水,可采用无机防水涂料防水层,其材料应具有良好的耐水性、耐久性、耐腐蚀性,且无毒、难燃、低污染,并具有良好的湿、干粘结性和耐磨性。

6.1.8 喷射混凝土应符合现行国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086的规定。应采用潮喷和湿喷,不得采用干喷。单层衬砌喷射混凝土的抗渗等级不应小于P6,喷射混凝土厚度应大于80mm。初期支护喷射混凝土,3h初期强度应达到1.5MPa,24h强度应达到5.0MPa。采用湿式喷射混凝土时,应采用中性或无碱液体速凝剂;外加剂掺入后不应降低混凝土与围岩的粘结力,且不应降低混凝土的早期强度及后期强度带来不利影响。

6.1.9 隧道二次衬砌混凝土的接缝,应满足密封防水、施工方便、维护容易等要求。防水处理后的接缝处其抗渗指标不应低于衬砌本体的抗渗指标,宜选用设置预埋式注浆防水系统等可维护的防水构造形式及材料。

6.1.10 隧道衬砌结构中的埋设件宜预先埋设。隧道内安装支架等的后钻孔眼,应作防水处理。

6 矿山法隧道

6.1 一般规定

- 6.1.1 矿山法隧道防水设计应根据工程地质、水文地质状况、结构特点、施工方法、环境条件和气候条件等因素进行，结构应采用防水混凝土。
- 6.1.2 矿山法隧道工程防水等级的划分，除特殊地段外，应按本规范第3章的规定执行。
- 6.1.3 对隧道有影响的地表沟谷和坑洼的积水、渗水，应采用疏导、勾补、铺砌和填平等措施。
- 6.1.4 附属洞室与正洞连接处的防水标准应与正洞标准一致。
- 6.1.5 对可能渗入隧道的水库、池沼、溪流、井泉水，应按“以堵为主、限量排放”的原则，在设计中提出处理措施，并应根据地下水水量、水压的情况，选择相应的注浆堵水措施。
- 6.1.6 围岩破碎、富水、易坍塌地段及可能存在突水、突泥的地段，应采用注浆加固围岩等措施，并应采取分段隔离防水措施；其衬砌结构应考虑水压的影响，加强后的衬砌结构承受水压能力不宜小于0.5MPa。衬砌结构应采用防水混凝土，其抗渗等级不应小于P10。
- 6.1.7 特殊工程地段及抗渗等级较高的现浇混凝土内表面防水，可采用无机防水涂料防水层，其材料应具有良好的耐水性、耐久性、耐腐蚀性，且无毒、难燃、低污染，并具有良好的湿、干粘结性和耐磨性。
- 6.1.8 喷射混凝土应符合现行国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086的规定。应采用潮喷和湿喷，不得采用干喷。单层衬砌喷射混凝土的抗渗等级不应小于P6，喷射混凝土厚度应大于80mm。初期支护喷射混凝土，3h初期强度应达到1.5MPa，24h强度应达到5.0MPa。采用湿式喷射混凝土时，应采用中性或无碱液体速凝剂；外加剂掺入后不应降低混凝土与围岩的粘结力，且不应降低混凝土的早期强度及后期强度带来不利影响。
- 6.1.9 隧道二次衬砌混凝土的接缝，应满足密封防水、施工方便、维护容易等要求。防水处理后的接缝处其抗渗指标不应低于衬砌本体的抗渗指标，宜选用设置预埋式注浆防水系统等可维护的防水构造形式及材料。
- 6.1.10 隧道衬砌结构中的埋设件宜预先埋设。隧道内安装支架等的后钻孔眼，应作防水处理。

6.2 防水层设计与施工

- 6.2.1 防水层设计应根据防水等级、周边环境、水头压力、腐蚀情况等采用全包防水或局部外包防水。
- 6.2.2 复合式衬砌隧道在初期支护与二次衬砌之间宜采用复合式防水层，并结合隧道的工程地质、水文地质和环境条件等综合因素对防水板和土工布缓冲层的选材、铺设工艺和质量标准等提出设计要求。
- 6.2.3 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 单位面积质量不宜小于300g/m²；
 - 2 应有良好的导水性、化学稳定性、耐久性，应能适应初期支护变形的能力；
 - 3 可抵抗地下水或混凝土、砂浆析出水的侵蚀；
 - 4 土工布主要技术性能应符合表6.2.3的规定。

表6.2.3 土工布主要技术性能

项 目	技 术 指 标	备 注
断裂能力(kN/m)	≥10	纵横向
断裂延伸率(%)	10~80	纵横向
CBR顶破强力(kN)	≥1.8	—
垂直渗透系数(cm/s)	$K \times (10^{-1} \sim 10^{-3})$	$K=1.0 \sim 9.9$
顶破强力(kN)	≥0.28	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	—

- 6.2.4 复合式衬砌隧道防水层宜选用下列防水板或现场喷涂防水材料：
- 1 防水板宜选用聚氯乙烯(PVC)、乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)、乙烯-共聚物沥青(ECB)、高密度聚乙烯(HDPE)、低密度聚乙烯(LDPE)类或其他性能相近的高分子防水板；
 - 2 现场喷涂防水膜宜采用聚合物水泥喷膜防水层、聚合物水泥喷射砂浆、丙烯酸盐喷膜防水层、橡胶沥青喷膜防水层等。

6.2.5 防水板应符合下列规定:

- 1 幅宽宜为2m~4m, 厚度不应小于1.5mm;
- 2 具有良好的耐刺穿性、耐久性、耐腐蚀性、耐菌性及柔性等, 并应具备难燃性;
- 3 防水板物理力学性能指标应符合表6.2.5的规定。

表6.2.5 防水板的物理力学性能

项 目		指 标			
		EVA	ECB	PVC	PE
断裂拉伸强度(MPa) $\geq$		18	17	14	18
扯断伸长率(%) $\geq$		650	600	250	600
撕裂强度(kN/m) $\geq$		100	95	55	95
不透水性(0.3MPa/24h)		无渗漏	无渗漏	无渗漏	无渗漏
低温弯折性(°C) $\leq$		-35	-35	-20	-35
加热伸缩量 (mm)	延伸 $\leq$	2	2	2	2
	收缩 $\leq$	6	6	6	6
热空气老化 (80°C×168h)	断裂拉伸强度(MPa) $\geq$	16	14	13	15
	扯断伸长率(%) $\geq$	600	550	200	550
耐碱性[饱和Ca (OH) ₂ 溶液×168h]	断裂拉伸强度(MPa) $\geq$	17	16	13	16
	扯断伸长率(%) $\geq$	600	600	250	550
人工候化	断裂拉伸强度 保持率(%) $\geq$	80	80	80	80
	扯断伸长率 保持率(%) $\geq$	70	70	70	70
刺破强度(N)	1.5mm	300	300	300	300
	2.0mm	400	400	400	400
	2.5mm	500	500	500	500
	3.0mm	600	600	600	600

6.2.6 丙烯酸盐喷膜防水层性能应符合本规范第5.2.5条的规定。

6.2.7 选用丙烯酸盐喷膜防水层时, 应符合下列规定:

- 1 应充分考虑工程使用环境及丙烯酸盐喷膜防水层的耐久性, 并采取必要的防护措施;
- 2 与丙烯酸盐喷膜防水层相接触的材料应与丙烯酸盐材料之间具有相容性。

6.2.8 防水层施作前基面处理应符合下列规定:

- 1 渗漏水应处理, 并保持基面无明显漏水;
- 2 初期支护表面应平整, 无空鼓、裂缝、松酥, 表面平整度应满足 $D/L \leq 1/10$;
- 3 初期支护表面外露的锚杆头、钢筋头、螺杆钉头等突出物应割除。

6.2.9 防水层施工应超前二次衬砌施工1~2个衬砌段长度, 并与开挖面保持安全距离, 应采用保护措施防止损伤防水层。

6.2.10 采用复合防水板时, 宜采用悬挂法或无钉铺挂, 接缝搭接宽度不应小于150mm。

6.2.11 防水板的固定应符合下列规定:

- 1 防水板的铺设宜减少接头, 松紧适度, 保证防水板与基面密贴;
- 2 防水板与热塑性垫圈应采用电热压焊器热熔焊接, 使防水板与热塑性垫圈熔为一体;
- 3 防水板的搭接宽度不应小于150mm, 分段铺设的防水板的边缘部位应预留至少200mm的搭接余量。

6.2.12 防水板焊接应符合下列规定:

- 1 接缝处应干净, 且焊缝接头应平整, 不得有气泡、折皱及空隙;
- 2 应采用双焊缝热熔焊接;

- 3 单条焊缝的有效焊接宽度不应小于15mm;
- 4 防水板纵向与环向搭接处, 应覆盖一层同类材料的防水板材, 用热熔焊接法焊接;
- 5 焊缝若有漏焊、假焊应予补焊, 烤焦、焊穿处以及外露的固定点, 应用塑料片覆盖焊接。

6. 2. 13 丙烯酸盐喷膜防水层应一次喷涂成膜至设计厚度, 并应符合下列规定:

- 1 施工工艺流程应符合图6. 2. 13的要求;
- 2 两次喷涂防水层搭接宽度不应小于100mm;
- 3 喷涂成膜后, 宜在5d内浇筑二次衬砌结构封闭防水膜;
- 4 泵送浇注混凝土时应避免直接冲击防水膜。

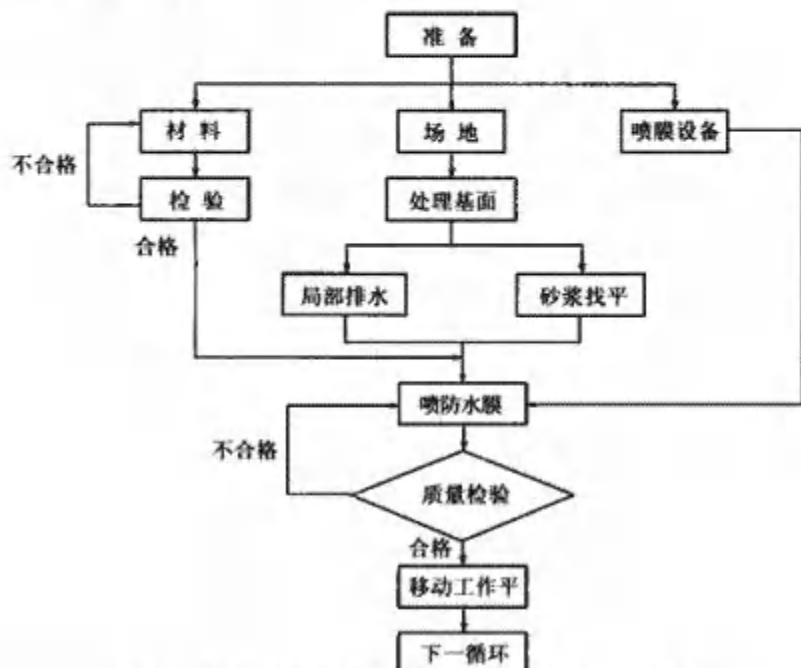


图6. 2. 13 丙烯酸盐喷膜防水涂料施工工艺流程

6. 2. 14 对基面出露明水的部位, 在施作丙烯酸喷膜防水层之前应对基面上增设排水设施进行引排, 并应符合下列规定:

- 1 基面出现的大股明水用排水管或盲沟将水引流至纵向排水管, 保持基面无明显漏水(图6. 2. 14);

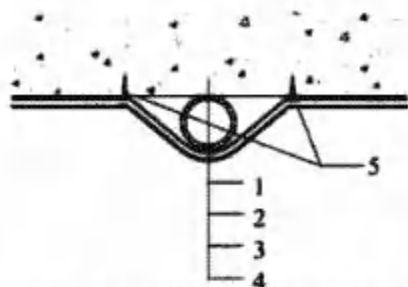


图6. 2. 14 隧道初支基面局部排水管

1-初期支护基层; 2-排水管; 3-缓冲层; 4-喷膜防水层; 5-射钉

- 2 基面表面大面积渗水处应采用缓冲材料全部覆盖, 并一直铺设至拱脚纵向排水管, 隔离层的铺挂应与基面密贴。

6. 2. 15 隧道拱脚纵向排水管处防水层的施作(图6. 2. 15), 应符合下列规定:

- 1 纵向排水管应采用缓冲材料包裹, 固定于基面上;
- 2 喷膜防水层应喷涂至纵向排水管底部与边墙接触处, 将排水管全面包裹封闭。

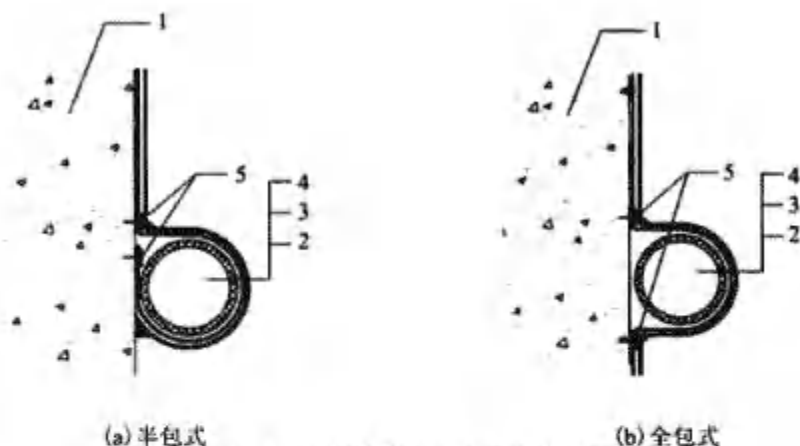


图6.2.15 隧道防水纵向排水管设置

1-喷混凝土基层；2-纵向排水管；3-缓冲层；4-喷膜防水层；5-射钉

6.2.16 喷膜防水施工作业温度宜大于 5°C ，且小于 35°C ；在低于 5°C 时施工应做好防寒措施。

6.2.17 防水板施工场合应有禁止烟火的标志，并应设置灭火设备。

6.2.18 防水层的保护，应符合下列规定：

- 1 已完成的防水层施工地段，严禁用爆破法处理欠挖；
- 2 挡头板的支撑物在接触到防水层处必须加设衬垫；
- 3 钢筋焊接作业时，应用阻燃材料覆盖防水层；
- 4 浇注、振捣混凝土时应避免直接冲击防水板；
- 5 对受到损伤的防水层，应及时进行修补，在修补丙烯酸盐喷膜防水层时，应将破损处防水膜切割平整，修复喷涂搭接长度不应小于 100mm 。

6.3 接缝防水

6.3.1 隧道二次衬砌混凝土采用衬砌台车作业时，施工缝和变形缝防水的设计与施工，除应按本规范第5章的相关规定执行外，用于伸缩的变形缝宜不设或少设；用于沉降的变形缝应少设，轨道交通隧道应不设。可根据不同的工程结构类别及工程地质情况采用诱导缝、加强带、后浇带等替代措施。

6.3.2 施工缝的防水措施应符合下列规定：

- 1 纵向施工缝宜采用粘贴遇水膨胀胶条和安设止水带复合的方式(图6.3.2-1)；
- 2 环向施工缝宜采用设置中埋式止水带和外贴式止水带复合的方式(图6.3.2-2)；也可采用中埋式止水带与预埋注浆管路复合的方式(图6.3.2-3)。

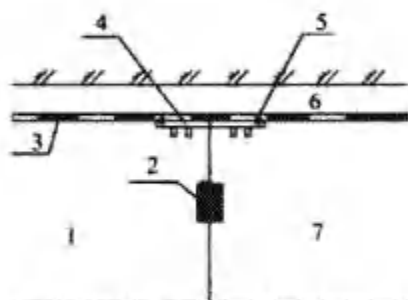


图6.3.2-1 外贴式止水带和止水条防水的复合构造形式

1-现浇混凝土；2-遇水膨胀止水条；3-防水板；4-外贴式止水带；5-焊接；6-初期支护；7-后浇混凝土

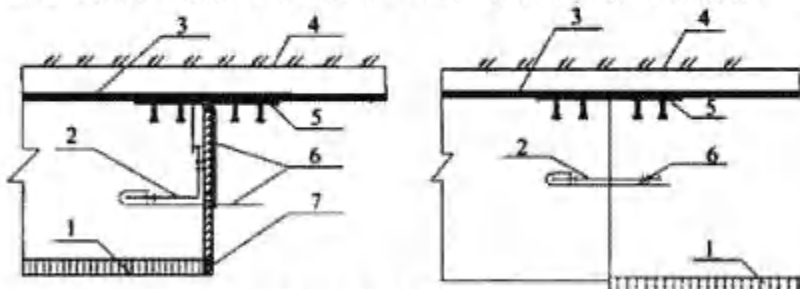


图6.3.2-2 外贴式止水带和中埋式止水带防水的复合构造形式

1-模板台车；2-中埋式止水带；3-防水板；4-围岩；5-外贴式止水带；6-钢筋卡；7-端头模板

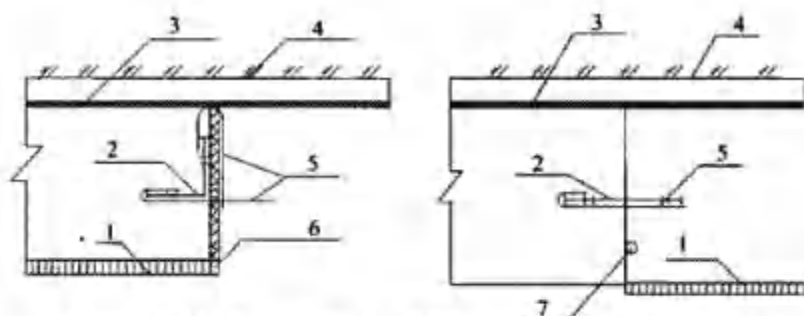


图6.3.2-3 中埋式止水带和预埋注浆管路防水的复合构造形式

1-模板台车；2-中埋式止水带；3-防水板；4-围岩；5-钢筋卡；6-端头模板；7-预埋注浆管

6.3.3 二次衬砌混凝土应连续浇筑完成，宜留纵向施工缝；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，且应高于边墙排水孔，其高度应大于止水带宽度的1/2。

6.3.4 对于富水隧道，二次衬砌混凝土施工缝的施工，应采取下列主要措施：

- 1 在施工缝处应预埋可全断面出浆的注浆管路(注浆花管)、带注浆管遇水膨胀止水条等；
- 2 背贴式塑料止水带应与防水板焊接或粘结；
- 3 宜采用分区隔离防水技术，对防水板(或可防止纵向窜流的防水板)与二次衬砌迎水面之间进行分区注浆(图6.3.4-1、图6.3.4-2)，注浆宜在发生渗漏后进行。

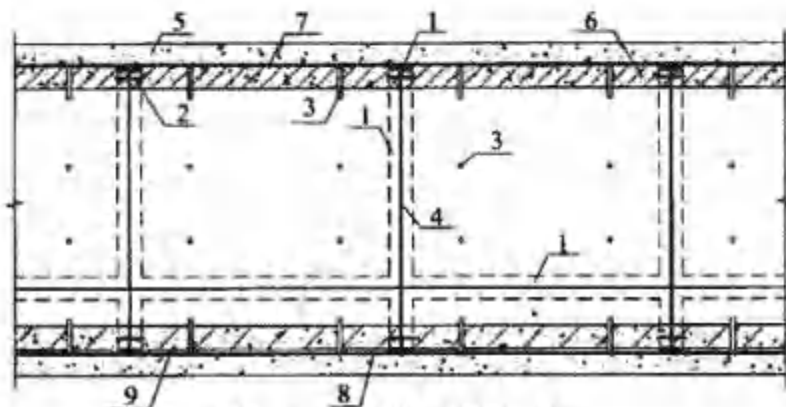


图6.3.4-1 隧道分区防水示意

1-外贴式止水带；2-中埋式钢边橡胶止水带；3-预埋注浆管；4-施工缝；5-初期支护；6-二衬模筑混凝土；7-防水层及缓冲层；8-细石混凝土保护层；9-防水层、缓冲层及土工布保护层

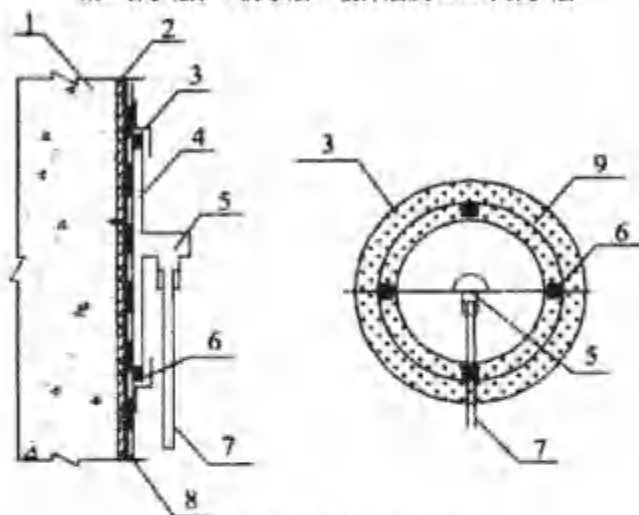


图6.3.4-2 注浆底座安装示意

1-初期支护；2-土工布缓冲层；3-封口胶带；4-注浆底座；5-出浆孔；6-手工焊接点；7-注浆导管；8-PVC防水板；9-注浆底座外轮廓线

6.3.5 隧道二次衬砌混凝土接缝防水材料应符合下列规定：

- 1 止水带宜采用橡胶、塑料(PVC)、橡塑(氯乙合成橡胶)或金属止水带等，橡胶止水带和钢边橡胶止水带不得采用再生橡胶，塑料止水带不得采用再生塑料；
- 2 对于高压、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；
- 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，外贴止水带宜选用与防水板材质相同的塑料止水带；
- 4 中埋式止水带的宽度宜控制在300mm~350mm，并应视水压力大小、混凝土结构厚度而调整。

6.3.6 变形缝嵌缝材料及背衬材料应符合下列规定:

- 1 处于输水隧道迎水面的嵌缝材料的拉伸模量应小于0.4MPa,处于背水面的嵌缝材料的拉伸模量应大于或等于0.4MPa;嵌缝材料的最大伸长率应大于300%,拉伸——压缩循环性能的级别不应小于80/20(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 嵌缝材料宜选聚硫或聚氨酯类建筑密封膏的一等品或优等品;
- 3 背衬材料的设置应符合设计要求。

6.3.7 变形缝填缝材料应符合下列要求:

- 1 填缝板材宜选用聚乙烯泡沫塑料板材或沥青木丝板;
- 2 聚乙烯泡沫塑料板的物理力学性能应满足表6.3.7的要求。

表6.3.7 聚乙烯泡沫塑料板物理力学性能

项 目	指 标
表观密度(g/cm³)	0.10~0.19
抗拉强度(N/mm²)	≥0.15
抗压强度(N/mm²)	≥0.15
撕裂强度(N/mm)	≥4.0
加热变形(+70℃)(%)	≤2.0
吸水率(g/cm³)	≤0.005
延伸率(%)	≥100
硬度(邵尔 A)(度)	50~60
压缩永久变形(%)	≤3.0

6.3.8 隧道内衬混凝土接缝中埋式止水带施工应符合下列规定:

- 1 止水带埋设位置应准确、固定牢靠,其中间空心圆环应与变形缝的中心线重合;
- 2 止水带安装的位置宜按衬砌厚度的1/2确定,止水带安装的径向位置与设计的偏差值不超过50mm,止水带安装的纵向位置,离其设计位置中心不得超过30mm;
- 3 止水带应与衬砌端头模板正交;
- 4 止水带应妥善固定,应利用附加钢筋、卡子、铅丝、模板等将止水带固定牢靠,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500mm;
- 5 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;
- 6 止水带的连接头宜为一处,应设在边墙较高位置上,不得设置在结构转角处,接头宜采用热压焊;
- 7 中埋式止水带在转弯处宜采用直角专用配件,并应做成圆弧形,橡胶止水带的转角半径不应小于200mm,钢边橡胶止水带不应小于300mm,且转角半径应随止水带的宽度增大而相应加大。

6.3.9 采用衬砌台车作业时,中埋式止水带的固定应按本规范第6.3.2条的规定施工。

6.3.10 安设于结构内侧的可卸式止水带,施工时应符合下列规定:

- 1 所需配件应一次配齐;
- 2 混凝土结构转角处应做成45°折角;
- 3 转弯处应增加紧固件的数量。

6.3.11 止水带的焊接宜避免接头,每一环的长度可根据施工要求事先向生产厂家定制,如确需接头,应采取搭接、复合连接、对接等形式(图6.3.11)。

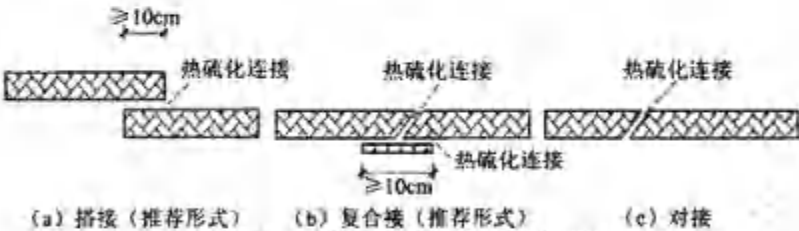


图6.3.11 常用橡胶止水带接头形式

6.3.12 遇水膨胀止水条设在环向施工缝时,应采用预留槽嵌入法,并应符合下列规定:

- 1 制品型遇水膨胀止水条应牢固地安装在施工缝预留槽内;
- 2 混凝土挡头板制作时应考虑预留安装止水条的浅槽;

- 3 拆除混凝土模板后，应修整预留槽，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，再浇筑下一环节的混凝土；
- 4 制品型遇水膨胀止水条定位后至浇筑下一段混凝土前，应避免被水浸泡，并加涂缓膨剂；
- 5 制品型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50mm(图6.3.12)。

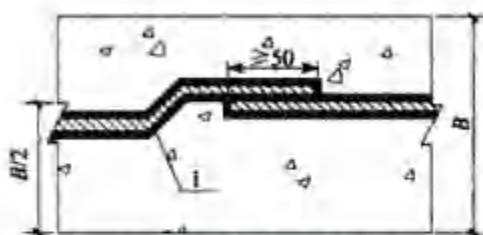


图6.3.12 遇水膨胀止水条搭接示意

1-遇水膨胀止水条；B-衬砌厚度

6.4 隧道排水

6.4.1 矿山法隧道排水系统应由隧道外截流排水系统、隧道内排水系统组成。隧道内排水系统宜由环向透水盲管、土工席垫、纵向排水盲管、横向排水管、路面排水、路缘水沟和集中排水沟等组成。

6.4.2 环向透水盲管宜采用软式透水管，应布置在初期支护与防水板之间，间距应根据围岩的渗水量进行确定，出口应接入纵向排水盲管。环向排水盲管设置尚应符合下列规定：

- 1 应沿隧道的周边固定于围岩或初期支护表面；
- 2 纵向间距宜为5m~20m，在水量较大或集中出水点应加密布置；
- 3 应与纵向排水盲管相连；
- 4 盲管与混凝土衬砌接触部位应外包无纺布隔浆层。

6.4.3 纵向排水盲管设置应符合下列规定：

- 1 纵向盲管应设置在隧道两侧边墙下部或底部中间；连接纵向排水盲管的横向排水管坡度宜为2%，间距宜为5m~10m；
- 2 纵向排水盲管应与环向盲管和横向排水管相连接；
- 3 纵向排水盲管径应根据围岩或初期支护的渗水量确定，且不得小于100mm；外侧宜采用土工布包裹，并设于防水板与初期支护之间，且固定牢固；
- 4 纵向排水坡度应与隧道或坑道坡度一致。

6.4.4 环向透水盲管、纵向排水盲管、横向排水管的水应排向两侧水沟或中心排水沟，再由水沟统一排向泵房或洞外。纵向坡度与线路纵坡应一致，并不得小于0.1%。

6.4.5 排水沟的断面尺寸应根据排水量的大小计算确定。明沟应设盖板，排污水时应有密闭措施。

6.4.6 排水沟应顺直，坡度应均匀；排水管接头应平顺、稳固；排水系统内不得积水，排水应流畅。

6.4.7 横向排水管宜采用带孔混凝土管或硬质塑料管，其设置应符合下列规定：

- 1 横向排水管应与纵向盲管、排水明沟或中心排水盲管(管)相连；
- 2 横向排水管的间距宜为5m~25m，坡度宜为2%；
- 3 横向排水管的直径应根据排水量大小确定，内径不得小于50mm。

6.4.8 盲管应用固定卡子固定于基面上。拱部固定卡子的间距宜为300mm~500mm，边墙固定卡子的间距宜为1000mm~1200mm；在不平处应增加固定点。

6.4.9 环、纵向盲管宜采用扁平式塑料板或软式透水管，其规格、性能应符合现行行业标准《软式透水管》JC 937的规定。

6.4.10 排水管道材料宜选用塑料或不锈钢排水槽。混凝土排水明、暗沟表面应光滑、平整，并宜用聚合物水泥、聚合物水泥砂浆涂层等不易沾积水垢、耐腐蚀的涂层作表面处理。废水池内壁应采用防腐聚合物水泥砂浆或改性环氧涂层处理。

7 盾构法隧道

7.1 一般规定

7.1.1 盾构法隧道应根据防水等级、衬砌形式及其他技术要求、环境要求、地质条件，按表7.1.1采用相应的防水措施。

表7.1.1 不同防水等级的衬砌隧道防水措施

防水等级	高精度管片	接缝防水				混凝土内衬或其他内衬	外防水涂料
		密封垫	嵌缝	注入密封剂	螺孔密封圈		
一级	必选	必选	视功能全隧道或部分区段应选	可选	必选	宜选	中等以上腐蚀的地层应选，处于非腐蚀地层宜选
二级	必选	必选	视功能部分区段宜选	可选	必选	视功能可选	中等以上腐蚀的地层宜选；埋深超过30m时宜选
三级	必选	必选	视功能可选	—	必选	视功能可选	—

7.1.2 盾构法隧道防水设计应根据隧道的使用功能、使用要求、构造特点、内外水压、施工条件等进行综合防水设计。防水设计内容应包括：确定防水等级、防水措施、防水技术指标、衬砌耐久性、自防水、衬砌外防水涂层、衬砌接缝防水、盾构隧道与竖井的接头防水、连接通道防水等。

7.1.3 输水隧道，尤其是饮用水隧道，所用混凝土材料和防水材料必须满足水质和环保要求。

7 盾构法隧道

7.1 一般规定

7.1.1 盾构法隧道应根据防水等级、衬砌形式及其他技术要求、环境要求、地质条件，按表7.1.1采用相应的防水措施。

表7.1.1 不同防水等级的衬砌隧道防水措施

防水等级	高精度管片	接缝防水				混凝土内衬或其他内衬	外防水涂料
		密封垫	嵌缝	注入密封剂	螺孔密封圈		
一级	必选	必选	视功能全隧道或部分区段应选	可选	必选	宜选	中等以上腐蚀的地层应选，处于非腐蚀地层宜选
二级	必选	必选	视功能部分区段宜选	可选	必选	视功能可选	中等以上腐蚀的地层宜选；埋深超过30m时宜选
三级	必选	必选	视功能可选	—	必选	视功能可选	—

7.1.2 盾构法隧道防水设计应根据隧道的使用功能、使用要求、构造特点、内外水压、施工条件等进行综合防水设计。防水设计内容应包括：确定防水等级、防水措施、防水技术指标、衬砌耐久性、自防水、衬砌外防水涂层、衬砌接缝防水、盾构隧道与竖井的接头防水、连接通道防水等。

7.1.3 输水隧道，尤其是饮用水隧道，所用混凝土材料和防水材料必须满足水质和环保要求。

7.2 管片混凝土自防水

7.2.1 管片混凝土耐久性环境类别的划分及混凝土最小保护层厚度应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的规定。

7.2.2 隧道宜采用钢筋混凝土管片、复合管片等装配式衬砌及其现浇混凝土内衬。管片应采用防水混凝土，其强度等级不宜小于 C50，抗渗等级宜按隧道埋置深度确定，并不应小于 P8。

7.2.3 衬砌结构的耐久性，应根据设计使用年限、环境类别及其作用等级进行设计，并应符合相应的耐久性技术要求。衬砌采用的混凝土，应符合表 7.2.3 规定的耐久性性能指标，且应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的有关规定进行混凝土密实度、抗碳化性、抗裂性等耐久性指标的检测。

表 7.2.3 混凝土耐久性性能指标

结构部位	混凝土密实度		抗碳化性能	抗裂性能
	电通量(C)龄期 56d	氯离子扩散系数($10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$)龄期 56d	快速碳化深度 (cm)	抗裂等级
钢筋混凝土管片	≤ 1000	≤ 3	≤ 1.0	I 级

注：1 表中氯离子扩散系数的指标值系 RCM 法的检测值；
2 在主材产地或配合比变化的情况下，应增测氯离子扩散系数。

7.2.4 钢筋混凝土管片制作应符合下列规定：
1 混凝土抗压强度和抗渗压力应符合设计要求；
2 管片表面应平整，无缺棱、掉角、麻面和露筋；
3 单块管片制作尺寸允许偏差应符合表 7.2.4 的规定。

表 7.2.4 单块管片制作尺寸允许偏差

项目	允许偏差(mm)
宽度	± 1.0
弧长、弦长	± 1.0
厚度	$+3, -1$

7.2.5 钢筋混凝土管片应制作抗压强度试件进行检测，并应做单块管片检漏测试，在设计抗渗压力下保持时间不应少于 2h，渗水深度不应超过管片保护层的厚度。

7.3 衬砌外防水防腐蚀

7.3.1 管片外防水涂料宜选用环氧或改性环氧类等具有封闭功能及兼有渗透性特点的反应型涂料，也可选用水泥基渗透结晶型或硅氧烷类渗透自愈型涂料，并应满足下列要求：

- 1 应具有耐化学腐蚀性、抗微生物侵蚀性、耐水性、耐磨性应良好，且应无毒或低毒；
- 2 在管片外弧面混凝土裂缝宽度达到 0.3mm 时，在最大埋深处水压下不应渗漏；
- 3 涂刷后的混凝土电通量、氯离子扩散系数等耐久性系数应满足腐蚀性地层耐久性要求；
- 4 应具有防杂散电流的功能。

7.3.2 衬砌外防水防腐应按现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 中规定的海洋氯化物环境、化学腐蚀等环境条件分类，确定相应的环氧或改性环氧等封闭型涂料、水泥基渗透结晶型或硅氧烷类等渗透自愈型材料等管片外防水防腐涂层的技术性能指标。

7.4 衬砌接缝防水

7.4.1 衬砌接缝防水应按弹性密封或膨胀密封原理设计，宜以预制成型的密封垫为主要防水材料。

7.4.2 衬砌接缝达到允许张开量、错位量和设计水压时，接缝密封垫不应渗漏。设计水压宜为隧道实际承受的最大水压的 2~3 倍。

7.4.3 环缝张开量应按下式计算：

$$\delta \geq BD(\rho_{min} - D/2) + \delta_0 + \delta_i \tag{7.4.3}$$

式中： δ ——环缝中密封垫在设计水压作用下，允许的环缝张开量(m)；
 ρ_{min} ——隧道纵向变形曲线的最小曲线半径(m)；
 D ——衬砌环外径(m)；

B——衬砌环宽(m);
 δ_0 ——生产及施工误差可能造成的环缝间隙(m);
 δ_s ——隧道邻近建筑物及桩基沉降引起的隧道挠曲和接缝张开量(m)。

7.4.4 接缝密封垫应按本规范第7.4.2条的设计要求条件,进行模拟管片一字缝、T(十)字缝及其错缝条件下接缝张开的水密性试验检测。

7.4.5 衬砌接缝密封垫应沿衬砌环,纵面成框型,特殊情况下也可成门型、L型,门型、L型密封垫橡胶条端头孔槽应封闭。衬砌环封顶块拼装采用纵向插入方式时,密封垫表面应涂润滑剂或作特殊处理。

7.4.6 衬砌接缝密封垫沟槽的道数、位置、形式、尺寸,应根据隧道类型、设计水压、接缝允许的张开量、错位量、接缝面构造等确定,并应与密封垫形式、尺寸相匹配;砌接缝密封垫沟槽可为单道或双道沟槽;衬砌接缝至少应设置一道密封垫沟槽(图7.4.6)。

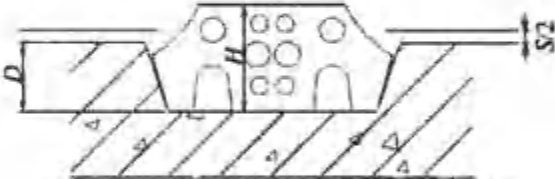


图7.4.6 密封垫沟槽、密封垫形状截面图
D-密封垫槽深; H-密封垫高; S-接缝最大张开量

7.4.7 衬砌接缝密封垫应能被完全压入密封垫沟槽内,密封垫沟槽的截面积应大于或等于密封垫的截面积,其关系宜按下式表示:

$$A = (1 \sim 1.15) A_0 \quad (7.4.7)$$

式中: A——密封垫沟槽截面积;
 A_0 ——密封垫截面积。

若管片接缝设置垫片,则垫片的厚度应纳入沟槽截面积的计算中。

7.4.8 密封垫的闭合压缩力值,不应影响管片拼装的要求。

7.4.9 衬砌接缝密封垫宜选择具有合理构造形式、良好弹性或遇水膨胀性、耐水性的橡胶类材料。各类橡胶密封垫材料性能应符合下列要求:

1 弹性橡胶密封垫材料的物理性能应符合表7.4.9-1的规定:

表7.4.9-1 弹性橡胶密封垫成品物理性能

项 目		指 标		
		氯丁橡胶	三元乙丙橡胶	
硬 度 邵氏 A (度)		50~60	I 型	II 型
			50~60	60~70
硬 度 偏 差 (度)		±5	±5	±5
拉 伸 强 度 (MPa) ≥		10.5	9.5	10
拉 断 伸 长 率 (%) ≥		350	350	330
压 缩 永 久 变 形 (%)	70℃×24 _{±2} h, 25% ≤	30	25	25
	23℃×72 _{±2} h, 25% ≤	20	20	15
热 空 气 老 化 70℃×96h	硬 度 变 化 (度) ≤	8	6	6
	拉 伸 强 度 变 化 率 (%) ≤	20	15	15
	拉 断 伸 长 率 变 化 率 (%) ≤	25	25	25
防 霉 等 级		不低于二级	不低于二级	不低于二级

注: 1 表中指标均为成品切片测试的数据,若只能以胶料制成试样测试,则其拉伸强度、拉断伸长率性能指标应达到本表的120%;

2 I型为实芯密封垫;
3 II型为多孔密封垫;

4 供需双方根据实际使用条件选择压缩永久变形的试验条件,仲裁检验时选择70℃×24_{±2}h,压缩25%试验条件。

2 遇水膨胀橡胶密封垫胶料的物理性能应符合表7.4.9-2的规定:

表7.4.9-2 遇水膨胀橡胶密封垫胶料物理性能

项 目		技术 指 标	
		PZ250	PZ400
硬度 邵氏 A (度)		42±10	45±10
拉伸强度 (MPa) ≥		3.5	3
拉断伸长率 (%) ≥		450	350
体积膨胀倍率 (%) ≥		250	400
反复浸水 试验	拉伸强度 (MPa) ≥	3	2
	拉断伸长率 (%) ≥	350	250
	体积膨胀倍率 (%) ≥	250	300
低温弯折 (-20℃×2h)		无裂纹	无裂纹

注：成品切片测试时，拉伸强度、拉断伸长率、反复浸水试验中的拉伸强度、拉断伸长率性能指标应达到本表的80%。

3 复合密封垫中的弹性橡胶材料的物理性能应符合表7. 4. 9-1的规定，遇水膨胀橡胶胶料的物理性能应符合表7. 4. 9-2的规定。

7. 4. 10 预制钢筋混凝土管片的接缝必须用设计规定的材料完成堵漏作业。

7. 4. 11 嵌缝防水应符合下列规定：

- 1 嵌缝槽深宽比不应小于2. 5，槽深宜为25mm~55mm，单面槽宽宜为5mm~10mm；
- 2 断面构造形状应根据嵌缝材料材质与形式从平底型、斜底型、单侧型、倒“退拔”型中择选、设计；
- 3 嵌缝材料应有良好的不透水性、潮湿基面粘结性、耐水性、弹性和抗下坠性；
- 4 应根据隧道使用要求，确定嵌缝范围。

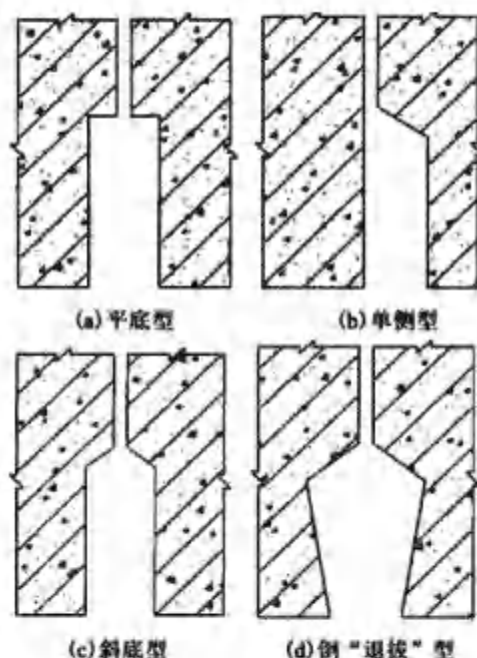


图7. 4. 11 嵌缝槽断面构造形式

7. 4. 12 衬砌接缝面所贴的缓冲垫片材料及铺设面积、位置，应通过试验满足环纵缝受力不均匀时避免应力集中的要求，还应经济、合理。衬砌变形缝环面应贴设垫片，且变形缝处密封垫应相应加厚，以适应变形缝的张开量。

7. 4. 13 螺孔防水应符合下列规定：

- 1 管片螺孔口宜设置锥形倒角的螺孔密封垫圈沟槽。
- 2 螺孔密封圈的外形应与沟槽匹配，并应有利于压密止水或膨胀止水；在满足止水的要求下，螺孔密封圈的断面宜小。
- 3 螺孔密封圈应为合成橡胶或遇水膨胀橡胶制品，其技术指标要求应符合表7. 4. 9-1、表7. 4. 9-2的规定。

7. 4. 14 管片手孔宜用砂浆或符合现行国家标准《无机防水堵漏材料》GB 23440有关规定的快硬水泥等部分或完全封填。控制水流阻力的输水盾构隧道管片手孔必须全部填平，其他隧道的上半部管片手孔可仅对螺母、螺栓头作保护处理。

7. 4. 15 隧道结构采用现浇钢筋混凝土内衬时(二次衬砌)，内衬施工前应完成预制初衬管片的嵌缝、手孔封填和堵漏；并应完成预留金属件的防腐蚀作业。

7.4.16 遇有变形缝、柔性接头等特殊结构处,除按图进行结构施工外,还应按防水要求及时进行防水施工。

7.4.17 管片接缝防水材料的性能指标应符合设计要求,并应符合下列规定:

- 1 所采用的防水材料,都应提供成品和半成品的质量合格证书及检验报告,按设计要求和生产厂的质量指标分批进行抽查;
- 2 采用遇水膨胀橡胶定型制品防水材料,其出厂运输和存放时应做好防潮措施,并应在现场设专门库房存放,以免失效;
- 3 管片接缝防水密封垫、螺栓孔密封圈性能与截面尺寸应符合设计要求。

7.4.18 防水密封垫等材料的粘贴定位应符合下列规定:

- 1 必须使用与管片型号同型号的防水密封垫,严禁使用尺寸不符或有质量缺陷的产品;
- 2 防水密封垫的粘贴应牢固、平整、严密,位置应正确,不得有起鼓、超长和缺口现象;
- 3 在管片角隅部加贴自粘性橡胶薄片时,尺寸应符合设计要求,并应严格控制其粘贴部位;
- 4 在管片上粘贴传力衬垫材料时,其材料尺寸与粘贴位置应准确;
- 5 使用防水密封垫及其粘结剂的施工现场,其存放库房等处应按规定做防水及防火的安全措施。

7.4.19 管片防水材料粘贴后的运输、堆放应注意防雨,拼装前应逐块检查防水材料(包括传力衬垫材料)的完整和位置,发现问题应及时处理。

7.4.20 管片拼装时应保护防水材料不被损坏,严禁密封垫脱槽、扭曲和移位,必要时可使用润滑剂、缓膨剂。如发现损坏防水材料,应及时修补或更换。

7.4.21 嵌缝作业应在隧道基本稳定后进行。

7.5 连接通道、竖井及其与隧道接头的防水

7.5.1 盾构隧道与竖井结合处施工阶段可采用橡胶密封圈类柔性接头挡泥砂,而最终接头可用刚性接头,但接缝宜采用遇水膨胀橡胶条或遇水膨胀橡胶腻子条,全断面出浆的注浆管等柔性材料密封处理,并宜加固竖井洞圈周围土体。在软土地层距隧道与竖井结合处20m~50m范围内的衬砌段,应增设变形缝。

7.5.2 盾构隧道的连接通道及其与隧道接缝的防水应符合下列规定:

1 采用矿山法施工的双层衬砌式连接通道,衬砌的喷射混凝土宜在冻结法等土体加固、防渗条件下施工;内衬应采用防水、耐久混凝土,混凝土强度等级不应低于C35,抗渗等级应符合本规范表4.1.5的规定,并不应小于P8;连接通道宜采用自密实混凝土;初衬支护与内衬间应设塑料防水板与土工织物组成的夹层防水层,并应设置分区注浆系统加强防水;应加强壁后注浆管与穿过的塑料防水层接头的防水密封。

2 当采用内防水层替代夹层防水层,应经过上一级评审通过;内防水层宜采用聚合物水泥砂浆、水泥基渗透结晶型材料等抗裂防渗材料。

3 与连接通道相接的盾构隧道段宜设变形缝,以遇水膨胀橡胶片加厚密封垫方式防水;而连接通道与盾构隧道的接头施工缝宜采用缓膨胀型遇水膨胀类止水条(胶)、预留注浆管等接头密封材料防水。

8 沉管法隧道

8.1 一般规定

8.1.1 沉管隧道管段防水应根据隧道的防水等级、接头形式及其他技术要求,采用相应的措施。

8.1.2 管段防水设计应根据隧道的使用功能、使用要求、构造特点、内外水压、施工条件等进行,设计内容应包括下列内容:

- 1 防水等级、防水措施、防水技术指标;
- 2 管段混凝土自防水与耐久性;
- 3 管段及段中管节接头防水;
- 4 管段混凝土外包防水、防腐;
- 5 管段混凝土节段与接缝防水;
- 6 管段最终接头及管段与岸边段接头防水;
- 7 岸边段防水。

8.1.3 管段混凝土的自防水设计与施工除应符合本规范第4章的规定外,还应根据管段壁厚等要求进行。在浇筑管段时,应采用预埋冷却管水冷降温等措施控制裂缝,并根据估算的混凝土水化热大小选定预埋冷却管的排、列数量、管径尺寸等参数。

8.1.4 沉管管段应根据其沉放铺设基卧的处理方式、管段构造与长度等设计施工缝、后浇带及节段变形缝。管段接缝防水除应符合本规范第5.4节的规定外,还应采用抗裂防渗措施。

8.1.5 结构施工缝、变形缝及后浇带应根据管段的长度宽度及隧道埋设的水底基础处理方式等设置。施工缝,变形缝,后浇带的防水除应符合本规范第5章的规定外,还可增加一道设防。

8 沉管法隧道

8.1 一般规定

8.1.1 沉管隧道管段防水应根据隧道的防水等级、接头形式及其他技术要求,采用相应的措施。

8.1.2 管段防水设计应根据隧道的使用功能、使用要求、构造特点、内外水压、施工条件等进行,设计内容应包括下列内容:

- 1 防水等级、防水措施、防水技术指标;
- 2 管段混凝土自防水与耐久性;
- 3 管段及段中管节接头防水;
- 4 管段混凝土外包防水、防腐;
- 5 管段混凝土节段与接缝防水;
- 6 管段最终接头及管段与岸边段接头防水;
- 7 岸边段防水。

8.1.3 管段混凝土的自防水设计与施工除应符合本规范第4章的规定外,还应根据管段壁厚等要求进行。在浇筑管段时,应采用预埋冷却管水冷却降温等措施控制裂缝,并根据估算的混凝土水化热大小选定预埋冷却管的排、列数量、管径尺寸等参数。

8.1.4 沉管管段应根据其沉放铺设基础的处理方式、管段构造与长度等设计施工缝、后浇带及节段变形缝。管段接缝防水除应符合本规范第5.4节的规定外,还应采用抗裂防渗措施。

8.1.5 结构施工缝、变形缝及后浇带应根据管段的长度宽度及隧道埋设的水底基础处理方式等设置。施工缝、变形缝、后浇带的防水除应符合本规范第5章的规定外,还可增加一道设防。

8.2 管段接头防水

8.2.1 管段接头的GINA橡胶止水带设计应符合下列要求:

- 1 GINA橡胶止水带的断面构造形式、断面尺寸、压力及压缩变形特性应根据管段接头所承受的水压及可能产生的最大变形量确定;
- 2 GINA橡胶止水带的材质宜采用天然橡胶、天然橡胶与丁苯橡胶的混炼胶等,并满足高弹性和压缩性的要求,且具备良好的水密性;
- 3 GINA橡胶止水带性能指标应符合表8.2.1的规定;

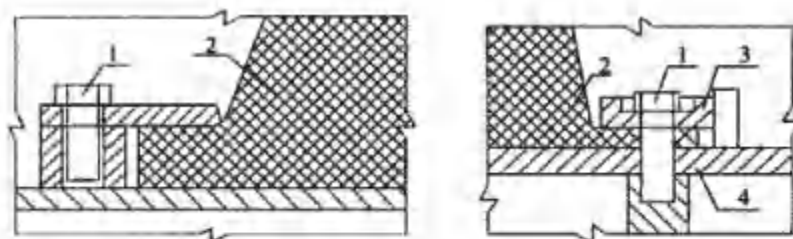
表8.2.1 GINA橡胶止水带的性能指标

项 目			指 标	
			天然橡胶与丁苯橡胶的混炼胶	天然橡胶
硬度(邵尔 A)(度)			65±5	65±5
拉伸强度(MPa)			≥17	≥15
扯断伸长率(%)			≥400	≥400
压缩永久变形(70℃×24h)(%)			≤22	≤30
热空气老化	70℃×168h	拉伸强度变化率(%)	≤-15	≤-15
		扯断伸长率变化率(%)	≤-25	≤-20
		硬度变化值(邵尔 A)(度)	≤+6	≤+10
吸水性(体积变化率)(70℃×168h)(Gram/m ²)			≤3	≤5

4 管段接头的GINA橡胶止水带可采用卡箍或穿孔固定方式(图8.2.1)。

8.2.2 GINA止水带安装应符合下列规定:

- 1 GINA止水带宜整圈铺设,应绑紧绳索,整圈吊起就位,并应滑入螺栓压板内;



(a)卡箱式固定

(d)穿孔式固定

图8.2.1 GINA橡胶止水带固定示意图

1-螺栓; 2-GINA止水带; 3-压板; 4-端钢壳

- 2 在端钢壳的螺栓与压板编号、成组就位后, 宜按先四个角部, 再顶侧部, 由上而下, 最后底部的顺序进行;
- 3 管段驳运前, 顶部止水带处宜架设专用木板或金属罩进行保护。

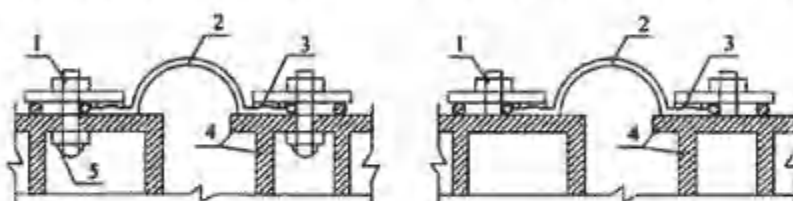
8.2.3 管段接头的OMEGA橡胶止水带设计应符合下列规定:

- 1 OMEGA橡胶止水带的断面尺寸, 应根据管段接头所承受的水压、三向位移的估算值、抗老化性等要求确定;
- 2 OMEGA橡胶止水带的材质宜为丁苯橡胶, 止水带应具备较好的适应三向变形的能力;
- 3 OMEGA橡胶止水带材料的物理性能指标应符合表8.2.3的规定:

表8.2.3 OMEGA橡胶(丁苯橡胶)止水带材料的物理性能指标

项 目		指 标	
硬度(邵尔 A)(度)		65±5	
拉伸强度(MPa)		≥17	
扯断伸长率(%)		≥450	
压缩永久变形(70℃×24h)(%)		≤20	
热空气老化	70℃×168h	拉伸强度变化率(%)	≤-15
		扯断伸长率变化率(%)	≤-25
		硬度变化值(邵尔 A)(度)	≤-6
吸水性(70℃×168h)(Gram/m ²)		≤20	
橡胶与纤维层粘结力(N/mm)		≥5	

- 4 OMEGA橡胶止水带的固定宜采用图组组合式盖形螺母固定方式或螺栓直接焊接在钢板上两种结构(图8.2.3)。



(a)组合式盖形螺母

(b)螺栓直接焊接在钢板上

图8.2.3 OMEGA止水带固定构造图

1-螺栓; 2-OMEGA止水带; 3-压板; 4-端钢壳; 5-组合式盖形螺母

- 8.2.4 沉管法隧道管段沉放前, 应确保GINA橡胶止水带的完好; 管段沉放后, GINA橡胶止水带的压缩量应满足设计要求。管段安装OMEGA橡胶止水带后, 应按设计要求注水加压检漏。

- 8.2.5 沉管接头端钢壳、接头连接件、拉索及紧固件、GINA橡胶止水带和OMEGA橡胶止水带的金属紧固件等, 应选用满足耐腐蚀要求的涂层或材质。

- 8.2.6 OMEGA止水带的材质与安装固定构造与方式, 应满足可拆卸、更换或部分更换的要求。

- 8.2.7 对于在管段中分设管节的隧道, 其管节间的接头应设小变形缝。小变形缝宜设有止水带防水、嵌填密封防水等多道设防。

8.3 管段外包防水、防腐层

- 8.3.1 管段混凝土应设置全包外防水层, 全包外防水层设计应符合下列规定:

- 1 管段底板宜采用钢板、带键的PVC塑料板等耐冲击、防水、防腐蚀类材料。
- 2 侧墙与顶板宜采用喷涂型聚脲、聚氨酯、渗透环氧、聚合物水泥砂浆等涂料和自粘性卷材，也可采用钢板，与底板构成钢壳整体外包防水；特殊部位应设纤维加强层。
- 3 保护层应满足抛石、填石等耐撞击的要求，并应与防水层材料相适应；同时，管段运送中还宜有其他保护措施。
- 4 采用钢板做防水层时，应根据腐蚀介质和腐蚀速率，确定钢材的材质、厚度，并采取防腐涂层或牺牲阳极法等保护措施。
- 5 钢板外防水层宜采用金属喷涂涂层与无溶剂环氧涂层复合涂层，涂层厚度应根据防腐年限的要求确定；在中等以上腐蚀环境中，端钢壳宜增设牺牲阳极块，牺牲阳极块宜采用焊接方式固定于端钢壳外表面，焊缝处应采取防腐蚀加强措施；管段沉放过程中，牺牲阳极块应予以良好的保护，不得造成损伤。

8.3.2 防水层端头和底部钢板防水层应焊接，保证底钢板与混凝土结构底连接牢固，并且有足够数量的锚固构件。

8.3.3 外防水层养护完成后，应施作不小于20mm厚的水泥砂浆层，并应在管段顶部设100mm~150mm厚的防错层及碎石回填层作为下铺时的保护。

8.3.4 顶板、侧墙、底板等采用不同材料防水层时，防水层的搭接部位应做好专门的防水处理，同时对管段施工缝、后浇带位置的防水层也应有加强措施。

8.4 管段最终接头及管段与岸边段接头防水

8.4.1 管段最终接头为水中刚性接头时，应在接缝处设置预埋式注浆管，单组分聚氨酯膨胀密封胶，接缝面应涂布水泥基渗透结晶防水涂料。

8.4.2 管段与岸边段接头处为刚性连接时，应在接缝处设置预埋式注浆管、单组分聚氨酯膨胀密封胶，接缝面应涂布水泥基渗透结晶防水涂料，且底板外包钢板或防水板端部应采取用加强防水措施。

8.4.3 管段与岸边段接头处为柔性连接时，应设置中埋式止水带和内装可卸式止水带。管段沉放结束后，应根据现场管段与岸边段底板实测高差，增设加高的端钢壳，并设内装可卸式止水带。

9 顶管法、箱涵顶进法隧道

9.1 一般规定

9.1.1 隧道的防水等级应根据使用功能、使用要求、工程性质、水文地质、环境条件等确定。应根据顶管隧道的防水等级、接口形式及其他技术要求，采取相应的防水措施。

9.1.2 钢筋混凝土顶管与箱涵应采用防水、耐久性混凝土。顶管管节混凝土强度等级不宜低于C50，抗渗等级不应低于P8；箱涵管节混凝土强度等级不宜低于C35，抗渗等级不应低于P8；应根据管道所受荷载情况，对管道结构进行核算，并应根据功能要求，对管道的抗裂、限裂及裂缝宽度的进行验算。

9.1.3 当采用与金属板复合的管道时，应符合下列规定：

- 1 管道结构应满足内、外水压力要求；
- 2 管道应采取可靠的内外结构金属防腐蚀措施，所采取的金属防腐措施应能满足管道的顶进要求。

9.1.4 当管内贮液或地下水土介质对混凝土、钢构件具有腐蚀性时，应对钢筋混凝土顶管与箱涵的内、外壁分别做防腐蚀处理。砂性土层顶进的管节的外表面宜设耐磨涂层。

9.1.5 钢筋混凝土顶管管节和箱涵管节几何尺寸的允许误差，应符合现行行业标准《顶进施工法用钢筋混凝土排水管》JC/T 640的有关规定。

9 顶管法、箱涵顶进法隧道

9.1 一般规定

9.1.1 隧道的防水等级应根据使用功能、使用要求、工程性质、水文地质、环境条件等确定。应根据顶管隧道的防水等级、接口形式及其他技术要求，采取相应的防水措施。

9.1.2 钢筋混凝土顶管与箱涵应采用防水、耐久性混凝土。顶管管节混凝土强度等级不宜低于C50，抗渗等级不应低于P8；箱涵管节混凝土强度等级不宜低于C35，抗渗等级不应低于P8；应根据管道所受荷载情况，对管道结构进行核算，并应根据功能要求，对管道的抗裂、限裂及裂缝宽度的进行验算。

9.1.3 当采用与金属板复合的管道时，应符合下列规定：

1 管道结构应满足内、外水压力要求；

2 管道应采取可靠的内外结构金属防腐措施，所采取的金属防腐措施应能满足管道的顶进要求。

9.1.4 当管内贮液或地下水土介质对混凝土、钢构件具有腐蚀性时，应对钢筋混凝土顶管与箱涵的内、外壁分别做防腐处理。砂性地层顶进的管节的外表面宜设耐磨涂层。

9.1.5 钢筋混凝土顶管管节和箱涵管节几何尺寸的允许误差，应符合现行行业标准《顶进施工法用钢筋混凝土排水管》JC/T 640的有关规定。

9.2 顶管接头防水设计

9.2.1 顶管接口的弹性橡胶密封圈在施工中应有良好的密封性能，在长期的设计水压作用下应保持接头不渗漏。

9.2.2 混凝土管接头宜采用钢承口和双插口接头，钢承口和双插口的套环应使用钢或不锈钢套环，钢套环接口应无疵点，焊接缝应平整，肋部与钢板应平面垂直。接头钢套环的钢材宜选用经防腐处理的Q235B级钢。

9.2.3 钢承口接头的钢套环一段应埋入混凝土管中(图9.2.3)。

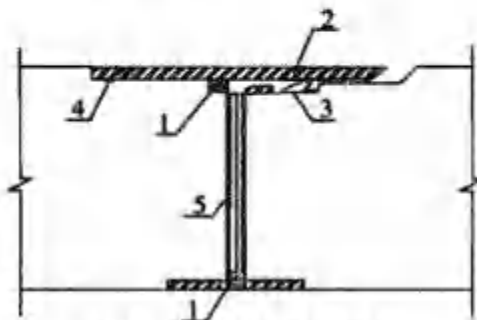


图9.2.3 钢承口接头图

1-弹性密封胶；2-钢套环；3-密封圈；4-遇水膨胀止水条；5-软木枕垫

钢套环与混凝土的结合面处应设遇水膨胀橡胶条或密封胶条。钢套环的另一段应与管节外弧面的槽口组成防水构造，槽口内应设L形、齿形或鹰嘴形弹性橡胶密封圈。

9.2.4 混凝土管节表面应光洁、平整、无砂眼、气泡，接口尺寸应符合设计要求。

9.2.5 双插口接头的钢套环应与管节混凝土外弧面的槽口组成防水构造(图9.2.5)。槽口内应设弹性橡胶密封圈，密封圈的展开长度宜为槽口实际展开长度的85%。橡胶密封圈表面应无裂缝、孔隙或凹痕等缺陷；断面应致密、均匀、无裂纹。

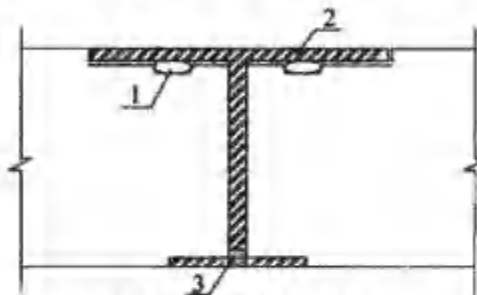


图9.2.5 双插口接头图

1-密封圈；2-钢套环；3-弹性密封胶

9.2.6 顶管接头内弧面槽口宜采用石棉水泥、弹性密封膏或水泥砂浆、聚合水泥砂浆密封。

9.2.7 输送含油介质时，宜选用丁腈橡胶密封圈；遇含弱酸弱碱地下水时，宜选用氯丁橡胶密封圈；遇霉菌侵蚀地层时，宜选用防霉等级达二级及以上的橡胶密封圈；在温度低的地层宜选用三元乙丙橡胶密封圈。

9.2.8 密封圈材料、规格应符合现行行业标准《橡胶密封件 给、排水管及污水管道用接口密封圈 材料规范》HG/T 3091的有关规定。

9.2.9 在楔形橡胶圈表面宜涂润滑剂或有止水功能的润滑剂。润滑油脂宜采用硅脂类材料；润滑剂应采用先润滑后止水的特种聚氨酯材料，不应使用可能损害橡胶圈的润滑材料。

9.2.10 当管节内污水呈非满流状态时，宜增加管节内混凝土防腐设计。

9.2.11 混凝土表面宜采用可在潮湿基面施工的无溶剂环氧涂料,并采用高压无气喷涂成形。

9.2.12 钢构件表面应根据所处环境涂布防腐蚀涂料。钢构件保护总面积较大时,宜同时采用喷涂防腐涂料和设置牺牲阳极块。

9.3 顶管法隧道防水施工

9.3.1 钢构件表面防腐涂料的施工应符合下列规定:

1 被涂装的钢构件表面应干燥,无氧化皮、无锈、无油脂及无其他杂质与无污染,表面除锈应采用喷砂处理,并应达到现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB 8923中的Sa2、5级。凡无法采用喷砂除锈的钢构件,应采用手工除锈与酸洗除锈。防腐涂料涂刷前,应将钢构件基面浮灰等清除干净。

2 钢构件防腐涂料可采用刷涂、滚涂、高压无气喷涂等方法作业,每道涂层施工的间隔不应小于24h。

3 涂料施工时,钢构件温度应高于露点3℃以上,室外施工温度不应低于5℃,相对湿度应低于85%。

4 应对边角、焊缝、切痕等部位预涂一道底漆后,再进行大面积涂装;烧焊、碰撞等导致涂料受损时,应采用同类涂料修补完整。

9.3.2 混凝土顶管管节接口橡胶密封圈、中继间管节橡胶密封件、嵌缝密封材料、衬垫板等的性能指标均应符合设计要求。

9.3.3 顶管机始发时,不应损坏止水密封件,顶管管节与工作井的接头应采用帘布橡胶圈密封,橡胶圈应与井壁密贴,在注浆压力下,接头应无漏浆、冒泥、漏水现象。

9.3.4 顶管机接收时,首节管节与接收井的接头宜采用钢板焊接,接头应无漏泥、漏水现象。顶管管道贯通后,管节节头应无滴水现象。

9.3.5 顶管顶进过程,混凝土管节本体不得产生有害贯穿裂缝。

9.3.6 顶管顶进施工完毕后,应对管节上的注浆孔等孔洞,采取填塞性能优良的密封材料等措施进行封堵。

9.4 箱涵顶进法隧道防水设计与施工

9.4.1 箱涵结构宜按大体积混凝土施工的要求控制制作时的结构裂缝。

9.4.2 箱涵接头间采用变形缝或施工缝时,应按设计图纸要求施工,确保防水质量。

9.4.3 箱涵进出洞的洞口应设置洞口密封圈等,应无漏泥、滴水现象。

9.4.4 箱涵混凝土管段渗漏水治理应满足下列要求:

1 宜在气温较低,接缝、裂缝张开较大时进行注浆堵水处理;

2 结构仍在变形、未稳定的裂缝渗漏水,可先行堵水处理,同时应具备结构稳定后进一步治理的条件;

3 需要补强的渗漏部位,应选用改性亲水环氧树脂灌浆材料、水泥基灌浆材料、油性聚氨酯灌浆材料等固结体强度较高的灌浆材料。

9.4.5 箱涵变形缝堵水后,还应有设置内置式止水带等加强措施,并宜符合下列规定:

1 设置内置式密封带时,密封带形变部位应具有较好的弹性;

2 应采用配套高强度胶粘剂冷粘施工,密封带与变形缝两侧混凝土的搭接宽度各不应小于80mm,并与混凝土基层的粘结应牢固、平整、无漏粘;

3 安装内装可卸式止水带时,应将止水带中部加工成“Ω”型,要求承受高压水时,止水带内应夹有增强纤维层,并用化学植筋法设置密封压件装置,使止水带与混凝土基层密封严实;

4 设计密封防水时,宜根据水头高度选用中、高模量密封胶作为加强用内侧防线。当嵌缝密封用于疏排、引流时,则可选用低模量密封胶嵌填;

5 预制特殊嵌缝密封件宜用于尺寸规则的变形缝密封嵌填;

6 管内输水的箱涵,不宜设置内装式止水带。

9.4.6 箱涵混凝土管段外防水宜选用涂层防水,防水涂料宜选用与基面粘结强度高和抗渗性好的材料。

10 其他隧道工程

10.1 一般规定

10.1.1 隧道工程当有特殊用途与要求时或在特殊环境地质条件、气候条件时,应采取专项防水设计。

10.1.2 各专项防水设计除应分别符合隧道工程的防水设计与施工规定外,还应符合所在行业的相关标准。

10 其他隧道工程

10.1 一般规定

10.1.1 隧道工程当有特殊用途与要求时或在特殊环境地质条件、气候条件时，应采取专项防水设计。

10.1.2 各专项防水设计除应分别符合隧道工程的防水设计与施工规定外，还应符合所在行业的相关标准。

10.2 水工隧洞

10.2.1 对于无水流通过的水工隧洞的防水级别，应根据其用途和功能要求按本规范第3.0.3条要求选定，并应采用相应的防排水措施，满足隧洞内人员及设备安全正常运行的需要。

10.2.2 对于有水流通过的水工隧洞除应满足一般隧道的规定外，并应针对隧洞内水流的作用，高压隧洞的水力劈裂、高流速隧洞的空化和冲蚀作用，根据工况条件选择不衬砌、喷锚衬砌、钢筋混凝土衬砌、预应力钢筋混凝土衬砌、钢板衬砌等衬砌型式和相应的防水措施。

10.2.3 有水流通过的水工隧洞衬砌结构的防渗要求应符合下列规定：

1 围岩抗渗能力差，内水外渗造成的危害严重(围岩、边坡、相邻建筑物渗透失稳或环境破坏)，处理费用和难度大时，应提出严格的防渗要求；

2 围岩具有抗渗能力，内水外渗可能造成不良地质段的局部失稳，但处理难度不大，宜提出一般防渗要求；

3 围岩具有较好的抗渗性，内水外渗不存在渗透失稳和环境破坏问题，可不规定防渗等级。

10.2.4 有水流通过的水工隧洞宜采用混凝土结构衬砌，以衬砌结构自防水为主，按限制裂缝宽度的原则设计，并根据隧洞内水流特性和围岩类别采取相应的防排水措施。防渗要求严格的水工隧洞宜采用预应力混凝土或钢衬混凝土结构衬砌，按抗裂的原则设计。内水压力和流速较低、围岩抗渗性较好的情况下也可采用喷锚衬砌、不衬砌。

10.2.5 水工隧洞衬砌结构段分缝(环向缝)处应根据防渗要求 and 环境条件采取必要的接缝处理措施，设置相应的防排水构造和设施。钢筋混凝土与钢衬连接处应有1.0m以上搭接长度，并在钢衬上设置延长渗径，防止钢衬与混凝土结合面脱开的钢衬阻水环。

10.2.6 水工隧洞衬砌结构的纵向施工缝应设置在结构拉应力及剪应力均较小的部位。先拱后墙的逆筑施工，应根据水头大小、流速高低、检修难易、结构断面大小、围岩稳定状况等，对逆筑施工缝的缝面选用下列处理措施：增加联接钢筋、留键槽、设后浇带、回填灌浆、埋设止水带(条)等。

10.2.7 防震缝防水设计应符合现行行业标准《水工建筑物抗震设计规范》DL 5073的规定。

10.3 矿井巷道

10.3.1 矿井巷道防治水工作应坚持“预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采”的原则，采取“防、堵、疏、排、截”以及“地面疏防排与井下排堵相结合”的综合治理措施。水文地质条件复杂和极复杂的矿井，在地面无法查明矿井水文地质条件和充水因素时，必须坚持有掘必探。

10.3.2 巷道排水应符合下列要求：

1 矿井巷道应配备与矿井巷道涌水量相匹配的水泵、排水管路、配电设备和水仓等，并确保整个矿井排水系统能够正常排水。

2 矿井主要泵房至少应有2个安全出口，一个出口用斜巷通到井筒，并高出泵房底板7m以上；另一个出口通到井底车场。在通到井底车场的出口通路内，应设置易于关闭的既能防水又能防火的密闭门。泵房和水仓的连接通道，应设置可靠的控制闸门。

3 矿井主要水仓应有主仓和副仓，当一个水仓清理时，另一个水仓能够正常使用；水仓的空仓容量不足50%时，应及时清挖。

4 新建、改扩建矿井或者生产矿井的新水平，正常涌水量在1000m³/h以下时，主要水仓的有效容量应能容纳8h的正常涌水量。

5 正常涌水量大于1000m³/h的矿井，主要水仓的有效容量可按下式计算：

$$y = 2(Q + 3000) \quad (10.3.2)$$

式中：y——主要水仓的有效容量(m³)；

Q——矿井每小时的正常涌水量(m³)。

6 采区水仓的有效容量应能容纳4h的采区正常涌水量。

7 水仓进口处应设置箅子。对水砂充填、水力开采和其他涌水中带有大量杂质的矿井，还应设置沉淀池。水仓的空仓容量应经常保持在总容量的50%以上。

8 对于在建矿井，在永久排水系统形成前，各施工区应设置临时排水系统，并保证有足够的排水能力。

9 生产矿井延深水平，只有在建成新水平的防、排水系统后，方可掘进；水文地质条件复杂、极复杂的矿井或其他有突水危险的矿井，应在其附近设置防水闸门或防水闸墙等防突水措施，并在正常排水系统基础上安装配备排水能力不小于最大涌水量的潜水电泵排水系统。

10.3.3 巷道注浆防治水应根据工程地质、水文地质和注浆的目的,将堵水注浆、加固注浆和回填注浆相结合,选择合适的注浆方式和材料,并在必要时设置止浆墙。

10.3.4 巷道注浆中的工作面预注浆应符合下列规定:

1 工作面预注浆前应钻超前检查孔,核实含水层实际厚度与含水量。工作面预注浆的段长,宜为30m~50m,可采用下行式注浆或孔内下止浆垫,一次或多次注完全部含水层。

2 工作面预注浆应在含水层上方预先浇筑混凝土止浆垫。含水层上方岩石致密,可预留岩帽做止浆垫。

3 混凝土止浆垫的施工,宜与井壁一同浇筑。孔口套管的位置、角度、数量,宜用后埋法布设,并采用早强水泥固牢。待套管固牢后进行抗压试验,试验压力不得小于工作压力的1.2倍。

4 混凝土止浆垫的厚度,应根据注浆压力计算确定。在工作面有涌水的情况下浇筑止浆垫时,应铺设0.5m~1.0m厚的碎石滤水层,并安设集水盒、排水管与注浆管。当混凝土止浆垫达到强度后,应经注浆管注浆封闭涌水。

5 井巷遇到含水层、断层或工作面涌水量突增,采取强排水或直接堵漏法处理无效时,应待井巷涌水上长到静水位,再在水下灌溉止水垫。水下灌溉混凝土止水垫应连续进行,止水垫的厚度应均匀。

6 预注浆的参数应符合下列规定:

1) 浆液的有效扩散半径宜为6m~8m;

2) 注浆的终压应为静水压力值的2~4倍;

3) 水泥浆液的水灰比应根据钻孔最大吸水量大小按2:1~0.6:1之间由稀到浓;

4) 采用水泥-水玻璃浆液时,水泥浆的浓度宜为1:25;1~0.6:1,水玻璃浓度宜为35~40波美度,水泥浆与水玻璃的体积比宜为1:0.4~1:1。

10.3.5 巷道注浆中的工作面直接堵漏注浆应符合下列规定:

1 工作面直接堵漏注浆可采用手持式或架式凿岩机钻孔,钻孔的数量、角度及深度应根据含水层的裂隙状况确定。

2 井巷内应设置排水泵,钻注浆孔前应先钻超前探水孔,钻孔前,应安装具有防止突然涌水的孔口管;

3 注浆孔的深度应始终超前掘进循环进尺2m以上,当遇有涌水的钻孔,应进行注浆堵水;

4 注浆压力与浆液浓度应符合下列规定:

1) 注浆终压宜大于或等于静水压力的2倍~4倍;

2) 浆液浓度、材质、凝结时间、注入量等,应根据不同条件选择,水玻璃的模数宜为2.4~2.8,水泥浆与水玻璃的体积比,宜为1:0.3~1:0.6。

10.3.6 巷道注浆中的壁后注浆应符合下列规定:

1 建成后的井巷或正在施工的井壁段的漏水量超过 $6m^3/h$,或井壁有集中漏水点时,应进行壁后注浆处理。

2 壁后注浆的工艺和材料应根据井壁结构、质量、漏水特征与壁后地质、水文等因素,经技术经济分析确定。

3 壁后注浆的施工顺序应根据含水层的厚度分段进行;对漏水段较长的井巷,宜采取由上往下逐段进行注浆;每个分段内宜先由下往上注浆,再由上往下复注一次。

4 壁后注浆孔的布置应符合下列规定:

1) 注浆孔的数量,应根据堵水需要选定;各孔注浆的有效扩散半径应相交,在含水层上下界面位置或裂隙含水层中,注浆孔宜加密。

2) 当注浆段壁后为含水砂层时,注浆孔的深度不宜超过井壁厚度;双层井壁,孔深宜进入外层井壁100mm。

3) 当漏水的井巷段壁后为含水岩层时,注浆孔宜布置在含水层的裂隙处,注浆孔的深度应进入岩层0.5m~1.0m。

4) 在井壁漏水量较大的井巷段,应布设导水孔和泄水孔。

5 壁后注浆的压力宜比静水压力大0.5MPa~1.5MPa;在岩石裂隙中的注浆压力可适当提高。

10.3.7 巷道注浆中的注浆结束应符合下列规定:

1 工作面预注浆结束后,注浆孔的注浆压力应达到设计终压,注入量应小于30L/min;

2 工作面直接堵漏注浆及壁后注浆结束后,涌水量应小于设计要求。

10.4 海底隧道

10.4.1 当防水等级确定为一级防水时,防水设计应遵循“以堵为主,限量排放,刚柔结合,多道防线,因地制宜,综合治理”的原则,并形成围岩注浆堵水——初期支护——防水层——二次衬砌混凝土自防水的多道防水系统。

10.4.2 衬砌结构类型可分为全封闭式和排导式。全封闭式宜用于全强风化以及断裂破碎带等涌水量较大地段;排导式宜用于海域渗水量较小地段以及结构交叉地段。

10.4.3 混凝土应设计为高性能抗渗耐腐蚀混凝土,喷射混凝土强度等级不得小于C25,抗渗等级不得小于P8;二衬混凝土强度等级不得小于C50,抗渗等级不得小于P12。配合比设计和原材料的选材上应以耐久性作为主要指标,以低水胶比、低用水量、高密实度混凝土为前提,应选用优质原材料,除水泥、水、集料外,还应掺加矿物细粉掺合料和高效减水剂。

10.4.4 加强围岩注浆堵水,注浆材料应选用抗酸性材料。补偿注浆应采用普通水泥浆液和超细水泥浆液,不宜采用影响海洋生物生

态环境的化学浆液。

10.4.5 海底隧道应采用复合防水层和分区防水，防水板厚度不得小于2mm，在0.5Mpa水压下72h不渗水，在海水环境中力学性能指标应符合要求。

10.4.6 钢筋保护层厚度必须考虑海水及运营环境对钢筋的腐蚀作用，应满足设计寿命的要求。

10.4.7 海底隧道排水应采用可维护的排水系统。

10.5 严寒环境隧道

10.5.1 严寒环境隧道的防水等级应为一级防水，防水设计应遵循“以防为主，防排结合，防冻保温，多道防线，综合治理”的原则。

10.5.2 隧道二次衬砌应加强“三缝”处理，除应符合本规范表3.0.9-2规定的防水设防要求外，宜增设一道防水措施。隧道二次衬砌应采用抗裂、防渗、抗冻的低温早强高性能防水混凝土，防水等级不得小于P8。

10.5.3 严寒环境隧道应满足冻害地段隧道排水的有关防冻要求，洞口地段排水系统应增加保温措施，对排水沟应采取保温水沟、防寒泄水洞、电加热等保温防寒措施。

10.5.4 最冷月平均气温在—5℃以下地区，排水沟形式应按表10.5.4的规定选用。

表10.5.4 不同气温的排水沟形式

最冷月平均气温(℃)	黏性土最大冻结深度(m)	主排水沟形式
—10~—15	1.0~1.5	保温水沟
—15~—25	1.5~2.5	中心深埋水沟
<—25	>2.5	防寒泄水洞

10.5.5 设保温水沟的隧道与洞外暗沟连接时，洞外暗沟坡度不应小于2‰。保温水沟宜在两端洞口150m~400m范围内设置，并宜采用小于隧道内最大冻结深度的浅埋方式设置。保温水沟上部应设双层盖板，在两层盖板间充填保温材料，保温层厚度不应小于300mm。保温材料宜采用蛭石混凝土、矿渣、沥青玻璃棉、矿渣棉、泡沫聚氨酯、泡沫塑料等，保温材料应具有阻燃特性，并应有防潮措施。保温出水口宜选择在背阴向阳处，纵坡宜大于5‰。

10.5.6 中心水沟应深埋于隧道内冻结深度以下，水沟断面形式应根据地质条件选用U形、圆形、箱形、拼装式或拱形，在Ⅲ~Ⅵ级围岩中拱形水沟应加作铺底；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，并宜按当地黏性土的最大冻结深度考虑；水沟回填材料除应满足保温、透水性好要求外，还应防止石屑、泥砂渗入水沟引起水沟淤积。中心水沟纵向坡度应与线路坡度一致，且不得小于2‰；在隧道平坡段范围内，排水沟底部不应小于3‰的坡度。

10.5.7 中心水沟应设置检查井，检查井间距宜为30m~50m，且避开施工缝、沉降缝和变形缝。断面形式可采用方形或圆形，检查井下应设沉淀池，检查井应设双层盖板，盖板间应填塞泡沫块或其他保温材料。

10.5.8 防寒泄水洞的埋置深度应低于围岩最大冻结深度，并确保隧道底部稳定；泄水洞的衬砌结构尺寸应根据地质条件和埋置深度，由计算或工程类比确定；防寒泄水洞的混凝土强度和抗渗性能应符合设计要求，泄水洞拱部及边墙应留有足够的泄水孔，其间距不宜小于1m。每隔250m应设置一检查井，中心检查井应设于线路中线上，侧边检查井应设于大避车洞内；检查井应设双层盖板，盖板间应填塞保温材料。

10.5.9 设置保温水沟、中心深埋水沟或防寒泄水洞的隧道，两侧应修筑盲管(沟)、泄水孔、横沟、横导洞、洞外暗沟、保温出水口等配套排水设施。配套排水设施应符合下列要求：

- 1 盲管(沟)的设置深度从衬砌内缘算起不宜小于1m(衬砌厚度在内)，在盲管(沟)处增设保温墙；
- 2 汇集于竖向或环形盲管(沟)的地下水，通过泄水孔流入保温水沟中，泄水孔的断面宜为100mm×100mm；
- 3 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100mm。当钻孔处于Ⅳ~Ⅵ级围岩时，宜安设“花管”，防止钻孔堵塞；
- 5 保温水沟和防寒泄水洞中的水流出隧道后，应采用暗沟通过路堑地段流入地形低洼处，该处暗沟应埋置于冻结深度以下，其坡度不宜小于5‰，可用明挖法施工，并宜每隔50m设一检查井和沉淀坑。

10.5.10 洞外最冷月平均气温在—15℃以下地区，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。

10. 5. 11 严寒环境隧道工程混凝土施工应符合下列规定：
- 1 环境昼夜平均气温连续3d低于5℃或最低气温低于—3℃时，混凝土的抗压强度在达到设计强度30%前或未达到5MPa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，尽可能保证混凝土的入模温度不低于5℃。水泥、矿物掺合料、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℃；骨料加热的温度不应高于60℃；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。
 - 4 混凝土运输的容器应有保温措施，运输时间应缩短，并减少中间倒运环节。
 - 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℃时，应将直径大于或等于25mm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规范第6. 3的规定。
 - 6 当混凝土强度达到设计拆模强度和抗冻强度规定后，方可拆除模板，当环境温差大于20℃时，宜采用保温模板；当环境温差在10℃~15℃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℃以下时，应待混凝土冷却至5℃以下且混凝土与环境之间的温差不大于15℃后，方可拆除模板。

10. 6 隧道工程注浆

10. 6. 1 本节适用于矿山法施工隧道工程防水注浆，包括预注浆、衬砌施工前围岩渗水注浆、衬砌施工后回填注浆、衬砌混凝土缺陷注浆和衬砌施工后围岩注浆。
10. 6. 2 隧道工程防水注浆材料应符合下列要求：
- 1 具有良好的可靠性；
 - 2 浆液稳定性好，凝胶时间可调，固化时收缩小，与被灌体粘接性好；
 - 3 固结体有一定的力学强度，耐久性好；
 - 4 无毒、无污染，化学稳定性好，应符合环保要求；
 - 5 注浆工艺简单，操作方便、安全；
 - 6 水泥类注浆材料宜选用水泥强度等级42. 5MPa或以上的，浆液配比应经现场实验确定；当采用水泥基灌浆材料时，应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB / T 50448的规定；
 - 7 水玻璃注浆材料可用于非永久性的防渗堵漏，不得用于永久性的防渗堵漏；
 - 8 隧道工程注浆防水的化学灌浆材料主要有丙烯酸盐灌浆材料、环氧树脂灌浆材料、聚氨酯灌浆材料；化学灌浆材料的性能指标应符合国家现行有关标准或设计要求；丙烯酸盐灌浆材料的性能指标应符合现行行业标准《丙烯酸盐灌浆材料》JC / T 2037的规定(表10. 6. 2-1、表10. 6. 2-2)；环氧树脂灌浆材料应符合现行行业标准《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》JC / T 1041的规定(表10. 6. 2-3、表10. 6. 2-4)；聚氨酯灌浆材料的性能指标应符合现行行业标准《聚氨酯灌浆材料》JC / T 2041的规定(表10. 6. 2-5)。

表10. 6. 2-1 丙烯酸盐灌浆材料浆液物理性能

项 目	技 术 要 求
外观	不含颗粒的均质液体
密度(g/cm³)	生产厂控制值±0. 05
黏度(mPa·s) ≤	10
pH 值	6. 0~9. 0
凝胶时间(s)	报告实测值

注：生产厂控制值应在产品包装与说明书中明示用户。

表10. 6. 2-2 丙烯酸盐灌浆材料固化物性能

项目	技术要求	
	I 型	II 型
渗透系数(cm / s)<	1.0×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻⁷
固砂体抗压强度(kPa)≥	200	400
抗挤出破坏比降≥	300	600
遇水膨胀倍率(%)≥	30	

表10. 6. 2-3 环氧树脂灌浆材料浆液性能

项目	浆液性能	
	L	N
浆液密度(g / cm³)>	1.00	1.00

初始黏度(mPa·s)<	30	200
可操作时间(min)>	30	30

表10. 6. 2-4 环氧树脂灌浆材料固化物性能

序号	项 目	固化物性能 ²	
		L	N
1	抗压强度 (MPa) $\geq$	40	70
2	拉伸剪切强度 (MPa) $\geq$	5.0	8.0
3	抗拉强度 (MPa) $\geq$	10	15
4	粘结强度	干粘结 (MPa) $\geq$	3.0
		湿粘结 ¹ (MPa) $\geq$	2.0
5	抗渗压力 (MPa) $\geq$	1.0	1.2
6	渗透压力比 (%) $\geq$	300	400

注：1 湿粘结强度：潮湿条件下必须进行测试；

2 固化物性能的测定试龄期为28d。

表10. 6. 2-5 聚氨酯灌浆材料物理性能指标

序号	试 验 项 目	指 标	
		WPU	OPU
1	密度 (g/cm ³) $\geq$	1.00	1.05
2	黏度 ¹ (mPa·s) $\leq$	1.0×10^3	
3	凝胶时间 ¹ (s) $\leq$	150	—
4	凝固时间 ¹ (s) $\leq$	—	800
5	遇水膨胀率 (%) $\geq$	20	—
6	包水性(10倍水) (s) $\leq$	200	—
7	不挥发物含量 (%) $\geq$	75	78
8	发泡率 (%) $\geq$	350	1000
9	抗压强度 ² (MPa) $\geq$	—	6

注：1 也可根据供需双方商定；

2 有加固要求时应检测抗压强度。

10. 6. 3 注浆材料的选用应根据工程目的、水文地质条件按下列规定选择：

1 预注浆和衬砌前围岩注浆时，裂隙宽度大于0.2mm的岩层，注浆材料宜采用水泥灌浆材料或水泥——水玻璃灌浆材料；裂隙宽度小于0.2mm的岩层，注浆材料宜采用超细水泥灌浆材料或超细水泥——水玻璃灌浆材料，必要时也可采用聚氨酯灌浆材料或丙烯酸盐灌浆材料；

2 回填注浆材料可采用水泥灌浆材料、水泥砂浆灌浆材料、气泡混合轻质灌浆材料；

3 衬砌混凝土缺陷注浆和衬砌后围岩注浆，宜采用水泥灌浆材料、超细水泥浆液、丙烯酸盐灌浆材料和聚氨酯灌浆材料；

4 衬砌变形缝渗水宜采用聚氨酯灌浆材料或丙烯酸盐灌浆材料；

5 对于本条第1、2、3款，当水泥灌浆不能满足要求且需要补强时宜采用环氧树脂灌浆材料。

10. 6. 4 隧道工程注浆施工应符合下列规定：

1 注浆前应对注浆范围的水源取样检查，如有污染，应及时采取措施；

2 注浆应在有效范围内进行，当邻近有建筑物时，应现场监控；

3 根据工程地质、注浆目的等按设计要求控制注浆压力、注浆量；按设计注浆结束标准执行，加强变形观察，应变值不应超过设计值；

4 注浆应避免堵塞、破坏原有的排水系统；

5 注浆过程中如发生串浆、变形超过设计值、进浆量过大、危及地面建筑物等异常情况时，可采取下列措施：

1) 降低注浆压力或采用待凝、间隙注浆法；

2) 缩短浆液凝胶时间。

10. 6. 5 预注浆设计和施工应符合下列规定:

- 1 预注浆时止浆墙(垫)应达到设计要求。
- 2 预注浆钻孔的布置、排距、钻孔深度及角度应根据地质特点、地下水分布情况、浆液特性和注浆效果要求等综合分析确定。
- 3 预注浆段长度应根据水文地质条件、工程地质和钻孔设备要求确定,宜为10m~50m。注浆加固范围应开挖轮廓线外0.5D~1.0D,特殊工程可按计算和实验确定。
- 4 预注浆压力可为预注浆洞身静水压力的2倍~3倍;在选择注浆压力时,还应考虑注浆对地面产生的变形所引起安全问题。
- 5 除涌水量会造成难以封闭注浆孔外,一般注浆孔应进行压水实验。
- 6 注浆顺序:可由外环向内环依次进行,同一环上的孔则间隔施工;由低往高,由外向内,先灌斜孔,后灌水平孔。
- 7 钻孔若遇涌水或卡钻时,应停止钻进,进行注浆,然后再钻进,注浆。
- 8 预注浆结束标准,应根据工程目的和使用要求确定,也可按预注浆各孔段达到设计要求并稳定10min,且进浆速度为开始进浆速度的1/4或注浆量达到设计注浆量的80%,结束灌浆。

10. 6. 6 衬砌前围岩渗水注浆的设计和施工应符合下列规定:

- 1 衬砌前围岩注浆的布孔应按下列规定执行:
 - 1)应在涌水量较大处布孔;
 - 2)大股涌水,布孔应在水流上游;
 - 3)大面积渗漏及裂隙渗漏,布孔可采用梅花型,注浆孔的间排距可按2m×2m布置,钻孔深度应根据工程要求而定。
- 2 注浆设计压力应大于静水压力,堵水灌浆压力可按比涌水压力大0.5MPa~1.5MPa。
- 3 注浆顺序可为:先灌无水孔,再灌出水孔,最后灌出水量最大的孔。
- 4 注浆结束标准,应根据工程目的和使用要求确定,也可在达到设计压力下,当注入率小于1L/min时,继续灌30min,结束灌浆。

10. 6. 7 衬砌后回填注浆设计和施工应符合下列规定:

- 1 回填注浆应在衬砌混凝土达到设计强度70%后进行。
- 2 回填注浆钻孔孔径不宜小于38mm,孔深宜钻穿衬砌混凝土,并记录混凝土厚度与空腔尺寸。
- 3 顶拱回填注浆应分成区段进行,每区段长度不宜大于3个衬砌段;区段的端部应在混凝土施工时封堵严实。
- 4 回填注浆孔的布孔可按梅花形、正方形排列,间距宜为2m~4m。
- 5 注浆应分为两个次序进行,同一灌区先施工I序孔,再施工II序孔;注浆顺序宜沿工程轴线由低到高、由下往上、从少水处到多水处、在多水地段注浆时应先两头、后中间。
- 6 注浆压力应根据不同的衬砌结构按设计要求执行。
- 7 注浆材料配合比应根据设计要求和现场试验结果确定,回填注浆形成的水泥结石应满足设计要求,水泥结石的抗压强度、弹性模量、填充率、密实度、渗透性等必须满足设计指标。回填注浆一序孔可灌注水灰比为0.5~0.7:1的水泥浆,二序孔可灌注1:1和0.5~0.6:1两个比级的水泥浆。空隙大的部位宜灌注水泥砂浆,水泥砂浆的掺砂量不宜大于水泥重量的200%。
- 8 注浆结束标准:在规定压力下注浆孔停止吸浆后,延续灌注10min,即可结束。
- 9 注浆孔注浆完毕后,应使用干硬性水泥砂浆将钻孔封填密实,孔口压抹齐平。

10. 6. 8 衬砌混凝土缺陷注浆设计和施工应符合下列规定:

- 1 衬砌缺陷注浆应待衬砌结构稳定和混凝土达到设计强度后进行;
- 2 衬砌缺陷注浆钻孔应根据衬砌渗漏水情况布置,孔深不应超过衬砌厚度的2/3;
- 3 每条裂缝至少应有一个进浆孔和一个排气孔,间距根据裂缝宽度而定,宜为0.5m~1m;
- 4 注浆压力可为0.2MPa~0.8MPa,并加强衬砌混凝土变形观测;
- 5 注浆应由一边向另一边、由低到高进行;
- 6 注浆结束标准:在规定压力下注浆孔停止吸浆后,延续灌注30min,即可结束。

10. 6. 9 衬砌后围岩注浆设计和施工应符合下列规定:

- 1 衬砌后围岩注浆应在回填注浆浆液固结体达到设计强度的70%后进行;
- 2 衬砌后围岩注浆钻孔入岩深度、孔距、布孔及钻孔深度可根据渗漏水情况和工程情况确定;
- 3 衬砌后围岩注浆钻孔深入围岩不应大于1m,孔径不宜小于40mm;
- 4 衬砌后围岩注浆的压力,可大于静水压力0.5MPa~1.5MPa,并加强变形观测;
- 5 灌浆结束标准:衬砌后围岩注浆达到设计压力后应稳定10min,即可结束;
- 6 浆液不得溢出地面和超出有效注浆范围,注浆结束后应进行封孔处理。

10. 6. 10 劳动安全与环境保护应符合下列规定:

- 1 工作人员施工作业时,应穿好防护工作服,戴防毒口罩、护目眼镜和防护手套。
- 2 化学注浆施工应在通风条件良好的环境下进行,并注意防火、防潮、防泄漏、防盗。
- 3 注浆过程中产生的弃浆、废浆及废水严禁随意排放,应集中储存;待注浆结束后,对弃浆、废浆应按照国家及行业的相关标准进行处理。
- 4 必须严格检查设备、管路,以防注浆过程压力爆破伤人。
- 5 注浆范围和建筑物的水平距离很近时,应加强对邻近建筑物和地下埋设物的现场监控。

6 注浆点距离饮用水源或公共水域较近时,注浆施工如有污染应及时采取相应措施。

7 除上述条文外,注浆施工的劳动安全保护还应遵循国家及行业相关标准的规定。

11 隧道防水工程质量验收

11.1 一般规定

11.1.1 隧道防水工程质量验收的程序和组织,应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300的规定。

11.1.2 检验批的合格判定应符合下列规定:

1 主控项目的质量经抽样检验全部合格;

2 一般项目的质量经抽样检验80%以上检测点合格,其余不得有影响使用功能的缺陷;对有允许偏差的检验项目,其最大偏差不得超过本规范规定允许偏差的1.5倍;

3 施工具有明确的操作依据和完整的质量检查记录。

11.1.3 隧道防水工程在隧道工程中作为分部工程。分项工程的划分应符合表11.1.3的规定,其中,渗漏水治理中的渗漏水检测方法,可按现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB 50208执行。分项工程质量验收合格应符合下列规定:

1 分项工程所含检验批的质量均应验收合格;

2 分项工程所含检验批的质量验收记录应完整。

表11.1.3 工程防水的分项工程划分

分部工程	分项工程	混凝土结构及其细部构造防水
工程防水	基坑围护	细部构造防水,特殊构造防水,围护结构防水,地下连续墙防水
	明挖隧道及工作井	防水混凝土,水泥砂浆防水层,卷材防水层,涂料防水层,塑料板防水层,膨润土防水材料防水层,金属板防水层,细部构造防水,特殊构造防水
	顶管法	管节防水混凝土,细部构造防水
工程防水	盾构法	管片防水混凝土,细部构造防水
	沉管法	防水混凝土,涂料防水层,细部构造防水
	地道箱涵顶进法	防水混凝土,特殊构造防水
	渗漏水治理	裂缝、施工缝、后浇带堵水与补强,变形缝堵水,防水混凝土修补

11.1.4 子分部工程质量验收合格应符合下列规定:

1 子分部所含分项工程的质量均应验收合格;

2 质量控制资料应完整;

3 地下工程渗漏水检测应符合设计的防水等级标准要求;

4 观感质量验收应符合要求。

11.1.5 隧道防水工程验收(竣工)资料和记录应符合表11.1.5的规定。

表11.1.5 隧道防水工程验收资料和记录

序号	项 目	验 收 资 料
1	防水设计	施工图及其设计交底记录、图纸会审记录、设计变更通知单和材料代用核定单
2	资质、资格证明	施工单位资质及施工人员上岗证复印件
3	施工方案	施工方法、技术措施、质量保证措施
4	技术交底	施工操作要求及安全等注意事项
5	材料质量证明	产品合格证、产品性能检测报告、材料进场检验报告
6	混凝土、砂浆质量证明	试配及施工配合比、抗渗性能和抗压强度试验报告
7	中间检查记录	施工质量验收记录、隐蔽工程验收记录、施工检查记录
8	检验记录	渗漏水检测记录、注浆效果检测记录、观感质量检查记录
9	施工日志	逐日施工情况
10	其他资料	事故处理报告、技术总结

11. 1. 6 隧道防水工程应对下列部位做好隐蔽工程验收记录：

- 1 防水层的基层；
- 2 防水混凝土结构和防水层被掩盖的部位；
- 3 施工缝、变形缝、后浇带等防水构造的做法；
- 4 管道穿过防水层的封固部位；
- 5 渗排水层、盲沟和坑槽；
- 6 结构裂缝注浆处理部位；
- 7 衬砌前围岩渗漏水处理部位；
- 8 基坑的超挖和回填。

11. 1. 7 隧道防水工程验收后，应填写子分部工程质量验收记录，随同工程验收资料分别由建设单位和施工单位存档。

11 隧道防水工程质量验收

11. 1 一般规定

11. 1. 1 隧道防水工程质量验收的程序和组织，应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300的规定。

11. 1. 2 检验批的合格判定应符合下列规定：

- 1 主控项目的质量经抽样检验全部合格；
- 2 一般项目的质量经抽样检验80%以上检测点合格，其余不得有影响使用功能的缺陷；对有允许偏差的检验项目，其最大偏差不得超过本规范规定允许偏差的1.5倍；
- 3 施工具有明确的操作依据和完整的质量检查记录。

11. 1. 3 隧道防水工程在隧道工程中作为分部工程。分项工程的划分应符合表11. 1. 3的规定，其中，渗漏水治理中的渗漏水检测方法，可按现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB 50208执行。分项工程质量验收合格应符合下列规定：

- 1 分项工程所含检验批的质量均应验收合格；
- 2 分项工程所含检验批的质量验收记录应完整。

表11. 1. 3 工程防水的分项工程划分

分部工程	分项工程	混凝土结构及其细部构造防水
工程防水	基坑围护	细部构造防水、特殊构造防水、围护结构防水、地下连续墙防水
	明挖隧道及工作井	防水混凝土、水泥砂浆防水层、卷材防水层、涂料防水层、塑料板防水层、膨润土防水材料防水层、金属板防水层、细部构造防水、特殊构造防水
	顶管法	管节防水混凝土、细部构造防水

工程 防水	盾构法	管片防水混凝土, 细部构造防水
	沉管法	防水混凝土, 涂料防水层, 细部构造防水
	地道箱涵顶进法	防水混凝土, 特殊构造防水
	渗漏水治理	裂缝、施工缝、后浇带堵水与补强, 变形缝堵水, 防水混凝土修补

11. 1. 4 子分部工程质量验收合格应符合下列规定:

- 1 子分部所含分项工程的质量均应验收合格;
- 2 质量控制资料应完整;
- 3 地下工程渗漏水检测应符合设计的防水等级标准要求;
- 4 观感质量验收应符合要求。

11. 1. 5 隧道防水工程验收(竣工)资料和记录应符合表 11. 1. 5 的规定。

表 11. 1. 5 隧道防水工程验收资料和记录

序号	项 目	验 收 资 料
1	防水设计	施工图及其设计交底记录、图纸会审记录、设计变更通知单和材料代用核定单
2	资质、资格证明	施工单位资质及施工人员上岗证复印件
3	施工方案	施工方法、技术措施、质量保证措施
4	技术交底	施工操作要求及安全等注意事项
5	材料质量证明	产品合格证、产品性能检测报告、材料进场检验报告
6	混凝土、砂浆质量证明	试配及施工配合比、抗渗性能和抗压强度试验报告
7	中间检查记录	施工质量验收记录、隐蔽工程验收记录、施工检查记录
8	检验记录	渗漏水检测记录、注浆效果检测记录、观感质量检查记录
9	施工日志	逐日施工情况
10	其他资料	事故处理报告、技术总结

11. 1. 6 隧道防水工程应对下列部位做好隐蔽工程验收记录:

- 1 防水层的基层;
- 2 防水混凝土结构和防水层被掩盖的部位;
- 3 施工缝、变形缝、后浇带等防水构造的做法;
- 4 管道穿过防水层的封固部位;
- 5 渗排水层、盲沟和坑槽;
- 6 结构裂缝注浆处理部位;
- 7 衬砌前围岩渗漏水处理部位;
- 8 基坑的超挖和回填。

11. 1. 7 隧道防水工程验收后, 应填写子分部工程质量验收记录, 随同工程验收资料分别由建设单位和施工单位存档。

11. 2 各类施工法隧道

11. 2. 1 明挖隧道防水工程的观感质量检查应符合下列要求:

- 1 防水混凝土应密实, 表面应平整, 不得有露筋、蜂窝等缺陷, 裂缝宽度不得大于 0. 2mm, 并不得贯通;
- 2 水泥砂浆防水层应密实、平整、粘结牢固, 不得有空鼓、裂纹、起砂、麻面等缺陷;
- 3 卷材防水层接缝应粘结牢固、封闭严密, 防水层不得有损伤、空鼓、皱折等缺陷;
- 4 涂料防水层应与基层粘结牢固, 不得有脱皮、流淌、鼓泡、露胎、皱折等缺陷;
- 5 施工缝、变形缝、后浇带、穿墙管、埋设件、预留通道接头、桩头、孔口、坑、池等防水构造应符合设计要求。

11. 2. 2 明挖隧道排水系统应不淤积、不堵塞, 确保排水畅通。

11. 2. 3 明挖隧道主体结构施工前, 基坑施工质量表观检查应符合下列要求:

- 1 地下水水位低于坑底, 底板作业面无积水;
- 2 分离式衬砌隧道的围护结构表面应无线流、无漏泥;
- 3 复合式衬砌隧道的围护结构表面应无滴漏, 表面平整;

4 叠合式衬砌隧道宜采用地下连续墙围护，墙面应达到二级防水标准，墙体接缝应无渗漏，无可见夹泥。

11.2.4 矿山法隧道防水层的施做基面应坚实、平整、圆顺，无渗漏水现象。

11.2.5 矿山法隧道防水层的检查，应按表11.2.5的规定进行检测。

表11.2.5 矿山法隧道防水层质量检验规定

项目	检测项目	规定	检查频率	检查方法
防水板	防水板性能	符合设计要求或《地下工程防水技术规范》GB 50108	每批抽查	检查报告、质量评定记录
	铺挂情况		每 100m ² 抽查 1 处，每处 10m ² ，但不少于 3 处	观察检验
	防水板接缝		按焊缝数量 5% 抽查，每条焊缝为 1 处，但不少于 3 处	双焊缝间空腔内充气检查
	搭接宽度			尺量检查
自由基反应型 喷膜 防水层	材料性能	符合设计要求	每批抽查	检查报告、质量评定记录
	防水膜厚度		每 100m ² 抽查 1 处，每处 10m ² ，但不少于 3 处	切割法或针探法
	防水膜质量			观察检验

11.2.6 防水混凝土的检查，应按表11.2.6的规定进行检测。

表11.2.6 防水混凝土质量检验规定

检测项目	规定	检查频率	检查方法
原材料	符合设计要求或《地下工程防水技术规范》GB 50108	每批抽查	检查报告
力学性能		每 100m ³ 抽查 1 处，每处 10m ² ，但不少于 3 处	抗压试验报告
抗渗性			抗渗试验报告
抗冻性			抗冻试验报告
隐蔽工程		每缝	观察检查和检查隐蔽工程验收记录

11.2.7 衬砌接缝防水的检查，应按表11.2.7的规定进行检测。

表11.2.7 衬砌接缝防水质量检验规定

检测项目	规定	检查频率	检查方法
防水材料性能	符合设计要求或《地下工程防水技术规范》GB 50108	每批抽查	检查出厂合格证、质量检验报告和进场抽样试验报告
隐蔽工程		每缝	观察检查和检查隐蔽工程验收记录
接缝处混凝土		每缝	观察检查

11.2.8 矿山法隧道排水工程质量的检查，应满足以下要求：

- 1 隧道排水的施工质量检验数量应按10%抽查，其中按10延长米为1处，且不得少于3处；
- 2 隧道排水系统必须通畅，并满足设计要求，宜采用观察检查或尺量检验。

11.2.9 盾构法隧道防水工程主控项目的检查，应按表11.2.9的规定进行检测。

表11.2.9 盾构法隧道防水工程主控项目质量检验规定

项目	检测项目	规定	检查频率	检查方法
管片混凝土	防水混凝土抗压强度	符合设计要求	每5环制一组 每10组抽一组	检查报告、质量评定记录
	防水混凝土抗渗等级		每10环制一组 每10组抽一组	
	防水混凝土专用外防水涂层、则增加涂料性能指标氯离子扩散系数		整条隧道或单项工程检测一组	
管片接缝	密封垫	符合设计要求或《高分子防水材料第3(4)部分》GB 18173.3(4)	整条隧道或每500延长米检测一次	检查产品合格证、质保单、检测报告
	嵌缝材料			
隧道与井接头与连接通道接头	密封材料	符合设计要求或《地下防水工程质量验收规范》GB 50208	整个接头检测一次	检查产品合格证、质保单、检测报告
	塑料防水板(或聚合物水泥、聚合物砂浆)			

11. 2. 10 盾构法隧道的一般项目应按表11. 2. 10的规定进行检测。

表11. 2. 10 盾构法隧道防水工程一般项目质量检验规定

项目	检测项目	规定	检查频率	检查方法
管片混凝土	管片混凝土结构表面裂缝、缺损、湿渍	《盾构法隧道施工与验收规范》GB 50446	全隧道或任意100m ²	观察检查隧道衬砌渗漏水检测值 隐蔽工程验收记录 预制管片合格证
	单块检漏	渗水厚度 ≤管片保护层厚	每50环抽查2块	检查单块管片检漏报告
管片接缝	管片接缝密封垫防水材料与其他传力衬垫、缓冲材料的施工质量	符合设计要求	整条隧道	隐蔽工程验收记录
	嵌缝作业、手孔封堵作业质量			
隧道与井接头与连接通道接头	井、连接通道接头渗水量	《地下防水工程质量验收规范》GB 50208	每个接头 每个通道	检查隐蔽工程验收记录 渗漏量测定检查 观察检查
	井接头防水作业			
	连接通道防水作业			

11. 2. 11 沉管法隧道OMEGA止水带施工完成后, 应进行防水效果检测, 检测方法采用注水加压法, 其中检漏水压值按照下列两种方法确定:

- 1 以底板迎水面所处水头高度乘以系数1. 2作为检漏水压;
- 2 以管段底板迎水面水头高度加5m的水头高度作为检漏水压。

11. 2. 12 沉管法隧道金属板防水层焊缝不得有裂纹、未熔合、夹渣、焊瘤、咬边、烧穿、弧坑、针状气孔等缺陷。

11. 2. 13 沉管法隧道防水主控项目的质量检验, 应符合表11. 2. 13的规定。

表11. 2. 13 沉管法隧道防水主控项目质量检验

检测项目		规定	检查数量		检验方法
			范围	次数	
管段混凝土	强度等级	符合设计要求	200m ³	1	检查抗压、抗渗试验报告
	抗渗等级		500m ³		
	氯离子扩散系数		整条隧道	1~2	检查氯离子扩散系数试验报告
管段接头	GINA止水带性能指标	《高分子防水材料第2部分》GB 18173.2的相关规定	整条隧道	1	检查出厂合格证、质量检验报告、试样抽检试验报告
	OMEGA性能指标		整条隧道	1	
	OMEGA止水带密封装置检漏	检测压力为接头底板处历史最高水位加5m的水头	每个接头	1	对预留检漏管压水试验

11.2.14 沉管法隧道防水一般项目的质量检验,应符合表11.2.14的规定。

表11.2.14 沉管法隧道防水一般项目质量检验

检测项目		规定	检查数量		检验方法
管段接头	GINA止水带安装作业	符合设计要求	范围	次数	观察检查
	OMEGA止水带安装作业		每个接头	1	

11.2.15 顶管、箱涵隧道完工后,宜对其接头进行检漏试验,并检测顶管隧道施工接口的允许偏差,其允许偏差值应符合表11.2.15的规定。

表11.2.15 顶管施工接口的允许偏差

检 验 项 目		允许偏差或允许值	检查数量		检验方法	
			范围	点数		
相邻管间错口 (mm)	钢管	10%壁厚且 ≤ 2	每个接口	1点	尺量	
	混凝土管	15%壁厚且不大于15				
对顶时两端错口(mm)		混凝土管	50	每个接口	1点	尺量
橡胶止水圈(mm)		不脱出、轴向位移 < 6		每个接口	4点	探尺
接口内表面(mm)		无渗漏		每个接口	整环	目测

11.2.16 隧道支护工程的地下连续墙墙面、墙缝渗漏水检验,应符合表11.2.16的规定。

表11.2.16 地下连续墙墙面、墙缝渗漏水检验

检测项目		规定	检查数量		检验方法
			范围	点数	
墙面渗漏	分离墙	无渗流	每幅墙段	全数	尺量、观察检查和检查隐蔽工程验收记录
	单层墙或叠合墙	无滴漏和小于防水二级标准的湿迹			
墙缝渗漏	分离墙	仅有少量夹泥和渗水			观察检查和检查隐蔽工程验收记录
	单层墙或叠合墙	无可见夹泥和渗水现象			

11.3 其他隧道的专项防水工程验收

11.3.1 水工隧洞工程质量检验应包括施工准备检查,中间产品与原材料质量检验,止排水设施及预埋件质量检查,单元工程质量检验,外观质量检验及防水专项质量检验等。工程质量检验的项目和标准应符合现行行业标准《水工混凝土试验规程》DL/T 5150、《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准》DL/T 5113和设计技术要求的规定。

11.3.2 巷道排水工程完工后,应对全部工作水泵和备用水泵进行1次联合排水试验,验证排水能力符合设计要求。巷道注浆后宜通过

放水或压水试验来进行验收。

- 1 巷道剩余涌水量可采用打检查孔做放水试验的方法来确定,放水试验时,注浆后巷道剩余涌水量应不大于 $10\text{m}^3/\text{h}$ 时为合格;
- 2 压水试验时,注浆后单位吸水率不超过 $0.5\text{L}/\text{dm}^2\sim 1\text{L}/\text{dm}^2$ 。

11.3.3 海底隧道工程的防腐与防水质量检验应符合国家现行标准《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTG/T B07-01,《混凝土结构耐久性评定标准》CECS 220和设计技术要求的规定。

11.3.4 严寒地区隧道工程混凝土施工时,应增加不少于2组与结构同条件养护的施工试件,此种试件应在解冻后方可检测防水性能指标。

11.3.5 隧道注浆防水工程注浆效果质量检验应符合下列规定:

1 预注浆检查标准:应在分析资料的基础上,采取钻孔取芯法和压水检测对注浆效果进行检查。根据不同的隧洞,应以满足能够开挖的目的作为检查标准。也可用检查孔压水透水率小于 1Lu ,岩芯获得率 $\geq 85\%$ 作为检查标准。

2 衬砌前围岩注浆检查标准应在分析资料的基础上,采取钻孔取芯法和压水检测对注浆效果进行检查。根据不同的隧洞,应以满足隧洞喷锚支护和衬砌施工条件和施工质量作为检查标准。也可用每 30m 长渗漏水洞段,渗漏水总量不大于 $3\text{L}/\text{s}$,单点集中出水点不大于 $0.4\text{L}/\text{s}$ 作为检查标准。

3 回填注浆检查标准:检查孔应布置在顶拱中心线脱空较大和灌浆情况异常的部位,孔深应穿透衬砌再深入围岩 10cm ,有压隧洞 $10\text{m}\sim 15\text{m}$ 宜布置1个或1对检查孔,无压隧洞的检查孔可减少。芯样检查浆液结石充填饱满密实,向检查孔内注入水灰比为2:1的水泥浆,压力与灌浆压力相同,初始 10min 内注入浆量不大于 10L 为合格。

4 衬砌内注浆检查标准:衬砌内注浆质量检查,可采用钻孔压水与钻孔取芯两种方法检查,依据混凝土裂缝长度的3%进行布置钻孔压水或取芯。芯样检查浆液结石充填饱满密实,检查孔压水透水率宜小于 0.1Lu 。

5 衬砌后围岩注浆检查标准:检查孔为衬砌围岩注浆孔总数的3%芯样检查浆液结石充填饱满密实、检查孔压水透水率可小于 1Lu 。

11.3.6 隧道工程出现渗漏水时,应及时进行注浆等专项治理,达到设计的防水等级标准要求后方可验收。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB 50082

《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086

《地下工程防水技术规范》GB 50108

《地下防水工程质量验收规范》GB 50208

《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300

《盾构法隧道施工与验收规范》GB 50446

《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448

《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476

《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596

《连续热镀锌钢板及钢带》GB/T 2518

《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB 8923

《建设用砂》GB/T 14684

《建设用卵石、碎石》GB/T 14685

《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046

《高分子防水材料 第2部分 止水带》GB 18173.2

《高分子防水材料 第3部分 遇水膨胀橡胶》GB 18173.3

《高分子防水材料 第4部分 盾构隧道密封垫》GB 18173.4

《膨润土》GB/T 20973
《混凝土膨胀剂》GB 23439
《无机防水堵漏材料》GB 23440

《聚合物水泥防水涂料》GB/T 23445
《预铺/湿铺防水卷材》GB/T 23457
《高分子增强复合防水片材》GB/T 26518
《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690
《混凝土拌合用水》JGJ 63

《喷涂聚脲防水工程技术规程》JGJ/T 200
《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221
《水工建筑物抗震设计规范》DL 5073
《水电水利基本建设工程单元工程质量评定标准》DL/T 5113
《水工混凝土试验规程》DL/T 5150

《橡胶密封件给、排水管及污水管道用接口密封圈材料规范》HG/T 3091
《砂浆、混凝土防水剂》JC 474
《顶进施工法用钢筋混凝土排水管》JC/T 640
《软式透水管》JC 937
《聚合物水泥防水砂浆》JC/T 984

《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》JC/T 1041
《丙烯酸盐灌浆材料》JC/T 2037
《聚氨酯灌浆材料》JC/T 2041
《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTG/T B07-01
《混凝土结构耐久性评定标准》CECS 220

中国工程建设协会标准

隧道工程防水技术规范

CECS 370: 2014

条文说明

1 总则

1.0.1 隧道主要是指在地下挖掘或凿山建筑的通道，一般位于地下或山体中。隧道工程不仅受到地下水的渗透作用，而且有很多隧道需要具备过水能力；如果防水问题处理不好，致使外部水渗入隧道内或者隧道内的水渗出，进而对隧道工程的安全造成影响。随着我国隧道建设需求的高速发展，为适应我国隧道建设的需要，规范各行业隧道工程防水技术，使新建、续建、改建的隧道工程能合理正常使用，充分发挥其经济效益、社会效益，针对隧道工程的防水设计、施工等内容做出相应规定是极为必要的。

1.0.3 本条强调了新材料、新技术、新工艺应经工程实践检验，符合有关安全及功能要求，并经相关专业机构鉴定、评审、检验合格，方可推广应用。

2 术语

根据《工程建设标准编写规定》(建标[2008]182号)规定：标准中采用的术语和符号，当现行标准中尚无统一规定，且需要给出定义或涵义时，可独立成章，集中列出。按照这一规定，将本规范中尚未在其他国家标准、行业标准中规定的，是本规范首次提出的术语及下列两种情况的术语共26条，合列为本章，并给出定义：

- (1)虽在国家标准、行业标准中出现过这一术语，但人们比较生疏的。
- (2)现行的国家标准、行业标准中虽有类似术语，但内容不完全相同或容易产生歧义的。

3 基本规定

3.0.1 由于隧道工程多位于地下或山体内，工程和水文地质的条件对其设计和施工起着重要的影响，因此，应在前期做好相关的勘察工作。隧道的水害是由洞内外的多种因素引起的，不可能靠单一的方法解决，防水应遵循“防、截、堵”相结合的原则。刚性防水材料 and 柔性防水材料有着各自的使用条件和性能特点，为了取得最佳的防水效果，应根据工程情况结合使用，如结构主体可采用防水混凝土，细部构造处的一些部位和主体结构加强防水层可采用柔性防水材料。排水措施不仅不能对防水结构的防水等级造成不利影响，而且要确保地质和环境的安全。

3.0.3 本条依据现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108中的有关规定确定了隧道工程防水等级。

3.0.4 隧道工程的种类较多,使用环境和要求各不相同,因此应充分考虑工程对防水的切实需求进行设计;避免防水等级不足所造成的使用维修困难,也应避免过度要求高指标而造成建设成本增加。

3.0.5 隧道工程根据其位置的不同,会受到地表水、地下水和毛细管水等不同种类的作用。在人为活动引起水文地质条件改变较大的条件下修建隧道工程时,应特别考虑其对防水设计的影响。在新建隧道设计和隧道改造设计中,均应按照“防、截、堵”结合的原则,进行防水设计的同时,需比一般地下工程重视排水设计;为确保隧道工程的正常使用,对于高出设计地面标高隧道结构部分设定了不低于500mm设防高度的要求。

3.0.6 混凝土自防水结构作为工程主体的防水措施已得到广泛应用,在隧道工程的建设中混凝土作为主体结构的主要材料应具备防水能力,同时可根据工程的防水等级要求采取其他防水措施综合设防。

3.0.7 本条规定了隧道工程中应加强防水措施的部位和构件,这些部位和构件是设计中设防的重点。

3.0.8 本条明确规定了隧道工程中应考虑防倒灌和防冻措施的工程部位。根据现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176中的相关规定:最冷月平均温度达到 $-10^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ 时就属于寒冷地区。参考其标准,当环境平均温度达到 $-10^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ 时认为是寒冷环境,平均气温小于 0°C 时会导致排水沟出现冰冻造成排水不畅,因此应采取防冻措施。

3.0.9 本条参考了现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108中的相关规定编写。其中表3.0.9-2“工程部位”一行中的“衬砌”、“内衬”均改为“二衬”,这样对暗挖结构来说,更为确切。在进行明挖法隧道和暗挖法隧道防水设防要求设计时,应以结构物的防水等级作为依据,虽然结构的使用功能、使用年限、水文地质、结构形式、环境条件、施工方法及材料性能等因素不作为设计的直接依据,但是对结构物的防水效果会产生影响,在设计时应综合考虑。

3.0.10 本条规定了侵蚀性环境中防水材料的耐侵蚀专项要求。在隧道工程中存在着各种酸、碱、盐类腐蚀性介质,这些介质对建筑物和构筑物的构配件有很强的腐蚀破坏作用,应按现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046中的相关规定执行。混凝土和水泥砂浆宜采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥,地下结构或在弱腐蚀条件下,也可选用矿渣硅酸盐水泥或火山灰硅酸盐水泥。受碱作用的混凝土和水泥砂浆不得选用高铝水泥或以铝酸盐成分为主的膨胀水泥,不得采用铝酸盐类膨胀剂。对硫酸盐腐蚀环境中抗硫酸盐硅酸盐水泥可用于硫酸根离子含量不大于 2500mg/L 的液态介质;高抗硫酸盐硅酸盐水泥可用于硫酸根离子含量不大于 8000mg/L 的液态介质。混凝土的砂石骨料不得选用具有碱骨料反应的碱性骨料。抗渗等级不低于P8的密实混凝土可用于浓度不大于15%氢氧化钠作用的部位;采用铝酸三钙含量不大于9%的普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥,且抗渗等级不低于P12的密实混凝土可用于浓度不大于22%氢氧化钠作用的部位。聚合物水泥砂浆的品种可选用氯丁胶水泥砂浆、聚丙烯酸酯乳液水泥砂浆和环氧乳液水泥砂浆;聚合物水泥砂浆可用于盐类介质、中等浓度的碱液和酸性水等介质作用的部位。聚乙烯、聚丙烯和聚丙烯塑料不得用于高浓度氧化性酸作用的部位。树脂品种可选用环氧树脂、不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂、呋喃树脂等。沥青类材料可用于中等浓度及以下的酸、碱和盐类介质作用的部位,不得用于有机溶剂作用的部位,不得用于高温和有明火作用的部位。用于酸性介质环境时,宜选用氯化橡胶、聚氨酯、环氧、聚氨酯酯丹、高氯化聚乙烯、氯磺化聚乙烯、丙烯酸聚氨酯、丙烯酸环氧和环氧沥青、聚氨酯沥青等涂料;用于弱酸性介质环境时,可选用醇酸涂料。用于碱性介质环境时,宜选用环氧涂料,不得选用醇酸涂料。

3.0.11 隧道工程一般比较长,如果结构的刚度较小,采用混凝土等刚性防水材料就容易导致结构开裂形成渗水通道;振动也容易造成结构出现拉应力从而引发开裂,所以在防水材料的选择时,需要根据计算的结构变形量选用延伸率大的柔性防水材料。

3.0.12 本条规定了隧道工程防水设计的主要内容,其中“质量保证措施”是指为满足防水设防要求的基本管理措施与施工措施。

4 混凝土结构自防水

4.1 一般规定

4.1.1 混凝土的防水性能主要受原材料和配合比的影响,适当的掺合料能够有效提高混凝土的密实度,外加剂的使用不仅能够改善混凝土的和易性、提高密实度,而且能够降低水胶比、提高混凝土的强度和耐久性。从抗渗性能、强度以及耐久性等方面考虑,防水混凝土不仅要达到P6的抗渗等级,而且强度等级不应低于C30。

4.1.2 一般情况下,施工现场的混凝土生产、浇筑和养护条件相比试验室的条件要差,相应的混凝土质量也会比试验室的标准试件有所降低,施工现场影响混凝土抗渗性能的因素较多且难以控制;因此在进行施工配合比试验时,试配混凝土的抗渗等级应比设计要求提高一级(0.2MPa)。

4.1.3 隧道工程所处的环境较为复杂,因此在设计防水混凝土时需要考虑的性能较多,本规范在强度、抗渗、抗冻等性能方面给出了设计指标,而对防水混凝土的耐磨、抗腐蚀性能的设计未做详细说明,应结合环境和隧道工程的需求,在国家现行相关标准的指导下进行设计。

4.1.4 混凝土的受冻破坏和侵蚀破坏与水的渗透有着密切的关系,因此在寒冷、侵蚀环境中提高混凝土的抗渗等级有利于提高混凝土

的耐久性能。在寒冷及严寒地区的隧道衬砌经常与冰冻接触，当气温低、昼夜温差大时，在冻融循环作用下，其表面剥蚀现象比一般地区严重，加之侵蚀作用的影响也会加重混凝土的破坏。因此本条参考《水工混凝土结构设计规范》DL/T 5057中的相关要求，选择了严寒地区年冻融循环次数小于100次时严重受冻部位的混凝土抗冻等级标准F300作为冻融侵蚀环境中防水混凝土的抗冻标准。

4.1.5 本条依据现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108中的相关内容进行规定，围岩等级按现行国家标准《工程岩体分级标准》GB 50218中的相关规定划分，土层可按IV级围岩考虑，对于III级及以上围岩可不设防水混凝土，需要设防水混凝土时可适当降低标准。

4.1.6 随着混凝土技术的提高，越来越多的活性矿物掺合料被用于配制混凝土，实践表明，合理使用活性矿物掺合料在保证强度的前提下不仅能够提高混凝土的综合性能，而且对于降低水化热和抑制开裂都有积极的作用。水灰比和水泥用量是决定混凝土质量的主要因素，国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《水工混凝土结构设计规范》DL/T 5057、《水工混凝土结构设计规范》SL 191、《地下工程防水技术规范》GB 50108、《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299、《客运专线铁路隧道工程施工技术指南》TZ 214从混凝土耐久性能、抗渗性能考虑均提出了C30混凝土所需的水泥用量下限和水胶比上限。活性矿物掺合料已经成为混凝土的重要组成部分被广泛应用，大量工程经验表明掺入一定比例的矿物掺合料有助于提高混凝土的综合性能。因此本规范在参考了上述规范的同时，没有选择水泥用量作为控制指标，而是选择了胶凝材料总量作为控制指标，同时选取了数值较高的 $320\text{kg}/\text{m}^3$ 作为最小用量标准，并鼓励使用适量的活性矿物掺合料以提高混凝土的综合性能。选择水胶比0.50作为一般情况的上限值，但对于水泥比例较高或者不使用掺合料的情况，水胶比可适当提高，但不得超过0.55。砂率是影响混凝土和易性的重要因素，为保证防水混凝土在施工中容易振捣密实设定了砂率的下限值。除了施工所引起的裂缝之外，最常见的是干燥收缩引起的混凝土裂缝。因此，应该尽量选择可以降低混凝土干燥收缩的材料和配合比。由于温度原因而产生的裂缝最令人担心，所以要防止温度裂缝的产生。就混凝土的质量而言，泌水往往会在混凝土中产生透水通道，含气量的增大也会降低混凝土的强度及防水性，干燥收缩率增加会提高发生裂缝的可能性，所以对泌水量、含气量及干燥收缩率作出规定。本条还参考了日本混凝土防水的相关规范，对含气量、干缩率和泌水量进行了上限规定。干缩率的试验龄期宜选择60d以上的长龄期，但不得低于28d。根据混凝土的设计理念，降低用水量和提高粗骨料用量都是有效提高混凝土性能的方法。

4.1.7 防水混凝土结构底板的垫层应为结构提供稳定的基础，其刚度、强度和变形等性能应满足结构设计的要求。经试验，至少需要100mm厚度的垫层才能够满足结构要求，而当遇到弱土层基础时，其承载力和刚度的不足使得需要增加混凝土垫层的厚度。

4.1.8 防水混凝土能够防水，除了混凝土致密、孔隙率小、开放性孔隙少以外，还需要一定的厚度。考虑到现场施工的不利因素和钢筋的影响，把防水混凝土结构的最小厚度定为250mm。一般钢筋混凝土工程，都是以混凝土裂缝宽度0.2mm进行设计的。我们把这一点作为本条的制定依据。关于迎水面钢筋保护层厚度则参考了我国《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476中的规定，根据隧道工程的设计使用年限、环境类别、环境作用等级等选取，未统一规定成不小于50mm或其他限值。

4.1.10 混凝土开裂会直接造成防水混凝土抗渗性能降低，甚至形成渗透通道，因此应采取措施避免混凝土的开裂问题。掺入纤维是有效的方法之一。

4.1.11 碱骨料反应引起混凝土破坏已成为普遍存在的问题，本条依据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010中的相关规定，对防水混凝土内总碱量进行了规定。

4.1.12 氢离子含量高会导致混凝土中的钢筋锈蚀，是影响结构耐久性的主要危害之一。本条选取了最为严格的0.1%作为系数，对于使用掺合料配制的混凝土来说，如果以水泥总量作为控制基数，标准过于苛刻；因此，本条以胶凝材料总量作为控制基数，比《混凝土结构设计规范》GB 50010中的标准适当有所放宽，但仍是比较高的要求能够确保工程质量。

4 混凝土结构自防水

4.1 一般规定

4.1.1 混凝土的防水性能主要受原材料和配合比的影响，适当的掺合料能够有效提高混凝土的密实度，外加剂的使用不仅能够改善混凝土的和易性、提高密实度，而且能够降低水胶比、提高混凝土的强度和耐久性。从抗渗性能、强度以及耐久性等方面考虑，防水混凝土不仅要达到P6的抗渗等级，而且强度等级不应低于C30。

4.1.2 一般情况下，施工现场的混凝土生产、浇筑和养护条件相比试验室的条件要差，相应的混凝土质量也会比试验室的标准试件有所降低，施工现场影响混凝土抗渗性能的因素较多且难以控制；因此在进行施工配合比试验时，试配混凝土的抗渗等级应比设计要求提高一级(0.2MPa)。

4.1.3 隧道工程所处的环境较为复杂，因此在设计防水混凝土时需要考虑的性能较多，本规范在强度、抗渗、抗冻等性能方面给出了设计指标，而对防水混凝土的耐磨、抗腐蚀性能的设计未做详细说明，应结合环境和隧道工程的需求，在国家现行相关标准的指导下进行设计。

4.1.4 混凝土的受冻破坏和侵蚀破坏与水的渗透有着密切的关系，因此在寒冷、侵蚀环境中提高混凝土的抗渗等级有利于提高混凝土的耐久性能。在寒冷及严寒地区的隧道衬砌经常与冰冻接触，当气温低、昼夜温差大时，在冻融循环作用下，其表面剥蚀现象比一般

地区严重,加之侵蚀作用的影响也会加重混凝土的破坏,因此本条参考《水工混凝土结构设计规范》DL/T 5057中的相关要求,选择了严寒地区年冻融循环次数小于100次时严重受冻部位的混凝土抗冻等级标准F300作为冻融侵蚀环境中防水混凝土的抗冻标准。

4.1.5 本条依据现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108中的相关内容进行规定,围岩等级按现行国家标准《工程岩体分级标准》GB 50218中的相关规定划分,土层可按IV级围岩考虑,对于III级及以上围岩可不设防水混凝土,需要设防水混凝土时可适当降低标准。

4.1.6 随着混凝土技术的提高,越来越多的活性矿物掺合料被用于配制混凝土,实践表明,合理使用活性矿物掺合料在保证强度的前提下不仅能够提高混凝土的综合性能,而且对于降低水化热和抑制开裂都有积极的作用。水灰比和水泥用量是决定混凝土质量的主要因素,国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《水工混凝土结构设计规范》DL/T 5057、《水工混凝土结构设计规范》SL 191、《地下工程防水技术规范》GB 50108、《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299、《客运专线铁路隧道工程施工技术指南》TZ 214从混凝土耐久性能、抗渗性能考虑均提出了C30混凝土所需的水泥用量下限和水胶比上限。活性矿物掺合料已经成为混凝土的重要组成部分被广泛应用,大量工程经验表明掺入一定比例的矿物掺合料有助于提高混凝土的综合性能,因此本规范在参考了上述规范的同时,没有选择水泥用量作为控制指标,而是选择了胶凝材料总量作为控制指标,同时选取了数值较高的 $320\text{kg}/\text{m}^3$ 作为最小用量标准,并鼓励使用适量的活性矿物掺合料以提高混凝土的综合性能。选择水胶比0.50作为一般情况的上限值,但对于水泥比例较高或者不使用掺合料的情况,水胶比可适当提高,但不得超过0.55。砂率是影响混凝土和易性的重要因素,为保证防水混凝土在施工中容易振捣密实设定了砂率的下限值。除了施工所引起的裂缝之外,最常见的是干燥收缩引起的混凝土裂缝。因此,应该尽量选择可以降低混凝土干燥收缩的材料和配合比。由于温度原因而产生的裂缝最令人担心,所以要防止温度裂缝的产生。就混凝土的质量而言,泌水往往会在混凝土中产生透水通道,含气量的增大也会降低混凝土的强度及防水性,干燥收缩率增加会提高发生裂缝的可能性,所以要控制泌水量,含气量及干燥收缩率作出规定。本条还参考了日本混凝土防水的相关规范,对含气量、干缩率和泌水量进行了上限规定,干缩率的试验龄期宜选择60d以上的长龄期,但不得低于28d。根据混凝土的设计理念,降低用水量和提高粗骨料用量都是有效提高混凝土性能的方法。

4.1.7 防水混凝土结构底板的垫层应为结构提供稳定的基础,其刚度、强度和变形等性能应满足结构设计的要求。经试验,至少需要100mm厚度的垫层才能够满足结构要求,而当遇到弱土层基础时,其承载力和刚度的不足使得需要增加混凝土垫层的厚度。

4.1.8 防水混凝土能够防水,除了混凝土致密、孔隙率小、开放性孔隙少以外,还需要一定的厚度。考虑到现场施工的不利因素和钢筋的影响,把防水混凝土结构的最小厚度定为250mm。一般钢筋混凝土工程,都是以混凝土裂缝宽度0.2mm进行设计的,我们把这一点作为本条的制定依据。关于迎水面钢筋保护层厚度则参考了我国《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476中的规定,根据隧道工程的设计使用年限、环境类别、环境作用等级等选取,未统一规定成不小于50mm或其他限值。

4.1.10 混凝土开裂会直接造成防水混凝土抗渗性能降低,甚至形成渗透通道,因此应采取措施避免混凝土的开裂问题,掺入纤维是有效的方法之一。

4.1.11 碱骨料反应引起混凝土破坏已成为普遍存在的问题,本条依据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010中的相关规定,对防水混凝土内总碱量进行了规定。

4.1.12 氯离子含量高会导致混凝土中的钢筋锈蚀,是影响结构耐久性的主要危害之一,本条选取了最为严格的0.1%作为系数,对于使用掺合料配制的混凝土来说,如果以水泥总量作为控制基数,标准过于苛刻;因此,本条以胶凝材料总量作为控制基数,比《混凝土结构设计规范》GB 50010中的标准适当有所放宽,但仍是比较高的要求能够确保工程质量。

4.2 防水混凝土原材料

4.2.1 原则上符合国家标准的水泥均可用于配制防水混凝土,但是由于防水混凝土的抗压强度等级、抗渗性能和耐久性能较高,为确保工程质量,不应使用强度等级低于42.5MPa的水泥。当防水混凝土中需要外掺矿物掺合料时,为避免复合水泥中多种矿物掺合料之间的不良反应,宜采用硅酸盐或普通硅酸盐水泥。在受侵蚀介质或冻融作用时,应根据侵蚀介质的不同选择相应的水泥品种或矿物掺合料。过期或结块的水泥由于活性降低,用于配制防水混凝土容易导致强度、抗渗等级和耐久性能不满足要求,因此不允许使用。

4.2.3 混凝土中粗骨料越大,其与砂浆收缩的差值就越大,使砂浆粗骨料之间产生微细裂缝。这些裂缝的存在使混凝土的有效阻水截面显著减小,压力水容易透过。因此,防水混凝土的石子粒径不宜过大,以不超过40mm为宜。泵送防水混凝土中的粗骨料粒径应由泵管的管径决定,过大易造成堵塞。由于防水混凝土中的胶凝材料用量较高,使用粉细砂更易产生裂缝,因此应优先选用中砂。粗细骨料中的含泥量对混凝土的抗渗性能影响很大,粘土降低水泥与骨料的粘结力,尤其是颗粒粘土,体积不稳定,干燥时收缩,潮湿时膨胀,对混凝土有很大的破坏作用。因此防水混凝土施工时对骨料含泥量应严格控制。

4.2.5 根据工程的需求不同,为了改善防水混凝土的不同性能,可加入单一功能的外加剂,也可将多种功能的外加剂复合后加入,掺入的单一功能性外加剂或复合型外加剂应符合国家相关标准。减水剂主要包括高效减水剂和高性能减水剂,用于降低混凝土的水胶比,改善和易性。膨胀剂可以在一定程度上补偿混凝土的收缩变形,但在使用时应特别注意均匀性和膨胀量的控制。防水剂能够提高混凝土抗渗防水的能力,相比传统的防水剂,利用天然沸石配制的抗裂缓释防水剂还能够进一步减小混凝土的干缩,降低水泥水化热和抑制碱-骨料反应,在国内隧道、地铁等工程应用中取得了较好的防水效果。所使用的外加剂应结合工程材料进行相关品种和配合比的试验论证。

4.3 防水混凝土施工

4.3.2 防水混凝土的胶凝材料用量较高，水胶比较低，其粘性较大，必须通过机械搅拌方可搅拌均匀，且时间不宜过短。不同种类的外加剂与胶凝材料发生作用的时间不同，需要有针对性的设计搅拌时间。预先配制减水剂溶液有利于其提高计量精度和提升拌合效率。

4.3.3 对于运输导致的混凝土离析，应通过二次搅拌消除离析状态方可使用。针对施工中坍落度不满足要求时规定严禁加水，是为了保证原水胶比不变，否则会导致混凝土水胶比提高造成对强度和耐久性能的影响。可以加入同配比的净浆或加入减水剂。

4.3.4 隧道内衬混凝土结构侧墙模板不宜采用对穿螺栓固定，而建议采用大型整体钢模，并外加支撑体系固定。防水混凝土模板施工时应特别注意锚固件和连接件对混凝土防渗性能的影响，在局部应按本条规定严格执行。

4.3.5 防水混凝土不具备自密实特性时必须通过振捣保证其密实度，但是振捣时间应该根据混凝土自身的和易性确定，不宜过短也不可过长，否则都会产生混凝土密实性问题。防水混凝土如果具有自密实性能则严禁振捣，否则会导致泌水、离析的现象发生。

4.3.6 混凝土施工缝如果不进行处理将会形成渗水通道造成渗漏，经过专项处理的施工缝能够满足工程的防渗要求，但是增加了施工工艺的复杂性，而且施工不当同样会造成渗漏，所以混凝土施工缝的增加势必会增加渗漏水的概率，因此应尽量连续浇筑减少不必要的施工缝。必要的施工缝需要严格按照本条的规定执行，以提高结构的防水效果。

4.3.7 大体积混凝土结构与普通混凝土结构相比，结构内部水化热不易扩散导致内部温度高、表面温度低，在基础部位会受到基础的约束，这些都是导致大体积混凝土结构容易开裂的原因。防水混凝土体积过大时，结构不易散热，内部易出现较大的水化温升从而导致结构开裂造成渗透通道，因此应按大体积混凝土综合考虑，需要采取必要的温控措施。降低大体积混凝土的水化热峰值和延缓发热都是解决问题的方法。为此，可以在对结构早期强度要求不高时采用60d强度作为设计强度，延缓水化放热过程；或者直接采用低热、中热水泥，或掺入活性比水泥低的矿物掺合料。在施工过程中，降低原材料的温度，埋设冷却水管等方式都在隧道等大体积混凝土工程中广泛应用。

4.3.8 混凝土终凝后基本失去了塑性变形的能力，此后发生的变形都会导致混凝土出现开裂的风险。失水是导致混凝土干缩开裂的主要原因，高温则会导致混凝土内部温升过高，造成后期温降时产生较大的温度应力导致开裂；低温则不利于混凝土强度的增长，防水混凝土终凝后立即开始养护是必要的。混凝土的水化反应持续时间较长，一般会超过28d以上，但是早期反应较快，后期反应放缓，一般来说14d龄期时混凝土的强度增长可超过28d龄期的70%，在此之前应重视养护；14d龄期以后的混凝土并非不需要养护，具备条件的工程仍宜采取适当的养护措施。

4.3.9 应避免混凝土的金属件穿过混凝土在迎水面露出，混凝土与金属的接触面会由于混凝土的收缩变形出现细小的渗透通道；必须露出时要在迎水面采取防水措施。

4.3.10 防水混凝土冬季施工时，必须采取一定的技术措施。因为当混凝土温度在4℃时，强度增长速度仅为15℃时的1/2。当混凝土温度降到-4℃时，水泥水化作用停止，混凝土强度也停止增长。在严寒和寒冷地区预计日平均气温-10℃以上时，宜采用蓄热法；预计日平均气温-15℃~-10℃以上时可采用综合蓄热法或暖棚法；对风沙大，不宜搭设暖棚的仓面，可采用覆盖保温被下面布设暖气排管的办法；对特别严寒地区（最热月与最冷月平均温度差大于42℃），在进行低温季节施工时，要制订周密的施工方案。除工程特殊需要，日平均气温-20℃以下不宜施工。蒸汽加热法和电加热法，由于易使混凝土局部热量集中，故不宜在防水混凝土冬季施工中使用，如必须使用则应进行专项设计。

4.3.11 混凝土浇筑中断后时间过长会导致混凝土和易性显著降低，容易形成施工缝，因此应特别注意。

5 明挖法隧道

5.1 一般规定

5.1.1 根据围护结构与内衬之间的位置关系，可将隧道划分为复合式、叠合式、分离式和放坡开挖式四种衬砌构造形式；其中，复合式衬砌是指围护结构充当内衬结构的外模，施工时围护结构临时承受侧向水、土压力，使用阶段土压力共同承受，水压力由主体结构单独承受的结构形式；叠合衬砌是指围护结构充当内衬结构的外模且结构钢筋通过连接装置连接，新旧混凝土界面凿毛咬合使得围护结构与内衬叠合，使用阶段共同承受水土压力的结构形式；分离式衬砌是指围护结构与内衬之间留有一定间隔，围护结构仅作为施工阶段的临时支护，短期承受水土压力，使用阶段的水土压力均由主体结构承担的结构形式；放坡开挖式是指无围护结构的构造形式。

根据构造特点，复合式、分离式及放坡开挖式结构迎水面均应设置柔性全包防水层，其中放坡开挖及分离式围护结构对内衬结构的防水层几乎不影响，主要做“外防外贴（涂）”，也可以做“外防内贴”“内贴”于内衬结构的模板内侧；复合式衬砌由于无“外防外贴”的工作空间，则只能做“外防内贴”；叠合式衬砌就目前情况来说，侧墙不做柔性外防水层。

叠合衬砌这种形式与现行国家标准《地下工程防水技术规范》（GB 50108）中“地下工程结构迎水面应设置柔性全包外防水层”的规定稍有冲突，但鉴于行业内对于叠合衬砌在无腐蚀环境下的使用已有肯定结论，所以，本规范中允许在无腐蚀环境下采用叠合衬砌的构造形式。

5.1.2 明挖法隧道的水久结构混凝土均为模筑混凝土,其施工条件较好,抗渗等级按表4.1.5取值没问题;但对于围护结构,其施工有一定局限性,片面强调抗渗等级,对浇筑质量有局限性,故即使参与永久工作,其抗渗等级最高取到P8即可。

5.1.3 由于叠合衬砌结构地下墙与内衬之间用接驳器相连,侧墙难以设置柔性防水层,但可以设置刚性防水层。当叠合衬砌结构底板位于如砂性土层等强透水性土层中且有承压水时,底板应设置柔性防水层,防水层应与底板现浇混凝土粘结紧密不串水。

5.1.4 防水涂料能够在各种复杂结构面涂膜成型,适用于隧道顶板和放坡开挖及分离式衬砌的侧墙迎水面,防水卷材适用于隧道底板及侧墙,当隧道顶板上翻梁等凸起构造较少时也可铺设卷材。膨润土防水毯靠吸水膨胀止水,与混凝土结构之间属物理粘结,当隧道覆土较深且开洞较少时可以采用。塑料防水板由于与现浇混凝土的粘结不密实易串水,且防水板之间接缝质量难以控制,在明挖隧道中较少采用,只是在结构顶板有种植要求时,可用来防止植物根系穿刺。金属板防水层由于重量大,造价高,一般隧道工程中很少采用,但对于一些抗渗要求较高、受施工工艺限制并兼有防水防冲撞等功能需要的隧道工程也可采用金属板防水层。

5 明挖法隧道

5.1 一般规定

5.1.1 根据围护结构与内衬之间的位置关系,可将隧道划分为复合式、叠合式、分离式和放坡开挖式四种衬砌构造形式。其中,复合式衬砌是指围护结构充当内衬结构的外模,施工时围护结构临时承受侧向水、土压力,使用阶段土压力共同承受,水压力由主体结构单独承受的结构形式;叠合衬砌是指围护结构充当内衬结构的外模且结构钢筋通过接驳器连接,新旧混凝土界面凿毛咬合使得围护结构与内衬叠合,使用阶段共同承受水土压力的结构形式;分离式衬砌是指围护结构与内衬之间留有一定间隔,围护结构仅作为施工阶段的临时支护,短期承受水土压力,使用阶段的水土压力均由主体结构承担的结构形式;放坡开挖式是指无围护结构的构造形式。

根据构造特点,复合式、分离式及放坡开挖式结构迎水面均应设置柔性全包防水层,其中放坡开挖及分离式围护结构对内衬结构的防水层几乎不影响,主要做“外防外贴(涂)”,也可以做“外防内贴”(“内贴”于内衬结构的模板内侧);复合式衬砌由于无“外防外贴”的工作空间,只能做“外防内贴”;叠合式衬砌就目前情况来说,侧墙不做柔性外防水层。

叠合衬砌这种形式与现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108中“地下工程结构迎水面应设置柔性全包外防水层”的规定稍有冲突,但鉴于行业内对于叠合衬砌在无腐蚀环境下的使用已有肯定结论,所以,本规范中允许在无腐蚀环境下采用叠合衬砌的构造形式。

5.1.2 明挖法隧道的水久结构混凝土均为模筑混凝土,其施工条件较好,抗渗等级按表4.1.5取值没问题;但对于围护结构,其施工有一定局限性,片面强调抗渗等级,对浇筑质量有局限性,故即使参与永久工作,其抗渗等级最高取到P8即可。

5.1.3 由于叠合衬砌结构地下墙与内衬之间用接驳器相连,侧墙难以设置柔性防水层,但可以设置刚性防水层。当叠合衬砌结构底板位于如砂性土层等强透水性土层中且有承压水时,底板应设置柔性防水层,防水层应与底板现浇混凝土粘结紧密不串水。

5.1.4 防水涂料能够在各种复杂结构面涂膜成型,适用于隧道顶板和放坡开挖及分离式衬砌的侧墙迎水面,防水卷材适用于隧道底板及侧墙,当隧道顶板上翻梁等凸起构造较少时也可铺设卷材。膨润土防水毯靠吸水膨胀止水,与混凝土结构之间属物理粘结,当隧道覆土较深且开洞较少时可以采用。塑料防水板由于与现浇混凝土的粘结不密实易串水,且防水板之间接缝质量难以控制,在明挖隧道中较少采用,只是在结构顶板有种植要求时,可用来防止植物根系穿刺。金属板防水层由于重量大,造价高,一般隧道工程中很少采用,但对于一些抗渗要求较高、受施工工艺限制并兼有防水防冲撞等功能需要的隧道工程也可采用金属板防水层。

5.2 隧道外防水层设计

5.2.1 有机类涂料主要分反应型、水乳型和聚合物水泥三大类,反应型防水涂料中的自由基类是指以聚丙烯酸盐类防水涂料为代表的防水涂料;无机类涂料主要是水泥类无机活性涂料。

喷涂施工工艺能够更好地适应复杂的结构面(包括曲面),相对于传统手工涂刷,喷涂工艺具有喷涂厚度均匀、施工速度快,专业人员操作质量容易保障等诸多优势,是未来涂料施工的发展趋势。目前采用喷涂施工的主要有聚脲、改性沥青、聚丙烯酸盐类防水涂料材料等防水涂料。

5.2.4 防水涂料具有一定的厚度才能保证其防水功能,所以本条对各类涂料的厚度作了相应规定,便于设计时选用。

从水泥基渗透结晶型防水涂料的应用情况看,目前这类材料质量良莠不齐,且涂料需分多次涂刷,不同厂家的产品在一次涂刷时的厚度要求不一,因此,本规范按单位面积的总重量来控制材料用量。

5.2.5 根据隧道工程防水对涂料的要求和现有涂料的性能,在表5.2.5-1、表5.2.5-2中分无机涂料和有机涂料两大类,分别规定了其性能指标要求。隧道工程中无机涂料的防水一是要有可操作时间,可操作时间过短的涂料将不利于大面积防水涂料施工;二是要有一定的粘结强度,特别是在潮湿基面(基面饱和但无渗漏水)上,粘结强度一定要高;三是要具有优异的抗渗性,这是防水涂料最重要的性能。有机防水涂料的特点是有较好的伸长率,表5.2.5中的伸长率根据目前在地下工程中应用较广的几种防水涂料提出了这一指标值,考虑隧道工程的使用要求,此处提出的是浸水后的伸长率值。此外,无论有机涂料还是无机涂料,都应具有优异的耐水性,因为隧道工程中会有结构永久浸泡在地下水中,如涂料遇水产生溶胀现象,性能降低,就会失去其应有的防水功能。目前国内尚无适用于地下工程防水涂料耐水性试验的标准,表中的规定是根据地下工程使用要求制定的。表5.2.5-2中自由基反应型涂料主要指丙烯酸酯类防水涂料,“可操作时间”指标多针对涂料而言,需要确定涂料在发生固化之前的可供正常涂刷施工的时间,对于喷涂类防水材

料则不宜规定,故留空项。同时,考虑到丙烯酸盐喷膜潮湿面粘结强度及基面平整度等要素,故作为背水面涂层时,以有土工布载体为好。

5.2.6 喷涂类防水涂料是隧道工程外防水的一个发展方向,喷涂材料也在不断发展,如工程有大面积施工的可能,则可充分发挥喷涂施工的快捷、质量控制可靠等优势,但要注意各种防水材料对基面的要求。

5.2.7 现行行业标准《喷涂聚脲防水工程技术规程》JGJ/T 200中,将喷涂聚脲防水涂料分为I型、II型,而用于隧道或混凝土构筑物长期浸水工程部位时,选择II型。因此,在隧道工程就不再选择这两类涂料的I型产品。

5.2.7 现行国家标准《聚合物水泥防水涂料》GB/T 23445中,将聚合物水泥防水涂料分为I型、II型、III型,而用于隧道工程或混凝土构筑物长期浸水工程部位时,选用II型或III型。

5.2.11 本条归纳了在隧道工程广泛采用的高聚物改性沥青类防水卷材和合成高分子类防水卷材的主要品种。这些防水卷材既能直接和现浇混凝土“咬合”的卷材,又应能满足《预铺/湿铺防水卷材》GB/T 23457的相关要求。表5.2.11-2按卷材品种和使用卷材的层数,分别给出了卷材的最小厚度要求,供设计卷材防水层时选用。

5.2.12 按表5.2.12选择卷材防水层时要注意下列问题:

(1)SBS改性沥青防水卷材单层使用时,应选用聚酯毡胎,不宜选用玻纤毡胎;双层使用时,必须有一层聚酯毡胎。

(2)高分子自粘胶膜防水卷材厚度宜采用1.2mm的品种,在隧道防水工程中应用时,一般采用单层铺设,不宜小于1.5mm。这种防水卷材就是现行国家标准《预铺/湿铺防水卷材》GB/T 23457中预铺防水卷材(P类)的一种。

(3)除了“带自粘层的防水卷材”外,自粘类防水卷材已统一命名为“自粘聚合物改性沥青防水卷材”,分为聚酯毡胎体、无胎体两类。

5.3 隧道外防水层施工

5.3.1 本条归纳了各类防水层的基面要求。涂料施工前应对基层表面的缺陷和渗水进行认真处理。因为涂料尚未凝固时,如受到水压力的作用会使涂料无法凝固或形成空洞,形成渗漏水的隐患。基面干净、无浮浆,有利于涂料均匀涂敷,并与基面有一定的粘结力。

5.3.7 丙烯酸盐喷膜防水层厚度达到2mm以上才可保证防水功效,而聚丙烯酸盐喷膜防水层的厚度关键控制因素在基面平整度,对于较为粗糙的基面(如喷混凝土基面),一般喷膜厚度达到3mm以上才可保证形成覆盖完全的防水层,因此要求丙烯酸盐喷膜防水层厚度为3mm,以保证防水工程质量。

5.3.8 本条是为提高卷材与基面的粘结力而提出的统一要求。铺贴沥青类防水卷材前,为保证粘结质量,基面应涂刷基层处理剂(旧称“冷底子油”)。自粘聚合物改性沥青防水卷材,均为冷粘法铺贴,也有必要采用基层处理剂。合成高分子防水卷材采用胶粘剂冷粘法铺贴,当基层较潮湿时,有必要选用湿固化型胶粘剂或潮湿界面隔离剂。

5.3.9 本条中的第2、3款中的“粘结”对卷材来讲有两种含义:一是与铺设基面的粘结;二是与被保护的混凝土基面粘结。与铺设基面的粘结要求不高,仅满足卷材在水平面处平整,不褶皱,在垂直面处平整,自然下垂,在浇筑内衬混凝土时,卷材不会被冲走或破坏即可。而对于被保护的混凝土基面来说,则希望卷材尽一切可能与其满粘,且可靠、耐久为好。

5.3.10 为保证卷材防水层接缝的粘结质量,根据隧道工程防水的特点,提出了铺贴各种卷材搭接宽度的要求。

5.3.13 采用外防内贴法铺设卷材防水层的基面通常是混凝土结构的围护结构,围护结构可为喷锚支护或灌注桩、地下墙等。当基面不平整时,可以采用砖砌、网喷混凝土、木板等找平。预铺反粘施工技术可以使卷材与结构全粘结,若防水层局部受到破坏,渗水不会在卷材防水层与结构之间到处窜流。

5.3.14 本条分别规定了工程顶板采用机械或人工回填土时的混凝土保护层厚度,便于施工时操作。在防水层和保护层之间宜设置隔离层,如采用干铺油毡,以防止保护层伸缩破坏防水层。

侧墙采用软质材料保护层是为避免回填土时损伤防水层。软质保护材料可采用沥青基防水保护板或聚苯乙烯泡沫板等材料。采用预铺防水卷材(P类)施工时,可不作保护层。

5.3.15 膨润土防水材料只有与现浇混凝土结构表面密贴,才能遇水膨胀后对结构裂缝、疏松部位起到封堵修补作用,也不易出现窜水现象。

膨润土防水材料铺设在底板垫层表面时,注意雨季浸水的影响,建议做好临时施工排水与保护。

5.4 隧道混凝土结构防水细部构造

5.4.1 后浇带应在两侧混凝土干缩变形基本稳定后施工,混凝土的收缩变形一般在龄期为6周后才能基本稳定,因此规定“在两侧混凝土结构完成42d后浇筑施工”,在条件许可时,间隔时间越长越好。

补偿收缩混凝土是在混凝土中加入一定量的膨胀剂,使混凝土产生微膨胀,在有配筋的情况下,能够补偿混凝土的收缩,提高混凝土抗裂性和抗渗性。后浇带采用补偿收缩混凝土,是为了使新旧混凝土粘结牢固,避免出现新的收缩裂缝造成工程渗漏水的隐患。补偿收缩混凝土配合比设计,尚应满足防水混凝土的抗渗和强度等级要求,故规定补偿收缩混凝土的抗渗和强度等级高于两侧混凝土。

后浇带的两条接缝实际是两条施工缝，因此缝的处理应符合防水混凝土施工缝的处理规定。

5.4.2 穿墙管外壁与混凝土接缝是防水薄弱环节，穿墙管中部加上止水环可改变水的渗透路径，延长水的渗透路线，加遇水膨胀橡胶则可堵塞渗水通道，从而达到防水目的。针对目前穿墙管部位渗漏水较多的情况再增设一道嵌缝密封，以确保穿墙管部位的防水性能。另外，止水环的形状以方形为宜，以避免管道安装时所加外力引起穿墙管的转动。

5.4.3 近年来因桩头处理不好引起工程渗漏水的情况时有发生，分析其原因，主要是在以下几个部位形成的：

- (1)桩头钢筋与混凝土间；
- (2)底板与桩头间的施工缝；
- (3)混凝土桩身与地基土两者膨胀收缩不一致形成的缝隙。

因此本条规定了桩头所用防水材料性能，并强调桩头防水应与主体防水连成一体，形成整体防水性。本条列举的桩头防水构造是近年来应用较好的做法，供桩头防水设计时参考。

5.4.6 结构变形缝的概念很宽泛，在隧道工程中常用的有沉降缝、伸缩缝、诱导缝，也有兼沉降和伸缩功能的变形缝等。当结构设计预计变形量不大的变形缝，可选用有一定变形能力的外贴式及中埋式永久固定的止水带组合。当变形量较大时，可选用内装可卸式的止水带与中埋式止水带组合。随着材料技术的不断发展，能适用于变形缝的止水带越来越多，诸如可注浆式中埋止水带、止水带原理类似“O”型密封圈的嵌入式橡胶止水带等也可尝试使用。当埋深较浅，变形不大时，也可使用密封胶嵌缝止水。一般来说迎水面可选用低模量密封胶，而背水面采用高模量密封胶。

5.4.7 在其他有关标准中，结构侧墙的施工缝施工，有采用水泥净浆接浆的要求，但近年来的施工已不再使用类似方法了，因此本条不将其内容纳入。

5.4.8 目前施工缝中的止水材料发展很快，其中预埋注浆管的种类和使用方法就很多，特别是注浆浆液的选择十分重要。具体如何使用，还需要工程技术人员在工程实践中进一步研究、探索。

5.5 隧道排水

5.5.1 本节所讨论的排水是指采用疏导的方法将隧道工程所处环境中的地下水有组织地经排水系统排出，以削弱水对隧道结构的压力，减小水对结构的渗透，从而辅助地下工程达到防水的目的。因此，隧道工程在进行防水方案选择时，可根据工程所处的环境地质条件，适当考虑排水措施。明挖隧道工程的内部排水主要以排水明沟及排水泵房为主。

5.5.2 当排水口标高确定无法高于最高洪(潮)水位标高时，为使地下工程的地下水能顺利排出，应采取防倒灌措施。

5.5.3 本条增加了渗排水方法的适用范围。对地下水较丰富、土层属于透水性砂质土的地基，应设置渗排水层；对常年地下水位低于建筑物底板，只有丰水期内水位较高，土层为弱透水性的地基，可考虑盲沟排水。

本条介绍了渗排水层的构造、施工程序及要求。设计渗排水层时，应合理选择排水材料。

渗排水法是将排水层渗出的水，通过集水管流入集水井内，然后采用专用水泵机械排水。集水管可采用无砂混凝土集水管或软塑管，可根据工程的排水量大小、造价等因素进行选用。

5.6 基坑工程防排水

基坑工程防排水不仅关系到明挖法施工期间的工程安全和环境影响，也直接关系到永久结构的防水施工质量。因此本节对基坑工程的围护结构设计、施工以及基坑开挖、回筑等环节分别作技术规定。

5.6.1 我国很多地区的基坑施工习惯采用间隔桩围护、坑外降水的方法，此方法用于地下水位高、地层软弱的地区，可能造成严重的地面沉降，一旦遇到停电等事故，则会威胁到基坑安全。因此，富水软土地区基坑应以围护结构止水为主，结合坑内降水、积水明排等措施，保证坑底稳定、作业面干燥，减少围护结构位移。另外一方面，城市中施工的基坑工程越来越多，大量抽水已经造成了地下水位降低、地面沉降等问题，从保护环境的角度考虑，基坑围护结构也以封闭、止水为宜。

5.6.2 在细颗粒的砂性地层中采用排桩加止水帷幕的围护结构，如桩间土未经处理，一旦止水帷幕局部失效会产生桩间土流失，形成空洞，导致止水帷幕开裂、折断，渗漏进一步扩大，形成险情。同时，桩间土的流失会造成真正的渗漏点难以准确判断，降低坑外注浆堵漏成功率。

5.6.4 钻孔灌注桩施工时，如发生坍孔，会影响邻桩和隔水帷幕施工。

5.6.5 目前地下连续墙接头形式主要包括：各种形状的锁口管接头(包括圆形、半圆形、眼镜形等)，止水钢板接头，工字钢接头，橡胶止水带接头，铰接接头等，其中锁口管接头不具有止水构造，防水效果较差，难以满足单层衬砌隧道使用阶段防水要求，铰接接头的地下连续墙对施工工艺要求较高，作为单层衬砌，国内尚无成熟经验。

工程实践表明，大量钢筋连接器等构件贯穿地下连续墙墙体时，不仅沿构件表面会形成地下水渗漏通道，水下混凝土浇筑时劣化混凝土和劣化混凝土也不可避免地粘附、聚集在此区域，形成混凝土自防水薄弱区域。为此可在钢筋笼迎土面局部设置附加防水层(图1)。

材料可采用2mm~4mm厚钢板。

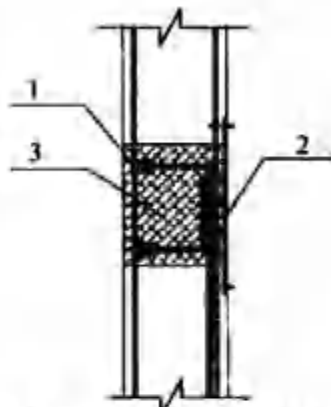


图1 地下连续墙附加防水层

1-钢筋连接器；2-薄钢板(与钢筋笼固定)；3-可能夹泥区域

5.6.6 目前国内叠合墙一般采用地下连续墙围护，因此本条针对地下连续墙制定，一般可采用优化地下墙的接头形式，接头嵌缝处理、接头位置坑外地基加固等形式。

5.6.7 膨润土是地下连续墙施工的重要原材料，其质量不仅关系到成槽稳定，也关系到地下连续墙墙体和墙缝的质量，直接影响基坑防水效果。因此应选用符合国家标准合格产品，避免使用无产品标准的劣质产品。

5.6.8 土体颗粒的大量流失可能造成支撑背后土体被掏空，危及结构安全。堵漏过程中，可临时性采取引流措施，但必须尽快完成封堵，关闭引流管。

5.6.10 逆作结构自下而上浇筑，水平施工缝中后浇混凝土易产生空洞，难以浇筑密实，往往形成质量顽症。《地下工程防水技术规范》GB 50108-2008中图8.4.2所示方法适用性较强，但混凝土自侧向浇筑、振捣，振捣条件较差，往往施工效果较差。对于具备施工条件的基坑，可在上方结构板、墙中预留浇筑混凝土所需要的下料孔、振捣孔等，回筑施工时自上方浇筑、振捣，有利于提高施工质量。

6 矿山法隧道

6.1 一般规定

6.1.2 本条中的“特殊地段”是指：可能渗入隧道、影响农田灌溉及生活用水的隧道附近的水库、池沼、溪流、井泉水，按照“以堵为主、限量排放”的原则采取处理措施的地段；围岩破碎、富水、易坍塌地段及可能存在突水、突泥等地段。

6.1.5 隧道工程修建过程中的排水，有时会使农田、水库、地表沟渠等水源流失，导致地表塌陷，影响环境生态平衡。因此，本条提出对地表水的保护措施及原则，这也是隧道工程内部防水措施有效性的保证。

6.1.6 采用围岩防水加固注浆技术、分段隔离防水措施，防水混凝土乃至加强型复合式衬砌结构等，是隧道工程修建中处理特殊地段防水的综合性措施，是防止地下水流失、保证隧道内防水措施有效性的重要手段，特殊地段防水等级和抗渗要求相应有所提高。

典型的工程实例有：渝怀铁路园梁山隧道，该隧道全长11068m，是渝怀线的重点、难点和控制工程之一。其主要工程地质问题为高压水、富水、岩溶及断层。地层岩性主要为可溶性灰岩，溶蚀裂隙相当发育，岩溶水也非常发育，静水压力高达4.42MPa~

4.6MPa；宜万铁路是横跨我国东中西部的重要铁路通道。地处山区，大部分隧道位于灰岩地区，岩溶十分发育，且岩溶构造复杂，补给水源十分丰富，暗河系统四通八达，其地形、地质条件之复杂集西南山区铁路之大成，建设条件之艰、难、险皆居我国铁路历史之最。

上述隧道工程在施工中曾发生了数次涌水、涌泥甚至突泥灾害事故。多次采用了全断面深孔超前预注浆加固围岩、径向注浆及局部注浆堵水、超前大管棚支撑、超前小导管注浆、型钢格栅拱架交替网喷初支、结合多工作面注浆防水措施、分段隔离防水、防水混凝土、特殊地段模筑衬砌混凝土，并采用了加强型复合式衬砌结构。本条正是借鉴了这方面的经验而规定的。

6.1.8 根据近年来推广湿喷混凝土技术的经验总结，采用湿喷技术可以改善施工作业环境，提高早期混凝土品质。但是，由于碱性或酸性液体速凝剂的强腐蚀性，易造成操作人员受到化学灼伤，还会降低混凝土的后期强度及耐久性。国外对这方面的研究较多，鉴于我国目前的技术水平现状，完全采用无碱速凝剂有一定难度，因此规定了采用无碱或中性液体速凝剂。至于目前市场上出现了酸性液体速凝剂，pH值在2~4左右，由于其对混凝土的品质及其他方面的影响尚未见到有系统研究成果，故未规定使用。

6.1.9 对于施工缝和变形缝防水，实践中有多道防水措施。主要是针对目前复杂地质条件和岩溶山区条件的隧道工程，一般来讲，该类条件下的隧道工程，地下水位高、水压大，极易造成地下水灾害。典型的工程实例有：成昆铁路、衡广铁路、渝怀铁路、宜万铁路、成渝高速公路、辽宁省大伙房长大输水工程等。随着技术进步和国外新技术的引进，通过诸多试验研究和现场实施，接缝处理技术取得了长足的进展，从单一的防水措施发展成多种防水措施，可维护防水措施是既防又治的措施，它的开发更是对传统防水技术的

突破。这些措施都取得了良好的防水效果,值得推广应用。因此,在本规范中规定为接缝处理的新型防水措施。可维护防水措施在传统防水措施(如止水带)的基础上,增设预埋式注浆防水系统,结构缝处有水渗流时,通过注浆进行封堵。常用的注浆材料包括聚氨酯、改性环氧树脂、超细水泥等。

6 矿山法隧道

6.1 一般规定

6.1.2 本条中的“特殊地段”是指:可能渗入隧道、影响农田灌溉及生活用水的隧道附近的水库、池沼、溪流、井泉水,按照“以堵为主,限量排放”的原则采取处理措施的地段;围岩破碎、富水、易坍塌地段及可能存在突水、突泥等地段。

6.1.5 隧道工程修建过程中的排水,有时会使农田、水库、地表沟渠等水源流失,导致地表塌陷,影响环境生态平衡。因此,本条提出对地表水的保护措施及原则,这也是隧道工程内部防水措施有效性的保证。

6.1.6 采用围岩防水加固注浆技术、分段隔离防水措施,防水混凝土乃至加强型复合式衬砌结构等,是隧道工程修建中处理特殊地段防水的综合性措施,是防止地下水流失、保证隧道内防水措施有效性的重要手段,特殊地段防水等级和抗渗要求相应有所提高。

典型的工程实例有:渝怀铁路园梁山隧道,该隧道全长11068m,是渝怀线的重点、难点和控制工程之一。其主要工程地质问题为高水压、富水、岩溶及断层。地层岩性主要为可溶性灰岩,溶蚀裂隙相当发育,岩溶水也非常发育,静水压力高达4.42MPa~4.6MPa;宜万铁路是横跨我国东中西部的重要铁路通道。地处山区,大部分隧道位于灰岩地区,岩溶十分发育,且岩溶构造复杂,补给水源十分丰富,暗河系统四通八达,其地形、地质条件之复杂集西南山区铁路之大成,建设条件之艰、难,险皆居我国铁路历史之最。

上述隧道工程在施工中曾发生了数次涌水、涌泥甚至突泥灾害事故。多次采用了全断面深孔超前预注浆加固围岩、径向注浆及局部注浆堵水,超前大管棚支撑、超前小导管注浆,型钢格栅拱架交替网喷初支、结合多工作面注浆防水措施、分段隔离防水,防水混凝土、特殊地段模筑衬砌混凝土,并采用了加强型复合式衬砌结构。本条正是借鉴了这方面的经验而规定的。

6.1.8 根据近年来推广湿喷混凝土技术的经验总结,采用湿喷技术可以改善施工作业环境,提高早期混凝土品质。但是,由于碱性或酸性液体速凝剂的强腐蚀性,易造成操作人员受到化学灼伤,还会降低混凝土的后期强度及耐久性。国外对这方面的研究较多,鉴于我国目前的技术水平现状,完全采用无碱速凝剂有一定难度,因此规定了采用无碱或中性液体速凝剂。至于目前市场上出现了酸性液体速凝剂,pH值在2~4左右,由于其对混凝土的品质及其他方面的影响尚未见到有系统研究成果,故未规定使用。

6.1.9 对于施工缝和变形缝防水,实践中有多道防水措施。主要是针对目前复杂地质条件和岩溶山区条件的隧道工程;一般来讲,该类条件下的隧道工程,地下水位高、水压大,极易造成地下水灾害。典型的工程实例有:成昆铁路、衡广铁路、渝怀铁路、宜万铁路、成渝高速公路、辽宁省大伙房长大输水工程等。随着技术进步和国外新技术的引进,通过诸多试验研究和现场实施,接缝处理技术取得了长足的进展,从单一的防水措施发展成多种防水措施,可维护防水措施是既防又治的措施,它的开发更是对传统防水技术的突破。这些措施都取得了良好的防水效果,值得推广应用。因此,在本规范中规定为接缝处理的新型防水措施。可维护防水措施在传统防水措施(如止水带)的基础上,增设预埋式注浆防水系统,结构缝处有水渗流时,通过注浆进行封堵。常用的注浆材料包括聚氨酯、改性环氧树脂、超细水泥等。

6.2 防水层设计与施工

6.2.1 矿山法隧道工程防水应以工程地质条件、水文地质条件、环境条件等因素为基础,充分考虑隧道工程的用途和防水等级要求,采取适当的防水措施,即全包防水或局部外包防水。

6.2.2 对于复合式衬砌结构,防水层设置在二次衬砌与初期支护之间,由防水板(或防水膜)和缓冲层组成,故称之为复合防水层;复合式防水层的选材、施工工艺和质量标准应考虑隧道的工程地质、水文地质、环境条件以及地下水的腐蚀性等因素。

缓冲层位于初期支护与防水板(或防水膜)之间,设置的目的是因基面不平整,铺设后便于铺设防水板;能避免基层表面的坚硬物体刺破防水板;二是以土工布为缓冲层时具有排水的性能,起到引排水的作用。

6.2.5 防水板是构成复合防水层的重要部分,起到阻止地下水的作用,是目前矿山法隧道中重要的防水材料;目前较为常用的防水板包括聚氯乙烯(PVC)、乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)、乙烯-共聚物沥青(ECB)、高密度聚乙烯(HDPE)、低密度聚乙烯(LDPE)类。这些防水板在材料和施工方法上都趋于成熟,在以往矿山法隧道工程中得到广泛应用。

本条对防水板的物理力学性能给出了一些规定,便于在设计施工中选用。

(1)防水板的幅宽应该尽量宽些,这样防水板的搭接缝数量就会少些,如1m宽的防水板的搭接缝数量是4m宽板的4倍,而搭接缝又是防水板防水的薄弱环节。但防水板的幅宽又不能过宽,否则防水板的重量变大,会造成铺设困难。根据近年来的工程实践来看,防水板的幅宽以2m~4m为宜。

(2)防水板的厚度与板的重量、造价、防水性能有关,板过厚则较重,于铺设不利,且造价较高,但过薄又不易保证防水施工质量,根据我国目前的使用情况,防水板厚度不应小于1.5mm。

(3)防水板系置于初期支护与二次衬砌之间,在二次衬砌浇筑时会受到一定的拉力,故应有足够的抗拉强度。

(4)初期支护为锚喷支护时,支护后围岩仍在变形,即是整个工程建成后,由于使用或地质等方面的原因,工程结构也存在着变形问题,故防水板应有较高的伸长率值。

(5)耐刺穿性是施工中对材料提出的要求,因二次衬砌时有的地段需要采用钢筋混凝土结构,在绑扎钢筋时会对防水板造成损伤,故

要求防水板有一定的耐刺穿性,以免板被刺破使其完整的防水性遭到破坏。当二次衬砌用素混凝土浇筑时,可不考虑这一指标要求。

(6)防水板因长期处于地下并要长期发挥其防水性能,故应具有良好的耐久性、耐腐蚀性、耐菌性。

(7)抗渗性是防水板必备的一种性能。但目前的试验方法不能反映防水板处于地下长期受水作用这一条件,而要制定一套符合地下工程使用环境的试验方法也不是短期能解决的问题,故只好沿用现在工程界公认的试验方法所测得的数据。

6.2.7 丙烯酸盐喷膜防水材料成膜后,长时间直接暴露在干燥环境下,膜层表面会因失水而干裂和体积收缩;当地下水的酸性或碱性较强时,也会影响膜层的耐久性。因此为了使工程达到防水要求,在选择喷膜防水技术前,应考虑工程环境因素;在地下水酸性或碱性较强(pH 值 ≤ 5.5 或 pH 值 ≥ 13)及长时间暴露于干燥环境中(相对湿度 $\leq 55\%$)时,应采取必要的防护措施。同时,丙烯酸盐喷膜防水材料以丙烯酸盐为主要成分,并添加了一系列辅助材料,其成膜过程涉及复杂的化学反应。因此,丙烯酸盐喷膜防水工程中,对使用混凝土外加剂、界面处理剂、密封材料等材料之间应具有良好的相容性,即要求与防水膜层相接触的材料应符合国家标准,材料间界面应粘结紧密,不出现溶解、起鼓等不良现象。对于未知相容性的材料,应在喷涂作用前,通过试验确定其相容性。

6.2.8 矿山法隧道中,防水层以初期支护表面为施作基面,施工过程中若基面存在较大渗流水,会造成防水层内凹,形成积水,二次衬砌施工后在该处形成空洞;若基面存在平整度不合格或钢筋等尖锐、坚硬物体,在施工二次衬砌过程容易造成防水层的撕裂或刺破。

6.2.9 防水层是在掌子面和二次衬砌之间施工,防水层施工对掌子面开挖、二次衬砌施工存在一定影响,防水层过于靠近掌子面,容易因开挖施工、围岩变形等对防水层产生破坏,容易造成防水层脱落;防水层过于滞后(靠近二次衬砌),影响二次衬砌施工,影响工程进度。因此,为了保护防水和提高施工效率,根据以往工程经验,防水层施工应超前二次衬砌施工1~2个衬砌段长度较为合适;而防水层与掌子面的距离,由于影响因素较为复杂,应在具体工程中,根据经验确定。

6.2.11 规定塑料防水板的铺设宜松紧适度,这是因为矿山法的初次衬砌结构的平整度要求不太高,一旦浇筑混凝土,防水板有与基面贴合的趋势,防水板过于绷紧时,就会扯损。

6.2.12 防水板接缝较多,防水的关键取决于接缝密封的程度。防水板的拼接应采用双焊缝工艺,焊接接缝处应擦洗干净,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应错开,不允许有3层以上的接缝重叠。焊缝搭接处应用刀刮成缓角后拼接,使其不出现错台。

6.2.13 现场喷膜法施作防水层是在现场采用喷膜设备,将液体材料喷涂在初期支护或缓冲层表面后,瞬间形成防水膜,起到防水的作用。目前国内技术成熟的有喷涂聚脲防水材料、喷涂聚合物水泥防水材料、自由基反应型丙烯酸盐喷膜防水材料。这些防水膜具有良好的弹性,能够适应较大的变形;同时,由于该防水膜为现场喷涂形成,故对基面具有较好的适应性,可避免二次衬砌施工造成的防水层破坏。

现场喷涂成膜自由基反应型丙烯酸盐喷膜防水层有以下特点:

(1)丙烯酸盐喷膜防水层在很短时间内形成厚度不小于3mm的防水膜,要求施工机械的流量较大,故高压无气喷涂工艺能够满足要求。

(2)对于因工序安排或意外原因导致需要分两次喷涂的部位,为保证两次喷涂的防水膜具有足够的粘接强度和防水能力,防水膜搭接宽度不应小于100mm。

(3)丙烯酸盐喷膜防水层在空气中暴露时间较长时,防水膜的性能会降低,故喷涂成膜后,5d内应浇筑二次衬砌结构封闭防水膜。

(4)泵送浇注混凝土时,混凝土对防水膜产生较大的冲击力,可能对防水膜产生破坏,故应避免直接冲击防水膜。

6.2.14、6.2.15 为防止喷膜施工时候基面明水出露对喷膜质量造成影响或渗水位置处的水压积聚对膜层和衬砌造成破坏,在基面有明水出露的位置,应将渗水进行引流至纵向排水处,形成通畅的渗水排泄通道,避免水压积聚。引流的方式包括局部加设排水管、铺设专用隔离层材料等。

6.2.16 丙烯酸盐喷膜防水的成膜过程为化学反应,施工环境的温度过低或过高,都会影响成膜效果,高温时会发生材料爆裂。堵塞喷膜设备,低于0℃会冻结喷膜设备。

6.2.18 丙烯酸盐喷膜防水材料防水膜修补时,应根据基面形状、破损情况将破损部位切割平整,并清除干净,以保证再次喷涂成膜的质量,同时搭接宽度不应小于100mm。

6.3 接缝防水

6.3.1 实践证明,隧道工程衬砌结构缝出现渗漏水的几率相当高,施工缝和变形缝不宜随意设置;因此,本条对此作了规定。地下交通隧道工程从行车安全与舒适度考虑,要控制沉降变形缝的设置;尤其对地下铁道类轨道交通,更要控制差异沉降。

6.3.2 变形缝防水除了本条中的主要几种构造形式,还有以下几种复合防水构造型式(图2~图4)。

另外,中埋式止水带与预埋注浆管复合防水,是矿山法隧道内衬施工缝防水的一种做法,方法为:在止水带外侧设置全断面出浆预埋注浆管,可通过注浆将二次衬砌与止水带之间不密实的缝隙填实,变被动堵水为主动注浆防水,以确保接缝不漏水。

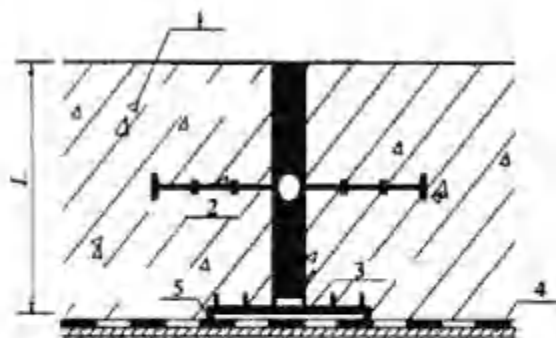


图2 中埋式止水带与外贴式止水带复合使用

1-二次衬砌混凝土结构；2-中埋式止水带；3-背贴式止水带；4-外贴防水层；5-与防水板之间不透水焊接

注：当采用外贴式止水带时， $L \geq 300\text{mm}$ ；当采用外贴式防水卷材时， $L \geq 300\text{mm}$ ；当采用外涂防水涂层时， $L \geq 400\text{mm}$ 。

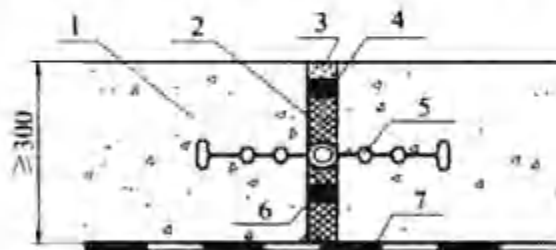


图3 中埋式止水带与遇水膨胀橡胶条、嵌缝材料复合使用

1-混凝土结构；2-填缝材料；3-嵌缝材料；4-背衬材料；5-中埋式止水带；6-遇水膨胀橡胶条；7-防水板

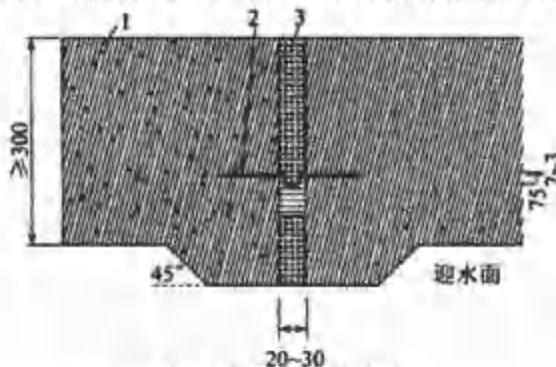


图4 中埋式金属止水带

1-混凝土结构；2-金属止水带；3-填缝材料

全断面出浆注浆管的预埋和注浆材料需注意下列事项：

- (1)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，固定夹的间距不大于250mm。
- (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增强注浆导管应暴露在混凝土外面并应注意保护。
- (5)注浆管应覆盖施工缝的整个长度，两根相邻的注浆管末端重叠约100mm~150mm。
- (6)衬砌边墙下边的管路应超出混凝土端头200mm，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。

6.3.3 混凝土施工缝不应随意留置，如确需设置时，其位置应预先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1m和拱脚以下300mm的范围内。

6.3.4 通常在复合式衬砌出现渗漏水时，难以准确地找到出水点并予以治理的问题较为突出，分区隔离的防水技术是近年来用于富水隧道防水的有效方法。分区部位采取了防止地下水纵向窜流的措施，在防水板处设背贴式止水带，解决了防水板损伤后渗漏水窜流的问题，由于在接缝外侧增设了一道防水设施，防水效果显著提高，此外，在止水带外侧设置的全断面出浆预埋注浆管，可通过注浆将二次衬砌与止水带之间不密实的缝隙填实，变被动堵水为主动注浆防水，确保接缝不漏水。

6.3.5 本条对隧道内衬混凝土接缝防水的材料性能提出了要求，其中，止水带的物理力学性能见表1，止水带接头部位的拉伸强度指标不得低于表1中本体材料的性能。表2是依据《高分子防水材料 第2部分 止水带》GB 18173.2制定的，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。塑料止水带的性能可参照表3的指标要求。

表1 橡胶止水带物理力学性能

序号	项 目			性能指标		
				B 型	S 型	J 型
1	硬度(邵氏 A)(度)			60±5	60±5	60±5
2	拉伸强度(MPa)			≥15	≥12	≥10
3	扯断伸长率(%)			≥450	≥450	≥300
4	压缩永久变形(%)	70℃×24h		≤30	≤30	≤35
		23℃×168h		≤20	≤20	≤20
5	撕裂强度(kN/m)			≥30	≥25	≥25
6	脆性温度(℃)			≤-45	≤-45	≤-40
7	热空气 老化	70℃×168h	硬度变化(邵尔 A)(度)	≤+6	≤+6	—
			拉伸强度 MPa	≥12	≥10	—
			伸长率变化率(%)	≥400	≥400	—
		100℃×168h	硬度变化(邵尔 A)(度)	—	—	≤+8
			拉伸强度 MPa	—	—	≥9
			伸长率变化率(%)	—	—	≥250
8	耐碱水	氢氧化钙饱和 溶液 23℃×168h	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%,48h)			2 级	2 级	0 级
10	粘合强度(MPa)			≥6		

表2 橡塑止水带物理力学性能

项 目		性能指标
硬度(邵氏 A)度		≥65
拉伸强度(MPa)		≥14
扯断伸长率(%)		≥300
100%定伸长率(%)		≤5.5
吸水率(%)		<0.5
挥发损失(%)		<0.5
加速耐碱实验	拉伸强度变化率(%)	≤±20
	伸长率变化率(%)	≤±20
	重量变化率(%)	≤±15
	脆性温度(℃)	<-37
耐氯化钠溶液	拉伸强度变化率(%)	≤±10
	伸长率变化率(%)	≤±10
	重量变化率(%)	≤±2
热空气老化(70℃×360h)		耐老化系数>0.8

表3 塑料止水带物理力学性能

序号	项 目	技术指标		
		EVA	ECB	PVC
1	拉伸强度(MPa) $\geq$	15	15	12
2	扯断伸长率(%) $\geq$	600	600	250
3	撕裂强度(kN/m) $\geq$	60	60	40
4	低温弯折性(°C) $\leq$	-40	-40	-30
5	热空气(老化) (80°C $\times$ 168h)	100%伸长率 外观	无裂纹	无裂纹
		拉伸强度保持率(%) $\geq$	80	80
		扯断伸长率保持率(%) $\geq$	70	70
6	耐碱性 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液 $\times$ 168h	拉伸强度保持率(%) $\geq$	80	80
		扯断伸长率保持率(%) $\geq$	90	90

6.3.6 嵌缝材料和背衬材料在本条中已作了规定,而要使嵌缝材料发挥良好的防水性能,施工中,除了嵌填的密封材料要密实外,缝两侧的基层处理也十分重要,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。

6.3.8、6.3.9 条文规定了在变形缝中固定中埋式止水带的方法。主要是由于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,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,此时端模被止水带分成两块,给支模造成困难;四是转角处止水带不能折成直角。故条文中对固定中埋式止水带的方法和安装作了规定,特别是采用衬砌作业台车时的规定。

6.3.10 强调了设置内置可卸式止水带对混凝土结构外形有加腋;即呈八角形是基本要求。同时,注重了转角处专用紧固件的配置要求。

6.3.11 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,但对其接头焊接方式作了规定。

6.3.12 粘贴制品型遇水膨胀止水条时,遇水膨胀止水条应根据缓膨胀要求,采取防过早膨胀措施;包括止水条表面涂覆缓胀剂或本体加工有缓膨胀特性,并满足安装时粘贴、固定牢固的要求。遇水膨胀止水条的安装与搭接见图5和图6。

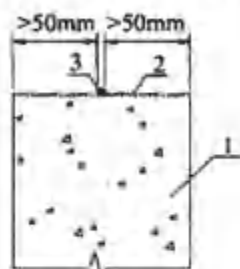


图5 遇水膨胀胶条安装断面图
1-主体结构; 2-施工缝; 3-膨胀胶条

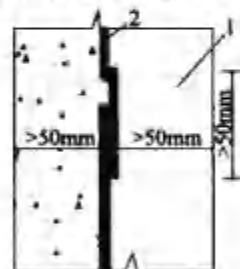


图6 遇水膨胀胶条搭接平面图
1-主体结构; 2-膨胀胶条

6.4 隧道排水

6.4.1 横向排水管位于衬砌基础的下部,布设方向与轴向垂直,是连接纵向排水管与中央排水管(或侧沟)的水力通道。横向排水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)。

6.4.2 环向排水盲管的作用是在岩面与初期支护喷射混凝土之间、初期支护喷射混凝土与塑料板防水层之间提供过水通道,并使之下渗,汇集到纵向排水管。当隧道初期支护围岩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。

6.4.3 纵向集水盲管在布设时应注意其细部构造,使从上部往下流的水在纵向盲管位置尽量流入管内,而不让地下水在盲管位置纵横漫流。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,施工中应检查与上部环向盲管的连接,应避免两管之间被喷射混凝土隔断。

6.4.4 环向透水管、纵向透水管、横向排水管的作用是汇集、引排地下水,但最终由排水沟排离隧道。根据国家现行相关标准,我们目前隧道工程中水沟的布设有两种方式:一是铁路隧道中,排水沟通常位于隧道两侧;二是公路隧道中,排水沟通常位于隧道底部中心线位置。

6.4.7 横向排水管位于衬砌基础的下部,布设方向与轴向垂直,是连接纵向排水管与中央排水管(或侧沟)的水力通道;横向排水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央排水管(沟)。

6.4.10 水垢的积累不仅会使排水管内径变小、变粗糙,有碍疏排的畅通,因此,除采用塑料与不锈钢材质外,为防止腐蚀或粘滞于混凝土排水管道与废水池混凝土,应进行防垢的专用涂层处理。

7 盾构法隧道

7.1 一般规定

7.1.1 作为特种施工法的盾构法隧道,其防水等级已几乎不存在四级了,尤其近些年的工程。故表7.1.1列出了一、二、三级三个等级。依据国内多年盾构隧道防水的实践总结,考虑到“注入密封剂”尽管使用得不多,但属于有效的补救措施,对未来隧道的维护、保养意义不小,故予列入。盾构隧道虽然以单层衬砌为主,但复合衬砌也非少见;如磁悬浮隧道、排水隧道,因此,着眼于结构的需要,同时,也考虑其防水的意义,故不去除“复合衬砌”。“阴极保护与金属埋露件防腐”等主要是防腐蚀措施,“回填注浆”措施主要作用是控制盾构推进,防止地面沉降,他们虽然与防水也有关系,但不直接影响防水等级,故未予列入。

对嵌缝密封的意义与功效,国内外隧道工程界评价不尽相同,应该指出的是,随着盾构法施工技术的发展,渗漏水逐渐减少,嵌缝作业的功效也应重新评价。因此,嵌缝密封也有减少的趋势,目前国外的工程都有此倾向。因此即使防水等级为一级的工程也不要求“必选”,而用“应选”。嵌缝可以按要求全断面(如输水隧道)或局部(如底部)采用,除考虑到造价、工期、功效外,隧道使用功能是选用与否的关键。如顶部嵌缝料下坠会危及地铁隧道行车安全,地铁隧道顶部就不应该嵌缝。可见,防水等级不是选用的主要因素。

外防水涂料采用与否,虽然以地层中是否有侵蚀性介质为主要确定因素,隧道防水等级为次要确定因素;但外防水涂料不仅有防腐蚀作用,也能起到防渗作用,故仍列入。在隧道防水等级一级的防水工程中,从重要性出发它也是“宜选”的。

盾构隧道的同步注浆和二次注浆,如果采用水泥-粉煤灰系或其他具有抗渗功能的注浆材料,加上完善的注浆工艺,在衬砌环外壁形成环形灌浆材料固结圈,可看作是“隧道防水屏障”,也是隧道防水的第一道防线。

7.1.2 盾构法隧道防水设计内容包括:确定防水等级、防水措施、防水技术指标,衬砌自防水,衬砌外防水涂层,衬砌接缝防水,盾构隧道与竖井的接头防水,连接通道防水等。至于提出衬砌耐久性,这是因为盾构隧道衬砌的强度、抗渗等级高,本身既具有满足衬砌耐久性要求的条件。又由于盾构隧道结构本体防水的重要性,有提出要求的必要。这条规定对于设计与设计审查是有意义的。

7 盾构法隧道

7.1 一般规定

7.1.1 作为特种施工法的盾构法隧道,其防水等级已几乎不存在四级了,尤其近些年的工程。故表7.1.1列出了一、二、三级三个等级。依据国内多年盾构隧道防水的实践总结,考虑到“注入密封剂”尽管使用得不多,但属于有效的补救措施,对未来隧道的维护、保养意义不小,故予列入。盾构隧道虽然以单层衬砌为主,但复合衬砌也非少见;如磁悬浮隧道、排水隧道,因此,着眼于结构的需要,同时,也考虑其防水的意义,故不去除“复合衬砌”。“阴极保护与金属埋露件防腐”等主要是防腐蚀措施,“回填注浆”措施主要作用是控制盾构推进,防止地面沉降,他们虽然与防水也有关系,但不直接影响防水等级,故未予列入。

对嵌缝密封的意义与功效,国内外隧道工程界评价不尽相同,应该指出的是,随着盾构法施工技术的发展,渗漏水逐渐减少,嵌缝作业的功效也应重新评价。因此,嵌缝密封也有减少的趋势,目前国外的工程都有此倾向。因此即使防水等级为一级的工程也不要求“必选”,而用“应选”。嵌缝可以按要求全断面(如输水隧道)或局部(如底部)采用,除考虑到造价、工期、功效外,隧道使用功能是选用与否的关键。如顶部嵌缝料下坠会危及地铁隧道行车安全,地铁隧道顶部就不应该嵌缝。可见,防水等级不是选用的主要因素。

外防水涂料采用与否,虽然以地层中是否有侵蚀性介质为主要确定因素,隧道防水等级为次要确定因素;但外防水涂料不仅有防腐蚀作用,也能起到防渗作用,故仍列入。在隧道防水等级一级的防水工程中,从重要性出发它也是“宜选”的。

盾构隧道的同步注浆和二次注浆,如果采用水泥-粉煤灰系或其他具有抗渗功能的注浆材料,加上完善的注浆工艺,在衬砌环外壁形成环形灌浆材料固结圈,可看作是“隧道防水屏障”,也是隧道防水的第一道防线。

7.1.2 盾构法隧道防水设计内容包括:确定防水等级、防水措施、防水技术指标,衬砌自防水,衬砌外防水涂层,衬砌接缝防水,盾构隧道与竖井的接头防水,连接通道防水等。至于提出衬砌耐久性,这是因为盾构隧道衬砌的强度、抗渗等级高,本身既具有满足衬砌耐久性要求的条件。又由于盾构隧道结构本体防水的重要性,有提出要求的必要。这条规定对于设计与设计审查是有意义的。

7.1 管片混凝土自防水

7.2.2 管片混凝土的强度等级不宜低于C30,这是盾构法隧道工程装配式衬砌结构的需要,可以满足在地层顶进中与运营中受力的要求,而特殊的单块衬砌加工预制方式,又使这样的强度要求成为可能。

7.2.3 衬砌结构的耐久性要求与耐久性参数是按照现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB 50476的规定编写的。有关数值是经过国内几条重要水下道路隧道(如上海崇明长江隧道)、轨道交通区间隧道的实践确定的。现行国家标准《普通混凝土长期性能与耐久性试验方法标准》GB 50082也使衬砌结构的耐久性参数的检测规范化。同样,已有的工程实践也证明了对衬砌结构提出耐久性要求,既是必要的,也是成熟的。

7.2.4 管片尺寸精度是控制隧道接缝面平整的关键要素之一。目前,管片都在高精度钢模中作单块定型生产,钢模的制作精度达到设计要求。表7.2.4单块管片制作尺寸允许误差的控制要求虽较高,但技术上是可达到的。

7.2.5 关于管片混凝土,除了要对现场浇筑用混凝土作现场留样检测抗渗强度试验,还要对成型的单块管片抽样作抗渗试验,不仅控制混凝土材料的防水质量,更控制预制管片制作的防水质量。其中规定抗渗时的渗水高度,过去视管片厚度,渗水高度要求不一;如以厚度的1/5为限值。目前,更从混凝土耐久性考虑,以钢筋保护层厚度50mm加以规范。

7.3 衬砌外防水防腐

7.3.1 除了防水等级一级的高标准的隧道管片需要考虑外防水涂层外,关于何种环境条件下管片混凝土需要涂防水层,过去一直有争议,如今都按《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476中的规定,海洋氯化物环境、化学腐蚀环境等腐蚀环境类别必须涂刷,即使混凝土密实性已经很高也仍应按此要求。这样既可防止管片混凝土运送与施工的损伤造成的加速腐蚀,也杜绝了一旦检测(这类检测周期甚长)发现混凝土有关指标未满足要求而危及耐久性的隐患。总之,不能认为混凝土耐久性指标检测合格,就可省去涂刷外防水涂层的措施。同样的混凝土渗透系数,不同隧道的渗水量随隧道深度加大而增大,考虑到这个因素,涂刷外防水防腐涂层是有意义的。

7.3.2 关于水泥基渗透结晶型涂料,具有可在潮湿面施工和渗透结晶增加密实性的特点而被选用,但是,它的渗透结晶功效的确认较难,效果有限。硅氧类渗透自阻型涂料,作为液态水性涂料有类似的密封功效,缺点是质量较难控制。环氧类涂料的耐磨性、耐腐蚀性是不言而喻的,但对材质应有其他改性(如亲水性),更能满足管片外防水的特定需要。其中具有渗透性的环氧涂料在具有复盖、遮盖功能的同时,渗入基面以下数毫米,对混凝土磨损情况下的防护更有好处,故在此专门强调。

7.4 衬砌接缝防水

7.4.2 鉴于隧道设计使用年限较长,为保证密封垫的长期水密性,它的设计需要提出安全系数,通常在设计水压的选取上留有余量,隧道设计水压与隧道实际埋深水头压力的比例就是安全系数。安全系数的数值,国际上不甚相同:日本的浅埋隧道一般取3,英、德等欧洲国家取2,但是也有例外,如埃及穆罕默德,哈迪姆苏伊士运河隧道仅取1(它的安全系数取在设计接缝张开量与实际接缝张开量之比例上)。我国的盾构隧道安全系数都取2~3,较深的隧道,大多取2,以免设计水压过大。总之,不宜定得过死。

7.4.3 管片环缝张开量的计算公式(7.4.3)被工程界是认可的,接缝密封垫防水设计中接缝量的张开值即按此公式计算而得,它是随隧道纵向变形曲线的最小半径、衬砌环的宽度与外径增大而变大。另外,要注意运营阶段管片的下沉、前后环间的相对沉降,因此管片错位量对接缝水密性的影响不容忽视,今后设计中也宜置入。纵缝张开量不易计算,但拼装并出了盾壳后的管片,受周边土压力重要的作用,因而其纵缝张开量相对较有限。

7.4.4 管片接缝密封垫究竟能否满足设计的水密性要求,还是要通过水密性试验加以确定。而通过专用钢模模拟管片一字缝、T字缝接缝密封防水试验是国内外长期采用的验证设计的方法。此方法也已被橡胶界、防水工程界认可,已被纳入到现行国家标准《高分子材料 第4部分 盾构法隧道管片用橡胶密封垫》GB 18173.4中。

7.4.5 目前,隧道管片密封垫大多制成框形,这形式对接缝、角部密封止水最有利。但是,过去处于低水压的盾构隧道所用接缝密封垫也常用门型、L型,这样造价也低,日本用遇水膨胀型密封垫时常采用这两类方式,规定其端头密封,有利于接头处的密封。

7.4.7 衬砌接缝密封垫与密封垫沟槽的关系“宜”用公式(7.4.7)来表示。由于密封垫可以为实芯,多槽,多孔等构造断面,因而公式中的系数也是个变数。又因为国外还有将其断面设计成蜂窝状的,这时,还会突破1~1.15的系数,因此,条文中用“宜”要求,而不强制规定。

7.4.9 根据国内外盾构隧道多年接缝防水的实践,氯丁橡胶与三元乙丙橡胶是弹性密封垫常用的橡胶材质。氯丁橡胶适用于实芯或设槽断面的、加热硫化模压加工工艺的橡胶密封垫,从断面形式考虑所取硬度较低。三元乙丙橡胶适用于多孔或多孔多槽断面的,以不使断面构造走形的微波硫化方式加工的橡胶密封垫。从断面形式考虑,所取硬度较高。表7.4.9.1、表7.4.9.2对密封垫成品物理性能、胶料物理性能分别提出要求,这是因为在一般情况下弹性橡胶密封垫断面较大,成品切片可加工成试样,而遇水膨胀橡胶密封垫断面较小,很难再加工成试样,需用胶料制。当然,实际上也都有例外,因此在注解中又作了补充规定。

7.4.10 对于施工阶段的堵漏止水,施工单位往往采取自行其是,各搞一套的做法,实践中出现头痛医头的现象,结果是只能短时间

止水，复盖率高。因而在设计阶段规范渗漏治理的基本材料和工艺是必要的。

7.4.12 由于盾构隧道管片拼装中错缝方式居主流，因此减少因拼装应力集中而造成的管片损伤是很重要的，这时，缓冲垫片的材质、厚度、外形尺寸就很有讲究，工程中经常有采用硬度偏大的材料，全断面、过厚铺设的现象，造成既浪费，又加大应力集中的结果。至于具体材料及规格，本规范不作硬性规定，要求视施工条件，经试验确定。

7.4.13 螺孔密封圈早期用沥青石棉(芯)类材料塑性防水，以后用橡胶类材料密封弹性密封防水，目前大多用遇水膨胀螺孔密封圈，利用压密与膨胀密封双重防水，效果明显，成为主流。在设计施工中应强调外形与沟槽相匹配，以防止尺寸偏小而“陷入”螺孔中或尺寸偏大而难以使螺栓垫圈压平至混凝土面的情况。

7.4.14 本条规定了手孔及手孔中螺栓的填充与封闭。手孔填充既有防水的需要，更多的是使用功能的要求，如减小输水流动阻力。由于隧道手孔上部或近上部位置中封填材料易坠落或流淌，所以封填材料需要有快速硬化的特性，应按现行国家标准《无机防水堵漏材料》GB 23440规定的速凝类水泥的技术指标执行。至于掺用全部还是部分快凝水泥，视封孔的位置等确定。螺栓端头用水泥类材料阻断与环境中有害气体等接触的措施，则是用以满足防蚀、耐久要求。

7.4.16 本条强调了在结构施工中应及时对照防水设计图纸，把与结构构造相关的防水构造预先落实好，避免结构施工只看结构图纸而未参照对应防水图纸的情况，严防结构施工完成后才发觉没有实施要求的防水措施的现象出现。

7.4.18 本条是对以密封垫为主的管片接缝材料，在管片上的安装就位作出的规定，是施工中重要的一步，但往往也是易忽视的步骤。如：在管片角隅部加贴自粘性橡胶薄片时，其尺寸大小，厚薄及粘贴位置(是否把复合的遇水膨胀橡胶完全遮盖)都会影响防水；又如纵缝传力衬垫若尺寸过长，过宽都会造成接缝张开量加大，为此予以强调。

7.4.20 管片拼装时密封垫等防水材料因安装偏位、千斤顶顶块有异物等缘故，会有脱槽、扭曲和移位现象的发生。在封顶块管片插入时，因与邻接块橡胶密封垫摩擦，密封条容易发生扯长挤出现象，这时在密封垫表面就宜使用润滑剂。对于管片仰拱处的、复有遇水膨胀橡胶的密封垫，因接触、浸泡仰拱中积水的概率高，应在其表面涂刷缓膨剂。

7.4.21 嵌缝作业是盾构隧道防水施工一部分，由于嵌缝材料适应管片接缝变形能力有限，因此，除了应在管片拼装作业后实施外，还要防止隧道施工阶段结构尚未稳定，隧道沉降、管片环变形对嵌缝防水效果产生的负面影响。

7.5 连接通道、竖井及其与隧道接头的防水

7.5.1 盾构隧道与竖井接头的防水，包括施工阶段的临时接头、运营阶段的永久接头的防水都是技术关键。因为，竖井与隧道在该处接头相对沉降量大，容易发生渗漏，危害不小。盾构隧道与竖井接头在施工阶段用专用帘布橡胶圈密封，它既能使盾构机械壳体通过而不被撕裂，然后又紧裹在管片环外密封防止漏泥沙。在隧道推进完成后，进出洞口都要浇筑钢筋混凝土洞圈，这时候，隧道与洞圈两者是刚性连接(通过洞口附近的变形缝适应变形)，但其接缝则用柔性密封材料密封。

7.5.2 连接通道通常采用矿山法施工，连接通道及其与圆隧道接头防水包括：通道混凝土本体防水；通道夹层防水层及注浆管(如：抗融沉注浆的注浆管)穿过防水层的接口防水；通道与圆隧道接缝等的防水。另外，在不良地层，为规避初次衬砌暴露时间过长带来的施工风险，也有不设夹层防水层而以内防水层(如用喷涂聚合物水泥砂浆)替代的方式，由于内防水层的使用寿命相对较短，故替代方式需要经过综合评审通过，方可实施。

8 沉管法隧道

8.1 一般规定

8.1.2、8.1.4 沉管管段应根据其沉放铺设基础的地层情况、处理方式以及管段构造与长度等设计各类接缝，因此，在管段长而基础不打桩或不充分打桩时，管段中可设节段，节段间以变形缝构造形式处理，缝中间、缝内侧可设中埋式止水带，内装可卸式小型 OMEGA 橡胶止水带。在管段尺寸不很大，地层土质均质，不易引起不均匀沉降或基础充分打桩时，可只设后浇带、施工缝。

8.1.3 沉管法管段混凝土作为现场浇筑的预制件，其设计与施工更接近明挖法的箱形结构，但必须考虑到它的体量大，尤其侧壁混凝土厚，为有效控制水化热，纵向布设若干排、列通水的冷凝管降温是常用的方法。冷凝管的管径与排设的数量，根据环境温度、混凝土水化热等的计算与试验确定。

8 沉管法隧道

8.1 一般规定

8.1.2、8.1.4 沉管管段应根据其沉放铺设基础的地层情况、处理方式以及管段构造与长度等设计各类接缝，因此，在管段长而基础不打桩或不充分打桩时，管段中可设节段，节段间以变形缝构造形式处理，缝中间、缝内侧可设中埋式止水带，内装可卸式小型 OMEGA 橡胶止水带。在管段尺寸不很大，地层土质均质，不易引起不均匀沉降或基础充分打桩时，可只设后浇带、施工缝。

8.1.3 沉管法管段混凝土作为现场浇筑的预制件,其设计与施工更接近明挖法的箱形结构,但必须考虑到它的体量大,尤其侧壁混凝土厚,为有效控制水化热,纵向布设若干排,列通水的冷却管降温是常用的方法。冷却管的管径与排设的数量,根据环境温度、混凝土水化热等的计算与试验确定。

8.2 管段接头防水

8.2.1 GINA橡胶止水带的固定方式很重要,实践表明,只有正确、可靠的固定方式,才能减少密封垫不合特性的压缩变形,防止止水带的脱位与压接件的损害。沉管接头的固定方式有卡箍方式或穿孔方式两类:卡箍式方法即采用焊接于端钢壳上的压块和压板,卡住安装到位的GINA橡胶止水带两侧的凸缘,起到固定就位的作用,优点是GINA橡胶止水带本身无开孔的缺损,安装便利,但若管段接头受到突然猛烈地冲击(如地震),止水带有从卡箍装置中脱落出来的可能。穿孔式方法即在GINA橡胶止水带生产过程中,于其两侧凸缘间隔一定距离预留了螺孔,安装时螺栓穿过压板、凸缘,最后固定于端钢壳上。其优点是止水带固定牢固,不会脱落,但安装时,螺孔对位精度要求较高,就位与固定时不太方便,且需在端钢壳上开孔,这些会降低端钢壳的整体防水性能。但是,对多地震地区,采用穿孔固定方式,无疑对防止止水带脱位等意外情况的发生更为有效。

本条对管段接头GINA橡胶止水带的选择依据、材质作了说明。从GINA橡胶止水带性能而言,材料在一定配合比条件下的应力应变特性是确定密封垫工作区的要素。由于GINA橡胶止水带永远工作在地下土层中,对耐紫外线,耐臭氧,耐油脂要求相对较小,故它的材质主要为两大类:天然橡胶或它与丁苯橡胶的混炼胶;纯天然橡胶弹性复原率高,尤其适用于地震区域,如日本等多地震国家用得就比较多。

8.2.3 管段接头OMEGA橡胶止水带材质的选择是根据国内广州、宁波、上海、天津、珠海等已建、在建隧道中的应用经验,并借鉴荷兰、日本等厂商的资料及其在多国的工程实践。

考虑到实践使用中OMEGA橡胶止水带的局部老化、损伤,因此,既要求能通过调整OMEGA橡胶止水带的压板、压件的紧固达到止水要求,同时还要求满足OMEGA橡胶止水带的局部或全部更换,因此,压板、压件的方便拆卸非常重要,首先它们的防锈蚀应可靠。

8.2.7 对于长度、宽度尺寸大,基础沉降不易均匀地段的管段,往往还分设管节,这些管节接头之间设置了能适应轻微变形的变形缝,变形缝的防水更需加强,可靠的多道设防尤为必要。

8.3 管段外包防水、防腐层

目前欧美国家,尤其北欧国家对沉管管段混凝土的防水,更强调本体混凝土结构自防水,而不采取施作外防水层的措施。其理由是,足够密实的结构混凝土为防水的根本,外防水层的寿命与可靠性常受质疑,尤其水下抛石等易造成管段混凝土防水层损害。但考虑与我国现行相关标准的协调,特别是裂缝等出现并非防水混凝土所能克服,所以本节还是对外防水层作了规定。

8.3.1 带键(如“牙”型或“T”型)的塑料板,既能防水、防腐蚀,又耐穿刺、耐碰撞。同时,可与浇筑的混凝土“咬合”,既可以作模板又能作为防水层,故被选为底板、侧墙外防水层,如澳大利亚悉尼港过江沉管隧道;但由于塑料板焊缝的质量保证尚有难度,而其自身又需要在混凝土结构钢筋焊接时防止焊渣灼损,因此应用实践也受限制,工程实例并不很多。

喷涂型聚氨酯涂层有涂层耐磨、耐冲击、防水耐久、不用保护层等材质优点及喷涂成膜快、工艺简便等施工特性,因而被选用于侧墙和顶板外防水层。同样,聚合物水泥砂浆材料具有亲水性,适应裂缝张开变形的特点;同时,有喷射施工一次成膜厚等优点,适用于侧墙和顶板外防水层。同样,聚氨酯、渗透型环氧等涂料,因其良好的应用特性,也常用在管段混凝土底板以外的侧墙、顶面。

管段混凝土的全包防水层材质与普通箱形结构的材质有很大不同。譬如:由于有预制衬砌和水下沉放的两大特点,地下工程防水较少采用的金属(钢板)防水层长期以来就成为管段混凝土主要的外防水材料,因此,除了对钢板材质、厚度有要求外,其防腐措施要求也高。此外,还应加强钢板与混凝土锚固件的整体结合,防止钢板起壳。考虑到中等腐蚀以上的地层,对钢板加速腐蚀,不宜单纯采用加厚钢板或加厚防锈涂层来克服,而采用牺牲阳极等阴极保护方法等才是积极有效的措施,其中在长期应用中,阳极构件与钢板的可靠连接的细部构造也是至关重要的。

8.3.3 侧墙管段混凝土除层要求施作保护层,而顶板考虑到在沉管隧道有船舶下锚,为不损害防水层及保护层,可视沉管隧道顶面距河谷距离,施作100mm~150mm防锚层,起到保护作用(这时防锚层可与防水层的保护层结合)。另外,在防锚层上的回填层应该是碎石类防冲材料,起到双重保护。

8.4 管段最终接头及管段与岸边段接头防水

8.4.2、8.4.3 管段与岸边段接头有刚性与柔性两类连接方式,分别采用不同的防水材料。当管段最终接头为刚性接头时,由于没有作为水力压接的止水材料橡胶密封垫,显得不够可靠,因此要通过设置多道防水措施来起到加强防水的功效,而这多道防水措施往往为柔性材料。

由于管段沉放精度的局限性,管段与岸边段之间必然存在一定的实测高差,为了使OMEGA橡胶止水带安装后,起到应有的防水功效,故需在管段底板的原有端钢壳上加焊一个端钢壳,以便为OMEGA橡胶止水带提供同一高度的安装工作面。

9 顶管法、箱涵顶进法隧道

9.1 一般规定

9.1.2 预制衬砌分为工厂预制,如顶管管节;现场预制,如箱涵管节。工厂预制的对钢模及其拼接要求高于现场预制的,另外,衬砌混凝土的质量和浇筑、养护要求也是工厂更易掌控。作为地下隧道的顶管管节,箱涵管节,虽然都要求为防水混凝土,但抗渗等级,

抗压强度要求不同,顶管管节以半干性混凝土用钢模立式振捣浇筑,容易满足抗渗等级不低于P8、强度等级不低于C50而且断面尺寸较薄的要求,箱涵管段的加工方式则更像沉管管段,故混凝土品质也相近。

9.1.3、9.1.4 纯粹的金属管构成的顶管隧道极少有,它也非本规范的内容。这里所指的是混凝土与钢板的复合管;包括内壁或外壳为金属的复合型管道。这类复合管如是输水管,则应满足抗输水压力的防水要求。如为金属复合管,则有金属的防腐蚀要求;既要满足施工阶段金属管的防护,也要满足运营期的金属防腐蚀。

9.1.5 钢筋混凝土顶管管节几何尺寸的误差既会影响管节的密封防水,也会造成管节缺损与裂缝,因此应作专门规定,考虑到现行行业标准《顶进施工法用钢筋混凝土排水管》JC/T 640中对此已作了明确规定,故引用。

9 顶管法、箱涵顶进法隧道

9.1 一般规定

9.1.2 预制衬砌分为工厂预制,如顶管管节;现场预制,如箱涵管节。工厂预制的对钢模及其拼接要求高于现场预制的,另外,衬砌混凝土的质量和浇筑、养护要求也是工厂更易掌控。作为地下隧道的顶管管节、箱涵管节,虽然都要求为防水混凝土;但抗渗等级、抗压强度要求不同,顶管管节以半干性混凝土用钢模立式振捣浇筑,容易满足抗渗等级不低于P8、强度等级不低于C50而且断面尺寸较薄的要求,箱涵管段的加工方式则更像沉管管段,故混凝土品质也相近。

9.1.3、9.1.4 纯粹的金属管构成的顶管隧道极少有,它也非本规范的内容。这里所指的是混凝土与钢板的复合管;包括内壁或外壳为金属的复合型管道。这类复合管如是输水管,则应满足抗输水压力的防水要求。如为金属复合管,则有金属的防腐蚀要求;既要满足施工阶段金属管的防护,也要满足运营期的金属防腐蚀。

9.1.5 钢筋混凝土顶管管节几何尺寸的误差既会影响管节的密封防水,也会造成管节缺损与裂缝,因此应作专门规定,考虑到现行行业标准《顶进施工法用钢筋混凝土排水管》JC/T 640中对此已作了明确规定,故引用。

9.2 顶管接头防水设计

9.2.1 作为企口式与钢承口式的钢筋混凝土管节接口,弹性橡胶密封圈既能抵抗土体中的地下水,又能抵御管道的内水压;平口式的不同弹性橡胶密封圈、企口式的“q”形橡胶止水圈,因接口强度低密封性能较差,更因管节直径小,极少用于隧道工程。

9.2.2 顶管施工中,绝大多数采用钢筋混凝土圆管,其接口形式有平口、企口、F型钢承口与T型双插口接头等四种。其中F型钢承口顶管施工顶进过程中,对高程、中线能起到修正作用,因而此类接口形式也有利于密封防水,适用于大口径顶管,因此,即顶管施工隧道时F型钢承口顶管成为主要施工方式。

9.2.3 L形与鹰嘴形橡胶密封圈均适合于双插口混凝土管。其中鹰嘴形,橡胶密封圈适合于曲线顶管。在霉菌侵蚀严重的地层则强调橡胶圈的防霉等级,既可由橡胶本身来满足,也可加防霉剂来满足。

9.2.7 由于丁腈橡胶、氯丁橡胶、三元乙丙橡胶分别在耐油、耐酸碱、耐低温等环境下表现良好性能,故突显它们的适用性。在霉菌侵蚀严重的地层则强调橡胶圈的防霉等级,既可由橡胶本身来满足,也可加防霉剂来满足。

9.2.10 顶管施工法应用于排污及化学液体的输送等工程项目时,由于污水中 H_2S 气体及其他物质的腐蚀,造成管道内表面混凝土的破损,影响其使用寿命。这是因为污水中含有各种各样的物质,但只要存在细菌、硫酸盐和无机组分,就具备了产生 H_2S 的必要条件,根据R. D. Pomeroy研究的结果, H_2S 产生的充分条件也要包括绝氧条件,硫酸盐还原成 H_2S 的过程必须在绝氧条件下才能进行。

在污水中的氧气、无机养分和硫酸盐扩散进粘膜层,在好氧区里,氧气和部分的无机养分被消耗,剩余的无机养分和硫酸盐继续扩散进厌氧区,在厌氧区厌氧菌的作用下,硫酸盐和无机组分反应生成 H_2S , H_2S 气体能在潮湿的管壁上氧化成 H_2SO_4 ,当污水温度比大地温度高时,由于存在温差,从污水中蒸发的水汽在干燥的管壁上冷凝,冷凝的水中含有 H_2S 和细菌,容易在管壁上生成硫酸。可以说,污水管道中气相部分的 H_2S 对潮湿管壁的腐蚀是主要考虑对象,由于管壁的温度比污水温度低,所以,当污水中蒸发的水汽上升时,在管内产生对流,气流沿壁冷凝而下,又从中央上升。

9.2.11 防腐涂料作为污水工程的防腐蚀措施,也是经常采用的方法。国外许多国家都采用防腐涂料,涂料作为管段内壁防腐涂层,其优点有:施工简便、速度快、技术成熟,质量有保证,如用无空气高压喷涂工艺,喷涂后应用任何外形的工作面;底涂料与混凝土粘结力强,涂层坚韧,耐酸、耐腐蚀好,耐干湿交替。

防腐涂层目前多采用可在潮湿基面施工的无溶剂厚膜型环氧涂料,采用刷涂或高压无气喷涂的方法进行作业。涂层厚度取决于设计要求的年限与成膜的能力,由于隧道工程设计使用年限长,所以通常涂层较厚,干膜总厚度约为 $300\mu m$ 。

9.2.12 在腐蚀环境中,牺牲阳极的阴极保护法对于长年埋在地层的隧道工程面积较大的金属外壳(这里指F型顶管管节金属套管),应用比较多。它较外加电流法在维护管理上简便。本条中牺牲阳极保护,是利用金属活动性较埋地金属要高的金属材料作为阳极,利用电化学腐蚀的原理,当腐蚀发生时,首先腐蚀阳极,从而达到保护阴极-金属外壳的目的。它与防腐涂层外层结合应用,更有效。

9.3 顶管法隧道防水施工

9.3.1 本条阐明了钢构件表面刷涂、滚涂、高压无气喷涂防腐涂料的基层处理要求,作业的环境条件,涂装作业的要点。

9.3.3、9.3.4 顶管进出洞时洞口的密封至关重要。出口的关键在于帘布橡胶卷的密封,进洞的关键是首节管节预留钢板与接收井洞口钢板间的钢板连接与密封。前者是临时柔性连接,后者是长久刚性连接。

9.4 箱涵顶进法隧道防水设计与施工

9.4.4 箱涵混凝土管段渗漏水治理强调了宜在气温较低,接缝、裂缝张开较大时注浆堵水处理,并不建议在接缝张开最大时堵水,因为那样会使气温高、接缝接近闭合时浆液固结体压缩。同时,对整体治水处理规定了临时止水与长期加固相结合的方式。对具体渗漏缝则注重先聚氨酯堵水,后在非流动水状态下的亲水性环氧加固。本条作第1、2两款规定是基于以下理由:

(1)设计和施工时应充分考虑结构变形因素。结构仍在变形,未稳定的裂缝,而又应满足竣工验收可先行堵水处理,同时应留有结构稳定后进一步治理的措施;

(2)需要补强的渗漏部位,应选用固结体强度较高的灌浆材料,如改性环氧树脂灌浆材料、水泥基灌浆材料、油溶性聚氨酯灌浆材料等。

10 其他隧道工程

10.1 一般规定

10.1.1 对于下列隧道工程,应采取有针对性的专项防水、防腐蚀或注浆工程设计与施工。

- 1 特别用途或使用要求的隧道工程,如水工隧洞、矿井巷道;
- 2 隧道处于特殊环境地质条件,如海洋腐蚀环境下的隧道工程;
- 3 特殊气候条件,如高山严寒环境下的隧道工程。

10 其他隧道工程

10.1 一般规定

10.1.1 对于下列隧道工程,应采取有针对性的专项防水、防腐蚀或注浆工程设计与施工。

- 1 特别用途或使用要求的隧道工程,如水工隧洞、矿井巷道;
- 2 隧道处于特殊环境地质条件,如海洋腐蚀环境下的隧道工程;
- 3 特殊气候条件,如高山严寒环境下的隧道工程。

10.2 水工隧洞

10.2.1 水工隧洞指水利水电工程中为满足灌溉、发电、供水、泄水、输水、排沙、施工导流和通航等需要而修建的隧道。可分为两大类,Ⅰ类为无水流通过的隧洞,主要用于交通、通讯、通风、管线布设或安放发电机、变压器等设备设施的场所等;Ⅱ类为有水流通过的隧洞,按洞内有无自由水面可分为有压隧洞和无压隧洞,按流速大小可分为低流速隧洞和高流速隧洞,按水压力大小可分为高压隧洞和低压隧洞。

水工隧洞的特殊性主要体现在Ⅱ类隧洞,Ⅰ类水工隧洞可按一般规定执行,本节不作赘述。

10.2.2 Ⅱ类水工隧洞除应满足一般隧道的规定外,重点针对隧洞内水流的作用、高压隧洞的水力劈裂、高流速隧洞的空化和冲蚀作用,以及围岩条件,选择衬砌型式和相应的防水措施。本规范条文所称水工隧洞未注明情况下一般即指此类隧道。

10.2.3 水工隧洞衬砌结构的防渗要考虑内水外渗和外水内渗两方面的作用,除满足衬砌结构正常运行要求外,还需保证围岩、边坡、相邻建筑物不发生渗透失稳或环境破坏。

10.2.4 为了减少水头损失、防止渗透破坏,水工隧洞较多采用混凝土结构衬砌,以衬砌结构自防水为主,并采取其他防排水措施。

10.2.5 水工隧洞衬砌结构段分缝(环向缝)处防水处理措施与普通隧道基本一致,所设置相应的防排水构造和设施基本相同。不同之处主要在于水工隧洞常常考虑内外两面防水,如果在隧洞内表面采取防水处理措施还需适应隧洞内特殊的水流条件。

10.2.6 由于水工隧洞往往需要承受较高内外水压力,对衬砌结构的纵向施工缝位置的选择应严格控制。衬砌结构混凝土应尽可能按先底板边墙后顶拱的顺序施工,部分水工隧洞由于洞径大、围岩稳定性差等原因,为了有利于施工安全,也会先施工洞室上半部然后施工下半部分,从而在衬砌结构中形成逆筑施工缝,此类情况应对缝面作妥善处理,必要时进行专门设计。

10.3 矿井巷道

10.3.1 矿井巷道是一种特殊的地下工程,安全隐患较多,其中水患是矿井常见多发的较严重安全隐患之一,做好巷道防治水是矿井安全生产的重要一环,本条对此作了原则性规定。

10.3.2 巷道排水需要特别说明的是:

(1) 矿井巷道排水除了满足本条要求外,还应符合国家和各个地方关于矿山防治水的相关规定。

(2) 矿井巷道应建立排水系统。该系统和矿井其他排水系统组成矿井排水系统,主要包括水泵、排水管路、配电设备、水仓、水沟等。不得将矿井水向老空区排放;也不得私自灌入其他矿井,再由其他矿井排水。

排水系统的设置应根据最新预测评价的正常涌水量和最大涌水量为依据,各种排水设施要相互匹配,确保矿井能够正常排水。

(3) 在井下可能受水害威胁地段,为预防地下水突然涌入其他巷道而专门设置的截水闸门,称之为防水闸门。防水闸门是井下防水的一项主要安全设施,凡水患威胁严重的矿井,在井下巷道设计布置中,就应在适当地点预留防水闸门硐室和水闸墙的位置,使矿井形成分翼、分水平或分采区隔离开采。

10.3.3 巷道注浆是指水平或倾斜巷道穿过裂隙含水岩层、破碎带或冒落区时,在井巷排水基础上为了堵水或加固所进行的一种工作面注浆。分为工作面预注浆、工作面直接堵漏注浆,它们是井巷施工和正常使用的重要技术防治水措施。

巷道注浆适用条件及主要特点见表4。

表4 巷道注浆的分类及适用条件

类别	适用条件	主要特点
堵水注浆	巷道穿过裂隙含水岩层,影响施工或使用时,或水压高、涌水量大,并有突水危险时,可采用堵水注浆	1. 应用工作面预注浆,在巷道周围造成帷幕; 2. 应用单液水泥浆或水泥-水玻璃双液浆堵水; 3. 为保证安全钻进注浆孔,通常采用下孔口管并装阀门的方法,必要时,采取孔口设置密封器或钻杆止退措施; 4. 与固结注浆相比,注浆压力较高,流量较小
固结注浆	巷道穿过无水,或少量涌水地段,或风化破碎带,有岩石冒落威胁时,可采用固结注浆	1. 经过工作面预注浆,巷道周围破碎岩石被固结; 2. 注浆孔冲洗液漏失量小于80升/分,可应用单液水泥浆; 3. 可采用孔口安装阀门的方法注浆; 4. 注浆压力较低,流量较大
回填注浆	巷道超挖,形成过水通道,拱壁漏水,并存在冲击地压破坏拱壁的可能,或工作面附近发生冒顶片帮,可采用回填注浆	1. 可以用单液水泥浆或水泥砂浆进行后注浆,加固堵水; 2. 在冒落区用矸石、炉渣、沙等作为骨料,与注浆组合进行填充加固; 3. 注浆压力低,流量大

10.4 海底隧道

10.4.1 海底隧道工程中,为了提高衬砌混凝土防水能力以及抗海水有害介质侵蚀的能力,要求配制具有高性能的混凝土,其核心是控制裂缝的产生、提高混凝土的防水性、密实性和耐久性等。这些性能的实现,需要通过围岩注浆堵水,初期支护,防水层,二次衬砌混凝土自防水等多道防水措施来完成,对防水等级的要求相对高一些。因此,防水等级定为一防水,以确保隧道衬砌混凝土工程能够满足结构使用功能的要求。

10.4.3 海水对混凝土的腐蚀主要有:在有压动水条件下的浸析作用使混凝土的抗渗性降低;海水中存在的 SO_4^{2-} 渗入混凝土内部,与混凝土的某些成分反应后的生成物吸水产生膨胀应力,引起混凝土内部裂缝产生;海水中的 Mg^{2+} 与混凝土浆体中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 生成溶解度极小的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 和可溶性钙盐,可直接导致C-S-H凝胶发生分解,使硅酸盐凝胶的胶结性能下降,造成溶蚀性破坏;氯离子侵蚀主要表现在对钢筋的腐蚀等。最终导致混凝土的劣化、结构被削弱。因此,混凝土设计中强度等级、抗渗等级都相对较高,配合比设计以耐腐蚀、耐久性等技术指标为重点,且为高性能抗渗耐腐蚀混凝土。本条还规定了外加剂及掺合料的掺入不能对混凝土的耐腐蚀性和耐久性产生不利影响,以提高混凝土结构耐久性和抵抗化学腐蚀的能力。

10.4.4 围岩注浆堵水是隧道工程防水的第一道防线,是防水、防腐蚀的重要环节,在条文中以耐腐蚀性、耐久性等技术指标为重点,考虑到海底隧道的特殊性,对注浆材料做了详细规定,并强调了不得采用对环境有污染的化学浆液。

10.4.5 复合防水层和分区防水是近年来引进的新技术,应用效果较好,故推荐使用。同时,由于海底隧道的原因,对防水板厚度、耐水压条件以及在海水环境中力学性能指标等做了要求。

10.5 严寒环境隧道

10.5.1~10.5.9 严寒环境修建隧道的技术难题是防止围岩冻结及冻胀的产生,保证隧道衬砌不被破坏。加强防水,保温,排水措

施,在排水系统结合供热设施等,是避免严寒地区隧道冻胀及结冰病害的有效方法。因此,本条规定了防水等级为“一级防水”,并提出了加强“三缝”处理、排水系统增加保温措施、不同气温的排水沟形式、中心水沟的埋设深度、检查井的设置、防寒排水沟的埋置深度、配管排水设施等要求。

10.5.10 最冷月平均气温低于 -15°C 以下的严寒地区,只要确定冬季有水,其水沟均应采取防寒措施,为防止排出的水在出水口冻结,所以本条规定了在保温水沟洞口端头范围内设置防寒出水口,并对出水口的形式做了规定。

10.5.11 鉴于严寒环境隧道混凝土衬砌的浇筑具有特殊性,本条对混凝土的制作过程、温度控制、运输、浇筑、养护等细节做了规定。

10.6 隧道工程注浆

10.6.1 隧道工程防水注浆的分类方法很多,本条按施工顺序,即注浆施工时间的先后顺序对山岭隧道洞内静压防水注浆的种类进行了分类,包括预注浆、衬砌施工前围岩渗水注浆、衬砌施工后回填注浆、衬砌混凝土缺陷注浆和衬砌施工后围岩注浆。其他类型隧道的防水注浆可参考执行。上述隧道工程防水注浆方法可单独采用,也可按工程实际情况采用几种注浆方法综合实施,以确保工程顺利实施,达到工程目的。

10.6.2、10.6.3 隧道工程防水注浆材料品种很多,条文规定了隧道防水注浆材料应满足的基本要求,根据近年来化学灌浆材料的发展和实际应用情况,按国家现行有关标准规定了化学注浆材料(丙烯酸盐灌浆材料、环氧树脂灌浆材料、聚氨酯灌浆材料)应满足的性能要求。隧道注浆防水材料均应符合环保要求。

隧道注浆材料是关系到注浆成败的关键之一,它直接影响到注浆成本、注浆效果、注浆工艺等一系列问题。而且有时单一某种材料并不能达到良好的注浆效果,因此必须根据工程目的、水文地质条件、成本等综合因素考虑,合理选择注浆材料。

1 预注浆。衬砌施工前和衬砌施工后围岩注浆情况复杂,应根据裂隙大小和渗水情况选择注浆材料。裂隙宽度大于 0.2mm 的岩层,注浆材料采用水泥灌浆材料或水泥-水玻璃灌浆材料;裂隙宽度小于 0.2mm 的岩层,普通水泥灌浆材料难以灌注时,宜采用超细水泥灌浆材料或超细水泥-水玻璃灌浆材料,当采用超细水泥灌浆材料或超细水泥-水玻璃灌浆材料仍达不到设计要求时,可采用聚氨酯灌浆材料或丙烯酸盐灌浆材料进行堵水,需要补强时可采用环氧树脂灌浆材料。如湖南浏阳引水隧洞F86断层施工处理,采用超前注浆加固的施工工艺,先采用水泥-水玻璃浆液材料进行堵漏灌浆,再用环氧树脂化学灌浆材料进行补强加固防水灌浆,这样既达到了设计要求,又满足了开挖要求。

2 衬砌缺陷渗水可采用丙烯酸盐灌浆材料或聚氨酯灌浆材料来堵水,对于衬砌缺陷细微裂缝且需要补强时,采用环氧树脂灌浆材料。

3 由于丙烯酸盐灌浆材料和聚氨酯灌浆材料具有很好的堵水性能和一定的变形能力,特别适合衬砌变形缝渗水的注浆处理。

10.6.5 预注浆设计和施工要强调以下几点:

(1)由于工作面围岩较软弱,注浆时有一定的压力,这样工作面易坍塌,而且会引起漏浆,严重影响注浆效果和施工安全。因此掌子面工作处必须设置止浆墙,即先对掌子面进行堵水、排水处理,然后进行喷锚或浇筑止浆墙混凝土,为钻灌提供工作面。止浆墙应达到设计要求。

(2)在隧道开挖前,要通过打超前探水孔或采用地质雷达等物探手段进行探水和了解围岩情况。根据探水孔的涌水量、涌水压力、温度、水质、岩石分类和破碎程度等情况,对预注浆设计参数如钻孔的布置、排距、钻孔深度及角度等进行确定。预注浆钻孔布置一般为由工作面向开挖方向呈伞形辐射状,根据隧道施工开挖方式全断面一次布孔和半断面多次布孔,钻孔布置成一圈或数圈,内外圈可按梅花形排列,并采用长短孔相结合。

(3)注浆设计压力的选择非常重要,压力太高,浆液有可能扩散到预定的注浆范围之外,还可能对地面产生变形,引起安全问题。压力太小,浆液扩散范围小,达不到注浆目的。目前预注浆压力往往是以静水压力为依据,在不允许岩层发生变形的前提下,一种是注浆压力为静水压力的3~5倍,另一种是注浆压力比静水压力大 $0.5\text{MPa}\sim 1.5\text{MPa}$ 。如现行行业标准《铁路隧道防排水技术规范》TB 10119规定注浆压力比静水压力大 $0.5\text{MPa}\sim 1.5\text{MPa}$ 。圆梁山铁道隧道预注浆压力为静水压力的2~3倍。因此本规范规定注浆压力可为预注浆洞身静水压力的2~3倍。同时还要考虑地面产生的变形引起的安全问题。

10.6.6 衬砌前围岩渗水注浆的设计和施工要注意以下几项:

(1)由于围岩渗水比较复杂,没有普遍适用的布孔方式,须根据具体情况灵活布置,因此本规范规定:①应在漏水量较大处布孔;②大股涌水,布孔应在水流上游;③大面积渗漏及裂隙渗漏,布孔采用梅花型,注浆孔的间排距可按 $2\text{m}\times 2\text{m}$ 布置,钻孔深度应根据工程要求而定。

(2)围岩渗水注浆先封堵散水,形成约束区,限制地下水窜流,最后集中封堵,因此本规范规定:先灌无水孔,再灌出水孔,最后灌出水量最大的孔。

10.6.7 回填注浆设计和施工要强调以下三点:

(1)为防止回填注浆引起衬砌混凝土的破坏,本规范规定应在衬砌混凝土达到设计强度70%后才能进行回填注浆。

(2)孔深宜穿过衬砌混凝土,目的是保证灌浆孔要穿过混凝土衬砌层,达到灌浆效果。测量混凝土厚度和空腔尺寸,是为了估算耗浆量。

(3)注浆压力越高,越有利于浆液对空腔的充填,但压力太大会破坏衬砌混凝土,因此本规范规定注浆压力应根据不同的衬砌结构设计要求执行。

10. 6. 8 衬砌缺陷注浆设计和施工要强调以下五点:

(1)为防止衬砌混凝土的破坏,本规范规定衬砌内注浆应待衬砌结构稳定和混凝土达到设计强度后进行。

(2)衬砌渗漏水包括点渗、面渗、裂缝渗水等情况,为此布孔和钻孔没有统一的规定,要根据现场渗水情况而定。钻孔既不能太浅也不能太深,太浅了浆液只能灌在表面,达不到防渗漏的目的,太深了破坏了衬砌混凝土,浪费浆液。为此本规范规定孔深不应超过衬砌厚度的 $2/3$ 。

(3)混凝土裂缝灌浆要有很好的贯通性,在灌浆过程中要排气,才能使浆液在裂缝中充填饱满;灌浆孔的间距过大,达不到灌浆效果,灌浆孔的间距过小,浪费材料和工效。为此本规范规定,每条裂缝至少有一个进浆孔和一个排气孔,间距根据裂缝宽度而定,宜为 $0.5\sim 1\text{m}$ 。

(4)注浆压力选择应考虑衬砌混凝土的变形破坏。根据经验选择注浆压力在 $0.2\text{MPa}\sim 0.8\text{MPa}$,也可根据实际情况选择其他压力值。

(5)本规范规定灌浆结束条件为在规定压力下灌浆孔停止吸浆后,延续灌注 30min 。灌浆孔停止吸浆后再延续灌注 30min ,主要是为了确保灌浆效果。

10. 6. 9 衬砌后围岩注浆设计和施工有以下两项需要作解释:

1 为防止衬砌后围岩注浆对回填固体体的破坏而引起衬砌混凝土的破坏,本规范规定衬砌后围岩注浆应在回填注浆浆液固体体达到设计强度的 70% 后进行。

2 因现场渗水情况复杂,围岩的类别也不同,所以没有统一的布孔标准,要根据现场渗水情况和工程特点而定。为此本规范规定衬砌后围岩注浆钻孔入岩深度、孔距、布孔及钻孔深度可根据渗漏水情况和工程情况确定。

3 衬砌后围岩注浆的压力必须大于静水压力才能保证浆液的可灌性,根据经验选择衬砌后围岩注浆的压力可大于静水压力 $0.5\text{MPa}\sim 1.5\text{MPa}$,并加强变形观测。根据实际情况也可选择其他压力值。

11 隧道防水工程质量验收

11. 1 一般规定

11. 1. 3 根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300规定,可确认为隧道防水工程为隧道工程中的一个分部工程。由于隧道防水工程包括了主体结构防水工程、细部构造防水工程、排水工程和注浆工程的主要内容,它们被划分为隧道防水工程的分项工程,这样会有助于工程质量控制,有助于及时纠正施工过程中出现的质量问题,确保工程质量,也符合施工的实际情况。

11. 1. 4 按照现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300的要求,分项工程可有一个或若干检验批组成,检验批可根据质量控制和专业验收需要按主体结构、施工段、变形缝等进行划分;本条分别对主体结构防水工程、细部构造防水工程、特殊隧道防水工程、排水工程和注浆工程分项工程检验批的划分和每个检验批的抽样检验数量作了规定。

11 隧道防水工程质量验收

11. 1 一般规定

11. 1. 3 根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300规定,可确认为隧道防水工程为隧道工程中的一个分部工程。由于隧道防水工程包括了主体结构防水工程、细部构造防水工程、排水工程和注浆工程的主要内容,它们被划分为隧道防水工程的分项工程,这样会有助于工程质量控制,有助于及时纠正施工过程中出现的质量问题,确保工程质量,也符合施工的实际情况。

11. 1. 4 按照现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300的要求,分项工程可有一个或若干检验批组成,检验批可根据质量控制和专业验收需要按主体结构、施工段、变形缝等进行划分。本条分别对主体结构防水工程、细部构造防水工程、特殊隧道防水工程、排水工程和注浆工程分项工程检验批的划分和每个检验批的抽样检验数量作了规定。

11. 2 各类施工法隧道

11. 2. 1 外观质量验收应侧重对混凝土裂缝状况的检查,按外露面积每 100m^2 抽查一处,每处 10m^2 ,且不得少于3处,验收部位裂缝宽度应符合本规程的要求。若存在裂缝,须采用灌浆等附加措施进行修补。

11. 2. 9 管片涂刷外防水涂层后,尽管未要求混凝土的表面层密实性提高(仅渗透结晶、密封类材料有此功效),但要求覆有防水层的混凝土的氯离子扩散系数较未涂的明显提高,这成为衡量涂层功效的指标,也是应检测的一个指标。

由于隧道直径相差很大,因此,若不论大小,仅规定相同环数的管片接缝密封垫都只要检测一次是不恰当的,通常大直径隧道同样环数检测量要大。另外,同一设计同一供货厂商的密封垫,检测数量可相对少些。至于螺孔密封圈,其数量与材料及管片密封垫也有对应关系,故检测频度也有相应的关系。

11. 2. 11 OMEGA橡胶止水带的检漏是判别其效果的可靠方法,检漏的水压应与实际最高水头压力相当(以历史最高水位至管段底面深加 5m 的水头),不宜取得偏高(如以历史最高水位至管段中心深的 1.2 倍水头,深埋处偏高),以免因检漏而无意中造成渗漏路径。

11. 2. 14 由于GINA橡胶止水带、OMEGA橡胶止水带对于整条隧道是一次供货,材料基本性能指标应是相同的,故对性能的检查频度为每条隧道一次。而OMEGA橡胶止水带安装工效,受施工条件、密封装置、人员等可变因素的影响大,同时,OMEGA橡胶止水带若

渗漏，会直接危及运营安全，因而每节管段都要对其分别检漏。

11.2.15 顶管的橡胶止水密封圈是主要防水密封材料性能指标，故作为主控项目，接头偏差质量则作为一般项目控制。

11.3 其他隧道的专项防水工程验收

11.3.1 现行行业标准《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准》DL/T 5113尚未对水工隧洞作专门的规定，防水专项质量检验要求通常由设计单位根据实际需要制定。

11.3.5 隧道洞内注浆效果的检测通常是在结合地质资料分析灌浆成果的基础上采取钻孔取芯、压水、物探等方法。不同的工程对钻孔取芯、压水、物探有不同的技术要求。各工程应按工程设计要求执行，无规定时可按本条相应的款项执行。

1 预注浆检查标准应在分析资料的基础上，采取钻孔取芯法和压水检测等对注浆效果进行检查，不同的隧洞检查标准有所不同，都应以满足能够开挖的目的作为检查标准。如长沙引水工程隧洞采用的预注浆检查标准为透水率小于 1Lu ，岩芯获得率大于或等于85%，抗压强度大于 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ ；圆梁山铁道隧道预注浆检查标准为：(1)严重破碎带的透水率应小于 0.2Lu ，且任一处的漏水量小于 $10\text{L}/\text{min}$ ；(2)一般地段的透水率应小于 0.4Lu ，且任一处的漏水量小于 $10\text{L}/\text{min}$ ；(3)由检查孔取芯，观察充填情况。为此本规范规定：预注浆检查标准应在分析资料的基础上，采取钻孔取芯法和压水检测对注浆效果进行检查；根据不同的隧洞，以满足能够开挖的目的作为检查标准。

2 衬砌前围岩注浆检查标准应以满足隧洞喷锚支护和混凝土衬砌施工条件和施工质量作为检查标准，不同的工程要求不同。如锦屏二级水电站3[#]、4[#]引水隧洞，衬砌前围岩注浆检查标准为：每30m长渗漏水洞段渗漏水总量不大于 $3\text{L}/\text{s}$ ，单点集中出水点不大于 $0.4\text{L}/\text{s}$ 。为此本规范规定：衬砌前围岩注浆检查标准应在分析资料的基础上，采取钻孔取芯法和压水检测对注浆效果进行检查；根据不同的隧洞，以满足隧洞喷锚支护和衬砌施工条件和施工质量作为检查标准；根据经验也可用每30m长渗漏水洞段渗漏水总量不大于 $3\text{L}/\text{s}$ ，单点集中出水点不大于 $0.4\text{L}/\text{s}$ 作为检查标准。

3 衬砌缺陷注浆质量检查：检查孔的布置和压水压力应符合设计要求，结合灌浆成果可布置在注浆薄弱的地方，当混凝土裂缝长度小于100m时，也应布置不少于3个检查孔，每条裂缝应都有检查孔。不同的地下隧道工程对外观要求不一样，为此注浆后外观检查应符合各自的工程要求。