



T/CECS XXX—20XX

中国工程建设标准化协会标准

铁路凹型纵坡隧道防排水技术规程

Technical Specification for Waterproofing & Drainage of Concave Slope Railway
Tunnel

（征求意见稿）

（在提交反馈意见时，请将知道的相关专利和支持性文件一并附上）

Xxxx 出版社

中国工程建设标准化协会标准

铁路凹型纵坡隧道防排水技术规程

Technical Specification for Waterproofing & Drainage of Concave Slope

Railway Tunnel

(征求意见稿)

T/CECS XXX—20XX

主编单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：xx 年 xx 月 xx 日

Xxxx 出版社

2023 年·北京

中国工程建设标准化协会公告

第 XXX 号

关于公布《铁路凹型纵坡隧道防排水技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发 2021 年第一批协会标准制订、修订计划的通知》（建标协字〔2021〕11 号）的要求，由中铁第四勘察设计院集团有限公司等单位编制的《铁路凹型纵坡隧道防排水技术规程》，经本协会铁道分会组织审查，现批准发布，编号为 T/CECS**-2021，自 2023 年*月*日起施行。

中国工程建设标准化协会

XXX 年 XX 月 XX 日

前 言

根据中国工程建设标准化协会关于印发《2021 年第一批协会标准制订、修订计划的通知》（建标协字[2021]11 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 8 章，主要内容包括：总则、术语、基本规定、隧道防水设计、隧道防水施工、隧道排水、检测和验收、运营监测与维护等。

本规程由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由中铁第四勘察设计院集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给中铁第四勘察设计院集团有限公司（地址：湖北省武汉市武昌区杨园和平大道 745 号，邮政编码：430063）。

主编单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司

参编单位：中国铁路经济规划研究院有限公司

西南交通大学

中铁十一局集团有限公司

中铁十四局集团有限公司

江阴海达橡塑股份有限公司

主要起草人：XXX

主要审查人：XXX

目 录

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	5
4 勘 察	9
5 隧道防水	12
5.1 一般规定	12
5.2 明挖隧道	19
5.3 矿山法隧道	29
5.4 盾构隧道	45
6 隧道排水	57
6.1 一般规定	57
6.2 明洞、洞口及洞身排水	60
6.3 集水池和机械排水设施	64
6.4 机械排水设施配套系统	66
6.5 施工期排水	67
7 防排水施工	71
7.1 一般规定	71
7.2 防水施工	75
7.3 排水施工	99
7.4 防排水材料	103
8 检验和验收	121
8.1 检 验	121
8.2 验 收	121
9 运营监测与维护	123
9.1 运营监测	123
9.2 运营维护	124
用 词 说 明	125

引用标准名录 126

Contents

1 General provisions.....	1
2 Terms.....	2
3 Basic requirements.....	5
4 Geotechnical investigation.....	6
5 Tunnel waterproofing.....	12
5.1 General requirements.....	12
5.2 Cut and cover tunne.....	20
5.3 Mining-method tunnel.....	29
5.4 Shield tunnel.....	46
6 Tunnel drainage.....	57
6.1 General requirements.....	57
6.2 Tunnel portal & hole body drainage.....	60
6.3 Wet wells&mechanical drainage facilities.....	64
6.4 Supporting system for mechanical drainage facilities.....	66
6.5 Construction drainage.....	67
7 Construction of waterproofing&drainage.....	71
7.1 General requirements.....	71
7.2 Construction of waterproofing.....	75
7.3 Construction of drainage.....	99
7.4 Material of waterproofing&drainage.....	103
8 Inspection and acceptance.....	121
8.1 Acceptance standard.....	121
8.2 Acceptance standard.....	121
9 Operational monitoring&maintenance.....	123
9.1 Operational monitoring.....	123
9.2 Operational maintenance.....	124
Explanation of wording.....	125

List of quoted standards.....	126
Addition:Explanation of provision.....	126

1 总则

1.0.1 为规范铁路凹型纵坡隧道防排水设计、施工及验收，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于采用盾构法、矿山法及明挖法修建的铁路凹型纵坡隧道工程的防排水设计、施工和验收，其他交通类隧道可参照执行。

1.0.3 铁路凹型纵坡隧道工程防排水采用的新材料、新技术、新工艺应经**试验验证、鉴定并得到主管部门许可**，确保工程质量和安全。

1.0.4 铁路凹型纵坡隧道工程的防排水勘察、设计、施工及验收除应满足本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 凹形纵坡隧道 concave slope tunnel

隧道洞身范围内连续两段纵坡交点处的标高低于两侧坡段标高的隧道，此类隧道一般无法通过重力流方式将积水排出洞外。

2.0.2 隧道防水 waterproofing of tunnel

为防止隧道外的水透过隧道衬砌进入隧道内的工程措施。

2.0.3 隧道排水 tunnel drainage

在隧道内外建立排水系统，排放、疏干、引导隧道周边地下水和隧道内汇水，将隧道内外的水有序排出隧道的工程措施。

2.0.4 防水型隧道

防水型隧道是指不允许地下水进入隧道内的结构体系，对于明挖法及矿山法隧道是指采用防水层全包的抗水压结构，由于防水层在隧道横断面上是全封闭的，故又称全封闭防水型衬砌。防水材料既可以选择塑料防水板或与现浇混凝土有较好粘结性能的自粘式或反粘式防水材料。

2.0.5 排水型隧道

排水型隧道是指允许地下水或部分地下水进入隧道内的结构体系，一般应用于明挖法及矿山法隧道，通常是采用防水层半包或防排水层全包，对衬砌背后汇水进行有序疏导，全部或限量排放的结构体系。

2.0.6 防水等级 classification of waterproof

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。

2.0.7 防水混凝土 water-proof concrete

通过调整配合比，掺加外加剂、掺合料，并采用相应的施工工艺提高其密实性而使抗渗等级不低于 P6 的混凝土。

2.0.8 防水层 waterproof layer

附加在隧道衬砌结构上的防水结构物。可分为水泥或聚合物砂浆防水层、卷材防水层、涂料防水层、金属防水层等。

2.0.9 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。

2.0.10 分区防水 waterproof partition

采用环向背贴式止水带，将衬砌背后区域划分为逐个独立分区，各区域之间水不能串流互通的一种防水形式。

2.0.11 预铺反粘法 pre-applied full bonding installation

将覆有高分子自粘胶膜层的防水卷材空铺在基面上，然后浇筑结构混凝土，使混凝土浆料与卷材胶膜层紧密结合的施工方法。

2.0.12 密封件 gasket

由工厂加工预制，在现场粘贴于管片密封件沟槽内，用于管片接缝防水的密封材料。

2.0.13 螺孔密封圈 bolt hole sealing washer

为防止管片螺栓孔渗漏水而设置的密封件。

2.0.14 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、跑浆的混凝土构筑体。

2.0.15 注浆 grouting

利用气压、液压或电化学原理，把能胶结、固化的浆液注入岩土体的裂隙或孔隙，以改善地层的物理力学性质，达到防渗、止水效果的工程作业活动。

2.0.16 超前预注浆 advanced pre-grouting

在开挖前以降低地层渗透系数、提高周围岩土体物理力学性能为目的，对周围岩土体及其裂隙压注可固化浆液。根据施工场所可分为隧道开挖工作面预注浆和地面预注浆；其中：隧道开挖工作面预注浆根据注浆范围可分为：超前帷幕注浆、超前周边注浆、超前局部注浆等。

2.0.17 径向注浆 radial grouting

隧道开挖后，在二次衬砌施作前垂直于开挖轮廓面或支护内表面进行以降低地层渗透系数或提高周围岩土体物理力学性能为目的的注浆。

2.0.18 回填注浆 backfill grouting

在支护或衬砌完成后，为填充支护与围岩等结构物之间的空隙而进行的注浆。

2.0.19 施工缝 construction join

由于施工组织或施工技术原因，混凝土分单元不连续灌、停顿时间超过混凝土初凝时间而在结构中形成的结合面。

2.0.20 变形缝 deformation joint

为防止结构受温度变化影响产生伸缩或受地层影响产生不均匀沉降对结构的不利影响而设置的伸缩缝和沉降缝的总称。

2.0.21 钻孔排水 drain boring

从开挖面或支护（衬砌）表面向围岩深部钻孔以排放围岩中地下水或处理涌水的方法。

3 基本规定

3.0.1 凹型纵坡隧道防排水设计应区分排水型隧道及防水型隧道，排水型隧道防排水设计应遵循“防、排、截、堵相结合，因地制宜，综合治理，保护环境”的原则；防水型隧道防排水设计应遵循“以防为主，刚柔结合，多道设防，因地制宜，综合治理”的原则。

条文说明：隧道防排水作为一个系统，其设计内容涵盖地表水、地下水、围岩、防排水措施、结构设计等。根据地下水处理方式的不同，隧道可以分为排水型隧道、防水型隧道两种。当允许地下水通过隧道排水系统排放时，隧道设计为排水型；考虑环境保护及运营使用等因素，不允许地下水大量排放时，隧道需设计为防水型或“以防为主、限量排放”型。

凹型纵坡隧道的防排水设计可根据隧道所处的地形地貌、工程水文地质环境及使用功能等要求选用不同的防排水策略，不同的隧道或隧道的不同区段可采用不同的防排水策略。

防排水原则既要考虑如何适应地下工程种类的多样性问题，也要考虑如何适应地下工程所处地域的复杂性的问题，同时还要使每个工程的防水设计者在符合总的原则的基础上可根据各自工程的特点有适当选择的自由。

《地铁设计规范》中提出地下工程防水应遵循“以防为主，刚柔结合，多道设防，因地制宜，综合治理”的原则，该条款在城市隧道工程中得到了广泛应用，具有普遍性；《地下工程防水技术规范》中提出施工应遵循“防、排、截、堵相结合，刚柔相济，因地制宜，综合治理”的隧道工程防排水设计原则。相较于地铁规范中设计原则，提出了排、截、堵相结合的防排水思路。因此本条文综合了以上两个规范中的设计原则，将凹型纵坡隧道区分为排水型隧道及防水型隧道，针对两种类型隧道的对地下水处治思路的不同，分别提出相应的设计原则。

防水材料的生产、使用及施工工艺存在对环境的影响，结合工程建设环境保护的要求，设计原则增加保护环境的要求，工程中宜采用环境友好型防排水材料及施工工艺。

3.0.2 凹型纵坡隧道防排水设计应根据周边环境、使用功能、工程地质及地下水等信息，制订合理的防排水方案。

3.0.3 隧道衬砌应具有适当的防水能力，防止地下水渗入，同时应重视地表水下渗对隧道的影响。当地表有沟谷、洼地、坑穴时，应结合环境条件及其对隧道的影响，采取地表截流疏导、汇集排除、防渗等处理措施。当地表处理较困难时，也可采取洞内加固地层或引排等方式降低隧道衬砌背后的地下水水位，降低地表水下渗对隧道的影响。堵水应归槽，使地下水按预定路径排除。

条文说明：一般情况下，对与隧道之间水力联系密切的地表沟谷、洼地、坑穴，有条件时采取回填或铺砌封闭等处理措施，但对于岩溶地区，由于岩溶洼地下均存在漏斗，漏斗是洼地中表土沿通道塌陷形成，只是表水下渗的主要通道之一，降雨后地表水均会汇集至洼地范围下渗，洼地的面积决定了地表汇水下渗量的多少，而岩溶地区的洼地面积往往是数亩、乃至数十、百亩计，若进行封闭的话，一是封堵的难度和工程规模极大，二是封闭后造成的积水引排困难，甚至会涉及到洼地范围内的村庄拆迁、耕地征用等问题，因此地表处理较困难时，一般采取洞内加固地层或引排等处理措施，减少地表水下渗对隧道的影响。

3.0.4 隧道的排水应服从于保护环境、防止次生灾害的总体要求。修建及运营中的排水有可能影响周围环境，造成污染和危害时，应采取防污染和防其他公害的措施，并应防止水土流失、降低围岩稳定性及造成农田灌溉和生活用水困难等后患。

条文说明：隧道的修建、运营势必改变工程区域原生环境，隧道的过度排水必然导致水环境不可逆转的破坏，给工程带来风险并在工程影响区域或排水径路上诱发次生灾害。因此，提出了隧道排水总体要求。

3.0.5 隧道穿越江河湖海、水资源保护区或城市等环境敏感区，地下水流失可能引发地表环境破坏或居民生产生活受到影响时，隧道防排水设计应遵循以堵为主、限量排放的设计原则，必要时可按全封闭不排水原则设计。选线时应尽量避免穿越岩溶、暗河发育地段，穿越可溶岩地段时应强化截、堵水措施。

条文说明：当隧道通过地居民较多时，对隧道修建导致地下水流失可能对居民的生产和生活造成的影响进行充分的评估，根据评估结果采取相应的措施，确保对地表居民影响降低至可接受的范围。

3.0.6 防水系统应以结构自防水为主体，以接缝防水为重点，必要时采用注浆措

施截、堵地下水。采用明挖法或矿山法修建的隧道，应结合防水设计原则及防水等级，设置附加防水层组成防水体系。

条文说明：混凝土或钢筋混凝土结构自防水与附加防水层组合成一个综合防水体系，故以系统工程对待，确立以混凝土自防水及防水层防水为根本，接缝防水为重点的防水原则。

3.0.7 排水系统应结合隧道所处的岩土及水文地质等工作环境，采取防淤积、防堵塞、防冻结措施，充分考虑排水系统可维护性，保证排水通畅。

条文说明：隧道排水系统是在随时间、季节变化的环境中工作的，其功能的降低或失效多有发生，而系统重建的困难和投入都很大。因此，设计需根据其工作环境采取“防淤积、防堵塞、防冻结”的措施，并对排水系统位置、系统构成、结构尺度、材料选择等方面充分考虑维修方法、维修器具的需要，保证其可维护性。洞外的排水系统还需注意与相邻工程排水系统顺接和能力匹配，防止对基础、结构的冲刷或浸泡，以消除对运营安全的危害。

3.0.8 应对隧道洞口及洞身范围内的地表水和地下水作妥善处理，隧道内外应有完整的防排水设施，以保证结构和设备的正常使用及行车安全。

条文说明：我国既有铁路隧道中，由于防排水工程存在问题，有相当一部分隧道有漏水现象，其中不少隧道漏水严重，由于隧道渗、漏水带来各种不同的损害，严重地影响隧道的稳定和运营安全。为了预防或消除地表水和地下水产生的危害，首先应着眼于隧道修建时采用适当措施。根据实践经验，条文提出了“应对隧道洞口及洞身范围内的地表水和地下水作妥善处理，隧道内外应有完整的防排水设施”的原则要求，以满足“保证结构和设备的正常使用和行车安全”的目的。

3.0.9 隧道防排水工程设计内容一般应包括：

- 1 防水等级、设防要求、防排水体系的构成；
- 2 防水混凝土的抗渗等级、技术指标；
- 3 附加防水材料及其技术指标、施工工艺要求；
- 4 预制构件接缝，现浇混凝土结构施工缝、变形缝等工程细部防水构造、材料及技术要求；

- 5 降水、截水、堵水措施及技术要求；
- 6 洞口、洞身及地表排水系统构成、选用材料及设备配置能力；
- 7 满足环保要求的工程措施；
- 8 排水系统运营维修及养护的技术要求。

3.0.10 隧道施工防排水应与永久防排水设施相结合；隧道及辅助坑道洞口应设置施工期污水处理设施。

条文说明：地下水对隧道的危害，经验教训是深刻的。在组织措施上应使施工防排水与永久防排水设施相结合，既可以改善施工中的劳动条件，保证安全 and 质量，加快施工进度，又能防止运营中发生冻害、衬砌侵蚀、道床翻浆、钢轨锈蚀以及影响电化使用等后患，节约投资。

4 勘 察

4.0.1 隧道防排水勘察应区分施工前调查和施工中调查两个阶段。各阶段调查的内容、顺序、范围、精度等，应根据隧道所通过的地形、地貌、工程地质及水文地质等条件及其相关特点确定。

4.0.2 在隧道防排水设计资料收集过程中，应认真进行调查、测绘、勘探和试验；收集的资料应齐全、准确，满足设计要求。

4.0.3 对于地下水环境保护要求较高的地区，应根据当地气象条件、环境保护要求、水文地质条件，进行隧道工程对环境影响评价，提出各水文地质单元合理的地下水排放量。

4.0.4 隧道工程外部环境调查应包括下列内容：

- 1 自然概况：地形、地貌特征；
- 2 气象资料：历年气温变化情况、降雨、降雪和蒸发量及地层冻结深度、地温等；
- 3 水文资料：地表情况、天然水流、池沼、水井、山谷、现有及已废弃的坑道、竖井等；
- 4 环境保护：地表水体、农林资源、动植物资源等环境要素及保护要求，有关法令及规章制度对噪声、振动、地表下沉等的限制，以及补偿对象调查等；
- 5 施工环境：矿产开发或爆破作业、地下管线、人居状况、周围建（构）筑物、危险品场所（仓库）；
- 6 施工条件：建筑材料及水、电供应情况，交通条件，施工场地及弃渣条件。

4.0.5 隧道地质测绘应遵守下列规定：

- 1 按设计阶段要求搜集或测绘地形图、纵断面图、横断面图等；
- 2 测绘资料的图纸内容需反映隧道所在地的工程地质、水文地质、周围建筑物及人居状况；
- 3 查明通过含水地层岩性、富水（或储水）构造、裂隙、水系和地下水埋深及井泉的调查，查明水文地质条件（补给、径流、排泄条件，地下水类型，水位及变化幅度等），水质及其对混凝土的侵蚀性，预计流入隧道中的流量、主要

流向和压力等，并提供抽水试验和水质化验资料，提供地下水控制所需的水文地质参数，判断工程有无异常涌水、突水；

4 调查是否存在污染地下水和地表水的污染源及可能的污染程度；评价地下水对工程结构、工程施工的作用和影响，提出防治措施的建议。

4.0.6 隧道工程地质勘探、试验应符合下列规定：

1 隧道钻探深度应达到隧底以下 3~5m，当遇暗河、溶洞等不良地质，应适当加深至溶洞及暗河底等不良地质体以下 5m；当遇地下水，应作简易水文地质观测并采取水样化验，必要时还应进行抽水（提水）试验，测定地下水流向、流速和进行地下水动态观测；对于地下水水环境敏感地区，可利用其进行施工期间的水文观测；

2 钻探中应作好水位观测和记录，探明含水层的位置和厚度，并取样作水质分析。水文地质条件复杂的隧道，应作水文地质试验，测定岩土渗透性，计算涌水量，必要时应进行地下水动态观测，并测定地下水的流向、流速；

3 采用钻孔作简易水文地质观测时，在钻进过程中必须进行地下水水位观测，包括（初见水位与静止水位），钻孔涌水量观测、冲洗液消耗量观测及水温观测等；

4 抽水试验应查明下列内容：钻孔出水量和降深关系；影响半径和地下水流向；含水层渗透系数及其他水文地质情况；补给条件较差地区的补给量；地下水水质和变化趋向；各含水层之间的水力联系以及地表水与地下水的补给关系；

5 提水试验适用于浅孔、水量少和为取得概略性水文地质资料的钻孔，其试验方法应符合现行国家行业标准《铁路工程水文地质勘察规范》TB10049 的有关规定。

4.0.7 明挖法隧道应查明场地水文地质条件，判定人工降低地下水位的可能性，为地下水控制设计提供参数；分析地下水位降低对工程及工程周边环境的影响，当采用坑内降水时还应预测降低地下水位对基底、坑壁稳定性的影响，并提出处理措施的建议。

4.0.8 矿山法隧道应查明场地水文地质条件，分析地下水对工程施工的危害，建议合理的地下水控制措施，提供地下水控制设计、施工所需的水文地质参数；当

采用降水措施时应分析地下水位降低对工程及工程周边环境的影响。

4.0.9 盾构法隧道下穿地表水体时应调查地表水与地下水之间的水力联系,分析地表水体对盾构施工可能造成的危害。

4.0.10 当水文地质条件复杂且对工程及地下水控制有重要影响时应进行水文地质专项勘察。

5 隧道防水

5.1 一般规定

5.1.1 隧道工程防水设计工作年限不应低于工程结构设计工作年限。

条文说明：本条规定了各类工程的防水设计工作年限最低要求。工程防水设计工作年限是指工程防水系统在不需进行大修即可按预定目的使用的年限，是工程防水设计的重要参数和性能目标，影响着防水材料选用和工程防水做法。防水系统包括防水层、防水构造、细部节点、排水措施等。

由防水混凝土和外设防水层共同构建的地下工程防水系统，在建(构)筑物使用过程中一旦发生渗漏，将严重影响使用功能，并可能影响结构耐久性和安全性，且在进行渗漏水治理时，外设防水层难以更换，且维修成本较高。规定“地下工程防水设计工作年限不应低于工程结构设计工作年限”，是要求建设工程有关各方提高对防水工程重要性的认识，在勘察、设计、施工、验收和运维各个阶段，加强科学管理，综合运用材料、工艺、装备等相关技术措施，确保在地下工程结构设计工作年限内，具有预期有效的防水功能。

5.1.2 防水方案应根据工程规划、结构设计、材料选择、结构耐久性和施工工艺等确定。同时考虑地表水、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。

条文说明：地下工程的耐久性很大程度上取决于结构施工过程中的质量控制、质量保证以及使用过程中的维修与管理，耐久性要求中地下工程的设计寿命一般超过 50 年，因此本条提出了“应根据结构耐久性”做好防水方案的规定。

地下工程不仅受地下水、上层滞水、毛细管水等作用，也受地表水的作用，同时随着人们对水资源保护意识的加强，合理开发利用水资源的人为活动将会引起水文地质条件的改变，也会对地下工程造成影响，因此地下工程不能单纯以地下最高水位来确定工程防水标高。

5.1.3 防水等级应根据工程的重要性、使用功能、运营安全保障等要求，按下表 5.1.3 规定设计。

表 5.1.3 不同防水等级的适用范围

防水等级	适用范围
一级	有客运作业或装修要求的车站隧道拱墙；高速铁路隧道拱墙；隧道抗冻设防段衬砌；隧道内供人员长期工作的洞室；因少量湿渍而影响设备正常运转、危及运营安全的设备洞室；因少量湿渍使贮存物质变质、失效的贮存洞室。
二级	电气化铁路隧道拱墙；内燃牵引铁路隧道拱墙；隧底结构；有人员经常活动的场所；安装一般电气设备的洞室、置放无防潮要求器材物料的洞室；辅助坑道内安装电动防火门、风机及其控制设备的段落。
三级	运营期间作为防灾救援通道、检修通道、通风排烟通道的辅助坑道；人员临时活动场所；安装非电气设备的洞室。
四级	对渗漏水量无严格要求的坑道、施工用临时洞室。

条文说明：与《铁路隧道设计规范》要求一致。

5.1.4 防水等级对应的防水标准应符合表 5.1.4 的规定。

表 5.1.4 防水标准

防水等级	防水标准
一级	不允许渗水，结构内缘表面无湿渍
二级	不允许漏水，结构内缘表面可有少量因渗水形成的湿渍或水膜；总湿渍面积不大于总防水面积的 2/1000；任意 100m ² 防水面积上的渗水不超过 3 处，其单个形成的湿渍或水膜面积不大于 0.2m ² ；平均渗入水量不大于 0.05L/（m ² ·d），任意 100m ² 防水面积的渗入水量不大于 0.15L/（m ² ·d）
三级	有少量漏水点，不得有线流和漏泥沙，安装设备的孔眼不渗水；任意 100 m ² 防水面积上的漏水点、渗水形成的水膜或湿渍不超过 7 处；单个湿渍或水膜面积不大于 0.3m ² ，单点漏水量不得大于 2.5 L/d
四级	有漏水点，不得漏泥沙

条文说明：与《铁路隧道设计规范》要求一致。

5.1.5 种植顶板工程防水等级应为一级，并应至少设置一道具有耐根穿刺性能的防水层，其上应设置保护层。

条文说明：种植顶板工程若发生渗漏则较难根治，因此其防水措施应予以加强。为防止植物根系对普通防水层的穿刺破坏，规定应至少设置一道具有耐根穿刺性能的防水层，并应在其上设置保护层。保护层应能够防止后续回填和园林绿化施工过程中对防水层可能造成的破坏。

5.1.6 与岩土体接触的衬砌结构应采用防水混凝土，并应根据防水等级的要求采取其他防水措施。注浆加固不应作为一道防水层使用。

条文说明：防水混凝土自防水结构作为工程主体的防水措施已普遍为地下工程界所接受，地下工程除直接与地下水接触的围护结构采用防水混凝土浇筑外，内部隔墙可以不采用防水混凝土，如建筑地下室内隔墙可以不采用防水混凝土。

注浆加固常用于形成矿山法地下工程初期支护，以及部分明挖法地下工程支护结构，并可以起到止水作用，但其主要用于围岩加固，因此不应作为一道防水层使用。

5.1.7 防水混凝土应满足抗渗等级要求，防水等级为一、二级的模筑混凝土抗渗等级不应低于 P8；地下水发育地段的隧道及寒冷地区隧道抗冻设防段衬砌混凝土抗渗等级不应低于 P10。防水混凝土的设计抗渗等级不应低于表 5.1.7 的要求。

表 5.1.7 防水混凝土的设计抗渗等级

结构埋置深度 H (m)	设计抗渗等级	
	现浇混凝土结构	装配式混凝土结构
H < 20	P8	P10
20 ≤ H < 30	P10	P10
30 ≤ H < 80	P12	P12
80 ≤ H < 100	P15	P15
H ≥ 100	P18	P18

注： 1 本表适用于 IV、V 级围岩（土层及软弱围岩）；
2 山岭隧道防水混凝土的抗渗等级可按国家现行有关标准执行。

条文说明：隧道衬砌混凝土抗渗等级的确定与防水要求、衬砌后水压、衬砌厚度等有直接关系，本条文仅对不同防水等级条件下的混凝土最小抗渗等级做了规定。

5.1.8 防水混凝土结构应符合下列规定：

- 1 结构厚度不应小于 300mm；
- 2 防水混凝土构件的裂缝宽度应结合所处场地的环境作用等级确定，同时应符合表 5.1.8 规定，并不应贯通；

表 5.1.8 防水混凝土最大裂缝宽度允许值

结构类型	允许值(mm)	备 注
盾构隧道管片	0.2	-

其他 结构	水中环境、土中缺氧环境	0.3	-
	洞内干燥环境或洞内潮湿环境	0.3	环境相对湿度 为 45%~80%。
	干湿交替环境	0.2	-

注：1 当设计采用的最大裂缝宽度的计算式中保护层的实际厚度超过 30mm 时，可将保护层厚度的计算值取为 30mm；

2 厚度不小于 300mm 的钢筋混凝土结构可不计干湿交替作用；

3 钢筋混凝土构件其迎水面的钢筋保护层厚度不应小于 50mm。

5.1.9 防水混凝土的施工配合比应通过试验确定，其强度等级不应低于 C25，中等及以上腐蚀性介质作用下，防水混凝土强度等级不应低于 C35；试配混凝土的抗渗等级应比设计要求提高 0.2MPa。

条文说明：防水混凝土性能容易受施工过程中现场环境影响，除硬化混凝土的性能满足结构荷载及耐久性要求外，拌合物也应具有施工需要的流动性、黏聚性和保水性，这些性能都需要按照工程所用原料及现场环境条件进行配合比设计。

现行强制性工程建设规范《混凝土结构通用规范》GB55008 规定，钢筋混凝土结构构件的混凝土的强度等级不应低于 C25。本条同时对在中等及以上腐蚀性介质条件下使用的防水混凝土提出了控制要求。

因混凝土抗渗等级是实验室的试配数值，而混凝土生产和施工过程中的不确定因素会影响其抗渗性能，因此本条规定“试配混凝土的抗渗等级应比设计要求提高 0.2MPa”

5.1.10 防水混凝土宜采用预拌混凝土，可根据工程抗裂需要掺入纤维，用于改善混凝土性能的外加剂、掺合料及纤维的品种和用量应通过试验确定。

条文说明：防水混凝土要起到防水作用，除混凝土本身具有较高的密实性、抗渗性以外，还要求混凝土施工完后不开裂，特别是不能产生贯穿性裂缝。为了防止或减少混凝土裂缝的产生，在配制混凝土时加入一定量的钢纤维或合成纤维，可有效提高混凝土的抗裂性，近年来的工程实践已证明了这一点。可用于防水混凝土的纤维种类很多，掺加纤维后混凝土的成本相应提高，因此所用纤维的品种及掺量应通过试验确定。

5.1.11 工程使用的防水材料应与工程防水设计工作年限、工程使用环境条件相适应，并应根据工程所处的环境和工作条件，满足抗压、抗冻和抗侵蚀性等耐久

性要求。

1 处于侵蚀性介质中的工程,迎水面主体结构应采用耐侵蚀性防水混凝土,外设防水层应满足耐腐蚀要求,耐侵蚀性要求应根据介质的性质按有关标准执行;

2 防水混凝土的环境温度不得高于 80℃;

3 处于冻融侵蚀环境中的隧道工程,其混凝土抗冻融循环不得少于 300 次。

条文说明:工程防水要满足防水设计工作年限的要求,提高防水材料的耐久性是主要途径之一。

处于侵蚀性介质中的工程采用耐侵蚀性防水混凝土或选择耐腐蚀性防水材料,均可以延缓或阻止侵蚀性介质对结构及钢筋的不利影响。对特殊的侵蚀性条件或工程要求,可采用专项防侵蚀防水设计。外设防水层应满足耐腐蚀要求,并与构件共同工作,达到设计工作年限的要求。

防水混凝土用于具有一定温度的工作环境时,其抗渗性随着温度提高而降低,温度越高则降低越显著,当温度超过 250℃时,混凝土几乎失去抗渗能力,因此规定,最高使用温度不得超过 80℃。

5.1.12 防水混凝土生产使用的骨料、拌合用水、外加剂及掺合料等原材料的技术性能指标可参照《铁路混凝土结构耐久性设计规范》(TB10005)及《混凝土结构耐久性设计标准》(GB50476)执行,同时应符合国家现行有关标准的质量要求。

5.1.13 防水层应设置在结构迎水面或复合式衬砌之间,每道防水层厚度应满足防水设防的最小厚度要求;附加防水层采用防水涂料时,应设置胎体增强材料;防水材料影响环境的物质和有害物质限量应满足要求;相邻材料间及其施工工艺不应产生有害的物理和化学作用。

条文说明:工程使用环境通常包括防水材料的暴露使用情况、环境最高及最低气温、极限温差、降水量、浸水情况、水压、环境中腐蚀性介质种类与浓度、风荷载、雪荷载、种植、振动、交通荷载等。可根据工程部位及使用环境条件进行选材。

一道防水层指具有独立防水功能的构造层,每道防水层均应具备一定的厚度要求,以满足防水功能要求。

附加防水层通常指在接缝、管根、阴阳角等节点部位，为保证防水层功能，而局部增设防水材料的措施。附加防水层应与外设防水层相容。

有害物质限量可参考国家现行标准《建筑胶粘剂有害物质限量》GB30982、《建筑防水材料有害物质试验方法》GB/T41078 及《建筑防水涂料中有害物质限量》JC1066 等标准的规定。

不同材料之间、材料与基层之间应具备材性和施工工艺的相容性，即在施工和使用过程中不得产生有害的化学反应，后道工序不得破坏已完成的防水层。相容性包括但不限于下列场合：

- (1)基层处理剂与防水涂料或卷材；
- (2)采用两种防水材料复合使用时；
- (3)卷材、涂膜防水层收头节点部位选用的密封材料；
- (4)防水层与保护层；
- (5)耐根穿刺层防水层与普通防水层；
- (6)防水材料 with 保温隔热材料；
- (7)酸性密封胶对金属基材的腐蚀性；
- (8)聚合物改性沥青防水卷材热熔施工时，火焰对基层可能产生的破坏；
- (9)反应型高分子类防水涂料与塑料管材接触时有害物质的迁移。

5.1.14 卷材防水层应满足接缝剥离强度和搭接缝不透水性要求。外露使用防水材料的燃烧性能等级不应低于 B2 级。

条文说明：当地下工程长宽比较大时，工程结构的横向刚度较大，纵向刚度较小，如不适当加大结构的纵向刚度则结构容易开裂形成渗漏水通道。另外，由于工程较长，混凝土干燥收缩、温度变化收缩导致混凝土开裂的可能性也大大增加，因此设计时对以上两个方面要特别重视。当基坑支护结构(如地下连续墙)与各结构的内衬墙共同受力时，设计时应采取措施控制两者的不均匀沉降，以减少不均匀沉降对结构的不利影响；在结构设计时还可通过适当增加内衬墙的厚度、底板纵向梁的刚度来提高整个地下工程纵向刚度；对于防止干缩、温度引起混凝土开裂等问题，在设计时可采用合理设置诱导缝、后浇带、适当增加纵向构造钢筋等措施来解决。在防水材料选择时，要根据计算的结构变形量选用延伸率大的

卷材、涂料等柔性防水材料。

搭接缝是卷材防水层的薄弱环节，因此强调接缝剥离强度和搭接缝不透水性要求。

外露使用的防水材料不应为易燃材料，以降低火灾风险。现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624 将材料燃烧性能分为 A 级(不燃)、B1 级(难燃)、B2 级(可燃)和 B3 级(易燃)。外露使用的防水材料燃烧性能等级按照现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624 进行测试和判定。

5.1.15 结构刚度较小或受振动作用的工程，宜采用延伸率较大的卷材、涂料等柔性防水材料。

5.1.16 工程的变形缝(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。

5.1.17 隧道洞口及出地面结构的防水设防应综合考虑内涝水位高度及洪水位高度确定，同时应高出室外地坪 0.5m。

1 当洞口位于可能被洪水淹没地带、水库回水影响范围、受山洪威胁地段时，其路肩高程应高出设计水位加波浪侵袭高度和雍水高度不小于 0.5m。

2 位于城市地区的隧道，洞门及敞开段边墙顶高程应高出内涝水位 0.5m。

3 I、II 级铁路设计水位的洪水频率标准为 1/100；当观测洪水（包括调查可靠的有重现期可能的历史洪水）高于上述设计洪水频率标准时，应按观测洪水设计。

条文说明：根据多年来铁路隧道建设经验并参考了《地铁设计规范》GB50157，提出隧道工程出地面结构防水设防高度及设防洪水频率标准，防止地表水流入隧道造成安全事故，保证隧道施工、运营期安全。

5.1.18 盾构管片接缝应至少设置一道密封件，当水压力高于 0.6Mpa 或隧道处于富水软弱地层时，应设置不少于两道密封件。

条文说明：管片接缝防水是盾构隧道最为重要的防水部位，需要重点关注。研究和试验表明，当内侧密封件的防水能力低于外侧时，双道甚至多道密封件可以提供比一道防水密封件更高的防水能力，因此盾构隧道在超高水压条件下且对防水性能要求高时，可采用两道或多道防水方式。

根据管片厚度、隧道横断面尺寸、隧道承受最大水压力、隧道所处地层渗透性条件，盾构隧道管片接缝部位均应设置一至两道防水密封件。当隧道穿越水域时，为确保管片接缝防水质量，管片厚度不小于 400mm 时，应于管片外弧侧集中设置两道密封件凹槽，发挥双道密封件间寄生腔作用，提高防水体系的防水能力；当管片厚度小于 400mm 时，设置两道密封件凹槽会削弱管片截面的承载能力，可于外侧密封件凹槽内侧布置一道遇水膨胀橡胶片，同样可发挥双道密封体系间寄生腔作用。

5.1.19 盾构法隧道宜采用钢筋混凝土管片、复合管片等装配式衬砌或现浇混凝土衬砌。衬砌管片应采用防水混凝土制作，防水应符合下列规定：

- 1 混凝土管片应采用高性能防水混凝土制作抗压强度等级不应低于 C50。
- 2 管片接缝密封件应能被完全压入管片沟槽内。密封件沟槽截面积与密封件截面积的比例不应小于 1.00，且不应大于 1.15。
- 3 管片接缝密封件在工作年限内应能保障在计算的接缝最大张开量、设计允许的最大错位量的情况下不渗漏。

条文说明：盾构法隧道主要通过管片本体以及管片间嵌入的弹性橡胶密封件压缩回弹密封达到防水的要求。其中管片抗渗等级、密封件的合理设置以及变形适应性决定其抗渗、防水效果。本条也适用于采用岩石隧道掘进机(TBM)预制管片拼装的隧道工程。

为确保密封件能完全压入密封件沟槽，要求密封件沟槽的截面积应大于或等于密封件橡胶部分的截面积，避免橡胶材料受到挤压破坏。同时为保证密封件压缩后弹性应变能够抵抗埋深状态的水压，密封件沟槽截面积一般不宜超过密封件截面积的 1.15 倍。

5.2 明挖隧道

5.2.1 明挖法隧道宜按全包防水设计，深大竖井微风化岩层段可采用限量排水设计；隧道衬砌结构采用预制拼装型式时，衬砌结构防水设计可参照盾构法隧道相关规定执行。

条文说明：凹型纵坡隧道穿越城区时，受制环境或建构筑物等敏感点规避等需要，部分隧道竖井深度达到 60m 以上，井底部分段落位于微风化岩层，由于

微风化岩层一般透水性较低，采用限量排水设计对周边环境和地下水影响可控，可采用限量排水设计。

5.2.2 明挖法隧道现浇混凝土结构防水做法应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 主体结构防水做法

防水等级	防水做法	防水混凝土	外设防水层		
			防水卷材	防水涂料	水泥基防水材料
一级	不应少于 3 道	为 1 道，应选	不少于 2 道； 防水卷材或防水涂料不应少于 1 道		
二级	不应少于 2 道	为 1 道，应选	不少于 1 道；任选		
三级	不应少于 1 道	为 1 道，应选			

注：水泥基防水材料指防水砂浆、外涂型水泥基渗透结晶防水材料。

条文说明：本条主要针对地下工程现浇混凝土结构迎水面外设防水层进行规定。

防水混凝土是地下工程防水的基础，在各个防水等级中均把防水混凝土作为应选措施。当防水等级要求较高时，除了设置防水混凝土，还应设置外设防水层。

1 外设防水层一般设置于主体结构的迎水面，即底板、侧墙、顶板的外侧，目的是从迎水面隔绝主体结构与地下水的联系，并通过封闭混凝土结构的接缝、贯穿性裂缝等可能的渗漏水通道，获得预期的防水功能。“刚柔相济”是国内外地下工程防水设防的基本原则，表 4.2.1 正是这一原则的具体体现。对于防水等级为一级的地下工程，使用功能对渗漏水敏感，考虑现浇混凝土的接缝、混凝土自身的收缩以及建(构)筑物的沉降变形(允许范围内)等因素，而水泥基适应变形能力不足，因此要求 2 道外设防水层中至少应有 1 道防水卷材或防水涂料。防水涂料+防水涂料的防水做法应采取厚度和用量双重质量控制措施，目前工程中仅限于聚氨酯、聚脲等反应型高分子类防水涂料。对于防水等级为二级的地下工程，外设防水层材料可在规定的品种中任选。根据材料特性，水泥基防水材料应直接作用于结构混凝土表面；其中外涂型水泥基渗透结晶防水材料适于在潮湿环境中使用，当与其他防水层结合使用时，应保证与混凝土结构基层和其他防水材料的粘结性能。天然钠基膨润土防水毯归属本表中的“防水卷材”。

2 支护结构与主体结构侧墙之间的形式有分离式、复合式和叠合式三种。从整体防水效果考虑，分离式和复合式结构侧墙，具备外设防水层施工条件，应设置与底板、顶板连续的外设防水层。叠合式主体结构侧墙与支护结构之间不具备

连续设置柔性防水层的条件，一般采用在支护结构表面涂刷外涂型水泥基渗透结晶型防水材料。

支护结构采用地下连续墙时，连续墙墙幅接头仍是防水的薄弱之处，需要单独做防水处理达到接缝无渗漏的要求。

5.2.3 明挖法隧道结构接缝的防水设防措施应符合表 5.2.3 的规定，施工缝、变形缝应按一级防水要求采取可靠的防水措施。

表 5.2.3 明挖法隧道结构接缝的防水设防措施

施工缝					变形缝					后浇带					诱导缝			
混凝土界面处理剂或外涂型水	泥基渗透结晶型防水材料	预埋注浆管	遇水膨胀止水条或止水胶	中埋式止水带 外贴式止水带	中埋式中孔型橡胶止水带 外贴式中孔型止水带	可卸式止水带	密封嵌缝材料	外贴防水卷材或外涂防水涂料	补偿收缩混凝土	预埋注浆管	中埋式止水带	遇水膨胀止水条或止水胶	外贴式止水带	中埋式中孔型橡胶止水带	密封嵌缝材料	外贴式止水带	外贴防水卷材或外涂防水涂料	
不应少于 2 种					应选	不应少于 2 种				应选	不应少于 1 种				应选	不应少于 1 种		

条文说明：施工缝、变形缝、后浇带和诱导缝等混凝土结构接缝是渗漏的高发部位。为保证接缝防水功能，本条规定了明挖法地下工程结构接缝的防水设防措施。

外贴式止水带不应用于顶板部位，可采用防水卷材或涂料附加层替代并与侧墙上外贴式止水带连接。

表中“外贴防水卷材或外涂防水涂料”指接缝处的附加层，其能与缝两侧结构粘贴密实，并在外设防水层失效状态仍能起到一定的防水作用。中埋式止水带包含中埋式橡胶止水带、中埋式钢边橡胶止水带、自粘丁基橡胶钢板止水带、镀锌钢板止水带等。

5.2.4 地下连续墙作为单层墙主体结构时，应符合下列规定：

- 1 连续墙墙体幅间接缝应采用经实践检验行之有效的防水接头；
- 2 墙体幅间接缝渗漏时，应采用注浆、嵌填弹性密封材料等进行堵漏；
- 3 连续墙表面应设置防水层，防水层材料宜采用水泥基渗透结晶型防水涂

料、高渗透性改性环氧涂料或聚合物水泥防水砂浆等；

4 连续墙墙板连接的施工缝，应采用水泥基渗透结晶型防水材料或高渗透改性环氧涂料等加强密封；

5 地下连续墙施工时宜采用高分子泥浆护壁和水下抗分散混凝土浇筑。

5.2.5 叠合墙结构侧墙等工程部位，外设防水层应采用水泥基防水材料。叠合墙结构防水应符合下列规定：

1 围护结构为地下连续墙时，其支撑部位及墙体的裂缝、空洞等缺陷应采用防水砂浆或细石混凝土进行修补。墙体幅间接缝的渗漏，应采用注浆、嵌填聚合物防水砂浆等进行防水处理；

2 连续墙墙面应凿毛、清洗干净并进行防水处理后，再浇筑内衬混凝土。

条文说明：叠合墙结构由于内衬墙与围护结构采用钢筋接驳器连接，造成防水层无法实施全包。因此，只能因“位”制宜，不同部位采用不同的防水措施。在设计中，顶板通常采用附加柔性防水层，围护结构的钢筋接驳器、地下墙接缝等薄弱处采用水泥基渗透结晶防水材料或其他刚性封堵材料进行防水加强后再浇筑内衬墙组成叠合侧墙，底板靠密实混凝土自防水。从施工实践来看，侧壁支护墙与内衬结构共同组成叠合墙结构，也可以体现出加强了内衬侧壁的防水。底板由于结构比较厚，且其浇筑及养护条件好，受外界因素影响较小，因此底板的混凝土自防水性能优于顶板。顶板增设附加柔性防水层，叠合墙、底板靠结构自防水，从整体防水上看仍然是相匹配的。

5.2.6 复合墙结构防水应符合下列规定：

1 结构顶、底板迎水面防水层与侧墙防水层宜形成整体密封防水层，并应根据不同部位设置与其相适应的保护层；

2 围护结构基面的平整度要求应与铺设于侧墙的防水层相匹配，钻孔桩间宜采用网喷混凝土填平。

3 防水层铺设前，应采用注浆、嵌填聚合物防水砂浆等对围护结构的渗漏点进行堵漏。

条文说明：复合墙的内衬墙与围护结构之间设置了防水层，因此内衬墙与围护结构之间是完全分开的。顶板、侧墙和底板防水层应封闭，形成外包防水体系，

并根据防水层种类和设置部位的不同，选择合理的防水层临时或永久保护措施。

5.2.7 隧道结构防水层宜选用不易窜水的防水材料或防水系统，同时应结合防水等级、最大水压、预计变形量大小，确定变形缝或诱导缝的结构形式、防水材料及其设置方式。

5.2.8 防水节点构造设计应符合下列规定：

- 1 结构变形缝设置的橡胶止水带应满足结构允许的最大变形量；
- 2 穿墙管设置防水套管时，防水套管与穿墙管之间应密封。

条文说明：变形缝中设置的中埋式橡胶止水带设计时应考虑变形缝的宽度、结构板厚度等参数。中埋式和外贴式橡胶止水带中孔直径大小应根据结构允许的最大变形量以及变形缝宽度确定。

5.2.9 变形缝的设置应符合下列规定：

- 1 变形缝的宽度宜为 20~30mm，用于沉降的变形缝最大允许沉降差值不应大于 30mm。
- 2 伸缩变形缝的形式和间距可根据围岩条件、施工工艺、使用要求以及运营期间地铁内部温度相对于结构施工时的变化等，按类似工程的经验确定；
- 3 隧道结构不宜设置沉降变形缝，当因结构、地基、基础或荷载发生变化，可能产生较大的差异沉降时，宜通过地基处理、结构措施或设置后浇带等方法，将结构的纵向沉降曲率和沉降差控制在无砟道床和地下结构的允许变形范围内；
- 4 在主体结构与泵房等附属结构的结合部宜设置变形缝；
- 5 应采取可靠措施，确保变形缝两边的结构不产生影响行车安全和正常使用的差异沉降。

条文说明：沉降缝和伸缩缝统称变形缝，由于两者防水做法有很多相同之处，故一般不细加区分。但实际上两者是有一定区别的，沉降缝主要用在上部建筑变化明显的部位及地基差异较大的部位，而伸缩缝是为了解决因干缩变形和温度变化所引起的变形以避免产生裂缝而设置的，因此修编时针对这点对两种缝作了相应的规定。沉降缝的渗漏水比较多，除了选材、施工等诸多因素外，沉降量过大也是一个重要原因。目前常用的止水带中，带钢边的橡胶止水带虽大大增加了与混凝土的粘结力，但如沉降量过大，也会造成钢边止水带与混凝土脱开，使工程

渗漏。根据现有材料适应变形能力的情况,本条规定了沉降缝最大允许沉降差值。

对防水要求来说,如果用于沉降的变形缝宽度过大,则会使处理变形缝的材料在同一水头作用下所承受的压力增加,这对防水是不利的,但如变形缝宽度过小,在采取一些防水措施时施工有一定难度,无法按设计要求施工。根据目前工程实践,本条规定了变形缝宽度的取值范围,如果工程有特殊要求,可根据实际需要确定宽度。用于伸缩的变形缝在板、墙等处往往留有剪力杆、凹凸榫处,接缝宽了不利于结构受力与控制沉降。

5.2.10 防水混凝土应连续浇筑,宜少留施工缝。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 150~300mm 处。墙体有预留孔洞时,施工缝距孔洞边缘不应小于 300mm。

2 逆筑结构的顶板、楼板及下部 500mm 的墙体应同时浇筑,墙体的下部应做成斜坡形。上部施工缝宜采用止水条和预埋注浆管加强防水;侧墙应采用补偿收缩混凝土浇筑,并应在上下混凝土施工 14d 后再浇筑。

3 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。

条文说明: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。

当采用地下连续墙和防水混凝土内衬的复合式衬砌的逆筑法施工时,为确保整个工程的防水等级达到一、二级要求,必须处理好逆接施工缝的防水。逆接施工缝与顶板、中楼板的距离要大些,否则不便于逆接施工缝处的混凝土浇筑施工;逆接施工缝采用土胎模,容易做成斜坡形,目前工程中也常用这种形式,故本条予以推荐;在浇筑侧墙混凝土时,一次浇筑至逆接施工缝在施工时要方便快捷,但不利于防水,因逆接施工缝本身就是防水薄弱环节,一次浇至逆接施工缝时,由于混凝土沉降收缩、干燥收缩等原因会在逆接施工缝处形成裂缝,造成渗漏水隐患,又因整个侧墙的工程量较大,如全部用补偿收缩混凝土浇筑则会使工程造价增加,故本条规定逆接施工缝处采用二次浇筑,待先浇混凝土收缩大部分完成

后再进行浇筑，以确保逆接施工缝处的防水质量。这些年在逆接施工缝部位采用单组分遇水膨胀密封胶和预埋注浆管作为防水措施较为成功，因此在逆作法结构施工缝处补充了这两项防水措施。

5.2.11 复合墙结构的环向施工缝设置间距不宜大于 16m，冬期施工时可适当放宽至 24m；叠合墙结构的环向施工缝设置间距不宜大于 12m；敞口结构的环向施工缝的设置间距不宜大于 18m。

5.2.12 水平施工缝中设置的防水材料宜与变形缝、诱导缝、垂直施工缝的防水材料构成“十”字连接。

5.2.13 施工缝接缝面应涂刷混凝土界面处理剂或水泥基渗透结晶型防水涂料，水平施工缝接缝面应采用水泥砂浆接浆。

5.2.14 后浇带应设在受力和变形较小的部位，其间距和位置应按结构设计要求确定，宽度宜为 700~1000mm。后浇带两侧接丰可做成平直缝或阶梯缝，浇筑应采用补偿收缩混凝土，并在两侧混凝土结构完成 42d 后实施，混凝土的抗渗和强度等级不应低于两侧混凝土。后浇带混凝土应保温保湿养护不少于 14d。采用掺膨胀剂的补偿收缩混凝土时，水中养护 14d 后的限制膨胀率不应小于 0.015%，膨胀剂的掺量应根据不同部位的限制膨胀率设定值经试验确定。

条文说明：后浇带部位在结构中实际形成了两条施工缝，对结构在该处的受力有些影响，所以应设在变形较小的部位。

后浇带的间距是根据近年来工程实践总结出来的。采用补偿收缩混凝土时，底板后浇带的最大间距可延长至 60m；超过 60m 时，可用膨胀加强带代替后浇带。加强带宽度宜为 1~2m，加强带外用限制膨胀率大于 0.015% 的补偿收缩混凝土浇筑，带内用限制膨胀率大于 0.03%、强度等级提高 5MPa 的膨胀混凝土浇筑。

后浇带的宽度主要考虑：一是对后浇带部位和外贴式止水带的保护，二是对落入后浇带内的杂物清理，三是对施工缝处理和埋设遇水膨胀止水条，故后浇带宽度宜为 700~1000mm。

后浇带两侧的留缝形式，根据施工条件可做成平直缝或阶梯缝。选用的遇水膨胀止水条应具有缓胀性能，其 7d 的膨胀率不应大于最终膨胀率的 60%，当不

符合时应采取表面涂缓胀剂的措施。

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，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不应低于两侧混凝土。

5.2.15 桩头防水应符合下列规定：

1 桩顶应高出垫层表面至少 200mm，桩头应涂刷外涂型水泥基渗透结晶型防水材料，涂刷层与大面积防水层的搭接宽度不应小于 300mm。大面积防水层应在桩头根部进行密封处理。

2 桩头选用的防水材料应具有能够增加混凝土的密实性、与桩头混凝土和钢筋的良好粘结性、耐水性和湿固化性等性能。水泥基渗透结晶型防水涂料的用量不宜小于 2.0kg/m^2 ，采用聚合物水泥防水砂浆时，厚度不宜小于 20mm。

3 桩头刚性防水层与底板柔性防水层应形成连续、封闭的防水体系。

4 桩的钢筋根部可采用遇水膨胀止水胶进行密封。

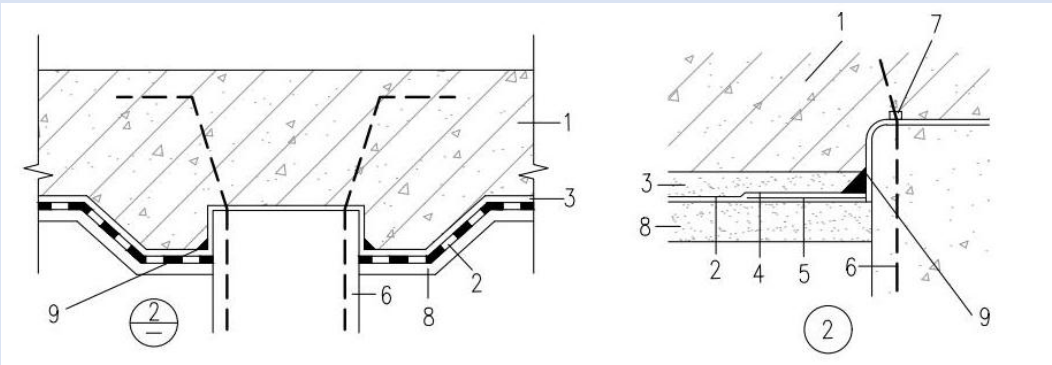


图 5.2.15 桩头防水构造

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

条文说明：底板柔性防水层在桩头部位无法连续，在桩头端部和四周涂刷外

涂型水泥基渗透结晶型防水材料，有利于增加桩体与底板混凝土的结合，增加混凝土的密实性。大面防水层在桩体周边做好密封，有利于保证外设防水层的完整性。

5.2.16 立柱防水应符合下列规定：

- 1 永久立柱穿过结构底板的范围内应设置遇水膨胀止水条进行密封处理；临时立柱应采用止水环和遇水膨胀止水胶进行密封处理；
- 2 根据柔性防水层的种类和立柱的断面形状选择合理的收口构造；
- 3 临时立柱周围预留的孔洞应采用膨胀混凝土填充。

5.2.17 穿墙管应符合下列规定：

- 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；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；

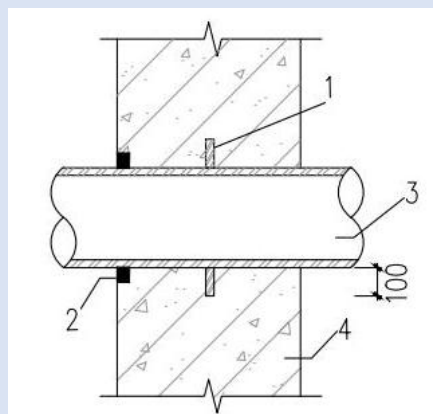


图 5.2.16-1 固定式穿墙管防水构造

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；套管应加焊止水环。

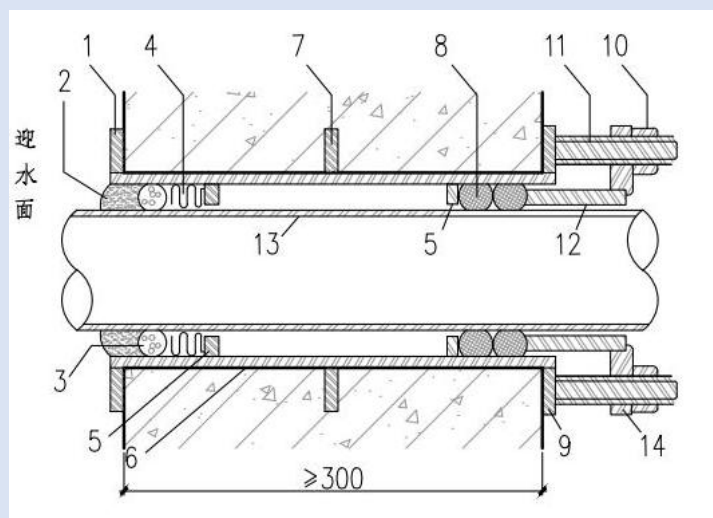


图 5.2.16-2 套管式穿墙管防水构造

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

条文说明：穿墙管外壁与混凝土交界处是防水薄弱环节，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防水层，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。

当穿墙管与混凝土的相对变形较大或有更换要求时，管道外壁交界处会产生间隙而渗漏，此时采用套管式穿墙管，可使穿墙管与套管发生相对位移时不致渗漏。

5.2.18 结构顶板不应施作找平层，顶板迎水面应设置柔性防水层，并应处理好刚、柔连接过渡区的密封；结构底板临时泄水孔、降水井等应待结构防水体系形成并满足结构抗浮安全要求后封闭。

5.2.19 隧道结构与附属结构接口部位，应根据结构构造型式选择相匹配的防水措施，所选用的不同防水层应能相互过渡粘结或焊接，使其形成连续整体密封的防水体系。

条文说明：主体结构和附属结构及区间隧道由于工法不同，采用的防水层材料种类有可能不同，不同防水层材料应采取合理措施做到密封过渡，使防水层形成连续封闭的防水体系。

5.2.20 明挖法隧道开挖过程中应对围护结构渗漏处及时进行封堵处理，并应防止土体颗粒随渗漏流失，必要时可采取坑外注浆等堵漏措施。

5.2.21 隧道结构底板的混凝土垫层，强度等级不应小于 C15，厚度不应小于 100mm，在软弱土层中不应小于 150mm。基底至结构底板以上 500mm 范围及结构顶板以上不小于 500mm 范围的回填层压实系数不应小于 0.94。

条文说明：肥槽回填质量对明挖法地下工程防水工程质量有较大影响。肥槽如处理不当，不但可能造成侧墙防水层被破坏，更是将肥槽变成贮水空间，增加渗漏风险。

当回填层的渗透系数大于周边相邻土层时，基坑底部易形成积水，而底板与侧墙交接处是防水的薄弱环节，因此提出基坑底部区域回填层的压实系数要求。基坑底部区域指基坑底部至结构底板上表面以上 500mm，或基坑底部至结构底板纵向水平施工缝以上 500mm 的范围。

顶板防水层以上采用渗透系数小的回填层有利于阻挡降水对地下工程防水的影响，同时对回填层作一定厚度的密实性要求，有助于对防水层的保护。

压实系数取值参考了现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 的相关规定。

5.3 矿山法隧道

5.3.1 矿山法隧道防水体系应根据埋深、地质条件、地下水补给、地下水环境，选择排水型、防水型或限量排水型三种防水体系，初期支护与二次衬砌之间应设置防水层，防水层一般由防水板与缓冲层组成，宜采用分离式。

条文说明：隧道防排水作为一个系统，其设计内容涵盖地表水、地下水、岩土体、防排水措施、结构设计等。根据地下水处理方式的不同，可将隧道防排水体系区分为排水型、防水型或限量排水型三种。

当允许地下水通过隧道排水系统排放时，隧道设计为排水型；考虑环境保护及运营使用等因素，不允许地下水大量排放时，隧道需设计为防水型或“以防为主、限量排放”为原则的限量排水型。

隧道防排水系统主要由二次衬砌自防水、围岩注浆堵水、薄弱部位防水和防水板(层)防水，排水盲管及排水管(沟)等构成。排水型隧道所选用的防水层除应

具有防水功能外，还应有引排地下水的功能。防水型隧道需要从围岩、结构和附加防水层方面入手，采用多种措施，拒水于结构之外，不让地下水进入隧道内部。

采用防水型及限量排水型防水体系的隧道工程也需要设置一定的排水设施，一是为了排除与隧道防水等级相对应的少量渗漏水或通过注浆堵水措施后的限量排放水，二是对因防水系统万一失效而导致的少量渗漏水进行有序排放，使地下水通过环向排水盲管和纵向排水盲管，流入隧道内的排水沟内。

隧道防水层由防排水板与缓冲层组成，铺设前先铺设缓冲层，这样一方面有利于无钉铺设工艺的实施，另一方面防止防水层被刺穿损坏。

5.3.2 隧道的防水体系宜包括防水工程措施、排水措施及运营阶段的防排水系统的维护措施。

1 隧道防水工程措施包括：初期支护喷射混凝土防渗；防水层；施工缝、变形缝防水；衬砌混凝土自防水；衬砌背后回填注浆。

2 隧道排水工程措施包括：环向排水盲管、纵向排水盲管、侧沟、横向排水盲管和中央排水管（沟）。

3 防排水运营期的维护措施包括：衬砌漏水时的通过预埋的可重复注浆管进行注浆堵漏；隧道排水系统冲洗及清理。

5.3.3 地面生态环境和社会环境敏感、地表下沉影响较大、地下水具有强腐蚀性情况下，矿山法隧道防水体系宜采用防水型。出现下列情况时，高水压隧道防水体系宜采用限量排水型：

1 隧道穿过断裂破碎带或岩体破碎带等预测水量较大段落，采用排水型隧道可能影响生态环境；

2 机械抽排水能力无法满足运营期安全。

3 经运营期抽排水及隧道内堵水措施进行经济技术比选后，需对地下水排放进行控制的情况。

条文说明：

长期以来我国铁路隧道多以排水型隧道为主，工程经验证明，地下水处理“以排为主”在局部地下水发育地区，由于地下水大量流失造成了一定的环境危害，多数在隧道内存在不同程度的水害，且逐年发展，影响衬砌结构和行车安全，出

现洞顶地表水枯竭，并产生地表土塌陷、下沉等现象，影响人民生活和生产建设。因此，隧道工程在结构防水形式方面，必须采用以“排堵结合，以堵为主”的原则，或者称为“以堵为主，限量排放”的原则，在“防”的同时也积极采取“堵”的措施，减少涌水和渗漏。

表 5.3.3 不同防排水类型隧道特点对比

	防水型	限量排水型	排水型
地下水流失	无	部分地下水流失	地下水流失
衬砌压力	全水压	部分水压	无水压
建造费用	随水头的增大而增加	随水头的增大而增加	低
维护成本	较少	随时间的增长而增加	随时间的增长而增加

在下列条件时，需优先设计防水型隧道。

(1) 地面生态环境和社会环境敏感，要求严格限制排水以免对其造成影响，特别是在隧道地区居民分布密集或存在地下水供水水源，大量排水会对环境等造成重大影响的场合。

(2) 地表下沉影响较大，从而危及结构物正常使用及周边环境的场合。

(3) 地下水具有强腐蚀性，需要将地下水与混凝土隔离的场合。

对浅埋隧道、水环境敏感区的隧道，有可能因隧道施工造成地表或地层失水、地面塌陷、影响居民正常生产生活的隧道，应对地下水环境敏感点进行详细的勘察，完善环境工程地质条件评价，提出有针对性的预防措施。

5.3.4 矿山法地下工程复合式衬砌的防水做法应符合表 5.3.4 的规定。

表 5.3.4 矿山法地下工程复合式衬砌的防水做法

防水等级	防水做法	防水混凝土	外设防水层		
			塑料防（排）水板	预铺反粘高分子防水卷材	喷涂施工的防水涂料
一级	不应少于 2 道	为 1 道，应选	塑料防（排）水板或预铺反粘高分子防水卷材不应少于 1 道，且厚度不应小于 1.5mm		
二级	不应少于 2 道	为 1 道，应选	不应少于 1 道；塑料防水板厚度不应小于 1.2mm		
三级	不应少于 1 道	为 1 道，应选			

条文说明：外设防水层指设置在初期支护和二次衬砌之间的防水层，其作用

在于隔水和导水，并为混凝土二衬结构施工质量提供保障。外设防水层与二衬混凝土结构共同构成矿山法地下工程防水。

受施工工艺限制，不同防水等级矿山法地下工程外设防水层通常只有 1 道，区别在于防水层材料的品种和厚度。喷涂防水涂料需要施做在无纺布等基层上，涂膜的厚度、均匀性等容易受涂料成膜方式及现场施工条件影响。

5.3.5 矿山法地下工程二次衬砌接缝防水设防措施应符合表 5.3.5 的规定。

表 5.3.5 矿山法地下工程二次衬砌接缝防水设防措施

施工缝					变形缝		
混凝土界面处理剂或外涂型水泥基渗透结晶型防水材料	外贴式止水带	预埋注浆管	遇水膨胀止水条或止水胶	中埋式止水带	中埋式中孔型橡胶止水带	外贴式中孔型止水带	密封嵌缝材料
不应少于 2 种					应选		

条文说明：二次衬砌施工缝和变形缝部位是渗漏水高发部位，为加强接缝防水措施，本条规定了接缝部位结构断面内和结构表面两方面所应采取的防水措施。其中，中埋式中孔型橡胶止水带应为变形缝密封防水优先选用的措施。

5.3.6 防水型隧道应采用全环封闭式防水板，衬砌承担水压力不宜大于 0.6Mpa。环、纵向排水盲管应设置于防水板与二次衬砌之间，纵向排水盲管宜纵向每 30m 分段并直接与隧道侧沟连通，环向排水盲管应设置于环向施工缝。

条文说明：当水压过高或排水量远大于隧道排水能力时，宜另行设计地下水引排通道，降低水压，并把所排地下水抽排补给至失水地层。对于同一个隧道工点，根据洞身所处的不同环境条件，可分段设置防水型或排水型结构。

防水型隧道也需要设置一定的排水设施，一是为了排除与隧道防水等级相对应的少量渗漏水或通过注浆堵水措施后的限量排放水，二是对因防水系统万一失效而导致的少量渗漏水进行有序排放，使地下水通过环向排水盲管和纵向排水盲

管，流入隧道内的排水沟内。

5.3.7 限量排水型隧道可采用地表预注浆、开挖前超前深孔注浆、开挖后径向注浆或局部注浆等措施，改善地层渗透性以控制地下水排放；限量排水控制标准应综合地表环境要求、隧道内抽排水能力及注浆工程措施，经过经济技术比选综合确定，可取 $0.3\sim0.4\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{d})$ 。

条文说明：围岩注浆堵水是补强围岩、减少地下水排放的重要手段，可分为地表预注浆、开挖前超前深孔注浆、开挖后径向注浆或局部注浆等。一般在地下水排放影响生态环境、水压力高影响围岩稳定或影响施工安全等情况时，采用地表预注浆、开挖前超前深孔注浆进行处理，否则可以在开挖后采用径向注浆或局部注浆。

对于不同的排水方案设计，应该根据隧道工程地质、地形地貌、水文地质、气象条件、生态环境条件等因素综合分析，来确定一个比较合适的方案。国外隧道施工建设开展时间较早，技术比较成熟，环保意识强，对于隧道限排量制定了比较严格的标准。不同类型隧道限排量范围依据不同：对于水下或者海底隧道，主要从抽排水设备来考虑，例如，挪威海底隧道允许排放量为 $300\text{L}/(\text{km}\cdot\text{min})$ ，即 $0.432\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{d})$ ，日本青函海底隧道的限排量为 $0.2736\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{d})$ ；陆上隧道则主要从生态环境保护角度考虑，例如挪威 Oslofiord 跨海隧道限排量为 $0.288\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{d})$ 。其他国外水底隧道相关排水控制标准见下表。

表 5.3.7-1 国外典型水底隧道结构防排水设计统计表

隧道名称	陆域长度/km	海域长度/km	水深/m	岩层深/m	衬砌类型	允许排水量 ($\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{d})$)	施工方法
日本青函铁路隧道	30.55	23.3	140	100	排导式	0.2736	设超前注浆/矿山法
日本关门公路隧道	2.681	0.78			排导式		设超前注浆/矿山法
新关门隧道	17.833	0.88	29	24	排导式/全封堵		设超前注浆 矿山法
挪威埃林索伊-瓦尔德里	4.358	3.3	100	40	排导式	0.432	钻爆法
丹麦斯多贝尔特大海峡隧	7.9	75	20		排导式	0.143	冰渍层/掘进机

英法海峡隧道	49		21~70		排导式		掘进机 (D=7.8m)
挪威 Byfjord 海底隧道	5.800 (海域+陆域)		最低点位于海面下		排导式	进口 0.046/出口	钻爆法
挪威 Mastrafjord 海底隧道	4.400 (海域+陆域)		最低点位于海面下		排导式	进口 0.072/出口	钻爆法

在我国，由于过去受经济资金条件制约，对于地下水往往以排为主，随着我国经济水平的不断提高，“以堵为主”的设计理念越来越多被采用。渝怀铁路歌乐山隧道修建过程中采用注浆封堵措施，本着保护生态水位环境和节约用水的原则，采用的限量排放地下水控制量为 $1\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{d})$ ，成功得限制了地下水资源的大量排放。渝怀铁路圆梁山隧道、武广线大瑶山隧道等若干隧道也确定了限量排放的标准，限排量值分别为 $5\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{d})$ 、 $0.23\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{d})$ 。

表 5.3.7-2 不同类型隧道地下水排放标准表

隧道类型	地铁隧道	海底隧道	城市隧道	山岭隧道
限排标准 ($\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{d})$)	0.07-1.7	0.0324~0.432	0.03024-0.576	0.7-5

综合分析各类型的隧道限排标准，山岭隧道限排标准最松，而地铁隧道限排标准最严，海底隧道与城市隧道接近。由于地铁隧道覆盖层较薄，对沉降及位移控制严格，其允许排放量最小；海底隧道与城市隧道覆盖层厚度相对较大，并且有一定沉降控制与生态保护要求；山岭隧道埋深最大，并且远离城镇，其堵水实施更为困难，限排水标准最低。

5.3.8 当矿山法隧道采用预铺反粘高分子类防水卷材时，卷材搭接应牢固；采用塑料防水板时，应设置分区注浆系统。可于相邻施工缝或变形缝间增设分区止水带形成防渗肋条，缩小分区面积。

条文说明：预铺反粘高分子类防水卷材通常采用自粘搭接，但当隧道环境潮湿，施工条件复杂，搭接区域需要加强时，可采用双焊缝焊接搭接。

采用与二衬混凝土无粘结的塑料防水板时，容易蹿水。因此，通过设置注浆系统，如焊接固定在塑料防水板表面的注浆底座和导管组成的注浆系统，在二衬混凝土施工后进行填充注浆，填充塑料防水板与二衬混凝土之间的间隙。其中，拱顶部位必设注浆系统。分区注浆系统指利用二衬结构变形缝处环向设置的外贴

式止水带或其他等同的防水措施，一面与塑料防水板防水层粘结或焊接，另一面凸起的齿条与混凝土咬合，将隧道划分为相对独立的防水区域，防止出现渗漏时蹿水现象。降低渗漏水的处理难度。

分区防水借鉴了“潜水艇”的工作原理，在全封闭防水设计中，假定防水板会被破坏，为了限制窜水的范围，采用分舱的方法，将背贴式止水带与防水板热风密实焊接，将整个隧道分成若干个相对独立的防水区域。某个区域发生防水板破坏而漏水，不会“窜流”而影响其他分区。同时，在每个分区内预先设置注浆管，可针对漏水的分区进行注浆修补。背贴式止水带一般安装在施工缝和变形缝处，必要时在相邻施工缝或变形缝间增设分区止水带形成防渗肋条，隔离地下水的纵向流动，从而缩小分区面积。

根据衬砌模板台车的长度（通常为 12m 左右），每环模筑作为一个防水分区图，在每环模筑衬砌施工缝位置设置背贴式止水带，使环向和纵向均设置防水分区，同时在每个分区内预埋注浆管，针对漏水区域进行注浆修补。每个分区范围不宜超过 200m²。

5.3.9 防水分区应先在防水板处设背贴式止水带，并在止水带外侧预埋全断面出浆注浆管，将不密实的缝隙填实。应在二次衬砌浇筑完成并达到设计强度的 70% 后进行注浆回填密实，填充材料宜采用无收缩水泥砂浆，注浆压力宜为 0.1～0.5MPa。

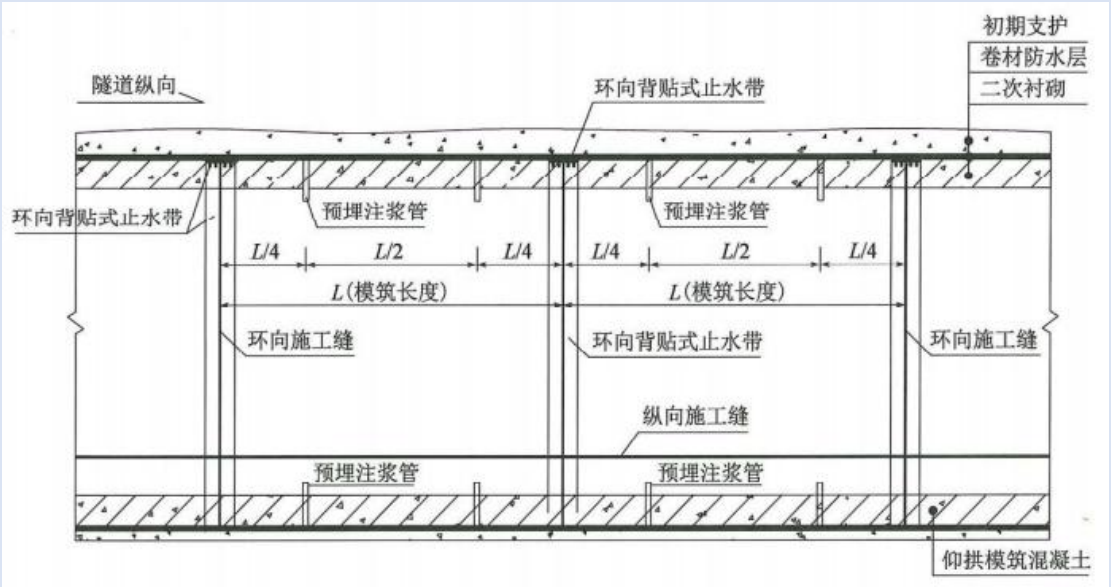


图 5.3.9 隧道防水分区示意图

5.3.10 防水板注浆系统的设置应符合下列规定：

- 1** 注浆系统应靠近施工缝和变形缝等特殊部位设置；
- 2** 注浆系统的环、纵向设置间距，一级设防要求时宜为 3m~4m，二级设防要求时宜为 4m~5m，顶部宜适当加密；
- 3** 注浆材料宜采用添加适量膨胀剂的水泥浆。
- 4** 注浆底座应与防水板同材质，与防水板焊接牢固，焊接点应对称位于底座四周，不宜超过四处，每处焊接面积不宜大于 20mm×20mm；
- 5** 注浆导管与注浆底座应连接牢固、紧密；注浆导管埋入结构内的部分应牢固地固定在结构钢筋上；
- 6** 注浆导管端部应临时封堵保护。

条文说明：矿山法施工的隧道的防水措施，通常采用复合衬砌全包防水构造。复合式衬砌除采用防水混凝土外，还需做夹层柔性防水层。

目前矿山法隧道柔性防水材料通常采用塑料类，在铺设塑料防水板、绑扎钢筋和浇筑振捣混凝土时，容易出现破损。而塑料防水板与二衬混凝土之间通常不密贴，地下水从防水层破损部位进入防水层与结构迎水面之间，并到处流动，导致“窜水”现象，这就给后期堵漏维修带来困难。而设置注浆系统是解决塑料防水板窜水问题的关键。

注浆系统由焊接在防水板表面的注浆底座和穿过二衬的注浆导管组成，注浆底座是为了确保浇筑二衬混凝土时水泥等细颗粒不会进入注浆底座并流出，注浆导管与底座相连，主要起到成孔并引倒浆液进入的作用。二衬结构施工完毕后，利用注浆导管进行回填注浆处理，注浆材料一般采用 1:2~3 的水泥浆液，并添加 8%~10%的膨胀剂或其他添加剂。注浆的目的是为了使浆液凝固后填充防水板与二衬迎水面之间的窜水通道，同时也利用浆液将结构迎水面的裂缝、孔洞封堵严密，达到提高结构自防水能力的作用。

分区系统主要包括与防水板同材质的外贴式止水带，将外贴式止水带用专用焊接设备焊接在防水板表面，止水带的凸起齿条与二衬混凝土密实咬合，人为将隧道划分成各自独立的防水区域。但从工程实践证明，隧道顶板(顶拱)部位的混凝土浇筑不易密实，同时阴阳角部位止水带齿条容易倒伏，止水带接头部位不易

焊接严密等，导致分区效果不好。因此提出宜在变形缝部位进行分区，不提出分区面积的具体要求。

5.3.11 矿山法隧道防水板宜选用聚乙烯（PE）、乙烯-醋酸乙烯共聚物（EVA）、乙烯-醋酸乙烯与沥青共混（ECB）材料类或其他性能相近的高分子防水板，结构形式可选取普通防水板、自粘式防水板或反粘式防水板。

5.3.12 防水层铺设应满足下列要求：

- 1 基面应平整、无尖锐凸起，其平整度应符合 $D/L \leq 1/10$ 的要求（D 为基面相邻两凸面间凹进去的深度；L 为基面相邻两凸面间的距离，且 $L \leq 1\text{m}$ ）；
- 2 缓冲层应固定牢靠，与基面密贴，缓冲层接缝搭接宽度不应小于 5cm；
- 3 铺设固定应松紧适度并留有余量，以保证混凝土浇筑后与初期支护表面密贴；
- 4 防水层可按规定采用黏接或焊接，焊接应采用双焊缝，单条焊缝的有效焊接宽度不应小于 15mm；分段铺设的防水层边缘部位应预留至少 60cm 余量以利搭接；防水层搭接缝应与衬砌施工缝错开 1.0m～2.0m。

条文说明：防水层是隧道防水的重要屏障，其铺设质量直接影响防水效果，在初期支护结构趋于基本稳定后进行铺设；铺设前基面平整，无突出物是保证铺设质量的首要条件。因此，铺设前除对基面外露的锚杆头、钢筋头等突出物予以割除外，还需对基面平整度进行检查。根据原铁道部《铁路隧道设计施工有关标准补充规定》（铁建设[2007]88 号文），表面平整度应符合 $D/L \leq 1/10$ 的要求（原规范中为 1/6）。

喷射混凝土初期支护表面平整度较差，铺设无纺布缓冲层能避免基层表面凸起的混凝土颗粒或锚杆等刺破防水层。

铺设时注意留有铺设余量，防止固定点间的防水层被绷紧，导致浇筑二次衬砌时防水层与初期支护间形成空隙。

防水层由于幅宽限制，接缝较多，其防水的关键取决于搭接密封的程度。因此条文中对其搭接宽度、焊缝宽度等作了规定。

5.3.13 仰拱部位无外设防水层时，其他部位应按规定做外设防水层，并应设置排水系统。

条文说明：工程实践中也常遇到不做全包防水的矿山法隧道工程，本条规定了此类隧道工程防水设计原则。

针对硬质岩层地段结构采用排水型复合式衬砌时，在隧道除仰拱(底板)以外的部位会设置防水层，同时在塑料防水板防水层与初期支护之间设置排水系统。排水系统应充分考虑其可维护性，保证排水通畅。

5.3.14 矿山法地下工程初期支护喷射混凝土应采用潮喷和湿喷，不得采用干喷，抗渗等级不应小于 P6，厚度应大于 80mm。防水层应在初期支护结构基本稳定，并经隐蔽工程检验合格后进行施工；铺设塑料防水板时，下部防水板应压住上部防水板。塑料防水板施工过程中，应采取防止焊接损伤和机械损伤的措施，并应设专人检查；拱顶二次衬砌与防水层之间的空隙应注浆填充密实。

条文说明：本条规定矿山法地下工程初期支护基本稳定后才能进行防水层施工，以防初衬不稳定、变形过大引起防水层的破坏。

下部防水板压住上部防水板是为了使防水板外侧上部的渗漏水能顺利流下，不积聚在防水板的搭接处而形成渗漏水的隐患。

进行塑料防水板施工时，在无保护层处绑扎或焊接钢筋时，应注意采用防护措施，并设专人对防水层进行检查，如发现有破损、孔洞等，采用同质材料热焊修补。

二次衬砌拱顶部位混凝土施工时因重力作用，使得防水层与混凝土之间普遍存在空隙，无法粘结密实，致使拱顶部位渗漏水滴落。为防止此处积水而导致的渗漏，应在防水层与二次衬砌之间设置注浆管并填充密实。

5.3.15 正洞与辅助坑道连接位置防水等级应适当提高。

条文说明：在正洞与辅助坑道连接位置结构较复杂，若渗漏水过多，可能会导致基础、边墙承载能力降低，以至影响正洞结构安全和耐久性，其防水等级应适当提高。

5.3.16 附属洞室应按其使用功能要求确定防水等级，防水系统构成宜与正洞防水系统一致，并应加强工程连接处的防水措施。

5.3.17 二次衬砌混凝土应连续浇筑完成，宜少留纵向施工缝；分段浇筑时，应先做仰拱或底板，后做拱墙；边墙水平施工缝应设在水沟盖板面以下、侧沟过水

面以上，且高于边墙进水孔至少半幅止水带宽的距离。

5.3.18 隧道注浆防水设计应包括以下内容：

- 1 注浆后允许排水量的控制标准；
- 2 注浆段落长度、相邻注浆段落的搭接长度、止浆岩盘的厚度；
- 3 注浆钻孔的布置、间距、角度，孔底间距及浆液扩散半径；
- 4 孔口管、限流阀的设置；
- 5 注浆材料及注浆压力的选择；
- 6 注浆方式的选择；
- 7 单孔、全段注浆结束的标准及检验方式；
- 8 注浆量。

条文说明：超前预注浆注浆孔数、布孔方式及钻孔角度设计需根据岩层裂隙状态、地下水情况、加固范围、设备能力、浆液扩散半径和对注浆效果的要求等综合分析确定；超前预注浆段的长度视具体情况合理确定，一般为 30m~50m；掘进时保留止水岩盘的厚度，该厚度一般为毛洞高度(直径)的 0.5~1.0 倍。

注浆压力需结合岩(土)体的结构特征、地下水状态、注浆材料的类型、浆液浓度及扩散要求，同时考虑注浆时围岩、支护结构、止浆墙或止浆岩盘的稳定性，避免堵塞排水系统、串(跑)浆、危及地表安全等异常情况。

单孔注浆结束的条件一般如下：

(1)超前预注浆各孔段均达到设计终压并稳定 10min,且注浆量不小于设计注浆量的 80%、进浆速度为开始进浆速度的 1/4,结束时的注浆量一般在 20 L/min~30 L/min 以下；

(2)支护后围岩注浆达到设计终压。

5.3.19 在下列情况下隧道工程可采用注浆防水：

- 1 掌子面前方存在较高水压的富水区，开挖后存在突水、突泥风险；
- 2 掌子面开挖可能导致不可接受的地下水环境改变、地表沉降者；
- 3 开挖后洞壁出水超过允许排放标准；
- 4 初期支护完成后仍有较大面积的渗漏水。

条文说明：本条规定了采用注浆防水的环境或地层条件，通过注浆防止、减

小水对施工和结构的不利影响，让地下水的排放在允许的标准以内。隧道工程注浆方案的选择需结合地质、水文情况、开挖和支护方式、相邻隧道的相互影响及其他构筑物的位移、沉降，环境保护要求、工程防水等级和施工工艺水平等，因地制宜，以达到保证安全施工、防止次生灾害，保护环境，确保结构及运营安全的目的。

不同注浆方案的一般选用如下：

(1)掌子面前方存在较高水压的富水区，具有较大可能、较大规模的涌水、突水；围岩结构软弱，自稳能力差，开挖后极可能导致掌子面失稳而诱发突水、突泥者；掌子面前方存在富水、松散、软弱岩体，动水作用将破坏岩体稳定、恶化隧道结构工作环境者；采用超前帷幕注浆或超前周边注浆；

(2)掌子面前方存在富水区，开挖可能导致不可接受的地下水环境改变、地表沉降者，采用超前帷幕注浆或超前周边注浆；

(3)掌子面前方围岩基本稳定，但局部存在富水、松散、软弱岩体或地下水运移通道，开挖可能导致上述不利影响者，采用超前局部注浆；

(4)开挖后洞壁出水超过允许排放标准或地下水软化围岩需要进一步加固时，采用径向注浆；

(5)初期支护完成后仍有较大面积的渗漏水或支护与围岩间存在不允许的空隙，采用初期支护背后回填注浆；

(6)充填拱部防水板和二次衬砌之间的空隙时，采用二次衬砌背后回填注浆。

超前帷幕注浆、超前周边注浆及超前局部注浆主要是通过掌子面设置止浆墙或止浆岩盘，经注浆在高水压、富水区及松散、软弱围岩段落隧道开挖轮廓周边(及前方)一定范围形成一定厚度的注浆固结圈，达到维持限制地下水运移通道、控制水量、加固围岩、减小地表沉降、保护环境、保证施工安全及衬砌工作环境相对稳定的目的；径向注浆是为了控制涌水量在允许排放标准以内，防止固体物质流失，进一步加固岩体，径向注浆包括全断面注浆和局部点集中堵水注浆或补注浆；初期支护背后回填注浆是为了充填围岩与支护之间不允许存在的空隙，控制大面积的渗漏水，为二次衬砌的施工创造有利的环境；二次衬砌背后回填注浆是充填防水板和二次衬砌之间的空隙，保证衬砌背后回填的密实度，达到进一步

防水的目的。

注浆防水已在国内许多地下工程中广泛应用，铁路隧道工程应用也较多已成为工程防水的一种有效措施。

5.3.20 在选择注浆防水方案时，应根据工程地质和水文地质条件按下列规定进行：

- 1 在工程开挖前，预计涌水量大的软弱地层地段，宜采用超前预注浆；
- 2 开挖后有大面积渗漏水或大股涌水时，宜采用支护前围岩注浆；
- 3 衬砌（支护）后渗漏水严重的地段或充填衬背后的空隙地段，宜采用回填注浆；
- 4 衬砌后或回填注浆后仍有渗漏水时，宜采用衬砌内注浆或衬砌后围岩注浆。

条文说明：注浆分类方法很多，按施工顺序可分为预注浆和后注浆；按注浆目的可分为加固注浆和堵水注浆；按浆液扩散形态可分为渗透注浆和劈裂注浆等等。

本条所列条款可单独进行，也可按工程情况采用几种注浆方法，确保工程达到要求的防水等级。

5.3.21 限量排水型隧道采用隧道周边 3~5m 注浆堵水措施时，注浆参数可结合隧道埋深、地层渗透系数、限量排放标准综合确定。+++

条文说明：目前，超前预注浆、围岩径向注浆是高水压区限量排放的主要技术，注浆对改善断层带围岩应力分布和控制变形都有着显著的效果，基于水工隧道折减系数法的考虑围岩、裂隙、衬砌渗透性等的研究成果表明，外水压力的降低率约为 0~40%，这主要取决于注浆减渗层的质量，在矿山法隧道性价比较高的注浆减渗层厚度为 3~5m。

针对注浆参数选取及预测限制排放效果，当隧道结构尺寸相对地下水头较小时，隧道排水量、衬砌外水压力、注浆加固圈外水压力可按下式计算。

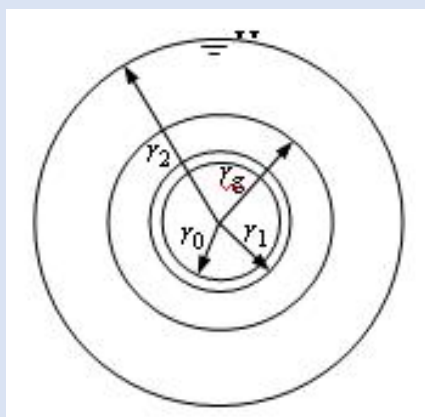


图 5.3.21 隧道衬砌水压力模型示意图

1.隧道排水量可按式（5.3.21-1）计算：

$$Q = \frac{2\pi H k_r}{\ln \frac{r_2}{r_g} + \frac{k_r}{k_g} \ln \frac{r_g}{r_1} + \frac{k_r}{k_l} \ln \frac{r_1}{r_0}} \quad (5.3.21-1)$$

式中

Q—隧道排水量（m³）

H—地下水水头高度（m）

r₀—衬砌内径（m）

r₁—衬砌外径（m）

r₂—远场距离（m）

r_g—注浆圈外半径（m）

k_l—衬砌渗透系数

k_g—注浆体渗透系数

k_r—围岩渗透系数

2.衬砌外水压力可按式（5.3.21-2）计算：

$$P = \gamma h_1 = \frac{\gamma H \ln \frac{r_1}{r_0}}{\ln \frac{r_1}{r_0} + \frac{k_l}{k_r} \ln \frac{r_2}{r_g} + \frac{k_l}{k_g} \ln \frac{r_g}{r_1}} \quad (5.3.21-2)$$

式中

P—衬砌外水压力（kN/m²）

h_1 —衬砌加固圈外水头 (m)

γ —水的容重 (kN/m³)

3.注浆加固圈外水压力可按式 (5.3.21-3) 计算:

$$P_g = \gamma h_g = \frac{\gamma H \ln \frac{r_g}{r_1}}{\frac{k_g}{k_r} \ln \frac{r_2}{r_g} + \ln \frac{r_g}{r_1}} + \frac{\gamma h_l \ln \frac{r_2}{r_g}}{\ln \frac{r_2}{r_g} + \frac{k_r}{k_g} \ln \frac{r_g}{r_1}} \quad (5.3.21-3)$$

式中

P_g —注浆加固圈外水压力 (kN/m²)

h_g —注浆加固圈外水头 (m)

5.3.22 注浆措施可通过现场揭示涌水量、综合考虑隧道内水量季节性变化确定,隧道内水量测量宜分区段进行。+++

条文说明: 由于部分矿山法隧道内渗水受降雨补给影响明显, 非雨季施工的矿山法隧道于预测强富水段落, 可能出现开挖后揭示涌水量较小的情况, 需根据开挖揭示情况及周边环境情况逐段落进行涌水量预测与分析。对矿山法隧道富水段落, 建设过程中在二次衬砌施工完成后, 需持续观察 1~2 个雨季, 记录二次衬砌状态及排水口出水情况, 针对根据现场情况确定处理措施。隧道内环境复杂, 单点测量准确水量较为困难, 可在初期支护封闭后二次衬砌浇筑前段落设置临时导流措施, 采用三角堰或矩形堰测量法, 分段进行水量测量。

5.3.23 应根据岩层裂隙状态、地下水情况、设备能力, 浆液有效扩散距离、钻孔偏斜率和对注浆效果的要求等综合分析后, 确定预注浆钻孔的孔数、布孔方式及钻孔角度。

5.3.24 预注浆的段长, 应根据工程地质、水文地质条件、钻孔设备及工期要求确定, 宜为 10~50m, 但掘进时应保留止水岩垫(墙)的厚度。注浆孔底距开挖轮廓的边缘, 宜为毛洞高度(直径)的 0.5~1 倍, 特殊工程可按计算和试验确定。

条文说明: 预注浆的段长, 不仅要考虑工程地质和水文地质条件(主要是把相同孔隙率或裂隙宽度的地层放在同一注浆段内, 以便浆液均匀扩散), 而且要考虑工作实际和钻孔时间, 充分发挥钻机效率, 缩短工程建设工期。

随着液压凿岩台车的引进, 凿岩能力加大, 因此, 注浆段长以 10~50m 为

宜。由于开挖后要留 2~3m 止浆岩墙，注浆段越长，开挖也越长，工期越短；但钻孔越深，钻孔速度越低，进度越慢。因此，合理选择段长是加快注浆工期的关键。

5.3.25 回填注浆孔的孔径，不宜小于 40mm；间距宜为 5~10m，并应按梅花形排列。

5.3.26 衬砌前围岩注浆应符合下列规定：

- 1 注浆深度宜为 3~5m；
- 2 应在软弱地层或水量较大处布孔；
- 3 大面积渗漏时，布孔宜密，钻孔宜浅；
- 4 裂隙渗漏时，布孔宜疏，钻孔宜深；
- 5 大股涌水时，布孔应在水流上游，且自涌水点四周由远到近布设。

5.3.27 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，孔距可根据渗漏水情况确定。

5.3.28 岩石地层预注浆或衬砌后围岩注浆的压力，应大于静水压力 0.5~1.5MPa，回填注浆及衬砌内注浆的压力应小于 0.5MPa。

条文说明：注浆压力是浆液在裂隙中扩散、充填、压实、脱水的动力。注浆压力太低，浆液就不能充填裂隙，扩散范围也有限，注浆质量也差。注浆压力太高，会引起裂隙扩大，岩层移动和抬升，浆液易扩散到预定注浆范围之外，造成浪费。特别在浅埋隧道，会引起地表隆起，破坏地面设施，造成事故，因此，合理选择注浆压力，是注浆成败的关键。因此规范规定预注浆比静水压力大 0.5~1.5MPa，回填注浆及衬砌内注浆压力应小于 0.5MPa。

5.3.29 衬砌内注浆钻孔应根据衬砌渗漏水情况布置，孔深宜为衬砌厚度的 1/3~2/3，注浆压力宜为 0.5~0.8MPa。

条文说明：衬砌内注浆通常用于处理结构渗漏水，为防止壁后泥砂涌入影响注浆效果或浆液流失，因此规定孔深宜为壁厚的 1/3~2/3。

5.3.30 隧道围岩注浆、超前预注浆后应做注浆效果检查和评判；当漏水量小于设计允许值，浆液固结体达到设计强度后，方可开挖，否则应进行补充注浆或采取其他有效的工程措施。

条文说明：为了检验注浆效果，防止开挖时发生坍塌涌水事故，需进行效果检查，通常是在分析资料的基础上采取钻孔取芯法进行检查，有条件时，采用物探等方法进行检查。分析资料时要结合注浆设计、注浆记录、注浆结束标准，分析各注浆孔的注浆效果，看哪些达到了，哪些是薄弱环节，有无漏注或未达到结束标准的孔，原因何在，如何补救等。

钻孔取芯法是按设计要求在注浆薄弱地方，钻检查孔，检查浆液扩散、固结情况、取芯率，并进行压水(抽水)试验，检查地层吸水率(透水率),计算渗透系数及开挖时的出水量。

5.3.31 注浆材料宜选择以水泥基为主的注浆材料，注浆浆液应对环境污染小、对人体无害。

条文说明：注浆材料尽量采用无毒或低毒注浆材料，例如水泥系、水玻璃系。当采用有毒化学注浆材料，如丙烯酰胺、聚氨酯系时，为防止环境污染，除了在施工时对现场废水、废液妥善处理外，注浆点距饮用水源要有一定距离。

(1)《建筑工程注浆施工的暂行规定》(日本，1974年7月建设省颁布)第2.3.2条规定：“距注浆点10m以内有饮用水源，原则上不得采用注浆方法”。

(2)东北工学院对铬木素浆液污染范围试验，对埋深21m~27m砂层注浆实测及模拟试验结果，其污染范围与浆液注入量有关。即注入量越大，实际上反映裂隙宽度较大，污染范围也越大。根据现场实测，污染距离为7m~20m。

(3)浙江水利科学研究所对浆液扩散范围进行试验，结果表明，扩散距离为20m~30m。

浆液扩散范围与工程水文地质和注浆工艺有很大关系，例如淤泥层透水性小，砂砾层透水性大，注浆点距饮用水源距离一般根据工程水文地质情况，参照上述规定和试验数据确定。

5.4 盾构隧道

5.4.1 盾构隧道的防水体系由管片自防水、接缝防水、内部结构防水、管片壁后注浆、特殊部位防水等组成。防水设计应综合考虑各部分结构的特点、防水结构类型、密封防水要求等因素，保证盾构隧道整体防水功能的实现。

5.4.2 不同防水等级盾构隧道衬砌防水措施应符合表5.4.2的要求。

表 5.4.2 不同防水等级盾构隧道的衬砌防水措施

防水等级措施选择防水措施	高精度管片	接缝防水				混凝土内衬或其他内衬	外防水涂料
		密封件	嵌缝	注入密封剂	螺孔密封圈		
一级	必选	必选	全隧道或部分区段应选	可选	必选	宜选	对混凝土有中等以上腐蚀的地层应选，在非腐蚀地层宜选
二级	必选	必选	部分区段宜选	可选	必选	局部宜选	对混凝土有中等以上腐蚀的地层宜选；
三级	必选	必选	部分区段宜选	—	应选	—	对混凝土有中等以上腐蚀的地层宜选；
四级	可选	宜选	可选	—	—	—	—

5.4.3 盾构隧道防水设计应根据隧道的使用功能、使用要求、构造特点、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、防水体系各部分设计、施工控制措施等。

5.4.4 复合式衬砌的内层衬砌混凝土浇筑前，应将外层管片的渗漏水引排或封堵。采用塑料防水板等夹层防水层的复合式衬砌，应根据隧道排水情况选用相应的缓冲层和防水板材料。

5.4.5 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，宜符合表 5.4.5 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/T50082 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 5.4.5 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。

5.4.6 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，抗渗等级 P12 及以下时，管片外表在 0.8MPa 水压力下，恒压 3h，最大渗水深度不得超过 50mm。

条文说明：钢筋混凝土管片均采用自防水混凝土，为确保其耐久性，对防水混凝土的抗渗性能提出较高的要求，避免钢筋遇水锈蚀，降低其耐久性。

现行行业标准《水工混凝土试验规程》DL/T5150-2001 4.22.4 条通过平均渗水高度及恒压时间计算得到混凝土的相对渗透系数。但抗渗等级与相对渗透系数间并无明确的对应关系。且该方式受基准混凝土的配置影响大，渗水高度的误差偏大，因此设计使用仍较为困难。故当实际承受水压达到 100m 水头甚至 150m 水头时，管片的检漏标准需再另行专门研究。

5.4.7 管片外防水涂料宜采用环氧或改性环氧涂料等封闭型材料、水泥基渗透结晶型或硅氧烷类等渗透自愈型材料，并应符合下列规定：

- 1 耐化学腐蚀性、抗微生物侵蚀性、耐水性、耐磨性应良好，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，应仍能在最大埋深处水压下不渗漏；
- 3 应具有防杂散电流的功能，体积电阻率应高。

条文说明：对有侵蚀性介质的地层，或埋深显著增加的地段等需要增强衬砌防腐蚀、防水能力时，需要采用外防水涂料。

上海地铁一号线、新加坡地铁线、香港地铁二号线采用的分别是环氧-焦油氯磺化聚乙烯、环氧-聚氨酯、环氧-焦油、改性沥青类，在埃及哈迈德·哈姆迪水下公路隧道管片外背面也有类似材料采用，在委内瑞拉加拉加斯地铁以及国内几条地铁新线将部分采用水泥基渗透结晶型防水涂料。环氧类防腐蚀涂料封闭性好，水泥基渗透结晶型涂料、硅氧烷类涂料渗透性好，具有潮湿面施工的特性。两类材料各有所长，均可选择。

5.4.8 管片接缝布置双道弹性密封件防水体系时，内侧密封件防水能力应略小于或等于外侧密封件防水能力。

条文说明：根据“渗-压-愈”密封件耦合防水结构理论，当内侧密封件防水

能力略小于或等于外侧密封件防水能力时，可有效发挥寄生腔作用，提高整套防水体系的防水能力，根据理论计算，合理布置双道密封件，防水能力约为布置单道密封件情况的 1.36 倍。

5.4.9 密封件应沿管片侧面成环设置。密封件沟槽形式、截面尺寸应与密封件形式和尺寸相匹配；密封件应粘贴牢固、位置准确。

条文说明：管片拼装成型后，密封件被压缩在密封件沟槽内，为保证密封件均匀变形、密封件的弹性应力达到设计要求，密封件沟槽形式、截面尺寸应与密封件形式和尺寸相匹配。

钢筋混凝土管片接缝防水主要依靠橡胶密封件，橡胶密封件的粘贴质量直接影响管片接缝的防水，因此，对防水密封件的粘贴提出具体要求。

5.4.10 密封件宜采用三元乙丙橡胶类或遇水膨胀橡胶与三元乙丙橡胶的复合材料等，密封件应符合下列规定：

1 密封件应在计算的接缝最大张开量和估算的错台量情况下，在 2 倍~3 倍埋深水头的压力下不渗漏。对于错缝拼装的管片，密封件应进行一字缝和 T 字缝耐水压试验；对于通缝拼装的管片，还应进行十字缝耐水压试验；

2 密封件的压缩永久变形率不应大于 25%；

3 接缝闭合压缩力应小于千斤顶最大顶力；

4 热力隧道的密封件应满足耐热（老化）要求；

5 当封顶块采用纵向插入方式时，密封件表面应涂抹润滑剂；

6 变形缝环缝密封件表面应增设遇水膨胀橡胶片加强防水。

条文说明：第 1 条 密封件弹性应变小于地下水压力时，会引起接缝部位泄漏水。国内一般地下盾构隧道中，对于管片接缝张开量与密封件的断面尺寸关系是根据隧道埋深来确定的。通常情况下，为确保密封件的耐久性，要求管片接缝张开 10mm 时，密封件的耐水压力不得小于埋深水压；接缝张开 6mm 时，密封件的耐水压力不应小于 0.6MPa。

第 5 条 封顶块采用纵向插入时，其两侧密封件与已经拼装完成的相邻管片纵向密封件之间的压缩摩阻力逐渐增大，该阻力会导致封顶块两侧纵向密封件被拉长并挤出导致其防水密封效果降低，同时导致封顶块外侧角部密封件鼓起，影

响其与下一环密封件的密封效果。这也是封顶块角度容易出现渗漏水的原因。因此要求封顶块纵向密封件表面涂抹润滑剂,以降低其与相邻密封件之间的摩阻力。

第 6 条 盾构接收和始发第一环与第二环之间的环缝由于拆除负环时管片之间的压缩应力松弛导致张开量较大,通常作为变形缝处理;此外,盾构隧道穿越断层等区域,也会设置变形缝环。国内通常做法是在标准环密封件表面增设一层 3mm 厚的遇水膨胀橡胶片来加强防水。

5.4.11 管片环缝可设置阵列式凹凸榫以控制环缝错台量,保证环缝密封件工作状态稳定。凹凸榫应根据管片厚度、盾构隧道直径酌情采用柱形或圆台形,并于凸榫面或凹槽面粘贴垫片传力。

条文说明:大直径盾构隧道为防治错台,应设置环间抗剪措施,经工程实践表明,分布式凹凸榫结构可保证环间错台时多点接触,有效提高环间抗剪能力,建议使用。

凹凸榫的布置形式应根据管片厚度、盾构隧道直径等考虑,当管片厚度小于 400mm 时,建议采用柱形凹凸榫;当管片厚度大于 400mm 时,建议采用圆台形凹凸榫。

5.4.12 管片环缝传力面应设置凸台,凹凸榫凸台上粘贴垫片传力,以改善接缝受力状态。

条文说明:为提高环间抗剪能力,发挥推力的摩擦效应,避免管片接缝纵向开裂对防水体系造成破坏,按最不利推力和环缝面不平整度平均值进行组合分析,按双向偏压构件进行配筋与裂缝控制,根据拼装受力及环缝面不平整度大小,于凹凸榫凸台上粘贴垫片。

5.4.13 衬砌接缝面所贴传力垫片的材料及其铺设面积、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。

5.4.14 嵌缝防水应符合下列规定

1 在管片内侧环纵向边沿设置嵌缝槽,其深宽比不应小于 2.5,槽深宜为 25~55mm。单面槽宽宜为 5~10mm;嵌缝槽断面构造形状应符合图 4.4.28 的规定。

2 嵌缝材料应有良好的不透水性、潮湿基面粘结性、耐久性、弹性和抗下坠性。

3 应根据隧道使用功能和防水等级要求，确定嵌缝作业区的范围与嵌填嵌缝槽的部位，并采取嵌缝堵水或引排水措施。

4 嵌缝防水施工应在盾构千斤顶反力影响范围外进行。同时，应根据盾构施工方法、隧道的稳定性确定嵌缝作业开始的时间。

5 嵌缝作业应在接缝堵漏和无明显渗水后进行，嵌缝槽表面混凝土如有缺损，应采用聚合物水泥砂浆或特种水泥修补，强度应达到或超过混凝土本体的强度。嵌缝材料嵌填时，应先刷涂基层处理剂，嵌填应密实、平整。

6 当使用期需要承受较大负压吸力时，嵌缝材料与混凝土的粘结强度应不小于最大吸出力的 5 倍，且嵌缝形状应有利于防止嵌缝材料掉落。

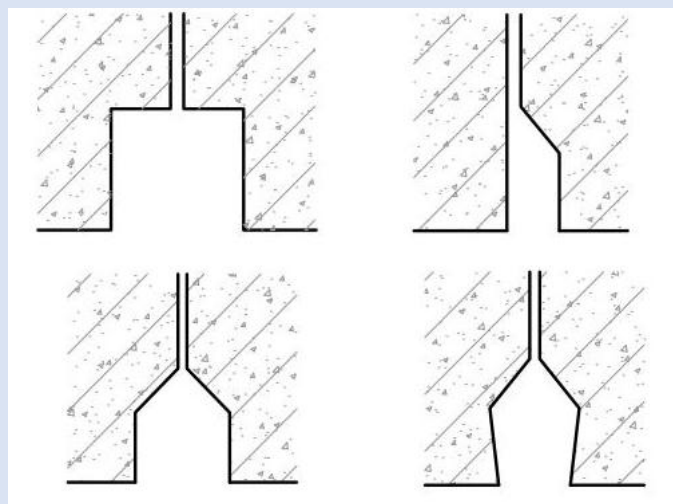


图 5.4.14 管片嵌缝槽断面构造形式

条文说明：鉴于目前嵌缝槽的形式已趋于集中，可以归结成图 8.1.8 所示的几类，并对槽的深、宽尺寸及其关系加以定量的规定。与地面建筑、道路工程变形缝嵌缝槽不同，因隧道衬砌嵌缝材料在背水面防水，故嵌缝槽槽深应大于槽宽，又由于盾构隧道衬砌承受水压较大，相对变形较小，因而嵌缝材料应是：

1.中、高弹性模量类的防水密封材料，如聚硫、聚氨酯、改性环氧类材料，也可以是有限制膨胀措施下的遇水膨胀类腻子或密封材料等未定型类材料。

2.特殊外形的预制密封件为主，辅以柔性密封材料或扩张型材料构成复合密封件。

根据我国常用的定型与不定型两类材料特性以及施工的要求，参考德国 STUVA、美国盾构隧道接缝密封膏应用指南及日本有关实践，提出的嵌缝槽深

宽比为 >2.5 。

3.之所以作出本条第3款的规定，是因为一方面底部嵌缝对避免隧道，尤其是铁路隧道沉降是有一定功效的；整环嵌缝对水工隧道减少流动阻力是有利的；顶部嵌缝对防止渗漏影响公路隧道、地铁隧道的运营安全与防腐蚀是需要的；另一方面，随着盾构隧道防水技术的发展和隧道渗漏水量的减少，嵌缝在根本上不能防水、止水，只是起到疏引作用，故目前国内外越来越少进行管片整体嵌缝。目前的嵌缝更多的是起的堵水与引排水的功效。

5.4.15 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》GB23440有关规定的快硬水泥等部分或完全封填。

5.4.16 当采用注浆孔注浆时，应对使用后的注浆孔进行密封防水处理。注浆孔的注浆管密封圈和注浆管盖密封圈，应符合下列规定：

- 1 注浆管密封圈应在管片混凝土浇筑前固定在注浆管四周，单道或多道设置；

- 2 注浆管密封圈和注浆管盖密封圈应采用遇水膨胀橡胶制品。

5.4.17 螺孔防水应符合下列规定：

- 1 管片肋腔的螺孔口应设置锥形倒角的螺孔密封圈沟槽；

- 2 螺孔密封圈的外形应与沟槽相匹配，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。螺孔密封圈应为合成橡胶或遇水膨胀橡胶制品。

条文说明：早期的螺孔密封圈是直接设在环向纵面螺孔口的，目的是防水与防腐，由于固定困难等问题，现几乎不再使用。在管片肋腔螺孔口加工成锥形的沟槽较方便，也利于螺孔密封圈的固定与压密，因而成为普遍的做法。

螺孔密封圈与沟槽相匹配的含义是它的外形与构造最利于在沟槽中压密与固定，最利于防水。

螺孔密封圈虽也有石棉沥青、塑料等制品，但最多的还是橡胶类制品(包括遇水膨胀橡胶)，故条文中加以突出。

5.4.18 隧道管片螺栓拧紧前，应确保螺栓孔密封圈位置准确，并与螺栓孔沟槽相贴合。

条文说明：螺栓孔是盾构隧道衬砌常见渗漏点之一，若螺栓孔密封圈定位不准确或与螺栓孔沟槽不贴合，会严重影响密封防水效果。

5.4.19 盾构隧道施工应进行壁后注浆。壁后注浆应根据地层特点、管片结构受力及变形要求、环境控制和现场具体情况，通过同步注浆或二次注浆的方式进行。

条文说明：当管片脱出盾尾后，在成环管片与地层之间将产生一个环形带状空间；同时盾构施工过程中地层还将产生一定的损失导致地层松散甚至空洞；为填充以上环形带状空间和松散地层保护周边环境，应进行壁后注浆。

根据注浆时序，将壁后注浆分为同步注浆、即时注浆和二次注浆三类。同步注浆指在盾构管片脱出盾尾的同时，通过安装在盾构壳体外侧注浆管向该环形带状空间进行的注浆；即时注浆指在盾构掘进一定长度内(通常为一倍洞径)，通过管片注浆孔向该带状空间进行的注浆；二次注浆指盾构掘进一段长度后(通常超过一倍洞径)，通过管片注浆孔向地层进行的注浆，二次除了特指第二次外，还有多次的意思。

通过管片注浆孔进行的地层注浆，可以采用短注浆管对管片周边地层(通常0.5m左右，特殊情况不宜超过10m)进行充填注浆；也可以采用长注浆管对管片周围地层(通常管长取1.0m~3.0m，特殊情况可达5.0m)进行压密注浆。通常充填注浆孔与管片吊装孔通用，为了达到压密注浆效果，可适当增加注浆孔数量。

5.4.20 壁后注浆应满足固结强度、凝结时间、可填充性、流动性、收缩率 and 环境保护要求。注浆材料应根据地质条件、设计要求、周边环境及现场具体情况综合确定。

条文说明：浆液固结强度为壁后注浆的主要指标。固结强度包括早期强度和长期强度两方面，通常同步注浆和即时注浆的浆液早期强度不宜小于0.05MPa，长期强度宜大于1MPa；二次注浆的浆液强度应根据现场确定，通常其长期强度不应小于0.8MPa。

浆液凝结时间也是壁后注浆的主要指标。为满足现场较短凝结时间要求，目前国内主要采用加入水玻璃等加快壁后注浆浆液的凝结时间。

除了固结强度和凝结时间，注浆材料还应有较好的流动性，浆液固化后收缩率小，对环境无影响或影响较小等要求。

目前国内注浆材料主要有单液和双液两大类，在砂、砂卵石、砂砾石等地层中，使用双液型的比例较高;而在淤泥、黏土等地层中，使用单液型的比例较高。

5.4.21 注浆压力值应根据地质条件、注入方式、管片类型、设备性能、浆液特性和隧道埋深等综合确定，并宜在地层阻力强度的基础上增加 0.05MPa~0.1MPa。

条文说明：注浆压力指的是注入孔附近的压力。地层阻力强度与地层条件(如地层种类、土压、水压等)和盾构种类等密切相关，通常为 0.1MPa~0.2MPa，特殊情况也可能达到 0.4MPa。需注意的是，当注入孔处的压力达到 0.4MPa 时，钢筋混凝土管片手孔薄弱部位及螺栓将有可能变形破坏，当达到 0.5MPa 时，钢管片也将出现变形破坏，因此注入压力的最大值应主要根据管片情况慎重选用。

多次注浆工况下，每次后期注浆压力值宜比先期值增大 0.05MPa~0.08MPa。

5.4.22 同步注浆量可按式计算：

$$Q = \alpha_v V_v \quad (5.4.22)$$

式中：Q—注浆量（m³）；

α_v —充填系数，可根据地质条件、施工水平、浆液类型等采用 1.2~2.5；

V_v —管片外侧与盾壳外侧地层间空隙体积（m³）。

条文说明：影响充填系数的主要因素有浆液压密系数、地层土质系数、地层损失系数及浆液施工损耗系数等。浆液压密系数与浆液特性密切相关，主要由浆液组成、浆液凝胶能力及时间、浆液可塑状固结能力和时间以及浆液注入压力等决定;地层土质系数与地层密切相关，主要由地层性质(硬土或者软土)、地层孔隙(或缝隙)、地层渗透系数、地下水的流动性等决定;地层损失系数与地层超挖密切相关，主要由主动和被动超挖量决定。

通常，淤泥质土、黏土地层，充填系数可取 1.3~1.8，粉土、砂、砂卵石、砂砾石、岩石等地层可取 1.5~2.5；地下水流动性较大的地层应取较高的充填系数。

5.4.23 二次注浆宜通过管片预留注浆孔完成，也可通过地面或地层注浆等方式完成。

条文说明：二次注浆主要目的是对同步注浆和即时注浆进行补充填充由施工造成的地层松弛、变形和由于注浆材料收缩等产生的空隙，同时改善结构受力状

态，提高地层止水效果；主要对象为填充因同步注浆和即时注浆留下的空隙，填充因注浆材料体积缩小而出现的空隙，填充因地层损失造成的地层孔隙和松弛区；因此为达到以上目标，二次注浆时注浆口应穿透并紧贴同步注浆硬化层。

通常二次注浆通过管片预留注浆孔即可完成，但在地层自稳性差、盾构掘进超挖严重、对地层沉降有特殊要求等一种或几种情况下，为达到快速充填空隙、稳定地层的目的，条件允许时，可以通过从地面、地层等进行钻孔注浆方式来完成二次注浆。

5.4.24 壁后注浆应明确注浆时序、注浆材料、注浆压力、注浆量及注浆填充效果等要求。

条文说明：目前具体的注浆方式、注浆材料、注浆压力及注入量等均主要根据现场试验或参照既有成功工程经验来确定，但设计应对以上内容提出指导性要求。通常可取注浆压力和注浆量之一作为控制指标；特殊情况下为保证注浆效果，应同时采用注浆压力和注浆量两个控制指标。

5.4.25 竖井与隧道结合处，可用刚性接头，但接缝宜采用柔性材料密封处理，并宜加固竖井洞圈周围土体。在软土地层距竖井结合处一定范围内的衬砌段，宜增设变形缝。变形缝环面应贴设垫片，同时应采用适应变形量大的弹性密封件。

条文说明：工作井与盾构隧道结合处，除需对盾构段防水进行特殊设计外，还需于工作井处设置临时及永久防水措施，为盾构隧道施工期及运营期的防水能力提供可靠保障。

为满足环缝变形要求，变形缝环面上需设置垫片，因而变形缝密封件的高度应加厚。通常是在原密封件表面用同样材料的橡胶薄片或遇水膨胀橡胶薄片叠合或复合，作为适应变形量大的密封件。

5.4.26 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 采用双层衬砌的连接通道，内衬应采用防水混凝土；衬砌支护与内衬间宜设塑料防水板与土工织物组成的夹层防水层，并宜配以分区注浆系统加强防水；
- 2 当采用内防水层时，内防水层宜为聚合物水泥砂浆等抗裂防渗材料；
- 3 连接通道与盾构隧道接头应选用缓膨胀型遇水膨胀类止水条（胶）、预留注浆管以及接头密封材料。

5.4.27 盾构隧道防腐蚀设计应符合下列规定:

1 当隧道处于对混凝土有中等以上腐蚀的地层时,钢筋混凝土管片迎水面应涂抹外防腐涂层,防腐蚀涂层应具有防水性能;

2 钢管片、外露螺栓和垫片等金属构件,均应采取防腐蚀措施。

条文说明:第1条 盾构隧道处于对混凝土有中等以上腐蚀的地层中时,为确保钢筋混凝土的耐久性,应在管片迎水面涂抹兼具有防水和防腐蚀的涂层,该类涂层一般采用高渗透改性环氧或水泥基渗透结晶型防水材料。

第1条 盾构隧道所有外露金属构件均处于干湿交替或潮湿环境中,易发生锈蚀,因此对外露金属构件应进行防腐蚀处理。

5.4.28 钢筋混凝土管片防腐蚀涂层应符合下列规定:

1 防腐蚀涂层宜为环氧或改性环氧类封闭型材料、水泥基渗透结晶型或硅氧烷类材料。

2 防腐蚀涂层应具有良好的耐化学腐蚀性、抗微生物侵蚀性、耐水性、耐磨性,并应无毒或低毒。

3 防腐蚀涂层应满足在盾尾刷挤压和摩擦下不损伤、不渗水。

条文说明:防腐蚀涂层涂刷完毕后应进行养护,拼装时,管片迎水面会经过盾尾刷挤压和摩擦。在这些挤压和摩擦力的共同作用下,防腐蚀涂层应不会或尽可能少地受到破坏,保持完整的防水和防腐蚀性能。

5.4.29 钢管片防腐蚀应符合下列规定:

1 钢管片表面应先做除锈处理,再涂刷防腐涂料;

2 钢管片背板、环板及端板等构件外露表面宜涂刷环氧富锌底漆和无溶剂超厚膜型环氧涂料;

3 钢管片内格腔表面宜涂冷镀锌涂料。施工结束后内格腔宜采用硫酸盐微膨胀混凝土进行充填。

5.4.30 金属构件防腐蚀应符合下列规定:

1 外露的螺栓、螺母、垫片等金属构件,应采用无铬锌铝片涂层、热喷锌加无铬锌铝片涂层或多元合金共渗加无铬锌铝片涂层等环保型的材料进行防腐蚀处理;

2 外露的螺栓、螺母、垫片应结合手孔封堵措施进行覆盖保护。隧道水平直径线以下范围的手孔内外露螺栓宜采用速凝混凝土或防腐蚀水泥砂浆填充覆盖；隧道水平直径线以上范围的手孔内外露螺栓宜采用塑料保护罩覆盖，塑料保护罩内应填充速凝水泥、防腐蚀水泥砂浆或发泡聚氨酯。

6 隧道排水

6.1 一般规定

6.1.1 隧道的排水系统包括地表截排水沟，洞内侧沟及中心水沟，衬砌背后环向盲管(沟)、纵向盲管(沟)、横向排水管、泄水孔组成，必要时可设泄水洞或隧底设排水管(沟)。

6.1.2 应根据工程情况选用合理的排水措施，有自流排水条件的地下工程，应采用自流排水法。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、塑料排水板排水或机械抽水等排水方法。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。

条文说明：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，必须采取防倒灌措施。

6.1.3 排水设施应具备汇集、流径、排放等功能。隧道及平行导坑、横洞等辅助坑道内纵向应设排水沟，排水沟的纵向坡度不应小于 0.2%；底部结构顶面应设横向排水坡，流入排水沟的隧底横向排水坡宜为 2%。集水坑和排水沟应做防水处理。

条文说明：排水是工程达到防水预期有效的措施之一，可根据其工程特点设置排水体系，包括排水通道、集水坑、机械抽排井和泵房。有自流排水条件的隧道，应根据地下水文及地质情况确定是否设置排水系统。结构衬砌内排水系统应能解决工程使用期间少量渗漏水排放的问题。

隧道内纵向设排水沟，横向设排水坡的措施，实践证明是十分必要的。排水沟一般起汇集、排除和降低地下水的作用，排水沟视断面大小、所处位置、水源特点确定防水做法，沟底坡度应有利于保证排水畅通。隧道设排水坡是为了防止隧道积水的危害。为防止渗漏水在收集排放过程中对建筑物内部使用造成不利影响，沟内应设置防水层。

管沟不应兼作排水沟。对于混凝土结构渗漏水，不应仅采用长期引排水方式来维持地下工程的使用功能。腐蚀性地质条件下，不得采取结构内引排水的措施。

6.1.4 凹型纵坡隧道应设集水池及机械排水设施，排水能力应满足设计排水量要

求，并配备备用泵。排水设施应配有控制、监控系统。集水池宜与正洞隔离，机械排水系统应设检修通道。

条文说明：该条文主要针对市区浅埋及水下铁路隧道无自流排水条件时，采用机械强制排水所作的规定。由于我国修建市区浅埋及水下铁路隧道的工程实践较少，经验积累尚待丰富，故参照《公路水下隧道设计规范》JTG D71、《地铁设计规范》GB50157 纳入相关规定。

根据调研，无自流排放条件的隧道，采用机械强制排水时一般考虑到下列因素：

(1)主排水泵站设在线路实际坡度的最低点，当排水沟的排水能力不能满足设计排水要求时，设辅助排水泵站；泵站设检修通道；泵站的布置，一般按现行《室外排水设计规范》GB50014 的有关规定执行。

(2)泵站至少设两台排水泵，其中一台备用；排水泵设计为自灌式，并在控制室内配备显示排水泵工作状态和水位信号的装置；当排水泵为自动控制启动时，水泵每小时启动次数不超过 6 次。

(3)泵站至少设两根扬水管，扬水管由衬砌结构穿出时设防水套管；洞外管道埋置较深或维修困难时，设维修用管道井和管沟。

(4)集水池的有效容积可按排水分区内 24h~48h 内结构渗水量的总和确定且大于最大一台排水泵 15 min~20 min 的出水量；集水池与正洞隔离，并设冲洗管、人孔和爬梯；集水池底设集水坑，倾向坑的坡度不小于 10%。

根据武广客专金沙洲隧道、浏阳河隧道以及哈大客专鞍山隧道等运营养护经验，建设检修通道有助于从地面快速到达泵房进行维修。

6.1.5 当地下水发育、有长期补给来源或揭示大型地下水通道，可加大水沟、利用辅助坑道或设置泄水洞等作为截、排水设施。

条文说明：“地下水发育，有长期补给来源或揭示大型地下水通道”，有可能使洞内水沟断面泄水能力不够，因此需加大水沟，为了减少正洞地下水量，可利用或设置辅助坑道、泄水洞等作为截、排水设施。如隧道有辅助坑道可利用时，尽可能利用原辅助坑道截、排水。否则，根据地形、地质、地下水情况增设辅助坑道或泄水洞截、排水。

6.1.6 隧道采用集中疏导排水时应采取防颗粒流失的反滤措施。

条文说明：“颗粒易流失的围岩”系指砂层、土质或破碎松散围岩等，如用集中排水易造成颗粒流失，降低围岩的稳定性，增大围岩压力，影响衬砌安全。

6.1.7 隧道地下水发育地段宜采用凸壳型排水板；边墙至侧沟泄水孔间距不大于3m，直径不小于80mm；隧底宜设置排水系统；集中涌水处应设置专用设施引排；隧道排水能力应具有一定的安全储备。

6.1.8 隧道应在线路实际坡度最低点设置排水泵站，当区间排水沟的排水能力不能满足区间排水的要求时，应设辅助排水泵站。不能自流排水而又有可能集水的低洼处应设置局部排水泵房。

条文说明：因地下区间埋深较深，排水一般均需要设置排水泵站通过排水泵提升后排出，地下区间设置的主排水泵房主要排除区间的结构渗水、冲洗及消防废水。

区间隧道主废水泵站的设置应结合区间线路纵断面及区间的排水要求综合考虑。一般来说，区间隧道主废水泵站应根据线路实际坡度设置在线路的最低点。长大区间是否要增设辅助排水泵站应结合线路的纵断面情况及区间排水沟的排水能力确定。当区间线路纵断面设有两个以上的线路最低点时，应在每个最低点设置主排水泵站；当区间线路纵断面只有一个最低点，但区间结构渗漏水量较大，经过核算区间既有的排水沟断面排水能力不能满足区间结构渗漏水与消防排水量之和的要求时，应与线路专业协商在区间增设辅助排水泵站；当区间长度较短，区间排水量较小，且区间线路实际最低点位于车站范围时，区间与车站主排水泵站可共用，区间不设主排水泵站，车站主排水泵站的排水能力应兼顾区间和车站的排水要求，满足车站与区间同时排放的结构渗漏水总量与车站消防排水量之和的要求。

6.1.9 洞口的雨水不能自流排放到洞口外时，应在洞口适当位置设雨水排水泵站，并应在洞口道床的适当位置设横向截水沟。出入地U槽段宜设置雨篷结构减少雨水汇集。

条文说明：U槽段设置雨篷可降低雨水汇集面积，一般雨篷段侧墙开孔面积达到80%左右，不能忽视雨水从雨篷侧面进入结构内的特殊情况，因此，建议将

雨蓬降低汇水面积的作用作为冗余储备，雨水泵房容积设计时仍按 U 槽地底板面积计算汇水。

6.1.10 隧道排水系统应具有耐久性和可维护性，应满足安全防护、机电设备安装、运行和检修的要求。

6.1.11 隧道施工期间对工程周围的地表水，应采取截水、排水、挡水和防洪措施。施工期排水方案应尽量减少水对隧道施工的不利影响，同时考虑对隧道全寿命期的影响。

6.1.12 施工排水应根据实际情况引水归槽、集中引排，应及时排走隧底积水。当通过膨胀岩土、膏岩、黄土、遇水快速软化崩解段落时，开挖后应采用喷射混凝土或碾压混凝土快速封闭隧底并设置混凝土水沟。

6.1.13 地下水丰富的隧道区段宜采用顺坡端施工；当必须进行反坡施工时，应配置有足够能力的机械排水系统。

6.2 明洞、洞口及洞身排水

6.2.1 当洞顶地表为洼地、漏斗等时，应结合地形地质条件及水量等影响，采用封闭地面渗漏点、设置截水沟引排、填平积水洼地，疏浚地表径流或设置泄水洞将地表水截排至隧道区域外。

6.2.2 当隧址区地表有废弃的坑穴、钻孔等时，应结合截排水条件，采用不透水土分层夯实回填封闭。

6.2.3 洞口防排水设计应符合下列要求：

- 1 隧道、明洞和辅助坑道的洞口应设置截水沟和排水沟。
- 2 多雨地区，宜采取措施防止洞口边、仰坡范围内地表水下渗和冲刷。
- 3 洞外路堑的水不宜流入隧道。
- 4 洞口天沟汇水宜接至路堑天沟或排至远离线路沟谷处。

条文说明：(1)隧道、明洞和辅助坑道洞口设置截水沟和排水沟的目的是防止地表水冲刷洞口和辅助坑道边、仰坡的水流入隧道。

(2)多雨地区系指湿润或半湿润地区(即干燥度小于 1.5 的地区)隧道仰坡范围，由于地层覆盖薄，岩层裂隙通畅，为了防止仰坡范围的地表水下涌，即使从岩层结构本身不需要防护，但从加强防水与截水要求，采用防护措施。

(3)对洞外水流的处理,是从保证隧道正常运营和安全而规定的。为排除洞外路堑汇水,当出洞方向路堑为上坡时,将洞外侧沟做成与线路坡度相反,且一般不小于 2%的坡度。当隧道全长小于 300m 时,如路堑水量小,且含泥量少,不易淤积;或修建反向侧沟将增加大量土石方和砌体、混凝土工程等困难条件下,也要求作反坡排水,显然不经济,也并不安全,针对上述情况,路堑侧沟的水可经隧道流出。为了保证安全和正常运营,同时验算隧道水沟断面,不够时予扩大,特别要求在高端洞口设置沉淀井,主要在于保证正常运营,非常必要。

6.2.4 隧道洞口雨水设计流量,应按不小于按当地重现期为 50 年的暴雨强度进行计算,地面集流时间应根据坡长、坡度和坡道粗糙度等计算确定。雨水设计流量可按下列式计算:

$$Q = q\Psi F \quad (6.2.4)$$

式中: Q —雨水设计流量 (L/s);

q —设计暴雨强度[L/(s·hm²)];

F —洞口计算汇水面积 (hm²);

Ψ —径流系数,水泥混凝土、沥青路面取 0.85~0.95。

6.2.5 洞口雨水泵站的排水能力不应小于雨水设计流量的 1.2 倍。

6.2.6 明洞防排水设计应符合下列要求:

- 1 明洞顶部应设置截、排水系统。
- 2 靠山侧边墙顶或边墙后,宜设置纵向和竖向盲沟,将水引至边墙进水孔排入洞内排水沟。
- 3 衬砌外缘应敷设外贴式防水层或防水涂料。
- 4 明洞结构回填土表面均应铺设隔水层,隔水层应优先选用黏土层。

条文说明: (1)明洞建筑于露天空旷地区,一般有地表径流的影响,如不设法截、拦、排走,容易引起冲刷坡面,产生坍塌;或流入回填土体内部,浸泡回填料,增加明洞负荷。

(2)根据目前通用参考图设计及实际应用,明洞衬砌拱脚背后(或边墙脚背后)纵向排水管设置纵坡不小于 2%;衬砌边墙背后竖向排水管设置间距一般为 5m~10 m。

(3)防水层或防水涂料根据明洞所处的工程地质、水文地质、结构特点及工程重要性来选择，其物理性能符合国家相关标准、规范要求。

(4)为了防止洞顶地表汇水的渗透，明洞结构回填土表面铺设隔水层，以减少或隔断水流的通路。隔水层优先选用黏土层，在黏土缺乏的工点也有选用复合防水层。

6.2.7 明洞顶截水沟应设置在洞顶边仰坡外不小于 5m，应将沟内汇水引至沟谷或涵洞处排泄，并不应对相邻工程产生冲刷等不利影响。

条文说明：冲刷指排水对地面建(构)筑物、农田水力设施或既有排水口(江、河、湖、海、水库等)坡堤的侵蚀、冲刷，从而造成对既有建(构)物、设施或坡堤的失稳、失效或破坏。

6.2.8 洞内排水沟的设置应符合下列规定：

1 洞内纵向排水沟宜与线路坡度一致。在隧道内线路平坡段、车站隧道段，排水沟泄水底面排水坡不得小于 1‰。

2 单线隧道宜设置双侧水沟，双线及多线隧道应设置双侧水沟及中心排水沟。

3 道床积水应通过纵横向排水管引入排水沟；电缆槽应设置泄水孔接入侧沟。

4 中心排水沟可采用盖板明沟或暗埋管沟。采用暗埋管沟时，应设置满足养护、维修需要的检查井。

5 隧底岩体软弱且地下水发育地段，应采取疏排地下水的措施，以防止隧底滞水、基础软化、翻浆冒泥，有条件时可于隧底结构下设置纵向排水沟(管)。

条文说明：(1)关于洞内排水沟的规定：为利于隧道排水流水通畅，排水沟需具有一定的沟底坡度，《铁路隧道设计规范》第 3.3.2 条规定隧道内纵向坡度不宜小于 3‰，这个规定考虑了排水的需要，隧道内水沟坡度与线路坡度一致有利于隧道排水。

在隧道中的分坡平道范围内不设水沟或不设水沟坡度，将影响水流的排泄。水沟坡度过大，将增加水沟及边墙基础工程量，鉴于分坡平道多设于隧道中间坡顶地段，长度不长，水流量较小，结合减少坡顶水沟的深度，因此规定在隧道中

的分坡平道范围内排水沟底部有不小于 1% 的坡度。

车站内的隧道多设在平道上，洞内排水沟不设坡度，或坡度小于 1%，均不利于水流排泄，如果造成洞内积水漫流，将影响隧道运营养护和车站作业，设置过大的坡度，将增加边墙和水沟圪工量和车站土石方工程；一般车站隧道长度不会太长，水量不大，故规定车站内的隧道排水沟底部需有不小于 1% 的坡度。

(2)单线隧道采用有砟道床，如设置中心水沟，水沟埋在道床下面，对养护维修很不方便，故一般不予采用。设置双侧水沟，水沟紧靠两侧边墙设置，对排除衬砌背后盲沟的水，预防隧道翻浆冒泥以及养护维修都较中心水沟有利。双侧水沟虽较中心水沟稍费混凝土，但不及隧道衬砌混凝土量的 2%，数量有限，因此采用双侧水沟，对于养护、检查、维修，保证洞内水沟流水通畅都较为有利。

另外，近 30 年来，我国新建长度在 1500m 以上的隧道，大多采用无砟道床或宽枕道床，而以往无砟道床一般采用浅式中心水沟，由此削弱了无砟道床断面，易引起道床开裂；由于水沟浅，不利于降低地下水位，围岩地下水在道床底潜流，当道床底围岩软弱或有虚渣，易被潜流带走，在列车冲击下，容易引起无砟道床开裂、下沉，严重影响行车安全。

(4)地下水水质、地下水流动的携带物质较为复杂，往往导致隧道排水系统产生物理或化学的淤积、堵塞而失效，严重者可能因隧道衬砌的工作环境较设计预期发生改变而发生结构性病害；而隧道排水系统尤其是暗埋管沟的维护、维修难度较大，因此明确采用暗埋管沟时需设置满足维护、检修需要的检查井。

(5)为疏排隧底滞水，防止隧底基础岩体软化、翻浆冒泥；隧底结构下设置纵向排水盲沟(管)的条件一般为：

①隧道采用相同的隧底结构形式，以保证纵向排水盲沟(管)顺线路坡度自流引排至洞外，而不需要增加较大的工程投入。

②有防淤堵的工程措施，并设置检查井。

③防止因设置不当引起的轨道结构变形、下沉等损害。

④不影响施工安全，尤其是地层软弱、要求隧底及时封闭成环的地段。

6.2.9 隧道内排水宜分区进行，排水分区应与隧道纵坡设计综合考虑。洞内排水
水泵站的排水能力不应小于结构渗水量和消防废水流量之和。

6.2.10 环、纵向盲管设置应符合下列规定：

- 1 盲管宜直接引入侧沟，应设置反滤层。
- 2 环向盲管间距宜为 8m~12 m，当地下水发育时可适当加密至 3m~5m；纵向盲管宜按 8m~12m 分段。
- 3 环向盲管管径不宜小于 50mm，纵向盲管管径不宜小于 100mm。
- 4 地下水发育地段环向排水可采用凸壳型排水板。+++

6.2.11 截水沟平面线形布设应顺势圆顺，坡度应根据地形设置，最小纵坡应满足防淤积要求，且不应小于 3%，最大纵坡应满足防冲刷要求或进行消能构造设计，并增加沉砂池或消能池。

6.2.12 无自流排水条件、防水要求较高且有抗浮要求的隧道工程可采用渗排水法排水，采用该方法时应符合下列规定：

- 1 排水层应设置在工程结构底板以下，并应由过滤层与集水管组成；
- 2 过滤层可采用粗砂或砂卵石，过滤层总厚度宜为 300mm，如较厚时应分层铺填，过滤层与基坑土层接触处，应采用厚度 100~150mm，粒径 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 30~50mm 厚的 1:3 水泥砂浆作隔浆层；
- 3 集水管应设置在过滤层下部，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 5~10m。渗入集水管的地下水导入集水井后应用泵排走。

条文说明：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盲管，可根据工程的排水量大小、造价等因素进行选用。

6.3 集水池和机械排水设施

6.3.1 雨水泵房、废水泵房的布置可根据隧道纵坡、渗水量和设备情况，采用一

次或分段接力的方式将积水排出洞外。

6.3.2 洞口集水池的有效容积不应小于最大一台水泵 5~10min 的设计流量，洞内集水池的有效容积不应小于最大一台水泵 15~20min 的设计流量。对于铁路隧道，泵站未设置与行车区物理隔离的专用进出通道时，泵房容积不应小于 24 小时积水量；设置与行车区物理隔离的专用进出通道时，泵房容积不应小于 12 小时积水量。

6.3.3 洞口集水池的设计最高水位，应与进水管管顶相平。设计进水管为压力管时，集水池的设计最高水位可高于进水管管顶，但不应使管道上游地面冒水。洞内集水池的设计最高水位，应根据进水管充满度确定。

6.3.4 集水池的设计最低水位，应满足所选水泵吸水头的要求，并应满足水泵叶轮浸没深度的要求。

6.3.5 流入集水池的污废水、雨水均应通过格栅过滤。雨水含砂量较多的地区宜在雨水泵站集水池前设置沉砂设施和清砂设备。

6.3.6 集水池应设冲洗装置及排泥设施。池底应设集水坑，池底坡向集水坑的坡度不宜小于 10%。

6.3.7 排水泵设置应符合下列规定：

- 1 洞口雨水泵房宜设三台排水泵，最大水量时三台泵应同时工作，每台泵的排水能力应大于最大小时排水量的 1/3；
- 2 废水泵房排水泵不应少于两台，其中备用泵不应少于一台；
- 3 同一泵站内排水泵型号宜统一，排水泵应设计为自灌式，并应采用自动控制。

6.3.8 雨水泵、废水泵的设计扬程，应根据设计流量时集水池水位与受纳水体平均水位或出水管渠水位差，以及水泵管路系统的水头损失确定。

6.3.9 排水管道的的设计流量可按下式计算：

$$Q = Av \quad (6.3.9)$$

式中：Q—设计流量（m³/s）；

A—水流有效断面面积（m²）；

v—管道内流速（m/s）。

6.3.10 排水管道的流速可按下式计算。

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (6.3.10)$$

式中：n—粗糙系数；

R—水力半径（m）；

I—水力坡降，采用排水管道的坡度。

6.3.11 排水管道设计应符合下列规定：

- 1 排水管道宜 2~3 根并行设置；
- 2 排水管道应按满流计算，排水明渠超高不应小于 0.2m；
- 3 管道内的最大设计流速，金属管道宜为 10.0 m/s，非金属管道宜为 5.0 m/s，明渠不应大于 4.0 m/s；
- 4 对排水灌渠的最小设计流速，污水管道在设计充满度下宜为 0.6 m/s，雨水管道和合流管道满流时宜为 0.75 m/s，明渠宜为 0.4 m/s。

6.3.12 排水管宜采用内壁光滑、带内衬的承压排水铸铁管、承压塑料管和钢塑复合管等。排水管道的最小管径与相应最新设计坡度应符合现行国家标准《室外排水设计标准》GB50014 的有关规定。

6.3.13 雨水、废水泵房的压力出水总管在排入受纳水体或城市管网前，应设置消能井，经泄压后再排放。

6.4 机械排水设施配套系统

6.4.1 机械排水设置配套机电系统包括供配电设施，电力线路，设备监控等，并按照安全可靠，方便实用的原则配置。

6.4.2 施工期排水泵的供电应采用三级负荷供电标准，运营期区间主要排水泵的供电应根据铁路等级划分供电标准。

6.4.3 隧道内的供配电设置应适应隧道现场环境要求，符合防腐、防潮、抗风压等相关技术标准。

6.4.4 隧道内的排水泵可采用远程遥控、现场手动控制或两者相结合的方式。

6.4.5 集水池应设置液位计，水泵可根据液位进行启停。

6.4.6 运营期设置有水泵的铁路隧道，高速铁路、城际铁路、市域（郊）铁路水泵及液位计宜纳入设备监控系统，具备远程监控功能。施工期间用水泵及液位计

可不纳入设备监控系统。

6.4.7 隧道内电缆应选择低烟无卤铠装电缆。

6.4.8 明挖隧道及矿山法隧道变配电设置宜设置在隧道电力洞室内，盾构隧道可根据用电量及土建条件考虑设置与隧道洞口、风井、横通道等处。

6.4.9 排水泵站和排水管道宜采用“少人（无人）值守，远程监控”的控制模式，建立自动化系统，设置区域监控中心进行远程的运行监视、控制和管理。

6.5 施工期排水

6.5.1 洞内反坡排水可根据距离、坡度、水量和设备等情况布置管路、集水坑、水仓和泵站，一次或分段截水，接力排出洞外。

6.5.2 洞内反坡排水应采用机械抽水，设置应符合下列规定：

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

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

3 为不影响洞内施工，抽水管道宜布置在隧道的拱脚位置。

6.5.3 反坡排水时，应根据施工中的变化及时调整排水能力，抽水机的功率应大于排水量所需功率 20%以上，并应有备用抽水机。配电设备的能力应与工作、备用和检修水泵的能力相匹配，能保证全部水泵同时运转。

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

6.5.5 仰拱、底板混凝土浇筑前应将基础虚渣、杂物、积水等清除干净；施作仰拱时应在作业区前端设置临时集水井。

6.5.6 隧道施工接近可能与河流、湖泊、蓄水池等相通的断层、裂隙发育的破碎岩层时，或接近溶洞、含水断层或地下水丰富的流沙层、冲积层、破碎岩层等不良地层时，应采取超前钻孔探水。必要时应先进行超前物探，从而确定超前钻孔位置、方向、孔数和钻进深度。

6.5.7 隧道通过不透水和透水性强的互层时，应根据设计文件和调查资料，在可能进入滞水带前 15~20m 用深孔钻机钻孔穿入透水层，以利预探和排水。

6.5.8 钻孔排水施工时，应符合下列规定：

- 1 非钻孔施工人员必须撤出。
- 2 向下坡开挖时，应测算水量、水压、流速、泥沙含量等，备足抽水设备。
- 3 孔口应预先埋管设阀，控制排水量，防止钻孔时承压水冲出及淹没坑道等灾害发生。
- 4 钻孔发现岩层变松或黏土量增多，或沿钻杆向外流水超过正常凿岩供水量或出现其他涌水征兆，如空气变冷、发生雾气、有水声、顶板淋水、底板流水加大等情况时，应立即停钻，并不得抽动钻杆，同时监视水情，尽快撤离人员。

6.5.9 当隧道施工中通到高压富水充填溶腔或含水淤泥、砂层填充的溶腔，经评估对环境无影响时，可采用释能降压法进行施工，并符合下列规定：

- 1 查找溶腔阶段：通过地质素描、隧道地震波法(TSP)、地质雷达、红外探水或超前钻探等方法进行探测预报，对溶腔充填物性质、溶腔水压力高低、溶腔水量大小和溶腔纵向规模进行确定，对溶腔形态、溶腔规模和溶腔水源进行分析与判断。
- 2 锁定溶腔阶段：施工接近溶腔时，通过钻探对溶腔临近界面进行区域锁定。原则上对掌子面按上中下、左中右分别布置钻孔，根据钻进速度、排渣情况、水量大小，确定溶腔岩盘厚度。
- 3 打开溶腔阶段：隧道掌子面到达高压富水充填溶腔临界距离后，采取专项精确爆破设计进行高压富水充填溶腔的爆破揭示，将溶腔内聚积的水和充填物释放，消除能量。
- 4 处治溶腔阶段：根据释能降压后所处的状态，确定施工处治方案。

6.5.10 释能降压宜选择在没有雨或少雨的旱季进行。

6.5.11 有横洞或平行导坑的隧道施工时，正洞水流应根据施工条件充分利用横洞或平行导坑引出。必要时应在其中设置永久排水沟，坑道封闭后能保持水流畅通。

6.5.12 正洞施工由斜井、竖井排水时，应在井底设抽水站，采用相应扬程的抽水机经管路排出井外。

6.5.13 斜井、竖井施工有水时，应随开挖面开挖集水坑，根据水量大小采用抽

水机排出。竖井井壁渗水影响施工时，可采用地表竖向或洞内径向注浆堵水，固结地层后再进行开挖。

6.5.14 斜井、竖井的井底应设置排水泵站；排水泵站应设在铺设排水管的井身附近，并应与主变电所毗邻，泵站应留有增加水泵的空间。

6.5.15 井下排水泵站的布置形式，应采用水泵沿洞室纵向单排布置。

6.5.16 斜井、竖井井下泵站排水宜按一级排水设计。当井深大于 200m 时，可采用分段排水；分段排水时腰泵站水仓容积宜按泵站 10~15min 排水能力设计。

6.5.17 水箱、集水坑应挂设警示牌标识，并对设备进行挡护。

6.5.18 隧道涌水的 pH 值小于 5 时，排水设备应采取防腐蚀措施。

6.5.19 斜井、竖井水量较小时，可利用拓展隧道附属洞室设置水仓及泵站；水量较大时，宜设置巷道式（或迂回导坑式）水仓。

6.5.20 水仓的设计应符合下列规定：

1 水仓必须由相互间不渗漏的主水仓、副水仓组成，当一个水仓进行清理时，另一个水仓能正常使用。

2 水仓的有效容量应能容纳 2h 的工区预测正常涌水量且不小于 60m³。

3 水仓进水口应设沉淀池、拦污栅栏及供清理人员上下的爬梯。

4 水仓应设水位监测设施，应经常保持不小于总容量 50% 的空仓容量。

5 水仓底板高程必须满足水泵允许吸上真空高度的要求，最低点应设积水窝。

6 隧道排水系统建成并发挥作用后，水仓应以不影响隧道主体结构安全和使用功能的方式进行回填。

6.5.21 对于地下水复杂的隧道，施工过程中应加强观测，若遇渗漏水面积或水量突然增加(超过往常瞬时出水量的 30%)，应立即停止施工，人员撤至安全地点。

6.5.22 洞内宜设置涌水突泥等灾害事故的预警系统，及时报警与疏导。

6.5.23 应按要求配备应急排水系统，定期检查抽水设备、供电线路等，确保紧急情况下所有设备的完好性。

6.5.24 电气设计必须满足前一级设备被淹或发生短路时，不影响后续各级设备正常运转的要求。地质复杂、水量较大的工区宜配置备用电源，能同时开动工作

水泵和备用水泵。

6.5.25 变压器容量应按电气设备总用量确定。当单台电动设备容量超过变压器容量 1/3 时，应适当考虑增加启动附加容量。

6.5.26 应根据隧道实际制定针对性的应急措施，建立健全应急排水组织机构，加强人员培训与应急演练。

7 防排水施工

7.1 一般规定

7.1.1 隧道施工前应根据勘察、设计提供的工程及水文地质资料，结合现场实际情况，进行分析研究，预计可能出现的地下水情况及设计涌水量，制定隧道防、排水专项施工方案，不得在有积水的环境中浇筑混凝土。

条文说明：防水专项施工方案是防水施工的依据，是工程信息和设计文件、规范标准的具体体现，是防水工程质量的重要保证措施。

7.1.2 雨天、雪天或五级及以上大风环境下，不应进行露天防水施工。

条文说明：本条规定的目的在于保证防水工程施工的质量，防止雨雪天气和大风天气下施工作业，导致防水工程质量不能满足设计要求，同时也在于保证防水施工的安全。

7.1.3 防水材料及配套辅助材料进场时应提供产品合格证、质量检验报告、使用说明书、进场复验报告。防水卷材进场复验报告应包含无处理时卷材接缝剥离强度和搭接缝不透水性检测结果。

条文说明：防水材料及配套辅助材料进场时应提供产品合格证、质量检验报告、使用说明书及进场复验报告，目的是保证防水材料性能满足设计要求，防止不合格的材料进入工地，同时也便于让现场人员了解材料的施工工艺及要求。要求在防水卷材进场复验报告中提供无处理时卷材接缝剥离强度和搭接缝不透水性检测结果，目的在于从应用角度促使材料制造商重视解决一些品种的卷材在运输、贮存过程中性能衰减，导致搭接不牢的问题，同时，指导施工现场卷材的搭接处理，增加卷材防水层的可靠性。

7.1.4 防水施工前应确认基层已验收合格，基层质量应符合防水材料施工要求。防水层施工完成后，应采取成品保护措施；防水层验收合格后方可进行下一道工序的施工。

条文说明：基层质量是保证防水层施工质量的基础，不同防水材料对基层的材质、强度、粗糙度、含水率、平整度、干净程度等参数有不同的要求，应在基层质量验收合格后再进行防水施工。

强调防水层的成品保护，包括不得随意打孔、明火接触作业、车辆碾压或局

部堆放重物等，还应避免采用有尖锐凸起的施工机具和材料造成防水层的机械损伤。

规定施工过程中工序衔接的基本原则，目的在于及时排除隐患，确保工程质量。

7.1.5 防水卷材最小搭接宽度应符合表 7.1.5 的规定。

条文说明：搭接宽度是保证卷材搭接边质量的重要参数之一，本条规定目的是保证卷材防水层接缝搭接质量。

表 7.1.5 防水卷材最小搭接宽度 (mm)

防水卷材类型	搭接方式	搭接宽度
聚合物改性沥青类防水卷材	热熔法、热沥青	≥ 100
	自粘搭接(含湿铺)	≥ 80
合成高分子类防水卷材	胶粘剂、粘结料	≥ 100
	胶粘带、自粘胶	≥ 80
合成高分子类防水卷材	单缝焊	≥ 60 ，有效焊接宽度不应小于 25
	双缝焊	≥ 80 ，有效焊接宽度 $10 \times 2 + \text{空腔宽}$
	塑料防水板双缝焊	≥ 100 ，有效焊接宽度 $10 \times 2 + \text{空腔宽}$

7.1.6 铺贴防水卷材或涂刷防水涂料的阴阳角部位应做成圆弧状或进行倒角处理。

条文说明：阴阳角部位是卷材或涂料防水层应力集中的部位，做成圆弧状或进行倒角处理可以有效减小应力集中。

7.1.7 中埋式止水带应固定牢固、位置准确，中心线应与截面中心线重合。浇筑和振捣混凝土不应造成止水带移位、脱落，并应对临时外露止水带采取保护措施。

条文说明：中埋式止水带是变形缝最主要的防水措施，其安装固定质量对保证变形缝密封防水具有重要作用。本条规定了变形缝中埋式止水带施工应遵守的基本原则，包括定位、固定、临时保护等，此外还应包括接头的处置，通常采用专用设备现场热硫化搭接。中埋式止水带的固定方法包括附加钢筋固定、专用卡

具固定、铅丝和模板固定等。

7.1.8 防水层施工应采取绿色施工措施，并应符合下列规定：

- 1 基层清理应采取控制扬尘的措施；
- 2 基层处理剂和胶粘剂应选用环保型材料；
- 3 液态防水涂料和粉末状涂料应采用封闭容器存放，余料应及时回收；
- 4 当防水卷材采用热熔法施工时，应控制燃料泄漏，高温或封闭环境施工，

应采取措施加强通风；

- 5 当防水涂料采用热熔法施工时，应采取控制烟雾措施；
- 6 当防水涂料采用喷涂施工时，应采取防止污染的措施；
- 7 防水工程施工应配备相应的防护用品。

条文说明：绿色施工是建筑全生命周期中的一个重要阶段，是实现建筑行业资源节约和节能减排的关键环节。绿色施工是可持续发展理念在工程施工中全面应用的体现，防水工程施工应该符合绿色施工的要求。

7.1.9 基坑回填时应采取防水层保护措施。

条文说明：基坑肥槽回填时，容易造成侧墙防水层破坏，故应采取保护措施，如控制回填土质量、分层回填、砌体保护等。

7.1.10 结构混凝土施工时应符合下列规定：

- 1 绑扎、焊接钢筋时应采取防刺穿、灼伤防水层（板）的措施；
- 2 混凝土出料口和振捣棒不得直接接触防水层（板）。

条文说明：混凝土施工时，应对防水层（板）进行保护，本条提出了两项保护措施，其他措施可根据需要在施工细则中规定。

7.1.11 盾构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；管片拼装时应保护防水材料不被损坏，严禁密封件脱槽、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。

7.1.12 盾构隧道嵌缝作业应在隧道变形基本稳定后进行。

7.1.13 盾构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。

7.1.14 钢筋混凝土管片应采用高精度钢模制作，管片表面应平整，无缺棱、掉角、麻面和露筋，管片制作允许偏差及成型隧道允许偏差应符合符合表 7.1.14-1 及表 7.1.14-2 的规定。

表 7.1.14-1 单块管片允许偏差

序 号	项 目		允许偏差(mm)
1	宽度		±0.5
2	弧长、弦长		±2
3	对角线差值		±1.5
4	厚度		+3/-1
5	螺栓孔直径与孔位		±1.0
6	混凝土接触面不平整度		±0.5,每延米±0.2
7	混凝土接触面与管片内外表面的角度 偏差		±0.1°
8	密封件沟槽	半径	±1.0
9		至管片边沿的距离	±1.0
10		沟槽宽度与深度	±0.1

表 7.1.14-2 成型隧道允许偏差

检验项目	允许偏差				检验方法	检验数量	
	地铁 隧道	公路 隧道	铁路 隧道	城市道 路隧道			
衬砌环椭圆度 (%)	±5	±6			断面仪、全站仪 测量	每 10 环	—
衬砌环内错台 (mm)	5	6			尺量	逐环	4 点 /环
衬砌环间错台 (mm)	6	7			尺量	逐环	

条文说明：采用多层次形位控制建造技术，利用高精度管片智能生产线，提升管片的生产精度，可有效提升管片拼装质量，从而提高盾构隧道防水体系工作状态的稳定。

7.1.15 盾构始发、到达掘进前，洞门应设置密封止水装置，宜使用橡胶板、压板、止水箱等及时止水，或预埋注浆管实施注浆止水。

7.1.16 隧道修建过程中的防排水工程措施应考虑足够的安全冗余能力。对于工程地质、水文地质条件复杂、水环境保护要求较高或防排水工程风险较高的隧道，施工前应进行备用防排水工程方案的设计。

7.2 防水施工

I 混凝土施工

7.2.1 防水混凝土施工应符合下列规定：

- 1 运输与浇筑过程中严禁加水；
- 2 应及时进行保湿养护，养护期不应少于 14d；
- 3 后浇带部位的混凝土施工前，交界面应做糙面处理，并应清除积水和杂物。

条文说明：本条规定了防水混凝土施工应遵守的基本要求。

1 混凝土浇筑施工中拌合物流动度不满足工作性能要求时，现场随意加水将改变混凝土的水胶比，不仅影响硬化混凝土的强度，而且对密实性、抗裂性及耐久性均有负面影响，容易造成渗漏隐患，故严禁在运输和浇筑过程中加水。

2 防水混凝土的养护是至关重要的。在浇筑后，如混凝土养护不及时，混凝土内部的水分将迅速蒸发，使水泥水化不完全。而水分蒸发会造成毛细管网彼此连通，形成渗水通道，同时混凝土收缩增大，出现龟裂，抗渗性急剧下降，甚至完全丧失抗渗能力。若养护及时，防水混凝土在潮湿的环境中或水中硬化，能使混凝土内的游离水分蒸发缓慢，水泥水化充分，水泥水化生成物堵塞毛细孔隙，因而形成不连通的毛细孔，提高混凝土的抗渗性。表 5 给出了不同养护龄期的混凝土的抗渗性能，供参考。

表 7.2.1 不同养护龄期的混凝土抗渗性能

养护方式	雾室养护			备 注
龄期(d)	7	14	23	水灰比为 0.5, 砂率为 35%
坍落度(cm)	7.1	7.1	7.1	
抗渗压力(MPa)	1.1	>3.5	>3.5	

3 水平后浇带未封闭前，如不做好保护容易有积水和杂物。在浇筑后浇带混

凝土前，应将杂物和积水清理干净，否则将影响后浇带的施工质量。后浇带基面未按要求进行凿毛也是造成后浇带位置渗漏的原因。

7.2.2 防水混凝土的配合比，应符合下列规定：

- 1 胶凝材料用量应根据混凝土的抗渗等级和强度等级等选用，其总用量不宜小于 320kg/m^3 ；当强度要求较高或地下水有腐蚀性时，胶凝材料用量可通过试验调整。
- 2 在满足混凝土抗渗等级、强度等级和耐久性条件下，水泥用量不宜小于 260kg/m^3 。
- 3 砂率宜为 35%~40%，泵送时可增至 45%。
- 4 灰砂比宜为 1:1.5~1:2.5。
- 5 水胶比不得大于 0.50，有侵蚀性介质时水胶比不宜大于 0.45。
- 6 防水混凝土采用预拌混凝土时，入泵坍落度宜控制在 120~160mm，坍落度每小时损失值不应大于 20mm，坍落度总损失值不应大于 40mm。
- 7 掺加引气剂或引气型减水剂时，混凝土含气量应控制在 3%~5%。
- 8 预拌混凝土的初凝时间宜为 6~8h。

条文说明：混凝土的配制一直是以 28d 抗压强度作为衡量其质量的主要指标，并片面认为只有极具活性的水泥才能赋予混凝土足够的强度，常常以增加水泥用量或提高水泥强度等级作为获得理想强度的手段，却忽略了由于水泥产生大量的水化热使混凝土开裂，耐久性降低的弊病。

随着混凝土技术的发展，现代混凝土的设计理念也在更新，尽可能减少硅酸盐水泥用量而掺入一定量且具有活性的粉煤灰、粒化高炉矿渣、硅灰等矿物掺合料，使混凝土在获得所需抗压强度的同时，能获得良好的耐久性、抗渗性、抗化学侵蚀性、抗裂性等技术性能，并可降低成本，获得明显的经济效益。但水泥用量也不能过低，经大量试验研究和工程实践，配制防水混凝土时水泥用量不应小于 260kg/m^3 和胶凝材料的总用量不宜小于 320kg/m^3 ，当地下水有侵蚀性介质和对耐久性有较高要求时，水泥和胶凝材料用量可适当调整。

随着混凝土技术的发展，为了适应混凝土性能的要求，包括防水混凝土在内的混凝土原材料组成也在发生变化。作为胶凝材料的主角——水泥固然仍占主导

地位，但其他胶凝材料(粉煤灰、矿渣粉、硅粉等)的用量正在大幅提升，其用量约占混凝土全部胶凝材料的 25%~35%，甚至更多。

水泥以外的其他胶凝材料，它们均具有不同程度的活性，对改善混凝土性能起着重要作用。胶凝材料活性的激发，同样要依赖其与水的结合反应，因此必须有足够的水分才能使混凝土充分水化。基于以上原因，条文中以胶凝材料的用量取代传统的水泥用量，并以水胶比(即水与胶凝材料之比)取代传统的水灰比，并提出水胶比不得大于 0.5 的要求。

7.2.3 防水混凝土配料应按配合比准确称量，其计量允许偏差应符合表 7.2.3 的规定。

表 7.2.3 防水混凝土配料计量允许偏差

混凝土组成材料	每盘计量(%)	累计计量(%)
水泥、掺合料	± 2	± 1
粗、细骨料	± 3	± 2
水、外加剂	± 2	± 1

注：累计计量仅适用于微机控制计量的搅拌站。

7.2.4 使用减水剂时，减水剂宜配制成一定浓度的溶液。

7.2.5 防水混凝土应分层连续浇筑，分层厚度不得大于 500mm。

7.2.6 用于防水混凝土的模板应拼缝严密、支撑牢固。

7.2.7 防水混凝土拌合物应采用机械搅拌，搅拌时间不宜小于 2min。掺外加剂时，搅拌时间应根据外加剂的技术要求确定。

7.2.8 防水混凝土拌合物在运输后如出现离析，必须进行二次搅拌。当坍落度损失后不能满足施工要求时，应加入原水胶比的水泥浆或掺加同品种的减水剂进行搅拌，严禁直接加水。

条文说明：针对施工中遇到坍落度不满足施工要求时有随意加水的现象，本条做了严禁直接加水的规定。因随意加水将改变原有规定的水灰比，而水灰比的增大将不仅影响混凝土的强度，而且对混凝土的抗渗性影响极大，将会造成渗漏水隐患。

7.2.9 防水混凝土应采用机械振捣，避免漏振、欠振和超振。

7.2.10 有防水要求的地下结构墙体应采用穿墙防水对拉螺杆栓套具。

条文说明：本条规定对于有防水要求的地下结构应采用防水对拉螺杆栓套具，原因在于这种套具具有施工简便、穿墙螺杆孔容易封闭、防水功能可靠等优势。

防水对拉螺栓套具的性能应符合现行行业标准《建筑用穿墙防水对拉螺栓套具》JG/T478 的规定。

7.2.11 大体积防水混凝土的施工，应符合下列规定：

- 1 在设计许可的情况下，掺粉煤灰混凝土设计强度等级的龄期宜为 60d 或 90d。
- 2 宜选用水化热低和凝结时间长的水泥。
- 3 宜掺入减水剂、缓凝剂等外加剂和粉煤灰、磨细矿渣粉等掺合料。
- 4 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，入模温度不应大于 30℃。
- 5 混凝土内部预埋管道，宜进行水冷散热。应采取保温保湿养护。
- 6 混凝土中心温度与表面温度的差值不应大于 25℃，表面温度与大气温度的差值不应大于 20℃，温降梯度不得大于 3℃/d，养护时间不应少于 14d。

条文说明：大体积混凝土与普通混凝土的区别表面上看是厚度不同，但实质的区别是大体积混凝土内部的热量不如表面的热量散失得快，容易造成内外温差过大，所产生的温度应力使混凝土开裂。因此判断是否属于大体积混凝土既要考虑混凝土的浇筑厚度，又要考虑水泥品种、强度等级、每立方米水泥用量等因素，比较准确的方法是通过计算水泥水化热所引起的混凝土的温升值与环境温度的差值大小来判别。一般来说，当其差值小于 25℃时，所产生的温度应力将会小于混凝土本身的抗拉强度，不会造成混凝土的开裂，当差值大于 25℃时，所产生的温度应力有可能大于混凝土本身的抗拉强度，造成混凝土的开裂，此时就可判定该混凝土属大体积混凝土，并按条文中规定的措施进行施工，以确保混凝土不开裂。

通过水泥水化热来计算温升值比较麻烦，《工程结构裂缝控制》(王铁梦著)中根据最近几年来的现场实测降温曲线及实测数据，经统计整理水化热温升值，可直接应用于相类似的工程。

表 7.2.11-1 中的数据是在下列试验条件下获得的，供设计施工单位参考。①

水泥品种：矿渣水泥；②水泥强度等级：42.5MPa;③水泥用量：275kg/m³ ;④模板：钢模板；⑤养护条件：两层草包保温养护。

当使用其他品种水泥，强度等级、模板、水泥用量有变化时，应将表 3 中的数值乘以修正系数：

$$T_m = T \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \qquad (7.2.11-1)$$

各修正系数的值见表 7.2.11-2。

表 7.2.11-1 混凝土结构物水化热温升值(T)

壁厚 (m)	温升 T(°C)	夏季(气温 32~38°C)		壁厚 (m)	温升 T(°C)	冬季(气温-5~3°C)	
		入模温度 (°C)	最高温度 (°C)			入模温度 (°C)	最高温度 (°C)
0.5	6	30~35	36~41	0.5	5	10~15	15~20
1.0	10	30~35	40~45	1.0	9	10~15	19~24
2.0	20	30~35	50~55	2.0	18	10~15	28~33
3.0	30	30~35	60~65	3.0	27	10~15	37~42
4.0	40	30~35	70~75	4.0	36	10~15	46~51

表 7.2.11-2 修 正 系 数

水泥强度等级 修正系数 k1		水泥品种 修正系数 k2	水泥用量 修正系数 k3	模板 修正系数 k4
32.5MPa	1.00	矿渣水泥	k3=w/275 w 为实际水泥用量 (kg/m³)	钢模板
42.5MPa	1.13	普通硅酸盐水泥		木模板
				其他保温模板

表 7.2.11-2 中如遇有中间状态可用插入法确定。

现举例说明表 7.2.11-1、表 7.2.11-2 两表的具体用法。某工程混凝土厚度 2m，采用强度等级为 42.5MPa 的普通硅酸盐 525 号水泥，水泥用量 360kg/m³，木模板，夏季施工，试计算最高温升。

$$\begin{aligned}
 T_m &= T \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \\
 &= 20 \times 1.13 \times 1.2 \times 360 / 275 \times 1.4 \\
 &= 49.7^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

夏季入模温度为 32.5℃，则混凝土的最高温度可达 49.7℃+32.5℃=82.2℃。而有一类似工程的实测温度记录为 80℃,故以上两表直接用于相似的工程中，是

比较切合实际的。

根据各地大体积混凝土施工的经验,增补了大体积混凝土施工时防止裂缝产生的有关技术措施。大体积混凝土施工时,一是要尽量减少水泥水化热,推迟放热高峰出现的时间,如采用 60d 龄期的混凝土强度作为设计强度(此点必须征得设计单位的同意),以降低水泥用量;掺粉煤灰可替代部分水泥,既可降低水泥用量,且由于粉煤灰的水化反应较慢,可推迟放热高峰的出现时间;掺外加剂也可减少水泥、水的用量,推迟放热高峰出现的时间;夏季施工时采用冰水拌合、砂石料场遮阳等措施可降低混凝土的出机和入模温度。以上这些措施可减少混凝土硬化过程中的温度应力值。二是进行保温保湿养护,使混凝土硬化过程中产生的温差应力小于混凝土本身的抗拉强度,从而可避免混凝土产生贯穿性的有害裂缝。

大体积混凝土开裂主要是水泥水化热使混凝土温度升高引起的,采取掺加矿物掺合料或采用水化热低的水泥等措施控制混凝土温度升高和温度变化速度在一定范围内,就可以避免出现裂缝。低热或中热水泥,因产量满足不了所有大体积混凝土工程的需求,故在水利工程大坝工程等用的较多,而一般工业民用建筑工程大多采用掺加粉煤灰、磨细矿渣粉等矿物掺合料的措施,可获得很好的效果。

7.2.12 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。用于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。拆模后应将留下的凹槽用密封材料封堵密实,并应用聚合物水泥砂浆抹平。

7.2.13 防水混凝土的冬期施工,应符合下列规定:

- 1 混凝土入模温度不应低于 5℃;
- 2 混凝土养护应采用综合蓄热法、蓄热法、暖棚法、掺化学外加剂等方法,不得采用电热法或蒸气直接加热法;
- 3 应采取保湿保温措施。

条文说明:地下工程进行冬期施工时,必须采取一定的技术措施。因为混凝土温度在 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。水冻结后,体积膨胀 8%~9%,使

混凝土内部产生很大的冻胀应力。如果此时混凝土的强度较低,就会被冻裂,使混凝土内部结构破坏,造成强度、抗渗性显著下降。

冬期施工措施,既要便于施工、成本低,又要保证混凝土质量,具体应根据施工现场条件选择。

化学外加剂主要是防冻剂。在混凝土拌合物拌合用水中加入防冻剂能降低水溶液的冰点,保证混凝土在低温或负温下硬化。如掺亚硝酸钠-三乙醇胺防冻剂的防水混凝土,可在外界温度不低于-10℃的条件下硬化。但由于防冻剂的掺入会使溶液的导电能力倍增,故此不得在高压电源和大型直流电源的工程中应用。在施工时,还要适当延长混凝土的搅拌时间,混凝土入模温度应为正温,振捣要密实,并要注意早期养护。

暖棚法是采取暖棚加温,使混凝土在正温下硬化,当建筑物体积不大或混凝土工程量集中的工程,宜采用此法。暖棚法施工时,暖棚内可以采用蒸汽管片或低压电阻片加热,使暖棚保持在5℃以上,混凝土入模温度也应为正温。在室外平均气温为-15℃以下的结构,应优先采用蓄热法。采用蓄热法需经热工计算,根据每立方米混凝土从浇筑完毕的温度降到0℃的过程中,透过模板及覆盖的保温材料所放出的热量与混凝土所含的热量及水泥在此期间所放出的水化热之和相平衡,与此同时混凝土的强度也正好达到临界强度。当利用水泥水化热不能满足热量平衡时,可采用原材料加热法(分别加热水、砂、石)或增加保温材料的热阻。

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期施工中使用。

II 卷材防水层施工

7.2.14 防水层施工前应按设计要求对初期支护渗漏水点进行封堵或引排处理,同时应确保(初期)支护表面平整,无尖锐物,锚杆端头、钢筋露头等尖锐物应采用护具防护或割除,并采用砂浆抹平,避免刺穿破坏防水或防排水层。应采集记录防水层施工前初期支护表面轮廓和防水层施工后表面轮廓影像信息。

7.2.15 卷材防水层施工前基面应符合以下要求:

- 1 基层表面应平整、坚实、清洁。基层混凝土强度或砌体用的砂浆强度均

不应低于设计值的 80%。

2 基层表面的孔洞、缝隙，应采用与防水层相同的防水砂浆堵塞并抹平。

3 施工前应先将预埋件、穿墙管预留凹槽内嵌填密封材料，再施工水泥砂浆防水层。

4 卷材或有机涂料防水层阴阳角处应做圆弧或折角处理，并应符合所用防水材料的施工要求。

5 卷材或涂料防水层基面应干燥。砂浆防水层基面应充分湿润、无明水。

7.2.16 采用外防外贴法铺贴卷材防水层时，应符合下列规定：

1 应先铺平面，后铺立面，交接处应交叉搭接。

2 临时性保护墙宜采用石灰砂浆砌筑，内表面宜做找平层。

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，并应将顶端临时固定。

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，并应将其表面清理干净，如卷材有局部损伤，应及时进行修补；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。

7.2.17 采用外防内贴法铺贴卷材防水层时，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 卷材宜先铺立面，后铺平面；铺贴立面时，应先铺转角，后铺大面。

条文说明：采用外防内贴法铺设卷材防水层，混凝土结构的保护墙也可作为支护结构(如喷锚支护或灌注桩)。近年来研发的预铺反粘施工技术是针对外防内贴施工的一项新技术，可以保证卷材与结构全粘结，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。

7.2.18 防水卷材施工应符合下列规定：

1 卷材铺贴应平整顺直，不应有起鼓、张口、翘边等现象。

2 同层相邻两幅卷材短边搭接错缝距离不应小于 500mm。卷材双层铺贴时，上下两层和相邻两幅卷材的接缝应错开至少 1/3 幅宽，且不应互相垂直铺贴。

3 同层卷材搭接不应超过 3 层。

4 卷材收头应固定密封。

条文说明：本条规定了防水卷材施工应遵守的基本要求。

1 要求搭接边平整顺直，不应有起鼓、张口、翘边等现象，主要是为了保证接缝的密实可靠。当出现前述现象时，搭接宽度难以满足要求，接缝部位还易形成渗漏水通道。

2 规定相邻两幅卷材短边错开 500mm 以上铺贴，是为了避免短边搭接形成“十字”接头，局部加厚变硬，接缝集中，增加渗漏水风险。双层铺贴时，要求上下两幅卷材错开至少 1/3 幅宽，也是基于相同原因。相互垂直铺贴，不利于受力变形，还会造成大量的接缝。

3 要求同层卷材搭接部位不应超过 3 层，也是为了防止形成“十字”接头，增加渗漏水风险。

4 卷材收头部位进行固定密封，是为了保证收头部位防水的可靠性。

7.2.19 明挖法地下工程防水卷材施工应符合下列规定：

1 主体结构侧墙和顶板上的防水卷材应满粘，侧墙防水卷材不应竖向倒槎搭接。

2 支护结构铺贴防水卷材施工，应采取防止卷材下滑、脱落的措施；防水卷材大面不应采用钉钉固定；卷材搭接应密实。

3 当铺贴预铺反粘类防水卷材时，自粘胶层应朝向待浇筑混凝土；防粘隔离膜应在混凝土浇筑前撕除。

条文说明：1 为保证卷材搭接处不存水，防水卷材在竖向由下往上铺贴，顶板防水层覆盖侧墙防水层，即上压下。

2 外防内贴施工时，为保证卷材不下滑，需要采取措施将其临时固定在支护结构上，但不应随意用钉打穿固定。

3 预铺反粘防水卷材自粘层表面通常带有防粘保护层，现场卷材施工完成后，浇筑混凝土前应撕除，否则无法实现卷材与后浇筑混凝土粘结。

7.2.20 防水卷材施工前，应涂刷基层处理剂；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，不应露底，表面干燥后方可铺贴卷材。

条文说明：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(过去称“冷底子油”)，这是一种传统做法。近几年研发的自粘聚合物改性沥青防水卷材和自粘橡胶沥青防水卷材，均为冷粘法铺贴，亦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

7.2.21 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、点粘面积应按设计要求确定。

条文说明：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，主要是考虑地下工程的工期一般较紧，要求基层干燥达到符合卷材铺设要求需时较长，以及防水层上压有较厚的底板防水混凝土等因素，因此允许该部位卷材采用空铺或点粘施工。

7.2.22 卷材搭接处和接头部位应粘贴牢固，接缝口应封严或采用材性相容的密封材料封缝。

7.2.23 改性沥青防水卷材在低温施工时，宜对卷材和基面适当加热，然后铺贴卷材。采用热熔法施工时，应加热均匀，不得加热不足或烧穿卷材，搭接缝部位应溢出热熔的改性沥青。

7.2.24 铺贴三元乙丙橡胶防水卷材应采用冷粘法施工，并应符合下列规定：

- 1 基底胶粘剂应涂刷均匀，不应露底、堆积；
- 2 胶粘剂涂刷与卷材铺贴的间隔时间应根据胶粘剂的性能控制；
- 3 铺贴卷材时，应辊压粘贴牢固；
- 4 搭接部位的粘合面应清理干净，并应采用接缝专用胶粘剂或胶粘带粘结。

条文说明：采用胶粘剂冷粘法铺贴三元乙丙橡胶防水卷材，施工质量要求较

高。由于硫化橡胶类卷材表面具有惰性，影响粘结质量，因此本条强调卷材接缝应采用配套的专用胶粘材料，包括胶粘剂、胶粘带和密封胶等。

7.2.25 铺贴聚氯乙烯防水卷材，接缝采用焊接法施工时，应符合下列规定：

1 卷材的搭接缝可采用单焊缝或双焊缝。单焊缝搭接宽度应为 60mm，有效焊接宽度不应小于 30mm；双焊缝搭接宽度应为 80mm，中间应留设 10~20mm 的空腔，单条焊缝有效焊接宽度不宜小于 10mm。

2 焊接缝的结合面应清理干净，焊接应严密。

3 应先焊长边搭接缝，后焊短边搭接缝。

条文说明：以聚氯乙烯防水卷材为代表的合成树脂类热塑性卷材，其特点是卷材搭接采用焊接法(本体焊接)施工，可以保证卷材接缝的粘结质量，提高防水层密封的可靠性。

7.2.26 高分子自粘胶膜防水卷材宜采用预铺反粘法施工，并应符合下列规定：

1 卷材宜单层铺设；

2 在潮湿基面铺设时，基面应平整坚固、无明显积水；

3 卷材长边应采用自粘边搭接，短边应采用胶粘带搭接，卷材端部搭接区应相互错开；

4 立面施工时，在自粘边位置距离卷材边缘 10~20mm 内，应每隔 400~600mm 进行机械固定，并应保证固定位置被卷材完全覆盖；

5 浇筑结构混凝土时不得损伤防水层。

7.2.27 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 底板、顶板应采用 20mm 厚 1:2.5 水泥砂浆层和 40~50mm 厚的细石混凝土作为保护层，底板防水层上保护层厚度不应小于 50mm，顶板防水层上的保护层应符合下列规定：

1) 采用机械碾压回填土时，保护层厚度不宜小于 70mm；

2) 采用人工回填土时，保护层厚度不宜小于 50mm；

3) 防水层与保护层之间宜设置隔离层。

2 侧墙防水层宜采用软质保护材料或铺抹 20mm 厚 1:2.5 水泥砂浆层。

条文说明：与原规范相比，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、塑料排水板或聚苯乙烯泡沫板等材料。

卷材防水层采用预铺反粘法施工时,可不作保护层。

7.2.28 塑料防水板的铺设应符合下列规定:

1 铺设塑料防水板时,宜由拱顶向两侧展铺,并应边铺边用压焊机将塑料板与暗钉圈焊接牢靠,不得有漏焊、假焊和焊穿现象。两幅塑料防水板的搭接宽度不应小于 100mm。搭接缝应为热熔双焊缝,每条焊缝的有效宽度不应小于 10mm;

2 环向铺设时,应先拱后墙,下部防水板应压住上部防水板;

3 塑料防水板铺设时宜设置分区预埋注浆系统;

4 分段设置塑料防水板防水层时,两端应采取封闭措施。

条文说明:

1 两幅塑料板的搭接宽度应视开挖面(基石)的平整度确定,铁路隧道设计规范确定,不应小于 150mm,搭接太宽造成浪费,因此仍保持原规范搭接宽度为 100mm 的规定。

为确保防水板的整体性,搭接缝不宜采用粘结法,因胶粘剂在地下长期使用很难确保其性能不变。采用焊接法时,应采用双焊缝,一方面能确保焊接效果,另一方面也便于充气检查焊缝质量。

2 下部防水板压住上部防水板这一规定是为了使防水板外侧上部的渗漏水能顺利流下,不至于积聚在防水板的搭接处而形成渗漏水的隐患。

3 设置分区注浆的目的是防止渗水到处乱窜。

4 分段设置防水板时,若两侧封闭不好,则地下水会从此处流出。由于防水板与混凝土粘结性不好,工程上一般采用设过渡层的方法,即选用一种既能与防水板焊接,又能与混凝土结合的材料作为过渡层,以保证防水板两侧封闭严密。

7.2.29 塑料防水板铺设时应少留或不留接头,当留设接头时,应对接头进行保护。再次焊接时应将接头处的塑料防水板擦拭干净。

7.2.30 铺设塑料防水板时，不应绷得太紧，宜根据基面的平整度留有充分的余地。

条文说明：防水层绷得太紧，一是与基面不密贴，难以保证二次衬砌厚度；二是浇筑混凝土时，固定点容易拉脱。至于预留多少合适，应根据基面平整度决定。当然也不能太松，一则浪费材料，二则防水层容易打折。

7.2.31 防水板的铺设应超前混凝土施工，超前距离宜为 5~20m，并应设临时挡板防止机械损伤和电火花灼伤防水板。

条文说明：防水板的铺设和内衬混凝土的施工是交叉作业，如两者施工距离过近，则相互间易受干扰，但过远，有时受施工条件限制达不到规定的要求，且过远铺好的防水板会因自重造成脱落。根据现在施工的经验，两者施工距离宜为 5~20m。

III 涂料防水层施工

7.2.32 防水砂浆的配合比和施工方法应符合所掺材料的规定，其中聚合物水泥防水砂浆的用水量应包括乳液中的含水量，拌合后应在规定时间内用完，施工中不得任意加水。

7.2.33 水泥砂浆防水层应分层铺抹或喷射，铺抹时应压实、抹平，最后一层表面应提浆压光。

7.2.34 水泥砂浆防水层各层应紧密粘合，每层宜连续施工；必须留设施工缝时，应采用阶梯坡形槎，但离阴阳角处的距离不得小于 200mm：

7.2.35 水泥砂浆防水层冬期施工时，气温不应低于 5℃。夏季不宜在 30℃以上或烈日照射下施工。防水层终凝后，应及时进行养护，养护温度不宜低于 5℃，并应保持砂浆表面湿润，养护时间不得少于 14d。聚合物水泥防水砂浆未达到硬化状态时，不得浇水养护或直接受雨水冲刷，硬化后应采用干湿交替的养护方法。潮湿环境中，可在自然条件下养护。

条文说明：本条规定了聚合物水泥砂浆应采用干湿交替养护的方法。聚合物水泥砂浆早期(硬化后 7d 内)采用潮湿养护的目的是为了使水泥充分水化而获得一定的强度，后期采用自然养护的目的是使胶乳在干燥状态下使水分尽快挥发而固化形成连续的防水膜，赋予聚合物水泥砂浆良好的防水性能。

7.2.36 防水涂料施工应符合下列规定：

- 1 涂料防水施工前应进行工艺性试验，施工时应分层刷涂或喷涂，涂布应均匀，厚度应符合设计要求，且不应起鼓；
- 2 接槎宽度不应小于 100mm；
- 3 当遇有降雨时，未完全固化的涂膜应覆盖保护；
- 4 当设置胎体时，胎体应铺贴平整，涂料应浸透胎体，且胎体不应外露。

条文说明：本条规定了防水涂料施工应遵守的基本要求。

1 涂膜厚度及均匀性是衡量涂料防水层质量的基本指标。要求涂膜不起鼓，目的是要避免局部或大面粘结强度不足，产生剥离、蹿水，故作出明确规定。

2 当涂膜防水层不能连续施工完成时，两次施工时的接槎部位容易出现粘结不牢，为避免发生此情况，规定“接槎宽度不应小于 100mm”。

3 未固化的涂料容易被降水破坏，故应进行临时遮挡保护。

4 涂料中夹铺胎体增强材料时，为保证涂膜厚度、均匀性、外观等质量要求，应执行本款的规定。

7.2.37 管片外包防水材料应按设计要求选择，施工前应分批进行抽检；涂刷范围应符合设计文件要求。

7.2.38 防水涂料基面上的砂浆等突出物应凿除，浮灰、浮砂、油污等应清理干净；基面应保持干燥、平整；表面细微空洞、气孔等部位应采用聚合物快凝水泥填平，表面湿度不宜大于 9%。涂层未实干前，不应在其上码放管片。

IV 接缝防水施工

7.2.39 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，其中间空心圆环应与变形缝的中心线重合；
- 2 止水带应固定，顶、底板内止水带应成盆状安设；
- 3 中埋式止水带先施工一侧混凝土时，其端模应支撑牢固，并应严防漏浆；
- 4 止水带的接缝宜为一处，应设在边墙较高位置上，不得设在结构转角处，接头宜采用热压焊接；

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

条文说明：施工不合理是变形缝的渗漏水的一个重要原因，针对目前存在的一些问题，本条做了相关规定。

中埋式止水带施工时常存在以下问题：一是顶、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。根据这种情况，条文中规定顶、底板中的止水带安装成盆形，有助于消除上述弊端。二是中埋式止水带的安装，在先浇一侧混凝土时，端模被止水带分为两块，给模板固定造成困难，故条文中规定端模要支撑牢固，防止漏浆。施工时由于端模支撑不牢，不仅造成漏浆，而且也不敢按规定要求进行振捣，致使变形缝处的混凝土密实性较差，从而导致渗漏水。三是止水带的接缝是止水带本身的防水薄弱处，因此接缝愈少愈好，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。四是转角处止水带不能折成直角，故条文规定转角处应做成圆弧形，以便于止水带的安设。

7.2.40 中埋式止水带连接施工应符合下列规定：

- 1 钢板止水带采用焊接连接时应满焊；
- 2 橡胶止水带应采用热硫化连接，连接接头不应设在结构转角部位，转角部位应呈圆弧状；
- 3 自粘丁基橡胶钢板止水带自粘搭接长度不应小于 80mm，当采用机械固定搭接时，搭接长度不应小于 50mm；
- 4 钢边橡胶止水带铆接时，铆接部位应采用自粘胶带密封。

条文说明：本条规定了在施工缝和变形缝中设置的中埋式止水带现场施工要点。

1 钢板止水带主要用于施工缝和后浇带中，为保证密封的连续性，规定焊接连接时应满焊。

2 橡胶止水带的热硫化焊接搭接有利于提高搭接部位的可靠性。转角部位应力集中，不易搭接密实，故不应在此处进行搭接。

3 本款规定了可用于施工缝、后浇带中的自粘丁基橡胶钢板止水带的搭接宽度，因机械固定搭接较自粘搭接更为牢固，故宽度略小。

4 对用于施工缝的非中孔型钢边橡胶止水带，因断面规整，可以采用铆接。

为增加铆接部位的密封性，要求采用自粘胶带进行密封。

7.2.41 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 转角处应做成 45°折角，并应增加紧固件的数量。

条文说明：可卸式止水带全靠其配件压紧橡胶止水带止水，故配件质量是保证防水的一个重要因素，因此要求配件一次配齐，特别是在两侧混凝土浇筑时间有一定间隔时，更要确保配件质量。另外，金属配件的防腐蚀很重要，是保证配件可卸的关键。

另外，转角处的可卸式止水带还存在不易密贴的问题，故在转角处除要做成 45°折角外，还应增加紧固件的数量，以确保此处的防水施工质量。

7.2.42 施工缝的施工应符合下列规定：

- 1 水平施工缝浇筑混凝土前，应将其表面浮浆和杂物清除，然后铺设净浆或涂刷混凝土界面处理剂、水泥基渗透结晶型防水涂料等材料，再铺 30~50mm 厚的 1:1 水泥砂浆，并应及时浇筑混凝土；
- 2 垂直施工缝浇筑混凝土前，应将其表面清理干净，再涂刷混凝土界面处理剂或水泥基渗透结晶型防水涂料，并应及时浇筑混凝土；
- 3 遇水膨胀止水条(胶)应与接缝表面密贴；
- 4 选用的遇水膨胀止水条(胶)应具有缓胀性能，7d 的净膨胀率不宜大于最终膨胀率的 60%，最终膨胀率宜大于 220%；
- 5 采用中埋式止水带或预埋式注浆管时，应定位准确、固定牢靠。

条文说明：施工缝的防水质量除了与选用的构造措施有关外，还与施工质量有很大的关系。

1 水平施工缝防水措施中增加了涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料的内容，做法是在混凝土终凝后(一般来说，夏季在混凝土浇筑后 24h,冬季则在 36~48h，具体视气温、混凝土强度等级而定，气温高、混凝土强度等级高者可短些)，立即用钢丝刷将表面浮浆刷除，边刷边用水冲洗干净，并保持湿润，然后涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料或界面处理剂，目的是使新老混凝土结合得更好。如不先铺水泥砂浆层或铺的厚度不够，将会出现工程界俗称的“烂根”现象，极易造成施

工缝的渗漏水。还应注意铺水泥砂浆层或刷界面处理剂、水泥基渗透结晶型防水涂料后,应及时浇筑混凝土,若时间间隔过久,水泥砂浆已凝固,则起不到使新老混凝土紧密结合的作用,仍会留下渗漏水的隐患。

施工缝凿毛也是增强新老混凝土结合力的有效方法,但在垂直施工缝中凿毛作业难度较大,不宜提倡。

本条规定的施工缝防水措施,对于具体工程而言,并不是所列的方法都采用,而是根据具体情况灵活掌握,如采用水泥基渗透结晶型防水涂料,就不一定采用界面处理剂,但水泥砂浆是要采用的,这是保证新老混凝土结合的主要措施。

2 遇水膨胀止水条(胶),国内常用的有腻子型和制品型两种。腻子型止水条必须具有一定柔软性,与混凝土基面结合紧密,在完全包裹的状态下使用才能更好地发挥作用,达到理想的止水效果。工程实践和试验证明,腻子型止水条的硬度(用C型微孔材料硬度计测试)小于40度(相当邵氏硬度10度左右)时,其柔软度方符合工程使用要求,如硬度过大,安装时与混凝土基面很难密贴,浇注混凝土后止水条与混凝土界面间留下缝隙造成渗水隐患。

关于遇水膨胀止水条的缓胀性,目前有两种解决方法,一是采用自身具有缓胀性的橡胶制作,二是在遇水膨胀止水条表面涂缓胀剂。在选用遇水膨胀止水条时,可将21d的膨胀率视为最终膨胀率。在完全包裹约束状态的(施工缝、后浇带、穿墙管等)部位,可使用腻子型的遇水膨胀止水条。

目前,国内应用较多的遇水膨胀止水条(胶)产品,其膨胀率大多在200%左右。

3 中埋式止水带只有位置埋设准确、固定牢固才能起到止水作用。

7.2.43 变形缝与施工缝均用外贴式止水带(中埋式)时,其相交部位宜采用十字配件。变形缝用外贴式止水带的转角部位宜采用直角配件。

条文说明:当采用外贴式止水带时,在变形缝与施工缝相交处,由于止水带的型式不同,现场进行热压接头有一定困难;在转角部位,由于过大的弯曲半径会造成齿牙不同的绕曲和扭转,同时减少转角部位钢筋的混凝土保护层。故本条规定变形缝与施工缝的相交部位宜采用十字配件,变形缝的转角部位宜采用直角配件。

7.2.44 密封材料嵌填施工时，应符合下列规定：

- 1 缝内两侧基面应平整干净、干燥，并应刷涂与密封材料相容的基层处理剂；
- 2 嵌缝底部应设置背衬材料；
- 3 嵌填应密实连续、饱满，并应粘结牢固。

条文说明：要使嵌填的密封材料具有良好的防水性能，除了嵌填的密封材料要密实外，缝两侧的基面处理也十分重要，否则密封材料与基面粘结不紧密，就起不到防水作用。另外，嵌缝材料下面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。

由于基层处理剂涂刷完毕后再铺设背衬材料，将会对两侧基面的基层处理剂有一定的破坏，削弱基层处理剂的作用，故本条还规定基层处理剂应在铺设背衬材料后进行。

7.2.45 在缝表面粘贴卷材或涂刷涂料前，应在缝上设置隔离层。

条文说明：密封材料变形时的应变值大小不仅与材料变形量的绝对值大小成正比，而且与缝的原始宽度成反比，在缝上设置隔离层后，比如在缝上先放置 $\Phi 40\sim 60\text{mm}$ 聚乙烯泡沫棒，可起到增加缝的原始宽度的作用，这使得在缝变形大小相同的情况下，材料变形的应变值大小不相同，增加了隔离层后，材料变形的应变值可以减小，使材料更能适应缝间的变形。

7.2.46 后浇带混凝土施工前，后浇带部位和外贴式止水带应防止落入杂物和损伤外贴止水带。

条文说明：为了保证后浇带部位的防水质量，必须保证带内清洁，同时也应对预设的防水设施进行有效保护，否则很难保证防水质量。

7.2.47 采用膨胀剂拌制补偿收缩混凝土时，应按配合比准确计量。补偿收缩混凝土的膨胀剂掺量应以胶凝材料总量的百分比表示，膨胀剂掺量不宜大于12%。

条文说明：掺膨胀剂的补偿收缩混凝土，大多用于控制有害裂缝的钢筋混凝土结构工程，以往绝大多数设计图纸只写混凝土掺入膨胀剂、强度等级和抗渗等级，而对混凝土的限制膨胀率没有提出具体要求，造成膨胀剂少掺或误掺，起不到补偿收缩的作用，从而出现有害裂缝。施工单位或混凝土搅拌站，应根据设计

要求确定膨胀剂的最佳掺量，在满足混凝土强度和抗渗要求的同时，达到补偿收缩混凝土的限制膨胀率。只有这样，才能达到控制结构出现裂缝的效果。

按现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119—2003 中的规定，补偿收缩混凝土中膨胀剂的掺量宜为 6%~12%。混凝土配合比中膨胀剂的掺量多少合适，应根据限制膨胀率的设定值经试验确定。

近年来，混凝土除水泥作为胶凝材料外，尚有粉煤灰、硅粉等掺合料作为胶凝材料；膨胀剂可和水泥、掺合料共同作为胶凝材料，因此规定膨胀剂掺量应以胶凝材料总量的百分比表示。

补偿收缩混凝土配合比设计与普通混凝土配合比设计基本相同，所不同的是膨胀剂掺量(替代胶凝材料率)，应符合下列规定：

1.以水泥和膨胀剂为胶凝材料的混凝土。

设基准混凝土配合比中水泥用量为 m_{co} ，膨胀剂取代水泥率为 K ，则膨胀剂用量为：

$$m_s = m_{co} \cdot K \quad (7.2.47-1)$$

水泥用量为：

$$m_c = m_{co} - m_s \quad (7.2.47-2)$$

2.以水泥、掺合料、膨胀剂为胶凝材料的混凝土。

设基准混凝土配合比中水泥用量为 m_{co} ，掺合料用量为 m_{eo} ，膨胀剂取代胶凝材料率为 K ，则膨胀剂用量为：

$$m_s = (m_{co} + m_{eo}) \cdot K \quad (7.2.47-3)$$

掺合料用量为：

$$m_e = m_{eo} \cdot (1 - K) \quad (7.2.47-4)$$

水泥用量为：

$$m_c = m_{co} \cdot (1 - K) \quad (7.2.47-5)$$

7.2.48 后浇带混凝土应一次浇筑，不得留设施工缝；混凝土浇筑后应及时养护，养护时间不得少于 28d。

条文说明：后浇带采用补偿收缩混凝土，可以避免出现新的收缩裂缝造成工程渗漏水的隐患，如果后浇带施工留设施工缝，就会大大降低后浇带的抗渗性，

因此强调后浇带混凝土应一次浇筑。

混凝土养护时间对混凝土的抗渗性尤为重要，混凝土早期脱水或养护过程中缺少必要的水分和温度，则抗渗性将大幅度降低甚至完全消失，其影响远较强度敏感。因此，当混凝土进入终凝以后即应开始浇水养护，使混凝土外露表面始终保持湿润状态。后浇带混凝土必须充分湿润地养护 6 周，以避免后浇带混凝土的收缩，使混凝土接缝更严密。

7.2.49 后浇带需超前止水时，后浇带部位的混凝土应局部加厚，并应增设外贴式或中埋式止水带。

条文说明：后浇带如在有水情况下施工，很难把缝清理干净，不能保证接缝的防水质量，因此在地下水分较高，需要进行超前止水时，可采用本条所推荐的方法。

底板后浇带部位混凝土的局部加厚，主要是用于坑底排水，并使钢筋保护层不受建筑的垃圾影响。当有降水条件时，后浇带部位混凝土也可局部加厚，此时，可不设外贴式止水带。

7.2.50 防水密封件等材料的粘贴定位应符合下列规定：

1 按管片型号使用同型号防水密封件，严禁使用尺寸不符或有质量缺陷的产品；

2 防水密封件的粘贴应牢固、平整、严密，位置正确，不应有脱胶、空鼓、超长和缺口现象，密封件表面应在同一平面上，不应歪斜或扭曲；

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，其粘贴步骤和方法与防水密封件的粘贴方法基本相同，但必须注意其材料尺寸与粘贴位置。

5 管片拼装前应逐块对粘贴的密封件进行检查；

6 使用防水密封件及其粘结剂的施工现场，其存放库房、烘箱设备等处需按规定做防水及防火的安全措施；

7 角部密封件应粘贴平整，不应翘边；管片密封件增设的遇水膨胀橡胶片，表面宜涂刷缓膨胀剂，12h 内不宜进行管片拼装；管片拼装前不应遇水。

7.2.51 管片接缝防水材料性能与截面尺寸必须符合设计要求，施工前应分批进行抽检。

V 特殊节点防水施工

7.2.52 管件穿越有防水要求的结构时应设置套管，套管止水环与套管应满焊。穿管后应将套管与管道之间的缝隙填塞密实，端口周边应填塞密封胶。

条文说明：管件穿越有防水要求的混凝土板、墙体时应设置套管。预先埋设穿墙、板管是为了避免浇筑混凝土完成后，重新凿洞破坏防水层，造成工程渗漏隐患。穿墙、板管外壁与混凝土交界处是防水薄弱环节，穿墙、板管中部加上止水环以改变水的渗透路径，从而达到防水效果。如果止水环与管不满焊，或满焊而不密实，则止水环与管接触处仍是防水薄弱环节，因此防水套管止水环应与套管满焊；穿管后应采用密封材料将套管间隙填塞密实，端口周边应填塞密封胶。

7.2.53 穿结构管道、埋设件等应在防水层施工前埋设完成。

条文说明：穿结构管道、埋设件等应在防水层施工前埋设完成，以免埋设件在防水层施工后施工，对防水层造成损坏。

7.2.54 穿墙管防水施工时应符合下列要求：

- 1 金属止水环应与主管或套管满焊密实，采用套管式穿墙防水构造时，翼环与套管应满焊密实，并应在施工前将套管内表面清理干净；
- 2 相邻穿墙管间的间距应大于 300mm；
- 3 采用遇水膨胀止水圈的穿墙管，管径宜小于 50mm，止水圈应采用胶粘剂满粘固定于管上，并应涂缓胀剂或采用缓胀型遇水膨胀止水圈。

条文说明：止水环的作用是改变地下水的渗透路径，延长渗透路线。如果止水环与管不满焊，或满焊而不密实，则止水环与管接触处仍是防水薄弱环节，故止水环与管一定要满焊密实。套管内因还需采用其他防水措施，故其内壁表面应清理干净，以保证防水施工的质量。

管间距离过小，防水混凝土在此处不易振捣密实，同时采用其他防水措施时，因操作空间太小，易影响其他防水措施的质量，故对管间距做了相应规定。

7.2.55 桩头防水施工应符合下列规定：

- 1 桩顶混凝土应凿毛，露出新鲜的混凝土并清理干净；

- 2 破桩后如发现渗漏水，应采取措施进行封堵；
- 3 水泥基渗透结晶型防水涂料和聚合物水泥砂浆层应连续、均匀，并及时进行养护；
- 4 采用其他防水材料进行防水时，基面应符合防水层的施工要求；
- 5 应对遇水膨胀止水胶进行保护。

7.2.56 立柱防水施工应符合下列规定：

- 1 立柱表面应先打磨干净，不得有锈蚀、油污、灰尘、浮浆等部位；
- 2 止水环应与立柱焊接牢固、严密、不透水；
- 3 立柱根部柔性防水层的收口应先于底板大面防水层的施工，并应留出不少于 500mm 的甩头，甩头部分应采取必要的保护措施；
- 4 遇水膨胀止水胶应与立柱表面粘贴牢固；
- 5 临时钢管柱割除后，应先在钢管柱内填充混凝土并采用封口钢板进行封堵，封堵钢板与管口四周应焊接牢固、严密、不透水；
- 6 临时立柱周围预留凹槽内浇筑膨胀混凝土前，应先对凹槽四周混凝土表面进行凿毛处理，并涂刷界面剂。

VI 注浆防水施工

7.2.57 隧道注浆防水施工应根据水文地质情况、开挖支护方式、相邻隧道的相互影响、地表环境要求、水资源保护等制定注浆防水方案，根据不同情况可选择下列方案：

- 1 掌子面前方存在较高水压的富水区，具有较大可能、较大规模的涌水、突水且围岩结构软弱，自稳能力差，开挖后可能导致掌子面失稳而诱发突水、突泥者，宜采用全断面帷幕注浆或周边注浆；
- 2 掌子面前方围岩基本稳定，但局部存在一定的水流，开挖后可能导致掌子面大量渗漏水而无法施作初期支护时，宜采用超前局部注浆；
- 3 围岩有一定自稳能力，开挖后水压和水量较小，但出水量超过设计允许排放量时，宜采用径向注浆。

7.2.58 注浆防水宜根据工程地质和水文地质情况、注浆工艺和设备等因素，考虑浆液的流动性、可注性和稳定性等，并结合经济性选择采用水泥浆液，超细水

泥浆、水泥—水玻璃浆液等材料。

7.2.59 注浆防水施工应符合下列要求：

- 1 根据地下水情况、防水范围、设备性能、浆液扩散半径和对注浆防水效果的要求等综合因素确定注浆孔数、布孔方式及钻孔角度；
- 2 采用全断面围帷注浆时，注浆初始循环应根据水压、水量、地层完整性及设计压力确定止浆墙的形式，并设置孔口管；
- 3 预注浆段的长度应视具体情况合理确定，掘进时应保留足够的止水岩盘厚度；
- 4 注浆压力应根据水文地质条件合理确定，宜比静水压力大 0.5MPa~1.5MPa；
- 5 钻孔注浆顺序应由下往上、由少水处到多水处、隔孔钻注；
- 6 预注浆检查孔的渗水量应小于设计允许值，浆液固结达到设计强度后方可开挖。径向注浆结束后应达到设计规定的允许渗漏量。

7.2.60 注浆孔数量、布置间距、钻孔深度除应符合设计要求外，尚应符合下列规定：

- 1 注浆孔深小于 10m 时，孔位最大允许偏差应为 100mm,钻孔偏斜率最大允许偏差应为 1%；
- 2 注浆孔深大于 10m 时，孔位最大允许偏差应为 50mm,钻孔偏斜率最大允许偏差应为 0.5%。

条文说明：钻孔精确度是注浆效果好坏的关键，因此，要尽量保证开孔误差和钻孔偏斜率。

一般孔按规范条文控制，但对堵水要求较高的孔或单排注浆帷幕孔，可按设计要求，不受此限。

7.2.61 岩石地层或衬砌内注浆前，应将钻孔冲洗干净。

7.2.62 注浆前，应进行测定注浆孔吸水率和地层吸浆速度等参数的压水试验。

7.2.63 回填注浆时，对岩石破碎、渗漏水量较大的地段，宜在衬砌与围岩间采用定量、重复注浆法分段设置隔水墙。

条文说明：根据近年来的实践，条文中规定了设置隔水墙的做法。

7.2.64 回填注浆、衬砌后围岩注浆施工顺序，应符合下列规定：

- 1 应沿工程轴线由低到高，由下往上，从少水处到多水处；
- 2 在多水地段，应先两头，后中间；
- 3 对竖井应由上往下分段注浆，在本段内应从下往上注浆。

7.2.65 注浆过程中应加强监测，当发生围岩或衬砌变形、堵塞排水系统、窜浆、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间歇注浆，直到停止注浆；
- 2 改变注浆材料或缩短浆液凝胶时间；
- 3 调整注浆实施方案。

7.2.66 单孔注浆结束的条件，应符合下列规定：

- 1 预注浆各孔段均应达到设计要求并应稳定 10min,且进浆速度应为开始进浆速度的 1/4 或注浆量达到设计注浆量的 80%；
- 2 衬砌后回填注浆及围岩注浆应达到设计终压；
- 3 其他各类注浆，应满足设计要求。

条文说明：注浆要求、注浆目的不同，注浆结束标准也不相同，因此本次保留了原规范规定的注浆结束标准的要求。

7.2.67 预注浆和衬砌后围岩注浆结束前，应在分析资料的基础上，采取钻孔取芯法对注浆效果进行检查，必要时应进行压(抽)水试验。当检查孔的吸水量大于 1.0L/min*m 时，应进行补充注浆。

条文说明：注浆结束前，为了检验注浆效果，防止开挖时发生坍塌涌水事故，必须进行注浆效果检查。通常是在分析资料的基础上采取钻孔取芯法进行检查。有条件时，还可采用物探进行检查。

分析资料时要结合注浆设计、注浆记录、注浆结束标准，分析各注浆孔的注浆效果，看哪些达到了标准，哪些是薄弱环节，有无漏注或未达到结束标准的孔，原因何在，如何补救等。

钻孔取芯法是按设计要求在注浆薄弱地方，钻检查孔，检查浆液扩散、固结情况，并进行压水(抽)水试验，检查地层的吸水率(透水率),计算渗透系数及开挖时的出水量。

7.2.68 注浆结束后，应将注浆孔及检查孔封填密实。

7.3 排水施工

7.3.1 排水系统应接头牢固，沟管无淤积，排水顺畅。

7.3.2 洞口及工作井井口周边应设置具备良好排水功能的截（排）水设施，沟内无积水。工作井四周应做好外围防水工作，可设置封闭式挡水墙，防止地表水流入。

7.3.3 宜在工作井底设置固定集水井（池），固定集水井（池）设置的位置不得影响井内运输和安全。井底应配备足够的消防排水设备及设施。

7.3.4 地面排水沟、截水沟宜采用可防止泥沙淤积的排水坡度，但应避免流速过大导致沟渠损毁，其采用的建筑材料应具有防冲刷能力，必要时应设计消能设施。

7.3.5 地面排水系统应符合以下要求：

1 流经、汇入既有市政管网或其他水体时，应按照当地设防洪水频率进行防洪安全性评价。

2 应避开不良或不稳定地质体，当无法避开时，应预先进行工程处理，消除隐患，防止次生灾害。

3 应避免对相邻工程及其基础产生冲击、冲刷、淘蚀及浸泡等不利影响，当难以避免时，相邻工程应予以防护或进行特殊设计。

7.3.6 施工废水排放水质标准应符合环境保护要求，必要时应在地面排水系统中设置易于维护的沉淀、过滤、净化设施。

7.3.7 洞内排水可根据距离、坡度、水量和设备情况布置管路和泵站，一次或分段接力排至地面排水系统。排水施工时，应根据施工中的变化及时调整排水能力。

7.3.8 洞内顺坡排水水沟断面及坡度应能满足隧道内渗漏水和施工废水的排出需要，排水沟应经常清理以防堵塞。

7.3.9 洞内外水沟衔接施工应符合下列规定：

1 洞口施作前应按设计要求做好洞内外水沟的过渡结构，并与洞外排水系统顺接；

2 洞内水排至地面后，应与地面排水系统顺接，必要时设置具有检修、维护功能的缓冲井（池）实现顺接。

3 洞内外连接水沟施作完成后应及时清除沟内杂物，并按设计要求封盖。

7.3.10 盾构隧道洞内顺坡排水时，应在隧道底部设置一处中心排水沟，在隧道内轨道单侧或双侧设置明沟排水，排水沟宜设置盖板，排水沟大小应满足设计要求。

7.3.11 水沟应纵向分段施工，其分段宜与拱墙二次衬砌施工缝对齐，线型应顺直。水沟安装应稳固牢靠，接缝严密，不得漏浆。浇筑混凝土前，模板内积水和杂物应清理干净。

7.3.12 排水泵站配备的抽排水设备的能力应满足施工和运营期间排水需求。

7.3.13 排水盲管、检查井等排水组件应连接可靠，接头紧固密封，排水顺畅，可维护。

7.3.14 排水系统安装完成后应分段进行检查，发现漏水、积水、堵塞，应及时处理。

7.3.15 排水盲管穿过防水层时，应做好密封防水处理。盲管接长连接应采用连接器。

7.3.16 纵向排水盲管应固定牢固，确保坡度符合设计要求。纵向排水盲管固定间距应符合设计要求，当设计无规定时不应大于 1m。

7.3.17 中心管沟施工应符合下列规定：

1 中心管沟尺寸、中线位置、排水坡度应符合设计要求；

2 管口对接应保证中线一致，对接位置采取密封措施，中心管宜紧跟仰拱填充施工；

3 中心管沟预埋施工时，应采用卡具固定，安放顺直，总体坡度协调一致，不得高低起伏；

4 中心管沟端头应设临时堵头，防止施工过程中被堵塞。

7.3.18 仰拱底部纵向排水盲管施工应符合下列规定：

1 纵向排水盲管应安放顺直，坡度满足设计要求；

2 透水滤层施工时应级配合理，铺设均匀。

7.3.19 深埋中心水沟施工应符合下列规定：

1 深埋中心水沟开挖应符合设计要求，并应根据围岩情况确定开挖进尺，

施工期间应进行围岩监控量测，确保施工安全；

2 碎石滤层铺设前基底应清理干净，碎石滤层应铺设均匀、平整、排水坡度符合设计要求；

3 管道中线、高程应符合设计要求；

4 管口对接应保证中线一致，对接位置采取密封措施。

7.3.20 预制塑料检查井施工应符合下列规定：

1 预制塑料检查井与横向排水盲管和中心管沟采用承插式连接，外加卡箍固定；

2 检查井安装应位置对正，底座稳固。

7.3.21 现浇混凝土检查井施工应符合下列规定：

1 现浇检查井应采用定型模板，模板内外侧应采取措施固定；

2 排水管应临时封堵，防止混凝土进入；

3 检查井底板应平整，不得有堆落、松散的碎石等杂物；

4 施工期间检查井应井口封闭，以免杂物进入井内。

7.3.22 中心方沟或中心管沟与横向盲管、进水孔和洞内其他排水设施各接口间应连接可靠，不漏水。

7.3.23 渗排水法施工应符合以下规定：

1 纵向盲沟铺设前，应将基坑底铲平，并按设计要求铺设碎砖(石)混凝土层。

2 集水管应放置在过滤层中间。

3 盲管应采用塑料(无纺布)带、水泥钉等固定在基层上，固定点拱部间距宜为 300~500mm，边墙宜为 1000~1200mm，在不平处应增加固定点。

4 环向盲管宜整条铺设，需要有接头时，宜采用与盲管相配套的标准接头及标准三通连接。

5 铺设于贴壁式衬砌、复合式衬砌隧道或坑道中的盲沟(管)，在浇灌混凝土前，应采用无纺布包裹。

6 无砂混凝土管连接时，可采用套接或插接，连接应牢固，不得扭曲变形和错位。

7 隧道或坑道内的排水明沟及离壁式衬砌夹层内的排水沟断面，应符合设计要求，排水沟表面应平整、光滑。

8 不同沟、槽、管应连接牢固，必要时可外加无纺布包裹。

7.4 防排水材料

I 防水材料

7.4.1 防水材料耐水性测试试验应按不低于 $23^{\circ}\text{C}\times 14\text{d}$ 的条件进行，试验后不应出现裂纹、分层、起泡和破碎等现象。当用于地下工程时，浸水试验条件不应低于 $23^{\circ}\text{C}\times 7\text{d}$ ，防水卷材吸水率不应大于 4%；防水涂料与基层的粘结强度浸水后保持率不应小于 80%，非固化橡胶沥青防水涂料应为内聚破坏。

条文说明：本条规定了防水卷材和防水涂料耐水性要求。耐水性指防水材料在浸水后保持其完整性的能力，是防水材料核心性能之一。综合考虑防水材料的应用需求，参考国内外相关标准规定，结合验证试验结果，规定了耐水性试验条件最低要求，并针对地下工程使用环境的特殊性，增加了防水卷材的吸水率测试；防水涂料浸水后基层粘结强度保持率与无处理测试值相比不应小于 80%。

当防水材料在不低于 $23^{\circ}\text{C}\times 7\text{d}$ 试验条件下进行浸水试验，如防水卷材吸水率 $\leq 4\%$ ，防水涂料与基层的粘结强度浸水后保持率 $\geq 80\%$ 时，可以不再检测 $23^{\circ}\text{C}\times 14\text{d}$ 条件下浸水的外观。

7.4.2 沥青类材料的热老化测试试验应按不低于 $70^{\circ}\text{C}\times 14\text{d}$ 的条件进行，高分子类材料的热老化测试试验应按不低于 $80^{\circ}\text{C}\times 14\text{d}$ 的条件进行，试验后材料的低温柔性或低温弯折性温度升高不应超过热老化前标准值 2°C 。

条文说明：本条规定了防水卷材和防水涂料热老化性能。表征防水材料热老化性能的方式之一是热老化测试，低温性能变化可用于评价热老化前后产品特性变化。

本条中沥青类材料包含聚合物改性沥青类防水卷材、水性聚合物沥青类防水涂料、热熔施工橡胶沥青类防水涂料。高分子类材料包含合成高分子类防水卷材、塑料防水板、反应型高分子类防水涂料。聚合物乳液类涂料按照高分子类材料进行测试。

本条综合考虑了国内外相关标准的规定及防水材料的应用场合，规定了热老化试验条件最低要求。

7.4.3 外露使用防水材料的人工气候加速老化试验应采用氙弧灯进行，340nm 波长处的累计辐照能量不应小于 $5040\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{nm})$ ，外露单层使用防水卷材的累计辐照能量不应小于 $10080\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{nm})$ ，试验后材料不应出现开裂、分层、起泡、粘结和孔洞等现象。

条文说明：本条根据工程防水设计工作年限要求，结合工程应用实践和现行国内外

标准规定，规定了外露使用防水材料的人工气候加速老化试验方法。

影响外露使用防水材料耐久性的重要影响因素之一是紫外线辐射，表征试验方法包括自然阳光暴晒试验和人工气候加速老化试验。为便于将不同试验设备所得试验数据进行比较，本规范的人工气候加速老化辐照能量采用窄带法表示，即在光源波长为 340nm，辐照度为 $0.51\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm}) \pm 0.02\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$ 的条件下进行试验。如采用 300nm~400nm 宽带辐照时，可参见现行国家标准《建筑防水材料老化试验方法》GB/T18244 中与窄带 340nm 辐照的对应关系进行计算。

7.4.4 卷材防水层适用于经常处在地下水环境，受侵蚀性介质作用或受振动作用的隧道工程，防水层应铺设在混凝土结构的迎水面。

条文说明：本条提出卷材防水层应铺设在结构迎水面的基面上，其作用有三：一是保护结构不受侵蚀性介质侵蚀，二是防止外部压力水渗入到结构内部引起锈蚀钢筋，三是克服卷材与混凝土基面的粘结力小的缺点。

7.4.5 阴阳角处应做成圆弧或 45°坡角，其尺寸应根据卷材品种确定。在阴阳角等特殊部位，应设置卷材加强层，加强层宽度宜为 300~500mm。

7.4.6 防水卷材接缝剥离强度及不透水性分别应符合表 7.4.6 的规定，热老化试验条件不应低于 70°C×7d，浸水试验条件不应低于 23°C×7d。

表 7.4.6 防水卷材接缝剥离强度及不透水性

防水卷材类型	搭接工艺	接缝剥离强度(N/mm)			搭接缝不透水性		
		无处理时	热老化	浸水	无处理时	热老化	浸水
聚合物改性沥青类防水卷材	热熔	≥1.5	≥1.2	≥1.2	0.2MPa, 30min 不透水		
	自粘、胶粘	≥1.0	≥0.8	≥0.8			
合成高分子类防水卷材及塑料防水板	焊接	≥3.0 或卷材破坏					
	自粘、胶粘	≥1.0	≥0.8	≥0.8			
	胶带	≥0.6	≥0.5	≥0.5			

条文说明：卷材防水层搭接边数量多，搭接边质量对卷材防水层的防水功能有决定性的影响，接缝剥离强度是评价搭接边质量重要指标之一。本条规定了不同类型卷材搭接缝在无处理、热老化、浸水处理后的接缝剥离强度要求。合成高分子类防水卷材短边采用胶带对接或焊接搭接时，也应满足接缝剥离强度指标要求。

搭接缝不透水性是评价搭接边质量重要指标之一。本条综合考虑各种卷材的材料性能及搭接方法，对卷材搭接缝在无处理、热老化、浸水处理后的不透水性提出了要求。

7.4.7 耐根穿刺防水材料应通过耐根穿刺试验。长期处于腐蚀性环境中的防水卷材或防水涂料，应通过腐蚀性介质耐久性试验。

条文说明：生长中的植物根系会产生较高的根穿刺力，种植屋面和种植顶板工程中的最外一道防水层应能抵抗根穿刺力的破坏。相关防水材料按现行国家标准《种植屋面用耐根穿刺防水卷材》GB/T 35468 规定的方法进行耐根穿刺性能评价。

存在酸、碱、盐、有机物等有损防水层完整性的工程使用环境时，应选用与工程应用相符的腐蚀性介质及浓度，并采用现行国家标准《建筑防水卷材试验方法 第 16 部分 高分子防水卷材 耐化学液体(包括水)》GB/T328.16、《建筑防水涂料试验方法》GB/T16777 等相关标准中耐酸、碱、盐试验方法进行测试。

7.4.8 卷材防水层最小厚度应符合表 7.4.8 的规定。

表 7.4.8 卷材防水层最小厚度

防水卷材类型			卷材防水层最小厚度 (mm)
聚合物 改性沥 青类防 水卷材	热熔法施工聚合物改性防水卷材		3.0
	热沥青粘结和胶粘法施工聚合物改性防水卷材		3.0
	预铺反粘防水卷材(聚酯胎类)		4.0
	自粘聚合物改性防水卷材(含 湿铺)	聚酯胎类	3.0
		无胎类及高分子膜基	1.5
合成高 分子类 防水卷 材	均质型、带纤维背衬型、织物内增强型		1.2
	双面复合型		主体片材芯材 0.5
	预铺反粘防水卷材	塑料类	1.2
		橡胶类	1.5
	塑料防水板		1.2

条文说明：防水卷材指工厂制造成型、厚度均匀并可卷曲成卷状的柔性防水材料。厚度为防水卷材的重要技术指标，本条地下工程各类卷材防水层的最小厚度要求。

聚合物改性沥青类防水卷材指以无纺布、高分子膜基为增强材料，以聚合物改性沥青为涂盖材料，工厂生产的防水卷材。可采用热熔法、热沥青粘结、胶粘法、自粘施工，产品涉及的现行国家标准和行业标准包括《弹性体改性沥青防水卷材》GB18242、《塑性体改性沥青防水卷材》GB18243、《改性沥青聚乙烯胎防水卷材》GB18967、《自粘聚合物改性沥青防水卷材》GB23441、《预铺防水卷材》GB/T23457、《湿铺防水卷材》GB/T35467。

合成高分子类防水卷材指采用塑料、橡胶或两者共混为主要材料，加入助剂和填料等，采用压延或挤出工艺生产的防水卷材。产品涉及的现行国家标准和行业标准包括《聚氯乙烯(PVC)防水卷材》GB12952、《氯化聚乙烯防水卷材》GB12953、《高分子防水材料 第1部分：片材》GB/T18173.1、《预铺防水卷材》GB/T23457、《热塑性聚烯烃(TPO)防水卷材》GB27789。矿山法隧道用塑料防水板也归类为高分子防水卷材。按照现行国家标准和行业标准生产的卷材均能够符合本条的规定。

本条表中仅规定了双面复合型合成高分子类防水卷材芯材的厚度，该材料应与具有防水功能的材料复合使用构成防水层。

带自粘层的卷材主材应符合相关标准的规定，卷材总体应符合现行国家标准《带自粘层的防水卷材》GB/T23260的规定。耐根穿刺防水卷材应符合现行国家标准《种植屋面用耐根穿刺防水卷材》GB/T35468的规定。

7.4.9 防水层宜采用自粘卷材防水层、膨润土防水毯等材料或涂料防水层。自粘卷材防水层包括高聚物改性沥青类自粘防水卷材、合成高分子自粘胶膜防水卷材等。涂料防水层包括喷涂型聚脲、聚氨酯、聚合物水泥等涂料。

7.4.10 喷涂型聚脲涂层、高分子自粘胶膜防水卷材和膨润土防水毯施工后可不设置保护层，其它防水层应设置保护层。当顶板采用涂料防水层时，设置保护层之前应先设置隔离层。钢筋绑扎时对铺设于围护结构和垫层上的防水层应采取保护措施。

7.4.11 防水卷材自身或与其他材料组合形成复合防水层时，应符合下列要求：

1 采用胎体高聚物改性沥青防水卷材作为防水层时，应设置两道卷材或与涂料防水层复合。当采用两道卷材时，防水层厚度应不小于 $(4+3)$ mm；当与涂料防水层复合使用时，卷材厚度不应小于 4mm；

2 采用自粘聚合物改性沥青防水卷材作为防水层时，宜设置两道卷材。无胎基卷材的各层厚度不宜小于 1.5mm，聚酯胎基卷材的各层厚度不宜小于 3.0mm；

3 采用双层合成高分子防水卷材作为防水层时，防水层厚度不宜小于 $(1.2+1.2)$ mm；

4 采用聚乙烯丙纶复合防水卷材作为防水层时，应设置两道卷材或与涂料防水层复合，单层复合卷材的芯材厚度不得小于 0.5mm，粘结料厚度不应小于 1.3mm。

7.4.12 涂料防水层可区分为无机防水涂料和有机防水涂料。无机防水涂料可选用水泥

基防水涂料；有机防水涂料可选用反应型、水乳型防水涂料。

7.4.13 防水涂料品种的选择应符合下列规定：

- 1 应具有良好的耐水性、耐久性、耐腐蚀性及耐菌性；应无毒、难燃、低污染；
- 2 无机防水涂料应具有良好的湿干粘结性和耐磨性，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。
- 3 潮湿基层宜选用与潮湿基面粘结力大的防水涂料，也可采用先涂无机防水涂料而后再涂有机防水涂料构成复合防水涂层；
- 4 冬期施工宜选用反应型涂料；
- 5 埋置深度较深的重要工程、有振动或有较大变形的工程，宜选用高弹性防水涂料；
- 6 有腐蚀性的地下环境宜选用耐腐蚀性较好的有机防水涂料，并应做刚性保护层；
- 7 热熔型非固化橡胶沥青防水涂料、热熔橡胶沥青防水涂料宜与沥青类卷材复合使用。
- 8 聚合物水泥防水涂料应选用Ⅱ型产品。

条文说明：地下工程由于受施工工期的限制，要想使基面达到比较干燥的程度较难，因此在潮湿基面上施作涂料防水层是地下工程常遇到的问题之一。目前一些有机或无机涂料在潮湿基面上均有一定的粘结力，可从中选用粘结力较大的涂料。在过于潮湿的基面上还可采用两种涂料复合使用的方法，即先涂无机防水涂料，利用其凝固快和与其他涂层防水层粘结好的特点，作成防水过渡层，而后再涂反应型、水乳型、聚合物水泥涂料。

冬期施工时，由于气温低，用水乳型涂料已不适宜，此时宜选用反应型涂料。溶剂型涂料也适于在冬期施工使用，但由于涂料中溶剂挥发会给环境造成污染，故不宜在封闭的地下工程中使用。聚合物水泥防水涂料分为Ⅰ型和Ⅱ型两个产品，Ⅱ型是以水泥为主的防水涂料，主要用于长期浸水环境下的建筑防水工程。

7.4.14 无机防水涂料宜用于结构主体的背水面，有机防水涂料宜用于地下工程主体结构的迎水面，用于背水面的有机防水涂料应具有较高的抗渗性，且与基层有较好的粘结性。

条文说明：有机防水涂料常用于工程的迎水面，这是充分发挥有机防水涂料在一定

厚度时有较好的抗渗性，在基面上(特别是在各种复杂表面上)能形成无接缝的完整的防水膜的长处，又能避免涂料与基面粘结力较小的弱点。目前有些有机涂料的粘结性、抗渗性均较高，已用在埋深 10~20m 地下工程的背水面。

无机防水涂料由于凝固快，与基面有较强的粘结力，最宜用于背水面混凝土基层上做防水过渡层。

7.4.15 防水涂料采用喷涂法施工时宜用在明挖法外防外涂部位防水，不宜用于暗挖法结构防水。

条文说明：在暗挖法结构防水中，如果防水涂料采用喷涂法施工后防水层很易被后续工艺破坏，造成大范围渗漏，且几乎无法维修，因此，本规程规定防水涂料采用喷涂法施工时不宜用于暗挖法结构防水。

7.4.16 采用涂料防水时，基层阴阳角应做成圆弧形，阴角直径宜大于 50mm，阳角直径宜大于 10mm；在阴阳角应增加一层胎体增强材料，并增涂 2 遍~3 遍防水涂料。

条文说明：阴阳角处因不好涂刷，故要在这些部位设置增强材料，并增加涂刷遍数，以确保这些部位的施工质量。阴阳角部位后续工序有可能损坏涂层防水层，故也应予以加强。

7.4.17 无机防水涂料的性能指标应符合表 7.4.17-1 的规定，有机防水涂料的性能指标应符合表 7.4.17-2 的规定。

表 7.4.17-1 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	≥4	≥1.0	>1.0	>0.8	>50

表 7.4.17-2 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 (120 min)	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
水乳	≥50	≥0.2	≥	≥	≥0.3	≥0.5	≥350	≥80	≤4	≤12

型			0.3	0.8						
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。

条文说明：根据地下工程防水对涂料的要求及现有涂料的性能，在表 4.4.8-1、表 4.4.8-2 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。要想在地下工程中充分发挥防水涂料的防水作用，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，因地下工程施工工期较紧，不允许基面干燥后再进行防水涂料施工。抗渗性是防水涂料最重要的性能，尤其是水泥基渗透结晶型防水涂料的二次抗渗性能，充分体现了这类材料堵塞混凝土结构孔隙的能力。对有机涂料表中分别规定涂膜在砂浆迎水面、背水面所应达到的值；有机防水涂料的特点是有较好的延伸率，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，考虑地下工程的使用要求，此处提出的是浸水后的延伸率值；耐水性也是用于地下工程中的涂料需要强调的一个指标，因地下工程处于地下水的包围之中，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方法和标准，表中的方法和标准是根据地下工程使用要求制定的；实干时间也是实际施工中应注意的指标，它也是根据目前材料的实际情况提出的。

在进行两表数据的制定时，参考了下列标准：

聚氨酯防水涂料 GB/T19250；

聚合物乳液建筑防水涂料 JC/T864；

聚合物水泥防水涂料 JC/T894；

聚氯乙烯弹性防水涂料 JC674；

水泥基渗透结晶型防水材料 GB18445。

7.4.18 反应型高分子类防水涂料、聚合物乳液类防水涂料和水性聚合物沥青类防水涂料等涂料防水层最小厚度不应小于 1.5mm，热熔施工橡胶沥青类防水涂料防水层最小厚度不应小于 2.0mm。

条文说明：防水涂料指使用前呈液体或膏体状态，施工后能通过冷却、挥发、反应固化，形成一定均匀厚度涂层的柔性防水材料。为控制涂层厚度、增加抵抗基层变形破

坏的能力，涂料大面施工时宜铺设胎体增强材料。防水涂料施工成膜厚度是影响防水工程质量的重要指标，本条规定了防水涂料作为一道防水层时在地下工程应用场合所应具有的最小厚度。反应型高分子类防水涂料指以高分子材料为主要成膜物质，加入助剂和(或)填料等，固体含量不小于 85%，呈液体状，通过与空气中湿气或组分间反应固化成膜的防水材料，产品包装形式包括单组分及多组分。产品涉及的现行国家和行业标准包括《聚氨酯防水涂料》GB/T19250、《喷涂聚脲防水涂料》GB/T23446、《聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)防水涂料》JC/T2251、《单组分聚脲防水涂料》JC/T2435。

聚合物乳液类防水涂料指以聚合物乳液为主要成膜物质，加入助剂和(或)填料等，通过水分挥发固化成膜的防水材料，产品包装形式包括单液型及液粉型。产品涉及的现行国家和行业标准包括《聚合物水泥防水涂料》GB/T23445、《聚合物乳液建筑防水涂料》JC/T864、《聚合物水泥防水浆料》JC/T2090。

水性聚合物沥青类防水涂料指以聚合物改性沥青乳液或普通沥青乳液与聚合物乳液混合，加入助剂和(或)填料等，通过水分挥发固化成膜的防水材料，产品包装形式包括单液型及双液型。产品涉及的现行行业标准有《水乳型沥青防水涂料》JC/T408。

热熔施工橡胶沥青类防水涂料指以聚合物改性沥青为主体材料，加入助剂和(或)填料等，室温冷却成膜的防水材料，产品常温下呈膏状或块状。产品涉及的现行行业标准包括《非固化橡胶沥青防水涂料》JC/T2428 和《热熔橡胶沥青防水涂料》JC/T2678。

7.4.19 当热熔施工橡胶沥青类防水涂料与防水卷材配套使用作为一道防水层时，其厚度不应小于 1.5mm。

条文说明：当热熔施工橡胶沥青类防水涂料与防水卷材配套使用作为一道防水层时，防水涂料的厚度可以比单独作为一道防水层薄，但其仍然需要具有防水功能，而不仅仅是胶粘剂，因此厚度不应小于 1.5mm。

7.4.20 外涂型水泥基渗透结晶型防水材料的性能应符合现行国家标准《水泥基渗透结晶型防水材料》GB18445 的规定，防水层的厚度不应小于 1.0mm，用量不应小于 1.5kg/m²。

条文说明：针对水泥混凝土基层的粗糙度和特性，外涂型水泥基渗透结晶型防水材料使用时必须采取用量和厚度双重质量控制措施。

7.4.21 防水砂浆指聚合物水泥防水砂浆、掺外加剂或掺合料的防水砂浆，宜采用多层抹压法施工。

7.4.22 水泥砂浆防水层可用于地下工程主体结构的迎水面或背水面，不应用于受持续振动或温度高于 80℃的地下工程防水。

7.4.23 聚合物水泥防水砂浆与聚合物水泥防水浆料的性能指标应符合表 7.4.23 的规定。

表 7.4.23 聚合物水泥防水砂浆与聚合物水泥防水浆料的性能指标

序号	项 目	性能指标	
		防水砂浆	防水浆料
1	砂浆试件抗渗压力(7d, MPa)	≥ 1.0	
2	粘结强度(7d, MPa)	≥ 1.0	≥ 0.7
3	抗冻性(25 次)	无开裂、无剥落	
4	吸 水 率 (%)	≤ 4.0	

条文说明：聚合物水泥防水砂浆、聚合物水泥防水浆料适用于混凝土、砂浆、砌体等基层。本条规定了这两类材料的关键性能指标，包括抗渗压力、粘结强度、抗冻性和吸水率。试验方法可参照现行行业标准《聚合物水泥防水砂浆》JC/T 984 和《聚合物水泥防水浆料》JC/T 2090。掺入外加剂、防水剂的预拌防水砂浆的抗渗压力和粘结强度的试验方法可按照聚合物水泥防水砂浆执行。

7.4.24 地下工程中聚合物水泥防水砂浆防水层的厚度不应小于 6.0mm，掺外加剂、防水剂的砂浆防水层的厚度不应小于 18.0mm。

条文说明：聚合物水泥砂浆防水层的防水功能主要源于抗渗能力，要达到相应的抗渗能力，应具有一定的厚度。掺入外加剂、防水剂的砂浆防水层因为工作机理不同，需要足够的厚度才能达到抗渗要求。

7.4.25 用于水泥砂浆防水层的聚合物乳液的外观应为均匀液体，无杂质、无沉淀、不分层。聚合物乳液的质量要求应符合国家现行标准《建筑防水涂料用聚合物乳液》JC/T1017 的有关规定。

7.4.26 非结构粘结用建筑密封胶质量损失率，硅酮不应大于 8%，改性硅酮不应大于 5%，聚氨酯不应大于 7%，聚硫不应大于 5%。

条文说明：大量工程应用经验表明，密封胶开裂失效主要是其中填充的低聚物挥发迁移所致。本条根据材料特性规定了质量损失率要求，以控制低聚物的加入量，延长密封胶使用寿命。

7.4.27 橡胶止水带、橡胶密封件和遇水膨胀橡胶制品的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/T18173.2、《高分子防水材料 第 3 部分：遇水

膨胀橡胶》GB/T18173.3 和《高分子防水材料 第 4 部分：盾构法隧道管片用橡胶密封件》GB/T18173.4 的规定。复合密封件弹性橡胶物理性能指标应符合表 7.4.27-1 的规定，遇水膨胀橡胶物理性能指标应符合表 7.4.27-2 的规定。

表 7.4.27-1 弹性橡胶密封件成品物理性能

项目		指标		
		氯丁橡胶	三元乙丙橡胶	
硬度(邵尔 A)（度）		50~60	I 型 a	II 型 b
			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 ⁰ h, 25%≤	30	25	25
	23℃×72 ⁰ h, 25%≤	20	20	15
热空气老化 70℃×96h	硬度变化/度 ≤	8	6	6
	拉伸强度降低率（%） ≤	20	15	15
	拉断伸长率降低率（%） ≤	30	30	30
防霉等级		不低于二级		
表面摩擦系数 ≤		0.8		
a I 型为无孔密封件。 b II 型为有孔密封件。				

表 7.4.27-2 遇水膨胀橡胶密封件胶料物理性能

项 目		技术指标	
更度(邵尔 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℃×2 h)		无裂纹	无裂纹
表面摩擦系数 ≤		0.8	

条文说明：橡胶止水带的耐久性应满足现行国家标准《高分子防水材料第 2 部分：止水带》GB/T 18173.2 的规定。

橡胶密封件的主要功能是保证盾构法隧道管片环、纵向接缝的长期密封防水，故应具有一定的强度、弹性和耐久性要求，产品性能应符合现行国家标准《高分子防水材料 第 4 部分：盾构法隧道管片用橡胶密封件》GB/T18173.4 的规定。

遇水膨胀橡胶制品主要用于施工缝、后浇带及管片环、纵缝等接缝部位的密封，应

具有多次干湿循环后保持完整性的能力，产品性能应符合现行国家标准《高分子防水材料 第 3 部分：遇水膨胀橡胶》GB/T18173.3 和《高分子防水材料 第 4 部分：盾构法隧道管片用橡胶密封件》GB/T18173.4 的规定。

7.4.28 塑料防水板防水层适用于经常受水压、侵蚀性介质或受振动作用的地下工程防水，由塑料防水板与缓冲层组成，可根据工程地质、水文地质条件和工程防水要求，采用全封闭、半封闭或局部封闭铺设。

条文说明：塑料防水板防水层由缓冲层与塑料防水板组成。铺设前，必须先铺设缓冲层，这样一方面有利于无钉铺设工艺的实施，另一方面防止防水板被刺穿。

全封闭铺设适合于以堵为主的工程，半封闭铺设适合于排堵结合型的工程，局部铺设适合于地下水不发育，且防水要求不高的隧道。水量大、水压高的工程，不宜进行全封闭防水，应采取排堵结合或限量排放的防水形式。

7.4.29 塑料防水板防水层宜铺设在复合式衬砌的初期支护和二次衬砌之间。

条文说明：塑料防水板防水层属外防水结构，铺设在初期支护与二次衬砌之间。防水板不仅起防水作用，而且对初期支护和二次衬砌还起到隔离和润滑作用，防止二次衬砌混凝土因初期支护表面不平而出现开裂，保护和发挥二次衬砌的防水效果。

7.4.30 塑料防水板防水层应牢固地固定在基面上，固定点的间距应根据基面平整情况确定，拱部宜为 0.5~0.8m、边墙宜为 1.0~1.5m、底部宜为 1.5~2.0m。局部凹凸较大时，应在凹处加密固定点。暗钉圈应采用与塑料防水板相容的材料制作，直径不应小于 80mm。

7.4.31 塑料防水板应符合下列规定：

- 1 幅宽宜为 2~4m；
- 2 厚度不得小于 1.2mm；
- 3 应具有良好的耐穿刺性、耐久性、耐水性、耐腐蚀性、耐菌性；
- 4 塑料防水板主要性能指标应符合表 7.4.31 的规定。

表 7.4.31 塑料防水板主要性能指标

项 目	性 能 指 标			
	乙烯-醋酸乙烯共聚物（EVA）	乙烯-沥青共混聚合物（ECB）	聚氯乙烯（PVC）	高密度聚乙烯（HDPE）

拉伸强度(MPa)	≥16	≥14	≥10	≥16
断裂延伸率(%)	≥550	≥500	≥200	≥550
不透水性, 120min(MPa)	≥0.3	≥0.3	≥0.3	≥0.3
低温弯折性	— 35℃无裂纹	— 35℃无裂纹	-20℃无裂纹	— 35℃无裂纹
热处理尺寸变化率(%)	≤2.0	≤2.5	≤2.0	≤2.0

条文说明：本条参考了现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB50208，结合地下工程防水的特点和不同材质制作的塑料防水板的要求，依据《高分子防水材料》GB18173.1 的标准规定，提出了塑料防水板的物理力学性能，便于在设计施工中选用。

防水板的幅宽应尽量宽些，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。

根据近年来工程实践来看，防水板的幅宽以 2~4m 为宜。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，在地下工程防水中应用时，塑料防水板的厚度不得小于 1.2mm。

防水板铺设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。

初期支护为锚喷支护时，支护后围岩仍在变形，即使整个工程建成后，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延伸率。

耐穿刺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穿刺性，以免板被刺破使其完整的防水性遭到破坏。

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。

抗渗性是防水板非常重要的性能。但目前的试验方法不能反映防水板处于地下受水长期作用这一条件，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。

防水板的物理力学性能是根据现在使用较多的几种防水板的性能综合考虑提出的，

有些防水板的某些指标值可能远远大于表中的规定值，设计选用时可根据工程的要求及投资等情况合理选用。

7.4.32 缓冲层宜采用无纺布或聚乙烯泡沫塑料，缓冲层材料的性能指标应符合表 7.4.32 的规定。

表 7.4.32 缓冲层材料性能指标

性能指标 材料名称	抗拉强度 (N/50mm)	伸长率(%)	质量 (g/m ²)	顶破强度 (kN)	厚度(mm)
聚乙烯泡沫塑料	>0.4	≥100	——	≥5	≥5
无纺布	纵横向≥700	纵横向≥50	>300	#	——

条文说明：本条规定了地下工程中常用的塑料防水板防水层缓冲层材料的种类和技术性能。

7.4.33 变形缝用橡胶止水带的物理性能应符合表 7.4.33 的要求。

表 7.4.33 橡胶止水带物理性能

项目		性能要求		
		B 型	S 型	J 型
硬度(邵尔 A, 度)		60±5	60±5	60±5
拉伸强度(MPa)		≥15	≥12	≥10
扯断伸长率(%)		≥380	≥380	≥300
压缩永久变形	70℃×24h,%	≤35	≤35	≤25
	23℃×168h,%	≤20	≤20	≤20
撕裂强度(kN/m)		≥30	≥25	≥25
脆性温度(℃)		≤-45	≤-40	≤-40
热空气老化	70℃×168h	硬度变化(邵尔 A,度)	8	8
		• 拉伸强度(MPa)	≥12	≥10
		扯断伸长率(%)	≥300	≥300
	100℃×168h	硬度变化(邵尔 A,度)	——	—
		拉伸强度(MPa)	—	≥9

		扯断伸长率(%)			≥250
橡胶与金属粘合			断面在弹性体内		

注：1 B 型适用于变形缝用止水带，S 型适用于施工缝用止水带，J 型适用于有特殊耐老化要求的接缝用止水带；
2 橡胶与金属粘合指标仅适用于具有钢边的止水带。

条文说明：止水带一般分为刚性(金属)止水带和柔性(橡胶或塑料)止水带两类。目前，由于生产塑料及橡塑止水带的挤出成型工艺问题，造成外观尺寸误差较大，其物理力学性能不如橡胶止水带；橡胶止水带的材质是以氯丁橡胶、三元乙丙橡胶为主，其质量稳定、适应能力强，国内外采用较普遍。

表 5.1.8 给出的变形缝用止水带物理性能的技术性能指标，主要是参考《高分子防水材料 第二部分 止水带》GB18173.2 提出的，施工时应抽样复检拉伸强度、扯断伸长率和撕裂强度等项目。钢边橡胶止水带是在止水带的两边加有钢板，使用时可起到增加止水带的渗水长度和加强止水带与混凝土的锚固作用，多在重要的地下工程中使用。表 5.1.8 所列橡胶与金属粘合指标，适用于具有钢边的橡胶止水带。

7.4.34 密封材料应采用混凝土建筑接缝用密封胶，不同模量的建筑接缝用密封胶的物理性能应符合表 7.4.34 的要求。

表 7.4.34 建筑接缝用密封胶物理性能

项 目			性 能 要 求			
			25(低模量)	25(高模量)	20(低模量)	20(高模量)
流 动 性	下垂度 (N 型)	垂直(mm)	≤3			
		水平(mm)	≤3			
	流平性(S 型)		光滑平整			
挤出性(ml/min)			≥80			
弹性恢复率(%)			≥80		≥60	
拉伸模量(MPa)		23℃ — 20℃	≤0.4 和 ≤0.6	> 0 . 4 或 >0.6	≤0.4 和 ≤0.6	> 0 . 4 或 >0.6
定伸粘结性			无破坏			
浸水后定伸粘结性			无破坏			
热压冷拉后粘结性			无破坏			
体积收缩率(%)			≤25			

注：体积收缩率仅适用于乳胶型和溶剂型产品。

条文说明：根据变形缝的使用功能和密封材料的弹性模量提出了一些性能指标，比较符合工程实际。

变形缝所用密封材料，必须经受得起长期的压缩和拉伸、振动及疲劳等作用。本条规定密封材料应采用混凝土接缝用密封胶，密封胶应具有一定弹性、粘结性、耐候性和位移能力。同时，由于密封胶是不定型的膏状体，因此还应具有一定的流动性和挤出性。

表 7.4.34 给出的密封胶的物理性能，主要是参考《混凝土建筑接缝用密封胶》JC/T881—2001 提出的。密封胶按位移能力分为 25 和 20 两个级别，按拉伸模量分为低模量(LM)和高模量(HM)两个次级别，也称为弹性密封胶。施工现场应抽样复检拉伸模量、定伸粘结性和断裂伸长率等项目。

选用时应注意，迎水面宜采用低模量的密封材料、背水面宜采用高模量的密封材料。

7.4.35 混凝土膨胀剂的物理性能应符合表 7.4.35 的要求。

表 7.4.35 混凝土膨胀剂物理性能

项 目			性能指标
细度	比表面积(m ² /kg)		≥250
	0.08mm 筛余(%)		≤12
	1.25mm 筛余(%)		≤0.5
凝结时间	初凝(min)		≥45
	终凝(h)		≤10
限制膨胀率(%)	水中	7d	≥0.025
		28d	≤0.10
	空气中	21d	≥-0.020
抗压强度(MPa)	7d		≥25.0
	28d		≥45.0
抗折强度(MPa)	7d		≥4.5
	28d		≥6.5

条文说明：混凝土膨胀剂是指与水泥、水拌合后经水化反应生成钙矾石或氢氧化钙，使混凝土产生膨胀的一种外加剂。膨胀剂种类较多，从国内外应用效果和可靠性来看，以形成钙矾石和氢氧化钙的膨胀剂性能较为稳定。现行行业标准《混凝土膨胀剂》JC476 中把混凝土膨胀剂分为三类：硫铝酸钙类、氧化钙类和复合膨胀剂类。鉴于我国的混凝土中大多掺入粉煤灰、矿渣粉等掺合料，膨胀剂也可视为特殊掺合料。表 5.2.8 规定的混凝土膨胀剂的物理性能，主要是参考《混凝土膨胀剂》JC476 中的有关物理性能指标。施工现场应抽样复检细度、凝结时间、水中 7d 限制膨胀率、抗压强度和抗折强度等项目。

7.4.36 当采用丙酸盐喷膜防水层时，喷膜厚度不应小于 3mm，防水加强层厚度不应小于 1.0mm。喷膜防水层施作于平整基面上时，可直接喷涂在结构表面；施作于喷射混凝土衬砌等较为粗糙的基面时宜设置隔离层。丙酸盐喷膜防水层的性能应符合表 7.4.36 要求。

表 7.4.36 丙酸盐喷膜防水层性能

序号	项 目		要 求
1	不透水性(0.4MPa,120min)		不透水
2	黏结强度 (MPa)	干燥基面	≥ 0.4
		潮湿基面	≥ 0.5
3	拉伸强度 (MPa)	无处理	≥ 1.2
		碱处理	≥ 0.4
		盐处理	≥ 0.4
4	断裂伸长率	无处理	$\geq 250\%$
		碱处理	$\geq 400\%$
		盐处理	$\geq 400\%$
5	撕裂强度 (kN/m)		≥ 5.0
6	低温柔性		-20 ℃,无裂纹、断裂
7	硬度(邵尔 A) (度)		≥ 60
8	耐冲击性 (kg · m)		≥ 1.0
9	燃烧性能等级		B1

7.4.37 注浆材料宜符合下列要求：

- 1 具有良好的可灌性和稳定性；
- 2 凝胶时间可根据需要调节；
- 3 固化时收缩小，与岩石、混凝土、土壤等有一定的粘结力；
- 4 固结后有一定的抗压、抗拉强度和抗渗性、耐久性；
- 5 当地下水有侵蚀性时应具有相应的耐侵蚀性；
- 6 无毒或低毒，对环境污染小；
- 7 注浆工艺简单，操作方便、安全。

7.4.38 注浆材料的选用，应根据工程地质条件、水文地质条件、注浆目的、注浆工艺、设备和成本等因素确定，并应符合下列规定：

- 1 预注浆和衬砌前围岩注浆，宜采用水泥浆液或水泥-水玻璃浆液，必要时可采用化学浆液；

- 2 衬砌后围岩注浆，宜采用水泥浆液、超细水泥浆液或自流平水泥浆液等；
- 3 回填注浆宜选用水泥浆液、水泥砂浆或掺有膨润土的水泥浆液；
- 4 衬砌内注浆宜选用超细水泥浆液、自流平水泥浆液或化学浆液。

条文说明：注浆材料的品种很多，且某种材料不能完全符合所有条件，因此必须根据工程水文地质条件、注浆目的、注浆工艺及设备、成本等因素综合考虑，合理选择注浆材料。

1 预注浆、衬砌前围岩注浆，注浆情况比较复杂，裂隙孔隙有大有小，裂隙宽度大于 0.2mm 的岩层或砂子平均粒径大于 1.0mm 的粗砂地层可采用水泥浆、水泥-水玻璃浆；裂隙宽度小于 0.2mm 的岩层或平均粒径小于 1.0mm 的中细砂层，且堵水要求较高，可采用超细水泥浆、超细水泥-水玻璃浆，特殊情况下可采用化学浆液。也可将水泥浆和化学浆配合使用。

2 防水混凝土衬砌一般孔隙小、裂缝细微，普通水泥浆颗粒大，难以注入，必须选用特种水泥浆或化学浆。

特种水泥浆是除普通水泥浆之外的其他水泥浆，如超细水泥浆、自流平水泥浆、硫铝酸盐水泥浆等。

7.4.39 水泥类浆液宜选用普通硅酸盐水泥，其他浆液材料应符合有关规定。浆液的配合比，应经现场试验后确定。

7.4.40 管片接缝防水材料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 管片接缝防水密封件、螺栓孔密封圈性能与截面尺寸应符合设计要求。

7.4.41 管片拼缝防水所用遇水膨胀防水材料在运输、存放和安装使用前应采取防雨、防潮、防暴晒措施，并应在现场设专门库房存放，以免失效；管片外包防水所用防水涂料宜选用金属桶装材料，运输、存放和涂刷使用前应采取防碰撞、防暴晒措施。

II 排水材料

7.4.42 环、纵向盲沟(管)宜采用塑料丝盲沟，其规格、性能应符合国家现行标准《软式透水管》JC 937 的有关规定。

7.4.43 中心盲沟(管)宜采用预制无砂混凝土管，强度不应小于 3MPa。

条文说明：规定无砂混凝土排水管强度的目的是防止施工或使用过程中被压扁而缩小排水空间。

8 检验和验收

8.1 检 验

8.1.1 防水工程所使用的防水材料应符合下列规定：

- 1 应有产品合格证、出厂检验报告和性能检测报告，其中卷材应有生产许可证。材料品种、规格、性能等应符合相关标准规定、产品使用说明及设计要求；
- 2 对进场的防水材料应按相关标准以及本规程的规定见证抽样复验，并提交检测报告；
- 3 不合格的材料严禁使用。

8.1.2 丙烯酸盐喷膜防水材料中的 A 液、B 液自生产之日起，贮存期超过 6 个月以后应进行检验，合格后方可使用。

8.1.3 施工现场质量管理应有相应的施工技术标准、健全的质量管理体系和施工质量检验制度。施工现场质量管理检查记录，应由施工单位按相关资料管理规程的规定填写，总监理工程师进行检查，并作出检查结论。

8.1.4 施工单位作为防水工程施工质量控制的主体，应对防水施工质量进行全过程控制，对施工质量负责；并接受建设单位、监理单位和设计单位等各方按有关规定的管理。

8.1.5 地下工程的防水施工，应建立各道工序的自检、交接检和专职人员检查的“三检制”，并有完整的检查记录。未经监理单位对上道工序的检查确认，不得进行下道工序的施工。

8.1.6 工程采用的主要材料、构配件和设备，施工单位应对其外观、规格、型号、性能指标和质量证明文件等进行验收，并经监理工程师检查认可；防水材料进入现场应进行见证抽样复检，合格后方可使用。

8.1.7 防水工程施工所采用的承包合同文件和工程技术文件等，对防水施工质量要求不得低于本规程的规定。

8.2 验 收

8.2.1 应按规定的防水等级标准进行验收。

8.2.2 防排水工程施工质量应按下列要求进行验收：

- 1 施工质量应符合本规程和相关专业验收标准的规定，符合工程设计文件的要求；
- 2 工程施工质量的验收，应在施工单位自行检查评定合格的基础上进行；
- 3 隐蔽工程在隐蔽前应由施工单位通知监理单位进行验收，变形缝等重要部位应会同设计单位共同进行验收，并形成隐蔽工程检查记录；
- 4 涉及结构安全的试块、试件以及有关材料，监理单位应按规定进行平行检验或见证取样检测；
- 5 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行验收；
- 6 承担见证取样检测的单位应具有相应的资质。

9 运营监测与维护

9.1 运营监测

9.1.1 运营期监测应包括各级控制网的复测、构筑物变形监测等，应采用稳定的基准点对构筑物进行变形监测。

9.1.2 运营期存在下列情况时，运营单位应对隧道相关的建筑结构或周边环境进行监测：

- 1 施工阶段未稳定，需要进行观测的结构物。
- 2 不良地质条件的地区或地段。
- 3 地面沉降对隧道影响大的地区或地段。
- 4 邻近隧道两侧进行城市建设的地段。
- 5 其他工程与隧道衔接、交叉、穿越的地段。
- 6 自然灾害或外力作用对隧道产生较大影响的地段。
- 7 在过江、过河隧道段疏浚作业。
- 8 修建塘堰、开挖河道水渠、采石、挖砂、打井取水。
- 9 冲淤变化幅度较大的水域地段。
- 10 其他存在险情或运营安全隐患的地段或条件。

9.1.3 运营期监测方案编制应在收集施工阶段变形监测资料的基础上，结合自身施工或周边建设对隧道结构的影响等因素制定。

9.1.4 运营期监测应利用建设期间稳定可靠的基准点、工作基点和变形观测点。

9.1.5 运营期监测应充分利用建设期间设置的变形监测点，并根据运营监测需要增设监测点。

条文说明：考虑到监测数据的连续性、变形可对比性和监测工作的经济性，应充分利用施工阶段的监测点开展延续项目的监测工作。监测基准点也应利用施工阶段布设的基准点，当基准点的位置和数量不能满足现场观测要求时可重新埋设，其位置和数量要根据整条线路情况统筹考虑。隧道结构变形监测中的监测点应埋设牢固并能反映监测对象变形状况，基准点或监测点被破坏时要及时恢复。

9.1.6 运营期隧道邻近施工活动开始前，应评估其对隧道的影响程度，制定针对性监测方案，必要时应进行自动化实时监测。

9.1.7 运营期监测的频次应根据变形的程度和变化速率确定监测频次，条件许可时使用自动化监测手段。

9.2 运营维护

9.2.1 隧道防排水运营维护应以预防为主，建立完善的检查体系，进行详细的检查，并采取必要对策避免防排水系统功能劣化。

9.2.2 隧道沟槽施工前，应对泄水孔进行通水试验，施工过程中对防排水系统有效性予以记录，对存在病害情况应及时整治处理。

9.2.3 隧道静态验收时应应对隧道排水系统进行检查，对泄水孔堵塞及其他防排水系统病害情况应予以整治处理，对结晶物易析出地段建立台账记录，对其成分、结晶程度、耐高压冲洗程度予以评判，以便于后期运营管养维护。

9.2.4 线路运营后，除常规日常巡查外，建议结合线路运营维护周期进行定期防排水系统维护，一般周期不超过一个季度，建议根据管养区段配备相应专用维护设备。

9.2.5 雨季前、雨季后以及发生暴雨后应重点检查盲管（沟）、侧沟、截水沟等防排水系统，观测记录淤塞进展、结构渗漏水情况。

9.2.6 应定期对沟槽及盖板进行检查，正常情况下应定期对沟槽进行清淤，对洞内杂物进行清扫，保证水沟排水通畅、盖板内外透气正常。

9.2.7 运营维护及克缺整治过程中应避免破坏防水层。

9.2.8 应对隧道内设置的机械排水管路进行定期检查，重点检查接头密封性、管道耐久性，针对地下水腐蚀性较强的隧道或区段应登记造册，重点关注。

用 词 说 明

执行本技术规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

（1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

（2）表示严格，在正常情况均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

（3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

（4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

- 1 《建筑与市政工程防水通用规范》 GB55030
- 2 《地下工程防水技术规范》 GB50108
- 3 《铁路隧道设计规范》 TB 10003
- 4 《隧道工程防水技术规程》 DGTJ08-50
- 5 《隧道工程防水技术规范》 CECS370
- 6 《轨道交通地下工程防水技术规程》 DB11/581
- 7 《地铁设计规范》 GB50157
- 8 《公路隧道防排水技术规程》 T/CECS G:D72-01
- 9 《铁路混凝土结构耐久性设计规范》 TB10005
- 10 《盾构法水下交通隧道技术规程》 Q/CRCC 33304
- 11 《高速铁路设计规范》 TB 10621
- 12 《城际铁路设计规范》 TB10623
- 13 《丙稀酸盐喷膜防水应用技术规程》 CECS342
- 14 《铁路工程喷膜防水材料 第 1 部分：喷涂丙稀酸盐》 Q/CR 517.1
- 15 《高分子防水材料 第 4 部分：盾构法隧道管片用橡胶密封件》 GB 18173.4

中国工程建设标准化协会标准

铁路凹型纵坡隧道防排水技术规程

Technical Specification for Waterproofing & Drainage of Concave Slope
Railway Tunnel

T/CECS XXX—20XX

（条文说明）

