



T/CECS G XXXX: 2026

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路盾构隧道防水技术规程

Technical Specification for Waterproofing of Road Shield Tunnel

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

公路盾构隧道防水技术规程

Technical Specification for Waterproofing of Road Shield Tunnel

T/CECS G: XXX

主编单位：中交第二公路勘察设计院有限公司

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：20XX年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

北 京

征求意见稿

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2020 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2020]14 号）的要求，由中交第二公路勘察设计院有限公司承担《公路盾构隧道防水技术规程》（以下简称“本规程”）的制订工作。

编写组在系统总结国内公路盾构隧道防水技术工程实践经验和研究成果的基础上，完成了本规程的编制工作。

本规程分为 7 章、1 篇附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、防水材料、防水设计、防水施工、渗漏水治理，附录 A 隧道渗漏水检测记录表。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由中交第二公路勘察设计院有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本标准日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或刘继国（地址：湖北省武汉市经济技术开发区创业路 18 号；邮编：430056；电子邮箱：liujiguogg@163.com），以便修订时研用。

主 编 单 位：中交第二公路勘察设计院有限公司

参 编 单 位：中交一公局集团有限公司

中交第二航务工程局有限公司

中交隧道工程局有限公司

同济大学

中国科学院武汉岩土力学研究所

江阴海达橡塑股份有限公司

主 编：程 勇

主要参编人员：

主 审：李伟平

参与审查人员：郭小红 韩常领 刘洪洲 陈 健 胡云华 李东彪

征求意见稿

征求意见稿

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
4	防水材料	7
4.1	一般规定	7
4.2	管片防水混凝土	7
4.3	管片外防水涂层	8
4.4	管片接缝防水材料	10
4.5	螺栓孔及注浆孔密封材料	13
4.6	注浆材料	14
4.7	其他材料	15
5	防水设计	17
5.1	一般规定	17
5.2	管片结构自防水设计	17
5.3	管片外防水涂层设计	18
5.4	管片接缝防水设计	19
5.5	螺栓孔及注浆孔防水设计	25
5.6	特殊节点防水设计	25
5.7	特殊地质环境防水设计	26
6	防水施工	28
6.1	一般规定	28
6.2	管片预制与养护	29
6.3	防水材料施工	32

6.4 盾构掘进控制35

6.5 管片拼装控制37

6.6 隧道防水辅助施工39

6.7 施工期监测及维护41

7 渗漏水治理44

7.1 一般规定44

7.2 渗漏水病害检测44

7.3 渗漏水治理措施47

7.4 渗漏水治理材料48

7.5 渗漏水治理施工49

附录 A51

本规程用词用语说明52

1 总则

1.0.1 为规范公路盾构隧道防水的设计、施工和渗漏水治理，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建公路盾构隧道盾构段防水的设计、施工和渗漏水治理，在役公路盾构隧道盾构段渗漏水治理可参照本规程执行。

1.0.3 公路盾构隧道防水应遵循“以结构自防水为根本、以接缝防水为重点、多道防线、以防为主、防排结合、综合治理”的原则。

1.0.4 公路盾构隧道防水设计、施工和渗漏水治理应积极稳妥地采用新技术、新材料、新设备、新工艺。

1.0.5 公路盾构隧道防水设计、施工和渗漏水治理除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定。

2 术语

2.0.1 公路盾构隧道 highway shield tunnel

采用盾构掘进并拼装预制管片衬砌的公路隧道。

2.0.2 隧道防水 tunnel waterproofing

为满足隧道工程在设计使用年限内的防水设防要求所进行的防水设计、施工和维护等工作的总称。

2.0.3 防水设计工作年限 design working life of waterproofing

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。

2.0.4 隧道防水等级 waterproof grade of tunnel

根据隧道的工程防水类别和工程防水使用环境所划分的不同防水等级。

2.0.5 管片自防水 segment self-waterproofing

通过采用防水混凝土、合理配比、严格养护及外防水涂层等措施，使预制混凝土管片本身具备的抗渗防水能力。

2.0.6 管片接缝防水体系 segment joint waterproofing system

由防水密封垫、挡砂(水)条、螺孔密封圈、嵌缝材料及二次衬砌等组成的，设置于管片环缝、纵缝处的多道组合式防水系统的总称。

2.0.7 接缝防水 joint waterproof

采用防水密封材料对隧道结构的接缝进行密封，以防止水体侵入隧道结构内侧。

2.0.8 弹性橡胶密封垫 elastic rubber gasket

由合成橡胶制成的，利用弹性压密原理，以接触面压应力来止水的管片接缝用密封垫。

2.0.9 遇水膨胀橡胶密封垫 water-swell able rubber gasket

由遇水膨胀橡胶制成的，在遇水后产生体积膨胀，以达到止水或辅助止水作用的管片接缝用密封垫。

2.0.10 复合型橡胶密封垫 composite rubber gasket

由弹性橡胶与遇水膨胀橡胶经复合工艺（如共挤硫化）一体加工而成，兼有二者性能

的管片接缝用密封垫。

2.0.11 壁后注浆 back-fill grouting

用浆液填充隧道衬砌环与地层之间空隙的施工工艺。

2.0.12 动态检漏 dynamic leak detection

根据前期管片抗渗检漏试验的合格率，动态调整后续批次抽检频率的检漏方法。

2.0.13 渗漏治理 remedial waterproofing

通过修复或重建防(排)水功能，减轻或消除渗漏水不利影响的过程。

2.0.14 注浆止水 grouting method for leak-stoppage

钻孔穿过基层渗漏水部位，在压力作用下注入灌浆材料并切断渗漏水通道的方法。

3 基本规定

3.0.1 公路盾构隧道可按管片外径划分为两类，划分标准应符合表 3.0.1 的规定。

表 3.0.1 公路盾构隧道按管片外径分类

公路等级	大直径盾构隧道	超大直径盾构隧道
管片外径（m）	10~14	>14

条文说明

采用盾构法修建的公路隧道一般至少为两车道隧道，目前比较常见的则是三车道隧道。国内早期建设的两车道公路盾构隧道有杭州庆春路过江隧道、上海人民路越江隧道、舟山普陀湾隧道等 12 座，管片外径均在 11.3m 左右。国内第一座三车道公路盾构隧道为 2006 年开建的上海长江隧道，管片外径 15m。后续开建的三车道公路盾构隧道还有杭州钱江隧道、南京和燕路过江通道、北京东六环改造工程、江阴靖江过江通道等 10 座，管片外径主要为 14.5~15.5m，其中香港屯门至赤鱗角连接工程、济南市黄岗路穿黄隧道工程、海太长江隧道等 3 座隧道的管片外径已达到 16m 级。根据国内盾构隧道数据统计的习惯、车道数与管片外径的关联性，将公路盾构隧道按管片外径分为大直径盾构隧道和超大直径盾构隧道。

3.0.2 公路盾构隧道工程防水设计工作年限不应低于隧道工程结构设计工作年限。

条文说明

国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030-2022 对地下工程防水设计提出了“不应低于工程结构设计工作年限”的规定。“设计工作年限”是“设计使用年限”的一种新的表述，并在国家标准《工程结构通用规范》GB 55001-2021 中进行了规定。其他暂未完成修订的标准仍使用“设计使用年限”。因此，隧道防水设计工作年限可按隧道设计使用年限考虑，并依据现行行业标准《公路工程技术标准》JTG B01 确定。

3.0.3 公路水下盾构隧道的工程防水类别应为甲类，其他公路盾构隧道的工程防水类别应为乙类。

条文说明

国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030-2022 在条文说明中将跨海隧道、过江隧道、湖底隧道的工程防水类别列为甲类，同列其中的还有地铁车站及人行通道、变电站等设备集中区段。不同的是，后者的重要性主要体现在大量人员活动或电力设施对渗漏敏感，而前者的重要性主要体现在渗漏对水下隧道驾驶人员的心理影响以及发生大量渗水对水下隧道的安全性威胁。国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030-2022 在条文说明中将地铁区间隧道及联络通道、综合管廊、道路隧道的工程防水类别列为乙类，非水下的公路盾构隧道与上述工程类似，可参照执行。

3.0.4 公路盾构隧道工程防水等级应依据工程类别、工程地质条件确定，并符合表 3.0.4 的规定。

表 3.0.4 公路盾构隧道工程防水等级

防水类别	工程地质条件	防水等级	工程示例
甲类	-	一级	公路水下盾构隧道
乙类	富水地层，最大水压力不小于 0.3MPa	一级	位于富水砂层的陆地隧道
	富水地层，最大水压力小于 0.3MPa	二级	位于水位较低富水砂层的陆地隧道
	弱透水层~极不透水层	二级	位于粉质黏土层的陆地隧道

条文说明

国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030-2022 中仅规定“暗挖法地下工程防水等级应根据工程类别、工程地质条件和施工条件等因素确定”，并未具体规定盾构隧道的防水等级。同时，在条文说明中对地铁区间隧道、城市综合管廊隧道给出了“防水等级不应低于二级”的规定。考虑到公路水下盾构隧道的工程防水类别为甲类，工程防水使用环境类别为Ⅰ类，均为最需重视的类别，因此其防水等级采用一级是合理的。其他公路盾构隧道主要指陆地盾构隧道，与地铁区间隧道、城市综合管廊隧道相似，其防水等级按二级及以上进行考虑，具体等级的确定需考虑工程地质条件、最大水压力等影响因素。

3.0.5 公路盾构隧道工程的防水标准应符合表 3.0.5 的规定。

表 3.0.5 公路盾构隧道工程的防水标准

工程防水类别	防水标准
甲类	不应有渗水，结构背水面无湿渍。
乙类	不应有滴漏、线漏，结构背水面可有零星分布的湿渍。

条文说明

国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030-2022 对防水工程质量检验合格判定标准进行了规定。该标准与工程类型和工程防水类别相关，本规程针对公路盾构隧道工程进一步明确了相关规定。对于渗漏水现象的定义见表 1。

表 1 渗漏水现象的定义

渗漏水现象	防水标准
湿渍	管片混凝土结构背水面呈现明显色泽变化的潮湿斑。
滴漏	管片混凝土结构的顶板或拱顶，渗漏水滴落速度至少为 1 滴/min。
线漏	管片混凝土结构背水面呈线漏成线或喷水状态。

3.0.6 防水材料的耐久性应与工程防水设计工作年限相适应，其性能应满足防水等级、防水标准的要求。

3.0.7 公路盾构隧道防水设计应根据使用功能与要求、使用年限、结构构造特点、工程地质与水文地质条件、环境条件及施工方法等因素综合确定，应做到方案可靠、选材适当、耐久适用、经济合理。

3.0.8 盾构隧道防水施工应严格按照设计文件执行，并应对影响防水效果的施工工序进行过程控制和质量检验。

3.0.9 盾构隧道渗漏水治理应遵循“以堵为主、堵排结合、因地制宜、多道设防、综合治理”的原则，并应分析渗漏原因、制定专项方案，治理后的防水标准不应低于原设计要求。

4 防水材料

4.1 一般规定

- 4.1.1 防水材料影响环境的物质和有害物质限量应满足要求。
- 4.1.2 外露使用的防水材料燃烧性能等级不应低于 B2 级。
- 4.1.3 新型防水材料应经过技术鉴定和工程试应用验证，并应在确保工程质量与耐久性的前提下使用。

4.2 管片防水混凝土

- 4.2.1 水泥应选用低水化热的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，强度等级不应低于 42.5MPa。
- 4.2.2 粉煤灰宜采用符合 GB/T 1596—2017 中 I 级技术要求的 F 类粉煤灰。
- 4.2.3 粒化高炉矿渣粉应采用符合 GB/T 18046—2017 中 S95 及以上技术要求的粒化高炉矿渣粉。
- 4.2.4 细集料不应使用海砂和山砂，并符合 JTG/T 3650—2020 中 II 类及以上的规定。
- 4.2.5 粗集料的岩石抗压强度不应小于管片混凝土设计强度的 2 倍。
- 4.2.6 减水剂不应使用氯盐类外加剂或其他对钢筋有腐蚀作用的外加剂，并应符合下列规定：
 - 1 宜使用高效减水剂，减水率不应小于 25%。
 - 2 氯离子含量不宜大于 0.02%。
 - 3 碱含量按折固含量计不宜大于 10%，且应限制水泥中碱含量与外加剂中氯离子含量的叠加效应。
- 4.2.7 对于有抗裂要求的管片，宜在防水混凝土中加入合成纤维或钢纤维，并应符合下列规定：
 - 1 纤维的类型与掺量应通过试验确定。
 - 2 合成纤维应采用符合 GB/T 21120—2018 中单丝纤维技术要求的合成纤维，断裂强

度不应小于 350MPa。

3 钢纤维应采用符合 GB/T 39147—2020 中技术要求的钢纤维，弯曲性能不应小于 90%。

4.2.8 管片防水混凝土的水胶比不应大于 0.45。

4.2.9 管片防水混凝土的耐久性应符合下列规定：

- 1 氯离子扩散系数不宜大于 $3 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 。
- 2 混凝土总碱量不应大于 $2.5 \text{kg}/\text{m}^3$ 。
- 3 氯离子含量不应超过胶凝材料重量的 0.06%。

4.3 管片外防水涂层

4.3.1 管片外防水涂层应具有良好的耐水性、耐化学腐蚀性、抗微生物侵蚀性、耐磨性，并应无毒或低毒。

4.3.2 管片外防水涂层在管片外弧面混凝土裂缝宽度达到设计最大容许宽度时，应能确保在最大埋深处水压下不渗漏。

4.3.3 管片外防水涂层应能在盾构密封用钢丝刷与钢板的挤压、摩擦条件下不损伤、不脱落，并保持良好的防水性能。

4.3.4 反应型防水涂料的性能指标应符合表 4.3.4 的规定。

表 4.3.4 反应型防水涂料的性能指标

序号	项目		性能指标
1	固体含量/%		≥ 60
2	可操作时间/min		≥ 20
3	干燥时间/h	表干时间	≤ 12
		实干时间	≤ 24
4	柔韧性		涂层无开裂
5	粘结强度/MPa	干基面	≥ 3.0
		潮湿基面	≥ 2.5
		浸水处理	≥ 2.5
		热处理	≥ 2.5
6	涂层抗渗压力/MPa		≥ 1.0
7	耐水性/%		≥ 80
8	抗冻性		涂层无开裂、起皮、剥落

序号	项目		性能指标
9	耐化学介质	耐酸性	涂层无开裂、起皮、剥落
		耐碱性	涂层无开裂、起皮、剥落
		耐盐性	涂层无开裂、起皮、剥落
10	抗冲击性（落球法）/（500g，500mm）		涂层不开裂、脱落

条文说明

反应型防水涂料一般指环氧树脂防水涂料，其性能参数综合了《地下工程防水技术规范》GB50108-2008 和《环氧树脂防水涂料》JCT 2217-2014 的相关规定。考虑到盾构隧道承受的水压较大，本规程在粘结强度、抗渗压力方面给出了更高的要求。

4.3.5 水泥基渗透结晶型防水涂料的性能指标应符合表 4.3.5 的规定。

表 4.3.5 水泥基渗透结晶防水涂料的性能指标

序号	项目		性能指标
1	外观		均匀、无结块
2	含水率/%		≤1.5
3	细度（0.63mm 筛余）/%		≤5
4	氯离子含量/%		≤0.10
5	施工性	加水搅拌后	刮涂无障碍
		20min	刮涂无障碍
6	抗折强度（28d）/MPa		≥4.0
7	抗压强度（28d）/MPa		≥15.0
8	湿基面黏结强度（28d）/MPa		≥1.0
9	管片混凝土抗渗性能	带涂层混凝土的抗渗压力（28d）*/MPa	报告实测值
		抗渗压力比（带涂层）（28d）/%	≥250
		去除涂层混凝土的抗渗压力（28d）*/MPa	报告实测值
		抗渗压力比（去除涂层）（28d）/%	≥175
		带涂层混凝土的第二次抗渗压力（56d）/MPa	≥1.0
*基准混凝土 28d 抗渗压力应为 $0.4^{+0.0}_{-0.2}$ MPa，并在产品质量检验报告中列出。			

条文说明

水泥基渗透结晶型防水涂料的性能参数综合了《地下工程防水技术规范》GB50108-2008 和《水泥基渗透结晶型防水材料》GB 18445-2012 的相关规定。考虑到盾构隧道承受的水压较大，本规程在抗折强度、带涂层混凝土的第二次抗渗压力方面给出了更高的要求。

4.4 管片接缝防水材料

4.4.1 管片接缝防水用三元乙丙橡胶弹性密封垫不应使用再生橡胶，其成品的性能指标应符合表 4.4.1 的规定。

表 4.4.1 管片接缝防水用三元乙丙橡胶弹性密封垫成品的性能指标

序号	项目		性能指标
1	硬度（邵氏 A）/度		65 ± 5
2	拉伸强度/MPa		≥ 10
3	拉断伸长率/%		≥ 330
4	压缩永久变形/%	70℃×24h	≤ 25
		23℃×72h	≤ 15
5	热空气老化 (70℃×96h)	硬度（邵氏 A）变化/度	≤ 6
		拉伸强度变化率/%	≤ 15
		拉断伸长率变化率/%	≤ 30
6	防霉等级		不低于 1 级

条文说明

三元乙丙橡胶弹性密封垫分为实芯（Ⅰ型）密封垫与多孔（Ⅱ型）密封垫两种，目前公路盾构隧道中一般都采用（Ⅱ型）密封垫两种。因此，本条所列的性能指标主要参照国家标准《高分子防水材料 第 4 部分：盾构法隧道管片用橡胶密封垫》GB/T 18173.4-2010 第 4.3.1 条Ⅱ型三元乙丙橡胶弹性密封垫的规定，并对防霉等级提高了性能要求，以提升材料的耐久性。当隧道水压超过 0.5MPa 或对管片拼装有特殊要求时，需对硬度指标进行适当调整。

4.4.2 管片接缝防水用遇水膨胀密封垫成品的性能指标应符合表 4.4.2 的规定。

表 4.4.2 管片接缝防水用遇水膨胀密封垫成品的性能指标

序号	项目		性能指标	
			制品型遇水膨胀橡胶密封垫	聚醚聚氨酯遇水膨胀弹性体
1	硬度（邵氏 A）/度		42 ± 10	42 ± 10
2	拉伸强度/MPa		≥ 3.5	≥ 3.5
3	拉断伸长率/%		≥ 450	≥ 350
4	体积膨胀倍率/%		≥ 250	≥ 300
5	质量损失率		≤ 3	≤ 2
6	反复浸水性能	拉伸强度/MPa	≥ 3.0	≥ 3.0

序号	项目		性能指标	
			制品型遇水膨胀橡胶密封垫	聚醚聚氨酯遇水膨胀弹性体
		断裂伸长率/%	≥350	≥300
		体积膨胀倍率/%	≥200	≥300

条文说明

遇水膨胀橡胶密封垫拼装初期依靠橡胶压缩弹性被动密封。接缝张开渗水后，内部吸水树脂膨胀补充接触应力，属于“弹性打底、颗粒辅助膨胀”复合止水材料。

遇水膨胀弹性体密封垫本身弹性+本体亲水膨胀双重属性。一旦有水渗入立刻整体膨胀升压，主动止水响应更快，对管片后期不均匀沉降、接缝长期微量张开适应性更强。

4.4.3 管片接缝嵌缝用聚合物水泥砂浆的性能指标宜符合表 4.4.3 的规定。

表 4.4.3 管片接缝嵌缝用聚合物水泥砂浆的性能指标

序号	项目		性能指标
1	凝结时间	初凝/min	≤45
		终凝/h	≤24
2	抗压强度/MPa		≥24
3	抗折强度/MPa		≥8
4	砂浆试件抗渗压力（7d，MPa）		≥1.0
	砂浆试件抗渗压力（28d，MPa）		≥1.5
5	粘结强度（7d，MPa）		≥1.0
	粘结强度（28d，MPa）		≥1.2
6	干缩率/%		≤0.15
7	吸水率/%		≤4
8	耐水性		≥80
9	耐热性（100℃×5h）		无开裂、起皮、剥落
10	抗冻性		无开裂、起皮、剥落

条文说明

行业标准《聚合物水泥防水砂浆》JC/T 984-2011 中将聚合物水泥砂浆按物理力学性能分为Ⅰ型与Ⅱ型两类，在盾构法隧道中多采用Ⅱ型聚合物水泥砂浆。本规程综合参照了《地下工程防水技术规范》GB50108-2008 和《聚合物水泥防水砂浆》JC/T 984-2011 中关于聚合物水泥砂浆性能指标的规定。

4.4.4 管片接缝嵌缝用快硬水泥的性能指标宜符合表 4.4.4 的规定。

表 4.4.4 管片接缝嵌缝用快硬水泥的性能指标

序号	项目		性能指标
1	凝结时间	初凝/min	≤ 5
		终凝/min	≤ 10
2	抗压强度/MPa	1h	≥ 4.5
		3d	≥ 15
3	抗折强度/MPa	1h	≥ 1.5
		3d	≥ 4.0
4	试件抗渗压力 (7d, MPa)		≥ 1.5
5	粘结强度 (7d, MPa)		≥ 0.6
6	耐热性 (100℃×5h)		无开裂、起皮、剥落
7	抗冻性		无开裂、起皮、剥落

条文说明

国家标准《无机防水堵漏材料》GB23440-2009 中根据凝结时间和用途将快硬水泥分为缓凝型(I型)与速凝型(II型)两种,缓凝型(I型)快硬水泥用于潮湿基层上的防水抗渗,速凝型(II型)快硬水泥用于渗漏或涌水基体上的防水堵漏。在盾构法隧道嵌缝中一般采用速凝型(II型)快硬水泥。本规程管片接缝用快硬水泥性能指标主要参照《无机防水堵漏材料》GB23440-2009 中速凝型(II型)的相关规定。

4.4.5 管片接缝嵌缝用遇水膨胀橡胶的性能指标宜符合表 4.4.5 的规定。

表 4.4.5 管片接缝嵌缝用遇水膨胀橡胶的性能指标

序号	项目		性能指标
1	固含量/%		≥ 85
2	下垂度/mm		≤ 2
3	表干时间/h		≤ 24
4	体积膨胀倍率/%		≥ 220
5	长期浸水体积膨胀倍率保持率/%		≥ 90
6	抗水压/MPa		≥ 1.5
7	拉伸粘结强度 (7d, MPa)		≥ 0.4
8	低温柔性 (-20℃)		无裂纹
9	拉伸性能	拉伸强度/MPa	≥ 0.5
		断裂伸长率/%	≥ 400

条文说明

管片接缝嵌缝用遇水膨胀橡胶的性能指标主要参照了《遇水膨胀止水胶》JC/T

312-2011。该材料是以聚氨酯预聚体为基础、含有特殊接枝脲烷的遇水膨胀止水胶，可用于隧道的施工缝、变形缝处的防水以及既有工程的渗漏水治理。

4.4.6 管片接缝嵌缝用高模量聚氨酯密封胶的性能指标宜符合表 4.4.56 的规定。

表 4.4.6 管片接缝嵌缝用高模量聚氨酯密封胶的性能指标

序号	项目		性能指标
1	流动性	下垂度（N 型）/mm	≤ 3
		流平性（L 型）	光滑平整
2	挤出性/ML/min		≥ 80
3	适用期/h		≥ 1
4	弹性恢复率/%		≥ 70
5	拉伸模量/MPa	23℃	> 0.4
		-20℃	> 0.6
6	定伸粘结性		无破坏
7	浸水后定伸粘结性		无破坏
8	质量损失率/%		≤ 7

注：挤出性指标适用于单组份产品，适用期指标适用于双组分产品。

4.5 螺栓孔及注浆孔密封材料

4.5.1 螺栓孔密封用遇水膨胀橡胶圈的性能指标宜符合表 4.4.2 中遇水膨胀橡胶密封垫的规定。

4.5.2 螺栓孔封填用聚合物水泥砂浆、快硬水泥的性能指标宜分别符合表 4.4.3、4.4.4 的规定。

4.5.3 注浆孔封堵用微膨胀水泥砂浆的性能指标宜符合表 4.5.3 的规定。

表 4.5.3 注浆孔封堵用微膨胀水泥砂浆的性能指标

序号	项目	性能指标
1	抗压强度 (28d) / MPa	≥ 40.0
2	抗折强度 (28d) / MPa	≥ 6.0
3	限制膨胀率 / %	≥ 0.03
4	抗渗压力 (28d) / MPa	≥ 1.5

序号	项目	性能指标
5	粘结强度 (28d) / MPa	≥ 1.5
6	初凝时间 / min	无开裂、起皮、剥落

4.5.4 注浆孔封堵用速凝型堵漏材料的性能指标宜符合表 4.5.4 的规定。

表 4.5.4 注浆孔封堵用速凝型堵漏材料性能指标

序号	项目	性能指标
1	抗压强度 (1h) / MPa	≥ 10.0
2	抗压强度 (24h) / MPa	≥ 25.0
3	凝结时间 / min	初凝 ≥ 3 , 终凝 ≤ 10
4	抗渗压力 (7d) / MPa	≥ 1.2
5	耐水性	长期浸泡无脱落、无开裂

4.5.5 注浆孔封堵用环氧树脂类灌浆材料的性能指标宜符合表 4.5.5 的规定。

表 4.5.5 注浆孔封堵用环氧树脂类灌浆材料的性能指标

序号	项目		性能指标
1	流动性	下垂度 (N 型) / mm	≤ 3
		流平性 (L 型)	光滑平整
2	挤出性 / ML/min		≥ 80
3	适用期/h		≥ 1
4	弹性恢复率/%		≥ 70
5	拉伸模量/MPa	23℃	> 0.4
		-20℃	> 0.6
6	定伸粘结性		无破坏
7	浸水后定伸粘结性		无破坏
8	质量损失率/%		≤ 7

4.6 注浆材料

4.6.1 同步注浆单液浆的材料性能应符合下列规定：

- 1 浆液稠度宜控制在 9cm~13cm，泌水率不应大于 3%。
- 2 28d 抗压强度不应小于 2.0MPa，且不宜大于管片混凝土强度的 1/3。
- 3 体积收缩率不应大于 3%，宜掺加微膨胀剂或塑性膨胀剂。
- 4 抗渗等级不应低于 P8，渗透系数不应大于 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 。

5 在动水环境下,应具有良好的抗分散性,水中养护 7d 抗压强度损失率不应大于 20%。

4.6.2 同步注浆双液浆的材料性能应符合下列规定:

- 1 凝胶时间应根据地质条件和盾构掘进速度可调,宜控制在 30s~120s。
- 2 A 液与 B 液混合后应迅速形成具有一定早期强度的凝胶体,1d 抗压强度不应小于 0.5MPa,28d 抗压强度不应小于 3.0MPa。
- 3 固结体应具有弹性或弹塑性,断裂伸长率不宜小于 5%,以适应管片接缝变形。
- 4 固结体抗渗等级不应低于 P10,且在水中长期浸泡不软化、不崩解。
- 5 环保性能应符合现行国家标准要求,不得对地下水造成污染。

4.6.3 渗漏水治理注浆材料的性能应符合下列规定:

- 1 聚氨酯类灌浆材料遇水膨胀率不应小于 200%,固结体延伸率不应小于 100%,粘结强度(潮湿面)不应小于 1.0MPa。
- 2 丙烯酸盐类灌浆粘度不应大于 10mPa·s,凝胶时间可控,固结体抗渗压力不应小于 0.4MPa,且具有耐干湿循环性能。
- 3 超细水泥/改性水泥浆液颗粒粒径 D95 不应大于 10 μ m,可灌比不应小于 3,28d 抗压强度不应小于 15MPa,且微膨胀。
- 4 渗漏水治理注浆材料均应无毒、无污染,且应与既有防水材料等相容。

4.7 其他材料

4.7.1 管片接缝外侧海绵橡胶挡浆条的性能指标宜符合表 4.71 的规定。

表 4.7.1 海绵橡胶挡浆条的性能指标

序号	项目	性能指标	序号	项目	性能指标
1	邵氏硬度 / 度	25±5	3	断裂伸长率 / %	≥200
2	拉伸强度 / MPa	≥2	4	密度/ g/cm3	0.5±0.15

4.7.2 软木橡胶衬垫成品的性能指标宜符合表 4.72 的规定。

表 4.7.2 软木橡胶衬垫成品的性能指标

序号	项目	性能指标	
		纵缝、环缝	变形缝
1	硬度(邵氏 A) /度	70±5	≥90

序号	项目		性能指标	
			纵缝、环缝	变形缝
2	拉伸强度/MPa		≥ 1.5	≥ 3.2
3	拉断伸长率/%		≥ 45	≥ 25
4	压缩性能	恒定变形下的压缩可恢复性/%	≥ 80	≥ 90
		恒定变形下的压缩应力/MPa	≤ 8	≤ 8

4.7.3 管片接缝密封垫粘结剂的性能要求宜符合表 4.7.3 的规定。

表 4.7.3 管片接缝密封垫粘结剂的性能指标

序号	项目		性能指标
1	固化时间 (25℃) /h		< 12
2	阻燃性能 (水平法)		离火 10s 自熄
3	粘结拉伸剪切强度/MPa	橡胶与水泥	≥ 0.27
		橡胶与钢板	≥ 0.16
		橡胶与橡胶	≥ 0.3

5 防水设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 公路盾构隧道应进行防水专项设计，并应形成完整可靠的防水体系。
- 5.1.2 防水设计应根据隧道功能、使用要求及环境条件确定防水等级和设计水压，并综合确定防水体系的构成及各组成部分的性能要求。
- 5.1.3 防水设计应以结构自防水为根本，以接缝防水为重点，并加强隧道与工作井等特殊部位防水设计。
- 5.1.4 不同防水等级的公路盾构隧道防水措施应符合表 5.1.4 的规定。

表 5.1.4 不同防水等级的公路盾构隧道防水措施

防水措施		高精度管片	接缝防水			螺栓孔 密封圈	外防水涂层
			密封垫	嵌缝	注入密封剂		
防水等级	一级	应选	应选	全隧道拱腰区域应选	可选	应选	对混凝土有中等以上腐蚀地层应选，其他地层宜选
	二级	应选	应选	部分区段宜选	可选	应选	对混凝土有中等以上腐蚀地层宜选

5.2 管片结构自防水设计

- 5.2.1 混凝土管片抗压强度等级不应低于 C60。
- 5.2.2 混凝土管片的设计抗渗等级不应低于 P10，并应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.1 混凝土管片的设计抗渗等级

隧道最大设计水头 H (m)	设计抗渗等级
$H < 30$	P10
$30 \leq H < 70$	P12
$H \geq 70$	P15

条文说明

《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030-2022 和《盾构隧道工程设计标准》GB/T 51438-2021 对混凝土管片的抗渗等级均提出了“不应低于 P10”的要求。

《地下工程防水技术规范》GB 50108-2008 中表 4.1.4 对不同工程埋置深度的设计抗渗等级给出了规定，并对埋置深度不小于 30m 的情况统一规定设计抗渗等级为 P12。该规定用埋置深度来确定抗渗等级的方式适用于陆地隧道，对于水下隧道，埋置深度无法反应工程真实承受的水压力。因此，本规程将工程埋置深度调整为隧道最大设计水头。此外，近年来大直径盾构隧道的最大设计水头越来越大并大幅超过了 30m，仍然统一采用 P12 已无法满足工程需求。国内海太长江隧道（0.75MPa）、江阴靖江长江隧道（0.82MPa）、崇太长江隧道（1.02MPa）等承受超大水压的盾构隧道工程均将抗渗等级提升到了 P15。因此，本规程对于最大设计水头不小于 70m 的隧道，规定设计抗渗等级采用 P15。

5.2.3 混凝土管片的裂缝宽度不得大于 0.2mm，并不得出现贯通裂缝。

5.2.4 混凝土管片迎水面主筋的保护层最小厚度不应小于 50mm。

5.2.5 当混凝土管片外径 $D \geq 14\text{m}$ 时，宜在混凝土中掺加聚丙烯纤维，掺加量不宜小于 1.5kg/m^3 。当混凝土管片外径 $D \geq 16\text{m}$ 时，宜采用纤维混凝土，其纤维类型和掺量应根据管片性能需求和试验确定。

5.2.6 混凝土管片应进行单块检漏试验。管片迎水面在设计抗渗压力下稳压 2h，最大渗水高度不应超过主筋的保护层厚度。

5.3 管片外防水涂层设计

5.3.1 当盾构隧道处于下列条件之一时，应在管片迎水面外弧面及环、纵缝橡胶密封垫外侧涂抹具有防腐蚀性能的防水涂层：

- 1 防水等级为一级，且所处地层环境对混凝土有中等以上腐蚀性。
- 2 环境作用等级为 E 级、F 级。

5.3.2 管片外防水涂层宜选用与混凝土粘结牢固、耐久性好、且能抵抗施工损伤的涂料，并应符合下列规定：

1 宜选用环氧或改性环氧类等具有封闭功能及兼有渗透性特点的反应型涂料，也可选用水泥基渗透结晶型涂料。

2 有较大振动或变形的工程，宜选用反应型涂料。

3 低温条件施工宜选用反应型涂料。

5.3.3 管片外防水涂层的涂抹应符合下列规定：

1 反应型防水涂料防水层最小厚度不应小于 1.5mm。

2 水泥基渗透结晶型防水涂料防水层的厚度不应小于 1.5mm，用量不应小于 1.5kg/m²。

5.4 管片接缝防水设计

5.4.1 管片接缝防水应至少设置两道密封垫，并应符合下列规定：

1 管片外侧第一道密封垫应采用三元乙丙橡胶弹性密封垫或遇水膨胀橡胶与三元乙丙橡胶的复合型密封垫。

2 防水等级为一级时，当最大设计水压大于 0.5MPa 时，第二道密封垫宜采用三元乙丙橡胶弹性密封垫；当最大设计水压不大于 0.5MPa 时，第二道密封垫可采用遇水膨胀橡胶密封垫。

3 防水等级为二级时，第二道密封垫宜采用遇水膨胀橡胶密封垫。

条文说明

《盾构隧道工程设计标准》GB/T 51438-2021 的 10.4.1 条规定“当管片厚度不小于 400mm 且隧道处于富含水区域时，应设置两道密封垫。公路盾构隧道至少设置两车道，目前更为普遍的是设置三车道，盾构管片外径一般不小于 500mm，管片接缝防水一般设置了两道密封垫。

5.4.2 当最大设计水压大于 0.7MPa，且管片厚度大于 600mm 时，管片接缝防水应符合下列规定：

1 宜设置三道密封垫。

2 当采取可靠连接构造有效控制管片接头变形时，也可设置两道三元乙丙橡胶弹性密封垫。

条文说明

随着管片直径及水压的增大，管片接缝防水的措施越多。结合胶州湾第二海底隧道、江阴靖江长江隧道等超大直径、超高水压隧道的设计经验，自管片外侧依次设置三元乙丙橡胶弹性密封垫、遇水膨胀橡胶密封垫、三元乙丙橡胶弹性密封垫可有效控制隧道渗漏。

也有部分隧道，通过设置特殊的管片连接构造，实现可靠且有效的管片接头变形控制，并采用了两道三元乙丙橡胶弹性密封垫的防水设计方案。

5.4.3 管片接缝密封垫沟槽的设计应符合下列规定：

- 1 密封垫沟槽应沿管片侧面成环设置，并应与密封垫的道数、形式、尺寸和性能相匹配。
- 2 密封垫沟槽边缘混凝土承受密封垫处于完全压缩状态下的闭合压缩力时，不应发生剪切或劈裂破坏。
- 3 当两道密封垫沟槽邻近时，应进行结构受力验算。
- 4 密封垫应能被完全压入密封垫沟槽内，密封垫沟槽的截面积应为密封垫截面积的 1.0~1.15 倍。

5.4.4 管片接缝密封垫沟槽的构造应符合下列规定：

- 1 密封垫沟槽的宽度应考虑密封垫接触面宽度和接缝最大错台量，并宜为密封垫接触面宽度的 1.2~1.5 倍。
- 2 密封垫沟槽的深度 H 应满足式 5.4.4-1 和 5.4.4-2 的规定。

$$H \geq (1 - \alpha_{\max})H_0 \quad (\text{式 5.4.4-1})$$

$$H \leq (1 - \alpha_{\min})H_0 - \frac{\delta_{\max}}{2} \quad (\text{式 5.4.4-2})$$

式中： $\alpha_{\max}$ ——密封垫最大压缩率，一般可取 0.4~0.45；

$\alpha_{\min}$ ——密封垫最小压缩率，一般不小于 0.25；

H_0 ——密封垫高度，mm；

$\delta_{\max}$ ——管片接缝允许的最大张开量，mm。

- 3 密封垫沟槽侧边宜设置不大于 5° 的脱模斜度，沟槽底部宜采用圆弧过渡，圆弧半径不宜小于 3mm。
- 4 相邻密封垫沟槽之间的混凝土肋部宽度不宜小于 20mm。

5.4.5 管片接缝密封垫的设计应符合下列规定：

- 1 在接缝最大允许张开量和错台量的组合工况下，防水等级为二级时，密封垫应在不小于 2 倍最大设计水压的作用下不发生渗漏；防水等级为一级时，密封垫宜在不小于 2.5 倍最大设计水压的作用下不发生渗漏。
- 2 密封垫应沿环、纵面环绕成框型。
- 3 接缝闭合时，密封垫的闭合压缩力应小于千斤顶最大顶力。

4 密封垫的接触面宽度应与接缝最大错台量相适应，可取最大错台量的 3 倍。

5 封顶块采用纵向插入拼装方式时，密封垫表面应采取润滑措施。

5.4.6 当密封垫采用遇水膨胀橡胶材料时，应符合下列规定：

1 密封垫的设计应考虑其在未遇水膨胀前，依靠弹性压密即可满足初始拼装阶段的防水要求。

2 密封垫的膨胀倍率和膨胀速率应与设计水压及接缝变形量相适应。

5.4.7 管片接缝弹性密封垫应根据设计水压和接缝变形量综合确定开孔布置，并应符合下列规定：

1 弹性密封垫宜采用多排孔构造，且不宜小于 3 排孔。

2 弹性密封垫绕管片的角部区域应避免采用实心构造。

3 弹性密封垫的孔型可采用三角形、圆形。

4 弹性密封垫与沟槽接触面处宜设置敞开孔，并合理设置敞开部分和脚部的布置。

条文说明

管片接缝弹性密封垫的构型是影响其防水性能、装配力及耐久性的核心因素，包括孔洞布置、孔型、脚部形式等。目前国内大直径盾构隧道普遍采用具有多孔构造的截面，该构型通过合理布置闭合孔与敞开孔，平衡密封垫的压缩回弹能力与装配力。闭合孔主要用于提升密封垫的压缩回弹能力，是保证长期防水性能的关键；敞开孔用于增强密封垫与沟槽的应力传递及摩擦锁固，同时可降低装配力。

1 采用三排孔排布的密封垫，其防水能力显著优于二排孔排布。根据工程实践，大直径盾构隧道一般均采用了 3 排孔，对于超高水压的超大直径盾构隧道，也可增加密封垫高度并布置 4 排孔洞。

2 管片接缝的角部是防水的薄弱环节，也是拼装时应力集中的区域。若角部采用实心构造，在管片拼装压缩时，角部刚度远高于其他部分，易产生应力集中，导致沟槽边缘混凝土开裂或密封垫局部破损，形成渗水通道。目前，工程中常通过将密封垫角部区域设计为多孔构造或开设减轻孔来降低该处的刚度，使其与密封垫其他部分的刚度协调一致，从而保证角部拼装的密实性与整体防水效果。

3 三角形孔和圆形孔均为大直径盾构隧道工程中常用的孔型。圆形孔在压缩过程中应力上升较均匀，且刚度较大，有利于提升密封垫的初始接触应力；三角形孔在小变形阶段刚度相对较小，易于拼装，在大变形阶段刚度增大，对防水性能有贡献。两种孔型均有

大量成功工程应用案例，可根据具体工程的水压条件和密封垫整体构型综合选用。此外，部分工程也采用三角形与圆形混合布置的截面形式，综合两种孔型的优点，以优化密封垫的力学性能。

4 增加敞开孔数量可提高密封垫的装配力，并使其应力分布更均匀，有助于提升平均接触应力和防水能力。同时，敞开孔与密封垫脚部的布置应协调，以增强密封垫在剪切错台工况下脚部与沟槽的摩擦锁固，防止脚部“倾倒”或“外翻”。

5.4.8 管片接缝防水方案的性能应通过水密性模型试验进行验证，并应符合下列规定：

- 1 接缝防水试验模型宜采用 1:1 的密封垫及构造，并应与设计的密封垫布置方案一致。
- 2 接缝防水试验模型应能反应管片的实际拼装接缝。
- 3 试验应考虑接缝张开和错台的各种不利工况。
- 4 试验压力不应小于 2 倍最大设计水压，稳压时间不应小于 24 小时。
- 5 试验装置宜能实现剪切错台，当采用直接错台时，宜进一步提高试验压力。

条文说明

管片接缝防水是大直径盾构隧道防水的重中之重，一般可通过数值模拟和模型试验来验证接缝防水方案的防水性能和可靠性。数值模拟分析可作为模型试验的辅助验证手段。

对于模型试验，比较简单的做法是模拟一字缝。但大直径盾构隧道一般均采用错缝拼装，其形成的 T 字缝是密封垫受力和变形的复杂区域，也是防水体系最薄弱的环节，极易在此处发生渗漏。因此，有必要模拟 T 字缝进行防水试验。

早期的防水试验装置多采用“直接错台”方式，即在密封垫压缩前，通过垫片或机械限位预先设定好接缝的错台量，然后进行压缩和注水稳压。然而，实际工程中管片错台往往是在密封垫已被压缩后，由于地层不均匀沉降、盾构推力变化等引起的“剪切错台”，密封垫在压缩状态下受到侧向剪切力的作用。直接错台的密封垫在压缩前即处于偏斜状态，压缩过程中会逐渐调整，接触应力分布相对均匀。剪切错台的密封垫先被完全压缩，再受到剪切力，在密封垫与被压缩的接触面之间会产生显著的剪切应力和摩擦阻力，导致密封垫脚部与沟槽之间产生“剥离”或“外翻”趋势，加速脚部渗漏。因此，两者的密封垫受力状态和变形机制存在本质差异，采用“剪切错台”更能真实的反应工程实际错台过程，确保试验的合理性。

5.4.9 管片接缝结构设计应符合下列规定：

- 1 环缝和纵缝均应设置斜螺栓，并宜采用交叉双向连接方式，连接螺栓宜选用 M36 型及以上，机械性能等级不宜低于 8.8 级。
- 2 环缝和纵缝宜设置剪力销，剪力销直径不应小于 $\Phi 80\text{mm}$ 。当隧道所处地层为深厚软土地层时，环缝宜设置凹凸榫。
- 3 当环缝和纵缝采用新型连接构造时，应进行专项设计与专题研究。

条文说明

管片连接构造不仅关系到结构安全，更直接决定了密封垫能否稳定保持设计所需的工作状态。一旦张开量和错台量超过密封垫的设计适应范围，密封垫将发生剪切变形、接触面局部脱空或脚部外翻，导致防水能力急剧下降。因此，通过合理的连接构造设计，将接缝的张开量和错台量控制在密封垫的设计范围内，可以从源头上保障密封垫工作环境的稳定性和可控性。

1 平行斜螺栓在顺剪方向螺栓拉紧、抗剪能力强，而逆剪方向则出现螺栓松弛、抗剪能力明显弱化的现象。采用交叉双向布置可有效平衡两侧受力状态，提高接缝在双向剪切荷载作用下的综合抗剪能力和防水可靠性。

2 在深厚软土地层中，由于地层抗力弱、纵向变形风险高，对环缝抗剪承载力有严格要求时，凹凸榫咬合后能够提供的较大抗剪承载力也具有明显的适应优势。

3 随着盾构隧道技术的进步，国内开始探索承插式接头、DDCI 插销式接头、快速连接件等新型连接构造。这些新型接头技术在简化拼装工序、提高施工效率、减小接缝张开量等方面具有明显优势。这些新型构造在国内公路盾构隧道工程中的应用经验尚不丰富，在应用时一般通过专题研究系统性验证其不同变形工况下的防水有效性，并结合管片接缝处的防水密封垫性能进行协同验证。

5.4.10 管片接缝外侧应设置挡砂条，材料可选用 L 型遇水膨胀橡胶条或框型海绵橡胶条。

条文说明

挡砂条的主要功能是保护密封垫，包括阻挡泥沙、盾尾油脂及壁后注浆浆体直接作用于密封垫。遇水膨胀橡胶兼具挡砂和辅助防水双重功能，L 形构造有效规避了框形遇水膨胀橡胶在迎千斤顶侧遇水预膨胀的风险。

5.4.11 管片接缝的传力衬垫设计应符合下列规定：

- 1 管片纵缝不宜设置传力衬垫。
- 2 当管片采用错缝拼装时，管片环缝应设置传力衬垫。
- 3 当设置单道弹性密封垫，或双道弹性密封垫均位于管片外侧时，管片环缝应设置传力衬垫。
- 4 传力衬垫材料可选用丁晴软木橡胶。
- 5 传力衬垫的原始厚度和压缩后厚度应根据接缝变形量计算确定，压缩后厚度应纳入密封垫沟槽截面积的计算。
- 6 当设置传力衬垫时，应考虑其对管片接缝摩擦系数降低及结构抗浮的不利影响。

条文说明

盾构隧道发展早期，由于接缝面退缩设计不足且拼装工艺不成熟，管片在拼装过程中因局部应力集中和环面不平整导致的破损现象多发。在环缝甚至纵缝均设置软木橡胶传力衬垫，以缓冲拼装时的冲击力，均匀传递压力，保护管片边缘不因局部接触应力过大而开裂。随着管片制造精度、接缝构造设计和拼装工艺的不断进步，通缝拼装的纵缝一般已取消了传力衬垫的设置。而环缝一方面存在错缝拼装的情况，也存在弹性密封垫位于管片外侧导致拼装荷载偏心较大的情况，一般仍保留了传力衬垫的设置。但是，传力衬垫的设置也存在负面影响。因为丁晴软木橡胶衬垫本身较软，在管片拼装时处于压缩状态，它在管片与管片之间形成了一层“润滑”夹层，使得管片混凝土表面无法直接接触，从而大幅降低了环缝面的摩擦系数，设计时需要考虑对管片抗浮的不利影响。

5.4.12 嵌缝防水设计应符合下列规定：

- 1 应根据防水等级确定嵌缝的设置范围。
- 2 嵌缝材料应具有良好的不透水性、粘结性、耐久性、弹性和抗下坠性。
- 3 嵌缝槽的深宽比不应小于 2.5，槽深宜为 25mm~55mm，单面槽宽宜为 5mm~10mm。
- 4 对于非整环嵌缝，应从嵌缝端部设置泄水管将渗漏水引至排水系统。

5.4.13 变形缝处接缝防水还应符合下列规定：

- 1 弹性密封垫应加厚，其高度应能适应变形缝允许的最大张开量。
- 2 弹性密封垫表面宜增设遇水膨胀橡胶片加强防水。
- 3 传力衬垫应与弹性密封垫的变形能力协调，其物理力学性能应符合变形缝专用衬垫的要求。
- 4 嵌缝槽宜采用弹性密封材料进行整环嵌缝。

5.5 螺栓孔及注浆孔防水设计

5.5.1 螺栓孔防水设计应符合下列规定：

- 1 螺栓孔口应设置锥形倒角的螺孔密封圈沟槽。
- 2 螺栓孔密封圈的外形应与沟槽构造相匹配。
- 3 螺栓孔密封圈应采用遇水膨胀橡胶制品。
- 4 当管片背水面设置内道密封垫防水时，螺栓孔处的防水性能不应低于内道密封垫的防水性能。

5.5.2 在启用注浆前，注浆孔外侧的素混凝土厚度应确保在 2 倍最大设计水压作用下不被击穿，且不宜小于 80mm。

5.5.3 注浆孔防水设计应符合下列规定：

- 1 注浆管应至少设置 1 道密封圈，密封圈应在管片混凝土浇筑前固定在注浆管四周。
- 2 注浆管密封圈和注浆盖密封圈应采用遇水膨胀橡胶制品。
- 3 注浆完毕后应对注浆孔进行永久性密封防水处理，密封材料宜采用微膨胀水泥砂浆或聚合物水泥砂浆，并应填充密实。

5.5.4 当隧道进行嵌缝时，螺栓孔等手孔宜采用聚合物水泥砂浆或快硬水泥进行封填。

5.6 特殊节点防水设计

5.6.1 盾构始发或到达工作井的井圈范围内，应设置安全可靠的临时防水密封装置，并应符合下列规定：

- 1 宜采用由帘布橡胶圈与压板或气囊组成的洞圈密封装置，装置可设 1~2 道。
- 2 临时防水密封装置应能适应盾构进出洞阶段的姿态变化，并应在管片拼装完成、壁后注浆凝固前有效止水。

5.6.2 盾构隧道与工作井、横向人行通道间的永久接头防水应采取刚柔结合的措施，并应符合下列规定：

- 1 接头主体宜采用现浇钢筋混凝土环梁进行刚性连接，确保结构的整体性和受力传递。

- 2 在刚性连接的接缝界面，应设置遇水膨胀止水条或预留注浆管等柔性密封材料。
 - 3 在接头两侧 20m~50m 范围内的管片段宜增设变形缝。
- 5.6.3 盾构始发、到达和连接通道、交叉工程区段等变形量大的区域宜整环嵌缝。

5.7 特殊地质环境防水设计

5.7.1 当抗震设防烈度为 8 度及以上时，应符合下列规定：

- 1 盾构隧道特殊部位宜采用直螺栓、加长接头螺栓长度等措施，也可设置可变形的柔性管片。
- 2 宜在管片与地层之间设置减震层。
- 3 管片连接处宜设置适应大变形的止水带或止水垫圈，纵向接头螺栓宜设置弹性垫圈。

条文说明

1 盾构隧道特殊部位如隧道与横通道连接处、隧道与盾构工作井或通风井连接处、地层条件突变处、洞门附近、上覆荷载变化较大地段，地震作用下容易产生应力集中和变形过大，导致接缝防水失效而发生渗漏水。

2 在盾构隧道衬砌和地层之间设减震层，其目的是利用减震层减小地震作用下地层向衬砌施加的形变，以达到减小衬砌结构变形的目的，在日本已推广使用。减震层材料一般要求具有较低剪切模量、一定的弹性。由于盾构隧道施工的特殊性，盾构隧道减震层一般采用压注式减震层或背粘式减震层，减震材料包括轻质混凝土系、沥青系、氨基甲酸乙酯系、橡胶系、硅树脂系等，该类减震材料具有较高的剪切变形性能、耐久性好、施工性好、不易产生有害物质。

5.7.2 当盾构隧道穿越可能发生液化的地层时，应符合下列规定：

- 1 重点设防类的盾构隧道应采取地层抗液化措施完全消除地层的液化沉陷，标准设防类的盾构隧道宜采取地层抗液化措施完全消除或部分消除地层的液化沉陷。
- 2 可采用加密法、换填法、注浆法等方法进行地层加固。
- 3 环缝宜设置凹凸榫槽。
- 4 隧道可局部或全长设置二次衬砌。

5.7.3 海底公路盾构隧道应符合下列规定：

- 1 管片连接构件应进行重防腐处理。
 - 2 管片接缝防水宜采用 2 道弹性密封垫。
 - 3 海底段管片内侧接缝及手孔宜采取嵌缝处理。
 - 4 隧道可全长设置二次衬砌。
- 5.7.4 盾构隧道穿越岩溶强发育区时，应符合下列规定：
- 1 应在盾构施工前，对隧道影响范围内的溶洞进行注浆充填或封闭处理。
 - 2 管片接缝防水宜采用 2 道弹性密封垫。
 - 3 穿越岩溶段宜加强管片纵向连接，也可在管片内侧增设构件加强整体刚度。

6 防水施工

6.1 一般规定

6.1.1 盾构隧道防水施工应编制防水专项施工方案，并应符合下列规定：

1 防水方案应包含管片自防水、接缝防水、特殊部位防水及壁后注浆等全部防水工作内容。

2 防水施工前，应对作业人员进行技术交底。

3 防水施工应建立自检、互检和交接检制度，并应有完整的检查记录。

6.1.2 防水材料进场时，应提供产品合格证、质量检验报告及使用说明，并应符合下列规定：

1 应按设计要求或相关规范进行进场复验，复验合格后方可使用。

2 防水材料应分类存放，上盖下垫，并应避免阳光直射、雨淋及与酸、碱、油类等有害物质接触。

3 遇水膨胀类防水材料的运输、存放和拼装前，应采取专门的防雨、防潮措施，现场应设专用库房存放。

6.1.3 防水施工环境应符合下列规定：

1 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。

2 防水涂料及胶粘剂施工环境温度不得低于 5℃，且不得高于 35℃。低温施工时，应采取保温措施。

3 管片防水材料粘贴及养护环境的相对湿度不宜大于 80%。

6.1.4 管片防水施工与相关工序的衔接应符合下列规定：

1 管片防水密封材料的粘贴应在管片缺陷修补检验合格、且管片表面清理干净后进行。

2 粘贴完成的管片养护时间应符合粘结剂产品说明书要求，且不应少于 12h。

3 粘贴完成的管片养护完成后，方可进行吊运及拼装作业。

4 管片拼装前，应对防水密封材料的粘贴质量进行检查和验收，不得使用有缺陷的管片。

6.1.5 防水层施工完成后，应采取成品保护措施，并应在隐蔽前进行验收。验收合格后，方可进行下一道工序施工。

6.1.6 大规模施工前，应制作管片防水施工样板段，经检验合格并确认工艺参数后方可全面展开后续施工。

6.2 管片预制与养护

6.2.1 管片预制应具有健全的质量管理体系、质量控制和质量检验制度，并应编制管片预制施工组织设计或专项施工方案。

6.2.2 管片生产工艺流程可按照图 6.2.2 执行。

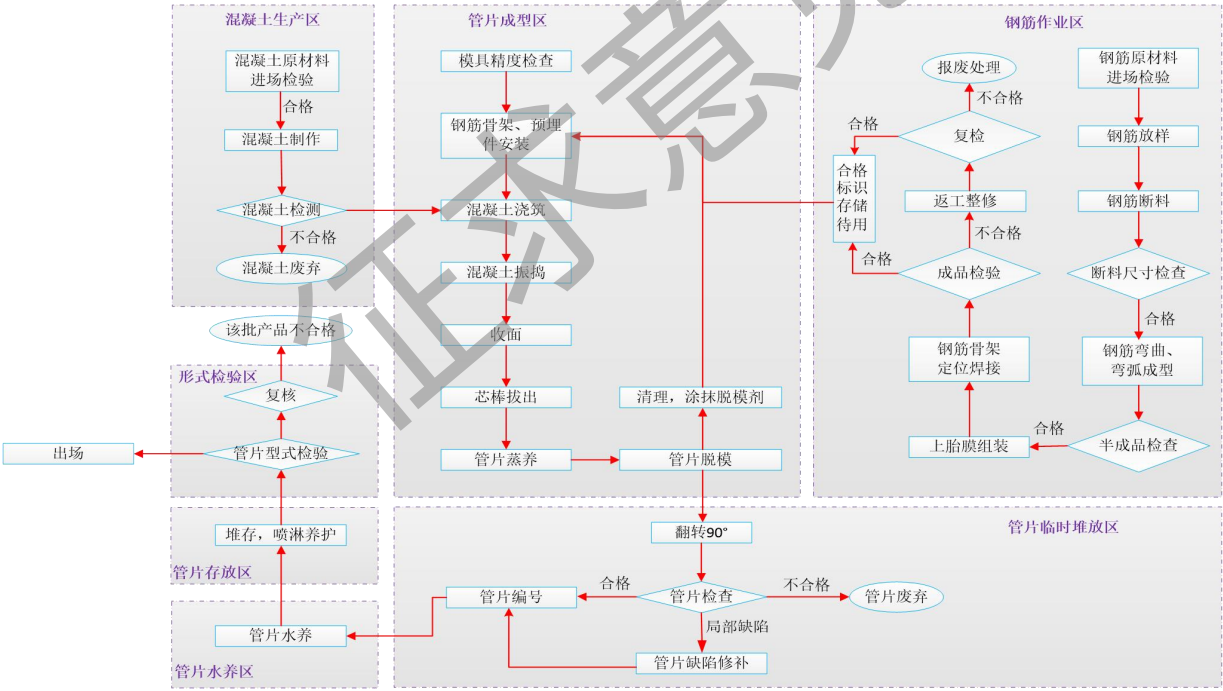


图 6.2.2 管片生产工艺流程

6.2.3 钢筋混凝土管片原材料应符合下列规定：

- 1 应具备产品质量证明文件，并应经复检合格。
- 2 生产所用的钢筋、预埋件等材料的规格应符合设计要求。
- 3 原材料性能除应符合本规程 4.2 节的规定外，还应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

6.2.4 管片预制用钢模应具有足够的强度、刚度、稳定性和良好的密封性能，并应便于

安装、拆卸和使用。

6.2.5 管片预制应采用高精度钢模，钢模精度、检验频次和方法应符合表 6.2.5 的规定。

表 6.2.5 钢模精度、检验频次和方法

序号	检验项目	允许误差	检验频次	检验方法
1	宽度	$\pm 0.4\text{mm}$	每生产 150 环或每月至少检测 1 次	三维激光扫描测量法
2	内腔高度	$\pm 1.0\text{mm}$		
3	弧弦长	$\pm 0.4\text{mm}$		
4	表面平整度	$\pm 0.5\text{mm}$ ($\pm 0.2\text{mm/m}$)		
5	纵环向芯棒中心距	$\pm 0.5\text{mm}$		
6	扭曲	$\pm 1.0\text{mm}$		
7	内半径	$\pm 1.0\text{mm}$		
8	外半径	$-1.0\text{mm}/+2.0\text{mm}$		
9	止水槽半径	$\pm 1.0\text{mm}$		
10	端面与内外侧表面夹角	$\pm 1.0^\circ$		
11	对角线	$\pm 0.8^\circ$		

6.2.6 当出现下列情况之一时，应立即对管片钢模进行检验，合格后方可继续使用：

- 1 钢模受到重击或严重碰撞；
- 2 钢模停用超过 1 个月，投入生产前。
- 3 管片几何尺寸出现不合格。

6.2.7 管片混凝土的浇筑应符合下列规定：

- 1 应连续浇筑成型，宜采用附着式整体振动台进行振捣。振捣时间应以混凝土表面停止下沉、不再明显冒出气泡、混凝土将钢模边角部位充实并泛浆为宜，不应漏振或过振。
- 2 浇筑时不应扰动预埋件和钢筋骨架，应观察模具各紧固螺栓、注浆管及预埋滑槽的情况，发生松动或移位时应立即停止浇筑并处理。
- 3 浇筑时应同时留置抗压强度和耐久性能试验的标准养护试件及同条件养护试件。
- 4 管片浇筑成型后，应在混凝土初凝前对管片外弧面进行压面处理。

6.2.8 管片混凝土浇筑完毕后，应立即采取有效的养护措施，并应符合下列规定：

- 1 混凝土浇筑成型后至脱模前，应采用蒸汽养护或覆盖保温保湿方式进行养护。
- 2 当采用蒸汽养护时，静停时间不应小于 1h，升温速度不应大于 15°C/h ，恒温最高温度不应超过 60°C ，恒温阶段相对湿度不应小于 90%，降温速度不应大于 10°C/h 。

3 管片脱模时表面温度与养护环境的温差不应大于 20℃。当温差大于 20℃时，管片应在室内进行降温，直至温差满足要求后方可出室。

4 管片脱模后应立即进行保湿养护。应在淡水中养护，养护时间不应少于 7d，整个保湿养护时间不应少于 14d。当采用喷淋养护时，应确保喷淋均匀、不间断，并使管片始终处于湿润状态。

5 养护过程中，管片内部与外表温差不应大于 20℃。

6.2.9 管片结构性能检验应符合表 6.2.9 的规定。

表 6.2.9 管片结构性能检验

序号	检验项目	技术要求	检验频次	检验方法
1	抗压强度（标准试件法）	符合设计要求	每工作班小于 100 m³时，取 2 组；大于 100 m³时，每增加 100 m³及以下增加 1 组	JTG 3420
2	抗渗等级	符合设计要求	500m³ 每次	
3	电通量	<1000C	500 环每次	
4	管片检漏	符合设计要求	每 1000 环抽检 1 块，不足 1000 环时按 1000 环计	GB/T 22082
5	抗弯性能	符合设计要求		
6	螺栓、注浆孔抗拔性能	符合设计要求		

6.2.10 管片应逐片进行外观质量检验，并应符合表 6.2.10 的规定。

表 6.2.10 管片结构外观质量检验

序号	检验项目	技术要求	检验方法
1	露筋	不允许	目测
2	蜂窝	不允许	目测
3	孔洞	不允许	目测
4	夹渣	不允许	目测
5	疏松	不允许	目测
6	裂缝	贯穿裂缝不允许，管片迎水侧、密封槽、螺栓孔表面裂缝不允许，管片背水侧表面裂缝宽度不应超过 0.1mm	先目测，再读数显微镜或裂缝宽度检测仪，精确至 0.01mm
7	麻面、粘皮	表面麻面、粘皮总面积不大于表面积的 5%	钢尺，精确至 1mm
8	缺棱掉角、飞边	不应有，允许修补	目测
9	螺栓孔	畅通、内圆面平整，不应有塌孔	先目测，再采用螺栓穿孔检验

6.2.11 管片成品尺寸允许偏差应符合表 6.2.11 的规定。

表 6.2.11 管片成品尺寸允许偏差

序号	检验项目	技术要求	检验频次	检验方法
----	------	------	------	------

1	宽度		±0.5mm	每 15 环抽检 1 环，不足 15 环时按 15 环计。	游标卡尺
2	厚度		-1.0mm/+3.0mm		
3	主筋保护层厚度		-3.0mm/+5.0mm	按不小于生产量的 10% 进行抽检	钢筋探测仪
4	弧、弦长		±1.0mm（封顶块±0.5mm）	每处	三维激光扫描测量法
5	内外侧平整度		±0.5mm，≤0.2mm/m	每 200 环抽检 1 环，不足 200 环时按 200 环计。	
6	内外侧半径		±1.0mm		
7	端面与内外侧表面夹角		±1.0°		
8	扭曲		±1.0mm		
9	螺栓孔及预埋螺帽轴线偏角		±0.15°		
10	内接触面 2 条对角线弦长		±1.5mm		
11	环、纵缝面	不平整度	≤0.2mm/m		精度为 0.5mm 钢卷尺
		与内外表面的角度偏差	≤0.1°		
12	密封垫沟槽 / 凹凸榫	半径	±1.0mm		钢卷尺、游标卡尺
		至边沿的距离	±1.0mm		
		沟槽宽度与深度	±0.1mm		
13	螺栓孔位及孔径		±0.5mm		

6.2.12 管片养护后的的堆放与储存应符合下列规定:

1 管片堆放场地应坚实平整、排水通畅, 并应根据堆放方式验算地面承载力。地面宜涂刷标识线进行分区, 排水坡度不宜大于 2%, 面层应采用铺碎石或浇筑混凝土处理。堆场应具备覆盖养护用的喷淋设施。

2 管片应采用内弧面向上方式平放码放, 并按型号、生产日期及发运顺序分别堆放。管片堆放高度应经计算确定, 平放堆放不宜超过 4 层, 超过 4 层时应进行受力验算。

3 管片存放时应放置在支垫物上。底层管片应采用条形垫木或加铺橡胶垫的混凝土垫块进行支垫, 层与层之间应使用垫木隔离, 各层垫木应位于同一竖直线上。

4 管片在堆场存储时间超过 6 个月时, 应采取覆盖保护等防损坏及防老化措施。

6.3 防水材料施工

6.3.1 防水材料施工工艺流程可按照图 6.3.1 执行。

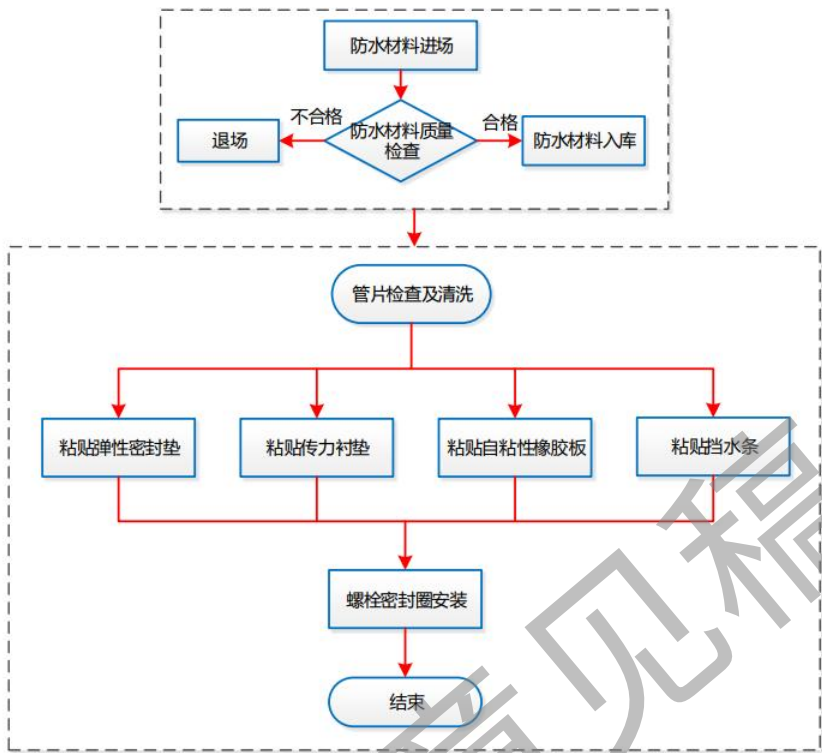


图 6.3.1 防水材料施工工艺流程

6.3.2 管片防水材料施工前，应具备下列条件：

- 1 防水材料应按设计要求和相关标准进行进场复验，复验合格后方可使用。
- 2 管片应完成精度检测和单块抗渗检漏试验，并应符合本规程第 6.2 节的规定。
- 3 管片运到现场后，应由专业人员检查管片的碰损情况，应除去管片粘贴面沾粘的尘土、泥沙。
- 4 遇水膨胀类防水材料应在拼装前方可拆封使用，拆封后未用完的应采取密封防潮措施。

6.3.3 防水密封垫的粘贴施工应符合下列规定：

- 1 应按管片型号选用相应规格的密封垫，尺寸不符或有质量缺陷的产品不得使用。
- 2 粘结剂应涂抹均匀，不得漏刷，亦不得扩大刷胶面积。涂抹后应静置挥发、晾干至手指触胶不粘手时，方可粘贴密封垫。
- 3 密封垫在密封槽内应套箍和粘贴牢固，不得有起鼓、超长、缺口、歪斜或扭曲。
- 4 当采用遇水膨胀橡胶密封垫时，其非粘贴面应涂刷缓膨胀剂或采取符合缓膨胀要求的其他措施。
- 5 密封垫端部接头应采用工厂预制成型的硫化接头，不得采用现场搭接处理。

条文说明

2 也可采用指压法、拉丝等方法判断，具体可以粘结剂厂家技术说明书为准。

6.3.4 管片接缝角部防水施工应符合下列规定：

- 1 角部加强片的材质、规格和粘贴位置应符合设计要求。
- 2 角部加强片应压紧压实，与管片混凝土及密封垫紧密贴合，防止管片拼装时被推挤脱落。

6.3.5 传力衬垫的粘贴应符合下列规定：

- 1 传力衬垫的型号和粘贴位置应与管片型号及设计图纸一致。
- 2 传力衬垫应粘贴平整、牢固，不得歪斜、翘曲或重叠。
- 3 传力衬垫应在螺栓孔位置开设大于螺栓孔的孔洞，并应正确就位粘合。

6.3.6 衬砌外防水涂层的施工应符合下列规定：

- 1 涂层应涂刷在管片背侧和密封垫外侧的环、纵缝面混凝土表面。
- 2 涂层施工前，管片混凝土表面应清洁、干燥，无浮灰、油污。
- 3 涂层应涂刷均匀、完整，涂膜厚度应符合设计要求，并应采取保护措施防止涂层在管片吊运、拼装过程中受损。

6.3.7 管片螺栓孔密封圈的安装应符合下列规定：

- 1 螺栓孔密封圈应在管片拼装时安装，安装后定位应准确，不得遗漏，且应与密封槽相贴合。
- 2 不得使用已破损或提前膨胀的密封圈。

6.3.8 管片接缝嵌缝防水的施工应符合下列规定：

- 1 嵌缝作业应在隧道基本稳定、管片拼装变形已趋收敛，且无明显渗水后进行。
- 2 嵌缝前应清理嵌缝槽，保证槽内无浮渣、灰尘和明水。
- 3 嵌缝槽表面混凝土有缺损时，应采用聚合物水泥砂浆或特种水泥修补，修补强度应达到或超过混凝土本体的强度。
- 4 嵌缝材料嵌填时，应先涂刷基层处理剂，然后分层嵌填压实，填塞应平整、密实、连续，表面应平滑。

6.3.9 防水施工的养护与成品保护应符合下列规定：

- 1 粘贴好防水材料的管片在搬运、堆存时，应采取保护措施，防止防水材料被碰撞、挤压或划伤。
- 2 粘贴完成的管片应竖立或平放垫高，并应覆盖防雨布，防止淋雨、曝晒。养护时

间不应少于 12h，养护期间应及时检查，发现脱胶、翘边等情况应及时修补。

3 管片拼装前，应逐块对防水材料进行质量检查，发现不合格或损坏时，应及时修补或更换，不得使用有缺陷的管片。

6.4 盾构掘进控制

6.4.1 盾构掘进应严格控制施工参数和盾构姿态，并应符合下列规定：

1 应根据隧道工程地质与水文地质条件、隧道埋深、线路平面与坡度、地表环境、施工监测结果、盾构姿态和盾构始发掘进阶段的经验，设定盾构刀盘转速、掘进速度、泥水仓（土仓）压力和送排泥水流量等掘进参数。

2 应通过调整盾构掘进液压缸和铰接液压缸的行程差控制盾构姿态。

3 应实时测量盾构里程、轴线偏差、俯仰角、方位角、滚转角和盾尾管片间隙，应根据测量数据和隧道轴线线型，选择管片型号。

4 应对盾构姿态及管片姿态进行测量和复核，并记录。

5 纠偏时应控制单次纠偏量，应逐环和小量纠偏，不得过量纠偏。

6 根据盾构的横向和竖向偏差及滚转角，调整盾构姿态可采取液压缸分组控制或使用仿形刀适量超挖或反转刀盘等措施。

6.4.2 盾构掘进通过浅覆土层地段时，应符合下列规定：

1 应控制推进液压缸行程差、盾尾间隙等参数。

2 应控制推进反力引起的管片环变形、移动等。

3 当使用超挖装置时，应控制超挖量。

4 壁后注浆材料应选用体积变化小、早期强度高、凝结时间短的速凝型浆液。

5 应提高施工测量频率。

6 应采取防止后配套设备脱轨或倾覆的措施。

7 应采取防止管片错台或开裂的措施。

6.4.3 盾构掘进通过小半径曲线地段时，应符合下列规定：

1 应严格控制推进液压缸的行程差和盾尾间隙，防止管片因受力不均产生错台或开裂。

2 壁后注浆材料应选用体积变化小、早期强度高、凝结时间短的速凝型浆液。

3 应提高施工测量频率，加密监测断面，跟踪监测管片变形和隧道轴线偏差。

4 应采取防止后配套设备脱轨或倾覆的措施。

6.4.4 盾构掘进通过大坡度地段时，应符合下列规定：

- 1 当选择牵引机车时，应进行必要的计算，车辆应采取防溜车措施。
- 2 上坡掘进时，应加大盾构下半部分推力，对后配套设备应采取防脱滑措施。
- 3 下坡掘进时，应加强盾构姿态控制，可利用辅助液压缸等防止盾构栽头。
- 4 壁后注浆宜采用收缩率小、早期强度高的注浆材料。

6.4.5 盾构掘进通过水域地段时，应符合下列规定：

1 应查明工程地质、水文地质条件和河床状况，并应设定适当的开挖面压力，应加强开挖面管理与掘进参数控制。

- 2 应配备足够的排水设备与设施。
- 3 应采用快凝早强型浆液，加强同步注浆和二次注浆。
- 4 穿越水域前，应对盾构密封系统进行全面检查和处理。
- 5 应根据地层条件预测刀具和盾尾密封的磨损，并制定更换方案。
- 6 应采取防止对堤岸和周边建（构）筑物影响的措施。

6.4.6 盾构掘进通过地质条件复杂地段、砂卵石以及岩溶区段时，应符合下列规定：

1 应根据穿过地段的地质条件，合理选择刀盘形式和刀具形式及组合方式和数量。

2 应在掘进中加强刀具磨损的检测，并应采取刀具保护措施。

3 应根据地质条件、地下水状况和地表沉降控制要求等选择掘进模式，掘进模式的转换宜采用局部气压模式作为过渡模式，并应在地质条件较好地层中完成。

4 当采用土压平衡盾构通过砂卵石地段时，应进行渣土改良。

5 当采用泥水平衡盾构通过砂卵石地段时，应根据砾石含量和粒径确定破碎方法和泥浆配合比。

6 当在软硬不均地层掘进时，应采取措施控制地表变形。

7 当在富水砂层掘进时，应加强注浆控制和渣土改良，并快速通过。

8 当通过断层破碎带时，可采取超前加固措施，并加强对地下水的控制。

9 当遇有大孤石影响掘进时，应采取措施处理。

10 对掘进施工影响范围内的岩溶和洞穴，应采取注浆等措施处理。

6.4.7 盾构掘进遇地下管线与地下障碍物时，应符合下列要求：

1 应查明地下管线和障碍物的类型、位置、允许变形值等，并应制定专项施工方案。

- 2 对受施工影响可能产生较大变形的管线，应根据具体情况进行保护。
- 3 应及时调整掘进速度和出渣量。
- 4 当从地面处理地下障碍物时，应选择合理的处理方法，处理后应进行回填。
- 5 当在开挖面拆除障碍物时，可选择气压作业或加固地层的施工方法，应控制地层的开挖量，并应配备所需的设备及设施。

6.5 管片拼装控制

6.5.1 管片拼装前，应具备下列条件：

- 1 管片防水密封材料应粘贴完整，并通过验收。管片下井前，应由施工单位全数检查、监理单位抽查。
- 2 应对上一衬砌环面、盾尾内壁进行清理，不得有泥水、杂物。
- 3 应检查管片型号、外观质量、螺栓孔通透性、止水条及缓冲垫粘贴情况，以及连接件、配件数量。
- 4 应检查拼装设备状态，确保其完好可用。

6.5.2 管片拼装应严格按设计文件要求的点位进行，并应符合下列规定：

- 1 应首先拼装落底块管片，然后按照自下而上、左右交叉对称的顺序依次拼装标准块和邻接块，最后安装封顶块成环。
- 2 拼装过程中，应严格控制推进油缸的压力和行程，严禁非拼装位置的油缸与拼装位置的油缸同时收回，并保持盾构姿态和开挖面稳定。
- 3 封顶块拼装时，应采取必要的润滑措施，防止密封垫因摩擦过大产生脱槽、扭曲或损坏。应保持足够的封口尺寸，缓慢推入。
- 4 拼装过程中，应防止管片及防水密封条损坏。发现密封垫脱槽、损坏时，应立即停止拼装，进行修补或更换后方可继续。

6.5.3 管片连接螺栓的紧固扭矩应符合设计要求，脱出盾尾后应对管片螺栓及时复紧，拧紧度应符合设计要求。

6.5.4 当盾构在既有结构内空推并拼装管片时，应合理设置导台，并应采取措施控制管片拼装质量和壁后填充效果。

6.5.5 管片拼装过程中，应采取有效措施防止管片上浮、偏移和错台。

6.5.6 当在联络通道等特殊位置拼装管片时，应根据特殊管片的设计位置，预先调整盾构姿态和盾尾间隙，管片拼装应符合设计要求。

6.5.7 盾构接收、负环拆除前，应对洞口 10~15 环管片进行环向拉结、防松弛处理。

6.5.8 管片拼装过程中应对隧道轴线和高程进行控制，其允许偏差和检验方法应符合表 6.5.8 的规定。

表 6.5.8 隧道轴线和高程允许偏差和检验方法

序号	检验项目	允许偏差	检验频次	检验方法
1	隧道轴线平面位置	±50mm	逐环检验，检验点 1 点/环	用全站仪测中线
2	隧道轴线高程	±50mm		用水准仪测高程

6.5.9 管片拼装允许偏差和检验方法应符合表 6.5.9 的规定。

表 6.5.9 管片拼装允许偏差和检验方法

序号	检验项目	允许偏差	检验频次	检验方法
1	管片椭圆度	±6‰	1 次/10 环	断面仪、全站仪测量
2	管片环内错台	6mm	逐环，4 点/环	尺量
3	管片环间错台	7mm		尺量
4	环缝间隙	1.0mm		尺量
5	纵缝间隙	1.5mm		尺量
6	螺栓孔不同轴度	1.0mm	逐环，按照螺栓前	尺量

6.5.10 当已拼装完成的管片出现外观质量缺陷时，应在分析破损原因及程度后，制定专项修补方案，并应符合下列规定：

- 1 当管片出现结构性损伤影响结构安全时，应立即将该管片更换，不得进行修补。
- 2 当管片出现不影响结构性能的一般性缺陷时，可进行修补。

6.5.11 管片修补应符合下列规定：

- 1 应清除破损区域的松散混凝土，并将修补面清理干净，凿毛至坚实基层。
- 2 修补材料的强度等级不应低于原管片混凝土的强度，并应与管片混凝土有良好的粘结性。
- 3 裂缝修补时，对于宽度小于等于 0.2mm 且不贯通的裂缝，可采用表面涂覆法封闭处理；对于宽度大于 0.2mm 但未贯穿的裂缝，宜采用环氧树脂注浆或骑缝开槽嵌填的方式进行修补。
- 4 修补后应进行外观检查，修补区域应平整、无空鼓、裂缝。

5 修补工作应建立台账，记录破损位置、原因、修补方案及验收结果。

6.5.12 管片拼装宜采用智能拼装技术，并应符合下列规定：

1 宜建立基于 BIM 或三维激光扫描的数字模型，实现管片拼装过程的可视化模拟和数字化交底。

2 宜采用具备机械定位、激光测距或视觉识别等功能的智能拼装设备或系统，实现管片的精准抓取、姿态调整与就位。

3 智能拼装系统宜能实时采集并记录每环管片的拼装关键参数。

4 智能拼装系统宜与盾构掘进控制系统、导向系统联动。

6.6 隧道防水辅助施工

6.6.1 盾构隧道防水辅助施工可包括同步注浆、二次注浆等，注浆前应编制专项施工方案，并应根据工程地质条件、水文条件、环境要求及设备性能等因素确定注浆方式、材料及参数。

6.6.2 同步注浆材料应根据地质条件确定，富水软弱地层宜采用双液浆，稳定地层可采用单液浆。

6.6.3 注浆材料的性能应符合下列规定：

1 应通过试验确定浆液的配合比，浆液应具有良好的流动性、可灌性和填充性、固化收缩小的特性。

2 浆液固结后应具有一定的抗压强度、抗渗性和耐久性，并应满足环保要求。

3 在富水地层或动水条件下，注浆材料还应满足抗分散性好、早期强度高、凝胶时间可调、抗冲刷性能好等要求。

6.6.4 同步注浆的注浆量应根据地层条件、施工状态和环境要求确定，充填系数应符合下列规定：

1 采用双液浆时，充填系数宜控制在 1.30~1.80。

2 采用单液浆时，充填系数宜控制在 1.50~2.50。

6.6.5 同步注浆的注浆压力应根据地质条件、注浆方式、管片强度、设备性能、浆液特性和隧道埋深等因素确定，宜大于注浆出口处静止水土压力 0.1MPa~0.2MPa，且不应导致盾尾密封失效或管片上浮超限。

6.6.6 同步注浆的注浆速度应与盾构掘进速度相匹配。

6.6.7 同步注浆施工应符合下列规定：

- 1 浆液运输过程中严禁加水，且运输时间不宜过长。
- 2 注浆作业应连续进行，应按“量-压双控”原则控制注浆过程，并宜配备对注浆量、注浆压力和注浆时间等参数进行自动记录的仪器。
- 3 注浆结束标准应以注浆压力与注浆量进行双重控制，当注浆压力达到设计压力且注浆量达到理论注浆量的 90%以上时，可结束注浆。
- 4 注浆作业后，应及时清洗注浆设备和管路。

6.6.8 应根据同步注浆效果、地面监控量测结果、管片渗漏水情况及水文地质资料等因素综合确定二次注浆的时机、范围和参数，并应符合下列规定：

- 1 二次注浆的注浆孔开孔深度应打穿管片壁后保护层。注浆材料可采用单液水泥浆或双液浆。
- 2 二次注浆压力应根据环境条件和沉降监测结果确定，宜大于注浆出口处静止水土压力 0.1MPa~0.2MPa。
- 3 当存在多个注浆孔需要二次注浆时，注浆顺序宜先下后上，并应利用管片注浆孔进行对称交错注浆。

6.6.9 注浆施工过程中应加强监测，当出现以下异常情况时，应采取相应措施：

- 1 当发生地表沉降或隆起超过预警值、管片变形超限、盾尾漏浆、窜浆等异常情况时，应立即降低注浆压力或调整浆液配比，必要时停止注浆。
- 2 当注浆过程中发生堵塞排水系统或危及地面建筑物等异常情况时，应立即停止注浆，并采取措施处理后方可继续。

6.3.10 注浆孔防水施工应符合下列规定：

- 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，并应定位准确，不得偏移或遗漏。
- 2 当二次注浆完成后，应彻底清除注浆孔内的残渣和积水后对注浆孔口进行永久性密封防水封堵进行，并应填充密实。
- 3 宜采用钢堵头进行封孔，并用不同颜色对已注浆和未注浆的孔位进行区分标识。
- 4 注浆孔密封塞应安装牢固，旋紧到位。

6.3.11 注浆孔封堵注浆材料应符合下列规定：

- 1 常规注浆孔永久封堵可采用微膨胀水泥砂浆或聚合物水泥砂浆。
- 2 有渗漏水情况的注浆孔应急封堵或带水作业时宜采用速凝型堵漏材料。
- 3 注浆孔深层密封或结构补强时宜采用环氧树脂类灌浆材料。

6.6.12 壁后注浆的填充质量应进行检测，检测结果应符合下列规定：

- 1 应采用地质雷达或超声波等无损检测方法对注浆充填密实情况进行检测。
- 2 同步注浆完成后，应根据注浆材料类型确定检测时机，双液浆宜在注浆结束 24h 后进行检测，单液浆宜在注浆结束 3d~7d 后进行检测。
- 3 二次注浆完成后，应进行复检。
- 4 最终检测应确保管片与地层间的空隙充填密实，衬砌背后无空洞。

6.6.13 当隧道处于浅覆土、小半径曲线、岩溶发育、断层破碎带等特殊地段时，壁后注浆宜采用凝结时间短、早期强度高的速凝型双液浆。

6.7 施工期监测及维护

6.7.1 施工期应建立与防水效果相关的监测及维护制度，监测方案应纳入盾构隧道施工组织设计，并应包括监测项目、测点布设、监测频率、控制值、预警标准及应急处置措施等内容。

6.7.2 施工期与防水效果相关的监测项目应符合表 6.7.2 的规定。

表 6.7.2 施工期与防水效果相关的监测项目

类别	监测项目	主要监测仪器	仪器精度
必测项目	管片结构竖向位移	水准仪、全站仪	水准仪：0.3mm/km；全站仪：1"，1mm+2ppm
	管片结构净空收敛	全站仪、收敛计	全站仪：1"，1mm+2ppm；收敛计：0.1mm
选测项目	管片结构水平位移	全站仪	全站仪：1"，1mm+2ppm
	管片接缝张开量	裂缝计、游标卡尺、裂缝监测尺	裂缝计、游标卡尺：0.1mm
	管片接缝错台量	游标卡尺	0.1mm
	管片裂缝宽度	裂缝计、游标卡尺、裂缝监测尺	裂缝计、游标卡尺：0.1mm

6.7.3 施工期监测应符合下列规定：

- 1 管片结构位移、净空收敛监测应在衬砌环脱出盾尾且能通视时开始，初始值应在壁后注浆凝固后 12h 内测量。

- 2 当监测变形量或变形速率出现异常时，应加密监测频率。
- 3 在地质条件变化大、覆土厚度变化大、穿越水域、浅覆土、小半径曲线等特殊地段，应提高监测频率。

6.7.4 盾构隧道施工防水效果现场巡查宜包括下列内容：

- 1 管片破损、开裂情况。
- 2 接缝张开、错台情况。
- 3 螺栓孔、注浆孔、缝隙渗漏水情况。

6.7.5 对管片变形风险较大且可能造成渗漏水的部位宜采用远程视频监控或红外设备监控对隧道渗漏水情况进行监测。

6.7.6 施工期监测项目的预警等级和标准应根据工程特点、监测项目控制值、当地施工经验等确定。当无地方经验时，可按表 6.7.6 确定。

表 6.7.6 监测项目的预警等级和标准

监测指标	等级 A	等级 B	等级 C	等级 D
竖向位移/mm	<10	[10, 20)	[20, 30)	≥30
径向收敛/%	<0.4	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	≥0.8
水平位移/mm	<10	[10, 15)	[15, 20)	≥20
接缝张开量/mm	<1	[1, 1.5)	[1.5, 2)	≥2
接缝张开变化量/mm	<1	[1, 1.5)	[1.5, 2)	≥2
环内接缝错台量/mm	<6	[6, 12)	[12, 15)	≥15
环间接缝错台量/mm	<7	[7, 12)	[12, 15)	≥15

6.7.7 不同预警等级的应对措施应符合下列规定：

- 1 预警等级为 A 时，为正常情况。
- 2 预警等级为 B 时，应加强监测，可采取增加监测项目、监测测点、监测频率等措施。
- 3 预警等级为 C 时，应开展渗漏水病害专项检测，并应进行安全评估工作。
- 4 预警等级为 D 时，应暂停掘进，启动安全监测预案。

6.7.8 当现场巡查过程中发现隧道结构出现明显变形、裂缝、渗漏水时，应根据警情紧急程度、发展趋势和造成后果的严重程度按预警管理制度进行警情报送。

征求意见稿

7 渗漏水治理

7.1 一般规定

7.1.1 渗漏治理前应结合现场调查结果和收集到的技术资料，从设计、材料、施工和使用等方面综合分析渗漏的原因。

7.1.2 渗漏水治理应遵循“以堵为主、堵排结合、因地制宜、多道设防、综合治理”的原则。

7.2 渗漏水病害检测

7.2.1 渗漏治理前应对渗漏水病害进行现场检测，并应符合下列规定：

- 1 渗漏水的位置、范围、水量为必测项目。
- 2 渗漏水的浑浊、pH 值和水质可根据实际工程需要选测。
- 3 衬砌表面存在结露现象时，不宜开展渗漏水检测，避免将结露误判为湿渍。

7.2.2 渗漏水状态可分为湿渍、浸渗、滴漏、线漏、涌流、漏泥沙六类，判定标准应符合表 7.2.2 的规定。

表 7.2.2 渗漏水状态判定标准

分类	标识符号	判定标准
湿渍	#	呈现明显色泽变化，干手触摸有潮湿感，无水分浸润感觉，用吸墨纸或报纸贴附时纸不变色。
浸渗	○	明显观察到水分浸湿和流挂水膜范围，干手触摸有水分浸润，手沾有水分或可观察到移动的水膜，用吸墨纸或报纸贴附时纸浸润变色。
滴漏	▽	水量达到一定程度时，水珠滴落。
线漏	↓	滴漏速度大于 300 滴/min 时，水珠连成一条线成股流出。
涌流	↑	渗漏水量较大，处于喷水、涌水状态。
漏泥沙	★	渗水通道扩大或防水失效，渗水量增加，同时夹带泥沙。

7.2.3 渗漏水检测宜按表 7.2.3 选择检测方法及仪器设备。

表 7.2.3 渗漏水检测方法及设备

检测项目	方法	仪器设备
位置	目测法、直接量测法、数字摄像测量法	钢卷尺、相机、摄像机或隧道结构快速检测设备等
范围	目测法、红外热像法、数字摄像测量法	粉笔、钢卷尺、红外热成像仪、相机、摄像机或隧道结构快速检测设备等
水量	触摸法、吸墨纸或报纸贴附法、容积法、计数法、流速法	吸墨纸、报纸、量杯、量筒、秒表、粉笔流量计等
浑浊	容积法	量杯、量筒、天平等
pH 值	直接量测法	pH 试纸、pH 测量仪等
水质	试验室法	天平、量筒、试验试剂等

7.2.4 渗漏水位置检测应符合下列规定：

- 1 渗漏点位应采用公路里程桩号定位，宜采用管片环号、分块号作为内部辅助标注。
- 2 裂缝、螺栓孔和注浆孔渗漏水纵向位置宜记录管片环号，环向位置宜以分块号标识。
- 3 管片环缝渗漏水纵向位置应记录相邻管片环号，环向位置应记录相邻管片分块号。
- 4 管片纵缝渗漏水纵向位置应记录管片环号，环向位置应记录相邻分块号。

条文说明

渗漏水根据渗流路径不同分为管片接缝（环缝与纵缝）、管片裂缝、螺栓孔、注浆孔渗漏。定位采用公路里程桩号为主、管片环号为辅双重标注方式，同步记录桩号与对应衬砌环号，环向位置统一采用管片分块编号标识。纵向接缝渗漏标记示例：K12+350、第 250 环、L1-L2 块；环向接缝渗漏标记示例：K12+420、第 160-161 环、L1-L2 块；裂缝渗漏标记示例：K12+420、第 320 环、L2 块。

7.2.5 渗漏水范围检测宜符合下列规定：

- 1 采用钢卷尺检测时，应使用粉笔完整勾勒渗漏边界，可测量渗漏水区相互垂直两个方向的最长距离进行面积计算。
- 2 采用红外热像仪进行检测时，每次测量的方位宜保持一致。

7.2.6 渗漏水量可根据渗水状态，采用触摸法、吸墨纸、报纸贴附法或容积法、计数法、流速法检测，并应符合下列规定：

- 1 采用触摸法或吸墨纸、报纸贴附法时，宜用干手触摸或吸墨纸、报纸直接贴附后观察颜色变化。
- 2 采用容积法时，可直接用有刻度的容器收集测量，或用带有密封缘口的规定尺寸

方框，安装在管片内表面，将渗漏水导入量测容器内，计算 24h 的渗漏水量。

3 采用计数法时，可用秒表结合目测法计取每分钟或数分钟内的滴落数目，计算 24h 的渗漏水量。

4 采用流速法时，应将渗漏水引入排水沟中利用流量计检测。

5 当对比不同施工方法、不同长度和断面尺寸隧道的渗漏水状况时，可采用统一标准计算单位 $L/(m^2 \cdot d)$ ；盾构隧道内表面积计算不计管片嵌缝槽、螺栓孔凹槽面积。

条文说明

湿渍、浸渗采用目测、触摸法、吸墨纸报纸贴附法检测，滴漏一般采用容积法或计数法，线漏一般采用容积法，涌流采用流速法，漏泥沙一般根据实际水量确定检测方法。通常情况下，当滴落速度 3 滴/min~4 滴/min 时，24h 的渗水量就是 1L。

7.2.7 渗漏水浑浊状态可分为透明和浑浊。

条文说明

渗漏水有浑浊现象时，侧面反映了管片结构背后存在水土流失的问题，背后空洞的安全隐患突出，需要引起高度重视。

7.2.8 渗漏水周围有锈蚀迹象时宜检测 pH 值，并符合下列规定：

- 1 试纸测量时，试纸不应直接浸入水中。
- 2 仪器测量时，宜以 2 次测量值的算术平均值作为检测结果，当 2 次测值相差大于 0.1 时，应进行复测。

7.2.9 渗漏水具有腐蚀性时应进行二氧化碳、氯离子、镁离子、硫酸根离子检测，检测方法及要求宜按现行行业标准《水工混凝土水质分析试验规程》DL/T 5152 的有关规定执行。

7.2.10 渗漏水检测周期应符合表 7.2.10 的规定。

表 7.2.10 渗漏水检测周期

检测类型	检测周期
全面检测	隧道开通运营前
定期检测	每季度 1 次
专项检测	出现强降雨、应急事故、结构出现异常、涌水等情况时
	7、8 月份

7.2.11 渗漏水检测数据记录内容宜包括渗漏水检测记录表、渗漏水照片及影像、渗漏水病害展布图等信息，且应真实、准确、清晰、完整，并应符合下列规定：

- 1 病害记录应详实、准确，并统一编号，记录内容可参考本规程附录 A。
- 2 渗漏水照片或影像宜至少包括渗漏水病害全景、局部特征、现场所标记内容等，并统一编号。
- 3 渗漏水展布图宜至少包括管片、渗漏水特征等基本信息，应标识管片、接缝、注浆孔、螺栓孔等基本要素，各要素相对位置关系应与实际一致，同时应将管片环为单元进行展开，再将不同位置、不同范围及渗漏状态的图例在图上标出。

7.2.12 渗漏水检测数据初步分析宜采用比较法、作图法等方法，并结合历史渗漏水检测数据分析分布规律及发展趋势。

7.2.13 渗漏水病害检测后应对渗漏严重性进行研判，提交渗漏水病害检测报告。渗漏水病害检测报告宜包括下列内容：

- 1 工程概况，包括工程名称、结构类型、规模、周围环境、地质情况、环保要求和地下管线资料及现状等。
- 2 检测目的、以往检测情况概述。
- 3 检测内容及依据的标准。
- 4 检测设备及采用的方法。
- 5 检测数据分析汇总及检测评价结果。
- 6 渗漏水来源及病害成因分析。
- 7 检测结论及建议。
- 8 检测日期和报告完成日期，检测单位、检测人员、审核人等。
- 9 检测数据图表、照片、影像等附录。

7.2.14 检测成果宜采用数据库等技术进行管理，并应保证检测成果的完整性、可追溯性。

7.3 渗漏水治理措施

7.3.1 隧道渗漏水的治理宜根据渗漏部位选用表 7.3.1 所列的技术措施。

表 7.3.1 隧道渗漏水治理技术措施

技术措施	渗漏部位				
	管片环、纵接缝及螺孔	手孔、二次注浆孔	隧道进出洞口段	隧道与连接通道相交部位	车道板以下管片接头

注浆止水	●	●	●	●	●
壁后注浆	○	○	○	○	●
快速封堵	○	○	×	×	×
嵌填密封	○	×	○	○	×
注：●表示宜选，○表示可选，×表示不宜选。					

7.3.2 渗漏水治理应符合下列规定：

- 1 施工时应按自上而下的顺序进行，应尽量少破坏原有完好的防水措施。
- 2 治理渗漏水前宜查找并隔离水源，有降水和排水条件的隧道工程，治理前应做好降水和排水工作。施工宜在无水的状态下进行。
- 3 渗漏水治理中应选用无毒、低污染的材料。
- 4 治理过程中的安全措施、劳动保护必须符合有关安全施工技术规定。

7.3.3 有自流排水条件的工程，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。

7.3.4 注浆封堵法应根据渗漏类型（点渗、缝渗或面渗）选择改性环氧树脂、水泥-水玻璃双液浆或聚氨酯类浆材。

7.3.5 对变形缝、施工缝等特殊部位宜增设可卸式止水带、柔性密封层或遇水膨胀止水条等，并应保证治理材料与结构变形协调性。

7.3.6 渗漏治理过程中应建立多参数监测系统，实时跟踪结构湿度、渗流量及水质变化，治理完成后应进行效果验证，并建立定期巡查与维护机制，必要时采取表面防护或增设监测点等辅助措施。

7.4 渗漏水治理材料

7.4.1 管片壁后注浆宜选用特种水泥浆，掺有膨润土、粉煤灰等掺合料的水泥浆或水泥砂浆。

7.4.2 工程结构注浆宜选用水泥类浆液，有补强要求时可选用改性环氧树脂注浆材料；裂缝堵水注浆宜选用聚氨酯或丙烯酸盐等化学浆液。

7.4.3 防水抹面材料宜选用掺各种外加剂、防水剂、聚合物乳液的水泥砂浆。

7.4.4 防水涂料宜选用与基面粘结强度高和抗渗性好的材料。

7.4.5 导水、排水材料宜选用排水板、金属排水槽或渗水盲管等。

7.4.6 密封材料宜选用硅酮、聚硫橡胶类、聚氨酯类等柔性密封材料，也可选用遇水膨胀橡胶止水条、三元乙丙橡胶止水条。

7.5 渗漏水治理施工

7.5.1 渗漏水处治施工应符合《地下工程防水技术规范》（GB 50108）和《地下工程渗漏治理技术规程》（JGJ/T 212）等标准的相关规定。

7.5.2 渗漏水治理施工应符合下列规定：

1 渗漏水治理前应清除基层表面的灰尘、油污、浮浆、松散颗粒、旧涂层等影响粘结的杂物，确保基面坚实、干净。

2 渗漏水治理过程中应做好关于渗漏类型、渗漏位置、处置方式及处置效果等方面的施工记录。

3 治理过程中应严格每道工序的操作，上道工序未经验收合格，不得进行下道工序施工。

7.5.3 导水引排施工时，应符合下列规定：

1 导水管应精准定位安装在集中渗漏点或接缝处，采用可靠方式牢固固定，确保排水路径通畅且具有必要坡降，其端部应与后续排水系统实现可靠过渡。

2 凿槽埋管时，应沿渗漏裂缝或接缝精确开凿宽度、深度等尺寸适宜的沟槽，彻底清理槽内杂物并冲洗干净，将导水管稳固嵌入槽底，且开凿过程应避免损伤隧道主体结构钢筋。

3 表面引排时，应在集中渗漏点或面渗区域开凿浅槽，彻底清理基面后敷设耐压导水管，并采用速凝材料固定管体。

4 表面封闭时，应在基面无明水、无松动碎块的条件下，选用渗透型环氧树脂或聚合物水泥防水涂料，沿渗漏裂缝或面渗区域双向扩展涂刷，分层施工，并复检无渗漏。

7.5.4 钻孔注浆止水施工应符合下列规定：

1 钻孔注浆设置浆液阻断点时，应使用带定位装置的钻孔设备，钻孔直径宜小，并宜钻双孔注浆形成宽度不小于 100mm 的阻断点。

2 注浆嘴应垂直于接缝中心并埋设牢固，在用速凝型聚合物砂浆封闭接缝前，应清除接缝中已失效的嵌缝材料及杂物等。

3 注浆宜按照从拱底到拱顶、从渗漏水接缝向两侧的顺序进行，当观察到邻近注浆嘴出浆时，可终止从该注浆嘴注浆并封闭注浆嘴，并宜从下一注浆嘴开始注浆。

4 注浆结束后，应按要求拆除注浆嘴并封孔。

7.5.5 嵌填密封施工应符合下列规定：

1 嵌填作业应在无明水条件下进行。

2 嵌填作业前应清理待嵌填沟槽，做到缝内两侧基层坚实、平整、干净，并应涂刷与密封材料相容的基层处理剂。

3 背衬材料应铺设到位，预留深度符合设计要求，不得有遗漏。

4 密封材料宜采用机械工具嵌填，并应做到连续、均匀、密实、饱满，与基层粘结牢固。

5 速凝型聚合物砂浆应按要求进行养护。

7.5.6 壁后注浆施工应符合下列规定：

1 注浆宜按确定孔位、通（开）孔、安装注浆嘴、配浆、注浆、拔管、封孔的顺序进行。

2 注浆嘴应配备防喷装置。

3 宜按照从上部邻接块向下部标准块的方向进行注浆。

4 注浆过程中应按设计要求控制注浆压力和单孔注浆量。

5 注浆结束后，应按设计要求做好注浆孔的封闭。

附录 A

隧道渗漏水检测记录表

路线名称： 隧道名称： 公路等级： 防水等级：

隧道全长： 起讫桩号： 本次检测分段桩号：

检查日期： 天气情况： 洞内温度： 检查人员： 复核人员：

渗漏		位置			范围/ m²	渗水 状态	水量/ L/(m2·d)	浑浊度	pH 值	水质 数据	照片或影 像编号	备 注
序 号	里程 桩号							管片 环号				

本规程用词用语说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本细则的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定”。
- 2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。
- 3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本细则第×章的有关规定”、“应符合本细则第×.×节的有关规定”、“应符合本细则第×.×.×条的有关规定”或“应按本细则第×.×.×条的有关规定执行”。