

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2024

矿山法海底隧道渗漏病害修复技术规程

Technical specification for leakage disease repair of subsea tunnel
by mining method

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国交通运输协会 发布

目 次

前 言II

1 范围3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 基本规定4

5 矿山法海底隧道渗漏病害现场调查 5

6 矿山法海底隧道渗漏病害修复方案选型6

 6.1 一般规定 6

 6.2 裂缝渗漏病害修复 7

 6.3 施工缝与变形缝渗漏病害修复 7

 6.4 背后空洞及围岩空洞渗漏病害修复 7

7 矿山法海底隧道渗漏病害修复材料选用 7

 7.1 一般规定 7

 7.2 表面封闭修复材料 8

 7.3 填充密封修复材料 8

 7.4 注浆修复材料 8

 7.5 病害混凝土修复材料 8

8 矿山法海底隧道渗漏病害修复施工 9

 8.1 一般规定 9

 8.2 表面封闭 9

 8.3 填充密封 9

 8.4 埋管排水 10

 8.5 钻孔注浆 10

 8.6 更换止水带 12

 8.7 病害混凝土凿除 12

9 矿山法海底隧道渗漏病害修复质量检验与验收 13

 9.1 一般规定 13

 9.2 质量验收 14

参 考 文 献 16

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：山东大学、青岛地铁运营有限公司、青岛市地铁八号线有限公司、青岛国信胶州湾第二海底隧道有限公司、山东能源集团有限公司、山东科技大学、山东建筑大学、中国石油大学（华东）、中铁第四勘察设计院集团有限公司、中铁十九局集团第五工程有限公司。

本文件主要起草人：刘人太、李术才、张庆松、范建国、刘衍凯、白继文、王守慧、隋佳斌、张秉鹤、李修浩、陈孟军、王洪波、陈兵、张咪、张春雨、冯啸、张连震、李相辉、王瑞、庞明潇、姜文文、张仕林，李淑强、张磊、曲立清、李翔、谭明伦、王希浩、倪健、孙雪兵、王建辉。

矿山法海底隧道渗漏病害修复技术规程

1 范围

本文件规定了矿山法海底隧道渗漏病害修复技术规程的术语和定义、基本规定、现场调查、修复方案、材料选用、修复施工、质量检验与验收。

本文件适用于矿山法海底隧道渗漏病害的修复。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 33584 海水冷却水质要求及分析检测方法

GB/T 50448 水泥基灌浆材料应用技术规范

GB 18445 水泥基渗透结晶型防水材料

GB 23440 无机防水堵漏材料

GB 50108 地下工程防水技术规范

GB 50208 地下防水工程质量验收规范

GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范

GB 55030 建筑与市政工程防水通用规范

GB 55088 混凝土结构通用规范

JGJ/T 212 地下工程渗漏治理技术规程

JGJ/T 322 混凝土中氯离子含量检测技术规程

JGJ/T 372 喷射混凝土应用技术规程

JC/T 2537 磷酸镁修补砂浆

JC/T 2217 环氧树脂防水涂料

JC/T 2037 丙烯酸盐灌浆材料

JC/T 2041 聚氨酯灌浆材料

JG/T 336 混凝土结构修复用聚合物水泥砂浆

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 海底隧道 Subsea tunnel

区别于江底隧道、河底隧道等，是为了解决陆地之间的交通运输，建造在海底之下，穿越海湾、海峡，供人员及车辆通行的结构。

3.2 矿山法 Mining tunnelling method

采用钻孔爆破方法开挖断面而修筑隧道及地下工程的施工方法。

3.3 渗漏病害 Leakage disease

在海底隧道外部水的作用下，隧道内部出现湿渍、渗水或漏水的现象。

3.4 钻孔注浆 Drilling and grouting

钻孔穿过隧道结构内部渗漏位置，通过注浆泵以一定压力将注浆材料泵送至渗漏部位切断渗漏水通道的方法。

3.5 填充密封 Fill and sealing

通过对隧道结构渗漏部位开槽，沟槽内部填充止水材料实现密封渗水通道的方法。

3.6 表面封闭 Surface sealing

在隧道结构渗漏部位表面涂覆防水材料实现封闭结构表面湿渍的方法。

4 基本规定

4.1.1 矿山法海底隧道渗漏病害修复技术流程应包括，现场调查、渗漏原因分析、评估报告撰写、治理方案选型、材料选用、治理施工及质量检验等环节。

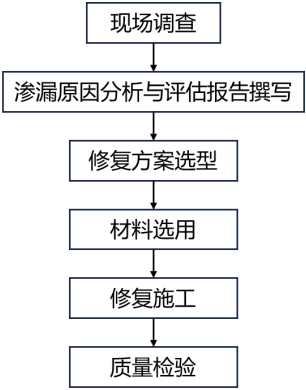


图 1 矿山法海底隧道渗漏病害修复流程

4.1.2 矿山法海底隧道渗漏病害根据病害的类型及严重程度选择修复方法与材料，裂缝渗漏水、变形缝与施工缝渗漏水、背后空洞及围岩空洞渗漏水的修复方案选型与材料选用应按本规程第 6 款、第 7 款的规定执行。

4.1.3 矿山法海底隧道渗漏病害修复包括病害位置定位、渗漏病害消除、破损结构修复、恢复结构物设计标准、维持良好的技术功能状态，并应符合下列规定：

- a) 矿山法海底隧道渗漏病害修复首先进行检测，对渗漏病害的成因、范围、程度及其发展趋势等情况进行分析评定；
- b) 矿山法海底隧道渗漏病害修复综合考虑渗漏病害状况、地形、地质、生态环境及运营和施工条件，合理确定修复方案，修复方案可由一种或多种修复方法组成；
- c) 在修复病害设计及施工中，根据病害程度、地质条件、处治方案，进行工程风险评估，制定相应的应急预案。

4.1.4 矿山法海底隧道渗漏病害修复前，施工单位应根据相应修复方案设计编制施工方案，并进行技术和安全交底。

4.1.5 制定矿山法海底隧道渗漏病害修复方案应满足下列要求：

- a) 原则上应不降低海底隧道原有技术标准；
- b) 应按照安全、经济、快速、合理的原则，通过多方案技术、经济比选确定；
- c) 修复设计应体现信息化设计和动态施工的思想，制定监控量测方案；

- d) 应尽量减少施工对隧道正常运营的影响，不能中断交通时应制定保通方案；
 - e) 应采取相应措施减少施工对既有结构、排水设施、机电设施及附属结构的不良影响。
 - f) 病害修复完成后使隧道结构达到 GB 50108 中规定的一级或者二级防水要求。
- 4.1.6 矿山法海底隧道渗漏病害修复应由具有施工资质的专业施工队伍施工，安装拆卸工、登高架设作业人员以及相关作业人员应持相应资格证书上岗。
- 4.1.7 矿山法海底隧道渗漏病害修复施工应建立各道工序的自检、交接检和专职人员检查制度。上一道工序未检查确认合格前，不得进行下一道工序的施工。
- 4.1.8 施工单位应严格按照工程设计图纸和施工技术标准施工，不得擅自修改工程设计。当工程现场条件与设计方案出现差异时，施工单位应暂停施工，并及时修改补充。当需要变更设计方案时，应做好工程协商与记录。
- 4.1.9 当海底隧道渗漏病害区域存在安全隐患时，应按 JGJ/T 212 中的规定，先进行隧道结构修复，后再进行渗漏修复，渗漏病害修复应在结构安全的前提下实施。
- 4.1.10 修复施工的安全与环境保护应符合下列规定：
- a) 注浆施工时，操作人员应穿防护服，戴口罩、手套和防护眼镜；
 - b) 挥发性材料应密封贮存，妥善保管和处理，不得随意倾倒；
 - c) 使用易燃材料时，施工现场禁止出现明火；
 - d) 施工现场应通风良好。

5 矿山法海底隧道渗漏病害现场调查

5.1 矿山法海底隧道渗漏病害调查前应搜集下列资料：

- a) 隧道结构设计相关资料，包括结构设计、防水设计等；
- b) 隧道工程地质资料，包括隧道纵横剖面对应的工程地质、水文地质等相关资料；
- c) 工程前期包含开挖过程中工作面岩性、岩层产状、节理裂隙发育程度及超、欠挖值等地质信息的施工记录；
- d) 工程衬砌类型、防水等级等；
- e) 隧道相关渗漏水治理的施工报告与第三方完成的结构安全评价报告；
- f) 隧道上方既有管线分布的相关资料；
- g) 隐蔽工程验收记录及相关验收资料。

5.2 矿山法海底隧道渗漏病害调查前应制定检测方法，检测方案包括下列内容：

- a) 工程或结构概况，包括结构类型、洞身地质条件、设计和施工相关信息、历史检测或养护记录；
- b) 渗漏病害发生区域、现状、发生范围以及影响范围；
- c) 衬砌结构的损坏情况；
- d) 结构的稳定情况及监测资料；
- e) 是否可进行现场作业；
- f) 检查范围、项目和方法；

- g) 检查的仪器设备情况;
- h) 检查中的安全和环保措施。

5.3 现场调查中, 隧道结构渗漏病害的检查内容与方法宜符合如下规定:

- a) 隧道结构局部渗水湿渍检查: 检查人员将吸水纸或报纸附在衬砌上, 纸被浸润且变色。采用喷漆圈定渗水范围, 并在“隧道结构内表面的渗漏水展开图”上进行标注;
- b) 隧道结构表面明显滴漏或连续渗流检查: 可采用量筒直接收集量测, 并通过秒表记录时间。然后计算 24h 的渗漏水量, 并在“隧道结构内表面的渗漏水展开图”上进行标注;
- c) 若结构渗漏部位发生在拱顶, 直接测量存在明显困难时, 可通过目测记录每分钟或者数分钟内的滴落数目, 计算该点渗水量。当水滴滴落速度较慢, 且滴落速度为 3 滴/min~4 滴/min 时, 24h 的渗水量在 1L 左右。当水滴滴落速度较快, 且呈现出连续水流状态时, 则可在拱底对应位置处设置量筒直接收集量测。
- d) 海底隧道渗漏病害宜先进行腐蚀性检测, 离子检测方法及要求宜按 GB/T 33584 的有关规定执行。
- e) 海底隧道渗漏水含有腐蚀性离子时, 应对隧道结构离子含量进行检测, 检测方法及要求宜按 JGJ/T 322 的有关规定执行。

5.4 现场调查中, 应对渗漏区域存在的隧道结构病害进行检查, 检查内容与方法宜符合如下规定:

- a) 结构破损检测参数应包括位置、范围和深度, 且可通过目测、直接测量法、数字摄影测量法等检测方法确定;
- b) 隧道结构变形检测应包括水平变形、竖向变形和断面轮廓变形, 且可通过视准线法、几何水准测量法、全断面扫描法等检测方法确定。

5.5 调查的测区、断面、测线和测点应有明晰的标注, 并宜按统一规则编号。

5.6 隧道结构渗漏现场检查后, 应填写隧道结构渗漏检查记录表, 隧道结构渗漏检查记录表见附表 A。

5.7 应结合现场检查结果和收集的技术资料, 从设计、材料、施工和环境等方面综合分析隧道结构渗漏病害产生原因, 并撰写隧道结构渗漏原因分析报告。

6 矿山法海底隧道渗漏病害修复方案选型

6.1 一般规定

- 6.1.1 矿山法海底隧道渗漏病害修复宜根据渗漏部位、渗漏类型选用表 1 中的修复方法。

表 1 矿山法海底隧道渗漏病害修复方法

序号	渗漏类型	渗漏部位		
		裂缝	施工缝与变形缝	背后空洞及围岩空洞
1	湿渍	表面封闭	表面封闭/填充密封	钻孔注浆
2	渗水	填充密封/钻孔注浆/病害混凝土凿除	钻孔注浆/填充密封/更换止水带/病害混凝土凿除	钻孔注浆/埋管排水
3	漏水	钻孔注浆/病害混凝土凿除	钻孔注浆/填充密封/更换止水带/病害混凝土凿除	钻孔注浆/埋管排水

- 6.1.2 当表面封闭法无法解决隧道结构湿渍时, 采用钻孔注浆法处理。

- 6.1.3 根据实际情况上述治理方法可复合使用。

6.2 裂缝渗漏病害修复

- 6.2.1 当海底隧道衬砌裂缝宽度大于 0.2mm，且渗水量较大时，宜先进行止水，而后设置刚性防水层。
- 6.2.2 对于渗水量较大的海底隧道裂缝，宜采用钻孔注浆法进行治理。注浆孔宜交叉布置于裂缝两侧，钻孔应斜穿裂缝，且垂直方向深度宜为渗漏发生结构厚度的 1/3 至 1/2，钻孔与裂缝水平间距宜为 100 至 250mm，孔间距宜为 300mm~500mm。当需要预先封缝时，封缝宽度宜为 50mm。
- 6.2.3 对于渗水量较小的隧道结构裂缝，可参考本规程第 6.2.2 款的规定钻孔注浆止水，也可采用填充密封法进行止水治理。采用填充密封法治理时，宜沿裂缝走向切割出具有一定深度的“U”型或“V”型的凹槽，凹槽深度宜为 40 至 50mm，宽度宜为 40mm，在凹槽内填充膨胀型水泥材料，并预留一定深度凹槽，填充聚合物防水砂浆用以找平，预留深度不宜小于 20mm。
- 6.2.4 对于已经出现渗漏腐蚀破坏的海底隧道结构，宜凿除病害混凝土，并对钢筋进行除锈（加筋或补筋），后应用聚合物材料修复法或重浇混凝土修复法进行病害修复。

6.3 施工缝与变形缝渗漏病害修复

- 6.3.1 隧道结构施工缝渗漏宜先进行止水处理，而后设置刚性防水层。刚性防水层的范围宜为沿施工缝走向两侧 200mm 范围。
- 6.3.2 施工缝预埋注浆系统时，宜先采用预埋注浆系统止水。
- 6.3.3 隧道结构变形缝渗漏宜先进行止水处理，并宜安装止水带，必要时可设置排水装置。止水带与排水装置的设置应符合 JGJ/T 212 中的规定。

6.4 背后空洞及围岩空洞渗漏病害修复

- 6.4.1 隧道结构背后空洞及围岩空洞渗漏水治理措施宜选用钻孔注浆法与埋管排水法。
- 6.4.2 隧洞拱顶部位出现较大空洞时，应做专项设计先补强加固，再进行渗漏水治理。
- 6.4.3 对于渗漏水水压较大部位，宜辅以降水、引流、疏导等方法综合治理。

7 矿山法海底隧道渗漏病害修复材料选用

7.1 一般规定

- 7.1.1 海底隧道渗漏病害修复材料应符合现行国家有关产品标准的规定，并应符合设计要求。
- 7.1.2 海底隧道渗漏病害修复材料应具有质量证明文件。
- 7.1.3 海底隧道渗漏病害修复材料的选用，应根据工程地质条件、水文地质条件、结构渗漏水区域的渗水量、施工工艺、设备和成本等因素确定，并应通过现场试验确定材料的最优施工配比。
- 7.1.4 海底隧道渗漏病害修复材料的性质应符合下列规定：
- 材料应与原防水材料不发生化学反应，避免对隧道环境造成次生污染；
 - 具有良好的可注性；
 - 凝胶时间宜根据需要便于调节；
 - 固化时间短，与围岩、混凝土、砂土等有一定的粘结力；
 - 固结体具有微膨胀性，强度应满足堵水要求；
 - 浆液的稳定性好，浆液结石体耐久性强；
 - 具有抗海水侵蚀能力；

- h) 无毒且低污染;
- i) 相应的注浆工艺简单, 操作方便、安全。

7.2 表面封闭修复材料

- 7.2.1 聚合物水泥防水涂料的性能应符合 GB 55030 的规定。
- 7.2.2 聚合物水泥防水涂料宜用于微细且不渗水结构裂缝的表面处理。
- 7.2.3 聚合物水泥防水砂浆层的厚度单层施工时宜为 6mm~8mm, 双层施工时宜为 10mm~12mm。
- 7.2.4 磷酸镁水泥砂浆施工时基面不应有积水存在, 性能应符合 JC/T 2537 的规定。
- 7.2.5 水泥基渗透结晶型防水涂料的性能应符合 GB 18445 的规定。
- 7.2.6 水泥基渗透结晶型防水涂料宜用于隧道结构表面湿渍处理, 施工时防水层的厚度不应小于 1mm, 用量不应小于 1.5kg/m²。
- 7.2.7 环氧树脂防水涂料的性能应符合 JC/T 2217 的规定。
- 7.2.8 高渗透型环氧树脂类防水涂料宜用于隧道结构表面封闭处理。
- 7.2.9 无机防水堵漏材料的性能应符合 GB 23440 的规定。
- 7.2.10 无机防水堵漏材料宜用于隧道结构裂缝表面的封闭处理, 不得用于隧道腰拱线以上的表面渗漏水处理。

7.3 填充密封修复材料

- 7.3.1 环氧树脂防水涂料的使用应符合 JC/T 2217 的规定。
- 7.3.2 环氧砂浆使用时应采用干燥骨料与环氧树脂基液进行混合, 使用时基面应处于干燥状态。
- 7.3.3 环氧树脂胶泥宜在潮湿或干燥基面上进行施工, 但施工时基面不应有积水存在。
- 7.3.4 硅酸盐型膨胀水泥宜用于无腐蚀性渗漏水的填充密封处理, 不应用于有硫酸盐侵蚀的渗漏水治理工程。
- 7.3.5 铝酸盐型和硫铝酸盐型膨胀水泥宜用于有腐蚀性渗漏水的填充密封处理。
- 7.3.6 快硬水泥使用时应做好基层面的清洁, 按配合比配制好后应迅速填充至渗漏水处理的位置。

7.4 注浆修复材料

- 7.4.1 丙稀酸盐类灌浆材料的使用应符合 JC/T 2037 的规定, 水泥基灌浆材料应符合 GB/T 50448 的规定, 聚氨酯灌浆材料应符合 JC/T 2041 的规定。
- 7.4.2 应根据隧道结构的渗漏水量、裂缝的可注性以及现场情况等条件选择水泥基注浆材料、速凝类注浆材料以及环氧树脂、丙稀酸盐等材料。
- 7.4.3 对于有补强要求的渗漏水的治理, 应选用环氧树脂等固结体强度高的注浆材料。
- 7.4.4 丙稀酸盐类注浆材料应严禁应用于隧道结构的永久性渗漏水治理。

7.5 病害混凝土修复材料

- 7.5.1 聚合物水泥修补砂浆的性能宜符合 JG/T 336 的规定。
- 7.5.2 对于有补强要求的病害混凝土凿除修复, 宜选用高强聚合物水泥修补砂浆, 其他情况宜选用高抗渗聚合物水泥修补砂浆
- 7.5.3 立模浇筑混凝土的使用宜符合 GB 55088 的规定, 并与原有混凝土结构粘结良好。

7.5.4 喷射混凝土的使用应符合 JGJ/T 372 的规定。

8 矿山法海底隧道渗漏病害修复施工

8.1 一般规定

8.1.1 当海底隧道结构存在变形和未稳定的裂缝时，宜待变形和裂缝稳定后再进行渗漏病害修复。

8.1.2 海底隧道结构施工缝和变形缝渗漏病害采取钻孔注浆治理时，所选取的修复材料应满足注浆止水要求，且宜同时满足结构补强需求。

8.1.3 注浆修复过程中应加强监测，当出现围岩或隧道结构变形、堵塞排水系统、窜浆、危及地面建筑物等异常情况时，宜采取下列措施：

- a) 降低注浆压力或采用间歇注浆，直到停止注浆；
- b) 改变注浆材料或缩短浆液凝胶时间；
- c) 调整注浆实施方案。

8.1.4 注浆监测频率不宜小于 2 次/小时，其他修复宜根据修复内容确定，监测报警值与控制值根据修复设计文件确定。

8.1.5 修复监测期间应及时提交监测简报、警情快报、阶段性报告和总结报告，报告内容根据 GB 50911 要求执行。

8.1.6 海底隧道渗漏病害修复时，环境作业温度不应低于 0℃。

8.2 表面封闭

8.2.1 采用表面封闭法进行修复施工时，施工流程宜按下列步骤进行：

- a) 基面清理：施工前应先对修补部位进行全面清理干净，去除表面附着杂质；
- b) 基面修补：对修补部位进行全面的凿毛处理，若有表层脱落应先用环氧胶泥、乳胶水泥等修补表层的缺损；
- c) 涂刷防水材料：沿裂缝表面涂刷封闭材料；
- d) 养护：对表面封闭处理部位应根据封闭材料要求进行养护。

8.2.2 采用表面封闭法施工时，还应符合以下规定：

- a) 涂刷封闭材料时应先沿同一方向涂刷第一道封闭材料；待第一道涂刷的浆液材料初凝后，再沿与第一道封闭浆液材料涂抹方向相垂直的方向涂刷第二道封闭浆液材料；一般涂刷次数不得少于 2 次。涂刷应均匀，不得有气泡产生；
- b) 采用表面封闭法施工，应按照从高处向低处、先细部后整体、先远后近的顺序进行施工；
- c) 表面封闭防水涂料应按材料使用说明书进行配制，宜按“少量多次”的原则随配随用；
- d) 水泥基渗透结晶型防水涂料用量不宜小于 $1.5\text{kg}/\text{m}^2$ ；聚合物水泥防水涂料用量不宜小于 $1.5\text{kg}/\text{m}^2$ ；渗透型环氧树脂类防水涂料用量不宜小于 $0.5\text{kg}/\text{m}^2$ ；
- e) 对于表面封闭法治理后再次出现的渗漏点，宜在渗漏点处进行钻孔注浆治理。

8.3 填充密封

8.3.1 采用填充密封法进行修复施工时，施工流程宜按下列步骤进行：

- a) 基面修补：施工前应先对处理部位的缺陷进行修补，修补材料的强度不得小于处理部位结构强度；
- b) 开槽：当裂缝较小时，沿裂缝方向将裂缝外部扩宽为 5~6mm 的“U”或“V”形槽，深度稍大于裂缝原来的深度；当裂缝较大或较深时，沿裂缝方向凿成深 30~50mm、宽为 100~150mm 的“U”或“V”形槽；
- c) 基面清理：开槽完成后应对槽内用钢丝刷、高压水或风冲扫清理干净，槽内要求无浮尘、泥垢，对修补部位应进行全面的凿毛处理，保证槽内基面粗糙、干净；
- d) 填充止水材料：填充止水材料前宜在槽内基面涂刷与密封材料相容的界面处理剂。填充止水材料应做到连续、均匀、密实、饱满，与基层粘结牢固；
- e) 表面修复：填充密封处理后应对处理部位表面进行修复；
- f) 养护：对填充密封法处理部位应根据填充材料要求进行养护。施工前应从安全、经济、人员健康、环境等多个方面进行风险辨析、评估，找出风险因素并制定对应的措施。

8.3.2 采用填充密封法治理施工时，还应符合以下规定：

- a) 填充密封法宜用于潮湿、无较大渗漏水的施工缝、变形缝、裂缝等部位，但有列车运行的轨行区上方、隧道腰拱以上，不宜用填充密封法；
- b) 填充密封材料应按材料使用说明书进行配制，同时考虑施工环境温度、槽的大小、形状、操作的快慢等因素，宜按“少量多次”的原则随配随用；
- c) 对于填充密封法治理后再次出现的渗漏点，宜在渗漏点处进行钻孔注浆治理。

8.4 埋管排水

8.4.1 采用埋管排水法进行修复施工时，施工措施宜包括：

- a) 在空洞下部沿隧道侧壁使用切割机开梯形燕尾槽，外口、内口尺寸和深度依据空洞大小确定；
- b) 埋设适当直径 PVC 导流管，采用钢刷将槽内混凝土碎屑清理并用高压水冲洗后，将导流管埋入，并使用防水涂料处理；
- c) 在导流管中间位置布置适当直径 PVC 集水管，将水集中引排至隧道两侧排水沟中，疏通隧道结构背后漏水；
- d) 在空洞区域宜采用锚网进行补强支护，使用锚杆钻机施工钻孔，埋设中空螺旋注浆锚杆。针对背后空洞宜采用适当长度锚杆，间距按梅花形布置，注浆封固后加装托盘，通过挂网链接，加固范围为空洞边界固定范围。

8.4.2 采用埋管排水法治理隧道结构施工缝渗漏水时，施工措施应符合下列规定：

- a) 施工前应根据施工缝周边渗漏水的程度确定剔槽线的范围、切割的深度以及剔槽线宽；
- b) 采用切割机沿施工缝走向切割倒梯形槽，切槽长度应为隧道最高渗水点至隧道底部排水沟；
- c) 采用高压水、钢刷清洗槽壁，清除槽内松动混凝土块及残屑，应保证槽内干燥、无油污；
- d) 紧贴槽壁向槽壁内埋设 PVC 管。宜采用 U 型卡和膨胀螺丝固定 PVC 管。PVC 管的管径应根据槽壁的尺寸确定；
- e) PVC 管安装完成后，应采用防水砂浆充填封闭切槽，并恢复洞内面漆。

8.5 钻孔注浆

8.5.1 采用钻孔注浆法进行裂缝、施工缝与变形缝渗漏水病害修复施工时，施工流程宜按下列步骤

进行：

- a) 清除裂缝表面松散物和缝内异物；
- b) 按现场实际情况设置注浆嘴（通常为 300mm~1000mm 间距），裂缝的端部、裂缝交叉处及贯穿裂缝的两个侧面均埋设注浆嘴；
- c) 使用钻孔法沿缝的两侧斜向成孔，孔深交叉穿过裂缝，并使注浆嘴密封胶垫有足够的埋置深度，确保密封效果；
- d) 对裂缝进行封闭处理后，进行压气检查注浆嘴的连通和封闭效果；
- e) 按试验的配比准确称量配制注浆液，根据注浆液的固化时间和注浆速度随配随用；
- f) 按竖向裂缝自上而下、水平裂缝自一端向另一端的顺序进行压力注浆，注浆压力视现场情况及选用的不同材料确定，多为 0.2~0.8MPa；
- g) 待浆液固化后，拆除注浆嘴，并对裂缝表面进行修整。

8.5.2 采用钻孔注浆法进行背后空洞及围岩空洞修复施工时，施工流程宜按下列步骤进行：

- a) 将基层表面擦干，立即均匀撒一层水泥干粉，通过基层表面的印湿区域，判定渗漏区域；
- b) 采用冲击钻或专用钻孔设备以渗漏水区域中心点开凿钻孔，埋设注浆管，采用环氧树脂砂浆封管，封管时将钻孔开凿区域全部封堵；
- c) 先采用水代替浆液注入，以检查除注浆管外其他部位是否有漏水现象，然后采用水泥基注浆材料注入；
- d) 注浆完成后，将注浆管沿孔根部割除，将孔口清刷干净，孔底采用防水密封材料封堵，表面用修补材料抹平。

8.5.3 采用钻孔注浆法修复裂缝渗漏病害时，宜沿裂缝走向自下而上依次进行。对于有补强要求的裂缝，宜先钻斜孔并注入聚氨酯堵水材料，而后宜二次钻斜孔，注入抗海水侵蚀的水泥基注浆材料。

8.5.4 采用钻孔注浆法修复施工缝与变形缝渗漏病害时，应符合下列规定：

- a) 采用预埋注浆系统注浆堵水时，宜采取较低的注浆压力从一端向另一端、由低到高进行注浆；
- b) 当浆液不再流入并且压力损失较低时，维持该压力 2min 左右，然后终止注浆；
- c) 需要进行重复注浆时，应在浆液固化前清晰注浆通道。

8.5.5 采用钻孔注浆法修复结构背后空洞及围岩空洞时，宜遵循由低到高，由下到上，从少水处到多水处的顺序，在多水地段，宜按照先两头，后中间顺序。

8.5.6 钻孔注浆施工过程中应符合下列规定：

- a) 注浆施工所配置的通风、水、电等条件应可靠，必要时设置专用管路与线路；
- b) 单液注浆时浆液配置宜遵循“少量多次”和“控制浆温”的原则，双液注浆时浆液配比应准确；
- c) 地层温度不宜低于 5℃，浆液温度不宜低于 15℃；
- d) 注浆过程中若发生跑浆、漏浆情况时，应根据具体情况采用降低注浆流量、调整浆液配比等措施进行处理，必要时宜注入水泥-水玻璃浆液封孔，待浆液初凝后重新开孔进行二次补充注浆；
- e) 注浆宜连续进行，因故中断时应尽快恢复注浆；

f) 注浆治理施工安全及环境保护应符合 GB 50108 的规定。

8.5.7 钻孔注浆施工还应符合下列规定：

- a) 钻孔注浆前，应使用钢筋检测仪确定钻孔位置的钢筋分布情况，钻孔时，应避免钢筋；
- b) 注浆孔应采用适合的钻机开孔，开孔全过程中应采取相应措施，确保钻孔设计角度成孔，宜采用高压空气吹孔，防止或降低碎屑阻塞裂缝；
- c) 封缝前应打磨并清理基层，并宜采用速凝类无机注浆堵漏材料；当采用聚氨酯注浆材料时，可不预先封缝；
- d) 注浆过程中，当观察到浆液完全替代裂缝中的渗漏水并开始外溢时，应停止该注浆嘴注浆；
- e) 注浆全部结束且注浆材料固化后，应按工程要求进行封孔，并处理孔口管。同时，应清除外溢的注浆材料。

8.6 更换止水带

8.6.1 更换止水带法宜用于隧道施工缝与变形缝渗漏水修复。当采用钻孔注浆等方法将渗漏水止住后，若原止水带受损失去止水作用时，应对原止水带进行更换。

8.6.2 使用更换止水带的方法进行施工缝与变形缝渗漏病害修复施工时，施工流程宜按下列步骤进行：

- a) 采用高压空气吹净施工缝与变形缝内的杂物，并将施工缝与变形缝两侧清扫干净；
- b) 使用工具刀将原止水带顺缝方向切开；
- c) 再次使用高压空气吹净缝内杂物，将止水带槽中的杂物清理干净；
- d) 将新止水带沿缝方向展开并塞入缝中固定；
- e) 采用防水密封材料封闭，表面使用修补材料找平。

8.6.3 采用更换止水带方法治理隧道结构渗漏水时，止水带的安装应符合下列规定：

- a) 止水带的安装应在无渗漏水条件下进行，且与止水带接触的混凝土基层表面条件应符合设计与施工要求；
- b) 内置式密封止水带的安装，转角处应使用专用修补材料做成圆角或钝角；
- c) 进行止水带外设保护装置施工时，宜采取措施避免止水带破坏。

8.7 病害混凝土凿除

8.7.1 海底隧道病害混凝土凿除后，宜采用聚合物材料修复法或重浇混凝土修复法进行病害修复。

8.7.2 使用聚合物材料修复法进行修复施工时，施工流程宜按下列步骤进行：

- a) 凿除腐蚀或破损部位松散混凝土至露出坚硬部分，用压力不小于 20MPa 的高压淡水清除混凝土表面浮灰、松散物和其它不牢固附着物；
- b) 准确称量和配制混凝土界面粘结材料，按规定用量施涂于待修复的混凝土表面；
- c) 准确称量和配制修复材料，在界面粘结材料未固化前一次或分次刮抹平于混凝土表面，至恢复缺损处断面或达到规定的保护层厚度，并抹平修整；
- d) 对于凿除深度较大的结构，需在修复材料中加入骨料或集料以满足使用要求；根据不同材料的性能要求，按规定的方式和时间进行养护。

8.7.3 使用聚合物材料修复法进行修复施工时，施工流程应符合下列规定：

- a) 凿除保护层及主筋背后混凝土后，宜对钢筋进行除锈（换筋或补筋），除锈后宜采用环氧树脂涂层进行防护；
- b) 清灰后采用抗氯离子渗透性较好的聚合物水泥砂浆或聚合物细石混凝土修补材料，也可加大混凝土保护层厚度。

8.7.4 重浇混凝土方法按照现场实际情况要求，分为立模法与喷射法。

8.7.5 采用立模法浇筑混凝土，施工流程宜按下列步骤进行：

- a) 凿除腐蚀或破损部位松散混凝土至钢筋，对钢筋进行除锈，用压力不小于 20MPa 的高压淡水清除内部混凝土表面浮灰、松散物和其它不牢固附着物；
- b) 按照规范标准要求及现场实际情况配置混凝土，混凝土的称量、搅拌、运输、浇筑和养护宜按 GB 55088 的有关规定执行；
- c) 立模浇筑混凝土在常温下采用淡水潮湿养护 15 天，气温较高时适当缩短潮湿养护时间，气温较低时适当延长潮湿养护时间。

8.7.6 采用喷射法浇筑混凝土，施工流程宜符合下列规定：

- a) 喷射混凝土时先喷底面，后喷侧面，并分层喷补，第一层将钢筋覆盖住，第二层再喷至设计断面，喷射轨迹为直线，自梁一端向另一端推进，喷射时将钢筋周围空间喷实，并及时清除滞留的砂浆；
- b) 喷射过程中控制好水胶比，喷射混凝土密实均匀、表面明亮，无流浆、起砂和露石现象；
- c) 掌握好喷射角度、喷射距离、风压和水压等，喷射角度通常为 90° ，喷射距离为 0.8m~1.0m，水压通常为 0.3MPa~0.4MPa；
- d) 在修复喷射混凝土喷补完成后 2 小时就需开始喷雾养护，并保持湿润，24 小时后用喷水养护，潮湿养护不少于 7 天；
- e) 喷射混凝土完成后及时进行外观检查，喷层外观密实均匀，无裂缝和空洞，用锤击无哑声。

9 矿山法海底隧道渗漏病害修复质量检验与验收

9.1 一般规定

9.1.1 工程施工后的质量验收，施工单位先应自行检查评定，合格后应会同有关各方二次检查评定。

9.1.2 海底隧道渗漏病害修复后，应对如下位置做好隐蔽工程验收记录：

- a) 防水层的基层；
- b) 防水混凝土结构与防水层被掩盖的部位；
- c) 施工缝与变形缝渗漏部位；
- d) 管道穿过防水层的封固部位；

9.1.3 海底隧道渗漏病害修复质量验收提交下列资料：

- a) 病害修复施工单位资质证书及施工人员上岗证的复印件等；
- b) 病害修复设计文件及会审记录、专家会议纪要、设计变更洽商；
- c) 病害修复施工组织设计；
- d) 病害修复施工技术、安全交底书；

- e) 病害修复材料质量证明文件：出厂合格证、材料质量检验报告、现场抽样复验报告；
- f) 施工检查记录、修复效果检查报告。

9.1.4 海底隧道结构渗漏病害修复验收后，工程质量验收记录与验收资料应分别由施工单位与隧道运维部门进行存档。

9.2 质量验收

9.2.1 海底隧道渗漏病害修复的评估与验收标准应符合 GB 50208 规定的地下工程防水等级标准，结构渗漏水部位治理后的防水等级应在二级及以上。

9.2.2 海底隧道渗漏病害修复的质量检查内容与检查方法应符合表 2 的规定。

表 2 隧道结构渗漏水治理的检查内容与检查方法

项	序	检查内容	检查方法
主控项目	1	原材料性能	检查出厂合格证、质量检测报告、进场抽样复检合格报告
	2	注浆材料的浆液配合比	检查试验段试验报告及隐蔽工程验收记录
	3	注浆效果	采用观察法、钻孔电视法、钻孔取芯法、超声波检测法
一般项目	1	注浆孔数量、钻孔间距、孔径、孔深及角度	检查隐蔽工程验收记录或现场检查
	2	注浆过程中压力控制与注浆量	检查施工记录或检查隐蔽工程验收记录
	3	刚性防水层与各基层之间粘接情况	采用小锤轻击检查或观察外观
	4	刚性防水层厚度	采用涂层厚度仪测量或检查隐蔽工程验收记录
	5	治理后结构外观检查	采用观察法或检查隐蔽工程验收记录

9.2.3 隐蔽工程验收记录中的检验内容宜符合 GB 55030 规定的地下工程隐蔽工程检验内容。

附录 A
(资料性)

隧道结构渗漏水检查记录表

表 A.1 规定了隧道结构渗漏水检查应记录的部位与病害情况

附表 A.1 隧道结构渗漏水检查记录表

项目（工程）名称		
渗漏病害部位		
渗漏水	1. 单个渗漏水点最大渗水量：L/d；整个工程平均渗水量：L/(m ² ·d)	
	2. 每 100m ² 区域的渗水量：L/(m ² ·d)	
	3. 单个渗水湿渍最大面积： m ² ；总湿渍面积： m ²	
隧道结构病害情况		
结构破损、变形	1. 范围：	
	2. 深度：	
	3. 变形量：	
隧道结构内表面的展开图		
处理意见与结论		
签章栏	隧道运维部门（签章）	施工单位（签章）
	年 月 日	年 月 日

参 考 文 献