

矿山法海底隧道渗漏病害修复技术规程
(征求意见稿)
编制说明

《矿山法海底隧道渗漏病害修复技术规程》标准起草组

2024年4月

一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人

本标准来源于《关于开展 2022 年度中国交通运输协会团体标准申报工作的通知》（中交协秘字〔2022〕8 号）的要求，由山东大学作为主要起草单位，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作为协作单位，共同参与《矿山法海底隧道渗漏病害修复技术规程》编制工作。

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。

二、制订标准的必要性和意义

本标准的制订，是为了规范矿山法海底隧道渗漏病害的修复流程，保障海底隧道运营的安全可靠。本规范主要适用于矿山法海底隧道工程，其他工程可参照使用。从国内相关标准调研来看，对于隧道渗漏水检测、设计、施工与验收等方面做出了统领性指导条款，但特针对于海底隧道的标准鲜有存在，有必要制订系统的海底隧道渗漏病害修复技术规程，以便规范行业及市场应用，保证工程应用安全。

三、主要工作过程

本标准通过收集既有工程应用经验，以及相关研究成果、试验检测结果及使用单位反馈信息，确定标准编制方向。经中国交通运输协会立项和大纲审批通过，根据评审会专家意见，形成征求意见稿，报中国交通运输协会评审。再根据评审会专家意见进行补充、修改，经中国交通运输协会同意，挂网征求意见。后拟针对反馈意见，提出处理办法，进行补充、修改，形成送审稿。

四、制订标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

本标准制订的基本原则是以现有研究工作为基础，参照国家规范、标准，针对海底隧道渗漏病害修复技术规程进行定义、描述和规范。

本规程编制过程中，查阅了下列规范、标准和技术规程：

- 1 GB 50108 地下工程防水技术规范
- 2 JGJ/T 212 地下工程渗漏治理技术规程
- 3 GB/T 33584 海水冷却水质要求及分析检测方法
- 4 JGJ/T 322 混凝土中氯离子含量检测技术规程
- 5 GB 55030 建筑与市政工程防水通用规范
- 6 JC/T 2537 磷酸镁修补砂浆
- 7 GB 18445 水泥基渗透结晶型防水材料
- 8 JC/T 2217 环氧树脂防水涂料
- 9 GB 23440 无机防水堵漏材料
- 10 JC/T 2037 丙烯酸盐灌浆材料
- 11 GB/T 50448 水泥基灌浆材料应用技术规范
- 12 JC/T 2041 聚氨酯灌浆材料
- 13 JG/T 336 混凝土结构修复用聚合物水泥砂浆
- 14 GB 55088 混凝土结构通用规范
- 15 JGJ/T 372 喷射混凝土应用技术规程
- 16 GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
- 17 GB 50208 地下防水工程质量验收规范

上述现行国家标准和行业标准对隧道渗漏水的检测、修复及质量验收要求做了初步的规定，但无限海水覆盖的天然条件、海下发育的复杂地质、服役承受的恶劣环境，以及隧道的差异性决定了海底隧道的渗漏病害面临着与陆地隧道截然不同的特点，致使常规修复技术难以完全适用于海底隧道，以上是本项目着重解决的问题。

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

1 范围

本文件规定了海底隧道渗漏病害修复技术的术语和定义、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

本规范所引用的国家、行业有关规范、规程、标准均为现行且有效的，条文中给

出编号，以便于使用时查找。

3 术语和定义

本章对海底隧道渗漏病害修复技术的相关概念进行了解释，便于标准应用者理解和应用，主要在现有标准规范的基础上增加了以下术语。

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，使用钻爆法建造在海底之下，穿越海湾、海峡，供人员及车辆通行的结构。

3.3 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。

4 基本规定

本章在参考相关国家、行业标准的基础上，结合矿山法海底隧道渗漏病害修复的工程实际，对渗漏病害修复的总体流程与内容进行了规定。

5 矿山法海底隧道渗漏病害现场调查

本章在参考相关国家、行业标准的基础上，结合海底隧道渗漏病害修复的工程实际，对渗漏病害修复前，现场调查应收集的资料、渗漏病害检查内容与方法等内容进行了规定，本章中的关键内容及其指标确定依据如下：

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：

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。

该条规定了渗漏水中的离子检测方法。海水中可劣化隧道结构的侵蚀性离子为氯离子、硫酸根离子和镁离子，氯离子宜采用硝酸银容量法进行测定，硫酸根离子宜采用硫酸钡悬浊液比浊法进行测定，镁离子宜采用钙-羧酸、铬黑T与EDTA标准溶液滴定法进行测定。氯离子和硫酸根离子也可通过离子色谱法进行测定，测试方法与流程宜按HJ 84的有关规定执行。

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。

该条规定了海底隧道结构中的离子检测方法。氯离子会导致钢筋锈蚀，硫酸根离子与镁离子会影响混凝土的密实性，在宏观上表现为裂缝产生与耐久性下降。当海底隧道结构中离子含量过高或钢筋锈蚀严重时，需要凿除病害混凝土，对钢筋进行除锈（加筋或换筋），后进行填充修复或重新浇筑混凝土。

6 矿山法海底隧道渗漏病害修复方案选型

本章在参考相关国家、行业标准的基础上，结合矿山法海底隧道渗漏病害修复的工程实际，对渗漏病害修复方案的选型、对隧道结构各类型渗漏病害修复方案中的参数进行规定，本章中的关键内容及其指标确定依据如下：

6.2.1 裂缝严重影响隧道结构的耐久性，该条提出的隧道结构裂缝注浆的适用范围，宽度大于 0.2mm 的静止裂缝以及贯通性裂缝均是隧道结构的有害裂缝，而隧道结构通常为混凝土结构，采用钻孔注浆法进行处理，符合混凝土结构设计要求。本条主要参考了 GB 50208 - 2011《地下防水工程质量验收规范》第 8.2.1 款。

6.2.2 该条规定的钻孔注浆的基本要求。倾斜钻孔有利于横穿裂缝，浆液沿裂缝面流动并凝胶固化，可以快速切断渗漏通道。因为海底隧道结构为衬砌混凝土，结构的厚度相对较薄，规定钻孔的深度不超过结构厚度的 1/2，一方面为了防止注浆压力对于结构造成破坏，另一方面确保浆液能够注入至结构中。该条与现行标准 JGJ/T 212《地下工程渗漏治理技术规程》第 4.2.1 款保持一致。

6.2.3 沿裂缝走向开槽采用防水材料直接封堵渗漏水也是一项工程中较为常用的堵漏方法。该条主要借鉴了国内外的先进做法，开槽后先在凹槽内充填防水材料，而后采用聚合物防水砂浆找平。

6.2.4 该条为本文 5.3 款的后续操作，当混凝土离子含量过高导致出现贯穿裂缝及钢筋生锈之后，宜凿除病害混凝土，对钢筋进行除锈（加筋或换筋），后进行填充修复或重新浇筑混凝土。

6.3.1 考虑到隧道施工缝的实际尺寸，隧道施工缝渗漏水治理后，刚性防水层的设置范围宜沿施工缝，在其走向两侧的 200mm 范围内设置，以进一步实现施工缝渗漏水的封闭。该条与现行标准 JGJ/T 212《地下工程渗漏治理技术规程》第 4.2.1.4 款保持一致。

6.4.1 利用钻孔注浆法修复隧道结构背后空洞及围岩空洞时，钻孔可穿过衬砌混凝土，采用抗海水侵蚀的无机注浆材料进行壁后注浆。当注浆完成后，采用填充密封材料对钻孔进行密封。

7 矿山法海底隧道渗漏病害修复材料选用

本章在参考相关国家、行业标准的基础上，结合海底隧道渗漏病害修复的工程实际，对渗漏病害修复的材料选用进行了规定，本章中的关键内容及其指标确定依据如下：

7.1.4 在海水的侵蚀下，材料的性能会大幅度劣化，因此海底隧道渗漏病害修复的材料应具有抗海水侵蚀能力，海水侵蚀的试样方法可参考 GB/T 38140 的有关规定执行。

7.2.3 控制聚合物水泥防水砂浆层的厚度可以有效保证防水层的质量，提高表面封闭法施工的效果。规定聚合物水泥砂浆防水层的厚度主要参考 JGJ/T 212 - 2010《地下工程渗漏治理技术规程》第 3.3.4.3 款。

7.2.4 磷酸镁水泥砂浆由于其快硬、早强的特性，宜用于具有严格时间要求的隧道病害修复中。但由于水化产物水稳定性较差，需要采用补充胶凝材料进行改性，或尽量在积水存在时使用。

7.2.6 水泥基渗透结晶型防水涂料的用量和厚度的双重控制是保证防水层质量的主要手段，这也与现行标准 JGJ/T 212 - 2010《地下工程渗漏治理技术规程》第 3.3.4.2 款保持一致。

7.3.5 铝酸盐水泥和硫铝酸盐水泥由于自身特有的水化产物，在海水侵蚀条件下较为稳定，可单独使用或与常用硅酸盐水泥互掺提高材料的抗侵蚀性能。

8 矿山法海底隧道渗漏病害修复施工

本章在参考相关国家、行业标准的基础上，结合海底隧道渗漏病害修复的工程实际，对修复施工流程进行了规定，本章中的关键内容及其指标确定依据如下：

8.1.6 海底隧道结构渗漏病害修复时，环境作业温度不应低于 0℃。环境温度对于渗漏病害修复极为关键，温度过低或过高均影响着浆液的性能从而影响修复效果。环境作业温度不应低于 0℃。该条是在综合国内外有关技术资料并结合工程实践的基础上，并参考了 JGJ/T 212-2010《地下工程渗漏治理技术规程》的第 3.4.14 款提出。

8.2.2 封闭材料用量控制是渗漏水治理效果的保证。渗透型环氧树脂类防水涂料、水泥基渗透结晶型防水涂料等材料在防水领域的应用日益广泛，并且能够有效提高涂刷基层的防渗性能。对于防渗封闭材料用量的控制也与现行国家标准 GB 50208《地下工程防水技术规范》的规定保持一致。

8.3.1 沿裂缝走向开槽并采用填充修补材料直接进行渗漏封堵是一项传统的堵漏技术，即在凹槽中嵌填、涂刷或抹压含水泥基渗透结晶型防水材料的涂料进行止水。该条给出的开槽尺寸为建议尺寸，具体应根据实际情况选取，但开槽的尺寸不宜过大，以免对衬砌造成进一步损伤破坏。本条主要参考了 JGJ/T 212-2010《地下工程渗漏治理技术规程》第 7.2.7 款。

8.5.6 基层温度过低不利于浆液的扩散和固化，而浆液的温度较低则影响其可注性，

难以达到目的。该条是在综合国内外有关技术资料并结合工程实践的基础上，并参考了 JGJ/T 212-2010 《地下工程渗漏治理技术规程》的第 3.4.10 款提出的。

8.5.7 钻孔注浆过程中当浆液不再流入，表明此时浆液可能遇到极细微裂隙，故维持该压力一定时间后停止注浆，可使浆液进一步进入细微裂隙以提升注浆质量。若继续注浆则会造成注入压力急速增长，并最终造成结构破坏。该条是在综合国内外有关技术资料并结合工程实践的基础上，并参考了 JGJ/T 212-2010 《地下工程渗漏治理技术规程》的第 4.3.1.3 款提出的。

8.7.4 当隧道结构修复没有补强要求，且修复要求时间短，宜采用喷射混凝土方法进行修复。当无修复时间要求，宜采用立模浇筑混凝土的方法进行修复。重新浇筑混凝土原则上不降低海底隧道原有技术标准，且与原结构粘结良好。

9 矿山法海底隧道渗漏病害修复质量检验与验收

9.2.1 参考 GB 50208-2011 《地下防水工程质量验收规范》的第 3.0.1 款。防水等级一级为不允许渗水，结构面无湿渍；防水等级二级为不允许渗水，结构表面可有少量湿渍；防水等级三级为有少量渗水点，不得有线流和漏泥沙；防水等级四级为有漏水点，不得有线流和漏泥沙。为了保证渗漏病害修复后满足海底隧道运营需要，渗漏病害修复后的防水等级应达到二级及以上。

六、重大意见分歧的处理依据及结果

本标准制订过程中尚未发生过重大意见分歧。

七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况

本标准未采用国际标准和国外先进标准。

八、作为推荐性标准建议及其理由

我国在未来数年内将有大量的海底隧道投入运营，将成为海底隧道大国。然而，海洋环境的高浓度离子侵蚀、高水压渗流、荷载状态复杂多变对运营隧道的结构安全极为不利，海底隧道必然面临病害问题。其中，渗漏病害尤为突出。从国内相关标准调研来看，目前提出的隧道病害修复相关规程多集中于陆上隧道，难以直接应用于海

底隧道。无限海水覆盖的天然条件、海下发育的复杂地质、服役承受的恶劣环境，以及隧道的差异性决定了海底隧道面临着多类型、高频次的风险灾害。我国特针对于海底隧道的技术规程，仅有福建省地方标准《公路海底隧道土建结构养护技术规范》（DB35/T 1941-2020），其并未涉及隧道渗漏病害修复方面。因此，针对于海底隧道渗漏病害修复技术规程的编制，一方面，将进一步规范海底隧道渗漏病害修复工作，确保隧道结构安全可靠；另一方面，通过明确海底隧道渗漏病害修复各阶段的修复工艺，更加科学高效地开展海底隧道维保工作。

九、贯彻标准的措施建议

（1）精心组织安排，开展宣贯培训。建议由行业主管部门统一安排，召开标准宣贯会，对涉及的交通建设、监理、设计、施工等单位开展标准实施培训和宣贯普及。明确海底隧道病害的检测、修复材料、设计、施工与验收等方面的具体要求，指导海底隧道病害修复，有效推动贯标工作的开展及落实。

（2）组织相关人员到施工现场参观学习，直观展示海底隧道病害修复效果及具体施工工艺；

（3）定期组织科研、生产、应用、检验等各环节人员进行技术交流，不断对海底隧道病害修复技术进行改进，保持技术领先、性能优化、价格合理。

十、其他应说明的事项

暂无。