

水泥混凝土裂缝微生物修复技术指南

(征求意见稿)

编制说明

标准起草组

2024 年 9 月

一、工作简况

1、任务来源

混凝土结构物耐久性失效均由混凝土开裂引起，开裂后在高湿、高温等环境耦合作用下，腐蚀介质极易侵入混凝土内部，导致钢筋钝化膜破坏而生锈，加速钢筋锈蚀速率，致使钢筋混凝土构件承载能力退化，最终导致结构安全问题。近年来，随着建筑材料学、微生物学和计算机科学等学科间的交叉研究，一些学者提出了一种新型的混凝土裂缝修复方法，即混凝土表面裂缝微生物自修复技术。混凝土表面裂缝微生物自修复技术是利用微生物诱导矿化机理生成的碳酸钙沉积物填充裂缝，改变混凝土内部孔隙特征与优化孔隙结构，提高混凝土抗渗性能，延缓钢筋锈蚀，进而提高混凝土结构物耐久性。相对于传统修复方法，混凝土表面裂缝微生物自修复技术具有主动、经济、生态环保、相容性好、修复效果良好等优点，可以从根本上解决混凝土开裂引起的钢筋锈蚀问题。但与之相关的行业标准极少，针对现场施工的技术指南标准处于空白状态。

基于此，申请人依据前期项目研究成果，申请该团体标准编制对混凝土结构物裂缝的修复施工技术具有很强的现实意义，有广阔的工程技术价值与工程应用前景。

2、制定标准的必要性和意义

由于混凝土固有的脆性、较低的抗拉强度和复杂的工作环境，开裂几乎是不可避免的。混凝土结构开裂后，环境中的氯盐、硫酸盐等腐蚀性介质极易侵入到混凝土内部，加速混凝土自身腐蚀及钢筋锈蚀，严重影响混凝土结构物的耐久性；当空气中的二氧化碳渗入混凝土内部发生碳化反应，pH 值下降，钢筋表面的致密钝化膜遭到破坏，混凝土失去对钢筋保护的作用钢筋发生锈蚀，混凝土碳化加剧还会导致混凝土收缩保护层破坏，进一步降低混凝土结构物耐久性。美国学者用“五倍定律”形象地说明了耐久性问题的重要：在钢筋防护方面，每节省 1 美元，则发现钢筋锈蚀时采取措施多追加 5 美元，混凝土开裂时多追加维护费用 25 美元，严重破坏时多追加维护费用 125 美元，由于这一恐怖的放大效应，各国政府不得不重视钢筋混凝土的耐久性与加固研究。据统计，全球每年因腐蚀造成的经济损失约占 GDP 的 3%。公路桥梁每年因腐蚀直接损失为 624.7 亿元，

而我国每年也因混凝土结构物耐久性提前失效而投入了大量资金进行维修加固。综上所述，混凝土结构物的裂缝问题不仅影响结构自身的安全运营，而且给国家社会造成了巨大经济损失。因此，针对混凝土结构损伤或者裂缝开展补强修复工作，是解决基础设施维护成本高，并延长混凝土结构使用寿命的有效手段。

目前国内外工程上常用的混凝土裂缝修复方法主要有表面处理法、填充法、灌浆法和结构补强法等。表面封闭法的修复材料不能进入裂缝内部，不能从根本上解决裂缝的扩展问题；灌浆法常用的材料为环氧树脂、聚氨酯等化学有机材料，其与水泥基材料的热膨胀系数不同，相容性差，抗老化性能差，而且会释放有毒气体，对人体和环境造成严重危害；结构补强法虽然修复效果最好，但其操作复杂，成本高，施工期长。因此，迫切需要一种新方法能够更快、更好、更便利地修复混凝土裂缝。微生物诱导碳酸钙沉积的应用为混凝土材料的裂缝修复提供了一个很好的手段。它是微生物技术在结构工程领域的应用，由于修复裂缝所需的菌液流动性好，修复过程中微生物代谢物与水泥基材料有着良好的相容性和界面强度。相比上述传统的裂缝修改复技术，微生物裂缝修复技术使得混凝土结构在一定程度上实现了多功能化和智能化，在无需人为控制的条件下实现裂缝自修复，并大大提升了混凝土结构的耐久性，从而延长服役寿命。该技术具备能耗低，绿色环保，施工简便的潜力，有着广泛的应用前景和显著的经济价值。

随着行业内对混凝土结构物裂缝问题的不断重视，国内外均制定了相关的行业标准、规范，主要包括 General Guidelines for Durability Design and Redesign (BE 95-1347)、Corrosion Tests in Artificial Atmospheres—Salt Spray Tests (ISO 9227:2006(E))、Standard Test Method for Determining Effects of Chemical Admixtures on Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments (G109-07)、Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres -Measurement of environmental parameters affecting corrosivity of atmospheres (ISO 9225:2012)、Service-Life Prediction—State-of-the-Art Report (ACI365.1R-00)、《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153-2015)、《混凝土结构耐久性设计标准》(GB/T 50476—2019)。但是针对混凝土结构物表面裂缝的修复、维护的标准尚未形成，针对微生物自修复施工技术的标准仍是空白，行业迫切需要混凝土结构物表面裂缝微生物自修复施工技术团体标准。

申请人基于前期项目研究成果，结合行业企业的实践经验申请制定团体标准对我国混凝土结构物耐久性提高有积极意义，具有深远的科学意义、工程应用价值及广阔的市场前景。

3、主要工作过程

1. 起草工作阶段：

根据要求，中国交通运输协会于 2022 年下半年开始着手成立标准编制工作起草小组，组织标准编制的相关工作。作为主要起草单位，上海城建职业学院积极收集有关本标准的各类信息，并组织相关的调研和试验验证工作，联络合作单位，最终明确了标准起草工作组的成员单位，成立了标准起草工作组。

随后，标准起草工作组开始了标准编制立项申请、计划大纲编写，明确任务分工及各阶段进度时间，工作组成员认真学习了 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》，结合标准制定工作程序的各个环节，进行了探讨和研究。

标准起草工作组经过技术调研、咨询，收集、消化有关资料，并结合设计、材料、施工工艺和应用技术发展趋势，在充分总结国内外技术研究与应用基础上，于 2022 年 11 月编写完成了团体标准《混凝土结构物表面裂缝微生物自修复技术施工指南》的立项申请材料。1 月 30 日，协会组织行业专家在北京召开立项审查会议，对标准立项报告进行审核，通过了标准项目的编制申请。

立项申请获批后，起草小组加快标准编制工作节奏，着手编制标准工作大纲。立项申请获批后，起草小组加快标准编制工作节奏，着手编制标准工作大纲和编制意见草稿的相关工作。编制工作大纲草案稿通过微信、邮件等方式提交给参编单位和协会专家分别审核，综合了多方意见，确定了标准起草编制的总体计划内容，形成了正式的标准工作大纲文件。

标准起草工作组按照立项审查会议内容，结合编制工作大纲进行认真分析、理解和总结，迅速开展标准的征求意见草稿的编制以及试验项目的实施工作，于 2023 年 8 月底完成了国内外调研和试验验证工作，9 月中旬编写完成了团体标准《混凝土结构物表面裂缝微生物自修复技术施工指南》的工作大纲征求意见初稿。

大纲编制阶段（2023 年 1 月～2023 年 11 月）

（1）2022 年 8 月，编制申请书；

(2) 2023 年 8 月，编制工作大纲并讨论、修改；

(3) 2023 年 11 月底，大纲评审。

标准编制阶段（2023 年 12 月～2024 年 7 月）

(1) 2023 年 12 月～2024 年 5 月，根据分工起草，通稿后形成《草稿》；

(2) 2024 年 6 月～2024 年 7 月，经讨论、修改、完善形成《征求意见稿》。

标准征求意见阶段（2024 年 9 月～10 月）

(1) 2024 年 9 月～10 月，《征求意见稿》征求意见；

(2) 根据所反馈的意见，召开起草组讨论、完善，形成《送审稿》和《征求意见汇总表》。

技术审查稿审核阶段（2024 年 11 月）

(1) 2024 年 11 月，召开专家技术审查会对技术审查稿进行审查；

(2) 根据专家意见，补充、修改和完善形成《送审稿》。

报批稿审核阶段（2024 年 12 月～2025 年 1 月）

(1) 2024 年 12 月，《送审稿》及相关资料呈报协会批准。召开送审稿审查会。根据审查专家意见，修改、完善报批稿；

(2) 2025 年 1 月发布标准。

二、制定标准的原则和依据，与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

1、编写原则

本标准遵循“开放、公平、透明、协商一致、促进贸易和交流”的原则。在标准编制中，严格执行国家标准《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020），并根据提案、立项、起草、征求意见、技术审查、报批等节点时间控制本标准编制工作进度。

2、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准遵循“开放、公平、透明、协商一致、促进贸易和交流”的原则。

三、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

1、主要内容

标准的主要章节如下所示，详细内容参见标准草稿。

- 1) 范围
- 2) 规范性引用文件
- 3) 术语和定义
- 4) 修复材料制备
- 5) 微生物修复浆液制备
- 6) 微生物修复工艺与质量控制

3、主要试验（或验证）综述

3.1 微生物矿化结晶效果验证试验

3.1.1 微生物菌液浓度测定

通过分光光度计测量透过样品后的光强度与初始光强度的比例（吸光度），可以根据比尔-朗伯定律计算出样品中溶质的浓度。

3.1.2 微生物脲酶活性测定

使用电导率仪通过测量电流通过导电溶液时的电阻来确定电导率。当溶液中存在可移动的离子时，电流能够更容易地通过溶液，导致电阻降低。因此，电导率的测量值与溶液中离子的浓度成正比。

3.2 混凝土裂缝微生物修复效果验证试验

通过对微生物修复后的混凝土试件进行电通量、碳化、渗水性等测试，判断微生物修复裂缝对混凝土强度的提升效果。

3.3 实体工程试验

在实际工程试验过程中，先在室内进行了浆液配合比试验，电通量试验以及注浆设备改造，并进行了微观效果分析，进行电通量试验以及混凝土氯离子迁移系数试验，降低了混凝土的孔隙率，改善孔结构，从而有效提高了混凝土的抗渗性。

四、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

五、采用国际标准和国外先进标准的情况，与国际、国内同类标准水平的对比情况

随着行业内对混凝土结构物裂缝问题的不断重视，国内外均制定了相关的行业标准、规范，主要包括 General Guidelines for Durability Design and Redesign (BE 95-1347)、Corrosion Tests in Artificial Atmospheres—Salt Spray Tests (ISO 9227:2006(E))、Standard Test Method for Determining Effects of Chemical Admixtures on Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments (G109-07)、Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres -Measurement of environmental parameters affecting corrosivity of atmospheres (ISO 9225:2012)、Service-Life Prediction—State-of-the-Art Report (ACI365.1R-00)、《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153-2015)、《混凝土结构耐久性设计标准》(GB/T 50476—2019)。但是针对混凝土结构物表面裂缝的修复、维护的标准尚未形成，针对微生物自修复施工技术的标准仍是空白，行业迫切需要混凝土结构物表面裂缝微生物自修复施工技术团体标准。

六、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

建议团体标准《水泥混凝土裂缝微生物修复技术指南》作为推荐性标准颁布实施。

七、贯彻标准的要求和措施建议

建议本标准在批准发布 3 个月后实施。

本标准发布后，应向应用混凝土结构物表面裂缝修复的技术管理、设计、施工等相关单位进行宣传、贯彻，向相关单位和个人推荐执行本标准。

八、废止现行有关标准的建议

无。

九、其他应予说明的事项

无。

标准起草工作组

2024 年 9 月