

《轨道交通隧道装配式复合型材加固技术规程》
(征求意见稿)
编制说明

标准起草组

2022 年 8 月

一 工作简况

1. 任务来源

2022年01月06日，由国铁新材（北京）科技有限公司主编的《装配式复合型材隧道加固维修技术规范》，申请中国交通运输协会2021年度第四批团体标准的立项，依据《中国交通运输协会团体标准管理办法》相关规定，经组织专家评审，符合立项条件，公示期满未收到异议，批准立项。

2. 主编单位、参编单位

主编单位：国铁新材（北京）科技有限公司

北京市地铁运营有限公司

北京地铁工程管理有限公司

中铁隧道局集团市政工程公司

北京城建设计发展集团股份有限公司

北京建筑材料检验研究院有限公司

参编单位：中国铁路设计集团有限公司

北京交通大学

苏交科集团股份有限公司

中铁二院工程集团有限责任公司

中铁第四勘察设计院集团有限公司

北京建工集团有限责任公司

中铁隧道股份有限公司

中铁十六局集团有限公司

中铁二十五局集团有限公司

中铁三局集团线桥工程有限公司

石家庄交通投资发展集团有限责任公司

南京地铁运营有限责任公司

天津津铁城市轨道交通工程有限公司

中铁第五勘察设计院集团有限公司
 南昌轨道交通工程有限公司
 陕西城际铁路有限公司
 西安市轨道交通集团有限公司
 南昌轨道交通集团有限公司运营分公司
 郑州地铁集团有限公司
 杭州市地铁集团有限责任公司
 华设设计集团股份有限公司

3. 主要起草人(以表格形式将内容明确)

姓名	专业	职称	工作单位
王大润	通信	高级工程师	国铁新材（北京）科技有限公司
李宇杰	地下工程	教授级高工	北京地铁工程管理有限公司
靳柒勤	土木工程	高级工程师	中铁隧道局集团市政工程有限公司
王罡	工务工程	高级工程师	北京市地铁运营有限公司
唐海斌	环境工程	高级工程师	中铁隧道局集团市政工程有限公司
孙光华	土木工程	高工	北京地铁工程管理有限公司
陆遥	土木工程	工程师	北京地铁工程管理有限公司
王海龙	线路工程	工程师	北京地铁工程管理有限公司

			司
杨硕	土木工程	工程师	北京市地铁运营有限公司
张育敏	机械	高级工程师	国铁新材（北京）科技有限公司
张超	材料	高级工程师	国铁新材（北京）科技有限公司
马可飞	自动化	工程师	国铁新材（北京）科技有限公司
古永超	隧道与地下工程	工程师	国铁新材（北京）科技有限公司
何巍	土木工程	工程师	国铁新材（北京）科技有限公司
李兴	土木工程	中级	北京地铁建筑设施维护有限公司
孙征南	土木工程	工程师	北京地铁建筑设施维护有限公司
潘婷	结构	高级工程师	北京城建设计发展集团股份有限公司
杜宁宁	结构	助理工程师	北京城建设计发展集团股份有限公司
张伟	结构	高级工程师	北京城建设计发展集团股

			份有限公司
李玲	结构	教授级高工	北京城建设计发展集团股 份有限公司
王剑晨	结构	高级工程师	北京城建设计发展集团股 份有限公司
程亚平	结构	高级工程师	北京城建设计发展集团股 份有限公司
寇卫锋	结构	高级工程师	北京城建设计发展集团股 份有限公司
房倩	隧道与地 下工程	教授	北京交通大学
张春雷	隧道与地 下结构	高级工程师	中国铁路设计集团有限公 司
马振海	交通运输 工程	正高	中国铁路设计集团有限公 司
黄俊	隧道与地 下工程	正高	苏交科集团股份有限公司
董飞	隧道与地 下工程	工程师	苏交科集团股份有限公司
王呼佳	隧道	教授级高工	中铁二院工程集团有限责 任公司

徐剑旋	隧道	高级工程师	中铁二院工程集团有限责任公司
王金龙	隧道	教授级高工	中铁第四勘察设计院集团有限公司
孙雪兵	隧道	高级工程师	中铁第四勘察设计院集团有限公司
豆海涛	隧道	高级工程师	中铁第四勘察设计院集团有限公司
刘洋	建筑工程	高级工程师	北京建工集团有限责任公司
张杰	土建施工	中级工程师	北京建工集团有限责任公司
陈慧超	隧道	高级工程师	中铁隧道股份有限公司
段树涛	隧道	高级工程师	中铁隧道股份有限公司
胡锦涛	隧道	高级工程师	中铁十六局集团有限公司
范志高	隧道	高级工程师	中铁十六局集团有限公司
欧阳飞 飞	土木工程	高级工程师	中铁三局集团线桥工程有限公司
张超	土木工程	工程师	中铁三局集团线桥工程有限公司
刘凯	土木工程	高级工程师	中铁隧道股份有限公司

陈明清	土木工程	高级工程师	中铁隧道股份有限公司
谢彬	土木工程	高级工程师	
李昌卿	土木工程	高级工程师	中铁二十五局集团有限公司
王彩文	铁路工程	中级	南京地铁运营有限责任公司
李伟	建设工程	中级	南京地铁运营有限责任公司
吴赛甲	隧道专业	副高级工程师	天津津铁城市轨道交通工程有限公司
张磊	隧道专业	副高级工程师	天津津铁城市轨道交通工程有限公司
金洪波	土木工程	高级工程师	南昌轨道交通工程有限公司
熊全涛	土木工程	高级工程师	南昌轨道交通工程有限公司
张立欣	土木工程	高级工程师	石家庄交通投资发展集团有限责任公司
周伟	土木工程	正高级工程师	石家庄交通投资发展集团有限责任公司
马一博	土木工程	正高	西安市轨道交通集团有限公司

			公司
程明	土木工程	高级工程师	郑州地铁集团有限公司
吴建滨	城市轨道交通工程	高级工程师	南昌轨道交通集团有限公司运营分公司
桂文标	市政工程	高级工程师	南昌轨道交通集团有限公司运营分公司
武建	桥梁隧道工程	高级工程师	华设设计集团股份有限公司
李波	桥梁隧道工程	高级工程师	华设设计集团股份有限公司
王璇熙	土木工程	中级	北京建筑材料检验研究院有限公司
张秀丽	土木工程	中级	北京建筑材料检验研究院有限公司
谌启发	土木工程	正高	中铁第五勘察设计院集团有限公司
罗章波	土木工程	正高	中铁第五勘察设计院集团有限公司
丁祥	土木工程	副高	中铁第五勘察设计院集团有限公司
羊逸君	地下工程	副高	杭州市地铁集团有限责任公司

			公司
李若飞	岩土工程	中级	杭州市地铁集团有限责任公司 公司

二 制定（修订）标准的必要性和意义

1. 轨道交通快速发展，成为公共交通的重要基础

近几年，轨道交通作为七大新基建之一，在国家政策引导下发展迅速，其在满足人民群众交通出行需求、缓解城市交通拥堵、促进经济社会发展方面发挥了极其重要的作用。截至 2021 年 9 月 30 日，中国内地累计有 49 个城市投运城市轨道交通线路 8553.40 公里，其中地铁 6737.73 公里，占比 78.8%；北京市轨道交通路网运营线路长度已达 799.10 公里，其中地铁 653.00 公里，占比 81.72%。

“十四五”期间，北京将加快构建圈层式、一体化轨道交通网络，推动干线铁路、城际铁路、市郊铁路、地铁“四网融合”，实现轨道交通与城市协调融合发展，让市民乐享“轨道上的都市生活”。

2. 轨道交通隧道结构病害呈现上升趋势，严重影响运营安全

隧道结构是轨道交通的基础设施，其安全性和稳定性对列车平稳运行至关重要。随着城市建设的快速发展，轨道交通保护区内邻近施工项目数量逐年递增，例如北京地铁仅 2020 年邻近施工项目就达到百余次。邻近施工对隧道结构的影响也越来越大，这些施工活动会引起临近地铁隧道结构产生较大的附加内力和变形，其一方面严重影响隧道结构安全运营，另一方面也严重制约邻近工程自身的施工进度。

同时，伴随着隧道结构运营年代的增加，其自身也不可避免的出现了结构病害。例如，北京地铁复八线，自 1999 年 10 月 1 日开通至今，陆续出现了二次衬砌裂缝、空鼓等隧道结构病害，存在较大的安全隐患。相关病害检测结果显示“复八线”区间的裂缝最大长度远大于其他区间，上行

线的最大裂缝长度甚至达到了 202.2m。病害统计结果中呈现的较大标准差和变异系数表明隧道病害和离散程度受运营时间影响较大。北京地铁八通线平均客流量 100 万人次以上，早晚高峰时期，运营间隔为 2 分钟。每日夜间只有不到 3 小时的天窗点维护时间。因此，为解决天窗点不足的问题，北京地铁也创新采用了复合型材装配式工艺加固维修技术替代传统技术。

3. 复合型材装配式工艺加固维修技术相比于传统技术优势明显

过去的十几年中，地铁隧道结构变形超限病害的维修加固方法主要采用的是粘钢法，但是这种方法存在明显的局限性。

一是由于粘钢法加固用钢重度大，其施工需要大型机械设备（轨道车）和机械臂配合，轨道车需要在线路停电后从车辆场开出至施工区间，其一方面压缩了现场的有效作用时间，另一方面也影响了线路上其他专业的作业维修工作。

二是粘钢法需要将钢板固定在隧道结构表面，必须对隧道结构的管线进行改移，改移过程本身就存在安全风险。同时，全封闭的钢板将背后隧道结构表面全部覆盖，后期运维人员无法有效观察隧道结构病害的发展情况。

三是粘钢法需要在隧道内进行动火作业，现场进行钢板切割。动火作业本身存在安全风险，并会产生大量的焊接有害气体，对现场环境造成持续污染，对施工人员的健康也会带来长期的伤害。

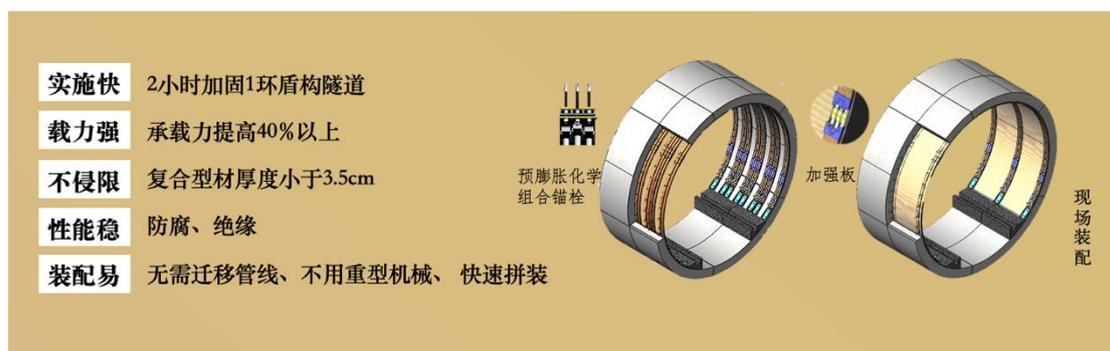
四是在仅有 3 个小时的天窗施工时间内，完成一环盾构管片结构病害加固，粘钢法需要 20 个施工天窗点，耗时耗力。

综上所述，粘钢法的局限性已经无法满足大规模网络化运营条件下地铁隧道加固维修的发展需求，如何采用替代性技术方案成为急需解决的问题。因此，从2016年开始，国铁新材（北京）科技有限公司联合北京市地铁运营有限公司、北京交通大学、北京城建设计发展集团股份有限公司等单位创新研发了复合型材装配式工艺加固维修技术，并进行了逐步推广应用。

针对传统加固方法的局限性和劣势，装配式复合型材结构加固技术有如下优势：

一是装配式复合型材系统，可以做到前期数据预判，高精度工厂预制，模块化高效安装，安全环保施工等全流程管理，减少了现场动火切割环节。

二是其承载力更高、重量轻、可人工快速安装、无需大型机械设备配合；可多作业面并行施工、无电焊明火作业、不用迁改管线；材料耐腐蚀、绝缘，综合性价比更优，符合现今轻量化为结构减压和要求工程结构高耐久度的土木工程发展趋势，实施效率可达传统方案的5倍以上。



截止到2021年11月，复合型材装配式工艺加固维修技术已经成功应用于北京地铁15号线、6号线、10号线、杭绍城际、西安铁路局西平线永寿梁隧道、苏州地铁、郑州地铁等线路。经过多地区实际应用案例的实

施，普遍受到业主认可，已经在全国地铁行业形成复合型材装配式工艺加固维修技术替代传统隧道加固技术的趋势。



北京地铁 15 号线加固



北京地铁 6 号线加固



杭绍城际加固



郑州地铁 14 号线加固

4. 复合型材装配式工艺加固维修技术已经在行业内实现了广泛应用，迫切需要制定相关指导性技术标准

随着大规模轨道交通工程建设和使用，隧道结构加固的形式变得越发多样化，维修加固任务也日益艰巨，探索快速高效和安全可靠的结构加固方法、构建科学统一的轨道交通运营隧道加固相关标准和规范已成为地铁运营安全保障的迫切需求。

在研发和推广应用过程中，我们已经形成了较为完善的复合型材装配

式加固结构选型和设计工艺、复合型材和衬砌结构间的有效连接工艺、施工质量控制工艺等技术体系。但是，在国内轨道交通领域隧道结构病害治理方面，仅有 DB11/T 1843-2021《盾构法隧道修复加固工程施工质量验收规范》（北京市地方标准）、DG/TJ 08-2231-2017《上海地铁盾构法隧道修复加固工程施工质量验收规范》可供参考。复合型材装配式工艺加固维修技术与以上规范中提到的粘钢法工艺，在结构特点方面有较大差异。

因此，有必要结合轨道交通工程实际特点和装配式复合型材加固维修技术推广应用案例，制定科学规范的装配式复合型材加固维修技术指导性技术标准，为促进城市轨道交通隧道结构安全保障技术的进一步发展提供规范性支撑。

三、主要工作过程

1. 工作安排

本标准编制工作主要依托于前期研发成果和各地实际应用案例成果，在总结分析成果体系的基础上，采用专家咨询论证、行业意见征集和政府部门评审的工作思路，完成标准的初稿编制、征求意见稿编写工作。

2. 工作过程

标准编制工作严格按照中国交通运输协会标准化工作规则的要求开展，具体工作计划如下：

1) 标准项目下达后成立专项工作组

标准立项下达后，在归口单位指导下，由国铁新材（北京）科技有限公司牵头，联合北京市地铁运营有限公司、北京地铁工程管理有限公司、中铁隧道局集团市政工程公司、北京城建设计发展集团股份有限公司、北

京建筑材料检验研究院有限公司组成核心工作组，并邀请中国铁路设计集团有限公司、北京交通大学、苏交科集团股份有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司、北京建工集团有限责任公司、中铁隧道股份有限公司、中铁十六局集团有限公司、中铁二十五局集团有限公司、中铁三局集团线桥工程有限公司、石家庄交通投资发展集团有限责任公司、南京地铁运营有限责任公司、天津津铁城市轨道交通工程有限公司、中铁第五勘察设计院集团有限公司、南昌轨道交通工程有限公司、陕西城际铁路有限公司、西安市轨道交通集团有限公司、南昌轨道交通集团有限公司运营分公司、郑州地铁集团有限公司、杭州市地铁集团有限责任公司、华设设计集团股份有限公司成立标准发起工作组，同步邀请相关行业单位参与标准工作组，制定专项工作方案，明确工作职责和范围。

2) 召开标准启动会

针对本标准，标准工作组对各系统核心技术及应用情况、相关行业的采用标准、基本条件要求和筹备要求等情况启动相关调研工作，完成相关技术资料的收集，形成本标准的工作大纲和标准草案稿。

在立项下达后，2022年6月1日，由国铁型材（北京）科技有限公司牵头组织召开大纲专家评审会。与会专家听取了编写组汇报，经质询、讨论形成以下审查意见：

一、编写组提交的编制大纲章节设置基本合理，工作大纲内容齐全，人员组成、进度安排基本合理，符合《中国交通运输协会团体标准管理办法》的要求，满足编制工作需要。

二、建议

1. 标准名称修改为《轨道交通隧道装配式复合型材加固技术规程》；

2. 章节名称顺序：1 范围，2 规范性引用文件，3 术语和定义，4 基本规定，5 检测评估，6 材料，7 加固设计，8 施工准备，9 加固施工，10 工程验收，11 维护检修

3. 依据隧道类型，增加对装配式复合型材各种工况下的参数、指标及不同隧道情况下的安装要求等技术细节；

4. 充分考虑产品是否涉及企业专利的问题；

5. 团标参考地标、行标和国标时要慎重，考虑引入铁路行管规范；

6. 优化规程章节条文层级。

专家组同意编制大纲通过审查。

3) 形成征求意见稿

编制组通过各城市轨道交通运营期地铁隧道相关标准和情况，以及装配式工艺加固维修技术在北京、绍兴、郑州、西安等应用案例的实施情况，结合城市轨道交通隧道结构加固维护工作的研究。2022年9月7日，中国交通运输协会标准化技术委员会在北京铁道大厦3层18号会议室组织召开了《轨道交通隧道装配式复合型材加固技术规程》团体标准征求意见稿草案审查会议，与会专家（名单附后）查阅了相关资料，听取了起草组汇报，经质询讨论，形成纪要如下：

一、起草组总结了轨道交通隧道装配式复合型材的加固技术需求和实用检测方法，研究了行业发展趋势，在调研论证的基础上，形成了征求意见稿草案，提出了轨道交通隧道装配式复合型材加固实施技术及流程。

二、征求意见稿草案结构较合理，内容较全面。轨道交通隧道装配式复合型材具有重量轻、强度高、耐腐蚀、不导电等产品优势，对提高轨道交通隧道的加固效率具有重要意义。本规程可为该技术的推广应用提供技术支持。

三、征求意见稿草案的编制过程符合《中国交通运输协会团体标准管理办法》规定的程序和要求，文本格式基本符合 GB/T 1.1—2020 的要求。专家组同意通过审查。

四、修改意见建议：

1. 进一步完善章节结构及相关内容；

2. 建议取消附录 A。附录 B 及附录 C 完善后，作为资料性附录。

四、制定标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

1. 编制原则

1) 标准格式统一、规范，符合 GB/T1.1-2020 要求。

2) 标准内容符合统一性、协调性、适用性、一致性、规范性要求。

3) 标准技术内容安全可靠、成熟稳定、经济适用、科学先进、节能环保。

4) 标准实施后有利于保障城市轨道交通全自动运行线路建设及试运行筹备工作，符合城市轨道交通行业发展需求。

2. 与现行法律、法规、标准的关系

本标准内容与现行的国家各项有关法律法规、国家标准、行业标准、地方标准不构成冲突。

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 8162 结构用无缝钢管

GB/T 26745 土木工程结构用玄武岩纤维复合材料

GB 50017 钢结构设计规范

GB 50300 建筑工程施工质量验收统一标准

GB/T 50448 水泥基灌浆材料应用技术规范

GB 50661 钢结构焊接规范

GB 50728 工程结构加固材料安全性鉴定技术规范

GB 51446 钢管混凝土混合结构技术标准

JGJ 145 混凝土结构后锚固技术规程

JGJ/T 212 地下工程渗漏治理技术规程

DB11/T 718 城市轨道交通设施养护维修技术规范

DB11/T 1843 盾构法隧道修复加固工程施工质量验收规范

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

1. 玄武岩纤维单向布技术要求（4.2.2）

玄武岩纤维是以一种或多种火山岩为主要原料，高温熔融后经漏板拉丝制备而成的连续纤维。由单向连续玄武岩纤维组成，未经树脂浸渍固化的玄武岩纤维制品即为玄武岩纤维单向布。本标准所涉及的玄武岩纤维单向布依据现行国家标准《土木工程结构用玄武岩纤维复合材料》GB/T 26745，其拉伸强度级别宜不低于 2000MPa。

玄武岩纤维单向布力学性能按 GB/T 3354 的规定进行测定。其中，试

样宽度为 15mm,玄武岩纤维单向布的截面面积取玄武岩纤维单向布理论厚度与试样宽度的乘积。玄武岩纤维单向布的试样制备及理论厚度按 GB/T 21490-2008 附录 A 的规定执行。

玄武岩纤维单向布技术指标要求如下表：

项目	抗拉强度 (MPa)	拉伸弹性模量 (GPa)	伸长率 (%)	导电率
指标	≥2000	≥80	≥2.2	不导电

2. 灌浆料技术要求 (4.2.3)

由水泥、骨料、外加剂和矿物掺合料等原材料在专业化工厂按比例计量混合而成,在使用地点按规定比例加水或配套组分拌合,用于灌浆的材料。最重要的三项性能指标是流动度、竖向膨胀率和抗压强度,试验方法依据现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 进行。灌浆料技术指标如下表：

序号	性能项目		指标
1	凝结时间 (h)	初凝	≥4
		终凝	≤24
2	流锥流动度 (s)	初始	10~18
		30min	12~20
3	泌水率 (%)	24h 自由泌水率	0
		压力泌水率 (%), 0.22MPa	≤1
		压力泌水率 (%), 0.36MPa	≤2
4	抗压强度	1d	≥20
		3d	≥40
		28d	≥60
5	24h 自由膨胀率 (%)		0~3
6	氯离子含量 (%)		≤0.06

3. 复合型材尺寸规格及物理力学性能要求 (4.2.6)

考虑到轨道交通隧道的限界条件, 复合型材规格一般选用 182mm×32mm (±2mm) 或 182mm×42mm (±2mm)。复合型材力学性能要求如下表:

182mm×32mm (±2mm)	抗弯刚度, N·mm ²	≥4.5×10 ¹⁰
	受压弹性模量, GPa	≥53.0
	抗压强度, MPa	≥150
182mm×42mm (±2mm)	抗弯刚度, N·mm ²	≥7.8×10 ¹⁰
	受压弹性模量, GPa	≥50
	抗压强度, MPa	≥140

(1) 装配式复合型材试件抗弯刚度应按下列式计算:

$$EI = \frac{Mh_0}{\varepsilon_c + \varepsilon_s}$$

式中: EI—弹性截面抗弯刚度 (N·mm²);

M—试件跨中位置处的弯矩 (N·mm);

h₀—截面有效高度 (mm);

ε_c—截面顶部平均压应变;

ε_s—截面底部平均拉应变。

由于整个加载过程的抗弯刚度值存在一定波动, 通常可选择应变计读数稳定后的最大刚度值作为截面的抗弯刚度计算值。若取值存在分歧, 应选取最大变形的 10%位置作为最终的抗弯刚度取值。

(2) 装配式复合型材试件受压弹性模量应按下列式计算:

$$E = \frac{F_1 - F_2}{A(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}$$

式中: E—受压弹性模量 (MPa);

F₁—弹性阶段的最小荷载 (N), 建议取 30%极限荷载值对应的荷载值, 或可根据试验力-位移曲线及应力-应变曲线, 确定弹性阶段范围

内对应的最小荷载数值；

F_2 —弹性阶段的最大荷载 (N)，建议取 60%极限荷载值对应的荷载值，或可根据试验力-位移曲线及应力-应变曲线，确定弹性阶段范围内对应的最大荷载数值；

ε_1 — F_1 对应的应变；

ε_2 — F_1 对应的应变；

A—试件受压面积 (mm^2)。

若弹性阶段选取存在分歧，应以 30%、60%极限荷载值对应的荷载-位移值为弹性阶段的最小、最大值为准。

六、重大意见分歧的处理依据和结果

无重大意见分歧。

七、与国内外同类标准水平的对比情况

国内无同类标准，建议本标准为推荐性标准。

八、作为推荐性标准或者强制性标准的建议及其理由

本标准适用于城市轨道交通运营线隧道结构加固，是城市轨道交通隧道结构病害治理及养护维修的基础性标准，建议作为推荐性标准发布实施。

九、强制性标准实施的风险点、风险程度、风险防控措施和预案

无

十、实施标准的措施(政策措施/宣贯培训/试点示范/监督检查/配套资金等)

本标准由中国交通运输协会提出并归口管理，实施标准的措施如下：

1) 建议相关部门制定实施管理办法。

2) 建议城市轨道交通隧道结构加固装配式复合型材加固维修工程积极采用本标准。

3) 精心组织安排、抓好宣贯培训，并采取多种形式强化宣贯效果。

建议由行业主管部门统一安排，召开标准宣贯会，对涉及的北京城市轨道交通建设、运营、监理、施工等单位开展标准实施培训和宣贯普及，有效推动贯标工作的开展及落实。

十一、其他应说明的事项

无

《轨道交通隧道装配式复合型材加固技术规程》标准编制小组

二〇二二年九月二十八日