

DB11

北京市地方标准

DB11/T 2258—2024

城市轨道交通装配式多腔复合结构隧道加固技术规范

Specification of practice for urban rail transit tunnel reinforcement
using prefabricated composite material components

2024 - 06 - 28 发布

2024 - 10 - 01 实施

北京市市场监督管理局 发布

目 次

前 言..... 11

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 基本要求..... 1

5 设计要求..... 4

6 施工要求..... 6

7 质量控制及验收..... 8

8 养护维修..... 9

附录 A..... 10

参 考 文 献..... 14

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。

本文件由北京市交通委员会提出并归口。

本文件由北京市交通委员会组织实施。

本文件起草单位：北京市地铁运营有限公司、北京地铁工程管理有限公司、国铁新材（北京）科技有限公司、北京城建设计发展集团股份有限公司、北京交通大学、北京市建设工程质量第三检测所有限责任公司、北京地铁建筑设施维护有限公司、同济大学、北京市轨道交通运营管理有限公司、湖北轨道交通设计研究股份有限公司、北京市政路桥科技发展有限公司、北京交通发展研究院、中铁工程设计咨询集团有限公司、中国水利水电科学研究院、北京市基础设施投资有限公司、中国铁路设计集团有限公司、北京建筑材料检验研究院股份有限公司、广州地铁设计研究院股份有限公司、中铁二院华东勘察设计有限责任公司。

本文件主要起草人员：李宇杰、王大润、李玲、刘燕华、叶利宾、杨硕、陆遥、李强、潘婷、杨运节、于霖、张军、马灿玮、段星亮、孙光华、房倩、韩松、柳献、贺美德、李坤、徐海清、牛晓凯、屈文彬、王文明、王军、张伟、马洁、杨华威、任雅琴、何巍、张育敏、张超、沈忱、谭磊、田桂英、孙征南、张硕、刘珣、贺姗、袁俊、申巧凤、刘建友、齐恒、宋文杰、刘晓亭、张博、楚刘辉、王达麟、张秀丽、麦家儿、黄栩。

城市轨道交通装配式多腔复合结构隧道加固技术规范

1 范围

本文件规定了城市轨道交通装配式多腔复合结构隧道加固的基本要求、设计要求、施工要求、质量控制及验收、养护维修的要求。

本文件适用于城市轨道交通圆形、类圆形隧道结构的修复加固，其他形状地下工程结构修复加固可参照使用。

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 8162 结构用无缝钢管
- 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 50728 工程结构加固材料安全性鉴定技术规范
- GB 55004 组合结构通用规范
- JGJ 145 混凝土结构后锚固技术规程
- JGJ/T 212 地下工程渗水漏治理技术规程
- 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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

装配式多腔复合结构 **assembled multi-cavity composite structure**
纤维增强材料与多根钢管复合成型，拼装后在腔体内部灌注灌浆材料形成的复合结构。

3.2

前置防护 **protection before construction**
为了确保作业影响范围内轨道交通隧道既有设施在结构加固维修期间安全与功能正常，施工前对其采取临时性保护罩安设、绝缘毯防护、篷布铺设以及防护警示标牌设置等相关措施。

4 基本要求

4.1 一般要求

4.1.1 城市轨道交通隧道主体结构状态依据DB11/T 718评定为4级、5级时，宜采用装配式多腔复合结构进行加固。

- 4.1.2 经评估论证邻近施工影响轨道交通既有隧道结构安全，需要进行预加固时，可采用装配式多腔复合结构进行加固。
- 4.1.3 装配式加固应将复合成型的多根钢管划分为多节段拼插构件，通过结构胶及锚栓将其固定在隧道内壁上，并对钢管腔体内灌注灌浆材料。
- 4.1.4 加固施工前，应对隧道的渗漏、破损、开裂等结构病害进行治理，并应达到DB11/T 1843和JGJ/T 212的验收标准。
- 4.1.5 城市轨道交通隧道装配式多腔复合结构修复加固应编制专项设计方案、专项施工组织方案及应急预案。
- 4.1.6 加固施工前，隧道内原有管线和其他设施的移位或保护应符合前置防护的规定。
- 4.1.7 加固施工作业及施工质量应满足轨道交通运营安全要求。

4.2 材料要求

- 4.2.1 材料宜用不锈钢，也可采用经过防锈处理的普通钢管。钢管选用应符合GB/T 8162的要求。
- 4.2.2 纤维增强材料宜用玄武岩纤维单向布，也可采用碳纤维、玻璃纤维、芳纶纤维，力学性能指标应符合表1要求；纤维增强材料质量应符合GB 55004的要求。

表 1 纤维增强材料力学性能

项目	抗拉强度 MPa	拉伸弹性模量 GPa	伸长率 %
指标	≥2000	≥80	≥2.2

- 4.2.3 灌浆材料应采用预应力孔道的水泥基灌浆材料，性能指标应符合GB/T 50448的要求，如表2所示。

表 2 水泥基灌浆材料性能指标

序号	项目		技术指标
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	7d	≥35
		28d	≥50
5	24h 自由膨胀率 %		0~3

4.2.4 结构胶的基本性能应符合GB 50728中I类胶（A级）的要求，如表3所示。

表 3 结构胶基本性能指标

检验项目			检验条件	鉴定合格指标
				I 类胶
				A级
胶 体 性 能	抗拉强度 MPa		在(23±2)℃、(50±5) % RH条件下, 以2mm/mi n加荷速度进行测试	≥38
	受拉弹性模量 MPa			≥2. 4*10 ³
	伸长率 %			≥1. 5
	抗弯强度 MPa			≥50 且不得呈碎裂状破坏
	抗压强度 MPa			≥70
粘 结 能 力	钢对钢拉伸抗剪 强度 MPa	标准值	(23±2)℃、(50±5) % RH	≥14
		平均值	(60±2)℃、10mi n	≥16
			(95±2)℃、10mi n	-
			(125±3)℃、10mi n	-
			(-45±2)℃、30mi n	≥16
	钢对钢粘结抗拉强度 MPa		在(23±2)℃、(50±5) % RH条件下,按 所执行试验方法标准规定的加荷速度 测试	≥40
	钢对钢T冲击剥离长度 mm			≤20
	钢对C45混凝土正拉粘结强度 MPa			≥2. 5 且为混凝土内聚破坏
不挥发物含量			(105±2)℃、(180±5) mi n	≥99
注：表中各项指标，除标有标准值外，均为平均值。				

4.2.5 锚栓质量应符合JGJ 145的要求，如表4所示。

表 4 锚栓性能指标

埋入深度 mm	抗拔承载力 kN
≥100	≥83.6

4.2.6 多腔复合结构表面应涂刷普通钢结构防火涂料，耐火极限F_t≥2.00h，耐火性能分级不低于F_p2.00，应符合GB 14907的要求。

5 设计要求

5.1 设计原则

- 加固设计应符合以下要求：
- a) 不应侵入隧道的设备限界；
 - b) 不应影响隧道内轨道交通设备设施的正常使用；
 - c) 不应影响线路的正常运营。

5.2 设计依据

- 编制设计方案前，应收集下列资料作为设计依据：
- a) 隧道结构的设计资料、施工资料、竣工资料及相关技术文件；
 - b) 隧道结构现状检测报告、监测数据及安全性评估报告；
 - c) 隧道结构的大修或专项维修资料；
 - d) 其他相关资料。

5.3 设计内容

- 5.3.1 设计的内容应包括：
- a) 确定加固范围、隧道横断面安装范围、多腔复合结构的截面尺寸及材料参数、纵向榫间距、横向节段划分等；
 - b) 绘制相应的多腔复合结构安装平面、纵剖面及横断面布置图，以及节点安装详图；
 - c) 明确施工技术要求及相关注意事项。
- 5.3.2 装配式多腔复合结构常用型号为 I -a型、 I -b型、 II 型，横断面如图1-图3所示，力学性能指标应满足表5的要求，其中纤维增强材料厚度为1mm，钢管壁厚为1mm。

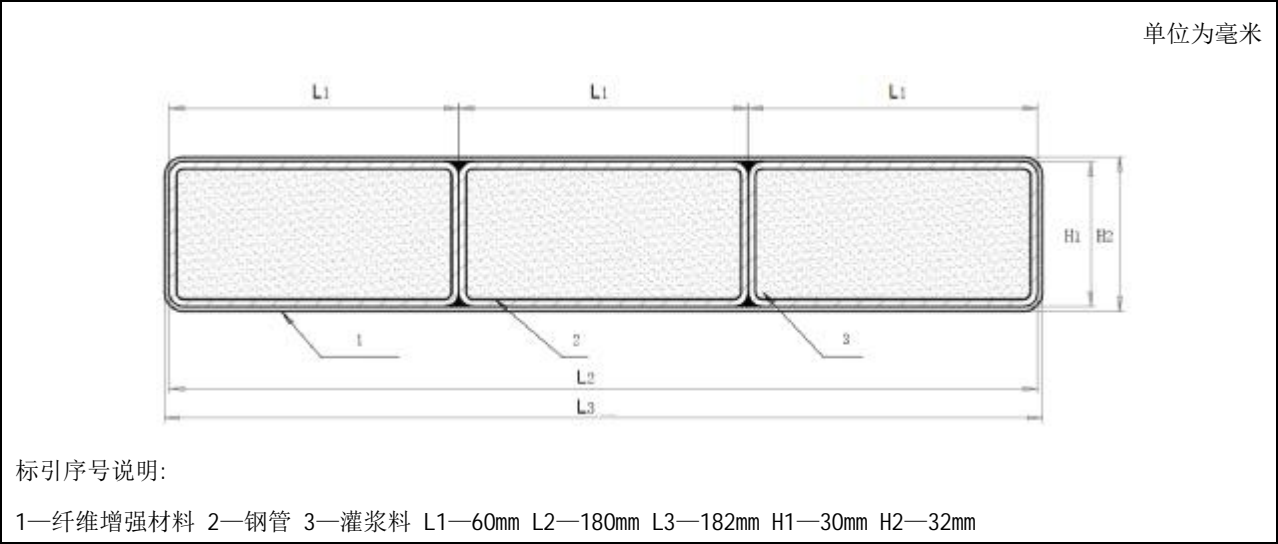


图 1 I -a 型多腔复合结构横断面图

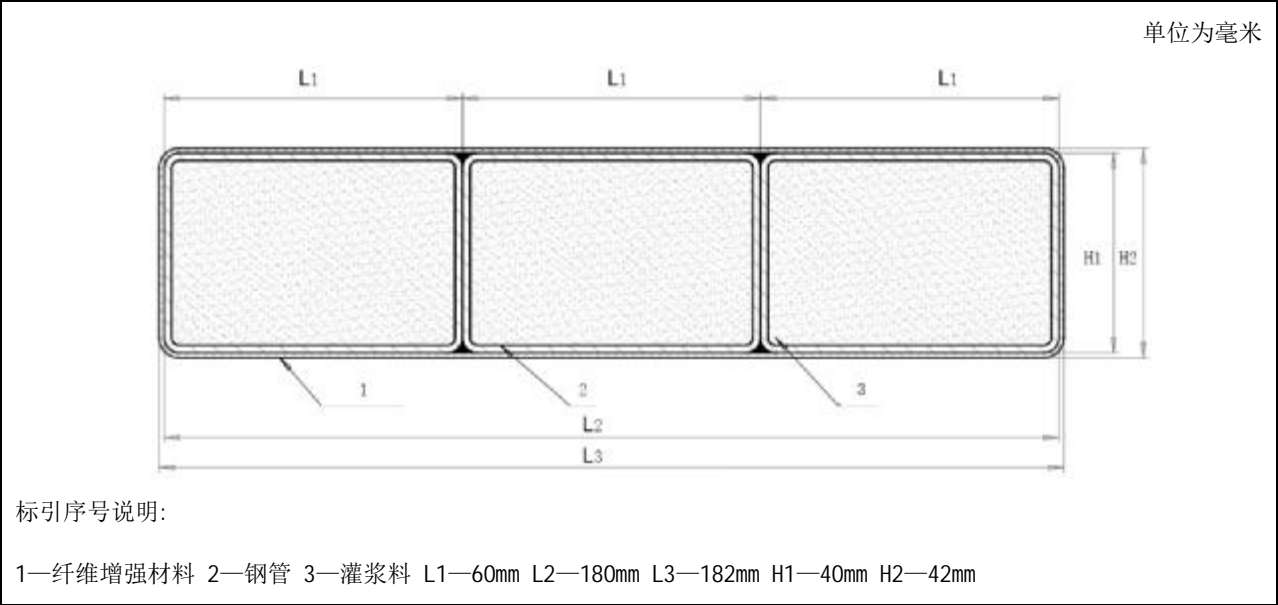


图 2 I -b 型多腔复合结构横断面图

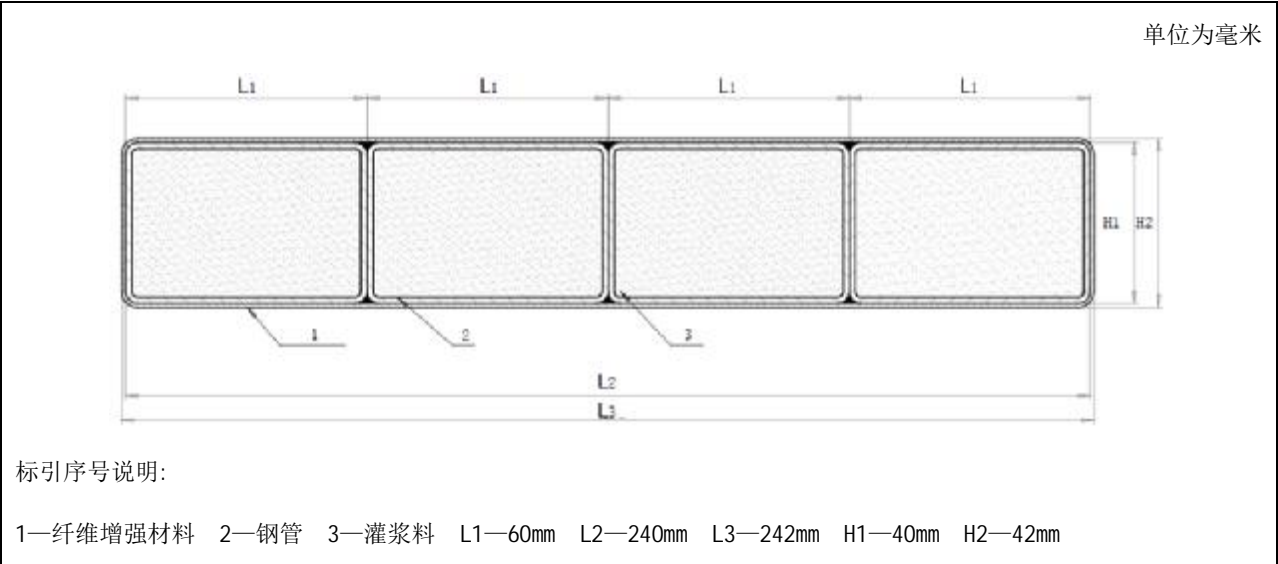


图 3 II 型多腔复合结构横断面图

表 5 多腔复合结构力学性能指标

型号	尺寸规格	力学性能	性能指标
I -a 型	182mm×32mm (±2mm)	抗弯刚度 N·mm ²	≥50×10 ⁹
		弹性模量 GPa	≥53.0
I -b 型	182mm×42mm (±2mm)	抗弯刚度 N·mm ²	≥155×10 ⁹
		弹性模量 GPa	≥60.0
II 型	242mm×42mm (±2mm)	抗弯刚度 N·mm ²	≥185×10 ⁹
		弹性模量 GPa	≥70

5.3.3 对隧道结构进行加固时,应通过配套的结构胶及锚栓将复合型材固定于隧道结构内壁,形成复合截面,达到变形协调、共同承载的目的。

5.3.4 多腔复合结构的节段划分及锚栓布置应结合隧道形状及尺寸、隧道内设备设施位置、单节段自重、施工天窗时间等因素综合确定。

6 施工要求

6.1 一般要求

6.1.1 装配式多腔复合结构修复加固应按照多腔复合结构加工与制作、隧道内既有设备设施前置防护、多腔复合结构现场安装的要求进行施工。

6.1.2 施工前应编制专项施工组织方案,应包括编制依据、工程概况、施工总体安排、施工工艺流程及工序、质量标准、质量管理控制措施、安全文明措施等,且应符合施工阶段隧道结构安全性和质量控制要求。

6.1.3 施工前应编制应急预案,应包括应急小组组织架构、应急事项管理流程及现场处置预案。

6.2 多腔复合结构加工与制作

6.2.1 多腔复合结构腔体加工制作前,应对隧道结构内壁断面进行测绘,根据测绘数据进行定制加工,复合结构与隧道内壁贴合度偏差不应超过2mm。

6.2.2 多腔复合结构锚栓孔数量应按设计要求的1.2倍加工设置;灌浆孔按照单腔单注的原则,每榀多腔复合结构均应预设注浆孔、出浆孔。

6.2.3 多腔复合结构出厂前应按照正式拼装顺序预拼成环,观察多腔复合结构外观、锚栓孔是否完好,并测量多腔复合结构尺寸规格及弧度是否符合设计要求,拼装精度应符合 $\pm 5\text{mm}$ 的要求。

6.3 隧道内既有设备设施前置防护

6.3.1 修复加固施工前,应对隧道线缆、桥架及既有设备设施等情况进行踏勘、记录,对施工影响范围内的设备设施应进行保护,应拆移与安装位置相冲突的设备设施。

6.3.2 修复加固施工时,应实地调查隧道的断面布置情况,应规划施工机械设备的行走和停靠位置,确认与接触网或接触轨等运营设施的安全距离满足要求。

6.4 多腔复合结构现场安装

6.4.1 多腔复合结构现场安装包括工前准备、基面处理、粘结锚固、中间撤场、灌浆、最后撤场等步骤。

6.4.2 工前准备要求如下:

- a) 工前准备包括各施工步骤进入隧道施工前的工机具状态检查、工机具运输至作业面、供电线路搭设、照明及组装脚手架等内容;
- b) 施工前应确保所有工机具处在可正常使用状态。

6.4.3 基面处理要求,如图5所示:

- a) 既有线缆应满足与隧道衬砌之间的距离 $\geq 60\text{mm}$,如不满足,应对线缆进行微调;
- b) 隧道衬砌表面不应有油污、浮尘、水渍,如不满足,应进行基面处理。

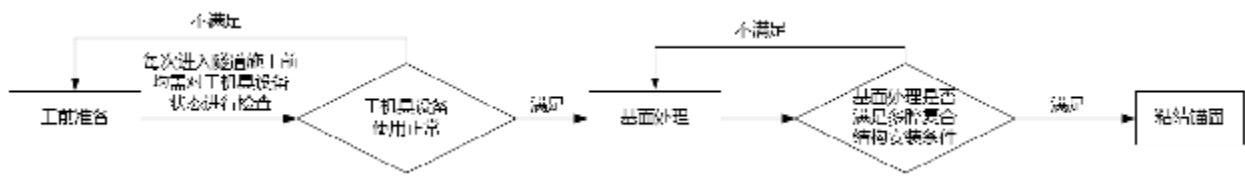


图 5 基面处理流程图

6.4.4 粘结锚固要求，如图6所示：

- a) 多腔复合结构应按照先拱顶、后侧墙的顺序安装；
- b) 隧道锚栓孔打设前，应采用钢筋探测仪对结构钢筋进行探测，孔位应避开结构钢筋；
- c) 结构胶满布刮涂于多腔复合结构外弧面，胶体厚度不应小于 5mm，以确保安装后胶体挤压密实；
- d) 待多腔复合结构粘结于隧道内壁后，打设锚栓固定；
- e) 安装完毕，应刮除清理多腔复合结构两侧挤压溢出的结构胶。

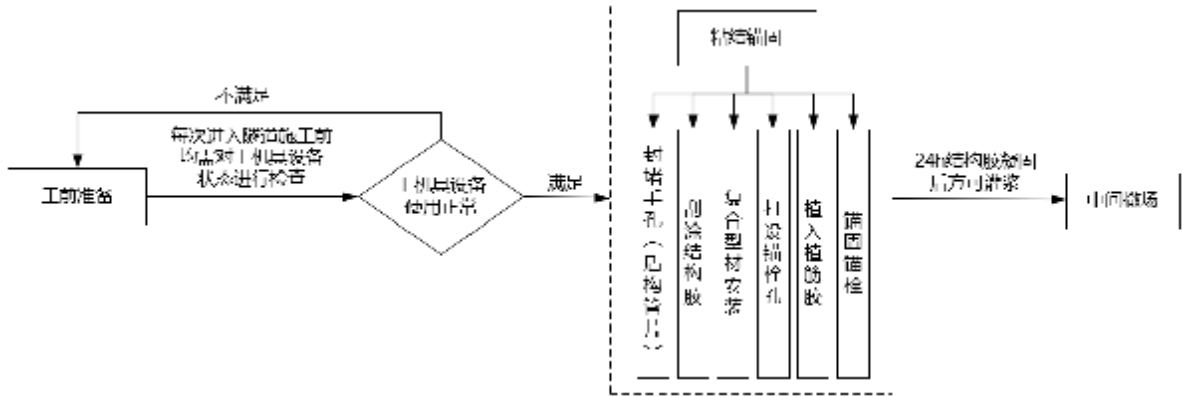


图 6 粘结锚固流程图

6.4.5 灌浆要求，如图 7 所示：

- a) 灌浆料按单腔单注依次灌注，灌浆机最大压力不宜大于 0.6MPa，单腔灌浆至出浆孔持续无气泡时，先关闭出浆阀门，后关闭注浆阀门，终止灌浆工序；
- b) 灌浆完毕后 24 小时，灌浆料初凝，可拆除灌/出浆阀体组。

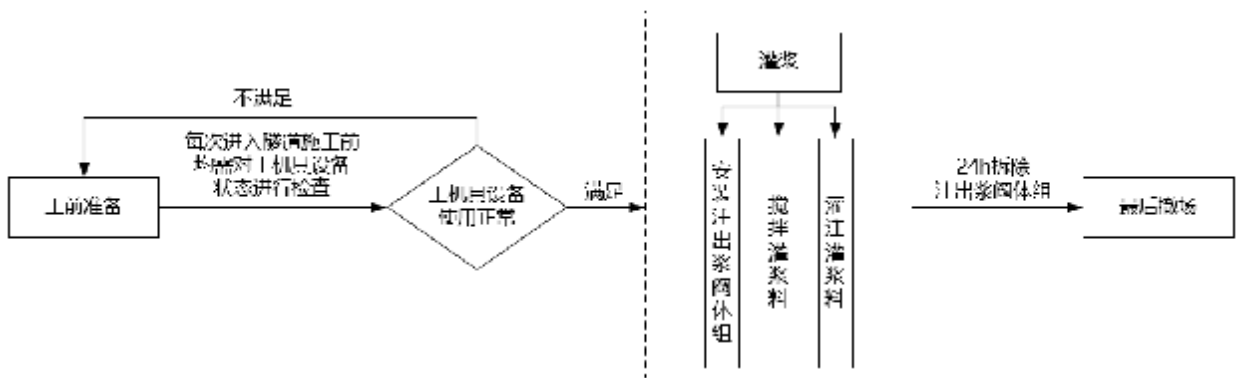


图 7 灌浆流程图

6.4.6 撤场

- a) 撤场前，拆除设备设施临时防护用具；
- b) 撤场应完成对人员、工机具、主辅料的清点工作，保证施工现场无遗漏。

7 质量控制及验收

7.1 一般要求

7.1.1 装配式多腔复合结构的质量验收宜按照整体验收进行。

7.1.2 整体验收质量控制应按照施工准备、施工作业两个阶段提供相应文件记录。

7.1.3 质量控制及验收对象以总樁数为基数进行抽检数量的计算。

7.2 质量阶段控制要求

7.2.1 施工准备阶段要求如下：

- a) 进场材料应符合下列要求：
 - 1) 全数检查一批次检查一次；
 - 2) 检查产品出厂合格证或质保书等资料。
- b) 基面处理应符合下列要求：
 - 1) 全数检查，一批次检查一次；
 - 2) 隧道衬砌表面不应有油污、浮尘、水渍等问题。
- c) 防火涂层表面不应有裸露复合纤维层的划痕，不应有脱落、起鼓、开裂等问题；
- d) 施工准备阶段质量控制参考附录 A 表 A.1 进行填写。

7.2.2 施工作业阶段要求如下：

- a) 刮涂结构胶厚度应符合下列要求：
 - 1) 抽样检查，抽样比例按总樁数的2%抽取且不应少于2樁；
 - 2) 现场观察和检查，厚度应不小于5mm。
- b) 隧道锚栓孔的尺寸应符合下列要求：
 - 1) 抽样检查，抽样比例10%且每樁不应少于3个；
 - 2) 用钢尺测量，并检查施工记录。
- c) 锚固数量应符合下列要求：
 - 1) 全数检查；
 - 2) 现场观察计数，并检查施工记录。
- d) 锚栓植入深度应符合下列要求：
 - 1) 抽样检查，抽样比例10%且不应少于3根，并符合设计要求；
 - 2) 用钢尺量锚栓尾部露出长度，以检验锚栓植入深度，并检查产品出厂报告等资料。
- e) 钢管内部灌浆料填充效果应符合下列要求：
 - 1) 用敲击法进行出浆口一侧拱腰至拱顶的重点部位抽样检查，抽样比例10%；
 - 2) 填充不应出现漏填充隙。
- f) 施工作业阶段质量控制参考附表 2 进行填写。

7.3 工程整体质量验收

7.3.1 施工现场质量管理检查记录、工程竣工验收记录应符合GB 50300的相关规定。

7.3.2 工程竣工验收应提供以下文件记录：专项设计图纸、专项施工方案及应急预案、材料及配件进场检验记录表、主材及辅材产品质量证明文件、工程施工日志等工程竣工资料；材料及配件进场检验记录表参考附表1进行填写。

7.3.3 验收结果参考附表3内容进行填写。具体参评单位由建设单位、设计单位、监理单位、施工单位共同组成。

8 养护维修

8.1 一般要求

8.1.1 应对装配式多腔复合结构的贴合面、锚栓、螺母、防火涂层进行全面细致的检查，检查的结果参考附表4进行填写。

8.1.2 装配式多腔复合结构的养护维修包括日常检查和日常养护。

8.1.3 检查人员应携带常规检查工具及必要的记录工具。检查工具包括相机、手电筒、粉笔等；必要的记录工具包括记录笔、记录本和记录仪等。

8.2 日常检查

8.2.1 检查周期

检查周期宜为每半年一次。

8.2.2 检查对象

目测检查多腔复合结构与隧道衬砌贴合度，锚栓、螺母及防火涂层。

8.2.3 检查内容

贴合面检查结构胶是否开裂；锚栓、螺母检查是否移位、松动；防火涂层检查脱落、开裂、起鼓等现象。

8.3 日常养护维修

8.3.1 对于结构胶开裂位置，应先对开裂处的基面进行清理，再采用符合4.2.4要求的结构胶进行填充。

8.3.2 对于移位、松动的锚栓应进行紧固，紧固后的螺母重新标记止退线。

8.3.3 对于脱落、开裂、起鼓的防火涂层，应先对破损或起鼓位置进行表面清理，再采用符合4.2.6要求的防火涂料进行补刷。

A.4 多腔复合结构日常检查记录表见表 A.4。

表A.4 多腔复合结构日常检查记录表

检查区间	站至站	里程		线别	上行 下行	
检查项目						
出现问题						
检查方法						
意见建议						
材料耗费	名称规格					
	单位					
	数量					
检查人员			检查日期		备注	
用户盖章						

参 考 文 献

- [1] GB/T 700—2006 碳素结构钢
 - [2] GB 14907—2018 钢结构防火涂料
 - [3] GB 50205—2020 钢结构工程施工质量验收标准
 - [4] GB 50367—2013 混凝土结构加固设计规范
 - [5] GB 50550—2010 建筑结构加固工程施工质量验收规范
 - [6] GB 50936—2020 钢管混凝土结构技术规范
-