

团 体 标 准

T/CCTAS XXXX—XXXX

轨道交通隧道 装配式复合型材加固技术规程

Technical specification for reinforcement of prefabricated composite profiles
for rail transit tunnel

（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 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

5 检测评估 3

 5.1 常规检查 3

 5.2 定期检查 3

 5.3 专项检查 3

 5.4 特殊检查 4

 5.5 隧道结构健康度评定 4

6 材料 8

 6.1 钢材 8

 6.2 玄武岩纤维单向布 8

 6.3 灌浆料 9

 6.4 装配式复合型材 9

 6.5 预膨胀化学组合锚栓 10

 6.6 结构胶 10

7 加固设计 11

 7.1 隧道断面测量 11

 7.2 专项设计 12

8 施工准备 12

 8.1 一般规定 12

 8.2 隧道内既有设备设施防护 12

 8.3 预处理 12

9 加固施工 13

 9.1 加工与制作 13

 9.2 装配式复合型材现场安装 13

10 工程验收 14

 10.1 一般要求 14

 10.2 加工与制作 14

 10.3 材料进场 14

 10.4 施工作业 14

 10.5 分部工程竣工验收应提供下列文件记录： 15

 10.6 分部工程竣工质量验收记录应符合下列规定： 15

 10.7 工程竣工验收应提供下列文件记录： 15

 10.8 工程竣工质量验收记录应符合下列规定： 15

11 维护检修 15

 11.1 一般规定 15

 11.2 装配式复合型材表面 16

 11.3 结构胶粘结处 16

 11.4 锚栓锚固 16

 11.5 结构防水 16

附录 A（资料性） 装配式复合型材产品的受压弹性模量检测试验方法 17

附录 B（资料性） 装配式复合型材产品的抗弯刚度检测试验方 18

附录 C（资料性） 装配式复合型材产品的抗压强度检测试验方法 20

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：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、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、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。

本文件主要起草人：王大润、李宇杰、靳柒勤、王罡、孙光华、陆遥、张育敏、张超、马可飞、古永超、何巍、张伟、李玲、王剑晨、程亚平、潘婷、房倩、王海龙、黄俊、董飞、杨硕、孙征南、王璇熙、张秀丽、张立欣、周伟、湛启发、罗章波、丁祥、金洪波、熊全涛、梁建斌、蔡军哲、李兴、王呼佳、徐剑旋、王彩文、李伟、吴赛甲、张磊、吴建滨、桂文标武建、李波、王金龙、孙雪兵、刘洋、马振海、陈慧超、段树涛、马一博、程明、胡锦华、范志高、欧阳飞飞、张超、张春雷、豆海涛、寇卫锋、刘凯、陈明清、羊逸君、李若飞、谢彬、李昌卿、杜宁宁、唐海斌、张杰。

轨道交通隧道装配式复合型材加固技术规程

1 范围

为指导轨道交通隧道装配式复合型材加固的施工，提高隧道加固施工效率，保障隧道结构安全，制定本规程。

本规程适用于轨道交通隧道病害治理、结构加固及有特殊需求下的结构预加固。

轨道交通隧道装配式复合型材加固技术除应符合本规程外，尚应符合国家、行业和地方现行标准的有关规定。

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 55004 组合结构通用规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50367 混凝土结构加固设计规范
- GB 50728 工程结构加固材料安全性鉴定技术规范
- GB/T 26745 结构加固修复用玄武岩纤维复合材料
- GB/T 51446 钢管混凝土混合结构技术标准
- GB/T 50448 水泥基灌浆材料应用技术规范
- CJJ/T 289 城市轨道交通隧道结构养护技术规范
- JGJ 145 混凝土结构后锚固技术规程
- DB11/T 1843 盾构法隧道修复加固工程施工质量验收规范（北京）
- DB11/T 718 城市轨道交通设施养护维修技术规范（北京）

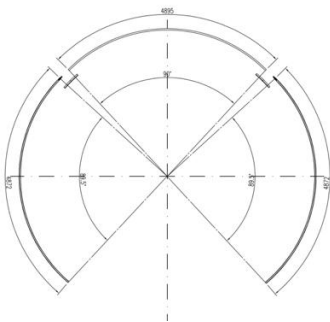
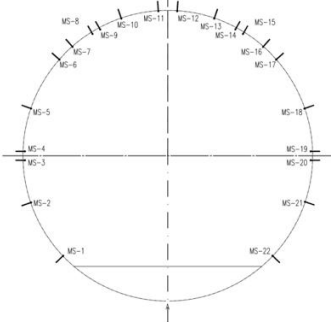
3 术语和定义

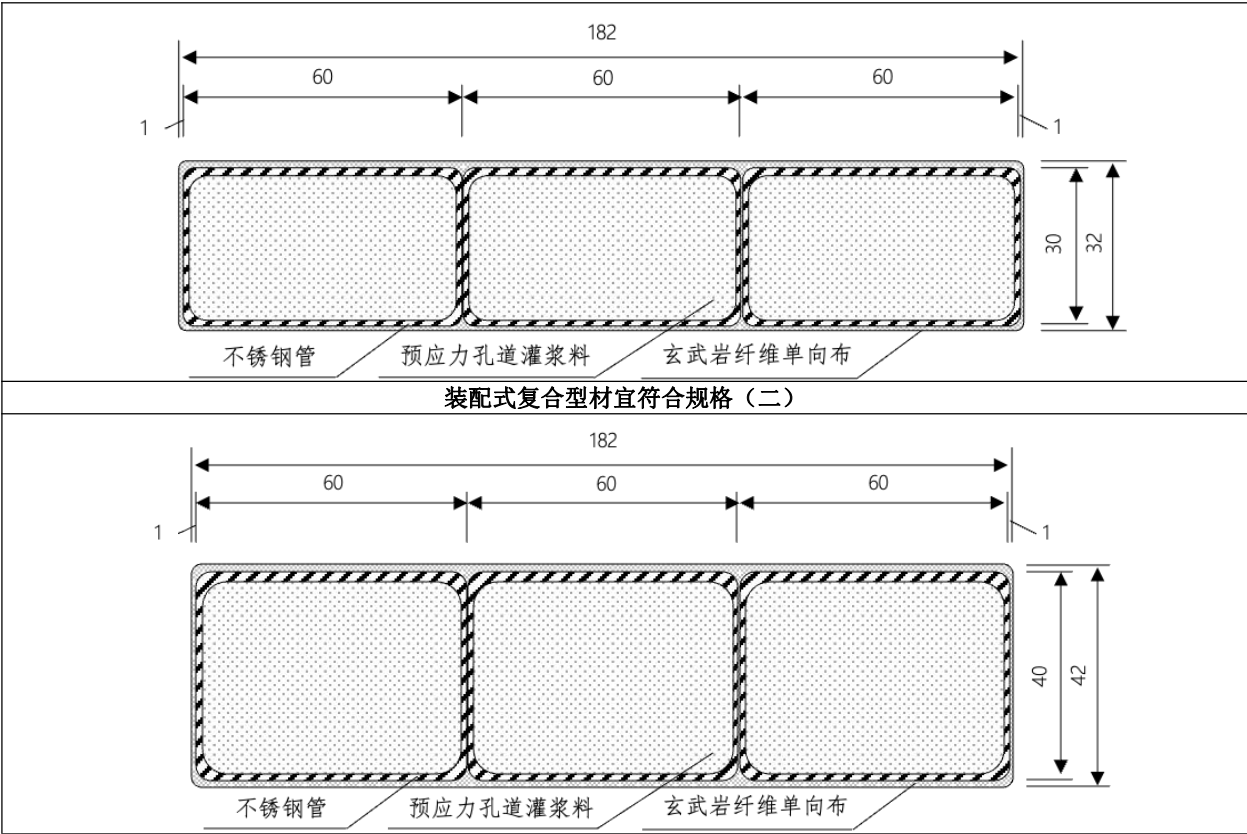
下列术语和定义适用于本文件。

3.1

装配式复合型材 prefabricated composite profiles

装配式复合型材是一种将玄武岩纤维单向布作为纤维增强复合材料，通过热压工艺与钢管复合，成型后，钢管内灌注灌浆料的纤维增强复合材料钢混组合结构构件，简称装配式复合型材。装配式复合型材由：玄武岩纤维单向布、钢管及灌浆料组合而成，并通过锚栓、结构胶与隧道衬砌进行粘结锚固。

装配式复合型材安装分解图（平面示意）	装配式复合型材锚栓安装分部图（平面示意） 项目实际锚栓数量按设计要求执行
	
装配式复合型材宜符合规格（一）	



- 3.2 装配式复合型材加固技术 reinforcement technology of fabricated composite profiles
- 装配式复合型材加固技术是通过隧道结构断面扫描数据预制装配式复合型材各组合构件，现场实施拼装，并灌注灌浆料，提高隧道结构安全储备的结构加固技术。
- 3.3 玄武岩纤维单向布 unidirectional basalt fiber sheet
- 由单向连续玄武岩纤维组成，未经树脂浸渍固化的布状玄武岩纤维制品。
- 3.4 隧道结构预处理 pretreatment of tunnel structures
- 为改善加固材料与隧道衬砌之间的粘结能力，对衬砌表面或破损面进行的处理。
- 3.5 灌浆料 grouting material
- 由水泥、骨料、外加剂和矿物掺合料等原材料在工厂配置生产而成的干混料，用于螺栓锚固、结构加固、预应力孔道等灌浆的材料。
- 3.6 既有设备设施防护 protection of existing equipment and facilities
- 为了确保作业影响范围内轨道交通既有设备设施在隧道结构加固维修期间能够正常使用以及免受损毁，施工前需要对其进行防护。施工期间，使用绝缘毯对线缆进行防护，通过铺设篷布对道床与轨道进行防护。

4 基本规定

- 4.1 装配式复合型材应符合下列规定：
- 应用于轨道交通隧道结构加固的装配式复合型材，应具备整环足尺寸试验报告、相关应用案例及对应大于六个月的工后监测数据；
 - 能够承受在正常使用期间可能出现的结构作用；

- 在正常施工工期或结构的组合作用没有形成期间，能够承受可能出现的荷载作用。
- 4.2 在设计工作年限内，应采取措施保障装配式复合型材的安全使用，且应符合下列规定：
 - 未经技术鉴定或设计许可，不得变更设计规定的功能和使用条件；
 - 应按设计要求对装配式复合型材的表面、与衬砌粘结处及锚栓进行定期巡检；
 - 直接遭遇地震、火灾、洪灾等灾害时，应在灾后对装配式复合型材进行鉴定评估，并根据评估意见进行处理后方可继续使用。
- 4.3 装配式复合型材在施工、使用过程中应保障工程安全和人身健康，做到节约能源资源及保护环境
- 4.4 用于锚固装配式复合型材的锚栓及螺母应设置防脱落措施。

5 检测评估

5.1 常规检查

5.1.1 一般规定

- 5.1.1.1 常规检查侧重主体结构、附属结构的外观检查。
- 5.1.1.2 主体结构、附属结构每月至少检查一次。

5.1.2 主体结构

- 5.1.2.1 检查衬砌混凝土或管片有无酥松、起鼓、剥离、掉块、露筋等现象，记录裂缝分布、走向；检查是否有渗水漏水情况。
- 5.1.2.2 检查变形缝以及管片螺栓、错台，施工缝、变形缝中是否有杂物，是否错位。
- 5.1.2.3 隧道主体结构是否出现渗漏水情况。

5.1.3 附属结构

- 5.1.3.1 联络通道、迂回风道、区间风道等是否出现裂缝、渗水等现象。

5.2 定期检查

5.2.1 一般规定

- 5.2.1.1 对隧道（含U形槽）的主体结构、附属结构及附属设施进行全面细致的检查，主体结构主要检查行车隧道；附属结构主要检查联络通道、迂回风道及区间风道。
- 5.2.1.2 定期检查应配备常规检测仪器、锤子、梯子、照明工具、照相机等工具。
- 5.2.1.3 对隧道主体及洞口每半年检查一次；隧道周边环境每年检查一次。
- 5.2.1.4 隧道每年应至少进行一次定期检查。

5.2.2 主体结构及附属结构

- 5.2.2.1 检查衬砌开裂情况，是否存在压溃、错台、张裂现象，并记录结构裂缝的分布、位置和走向。
- 5.2.2.2 检查变形缝缝宽有无缝宽变化、错位情况，并使用钢直尺、比尺、折尺等工具测量变形缝缝宽。变形缝缝宽变化值 $\geq 20\text{mm}$ 时应做出标记。
- 5.2.2.3 检查隧道变形缝及衬砌防水设施（集水盒等）是否完好，有无渗漏水现象；对于设置集水盒的部位，检查集水盒盖板有无松脱，固定点螺钉或水泥钉是否松脱或缺失，周边密封胶是否完好无损。
- 5.2.2.4 检查衬砌混凝土或管片是否发生起毛、酥松、麻面蜂窝、起鼓、剥落等腐蚀现象，并使用钢尺等工具测量腐蚀深度和面积。
- 5.2.2.5 检查衬砌混凝土或管片是否有局部脱落、钢筋外露、锈蚀现象，并做出标记。
- 5.2.2.6 对于盾构隧道，还应检查管片螺栓孔、注浆孔堵塞物有无脱落。管片螺栓孔、注浆孔和管片接缝处，衬砌开裂和腐蚀等部位有无渗漏水现象。

5.3 专项检查

5.3.1 一般规定

5.3.1.1 专项检查主要针对较为严重的衬砌开裂、渗漏水、掉块等病害进行。

5.3.2 衬砌裂缝检查

5.3.2.1 使用裂缝测量计、设置标点等方法对其发展变化情况进行监测，并记录各次观测结果。每隔一个月进行一次复查，当裂缝宽度达到 1mm 以上，或压溃面积达到 1m² 以上，或掉块厚度达到 10mm 以上，或衬砌贯通裂缝或发展变化的裂缝时应进行专项检查，查明原因并及时处理。

5.3.2.2 检查变形缝缝宽有无缝宽变化、错位情况，并使用钢尺、比尺、折尺等工具测量变形缝缝宽。变形缝缝宽变化值大于等于 20mm 时应做出标记。

5.3.3 渗漏水检查

5.3.3.1 对滴水、淌水、涌水病害进行检查，并记录漏水的流量、浑浊度、水温、pH 值等指标。

5.3.4 限界检查

5.3.4.1 限界检查应使用横断面法、限界检查车等方法，对隧道限界进行全面检查，并绘出隧道区间综合最小限界图；对由于修理或加固而改变了原有尺寸的隧道断面，应及时重新测绘。

5.4 特殊检查

5.4.1 一般规定

5.4.1.1 特殊检查主要针对火灾、地震、洪灾、脱轨、控制保护区内施工等情况进行。

5.4.1.2 特殊检查的项目、内容及频次应符合设计要求。

5.4.2 衬砌裂缝检查

5.4.2.1 使用裂缝测量计、设置标点等方法对其发展变化情况进行监测，并记录各次观测结果

5.4.2.2 检查变形缝缝宽有无缝宽变化、错位情况，并使用钢直尺、比尺、折尺等工具测量变形缝缝宽。

5.4.3 渗漏水检查

5.4.3.1 对滴水、淌水、涌水病害进行检查，并记录漏水的流量、浑浊度、水温、pH 值等指标。

5.4.4 隧道轮廓变形检查

5.4.4.1 对检查范围的隧道轮廓进行断面扫测，并记录断面轮廓变形的的位置、范围和程度。

5.5 隧道结构健康度评定

5.5.1 一般规定

5.5.1.1 隧道结构健康度评定应根据隧道类型进行分类评定。

5.5.1.2 隧道结构健康度应根据检查结果进行评定。

5.5.1.3 隧道结构健康度应以隧道单个区间为基本单位评定。

5.5.2 盾构法隧道结构健康度评定

5.5.2.1 盾构法隧道结构健康度评定标准应按现行行业标准 CJJ/T 289《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》执行，具体内容参见表 1。

5.5.2.2 盾构隧道健康度评定达到 4 级及以上，宜采用装配式复合型材对隧道结构性病害进行治理。

5.5.2.3 盾构隧道临铁控制保护区有施工作业、极端或突发事件等特殊需求的，也可进行结构预加固。

表 1 盾构法隧道结构健康度评定标准

项目	评定标准				
	健康 度 1 级	健康度 2 级	健康度 3 级	健康度 4 级	健康度 5 级

管片	破损	无	表层存在轻微开裂，存在少量轻微的环向裂缝	裂缝以环向裂缝为主，存在少量纵向裂缝或斜裂缝	局部存在纵向裂缝或斜裂缝，因裂缝或压溃混凝土存在掉块的可能性	裂缝发育密集，出现多出纵向裂缝或斜裂缝，因裂缝或压溃已出现掉块
	材料劣化	无	材料劣化引起少量轻微起毛、酥松	材料劣化导致混凝土表层多处出现起毛、酥松	材料劣化导致混凝土酥松、起鼓，存在掉块的可能性	材料劣化导致混凝土起鼓，并出现掉块
	剥落剥离	无	表层出现少量轻微的剥离	表层出现剥离，敲击有空响。尚未出现剥落掉块	表层出现大面积剥离，管片存在剥落掉块的可能性	表层多处出现大面积的剥离，并多处剥落。混凝土掉块侵入建筑限界
	渗漏水	无	轻微渗漏水、表现为湿渍	渗漏点较稀疏，渗水量较小。以湿渍和浸渗为主；洞内积水较少；封顶块位置出现挂冰	渗漏水类型以滴漏为主，局部存在线漏、涌流；洞内已出现积水；封顶块出现少量挂冰	渗漏点密集，以线漏、涌流为主，伴有漏泥沙；洞内积水严重；封顶块出现明显的挂冰
	钢筋锈蚀	无	混凝土表层出现轻微的锈迹；螺栓表层存在锈迹；钢管片表层出现轻微锈迹	构造筋存在局部锈蚀或因保护层过薄而出现外露；螺栓浅层锈蚀；钢管片表层多处出现锈蚀	钢筋混凝土沿主筋出现严重的纵向裂缝，保护层起鼓，敲击有空响。主筋出现锈蚀；螺栓锈蚀部分截面减少；钢管片表层存在少量点蚀	钢筋混凝土主筋严重锈蚀。混凝土表层已因锈蚀出现掉块并出现钢筋外露；螺栓锈蚀全周截面明显减少。螺栓帽锈蚀脱落；钢管片表层普遍存在点蚀
管片接缝、变形		无	个别接缝位置或变形缝存在轻微	压溃、错台分部稀疏。持续发展可能	多处存在压溃、错台。局部已出	出现严重的压溃、错台。多处

缝		的压溃、错台、湿渍，对结构无影响	出现掉块现象；因接缝张开、止水条松动出现渗漏水。水质清澈。以浸渗、滴漏为主	现混凝土掉块、明显错台；局部接缝张开、止水条脱落出现线漏、涌流或漏泥沙；顶部出现少量挂冰	出现混凝土掉块。已影响建筑限界；渗漏水严重。以线漏、涌流为主。伴有漏泥沙；顶部出现明显挂冰
螺栓孔、注浆孔	无	填塞物存在轻微的脱落、孔位附近存在湿渍	局部孔位填塞物存在脱落、浸渍、滴漏	多孔位填塞物存在脱落、滴漏、线漏；出现少量挂冰	孔位填塞物均存在连续的脱落、涌流或伴有漏泥沙；封顶块或邻接块孔位出现明显的挂冰
病害发展性	无	趋于稳定	较慢发展	较快发展	迅速发展

5.5.3 明挖法隧道结构健康度评定

5.5.3.1 明挖法隧道结构健康度评定标准应按现行行业标准 CJJ/T 289《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》执行，具体内容参见表 2。

5.5.3.2 明挖法隧道健康度评定达到 4 级及以上，宜采用装配式复合型材对隧道结构性病害进行治理。

5.5.3.3 明挖法隧道临铁控制保护区有施工作业、极端或突发事件等特殊需求的，也可进行结构预加固。

表 2 明挖法隧道结构健康度评定标准

项目		评定标准				
		健康度 1 级	健康度 2 级	健康度 3 级	健康度 4 级	健康度 5 级
管片	破损	无	表层存在轻微开裂，以干缩、温缩裂缝为主或少量轻微的环向裂缝	裂缝以环向裂缝为主，存在少量纵向裂缝或斜裂缝	局部存在纵向裂缝或斜裂缝，因裂缝或压溃混凝土存在掉块的可能性	裂缝发育密集，出现多出纵向裂缝或斜裂缝，因裂缝或压溃已出现掉块
	材料劣化	无	材料劣化引起少量轻微起毛、酥松	材料劣化导致混凝土表层多处出现起毛、酥松	材料劣化导致混凝土酥松、起鼓，存在掉块的可能性	材料劣化导致混凝土起鼓，并出现掉块
	剥落剥离	无	表层出现少量轻微的剥离	表层出现剥离，敲击有空响。尚未出现剥落掉块	表层出现大面积剥离，混凝土存在剥落掉块的可能性	表层多处出现大面积的剥离，并多处剥落。混凝土掉块侵入建筑限界
	渗漏水	无	轻微渗漏水、表现为湿渍	渗漏点较稀疏，渗水量较小。以湿渍和浸渗为主；洞内积水较少；顶板以外位置出现挂冰	渗漏水类型以滴漏为主，局部存在线漏、涌流；洞内已出现积水；顶板出现少量挂冰	渗漏点密集，以线漏、涌流为主，伴有漏泥沙；洞内积水严重；顶板出现明显的挂冰
	钢筋锈蚀	无	混凝土表层出现轻微的锈迹	构造筋存在局部锈蚀或因保护层过薄而出现外露	钢筋混凝土沿主筋出现严重的纵向裂缝，保护层起鼓，敲击有空响。主筋出现锈蚀	钢筋混凝土主筋严重锈蚀。混凝土表层已因锈蚀出现掉块并出现钢筋外露
施工缝、变形缝		无	个别接缝位置存在轻微的压溃、错	压溃、错台分部稀疏。持续发展可能	多处接缝存在压溃、错台。局部	接缝存在严重的压溃、错台。多

		台、湿渍，对结构无影响	出现掉块；渗漏水水量较小。水质清澈。以浸渗、滴漏为主	已出现混凝土掉块、明显错台；局部存在线漏、涌流或漏泥沙；顶板出现少量挂冰	处出现混凝土掉块。已影响建筑限界；渗漏水严重。以线漏、涌流为主。伴有漏泥沙；顶板出现明显挂冰
道床	无	道床两侧边缘出现轻微的裂缝、变形和湿渍	道床局部存在破损、变形。道床和主体结构之间局部出现破损、脱空和浸渗	道床多处存在破损、变形。道床和主体结构之间多处出现脱空。存在涌流。影响轨道的稳定性	整体道床出现严重破损、变形。出现环向裂缝。道床和主体结构间产生严重脱空。涌流并伴有漏泥沙。已导致轨道无法满足正常运营要求
病害发展性	无	趋于稳定	较慢发展	较快发展	迅速发展

5.5.4 其他类型隧道结构健康度评定

5.5.4.1 其他类型隧道结构健康度评定标准应按现行行业标准 CJJ/T 289《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》执行；

5.5.4.2 其他类型隧道健康度评定达到4级及以上，宜采用装配式复合型材对隧道结构性病害进行治理。

5.5.4.3 其他类型隧道临铁控制保护区有施工作业、极端或突发事件等特殊需求的，也可进行结构预加固。

6 材料

6.1 钢材

6.1.1 装配式复合型材中的钢管材料宜用 SUS201 不锈钢管，也可采用 Q235B 钢管。钢管质量应符合现行国家标准《结构用无缝钢管》GB/T 8162 的有关规定。

6.1.2 装配式复合型材中的钢管强度设计值和其他物理性能指标，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 有关规定执行。

6.2 玄武岩纤维单向布

6.2.1 玄武岩纤维单向布的力学性能指标应符合现行国家标准《结构加固修复用玄武岩纤维复合材料》GB/T 26745 中玄武岩纤维单向布力学性能 I 级的相关指标要求。具体力学性能指标见表 3。

表 3 玄武岩纤维单向布力学性能指标

项目	抗拉强度（MPa）	拉伸弹性模量（GPa）	断裂伸长率（%）	导电率
I 级	≥2000	≥80	≥2.2	不导电
II 级	≥1500	≥75	≥2.0	不导电

6.3 灌浆料

6.3.1 装配式复合型材结构内的灌浆料质量应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448，具体要求见表 4。

表 4 灌浆料性能指标

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

6.4 装配式复合型材

6.4.1 装配式复合型材尺寸规格：尺寸规格宜符合 182mm×32mm（±2mm）或 182mm×42mm（±2mm）。

6.4.2 装配式复合型材布置设计宜符合表 5 的设计要求。

表 5 装配式复合型材布置设计参考

隧道类型	隧道条件	规格		备注
		182mm×32mm	182mm×42mm	

盾构隧道	1.5m 管片	—	4 榀	根据设计单位 实际测算的情 况进行现场实 施
	1.2m 管片	4 榀	—	
浅埋暗挖隧道	1m~1.5m 区间	1~4 榀	1~4 榀	

6.4.3 装配式复合型材的力学性能应满足设计要求，并符合表 6 的性能指标。

表 6 装配式复合型材力学性能指标

序号	项目		性能指标
1	182mm×32mm (±2mm)	装配式复合型材抗弯刚度, $N \cdot mm^2$	$\geq 4.5 \times 10^{10}$
2		装配式复合型材受压弹性模量, GPa	≥ 53.0
3		装配式复合型材抗压强度, MPa	≥ 150
4	182mm×42mm (±2mm)	复合型材抗弯刚度, $N \cdot mm^2$	$\geq 7.8 \times 10^{10}$
5		复合型材受压弹性模量, GPa	≥ 50.0
6		装配式复合型材抗压强度, MPa	≥ 140

6.5 预膨胀化学组合锚栓

6.5.1 预膨胀化学组合锚栓质量应符合《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的有关规定。

6.5.2 预膨胀化学组合锚栓性能应满足设计要求，并符合表 7 的性能指标。

表 7 预膨胀化学组合锚栓性能参数

规格	埋入深度 (mm)	抗拔承载力 (kN)	试验方法标准
M14/210	≥ 100	≥ 83.6	JGJ 145-2013

6.6 结构胶

6.6.1 结构胶的基本性能应符合现行国家标准《工程结构加固材料应用安全性鉴定规范》GB 50728 中的有关规定，具体性能指标参数见表 8。

表 8 结构胶性能指标

性能项目	性能要求
------	------

胶体性能	抗拉强度（MPa）	≥38
	受拉弹性模量（MPa）	≥2400
	伸长率（%）	1.5
	抗弯强度（MPa）	≥50
	抗压强度（MPa）	≥70
粘结能力	与C45混凝土的正拉粘结强度（MPa）	≥2.5
热变形温度（℃）	使用0.45MPa弯曲应力的B法	≥65
不挥发物含量（固体含量）（%）		≥99

7 加固设计

7.1 隧道断面测量

7.1.1 隧道结构断面扫测是装配式复合型材定制加工的重要前置工作。

7.1.2 隧道结构断面扫测程序宜按图 1 进行。

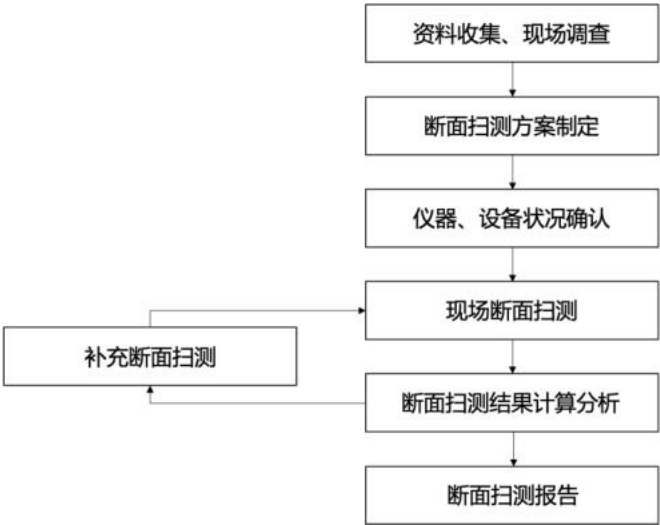


图 1 断面扫测程序图

7.1.3 资料收集、现场调查

7.1.3.1 收集被扫测隧道结构设计初始资料、维护及维修资料、过往检测报告等；

7.1.3.2 现场调查隧道结构开挖形式、外观质量、病害情况等问题。

7.1.4 断面扫测方案制定

7.1.4.1 隧道结构断面扫测工作开始前应制定专门扫测方案。

7.1.5 现场断面扫测

7.1.5.1 现场断面扫测仪器宜采用隧道激光断面仪，也可采用全站仪。

7.1.5.2 扫测频率：一般情况下初期支护为 10m 一个扫测断面，二次衬砌为 20m 一个扫测断面。扫测点数：一般设置 35 个点/断面，也可以根据设计要求设置。

7.1.5.3 断面扫测应根据设计要求确定扫测频率和单个断面扫测点数；扫测前，应先采用经纬仪或全站仪按一定间距放出测量点和对应方向点，并记录该点的桩号、实际高程和与中线偏位置。

7.1.6 扫测数据处理过程中应确定水平调整参数、高差调整值。

7.2 专项设计

7.2.1 隧道结构装配式复合型材加固专项设计应根据隧道扫测数据进行。

7.2.2 隧道装配式复合型材结构加固应依据 CJJ/T 289《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》进行专项设计。

7.2.3 装配式复合型材加固设计所需的基础资料包括隧道结构原施工设计及施工资料、大修或专项维修资料、现状检测报告、复合型材物理力学性质试验检测报告等。

7.2.4 装配式复合型材加固设计应采取改善隧道结构受力的措施，使其满足衬砌结构承载力以及安全性、适用性和耐久性的要求，加固维修后不应低于原有技术标准。

7.2.5 采用装配式复合型材加固隧道结构时，应通过配套的胶粘剂将复合型材粘贴于隧道结构内表面，使二者形成叠合结构，变形协调，共同受力。

7.2.6 装配式复合型材加固的设计原则为：

- 不得侵入设备限界；
- 不得削弱隧道的原有结构承载力；
- 不得影响隧道内轨道交通设施、设备的正常使用；
- 不得影响线路的正常运营。

7.2.7 装配式复合型材加固设计的内容包括：

- 依据基础资料，确定装配式复合型材安装的里程范围、隧道横断面安装范围、装配式复合型材的截面尺寸及材料参数、纵向榫间距、横向节段划分等；
- 绘制相应的装配式复合型材安装平面、纵剖面及横断面布置图，以及装配式复合型材节点安装详图；
- 明确施工技术要求及相关注意事项。

7.2.8 装配式复合型材的节段划分需结合隧道形状及尺寸、隧道内设备设施布置、单节段自重、施工天窗时间等因素综合确定。

8 施工准备

8.1 一般规定

8.1.1 装配式复合型材施工可分为隧道内既有设备设施防护、装配式复合型材的加工与制作、现场安装的施工，除应符合本技术规程外，装配式复合型材的施工还应符合现行国家标准、行业标准和地方标准的有关规定。

8.1.2 装配式复合型材施工前，应有专项设计及施工组织方案等技术文件。施工组织方案应符合施工阶段机构的安全性要求，装配式复合型材的施工应符合国家用电、动火、环境保护等有关法律法规的要求。

8.1.3 装配式复合型材的施工质量应符合现行国家标准的有关规定。

8.2 隧道内既有设备设施防护

8.2.1 隧道洞体实施复合型材加固施工前，应对洞体结构、线缆分布等情况进行调查。

8.2.2 加固维修施工前，需对作业影响范围内的地铁运营管线和支架应予以前置防护。

8.3 预处理

8.3.1 复合型材装配式工艺加固维修隧道施工前，需对隧道的渗漏、破损、开裂等结构病害进行治理。

9 加固施工

9.1 加工与制作

- 9.1.1 装配式复合型材的加工制作应先进行扫描断面，并根据设计图纸进行定制加工，贴合度偏差不得超过±2mm，装配式复合型材的制作长度应符合设计要求。
- 9.1.2 弯管加工宜采用冷弯方式，也可采用热弯方式，钢管加工后应保证曲线光滑平顺，钢管弯曲成型偏差应符合现行国家标准的有关规定。
- 9.1.3 装配式复合型材的锚栓孔应按照设计要求预设，并按照设计要求植入锚栓数量的 20%冗余进行锚栓孔预留；灌浆孔按照单腔单注的原则，每榀装配式复合型材预设注浆孔、出浆孔。
- 9.1.4 装配式复合型材节段之间的连接设计，采用拼插方式，并通过外部结构加强压板进行固定。
- 9.1.5 装配式复合型材出厂前应按照正式拼装顺序预拼成环，并观察复装配式复合型材外观、锚栓预留孔是否完好，使用弧度测量计测量装配式复合型材弧度是否符合设计要求。

9.2 装配式复合型材现场安装

9.2.1 基面处理

- 9.2.1.1 装配式复合型材安装前，应在隧道内准确标记安装位置。
- 9.2.1.2 使用粗砂纸或角磨机对装配式复合型材安装位进行基面处理，衬砌表面不得有油污、浮沉、水渍。

9.2.2 现场安装

- 9.2.2.1 安装顺序：复合型材实施安装，应按先拱顶，后两侧的顺序实施，安装流程宜按图 2 中所示执行。

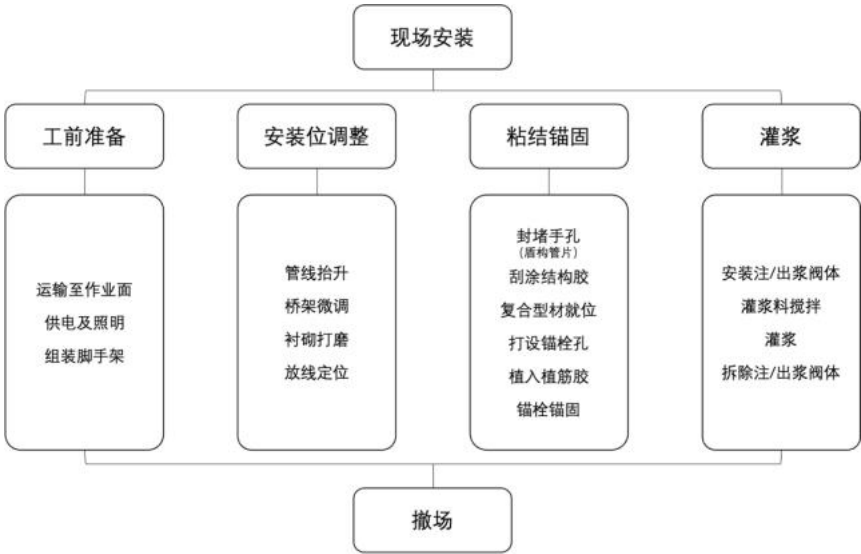


图 2 现场安装流程图

- 9.2.2.2 结构胶刮涂：结构胶刮涂于复合型材外弧面，胶体厚度不应小于 5mm，以确保安装后胶体挤压密实。
- 9.2.2.3 锚栓打设：打设锚栓应符合设计要求，应先用钢筋探测仪对结构打设位置进行探测，打设时应避开结构钢筋。
- 9.2.2.4 安装复合型材：架设激光定位仪，根据复合型材安装位标记依次安装拱顶段及两侧复合型材，打设锚栓孔，锚固锚栓。
- 9.2.2.5 复合型材安装完毕，应刮除复合型材两侧挤压溢出的结构胶，避免掉落。
- 9.2.2.6 灌浆料的配比应严格遵照产品使用说明执行。

9.2.2.7 灌浆机最大压力不宜大于 0.6MPa。

9.2.2.8 灌注灌浆料按单腔单注依次灌注，单腔灌浆至出浆孔持续无气泡时，应按照先关闭注浆阀门，再关闭出浆阀门的顺序，终止灌浆工序。

9.2.3 撤场的相关要求

9.2.3.1 撤场应设置专职巡检员。

9.2.3.2 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。

10 工程验收

10.1 一般要求

10.1.1 装配式复合型材加固维修前，应对隧道渗漏、裂缝及掉块进行先期治理。

10.1.2 装配式复合型材加固维修的质量检测与验收应符合现行国家标准的有关规定。

10.1.3 装配式复合型材质量控制按照厂内制造、进场施工前及施工作业三个阶段进行产品及施工验收。

10.1.4 装配式复合型材的质量验收可按照分项工程竣工验收、总体竣工验收两个环节进行。

10.2 加工与制作

10.2.1 装配式复合型材力学性能应主要检查抗弯刚度、弹性模量、轴向抗压强度三个性能参数。

——检查数量：批检；

——检验方法：检查出厂检验报告及性能检测报告等资料。

10.2.2 装配式复合型材贴合度偏差，允许偏差值 $\pm 2\text{mm}$ 。

——检查数量：抽样检查，抽样比例不少于 10%；

——检验方法：钢直尺、弧度标尺等测量工具测量并检查厂内加工记录等资料。

10.2.3 复合型材制作时应预留锚栓孔，开孔尺寸均应符合设计要求。

——检查数量：抽样检查，抽样比例不少于 10%；

——检验方法：钢直尺、卡尺等测量工具测量，检查出厂记录。

10.2.4 复合型材出厂前，应预拼成环，检查节段之间拼插吻合度。

——检查数量：每单位工程 1 榀；

——检验方法：观察，检查出厂记录。

10.3 材料进场

10.3.1 装配式复合型材应符合设计要求，满足隧道加固条件。

——检查数量：抽样检查，一批次检验一次；

——检验方法：检查产品出厂合格证或质保书等资料。

10.3.2 锚栓应符合设计要求，满足隧道加固条件。

——检查数量：抽样检查，一批次检验一次；

——检验方法：检查产品出厂合格证或质保书等资料。

10.3.3 粘结所用材料结构胶、植筋胶应符合设计要求，满足隧道加固条件。

——检查数量：抽样检查，一批次检验一次；

——检验方法：检查产品出厂合格证或质保书等资料。

10.3.4 灌浆料进场时，应符合设计要求，对产品合格证和出厂检验报告等进行检查。

——检查数量：抽样检查，一批次检验一次；

——检验方法：检查产品出厂合格证或质保书等资料。

10.4 施工作业

10.4.1 锚栓孔的尺寸应符合设计要求。

——检查数量：抽样检查，抽样比例 2%且不得少于 5 个；

——检验方法：锚栓尺寸用卷尺测量，锚固数量会同监理人员观察计数，并检查施工记录。

10.4.2 锚固数量应符合设计要求。

- 检查数量：全数检查；
 - 检验方法：目测法检查锚栓锚固数量应符合设计要求。
- 10.4.3 复合型材刮涂结构胶厚度应大于 5mm。
- 检查数量：抽样检查，抽样比例 2%；
 - 检验方法：现场观察和检查。
- 10.4.4 锚栓植入深度应符合设计要求。
- 检查数量：抽样检查，同规格、同型号的锚栓组成一个检验批，抽取数量按每批锚栓总数量的 3%~5% 计算，且不少于 3 根；
 - 检验方法：根据锚栓规格，用卷尺测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。

10.5 分部工程竣工验收应提供下列文件记录：

- a) 隧道加固工程竣工图纸及相关设计文件；
- b) 施工现场过程记录文件；
- c) 分部工程所含各分项工程质量验收记录；
- d) 原材料、成品质量合格证明文件、中文标识及性能检测报告；
- e) 其他有关文件和记录。

10.6 分部工程竣工质量验收记录应符合下列规定：

- a) 施工现场质量管理检查记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2013 的规定记录；
- b) 分项工程检验批验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2013 的规定记录；
- c) 分项工程验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2013 的规定记录；
- d) 分部（子分部）工程验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2013 的规定记录。

10.7 工程竣工验收应提供下列文件记录：

- a) 《加固维护专项设计》；
- b) 《加固维护材料、构配件进场检验记录表》；
- c) 轨道交通隧道装配式复合型材加固主材及辅材产品质量证明文件；
- d) 《加固维护工程施工日志》；
- e) 《加固维护工程质量检验评定报告》。

10.8 工程竣工质量验收记录应符合下列规定：

- a) 施工现场质量管理检查记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2013 的规定记录；
- b) 分项工程检验批验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2013 的规定记录；
- c) 分项工程验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2013 的规定记录。

11 维护检修

11.1 一般规定

- 11.1.1 装配式复合型材维护检修工作主要针对日常养护工作，以确保装配式复合型材设施合格状态，充分发挥其作用，预防隧道病害进一步发展，延长隧道使用寿命，确保运营线路正常、安全运营。
- 11.1.2 装配式复合型材维护检修工作宜在检查过程中或在检查后及时进行。

11.2 装配式复合型材表面

- 检查项目：观察装配式复合型材表面是否有明显刮擦痕迹、破损；
- 维护检修：检查过程中或在检查后及时对刮擦部位及破损部位补刷防火涂料。

11.3 结构胶粘结处

- 检查项目：观察装配式复合型材外弧面与衬砌贴合部位，结构胶与装配式复合型材及隧道衬砌是否有开裂情况；
- 维护检修：结构胶开裂，可在检查过程中或在检查后对裂缝进行结构胶修补。

11.4 锚栓锚固

- 检查项目：观察锚栓螺母止退线是否发生错位；
- 维护检修：检查过程中或在检查后及时对螺母进行紧固。

11.5 结构防水

- 检查项目：观察连接接缝是否发生渗漏水；
- 维护检修：检查过程中或在检查后及时进行防水处理。

附录 A

(资料性)

装配式复合型材产品的受压弹性模量检测试验方法

A.1 基本规定

本附录中所述实验方法的目的是获得装配式复合型材产品的受压弹性模量值用于结构验算。本方法仅为测定装配式复合型材产品受压弹性模量的建议试验方法，并非严格意义上的标准方法。使用方可在各参与方认可的情况下，自行选用其他试验方法获得装配式复合型材产品的受压弹性模量值。

A.2 试件尺寸和数量应符合下列规定：

- 试件截面外缘的尺寸可为 32mm*182mm、42mm*182mm 或 42mm*242mm，长度应为 200mm；
- 2 每组试件为 3 块。所有试件在内部注浆完成后应放置于温度 20℃±5℃的环境养护至 28 天，之后从养护地点取出，检查其尺寸及形状满足要求后方可试验，试件取出后应在 3 天内完成试验。

A.3 试验仪器设备应符合下列规定：

用于微变形测量的仪器应符合下列规定：

- 微变形测量仪器可采用千分表、电阻应变片、引伸计或位移传感器等，采用千分表或位移传感器时应备有微变形测量固定架，试件的变形通过微变形测量固定架传递到千分表或位移传感器。采用电阻应变片或位移传感器测量试件变形时，应采用荷载和位移数据同步采集系统。
- 当采用千分表和位移传感器时，其测试精度应为±0.001mm；当采用电阻应变片或引伸计时，其测试精度应为±0.001%。
- 标距是用来测定试样应变或长度变化的试样部分原始长度。引伸计是测量试件及其他物体两点之间线变形的一种仪器。复合型材抗压试验的极限荷载对应的位移在 3mm 以上时，可以使用 5mm-30mm 的引伸计。

A.4 装配式复合型材受压弹性模量试验应按下列步骤进行：

微变形测量仪器应平行于试件纵轴安装在试件中部；试件采用分级加载，每一级构件荷载和位移稳定后开始增加下一级荷载，系统应能以最小速度为每秒记录一次荷载、应变和位移。

A.5 装配式复合型材试件受压弹性模量应按下列公式计算：

$$E = \frac{F_1 - F_2}{A(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)} \quad (\text{A.1})$$

式中：

E —受压弹性模量 (MPa)；

F_1 —弹性阶段的最小荷载 (N)；建议取 30%极限荷载值对应的力值，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%极限荷载值对应的力值，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_2 对应的应变；

A —试件受压面积 (mm²)。

A.6 试验结果取值

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。

附录 B

(资料性)

装配式复合型材产品的抗弯刚度检测试验方

B.1 基本规定

本附录中所述实验方法的目的是获得装配式复合型材产品的抗弯刚度值用于结构验算。本方法仅为测定装配式复合型材产品抗弯刚度的建议试验方法，并非严格意义上的标准方法。使用方可在各参与方认可的情况下，自行选用其他试验方法获得装配式复合型材产品的抗弯刚度值。

B.2 试件尺寸和数量应符合下列规定：

- 试件截面外缘的尺寸可为 32mm*182mm、42mm*182mm 或 42mm*242mm，长度 ≥ 400 mm；
- 每组试件为 3 块。所有试件在内部注浆完成后应放置于温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的环境养护至 28 天，之后从养护地点取出，检查其尺寸及形状满足要求后方可试验，试件取出后应在 3 天内完成试验。

B.3 试验仪器设备应符合下列规定：

- a) 试件横向应变可采用电阻应变片测量，采用电阻应变片测量时，在试件上表面和下表面跨中各粘贴两个电阻应变片，测量结果取两组数据的平均值。
- b) 当采用电阻应变片测量时，其测量精度应高于 $\pm 0.02\%$ 。
- c) 抗弯试验装置（如图 B.1 所示）应符合下列规定：

$$L_0 \geq L + 2 \times 50 \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

L —加载跨距，标准取值为 300 mm；

L_0 —试件总长度，取值应不小于 400 mm。

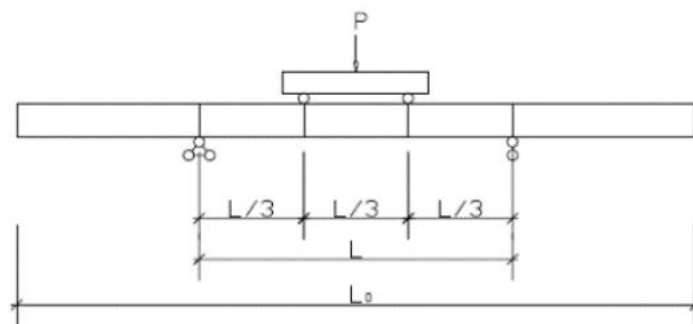


图 B.1 抗弯试验装置

- 1) 双点加荷的钢制加荷头应使两个相等的荷载同时垂直作用在试件跨度的两个三分点处；
- 2) 支座立脚点应为固定铰链支座，其他 3 个应为滚动支点。

B.4 抗弯刚度试验应按下列步骤进行：

- a) 试件安装前应将试件表面擦拭干净，并在试件侧面画出加荷线位置。
- b) 试件安装时，可调整支座和加荷头位置，安装尺寸偏差不得大于 1 mm。支座及承压面与圆柱的接触面应做到平稳、均匀。
- c) 用于测量试件横向微应变的电阻应变片应均匀粘贴在试件跨距中点处，与试件跨距中线垂直。试验前应进行预加载，检查支座是否平稳，仪表及加载设备是否正常，并对仪表设备进行调零。预加载应控制试件在弹性范围内受力，不应产生裂缝及其他形式的加载残余值。
- d) 试件可采用分级加载或连续加载。采用分级加载时，每一级荷载施加完成后，等待荷载和位移稳定，施加下一级荷载，直至试件破坏。系统应能以最小速度为每秒记录荷载和位移；采用连续加载时，可使用电液伺服压力机进行位移控制加载，加载速度应选择 0.2-0.5 mm/min。

B. 5 装配式复合型材试件抗弯刚度应按下式计算：

$$EI = \frac{Mh_0}{\varepsilon_c + \varepsilon_s} \dots\dots\dots (B. 2)$$

- 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）；
 - h_0 —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。

B. 6 试验结果取值

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。

附录 C

(资料性)

装配式复合型材产品的抗压强度检测试验方法

C.1 基本规定

本附录中所述实验方法的目的是获得装配式复合型材产品的抗压强度值用于结构验算。本方法仅为测定装配式复合型材产品抗压强度的建议试验方法，并非严格意义上的标准方法。使用方可在各参与方认可的情况下，自行选用其他试验方法获得装配式复合型材产品的抗压强度值。

C.2 试件尺寸和数量应符合下列规定：

- 试件截面外缘的尺寸可为 32mm*182mm、42mm*182mm 或 42mm*242mm，长度应为 100mm；
- 每组试件为 3 块。所有试件在内部注浆完成后应放置于温度 20℃±5℃的环境养护至 28 天，之后从养护地点取出，检查其尺寸及形状满足要求后方可试验，试件取出后应在 3 天内完成试验。

C.3 试验仪器设备（压力试验机）应符合下列规定：

- 试件破坏荷载宜大于压力机全量程的 20%且宜小于压力机全量程的 80%；
- 示值相对误差应不低于 ±1 %；
- 应具有加荷速度指示装置或加荷速度控制装置，并能均匀、连续地加荷；
- 其他要求应符合现行国家标准《液压式万能试验机》GB/T 3159 和《试验机通用技术要求》GB/T 2611 的有关规定。

C.4 装配式复合型材抗压强度试验应按下列步骤进行：

- a) 试件放置试验机前，应将试件表面与上、下承压板面擦拭干净。
- b) 应将试件安放在试验机的下压板或垫板上，试件的中心应与试验机下压板中心对准。
- c) 启动试验机，试件表面与上、下承压板或钢垫板应均匀接触。
- d) 试验前应进行预加载，检查支座是否平稳，仪表及加载设备是否正常，并对仪表设备进行调零。预加载应控制试件在弹性范围内受力，不应产生裂缝及其他形式的加载残余值。
- e) 试件可采用分级加载或连续加载。采用分级加载时，每一级荷载施加完成后，等待荷载和位移稳定，施加下一级荷载，直至试件破坏。系统应能以最小速度为每秒记录荷载和位移；采用连续加载时，可使用电液伺服压力机进行位移控制加载，加载速度应选择 3.0 kN/s。

C.5 装配式复合型材试件抗压强度试验结果计算及确定应按下列方法进行：

——抗压强度应按下列公式计算：

$$f = F / A \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

F —破坏荷载 (N)；

A —试件受压面积 (mm²)。

——装配式复合型材试件抗压强度值的确定应符合下列规定：

- 1) 取 3 个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值，应精确至 0.1MPa；
- 2) 当 3 个测值中的最大值或最小值中有一个与中间值的差值超过中间值的 15%时，则应把最大及最小值剔除，取中间值作为该组试件的抗压强度值；
- 3) 当最大值和最小值与中间值的差值均超过中间值的 15%时，该组试件的试验结果无效。