

城市老旧简支梁桥病害检测与加固改造施工技术实践

谢睦森 朱玉飞

保利长大工程有限公司 广东 广州 511431

摘要:城市老旧简支梁桥因服役年限长、荷载标准偏低及环境侵蚀,普遍存在混凝土开裂、钢筋锈蚀、支座老化等典型病害,结构性能显著退化。本文系统梳理了该类桥梁的常见病害类型与成因机理,阐述了基于外观普查、无损检测及荷载试验的综合检测方法 with 评估流程,针对不同病害提出了碳纤维布粘贴、钢板粘贴、体外预应力加固及支座更换等技术方案,并归纳了施工关键技术要点。研究表明,系统化检测评估与针对性加固技术的合理选用是延长老旧简支梁桥安全使用寿命的有效途径。

关键词:城市桥梁;简支梁桥;病害检测;加固改造;施工技术

引言:城市简支梁桥因结构简单、受力明确、预制化程度高而在城市道路中广泛应用。大量建于二十世纪八九十年代的简支梁桥已服役超过三十年,设计荷载偏低,加之车辆荷载增长与环境侵蚀,结构劣化日益突出。部分桥梁已出现梁体裂缝扩展、钢筋截面损失、支座剪切变形超限等损伤,承载能力不满足运营要求。及时准确的病害检测与科学合理的加固改造,是保障城市交通基础设施安全运行的重要手段。本文结合典型病害特征与检测实践,对加固改造施工技术进行系统总结,旨在为同类工程提供参考。

1 城市老旧简支梁桥的典型病害类型

1.1 上部结构裂缝与混凝土缺陷

简支梁桥上部结构以装配式预应力或钢筋混凝土空心板梁、T梁为主,裂缝是最为普遍的病害。梁底横向裂缝多出现在跨中区域,为正弯矩作用下的弯曲裂缝,宽度随荷载增加而扩展,卸载后部分闭合,表明承载力已接近或超过原设计水平。腹板部位常出现斜向裂缝,由主拉应力超限引起,与剪力滞效应和预应力损失有关。梁端顶部可能出现上缘横向裂缝,系墩顶负弯矩或锚固区应力集中所致。另外,混凝土碳化深度过大、保护层剥落等耐久性缺陷普遍,成因包括保护层厚度不足、水灰比偏大及二氧化碳长期侵蚀。

1.2 钢筋锈蚀与预应力损失

混凝土碳化前锋抵达钢筋表面或氯离子侵入达临界浓度时,钢筋钝化膜遭到破坏,在水和氧气参与下发生电化学腐蚀。锈蚀产物体积膨胀2至6倍,沿钢筋走向产生顺筋裂缝,严重时保护层成片剥落。钢筋有效截面积

减小直接降低构件承载力,锈蚀产物对黏结强度进一步削弱了钢筋与混凝土的协同工作性能。对于预应力混凝土简支梁,预应力筋锈蚀后果更为严重,钢绞线断丝或截面损失将导致有效预应力显著下降,构件抗裂性能与刚度同步退化。管道压浆不密实留下的空隙为水分和空气积聚提供了空间,增大了预应力筋的锈蚀风险^[1]。

1.3 支座系统老化与变形

支座是简支梁桥的关键传力构件,其状态直接影响上部结构受力合理性。板式橡胶支座因长期暴露于大气中,橡胶老化导致硬度增加、弹性降低,表面出现龟裂甚至开裂。支座剪切变形超限使上部结构水平位移受限,产生附加温度应力和约束力。支座脱空则造成各支承点反力分布不均,改变简支边界条件,引起梁端局部应力集中和附加弯矩。支座病害具有隐蔽性,常规巡视难以发现,需在专项检测中重点核查。

1.4 桥面铺装与伸缩缝装置破损

桥面铺装层在车辆荷载反复作用下产生裂缝、坑槽和松散等病害,雨水经裂缝下渗至梁体顶面和支座区域,加速结构耐久性退化。伸缩缝装置因梁体温度伸缩往复作用及杂物堵塞,锚固混凝土出现开裂破碎,型钢变形或断裂,导致跳车现象加剧车辆冲击效应,增大梁体实际承受的动力荷载,进一步加速上部结构和支座的疲劳损伤。

2 病害检测方法 with 评估流程

2.1 外观普查与详细调查

外观普查是病害检测的基础工序,采用目视检查配合卷尺、裂缝观测仪、钢尺等工具,对全桥各构件进行

全覆盖检查。普查内容包括梁体裂缝分布、宽度及走向,混凝土剥落与露筋范围,支座外观状态及变形量,桥面铺装破损情况以及伸缩缝工作状态等。普查结果应形成病害分布图,标注各类病害的位置、范围和程度,为后续详细检测和加固方案制定提供基础依据。对于裂缝,应重点记录宽度大于 0.2 毫米的受力裂缝,并绘制裂缝展开图以分析其发展规律。

2.2 无损检测技术应用

无损检测是对外观普查发现问题的深化验证,常用的检测方法包括回弹法检测混凝土强度、超声回弹综合法检测混凝土内部缺陷、电磁感应法检测钢筋保护层厚度及钢筋位置、半电池电位法评估钢筋锈蚀概率以及超声波法检测预应力管道压浆密实度。碳化深度检测采用酚酞试剂法,通过测量碳化深度与保护层厚度的关系判断钢筋所处的钝化状态。上述检测手段相互配合,可较为全面地获取结构材料性能、构造参数和耐久性指标,为结构状态评估提供定量数据支撑。

2.3 静动载试验

静动载试验是直接评定桥梁承载能力的方法。静载试验通过在桥面施加已知荷载,测定控制截面的应变和挠度响应,将实测值与理论计算值对比,评价结构的刚度、强度和裂缝开展情况^[2]。动载试验则通过跑车、跳车和脉动测试获取桥梁的自振频率、阻尼比和冲击系数等动力特性参数,与理论计算值或基准值进行比对,评价结构的整体工作性能。静动载试验结果综合判定桥梁是否满足设计荷载等级要求,是确定是否需要加固以及确定加固目标的关键依据。

2.4 综合评估与加固决策

基于外观普查、无损检测和荷载试验的结果,对桥梁技术状况进行综合评定。评定内容包括结构承载能力、耐久性状况和正常使用性能三个维度。承载能力评估以荷载试验结果为主要依据,辅以理论计算复核;耐久性评估根据混凝土劣化程度、钢筋锈蚀状态及支座老化情况综合判定;正常使用性能则从桥面平整度、伸缩缝功能和行车舒适性等方面考量。综合评估结果将桥梁技术状况划分为不同等级,据此确定加固改造的必要性和紧急程度,明确加固设计的目标荷载等级和技术指标。

3 加固改造施工技术

3.1 粘贴碳纤维布加固技术

粘贴碳纤维布加固是适用于简支梁桥受弯承载力提升的常用方法,通过在梁底受拉区粘贴高强度碳纤维布,利用纤维材料的高抗拉性能参与截面受力,从而提

高构件的抗弯能力。施工前应对梁底混凝土表面进行打磨、修补和清理,确保表面平整干燥,转角处打磨成圆弧过渡。涂刷底层树脂和找平材料后,按设计要求的纤维方向粘贴碳纤维布,使用专用滚筒滚压排除气泡,使纤维布与混凝土表面紧密贴合。多层粘贴时应在首层树脂处于凝胶状态时进行下一层施工。施工完成后进行表面防护处理。该技术具有轻质高强、不增加结构自重、施工便捷等优势,适用于梁体跨中抗弯承载力不足且原结构配筋率偏低的情况。

3.2 粘贴钢板加固技术

粘贴钢板加固通过在梁底或梁侧粘贴钢板并用锚栓固定,提高截面的抗弯或抗剪能力。相比于碳纤维布,钢板对原结构刚度的提升更为显著。施工工艺流程为:梁底混凝土表面凿毛、清理,按设计尺寸加工钢板并进行除锈和粗糙化处理,配置建筑结构胶,将钢板粘贴于构件表面并用锚栓临时固定,待结构胶固化后拆除临时固定装置并进行防腐涂装。粘贴钢板加固的关键在于界面黏结质量,施工时需保证胶层厚度均匀、无气泡,锚栓布置合理。

3.3 体外预应力加固技术

体外预应力加固通过在梁体外部设置预应力筋并施加张拉力,在梁体中引入附加预应力以改善结构的应力状态,从而提高抗裂性能和承载能力。该技术特别适用于简支梁桥因预应力损失导致承载力下降的情况。体外预应力筋通常采用高强钢绞线,布置于梁体两侧或底部,锚固于梁端增设的锚固块上,通过转向块调整预应力筋线形以满足加固目标。施工顺序为:在梁端增设锚固块和转向块,安装体外预应力筋,按设计张拉程序分级张拉,张拉力与伸长值实施双控,张拉完成后进行防护处理。体外预应力加固属于主动加固方法,能直接抵消部分外荷载效应,但其施工工艺复杂,对锚固块和转向块的安装精度及与原结构的连接可靠性要求较高^[3]。

3.4 裂缝修补与截面修复技术

裂缝修补和截面修复是加固工程的基础工序,旨在恢复结构的完整性和耐久性。宽度小于 0.15 毫米的裂缝采用表面封闭法,涂刷渗透性封闭材料封闭裂缝表面。宽度大于 0.15 毫米的裂缝采用压力注浆法,沿裂缝布设注浆嘴,在封闭裂缝表面后,使用专用注浆设备将环氧树脂浆液注入裂缝内部,压力控制在 0.2 至 0.5 兆帕,注浆完成后养护至浆液固化。截面修复针对混凝土剥落和蜂窝缺陷进行,首先凿除松散劣化的混凝土至露出新鲜密实基面,对暴露钢筋进行除锈和阻锈处理,然后采用聚合物砂浆或细石混凝土分层填补,每层厚度不宜超过

30 毫米, 养护至设计强度。

4 施工质量控制与关键技术要点

4.1 材料质量控制

加固用材料应满足设计及规范要求。碳纤维布的抗拉强度、弹性模量和伸长率等关键指标须提供型式检验报告和进场复验报告。结构胶的黏结强度、抗压强度和耐久性应符合相关标准。钢板材质应满足设计强度等级要求, 厚度偏差在允许范围内, 焊接材料与母材应具有相容性。体外预应力钢绞线的力学性能和松弛率指标应进行进场检验, 锚具组装件应通过静载锚固性能试验。更换用支座的规格与力学性能须与原设计或加固设计要求一致。

4.2 施工过程质量控制

加固施工过程质量控制涵盖各工序的操作要点。界面处理是粘贴加固和截面修复的关键, 混凝土表面处理后的清洁度、粗糙度和含水率应符合粘结材料的技术要求。粘贴施工的环境温度和湿度应在材料规定的范围内, 超出范围时应采取措施调整或暂停施工。钢板焊接应控制焊接变形和残余应力, 重要焊缝进行无损检测。体外预应力张拉应分级加载, 建立有效的预应力值, 锚固端和转向块的混凝土强度达到设计值后方可进行张拉。支座更换应采用同步顶升方案, 顶升位移控制精准, 防止顶升不当对上部结构造成附加损伤^[4]。

4.3 施工安全管控

城市老旧简支梁桥加固施工通常位于既有道路上, 作业空间有限, 交通组织复杂。施工前应编制专项施工方案和安全技术措施, 对支架搭设、高处作业、起重吊装和预应力张拉等高风险工序进行安全验算和风险评估。桥下作业区域设置安全通道和防护棚架, 防止坠落物伤害下方人员和车辆。高处作业人员须佩戴安全防护用品, 作业平台临边设置防护栏杆和安全网。交通组织方案应根据施工占道需求制定, 占道作业安排在交通低峰时段进行, 并设置完善的安全警示和引导标志。

5 工程实践案例与综合效益分析

5.1 典型工程概况与检测结果

某城市快速路上一座三跨简支空心板梁桥, 单跨跨径 16 米, 桥面全宽 18 米, 建于 1995 年, 设计荷载为汽车-超 20 级、挂车-120。服役 28 年后专项检测发现: 全桥共计 87 条裂缝, 其中梁底横向裂缝最大宽度 0.32 毫米, 腹板斜裂缝最大宽度 0.25 毫米; 混凝土碳化深度平均值 18 毫米, 最大达 26 毫米, 部分区域保护层已完全碳化; 6 个板式橡胶支座出现严重龟裂和剪切变形超限, 其中 2 个支座剪切角超过 35 度; 桥面铺装破损面积占比

约 18%。静载试验结果显示, 边梁跨中挠度校验系数为 1.12, 超出规范限值 1.05, 表明结构刚度不足; 动载试验实测基频较理论值低 11.5%, 整体工作性能有所下降。

5.2 加固改造方案设计

根据检测评估结论, 确定加固目标为恢复结构承载力并延长使用寿命 15 年以上。设计方案采用综合加固策略: 梁体跨中区域底面通长粘贴两层碳纤维布提高抗弯承载力, 腹板斜裂缝密集区粘贴钢板补强抗剪; 全桥 22 个支座全部更换为同规格新支座; 裂缝宽度大于 0.2 毫米的采用压力注浆封闭, 小于 0.2 毫米的表面封闭处理; 桥面铺装全面重铺, 伸缩缝同步更换。加固设计荷载维持原设计荷载等级, 结构胶和碳纤维布按 A 级标准选用。

5.3 施工实施与效果检验

加固施工历时 52 天, 交通组织采取半幅封闭、半幅双向通行的方案。关键工序质量控制要点包括: 梁底粘贴面打磨后平整度控制在 2 毫米以内, 碳纤维布搭接长度不小于 150 毫米; 支座更换采用 PLC 同步顶升控制系统, 最大顶升量控制在 5 毫米以内, 相邻支点高差不超过 1 毫米; 注浆压力全程监控, 稳压时间不少于 5 分钟。加固完成后静载试验复测显示, 跨中挠度校验系数降至 0.94, 实测基频恢复至理论值的 96.5%, 各项指标满足规范要求, 加固效果良好, 可为同类工程提供参照。

结束语

城市老旧简支梁桥的病害检测与加固改造是保障交通基础设施安全运行的重要手段。本文系统梳理了裂缝、钢筋锈蚀、支座老化及桥面铺装破损等主要病害的成因与表征, 阐述了外观普查、无损检测及荷载试验相结合的检测评估方法, 提出了粘贴碳纤维布、粘贴钢板、体外预应力加固及裂缝修补等加固改造技术方案, 并归纳了施工质量控制要点。工程实践验证了综合加固策略的有效性。检测与加固的系统化实施可有效延长老旧简支梁桥的使用寿命, 随着新材料与智能监测技术发展, 加固改造将拥有更丰富的技术选择。

参考文献

- [1] 魏孟娇. 某公路简支梁桥病害分析与加固方案设计[J]. 工程技术与质量管理, 2026, 2(3).
- [2] 张旭. 基于探地雷达的某高速河南段空心板梁桥脱空病害检测评估[J]. 河南科技, 2026, 53(4): 80-83.
- [3] 曹皓, 孙敦华, 王子琛, 等. 空心板梁桥表观病害与荷载横向分布关联分析[J]. 中外公路, 2023, 43(3): 114-121.
- [4] 金永妙, 杨向阳. 城市桥梁(梁桥)病害规范化录入探讨[J]. 安徽建筑, 2023, 30(4): 153-155.