

# 城市主干道旧桥病害诊断及维修整治方案设计研究

张卓立

成都市市政工程设计研究院有限公司 四川 成都 610000

**摘要:**国内大量上世纪90年代建成的空心板城市桥梁,经后期局部改造后形成“混龄梁板”受力体系,新旧构件变形不协调,铰缝开裂渗水病害反复发生,常规修补难以根除隐患。以成都某跨渠主干道空心板桥整治研究项目为对象,结合专项检测分析病害演化机理。对加固维修、次新板横向顶推滑移资源化利用、全板整体更换三套方案开展多维度比选,分析次新板顶推再利用的低碳价值与适用条件;结合跨灌区、临近高压管线、保通等复杂边界,设计阶段推荐全板更换+盖梁粘钢加固方案,并对预埋构件评价、管线沟槽轻质回填、跨渠水源防护等配套技术开展研究。结果表明:混龄体系先天不协调是病害复发核心诱因;旧构件资源化应充分评估风险,复杂环境下优先保障结构安全,可为同类旧桥改造提供参考。

**关键词:**城市桥梁;混龄空心板;病害识别;方案比选;盖梁粘钢加固;旧桥低碳改造

## 引言

上世纪九十年代修建的大批市政预应力空心板桥梁现已步入服役后期。空心板依靠预制装配、造价低廉等优势,广泛应用于城市跨河跨渠道路。受当时设计理念和施工工艺局限,桥梁对重载疲劳、水环境耐久性考虑不足。部分桥梁因交通需要进行加宽改造增设空心板,或因部分空心板破损更换新板,形成新旧板并存的混龄梁板体系。不同批次梁板材料、预应力工艺、收缩徐变特性存在差异,车辆与温度循环作用下板件变形不同步,铰缝反复开裂;桥面积水渗入梁体,加速混凝土碳化与钢筋锈蚀,病害持续恶化。实践证明,仅依靠裂缝封闭、注浆、碳纤维加固等手段只能处理表面损伤,难以消除体系矛盾,病害后期极易复发,不断消耗养护资金。

双碳背景下旧桥改造开始关注建筑垃圾减量,完好次新板横向顶推滑移复用成为减碳改造思路。但该工艺属于危大工程,对场地、周边构筑物、交通保通条件要求严苛,不能直接照搬既有案例。

本文研究对象为成都龙泉驿区某城市主干道桥梁,1999年建成,2009年局部换板,上跨省级灌区渠道,侧边临近高压燃气管线,重载车流大,施工期间必须保障社会车辆通行。本项目处于方案设计阶段,尚未开展现场施工,全部技术判断基于检测报告与设计推演。本文结合项目论证过程,开展病害研判、多方案比选与专项技术研究,为同类旧桥整治维修提供工程参考。

## 1 混龄空心板桥梁病害检测与现状研判

### 1.1 检测依据与检测手段

病害评定参照《城市桥梁检测与评定技术规范》CJJ/T 233 2015、《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99 2017、

《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 2013。

综合采用人工外观巡检、回弹测强、半电池电位锈蚀评估、裂缝量测、无人机航拍、支座人工探查等方式排查全桥损伤<sup>[1]</sup>。按照规范将桥梁分为桥面系、上部结构、下部结构三大评价单元,计算BCI指数划分技术状况等级,作为改造设计依据。

### 1.2 桥梁概况与管养现状

本桥为两跨简支空心板,跨径2×20 m,长40 m,宽50 m,横断面含机动车道、非机动车道与人行道。1999年建成,2009年因道路断面改造更换部分梁板,全桥共计84块空心板,形成旧板与次新板混杂布置。下部为盖梁柱式墩、桩柱式桥台及桩基础,桥面为沥青混凝土铺装。

道路为城市主干道,设计时速60 km/h,重载货车通行频繁,改造需分幅保通,不允许长期全幅断交通。跨越渠道属于省管灌渠,承担灌溉及生态补水,属于水源保护区,施工严禁废渣、废水入渠;堤顶设置防汛抢险通道,作业不得阻断抢险通行。桥梁侧方埋设高压燃气管道,大型机械、动火作业必须执行安全距离管控。

桥梁产权归属地方市政主管部门,由专业单位开展常态化运维管养,落实日常巡查、年度外观检测、定期第三方结构检测,同步开展裂缝封闭、坑槽修补等零星维修。历史检测记录显示铰缝、板底纵向裂缝持续发展,修补后仍持续发展,养护投入逐年增加。

第三方检测综合评定桥梁技术状况C级,桥面系D级,上部结构C级,下部结构A级。墩台基础完好无沉降偏移;老旧空心板存在发展性底板裂缝,支座剪切、脱空病害普遍;按现行城A级荷载验算,盖梁抗弯承载力不足需加固;2009年次新板表面损伤少,外观层面具备复

用可能性<sup>[2]</sup>。

### 1.3 桥梁典型病害概括

1) 桥面系: 铺装存在对应铰缝位置的纵向贯通裂缝; 桥头搭板开裂, 车辆通行跳车; 伸缩缝淤积杂物, 保护带混凝土破损; 人行道、栏杆多处开裂; 雨水沿铰缝下渗, 板底、桥台可见渗水泛碱痕迹。

2) 上部空心板: 1999年旧板多处板底纵向裂缝, 部分修补后再次开裂, 存在钢筋锈蚀风险; 新旧板铰缝渗水, 传力密封构造失效, 荷载作用下板间错动。

3) 支座系统: 板式橡胶支座剪切变形、挤压鼓包、局部脱空多发。支座受力不均改变梁板支承边界, 引入附加内力, 进一步加剧梁板开裂。

4) 下部结构: 墩台主体混凝土完好; 桥台存在渗水痕迹; 盖梁承载力不足需加固; 桩基无位移类损伤。

### 2 混龄空心板桥梁病害演化机理分析

病害由先天构造缺陷、车辆荷载、环境侵蚀、养护局限多因素耦合形成。

#### 2.1 分阶段改造造成体系先天缺陷

原桥为同一批次梁板, 2009年局部改造引入另一套板件。新旧板材料、预应力工艺、收缩徐变参数不一致。温度、车辆往复荷载下相邻梁板变形不同步, 铰缝承受交变拉剪应力发生开裂。桥面雨水渗入梁体, 钢筋锈蚀膨胀进一步扩张裂缝。常规维修仅封闭裂缝、修补桥面, 无法消除变形不协调的根源矛盾, 运营一段时间病害再次复发, 这是混龄桥梁反复维修的核心诱因<sup>[3]</sup>。

#### 2.2 主干道重载交通疲劳损伤

道路客货混行, 重载货车占比高。轮载在空心板底板产生较高拉应力, 往复荷载带来疲劳效应, 促使底板裂缝发展; 重载同时加剧铰缝剪切破坏, 支座反力分配不均, 部分支座超压破损, 部分支座脱空, 改变结构内力, 加速构件劣化。

#### 2.3 跨渠高湿环境加速材料劣化

桥下为灌渠, 空气湿度大。水汽进入梁体加快混凝土

碳化与钢筋锈蚀; 季节昼夜温差产生温度应力, 放大新旧梁板变形差值, 多重因素叠加推动病害发展。

### 2.4 养护工作的客观局限性

管养单位按规范开展巡检维修, 但养护只能处置已经暴露的表观损伤, 无法改变新旧梁板变形差异的固有矛盾。维修只能短期延缓病害, 不能彻底消除病害成因, 随时间推移维修频次、养护成本持续上升。

综上, 混龄空心板改造不能只处理表面裂缝, 应优先判别是否存在多批次梁板混用带来的体系不协调; 该矛盾客观存在时, 简单加固修补很难长期根除病害。

### 3 维修整治多方案比选研究

本次设计形成三套方案: 加固维修、次新板横向滚轮顶推滑移资源化利用、全板拆除整体更换大修。从技术可行性、安全风险、施工难度、交通保通、后期运维、全生命周期造价、低碳效益开展综合对比。

#### 3.1 方案一: 加固维修方案

全部保留原有空心板; 开裂板体裂缝注浆、粘贴碳纤维布加固; 更换全部失效支座; 重做铰缝, 凿除旧桥面重新铺装铺装; 更新伸缩缝, 修复人行道栏杆附属<sup>[4]</sup>。

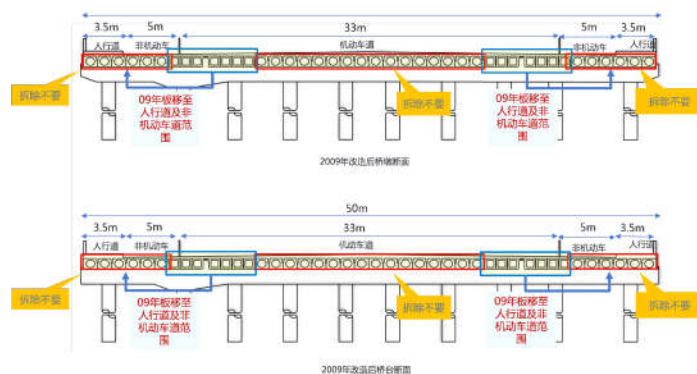
优势: 梁板拆除工程量小, 建筑垃圾少, 预制构件生产量低。缺点: 无法消解新旧混龄梁板变形不协调的根本矛盾, 铰缝仍有复裂渗水风险; 部分老旧板裂缝仍存在继续发展的可能, 后期监测养护压力大。

综合研判: 该方案适合无混龄矛盾、病害较轻桥梁。本项目一次性造价低, 但病害复发风险高, 全生命周期效益较差, 不予推荐。

#### 3.2 方案二: 次新板横向滚轮顶推滑移再利用

##### 3.2.1 方案构想

拆除病害严重的老旧空心板, 保留状态完好的次新板; 盖梁顶面搭设轨道滚轮滑道, 液压顶升抬升板件, 横向滑移至荷载较小车道; 拆除空位采用全新预制板补齐。该方案减少新板预制品量, 降低建筑垃圾, 具备低碳示范价值, 国内已有少量工程应用。



### 3.2.2 项目实施约束与风险

1) 危大工程风险高: 作业位于渠道上方, 需要全跨防坠兜底防护; 顶升、同步横向顶推属于危大工程, 位移控制要求严苛, 存在板件坠落渠道安全隐患。2) 周边环境约束严苛: 临近高压燃气管线, 大型机具站位回转空间受限, 作业振动需要严格管控。3) 体系矛盾未彻底消除: 新预制板和复用次新板参数仍存在差异, 铰缝不协调开裂隐患依旧存在。4) 主干道保通压力大: 盖梁顶面布置大量滑道液压设备, 分幅保通下作业空间局促, 交通导改复杂。5) 运维不便: 移位梁板原有病害标记位置改变, 加大后期检测识别难度。

综合研判: 次新板滑移复用是值得探索的低碳改造思路, 适合桥下无敏感水体、无高危管线、保通压力小的工程项目。本项目多重约束叠加, 安全风险突出, 不作为推荐实施方案, 但其工艺适用边界可供同类项目参考。

### 3.3 方案三: 全板拆除整体换新大修方案(推荐)

全桥空心板全部吊装拆除外运报废; 全部采用同一批次全新预制预应力空心板; 盖梁粘钢加固; 重做支座垫石, 更换板式橡胶支座; 更新伸缩缝; 重做现浇层、沥青铺装、铰缝、排水、人行道栏杆; 同步落实人行道小三线沟槽、渠道水源防护、燃气管线防护。

优势: ①彻底消除混龄梁板体系矛盾, 全桥梁板性能统一, 根除铰缝反复开裂顽疾; ②改造后满足城 A 级荷载标准, 结构性病害一次性根除, 中长期养护工作量明显下降; ③旧板拆除、新板吊装属于成熟工艺, 对比顶推滑移, 危大风险点更少。

短板: 完好次新板一并报废, 建筑垃圾产出较多, 一次性工程投资偏高。

比选结论: 结合项目敏感环境、主干道通行要求, 权衡结构安全、耐久性、后期运维、施工风险, 设计阶段推荐全板拆除更换+盖梁粘钢加固大修方案。

## 4 关键专项技术对策研究

### 4.1 原有预埋钢筋(钢板)利用评价

盖梁、桥台支座垫石、伸缩缝区域留存90年代及2009年预埋钢筋钢板, 部分构件存在浮锈锈胀; 新板支座、伸缩缝锚固模数与旧构件位置不匹配。

设计结论: 原有预埋钢筋、钢板不得作为受力构件复用。位置冲突构件静力切割剔除; 位置无冲突、锈蚀轻微构件, 喷砂除锈、涂刷环氧富锌防腐后, 仅用作构造拉结筋, 不计入受力配筋。支座垫石、伸缩缝全部新设受力锚固钢筋。

### 4.2 人行道下小三线管线沟槽轻质回填选型

人行道板下设置电力通信管线沟槽, 旧桥大修需控制新增恒载, 同时兼顾后期管线检修。对比气泡混合轻质土、CLSM可控低强度回填、EPS土工泡沫块等填料。

气泡混合轻质土容重 $6.8\text{ kN/m}^3$ , 自重小施工便捷, 但硬化后整体性强, 不利于检修; CLSM可控制强度便于人工开挖, 但自重偏大; EPS泡沫自重极低, 但管线必须放置独立槽盒, 造价高, 需设置压重防上浮<sup>[4]</sup>。

设计对策: 管线置于预制保护槽盒内, 管周设置50 mm中粗砂护管; 槽盒外部填充气泡混合轻质土; 槽盒顶部设置可开启检修盖板, 兼顾控制恒载和后期检修条件。

### 4.3 桥梁自动化感知设备配置研判

参照《成都市城市桥梁健康监测系统技术指南》, 特大桥、大跨、特殊结构、危桥改造强制配置在线监测; 本项目为 $2\times 20\text{ m}$ 常规简支空心板, 不属于强制布设对象。

设计意见: 本次大修暂不增设自动化感知设备。完工后严格执行规范开展日常巡查、年度外观、定期结构检测; 后续结合智慧市政规划, 落实运维经费前提下再论证轻量化监测。自动化监测除设备采购外, 还存在供电、通信、传感器年度校准等持续运维成本, 经费不落实极易造成设备闲置失效<sup>[5]</sup>。

## 结束语

国内大量空心板桥梁逐步进入改造周期, 混龄梁板桥梁数量持续增加。旧构件资源化工艺还需要更多落地工程积累实测数据, 进一步厘清适用边界。同时应当完善旧桥改造全生命周期评价方法, 平衡安全、运维成本和低碳目标。本文全部分析基于设计推演, 项目尚未实施, 技术结论有待后续施工运营检验。

## 参考文献

- [1] CJJ 99 2017, 城市桥梁养护技术标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [2] CJJ/T 233 2015, 城市桥梁检测与评定技术规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [3] JTG/T J22 2020, 公路桥梁加固设计规范 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020.
- [4] 李扬. 城市空心板梁桥典型病害及加固技术研究 [J]. 城市道桥与防洪, 2022 (06): 212 215+24.
- [5] 王浩, 陈宇. 旧空心板再利用改造技术应用探讨 [J]. 市政技术, 2023, 41 (03): 112 116.