

S20外环高速泰和路高架桥整体换梁关键问题研究

杨震宇

(上海市道路运输事业发展中心,上海市 200023)

摘要:泰和路高架桥位于S20外环高速北段,根据近年桥梁检测成果,空心板梁存在较大安全隐患。为确保桥梁结构安全,计划利用S20外环隧道全封闭施工窗口期对泰和路高架桥进行修复。根据桥检报告及现场情况调研,开展病害成因及规律分析,最终确定上部结构整体更换的修复方案,为国内少见的整体换梁案例。工程边界条件复杂,工期紧张,设计、施工、交通组织及BIM方面均进行了精心策划,工程实施效果良好。总结工程实施过程中的关键问题,可为类似项目提供参考。

关键词:泰和路高架桥;整体换梁;设计方案;施工方案;交通组织方案;BIM

中图分类号: U445;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)12-0216-05

Analysis on Key Issues of Integrated Beam Replacement of Taihe Road Elevated Bridge in S20 Outer Ring Expressway

YANG Zhenyu

(Shanghai Road Transportation Development Center, Shanghai 200023, China)

Abstract: The Taihe Road Elevated Bridge is located in the north section of the S20 Outer Ring Expressway. Based on the bridge inspection results in recent years, there are the significant safety hazards in its hollow slab beams. In order to ensure the structure safety of the bridge, it is planned to carry out the repair of the Taihe Road Elevated Bridge during the fully enclosed construction window period of the S20 Outer Ring Tunnel. Based on the bridge inspection report and on-site situation investigation, the causes and patterns of the diseases are analyzed. Finally, the repair scheme for the integrated replacement of the superstructure is determined, which is a rare case of integrated beam replacement in China. The engineering boundary conditions are complex and the construction period is limited. The meticulous planning is carried out in terms of design, construction, traffic organization and BIM. The effects of engineering implementation are good. The key issues in the engineering implementing process are summarized, which can be referenced for the similar projects.

Keywords: Taihe Road Elevated Bridge; integrated beam replacement; design scheme; construction scheme; traffic organization scheme; BIM

0 引言

泰和路高架桥位于S20外环高速北段,兼具高速货运主通道与市政道路环线主动脉功能。根据近年桥梁检测成果,空心板梁存在梁端腹板斜裂缝、梁端底板裂缝、铰缝渗水等病害,并处于不断发展阶段且发展速度较快,在重载交通运行状况下,存在较大的安全隐患。若采用“小修小补、局部更换”方式维修5~8年后大概率需要再次大修,全部换梁具有全寿命经济性。外环隧道全封大修使泰和路高架桥主线流

量降低约50%~60%,为本工程实施提供了关键窗口期。

本工程主要实施内容包括上部结构拆除重建,下部结构的维修加固以及桥梁结构和道路交通设施的功能完善提升,本文总结了项目设计、施工、交通组织及BIM方面的关键问题,可为类似项目提供参考。

1 老桥概况

泰和路高架桥全长4 024 m,标准断面分幅布置,每幅宽度17 m,中央分隔带宽度为5 m,单幅横断面布置为0.5 m(防撞墙)+16 m(车行道)+0.5 m(防撞墙)=17 m,主线为双向8车道,设计车速每小时80 km,平面总体布置见图1。

收稿日期: 2025-06-18

基金项目: 上海市交通委科研项目(JT2024-KY-001)

作者简介: 杨震宇(1980—),男,学士,高级工程师,从事项目前期管理工作。

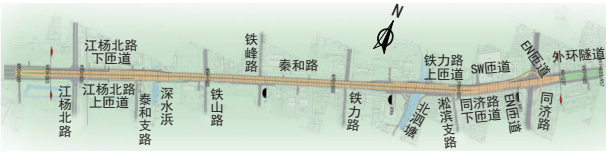


图1 平面总体布置图

本项目桥梁共 186 跨,其中 183 跨为铰接空心板梁,3 跨为钢板组合梁。按跨径划分,铰接空心板梁又可分为 3 类:不大于 22 m 跨径铰接空心板梁(梁高均为 0.9 m)、25 m 跨径铰接空心板梁(梁高为 1.0 m)及 30 m 跨径铰接空心板梁(梁高为 1.3 m)。22 m 标准跨径铰接空心板梁下部结构桥墩盖梁为大挑臂预应力混凝土倒 T 盖梁,桥墩立柱为双直立柱形式,见图 2^[1]。

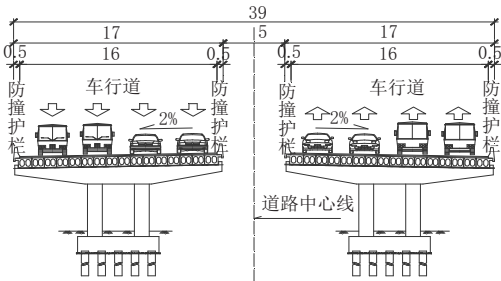


图2 泰和路高架桥标准跨断面图(单位:m)

2 设计方案

2.1 换梁梁型

不大于 22 m 及 25 m 跨径铰接空心板均为先张法铰接空心板梁,钢束采用直线束,内模采用橡胶芯模,抗剪承载能力低;30 m 跨径铰接空心板梁为后张法铰接空心板梁,钢束采用曲线束,内模采用钢模板,抗剪承载能力高。结合桥梁定期检测报告,22、25 m 铰接空心板均有检测出腹板斜裂缝病害,30 m 铰接空心板梁未检测出腹板斜裂缝病害。考虑上述因素,同时考虑节约项目投资,22、25 m 铰接空心板修复方案为换梁,彻底解决主体结构病害;30 m 铰接空心板不更换主体结构,采用铺装整体加强法维修铰缝。

不大于 22 m 跨径铰接空心板换梁梁型采用刚接空心板梁,整体采用通用梁、局部采用特制梁。其具有如下优势:(1)整体采用通用梁,设计、施工各环节经验均较成熟,工程质量容易得到保证;(2)局部采用特制梁,解决了新、老结构高差调节的难题;(3)实施阶段施工工期容易保证,本项目由 6 个梁厂同时预制板梁,通用梁均利用工厂现有模板进行板梁生产,供梁效率较高;(4)通用梁较特制梁材料指标低,

造价低,整体采用通用梁,局部采用特制梁,可节约工程造价。

2.2 梁长匹配

本项目老桥均为倒 T 盖梁,新梁梁长需与老桥盖梁距离匹配。本项目通过测量老桥盖梁侧面静距获得老桥数据,推测板梁边腹板长度,然后推算边梁长度,然后根据线性内插原则推算中梁长度(见图 3)。板梁边腹板长度测量采用钢卷尺实量、免棱镜观测法互相校核,精度控制在 1 cm 以内。通过此方法,本项目梁长控制精度较好,全桥 4 000 余片新板梁均顺利安装。同时,通过换算后与老桥梁长进行对比,发现采用老桥梁长推算新桥梁长误差较大,推测由于多年运营,老桥发生不均匀沉降导致。



图3 老桥梁长测量

2.3 支座垫石设计

老桥盖梁顶无支座垫石,支座采用球冠支座,倾斜放置,但现有规范不推荐采用球冠支座,且规定支座必须水平放置。同时,老桥标准跨布置 16 片铰接空心板梁,新换上部结构标准跨布置 10 片刚接空心板梁,新、老板梁支座位置及数量均不相同。因此,本项目需要新建垫石系统。

本项目盖梁顶支座垫石设计难点在于其快速施工需求,预留支座垫石施工时间仅 10 h 左右,垫石采用早强 UHPC 方案,UHPC 技术要求为:(1)6 h 混凝土抗压强度达到 50 MPa,抗压强度大于 100 MPa;(2)通过调整混凝土配合比、外掺添加剂或纤维增强材料避免早期开裂;(3)满足小厚度(30 mm)垫石的浇筑可行性和可靠性;(4)满足耐久性要求;(5)垫石超高性能混凝土(UHPC)配筋要求:当垫石高度大于 100 mm 时,需配置 1 层 C10@150 mm×150 mm 钢筋网片。

通过现场实践,利用白天空窗期浇筑 UHPC 垫石,晚上架梁前 UHPC 强度可满足设计要求,工程质量及施工工效均得到有效保证,现场施工情况如图 4 所示。



图4 早强 UHPC 垫石施工

3 施工方案

3.1 施工组织

总体施工顺序为先施工外圈、后施工内圈。半幅施工时,另外半幅单向4车道改双向4车道保证桥面车辆通行,见图5、图6。

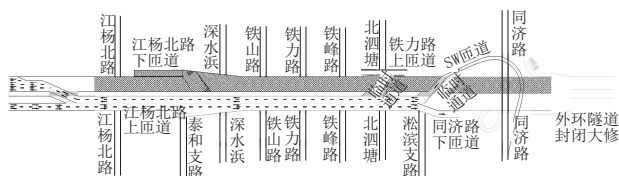


图5 外圈施工

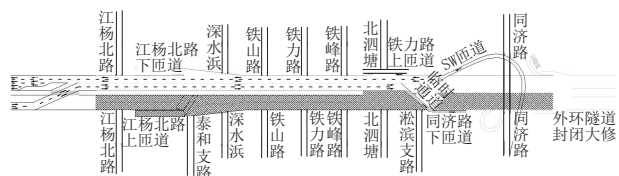


图6 内圈施工

半幅施工时,先更换3、4号车道板梁,1、2号车道作为运梁通道;3、4号车道板梁更换完成、白色铺装浇筑后,再利用3、4号车道做为运梁通道,更换1、2号车道板梁,见图7、图8。同步开展6个工作面,拆梁、运梁、架梁均在桥面进行。

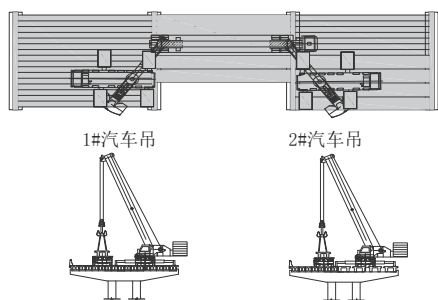


图7 施工南侧北侧运梁

拆架梁整体流程如下:

- (1)提前铣刨沥青,切割铰缝;
- (2)第一天夜间汽车吊就位,拆除 1/4 跨板梁,安

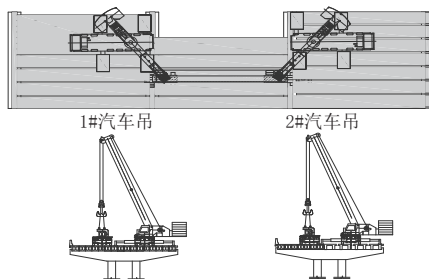


图8 施工北侧南侧运梁

装临边；

- (3)第二天白天浇筑 UHPC 垫石;
(4)第二天夜间安装 1/4 跨新梁。

由于盖梁为预应力大挑臂结构,原施工时钢束为分批张拉,板梁拆除后汽车吊支腿需做为盖梁压重,防止盖梁悬臂根部下缘拉应力超标。因此单个作业面每天向前推进1跨。本工程外圈施工约4.5个月,内圈施工约5.5个月,总工期约10个月。

3.2 拆、架梁工艺

常规工况上部结构更换采用2台汽车式起重机通过“双机抬吊”工艺进行,2台汽车吊分别站在待换梁跨的两侧邻跨,汽车吊的后支腿支撑在倒T盖梁上(见图9)。

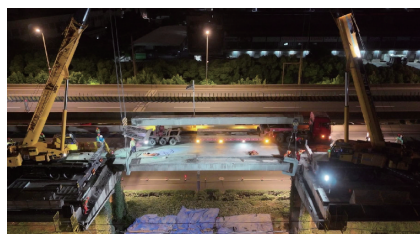


图9 板梁双机抬吊

如图 10 所示,老桥防撞护栏拆除时随边梁一起拆除,采用半兜底式吊装;中梁采用 C 型吊架或兜底吊进行吊装,避免了中梁吊装开孔的问题,提高了施工工效。



图 10 中梁 C 形吊架吊装

3.3 铰缝切割工艺

本项目铰缝切割同时采用了小型镐头机破除与盘锯机切割两种工艺。

- ### (1) 盘踞切割铰缝

盘踞切割铰缝施工速度一般,施工过程产生扬尘较少,产生的噪声分贝相对较低,对周围环境影响小(见图 11)。



图 11 盘踞切割铰缝

(2)小型镐头机破除铰缝

小型镐头机破除铰施工速度快,人工配合对产生的碎石及时清理,破除完成度高。但对周围环境影响较大,会产生大量扬尘以及较高分贝的噪声,见图 12。



图 12 小型镐头机破除铰缝

通过效果对比及施工对环境影响的综合考虑,本项目大部分铰缝均采用盘踞进行切割。

4 交通组织方案

4.1 交通流量分析

工程实施前,泰和路高架桥单向流量约 55 006 000 pcu/h,货车比例约 36%;主要来源于隧道方向,占比约 64%。

外环隧道全封大修期间,通过郊环隧道和长江路隧道绕行(见图 13),泰和路高架流量减少约 50%~60%,单向 2 000~3 000 pcu/h,货车比例约为 9%。S20 外环隧道大修为本工程实施提供了关键窗口期。

外环隧道全封大修期间,外圈江杨北路上、下匝道流量均大幅下降,上匝道由 920 pcu/h 降至 200 pcu/h,下匝道由 1 170 pcu/h 降至 350 pcu/h。

4.2 施工期间桥面交通组织

主线桥梁先施工外圈、后施工内圈。半幅施工



图 13 外环隧道全封大修期间车辆绕行示意图

时,另外半幅单向 4 车道改双向 4 车道保证桥面车辆通行。

主线保通速度为 40 km/h,断面布置为:0.25 m 路缘带+(3.5 m+3.75 m)客货道+0.25 m 路缘带+0.5 m 中央防撞墩+0.25 m 路缘带+(3.5 m+3.75 m)客货道+0.25 m 路缘带(见图 14)。

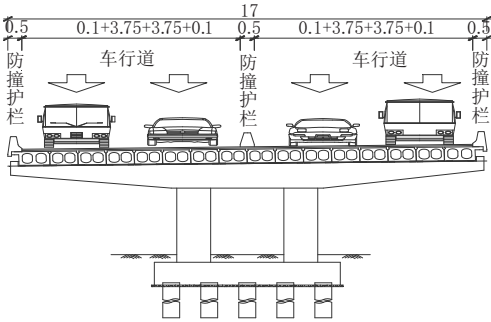


图 14 主线保通期间车道布置示意图(单位:m)

中央防撞护栏防撞等级不低于二(B)级。

由于外环隧道全封大修期间江杨北路上、下匝道流量均大幅下降,并且主线桥梁分幅布置,外圈施工时对江杨北路下匝道进行了封闭,内圈施工时对江杨北路上匝道进行了封闭。

4.3 施工期间地面交通组织

为尽可能降低对地面道路交通影响,同时确保按期完工,根据桥梁上部结构施工工序,确定施工期间地面交通组织:

白天施工时局部占一根车道,施工作业时采取防护措施;

夜间施工封闭地面道路,车道减少后保证单向至少一根车道且宽度不小于 5 m(白天施工 6:00—23:00;夜间施工 23:00—次日 6:00)。

地面车道占用与施工内容见表 1。

5 数字化应用

本项目工程条件复杂、施工作业面较多、工序复

表1 地面车道占用与施工内容		
时间段	地面车道占用情况	施工内容
白天 (6:00—23:00)	局部占用1根车道	附属、桥面系拆除、板梁切缝、桥面附属施工
夜间 (23:00—次日6:00)	封闭桥梁投影线下方交通确保地面单向至少1车道、路口渠化2车道通行	防撞墙切割、板梁拆除、支座安装、新梁架设

杂、施工工期紧张,项目实施过程中,应用了多项数字化技术,助力项目顺利实施。

(1)倾斜摄影技术。通过无人机上多角度采集被摄物体影像,再对数据进行处理,将二维影像还原为实景三维模型,将现实世界中的物体复制进计算机(见图15)。



图15 泰和路高架桥倾斜摄影

(2)数字沙盘。在倾斜摄影、BIM模型等数据的基础上,建立轻量化三维展示系统,可实现交互操作(标注、标绘、测量、剖切、漫游、显隐、图层管理等),呈现项目建造过程,对方案区位、重难点、关联信息进行全方位表达,见图16。

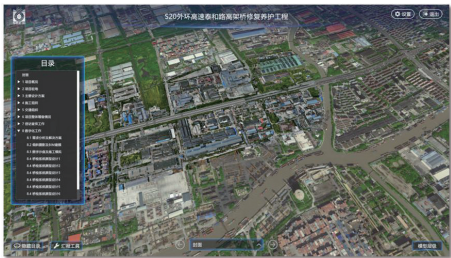


图16 泰和路高架桥数字沙盘

(3)在BIM模型基础上对关键工序进行动画模拟,助力施工交底(见图17)。

(4)施工进度展示。每周例会上利用BIM进行进度展示。基于数字沙盘,对主梁、防撞墙、铺装等关键构件进行进度展示,通过颜色区分项目实施进

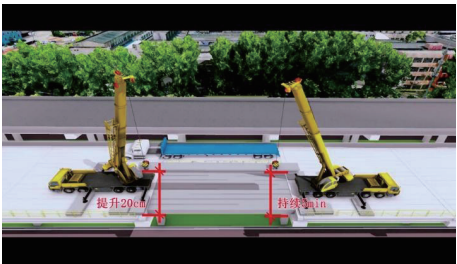


图17 泰和路高架桥动画模拟

度,可视化展示项目总体情况,赋能例会汇报、提升沟通效率(见图18)。

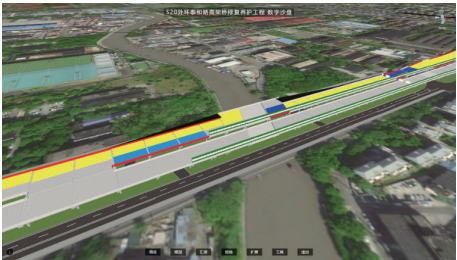


图18 泰和路高架桥施工进度展示

(5)数字化交付

建立泰和路高架桥BIM模型,接入云路中心。以泰和路项目为基础,对BIM工作进行归纳、梳理和完善,形成《BIM应用指南》。

6 结 语

S20外环高速泰和路高架桥修复养护工程的实施,将进一步保障设施运营安全,提升桥梁结构耐久性,改善交通出行品质,为上海市交通基础设施韧性安全更新提供可实施、可复制、可借鉴、可推广的成功经验和典型案例。其不仅是上海城市交通基础设施更新的阶段性成果,也是超大城市可持续发展的重要体现。本文总结了项目设计、施工、交通组织及BIM方面的关键问题,可为类似项目提供参考。

参考文献:

[1] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.S20外环泰和路高架桥(K93+283~K97+111、K0+000~K0+237)修复养护工程施工图[Z].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2024.