

市政宽幅空心板梁桥加固设计关键技术

张卫红,夏刚,陈世明

(中铁大桥局集团有限公司,湖北武汉430050)

摘要:针对当前普遍暴露出来的装配式空心板梁桥病害,以武汉市三环线地面层五座空心板梁桥维修加固工程为背景,进行维修加固设计,提出的主要设计方法包括:梁体横向分块依次整体顶升的施工方法;新支座垫块双层设计;可根据现场实际情况进行适时调整的三种不同的支座垫块与墩台帽梁连接方式;铰缝跨缝植筋处理。施工过程及运营情况表明,这些设计方法在增加了施工的便利性,缩短了工期的同时,起到了良好的加固效果,有效恢复并提高了结构的整体受力性能、恢复了结构耐久性。

关键词:装配式空心板梁;梁体顶升;支座垫石设计;铰缝处理;施工工序

中图分类号: IU445.6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)05-0117-04

0 引言

装配式空心板梁由于其构造简单、施工方便,受力明确等优点,在我国中小跨径桥梁中运用广泛,早期建设的城市高架空心板桥梁所占比例更高。然而,随着运营年限的增加,交通流量的快速增长,以及超载问题,空心板桥梁的许多问题逐渐暴露出来,这些病害^[1-4]都直接影响到桥梁的正常使用,威胁到桥梁的运营安全。

本文依托武汉市三环线地面层五座空心板梁桥维修加固工程,五座桥梁上部结构相似,均为预应力空心板简支梁。桥梁自2001年11月建成通车以来未经历过专项维修,仅在后期建造三环线高架层整体改造过程中通过抬高支座垫石进行过地面层标高的整体抬升,因此五座桥梁存在多层支座垫石垒高、支座垫石稳定性不够的现状特征。五座桥梁已建成运营多年,虽进行过维修处理,但根据最新的五座桥梁的检测报告,仍普遍存在主梁底板纵向裂缝、支座脱空错位、铰缝破损脱落、伸缩缝碎边及桥面坑槽等病害。针对当前普遍暴露出来的病害进行针对性的维修加固设计,恢复并提高结构的整体受力性能、恢复结构耐久性。

1 桥梁概况

1.1 总体信息

本维修加固项目包含五座桥梁。五座桥梁的基

收稿日期:2023-06-01

作者简介:张卫红(1985—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

本信息统计见表1。

表1 桥梁信息统计表

桥梁序号	跨径	斜角	桥宽/m	横向空心板/块
1	1×20 m	正交	32	32
2	2×16 m	左斜35°	32	32
3	1×20 m	左斜45°	32	32
4	2×20 m	右斜45°	32	32
5	1×20 m	正交	32+3	32+3

1.2 上部结构

桥梁上部结构采用预应力空心板,横桥向布置32块,分成双幅桥,板宽中至中间距1.0 m。

五座桥梁中,一座为16 m跨空心板。16 m跨板梁,计算跨径为15.96 m,梁高0.7 m。其边板跨中底部配置16根 $\phi^{12.7}$ mm钢绞线,中板跨中底部配置15根 $\phi^{12.7}$ mm钢绞线。箍筋采用HRB235 ϕ^8 钢筋,在梁端约1 m范围内箍筋间距10 cm,其余范围内箍筋间距20 cm。

另外四座为20 m跨空心板。20 m跨板梁,计算跨径为19.96 m,梁高0.95 m。其边板跨中底部配置14根 $\phi^{15.2}$ mm钢绞线,中板跨中底部配置12根 $\phi^{15.2}$ mm钢绞线。箍筋采用HRB235 ϕ^{10} 钢筋,在梁端约1/8跨径范围内箍筋间距10 cm,在跨中约3/5跨径范围内箍筋间距20 cm,中间段以15 cm间距过渡。

1.3 下部结构

在桥梁两端设有两个轻型桥台,桥台在中间设有2 cm断缝,分成左右两幅,每幅桥台均采用三根钻孔桩,其直径为1.2 m。对于两孔桥,中间桥墩采用桩式

墩接盖梁,每幅桥下三个墩,墩与钻孔桩一一对应,钻孔桩直径 1.2 m。

1.4 桥梁主要维修加固内容

桥梁主要维修加固内容见表 2。

表 2 桥梁维修加固主要内容

序号	桥梁构件	主要病害	加固内容
1	主梁	底板纵向裂缝、蜂窝、麻面	裂缝处理并加固
2	铰缝	铰缝渗水、破损	凿除后重新浇筑
3	支座及垫石	支座剪切变形、垫石偏位	更换
4	伸缩缝	沉积物阻塞,止水带破损	修复、更换止水带
5	桥面铺装	桥面坑槽、局部破裂	凿除后重新铺装
6	护栏	局部破损,钢制栏杆锈蚀	修复
7	墩台	裂缝,表面混凝土锈胀	混凝土表面缺陷修补

1.5 主要技术标准

加固后桥梁技术标准与原设计保持一致,桥梁主要技术标准:

- (1)道路等级:城市快速路;
- (2)设计车速:60 km/h;
- (3)设计荷载:汽车 - 超 20 级,挂车 -120;
- (4)桥面宽度:0.5 m(护栏)+0.5 m(路缘带)+11 m(行车道)+0.5 m(路缘带)+0.5 m(护栏)+7 m(中央绿化带)+0.5 m(护栏)+0.5 m(路缘带)+11 m(行车道)+0.5 m(路缘带)+0.5 m(护栏)=32.0 m;双向 6 车道。

2 加固设计关键技术

2.1 支座更换

对五座桥的支座和支座垫石进行更换,更换支座首先应凿除桥面铺装、解除横向分块处的空心板梁间铰缝,然后对板梁进行顶升作业,并设置临时支撑;临时支撑承载后,拆除原桥支座;待垫石更换后再次进行梁体顶升,并拆除临时支座,新支座安装就位后承载。

支座更换时涉及到的顶升过程设计及计算要点总结如下。

(1)梁体顶升

空心板梁横桥向依次分为三块(左侧车行道 12 块板梁、中央绿化分隔带 8 块板梁、右侧车行道 12 块板梁)进行整体顶升^[5-6]。梁体顶升横向分块示意图见图 1。

单跨桥梁通过在桥台帽梁上设置千斤顶进行顶升,双跨桥梁还需在中墩帽梁两侧设置顶升托架放置千斤顶进行顶升。桥台帽梁处顶升布置见图 2。

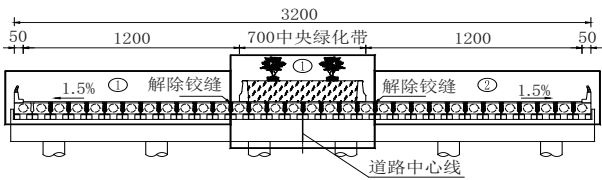


图 1 梁体顶升横向分块示意(单位:cm)

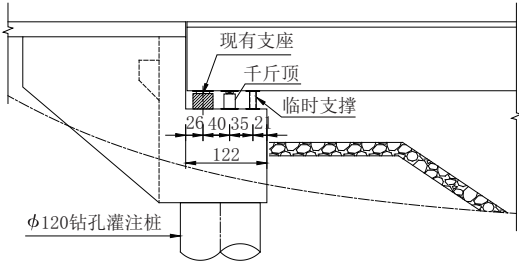


图 2 桥台帽梁处顶升布置(单位:cm)

原板梁支座型号均为 TCYB ϕ 200 $\times$ 28B 橡胶支座。本次更换后的支座与原设计支座型号保持一致,型号均为 GYZ200 $\times$ 35 mm 板式橡胶支座。

(2)梁体在顶升过程中另半幅通行板梁受力计算

施工期间另半幅桥行车时,横向分块间的铰缝已经解除,与原设计运营阶段 32 块板梁共同受力不同,此过程中只有半幅 12 块板梁共同受力,需对施工期间半幅桥行车时原空心板梁进行计算。半幅通行时按最多三个车道行车进行横向布置。因加固前后桥梁技术标准维持原设计,原构件受力截面按原设计规范^[7-8]进行验算。

采用桥梁博士,按板梁铰接法计算汽车荷载跨中横向分布系数,最终计算得到边板跨中最大横向分布系数为 0.226,中板跨中最大横向分布系数为 0.229(均已考虑车道横向折减系数);计算挂车荷载,边板跨中最大横向分布系数为 0.121,中板跨中最大横向分布系数为 0.124。

按杠杆法计算汽车荷载支点横向分布系数,最终计算得到边板支点最大横向分布系数为 0.25,中板支点最大横向分布系数为 0.5;计算挂车荷载,边板支点最大横向分布系数为 0,中板支点最大横向分布系数为 0.137 5。

采用 MIDAS Civil 建立空心板梁有限元分析模型,以上计算的横向分布系数在 1/4 跨处由跨中值向支点值线性过渡。另外,基于计算软件的特点,预应力张拉应力计算参数需手动计算先张法预应力钢筋中锚具变形及钢筋回缩产生的应力损失 σ_{l2} 和预应力钢筋与台座之间的温差引起的应力损失 σ_{l3} ,其余预应力损失程序自动计算。

本文以 20 m 跨中板计算结果为例。

由计算可知,根据《公路钢筋混凝土及预应力混

凝土桥涵设计规范》(JTJ 023-85)第 5.1.7 条进行承载能力极限状态正截面抗弯承载力,满足规范要求;根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023-85)第 5.1.9、4.1.12 条进行抗剪截面验算,第 5.1.10 条进行承载能力极限状态斜截面抗剪承载力验算,满足规范要求。

正截面抗弯强度及斜截面抗剪强度验算结果见表 3。

表 3 20 m 跨中板正截面抗弯及斜截面抗剪强度验算结果				
荷载组合	跨中最大计算弯矩 / (kN·m)	跨中正截面抗弯承载力 / (kN·m)	支点最大计算剪力 / kN	支点斜截面抗剪承载力 /kN
组合 I	1 385		411	
组合 II	1 277	1 700	380	580
组合 III	1 294		294	

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023-85)第 5.2.21、5.2.23 条进行使用阶段应力验算,满足规范要求。

正截面应力验算结果见表 4。

表 4 20 m 跨中板正截面应力验算结果				
荷载组合	法向压应力 /MPa	压应力限值 /MPa	法向拉应力 /MPa	拉应力限值 /MPa
组合 I	-8.7	$0.5R_{yk}=17.5$	1.0	$0.8R_{yk}=2.4$
组合 II	-9.3	$0.6R_{yk}=21.0$	1.6	$0.9R_{yk}=2.7$
组合 III	-9.2		0.9	

2.2 新支座垫块设计

上部板梁同步顶升后需要更换支座垫石和支座,考虑到施工空间的可操作性、更换构件尺寸的现场灵活可调性及结构连接的有效性^[9-10],新支座垫块采用两层设计方法,上层 C40 混凝土垫石,以固定高度在场外预制成型,下层为早高强型水泥灌浆料垫块,通过现场浇筑进行调平和高度调节。两层垫块材料不同,作用也不同。预制垫石和现浇垫块之间通过各自面层的预埋钢板焊接连接。支座垫块的设计见图 3。

2.3 支座垫块与墩台帽梁连接方式

对于新支座垫块与旧桥墩台帽梁之间的连接方式,由于桥梁支座处梁底至墩台帽梁的空间有限,帽梁顶面凿毛及原钢筋难定位且施焊均较困难,根据现场实际情况适时调整措施,针对操作空间较富余的桥梁,将帽梁顶表面凿毛后焊接原钢筋的连接方式优化为帽梁顶钻孔植筋的连接形式;针对操作空间较狭小的桥梁,优化为帽梁顶粘贴钢板的连接形式。

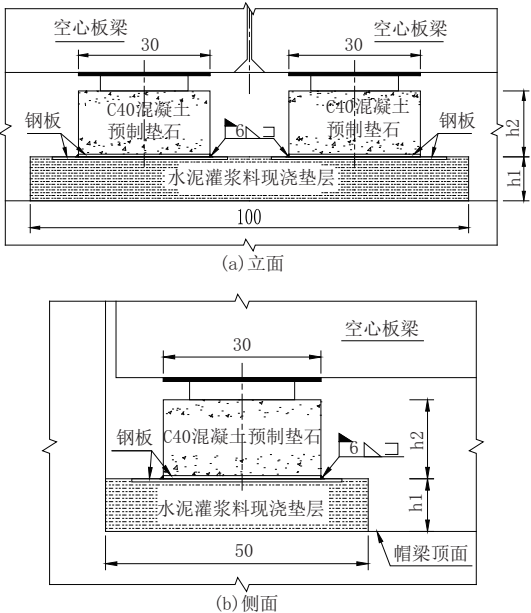


图 3 支座垫块设计(单位:cm)

将三种连接方式从受力性能、经济性及适用条件进行综合对比,见表 5。三种连接方式中第一种连接方式最经济,但适用条件有限。其他两种连接方式在保证受力性能不削弱的同时,更适用于现场条件。通过合理的设计方案优化,增加了施工的便利性,加快了工期。

表 5 新支座垫块与旧桥墩台帽梁之间不同的连接方式对比			
连接方式	1 凿毛后焊接 原钢筋	2 钻孔植筋	3 粘贴钢板
水平抗剪承载力(两个支座共用)/kN	745.2	1 077.4	1 250
计算依据	5.4.1 条 ^[11]	附录 A.2.2 ^[11]	表 4.6.5 ^[11]
工程用量(两个支座共用)	凿毛面积 0.5 m ² , 焊接 HRB400 级 直径 12 mm 钢筋 50 根,钢筋用量 4.8 kg	植筋 HRB400 级直径 12 mm 钢筋 50 根,深 度 12 cm,钢筋 用量 10.2 kg	粘钢面积 0.5 m ² ,钢板 厚度 6 mm, 钢材用量 23.6 kg
施工工期 /d	15	9	10
综合单价 / 元	320	550	700
适用条件	操作空间较大,便 于表面凿毛、钢筋 施焊	操作空间适 中,凿毛困难、 原钢筋难定位	操作空间狭 小

2.4 铰缝修复加固

针对早期装配式空心板采用的铰缝构造^[12-13],为增强两片板梁间横向联系,在铰缝两侧植入骑马筋,加强铰缝、现浇层钢筋等措施恢复并加强铰缝连接的可靠性,恢复并提高桥梁横向整体受力性能。

跨缝钢筋(骑马筋)如图 4 所示①号钢筋,其直径为 12 mm,植入深度 12 cm,纵向间距 40 cm。铰缝

以下梁缝采用水泥砂浆填充,上部与桥面现浇层采用C50混凝土整体现浇。

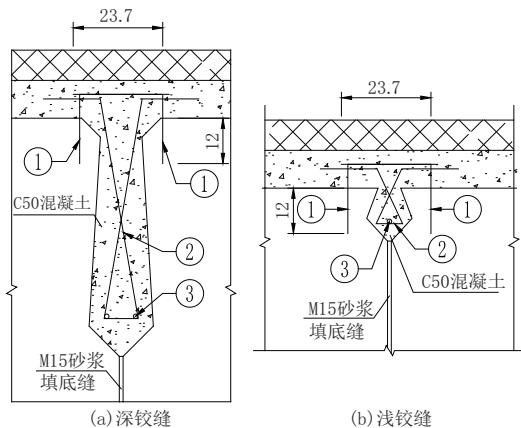


图4 铰缝处理构造图(单位:cm)

2.5 施工主要流程

针对桥梁的维修加固内容,合理安排工艺流程,开展流水化作业,提高现场施工效率。一座空心板桥的维修加固施工作业基本遵循从下到上施工的原则,同时考虑同步适时开展并序作业。

施工主要流程见图5。

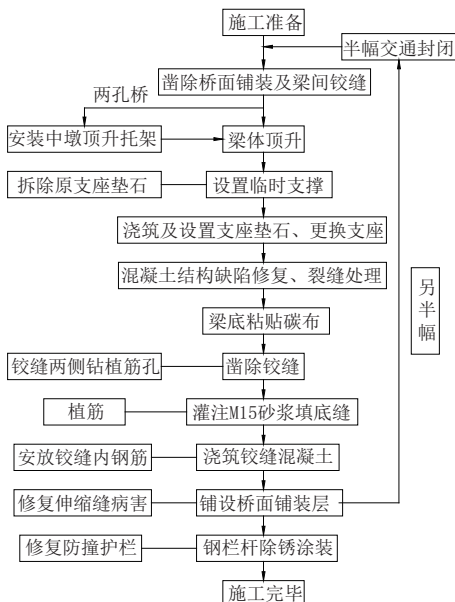


图5 施工主要流程

3 结语

本文以工程实例为依托,提出市政宽幅空心板梁桥加固设计关键技术如下几点。

(1)桥梁施工期间按半幅封闭半幅通行的原则,提出每跨空心板梁横向分三块,依次进行两次整体顶升的施工方案设计,在尽量减少对交通的影响的同时保证结构顶升过程的安全高效。对施工期间半幅桥行车时原空心板梁按原设计规范进行验算,空

心板受力满足要求。

(2)针对桥梁本身存在多层支座垫石垒高、支座垫石稳定性不够的现状特征,采用新支座垫块的两层设计方法,极大地提高了施工的便利性和现场测量误差的可调性,通过场外预制垫石缩短了工期,同时通过现场浇筑的水泥灌浆料垫块进行调平和高度调节。

(3)根据现场实际情况,在不影响结构安全,不降低使用标准的原则下,结合桥梁支座处梁底至墩台帽梁的空间,优化新支座垫块与旧桥墩台帽梁之间的连接方式,因地制宜,增加了施工的便利性,缩短了工期。

(4)针对早期装配式空心板采用的铰缝构造,保留既有空心板梁主体的前提下,对桥梁铰缝两侧植入跨缝钢筋(骑马筋)、加强铰缝、现浇层钢筋等措施恢复并增强桥梁横向联系,提高空心板梁桥横向整体性。

随着越来越多的市政老旧桥梁进入后期运维管养阶段,本文提出的加固设计方法及施工工序为类似中小跨径桥梁结构的病害诊治补强提供参考。

参考文献:

- [1] 张彬,朱栋,徐建伟,等.浙江省中小跨径混凝土桥梁整体状况与典型病害研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2013,32(增刊1):742-745.
- [2] 刘红义,张劲泉,周建庭,等.PC空心板梁裂缝变化抗弯足尺试验研究[J].桥梁建设,2021,51(6):92-98.
- [3] 吴迅,李徽.桥面铺装及铰缝对空心板梁横向分布的影响[J].结构工程师,2013,29(1):22-26.
- [4] 刘超,邹宇罡,赵正.同济路立交桥空心板梁桥加固方案比选[J].桥梁建设,2018,48(4):118-123.
- [5] 宋小峰,钱野,张强.同步顶升法修复桥梁支座调平块实例分析[J].工程质量,2021,39(12):68-71.
- [6] 李岗,吴海平,吕品阳,等.上跨沪杭高速桥梁整体顶升落梁施工技术研究[J].浙江交通职业技术学院学报,2021,22(3):19-27.
- [7] JTJ 021—89,公路桥涵设计通用规范[S].
- [8] JTJ 023—85,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [9] 林拥军,徐文强,杨敏润,等.基于三维能量屈服准则的老混凝土无锚筋结合面抗剪强度统一计算方法[J].工程力学,2022,39(5):119-132.
- [10] 朱修福,左明慧,张文学.高速铁路桥梁支座垫石开裂成因分析及改进措施[J].铁道建筑,2020,60(1):35-39.
- [11] JTG/T J22—2008,公路桥梁加固设计规范[S].
- [12] 旷斌,李院军.考虑铰缝损伤的装配式空心板梁桥荷载横向分布系数计算方法[J].世界桥梁,2019,47(5):74-78.
- [13] 陈悦驰,吴庆雄,陈宝春.装配式空心板桥铰缝破坏模式有限元分析[J].工程力学,2014,31(增刊1):51-58.