

新老结构间超高性能混凝土拼宽接缝技术研究

李 静

(临沂振东建设投资有限公司, 山东 临沂 276023)

摘 要: 北京路沂河桥采用老桥顶升 2.57 m 后保留利用、两侧新建拼宽桥的建设方案。标准跨径 30 m 的小箱梁与 60 m+60.69 m 的两跨预应力混凝土连续梁属于不同跨径、不同结构之间的拼宽,拼宽时需要采取恰当措施处理不等跨产生的位移差问题。在采用 UHPC 无缝拼宽时,需要对拼缝进行合理设计才能实现拼宽桥和老桥整体受力,经详细的分析计算,在纵向拼缝处铺装层选用 10 cm 厚 UHPC 形成刚接,拼宽桥梁体内预埋门形钢筋,且老桥小箱梁植门形钢筋,使结构形成整体;纵缝上布置 5 mm 不锈钢板及 5 mm 橡胶板,铺装钢筋与 UHPC 内钢筋绑扎,使铺装层形成整体,橡胶板根据不同的受力特点设置不同的厚度,以适应桥梁不等跨产生的位移差。并对拼接结构进行现场足尺加载试验,试验结果与有限元分析结果基本吻合。

关键词: 拼接缝;拼宽桥;UHPC;门形钢筋;位移差;实体模型;试验

中图分类号: U445.6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)09-0228-05

1 工程概况

北京路沂河桥于 1994 年 1 月建成通车,该桥全长 1 210.72 m,桥梁全宽 23 m,双向四车道布置。2019 年 11 月,山东北斗检测有限公司对北京路沂河桥进行动静载试验,检测结果表明桥梁静动力性能符合规范及承载力要求,具有承受老规范荷载的强度和刚度,且具有足够的安全储备,为此北京路沂河桥老桥顶升 2.57 m 后保留利用,同时两侧新建拼宽桥,如图 1 所示。



图 1 北京路沂河桥鸟瞰效果图

拼宽桥与老桥拼宽属于不同跨径、不同结构之间的拼宽。老桥改造后除拆除重建部分采用钢箱梁外,均维持 30 m 简支小箱梁不变。新建拼宽桥采用标准联 60 m+60.69 m=120.69 m 的预应力混凝土连续梁,与老桥对应的钢箱梁采用钢箱梁混凝土。

现状老桥结构全宽 22 m,两侧拼宽桥结构宽度 14.9 m,拼宽桥与老桥结构之间留有 5 cm 结构间

隙,桥梁分四幅布置,桥梁横断面全宽 52 m。改造后的老桥单幅布置 3 个车道,拼宽桥布置 2 个车道、非机动车道和人行道,如图 2 所示。

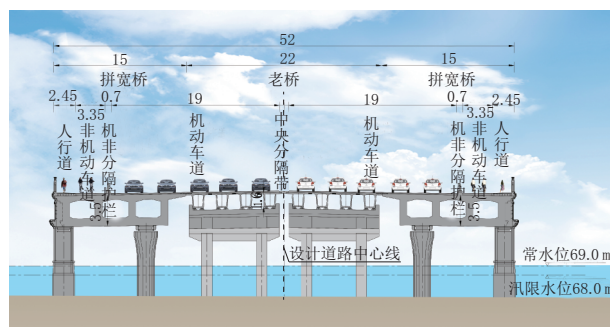


图 2 横断面布置(单位:m)

2 拼宽方案设计

2.1 拼宽方案选择

新老桥拼宽有多种方案,包括刚性拼宽方案、GD 弹性无缝拼宽方案、聚氨酯材料无缝伸缩缝、伸缩缝方案等。伸缩缝方案即为在拼宽桥与老桥之间设置伸缩缝,类似于常规型钢伸缩缝。其余拼宽方案如下:

(1) 刚性拼宽方案

刚性拼宽方案主要分为以下三种形式。

a. 铺装层形成刚性连接,上部结构不连接,梁体之间断开,仅靠桥面铺装相互连接。

b. 种植钢筋形成整体,凿除原桥边板悬臂,原桥与加宽桥采用现浇湿接缝连接,植筋形成整体结构。

c. 钢板刚性连接,上部结构采用钢板刚性连接,混凝土铺装、沥青面层形成整体,梁体与混凝土铺装

收稿日期: 2022-05-10

作者简介: 李静(1976—),女,本科,高级工程师,从事工程项目设计管理工作。

之间断开。

刚性拼宽方案已成功应用于广佛高速公路湖州大桥^[1]、连霍高速公路潼关—西安段改扩建、上海济阳路快速化改造工程^[2]。

(2)GD 弹性无缝拼宽方案

GD 弹性无缝拼宽技术充分利用弹性混凝土的力学特征(承受荷载和高强振动时显示弹性,而在低频缓力的作用下产生塑性),以变化的弹塑性来同时满足拼缝处的挠度和高差突变的要求。此方案成功应用于上海市七莘路高架与沪青平高速拼缝改造、嘉松北路蕴藻浜桥、沪宁高速真北路立交匝道、S320 亭枫公路张泾桥。

(3)聚氨酯材料无缝伸缩缝

聚氨酯材料无缝伸缩缝是采用聚氨酯材料与结构锚固系统组成的一种伸缩缝。主要有聚氨酯伸缩体、混凝土找平层、折弯钢板、盖缝钢板、稳定元件、结构锚固系统。此方案成功应用于上海市中兴路匝道桥。

北京路沂河桥作为临沂市重要景观工程,新老桥之间不适宜设置真缝。在采用无缝拼宽时,铺装层形成刚性连接,上部结构不连接,梁体之间断开,仅靠桥面铺装相互连接的方案最适合本工程,避免了复杂的构造,又可以确保桥面平顺、行车安全。

2.2 不同跨径、不同结构拼宽需解决问题

目前常规的桥梁拼宽方案为等跨径拼宽,对于不等跨径、不同结构形式拼宽尚无成熟经验,同时新旧规范适应性、大跨度连续梁拼宽、错位拼宽等仍然是桥梁拼宽中的难点^[3]。由于拼宽桥主桥标准联为 $60\text{ m}+60.69\text{ m}=120.69\text{ m}$,而老桥标准跨径为 30 m 、 30.69 m ,拼宽桥跨中位移最大位置恰好是老桥位移为 0 mm 位置,这就需要解决新老桥之间的活载作用下变形协调问题。拼宽桥沉降在 3 个月完成大部分沉降,拼接缝要选在新桥完成后的 3~6 个月^[3],本工程拼宽桥建成后需要施工附属设施,通车后才对老桥小箱梁顶升改造,工期大于 6 个月,同时桩基均进入中风化安山岩,地基承载能力高,沉降变形量极小。因此本工程分析以活载变形为主。

(1)分析模型

采用 MIDAS/Civil 2021 建立老桥、拼宽新桥的整体空间实体模型,老桥结构根据竣工图纸构造尺寸建立,如图 3 所示;拼宽新桥结构根据设计图纸构造尺寸建立;为考虑拼缝的真实参与受力情况,将铺装层(含拼缝)均按实际尺寸建立模型;老桥部分边界条件按高阻尼橡胶支座实际刚度模拟,拼宽新桥部

分按一般支承约束,老桥与拼宽新桥之间通过 5 cm 宽的拼缝连接。

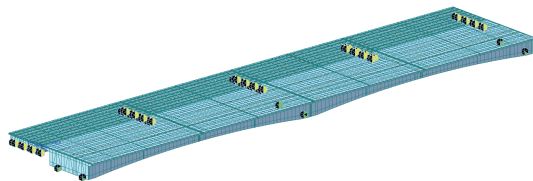


图 3 整体计算模型

(2)新老桥结构分离时位移

现状老桥在 3 车道布置时,老桥在活荷载作用下的跨中最大竖向挠度为 16.9 mm ,如图 4 所示;拼宽桥在 2 车道布置和人非荷载作用下,拼宽桥跨中最大竖向挠度为 21.9 mm ,如图 5 所示。拼宽桥跨中对应的老桥桥墩位置位移为 0 mm 。

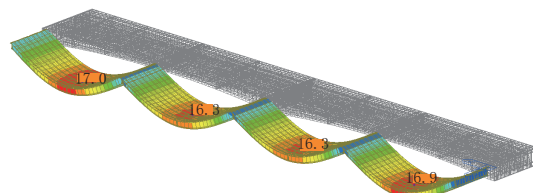


图 4 分离时老桥位移图(单位:mm)

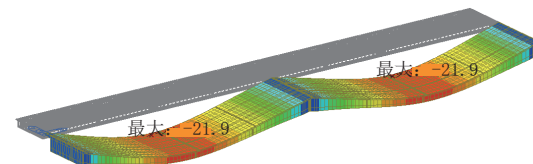


图 5 分离时拼宽桥位移图(单位:mm)

(3)新老桥结构桥面连续时位移

桥梁拓宽有利于提高桥梁的整体刚度,能减轻旧桥活载负担,在活载作用下结构变形量减小,提高实际承载能力^[3]。在拼宽桥与老桥同时布置活荷载时,老桥跨中处最大向下挠度为 11.4 mm ,拼宽新桥跨中处最大向下挠度为 7.3 mm ,如图 6 所示。拼宽新桥对应老桥跨中处最大向上挠度为 1.0 mm ,如图 7 所示。故全桥横向向最大挠度差不超过 $11.4+1.0=12.4\text{ mm}$ 。

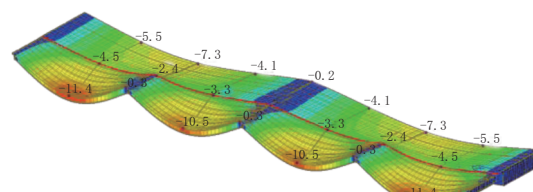


图 6 连续时向下最大位移(单位:mm)

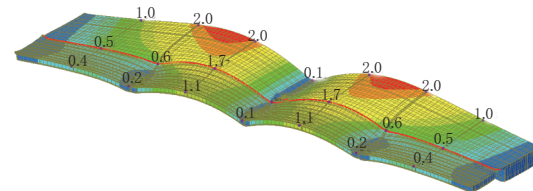


图 7 连续时向上最大位移(单位:mm)

采用刚性拼宽方案后,老桥(尤其是在拼宽新桥跨中附近)对拼宽新桥提供侧面竖向支撑,竖向刚度有明显改善,拼宽新桥最大位移由 21.9 mm 减小为 7.3 mm(跨中附近),老桥最大位移由 16.9 mm 减小为 11.4 mm(跨中附近),故老桥、新桥的整体性通过刚性拼宽得到加强。要实现不同跨径、不同结构拼宽桥和老桥整体受力需要对拼缝进行合理设计才能实现。

3 拼缝结构设计

拼缝受力最不利位置为拼宽桥跨中对应老桥桥墩位置和老桥跨中对应拼宽桥 1/4 跨径位置,为此需要对两个位置区别设计,并设置过渡段。在纵向拼缝处铺装层选用 10 cm 厚 UHPC 形成刚接,铺装内配置加强配筋以改善连续构造的受力性能,提高连续缝位置的耐久性;拼宽桥梁体内布置预埋钢筋,且老桥小箱梁植筋,使结构形成整体;纵缝上布置 5 mm 不锈钢板及 5 mm 橡胶垫板,铺装钢筋与 UHPC 内钢筋绑扎,使铺装层形成整体,如图 8 所示。

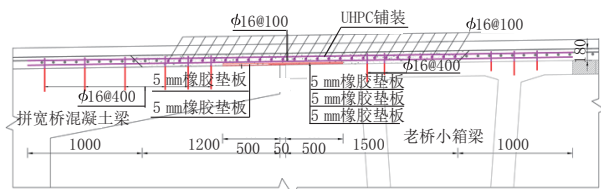


图8 横桥向立面图(单位:mm)

具体布置如下:

(1)在拼宽桥及老桥小箱梁拼缝顶面铺一层 0.5 m 宽、5 mm 厚的不锈钢板。

(2)不锈钢板上铺两层 1.05 m 宽、5 mm 厚的橡胶垫板,其中上层橡胶垫板由变形小的一侧伸入变形大的一侧 0.1 m 后结束,对于拼缝两侧变形基本一致的不设置上层橡胶垫板。

(3)橡胶垫板上绑扎直径 $\phi 16$ 的钢筋,横桥向两层,顺桥向一层,纵横向钢筋间距均为 100 mm。

(4)在拼缝两侧拼宽桥 1.2 m、老桥 1.5 m 范围内浇筑 10 cm 厚 UHPC。

(5)UHPC 上方浇筑 8 cm 厚常规沥青混凝土铺装层。

为适应拼缝两侧不均匀变形、延缓结构变形、适应 UHPC 板的转角,对拼缝橡胶垫板分段设置。在新桥支点两侧 5 m 范围内,拼宽桥和老桥分别布置 1 层橡胶垫;在拼宽桥跨中 13 m 范围内老桥设置 2 层橡胶垫、拼宽桥布置 1 层橡胶垫;其余位置拼宽桥 2 层橡胶垫、老桥一层橡胶垫。

4 拼缝计算分析

4.1 主要材料参数

UHPC 高强韧性混凝土具有优异的裂缝宽度控制能力,是桥梁结构的高应力区或其他需要高抗裂性能的部位除预应力混凝土之外的新方案^[4,5]。UHPC 高强韧性混凝土抗压强度 ≥ 180 MPa、抗拉强度 ≥ 8.33 MPa,拼宽桥主桥箱梁采用 C55,现状老桥箱梁采用 C30,钢筋采用 HRB400。

4.2 小箱梁悬臂横桥向应力计算结果

在活荷载作用下,对应拼宽新桥跨中处的老桥小箱梁悬臂附近出现横向拉应力集中区域,峰值达到 11.0 MPa,横桥向左右约 1.0 m 范围内应力降至 1.5 MPa;顺桥向分布宽度约 4 m 范围内应力降至 1.5 MPa,如图 9、图 10 所示。在发生沉降的支点部位,应力急剧增大,这是模型影响而在支座处的应力集中,不影响总的分析结果^[6]。计算支撑处的负弯矩时可考虑支座宽度对弯矩折减的影响^[7],在实际情况下,UHPC 板的受力还要减小。

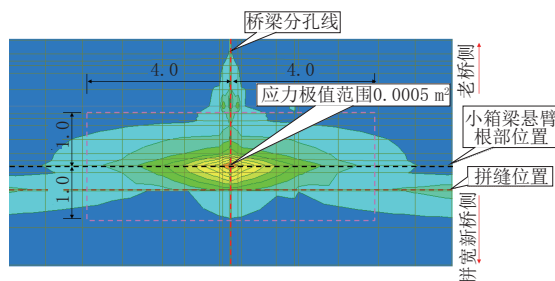


图9 老桥桥墩处横向应力分布图

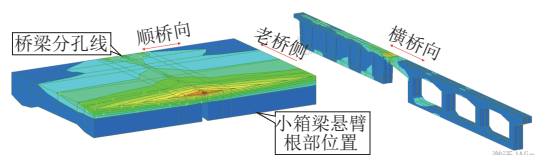


图10 老桥桥墩处小箱梁悬臂根部横向应力分布

根据上述应力分布结果,用于指导 UHPC 拼缝在横桥向上的分布宽度,即在拼宽缝左右各 1.0 m 范围。全桥横向最大压应力值为 -8.6 MPa,满足强度要求。

4.3 UHPC 板小箱梁跨内横向应力

根据空间实体模型分析结果,拼缝层的横向应力在顺桥上,基本在全桥范围内应力值均大于 2.0 MPa。本工程采用的 UHPC(型号 UC180)抗拉强度设计值要求为 ≥ 8.33 MPa,与计算结果对比可见,除了在拼宽桥跨中处局部点处存在开裂外,其余位置均不会开裂。通过设置钢筋配置,保证拼缝层在极限荷载作用下的强度满足要求。

4.4 精细化模型

4.4.1 精细化模型

沿纵向取 1 m 计算宽度,采用 civil 实体单元建立老桥小箱梁与拼宽桥横向连接框架精细化计算模型,锚筋编号为从左向右编排,如图 11 所示。

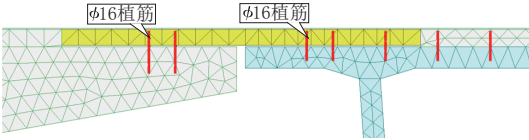


图 11 拼缝细部模型

4.4.2 UHPC 板及锚筋验算

UHPC 板具有出色的裂缝控制能力,同时本次设计采用的锚筋为常规门式配筋,试验证明具有合理性^[2]。在计算时分拼宽桥下挠和老桥下挠两种工况分析 UHPC 板及锚筋的受力情况。下挠值采用整体模型中整体计算时的变形值。

(1)拼宽桥下挠工况

UHPC 板受到弯矩为 26.4 kN/m、剪力为 66.9 kN,板的裂缝宽度为 0 mm,均满足规范要求,见表 1。拼宽桥侧锚筋承受拉力,老桥侧锚筋承受压力,锚筋承受最大拉力 16.5 kN,承受最大剪力 46.3 kN,锚筋组合应力为 209.3 MPa,均满足规范要求,见表 2。

表 1 UHPC 板的受力验算

工况	拼宽桥下挠	老桥下挠
截面抗弯强度 /(kN·m)	$\gamma_0 \cdot V_d = 26.4 < 36.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$\gamma_0 \cdot M_d = 28.6 < 36.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$
斜截面抗剪强度 /kN	$\gamma_0 \cdot V_d = 66.9 \text{ kN} < 83 \text{ kN}$	$\gamma_0 \cdot V_d = 88.9 \text{ kN} < 183 \text{ kN}$
裂缝宽度 /mm	0	

表 2 拼宽桥下挠锚筋受力验算

工况	拼宽桥下挠			
锚筋编号	锚筋 1	锚筋 2	锚筋 3	锚筋 4
轴力 /kN	16.5	1.72	-0.06	-2.18
剪力 /kN	19	1.6	46.3	17.5
组合应力 /MPa	166.5	14.7	209.3	137.4

(2)老桥下挠工况

UHPC 板受到弯矩为 28.6 kN/m、剪力为 88.9 kN,板的裂缝宽度为 0 mm,均满足规范要求,见表 1。老

桥下挠时,UHPC 板作用于拼宽桥端部而发生翘曲效应,导致拼宽桥和老桥侧锚筋均承受拉力,锚筋承受最大拉力 17.5 kN,承受最大剪力 13.3 kN,锚筋组合应力为 130.8 MPa,均满足规范要求,见表 3。

表 3 老桥下挠锚筋受力验算

工况	老桥下挠			
锚筋编号	锚筋 1	锚筋 2	锚筋 3	锚筋 4
轴力 /kN	8.8	3.7	17.5	1.3
剪力 /kN	6.5	12.1	13.3	2.5
组合应力 /MPa	64.6	96.2	130.8	20.4

4.4.3 老桥小箱梁悬臂强度复核

旧桥翼缘是一个薄弱部位,桥梁拼接后会发生受力状态的变化,在汽车荷载局部作用、新旧桥汽车偏载作用以及接缝段混凝土收缩徐变作用下,翼缘刚性连接时,原桥翼缘部位的配筋较少,需要加强桥面铺装钢筋^[3]。根据空间实体模型,拼宽桥在活荷载作用下跨中下挠(或上拱),引起小箱梁悬臂端处位移。对老桥小箱梁悬臂端处施加强迫位移,以考虑拼宽桥车辆荷载对老桥悬臂的“拖拽”效应;同时叠加老桥小箱梁自重、二期及老桥悬臂上汽车荷载作用,以此校验老桥小箱梁悬臂强度及裂缝。抗弯强度、抗剪强度及裂缝宽度均满足规范要求,见表 4。

4.4.4 老桥小箱梁支座承载能力复核

在拼宽桥变形作用下,会对老桥支座产生支座倾斜、压缩等变形,改变支座形式可改善桥面连续结构受力^[8]。本工程老桥改造后支座采用高阻尼支座,型号 HDR(Ⅱ)-d295×117-G1.0 支座,竖向支承载力为 704 kN。根据模型计算结果,老桥小箱梁的最外侧(拼宽侧)一排支座的竖向反力均比其余支座反力要大,最大值出现在对应拼宽桥跨中处的老桥外侧支座,最大值为 690.8 kN,小于支座承载力,满足规范要求。

5 拼缝试验分析

为研究新老桥面拼接结构的受力性能,对拼接结构进行现场足尺加载试验,如图 12 所示。小箱梁

表 4 老桥小箱梁悬臂验算结果

工况	悬臂下挠		悬臂上挠	
位置	小箱梁悬臂根部 18 cm 截面	小箱梁悬臂 12 cm 位置截面	小箱梁悬臂根部 18 cm 截面	小箱梁悬臂 12 cm 位置截面
正截面抗弯强度 /(kN·m)	$\gamma_0 \cdot M_d = 228.58 < 304.8$	$\gamma_0 \cdot M_d = 163.6 < 170.1$	$\gamma_0 \cdot M_d = 31.5 < 43.1$	$\gamma_0 \cdot M_d = 22.9 < 23.7$
斜截面抗剪强度 /kN	$\gamma_0 \cdot V_d = 495.1 \text{ kN} < 1\,878.6$	$\gamma_0 \cdot V_d = 412.6 \text{ kN} < 1\,587.6$	$\gamma_0 \cdot V_d = 45.0 \text{ kN} < 149.4$	$\gamma_0 \cdot V_d = 47.0 \text{ kN} < 132.1$
裂缝宽度 /mm	0.09	0.05	0.06	0.06

采用现状老桥拆卸下的小箱梁,拼宽桥试验构件采用与实际拼宽桥结构相同尺寸的悬臂结构。



图 12 拼缝结构试验现场照片

试验结果表明,UHPC 的无缝拼宽刚性桥面铺装应力、锚筋应变状态、老桥小箱梁位移及破坏情况均与有限元计算结果相吻合。

6 结 论

不同跨径、不同结构之间的拼接技术属于非常规拼宽技术,经过对北京路沂河桥拼缝后桥面板结

构受力、老桥小箱梁受力、锚筋受力等进行综合分析后,又采用现场试验进行验证,可得出如下结论:

(1)采用 UHPC 的无缝拼宽刚性桥面铺装承载能力及正常使用极限状态满足规范要求。

(2)采用刚性拼宽方案时的老桥小箱梁承载能力及正常使用极限状态满足规范要求。

(3)采用刚性拼宽方案时的老桥小箱梁支座承载能力满足规范要求。

(4)UHPC 板与梁体之间的锚筋承载力满足规范要求。

因此,本工程设计的 UHPC 无缝拼宽刚性桥面结构可满足工程实际需要。

参考文献:

- [1] 吴文清,叶见曙,鞠金荧,等.高速公路扩建中桥梁拓宽现状与方案分析[J].中外公路,2007,27(6):100-104.
- [2] 刘超,黄钰豪,陆元春.新老桥间超高性能混凝土拼接接缝性能试验[J].同济大学学报(自然科学版),2019,47(3):322-330.
- [3] 宗周红,夏樟华,陈宜言,等.既有桥梁拓宽改造纵向接缝研究现状与实例分析[J].福州大学学报(自然科学版),2009,37(2):248-260.
- [4] 王俊颜,郭君渊,肖汝诚,等.高应变强化超高性能混凝土的裂缝控制机理和研究[J].土木工程学报,2017,50(11):10-17.
- [5] 王俊颜,耿莉萍,郭君渊,等.UHPC 的轴拉性能与裂缝宽度控制能力研究[J].哈尔滨工业大学学报,2017,49(12):165-169.
- [6] 王宗华.高速公路桥梁加宽拼宽技术优化研究[D].西安:长安大学,2009.
- [7] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [8] 左永辉.新材料在桥梁拼接中的应用研究[D].南京:东南大学,2017.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com