

某公路大桥引桥病害分析及加固设计

杨相展¹, 易壮鹏²

(1.创辉达设计股份有限公司, 湖南 长沙 410004; 2.长沙理工大学土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要:某公路大桥引桥经过多年运营后,在顶板、腹板、横梁出现了较严重的裂缝,影响了桥梁结构安全及正常使用。通过荷载试验及有限元计算,对病害产生的原因进行了深入研究。在此基础上运用张拉体外预应力束和在顶板粘贴钢板的加固方法,对引桥进行了加固,并利用荷载试验对加固后的效果进行了验证。

关键词:公路桥梁;体外预应力;有限元计算;荷载试验;加固设计

中图分类号: U445.72

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)06-0090-03

0 引言

预应力混凝土连续梁桥因为施工方便、造型美观、整体性好,在我国公路、城市高架建设中得到了广泛的应用。但是由于箱梁结构尺寸选择不合理、施工质量缺陷、负荷超载等方面的原因,国内不少预应力混凝土连续梁桥的顶板、底板、腹板、横梁在运营阶段出现了较严重的裂缝^[1-2],影响了桥梁结构的安全和正常使用。

本文以某公路大桥的引桥为研究对象,通过现场荷载试验和有限元计算,对箱梁裂缝产生的原因进行了分析;根据分析结果,对箱梁不同裂缝采取了不同的加固方法,并对加固后的连续箱梁进行了现场荷载试验,以便验证加固效果。

1 工程概况

1.1 桥梁概况

某公路大桥于1999年6月开工建设,2001年9月建成通车。全长 $40\text{ m}+3\times 40\text{ m}+5\times 40\text{ m}+5\times 40\text{ m}+(40+120+310+120+40)\text{ m}+3\times 40\text{ m}+40\text{ m}=1\,350\text{ m}$,其中主桥长630 m,为双塔双索面斜拉桥,塔墩固结全漂浮体系,辅助墩与共用墩顶均设置滑动支座。引桥共18孔,其中小桩号侧14孔 $40\text{ m}+3\times 40\text{ m}+5\times 40\text{ m}+5\times 40\text{ m}=560\text{ m}$;大桩号侧4孔 $3\times 40\text{ m}+40\text{ m}=160\text{ m}$ 。该大桥的桥型布置图见图1。

引桥上部结构为单箱双室,两边腹板处梁高

250 cm,桥面设双向1.5%的横坡,由腹板高差形成;箱梁在墩顶处设横梁及检查人孔,箱梁顶宽1 900 cm,底宽1 300 cm,箱梁腹板厚45 cm,底板厚18 cm,顶板厚25 cm。引桥箱梁横断面图见图2。

1.2 原桥技术标准

(1)设计行车速度:80 km/h。

(2)设计荷载等级^[3]:汽超-20,挂-120,人群3.5 kN/m²(原设计标准)。

(3)桥梁宽度:行车道为双向车道,净宽16.0 m,两侧各设宽1.0 m人行道及0.25 m的防撞护栏和钢护栏,桥梁全宽19.0 m。

(4)地震烈度:按照Ⅶ度设防。

2 主要病害及分析

2.1 主要病害

该大桥自2001年建成后,管理部门于2007年4月和2011年10月进行了桥梁全面检查和主桥荷载试验。根据检查结果,分别于2008年和2012年对全桥进行了大修及加固处理。2014年又委托检测单位进行全桥技术状况检查及荷载试验。引桥的主要病害有:

(1)箱梁底面及腹板外侧均经过多次修补,大部分较宽的裂缝已作封闭处理,但局部仍有较宽裂缝(见图3)。

(2)箱梁内侧顶板普遍有纵向裂缝,多数已封闭,少数未封闭,宽度小于0.2 mm,部分裂缝通长存在。在每一联的两端,有起于角部的斜裂缝,从角部往中间延伸,个别裂缝与顶板纵向裂缝相连。多数孔腹板有与预应力筋走向基本吻合的水平或斜向裂缝,裂缝不连续,宽度不超过0.2 mm,部分裂缝已作封闭处理(见图4)。

收稿日期:2021-10-08

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(2018JJ2436);湖南省教育厅科学研究项目(19A004)

作者简介:杨相展(1981—),男,硕士,高级工程师,从事大跨桥梁设计与技术管理工作。

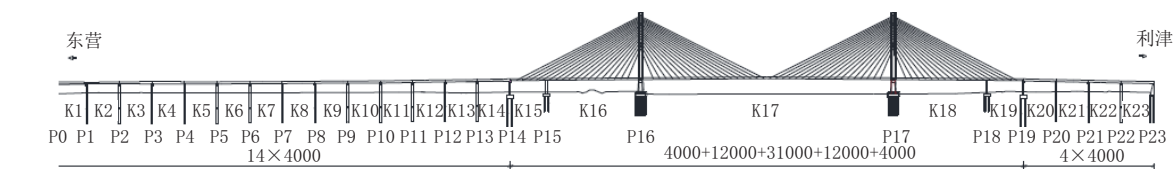


图1 桥型布置图(单位:cm)

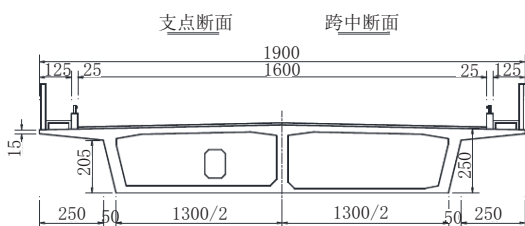


图2 引桥箱梁横断面图(单位:cm)



图3 腹板纵向裂缝和底板横向裂缝



图4 顶板纵向裂缝和腹板斜向裂缝

2.2 病害分析

经分析,对于腹板纵向裂缝产生的主要原因为腹板采用双排 $\phi 15.2-13$ 钢束,而腹板厚度只有45 cm,导致钢束中心与腹板边的距离只有12.5 cm,施工质量不易保证,不易振捣实,从而产生了沿钢束的纵向裂缝;顶板纵向裂缝产生的原因主要为箱梁箱宽较宽,顶板跨度达到了6.5 m,未设置横向预应力,在车辆荷载作用下,顶板产生了较多纵向裂缝;对于腹板斜向裂缝产生的原因是本桥在支点位置未设置腹板

加厚段,致使支点位置抗剪能力不足。

针对上述病害,检测单位对引桥进行了静载试验和承载能力计算,根据试验结果和计算分析,得出结论:

(1)荷载试验加载过程中,原有裂缝宽度有不同程度的增加,测试断面底板产生新裂缝;试验桥跨的挠度校验系数大于1。因此,试验跨桥梁结构在正常使用极限状态下不能满足原设计荷载的要求。

(2)根据设计图纸及技术状况检测结果提供的资料,进行承载能力极限状态检算。检算结果表明,大桥上部结构的承载能力极限状态满足原设计要求。

(3)技术状况检测及静载试验结果表明结构预应力不足,其对极限承载能力的影响应作进一步的调查研究后才能确定。

3 加固设计

3.1 病害处理措施

(1)对引桥各联均采用体外预应力加固措施。预应力钢绞线采用0VM-S6环氧涂覆型无黏结成品索($\phi 15-19$),标准抗拉强度 $f_{pk}=1860$ MPa,张拉控制应力 $\sigma_{con}=0.45 f_{pk}=837$ MPa;边跨采用单端张拉,中跨采用两端张拉,纵桥向共设置4束通长束。钢束布置见图5、图6。

(2)对箱梁内部未封闭的裂缝以及沿预应力纵向的裂缝采用裂缝封闭处理。

(3)对箱梁顶板进行粘贴钢板加固处理。钢板、螺栓、螺母等配件均采用Q355GNH高耐候钢,粘贴钢板尺寸采用150 mm $\times$ 5 mm,纵桥向间距为450 mm。

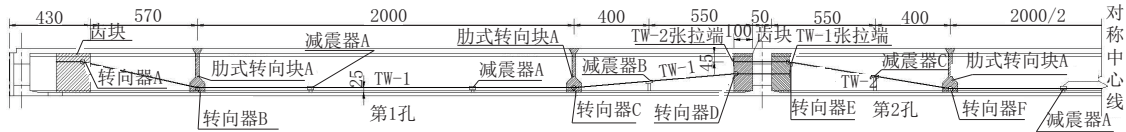


图5 体外预应力立面布置图(单位:cm)

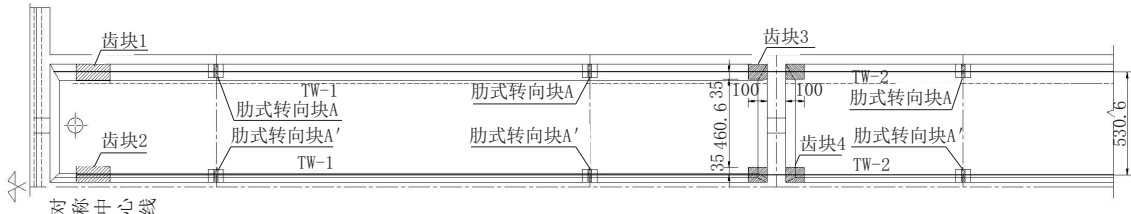


图6 体外预应力平面布置图(单位:cm)

顶板粘贴钢板布置图见图 7。

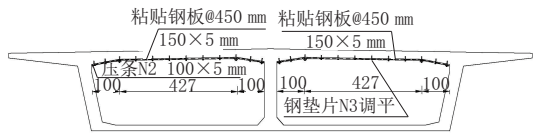


图 7 顶板粘贴钢板布置图(单位:cm)

3.2 计算结果

为掌握加固后的效果,对加固前后的箱梁承载力、应力进行了对比计算,结果见表 1。

表 1 加固前后极限状态验算对比

位置		抗弯验算 (安全系数)		正截面抗裂 验算 /MPa		主拉应力 验算 /MPa	
		中支点	跨中	中支点	跨中	中支点	边支点
第 2 联	加固后	0.73	0.85	1.78	-0.27	-1.22	-1.80
	加固前	0.75	0.83	-1.10	-1.58	-2.13	-1.80
第 4 联	加固后	0.93	0.82	2.19	0.15	-1.51	-1.81
	加固前	0.93	0.81	-0.62	-0.76	-2.03	-1.81

由表 1 可以看出,采用体外预应力加固后对桥梁承载能力影响不大,但加固后对桥梁的正截面抗裂及斜截面抗剪改善明显,这也与加固运营后箱梁斜裂缝、横向裂缝不再扩展的现象相吻合,证明采用体外预应力加固大大增加了箱梁的抗裂及抗剪能力。图 8、图 9 分别给出了第 4 联加固前后的主应力。

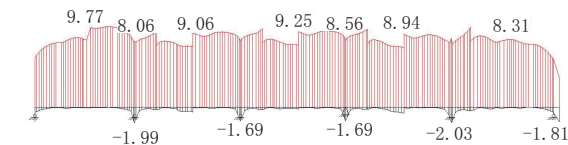


图 8 第 4 联加固前主应力(单位:MPa)

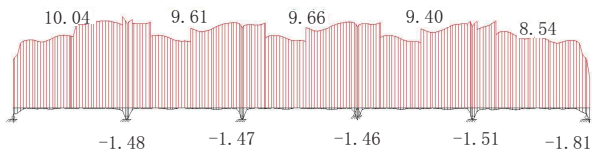


图 9 第 4 联加固后主应力(单位:MPa)

4 试验对比分析

4.1 静载试验

为检验加固效果,分别在采用体外索进行加固前后,对引桥第 2 联(K2~K4 孔 3×40 m 预应力混凝土箱梁)、第 4 联(K10~K14 孔 5×40 m 预应力混凝土箱梁)、第 6 联(K23 孔 1×40 m 预应力混凝土箱梁)进行静载试验,测试箱梁在试验荷载作用下的挠度。2 次静载试验均测量了这 3 联引桥在同等荷载作用下的箱梁挠度。挠度测试位置见图 10、图 11,其中单跨联选取跨中断面,3 跨联选取 1 个边跨跨中断面和中跨跨中断面,5 跨联选取 1 个边跨跨中断面和 1 个次边跨跨中断面。挠度测点布置于箱梁腹板中

心,横桥向共设置 3 个测点。

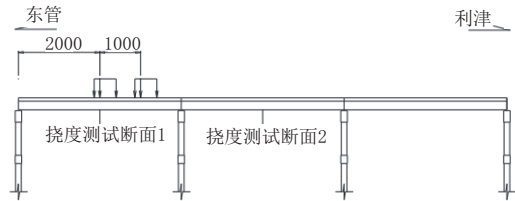


图 10 测试断面 1 车辆加载位置(单位:cm)

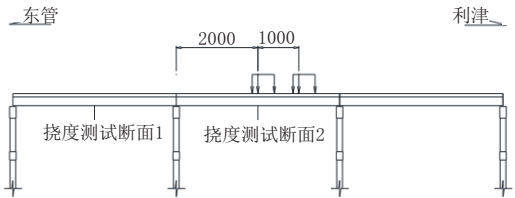


图 11 测试断面 2 车辆加载位置(单位:cm)

试验加载车辆为斯泰尔三轴加载车,加载车辆参数见表 2。横向加载位置见图 12。

表 2 加载车辆参数

中后轴距 /m	前中轴距 /m	中后轴重 /kN	总重 /kN
3.55	1.35	240	300

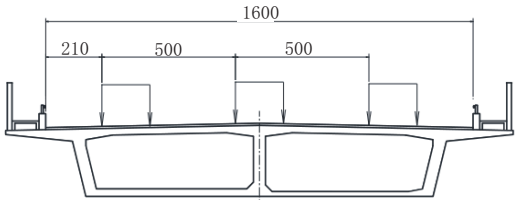


图 12 车辆横向加载位置(单位:cm)

4.2 静载试验对比结果^[4-5]

加固前后实测挠度对比见表 3。由表 3 可见,在同等试验荷载作用下,各联加固后的实测挠度值与加固前对比均有较明显的减小。说明采用体外预应力对连续箱梁的加固效果明显,试验桥跨结构刚度较加固前有明显的提高^[6]。

表 3 加固前后实测挠度对比 单位:mm

	位置	测点 1	测点 2	测点 3	挠度平均校验系数
K2 孔	加固后	3.0	3.0	2.9	0.83
	加固前	3.5	3.3	3.3	0.94
	理论计算平均值		3.6		
K3 孔	加固后	2.6	2.4	2.4	0.86
	加固前	2.6	2.7	2.5	0.90
	理论计算平均值		2.9		
K10 孔	加固后	2.6	2.7	2.9	0.76
	加固前	2.8	3.2	3.2	0.85
	理论计算平均值		3.6		
K11 孔	加固后	2.1	2.6	2.6	0.87
	加固前	2.7	2.9	2.7	0.99
	理论计算平均值		2.8		
K23 孔	加固后	4.0	4.0	4.1	0.74
	加固前	5.3	5.5	5.1	0.98
	理论计算平均值		5.4		

(下转第 162 页)

表4 预埋件相关参数

参数	轴力 (上拔力) /kN	锚板上 锚筋数 量/个	锚筋 总面积 /cm ²	抗拉 强度 f_t^* /(N·mm ⁻²)	锚板弯曲 变形折减 系数 α_b	锚筋受 剪承载 力系数
数值	184.3	12	37.699	300	0.85	0.85

注:*根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010),锚筋抗拉强度设计值 f_t 不应大于300 N/mm²。

采用TS-MTSTool软件计算出预埋件构造各项参数指标的实际值均满足最小限值要求,参见表5。

表5 预埋件构造验算结果

数值	参数					
	锚固长度 l	锚板厚度 T	行间距	列边距	行边距	列边距
最小限值/mm	587.4	18.75	120	60	40	40
实际值/mm	600	20	120	150	45	50

4 实施效果

基于精确计算、验算结果,通过采用上述施工工艺流程与做好关键工序点控制,历时1周左右时间

便完成了P1盖梁三个预制节段的安装,不仅较计划进度提前,而且为高架于2021年2月上旬提前通车提供了有力条件。图10为浦星公路跨芦恒路节点改造新建工程高架贯通效果图。



图10 浦星公路跨芦恒路节点改造新建工程高架贯通效果图

参考文献:

[1] 王新辉. 高架桥梁超大质量盖梁的分段预制拼装施工技术[J]. 建筑施工, 2020(4):581-582.
[2] 石剑. 装配式大悬臂盖梁分段预制安装施工技术[J]. 城市道桥与防洪, 2020(9):135-138.
[3] 孙建树, 邵嘉骅. S7公路超大型立柱盖梁分段预制拼装施工[J]. 港口技术与管理, 2018(5):18-23.

(上接第92页)

5 结 语

- (1)采用体外预应力加固对桥梁承载能力影响不大,但加固后对桥梁的正截面抗裂及斜截面抗剪改善明显。
- (2)通过荷载试验,证明了采用体外预应力对连续箱梁的加固效果明显,试验桥跨结构刚度较加固前有明显提高。
- (3)连续箱梁的顶板纵向裂缝可通过粘贴钢板加固进行处理。

参考文献:

[1] 谭栋, 易敬. 连续箱梁桥底板加固设计方案比选[J]. 公路, 2017(10):141-143.
[2] 李恒兴, 杨春雷, 谭晓琦, 等. 云南省六库怒江大桥加固设计方案研究[J]. 公路工程, 2013, 38(2):129-132.
[3] JTJ 023—85, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[4] 上海同济建设工程质量检测站. 2015 利津黄河公路大桥主桥技术状况检测及引桥荷载试验报告[R]. 上海: 上海同济建设工程质量检测站, 2015.
[5] 上海同济建设工程质量检测站. 2016 利津黄河公路大桥主桥技术状况检测及引桥荷载试验报告[R]. 上海: 上海同济建设工程质量检测站, 2016.
[6] JTG/T J22—2008, 公路桥梁加固设计规范[S].