

连续箱梁桥体外预应力加固受力分析

张竞哲

三峡大学 湖北宜昌 443000

摘要: 以某三跨变截面连续梁桥的加固为例, 通过对桥梁状态进行评估, 分析桥梁病害产生的原因, 以及选择适合该桥的体外预应力加固方式, 并通过有限元计算, 分析加固前后连续梁桥的受力状况, 结果表明, 体外预应力加固能明显提高桥梁的承载能力, 保证了结构的安全性和可靠性, 为类似桥梁加固设计和施工提供了理论指导。

关键词: 连续梁桥; 体外预应力加固; 裂缝

引言

近年来, 我国多座预连续箱梁桥在达到使用寿命前就已经出现明显下挠、破损、裂缝等, 承载能力明显下降, 因此有必要对桥梁的承载能力进行检测维修与加固, 提高其荷载等级。目前, 体外预应力技术被越来越广泛地应用于桥梁维修工程中。与其他加固方法相比, 体外预应力技术可减小结构过大的挠度, 释放构件内部过大的应力, 部分恢复结构原有的几何形状和受力状态等优点^[1-4]; 可以在使用期内方便地进行检测、调整甚至更换, 从而确保了结构预应力的有效性及可靠。

一、工程概况

大桥于2012年建成通车, 桥梁全长2554.8m。桥跨组合为 $(4 \times 25) \text{ m} + (38.5 + 60 + 38.5) \text{ m} + (4 \times 25) \text{ m}$, 桥面全宽22.5m。主桥上部结构采用变截面连续箱梁, 引桥采用组合箱梁、等截面连续箱梁, 下部结构采用双柱墩、实体墩、桩柱式墩台。桥面采用沥青混凝土, 伸缩缝采用型钢伸缩缝、模数式伸缩缝。

道路等级: 一级公路, 设计速度80km/h; 路基宽度: 24.5m; 桥面宽度: $2 \times \text{净} - 11 \text{ m}$; 汽车荷载等级: 公路-I级; 设计洪水频率: 1/300; 地震动峰值加速度: 0.15g; 环境类别: I类。

二、模型建立

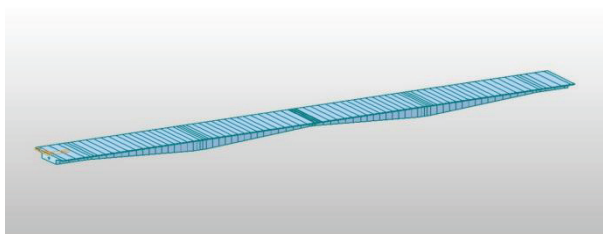


图1 柴米河大桥计算模型

采用Midas Civil建立分阶段施工有限元计算模型, 共86个单元, 95个节点。考虑车道荷载(公路-II级)、温度作用及支座沉降等运营阶段各项作用, 并结合承载力评定结果, 对柴米河大桥按JTG D62-2004进行验算。

(一) 加固前后依据JTG D62-2004承载力评定

1. 正截面抗弯极限承载能力验算

正截面抗弯承载能力计算结果如表1所示。由图表可知, 加固前结构所有截面正负弯矩均小于截面抗力, 满足JTG D62-2004要求。

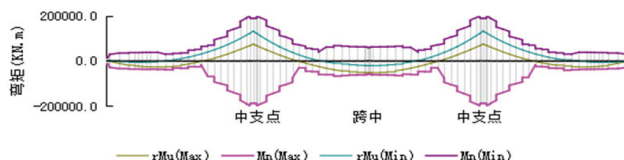


图2 加固后正截面抗弯承载力验算包络图

表1 加固后控制截面抗弯承载力验算结果

(单位: $\text{kN} \cdot \text{m}$)

	加固前		加固后	
控制截面	作用效应值	结构抗力	作用效应值	结构抗力
最大正弯矩截	26766.52	35212.9	27211.82	37143.1
中支点截面	-133290.92	179735.	-131672.51	187979.
中跨跨中截面	51140.72	55413.1	52922.75	59509.9

2. 斜截面抗剪承载力验算

斜截面抗剪承载能力计算结果如表2所示。由图表可知, 加固前结构所有斜截面剪力均小于抗力, 满足JTG D62-2004要求。

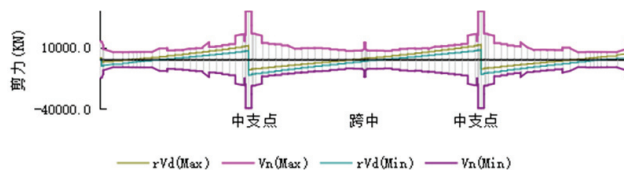


图3 加固后斜截面抗剪承载力验算包络图

表2 加固后控制截面抗剪承载力验算结果

(单位: kN)

控制截面	加固前		加固后	
	作用效应值	结构抗力	作用效应值	结构抗力
边跨过渡段	-3661.78	6172.23	-3706.92	6172.23
墩顶横隔板处	10964.44	14937.57	10925.23	14943.66
中跨跨中	-993.51	14148.26	-993.48	14018.26

3. 正截面抗裂验算

正截面抗裂计算结果如表3所示。由图表可知, 加固前结构所有截面效应均大于容许值, 不满足JTG D62-2004要求。

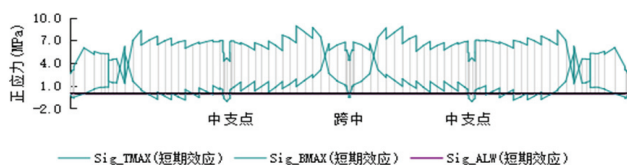


图4 加固后正截面抗裂验算包络图

表3 加固后控制截面正截面抗裂验算结果

(单位: MPa)

控制截面	加固前		加固后	
	作用效应值	容许应力	作用效应值	容许应力
边跨最不利截	-1.14	0	-0.91	0
中支点截面	-1.37	0	-1.07	0
中跨跨中截面	-0.77	0	-0.58	0

4. 斜截面抗裂验算

斜截面抗裂计算结果如表4所示。由图表可知, 加固前结构所有截面效应均小于容许值, 满足JTG D62-2004要求。

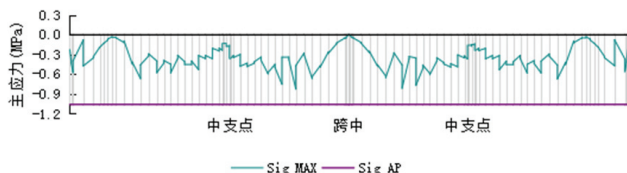


图5 加固后斜截面抗裂验算包络图

表4 加固后控制截面斜截面抗裂验算结果

(单位: MPa)

控制截面	加固前		加固后	
	作用效应值	容许应力	作用效应值	容许应力
边跨最不利截	-0.71	-1.06	-0.67	-1.06
中跨最不利截	-0.92	-1.06	-0.83	-1.06
中跨跨中截面	-0.08	-1.06	-0.01	-1.06

5. 正截面最大法向压应力验算

正截面法向压应力计算结果如图6、7所示。由图表可知, 加固前结构所有截面效应均小于容许值, 满足JTG D62-2004要求。

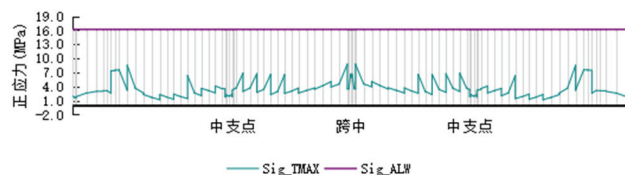


图6 加固后正截面法向压应力验算顶包络图

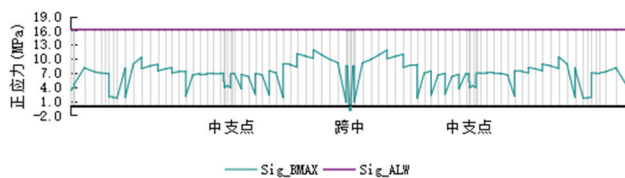


图7 加固后正截面法向压应力验算底包络图

表5 加固后控制截面法向压应力验算结果

(单位: MPa)

控制截面	加固前		加固后	
	作用效应值	容许应力	作用效应值	容许应力
边跨最不利截	10.32	16.20	10.74	16.20
中支点截面	4.28	16.20	4.16	16.20
中跨跨中截面	6.04	16.20	6.31	16.20

6. 斜截面最大主压应力验算

斜截面主压应力计算结果如表6所示。由图表可知, 加固前结构所有截面效应均小于容许值, 满足JTG D62-2004要求。

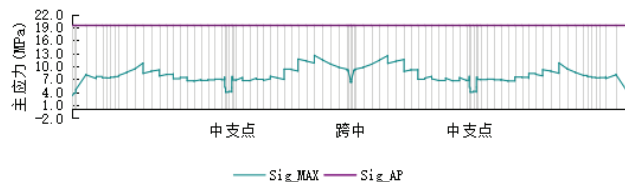


图8 加固后斜截面主压应力验算包络图

表6 加固后控制截面主压应力验算结果 (单位: MPa)

控制截面	加固前		加固后	
	作用效应值	容许应力	作用效应值	容许应力
边跨最不利截	10.32	19.44	10.74	19.44
中支点截面	4.28	19.44	4.16	19.44
中跨跨中截面	6.04	19.44	6.31	19.44

7. 变形验算

本桥跨中在汽车荷载作用下最大挠度为4.77cm

$< L/600=10\text{cm}$, 满足 JTG D62-2004 要求。

三、病害原因分析

(1) 变截面连续箱梁顶板纵向裂缝成因较多, 一般认为是混凝土箱梁内外温差作用而产生的, 另一个可能的原因是箱梁顶板宽度较大, 横向配筋或实际横向预应力不足, 车辆轮载作用下产生的裂缝。建议对此类裂缝进行封缝处理, 并对其后期的发展状况加强观测。

(2) 变截面连续箱梁腹板竖向裂缝是正弯矩作用下, 箱梁底板裂缝延伸至腹板, 并发展为竖向裂缝。建议对此类裂缝进行封缝处理, 并对其后期的发展状况加强观测。

(3) 变截面连续腹板斜向裂缝以跨中为参考点呈八字剪切斜裂缝, 为弯剪斜裂缝, 为受力裂缝, 建议对此类裂缝进行封缝处理, 粘贴斜向钢板抑制斜向裂缝的进一步发展。

(4) 变截面连续箱梁底板横向裂缝位于正弯矩受力区, 并延伸至腹板, 分析为预应力损失导致的受力裂缝。建议对此类裂缝进行封缝处理, 粘贴碳纤维布抑制裂缝的进一步发展。

(5) 主桥箱梁存在破损, 应为施工时受到撞击等原因产生, 主要影响箱梁的耐久性。

(6) 桥墩立柱环向位于墩顶处, 主桥实体墩墩顶存在竖向裂缝, 建议对此类裂缝进行封缝处理, 并对其后期的发展状况加强观测。

四、维修加固方案

桥梁的加固设计需充分考虑到混凝土斜截面主拉应力超限、预应力损失等病害成因, 需要采取合适的加固方法, 增加损坏截面的刚度和强度, 最大程度的恢复旧桥结构的极限承载力, 并适当改善桥梁结构的服务水平。针对本桥存在的缺陷病害, 主要采取的是增设体外束、粘贴钢板和碳纤维布等加固方案, 各处理方案及其对应病害见下表。具体思路如下:

(1) 提高斜截面抗剪承载能力、降低主拉应力水平。通过腹板粘贴钢板提升腹板混凝土配箍率, 同时, 通过采用“桁架式”体外预应力束, 改善腹板主拉应力水平。

(2) 提升整体压应力储备及抗弯承载能力。通过增设体外束补充既有预应力损失, 提升当前结构的压应力储备及抗弯承载能力, 防止弯曲裂缝的发生, 抑制梁体下挠问题。

(3) 解决局部裂缝发展问题。通过底板粘贴碳纤维

布提高混凝土抗裂能力, 抑制底板裂缝的进一步发展。

结语

从 20 世纪 50 年代中期至 21 世纪初, 我国的桥梁建设经历了迅猛的发展阶段, 到现在已经过了很多年, 许多服役的桥梁由于年久失修和维护不当, 其结构完整性和承载能力遭受了严重的损害, 而对旧桥、危桥拆除重建不仅会浪费大量的人力、物力和财力, 而且还会影响交通。本文以某变截面连续梁桥体外预应力加固为例, 计算了体外预应力加固前后结构响应, 裂缝产生原因以及对旧危桥维修加固方案的探讨, 主要结论如下。

(1) 体外预应力加固能大幅提高桥梁的承载能力, 使部分截面裂缝闭合, 有较好的加固效果。

(2) 对旧桥的裂缝要实时观测, 尤其是受力裂缝, 建议严格控制货车超载超限并安装桥梁安全监测系统, 对其关键参数进行跟踪观测, 保证桥梁加固后的安全运行。

参考文献

- [1] Xianggang W, Yongcheng Y, Yongli S, et al. Design and Physical Detection of Bridge Tower and Externally Prestressing Cable for Existing Bridge Strengthened by A Cable-Stayed System[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 2083(2):
- [2] SangHyun K, JongSup P, WooTai J, et al. Experimental Study on Strengthening Effect Analysis of a Deteriorated Bridge Using External Prestressing Method[J]. Applied Sciences, 2021, 11(6): 2478-2478.
- [3] 张榄, 姚磊, 杨祖涛. 某长江大桥引桥连续箱梁长索体外预应力加固设计[J]. 世界桥梁, 2022, 50(04): 108-112.
- [4] 张运清, 赵庆云, 孟涛. 混凝土连续箱梁体外预应力加固技术研究[J]. 中外公路, 2020, 40(03): 164-167. DOI: 10.14048/j.issn.1671-2579.2020.03.035.
- [5] 施进, 董伟. 预应力混凝土连续梁桥典型病害及加固方法分析——以襄阳市危桥改造项目为例[J]. 工程技术研究, 2022, 7(07): 56-58. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2022.07.016.
- [6] 宋萍. 既有连续梁桥病害评估及加固改造措施[J]. 交通世界, 2024, (11): 161-163. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2024.11.060.