

# 预应力砼连续刚构桥加固设计及效果分析

沈青青

(新疆交通规划勘察设计院有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 通过分析某连续刚构桥的病害形成原因, 提出更换部分桥面铺装、增设体外预应力钢束及修复裂缝的加固方案, 并对加固前后桥梁的砼应变及挠度进行对比分析。结果表明, 左幅桥梁受损程度较大, 右幅桥梁受损程度较小; 对称加载方式下, 加固后左幅桥梁的最大砼应变减小 23.5%, 最大结构挠度减小 29.3%; 偏心加载方式下, 加固后左幅桥梁的最大砼应变减小 20.8%, 最大结构挠度减小 25.8%。该加固方案在 2 种加载方式下均可降低桥梁的砼应变和挠度, 对于提升桥梁结构刚度及控制桥梁整体结构变形效果显著。

**关键词:** 桥梁; 连续刚构桥; 加固设计; 砼应变; 挠度

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)02-0114-03

由于设计或施工不足, 早期修建的预应力砼连续刚构桥常出现跨中梁体下挠、预应力损失及梁体裂缝等病害, 如何有效对病害桥梁进行加固成为急需研究的重要课题。目前, 针对跨中梁体下挠和梁底裂缝等常见病害的修复展开了大量研究, 如程炜等对预应力砼连续刚构桥主桥箱梁采用增加腹板厚度+体内预应力的方法提高结构刚度, 并对顶、底板纵向裂缝采用粘贴碳纤维布等进行处治, 加固效果明显; 姚国文等通过对交界墩纠偏、增大端横梁截面、更换支座等措施解决了端横梁病害, 且加固效果满足桥梁使用要求; 吕宏奎采用更换底板、重新布设预应力钢束的恢复结构完整性方案处治连续刚构桥底板崩裂问题, 加固后桥梁结构强度、刚度均满足设计荷载要求; 王若谷等研究了腹板参数对增设中腹板的连续刚构桥加固方法的影响, 发现选取相对较薄的单腹板, 在适量增加钢束用量的情况下进行加固效果较好。由于桥梁病害的形成原因较复杂且影响因素较多, 在对病害桥梁进行加固前需针对病害成因进行分析与判断, 从而设计最合理的加固方案。该文以某连续刚构桥为例, 针对其病害情况及成因设计更换部分桥面铺装、增设体外预应力钢束、修复裂缝的加固方法, 并运用有限元软件对加固效果进行模拟分析。

## 1 工程概况

### 1.1 桥梁结构

某预应力砼连续刚构桥跨径布置为 45 m + 75 m + 75 m + 45 m, 全长 240 m, 桥面总宽 25 m, 单

幅桥面宽 11.5 m, 左右幅桥梁间隔 2 m, 桥面两侧设置 0.5 m 防撞护栏。双向六车道, 最高行驶速度为 100 km/h, 桥面横坡为 2%。主梁采用单箱单室变截式连续箱梁, 支点处梁高 4.8 m, 跨中处梁高 2.2 m, 底板宽 5.8 m, 支点处厚 70 cm、跨中处厚 25 cm, 顶板厚 30 cm, 腹板支点处厚 50 cm、跨中处厚 30 cm。下部结构采用薄壁柔性墩、直径为 0.5 m 的钻孔灌注桩, 桩间距 1.5 m。桥梁总体布置见图 1。

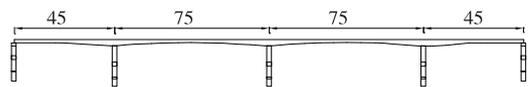


图 1 连续刚构桥总体布置(单位:m)

### 1.2 病害分析

该桥正常运营 7 年后, 对其结构进行质量检测, 结果显示: 箱内体外预应力损失较大; 桥面铺装损坏严重; 主梁腹板、顶板及梁底均出现大量裂缝, 部分裂缝已沿腹板延伸至翼缘根部, 最大宽度达 0.5 mm; 主梁跨中下挠现象明显(见图 2)。通过对设计资料及检测资料进行敏感性分析, 初步判定该桥出现病害的主要原因为车流量及重载车辆的增加增大了结构受力、原设计结构预应力偏低、原设计对砼收缩徐变和温度作用考虑不足。



(a) 主梁下挠

(b) 梁体裂缝

图 2 桥梁主要病害情况

### 1.3 加固方案

为保证桥梁达到运营要求,同时从施工难易程度、运营风险及方案可行性等方面考虑,采用更换部分桥面铺装、增设体外预应力钢束及修复裂缝的方法对该桥进行加固,提高其稳定性及承载能力。具体方法如下:

(1) 在箱内增设体外纵向预应力钢束,横向同时设置 4 束预应力钢束,边、中跨箱梁分别采用  $12\phi_s 15.2\text{ mm}$  和  $19\phi_s 15.2\text{ mm}$  预应力钢束,预应力钢束的标准抗拉强度为  $1\ 860\text{ MPa}$ ,张拉控制应力为  $0.6\text{ MPa}$ 。预应力钢束增设位置见图 3。

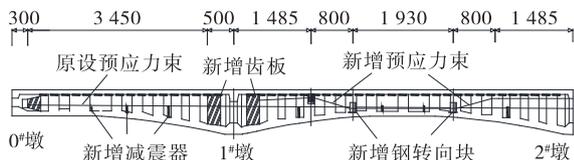


图 3 预应力钢束增设位置(单位:cm)

(2) 采用填充灌注胶的方法修复箱梁处宽度大于  $0.15\text{ mm}$  的裂缝,涂刷树脂胶修复宽度小于  $0.15\text{ mm}$  的裂缝,同时在箱梁边、中跨合龙段底板和腹板内侧粘贴钢板条进行加固(见图 4)。

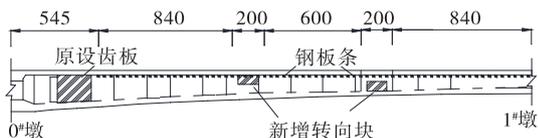


图 4 箱梁钢板条粘贴位置(单位:cm)

(3) 清除桥面原沥青砼铺装层,在  $1^\# \sim 3^\#$  主墩墩顶两侧增铺长度为  $10\text{ m}$  的纵向钢筋网,再铺设厚度为  $9\text{ cm}$  的新沥青砼层。

### 2 建立模型

以原设计参数为依据,运用软件 MIDAS/Cilvi 建立该桥有限元数值模型,对加固前后主梁结构的砼应变及挠度进行计算分析。计算过程中假定钢筋与砼间黏结良好,不考虑相对滑移作用;钢板视为完全线弹性材料,钢筋考虑为理想塑性,不考虑胶层的影响。主梁、桥墩均采用梁单元模拟,共包含 206 个单元和 278 个节点(见图 5)。



图 5 全桥有限元模型

考虑偏心加载和对称加载 2 种情况,模拟 6 辆重载货车通行荷载,平均荷载为  $350\text{ kN}$ 。计算截面选取左、右幅桥梁跨中位置 2 个截面,对加固前后该截面箱梁内  $1^\# \sim 20^\#$  测点的砼应变及主梁顶部 I ~ X 号测点的挠度进行计算分析。加载方式及测点位置见图 6。

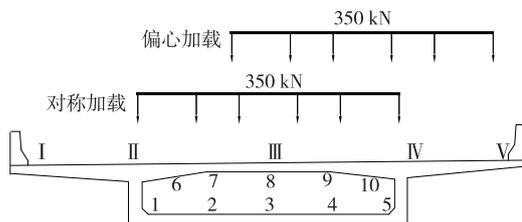


图 6 加载方式及测点位置示意图(左幅桥梁)

### 3 计算结果与分析

#### 3.1 对称加载加固效果分析

运用有限元软件建立对称加载方式下连续刚构桥计算模型,对加固前后主梁结构砼应变及挠度进行对比分析。

##### 3.1.1 砼应变

经计算,对称加载方式下左幅桥梁跨中截面各测点的砼应变均大于右幅桥梁,说明左幅桥梁受病害影响比右幅桥梁严重。加固前后左幅桥梁跨中截面  $1^\# \sim 10^\#$  测点的砼应变见图 7。

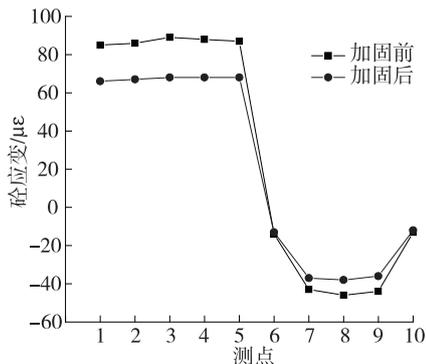


图 7 对称加载方式下加固前后左幅桥梁跨中截面  $1^\# \sim 10^\#$  测点的砼应变

由图 7 可知:采用上述加固方案对桥梁进行维修后,对称加载方式下左幅桥梁跨中截面各测点的砼应变均不同程度减小, $1^\# \sim 10^\#$  测点的砼应变分别减小  $22.3\%$ 、 $22.1\%$ 、 $23.5\%$ 、 $22.7\%$ 、 $21.8\%$ 、 $7.1\%$ 、 $13.9\%$ 、 $17.4\%$ 、 $18.1\%$  和  $7.6\%$ 。说明该加固方案可降低桥梁的砼应变,大幅提升结构的纵向刚度,从而改善桥梁的整体安全性能。

### 3.1.2 结构挠度

经计算,对称加载方式下左幅桥梁跨中截面的下挠幅度比右幅桥梁大,说明左幅桥梁结构变形比右幅桥梁大。加固前后左幅桥梁跨中截面 I~V 号测点的挠度见图 8。

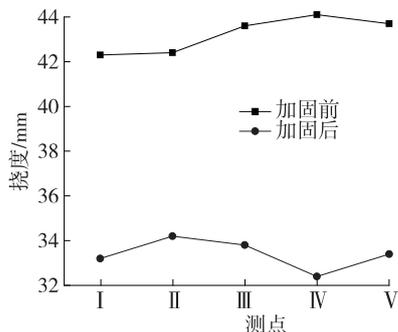


图8 对称加载方式下加固前后左幅桥梁跨中截面 I~V 号测点的挠度

由图 8 可知:采用该加固方案对桥梁进行维修后,左幅桥梁跨中截面 I~V 号测点的挠度下降明显,分别减小 21.5%、19.3%、22.5%、26.5% 和 23.6%。说明该加固方案可大幅降低桥梁跨中截面的下挠幅度,防止桥梁结构变形过大。

### 3.2 偏心加载加固效果分析

运用有限元软件建立偏心加载方式下连续刚构桥计算模型,对加固前后主梁结构的砵应变及挠度进行对比分析。

#### 3.2.1 砵应变

经计算,偏心加载方式下加固后左、右幅桥梁跨中截面各测点的砵应变均减小,其中左幅桥梁跨中截面 1#~10# 测点的砵应变见图 9。

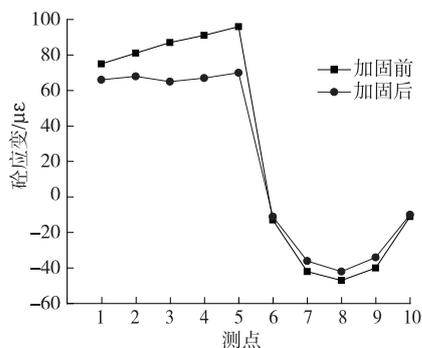


图9 偏心加载方式下加固前后左幅桥梁跨中截面 1#~10# 测点的砵应变

由图 9 可知:偏心加载方式下,加固前左幅桥梁跨中截面的最大砵应变为 96  $\mu\epsilon$ ,加固后为 70  $\mu\epsilon$ ,下降约 27.1%。说明该加固方案在偏心加载方式下可

降低桥梁的砵应变,提升桥梁结构的纵向刚度。

#### 3.2.2 结构挠度

经计算,偏心加载方式下加固后左、右幅桥梁跨中截面各测点的挠度均大幅减小,其中左幅桥梁跨中截面 I~V 号测点的挠度见图 10。

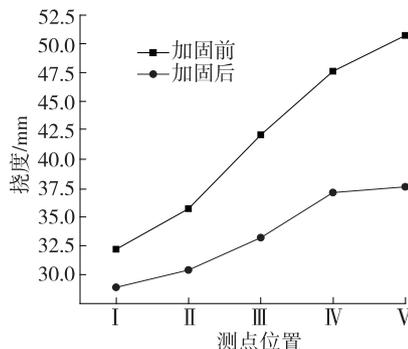


图10 偏心加载方式下加固前后左幅桥梁跨中截面 I~V 号测点的挠度

由图 10 可知:偏心加载方式下,加固前左幅桥梁跨中截面的最大挠度为 50.7 mm,加固后为 37.6 mm,下降约 25.8%。说明该加固方案在偏心加载方式下可降低桥梁的结构挠度,有效控制桥梁整体结构变形。

## 4 结论

(1) 对称加载和偏心加载方式下左幅桥梁的砵应变及挠度均大于右幅桥梁,说明左幅桥梁的受损程度较大,右幅桥梁的受损程度较小。

(2) 对称加载方式下,加固后左幅桥梁的砵应变减小 7.1%~23.5%,结构挠度减小 19.3%~26.5%;偏心加载方式下,加固后左幅桥梁的最大砵应变减小约 27.1%,最大结构挠度减小约 25.8%。说明该加固方案在 2 种加载方式下均可降低桥梁的砵应变和挠度,提升桥梁结构的纵向刚度,降低整体结构变形。

### 参考文献:

- [1] 毛建平,唐庚,蒙方成,等.预应力混凝土连续桁梁刚构桥裂缝分析及加固[J].中外公路,2020,40(3):168-173.
- [2] 王锋,雷丹,柯亮亮.体外预应力加固连续刚构桥的工程应用研究[J].公路交通科技(应用技术版),2020(7):165-168.
- [3] 梁志成.预应力混凝土连续刚构桥腹板开裂及加固治理研究[J].福建交通科技,2019(5):87-90.
- [4] 张清旭,朱召贤.大跨度连续刚构桥病害分析及加固研

(下转第 119 页)

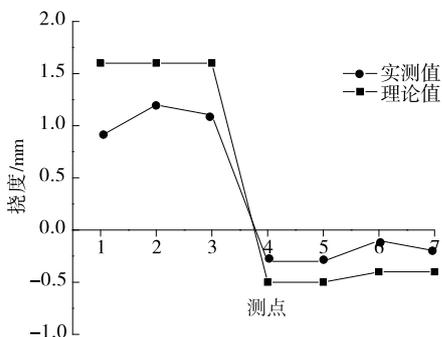


图 4 荷载组合 I 作用下挠度实测值与理论值对比

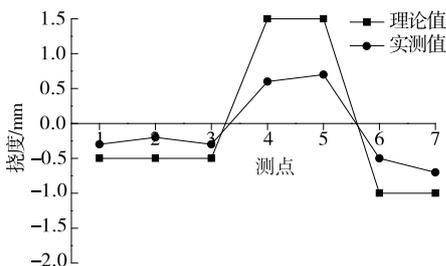


图 5 荷载组合 II 作用下挠度实测值与理论值对比

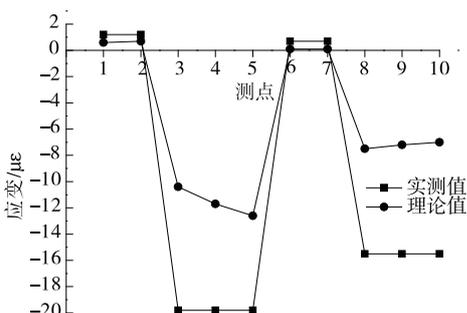


图 6 荷载组合 I 作用下应变实测值与理论值对比

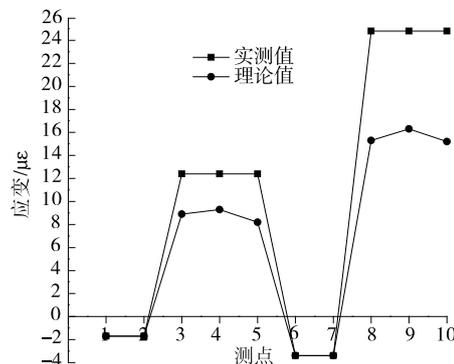


图 7 荷载组合 II 作用下应变实测值与理论值对比

验结果表明,加固后桥梁变形、应变都处于弹性范围,与加固前相比,桥梁总体刚度和强度有较大提升,加固效果良好,加固方案对轻型石砌肋板拱桥的加固改造具有借鉴意义。

参考文献:

[1] 中交公路规划设计院有限公司.公路桥涵设计通用规范:JTG D60—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.

[2] 贾悦.石拱桥病害分析及加固研究[D].郑州:郑州大学,2013.

[3] 单成林,马兴健.空腹式石拱桥主拱圈的 3 种增大截面法加固效果分析[J].中外公路,2019,39(5):156—160.

[4] 长安大学.公路桥梁荷载试验规程:JTG/T J21—01—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.

[5] 李锋燕,郭元凯,唐王华,等.基于“释能法”的拱桥加固受力性能[J].沈阳大学学报,2019,31(1):51—55.

[6] 中交公路规划设计院.公路圬工桥涵设计规范:JTG D61—2005[S].北京:人民交通出版社,2005.

[7] 黎小刚,丁鹏,陈晓虎,等.考虑参数随机性的肋拱桥套箍加固优化设计研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2020,39(10):49—53.

[8] 方向,周志祥,姚冠兵,等.C—S—C 法加固石拱桥主拱圈的正截面承载力分析[J].中外公路,2018,38(6):101—104.

由图 4~7 可知:采用主拱圈拱背填平方案加固后,在各试验荷载作用下,桥梁各截面挠度、应变实测值均小于理论值,卸载后,相对残余变形(应变)、挠度(应变)校验系数均满足规范要求。表明加固后桥梁承载能力和荷载等级满足设计要求。

4 结语

通过对首座轻型石砌肋板拱桥进行加固计算分析,确定最佳加固方案为主拱圈拱背填平。静载试

收稿日期:2021—03—30

\*\*\*\*\*  
(上接第 116 页)

究[J].施工技术,2019,48(增刊 1):1245—1247.

[5] 程炜,周超民.大跨度 PC 连续刚构桥病害成因分析及加固研究[J].公路,2020(4):184—186.

[6] 姚国文,吴文杰,何令.钢管混凝土连续刚构桥端横梁病害成因分析及处治技术[J].中外公路,2016,36(3):95—97.

[7] 吕宏奎.某重载铁路连续刚构桥底板崩裂加固设计[J].桥梁建设,2019,49(1):71—76.

[8] 王若谷,李睿,杨晶晶,等.腹板参数对增设中腹板的连续刚构桥加固方法的影响研究[J].混凝土,2019(12):45—48.

收稿日期:2021—04—20