

灌缝—锚钢加固箱梁抗弯疲劳性能试验研究

刘国坤, 魏曙安

(湖南省交通建设质量监督检测有限公司, 湖南 长沙 410114)

摘要:为研究某PC斜拉桥大面积断索后主梁复合受扭开裂加固的疲劳性能及长期加固效果,对节段模型梁进行灌缝—锚钢加固后的疲劳性能展开试验研究,探索混凝土箱梁加固段和未加固段在重复荷载作用下的应变、裂缝及挠度发展规律,最后基于疲劳试验结果提出灌缝—锚钢加固钢筋混凝土箱梁在重复荷载作用下的疲劳刚度分段计算公式。结果表明:加固模型梁在240万次重复荷载作用下刚度下降16.8%,试验全过程挠度呈线弹性变化且无新裂缝产生;此次试验加固段的受弯疲劳性能优于未损伤未加固段;依据试验得出的疲劳刚度分段公式计算结果与试验值吻合良好。

关键词:混凝土箱梁;复合受扭;灌缝—锚钢加固;疲劳试验

桥梁结构在施工或运营中因受钢筋锈蚀、超载或受某种特殊荷载而造成结构损伤的状况屡见不鲜,考虑到资源利用的合理性对其进行加固处理十分必要,对损伤部位进行灌缝、粘贴钢板和碳纤维布等加固手段较为常见,但以往常关注于加固构件的静力性能,对混凝土箱梁加固构件在重复荷载作用下的裂缝形成、挠度及应变发展规律研究较多,但针对构件承受复合受扭开裂加固后的疲劳性能研究非常罕见。为研究某PC斜拉桥大面积断索后主梁复合受扭开裂加固后的疲劳性能及长期加固效果,开展预应力混凝土箱梁强受扭损伤加固后的受弯疲劳性能试验研究。

1 试验概况

1.1 试件设计

某主跨380 m的双索面混凝土斜拉桥在最大双悬臂状态下,因桥塔内起火致使主梁一侧9根斜拉索断裂,导致混凝土箱梁强受扭损伤,在多个梁段的顶板、腹板和横隔板上出现了严重的45°斜向裂纹,裂纹间距多为10~30 cm,宽度0.04~0.35 mm。加固手段主要为裂缝灌浆及箱梁腹板和横隔板锚贴钢板加固,为研究该斜拉桥大面积断索后主梁复合受扭开裂加固后的疲劳性能及长期加固效果,按照应力等效原则设计模型梁,相似比为1:4,模型梁总长8 m,模拟了实桥4个节段,模型梁侧视图及标准断面图如图1所示。

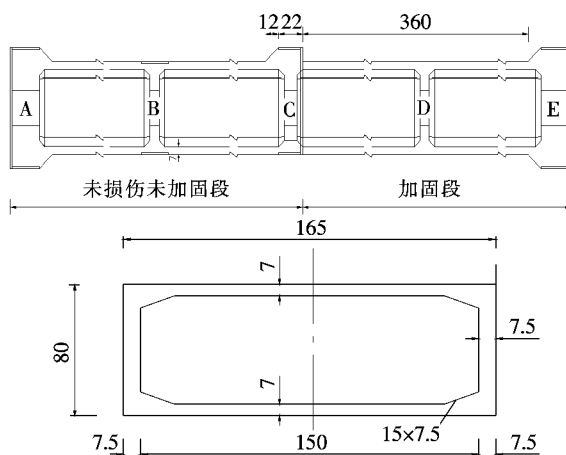


图1 模型梁侧视图及标准断面图(单位:cm)

依据刚度等效原则,对模拟实桥强扭损伤后的模型梁进行灌缝—锚钢加固处理,损伤段和未损伤未加固段各4 m,如图2所示,挠度及应变测点所在断面布置见图3。

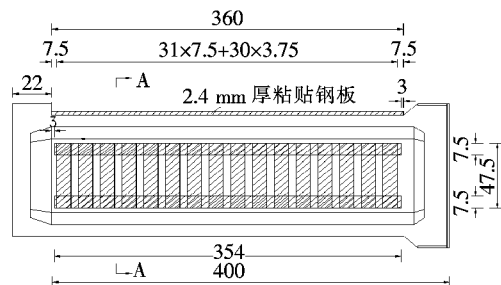


图2 受损箱梁顶板及腹板锚钢加固图(单位:cm)

收稿日期:2019-05-13(修改稿)

作者简介:刘国坤,男,博士,E-mail:1425541054@qq.com

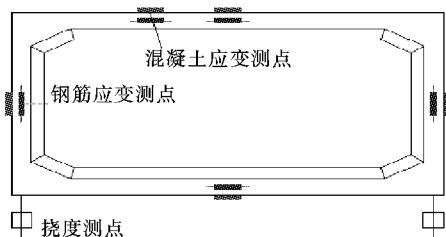


图3 挠度及应变测点布置图

1.2 试验方法

采用 MTS 进行疲劳加载,在试验梁和 MTS 之间设置分配梁和限位挡板,确保箱梁受力的均匀性和稳定性,依据汽车荷载在实桥截面产生的最大应力与试验梁简支状态跨中加载产生最大应力等效的原则确定疲劳加载设计值为 150 kN。

具体加载步骤:① 使加固模型梁处于简支状态,确保模型的横向稳定及严格对中;② 静载试验前对模型梁进行预压,预压荷载为疲劳荷载上限的 10%,确保加载系统及测试仪器正常后卸载至 0;③ 静载试验:分 5 级加载,每级加载力值为疲劳荷载上限的 20%,每级加载均稳载 10 min 后采集各测点数据。试验过程中密切关注模型梁的受力、变形状态;④ 疲劳试验:设定疲劳荷载上限值为 150 kN,下限值为 15 kN。疲劳频率为 3 Hz。以疲劳次数 200 万次作为初始目标,观测加载过程中模型梁是否出现新裂缝;⑤ 根据试验要求在加载至 1 万、10 万、20 万、40 万、80 万、120 万、160 万、200 万次时停机进行一次静载试验,如果加固模型梁在经过 200 万次疲劳荷载后未出现新裂缝且刚度无突降现象,则将疲劳次数增加至 240 万次。

2 灌缝—锚钢加固箱梁抗弯疲劳性能

试验梁在承受 200 万次重复荷载后没有发现新裂缝且剩余刚度较大,故将疲劳荷载次数增至 240 万次,评估箱梁抗疲劳性能。

2.1 应变结果分析

跨中截面顶板混凝土应变在各级疲劳次数下的变化规律如图 4 所示。

由图 4 可知:随着疲劳次数的增加,箱梁应变逐步增加,但箱梁顶板应变在各级重复荷载作用下曲线斜率变化不明显,说明结构刚度下降不明显。

2.2 位移结果分析

跨中截面荷载—挠度曲线见图 5。

由图 5 可知:跨中弯曲变形随着重复荷载次数的

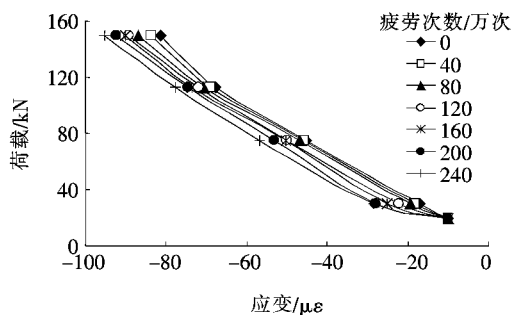


图4 荷载—应变曲线

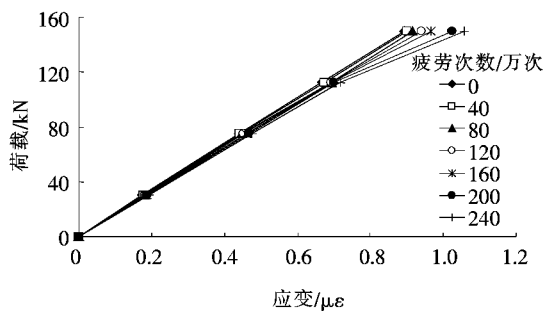


图5 荷载—挠度曲线

增加而不断增加,试验梁在 120 万次疲劳加载后,位移下降相对明显,试验梁在 240 万次疲劳加载后刚度下降了 16.8%。

2.3 加固段与未损伤未加固段刚度对比分析

试验梁在 240 万次重复荷载加载后,加固段与未损伤未加固段的跨中挠度随疲劳次数变化曲线见图 6。

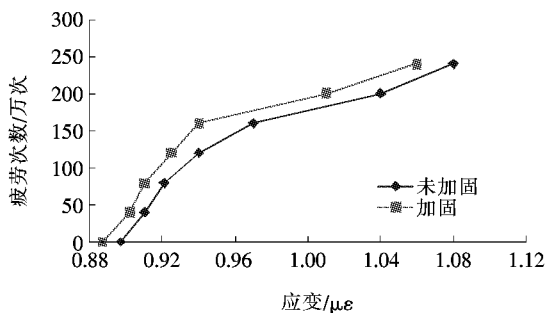


图6 加固段与未损伤未加固段荷载挠度曲线

由图 6 可知:加固段和未加固段的刚度都随疲劳次数增加而减小,加固段的刚度比未加固段的刚度大 4.8% 左右,该试验加固段的抗疲劳性能优于未加固段。

3 灌缝—锚钢加固箱梁疲劳刚度计算

定义疲劳荷载作用下的刚度折减系数为:

$$\theta^f = \frac{f_d}{f_f} \tag{1}$$

式中: θ^f 为刚度折减系数; f_d 为静载作用下的挠度; f_f 为疲劳荷载作用下的挠度。

对静载及疲劳荷载作用下挠度进行回归分析,得出刚度折减系数回归线见图 7。

回归方程见式(2), N 为重复荷载次数(万次)。

$$\begin{aligned} \theta^f &= 1.011\ 3 - 0.028\ 8 \lg N \quad (0 < N \leq 120) \\ \theta^f &= 2.117\ 2 - 0.553\ 4 \lg N \quad (120 < N \leq 240) \end{aligned} \tag{2}$$

该加固试验梁在重复荷载作用下刚度降低速率为两段,小于 120 万次疲劳荷载作用时试验梁刚度下降速率小于文献[13]、[14],大于 120 万次疲劳荷载作

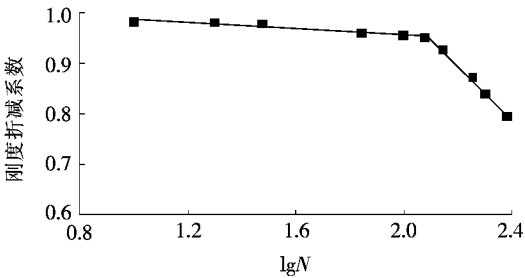


图 7 刚度折减系数回归线

用后模型梁刚度下降速率大于文献[13]、[14],截面短期刚度乘以刚度折减系数即可得到重复荷载作用下的截面刚度。该试验的加固疲劳试验梁计算得到的挠度与试验值的比较如表 1 所示。

表 1 疲劳荷载作用下挠度计算值与试验值对比

循环次数/ 万次	试验值/ mm	计算值/ mm	循环次数/ 万次	试验值/ mm	计算值/ mm
1	0.904	0.905	120	0.946	0.935
10	0.916	0.912	160	0.993	0.989
20	0.918	0.915	180	1.032	1.025
40	0.921	0.918	220	1.104	1.098
80	0.937	0.929	240	1.132	1.127

由表 1 可知:计算结果与试验结果吻合良好,误差基本控制在 5% 以内。

4 结论

针对某混凝土箱梁强扭损伤加固后,研究加固箱梁抗弯疲劳性能,得出以下结论:

- (1) 灌缝—锚钢加固试验梁在 240 万次疲劳荷载作用下刚度下降 16.8%,无新裂缝产生,展现出较好的延性。
- (2) 疲劳试验荷载作用下,加固段刚度比未损伤未加固段刚度始终大 4.8% 左右,长期加固效果良好。
- (3) 依据试验数据得出的疲劳刚度分段公式计算值与试验值吻合较好,能为强扭损伤加固箱梁的疲劳刚度计算提供参考。

参考文献:

[1] 李沛. 钢筋锈蚀对混凝土梁构件力学行为影响的研究[D]. 中南大学博士学位论文, 2012.

[2] 刘海弯, 李龙辉, 李铎. 基于超载作用的斜拉桥索塔整体式钢锚箱疲劳性能研究[J]. 中外公路, 2018(1).

[3] 肖赞. 预应力混凝土梁超载疲劳刚度退化试验研究[D].

北京交通大学博士学位论文, 2014.

[4] 褚卫瑞, 刘炳. 钢板加固锈蚀 RC 梁刚度及其挠度计算方法研究[J]. 中外公路, 2016(1).

[5] 廖明进. 锚固钢板加固钢筋混凝土梁的弯曲性能研究[D]. 武汉大学硕士学位论文, 2005.

[6] 李英民, 韩大刚, 林文修. 锚栓钢板加固法抗弯性能试验及设计方法[J]. 工程抗震与加固改造, 2006(5).

[7] 马达洛夫. 钢筋混凝土受弯构件在重复荷载下的性能研究[M]. 北京: 科学出版社, 1964.

[8] 汝海峰, 张茜, 梁春祥. CFRP 加固钢筋混凝土梁疲劳刚度的试验研究[J]. 铁道工程学报, 2008(6).

[9] 李惠民, 顾传霖. 钢筋砼梁斜截面疲劳强度及裂缝控制[J]. 建筑结构学报, 1989(6).

[10] 吕海燕, 戴公连, 李德建. 预应力混凝土梁在疲劳荷载作用下的变形[J]. 长沙铁道学院学报, 1998(1).

[11] 刘国坤, 颜东煌, 陈常松, 等. 混凝土斜拉桥箱梁强受扭损伤试验研究[J]. 桥梁建设, 2017(6).

[12] 刘国坤, 颜东煌, 涂光亚, 等. 强受扭损伤箱梁加固后的压弯性能研究[J]. 公路交通科技, 2017(12).

[13] 汝海峰, 张茜, 梁春祥. CFRP 加固钢筋混凝土梁疲劳刚度的试验研究[J]. 铁道工程学报, 2008(6).

[14] 太原工学院土木系. 钢筋混凝土受弯构件正截面疲劳强度验算方法的研究[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981.