

# 斜拉调载加固法在桥梁加固中的应用研究

唐庚<sup>1</sup>, 毛建平<sup>1</sup>, 蒙方成<sup>2</sup>, 覃乐勤<sup>1</sup>

(1. 广西交通工程检测有限公司, 广西 南宁 530011; 2. 中铁四院集团南宁勘察设计院有限公司)

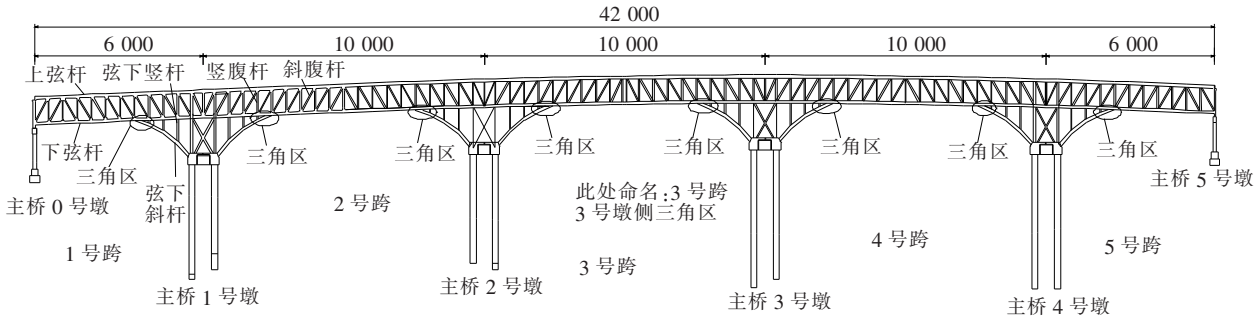
**摘要:** 某预应力混凝土连续刚桁桥经 20 多年运营,在主桥中跨的下弦杆与弦下斜杆连接处三角区出现严重裂缝,该处连接受到较大削弱,内力重分布导致附近弦下竖杆出现破坏性开裂,威胁到桥梁的结构安全。该文提出斜拉调载加固法,经理论计算和实践表明:该方法能有效调整桥梁结构内力,并充分发挥加固材料的强度。斜拉调载加固法作为一种较新颖的桥梁加固方法,主要适用于主梁刚度较小的大跨梁式桥加固。

**关键词:** 斜拉调载; 预应力混凝土; 桥梁加固

## 1 桥梁概况

某双层桥面预应力混凝土连续刚桁桥跨径组合为 (60+3×100+60) m,中跨跨中设摆柱铰;桥梁上构主要受力结构为横向中心间距 6 m 的两预应力混凝土预制桁片,桁片高度 6.35 m,两桁片通过横向安装

行车道、人行道板、施加横向预应力钢筋和现浇桥面铺装联成整体;桁片上弦杆为 U 形断面,下弦杆为带缺口矩形断面。桥墩为 4 桩式高桩承台,桩径 2.2 m。桥面铺装为水泥混凝土桥面铺装。桥梁设计荷载:汽车—超 20 级,挂车—120,人群荷载 3.5 kN/m<sup>2</sup>。桥梁立面见图 1。



构件编号规则:横向按面对前进方向区分左、右的原则进行编号,纵向按路线前进方向依次进行编号,弦下斜杆和弦下竖杆按从上往下的顺序依次进行编号。

图 1 桥梁立面示意及构件编号规则(单位:cm)

## 2 桥梁病害情况及病因分析

### 2.1 桥梁病害情况

2012 年检测时,桥梁存在以下病害:上弦杆、下弦杆、斜腹杆、竖腹杆等构件存在裂缝,部分裂缝宽度超过了规范规定的限制值;存在破损露筋,蜂窝、麻面、渗水泛白情况;主桥弦下斜杆与下弦杆交接处普遍存在

开裂的情况。根据 JTG/T H21—2011《公路桥梁技术状况评定标准》,评分为 61.6 分,技术状况等级评定为 3 类。

2014 年对桥梁实施荷载试验,在试验荷载作用下,试验跨测试截面的应变和挠度基本在合理范围内,摆柱铰工作性能正常,试验中,裂缝未见明显开展,结构动力性能良好,桥梁承载能力满足设计活载标准的要求。

2017年检测时,桥梁右侧桁片3号跨3号墩侧下弦杆与弦下斜杆连接处三角区结合面开裂贯通,裂缝宽度达5.6 cm;连接处三角区短柱出现全截面开裂,裂缝宽度达1.5 cm,结构已发生破坏;三角区附近短柱柱底发生破坏,出现杆件失稳倾向。上述现象符合JTG/T H21—2011《公路桥梁技术状况评定标准》第4.3条有关5类桥梁技术状况单项控制指标的规定,主桥技术状况等级评为5类,描述为主要构件存在严重缺损,不能正常使用,危及桥梁安全,桥梁处于危险状态。

2017年荷载试验结果表明:①主桥控制杆件测试截面强度满足要求,试验桥跨刚度满足要求,但试验荷载作用下三角区典型裂缝有开展,且裂缝开展相对残余存在大于20%的情况,卸载后缝宽未能恢复到加载前状态,说明结构局部区域已不处于弹性工作状态;②试验荷载作用下,右桁片3号跨3号墩侧三角区下弦杆与弦下斜杆在交接面处存在明显相对纵向位移,说明该处结构存在损伤,连接刚度受到削弱。综合以上试验结果,主桥试验跨整体承载力不满足要求。

## 2.2 桥梁病因分析

由2012—2017年的检测结果可见:5年间桥梁病害存在较大发展,经分析其主要原因为:

(1)随着桥梁所在地附近的工业园的崛起,货物、商品、人员流通不断增长,该桥上交通日益繁忙,特别是在该期间附近高速公路的修建,建材的运输,过桥重车明显增多,是导致桥梁病害发展的直接原因。

(2)钢筋混凝土桁架桥结构轻盈,存在整体刚度小的缺陷,随着经济的飞速发展,交通量的逐年增加,该类桥梁易出现病害。

(3)三角区为弦下斜杆、下弦杆及竖腹杆的相交点,结构受力较集中,应力分布复杂,在超载情况下容易发生开裂。根据2012年检测报告,三角区已存在裂缝,竖腹杆、弦下竖杆未见明显的受力裂缝。经过几年的运营,2017年检测发现3号跨3号墩处右侧三角区病害较严重,三角区短竖腹杆出现斜裂缝,结构出现横向错位;其余三角区病害均表现为混凝土开裂,结构并未出现错位迹象,疑为施工时三角区先后浇筑混凝土的龄期差异、收缩徐变等引起的新旧混凝土结合面开裂,在超载作用下,容易造成裂缝进一步扩大。弦下斜杆与下弦杆交接处节点刚度受到严重削弱后,桥梁结构发生内力重分布,导致竖腹杆出现受力裂缝,弦下竖杆发生破坏性损伤,危及桥梁整体结构安全。

## 3 斜拉调载加固法应用研究

### 3.1 斜拉调载加固法简介

通过临时斜拉体系对桥梁构件施加外加力,使桥梁构件在加固前预存有消除不利内力的附加应力,加固完成后释放外加力,加固材料承担部分由于释放外加力而产生的内力。

斜拉调载的外加力可起到抵消部分恒载的作用,也起到调整线形的作用,运用时需根据实际需要制定调载方案,避免调载不当造成结构受力不合理甚至破坏。

### 3.2 计算模型简介

用Midas建立主桥有限元模型进行结构分析,并采用桥梁博士进行校核。Midas计算模型主桥总计1109个单元,780个节点。

根据现场检测报告,主桥3号跨3号墩右桁片弦下斜杆与下弦杆交接面裂缝宽度达5.6 cm,该三角区1号弦下竖杆存在1.5 cm斜裂缝,说明弦下斜杆与下弦杆存在纵向相对错位;该三角区2号弦下竖杆底部出现呈破坏状态的裂缝,顶部出现宽度为1.0 mm的裂缝。结构分析时,根据病害情况,对该处三角区及弦下竖杆的连接刚度进行修正,模拟损伤后的受力,加固后按实际构件尺寸设置其连接刚度。

(1)恒载作用下,3号跨3号墩弦下斜杆与下弦杆交接处三角区1号弦下竖杆存在1.5 cm宽斜裂缝,说明在恒载作用下该处弦下斜杆相对下弦杆存在1.5 cm的纵向位移,按照刚度等效原则,把该处弦下斜杆与下弦杆的纵桥向连接刚度修正为300 kN/mm。

(2)加固前3号跨3号墩1号弦下竖杆的顶、底部均修正为铰接。

(3)加固前3号跨3号墩2号弦下竖杆底部修正为铰接。

(4)加固后3号跨3号墩弦下斜杆与下弦杆的连接、1号弦下竖杆两端的连接、2号弦下竖杆底部的连接刚度均按结构实际尺寸设定。

### 3.3 斜拉调载加固方案的制定

#### (1) 临时斜拉体系的设置原则

临时斜拉体系为桥梁结构提供外加力,尽可能消除部分影响桥梁加固不利的内力,使线形尽量接近原设计状态,削弱损伤对桥梁结构的影响。

#### (2) 临时斜拉体系的设置位置

该桥主要损伤为3号跨3号墩侧三角区开裂,弦



车道板、人行道板阶段,拉、压应力均大幅减小;张拉斜拉索提升 3 号跨 3 号墩侧悬臂端后直至加固施工完成,其压应力和拉应力均小于规范限值,满足规范要求。计算结果见表 2。

表 2 3 号跨 3 号墩 2 号弦下竖杆施工阶段应力计算结果(预应力混凝土)

计算工况	最大压应力/MPa			最大拉应力/MPa		
	计算应力	应力限值	是否满足	计算应力	应力限值	是否满足
加固施工前	−30.74	−24.5	不满足	18.35	3.45	不满足
拆除上下层桥面铺装、行车道板、人行道板、摆柱	−18.68	−24.5	满足	8.39	3.45	不满足
张拉斜拉索提升 3 号跨 3 号墩侧悬臂端	−4.57	−24.5	满足	−2.93	3.45	满足
粘贴钢板加固斜腹杆和竖腹杆、增大截面法 结合粘贴钢板法加固三角区	−9.43	−24.5	满足	0.78	3.45	满足
放松斜拉索	−10.74	−24.5	满足	0.71	3.45	满足
加固施工完成	−13.84	−24.5	满足	0.45	3.45	满足

表 3 主桥受力最不利构件承载力验算结果

构件类型	位置	轴力/ kN	抗力/ kN	抗力/ 轴力
上弦	2 号墩顶处	15 409.39	17 186	1.12
下弦	1 号跨中处	3 607.53	3 820	1.06
竖腹杆	3~14 号竖腹杆	1 734.30	3 340	1.93
斜腹杆	3~5 号斜腹杆	−5 492.52	−6 756	1.23

注:限于篇幅,仅列出所有同类构件中受力最不利构件的验算结果。轴力负值表示受压,正值表示受拉。

表 4 主桥变形验算结果

桥跨号	最大正挠 度/mm	最大负挠 度/mm	正负挠度绝 对值之和/mm	规范允 许值/mm
1 号	4.6	−11.8	16.4	75.0
2 号	9.8	−26.5	36.2	125.0
3 号	16.0	−54.1	70.1	125.0
4 号	10.5	−27.6	38.1	125.0
5 号	5.3	−12.6	17.9	75.0

上述计算结果表明:采用该文方法,调整桥梁内力分布,然后再对桥梁进行加固,使加固后的桥梁内力分布合理,桥梁承载力满足规范要求。

3.5 斜拉调载加固效果验证

按该文方法对该双层桥面预应力混凝土连续刚桁桥维修加固工作完成后,又开展了一次交工验收荷载试验,结合试验结果得:弦杆、腹杆等关键构件应变校验系数为 0.56~0.78,试验跨挠度校验系数为 0.49~0.88。且对三角区裂缝维修加固后,试验过程未见新

3.4.2 成桥阶段验算

承载能力极限状态验算结果见表 3。正常使用极限状态验算结果见表 4、5。

表 5 荷载组合 I、II 作用下主桥裂缝验算结果

荷载组合	构件类型	最大拉应 力/MPa	裂缝宽度 限值/mm	混凝土容许名 义拉应力/MPa
I	上弦杆	4.85	0.10	5.97
	下弦杆	4.46	0.10	5.85
	竖腹杆	4.14	0.10	6.70
	斜腹杆	2.02	0.10	6.70
	弦下竖杆	4.18	0.10	6.70
II	上弦杆	4.90	0.15	6.57
	下弦杆	4.53	0.15	6.45
	竖腹杆	4.18	0.15	7.30
	斜腹杆	2.22	0.15	7.30
	弦下竖杆	4.38	0.15	7.30

注:表中已根据非预应力钢筋配筋率对混凝土容许名义拉应力进行修正。

增裂缝,裂缝加固处应变变化趋势与理论计算一致,校验系数小于 1.0。说明按该文方法进行加固后,桥梁结构承载能力满足设计要求,加固效果良好。

4 结论

在以往的加固设计中,大多数情况下未充分考虑到加固前结构损伤已造成桥梁内力重分布,各杆件内力与成桥时存在较大差异。由于桥梁内力重分布,部分杆件在恒载作用下已经达到或接近承载能力极限状态,若直接对其进行加固,在二次受力阶段原结构部分可能发生破坏,危及桥梁整体安全。为避免上述情况

# 淮北东岗楼立交桥改造设计关键技术

崔海<sup>1</sup>, 冯淑珍<sup>2</sup>

(1. 中铁大桥(南京)桥隧诊治有限公司, 江苏 南京 210032; 2. 南京铁道职业技术学院)

**摘要:** 桥梁改造是一项综合性系统工程。该文结合安徽省淮北市东岗楼立交桥改造项目, 详细介绍其桥梁病害分析、改造思路及方案提出、细节设计等关键技术; 阐述桥梁改造设计的要点和逻辑关系。东岗楼立交桥改造于2014年6月完成, 目前运营状态良好。该改造方案科学、有效, 为混凝土箱梁牛腿改造提供了可供参考和选择的方案。

**关键词:** 立交桥; 牛腿; 改造

## 1 概述

牛腿构造在中国汉代已经出现, 在古建筑中起到了装饰和传力的作用。中国的设计师巧妙地将牛腿构造引用到了桥梁结构中。在20世纪80年代中国建设的桥梁中, 出现了较多的悬臂梁与挂梁、简支体系等含有牛腿构造的桥梁结构。丰富了桥梁形式, 推动了桥梁事业的发展。

梁牛腿受力及构造复杂, 是设计和施工关注的重点和焦点。然而在运营中的另外一个问题也应当引起高度的重视, 即梁牛腿构造中支座和伸缩装置的养护

问题。一方面, 主梁上下牛腿之间通常采用板式橡胶支座, 主梁间隙很小, 一般不足10 cm; 另一方面, 主梁下牛腿两侧设置抗震挡块, 导致梁牛腿间的垃圾难以清理, 支座及伸缩装置维护困难。

近年来, 梁牛腿构造在桥梁中应用较少, 和管理维护困难有很大关系。但是早期建设的梁牛腿构造桥梁管养及维护也是管养单位不得不面对的问题。

## 2 项目概况

淮北市东岗楼立交桥为部分苜蓿叶加半定向匝道三层全互通立交。主线桥为预应力混凝土连续梁, 联

发生, 应充分考虑加固前桥梁内力重分布带来的不利影响。依托实际工程项目, 提出了斜拉调载加固法, 可得如下结论:

(1) 加固前, 尽可能地卸掉桥梁恒载, 减少原结构由恒载产生的内力。

(2) 通过斜拉调载法调整桥梁内力分布, 然后再对桥梁进行加固, 使加固后的桥梁内力分布合理, 桥梁承载力满足规范要求。

(3) 将斜拉调载加固法应用于实际工程项目, 通过理论计算分析与应用该方法加固后的试验结果进行对比, 证明了调载加固法的可行性。

(4) 斜拉调载加固法作为一种较新颖的桥梁加固方法, 主要适用于主梁刚度较小的大跨梁式桥加固, 也可作为其他小刚度桥梁加固工程参考。实际应用中需

注意结构计算模型必须考虑结构损伤, 从而得到损伤后内力重分布情况, 调载必须保证桥梁在所有施工阶段结构始终处于安全状态, 且成桥阶段承载能力满足规范要求。

### 参考文献:

- [1] JTJ 023-85 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [2] JTJ 021-89 公路桥涵设计通用规范[S].
- [3] JTG/T J22-2008 公路桥梁加固设计规范[S].
- [4] JTG/T J23-2008 公路桥梁加固施工技术规范[S].
- [5] 毛建平, 蒙方成, 覃乐勤, 等. 大跨径SRC拱桥拱肋裂缝分析及维修加固方案[J]. 中外公路, 2018(6).
- [6] GB/T 714-2000 桥梁用结构钢[S].
- [7] JTG 01-88 公路工程技术标准[S].