

基于静载试验的大跨径悬索桥安全性研究

张 鹏

中交(西安)铁道设计研究院有限公司 陕西 西安 710061

摘 要: 本文以刘家峡大桥为例,通过实桥静载试验,对桥梁静载试验的测点布置、加载工况以及静力试验数据的采集与分析进行了介绍。结果表明:本试验所得各测点的应变校验系数、挠度校验系数、索力增量校验系数及残余应变均满足规范要求,表明该桥的整体刚度符合设计指标,且具有良好的弹性工作性能和整体受力性能。本文所采用的试验方法及取得的试验结果可供同类桥梁成桥安全性分析提供参考。

关键词: 悬索桥;静载试验;位移;应变;索力增量;安全性分析

现如今,随着社会经济水平的不断提高,桥梁结构的主体施工设计技术水平也在稳步向前发展,其中悬索桥以其强大的跨河、跨谷能力,现已发展成为当代桥梁的主要结构形式之一,如西堠门大桥、龙江特大桥、驸马长江大桥等,其主跨跨径均已超过千米[1-2]。随着悬索桥跨径的不断增长,使得悬索桥的力学表现愈加繁复。受自身因素及外界环境影响,其所展现出来的静力、动力及稳定性等各方面的特性都不同于传统跨径桥梁^[3]。为了从理论角度方面更好地弄清计算部件的实际受力情况,保证桥梁结构的整体安全,及时发现桥梁结构的一些隐蔽性的质量缺陷问题,故此加强对大跨径桥梁的承载能力评定尤为重要,这也是桥梁建设中重要的一环^[4]。国内外的学者对大跨度桥梁的荷载试验与相关方面的检测已进行了一定的研究。但大跨度悬索桥在使用过程中各个部件会产生各种程度的损坏,倘若没有进行及时的维修养护,就会影响桥梁运营,造成损失^[5]。除此之外,尽管现行的标准和规范给出的大跨度悬索桥承载能力荷载校验系数,但这些校验系数主要是基于对常规桥梁荷载试验系数的统计,所以很难支撑特大跨径桥梁荷载试验系数的校验。基于以上原因,本文以一座主跨536m的刘家峡大桥荷载试验为实际背景,结合现有规范,科学地在该桥梁结构的特定部位设置应变片去测定这些部位在静载作用下的应力、应变和挠度的实际变化情况,通过采用这种静载试验方法确定桥梁结构的实际承载性能和工作状态,期为大跨径悬索桥的安全性分析提供借鉴和参考^[6]。

1 工程概况

刘家峡悬索桥是临夏折桥至兰州达川二级公路的重点建设工程。本桥主跨536m,索面为双索面,材料为型钢,两边跨缆索选用的长度不同,考虑到受力的合理性,两边缆的缆索均没有设置吊索。桥塔为钢管混凝土

的门式框架。桥塔基础采用最为常见的钻孔灌注桩,布置形式为3×6矩形截面布置,桩径2m,但所选桩长不同,其中一侧桩长为35m,另一侧桩长为25m;锚碇为重力式锚碇;主缆由44股预制平行钢丝股组成,吊索的索束由73根直径为5.0mm的钢丝组成。该桥梁两端共设有竖2横4六个支座。桥梁结构总体布置图如图1所示。

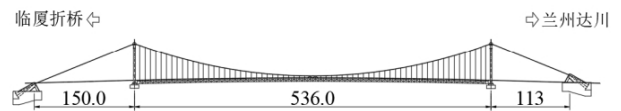


图1 总体布置图

2 静载试验

桥梁静载试验是其结构上受力最不利、损坏较为严重的位置上布置静止的荷载,测试结构的应变(应力)及位移等,通过结构基频检验桥梁结构实际工作状态与设计期望值是否相符的一种方法^[7]。

2.1 工况选择、测试内容和测点布置

考虑到悬索桥本身的特点及现场试验操作的难度,现选取试验相应的控制截面和测试内容,具体见表1所示。实际试验时通过Madis Civil软件所得温度效应与试验车辆荷载效应组合后的结果作为理论结果与实测数据进行对比分析。

表1 静载试验加载工况表

| 工况 | 工况 I | 工况 II |
|--------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 加载内容 | 最大挠度加载 | 最大内力加载 |
| 测试内容I | 加劲梁L/4截面处挠度 | 加劲梁L/8、L/4、L/2、3L/4、7L/8截面处下弦杆的应力 |
| 测试内容II | 加劲梁其余测点的挠度、应力、主索鞍IP点纵向偏移量、部分主缆索股和吊索索力 | 加劲梁位移测点挠度、主索鞍IP点纵向偏移量、主缆索股(部分)索力、吊索索力 |

工况I、II的荷载布置位置如图2所示。试验车辆前、

中、后轴质量分别为8t、16t、16t。

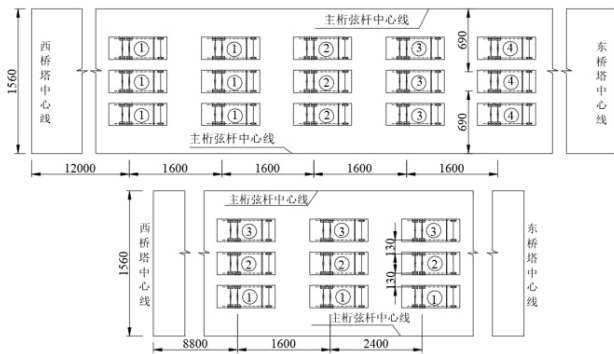


图2 工况I、II荷载布置图(单位: cm)

2.2 测点布置

2.2.1 挠度测点布置

(1) 加劲梁挠度测点布置在: L/8、L/4、L/2、3L/4和7L/8处截面;

(2) 塔顶主索鞍IP点高度处截面。

在测试挠度时,表1中所述的每个控制截面都需要设置两个测点,位置在主桁上弦杆上表面中心,并且需要在河流的上、下游各设置一个,以保证试验结果的准确性。在测试塔顶水平位移时,测点一般布置在塔顶主索鞍IP点的高度截面处。

2.2.2 加劲梁应力测点布置

依据表1所述,加劲梁应力测点分别布置在加劲梁的L/8、L/4、跨中、3L/4、和7L/8处,每截面4个测点,位置在上、下游主桁上弦杆上表面中心位置及下弦杆上表面中心位置。为了保证试验结果的准确性,测试前需要将表面应变计固定在待测测点上,测量仪器选用精度高的振弦读数仪。

2.2.3 索力测点布置

进行索力测试主要包括主缆、吊索索力两方面的测试内容。其中,主缆索力测试时主要是测下文所列的索股编号,吊索索力主要测试加劲梁L/8、L/4截面处吊杆的索力,即两根吊杆的轴力,东岸下游索股编号为:EX42、EX44;西岸上游编号为:WS31、WS39、WS44。

2.3 静载试验流程

1) 准备工作

- (1) 搭设工作平台;
- (2) 搭设测量仪表支架、测试仪器安装调试;
- (3) 位移测点布设,控制网建立和测点放样。

2) 试验实施

- (1) 预加载:校验试验设备的灵敏度和可靠度;
- (2) 正式加载:按顺序完成各个工况的试验;

(3) 加载时间间隔及数据采集:加载10分钟后,观察待测数据是否稳定,待稳定之后完成应变、位移数据采集。

3) 数据分析。

位移检测结果分析;应变检测结果分析;索力检测结果分析。

3 静载试验结果分析

3.1 位移检测结果

通过试验得到荷载作用下,不同工况的主塔实测位移与理论值的对比,如图3所示。

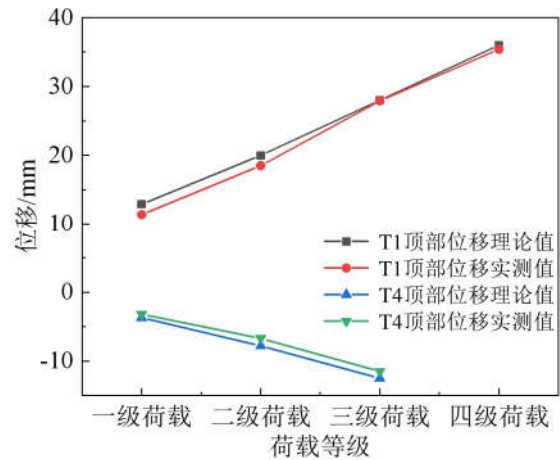


图3 纵向位移理论与实测对比

由图3可知:荷载作用下,两种工况主塔塔顶不同测点的实测位移值均小于理论值,且挠度校验系数满足不大于1的要求。为此,主塔塔顶的纵向位移符合《公路旧桥承载能力鉴定方法》相关要求。

3.2 应变检测结果

加劲梁荷载作用下,工况I时L/4截面的下弦杆应变,如图4所示。荷载作用下,工况II时L/4截面下游下弦杆应变,如图5所示。

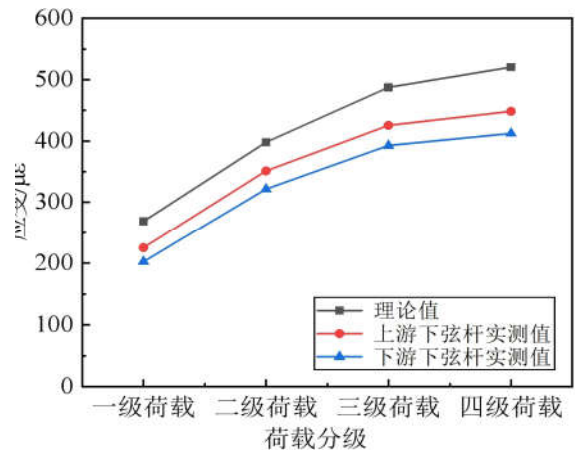


图4 工况I加劲梁L/4截面下弦杆应变

由图4可以看出,工况 I 荷载作用下加劲梁L/4截面下弦杆应变的实测值小于其理论值,计算后发现应变校验系数不大于1,所以L/4截面处的下弦杆应变符合《公路桥梁荷载试验规程》的要求。

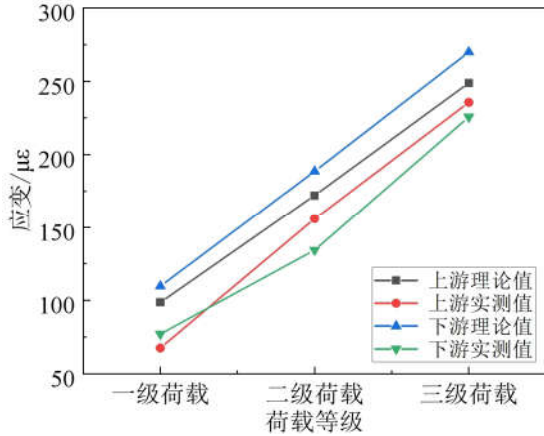


图5 工况 II 加劲梁L/4截面下弦杆应变

从图5可以发现,工况II荷载作用下加劲梁L/4截面下弦杆应变所表现的规律和工况I类似,同样应变实测值小于理论值,且应变校验系数不大于1。为此,所测位置的应变符合《公路桥梁荷载试验规程》的要求。

3.3 主缆索力检测结果

工况 I、II荷载作用下,主缆索股索力增量见表2和表3。

表2 工况 I 主缆索股索力增量 (单位: kN)

| 荷载分级 | | 1级 | 2级 | 3级 | 4级 |
|------|-----|------|------|------|------|
| EX42 | 理论值 | 32.2 | 54.4 | 76.9 | 94.0 |
| | 实测值 | 25.0 | 41.9 | 58.8 | 72.0 |
| EX44 | 理论值 | 32.4 | 54.5 | 77.1 | 94.2 |
| | 实测值 | 23.2 | 36.8 | 55.2 | 66.8 |
| WS31 | 理论值 | 33.0 | 55.0 | 77.9 | 94.8 |
| | 实测值 | 14.5 | 31.3 | 48.2 | 63.4 |
| WS39 | 理论值 | 33.0 | 55.0 | 77.9 | 94.8 |
| | 实测值 | 18.3 | 30.5 | 46.5 | 58.7 |
| WS44 | 理论值 | 33.1 | 55.1 | 78.1 | 95.0 |
| | 实测值 | 21.8 | 36.3 | 52.4 | 66.4 |

表3 工况 II 主缆索股索力增量 (单位: kN)

| 荷载分级 | | 1级 | 2级 | 3级 |
|------|-----|------|------|------|
| EX42 | 理论值 | 14.8 | 31.5 | 50.0 |
| | 实测值 | 7.4 | 16.9 | 29.1 |
| EX44 | 理论值 | 14.8 | 31.5 | 50.0 |
| | 实测值 | 7.3 | 17.0 | 29.0 |
| WS31 | 理论值 | 19.8 | 36.6 | 50.3 |
| | 实测值 | 8.0 | 18.0 | 30.2 |

续表:

| 荷载分级 | | 1级 | 2级 | 3级 |
|------|-----|------|------|------|
| WS39 | 理论值 | 19.8 | 36.6 | 50.3 |
| | 实测值 | 7.7 | 19.7 | 33.7 |
| WS44 | 理论值 | 19.8 | 36.6 | 50.4 |
| | 实测值 | 8.0 | 19.1 | 33.0 |

由表2、表3可知:主缆索在不同工况荷载作用下,实测所得的主缆索拉力值都要比理论值小,通过计算,发现主缆索力增量检验系数也符合1以下的要求。为此,主缆索力满足《公路旧桥承载能力鉴定方法》的要求。

4 结论

通过两种工况的试验,检测其重要指标,得到如下结论:

(1) 从位移试验结果看,试验段在荷载作用下的实测位移值小于其理论值,检验系数也满足小于1的要求,残余变形同样小于规范规定的20%。根据《公路旧桥承载能力鉴定方法》判定,该桥试验跨径处于弹性变形阶段,且满足正常使用要求。

(2) 通过测试测点应变可知,各试验段在荷载作用下的应变实测值均小于理论值,检验系数小于1,根据《公路桥梁荷载试验规程》可知,结构的承载能力满足设计要求。

(3) 通过测试索力可知,主缆在荷载作用下的索力增量实测值也小于理论值,校验系数也小于1。根据《公路旧桥承载能力鉴定方法》可知,主缆有足够的储备,结构整体受力性能良好。

参考文献

[1]王丰盛,江敏.静载试验在桥梁检测工作中的应用[J].城市建筑,2020,17(29):168-169.

[2]孙以润,张琴.桥梁养护中公路桥梁荷载试验检测研究[J].科技创新,2020(18):119-120.

[3]魏曙安.特大跨径钢桁梁悬索桥静载试验[J].长安大学学报(自然科学版),2020,40(06):67-76.

[4]戴允胜.静载试验在公路桥梁检测中的作用[J].科技创新与应用,2020(31):175-176.

[5]曹志伟.公路桥梁荷载试验检测在桥梁养护中的作用探讨[J].工程技术研究,2020,5(03):83-84.

[6]周立.公路桥梁荷载试验检测在桥梁养护中的作用探讨[J].冶金与材料,2019,39(06):135-136.

[7]沈金飞,苗蕾.不同激励下的桥梁动力特性测试[J].门窗,2014(01):365-366.