

钢架拱桥的检测与评估

李志亮

(中交第四公路工程局有限公司,北京市 100020)

摘要:随着我国公路建设规模不断增加,大跨径和钢结构桥梁的大量使用,在摸索和不断创新中桥梁理论和施工工艺新技术、新方法不断被推广使用。大跨径桥梁受益于钢结构的较大刚度,因此也被广泛应用于现代桥梁中。桥梁技术的不断进步要求桥梁检测技术也需要根据桥梁特点进行不断创新,检测和评估技术的好坏直接关系到桥梁的使用寿命和桥梁的使用安全性。对日常常用钢结构进行分析,以实际检测为例,通过对实际应用中的常规钢结构桥梁病害检测分析来说明检测评估的基本方法,根据检测相应结果对桥梁进行评估。

关键词: 钢结构桥;检测和评估;方案对比;ANSYS 有限元分析

中图分类号: U446.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)05-0242-04

0 引言

钢桥梁结构在环境中受温度气候作用,雨水和大气腐蚀的作用,以及逐渐增加的交通荷载,使得桥梁耐久性受到考验,桥梁负载和使用频率的增加,在耦合作用增加情况下材料和结构的疲劳寿命加快衰减的时间,桥梁随着荷载频率的增加和时间的累积会逐渐产生病害,并且是一个不可逆的过程。对运营中钢结构桥梁进行检测评估通过检测结果和评估报告,根据现阶段桥梁病害类型和病害程度,制定适应本桥的加固措施和方案,加固措施对于保护桥梁结构和提升桥梁承载能力具有重要作用。桥梁安全可靠运营保证的基本措施就是不断对桥梁病害进行修复和对桥梁损伤的加固^[1]。桥梁加固需要根据桥梁的材料特点、结构形式、使用特点来对桥梁制定专用的加固和改造措施。加固措施的经济、安全、可靠性对现代桥梁加固有着重要的意义。

1 现阶段钢桥梁无损检测评估技术

运营期桥梁检测要求比较高,许多重要的交通要道采用不断交、不损害桥梁结构的检测是非常有必要的,因此无损检测是当前的桥梁检测主要手段和工具,钢桥梁检测通过桥梁材料特性和现代超声波、电流等一系列技术手段进行无损探伤检测。无损检测对桥梁不产生伤害,通过对检测桥梁主要受力结构和材料的物理化学性质以及机械作用在桥梁上

对桥梁的运行状况进行评估和检测的方法,在桥梁日益不断增多的今天,桥梁检测技术也在不断地发展改进,相对于传统检测方法而言,无损检测的安全可靠性高、准确性高、检测方便容易操作^[2]。我国的无损检测方法在最近几年发展迅速,本文介绍如下几种常用的常规无损检测手段的检测原理和主要特征。

1.1 声波探测检测技术

声检测技术是通过声音传播特性来区分桥梁损伤部位,是比较通用的无损检测技术,其缺点是受外界声波干扰较大,而外界声音混杂,因此声波检测技术主要技术难点是过滤掉非结构传播的声音,通过声音在结构物中传播的性质来判断其损伤位置。声波检测常用的方法包括超声波无损检测技术、冲击回声波发射检测技术^[3]。

冲击回声波检测技术的检测原理是通过冲击声波在桥梁检测结构中传播,声波频率的变化来确定桥梁损伤位置,该法取决于桥梁应力结构材料的传播原理,应用于测试的方式与超声波相似。冲击回声波的发生一般采用声波转换器来产生应力波(即脉冲回声波)和用桥梁机械力产生冲击回声波(即应力回声波)。冲击回声无损检测技术可以实时的反映桥梁结构强度和位置的缺陷^[4]。

以下以反射波频域测试方法和反射波时域法测试评估方法分析为例:

反射波频域测试方法采用如下公式分析:

$$d = c \times \frac{T}{2} = \frac{C}{2f_0} \quad (1)$$

式中: C 为混凝土声速,m/s; f_0 为接收信号主频,Hz; d 为检测梁板厚,m; T 为波周期,s。

收稿日期:2020-10-14

作者简介:李志亮(1989—),男,本科,工程师,从事道路桥梁检测工作。

反射波时域法采用如下公式分析:

$$h = \frac{1}{2}(V_p \times t_R) \quad (2)$$

式中: V_p 为声波在混凝土中传播速度, m/s; t_R 为反射回波时间, s; h 为缺陷深度, m。

1.2 磁探测检测技术

磁探测检测技术根据检测原理的不同所采用的方式也比较多,最常用的根据磁识别形式分为磁粉、漏磁、涡流等检测方法^[5],还有一些应用电磁感应或电位检测技术,比如磁探检测技术以及其他一些电磁检测和电位检测技术。磁探测检测技术常常用来检测桥梁的涂层厚度、损害部位、断裂位置以及锈蚀程度,磁探测技术检测比较准确。涡流感应磁探测无损检测技术对于检测桥梁表面病害实用性较好,通过桥梁结构材料的表面布设检测导体线圈,根据电磁感应原理产生交互改变磁场,磁场所产生的感应电流在构件表面上,环状的涡形。

振动线圈法为例,该法主要用于测量恒定磁场,原理如下:匝数、截面面积、磁感应强度使线圈中耦合的磁通量发生变化,根据电磁感应定律,线圈中产生的电动感应势能:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} = -NS \frac{dB_0}{dt} \quad (3)$$

式中: e 为电动感应势能; N 为匝数; S 截面面积。

由于为线圈常数,求出磁感应强度的变化量:

$$\Delta B_0 = \frac{\int e dt}{NS} \quad (4)$$

式中: B 为磁感应强度; e 为电动感应势能; N 为线圈匝数; S 为截面面积。

由上式可以看出,电磁感应式探测线圈界定范围内磁感应的平均值。

1.3 光、电检测技术

传统采用电检方法对桥梁进行检测,即在桥梁结构上粘贴应变片来测量桥梁变形,原理是通过应变片变形对应电量变化来计算的,应变变化和应变片电阻变化之间关系(为应变率)来检测。光探测是利用光线对特定物理量敏感的特殊性质,把相应物理量转化成可用来分析的信号技术。光在光纤中传播特征量受外界作用因素的作用发生直接或间接变化。

1.4 其他新型探测技术

我国道路桥梁技术快速发展检测技术也随之不断进步发展,新型无损检测检测方法技术在桥梁检测中逐渐普及应用于桥梁的病害部位检测,桥梁检

测中应用较为广泛的有核磁共振检测、声振检测、声发射检测以及激光图像检测等,在人工智能日趋发展成熟智能识别技术,无人机航拍检测等智能检测手段也在逐步应用于桥梁检测中。目前智能检测技术原理是将模糊算法、智能数字分析与处理等技术用于多种智能桥梁无损检测,通过检测技术的不断提升和改进,实现对桥梁病害的自动检测,通过智能数据分析系统生成检测结果。

2 实例分析工程桥梁检测评估

2.1 工程概况

现在以一座某上承重钢架拱桥为例,桥长 234 m,宽 7.5 m,有 6 墩 5 孔的铁桥,桥上飞架 5 座弧形钢架拱梁,该桥采用荷载标准为:车道荷载为城-A 级;人群荷载为 3.5 kN/m; 2 m+7 m+2 m=11 m,其中 7 m 为机动车道,2 m 为人行道。

2.2 桥梁检测实测项目

2.2.1 桥梁外观检测

2.2.1.1 桥梁外观检测内容

桥梁外观检测相对而言比较简单直观,外观检测对于桥梁病害原因的把握和桥梁病害部位的判断较为直观。分析起来相对而言准确性较高。通过桥梁外观检测还能辅助桥梁内部应力损失原因做具体分析。钢结构桥梁病害外观检测的目的是将钢结构桥梁的外观病害早发现早养护,外观检查是桥梁日常养护,可以及时发现桥梁病害避免桥梁病害的延续同时增加桥梁整体安全性,结合先进的桥梁结构监测数据来确定桥梁现状,为桥梁加固提供参考依据,常规桥梁外观检测的内容如下:

(1)资料收集;

(2)桥梁基础数据的调查收集;

(3)桥梁周边环境调查,检查内容包括:水文、地质变化,周边构造物变化及其他影响桥梁因素的变化等,重点是观察桥位的冲刷处、有无人挖方、泥石流发生清理、是否有滑坡等;

(4)桥面系日常检查包括:桥面铺装、防水排水、护栏、桥梁伸缩缝;

(5)桥梁上部结构:梁、板等主要承重构件损坏程度调查。

2.2.1.2 桥梁附属设施及外观检测结果

桥梁桥面附属结构检测内容包括:桥面系检测评定、上部结构检测评定、下部结构检测评定三方面主要检查内容。

2.3.1 静载实验内容及结果

该次主要静载试验按照4个工况进行加载,工况具体布置方式如下:

工况1,汽-20级采用活载加载标准,车辆数为8,截面布载在桥跨的1/4处;

工况2,汽-20级采用活载加载标准,车辆数为8,截面布载在桥跨的1/2处;

工况3,汽-20级采用活载加载标准,车辆数为8,5行3列,单跨布置偏载;

工况4,最不利设计荷载,车辆数20,5行3列,单跨布置满载。

以下为工况1桥梁布载情况,如图1所示。

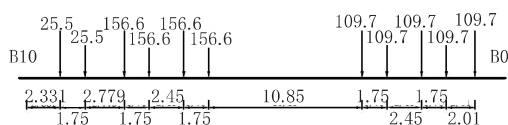


图1 工况1中桥梁布载示意图
测试内容见表1。

表1 实验内容

荷载工况	循环次数	荷载分级	测试内容
1	3	3	1. 每个截面应力应变(I号截面、II号截面、III号截面); 2. 梁上布置测点位移量; 3. 上拱变形位移
2	3	3	1. 每个截面应力应变(I号截面、II号截面、III号截面); 2. 梁上布置测点位移量; 3. 上拱变形位移
3	3	1	1. 每个截面应力应变(I号截面、II号截面、III号截面); 2. 梁上布置测点位移量; 3. 上拱变形位移
4	1	2	1. 每个截面应力应变(I号截面、II号截面、III号截面); 2. 梁上布置测点位移量; 3. 上拱变形位移

静载试验能够比较真实准确的检测出桥梁承载能力是否满足安全运营的条件,通过和原始设计比较,可以很好反映桥梁使用过程中承载能力的消减情况,根据相关数据分析可以比较准确的判断加固效果,以更好的适应相应公路的使用承载力要求,通过静载试验数据分析得出该桥梁使用受力位移特征曲线如图2所示。

(1)根据图形可知,桥梁主梁结构应力的变化和位移变化值均满足误差要求的范围,对该桥实测数据是可信的,检测操作有效。

(2)静载试验实测的挠度值和实测的应力值与该桥根据理论所计算的理论对应值作比较,比较两者之间的差异性大小,该桥通过比较实测值和理论值发现其差异性较小,说明该桥的主要承重结构完好。

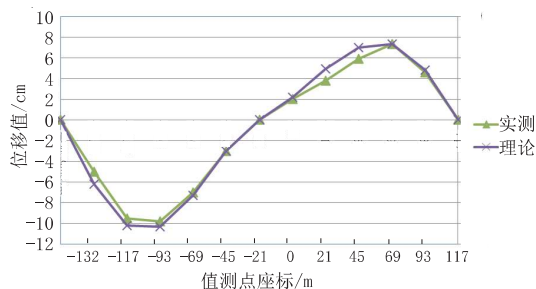


图2 静载试验结果分析

然而总体来看桥梁的实测应力值和挠度值相较于理论计算值偏小,说明主体结构主梁实际刚度较大,该桥实际衰减比预测要小,桥梁的力学性能要好于预期,桥梁运营性能较好。

2.3.3 桥梁自震特性分析

根据有限元分析该桥,建立的分析模型如图3和图4所示。

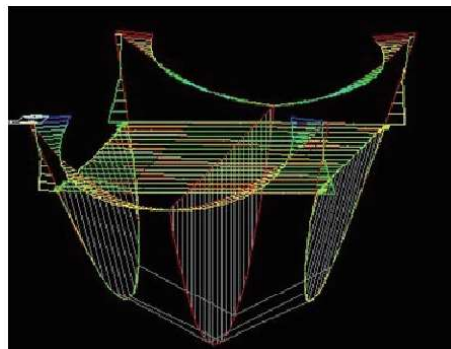


图3 横向(侧向)弯矩图

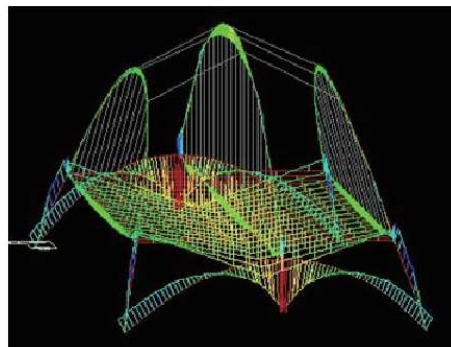


图4 纵向弯矩图

2.3.3.1 动力特性测试

在边跨立柱上方的帽梁中心位置布置桥梁动力性能测试传感器。测试结果见表2。

2.3.3.2 钢板锈蚀检测

通过外观检查发现该桥上拱钢板及两侧都存在不同程度的锈蚀,实际检测数据见表3。

2.3.3.3 拱圈线形检测

在主拱圈上下游轴线位置布置变形检测测点,在第一跨布置七个测点,第二跨布置十八个测点,第三跨布置十六个测点,第四跨和第五跨共布置14个测点,把实测的上游、下游数据和竣工完成时的实测

表 2 动力特性测试结果表

单位:Hz

	计算值				测试值			
	1 阶	2 阶	3 阶	4 阶	1 阶	2 阶	3 阶	4 阶
频率 /Hz	69	1 332	4 456	8 721	56	1 243	4 423	7 652
	0.043 9	-0.208 7	-0.472 2	0.566 5	-0.048	-0.23	-0.45	0.71
	0.157 8	-0.565 1	-0.679 8	-0.108 7	0.152	-0.53	-0.54	0.12
振型	0.338 2	-0.681 8	0.175 4	-0.602 1	0.398	-0.67	0.21	-0.43
	0.566 5	-0.502 1	0.621 1	0.589 9	0.56	-0.45	0.67	0.58
	0.762 1	0.042 1	-0.015 8	-0.008 9	0.723	0.04	-0.01	-0.002

表 3 钢板修饰检测结果表

检测位置	锈蚀值 /mV		检测位置	锈蚀值 /mV	
第 1 跨 桥上拱下游侧	-45	-60	第 3 跨 桥上拱下游侧	-25	-50
第 1 跨 桥上拱上游侧	-75	-110	第 4 跨 桥上拱上游侧	-85	-110
第 2 跨 桥上拱下游侧	-30	-50	第 4 跨 桥上拱下游侧	-70	-100
第 2 跨 桥上拱上游侧	-50	-70	第 5 跨 桥上拱上游侧	-65	-85
第 3 跨 桥上拱下游侧	-45	-65	第 5 跨 桥上拱下游侧	-70	-120

拱圈轴线做比较,绘制如下图拱圈线形修正后检测结果。我们对检测结果做相关分析并修正,如图 5 所示。

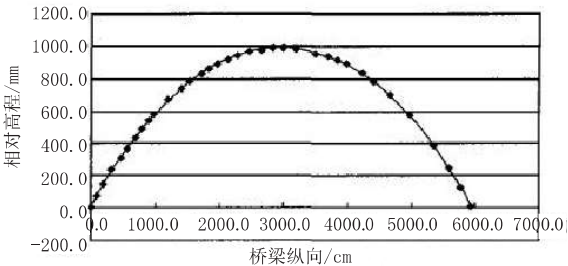


图 5 修正后的拱圈线性检测结果

每个跨径竣工拱圈轴线和实测线形相比较均出现一定的偏差。各偏差均在结构安全的允许范围,桥梁结构安全可靠。

2.3.3.4 桥梁及上部结构强度检测

根据实测值推定桥梁①号墩混凝土强度推定值介于 32.7~52.2 MPa 之间,检测结果对比分析发现该拱桥第一跨和第四跨的结构强度偏低,第二跨、第三跨强度均大于设计强度等级 40 号;③号桥墩推定混凝土强度值为 23.6 MPa,大于设计的 20 号强度值。

3 桥梁检测评估结果

根据检测评估报告,评定桥梁总体工作状态较差,应该采用限重措施,该桥不宜承受较大动力荷载作用,具体评估结果如下:

(1)桥跨钢桁架在使用过程中承载力整体计算结果良好,有部分重要部位杆件锈蚀较严重,实测承载力较设计有一定下降,采取除锈对锈蚀损害不严重

部件做防腐处理,部分重要部件进行更换;

(2)桥梁桁架结构由小钢板和角钢热铆钉连接而成,该桥结构体系较为轻巧,钢架连接部位较多而且复杂,部分构件受力变形,综合受力作用下部分部件易损坏,桁架体系为静力简支体系,该桥修建成时间较长,经多次维修加固桥梁整体性受力有一定改变;

(3)桥梁挠度检测测量点的实测值较理论值偏大,结构校验系数和《公路旧桥承载能力鉴定方法》(试行)所规定校验系数比较,发现实测系数超出正常系数范围;在外观检查中发现主梁右侧面有微裂缝并有增大的趋势,有些裂缝延伸到了腹板顶板位置,测量测点变形余量较大,恢复弹性减小,但是可以满足《公路旧桥承载能力鉴定方法》(试行)规定 $a_1 \leq 20\%$ 的要求。根据动力测试结果来看,实际频率大于理论计算的频率值,说明桥梁整体性满足理论计算值要求,测量阻尼系数比较大,说明结构损伤已经存在桥梁内部。桥梁上部附属结构评价结果:全桥技术状况指数 BCI 值为 71.15,桥梁技术等级评为 C 级,但该桥梁不能满足汽—15 的使用要求。

通过对该桥梁整体检测评估,把该桥加固分成三部分:一是桥梁的外部结构维修,对桥梁的整体性进行整修维护,以增加桥梁外部特性;二是对桥的横梁进行加固,因为桥梁的主梁的开裂处于恶化的趋势,需要对主梁结构进行加固,以增加桥梁承载能力使桥梁达到承载力使用要求;三是对桥梁桥墩进行加固,桥墩是桥梁重要的承重结构,需要合理有效的加固维修。

参考文献:

[1] 李春燕. 既有钢筋混凝土拱桥检测评估及加固技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
[2] 李志国. 既有钢桥裂纹及加固研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
[3] 孟会林. 钢桥全寿命周期成本分析及维护策略优化研究 [D]. 天津: 天津大学, 2009.
[4] 付永强. 在役公路桥梁的模糊综合评估与寿命预测[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.
[5] 姚南. 在役桥梁钢结构损伤检测与安全评估相关方法的研究[D]. 北京: 清华大学, 2009.