

在役公铁桁架桥梁加宽改建结构安全与 线形监测技术研究

朱 荣

(上海同济检测技术有限公司, 上海市 200092)

摘 要:以松浦大桥改建为背景,分析了桁架梁桥改建的施工监控特点,建立了老桥施工监控以结构安全控制为主,新、旧结构的适配性控制为辅的总体控制思路,研究了相应的监测与控制方法。针对支座更换施工阶段,对支座反力和主桁架动力特性进行识别,并与理论计算结果进行对比,验证与评估结构总体的技术状况。此外,开发应用了基于“互联网+”的监控数据与信息交互平台工作模式,为国内外同类桥梁的施工监控提供理论参考依据与借鉴。

关键词:旧桥改建;桁架梁桥;施工监控;刚度识别;信息化系统

中图分类号: U445.6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)03-0120-04

0 引 言

随着经济的高速发展,交通通行需求日趋增长,我国现有公路桥梁中有相当一部分由于建造年代久远,设计荷载标准低,桥梁宽度不足,加上运营时间长,存在材料性能退化和结构损伤等安全隐患,已严重影响了道路的通行能力,成为制约城市交通发展的瓶颈^[1,2]。如将这些桥梁进行拆除重建,不仅耗资巨大,而且对于一些技术状况较好的桥梁来说,也是一种社会资源浪费^[3]。因此,若能采用有效的改造加固措施,提升桥梁通行能力和提高结构承载能力,使其满足交通增长的需求,继续为交通运输服务,从而给地方带来显著的经济和社会效益^[4,5]。

松浦大桥作为黄浦江上的第一座大桥,运营至今已40余年,见证上海经济发展和时代变革,承载了上海人民的回忆与情怀。伴随地区经济发展和产业结构改革,松浦大桥也必须进行改建,以缓解过江交通压力的需求,为地区的经济进一步发展提供基础保障。

与新建桥梁相比,既有桥梁改建项目在施工过程中,有一定的交通通行需求,同时,改建后的桥梁使用功能、结构受力状态均发生较大变化,无论是大修施工过程的安全控制,还是改建后运营期结构长期性能的保障都提出了极高要求。因此,这对老桥改

建施工监控提出了与新建桥梁不同的技术要求。本文针对松浦大桥改建工程实践,通过对结构特点、改建施工方案研究,以及施工全过程结构状态精细的计算分析,确定双层桁架梁桥改建工程施工控制方法,并结合现场跟踪监测,保证改建过程中的结构安全。

1 工程概况

松浦大桥于1976年建成通车,是一座双层公铁两用桥,上层为两车道公路,路面宽9 m,两侧各设1.5 m人行道,下层为单线铁路。上部结构采用两联两跨连续的铆接三角形钢桁梁,跨径组合为96 m+112 m+112 m+96 m,桁架高12.8 m,中间支点及112 m跨端支点均设6 m高加劲弦,两片主桁中距6.018 m,主桁节间为8 m,通航净空为10 m,其立面布置见图1。

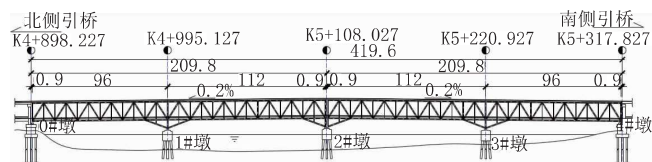


图1 主桥总体立面布置(单位:m)

根据松浦大桥改建设计方案,主要改建工作有:(1)拓宽上层公路桥面,将原上层12 m宽的双向两车道桥面拓宽为双向六车道,改造后宽度24.5 m,设计的汽车荷载等级为公路II级;(2)将下层单线铁路桥面改造成非机动车道;(3)将下层桥面两侧原铁路检修道改造成3.97 m宽的人行道。改建前后的桥梁结构断面见图2。

收稿日期: 2020-07-24

作者简介: 朱荣(1984—),男,博士,工程师,从事桥梁施工监控工作。

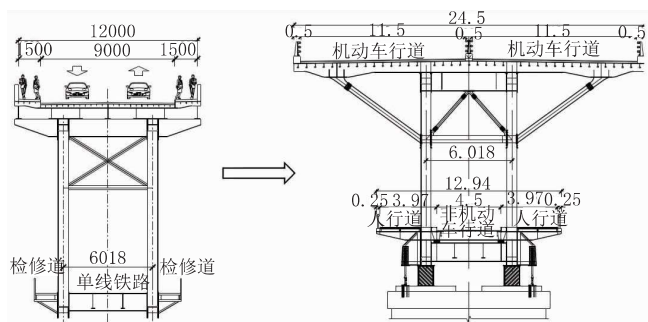


图2 主桥大修前后结构断面(单位:m)

2 施工监控特点分析

对于桁架梁桥,结构杆件和连接节点较多,加上部分结构构件锈蚀和局部变形,结构技术状态与建成时存在较大差异,施工过程中对结构线形和内力状态的调控措施非常有限,因此,施工控制的重点从传统的线形控制转变为结构安全控制为主,新、旧结构的适配性控制为辅,对现场情况的实时掌控和对结构安全性控制是钢桁梁桥关注的重点。主要特点如下:

(1)上层公路桥面宽由12 m拓宽为24.5 m,由原来的2车道变为双向6车道,上、下层桥面重量也有所增加,恒活载的增加对桥梁原结构构件的强度和稳定要求提高。

(2)上层桥面宽度将比现状桥宽增加一倍,整个断面上宽下窄,空间受力效应明显,桥面板扭转变形较大,横向线形的控制问题突出。

(3)由于主体结构线形无法调整,而大修引起的恒载增加势必引起成桥线形的变化,需关注成桥线形的影响。

(4)由于改建项目的特殊性,老桥结构存在一定的性能退化,需要进行一定的加固,这就使得结构当前和改建完成后的实际刚度均较难把握,因此,需要通过现场实测响应进行参数识别。

(5)改建施工中,需要对主桥支座进行更换,应进行施工过程中同步性控制和结构响应监测,更换过程中需对支座顶升反力、位移进行实时监控,确保顶升位移达到设计值。

3 结构安全监测技术

由于老桥在运营过程中受到局部损伤,其实际的受力状态与理论存在一定的差异。此外,改建过程中结构自重或结构受力体系发生改变,都将使结构受力状态发生变化,如果实际应力与理论计算应力

相差较大,将造成结构强度问题。因此,改建桥梁的结构安全控制对象主要是施工过程中的应力状态。

对于松浦大桥这样的桁架梁桥,结构杆件多,连接节点复杂,施工过程中很难对所有杆件应力进行评估,因此,准确把握关键受力杆件的监测尤为重要。根据桁架梁桥的受力特点和理论计算结果,应力测点选取遵循以下原则:(1)结构体系的控制断面,如墩顶和跨中位置的上下弦杆;(2)主桁受力较大的位置;(3)关键的加固杆件。主桁应力测点布置见图3。

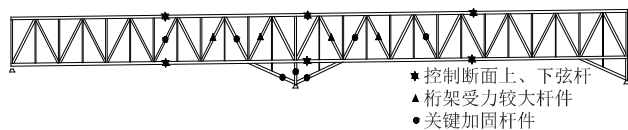


图3 桁架应力监测布置图

改建的上层桥面系采用节段预制钢-混凝土正交异性组合桥面板,横向桥面宽24.5 m,悬臂长度9.25 m,纵向节段分段长度为8 m,在预制和吊装安装时,混凝土桥面板局部横向拉应力水平较高。为了保证施工过程中混凝土不会发生开裂现象,并验证混凝土桥面板抗裂措施的有效性,对预制组合桥面板进行应力监测。

桥面板的应力测点布置见图4。钢桥面板的横向应力测点布置在靠近主纵梁的横梁底板上缘,纵向应力测点布置在主纵梁翼缘板两侧;混凝土板的横向应力测点布置在主纵梁与横梁交界位置对应的混凝土板内,纵向应力测点位于主纵梁中央位置对应的混凝土板内。

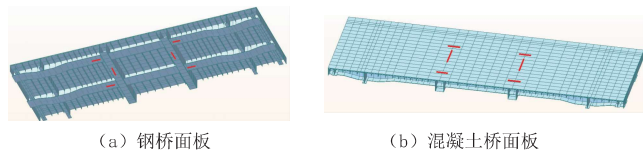


图4 预制钢-混组合桥面板应力测点布置图

4 线形监测技术

对于老桥改建工程,整体纵向线形已既定存在,施工中已无法对其进行主动控制调整,只能在施工过程中进行跟踪监测,判断其各施工阶段线形变化是否正常,并根据实测线形变化和理论线形变化的误差情况,通过对结构进行刚度识别和有限元模型修正,来预测改建后的成桥线形。松浦大桥的线形监测主要包括基础沉降、主桁架纵向线形以及上层桥面系横坡线形等内容。

基础沉降监测主要考察上部结构荷载变化后基

础变形,监测点选择在主墩承台上。由于老桥地基一般比较稳定,且本项目改建施工对基础的扰动较少,因此基础沉降主要是判断在施工过程中是否有异常情况产生,并且评估基础发生定量沉降后对结构内力和线形的影响。

主桁纵向线形监测贯穿整个改建施工过程,测点选取必须考虑可延续性和持久性,由于松浦大桥改建过程上、下部桥面系均需经历局部构件拆除和安装,因此,测点宜布置在下弦杆稍靠下位置,见图5。每联桥共10个测试断面,采用全站仪进行观测。

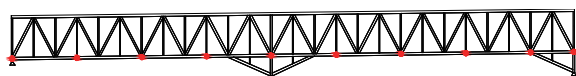


图5 主桁架高程测点布置图

钢-混组合桥面板施工经历混凝土浇筑、安装、反力架张拉和斜撑安装等过程,采用少支点支撑,因此对于上部桥面系横向变形的控制尤为重要,以保证成桥状态横桥向线形满足设计要求。每一块预制桥面板在纵向前后两端各布置3个变形点,测点距离梁端可控制在15~20 cm,见图6。

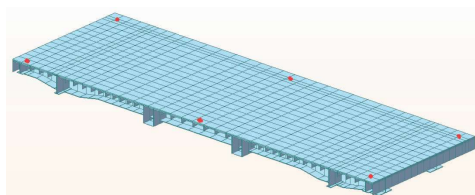


图6 预制桥面板横向变形测点布置

5 刚度识别技术

桥梁刚度识别及有限元模型修正是对既有桥梁状态评估和损伤识别的有效方法之一,其原理是通过实测响应数据进行模型修正来寻求建立对实际结构有较高模拟精度的有限元模型,并假设结构的损伤将引起结构模型特性参数的相应变化,通过静力位移响应或动力测试中的模态参数,来分析模型的参数分布,预估参数可以是结构的截面特性参数。

就松浦大桥旧桥改建工程而言,在整个施工中,结构的应力和变形会发生变化,通过现场跟踪监测数据与理论分析的对比,可以对旧桥的实际刚度进行识别,从而为后续的现场控制策略调整和理论数据修正提供依据。

5.1 基于支座更换过程的反力识别

支座反力的分布反映结构的整体受力情况,通过运营过程支座反力的识别,并与理论计算进行对比,可以掌握结构真实的受力状态,通过支座反力的

调整对结构内力的微调。

松浦大桥原支座采用摇轴支座,存在不同程度的锈蚀,需要进行更换;此外,改建后为满足通航需求,对中间通航孔进行整体顶升。根据顶升支座反力识别的要求,监测内容主要监测指标为顶升力、顶升位移,校核指标为结构变形、关键构件应力等。

顶升力监测主要通过顶升千斤顶油压系统的压力传感器获得;顶升位移通过自动化顶升控制系统自带的位移数据和布置的位移传感器进行实时动态监测,测量行程满足最大顶升位移的需求。位移传感器安装在支座垫石的四周角点。

顶升过程各墩支座的实测反力和顶升位移见表1。可以看出,两联主桁总重分别为2195.6 t和2213.6 t,比设计理论重4%和5%。从反力分布来看,两联桥边墩(0#和4#)实测反力比理论反力大106 t和89 t,其余各墩反力实测和理论偏差均较小,说明结构的实际受力状态与理论计算一致。

表1 支座顶升反力

联号	墩号	指令顶升高度/mm	理论顶升力/t	实际顶升力/t	顶升力误差/t
第一联	0	20	283	389.6	106.6
	1	89	1 343	1 336	-7.0
	2	210	485	470	-15.0
第二联	2	210	485	498.6	13.6
	3	89	1 343	1 343	0.0
	4	20	283	372	89.0

5.2 主桁结构动力特性识别

桥梁结构的动力特性主要包括自振频率、振型以及阻尼比,是结构的固有特性,。自振特性的确定可以作为结构损伤识别和刚度评定的依据,实测结构的动力特性,既能够建立桥梁实际动力特性方面的原始档案,也可用实测数据校核理论分析结果,验证计算结果。

主桁架为松浦大桥承重受力的主体结构,因此动力特性识别安排在上层桥面系拆除、主桁横向连接系安装后进行,此时主桁结构不受上层桥面系的影响,其自振特性能够准确把握。根据该结构状态自振频率的理论计算结果,振型测点布置在桥梁在各跨径L的L/4、L/2、3L/4以及支点处。前两阶自振特性理论计算与实桥测试结果对比见表2和图7。

可知,一阶振型为反对称竖弯,理论振动频率为1.702 Hz,二阶振型为对称竖弯,理论振动频率为

表2 结构自重频率计振型特征

阶次	理论频率/Hz	实测频率/Hz	实测阻尼比/%	振型特点
1	1.702	2.25	6.22	主桁一阶 反对称竖弯
2	3.045	3.52	2.76	主桁一阶 对称竖弯

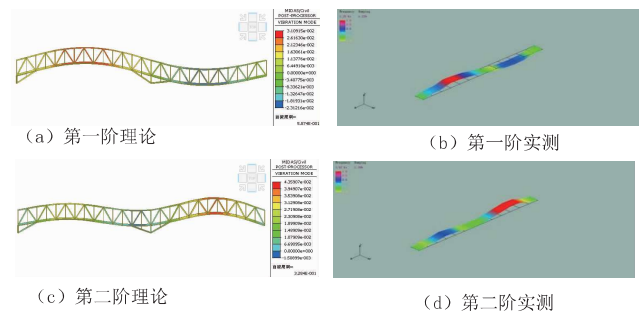


图7 松浦大桥前两阶振型对比

3.045 Hz。主桁前两阶实测振型与理论计算振型一致,各阶实测频率均比理论计算偏大,结构实际刚度略高于理论刚度,前两阶实测阻尼比分别为 6.22% 和 2.76%。

6 施工监控信息化系统应用

随着互联网和信息化技术广泛应用,对传统的桥梁监控提供远程和智能化控制的发展方向,加上 BIM 技术在工程建设领域已从概念普及进入到全方面的应用发展阶段,为桥梁施工监控信息化提供新的展示平台。基于此,借助松浦大桥改建项目,运用信息化技术和桥梁施工监控工作经验,研发了基于互联网的桥梁施工监控系统,弥补传统施工监控工作在数据流转协同、数据信息共享、监控成果展示上的不足。

图 8 为松浦大桥施工阶段监测数据展示,通过 BIM 模型的图形索引功能,展示各控制截面的内力和变形的理论值、实测值等数据。通过图形,直观显示松浦大桥各关键构件在各施工阶段的结构变形和内力状态,以及在整个施工过程中的变化情况。

系统设有全过程施工质量管理和施工风险管理,以 BIM 模型为信息载体,建立各施工阶段结构状态和施工进度的可视化管理。同时,建立施工监控工作协同,实现监控数据和质量管理数据的共享,将技

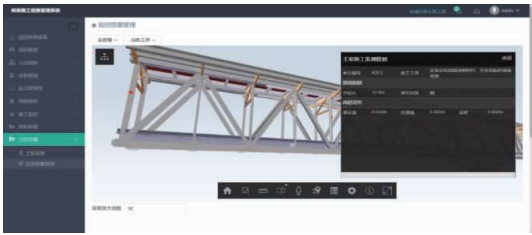


图8 监控数据 BIM 可视化展示

术人员与管理人员通过终端连接起来,实现信息的及时传递与快速分享,见图 9。

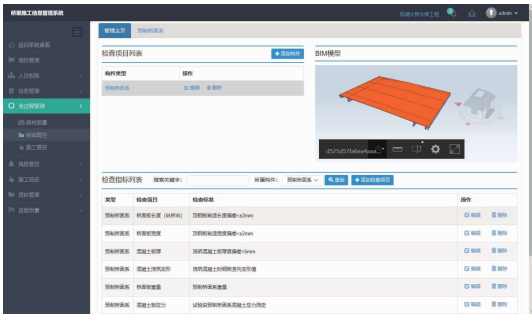


图9 预制桥面板加工质量管理数据

7 结 语

本文以松浦大桥改建为背景,分析了桁架梁桥改建的施工监控特点,建立了老桥施工监控以结构安全控制为主,新、旧结构的适配性控制为辅的总体控制思路;针对改建施工中所关心的结构安全及线形控制等问题,研究了相应的监测与控制方法。针对支座更换施工阶段,对支座反力和主桁架动力特性进行识别,并与理论计算结果进行对比,验证与评估结构总体的技术状况。在传统监控方法上发展了基于“互联网+”的监控数据与信息交互平台工作模式,为国内外同类桥梁的施工监控提供理论参考依据与借鉴。

参考文献:

[1] 芦杰.对拓宽改建的老桥承载能力评估及使用建议[J].交通科技, 2011(S2):110-112.
[2] 高建学,杨成学.老桥改建的新尝试[J].国外桥梁,1998(4):73-74.
[3] 孙步芹,艾祖斌,侯圣均.大跨度钢桁架桥梁施工监控技术研究[J].城市道桥与防洪,2017(12):129-133.
[4] 祝克栋.桥梁顶升利用施工技术研究[J].价值工程,2019,38(13):134-136.
[5] 沈兆坤,李典豪.基于时域法桥梁自振特性参数的识别技术探讨[J].四川水泥,2018(2):54.