

浅谈桥梁健康监测技术在双曲拱桥中的应用

张姝娟

(上海高架养护管理有限公司,上海市 200439)

摘 要: 双曲拱桥是中国独创的,具有鲜明的时代特征,兴起于20世纪60年代的一类拱式桥梁结构。受当时技术及经济条件影响,既有双曲拱桥普遍存在结构整体性能、横向连接性能薄弱等问题。近年来随着公路通行荷载的增加,很多该类桥梁已产生一些危及桥梁安全的病害,对双曲拱桥实施结构健康监测刻不容缓。以苏州河上宝成桥为工程实例,详细介绍该桥结构健康监测项目实施及运营情况,并提出将宝成桥结构健康监测的成果运用到苏州河上其他既有中小桥结构日常管养中的建议。

关键词: 桥梁健康监测;双曲拱桥;传感器

中图分类号: U446.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)09-0146-03

0 引言

双曲拱桥诞生于20世纪60年代的我国,由于当时制造水平低下,建设生产资料的匮乏,我国设计工作者结合拱桥和梁桥的特点,创造了该类经济实用、美观轻巧、自重较轻的装配式拱桥。该类桥型一经问世,就得到了广泛的推广和应用,据统计,在问世后的十年内就建成了4 000多座,总长度约30万米^[1]。随着国民经济的不断发展,此类桥梁正逐渐被其他新结构形式桥梁所取代。而旧有双曲拱桥在长期处于不断增长的大交通量、自然条件侵蚀的考验下,不断老化、破损,我国目前对于部分可修缮且费用不太高的这类桥梁,均采用了维修加固等方式,而加固后的这类桥梁结构,依靠常规养护手段,已无法准确掌握运营过程中结构性能状况和结构损伤情况,这对桥梁结构的安全运营非常不利。桥梁健康监测系统作为一种智能化主动养护策略,弥补了原有被动养护策略的不足,可以实时、准确的监测桥梁的运营状态。因此,对双曲拱桥健康监测系统进行研究,并将研究经验推广至其他中小桥梁,正成为桥梁管理部门迫切需要解决的一个难题^[2]。

本文以苏州河上宝成桥健康监测系统为工程实例,详细阐述了该桥结构健康监测项目的实施及运营情况,并对其他既有中小桥结构健康监测提出有价值的建议。

1 双曲拱桥受力特性

进行桥梁健康监测系统设计、确定测点布置前,需要对桥梁受力特征进行分析。

双曲拱桥是一种装配式拱式结构,通过施工现场或工厂预制拱肋、微弯板及横向联系,待各构件达到设计要求强度后,采用现场小型机械吊装的方式,拼接成整体,实现了“化整为零”到“化零为整”的过程^[3]。从拱桥的受力机理上来说,拱桥将承受的竖向荷载转化为拱脚对地基的水平推力及竖向压力传递给地基^[4]。这种拱桥的受力特性使得拱脚变位(转动、位移)及拱轴线的些许变形将产生较大的附加内力,使得桥梁结构内部受力发生巨大变化,同时由于该类桥梁属于装配式结构,受限于当时技术条件影响,结构整体性较差,这些因素都严重影响此类桥梁的承载能力及使用安全。

2 健康监测方案

2.1 工程概况

宝成桥是一座专供行人和非机动车通行的单跨钢筋混凝土双曲拱桥,建成于1971年,净跨径44.0 m,矢高为5.5 m,矢跨比为1/8,桥宽6.7 m,设计荷载为人群荷载400 kg/m²,上部结构主拱由3片拱肋和2片拱波组成,下部结构桥台采用齿槛式桥台,桥台基础采用两排桩长分别为4.5 m和5.5 m的预制方桩。

2.2 宝成桥结构健康监测的必要性

(1)宝成桥作为上海苏州河上目前唯一一座双曲拱桥,服役年限长,历史悠久,具有重要的保护价值。

收稿日期:2021-11-08

作者简介:张姝娟(1976—),女,学士,高级工程师,从事城市基础设施运维管理工作。

(2)上海软土地基对拱桥影响较大,土体徐变、滑移及沉降将大幅削弱地基对拱脚水平推力的抵抗能力,因此需要基础沉降数据支撑日常管理。

(3)现阶段宝成桥养护存在时间盲区,传统的人工巡查及定期检查、检测不足以使技术人员及时对随时可能发生的危急突发状况对桥梁技术状况的影响做出准确评估,因此需引入监测系统作为补充。

(4)宝成桥横跨苏州河,位于市中心,具备重要的历史文化意义和社会影响力。若宝成桥发生突发性安全事故,会很大程度上影响过往行人安全,导致交通中断,带来巨大的财产损失及恶劣的社会影响,影响城市发展,给苏州河沿线桥梁的管养带来不良的示范,通过健康监测的方式,管养部门可以实时掌握宝成桥整体结构安全状态,使宝成桥的安全可以做到心中有数,对宝成桥、苏州河沿线桥梁乃至上海市均具备重大意义。

(5)通过对宝成桥实施健康监测,切实了解宝成桥的真实受力状况及特点,同时可将监测成果推广应用于其他在役拱桥上,让其他拱桥也可以做到安全可控,其更深远的意义还可以完善桥梁结构的设计方法和理论,修编相应的规范标准。

2.3 测点布设

根据桥梁结构相关监测规范^[5-6]的规定,拱桥结构健康监测内容包括车辆荷载、船舶撞击等 16 项内容,若将全部监测指标均列为桥梁的监测项目,则投资规模和日常需处理的数据量将相应增大,大量监控数据也将影响技术人员对桥梁关键技术指标的快速识别,因此需优化监测项目,精准确定监测指标的数量^[7]。综合考虑宝成桥的基本信息、运营状况、桥梁现状以及历年的沉降监测及检测报告,考虑温度对宝成桥的影响及危害、投资规模,宝成桥的监测项目拟定为:变形监测和环境监测共 2 项,其中变形监测系统包含桥面线形、拱轴线线形、桥台沉降、排架立柱横向位移共 4 个子监测项目。

(1)变形监测系统

系统采用基于摄影测量法的高精度实时在线位移监测手段,由布设于已知相对静止位置的基准点和多个被监测位置的监测点组成,基准点和监测点分别布设基准靶和测量靶,利用摄像机拍摄基准靶与测量靶之间的相互位置变化来计算被测目标的 X(水平)、Z(沉降)位移情况。当被测目标发生位置变化时,通过软件特定算法实现位移距离与像素的转换,从而得到实际的位移量,是一种高精度、非接触

式的测量方法,目前已被广泛应用于桥梁主梁的动挠度监测、桥面线形监测、桥墩位移监测、铰缝错位(主梁梁间相对变位)监测、支座三向位移监测等,可进行长期在线实时监测。

a. 桥面线形监测

通过在桥面安装传感器来实现对桥面线形的监测,共设置 5 个桥面线形测点,并布设 3 个观测墩作为测量基准点。

b. 拱轴线线形

选取一侧边拱肋 8 分点及两端拱脚作为拱轴线变形监测点,共计 9 个测点,每个监测点安装 1 个传感器,共布置 9 个传感器。

c. 桥台沉降情况

桥台的稳定对双曲拱桥而言至关重要,上海为软土地基,出现地基沉降的风险较大,选取宝成桥两端桥台处线形监测点同时作为桥台沉降监测点,共布置 2 个沉降监测点。

d. 排架立柱横向位移

排架立柱的横向位移是双曲拱桥安全监测的关键,选取桥梁一侧排架立柱顶部 2 个横向位移监测点,全桥共布置 2 个排架立柱横向位移监测点。

(2)环境监测系统

通过以往定期检测及检查数据可知,宝成桥的线形及其他变形相关数据受环境温度影响较大,准确了解其环境温度、湿度等外界环境的变化规律和趋势显得至关重要,全桥设置 1 个温度环境监测点。

3 监测数据分析

3.1 与人工定期监测数据对比

为验证监测系统所采集数据的准确性和可靠性,于 2021 年 8 月对该桥进行人工测量,将对拱轴线测点的人工监测数据与本系统同时段采集数据对比,见表 1。

表 1 人工监测数据与系统监测数据对比

位置	人工定期监测数据 /mm	系统同时段监测数据 /mm	偏差
北端拱脚	3.4	3.64	7.1%
拱轴线 1/4 点	16.5	16.52	0.1%
拱轴线 1/2 点	22.7	23.14	1.9%
3/4L	12.0	12.19	1.6%
南端拱脚	1.7	1.84	8.2%

由表 1 可见,人工监测数据与同时段本系统监测数据基本吻合,最大偏差仅为 8.2%。由此可见,本系统监测效果准确可靠,与传统人工定期监测相比,

基于摄影测量法的在线位移监测系统能够有效限制因人为而产生的测量误差,有利于实现监测数据的重复性自动化处理。同时,系统通过对桥梁 24 h 不间断“陪伴式”监测,可有效规避人工定期巡查空窗期内的检查“盲区”,结合计算机对海量实时监测数据的统计分析而计算出的该桥当日、当月平均数据,有利于工程技术人员准确把握桥梁技术状况变化规律和预测变化趋势,达到避免或减少灾难性事故发生的目的。

3.2 系统监测数据与理论分析数据对比

为研究系统监测数据与理论分析数据的偏差,采用 Midas Civil 建立简化、离散后的该桥有限元模型,见图 1。

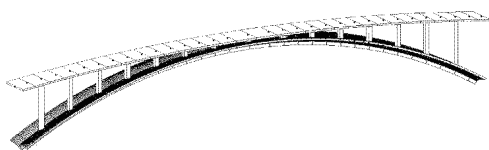


图 1 有限元分析模型

考虑温度对结构的影响,以近九个月该桥环境温度值作为变量,计算分析得到该桥拱轴线 1/8、1/4、3/8 及 1/2 测点在对应温度下挠度理论值,并与本系统监测数据进行对比,见图 2,因人工定期监测仅为半年一次,因此不列入本次数据对比范畴。

由图 2 可见,在温度荷载作用下,采用本系统所得到的拱轴线测点监测数据与理论分析数据吻合度较高,各测点高程受温度影响较大,随温度升高而上升,且高程变化量由拱顶向桥梁两端逐渐减小。

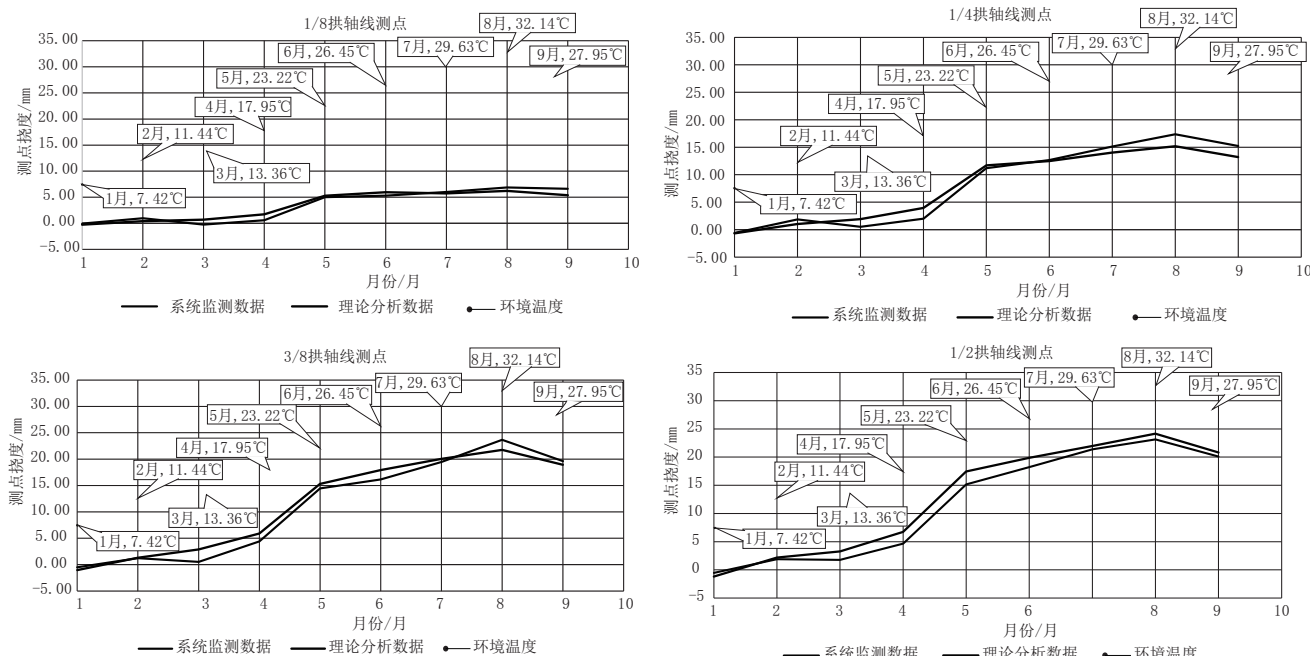


图 2 有限元分析结果与监测结果对比(单位:mm)

4 总结、展望及思考

随着我国公路桥梁事业的蓬勃发展,以保障桥梁安全运营为主要目标的桥梁健康监测系统因具有常规人工检测所不具备的优势正日益得到广泛应用。本文以宝成桥为工程实例,详细介绍此类桥梁结构健康监测的方案拟定过程,并对实时调取的监测数据进行分析,可以得到如下结论:

(1)与人工定期监测相比,系统具有可靠性高、海量数据处理方便、有效控制误差、可部分代替人工定期检查的优势。

(2)通过对宝成桥的健康监测,在不断总结监测经验,完善监测技术基础上,可以将其对双曲拱桥的监测成果应用到其他中小桥梁上,从而建立桥梁安全大数据,挖掘大数据背后对桥梁管理、桥梁养护工作的数字化体现,有方向性地优化管养工作程序及方式,实现桥梁管养逐渐向智能化、数据化转变,提升管理巡视水平,为桥梁管理提供可靠的技术、数据支持^[8]。

(3)通过对宝成桥开展健康监测,可切实对比巡检、定检、监测在桥梁养护中的功效和经济效益,逐渐摸索出巡检、定检、监测三者效用最高、经济性最好的最优组合管养模式,并将新的管养模式推广至苏州河沿线桥梁乃至上海市其他桥梁的管养工作中。

(4)受限于本项目的投资规模,综合考虑加固后