

桥梁施工智能化线形监控技术研究

杨光

(中交天津港湾工程研究院有限公司)

摘 要: 为了保障在整个施工过程中桥梁结构的安全,通过调整和控制各节段悬臂浇筑立模标高,最终使成桥状态下结构的内力状态和全桥线形符合设计要求。利用三维扫描技术和实时监控技术进行智能化线形监控,使桥梁满足精度要求,研究智能化监控在桥梁施工监控中的应用,利用全站扫描仪的三维扫描和自动追踪功能开展智能化线形监控技术的研究与实践应用,明确仪器设备的性能指标,依托某连续刚构桥工程开展线形监控实践,得到一套可靠的桥梁施工监测技术路线,在统计、归纳国内外桥梁施工线形监控技术资料的基础上,结合桥梁施工工艺及监控计算方法、智能化监控在桥梁施工监控中的应用和实际开展的桥梁施工线形监控,最终制定得出桥梁智能化线形监控方案,形成桥梁施工监测和桥梁仿真分析成果应用,可为类似项目作技术储备。

关键词: 桥梁;主梁现浇;智能化;施工线形;监控技术

0 引言

随着基建市场趋势转变,大跨度桥梁项目日益增多,对于如何提供更精准的线形计算和控制方案,存在较高需求。桥梁施工过程监控是为了保证每个施工步骤的安全,为了满足桥梁施工过程中监控要求,必须对桥梁整个施工过程中每个阶段的受力状态和变形进行有效监控,这就需要将施工实际情况与施工仿真分析和现场实测数据相结合^[1]。在施工过程有限元仿真分析中,需要根据各种参数建立实际有限元模型以便分析和预测各施工阶段的应变和位移等^[2]。但是目前桥梁施工监控大都仍然采用现场手动采集线形、应变等数据,存在数据精度较低、过程较为繁琐且效率低等缺点^[3]。

桥梁智能化监控的目的是通过自动化监测设备,实时采集关键截面的变形和应力数据,当现场存在异常时及时采取纠偏措施,以保障桥梁施工全过程结构的安全,通过调整和控制每一悬臂

浇筑的梁节段高程,使最终成桥状态下结构的内力状态和全桥线形符合设计要求。因此,引入实时监控技术和三维激光扫描技术,进行满足精度要求的桥梁智能化线形监控^[4]。

1 工程概况

1.1 桥梁上部构件

本文依托某连续刚构桥,其跨径为 45 m+65 m+45 m,上部结构为预应力混凝土变截面箱梁,采用挂篮悬浇,箱梁截面类型为单箱双室。对于主梁的整体线形,其中支点根部梁高为 4.5 m,边跨及跨中现浇段梁高为 2.5 m,梁高变化采用二次抛物线。箱梁横截面顶板厚度为 0.3 m、宽度为 13.0 m,顶板外挑长度为 0.35 m、厚度为 0.2~0.6 m,底板宽度为 7.0 m、厚度为 0.35~0.65 m。箱型梁腹板厚度自跨中合龙段至支点分别为 0.6 m 和 0.8 m。对于横隔梁,中横隔梁厚度为 0.35 m,端横隔梁厚度为 0.2 m。

桥梁中跨立面图如图 1 所示。

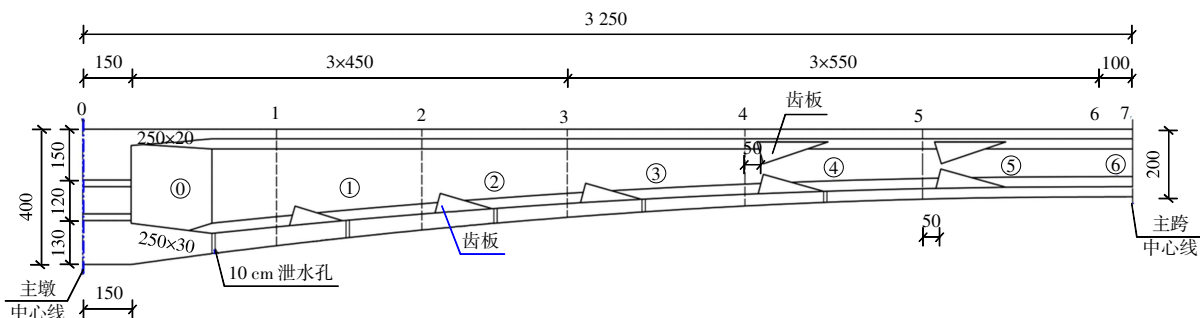


图 1 桥梁中跨立面图(cm)

1.2 桥梁下部构件及地质条件

该桥主墩采用群桩基础的花瓶式墩样，桥位所在处岩土层相对简单，未发现桥位区及周边工程地质存在如崩塌、危岩、断层、滑坡等不良地质现象，场地为稳定区。场址地层上部以黏土、砂土为主，下部地层以砂石等为主。

1.3 桥梁施工方法

桥梁箱型梁采用现场挂篮悬臂浇筑法进行施工，梁体纵向分为1个合龙段和7个标准段。1号—2号块长均为5.0 m，0号块长度为7.0 m，3号—7号块长度均为4.0 m，合龙段长度为2.0 m。0号块采用支架现场浇筑，1号—7号块采用挂篮悬臂对称浇筑。整个合龙顺序为边跨合龙后进行中跨合龙。

2 桥梁施工智能化监测平台

采用最先进的全站扫描仪徕卡 Nova MS60，现场线形监控系统能够实现多项测量技术的完美结合，包括测量、扫描、图像和GPS技术，可以自动、连续地检查周围环境，并且能够应对各种恶劣的工作条件。此外，徕卡 Nova MS60 还搭载了最新的 Captivate 三维系统软件，使三维测量技

术得到了真正的实现，从而彻底改变了传统的二维测量理念，为现场线形监控提供了更加精准的服务。通过采用三维点云模型来实现精确的测量和放样。

2.1 智能化监测平台建设

本项目依托智能化云监测平台搭建自动化监测系统，对施工期间应变和温度数据进行实时监测。监测数据可通过网页或手机客户端查看，当监测数据超过设定阈值时，可自动发送警示消息，有效提高监控关键参数测量的工作效率。

本监测系统的数据采集与传输系统由分布在大桥的现场数据采集站、数字信号传输网络以及远程无线数据传输网络组成。数据采集站是一种专为现场工作而设计的设备，包括数据采集模块、采集单元和相关附件。这些设备采用了最新的技术，能够提供高稳定性、长寿命和准确性的监测。现场数字信号传输网络将采用 RS485 总线协议，收发终端采用相应信号通讯传输设备^[5]。远程数据传输采用 GPRS 无线数据传输技术，由公共互联网与远程数据服务器实现通讯与数据传输，系统总体架构如图2所示。



图2 云监测平台总体架构

2.2 监控计算软件二次开发

通过Dynamo可视化编程获取桥梁模型信息，生成Midas Civil支持的MCT文件，文件包含单位、节点、单元等信息，后续只需要设置钢束、约束及荷载工况等即可进行有限元仿真模拟计算，

极大地简化了桥梁监测计算的建模过程。Dynamo采用开源可视化的编程方式，其具有Excel数据读写功能和较强的异形结构建模和交互能力，基于这些优点，本次研究探索利用Revit+Dynamo+Midas构建桥梁计算与监测生态，流程图见图3。

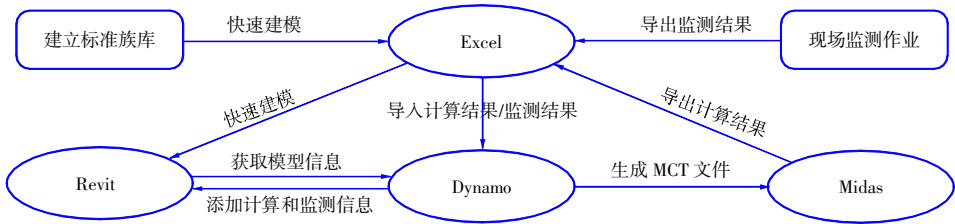


图3 Revit+Dynamo+Midas桥梁计算和监测生态流程图

建立单箱单室箱梁的标准族文件,极大地便利了数据的交互、避免了参数不一致导致的识别错误,为 BIM 模型和 Midas 桥梁快速有限元仿真计算建模奠定基础。开发出了 Dynamo 结果导入 Revit 软件节点包,可以通过 Excel 将监测结果与理论计算结果导入 BIM 模型,将桥梁的物理实体与虚拟空间中的模型信息要素相互映射和交互,即可实现实时桥梁线形三维可视化效果,满足根据桥梁设计线形指导现场实际施工要求。

3 桥梁智能化监控方案实施

连续梁桥采用分阶段逐步施工方法,最终成

桥需经历复杂而漫长的施工过程,且需要经过多次结构体系变换,因此,需要对桥梁施工过程中每个阶段的变形和受力进行分析,这也是桥梁施工监控最基本的内容^[6]。

在桥梁建造之前,需要通过精确的理论和数值模拟,确定各个部位的承载能力,并尽可能地接近或达到预期的效果。为了有效地维护大桥的安全性,建立智能化的监测系统,以确保桥梁的外观和结构强度达到规范的要求,并且极大地提升了监测的效率。桥梁施工监控流程图^[7]如图 4 所示。

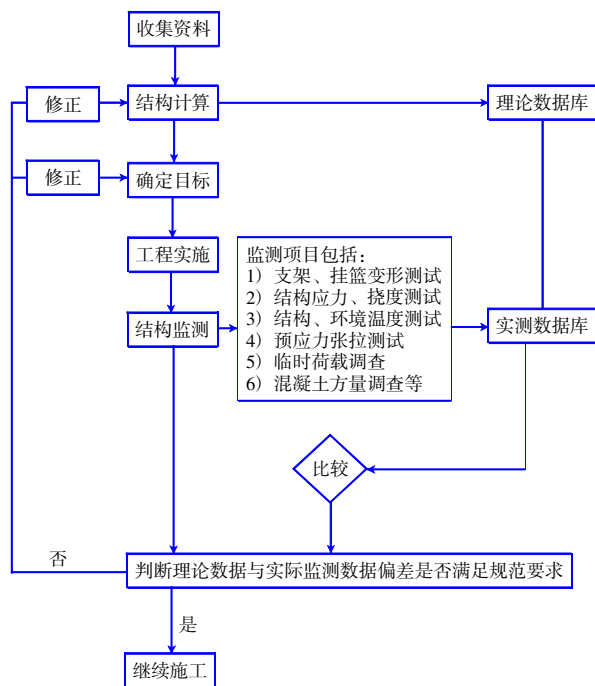


图 4 桥梁施工监控流程图

3.1 主梁竖向线形扫描

使用悬臂技术建造的连续桥梁可以通过监测主梁的竖向变形以及每一阶段立模标高的调整来确保线形满足设计规范。传统桥梁线形监测主要采用电子水准仪和全站仪,即现场测量监测点的

平面坐标,通过 2 次测量差值实现线形监测,监测效率较低,目前采用全站仪的三维激光扫描技术,该技术能大量且快速获取结构物表面上的坐标位置,通过数据处理后,得出相应线形,连续梁断面上需建立相应的扫描监测测点,见图 5^[8]。

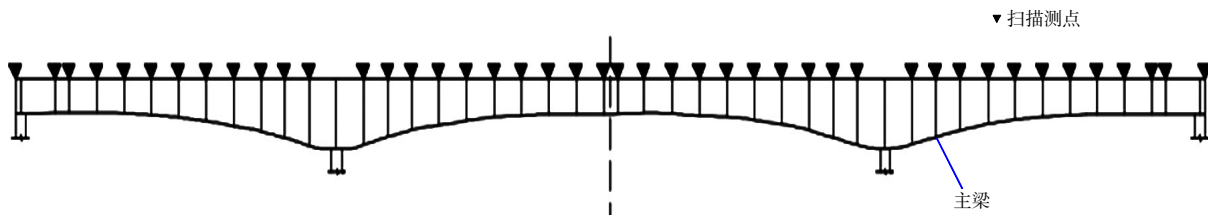


图 5 桥梁线形监测点位布置图

桥梁线形监测测点的布置原则为：

- 1) 确保监测点与梁段端部的距离为 20 cm；
- 2) 确保监测点的位置施工方便，并且不会妨碍设备的移动或固定；
- 3) 确保监测点的安装方式方便进入施工区域，并且对周围环境进行有效的控制；
- 4) 确保检查过程的顺利进行，并最大限度地降低检查难度。

梁体竖向挠度观测应安排在一天之中温度相对恒定的时间段进行扫描测量，以减小温度对其的影响。

根据监控需求，现场施工主要观测的内容为：混凝土浇筑前扫描测量，挂篮行走后扫描测量，预应力张拉后以及挂篮行走前扫描测量，挂篮拆除后以及边、中跨合龙前高程扫描测量，最终成桥前高程扫描测量。0 号块梁顶面高程采用全站仪和电子水准仪测量并做好现场标识保护，施工期梁顶高程可以采用该基准点进行测量。每一墩顶至少布置 2 个基准点且测试前需先对该基准点进行校核，全站仪架设在梁截面中线位置，以基准线为基准视线，另一墩顶梁截面中线作为后视读数位置，需要在梁前端中心标记，使基准点与梁端中心点重合。现场利用全站仪测出梁体水平位移和墩顶沉降后，先根据公式计算出墩顶实测坐标，再换算成所需的高程和位移值，每一工况状态变位即为现场测试值与起始值的差值。

为了消除大气温度不均匀变化对主桥线形的影响，便于设计师对施工全过程精确地定出施工阶段的主要技术参数，必须实时对现场大气温度

进行调查和监测。对各测点的主墩和主梁线形变化进行扫描测量时应选取冬夏气温变化较大的工作日，监测频率为白天每间隔 2 h 测量 1 次，夜晚为每间隔 4 h 测量 1 次，悬臂端合龙前，为消除温度影响，应 24 h 连续扫描观测，最终得出桥梁线形受大气温度影响的规律^[9]。

3.2 智能化线形监控结果

在连续梁桥每节段预应力钢束张拉完成后，对所有已浇筑完成的梁段监控截面进行线形扫描监控，并将后续各节段的实测线形和理论计算线形结果进行对比分析，确保控制在设计要求的误差范围内，必要时分析评估各施工工况可能产生偏差的异常原因，并采取相应措施：调整立模标高；调整预应力钢筋张拉力；对施工过程中涉及的温度、湿度、混凝土容重、临时荷载、永久荷载和收缩徐变参数值等进一步优化调整，修改理论计算模型等，对桥梁线形进行逐步平滑调整。最终成桥状态下，连续梁桥实际纵向线形与理论线形对比如图 6 所示。连续梁桥采用悬臂挂篮施工时，随着桥梁跨径的增加，线形控制变得愈发复杂。因此，通过对桥梁施工期间的实时测量和施工过程的仿真计算进行监控，施工过程中存在偏差时，及时纠偏调整，确保顺利合龙，最终保证成桥梁体线形良好。通过以上措施最终主梁采用挂篮悬臂施工成桥后的挠度变化与设计线形基本接近，初期阶段该桥梁最大线形偏差为 14 mm，小于控制要求的 20 mm。由此可知，通过智能化线形监控的应用，保证了桥梁施工过程安全和安装精度，同时提高了监控效率。

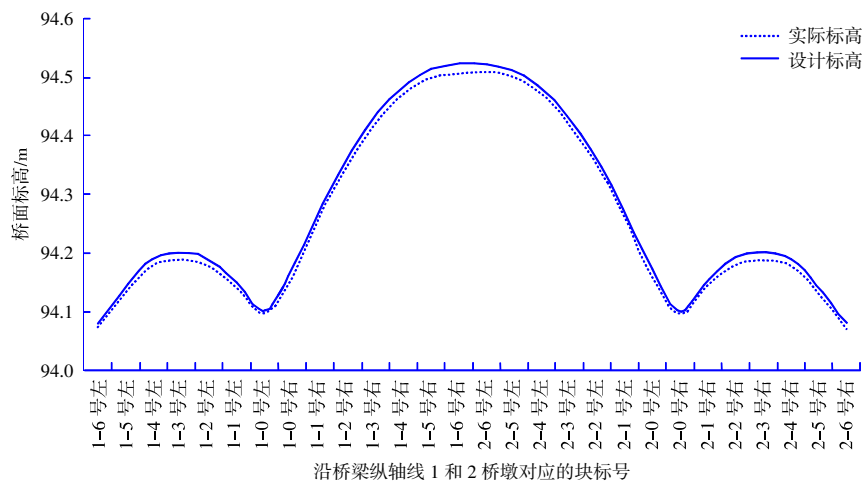


图 6 连续梁桥线形监控结果对比

根据现场监测分析,主梁悬臂浇筑完最终成桥状态下,采用三维激光扫描得到的线形与采用全站仪监测结果相差不大,说明三维激光扫描的线形监测精度能够满足工程应用要求。最终基于三维激光扫描的主桥竖向线形与设计线形吻合,最终标高偏差约为 14 mm、轴向偏差约为 3 mm,采用该方法进行主桥施工时线形控制较好。

4 结语

通过对某连续梁桥施工过程智能化线形监控技术研究,开展连续梁桥悬臂挂篮浇筑法施工控制现场实践,取得以下成果:

1) 针对 Midas Civil 软件进行二次开发,使软件具有快速导入监测结果和模型数据的功能。通过软件二次开发,实现了 Revit+Dynamo+Midas 构建桥梁计算与监测生态。

2) 利用全站扫描仪的三维扫描和自动追踪功能开展桥梁智能化线形监测,多点、快速获取桥梁施工阶段表面的沉降、水平位移和挠度。同时应用现场应力、温度实时监控方案,实时获取桥梁施工各阶段重要节点应力温度监测信息,为线形监控、预测及数值分析提供数据支撑。

3) 依托云监测平台,搭建自动化监测系统,对施工期间应变和温度数据进行实时监测;利用全站扫描仪的三维扫描和自动追踪功能开展智能化线形监控,对桥梁线形进行自动化扫描监控。

依据现场实际采集的监测数据与有限元理论分析计算结果进行分析对比,实现预测和对下一阶段的施工进行调整,保证桥梁成桥状态,线形及合龙精度符合设计要求。

4) 依托某连续梁桥施工,在桥梁整个施工期进行实际模型修正分析和线形预测,形成一套成熟的桥梁施工监测实施技术路线方案,编制了该类桥型智能化桥梁监控方案,可为同类型桥梁智能化监控提供技术支持。

参考文献:

- [1] 徐志强. 预应力连续梁桥施工监控目标影响因素及地震反应分析[D]. 兰州:兰州交通大学,2016.
- [2] 南鹏. 6×80 m 银川兵沟黄河大桥施工监控技术研究与实践[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2016.
- [3] 王少勇. 大跨度铁路预应力混凝土连续梁施工监控研究与实践[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2014.
- [4] 胡凯. 桥梁施工中监测与监控技术的作用[J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(6): 147-148.
- [5] 郑国庆, 袁俊桃, 王卫锋. 大跨度连续刚构桥的施工监控[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(29): 7338-7342.
- [6] 赵宏利. 大跨度预应力混凝土桥梁施工控制技术[J]. 工程建设与设计, 2013(12): 136-138.
- [7] 文健. 桥梁施工控制的内容及监测系统的建立[J]. 知识经济, 2010(10): 125.
- [8] 汪琴. 基于多 Agent 的大跨连续梁桥施工控制系统及其关键技术研究[D]. 武汉:武汉大学,2013.
- [9] 齐林. 大跨度连续刚构桥施工控制理论与应用研究[D]. 长沙:中南大学,2007.