

预应力混凝土连续箱梁桥施工过程的线性监控分析

王小奎¹, 王兴国¹, 潘登²

(1. 河南理工大学 土木工程学院, 河南 焦作 454003; 2. 中铁十局集团 第二工程有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 通过新建郑州至万州高速铁路某特大桥(48+80+48)m预应力连续箱梁桥施工监控情况, 论述了桥梁线性监控方法和施行步骤, 以及桥梁结构线形监控的数据分析。通过模拟分析施工过程, 并与现场实际工况进行比较, 证明了最终计算结果的可靠性。最终数据表明, 桥梁设计高程与实测高程之间的误差均在+15 mm和-5 mm之间, 各合龙段高程较差均小于+15 mm, 实现了桥梁施工的高精度监控。说明运用的理论模型能很好的反应桥梁主体结构的实际状态, 运用的施工控制方法达到了很好的施工控制效果。

关键词: 桥梁施工; 挠度; 线性监控; 数据分析

中图分类号: U448.21+3

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)06-0076-05

Linear Monitoring Analysis of Prestressed Concrete Continuous Box Girder Bridge During Construction

WANG Xiaokui¹, WANG Xingguo¹, PAN Deng²

(1. School of Civil Engineering, He'nan Polytechnic University, Jiaozuo, He'nan 454003, China;

2. China Railway ten Bureau Group Second Engineering Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450000, China)

Abstract: Based on the construction monitoring of the prestressed continuous box girder bridge (48+80+48)m which is lately constructed from Zhengzhou to Wanzhou Railway, and the linear monitoring data of bridge structure alignment during the implementation procedure was then analyzed. The accuracy of the calculation results was examined through simulation analysis of the construction process and comparison with the actual working conditions. The final data shows that the error between the height of the bridge design and the measured elevation is between +15 mm and -5 mm, and the difference between the height of the closed sections is less than +15 mm, and the high precision monitoring of the bridge construction is realized. It shows that the theoretical calculation and analysis model based on this paper can reflect the actual situation of structure better and the construction control method can get good effect of construction control.

Keywords: prestressed continuous box girder bridge; deflection; linear monitoring; data analysis

桥梁施工过程的线性监控一直是国内外研究的重点, 桥梁结构的施工监测控制理论历经了从开环控制、闭环控制, 再到自适应控制发展的过程。对于多次静定桥跨, 它所竣工后的桥梁线形, 产生的桥梁各个阶段的内力和施工工序有着密不可分的联系, 梁体恒载产生的内力值大小同样有着一定的联系。即施工工序的差异, 会直接影响桥梁最后的线形和内力的变化。此外, 由于桥梁结构材料特性以及外

部不确定因素的存在, 都会给桥梁的施工控制带来不可预测的影响。最终导致桥梁结构的预先计算的理论设计值与施工现场实测的控制值有所偏差^[1]。若对这种误差不加以及时有效的修正, 主梁的标高将会偏离预期的设计值, 影响最终成桥的线形。为保障桥梁施工全过程的施工质量和桥梁施工安全, 对整个桥梁施工过程进行监控就显得十分重要。本文拟在监控内容和监控方法上, 通过模拟分析施工

过程,结合现场实际工况展开论文内容的分析,以确保达到最优的桥梁施工线性监控目标^[2]。

1 工程概况

某特大桥位于河南省南阳市境内,新建郑州至万州高速铁路某特大桥跨 S103 省道(48+80+48)m 连续梁位于 721# 墩—724# 墩,里程为 DK350+498.124—DK350+675.824,位于直线上,DK350+498.124—DK350+600 坡度为 3.0‰,DK350+600—DK350+675.824 坡度为 -5.0‰,线路与 S103 省道交叉角度为 138°,其总体布置如图 1 所示。

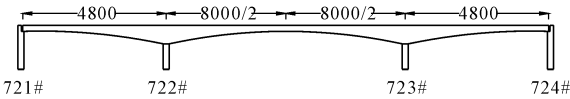


图 1 某特大桥跨 S103 省道(48+80+48)m 预应力连续梁桥布置图(单位:cm)

连续梁按双线桥设计,线间距为 5.000 m。桥面宽 12.600 m,底宽 6.700 m。主梁是单箱室、高度变化、截面变化的箱梁,均按直线线性变化。梁体全长 177.500 m,计算跨度 48 m+80 m+48 m。桥梁的两边支点、中间支点中心线位置梁体截面高度分别是 3.835 m、6.635 m。边支座中心线到梁体边缘为 0.750 m,梁缝分界线至主梁边缘为 0.100 m。梁体边支座横桥向中心距 5.600 m,梁体中支座横桥向中心距 5.900 m。

其中 2 个 0# 梁段,分别位于 722#、723# 主墩,距支座中心线处大、小里程方向各 4.500 m,0# 梁段总长度为 9.000 m,悬臂端梁段长度为 2.700 m、3.100 m、3.500 m,合龙段长 2.000 m,边跨现浇直梁段长 7.750 m。主梁梁段采用挂篮对称悬臂施工。最后桥梁施工结束后,整个梁体结构合龙的顺序为先边跨,再中跨。

在桥梁具体的施工过程中,可以用施工→测量→参数识别→分析→修正→预测→施工的自适应控制法对桥梁全程监控^[3],其中重点是结合实际监控数据调整结构模型中的主要影响参数,并计算下一施工阶段的桥梁受力和变形情况,进而指导现场实际施工。

2 主梁线形监控

主梁的高程监控是为了反应出在桥梁的各个施工阶段结束之后,每个梁段标高的变化^[4]。经过前次施工阶段和本次施工梁段测点高程的变化,然后计算桥梁的现场挠度值,便于和计算挠度值进行对

比,及时有效的调节挠度值的误差,确保桥梁施工的全过程成功进行。

1) 测点布置。主梁梁段的高程测点选用 $\phi 16$ 钢筋焊接于顶板钢筋的骨架上,测点钢筋的上部做成半圆形顶面,打磨光滑,冠顶高出桥梁混凝土表层约 2 cm,见图 2。

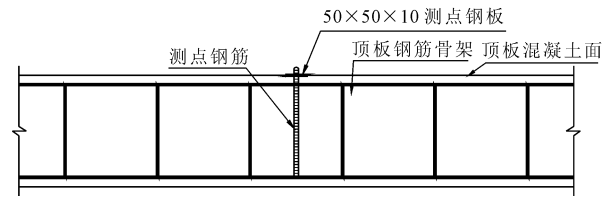


图 2 顶板高程测点钢筋布置示意(单位:mm)

对单箱结构,在断面布置 5 个测点,就可以监测施工过程中主梁的标高和扭曲情况。在桥梁的每一梁段上,测点的具体设置见图 3。

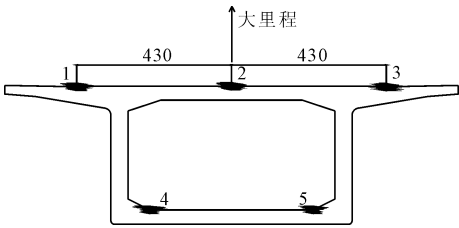


图 3 主梁高程测点设置图(单位:cm)

2) 测量要求。

(1) 测量阶段:在桥梁施工的每一节段都要进行高程的测量工作,其中在桥梁的每一节段施工中,都要进行主梁的高程测量。在桥梁全节段施工中,要布设一定数量的,能够进行主梁标高通测、联测,以及进行测量标高校核的测量基准点。并在桥梁每一个合龙段前后,以及桥梁结构体系转换前后组织一次全桥标高点的通测。

(2) 测量时段:每个测量阶段的测量时间应按桥梁主体施工阶段的完成状况,晚 10:00(夏、秋:晚 11:00)后到第二天清晨日出之前。

(3) 精度测量:选用高等水准测量仪器进行测量。

3) 测量控制网和平面监测。针对箱梁悬臂浇筑要求,在控制网建成后,将中线利用三角控制网引测到桥梁零号节段顶面,同时将中线作为主梁轴线测量的基准线,联测前必须检验已建成基准点是否满足要求,认真作好记录^[5]。

4) 施工监控的影响因素。在悬臂浇筑过程中,在可能多的因素中找到最为重要的影响因素,并对控制系统进行参数判断,对出现的超过规范规定的

误差,分析误差出现的原因,调整后续的施工要求,及时进行线性的调整是整个施工监控的重点^[6]。

3 施工过程的模拟及监控

3.1 预应力混凝土连续梁桥施工控制计算

采用 MIDAS/Civil 2016 软件^[7],对桥梁结构进行全过程的模拟分析计算,选用平面杆系单元建立模拟施工过程的桥梁结构计算模型(见图 4)。全桥共建立 78 个节点,59 个单元。其中,施工模拟的全过程主要分为梁段的悬臂段挂篮、浇筑、张拉,边跨满堂段浇筑、边跨合龙、中跨合龙、体系转换、全桥张拉、二期恒载、桥面铺装等。



图 4 某特大桥跨 S103 省道(48+80+48) m
桥梁主体计算模型图

3.2 模型计算参数取值

(1) 模型结构设计材料:① 混凝土强度等级 C50,C50 弹性模量 3.55×10^4 MPa;② 预应力体系纵、横向预应力筋取 $1 \times 7-15.2-1860-GB/T5224-2003$ 钢绞线,其中 $f_{pk}=1\ 860$ MPa,弹性模量为 $E_p=195$ GPa;③ 钢筋材料采用 HPB300、HRB400。

(2) 设计荷载。① 恒载(结构自重)按相关设计规范选用。② 附加力(温差变化影响力)合龙段的温度用桥位最低与最高月平均气温的均值,均匀温差按升降温 20℃ 计算,非线性温差按指数曲线变化,考虑负温效应。③ 施工荷载按悬臂浇筑施工进行考虑。施工挂篮、机具等采用 800 kN 计,作用点位于浇筑梁段重心处。边跨、中跨合龙段吊架平台总重量按 400 kN 计。

3.3 MIDAS/Civil 2016 计算模拟施工过程

(1) 悬臂浇筑阶段共分 11 个阶段进行:0 # 块施工、1 # 块…10 # 块施工。0 # 块施工阶段按 15 d 进行建模分析计算,1 # 块施工…10 # 块每个施工阶段按 9 d 进行建模分析计算,其中 1 # 块—10 # 块施工每个阶段又可分为三步进行,即悬臂段挂篮、悬臂段浇筑、悬臂段张拉。

(2) 合龙阶段顺序为先边跨后中跨。边跨分别按合龙段 10 d、边跨张拉 1(2 d)、拆固结 7 d、边跨张拉 2(1 d)进行模拟计算。中跨分别按合龙段 7 d、中跨张拉 2 d、拆吊架 3 d 模拟;

(3) 二期恒载根据施工设计图纸和规范,考虑 10 a 的收缩徐变期限。

3.4 立模标高的确定

线形控制是桥梁施工控制项目的重点,其最终目的是确切地给出各个主梁节段的立模标高,并对施工过程中呈现出来的超出规范要求的偏差进行调节修正。桥梁的立模标高并不一定是桥梁竣工后的设计值标高,通常会设定一定的预拱度数值,用以消除施工过程中产生的桥梁挠度变形值^[8],计算桥梁各浇筑节段的立模标高,可用下式求得:

$$H_{lmi} = H_{sji} + \sum f_{di} + 1/2f_{li} - f_{gl} \tag{1}$$

式中各式表达的含义是: H_{lmi} 为节点 i (待浇筑节段主梁底板前 endpoint) 立模标高数值; H_{sji} 为节点 i 预先设计计算的标高值; $\sum f_{di}$ 为节点 i 在施工中由梁体的自身重量、预应力张拉、收缩和以后各个梁段等在该点产生的挠度累加值,由模型可计算获得; f_{li} 为节点 i 由静活载产生的向下挠度值; f_{gl} 为挂篮弹性变形值^[9]。

具体计算公式为^[10]:

$$f_m = f_c + f_s + f_g \tag{2}$$

$$H = f_m + H_0 \tag{3}$$

式中: f_m 为预拱度值; f_c 为施工阶段抛高; f_s 为使用阶段抛高; f_g 为挂篮变形值; H 为立模高程; H_0 为设计高程。

3.5 计算结果

通过数值计算分析后,某特大桥跨 S103 省道(48+80+48) m 连续梁桥的预拱度设计值如表 1 所示。

表 1 各个施工节段预拱度设计值

施工节段号	722 # 墩预拱度/mm		723 # 墩预拱度/mm	
	小里程侧	大里程侧	小里程侧	大里程侧
1(1') #	- 3.0	8.0	8.0	- 3.0
2(2') #	- 4.0	10.0	10.0	- 4.0
3(3') #	- 6.0	13.0	13.0	- 6.0
4(4') #	- 7.0	16.0	16.0	- 7.0
5(5') #	- 8.0	19.0	19.0	- 8.0
6(6') #	- 10.0	21.0	21.0	- 10.0
7(7') #	- 10.0	24.0	24.0	- 10.0
8(8') #	- 11.0	25.0	25.0	- 11.0
9(9') #	- 14.0	24.0	24.0	- 14.0
10(10') #	- 13.0	26.0	26.0	- 13.0

注:正值表示向上;负值表示向下。

由表 1 能够看出,桥梁整体施工预拱度计算值变化较小,符合设计值的预期变化规律^[11]。

4 监控结果及数值对比分析

由于篇幅有限,本文仅提供桥梁监控的部分数

据并对其结果进行分析^[12],以证明本文施工监控技术的可靠性。

4.1 连续梁桥中跨控制点标高差值数据分析

表 2、表 3 分别为 722 # 墩大里程侧、723 # 墩小里程侧的各个节段块的梁顶标高控制值,可以看出

预拱度随着阶段数的增加而逐渐增大,预测的沉降值与实际沉降值之间的误差在 + 15 mm 和 - 5 mm 之间,桥梁建成后梁体所具有的线形和设计的桥梁竣工后的线形,其各点的误差均在规范允许的限差范围之内^[13]。说明该方法较为合理,预测较为准确。

表 2 某特大桥跨 S103 省道(48 + 80 + 48) m 连续梁桥控制点标高差值

墩号	节段号	节段长度 /m	测点设计 标高/m	测点立模 标高/m	实测标高 /m	预拱度 /m	误差值 /m
722 # 大里程	1' #	2.700	97.607	97.615	97.620	0.008	0.013
	2' #	2.700	97.608	97.618	97.618	0.010	0.010
	3' #	3.100	97.609	97.622	97.619	0.013	0.010
	4' #	3.500	97.610	97.626	97.620	0.016	0.010
	5' #	3.500	97.610	97.629	97.620	0.019	0.010
	6' #	3.500	97.610	97.631	97.620	0.021	0.010
	7' #	3.500	97.610	97.634	97.620	0.024	0.010
	8' #	3.500	97.609	97.634	97.619	0.025	0.010
	9' #	3.500	97.607	97.631	97.617	0.024	0.010
	10' #	3.500	97.606	97.632	97.616	0.026	0.010

4.2 连续梁桥各合龙段实测高程数值分析

合龙段是连续梁桥施工的重点,更是线形监控的难点^[14],根据设计文件要求,合龙顺序为先同步边跨,再中跨。表 4 是连续梁桥各合龙段实测高程

数据。

由表 4 可以看出小里程边跨合龙段、中跨合龙段、大里程边跨合龙段高程较差均小于 + 15 mm 的规范要求^[15],证明桥梁成功合龙。

表 3 某特大桥跨 S103 省道(48 + 80 + 48) m 连续梁桥控制点标高差值

墩号	节段号	节段长度 /m	测点设计 标高/m	测点立模 标高/m	实测标高 /m	预拱度 /m	误差值 /m
723 # 小里程	1 #	2.700	97.571	97.579	97.581	0.008	0.010
	2 #	2.700	97.575	97.585	97.585	0.010	0.010
	3 #	3.100	97.580	97.593	97.590	0.013	0.010
	4 #	3.500	97.585	97.601	97.594	0.016	0.009
	5 #	3.500	97.589	97.608	97.599	0.019	0.010
	6 #	3.500	97.593	97.614	97.603	0.021	0.010
	7 #	3.500	97.596	97.620	97.606	0.024	0.010
	8 #	3.500	97.600	97.625	97.609	0.025	0.009
	9 #	3.500	97.602	97.626	97.612	0.024	0.010
	10 #	3.500	97.605	97.631	97.614	0.026	0.009

表 4 各合龙段实测高程

单位:m

偏距	小里程边跨合 龙段实测高程		中跨合龙段 实测高程		大里程边跨合 龙段实测高	
	721 # 边跨	722 # 小里程	722 # 大里程	723 # 小里程	723 # 大里程	724 # 边跨
- 3.20	97.561	97.550	97.625	97.621	97.475	97.477
- 1.80	97.552	97.549	97.622	97.612	97.479	97.475
2.50	97.561	97.556	97.614	97.616	97.476	97.481
6.80	97.554	97.545	97.616	97.622	97.467	97.472
8.40	97.558	97.545	97.626	97.628	97.479	97.480

连续梁桥设计高程和实测高程对比见图 5。

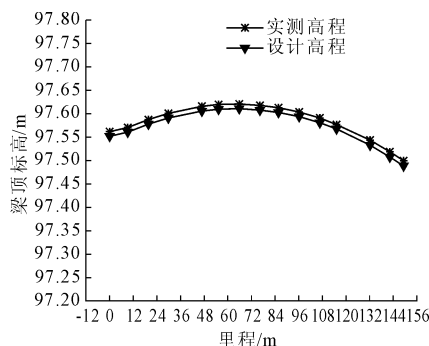


图 5 某特大桥跨 S103 省道(48+80+48) m 连续梁桥设计高程和实测高程对比图

由图 5 可以看出,连续梁桥设计高程与实测高程曲线走向接近相同,设计高程与实测高程之间最大误差值为 +13 mm,最小误差值为 +9 mm。设计高程与实测高程之间的误差均在 +15 mm 和 -5 mm 之间,满足相关规范限差要求,使最终成桥后桥梁结构线型和桥梁设计线型符合设计要求。

5 结 语

(1) 本文主要从桥梁施工监控内容、方法和监控影响因素进行了论述。通过工程实例对桥梁监控的计算过程进行了简单的说明,并与实测数据进行了比较分析。

由论文数据分析可知,连续梁桥设计高程与实测高程之间最大误差值为 +13 mm,最小误差值为 +9 mm,设计与实测高程间的偏差均在 +15 mm 和 -5 mm 之内,连续梁桥各个合龙段的高程较差均小于 +15 mm,均满足相关规范的限差要求。

(2) 桥梁建成后的梁体线形与设计的线形走向趋势基本相同,实现了桥梁较高精度的合龙,验证了计算结果的可靠性。说明文章所依据的理论模型能很好的反应桥梁结构的实际状况,采用的施工控制方法也达到了很好的施工控制效果。为以后类似桥梁施工过程的线性监控,在监控内容和方法上能够为类似的桥梁施工建设提供借鉴和参考。

(3) 在主梁施工的整个程序中,利用模型分析和施工现场相结合的自适应控制法对梁体施工进行

控制,可有效的对桥梁施工中所出现的各种不确定因素进行有效的控制。通过对桥梁全程施工的监测,为整个桥梁的施工监测提供了一个可靠的系统依据,使得文章的计算结果,理论数据更具有说服力。

参考文献:

- [1] 田智元,虞庐松,郭远虎.预应力混凝土连续箱梁桥施工线性监控[J].科技创业家,2013(23):15-15.
- [2] 苏 鹏.连续刚构桥梁高墩悬臂施工监控与稳定性分析[J].水利与建筑工程学报,2016,14(3):216-220.
- [3] 杨建勇,成 菲.预应力混凝土连续箱梁桥施工过程的应力监控[J].企业科技与发展,2015(24):53-54.
- [4] 俞国栋.连续梁线性监控测量技术[J].科技视界,2016(24):193-193.
- [5] 周栋林.浅析沪昆客专连续梁施工线性监控技术[J].价值工程,2016,35(17):130-133.
- [6] 廖 忻,练水泉,俞 俊.悬臂浇筑混凝土连续梁桥施工监控技术分析[J].山西建筑,2015,41(18):170-171.
- [7] 葛俊颖.桥梁工程软件 MIDAS Civil 使用指南[M].北京:人民交通出版社,2013:23-182.
- [8] 高 杰,黄 颖.既有预应力结构现存预应力数学模型研究[J].水利与建筑工程学报,2015,13(6):183-187.
- [9] 白玉川.大跨度预应力混凝土连续梁桥施工监控与预抬高值计算[D].福州:福州大学,2007.
- [10] 吴少杰,何志安,覃 丹.佛山市某特大连续梁桥的线形控制[C]//中国公路学会公路环境与可持续发展分会 2010 年学术年会.北京:公路交通科技杂志社,2010:197-197.
- [11] 成仲鹏,贾 斌,陈 彪.高墩大跨连续刚构桥悬臂施工过程中的预拱度设置研究[J].水利与建筑工程学报,2014,12(5):18-22.
- [12] 欧阳亚,张 健,董武钟,等.成绵乐铁路连续梁桥线性监控方法探讨[J].地理空间信息,2015,13(1):149-151.
- [13] 中华人民共和国铁道部.高速铁路桥涵工程施工质量验收标准:TB 10752—2010[M].北京:中国铁道出版社,2011:64.
- [14] 陶叶平.浅析大跨度连续梁线性监控施工技术控制[J].科技视界,2016(19):203-203.
- [15] 中交第一公路工程局有限公司.公路桥涵施工技术规范:JTG/T F50—2011[M].北京:人民交通出版社,2011:57-58.