

## 大跨径连续梁桥主桥合龙段施工监控技术的应用

陈明

(湖南常德路桥建设集团有限公司, 湖南 常德 415000)

**摘要:** 以某大跨度连续梁桥为例, 通过应力计测试合龙段箱梁应力分析其应力变化规律, 并与 ANSYS 模型理论计算值进行对比, 分析其误差主要来自于温差变化与砼的收缩徐变; 分析了温度变化对桥梁应力与挠度的影响及砼收缩徐变的时变特性, 并据此提出了主桥合龙段施工注意事项及建议。

**关键词:** 桥梁; 大跨径连续梁桥; 合龙段; 施工监控

**中图分类号:** U445.446

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2017)05-0146-04

大跨径连续梁桥与连续刚构桥梁普遍使用挂篮悬浇法施工, 由于其工艺复杂、工序稠密, 施工困难偏大, 一直是研究重点和热点。国内对连续梁桥合龙段施工工艺及监控等进行了研究, 如汪顺平等利用 MIDAS/Civi2012 对悬臂挂篮施工方法和大节段支架现浇施工方法中大跨度变截面连续箱梁的受力特征、进度、成本等进行了对比分析, 得出大节段支架现浇施工过程中桥梁墩顶负弯矩较小, 能有效缩短工期、提高经济效益; 郑浩楠等介绍了大节段钢箱梁整体制造和整体吊装施工工艺, 对整体内力和局部变形进行了分析; 洗尚钧以采用大节段整体制造和整体架设工艺的某 110 m 跨钢箱连续梁为例, 通过模拟分析得到了制造及架设过程中的线形变化规律, 得出了线形调整措施; 刘志峰等以一座双线铁路大跨预应力连续刚构宽幅梁桥为工程背景, 针对先中跨合龙、再边跨合龙的施工方式, 运用有限元软件对施工过程进行计算分析, 研究了施工阶段和成桥状态的受力特性, 对主桥合龙段的施工方案与工序、观测和自适应方式进行了研究。该文针对某大跨度连续梁桥, 利用 ANSYS 软件建立三维数值模型对其主桥合龙段施工监控技术进行研究, 为该类桥梁施工提供参考。

## 1 工程案例

该桥全长 428.7 m, 上部结构为三孔一联(共五联)装配式后张法预应力砼箱形连续梁, 基础采用钻孔灌注桩。主桥连续梁采用挂篮悬臂现浇法施工。主桥平面位于直线上, 纵断面位于半径 18 000 m、切线长 191.79 m、外距 1.022 m、变坡点前后设计坡度分别为 1.2% 和 -0.931% 的凸形竖曲线上, 变坡点桩号为 K4+670.00, 变坡点高程为 70.324 m。主桥上部结构箱梁中支点梁高 4.8 m, 跨中、边支点梁高 2.8 m, 箱梁梁高和底板厚度均按 1.6 次抛物线变化。箱梁顶板宽 14.75 m, 底板宽 6.95 m, 翼缘板悬臂长 3.9 m, 悬臂端厚 0.2 m, 腹板厚 0.5~0.8 m, 在 4<sup>#</sup> 和 5<sup>#</sup> 节段内直线均匀变化, 顶板厚 0.3 m, 底板厚 0.3~0.7 m。分别设置 0<sup>#</sup> 块 3 m 厚横隔板及边跨端部 1.2 m 厚横隔板, 箱梁其他部位均不设横隔板。桥面横坡由腹板变高形成。箱梁 0<sup>#</sup> 块长 13 m, 在支架上现浇。两侧各有 9 个悬浇节段, 节段长度为 7×3.5、2×4 m, 采用挂篮悬臂浇筑施工, 合龙段长 2 m, 边跨现浇段长 8.92 m, 在支架上现浇(见图 1、图 2)。8<sup>#</sup>~10<sup>#</sup> 主墩设置 GPZ 型盆式橡胶支座, 7<sup>#</sup>、11<sup>#</sup> 边墩设置 GP II 型盆式橡胶支座。

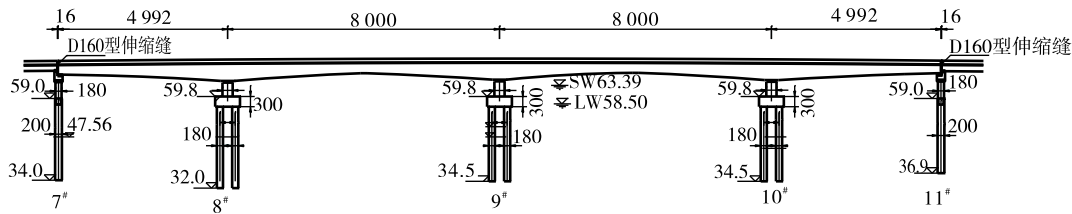


图 1 主桥立面图(单位:标高为 m,其他为 cm)



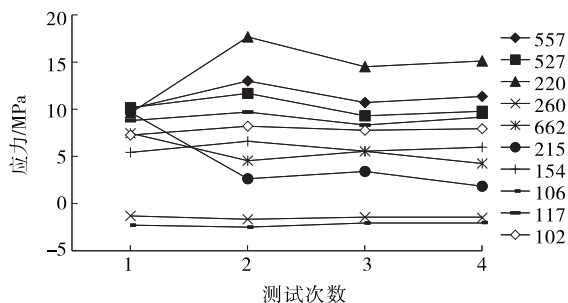


图4 合龙段箱梁应力变化情况

外界温度产生的温度次应力的影响,导致应力变化幅度较大。张拉 20 d 后,随着合龙段砼逐渐终凝,水化热逐渐消失,其产生的温度应力对合龙段的影响越来越小,加上此时影响应力变化的砼收缩徐变、钢绞线松弛、锚索与孔道壁摩擦等因素相互制约、相互影响,应力变化逐渐减小。2) 合龙段箱梁内横桥向应力同样表现为张拉后 10 d 内应力变化幅度相对较大,且梁体顶板和底板均承受拉应力,顶板拉应力约为底板拉应力的 1.5 倍;张拉 20 d 后,应力变化趋于平缓。主要原因是合龙初期合龙段相邻悬臂端的梁体受压,而合龙段体积小、长度短,造成应力集中,当应力突然转移时,限制了其自由收缩,故梁体顶板和底板均产生拉应力;随着合龙段砼逐渐终凝,横桥向应力分布逐渐相对均匀,应力变化幅度逐渐减小。

根据应力监控结果,合龙段施工过程中箱梁顺桥向、横桥向应力值均在设计允许范围内,总体安全性可控。其中顺桥向均为压应力,顶板、底板最大压应力分别为 9.67 和 17.67 MPa;横桥向均为拉应力,顶板、底板最大拉应力分别为 2.51 和 1.68 MPa。

### 3.1.2 监控值与理论值对比

为了更好地模拟合龙段施工过程中的应力状态,同时验证施工监控方案的合理性,利用 ANSYS 软件建立中跨合龙段三维数值模型(见图 5),按照实际工程箱梁参数进行模拟加载计算,分析其应力变化规律。

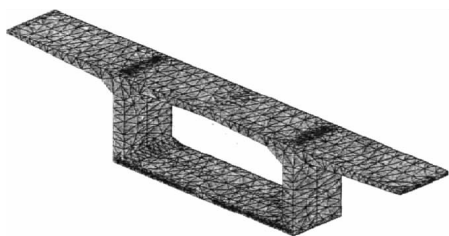


图5 中跨合龙段 ANSYS 数值计算模型

取预应力钢束张拉完成后第一次应力测读数据与数值模型应力计算值进行对比,结果见图 6。

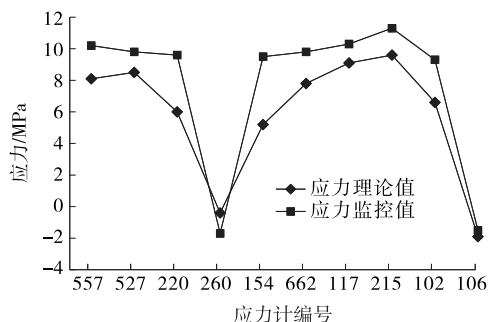


图6 中跨应力理论值与监控值对比

由图 6 可知:现场应力监测结果与数值模型应力计算值的变化规律一致,且实测应力最大值和最小值出现的位置均与理论计算值基本相符,说明合龙段施工监测方案合理可行,能准确反映应力变化的实际情况。但实测值与理论值存在一定误差,主要是由环境温差与砼的收缩徐变造成的。为减小误差,可采取以下措施:1) 在日照温差影响较小的清晨进行应力测试,尽量减小温度变化对实测应力的影响;2) 在每一施工工况的前后进行测试,尽量缩短两次测试时间间隔,以减小砼收缩徐变的影响;3) 根据试验所得数据计算应力。

### 3.2 温度对桥梁应力的影响

根据以上分析,温度变化不利于桥梁应力监控。为研究温度变化对桥梁应力的影响,以桥梁处于最大悬臂状态为例,在箱梁跨中 1# 位置的四周均匀布置 6 个温度传感器,在上午 7:00、下午 15:00 采集传感器数据,结果见表 2。

表2 温度变化作用下各位置的应力

测点位置	测试时间	温度/℃	应变	应力/MPa
左顶板	7:00	12.1	-280	-7.52
	15:00	20.2	-301	-7.90
右顶板	7:00	12.2	-303	-8.15
	15:00	20.4	-321	-8.47
左腹板	7:00	12.2	-327	-9.54
	15:00	20.8	-348	-9.76
右腹板	7:00	12.5	-315	-9.06
	15:00	18.8	-334	-9.32
左底板	7:00	12.7	-330	-9.89
	15:00	17.9	-358	-10.02
右底板	7:00	12.8	-364	-9.95
	15:00	17.8	-341	-10.12

由表 2 可知:桥梁受到压应力,随着温度的增大,应力与应变均出现增大趋势;在温度变化作用下,左、右顶板应力分别增大 0.38 和 0.32 MPa,左、右腹板应力分别增大 0.22 和 0.26 MPa,左、右底板应力分别增大 0.13 和 0.17 MPa。温度变化对顶板应力的影响最大,其次是腹板,对底板的影响最小。

### 3.3 温度对桥梁挠度的影响

温度变化对桥梁应力与应变存在一定影响,势必影响桥梁的挠度。为研究温度变化对挠度的影响,测量 6<sup>#</sup> 与 7<sup>#</sup> 端头的挠度变化情况,从 5:00—21:00 每隔 2 h 测量一次,结果见表 3。

表 3 温度变化作用下各截面的挠度

测试时刻	测试温度/℃	各截面的挠度/mm			
		左 6 <sup>#</sup>	左 7 <sup>#</sup>	右 6 <sup>#</sup>	右 7 <sup>#</sup>
5:00	11.5	0	-1	1	0
7:00	13.0	-1	-3	-1	-2
9:00	18.6	-1	-2	-2	-1
11:00	21.0	-2	-3	-3	-2
13:00	25.6	-5	-6	-4	-4
15:00	20.3	-3	-2	-2	-3
17:00	15.7	-3	-2	-2	-3
19:00	13.7	-1	-2	1	-2
21:00	12.5	0	-1	0	-1

由表 3 可知:5:00—13:00,温差逐渐增大,箱梁截面挠度随着温差的增大而增大,13:00 时挠度达到最大值 6 mm;13:00—21:00,温差逐渐减小,箱梁截面挠度随着温差的减小而逐渐回升,21:00 时箱梁截面挠度基本消失。因此,从可操作性角度,5:00—7:00 为测量标高的最佳时间。

### 3.4 砼收缩徐变与时间的关系

砼的时变特性是其固有特性,对于大跨度桥梁而言,收缩徐变对桥梁受力和变形有一定影响。根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》分析砼在 1 年内的徐变特性,通过收缩应变、徐变系数(见图 7)反映砼收缩和徐变程度。

从图 7 可看出:砼收缩应变和徐变系数在前 30 d 内变化速度较快,在 50~365 d 内变化速率逐渐趋于平缓。因此,应在前 30 d 内采取措施消除砼收缩徐变带来的结构预应力损失、砼开裂及挠度增大等不利影响,增强桥梁的安全性与耐久性。

## 4 主桥合龙段施工注意事项及建议

(1)边跨合龙施工注意事项及建议:1)现浇段

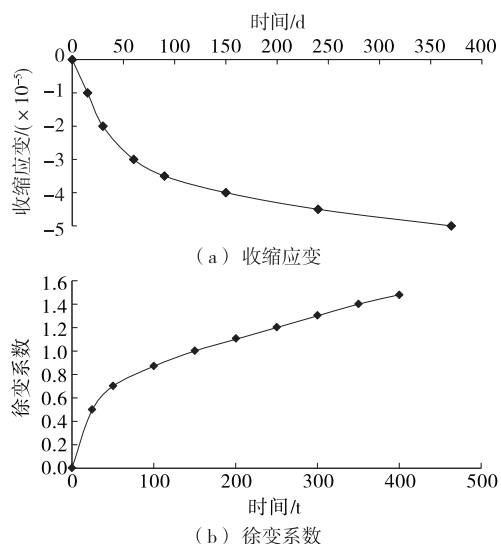


图 7 砼收缩应变、徐变系数与时间的关系

经连续 3 d 观察,没有沉降、砼强度合格后方可进行边跨合龙施工;2) 边跨悬臂端配重时,T 构跨中悬臂端应在相应位置进行等量配重;3) 合龙段砼达到设计强度后方可张拉合龙段预应力钢束;4) 为避免临时支座处主梁砼出现应力集中现象,保证主跨两侧悬臂端位移一致,边跨和主跨的临时支座应同步均匀拆除。

(2) 中跨合龙施工注意事项及建议:1) 对于跨径较大的桥梁,温度作用会使合龙段及劲性骨架产生较大内力,中跨合龙段劲性骨架锁定及合龙段砼浇筑后需采取措施降低梁体温度,如在梁顶覆盖并持续洒水降温;2) 浇筑时,加强底板预应力管道处砼的振捣,浇筑后加强砼的养生,合龙段砼达到设计强度后再张拉合龙段预应力钢束;3) 中跨底板纵向钢束的张拉会产生较大径向力,张拉应尽量均匀缓慢,必要时进行分批张拉,张拉后及时压浆。

## 5 结语

该桥合龙段悬臂高程最大误差为 5 mm,最小误差为 1 mm,满足设计规范的要求(中、边跨合龙段两侧悬臂端节段相对误差、高差在  $\pm 15$  mm 之内)。桥梁线形美观,经体系转换并顺利合龙,应力正常,结构内力合理,保证了结构的稳定性。通过该工程得到以下结论:

(1) 线形是评定大跨连续梁桥的重要指标,它不仅影响梁体的外观质量,而且影响梁体的受力及使用情况。

(下转第 191 页)

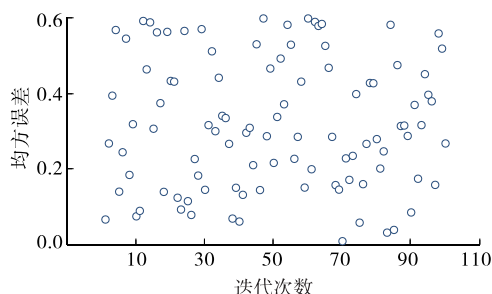


图 6 BP 神经网络预测模型的均方误差

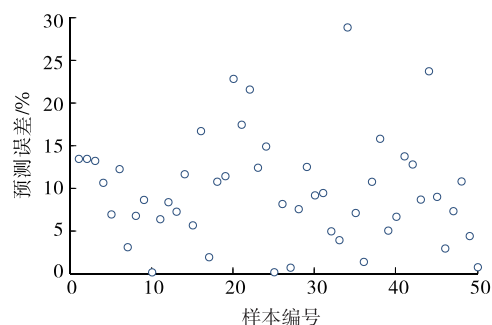


图 7 BP 神经网络模型的预测误差分布

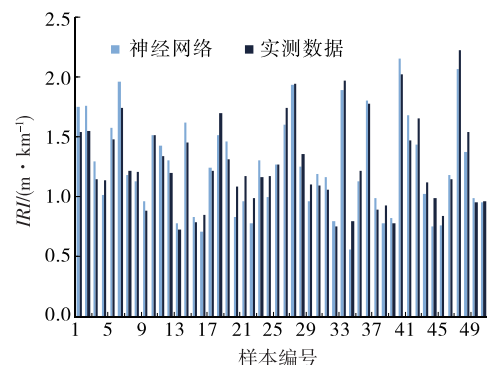


图 8 BP 神经网络模型预测结果对比

与实测数据相比,BP 神经网络模型预测值的最大误差为28.98%,最小误差为0.18%,平均误差为

9.75%,预测数据存在一定的波动。但通过在计算过程中对隐含层节点数进行不断调整,在多个点的预测误差都较小,且稳定性较好,说明 BP 神经网络模型能较有效地解决道路状况的大样本、非线性问题,且具有较强的推广能力。

### 3 结语

该文通过对 Android 操作系统及传感器的深入开发,明确各传感器协同工作机理,实现了 Android 系统加速度传感器对车辆行驶加速度信号的采集;通过噪声数据的提取、去除,并利用滑动平均算法对检测数据进行处理,去除和削弱异常点的奇异性,建立了异常点与其他检测数据的数学关系,解决了检测数据的不一致问题;利用 BP 神经网络方法建立不同检测速度下加速度与国际平整度指数  $IRI$  的回归预测模型,并根据不同适用情况对模型进行了优化。应用结果表明该模型预测精度较高,稳定性较好,能较准确地反映加速度与  $IRI$  的关系。

### 参考文献:

- [1] 宋雅清.基于 Android 传感器的驾驶事件识别关键技术研究[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- [2] 程永春,张鹏,王叶丹,等.沥青混合料水-温-光损伤超声波评价及预测方法[J].长安大学学报:自然科学版,2014,34(6).
- [3] 刘莎.基于智能手机的上下公交车行为识别研究与实现[D].武汉:武汉理工大学,2013.
- [4] 孙博,张东东,魏明.基于灰关联分析的路面养护方案评价方法[J].公路与汽运,2016(1).

收稿日期:2017-02-06

(上接第 149 页)

(2) 对于跨径大的桥梁,合龙段应力及挠度受温差变化影响较大,需采取有效措施降低梁体温度,也可通过增加预应力抵消温差变化带来的应力效应,同时考虑温度对预拱度的影响。

(3) 应在温差变化较小的早晨测量标高。

(4) 在桥梁监控中应加强温度、砼收缩徐变等参数的监控,减小环境参数对桥梁的不利影响。

### 参考文献:

- [1] 汪顺平,宁英杰.某大跨变截面连续箱梁桥施工工艺变更对比分析[J].青海交通科技,2016(3).

- [2] 郑浩楠,杨帅,朱曼.连续钢箱梁桥大节段吊装关键问题分析[J].交通科学与工程,2015,31(2).
- [3] 牟红云.大跨度连续梁桥合拢段施工技术[J].国防交通工程与技术,2015(增刊1).
- [4] 洗尚钧.钢箱连续梁桥制造线形关键技术研究[J].科学技术与工程,2013,13(28).
- [5] 刘志峰,陈小勇.大跨连续刚构宽幅梁桥施工技术特性分析[J].现代交通技术,2011,8(1).
- [6] 孔阳,古兰玉.金清港特大桥主桥连续梁线形监控施工技术[J].国防交通工程与技术,2014(增刊).

收稿日期:2017-04-06