

Research on Alignment Control Technology of Multi-Span Continuous Beam Bridge of High-Speed Railway

Guodong Tang Tianneng Xu

China Construction Eighth Engineering Division Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

Abstract

In view of the high-speed railway's high requirements for the elevation and flatness of the beam surface of ballastless track bridges, the paper proposes a high-speed railway bridge beam surface linear control method and a beam surface elevation prediction formula when concrete is about to be poured. Taking Zheng Xike's multi-span continuous beam as the engineering background, combining the application of grey theory and adaptive control method to predict the deflection and pre-camber of the bridge. The beam surface linearity control results show that these two control methods can be combined for the construction monitoring of multi-span continuous girder bridges. The beam top elevation prediction formula is suitable for the linear control of the beam surface of multi-span continuous girder bridges constructed by cantilever construction of passenger dedicated railway lines.

Keywords

multi-span continuous beam bridge; construction control; grey theory; adaptive control method; linear control of beam surface

高速铁路多跨连续梁桥线形控制技术研究

唐国栋 许天能

中国建筑第八工程局有限公司, 中国·上海 200120

摘要

论文针对高速铁路对无砟轨道桥梁梁面高程和平整度要求较高的特点,提出了高速铁路桥梁梁面线形控制方法和混凝土即将浇筑完时的梁面标高预测公式。以郑西客专一多跨连续梁为工程背景,结合应用灰色理论和自适应控制方法对该桥的挠度和预拱度进行预测。梁面线形控制结果表明,这两种控制方法可结合应用于多跨铁路连续梁桥的施工监控,梁顶标高预测公式适合铁路客运专线悬臂施工多跨连续梁桥的梁面的线形控制。

关键词

多跨连续梁桥; 施工控制; 灰色理论; 自适应控制方法; 梁面的线形控制

1 引言

目前,中国设计时速 350km/h 的高速铁路大规模建设,行车车速很高,梁体线形对行车的舒适性及安全性有较大影响,且桥上采用的无砟轨道桥面板系统对梁面的平整度提出了更高的要求。由于跨越既有线路、河流等的需要,多跨连续梁桥在高速铁路中的应用也越来越广泛,且多采用悬臂施工,梁面排水坡与箱梁一起浇筑,梁面之上设置滑动层及底座板,底座板及轨道板系统对梁面的平整度要求很高^[1],一般要求为 4m 范围内的平整度误差不允许超过 3mm,铺底座板前大部分桥梁需要对梁面进行修整,为减少梁面修整工作量、保证箱梁普通钢筋和预应力钢筋的保护层厚度,在混凝土浇筑过程中需要严格控制梁面高程,这就需要在施工过程中

中对结构和挂篮的变形有准确的预测和细致的施工监控过程。

对于三跨连续梁,一般采用先合拢边跨后合拢中跨的施工顺序,中跨合拢前合拢段两端的累积位移理论上相等,只要按照施工规范施工,合拢误差较容易保证。相对于三跨连续梁桥,多跨连续梁桥合拢阶段较多,且各个合拢阶段相互影响,后合拢的合拢段两端的累计位移可能不同,合拢段两端需设置不同的预拱度,以保证合拢误差满足规范要求。另外,由于多跨连续梁桥部分梁跨合拢后多为大悬臂结构,合拢阶段张拉的预应力对悬臂端的位移影响较整个体系形成后大许多。多跨连续梁桥的累计位移与其跨数、跨度、施工顺序、张拉预应力阶段等都有很大的关系。多跨连续梁桥施工控制的难度与合拢段两端的累计位移差有直接的联系。论文以中国郑西客运专线跨陇海铁路(62+2×100+62)m 预应力混凝土

土连续梁桥为工程背景,对多跨高速铁路连续梁桥在悬臂施工过程中线形控制方法和措施进行了研究。

2 箱梁顶面线形控制

在箱梁混凝土浇筑后,若顶板高程与理想高程有偏差,对于有砟轨道桥梁,影响道砟的铺设厚度及梁顶面平顺性;对于无砟轨道桥梁,需要在铺设底座板之前对梁面高程进行修整,若误差较大,不但修整的工作量很大,也会减小顶板钢筋的保护层厚度,对结构的耐久性等产生影响。为保证梁顶面的平顺度,在施工过程中需要严格控制箱梁顶面高程,为此,提出了混凝土浇筑即将完成时的梁面高程如下式所示。

$$h_{top} = h_{bot} + h_l - f_{con} - f_{gl} \quad (1)$$

式中: h_{top} —箱梁顶面立模高程; h_{bot} —箱梁底面立模高程; h_l —本段梁高; f_{con} —浇筑本段混凝土时本段前端预测挠度; f_{gl} —预测本段挂篮变形。

由(1)式计算的梁顶面高程,在混凝土即将浇筑完成时由测量人员和施工人员一起控制完成梁顶面的浇筑工作,可以消除本阶段预测挂篮变形及预测浇筑混凝土产生的梁端挠度误差对梁顶面高程的影响。

3 施工控制方法

由于新建铁路对桥梁的线形及平顺度要求较高,为达到良好的控制效果,需要准确预测后续工序对已浇筑混凝土梁段的挠度影响,在施工控制过程中需要引入灰色理论及自适应控制方法进行线形控制^[2,3,4],并采用最小二乘法对参数进行调整。

3.1 灰色控制理论

灰色理论的特点是以现有信息为基础来进行数据加工和处理,建立灰模型来预测系统未来发展变化,灰色系统模型的主要模型是GM(1, N)模型^[5]。GM(1, N)模型适合于各变量动态关联分析,适合于为高阶系统建模提供基础,但不适合预测用,适合预测的模型只能是单变量模型即GM(1,1)模型。

利用灰色理论建立的模型其形式为:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = b \quad (2)$$

式中, a 为发展系数; b 为灰作用量; $X^{(1)}$ 为原始数列 $X^{(0)}$

的一次累加生成数列。

解方程(1)可得:

$$X^{(1)}(k+1) = \left(X^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (3)$$

式(2)也称为GM(1, 1)的预测响应式,其还原值为:

$$X^{(0)}(k+1) = X^{(1)}(k+1) - X^{(1)}(k) \quad (4)$$

对于悬臂施工桥梁,一般将各阶段梁体的变形量和各阶段预拱度调整量作为灰色系统模型原始数据列。

3.2 自适应控制方法

对于预应力混凝土桥梁,施工中每个工况的变形和受力达不到设计所确定的理想目标的重要原因是有限元计算模型中的计算参数取值,主要是混凝土的弹性模量、材料的比重、徐变系数等与施工中的实际情况有一定的差距。要得到比较准确的控制调整量,必须根据施工中实测到的结构反应修正计算模型中的这些参数值,以使计算模型在与实际结构磨合一段时间后,自动适应结构的物理力学规律,图1为自适应控制的原理图^[6]。

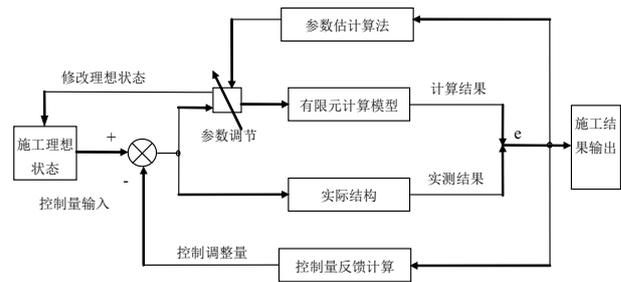


图1 自适应施工控制方法基本原理图

4 多跨连续梁桥施工控制实例

4.1 工程概况

郑西客专陇海铁路特大桥上部结构采用(62+2×100+62)m预应力混凝土连续梁桥,梁体上部结构如图2所示。

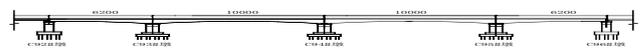


图2 桥型布置图

本桥施工顺序为:临时固结→0#块支架现浇→1#块支架现浇→挂篮拼装预压→中间梁段悬臂施工→边跨合拢→张

拉边跨合拢预应力钢束→中跨合拢→张拉中跨合拢预应力钢束→桥面等附属结构施工。

对于连续梁桥，若已施工梁段上出现线形误差，除张拉预备预应力束外，基本没有调整的余地，且由于铁路桥梁的刚度较大，这一调整量也是非常有限的，而且对梁体受力不利。因此，一旦出现线形误差，误差将永远存在，对未施工梁段可以通过立模高程调整已施工梁段的残余误差，如果残余误差较大，则需要调整几个梁段才能完成。若施工过程中梁体线形出现较大的施工误差，将给后续工序带来较大的困难，需在施工过程中严格控制梁体线形。

该桥施工前进行了施工阶段有限元分析，按照原设计参数计算的桥梁结构累计位移如图3所示。由图3可见，按照前期施工监控分析，中跨合拢前合拢段两侧的累计位移差最大，两侧最大差值为0.034m，故本桥施工监控的重点为中跨合拢误差及全桥线形，中跨合拢段两侧需设置较大的预拱度差才能使合拢误差满足规范要求^[7]。

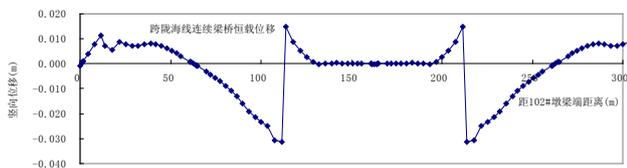


图3 采用设计参数的累计位移计算结果

4.2 灰色理论与自适应控制方法的应用

连续梁桥的施工过程随着时间的推移，其影响因素诸如温度、湿度和其它的一些因素是逐步变化的，且这种变化是一种随机的灰色过程。为计入这些影响因素的变化，确保所建立模型的有效性，必须进行反馈校正。在利用灰色理论施工控制时，对理论值与实测值建立误差序列，以此为原始序列，建立GM(1,1)模型，并及时采用新陈代谢模型进行模型的反馈校正，即每补充一个新值，便去掉一个最老的数据，以维持数据序列的维数，采用这种处理方法可使预测模型得到有效的修正，提高预测精度。

对于跨陇海铁路连续梁桥，将各阶段梁体的变形量和各阶段预拱度调整量作为灰色系统模型原始数据列。在第j节施工完成后，测得前k节段挠度变化、实际拱度实测值，为消除温度对梁体挠度的影响，挠度观测均在日出前进行。理论挠度、拱度由桥梁专业软件BSAS建立模型求得。

对于悬臂施工桥梁，预拱度设置的准确与否主要在于

结构各阶段的位移预测是否准确，在多跨连续梁桥的施工控制中引入灰色理论和自适应控制方法两种预测方法进行预测结构的变形，从而确定结构的预拱度。在进行实测结果和理论结果的误差分析时，为消除测量误差带来的影响对实测结果进行了曲线拟合，采用拟合后的数据进行预测；自适应控制方法的关键在于参数估计，对于连续梁桥可采用最小二乘法进行参数估计。预测完成后对两种方法的预测挠度结果进行比较，确定下一阶段结构的预拱度。跨104国道连续梁桥C93、C94号墩13号块预测预拱度如表1所示^[8]。其中自适应控制方法预测结果根据调整参数后的BSAS程序计算结果求得，程序中对梁体弹性模量、刚度、单元预加应力、收缩、徐变系数进行了调整。

表1 中跨(C93#墩-94#墩)预测预拱度(包括挂篮变形)

截面位置	C93号墩		C94号墩大里程侧	
	小里程侧	大里程侧	小里程侧	大里程侧
灰色理论预测预拱度	0.014	0.050	0.024	0.029
自适应理论预测预拱度	0.016	0.047	0.025	0.030

由表1可以看出，两种方法预测的各阶段梁体挠度与实测挠度值较为接近，按照原设计参数计算的结果次中跨合拢段两端需设置0.052m的预拱度差值，灰色理论预测差值为0.026m，调整计算参数后自适应控制方法的结果为0.022m，实际施工中按照自适应控制方法的预测结果进行立模。

4.3 线形控制结果

(1) 合拢误差

次中跨和中跨合拢前，合拢误差如表2所示。

中跨合拢前合拢段两端悬臂端标高列于表3-2。

表3-2 边跨合拢误差

块段号		13#块底板设计标高	底板实测标高	拱度(m)	误差(m)
102#-103#墩中跨	102#墩大里程侧13#块	114.253	114.257	0.004	0.001
	103#墩小里程侧13#块	114.253	114.256	0.003	
103#-104#墩中跨	103#墩大里程侧13#块	114.253	114.256	0.003	0.005
	104#墩小里程侧13#块	114.253	114.261	0.008	

由表3-2可见，102#-103#墩中跨合拢误差为0.001m，103#-104#墩中跨合拢误差为0.005m，满足规范要求(规范允许值0.015m)。

表 2 合拢误差

块段号		底板设计标高	底板实测标高	拱度(m)	合拢误差(m)
C93# 墩-C94# 墩次中跨	C93#墩大里程侧13#块	21.817	21.822	0.005	0.003
	C94#墩小里程侧13#块	21.801	21.809	0.008	
C94# 墩-C95# 墩中跨	C94#墩大里程侧13#块	21.273	21.288	0.015	0.002
	C95#墩小里程侧13#块	21.258	21.271	0.013	
C95# 墩-D1# 墩次中跨	C95#墩大里程侧13#块	20.726	20.729	0.003	0.004
	D1#墩小里程侧13#块	20.711	20.718	0.007	

由表 2 可见，合拢误差较小，满足规范要求。

(2) 成桥线形

中跨所有预应力张拉后梁体线形如图 4 所示。

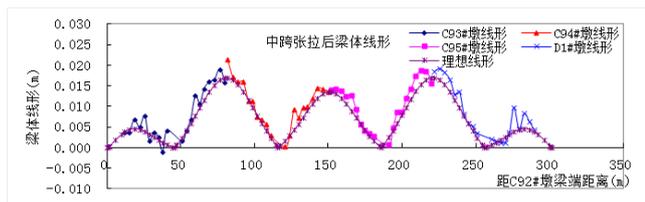


图 4 成桥线形

中跨预应力张拉后全桥线形平顺，与理论预拱度相差较小，线形误差均在 1cm 以内，满足规范要求。

5 结语

对于新建铁路桥梁，提出了桥梁顶面的线形控制方法和混凝土即将浇筑完成时的梁面高程计算公式，在混凝土浇筑即将完成时增加一次测量工序，可保证梁面线形，该方法可

用于多跨高速铁路悬臂施工连续梁桥的线形控制中；对于悬臂浇筑的多跨连续梁桥，可利用灰色理论及自适应控制方法结合进行桥梁的施工控制，控制的关键是各节段梁的预拱度，需要对各阶段梁体的竖向挠度进行测量分析、调整和预测累计挠度，使线形控制效果良好；跨 104 国道连续梁的线形控制结果表明，论文提出的线形控制方法适合于多跨连续梁桥的施工控制；灰色理论及自适应控制方法的准确预测是建立在精确测量基础上的，在高速铁路多跨连续梁桥的施工控制中，高程测量需要精密测量仪器来测量。

参考文献

- [1] 熊云, 刘学信, 翟宝珍. 无砟轨道板安装精调控制施工技术[J]. 2008(6):20-23.
- [2] 向中富. 桥梁施工控制技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [3] 葛耀君. 分段施工桥梁分析与控制 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [4] 徐君兰. 大跨度桥梁施工控制 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [5] 卢哲安, 于清亮, 汪娟娟. 灰色理论在连续梁桥施工控制中的作用 [J]. 武汉理工大学学报, 2006, 28(3):83-85.
- [6] 赵文武, 辛克贵. 预应力混凝土斜拉桥自适应施工控制分析 [J]. 工程力学, 2006, 23(2):78-83.
- [7] 齐林, 黄方林, 贾承林. 连续刚构桥施工线形和应力的分析与控制 [J]. 铁道科学与工程学报, 2007, 4(2):29-33.
- [8] 周建民. 预应力混凝土梁上拱度的预测及控制 [J]. 上海铁道大学学报, 1997, 18(4):32-36.