

高速铁路连续梁桥线形监控分析

杜 蹇

(中铁二院西北公司,甘肃 兰州 730000)

摘要:悬臂法施工作为大跨径连续箱梁桥的重要施工方法在高铁领域被广泛采用。挠度测量是箱梁悬臂施工控制的一项重要内容,目的是为施工提供每一个箱梁施工阶段准确的立模标高,为保证桥梁的线形和顺利合拢打下基础。以京沪高铁某桥为工程背景,介绍了该桥的线形监控的自适应控制方法以及线形监控中采取的措施,并阐述了自适应控制理论能较好地应用于此类桥梁的线形控制。

关键词:线形监控;自适应控制理论;预应力混凝土连续梁桥;高速铁路;悬臂法施工

中图分类号:U448.13

1 前言

大跨径连续箱梁悬臂施工是现代比较成熟的大跨径施工技术,为保证桥梁成桥线形与设计线形吻合及对向施工的高精度合拢,进行适时和准确的挠度测量尤其必要。一般来讲,箱梁悬臂施工中影响挠度变形的因素很多,施工荷载、挂篮变形、混凝土容重、弹性模量、收缩徐变、日照和温度变化、预应力大小、结构体系转换等因素在设计过程中的参数设定值与实际施工状态不能完全保持一致,导致箱梁理论计算挠度与实际有较大偏差,而且随着悬臂跨径的增大,箱梁内外温差影响引起的偏差也逐渐增大。但这些因素的综合影响最终体现在箱梁的挠度上。因此需采取科学有效的措施对箱梁实施高精度测量,并进行分析和预测,实时地调整立模标高,最大限度地使大桥实际线形与设计线形一致,从而保证桥梁的力学结构不变和安全运营。

2 工程概况

京沪高铁某预应力混凝土连续梁桥主梁采用预应力混凝土连续箱梁结构,计算跨度为80+128+80m,支座中心线至梁端0.85m,梁全长290.9m。梁高沿纵向按二次抛物线变化,中支点梁高9.6m(高跨比1/13.3),边支点及跨中梁高5.6m(高跨比1/22.9),中跨跨中直线段长9m,边跨直线段长21.95m。截面采用单箱单室、变高度、变截面直腹板形式。箱梁顶宽13.4m,底宽7.0m。顶板厚度除梁端附近外均为450~650mm,按折线变化;腹板厚640~1100mm,按折线变化;底板由跨中的520mm按二次抛物线变化至根部的1200mm。全联在端支

点、中跨中及中支点处共设置5个横隔板,隔板厚度分别为:边支座处1.5m,中跨中0.8m,中支点处3.0m。横隔板设有孔洞,供检查人员通过。箱梁两侧腹板与顶底板相交处外侧均采用圆弧倒角过渡。桥面宽度:防撞墙内侧净宽9.4m,桥上人行道栏杆内侧净宽13.2m,桥面板宽13.4m,桥梁建筑总宽13.8m。曲线上梁按曲线布置,梁体沿线路左线中心线布置,相应的梁体轮廓尺寸均为沿线路左线中心线的展开尺寸,梁体轮廓、普通钢筋、预应力钢束及管道等均以线路左线中心线为基准线沿径向依据曲率进行相应的调整,支座亦按径向布置。连续梁桥布置如图1所示。

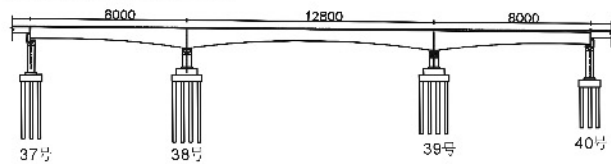


图1 连续梁桥布置

3 线形控制的基本理论

3.1 自适应控制理论

影响预应力混凝土桥梁施工过程中结构线形及内力的因素主要有混凝土的弹性模量,浇筑混凝土超方量,混凝土收缩、徐变,桥梁施工临时荷载,挂篮的变形特性,预应力束张拉误差等。当上述因素与设计不符,而又不能及时识别引起控制目标偏离的真正原因时,必然导致在以后阶段的悬臂施工中采用错误的纠偏措施,引起误差积累。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。当结构测量到的受力状态与模型计算结果不相符时,把误差输入到

参数识别算法中去调节计算模型的参数,使模型的输出结果与实际测量到的结果相一致。得到修正的计算模型参数后,重新计算各施工阶段的理想状态,这样,经过几个工况的反复辨识,计算模型基本上与实际结构一致,在此基础上可以对施工状态进行更好的控制。图 2 为自适应系统的构成。

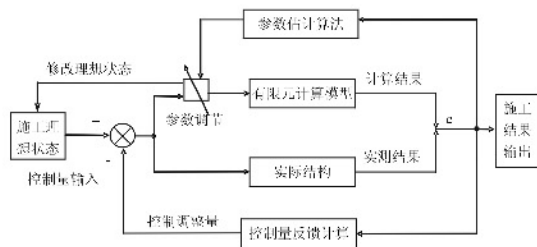


图 2 自适应系统的构成

对于采用悬臂拼装或悬臂浇筑的桥梁,主梁在墩顶处的相对线刚度较大,变形较小,因此,在控制初期,参数不准确带来的误差对全桥线形的影响较小,这对于自适应控制思路的应用是非常有利的。经过几个节段的施工后,计算参数已得到修正,为跨中变形较大的节段的施工控制创造了良好的条件。

3.2 立模标高的确定

在主梁的悬臂浇筑过程中,梁段立模标高的合理确定,是关系到主梁线形是否平顺、是否符合设计的一个重要问题。如果在确定立模标高时考虑的因素比较符合实际,而且加以正确的控制,则最终桥面线形较为良好。

立模标高并不等于设计中桥梁建成后的标高,一般要设置一定的预拱度,以抵消施工中产生的各种变形(竖向挠度)。其计算公式如下:

$$H_{mi} = H_{gi} + \sum f_{1i} + \sum f_{2i} + f_{3i} + f_{4i} + f_{5i} + f_{6i}$$

式中: H_{mi} —— i 阶段立模标高;

H_{gi} —— i 阶段设计标高;

$\sum f_{1i}$ ——由本阶段及后续施工阶段梁段自重在本阶段产生的挠度总和;

$\sum f_{2i}$ ——由张拉本阶段及后续施工阶段预应力在 i 阶段引起的挠度;

f_{3i} ——混凝土收缩、徐变在 i 阶段引起的挠度;

f_{4i} ——施工临时荷载在 i 阶段引起的挠度;

f_{5i} ——取使用荷载在 i 阶段引起的挠度的 50%;

f_{6i} ——挂篮变形值。

其中挂篮变形值是根据挂篮加载试验确定的在施工过程中加以考虑, $\sum f_{1i}$ 、 $\sum f_{2i}$ 、 f_{3i} 、 f_{4i} 、 f_{5i} 在前进分

析和倒退分析计算中已经加以考虑。监控计算采用平面杆系有限元方法进行,根据本桥的施工进度计划从正装分析、倒装分析、实时跟踪分析三方面对本桥进行了结构分析。施工过程中利用最小二乘法对参数进行识别、修正。

3.3 测量

从挂篮的前移定位至预应力钢束张拉完毕为一个施工周期,每个周期中有关施工控制的步骤如下:

1) 按照预报的挂篮定位标高定位挂篮,测量定位后的挂篮标高;

2) 立模板、绑扎钢筋;

3) 浇筑混凝土前,测量所有已施工梁段上的高程测点,复测挂篮定位标高,墩顶的水平位移;

4) 分析测量结果,如需调整,调整挂篮标高;

5) 浇筑完混凝土后第二天测量所有已施工梁段上的测点标高,测量本梁段端部梁底和预埋梁顶的测点标高,建立测点与梁底标高的关系;

6) 按《铁路工程检验评定标准》检查断面尺寸,统计梁段混凝土超重的情况;

7) 张拉预应力钢筋后,测量所有已施工梁段上的高程测点;

8) 分析测量结果,根据上一施工周期梁底标高测量值和应力、温度等测量结果计算、预报下一施工周期的挂篮定位标高。

3.4 误差控制

本桥线形控制的最终目标是:成桥后的线形与设计线形的所有各点的误差均控制在 3cm 范围之内。根据这一目标,在每一施工步骤中制订了如下的误差控制水平:

1) 挂篮定位标高与预报标高之差控制在 1cm 以内;

2) 预应力束张拉完后,如梁端测点标高与预报标高之差超过 ± 1 cm,需经控制小组研究分析误差原因,确定下一步的调整措施;

3) 如有其他异常情况发生影响到梁体标高,其调整方案也应经仔细分析研究,提出控制意见。

3.5 参数调整

在获得测量数据后,对比实测值与理论值的差别,采用分离变量法可识别出各参数的真实值。在本桥的线形监控中,取定主梁混凝土箱梁抗弯刚度、块件重量与预应力钢束张拉力为待识别的参数。在施工第 n 号块时,由挂篮移位的梁体变位实测值与理论值的差别,可识别出第 $n-1$ 号块件的弹性模量的真实值;由浇筑混凝土时的变位值可识别出第 n

号块的重量;由张拉预应力时的变位值可识别出第 n 号块件对应的预应力钢束张拉力。在识别出各参数后,须及时将它们反映在有限元计算中,以获得修正的下一块件的挂篮变位预抬高量。

3.6 控制线形的调整

在施工过程中,由于结构实际情况与理论计算的差异以及挂篮定位标高放样的误差,必将导致已建部分在成桥时的线形出现不能消除的误差。若对误差不予调整而继续施工,将导致全桥的线形波动较大。鉴于这种情况,须对未施工阶段的控制线形作出修改。在本桥的线形控制中采用了拉格朗日差值法:

$$f(x) = \sum_{k=1}^n (f_k \prod_{j=1, j \neq k}^n \frac{x - x_j}{x_k - x_j})$$

式中: $f(x)$ ——待施工阶段控制线形与设计标高的差值;

f_k ——已施工阶段的高程与控制目标的偏差;

x_j, x_k ——已施工阶段前端截面的水平坐标。

由上式可得出待施工阶段的控制线形与设计标高的差值 f_n ,还须比较 f_n 与标高偏差允许范围 H_{max} 的大小,取 $-H_{max} \leq f_n \leq H_{max}$ 。

4 控制成果

4.1 实测位移与理论位移对比

由图3和图4可以看出,梁段在浇筑后和张拉后的实测位移与计算位移接近。

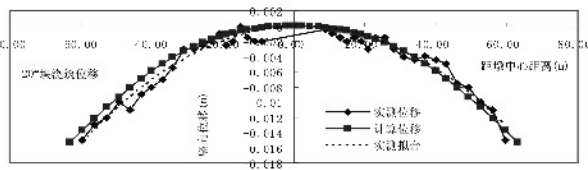


图3 38#墩20#块浇筑位移比较

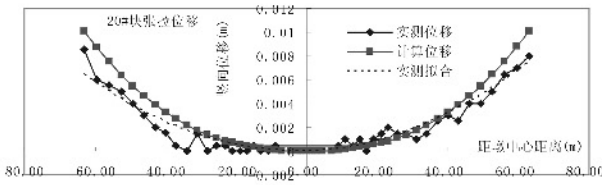


图4 38#墩20#块张拉位移比较

4.2 成桥线形

中跨合拢段预应力束张拉后梁体实际预拱度与理论预拱度对比如图5所示。

由图5可以看出,全桥合拢张拉中跨预应力束后,梁体线形走势与理论线形一致,梁底实际预拱度与理论预拱度误差在1.5以内,梁体线形平顺,满足目标控制要求。

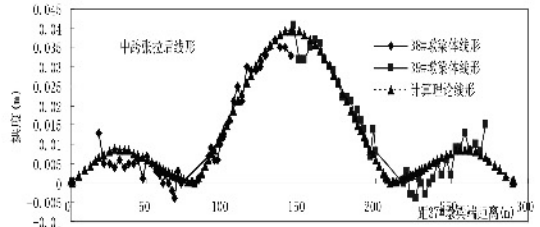


图5 实际预拱度与理论预拱度对比

5 结论

1)由施工过程中所测梁体实际发生的位移与理论位移的比较图可见,各施工阶段梁体实际发生的位移与理论位移接近,说明施工监控所采用的计算模型及计算参数能反映该桥的实际状况;

2)由成桥阶段梁体实际线形与理论线形的对比可以看出,梁体实际线形与理论线形误差较小,说明本桥线形平顺,能保证后期铺设桥面时的要求,满足设计及施工规范要求;

3)成桥阶段所有节点标高与设计线形的误差均在1.5cm以内,满足控制目标要求。

参考文献:

[1] 向中富. 桥梁施工控制技术[M]. 北京:人民交通出版社,2001.

[2] 徐君兰. 大跨度桥梁施工控制[M]. 北京:人民交通出版社,2000.

[3] 兰州交通大学. 京沪高铁跨南运河预应力混凝土连续梁桥线型监控报告[R]. 兰州:兰州交通大学,2010.

[4] 向学建,杨响. 下沙大桥上部成桥线形施工监控[J]. 华东公路,2003.