

窄幅大跨连续梁桥线形控制研究

罗书舟, 张谢东

(武汉理工大学 交通学院, 湖北 武汉 430063)

摘要: 连续梁桥在施工过程中会受到自重、预应力张拉、施工荷载、温度等因素的影响, 且铁路桥梁建设尤其看重桥面整体线形平整程度, 对铁路连续梁桥悬臂浇筑施工进行线形控制是施工监控的重要内容。文中结合埃塞俄比亚默克雷地区 Aroley 五号大桥连续梁工程, 通过 MIDAS/Civil 有限元计算软件和现场实测, 研究窄幅大跨连续梁桥施工期间的线形控制。结果表明, 采用自适应控制法控制窄幅大跨连续梁桥的线形合理可行, 实施方便, 梁体线形控制精度满足要求。

关键词: 桥梁; 窄幅大跨连续梁; 线形控制

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)03-0128-04

由于连续梁桥的多次超静定结构特点, 成桥之后梁体理想线形和合理内力状态不仅与最初设计有关, 还依赖于科学的施工方法及对梁体施工的正确控制。在悬臂浇筑过程中对梁体进行有效控制有利于实现桥梁顺利合龙和满足有砟轨道铺设精度要求, 保证铁路轨道的稳定性、平顺性和可靠性, 确保高速列车行驶安全、舒适、平稳。该文以埃塞俄比亚默克雷地区 Aroley 五号大桥连续梁悬臂现浇施工为例, 研究窄幅大跨预应力连续梁桥线形控制技术。

1 工程概况

埃塞俄比亚 Weldiya 市至 Mekelle 市客货共线铁路 Aroley 五号大桥全长 272.47 m, 其中主桥上部结构为 (62.70+108+62.70) m 窄幅预应力连续梁。梁体采用常规的悬臂灌注法施工, 共分为 57 个梁段, 其中中墩 0# 梁段长 12.0 m, 其他标准节段长 3.0

~4.0 m, 边跨直线现浇段长 7.7 m, 中跨和边跨合龙段长度均为 2.0 m。除中墩支点两侧 8.0 m 梁段和边跨端部 13.7 m 梁段为等高梁段, 梁高分别为 7.7 和 4.6 m 外, 其余均为二次抛物线, 抛物线方程为 $y=4.1x^2/45^2+4.5$ (其中 $x=0\sim45$ m)。梁体采用单箱单室直腹板、变截面、变高度的结构形式, 梁部采用 C55 砼浇筑。边跨顶板厚度由 40 cm 渐变至 65 cm, 其余顶板厚度均为 40 cm; 边跨底板厚度由 46 cm 渐变至 75 cm、中支座两侧底板厚度由 46 cm 渐变至 90 cm, 其余底板厚度均为 46 cm; 边跨端部、中支座两侧腹板厚度由 40 cm 渐变至 70 cm, 其余腹板厚度均为 40 cm; 断面悬臂段厚度由 30 cm 渐变至 65 cm。梁体节段划分见图 1。箱梁顶、底板宽度分别为 7.0 和 5.0 m, 两侧翼缘悬臂长 1.0 m, 宽跨比为 0.03, 属于典型的窄幅连续梁。

一般宽跨比越小, 桥梁抗扭性能越差, 且剪力滞

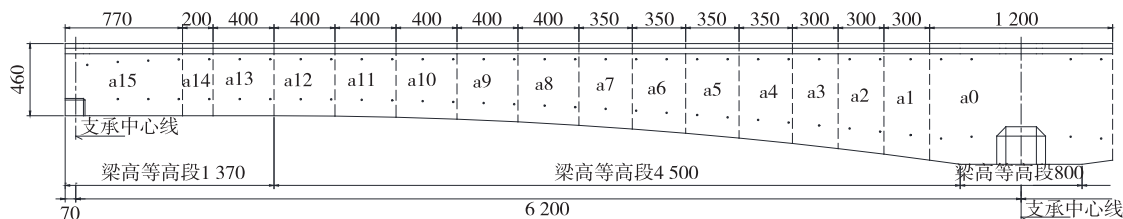


图 1 Aroley 五号大桥连续梁节段划分(单位: cm)

效应变化会相应减小, 说明窄幅大跨连续梁的横向刚度较小。但由于窄幅箱梁结构简洁, 方便施工、运输和安装, 并适于城市与野外多种施工条件, 该结构得到开发并发展了多种结构形式。对于在交通不便的埃塞俄比亚默克雷地区, 运用窄幅大跨连续梁

可满足线路设计要求。

2 线形控制方案

大跨度连续梁的线形控制实际上是计算→预告→施工→测量→识别→修正→再预告的循环过程,

即通过结构计算分析确定连续梁各节段的挠度变化及立模标高理论值,与施工现场测量所得相应节段高程进行比较,分析两者产生偏差的原因,并在下一个悬浇节段立模标高中加以调整,从而保证合龙口两边悬臂端的相对高差及最终成桥线形满足要求,确保结构内力符合设计要求。

2.1 线形控制方法

Aroley 五号大桥连续梁线形控制采用自适应控制法,通过对比施工过程中结构实测状态和模型计算结果识别两者产生偏差的主要因素,进而调整计算模型参数尽量将误差消除,不断反馈结构的实测结果并调整计算模型参数对施工过程进行有效控制。相较于纠偏重点控制法、误差容许值控制法等监控方法,自适应控制法具有建模方式简单、工作量较小、监控效果明显等优点,是大跨度桥梁施工控制的常用方法之一。其施工控制流程见图 2。

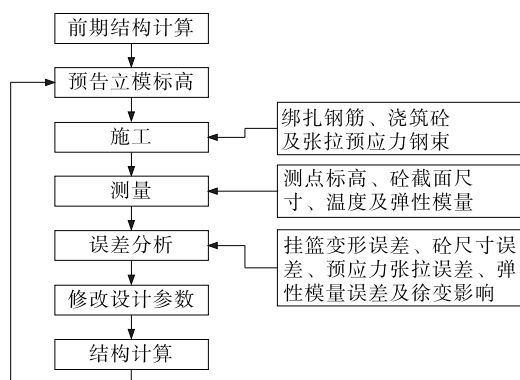


图 2 连续梁桥线形自适应控制法的流程

2.2 建立模型

利用 MIDAS/Civil 软件对全桥结构进行离散,依据设计参数对各离散单元赋予计算参数,施加各种荷载作用并按照施工工序对全桥施工过程进行正装仿真分析,得到整个施工过程的计算模型,最后提取结构变形和预拱度。为确保高速列车行驶平顺性和旅客舒适性,计入活载效应和各阶段的收缩徐变。

根据 Aroley 五号大桥施工总体步骤及现场施工情况,全桥有限元模型共划分为 136 个单元、49 个施工阶段和 1 个运营阶段。每个节段的悬浇过程为挂篮就位与立模→浇筑→张拉预应力筋与拆模→挂篮前移。全桥 MIDAS/Civil 模型见图 3。

2.3 测点布置

Aroley 五号大桥连续梁采取以控制梁体底板线形为主、顶板线形为辅的方式。箱梁截面测点布置见图 4。测点预埋件采用直径不小于 30 mm 的



图 3 Aroley 五号大桥 MIDAS/Civil 模型

钢筋头,尽量磨圆预埋件顶部并涂上颜色醒目的油漆,施工中保证测点不被破坏。为测量方便且准确,将预埋钢筋头置于距箱梁悬浇段底板前端 5~10 cm 处,并焊接在绑扎的钢筋上,预埋钢筋头超出表面 4~5 cm。在梁顶面设置测点桩,用于测量梁顶面高程及轴线的实际变化,通过与计算值对比,在下一个节段施工中及时调整立模标高从而减小误差累积。通过对连续梁顶、底板测点的高程测量,控制梁体上、下缘线形,并推算实际施工悬臂端的梁高与设计值核对。

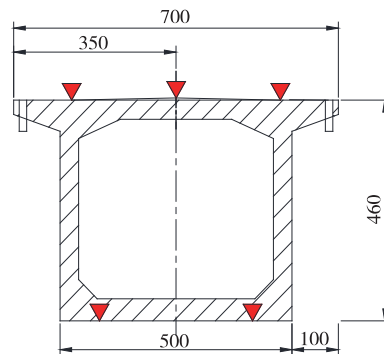


图 4 Aroley 五号大桥测点布置 (单位:cm)

2.4 立模标高

在悬臂施工中,立模标高是各节段施工前调整模板高程的唯一依据,也是最终线形控制的基础。立模标高以各梁段前端截面标高为准,按下式计算:

$$H_i = H_0 + f_{iy} + f_{ig} + f_x \quad (1)$$

式中: H_i 为待浇筑箱梁底板前端模板标高; H_0 为该点设计标高; f_{iy} 为浇筑箱梁段预拱度; f_{ig} 为挂篮弹性变形对该点挠度影响值; f_x 为已浇筑梁段对待浇筑梁段测点的影响值。

2.5 线形监控方案

在施工现场进行实地测量是获得线形控制分析数据最直接的方式,正确选定测量阶段和时机对于预应力连续梁桥的施工监控尤为重要。测量阶段数量确定遵循“全覆盖、不繁杂”的原则,如果过多会影响施工进度且数据量太大,如果过少则不能全面反映施工情况并给梁体标高误差产生原因分析带来困难。根据施工监控方案,结合施工现场实际情况,确定表 1 所示 Aroley 五号大桥连续梁线形测量内容

表1 Aroley 五号大桥连续梁线形测量内容及时间

工况	测量内容	测量时间	要求
立模后	挂篮前端顶、底板各控制点	无限制	精度 ± 1 mm, 上下游高差 < 1 mm
浇筑前	所有已浇筑梁段的测点		复测立模高程
浇筑后	所有已浇筑梁段的测点、顶面标高、轴线位置	早上 7:00 前或 下午 17:30 后	确定顶、底板测点标高关系
预应力张拉后	所有已浇筑梁段的测点、顶面标高、轴线位置		

及时间要求。

3 线形控制分析

3.1 标准节段线形控制

根据图 1, Aroley 五号大桥主桥上部结构标准节段共分为 13 个梁段, 在各节段浇筑后和预应力张拉后测量其悬臂端前端高程, 分别将所测 1[#] 和 2[#] 墩大、小里程线形数据与结构分析计算所得理论值进行对比, 得到悬臂端底板相对高差(见图 5)。

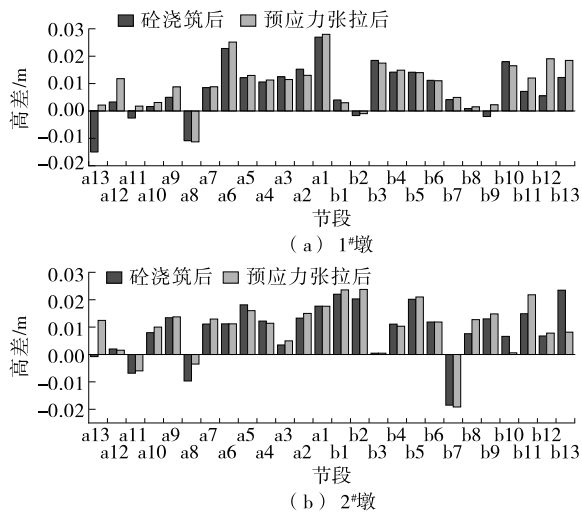


图5 Aroley 五号大桥施工阶段各悬臂端底板相对高差

由图 5 可知: 1) 无论是 1[#] 墩还是 2[#] 墩, 浇筑前后和预应力张拉前后各悬臂端底板高程实测值与理论值的最大相对高差均出现在标准节段刚开始施工的 1[#] 梁段, 其中 1[#] 墩出现在小里程 1[#] 梁段, 高差为 2.7 cm; 2[#] 墩出现在大里程 1[#] 梁段, 高差为 2.3 cm。随着施工的推进及对影响线形控制关键因素的准确识别, 之后大部分节段的相对高差均控制在规范要求的 ± 1.50 cm 范围内。1[#] 墩满足线形控制规范要求的梁段在浇筑后有 22 个, 占梁段总数的 84.6%; 在预应力张拉后有 19 个, 占梁段总数的 73.1%。2[#] 墩满足线形控制规范要求的梁段在浇筑后有 21 个, 占梁段总数的 80.8%; 在预应力张拉后有 20 个, 占梁段总数的 76.9%。2) 每个节段的挠度

变化都会受到砼浇筑、预应力张拉、砼收缩徐变、温度、各种施工荷载等的影响。大、小里程相同号数的梁段在砼浇筑前后挠度变化不相同, 在排除其他潜在影响因素后, 发现与悬臂施工过程中该节段的不平衡浇筑有关。因浇筑过程并不能保证严格对称施工, 两端不平衡的荷载可能使梁体发生整体转动, 从而影响某一个梁段的线形控制。使挠度产生较大变化的还有受力, 1[#] 墩 6[#] 梁段相对高差较大便与此有关, 施工中由于各种因素的综合影响, 各梁段的施工周期往往不尽相同, 受力龄期有一定差异, 从而影响梁段的弹性模量。当然每个梁段产生误差的影响因素不尽相同, 应及时识别最主要的原因并在之后的施工中避免类似问题出现, 从而减小误差。

3.2 合龙段线形控制

合龙段作为整个梁体施工的最后步骤, 是连续梁施工的关键。线形和应力控制、体系转换时机、劲性骨架安装、合龙精度、温度变化的影响等是合龙施工中的重点和难点。Aroley 五号大桥连续梁采取先合龙边跨、后合龙中跨的常规方案, 通过对合龙前、合龙中和合龙后合龙段施工的连续监控, 实现“合龙之前的线形可控, 合龙之中的线形不出意外, 合龙之后的线形符合相关要求”的目标。线形控制结果见表 2。

由表 2 可知: 各合龙段相对高差都控制在 ± 1.5 cm 范围内, 满足精度要求, 属于正常合龙。

3.3 全桥线形控制

关注各工况下单独节段的挠度变化有利于分析实测值与理论值产生偏差的原因并对下一节段立模标高进行修正, 但连续梁的标准节段和预应力筋相互连接, 先浇筑节段的线形会受到后浇筑节段施工的影响, 合龙完成后的解除临时支座和体系转换等工序也会改变最终成桥线形。图 6 为 Aroley 五号大桥体系转换后连续梁底板线形实测值与理论值对比。

由图 6 可知: 经历各种复杂工况后, Aroley 五号大桥连续梁桥面和底面实测、理论高程之差总体来说控制在合理范围内, 上下线形基本平顺, 相同梁

表 2 Aroley 五号大桥合龙段顶板相对高差

合龙段	位置	设计高差/cm	实际高差/cm	偏差/cm	控制精度/cm
小里程合龙段	小里程 a15 块、小里程 a13 块顶部中心	3.7	3.2	-0.5	±1.5
中跨合龙段	小里程 b13 块、大里程 a13 块顶部中心	4.2	4.9	0.7	±1.5
大里程合龙段	大里程 b13 块、大里程 a15 块顶部中心	4.7	3.7	-1.0	±1.5

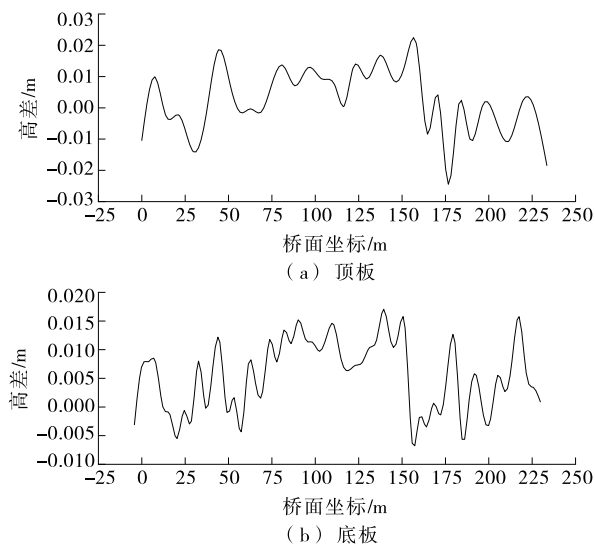


图 6 Aroley 五号大桥成桥线形误差分布

段顶、底板误差波动趋势也类似,满足监控要求。

4 结论

(1) 通过有限元软件 MIDAS/Civil 建立连续梁桥模型进行结构计算分析有助于事先模拟连续梁的施工过程并获取成桥后的受力及位移状态,为之后开展施工线形监控打下基础。

(2) 悬臂施工中,任一节段完成施工后再对之前产生的线形误差进行调整将变得十分困难,当前节段线形控制中需对挠度变化影响较大的因素进行准确识别并在下一个节段立模标高中进行修正,从而满足梁体施工线形控制精度要求。

(3) Aroley 五号大桥连续梁施工中,悬臂端梁段挠度的调整、合龙及体系转换后都基本将高程误差保持在合理区间,满足规范中线形平顺的要求。

参考文献:

[1] 童永瑞,王瑞萍.大跨度桥梁线形监控的研究与分析[J].科技信息,2013(13).

[2] 张连武.大跨度连续梁线形控制施工技术[J].建筑技术开发,2014,41(5).

[3] 叶铁.严村特大桥连续梁悬臂施工线形控制技术[J].价值工程,2017,36(13).

[4] 张国红,曹刚龙,陈少波.高速铁路悬臂浇筑连续梁线形控制综合技术探讨[J].铁道建筑技术,2010(1).

[5] 刘清忠.高速铁路多跨连续梁桥悬臂浇筑线形控制[J].中华民居:下旬刊,2014(3).

[6] 张仲利.预应力混凝土连续梁悬臂施工线形控制及影响因素分析[J].国防交通工程与技术,2015(增刊 1).

[7] 张谢东,马彪,罗茂盛,等.大跨 PC 连续梁桥施工监控评价研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2013,37(1).

[8] Chen S X,Chen K J,Li R.Study of design techniques of A-shape high-rise pier and long span concrete continuous rigid-frame bridge[J].Bridge Construction,2014,44(1).

[9] Wang H,Han F.Technology research status review of long-span continuous rigid frame bridge deck pavement [J].The Open Civil Engineering Journal,2015,9(1).

收稿日期:2018-07-12

(上接第 108 页)

分布特征及其与环境因子的关系[J].生态学报,2017,37(18).

[2] 姚德波,汪林,殷新锋.嘉鱼长江公路大桥主塔下横梁支架计算分析[J].公路与汽运,2018(2).

[3] 胡雄伟.重庆寸滩长江大桥桥塔横梁支架设计与施工[J].世界桥梁,2015,43(2).

[4] 孙镇国,贾兵团,仝增毅.清水河大桥索塔下横梁的超高支架设计与安装[J].公路,2015(8).

[5] 许自刚.ANSYS 软件在现浇梁支架模拟计算中的应用

[J].施工技术与测量技术,2014,34(2).

[6] 符强,李延强.ANSYS 在贝雷梁施工支架检算及变形量预测中的应用研究[J].铁道建筑,2012(6).

[7] JTG D60—2004,公路桥涵设计通用规范[S].

[8] JGJ 130—2011,建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范[S].

[9] GB/T 50017—2003,钢结构设计规范[S].

[10] JTG/T F50—2011,公路桥涵施工技术规范[S].

收稿日期:2018-06-26