

大跨度现浇单悬臂连续梁桥梁线性控制分析

郑伟佳

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州 450001

摘要: 大跨度现浇单悬臂连续梁施工中,线性控制直接影响着工程建设的质量和安全性。以玻利维亚奥西亚公路项目为例,对大跨度现浇单悬臂连续梁施工中的线性控制措施进行了探讨分析,以供参考。

关键词: 公路工程; 大跨度; 现浇单悬臂连续; 线性控制

Linear control analysis of long-span cast-in-place single-cantilever continuous bridge

Weijia Zheng

China Water Resources and Hydropower 11th Engineering Bureau Co., LTD., Zhengzhou 450001, Henan, China

Abstract: In the construction of large-span cast-in-place single cantilever continuous beams, linear control directly affects the quality and safety of the engineering project. This paper takes the Bolivia Osiya Highway project as an example and explores and analyzes the linear control measures in the construction of large-span cast-in-place single cantilever continuous beams for reference.

Keywords: Highway engineering; Large span; Cast-in-place single cantilever continuous; Linear control

引言

玻利维亚艾尔西亚公路是玻利维亚国家公路干线4号线的重要组成部分,圣灵1桥和圣灵2桥新桥是整个项目的重要节点和标志性建筑,且圣灵1老桥和圣灵2老桥已年久失修,加快启用新桥对玻利维亚国家公路干线4号线具有十分重要的战略意义。单悬臂连续梁施工可通过调整配重的重量施工更大跨度的桥梁,使桥的跨越能力更强,单悬臂连续梁相对于双悬臂连续梁只用施工一半的节块,配重结构为钢筋混凝土薄壁墙包大石混凝土,相对于节块挂篮施工简单快捷,并可节省大量的工程量和成本。单悬臂连续梁施工在国内施工较少见,虽然施工方便快捷,但是线性控制较双悬臂连续梁复杂得多,特别是节块张拉的施工、控制和计算较双悬臂连续梁复杂得多,像圣灵一桥处于转弯段、既有纵坡又有横坡要求的施工更是复杂,因此对单悬臂连续梁的线性控制研究具有十分重要的意义。

一、工程概况

玻利维亚艾尔西亚公路项目,位于科恰班巴省的chapare地区,属于连接玻利维亚两大城市科恰班巴和圣克鲁斯之间的国家交通干线4号公路的一部分。本项目属于4#公路扩建改造工程的一部分,即将现有双向两车道升级为双向四车道。项目起点位于4#公路100km处的圣·哈西德桥,终点为130km处的圣灵II桥,全长30.3公里。主要工程内容包括土方工程、桥梁工程、隧道工程、路面铺筑、排水工程、河道防护及相关配套工程等。项目位置见下图:本项目沿线共有29座桥梁,其中跨河桥9座,高架桥20座,均为双幅桥梁,桥梁总长度3.392km(双向四车道)。按照

桥梁结构类型可分为简支梁桥和连续梁桥,其中简支梁桥27座,连续梁桥2座。最大桥长285.4m。

二、连续梁桥设计方案和施工特点

1.连续桥梁设计方案分析

(1) ESPIRITU SANTO I桥为单跨连续箱梁结构,全长180.25m,单跨长度101.0m,属于特大型桥梁。大桥分为左右两幅,平行布置。单幅桥面宽度为12.96m。箱梁断面为单箱单室直腹板结构,梁顶宽12.96m,底宽7.0m,梁高度为2.0m~5.2m,梁底曲线采用抛物线。顶板厚25cm,底板厚25~42cm,腹板厚40cm。桥梁小桩号侧为单悬臂结构,中支点桥墩上为0#块,一端为现浇悬臂梁,另一端为配重混凝土,长度25.0m,高度12.0m,和0#块形成整体,配重结构为钢筋混凝土薄壁墙包大石混凝土。桥梁大桩号侧为双悬臂结构,单个悬臂由15个节块组成,每个节块长度3.0m,合拢段长度1.5m。挂篮施工最重的为1#段,重量为78.68t。梁体设计为上下两层纵向预应力体系,预应力筋采用 $\Phi 15.4\text{mm}$ 低松弛高强度预应力钢绞线,断面结构图如图1所示。

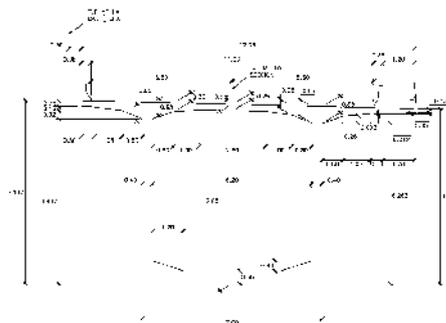


图1 圣灵 I 桥连续梁结构断面图

(2) ESPIRITU SANTO II 桥为单跨连续箱梁结构, 全长 174.3m, 单跨长度 127.3m, 属于特大型桥梁。大桥分为左右两幅, 平行布置。单幅桥面宽度为 12.96m。箱梁断面为单箱单室直腹板结构, 梁顶宽 12.96m, 底宽 7.0m, 梁高度为 2.8m~7.0m, 梁底曲线采用抛物线。顶板厚 25cm, 底板厚 25~50cm, 腹板厚 40cm。桥梁为单悬臂结构, 中支点桥墩上为 0#块, 另一端为配重混凝土, 和 0#块形成整体, 长度 25.3m, 高度 16.0m, 配重结构为钢筋混凝土薄壁墙包大石混凝土。单个悬臂由 19 个节块组成, 每个节块长度 3.0m, 合拢段长度 1.5m。挂篮施工最重的为 1#段, 重量为 93.8t。梁体设计为上下两层纵向预应力体系, 预应力筋采用 $\Phi 15.4\text{mm}$ 低松弛高强度预应力钢绞线。断面结构图如图 2 所示。

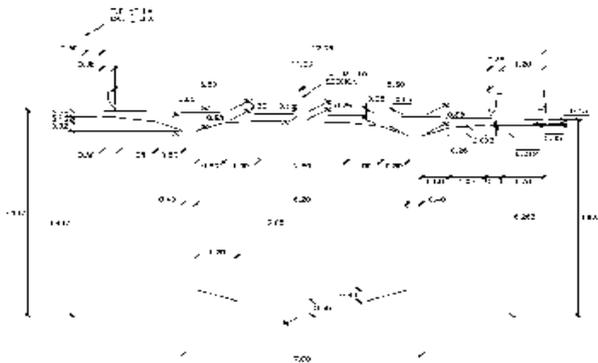


图2 圣灵 II 桥连续梁结构断面图

2. 连续桥梁的现场施工特点

(1) 施工现场, 河流流量大, 水流急, 河中无法进行桩基, 施工单跨跨度大, 但河流两侧出露岩石, 没必要进行双悬臂施工, 且双悬臂因为需要对称施工, 会增加大量不必要的工程量;

(2) 桥梁线性复杂, 圣灵一桥处于转弯段处, 既有纵坡, 又有横坡。单悬臂梁施工线性控制较双悬臂施工复杂、困难、影响因素多, 因此对大跨度现浇单悬臂连续梁线性控制的研究非常重要。

三、线性控制技术的原理和关键技术分析

1. 线性控制技术的原理

(1) 根据现场情况, 在河岸两侧岩土情况较好的情况下, 单悬臂梁施工可在不减少桥梁跨越能力的前提下, 可利用配重平衡节块浇筑的重量, 可减少大量的工程量和节约成本。

(2) 在施工前, 用 midas 软件对圣灵一桥和圣灵二桥进行建模分析, 模拟现场施工工况, 分析各个阶段的受力状

况和施工过程。

(3) 根据 midas 软件模拟情况, 优化桥梁钢绞线布置情况和数量, 使张拉后的线性达到最优。

(4) 通过受力计算和分析与 midas 软件模拟结果进行对比分析, 优化施工工况和条件。

2. 线性控制技术中的关键技术和创新点

单悬臂连续梁施工线性控制, 通过先建模, 模拟每个节块的施工工况, 找到不足之处, 通过优化使线性达到最优。通过 midas 计算变形量与实际变形量进行对比分析, 分析每个节块的变形量和整体变形量, 优化钢绞线的布置和数量, 优化线性, 不断优化施工工艺和方法。与此同时还可以通过模拟不同工况下的荷载, 分析每个节块的变形差异, 优化施工工艺。

四、线性控制方法

1. 建模分析

在施工前根据设计图纸用 midas 对圣灵一桥和圣灵二桥进行建模分析, 模拟施工工况, 分析各个阶段的受力状况和变形量。圣灵 I 桥一侧设置配重混凝土结构物, 小桩号侧为单悬臂连续梁施工, 另一侧为双悬臂连续梁施工, 配重除满足桥梁设计尺寸外, 其主要作用是悬臂段向前浇筑推进时使梁体始终保持平衡状态。配重为薄壁混凝土结构, 内侧回填大石混凝土。主要施工过程为: 圣灵 I 桥下部结构施工完成后, 1 号墩先进行配重和 0 号块的施工, 2 号墩进行 0 号块的施工, 施工完成后进行挂篮的安装和模板的预压, 预压完成后进行 1 号块钢筋的绑扎和关模, 在浇筑前验收模板的高程, 并设置预拱度, 高程验收通过后进行混凝土的浇筑, 浇筑完成后待混凝土的强度达到设计强度的 80% 后进行节块的张拉, 在张拉前从配重起点位置到 1 号块末端每 5m 设置一个控制点测量混凝土面的实际高程。张拉时, 根据每个节块的钢绞线布置情况, 计算拉力大小和钢绞线伸长量。张拉表格见图 4.5。张拉完成后再次从配重起点位置到 1 号块末端测量每个控制点的高程。挂篮行走后, 再一次从配重起点位置到 1 号块末端测量每个控制点的高程。根据三次测量的结果值计算下一个节块的预拱度, 并确定高程。依次完成相应节块的施工。灵 II 桥为双悬臂连续梁施工, 两侧设置配重混凝土结构物, 施工过程与圣灵 I 桥类似。

2. 上部结构的参数设计与 midas 建模分析变形量:

(1) 材料特性和许用应力

设计规范: ASSHTO LRFD 2012

① 混凝土

混凝土弹性模量: $E_c = 0.043K_1 \gamma_c^{1.5} \sqrt{f'_c}$; 泊松比: 0.2; 膨胀系数: 1×10^{-5}

②钢筋

抗拉强度 $f=420\text{Mpa}$; 弹性模量: $E_s=198000\text{Mpa}$; 容重: $\gamma_c=7850\text{Kg/m}^3$; 泊松比: 0.15;

张拉参数: $\Phi=0.6'$; 12束钢绞线 $A=0.00140\text{m}^2$; 松弛系数 CEB-FIP 5%; 抗拉强度 1860Mpa; 抗拉强度的85% 1569Mpa; 曲率摩擦系数: 0.25; 锥体下沉系数: 0.004920/m; 管道直径: 7cm。

③混凝土的力学性能

$$f'_{ca} = 0.55f_{ci} = 1485\text{Kg/cm}^2$$

$$f'_{ca} = 0.5\sqrt{f_{ci}} = 29.28\text{Kg/cm}^2$$

$$f'_{ca} = 0.4f_{ck} = 1600\text{Kg/cm}^2$$

$$f'_{ca} = 0.25\sqrt{f_{ck}} = 14.78\text{Kg/cm}^2$$

④钢绞线许用应力

瞬时破坏应力: $0.9f_{py} = 1415\text{Kg/cm}^2$; 瞬时锚固力: $0.7f_{pu} = 1303\text{Kg/cm}^2$; 服务荷载: $0.8f_{py} = 1266\text{Kg/cm}^2$ 。

⑤荷载与荷载组合

1) 荷载:

自身重量增加, 上部荷载 $W=22\text{KN/M}$ 。

2) 预应力荷载:

抗压强度的76%; 锚固后的损失, 摩擦损失 $P_X = P_0 e^{-(\mu \theta + kL)}$; 锥体下沉损失: 6mm; 弹性损失: $P_E = f_p A_{sp}$ 程序计算的最终损失; 松弛; 由蠕变和收缩造成的损失。



图3 Midas 建模分析变形量

Midas 建模分析变形量如图3所示, 通过模型计算和分析, 对圣灵一桥和圣灵二桥的钢交线布置形式和钢绞数量进行优化设计, 使施工后的线性到达最优。

3.张拉设计优化和线性控制

在施工中需要对每一个节块的张拉进行设计优化, 对每

一个节块浇筑混凝土前模板的预拱度进行计算, 测量浇筑后的高度, 对节块张拉后的高度进行复测, 挂篮行走后对其高度进行再一次复测, 根据三次测量的结果计算与设计高程进行对比分析, 考虑混凝土的徐变和各种荷载的作用, 计算下一节块的预拱度和高程。为了正确反映钢筋混凝土连续梁桥悬臂施工中的标高及线型, 把节段梁顶标高作为控制的监测值。实际线型控制时主要控制和调整挂篮的变形、箱梁的混凝土外形尺寸、预应力大小、施工荷载、结构体系转换的影响、混凝土的收缩徐变、日照和温度变形等, 按以下公式计算:

$$H_i = H_0 + f_i + (-f_{iy}) + f_{挂篮} + f_x + 0.5f_p$$

式中, H_i 为待浇筑段主梁前端底模标高; H_0 为设计标高; f_i 为本施工节段以及后续浇筑各段自身静载对该点标高的影响值; f_{iy} 为本节段和后续节段纵向预应力束张拉后对该点标高的影响值; $f_{挂篮}$ 为本节段的挂篮变形值; f_x 为徐变、收缩、温度、体系转换、二期恒载、施工荷载对该点标高的影响值; f_p 为静活载作用下产生的下挠值。这些数据都可从监控和计算机模拟导出或修正得到。施工测量通过在墩顶桥面位置建立的桥面标高控制点

进行观测, 利用大桥两岸大地控制网点, 用全站仪采用后方交汇法测出墩顶测点的三维坐标, 并将其标高值作为主梁高程的水准基准点。每一墩顶分别布置一个水平基准点和轴线基准点, 做好明显的红色标识, 每隔 10d 进行一次联测, 同时观测墩的沉降。梁挠度、轴线和主梁顶面高程的测量在每一节段悬臂端梁顶设立三个标高观测点和一个轴线观测点。根据各节段施工次序, 每一节段按三种工况(即浇筑混凝土后、张拉后和拆除支架后)对主梁挠度进行独立测量, 相互校核。

五、应用效果分析

近年来, 随着一大批跨越河流、深谷等地势险要路段的大跨度桥梁的出现, 我国预应力混凝土连续梁桥的建设取得了迅猛的发展。在桥梁建设过程中, 为了保证施工进度, 同时又为了满足通航的需要, 通常采用悬臂施工法。单悬臂施工, 此施工方法与传统的双悬臂施工法在施工过程受力上有所不同, 即一侧采用挂篮浇筑, 而另一侧配重的施工方法, 这种施工方法除了兼备对称平衡悬臂施工的优点外, 还具有良好的经济效益。

利用 midas 先建模, 模拟施工工况可提前找出设计的不足, 可通过优化钢绞线的布置形式和布置数量来优化设计, 优化线性, 使线性达到最佳。在本次施工中通过应用上述线

性控制技术,不断优化施工工艺和方法,精确控制每一个节块的高程,使闭合段的高程误差控制在15mm以内,效果极其显著。

六、结语

单悬臂施工由于其自身施工方法的特点,在主梁浇筑过程时的受力性能与传统悬臂施工有所不同。在主梁现浇阶段,梁体除了受到0#块底部临时支撑反力 F_N 外,还有梁端落地的支撑力 F ,其受力简图为简支梁单悬臂。由于落地支撑力承受部分梁体的自身重量,在施工过程中支座受力满足设计要求,并且对控制箱梁的变形、挠度更加有利。在河岸两侧岩土情况较好的情况下,单悬臂梁施工可在不减少桥梁跨越能力的前提下,可利用配重平衡节块浇筑的重量,可减少大

量的工程量和节约成本,并可加快施工进度。利用midas先建模,模拟施工工况可提前找出设计的不足,可通过优化钢绞线的布置形式和布置数量来优化设计,优化线性,使线性达到最佳。本技术进一步深化和具化了单悬臂梁线性控制技术,能为单悬臂梁线性控制技术发展提供了详实案例,可以作为类似的工程施工参考借鉴、采取的控制措施、对其他工程也能提供借鉴和参考,具有很实用的推广前景。

参考文献:

- [1]郝俊.大跨连续梁桥施工过程受力分析对比研究[J].山西建筑,2020,46(08):118-120.
- [2]罗秀林.连续梁桥施工中的线形控制测量探讨[J].工程建设与设计,2021,No.470(24):168-170+173.