

双吊机悬臂吊装四点起吊快速精调施工方法

李德慧

(江西省交通科学研究院有限公司, 江西 南昌 330038)

摘要: 基于钢箱梁节段4点起吊的力学平衡原理,根据吊装节段4点吊装状态的姿态平衡特性,提出分离纵坡与横坡2个正交变量的快速精调定位方法,确定精调施工先调整纵坡后调整横坡的正确操作顺序。工程实例应用于九江长江二桥江心侧的钢箱梁悬臂拼装施工匹配定位施工,节段就位误差小于2 mm,钢箱梁吊装合龙前桥梁线型的控制精度超过 $L/10\ 000$,梁段拼接无尖角,线型平顺。结合实际,给出了应用纵、横坡正交变量分离法精调宽大节段悬臂吊装施工注意事项。

关键词: 桥梁;吊装;节段;精调;平衡;刚体位移

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)08-0186-04

0 引言

跨越宽阔水系的超大跨径斜拉桥钢主梁,多采用节段吊装施工。指导施工吊装,控制吊装节段快速精准定位,对保证施工进度和提高线型控制精度,减小吊装匹配引起的接口次内力,提高施工质量水平等方面非常重要。实际桥梁施工中,多靠长时间反复的试探调整,在接口偏差达到5 mm上下时,采用千斤顶、马板等强行调整的方法安装匹配就位,费时费力,且因节段形位尚存在偏差,后续节段安装线型容易误差积累。

为了解决上述吊装精准匹配问题,根据钢箱梁吊机调整、起吊部件工作的功能特性,提出调整横坡与纵坡2个正交变量控制的悬空钢节段位型的快速精确方法,对类似桥梁施工有参考价值。

1 吊装刚体的自平衡特性

吊装刚体时,起吊后的合力如果恰好通过刚体质心,则刚体处于自平衡状态,此时轻轻扰动刚体,就可以较容易的微小调整刚体空间姿态;当吊装合力不通过刚体质心,起吊刚体,会因质心及吊点合力作用点的差距,刚体转动产生倾斜,使质心位置与合力作用点位置重合,实现空间姿态的平衡,这就是悬吊刚体自适应调节平衡的特性。

“4点起吊”的吊装方法,是基于用4点支撑以

保持起吊物体平衡(简称4点支撑)。由于起吊索具长度变形偏差,变形协调后必然出现4个支撑点内力不同,因此吊装的节段会处于适应性“倾斜”的空间姿态,精确调整4个吊点吊索相对长度,或改变4个吊点中起吊内力分配,就能实现精确控制悬空节段空间姿态。

2 吊机四点起吊力学原理

考虑桥梁节段施工的吊装节段相对比较规则,质量分布基本均匀或符合一定的分布规律,以任意的主梁节段为研究对象,计算简化如图1。图1(a)为实际吊装节段示意图,A、E、B、F为吊点,o点为节段重心,O为节段重心o点在节段顶面的投影位置,以顺桥向为X轴,横桥向为Y轴,竖向为Z轴,节段几何中心C为原点建立水平面,简化计算图形如图1(b)。吊点A、E、B、F处分别作用起吊分力 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 (方向垂直身处纸面)在水平面投影点,O点作用节段重力G(方向垂直进入纸面)。O(m,n)坐标为相对图1(a)坐标系实际所在象限的实数, x_1 、 x_2 、 y_1 为实测吊点到构件几何重心(坐标原点的距离,仅取正值)。

根据节段力学平衡:

$$\sum Z = 0; \sum M_x = 0; \sum M_y = 0; \text{得:}$$

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = G \quad (1)$$

$$(T_1 + T_2) \times y_1 - (T_3 + T_4) \times y_1 + G \times n = 0 \quad (2)$$

$$(T_2 + T_4) \times x_1 - (T_1 + T_3) \times x_2 + G \times m = 0 \quad (3)$$

式(1)、式(2)、式(3)中,吊点坐标(位置)是可以测量的已知量,重心在吊点水平面的投影坐标(m,n)

收稿日期: 2023-07-20

作者简介: 李德慧(1975—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁检测监控工作。

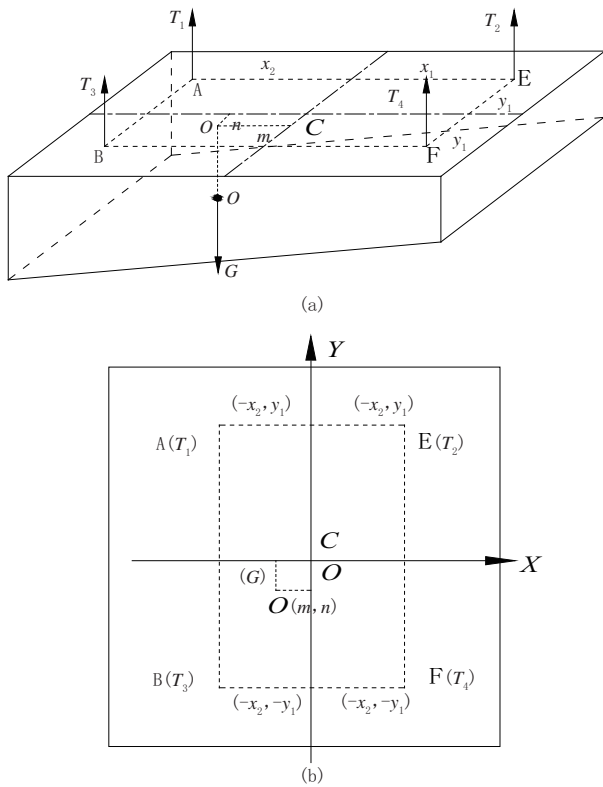


图1 节段吊装计算简图

可以计算分析其理论准确位置。

变换上式,得到:

$$(T_3 + T_4) = (T_1 + T_2) - G \times n / y_1 \quad (4)$$

$$(T_2 + T_4) = (T_1 + T_3) \times x_2 / x_1 + G \times m / x_1 \quad (5)$$

$$(T_1 + T_3) = (T_2 + T_4) \times x_1 / x_2 + G \times m / x_2 \quad (6)$$

实际的桥梁理想预制节段,一般是左右对称的,此时即使有误差,左右偏心值 n 相对吊点坐标 y_1 极小,可以忽略近似认为等于 0。双吊机起吊时,吊点 A、E(T_1 、 T_2)与吊点 B、F(T_3 、 T_4)各由一台吊机起吊,利用吊机扁担梁可在一定范围内调整一台吊机起吊的两个分力(T_1 、 T_2 或 T_3 、 T_4)的分配比例。

3 施工控制快速精调原理^[1-6]

如图 2(a)、图 2(b)所示,考虑变形协调:当式(4)满足,吊机吊具与吊索长度协调后,吊装的刚体与重力平衡,双吊机同步收吊索,刚体会垂直提升并维持姿态不变;单机收吊索,刚体会绕另一个吊机通过节段上两个吊点的直线为轴转动,实现横坡调整;根据式(5)和式(6),双机同时同向的调整扁担梁,会实现刚体以刚体几何中心处 Y 轴为转轴的转动,从而实现沿桥梁纵向整体纵坡调整;单独调整一侧扁担梁或反向调整两个吊机的扁担梁时,由于吊装分力在单侧吊机两个分力间重新分配,刚体因自身刚度,会发生以 X 、 Y 轴两个方向的转动调整,节段横坡

与纵坡均发生变化。

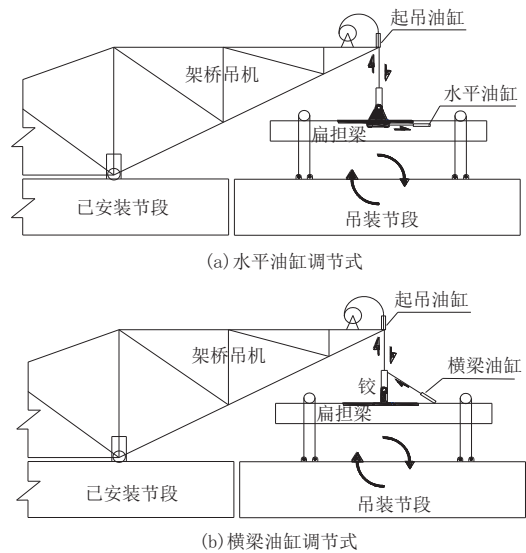


图2 横、纵坡调整吊机工作示意

双吊机节段吊装起吊后,节段一般处于“空间倾斜”状态,此时节段前后的横坡与左右侧的纵坡,均与就位要求的目标精度不符。根据以上调整规律,快速达到精调目标,首先要把要调整的纵、横坡两个正交的变量在节段上的姿态实现“正交”,然后精确调整纵坡与横坡,具体方法是:

(1)先消除节段的双向空间倾斜状态,通过两台吊机的扁担梁反向调整,如图 2 所示,水平(横梁)油缸伸缩,使横梁的合力作用点沿横梁偏移,在节段自平衡重力作用下,同一台吊机的吊点内力分配发生变化,使横梁产生转动,从而实现悬空节段一侧纵坡的调整变化。两台吊机反向操作,可以使节段两侧的纵坡快速一致,消除因吊点内力引起的纵坡变形不一致,使 4 个支撑力控制的起吊悬空节段实现纵、横坡姿态“正交化”。

(2)第一步实现的一致纵坡未必是目标纵坡,这时需要再通过图 2 示意的吊机的扁担梁同向转动调整,配合水准仪器实时观测,使节段纵坡与精调理论目标纵坡吻合或产生接受范围内的误差,这样节段 4 个起吊内力形成的纵坡能达到理想目标,横坡处于待调整的过渡姿态。

(3)通过单侧桥面吊机的起吊油缸升、降调整,使桥面横坡与精调目标一致。此时升降油缸的运作因节段姿态纵横坡已经是正交的,调整不会引起纵坡大的变化。

(4)最终两台吊机完全同步升降主梁,使腹板处高程与接头的已安装梁端腹板精确匹配。

调整过程中第一步与第二步可用传感器实际测

量4个吊装分力大小以辅助快速调整。

第一轮调整后安装误差如果偏差仍超过控制精度,可分析测量结果,按照纵、横坡偏差的大小再次进行一次“微调”,确保调整精度满足施工匹配的要求。

对于宽、长大节段,吊装吊点、桥面吊机锚固点会使桥面产生相应的变形,精调作业要以腹板所在位置为测量基准,考虑梁段因吊机、拉索、起吊点受力引起变形影响,结构局部匹配就位需借助千斤顶、手拉葫芦等辅助设备。腹板处满足精调安装要求,对接口其他部位进行物理矫形,消除接口偏差,以锁定对接口。

当已经施工的吊装节段因各种原因出现线型误差,需要在下一个节段或几个节段调整桥梁横坡与纵坡时,首先确定需要调整的误差的大小,然后通过分次调整接口的上下缘拼接缝宽大小进行纵坡调整,横坡调整则通过分次调整接口的转角误差实现。积累的节段吊装误差尽量通过多个节段允许的反向“误差”以调整实现线型的精确控制,防止出现线型局部尖点。

4 工程实例

九江长江大桥(二桥)全长5 541 m,分为主桥、副孔、南引桥、北引桥。主桥设计为:70+75+84+818+233.5+124.5=1 405 m 双塔双索面混合梁斜拉桥,桥跨布置见图3,钢箱梁采用节段悬臂拼装的方法进行施工。双吊机吊装的主梁节段主要有南塔江心侧24 m×15.0 m节段,北塔江心侧26 m×15.0 m节段、岸侧14 m×15.0 m,岸侧11.75 m节段、岸侧10 m×10.5 m节段以及合拢段5.8 m,普通节段断面主桥钢箱梁全宽(含风嘴)38.9 m,见图4。

吊装施工在调研长江苏通大桥、南京长江第三大桥等类似施工的基础上,引进实际经验丰富的吊

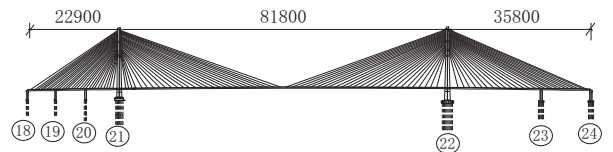


图3 九江长江大桥桥跨布置立面图(单位:cm)

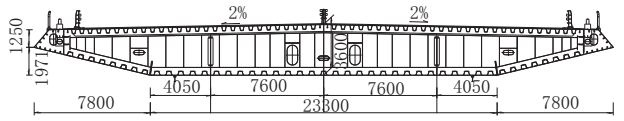


图4 普通钢箱梁节段断面示意图(单位:mm)

装施工队伍,并借鉴两座桥钢节段精调的施工经验,采用起吊粗调节段坡度,就位时精调节段位型的成熟经验。实际精确匹配施工需要50 t千斤顶实现腹板处的精确匹配,以及10 t千斤顶实现顶板及底板的精确匹配,精确匹配需要反复微调^[7],试吊装精确匹配耗时5 h,且钢节段因强制匹配,容易引起局部附加应力及弹性变形储能。在研究节段吊装施工特点及规律基础上,提出并采用4点起吊快速精调法定位匹配,只采用小吨位千斤顶、手拉葫芦、马板辅助定位。实现了接口腹板处高程误差小于2 mm,顶板匹配偏差小于5 mm,且节段精匹配时间缩短到不足3 h,熟练后1~2 h可完成精调匹配,提高效率近一倍。大桥合拢前通测的吊装线型见图5至图6,可以看出纵面高程最大偏差79 mm,线型控制精度高于L/10 000,线型整体平顺无尖角,对比苏通大桥成桥纵面线型最大误差168.5 mm,线型控制精度L/6500^[8]。可见采用正交精调方法实际提高了施工效率,更高线型控制精度。

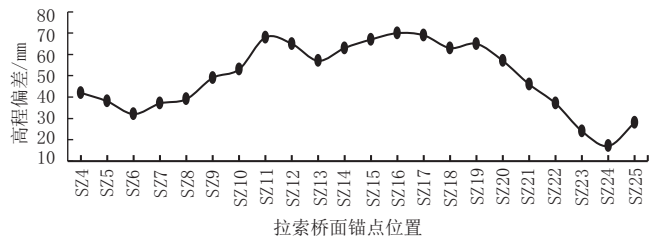


图5 中跨合拢后通测南塔中跨侧梁段线型偏差结果

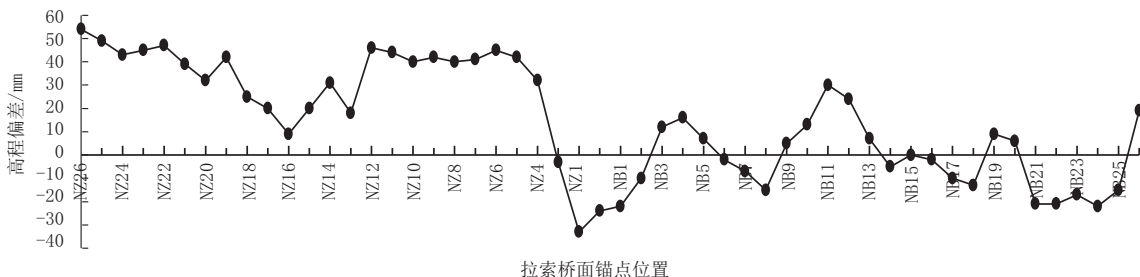


图6 中跨合拢后通测北塔中跨侧梁段线型偏差结果

5 结语^[9-11]

大跨钢节段吊装悬臂拼装施工的桥梁,采用快

速精调法控制精调误差,技术方法效果确定,但在实际施工控制工作中需要注意以下几点:

- (1)精调匹配必须考虑温度因素,由于大跨桥所

处的温度场复杂,导致成桥线型偏差主要是非线性温度场引起,这种影响体现在吊装时温度场不均匀,每个节段吊装时的温度场相互也不一致,较难精确预测。

(2)要重视测量、分析梁段制造误差,防止制造误差较大引起精调分析的数据指导性降低。

(3)要对吊装梁段和已安装梁段因吊机作业、节段重力、支撑力等引起的节段变形进行精确分析,防止因“节段外力变形”引起的偏差,影响精调数据分析,干扰实际精调工作实施。

参考文献:

[1] 邹力, 聂振龙, 魏俊. 牌楼长江大桥钢箱梁“梁重转移”吊装技术应用分析[J]. 世界桥梁, 2020, 48(4):21-24.

[2] 王磊, 张晓明, 王朝阳, 等. 武汉中心超长超重钢梁非对称提升技术[J]. 钢结构, 2013, 28(12):66-68.

[3] 吴替, 唐茂林. 边跨不对称悬索桥加劲梁吊装方案研究[J]. 铁道建筑, 2013(7):1-3.

[4] 王希勇. 超宽钢箱梁斜拉桥吊装变形控制技术研究[J]. 公路, 2023, 68(1):199-203.

[5] 曹明明, 韩洋洋, 魏乐永. 大跨斜拉桥宽幅 PK 组合梁节段吊装精确匹配技术[J]. 桥梁建设, 2019, 49(6):54-59.

[6] 张永涛, 周仁忠, 高纪兵. 崇启大桥大节段整体吊装技术研究[J]. 公路, 2011(10):82-90.

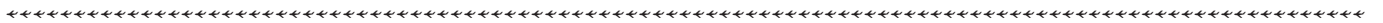
[7] 陈鸣, 黄朝晖, 刘鹏. 苏通大桥宽、重标准梁段吊装与匹配技术[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2009, 5(5):144-147.

[8] 张鸿, 罗承斌, 张永涛, 等. 苏通大桥主桥上部结构施工及控制技术研究[J]. 中国工程科学, 2009, 11(3):85-91.

[9] 周浩, 易岳林, 叶仲韬, 等. 大跨度结合梁斜拉桥温度场及温度效应分析[J]. 桥梁建设, 2020, 50(5):50-55.

[10] 罗艺, 王伟坤, 林德立, 等. 温度对钢-砼组合斜拉桥拉索索力及钢箱梁变形影响研究[J]. 兰州工业学院学报, 2016, 23(6):18-21.

[11] 蔡炎标, 孙立鹏, 杨岳华, 等. 钢箱组合梁斜拉桥悬拼阶段主梁变形及受力研究[J]. 世界桥梁, 2022, 50(6):86-93.



《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com