

节段拼装施工的自锚式悬索桥施工定位控制分析

苟 圣, 钟 波

(中国水利水电第七工程局有限公司 第一分局, 四川 彭山 620860)

摘 要:采用 Midas Civil 软件建立有限元计算模型,对钢梁定位过程进行了结构受力分析,针对误差影响因素进行了对策分析。对于不同的施工方式采用不同的控制原则,有效地提高了主梁线形控制精度。

关键词:自锚式悬索桥;钢梁定位;线形调整和控制;有限元分析

中图分类号:U445;U442;U446

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2019)05-0027-03

Construction Positioning Control Analysis of Segmental Assembly of Self-anchored Suspension Bridge

GOU Sheng, ZHONG Bo

(First Branch of Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Pengshan, Sichuan, 620860)

Abstract: Midas Civil software is used to establish the finite element calculation model, and the structural stress analysis of steel girder positioning process is carried out, and the countermeasures for the error factors are analyzed. Different control principles are adopted for different construction methods, which effectively improves the alignment control accuracy of the main girder.

Key words: self-anchored suspension bridge; steel girder positioning; alignment adjustment and control; finite element analysis

1 概 述

自锚式悬索桥的主缆锚固在主梁上,通过加劲梁平衡自身受力,因此而决定了自锚式悬索桥“先梁后缆”的施工顺序,先架设主梁,后架设主缆,然后进行吊索的安装及张拉,完成了加劲梁自重由临时支撑承担通过吊杆转换到由主缆承担,主缆由空缆线形变化到成桥线形,实现了自锚式悬索桥体系的转换^[1]。在体系转换成桥线形后,为与设计线形保持一致,达到受力均衡,在主梁安装过程中,保证梁体初始状态与设计成桥线形一致已成为自锚式悬索桥施工中既关键又复杂的工序,亦为自锚式悬索桥的一个施工控制难点^[2]。

云龙湾大桥采用两塔双索面自锚式悬索桥,主桥主梁为纵横梁钢结构体系,梁高 3.5 m,标准段全宽 48.5 m,桥塔处梁体宽 54.6 m。梁体的主要材质为 Q345D,主要为主纵梁(箱型梁)、普通中横梁、端横梁、锚固横梁、塔桥结合处中横梁组成的纵横向梁格体系。桥面横坡通过梁体结构实现,即通过腹板高度变化实现,以保持底板水平。钢梁节段按照缆索区 19.8 m 长的钢箱梁段和桥

塔区 15.2 m 长的钢箱梁段划分节段。

2 施工具有的技术特点

2.1 施工定位影响因素分析

自锚式悬索桥采用“先梁后缆”的施工工艺:即首先利用支架搭设梁体成桥线性,梁体拼装节段采用原位吊装或拖拉滑移法安装到位,直至全桥合拢后再进行缆索施工。在主梁安装过程中,由于以下因素使钢梁定位线形控制、调整比较困难^[3]:

(1)拖拉滑移过程中,支架局部受力集中,出现了支架沉降变形。

(2)主梁由拼装状态转化为拖拉滑移状态时,自身着力点转变,受重力影响,钢梁线形发生变化。

(3)节段拼装及拖拉过程中受力不均,导致钢梁结构自身发生扭曲变形。

2.2 施工方案

云龙湾大桥根据现场施工条件,采用支架架设法和顶推架设法相结合,主跨采用原位拼装+拖拉滑移到位,边跨采用原位吊装拼装。全桥在桥位处沿纵桥向设置通长的钢梁临时支撑结构,

并在主跨一侧设置了 24 m 长的拼装平台, 主跨内的钢梁利用吊机站在拼装平台两侧区域将钢梁吊装至拼装平台上组装, 待钢梁组装完毕, 利用拖拉滑移设备将钢梁拖拉至设计桥位。

2.3 临时支架体系

主跨北岸设置的拼装平台长度为 24 m, 滑移区约 170 m, 设置 2 条滑道; 拼装平台、滑移支架及吊装支架均为钢管桩+贝雷梁结构。

拼装平台施工区域内临时支架设置的拼装平台长 24 m、宽 43 m, 在分配梁顶设置拼装支点。拖拉滑移施工区域内的支架采用单排 4 根立柱, 两两组合, 钢管立柱纵向间距为 12 m, 跨中设置制动墩, 分配梁顶设置纵向滑道, 滑道采用三拼 I56b 型工字钢。

原位吊装施工区域内的临时支架为边跨及辅跨区钢梁原位吊装施工, 支架标准跨度为 12 m, 横桥向设六根钢管桩, 对于箱型横梁覆盖区域, 设置了三拼 I56b 型钢分配梁。

3 分析模型的建立

3.1 桥梁初始线形的建立

主梁制造线形即现场拼装线形, 其以设计复核中建立的原始数据为基础, 根据设计拟定的施工过程建立上部结构施工过程计算机仿真分析系

统, 对主梁段的吊装过程进行计算, 分析结构在理论施工状态下各阶段的施工参数, 以理论参数计算各施工阶段的内力、变形、监控参考值, 确定预防措施; 预测结构在各个阶段的形状^[4]。

建立空间杆系模型, 分析各工况下的受力情况(图 1)。悬索桥主梁采用梁单元进行模型离散, 主缆、吊索采用索单元, 鞍座采用若干杆单元模拟^[5]。

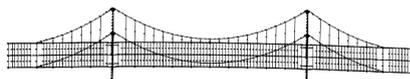


图 1 全桥空间杆系模型图

成桥状态主梁的内力经软件受力分析出加劲梁的内力及应力包络图, 根据主梁受力分析, 在主梁成桥线形上使用支架替换缆索系统, 可以得到钢梁架设后的线形, 再根据每节段主梁自重求出钢梁变形量, 两者相加即为钢箱梁的无应力拼装线性。

3.2 支架受力模型的建立

根据无应力拼装线性编制《云龙湾大桥主梁安装方案》, 建立了支架整体模型基频图(图 2), 对支架施加荷载组合。对于滑道梁和上横向分配梁来说其最不利的荷载为滑块移动荷载, 温度、恒载影响较小^[6]。

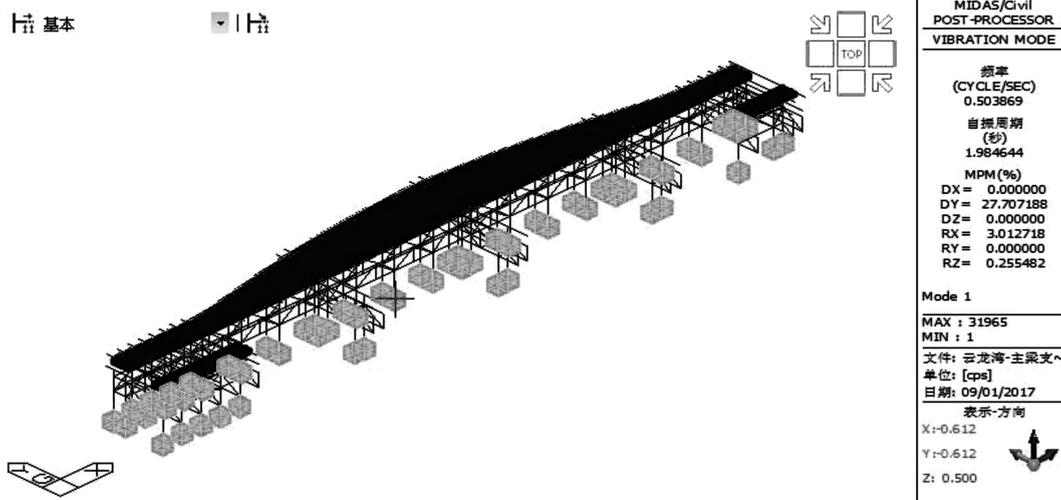


图 2 支架整体模型基频图

滑道采用三拼 I56b 工字钢, 滑道梁由间距为 750 mm 的上横向分配梁支撑。主要承受滑块移动荷载和箱梁架设后的均布荷载。显然, 对于滑道梁来说, 滑块移动荷载将产生最不利

的内力。箱梁承受重力作用的最大变形量为滑块处的沉降量。

3.3 单元件吊装受力模型的建立

梁段在拼装区横桥向临时支撑较多, 拖拉滑

移过程中及成桥后横桥向只有分布在主纵梁处的两道临时支撑,受体系转换过程中受力点的转换,钢梁会下扰。采用 Midas 建立不同支撑工况下的梁段模型(图 3),计算出钢梁吊装及横桥向跨中处的竖向受重力影响的下扰度,在加工及拼装阶段设置相应的预拱度^[6]。

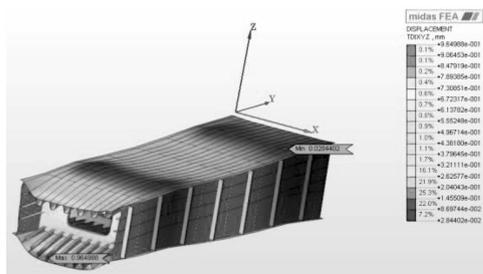


图 3 梁段模型图

4 施工过程控制

4.1 钢梁定位控制

钢梁节段通过滑移拖拉至设计位置后,用全站仪放出钢梁的配切线;钢箱精确配切完成后在每个滑块两侧设置 2 台竖向千斤顶和两台螺旋千斤顶进行三维调整。根据钢梁的偏位方向,利用竖向千斤顶调整标高与纵向线型,利用水平千斤顶调整平面位置,直至钢梁位置满足设计要求。

在每个钢梁节段架设完成后,调整梁的平面位置并临时固定,确保每两孔钢梁之间的接头偏差符合设计要求。每一节段钢梁架设完成并调整到位后,进行两节段钢梁的接缝焊接施工。

钢梁在与上节段精准对位完成后,将钢梁节段落在滑道梁上的四个临时支点,然后进行钢梁节段间的焊接施工。每架设、安装完成一个节段的钢梁均需对上节段和本节段的梁长、标高、平面位置等进行测量,并将测量数据与理论数据进行比较分析,如有偏差则需采取相应的措施进行纠偏处理。

对于钢梁之间的环焊缝焊接,在梁段就位、固定并经检查合格后施焊。对于同一联贝雷梁上的钢梁节段,为保证成桥线形,在拖拉到位的情况下进行拖拉到位梁段之间的焊接。

4.2 扰度预抬高控制

现场拼装线形按照无应力线形拼装好后,在通过拼装状态转化为拖拉滑移状态时,钢梁的底部线形由弧线变化为直线,即钢箱梁的架设线形。

通过计算得到梁段自重下的变形,将该变形累加到无应力拼装线形上获得架设线形。在施工现场的拼装场地上架设线形调节支架用以调节钢管柱高度,将重力影响的变形量进行预抬,以消除自重变形量。拼装转换线形变化情况见图 4。

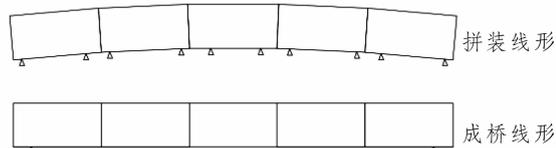


图 4 拼装转换线形变化图

4.3 拖拉滑移过程控制

钢梁节段的牵引采用 2 台穿芯式千斤顶同步进行拖拉。滑块与钢梁接触部分的支垫使用厚橡胶板用以增加滑块与钢梁之间的摩擦力,保证滑块与钢梁之间不会产生相对滑移,并且避免了钢梁滑移过程中因轨道不平整导致的钢梁四点支撑变成三点支撑,可利用橡胶板等弹性压缩量使钢梁四点均匀受力。

千斤顶牵引钢绞线带动滑块在轨道梁上将钢梁向设计位置进行滑移,因钢梁滑移距离较远,如果因滑块位置偏位或行进速度不一,容易引起梁体变形、钢梁整体脱落等。对于千斤顶和滑块之间的钢绞线,必须保证其在牵引时每根钢绞线受力均匀,在拖拉过程中注意观察钢绞线的松紧程度并将其控制成一致,牵引时用拉力器进行控制,将滑块端的锚具、夹片打紧,防止牵引滑移;根据拖拉牵引力的大小和千斤顶回归方程计算油表读数。监控油表读数,保证上下游牵引力一致,防止钢梁滑移不同步。如果出现受力不一,必需及时检查滑移体系。

5 结语

笔者以云龙湾大桥为依托工程,基于钢箱梁节段拼装的施工方法,研究了施工计算及控制方法,对其结构进行了全面的仿真计算,并对施工控制关键技术进行了深入的研究,精确求得钢箱梁初始施工状态;根据节段拼装+拖拉到位钢箱梁施工方法的特点,包括钢梁定位控制、现场拼装控制、拖拉滑移阶段进行了详细分析,对初始线形支架变形、自重着力点变形影响、钢梁吊装及拖拉的变形误差等方面提出了计算及解决方案,精确控

(下转第 40 页)

接触面角度为 43° 。如果将预埋板与预埋锚杆提前安装就位,再施工拱座混凝土则可能会出现以下问题:

- (1)混凝土浇筑过程中出现预埋板偏位,影响定位精度;
- (2)混凝土收缩徐变,影响预埋板的最终成型定位精度;
- (3)预埋板下混凝土浇筑不密实;
- (4)预埋组件在虚拟斜面上安装定位施工难度大。

在综合分析了上述情况后,将预埋组件采用二期施工以保证预埋组件最终的成型定位精度。

5.2 预埋组件的施工流程

(1)预埋灌浆管的安装。在拱座混凝土内预埋锚杆灌浆管,灌浆管选用钢管,目的是为了在混凝土浇筑过程中造成灌浆管破损。所有灌浆管之间的连接固定成整体,与预埋锚杆的布置间距匹配。在拱座下层混凝土上安装一个型钢支架用于灌浆管的固定以及高度和角度的调整,灌浆管的安装高度和角度需与连接铰的安装高度和角度匹配。

灌浆管测量定位完成后即可进行拱座混凝土浇筑,浇筑过程中注意对灌浆管进行保护,以避免灌浆管跑位造成锚杆无法安装。

(2)预埋组件的安装。在成型的拱座混凝土上定位控制点,用于预埋组件的安装定位。在拱座混凝土上安装定位钢筋,用于预埋板的定位及固定。

锚杆与预埋板连接成为整体后一起吊装,利用吊车的大小勾调整安装姿态。将预埋组件整体吊装至定位钢筋上,复测定位精度满足要求后将

预埋板与定位钢筋焊接固定。

预埋组件安装完成后进行灌浆管的灌浆,灌浆料选用高强支座灌浆料,强度比拱座混凝土强度高一等级,灌浆需密实可靠^[4]。

(3)上、下摇的安装。上、下摇采用整体吊装,利用吊带固定。整体在预埋板上就位,与预埋板上的螺栓孔对齐后安装螺栓固定。

(4)连接套段主拱的安装。提前施工好连接套段的主拱支架,支架高程与主拱段定位高程匹配,支架之间有效连接,防止受力后偏位。

连接套段主拱的整体吊装:将其端部插入上摇凹槽后固定在支架上,安装连接套与上摇螺栓。

(5)定位复测。整个拱脚部分安装完成后进行定位复测,复测拱脚安装定位精度,待其满足要求后进入下一道工序^[5]。

6 结 语

通过对拱脚连接铰加工精度以及安装定位的控制,天保湾大桥拱脚部分顺利施工完成,安装定位精度满足设计要求,为下一步主拱施工打下了基础,并为今后同类型大型拱脚连接铰的安装定位提供了宝贵经验。

参考文献:

- [1] 王志伟. 钢结构桁架式梁拱组合桥梁定位控制措施[J]. 交通建设与管理, 2014, 51(12): 141-143.
- [2] JGJ/T395-2017, 铸钢结构技术规程[S].
- [3] GB50205-2017, 钢结构施工质量验收规范[S].
- [4] CJJ2-2008, 城市桥梁工程施工与质量验收规范[S].
- [5] GB50026-2007, 工程测量规范[S].

作者简介:

詹富帝(1991-),男,四川成都人,助理工程师,学士,从事市政工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

(上接第 29 页)

制了从拼装、架设到变连续梁过程中钢箱梁的线形,所取得的经验可为采用同类施工方法的施工提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 孟凡超. 公路桥涵设计手册. 悬索桥[M]. 北京:人民交通出版社, 2011.
- [2] 董春燕. 自锚式悬索桥关键施工阶段分析与研究[D]. 北京:北京交通大学, 2006.
- [3] JTG TF50-2011, 公路桥涵施工技术规范[S].

[4] JTG D60-2015, 公路桥涵设计通用规范[S].

[5] 陈仁福. 大跨悬索桥的设计与施工[M]. 成都:西南交通大学出版社, 1999.

作者简介:

苟 圣(1994-),男,四川阆中人,技术员,从事市政工程施工技术与质量管理工作;
钟 波(1977-),男,四川仁寿人,工程师,从事市政工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)