

连续梁转体施工关键技术研究

冯扬芑

(中铁二十五局集团第一工程有限公司, 广东 广州 510080)

摘要 国家铁路网的进一步发展和完善, 使新建线路越来越多地需要与既有运营线路交叉, 在需要绝对保证既有线路运营安全的前提下, 采用“转体”法施工上跨既有线路的新建桥梁结构, 是一种既安全又经济的方法。本文详细介绍了湘桂铁路东外环特大桥建设过程中预应力连续梁转体施工全过程, 并系统地分析了旋转系统施工、旋转关键参数计算、转体控制以及施工过程中的关键控制点, 旨在能够对类似工程具有借鉴意义。

关键词 连续梁; 转体施工; 下球铰安装; 滑道安装; 上球铰安装

中图分类号: U445

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)02-0001-03

湘桂铁路东外环特大桥作为全国首座转体施工试验项目, 对施工的要求是精益求精。尤其是转体期间施工是桥梁建设中重要的施工环节之一, 它涉及桥梁的旋转、转向等关键操作, 对于保证施工安全和桥梁质量具有重要意义。本文将介绍桥梁转体施工的关键技术和实施步骤。

1 工程概况

湘桂铁路改造建设过程中需要跨过武广高速铁路, 因此在与武广高铁交叉处建设跨武广东外环特大桥, 其相交上跨部分为(40+64+40)m 预应力连续梁。武广高速铁路是中国第一条真正时速 350 公里的高铁, 日开列车多达 170~200 对, 是我国南北向高铁大动脉之一。为保证武广高速铁路的正常运营, 决定采取在高铁两侧现浇桩基、承台、桥墩和部分梁段, 然后利用“天窗”时间实施平转对中合拢的转体施工方案, 最后对平行合拢的梁段进行现浇。

2 旋转系统施工

旋转系统是指实施平转对中合拢施工能够旋转的部分, 其中包括上下承台、球铰、支撑腿、桥墩和悬臂主梁等, 其他不能旋转的部件, 在可旋转部件(包括下轴承平台和基础部件)的旋转过程中提供垂直支承力和抗倾覆力。

2.1 下球铰安装

旋转系统所用的设备由专业的制造商加工制作, 并架运输至施工现场, 进行安装、检查以及调试, 该装置主要由骨架、球面板、摩擦片、套筒等组成, 摩擦片填充有特殊的特氟龙滑片, 并设置在上球面板之间。

下转盘混凝土首次浇筑时, 先用全站仪标识出预埋位置及设计高程, 然后加工预埋钢筋并将其定位。

定位后, 在安装定位框架之前, 首先将调平垫设置在定位框架底部的相应嵌入位置, 每个垫圈的顶表面的高度差以 1mm 均匀控制, 精确控制和调整垫片的顶面标高。与此同时, 定位钢销被安装, 并定位框架与定位钢销和在安装的同时牢固地焊接。

下转盘球节主要由地脚螺栓和下转盘球节调节螺栓组成。现场安装接头主要通过螺栓连接, 其他部件由制造商组装。使用固定调整框架和调整螺栓悬挂下球节, 调整到中心位置, 然后调整螺钉调整高度。完成精确定位和调整, 再次检查。安装时还需要检查整个旋转系统水平高度以及转盘中心高度是否满足要求, 并控制其平直度。全站仪检测中心位置, 通过千斤顶调整高程, 同时多点复测。安装沿桥时确保其实际安装位置与预期位置偏差不得超过 1mm, 同时将下球节相对高度控制在 1mm 范围内。在施工项目中, 下球节的安装精度(不超过 0.5mm)在可调范围内得到改善。完成以上工作后, 通过拧紧调整螺栓将槽钢固定在下球节和定位架之间^[1]。

2.2 滑道安装

施工过程中通过全站仪来为滑道精准定位, 并按照要求布置其框架。滑道安装可以分段拼装, 滑道调整固定后, 安装旋转体过程中, 可以通过在滑道内移动支撑腿来确保梁体上部处于平整状态。在安装过程中, 滑块的顶部表面比下部转盘混凝土的顶部表面高 1cm, 同时多点复测, 使整滑道表面处于同一水平面。

2.3 上球铰安装

安装之前对上下球铰进行清理, 确保球铰球窝接触面处没有其他杂质, 将中心销衬套和中心销均匀地涂地黄油聚四氟乙烯粉末, 然后将销钉放入衬套中,

以调整销和销衬套之间的垂直度和间隙。然后,将聚四氟乙烯滑动片片安装在下球形扩孔球面上,并将滑动件安装在同一球面上,并用钢尺重复测量。重新测试后,将黄油聚四氟乙烯粉末施加到球体上并稍微高于滑块的顶部表面。最后,上部球铰链放置在中心销中,然后使用反向链条微调上球节的位置,使其与外圈铰链外圈间隙水平和垂直。在安装和检查球窝接头后,上下球窝接缝用聚乙烯塑料薄膜紧紧包裹,以确保任何物体未进入摩擦面。

2.4 支撑腿安装

在滑道位置上共设有6对钢铸的支撑腿,由制造商制造并运输到现场,混凝土浇筑到下转盘中,安装上部球形接头,并在浇筑混凝土后安装支撑腿。

2.5 牵引钢绞线预埋

安装上层底部加固件后,安装三组定位牵引电缆,牵引电缆由三根 $\phi 15.2$ 钢绞线连接。在混凝土中,牵引缆索的预埋端由锚固定,钢绞线的平面位置和高度由底部加强件的固定确定,并使得两个锚固端相对直线对称。每根电缆的预埋高度和牵引方向是相同的,每根电缆预先嵌入长度大于6m。在施工期间,牵引电缆中心预留了半圆形凹槽。牵引电缆的外部泄漏部分围绕转盘,并且在没有干涉的情况下放置在预嵌入的肋上,并采取保护措施确保钢绞线不会在后续施工中受到损坏。

3 转体关键参数计算

3.1 牵引力计算

牵引力与旋转体本身结构和尺寸有关,可以根据相关技术标准和参数直接计算。参照《公路桥涵施工技术规范 JTGT F50-2011》中有关旋转体牵引力规定,可由下式来计算旋转体牵引力:

$$T=2fGR/3D$$

式中:

T——牵引力, kN。

f——摩擦系数,本文在计算过程中分别取静摩擦系数和动摩擦系数为0.1和0.06。

G——转体总重力,取17550kN。

R——球铰半径,本文中取1.5m。

D——牵引臂(转盘半径), $D=9.4\text{m}$ 。

代入相关数据得到:

$$T_{\text{静}}=(2 \times 0.1 \times 17550 \times 1.5) / (3 \times 9.4) = 186.7 \text{ (KN)}$$

$$T_{\text{动}}=(2 \times 0.06 \times 17550 \times 1.5) / (3 \times 9.4) = 112.0 \text{ (KN)}$$

3.2 牵引索安全系数

本文牵引索选取的钢绞线相关安全参数如下:标

准强度 $f_{ytp}=1860\text{MPa}$;直径 $\phi 15.2-3$;单根横截面面积 $A=140\text{mm}^2$;在控制应力下钢绞线下 $f_k=0.75f_{ytp}=0.75 \times 1860=1395\text{MPa}$ 。

单组钢绞线允许的最大应力计算公式为:

$$[T]=nAf_k$$

代入相关参数计算得:

$$[T]=3 \times 140 \times 1395 / 1000 = 585.9 \text{ KN}$$

则牵引索安全系数:

$$K_1=[T]/T_{\text{静}}=585.9/186.7=3.14 > 2$$

因此可以判断本文选取的牵引索安全系数符合要求^[2]。

3.3 惯性制动距离计算

为确保旋转单元的安全性,连续千斤顶在拖动钢绞线时将速度控制在 $V_1=0.07\text{m/min}$,此时梁开始转动,梁端的旋转速度大约为 $V_2=0.35\text{m/min}$,因此可以计算其动能为:

$$W_1=G\omega^2/2=17750 \times (0.07/4.7)^2/2=1.97$$

转盘旋转是的摩擦力矩:

$$M_1=T_{\text{动}} \times D=112.0 \times 9.4=1052.8 \text{ (KN.m)}$$

设在摩擦力矩作用下,制动所需转过的角度为 α ,则制动过程摩擦力矩做功:

$$W_2=M_1 \cdot \alpha=W_1, \text{ 代入数据后得到: } \alpha=0.00187$$

则梁端的惯性制动距离为:

$$23.25 \times 0.00187 \times 100 = 4.3 \text{ (cm)}$$

4 转体施工

4.1 试转体

利用天窗之前合适的时间完成试转体施工,避免占用天窗时间。记录梁体初始时刻参数值后,开始逐渐加载直到梁体开始正常旋转,并使其在大约旋转 2° 后停止加载。

通过试转体要收集梁体实际旋转油表读数和惯性制动距离等关键参数。

4.2 正式转体

在“天窗”即将到来时,各作业班组需要完成所有准备工作,并按照预定施工要求准备开始正式转体工作作业。

同时按下两副主控台“启动”按钮,开始逐渐加载,当主控台位移数据开始发生变化时,记录下此时系统的静摩阻力,同时对梁端进行测量,梁体将开始逐渐旋转。经过一段时间后,整个梁体将以一定速度匀速旋转,此时指挥人员需要根据实时测量数据和主控台显示数据来判断梁体实际情况,并按照操作规程指挥相应操作人员进行作业,确保整个梁体旋转的时间/位移满足设计要求。操作过程中主要通过控制牵引速

度来保证梁体旋转实际时间 / 位移数据和预期基本保持一致。如果旋转过程中位移、速度等超出预期, 需要及时调整。当梁体运动到距离预期位置 1m 左右时, 开始降低牵引速度。当位置只有 0.5m 时, 开始制动。在两“T”中心线相差 9cm 时, 停止加压油泵, 梁体将逐渐减速直至静止状态。此时通过测量轴线长度、标高等来确认桥梁状态和位置信息。如有必要, 即进入桥梁姿态调节阶段。在调整桥梁姿态时, 为防止梁体发生滑移或者超转, 需要再次点动控制梁体状态。

4.3 精确定位及锁定

转体到达指定位置后, 通过调整轴线两侧的千斤顶来调整桥梁姿态, 确保梁端标高符合设计要求。在水准仪的微调中, 它用于对纵横桥向进行测量, 在利桥梁轴线由全站仪检测。经过测量确定桥梁位置和姿态符合要求后, 立即固定支撑腿, 并抄死助推反力墩墩顶与梁底, 这样整个梁体将被固定而不会因外力作用发生位置偏移。完成以上工作后, 多次测量梁体轴线, 如果发现轴线偏离预定位置, 可以通过连续顶系统和顶推千斤顶来调整梁体轴线位置。

4.4 固定上下转盘位置

完成梁体转体工作后, 开始固定转盘施工作业。将上转盘、下转盘焊接到钢筋的预留垂直位置, C60 微膨胀预拌混凝土放置在梁支撑模具的外侧。预埋的灌浆管位于上转盘的界面处。在通过灌浆方法填充密封混凝土的凝固之后, 在混凝土收缩间隙之后, 将混凝土放置在上下转盘上。它们之间没有差距。轮换后, 将永久支撑件推入到位 (对于上推轴承, 钢垫设置在支架上, 不锈钢滑块放置在块上; 25 块厚的 MGE 滑块用于岩石顶部), 并暂时支持。拆下支撑下座板下方的 MGE 滑块, 将梁向下提升到设计高度, 锁定, 拧紧上下支撑板螺栓, 并注入高强度支撑砂浆垫。插孔已卸下, 系统转换。拆下球形接头定位销, 在钢制外壳周围安装橡胶, 然后拆下中间墩侧支架^[3]。

5 关键控制点

5.1 试转前准备工作

试转前准备工作包括:

1. 检查转体时所需的检测设备, 例如: 游标卡尺等精密尺寸测量仪器以及提供转体牵引力的预应力液压电动油泵 (油泵由试验室校准后使用)。
2. 清理支撑腿和滑道周边碎屑等杂物, 将四氟乙烯板放在支撑腿及滑道上, 然后涂上黄油四氟乙烯以减少摩擦。

3. 安装千斤顶时, 需要确保两个千斤顶位于同一平面内, 并对称地分布于转盘两侧。预埋的牵引索需要与预应力液压电动油泵相连。

4. 由于天气因素会对转体施工带来较大影响, 因此必须选择天气良好的时候进行施工作业^[4]。

5.2 结构平衡、安全的施工措施

5.2.1 下球铰混凝土的密实度

浇筑混凝土时, 为确保混凝土浇筑质量, 需要严格控制振动深度和次数。使用振动杆在球铰铰周围倾斜插入, 使石头底部处于振动沉积物中, 为了确保球窝的底部与混凝土紧密连接, 球窝接头的底面与混凝土紧密连接, 没有空隙, 从而提高混凝土的致密性和浇筑质量。

5.2.2 控制滑槽间隙

在安装阶段, 鞋底和滑块之间的间隙应控制在 15mm~25mm 之间; 在转体过程中, 为避免产生较大阻力, 应使得支撑梁与滑块之间存在一定间隙, 间隙值控制在 3mm~5mm 范围内^[5]。

5.2.3 力偶形成的措施

在旋转过程中, 为防止产生额外力矩, 应确保加载的力作用在同一水平面上, 并且使得牵引索在延伸过程中缓慢地缠绕在转盘上。

6 总结

我国铁路项目的快速建设和发展, 使桥梁结构越来越多地应用于大型河流等障碍, 尤其是在建设高速铁路过程中, 桥梁的作用越发明显。许多桥梁项目需要穿越现有高速铁路等, 给施工带来较大难度, 同时, 在施工过程中容易引发安全事故。如何解决桥梁跨越其他铁路干线问题已经成为其建设的难点问题。因此, 研究旋转桥梁施工技术有利于促进我国桥梁建设和高速铁路建设, 对推动社会经济发展具有积极意义。

参考文献:

- [1] 王振东. 大跨度连续梁水平转体施工关键技术研究[J]. 铁道建筑, 2013(08):27-29.
- [2] 杜枫. 平转法转体施工工法[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2013(11):1-13.
- [3] 曹国清. 跨既有有线转体连续梁施工的关键技术[J]. 中国科技投资, 2014(14):12-14.
- [4] 任宏. 跨石德铁路转体桥的桥梁转体技术对策[J]. 建筑技术开发, 2017(03):43-44.
- [5] 王文君. 桥梁转体施工技术研究[J]. 减速顶与调速技术, 2016(01):12-18.