

# 上跨营业线铁路桥梁转体施工技术研究及应用

梅启好 冯春林

中铁上海工程局集团第五工程有限公司 广西 南宁 530000

**摘要:**为解决上跨营业线铁路桥梁转体施工技术问题,结合常益长铁路站前工程四标石长铁路特大桥(48+80+48)转体梁上跨营业线石长铁路施工,利用理论计算与现场试验相结合的方法,对铁路桥梁转体施工技术进行研究,确定合适的球铰安装、受力、配重、摩擦值、钢绞线收缩量及转体时间卡控等关键参数,最后进行现场应用总结分析。

**关键词:**桥梁转体;上跨营业线;转体球铰;摩擦系数;梁端配重

## 引言

随着我国铁路的建设发展蒸蒸日上,新建铁路上跨既有营业线铁路愈发频繁,为减小铁路建设过程中对既有营业线的运营影响,引发出门架、悬灌、转体等各种上跨施工工艺技术,其中转体施工技术从安全性和对既有营业线的影响方面优势尤为突出,因此衍生出各式各样的桥梁转体施工工艺技术。

本文以新建常德经益阳至长沙铁路站前工程四标石长铁路特大桥(48+80+48)m连续梁上跨既有营业线石长线施工为背景,介绍了铁路桥梁转体施工技术原理。为探究铁路桥梁转体施工,文中分析了球铰安装偏差对梁体转体就位后的相对关系、转体过程中牵引力与摩擦系数安全计算分析、梁体转体施工前梁端不平衡配重关系、钢绞线转体就位后因应力产生的回缩量关系及转体施工过程中梁体同时转动时的相对位置关系,寻找合适的球铰安装、受力、配重、摩擦值、钢绞线收缩量等关键参数及转体时间卡控等分析,最后对转体连续梁施工应用效果及总结分析。

## 1 工程概况

新建常德经益阳至长沙铁路站前工程四标石长铁路特大桥上跨既有营业线石长线转体施工,既有铁路线与新建设铁路左线夹角为37.9°,与右线夹角为45.8°。该处设计为(48+80+48)m转体连续梁跨越。连续梁采用悬灌法施工完成后4#墩梁体顺时针转体46°,5#墩顺时针旋转38°进行合龙。



图1 转体梁现场施工图

## 2 关键施工技术

### 2.1 球铰安装与梁体就位后相对关系

球铰作为转体施工的关键结构之一,它即承受全桥重

量,又是全桥转体的转动中心,球铰的精确安装决定着桥梁能否顺利转体,因此转体球铰安装尤为重要,采用BIM技术进行建模分析,球铰安装不同位置误差对梁体转体后引起的偏差进行分析及模拟合龙后桥梁偏差。



图2 转体球铰安装偏差分析模型



图3 转体合龙模拟分析模型

### 2.2 转体牵引力与摩擦系数计算分析

桥梁转体施工过程中分为三种工况:①悬臂体系相对平衡,支撑腿没有和滑道接触;②由于梁体两端产生不平衡重量,且根据一端平均每米梁段多浇筑砼0.3m<sup>3</sup>,支撑腿和滑道接触产生摩擦阻,牵引力增大;③根据施工图纸假定,人为控制转体结构偏向后侧,使一个支撑腿接触滑道,控制该支撑腿支撑反力不超过2000kN。支撑腿与滑道接触产生摩擦阻,增大牵引力,分别进行分析,并按最大牵引力值进行设备配置。

#### (1) 工况一计算

转体总重量W为70000kN,其摩擦力计算公式为 $F = W \times \mu$

启动过程中的静摩擦系数按 $\mu = 0.1$ ,静摩擦力 $F = W \times \mu = 7000kN$ ;

转体过程中的动摩擦系数按 $\mu = 0.06$ ,动摩擦力 $F =$

$W \times \mu = 4200\text{KN}$ 。

根据牵引力与摩擦力的力矩平衡, 可得

$$T \times D = 2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu)$$

转体牵引力计算:

$$T = 2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu) / D$$

其中: R—球铰平面半径,  $R = 1.5\text{m}$ ;

W—转体总重量,  $W = 70000\text{KN}$ ;

D—转台直径,  $D = 9.6\text{m}$ ;

$\mu$ —球铰摩擦系数,  $\mu_{\text{静}} = 0.1$ ,  $\mu_{\text{动}} = 0.06$ ;

计算结果:

启动时所需最大牵引力

$$T = 2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu_{\text{静}}) / D = 729\text{KN}$$

转动过程中所需牵引力

$$T = 2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu_{\text{动}}) / D = 438\text{KN}$$

(2) 工况二、三计算

工况二情况下, 根据假设的工况, 超重一端梁段每米超重0.3立方砼, 即 $q = 0.3 \times 25 = 7.5\text{KN}$ , 且只有一个支撑腿和滑道接触并产生摩阻, 现计算支撑腿受竖向力N的大小如下:

工况二: 由于梁体两端产生不平衡重量, 且根据一端平均每米梁段多浇筑砼0.3立方, 撑脚支反力增加N。

$$N = 7.5 \times 412 / 2 / 3.9 = 1616\text{kN}$$

工况三情况下, 施工图纸对支撑力进行了假定, 即“人为控制转体结构偏向后侧, 使一个支撑腿接触滑道, 控制该支撑腿支撑反力不超过2000kN。”

对比工况二和工况三, 可得出工况二支撑腿受力 $N = 1616\text{kN}$ , 按较大值计算牵引力值, 来验算千斤顶与钢绞线的配置是否满足要求。

增加的牵引力为

$$\Delta T = N \cdot \mu \cdot R / D$$

计算结果:

启动时所需最大牵引力

$$T = 2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu_{\text{静}}) / D + \Delta T = 729 + 81.25 = 810.25\text{KN}$$

转动过程中所需牵引力

$$T = 2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu_{\text{动}}) / D + \Delta T = 437.5 + 48.75 = 486.25\text{KN}$$

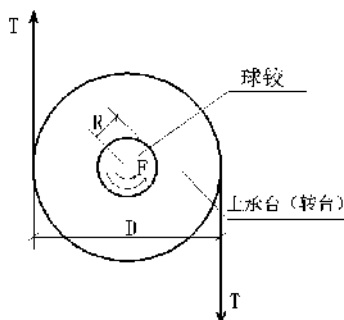


图4 受力分析图

### 2.3 转体前梁体梁端不平衡配重关系

为保证T构两端处于平衡状态, 转体前均进行称重试验, 试验基本均采用千斤顶称重法, 根据撑脚实际位置进行设置

为减小转体过程中梁体转体施工前在3#和6#撑脚的两侧25cm处对称放置两个350吨的千斤顶进行对称顶升。在1,2,4,5#撑脚设置四个百分表, 用以判断转动体在称重试验过程中是否发生转动。千斤顶外边缘距上转盘外边缘约为25cm, 千斤顶直径为42cm。

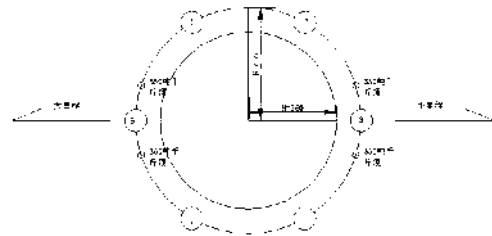


图5 转体称重设备布置图

(1) 试验方法

转体支架全部拆除, 梁体两端悬空, 观察百分表转动情况, 推测梁体重心偏向, 假设重心偏向大里程。则在大里程侧承台实施顶力 $P_1$ , 当顶力 $P_1$ 逐渐增加到使球铰发生微小转动的瞬间, 有:

$$P_1 \cdot L_1 = M_G + M_Z$$

式中,  $M_G$ ——不平衡力矩;

$M_Z$ ——摩阻力矩;

$L_1$ ——顶升力矩。

在小里程侧承台实施顶力 $P_2$ , 当顶力 $P_2$ 逐渐增加到使球铰发生微小转动的瞬间, 有:

$$P_2 \cdot L_2 = M_G + M_Z$$

不平衡力矩:  $M_G = (P_1 \cdot L_1 - P_2 \cdot L_2) / 2$

摩阻力矩:  $M_Z = (P_1 \cdot L_1 - P_2 \cdot L_2) / 2$

(2) 试验结果分析

分别对上转盘的大小里程方向进行顶升。得出 $P_1$ 、 $P_2$ 的具体数据, 可计算:

不平衡力矩:  $M_G = (P_1 \cdot L_1 - P_2 \cdot L_2) / 2$

摩阻力矩:  $M_Z = (P_1 \cdot L_1 - P_2 \cdot L_2) / 2$

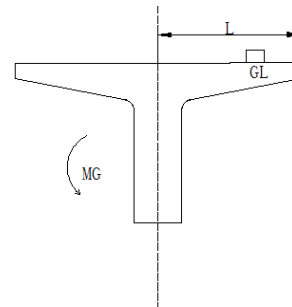


图6 配重示意图

使用四氟乙烯片并用黄油填充的球铰静摩擦系数和偏心距可用下列各式表示:

$$\text{球铰静摩擦系数: } \mu = M_z / 0.98RN$$

$$\text{转动体偏心距: } e = M_G / N$$

式中, R——球铰中心转盘球面半径

N——转体重量

则配重的大小及位置可根据以下公式进行:  $MG = GL$

#### 2.4 转体就位后钢绞线回缩量关系

转体施工过程可简化为钢绞线的张拉过程, 梁体转动过程中钢绞线受千斤顶的张拉影响存在伸长量, 待转体就位

后, 因钢绞线形变的影响, 梁体会继续转动, 所以钢绞线回缩量会直接影响到梁体转体施工精度。因此梁体试转 $3^\circ$ 后应持续观察并量取因钢绞线回缩产生的转体角度大小为后续正式转体就位时做好铺垫。

#### 2.5 转体施工时间分析卡控

连续梁转体前应进行试转 $3^\circ$ 确保设备运转正常, 因高速铁路天窗点批复时间较短因此各个工序应提前布置并在规定布置时间内完成各项任务才能确保在天窗点时间内完成施工。

表1 转体施工步骤及时间分解表

| 序号 | 施工步骤       | 施工项目                           | 施工时间         | 时长(分钟) |          |
|----|------------|--------------------------------|--------------|--------|----------|
| 1  | 试转准备<br>点外 | 现场负责人、管理人员、技术员、安全员、操作人员、防护人员到位 | 22:00-22:35  | 35     | 封锁点外60分钟 |
| 2  |            | 临时铁鞋拆除及转动设备开启预热                | 22:35-22:55  | 20     |          |
| 3  |            | 等待封锁命令下达                       | 22:55-23:00  | 5      |          |
| 4  | 转体施工<br>点内 | 命令下达, 设置防护                     | 23: 00-23:01 | 1      | 封锁点内80分钟 |
| 5  |            | 接触网停电                          | 23: 01-23:11 | 10     |          |
| 6  |            | 总指挥下达转体开始命令                    | 23: 11-23:13 | 2      |          |
| 7  |            | 4#、5#墩同时转体( $32^\circ$ )       | 23: 13-23:45 | 32     |          |
| 9  |            | 4#墩点动转体( $3^\circ$ )           | 23: 45-23:48 | 3      |          |
| 10 |            | 5#墩转体( $8^\circ$ )             | 23: 48-23:56 | 8      |          |
| 11 |            | 5#墩点动转体( $3^\circ$ )           | 23: 56-00:01 | 5      |          |
| 12 |            | 监控组复核、锁定确认                     | 00:01-00:04  | 3      |          |
| 13 |            | 技术组验收确认、汇报总指挥                  | 00:04-00:06  | 2      |          |
| 14 |            | 接触网接地装置解除                      | 00:06-00:16  | 10     |          |
| 15 |            | 撤离防护                           | 00:16-00:18  | 2      |          |
| 16 |            | 下达开通命令                         | 00:18-00:20  | 2      |          |

结束语: 上跨营业线铁路桥梁转体施工应用BIM、理论分析及现场试验等技术, 球铰安装与梁体就位后相对关系与转体就位后钢绞线回缩量关系减小了转体施工误差; 转体牵引力与摩擦系数计算分析与转体前梁体梁端不平衡配重关系保证了施工过程中安全; 经常益长铁路站前工程四标石长铁路特大桥上跨既有营业线石长线转体施工现场实践, 施工过程安全可靠, 目前此转体梁已合龙, 各项指标均满足验收规范要求。

#### 参考文献

- [1]张彦光.郑徐铁路客运专线大吨位桥梁转体施工技术[J].施工技术, 2016(45):261-264;
- [2]何新建.浅谈桥梁转体施工方法及应用[J].中国新技术新产品, 2011(11):40;
- [3]聂磊, 谢国平.公路跨铁路桥梁转体施工设计[J].铁道勘察, 2018(03):117-121