

西柏坡高速 2×67 m 同步转体 曲线 T 构称重试验研究

张雪松, 王慧东

(石家庄铁道大学 土木工程学院 河北 石家庄 050043)

摘要: 石家庄西柏坡高速公路田家庄互通立交跨越京广铁路货迁线, 为一联 2×67 m 双幅曲线预应力混凝土 T 型刚构结构, 采用同步转体施工方案, 为保证转体工序的顺利进行, 转体前应采取措施使 T 构在两个方向达到平衡。为此, 确定其是否平衡的称重试验和试转工作是必不可少的。介绍了该桥称重试验的原理主要内容及步骤, 介绍了称重试验中数据处理的方法, 并对试验结果进行了分析, 提出 T 构平衡配重的方案, 工程结果显示效果良好。

关键词: 曲线 T 构; 称重试验; 配重方案

中图分类号: U446.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2013)03-0023-04

1 工程概况

石家庄西柏坡高速公路田家庄互通立交跨越京广铁路货迁线, 为一联 2×67 m 双幅曲线预应力混凝土 T 型刚构结构, 全长 134 m, 采用双幅同步转体施工方案。T 构基础平行于铁路方向, 不侵占路基, 桥墩垂直公路路线横断面。单幅桥面宽 16.5 m, 中央分隔带 0.5 m。转体 T 构上部结构采用单箱双室箱型截面, T 构中间支点处梁高 5.8 m, 边支点梁高 2.5 m, 梁底线按二次抛物线变化, 边支点附近平直段长度为 10.95 m。箱梁顶板宽 16.5 m, 底板宽 10.5 m, 两侧悬板长各 3 m, 外腹板竖直布置。在墩底与承台间设置水平转盘。待外侧防撞护栏与防护网浇筑完成后, 进行钢铰临时压重, 然后双幅同时顺时针转体, 跨线处一次转体到位, 转体长为 $62 \text{ m} + 62 \text{ m}$, 两幅转体转动角度分别为 41° 和 40° , 转体总质量达 $2 \times 110\,655 \text{ kN}$ 。

2 称重试验的内容

一个理想的转体系统必须具备两个基本条件, 一是安全稳定, 这是施工控制的前提; 二是转体设备易于转动^[1]。T 构转动过程中, 整个转体系统的重量落在球铰上, T 构处于单点支撑状态, 在转动过程中 T 构是否能始终保持安全、平稳是转体过程中的控制重点, 而要了解 T 构转动过程中的状态, 必须在转体前对 T 构进行不平衡力矩测试试验, 即称重试验^[2]。

围绕田家庄立交转体桥梁的结构特点和施工特点, 本试验在转体梁施工称重平衡方面开展工作。通过测试转体系统部分的不平衡力矩、偏心距、摩阻力矩及摩擦系数等参数, 实现桥梁转体的配重要求, 为该桥转体施工提供理论依据。称重试验测试内容主要包括: (1) 转体系统不平衡力矩测试(包括纵向不平衡力矩和横向不平衡力矩); (2) 转体球铰的摩阻力矩及摩擦系数; (3) 确定转体 T 构的配重方案。

3 称重试验原理及步骤

3.1 称重试验测试原理

采用球铰转动测试不平衡力矩, 就是用测试刚体位移突变的方法进行测试的, 该法受力明确, 并且只

收稿日期: 2013-01-13

作者简介: 张雪松 男 1985 年出生 硕士研究生

考虑刚体作用,而不涉及挠度等其它影响因素,结果比较准确^[3]。当主梁预应力张拉完成并且脱架后,整个转体系统的质量全部落在球铰上,此时梁体的平衡有两种形式:

(1) 转体系统球铰提供的摩阻力矩(M_Z) > 转体系统自身不平衡力矩(M_G)。此时,转体系统不平衡力矩由球铰产生的摩阻力矩抵消,梁体维持平衡状态,不会产生绕球铰的刚体位移。

(2) 转体系统球铰提供的摩阻力矩(M_Z) < 转体系统自身不平衡力矩(M_G)。此时,球铰产生的摩阻力矩不足以抵抗转体自身不平衡力矩,梁体发生刚体位移后,撑脚参与工作,即撑脚产生的抵抗力矩、球铰摩阻力矩共同抵抗转体不平衡力矩,维持转体系统的稳定^[4]。

3.2 测点布置

称重试验选在上、下转盘之间进行,根据初步估算,试验中所需顶力约为 700 t,选用两台 400 t 千斤顶,其平面布置见图 1,立面布置见图 2;位移的测量选用百分表,百分表共布置 2 个,布置位置见图 1。不平衡力矩测试见图 3,图 3 中 $L_1 = L_2 = 5.153$ m。

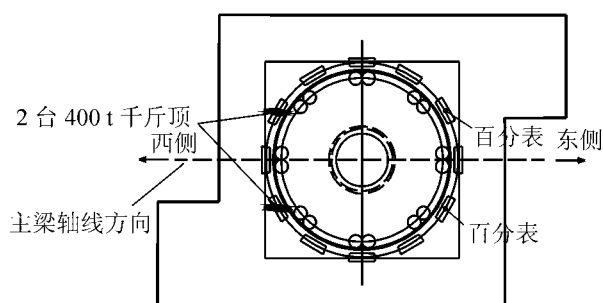


图 1 千斤顶及百分表布置示意

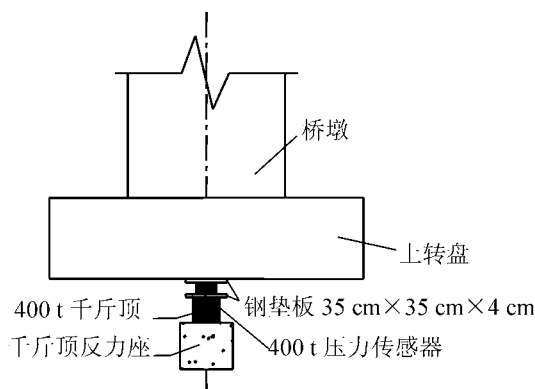


图 2 千斤顶布置立面

3.3 试验步骤

假设该转体梁纵向西侧偏重。

(1) 将西侧两台 400 t 千斤顶安装在对称于梁体轴线的两侧千斤顶反力座上。调整两台千斤顶压力,保证两台千斤顶压力同步变化。

(2) 顶升过程中,两台千斤顶同步施力,记录顶升力与位移。千斤顶顶升时,逐级缓慢加载,当位移出现突变时,即表明转体系统处于临界平衡状态。记录此时压力传感器读数记为 P_1 ;同理,在东侧进行顶升试验时,记录位移突变时压力传感器读数记 P_2 。

(3) 整理试验数据,将压力、位移对应的在直角坐标系上绘出。

(4) 重复(1)~(3)步。每个 T 构进行 2 次顶升试验,两次试验数据进行校核以保证试验数据的可靠性。

(5) 根据试验数据,计算出球铰摩阻力矩及球铰摩阻系数等参数,并提供 T 构平衡配重方案。

3.4 球铰摩擦系数的计算原理

球铰摩擦系数通过积分求得,其计算简图见图 4。

球铰的静摩阻力矩 $dM_Z = \mu_0 \sigma R dA$ $r = R \sin \theta$ $ds = R d\theta$ $dA = 2\pi r R d\theta = 2\pi R^2 \sin \theta d\theta$;

$dM_Z = R \cos \theta dF$ $dF = \mu_0 \sigma dA$ $dA = 2\pi r ds$ $r = R \sin \theta$ $ds = R d\theta$ $\sigma = \sigma_v \cos \theta$ $\sigma_v = N / (\pi R^2 \sin^2 \alpha)$ 。

则有 $dM_Z = 2\pi R^3 \mu_0 \sigma_v \sin \theta \cos^2 \theta d\theta$ $M_Z = \int_0^\alpha dM_Z = \frac{2(1 - \cos^3 \alpha)}{3 \sin^2 \alpha} \mu_0 N R$ 。

其中,球铰平面半径为 1 900 mm,球铰球体直径 8 m,转体总重力 110 655 kN, $\alpha = \sin^{-1}(1.9/8) = 13.74^\circ$ 。将参数带入上式,可解得 $M_Z = 0.985 896 \mu_0 N R$ 。从计算结果可以看出,球铰摩阻力矩按照球面积分所得的数值和将球铰球面近似按照平面摩阻力矩计算的数值相差不大,两者差值不到 1.5%,故在球铰摩阻力矩计算时可简化为平面进行计算。

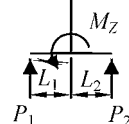


图 3 不平衡力矩测试示意

不平衡力矩 $M_G = P_1 L_1 - P_2 L_2$; 摩阻力矩 $M_Z = P_2 L_2 + P_1 L_1$; 球铰静摩阻系数 $\mu = M_Z / 0.98 R N$; 转体系统偏心距 $e = M_G / N$ 。其中 μ 为摩阻系数; R 为球铰中心转盘球面半径; N 为转体质量; M_Z 为静摩阻力矩; M_G 为不平衡力矩。

4 称重试验结果分析

本次试验中,属于第二种情形,即 T 构的不平衡力矩大于摩阻力矩,球铰处有转动, T 构发生了刚体位移,撑脚与球铰共同维持 T 构的稳定。

4.1 顺桥向顶升试验

西侧顶升与落顶时力与位移关系曲线见图 5 和图 6。通过西侧顶升试验确定顶升时临界力 $P_1 = 6\,484$ kN; 西侧落顶时确定临界力 $P_2 = 605$ kN。千斤顶作用点距球铰中心等效力臂 $L_1 = L_2 = 5.4$ m。

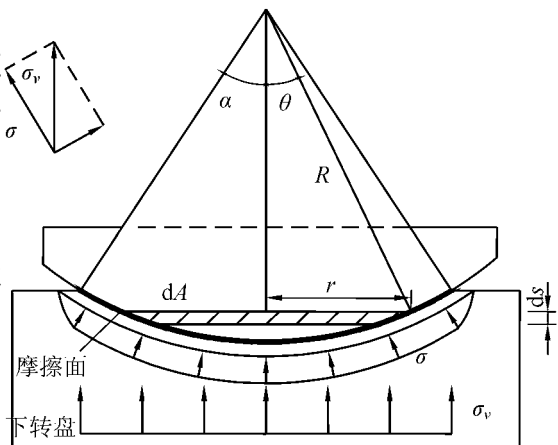


图4 球铰摩擦系数计算简图

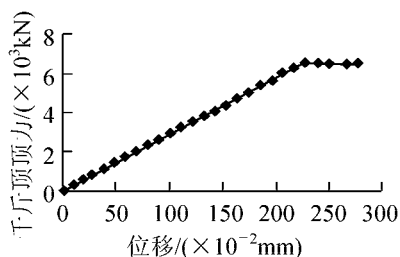


图5 西侧顶升力与位移关系曲线

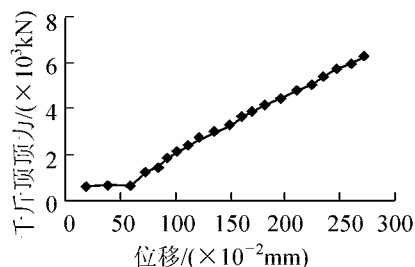


图6 西侧落顶时力与位移关系曲线

西侧顶升时有 $P_1 L_1 = M_G + M_Z$, 西侧落顶时有 $P_2 L_2 = M_G - M_Z$, 联立方程并代入数值, 解得 $M_G = 19\,140$ kN·m; $M_Z = 15\,873$ kN·m; 球铰动摩阻系数 $\mu = M_Z / 0.986 R N = 0.018$; 纵向偏心距 $e = 17.3$ cm。

4.2 横桥向顶升试验

T 构位于曲线段,在设计时将球铰中心向曲线内侧偏移 10 cm 以抵消 T 构横向偏心。左幅横向称重时,不平衡力矩大于摩阻力矩,横向存在刚体位移,曲线内侧顶升及落顶时力与位移关系见图 7 和图 8。

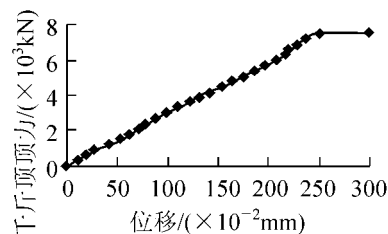


图7 南侧顶升力与位移关系曲线

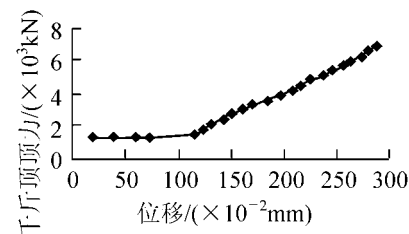


图8 南侧落顶时力与位移关系曲线

通过南侧顶升试验力与位移关系图 7 和图 8 可以确定顶升时临界力 $P_1 = 7\,525$ kN; 南侧落顶时确定临界力 $P_2 = 1\,305$ kN。代入数值, 解得 $M_G = 23\,841$ kN·m; $M_Z = 16\,794$ kN·m; 球铰动摩阻系数 $\mu = M_Z / 0.986 R N = 0.019$; 横向偏心距 $e = 15.2$ cm。

5 T 构配重

5.1 质量平衡转体配重方案

通过在箱梁顶板上配置一定质量,使 T 构自身质量落在球铰中心上, T 构转体系统自身即能维持平

衡,而不需要借助撑脚的支撑,此时所有撑脚与滑道均无接触。配重的计算可按式计算: 所需配重 = $N \cdot e / (\text{悬臂长度} - \text{配重距离梁端长度})$ 。

该方案的优点是所需配质量较小, T 构转体启动时所需牵引力相对较小。由于该种配重方案中对转体系统全部质量落在球铰上,可以近似看作单点支撑,因此在转动过程中,容易出现梁体的晃动等。因此,若采取该配重方案,应减小撑脚与滑道的间隙,使梁体稍有晃动时即能通过撑脚支撑在滑道上。由于该桥纵横向不平衡力矩均较大,横向配重较为困难,此种配重方案在该桥中很难实现。

5.2 不平衡配重方案

质量不平衡转体配重方案的思路是:在转体过程中梁体重心与球铰中心不重合,球铰与滑道之间存在接触,球铰与撑脚共同支撑转体系统,增加了转体系统在转动过程中的稳定性。由于撑脚与球铰均有受力,增加了转体启动时所需的牵引力,同时必须注意,配重后新形成的偏心距满足 $5 \text{ cm} \leq e \leq 15 \text{ cm}$ 要求。该桥配重采用此方案,在顺桥向配重时沿外腹板方向布置配重,使 T 构顺桥向基本平衡同时减小 T 构横向不平衡力矩,转体时横桥向曲线内侧的一个撑脚与滑道接触。配重结果见表 1。

6 结束语

此幅称重试验在顶升及落顶过程中,位移突变明显,临界力的确定较为容易。T 构纵向和横向称重试验所得球铰摩擦系数相差 0.001,可以认为球铰接触面在纵向上是均匀的。纵横向称重结果综合考虑,球铰摩擦系数取 0.019。T 构纵横向不平衡力矩均较大,纵横向不平衡力矩较大的原因为曲线段 T 构防撞护栏施工不对称及未安装压重钢锭。本工程中 T 构横向配重存在困难,选择纵向配重兼顾横向配重方法使纵向基本处于平衡状态,横向存在偏心,配重后形成的横向偏心 $< 15 \text{ cm}$,转体时球铰与横向侧撑脚共同支撑上部结构,该种转体方法虽然增大了转动时启动动力,但也增加了转体系统的稳定性^[5]。

表 1 转体配重

名称	配重量/kN	配重位置(沿外腹板)
左幅	319	距东侧悬臂端 2 m
右幅	345	距西侧悬臂端 2 m

参 考 文 献

- [1] 向中富. 桥梁施工控制技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001: 1-9.
- [2] 张联燕. 桥梁转体施工[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [3] 王海如, 张丽. 悬浇转体桥梁不平衡称重试验研究[J]. 市政技术, 2010(S2): 152-155.
- [4] 魏峰, 陈强, 马林. 北京市五环路斜拉桥转动体不平衡称重试验分析[J]. 铁道建筑, 2005(4): 4-6.
- [5] 王继红. 弯斜 T 构桥梁双幅同步水平转体施工技术[J]. 国防交通工程与技术, 2005(2): 56-60.

Research on Weighing Test of $2 \times 67 \text{ m}$ Synchronous Rotational Curve T-shape Rigid Frame Bridge in Xibaipo Highway

Zhang Xuesong, Wang Huidong

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Tianjiazhuang freeway-interchange bridge of Shijiazhuang-Xibaipo highway consists of a group of $2 \times 67 \text{ m}$ double amplitude curve pre-stressed concrete T-shape rigid frame across Beijing-Guangzhou cargo railway. This bridge was constructed by the synchronous swivel scheme. In order to ensure the smooth progress of construction process, some measures were taken to make T structure's balance in two direction before swivel, so the work of determining the weight balance of the T rigid frame and trial-rotation is indispensable. This paper introduces the basic principle, main content and weighing test steps of the bridge, introduces the processing methods of test data, analyzes test results, and puts forward the balance weight scheme of the curve T-shape rigid frame bridge.

Key words: curve T-shape rigid frame; weighing test; balance weight scheme (责任编辑 刘宪福)