

文章编号 :1006 - 2106(2006)09 - 0041 - 03

转体施工的公路 T 型刚构桥梁转动结构设计*

王立中**

(铁道第三勘察设计院 , 天津 300142)

摘要 :研究目的 对张石高速公路 T 型刚构转动结构设计的关键技术进行研究 ,解决水平转体球铰转盘的设计、球铰的加工及施工工艺等问题。

研究方法 结合材料力学、弹性力学的计算理论 ,初步计算结构在静止状态下接触面上的受力情况 ,然后采用大型通用空间有限元程序 ANSYS 进行动力状态下仿真分析计算。

研究结果 通过对公路 T 型刚构转动结构应力、应变、稳定等的研究 ,总结出一套完整的转动结构设计需核算的主要内容、步骤及计算方法。

研究结论 在转动结构设计过程中 ,要根据转体结构自身特点 ,选择转盘形式及转盘的尺寸 ;用结构分析程序进行计算分析 ,解决转动结构转盘接触面上的应力、应变问题 ,据此确定经济合理的转动结构。

关键词 :公路桥 ;T 型刚构 ;转动结构设计

中图分类号 :U445 **文献标识码** :A

Design of the Rotational Struction of Highway T - Shape Rigid Frame Brige Constructed with the Method of Slewing

WANG Li - zhong

(The Third Survey & Design Institute of China Railway ,Tianjin 300142 ,China)

Abstract :**Research purposes** :Research on the key technology of the rotational structure design of T - shape rigid frame bridge on Zhangshi expressway has been conducted. The problems on design , manufacture and construction techniques of the spherical horizontal - rotational structure have been solved.

Research methods :Combining with the theory of materials mechanics and elasticity machanics , the forcing condition on the contacting surface under the stationary condition should be calculated out initiatively. Then calculation imitating real condition has been done with the large general space finite element programme.

Research results :According to the research of rigid frame 's stress , strain and stability , a whole set of method of design and calculate have been summarized. The main calculation method and content of the rotational structure of highway T - shape rigid frame bridge have been showed in this paper , too.

Research conclusions :During the rotational structure design , shape and dimension of the rotational plate should be choosen according to the character of the rotational structure. The problems of the stress and strain on the connecting surface of rotational plate should be solved by calculation and analysis with the structure analysis programme , then the e - conomic and reasonable rotational structured should be worked out.

Key words : highway bridge ; T - shape rigid frame bridge ; design of the rotational struction

河北省张家口—石家庄高速公路跨京广铁路、107 国道立交桥为双向 8 车道 ,分两幅设桥 ,错线布置 ,单幅

桥面宽度 16.75 m。全桥位于 $R = 3\,300\text{ m}$ 圆曲线及缓和曲线上 ,跨越既有京广铁路处采用 2 孔 50 m T 型

* 收稿日期 2006 - 08 - 20

** 作者简介 王立中 ,1970 年出生 ,男 ,高级工程师。

刚构。

T型刚构采用转体施工,降低了桥下的净高,减少了对既有线运营的影响,使公路施工与既有铁路交叉干扰影响的时间最短,安全隐患最少。两幅桥的T型刚构同时转体施工,转体重量分别为4 800 t,顺时针转动48.2°。

T型刚构上部结构采用单箱单室斜腹板箱形截面,中支点处梁高4 m,端部梁高1.8 m,梁底线形按二次抛物线变化,梁体斜置形成桥面横坡。中墩采用箱形截面,墩高9 m,墩身纵横向尺寸4 m×6.5 m。

1 转动结构设计

1.1 转动结构几何尺寸

本桥转盘长8 m,宽8 m,高2 m,牵引盘为直径7.6 m、高0.8 m的圆柱,球铰转盘球面半径为6.0 m,上转盘球缺高1.091 m,下转盘球缺高0.191 m,上、下转动球铰采用30 mm厚的钢板,下球铰上镶嵌聚四氟乙烯滑动片,上、下球铰间填充黄油聚四氟乙烯粉;销钉采用 $\phi 26$ cm的钢棒;下盘(承台)长12 m、宽12 m、高3 m;为了放置转体施工牵引索反力座,承台两侧各增加长4 m,宽3.4 m,高3.0 m的平台,并与承台共同受力。如图1、图2所示。

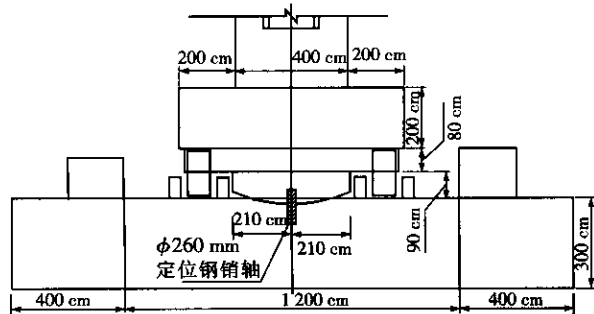


图1 2孔50 m T构转体立面

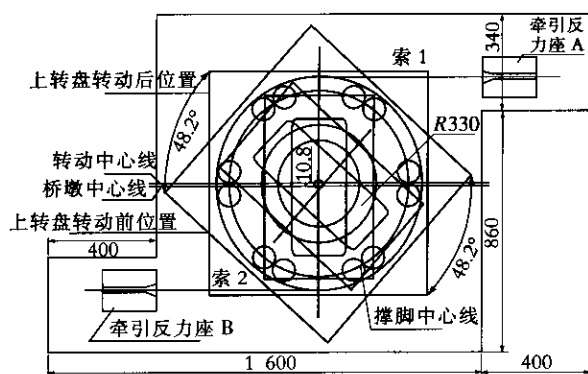


图2 2孔50 m T构转体平面(单位:cm)

1.2 转动结构应力计算

1.2.1 转动结构下盘应力计算

转体总重量 W 为48 000 kN,下盘混凝土采用C50混凝土,其抗压标准强度 $R_a^b = 32.4$ MPa,下盘混凝土

的计算压应力为:

$$\sigma = KW/(\pi D^2/4) \quad (1)$$

式中 D ——下盘与球铰接触面直径(m);

K ——偏压效应增大系数,取1.4。

利用上式可以推求下盘混凝土的设计压应力为9.5 MPa,小于C50混凝土的受压容许应力为:

$$[\sigma] = 0.5 R_a^b = 16.2 \text{ MPa}.$$

1.2.2 转动结构球铰应力计算

本桥转动结构采用中心支承的球铰转盘,上、下球铰钢板采用同心但不同半径的球壳体,如图3所示。

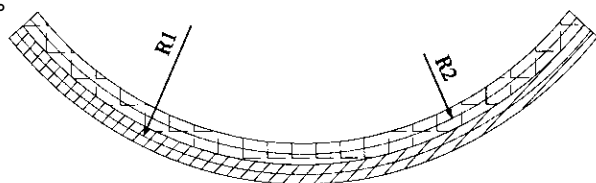


图3 球体接触示意图

两个球体接触的应力计算《弹性力学》给出了最大压应力的计算公式:

$$q_0 = 0.388 \left[\frac{PE^2(R_1 + R_2)^2}{R_1^2 R_2^2} \right]^{1/3} \quad (2)$$

式中 P ——转体重量(N);

E ——材料弹性模量(Pa);

R_1 、 R_2 ——两个接触球体的半径(m)。

用该公式我们可以推求静止状态钢球铰在接触面上的最大压应力为44.3 MPa,依此可初步选择转体系统的材料,拟订转体结构尺寸。但转体结构的设计计算,除了要解决静力问题外,还要考虑转动过程中的应力、形变及结构的位移等问题,因此,又采用了大型通用空间有限元程序ANSYS进行了仿真分析,以便摸清球铰转动过程中的应力、变形和位移等(ANSYS结构分析程序能较好的解决转体结构的静力学、动力学问题)。

考虑T型刚构位于圆曲线上及桥面横坡的影响,为使T构重心与转体中心重合,将转动球铰和下盘承台一同向曲线内侧横移108 mm。

转体系统用ANSYS结构分析程序进行计算,共划分节点112 823个,单元666 239个。模型由上转盘、牵引盘、上球铰、下球铰及下盘等几部分组成;采用混凝土、钢板及四氟板3种材料;采用SOLID64、SOLID185、CONTA174、TARGE170 4种单元。上下球铰间建立接触面。结构竖直力及转动牵引力采用均布荷载,作用在受力面上及相应的节点上。

ANSYS结构分析程序压应力计算结果较上面两

公式计算的结果偏大,下盘最大压应力为 14.7 MPa,钢球铰最大压应力为 65.5 MPa,整个转体结构在竖向的位移仅为 1 mm。

1.3 倾覆稳定计算

本桥转动结构重心的位置在承台上方 17.65 m 处,设计基准风速按石家庄地区 10 年一遇的标准,采用 24 m/s。计算的横桥向倾覆稳定安全系数 7.0,抗滑动稳定系数 11.4,纵向倾覆稳定安全系数 21,抗滑动稳定系数 33.7。

1.4 转动牵引力计算

目前转体施工采用的润滑材料主要有黄油,摩阻系数 0.06;二硫化钼,摩阻系数 0.1;聚四氟乙烯干岛走板,摩阻系数 0.03~0.06;黄油四氟粉,摩阻系数 0.03~0.06。根据以往的一些实验数据,本桥采用聚四氟乙烯滑动片和黄油聚四氟乙烯粉方案,静摩擦系数采用 0.1,动摩擦系数采用 0.06,牵引力的计算结果如下:

摩擦力计算公式为 $F = W \times \mu$ (3)

静摩擦力 $F = W \times \mu = 4\,800\text{ kN}$;

动摩擦力 $F = W \times \mu = 2\,880\text{ kN}$ 。

转体拽拉力计算:

$T = 2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu) / D$ (4)

式中 R ——球铰平面半径 $R = 1.5\text{ m}$;

D ——转台直径 $D = 7.6\text{ m}$ 。

启动时所需最大牵引力

$T = 2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu_{\text{静}}) / D = 631\text{ kN}$;

转动过程中所需牵引力

$T = 2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu_{\text{动}}) / D = 379\text{ kN}$ 。

由此可见,在转动结构设计中,由于摩阻系数的取值范围变化不大,转动牵引力的大小主要与转体总重量、球铰平面半径及转台直径有关,在转体牵引设备控制时,设计中就要合理确定球铰平面半径和转台直径的相互关系,以使转动结构经济合理。

2 转动球铰加工及施工技术要求

转动球铰直径采用 $\phi 3\,000\text{ mm}$,分上下两片。是平转法施工的转动体系,它是转体施工的关键结构,制作及安装精度要求很高,必须精心制作,精心安装。其制造精度控制如下:

(1) 球面光洁度不小于 $\nabla 3$;

(2) 球面各处的曲率应相等,其曲率半径之差 $\pm 0.5\text{ mm}$;

(3) 边缘各点的高程差不大于 1 mm;

(4) 椭圆度不大于 1.5 mm;

(5) 各镶嵌聚四氟乙烯板顶面应位于同一球面上,其误差不大于 0.5 mm;

(6) 球铰上、下锅形心轴,球铰转动中心轴务必重合。

转动球铰面在工厂制造,在下球铰面上按设计位置铣钻聚四氟乙烯板镶嵌孔,同时在下球铰面上设置适量的混凝土振捣孔,以方便球铰面下混凝土的施工。

施工中要精确安装下球铰,下球铰精密对位后进行锁定。在混凝土灌注前将球铰中心轴的预埋套筒精确定位并固定,以便中心轴的转动。

下球铰混凝土灌注完成,将转动中心轴 $\phi 260\text{ mm}$ 钢棒放入下转盘预埋套筒中。然后进行下球铰聚四氟乙烯滑动片和上球铰的安装。聚四氟乙烯滑动片安装前,先将下球铰顶面清理干净,球铰表面及安放滑动片的孔内不得有任何杂物,并将球面吹干。根据聚四氟乙烯滑动片的编号将滑动片安放在相应的镶嵌孔内。每个球铰布置 467 块 $\phi 6\text{ cm}$ 的聚四氟乙烯片,总面积为 $13\,204\text{ cm}^2$,聚四氟乙烯片处于高压应力状态,平均计算压应力为 84.6 MPa。该聚四氟乙烯片设计抗压强度为 100 MPa。

滑动片安装完成,检查合格后,在球面上滑动片间涂抹黄油聚四氟乙烯粉,使黄油聚四氟乙烯粉均匀充满滑动片之间的空间,并略高于滑动片顶面,保证滑动片顶面有一层黄油聚四氟乙烯粉。涂抹完黄油聚四氟乙烯粉后,严禁杂物掉入球铰内,并尽快安装上球铰。上球铰精确定位并临时锁定限位,上下球铰吻合面外周用胶带缠绕密封,严禁泥砂或杂物进入球铰摩擦部。

3 结论

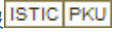
在转动结构设计过程中,首先要根据转体结构自身特点,选择转盘形式(水平转盘或球铰转盘);然后根据转体重量,粗略计算转盘的应力,初步拟定转盘的尺寸;最后根据撑脚布设、转体牵引设备及施工空间,确定牵引盘的尺寸。

转动过程中接触面上的应力、应变问题为本桥转动结构的计算难点,用 ANSYS 结构分析程序在上下球铰间建立接触面,推求球铰接触面上的受力状态,以最终确定经济合理的转动结构尺寸。

参考文献:

- [1] 徐芝纶. 弹性力学[M]. 北京:人民教育出版社,1978.
- [2] 张联燕,谭邦明,等. 桥梁转体施工[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [3] 徐升桥,陈国立,等. 北京市五环路曲线斜拉桥转体施工[J]. 铁道标准设计,2003(10):1-5.
- [4] 薛军,任文祥. T形刚构大纵坡弯斜箱梁桥水平转体施工技术[J]. 铁道标准设计,2005(8):33-37.

(编辑 王英娜 张 滨)

作者: [王立中](#), [WANG Li-zhong](#)
作者单位: [铁道第三勘察设计院, 天津, 300142](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2006(9)
被引用次数: 8次

参考文献(4条)

1. [徐芝纶](#) [弹性力学](#) 1978
2. [张联燕](#); [谭邦明](#) [桥梁转体施工](#) 2003
3. [徐升桥](#); [陈国立](#) [北京市五环路曲线斜拉桥转体施工设计](#) [期刊论文] - [铁道标准设计](#) 2003(10)
4. [薛军](#); [任文祥](#) [T形刚构大纵坡弯斜箱梁桥水平转体施工技术](#) [期刊论文] - [铁道标准设计](#) 2005(08)

本文读者也读过(10条)

1. [张解放](#). [Zhang Jiefang](#) [T形刚构桥转体施工技术](#) [期刊论文] - [石家庄铁道学院学报](#) 2006, 19(4)
2. [王继红](#). [WANG Ji-hong](#) [弯斜T构桥梁双幅同步水平转体施工技术](#) [期刊论文] - [国防交通工程与技术](#) 2005, 3(2)
3. [赵家底](#). [Zhao Jiashu](#) [跨线箱梁桥转体施工](#) [期刊论文] - [铁道技术监督](#) 2007, 35(5)
4. [王传文](#). [WANG Chuanwen](#) [桥梁偏心水平转体施工](#) [期刊论文] - [建筑技术](#) 2006, 37(5)
5. [孙海鹏](#) [谈悬臂桥梁转体施工与技术](#) [期刊论文] - [黑龙江科技信息](#) 2010(22)
6. [阎莉红](#). [赵贞](#). [周晓波](#) [转体施工在郑州市中心区铁路跨线桥工程的应用](#) [期刊论文] - [城市建设与商业网点](#) 2009(26)
7. [余常俊](#). [刘建明](#). [张翔](#). [贺厚](#) [客运专线上跨既有繁忙干线铁路连续梁水平转体施工关键技术](#) [期刊论文] - [铁道标准设计](#) 2009(12)
8. [刘贺全](#). [Liu Hequan](#) [跨线桥T形刚构大型悬臂箱梁双幅同时同步转体施工技术](#) [期刊论文] - [铁道建筑](#) 2007(9)
9. [李拉普](#). [Li Lapu](#) [跨线连续箱梁桥平面转体施工技术](#) [期刊论文] - [铁道标准设计](#) 2009(8)
10. [赵彩凤](#). [Zhao Caifeng](#) [预应力混凝土T形刚构弯斜箱梁桥转体施工监控量测技术](#) [期刊论文] - [铁道标准设计](#) 2008(1)

引证文献(8条)

1. [王树旺](#) [跨京沪铁路曲线转体T型刚构设计](#) [期刊论文] - [铁道建筑技术](#) 2010(z2)
2. [李三珍](#) [转体施工法连续刚构桥设计](#) [期刊论文] - [河南城建学院学报](#) 2010(5)
3. [陈宇](#) [跨铁路斜拉桥转体施工设计](#) [期刊论文] - [企业技术开发 \(学术版\)](#) 2013(2)
4. [涂杨志](#) [跨武广特大桥转体连续梁设计](#) [期刊论文] - [铁道工程学报](#) 2012(11)
5. [姚国文](#). [陈生华](#). [周志祥](#) [竖转施工刚构拱桥转动铰接触应力有限元分析](#) [期刊论文] - [重庆建筑大学学报](#) 2008(3)
6. [赵云安](#). [蔡红兵](#). [王炎](#) [大跨度转体施工T构桥关键部位应力分析](#) [期刊论文] - [低温建筑技术](#) 2011(10)
7. [杨公新](#). [刘慧利](#) [大跨度转体施工T构桥转动结构分析](#) [期刊论文] - [山西建筑](#) 2011(20)
8. [尚海涛](#) [平转法转体在铁路桥梁施工中的应用研究](#) [期刊论文] - [铁道工程学报](#) 2013(1)

引用本文格式: [王立中](#). [WANG Li-zhong](#) [转体施工的公路T型刚构桥梁转动结构设计](#) [期刊论文] - [铁道工程学报](#) 2006(9)