

# 单球铰转体斜拉桥自平衡体系简介

王同民

(中铁大桥局集团第一工程有限公司,郑州 450053)

**摘要:**结合北京石景山斜拉桥的单球铰转体工程实例,简要介绍斜拉桥无配重自平衡体系的构成、施工控制要素及验证方法。

**关键词:**斜拉桥;转体;自平衡;施工

**文章编号:**1009-6477(2008)03-0084-03   **中图分类号:**U448.27   **文献标识码:**B

## Introduction to Self - balanced System of Single - ball Hinge Swivel Cable - stayed Bridge

WANG Tongmin

### 1 工程概况

石景山高架桥位于北京市五环快速路与石南站编组站相交的咽喉区,下跨7条营运铁路线,为最大限度地减少对铁路营运的干扰,采用单球铰自平衡转体法施工。单球铰转体重量达140 000 kN,其转体箱梁总长达166.7 m。

### 2 结构设计

斜拉桥的自平衡体系,由转动体、支撑面、平衡力矩3大要素形成。

石景山斜拉桥的转动体为独塔斜拉桥,处于平曲线半径为1 900 m、竖曲线半径为16 000 m的复杂空间曲线上。转体段主跨悬臂长86.70 m,边跨端悬臂长80 m。转体段梁体为单箱3室C50预应力混凝土箱梁,顶板宽28.76 m,底板宽17.00 m,梁高2.50

m,箱梁整体向平曲线内倾斜2%。墩高10 m,宽12 m,厚2.00 m。墩梁塔固结,梁面以上主塔采用倒“Y”形结构,高39 m。全桥共设6组共12根斜拉索(图1)。

大型转动体的支撑面常用结构型式主要分平面与球面2大类。石景山转体斜拉桥的支撑采用单球铰支撑,支撑面为上下转盘中间嵌入球铰构成。球铰球面半径为8 m,水平投影直径3.8 m,用2块厚55 mm的钢板整体压制成型(图2);上下2片之间涂以黄油四氟粉,并垫以756块四氟板片(图3);球铰中心设Φ300 mm钢质转轴,预埋于上转盘混凝土中,保证转体时轴心不发生偏位;为使下转盘得以承受上转盘传递的巨大反力,其下设柱桩承台基础。

为保证整个转体在静态浇筑与动态转体过程中不发生倾覆,必须对球铰设一定的预偏心来为转动体提供一个可靠的稳定力矩,斜拉桥依靠这一稳定

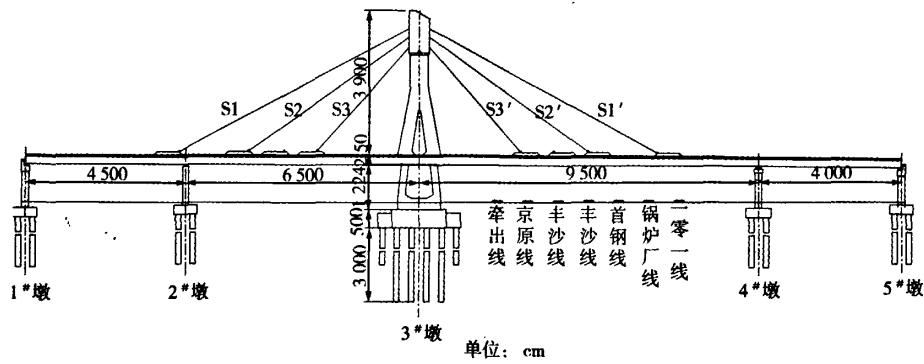


图1 桥式立面

收稿日期:2007-06-25

作者简介:王同民(1974-),男,湖北省宜昌市人,大专,工程师.

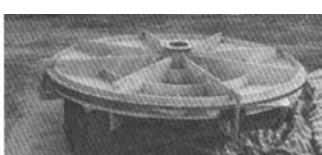


图 2 钢球铰

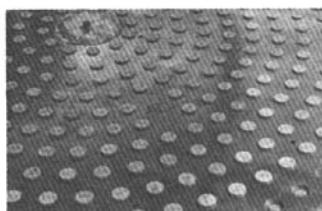


图 3 球铰四氟板

力矩实现转体过程中的动态平衡。石景山斜拉桥转动体的稳定力矩由环道与撑脚组成。在上转盘底设有 8 组钢管混凝土撑脚,按圆周等距布置;撑脚下为不锈钢环道,与撑脚间预留间隙 2~4 mm。因整个转动体重量作用于球铰上,且对球铰转轴中心有一个预偏心矩,球铰承受的竖向反力并非转动体的全部重力,转体重心偏移一侧的 2 个撑脚也将承受少量竖向力,并经由环道传递给支撑面(图 4)。因此,在转动体的转动中,可以实时地形成三点支撑,从而对转动体提供足够的稳定力矩,确保转动体平衡。

石景山斜拉桥转体部分重心向曲线内侧偏 109 mm,向边跨侧偏 50 mm,以使横桥向对转体中心平衡,同时使顺桥向力矩偏向边跨,使球铰与边跨侧的 2 个撑脚共同受力,从而形成 3 点支撑,产生足够的稳定力矩,保持转体稳定。在自平衡体系的结构设计中,应准确预定稳定力矩大小。由于撑脚远离转轴,撑脚与环道间摩阻力臂长,如稳定力矩取值过大,将导致转动困难,转体动力系统庞大复杂;如稳定力矩过小,转动体稳定性差,加之施工阶段不确定因素多,变动余地小。因此,稳定力矩的取值应根据

工程特点及施工条件慎重确定。

### 3 结构施工

#### 3.1 转动体施工

整个转动体支撑构件的核心是球铰,其安装精度和其下混凝土的密实程度是影响转体成败的关键因素。为确保球铰的安装质量,一般在下转盘内预设球铰托架,利用托架上的丝杆顶,对整体吊装的球铰进行精确定位。同时,为确保球铰下的混凝土密实度,预先在球铰上开设振捣孔(兼排气孔)进行浇筑,以确保混凝土的振捣质量。对于混凝土则从配合比与流动性上保证,采用流动性好的无收缩微膨胀混凝土。

整个转动体的上部结构由上转盘、主墩、主塔、主梁组成。施工时,在上转盘与环道间预先设置砂箱以承担部分上部结构竖向反力,保证整个转动体在主墩、主塔浇筑过程中的稳定。

转体斜拉桥箱梁则宜采用支架法现浇,施工中应重点控制模内结构尺寸,确保整个转动体的上部结构质量与设计相符,以此控制稳定力矩与竖向反力偏差。

#### 3.2 体系转换

(1) 拆除上转盘与承台间的砂箱,使球铰受力,拆除过程要对称。

(2) 通过斜拉索张拉,将支架承受的部分荷载转给斜拉索,并通过主塔、墩柱传递给球铰。

(3) 拆除全部梁底支架,使所有转体部分的荷载全部交还给球铰,完成全部体系转换。拆除前,应在梁端设临时钢支撑,其作用:一是作为自平衡体系的保险措施,当整个转体处于不平衡状态时,临时钢支撑应提供足够大的反力保持转动体的稳定;二是现浇用的满堂支架由主墩中心向悬臂端逐渐拆除过程中,会引起支架反力的二次分配,如无临时钢支撑,会导致最末段支架受压失稳。

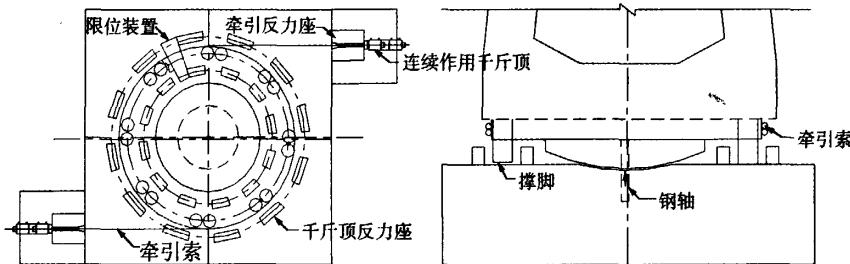


图 4 转体原理示意

### 3.3 自平衡体系施工质量控制标准

(1) 转体重量偏差控制在 $\pm 2\%$ ; (2) 平面桥轴线允许偏差为梁长的 $1/5000$ ; (3) 立面轴线允许偏差为 $\pm 10\text{ mm}$ ; (4) 环道、球面允许偏差为 $\pm 1\text{ mm}$ ; (5) 环道基座 $3\text{ m}$ 长度内平整度不大于 $\pm 1\text{ mm}$ , 环道径向对称点高差不大于环道直径的 $1/5000$ 。

## 4 自平衡体系验证

斜拉桥的转动体要成为完全的自平衡体系, 必须确保横桥向与顺桥向对转盘中心的力矩平衡, 故在转体前应进行称重验证, 方法是: 对称于距主塔墩中心线 $70\text{ m}$ 处设梁端反力架、千斤顶、传感器; 然后分别在一端向上施力顶升梁体, 通过设于转盘与承台间的位移计来判断, 当转动体发生转动的瞬间, 记录传感器顶升力; 再通过顶升力与力臂求得力矩; 通过对于球铰中心的力矩平衡方程, 推算球铰摩阻。

在正常状态下, 转动球铰的摩阻力矩大于转动体的不平衡力矩; 如施工误差过大, 也可能出现转动球铰的摩阻力矩小于转动体的不平衡力矩。在梁端的反力架上顶升时, 梁体发生转动时的力矩平衡方程组为:

$$M_c + P_1 L_1 + M_z = 0 \quad (1)$$

$$-M_c + P_2 L_2 + M_z = 0 \quad (2)$$

则转体部分的不平衡力矩和转动球铰的摩阻力矩为:

$$M_c = (P_1 L_1 - P_2 L_2)/2 \quad M_z = (P_1 L_1 + P_2 L_2)/2$$

无配重时的偏心距 $e$ 及球铰的摩擦系数 $\mu$ 为:

$$e = M_c/G \quad (3)$$

$$\mu = M_z/G \quad (4)$$

式中,  $M_c$  为转体的不平衡力矩,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;  $P_1$ 、 $P_2$  分别为主跨、边跨侧顶升反力,  $\text{kN}$ ;  $L_1$ 、 $L_2$  分别为主跨、边跨侧顶升力至球铰中心的力臂,  $\text{m}$ ;  $G$  为转体部分的总重力,  $\text{kN}$ ;  $e$  为未配重时的偏心距,  $\text{m}$ ;  $\mu$  为球铰的摩擦系数。

当因施工过程控制不严而出现稳定系数不够时, 需进行配物压重, 可以采取先施作部分防撞护栏等桥面系的方法进行配重平衡。但若转体斜拉桥在转体过程中线产生变化, 则防撞护栏应设置竖向断缝, 且间距不宜过大。施工中应重点控制施工过程, 力争转动体本身的无配重平衡, 以发挥球铰的最大效能。

## 5 自平衡体系转体后的线型调整

斜拉桥单球铰无配重的自平衡体系, 可以方便地进行转体后的合拢口线型调整。与平面转体系统相比, 单球铰转动体主要是通过整个刚体位移进行线型调整, 仅在梁端局部作克服变形调整, 整个转体内附加应力小, 可使梁端精确合拢。具体如下:(1) 采用平转及助推系统微调, 将桥梁中轴线对正;(2) 利用设于上下转盘间的横向微调系统, 调整整个刚体的横向倾斜度;(3) 临时解除上下转盘间的连接, 在梁体两端及上下转盘间采用微调千斤顶顶升, 利用刚体位移的办法调整转体的姿态, 然后固结上下转盘(由于斜拉桥箱梁底板受拉, 应进行过程监控, 保证应力状态在设计允许范围内);(4) 在转体梁段端部顶升, 克服梁体前端的挠度, 使梁端中线处标高齐平;(5) 在梁端上下游施力, 在计算范围内强迫合拢口梁体倾斜度与边跨现浇段梁端一致;(6) 将墩台(上下转盘)临时固结, 将合拢口固结;(7) 拆除转体机具, 安装边墩支座, 浇筑合拢段并补浇转盘混凝土以使墩台固结。

## 6 影响自平衡体系的其它因素

要形成自平衡体系还必须考虑以下因素: 转体前后的气候条件, 如风、雨、雪等自然条件影响; 在转体过程中不能拆除的用于塔柱或上部结构施工的临时支架, 以及其它施工荷载对稳定力矩的影响; 转体过程中转动体起动、匀速转动、意外止动、二次起动、制动等不同阶段的转体稳定性; 施工中结构误差与后期设计变更对转动体稳定力矩的影响。

## 7 结语

转体法施工, 可以最大限度地避免对运营线路的干扰(跨线桥)或避开水中施工(跨河桥), 因而其综合效益最省。如果能很好地将大跨度斜拉桥的结构型式与转体法结合, 就能充分体现转体施工的优越性。石景山斜拉桥在此方面的成功探索, 为特殊施工环境地段的桥梁施工展示了更广阔的前景。

## 参 考 文 献

- [1] 张联燕, 等. 桥梁转体施工 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [2] 交通部第一公路工程总公司. JTJ 041-2000 公路桥涵施工技术规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [3] 严国敏. 现代斜拉桥 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2000.