

# 球型支座转动机构研究及设计

严振林

(中铁第五勘察设计院集团有限公司,北京 102600)

**摘要:** 针对球型支座在转动时,侧面滑动副由面接触变为线接触,易带来摩擦副表面破坏的问题,为横向活动支座增加了转动机构,该转动机构主要是在上、下支座板之间设置转动块,转动块一侧固定滑动材料与上支座板对摩,实现支座的横向位移,另一侧与下支座板的圆弧凸缘接触,实现支座的转角要求。该转动机构不仅避免了支座有转角时摩擦副的破坏,同时也满足支座的位移和转角要求。通过对支座运动及受力状态的分析,找出了转动机构的受力最不利状态,并对此状态下的上支座板挡块、滑板及接触凸缘进行了应力计算,计算结果均满足设计要求。

**关键词:** 球型支座; 转动机构; 转动块; 应力; 摩擦副

**中图分类号:** U443.36 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2013)03-0032-05

## 0 引言

桥梁支座是连接桥梁上部结构和下部结构的重要部件,它的作用是将桥梁上部结构的反力和变形(位移和转角)可靠地传递给桥梁下部结构<sup>[1]</sup>。球型支座作为一种新型桥梁支座,与传统支座相比具有较多的优点,已经在我国的公路和铁路建设中得到推广和应用。但是,随着我国铁路桥梁建设的迅猛发展,对球型支座的承载力、位移和转角等要求也在不断提高<sup>[2]</sup>,因此需要不断探索和研制与之相适应的新型球型桥梁支座。本文根据铁路相关标准及球型支座的性能要求,研究设计了一种横向活动支座转动机构,该机构即可满足支座水平位移的需要,同时也能适应支座转角的要求。

## 1 球型支座的构造原理

球型支座主要由上支座板、下支座板、球冠衬板、平面滑板、球面滑板及密封等结构组成,其示意图如图1所示。球型支座按其功能不同主要分为固定支座、多向活动支座、横向活动支座和纵向活动支座等四种<sup>[3]</sup>。对于横向活动支座,在荷载方面主要承受桥梁上部结构的竖向荷载和水平荷载,在支座位移方面,不仅要适应梁体的转角要求,而且要满足桥梁横向的位移要求<sup>[4]</sup>。

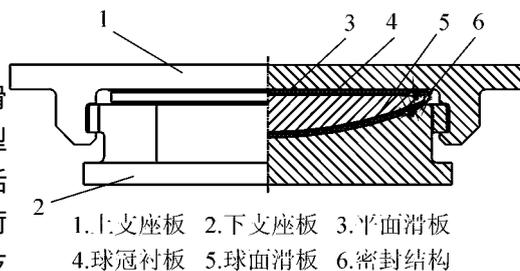


图1 球型支座结构

## 2 转动机构的工作机理

传统的球型支座在上、下支座板上直接安装 SF-1 和不锈钢滑板,当支座转动时,不锈钢滑板与 SF-1 板之间产生一个转角,摩擦副由面接触变为线接触,这种情况易造成 SF-1 板表面的破坏,影响支座的寿命,转动状态如图2所示。

为避免支座转动时,线接触产生的尖角对摩擦副表面的破坏,本设计中为横向支座加设了转动机构,该转动机构在满足位移和转角的同时,能避免支座转动时产生的尖角效应。转动机构的结构形式如图3

收稿日期:2012-12-20

作者简介:严振林 男 1984年出生 助理工程师

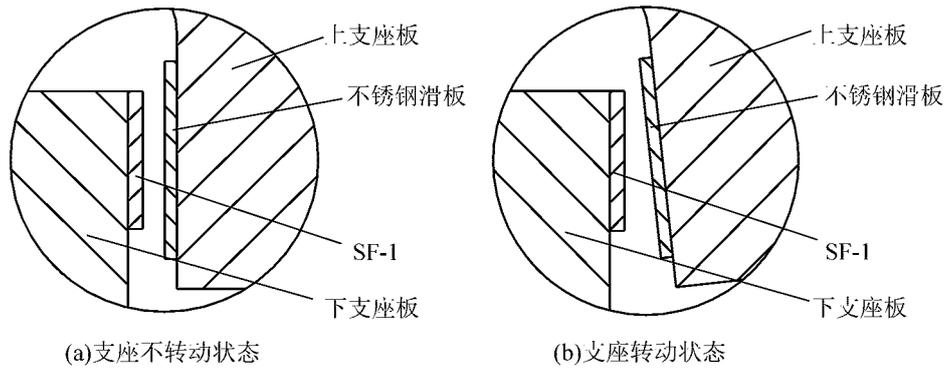


图 2 传统球型支座的转动状态

所示,其转动机理为:支座下支座板的凸缘为圆弧面,在上支座板挡块与下支座板凸缘之间设置转动块,转动块一侧焊接不锈钢板与挡块上的 SF-1 对摩,实现支座的横向位移。为防止支座有位移时,转动块相对于下支座板滑动,在转动块上设置剪力块,在下支座板上设置剪力槽,剪力块处于剪力槽中,来克服转动块与上支座板间的滑动摩擦力。转动块另一侧与下支座板凸缘的圆弧面接触,实现支座的转动。

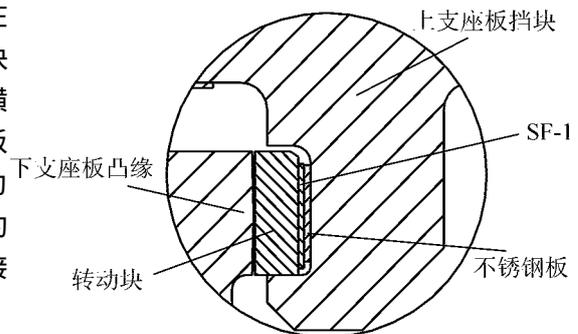


图 3 带转动块的转动机构

### 3 转动机构的主要计算参数

- (1) 竖向设计承载力  $P = 5\,000\text{ kN}$ 。
- (2) 支座的转角  $\theta = 0.02\text{ rad}$ 。
- (3) 支座的横向最大位移量  $e_y = \pm 10\text{ mm}$ 。
- (4) 支座的设计水平力  $H = 0.15P$ 。

### 4 转动机构受力分析与计算

#### 4.1 运动及受力分析

横向活动支座的上支座板挡块主要作用是承受横向水平荷载,为支座的横向滑动提供导向,并且要满足支座的顺桥向转动功能。支座转动后的状态如图 4 所示,其转动机构的受力如图 5 所示。

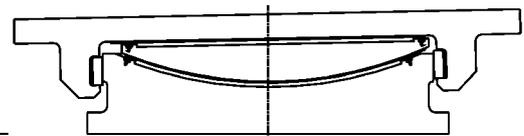


图 4 支座转动后的状态

由支座运动图及转动机构受力图分析知,上支座板挡块和转动块的受力有以下几种工况:

(1) 当上支座板处于中位时,下支座板凸缘弧面与转动块的接触位置为转动块的中心点处,此时水平力对于上支座板根部的作用力臂为 47.5 mm, SF-1 在宽度方向上受力范围为 35 mm,如图 6(a) 所示。

(2) 当上支座板逆时针转动 0.02 rad,且支座所受水平力方向向右时,支座右侧转动块上的接触点由原来的中点位置上移 2.64 mm,即水平力对于上支座板根部的作用力臂由原来的 47.5 mm 减小到 44.86 mm,此时的 SF-1 在宽度方向上受力范围为 29.73 mm,如图 6(b) 所示。

(3) 当上支座板逆时针转动 0.02 rad,且支座所受水平力方向向右时,支座左侧转动块上的接触点由原来的中点位置下移 2.38 mm,即水平力对于上支座板根部的作用力臂由原来的 47.5 mm 增大到 50.11

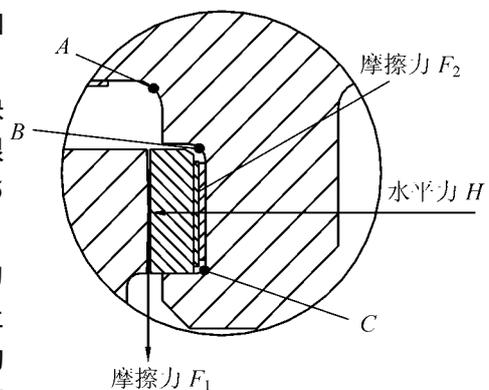


图 5 转动机构受力图

mm, 此时的 SF-1 在宽度方向上受力范围为 30.23 mm, 如图 6(c) 所示。

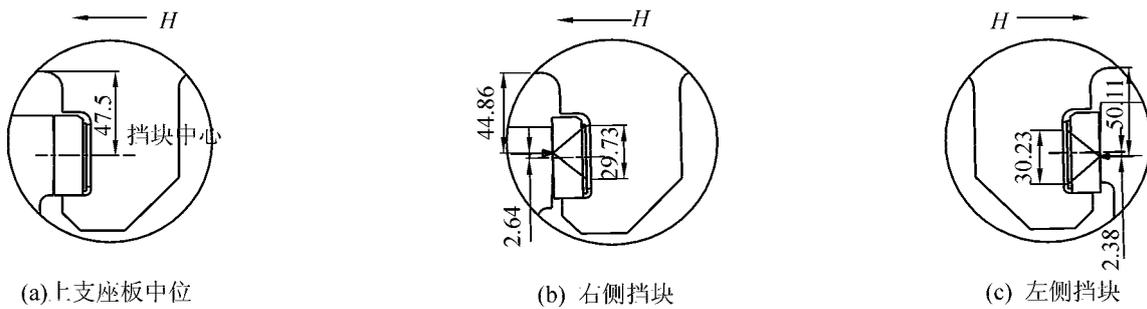


图 6 支座转动时转动机构的位置状态(单位: mm)

由以上工况分析可得出:

(1) 挡块受力状况最不利工况。当上支座板逆时针转动  $0.02 \text{ rad}$ , 水平力  $H$  达到最大, 且上支座板滑动(或有滑动趋势), 此时水平力对上支座板根部的作用力臂最大。此种工况下作用于挡块的力主要有: 水平力  $H$ 、由上支座板转动引起的摩擦力  $F_1$ 、由上支座板滑动引起的 SF-1 与不锈钢板之间的摩擦力  $F_2$ 。针对此种工况, 应对图 5 中的 A、B、C 三点的应力进行计算校核。

(2) SF-1 滑板受力最不利工况。当上支座板逆时针转动  $0.02 \text{ rad}$  时, SF-1 滑板在宽度方向上的受力面积最小, 应校核此工况 SF-1 滑板的压应力。

#### 4.2 挡块的计算

钢与钢之间的摩擦系数取  $0.15^{[5]}$ , 则由上支座板转动产生的摩擦力  $F_1 = 0.15H = 112.5 \text{ kN}$ ; SF-1 滑板与不锈钢板的摩擦系数为  $0.1^{[6]}$ , 由上支座板滑动产生的 SF-1 滑板与不锈钢板产生的摩擦力:  $F_2 = 0.1 \times H = 75 \text{ kN}$ 。

A、B 两点的应力按以下公式计算:

(1) 水平力  $H$  产生的应力。

剪应力

$$\tau_1 = \frac{H}{bh} \quad (1)$$

弯曲应力

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W_1} = \frac{6Hl_1}{hb^2} \quad (2)$$

(2) 摩擦力  $F_1$  产生的应力。

拉应力

$$\sigma_2 = \frac{F_1}{bh} \quad (3)$$

弯曲应力

$$\sigma_3 = \frac{M_2}{W_2} = \frac{6F_1l_2}{hb^2} \quad (4)$$

(3) 摩擦力  $F_2$  产生的应力。

剪应力

$$\tau_2 = \frac{F_2}{bh} \quad (5)$$

弯曲应力

$$\sigma_4 = \frac{M_3}{W_3} = \frac{6F_2l_1}{hb^2} \quad (6)$$

(4) 合应力。

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 \leq [\tau] \quad (7)$$

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 \leq [\sigma] \quad (8)$$

$$\sigma_{\max} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1.1[\sigma] \quad (9)$$

式中,  $\tau_1$ 、 $\tau_2$  为剪应力;  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$ 、 $\sigma_4$  为拉应力;  $[\tau]$  为许用剪应力,  $[\tau] = 90 \text{ MPa}$ ;  $[\sigma]$  为许用弯曲拉应力,  $[\sigma] = 150 \text{ MPa}$ ;  $H$  为水平荷载;  $F_1$  为上支座板转动产生的摩擦力;  $F_2$  为上支座板滑动产生的摩擦力;  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  为荷载产生的弯矩;  $l_1$ 、 $l_2$  为荷载的力臂;  $b$  为应力最大点处挡块的厚度;  $h$  为力的作用长度。

将各参数代入以上公式, 计算得  $A$ 、 $B$  两点的应力值  $\tau$ 、 $\sigma$ 、 $\sigma_{\max}$  分别为  $29 \text{ MPa}$ 、 $154.4 \text{ MPa}$ 、 $162.4 \text{ MPa}$  与  $39 \text{ MPa}$ 、 $152.9 \text{ MPa}$ 、 $166.7 \text{ MPa}$ 。

通过以上计算得出最大的应力为  $166.7 \text{ MPa}$ , 大于所许用的  $165 \text{ MPa}$ 。但是, 在上述的计算过程中没有考虑作用力在挡块纵向的扩散, 而是按力的直接作用长度  $400 \text{ mm}$  来计算, 所以计算结果是偏于安全的。如按力在传递的扩散角  $22.5^\circ$  来计算, 其挡块纵向受力长度为  $449 \text{ mm}$ , 依照此数据重新计算  $B$  点处的最大应力为  $148.6 \text{ MPa}$ , 小于其许用应力值。

$C$  点处的主要作用力为上支座板转动产生摩擦力  $F_1$ , 其应力按公式(5)与公式(6)来计算, 代入相应的力臂值计算得  $C$  点的应力  $\tau$ 、 $\sigma$ 、 $\sigma_{\max}$  的值分别为  $14.1 \text{ MPa}$ 、 $86.1 \text{ MPa}$ 、 $87.2 \text{ MPa}$ , 均小于许用应力值, 符合设计要求。

### 4.3 SF-1 滑板的计算

SF-1 滑板主要是计算其荷载作用下压应力的大小, 当上支座板逆时针转动  $0.02 \text{ rad}$  且受水平力作用时, 支座右侧的 SF-1 滑板在宽度方向上的受力面积最小, 按以下公式计算此工况下 SF-1 的压应力<sup>[7]</sup>

$$\sigma = \frac{H}{ab} \leq [\sigma] \quad (10)$$

式中,  $[\sigma]$  为 SF-1 的许用压应力, 取  $65 \text{ MPa}$ ;  $H$  为水平荷载;  $a$  为 SF-1 滑板的宽度;  $b$  为 SF-1 滑板的长度。

代入数值计算得  $\sigma$  为  $63 \text{ MPa}$ , 小于其许用压应力, 满足设计要求。

### 4.4 下支座板与转动块的接触应力计算

下支座板的凸缘处为  $R400$  的圆柱面, 转动块与之相接触的面为平面, 所以此处的接触模型为圆柱与平面接触, 此接触模型的计算公式为<sup>[8]</sup>

$$\sigma_{\max} = 0.418 \sqrt{\frac{HE}{Rh}} \leq [\sigma] \quad (11)$$

式中,  $H$  为水平荷载;  $E$  为铸钢的弹性模量;  $R$  为圆柱面的半径;  $h$  为接触线长度。

在设计中要求下支座板与转动块的接触表面硬度不小于 HBW200, 此硬度所对应的许用接触应力为  $420 \text{ MPa}$ <sup>[4]</sup>。将参数代入计算公式中计算  $\sigma_{\max}$  为  $406 \text{ MPa}$ , 小于其许用接触应力, 满足设计要求。

## 5 结束语

支座是桥梁结构中的一个承受高应力的部件, 本文中只对局部结构进行了检算, 在球型支座设计时, 还需对支座进行整体的有限元分析, 以保证其各部分有足够的强度。同时, 随着我国客运专线和高速铁路建设要求的不断提高, 如何保证球型支座与梁体等寿命, 尤其是球型支座摩擦副和密封的耐久性问题需要继续深入研究。

## 参 考 文 献

- [1] 庄军生. 桥梁支座[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008: 222-226.
- [2] 臧晓秋. 大吨位和大位移球型支座设计[J]. 铁道建筑, 2009(4): 1-3.
- [3] 中交桥梁技术有限公司. GB/T 17955—2009 桥梁球型支座[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [4] 李军. 超大吨位球型支座的结构设计[D]. 重庆: 重庆大学机械工程学院, 2006.

- [5] 闻邦椿. 机械设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社 2010: 163-169.
- [6] European Standard. BS EN 1337-7 Structural bearings. Spherical and cylindrical PTFE bearings [S]. London: British Standards Institution 2001.
- [7] European Standard. BS EN 1337-2 Structural bearings. Sliding elements [S]. London: British Standards Institution 2001.
- [8] 铁道第三勘察设计院. TB10002.1—2005 铁路桥涵设计基本规范 [S]. 北京: 中国铁道出版社 2005.

## Research and Design of Rotating Mechanism of Spherical Bearing

Yan Zhenlin

(China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co. Ltd ,Beijing 102600 , China)

**Abstract:** The side sliding contact of Spherical bearing became line from surface when bearing was rotated , this eased to bring about the destruction of the friction surface. To solve this problem , the rotation mechanism is added in the laterally movable bearing in this paper. The mechanism was provided a rotation block between the upper and lower plate , sliding material that rubbed with the upper plate was fixed on the side of rotation block , it was used to completed the bearing lateral displacement. The other side of rotation block contacted with the arc of lower support plate , it was used to completed the bearing angle. The rotating mechanism can not only avoid the destruction of friction surface when bearing was rotated , but also can meet the bearing requirements of displacement and rotation. Based on the analysis of bearing movement and force state , the most unfavorable state of rotation mechanism was found. On this state , the upper plate stopper , skateboards and arc stress is calculated in this paper , the conclusion is that the calculation results meet design requirements.

**Key words:** spherical bearing; rotating mechanism; rotation block; stress; friction pair

(责任编辑 刘宪福)



(上接第 31 页)

基于以上分析及结论 ,从安全角度考虑应该进行换索 ,调整索力及线形。由于刘庄斜拉桥因交通导行原因 ,目前仅供行人通行 ,因此建议先更换桥面防水及铺装;开放汽车荷载前应先更换斜拉索。

## 参 考 文 献

- [1] 重庆交通科学设计院. JTG/T D65-01—2007 公路斜拉桥设计细则 [J]. 北京: 人民交通出版社 2007.
- [2] 陕西省建筑科学研究设计院. JGJ T23—2001 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程 [J]. 北京: 中国建筑工业出版社 , 2001.
- [3] 上海市市政工程设计研究院. CJ/T3058—1996 塑料护套半平行钢丝拉索 [J]. 北京: 中国建筑工业出版社 ,1996.
- [4] 北京市市政工程管理处. CJJ 99—2003 城市桥梁养护技术规范 [J]. 北京: 中国建筑工业出版社 2003.

## Detection and Analysis of Liuzhuang Cable-stayed Bridge

Han Zongze

(Tianjin Road and Bridge Administration Office ,Tianjin 300070 , China)

**Abstract:** Due to the technical limitations of the cable protection , with the growth of age , the cable of the cable-stayed bridge will inevitably be corroded. This paper analyzes the results of routine regular examination and structure regular examination of the Liu Zhuang cable-stayed bridge , confirming the technical condition levels of the bridge , and putting forward the maintenance suggestions too , which will provide instructive reference for the management of similar bridge.

**Key words:** cable-stayed bridge; regular examination; stayed-cable disease; cable force; shape change of bridge floor

(责任编辑 刘宪福)