

CRH6 型城际动车组抗侧滚
扭杆装置的研制崔志国¹, 邹敏佳², 刘文松², 杜方孟², 程海涛²(1. 南车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266111;
2. 株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

作者简介：崔志国（1980-），男，工程师，主要从事动车组转向架设计工作。

摘要：介绍了抗侧滚扭杆装置工作原理，从抗侧滚扭杆设计方案、受力分析、刚度计算、强度分析等方面阐述CRH6型城际动车组抗侧滚扭杆装置。试验结果表明：该型抗侧滚扭杆装置的结构、刚度、强度及制造工艺等完全满足CRH6型城际动车组抗侧滚扭杆的运用要求，经过1000万次疲劳试验，该装置未发生任何问题。

关键词：动车组；抗侧滚扭杆装置；刚度；强度；疲劳试验

中图分类号：U260.331+.6；U266.2 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-128X(2013)05-0062-03

Research and Manufacture of Anti-rolling Torsion Bar Equipment for CRH6 Inter-city EMUs

CUI Zhi-guo¹, ZOU Min-jia², LIU Wen-song², DU Fang-meng², CHENG Hai-tao²

(1.CSR Qingdao Sifang Locomotive & Rolling Stock Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266111, China;

2.Zhuzhou Time New Material Technology Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China)

Abstract: CRH6 anti-rolling torsion bar equipment was introduced from operation principle, scheme design, stress analysis, stiffness calculation and strength analysis. Test results showed that the structure, stiffness, strength and manufacture technology of anti-rolling torsion bar could fully meet the operation requires; With 10 million times of fatigue tests, the device did not have any problems.

Key words: EMUs; anti-rolling torsion bar equipment; stiffness; strength; fatigue test

0 引言

抗侧滚扭杆装置利用金属弹性杆受扭转时产生扭转变形而提供反力矩，来抑制车辆的侧滚振动，而不影响车辆的伸缩、横摆、点头、摇头及浮沉等振动，在国内外得到了越来越广泛的应用^[1]。

1 抗侧滚扭杆装置工作原理

抗侧滚扭杆装置的机构运动如图1所示。图中M为车体，E、F为扭杆支撑座，安装于构架上，A、B、C、D为橡胶球铰或金属关节轴承，可在3个方向转动。如果不考虑相对于系统刚度小得多的支撑座组成和橡胶关节的影响，当车体相对于转向架发生浮沉振动时，两根连杆同时往一个方向运动，整个装置绕支撑球铰同时转动，扭杆并不承受力或扭矩，故并不影响车体的浮沉振动，对除侧滚以外的其他几个运动同样不提供任

何附加的力或扭矩。而当车体与构架之间发生绕X轴的相对转动即侧滚时，左右连杆向相反的方向上下运动，通过扭转臂（图中FD、EC）使扭杆发生扭转变形，扭杆由于抗扭弹性而产生抗扭反力矩。这一反力矩作用在垂向连杆上表现为一对大小相等方向相反的垂向力，而这对垂向力作用在车体上就形成了与车体侧滚方向相反的抗侧滚力矩。抗侧滚力矩的作用将阻止车体相对于转向架侧滚角度的增加，从而抑制车辆的侧滚，提高车辆的横向平稳性^[2]。

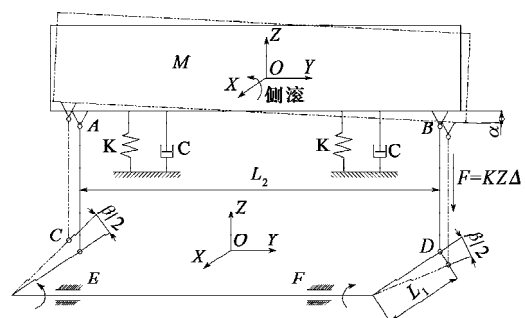


图1 抗侧滚扭杆装置机构运动示意图

收稿日期：2013-01-29；收修改稿日期：2013-06-28

2 CRH6 抗侧滚扭杆设计方案

CRH6 抗侧滚扭杆装置结构设计、原材料选取、工艺处理、系统装配、型式试验等方面均按照动车组抗侧滚扭杆标准进行, 结合末端缴粗、表面强化、浮动磨削等核心工艺, 根据 CRH6 型城际动车组对抗侧滚扭杆装置的要求开发, 如图 2 所示。主要结构特点如下:

系统扭转刚度为 $2.8 \text{ MN} \cdot \text{m/rad}$;

采用扭杆轴穿横梁钢管结构, 扭杆轴与扭转臂以过渡花键连接, 端部通过螺栓紧固;

连杆组件上端节点采用橡胶球铰、下端节点采用橡胶杆端轴承, 分别和连杆座、扭转臂连接, 连杆长度可调, 锁紧方式为螺母加上止动垫片;

支撑座组成包含支撑座、金属关节轴承 GE60、卡环、密封圈等零部件, 其中关节轴承内套与扭杆轴为过盈配合, 外套与支撑座为间隙配合;

扭杆轴采用欧标材料 52CrMoV4 (EN 10089) 并经过端部缴粗、表面喷丸强化工艺, 提高其疲劳寿命;

扭转臂、连杆、支撑座均采用模锻+机加工的形成方式。

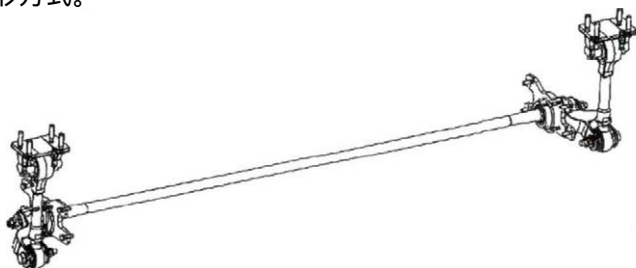


图 2 CRH6 型城际动车组抗侧滚扭杆装置

3 CRH6 抗侧滚扭杆受力分析

图 3 为 CRH6 抗侧滚扭杆装置的受力示意图^[3]。在车辆运行的过程中, 车体通过关节对连杆施加载荷 F_1 , 再经连杆和扭杆臂的力传递作用使扭杆轴承受扭矩 T_2 , 通过扭杆轴的扭转变形回弹特性来调节 F_1 的变化。

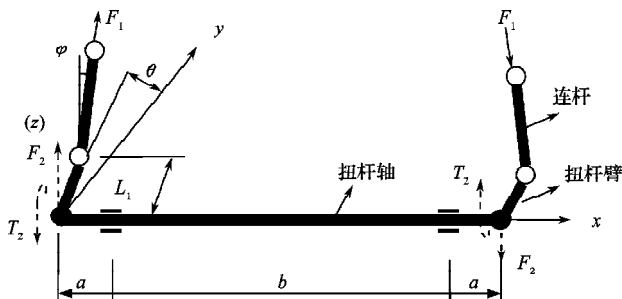


图 3 扭杆装置受力示意图

由于车体侧滚时作用在连杆上的垂向力以及扭杆支撑座组件的反作用力, 扭杆轴承受大小相等的扭矩 T 和不同大小的弯矩 M 的作用 (如图 4 所示)。

根据机械设计原理, 扭杆轴所受的扭矩纯剪应力为

$$\tau = \frac{T}{W} \quad (1)$$

所受弯应力为

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (2)$$

结合第四强度理论对扭杆轴的不同部位的受力情况进行校核, 预测最危险区域, 并且在结构设计时予以重视。

$$\sigma_{\max} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \frac{\sqrt{0.75T^2 + M^2}}{W} \quad (3)$$

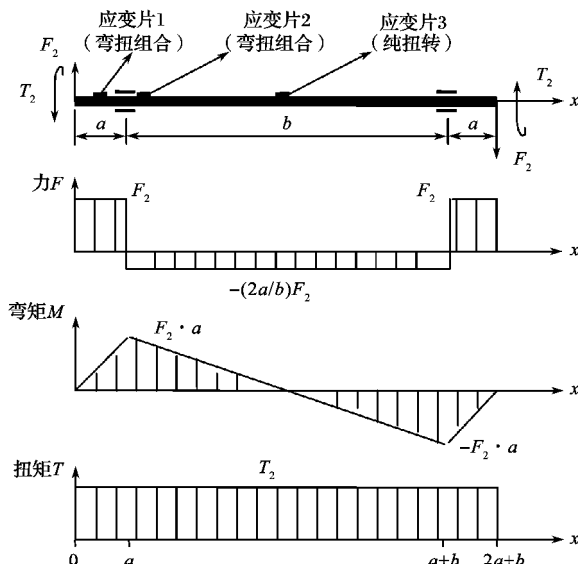


图 4 扭杆轴受力示意图

4 CRH6 抗侧滚扭杆刚度计算^[4]

如图 1 所示, 当车体侧滚 α 时, 设垂向连杆上的作用力为 F , 扭杆装置对车体作用的力矩 T_z 为

$$T_z = FL_1 \cos \alpha \quad (4)$$

垂向连杆的杆作用力 F 与扭杆扭转角 β 的关系

$$M_1 = \frac{FL_2 \cos \beta}{\beta} \text{ 得出 } F = \frac{M_1 \beta}{L_2 \cos \beta} \quad (5)$$

式中: M_1 ——扭杆的扭转刚度。

扭杆扭转角 β 与车体侧滚角 α 之间的几何关系

$$L_1/2 \cdot \sin \alpha \approx L_2 \cdot \sin \beta \quad (6)$$

由式 (1) 式 (2) 式 (4) 式 (5) 求得作用于车体的扭矩 T_z 为

$$T_z = \frac{M_1 L_1}{L_2} \cdot \frac{\arcsin\left(\frac{L_1}{2L_2} \cdot \sin \alpha\right) \cdot \cos \alpha}{\cos\left(\arcsin\left(\frac{L_1}{2L_2} \cdot \sin \alpha\right)\right)} = \frac{M_1 L_1 \arcsin\left(\frac{L_1}{2L_2} \cdot \sin \alpha\right) \cdot \cos \alpha}{L_6 \sqrt{1 - \left(\frac{L_1}{2L_2} \cdot \sin \alpha\right)^2}} \quad (7)$$

扭杆对于车体的扭转刚度 M_2 :

$$M_2 = T_z' = \frac{dT_z}{d\alpha} = \frac{L_1^3 M_1 \arcsin\left(\frac{L_1 \sin \alpha}{2L_2}\right) \cdot \cos^2 \alpha \sin \alpha}{4L_2^3 \left(1 - \frac{L_1^2 \sin^2 \alpha}{4L_2^2}\right)^{3/2}} + \frac{L_1^2 M_1 \cos^2 \alpha}{2L_2^2 \left(1 - \frac{L_1^2 \sin^2 \alpha}{4L_2^2}\right)} - \frac{L_1 M_1 \arcsin\left(\frac{L_1 \sin \alpha}{2L_2}\right) \cdot \sin \alpha}{L_2 \sqrt{1 - \frac{L_1^2 \sin^2 \alpha}{4L_2^2}}} \quad (8)$$

将相关参数带入以上公式,并忽略某些因素的影响,求得CRH6型动车组抗侧滚扭杆装置刚度为 $2.8 \text{ MN} \cdot \text{m/rad}$ 。

5 CRH6抗侧滚扭杆强度分析

在确定各项性能参数后,采用ABAQUS软件对结构进行了详细的有限元计算分析。根据技术要求,校核了在 30 kN 的极限载荷条件下所有零部件是否满足设计要求。图5为应力分布云图。从图5可以看出:扭杆轴的最大应力为 $573.7 \text{ MPa} < [\sigma] = 1300 \text{ MPa}$,出现在中间部位;扭臂的最大应力为 $237.5 \text{ MPa} < [\sigma] = 650 \text{ MPa}$,出现在与扭杆轴配合的花键区域。因此,CRH6抗侧滚扭杆各重要金属部件均满足静强度设计要求。



图5 在 30 kN 极限载荷下各零部件应力云图

疲劳载荷工况如表1所示。

表1 CRH6抗侧滚扭杆疲劳载荷条件

加载阶段	载荷大小 / kN	循环次数
1	± 14.5	6×10^6
2	± 17.5	2×10^6
3	± 21	2×10^6

基于FE/safe 5.4软件进行疲劳寿命计算,得出了CRH6抗侧滚扭杆装置在给定的疲劳载荷下的FOS(强度因子)如图6所示,可以看出各个主要零件的FOS均大于1,说明所有部件均达到了1000万次以上的疲劳设计要求。

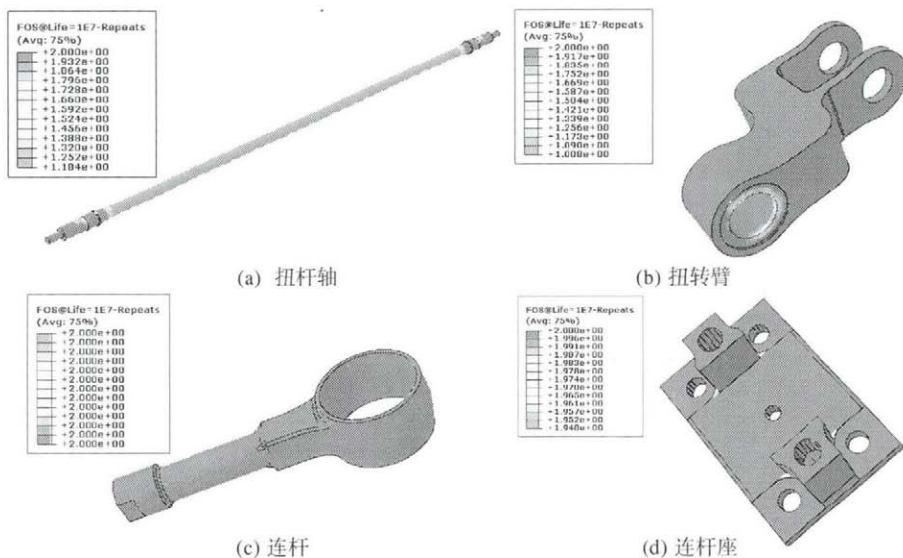


图6 在表1疲劳载荷条件下各零部件应力云图

6 CRH6抗侧滚扭杆型式试验

参照TB 3285—2011《动车组抗侧滚扭杆》以及相关技术要求,对CRH6型城际动车组用抗侧滚扭杆装置进行了刚度、弹性试验,结果表明各项指标均符合要求。按照表1要求完成了1000万次疲劳试验,结束后对扭杆装置进行探伤检测,未发现任何裂纹扩展和断裂现象。

7 结语

CRH6型动车组用抗侧滚扭杆装置采用成熟的结构设计,联接部件经过了详细的校核,确保可靠性;

结合有限元分析了重要零部件的应力大小以及疲劳性能,结果表明,各部件的最大应力远小于许用应力,其结构、刚度、强度等完全满足CRH6型城际动车组的运用要求;

(下转第79页)

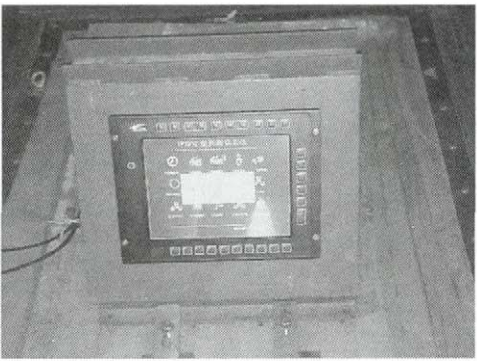


图 7 显示器安装状态图

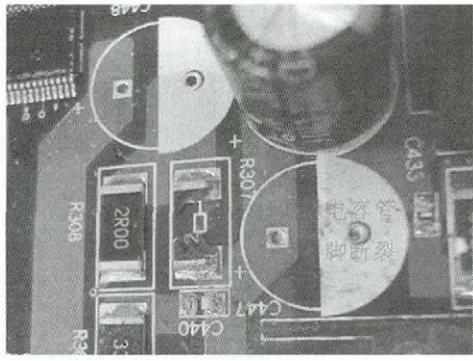


图 8 电容管脚断裂

表 4 显示器故障模式与改进措施

故障模式	故障发生时段	失效分析	改进措施
显示器停留在启动界面	第 2 阶段试验进行到 1 120 min 时	持续高温环境导致 CPU 过热	CPU 主频由 528MHz 降至 396MHz
液晶屏白屏	第 2 阶段试验进行到 1 147 min 时	液晶面板损坏	更换液晶面板型号
显示器交替出现黑白屏现象	第 2 阶段试验进行到 1 162 min 时	电源故障	更换电源型号
电容管脚断裂 (见图 8)	完成第 1、2 阶段的试验后	管脚在热和振动 疲劳交互作用下断裂	在电容管脚处点胶加固
导线磨损	完成第 1、2 阶段的试验后	振动导致导线磨损	增加扎带点并对 易磨损部位进行包绕处理

暴露的故障模式,验证了改进措施的有效性。

4 结 语

根据高速列车液晶显示器的设计寿命与实际使用工况,通过加速寿命试验模型推算出与现场实际损伤等效的试验参数,研制了可靠性强化试验剖面,通过试验迅速激发了产品的多类潜在故障。经过故障模式确认、失效分析,提出并实施了可行的改进措施。后续的试验验证了改进措施的有效性,大大提高了显示器的固有可靠性,降低了其在全寿命周期内的维护成本。

目前可靠性强化试验技术方兴未艾,在国外正被广泛应用于关键产品的开发之中,并取得了很大的经济效益和社会效益,而国内该技术尚处于探索阶段,其研究成果主要集中在国防科技领域,少见其应用于轨道交通行业。这需要技术人员不断跟踪国内外先进技术,并加以改进创新,从而进一步提高我国铁路产品的质量,增强国际竞争能力。

参考文献:

[1] 温熙森,陈循.可靠性强化试验理论与应用[M].北京:科

学出版社,2007.

[2] 苗永春,刘海珊.机车液晶显示器的常见故障分析与处理[J].机车电传动,2009(6).

[3] 褚卫华.模块级电子产品可靠性强化试验方法研究[D].长沙:国防科学技术大学,2003.

[4] 赵东元,樊虎.可靠性工程与应用[M].北京:国防工业出版社,2009:221-222.

[5] GE Transportation Systems Reliability and Qualification Specification for Electronic Equipment[S].

[6] SILVERMAN M. Summary of HALT and HASS Results at an Accelerated Reliability Test Center [C]//Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium. Santa Clara: Qual Mark Corporation, 1998: 30-36.

[7] IEC 61373:2010, Railway applications-Rolling stock equipment-Shock and vibration tests[S].

[8] GB/T 24338.4—2008,轨道交通 电磁兼容第3-2部分: 机车车辆设备[S].

[9] GJB 899A-2009,可靠性鉴定和验收试验[S].

[10] 陈高华,王 鹏.一种轨道交通电气设备可靠性试验方法:中国,201210089891.3[P].2012-03-30.

(本篇文章为南车株洲电力机车研究所有限公司2012年度学术交流论文)

(上接第 64 页)

③经过1 000万次疲劳试验,抗侧滚扭杆装置未发生任何问题,说明了结构设计的合理性和有限元计算的正确性。

参考文献:

[1] 尹显骥,章 鹏.轨道车辆抗侧滚扭杆装置的设计[J].电

力机车与城轨车辆,2005,28(3).

[2] 周若湘,匡如华.抗侧滚扭杆装置在城市轨道车辆中的应用[J].铁道车辆,2001,39(12).

[3] 姜建东,付茂海,李 芾.客车转向架抗侧滚扭杆装置特性分析[J].铁道机车车辆,2004,24(5).

[4] 段华东.城轨转向架抗侧滚扭杆的刚度和强度分析[J].铁道机车车辆,2010,33(2).