

研
究
开
发

SS_{7E} 机车新轴箱拉杆设计

张春良, 许呈祥, 唐先贺

(株洲时代新材料科技股份有限公司 弹性元件事业本部, 湖南 株洲 412007)



作者简介: 张春良 (1974-), 男, 高级工程师, 现主要从事橡胶金属复合弹性元件的设计与开发。

摘 要: 以 SS_{7E} 型电力机车轴箱拉杆为研究对象, 为适应提速需要, 在安装空间、接口不变的前提下, 对老结构产品进行改进。刚度及疲劳试验结果表明: 新结构完全满足主机厂纵向和横向刚度要求, 具有更长的疲劳寿命。新结构保证了机车一系定位刚度, 满足更高速度的运行。

关键词: SS_{7E} 电力机车; 轴箱拉杆; 横向刚度; 纵向刚度; 疲劳寿命

中图分类号: U260.33+.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2012)02-0018-03

Design of New Axle Box Pull Rod for SS_{7E} Locomotive

ZHANG Chun-liang, XU Cheng-xiang, TANG Xian-he

(Elastomeric Compomemnts Division, Zhuzhou Times New Material Technology Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China)

Abstract: The axle box pull rod of SS_{7E} Electric locomotive was introduced. According to the requirement of speedup, the structure of old product was improved based on the same space envelope and interface dimension. The stiffness and fatigue test results indicated that new structure product could meet the stiffness requirement and had the longer fatigue life, the application results also showed that it could provide the proper primary suspension stiffness and meet high-speed requirement of locomotive.

Key words: SS_{7E} electric locomotive; axle box pull rod; lateral stiffness; longitudinal stiffness; fatigue life

0 引言

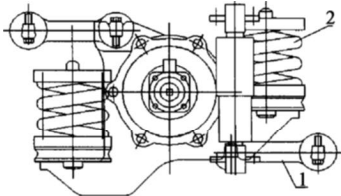
SS_{7E} 型电力机车作为我国铁路第 5 次提速的主型机车, 较好地满足了运用需求。但在实际使用时发现, SS_{7E} 机车在 130 km/h 速度时有横向晃动现象, 研究表明主要是由一系定位的轴箱拉杆的参数尤其是横向刚度过小造成的^[2]。主机厂对轴箱拉杆的刚度要求进行了调整, 在安装空间、接口不变的前提下, 提高了产品刚度。为适应这种变化, 株洲时代新材料科技股份有限公司重新对该产品进行了开发, 并对老结构运用中出现的问题进行了分析。

1 SS_{7E} 机车轴箱拉杆安装方式及作用

SS_{7E} 机车采用了一种结构紧凑的双拉杆轴箱定位方式, 呈“Z”字形安装于机车转向架构架与轴箱之间, 如图 1 所示。这种轴箱定位方式还大量应用于我国内燃机车、国产电力机车和近期引进的 HXD2 大功率货运电力机车。

收稿日期: 2011-08-08

轴箱拉杆的主要作用是在转向架构架和轴箱之间传递牵引力及制动力, 在横、纵向起定位轴箱轮对的作用, 以保证机车运行稳定性和安全性, 是机车一系悬挂的关键部件之一。



1 —— 轴箱拉杆; 2 —— 一系弹簧

图 1 轴箱拉杆安装示意图

2 轴箱拉杆技术参数比较

轴箱拉杆最主要的 2 个性能参数为横向和纵向刚度。表 1 所示的是 SS_{7E} 机车采用老结构轴箱拉杆时每轴箱的横向和纵向刚度实测值和目前新的参数要求, 可以看出, 新的横向刚度要求较老结构实测值约增加了 3 倍, 而纵向刚度只增加了约 30%。由于横向刚度增加幅度很大, 因此有必要分析其实现的可行性。

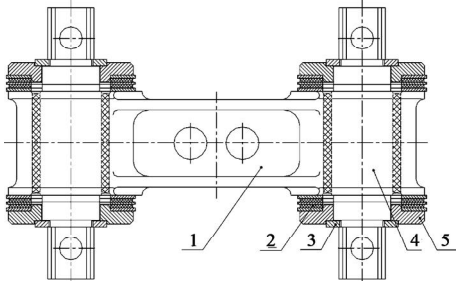
表 1 新老轴箱拉杆横向和纵向刚度对比

新老参数要求	横向刚度 / kN · mm ⁻¹	纵向刚度 / kN · mm ⁻¹
老结构实测	0.8	15
新参数要求	3.3	20

3 轴箱拉杆结构特点和刚度分析

3.1 结构特点

轴箱拉杆结构如图2所示，由连杆体1、橡胶垫2、挡圈3、拉杆组件4和端盖5组合而成，其中橡胶垫和拉杆组件为金属橡胶复合元件（以下简称橡胶件），其余3种均为金属部件。



1——连杆体；2——橡胶垫；3——挡圈；4——拉杆组件；5——端盖

图2 轴箱拉杆总装图（老结构）

3.2 刚度分析

轴箱拉杆的横向刚度主要由橡胶垫弯曲刚度^[1]，拉杆组件的弯曲刚度对轴箱拉杆横向刚度也有一定的贡献；纵向刚度主要由拉杆组件的径向刚度决定，橡胶垫的径向刚度对轴箱拉杆的横向刚度也有一些贡献，但贡献非常小。因此，要达到表1中的横向和纵向新参数要求，主要依靠大幅提高橡胶垫的弯曲刚度，并适当增加拉杆组件的弯曲刚度和径向刚度^[1]。表2是对轴箱拉杆老结构橡胶垫和拉杆组件刚度的实测值，以及根据轴箱拉杆新的横向和纵向参数要求计算出来的新结构橡胶垫和拉杆组件所需的刚度参数。

表2 老结构橡胶垫和拉杆组件刚度对比

部件名称	结构形式	弯曲刚度/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$	径向刚度/ $\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}$
橡胶垫	老结构 (实测值)	19.89	/
橡胶垫	新结构 (计算值)	71.74	/
拉杆组件	老结构 (实测值)	21.11	15
拉杆组件	新结构 (计算值)	24.35	20

4 老结构缺陷分析

目前SS_{7E}机车所使用的轴箱拉杆在结构上还存在一定的缺陷需要改进，以避免在新结构上重复出现。

4.1 橡胶垫

老的橡胶垫是如图3所示的2层橡胶夹1层钢板的结构。

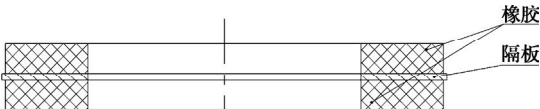


图3 橡胶垫简图（老结构）

这样的结构导致组装后的橡胶垫在组装状态下橡胶就已经出现了如图4所示的鼓出，且橡胶体超出了金属隔板的边缘，形成应力集中，从而可能影响疲劳性能。

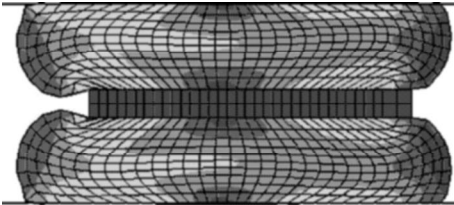


图4 组装状态橡胶垫承载特性

其次这样的结构具有较小的形状系数，提高胶料硬度时，弯曲刚度提高不明显，难以实现新横向刚度要求，且提高胶料硬度后组装难度更大，预压缩组装时橡胶更容易损坏。

4.2 拉杆组件

老的拉杆组件是如图5所示的金属芯轴加外层橡胶一体硫化的结构，与常见的3件套式球铰不同，这种结构没有金属外套。

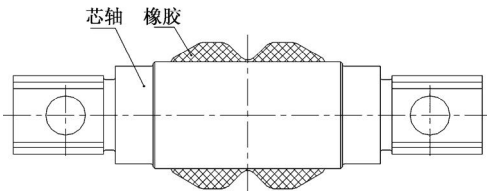


图5 拉杆组件简图（老结构）

实践表明不带外套的球铰存在如下问题：当其压入安装孔时，是橡胶与安装孔之间相对运动，而橡胶是弹性体，因此压入的轴向相对位置不易控制，容易造成产品性能的不稳定。

其次是此种结构在压入安装孔时，橡胶在径向一般需要有较大的预压缩，压入安装孔后应力集中较大，橡胶容易被挤压、剪切破坏，尤其是当橡胶强度较低时或脆性偏大时更容易损坏，主机厂在压装拉杆组件时就出现过多次橡胶损坏的情况，因此需要改进。

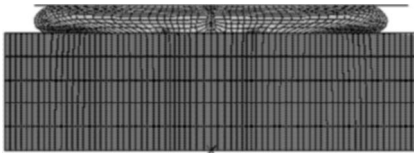


图6 拉杆组件（老结构）工作承载特性

5 新轴箱拉杆结构设计

5.1 橡胶垫

前文已提出，要实现轴箱拉杆较高的横向高度，就必须提高橡胶垫的弯曲刚度。提高橡胶垫的弯曲刚度有2种方法：一是提高橡胶硬度；二是采用弯曲刚度更大的结构。

橡胶材料综合性能比较好的硬度范围为50~70 shore A，根据有限元计算，即便采用70 shore A的

橡胶材料制造,老结构橡胶垫的弯曲刚度也只能从目前的 $19.89\text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}^{-1}$ 提高到 $32\text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}^{-1}$,远远满足不了表2中 $71.74\text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}^{-1}$ 的要求,因此必须采用新结构。

如图7所示是橡胶垫的新结构,此新结构采用了3层钢板夹2层橡胶三明治结构。与老结构相比,由于2块端板对橡胶的约束作用,新结构的弯曲刚度将较老结构大幅度增加。



图7 橡胶垫简图（新结构）

5.2 拉杆组件

新的拉杆组件在老结构基础上增加了如图8所示的2节金属外套,且此外套与连杆体两端的安装孔间为小过盈配合。这种结构的优点在于,当拉杆组件压入安装孔时,可以避免老结构橡胶损坏的问题,且拉杆组件在安装孔内的轴向位置容易得到保证,有利于轴箱拉杆性能稳定。

同时,由于增加了2节结构的金属外套,新结构的拉杆组件的径向刚度和弯曲刚度都将较老结构得到一定的提升,但由于2节外套中间部分橡胶仍有一定的自由面,因而有利于轴箱拉杆纵向刚度的小幅提升。

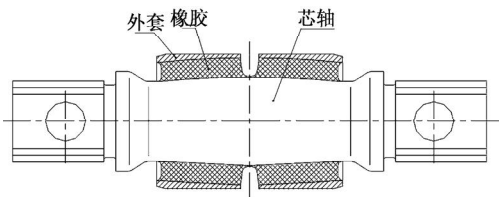


图8 拉杆组件简图（新结构）

6 有限元分析结果

6.1 刚度计算结果

计算表明,橡胶垫和拉杆组件分别采用硬度为60 shore A和65 shore A的橡胶材料,将可以实现表2所示的刚度性能,具体的计算结果如表3所示。

表3 新结构橡胶垫和拉杆组件刚度计算结果

部件名称	橡胶硬度 / shore A	弯曲刚度 / $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}^{-1}$	径向刚度 / $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$
橡胶垫	60	79.14	/
拉杆组件	65	25.12	20

6.2 橡胶应力应变计算结果

采用新结构后,橡胶垫和拉杆组件的橡胶应力水平较老结构降低明显,具体结果见图9、图10和表4,较低的橡

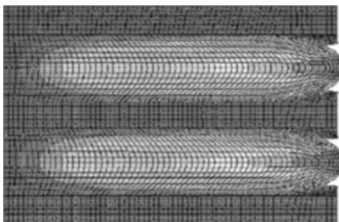


图9 橡胶垫（新结构）工作承载特性

胶应力应变水平将有利于轴箱拉杆的疲劳性能和使用寿命。

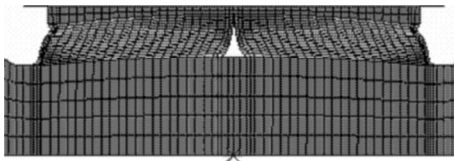


图10 拉杆组件（新结构）承载特性

表4 新老结构橡胶垫和拉杆组件橡胶最大应力对比

结构形式	橡胶最大应力 / MPa	
	橡胶垫	拉杆组件
老结构	4.89	3.76
新结构	3.25	2.43

7 新结构参数调试结果

7.1 横向和纵向刚度

表5为采用新结构后的橡胶垫和拉杆组件某2次静刚度试验结果。可以看出,除橡胶垫实际使用的胶料硬度与计算用胶料硬度略有差别外,用于试验的1#和2#样件轴箱拉杆的横向和纵向刚度均满足了技术要求。

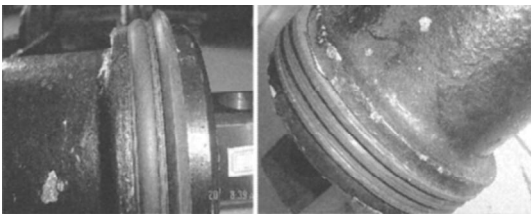
表5 新结构轴箱拉杆静刚度试验结果

技术要求 或实测值	橡胶硬度 shore A		刚度 / $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$	
	橡胶垫	拉杆组件	横向	纵向
技术要求	60 ± 5	65 ± 5	3.3 ± 0.5	20 ± 2
1# 样实测值	58	65	3.57	21.5
2# 样实测值	58	65	3.80	20.7

7.2 组装工艺性及外观

拉杆组件增加2节金属外套后,其压入连杆体安装孔时,组装质量和效率得到了很大的提高。自2005年底开始批量交付以来,没有接到主机工厂因压装而出现橡胶损坏的反馈。

同时与老结构相比,新结构的橡胶垫组装后橡胶鼓出也更均匀合理,外观明显改善,如图11。



(a)老结构 (b)新结构

图11 组装状态的橡胶垫

7.3 疲劳性能

新结构轴箱拉杆静态刚度调试合格后,与老结构一道按照表6所示的相同的疲劳条件进行了对比。结果表明,新结构在疲劳性能方面较老结构有明显提高。

（下转第24页）

4)网络通信系统EMC设计

从I端到II端通信数据线缆单独走一个钢管,对不便穿钢管处的通信线缆采用穿防护软管。通信线缆采用进口的EMC屏蔽网络专用线缆,通信插头也选用屏蔽效果好的进口件,对于DB9等通信插头的压接采用全屏蔽层压接方式。严格按照标准设计电缆的走线方式和防护方法,把电磁干扰减少到最低程度。

5)网络总线信号地连接设计

以前在组建机车网络(例如RS485、RS422和CAN)时都只接2根线(RS485总线:A线和B线;CAN总线:CAN-H和CAN-L)或4根线(TXDA、TXDB、RXDA、RXDB),从未考虑接信号地。这种接线方式通常在直流传动机车上能正常工作,但在交流传动机车上可能存在下列安全隐患,导致网络信号不稳定:

若不接信号地,当网络线路中的共模电压超出规定的范围时就会影响通信的稳定可靠。

EMI问题:发送驱动器输出信号中的共模部分需要一个返回通路,若不接信号地,它可能会以辐射的形式返回源端,整个总线可能会向外辐射电磁波。

所以在SDA1型机车上通过RS485、RS422和CAN总线进行通信的控制器之间都连接了信号地。

4.2.3 通信协议的设计

编制机车控制系统各控制单元节点之间的MVB通信协议。由于该机车网络系统复杂,所以必须正确制定每个MVB端口的通信周期。

机车微机与事件记录仪之间通信协议的设计:通过了解机车技术规范中对事件记录仪部分的要求,查询“AS 7527 1 铁路车辆 - 事件记录仪 - 第1部分 - 机车事件记录仪”的标准要求,并根据用户提供的事件记录仪

分析软件中的数据进行比较,提炼出需记录的数据,编制机车微机与事件记录仪之间的通信协议。事件记录仪将日期时间等信息发送给机车微机,同时机车微机把来自机车控制、制动机和列尾制动系统单元需要记录的数十个模拟量和开关量信息发送给事件记录仪。

4.2.4 机车微机与LCU之间基于LSI协议进行通信的研究

LCU是美国Wabtec 公司提供的,而此产品首次在中国制造的机车上使用,并且要将它的所有功能集成到机车微机控制系统中。LCU集成设计在EMD机车上已经实现,但要在SDA1型机车上实现LCU集成设计难度非常大,因为美国Wabtec 公司只提供了一个1996年发布的AAR LSI通信协议(LOCOMOTIVE SYSTEM INTEGRATION COMMUNICATIONS SPECIFICATION)而不提供技术支持。鉴于这些原因,主要进行了下列几项研究工作: EOT 列尾装置研究; 列尾装置非集成控制系统的LCU功能研究; 列尾装置集成控制系统的机车微机与LCU之间基于LSI协议的通信研究。

最终在机车显示屏、机车微机、LCU和EOT之间实现了联合通信调试并且功能完全正确。

5 结语

SDA1型机车在资阳公司经过了4个多月的调试试验,机车微机网络控制通信系统已经通过厂线和正线试运验证,证明该系统通信数据完全正确,系统运行稳定可靠。该批机车于2011年底从资阳公司向澳大利亚发运。

参考文献:

[1] AS 7527 1,铁路车辆 - 事件记录仪 - 第1部分 - 机车事件记录仪[S]

(上接第20页)

表6 新老结构疲劳试验考核结果对比

疲劳条件及刚度外观变化		新结构	老结构
疲劳条件	横 向	± 7.5mm, 4Hz, 300 万次	± 7.5 mm, 4Hz, 200 万次
	纵 向	± 0.9mm, 4Hz, 300 万次	± 0.9 mm, 4Hz, 200 万次
横向疲劳前后刚度及变化率	疲劳前 / kN · mm ⁻¹	3.57	0.83
	疲劳后 / kN · mm ⁻¹	3.22	0.70
	变化率	-9.8%	-15.6%
纵向疲劳前后刚度及变化率	疲劳前 / kN · mm ⁻¹	20.7	15.7
	疲劳后 / kN · mm ⁻¹	19.1	13.1
	变化率	-7.7%	-16.6%
疲劳后外观		外观良好, 橡胶垫与拉杆组件均无橡胶与金属剥离、橡胶发粘及橡胶本体开裂等现象	橡胶垫与拉杆组件均无橡胶与金属剥离和橡胶本体开裂的现象, 但橡胶明显发粘

8 结语

该轴箱拉杆新结构产品自2005年开发成功以来,已累计批量装车142台6 800余件,使用时间最长超过5年,目前运行状态良好。新研制的SS7E轴箱拉杆性能已经完全满足新的技术参数要求。

有限元分析、疲劳试验和装车运用情况表明,新

研制的轴箱拉杆较老结构具有更好的疲劳性能和使用可靠性。

参考文献:

[1] 张红军,孙永鹏.双拉杆式机车转向架轴箱定位刚度分析[J] 机车电传动,2004(5).
[2] 米立柱,封全保.SS7E型电力机车平稳性问题的分析及改善[J] 铁道机车车辆,2007,27(S1).