

武汉轨道交通1号线二期工程 车辆转向架的技术特征

李 涛, 陈喜红, 卜旦霞, 刘晖霞

(南车株洲电力机车有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 李 涛 (1975-), 男, 硕士, 高级工程师, 现主要从事城轨车辆转向架总体设计。

摘 要: 详细介绍了武汉轨道交通1号线二期工程车辆转向架的技术特征, 包括转向架的结构、主要特点和主要技术参数; 对构架、车轴、牵引装置等重要部件的强度计算结果和车辆动力学性能计算结果进行了介绍, 计算结果满足标准要求。

关键词: 武汉轨道交通; 转向架; 技术特征; 技术参数; 强度计算; 车辆动力学性能

中图分类号: U260.331; U231 文献标识码: A 文章编号: 1000-128X(2011)01-0052-05

Technic Characteristics of the Vehicle Bogie of the Second Phase of Wuhan Rail Transit Line 1

LI Tao CHEN Xi-hong BU Dan-xia LIU Hui-xia

(R&D Center, CSR Zhuzhou Electric Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: This paper introduced technic characteristics of vehicle bogie of the second phase of Wuhan rail transit line 1, which included bogie structure, main characteristic and technic parameters. The calculation results of the strength on important components frame, axle, traction device and vehicle dynamics performance had been introduced. The result meets the standard requirements.

Key words: Wuhan rail transit; bogie; technic characteristics; technic parameters; strength calculation; vehicle dynamics performance

0 引言

南车株洲电力机车有限公司与武汉地铁集团有限公司于2008年11月13日签订武汉轨道交通1号线二期工程车辆采购合同, 本项目车辆数量为21列, 共84辆。

武汉轨道交通1号线二期工程车辆转向架是南车株洲电力机车有限公司在已有的技术平台ZMA120型地铁转向架的基础上进行开发的ZMB080型转向架, 即以ZMA120型(广州地铁3号线SF2500型)转向架为基础, 运用模块化设计方法, 并充分借鉴ZMA120型和ZMA080型(上海4号线SF2100改进型转向架)等地铁转向架的成熟技术, 进行集成创新的转向架。

该型转向架的设计思想、标准、制造工艺均借鉴ZMA120型和ZMA080型转向架的相关部分, 适用于最大轴重14 t, 最高运营速度80 km/h的B型地铁车辆。

1 转向架结构组成及特点

该型转向架分为动车转向架和拖车转向架。装在

同一节拖车上的2个拖车转向架除安装第三轨受流器和ATC天线有所区别外, 其余结构完全相同。

该型转向架主要由构架、轮对轴箱组装、驱动单元(动车转向架)一系悬挂、二系悬挂、牵引装置、抗侧滚装置、基础制动装置、第三轨受流器、ATC天线等部件构成。

动车转向架和拖车转向架的车轮、轴箱(不含端盖)一系悬挂、二系悬挂、牵引装置、抗侧滚扭杆装置等部件均能互换。

动车转向架如图1所示, 拖车转向架如图2所示。

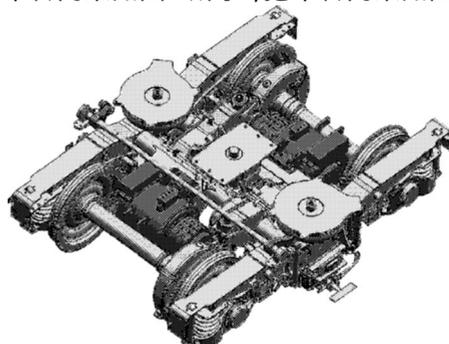


图1 动车转向架

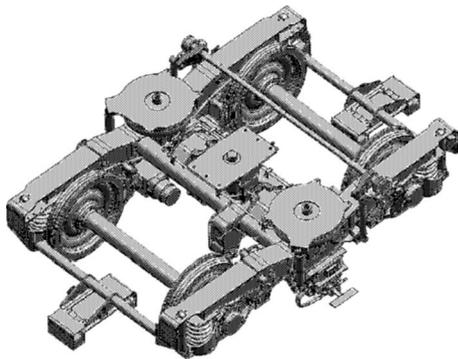


图2 拖车转向架

转向架主要结构特点如下:

能保障车辆有优异的舒适性能,其垂向及横向平稳性指标 $W \geq 2.5$ 。

转向架重量轻,动车转向架的质量不大于7 700 kg 拖车转向架质量不大于5 600 kg。

无摇动台、无摇枕、无心盘,车体自重及载重全部由空气弹簧承载,并设有能根据负载情况对地板高度自动调整装置。

动车转向架牵引电机为架承式刚性悬挂,每个构架斜对称地布置2台牵引电机,电机与齿轮箱之间采用TD联轴节连接。

轮对符合EN13260的规定;采用带双S型幅板并安装了降噪环的整体辗钢车轮,车轮符合EN13262的规定;车轴符合EN13261的规定。

轴箱体采用铸钢件,强度高,安全系数较大;轴箱轴承采用整体免维护的双列圆锥滚子轴承。

轴箱定位采用转臂式定位,一系弹簧采用螺旋弹簧,弹簧相对于车轴中心偏置安装,以便有更多的空间增大弹簧的静挠度,保证了转向架在高速下有较高的抗蛇行稳定性和乘客的舒适性,减小轮轨之间的磨损和噪声污染。

二系弹簧采用大挠度的空气弹簧,设有横向和垂向减振器。

抗侧滚扭力杆布置在车体底架的下方,提高了车辆的抗侧滚性能并减轻了车辆的簧间重量。

转向架构架采用低合金高强度结构钢板组焊而成的整体H形构架,侧梁为箱形封闭断面的U型梁,横梁为无缝钢管。

①牵引装置采用Z字型拉杆低位牵引,提高了车辆的粘着利用率。

②基础制动为踏面制动,制动单元的蓄能缸横置。

③第三轨下部接触受流器安装在侧梁中部外侧。

2 主要技术参数

| | |
|----|-----------|
| 轴式 | B_0-B_0 |
| 轨距 | 1 435 mm |
| 轴距 | 2 200 mm |

| | |
|------------------|-------------------|
| 转向架中心距 | 12 600 mm |
| 轴重 | 14 t |
| 车轮滚动圆直径(新轮/全磨耗) | 840/770 mm |
| 轮对内侧距 | $1\,353 \pm 2$ mm |
| 通过最小曲线半径(5 km/h) | 110 m |
| 齿轮中心距 | 361 mm |
| 齿轮传动比 | 7.69(100/13) |
| 车轮踏面 | LM磨耗型踏面 |
| 制动单元的杠杆比 | 3.01 |

动力学性能:经计算,动力学性能指标符合标准GB5599-85《铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范》,主要动力学性能指标如下:

| | |
|------------|---------|
| 横向及垂向平稳性指标 | 2.5 |
| 脱轨系数 | < 0.8 |
| 轮重减载率 | 0.6 |
| 倾覆系数 | 0.8 |

3 主要部件及其特征

3.1 构架

构架分为动车构架和拖车构架,它们之间的区别是:动车构架在横梁上焊有电机吊挂座和齿轮箱悬挂座,拖车构架则无,其余结构基本相同。

构架是由低合金高强度的钢板通过焊接而成的H形结构,钢板经表面处理具有极强的耐腐蚀性,设计寿命为35年。

构架由两根侧梁和中间横梁组成,侧梁为中间下凹的鱼腹箱型结构,中间凹下去以便空气弹簧有足够的空间安装。侧梁中间隔板的位置根据受力情况而定,以保证侧梁的抗弯抗扭能力。侧梁上有垂向减振器安装座、抗侧滚扭杆安装座和制动器安装座。

构架的横梁采用无缝钢管。横梁上设有电机安装座、齿轮箱吊杆安装座和牵引拉杆安装座。

构架按照EN 15085标准的要求进行焊接,并进行了焊接工艺评定。

对构架按照UIC 615-4标准和武汉轨道交通1号线二期工程车辆技术规格书的要求对动车构架进行了静强度和疲劳强度计算,计算结果均满足要求。

图3为构架的有限元计算模型,图4为动车构架在

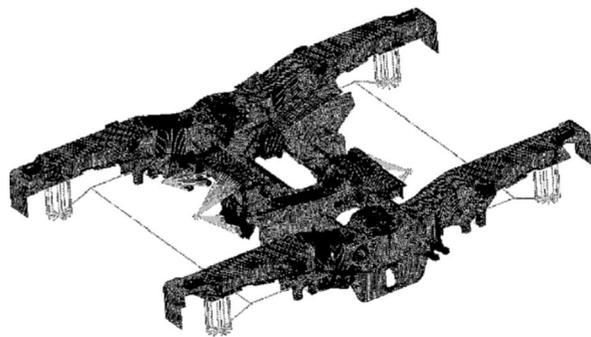


图3 构架有限元模型

牵引电机短路时齿轮箱冲击载荷工况下齿轮箱吊挂座的Top面Von Mises应力云图,图5为位于构架主体结构焊缝区域较大应力与许用应力的比较。

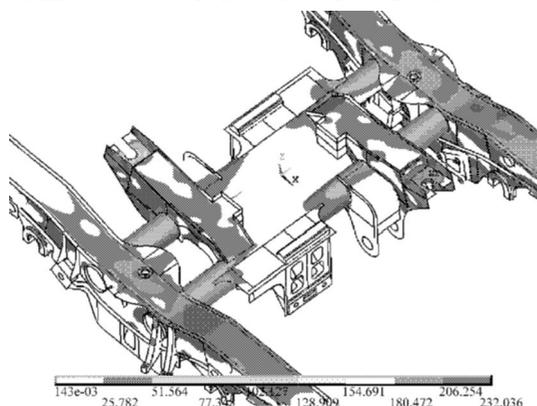


图4 牵引电机短路时齿轮箱冲击载荷工况下齿轮箱吊挂座的Top面Von Mises应力云图

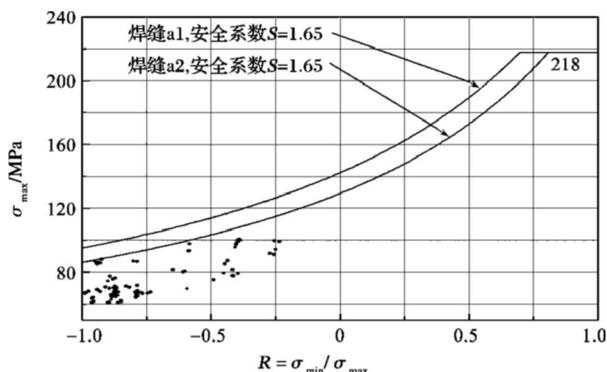


图5 位于构架主体结构焊缝区域较大应力与许用应力的比较

该转向架构架的主要特征是：与国内其他城轨车辆转向架相比,横梁钢管的直径有所增大,抗扭抗弯能力强；在设计时,考虑了安装多家制动系统供货商的单元制动器的安装空间,且不需要做结构性的改变。

3.2 轮对轴箱组装

1) 轮对

轮对分动车轮对和拖车轮对2种。动车轮对安装有接地装置和齿轮传动装置,如图6所示。车轴材料为EA4T,车轴符合EN 13261标准,分为动车和拖车2种车轴,结构基本相似,不同之处是动车的车轴有接地装置和齿轮传动装置的安装座。车轮采用双S型幅板整体辗钢车轮,符合EN 13262标准。车轮上安装了降噪环,能有效降低车辆运行噪声。

按EN 13104标准对车轴进行了强度计算 根据实际运营的工况对车轮进行了强度计算,计算结果表明,车轴的强度满足要求。

车轮带有降噪环是轮对的一个特征。试验表明,单侧安装阻尼环的车轮与双侧安装阻尼环的车轮相对于标准车轮的降噪量分别为10.74 dB和13.62 dB；从频域幅值谱对比,安装阻尼环的车轮在整个频带都能降低标准车轮噪声的幅值,尤其是在峰值处；从时域幅

值谱对比,安装阻尼环的车轮噪声衰减很快,在0.2 s处的噪声比标准车轮1.6 s时的噪声值还低,在0.4 s以后安装阻尼环的车轮基本没有噪声。

2) 轴箱

轴箱包括轴箱体、轴承、密封端盖、轴圈等。轴箱体采用C级钢铸造结构,强度高,安全系数较大。轴箱轴承为整体式圆锥滚子轴承,轴承的检查周期不小于80万 km或6年(以先到为准),按ISO标准L10的寿命为200万 km。按照轴箱端盖处安装的设备的不同分为3种不同轴箱,一是装有BCU速度传感器的轴箱,二是装有ATC设备的轴箱,三是不装速度传感器的轴箱,轴箱组装如图7所示。

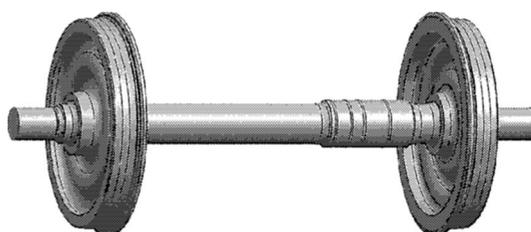


图6 动车轮对

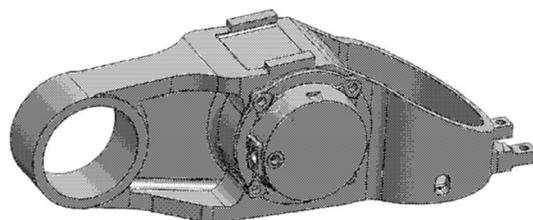


图7 轴箱组装

轴箱的主要特征是：该轴箱体为一系弹簧的偏置安装提供了一个安装座,为一系弹簧的设计留有较大的空间。

3.3 一系悬挂装置

一系悬挂系统主要由一系弹簧组、橡胶垫、垂向止挡、一系垂向减振器和转臂橡胶关节等组成,通过轴箱和轮对将簧上载荷传递到轨道上。一系悬挂装置如图8所示。

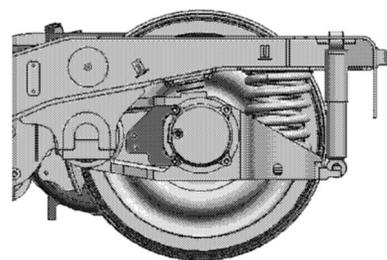


图8 一系悬挂装置

一系弹簧组是由内、外钢圆螺旋弹簧组成,与橡胶弹簧相比,有蠕变小、使用寿命长的特点,在螺旋弹簧的下方与轴箱之间安装有橡胶垫,橡胶垫对振动特别是高频振动有很强的衰减能力,能很好地隔离轮轨间高频振动,降低运行噪声。

当垂向载荷超过正常范围时,转向架构架和轴箱体之间的垂向止挡将发挥作用,以防止损坏轴箱体和转向架构架的表面。

一系垂向减振器中集成有整体起吊功能,当整个转向架从钢轨上吊起时,一系垂向减振器可以承受轮对部分的重量,并使之不与构架脱离。

轴箱定位采用转臂式定位。一系悬挂的纵向和横向刚度主要由转臂橡胶关节提供,垂向刚度主要由螺旋钢弹簧提供,转臂橡胶关节提供部分垂向刚度。采用这种悬挂方式具有轴箱各向定位相对独立、定位刚度准确稳定的优点,保证车辆具有良好的动力学性能,还确保了轴的径向定位而使转向架的摆动尽量小、最大限度地减少了车轮和轨面的磨损、减缓转向架的蛇行运动。

一系悬挂装置的主要特征是:一系螺旋弹簧相对于轮轴中心是偏置安装,这样的布置能为一系弹簧悬挂提供大的静挠度;整体起吊功能集中在一系减振器内。

3.4 二系悬挂装置

二系悬挂装置主要由空气弹簧、横向止挡、横向减振器和垂向减振器等组成,二系悬挂装置如图9所示。

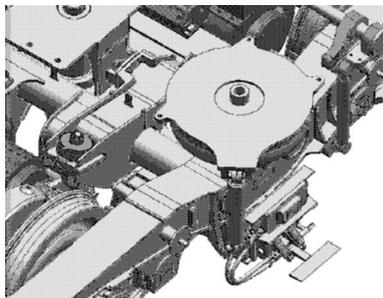


图9 二系悬挂装置

二系悬挂装置配有2个空气弹簧气囊,每一气囊串联一个应急弹簧。一旦空气弹簧泄气,应急弹簧可作为保护装置防止列车脱轨并保证车辆即使处于空气弹簧故障状态也能够继续运行。AWO状态下,当空气弹簧失效时,应急弹簧可使车辆地板面高度的下降量在25 mm限度内。

采用单独的压力容器作为空气弹簧的储气缸,储气缸的容积满足空气弹簧的使用要求,且不影响车辆上其他气动系统的功能。

横向橡胶止挡弹性地限制超出正常自由范围的横向变形,并配置一个刚性的固定止挡限制整个车体的横向位移。

每个转向架二系设有1个横向减振器和2个垂向减振器,减振器用于减小横向和垂向的摆动和振动。

车辆地板面的高度由4个高度控制阀控制,前、后转向架各有2个高度调整阀,即“四点调平”方式布置。

二系悬挂装置主要特征是,空气弹簧的辅助气室是单独设计的,悬挂在车体的底架下方,这样的设置保证空气弹簧的辅助气室足够大,以便降低空气弹簧的刚度,提高车辆的动力学性能。

3.5 牵引装置

牵引装置由中心销座、中心销、牵引座和Z字型牵引杆等组成。牵引装置具有以下功能:将转向架连接到车体上,传递制动力和牵引力,使转向架以牵引装

置为中心相对于车体旋转,作为二系悬挂起吊装置。牵引装置如图10所示。

采用这种结构牵引装置的特点是:能降低牵引点的高度,提高粘着利用率。牵引点的高度在AWO时,构架侧为272 mm,牵引装置侧为282 mm,粘着利用率高达94%以上。

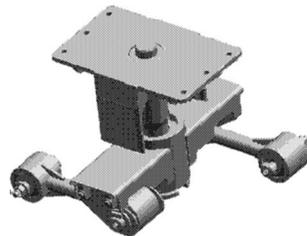


图10 牵引装置

3.6 抗侧滚装置

国内大多数最高运营速度为80 km/h的B型地铁车辆都没有安装抗侧滚装置,而ZMA080型转向架采用了低悬挂参数的一系和二系悬挂装置,以提高车辆的动力学性能,但是带来的问题是车辆的抗侧滚性能降低。为限制车辆的侧滚角,在车体和转向架之间设置了抗侧滚装置,这是该转向架的一个特征。如图11所示,该装置主要是由一个两端分别安装在轴承箱内的橡胶块上的扭力杆组成,轴承箱安装在车体焊接座上,这样整个扭力杆的大部分重量都属于二系以上的悬挂重量,有利于提高车辆运行品质;2个连杆下端安装在转向架焊接座上,上端与扭力杆的杠杆连接在一起。整个装置中扭杆是主要受力件,车体侧滚时,弹性扭杆因承受扭矩而发生扭转变形。扭杆的作用就是提供抗扭转反力矩抵抗车体的侧滚,从而减小车体侧滚倾角,严格限制车体由于通过曲线时离心力和侧向风产生的倾斜运动,将车体相对于转向架构架的倾斜严格控制车辆在车辆限界允许范围内。

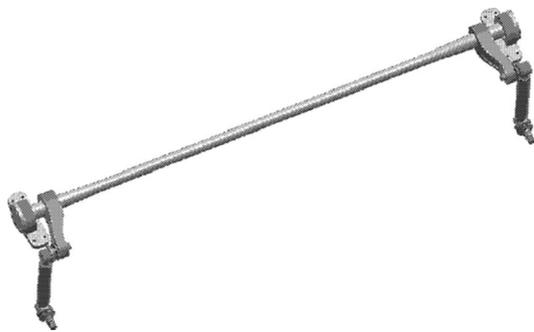


图11 抗侧滚装置

抗侧滚扭力杆是免维护的,其主要特点是:大部分的抗侧滚扭力杆的重量属于二系悬挂的重量;采用抗侧滚扭力杆不会影响二系悬挂装置的垂向和横向的弹性特性^[4]。

3.7 驱动单元

每个动车车轴上装有1个驱动单元,包括电机、联轴节和齿轮箱。牵引电机横向布置并刚性悬挂在构架上,电机上的安全卡槽和安全臂在连接螺栓失效的时候起作用。齿轮箱上设有安全托,防止齿轮箱掉落。驱动单元如图12所示。

电机和齿轮箱之间的力由TD联轴节实现传递。

驱动装置由东芝公司提供,该驱动单元在国内B型地铁车辆上广泛使用,高可靠性是该驱动单元的显著特征。

3.8 其他部件

除了以上介绍的主要部件外,ZMA080转向架还安装有4个踏面制动单元和第三轨受流器,拖车转向架还安装有ATC天线等,具体参见图13~图15。

4 动力学性能预测

4.1 车辆直线运行稳定性预测

在新轮轨情况下,非线性临界速度均较高,空车、定员及超载情况下运行稳定性均能满足运行要求。

当踏面磨耗至等效锥度为0.3时,空车、定员及超载情况下运行稳定性也均能满足运行要求。

当踏面磨耗至等效锥度达到0.35时,空车、定员及超载情况下运行稳定性也均能满足运行要求。

4.2 车辆直线运行平稳性预测

在美国IV级线路上运行时,在110 km/h速度范围内,动车和拖车在空车、定员及超载工况下的最大横向加速度和最大垂向加速度均小于 2.5 m/s^2 ,参照标准UIC 518规定的横向和垂向加速度,满足运行要求。

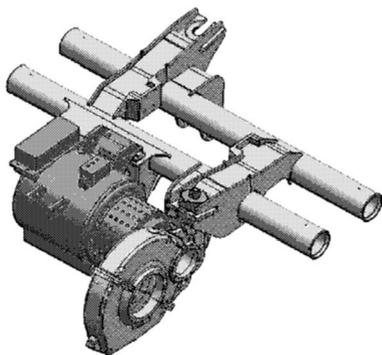


图 12 驱动单元

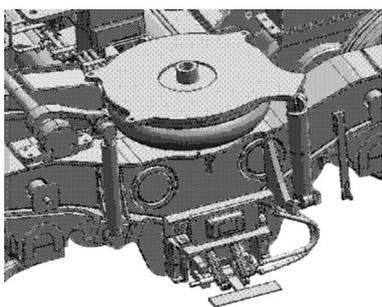


图 13 第三轨受流器安装

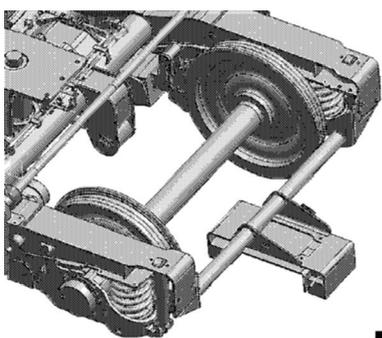


图 14 ATC 天线安装

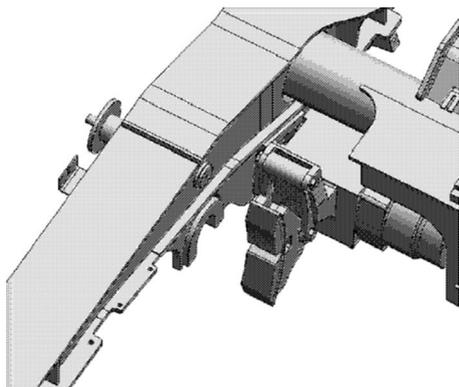


图 13 基础制动装置

在美国IV级线路上运行时,在80 km/h速度内,动车和拖车在各种工况下的平稳性指标均小于2.5,达到GB 5599-85的优级标准;在90~110 km/h速度内,动车和拖车在各种工况下的平稳性指标均小于2.75,达到GB 5599-85的良级标准。因此,平稳性指标满足要求。

在美国IV级线路上运行时,在110 km/h速度范围内,动车和拖车在空车、定员及超载工况下的最大横向加速度和最大垂向加速度均小于 2.5 m/s^2 ,参照标准UIC 518规定的横向和垂向加速度,满足运行要求。

在美国IV级线路上运行时,在80 km/h速度内,动车和拖车各工况下的平稳性指标均小于2.5,达到GB 5599-85的优级标准;在90~110 km/h速度内,动车和拖车在各种工况下的平稳性指标均小于2.75,达到GB 5599-85的良级标准。因此,车辆的平稳性指标满足要求。

4.3 车辆曲线通过安全性预测

动车和拖车在各种工况下以设置的各种线路工况通过曲线时,轮轨横向力Q、轮轴横向力H、脱轨系数Q/P、轮重减载率P/P和倾覆系数D等各项动力学指标都在GB 5599-85规定的标准之内,同时,脱轨系数Q/P满足用户要求。因此,车辆的运行安全性满足要求。

5 动力学性能试验

2010年6月16日至18日,受南车株洲电力机车有限公司的委托,铁道部产品质量监督检验中心机车车辆检验站对武汉轨道交通1号线二期工程车辆进行了线路动力学性能试验,车辆动力学性能试验结果表明:

脱轨系数、轮重减载率、轮轴横向力均在允许限度内,转向架未出现横向失稳,运行稳定性符合标准要求;车体横向和垂向平稳性等级均为优。

6 结束语

该转向架是南车株洲电力机车有限公司第一个自主研发的80 km/h速度等级、踏面制动的B型地铁转向架。该转向架的开发,增加了南车株洲电力机车有限公司转向架的型谱,使公司的B型地铁转向架不仅有120 km/h速度等级、轮盘制动的品种,还有80 km/h速度等级、踏面制动的品种,满足业主对不同速度等级、不同制动型式地铁车辆的需求。

参考文献:

- [1] 陈喜红. 国内外地铁车辆技术的发展趋势[J]. 电力机车技术 2002(6).
- [2] 谢振国,陈喜红. 地铁列车组动车配置对其性能的影响[J]. 电车机车与城轨车辆, 2004(4).
- [3] 严隽毫. 车辆工程[M]. 北京:中国铁道出版社,1999.
- [4] 陈喜红. B型地铁全面国产化ZMA120型转向架的研制[J]. 电力机车与城轨车辆, 2008(1).