

毛里塔尼亚 30t 轴重铁路货车转向架设计及应用

张光才 祝笈 冯成礼

(中车眉山车辆有限公司 四川 眉山 620000)

摘要: 本文介绍了毛里塔尼亚铁路货车运用环境及发展概况,并根据其转向架技术参数设计了一种适应于毛里塔尼亚 30t 轴重、1435mm 轨距的矿石车用稳定型货车铸钢转向架,完成了转向架关键零部件的计算仿真和试验验证。研究结果表明:该转向架安全可靠、结构简单、检修方便以及能实现与既有转向架整机互换,性能满足毛里塔尼亚铁路运用要求。

关键词: 铁路货车; 技术参数; 转向架; 计算仿真; 试验验证

0 引言

毛里塔尼亚位于非洲西北部,地理位置位于北纬 15° ~北纬 17° 之间,全境地势平坦,属热带沙漠性气候。广大北部和中部地区处于撒哈拉大沙漠西南部,全国 $2/3$ 面积地区为沙漠,风沙严重,全年炎热干燥,气温在 $0\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。毛里塔尼亚铁路修建始于20世纪60年代,至今已有近60年的历史。从内陆祖埃拉特到大西洋边上的努瓦迪布港口是毛里塔尼亚重要的铁路经济干线,其负担着将内陆矿区开采出的铁矿石运送至努瓦迪布港口的任务,线路总长约700km且沿途皆是沙漠。该线路运行车辆多达180节,长度可达2km,主要以30t轴重铁路货车为主运输铁矿石,其转向架结构基本是铸钢三大件式转向架。

1 既有转向架主要技术参数

毛里塔尼亚既有转向架主要技术参数见表1。

2 转向架主要结构

通过对毛里塔尼亚既有铁路货车转向架结构的调研和分析,转向架选型为30t轴重的通用型铸钢三大件式转向架,同时减振装置配置为一级刚度的变摩擦减振装置。转向架主要包括轮轴组成、侧架组成、承载鞍弹性垫、摇枕组成、基础制动装置、中央悬挂装置、承载鞍等。图1为该转向架结构图。转向架结构简单、检修方便,主要技术参数与毛里塔尼亚既有车辆转向架参数完全一致,能实现转向架整机互换。

表1 既有转向架主要技术参数

主要性能及基本尺寸描述	参数值
轨距/mm	1435
轴重/t	30
自重/t	约5.35
最高运行速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	70
固定轴距/mm	1800
车轮直径/mm	1000
轴颈中心距/mm	2006.6
下心盘直径/mm	400
旁承中心距/mm	1240
通过最小曲线半径/m	200
心盘磨耗盘到轨面高/mm	695
限界	符合毛里塔尼亚铁路机车车辆限界规定

2.1 轮轴组成

轮轴组成包括车轴、车轮及滚动轴承装置等。为延长车轮更换频率和提高检修经济性,车轮为多次磨损整体辗钢轮,材质为符合AAR M-107/208:2020《Wheels,Carbon Steel》标准规定的C级钢;车轴尺寸为AAR M-101:2019《Axles,Carbon Steel,Heat-Treated》标准规定的F型车轴,材质为符合AAR M-101:2019标准规定的F级钢;为满足车轮镟修无须拆卸轴承,提高检修效率,滚动轴承装置为符合AAR M 934:2021《Freight Car Journal Roller Bearings》规定的F级($6\frac{1}{2}''\times 12''$)双列圆锥滚子轴承,轴承前盖上设置有直径为39mm的工艺通孔并用塑料密封盖密封。

2.2 侧架组成

侧架组成包括侧架、立柱磨耗板及滑槽磨耗板

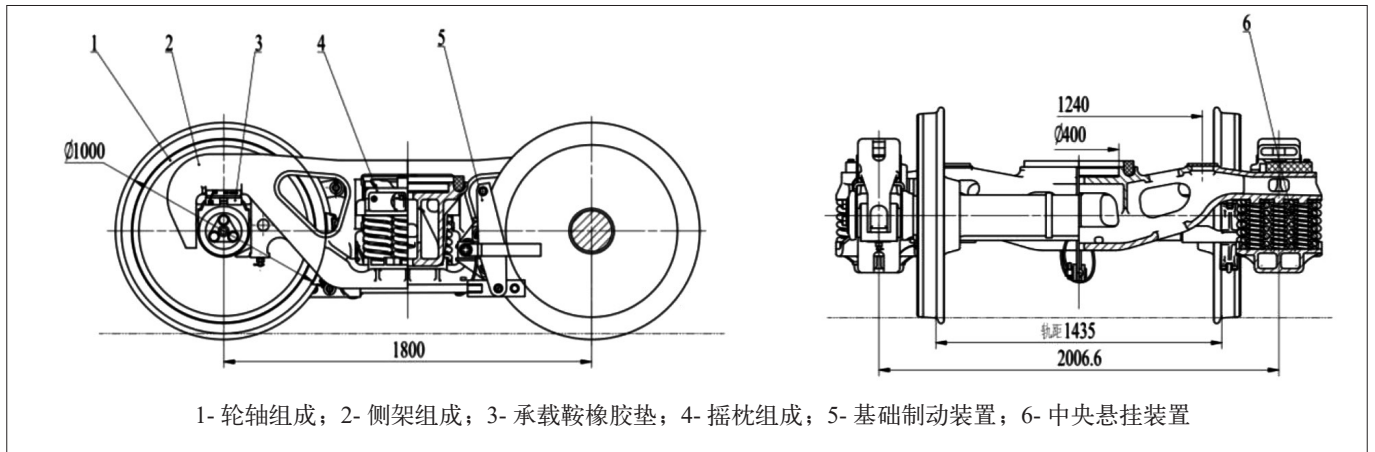


图1 毛里塔尼亚矿石车用稳定型转向架结构图

等。侧架材质为 AAR M-201 : 2018 《Castings,Steel》标准规定的 B+ 级钢, 其结构强度和刚度满足 AAR M-203 : 2012 《Truck Side Frames,Cast Steel-Design and Testing》标准的要求。为匹配毛里塔尼亚既有转向架制动梁滑块角度, 侧架滑槽角度取值 11° ; 采用 45 钢的立柱磨耗板和 T10 的卡入式滑槽磨耗板, 既方便检修又降低磨耗; 立柱磨耗板通过折头螺栓与侧架连接, 滑槽磨耗板卡入侧架滑槽内; 侧架导框靠侧架弹簧中心侧设置有伸缩式挡键, 可实现转向架在运输过程中的整体吊装且安全可靠。

2.3 承载鞍橡胶垫

承载鞍橡胶垫包括上衬板、下衬板、中间衬板及橡胶垫体等。外设铜导线, 承载鞍橡胶垫置于承载鞍和侧架组成之间, 实现轮对与侧架的弹性连接, 降低轮轨动作用力, 降低轮轨磨耗, 同时消除侧架和承载鞍顶面的磨耗, 提高了承载鞍服役寿命, 延长了侧架导框小磨面检修处理时间, 提高了检修效率。

2.4 摇枕组成

摇枕组成包括摇枕、固定杠杆支点座组成、心盘磨耗板、斜面磨耗板、沙尘防护圈及旁承磨耗板等。摇枕材质为 AAR M-201 : 2018 《Castings,Steel》标准规定的 B+ 级钢, 其结构强度和刚度满足 AAR M-202 : 2018 《Truck Bolsters,Cast or Structural-Design and Testing》标准的要求。采用 06Cr19Ni10 的斜面磨耗板, 既方便检修又降低磨耗; 斜面磨耗板与摇枕通过焊接连接; 采用摇枕与下心盘整体铸造, 内设尼龙水平磨耗衬垫; 为避免沙尘进入下心盘造成水平磨耗衬垫的异常磨损, 摇枕下心盘外缘设置有放置沙尘防护圈的 U 型环形槽; 为有效降低车辆运

行过程中沙尘堆积, 避免造成车辆自重增加, 在摇枕底板中央设置有直径为 50mm 的通孔便于漏沙。

2.5 基础制动装置

基础制动装置包括组合式制动梁组成、制动杠杆组成、下拉杆组成、支点组成及合成闸瓦等。根据毛里塔尼亚既有转向架制动型式, 采用单侧闸瓦制动并配装下拉杆, 制动杠杆与车体纵向铅垂线面夹角为 0° 并与车体拉条连接, 采用低摩合成闸瓦。组合式制动梁组成、制动杠杆组成、下拉杆组成及支点组成相互配合转动部位都设置有耐磨衬套, 实现零部件磨耗到限后只需更换衬套即可, 节约检修成本和提高检修效率。

2.6 中央悬挂装置

中央悬挂装置包括承载弹簧和变摩擦减振装置。承载弹簧包括 AAR D4 外圆弹簧和 AAR D4 内圆弹簧组成的弹簧组, 满足满载工况下的车辆动力学性能的要求; 变摩擦减振装置包括 B355 减振外圆弹簧、B356 减振内圆弹簧组成的高圆弹簧组和斜楔, 减振弹簧组放置在斜楔圆脐内, 满足空车工况下的车辆动力学性能的要求。

2.7 其他主要零部件

根据毛里塔尼亚既有转向架结构, 采用与 AAR F 级双列圆锥滚子轴承相匹配的承载鞍。

3 关键零部件计算仿真分析

3.1 侧架计算仿真分析

为确保侧架结构安全可靠, 采用有限元分析软件, 参照 AAR M-203 : 2012 《Truck Side Frames,Cast Steel-Design and Testing》, 分析了侧架的静载荷和疲劳强度^[1]。计算结果如下: 在水平载荷和垂向载荷工

况下,侧架结构的最大变形分别为2.009mm、1.982mm和1.153mm,其值均小于AAR M-203:2012标准规定的限制值,结构刚度满足标准要求见表2;侧架疲劳高应力区出现在制动梁滑槽与立柱交界处,最大主应力值为237.57MPa,累计损伤为0,其余各处的累计损伤均为0,其结构能够通过标准规定的各项疲劳试验,如图2所示。

表2 侧架最大变形与限制值

载荷工况	最大变形/mm	限制值/mm
水平载荷	2.009	2.692
水平载荷	1.982	2.692
垂向载荷	1.153	1.346

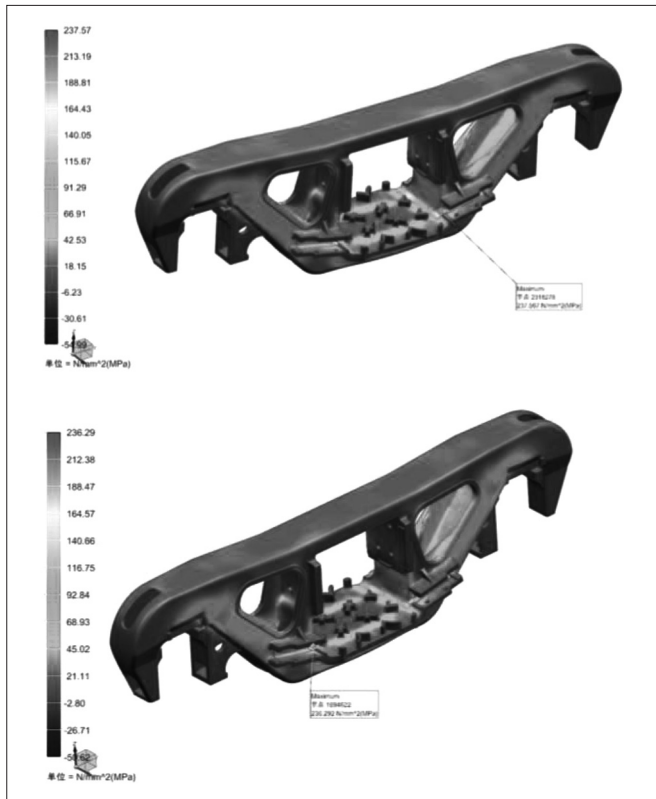


图2 侧架疲劳高应力区

3.2 摇枕计算仿真分析

为确保摇枕结构安全可靠,采用有限元分析软件,参照AAR M-202:2018《Truck Bolsters, Cast or Structural-Design and Testing》,分析了摇枕的静载荷和疲劳强度^[2]。计算结果如下:在水平载荷、旁承垂向载荷及心盘垂向载荷工况下,摇枕结构的最大变形分别为2.28mm、0.84mm和1.16mm,其值均小于AAR M-202:2018标准规定的限制值,结构刚度满

足标准要求,见表3;摇枕疲劳高应力区出现在底板中央漏沙孔处,最大主应力值为238.07MPa,累计损伤为0.3461,小于标准值1,其余各处的累计损伤均为0,其结构能够通过标准规定的各项疲劳试验,如图3所示。

表3 摇枕最大变形与限制值

载荷工况	最大变形/mm	限制值/mm
水平载荷	2.28	2.54
旁承垂向载荷	0.84	1.60
心盘垂向载荷	1.16	2.31

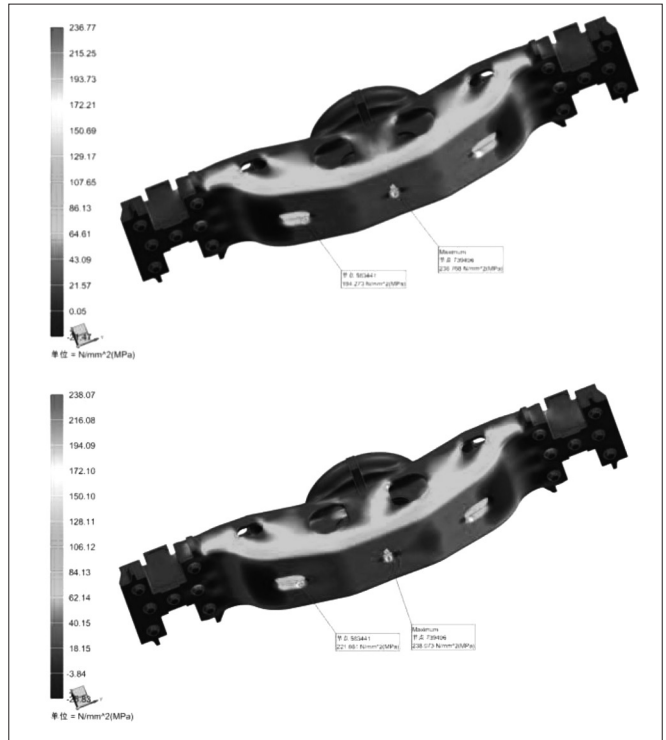


图3 摇枕疲劳高应力区

3.3 动力学性能分析

为明确出口毛里塔尼亚30t轴重转向架装车性能,参照GB/T 5599《铁道车辆动力学性能评定及试验鉴定规范》标准,采用分析软件对装车该转向架的车辆进行了空、重车状态下的动力学性能计算分析。车辆运行速度在70km/h范围内,计算结果表明:

- (1) 车辆空车蛇行失稳临界速度为77.5km/h,车辆重车蛇行失稳临界速度为92.5km/h,均满足车辆最高运行速度70km/h的要求;
- (2) 车辆空、重车的最大横向加速度分别为3.274m/s²、1.851m/s²,均小于标准规定的0.5g,最

大垂向加速度分别为 3.415m/s^2 、 1.863m/s^2 ，均小于标准规定的 $0.7g$ ；

(3) 车辆空、重车横向平稳性指标最大值分别为 2.84 和 2.5，均小于 3.5，为优级标准；车辆空、重车垂向平稳性指标最大值分别为 3.82、2.86，空车小于 4.0，为良好标准，重车小于 3.5，为优级标准；

(4) 车辆空、重车工况下，以一定速度通过 R300、R400、R500、R600、R700、R800 和 R900 的半径曲线时，其工况下的轮轨横向力最大值、轮轴横向力最大值、轮重减载率最大值以及脱轨系数最大值均小于标准规定值，其运行安全性能满足运用要求。

4 试验验证

4.1 侧架试验验证

中车眉山车辆有限公司参照 AAR M-203 : 2012 《Truck Side Frames,Cast Steel-Design and Testing》标准完成了侧架静载荷和疲劳试验^[3,4]，如图 4、图 5 所示。试验结果表明：

(1) 侧架在水平载荷、垂向载荷下的弹性变形分别为 0.72mm、0.94mm，其值均小于 AAR M-203 : 2012 标准规定的 2.69mm 和 1.35mm；

(2) 侧架在水平载荷、垂向载荷下的永久变形分别为 0.1mm、0.13mm，其值均小于 AAR M-203 : 2012 标准规定的 0.28mm 和 0.28mm；

(3) 侧架在垂向载荷弹性极限载荷、垂向最小载荷试验下均未被破坏，符合 AAR M-203 : 2012 标准的规定；

(4) 侧架在完成 AAR M-203 : 2012 标准规定的 12.5 万次循环加载次数后，经检查未发现危险裂纹。

4.2 摇枕试验验证

中车眉山车辆有限公司参照 AAR M-202 : 2018 《Truck Bolsters,Cast or Structural-Design and Testing》标准完成了摇枕静载荷和疲劳试验^[5,6]，如图 6、图 7 所示。试验结果表明：

(1) 摇枕在横向载荷、旁承垂向载荷及心盘垂向载荷下的弹性变形分别为 1.98mm、0.82mm 和 1.28mm，其值均小于 AAR M-202 : 2018 标准规定的 2.54mm、1.60mm 和 2.31mm；

(2) 摇枕在横向载荷、旁承垂向载荷及心盘垂向载荷下的永久变形分别为 0.25mm、0.23mm 和 0.18mm，其值均小于 AAR M-202 : 2018 标准规定



图 4 侧架静载荷试验



图 5 侧架疲劳试验

的 0.64mm、0.64mm 和 0.64mm；

(3) 摇枕在心盘最小极限载荷下未被破坏，符合 AAR M-202 : 2018 标准的规定；

(4) 摇枕在完成 AAR M-202 : 2018 标准规定的 70 万次循环加载次数后，经检查未发现裂纹。

5 主要技术特点

(1) 一系悬挂采用承载鞍弹性垫，实现了轮对弹性定位，可有效降低轮轨动作用力，降低轮轨磨耗，同时消除侧架和承载鞍顶面的磨耗，提高了承载鞍服役寿命，延长了侧架导框小磨面检修处理时间，提高了检修效率。

(2) 摇枕心盘外缘设置 U 型环形槽并配装 U 型沙尘防护圈，避免沙尘进入上、下心盘加剧心盘磨

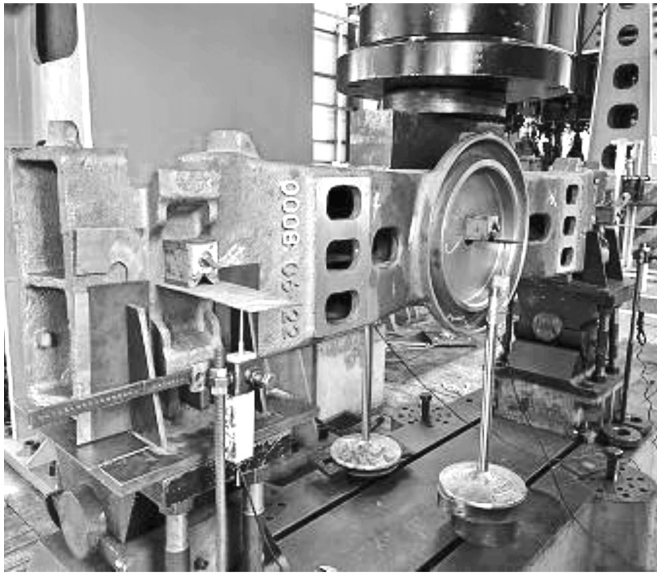


图6 摇枕静载荷试验

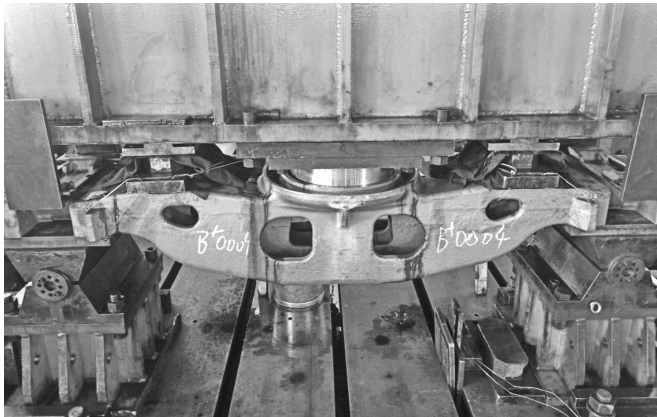


图7 摇枕疲劳试验

耗衬垫磨损。

(3) 有相对运动的摩擦面设置非金属件或高硬度金属件,减少转向架磨耗,确保转向架性能的稳定。

(4) 可与毛里塔尼亚既有转向架整机互换,满足各型矿石车的使用要求。

6 结语

中车眉山车辆有限公司针对毛里塔尼亚沙漠地区研制的30t轴重三大件式铸钢转向架的主要技术参数与毛里塔尼亚既有转向架主要技术参数完全一致,能实现与既有转向架整机互换,且该转向架安全可靠、结构简单、检修方便。该转向架现已发送至毛里塔尼亚,中车眉山车辆有限公司将继续对转向架的运用性能进行跟踪。

参考文献:

- [1] 中车眉山车辆有限公司.HZ30A-MRT型转向架摇枕结构刚度与疲劳强度分析报告[R].2022.
- [2] 中车眉山车辆有限公司.HZ30A-MRT型转向架侧架结构刚度与疲劳强度分析报告[R].2022.
- [3] 中车眉山车辆有限公司.HZ30A-MRT型转向架摇枕静载荷试验报告[R].2022.
- [4] 中车眉山车辆有限公司.HZ30A-MRT型转向架摇枕疲劳试验报告[R].2022.
- [5] 中车眉山车辆有限公司.HZ30A-MRT型转向架侧架静载荷试验报告[R].2022.
- [6] 中车眉山车辆有限公司.HZ30A-MRT型转向架侧架疲劳试验报告[R].2022.

作者简介:张光才(1993.07-),男,汉族,四川眉山人,硕士研究生,工程师,研究方向:铁路货车转向架研究及应用。