DOI：10.13890/j.issn.1000-128X.2025.06.101

适用于高海拔铁路环境的动车组转向架系统适应性技术方案研究

王一淞，梁　云，杨集友，贾洪龙，谌　亮，邹　璇
（中车长春轨道客车股份有限公司 国家轨道客车工程研究中心，吉林 长春 130062）

摘　要：为系统分析高海拔特殊气候环境对动车组转向架系统的适应性影响，明确其能否满足高原铁路的安全稳定运营需求，文章通过资料调研、既有高原铁路运行经验借鉴以及正向分析等途径，重点针对高寒、强紫外线、强风沙和峡谷风四大典型高原气候特征要素进行了专项适应性分析。分析结果表明，针对高寒环境，转向架关键部件材料需满足低温性能要求；针对强紫外线，需关注非金属部件的老化防护；针对强风沙，转向架需具备有效的防沙密封与关键部件耐磨设计；针对峡谷风，转向架结构需保障在强侧风下的动力学稳定性与运行安全。经过针对性设计与验证的高海拔铁路动车组转向架系统，其性能能够有效适应高海拔复杂多变的气候环境，满足高原铁路的运营需求。

关键词：高海拔铁路；动车组；转向架；高寒；紫外线；风沙；峡谷风；高寒铁路

中图分类号：U266.2；U270.331　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000-128X(2026)04-0148-08

0　引言

高海拔铁路沿线海拔高、空气稀薄、温差大、气象环境复杂多变，特殊的高原气候条件对列车的运行影响较大[1]。目前，国外暂无适应海拔3 000 m以上的动力分散动车组，而国内动车组运用最高海拔是兰新客专，其最高海拔3 600 m，采用的是CRH5G高寒抗风沙动车组，属于高原型动力分散动车组，但其应用环境相对于海拔4 500 m以上地区仍有不小差别，如昼夜温差、紫外线强度、隧道密集度及峡谷风等。因此，有必要开展高海拔铁路特殊气象环境条件下动车组列车的适应性研究，车辆走行系统的转向架是车辆关键系统之一，其性能直接影响车辆的运行安全，所以转向架系统的适应性研究更是先行要务。

1　高海拔铁路环境概述

高海拔地区地形气象条件极其复杂，以我国西南地区为例，铁路线路从成都平原地区至西藏高原地区需要克服巨大的高程障碍及环境变化。下面将以此段线路为例详细介绍高原地区的铁路环境情况。

1.1　自然环境

1.1.1　海拔情况

高海拔铁路定义基本路段均位于海拔3 000 m以上，最高海拔可超4 000 m。

1.1.2　风沙环境

高海拔铁路一般途经多种复杂地貌，受风的影响显著，河谷地表冲蚀作用明显，形成独特的“山高沟深”的特殊地形地貌，山谷高差达几千米，局地环流路径复杂；且在融冻膨胀冷缩作用下，山体岩石的剥蚀作用非常强烈，河水水位随季节的变化而升降，导致第四纪冲洪积层发育出露点较多，这些丰富的松散物质为风沙流活动提供了丰富的沙源[2]。

1.2　线路条件

1.2.1　线路概况

高原地区铁路线路由于经过山川、河流等众多地理环境，所以更多地伴随着桥梁隧道较多等特点；同

基金项目：国家重点研发计划课题(2023YFB2303705)
通信作者：王一淞，男，主要从事铁路车辆转向架方面的研究；E-mail: 17678391232@163.com
引用格式：王一淞, 梁云, 杨集友, 等. 适用于高海拔铁路环境的动车组转向架系统适应性技术方案研究[J]. 机车电传动, 2026(4): 148-155.DOI: 10.13890/j.issn.1000-128X.2025.06.101.
Citation：WANG Yisong, LIANG Yun, YANG Jiyou, et al. Study on adaptive technical scheme of EMU bogie system suitable for high altitude railway environment[J]. Electric drive for locomotives,2026(4): 148-155.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.06.101.

时高原地区还伴有“显著的地形高差”“强烈的板块活动”“频发的山地灾害”“脆弱的生态环境”等四大工程环境特征。

1.2.2　主要技术标准

我国高原地区铁路主要技术标准如表1。

表1　我国高原地区铁路主要技术标准表

Table 1　Main technical standards of plateau railway in China

项目	主要技术标准
铁路等级	I级
正线数目	双线
设计行车速度	120 ~ 200 km/h
最小曲线半径	一般3 500 m，困难区段2 800 m， 局部地段采用与设计速度相匹配的曲线半径
最大坡度	30‰
牵引种类	电力
机车车辆类型	动车组，交流传动电力机车
牵引质量	2 000 t
到发线有效长度	650 m
闭塞类型	自动闭塞

1.2.3　隧道分布

高海拔铁路受地势影响，桥梁隧道居多。一般桥隧比可达90%以上。最长隧道长度可达42 km以上。

1.2.4　坡度情况

高海拔铁路坡度可达30‰，长大紧坡地段总长占比可超过20%。

2　基础方案说明

2.1　既有项目调研

为了使轨道车辆能够更好地适应高海拔铁路环境，对青藏铁路客车、拉林线双源动车组等典型项目进行调研，具体项目及问题汇总如表2所示。

2.2　转向架顶层指标

转向架顶层指标基于环境适应性及安全冗余性，同时参考目前国内应用于高原高寒环境动车组进行制定，具体指标见表3。

2.3　转向架技术方案

转向架总体布局如图1所示，技术方案如下:

①动车组转向架为两轴无摇枕、设联系枕梁转向架。

②采用H型焊接构架，转臂式轴箱定位、双圈螺旋式钢弹簧和垂向减振器并联的一系悬挂。

③采用大柔度空气弹簧、横向减振器、横向止挡、抗蛇行减振器（每侧1个）和Z型牵引装置的二系悬挂。

④采用盘式基础制动单元，架悬式交流电机、鼓形齿式联轴节和平行轴齿轮传动系统。非动力转向架采用与动力转向架基本相同结构形式。

2.3.1　构架

动力构架和非动力构架均为H型焊接构架，其结构的主体部分完全相同。构架主要由侧梁、横梁以及各种吊座组成。横梁、侧梁均采用钢板焊接箱型结构，横梁与侧梁通过变截面连接座组焊而成。在动力构架横梁上设置了电机吊座和齿轮箱吊座，在非动力构架上则设置了盘形制动吊梁。其中钢板、锻件等均采用耐低温冲击材质以适应高原环境要求。

2.3.2　轮对轴箱组成

动力轮对采用轮装制动盘，设置齿轮箱组成（见

表2　既有项目转向架系统运用问题统计表

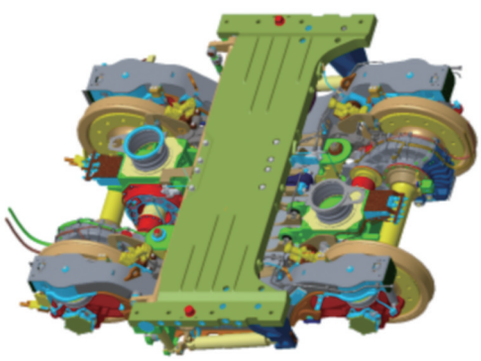
Table 2　Statistics of bogie system problems in existing projects

项目及车型	问题
青藏铁路–客车	在7、8月份，距西宁以西100 km左右的地区就开始有降雪
	紫外线强，橡胶件老化严重，车辆油漆需要采用高原防辐射油漆
	青藏铁路环境气温变化大、变化快，线路会出现隔一段路程（大概十几公里）冰冻，一段路程融化的问题
	下雪时车辆存在车下设备严重积雪问题，车下接线盒被积雪灌满
	青藏铁路环境多风沙，但沙砾较小，对于空调运用带来很大考验，经常出现空调元器件故障
	青藏铁路整个线路是大曲线形式，车轮存在偏磨问题
	转向架空气弹簧需加橡胶防护套
	青藏线客车轮缘磨耗问题严重
拉林线–双源动车组	动车组内燃动力车个别车轮存在踏面轻微损伤情况
兰新线–CRH5G动车组	风沙导致轮毂轮辐、轴身、车体有掉漆情况
	风沙导致部分动车组减振器损坏漏油
	大风运营工况（大风工况常态化，且存在风速超过33 m/s的情况）
	强风沙条件下车轴、构架等零部件漆层受击打严重
	轨道上沙尘较多，引发车轮异常损伤或加剧剥离故障
高寒动车组	冬季清洗后库外存放冻轮问题

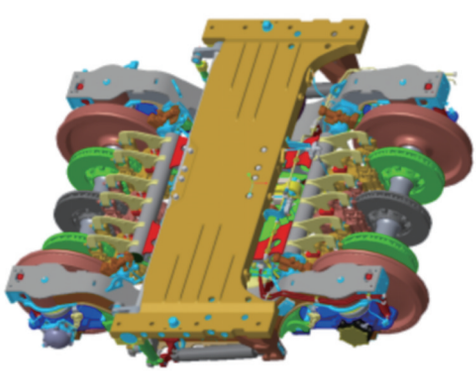
表 3　高海拔铁路动车组转向架顶层指标及技术参数

Table 3　Top-level indicators and technical parameters of EMU bogie system for high-altitude railways

项点	顶层指标及技术参数
最高运营速度/(km·h^{-1})	200
最高试验速度/(km·h^{-1})	220
轴重/t	≤17
固定轴距/mm	2 500
轨距/mm	1 435
轮对内侧距/mm	$1\,353_{0}^{+2}$
车轮直径（新轮/磨耗轮）/mm	920/850
轴颈中心距/mm	2 000
转向架自重	动车不大于 10 t，拖车不大于 8 t
动力学性能考核标准	GB/T 5599
强度考核标准	UIC 615-4，UIC 515-4，EN 13749



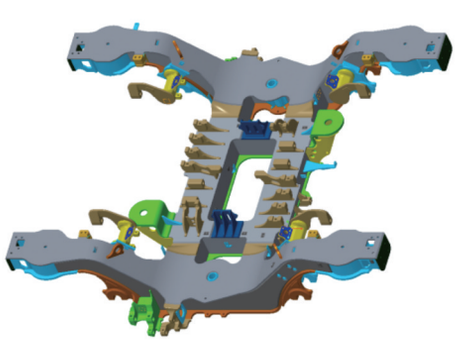
（a）动力转向架



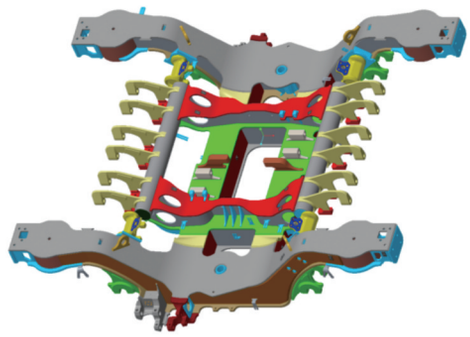
（b）非动力转向架

图 1　转向架总体布置

Fig. 1　Overall layout of bogie



（a）动力构架

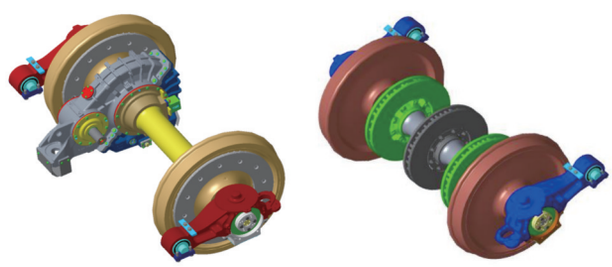


（b）非动力构架

图 2　转向架构架

Fig. 2　Bogie frame structure

图 3）；非动力轮对采用轴装制动盘、曲辐板整体车轮，拖车车轮上装有降噪板或降噪块。轴承为自密封圆锥滚子轴承，组装时不需要再注入润滑脂。采用分体式轴箱，轴箱主要由转臂、转臂箍两个部分组成，使用螺栓连接，便于轮对的拆卸与安装。



（a）动力轮对　　（b）非动力轮对

图 3　转向架轮对轴箱组成

Fig. 3　Wheelset and axle box assembly of bogie

2.3.3　一系悬挂装置

一系悬挂装置（见图 4）采用双卷螺旋钢弹簧组加一系垂向减振器的方式，并且在钢弹簧下面装有叠层弹簧，可以起到良好的缓冲、减少垂向振动的作用。在螺旋钢弹簧组内装有止挡销，可以防止弹簧被压死，如果弹簧意外断裂，止挡销也可以起到支撑作用，避免更危险的事故发生。

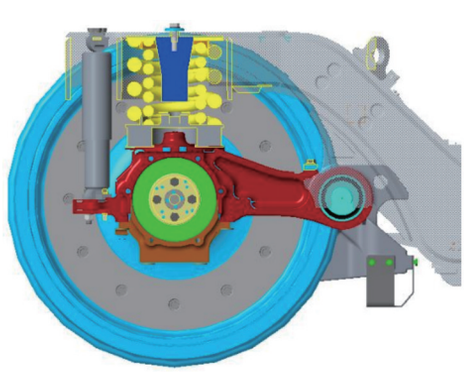


图 4　转向架一系悬挂装置

Fig. 4　Primary suspension system of bogie

2.3.4　二系悬挂及中央牵引装置

转向架每侧安装单抗蛇行减振器，设二系横向和

二系垂向减振器，以保证优良的乘坐舒适性；空气弹簧采用两点控制，设联系枕梁，其内腔作为空气弹簧的附加气室，将左右空气弹簧联通；设抗侧滚扭杆装置；每个转向架设一套中央牵引装置，采用成熟的“Z”型拉杆结构，牵引装置主要由中心销、牵引梁、中心销套和2个牵引拉杆组成。

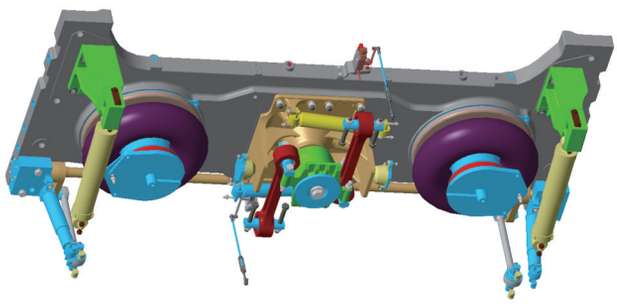


图5　转向架二系悬挂及中央牵引装置

Fig. 5　Secondary suspension and center traction system of bogie

2.3.5　驱动装置

转向架驱动装置如图6所示。动力转向架配有齿轮箱组成（含联轴器、吊杆组成、接地装置），齿轮箱输出端安装在车轴上，输入端通过联轴器与牵引电机相连，通过吊杆组成与构架相连。其中齿轮箱重新设计了密封机构以适应高原风沙环境。

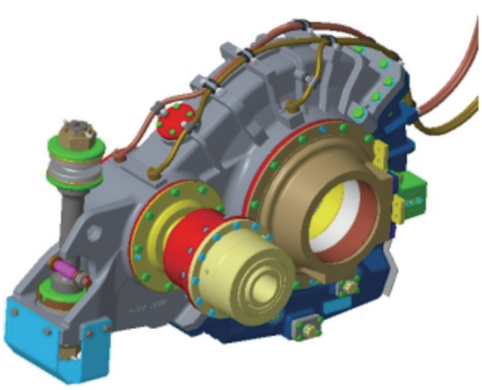


图6　转向架驱动装置

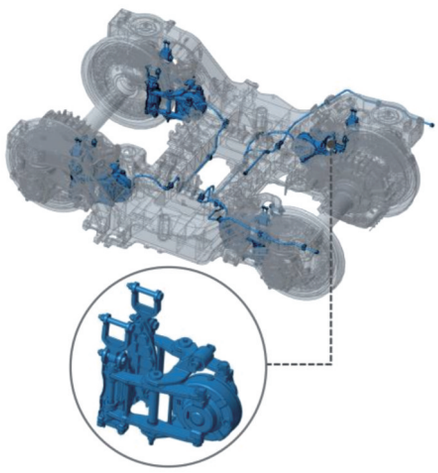
Fig. 6　Driving device of bogie

2.3.6　基础制动装置

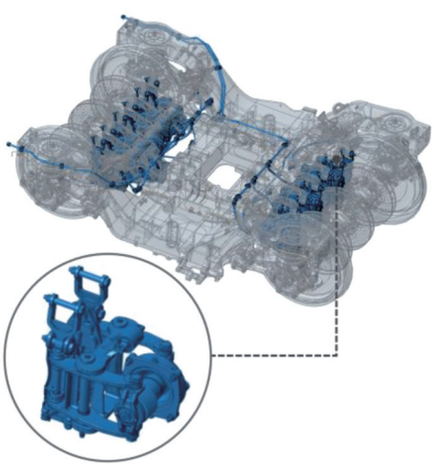
动车组转向架基础制动装置（见图7）分为动车基础制动装置和拖车基础制动装置（带停放制动装置），其中动车采用轮盘制动，而拖车采用轴盘加轮盘制动及轴盘加磁轨制动的方式，以满足车辆在高原长大下坡道高速运行时的制动距离要求。

3　适应性分析

通过以上对高海拔铁路沿线自然环境、线路条件以及既有车辆运用情况的调研可以看出，高海拔铁路的运行环境相当恶劣，具有高寒、高海拔（强紫外线）、强风沙和峡谷风（侧风）的气候特征。既有车辆受风沙、低温、紫外线等因素影响突出，研究团队结



（a）动力转向架基础制动装置



（b）非动力转向架基础制动装置

图7　转向架基础制动装置

Fig. 7　Foundation brake device of bogie

合转向架系统方案特性，针对以上恶劣气候开展车辆相关适应性分析[3]。

3.1　高寒适应性分析

高海拔铁路动车组转向架设计充分借鉴了国内既有高寒动车组成熟的耐低温、防冰雪运用经验，同时对所有转向架零部件进行了耐低温研究，对于–40~40 ℃的高寒铁路环境温度，转向架各项参数均可达到设计要求。

3.1.1　零部件低温要求

高海拔铁路动车组转向架在设计时已按照–40 ℃考虑关键金属零部件及橡胶件等零部件的耐低温要求。

1）金属件

针对高寒铁路高寒环境，对转向架关键金属零部件的材料选型与性能要求如表4。

2）橡胶件

基于仿真分析，各橡胶零部件在–40 ℃时刚度变化范围为设计值的±40%。研究团队对各橡胶零部件均进

表 4　转向架关键金属零部件材料选型与性能要求

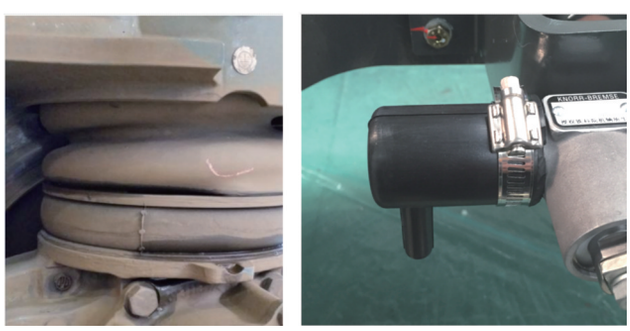
Table 4　Technical requirements for material properties of key metal components for bogie

零部件	材料	考核标准	采购技术规范要求
构架钢板	S355J2W+N	EN 10025-4	–40 ℃冲击功不小于27 J（实测不小于110 J）
车轴	EA4T（EN 13261）	EN 13261	–60 ℃冲击功不小于20 J
轴箱体	EN-GJS-40-18-LT	EN 1563	–40 ℃冲击功不小于20 J

行了低温试验，试验结果合格，能够满足–40 ℃低温环境的运用需求。

3.1.2　防冰雪措施

研究团队对转向架关键部件进行抗冰雪防护设计，保证零部件性能不受影响，避免影响行车安全。为了防止冰雪堆积影响一系减振的效果，在一系螺旋钢弹簧外部增加耐低温橡胶防护罩，避免冰雪进入钢簧内部而导致一系悬挂功能失效。另外，借鉴高寒动车组运用经验，冬季冰雪易堵塞高度阀的排风孔，进而引起高度阀故障，所以在高海拔铁路动车组上高度阀需加装防护罩。



（a）一系钢弹簧防雪罩　　（b）高度阀防护罩

图 8　转向架防冰雪措施

Fig. 8　Ice and snow protection measures of bogie

3.2　强紫外线适应性分析

导致橡胶老化的主要原因之一就是光。太阳光按照波长长短可分为紫外光、可见光和红外光3种，3种光的波长不同，能量也不同。光的特性是光波越短而能量越大，其中紫外光的波长短，能量超过了高分子材料中某些共价键的解离能，因此对材料的危害更大。紫外线不仅能直接引起橡胶分子链的断裂和交联，还会使橡胶因吸收光能而产生游离基，引发并加速氧化链反应过程，而红外光则起到加热的作用。光老化一般只限于表面层，主要表现为发黏、变色、变脆或增厚，并生成无规则裂纹[4]。

青藏高原是我国公认的紫外线辐射强度最高的地区，由于其海拔高，大气层低、空气稀薄，大气中可以吸收紫外线的水蒸气、二氧化碳、尘埃、气溶胶等物质大幅度减少，以致高原地区紫外线与平原最多可相差6倍[5]。

综上，对于高海拔铁路转向架系统中橡胶相关的零部件需考虑对于强紫外线的应对措施。橡胶的紫外老化，一般先从外表开始，然后慢慢深入到橡胶内部。因此，在实际应用中，防护橡胶光老化主要采取两种途径：一种是物理途径，即在橡胶外表覆盖一层防光物质，或在橡胶中掺加吸光或反光的物质(如颜料、填料和蜡类等)，以阻止或减弱光直接对橡胶发生作用；另一种是化学途径，即在橡胶中加入防光老化剂，以防止光对橡胶的活化作用和光氧化反应。例如，采用银粉或铝粉来覆盖制品表面层，可起到反射光波作用；加入白色颜料(如钛白粉、氧化锌等)，可以增强反光(可见光)能力；加入炭黑，可以吸收可见光，反射紫外光，提高防老化效果；添加蜡类物质，也能起反光作用。

为验证橡胶材料耐紫外线老化特性，按照GB/T 14522—2008《机械工业产品用塑料、涂料、橡胶材料人工气候老化试验方法 荧光紫外灯》的有关要求，对空气弹簧的气囊胶料和橡胶堆胶料进行模拟天然气候条件下的耐紫外线老化试验。试验结果如表5。

表5　橡胶材料紫外老化试验结果

Table 5　Results of UV aging test on rubber materials

项目	性 能	硬度（shore A）	拉伸强度/MPa	扯断伸长率/%
气囊胶料	老化前性能	57	15.9	622
	老化后性能	58	15.1	583
	性能变化	+1	–5.0%	–6.3%
橡胶堆胶料	老化前性能	56	23.4	505
	老化后性能	59	22.3	456
	性能变化	+3	–4.7%	–9.7%
备注	人工气候老化条件：按照GB/T 14522—2008 附录C 条件1，循环时间168 h			

气囊胶料和橡胶堆胶料试样分别经紫外线暴露试验后，表面均无裂纹产生，胶料表面仅颜色略有变化，但硬度有所提高，拉伸强度和扯断伸长率有所降低，降低比例与70 ℃×168 h热空气老化后性能降低相当。因此，可以认为橡胶材料能够满足高紫外线环境的运用需要。

3.3　强风沙适应性分析

强风沙条件下，主要研究3方面因素的影响：大风环境下沙尘对零部件密封性能的影响、风沙对车轮磨耗的影响以及风沙对油漆附着力的影响。

3.3.1　沙尘对零部件密封性能的影响

车辆运行在风沙环境过程中如何防止沙尘进入零部件内部影响工作性能是研究团队必须考虑和研究的项点。研究团队重点研究齿轮箱、联轴器、轴箱轴承

以及减振器的防沙、排沙性能[6]（密封结构的可靠性）。

1) 齿轮箱

参照既有兰新线动车组驱动结构的密封设计，转向架齿轮箱组成采用多道迷宫密封设计，密封结构成熟、可靠。同型号动车组配属西安局铁路和兰州铁路局，运行线路包括西安—兰州—西宁、西安—银川等西北线路，部分列车已进入高级修修程，安全运行总里程超 1 700 万 km，无沙尘进入问题或由沙尘引起的故障。

2) 联轴器

联轴器内外齿圈间均采用波纹管接触式密封，密封结构成熟、可靠，能够防止沙尘进入。

结合联轴器波纹管的结构特点，考虑外部波纹管内潜在的沙尘堆积速率和堆积程度，后续可依托台架试验进行前期研究和预测工作。

3) 轴箱轴承

轴箱轴承为整体自密封结构，轴箱后部采用迷宫密封，前部轴向采用两道 O 形橡胶圈密封。该密封形式与国内干线铁路客车的轴箱密封形式相近，参照对比铁路客车多年成熟的运用经验，可以防止沙尘进入。同时，轴承的自密封也为安全运用增加了一层保障。

4) 减振器

减振器动作频繁，在风沙环境中，导柱在拉伸状态时易沾上沙尘，从而损坏密封结构，国内既有运营车辆也多发此类漏油故障。因此，研究团队借鉴 CRH5G 动车组在兰新线上的运用经验，对减振器增加防尘密封罩，防止沙尘进入。

3.3.2　风沙对车轮磨耗的影响

调研国内西南山区、北方风沙区既有车辆的车轮运用状态，常见的损伤主要有踏面硌伤、剥离、擦伤和偏磨等。上述车轮踏面伤损对于旅客列车的行车安全无明显影响，但踏面伤损所带来的车体振动会显著降低旅客的乘车舒适性，也会产生横向振动加速的报警现象。同时硌伤、剥离等伤损也会增加车轮镟修维护的频次，在降低车轮使用寿命的同时又增加了车轮的维护成本。研究同时表明，沙粒介入轮轨接触区会导致接触应力峰值增加 3~5 倍，加速疲劳裂纹扩展[7]。

基于沙粒对车轮运用的不利影响以及常见的车轮损伤形式，研究团队梳理提高车轮运用效果的思路如下：

①改进轮轨接触界面管理。相互作用的轮轨必须一起进行研究，才能达到最优状态，实现最长寿命。

②在确保运行安全的前提下，提高车轮材料性能。

③加强车辆整体维修工作。

参照以上改善思路，比较直接便捷的措施就是提高车轮材料性能。研究团队选用 ER8C 型车轮，配套 U75V 钢轨（布氏硬度 HB 值为 260~300），轮轨硬度比控制在 1.1~1.2，可降低磨耗率 30%[8]。

3.3.3　风沙对油漆附着力的影响

参照既有列车的运用经验，既有油漆固化后，漆膜较硬，抗风沙击打能力较弱，在风沙环境下列车高速运行时，因风沙击打，转向架外部油漆容易出现脱漆、剥落等问题。针对该问题，研究团队参照既有高速动车组和兰新线动车组的防风沙方案，拟采取如下措施：

①对动车组转向架构架横梁底部、车轴外露面喷涂抗风沙油漆。

②对齿轮箱和电机安装防护板。

抗风沙高分子涂层包含底漆层和防护层。针对该涂层，完成了防护冲击试验，冲击时不伤及车轴母材，从而确定了涂层厚度范围；完成了附着力试验，撕裂强度满足技术指标要求；完成了 EN 13261 中规定的其他试验项点。综合各项试验结果可以看出，抗风沙涂层可以有效防护转向架金属基材免受风沙击打，同时可以满足轮轴的运用需求。

相类似的抗风沙涂层在 CRH5G 抗风沙车组上已运用超过 420 万 km，抗风沙效果良好，涂层无分层、脱落问题，抗风沙涂层喷涂位置如图 9 所示。

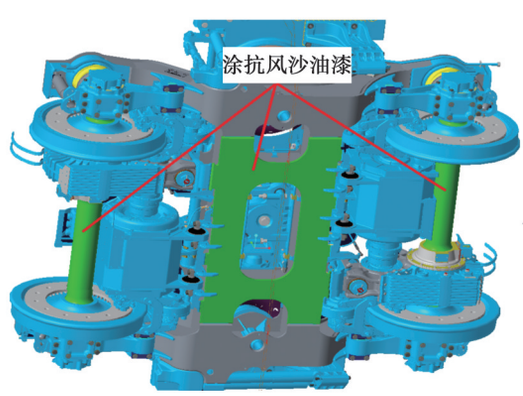


图 9　抗风沙油漆喷涂位置示意图

Fig. 9　Location diagram of anti-sand paint coating

3.4　峡谷风适应性分析

针对大风工况，研究团队对动车组进行了侧风安全性动力学计算。计算基于标准 EN 14067-6 的侧风安全性评价方法来评价车辆的侧风安全性[9]。由于在侧风作用下，头车受到的侧风作用力最大，所以验证仅针对头车进行分析计算。为了保守起见，在评价侧风稳定性时，假定车辆状态为空车状态。

EN 14067-6 评价方法：

①考虑车速：不同运行速度，至少包含最高运行速度；

②考虑 4 种风速：20 m/s，25 m/s，30 m/s，33 m/s；

③考虑直线和曲线（半径 7 000 m，超高 175 mm）轨道工况，无轨道谱；

④考虑最大 0.075g 的未平衡加速度的影响（国内

要求欠超高小于110 mm，考虑各种曲线通过，不能超过0.075g），无轨道谱；

⑤考虑最危险的侧风方向——90度；

⑥考察指标：倾覆系数——限值0.9[10]。

研究团队对动车组在不同侧风工况下的安全性计算分析得到相关数据如表6。

表6 动车组在不同侧风工况下的安全速度

Table 6 Speed limits for safe operation of EMU under different crosswind conditions

未平衡加速度/g	风速/(m·s^{-1})			
	20	25	30	33
0	250	250	180	120
0.025	250	250	150	90
0.050	250	220	120	90
0.075	250	190	90	80
7 000 m曲线（外轨175 mm超高）	250	180	80	70

综上分析得出：20 m/s风速下列车可以以250 km/h的速度运行，25 m/s风速下限速180 km/h，30 m/s风速下限速80 km/h，33 m/s风速下限速70 km/h。

4 结论

本文提出的高海拔铁路动车组转向架系统通过以下改进实现环境适应性提升：

①材料层面采用耐低温钢及抗紫外线橡胶等，确保–40~40 ℃工况下性能稳定。

②结构层面优化密封设计（齿轮箱/减振器）与加强防护措施（增加防雪罩/抗风沙涂层），降低故障率30%以上。

③动力学层面基于EN 14067-6的侧风安全限速策略，保障8级风沙下的运行安全。

实际应用表明，该转向架系统可满足海拔4 500 m以上线路的运营需求，为川藏铁路等重大工程提供技术支撑。

参考文献：

[1] 凌亮, 胡彦霖, 杨泽钰, 等. 高原铁路特殊气象环境对动车组隧道气动阻力的影响[J]. 西南交通大学学报, 2022, 57(1): 158-165.
Ling Liang, Hu Yanlin, Yang Zeyu, et al. Effect of Sichuan-Tibet railway special meteorological environment on tunnel aerodynamic drag of electric multiple unit train[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2022, 57(1): 158-165.

[2] 郑典明. 川藏铁路拉林段风积沙防治工程设计参数研究[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(11): 15-18.
Zheng Dianming. Research on the design parameters of aeolian sand control engineering in La-Lin section of Sichuan-Tibet railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2020, 37(11): 15-18.

[3] Wang Lei, Luo Jianjun, Li Feilong, et al. Aerodynamic performance and flow evolution of a high-speed train exiting a tunnel with crosswinds[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2021, 218: 104267.

[4] 宋春磊. 不同条件下橡胶止水条老化性能试验研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2021.
Song Chunlei. Experimental study on aging performance of rubber waterstop under different conditions[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2021.

[5] 闫睿, 黄磊, 鲁同所, 等. 拉萨市紫外线辐射强度指数变化特征分析[J]. 当代化工研究, 2021(10): 41-44.
Yan Rui, Huang Lei, Lu Tongsuo, et al. Analysis of variation characteristics of ultraviolet radiation intensity index in Lhasa City[J]. Modern Chemical Research, 2021(10): 41-44.

[6] Cai Xiaopei, Liang Yanke, Xin Tao, et al. Assessing the effects of subgrade frost heave on vehicle dynamic behaviors on high-speed railway[J]. Cold Regions Science and Technology, 2019, 158: 95-105.

[7] 舒康, 周亮, 王文健, 等. 不同钢轨材料的风沙冲蚀磨损与损伤行为研究[J]. 摩擦学学报, 2022, 42(1): 74-84.
Shu Kang, Zhou Liang, Wang Wenjian, et al. Windblown sand erosion wear and damage behaviors of different rail steels[J]. Tribology, 2022, 42(1): 74-84.

[8] UIC 510-5: 2018 Technical approval of monobloc wheels[S].

[9] Bousser E, Martinu L, Klemberg-Sapieha J E. Solid particle erosion mechanisms of protective coatings for aerospace applications[J]. Surface and Coatings Technology, 2014, 257: 165-181.

[10] 卢耀辉, 向鹏霖, 曾京, 等. 高速列车转向架构架动应力计算与疲劳全寿命预测[J]. 交通运输工程学报, 2017, 17(1): 62-70.
Lu Yaohui, Xiang Penglin, Zeng Jing, et al. Dynamic stress calculation and fatigue whole life prediction of bogie frame for high-speed train[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2017, 17 (1): 62-70.

Study on adaptive technical scheme of EMU bogie system suitable for high-altitude railway environment

WANG Yisong, LIANG Yun, YANG Jiyou, JIA Honglong, CHEN Liang, ZOU Xuan

(National Engineering Research Center of Railway Vehicles, CRRC
Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., Changchun, Jilin 130062, China)

Abstract: To determine the EMU bogie system's adaptability to meet the requirements for safe and stable operation of plateau railways in a special high-altitude climate environment, this study leverages on literature review, existing operational experience from plateau railways, and forward analysis to explore the specific adaptability to four typical high-altitude climatic factors: extreme cold, intense ultraviolet (UV) radiation, severe wind-blown sand, and canyon wind effects. The analytical results demonstrate that: for extreme cold, the materials of critical bogie components must satisfy stringent low-temperature performance requirements; for intense UV radiation, aging protection measures shall be taken for non-metallic components; for severe wind-blown sand, effective sand-proof sealing and wear-resistant design for key components of bogie are essential; for canyon wind effects, the bogie structure must ensure dynamic stability and operation safety under strong crosswind conditions. Based on these findings, this study concludes that the EMU bogie system with tailored and validated design for high-altitude railways demonstrates high adaptability to the complex and variable high-altitude climate, thereby meeting the requirements of plateau railway operation.

Keywords: high altitude railway; EMU; bogie; extreme cold; UV; wind-blown sand; canyon wind

收稿日期：2023-12-02；修回日期：2025-02-08
责任编辑：钟　锋