DOI：10.13890/j.issn.1000-128X.2027.01.413

基于HXD3平台的机车动力学性能研究

林景东[1]，尤昕宇[2]，马　群[3]，姚　远[3]，杨守君[1]
（1.中车大连机车车辆有限公司 机车开发部，辽宁 大连 116022；
2.国能新朔铁路有限责任公司 机务分公司，内蒙古 鄂尔多斯 017004；
3.西南交通大学 轨道交通运载系统全国重点实验室，四川 成都 610031）

摘　要：针对基于HXD3平台的出口乌兹别克斯坦宽轨机车，文章研究了轨距加宽及悬挂参数对机车动力学性能的影响，建立了3种配置的四轴机车模型：HXD3A标准轨距模型（简称HXD3A）、乌兹别克斯坦宽轨机车（简称乌车）标准轨距模型（UZ_1435）及乌车宽轨距模型（UZ_1520）。三者差异主要体现在一系定位刚度与轨距。文章根据GB/T 5599—2019，对比分析了3种模型的非线性临界速度、直线运行平稳性及曲线通过安全性。结果表明：乌车标准轨距模型因增大了一系定位刚度，其非线性临界速度较HXD3A标准轨距模型提升约30 km/h；轨距加宽降低了机车临界速度，乌车宽轨距模型的临界速度由标准轨距模型的170 km/h降至160 km/h。乌车宽轨距模型司机室横向平稳性与HXD3A标准轨距模型基本相当，均略劣于乌车标准轨距模型。宽轨相较于标准轨距，曲线通过工况机车轮轴横向力和脱轨系数有所增大，但轮重减载率有所改善。

关键词：宽轨机车；动力学性能；临界速度；平稳性；曲线通过

中图分类号：U264.11　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000-128X(2026)04-0085-07

0　引言

随着“一带一路”倡议的深入推进，全球多种轨距标准的铁路系统已成功应用我国自主研发的机车产品[1]。乌兹别克斯坦作为中亚地区重要的铁路枢纽，其铁路系统采用1 520 mm宽轨距，且线路条件复杂多变，对机车运行的安全性与平稳性及小半径曲线通过能力提出了更高要求[2-3]。机车动力学性能，尤其是非线性临界速度、运行平稳性及曲线通过安全性，是保障列车安全高效运行的关键指标[4]。其中，悬挂系统参数与轨距设置作为核心设计变量，对上述性能具有决定性影响[5]。

当前，我国在机车动力学研究领域已取得系列成果。文献[6]通过动力学仿真，分析了国内货运电力机车的临界速度与平稳性；文献[7]针对六轴宽轨机车，系统研究了悬挂参数对垂向动力学性能的影响规律；文献[8]基于GOST标准，分析了悬挂刚度对机车水平动荷系数与抗脱轨稳定性的影响，明确了关键刚度参数的合理范围；文献[9]基于刚柔耦合模型，研究了柔性构架对机车曲线通过性能与运行安全性的影响；文献[10]针对宽轨转向架，优化了抗蛇形减振器与一系悬挂参数，验证了其小半径曲线通过能力；文献[11]聚焦悬挂刚度对垂向动力学性能的影响，指出降低刚度有助于改善垂向运行品质；文献[12]围绕不同轴重与不同车轮型面，开展了悬挂参数与轮轨匹配关系的优化研究；文献[13]考虑机车与道岔耦合作用，分析了多因素下的轮轨动力响应并提出了速度与悬挂优化建议；文献[14]重点研究了小半径曲线工况下的机车动力学行为，为窄小线路区段的列车安全运营提供了科学的理

基金项目：国家自然科学基金项目(52372403,U2268211)；中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划(N2025J026)；中车原创技术十年培育专项(2025CYY002)；中车集团有限公司科技研究开发计划项目（2026CTA021）；轨道交通运载系统全国重点实验室自主课题(2026RVL-T04)
通信作者：姚　远，男，博士，研究员，博士生导师，主要从事机车车辆设计理论和车辆系统动力学方面的研究；E-mail: yyuan8848@163.com
引用格式：林景东，尤昕宇，马群，等. 基于HXD3平台的机车动力学性能研究[J]. 机车电传动，2026(4): 85-91.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2027.01.413.
Citation：LIN Jingdong, YOU Xinyu, MA Qun, et al. Study on dynamic performance of locomotives based on the HXD3 platform[J]. Electric drive for locomotives,2026(4): 85-91.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2027.01.413.

论依据。

从技术发展脉络看，我国大功率电力机车已形成较为完善的技术体系，为海外适应性设计提供了坚实基础。HXD3 系列机车作为我国电力机车的标志性产品，已构建起成熟的技术平台。该系列机车主要分为两大技术路线：C_0-C_0轴式机型凭借大牵引力与小轴重转移特性，适用于重载运输场景，包括基础货运型HXD3、客货两用型HXD3C、纯货运型HXD3CA及高速客运型HXD3D；B_0-B_0轴式机型则以轴距短、自重轻、曲线通过性优异为特点，代表车型为基于HXD3C平台衍生的HXD3A型大功率货运机车。

本研究针对出口乌兹别克斯坦的宽轨机车，以HXD3A型机车技术为基础，结合当地1 520 mm宽轨距及复杂地形条件进行了专项适应性设计。作为HXD3系列B_0-B_0四轴平台的延伸，该车型充分发挥二轴转向架在山区小半径曲线线路中的通过性能优势，为乌兹别克斯坦铁路运输提供了高效可靠的动力保障，对提升我国机车产品在“一带一路”沿线国家的市场竞争力具有重要意义。

本文通过多体动力学仿真软件SIMPACK，基于机车实际动力学参数构建出口乌兹别克斯坦宽轨机车的动力学模型，系统研究不同轨距及一系悬挂参数对机车非线性临界速度、直线运行平稳性及小半径曲线通过性能的影响规律，为宽轨机车的适应性设计与性能优化提供理论依据与数据支撑。

1 机车动力学模型

出口乌兹别克斯坦的客运电力机车转向架配置为B_0-B_0轴式结构，牵引电机采用轴悬式对置布置方式。该设计旨在优化簧间质量分布，使簧间质量尽可能靠近转向架几何中心，以有效降低摇头惯量[15]。机车动力学模型包含1个车体、2个转向架构架、4台牵引电动机及4个轮对，车体与构架间通过二系悬挂系统（含高圆弹簧、2个横向减振器和2个垂向减振器）连接；构架与轮对间采用单拉杆轴箱定位的一系悬挂系统，由一系弹簧、轴箱拉杆及端轴垂向减振器构成。转向架与车体间的刚性连接通过牵引杆实现。机车及转向架的关键技术参数如表1所示。依据上述参数，研究团队基于多体动力学仿真软件SIMPACK构建了整车动力学模型，如图1所示。

为探究轨距及一系悬挂参数的影响，研究团队构建3种机车动力学模型：HXD3A标准轨距模型（HXD3A）、乌兹别克斯坦机车标准轨距模型（UZ_1435）及乌兹别克斯坦机车宽轨距模型（UZ_1520）。不同动力学模型参数主要差异如表2所示。所有模型均采用乌兹别克斯坦国内锥形踏面与钢轨廓形，轮轨接触等效锥度为0.06。

表1 机车主要结构参数

Table 1 Main structural parameters of the locomotives

参数名称	参数值
轴重/t	24
轴距/m	2.70
转向架中心距/m	10.34
构架质量/kg	3 390
车体质量/kg	59 600
轮对质量/kg	3 715
二系悬挂的纵向刚度(单个)/(N·mm^{-1})	242.6
二系悬挂的横向刚度(单个)/(N·mm^{-1})	242.6
二系悬挂的垂向刚度(单个)/(N·mm^{-1})	664.0

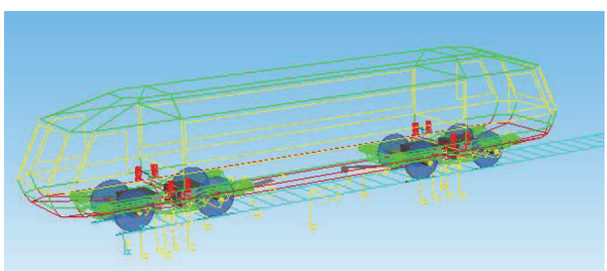


图1 机车动力学模型

Fig. 1 Locomotive dynamics model

表2 3种机车动力学模型参数对比

Table 2 Comparison of parameters among the three locomotive dynamics models

模型	轨距/mm	一系跨距/mm	一系定位刚度/（kN·mm^{-1}）		
			纵向	横向	垂向
HXD3A	1 435	2 120	25.0	2.7	1.50
UZ_1435	1 435	2 120	45.5	3.0	1.72
UZ_1520	1 520	2 135	45.5	3.0	1.72

2 动力学性能指标

2.1 稳定性指标

非线性临界速度v_c是评价机车运行稳定性的核心动力学指标，表征机车由稳定状态向不稳定蛇行运动转变的临界速度[16]。为保障行车安全，需确保v_c高于机车最高运行速度v_{max}，即满足$v_c>v_{max}$的约束条件。

2.2 平稳性指标

机车运行平稳性评价主要基于司机室振动加速度的加权统计分析，采用Sperling平稳性指标进行量化评估。该指标通过大量振动试验与理论分析确立，用于综合评价机车车辆的运行品质。在舒适性评价方面，Sperling平稳性指标的计算公式如式(1)所示。

$$W=3.57\sqrt[10]{\frac{A^3}{f}F(f)} \tag{1}$$

式中：f为振动频率；A为振动加速度幅值；$F(f)$为与振动频率相关的修正系数[17]。

横向和垂向平稳性等级划分如表3所示。

表3　机车平稳性等级

Table 3　Ride comfort classification of locomotives

等级	平稳性指标 W	评定
1级	$W\leqslant 2.75$	优
2级	$2.75 < W\leqslant 3.10$	良好
3级	$3.10 < W\leqslant 3.45$	合格

2.3　安全性指标

安全性指标主要包括如下项目：

① 脱轨系数。在恶劣线路条件下，尤其在曲线通过工况中，机车车辆面临较高的脱轨风险。脱轨系数是国际通用的运行安全性评估指标，定义为作用于车轮的横向力 Q 与垂向力 P 的比值（Q/P）。其临界值计算公式如式(2)所示。

$$\frac{Q}{P}=\frac{\tan\alpha-\mu}{1+\mu\tan\alpha} \tag{2}$$

式中：Q 和 P 分别为作用于车轮上的横向力和垂向力；α 为车轮的轮缘角；μ 为与轮缘接触的摩擦因数。

根据GB/T 5599—2019，机车在通过250 m≤R≤400 m（R为曲线半径）的曲线及侧向通过9#、12#道岔时，脱轨系数限值为0.9；在通过其他线路（R>400 m）时，对应的限值为0.8。

② 轮重减载率。轮重减载率定义为 $\Delta P_1/P_1$，其中 P_1 为左右轮重平均值，ΔP_1 为一侧车轮的轮重减载量。根据GB/T 5599—2019，试验速度 v≤160 km/h时，$\Delta P_1/P_1\leqslant 0.65$；$v$>160 km/h时，$\Delta P_1/P_1\leqslant 0.80$。

③ 轮轴横向力。轮轴横向力 H 用于评定车辆运行中横向力过大导致轨距扩宽或线路变形的风险，GB/T 5599—2019规定如式(3)所示。

$$H\leqslant 15+P_0/3 \tag{3}$$

式中：P_0 为静轴重，kN。

出口乌兹别克斯坦客运电力机车轴重24 t，轮轴横向力限值为93.48 kN。

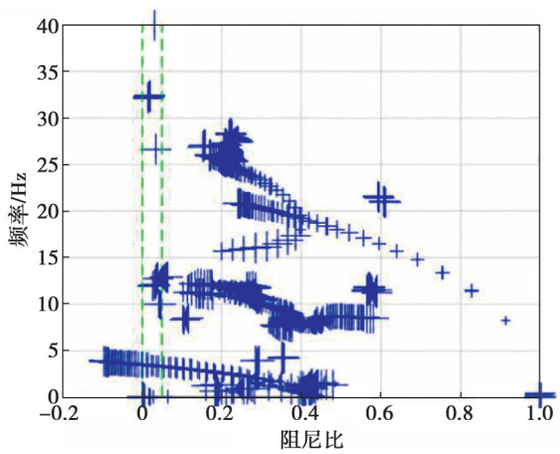
3　动力学性能计算

3.1　机车横向稳定性

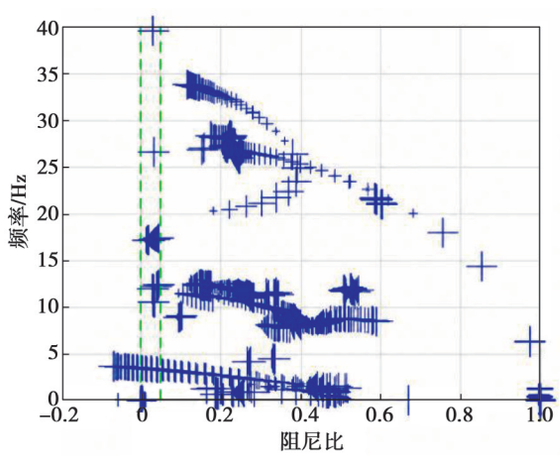
3.1.1　线性稳定性

车辆根轨迹分析基于线性化系统模型，将非线性刚度、一系轴箱自由间隙等非线性力元及轮轨接触几何进行等效线性化处理，通过数学模型快速求解系统特征根与特征向量，并借助计算机图形处理，分析车辆各刚体模态的振型、频率与阻尼比。以运行速度为变量绘制根轨迹曲线，用其反映车辆蛇行模态及其影响因素等关键信息。

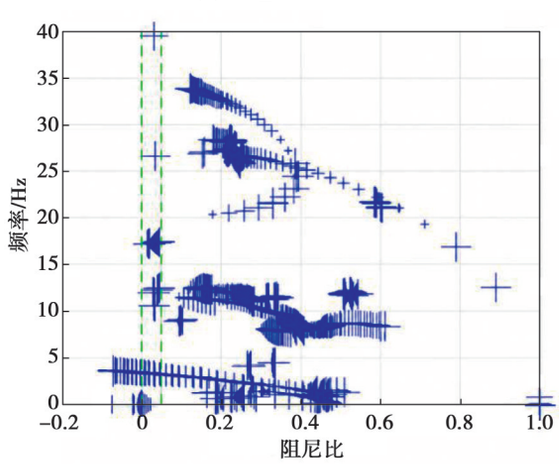
如图2所示，速度变化范围为10～400 km/h。图2中“+”表示不同运行速度下车辆刚体振动模态的频率和阻尼比，符号大小表示速度的高低。绿色虚线0是限值，0.05是安全裕度。结果表明，HXD3A对应的线性临界速度为280 km/h，UZ_1435和UZ_1520对应的线性临界速度分别为330 km/h和320 km/h。



(a) HXD3A机车



(b) UZ_1435机车



(c) UZ_1520机车

图2　3种机车变速度根轨迹

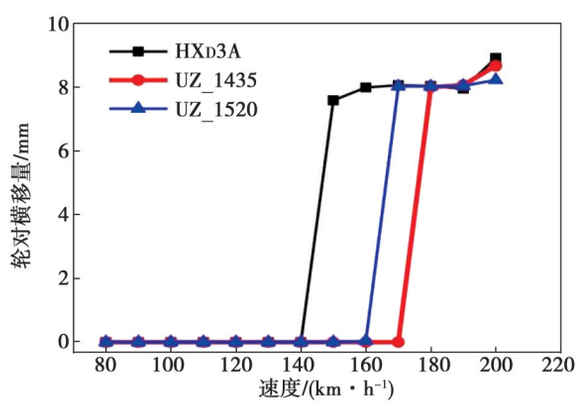
Fig. 2　Variable-speed root loci for three locomotive configurations

3.1.2　非线性稳定性

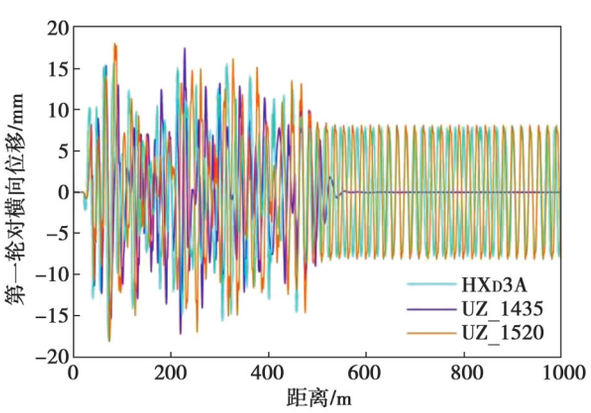
在非线性稳定性分析中，选取长度为500 m的轨

道，并以美国铁路协会（AAR）5级轨道不平顺时域谱为激励源。机车以目标运行速度通过该不平顺区段后，继续运行800 m无激扰直线路段，通过监测第一轮对横向位移的收敛或发散趋势来判定机车动力学稳定性的临界状态。横向位移收敛表明系统处于稳定运行状态；若位移持续发散，则表明目标速度已超过非线性临界速度，系统进入不稳定状态。

图3(a)清晰地展示了轮对横向位移随速度变化的演变规律：HXD3A机车最先在约150 km/h处由收敛突变为大幅极限环振荡，表明其临界速度最低；UZ_1520机车在约170 km/h处失稳，稳定性居中；而UZ_1435机车在170 km/h以内始终保持收敛，未出现失稳现象，表现出最优的稳定性裕度。图3(b)取170 km/h，其距离域波形直观验证了上述结论：该速度下，HXD3A与UZ_1520均已失稳，呈现持续、大幅的周期性横向振荡（极限环），而UZ_1435横向位移始终维持在极小范围内，波形收敛平稳，表明其具有最优的高速运行稳定性。



(a) 机车第一轮对横向位移极限环



(b) 170 km/h对应的轮对横移量

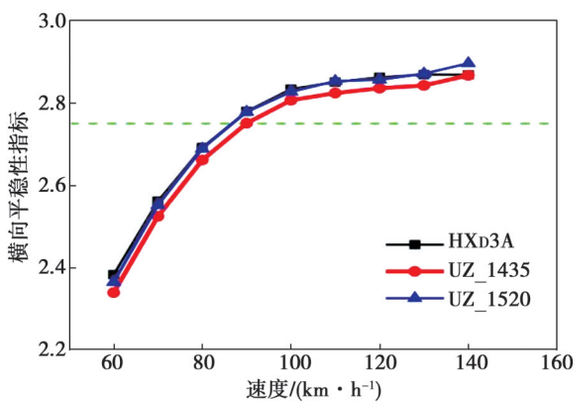
图3 第一轮对横向位移特性

Fig. 3 Lateral displacement characteristics of the first wheelset

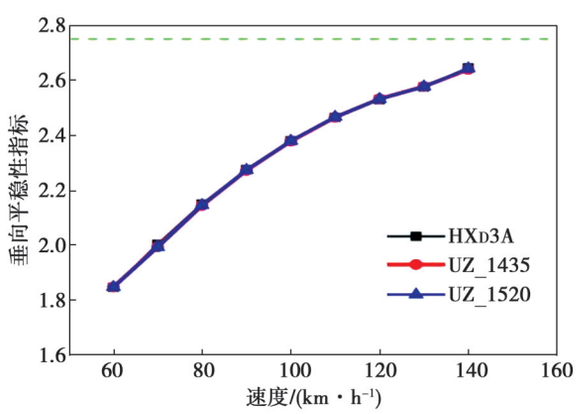
3.2 直线性能

为系统评估机车直线动力学性能，设定运行速度工况范围为60~140 km/h（步长10 km/h），轨道不平顺激励采用AAR 5级谱，运行距离设定为800 m，并提取机车四轴的横向平稳性指标、垂向平稳性指标、轮轴横向力、脱轨系数及轮重减载率进行量化分析。

图4为机车司机室平稳性指标。在AAR 5线路下，3种机车的垂向平稳性指标变化规律基本一致；而横向平稳性指标W_y均随速度增加而单调上升（60~140 km/h区间2.34~2.90），90 km/h及以下达优，100 km/h以上属良好。UZ_1435凭借较大的一系定位刚度全程保持最优，其W_y较HXD3A与UZ_1520偏低0.02~0.04；HXD3A因刚度较小而指标偏高，UZ_1520虽悬挂参数与UZ_1435相同，但宽轨距（1 520 mm）导致轮轨匹配恶化，高速时平稳性反而趋近甚至劣于刚度更低的HXD3A，140 km/h时W_y达2.90，为全工况最差。



(a) 横向



(b) 垂向

图4 司机室平稳性指标

Fig. 4 Sperling index of driver's cab

图5~图7分别为机车转向架端轴的轮轴横向力、脱轨系数及轮重减载率变化曲线。在AAR 5线路下，3种机车的上述指标均随速度升高而增大，高速段增幅尤为明显，但全工况均远低于安全限值。UZ_1435与UZ_1520凭借较大的一系定位刚度，横向安全性优于刚度偏低的HXD3A；140 km/h时，HXD3A的四轴轮轴横向力达46.3 kN，脱轨系数0.21，较UZ_1435和UZ_1520的模型分别高出12.5%和9.9%。UZ_1520的宽轨距相较于UZ_1435的标准轨距，并未导致安全性指标

出现明显劣化。

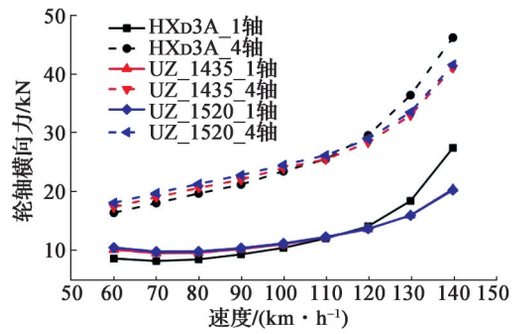


图5　轮轴横向力

Fig. 5　Lateral wheelset force

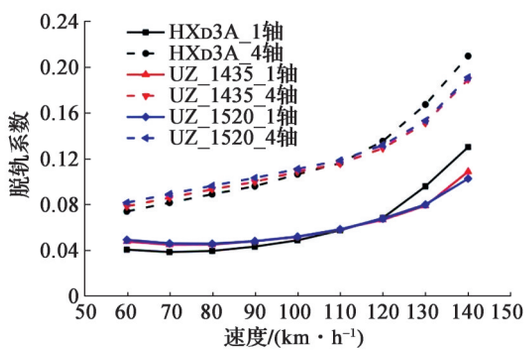


图6　脱轨系数

Fig. 6　Derailment coefficient

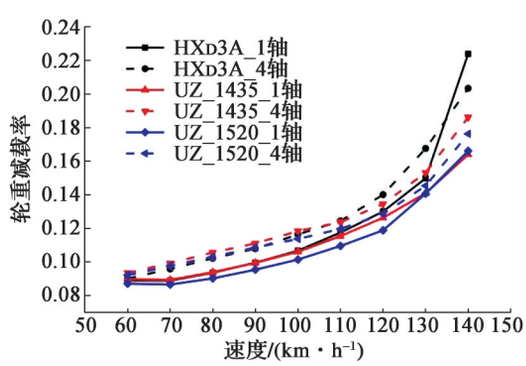


图7　轮重减载率

Fig. 7　Wheel load reduction rate

3.3　*R*300 m曲线通过性能

为评估机车曲线通过性能，研究团队开展动力学仿真分析。设定曲线半径*R*为300 m（典型小半径曲线），超高为100 mm。线路由直线—缓和曲线—圆曲线—缓和曲线—直线组成，具体为：20 m直线+50 m缓和曲线+100 m圆曲线+50 m缓和曲线+40 m直线。机车以70 km/h匀速通过该曲线，采用数值积分法进行动力学计算。轨道不平顺采用AAR 4级谱，该谱适用于较差线路条件，以模拟小半径曲线区段的恶劣轨道状态。为进一步评估线路劣化对安全性的影响，将轨道不平顺幅值分别放大1.1倍和1.2倍进行对比分析。提取四轴的轮轴横向力、脱轨系数及轮重减载率，相关分析结果如图8~图10所示。

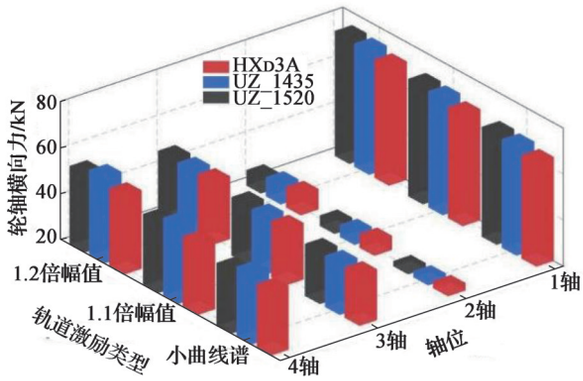


图8　轮轴横向力(曲线)

Fig. 8　Lateral wheelset force (curve)

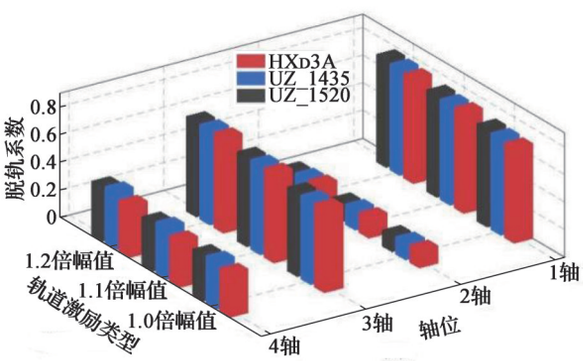


图9　脱轨系数(曲线)

Fig. 9　Derailment coefficient (curve)

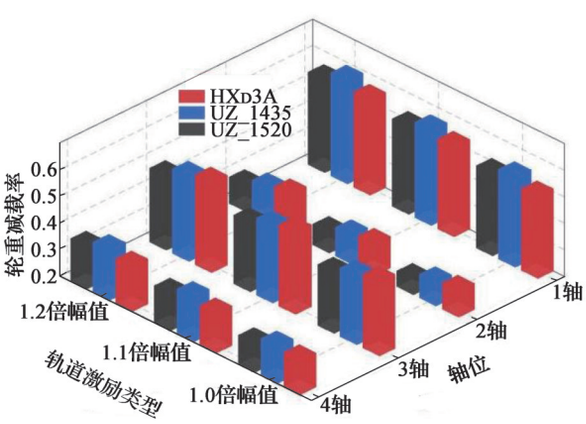


图10　轮重减载率(曲线)

Fig. 10　Wheel load reduction rate (curve)

在*R*300 m曲线半径、70 km/h速度工况下，3种机车模型的轮轴横向力、脱轨系数和轮重减载率均未超过安全限值。HXD3A机车因采用较小的一系定位刚度，小半径曲线通过性能略优：相比UZ_1435，其1轴轮轴横向力最大降低约3.0%，脱轨系数降低约1.4%，轮重减载率降低约5.6%。宽轨距模型相较于标准轨距模型，轮轴横向力和脱轨系数略有增大（以1.2倍不平顺幅值下1轴为例，增幅分别约1.0%和1.3%），但轮重减载率有所改善（1轴减载率由0.59降至0.55，降幅约6.8%）。当轨道不平顺幅值增至1.1倍和1.2倍时，各模型脱轨

系数和轮重减载率的相对增幅分别控制在5%和10%以内，显示出充足的安全裕度。

4 结论

研究表明，增大一系定位刚度可提升机车的横向稳定性。乌车标准轨距模型（UZ_1435）相较于HXD3A增大了一系定位刚度，其非线性临界速度和线性临界速度分别提升约30 km/h和50 km/h；但若悬挂参数不变，仅将轨距参数加宽至1 520 mm，会因轮轨接触几何改变及横向等效刚度减弱，导致UZ_1520机车的线性和非线性临界速度相较于UZ_1435机车均下降10 km/h。因此，宽轨机车的设计不能盲目沿用标准轨参数，建议基于宽轨轮轨接触关系，有针对性地提高一系定位刚度，以弥补轨距加宽带来的稳定性衰减。

在司机室平稳性方面，UZ_1520与HXD3A机车处于相近水平，而UZ_1435则表现略优。在小半径曲线通过工况下，轨距的加宽使得机车的横向动力学响应略有增大，即轮轴横向力与脱轨系数均增大；然而，垂向受力状态有一定改善，轮重减载率指标略有降低。

参考文献：

[1] 王开云, 翟婉明, 蔡成标. 机车-轨道空间耦合动力学模型及其验证[J]. 铁道学报, 2002, 24(4): 21-27.
Wang Kaiyun, Zhai Wanming, Cai Chengbiao. The model of locomotive-track spatially coupled dynamics and its verification[J]. Journal of the China Railway Society, 2002, 24 (4): 21-27.

[2] 黄明惠, 刘文俊, 张江田. 出口白俄罗斯六轴宽轨电力机车车体系统[J]. 铁道机车车辆, 2017, 37(2): 47-49.
Huang Minghui, Liu Wenjun, Zhang Jiangtian. Carbody system of 6-axles broad-gauge electric locomotive exported to Belarus[J]. Railway Locomotive & Car, 2017, 37(2): 47-49.

[3] Liu Pengfei, Wei Kai, Wang Kaiyun, et al. Testing of modified primary stiffness for heavy-haul locomotives operating on sharper-radius curves[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-body Dynamics, 2019, 233, (3): 531-548.

[4] 杜建华. 机车悬挂参数对不同轴重大功率机车动力学性能的影响[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
Du Jianhua. The impact of suspension parameters on the dynamic performance of high-power locomotives with different axle load[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2011.

[5] 李鹏. 宽轨机车悬挂参数匹配关系对横向动力学特性的影响[D]. 太原: 太原科技大学, 2023.
Li Peng. Influence of matching relationship between suspension parameters of wide gauge locomotives on lateral dynamics characteristics[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Science and Technology, 2023.

[6] 徐文锐, 于佳田, 杨鹤庭, 等. 某型电力机车动力学仿真分析[J]. 机械研究与应用, 2024, 37(4): 105-108.
Xu Wenrui, Yu Jiatian, Yang Heting, et al. Dynamic simulation analysis of a certain type of electric locomotive[J]. Mechanical Research & Application, 2024, 37(4): 105-108.

[7] 黄凌雄, 史青录, 梁永刚, 等. 六轴宽轨机车动力学特性研究[J]. 太原科技大学学报, 2024, 45(2): 166-171.
Huang Lingxiong, Shi Qinglu, Liang Yonggang, et al. Study on dynamic characteristics of six-axle wide-gauge locomotives[J]. Journal of Taiyuan University of Science and Technology, 2024, 45(2): 166-171.

[8] 崔潇, 刘派, 柳占宇, 等. 基于GOST标准的宽轨货运机车动力学性能研究[J]. 铁道机车车辆, 2025, 45(5): 165-170.
Cui Xiao, Liu Pai, Liu Zhanyu, et al. Study on dynamic performance of wide gauge freight locomotive based on GOST standard[J]. Railway Locomotive & Car, 2025, 45(5): 165-170.

[9] 韩磊. 基于柔性构架的某型宽轨电力机车整车动力学特性研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2023.
Han Lei. Research on the dynamic characteristics of a certain type of wide-gauge electric locomotive based on flexible architecture[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Science and Technology, 2023.

[10] 丁雪萍, 李冠军, 宋昊, 等. 宽轨机车运输转向架设计及动力学性能分析[J]. 机车电传动, 2012(5): 30-33.
Ding Xueping, Li Guanjun, Song Hao, et al. Design of broad gauge locomotive transporter bogie and its dynamics analysis[J]. Electric Drive for Locomotives, 2012(5): 30-33.

[11] 梁俊杰, 史青录, 李幸人, 等. 六轴宽轨机车垂向动力学特性研究[J]. 工程机械, 2021, 52(7): 20-26.
Liang Junjie, Shi Qinglu, Li Xingren, et al. Research on vertical dynamic characteristics of six-axle wide-gauge locomotive[J]. Construction Machinery and Equipment, 2021, 52 (7): 20-26.

[12] 高贤波. 某型出口宽轨货运机车动力学性能及参数优化研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2021.
Gao Xianbo. Research on dynamic performance and parameters optimization of an export broad-gauge freight locomotive[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2021.

[13] 刘员佑. 双机重联六轴宽轨电力机车—道岔耦合动力学性能研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2025.
Liu Yuanyou. Study on coupling dynamic performance of dual-motor six-axle wide-rail electric locomotive-turnout [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Science and Technology, 2025.

[14] 丁西涛. 小半径曲线段宽轨机车动力学特性及安全运行限值研究[D]. 长沙: 中南大学, 2024.
Ding Xitao. Study on dynamic characteristics and safe operation limit of broad-gauge locomotive negotiating small radius curve[D]. Changsha: Central South University, 2024.

[15] 刘友梅. 韶山3型4000系电力机车[M]. 北京: 中国铁道出

版社, 1996.
Liu Youmei. Shaoshan type 3 4000-series electric locomotive[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1996.
[16] 沙永龙 . HXD2C 型电力机车车轮磨耗问题研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2020.
Sha Yonglong. Research on wheel wear of HXD2C electric locomotive[D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2020.
[17] GB/T 5599—2019　机车车辆动力学性能评定及试验鉴定规范[S].
GB/T 5599—2019　Specification for dynamic performance assessment and testing verification of rolling stock[S].

Study on dynamic performance of locomotives based on the HXD3 platform

LIN Jingdong[1], YOU Xinyu[2], MA Qun[3], YAO Yuan[3], YANG Shoujun[1]

(1. Locomotive R&D Department, CRRC Dalian Co., Ltd., Dalian, Liaoning 116022, China;
2. Locomotive Branch, CHN Energy Xinshuo Railway Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia 017004, China;
3. State Key Laboratory of Rail Transit Vehicle System, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: A study was conducted on broad-gauge locomotives based on the HXD3 platform for export to Uzbekistan (UZ), to investigate the effects of track gauge widening and suspension parameter adjustments on locomotive dynamic performance. Four-axle locomotive models were established in three configurations: a standard-gauge HXD3A model, a standard-gauge UZ locomotive model, and a broad-gauge UZ locomotive model, with the primary differences among them lying in the primary suspension positioning stiffness and the track gauge. Based on GB/T 5599—2019, a comparative analysis was performed on these three models, focusing on nonlinear critical speed, straight-line ride comfort, and curve negotiation safety. The results indicate that, relative to the standard-gauge HXD3A model, the standard-gauge UZ locomotive model exhibits a 30 km/h increase in the nonlinear critical speed due to the increased primary suspension positioning stiffness. In contrast, the broad-gauge UZ locomotive model yields a decrease from 170 km/h to 160 km/h compared to the standard-gauge UZ locomotive model, as track gauge broadening reduces the critical speed. The broad-gauge UZ locomotive model and the standard-gauge HXD3A model are essentially equivalent in terms of lateral ride comfort in the driver's cab, and both are slightly inferior to the standard-gauge UZ locomotive model in this aspect. In curve negotiation conditions, the broad-gauge configuration results in greater lateral wheelset force and a higher derailment coefficient than the standard-gauge configurations, but improves the wheel load reduction rate.

Keywords: broad-gauge locomotive; dynamic performance; critical speed; ride comfort; curve negotiation

收稿日期：2025-11-08；修回日期：2026-07-02
责任编辑：钟　锋