



弹性架悬永磁直驱机车动力学性能与优化

乔金闯¹, 贺兴², 王志明², 姚远¹

(1. 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;

2. 中车株洲电力机车有限公司 研发中心, 湖南 株洲 412001)

摘要: 为研究采用弹性架悬永磁直驱转向架的六轴货运电力机车的动力学性能, 文章采用 Simpack 软件进行机车动力学仿真计算, 分析架悬直驱机车的横向稳定性、直线运行性能和曲线通过安全性, 并与采用传统的电机抱轴悬挂齿轮传动的机车进行对比。对比结果显示, 除小曲线导向轮对轮缘与踏面磨耗性能有所改善外, 架悬直驱机车的横向动力学性能相对于齿轮传动机车并无明显优势, 尤其在直线段运行时。其原因是架悬直驱转向架的簧间质量与摇头惯量较大, 从而导致机车横向稳定性不足, 文章因此提出了加装抗蛇行减振器的改进方案。计算结果表明, 改进方案有效提高了机车直线运行工况的横向动力学性能, 性能指标与齿轮传动机车相当。

关键词: 永磁直驱; 弹性架悬; 转向架; 机车; 动力学性能; 仿真

中图分类号: U260.11

文献标志码: A

文章编号: 1000-128X(2025)01-0083-08

0 引言

近年来永磁同步电机直驱技术在国内机车上得到了快速的发展与应用, 相比于传统的通过齿轮啮合传动方式, 永磁同步电机直驱技术取消了齿轮箱与齿轮传动, 具有结构简单、传动效率高、易于维护和噪声低等优点。此外, 其驱动装置占用转向架纵向空间小, 有助于缩短轴距, 提高机车曲线通过性能^[1-4]。文献[5-7]总结了轨道车辆永磁直驱技术的发展现状与结构特点, 分析了永磁直驱转向架及其驱动电机的设计优化、控制技术与应用案例, 讨论了技术难点与解决方案, 并展望了永磁直驱技术在轨道车辆领域未来的发展趋势与前景。文献[8]研究了不同悬挂模式下永磁同步直驱电机对轨道交通车辆轮轨垂向作用力的影响, 通过建立非线性有限元分析模型, 分析了架悬直驱和轴悬直驱两种模式在不同运行速度下的优劣。文献[9]研究了架悬式永磁直驱转向架的动力学性能, 介绍了转向架的技术方案和结构特点, 分析了电机吊挂参数对车辆动力学性能的影响, 并通过仿真和试验验证了架悬

式永磁转向架的动力学性能符合标准要求。文献[10]研究了车轮多边形对永磁直驱机车动态特性的影响, 建立了永磁直驱机车系统动力学模型, 分析了车轮多边形阶数、波深和相位对机车振动特性的影响, 并提出了车轮多边形磨耗对永磁直驱机车运行安全的建议。

国内永磁直驱技术已经在城轨和地铁车辆中实现商业运营, 但在货运机车中的应用相对较少^[11-13]。某型六轴永磁直驱货运电力机车由中车株洲电力机车有限公司研制, 采用了弹性架悬永磁直驱转向架。架悬直驱转向架与传统的电机抱轴齿轮传动转向架在结构上存在显著差异, 驱动系统悬挂方式的改变影响了机车重量的分配, 相对齿轮传动机车, 架悬式永磁直驱机车的簧下质量显著减小, 但是簧间质量与惯量明显增大, 从而对机车动力学性能产生较大的影响, 因此在动力学性能方面需要进行深入的研究和关注。本文将针对该型号六轴永磁直驱货运电力机车进行动力学仿真计算, 并以相同的轴重和相同速度等级的电机抱轴悬挂齿轮传动机车作为参照进行对比分析。针对架悬永磁直驱机车横向稳定性不足带来的机车动力学性能较差的问题, 本文提出加装抗蛇行减振器的改进方案,

基金项目: 国家自然科学基金项目 (52372403); 中国国家铁路集团有限公司科研开发计划课题 (N2023J071); 轨道交通运载系统全国重点实验室自主研究课题(2022TPL-T02)

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与车辆系统动力学方面的研究; E-mail: yyuan8848@163.com

引用格式: 乔金闯, 贺兴, 王志明, 等. 弹性架悬永磁直驱机车动力学性能与优化[J]. 机车电传动, 2025(1): 83-90.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.01.105.

Citation: QIAO Jinchuang, HE Xing, WANG Zhiming, et al. Dynamic performance and optimization of locomotives with elastic suspension on bogie frames and permanent magnet direct drive[J]. Electric drive for locomotives, 2025(1): 83-90.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.01.105.

并论证了其可行性。

1 架悬式永磁直驱机车及其建模

1.1 转向架结构及主要参数

架悬永磁直驱机车转向架总体结构如图1所示，为C₀轴式。一系悬挂采用双螺旋钢弹簧、单轴箱拉杆方式，端轴配有一系垂向减振器。二系悬挂采用高挠钢弹簧，转向架每侧布置3个圆弹簧，二系横向减振器靠近构架端梁布置。牵引装置采用朝向车体中部布置的端梁斜拉杆。永磁直驱电机采用弹性悬挂方式，通过一侧的橡胶节点与另一侧的2个吊杆悬挂于构架下方，并在摆杆一侧安装电机横向减振器。电机转矩通过空心轴膜片联轴器直接驱动轮对，膜片联轴器空心轴一端通过传力盘与转子连接，另一端的传动盘上设置有传动销，传动销压装在主动车轮的辐板上。联轴器在轮周方向具有大扭转刚度，而在其他运动方向约束刚度小，允许偏转和横移运动，图2为轮对驱动装置三维结构。

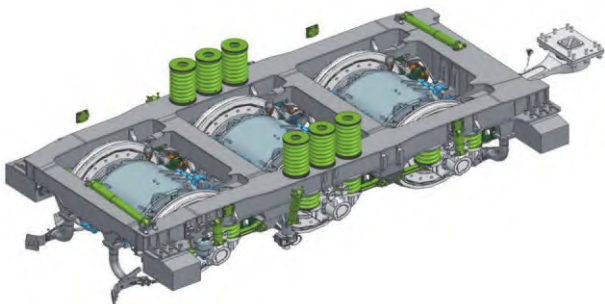


图1 架悬直驱机车转向架总体布置
Fig. 1 Overall layout of bogie for locomotive with frame suspension and direct drive

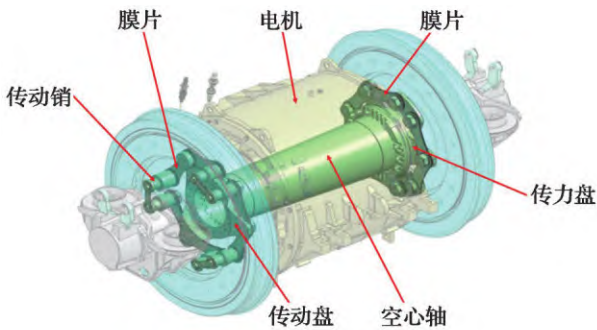


图2 永磁直驱传动结构
Fig. 2 Permanent magnet direct drive structure

作为对比的齿轮传动机车，电机采用抱轴悬挂，一侧通过抱轴箱直接支承在车轴上，另一侧通过摆杆悬挂在构架的横梁下方，电机力矩通过齿轮啮合驱动机车轮对。2种机车主要结构参数如表1所示。

1.2 机车动力学模型

根据某型六轴永磁直驱货运电力机车结构参数，利用Simpack软件建立了相应的动力学模型，如图3所示。模型由刚体、铰接、力元和约束等元素构成，其中刚体包括1个车体、2个构架、6个轮对、6台电机、2个牵引拉杆、6个联轴器。架悬永磁直驱机车采用朝向车体中部布置的端梁斜拉杆，车辆的一系悬挂系统位于轮对和转向架构架之间，由轴箱弹簧、一系垂向减振器和轴箱拉杆组成。二系悬挂布置于转向架构架与车体之间，主要由横向减振器、垂向减振器和高挠螺旋钢弹簧组成。

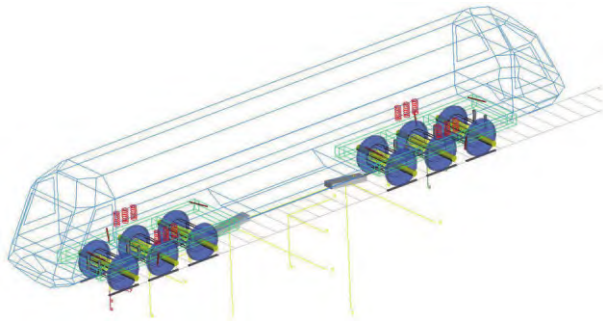


图3 永磁直驱机车动力学模型
Fig. 3 Dynamical model of locomotive with permanent magnet direct drive

车体、构架、轮对、电机各自具有6个自由度，联轴器相对于轮对有横移、摇头和侧滚3个自由度，牵引拉杆相对于车体有点头和摇头2个自由度，整个模型共有112个自由度。在机车动力学模型中，减振器均采用刚度和阻尼串联的Maxwell模型。轮轨接触考虑了图4所示的新轮（等效锥度0.1）和磨耗轮（等效锥度0.5）两种车轮踏面，轨道廓形为中国标准60 kg/m钢轨，轨道不平顺采用德国高干扰线路谱。

2 机车动力学分析

2.1 横向稳定性

横向稳定性是机车动力学分析的重要部分，对于

表1 机车主要参数

Table 1 Main parameters of locomotive

传动方式	轴重/t	速度/(km·h ⁻¹)	车体质量/t	转向架质量/t	簧下质量/kg
架悬直驱	25	120	92	29	3 270
齿轮传动	25	120	92	29	5 206
传动方式	转向架簧间质量/kg	车辆定距/m	转向架轴距/m	转向架簧间摇头惯量/(kg·m ²)	
架悬直驱	18 540	11.75	1.70-1.70	54 873	
齿轮传动	12 115	11.75	2.25-2.00	48 045	

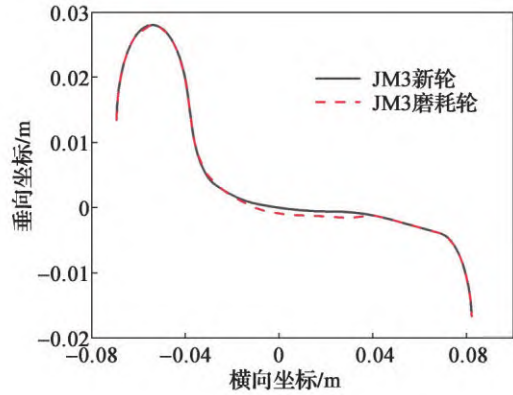


图 4 2 种车轮踏面的轮廓曲线
Fig. 4 Profiles for two types of wheel treads

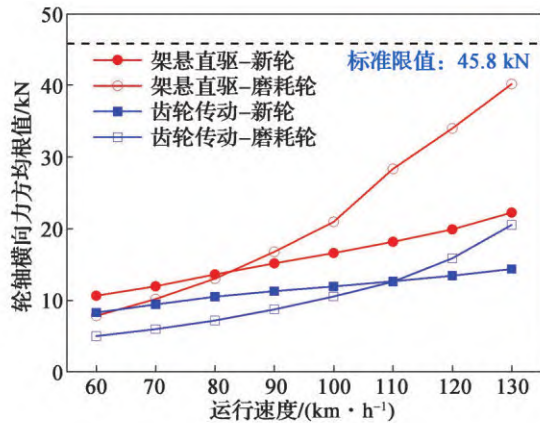
架悬直驱机车, 由于转向架重量分配的改变, 因此尤其关注其对机车横向稳定性的影响。本文分别采用欧标和极限环两种评判方法对机车横向稳定性进行评判。参考 EN 14363:2016 标准^[14], 在仿真计算中提取机车轮轴横向力和轴箱上方位置的构架横向加速度, 并对这些数据进行 0.5~10 Hz 带通滤波, 然后使用滑移方均根窗口 (窗口长度为 100 m, 步长为 10 m) 计算轮轴横向力和构架加速度方均根值, 最后提取这些方均根的最大值并与限值进行比对, 该标准中轮轴横向力方均根值 H_{rms} 和构架横向加速度方均根值 $\ddot{y}_{\text{rms}}$ 的限值计算公式为:

$$H_{\text{rms}} = \frac{10 + P_0 \cdot g/3}{2} \quad (1)$$

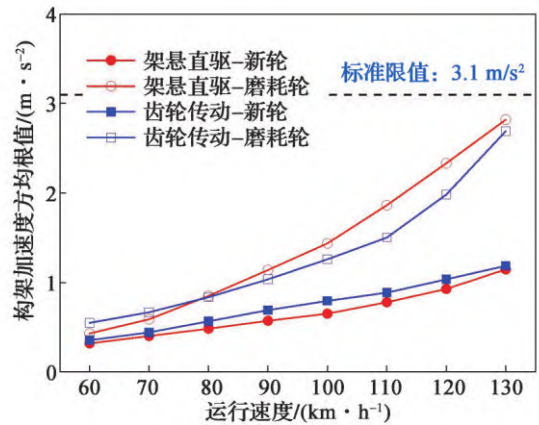
$$\ddot{y}_{\text{rms}} = \frac{12 - \frac{m^+}{5}}{2} \quad (2)$$

式中: P_0 为静轴重, t; g 为重力加速度, m/s^2 ; m^+ 为转向架质量, t。

代入表 1 所示的机车参数, 经计算可得轮轴横向力限值 H_{rms} 为 45.8 kN, 构架加速度限值 $\ddot{y}_{\text{rms}}$ 为 3.1 m/s^2 。图 5 为不同速度对应的机车轮轴横向力和构架端部加速度方均根值。由图 5 可知, 在整个计算速度范围内, 虽然架悬直驱机车的轮轴横向力和构架加速度均未超出标准, 但与齿轮传动车相比, 其横向稳定性较差, 尤其在磨耗轮工况, 机车轮轴横向力的方均根最大值已经接近标准限值。



(a) 轮轴横向力方均根最大值



(b) 构架加速度方均根最大值

图 5 基于欧标的机车横向稳定性分析
Fig. 5 Lateral stability analysis of locomotives based on European standards

此外, 采用极限环法判定机车非线性临界速度。截取一段高干扰线路不平顺作为激励, 机车以一定速度通过不平顺线路后, 在光滑直线轨道上继续运行, 通过考察各刚体位移的收敛和发散情况来判断其稳定性。本文取光滑轨道 100 m 位置计算第一轮对的最大横移幅值, 幅值突然增加所对应的速度为非线性临界速度, 如图 6 所示。由图 6 可知, 架悬直驱机车在新轮和磨耗轮工况下的临界速度相近, 新轮工况的机车临界速度为 260 km/h, 磨耗轮工况的机车临界速度为 270 km/h; 对于齿轮传动车, 新轮工况的机车临界速度大于 360 km/h, 磨耗轮工况的机车临界速度为 160 km/h。2 种机车在新轮和磨耗轮工况下的临界速度均高于其最高运行速度, 满足安全要求。

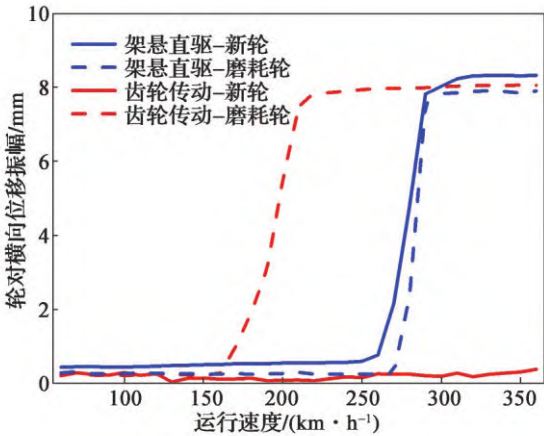


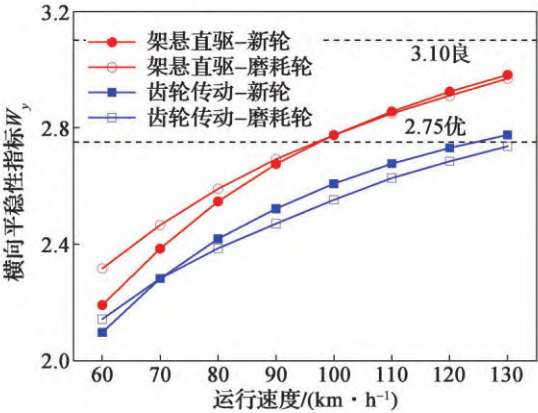
图 6 机车临界速度极限环

Fig. 6 Critical speed limit cycle of locomotive

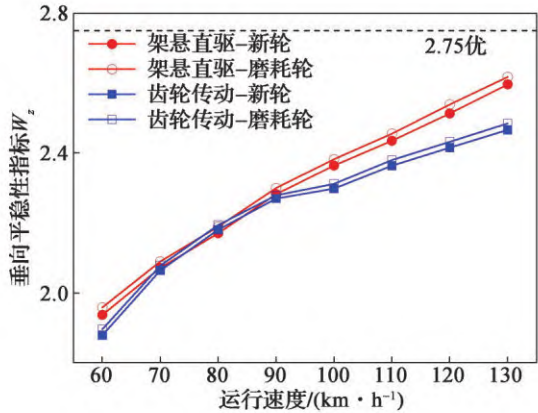
2.2 直线运行性能

参考 GB/T 5599—2019《机车车辆动力学性能评定及试验鉴定规范》对机车直线运行性能进行比较分析, 计算速度范围为 60~130 km/h, 速度间隔为 10 km/h。图 7 为不同轮对工况下 2 种机车的横向和垂向平稳性指

标^[15]，图8和图9分别为不同轮对工况下2种机车的轮轴横向力和轮轨垂向力。仿真结果表明：①在仿真计算的速度范围内，架悬直驱机车横向平稳性劣于齿轮传动车；当机车速度低于90 km/h时，两者垂向平稳性相当，高速工况齿轮传动车同样具有一定的优势。②架悬直驱机车轮轴横向力情况劣于齿轮传动车，尤其当速度高于100 km/h时，磨耗轮工况的架悬直驱机车轮轴横向力急剧增大，这表明机车横向稳定性严重不足。③相对于齿轮传动车，在直线工况下，架悬直驱机车在计算速度范围内其轮轨垂向力增大大约6 kN。



(a) 横向平稳性指标



(b) 垂向平稳性指标

图7 机车平稳性指标对比

Fig. 7 Riding index of locomotive

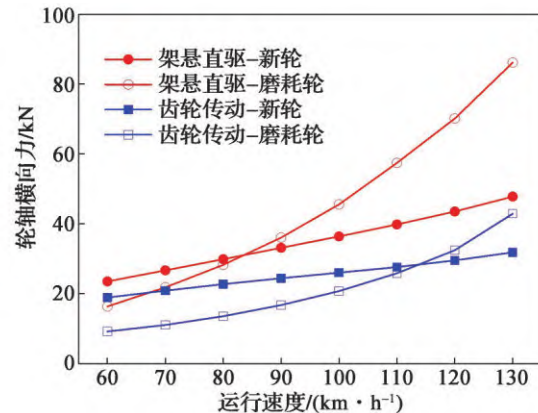


图8 轮轴横向力

Fig. 8 Wheelset lateral force

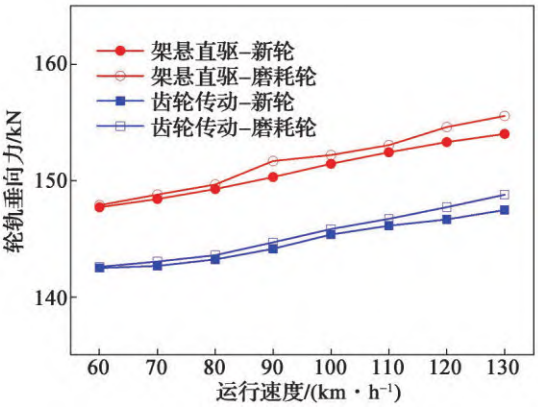
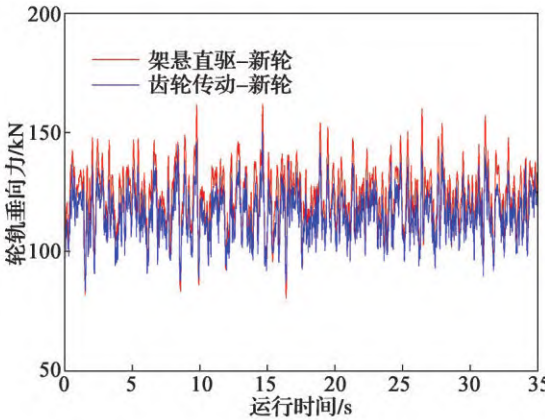


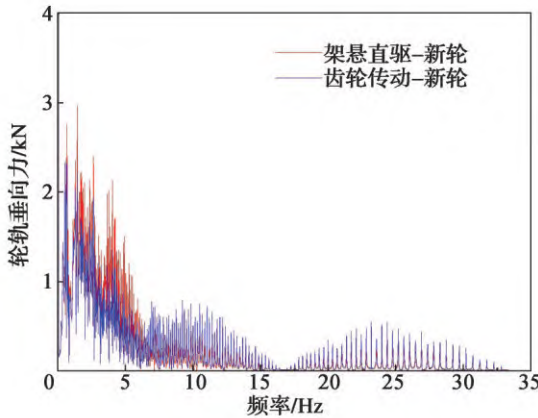
图9 轮轨垂向力对比

Fig. 9 Wheel-rail vertical force

图10(a)为处于新轮工况、速度120 km/h时的2种机车轮轨垂向力时域响应图，对时域结果进行快速傅里叶变换（FFT），得到2种机车轮轨垂向力的频谱曲线，如图10(b)所示。由图10(b)可知，当频率不超过7 Hz时，架悬直驱机车的轮轨垂向作用力幅值大于齿轮传动车，并且当频率处于7~33 Hz内时，齿轮传动车的轮轨垂向作用力幅值更大。虽然架悬直驱机车簧下质量小于抱轴齿轮传动车，在轮轨高频振动中表现出一定优势，但是直驱机车较大的簧间质量导



(a) 轮轨垂向力时域响应



(b) 轮轨垂向力频域响应

图10 120 km/h轮轨垂向力对比

Fig. 10 Wheel-rail vertical force at 120 km/h

致其在低频范围内的参振质量较大, 并且轮轨垂向低频动作力的占比更高, 从而导致产生较大的垂向动态载荷。

2.3 曲线通过性能

参考 TB 10098—2017《铁路线路设计规范》^[16], 选取曲线半径分别为 300 m、800 m 的较大欠超高条件为计算工况, 曲线通过计算工况设置如表 2 所示。同时, 计算架悬直驱和齿轮传动机车在上述曲线工况的通过安全性能指标, 计算结果如表 3 所示。

表 2 曲线通过计算工况

Table 2 Calculation condition of curve negotiation		
参数名称	曲线半径 R=300 m	曲线半径 R=800 m
缓和曲线长度/m	73	80
圆曲线长度/m	150	150
外轨超高/mm	110	120
欠超高/mm	110	100
超高顺坡/‰	1.5	1.5
通过速度/(km·h ⁻¹)	75	122
轨道不平顺	高干扰	高干扰

表 3 曲线通过性能指标计算结果

工况		轮轴横向力/kN		轮轨垂向力/kN		脱轨系数		轮重减载率		轮缘磨耗指数/(kN·°)		车轮磨耗数/N			
		新轮	磨耗轮	新轮	磨耗轮	新轮	磨耗轮	新轮	磨耗轮	新轮	磨耗轮	新轮 (左轮)	新轮 (右轮)	磨耗轮 (左轮)	磨耗轮 (右轮)
R=300 m	架悬直驱	69.25	65.66	187.51	186.79	0.56	0.54	0.54	0.53	57.50	52.92	826.03	333.39	871.89	324.24
	齿轮传动	61.14	53.79	175.10	173.17	0.54	0.51	0.51	0.49	60.03	53.63	936.98	362.97	987.10	356.39
R=800 m	架悬直驱	53.31	48.57	182.76	184.88	0.49	0.42	0.49	0.50	18.63	16.13	196.04	124.39	217.11	151.07
	齿轮传动	42.24	40.76	168.66	170.35	0.47	0.42	0.45	0.45	18.63	16.01	258.25	161.49	262.31	185.26

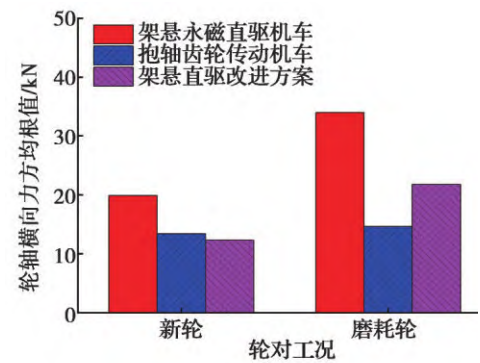
由表 2 和表 3 可知, 在 2 种曲线通过工况下, 无论机车是处于新轮工况还是处于磨耗轮工况, 架悬永磁直驱机车相比齿轮传动机车, 除轮缘磨耗指数和车轮磨耗数有所降低外 (轮缘磨耗指数最大降低 4.2%, 车轮磨耗数最大降低 24.1%), 导向轮对轮轴横向力、轮轨垂向力、脱轨系数、轮重减载率均高于齿轮传动机车。

3 架悬直驱机车改进方案

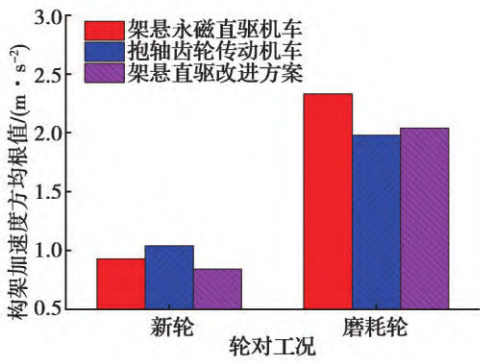
动力学仿真计算表明, 相比于齿轮传动机车, 除在小曲线导向轮磨耗性能有所改善以外, 架悬永磁直驱机车的横向动力学性能并无明显优势, 尤其在直线工况。经分析, 其原因为架悬直驱机车转向架较大的簧间惯量导致机车横向稳定性不足。为解决这一问题, 本文提出针对直驱转向架加装抗蛇行减振器的改进方案, 计算采用的抗蛇行减振器阻尼为 1 000 kN·s/m, 节点刚度为 24 kN/mm。图 11~图 16 为安装抗蛇行减振器后的架悬直驱机车的对比计算结果。

由图 11~图 14 可知: ①改进方案可显著提升架悬直驱机车的横向稳定性, 机车轮轴横向力和构架加速度明显降低。在新轮工况、速度为 120 km/h 的条件下, 架悬直驱机车的轮轴横向力的方均根值比原模型下降了 38.2%, 构架加速度方均根值下降了 9.7%; 在磨耗轮工况、速度为 120 km/h 的条件下, 轮轴横向力方均根值下降了 35.8%, 构架加速度方均根值下降了 12.4%; 在新轮工况下, 改进方案的横向稳定性与齿轮传动机车相当。②改进后的架悬直驱机车直线运行横向动力学性能

明显改善。在新轮工况、速度为 120 km/h 条件下, 横向平稳性指标较原模型下降 2.6%, 轮轴横向力下降 41.2%; 在磨耗轮工况、速度为 120 km/h 条件下, 横向平稳性指标下降 2.3%, 轮轴横向力下降 39.2%。



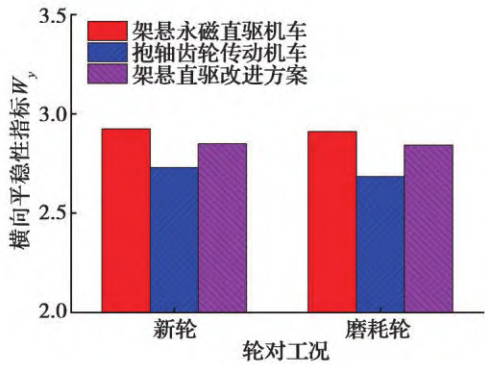
(a) 轮轴横向力方均根



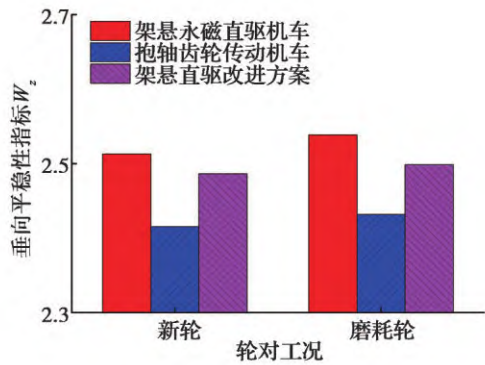
(b) 构架加速度方均根

图 11 120 km/h 机车稳定性对比

Fig. 11 Stability of locomotive at 120 km/h



(a) 横向平稳性指标



(b) 垂向平稳性指标

图 12 120 km/h 机车平稳性对比

Fig. 12 Running performance of locomotive at 120 km/h

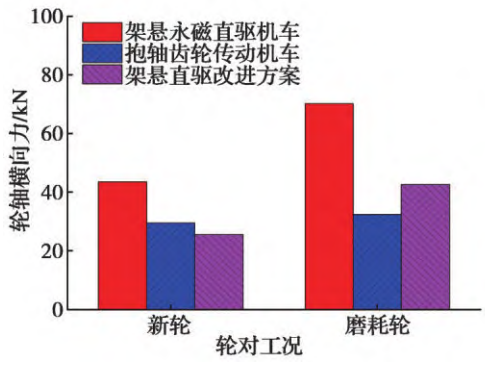


图 13 120 km/h 机车轮轴横向力对比

Fig. 13 Wheelset lateral force at 120 km/h

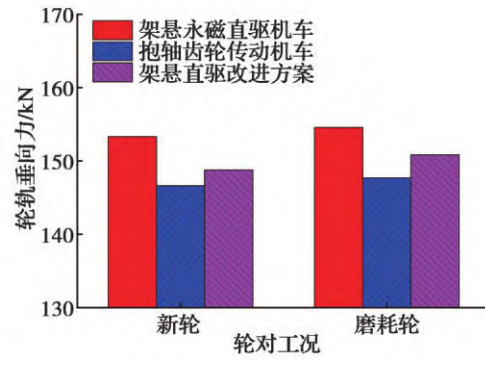
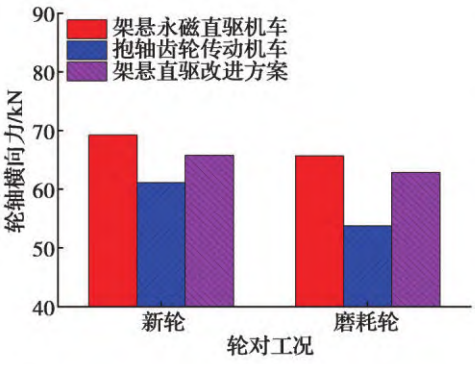
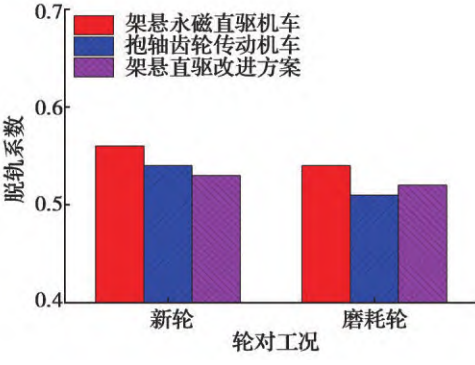


图 14 120 km/h 机车轮轨垂向力对比

Fig. 14 Wheel-rail vertical force of locomotive at 120 km/h



(a) 轮轴横向力

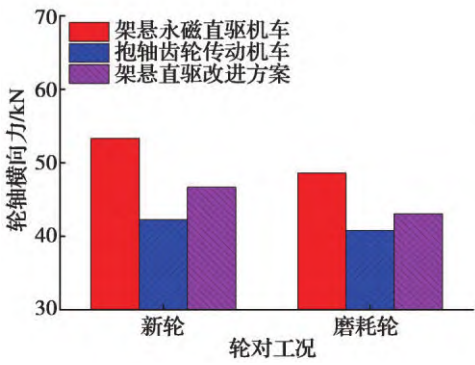


(b) 脱轨系数

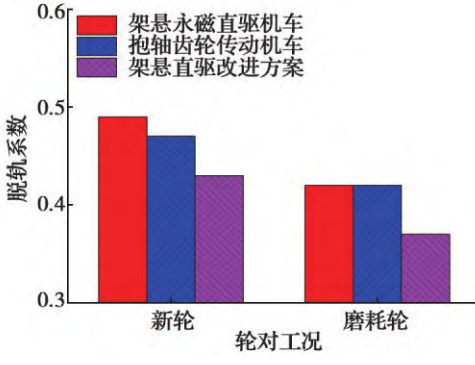
图 15 机车曲线通过性能对比(R=300 m)

Fig. 15 Curve negotiation performance of locomotive

(R=300 m)



(a) 轮轴横向力



(b) 脱轨系数

图 16 机车曲线通过性能对比(R=800 m)

Fig. 16 Curve negotiation performance of locomotive

(R=800 m)

由图15和图16可知, 加装抗蛇行减振器同样提升了架悬永磁直驱机车的曲线通过性能。在曲线半径为800 m的工况下, 新轮的轮轴横向力指标比原模型下降12.5%, 脱轨系数下降12.2%; 磨耗轮的轮轴横向力下降11.4%, 脱轨系数下降11.9%。在小曲线半径300 m的工况下, 改进方案的轮轴横向力指标和脱轨系数也均有改善。在新轮工况下, 改进方案的曲线通过性能与齿轮机车相当, 特别是改进方案的脱轨系数指标在多个工况下均优于齿轮传动机车。

4 结论

为研究某型采用弹性架悬永磁直驱转向架的六轴货运电力机车的动力学性能, 本文基于机车横向稳定性、直线运行性能和曲线通过安全性, 利用Simpack软件进行机车动力学仿真计算, 并与传统的电机抱轴悬挂齿轮传动的机车进行对比, 得出以下结论:

①由于转向架重量的重新分配, 架悬直驱机车相比齿轮传动机车存在较大的簧间质量与摇头惯量, 横向稳定性不足导致机车横向动力学性能较差, 尤其是磨耗轮工况的机车轮轴横向力, 该轮轴横向力接近标准限值, 通过加装抗蛇行减振器机车横向动力学性能得到了显著提升, 直线工况的横向动力学性能指标与齿轮传动机车基本相当。

②对于直线工况的架悬直驱机车, 相对于齿轮传动机车, 在计算速度范围内其轮轨垂向力增大约6 kN, 这是由于直驱机车较大的簧间质量导致其在10 Hz范围内的参振质量较大, 从而引起较大的轮轨垂向动态载荷。

③对于小曲线半径通过工况, 由于架悬直驱机车具有较小的转向架轴距, 其导向轮磨耗性能得到明显提升, 当曲线半径 $R=300$ m时, 其导向轮轮缘磨耗指数和车轮磨耗数分别可降低约4.2%和24.1%。

参考文献:

- [1] 张济民, 苏辉, 任乔, 等. 轨道交通永磁同步牵引系统发展概况与关键技术综述[J]. 交通运输工程学报, 2021, 21(6): 63-77.
ZHANG Jimin, SU Hui, REN Qiao, et al. Review on development and key technologies of permanent magnet synchronous traction system for rail transit[J]. Journal of traffic and transportation engineering, 2021, 21(6): 63-77.
- [2] 肖泽桦, 陈国胜, 沈龙江, 等. 架悬式永磁直驱快速客运机车转向架研究[J]. 电力机车与城轨车辆, 2022, 45(3): 6-10.
XIAO Zehua, CHEN Guosheng, SHEN Longjiang, et al. Bogie of fast passenger locomotive with frame suspended permanent magnet direct drive[J]. Electric locomotives & mass transit vehicles, 2022, 45(3): 6-10.
- [3] 李华祥, 张志和, 刘鹏, 等. 大功率永磁直驱技术优势及技

术难点的深入研究[J]. 铁道机车车辆, 2020, 40(4): 50-53.

LI Huaxiang, ZHANG Zhihe, LIU Peng, et al. In-depth study on technical advantages and technical difficulties of high power permanent magnet direct drive[J]. Railway locomotive & car, 2020, 40(4): 50-53.

- [4] 徐艳晖. 新型永磁直驱驱动单元技术的设计和分析[J]. 铁道机车车辆, 2022, 42(2): 50-55.
XU Yanhui. Design and analysis for new permanent magnet direct-drive unit technology[J]. Railway locomotive & car, 2022, 42(2): 50-55.
- [5] 马光同, 孙振耀, 徐帅, 等. 轨道车辆永磁直驱技术综述[J]. 交通运输工程学报, 2021, 21(1): 217-232.
MA Guangtong, SUN Zhenyao, XU Shuai, et al. Review on permanent magnet direct drive technology of railway vehicles[J]. Journal of traffic and transportation engineering, 2021, 21(1): 217-232.
- [6] 黄志辉, 许峻峰. 直驱转向架结构特点与应用展望[J]. 机车电传动, 2013(4): 67-69.
HUANG Zhihui, XU Junfeng. Structure feature and forecast of bogie driven directly[J]. Electric drive for locomotives, 2013(4): 67-69.
- [7] 张雄飞. 国内外永磁电机直接驱动式转向架的发展[J]. 机车电传动, 2020(3): 1-7.
ZHANG Xiongfei. Development of direct drive bogies with permanent magnet motors at home and abroad[J]. Electric drive for locomotives, 2020(3): 1-7.
- [8] 罗湘萍, 张文超, 吴凯桦. 永磁同步直驱电机悬挂模式研究[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(4): 5-7.
LUO Xiangping, ZHANG Wenchao, WU Kaihua. On the suspension type of permanent magnet synchronous motor[J]. Urban mass transit, 2018, 21(4): 5-7.
- [9] 马晓光, 杨陈, 肖遥, 等. 架悬式永磁直驱转向架的动力学性能研究[J]. 铁道机车车辆, 2023, 43(5): 143-150.
MA Xiaoguang, YANG Chen, XIAO Yao, et al. Study on dynamic performance of frame-mounted permanent magnet direct-drive bogie[J]. Railway locomotive & car, 2023, 43(5): 143-150.
- [10] 徐艳晖. 车轮多边形对永磁直驱机车动态特性的影响研究[J]. 铁道车辆, 2024, 62(4): 54-60.
XU Yanhui. Study on the impact of the wheel polygon on the dynamic characteristics of the locomotive directly driven by permanent magnet[J]. Rolling stock, 2024, 62(4): 54-60.
- [11] 原志强, 聂敏. 大功率永磁直驱客运机车的研制[J]. 机车电传动, 2019(1): 40-44.
YUAN Zhiqiang, NIE Min. Development of high-power permanent magnet direct drive passenger locomotive[J]. Electric drive for locomotives, 2019(1): 40-44.
- [12] 胡定祥, 金鑫, 马晓光, 等. B型地铁车辆永磁直驱转向架的研制及性能分析[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(7): 34-38.

HU Dingxiang, JIN Xin, MA Xiaoguang, et al. Development of B-type metro vehicle permanent magnetic direct drive bogie and performance analysis[J]. Urban mass transit, 2022, 25(7): 34-38.

[13] 张江, 钟文生, 刘高坤. 转向架永磁同步电机直接驱动技术在国内外的的发展概述[J]. 铁道机车车辆, 2014, 34(3): 79-83.

ZHANG Jiang, ZHONG Wensheng, LIU Gaokun. General description of the development of the direct-drive technology of permanent magnet synchronous motor of bogie at home and abroad[J]. Railway locomotive & car, 2014, 34 (3): 79-83.

[14] CEN. Railway applications - testing and simulation for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - running behaviour and stationary tests: BS EN 14363: 2016 [S]. Brussels: CEN, 2016.

[15] 国家铁路局. 机车车辆动力学性能评定及试验鉴定规范: GB/T 5599—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.

National Railway Administration. Specification for dynamic performance assessment and testing verification of rolling stock: GB/T 5599—2019[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019.

[16] 国家铁路局. 铁路线路设计规范: TB 10098—2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

National Railway Administration. Code for design of railway line: TB 10098—2017[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2017.

Dynamic performance and optimization of locomotives with elastic suspension on bogie frames and permanent magnet direct drive

QIAO Jinchuang¹, HE Xing², WANG Zhiming², YAO Yuan¹

(1. State Key Laboratory of Rail Transit Vehicle System, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China;
2. Research and Development Center, CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: This paper delves into the dynamic performance of six-axle freight electric locomotives featuring elastic suspension on bogie frames and permanent magnet direct drive. Simulation calculations based on SIMPACK software examined locomotive dynamics, focusing on their lateral stability, straight line operating performance, and curve negotiation safety. Subsequently, the calculation results were compared with those of traditional locomotives equipped with axle suspension and gear drive. The comparison results showed that, except for improvement in wear performance at the flange and tread of the leading wheelsets on curves with a small radius, the lateral dynamic performance of locomotives featuring suspension on bogie frames and direct drive, exhibited no obvious advantage over gear-driven locomotives, particularly in straight-line scenarios. This is attributed to the large inter-spring mass and yawing inertia of bogies with frame suspension and direct drive, which contribute to the lack of lateral stability in these locomotives. Consequently, an improvement solution was proposed that incorporates an additional anti-yaw damper. The calculation results show enhanced performance in the lateral dynamics of locomotives operating on straight tracks, with performance indexes comparable to those of gear-driven locomotives.

Keywords: permanent magnet direct drive; elastic suspension on bogie frame; bogie; locomotive; dynamic performance; simulation

收稿日期: 2024-10-12; 修回日期: 2024-11-02