

研
究
开
发200 km/h 六轴大功率客运电力机车
故障态动力学性能分析宋 昊¹, 罗 贇¹, 陈国胜²(1. 西南交通大学 牵引动力国家重点实验室, 四川 成都 610031;
2. 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: 宋 昊 (1987-), 女, 硕士研究生, 主要从事机车动力学研究。

摘 要: 针对弹性架悬的 $2C_0$ 轴式 200 km/h 大功率客运电力机车, 采用多刚体动力学软件 SIMPACK 建立了该机车动力学模型, 对不同速度下机车各减振器故障态工况进行了动力学分析, 并相应计算高干扰线路不平顺下机车最高运行速度。结果表明: 只有当车轮磨耗接近限度、抗蛇形减振器失效以及前后转向架二系垂向减振器全部失效时, 机车才不能达到 160 km/h 的运行速度; 其中横向减振器对机车动力学性能影响最小, 抗蛇形减振器、二系垂向减振器、电机减振器对车体动力学性能影响较大。

关键词: $2C_0$ 轴式机车; 减振器; 故障态; 动力学; 性能分析**中图分类号:** U260.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2011)05-0010-04Analysis on Dynamic Performance of Six-Axle 200 km/h High Power
Electric Passenger Locomotive in Fault StateSONG Hao¹, LUO Yun¹, CHEN Guo-sheng²

(1. Traction Power State Key Laboratory, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China;

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

Abstract: For six-axle ($2C_0$) 200 km/h high-power electric passenger locomotive with spring bogie suspension, a dynamic locomotive model was established with the multiple rigid body dynamics software of SIMPACK. Dynamic analysis of locomotive damper fault state at different speed was provided, and the highest locomotive operating speed of high-interference irregular railway was calculated. Results shows that the locomotive can not reach the speed of 160 km/h only when the yaw damper fails, the wheels are worn to a maximum or both secondary vertical dampers of bogies fail; lateral damper has the least effects to the dynamic performance of the electric locomotive, whereas the yaw damper, the secondary vertical damper and the motor damper impose relatively greater effects.

Key words: $2C_0$ axles locomotive; damper; fault state; dynamics; performance analysis

从技术和经济的角度来看, 对于我国 200 km/h 客运, 其机车牵引模式将更适于我国跨地区长途客运, 也更容易维修和组织运输^[1]。因此南车株洲电力机车有限公司进行了 200 km/h 六轴大功率客运电力机车的研制。

该型机车采用驱动装置弹性架悬结构, 更有利于提高机车稳定性, 改善机车在大、中曲线上高速运行的横向动力学性能^[2-3]。本文将分析该型机车在不同减振器故障态下的运行性能。曾有人针对 HXD1 以及 HXD1B 型机车进行过故障态分析^[4-5], 本文总结 200 km/h 弹性架悬大功率机车在不同故障态下的运行限速, 并指出

应当避免的几种故障形式。

1 计算模型

$2C_0$ 轴式电力机车由车体、2 台构架、6 台牵引电动机和 6 个轮对组成。机车物理模型、自由度及广义坐标参见文献[2], 牵引电动机顺置, 采用弹性架悬方式, 机车建模中考虑了轨枕的弹性。

车体和构架间由二系悬挂装置连接, 二系悬挂装置由高圆弹簧 (每侧三组)、抗蛇行减振器 (2 个)、横向减振器 (2 个)、垂向减振器 (2 个) 构成; 构架和轮对之间由一系悬挂装置连接, 一系悬挂装置由一系弹簧、轴箱拉杆和垂向减振器 (端轴) 组成, 端轴轴箱轴承自由间隙为 0.5 mm, 中间轴轴箱轴承自由间隙为 10 mm。驱

收稿日期: 2011-03-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51075339)

动装置一端通过 2 根吊杆悬挂于转向架构架横梁上, 可自由摆动, 另一端通过空心轴套与构架端梁相连, 驱动装置可绕此点转动, 同时还在驱动装置与构架间横向设置了液压减振器。采用 JM3 磨耗型踏面与 60 kg/m 钢轨匹配, 线路采用德国高干扰线路^[6]。

2 一、二系减振器分别失效

2.1 一系垂向减振器全部失效

一系垂向减振器主要影响机车的垂向动力学性能。一系垂向减振器全部失效, 机车以 80 ~ 250 km/h 速度, 在具有高干扰不平顺直线上运行时, 机车正常及故障工况下的动力学性能指标分别见表 1、表 2。

表 1 直线运行机车动力学指标 (正常)

速度 /km · h ⁻¹	垂向平稳性指标	垂向加速度 /m · s ⁻²	轮重减载率
80	2.18	0.92	0.17
100	2.38	1.27	0.19
120	2.54	1.56	0.22
140	2.67	1.81	0.25
160	2.73	1.88	0.28
180	2.83	2.08	0.32
200	2.93	2.27	0.37
220	2.98	2.38	0.41
240	3.04	2.49	0.46
250	3.07	2.54	0.48

表 2 直线运行机车动力学指标 (一系垂向减振器全部失效)

速度 /km · h ⁻¹	垂向平稳性指标	垂向加速度 /m · s ⁻²	轮重减载率
80	2.23	0.98	0.22
100	2.44	1.35	0.25
120	2.66	1.72	0.29
140	2.77	2.01	0.30
160	2.96	2.29	0.34
180	3.11	2.50	0.38
200	3.14	2.65	0.42
220	3.19	2.81	0.44
240	3.24	2.86	0.49
250	3.25	2.85	0.52

在计算范围内, 机车的垂向平稳性指标小于 3.45, 达到合格等级^[7], 垂向加速度位于良好范围。机车最大轮重减载率在极限范围内。

结果表明, 在一系垂向减振器完全失效时, 机车在具有高干扰不平顺的线路上可以正常运行。

2.2 二系垂向减振器失效

二系垂向减振器主要影响机车垂向动力学性能。

2.2.1 前后转向架二系垂向减振器单侧失效

假设前后转向架右侧二系垂向减振器出现故障, 不能提供任何阻尼, 其他减振器正常工作。机车以 80 ~ 250 km/h 速度在具有高干扰不平顺的直线上运行时, 车体垂向平稳性指标和加速度以及各端轴轮重减载率见表 3。垂向加速度及指标分别小于 3.63 m/s² 和 3.45 m/s², 在合格范围内; 各端轴轮重减载率均在允许范围内;

以上指标均比正常工况增大。

结果表明, 在前后转向架二系垂向减振器单侧失效时, 机车在具有高干扰不平顺线路上可以正常运行。

2.2.2 前转向架二系垂向减振器全部失效

假设前转向架的二系垂向减振器全部失效时, 各项指标见表 3。机车速度达到 180 km/h 后, 垂向加速度大于 3.63 m/s², 超过合格范围; 垂向加速度及指标较正常工况显著增大, 轮重减载率也比正常工况增大, 垂向指标和轮重减载率均在允许范围内。

所以前转向架的二系垂向减振器全部失效时, 机车能以不超过 160 km/h 速度在具有高干扰不平顺直线上正常运行。

表 3 直线运行机车垂向动力学指标 (二系垂向减振器)

速度 /km · h ⁻¹	前后转向架单侧失效			前转向架全部失效		
	垂向加速度 /m · s ⁻²	垂向平稳性指标	轮重减载率	垂向加速度 /m · s ⁻²	垂向平稳性指标	轮重减载率
80	1.20	2.33	0.24	1.58	2.50	0.25
100	1.60	2.53	0.27	2.29	2.79	0.29
120	2.02	2.72	0.29	2.83	2.97	0.31
140	2.39	2.86	0.32	3.15	3.06	0.34
160	2.53	2.92	0.34	3.51	3.17	0.36
180	2.75	2.99	0.36	3.80	3.25	0.38
200	2.85	3.05	0.39	3.92	3.29	0.41
220	3.01	3.11	0.42	3.93	3.30	0.44
240	3.16	3.16	0.46	3.91	3.30	0.48
250	3.19	3.18	0.50	3.84	3.29	0.51

2.2.3 前后转向架二系垂向减振器全部失效

假设二系垂向减振器全部失效时, 机车以 80 km/h 通过 50 m AAR4 不平顺线路后, 在直线光滑轨道运行到 300 m, 第一轮对、车体和转向架垂向振动结果见图 1。此

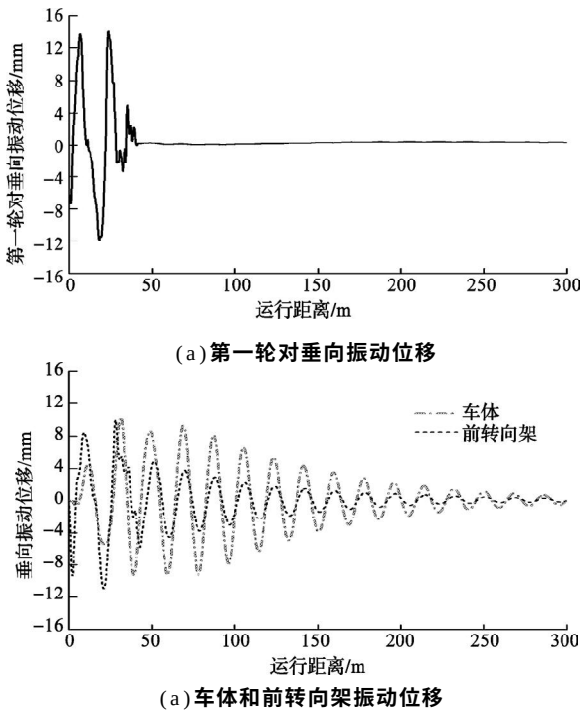


图 1 机车二系垂向减振器全部失效时非线性稳定性计算结果

时, 轮对垂向振动基本收敛, 但车体和转向架的垂向振动收敛很慢, 所以机车的垂向平稳性很差, 不能正常运行。

2.3 二系横向减振器全部失效

假设前后转向架二系横向减振器全部失效, 此时机车非线性稳定性为 320 km/h, 等效锥度 0.5 时, 准线性临界速度为 380 km/h。机车以 80~250 km/h 速度在具有高干扰不平顺的直线上运行时, 正常及故障工况下车体横向平稳性指标和加速度以及最大轮轴横向力分别见表 4、表 5。

表 4 直线运行机车横向动力学指标 (正常)

速度 /km · h ⁻¹	横向加速度 /m · s ⁻²	横向平稳性指标	最大轮轴横向力 /kN
80	0.62	2.43	21.81
100	0.77	2.61	25.66
120	0.86	2.69	29.43
140	0.94	2.76	34.39
160	0.97	2.77	38.60
180	1.01	2.77	44.66
200	1.05	2.80	49.42
220	1.11	2.82	52.72
240	1.15	2.82	58.34
250	1.20	2.85	60.38

表 5 直线运行机车横向动力学指标 (二系横向减振器失效)

速度 /km · h ⁻¹	横向加速度 /m · s ⁻²	横向平稳性指标	最大轮轴横向力 /kN
80	0.90	2.75	20.06
100	1.05	2.88	21.03
120	1.11	2.91	23.70
140	1.14	2.92	29.35
160	1.14	2.91	36.66
180	1.11	2.85	44.36
200	1.10	2.87	51.45
220	1.13	2.86	57.25
240	1.09	2.84	65.39
250	1.09	2.83	69.04

机车的横向加速度值为优良, 横向平稳性指标位于良好范围; 最大轮轴横向力未超过极限值。横向平稳性指标在 80~240 km/h 范围内较正常工况增大, 横向加速度在 80~220 km/h 范围内较正常工况增大, 高速时略有减小。当速度大于 180 km/h 时, 最大轮轴横向力比正常工况显著增大, 低速下略有减小, 其余轴轮轴横向力在 80~250 km/h 范围内均比正常工况增大。

结果说明: 在二系横向减振器全部失效的情况下, 机车在高干扰线路上可以正常运行。

3 抗蛇形减振器失效

抗蛇行减振器主要影响机车的稳定性。分别对抗蛇形减振器的 4 种失效形式进行稳定性分析, 得到准线性临界速度见表 6。前转向架、前后转向架单侧失效, 机车新轮新轨非线性稳定性都满足 300 km/h 运行要求; 前转向架全部失效, 非线性稳定性满足 180 km/h 运行要求;

前后转向架全部失效, 非线性稳定性满足 200 km/h 运行要求。

表 6 机车抗蛇行减振器失效后的准线性临界速度 km/h

失效情况	等效锥度				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
前转向架单侧失效	420	420	320	240	200
前后转向架单侧失效	420	420	300	220	180
前转向架全部失效	260	280	260	200	180
前后转向架全部失效	260	280	260	200	160

结果说明: 为了保证机车磨耗后的稳定性, 必须要求抗蛇行减振器工作正常。

4 电机减振器失效

电机减振器主要影响电机横向振动, 而对车体的动力学性能影响较小。每转向架配 3 个电机减振器。

4.1 前转向架一轴电机减振器失效

假设前转向架一轴电机减振器失效。机车新轮新轨准线性稳定性满足 440 km/h 运行要求, 非线性稳定性满足 400 km/h 运行要求。前转向架电机横向加速度见图 2。

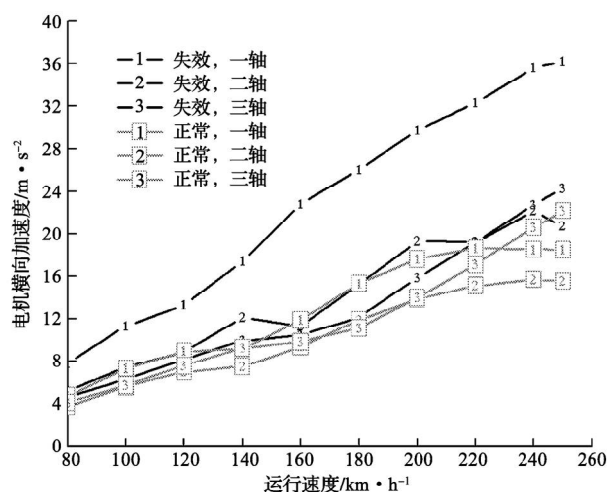


图 2 前转向架一轴电机减振器失效电机横向加速度

一轴电机横向振动加速度随着速度的提高增加了一倍, 二轴三轴电机横向振动加速度也有增大, 但增幅较小。

最大轮轴横向力变化见图 3。机车其余各项动力学指标同正常工况比较均无较大变化。

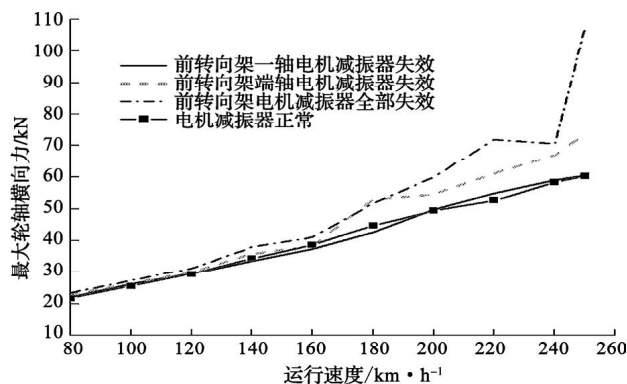


图 3 电机减振器失效工况最大轮轴横向力

结果表明:在前转向架一轴电机减振器失效时,机车在具有高干扰不平顺线路上可以正常运行,但电机横向振动加速度将增大。

4.2 前转向架端轴电机减振器失效

机车新轮新轨准线性稳定性和非线性稳定性满足360 km/h运行要求。前转向架电机横向加速度见图4,前转向架各轴电机横向振动加速度明显增大,其中一轴和三轴增幅最大。

最大轮轴横向力见图3。机车其余各项动力学指标同正常工况比较均无较大变化。

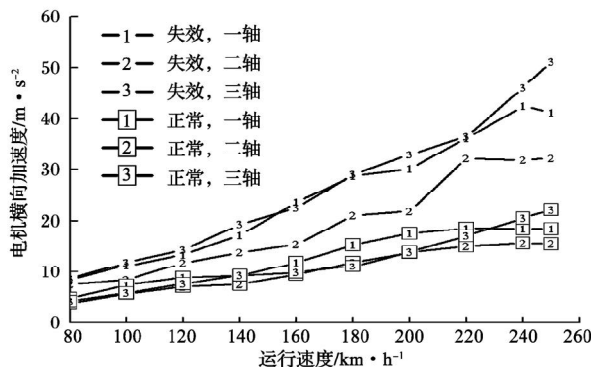


图4 前转向架端轴电机减振器失效电机横向加速度

结果表明:在前转向架端轴电机减振器失效时,机车在具有高干扰不平顺线路上可以正常运行,但电机横向振动将增大。

4.3 前转向架电机减振器全部失效

机车新轮新轨准线性稳定性满足360 km/h运行要求,非线性稳定性满足260 km/h运行要求。电机横向加速度见图5,前转向架电机横向振动加速度明显增大,其中二轴增幅最大。最大轮轴横向力见图3,当机车速度达

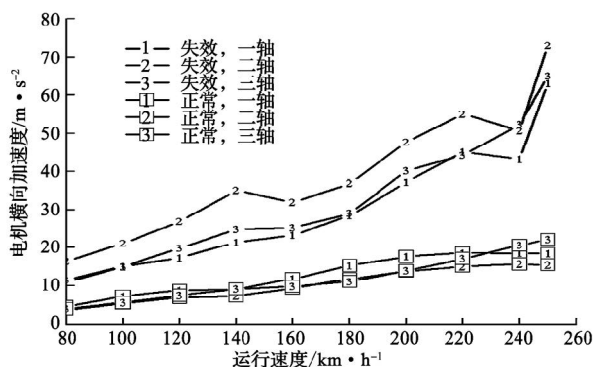


图5 前转向架电机减振器全部失效电机横向加速度

到250 km/h,最大轮轴横向力超过极限值78.67 kN。机车其余各项动力学指标同正常工况比较均无较大变化。

结果表明:在前转向架电机减振器失效时,机车在具有高干扰不平顺线路上不能正常运行。要保证机车在具有高干扰不平顺的线路上正常运行,必须要求前后转向架至少4个电机减振器正常工作。

5 结论

①在一系垂向减振器完全失效、前后转向架二系垂向减振器单侧失效或二系横向减振器全部失效时,机车在具有高干扰不平顺的线路上可以正常运行。

②前转向架二系垂向减振器全部失效时,机车能以不超过160 km/h的速度正常运行。前后转向架二系垂向减振器全部失效时,机车不能正常运行。

③为了保证机车磨耗后的稳定性,必须要求抗蛇行减振器工作正常。

④要保证机车在具有高干扰不平顺的线路上正常运行,必须要求前后转向架至少4个电机减振器正常工作。

总之,各减振器对200 km/h电力机车动力学性能指标均有不同程度的影响,由于采用弹性架悬,横向减振器对机车动力学性能影响最小,抗蛇形减振器、二系垂向减振器、电机减振器对车体动力学性能影响较大。在运行过程中,应尽量保证各减振器正常工作。

参考文献:

- [1] 张红军,陈喜红,孙永鹏,等.我国200 km/h速度等级高速客运机车转向架平台设计分析[J].铁道学报,2007,29(4): 101-106.
- [2] 罗 贇,孙永鹏,张红军,钟文生.架悬 C_0-C_0 轴式机车电机布置及悬挂的研究[J].铁道学报,2006,28(6): 41-45.
- [3] 张红军,黄勇明,李冠军,罗 贇,钟文生.六轴提速机车采用弹性架悬方式的研究[J].中国铁道科学,2008,29(3): 84-87.
- [4] 张立刚,罗 贇,廖志伟.HXD1B型机车故障态动力学性能分析[J].内燃机车,2010(1): 18-21.
- [5] 张立刚,罗 贇,陈国胜.HXD1型电力机车故障态动力学性能分析[J].机车电传动,2009(4): 10-12.
- [6] 陈 果,翟婉明.铁道轨道不平顺随机过程的数值模拟[J].西南交通大学学报,1999,34(2): 138-142.
- [7] TB/T2360-93,铁道机车动力学性能试验鉴定方法及评定标准[S].北京:中国铁道出版社,1999,34(2): 138-142.

(上接第5页)

机车和动车一般调速比小,而且中间电压一般稳定不变,电机完全承担调速任务,在运行过程中,恒功阶段不采用升压恒功区段。

参考文献:

- [1] 谢鸣皋.交流传动技术讲座[M].山西永济:永济电机公司,

2007.

- [2] 冯晓云.电力牵引交流传动及其控制系统[M].北京:高等教育出版社,2009.
- [2] 邹浪平.DF_{8DJ}型内燃机车交直交电传动系统[J].机车电传动,2010(4): 13-16.