

D19E 型内燃机车曲线通过动力学性能研究

枚文深^{1,2}, 孙 骥¹, 巫世晶^{1*}

(1. 武汉大学 动力与机械学院, 湖北 武汉 430072; 2. 交通与运输大学, 越南 河内 10000)

摘要: 为了研究 D19E 型内燃机车曲线通过动力学性能, 分析了越南铁路基本技术及 D19E 型内燃机车结构, 应用 Simpack 软件建立了 D19E 型内燃机车动力学模型。以 D19E 为模型计算了机车动态曲线通过整车动力学性能, 并根据越南铁道机车车辆动力学性能评定规范对该机车车辆在轨道不平顺作用下的不同工况曲线通过进行了分析、评估。研究表明, D19E 型内燃机车动态曲线通过时的安全性指标满足越南铁路安全行车要求, 该机车通过曲线半径为 100 m 时轮轨横向力接近了允许限值 52 kN, 在曲线半径为 300 m 以下时轮重减载率超过静态轮重减载率危险限度值 0.65, 但动态轮重减载率为 0.8, 故属合格, 因此该机车通过曲线半径小于 300 m 时应降低运行速度, 机车曲线通过更为安全。

关键词: D19E 型机车; 曲线通过; 越南铁路; 动力性能; 轨道不平顺

中图分类号: U221; TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)07-0846-04

D19E diesel locomotive dynamics performance during curve negotiation

MAI Van-tham^{1,2}, SUN Ji¹, WU Shi-jing¹

(1. School of Power & Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. University of Transport and Communications, Ha noi 10000, Viet Nam)

Abstract: In order to study the D19E diesel locomotive dynamics performance during curve negotiation, the basic technology of Vietnam railways and D19E diesel locomotive structure were analyzed, and the D19E locomotive dynamical model was built by Simpack software. The vehicle dynamics performance at the problem of curve negotiation was simulated. According to the vehicle dynamics performance's evaluation standard of the Vietnam railways, the problem of curve negotiation under the influence of track irregularities and different working conditions was analyzed and estimated. The result of study shows that, when it gets through 100 meter curve radius, the wheel/rail lateral force is very close to allowable limit 52 kN, while it gets through under 300 meter curve radius, the rates of wheel load reduction are very close to the danger limits 0.65 of static wheel load reduction, but all of them are under the danger limit 0.8 of dynamic wheel load reduction. So the D19E diesel locomotive dynamics performance has fully addressed the safety requirements of Vietnam railways for curve negotiation.

Key words: D19E locomotive; curve negotiation; vietnam railways; dynamics performance; track irregularity

0 引 言

机车车辆—轨道耦合动态曲线通过时的动力学性能是一个复杂的课题与重要研究领域。自从上世纪 90 年代初车辆—轨道耦合动力学理论^[1-3]被提出来以后, 已经有许多科学家^[4]在机车车辆、轨道的动力学性能、结构和参数优化等各个方面开展了相关的理论研究。

文献[5-8]建立了各种车辆—轨道耦合动力学模型与方程组, 对车辆—轨道耦合动力学试验、仿真计算为基本形式的动态模拟技术进行分析, 根据机车车辆动力学性能—运动稳定性、运行平稳性和曲线通过性能的台架试验方法, 以及台架试验和线路运行的理论分析, 得到相应的试验误差, 验证了机车车辆台架试验的可行性和合理性; 文献[9-11]研究了机车车辆通过曲线小半径时的安全性、脱轨现象、轮轨接触等问题; 通过 20 多年

收稿日期: 2012-02-20

作者简介: 枚文深 (1979-), 男, 越南人, 博士研究生, 主要从事机车车辆动力学方面的研究. E-mail: meiwenshen@163.com

通信联系人: 巫世晶, 男, 博士, 教授, 博士生导师. E-mail: wsj@whu.edu.cn

的研究,车辆—轨道耦合动力学理论已渐趋完善,并成为铁路机车车辆与轨道系统动力学的主流方向。

本研究对 D19E 型内燃电动机车的曲线通过性能进行了研究,该机车用于越南主要干线的货、客运牵引,在河内至胡志明干线运行,设计速度 120 km/h,柴油机功率 1 455 kW,装用美国 Caterpillar 3512B 型柴油机、JF217B 型主发电机组及 ZQDR310 型牵引电动机,走行部为 13 t 轴重的三轴转向架^[12]。

本研究从理论出发并结合实际运行,针对越南国家的铁路特点,利用多体动力学软件 Simpack 铁道模块^[13]建立 D19E 型内燃机车仿真模型,同时通过设立不同铁道曲线工况以及特定的不平顺轨道谱,分析机车运行时的动力特性。

1 D19E 型内燃机车模型的建立

1.1 D19E 型内燃机车体的建模

D19E 型内燃机车的走行部为三轴转向架。根据越南 D19E 型电转动内燃机车的构造与主要参数,在建立模型过程中,考虑了车辆的一、二系悬挂系统、横向止档及抗蛇行减振器等部件的作用。D19E 型机车车辆系统动力学仿真模型如图 1 所示。

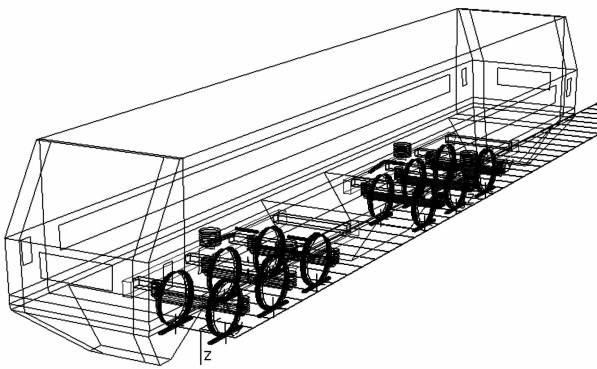


图 1 机车车辆系统动力学仿真模型

该模型由车体、前构架、后构架、轮对、钢轨、轨枕、道床以及弹簧、阻尼和质量体等元件构成。假设车体、构架和轮对均为刚体,每一个刚体有 5 个方向自由度:垂向、横向、侧滚、摇头、点头,则整个机车车辆共有 45 个自由度。

D19E 型内燃机车主要技术参数如表 1 所示。

1.2 轨道工况的设置

考虑到机车车辆曲线通过性能和越南铁路轨道的特殊性,笔者在研究中设置了 5 种不同的曲线工况,如表 2 所示。

表 1 D19E 型内燃机车主要技术参数

技术参数	数值
柴油机功率	1 455 kW
机车计算整备重量	78 t
轴距	1 650 mm
两转向架中心距	8 100 mm
机车最大速度	120 km · h ⁻¹
越南米轨铁路线路轨距	1000 mm
轴重	13 t
转向架自重	14.53 t
每轴簧下重量	2.647 t
轮径	1 000 mm
通过最小曲线半径	70 m
一系垂向油压减振器阻尼系数	60 kN · s · m ⁻¹
二系横向油压减振器阻尼系数	60 kN · s · m ⁻¹
二系抗蛇行减振器阻尼系数	600 kN · s · m ⁻¹
轴箱相对于构架弹性横动量	±(5,15,5) mm
左右滚动圆距离	1 070 mm

表 2 各种曲线轨道工况的设置

工况	曲线半径 /m	直线长/m	缓和曲线长/m	圆曲线长 /m	外轨超高 /mm	轨距加宽 /mm	速度 / (km · h ⁻¹)
I	100	50	50	100	90	25	41
II	200	50	50	100	90	25	58
III	300	50	50	100	90	15	71
IV	400	100	100	200	90	10	82
V	600	100	100	200	90	0	100

1.3 不平顺轨道谱的模型建立

由于列车行驶速度不超过 120 km/h,该模型使用美国 AAR 标准五级线路谱进行分析较为合理。依据美国轨道谱标准:

轨道高低不平顺:

$$F_g(\Omega) = \frac{kA_g \Omega_g^2}{\Omega^2(\Omega^2 + \Omega_g^2)} \quad (1)$$

轨道方向不平顺:

$$F_b(\Omega) = \frac{kA_b \Omega_g^2}{\Omega^2(\Omega^2 + \Omega_g^2)} \quad (2)$$

轨道水平及轨距不平顺:

$$F_s(\Omega) = F_c(\Omega) = \frac{4kA_s \Omega_s^2}{(\Omega^2 + \Omega_g^2)(\Omega^2 + \Omega_s^2)} \quad (3)$$

式中: $F_g(\Omega)$, $F_b(\Omega)$, $F_s(\Omega)$, $F_c(\Omega)$ —高低、方向、水平、轨距不平顺功率谱密度, $\text{cm}^2 \cdot (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})^{-1}$; Ω —轨道不平顺空间频率, $\text{rad} \cdot \text{m}^{-1}$; Ω_g , Ω_s —截断频率, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$; k —安全系数; A_g, A_b —粗糙度常数,

$\text{cm}^2 \cdot \text{rad} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

该模型中轨道谱参数取值如表 3 所示。

表 3 轨道谱参数取值

参数	k	A_g	A_b	Ω_g	Ω_s
数值	0.25	0.209 5	0.076 2	0.824 5	0.820 9

2 D19E 型内燃机车动力学性能仿真分析

根据越南铁道车辆动态运行安全性能评定标准 22TCN 358-06《铁道机车车辆制造与组装技术要求》^[14] 和 22TCN 347-06《铁道客车制造与组装技术要求》^[15], 针对本次仿真分析的机车车辆, 本研究所选取的各项安全合格指标如表 4 所示。

表 4 机车动态运行安全性指标的合格限值

指标	轮轨横向力/kN	轮轨垂向力/kN	脱轨系数	轮重静态减载率	轮重动态减载率	倾覆系数
合格	52	195	0.8	0.65	0.8	0.8

2.1 不同工况下, 车辆曲线通过的安全性能分析

根据表 2 的工况类型, 本研究通过 Simpack 软件进行模拟分析, 得到了 D19E 型电转动内燃机车动态曲线通过时各项安全性指标最大值的计算结果, 如表 5 所示。

表 5 D19E 型机车动态曲线通过时各项安全性指标最大值的计算结果

工况	轮轨横向力/kN	轮轨垂向力/kN	脱轨系数	轮重减载率	倾覆系数
I	51.21	106.48	0.71	0.69	0.66
II	50.07	103.48	0.62	0.63	0.61
III	45.54	103.96	0.55	0.65	0.58
IV	42.40	92.00	0.48	0.44	0.33
V	31.72	96.65	0.43	0.47	0.45

根据表 5 计算结果可以得出以下结论: D19E 型内燃机车通过工况 I 路段时, 轮轨横向力达到 51.21 kN, 接近了允许限值 52 kN; 在工况 I 和工况 III 下, 轮重减载率分别达到 0.69 和 0.65, 超过轮重减载率静态危险限度值 0.65, 但动态轮重减载率限制为 0.8, 所以合格; 轮轨垂向力、脱轨系数、轮重减载率与倾覆系数指标合格, 但十分接近安全合格限值。其他半径下的所有动力性能指标均合格。

2.2 确定安全工况下车辆曲线通过的动力性能研究

D19E 型内燃机车通过曲线半径为 400 m, 速度为

82 km/h, 相应工况 IV 时的第 1 轮横向力、轮轨垂向力和轮轨脱轨系数随运行距离变化分别如图 2~5 所示。

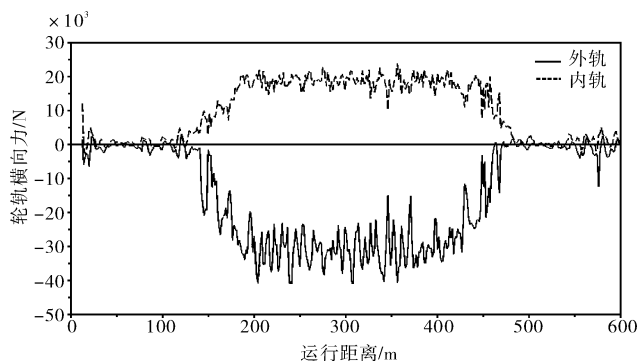


图 2 第 1 轮横向力随运行距离的变化

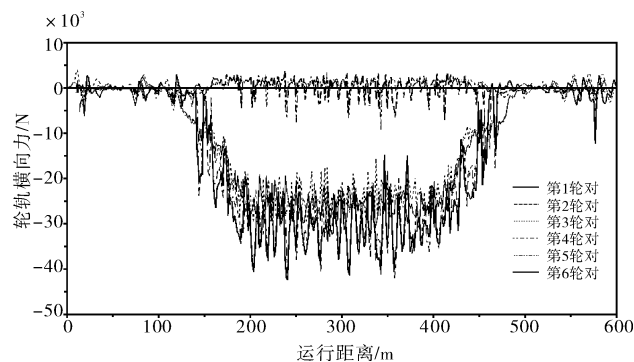


图 3 轮轨横向力随运行距离的变化

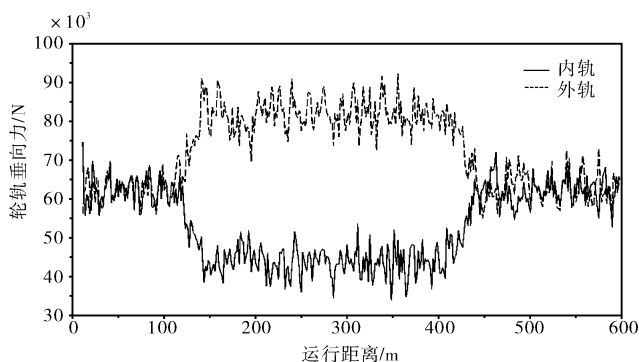


图 4 第 1 轮垂向力随运行距离的变化

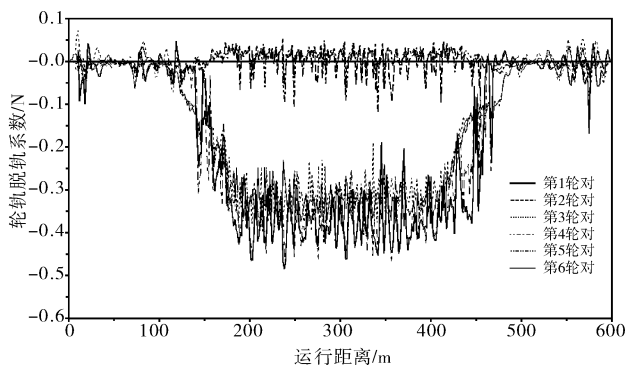


图 5 轮轨脱轨系数随运行距离的变化

本研究计算的结果符合机车车辆动态曲线通过时动力学的理论变化规律,例如图2所示机车在直线(距离0~100 m)轮轨横向力值最小,机车进入缓和曲线时(距离100 m~200 m)轮轨横向力值缓慢增大,机车进入圆曲线后(距离200 m~400 m)轮轨横向力值变化稳定,机车出圆曲线进入缓和曲线时(距离400 m~500 m)轮轨横向力值缓慢减小,当机车在直线上(距离500 m~600 m)行驶时轮轨横向力值最小。机车其他动态曲线通过时的安全指标都有同样的变化规律。

图2表明,当机车轮对通过直缓点后,外轨轮轨横向力随距离的增加而增大,在中间的圆曲线点附近,轮轨横向相互作用力达到最大峰值42.40 kN,在圆曲线上横向力保持相对稳定的状态,而轮对离开圆曲线通过圆缓点后,轮轨横向力开始随着距离的增加而逐渐减小;在整个曲线通过的过程中,内轨横向力变化规律与外轨变化规律基本相同,只是与“外轨的横向力值大部分为负值”相反,内轨的横向力值为正值,在圆曲线达到其最大值23.79 kN。

图3表示第1轮对至第6轮对的横向力变化规律,从图中结果可以得知第1轮对横向力值最大、第4轮对横向力值相比第1轮对横向力较小,第2轮对与第五轮对横向力变化幅度较小、在-3 kN~3 kN范围内波动,第3轮对横向力与第6轮对横向力的变化幅度较大,变化值为20 kN~30 kN。

图4表示第1轮对垂向力随运行距离的变化,图中结果表明机车轮对通过直缓点后轮轨垂向力增大,在圆曲线上轮轨垂向力达到最大峰值92.00 kN,内轨垂向力是减载,外轨垂向力是加载。

图5描述了D19E型内燃机车通过曲线时的脱轨系数动态变化情况,左右轮对脱轨系数随距离变化的规律与轮轨横向力的变化规律极为相似,其最大峰值0.48出现在圆曲线上。

计算结果表明,D19E型内燃机车以82 km/h速度通过半径为400 m的曲线时,轮轨横向力的最大峰值、轮轨垂向力最大值、轮轨脱轨系数最大值均出现在圆曲线上。

3 结束语

本研究通过运用Simpack软件,对D19E型内燃机车进行建模,建立了合适的曲线工况以及轨道不平顺谱来对机车进行动力学分析,并得出了以下结论:

(1)D19E型内燃机车以设定工况动态曲线通过时,所有安全性指标均满足越南铁路的行车要求。

(2)D19E型内燃机车通过曲线半径为100 m(工况I)时,轮轨横向力接近了允许限值;在工况I和工况III轮重减载率超过轮重减载率静态危险限度值,但动态轮重减载率合格,轮轨垂向力、脱轨系数、轮重减载率与倾覆系数指标合格,但十分接近安全合格限值。其他半径下的所有动力性能指标均合格。

(3)D19E型内燃机车通过曲线半径为400 m、速度为82 km/h时,轮轨横向力的最大峰值、轮轨垂向力最大值、轮轨脱轨系数最大值均出现在圆曲线上。其他曲线半径轮轨横向力、垂向力与轮轨脱轨系数最大值出现在圆曲线上或缓圆点附近。

参考文献(References):

- [1] 张定贤. 机车车辆轨道系统动力学[M]. 北京:中国铁道出版社,1996.
- [2] 鲍维千. 内燃机车总体及走行部[M]. 4版. 北京:中国铁道出版社,2004.
- [3] 翟婉明. 车辆-轨道耦合动力学[M]. 3版. 北京:科学出版社,2007.
- [4] 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.
- [5] 王开云,翟婉明,封全保. 机车牵引状态下曲线通过导向特性研究[J]. 中国铁道科学,2006,27(2):71-76.
- [6] 丁国富,王开云,翟婉明. 机车车辆-轨道耦合动力学仿真系统的集成研究[J]. 中国铁道科学,2001,22(6):33-37.
- [7] 张曙光,池茂儒,刘丽. 机车车辆动力学研究及发展[J]. 中国铁道科学,2007,28(1):56-62.
- [8] 张卫华,黄丽湘,马启文,等. 机车车辆动力性能的动态模拟[J]. 机械工程学报,2007,43(12):114-118.
- [9] ZHAI W M, WANG K Y. Lateral interactions of trains and tracks on small-radius curves: simulation and experiment [J]. *Vehicle System Dynamics*,2006,44(sup1):520-530.
- [10] SUÁREZ B, RODRIGUEZ P, VÁZQUEZ M, et al. Safety assessment of underground vehicles passing over highly resilient curved tracks in the presence of a broken rail [J]. *Vehicle System Dynamics*,2011,50(1):59-78.
- [11] TORSTENSSON P T, NIELSEN J C O. Simulation of dynamic vehicle-track interaction on small radius curves [J]. *Vehicle System Dynamics*,2010,49(11):1711-1732.
- [12] 王坤全. CKD7F型机车转向架的设计与制造[J]. 内燃机车,2003(10):5-8.
- [13] 缪炳荣. SIMPACK动力学分析高级教程(轨道车辆)[M]. 成都:西南交通大学出版社,2010.
- [14] 越南社会主义共和国国家标准. 22TCN 358-06 越南铁道机车车辆制造与组装技术要求[S]. 河内:交通运输部,2006.
- [15] 越南社会主义共和国国家标准. 22TCN 347-06 越南铁道客车制造与组装技术要求[S]. 河内:交通运输部,2006.

[编辑:李辉]