

文章编号: 1000-128X(2019)02-0020-04

偏载对重载货车运行安全性的影响

冯陈程, 关庆华, 赵 鑫

(西南交通大学 牵引动力国家重点实验室, 四川 成都 610036)

摘 要: 为了研究货车偏载对其运行安全的影响, 在静力分析的基础上, 建立了 C₈₀ 型重载货车的动力学模型, 计算了货车在不同偏载状态下通过曲线时的脱轨系数和轮重减载率。分析结果表明: 随着偏载的增大, 货车的运行安全性逐渐降低。其中纵向偏载主要影响货车车轮的脱轨系数, 而横向偏载主要影响车辆的轮重减载率。随着横向偏载的增大, 轮重减载率增大尤为明显, 所以要严格控制车辆的横向偏载。

关键词: 重载货车; 偏载; 脱轨系数; 轮重减载率; 车辆动力学; 仿真

中图分类号: U292.92⁺1

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2019.02.004

Influence of Partial Load on Running Safety of Heavy Haul Train

FENG Chencheng, GUAN Qinghua, ZHAO Xin

(State Key Laboratory of Traction Power, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: Based on the static analysis, dynamic model of C₈₀ heavy haul train was built to investigate the influence of partial load on running safety of heavy haul train. Under the different partial load condition, the derailment coefficient and the wheel load reduction rate were calculated when the train passed the curve. The analysis results show that with the increase of partial load, the running safety of the train is getting worse. Longitudinal partial load has main effect on the derailment coefficient of wheel, and lateral partial load has main effect on the rate of wheel load reduction. With the increase of lateral partial load, the rate of wheel load reduction increases obviously, so the lateral partial load should be strictly controlled.

Keywords: heavy haul train; partial load; derailment coefficient; rate of wheel load reduction; vehicle dynamics; simulation

随着货车运营速度和载重量的不断提升, 其动态运营环境发生了很大变化, 对行车安全性和轮轨接触关系提出了更高的要求。长期以来, 铁路货车超偏载治理工作是铁路运输安全工作的重要一环, 铁路有关部门在货车的超偏载治理方面投入了大量的人力和物力^[1], 研发并制造了大量的偏载检测装置^[2-3], 但是关于偏载对货车运行的影响分析却很少见。

货车偏载主要分为左右偏载和前后偏载。目前我国对货车横向偏载的定义为: 左右轮重之差与左右轮重之和的比值的绝对值大于等于 0.2 (即 20%) 时即为横向偏载。对货车纵向偏载的定义为: 当前后转向架

的负重的差值大于等于 10 t 时即为纵向偏载^[4]。列车超载会损坏列车和路基, 而偏载则影响了各车轮轮重的分配, 当一侧车轮的载重减少, 其轮重变小时, 就产生了与偏载成比例的横向力, 使脱轨系数很容易达到其限界值。同时, 当一侧车轮轮重减小时, 另一侧的车轮轮重会增大, 有可能在车轮冲角发生很小变化时产生很大的横向冲击力, 加大了列车脱轨的概率。文献 [5] 建立了货物重心偏移量、货物质量与车辆的脱轨系数的数值模型, 通过数值计算得出在脱轨系数安全限值内货物质量与货物重心偏移量的关系。文献 [6] 建立了货物的横向偏移量与脱轨系数的数值模型, 该模型考虑了风载荷、横向振动惯性力、离心力和车钩的横向分量的影响, 并以 C_{64K} 型敞车为例计算了车辆在

收稿日期: 2017-12-27; 修回日期: 2018-01-11

基金项目: 四川省应用基础研究计划项目 (2013JY0039)

不同装载和不同运行工况下的货物重心横向容许偏移量。文献 [7] 通过静力分析的方法研究了车辆的装载和运行条件对运行安全指标的影响。同时还采用多元回归方法研究了 C_{70H} 型货车的装载工况对车辆运行安全指标影响的原理。文献 [8] 通过车辆动力学试验研究了重车重心高低和货物重心偏移对车辆运行安全性的影响。

以往的研究主要是基于数值模型的静态分析, 并不能很好地分析车辆运行时, 尤其是过曲线时的工况。本文在理论分析的基础上进一步从动力学分析的角度出发, 建立了重载货车的动力学模型, 从脱轨系数和轮重减载率的角度分析重载货车货物偏载对货车运行安全性的影响。

1 理论数值模型

如图 1 所示, 当车辆发生纵向偏载时, 车辆的 2 个转向架的载重会发生变化, 其中一个转向架的轮重减小, 从而对车辆的行车安全性造成影响。

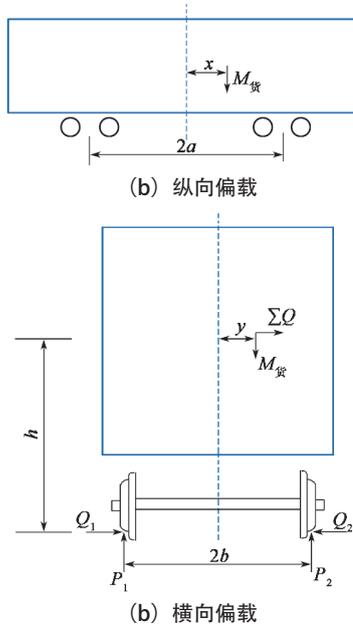


图 1 车辆偏载示意图

对其进行受力分析可得:

$$P_{前} = \frac{1}{4} M_{货} g \left(1 + \frac{x}{a} \right) \quad (1)$$

$$P_{后} = \frac{1}{4} M_{货} g \left(1 - \frac{x}{a} \right) \quad (2)$$

式中: $P_{前}$ 和 $P_{后}$ 分别为前、后转向架轮对的轴重, N; $M_{货}$ 为货物质量, kg; g 为重力加速度; $2a$ 为车辆定距, m; x 为货物的纵向偏移量, m。

当货物重心前移时, 后轮垂向力减小, 可能导致后轮脱轨系数增大而引发脱轨; 货物重心后移时, 前轮垂向力减小, 可能导致其脱轨系数增大而引发脱轨。

当车辆发生横向偏载时, 车辆每一个轮对的左右轮重会发生变化, 其中一侧车轮的轮重减小, 从而对车辆的行车安全性造成影响。对其进行受力分析可得:

$$P_1 = \frac{1}{8} M_{货} g \left(1 - \frac{y}{b} \right) - \frac{1}{8} \Sigma Q \cdot \frac{h}{b} \quad (3)$$

$$P_2 = \frac{1}{8} M_{货} g \left(1 + \frac{y}{b} \right) + \frac{1}{8} \Sigma Q \cdot \frac{h}{b} \quad (4)$$

式中: P_1 和 P_2 分别为同一个轮对左右轮所受的轮轨垂向力, N; P_0 为静轴重, N; $2b$ 为车轮名义滚动圆横向跨距, m; h 为货物重心高度, m; y 为质心横向偏移量, m; ΣQ 为车辆所受横向力合力, N。

如图 2 所示, 不考虑风载荷和车钩力, 横向力即为车辆离心力和重力两者在轨道坡度平面上的横向分力的合力, 可表示为

$$\Sigma Q = Mg \left(\frac{v^2}{gR} \cos \alpha - \sin \alpha \right) \quad (5)$$

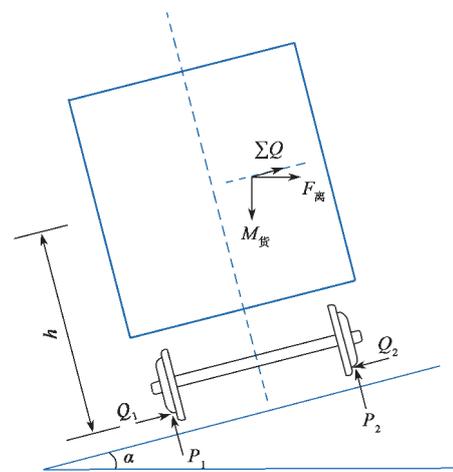


图 2 车辆过曲线时横向力示意图

当质心偏移量向曲线内侧偏移, 且速度越低时, 外侧车轮越容易发生脱轨; 当质心偏移量向曲线外侧偏移, 且速度越高时, 内侧车轮越容易发生脱轨。

2 车辆动力学模型

由于静态的数值模型不能很好地反应车辆过曲线时的动力学响应, 所以本文主要通过建立车辆的动力学模型进行仿真分析。在多体动力学软件 SIMPACK 中建立了 1 节 C₈₀ 型重载货车的动力学模型。模型包括车体和 2 台性能参数完全相同的转 K6 型转向架。转向架的基本结构主要包含轮对、轴箱导框、侧架、摇枕、心盘、旁承、弹簧装置、减振装置及制动装置等。在建模过程中考虑了大量的非线性悬挂, 主要包括间隙、止挡、摩擦力、楔形减振器、心盘及旁承的摩擦力和力矩等。模型拓扑关系如图 3 所示。

由图 4 车辆的俯视示意图可知, 车体主要通过心盘、旁承与转向架接触, 所以车辆偏载除了会直接导致轮载和车体转动惯量变化之外, 还会导致心盘力和旁承力的变化。该旁承是常接触弹性旁承, 在车辆装配好之后, 旁承处的接触力是一个固定值, 因此, 车辆的全部载重就由心盘承担。偏载后的心盘力为

$$F_{前} = \frac{1}{2} M_{货} \left(1 + \frac{x}{a} \right) - 2F_p \quad (6)$$

$$F_{后} = \frac{1}{2} M_{货} \left(1 - \frac{x}{a} \right) - 2F_p \quad (7)$$

式中： $F_{前}$ 为前心盘力，N； $F_{后}$ 为后心盘力，N； F_p 为旁承力，N。

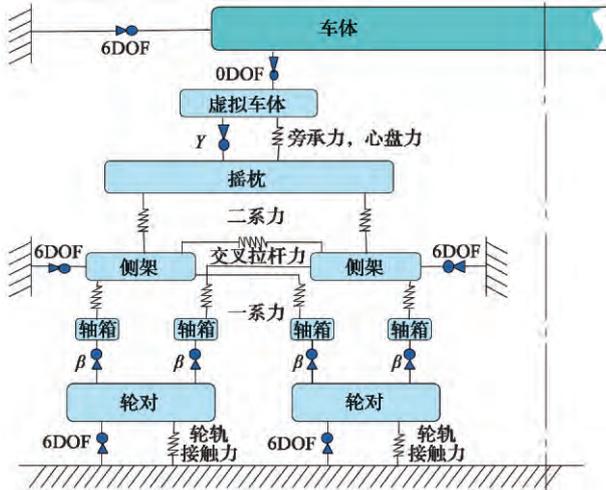


图3 整车拓扑图

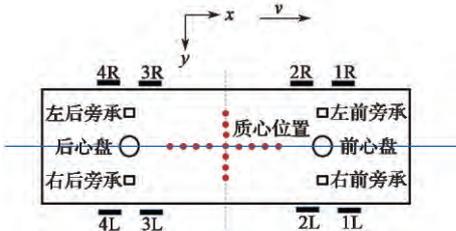


图4 车体重心偏移示意图

模型中车轮型面为标准LM型面，车轮半径为420 mm。钢轨采用标准轨（75 kg/m），轨距为1 435 mm，轮轨摩擦系数为0.4，采用FASTSIM算法计算轮轨蠕滑力。

3 仿真分析

本文主要分析重载货车在过曲线时的安全性。列车以60 km/h的速度通过半径为500 m的均衡超高的曲线，曲线为右曲线。主要考察列车导向轮对的脱轨系数和轮重减载率。

通过计算发现：1轴、3轴轮对的冲角为正值，脱轨系数限值较小；而2轴、4轴轮对的冲角为负值，脱轨系数限值较大^[8]，抗脱轨稳定性较高。所以，本文主要分析1轴、3轴轮对的脱轨系数及轮重减载率。图5是车体纵向偏载对车轮脱轨系数的影响曲线图。当车体的质心沿纵向从-3 m向3 m逐渐移动时，1轴左右轮的脱轨系数均逐渐减小，而3轴左右轮的脱轨系数均逐渐增大。当质心偏后时，1轴车轮的脱轨系数要比同侧3轴车轮的脱轨系数大。而当质心偏前时，1轴车轮的脱轨系数要比同侧3轴车轮的脱轨系数小。当质心纵向偏移量在0.5 m左右时，1轴和3轴同侧车轮的脱轨系数最为接近，此时的抗脱轨稳定性最高。列

车右侧（曲线内侧）车轮的脱轨系数要始终大于列车左侧（曲线外侧）车轮的脱轨系数。图6是车体纵向偏载对车轮轮重减载率的影响曲线图。当车体质心沿纵向在-1~1.5 m之间变化时，1轴和3轴车轮的轮重减载率受偏载影响较小。当车体质心沿纵向从-1 m向-3 m移动时，1轴车轮的轮重减载率会快速增大，而3轴车轮的轮重减载率基本不变。当车体质心沿纵向从1.5 m向3 m移动时，3轴车轮的轮重减载率会逐渐增大，而1轴车轮的轮重减载率基本不变。

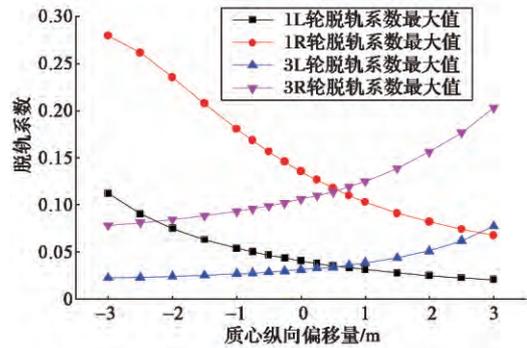


图5 车体纵向偏载对脱轨系数的影响

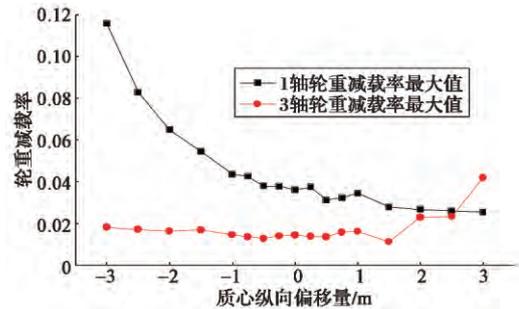


图6 车体纵向偏载对轮重减载率的影响

图7是车体横向偏载对车轮脱轨系数的影响曲线图。当车体质心沿纵向在-0.2~0.2 m变化时，1轴和3轴车轮的脱轨系数受偏载影响较小。当车体质心沿纵向从0.2 m向0.5 m移动时（质心向右移动），1轴和3轴车轮的脱轨系数均会增大，其中列车左侧（曲线外侧）车轮的脱轨系数增大幅度要远大于列车右侧（曲线内侧）车轮。当车体质心沿纵向从-0.2 m向-0.5 m移动时（质心向左移动），1轴和3轴车轮的脱轨系数也均会增大，列车右侧（曲线内侧）车轮的脱轨系数增大幅度略大于左侧（曲线外侧）车轮。图8是车体横向偏载对车轮轮重减载率的影响。当车体的质心沿纵向从-0.5 m向0.5 m逐渐移动时，1轴和3轴车轮的

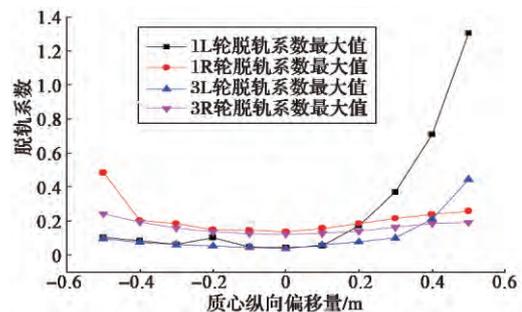


图7 车体横向偏载对脱轨系数的影响

轮重减载率均为先逐渐减小, 然后再逐渐增大。当质心偏移量为 0 时, 1 轴和 3 轴车轮的轮重减载率均达到最小值。

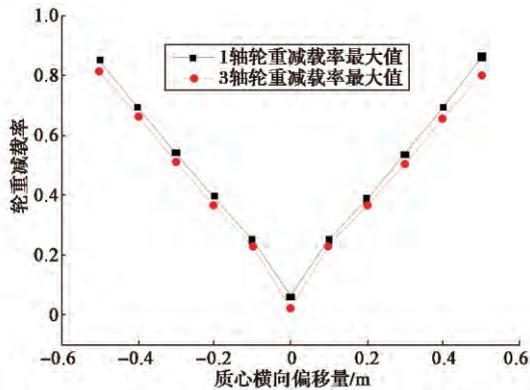


图 8 车体横向偏载对轮重减载率的影响

按照上述过程, 分别计算列车在不同偏载组合形式下的车轮脱轨系数和轮重减载率。对相同偏载工况下的不同车轮的脱轨系数、轮对的轮重减载率取最大值, 得到偏载与车轮脱轨系数和轮重减载率最大值的关系图, 如图 9 和图 10 所示。由图可知: 一定范围内的质心偏移(横向 $-0.3 \sim 0.4$ m 与纵向 $-0.5 \sim 1.5$ m 的范围)对车轮的脱轨系数影响较小, 当质心偏移量逐渐增大至一定程度后, 车轮脱轨系数会急剧增大直至导致脱

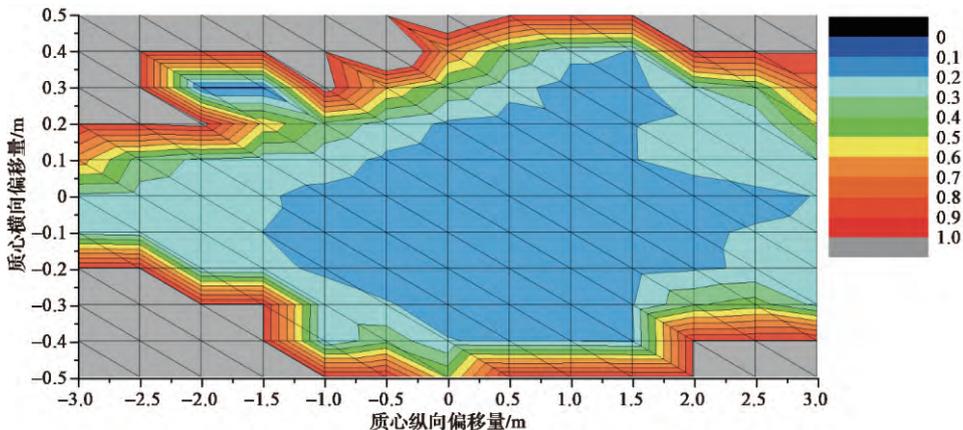


图 9 车体偏载对脱轨系数的影响

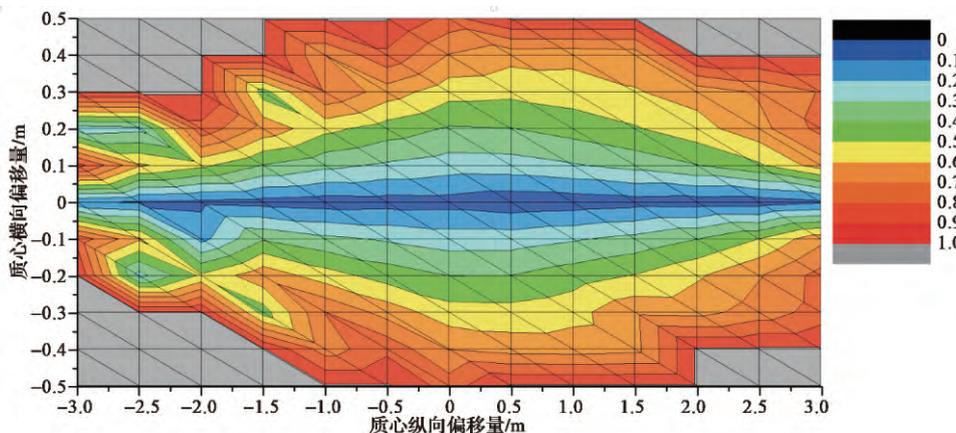


图 10 车体偏载对轮重减载率的影响

轨。一定程度的质心前移有利于提高车轮的抗脱轨稳定性。车辆轮对的轮重减载率主要受横向偏载的影响。当横向偏载为 0 时, 轮重减载率最低。当横向偏载逐渐增大时, 轮重减载率逐渐增大。当车体质心纵向偏载为 0.5 m 左右时, 1 轴和 3 轴同侧车轮的脱轨系数最为接近, 两者均处于较小值。在相同的脱轨系数和轮重减载率要求下, 其质心横向可容许偏移量最大, 所以此时的抗脱轨稳定性最高。

4 小结

不同形式的偏载对车辆的行车安全性的影响是有区别的, 纵向偏载主要是影响车轮的脱轨系数, 当车体质心纵向偏移量为 0.5 m 左右时, 列车通过曲线时的抗脱轨稳定性最高。横向偏载极大地影响了车轮的轮重减载率, 当车体质心横向偏移量为 0 时, 列车通过曲线时的轮重减载率最低, 此时一定量的纵向偏载对车辆的脱轨系数和轮重减载率影响较小。为了提高车辆的抗脱轨安全性, 应尽量减小车辆的各种偏载, 尤其是严格控制车辆的横向偏载。

参考文献:

- [1] 熊国林. 对铁路货车超偏载治理的分析与思考 [J]. 铁道货运, 2011(10): 47-50.
- [2] 李鹤. 列车超偏载和车轮踏面损伤的光纤光栅检测技术 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
- [3] 中华人民共和国铁道部. 铁路货物装载加固规则 (铁运 [2006] 161 号) [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- [4] 赵红伟. 一种用于货车超载及偏载监测传感器的设计与研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2008.
- [5] 张立员, 张兴. 基于脱轨系数安全标准的货物重心纵向容许偏移量的研究 [J]. 铁道运输与经济, 2011, 33(1): 81-85.
- [6] 陈超, 韩梅, 王艳玲. 基于脱轨系数安全标准的铁路货物重心横向容许偏移量的研究 [J]. 铁道学报, 2008, 30(2): 12-16.
- [7] 彭永昭. 铁路货车装载工况对车辆运行安全影响的机理及仿真实验研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- [8] 董杰. 货物重心偏移装载条件下提速货车运行安全性的研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [9] 关庆华, 曾京, 陈哲明. 考虑冲角影响的改进脱轨准则 [J]. 中国铁道科学, 2009, 30(3): 74-80.

作者简介: 冯陈程 (1993—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为车辆系统动力学和振动噪声控制。