机车电传动 2017 年第 6 期 (2017-11-10)
ELECTRIC DRIVE FOR LOCOMOTIVES №6, 2017(Nov. 10, 2017)

文章编号：1000–128X(2017)06–0049–03

不同机车组合对大秦线 2.1 万 t 列车中部机车动力学性能的影响分析

杨相健[1]，郭志杰[2]，苗树东[3]，谢　星[1]

（1. 中车株洲电力机车有限公司 产品研发中心，湖南 株洲　412001；
2. 中车株洲电力机车有限公司 采购中心，湖南 株洲　412001；
3. 湖东电力机务段 技术科，山西 大同　037000）

摘　要：针对大秦线重载列车的 2 种不同机车组合（$HX_{D}2$+ $HX_{D}1$ 或 $HX_{D}1$+ $HX_{D}1$），比较调速制动工况下中部机车的动力学性能，并分析不同机车组合对大秦线 2.1 万 t 列车中部机车动力学性能的影响。得出 $HX_{D}1$+$HX_{D}1$ 的 1+1 编组中部机车的动力学性能优于 $HX_{D}2$+$HX_{D}1$ 的 1+1 编组中部机车，信号滞后对中部机车的纵向冲动有很大影响的结论。

关键词：机车组合；大秦线；重载列车；2.1 万 t 列车；动力学性能；性能分析

中图分类号：U292.92^{+}1；U260.11　　**文献标识码：**A

doi：10.13890/j.issn.1000-128x.2017.06.011

Impact Analysis of Dynamics Performance of Center-locomotive of Daqin Railway 21 000 t Train in Different Locomotive Combinations

YANG Xiangjian[1], GUO Zhijie[2], MIAO Shudong[3], XIE Xing[1]

(1.Product R & D Center, CRRC Zhuzhou Electric Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou ,Hunan 412001, China;
2. Purchase Center, CRRC Zhuzhou Electric Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou ,Hunan 412001, China;
3. Technology Department, Hudong Electric Locomotive Depot, Datong ,Shanxi 037000,China)

Abstract: By comparing the dynamics performance of the center-locomotive in different locomotive combinations ($HX_{D}2$+$HX_{D}1$ or $HX_{D}1$+$HX_{D}1$) at the speed-regulation braking condition of Daqin railway 21 000 t heavy haul train, the conclusion was obtained that the center-locomotive dynamics performance of $HX_{D}2$+$HX_{D}1$ combination was better than $HX_{D}2$+$HX_{D}1$ combination, and the signal delay had big impact on center-locomotive impulse.

Keywords: different locomotive combination; Daqin railway; heavy haul train; 21 000 t train; dynamics performance; performance analysis

0　引言

大秦铁路是我国第一条双线重载电气化运煤专线，西起北同蒲线的韩家岭车站，东至秦皇岛地区的柳村南站。大秦线上运行的 2.1 万 t 列车采用 1+1 编组形式牵引 210 辆货车，牵引机车有 $HX_{D}1$ 型电力机车和 $HX_{D}2$ 型电力机车 2 种。初期的线路试验证明 $HX_{D}2$ 型电力机车不能担当中部牵引机车，因此在实际运用中只有 2 种机车组合形式（$HX_{D}2$+ $HX_{D}1$ 或 $HX_{D}1$+ $HX_{D}1$）。本文以大秦线 2.1 万 t 列车的中部机车为研究对象，分别建立机车动力学模型和长大列车模型，针对大同县至阳原段部分区间的调速制动工况，计算中部机车的动力学性能，并分析不同机车组合对大秦线 2.1 万 t 列车中部机车动力学性能的影响。

收稿日期：2017–03–16；修回日期：2017–08–08
基金项目：中国铁路总公司科技研究开发计划项目（2016J009-E）

1 计算模型

1.1 机车动力学模型

根据机车走行部结构，运用 SIMPACK 多体动力学计算软件建立电力机车多体动力学模型（图 1）。各弹簧及减振器均按实际结构建模并充分考虑了减振器、轮轨接触的非线性特性。机车采用 JM3 磨耗型踏面配 60 kg 轨。轨底坡 1/40，轮轨总间隙为 14 mm，轮缘高度 28 mm，轮缘厚度 34 mm。

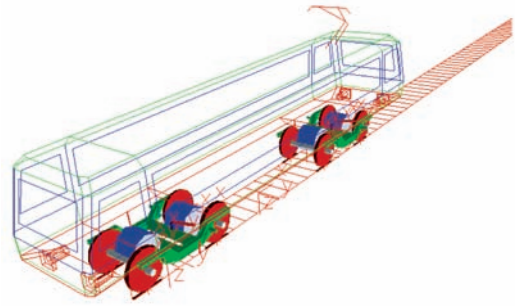


图 1 电力机车动力学模型

1.2 钩缓装置建模

机车（HXD1 和 HXD2）设定均采用 13A 型车钩+QKX100 缓冲器连接，货车（C80）采用牵引杆与 16 号和 17 号连锁车钩并用（3 车 1 组），配备 MT-2 缓冲器 [1]。

钩缓装置主要由车钩、从板、钩尾框和缓冲器组成，在建立连挂车钩的动力学模型时，可以将前后从板与钩尾框考虑为一个整体，从板相对车体只具有一个纵向自由度，缓冲器则作用在车体和从板之间，车钩相对从板具有绕 y、z 轴的转动自由度。通过配置不同特性的钩肩或止挡力元，配合部分特殊元素如 13A 型钩尾摩擦特性、钩销止挡特性，可构建如图 2 所示钩缓模型结构，最终得到钩缓装置动力学模型，如图 3 所示 [2]。

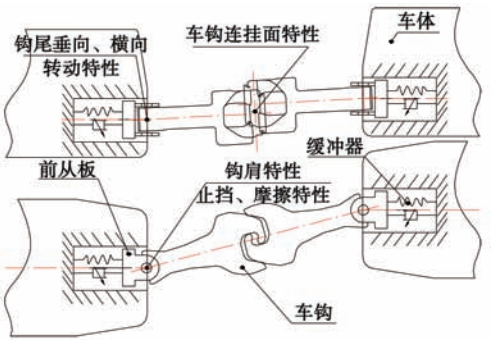


图 2 车钩模型结构图

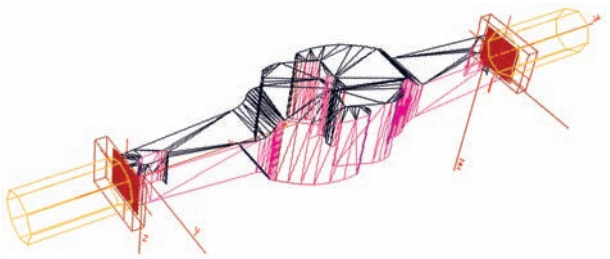


图 3 钩缓装置动力学模型

2 仿真运行条件

2.1 列车编组

2.1 万 t 列车采用的 2 种机车组合形式为：

① 1HXD2+105C80+1HXD1+105C80+ 可控列尾；

② 1HXD1+105C80+1HXD1+105C80+ 可控列尾。

2.2 机车牵引制动特性

HXD1 型机车启动牵引力 760 kN，持续牵引力 532 kN，电制动力 461 kN，最高运营速度 120 km/h，输出功率 9 600 kW，见图 4。

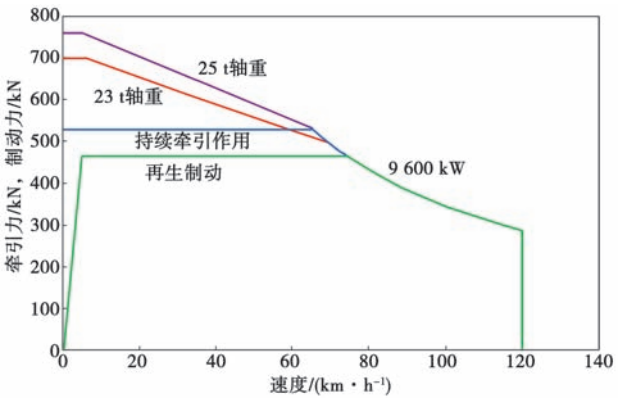
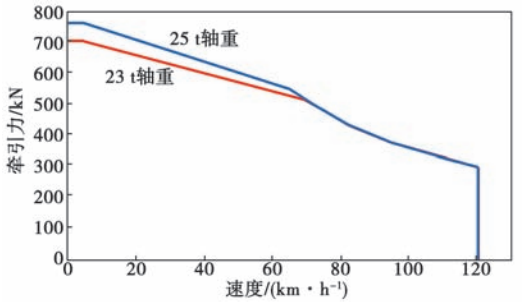
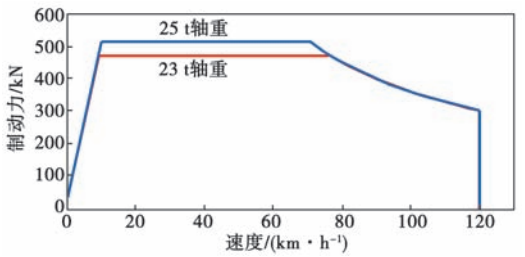


图 4 HXD1 型机车牵引制动特性曲线

HXD2 型机车启动牵引力 760 kN，持续牵引力 554 kN，电制动力 510 kN，最高运营速度 120 km/h，输出功率 10 000 kW，见图 5。



（a）机车牵引特性曲线



（b）再生制动曲线

图 5 HXD2 型机车牵引制动特性曲线

2.3 线路条件

选取大同县至阳原段部分区间，在调速制动状态下，大同县至阳原段部分区间列车运行速度如图 6 所示，图 6 中所标里程和速度均对应头部机车，中部机车对应里程延后 1 km 左右。由图 6 可知，列车以 68 km/h 速度进入 K58+500，电制动力从 0% 增加至 50% 并一直保持，列车速度缓慢增加至 72 km/h，此时列车在 K60 处。此后，由于 K60 到 K63 区间线路坡度较小，

甚至存在 2‰的小上坡，故在此区间列车运行速度下降。K63 后，列车进入 –8‰和 –12‰的大下坡，此时列车在沿坡道方向的重力分力大于电制动力和运行阻力之和，列车加速前进。在 K64+700 处，列车速度达到 72 km/h，此时施加减压量为 50 kPa 的空气制动，电制动力保持 50%。列车速度迅速降低，在 K66 处缓解，缓解时速度约为 41 km/h。此后速度略微下降后回升，且受缓解后列车纵向冲动影响，列车运行速度也出现小幅度波动 [3]。

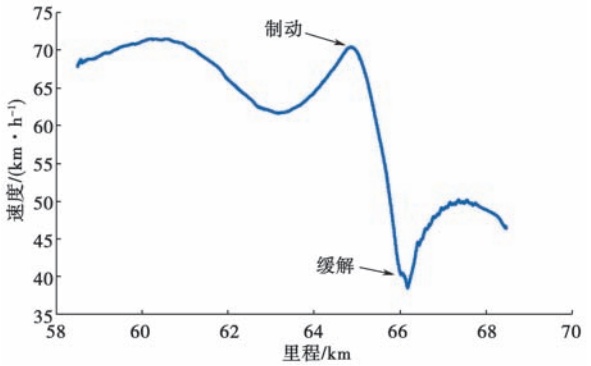


图 6　大同县至阳原段部分区间机车运行速度

3　中部机车动力学性能计算

3.1　考虑机车不同充气缓解速度和电制动力的影响

由于 HXD2 型机车电制动力大于 HXD1 型机车电制动力，同时 HXD2 型机车充气缓解速度比 HXD1 机车慢，因此“HXD2+HXD1”编组前半部分列车缓解速度比“HXD1+HXD1”编组前半部分列车缓解速度慢，缓解时间更长。

图 7 为大同县至阳原段部分区间，HXD1+HXD1 的 1+1 编组与 HXD2+HXD1 的 1+1 编组，中部机车车钩力的时间历程。图 8 为大同县至阳原段部分区间 HXD1+HXD1 的 1+1 编组与 HXD2+HXD1 的 1+1 编组，中部机车缓冲器行程之和的时间历程，其中 C108 对应中部机车重联处车钩，C109 对应中部机车与货车相连车钩 [5]。

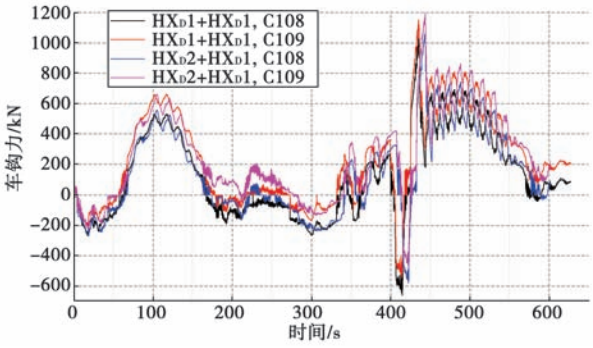


图 7　中部机车车钩力比较

由图 7 可知，HXD2+HXD1 的 1+1 编组中部机车压钩力最大值比 HXD1+HXD1 的 1+1 编组中部机车压钩力最大值大 50~100 kN。

缓冲器行程变化趋势与纵向冲动基本一致，由图 8 可知，HXD1+HXD1 的 1+1 编组中部机车缓冲器行程之和小于 HXD2+HXD1 的 1+1 编组中部机车缓冲器行程之和。

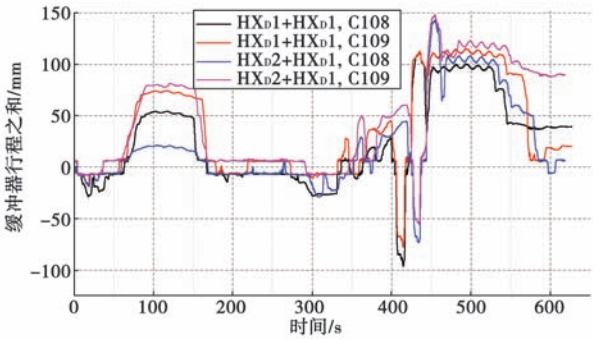


图 8　中部机车缓冲器行程比较

3.2　考虑机车控制系统不同的影响

由于 HXD2 型机车与 HXD1 型机车控制系统不一样，2007 年 7 月的线路试验结果证明，因 HXD2 机车控制系统不同导致中部 HXD1 型机车 LOCOTROL 信号滞后，比较中部机车滞后时间分别为 1 s、3 s、6 s 和 9 s，在调速制动过程中，中部机车纵向动力会有差异 [4]。图 9 为大同县至阳原段部分区间，中部机车 LOCOTROL 信号滞后，中部机车车钩力的时间历程。图 10 为大同县至阳原段部分区间，中部机车 LOCOTROL 信号滞后，中部机车缓冲器行程之和的时间历程，其中 C108 对应中部机车重联处车钩，C109 对应中部机车与货车相连车钩。

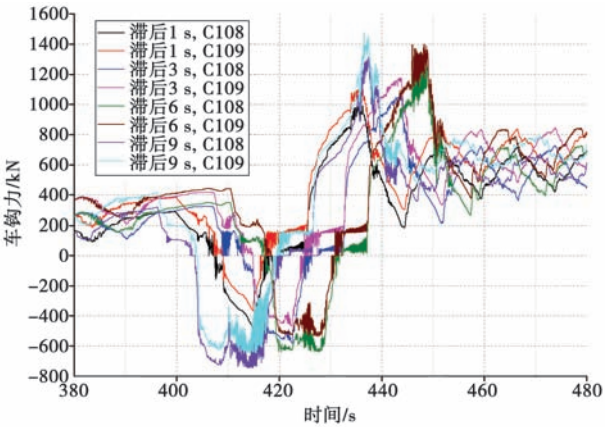


图 9　中部机车 LOCOTROL 信号滞后，中部机车车钩力比较

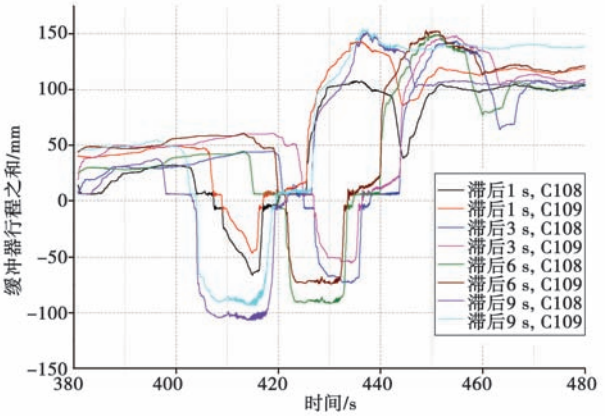


图 10　中部机车 LOCOTROL 信号滞后，中部机车缓冲器行程比较

（下转第 63 页）