

Simulation Analysis of Longitudinal Impulse for SQ8 Mixed with Other Vehicle

Xiao Ge, Wei Wei

School of Traffic and Transportation Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian Liaoning
Email: 497037452@qq.com

Received: Aug. 17th, 2018; accepted: Aug. 31st, 2018; published: Sep. 11th, 2018

Abstract

SQ8 is a new type of railway vehicle, which is quite different from other rolling stock in structure. It may cause great longitudinal impulse when mixed with other vehicle and then damage the transport safety of the goods. Therefore, simulation analysis of the mixed train on braking and longitudinal impulse is carried out with TABLDSS in this article. The result shows that their maximum coupler force is almost the same with the SQ6 single train when several SQ8 are mixed into the first and the rear position of the SQ6. The emergency braking distance of the two kinds of mixed mode changes 6 m, 3 m respectively. The maximum coupler force of the three mixed modes that several SQ8 are mixed in the head, middle and tail of the C70 respectively is smaller than the C70 unit train's. SQ8 is located in the rear of the mixed train when the maximum difference is up to 204.7 kN. The largest coupler force appears when the SQ8 is mixed in the middle of the C70. The emergency braking distance of the three mixed modes is 1231 m, 1217 m and 1204 m respectively, which is longer than C70 unit train's. In summary, SQ8 can be mixed with SQ6 in no condition while it's better to be located in the rear position when mixed with C70.

Keywords

Vehicle Engineering, Mixed Train, Braking Characteristics, Simulation Analysis, Longitudinal Impulse

SQ8与其他列车混编纵向冲动仿真分析

葛 晓, 魏 伟

大连交通大学交通运输工程学院, 辽宁 大连
Email: 497037452@qq.com

收稿日期: 2018年8月17日; 录用日期: 2018年8月31日; 发布日期: 2018年9月11日

文章引用: 葛晓, 魏伟. SQ8 与其他列车混编纵向冲动仿真分析[J]. 交通技术, 2018, 7(5): 310-318.
DOI: 10.12677/ojtt.2018.75038

摘要

SQ8是一种新型铁路车辆,它与其他车辆在结构上有较大的差异,混编时可能出现较大的列车纵向冲动,进而危害到货物的运输安全。因此,本文采用列车空气制动和纵向动力学联合仿真系统(TABLDSS),仿真分析了SQ8与其他车辆混编后制动能力和纵向冲动水平。结果表明,当SQ8列车分别混编入SQ6列车首尾位置时,他们的最大车钩力与SQ6单编时基本一致。两种混编方式下的紧急制动距离变化6米、3米。当SQ8列车分别编入C70列车首中尾部时,三种编组方式下的最大车钩力都比C70单编时小,最大差值达到了204.7 kN,此时SQ8列车位于混编列车尾部。当SQ8列车位于混编列车中部位置时车钩力最大。三种混编方式下的紧急制动距离分别为1231米、1217米、1204米,比C70单编列车制动距离略长。综上所述, SQ8与SQ6可以无条件混编,与C70车混编时SQ8车辆位于尾部位置较佳。

关键词

车辆工程, 混编列车, 制动特性, 仿真分析, 纵向冲动

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着社会的不断发展和进步,现如今,在铁路货运中重载列车已经越来越成为主流。但列车要跑得起来,更要停得下来。否则列车的安全运行将无从谈起。如何保证重载列车的安全减速、停车,这一重任就需要由列车制动系统来完成。对现代铁路而言,制动的重要性已经不仅仅是安全问题,制动已经成为制约列车速度和牵引质量进一步提高的重要因素。

Colin Cole [1]评价了列车纵向动力学最先进的技术水平,如列车纵向动力学仿真上的一些重大发展和列车建模方法的概述等; Aboubakr 等[2]基于轨迹坐标建立了 ECP 制动模型与空气制动模型,分析了列车的纵向动力学特性; Ansari M [3]基于不同的非线性时域模型,在考虑多参数影响的情况下对货车纵向动力学进行了研究。范佩鑫[4]等分析了万吨列车在起动、长大下坡调速制动运行以及紧急制动工况下列车的纵向力及其规律; 杜念博[5]以万吨单编列车为例,通过对制动缸升压特性的优化和分析,以减小纵向冲动为目标获得了理想的制动特性; 魏伟[6] [7] [8]及其团队针对列车制动特性对其纵向冲动的分析及优化做了很多工作; 杨亮亮[9]通过建立不同轴重混编货物列车的纵向动力学模型,计算和分析不同空车比例及位置、不同轴重及载重、不同车型的混编模式对列车纵向冲动的的影响并提出了相应的优化方案; 陈海啸[10]分析了在紧急制动时快捷与普通货车混编的纵向冲动特性,并在保证列车纵向冲动最小的情况下,提出了较优的编组方式。这些研究都是针对具有统一制动特性的车辆或者相似结构车辆组成的列车开展的,而 SQ8 关节式双层运输汽车专用车是一种新型铁路车辆。该车采用较长的车体设计,每三节车为一组,每组车辆内部用铰接连接,组与组之间采用车钩缓冲器连接。该车在制动系统设计上也比较特殊,一组 3 节车辆中,前后两节车使用分配阀,并配有副风缸、制动缸等制动力产生单元。中间车没有分配阀主阀和制动缸,不能产生制动力,但是安装有紧急阀,在紧急制动时产生紧急放风作用,避免因为前后车辆两个分配阀相距太远而影响紧急制动作用传播。针对这种采用特殊制动方式、特殊车辆结构且载重较小的车辆,在与普通列车混编时制动能力的变化,以及车辆在列车中的分布特点对列车

纵向冲动水平的影响并没有涉及。为了保证列车在运行时的安全可靠,有必要分析一下该特种车辆与其他普通车辆混编时的制动和纵向动力学特性。

根据实际铁路运行情况,本文利用 TABLDSS 系统[11]分析了两种方案,一种是与同类型 SQ6 凹底双层运输汽车专用车混编,另一种是与普通 C70 车辆混编。通过对混编列车制动距离和车钩力的分析,从而提出较优的编组方案。

2. 三种列车单编时制动特性

三种单编列车都是由一辆 SS4 机车牵引,列车的制动初速度为 120 km/h,车辆采用了 120 分配阀,MT-2 缓冲器,列车管定压设定为 500 kPa。

2.1. SQ6 单编列车制动特性

一节 SQ6 车辆总重 60 t,车长 25 米,每节车列车管总长 27 米左右,约为通用敞车的 2 倍[12]。按 850 米站台考虑,在列车总长限制下,列车最多有 30 辆车组成。该车三车一组,每车配有一套风制动系统,每套风制动系统中安装有分配阀系统,同时在车的另一端单独安装紧急阀以确保紧急制动波在车辆中的传播。该单编列车在紧急制动时,其制动缸升压曲线如图 1 所示。

从图 1 中可以看到 SQ6 单编列车从开始紧急制动到尾车制动缸充满风所用时间为 15.65 秒左右。首尾车制动缸开始动作时间差为 2.85 秒。

2.2. SQ8 单编列车制动特性

SQ8 列车每三车一组,一组车总重 155 t,每车长 25 米,制动缸容积约为 10 升。一组 SQ8 列车中的列车管总长分别为 22 米、20 米、22 米左右,总长约 64 米。每组中前后车辆有分配阀,中间车辆仅有紧急阀,在仿真程序中直接设置中间车辆主阀取消功能,此功能仅取消主阀动作,紧急阀功能没有任何改变。

为了和 SQ6 列车比较,该车采用 10 组一列的编组方式。在紧急制动时,其制动缸升压曲线如图 2 所示。从图中可以看到 SQ8 单编列车从开始紧急制动到尾车制动缸充满风所用时间为 14.7 秒左右。

首尾车制动缸开始动作时间差为 2.2 秒。

对比图 1 和图 2 发现 SQ6 与 SQ8 单编列车的制动缸充气时间不同,且首尾车制动缸开始动作时间差也不同。这是因为一方面 SQ8 列车的主管长度短于 SQ6 列车,一组相差约 17 米。这就缩短了紧急制动时压缩空气在其列车管中的传播时间,从而引起 SQ8 尾部列车制动缸开始升压时间比 SQ6 提前。且因为尾部列车制动缸开始升压时间提前,导致其勾贝伸出时间提前,制动缸开始充气时间提前,如图 3 所示。

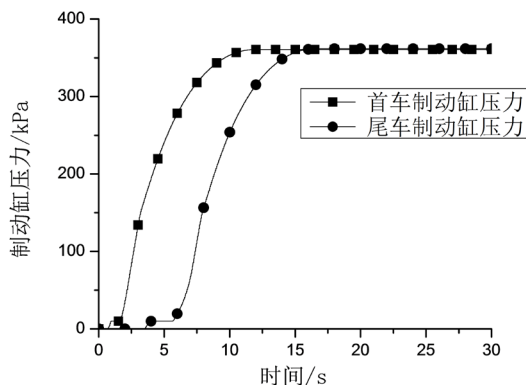


Figure 1. The brake pressure of SQ6's first and last vehicles during emergency braking
图 1. SQ6 单编紧急制动时首尾车制动缸压力

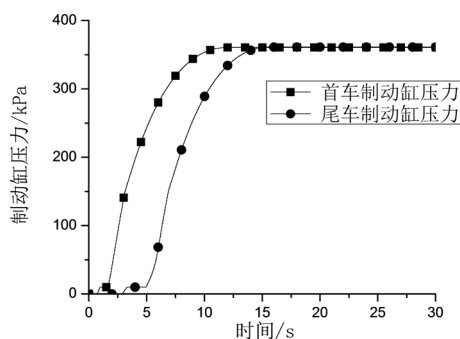


Figure 2. The brake pressure of SQ8's first and last vehicles during emergency braking
图 2. SQ8 单编紧急制动时首尾车制动缸压力

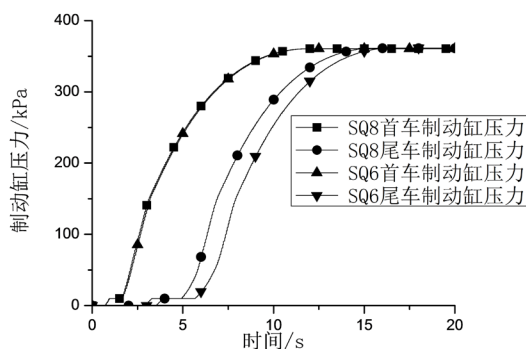


Figure 3. Comparison of brake pressure between first and last vehicles during emergency braking of SQ8 and SQ6
图 3. SQ8 与 SQ6 紧急制动时首尾车制动缸压力比较

另一方面, SQ8 列车制动缸容积大于 SQ6, 从而导致其制动缸升压速度略慢, 充气时间增加。综合两方面因素, 在紧急制动时 SQ8 单编列车尾车充满风所用时间略小于 SQ6 单编列车。

2.3. C70 单编列车制动特性

按照车辆等长要求, C70 单编列车采用 54 节编组。每节车长约 14 米, 车体内长 13 米, 列车管总长也在 13 米左右, 制动缸容积为 12 升, 总重 93.8 t。每节车上有一套风制动系统, 每套风制动系统有一个制动缸。在紧急制动时, 其制动缸升压曲线如图 4 所示。从图中可以看到 C70 单编列车从紧急制动开始到尾车制动缸充满风所用时间为 14.5 秒左右。首尾车制动缸开始动作时间差为 2.7 秒。

对比图 2 和图 4 发现在紧急制动时 C70 单编列车尾车制动缸充满风所用时间小于 SQ8 单编列车, 且首尾车制动缸开始动作时间差也不同。这是因为按照车辆等长要求, 一组 SQ8 列车相当于 6 辆 C70 列车, 但一组 SQ8 列车的主管长小于 6 辆 C70 列车, 一组车相差 14 米左右。这就缩短了紧急制动时压缩空气在其列车管中的传播时间, 从而导致 SQ8 尾车制动缸开始升压时间比 C70 尾车略微提前。且因为 SQ8 列车制动缸容积小于 C70 列车, 其制动缸升压速度略快, 充气时间缩短, 如图 5 所示。因此, C70 单编列车尾车制动缸充满风所用时间略小于 SQ8 单编列车。

从图 1、图 2、图 4 中可以看到在列车紧急制动时, 制动缸压力曲线在约 10 kPa 时有一个小平台, 这是制动缸勾贝伸出的过程。在大约 150 kPa 时, 制动缸曲线有一个较为明显的拐点, 在这之前, 制动缸进行快速充气, 在此拐点处紧急二段阀开始动作, 制动缸充气孔减小, 制动缸开始慢速充气。在充气后期, 由于副风缸与制动缸压力差的减小, 制动缸充气速度也逐渐减慢, 直到制动缸压力达到 360 kPa, 制动缸停止充气, 曲线呈水平状态。

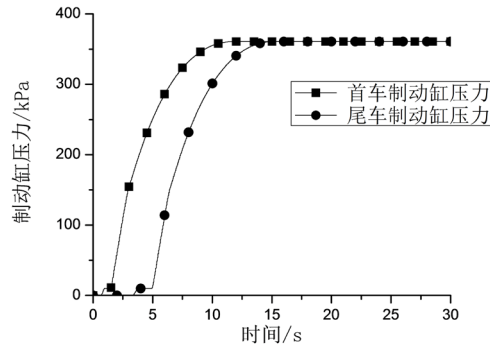


Figure 4. The brake pressure of C70's first and last vehicles during emergency braking

图 4. C70 单编紧急制动时首尾车制动缸压力

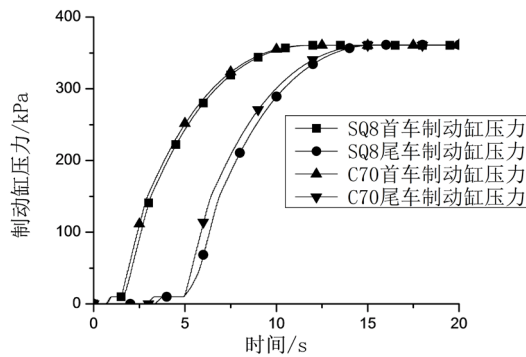


Figure 5. Comparison of brake pressure between first and last vehicles during emergency braking of SQ8 and C70

图 5. SQ8 与 C70 紧急制动时首尾车制动缸压力比较

混编列车在紧急制动时制动速度差不仅存在于前后车辆间, 而且存在于不同类型的车辆间。为了保证列车运行的安全。本文通过对不同编组形式的混编列车进行制动距离和纵向冲动特性分析, 从而确定一种较适合的编组方式。

3. 混编列车纵向冲动仿真分析

3.1. SQ6 与 SQ8 混编

考虑到以 SQ6 列车为主, 且一列 SQ6 列车编组数量较少, 所以本文采用了两种不同的编组方式。即将三组 SQ8 列车分别置于 SQ6 列车的首尾位置, 并通过与 SQ6 单编列车的对比来分析混编对其制动和纵向冲动的的影响。两种不同方案如表 1 所示。

图 6 为 SQ6 单编、方案一、方案二紧急制动时最大车钩力沿车长分布曲线, 从中可以看到列车最大车钩力都表现为压钩力, 其数值分别由 66.4 kN 不断增大到 233.5 kN; 69.4 kN 不断增大到 240.3 kN; 66.4 kN 不断增大到 231.8kN。这是由于列车在发生制动时前车先制动, 导致前后列车速度差不断增大, 进而压钩力沿车长不断增大。

通过比较发现方案一中的最大车钩力比 SQ6 单编时大 6.8 kN, 方案二中的最大车钩力比 SQ6 单编时小 1.7 kN。可以认为当 SQ8 列车混编入 SQ6 列车运行时, 它对整列车的纵向冲动影响很小, 与 SQ6 单编时的最大车钩力基本一致。而且从紧急制动距离上看, 混编之后列车的紧急制动距离与原列车也大致相同, 如表 1 所示。综合混编列车的纵向冲动和紧急制动距离来看, SQ8 列车可以和 SQ6 列车正常混编使用。

3.2. C70 与 SQ8 混编

因为 C70 列车的编组较多, 为了较好地分析 SQ8 列车在 C70 列车中不同位置的影响, 本文分析了三种不同方案的混编列车在相同线路条件下紧急制动时的制动和纵向冲动特性, 并与 C70 单编列车做比较。三种方案的编组方式如表 2 所示。

图 7 为 C70 单编紧急制动时最大车钩力沿车长分布曲线, 可以看到最大车钩力表现为压钩力, 前 38 辆车最大压钩力沿车长由 65.5 kN 不断增大且在第 38 车达到最大压钩力 588.2 kN, 随后又从第 38 车开始减小到了 407.2 kN。图 8~图 10 分别为方案一、二、三在紧急制动时最大车钩力沿车长分布曲线。

从图 8 中可以看到他们的最大车钩力也都表现为压钩力。其数值分别由 69.4 kN 不断增大且在尾车达到最大值 396.6 kN; 65.5 kN 不断增大且在 21 车达到最大值 429.1 kN, 然后保持基本稳定状态; 65.5 kN 不断增大且在 37 车达到最大值 383.5 kN, 然后从 37 车开始不断减小到 320.8 kN。从这三种方案的仿真结果来看(图 8、图 9、图 10), 他们的最大车钩力都比 C70 在单编情况下要小的多。究其原因, 一方面因为一组 SQ8 列车总重较 6 辆 C70 总重小的多; 另一方面, C70 在单编紧急制动情况下的制动距离为 1195 米, 而在这三种方案下的紧急制动距离如表 2 所示。可以看到 SQ8 列车的混编延长了原本的制动距离, 也就是说 SQ8 的制动能力弱于 C70。这样就降低了混编列车中的最大车钩力。

紧急制动时, 列车的制动缸充风时间是影响车钩力的一个重要因素。从前面分析中可知在紧急制动时 C70 列车尾车制动缸充满风所用时间比 SQ8 列车短。对比方案一和方案三两种编组的最大车钩力发现方案三编组中的最大车钩力略小。这是因为一方面 C70 列车和 SQ8 列车尾车制动缸充满风所用时间虽然有差别, 但从两种列车单编时的制动缸压力曲线对比可以发现这个差别很小。所以当把 3 组 SQ8 列车编组在 C70 列车的前后位置时, 因为列车制动缸尾车充满风所用时间不同对车钩力产生的影响很小。另一方面因为一组 SQ8 列车的总重较等效数量 C70 总重差别很大, 所以当把 3 组 SQ8 列车编组在 C70 列车

Table 1. Emergency braking distance of three different trains with SQ6 and SQ8

表 1. SQ6 与 SQ8 三种不同编组列车紧急制动距离

编组方式	SQ6 单编	9SQ8 + 21SQ6 (方案一)	21SQ6 + 9SQ8 (方案二)
紧急制动距离(米)	1399	1393	1396

Table 2. Emergency braking distance of four different trains with C70 and SQ8

表 2. C70 与 SQ8 四种不同编组列车紧急制动距离

编组方式	C70 单编	9SQ8 + 36C70 (方案一)	18C70 + 9 SQ8 + 18C70 (方案二)	36C70 + 9SQ8 (方案三)
紧急制动距离(米)	1194	1231	1217	1204

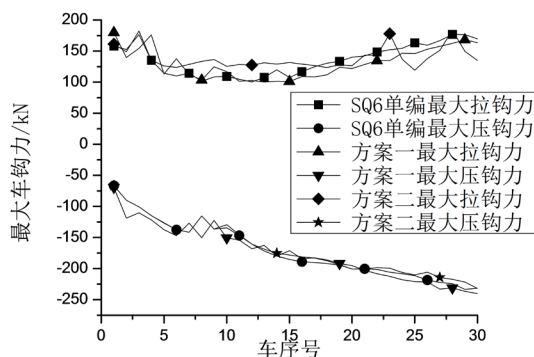


Figure 6. The maximum coupler force along the length of the vehicle in three schemes' emergency braking
图 6. 三种方案紧急制动时最大车钩力沿车长分布曲线

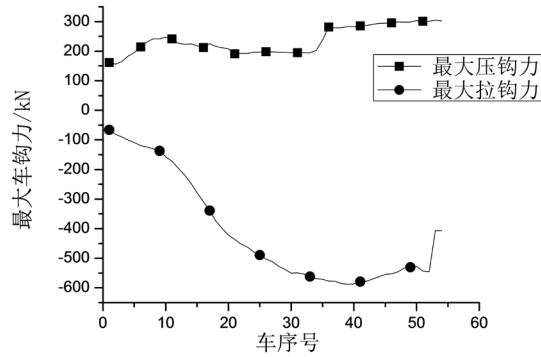


Figure 7. The maximum coupler force along the length of the C70 single train in emergency braking
图 7. C70 单编紧急制动时最大车钩力沿车长分布曲线

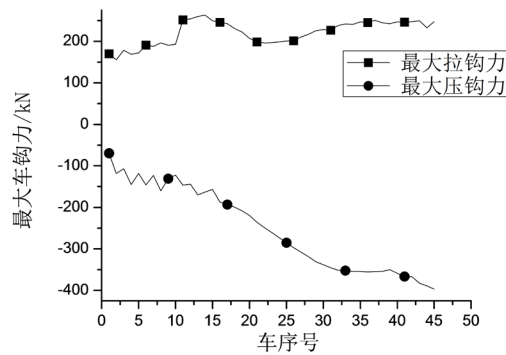


Figure 8. The maximum coupler force along the length of the vehicle in scheme 1
图 8. 方案一最大车钩力沿车长分布曲线

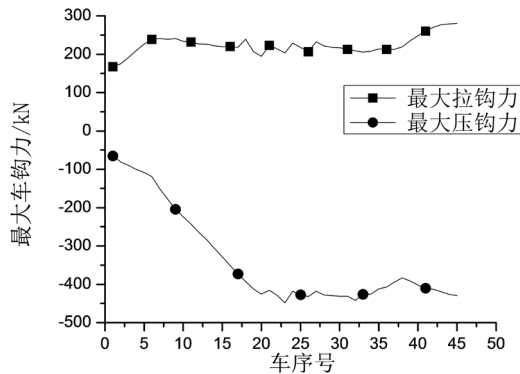


Figure 9. The maximum coupler force along the length of the vehicle in scheme 2
图 9. 方案二最大车钩力沿车长分布曲线

后部时, 其对前中部车辆的冲击就小很多。综合两方面因素导致方案三编组中的最大车钩力略小。在方案二中将 SQ8 列车编组在列车中部。结合图 11 第 20 车位最大车钩力时域曲线分析, 可以看到在 3.6~4 秒左右车钩力增加速度快, 随后在 4~6.7 秒左右车钩力增加速度减慢直至达到最大车钩力。这是因为在制动过程中, 前车先发生制动作用, 且制动缸充气所用时间较短, 这样其与中部车辆制动力差在初始阶段不断增大, 使得车辆间形成较大的速度差, 由于车钩间隙的存在, 中部车辆对前部车辆产生冲击作用, 导致在初始阶段车钩力增加速度快。后部车辆制动缸动作时间晚于中部车辆, 但其制动缸充气所用时间小于中部车辆, 所以在 4~6.7 秒后部车对中部车冲击产生的车钩力增加速度减慢直至达到最大。

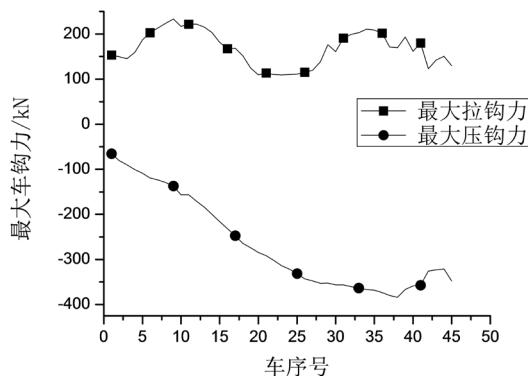


Figure 10. The maximum coupler force along the length of the vehicle in scheme 3
图 10. 方案三最大车钩力沿车长分布曲线

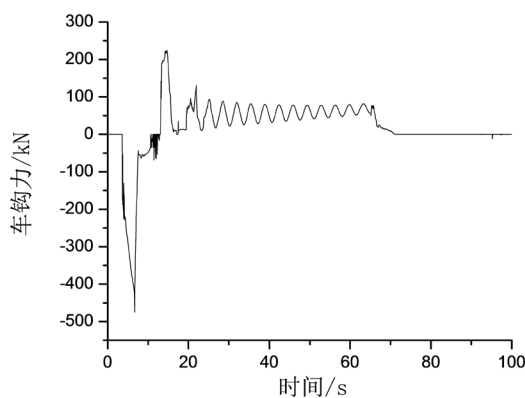


Figure 11. The maximum coupler force of the twentieth vehicle in scheme 2
图 11. 方案二第 20 车位最大车钩力沿车长分布曲线

当 SQ8 列车混编入 C70 时, 总的制动距离增大了, 最大增加了 30 米。但同时车钩力减小了, 也就是列车间的纵向冲动减小了。综合上述分析, 当 SQ8 列车混编入 C70 尾部时在这三种方案中为最优。

4. 结论

本文在建立 SQ6 列车、SQ8 列车和 C70 列车仿真模型的基础上利用列车空气制动与纵向动力学联合仿真系统(TABLDSS), 建立了多组混编列车模型, 并以减小混编列车车钩力和紧急制动距离为目标, 确定了混编列车较优的编组方式。主要结论如下:

1) SQ6、SQ8 和 C70 单编列车按照各自编组要求在相同平直道上以 120 km/h 速度运行时的紧急制动距离分别为 1399 米、1385 米和 1194 米。即从制动角度来看, SQ8 与 SQ6 列车基本一致, 而 C70 列车比他们的制动能力强。

2) 当 3 组 SQ8 列车混编在 SQ6 列车首尾时, 它对整列车的制动距离和纵向冲动影响都很小, 与 SQ6 单编时的制动距离和最大车钩力基本一致。所以综合混编列车的纵向冲动特性和紧急制动距离考虑, SQ8 列车可以和 SQ6 列车正常混编使用。

3) 当 3 组 SQ8 列车混编在一列 C70 列车不同位置时, 其最大车钩力较 C70 单编时都要小很多。且 SQ8 列车位于混编列车中部位置时车钩力最大, 位于混编列车尾部位置时较首部位置车钩力略小。而紧急制动距离较 C70 单编时有所增加, 且当 SQ8 列车位于混编列车尾部时增加的最少, 为 10 米。综合考虑, 当 SQ8 列车混编入一列 C70 列车时位于该列车尾部较优。

参考文献

- [1] Cole, C., Spiryagin, M., Wu, Q. and Sun, Y.Q. (2017) Modelling, Simulation and Applications of Longitudinal Train Dynamics. *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, **55**, 1498-1571. <https://doi.org/10.1080/00423114.2017.1330484>
- [2] Aboubakr, A.K., Volpi, M., Shabana, A.A., *et al.* (2016) Implementation of Electronically Controlled Pneumatic Brake Formulation in longitudinal Train Dynamics Algorithms. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K Journal of Multi-Body Dynamics*, **230**, 1-22. <https://doi.org/10.1177/1464419316628764>
- [3] Ansari, M (2009) Longitudinal Dynamics of Freight Trains. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, **16**, 102-131.
- [4] 范佩鑫. 重载列车牵引、调速及紧急制动的纵向力——大秦线万吨列车试验研究[J]. 西南交通大学学报, 1994, 29(1): 57-64.
- [5] 杜念博. 制动特性对列车纵向冲动影响及优化分析[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连交通大学, 2012: 21-47.
- [6] 魏伟, 赵旭宝, 姜岩. 列车空气制动与纵向动力学集成仿真[J]. 铁道学报, 2012, 34(4): 39-46.
- [7] 魏伟, 于海龙. 制动特性对总在列车纵向冲动影响的比较[J]. 大连交通大学学报, 2013, 34(4): 1-6.
- [8] 魏伟, 武星宇. 制动特性对列车纵向冲动的的影响[J]. 大连交通大学学报, 2012, 33(2): 1-5.
- [9] 杨亮亮, 傅茂海, 曾文昌, 周尚书. 基于纵向冲动的混编货物列车编组方案研究[J]. 中国铁道科学, 2015, 36(4): 108-114.
- [10] 陈海啸, 魏伟. 快捷与普通货车混编列车纵向动力学仿真分析[J]. 铁道机车车辆, 2017, 37(4): 60-65.
- [11] 魏伟. 列车空气制动系统数值仿真[J]. 铁道学报, 2003, 25(1): 38-42.
- [12] 黄十周, 盛震风. SQ6 型运输汽车专用车单车实验意外紧急制动的研究[J]. 铁道车辆, 2013, 51(10): 10-13.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3431, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojtt@hanspub.org