

3万吨列车编组方案制动特性仿真研究

孙元波¹, 孙德茂², 魏 伟³

¹国能朔黄铁路发展有限责任公司, 河北 肃宁

²中车齐齐哈尔车辆有限公司, 黑龙江 齐齐哈尔

³大连交通大学, 辽宁 大连

收稿日期: 2022年7月18日; 录用日期: 2022年9月6日; 发布日期: 2022年9月13日

摘 要

为探寻3万吨重载列车各种列车编组方式的优劣, 利用TABLDSS仿真系统, 仿真分析了1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 可控列尾、1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 1、1 + 162 + 1 + 162 + 1等3种编组形式下列车制动特性、制动后缓解特性、再充风能力。计算结果表明, 以制动性能评价, 性能由好至坏的编组顺序是1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 1、1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 可控列尾、1 + 162 + 1 + 162 + 1。以缓解同步性评价和再充风能力评价, 1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 1最好, 1 + 162 + 1 + 162 + 1次之, 1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 可控列尾最差。由此得出3万吨列车最优编组方案是1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 1, 该工作为3万吨列车编组的选择提供参考。

关键词

重载列车, 列车编组, 制动特性, 缓解特性

Simulation Study on Braking Characteristics of 30,000 t Heavy Haul Train Configuration Scheme

Yuanbo Sun¹, Demao Sun², Wei Wei³

¹China Energy Shouhuang Railway Development Co., Ltd., Suning Hebei

²CRRC Qiqihar Vehicle Co., Ltd., Qiqihar Heilongjiang

³Dalian Jiaotong University, Dalian Liaoning

Received: Jul. 18th, 2022; accepted: Sep. 6th, 2022; published: Sep. 13th, 2022

Abstract

In order to explore the advantages and disadvantages of various train configuration modes of

文章引用: 孙元波, 孙德茂, 魏伟. 3万吨列车编组方案制动特性仿真研究[J]. 交通技术, 2022, 11(5): 391-398.

DOI: 10.12677/ojtt.2022.115039

30,000 t heavy haul trains, using the TABLDSS simulation system, the train braking characteristics, release characteristics and recharging capacity under the three configuration forms of 1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + controllable train tail, 1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 1, 1 + 162 + 1 + 162 + 1 are simulated and analyzed. The calculation results show that the configuration sequence from good to bad is 1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 1, 1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + controllable train tail and 1 + 162 + 1 + 162 + 1. According to the evaluation of release synchronization and recharging capacity, 1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 1 is the best, followed by 1 + 162 + 1 + 162 + 1, and 1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + controllable tail is the worst, It is concluded that the optimal configuration scheme of 30,000 ton trains is 1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 1. This work provides a reference for the selection of 30,000 t train configuration.

Keywords

Heavy Haul Train, Train Configuration, Brake Characteristics, Release Characteristics

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

2 万吨列车是我国目前重载运输最长编组列车, 在大秦铁路和朔黄铁路已经分别开行多年, 具有比较成熟的运营经验。随着货运量需求的增加, 3 万吨列车开行迫在眉睫。3 万吨列车最合理的编组形式是 3 万吨列车试验和开行前需要解决的问题, 在不具备各种编组列车试验的条件下, 仿真方法是研究最优列车编组的最有效手段。

王军分析了大秦线单元万吨列车、1 万吨组合列车以及 2 万吨组合列车编组方式, 并探讨了大秦线 3、4 万吨组合重载列车编组方案[1]。王磊基于重载列车编组方案、机辆配置、装卸需求等方面, 进行了 2.5、3 万吨重载组合列车编组方案的模拟计算[2]。Colin Cole 和 Maksym Spiryagin 进行了不同牵引速度和不同列车配置下的列车起动动力学模拟仿真, 对车钩力进行模拟仿真比较, 分析了改善列车纵向动力学的途径[3]。

国内外通过仿真方法研究合理的列车编组多数着重于车钩力分析, 这是重载列车安全性的主要因素, 但是对于各种编组列车制动与缓解的传播特性, 制动缸升压特性以及再充风能力的研究较少, 这些制动特性直接关系到重载列车的冲动水平, 也关系到重载列车的操纵方法, 因此在真实列车试验前对这些特性充分了解对于重载列车试验和顺利开行都具有重要的参考价值。本文使用基于气体流动理论以及多体动力学的列车空气制动与纵向动力学联合仿真系统(TABLDSS), 该仿真系统已经成功应用于 2 万吨重载组合列车制动特性预测[4], 列车充风能力对重载列车纵向冲动影响研究[5], 仿真结果与试验结果比较研究[6], 新型电空制动系统性能预测研究[7], 该仿真系统参加了国际纵向动力学评测, 在计算精度和计算速度上获得优异成绩[8]。该仿真系统已经成功应用于大秦铁路、朔黄铁路, 作为操纵方法分析的有力工具在日常工作中应用广泛, 特别是在大秦线重大事故分析中发挥了重要作用, 其分析精度得到应用部门的普遍认可。本研究使用 TABLDSS 仿真各种编组的 3 万吨列车的制动特性、缓解特性以及再充风能力, 为 3 万吨列车编组提供借鉴。

2. 列车编组方案及仿真计算条件

根据朔黄铁路机车车辆特点, 在使用神 8 机车和 C80/C80B 车辆的条件下, 在现有的机车牵引能力、

线路状况以及列车运输组织可行性等几方面考虑, 3 万吨列车可能的编组方案有:

- 1) 1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 可控列尾(以下简称方案 1);
- 2) 1 + 108 + 1 + 108 + 1 + 108 + 1 (以下简称方案 2);
- 3) 1 + 162 + 1 + 162 + 1 (以下简称方案 3)。

由于缺少 3 万吨主从控之间时间差的试验数据, 暂时根据 2 万吨列车试验结果选取 2 s 作为主从机车间指令延迟时间; 车辆使用牵引杆, 2 车一组; 车辆均装有 120-1 控制阀, 列车管定压为 600 kPa; 列车运行初速度 70 km/h。

计算了减压 170 kPa 常用制动, 紧急制动, 减压 50 kPa 后缓解。分析了制动缸特性、制动和缓解波传递规律和再充风能力。

3. 仿真结果

3.1. 制动缸升压特性和制动波传播特性

图 1~3 是 3 万吨重载列车 3 种编组在常用制动减压 170 kPa 和紧急制动过程中, 第 2、56、111、165、220、274 车、尾车以及最晚制动车的制动缸压强随时间上升曲线。

从图 1(a)中曲线可以看出, 输出的制动缸曲线基本分为两类, 一类制动缸上升速度较快, 从制动缸充气开始到制动缸充满风大约 20 s 左右; 另一类上升速度较慢, 制动缸充风时间大约 70 s 左右。以最慢充风的 327 车为例, 这个车辆接近尾车 328 车, 而尾车具有可控列尾, 由于可控列尾具有减压 50 kPa 排风功能, 因此可以看到第 327 车制动缸开始充气时间较早, 他仅比主控机车排风晚 2 s, 同样第三小列中部车辆列车管排风较慢, 制动缸上升速度也较慢, 与 327 车制动缸上升速度相近。在第一小列和第二小列中部车辆制动缸(第 56 车和 165 车), 由于两边机车排风较快, 对应的列车管减压速度也较快, 造成制动缸上升速度较快。紧急制动时制动缸曲线仅有少量车形状有所差异, 其余车辆制动缸形状与第 2 车基本一致。少量有差异车辆多数位于列车尾部, 这是因为可控列尾按照常用制动速率排风, 开始的时候这部分车辆按照常用制动特性完成制动缸充风, 待紧急排风传到时, 才按照紧急制动排风特性开始排风, 因此出现制动缸先慢速上升, 而后又快速上升的现象。

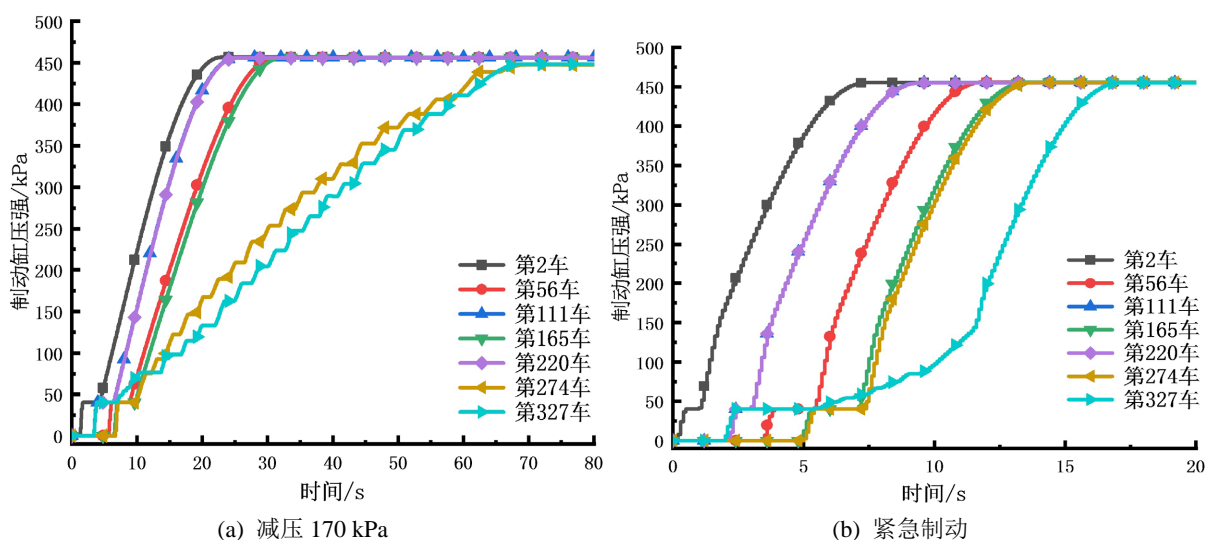


Figure 1. Pressure curve of brake cylinder in scheme 1

图 1. 方案 1 制动缸升压曲线

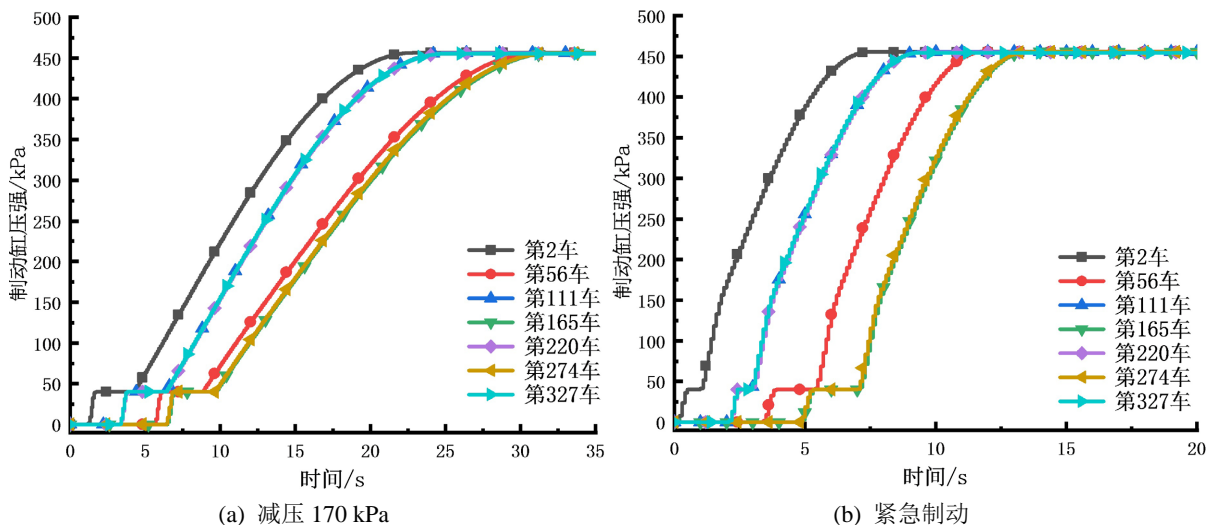


Figure 2. Pressure curve of brake cylinder in scheme 2
图 2. 方案 2 制动缸升压曲线

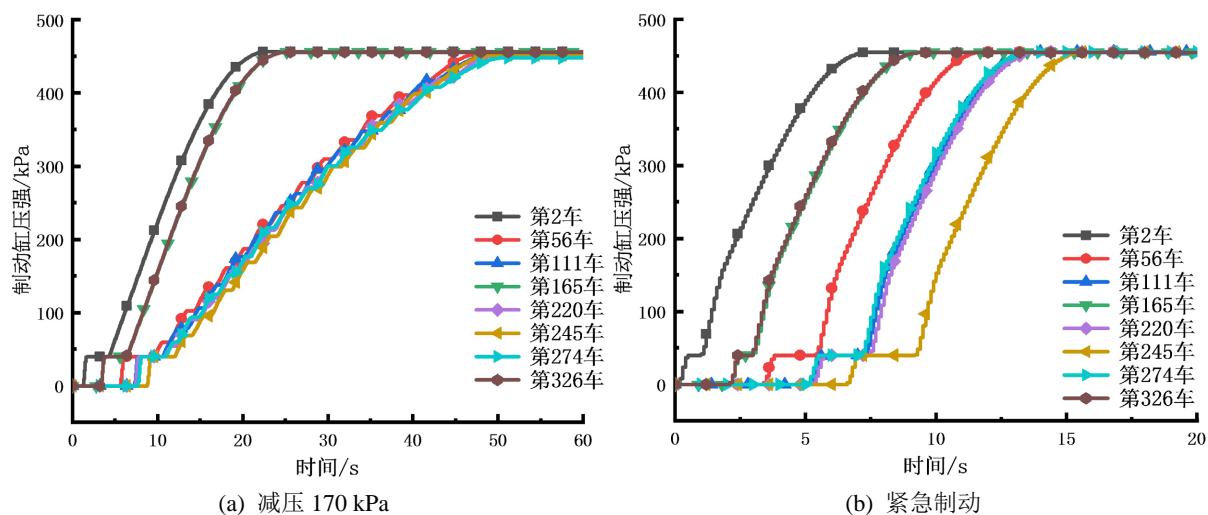


Figure 3. Pressure curve of brake cylinder in scheme 3
图 3. 方案 3 制动缸升压曲线

图 2 中(方案 2 编组, 尾部有一个机车)制动缸曲线有比较明显的特点, 就是几乎所有的制动缸曲线上升斜率几乎一致, 这是因为机车排风能力较强, 使得机车附近和两机车间的车辆制动缸压强上升速度差异不大, 常用制动时制动缸充气时间大约都是 20 s 左右。图 3 中(方案 3)常用制动时制动缸曲线也是分为两类, 一类是较慢充气, 一类是较快充气, 较慢充气的是位于两机车中部的车辆, 较快充气的是位于机车附近的车辆。特别需要注意的是同为第 56 车在方案 3 中制动缸充气速度明显慢于方案 1 和 2 中对应车辆制动缸充气速度, 这是因为方案 3 中两机车相距较远, 机车排风在向列车中传播时衰减较强, 造成方案 3 中第 56 车列车管减压速度明显低于前两个方案, 最终造成制动缸压强上升较慢。

常用制动三个方案中, 从列车中制动动作最早和动作最晚车辆动作时间差看, 方案 1 和方案 2 差异不大, 而方案 3 则时间差更大。图 4 绘出了三种编组常用制动和紧急制动各车辆制动缸活塞开始伸出时间沿车长分布。

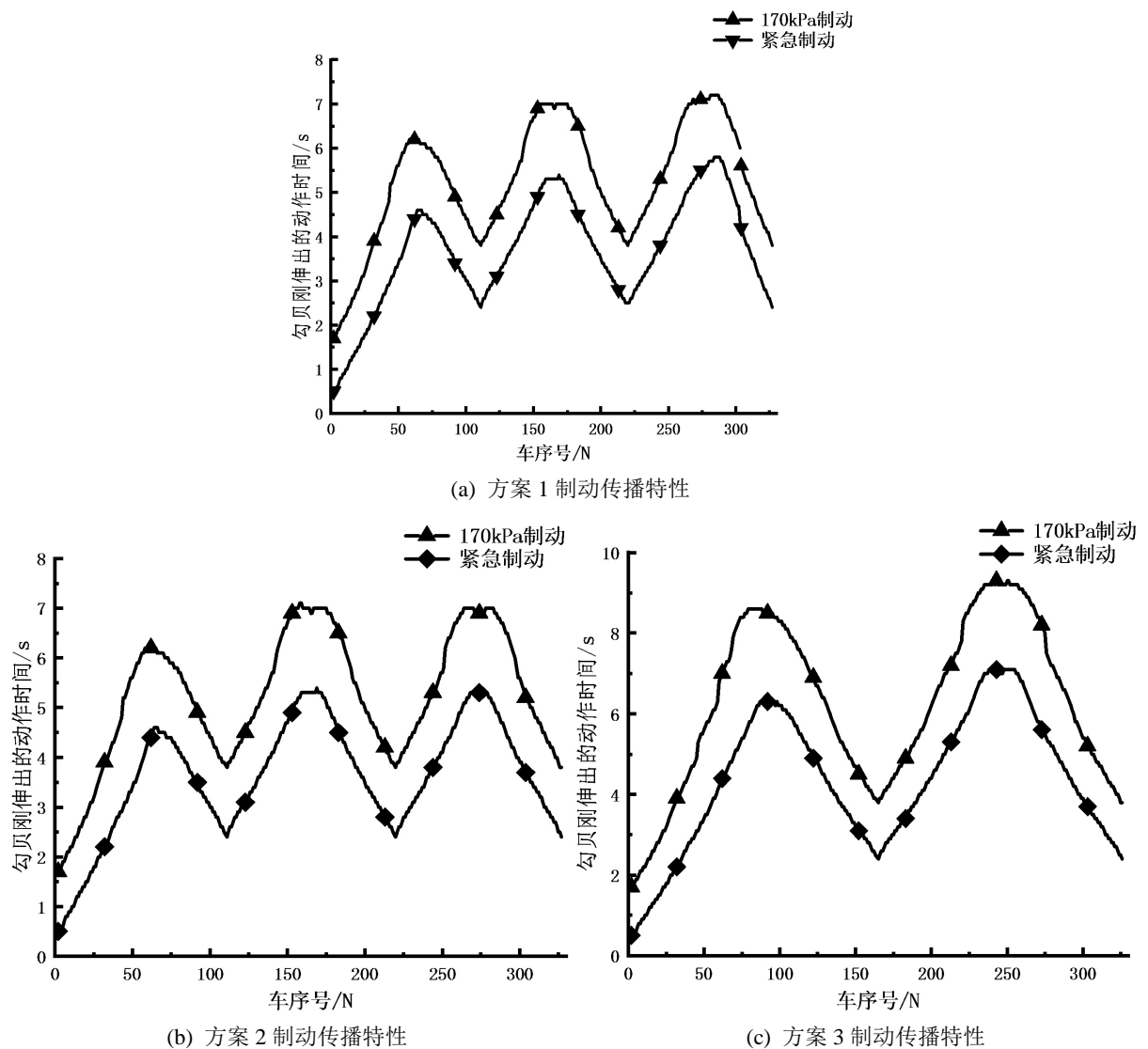


Figure 4. The action time of brake cylinder piston of 30,000 t configuration train

图 4. 3 万吨编组制动缸活塞开始伸出时间

3 万吨重载列车制动特性可以由制动缸升压特性结合制动波传播特性来进行分析, 经过分析, 可以比较出方案 2 制动性能在 3 万吨重载列车编组方案中最好, 由于尾部有机车、车辆分布均匀, 使其制动缸开始制动时间更早, 制动同步性更好、升压速度更快。3 万吨编组制动特性由好到坏排序为方案 2、方案 1、方案 3。

3.2. 缓解波传播特性

重载列车长大坡道循环制动中缓解后会产生较大车钩力, 因此这里重点分析初制动后缓解的缓解特性。操作过程为初制动待制动系统压强稳定后缓解, 记录每个车辆制动缸开始排气时间, 绘出制动缸排气开始时间沿车长分布, 如图 5 所示。

从图中曲线看, 个别相邻车辆缓解时间出现波动, 这是因为在制动结束后, 由于各车辆进入保压位时间有所不同, 缓解前副风缸压强不完全一致, 早进入保压位的车辆, 副风缸压强较高, 相反则副风缸

压强较低。正是由于缓解前副风缸压强的差异造成缓解时间有所不同造成相邻车辆有较大时间差，曲线不光滑的现象出现。

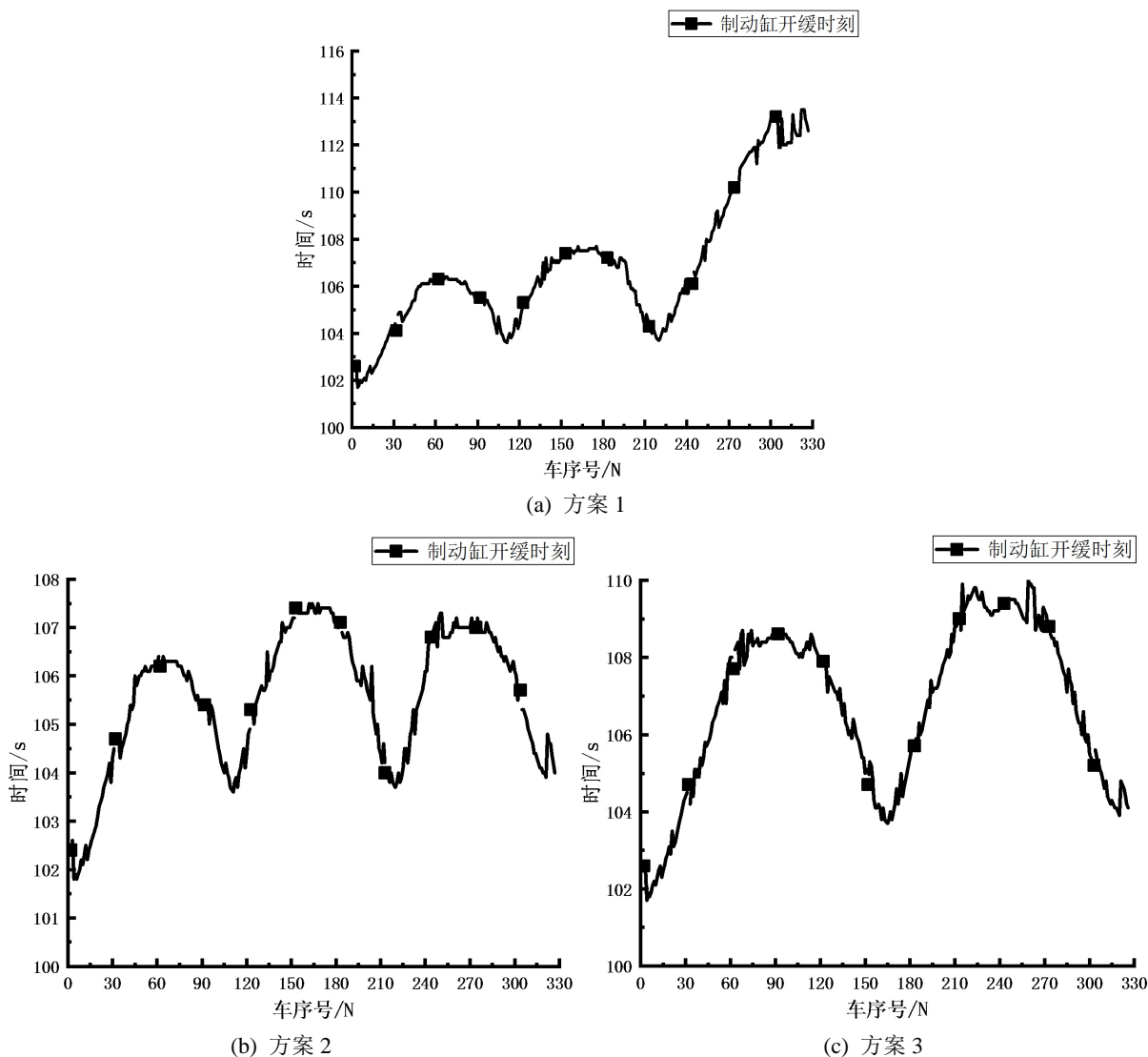


Figure 5. The moment when the brake cylinder starts to release when the train pipe pressure reduction is 50 kPa

图 5. 减压 50 kPa 并缓解时制动缸开缓时刻

图 5 中(b)和(c)制动缸开缓时间分别呈现 3 个和 2 个馒头形状,这是因为在机车附近的车辆缓解较早,并且向列车内传播,两个机车传出的信号交界处为馒头顶峰,是最晚缓解车辆。包含主控机车的馒头呈现非对称状是因为从控机车相对于主控机车动作时间延迟 2 s 的原因。图 5(a)中呈现两个半馒头形状,这是因为尾部可控列尾没有充风功能,最后一小列车均是由从控机车 2 传递来的信号使后一小列缓解,因此后一小列缓解波的传播基本呈线性传播,最后部车辆最晚缓解。

方案 2, 由于其尾部存在从控机车,可以向前方车辆进行充风,减小前后车辆缓解时间差,制动缸开缓最大时间差为 5.7 s, 方案 1 开缓最大时间差达到了 11.8 s, 方案 3 开缓最大时间差为 8.3 s。3 万吨编组缓解同步性由好到坏排序为方案 2、方案 3、方案 1。

3.3. 再充风能力评价

记录 3 万吨不同编组方式减压 50 kPa 制动 100 s 后缓解的列车管压力变化，将全列中列车管再充风速度最慢的车辆列车管升压曲线绘成图 6 和表 1。比较 3 万吨不同编组的再充风能力，可以反映列车连续制动能力强弱，保证重载列车下坡道区间，列车制动力足够。

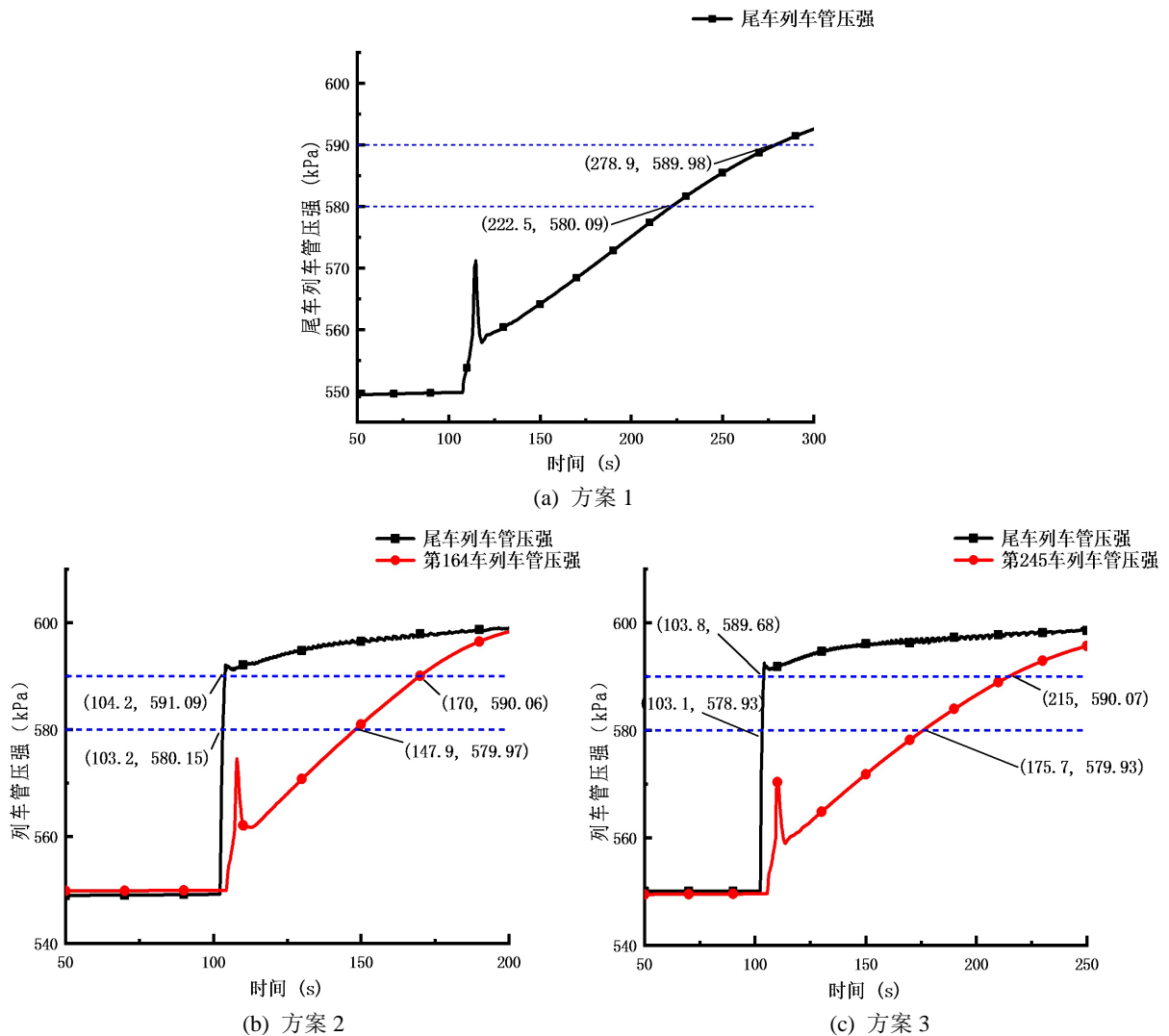


Figure 6. The recharging curves of the train pipes under different configurations of the 30,000 t train
图 6. 3 万吨不同编组列车管再充风曲线

Table 1. The recharging time of train pipes under different configurations of the 30,000 t train

表 1. 3 万吨不同编组列车管充风时间

充风时间编组方式	580 kPa 最长充风时间/s	590 kPa 最长充风时间/s
方案 1	122.1	179.1
方案 2	47.9	70.0
方案 3	77.3	114.2

从图6以及表1可以看出,3万吨重载列车编组方式中,再充风能力最强的是方案2,第164车的列车管充气最慢,列车管充风到580 kPa需要约48 s,列车管充风到590 kPa为70 s。而方案1编组方式再充风能力最差,尾车第328车距离机车较远,列车管在约122 s充风到580 kPa,需要约179 s充风到590 kPa。列车再充风能力决定于机车充风能力和列车漏泄情况,如果漏泄增加,充风时间将会延长。

4. 结论

通过列车空气制动与纵向动力学联合仿真系统分析了3万吨列车可能的几种编组的制动系统特性,得出如下结论:

- 1) 从制动同步性和制动缸升压曲线的一致性看,方案2(1+1+1+1)编组方案最优,时间差最小,预计由于制动不同步产生的车钩力也将最小。方案1(1+1+1+可控列尾)次之,方案3(1+1+1)最差。
- 2) 以缓解同步性作为比较指标,方案2最优,方案3次之,方案1最差。最早与最晚缓解动作时间差分别是5.7 s、8.3 s和11.8 s。
- 3) 以再充风能力评价,方案2最优,方案3次之,方案1最差。减压50 kPa后再充风到580 kPa所需时间分别是47.8 s、77.3 s和122.1 s。

参考文献

- [1] 王军. 大秦线重载列车编组方式的实践与研究[J]. 科技情报开发与经济, 2010, 20(20): 185-188.
- [2] 王磊. 大秦线3万t列车仿真计算与试验验证[J]. 铁道机车车辆, 2015, 35(5): 22-27.
- [3] Cole, C., Spiryagin, M., Sun, Y.Q., et al. (2013) A Study of Starting Dynamics in Heavy Haul Trains. 23rd International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks (IAVSD 2013), Qingdao, 19-23 August 2013.
- [4] 魏伟. 两万吨组合列车制动特性[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(6): 12-16.
- [5] 张渊, 魏伟, 赵旭宝, 等. 制动充气时间对快捷列车纵向冲动影响研究[J]. 大连交通大学学报, 2021, 42(1): 15-19.
- [6] 宋健, 魏伟. 重载列车纵向动力学仿真模型的有效性研究[J]. 大连交通大学学报, 2019, 40(3): 23-29.
- [7] 魏伟, 蒋勇, 张渊, 等. 一种新型列车分组电空制动系统的研制[J]. 大连交通大学学报, 2021, 42(1): 9-14.
- [8] Wu, Q., Spiryagin, M., Cole, C., et al. (2018) International Benchmarking of Longitudinal Train Dynamics Simulators: Results. *Vehicle System Dynamics*, 56, 343-365. <https://doi.org/10.1080/00423114.2017.1377840>