

基于动力学仿真计算的 AH 型车限界研究

门永林 张运航 许 旭

(中车南京浦镇车辆有限公司, 210031, 南京)

摘 要 [目的] AH 型车集合了 A、B 型车的特点, 因其结构与传统地铁车辆有着一定的差异, 目前我国尚无对应的限界标准, 故需要对其限界开展计算研究。[方法] 基于动力学 SIMPACK 软件的方法, 以 AH 型地铁车辆为例, 分析了横风风速对动态偏移量的影响, 并与 CJJ/T 96—2018《地铁限界标准》的计算方法进行对比分析。[结果及结论] 计算结果表明: 横风对地铁车辆横向偏移具有较大影响, 而用动力学 SIMPACK 软件的方法计算得到的车辆动态位移相对较小; 依据 2 种车辆动态包络线计算结果, 推导了 AH 型车限界及设备限界的制定方法, 得出了 AH 型车推荐的车辆限界。该方法目前已成功应用于国内 3 条地铁线路限界。

关键词 地铁车辆; AH 型车; 动力学; 车辆限界; 设备限界
中图分类号 U270.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.05.009

Research on AH-model Vehicle Clearance Based on Dynamics Simulation Calculation

MEN Yonglin, ZHANG Yunhang, XU Xu

(CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China)

Abstract [Objective] The AH-model vehicle combines the characteristics of A and B type model vehicles. Due to its structural differences from conventional metro vehicles, there are currently no corresponding standards on vehicle clearance in China at present, thus it is necessary to carry out clearance calculation research. [Method] Using the dynamic simulation method based on SIMPACK software, the influence of crosswind speed on dynamic lateral offset is analyzed with AH-model metro vehicle as example. A comparative analysis of the calculation method specified in CJJ/T 96—2018 Standard for Metro Gauges is conducted. [Result & Conclusion] The calculation results indicate that crosswinds have a significant impact on the lateral offset of metro vehicles, while the dynamic displacement calculated by using dynamics SIMPACK software method is relatively small. Based on the results of the two kinds of vehicle dynamics envelope, the formulation method of AH-model vehicle clearance and equipment gauge is deduced, and the recommended vehicle clearance for AH-model is obtained. The method is successfully applied to the clearance of three metro lines in China.

Key words metro vehicle; AH-model vehicle; dynamics; vehicle clearance; equipment clearance

随着经济发展, 为满足城市轨道交通大客流需求而专门研制的新型 A 型地铁车辆, 又称“AH 型车”, 集合了 A、B 型车的特点。在地铁线路土建基础和限界条件已确定的情况下, 通过改变车体结构以提升其单向运能, 能够更好地应对高峰期的大客流需求, 具有广阔的市场空间^[1]。

限界是轨道车辆安全行车的基本保证之一。如限界安全空间预留过大, 不仅会导致施工费用上升, 同时也会引起空间浪费; 如预留过小, 则会增加发生碰撞、刮蹭等事故的概率。因此, 制定一个合理的限界不仅能确保车辆在线路上的运行安全, 而且能协调好安全性和经济性之间的匹配关系, 同时还能给车辆设计及轨道交通建设施工提供参考依据^[2]。本文以 AH 型车为研究对象, 利用动力学软件 SIMPACK 建立车辆动力学模型, 对 AH 型车限界进行仿真分析研究; 根据车辆动态包络线计算结果推导 AH 型车限界及设备限界制定方法, 为限界设计提供参考^[3]。

1 模型的建立

1.1 车辆模型

根据车辆动力学参数, 先后建立轮对、转向架及车体模型, 并通过一系、二系悬挂定位装置将各子结构连接。全车共包含 1 个车体, 2 个转向架, 8 个轴箱和 4 组轮对, 共 15 个惯性体组成。整车系统共有 50 个自由度。车辆动力学模型如图 1 所示。



图 1 车辆动力学模型

Fig.1 Vehicle dynamics model

1.2 风载建模

横风对列车行驶会产生不良影响。这种影响

会减轻一条钢轨上的压力而加重另一条钢轨上的压力。当一条钢轨上的压力减轻到一定程度时,这一侧的车轮就会浮起从而导致脱轨甚至倾覆的风险。风作用到车辆上的力可以分为两部分:稳态和非稳态的力。本文仅考虑稳态力的作用。计算中的风载采用其中的中国帽式阵风^[4],其时程曲线如图2所示。

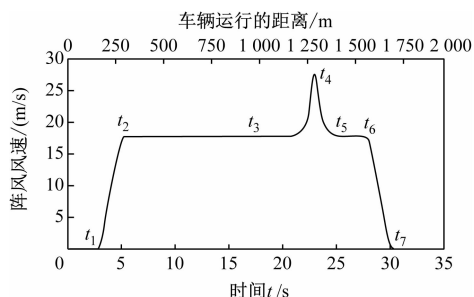


图2 中国帽式阵风时程曲线图

Fig. 2 Time history curve of Chinese hat style gusts

由图2可知: t_1 之前无横风, t_1-t_7 为阵风风速变化的时间历程; t_1-t_2 时间段,阵风风速线性增长直到风速均值; t_2-t_3 时间段阵风风速不变, t_3-t_4 时间段的阵风风速出现第二次增长;到达 t_4 时刻时,阵风风速达到最大,而 t_4-t_5 时间段的阵风风速出现减小,至时间点 t_6 时,风速达到均值; t_6-t_7 时间段的阵风风速线性减小到时刻 t_7 时,阵风风速减为零。

将气动力载荷以外部荷载的形式施加在车体动力学模型上,便可研究横风对车辆动态偏移量的影响。

1.3 模型假设

建立动力学模型时,根据实际情况,重点考虑对动力学性能影响较大的主要因素,而对一些非主要因素则进行简化处理^[5]。因此,本模型做了如下假设:

1) 模型中车体、构架、轮对均被视为刚体。实际车辆系统中的车体、构架和轮对的弹性与悬挂系统相比要小得多,可以忽略各部件的弹性变形,视作刚体。

2) 模型中将钢轨的弹性变形量忽略,仅考虑轨道不平顺带来的影响。

3) 假设车辆匀速通过设定轨道。

2 模型仿真计算工况

直线轨道长度为2 000 m,计算无风、10 m/s和20 m/s的稳态横风,以20 km/h为间隔,计算了速

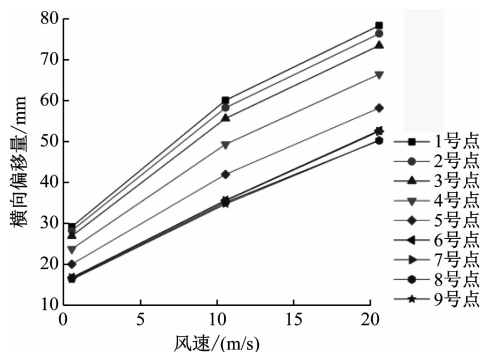
度从20 km/h到100 km/h共5个速度等级。该车最高运行速度为80 km/h。

3 基于动力学方法的研究

3.1 横风对车辆动态偏移量的影响

通过对不同风速和车速条件下车辆各截面的横向和垂向偏移量的计算结果进行分析,可以得出如下结论:

横风对车辆偏移量的影响如图3和图4所示:随着横风风速增加,横向偏移量在明显增加,垂向偏移量随着横风风速的增加并无明显变化。



注:1~9号点为在车辆轮廓上取9点来表征车辆的轮廓。

图3 横向偏移量随风速变化

Fig. 3 Diagram of lateral offset changing with wind speed

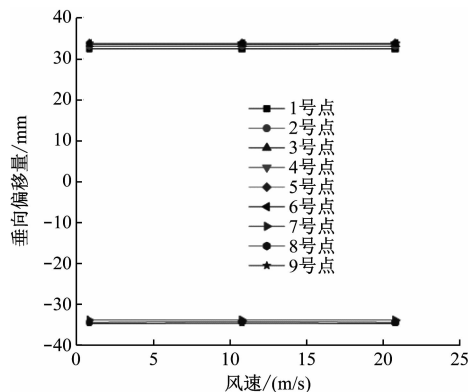


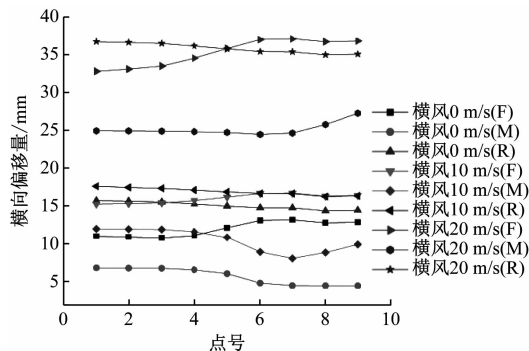
图4 垂向偏移量随风速变化

Fig. 4 Diagram of vertical offset changing with wind speed

3.2 车速80 km/h的车辆动态包络线

此处研究该车在不同横风作用下,以最高运行速度80 km/h通过预设轨道的动态包络线。模型稳定通过预设轨道,计算并筛选此速度下的各车辆轮廓点横向(见图5)和纵向(见图6)偏移量。

由图5可以看出:在同一横风作用下,相同截面各点横向偏移量幅值波动不大基本相同,前后端面各点的横向偏移量略大于中面横向偏移量;随着风速增加,各截面各点横向偏移量明显增加。



注:F为前端截面;M为中端截面;R为后端截面。

图5 速度为80 km/h车辆轮廓点横向偏移量图

Fig. 5 Lateral offset diagram of 80 km/h vehicle profile points

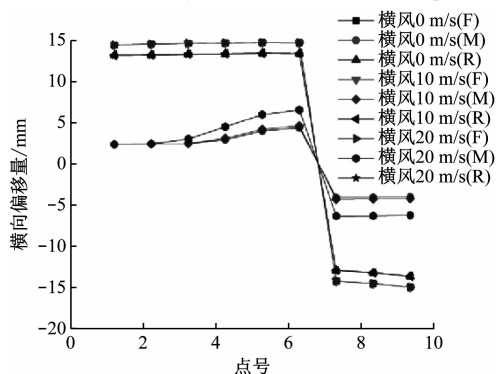


图6 速度为80 km/h车辆轮廓点垂向偏移量图

Fig. 6 Vertical offset diagram of 80 km/h vehicle profile points

由图6可以看出:在同一横风作用下,相同截面各点垂向偏移量幅值波动不大基本相同,前后端面各点的垂向偏移量略大于中面垂向偏移量;随着风速增加,各截面各点垂向偏移量无明显变化。

动力学计算方法模型仿真运算时无法考虑静态偏移量,这里通过后期数据处理,从而弥补这方面的不足。静态偏移量主要包括轮轨磨耗。根据实际运行条件,最大轨距为1 441 mm,轮缘磨耗为6 mm,公差为3 mm。总静态偏移量为12 mm。将静态偏移量与通过动力学计算得出的轮廓断面图上各控制点的最大动态偏移量及控制点静态坐标值累加,得出相应点的动态限界控制点坐标值。基于上述数据绘制得到AH型车在速度为80 km/h时最大车辆动态包络线如图7所示。

由图7可以看出:车辆在最高运行速度为80 km/h下的车辆最大动态包络线未侵入站台,该速度下车辆最大动态包络线在站台高度距站台水平距离为52.04 mm。

4 仿真值与标准值的对比

对同一辆车的同一轮廓,采用CJJ/T 96—2018

《地铁限界标准》计算和动力学软件计算,对比2种计算方法得出的在站台高度处的安全间隙。用在直线区间工况下计算车辆动态包络线,如图8所示。

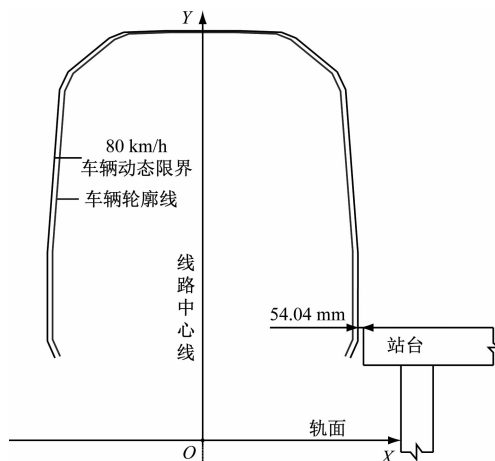


图7 速度为80 km/h车辆动态包络线

Fig. 7 Dynamic envelope line of 80 km/h vehicle

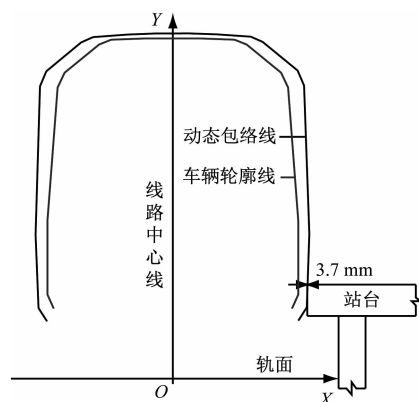


图8 直线区间工况下车辆动态包络线

Fig. 8 Vehicle dynamic envelope line under straight line interval operation

结合图7和图8可知:用动力学仿真计算得到的车辆偏移量较小,与站台的安全间隙较大,而采用CJJ/T 96—2018标准的计算方法得到的车辆偏移量较大。标准中的计算方法考虑因素全面,而动力学仿真中只能考虑轨道激励及横风等带来的影响,故按照标准计算的结果较为保守。

5 计算结果分析

5.1 车辆限界及设备限界的制定方法

AH型车限界的制定采用A型车车体部分和B型车的转向架部分整合的限界,再与拟合的最大动态包络线校核。若包络线小于限界则按限界制定,反之,则按照包络线制定。限界制定流程图如图9所示。

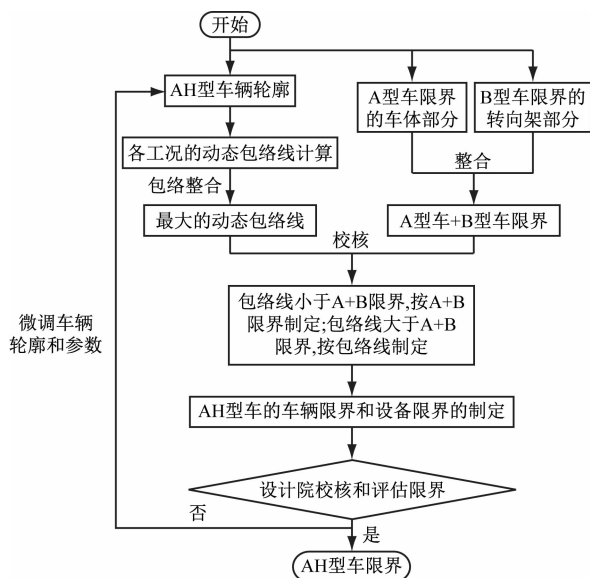
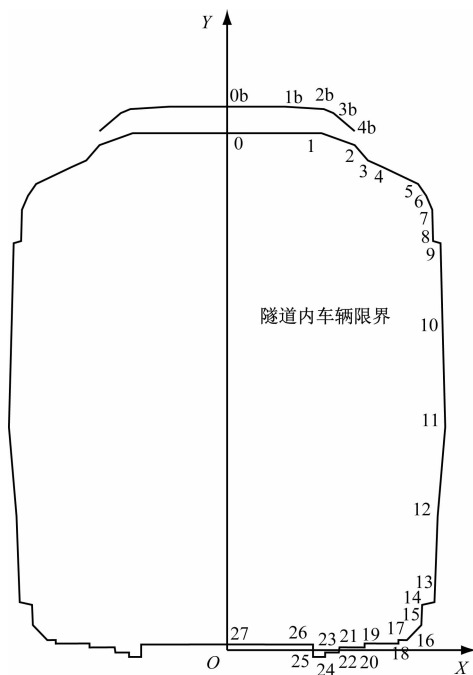


图9 限界制定流程图

Fig. 9 Flow chart of clearance formulation

5.2 推荐的车辆限界

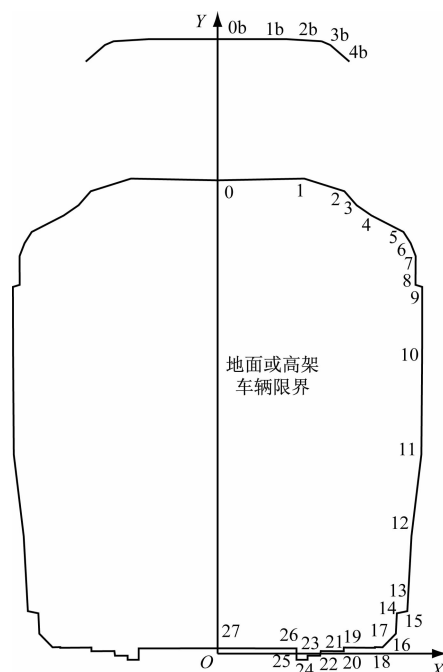
计算车辆(不论空车或重车)在平直线的轨道上按规定速度运行,结合动力学仿真软件,获取车辆关键控制点横向和竖向动态偏移后的统计轨迹。按照图9所示流程推导该车车辆限界,推导出车辆限界如图10和图11所示,车辆限界控制点坐标如表1和表2所示。



注:图中0~27为隧道内车辆限界控制点号,0b—4b为隧道内受电弓限界控制点号。

图10 隧道内车辆限界

Fig. 10 Vehicle clearance in tunnel



注:图中0~27为高架或地面车辆限界控制点号,0b—4b为高架或地面受电弓限界控制点号。

图11 地面或高架车辆限界

Fig. 11 Ground or elevated vehicle clearance

表1 隧道内车辆限界坐标

Tab.1 Vehicle clearance coordinates in tunnel

点号	X/mm	Y/mm	点号	X/mm	Y/mm	点号	X/mm	Y/mm
0	0	3 885	11	1 642	1 677	22	841	-18
1	710	3 885	12	1 585	1 007	23	738	-18
2	960	3 795	13	1 561	361	24	738	-51
3	1 060	3 680	14	1 468	340	25	647	-51
4	1 171	3 630	15	1 462	188	26	647	42
5	1 437	3 503	16	1 353	75	27	0	43
6	1 499	3 414	17	1 290	76	0b	0	4 084
7	1 544	3 309	18	1 290	49	1b	439	4 084
8	1 550	3 074	19	1 035	50	2b	728	4 066
9	1 606	3 058	20	1 035	20	3b	800	4 036
10	1 620	2 498	21	846	21	4b	960	3 900

6 结语

1) 依托动力学 SIMPACK 仿真软件和中国帽子风的加载模式同时施加轨道不平顺激励,模拟车辆高架运行时的边界条件,进行车辆偏移量的理论计算。其计算结果表明同一速度下横风风速与横向偏移量成正相关,与垂向偏移量无明显关系。

表 2 地面或高架车辆限界坐标

Tab.2 Ground or elevated vehicle clearance coordinates

点号	X/mm	Y/mm	点号	X/mm	Y/mm	点号	X/mm	Y/mm
0	0	3 885	11	1 671	1 634	22	841	-18
1	710	3 899	12	1 590	964	23	738	-18
2	1 040	3 795	13	1 556	348	24	738	-51
3	1 140	3 680	14	1 470	330	25	647	-51
4	1 262	3 596	15	1 462	163	26	647	42
5	1 524	3 461	16	1 353	51	27	0	43
6	1 583	3 369	17	1 290	53	0b	0	5 044
7	1 624	3 263	18	1 290	47	1b	564	5 044
8	1 623	3 027	19	1 035	49	2b	853	5 026
9	1 678	3 010	20	1 035	19	3b	924	4 996
10	1 677	2 454	21	846	20	4b	1 081	4 860

2) 采用 CJJ/T 96—2018《地铁限界标准》计算的动态包络线相较于动力学软件计算的结果更为保守。在动力学软件计算方法中,是通过建立实际的车辆仿真模型来模拟车辆对外界激励的响应,从而产生动态偏移量,据此形成车辆的动态包络线,更能贴近实际车辆的运动姿态,从而可以大幅降低线路建设成本,但安全性不如 CJJ/T 96—2018《地铁限界标准》的高。

3) 目前,我国尚未有 AH 型车限界相关的规范、标准,因此本文通过动力学仿真结果,同时结合 CJJ/T 96—2018《地铁限界标准》来计算动态包络线,推导车辆限界和设备限界的制定方法。作为参考,推荐 AH 型车车辆限界,其可指导 AH 型车交通设备和建筑的布置,有利于该类车的使用安全性及

推广。

参考文献

- [1] 李铁, 栾平景. 国内外客车总体设计标准对比研究[J]. 国外铁道车辆, 2006, 43(5): 36.
LI Tie, LUAN Pingjing. Comparison research on overall design standards for passenger cars in China and abroad[J]. Foreign Rolling Stock, 2006, 43(5): 36.
 - [2] 温炎丰, 吴晓, 周建成, 等. 基于动力学仿真的轻量化跨座式单轨限界研究[J]. 机械工程与自动化, 2021(4): 8.
WEN Yanfeng, WU Xiao, ZHOU Jiancheng, et al. Research on limit of lightweight straddle monorail based on dynamic simulation[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2021(4): 8.
 - [3] 罗仁, 胡俊波, 王一平. 考虑随机因素的高速列车动力学模拟方法及应用[J]. 铁道车辆, 2016, 54(10): 1.
LUO Ren, HU Junbo, WANG Yiping. Dynamics simulation method and the application on high speed trains with consideration of random factors[J]. Rolling Stock, 2016, 54(10): 1.
 - [4] PANDYA A. Exploring computational geometry of fundamental interactions in static limits[J]. Physics Essays, 2019, 32(3): 411.
 - [5] 何银川. 基于 Simpack 的驮背运输车辆系统动力学研究[D]. 济南: 济南大学, 2019.
HE Yinchuan. Dynamics research of piggyback transport system based on Simpack[D]. Jinan: University of Jinan, 2019.
- 收稿日期:2023-11-09 修回日期:2023-12-30 出版日期:2024-05-10
Received:2023-11-09 Revised:2023-12-30 Published:2024-05-10
· 通信作者: 门永林, 正高级工程师, MYL1219@sina.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 39 页)

- [6] 黄彩虹, 曾京, 郭平波, 等. 铁道客车车体弹性振动减振研究[J]. 工程力学, 2010, 27(12): 250.
HUANG Caihong, ZENG Jing, GUO Pingbo, et al. Study on car body flexible vibration reduction for railway passenger carriage[J]. Engineering Mechanics, 2010, 27(12): 250.
- [7] 宫岛, 刘广宇, 周劲松, 等. 动车组车体异常振动问题分析及治理研究[J]. 机械工程学报, 2021, 57(10): 95.
GONG Dao, LIU Guangyu, ZHOU Jinsong, et al. Research on abnormal vibration issue of car bodies of EMU trains and its treat-

ment[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2021, 57(10): 95.

- 收稿日期:2023-11-02 修回日期:2023-12-20 出版日期:2024-05-10
Received:2023-11-02 Revised:2023-12-20 Published:2024-05-10
· 通信作者: 韦海菊, 正高级工程师, haijuwei@163.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license