

铰接式 100%低地板有轨电车车辆轴重平衡分析

苏 强 罗 超 臧晓艳 刘 洋 沈旭奎

(中车唐山机车车辆有限公司产品研发中心,063035,唐山//第一作者,工程师)

摘 要 介绍了 100%低地板有轨电车车辆的编组形式,进行了车辆轴重及轴重平衡仿真计算。通过分析得出利用铰接调节车辆轴重均衡的措施,这些措施能满足车辆轴重平衡的要求。

关键词 铰接式有轨电车; 100%低地板; 轴重平衡

中图分类号 U482.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.03.018

Axle Load Balance Analysis for Articulated 100% Low-floor Vehicles

SU Qiang, LUO Chao, ZANG Xiaoyan, LIU Yang, SHEN Xukui

Abstract The composition of 100% low-floor tram vehicle is introduced, the vehicle axle load and axle load balance are simulated. Through analysis, measures to balance the axle load are obtained, which can meet the requirements of the vehicle axial load balance.

Key words articulated type tram; 100% low-floor vehicle; axial load balance

Author's address Research and Development Centre, CRRC Tangshan Co., Ltd., 063035, Tangshan, China

100%低地板有轨电车是当今世界先进的城市轨道交通系统之一,其爬坡能力强,能够通过小半径曲线线路,目前在城市轨道交通领域的应用已越来越

广泛。有轨电车在线路运行过程中,车辆轴重的平衡尤为重要。目前,多利用加垫调簧法调整轮重,即在转向架一系、二系弹簧处增加调整垫,通过调整载荷分布均匀来达到调节车辆轴重平衡的要求,但实际效果不佳。特别是针对铰接式低地板车辆,轴重调节更需要多方法协同作用。

本文以多铰接式五模块 100%低地板有轨电车为研究对象。首先,介绍车辆的编组形式;其次,进行各工况的轴重以及轴重均衡化计算,对计算数据结果分析;最后,得出利用调节铰接纵向载荷受力达到调节车辆轴重平衡的措施,以满足车辆轴重平衡的要求。

1 多铰接 100%低地板有轨电车车辆编组形式

多铰接 100%低地板有轨电车采用 5 模块车辆编组形式,分别为 Mc01、Mc02、F01、F02、Tp 车。其中,Mc01、Mc02 车为带司机室的动力车,Tp 车为带受电弓的拖车,F01、F02 车为无转向架的悬浮车。整列车通过铰接和车钩连接而成,相邻两车车端下部为固定铰,上部为弹性铰或自由铰。车辆编组示意如图 1 所示。

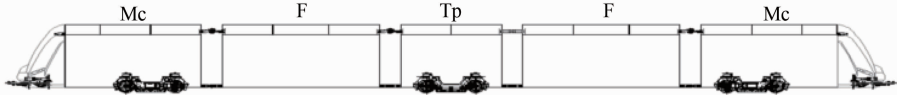


图 1 多铰接 100%低地板有轨电车车辆编组示意图

2 车辆轴重计算

在车辆轴重有限元分析计算中,除铰接和悬挂

外的构件均视为刚体。图 2 所示为车辆的结构示意图,输入参数和添加约束后进行分析计算,可得到相应工况下的轴重值。

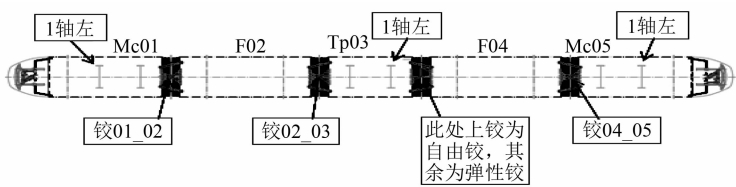


图 2 车辆结构示意图

根据车辆实际运行情况,考虑到车辆在 AW0 (空车)、AW2(定员)以及 AW3(超员)3 种工况下的车辆轴重数据变化,通过输入车辆质量数据以及质心数据,得到的 3 种工况下车辆的轴重见表 1~3。

表 1 AW0 工况下车辆轴重

模块	轴号	轴重/kg	轴重和/kg	轴重差/kg	轴重偏差/%
Mc01	1	8 274.02	16 435.1	112.98	0.69
	2	8 161.05			
Tp03	2	7 303.52	14 507.5	-99.51	-0.69
	1	7 204.01			
Mc05	2	8 138.76	16 435.7	158.14	0.96
	1	8 296.90			

表 2 AW2 工况下车辆轴重

模块	轴号	轴重/kg	轴重和/kg	轴重差/kg	轴重偏差/%
Mc01	1	10 593.8	21 715.6	-528.04	-2.43
	2	11 121.8			
Tp03	2	11 079.8	22 137.9	-21.73	-0.10
	1	11 058.1			
Mc05	2	11 115.3	21 712.9	-517.78	-2.38
	1	10 597.5			

表 3 AW3 工况下车辆轴重

模块	轴号	轴重/kg	轴重和/kg	轴重差/kg	轴重偏差/%
Mc01	1	11 174.8	23 092.7	-743.05	-3.22
	2	11 917.9			
Tp03	2	12 152.9	24 307.2	-1.34	-0.01
	1	12 154.3			
Mc05	2	11 915.9	23 088.6	-743.11	-3.22
	1	11 172.8			

由表 1~3 可知,AW0 工况下的轴重偏差在标准范围内,AW2 和 AW3 工况下的轴重偏差都出现了一定的超标;AW0 工况下,由于 Mc 模块的车头部分较重,导致轴 1 的质量大于轴 2,偏差为正;AW2 和 AW3 工况下,由于乘客数量增加,F 车分配更多的质量给 Mc 车,此时 Mc 车轴 2 的质量大于轴

1,偏差为负。由此可见,3 种工况下均存在轴重不平衡问题。

3 轴重均衡化仿真计算

由以上分析可知,AW2 和 AW3 工况下的轴重偏差出现了超标情况,AW0 工况下的偏差相对较小,所以可以通过对弹性铰进行预调的方式,使所有工况下的轴重均衡化。在有限元分析中,通过在弹性铰位置处添加载荷的方式来模拟弹性铰的预调。

先测出未调节时每种工况下弹性铰的铰接力,由于主要进行纵向的调节,所以测出弹性铰的纵向力即可(正值为拉伸力,负值为压缩力)。由上述分析可知,仅 Mc 车的轴重出现了超标的情况,所以只需调节 Mc 车的弹性铰,即调节铰 01_02 和铰 04_05。铰 01_02 和铰 04_05 的原有铰接力,如表 4 所示。

表 4 各工况下铰 01_02 和铰 04_05 原有的纵向铰接力

工况	弹性铰的铰接力/N	
	铰 01_02	铰 04_05
AW0	-51.249	-201.915
AW2	-10 678.729	-10 687.599
AW3	-14 308.688	-14 272.825

注:负值表示压缩力

在原铰接力的基础上附加一个力,由于 Mc 车在 AW2 和 AW3 工况下均为轴 1 承受质量小于轴 2,所以应在铰接处附加一个推力,方能使其轴重均衡。根据力的相互性,同时也给相邻的 F 车加载大小相同的推力。

各种工况下不同附加力时的轴重偏差和仿真结果如表 5~7 所示。

表 5 AW0 工况下不同附加力时的轴重偏差

附加力/N	Mc01 车轴重			Tp03 车轴重			Mc05 车轴重		
	轴重/kg		偏差/%	轴重/kg		偏差/%	轴重/kg		偏差/%
	轴 1	轴 2		轴 2	轴 1		轴 2	轴 1	
500	8 353	8 070	1.72	7 295	7 237	-0.39	8 072	8 351	1.70
1 000	8 441	7 956	2.96	7 287	7 280	-0.05	7 960	8 443	2.95
1 500	8 530	7 863	4.07	7 280	7 323	0.30	7 848	8 536	4.20
2 000	8 618	7 759	5.24	7 272	7 366	0.64	7 735	8 628	5.46
2 500	8 706	7 645	6.49	7 265	7 408	0.98	7 623	8 720	6.71

随着附加力的增加,AW0 工况下的轴重偏差会逐渐增大,AW2 和 AW3 工况下的轴重偏差绝对值

先逐渐变小,然后反向增大。通过数据分析发现,附加力和轴重偏差之间成线性关系,如表 8 所示。

表 6 AW2 工况下不同附加力时的轴重偏差

附加 力/N	Mc01 车轴重			Tp03 车轴重			Mc05 车轴重		
	轴重/kg		偏差/%	轴重/kg		偏差/%	轴重/kg		偏差/%
	轴 1	轴 2		轴 2	轴 1		轴 2	轴 1	
500	10 687	11 013	-1.50	11 072	11 103	0.14	11 001	10 691	-1.43
1 000	10 775	10 910	-0.62	11 064	11 146	0.37	10 889	10 783	-0.48
1 500	10 863	10 806	0.26	11 057	11 188	0.59	10 776	10 875	0.46
2 000	10 951	10 703	1.15	11 050	11 231	0.81	10 664	10 968	1.40
2 500	11 040	10 599	2.04	11 042	11 274	1.04	10 551	11 060	2.35

表 7 AW3 工况下不同附加力时的轴重偏差

附加 力/N	Mc01 车轴重			Tp03 车轴重			Mc05 车轴重		
	轴重/kg		偏差/%	轴重/kg		偏差/%	轴重/kg		偏差/%
	轴 1	轴 2		轴 2	轴 1		轴 2	轴 1	
500	11 263	11 815	-2.39	12 146	12 198	0.21	11 798	11 269	-2.30
1 000	11 352	11 711	-1.55	12 139	12 241	0.42	11 686	11 361	-1.41
1 500	11 439	11 609	-0.74	12 132	12 283	0.62	11 572	11 454	-0.51
2 000	11 527	11 505	0.09	12 124	12 326	0.82	11 469	11 647	0.38
2 500	11 615	11 402	0.93	12 117	12 368	1.03	11 348	11 639	1.27

表 8 各工况下 Mc01 车和 Mc05 车附加力与轴重偏差的线性关系

车类	各工况下附加力与轴重偏差的线性关系		
	AW0 时	AW2 时	AW3 时
Mc01	$y=0.002\ 3\ x+0.617\ 9$	$y=0.001\ 8\ x-2.411\ 4$	$y=0.001\ 7\ x-3.218\ 5$
Mc05	$y=0.002\ 5\ x+0.506\ 4$	$y=0.001\ 9\ x-2.380\ 2$	$y=0.001\ 8\ x-3.203\ 9$

注: x 为附加力; y 为轴重偏差

1) 对于 Mc01 车,当表 8 中 AW0 和 AW3 工况下的轴重偏差绝对值相等时,可以使所有工况都达到最均衡的效果,即 $|0.002\ 3\ x+0.617\ 9|=|0.001\ 7\ x-3.218\ 5|$,此时解得附加力为 650.15 N。由于弹性铰的纵向刚度为 5 000 kN/m,可以得出弹性铰的预调整量为 0.13 mm,即在 AW0 工况下使弹性铰的压缩量增加 0.13 mm,可使所有工况下的轴重都能达到最均衡化。

2) 对于 Mc05 车同理可得,当表 8 中 AW0 和 AW3 工况下的轴重偏差绝对值相等时,可使所有工况达到最均衡的效果,即 $|0.002\ 3\ x+0.617\ 9|=|0.001\ 7\ x-3.218\ 5|$,此时解得附加力为 613.63 N。同理可得弹性铰的预调整量为 0.12 mm,即在 AW0 工况下使弹性铰的压缩量增加 0.12 mm,可使所有工况的轴重都能达到最均衡化。

4 铰链法调节轴重

通过有限元分析的方式,在每一个弹性铰处改变载荷的大小,测量出所有相应的轴重值;然后根据弹性铰的刚度值,将载荷转化为其压缩量,即可

得到轴重变化量和弹性铰压缩变化量之间的关系,具体如图 3~11 所示。

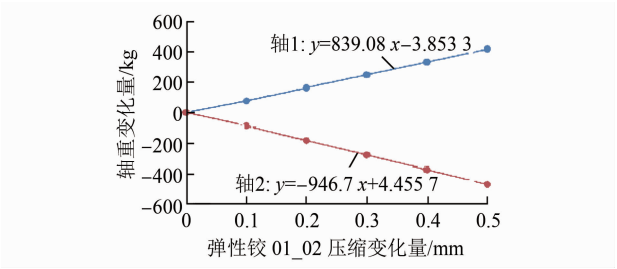


图 3 Mc01 车轴重与弹性铰 01_02 之间的关系

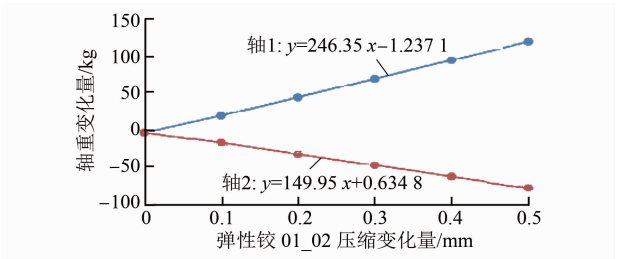


图 4 Tp03 车轴重与弹性铰 01_02 之间的关系

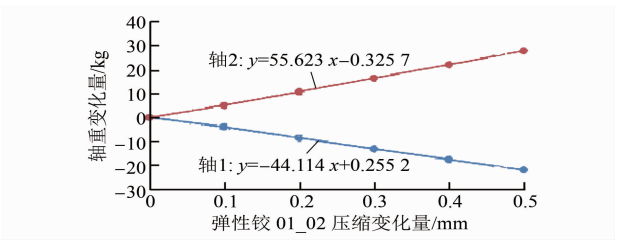


图 5 Mc05 车轴重与弹性铰 01_02 之间的关系

得到两者之间的关系之后,即可进行铰接调整模拟计算,计算结果如表 9 所示。

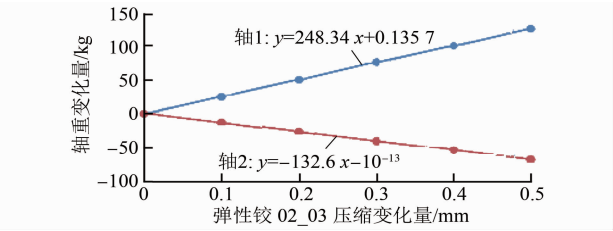


图 6 Mc01 车轴重与弹性铰 02_03 之间的关系

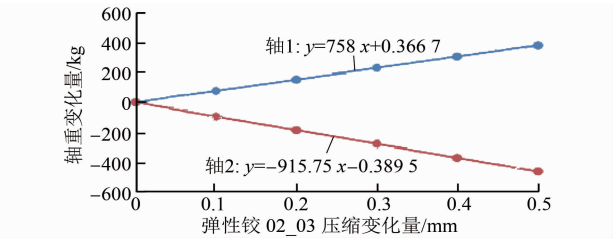


图 7 Tp03 车轴重与弹性铰 02_03 之间的关系

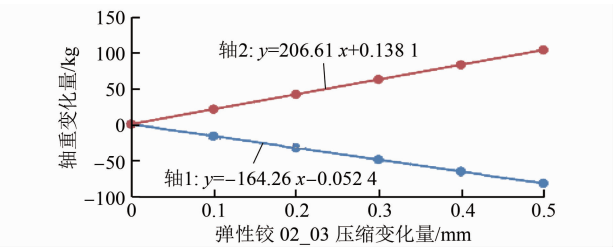


图 8 Mc05 车轴重与弹性铰 02_03 之间的关系

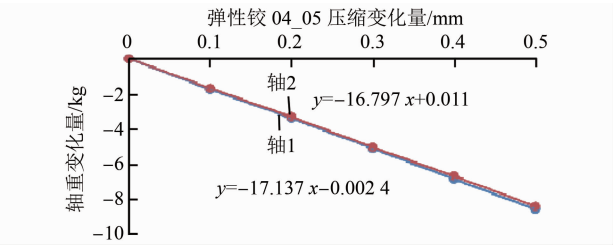


图 9 Mc01 车轴重与弹性铰 04_05 之间的关系

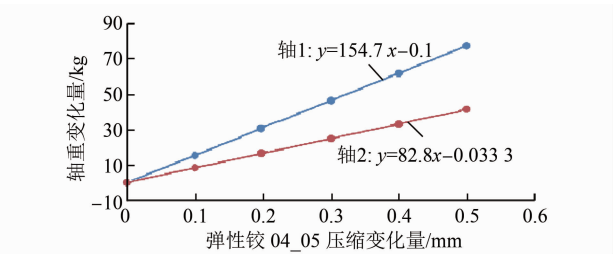


图 10 Tp03 车轴重与弹性铰 04_05 之间的关系

从表 9 可以看出,通过不断调整 3 个弹性铰的压缩(拉伸)量,能够将轴重偏差调整至标准范围内。

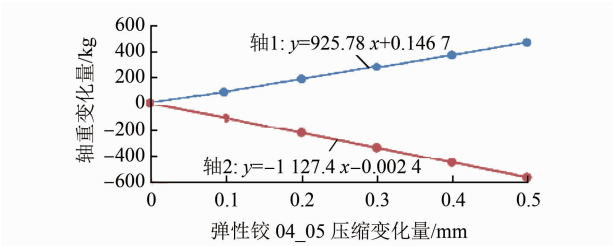


图 11 Mc05 车轴重与弹性铰 04_05 之间的关系

表 9 多铰接 100%低地板有轨电车车辆轴重调整记录表

模块	轴号	轴重/kg	总轴重/kg	平均轴重/kg	轴重差/kg	轴重偏差/%
调整前	Mc01 轴 1	6 785.0	5 525.0	7 762.50	-1 955.0	-12.59
	轴 2	8 740.0			1 955.0	12.59
	Tp03 轴 1	8 835.0	5 120.0	7 560.00	2 550.0	16.87
	轴 2	6 285.0			-2 550.0	-16.87
调整后	Mc05 轴 1	6 755.0	4 915.0	7 457.50	-1 405.0	-9.42
	轴 2	8 160.0			1 405.0	9.42
	Mc01 轴 1	7 440.3	15 178.1	7 589.05	-297.5	-1.96
	轴 2	7 737.8			297.5	1.96
	Tp03 轴 1	7 919.3	15 595.2	7 797.60	243.4	1.56
	轴 2	7 675.9			-243.4	-1.56
	Mc05 轴 1	7 300.7	14 786.9	7 393.45	-185.5	-1.25
	轴 2	7 486.2			185.5	1.25

注:铰 01_02 调整量为 1.30;铰 02_03 调整量为-1.70 mm;铰 03_04 调整量为 0.35 mm;车辆原总质量为 45 560.0 kg,调整后车辆总质量为 45 560.2 kg

5 结语

铰接式 100%低地板有轨电车车辆在 AW0 工况下的轴重都保持在标准范围内,而 AW2 和 AW3 工况下则出现了一定的超标现象。可以通过调节弹性铰压缩量的方式对车辆的轴重进行调整,最终使其轴重都控制在标准范围之内。

参考文献

[1] 孔新星,朱涛.复铰式 100%低地板车辆结构强度分析方法研究[J].机械设计与制造,2015(11): 127.

[2] 赵大斌,任利惠.70%低地板轻轨车辆的型式比较[J].城市轨道交通研究,2007(3): 29.

[3] CENELEC.Railway applications-structural requirements of railway vehicle bodies;EN 12663[S].Brussels:CENELEC,2000.

[4] 徐灏.机械设计手册[M].北京:机械工业出版社,1991.

[5] 方昆凡.工程材料手册——黑色金属材料卷[M].北京:北京出版社,2002.

(收稿日期:2018-04-26)