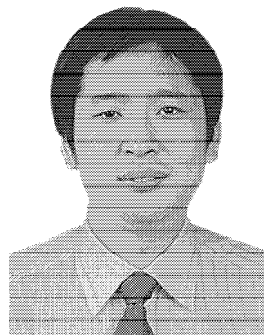


试
验
检
测

试验动车组受电弓弓体 及安装强度研究

孙传铭

(南车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266111)



作者简介: 孙传铭 (1981-), 男, 硕士, 现从事轨道交通车辆电气系统的研发工作。

摘 要: 为了解受电弓在我国高速试验动车组上的性能, 对其机械、结构强度进行预判, 构建了试验动车组受电弓弓体、底座的有限元分析模型, 分析了600 km/h速度工况下, 弓体各部件的机械结构强度参数、底座及焊缝关键部位的应力分布, 并对弓体结构强度、底座焊缝结构强度、固定螺栓结构强度进行了校核。分析结果表明: 试验动车组受电弓的弓体及安装结构强度均在安全系数范围内, 能够满足试验列车高速运行的要求。

关键词: 试验动车组; 受电弓; 强度; 试验验证

中图分类号: U264.3⁺4; U292.91⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2013)05-0080-04

Pantograph Body and Its Installation Strength Research of Test EMUs

SUN Chuan-ming

(CSR Qingdao Sifang Locomotive & Rolling Stock Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266111, China)

Abstract: In order to understand pantograph performance on domestic high-speed test EMUs, pantograph mechanical and structural strength was anticipated. Pantograph body and base finite element analysis model of test EMUs was built, and pantograph body parts mechanical and structural strength parameter and stress distribution of base and welded seam was analyzed at 600 km/h speed, as well as structural strength of pantograph body, base welded seam and fixed bolt was checked. Result of analysis showed that the test EMUs pantograph body and its installation structural strength was in the safety factor range, which met the requirements of high-speed test train.

Key words: test EMUs; pantograph; strength; test verification

0 引言

受电弓是确保试验动车组高速、安全、可靠运行的最关键部件之一, 为试验动车组动力牵引、辅助照明等设备供电。受电弓安装于车顶, 在列车运行过程中受电弓长期承受车体频繁振动的影响和车顶高速气流冲击, 对弓体及安装部件的机械结构强度提出了更高的要求。国内外对受电弓弓体的气动及机械性能进行了大量的研究^[1-3], 但上述研究多针对200~400 km/h速度等级的运营工况。为了进一步掌握列车在高速运营工况下的性能参数, 为现有高速铁路的安全运营提供技术保障, 我国开发了更高速度等级的试验动车组。试验动车组受电弓采用的是欧洲具有高速运用业绩的受电弓, 该受电弓在500~600 km/h速度等级下的运行性

能及机械结构强度的变化目前尚无相关的运行经验, 因此需要对该速度等级下弓体本身的机械结构强度和底座安装结构的机械强度进行预判和评估, 为后续该受电弓的安全运行奠定基础。本文结合该受电弓的实际结构参数, 构建了弓体及安装结构的有限元分析模型, 并对600 km/h速度工况下, 弓头抬升力、弓头、上臂杆、下臂杆、拉杆等关键部位的应力分布进行了分析, 对受电弓安装底座的安装结构的应力分布进行了研究, 并将仿真参数与弓体及焊缝材料的屈服强度进行了对比校核, 为该受电弓在试验动车组的安全运行提供了理论基础。

1 受电弓的结构强度设计

1.1 受电弓的结构静强度计算

在高速列车运行中, 受电弓除受静态接触压力外,

还有空气动力、弓网相互作用动态接触压力^[4]，如图1所示。

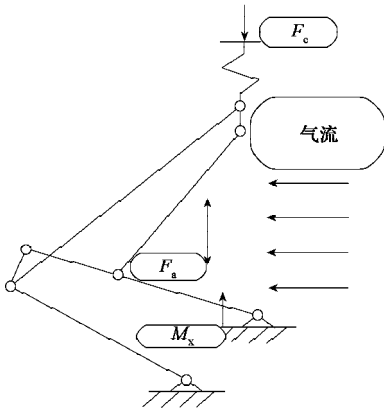


图1 受电弓受力分析

综合考虑各种情况，选取受电弓运行速度为600 km/h，升弓高度为1 578.5 mm时载荷，进行受电弓整体静强度计算，见表1。

1.2 有限元模型建立

建立模型时既要如实反映受电弓实际结构的重要力学特性，又要尽量采用较少的单元和简单的单元形态，以保证较高的计算精度及缩小解题规模。利用SOLIDWORKS根据高速受电弓的设计图纸进行精确的三维实体建模，在有限元模型中进行如下转化：①弓头悬挂的处理。实际结构中，碳滑板通过弹簧悬挂在弓头支撑上，在ANSYS中需根据实际结构的特点，合理选择刚度。②底座通过绝缘子固定在车体上，可以大量简化底座结构。③对受电弓进行强度分析时省略阻尼器和升弓装置。④高速受电弓大量采用轻质材料焊接而成，各个杆件之间通过铰接连接在一起。在有限元分析时，完全按照实际的材料属性和铰接方式进行处理。

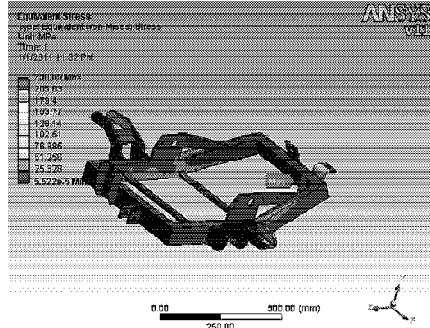
1.3 受电弓各部件强度计算

将表1的受电弓强度计算加载工况作为分析输入边界条件，通过软件对受电弓的模型进行强度仿真，受电弓的各部件的强度计算结果见图2。

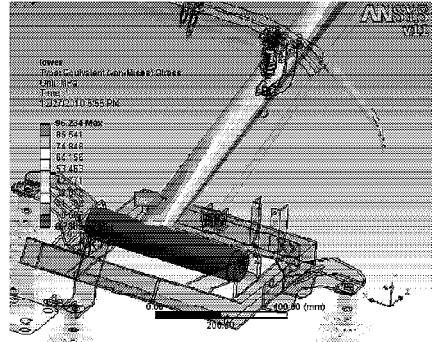
由图2可见，试验列车受电弓在升弓高度1 578.5 mm时，平衡臂应力为144.99 MPa，

表1 受电弓静强度计算加载工况

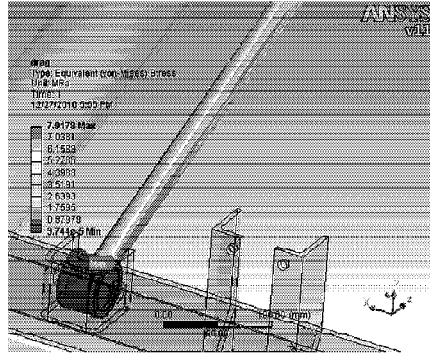
高度/mm	垂向力/N		纵向力/N				重力
	弓网接触压力	弓头气动抬升力	滑板表面	上框架	下臂杆	底架	
1 578.5	-840	252.13	1 800	396	432	2 160	√



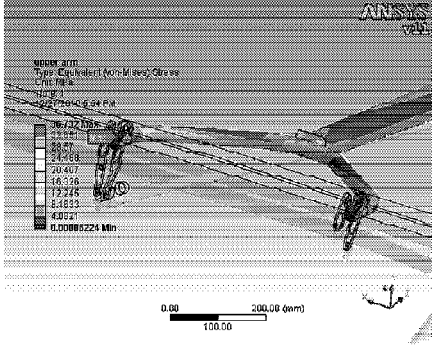
(a) 受电弓底座应力



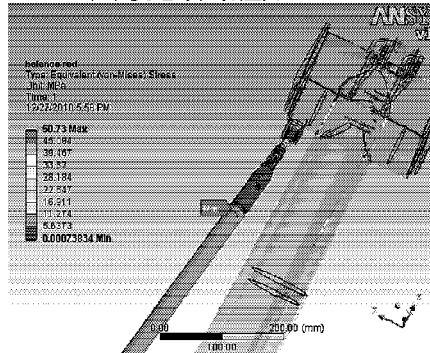
(b) 受电弓下臂杆应力



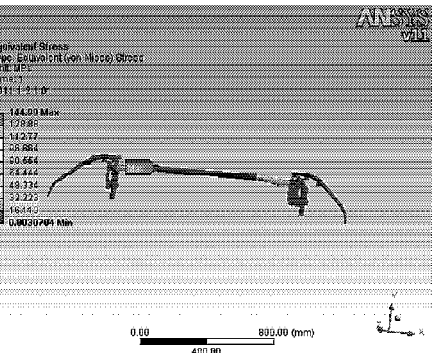
(c) 受电弓拉杆应力



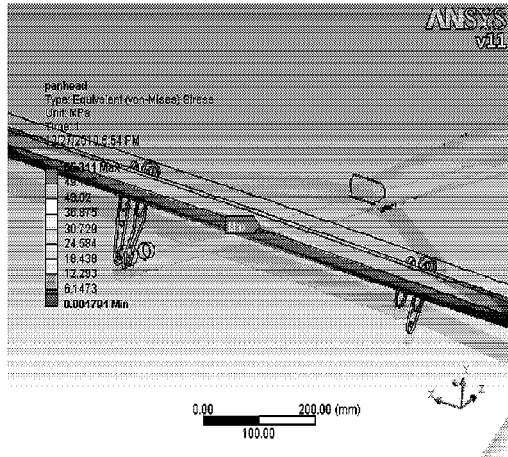
(d) 受电弓上臂杆应力



(e) 受电弓平衡杆应力



(f) 受电弓平衡臂应力



(g) 受电弓弓头应力

图2 受电弓各部件应力

最大应力点发生在底架上,为230.65 MPa。

1.4 受电弓强度校核

根据图2的仿真结果,对受电弓的强度进行校核,结果详见表2。

表2 受电弓强度校核结果

材料	部件	屈服极限 均值/MPa	危险截面最 大应力/MPa	安全系数
6061 铝合金	上臂杆	276	36.732	7.513 884
3040Cr18Ni9	平衡臂	300	144.990	2.069 108
3211Cr18Ni9Ti	下臂杆	300	96.234	3.117 401
GT50 石磨纤维	平衡杆	630	50.730	12.418 690
410	底座	595	230.650	2.579 666
3040Cr18Ni9	拉杆	220	7.918	27.785 500
6061 铝合金	弓头	276	55.311	4.989 966

以上按照高速受电弓的强度校核流程,建立试验列车受电弓的三维实体模型,并且根据受电弓各部件真实的约束和运动关系,把各部件装配起来,利用有限元软件完成了受电弓的强度分析。结果表明:在相同材料参数条件下,采用600 km/h的载荷工况,试验列车受电弓的最大应力为230.65 MPa,受电弓主要部件的强度校核都能通过,安全系数超过2.5。基于强度计算的结果可见,受电弓可满足600 km/h运行安全的强度考核。

2 受电弓安装座车体强度分析

为校核更高速度试验车受电弓的安装座应力,利用Hyper works对安装座进行应力分析,并对计算结果进行评价。

2.1 单元选择及材料选取

采用壳单元划分受电弓安装座,单元边长10 mm。安装座焊缝按厚度3 mm处理,等同车顶型材的厚度。有限元模型如图3所示,安装座的材料属性如表3所示。

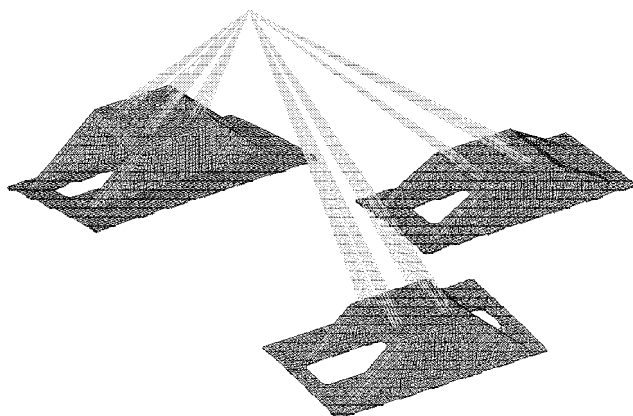


图3 安装座有限元模型及边界条件

表3 安装座的材料属性

材料	型号	抗拉强度	弹性模量	备注
铝板	A5083P-O	275 MPa	0.69 GPa	母材及焊缝许用应力 125 MPa

2.2 边界条件的确定

非正常工况:依据UIC标准,受电弓质心承受纵向

加速度载荷5g、横向加速度载荷3g、垂向加速度载荷3g;当试验速度为600 km/h,则风压载荷为11 850 N。

疲劳工况:按照气密载荷 $\pm 6\ 000$ Pa,受电弓投影面积 0.6 m^2 ,则载荷为3 600 N。

约束确定:约束车顶位移为0。

2.3 计算结果

1)非正常工况

安装座的应力图如图4、图5所示。

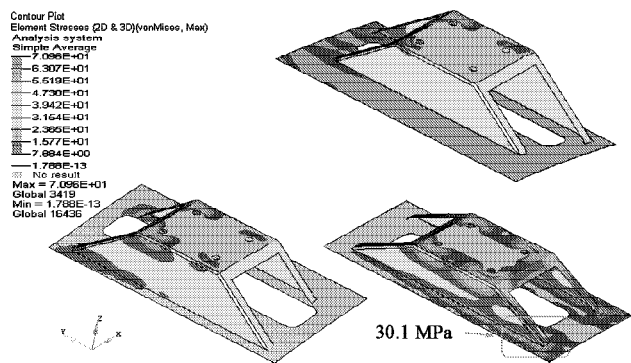


图4 安装座本体焊缝应力分布图

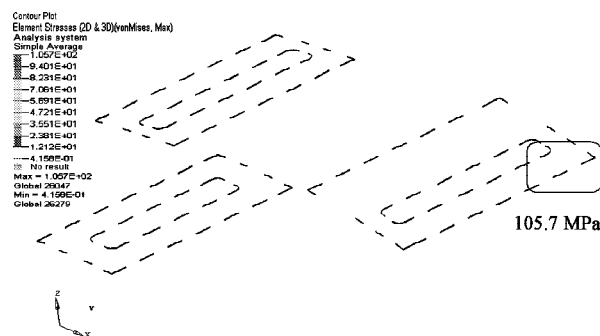


图5 安装座与车体连接的焊缝应力分布图

从图4和图5可以看出,安装座本体焊缝应力、安装座与车体连接的焊缝应力均低于焊缝材料的许用应力,满足静强度要求。

2)疲劳工况

安装座的应力图如图6、图7所示。

从图6和图7可以看出,焊缝的最大主应力均低于焊缝材料的疲劳强度,满足疲劳强度要求。

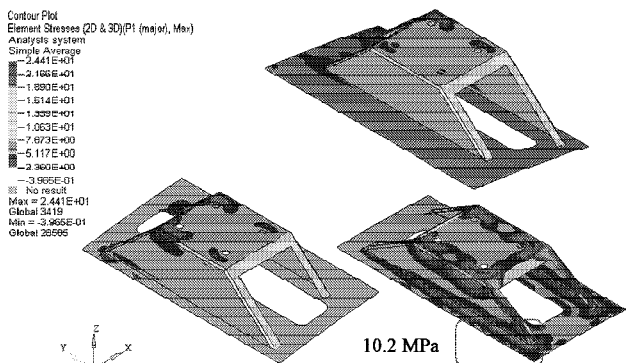


图6 安装座本体焊缝最大主应力分布图

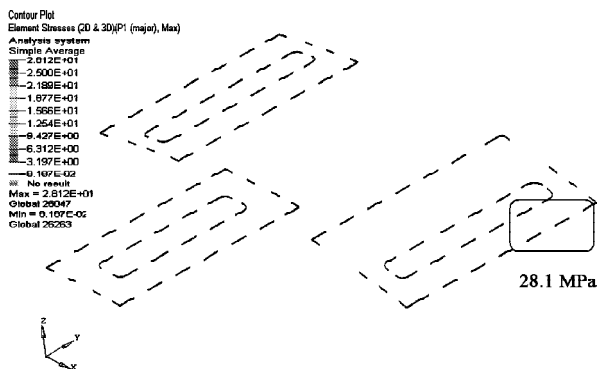


图7 安装座与车体连接的焊缝最大主应力分布图

2.4 受电弓安装螺栓校核

试验列车受电弓的安装选用不锈钢螺栓A2-70, 抗拉强度最小为 $\sigma_b=700 \text{ N/mm}^2$, 仿真分析螺栓的拉力 F_0 为109.9 kN, 则螺栓的安全系数为 $Q=F_0/F_{\max}=2.3$ 。

从应力图可以看出, 安装座焊缝及母材应力均低于材料母材与焊缝的许用应力, 在安装座及焊缝满足强度及疲劳强度要求, 选用的安装螺栓所受的拉力小于螺栓本身的最小抗拉强度。

(上接第57页)

小, 使列车在空车至超员范围内保持启动加速度/制动减速度基本不变, 并具有反应迅速、有效可靠的防空转/防滑行控制。

在传动控制中, 加入了低网压时的电机转矩特性控制, 以防止网压的继续降低; 增加斩波均衡控制, 防止单个制动电阻工作时间过长, 并对斩波控制进行了优化(增加震荡斩波及斩波频率限制); 功率调节控制, 使主电路更稳定以及粘着控制优化等; 进行了速度复制处理, 当某一路速度传感器发生故障时, 用综合速度替代。

广州地铁国产A型增购列车与同一线路上采用进口牵引系统车辆相比, 电传动控制系统有以下主要特点: ①广州地铁国产A型增购列车电机传动控制采用直接力矩控制加有速度传感器控制方式, 进口系统采用的是矢量控制加无速度传感器控制方式, 速度传感器有利于牵引电机转速的精确检测和电机控制, 但对速度传感器的可靠性要求高。②广州地铁国产A型增购列车空转/滑行直接由传动控制单元DCU检测和实施保护, 进口系统通过VCU实现。广州地铁国产A型增购列车的控制方式更有利于系统的响应速度。③广州地铁国产A型增购列车根据用户需求调整应用软件, 增强网络显示器显示及事件信息记录功能, 提升列车级故障分析能力, 并考虑了通过列车安防系统实现列车故障信息车地传输。④广州地铁国产A型增购列车牵引系统考虑了网络故障情况下的运营模式, 即紧急牵引模式, 完全不依赖于网络, 确保列车故障情况下的可用性。

广州地铁国产A型增购列车牵引控制系统技术平台有2个特点: ①列车网络控制及诊断系统采用分布

3 结语

试验动车组采用欧洲具有高速运用业绩的受电弓, 为保证试验列车受电弓的可靠性、安全性, 对试验列车受电弓的本体及安装座的强度进行仿真计算。基于强度计算的结果可见, 受电弓可以满足600 km/h运行安全的强度考核要求, 系统性能良好。后期还将进行进一步的整车线路型式试验, 对受电弓进行长期运行跟踪考核。

参考文献:

- [1] 张冰, 刘会平, 韩通新. 气动力作用对弓网受流影响的研究分析[J]. 铁道机车车辆, 2012(3): 132-135.
- [2] 李瑞平, 周宁, 张卫华, 等. 受电弓气动抬升力计算方法与分析[J]. 铁道学报, 2012(8): 26-32, 7.
- [3] 周宁, 张卫华, 王冬. 受电弓等效模型参数识别及动态性能测试[J]. 西南交通大学学报, 2011(3).
- [4] 于万聚. 高速电气化铁路接触网[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2003.

式控制技术, 整个列车通信网络划分为二级, 由贯通全列车的列车总线和贯通一个车辆单元的车辆总线组成。列车总线和车辆总线均采用MVB EMD介质进行通信, 网络协议的开放性、互操作性好, 可靠性高, 实时性、适用性、纠错能力强。②传动控制单元(DCU)采用完全微机化、数字化的“异步电动机直接转矩控制”、“粘着控制”软件和“交流传动模块化设计”硬件, 是组成列车通信网络的一部分, 与多功能车辆总线MVB接口及通信, 实现网络化、信息化控制。

3 结语

装载自主电传动系统的首列车于2012年5月完成装车后的出厂调试和厂内试验, 于2012年7月在广州地铁2、8号线线路上完成列车线路型式试验, 同时与信号系统完成了ATO联调; 首列列车于2012年7月开始进行ATO模式下载客试运营。截至2013年7月底, 已有18列车完成在段线路调试, 投入载客运营, 列车电传动系统表现出良好的动力性能, 系统运行稳定, 状态良好。列车成功上线运营有力地增强了国内各地铁公司对牵引电传动系统自主品牌的信任与信心。

参考文献:

- [1] 陈文光, 丁荣军. 国产化北京地铁列车牵引电传动系统设计[J]. 机车电传动, 2006(4): 31-36.
- [2] 匡如华, 何春江. 国产车辆电气系统在深圳地铁A型列车上的技术实现[J]. 机车电传动, 2009(4): 49-53.
- [3] 李伟, 陈文光, 陈超录, 等. 重庆地铁6号线车辆牵引与制动特性设计及性能计算仿真[J]. 机车电传动, 2012(3): 52-54.

