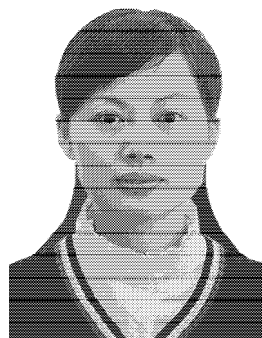


研
究
开
发

集成式辅助电源柜的设计及仿真分析

李碧钰, 丁 杰, 谭 渺, 李志杰

(株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 李碧钰(1982-), 女, 工程师, 主要从事轨道交通车辆变流器系统设计开发和机械结构的设计工作。

摘 要: 介绍一种采用模块化设计思路, 将辅助变流器、蓄电池充电机、单相电源以及相关控制电路一体化的集成式辅助电源柜设计方案; 通过建立柜体仿真模型, 对柜体进行结构静强度和动力学分析。最后由试验验证, 结果表明集成式辅助电源柜体满足产品设计要求, 解决了车下安装空间有限的难题, 在重量和体积上也有很大的优势。

关键词: 集成式辅助电源柜; 结构设计; 计算机仿真; SIV; IGBT

中图分类号: U264.5+6; TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2013)01-0048-03

Design and Simulation of Integrated Auxiliary Power Cabinet

LI Bi-Yu, DING Jie, TAN Miao, LI Zhi-Jie

(Technology Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: With modular design ideas, an integrated auxiliary power cabinet design scheme was proposed with auxiliary converter, battery charger, single-phase power supply and associated control circuit integration. Simulation model of the cabinet was established, and static structure strength and dynamics were analyzed, as well as experimental validation was put out, results of which showed that the integrated auxiliary power cabinet met the product design demand, solving problem of installation space limitation under the body with significant advantages in weight and volume.

Key words: integrated auxiliary power cabinet; structure design; computer simulation; static inverter; insulated gate bipolar transistor

0 引言

随着轨道交通技术水平的不断提高, 辅助电源柜需要快速响应市场需求, 节约安装空间和成本, 减小质量和体积。本文以首个“完全自主知识产权750 V、100 km/h国产地铁电动客车(B型车)”批量项目中三大核心车载电气系统之一的辅助静止变流器系统为例, 介绍辅助变流器系统的机柜设计。此集成式辅助电源柜设计采用整体集成技术, 将辅助变流器、蓄电池充电机、单相电源以及相关控制电路集成在一起; 采用模块化的设计思路, 提高了辅助系统稳定性和可维护性。

车下吊装的集成式辅助电源柜体的结构特性对内部电子器件的影响及列车行车安全至关重要。因此需要对柜体进行结构静强度和动力学分析, 以验证柜体是否满足设计要求。本文对集成式辅助电源柜体建立仿真模型, 进行数值模拟计算, 分析力学性能。

1 集成式辅助电源柜的总体结构设计

现有地铁上运用的辅助变流器及充电机箱体结构相互独立, 安装维护及故障检测不便、占用空间大、箱体重量等。为解决上述问题, 特将辅助变流器及充电机集成在同一箱体内。此集成式辅助变流器采用风冷, 在有限的空间对整体布局和风道结构进行了设计和优化。

集中式辅助变流器主电路结构原理图如图1所示,

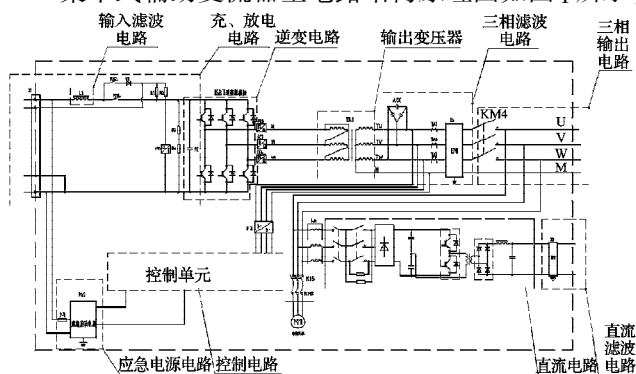


图1 主电路结构原理图

收稿日期: 2012-03-31; 收修改稿日期: 2012-07-24

主要包括输入滤波电路、充放电电路、逆变电路、输出变压器、三相滤波电路、三相输出电路、直流电路、直流滤波电路、应急电源电路以及相关控制电路。

输入滤波由直流滤波电抗器和滤波电容器组成LC滤波电路。电容充、放电电路由隔离二极管、充放电电阻、充电接触器及短接接触器等组成。SIV (Static Inverter) 经输入滤波电路后, 电容先通过充电电阻来进行预充电, 当其充电使其电压达到一定电压值时闭合短接接触器而短接充电电阻, 从而减小电容器的充电电流, 降低对电容器的冲击, 延长电容器的使用寿命。当对SIV进行维护保养时, 断开隔离开关, 其联锁接点闭合, 将SIV输入端电容器短接, 以实现快速放电。IGBT逆变电路由逆变器模块组成, 采用功率模块为IGBT的二电平三相桥式逆变电路, 采用SPWM控制方式将恒定的直流电压转换成三相交流PWM。输出电路由变压器、滤波电容器以及EMI滤波器组成。利用变压器漏感和电容组成LC滤波器, 将IGBT逆变器输出的PWM电压经过低通滤波后得到接近正弦波的三相电压; 充电机电路采用三相全波整流+IGBT半桥式高频DC/DC电路; 从变压器的三相输出电压经过自动开关、预充电电阻、交流滤波电抗器后送入, 输入到三相整流桥整流, 电容器滤波后得到直流电压(中间环节电路电压), 当中间电路电压达到一定值后, 闭合接触器短接电阻。直流环节电路电压经半桥变换电路变换为高频矩形波电压, 经高频变压器进行隔离、降压后, 再经整流桥整流、电抗器和电容器滤波后得到稳定的直流。充电机输入端设置过流保护自动开关。采用三相离心风机, 风机输入端设置过流保护开关, 同时自身有过热保护。对辅助电源内部的发热部件进行强迫风冷。DC应急电源电路由熔断器、电源模块、应急电源启动接触器组成。当直流电压低于一定值的时候, 电源模块空载输出, 外部送入应急电源启动信号后, 应急电源开始为负载提供电源。输入端的熔断器对“应急电源”的输入端电路进行短路保护。

此集成式辅助变流器总体布局见图3所示, 将辅助变流器、充电机集成在同一箱体, 采用三相二电平逆变电路+充电机电路, 确保辅助系统持续运行。三相二电平逆变电路将直流电逆变成交流电, 充电机电路将三相二电平逆变电路的输出转变成直流电。集成式辅助变流器外形和布局如图2、图3所示。

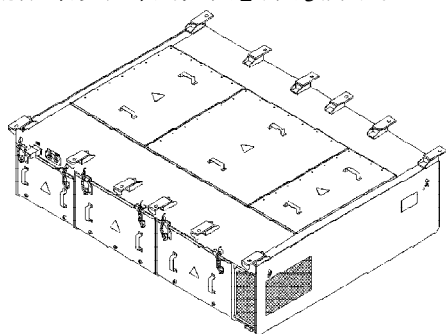
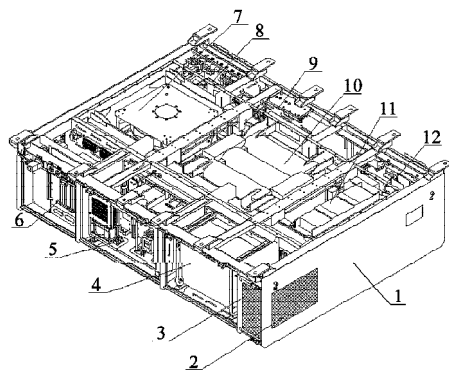


图2 集成式辅助变流器外形图



1——箱体; 2——侧过滤网; 3——前过滤网; 4——逆变模块; 5——充电机模块; 6——控制单元; 7——冷却风机; 8——输出电器板; 9——中间电器板; 10——变压器; 11——电抗器; 12——输入电器板

图3 集成式辅助变流器布局图

采用强迫风冷方式, 风道示意图4所示, 外部空气由a、b处过滤网进入风道c, 对逆变模块散热器、充电机模块散热器进行冷却, 在d处经过离心风机导向至装有变压器的e处和装有电抗器的f处, 最后由f处底部出风口将热空气排出。

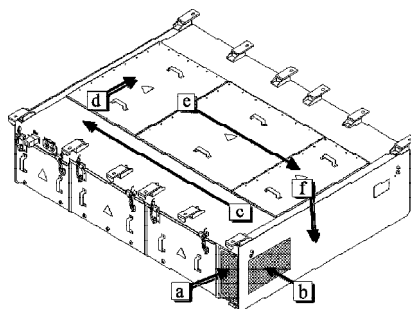


图4 集成式辅助变流器风道示意图

2 强度仿真

集成式辅助电源柜的安装方式是吊装在车体底部, 内部安装的零部件质量约1 250 kg, 柜体结构复杂, 在设计阶段运用仿真手段进行疲劳寿命估算, 可以有效指导产品设计与样机试验, 降低风险。

集成式辅助电源柜外形结构如图2所示, 由不锈钢板折弯成型的钣金件(不锈钢材料的屈服点 $\sigma_s=205\text{ MPa}$, Q345的屈服点 $\sigma_s=345\text{ MPa}$)焊接而成。根据TB/T 1335—1996《铁道车辆强度设计及实验鉴定规范》, 客车车体内外设备及其紧固零件应按相当于下列加速度的惯性力进行强度考核: 纵向3g, 横向1g, 垂向3g(包括重力), 其中g为重力加速度。此时所产生的3个方向的合成应力不得大于材料的屈服极限。根据GB/T 21563—2008《轨道交通 机车车辆设备冲击和振动试验》, 柜体需要经受纵向、垂向和横向(加速度幅值分别为50、30、30 m/s^2 , 持续时间30 ms的半正弦脉冲载荷)的冲击。

在建立有限元模型的过程中:

① 钣金件抽取中面后划分成以四边形为主的壳单

元;

②电器部件划分成以六面体为主的实体单元或简化为质量单元;

③在需要进行焊接处理的地方尽量保证节点对齐。该柜体模型经前处理,网格节点560万、单元440万,网格模型如图5所示。

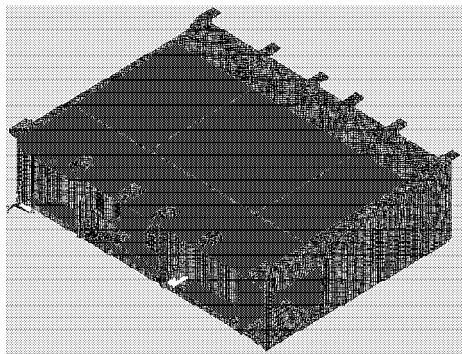


图5 有限元网格模型

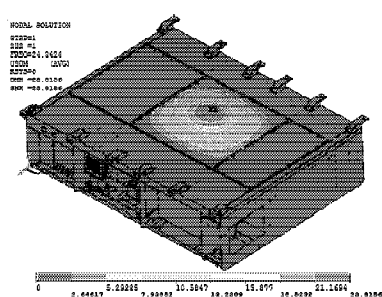
静强度仿真不同载荷情况下的计算结果如表1所示。从表1可见最大位移为2.2 mm,其位置都出现在上盖板。

表1 结构仿真分析计算结果

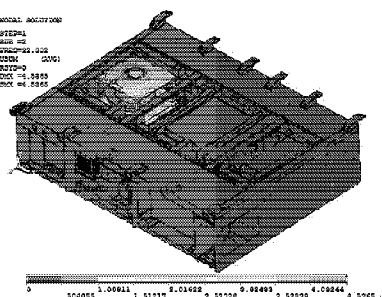
横向、垂向、纵向冲击值	最大应力位置	Von Mises 应力 /MPa	最大位移位置	最大位移量 /mm
1g, 3g, 3g	风机安装处	182.1	上盖板	2.2
1g, 3g, -3g	风机安装处	184.1	上盖板	2.2
-1g, 3g, 3g	风机安装处	191.9	上盖板	2.2
-1g, 3g, -3g	变压器安装处	179.8	上盖板	2.2

模态分析是计算柜体结构固有频率和确定柜体结构的振动形式,从而判定结构的整体或局部刚度。通过模态仿真结果及分析如下。

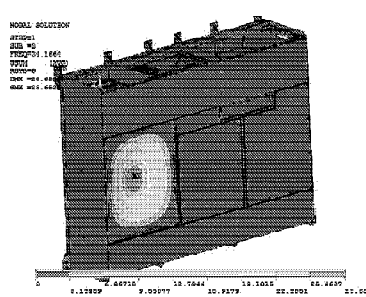
图6为第1阶至第6阶振动频率对应的振型,其固有频率依次为: 24.3, 32, 34.2, 34.3, 37.4, 38.5 Hz。



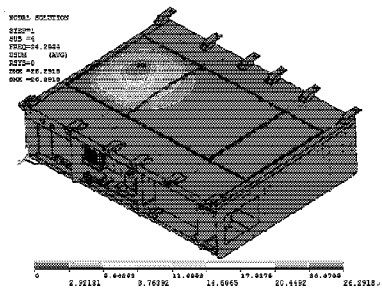
(a) 第1阶振型



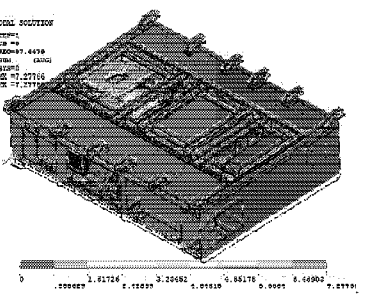
(b) 第2阶振型



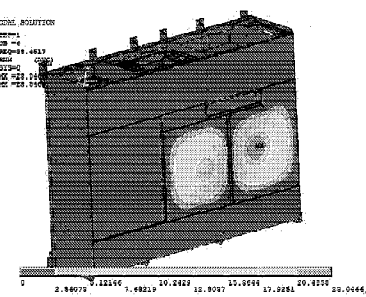
(c) 第3阶振型



(d) 第4阶振型



(e) 第5阶振型



(f) 第6阶振型

图6 模态仿真计算结果

动力学仿真结果及分析如下:图7~图9分别是纵向、垂向和横向冲击出现最大应力时的应力分布图。纵向冲击时,最大应力199.8 MPa,出现在变压器安装

处;垂向冲击时,最大应力201.5 MPa,出现在风机安装处;横向冲击时,最大应力164.6 MPa,出现在风机安装处。

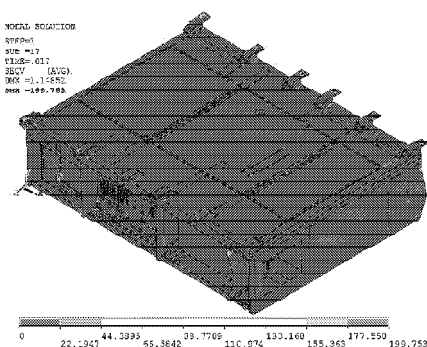


图7 纵向冲击

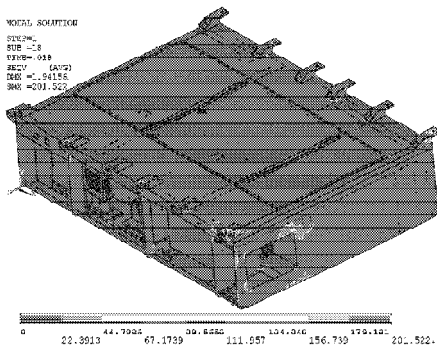


图8 垂向冲击

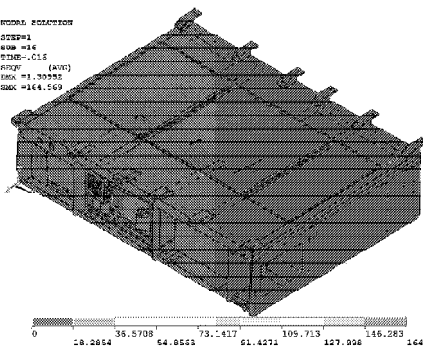


图9 横向冲击

(下转第54页)

