

# 大型矿用自卸卡车无触点式接触器设计

郭俊义

(国家能源准能集团公司设备维修中心, 内蒙古自治区 鄂尔多斯 010300)

**摘要:**针对大型矿用自卸卡车机械式接触器带电分断时,引起电压和电流的大幅度抖动及拉弧、烧毁触点的故障,设计了大型矿用自卸卡车无触点式接触器。从无触点式接触器的整体组成、控制单元设计、散热单元设计、IGBT 单元设计等方面展开讨论,在 SimuWorks 仿真平台上,利用 C 语言编写应用程序,借助 IGBT 的工作特性,完成无触点式接触器设计。

**关键词:**自卸卡车;无触点;接触器;IGBT 单元;设计

**中图分类号:**U469.4 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2022)04-0220-04

## Design of Contactless Contactor for Large Mining Dump Truck

GUO Junyi

(Equipment Repair Center of National Energy Zhunneng Group Corporation, Ordos 010300, China)

**Abstract:** The contactless contactor of large mining dump truck is designed in view of the large-scale jitter of voltage and current and the faults of arcing and burning contacts when the mechanical contactor of large mining dump truck is disconnected. This paper discusses the overall composition of contactless contactor, control unit design, heat dissipation unit design, IGBT unit design etc. On the SimuWorks simulation platform, the application program is written in C language, and the contactless contactor design is completed with the help of the working characteristics of IGBT.

**Keywords:** dump truck; no contact; contactor; IGBT unit; design

## 0 引言

我国拥有丰富的矿产资源,迄今为止已发现 170 多种矿产资源。其中,锡、锑、稀土、菱镁矿等矿产资源储藏量排名世界第一,矿产资源总量排名世界第二,我国已经成为矿产资源大国。矿用自卸卡车是矿产资源开采的重要交通工具,随着矿产资源开采量的飞速提升,大型矿用自卸卡车得到大力推广。目前准能两个露天煤矿就拥有 220~350 吨级的矿用自卸卡车 180 多台。

大型矿用自卸卡车驱动系统和制动系统使用的接触器为机械式接触器。机械式接触器开关流通电流能力大、装置简单,但缺点在于其机械动作会引起电压和电流的大幅度抖动及拉弧、烧毁触点的故障<sup>[1]</sup>。相关领域学者对接触器展开了研究。赵升等<sup>[2]</sup>设计了电磁-永磁复合型接触器结构,将电磁、永磁以及机械运动进行整合计算,通过计算参数获得电磁-永磁复合型接触器控制电路的控制逻辑,完成电磁-永磁复合型接触器的设计,该接触器提高了效率和精度,但没有解决寿命短的问题。方朝林等<sup>[3]</sup>提出了基于混合换流技术的接触器无弧控制策略,将强迫过零和自然换流的优点进行融合,结合新型电路拓扑结构,经过理论分析实现接触器无弧控制,该方法可以有效提升机械运行寿命,但没有解决维护成本高的问题。为了解决以上问题,本文设计了大型矿用自卸卡车无触点接触器。

## 1 大型矿用自卸卡车无触点式接触器工作原理

大型矿用自卸卡车 RP1/RP2 制动接触器工作原理:司机踩下动态制动踏板(动态手柄)—制动接触器吸合—卡车运行中的机械能通过电动轮转化为直流电输入电阻栅—电阻栅风机导通给电阻栅散热<sup>[4]</sup>。通过能量守恒定律得出:矿用卡车动态制动能量变化为矿用卡车运行的机械能—电能—热能,最后通过电阻栅风机将热能吹入空气,矿用重型卡车的动态制动工作电路如图 1 所示。

根据图 1 可以看出,DCP 为直流母线正极,DCN 为直流母线负极,VAM3 是电压衰减模块(变比为 200:1),主要监测直流母线两侧电压是否正常。

FDR、GRR 分别是滤波放电电阻、接地故障电阻。当矿用重型卡车直流母线出现接地,接地电流>641 mA 时,会报出接地故障代码,根据对应的数据判断是直流母线正极或负极接地。

BM1、BM2、BM11、BM21 分别代表 1 号、2 号电阻栅风机以及 1 号、2 号电阻栅电流互感器。

RP1、RP2 为矿用重型卡车制动回路控制开关,当 RP1、RP2 接触器吸合时制动回路接通,矿用重型卡车动态制动回路接通,无触点式接触器主要用于取代 RP1、RP2 接触器。

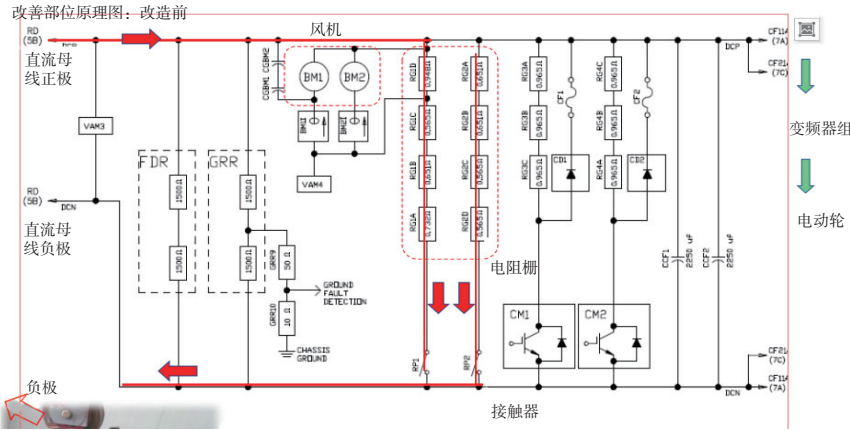


图1 矿用重型卡车动态制动工作电路图

## 2 大型矿用自卸卡车无触点接触器整体组成

大型矿用自卸卡车无触点接触器整体组成包括控制单元、散热单元、IGBT单元、安装座4个部分,无触点式接触器模块如图2所示。

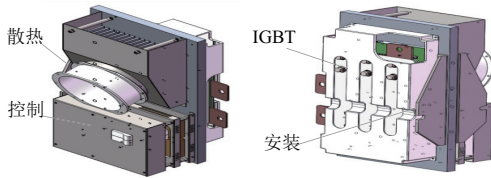


图2 无触点式接触器模块

控制单元主要包括主控制器、4G模块;散热单元包括冷却风扇、散热器;IGBT单元包括IGBT、驱动板、复合母排<sup>[5]</sup>。

## 3 大型矿用自卸卡车无触点式接触器控制单元设计

无触点式接触器控制单元主要包括主控制器、4G模块。主控制器主要用于实现逻辑控制;4G模块主要用于向云端服务器传输数据。

### 3.1 主控制器硬件设计

控制板核心控制器为STM32F405 VGT6,芯片采用ARMCortex-M4内核1兆字节的Flash,168MHz的CPU,满足控制要求。CPLD选用EPM507T10015N,其功耗低、可靠性高。

采用控制板集成8路数字量I/O通道,实现数字量信号的输入和输出,使用4路模拟量通道,实现电压和电流信号的采集;两路PT100温度采集信号,用于监测散热器温度;1路CAN通道;1路串口通道。控制板还安装了4个欧姆龙的继电器,模拟接触器的常开、常闭触点。主控制器硬件设计如图3所示。

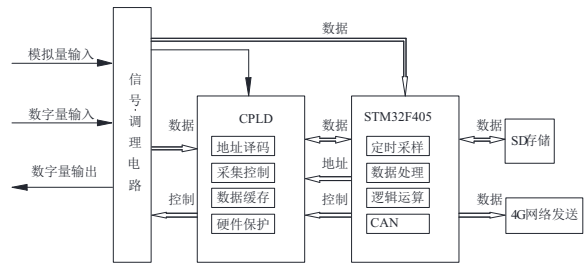


图3 主控制器硬件设计

### 3.2 主控制器软件设计

控制系统通过数字量I/O通道,采集整车微机控制器发出的吸合信号。电流传感器信号通过模拟通道输入控制器。当控制器收到吸合信号,且电流、温度无异常时,利用光纤将PWM脉冲信号输送至IGBT驱动板,驱动板将接收到的信号转化为动作的反馈信号,再利用光纤传送到控制板,实时监测IGBT的工作状态。

### 3.3 4G模块硬件设计

4G控制板的结构由上层控制板和下层控制板组成,上层控制板主要由4G卡槽、1路串口通道构成。下层控制板集成STM32F405 VGT6控制芯片、SD槽;1路CAN通道。

### 3.4 4G模块软件设计

采集到的实时数据经控制板CAN端口传输到4G芯片,由4G芯片将信息发送到云端服务器,用户可以从客户端直接登录云端服务器读取车辆运行信息。在4G信号较弱的环境下信号会存储到板载的SD卡中,确保所有信息不会丢失,当4G信号恢复时,软件会检索SD卡中的信息和云端服务器信息,及时将未发送到云端服务器的信息发送上去。

## 4 大型矿用自卸卡车无触点接触器散热单元设计

无触点接触器散热单元包括冷却风扇、散热器。由于无触点接触器需要安装在电器柜内,需在电器柜侧门上加

装进风口,在电器柜顶盖上加装出风口。风自侧门进入,流经风扇、散热片,最后从顶盖的出风口排到外界,使电器与外界实现热量传递,防止电器内部热量过高。改造后的结构如图4、图5所示。

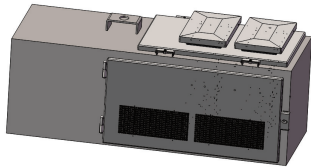


图4 改造后电器柜侧门、顶盖

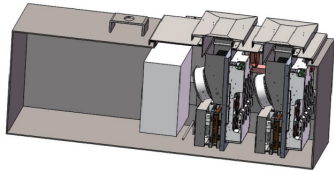


图5 改造后顶盖出风口

由于IGBT功率模块采用强制性风冷散热设计,对散热器设计及选材极其严格,不仅要保证散热器的散热能力,也要保证散热器具备耐绝缘、耐高温、耐高压能力,除此之外散热器还要抗振动、冲击能力强,以满足矿用自卸卡车工况要求。

针对散热器的抗震动、冲击能力进行仿真,并对其进行分析,结果如图6-图8所示。

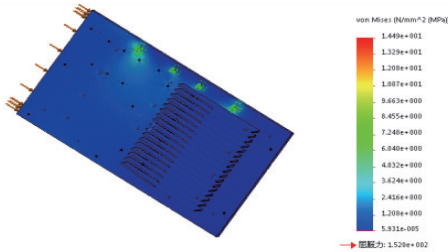


图6 应力示意图

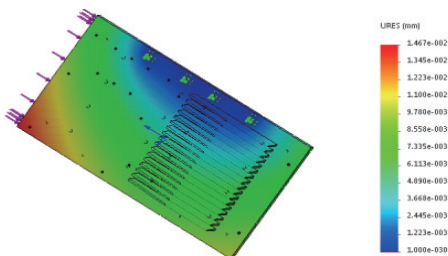


图7 应力位移示意图

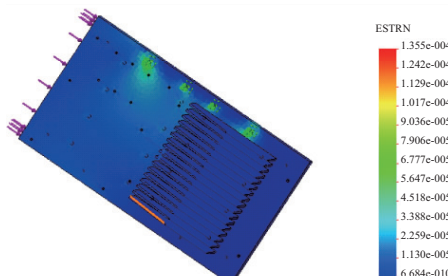


图8 应力应变示意图

通过分析图6、图7及图8可知,散热片材质为6063铝合金。鉴于使用环境简化受力,于安装座顶部施加640 N·m转矩进行分析。其最大值位置的应力值为14.49 MPa,位移量为0.015 mm,应变为 $1.355 \times 10^{-4}$ ,远小于材料屈服强度,且在允许变形量范围内。

风扇型号为D5920N-05W-B75 供电电压24V。风扇风量-风压特性如图9所示。

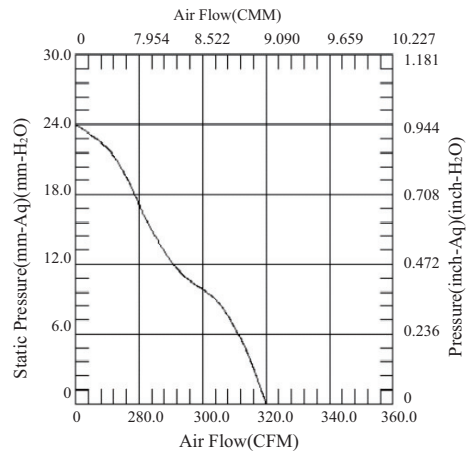


图9 风扇风量-风压特性

分析图9曲线可知,当静压为0.0 Pa(0.0 mmH<sub>2</sub>O)时,风量为8.96 m<sup>3</sup>/min(320.0CFM);随着静压的增大风量逐渐减小,当静压为235.2 Pa(24.0 mmH<sub>2</sub>O)时,风量为0.0 m<sup>3</sup>/min(0.0 CFM)。即风扇的最大风量为320.0 CFM,满足设计需求。

### 5 大型矿用自卸卡车无触点接触器 IGBT 单元设计

IGBT的全称为绝缘栅双极型晶体管,是MOSFET和BJT的组合物,既有MOSFET的栅极电压控制晶体管(高输入阻抗),又有BJT的双载流子达到大电流(低导通压降),使IGBT的驱动功率小、饱和压降低。在直流电压为600V及以上的交流系统中被广泛应用<sup>[6]</sup>。本项目选用ABB公司IGBT模块,其最大耐压等级≥3300V,最大通过电流≥1500A。IGBT模块如图10所示。



图10 IGBT 模块

驱动板应具有良好的电子性能,确保光信号传输稳定,有足够输出电隔离能力。还要确保IGBT保护功能的完整性,来保证IGBT的可靠工作<sup>[7]</sup>。本项目选用的驱动板如图11所示。

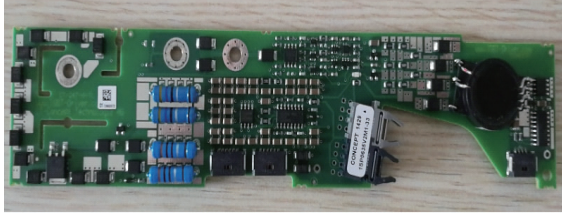


图 11 驱动板

低感母排通常用于高集成、低电感要求的回路中,主要结构包括导体、绝缘体、支撑构件、连接螺栓,其阻抗低、抗干扰能力强、装配简单,被广泛应用于电力机车、风力发电等方面。本文对低感母排的低阻抗特性研究,是功率模块设计关键。IGBT、驱动板、复合母排的实际安装结构如图 12 所示。

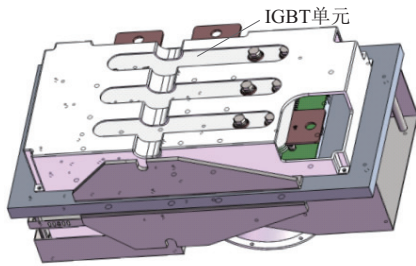


图 12 低感母排

## 6 结语

IGBT 是 MOSFET 和 BJT 的组合物,拥有电压高、电流大、频率高、导通电阻小等特点,分断时不会导致电压和电流的大幅度抖动及拉弧、烧毁触点的故障。IGBT 无触点接触器使用寿命超过机械式接触器寿命,并且可以降低维护频率,从而有效减小了维修人员劳动强度。

### 参考文献:

- [1] 吕玮,方太勋,杨浩,等. 基于电弧电压的混合型直流断路器[J]. 电力系统自动化,2015,39(11):83-87,102.
- [2] 赵升,舒亮,吴自然,等. 电磁-永磁复合型接触器数值仿真与控制方法[J]. 电工技术学报,2020,35(5):1083-1092.
- [3] 方朝林,许志红. 基于混合换流技术的交直流接触器无弧控制策略[J]. 中国电机工程学报,2019,39(8):2468-2476,29.
- [4] 张志亮,刘钦甫,姚翔,等. 纳米高岭土在矿用卡车轮胎中的应用及增强机理[J]. 化工新型材料,2020,48(3):245-249.
- [5] 秦斌,黄浩,王欣. 一种接触器和 IGBT 配合使用的风力发电用电压跌落发生器[J]. 大功率变流技术,2017(6):52-55,72.
- [6] 唐勇,汪波,陈明. IGBT 开关瞬态的温度特性与电热仿真模型[J]. 电工技术学报,2012,27(12):146-153.
- [7] 张崇兴,任明,董明,等. 基于 IGBT 触发控制的感应式操作冲击电压产生技术[J]. 电网技术,2015,39(9):2606-2613.

收稿日期:2021-09-23

(上接第 202 页)

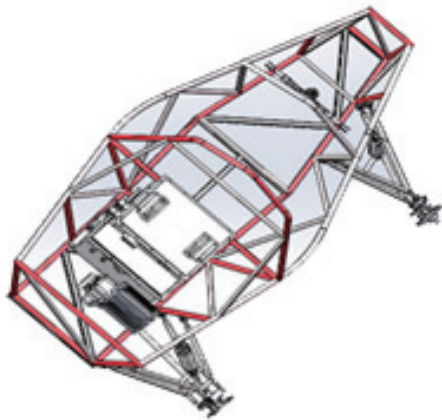


图 11 优化后车架的整体设计

## 4 结语

通过对车架的设计,建立参数化模型,对车架的弯曲刚度、扭转刚度和模拟赛项扭转刚度进行有限元分析,减小钢管壁厚,增加三角稳定结构。优化后的车架弯曲刚度为  $51\ 100\ \text{N} \cdot \text{m}^2$ ,扭转刚度为  $3\ 731.05\ \text{N} \cdot \text{m}/\text{deg}$ ,相比前期

设计开发,分别提升了 8% 和 11%,车辆的安全性得到了提高。根据分析筛选的设计变量进行优化,获得车架最小质量为 35 kg,按照模拟赛制参加比赛,测试车架总变形只有 3.6 mm,达到了赛规设计的要求,满足了对赛车进行轻量化改进的目的。

### 参考文献:

- [1] 辛天佐. 轻量化 LNG 罐车的强度分析与疲劳研究[D]. 南京:南京理工大学,2012.
- [2] 毛明. 新能源汽车轻量化底盘悬架系统智能制造技术[J]. 机械制造与自动化,2021,50(1):224-226.
- [3] 张淇. 巴哈越野赛车骨架的有限元分析及轻量化设计[D]. 青岛:青岛大学,2020.
- [4] 智淑亚,许牧天,李继秋. 基于 ANSYS 的车架有限元分析[J]. 金陵科技学院学报,2019,35(2):1-5.
- [5] 赵东伟,尹怀仙,赵清海. 纯电动汽车车架有限元分析及轻量化设计[J]. 农业装备与车辆工程,2019,57(12):35-40.
- [6] 王登峰. 车身参数化与轻量化设计[M]. 北京:机械工业出版社,2019.
- [7] 斜李昕. 碳纤维复合材料赛车车身覆盖件设计及原型制作[D]. 杭州:浙江工业大学,2016.

收稿日期:2021-03-16