

混合动力客车超级电容组快速放电设备的研制

宁水根¹, 黄键¹, 鲍益智²

(1. 华侨大学 机电及自动化学院, 福建 厦门 361021;
2. 上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201620)

摘要: 针对纯超级电容混合动力客车售后维修存在的高压安全性问题,设计出具有便捷、智能、安全的高压快速放电设备. 试验与理论分析可知:所设计的放电设备耗能元件阻值及其发热满足人体安全要求,阻值参数设计合理;由于采用单片机控制,该设备具有智能化特性,并能保证期便捷性与安全性.

关键词: 放电设备; 耗能元件; 控制方式; 高压; 超级电容组

中图分类号: U 469.72

文献标志码: A

我国电动汽车的研究始于20世纪90年代末,至今已经研发出具有自主产权的混合动力客车^[1]. 由于混合动力客车搭载了144~388 V不等的强高压驱动系统,在研发、试验和售后维修过程中,其高压安全性问题日益凸显^[2]. 超级电容具有不同于普通电池的优点,如功率密度高、充放电寿命长、充电时间短、可靠性好等优点,因此完全能满足电动汽车起步、加速、爬坡时的功率需求^[3]. 基于此超级电容在电动汽车的应用越来越广泛,但在电动汽车的售后维护过程中却存在着二次高压威胁问题^[4-6]. 厦门金旅客车生产的某系列纯超级电容混合动力客车,其电机控制器、逆变器、超级电容组均放在客车车尾后端,空间狭小,维修操作极为不方便,维修工程师一般采取换件方式进行快速维修. 但是,该超级电容组的总开关是集成在逆变器箱体体内,移出逆变器换件修理需要拆卸超级电容组电源端子. 因此,为了安全地进行售后维修,必须将超级电容组的高压电降低到人体安全电压承受范围内. 为了解决该高压放电问题,售后维修工程师们也曾采用高压钠灯等进行放电工作,但是效果不佳,而且放电时间偏长、操作繁琐;同时,超级电容组在使用的过程中端子也会出现烧蚀现象,需要更换超级电容单体. 基于此,本文研制出具有安全快速放电的超级电容组放电设备.

1 超级电容组平均放电电流与能量的计算

厦门金旅客车某系列纯超级电容混合动力客车,其超级电容采用的是美国Maxwell公司生产的BMOD0165P048型超级电容器. 它由多组超级电容单体经串并联的形式组合而成,组合后的电压为360 V. 不考虑超级电容组均压问题^[7],经串并联后得到的超级电容组参数:电容 $C_{\text{并}} = C_0/4$;电量 $Q_{\text{并}} = 2Q_0$;电压 $U_{\text{并}} = 8U_0$;内阻 $R = 4R_0$. 其中: C_0 、 Q_0 、 U_0 、 R_0 均为超级电容单体的参数,单组标称电压 $U_0 = 48.6$ V, $C_0 = 165$ F,等效内阻 $R_0 = 7.1$ m Ω .

混合动力客车在售后维护的过程中存在高压电的危险,期望将电压短时间内减低到人体安全电压内. 设计该超级电容组电压降低至人体安全电压下的放电时间为720 s,根据等电荷原理,其计算公式为

$$C \times dU - I_{\text{av}} \times C \times R = I_{\text{av}} \times t. \quad (1)$$

式(1)中: C 为电容器的额定容量(F); dU 为电容器的电压变化值(V); I_{av} 为电容组的平均放电电流(A); t 为电容组的放电时间(s); R 为电容器的直流电阻(m Ω). 由此计算可得 $I_{\text{av}} = 17.84$ A.

收稿日期: 2012-10-26

通信作者: 黄键(1952-),男,教授,主要从事新能源汽车驱动系统研究和汽车试验技术及试验仪器的研究. E-mail: sansha_government@126.com.

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA111105);福建工程学院博士科研启动项目(GY-Z12004);福建省教育厅科技计划项目(JA12241)

在该放电过程中,所释放能量的计算式为^[8-9]

$$W_c = \int_{-\infty}^t CU \frac{dU}{d\xi} d\xi = \frac{1}{2} C^2 U(\xi) \Big|_{-\infty}^t = \frac{1}{2} C^2 U(t) - \frac{1}{2} C^2 U(-\infty) = \frac{1}{2} C^2 U(t) = \frac{1}{2C} q^2(t) \geqslant 0.$$

若 $t(-\infty)=0$, 计算可得 $W_c=2.646\ 270\ \text{MJ}$.

2 耗能元件的试验

选取相关的耗能元件后,需要整体考虑超级电容组放电设备在放电过程中电流电压的变化,以及耗能元件上表面、侧表面温度的变化. 以下采取 2 根耗能元件方式进行试验,而 3 根及 1 根耗能元件的放电详细试验数据在此简略.

2.1 耗能元件阻值的选择

根据能量守恒定律,有 $W_c = \frac{1}{2} CU^2(t) = P_{av} \times t$. 由此,计算可得平均功率 $P_{av}=3\ 675.38\ \text{W}$. 根据功率参数选取某公司生产的负载耗能元件,其额定功率为 3 000 W,电阻为 18.4 Ω,最大耐流为 50 A,持续时间为 600 s,并涂有特殊的散热材料. 将两根该类型的耗能元件并联并接入超级电容组,计算出瞬间接入最大电流 I_{\max} 为 39.13 A,符合参数要求.

2.2 耗能元件放电电流和电压的测试

超级电容组在放电过程中需要进行测试,监测在高压放电过程中的电流、电压变化过程,以检验所设计选型的耗能元件性能及该设备在放电过程中的稳定性. 在放电过程中,耗能元件的电流和电压的变化,分别如图 1,2 所示. 在图 1 中,显示的瞬间接入最大电流约为 39 A,与理论计算得到的最大瞬间电流相差不大,符合该耗能元件最大耐流 50 A 的参数要求,说明该阻值选取合理.

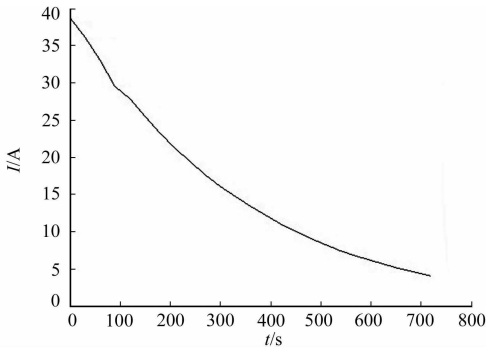


图 1 耗能元件的电流变化曲线
Fig. 1 Current curve of dissipative component with time changing

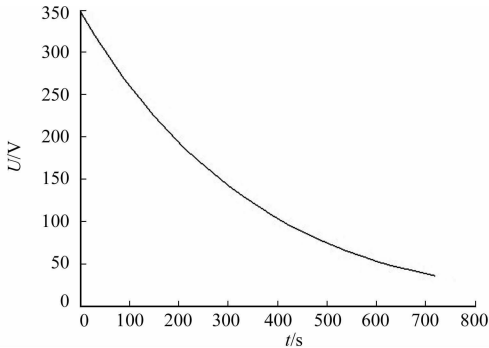


图 2 耗能元件的电压变化曲线
Fig. 2 Voltage curve of dissipative component with time changing

2.3 耗能元件对设备壳体的温度影响

为避免因耗能元件温升引起设备壳体温度过高而烫伤人员,有必要进行耗能元件周边温度测试. 在室内环境温度为 34.7 ℃,空气流畅的条件下,取一金属薄板放置在耗能元件表面 50 和 100 mm 处进行温度测试,结果如图 3 所示. 从图 3 可知:1 根耗能元件放电过程中,其表面 50,100 mm 处金属薄板的温度均在 50 ℃ 以下;2 根耗能元件放电过程中,表面 50 mm 处金属薄板处于 50 ℃ 以上的时间为 48 s,而表面 100 mm 处的金属薄板处均处于 50 ℃ 以下;3 根耗能元件放电过程中,其表面 50 mm 处金属薄板处于 50~60 ℃ 温度的时间为 28 s,60 ℃ 温度以上的时间为 306 s,而其表面 100 mm 处的金属薄板处于 50~60 ℃ 温度的时间为 36 s,60 ℃ 温度以上的时间为 265 s.

开启散热风扇后,46 s 内设备壳体温度下降到 50 ℃ 以下. 由于人体感觉烫的温度是 60 ℃^[10],因此采取 1 根或 2 根耗能元件放电后对壳体没有较大的温升;采取 3 根耗能元件放电后,壳体温度较高,需要强制风冷 46 s 或者自然风冷 15 min 后方可搬离. 在耗能元件表面与其表面 100 mm 金属薄板之间处加装一金属板会使得强制风冷或者自然风冷时间缩短,采取 3 根耗能元件放电该种方案效果更明显. 通过以上数据分析可知:2 根以下耗能元件放电时不需要任何冷却方式;而 3 根耗能元件放电时需要强制冷却 46 s 或者自然冷却 15 min,方可实现设备放电后搬离的要求.

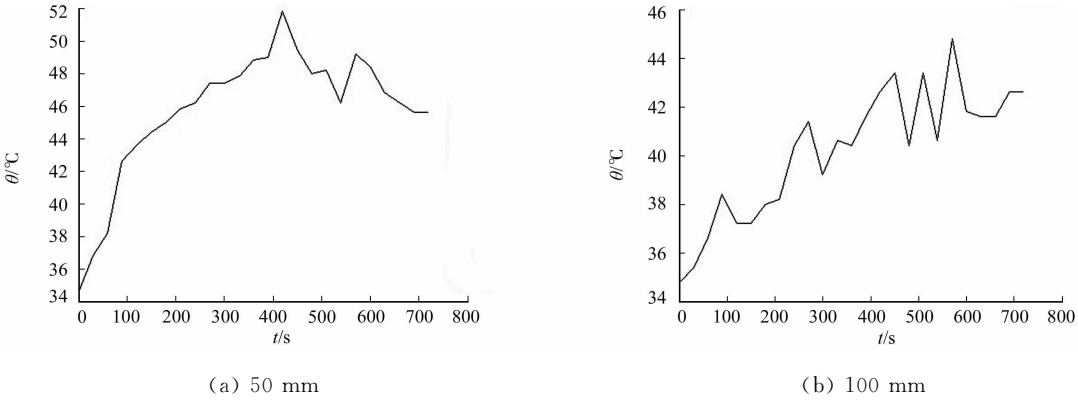


图 3 金属薄板放置在耗能元件表面不同位置的温度变化

Fig. 3 Temperature changes of metal sheet on different dissipative component surface positions

2.4 数据误差分析

考虑实际电阻在温度升高过程中会出现阻值增大的趋势,且有导线、电子开关等电阻的存在,故实际电流会小于实际值,理论值与实验值会存在误差 ω ($\omega=(\text{理论平均电流值}-\text{实际平均电流值})/\text{理论平均电流值}$).根据式(1)计算出设备的理论电流平均值为 17.84 A,而实际采集到的电流实验数据平均值为 16.93 A,由此可得 $\omega=5.1\%$.说明该耗能元件的阻值参数设计是合理的.

3 控制方式的设计

经过试验研究与理论分析,所设计的放电设备耗能元件阻值及其发热对人体安全满足要求,但是不具备使用便捷性、智能性,因此有必要通过微计算机的方式实现其方便、更加智能的特性.

图 4 为超级电容组放电设备的电气总体设计示意图.该设备通过电流传感器、电压传感器、温度传感器采集放电过程中的电流电压及设备壳体温度,并由 51 单片机根据逻辑判断来控制电子开关的状态.51 单片机供电采用车载电源转换进行供电;考虑到耗能元件开关能够稳定接通,采取使用电子开关;总开关断路器采用电子控制式的断路器来实现急电断开,警示部分采用红绿灯.

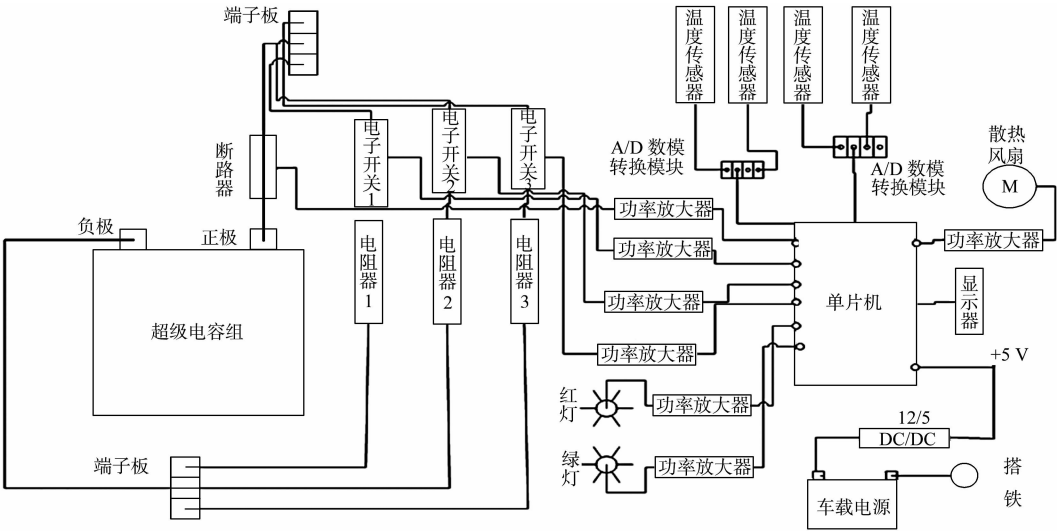


图 4 超级电容组放电设备电气总体设计示意图

Fig. 4 Integral electrical design schematic diagram of super-capacitors discharge equipment

图 5 为超级电容组放电设备控制流程图.单片机通过电流传感器、电压传感器、温度传感器采集到的信息作出逻辑判断.若检测到电压小于 150 V,电子开关 1 开启,电子开关 2,3 断开;若检测到电压大于 150 V 且小于 300 V,电子开关 1 断开,电子开关 2,3 开启;若检测到电压大于 300 V,3 个电子开关均开启.此外,若检测到壳体温度大于 60 ℃时,散热风扇开启;电流若超过 40 A 时,断路器断开.

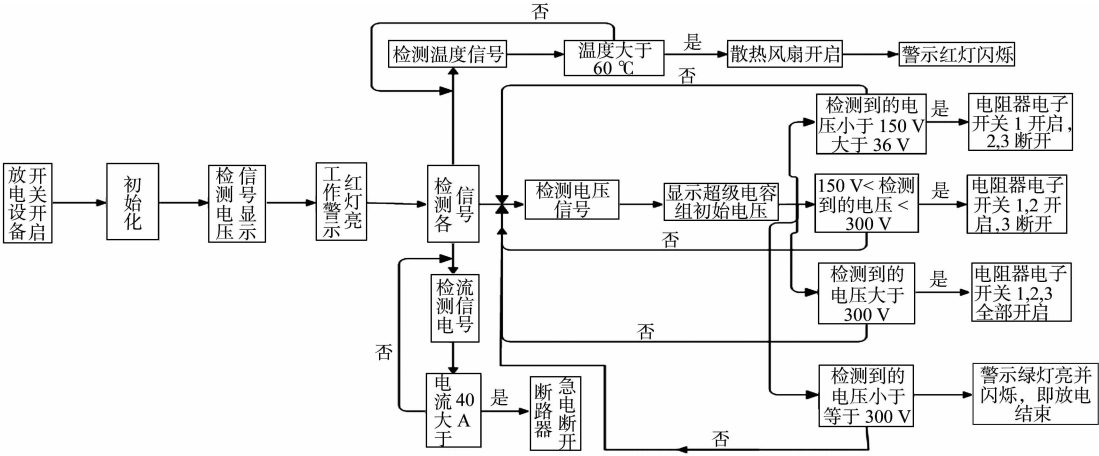


图 5 超级电容组放电设备控制流程图

Fig. 5 Control flow chart of super-capacitors discharge equipment

4 结束语

研制混合动力客车超级电容组放电设备,以快速放电的方式解决售后维修高压危险性.通过对放电设备的耗能元件的理论计算及实验研究,证明该设备能满足快速放电及使用安全性的设计要求.采用单片机控制实现该设备的智能化特性,使得在使用过程中保证该设备的便捷性与安全性.

参考文献:

[1] 曹立波,童俊,邓群,等.混合动力客车高压电安全性能研究[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2008,35(4):42-46.
[2] 钟文彬,孙泽昌.电动汽车产业化与技术安全性的博弈论[J]. 上海汽车,2011(9):3-7.
[3] 陈英放,李媛媛,邓梅根.超级电容器的原理及应用[J]. 电子元件与材料,2008,27(4):6-9.
[4] 裴春松.纯电动汽车电安全分析与设计[J]. 客车技术与研究,2012(1):20-22.
[5] 乐文峰,余卓平,熊璐.混合动力城市客车现状与示范运营[J]. 客车技术与研究,2006(5):5-9.
[6] 谢庆喜,张维刚,钟志华.电动汽车安全性隐患及其对策[J]. 客车技术与研究,2005(2):8-11.
[7] 孟丽囡,陈永真,宁武.超级电容器串联应用中的均压问题及解决方案[J]. 辽宁工学院学报,2005,25(1):1-3.
[8] 苟秉聪,胡海云.大学物理[M]. 北京:国防工业出版社,2011:36-55.
[9] 马文蔚,周雨青,解希顺.物理学教程[M]. 北京:高等教育出版社,2006:53-58.
[10] 杨剑.电动汽车的安全性分析[D]. 长沙:湖南大学,2005:1-35.

Development of Super-Capacitors Rapid Discharge Equipment
of Hybrid Electric Bus

NING Shui-gen¹, HUANG Jian¹, BAO Yi-zhi²

(1. College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;
2. School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: High-voltage rapid discharge equipment with the convenience, intelligence and security was designed to solve the high voltage security problem of super capacitor hybrid electric bus after sales maintenance. The experimental and theoretical analysis revealed that the resistance design was reasonable, and the resistance value and heating value of the discharge equipment could meet the requirement of human body safety. Furthermore, due to the SCM control, this equipment also showed the intelligence characteristics, and could guarantee the use safety and convenience.

Keywords: discharge equipment; dissipative component; control mode; high-voltage; super-capacitors