

# 动力电池预充电阻选型设计

陈培哲, 王薪强

(保定长安客车制造有限公司, 河北 定州 073000)

**摘要:**以某纯电动汽车为例,介绍动力电池预充电在电动汽车上电安全中的重要性,详细阐述预充电电阻的阻值和功率的计算过程,以及预充电阻的选型方法。

**关键词:**纯电动汽车;动力电池预充电;电阻选型

中图分类号:U469.72

文献标志码:B

文章编号:1006-3331(2018)01-0030-04

## Design of Precharge Resistor Selection for Power Battery

Chen Peizhe, Wang Xinqiang

(Baoding Changan Coach Manufacturing Co., Ltd, Dingzhou 073000, China)

**Abstract:** Taking an EV for example, the authors introduce the importance of the power battery precharge for the EV electrified safety. They elaborate calculating process of resistor's resistance and power, and the selection method of precharge resistor.

**Key words:** EV; power battery precharge; resistor selection

在当前电动汽车的发展过程中,为了提高电动汽车的动力性和能量利用率,动力电池的电压越来越高,已达到几百伏,所以需要配备专门的管理系统来负责高压系统的安全。在电动汽车上不仅需要高压电安全管理系统,还应设计安全测试系统来监测高压电安全管理系统,以进行不定期的安全状况监测<sup>[1]</sup>。

### 1 预充电保护必要性及原理

#### 1.1 动力电池系统预充电保护必要性

根据电动汽车和人体安全标准<sup>[2]</sup>,在最大交流工作电压小于 660 V,最大支流工作电压小于 1 000 V,以及整车质量小于 3 500 kg 的条件下,电动汽车的高压安全要求如下:

- 1) 人体的安全电压低于 36 V,触电电流和持续时间乘积的最大值小于 30 mA·s。
- 2) 绝缘电阻除以蓄电池的额定电压应大于 500  $\Omega/V$ 。
- 3) 高于 60 V 的高压系统的上电过程至少需要 100 ms,在上电过程中应该采用预充电过程来避免高压冲击。
- 4) 在任何情况下,继电器断开时间应小于 20

ms,当高压系统断开后的 1 s 内汽车的任何导电部分和可触及部分搭铁电压的峰值应小于 42.4 VAC 或 60 VDC。

根据上述安全要求可知,预充电保护管理是电动汽车必不可少的重要环节。电动汽车预充电的主要作用是给电机控制器(即逆变器)的大电容进行充电,以减少接触器接触时的火花拉弧,降低冲击,增加安全性。

#### 1.2 动力电池系统预充电保护工作原理

以某纯电动汽车动力电池及其管理系统、电机控制器、预充电系统为例,其预充电工作原理如图 1 所示。

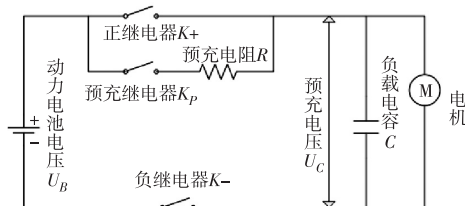


图1 预充电电路工作原理图

图1中,如果没有预充回路,即没有预充继电器和预充电阻支路,那么由于电动汽车动力电源回路中存在容性负载,在接通回路的瞬间,高压系统继电器

**作者简介:**陈培哲(1981—),男,工程师;主要从事动力电池系统电气设计工作。

将突然闭合,这时电容的电量为零,根据电路的瞬态特性可知,电容相当于短路,并且回路电阻(包括电池内阻、高压线电阻、各接触点的接触电阻、熔断器的内阻等)在几十毫欧左右,所以高压系统的瞬态电流就变得很大,从而产生一个几千安培的大电流冲击。如果不采取有效的防护措施,这种瞬态冲击电流不仅会烧毁主、负继电器,也会对整个动力电源回路及其他用电设备造成严重的损坏,同时也完全有可能危及到驾乘人员的人身安全。

而在供电回路中加入预充电回路,当动力电源上电时,总负继电器、预充继电器和预充电电阻  $R$  构成的预充电回路先接通。当预充电电路工作时,负载电容  $C$  上的电压  $U_c$  越来越高(预充电电流  $I_p = (U_B - U_c)/R$  越来越小),当接近动力电池电压  $U_B$  时(即  $U_B$  和  $U_c$  的差值  $\Delta U$  足够小,一般小于  $U_B$  的 10%),接通总正继电器,再切断预充电继电器,完成预充,从而减少了接触器的火花拉弧,缓解高压系统冲击,提高了安全性。预充电过程电压及电流变化如图 2 所示。

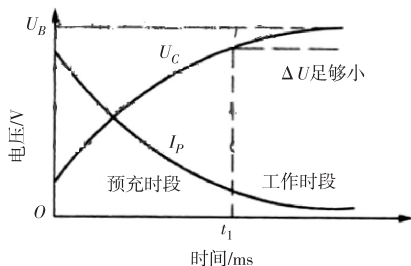


图2 预充电过程电压及电流变化

### 1.3 动力电池系统预充电完成判断方法

对于预充电完成的判断,现有技术的预充电控制策略研究基本分为3种<sup>[3]</sup>:

- 1) 采集电机控制器直流母线电流,当直流母线电流接近0 A时,输出预充完成信号。
- 2) 分别采集车载动力电池的电压、电机控制器电压,然后将两个电压值进行比较,两处电压趋于相等时,输出预充完成信号。
- 3) 采集电机控制器直流母线电压,当直流母线电压达到设定的欠压保护点时,经过延时(一般延时0.1~0.4 s)后,输出预充完成信号。

由于电流传感器和电压电流采样精度有偏差,动力电池管理系统有一致性、器件稳定性等问题,控制器输出预充完成信号时实际预充电可能尚未完成,导致车载动力电池与预充电电容直流母线存在电压差,存

在未消除瞬时大电流冲击的风险,影响电机控制器的安全性和可靠性;或者输出预充完成信号时实际预充电早已完成,导致控制率降低。

为准确判定预充电状态、故障情况,在动力电池上电的预充过程中,电池管理系统(BMS)和电机控制器(IPU)会对AD采样数据、IPU延时继电器的延时时间和电流传感器的电流检测等参数进行监测。由于预充电电阻  $R$  对电流传感器的检测精度和IPU的延时时间设定影响很大,所以预充电电阻的选型设计是预充电回路的关键。

## 2 预充电电阻选型设计

本文中所涉及到的电阻相关参数、曲线均来源于电阻厂家。

### 2.1 性能要求

以该纯电动汽车实际参数为例,该整车动力电池系统由4并36串三元锂电池组成,整车电压平台为133.2 V,最高电压  $U$  为151.2 V,电芯规格为3.7 V,37 Ah,电容容量  $C$  为7 700  $\mu\text{F}$ 。

1) 预充电电路实为一个  $RC$  电路,如图1所示。 $RC$  时间常数不能太长,过长的  $RC$  时间将导致充电电流下降缓慢,从而导致电阻的平均功率较大,产生不必要的损耗和过长的上电时间,因此预充电时间控制在700 ms以内;并且根据经验,预充时间 $\geq 200$  ms为宜。

2) 预充电电压达到电池电压的95%以上。

3) 电阻值偏大时,充电电流小,充电时间长,功率值偏小。但是阻值过小,易造成温升和功率损耗。

### 2.2 预充电电阻阻值计算

根据  $RC$  电路的一阶电路零状态响应方程<sup>[4]</sup>可计算得:

$$U_c = U_{\max}(1 - e^{-t/\tau})$$

式中: $U_c$  为预充时电容两端电压; $U_{\max}$  为动力电池两端的最大电压,即151.2 V; $t$  为预充时间; $\tau$  为时间常数, $\tau = RC$ ;  $R$  为预充电电阻阻值; $C$  为电机电容,7 700  $\mu\text{F}$ 。

当预充电电压达到电池最大电压的95%,即  $U_c = U_{\max} \times 0.95$  时,根据方程解得: $t = 3RC$ 。当  $t = 700$  ms时,计算得  $R = 30 \Omega$ ;当  $t = 200$  ms时,计算得  $R = 9 \Omega$ 。

由上可知,预充电阻值在9~30  $\Omega$  范围内均能满足

足要求,根据实际的预充时间要求,实际选择电阻值为  $20\ \Omega$ 。

预充时间  $t=3RC=3\times 20\times 7\ 700=462\ \text{ms}$ 。

即电容两端的电压从 0 上升到动力电池两端电压的 95% 时的时间为 462 ms,符合要求。

## 2.3 预充电阻功率计算

### 2.3.1 RC 电路能量消耗计算

电动汽车的高压预充电回路实为一个 RC 回路<sup>[5]</sup>,因此 RC 电路接通直流电压电源时,电源即通过电阻对电容进行充电。在充电过程中,电源供给的能量一部分转换成电场能量储存在电容中,一部分被电阻转变为热能损耗<sup>[6]</sup>,电阻消耗的电能计算如下:

设定电容容值为  $C$ ,直流电源为电压源且电压为  $U$ ,充电过程中电路中的电流  $I$  是时间  $t$  的函数。则当电容达到稳定状态时,直流电源提供的总能量

$$W_1 = \int U \cdot I(t) \cdot dt = C \cdot U^2 = 7\ 700 \times 151.2^2 = 176\ \text{J};$$

且电容储存的能量  $W_2 = 0.5 \cdot C \cdot U^2 = 0.5 \times 7\ 700 \times 151.2^2 = 88\ \text{J}$ ;电阻消耗的能量  $W_3 = W_1 - W_2 = 88\ \text{J}$ 。

通过以上公式可知,不论电路中电容  $C$  和电阻  $R$  的数值为多少,在充电过程中,电源提供的能量有一半将转变为电场能量储存在电容中,另一半则为电阻所消耗。由此可知,无论电阻值为多少,其消耗的能量为定值,而电阻标称的额定功率只是自身与外界进行热交换的能力,是在电阻长期工作达到热平衡时的热交换功率,即散热功率;而预充电阻的使用工况不可能让电阻丝达到热平衡,因为预充电过程中,预充时间极短,仅毫秒级别的预充时间,且电阻承受的是脉冲作用,所以关注电阻本身额定功率是无意义的,在 RC 回路中我们关注的是电阻的瞬时能量的耐受极限,即热容量。

一般来说,在脉冲作用下,由于瞬时产生的热量都集中在电阻体中来不及散出去,电阻体部分的温度可能瞬时远大于周围绝缘材料、覆膜材料的温度,严重时甚至会达到电阻体的熔点或者损坏接触的覆膜材料。这时候电阻的过载能力受瞬时能量(即脉冲能量)的限制<sup>[7]</sup>。并且当功率过载的脉冲持续时间在 100 ms 以上时,过载功率倍数因子(标称功率)随着脉冲持续时间的增长呈单调下降趋势。如图 3 所示。

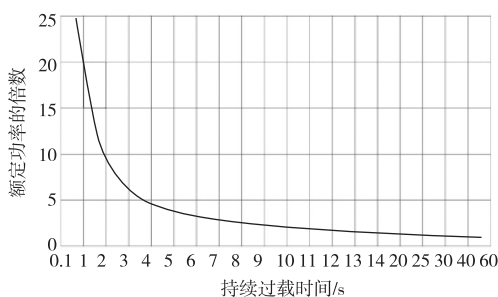


图3 预充电阻功率过载曲线

根据经验,一般绕线电阻在脉冲持续时间为 5 s 以内时,可以承受标称功率 5 ~ 10 倍的瞬时功率;1 s 以下的脉冲瞬时功率承受能力可达标称功率的 20 倍,甚至更多。

### 2.3.2 RC 回路即预充回路的瞬时功率计算

$$\text{瞬时功率}^{[8]}: P(t) = U^2(t)/R \quad (1)$$

式中:  $P(t)$  为某一时刻通过预充电阻的功率;  $U(t)$  为同一时刻预充电阻两端的电压值;  $R$  为预充电阻阻值。

由式(1)可知,当  $U(t)$  最大时,  $P(t)$  最大。预充继电器刚刚闭合瞬间,电容相当于短路,预充电阻两端电压最大,等于电池两端电压,即最高电压  $U_{\max} = 151.2\ \text{V}$ ,瞬时功率值为:

$$P = U_{\max}^2/R = 151.2^2/20 = 1\ 143\ \text{W}$$

根据图 3,预充电阻功率以瞬时功率不超过 20 倍计算,则:

$$P_0 = P/20 = 1\ 143/20 \approx 57\ \text{W}$$

为了确保安全和使用要求<sup>[9]</sup>,选择预充电阻的功率为 100 W。

### 2.3.3 电阻热容量分析

1) 充电过程中电阻功耗计算。根据 2.3.1 中电阻的能量消耗公式可知,在实际电路中:  $W_3 = 0.5 \cdot C \cdot U^2 = 0.5 \times 7\ 700 \times 151.2^2 \approx 88\ \text{J}$ 。

当电容电压达到电源电压的 95% 时,系统即认为预充完成,为了安全起见,计算此处电阻的能量消耗时,电压按照电源电压计算。

2) 电阻热容量分析。根据电阻厂家给出的脉冲能量-阻值曲线图(图 4)和 2.3.3 1) 中计算出的预充电阻在预充回路中的实际功耗,验证电阻是否满足要求。

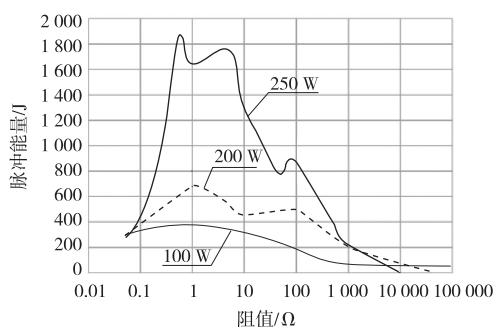


图4 电阻脉冲能量-阻值曲线

由曲线可知,100 W、20 Ω 的电阻脉冲能量承受值约为 300 J<sup>[10-11]</sup>,其值大于电阻的实际功耗 88 J,符合要求。

根据以上计算,整车高压上电时预充电电阻选型结果为 20 Ω,100 W。

### 3 结 论

为了提升系统的动力性、提高能源利用率,现阶段的动力电池系统大部分为高压,然而高压电对人体存在着安全隐患,因此,在高压设计过程中,加入动力电池预充电管理是法规标准和安全设计的必然要求。在高压设计过程中,合理的预充电检测方法策略一方面能够判断预充电过程是否成功,另一方面还能在车辆启动前对预充电失败进行准确判断,识别故障可能发生的类型和部位,这不仅可以降低动力电池管理系统的危险性,提高其安全性,提升整车安全性,还能

促进电动汽车行业快速推广。

### 参考文献:

- [1] 陈清泉,孙逢春,祝嘉光,等. 现代电动汽车技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2002:238.
- [2] 李永庆,孟伟. 电动汽车预充电过程研究[J]. 汽车电器,2013,54(5):8-10.
- [3] 王芳,夏军,等. 电动汽车动力电池系统安全分析与设计[M]. 北京:科学出版社,2016:89.
- [4] 叶挺秀,张伯尧. 电工电子学[M]. 4版. 北京:高等教育出版社,2014:83.
- [5] 李志文. RC 回路中的能量转换[J]. 河北民主师范学院学报,2005,26(2):49-50.
- [6] 田志良. RC 电路充电过程中的能量转化与守恒[J]. 河北工程技术高等专科学校学报,2004,15(2):19-21.
- [7] 张俊杰,张文学. 大功率电源上电冲击电流限制电阻的设计[J]. 现代电子技术,2006,29(9):140-141.
- [8] 邱关源. 电路[M]. 5版. 北京:高等教育出版社,2006:15.
- [9] 赵春明,王怀国,陈熙,等. 基于试验及仿真的电动汽车高压动力线路关键部件选型分析[J]. 汽车技术,2004,35(6):14-19.
- [10] 羌嘉曦,杨林,朱建新,等. 电动汽车动力电池高压测试系统的研究[J]. 电源技术,2007,31(8):655-658.
- [11] 盘朝奉,李桂权,陈龙,等. 城市循环工况下纯电动汽车动力电池包温度场分析[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版),2016,30(8):6-12.

修改稿日期:2017-12-04

## 重庆车检院国家客车质检中心新增零部件检测能力

重庆车辆检测研究院有限公司国家客车质量监督检验中心于2017年12月25日新增乘用车座椅模拟人体进出、颠簸蠕动、多功能耐久试验检测能力。其中,模拟人体进出试验台为NACHI原装进口。

模拟人体进出和座椅颠簸蠕动试验台可开展QC/T 740-2005《乘用车座椅总成》、Ford(SDS Ver14 ST-0036)、ES88000-10E 12.02.03 section 4-7、Suzuki S707《Vibration Durability Test Standard for Seat Cushions of Four-wheel Vehicles》、PSA《ESSAI D'ENDURANCE DE COUSSIN DE SIEGE GARNI》等标准的汽车座椅模拟人体进出和座椅颠簸蠕动试验。

座椅多功能耐久试验台可开展满足-40℃~90℃环境试验条件下的座椅调角器操作耐久、座椅滑轨操作耐久、座椅高调操作耐久、座椅头枕循环、座椅折叠耐久和翻转耐久、地图袋耐久、座椅扶手耐久、座椅靠背左右45°耐久、电动座椅耐久(电动调角器、电动滑轨、电动高调)等耐久试验。

试验联系人:刘万里 联系电话:023-63426281、18008379249