

# 电动汽车锂离子动力电池系统短路电流计算研究

王宏伟, 黄河, 刘进程, 钟雄武

(中车时代电动汽车股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

**摘要:**以电动汽车锂离子动力电池系统为研究对象,对业内主流的电池系统短路电流计算方法进行对比分析,提出一种改进的短路电流计算方法并进行验证。

**关键词:**电动汽车; 动力电池; 短路电流

中图分类号: TM912.1; U469.72 文献标志码: A 文章编号: 1006-3331(2022)04-0012-03

## Research on Short-circuit Current Calculation of Lithium Ion Power Battery System for Electric Vehicles

WANG Hongwei, HUANG He, LIU Jincheng, ZHONG Xiongwu

(CRRC Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

**Abstract:** Taking the lithium-ion power battery system of electric vehicles as the research object. The authors compare and analyze the short-circuit current calculation methods of the mainstream battery system in the industry and present an improved short-circuit current calculation method that is verified.

**Key words:** electric vehicle; power battery; short-circuit current

近年来电动汽车自燃事故频发,以某知名新能源汽车厂召回事件为例,电池厂家公告显示事故原因为动力电池模组内的电压采样线束个别走向不当,在极端情况下被模组上的盖板挤压导致磨损,从而造成短路<sup>[1-2]</sup>。锂离子动力电池是电动汽车广泛采用的储能元件<sup>[3]</sup>,其安全性能是重中之重,而动力电池短路事故是动力电池应用过程中最严重的事故之一,因此,研究动力电池短路电流的计算方法具有非常重要的工程应用意义。

预期短路电流一般分为预期最大短路电流和预期最小短路电流,是作为短路保护器件的主要选型依据。其中预期最大短路电流一般认为是发生在电源端的短路电流,线路阻抗较小,短路电流最大;预期最小短路电流一般认为是发生在电路末端的短路电流,线路阻抗较大,短路电流最小。本文研究发生在动力电池系统电源端的最大预期短路电流的计算方法。

## 1 电化学电池短路电流计算方法

### 1.1 DL/T 5044—2014 方法

目前国内外还没有针对电动汽车锂离子动力电池短路电流计算的标准,部分电动汽车主机厂在计算短路电流时参考 DL/T 5044—2014。DL/T 5044 是我国电力行业针对传统铅酸电池及碱性电池(镍镉等)短路电流计算的权威标准,该标准计算模型如图 1 所示。

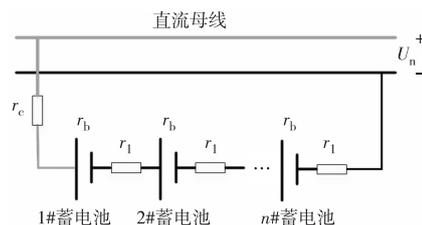


图 1 DL/T 5044 计算模型

其提出的蓄电池端子预期短路电流计算公式为<sup>[4]</sup>

收稿日期: 2021-12-26。

第一作者: 王宏伟(1989—),男,助理工程师;主要从事动力电池和储能应用技术研究工作。E-mail: 1452458689@qq.com。

$$I_k = U_n / [n(r_b + r_1) + r_c] \quad (1)$$

式中:  $I_k$  为蓄电池组连接的直流母线上的短路电流;  $U_n$  为蓄电池组的标称电压(110 V 或 220 V);  $n$  为蓄电池个数;  $r_b$  为蓄电池组的内阻, 通过 30 s 内的二次放电法测试<sup>[5]</sup>得到;  $r_1$  为蓄电池组连接条(蓄电池间连接用导电部件)电阻;  $r_c$  为蓄电池端子到直流母线的连接电缆或导线的电阻。

### 1.2 某锂离子电池厂家的计算方法

某行业头部锂离子电池企业提供的锂离子电池短路电流计算公式为

$$I_{sc} = U_n / (R_1 + R_n) \quad (2)$$

式中:  $I_{sc}$  为电池系统短路电流;  $U_n$  为电池系统额定电压;  $R_n$  为电池系统 10 s 直流内阻;  $R_1$  为线缆电阻。

### 1.3 上述两种计算方法分析

综合比较 DL/T 5044—2014 和某锂离子电池企业的短路电流计算方法发现:

- 1) 其计算原理一致, 均采用了欧姆定律。
- 2) 电池电压值分别选取了标称电压和额定电压, 均为经验取值, 无理论依据。
- 3) 两种算法所采用的内阻取值均为电池系统在一段时间内(秒级)的直流内阻。但电池系统短路工况是在极短的时间内完成的, 短路瞬间电流极大, 熔断器的保护动作时间一般是毫秒级。相关研究表明: 随着脉冲时间的增加, 磷酸铁锂动力电池的内阻呈增长趋势; 随着放电电流增大, 电池的极化内阻和直流内阻呈减小趋势<sup>[6]</sup>。故采用 10 s 级电池直流内阻进行电池系统短路电流计算是不科学的。

## 2 一种改进的方法及其关键参数取值

### 2.1 改进的计算方法

如图 2 所示, 动力电池外短路时, 电池本体可等效为理想电压源( $U_s$ ) + 电池内阻抗( $Z_i$ )的串联; 外阻抗主要由线缆阻抗( $R_1$ )组成;  $Z_L$  是动力电池系统等效电路的外部负载。根据欧姆定律, 短路电流  $I_{sc}$  计算公式为

$$I_{sc} = U_s / (R_1 + Z_i) \quad (3)$$

式中:  $U_s$  为电池系统在 100% SOC 下的开路电压;  $Z_i$  为电池系统 100% SOC 时在 1 kHz 下的交流内阻。

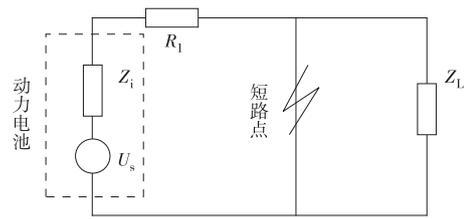


图2 动力电池短路等效电路

### 2.2 改进算法中的关键参数取值

#### 2.2.1 电池电压取值

由式(3)可知, 在线缆阻抗一定的情况下, 电池系统短路电流与电池电压成正比, 与电池内阻成反比。在实际应用中, 电池系统有充电、放电、静置三种工作状态, 而短路故障本质上是电池系统大电流放电的状态, 此状态下电池电压会被拉低, 无论是从充电状态转入短路状态, 还是从静置状态转入短路状态, 其瞬态短路电压值均不会超过电池系统开路电压。故计算电池系统预期短路电流宜采用电池在静置状态下的开路电压。

图 3 为磷酸铁锂电池荷电状态(SOC)与开路电压(OCV)曲线, 由曲线可知电池 OCV 随 SOC 增加而升高。考虑到在不同 SOC 状态下锂电池的欧姆内阻基本无变化<sup>[7]</sup>, 为便于计算, 式(3)中的电池电压应取电池 SOC 为 100%时的开路电压。

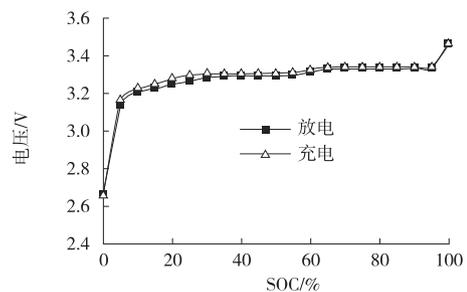


图3 某型号磷酸铁锂电芯 SOC-OCV 曲线

#### 2.2.2 电池内阻取值

锂离子电池的内阻包括欧姆内阻和极化内阻。欧姆内阻指由电极材料、隔膜、电解液电阻及各个零件之间的接触内阻组成的电阻之和。极化内阻指电池化学反应过程中极化所造成的内阻, 包括电池化学极化和浓度极化造成的内阻<sup>[8]</sup>。

当电池系统短路时, 在非常短的时间内(毫秒级)便会产生极大短路电流, 并触发短路保护装置, 此

时电池内部的极化过程才刚开始,极化内阻很小,电池的内部阻抗主要为欧姆内阻。考虑到电池系统短路电流与电池内阻成反比,计算电池系统预期短路电流宜采用电池在静置状态下的欧姆内阻。由于欧姆内阻的测量方式较为复杂,在工程应用中不易实现,故本算法使用与其相近的交流内阻测试仪在1 kHz下测得的交流内阻等效替代<sup>[9]</sup>。

### 3 算法比较

以某款314 Ah磷酸铁锂电池(单体)为例进行短路试验,试验原理如图4所示。

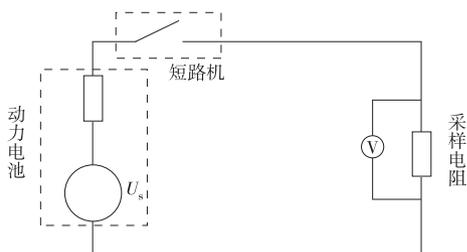


图4 某314 Ah电芯短路试验原理图

试验前各参数如下:电池开路电压  $U_s = 3.3945$  V, 电池1 kHz交流内阻  $Z_n = 0.1546$  m $\Omega$ , 采样电阻  $R_c = 0.4$  m $\Omega$ , 电池额定电压  $U_n = 3.2$  V, 电池30 s内二次放电法测试内阻值  $r_b = 0.4865$  m $\Omega$ , 电池10 s直流阻抗内阻  $R_n = 0.5145$  m $\Omega$ 。

根据式(1)计算电池系统预期短路电流  $I_k = 3.2$  V / (0.4865 + 0.4) m $\Omega = 3609$  A。

根据式(2)计算电池系统预期短路电流  $I_{sc} = 3.2$  V / (0.5145 + 0.4) m $\Omega = 3499$  A。

根据式(3)计算电池系统预期短路电流  $I_{sc} = 3.3945$  V / (0.1546 + 0.4) m $\Omega = 6120$  A。

短路试验数据见表1。

表1 电池系统短路数据

t/s	实时电压 U/V	短路电流 $I_{sc}$ /A
0/0.1	3.3945/2.562	0/6773
0.2/0.3	2.5235/2.507	6673/6573
0.4/0.5	2.496/2.488	6533/6493
0.6/0.7	2.4845/2.4785	6447/6420
0.8/0.9	2.4735/2.4695	6407/6387

由表1可知,电池系统短路时短路电流呈下降趋势,电池系统0.1 s实际短路电流为6733 A,与改进算法(3)的理论计算值6120 A相差不大,而与式(1)和式(2)的理论计算值差距很大,说明本文提出的锂离子电池短路计算方法更加准确有效。动力电池短路电流计算的工程意义在于辅助短路保护器件的选型,而电池直流系统的短路保护一般使用直流熔断器。由于电池短路具有极端破坏力,这就要求直流熔断器的熔断曲线要尽量契合电池系统的短路特性,一般要求分断配合要做到0.1 s以内。

### 4 结束语

本文在传统短路电流计算方法基础上,通过分析动力电池系统短路等效电路和短路过程中的电压、电池内阻等参数,提出了一种改进的电池系统短路电流计算方法,并从工程应用角度对计算公式中各参数取值进行了优化处理。试验表明,改进后的短路电流计算方式更贴近工程实际应用情况。

### 参考文献:

- [1] 宋杰. 蔚来召回数千辆汽车,欲“甩锅”宁德时代[J]. 中国经济周刊,2019(13):83-85.
- [2] 郑雪芹. 60次起火,16万召回,新能源汽车安全问题引关注[J]. 汽车纵横,2019(8):22-27.
- [3] 陈泽宇,熊瑞,孙逢春,等. 电动汽车电池安全事故分析与研究现状[J]. 机械工程学报,2019,55(24):93-104.
- [4] 国家能源局. 电力工程直流电源系统设计技术规程:DL/T 5044—2014[S]. 北京:中国电力出版社,2015:73.
- [5] 孙茗,於崇干. 直流短路电流计算方法的中外标准差异分析[J]. 电力勘测设计,2018(10):50-54.
- [6] 鲁文凡,吕帅帅,李志扬,等. 电动汽车用磷酸铁锂电池内阻特性研究[J]. 化工新型材料,2018,46(1):175-177.
- [7] 朱顺良,谢先宇,王侃,等. 不同工况环境下动力锂电池内阻测试研究[J]. 上海汽车,2016(1):3-6.
- [8] 魏学哲,徐玮,沈丹. 锂离子电池内阻辨识及其在寿命估计中的应用[J]. 电源技术,2009,33(3):217-220.
- [9] 李加林,王玲玲,刘萍. 磷酸铁锂电池内阻的研究[J]. 电源技术,2022(2):206-208.