



BEV7 Series



BEV5 Series



Ev1845 Series



Various

纯电动汽车的动力电池电源电压多在 200~400 V，除动力电池总熔断器外，还存在汽车空调系统，暖风系统，DC / DC 系统（将动力电池电压转换为 14 V，提供整车低压电源，作用类同发电机）等其他附件高压回路，各回路均需串接直流高压熔断器做回路保护。

现阶段，陆续有 EV 专用汽车级熔断器推出，但选择面还是比较狭窄。国产直流熔断器的分断能力及保护特性均能够满足 IEC（国际电工标准化机构）或其他通用标准，与相同用途的进口产品差别不大。但在相关 ROHS（电子电器设备中限制使用某些有害成分指令）认证、极端条件测试、系列产品的自动化生产方面，仍略有差距。

直流高压熔断器价格稍高，需在能够有效保护各系统回路的同时，禁止熔断器非正常熔断现象发生。本文将对直流高压熔断器的选型原则及验证方法做系统介绍。

常规高压系统方案介绍

在不考虑动力电池内部结构、充电系统、动力电池热管理系统的前提下，一般纯电动汽车高压附件系统设计回路见图 1。从图 1 可知，动力电源主回路需要总熔断器 1 只，其余分系统需单独设置熔断器。总体来看，至少选用 4~5 只直流系列，额定电压在 400 V 以上的熔断器，才能满足车辆的基本功能需求。

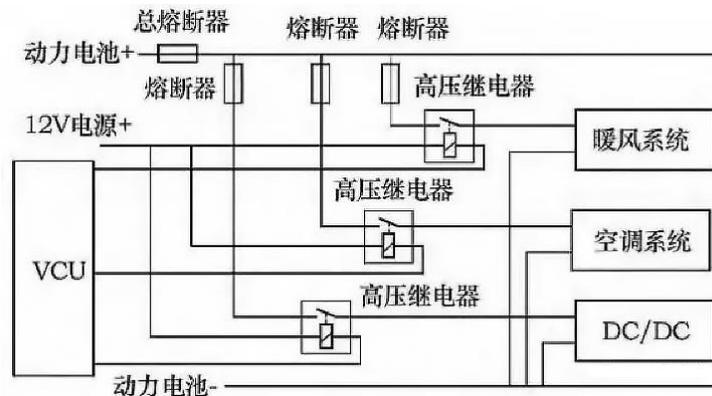


图 1 纯电动汽车高压附件系统设计回路



直流高压熔断器选型基本原则

直流高压熔断器选型原则主要是熔断器额定电压与额定电流的确认，熔断器额定电压需大于动力电池最高电压，额定电流（熔断丝容量）的选择参考式（1）

$$I_n = \frac{I_r}{K_1 K_2}$$

（1）式中： I_n ——熔断器额定电流； I_r ——保护回路的负载电流； K_1 ——负载形式矫正系数； K_2 ——温度矫正系数。

其中负载形式矫正系数 K_1 主要根据负载特性，考虑功率变化、电流纹波、启动与关闭瞬间冲击电流等因素，一般条件下，平稳运行负载选择 0.75，如果负载在工作过程中，电流有较大波动，建议 K_1 选择 0.6。

通常根据温度变化率可直接计算温度矫正系数 K_2 ，或者根据熔断器使用的环境温度及熔断器温升曲线，合理选择 K_2 ，纯电动汽车无明显高温产生区域，一般 K_2 选择 0.6。

在确认 K_2 时，也要充分考虑熔断器的自身功耗，即熔断器在通过不同电流时，不同的温升效果。

寿命计算及验证

熔断器寿命计算参考熔断器负载电流波形及 I^2t 曲线， I^2t 曲线的一般形式见图 2（以某品牌 40 A 直流高压熔断器为例）。



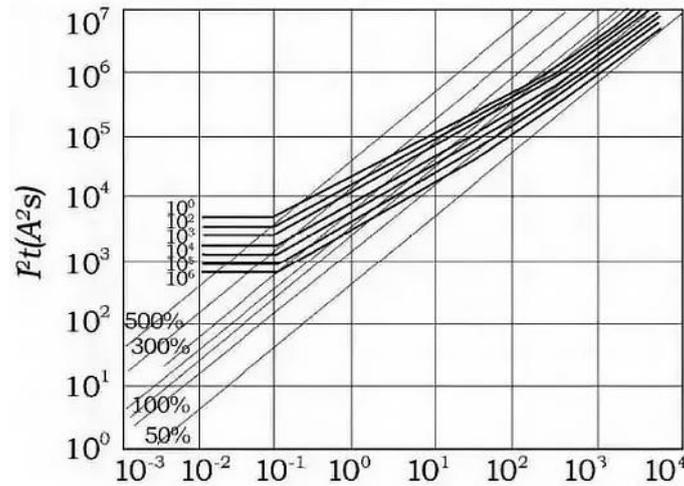


图 2 某品牌 40A 熔断器 I^2t 曲线图

根据图 2，从理论上来看，当通过电流为熔断器额定电流 50% 时，熔断器能够保证持续工作而非正常熔断。实际负载波形通常不是平稳的线性负载，针对不同的负载曲线，需根据式（2）进行计算。

$$I^2t = \int_0^{t_{1-2}} t dt$$

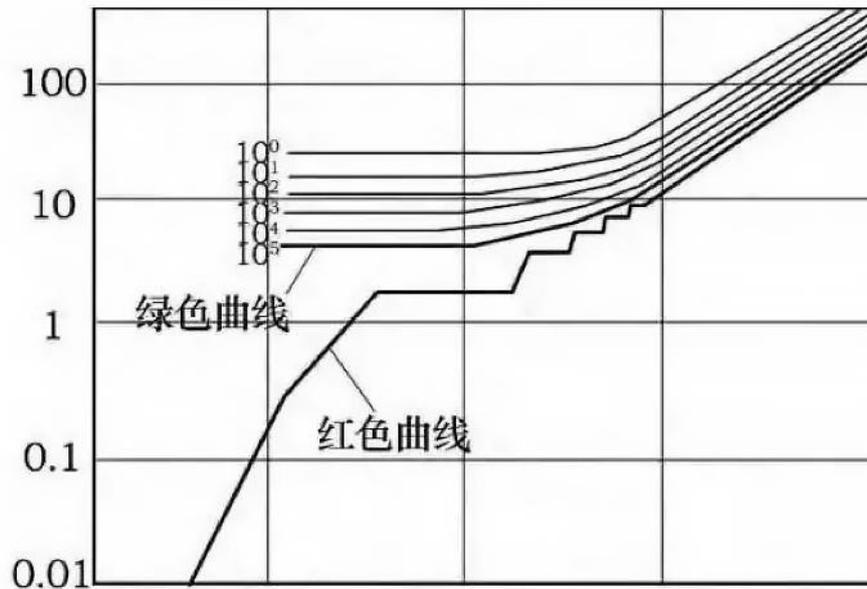
（2）如果电流是周期性变化，则选择任意几个周期计算 I^2t ，计算所得 I^2t 曲线需在最下面一条曲线的下方区域。

一般来讲，电流波动主要存在负载初步启动或者功率上升区域，可从负载启动，快速提高负载功率直至稳定，抓取从开始到负载稳定过程中电流波形，估算 I^2t ，同样要求 I^2t 曲线在图 2 下方的区域。

图 3 为根据某一特定负载计算 I^2t ，绘制曲线所得，可做参考。图 3 中，红色曲线为实际电流 I^2t ，红色曲线始终在绿色曲线下方。



熔断器实际寿命验证仍需在试验室台架上进行，或随实车耐久同步进行， I^2t 的理论计算仅作参考。



冲击电流对熔断器影响

熔断器型号初步确定后，需根据负载回路的冲击电流，结合熔断器时间-电流特性曲线，校核初选熔断器能否承受回路内的尖峰电流。

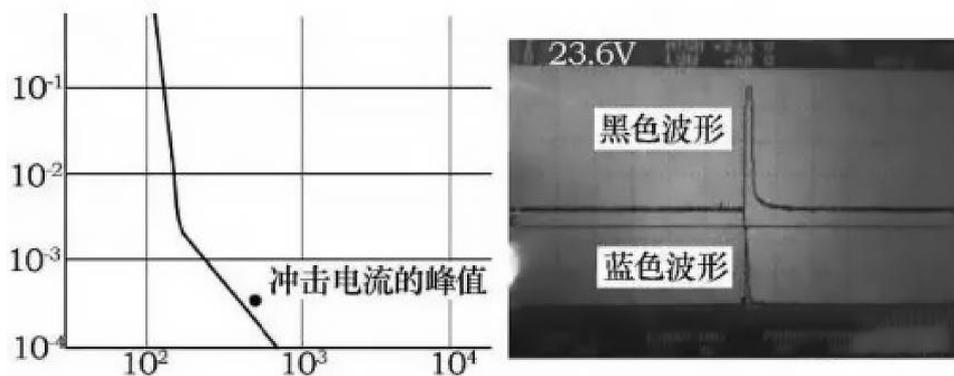


图 4 为初选某品牌 35 A 熔断器的时间-电流特性，在图 4 的基础上，比对尖峰电流的持续时间及峰值。

图 5 为用示波器配合电流互感器测得负载的冲击电流波形，1V 对应电流值 25A。黑色波形为示波器电流探头测得波形，已超探头量程，不具有参考意义，从蓝色波形可以计算出该冲击电流的峰值电流为 590 A，整个尖峰持续周期为 0.4 ms。将该尖峰描绘在初选熔断器的时间-电流特性图中，见图 4。

通过比对，即可确认该负载中存在的冲击电流，实际上已超过初选熔断器对峰值电流的承受能力，若长时间使用，则容易导致熔断器的非正常熔断。反之，若冲击电流值不超出熔断器时间-电流特性曲线，则可认为初选熔断器适用该负载的冲击电流。

分段能力与短路电流

熔断器分断能力需大于保护回路中预期短路电流，预期短路电流通过动力电池电压与负载回路的导线电阻、电源内阻、连接端子或者转接点个数，可简单计算。线阻及电源内阻可通过计算或测量获得，连接端子一般取 3~5m Ω 。通常情况下，计算得到的预期短路电流与实际短路电流值仍有差别，当计算得到的预期短路电流接近熔断器的分断能力时，需通过测试验证。

测试验证前，需评估整个负载回路容易发生短路现象的位置，然后在该位置设置短路点，连接好相应设备，测量短路过程中熔断器两端电压波形，整个负载回路的实际短路电流等参数。



图 6 为试验短路前选用熔断器照片，短路回路为 A / C 回路，试验用熔断器型号为 PEC 30A/450VDC。



该型号熔断器的短路过程分为 3 段。即：①初始阶段，熔断器两端电压为 0，负载回路无电流流过；②熔断阶段，负载回路短路，熔断器开始拉灭弧过程；③熔断完成，熔断完成后，熔断器两端电压为电源电压。

从拉弧及灭弧过程来看，整个熔断过程不超过 2 ms，熔断器的分断速度比较理想。分断试验完成后，拆除测量设备，检查熔断器的外观，主要包含是否有裂缝、载体是否有烧蚀等现象。

若外观良好，则需进一步剖解熔断器内部，检查熔体的熔断情况，检查灭弧材料粘结变化情况。

图 7 为该型号熔断器熔断试验后情况，从拆解图中看出，经过短路分断过程以后，熔断器玻璃管外观良好，石英砂依旧松散，熔体有效熔断，载体未受短路电流影响，表明该负载的短路电流在熔断器分断能力之内，符合设计需求。

直流高压熔断器的型号确定，一定要建立在对负载及负载回路流通电流充分测试的基础上，通过理论计算与实际验证相结合的方式，选择与保护回路最为适合的熔断器。

