

纯电动乘用车高压继电器应用与实践

张长涛 李威 曲振宁 盛毅 王伯军

(中国第一汽车股份有限公司研发总院, 长春 130013)

【欢迎引用】张长涛, 李威, 曲振宁, 等. 纯电动乘用车高压继电器应用与实践[J]. 汽车文摘, 2023(7): 50-55.

【Cite this paper】ZHANG C T, LI W, QU Z N, et al. Application and Practice on High Voltage Relays for Pure Electric Passenger Cars [J]. Automotive Digest (Chinese), 2023(7): 50-55.

【摘要】具有保护作用的高压继电器是电动汽车重要的器件之一, 更好地评估其应用工况和可靠性是电动汽车可靠性评价的重要环节。基于纯电动乘用车目前多合一集成趋势下应用场景需求和高压继电器技术现状, 对高压继电器所应达到的技术要求进行研究, 通过实际调查研究、收集文献以及应用案例分析, 详细总结分析高压继电器应用工况, 在现有高压继电器技术要求的基础上, 提出需要针对高压继电器触点状态进行深入评估的要求, 为纯电动乘用车高压继电器的应用提供了建议。

关键词: 纯电动乘用车; 高压继电器; 工况电流; 热仿真; 触点评估

中图分类号: U469.72² 文献标识码: A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20220116

Application and Practice on High Voltage Relays for Pure Electric Passenger Cars

Zhang Changtao, Li Wei, Qu Zhenning, Sheng Yi, Wang Bojun

(Global R&D Center, China FAW Corporation Limited, Changchun 130013)

【Abstract】High voltage relay as a protective switching device is one of the important devices for electric vehicles, to better evaluate its application condition and reliability becomes particularly important. Based on the application scenario requirements and the technical status of high voltage relay in the current multi-in-one integration trend of pure electric passenger vehicles, the technical requirements of high voltage relay should be studied. Through actual investigation and research, literature collection and application case analysis, the application conditions of high voltage relay are summarized and analyzed in detail. On the basis of the existing technical requirements of high voltage relay, In this paper, it is proposed that the contact state of high voltage relay should be evaluated in depth, and some suggestions are provided for the application of high voltage relay for pure electric passenger vehicles.

Key words: Pure electric passenger car, High voltage relay, Operating current, Thermal simulation, Contact evaluation

0 引言

随着新能源汽车技术发展, 电动汽车市场快速发展。中国汽车工业协会数据显示, 2021年, 新能源汽车产销量超过350万辆, 市场占有率达13.4%, 同比均增长1.7倍^[1]。2022年, 新能源汽车产销量超过680万辆, 市场占有率提升至25.6%, 同比均增长约1倍^[2]。

新能源汽车一般采用高压电池组为电动汽车提供动力, 在动力电池系统或相关高压总成中配置高压

继电器, 以保证电气系统正常通断。当系统停止运行后, 高压继电器起到高压隔离作用; 系统运行时, 高压继电器起高压连接作用; 当车辆高压下电或发生故障时, 高压继电器能安全地将车辆高压电气系统分断。因此, 高压继电器是新能源汽车关键安全器件。

电动车领域, 针对高压继电器的工况电流, 一般评价方法是长时工作电流和短时工作电流, 对应是整车在急加速下的最高电流, 和最高车速下的工作电流。但综合真实的测试工况或用户使用工况, 目前尚未形成明确的数据参考。尤其在新能源超跑和高性能四

驱车的比例越来越多,整车的工作电流(特别是在急加速情况)较传统电动车工作电流有较大提高。

近来越来越多的总成方案将动力电池与高压配电、车载电源进行大集成或将高压配电、车载电源与电驱系统进行大集成。由于集成度高,大集成方案的高压继电器的使用环境(如工作环境温度、振动要求)比普通电池包上布置的高压继电器使用环境更加恶劣,因此大集成方案的高压继电器性能需要有更细致的评估。

本文主要针对电动乘用车的高压继电器性能参数现状进行分析,并依据使用需求、车辆的应用技术情况,对电动乘用车适应的评价工况给出建议,并对高压继电器的性能要求增加了视觉评估内容。

1 国内外高压继电器技术现状

新能源车主回路用高压继电器一般工作电压较传统在 200~1 000 V 以内,额定工作电流一般在 400 A 以内。同时需要高压继电器具备抗冲击、灭弧能力强和分断能力强的基本功能(表 1)。

表 1 高压继电器功能要求

功能	功能描述
耐高压	工作电压一般为 370 V 以上,目前分为 500 V 等级、1 000 V 等级
耐负载	兼顾成本与性能,目前常用 100 A、150 A、250 A、300 A 具备额定负载电流数倍的瞬时过载能力
抗冲击	抵抗闭合瞬间电容性负载巨大电流的冲击,避免继电器触点粘连 继电器触点材料、结构设计,直接影响产品抗冲击电流能力
灭弧	采用真空加惰性气体的特殊灭弧手段降低电弧能量,减少对继电器触点的损害,延长产品的使用寿命
分断	在紧急情况下,如电气系统短路时,要求继电器能够顺利的切断电路,而不发生触点粘连或继电器爆炸的异常状况发生

国外主要有松下、欧姆龙和泰科 3 家企业,国内主要有宏发、国立、比亚迪 3 家高压继电器生产企业,目前均已经推出了较齐全的量产规格高压继电器产品,未来也在进行轻量化和节能化的产品规划。

1.1 高压继电器主要参数指标—工作电流

高压继电器的重要性能指标之一是高压继电器的工作电流,包括额定工作电流,短时冲击电流。一般规格书中参数如表 2 所示。

1.2 高压继电器参数—一般指标

目前高压继电器的参数一般指标如表 3 所示。

1.3 高压继电器应用现状

目前国内外高压继电器企业主推新款小型化高

压继电器,额定电流为 250 A/300 A 居多,如表 4 所示。

表 2 高压继电器电流耐受参数

	电流/A	耐受时长/s
额定负载	300	> 1 800
短时负载	450	30
	600	120
冲击负载	1 200	25
	2 000	3
	3 000	0.9
	5 000	0.35
	6 000	0.15
	7 000	0.06
	8 000	0.006

注:此款为某企业 300 A 规格高压继电器标注参数

表 3 高压继电器一般指标

	技术描述
动作电压/V	≤9
释放电压/V	≥1
接触电阻/mΩ	≤0.5
动作时间/ms	≤30
释放时间/ms	≤10
触点额定负载/A	300
介质耐压/V	≥2 000
绝缘电阻/mΩ	≥1 000

注:此为某企业 300 A 规格 12 V 高压继电器标注参数

表 4 企业主推高压继电器现状

地区	品牌	电压平台/V	额定电流/A
欧美日	I	750	150、250、300
	II	750	150、250
	III	500	150、250、300
中国	IV	750	150、250、300
	V	750	150、250、300、400
	VI	1 000	100、150、250、300、400

目前国内外汽车企业一般应用的高压继电器为额定电流 250 A 和 300 A 居多,如表 5 所示。

综合对比各地区高压继电器应用技术现状,可以看出:

(1)日企多以 100 A 小电流高压继电器为主,车企应用 180 A 及以上,中国车企已经应用了 250 A 及以上规格。

(2)欧美日等开始推广 250 A 和 300 A 规格小型化继电器。

(3)国内主流应用 250 A 和 300 A 小型化规格高压继电器,目前已有机构在研发电流为 400 A 以上的大功率继电器。

表5 车企应用技术现状

地区	企业	电压平台/V	额定电流/A
欧美日	V	500	180
	D	500	250
	T	500	300
	F	500	100
中国	H	500	250、300、400
	G	500	250、300、400
	S	1 000、800、500	150、200、250、300
	B	500	150、250、300
	D	500	200
	J	500	200、250、300、400

2 纯电动乘用车高压继电器应用

2.1 高压继电器控制要求

朱楚梅^[3]针对电动汽车高压继电器控制应用技术进行了研究,总结了例如高压继电器的控制要求、预充保护、高压上下电流程管理以及高压继电器的状态监测信息,内容比较系统全面,目前各主机厂在高压继电器方案设计中均有应用。

2.2 应用需求及设计选型

根据整车常见工况,进行仿真与实测电流数据整理,主要提取了整车最高车速持续行驶和最高速加速工况的电流,整理后的结果见表6。

表6 电流工况计算

时间	最高速等速-电流	最高速加速-电流
1 s	383	1 410
10 s	382	1 409
10 min	370	加速工况无超过 1 min 数据
30 min	350	

按表6数据进行估算并参考表2高压继电器的规格参数,选用 I 品牌 300 A 规格继电器。因为从0到最高车速的加速工况电流在规格书中没有对应参数可参考匹配,故后续通过台架试验进行验证。

2.3 高压继电器应用

刘金配等^[4]提出的关于高压继电器的应用选型中,针对高压继电器相关工况的动作寿命和切断能力考核项目提出了比较详细的阐述。

目前高压继电器在各工况电流测试后,一般只会复测基本电气参数以作对比分析。但高压继电器在

测试前后的线圈电阻、接触电阻、吸合释放电压参数一般并无明显变化。

目前各家主机厂均存在一部分高压继电器在台架测试上通过,整车试验后期才出现的高压继电器故障,例如粘连。在出现高压继电器粘连后需要做系统性的粘连分析,参考葛俊良等^[5]阐述的排查思路做分析。此外,还需要在整车上进行实车电压、电流的采集,如图1所示,并需要对报文进行采集读取分析时序工作,如图2所示。排查问题需要详细分析时序并比对上电期间的电压、电流,分析过程冗长。

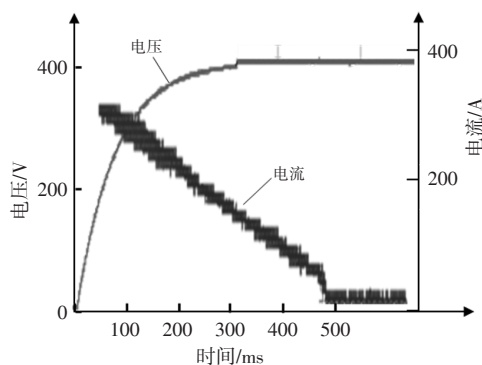


图1 实车采集电压电流

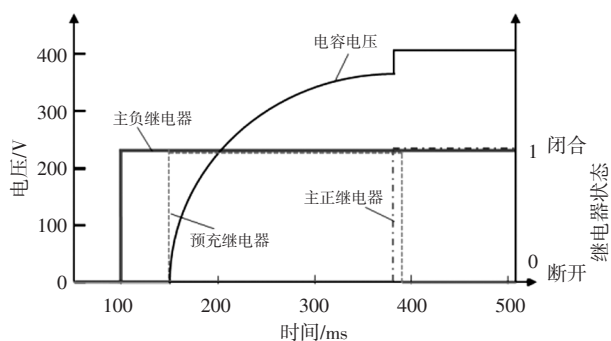


图2 报文时序分析

2.4 多合一集成中高压继电器应用

近来有高压电驱与高压配电、车载电源进行大集成或动力电池与高压配电、车载电源集成的多合一进行大集成的趋势,比如华为及比亚迪公司的电驱多合一方案。多合一集成后高压继电器相应的需要集成至电驱内或者靠近车载电源部件,高压继电器的使用环境温度较原动力电池包内更为恶劣,需要充分考虑环境温度、工况变换对继电器的影响。

丁永根等^[6]针对新能源汽车驱动电机壳体冷却结构做了热仿真的分析,参考此内容建议多合一内高压配电部分在设计初进行模型热仿真,以减少后期设计更改的风险。参照衡凤琴^[7]提出的配电盒仿真设计,可做出如图3的设计模型,进行相关热仿真,评估继电器

器的热风险。

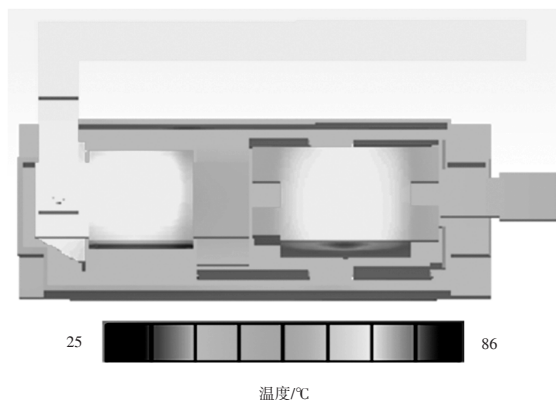


图3 高压配电热仿真模型

2.5 高压继电器失效分析

近来有不少文章针对高压继电器的失效做了较详细的分析。如赵小巍等^[8]针对其故障进行了较详细的故障诊断方法论述。伍昆^[9]也针对在整车系统中出现故障的排查分析做了较详细的阐述。目前未有针对高压继电器在整车故障前各项测试期间进行问题提前预警分析的研究内容。

3 多合一集成中高压继电器应用案例

3.1 高压继电器仿真

按某项目采用的多合一方案中高压配电的数据模型,参照王燕兵等^[10]提出的继电器仿真模型并做相应简化,参照衡凤琴^[7]提出的配电盒仿真设计进行热仿真设计,形成初步计算数据,如图4。



图4 高压配电热仿真模型

3.2 应用测试与验证

针对使用工况,进行了4项测试,如表7所示。

各个测试继电器样件触点温升测试结果满足要求。

测试前后对高压继电器进行线圈电阻、接触电

阻、吸合电压、释放电压参数作对比;测试后,拆解测试样品,观察比较触点变化。

表7 高压继电器测试工况

序号	工况描述
1	100%加速踏板开度下D挡从0 km/h加速至最高车速,然后匀速行驶30 min
2	100%加速踏板开度下D挡从0 km/h加速至最高车速,然后以0.2 g减速度制动到0 km/h,进行20个循环。
3	100%加速踏板开度下D挡从0 km/h加速至最高车速,然后带挡滑行至100 km/h,再匀速行驶30 min。
4	160 km/h匀速行驶2 h

3.3 使用工况分析及建议

某项目采用3个品牌300 A规格的高压继电器做前期测试对比。根据路试中相关采集的数据发现,该高压继电器使用中电流较大的路试工况主要有:

(1)急加速冲击工况:按0 A~1 200 A~0 A,共持续15 s冲击,间隔30 s,进行20个循环,如图5所示。

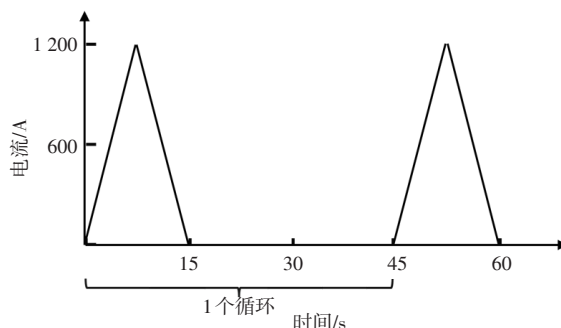


图5 急加速工况电流

(2)耐久工况,峰值电流600 A持续4 s,平均额定电流<240 A,总持续时间为45 min,如图6所示。

按实际使用工况,持续电流小于高压继电器的额定工作电流;大冲击电流频次较前期试验明显增多,试验方案需要进行相应的调整。

3.4 继电器分析

在各个工况测试前、中、后分别对高压继电器参数进行记录,并对比如表8所示。

根据表8数据,能看出测试前后并无太大变化,基本参数信息并不能明显表征各高压继电器试验前后的变化。

王燕兵等^[10]针对继电器触点瞬态接触传热进行了模拟分析;翟国富等^[11]针对继电器触点侵蚀及失效模式做了相关分析。本项目测试后,对拆解后的继电器触点进行观察比较。拆解高压继电器触点观察,如图7所示。

在测试后能明显看出各继电器触点受损情况(触

点有较浅熔池痕迹、拍打痕迹、材质转移),实际情况也是触点的损伤越大,后期越容易发生粘连。发生粘连的高压继电器触点均有明显熔池及材质转移。

在整车实际使用中,因为有不同的电压上电下电及充电的相关工况,需要针对工况做更细化的测试后进行触点状态评估确认。

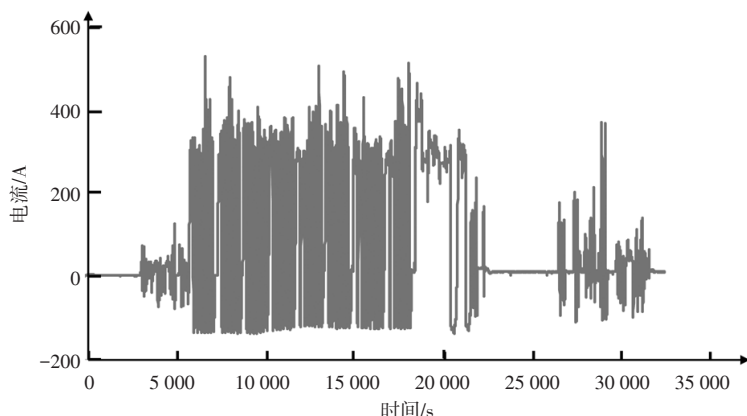


图6 耐久工况电流

表8 继电器参数对比

厂家	试验前、中、后	动作电压/V	释放电压/V	接触电阻/mΩ	动作时间/ms	释放时间/ms	线圈功率/W
		要求≤9.0	要求≥1.0	要求≤100.0	要求≤30.0	要求≤10.0	
I	前	7.1	1.9	29.5	21.6	40.6	8.6
	中	7.0	1.9	38.8	24.8	38.0	8.6
	后	7.1	1.8	49.9	21.8	41.2	8.6
II	前	5.9	1.2	64.2	23.0	50.2	6.0
	中	5.9	1.0	51.2	23.4	53.4	6.0
	后	6.1	1.3	71.6	26.8	45.2	6.0
III	前	6.9	2.5	56.2	22.0	38.0	5.8
	中	6.7	2.3	68.5	23.2	37.6	5.8
	后	7.1	2.4	65.7	21.4	36.8	5.8

表9 工况比较

序号	工况描述
1	常温,90个耐久工况 ^a
2	常温,20个急加速工况 ^b
3	常温,4000次容性接通(40V、200A)
4	85℃,随机振动(0.64g,90个耐久工况+20个急加速工况)

注:a见4.3中耐久工况;b见4.3中急加速工况,下同。

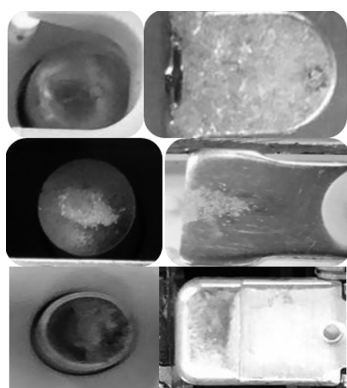
以上所有测试完成后,多家企业各款高压继电器基本动作状态均良好。

3.6 继电器复测评估

整车在所有耐久和动力性试验完成后,高压继电器均正常。未进行基本参数测试对比,仅拆解部分继电器进行触点评估,如表10所示。

表10 高压继电器触点形态

失效模式	触点形态	描述
下线样品		触点表面无材质转移
容性接通		触点明显材质转移
大电流分断		触点材质转移、明显熔池
短路试验		触点材质转移



注:左为静触点;右为动触点。

图7 台架测试后高压继电器触点状态

3.5 应用复测工况

根据路试工况,准备I品牌、V品牌和VI品牌的相同规格高压继电器,在台架上进行如表9所示的工况比较测试。

高压继电器在经受不同的使用工况后,触点形态表现出明显不同。在整车环境中应避免出现容性接通和大电流分断及短路情况。

不同品牌的高压继电器触点在相同的使用条件下,触点状态也有所不同。测试后触点无明显变化的继电器性能更好。

4 高压继电器使用工况分析与建议

4.1 高压继电器仿真设计

高压配电部分按布置环境数据,对高压继电器及其相关的电连接部件,提前进行热仿真分析。

4.2 高压继电器考核要点

高压继电器考核要点见表 11 所示。

表 11 高压继电器考核工况

序号	工况描述
1	常温,容性接通(40 V、200 A)
2	实车急加速
3	实车耐久循环
4	电耐久寿命

4.3 应用工况设计评估

高压继电器结合实际试验工况及用户使用工况,进行台架测试:

按表 11 进行试验考核,试验前后分别检测高压继电器基本性能参数。

以上结合真实的测试工况或用户使用工况,来更好地用整车工作电流评估高压继电器的应用情况。

4.4 继电器触点评估

在测试后需要评估高压继电器触点状态,以更好地应用高压继电器。

- (1) 试验后检测继电器基本性能;
- (2) 最终需要进行继电器拆解评估触点状态。

5 结论

本文梳理了现有电动乘用车主要应用的高压继电器规格,并对其应用参数进行相关分析,重点提出高压继电器的考核不能仅测试工况后检查基本参数,还需要对高压继电器触点进行评估分析。由此对电动乘用车,尤其是包含高压继电器的多合一集成部件后,对高压继电器可靠应用进行了详细论述。

参 考 文 献

[1] 中国汽车工业协会. 产业运行 | 2021 年汽车工业经济运行情况 [EB/OL]. (2022-01-12)[2023-05-30].http://www.caam.org.cn/chn/4/cate_30/con_5235200.html.

- [2] 中国汽车工业协会. 2022 年汽车工业产销情况 [EB/OL]. (2023-01-18)[2023-05-30].http://www.caam.org.cn/chn/4/cate_154/con_5236522.html
- [3] 朱楚梅. 车用动力电池的高压继电器控制技术[J]. 汽车电器, 2022(2): 19-21.
- [4] 刘金配, 邓海文, 黄祖鹏. 电动汽车高压继电器应用选型研究[J]. 新能源汽车, 2019, 10(1): 22-24.
- [5] 葛俊良, 凌阳阳, 阳勇, 等. 电动车高压继电器粘连失效机理分析及排查思路[J]. 汽车与驾驶维修: 维修版, 2021(3): 48-52.
- [6] 丁永根, 徐天稷, 张南, 等. 新能源汽车驱动电机壳体冷却结构设计及热仿真分析[J]. 时代汽车, 2020(16): 71-72.
- [7] 衡凤琴. 热仿真分析在前舱熔断丝盒上的应用及验证[J]. 汽车电器, 2022(2): 84-91.
- [8] 赵小巍, 王林, 邱巍. 电动汽车高压接触器故障诊断方法[J]. 上海汽车, 2021(6): 4-17.
- [9] 伍昆. 高压接触器在新能源车型上运用和安全[J]. 汽车电器, 2020(7): 34-36.
- [10] 王燕兵, 赖雅丽. 汽车继电器触点瞬态接触传热特性数值模拟分析[J]. 时代汽车, 2021(4): 137-138.
- [11] 翟国富, 王其亚, 程贤科, 等. 常温和高温环境下电磁继电器触点侵蚀及失效模式分析[J]. 电工技术学报, 2010(9): 80-86.

【作者简介】

张长涛(1987-),男,就职于中国第一汽车股份有限公司新能源开发院系统集成开发部,本科,研究方向为新能源车高压系统设计。

E-mail: zhangchangtao@faw.com.cn

曲振宁(1979-),男,就职于中国第一汽车股份有限公司新能源开发院系统集成开发部,硕士,研究方向为新能源车高压电气系统设计。

E-mail: quzhenning@faw.com.cn

李威(1979-),女,就职于中国第一汽车股份有限公司新能源开发院系统集成开发部,本科,研究方向为新能源车高压系统设计。

E-mail: liwei6@faw.com.cn

王伯军(1989-),男,就职于中国第一汽车股份有限公司新能源开发院系统集成开发部,本科,研究方向为新能源车高压电气系统、充电系统试验。

E-mail: wangbojun@faw.com.cn

盛毅(1982-),男,就职于中国第一汽车股份有限公司新能源开发院系统集成开发部,本科,研究方向为新能源车高压系统测试。

E-mail: shengyi@faw.com.cn