

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.04.018

空气直流断路器开断特性的分析验证^{*}

张 鹏¹, 张 杰^{1*}, 朱 毅², 李燕燕¹, 张志彬¹, 曹善军¹, 赵 成¹, 赵玉芝¹

(1. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 国网山东省电力公司 经济技术研究院, 山东 济南 250000)

摘要:针对直流断路器在开断过程中电弧熄灭比较困难的问题,对空气直流断路器的开断特性进行了分析研究。分析了如何有效的缩短电弧的燃烧时间,研究了时间常数对断路器开断能力、电弧电流上升率的影响及断路器开断电流的大小与燃弧时间的关系。基于上述研究分析,制造出了样机,并利用高压直流试验台模拟不同的短路故障电流对直流断路器进行了多次开断试验测试,获得了很多试验数据,研究结果表明:断路器在额定电压为 DC1800 V,能够可靠切除短路故障电流达到 80 kA,断路器开断电流随着时间常数的增大而减小,燃弧时间随着开断电流的增大而减小。

关键词:直流断路器;开断特性;电流上升率

中图分类号:TM561

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)04-0412-04

Analysis and verification of the opening characteristic of DC circuit breaker

ZHANG Peng¹, ZHANG Jie¹, ZHU Yi², LI Yan-yan¹, ZHANG Zhi-bin¹, CAO Shan-jun¹,
ZHAO Cheng¹, ZHAO Yu-zhi¹

(1. Xuji Group Co. Ltd., Xuchang 461000, China; 2. Economic and technological institute, Chinese Power Company in Shandong Province, Jinan 250000, China)

Abstract: Aiming at the problem that electric arc was difficult to extinguish in the process of DC circuit breaker interrupting, the interrupt characteristics of the DC circuit breaker were analyzed. How to shorten the combustion time of the arc was analyzed by this paper, and the influence of the time constant on the breaking capacity of the circuit breaker, the rising rate of the arc current and the relationship between the current of the breaker and the arcing time was studied. Based on the above analysis, created a prototype, and open circuit was tested for many times by using high voltage DC test rig simulation about different short circuit fault current of DC circuit breaker, won a lot of experimental data. The results show that the circuit breaker in the rated voltage is DC 1800 V, which can reliably remove fault current to 80 kA, circuit breaker fault current decreases with time constant, arcing time decreases with the increase of breaking current.

Key words: DC circuit breaker; breaking characteristic; the rising rate of the arc current

0 引 言

直流供电系统具有能耗小、精度高、稳定性好等特点,因此可应用到很多领域,如电厂、变电站直流系统,工业、基础设施等领域的直流系统,公商建直流监控系统。但是目前,很多用户将交流断路器用于直流系统

保护,由于直流系统的特殊性,这样应用会使系统存在潜在的风险和明显的误差。直流系统与交流系统相比,故障电流斜率不同,短路电流特性不同,在直流断路器开断过程中,电流不存在自然过零点,电弧熄灭必须采用一定的技术手段迫使电流过零^[1-2]。另外,直流断路器开断时,直流系统电感中存储着大量的能

收稿日期:2016-12-03

基金项目:国家电网公司科技资助项目(15WKQ31516)

作者简介:张鹏(1987-),男,黑龙江绥化人,工程师,主要从事高低压开关技术方面的研究. E-mail: kgzhangpeng@163.com

通信联系人:张杰,男,高级工程师. E-mail: 13949809653@163.com

量^[3],如何吸收存储在系统电感中大量的能量也是如何熄灭电弧的难点之一。因此在直流断路器研究设计中,如何熄灭电弧是直流断路器设计中的核心和难点。

本研究将针对直流断路器在开断过程中电弧熄灭比较困难的问题,对空气直流断路器的开断特性进行研究。

1 直流电弧的熄灭原理

简化直流电路如图 1 所示^[4]。直流断路器开断过程中,动静触头之间存在电弧,回路仍是导通的,因而电弧中有电弧电流,电弧两端有电弧电压^[5]。回路中的电压方程为:

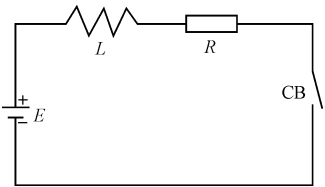


图 1 简化直流电路

E — 电源电压; L — 线路电感; R — 负载电阻;
 CB — 直流断路器。

$$E = L \frac{dI_h}{d_t} + RI_h + U_h \tag{1}$$

式中: I_h — 电弧电流, U_h — 电弧电压,由式(1)得:

$$L \frac{dI_h}{d_t} = (E - RI_h) - U_h \tag{2}$$

电弧的熄灭过程也就是电弧电流逐渐减小的过程,即式(2)中 $LdI_h/d_t < 0, (E - RI_h) - U_h < 0$ 。直流电弧的熄灭原理图如图 2 所示。

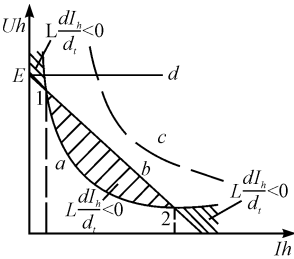


图 2 直流电弧的熄灭原理

a - 某条件下的电弧静态伏安特性曲线; $b - U = E - RI$ 曲线; $c - E - RI_h < U_h$ 的曲线; $d - U = E$ 的曲线

通过分析,点 2 才是电弧燃烧真正的稳定点。为了使电弧熄灭,就是希望点 2 不存在。为达到该目的,可使伏安特性曲线从 a 位置提高到 c 位置,这样整个燃烧范围内就消除了电弧的稳定燃烧点,电弧必然趋于熄灭。

2 空气直流断路器开断原理

开断直流电路时,在采取了限制过电压的措施后,为了减小触头的烧损程度,希望电弧燃烧的时间越短越好,通常可以从以下方面有效缩短电弧的燃烧时间:① 增大电路负载电阻值,使得式(1 ~ 2) 中的值小于零,即电源电压不能满足电弧电压和电路中电阻电压时,电弧就会迅速熄灭;② 提高电弧的静态伏安特性^[6];③ 利用反向电流强迫主断路器电流过零进行开断。

本研究介绍的额定电压为 DC1 800 V,额定电流为 4 000 A 的空气直流断路器就是通过提高静态伏安特性,消除电弧稳定燃烧点,来实现电弧熄灭的。具体提高静态伏安特性的方法是断路器分闸后,动静触头之间产生电弧,电弧随动静触头的分开而被拉长^[7],同时断路器主回路自身产生磁场,电弧在磁吹力的作用下进一步被拉长并沿引弧板进入灭弧室内部。在灭弧室内部,电弧被金属栅片分割成很多短弧,电弧被拉长的同时在金属栅片表面形成一连串的近极压降^[8]。金属栅片分割电弧示意图如图 3 所示。

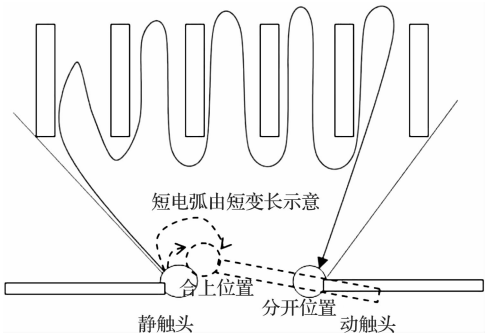


图 3 金属栅片分割电弧示意图

根据上述原理,本研究设计出了金属栅片灭弧室,具体结构如图 4 所示。

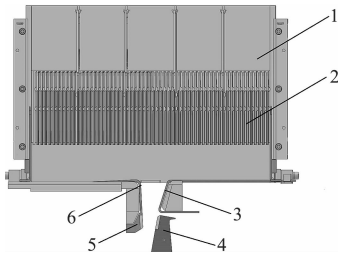


图 4 灭弧室结构图

1- 灭弧室壁;2- 金属栅片;3、6- 引弧板;4- 动触头;5- 静触头

3 试验验证

针对第三章的理论分析设计的产品,本研究根据

国家标准《GB 25890.2-2010 轨道交通地面装置直流开关设备第2 部分:直流断路器》对空气直流断路器进行了额定短路分断能力试验。

3.1 开断最大故障短路电流试验

根据 GB 25890.2 - 2010 规定的操作顺序“O-15 s-CO-15 s-CO-60 s-CO”,试验参数如表 1 所示,结果如图 5、图 6 所示。

表 1 开断最大故障短路电流试验参数

试验电压 /V	试验电流 /kA
DC1 800	DC80

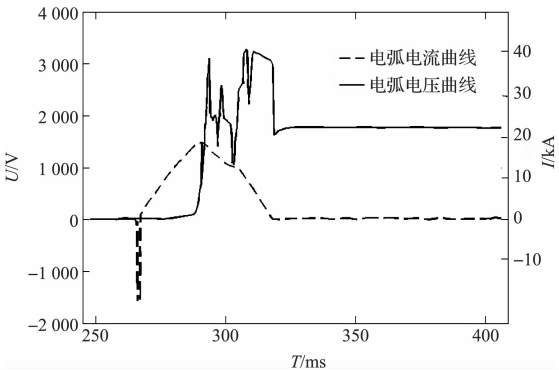
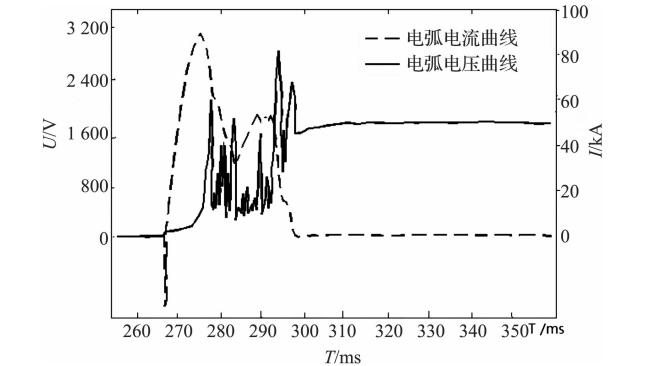


图 7 断路器 O 操作时电弧电压及电流与时间的曲线

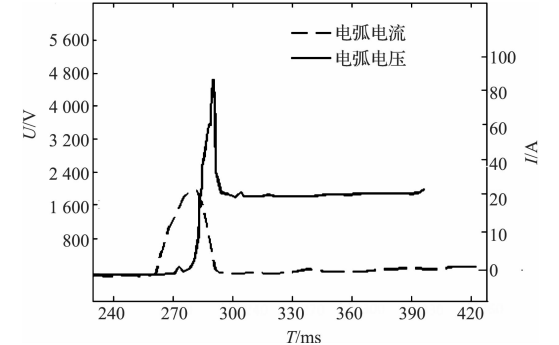
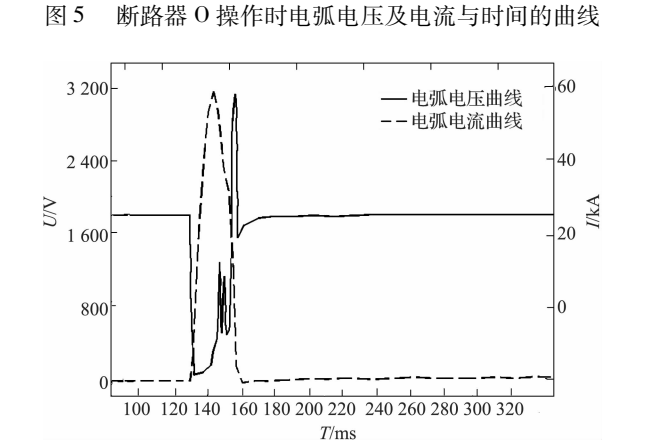


图 8 断路器 O 操作时电弧电压及电流与时间的曲线

试验二图 7 中的曲线对应的时间常数为 31.5 ms, 断路器的通断时间为 50.63 ms, 燃弧时间为 31.53 ms, 电流上升率 $di/dt = 1.6$; 图 8 中的曲线对应的时间常数为 20.5 ms, 断路器的通断时间为 24 ms, 燃弧时间为 16 ms, 电流上升率 $di/dt = 1.82$ 。通过图 7 和图 8 中的试验数据和曲线得出如下结论:① 时间常数影响断路器的开断能力, 随时间常数的增大, 断路器开断的电流越小; ② 时间常数越大, 断路器开断时, 电流上升率越小; ③ 断路器开断电流越大, 主回路自身产生的磁场越强, 电弧燃烧时间越短, 断路器的通断时间也就越短。

3.2 开断最大能量故障短路电流试验

根据 GB 25890.2 - 2010 规定的操作顺序“O-15 s-CO-15 s-CO-60 s-CO”,试验参数如表 2 所示。

表 2 开断最大能量故障短路电流试验参数

试验电压	试验电流	时间常数
DC1 800 V	DC40 kA	31.5 ms
DC1 800 V	DC52 kA	20.5 ms

试验一中的最大燃弧电压为 2.987 kV, 峰值电流为 81.55 kA; 通断时间为 28.94 ms, 燃弧时间为 26.57 ms, 通过曲线可以得出的结论为断路器能够可靠开断 80 kA 的短路故障电流, 另外当电源电压不能满足电弧电压时, 电弧电流迅速下降, 直至熄灭。分闸操作时的曲线如图 7、图 8 所示。

3.3 试后产品照片

开断过程中电弧燃烧现象如图 9 所示。



图 9 开断过程中电弧燃烧现象

4 结束语

本研究分析了空气直流断路器开断特性,采用了相对比较成熟的方案—金属栅片灭弧法,提高电弧的静态伏安特性,来有效缩短电弧的燃烧时间,在理论分析的基础上,建立模型,制造了多台样机,同时经过试验装置模拟短路故障电流并做了大量试验测试,通过数据分析对比研究,获得了电弧电流的上升率、燃弧时间、断路器开断电流的大小与时间常数的关系,基于该研究工作研制出了额定电压 DC1 800 V、额定电流4 000 A,开断能力达到 80 kA 的大容量空气直流断路器,有效地促进了中压大容量空气直流断路器的国产化进程。

参考文献(References):

[1] 荣命哲,杨 飞,吴 翊,等. 直流断路器电弧研究的新进展[J]. 电工技术学报,2014,29(1):1-9.

[2] RONG M Z. Switching arc phenomenon in DC circuit breaker[C]. 19th International Conference on Gas Discharge and Their Applications(GD2012). Beijing:[s. n],2012.

[3] 金 勇,马光辉. 航空电弧断路器的研究及应用[J]. 航空制造技术,2014,458(14):92-94.

[4] 郑占锋,邹积岩,董恩源,等. 直流开断与直流断路器[J]. 高压电器,2006,42(6):445-449.

[5] 小 兰. 牵引电器检测与维修[EB/OL]. 2011-12-19. <http://www.elecfans.com/book/story.php?id=710>.

[6] 周宏宇. 新型地铁用直流断路器的研究[D]. 长沙:湖南大学机械与运载工程学院,2010.

[7] 孙 昊,荣命哲,马瑞光,等. 空气介质直流断路器的现状[J]. 电器与能效管理技术,2013(20):8-10.

[8] 董溪坤,王维庆,张新燕,等. 新型高压直流断路器开断能力的研究[J]. 电力学报,2013,28(3):191-195.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

张 鹏,张 杰,朱 毅,等. 空气直流断路器开断特性的分析验证[J]. 机电工程,2017,34(4):412-415.

ZHANG Peng, ZHANG Jie, ZHU Yi, et al. Analysis and verification of the opening characteristic of DC circuit breaker[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(4):412-415.

《机电工程》杂志:<http://www.meem.com.cn>

(上接第 334 页)

[6] 黄建军,庞明仁,孙克安,等. 五轴加工中心精度在机检测与校验[J]. 机械设计与制造,2013(7):161-163.

[7] 全燕鸣,黎淑梅,麦青群. 基于双目视觉的工件尺寸在机三维测量[J]. 光学精密工程,2013,21(4):1054-1061.

[8] 王文超. 数控加工中心在机检测系统[D]. 大连:大连海事大学信息科学技术学院,2010.

[9] 李 鹏,马 孜,陈余庆,等. 复合式检测装置在加工中心在线检测中的应用[J]. 计算机集成制造系统,2013,19(3):577-587.

[10] SRINIVASAN S, KOVVUR Y, ANAND S. Probe radius compensation for on-machine measurement of sculptured surfaces[C]// Proceedings of International Mechanical Engineering Congress and Exposition, California: ASME, 2004.

[11] GAO R X, TANG X, GORDON G. Online product quality monitoring through in-process measurement [J]. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, 2014, 63(1):493-496.

[12] 贝广霞,佩 煌,叶文华,等. 精密加工中圆柱度在机检测关键技术[J]. 山东大学学报:工学版,2007,37(5):65-67,122.

[13] BI Q, HUANG N, SUN C. Identification and compensation of geometric errors of rotary axes on five-axis machine by on-machine measurement [J]. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 2015, 89(1):182-191.

[14] 陈雪芳. 零件非接触在线检测系统误差补偿的开发和实现[J]. 金属加工(冷加工),2013(21):66-67.

[15] 张根宝,李秀平,庞苏娟. 基于 ARM Cortex-M3 便携式智能超声波液位计[J]. 仪表技术与传感器,2012(1):19-20.

[16] 姚现伟. 基于 STM32 的智能家居红外控制系统研究与设计[D]. 秦皇岛:燕山大学信息科学与工程学院,2014.

[编辑:李 辉]