

检验与测试

# 触头灭弧系统短路分断调试方法的技术研究

贺雅洁<sup>1</sup>, 黄世泽<sup>1</sup>, 郭其一<sup>1</sup>, 胡景泰<sup>2</sup>, 朱奇敏<sup>3</sup>

(1 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 200331;

2 同济大学 铁路与城市轨道交通研究院, 上海 200331;

3 浙江中凯科技股份有限公司, 浙江 乐清 325604)

**摘要** : 介绍了控制与保护开关 (CPS) 触头灭弧系统的各种出厂调试方法以及调试现象。阐述了触头灭弧系统的工作原理, 分析了触头灭弧系统的触头受力情况, 针对分断试验过程中出现的三种情况, 分析了其对 KBO 触头灭弧系统短路分断能力的影响, 通过试验验证了理论分析的正确性, 并对触头灭弧系统的调试提出了建议。

**关键词** : 控制与保护开关 ; 触头灭弧系统 ; 调试

中图分类号 : TM501+.2 ; TM503+.5 文献标识码 : B 文章编号 : 1007-3175(2012)10-0052-04

## Technical Study of Short-Circuit Breaking Debugging Method for Contact Arc Extinguishing System

HE Ya-jie<sup>1</sup>, HUANG Shi-ze<sup>1</sup>, GUO Qi-yi<sup>1</sup>, HU Jing-tai<sup>2</sup>, ZHU Qi-min<sup>3</sup>

(1 School of Electronics and Information, Tongji University, Shanghai 200331, China;

2 Tongji University and the Urban Mass Transit Railway Research Institute, Shanghai 200331, China;

3 Zhejiang Jonk Technology Co., Ltd, Yueqing 325604, China )

**Abstract**: Introduction was made to various kinds of ex-works debugging methods and debugging phenomena for contact arc extinguishing system of control and protective switching device (CPS). Description was made to the working principle of contact arc extinguishing system and analysis was made to contact stress situation of the system. Aiming at three situations in breaking test process, this paper analyzed its impacts on short-circuit breaking capability of KBO contact arc extinguishing system. The test verifies the correctness of theoretical analysis and suggestions are made for debugging of contact arc extinguishing system.

**Key words**: control and protective switching device; contact arc extinguishing system; debugging

### 0 引言

控制与保护开关(CPS)电器是一种多功能集成化的低压电器。以单一的元器件代替了隔离器、断路器(熔断器)、接触器、热继电器、起动器等多种传统分立元器件<sup>[1]</sup>。触头灭弧系统是控制与保护开关产品的一个重要部件。在生产过程中, 如何对这一部件进行调试, 极为重要。

本文以 CPS 的触头灭弧系统为研究对象, 罗列了其出厂调试方法, 对其调试现象进行了理论分析。介绍了触头灭弧系统的工作原理, 分析了触头灭弧

系统的触头受力情况, 从理论上解释了各种调试方法及调试现象, 并通过试验验证了理论分析的正确性, 且对触头灭弧系统的调试提出了建议。

### 1 触头灭弧系统的结构及功能

触头灭弧系统由动静双断点触头、具有限流作用的瞬时脱扣装置和栅片灭弧系统组成, 承担主回路的接通、承载和分断, 并提供短路保护功能。正常接通时, 靠反力弹簧产生触头压力, 使触头可靠吸合。

当主回路发生短路故障时, 脱扣器快速脱扣冲击铝杆, 铝杆在冲击力的作用下带动触头支持。双断

作者简介: 贺雅洁(1989- ), 女, 硕士研究生, 研究方向为虚拟样机在低压电器中的应用;

黄世泽(1983- ), 男, 博士研究生, 研究方向为模式识别与智能系统;

郭其一(1961- ), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向为故障诊断、新型智能化低压电器。

点触头在主回路电动斥力、触头间斥力、铝杆冲击力的作用下,克服弹簧反力相互分离,产生的电弧在磁吹等因素的作用下,经由引弧角进入灭弧栅片,最终熄灭,这样即完成了短路分断的整个过程<sup>[2-3]</sup>。

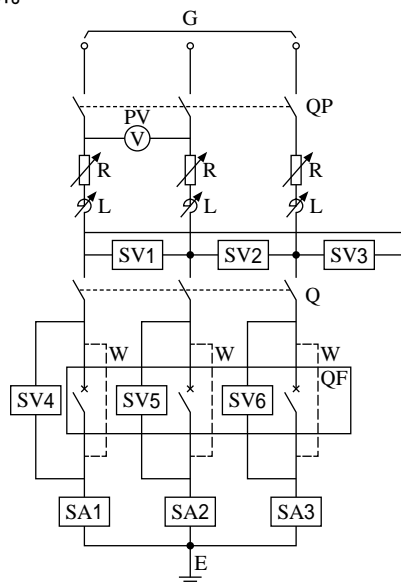
## 2 触头灭弧系统调试方法及现象

触头灭弧系统的短路分断调试主要在高压大电流情况、低压大电流情况(电流流经主触头)、低压大电流情况(电流不流经主触头)这三种情况下进行,下面分别介绍这三类技术调试试验情况。

### 2.1 高电压大电流下触头灭弧系统分断能力调试

试验(一):在高电压大电流情况下触头灭弧系统分断能力试验。

对于触头灭弧系统短路分断能力的检验可通过图1所示的试验电路进行,试验电路由电源、负载电阻器、负载电抗器和被试电器组成。试验结果显示,在16倍额定电流的情况下,触头在短路脱扣器的机械操作力、回路斥力和触头斥力的共同作用下成功分断。



G-电源 QP-保护开关 PV-电压测量器 R-可调电阻器 E-接地点  
L-可调电抗器 SV1~SV6-电压传感器 SA1~SA3-电流传感器  
QF-被试电器(含连接电缆) Q-合闸开关 W-整定用临时连接线

图1 高电压大电流短路分断试验电路图

### 2.2 低电压大电流下触头灭弧系统分断能力调试

试验(二):在低电压大电流情况下触头灭弧系统分断能力试验。

由图1的电路图可知,由于高电压大电流的试验情况下试品功率大,产热多,对试品具有破坏

性,因此作为所有产品的出厂检验不可行。根据这一情况,试采用低电压大电流的方式对触头灭弧系统进行短路分断能力的检验。

试验采用如图2所示的电路进行。

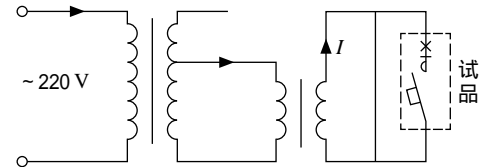


图2 低电压大电流短路分断试验电路图

试验中测试设备接市电交流220V电源,经过调压器将电压降低为50V左右,再经过一个变压器,将电压降低、电流升高。从而得到一个低压的大电流。图中流入试品的电流可达到1000A左右,而电压只有几伏。通过调整调压器,可以改变流过试品的电流。

试验结果显示,在规定倍数额定电流的情况下,短路脱扣器脱扣,带动铝杆和触头支持运动。但是运动到触头即将分开的时候,触头在反力弹簧的作用下又重新吸合。从而发生触头抖动。

通过试验设备,不断抬高电压,短路脱扣器动作,触头仍然不能分离,现象同上。

### 2.3 低电压大电流情况下(电流不流经主触头)触头灭弧系统分断能力调试

试验(三):在低电压大电流情况下触头灭弧系统分断能力试验,且电流不经过主触头,流经短路脱扣器后流出。

鉴于低电压大电流短路分断试验中存在触头抖动问题,为了检验触头灭弧系统中的短路脱扣器的脱扣性能和铝杆、触头支持等机械机构的机械性能,故在低电压大电流的情况下,令主回路电流不流经接触组触头,而只经过短路脱扣器后流出。

试验结果显示,当主回路电流达到规定倍数的额定电流时,短路脱扣器发生脱扣,同时带动铝杆运动,铝杆带动触头支持,克服反力弹簧正常断开,触头灭弧系统能正常短路分断。

为解释上述三种情况下的触头灭弧系统分断试验现象,进行以下理论分析。

## 3 触头灭弧系统分断过程理论分析

触头灭弧系统的分断过程主要是通过主触头的受力分析来描述的。下面通过对触头灭弧系统斥开过程和触头斥开后的动触头受力情况的分析,来研

究触头灭弧系统的分断过程。

### 3.1 触头灭弧系统斥开过程动触头受力分析

如图3所示,当主回路电流开始上升的时候,动静触头处于闭合位置,由于图3是双触点结构,以其中的一个触头为研究对象,这时动触头及其导电杆受到两种电动斥力的作用,一种是由于电流线在接触点产生收缩而造成的霍姆(HoIm)力 $F_H$ ;另一种是触头导电回路产生的洛伦兹(Lorentz)力 $F_L$ 。

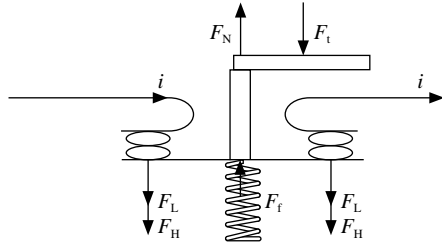


图3 未斥开时的触头受力分析

其中,  $F_H$ 可由式(1)进行计算:

$$F_H = \frac{\mu_0 i^2}{4} \ln\left(\frac{R}{r}\right) \quad (1)$$

式中,  $i$  为通过触头的电流;  $\mu_0$  为真空磁导率,  $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} \text{H/m}$ ;  $R$  为触头半径;  $r$  为接触点半径。

式(1)中接触点的半径  $r$  由接触压力、触头材料等因素决定,可用式(2)计算:

$$r = \sqrt{\frac{F_k}{H}} \quad (2)$$

式中,  $F_k$  为触头压力;  $\alpha$  为触头表面接触情况的系数,  $\alpha = 0.3 \sim 0.6$ ;  $H$  为触头材料的布氏硬度。

为了对  $F_L$  作定性分析,把动触头导电回路产生的电动斥力看作是两平行导体间的电力,则可近似用式(3)计算:

$$F_L = \frac{\mu_0}{4} k i^2 \quad (3)$$

式中,  $k$  为回路系数,它与回路中导体尺寸和布置有关,并且与导体距离成反比。也可以用ANSYS有限元仿真的方法计算导电回路的洛伦兹力 $F_L$  [4-5]。

$F_t$  是短路脱扣器对铝杆的瞬间撞击力,  $F_N$  为触头支持力,根据对短路脱扣器脱扣力的研究,可知  $F_t$  是电流  $i$  的递增函数,令  $F_t = F_t(i)$ 。根据杠杆原理,则  $F_N = F_N(i)$  也是电流的递增函数。

当  $F_L + F_H + F_N > F_t$  时,触头就会斥开,并且在动静触头之间点燃电弧。

### 3.2 触头灭弧系统斥开后动触头受力分析

当触头斥开后,静触头之间点燃电弧如图4所

示,将  $F_H$  消失,电弧将建立一个新的斥力,称为气动斥力  $F_g$ , 主要是因为电弧迅速加热了触头空间,导致触头间气体膨胀,使灭弧室内压力升高,动触头内外表面产生压力差而造成的。

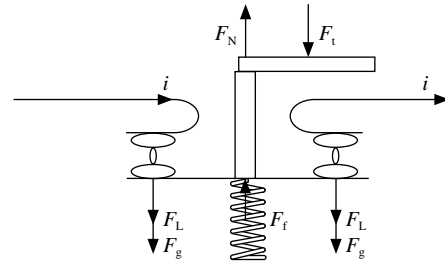


图4 触头斥开后的受力分析

可以用式(4)的经验公式表示:

$$F_g = \frac{i U_{arc} A}{\sigma_0 A_{arc} S} P_0 \quad (4)$$

式中,  $\sigma_0$  为一个大气压下的辐射散射系数 ( $\sigma_0$  的值与压力和温度有关,一般可取  $3 \times 10^{11} \text{W/m}^3$ ),  $\mu$  为磁滞系数,  $A_{arc}$  为电弧或者灭弧室的截面积,  $S$  为动静触头之间的距离,  $A$  为触头的截面积,  $P_0$  为一个标准大气压的值,  $U_{arc}$  为电弧电压。

## 4 触头灭弧系统短路分断试验现象分析

对上述三种情况下的触头灭弧系统分断试验情况进行理论分析如下。

### 4.1 电弧产生后电路电压分析

根据电弧原理可知,  $U_{arc}$  可由式(5)表示:

$$U_{arc} = U + \frac{l}{A_1} i \quad (5)$$

式中,  $A_1$  为电弧截面,  $U$  为弧柱压降,  $\alpha$  为电弧等效电导系数,  $l$  为电弧的长度。随着电弧的拉长,  $U_{arc}$  逐渐增大 [6]。

此时若电弧已经进入了灭弧栅片,则:

$$U_{arc} = n \times U + \frac{l}{A_1} i \quad (6)$$

式中,  $n$  为电弧被切割成的短弧数目,这种情况下,  $U_{arc}$  增加量更大。

则:

$$u = U_{arc} + iR \quad (7)$$

式中,  $u$  为主回路电源电压,  $R$  为主回路电阻。

### 4.2 试验(一)与试验(二)对比分析

试验(二)中,低电压大电流的试验条件下,随着电弧拉长,  $U_{arc}$  迅速增大,由于测试回路电压较

小, 导致回路电流迅速减小。

根据式(1)、(3)和 $F_N=F_N(i)$ 可知 $F_L$ 、 $F_N$ 均迅速减小, 因此动触头在宝塔弹簧的反力 $F_f$ 的作用下向上运动, 触头再次闭合。触头闭合导致电弧消失, 因此主回路电流又迅速增大, 动静触头在 $F_L$ 、 $F_H$ 、 $F_N$ 的作用下再次分离。反复如此, 即产生了触头的抖动。

试验(一)中, 高电压大电流的试验条件下, 在与试验(二)电流相等的情况下, 由于主回路电源电压较大, 根据式(7),  $U_{arc}$ 对主回路的电流影响不大, 因此 $F_L$ 、 $F_N$ 减小不明显, 在合力的作用下触头仍能保持分开状态。

#### 4.3 试验(一)与试验(三)对比分析

试验(一)中, 由于主回路电流流经触头, 导致触头受到 $F_L$ 和 $F_H$ 的作用, 这两个力协助短路脱扣器的瞬时脱扣力, 使动静触头分开; 试验(三)中, 由于主回路电流不流经主触头, 因此不存在 $F_L$ 和 $F_H$ , 动静触头仅在短路脱扣器的冲击下分开。由此可见, 试验(三)中, 成功脱扣所需要的主回路电流比试验(一)中的电流大。根据试验结果, 试验(一)的脱扣电流是 $16I_e$ , 试验(三)的脱扣电流是 $22I_e$ , 这一结果与理论分析相符合。

## 5 结语

本文从理论上分析了控制与保护开关KBO系列触头灭弧系统分断过程原理, 分析了触头灭弧系统在分断过程中触头的受力变化情况, 对分断试验过程中出现的三种情况进行了理论研究, 并分析了各种情况对KBO短路分断能力的影响。

综合上述理论分析, 可对KBO触头灭弧系统出厂检验提出如下建议: (1) 由于在高电压大电流试验环境下的触头灭弧系统短路分断测试试验是破坏

性的, 无法应用于所有产品的出厂检验, 因此高电压大电流分断试验不可行; (2) 低电压大电流的试验条件下, 短路状态下动静触头发生连续抖动而无法分断, 因此该试验方案也不可行; (3) 低电压大电流的试验条件下, 主回路电流不流经主触头, 而是直接流经短路脱扣器的进出线端, 但是该试验只能检验短路脱扣器的脱扣性能和铝杆、短路脱扣器、触头支持之间的机械动作性能。(4) 为确保在低压大电流试验条件下触头灭弧系统的动作特性与实际情况一致。需要对高压大电流和低压大电流两种测试条件进行摸底, 确定等效换算关系, 来确定触头灭弧系统的最优调试试验方案。

#### 参考文献

- [1] 胡景泰. 电控系统控制与保护统一理论及其信息化研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [2] 陈德桂. 低压断路器的开关电弧与限流技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [3] 陆丽君. CPS短路保护装置动态仿真分析及优化[D]. 上海: 同济大学, 2011.
- [4] Fontchastagner J, Meunier G, Mazauric V. Coupling of an electrical arc model with FEM for vacuum interrupter designs[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2005, 41(5): 1600-1603.
- [5] Schmidt E, Degwerth A. Design studies on low voltage contactors by using transient finite element analyses with circuit coupling[C]// Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2005.
- [6] Knoblock H, Habedank U. Behaviour of SF<sub>6</sub> high-voltage circuit breakers with different arc-extinguishing systems at short-line fault switching[J]. IEE Proceedings Science Measurement & Technology, 2001, 148(6): 273-279.

收稿日期: 2012-06-28

(上接第32页)

确定了合理的电压变化范围, 优化AVC参数设置, 则是在此基础上充分发挥了AVC的自动控制功能。两者相辅相成, 最大程度上改善了发电机、主变、励磁变、厂用电系统及线路的运行参数, 使其更为趋于合理, 一定程度上提高了机组安全、经济性运行水平。

#### 参考文献

- [1] GB 7064—2008 隐极同步发电机技术要求[S].
- [2] 肖小龙, 吕延安. 厂用母线经济电压的选取[J]. 陕西电力, 2008, 36(12): 103-105.
- [3] 于永源, 杨绮雯. 电力系统分析[M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 2004.

收稿日期: 2012-07-23