

# 小型断路器焦耳积分对脱扣影响的研究

王璐<sup>1,2</sup> 陈建兵<sup>1</sup> 李志伟<sup>1</sup> 忻尚芝<sup>1</sup>

(1. 上海理工大学光电信息与计算机工程学院 上海 200093; 2. 上海电器科学研究所(集团)有限公司 上海 200063)

**摘要:** 小型断路器现已频繁的应用在家庭场所及类似场所中,因此如何安全使用小型断路器具有十分重要的意义。而电路中总会出现短路、过载等意外情况,因此要求小型断路器要及时分断。如若小型断路器不能及时分断,过高的短路电流则会造成小型断路器的发热、熔焊等现象,进而对下级设备造成损害。本文主要分析小型断路器发生分断的原因及情况,研究分断过程中合闸角对其焦耳积分所产生的影响,进而对小型断路器的脱扣情况产生的影响。更好地保护小型断路器及下级设备。国内外对发生电路故障时小型断路器所产生的分断电流值其影响的因素进行了研究,为研究在何种条件下小型断路器的脱扣器脱扣,国内外对其所产生的不同分断电流进行了测试。

**关键词:** 小型断路器;分断;合闸角

**中图分类号:** TM561; TN16 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

## Miniature circuit breaker joule integral to the research on the effects of tripping

Wang Lu<sup>1,2</sup> Chen Jianbin<sup>1</sup> Li Zhiwei<sup>1</sup> Xin Shangzhi<sup>1</sup>

(1. School of Optical Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;  
2. Shanghai Electric Appliance Research Institute (Group) Co. Ltd., Shanghai 200063, China)

**Abstract:** Miniature circuit breaker has been frequently applied in domestic areas and similar places, so how to safely use miniature circuit breaker is of great significance. And circuit always appear the accident situation such as short circuit, overload, therefore requires and miniature circuit breaker at the break. If small circuit breaker and time-division, high short circuit current will cause fever, such as welding phenomena of the miniature circuit breaker, and damage to equipment at a lower level. This article mainly analyse the reason of breaking and miniature circuit breaker, switching angles in the research process of breaking the joule integral effects, on the impact of miniature circuit breaker tripping situation. To better protect small circuit breaker and at a lower level equipment. For circuit fault occurs at home and abroad of miniature circuit breaker breaking current value its influence factors are studied, under what conditions for research of miniature circuit breaker tripping device tripping, both at home and abroad for its different breaking current generated by the test.

**Keywords:** miniature circuit breaker; breaking; closing angle

## 0 引言

小型断路器又称微型断路器,通常用于50~60 Hz家庭或类似场所用的过电流保护断路器。在使用过程中要正确了解小型断路器的使用方法,使用前要安装防漏电装置,以免在使用过程中出现漏电的现象,对人身安全带来一定的威胁。同时在使用的时候应该注意,要在额定的电流下运行该设备。当线路中出现短路等现象时,小型断路器会出现导弧片熔断,动触头熔断以及动静触头熔焊在一起等现象会导致下级电器受到损害而无法继续使用。因此必

须要及时分断小型断路器<sup>[1]</sup>。

随着经济和科技的快速发展,小型断路器进入到了各类领域,并且发挥着它的实际作用,同时国内外对小型断路器的要求与应用也不断地增加,使小型断路器对用电设备的安全运行和保护成为重要的问题。

在目前情况下,小型断路器朝着高分断能力、小体积、模数化、智能化的趋势发展。但是现在小型断路器的分断能力可靠性不高,研究方法尚不完善。因此对小型断路器的分断能力和可靠性研究具有十分重要的意义,国内外主要对发生电路故障时小型断路器所产生的分断电流值在

具体的合闸角情况下对脱扣的影响进行了研究,为确保在何种条件下小型断路器的脱扣器脱扣,国内外还对小型断路器所产生的不同分断电流进行了测试。该测量方法比较单一,不具有全面性。只关注了分断电流值与脱扣的关系,并未考虑合闸角的影响。

## 1 小型断路器的分断

### 1.1 分断原理

小型断路器的短路保护工作原理大都采用限流分断技术。限流分断原理的实质是发生短路时,产生很大的故障电流,从而分断触头,而触头间产生了电弧后,电弧电压也会伴随着电弧的产生而增加,短路电流得以减小至消失。随着小型断路器的分断,也在不断的减少动触头和静触头的接触面积,而不断升高的电流密度和接触电阻的增大引起了其温度的升高。随着温度的不断上升也熔化了动静触头并使其变成液态金属桥。而当动静触头开始分开,由于温度的增加使得液态金属桥被气化成金属蒸气并被放到动静触头间。在被释放到动静触头间的电子、离子等粒子的无规则碰撞后产生电离。当起弧电压没有所加电源高时就会产生电弧。因短路故障而分断产生的电流时应对用电设备的安全运行而快速有效的消除断开触头产生的电弧继而切断电流<sup>[2-3]</sup>。

电路发生短路故障时,发生短路的时间对短路电流的大小有很大影响。短路发生后,短路电流从0迅速增大至峰值的时间非常小,一般不超过10 ms。因此断路器要限流的话,必须要快速分断,即也就是在短路电流没有到达峰值前断开。

小型断路器所连接的热脱扣器可以提供热保护,热保护也就是过载保护。热保护的原理是采用双金属片,当电流有一定的过载时在经过脱扣器时热元件就会发热,从而串连在电路中的双金属片产生热量后发生变形,撞击牵引杆从而使机构切断短路电路,从而脱扣器脱扣,分断触头分离产生分断电流值<sup>[4-6]</sup>。

### 1.2 分断电流

当电路发生故障时,为了保证电路以及电器设备的安全,安装在电路中的小型断路器就会脱扣,断开电路。为了寻找能使小型断路器脱扣的分断电流值,假设使其产生不同分断电流值的影响条件,在脱扣时测量得到不同的分断电流值,了解分断电流值与脱扣之间的关系。

根据实验室的试验能力,选用某厂家的脱扣等级为D型的单极小型断路器,其分断能力为6 000 A。根据课题需求,需要测量小型断路器触头间的电压值及电压电流波形<sup>[7]</sup>,模拟负载电路由10个220 Ω电阻并联组成,电路结构如图1所示。

连接好电路后,调节电阻使其试验电流为6 000 A。小型断路器在接通后,由于试验电流很大而触头间的电阻很小,故触头间的电压也小,因有电压的存在则会产生分断电流。随着小型断路器的分断,触头间产生的距离逐渐增大,

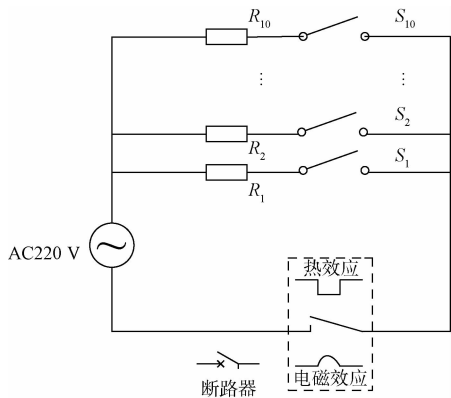


图1 小型断路器分断试验的等效电路

触头间的电阻变大,故触头间的电压减小,分断电流则继续增大。当其电流增大到一定值后,其焦耳能量可以产生电弧后,小型断路器的触头间会有电弧的产生。当小型断路器分断后,由于触头间存在电弧,回路依旧闭合并未断开。此时小型断路器的触头间的电压则会变大,分断电流则会减小。直至电弧熄灭,线路断开,分断电流减小到0。

### 1.3 合闸角

小型断路器开始分断时,其电压产生时到电流产生时之间的时间即为选相时间,换算成角度为合闸角。合闸角影响分断电流的大小<sup>[8-9]</sup>。

$$i = I \sin(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

式中: $i$ 为瞬时电流; $I$ 为电流有效值; $\omega$ 为角频率; $\varphi$ 为初相位。

式(1)中的 $\omega t$ 即为合闸角,若合闸角过小,但是初相位一定的情况下,瞬时电流则会过小;若合闸角过大,在初相位一定的情况下,瞬时电流也不会达到最大值。只有当相位达到 $90^\circ$ 时,瞬时电流才为最大。

当分断电流在一定时间内积聚了一定的能量即焦耳积分,能够引起小型断路器的脱扣,使其电路断开保障了电路的安全。

$$I^2 t = \int_{t_0}^{t_1} i^2 dt \quad (2)$$

式中: $i$ 为瞬时电流; $I$ 为电流有效值。

若合闸角过大或过小,产生的能量不足以产生电弧,因而不能快速是脱扣器脱扣。开关合闸过程中触头金属接触(高压开关应为预击穿)的瞬间在触头极间电压上的相位角。通常这个合闸相角是随机的,要控制合闸相角,对开关的精度要求非常高(合闸时间稳定)。小型断路器在什么样的条件下会产生最大的分断电流值,对要如何保护下级电路产生重大意义。

## 2 分断电流的试验

### 2.1 试验条件

小型断路器测量分断电流值试验的试验条件主要依据

《GB10963.1—2005 家用及类似场所用过电流保护断路器第一部分:用于交流的断路器》。断路器进行测量分断电流值试验时环境条件为周围空气温度上限值不超过+40℃,下限值不低于-5℃,且24 h内的平均温度不超过+35℃;大气相对湿度在周围空气温度为+40℃时不超过50%。对单极断路器进行测试,只进行一次“0”操作,在之间找到一个合闸角,能够使分断电流瞬时值最大,从而得到 $I^2t$ 值达到最大。允许在电源频率为45~55 Hz的范围内进行试验。交流电流和电压波形应基本上保持正弦,无明显畸变<sup>[10]</sup>。

## 2.2 试验结果

为了更好地进行小型断路器的研究<sup>[11-12]</sup>,使研究更具说服力,本次试验中选取了某厂家的3种其额定电流不同的D型小型断路器,得出小型断路器在其试验电流为6 000 A以及合闸角在45°~75°的情况下的分断电流值和其焦耳积分<sup>[11]</sup>,所得试验结果如表1所示。

表1 6 000 A小型断路器的 $I^2t$ 值

		合闸角/(°)	45°	60°	75°
D631P	瞬时电流值/kA		4.77	4.96	4.81
	$I^2t$ 值(kA <sup>2</sup> ·s)		42.8	44.5	39.1
	弧前时间/ms		2.01	2.18	2.01
	时间/ms		5.04	4.69	3.97

由表1可知,小型断路器在合闸角为45°和75°时,瞬时电流值和 $I^2t$ 值都没有合闸角为60°时的大。在合闸角为60°时瞬时电流值和 $I^2t$ 值最大。

表2 6 000 A小型断路器的 $I^2t$ 值

		合闸角/(°)	45°	60°	75°
D201P	瞬时电流值/kA		3.46	3.97	3.93
	$I^2t$ 值(kA <sup>2</sup> ·s)		18.7	23.9	21.7
	弧前时间/ms		1.65	1.68	1.56
	时间/ms		4.72	4.11	3.66

由表2可知,小型断路器在合闸角是60°时,所产生的瞬时电流值最大, $I^2t$ 值也最大。

表3 6 000 A小型断路器的 $I^2t$ 值

		合闸角/(°)	45°	60°	75°
D321P	瞬时电流值/kA		4.58	4.71	4.77
	$I^2t$ 值(kA <sup>2</sup> ·s)		38.4	47.8	42.5
	弧前时间/ms		2.21	2.04	2
	时间/ms		5.48	4.73	4.56

由表3可知,小型断路器在合闸角是60°时, $I^2t$ 值也最大。弧前时间虽然是合闸角为45°最大,但分断电流产生的时间过早,导致分断电流瞬时最大值过小。而合闸角为75°

时,虽然分断电流值的瞬时最大值高于合闸角是60°时的瞬时电流值,但因其弧前时间过小,最终在合闸角是60°时, $I^2t$ 值也最大。

某一额定电流值下的D型小型断路器,在脱扣等级及额定电流值等因素相同时,合闸角为60°,其产生的分断电流瞬时值和 $I^2t$ 值最大。

3种其额定电流不同的D型小型断路器在合闸角为60°时 $I^2t$ 值均最大。当脱扣等级及合闸角等因素相同时,额定电流值越大,其产生的分断电流瞬时值和 $I^2t$ 值越大。

## 2.3 分断电压及分断电流波形

在小型断路器以合闸角为60°时分断的情况下时,检测出的电压电流波形如图2所示。

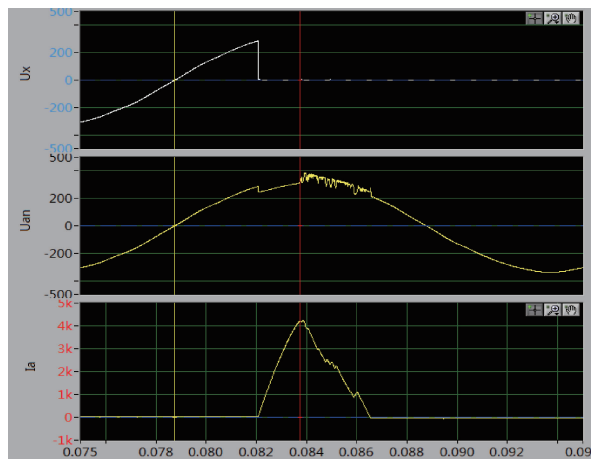


图2 分断电压及分断电流波形

由图2可以看出,电压的产生到电流产生之间的时间换算成角度即为合闸角,合闸角为60°。随着分断电流的产生,电压降落,直至电流达到峰值。分断电流自产生到峰值之间的时间即为弧前时间,自弧前时间内积聚的能量使脱扣器脱扣,产生电弧。合闸角加上弧前时间换算成的角度为起弧角,起弧角约为90°。故由理论来说,其他影响因素相同时,合闸角是60°时,产生的分断电流值为最大。当电流从峰值降落至0时,伴随着电弧的熄灭,电路断开<sup>[13]</sup>。

## 3 结论

针对小型断路器的焦耳积分对其脱扣的影响,其快速性直接决定了小型断路器是否迅速使脱扣器脱扣并且断开线路,从而保障了人身和经济的安全。本文在分析了小型断路器产生分断电流及焦耳积分原理的基础上,采用了小型断路器在其不同的合闸角下会产生最大的分断电流值和 $I^2t$ 值进行试验的研究方法,不同于其他在具体的合闸角下测试得出分断电流值和 $I^2t$ 值的研究,相对于已有的研究成果,本文采用的关于线性断路器的研究方法更加严谨,对小型断路器的研究更具有全面性,体现了该论文所叙述观点的完整性。

(下转第71页)