

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.04.020

低压断路器大电流检测试验设备研究^{*}

张 昊¹, 谢秋慧¹, 蔡春皓¹, 傅培刚^{1*}, 赵 勇¹, 朱明磊²,
居洪泉¹, 吴 非¹, 郑 轮¹

(1. 上海出入境检验检疫局, 上海 200002; 2. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要:针对低压断路器的大电流检测试验过程中功耗高、设备寿命短和自动化水平低等问题,对目前国内生产企业和质检机构使用的大电流检测设备进行了调研。对相关国家检测标准和企业检测工艺进行了总结,阐明了大电流检测试验在低压断路器产品检测工作中的重要意义。对此类检测设备的电气原理和机械结构进行了分析,阐述了两种分别基于调压器和电子式电源的电气方案,并分析了电子式电源方案的先进性。从机械设计的角度出发,指出了大电流测试夹具结构在具体设备设计和使用中的优缺点。提出了基于调压器和电子式电源两种方案在功耗、通用性、成本和自动化 4 个方面的优缺点。研究结果表明,将基于电子式电源的设备方案应用到行业的相关设备,有利于降低设备功耗,提高设备的寿命和自动化水平。

关键词: 低压断路器延时特性; 大电流检测技术; 检测设备

中图分类号: TM561

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2016)04-0483-05

Measuring method for over current characteristic of low voltage circuit breakers

ZHANG Hao¹, XIE Qiu-hui¹, CAI Chun-hao¹, FU Pei-gang¹, ZHAO Yong¹, ZHU Ming-lei²,
JUN Hong-quan¹, WU Fei¹, ZHENG Lun¹

(1. Shanghai Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Shanghai 200002, China;
2. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the problems of high power consumption, short equipment life and low automatic level in the traditional equipment's large-current characteristic measuring process of low voltage circuit breaker, a general survey report about equipments used in Chinese production enterprises and quality inspection agencies was done. Based on summaries of relevant national testing standards and enterprise testing process, great significance of large-current testing was proposed to inspection of low voltage circuit breakers. After the analysis of electrical circuit diagram and mechanical design, two kinds of electrical scheme were proposed, the one was based on voltage regulator and the other was electronic power supply separately. Advantages of the electronic power supply scheme were discussed and both advantages and disadvantages of large current test fixture structure were discussed in mechanical design. The advantages and disadvantages of the two schemes were presented in terms of power consumption, commonality, cost and automation. The research results indicate that the electronic power supply scheme is worth to apply to related equipments within the industry, it is conducive to reducing the power consumption of equipment, prolonging the life of equipment and improving the automation level.

Key words: delayed tripping characteristic of low voltage circuit breakers; large-current testing; inspection equipment

收稿日期: 2015-09-30

基金项目: 国家质检总局科技计划项目(2014IK190)

作者简介: 张 昊(1982-), 男, 浙江宁波人, 硕士, 主要从事进出口机电产品检验监管方面的研究. E-mail: zhangh@shciq.gov.cn

通信联系人: 傅培刚, 男, 研究员. E-mail: fupg@shciq.gov.cn

0 引 言

低压断路器是配电网中最常见的电气设备。低压断路器在电路中主要起到自动保护功能,如过负荷、短路、欠压和漏电保护等。过负荷和短路保护是每个低压断路器产品必须具备的基本功能。低压断路器产品过负荷和短路保护功能的检测方法,都通过在断路器上施加一定的电流,判断其脱扣时间是否在规定范围内。采用具有高精度输出电流的电源和采用高稳定性和高效率的检测设备和方法,能够保证低压断路器的产品检测水平。

本研究从检验单位和企业两方面检测工作的实际需求出发,结合一部分学术研究成果^[1-5],阐述该类检测设备的电气和机械技术方案,分析检测设备和技术方案中对检测效果有重要影响的因素,总结先进的低压断路器大电流试验检测方案需要考虑的设计问题。

1 检测标准依据

国家质检总局针对低压断路器产品主要制定了以下一些标准。国家标准 GB 14048.1—2012《低压开关设备和控制设备第 1 部分:总则》作为低压开关设备和控制设备标准总则,标准中的很多规定对低压断路相关检测工作具有一定的指导意义。国家标准 GB 14048.2—2008《低压开关设备和控制设备第 2 部分:断路器》是具体针对主触头接入额定电压不超过交流 1 000 V 或者直流 1 500 V 的断路器产品(也就是低压断路器)的检测要求和试验项目进行了规定。该标准规定了针对低压断路器产品所适用的检测的试验类型、方法和合格标准。国家标准 GB 17701—2008 是针对电气设备内部提供线路保护作用的断路器产品,被保护的电气设备包括电动机和变压器等电气设备。在家用领域的低压断路器领域,相关的产品种类有:国家标准 GB 10963.1—2005 和 GB 10963.2—2008 是针对家用交流和直流断路器制定的标准,而 GB 16917.1 是针对带剩余电流动作功能的低压断路器产品。此外还有 GB 22794 和 GB 16916.1 也是针对不同类型的家用低压断路器产品制定的国家标准。

按照国标 GB 14048.2 的有关要求,断路器产品需要在通过规定试验电流条件下进行的型式试验项目有温升、脱扣极限和特性、操作性能、过载性能、短路分断能力和短时耐受电流试验。温升试验、短延时特性、长延时特性和瞬时特性—这 4 项试验属于产品常规试验项目。

目前在国内主要低压断路器生产厂的产品必检项

目包括了短延时试验、长延时试验、温升试验、机械操作特性试验和瞬时脱扣试验,其中长延时试验、温升试验可以由一台设备完成,其他 3 个试验分别由专门的试验台架完成。低压断路器的常规试验如表 1 所示。

表 1 低压断路器的常规试验

试验名称	试验电流	通流时间
长延时试验	$1.05 \sim 1.3 I_n$	2 h
温升试验	I_{th}	4 h ~ 6 h
短延时试验	$2 I_n$	2 min ~ 4 min
瞬时脱扣	大于 $10 I_n$	1 s ~ 2 s
机械操作特性	I_n	1 min

I_{th} —约定发热电流; I_n —产品额定电流

表 1 中除了长延时试验标定了试验电流的范围,其余几个试验中实际试验电流值都是不超过表 1 中标定的电流值。在生产企业的实际工序中,短延时试验就是断路器延时特性的校正,操作人员通过调节断路器上的螺丝来调整断路器的脱扣特性,使得脱扣时间在规定范围内。低压断路器需要进行长延时试验和温升试验,是断路器生产企业的主要能耗。生产企业为了节省电能常常将两个实验按照操作流程合并进行,通常一个断路器生产过程中的测试能耗要占到其生产成本 3% ~ 5%。因此降低设备的测试功耗,对相关企业的有着节能减排和降低成本的意义。

针对不同类型低压断路器产品的大电流测试试验,设计一个能够满足提供宽范围、高精度、低损耗和高可靠性的电流发生测试设备^[6],能够解决相关检测机构中的很大一块检测工作的实际需求。

2 设备基本原理

低压断路器产品的大电流测试设备的构成从功能角度来看,可以分为电气部分和机械部分。其中电气部分的功能是提供稳定的测试电流,而机械部分是将断路器的出线端子与机台中主回路母排进行压接,形成完整的电流回路。

2.1 电气方案

所述检测设备中最核心的部分就是一个能够匹配断路器负载特性的可控电源^[7-8]。以规格为 800 A 的塑壳断路器为例,短延时特性试验中需要施加 1 600 A 以上的电流,持续时间为几分钟,整个检测设备的输入功率大约在 5 kW 以内。断路器根据规格的不同其内阻有很大的不同,通常规格越大的断路器内阻越小,典型值是几毫欧到几十微欧。还以规格为 800 A 的塑壳断路器为例,在进行短延时试验时,测试电流最大为 1 600 A,测试电压的典型值在 1 V ~ 2 V 之间。

在目前标准程控交流电源产品中很难找到一种电源产品满足 1 600 A/2 V 的输出要求。因此,目前行业内几乎都是基于降压变压器的方案,低压大电流变压器如图 1 所示。

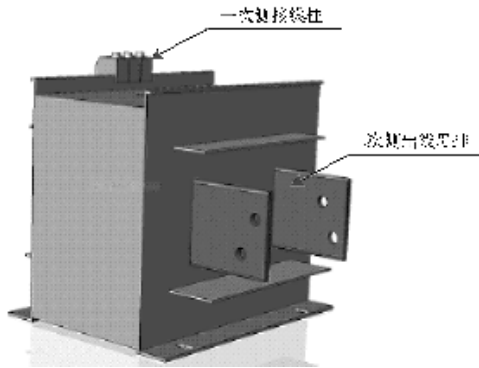


图 1 低压大电流变压器

这类变压器可以满足 2 000 A 测试电流且温升不超过 40 ℃的母排截面积大约为 800 mm²。断路器大电流检测设备的电气部分主要包括常压交流电源和降压变压器两个部件,其中常压交流电源就有两种不同原理的技术方案。基于自耦式调压的大电流发生装置原理图如图 2 所示。

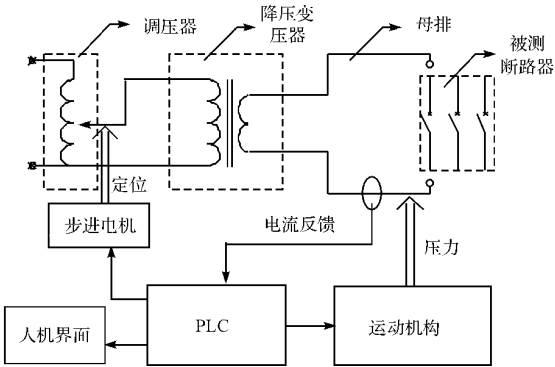


图 2 基于自耦式调压的大电流发生装置原理图

最早出现的一种方案是采用自耦式调压器,工人根据输出电流,手动调节调压器的输出电压,可以做到平滑的改变输出电流,这种方式的电流响应速度是非常慢的,目前只有一些低成本的断路器产品采用这种检测方式。后来出现的一种可调电源方案,是采用步进电机带动自耦式调压器或者是一体化的电柱式自耦式调压器,基于这个电气方案在很长的一段时间内都是该行业生产企业所采用的主流方案。

近几年随着电力电子技术的发展,出现了一种基于交流数控电源的测试方案如图 3 所示。基于两种电源的测试电气方案都可以称为自动调节功能恒流电源。根据课题组的调研,这种测试方案的技术在 2013 年开始在行业内大面积推广,目前国内很多规模生产企业已经

完成以电子式电源替代机械式调压器电源的技术改造。

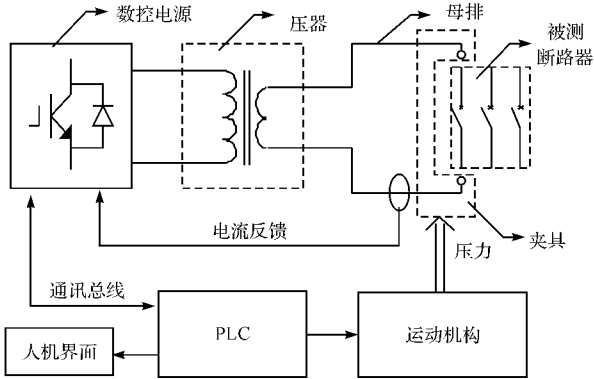


图 3 电源电路原理图

在测试过程中,断路器主回路的金属导体和触点的温度会不断上升,温度的变化会引起主回路的电阻上升。在低压断路器温升试验中,断路器主回路的温度变化要超过 80 ℃,而短延时试验中温度变化可能会超过 100 ℃。断路器中的导体和触点材料以铜和银为主。在温度 20 ℃的条件下,这两种材料的电阻温度系数分别为 0.003 8 和 0.003 9。按照这个数据估算,在低压断路器电流试验中温升引起的断路器回路的电阻变化可能超过 40%,这个电阻变化的过程随时间增长是非线性的。因此,无论是哪种电源方案为了稳定输出电流,都需要设计一个闭环控制器。

以调压器为核心的电源方案为例,为了稳定输出电流需要通过采样测试电流,与基准值进行比较,从而不断地调节调压器的输出电压,调节电压也就是通过调节步进电机电刷的位置实现的。调压器的输入电压来自于电网,当电网电压出现严重的波动时,调压器为了稳定电流,需要反复调节电刷的位置,这会大大降低调压器电刷寿命。此外,当厂商追求高精度和快速响应的电流输出时,第一种方案也是无法满足设计要求的。综上所述,针对低压断路器产品的大电流检测产品需要采用电子式的数控电源方案替代传统的自耦式调压器的方案。

2.2 机械方案

低压断路器的大电流测试过程中,除了产品本身需要消耗电能外,断路器连接的测试电缆或者母排也需要消耗相当数量的电能,而这部分电能主要消耗在电缆或者母排的导体电阻和接触电阻上。

因此,需要通过设备的机械结构设计来充分减小母排的导体电阻和设备与被测试产品的接触电阻。通过增大导体的截面或者减小母排回路的长度,可以有效地减小回路的导体电阻。这就要求研究人员将二次侧母排回路长度设计得尽量短,母排的截面积尽量大。减小接触电阻就要求接触面有尽量高的压力。

为了使接触面能够有足够的压力,行业中还存在一些过流检测设备是采用螺丝旋紧的安装方式对产品进行测试的。这种安装方式存在以下问题:首先,螺丝旋紧的过程大都是需要人工操作,压力的大小比较难以掌握,检测的可靠性得不到保障;其次,如果处理不当,那么旋紧螺丝的过程可能会对产品的一些金属件造成物理损伤;最后,这种检测方式的工作效率比较低。除了螺丝旋紧的方式,新型的设备中采用的是大电流检测夹具的方案来解决上述问题^[9-12],设备实物的前后视图如图 4 所示。

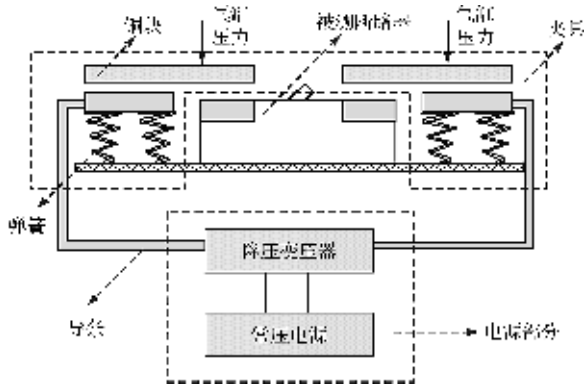


图 4 设备结构图

因为夹具是一种自动压紧的导体结构,夹具与相对固定的测试电源母排(即降压变压器出线母排)之间的连接也是一大难题。根据课题组的调研,采用大电流夹具已经成为低压断路器行业的电流测试主流方案,国内一些规模企业大都采用半自动台架的方案。

如图 5 所示的设备目前正被国内低压断路器规模生产企业大规模使用。由于设备中的降压变压器体积庞大重量较重,变压器很难安装到非常接近夹具的位置。通常这类设备的夹具会安装在靠近设备上半部,而变压器会被设计在底部方便安装,这样的设计会使得母排的长度非常长,不利于测试功耗的降低。

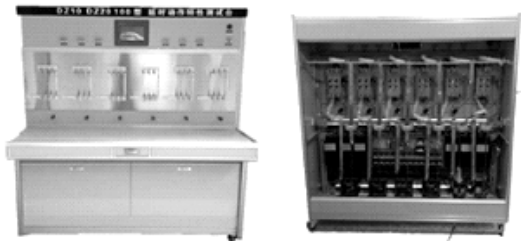


图 5 设备实物的前、后视图

3 方案比较

3.1 功 耗

该设备的功耗主要是电气部分元件产生的。考察

整个设备的功耗,并不是将各个电气元件的效率参数进行罗列,而是综合考虑各方面工况以及工厂的实际使用情况。比较图 2 和图 3 两种电源方案的功耗:电子式电源和调压器的额定效率水平没有太明显的差异,但是调压器设备在设备开启后始终有一个铁磁损耗存在,而电子式调压器却可以大大降低设备空闲状态下的损耗;此外,电子式调压器在低负载状态下的功率更高;最后,长时间使用后,自耦式调压器的电刷上接触电阻会增大,损耗也会相应的提高。

设备变压器二次侧损耗要远高于一次侧损耗。目前基于大电流测试夹具的设计方案,其二次侧母排的长度一般都比较长。以 2 000 A 的测试台为例,一次侧的损耗最多不会超过 300 W,而二次侧损耗在最高测试电流的情况下会超过 1.5 kW。这部分损耗主要来源于二次侧母排的导体电阻和接触电阻。从设备的机械结构设计入手,能够有效降低大电流测试回路中的导体电阻和接触电阻,从而有效降低设备功耗。

3.2 成本比较

如图 2 和图 3 所示,两种电气方案中的相同功率的降压变压器成本相差无几,普通的自耦式调压器成本远低于同功率的电子式电源的成本。但是图 2 中的测试系统中,PLC 需要增加电流采样模块,额外的步进电机及其驱动器也会增加成本。今年来,这两部分的成本已经越来越接近电子式电源与调压器之间的差价。考虑到寿命的因素,图 3 中的测试系统更加具有推广的价值。

3.3 通用性

不同规格的低压断路器施加两倍额定测试电流,断路器两端的电压基本都在 1 V~2 V 的范围内。一个降压变压器与电源设备的组合,当常压电源的输出电压达到最大值,降压变压器最大输出电压通常会超过 2.5 V。也就是说,一个经过严格设计的测试电源组合的最大输出电压一定是超过。理论上只要电压的功率足够大,一个电源组合可以满足任何规格低压断路器的测试。实际设计中,基于自耦式调压器的方案可以有手工或者步进电机调节得足够精细,额定几千安培的设备也可以实现 1 A~2 A 的电流调节精度。电子式常压电源是基于 SPWM 原理。在电源的数字控制系统中 SPWM 载波值足够大,基于电子式方案中的电流调节精度可以达到千分之一以内。

具有自动调节功能恒流电源的输出电流精度也取决于互感器的精度和范围。选用高精度的互感器,有利于提高整个电源的输出精度。然而即使 0.2

级2 000 A比5 A互感器,电流精度也不超过4 A。这样的互感器精度是不能保证10 A以下电流测量。为了扩大设备的高精度工作范围,实际设备中会设计一个继电器电路用于改变互感器的线圈匝数如图6所示。

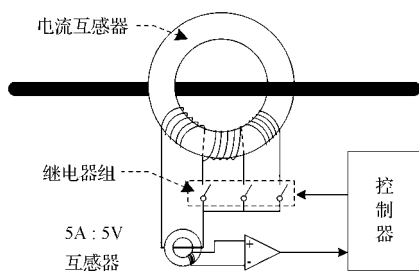


图6 互感器档位切换图

该电路通过闭合继电器组中不同的继电器改变电流互感器二次侧的匝数,改变互感高精度工作范围。比如通过控制继电器组增加了二次侧匝数,可以提高了低电流范围内的设备工作精度。

该设备机械方面的通用性就是指设备能够对外形的低压断路器产品进行测试。夹具式测试方案对产品外形有着严格要求,几乎没有通用型的可能。通用性的设计对于工厂的设备意义不大,但却是各个检测机构的实际需求。目前在这些检测机构的这类测试设备,都还采用电缆连接的方式来实现测试的通用性。这就大大降低了检测机构测试工作的效率。

3.4 自动化方案

该类设备的自动化水平也是从电气和机械两个方面考察。电气方面,两种具有自动调节功能恒流电源都是具有很高自动化水平的。在机械部分完成可靠的母排压接后,图2和图3两种电源方案都可以自动开始测试过程,测试过程中无需手动调节电流。

根据课题组的调研,机械方面目前还没有一种完全自动化的方案能够适应于低压断路器自动化生产检测。即使是夹具测试的设备,也需要工人将低压断路器手动安装到设备夹具上,这个流程会限制整个工厂流水线的自动化水平,也不利于产品质量的提高。因此有必要开发一种全自动化的低压断路器检测生产设备提高企业的生产检测效率,提高检测技术水平。

4 结束语

本研究针对低压断路器的大电流检测设备的应用场合、试验项目和电气机械基本原理进行了讨论。结合目前国内研究成果和生产实际,笔者分别阐述了两种分别基于调压器和电子式电源的测试方案。本研究对两种方案的电气原理进行分析,主要阐述电子式电源方案作为先进性测试方案的高可靠性。笔者从机械设计角度,论述大电流测试夹具的方案作为目前比较先进的测试方法还存在着诸多需要改进的问题。从测试功耗、设备功耗和通用性等方面比较了各种测试设备方案的优缺点。

本研究所做的工作对低压断路器行业检测工作的发展进步有一定参考价值。

参考文献(References):

- [1] 郎建才. 关于低压断路器短路分断能力检测的验证方法的探讨[J]. 低压电器, 2009(17): 53-54.
- [2] MICHACA R, HEISING C. R, KOPPL G. Studies on the test and control methods intended to assure the reliability of high-voltage circuit breakers[J]. *Electra*, 1985(102): 133-175.
- [3] 李 靖, 赵毅君, 贺湘琰. 低压断路器特性试验装置设计[J]. 机床电器, 2001, 28(1): 13-15.
- [4] 张 正, 奚永源, 费让若. 大容量断路器特性试验设备的几个技术问题[J]. 低压电器, 2000(3): 52-55.
- [5] 程武山. 低压电器智能测试技术研究[J]. 低压电器, 2010(21): 41-45.
- [6] 金良盛, 郑于海. 大电流恒流源系统的设计与实现[J]. 机电工程, 2013, 30(9): 1127-1132.
- [7] 胡雪林, 李峰平, 赵宗礼, 等. 一种半自动断路器延时校验台[P]. 中国: CN103323769A, 2013-09-25.
- [8] 叶 鹏, 朱翔鸥, 陈仕荣. 小型断路器测试专用恒流源[P]. 中国: CN203054024U, 2013-07-10.
- [9] 上海亿盟电气自动化技术有限公司. 大电流测试输出夹头[P]. 中国: CN101089628, 2007-12-19.
- [10] 上海亿盟电气自动化技术有限公司. 一种用于空气断路器的大电流测试夹头[P]. 中国: CN2921837, 2007-07-11.
- [11] 杭州之江开关股份有限公司. 一种断路器大电流试验出线排夹紧装置[P]. 中国: CN202332754U, 2012-07-11.
- [12] 胡雪林, 李峰平, 赵宗礼. 用于断路器的手工装夹工装[P]. 中国: CN203164226U, 2013-08-28.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

张 昊, 谢秋慧, 蔡春皓, 等. 低压断路器大电流检测试验设备研究[J]. 机电工程, 2016, 33(4): 483-487.

ZHANG Hao, XIE Qiu-hui, CAI Chun-hao, et al. Measuring method for over current characteristic of low voltage circuit breakers[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2016, 33(4): 483-487.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>