低压成套设备引弧试验新旧标准的差异研究

苏雄斌
（福建省产品质量检验研究院，福州　350002）

摘要　本文介绍了低压成套设备内部故障电弧的危害，针对成套设备引弧试验新旧标准中的变化，通过比较在试验参数、试验程序、试验指示器、试验结果评价、试验报告要求、电弧情况下的成套设备分类及电弧引燃防护区等方面存在的差异，为相关技术人员提供一定的参考。

关键词：低压成套设备；内部故障电弧；引弧试验；标准

Study on the differences between new and old standards of arcing test of low-voltage assemblies

Su Xiongbin
(Fujian Inspection and Research Institute for Product Quality, Fuzhou　350002)

Abstract　Harms of internal fault arcing on low-voltage assemblies are introduced. Aiming to the changes between new and old standards of arcing test of assemblies, differences on test parameters, test procedure, test indicators, evaluations of test result, requirements test report, classification of assemblies under arcing conditions and arc ignition protected zone etc. are discussed by comparison, which provide certain references for related technical personnel.

Keywords：low-voltage assemblies; internal faults arc; arcing test; standards

“十三五”期间，电力基础设施建设仍将保持着较大投资规模，因此承担电能传输和分配、用电设备保护与控制任务的低压成套开关设备与控制设备（以下简称“成套设备”）极其重要。成套设备广泛应用于生产现场、住宅小区等低压配电系统，其质量的好坏直接影响系统的安全和稳定。而成套设备的内部故障电弧是一种频发性、灾难性的严重故障，据有关资料统计，由内部异常故障电弧引发的电气火灾、人员伤亡等事故占相当大的比例，且有继续增大的趋势[1-3]。

1　内部故障电弧的危害

在成套设备的某个部位产生故障电弧后，故障电弧会迅速燃烧，所产生的能量可高达几十 MA^2s，甚至几百 MA^2s，与故障电流的平方及电弧燃烧的持续时间成正比。在持续时间超过 100ms 后，所释放的能量急剧增加并呈指数级上升，引起包括弧光、弧声、热量及压力等效应，对开关设备的电缆及铜排等造成严重损坏。同时，将可能导致门被炸开、内部不牢固的部件飞出，高温高压气体伴随电弧效应所产生炽热的金属和非金属材料颗粒将由柜内逸出，随时会造成人身伤害，甚至引起火灾[4-5]。可见故障电弧的危害性非常大，对成套设备限制由内部故障电弧引起人身伤害、成套设备损坏风险和继续使用适用性能力的研究变得非常重要[6-8]。因此，本文将从成套设备引弧试验的标准研究出发，为后续的研究和相关技术人员提供一定的技术指导。

2　新旧标准差异解读

新标准 GB/T 18859—2016《封闭式低压成套开关设备和控制设备 在内部故障引起电弧情况下的试验导则》对成套设备由于内部故障引起电弧情况下的试验方法给予指导，于 2017 年 7 月 1 日实施，替代旧标准 GB/Z 18859—2002[9-10]。

2.1　试验参数的差异

1）试验电压的不同

旧标准要求：试验电压至少等于成套设备的最高额定电压 U_e，误差为+5%；而新标准则明确为 $U_e\times(105\pm5)\%$。

2）允许短路电流的不同

新标准新增：每相电流应等于允许短路电流，偏差为 $^{+5}_{0}$%，功率因数的偏差应为 $^{+0.00}_{-0.05}$。

3）频率的不同

旧标准要求：当额定频率为 50Hz 或 60Hz 时，频率范围应为 48～62Hz；其他频率的偏差为额定频率值的±10%；新标准改为所有试验在额定频率下进行，偏差为±25%。

4）试验持续时间的不同

新标准新增：当电路由限流器件保护时，电压施加时间至少为 0.2s。

2.2　试验程序的差异

1）电源电路的不同

旧标准只说明试品的连接应与正常使用一样；新标准新增：试品的连接中，包括 PE、N、PEN 导体的连接件，都应与电源的中性点直接连接。

2）引燃线尺寸的不同

旧标准只规定了不带限流保护器时的引燃线尺寸，其他都参考选择；而新标准新增了详细的带限流保护器时引燃线尺寸的选择，并详细说明了该情况下的试验有效性和重复试验的判定原则。

3）推荐电弧引燃点的不同

旧标准只说明引燃点的选择应使其生成的电弧效应产生最大的压力；新准则推荐了具体的引燃点：①出线单元的负载侧；②出线单元的电源侧和相关的电弧引燃防护区（但不应在电弧引燃防护区引发）；③沿配电母线；④沿主母线；⑤进线单元的负载侧；⑥进线单元的电源侧。

2.3　试验指示器的差异

1）指示器材料的不同

旧标准统一采用单位面积质量约为 150g/m^2 的黑色棉布；新标准规定了不同成套设备的试验用棉布类型：质量为 150×(1±20%)g/m^2 的棉布（限制接近类）和质量为 40×(1±20%)g/m^2 的细麻布（非限制接近类），且均为 100%黑色棉纤制成。

2）指示器安装的不同

旧标准简单要求：指示器应垂直固定在最高 2m，与成套设备相距 30cm±5%的人易接近的气体可能喷发出的所有面附近；而新标准具体说明：指示器应垂直放置在与成套设备每个面板平行的平面内，高度为 2m±50mm，与面板距离为(300±30)mm，并以棋盘形式均匀分布，覆盖被评估区域的 40%～50%，另外还指出指示器安装架的尺寸，与面板距离的测量方法及指示器的安装图示。

2.4　试验结果评价准则的差异

准则①的差异：旧标准只要求门盖板等处于正确的使用状态，没有被打开；新标准详细地指出确保门和盖板没有打开，保持在有效位置并满足 IP1X 要求的最小等级防护。接受变形及有限数量的紧固件和铰链的破损。试验后不需要符合其 IP 代码。

准则②的差异：旧标准要求没有可能引起危险的设备部件飞落；新标准明确规定除了成套设备和指示器之间脱落部分外，成套设备没有质量超过 60g 的部分喷射出来。

准则③的差异：旧标准要求电弧的燃烧或其他效应在成套设备外壳可自由触及的外表上没有造成孔洞；新标准则具体要求电弧不应燃烧，不应在外壳低于 2m 的可接近的所有边上产生孔洞，并不应发展到外壳的外面部分。

准则④、⑤新旧标准要求基本一致。

新增的准则⑥：成套设备能将电弧限制在期引发的特定区域，并且不在成套设备内的其他区域蔓延。如果可以清洁，则热气和黑烟对试验单元的邻近单元的影响可接受。

新增的准则⑦：故障清理、隔离或限制区域内受影响的单元拆卸之后，剩余部分的紧急操作是可能的。通过 GB 7251.12 的 10.9.2 来验证，试验电压为给出电压的 1.5 倍，持续 1min。假如可以很容易恢复至与 IPXXB 一致的等级防护，门和盖板的弯曲和卷边可接受。试验区外的单元应保持机械和电气的完全可操作性，并基本与试验前相同。

2.5　试验报告要求的差异

1）对预期和试验电流参数的要求不同

旧标准统一要求：①前 3 个半周期内的交流分量的方均根值；②最高峰值；③实际通电时间内交流分量平均值；④试验持续时间。

新标准则分开要求：

对预期电流：①第一个 3 个 1/2 周期器件交流电流成分的均方根值；②电流最高峰值；③施加电压的均方根值；④在预期电流校准的实际持续时间的电流平均值。

对试验电流：①实际燃烧持续时间的电流平均值；②最高电流峰值；③试验的持续时间；④焦耳积分；⑤电弧实际总燃烧持续时间。

2）其他描述说明要求的不同

新标准增加内容：①电弧引燃防护区的细节；

②计划用于试验期间的限流器和/或电弧抑制器的类型、数据、设置和布置；③安装并用于试验的电弧抑制器的操作。

2.6 试验样品要求的差异

1）差异部分

在样机的装配方面，新标准对模拟组件（包括部件、导体及金属材料）都提出了具体的要求。

2）新增部分

（1）门和盖板关闭并按描述一样正确固定，所有电缆应像正常使用一样安装。

（2）所有开关器件应开启，可移式和抽出式部分应与电源连接。所有可安装在外壳上的装置，如控制开关、测量仪表等应像正常使用一样安装。

（3）若带有电弧抑制器，则允许该器件按规定操作，另外，防止电击的特定措施应有效。

（4）试验可按使用条件进行单相或三相试验。

2.7 新增电弧情况下成套设备的分类

1）按电弧情况下的特性，可分为如下等级。

电弧等级 A：通过符合准则①～⑤电弧情况下人员保护的成套设备；

电弧等级 B：通过符合准则①～⑥电弧情况下人员和成套设备保护的成套设备；

电弧等级 C：通过符合准则①～⑦带有限操作的电弧情况下人员和成套设备保护的成套设备；

电弧等级Ⅰ：仅通过电弧引燃防护区的方式降低电弧故障风险的成套设备。

2）按接近成套设备安装区域的人员，可分为限制接近（仅允许被授权人员接近）和非限制接近（允许所有人员接近）。

2.8 新增电弧引燃防护区概念及其要求

电弧引燃防护区也称无弧区，无弧区内的电路采取具体的措施，确保几乎不可能引发电弧故障。

1）结构要求

（1）每条主电路的所有带电部分由固体绝缘或绝缘障碍分别保护。

（2）绝缘符合 GB 7251.12 中定义的电气的、热的和机械的要求。

（3）绝缘材料和绝缘保护区的结构方式满足规定的介电试验要求。

（4）固体绝缘满足规定的 IP 试验要求。

（5）绝缘障碍满足规定的 IP 试验要求。

2）介电试验要求

利用金属箔在无弧区上进行工频介电试验，该金属箔包裹在绝缘的外表面，覆盖带电导体及绝缘的所有连接点和开口。按 GB 7251.1 中表 8 给出电压的 1.5 倍和 10.9.2 的规定进行试验和评价。

3）IP 试验要求

依照 IEC 60529，固体绝缘应进行 IP4X 试验，绝缘障碍应进行 IP3XD 试验。

2.9 新增相似样品的选择及其试验的有效性评价

电弧试验应在代表性的成套设备上，且在最繁复位置的每一个代表性功能单元上进行。鉴于功能单元和组件的类型、额定值及可能组合的多样性，在所有布置上进行电弧试验不现实，任何特殊布置的性能都能由可比较设计的试验结果证实。并可认为在以下方面与试验单元相同：①尺寸；②外壳的结构和强度；③隔板的工艺；④绝缘系统；⑤外壳内部和内部隔板的表面处理；⑥压力释放装置的性能（如果有）。

而在特殊短路电流、额定工作电压和持续时间进行的试验包含相同或更低的短路电流、工作电压和持续时间。

3 结论

从新旧标准的变化来看，无论是在试验还是在结果的评价上，新标准都更紧密地结合了现行低压成套设备产品的特点，特别是新增的电弧情况下低压成套设备的分类、电弧引燃防护区及相似样品的选择及有效性评价等内容，进一步完善了低压成套设备产品进行内部故障引弧试验的检测需求。

参考文献

[1] 董爱华，孔林娟，杜静静. 基于突变理论信息融合的故障电弧检测方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 28(5): 35-40.

[2] 蓝会立，张认成. 开关柜内部故障电弧探测法的研究现状及趋势[J]. 高电压技术, 2008, 34(3): 496-499.

[3] 刘艳丽，郭凤仪，王智勇，等. 基于信息熵的串联型故障电弧频谱特征研究[J]. 电工技术学报，2015, 30(12): 488-495.

[4] 田广青. 中低压开关柜内部故障电弧光保护系统[J]. 电工技术, 2004(10): 62-64.

[5] 张冠英，张晓亮，刘华，等. 低压系统串联故障电弧在线检测方法[J]. 电工技术学报，2016，31(8)：109-115.

[6] 王铮. 低压综合配电箱内部故障电弧防护的试验研

（下转第 108 页）