

配网开关柜状态检测与评价实施方式的探讨

李 刚¹, 朱革兰²

(1. 广州供电局电力试验研究院, 广州 510410; 2. 华南理工大学电力学院, 广州 510640)

摘要: 笔者对配电网开关柜状态检测与状态评价的实施方式进行了初步探讨, 建议对配网开关柜的状态检测分为抽样检测和状态监测两种方式。根据现有的状态检测手段, 建议将状态评价分为整体性评价和个体性评价。整体性评价以抽样检测的结果为主要依据, 而个体性评价的结果主要以状态监测的结果为主要参考。个体性评价的状态量主要包括基础资料、运行巡视、气体压力、红外测试及局部放电测试。广州地区的实施结果表明该评价方法具有较好的可操作性和可信性。

关键词: 配网; 开关柜; 状态检测; 状态评价

中图分类号: TM83 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1609(2013)08-0133-06

Study on the Implementation of Switchgear Status Detection and Evaluation for Distribution System

LI Gang¹, ZHU Ge-lan²

(1. Tests and Research Institute of Guangzhou Power Supply Bureau, Guangzhou 510410, China;

2. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: This paper presents a preliminary study of switchgear status detection and evaluation for distribution system, suggests that there are two ways which are sample detection and status monitoring for the switchgear status detection. According to current existing status detection methods, status evaluation can be divided into global evaluation and individual evaluation. Global evaluation is based on the results of the sample detection, and individual evaluation results take the status monitoring results as the primary reference. The status variables of the individual evaluation mainly include fundamental data, operation and patrol, gas pressure, infrared test, and partial discharge test. The application in Guangzhou proves the operability and reliability of this method.

Key words: distribution system; switchgear; status detection; status evaluation

0 引言

配电网开关柜运行与维护状况如何直接影响和威胁用户供电的安全可靠性。随着配网开关柜总量不断快速增长, 供电企业面临运行维护人员不足与维护效率不高的问题。传统维护方式主要是定期停电进行清扫、试验, 对涉及母线部分还需要母线停电, 这将造成用户停电, 降低了供电可靠性。并且运行中的开关柜内设备如有异常, 运行人员在巡视过程中也不能直接观察。对于高压开关柜, 国内外一些先进国家和地区已开展了在线监测的研究和实践工作, 取得了较好的效果^[1-6]。但是对于配电网开关柜

具有使用量大、形式多样、分布广泛的特点, 因此不能完全照搬高压开关柜的方法, 既要监测风险度高的个体设备的状态, 又要全面掌握所有设备的整体状态^[7-9]。笔者提出一种整体评价和个体评价相结合的方法, 以广州配网开关柜为例, 在分析配电网开关柜的总体现状和主要故障类型的基础上, 对配电网开关柜状态检测的实施原则和开展方式进行了探讨, 并结合实例作了进一步阐述。

1 配网开关柜故障特点

近几年广州配电网发展迅速, 截止到 2009 年 10 kV 开关柜入网数量已达两万三千多台, 见图1。

通过对 2003-2007 年之间配网运行开关柜进

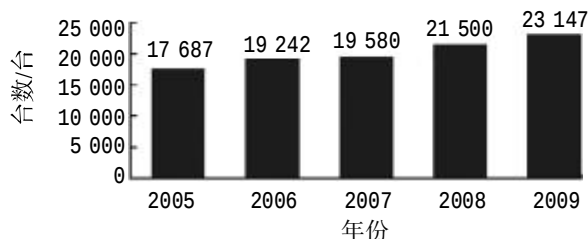


图1 广州地区2005年至2009年配电网开关柜使用量

Fig. 1 Amount of distribution network switchgear in Guangzhou from 2005 to 2009

行事故、障碍、缺陷原因分类统计发现:主绝缘击穿或损坏占到了开关事故、障碍的46.47%,绝缘击穿与其他事故因素所占比率各接近一半。另据统计,2009年1月至9月,在配网开关柜发生故障44台,其中绝缘方面的故障有26台,占了59%^[10-18]。

在对2004至2006年间配网开关柜故障情况分析,得出3年的开关柜年故障率为0.17次/(百台·年)。投运在5年以内和15年以上的故障率分别为0.24、0.44次/(百台·年);投运年限在5~10年和10~15年的故障率低于年均故障率水平,分别为0.13、0.14次/(百台·年),见图2。

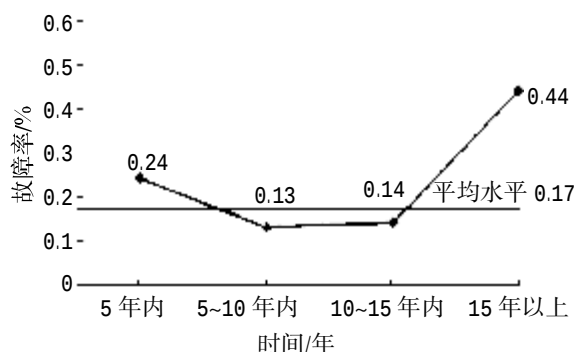


图2 广州地区2004年至2006年配电网开关柜故障率分布情况

Fig. 2 Failure rate of distribution network switchgear in Guangzhou from 2004 to 2006

从配电网2004-2006年之间3年的运行数据上看,配网开关柜的故障有以下特点:

1)在绝缘方面的问题是故障的主要类型,这些缺陷或故障是可以通过带电检测(如红外测温、地电波局放)手段来及早发现与控制预防的;

2)投运在5年以内和15年以上的设备故障率相对较高。

因此,对种类繁多、数量庞大的配网开关柜,对其整体状态评价工作量巨大,笔者提出以抽样检测的方法对其进行状态评价,可大大减少运行维护人员的工作量。只要选取适当的抽样方法,其评价结果是可信的。

对个体评价则应采用在线状态监测,监测的重

点设备放在5年以前和15年以后的运行设备上。应重点对该期间在检测中怀疑有问题或运行异常的设备进行状态评价。

2 状态检测

2.1 状态检测原则

配网开关柜的状态检测分为整体检测和个体监测,其实施方式分为抽样检测和状态监测两种方式。整体性检测以抽样检测的方法为主,而个体性监测以带电状态监测为主,抽样检测和带电状态监测互为参考补充。

2.2 抽样检测实施

对配电设备进行抽样检测是发现设备共性缺陷的有效途径。根据配网开关柜的特点,建议抽样检测作为对配网开关柜总体运行状态的评价必要手段之一。同时,抽样检测的结果是作为下一年度状态监测对象及周期调整的参考依据之一。抽样检测对象根据设备情况分为新设备和在运设备。开关柜的抽样周期建议1年一次,具体执行参见相关的技术监督实施细则。表1、2分别对新设备和在运设备的抽检数量、范围及试验项目提出了建议性的意见。

表1 新设备的抽检数量、范围及项目

Tab. 1 Sampling check number, range and items of new equipment

项目/设备类型	开关柜
试验项目	常规项目:绝缘电阻、交流耐压、直流电阻、SF ₆ 开关柜补充气体检漏试验。 特殊项目:温升试验
抽检数量	按每个厂家分类,建议按2%比例抽检。每一类设备不少于1台。 发现问题扩大抽检范围※。

注:※为在运设备的抽检特殊情况下可扩大抽检比例,如根据施工质量。

表2 在运设备的抽检数量、范围及项目

Tab. 2 Sampling check number, range and items of running equipment

项目	周期	说明
直流电阻	重要设备:每6年结合综合停电机会进行一次,不单独停电试验。 一般设备:运行10年以上和刚投产1年设备,结合停电机会按照15%比例抽查。 其他设备:结合停电机会按8%比率抽查,不单独停电试验。	结合综合停电机会进行试验
绝缘电阻和交直流耐压	重要设备:每6年结合综合停电机会进行一次,不单独停电试验。 一般设备:运行10年以上和刚投产1年设备,结合停电机会按照15%比例抽查。 其他设备:结合停电机会按8%比率抽查,不单独停电试验。	结合综合停电机会进行试验

2.3 状态监测实施

广州地区配网开关柜状态监测方式主要以带电测试为主,不去专门安排停电预防性试验。试验项目主要包括 SF₆ 气体压力、红外测温及局部放电测试等。状态监测可在设备巡视期间完成状态监测的有关项目。状态监测的实施项目、检测周期与参考值可建议按照表 3 执行,表 3 中给出的检测参考值也可

结合设备实际运维情况、缺陷与故障统计分析等综合情况进行修定。

3 状态评价

3.1 评价原则

配网开关柜的状态评价考虑到状态检测项目与周期等实际情况,状态评价同样分为整体性评价和

表 3 状态监测的实施项目与参考值

Tab. 3 Items and reference values

检测项目	检测周期	检测参考值	检测方式
气体压力	重要设备:每年 2 次	按照气体压力指示器的区段进行判断:	结合巡视
	一般设备:每年 1 次。 可根据需要调整检测周期。	正常:指针位于绿色区域。 异常:指针位于红色区域。	
红外测试	重要设备:每年 2 次	正常:通风孔温度 ≤ 80 °C且柜体表面温度与 环境温差 ≤ 20 °C。	结合巡视
	一般设备:每年 1 次。 可根据负荷情况调整检测周期。	缺陷:通风孔温度 >80 °C或柜体表面温度与 环境温差 >20 °C。	
局部放电测试	重要设备:每年 2 次。 一般设备:每年 1 次。 可根据需要调整检测周期。	超声波 正常:无典型放电波形或音响,且数值 ≤ 8 dB。 异常:数值 >8 dB 且 ≤ 15 dB。	结合巡视
		缺陷:数值 >15 dB。	
		地电波 正常:相对值 ≤ 20 dB。 异常:相对值 >20 dB。	

个体性评价两种主要方式,分别以抽样检测和状态监测的结果为依据,而抽样检测的结果可作为个体性评价的参考。

3.2 整体性评价

对新设备的抽样检测,若出现抽检项目不合格,则对同批次开关柜退货处理,并要求制造厂进行整改;对在运设备的抽样检测,若出现抽检项目不合格,根据设备不合格项目情况,加强该批次开关柜状态跟踪监测,缩短检测周期,分析变化趋势,必要时退出运行。上述整体性评价中不合格项目的结果将作为个体性评价的有效状态量之一。

3.3 个体性评价

个体性评价主要针对重要设备做出运行状态评价或对异常设备做出运行状态的发展变化趋势评价。状态监测中结果正常的一般设备或其他设备暂不建议进行个体性评价。

3.3.1 评价内容

个体性评价的状态量主要包括:基础资料、运行巡视、气体压力、红外测试结果及局部放电测试结果。

3.3.2 状态量构成

1)基础资料:同批次抽检是否有不合格情况,或历史缺陷记录,属于一般性状态量。

2)运行巡视:是否有异味、异响,属于重要状态量。

3)气体压力:观察压力指示器是否在安全范围以内,反映设备内部整体绝缘状况,属于重要状态量。

4)红外测试:反映设备是否存在接触不良等缺陷,属于一般性状态量。

5)局部放电测试:反映设备内部局部绝缘状态,属于重要状态量。

3.3.3 状态量权重

根据状态量对设备安全稳定运行的影响程度,从轻到重分为 4 个等级,分别赋予权重值 1、2、3、4。权重系数 1 和 2 与一般性状态量对应,权重 3 和 4 则与重要状态量对应。

根据状态量的发展变化趋势(劣化程度)也分成 1、2、3、4 四个等级,对应的基本扣分为 2、4、8、10 分。

3.3.4 状态量扣分值

状态量应扣分值由状态量劣化程度和权重共同决定,即状态量应扣分值等于该状态量的基本扣分值乘以权重系数,见表 4。状态量正常时不扣分。

3.3.5 状态评价方法

1)限值诊断。限值判断是根据设备状态检测数据,与设备有关运行技术规程或规定的限值对照分析,是否有接近或超出限定指标或数据。

2)趋势诊断。趋势判断是根据不同时间的设备状态检测数据,分析某些指标、数据的变化速率和变

表 4 状态量的评价表

Tab. 4 Evaluation table of state characters

劣化程度	基本扣分	权重			
		1	2	3	4
1	2	2	4	6	8
2	4	4	8	12	16
3	8	8	16	24	32
4	10	10	20	30	40

化趋势,判断设备的实际状态。

3)对比诊断。对比诊断是根据同一设备不同时间或同类设备的状态检测数据,进行该设备历史数据、同类设备间的比较,判断其状态的变化趋势和实际状态。前者称为纵向对比诊断,后者称为横向对比诊断。

按上述方法对配网开关的各状态量进行诊断其劣化程度,并根据各状态量对配网开关安全运行的影响程度确认权重,最后按照状态量权重和劣化程度对配网开关状态评分,确定该配网开关的状态分类。

3.3.6 状态分类

在对开关柜进行状态分类时,依据主要考虑评价信息中合计扣分和每个状态量扣分情况确定。设

备状态分别分为:正常状态、注意状态、异常状态和严重状态 4 种,设备状态可参考表 5 的状态分类建议值进行分类。

表 5 状态分类建议值

Tab. 5 Reference values of states

评价信息	正常状态	注意状态		异常状态	严重状态
	合计扣分	合计扣分	单项扣分	合计扣分	合计扣分
设备资料	<4	-	4~8	-	-
运行巡视	<12	≤24	6~12	>12~30	>36
气体压力	<4	≤24	-	>12~18	>24
红外测试	<8	≤12	-	>12~16	>24
局放测试	<8	≤32	16~32	>32~48	>72

3.3.7 状态量判据与权重

设备在状态评价过程中,可根据设备状态量的变化与影响设备安全可靠运行的程度作为判据依据。状态量判据、权重与劣化程度的可参照表 6 确定。

3.4 状态评价流程

由技术主管部门下达每年配网开关柜的抽样检测计划,技术监督部门负责组织实施,整体性评价结

表 6 状态量判据及建议权重

Tab. 6 Criterion and reference weight of state characters

状态量	状态量判据	权重系数	劣化程度(分值)
设备资料	同批次抽检出现缺陷。	2	2,4※
	同设备出现历史缺陷。	2	2
运行巡视	设备内部有异响(振动声、放电声等);	3	2,4,8,10※
	设备内部有异味。	3	2,4,8※
气体压力	压力指示器显示内部压力不足,指针接近红色区域;	3	4
	压力指示器显示内部压力不足,指针已经在红色区域内。	3	8
红外测试	超出相关技术标准,但通风孔温度 < 80 ℃或柜体表面温度与环境温差 < 20 ℃;	2	2,4,8※
	通风孔温度>80 ℃或柜体表面温度与环境温差>20 ℃。	2	10
	数值接近 8 dB,但稳定在 8 dB 附近。	4	4
超声波	数值>8 dB 且≤15 dB。	4	8
	数值>15 dB。	4	10
局放测试※	数值接近 20 dB,但稳定在 20 dB 附近。	4	4
	地电波		
	相对值>20 dB。	4	8
	相对值>34 dB。	4	10

注:※劣化程度根据实际情况,并参考 4.3.5 款的评价方法给出合理值。

果应由相应的技术监督部门形成的评价报告,报主管审批备案后,发送至技术主管部门。同时,整体性评价结果抄送物流中心。

个体性评价结果应形成专门的评价报告,报主

管审批备案后,发送至技术主管部门和市场客户服务部,并抄送技术监督部门。个体性评价中出现异常状态或严重状态的案例应由技术主管部门及时召开分析会议,形成评价意见上报决策层。

4 应用案例

2009年6月,对某电房内的开关柜进行状态检测,结果为局部放电超标(地电波检测结果显示幅值接近20 dB,超声波检测结果显示超过8 dB,接近15 dB)、红外正常。巡视时发现电房内有异响和异味。根据状态量扣分、状态分类与状态量判据与权重的方法得出:运行巡视合计扣分24分;气体压力单项不扣分;红外测试单项不扣分;局部放电测试合计扣分48分。依据表5状态分类建议值初步判断该开关柜处于异常状态。因该设备当时处在迎峰度夏保

供电期间,未能立即停电处理,采取缩短检测周期,加强运行检测的措施监视设备状态。

同年7月初,对该用户电房内的开关柜进行状态复测,状态评价仍为处于异常状态。为确保设备安全可靠运行,决定对该开关柜,进行检修处理,见图3。检修检查发现柜内设备确实存在导体放电腐蚀,见图3(b)、(c),以及电缆较明显的电晕放电情况,见图3(d)。

5 结语

近年的运行数据表明配网开关柜数量众多,停

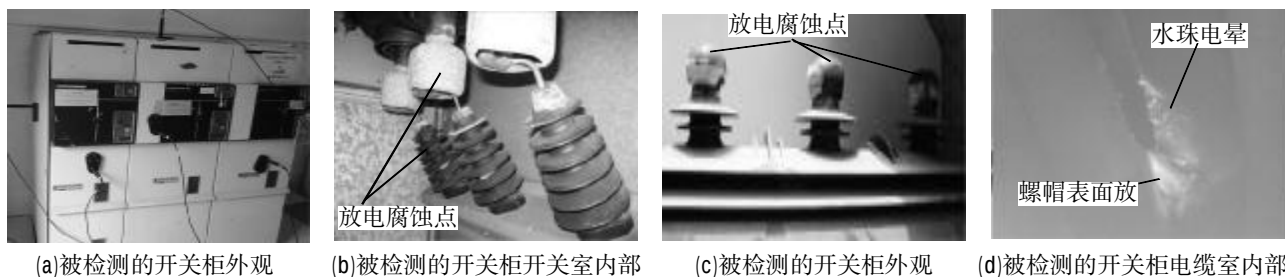


图3 被检测的开关柜

Fig. 3 The detected switchgear

电直接涉及用户,对其运行状态进行评价意义重大。笔者根据现有的状态检测手段,提出了配电网开关柜的整体评价与个体评价相结合的状态评价的新思路。在广州局的实施过程中,取得了良好的效果。

需要说明的是,配网开关柜的状态评价分类阈值的选取应根据经验的不断积累进行改进。并且,应该根据设备的主要运行问题有针对性地开展状态检测工作。因地制宜才能使状态评价变得有效,才能更客观地掌握电网设备的生命周期。

参考文献:

- [1] 范兴明,邹积岩,丛吉远.电力变压器和高压断路器状态监测技术的发展与现状综述[J]. 电气应用,2005,24(4): 35-39.
FAN Xing-ming, ZOU Ji-yan, CONG Ji-yuan. The development and status survey for transformer and high voltage circuit breakers condition monitoring[J]. Electrotechnical Application, 2005, 24(4): 35-39.
- [2] 胡文平,尹相根.电气设备在线监测技术的研究与发展[J]. 华北电力技术,2003(2):23-29.
HU Wen-ping, YIN Xiang-gen. Research and development of on-line monitoring technique for electric equipment[J]. North China Electric Power, 2003(2): 23-29.
- [3] 荣命哲,贾申利,王小华.电器设备状态检修[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
RONG Ming-zhe, JIA Shen-li, WANG Xiao-hua. Condition-based maintenance of electric equipment[M]. Beijing: China Machine Press, 2007.

tion-based maintenance of electric equipment[M]. Beijing: China Machine Press, 2007.

- [4] HOIDALEN H K, RUNDE M, HAUGLAND O, et al. Continuous monitoring of circuit-breakers using vibration analysis [C]//Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering. London: IEEE, 1999: 102-106.
- [5] FU Y H, RUTGERS W R. Development of diagnosis techniques for high voltage circuit breakers[C]//CIGRE. [S. l.]: IEEE, 1993: 4817-4821.
- [6] JARDINE A K S. Optimizing condition based maintenance decisions [J]. International Journal of Quality Reliability Management, 2009, 26(2): 196-211.
- [7] 刘云鹏,王会斌,王娟,等. 高压开关柜局部放电 UHF 在线监测系统的研究[J]. 高压电器, 2009, 45(1): 15-17.
LIU Yun-peng, WANG Hui-bin, WANG Juan, et al. Research on on-line partial discharge UHF monitoring system for high voltage switchboard[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(1): 15-17.
- [8] 韩玉兰,芦兴,路灿,等. 高压开关柜隔离触头温度红外检测系统的研制 [J]. 高压电器, 2008, 44(6): 578-581.
HAN Yu-lan, LU Xing, LU Can, et al. Temperature monitoring system for contacts of high voltage switchgear [J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(6): 578-581.
- [9] 潘长明,刘刚,熊炬,等. 高压开关柜绝缘事故的分析及防范措施[J]. 高压电器, 2011, 47(7): 90-93.

- PAN Chang-ming, LIU Gang, XIONG Ju, et al. High voltage switchgear insulation accident's analysis and counter measures[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(7): 90-93.
- [10] 张秀丽, 贺 勃, 李拥军, 等. 高压开关柜隔离触头压力检测值研究[J]. 高压电器, 2010, 46(2): 94-96.
- ZHANG Xiu-li, HE Bo, LI Yong-jun, et al. Analysis of pressure detection values variation of isolated contacts in high voltage switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(2): 94-96.
- [11] 王春生, 杨志淳, 漆 璇. 一种基于气体传感的新型中高压开关柜过温监测系统的研制[J]. 高压电器, 2011, 47(2): 34-38.
- WANG Chun-sheng, YANG Zhi-chun, QI Xuan. Design of a novel over-temperature supervising system for the HV and MV switch cabinet based on gas sensor[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(2): 34-38.
- [12] 田 毅, 黄新波. 高压开关柜温升在线监测系统[J]. 高压电器, 2010, 46(3): 64-67.
- TIAN Yi, HUANG Xin-bo. On-line monitoring system of temperature inside HV switchgear cabinet[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(3): 64-67.
- [13] DL/T 593—2006. 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求[S].
- DL/T 593—2006. Common specifications for high-voltage switchgear and control gear standards[S].
- [14] 梁曦东, 陈昌渔, 周远翔. 高电压工程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- LIANG Xi-dong, CHEN Chang-yu, ZHOU Yuan-xiang. High voltage engineering[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [15] 黎 斌. 高压电器设计[M]. 第三版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- LI Bin. Design of high voltage apparatus[M]. Third Edition. Beijing: Machinery Industry Press, 2010.
- [16] GB 50150—2006. 电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S].
- GB 50150—2006. Standard for hand-over test of electric equipment electric equipment installation engineering[S].
- [17] DL/T 404—2007. 3.6~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备[S].
- DL/T 404—2007. Alternating-current metal-enclosed switchgear and control gear for rated voltages above 3.6 kV and up to and including 40.5 kV[S].
- [18] 朱根良. 浅议中压开关柜事故调查中的故障分析[J]. 高压电器, 2002, 38(5): 62-63.
- ZHU Gen-liang. Simple explanation of faults analysis in incident investigation of medium voltage switchgear [J]. High Voltage Apparatus, 2002, 38(5): 62-63.
- 李 刚(1957—), 男, 高级工程师, 从事电力生产与设备技术管理(通信作者)。
- 朱革兰(1968—), 女, 博士, 从事电力专业教学与研究工作。

《高压电器》2013 年第 8 期广告单位

彩色广告

封一: 扬州万能科技发展有限公司
封二: 北京优尼莘辉科技有限公司
封三: 阿尔斯通电网技术中心有限公司
封四: 厦门凯鼎机电有限公司
前插 1: 北京京东方真空电器有限责任公司
前插 2: 珠海思创电气有限公司
前插 3: 宁波伟隆电器成套有限公司
前插 4: 华仪电气股份有限公司
前插 5: 广州市启泰模具工业有限公司
前插 6: 江苏南瑞帕威尔电气有限公司
前插 7: 攀时(上海)高性能材料有限公司
前插 8: 硕方科技(北京)有限公司

前插 9: 上海乐研电气科技有限公司
前插 10: 南京因泰莱电器股份有限公司
前插 11: 万控集团有限公司
前插 12: 江苏常新密封材料有限公司
前插 13: 上海苏特电气有限公司
前插 14: 武汉市国电华瑞电业测试科技有限公司
前插 15: 陕西斯瑞工业有限责任公司
前插 16: 上海利驰软件有限公司

黑白广告

单色 139: 武汉市国力电气设备有限公司
单色 140: 陕西维柯瑞电气有限责任公司