

电力电容器常见故障分析及预防措施

王振河¹, 陈天², 咸日常², 梁东², 于洋¹, 谢同平¹

(1. 国网山东省电力公司淄博供电公司, 山东 淄博 255000;

2. 山东理工大学电气与电子工程学院, 山东 淄博 255049)

摘要: 电力电容器作为电力系统中重要的无功补偿设备,其安全可靠运行有利于增强电力系统稳定性、提高电能质量和降低电网功率损耗。但受设备制造质量、补偿回路设计、系统谐波、运行环境等因素的影响,电力电容器故障时有发生。为保证设备及电网安全运行,本文首先对电力电容器常见故障的机理进行分析,明确故障特征及其原因。最后针对电力电容器常见故障从设备及安装调试质量、操作和运行方式、控制运行环境温度、运行状态在线监测、日常巡视等5个方面提出了相应的事故障预防措施。

关键词: 电力电容器; 故障特征; 分析; 预防措施

Analysis of Common Faults and Preventive Measures for Power Capacitors

WANG Zhenhe¹, CHEN Tian², XIAN Richang², LIANG Dong², YU Yang¹, XIE Tongping¹

(1. Zibo Power Supply Company of State Grid Shandong Electric Power Corporation,

Shandong Zibo 255000, China; 2. School of Electrical and Electronic Engineering,

Shandong University of Technology, Shandong Zibo 255049, China)

Abstract: As an important reactive power compensation device in power system, the safe and reliable operation of power capacitor is beneficial to enhance stability of power system, improve power quality and reduce power loss of power grid. However, the fault of capacitor is sometimes happened due to such factors as manufacturing quality, design of compensation circuit, system harmonics and operating environment, power capacitor failures. In order to ensure the safe operation of equipment and power grid, the mechanism of common fault of capacitor is analyzed firstly in this paper, the feature and reason of such fault are defined. Finally, corresponding preventative measure for such faults is proposed from such five aspects as installation and adjustment quality, operation mode, control of operation ambient temperature, on-line monitoring of operation status and daily patrol.

Keywords: power capacitor; fault characteristics; analysis; preventive measures

0 引言

伴随我国工业化速度的进一步加快,电力系统容量日益增大,电网中感性负荷急剧增长,无功功率需求与日俱增^[1]。电力电容器作为电力系统重要的无功补偿设备,以其具有结构简单、造价适中、运行稳定、使用灵活等优势而得到了广泛的应用。

电力电容器在长期运行中,因受设备制造质量不良、补偿回路设计不当、系统谐波污染、运行环境恶劣等因素的影响,容易造成故障发生,严重威胁

电力系统的安全稳定运行,甚至引发大面积停电事故^[2]。文献[3]和文献[4]分别对江苏电网与内蒙古电网的电力电容器故障及缺陷进行统计分析,结果表明:近年来电力电容器故障率一直居高不下,设备事故频繁发生。因此,本文对电力电容器故障机理进行分析,结合故障特征提出事故预防措施,对保障电力电容器及电网的安全可靠运行具有现实指导意义。

1 电力电容器故障机理

电力电容器主要由壳体、电容器心子、绝缘介

收稿日期:2019-07-18

基金项目:国网山东省电力公司科技项目(SGSDZB00JS1800295)。

质以及出线结构等几个部分组成。壳体材质为薄钢板或不锈钢板,出线套管焊接在壳盖处,电容器心子由聚丙烯薄膜与铝箔(极板)卷制而成,壳体内部充满液体介质用以绝缘和散热^[5]。

电力电容器作为全密封设备^[6],其故障类型主要可分为:1)内部电容元件击穿;2)熔丝熔断;3)内部短路故障;4)外部放电故障。其中内部故障对电力电容器本体的破坏性更强,一旦发生便无法在现场进行修复,影响设备利用效率。

1.1 内部电容元件击穿

电容元件击穿主要是由介质老化、绝缘受潮、生产工艺不良、运行环境恶劣等几方面的因素造成,若元件不带内熔丝,当单个电容元件出现击穿后,与之并联的其他电容元件被其短路,不再共同分担电力电容器的工作电压,串联回路中的其余电容元件承受的工作电压因此增大。如不及时隔离电容元件击穿故障,将会对整台电力电容器的运行带来安全隐患,乃至造成更大范围的破坏性事故。电力电容器选用内熔丝结构就可以对故障电容元件进行有效及时隔离,有利于电力电容器安全运行。

电容元件击穿可以分为电击穿、热击穿和局部放电击穿。其中,电击穿是由于电力电容器受到过电压或高次谐波等因素的作用,造成两极板间介质的电场强度过高,导致存在缺陷的电容元件绝缘击穿;其特点是电压作用时间短、场强高,而击穿场强与电场均匀程度密切相关,与温度和电压作用时间的关系相对较小。热击穿是由于电力电容器元件的发热量大于散热量,使内部介质温度持续升高,造成电介质的劣化与分解,从而使电容元件的绝缘击穿;其特点是一般发生在电容器稳态运行过程中,与电击穿相比击穿电压相对较低、电压作用时间较长。局部放电击穿是由于电力电容器内部介质中的局部电场强度高,达到了介质内部介电常数相对较低的液体、气体或其他杂质的击穿场强,从而产生局部放电,逐渐使介质的绝缘性能老化,最终导致电容元件绝缘击穿;其特点是击穿过程不是一蹴而就,由非贯穿电极的局部击穿逐渐发展为贯穿性绝缘击穿故障。

1.2 熔丝熔断

熔丝保护是电力电容器最常用的保护方式之一,对成套补偿装置的安全稳定运行发挥着重要作用。熔丝保护可以分为外熔丝保护与内熔丝保护,外熔丝保护原理为:当电力电容器内部出现电容元

件击穿故障时,使流经电力电容器与外熔丝的故障电流增大,当故障电流达到外熔丝的额定熔断电流时,熔丝就会发热,打破热平衡状态,最终使熔丝熔断,使故障电容器退出运行,避免事故进一步扩大。内熔丝的保护原理为:当电力电容器内部出现电容元件击穿故障时,与之并联的电容元件都会对其放电,此时故障电容元件支路流经的电流为幅值高、衰减快的暂态电流,暂态电流产生的能量会与之串联的内熔丝熔断,隔离故障电容元件,维持电力电容器的正常运行。

实际运行发现,当外熔丝选型不当或接线端子出现接触不良等状况时会导致在电力电容器正常运行情况下熔丝的异常熔断,从而误隔离正常运行的电力电容器,降低无功出力。若内熔丝选型不能满足电容元件故障隔离的要求时,即当电容器内部电容元件击穿时,熔丝不能及时熔断以快速隔离故障区域,则会造成故障现象更为严重,甚至会导致电力电容器的爆炸起火事故。

1.3 内部短路故障

电力电容器的内部短路故障主要包括内部带电极板对外壳短路、内部极间短路两种形式。内部短路故障主要是由于电容器在长期运行中绝缘介质老化、内部绝缘受潮、承受过电压,或者电容器本身设计、制造过程中存在绝缘缺陷,都会导致电容器发生贯穿性绝缘击穿现象,引起内部短路故障^[7]。

1.4 外部放电故障

电力电容器外部放电故障是指发生在电容器本体外部,由外部因素所造成的故障,如:套管沿面闪络、套管击穿损坏、相间或对地短路以及套管瓷瓶受应力裂纹等等。此类故障发生的原因和故障形式比较多,但由于发生在电容器本体以外的电气回路,一般可以通过继电保护装置动作、日常巡检、离线试验等方式及时加以处理和有效避免,故障发生概率和自身危害程度都要低于内部故障,但也应该引起足够重视^[8]。

2 电力电容器常见故障特征及原因

2.1 电容器本体渗漏油

电力电容器作为全密封、高场强、大电流设备,若出现渗漏油现象,不仅会因绝缘油液面下降,直接造成内部绝缘水平降低,还会因为内部压力降低造成外部潮气侵入,引起内部绝缘受潮、绝缘电阻降低,最终导致内部电容元件的击穿放电,甚至发

生爆炸事故。

造成渗漏油现象的原因也是多方面的,主要包括:焊接工艺差造成壳体密封不良;密封胶垫老化或受力不均匀;运输或安装过程中因挤压碰撞而损坏^[9];运行维护不当,长期运行缺乏维修导致外壳锈蚀;机械应力破坏了套管的密封等等。

2.2 电容器壳体变形

电力电容器在正常运行条件下允许壳体随温度和电压变化发生少许鼓胀或收缩^[10-11]。但当电容器内部运行场强过高,导致其内部发生局部放电或出现短路故障时,绝缘介质会分解出大量气体,致使密封电容器内部压力增大,造成电容器的壳体膨胀变形。电容器壳体一旦发生了严重的膨胀变形,将无法进行现场修复,只能进行更换。

电力电容器壳体变形不仅会使其内部绝缘进一步恶化^[12],也会对电力电容器电气结构造成破坏,改变固有电气绝缘距离。箱体膨胀导致套管断裂,见图1。因此,需要对电力电容器壳体变形故障引起足够的重视,如不及时处理,将会导致故障进一步扩大,甚至引起爆炸火灾事故。



图1 电容器箱体膨胀导致绝缘套管断裂
Fig. 1 Insulation bushing breakage due to expansion of the capacitor casing

电力电容器壳体变形主要是产品质量问题引起,如:电极与绝缘介质的材质质量差、选用的绝缘油不具有吸气特性、电容器的生产环境与工艺不达标、制造过程中内部残留杂质、盲目追求比特性指标、壳体材料过薄等等。

2.3 电容器温升异常

电力电容器温升异常主要由运行环境通风条件差或长期过电流所导致。如:电容器室空间设计和通风装置的安装位置不合理,造成通风散热不畅;电容器长时间过电压运行引起的过流发热增加;整流装置产生的高次谐波也会使电容器过流发热。除此之外,电容器介质老化、绝缘受潮、内部元件故障等也会增加功率损耗而导致电力电容器的

温升异常。

电力电容器温升异常导致电容器本体的温度过高,将会进一步加剧内部绝缘介质的热老化,使介质的绝缘强度降低,甚至造成电容器内部发生局部放电故障。电力电容器使用寿命与其运行温度大致遵循“8°规则”,即超过设计允许运行温度后,电力电容器的实际运行温度每升高8°,使用寿命减少一半。

2.4 电容器套管表面闪络放电

电力电容器成套装置的元器件空间布置一般都比较紧凑,运行时的周围环境温度和电场强度都比较高,极易吸附空气中的带电颗粒,导致套管表面容易聚集污秽、表面泄漏电流增大,进而在电网谐波与系统电压的作用下,使套管瓷瓶发生局部的沿面电弧放电,当脏污积聚到一定程度时,就会造成套管沿面闪络放电,并发出异常声响,严重时引起外部对地短路故障。

2.5 电容器声响异常

电力电容器由于是一种静止无功补偿电器,无机械动作和电气励磁结构单元,因此,在正常运行情况下不应该发出任何声响。运行中一旦电容器内部出现异常声响,则有可能是电容器内部存在高能量的局部放电现象,需要将设备立即停运。

2.6 电容器爆裂

电力电容器爆裂是一种恶性事故,造成的损失巨大。通常在内部电容元件发生极间或对外壳绝缘击穿形成贯穿性短路故障时,与其并联运行的其他电容器将对故障的电容器充放电,如果注入电容器的能量大于壳体所能承受的爆破能量,则电力电容器发生爆裂喷油^[13],引起火灾事故,危及全站设备运行安全,甚至造成人身伤亡事故。整组电容器连锁爆裂事故见图2,即是由内部电容元件的击穿造成,电容元件击穿情况见图3。



图2 整组电容器爆裂
Fig. 2 Burst of entire set of capacitor



图3 电容单元击穿
Fig. 3 Breakdown of capacitor unit

2.7 电容器组连接头发热

电力电容器组一旦投入即在满负载状态下运行,由于在运行过程中回路电流较大,若电容器组内部各连接头处接触不良、设计或安装工艺不当、维护不到位,均会导致设备连接处异常发热。长期过热运行,可能会由于能量过大而使其连接线熔断。电力电容器连接头发热故障十分普遍,连接头熔断情况见图4。



图4 连接头熔断
Fig. 4 Connection fuses

3 事故预防措施

3.1 保证设备制造及安装调试质量

电力电容器设备制造质量是其安全运行的重要前提,在电容器生产过程中应严格工艺流程,选用合格的原材料及生产装备,加强过程质量监督,并通过出厂检验从严把关,从源头上确保产品的制造质量。现场安装应合理“分相、分组”,保证“相与相”、“段与段”之间的电容量平衡匹配。同时,应加强安装后的现场交接验收,确保安装调试质量,降低运行中故障发生概率。

3.2 改善操作和运行方式

1)在对线路负载进行停送电操作时,电力电容器组必须遵循“先断后合”的操作原则,而各路负载出线应按照“先合后断”的操作原则,不可以随便更

改操作顺序。

2)电力电容器恢复运行时应保证具有充足的放电时间。电容器组应尽量减少频繁投切;必须按照规程的规定确保电容器组充分放电才可以进行下次合闸操作;若保护装置动作跳开了故障电容器组,不可在故障原因查明之前,再次投入电容器组,以防事故范围扩大。

3)为避免高次谐波对电力电容器组造成影响,应根据具体使用场所合理选择电抗率,以有效抑制高次谐波,减小电容器组的合闸涌流和过电压,保证成套装置安全运行。

3.3 控制运行环境温度

电力电容器的运行温度与其自身性能、运行环境等因素密切相关,当电力电容器的环境温度过高时,将加快电介质的绝缘老化速度,缩短电容器使用寿命,所以应对电容器运行环境温度进行控制。安装在室内运行的电容器组,应通风良好并尽可能加装自动控温装置;室外运行的电容器组,一方面要防止太阳直射造成局部温度异常,另一方面要保证其具有良好的通风散热条件。同时,应定期对电容器组及其成套设备进行带电红外测温,便于采取相应措施,以保证其内部介质温度及运行环境温度低于规程的规定值。

3.4 实现设备运行状态在线监测

对电力电容器加装在线监测装置,实现在线监测有利于获取设备运行的实时状态量,以确保及时发现故障隐患并制定检修策略进行处理。

1)对电力电容器实际运行电压进行在线监测。电力电容器在长期过电压条件下运行,回路电流增大,会导致电容器的温升过高,加速介质绝缘老化,极易造成电容器绝缘击穿故障。国家有关标准规定:电力电容器的运行电压在 $1.1U_N$ (U_N 为电容器额定电压)下时,每24 h的最长持续运行时间为12 h;在 $1.15U_N$ 下时,每24 h的最长持续运行时间为30 min。因此有必要对电力电容器自身的运行电压进行在线监测。

2)对电力电容器故障特征状态量进行在线监测。实现对电力电容器的局放、介损、电容量、泄漏电流、有功损耗等特征信号的在线监测,一方面可以根据状态量对电容器故障进行判断隔离,避免事故扩大引起不必要损失。另一方面可以通过对状态量的变化范围及趋势对电力电容器的潜在缺陷进行分析,实现对故障的预判断,并对潜在故障进行预警。

3.5 加强设备日常运行巡视

加强设备日常巡视是保障电容器组正常运行

的重要环节之一,应重点对电力电容器组的壳体是否形变,有无渗漏油,套管瓷瓶污秽程度、有无放电痕迹,是否存在悬挂异物以及电气距离、环境温度等进行巡视检查,还可采用辅助手段,比如红外测温、示温蜡片等对其接头有无发热现象进行检测,以及对设备进行维护,保障电力电容器成套装置的安全运行。

4 结语

本文通过对电力电容器的故障机理、故障特征及故障原因进行分析,分别从设备及安装调试质量、操作和运行方式、控制运行环境温度、运行状态在线监测、日常巡视等5个方面提出了相应的事故预防措施,为电力电容器实际应用提供参考,具有现实指导意义。

参考文献

- [1] 咸日常,李其伟,孙学锋,等.基于状态量监测的电力电容器故障诊断技术的研究[J].电力电容器与无功补偿,2018,39(3):5-10.
XIAN Richang, LI Qiwei, SUN Xuefeng, et al. Research on fault diagnosis technology of power capacitor based on state quantity monitoring[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(3): 5-10.
- [2] 王振河,咸日常,李其伟,等.基于模糊理论算法的电力电容器绝缘故障诊断技术研究[J].电器与能效管理技术,2018(23):24-29.
WANG Zhenhe, XIAN Richang, LI Qiwei, et al. Fault diagnosis technology of power capacitor insulation based on fuzzy theory algorithm [J]. Electrical and Energy Efficiency Management Technology, 2018(23): 24-29.
- [3] 马勇,范忠,张照辉,等.江苏电力电容器缺陷统计分析[J].电力电容器与无功补偿,2018,39(3):16-20.
MA Yong, FAN Zhong, ZHANG Zhaohui, et al. Statistical analysis of Jiangsu power capacitor defects[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(3): 16-20.
- [4] 荀华,张翔宇,李国浩,等.内蒙古电网并联电容器装置缺陷统计分析[J].内蒙古电力技术,2017,35(2):10-14.
XUN Hua, ZHANG Xiangyu, LI Guohao, et al. Statistical analysis of defects of parallel capacitor devices in Inner Mongolia power grid[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2017, 35(2): 10-14.
- [5] 宋森,电力行业电力电容器标准化技术委员会.并联电容器装置技术及应用[M].北京:中国电力出版社,2011.
- [6] 巩晓璇,郭昆丽,吴媛,等.某110 kV变电站并联电容器故障分析与对策研究[J].电工电气,2018(4):35-39.
GONG Xiaoxuan, GUO Kunli, WU Yuan, et al. Failure analysis and countermeasure research of shunt capacitor in a 110 kV substation[J]. Electrical Engineering, 2018(4): 35-39.
- [7] 黄斌,李昊,徐姗姗,等.一起35 kV并联电容器组爆炸原因分析及防范措施[J].电力电容器与无功补偿,2018,39(1):23-27.
HUANG Bin, LI Hao, XU Shanshan, et al. Analysis of explosion causes and preventive measures for a 35 kV shunt capacitor bank[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(1): 23-27.
- [8] 朱裕庆.内熔丝式电容器击穿故障特征分析[D].济南:山东大学,2018.
- [9] 邹振球.高压电容器组成套装置运行故障的分析[J].黑龙江科技信息,2016(6):57.
ZOU Zhenqiu. Analysis of operation faults of high voltage capacitor assembly devices[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2016(6): 57.
- [10] 卢旭日,刘道生,李家晨,等.箱式变电站电容器故障案例分析[J].电力电容器与无功补偿,2018,39(5):184-188.
LU Xuri, LIU Daosheng, LI Jiachen, et al. Case analysis of capacitor failure in box substation[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(5): 184-188.
- [11] 赖文贤.变电站10 kV电容器故障分析与运行维护探讨[J].工程技术研究,2018(8):180-181.
LAI Wenxian. Discussion on fault analysis and operation maintenance of 10 kV capacitor in substation[J]. Engineering and Technology Research, 2018(8): 180-181.
- [12] 魏超峰,张博,唐钰政,等.无功补偿电容器常见故障分析与预防[J].电力电容器与无功补偿,2017,38(4):110-114.
WEI Chaofeng, ZHANG Bo, TANG Yuzheng, et al. Analysis and prevention of common faults of reactive power compensation capacitors[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2017, 38(4): 110-114.
- [13] 张建军,李雪,李岩.高压并联电容器装置运行可靠性的运维改进措施[J].电力电容器与无功补偿,2018,39(2):1-5.
ZHANG Jianjun, LI Xue, LI Yan. Operation and maintenance improvement measures for operation reliability of high voltage shunt capacitor device[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(2): 1-5.

作者简介:

王振河(1966—),男,高级工程师,从事电力系统生产技术管理工作。

陈天(1999—),男,大学本科,电气工程专业,主要研究方向为电力电容器状态诊断技术。

咸日常(1965—),男,教授,主要研究方向为输变电设备状态监测与故障分析技术。

梁东(1993—),男,硕士研究生,主要研究方向为电力电容器状态监测技术。