

变压器水喷雾灭火系统试验方法的改进与应用

吴翰彬¹ 张俊康² 陈思宇² 王辉煌² 叶华² 阮传猛²

(1. 长安大学 2. 国网福建省电力有限公司泉州供电公司)

摘要: 目前水喷雾是变电站大型变压器最常用的固定灭火方式,为保证其功能完备性,需定期功能试验、检查维护。日常定期检查维护较为简单,但是实际动作检验只在变压器停电检修时,则可能造成系统设备长期未得到动作检验,设备部件故障无法及时发现并修复,严重影响系统正常运行。本文通过对水喷雾灭火系统原理、结构、常规试验方法等进行分析,优化设备组成,提出全系统不停电试验的方法,经过现场实践,能有效验证系统设备完好性,对整个变电站安全稳定运行具有重要意义。

关键词: 变压器; 水喷雾; 消防; 维护试验

0 引言

变压器作为电力系统的重要组成部分之一,相对于干式变压器,油浸式变压器本体含有大量易燃物质,如变压器油、绝缘材料等,当变压器发生过载、短路等事故时,变压器油和可燃绝缘材料在高温和电弧的作用下被分解,放出大量烷烃类气体,使得变压器内部压力剧增,进而造成变压器外壳爆裂,大量的油喷出燃烧,引发火灾^[1]。因此,对变压器火灾的防范是保障电力设备安全,保障电网可靠供电的重要课题。《电力设备典型消防规程》^[2](DL 5027—2015)第10.3.1条第1款要求,变电站(换流站)单台容量为125MVA及以上的油浸式变压器应设置固定自动灭火系统及火灾自动报警系统,目前常见的三种

灭火系统为泡沫喷淋灭火系统、排油注氮灭火系统和水喷雾灭火系统。

随着水喷雾灭火系统的相关规范及系统产品的配套生产的不断完善,水喷雾灭火系统这些年在国内变压器灭火系统中成为最常用的一种方式^[3]。变压器水喷雾灭火系统的功能维护以消防维保和停电传动检查两种方式为主^[4]。为保证水喷雾灭火系统完好,每年至少应有一次结合停电对变压器水喷雾灭火系统进行全面试验,以便发现水喷雾灭火系统存在的问题并及时处理^[5]。然而,受制于供电负荷以及电网供电可靠性等问题,变压器实际停电检修周期较长,无法实现一年一检的要求。水喷雾灭火系统长期没有全系统全压动作检验,电磁阀、蝶阀等主要设备组件故障不

能及时发现，如图 1 所示，无法保证其在变压器发生火灾时能够正确可靠动作。因此，亟需研究不停电情况下系统的试验方法，文献 [6] 提出了一种变压器不停电时的水喷雾灭火系统传动检验方法，通过做好关闭雨淋阀、检修阀防止误喷运行变压器等措施后，以模拟火灾所需输入信号的方式进行火警测试来检查水喷雾灭火系统功能的完备性，文献 [7] 对不停电状况下变压器火灾消防系统改造方案的设计及实现进行介绍，而目前鲜见对变压器不停电全系统实际动作验证方面的研究。



图 1 蝶阀故障图

针对变压器停电检修周期长的现状，本文通过改进水喷雾灭火系统结构，提出一种变压器不停电时的水喷雾灭火系统试验方法。该方法解决了水喷雾灭火系统试验需变压器停电的问题，为完善变压器水喷雾灭火系统功能提出了实用性实施方案。

1 水喷雾系统灭火原理

水喷雾能够对着火的变压器起到降温作用，同时灭火过程中产生的水蒸气也能够稀释变压器附近的空气，降低氧气浓度，对火源起到一定的窒息作用^[8]。水喷雾系统作为变压器固定消防装置，当变压器发生火灾时，其布设于变压器外壳的两条感温探测电缆受热（105℃）融化，当两条感温电缆同时报警（或者通过终端模拟报警）且变压器三侧开关跳闸，报警控制器启动与变压器相对应的雨淋阀上的电磁阀排水，

雨淋阀动作，迅速启动消防主泵向消防主管送水，以喷射不连续的间断细小水滴。当水喷到燃烧物体表面后瞬间形成的大量水蒸气把着火面覆盖，燃烧区氧气的浓度不断下降，从而达到灭火目的。

2 控制方式

水喷雾系统有自动、就地手动、远方手动等几种启动方式。当变压器起火后，为安全起见，水喷雾系统应在设备确实断电的情况下进行喷雾灭火^[9]，变压器停电（各侧开关在分闸位置）通常作为灭火系统的启动条件之一。以自动控制方式为例，流程如图 2 所示。

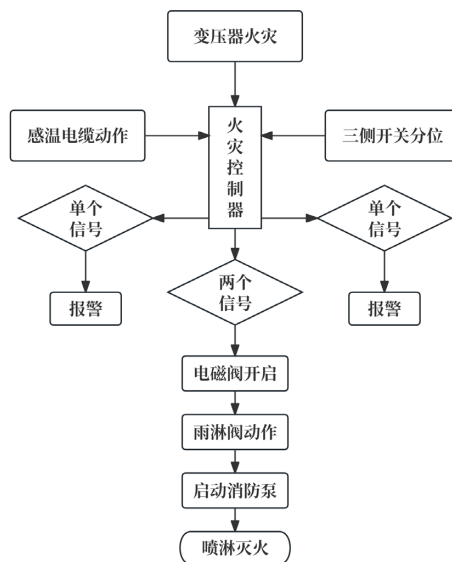


图 2 水喷雾系统灭火流程图

设置水喷雾系统消防泵电源断路器启动条件的逻辑闭锁关系，以提高变压器水喷雾灭火系统和变压器安全可靠。在变压器消防报警主机联动设置联锁条件：火灾报警主机只有监测到同一台变压器的感温电缆及三侧开关断路器相继动作跳开后的信号后，系统才会判定这台变压器起火，火灾报警联动控制系统将自动打开这台变压器的雨淋阀组的电磁阀开关进行水喷雾灭火。如果变压器火灾报警主机只监测到变压器

的感温电缆高温报警或变压器三侧断路器动作报警信号，因未同时满足两项闭锁条件，控制系统不会打开任何一台变压器的雨淋阀组的电磁阀开关进行喷雾，此时仅有消防泵在转动，水管充满水，系统不会启动雨淋组电磁阀，执行喷水动作。

3 传统水喷雾系统试验方法

管道防锈、防杂物、南方防藻菌、北方防冻等都是固定式管道水喷雾系统难以解决的问题^[10]，因此，系统需定期检查试验维护。水喷雾灭火系统试验分为停电和不停电两种类型，结合变压器停电进行水喷雾系统实喷测试，检查系统“手动”“自动”及机械应急启动三种操作状态时的启动是否正常，检查自动控制系统能否正常工作。变压器不停电情况下，水喷雾灭火系统投运后一般每季度开展一次检查维护。

3.1 变压器停电试验方法

确认检修变压器三侧开关在冷备用状态，手动使断路器合闸，模拟变压器处于正常运行状态。通过改变变压器本体上的感温电缆终端盒的开关信号状态，模拟变压器套管处温度越限，这时消防报警主机继续监测变压器三侧开关是否变位，人工使其三侧断路器分闸，模拟变压器事故跳闸的状态。此时，水喷雾系统断路器启动条件满足，消防报警联动控制系统打开雨淋阀的控制开关使电磁阀动作排水，使隔膜腔内的隔膜因失压而被供水压力顶开，水流进入网管流出，开始喷水，另有少量水经过压力开关，流向水力警铃，雨淋阀上的“压力开关”及“水力警铃”动作报警，当压力降到0.2MPa时，启动消防水泵进行喷水。

3.2 变压器不停电检查维护内容

在水喷雾灭火系统准工作状态下，整体及部件外观检查，系统各组件单独开展相关测试，未实际联动

动作试验。

1) 电机测试，拆开电机接线盒内的导线连接片，用500V兆欧表测试电机绕组相与相、相对地间的绝缘电阻值应不低于0.5MΩ，电机接线盒内三相导线及连接片牢固紧密。

2) 水泵测试，分别快速手动启动泵，查看是否工作正常，有无异常声音，对轴承及机械磨损部件加油。

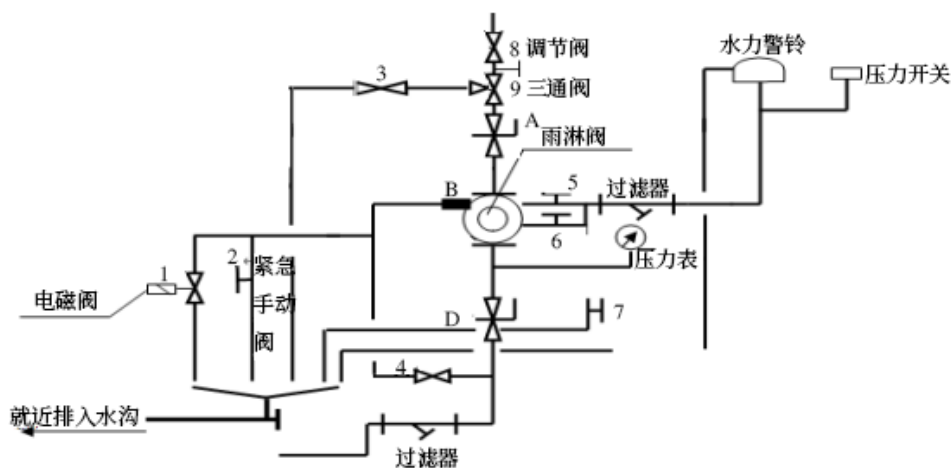
3) 压力表测试，输出电接点压力表试验，查看各触点是否工作正常。

4) 管道测试，管道压力试验检查，检查对管网进行减压，让软接头、橡胶垫片、支架等松弛后，检查并加固各部件后再缓慢升压至正常值。

4 水喷雾系统结构优化设计

在总结以往水喷雾灭火系统结构及试验方法的基础上，对结构提出优化的设想，新结构在变压器不停电的情况下，水喷雾系统仍可以进行全系统设备试验，试验时不至于误喷导致变压器跳闸。

传统变压器水喷雾灭火系统主要由控制系统、补水设备、给水系统、雨淋阀组、配水管道、水雾喷头及火灾探测装置等几部分组成，给水系统包括消防水池、消防水泵等，雨淋阀组包括紧急手动操作阀、联动电磁阀、复位球阀、雨淋阀、出口信号蝶阀、进水信号蝶阀、隔膜腔加压阀、试警铃球阀、试验排水阀、警铃检修球阀等。本方案在出口信号蝶阀与出水侧管道间增设双工位三通阀（简称旁路阀），经试验排水阀通过管道连接至消防水池，旁路阀与现场喷淋系统间增设调节阀，通过调节阀控制现场喷淋阀门的开启与关闭，当进行不停电试验时，通过调节阀关闭主变出口阀门，进行不通电灭火试验，同时也能控制消防水系统中流体的流量，确保消防供水系统在设定的压力下正常工作，如图3所示。



1—联动电磁阀 2—紧急手动操作阀 3—试验排水阀 4—压力室进水阀 5—通水力警铃间阀 6—雨淋阀体放水阀 7—放水阀 8—调节阀 9—三通阀 A—出口信号蝶阀 B—压力室 C—锁紧块转动销 D—进水信号蝶阀

图3 水喷雾系统示意图

5 变压器不停电灭火系统试验方法

本文所述变压器不停电水喷雾灭火系统的试验方法，两种方式如图4所示，通过调节阀控制现场喷淋阀门的开启与关闭，当进行不停电试验时，通过调节阀调小主变喷雾出口阀门，进行不通电灭火试验，控制消防水系统中流体的流量，现场水喷雾喷头在远低于额定水压下喷淋工作试验；大部分水流通过旁路阀改变路径，使消防水系统水流回消防水池。

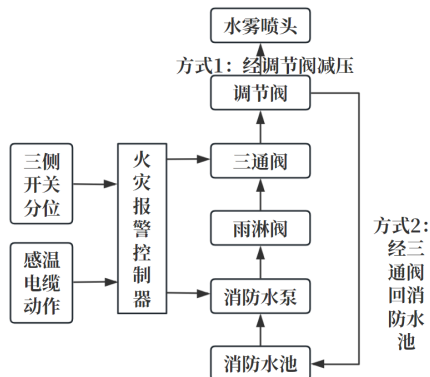


图4 变压器水喷雾灭火系统传动原理图

假设总水流量 Q 一定，调节阀通过控制流量可通过 l 控制主变水喷雾喷头的水流量 Q_2 ，如式（1）

所示。当调节阀控制主变水喷雾喷头的水流量压力不足 0.1MPa 时，主变喷雾出口无法成雾，即不对运行主变造成影响，并且其余水量通过试验排水阀流回消防水池。

$$\begin{cases} Q = Q_1 + \lambda Q_2 \\ 0 \leq \lambda \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

方式1：调整调节阀设定值为 0.1MPa ，打开旁路阀至旁路位置，在火灾报警控制器输入信号采集端子排处，短接三侧断路器端子和感温电缆信号端子，水喷雾系统启动条件满足，消防报警联动控制系统打开雨淋阀的控制开关使电磁阀动作排水，使隔膜腔内的隔膜因失压而被供水压力顶开，水流进入网管流出，水雾喷头有水流出。少量水经过压力开关，流向水力警铃，雨淋阀上的“压力开关”及“水力警铃”动作报警，当压力降到 0.1MPa 时，启动消防水泵进行喷水，经调节阀控制，试验排水阀大量水射出，主变喷雾出口阀门水流量小不成雾，大量水回流至消防水池。此方法可检验控制系统、补压设备、消防给水系统、雨淋阀组运行情况，配水管道是否畅通，还可检验喷淋端水雾喷头是否堵塞。

方式2：打开旁路阀至旁路位置，控制调节阀门为全关闭状态，打开试验排水阀，消防报警联动控制系统打开雨淋阀的控制开关使电磁阀动作排水，使隔膜腔内的隔膜因失压而被供水压力顶开，水流进入网管到达，水雾喷头有水流出。少量水经过压力开关，流向水力警铃，雨淋阀上的“压力开关”及“水力警铃”动作报警，当压力降到0.1MPa时，启动消防水泵进行喷水，水流进入网管经旁路阀流回消防水池。此方法可检验除水雾喷头外的全系统设备在正常压力下的运行情况。

6 现场应用

结合本地区220kV石院、埔当等基建变电站变压器水喷雾灭火系统验收，应用本方法，模拟变压器不停电状态下，对系统进行整体传动检验，水喷雾灭火系统成功完成执行，达到预期效果，如图5所示。



图5 水喷雾灭火系统试验效果图

由上述现场应用可见，变压器不停电时的水喷雾灭火系统传动检验方法，可以在变压器不停电的情况下，对变压器水喷雾灭火系统进行有效传动检查维护，能够及时发现系统组件缺陷，提高了变压器水喷雾灭火系统维护的有效性和正确性。

7 结束语

针对目前水喷雾灭火系统检验方法的缺点和不足，本文提出了全系统不停电试验的方法。通过增设出水端调节阀，控制出水端水流量，模拟火灾启动所

需条件信号的方式进行测试，检查水喷雾灭火系统功能的完备性。通过现场实际应用，该方法不需要变压器停电，可以有效地对系统中的相关设备及功能进行验证，具有广泛应用推广价值。

参考文献

- [1] 傅胜兰, 黄建伟, 林洁. 油浸电力变压器消防设计技术研究 [J]. 消防科学与技术, 2010, 29 (12): 1089-1091.
- [2] DL 5027—2015 电力设备典型消防规程 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- [3] 王清. 500kV 变电所变压器灭火系统 [J]. 湖北电力, 2004 (S1): 18-21.
- [4] 王佳琳, 陈梁远. 变压器消防喷雾系统运行维护探讨 [J]. 广西电力, 2018, 41 (6): 38-40.
- [5] 王勇兵. 变电站主变压器喷淋系统运维问题探讨 [J]. 技术与市场, 2013, 20 (7): 52-53.
- [6] 刘然, 张晓宇. 变压器不停电时的水喷雾灭火系统传动检验方法 [J]. 电世界, 2021, 62 (5): 4-8.
- [7] 韩静. 不停电状况下变压器火灾消防系统改造方案设计与实现 [J]. 电工技术, 2017 (3): 90-91, 122.
- [8] 汪亚龙, 黎昌海, 张佳庆, 等. 油浸式变压器火灾事故的特点与灭火对策研究 [J]. 安全与环境工程, 2019, 26 (6): 166-171.
- [9] 赵杰. 大型油浸变压器的水喷雾灭火系统设计 [J]. 工业用水与废水, 2009, 40 (5): 88-90.
- [10] 韩敏, 刘兴玉, 马煜峰. 电力变压器的火灾起因与消防 [J]. 消防技术与产品信息, 2002 (5): 27-32.

(收稿日期: 2024-02-27)