

水喷雾系统灭油浸变压器火灾试验研究

智会强¹, 秘义行¹, 高志成²

(1 公安部天津消防研究所, 天津, 300381;

2 杭州安士城消防器材有限公司, 浙江, 杭州, 311100)

摘要: 目前, 大型油浸变压器大多设置了水喷雾灭火系统, 但国内外并未开展过大型实体试验研究。为此, 在对变压器的火灾模式进行分析研究的基础上, 建立了油浸变压器实体试验模型, 对不同条件下变压器绝缘子根部爆裂火灾进行了多次灭火试验, 试验研究表明, 水喷雾系统可以有效扑灭变压器绝缘子根部爆裂初期火灾, 但当变压器内外形成良好的通风条件时, 灭火困难, 但可以有效控火。另外, 结合相关试验, 对水喷雾用于变压器时的电绝缘性能进行了分析。最后, 在试验基础上, 对变压器的水喷雾系统设置提出了建议。

关键词: 水喷雾系统, 灭火试验, 油浸变压器

Test Study on fire extinguishing performance of Water Spray fire protection Systems on Oil-immersed Transformer fire

ZHI Hui-Qiang¹, BI Yi-xing¹, Gao Zhi-cheng²

(1 Tianjin Fire Research Institute of MPS, Tianjin, 300381;

2 Hangzhou An shi-cheng fire Co. Ltd Zhejiang, Hangzhou, 311100)

Abstract: Water spray fire protection systems is widely-used in protecting large oil-immersed transformer at present, but large full scale fire test is not carried out. Fire mode of oil-immersed transformer is analyzed, and test model of oil-immersed transformer is built. A series of fire experiments are performed about insulator burst fire of oil-immersed transformer. The experimental results show that water spray fire protection systems can effectively extinguish insulator burst early fire, but when many insulators burst simultaneously, a good ventilation condition will form in the oil-immersed transformer, in that condition, the systems can not extinguish the fire, but can effectively control the fire. In addition, the electrical insulating properties of the water spray. is analyzed. Based on the test, some advices are put forward about the design of water spray fire protection systems.

Key words: water spray fire protection systems, fire extinguishing test, oil-immersed transformer.

0 引言

目前,水喷雾系统是油浸变压器采用最广泛的灭火系统,我国相关规范对油浸变压器灭火系统的设置均做了相应规定,如《建筑设计防火规范》(GB50016)规定单台容量在40MVA及以上的厂矿企业油浸电力变压器、单台容量在90MVA及以上的油浸电厂电力变压器,或单台容量在125MVA及以上的独立变电所油浸电力变压器应设水喷雾灭火系统^[1];《高层民用建筑设计防火规范》和《火力发电厂与变电站设计防火规范》也分别对油浸变压器采用水喷雾系统做了规定^[2,3]。《水喷雾灭火系统设计规范》(GB50219)对变压器水喷雾灭火系统的设计做了具体规定,规范的具体设计参数参照了国外相关标准^[4,5]。

随着水喷雾灭火系统在变压器上的广泛应用,国内相关单位相继进行了一些试验研究,但试验时一般用油盘代替变压器本体,由于其火灾模式和实际变压器的火灾模式有较大差距,试验并不能客观反映水喷雾对油浸变压器的灭火特性。因此,得到的试验数据对指导实际设计并无太大意义。从近年来的油浸变压器火灾案例来看,水喷雾灭火系统有成功的案例,亦有失败的案例。按规范设计的水喷雾系统能否有效扑灭变压器火灾,设计参数是否合理、经济,还有待于更深入的试验研究。为此,公安部天津消防研究所按照变压器的实际尺寸建造了试验模型,并进行了数次灭火试验研究,系统研究了水喷雾对变压器火灾的灭火特性。另外,结合相关试验,对水喷雾用于变压器时的电绝缘性能进行了分析。

1 油浸变压器的火灾特点

油浸变压器油箱内充装的变压器油是从原油中提炼出的以环烷基为主的烃类液体混合物,通常分为-25(凝点)号和-45号变压器油,常用的是-25号。变压器油的初馏点大于300℃。出厂时,其闪点都在140℃以上^[6],充装到变压器中并经过较长时间的工作后,因局部高温、高电压裂解,会产生少量的氢和轻烃,于是气相空间就有了气态可燃物。由于绝缘子中的气相空间最容易产生电火花,且绝缘子又是最薄弱部位,所以油浸变压器的初期火灾多表现为绝缘子根部的爆炸着火。油浸变压器油着火时,油品多处于较高温度,且在灭火系统动作之时,往往已燃烧了一定的时间,致使金属结构被加热到较高温度。所以,油浸变压器火灾的主要特点为油火与高温金属结构的共同作用。

通过对国内外若干起油浸变压器火灾案例进行归纳分析,可将变压器火灾模式分为三类:初期绝缘子根部爆裂火灾、油箱局部爆裂火灾、油箱整体爆裂火灾。其中以初期绝缘子根部爆裂火灾为主,油箱局部爆裂火灾多由绝缘子根部火灾发

展而成，油箱整体爆裂火灾罕见。从三种火灾模式来看，固定灭火系统能够扑救的火灾为绝缘子根部爆裂火灾与变压器油沿油箱外壁流向集油池的变压器油箱局部爆裂火灾，油箱整体爆裂火灾是各种固定灭火系统无法保护的。所以，水喷雾系统的设计应立足于扑救绝缘子根部爆裂火灾与变压器油沿油箱外壁流向集油池的变压器油箱局部爆裂火灾。

2 水喷雾灭火试验

2.1 试验设备及材料

试验设备及材料主要包括水喷雾灭火系统、辅助灭火系统、变压器模型、变压器油、摄像机、照相机、秒表、温度计、风速仪等。辅助灭火系统采用泡沫喷雾系统，主要是在变压器未能灭火的情况下，将火灾扑灭。

水雾喷头采用 B 型高速水雾喷头，布置在变压器周围的支架上，试验 1 采用 14 个喷头，变压器开孔部位未设喷头保护，喷头距变压器 1.8m，由于未能灭火，其他试验对喷头布置进行了改进，共采用 8 个喷头，其中 6 个喷头和变压器模型的 6 个开口相对，喷头距变压器 1.4 m。

试验采用的变压器模型照见图 1，变压器模型用钢板焊制而成，长 2500mm、宽 1600mm、高 1500mm，在变压器模型的两个斜面上各开有 3 个 $\Phi 460$ 的圆孔，用来模拟变压器发生火灾时，沿绝缘子开裂的情形，圆孔均匀布置。



图 1 试验模型

2.2 试验流程

主要试验流程如下：1) 试验准备：准备试验设备，向变压器内注入变压器油。2) 点火：点燃油箱内的油品，启动计时器、摄像机，记录试验中关键事件发生的时间，由于变压器油比较难于点燃，因此，油箱预先加入一定量的汽油，由汽油引燃变压器油；3) 预燃：为使火灾达到较大规模，模拟较为不利的火灾场景，点火后先让变压器油预燃 2~3min；4) 灭火：预燃结束后，开启水喷雾系

统进行灭火，观察并记录灭火情况，记录系统开始喷喷雾时间及灭火完成时间；
5) 灭火成功后，关闭系统，灭火失败时，开启辅助灭火系统进行灭火，分析失败原因，改进系统及设计参数，重新进行试验。

2.3 试验结果及分析

试验共进行了6次，每次试验变压器的开孔情况如下：试验1和试验2所有孔全开；试验3为3个开孔，开孔位于变压器模型的同一侧；试验4为4个开孔，变压器一侧开3孔，另一侧中间开孔；试验5为2个开孔，一侧中间开孔，一侧边上开孔；试验6为3个开孔，一侧两边开孔，一侧中间开孔。部分试验照片见图2，主要试验结果见表1。6次试验中3次灭火成功，3次灭火失败。

从试验可以看到，水喷雾灭变压器火灾时，水雾蒸发形成的水蒸气的窒息作用明显，可以较快控制火灾，在变压器开孔较少时，变压器内部和外部未形成良好通风条件，火灾规模小，水喷雾可以成功灭火。而在变压器开孔较多时，内、外部易形成良好通风条件，火灾规模大，较大的喷雾强度也难以灭火。一般情况下，变压器初期火灾规模较小，可能会只有个别绝缘套管爆裂，此时若水喷雾系统及时启动，则可有效扑灭火灾，但若火灾发展到一定规模时，如多个绝缘套管同时爆裂或油箱炸裂时，则水喷雾难以灭火，但此时靠水雾的冷却、窒息作用可以有效控制火灾，可为采取其他消防措施赢得时间。



图2 试验过程照片

表1 试验结果

试验编号	1	2	3	4	5	6
喷头数量(个)	14	8	8	8	8	8
喷头雾化角(°)	60	90	90	90	90	90
喷头和变压器距离(m)	1.8	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4

变压器开口数量 (个)	6	6	3	4	2	3
油层厚度 (mm)	50	50	50	50	50	50
预燃时间 (min : s)	3:00	2 : 03	2 : 06	2 : 27	1 : 41	2 : 34
供给强度 (L/min·m ²)	18.92	27	16.22	16.22	16.22	16.22
灭火时间 (min : s)	未灭火	未灭火	2 : 05	未灭火	1 : 05	1 : 08

3 水喷雾电绝缘性能试验

从灭火试验可以看到, 在变压器绝缘子升高座孔口设喷头保护有利于灭火。那么, 在带电情况下, 向高压电极喷洒水雾是否安全是相关人员比较关心的问题。公安部天津消防研究所曾利用大港地区深井消防用水进行过水喷雾带电喷淋时的绝缘程度试验, 喷雾用水电导率为 1700 μ s/cm (约为淡水的 4 倍)。试验用两个 110kV 绝缘子直立相连, 上部顶端放置高压电极, 下部底座放置接地极, 绝缘瓷瓶侧面放置直立方向接地极。试验时喷头距电极 2.3m, 水雾直接喷向高压电极, 喷头和绝缘瓷瓶夹角为 45°及 90°, 喷头工作压力为 0.4Mpa, 流量系数为 40, 雾化角为 120°, 试验时带电喷淋 1min。试验结果见表 2。

表 2 试验数据

喷头角度 (°)	两电极水平距离 (m)	试验电压 (相电压) (kV)	空载漏电流 (mA)	漏电电流 (mA)	对底座地极闪络	对水平地极闪络
45	3	240	50	50	无	无
45	2.8	240	50	50	无	无
45	2.6	240	50	50	无	无
90	2.6	240	50	50	无	无

上述试验表明, 水喷雾具有良好的电绝缘性, 直接喷向带电的高压电极时, 漏电电流十分微小, 且不会产生闪络现象。因此, 水喷雾系统用于变压器火灾的扑救是安全的。

4 结论和建议

通过对国内外典型变压器火灾进行调研和论证, 确定了油浸变压器的火灾模式, 进行了水喷雾系统灭油浸变压器火灾的模拟试验, 最后得到以下结论:

1) 油浸变压器火灾模式以初期绝缘子根部爆裂火灾为主, 水喷雾灭火系统设计应立足于扑救绝缘子根部爆裂火灾与变压器油沿油箱外壁流向集油池的变压器油箱局部爆裂火灾。

2) 对于变压器内部和外部未形成良好通风条件的初起火灾, 水喷雾可有效

灭火，而当多处绝缘子同时爆裂，内、外部易形成良好通风条件时，水喷雾系统可有效控火，但难以灭火。

3)由于变压器火灾模式以初期绝缘子根部爆裂火灾为主，从试验可以看到，当变压器开口部位有专门喷头覆盖时，有利于灭火。因此，灭火系统设计时，绝缘子根部宜有专门喷头覆盖。

参考文献：

- [1].GB50016-2006，建筑设计防火规范[S].
- [2].GB50055-95（2005年版），高层民用建筑建筑设计防火规范[S].
- [3].GB50229-2006，火力发电厂与变电所设计防火规范[S].
- [4].GB50219-95，水喷雾灭火系统设计规范[S].
- [5].NFPA15.Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection [S]
- [6].张德义.石油化工危险化学品手册[M].北京：中国石化出版社，2006。

——本文发表于《消防科学与技术》（2012年第12期）