

变电站户外电气设备防火距离研究

李海烽

(江苏省电力设计院,江苏南京 211102)

摘要:变电站户外电气设备的防火距离影响着设备总体布置,在设备布置的安全性和经济性之间寻求平衡,是十分必要的。鉴于目前相关标准不统一的现状,结合对防火原理的深层次分析,对户外电气设备的防火要求进行分类研究,归纳出指导工程设计的优化措施,以更好地适应变电站“两型一化”的建设要求。

关键词:防火距离;防火指向性;户外电气设备

中图分类号: TM63

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)02-0031-04

近年来,电网建设深入贯彻了“资源节约型”的指导方针,取得了显著的经济效益和社会效益。以变电站建设为例,将主要电气设备进行紧凑型优化布置可以节约宝贵的土地资源,但布置优化仍需满足电气设备的安装、运行维护、检修及防火等要求。长期以来,防火一直是变电站安全运行的重要内容,因而成为电力工程设计不可忽视的环节。为确保变电站的消防安全,预防火灾或减少火灾危害,国家多年来陆续编制了指导变电站内防火设计的相关标准和规定,一定程度上规范了变电站内电气设备防火设计标准。

1 变电站防火设计的现状

目前电力行业执行的国家标准和行业规范中,变电站防火设计的主要依据是 GB 50229—2006《火力发电厂与变电站设计防火规范》(以下简称《防火规范》)和 GB 50016—2006《建筑设计防火规范》(以下简称《建筑防火》),其他工艺设计规范对于变电站防火也有相关规定。

在诸多规范中,对于建(构)筑物的防火要求是最为明确和统一的,主要包括对建(构)筑物火灾危险性和耐火等级的规定,从而按照耐火等级来确定防火间距。由于没有争议,目前在工程设计中该防火间距或相关措施的规定均能严格准确地执行。相对建(构)筑物而言,电气设备尤其是户外布置时的防火要求并不十分清晰,主要缘于各标准和规范的内容不尽统一,造成工程设计时不容易把握。以 35 kV 户外成套拼装式电容器为例,对于与相邻电容器、电气设备或构架的防火距离就没有统一规定,如果按照最为保守的数值(比如 10 m)来控制或者一律设置防火墙,将使得空间布置过大造成土地浪费,或者增加了不必要的防火墙建筑成本。可以看出,设计标准的不统一无法满足变电站“两型一化”建设要求,防火设计的标准必须进一步明确,更易于指导工程设计。

2 电气设备的防火原理分析

电气设备的防火主要针对带油设备,设备按照含油量来确定相应的防火标准,这是各标准和规范都明确的。即使在 GB 50016—2006《建筑设计防火规范》中,也可将带油电气设备归于丙类液体(闪点大于等于 60 °C)贮罐类别。GB 50229—2006《防火规范》中,针对油浸变压器的防火机理有着十分详细的说明。

油浸变压器内部贮有大量绝缘油,其闪点在 135~150 °C,与丙类液体贮罐相似,按照 GB 50016—2006《建筑设计防火规范》的规定,丙类液体贮罐之间的防火间距不应小于 $0.4D$ (D 为 2 个相邻贮罐中较大罐的直径)。可设想变压器长度为丙类液体贮罐的直径,通过对不同电压、不同容量的变压器之间的最小防火间距按 $0.4D$ 计算得出,考虑到油浸变压器的火灾危险性比丙类液体贮罐大,而且是变电站的核心设备,其重要性远大于丙类液体贮罐,所以规定防火间距应大于 $0.4D$ 。根据经验,变压器着火后,对地面的最大辐射强度是在与地面大致成 45° 的夹角范围内,要避免最大辐射温度,变压器之间的水平间距必须大于变压器的高度。因此,《防火规范》中将户外油浸变压器(含油量大于 2 500 kg)之间的防火间距按电压等级划分,如表 1 所示。

表 1 屋外油浸变压器之间的最小净距 m

电压等级	最小净距
35 kV 及以下	5
66 kV	6
110 kV	8
220 kV 及以上	10

另外,《防火规范》中 6.6.3 章节规定:“油量为 2 500 kg 及以上的变压器或电抗器与本回路油量为 600 kg 以上且 2 500 kg 以下的带油电气设备之间的防火间距不小于 5 m”。

3 电气设备的防火距离分析

综合前节变压器的防火机理,并结合变电站电气设备的运行要求,且设置设备防火距离主要基于设备含油量水平及相邻设备的重要性分类。

3.1 设备含油量水平。

一般来说,《防火规范》主要适用于含油量为 2 500 kg 及以上的电气设备的防火要求,也就是说变电站内电气设备具有的足够火灾危险性,即自身燃烧对于一定范围的辐射影响。由于设备含油量及外廓高度随着电压等级的提高而增大,因此不同电压等级的含油设备可以参照表 1 确定防火距离。另一方面,对于含油量为 2 500 kg 以下的电气设备防火不在《防火规范》规定范围,应参照《建筑防火》的丙类液体贮罐防火标准,采用不小于 $0.4D$ (D 为设备外廓长宽之和的一半数值,等效为罐体直径)的数值。

3.2 相邻设备的重要性分类

《防火规范》中 6.6.3 章节中,提出变压器与本回路 600~2 500 kg 的带油电气设备之间的防火间距可一律选择 5 m,从而不受变压器电压等级的限制。基于此,提出防火距离两端的相邻设备防火指向性的概念,以便进一步研究确定防火距离。防火指向性概念的提出,完全建立在相邻设备含油量和火灾危险性影响性评估的基础上。比如同一间隔的含油设备之间,当含油量达到规范标准时,相对不重要的设备对重要设备的防火要求就是彼此防火距离的主要决定因素。

3.3 防火距离分析

典型的 500 kV 变压器及无功装置场地如图 1 所示^[1],主要包括主变压器、35 kV 配电装置、35 kV 并联电容器及电抗器等设备。各电气设备一般按照功能区域进行布置,满足相互之间必要的电气距离、安装、巡视、运维及检修的空间要求,在此基础上进行设备防火距离的综合分析。

(1) 不同主变压器(例如图 1 中 1 号、2 号变压器)之间的防火距离严格按照《防火规范》要求,500 kV 等级采用 10 m 控制^[2],紧凑布置时如图设置满足标准的防火隔墙。大容量 500 kV 变压器一般采用单相型式,根据《防火规范》要求,同组变压器单相之间防火距离同上^[2],紧凑布置时设置满足标准的防火隔墙。目前变电站的典型布置均满足该要求。

(2) 主变压器与其他主变回路的配电装置、电容器及电抗器等电气设备的防火距离设置原则与不同主变压器之间的要求相同。

(3) 主变压器和本回路 35 kV 配电装置之间防火距离。35 kV 配电装置中主要含油设备为互感器,单台设备含油量一般少于 600 kg,按照《防火规范》,主变压

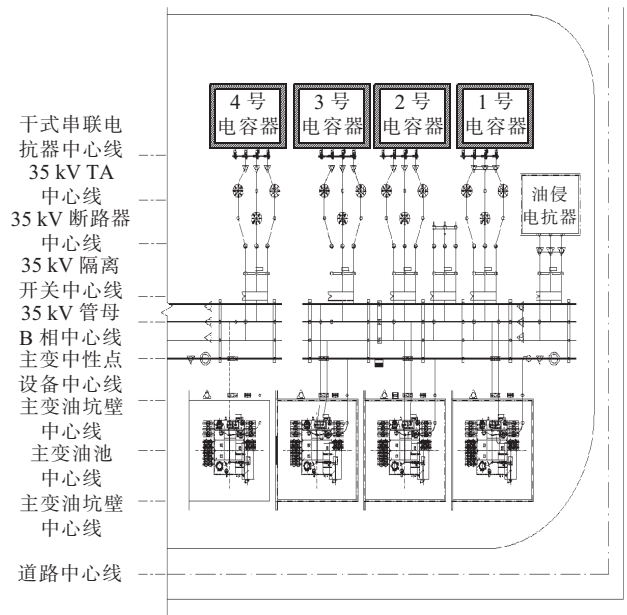


图 1 500 kV 变电站主变压器场地典型电气设备布置图

器对于由自身 35 kV 侧引接的配电装置电气设备没有规定防火要求^[2]。究其原因,是因为 35 kV 配电装置含油量小,火灾危险性及其延伸性影响小,因此防火设置是单向的,考虑到 35 kV 配电装置不向外出线,本质上是辅助变压器发挥功能,重要性上不如变压器本身,按照防火指向性概念,可根据《建筑防火》的丙类液罐的规定确定防火距离不小于 $0.4D$ (D 值为主变压器外廓长宽之和的一半取值^[3])。

(4) 主变压器和本回路中性点设备之间防火距离。分析同(3),考虑到重要性的不同,按照防火指向性概念,规定防火距离不小于 $0.4D$ (D 值为主变压器外廓长宽之和的一半取值)。

(5) 主变压器和本回路装配式电容器之间防火距离。装配式电容器由许多含油小单元组成,每个单元的含油量不多(约 10 kg),虽然总体含油量较高,但和相同含油量的单体设备在火灾上还是不能相提并论。考虑重要性不同,按照防火指向性概念,可根据《建筑防火》规定防火距离不小于 $0.4D$ (D 值为尺寸较大的主变压器外廓长宽之和的一半取值^[3])。

(6) 主变压器和大容量集合式电容器、油浸式电抗器之间防火距离。大容量集合式电容器和油浸式电抗器的单体含油量一般都超过了 2 500 kg。按《防火规范》中同电压等级变压器确定,以 500 kV 为例,防火距离设置为 10 m。

(7) 35 kV 电容器之间防火距离。并联电容器属于变电站的无功补偿装置,考虑到电容器投切需要满足母线电压波动及系统无功和电压的调节要求,一般每台变压器的电容器分为若干组。同一主变下的电容器(比如图 1 中的 2 号、3 号电容器)实质是发挥了同

一种功能,只不过由于电网系统的技术要求而进行分组,其在变电站的重要性可不分开单独考虑。电容器主要应用型式包括装配式和大容量集合式类型。对于装配式或单体油量不超过 2 500 kg 的集合式电容器,由于单体油量不大,因此同一变压器下各组电容器之间可参照《建筑防火》的丙类液罐的规定即 $0.4D$ 。以变电站常规的 60 Mvar 电容器为例,电容器本体最大的等效 D 值为 7~8 m,因此同台变压器下不同电容器本体之间的防火距离控制在 $0.4D$ 即 3.5 m 以内^[3]。不同变压器下各组电容器之间参照《防火规范》中同电压等级变压器,以 35 kV 为例,防火距离设置为 5 m^[2]。对于大容量集合式,单体油量超过 2 500 kg 时,彼此之间防火距离参照《防火规范》中同电压等级变压器,以 35 kV 为例,不论分属同一主变还是不同主变,防火距离一律设置为 5 m,否则应设置防火隔墙^[2]。

(8) 35 kV 电容器与相邻配电装置之间防火距离。分析同(7)。

(9) 35 kV 油浸并联电抗器之间防火距离。考虑到含油量超过 2 500 kg,因此同主变或不同主变下的油浸并联电抗器之间,均可参照《防火规范》中同电压等级变压器的防火要求设置防火距离。以 35 kV 为例,电抗器本体之间防火距离应设置为 5 m,否则应设置防火隔墙^[2]。

(10) 35 kV 电容器和电抗器之间防火距离。如采用油浸式电抗器,则参考上述(9)选择防火距离;如采用干式空心电抗器,则参考上述(7)选择防火距离。

(11) 工程中其他情况都可在上述(1)~(10)条中选择参照执行。

上述分析结果汇总如表 2 所示。目前国网公司的变电站典型设计方案中,设备均按照表 2 要求布置,否则设置防火隔墙。

4 规程规范的检验

为进一步与工程建设现状相协调,应结合现有规程规范和工程实践,检验前述按照设备含油量水平和重要性分类来确定防火距离的设计思想。

(1) GB 50016—2006《建筑设计防火规范》。电气含油设备可归于丙类液体贮罐,规范中 4.2.2 条地上丙类液体贮罐之间的防火间距为 $0.4D$,前文分析及应用结果皆大于 $0.4D$,满足本规范要求^[3]。

(2) GB 50229—2006《火力发电厂与变电站设计防火规范》。规范中 11.1.4 规定了变电站内各建(构)筑物及设备的防火间距,其中对于可燃介质电容器与变压器和配电装置的防火间距规定为 10 m^[2],在实际工程执行中有较多争议,建议可按照本文研究成果进行区别规定。

(3) GB 50227—2008《并联电容器装置设计规范》。规范中 9.1.1 条要求执行 GB 50229 的相关规定,与第(2)条一致^[4]。

(4) DL/T 5352—2006《高压配电装置设计技术规程》。规程中 8.5.5 和 8.5.7 条中规定了屋外油浸变压器之间、油浸变压器和本回路含有设备的最小防火间距,前文分析结果能满足本规范要求^[5]。

(5) DL 5027—1993《电力设备典型消防规程》。规程中 7.3.2 条规定了屋外油浸变压器之间、油浸变压器和本回路含有设备的最小防火间距,前文分析结果能满足本规范要求^[6]。规程中 7.6.3 条规定,室外布置的电力电容器与高压电气设备需要保持 5 m 及以上的距离^[6],并没有考虑防火指向性,建议以本文分析结果对设备进行重要性分类来确定防火距离。

(6)《国家电网公司输变电工程通用设计》。以通用设计方案中 500 kV 变电站主变压器场地为例,设备

表 2 变电站内主要电气设备防火间距设计

电气设备名称	主变压器	电容器(单台油量超过 2 500 kg)	电容器(单台油量 2 500 kg 以下)	油浸电抗器	配电装置及其他设备
主变压器	按主变电压等级设置	按主变电压等级设置	同回路为 $0.4D$ (D 按主变取值); 不同回路按主变电压等级设置	按主变电压等级设置	同回路为 $0.4D$ (D 按主变取值); 不同主变回路按主变电压等级设置
电容器(单台油量超过 2 500 kg)	按主变电压等级设置	按同电压等级主变设置	按主变电压等级设置	按主变电压等级设置	按同电压等级主变设置
电容器(单台油量 2 500 kg 以下)	同回路为 $0.4D$ (D 按主变取值); 不同回路按主变电压等级设置	按主变电压等级设置	同回路为 $0.4D$ (D 按电容器外廓取值); 不同回路按同电压等级主变设置	按同电压等级主变设置	按同电压等级主变设置
油浸电抗器	按主变电压等级设置	按主变电压等级设置	按主变电压等级设置	按同电压等级主变设置	按同电压等级主变设置
配电装置	同回路为 $0.4D$ (D 按主变取值); 不同主变回路按主变电压等级设置	按同电压等级主变设置	同主变下为 $0.4D$ (D 按电容器外廓取值); 不同主变按同电压等级主变设置	按同电压等级主变设置	—

布置的防火距离及隔墙的设置原则,与电气设备的防火距离分析结果一致^[1]。

5 结束语

变电站的防火是一项系统工程,与电网的运行密不可分,必须依靠丰富的理论依据和运行经验作为支撑。但现有规程和标准的规定并不明确,在指导防火工程建设中易引发争议,因此有必要对于防火距离开展深层次研究,从而寻求安全性和经济性之间的更加合理的平衡,这也符合当前电网建设“两型一化”的指导思想。

参考文献:

- [1] 国家电网公司. 国家电网公司输变电工程通用设计 110(66)~500 kV 变电站分册(2011年版)[M]. 北京:中国电力出版社, 2011.
- [2] GB 50229—2006,火力发电厂与变电站设计防火规范[S].
- [3] GB 50016—2006,建筑设计防火规范[S].
- [4] GB 50227—2008,并联电容器装置设计规范[S].
- [5] DL/T 5352—2006,高压配电装置设计技术规程[S].
- [6] DL 5027—1993,电力设备典型消防规程[S].

作者简介:

李海烽(1975),男,江苏南京人,高级工程师,从事变配电设计技术管理工作。

Research on the Fireproof Distance of the Outdoor Electrical Equipment in Substation

LI Hai-feng

(Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211102, China)

Abstract: The layout of the outdoor electrical equipment in substation is affected by the fireproof distance. It is extremely necessary for equipment layout to find a balance between the security and economy. But the relevant standard is not unified currently. To improve the situation, the fireproof requirement for outdoor equipment is studied by classification. Besides, to adapt to the requirement better for constructing the "Resource-saving, environment-friendly and industrialized substation", the optimization measures which can guide engineering design is also summarized.

Key words: fireproof distance; fireproof directivity; outdoor electrical equipment

(上接第 30 页)

- [8] 王智勇,罗隆福,许加株. 基于新型换流变压器偏磁特性仿真研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(3):325-329.
- [9] 肖燕彩,文继锋,袁源,等. 超高压直流系统中的换流变压器保护[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(9):91-94.
- [10] 张颖,邵能灵,徐斌,等. 高压直流输电系统阀短路保护动作特性分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(8):97-102.

作者简介:

文继锋(1978),男,江西萍乡人,高级工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作;

张晓宇(1981),男,吉林吉林市人,工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作;

程 骁(1978),男,河南安阳人,工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作;

熊 蕙(1977),女,湖北武汉人,工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作;

李海英(1972),男,内蒙古赤峰人,研究员级高级工程师,从事直流输电及继电保护研究与开发工作;

陈松林(1970),男,安徽六安人,研究员级高级工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作。

DC Bias and Saturation Protection of Converter Transformer

WEN Ji-feng, ZHANG Xiao-yu, CHENG Xiao, XIONG Hui, LI Hai-ying, CHEN Song-lin

(Nanjing NARI-relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper analyzes main causes of DC bias of converter transformer, and summarizes electrical characteristics of exciting current during DC bias of converter transformer and the mechanism of DC bias leading to damage of converter transformer. In addition, the principle of saturation protection of converter transformer and the implement method of the protection are introduced. Finally, points for attention in the engineering application of overexcitation protection of converter transformer are discussed.

Key words: converter transformer; DC bias; electrical characteristics; saturation protection; exciting current peak value