

Application of fire safety technology for power equipment under the background of smart grid

Lijun Zhang

Tianjin Huadian Nangang Thermal Power Co., Ltd., Tianjin, 300450, China

Abstract

The smart grid is the direction of development for modern power systems, integrating advanced information technology, communication technology, and power electronics to achieve intelligent and efficient operation of power systems. With the rapid development of smart grids at this stage, the scale and complexity of power equipment are continuously increasing, making fire safety issues more prominent. This paper delves into the characteristics and causes of fires in power equipment within smart grids and provides a detailed introduction to a series of fire safety technologies, including fire early warning monitoring technology, fire suppression technology, and flame retardant material technology, aiming to enhance the fire safety level of power equipment in smart grids, thereby ensuring the safe and stable operation of power systems.

Keywords

smart grid; power equipment; fire safety technology; fire warning; fire suppression

智能电网背景下的电力设备消防安全技术应用

张丽君

天津华电南疆热电有限公司, 中国·天津 300450

摘要

智能电网是现代电力系统的发展方向,其融合了先进的信息技术、通信技术和电力电子技术,可以实现电力系统的智能化、高效化运行。现阶段随着智能电网的快速发展,电力设备的规模和复杂性在不断地增加,当中所存在的消防安全问题愈发凸显。对此本文深入地剖析了智能电网中电力设备火灾的特点与成因,并详细地介绍了一系列消防安全技术,其中包括了火灾预警监测技术、灭火抑制技术以及阻燃材料技术等等,旨在提升智能电网中电力设备的消防安全水平,从而保障电力系统的安全稳定运行。

关键词

智能电网; 电力设备; 消防安全技术; 火灾预警; 灭火抑制

1 引言

因为智能电网中电力设备数量的增多、电压等级的提高以及运行环境的复杂化,致使电力设备发生火灾的风险在不断地增加。而一旦电力设备发生火灾,那么不仅会造成设备的损坏、电力供应中断,甚至还可能会引发人员伤亡和重大的财产损失,最终将对社会经济发展和人民生活产生严重的影响。所以研究智能电网背景下的电力设备消防安全技术具有重要的现实意义。

2 智能电网中电力设备火灾的特点与成因

2.1 火灾特点

2.1.1 火势蔓延迅速

智能电网中的电力设备通常安装比较密集,且存在着大量的电缆、母线等电气连接部件。如果发生了火灾,火焰便会迅速地沿着这些电气线路和设备的外壳蔓延,进而引发大面积的火灾。同时电力设备内部的绝缘材料在燃烧时,还会产生大量的可燃气体,其进一步助长了火势的蔓延。

2.1.2 电气故障引发火灾概率高

电力设备在运行的过程中,会受到高电压、大电流的作用,以及复杂的电磁环境影响,致使电气故障频繁地发生。目前常见的电气故障如短路、过载、接触不良等,都可能产生高温和电火花,即上述原因都可能会成为引发火灾的火源。据统计,在已发生的智能电网电力设备火灾事故当中,超过 70% 的火灾是由电气故障引起的^[1]。

【作者简介】张丽君(1988-),女,中国天津人,本科,助理工程师,从事仓库管理研究。

2.1.3 灭火难度大

因为智能电网中的电力设备大多处于带电运行状态，所以在灭火的过程中，就不能直接使用普通的灭火方法，以避免引发触电事故，从而确保灭火人员的生命安全。同时一些大型的电力设备，如变压器、GIS（气体绝缘金属封闭开关设备）等，其内部结构异常复杂，因而火灾发生时，灭火剂就难以深入到设备内部进行有效地灭火。此外电力设备火灾往往还伴随着有毒气体的产生，如SF₆气体在高温下分解产生的有毒气体，这也给灭火工作带来了极大的困难。

2.1.4 火灾损失巨大

在现代社会当中，智能电网是重要的基础设施。基于此，若电力设备发生了火灾，不单单会导致设备本身的损坏，还会引发大面积的停电事故，从而影响到工业生产、商业运营和居民生活。并且修复受损的电力设备需要耗费大量的时间和资金，这也进一步地增加了火灾造成的损失。

2.2 火灾成因

2.2.1 电气故障

(1) 短路故障：智能电网中电力设备的绝缘老化、损坏或者是受到外力的破坏，都可能会导致电气线路或设备内部发生短路。而短路时，电流会在瞬间增大，从而产生大量的热量，使周围的绝缘材料和设备部件的温度急剧地升高。当温度达到了可燃物质的燃点时，就会引发火灾。

(2) 过载运行：若电力设备的实际负载超过了其额定容量时，设备就会过载运行。过载便会使设备的电流增大，进而导致设备的发热加剧。如果设备长时间处于过载运行的状态，那么其温度会持续地升高。一旦超过了其绝缘材料的耐热极限，就会引发绝缘地损坏和火灾。

(3) 接触不良：当电力设备当中的关触头、电缆接头等电气连接部位接触不紧密，就会导致接触电阻增大。而根据焦耳定律，电流通过接触电阻时会产生热量，且接触电阻越大，其产生的热量就越多。所以随着时间的推移，接触部位的温度会不断地升高，最终就可能导致接触部位的金属熔化，进而引发火灾。

2.2.2 设备老化与维护不当

(1) 设备老化：智能电网中的部分电力设备因为运行的时间较长，其设备的绝缘材料、机械部件等就会逐渐老化。老化的绝缘材料性能必然会下降，此时就容易发生绝缘击穿，从而引发电气故障和火灾。同时老化的机械部件还可能会出现磨损、变形等问题，影响到设备的正常运行，继而就会增加火灾发生的风险。

(2) 维护不当：电力设备的安全运行离不开定期的设备维护和检修，可是在实际工作之中，部分电力企业对于设备的维护工作不够重视，依然存在着维护不及时、维护质量不高等问题。

2.2.3 环境因素

(1) 温度与湿度：智能电网中的电力设备运行对于环

境的温度和湿度有一定的要求。当环境温度过高时，设备的散热条件变差，此时就会导致设备温度的升高，进而加速设备的老化和损坏，此时便会增加火灾发生风险。而环境的湿度过高则会使设备的绝缘性能下降，然后就容易引发电气故障的情况出现。

(2) 灰尘与腐蚀性气体：现阶段在一些工业区域或者环境污染严重的地区，空气之中含有大量的灰尘和腐蚀性气体。因为灰尘会在电力设备的表面积聚，便会影响到设备的散热，且灰尘中的导电物质还可能会导致设备电气间隙和爬电距离减小，从而引发电气故障。二氧化硫、氮氧化物等腐蚀性气体则会与设备表面的金属部件发生化学反应，直接地腐蚀设备，进而降低设备的机械强度和电气性能。

3 智能电网背景下电力设备消防安全技术

3.1 火灾预警监测技术

3.1.1 温度监测技术

(1) 光纤光栅温度传感器：光纤光栅温度传感器是一种基于光纤光栅传感原理的温度监测设备。它主要利用了光纤光栅的温度敏感性，即环境温度发生变化时，光纤光栅的中心波长也会随之发生相应的漂移，此时通过检测波长的变化即可精确地测量温度。因为光纤光栅温度传感器具有高精度、高灵敏度、抗电磁干扰、本质安全等优点，所以非常适合在智能电网电力设备的温度监测中进行应用^[2]。

(2) 红外热成像技术：红外热成像技术主要利用的是物体自身发射的红外辐射，以此来获取物体表面温度的分布图像。而智能电网中的电力设备在运行的过程中，由于各种原因会产生一定的热量，基于此借助红外热成像仪就可以快速、直观地检测到设备表面的温度分布情况，并发现设备的过热部位。目前红外热成像技术已知的优点有非接触、大面积监测、响应速度快等，其能够在不影响设备正常运行的情况下，对于电力设备进行全面的温度监测。

3.1.2 电气参数监测技术

(1) 局部放电监测：局部放电意为在电力设备的绝缘结构中，由于电场分布不均匀等原因，会在局部区域发生的放电现象。该现象会逐渐地侵蚀设备的绝缘材料，导致设备的绝缘性能下降，最终便会引发电气故障和火灾。而局部放电监测技术就是通过检测电力设备运行过程中的局部放电信号，来判断设备的绝缘状态。目前常用的局部放电监测方法有脉冲电流法、超声波法、超高频法等等。例如采用超高频局部放电监测系统对于GIS设备进行监测，该系统就能够捕捉到GIS设备内部局部放电产生的超高频电磁波信号，接着对于信号的分析处理，就可以准确地判断出局部放电的位置、强度和发展趋势，助力相关人员及时地发现设备的绝缘缺陷，并采取相应的措施进行修复。

(2) 电流、电压监测：通过实时地监测电力设备的电流和电压参数，就可以及时地发现设备的过载、短路等电气

故障。为此可在电力线路上安装电流互感器和电压互感器，它们能够将设备的电流和电压信号转换为适合测量和处理的信号，并传输到监测系统之中。随后监测系统会对这些信号进行分析和判断，当发现电流或电压异常时，系统就会立刻发出预警信号。

3.1.3 气体监测技术

(1) 变压器油中溶解气体分析(DGA): 变压器油中溶解气体分析技术是一种有效的变压器故障诊断和火灾预警方法，应该该技术相关人员能够提前发现变压器的潜在故障隐患，从而为设备的维护和检修提供重要的依据。其原理如下：变压器在实际运行的过程中，会收到内部电、热等因素的作用，此时绝缘材料就会逐渐分解产生各种气体，如氢气、甲烷、乙烷、乙烯、乙炔等等，并且还会溶解在变压器油当中。因此通过分析变压器油中溶解气体的成分和含量，就可以判断出变压器内部的运行状态和故障类型。

(2) SF₆ 气体泄漏监测：当前在智能电网之中，SF₆ 气体作为绝缘和灭弧介质被广泛地应用于 GIS 设备、SF₆ 断路器等高压电气设备内。然而因为 SF₆ 气体具有温室效应强、价格昂贵等缺点，且一旦发生泄漏，就会导致设备绝缘性能下降，甚至引发电气故障和火灾。所以对 SF₆ 气体地泄漏进行监测是至关重要的。而常用的 SF₆ 气体泄漏监测方法有激光吸收光谱法、超声波法、红外成像法等。

3.2 灭火抑制技术

3.2.1 自动灭火系统

(1) 七氟丙烷灭火系统：常见的气体灭火系统之一便是七氟丙烷灭火系统，该系统具有灭火效率高、灭火速度快、对设备无二次污染等优点。其原理为：七氟丙烷灭火剂在接触到高温火焰时，会分解随后产生自由基，而这些自由基能够与燃烧反应中的活性基团发生链式反应，从而中断燃烧的化学反应过程，即可达到灭火的目的。对于智能电网来说，七氟丙烷灭火系统比较适用于保护变电站的控制室、通信机房、电缆夹层等重要场所。

(2) 气溶胶灭火系统：气溶胶灭火系统利用了固体气溶胶发生剂，它开业在燃烧过程中产生气溶胶，以此达到灭火的目的。展开来说：气溶胶灭火剂中含有大量的固体微粒和气体，而这些微粒和气体能够吸收燃烧产生的热量，并且降低燃烧区域的温度，甚至气溶胶中的某些成分还能够与燃烧反应中的活性基团发生反应，多方面入手抑制燃烧过程。由于气溶胶灭火系统具有灭火效率高、体积小、安装方便、维护简单等优点，因此比较适用于一些空间较小、设备较为密集的电力设备场所，如配电箱、配电柜等。

3.2.2 新型灭火材料与技术

(1) 水系灭火剂：水系灭火剂是以水为基础，然后再添加多种添加剂的灭火剂。其这些添加剂均能够提高水的灭火性能，如降低水的表面张力、增强水的润湿性能、提高水的抗复燃能力等等。因为水系灭火剂具有环保、成本低、灭火效果好等优点，所以该材料在智能电网电力设备灭火之中

具有广阔的应用前景。

(2) 细水雾灭火技术：细水雾灭火技术的原理是利用特殊的喷头将水雾化成粒径在 10 μm-1000 μm 之间的细水雾，再通过细水雾的吸热冷却、窒息、阻隔辐射热等作用来达到灭火的效果。显而易见地，细水雾灭火技术具有用水量少、灭火效率高、对设备损伤小、无环境污染等优点，该技术非常适合在智能电网电力设备的灭火中应用^[1]。

3.3 阻燃材料技术

3.3.1 绝缘材料的阻燃化

(1) 添加阻燃剂：阻燃剂能够在绝缘材料燃烧时，通过吸热分解、释放不燃气体、形成隔热层等方式，来抑制燃烧过程，并且还能提高绝缘材料的阻燃等级。目前在智能电网电力设备的绝缘材料当中，添加阻燃剂是提高绝缘材料阻燃性能的常用方法之一。而常用的阻燃剂有卤系阻燃剂、磷系阻燃剂、氮系阻燃剂等。

(2) 开发新型阻燃绝缘材料：跟随着材料科学的发展，研发新型的阻燃绝缘材料逐渐成为了提高电力设备消防安全性能的重要方向。例如纳米技术制备的纳米复合材料，便具有优异的阻燃性能、力学性能和电气性能。若在绝缘材料中添加纳米粒子，如纳米蒙脱土、纳米氢氧化镁等，就能够显著地提高材料阻燃性能，同时还能做到不影响材料的其他性能。

3.3.2 设备外壳与结构材料的阻燃应用

(1) 阻燃塑料外壳：实际在智能电网中的许多电力设备当中都采用的是塑料外壳。因此为了提高这些设备的消防安全性能，就可选用阻燃塑料来作为外壳材料。由于阻燃塑料在燃烧的时候，能够形成碳化层，以此可阻止火焰的蔓延，达到保护设备内部电气元件的目的。

(2) 阻燃金属复合材料：变压器、电抗器等一些大型的电力设备，其外壳和结构材料通常都会采用金属材料。若想提高金属材料的阻燃性能，就可以采用阻燃金属复合材料。如在金属表面涂覆一层阻燃涂层，或者是采用金属与阻燃材料复合的结构，即可有效地提高设备的防火性能。

4 结语

智能电网的发展为电力行业带来了巨大的变革和机遇，但同时其也对电力设备的消防安全提出了更高的要求。而在未来的智能电网建设和发展中，相关人员应进一步地加强对电力设备消防安全技术的研究和应用，通过不断地完善消防安全管理体系，来确保智能电网的安全稳定运行，进而为社会经济的发展提供可靠的电力保障。

参考文献

- [1] 李道本. 消防设备供电可靠性探讨[J]. 建筑电气, 2016, 35(03): 3-8.
- [2] 刘璇, 程楠, 张红梅, 等. 变电站消防管理智能化研究[J]. 电力安全技术, 2020, 22(08): 38-41.
- [3] 邱宁, 王晖. 特高压变电站消防重点与规范问题探讨及改进措施[J]. 变压器, 2019, 56(08): 19-23.