

电气火灾的成因及防范关键技术分析

张明国

国网陕西省电力有限公司汉中供电公司 陕西 汉中 723000

摘要: 本文通过分析电气火灾成因,包括电器短路、接地故障、负荷过载、电气部件接触不良和谐波效应,分析这些隐患造成的危害。进一步提出从硬件和软件方面对电气火灾的防范提出改善措施,结合实践经验重点研究加强电气火灾安全防控的关键技术,保证两手都要硬。通过本文的研究旨在对电气火灾的防范关键技术发展方向提出建议,进一步加强防范关键技术的成熟和应用。

关键词: 电气火灾成因;阻性漏电检测;热解粒子检测;故障电弧检测;烟-温感检测

引言

近年来,随着经济社会的不断发展,生产生活用电量成倍增加,电气安全隐患已成为消防安全的头号防范目标。如何利用人防、物防、技防等措施,有效防范电气火灾,是当前消防工作面临的一项重大课题。本文通过分析电气火灾成因与实践应用经验,重点研究加强电气火灾安全防控的关键技术。

1 电气火灾成因分析

从电气火灾的成因来看,引起火灾事故的原因可以分为以下几类:

1.1 电器短路

根据电气短路点的性质可以把短路分为金属性短路和接地点故障,而电器短路通常指的是金属性短路^[1]。这种短路是指带电导体之间的短路而引起的电气线路故障,引发因素主要是线路机械损伤、线路老化或者是线路过载。短路故障发生时,电力系统的阻抗会从正常值突然减到非常小,甚至是接近零的状态。电路阻抗的减小会使发生短路故障处的电流达到正常电流的几十倍、甚至是几百倍的。然而根据焦耳定律 $Q = I^2 R t$ 可知,带电设备会急剧发热,并且产热量与电流平方成正比,短时间内产生的热量不仅会对电路的绝缘层造成不可逆的破坏,甚至是会熔断电路的金属导体,从而引起电力系统附近的易燃、可燃物燃烧,造成火灾事故。

1.2 接地故障

相对于电器短路事故而言,接地故障的发生点具有更强的隐蔽性。一般这种电路故障在没有敏感且可靠的感知原件感知下不容易被发觉。接地故障的发生通常会伴随电弧或者电火花的产生,这种故障假若不能得到及时排除,极易发生火灾事故。根据引起火灾的原因进行划分,可以分为三类^[2]: a.故障电流引起火灾,这种方式与电器短路引起的火灾原理相反,发生接地故障的回

路阻抗一般较大,但是这种小的故障电流易引发电弧。这种电弧有很大的阻抗和电势降,引起电流防护电器不能动作或不能即使动作来切断电源。b.故障电压引起火灾,由接地故障引起的故障电压会沿着导线传导至设备外壳,带有故障电压的设备与其他导体接触易引起电火花。c.导线接触点接触不良,发生接地故障后,经过导线的小电流易在导线不良接触点产生电火花。

1.3 负荷过载

电气设备通常工作在额定功率下,但是其实际工作功率超过电气设备所能承受的范围,电气设备则会出现过载情况。电气设备的过载会加速线路绝缘层的老化,甚至是发生击穿绝缘层的严重后果,绝缘层的老化或者击穿都易引发电路短路事故,引发火灾事故^[3]。引发过载事故的原因主要有以下几种^[4]: a.电路设计、线路选择或者是电气设备选择不合理,导致线路过负荷。b.设备选择不合理使用工况不合理,导致线路电流传输过载。c.电气设备故障导致线路传输过负载,如电机长时间缺相运行。

1.4 电气部件接触不良

线路搭接点接触不良造成导线搭接点电阻过大,当大电流经过这些搭接点时,根据焦耳定律可以知道,搭接点会产生大量的电热,导致绝缘层破损,引起导线局部温度急剧上升而引起火灾。

1.5 谐波效应

电气设备中由于非线性负荷的大量应用,会在电网中产生多次谐波电流^[5]。这些产生的谐波电流中的奇数谐波会在中性线路中叠加现象,这些奇数谐波经过叠加后最大电流能达到相电流的两倍^[6],造成中性线因为电流过载而发热,加速中性电路绝缘层的老化而进一步发生火灾事故。

2 电气火灾防范关键技术

电气火灾安全防控技术主要是前期预防为主,做到

早发现、早防控和早治理。针对上述电气火灾致因客观分析，可以有针对性的采取防范措施，杜绝电气火灾事故的发生。本文从硬件和软件两个方面提出针对性改善措施，结合当前先进的、关键的防控技术提出一套综合完善的防控方案。

2.1 电缆防护措施

对于电缆线路而言，应将电缆敷设在保护管、线槽或者封闭桥架中，减少电缆线路收到外力的损伤，同时还要做好对这些装置过墙孔洞防火封堵，选用阻燃甚至是防火电缆。而对于保护电器的选择，应选择合适的保护器能使迅速切断发生短路故障的电路。这两方面措施的采用可以有效防止火灾事故发生。

2.2 阻性漏电检测技术

电气火灾的预防是保证用电安全的首要前提，技术监测已经成为电气火灾预防的一种手段。当前对于配电系统的绝缘电阻监测可以很好的判断配电系统的运行状态是否良好，传统的检测方法是采用定期的方式开展检查，但是这种方法的缺点是需要对系统断电，这种方式必定不能满足现代生活对不断电的要求。为此发展出一种24小时在线监测的方法^[3]，这种方法既能满足对不断电的要求，还能快速准确方便适时地监测供电系统的绝缘性能。当前对于绝缘状态监测的方法中，采用检测剩余电流的方法存在很大的系统误差，这种误差是不可以被接受的，因为它不仅不能真实的反映供电系统的绝缘状态，还会产生误警误报，对正常的生活生产造成不必要的影响。随着电气设备种类多样化、数目快速增长化的趋势，电气设备不乏会有较多电容和电阻器件，这些器件会因为“容性分量泄漏电流”和“阻性分量漏电流”的存在会影响电路剩余电流的监测水平。为此滤除“容性分量泄漏电流”就成为监测技术发展的主流创新方向，过滤容性电流分量后就得到了阻性电流分量，对阻性电流通过监测可以大大提高监测的准确性，降低误警误报的数量，提高供电系统的可靠度。

与传统剩余电流检测方法相比，全新的阻性漏电检测方法检测精度更高、可靠性更强^[4]。阻性电流监测，顾名思义是对电气火灾隐患的阻性电流监测为依据。是对漏电流中的阻性电流和容性电流进行分离，采用滤波器的原理实现对阻性电流通过和容性电流阻隔的目的。对两类漏电流实现有效分离，排除容性电流的影响，才能实验对供电系统的状态的准确监测。各数据量检测如图1(a)所示，其中 I_0 、 I_{0r} 、 I_{0c} 三者之间的矢量关系如图1(b)所示。

在阻性分离过程中，去除干扰，提纯阻性漏电，确保计算出配电系统在线的绝缘电阻参数为真正的有害电流

分量。该技术当前可实现对有害漏电流成份0.001mA的分辨率，有利于大幅度降低目前市场上通用的火灾报警装置的漏报和误报率。在线路绝缘性检测方面，与绝缘摇表、剩余电流检测相比，阻性漏电技术具有绝对的优势。

2.3 热解粒子检测技术

而目前电气火灾安全监控装置种类多样，但检测参数单一，如测温式电气火灾安全监控装置仅检测温度；剩余电流式电气火灾安全监控系统仅检测剩余电流；“烟感式”电气火灾安全监控装置仅检测烟雾浓度。选择这些监控装置实现对低压配电柜的安全监测，不仅成本高而且误报情况时有发生。

考虑到电气火灾起火过程的表征特点，见图2，综合应用这些特征以有效检测到电气火灾是热解粒子检测技术的核心。物质在受热时分解出粒子和气体，此种粒子是能够以自由状态存在的最小物质组成部分。

电气火灾的发生实际是伴随着复杂的物理变化和化学变化的过程，物理变化是伴随着电流热效应产生的，导致电路局部温度过高而发生燃烧，这种燃烧是由物理变化引起的化学反应，表现为燃烧、发光、发热和释放有毒气体等行为。在电气火灾的过程中，由于燃烧会释放热解粒子，这些热解粒子会在燃烧空间内部无规则的做运动，随着火灾程度的增大，这些热解粒子的运动状态和浓度都会增加，实现对这些热解粒子的综合检测就能准确把握火灾的状态，实现对热解粒子的有效准确检测就能够火灾的报警和及时预防提供重要的参考线索，综合实现对热解粒子的各种浓度等重要参数有效整合分析，实现对配电系统的火灾隐患实现早发现、早干预和早控制，避免造成大的严重的火灾事故。

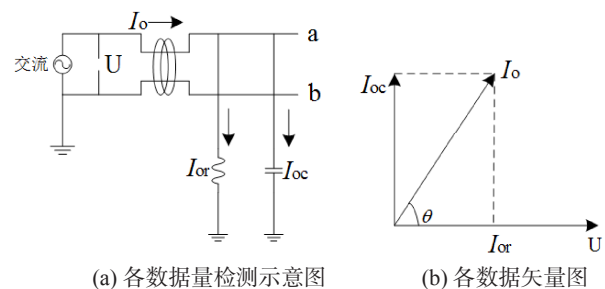


图1 阻性漏电检测方法检测框架

2.4 故障电弧检测技术

当前国内对故障电弧的检测算法还广泛处于研究阶段，基于电弧的电学特性，提出的检测方法包括光、热、电流变化率、小波频段等，但当负载类型较多时其检测难度加大^[7]。因受线路负载限制，其故障电流小，以至于现有体系无法实现对串联电弧故障的保护，存在电气安全隐患。故障电弧出现时会产生大量的热，易引燃

周围的易燃物，从而引发火灾。与传统电气故障相比，故障电弧的电流幅值变化较小，传统的电气故障防护和保护装置难以识别、无法有效防护故障电弧的出现，使得故障电弧成为引发电气火灾的重要原因。

随着对大数据量的波形信号处理技术研究的加深，使得通过对大数据（即电弧波形信号）的处理即可实现准确故障电弧的预判功能。值得注意的是，基于各种神

神经网络模型实现电弧模型类别分析的方法是当前技术研究的热点。其总体思路可概括为：采集电弧波形信号，将采集信号学习训练后的模型作为神经网络的初始模型，这种学习训练后的模型承载了大量的电弧波形特征量，基于此特征量与故障电弧波形之间的映射关系，得到单个特征量输入后的故障电弧判别，从而有效提高故障电弧检测的准确率。



图2 电气火灾起火各阶段表征

2.5 温度和烟雾浓度检测技术

由图2可以看出，高聚物的分解和液化时，烟雾和温度是重要的表征形式，虽然可以通过检测更早期的热解粒子、阻性漏电进行防控，但基于现实情况下设备成本以及各场所的安全需求，温度和烟雾浓度检测也可满足常规电气火灾安全监控要求。

温度探测器主要是借助热敏感性电子元件的特性来实现温度检测的，常见的电子元件主要有热电阻和热电偶两类，当前温度探测器主要由热敏电阻元器件构成。热敏电阻的阻值随温度变化呈现规律性变化。常用PT100或PT1000铂电阻作为温感探头，其具有体积小、温度变化响应快、抗振动、耐高压、不会造成热负载的特点，因此，在温度传感器设计中得到广泛推荐。铂电阻为正温度系数热敏电阻，在其工作时，信号采集到其对应的阻值信息，便可根据分度表得到对应的温度值。

烟感探测器适用于住宅、商店、仓库等一般性场所，在火灾初期发挥作用。此时温度较低，物质多处于阴燃阶段，所以会产生大量烟雾。烟感式探测器有离子烟感式、光电烟感式、红外光束烟感式等几种类型。离子烟感探测器是点型探测器，它的电离室内含有少量放射性物质，可使电离室内空气成为导体。当烟粒子进入电离室时，电离电流发生变化，电离室的阻抗发生变化，探测器会根据阻抗变化的大小做出判断，从而发出警报。光电烟感探测器也是点型探测器，它是利用起火时产生的烟雾能够改变光的传播特性这一基本性质而研制的。红外光束烟感探测器是线型探测器，它是对警戒

范围内某一线状窄条周围烟气参数响应的火灾探测器。它同前面两种点型烟感探测器的主要区别在于它将光束发射器和光电接受器分为两个独立的部分，使用时分装相对的两处，中间用光束连接起来。

结语

电气火灾已严重影响经济社会的发展，强力推进用电安全检测技术，为安全生产提供更加科学先进的监控预防手段，必然成为当前电气火灾安全监控系统研究和发展的趋势。

参考文献

- [1]李东杰.电气火灾监控系统与电气火灾预防[J].今日消防,2020,5(9):52-53.
- [2]陈平乐.建筑电气火灾事故原因分析及预防措施[J].低碳世界,2020,10(11):225-226.
- [3]吕军,栾文鹏,刘日亮,等.基于全面感知和软件定义的配电物联网体系架构[J].电网技术,2018,42(10):3108-3115.
- [4]李海波,鲁宗相,乔颖,等.大规模风电并网的电力系统运行灵活性评估[J].电网技术,2015,39(6):1672-1678.
- [5]邵頔.谐波源设备对用户配电网电源影响分析和绿色设计探讨[J].现代建筑电气,2020,11(8):1-7.
- [6]罗伟军.基于高次谐波影响下低压配电线路中线的选择问题[J].中国氯碱,2011(6):8-11.
- [7]王厚余.电弧性接地故障火灾的防范[J].电气工程应用,2001,(4):10-13.