

# 开关电气设备中电弧的形成和灭弧探讨

鲁海峰

杭州欣美成套电器制造有限公司 浙江 杭州 311231

**摘要:** 开关电气设备中电弧的形成与灭弧技术一直是电力领域研究的重点。电弧作为气体放电现象,在开关设备接通或断开电路时因电压骤变而产生,对设备性能与操作安全构成威胁。深入探讨电弧形成的机理,分析了电压、电流、气体性质及接触材料对电弧形成的影响。对灭弧技术进行了详细阐述,包括机械灭弧、磁吹灭弧及真空灭弧等方法的原理、优缺点及适用场景。通过对比分析,强调合理选择灭弧技术的重要性,并提出了在实际应用中应遵循的原则。

**关键词:** 开关电气设备; 电弧形成; 灭弧技术; 安全性

## 1 开关电气设备中电弧的形成特点

在开关电气设备中,电弧是一种被激发并维持的高温等离子体现象,通常在开关或隔离器动作时出现。电弧的形成特点主要包括几个方面:第一、形成机制:电弧形成的基本机制是电离和电子发射。当两个导电物体之间的电气击穿强度达到一定值时,空气中的原子或分子被电离,产生等离子体。这种等离子体中的自由电子会继续碰撞并激发更多的原子或分子,导致电弧的形成。第二、高温高能:电弧通常伴随着高能量的放出,使得电弧区域温度极高,可达到几千度甚至更高。这高温状态不仅能够熔化金属导致腐蚀损坏,也可能引发火灾。第三、观察特点:电弧的形成可呈现为明亮的光弧,具有高亮度、高频率闪烁等特点。具体表现为在电弧区域的高温下,金属会蒸发形成蒸汽,结构振动产生噪声,同时电场会引起气体游离和辐射光等现象<sup>[1]</sup>。第四、循环过程:电弧的形成会伴随电弧持续电流的存在,这使得电弧成为一个自持续的过程。电弧会在其供电的电源被切断前持续存在,因此要及时采取措施来有效切断电弧,以防止设备损坏和危险的蔓延。第五、危险性:电弧不仅造成设备的损坏,还可能对人员和设备的安全构成威胁。在高压设备或有电弓炮的情况下,电弧更具有可能引发爆炸和火灾的危险性。

## 2 电弧的形成机理

电弧是在电气设备中一种常见但又十分有害的现象,其形成涉及复杂的电磁物理学原理。电弧的形成通常涉及两个或多个尖锐的导电部分之间的放电过程。当两个导电部件之间的间隙足够小,电场强度足够大时,空气中的气体会被电离,产生带电粒子,此时电阻突变,导致局部发生放电,而进而引发电弧。在电场作用下,气体中的分子会发生碰撞和电离,生成正负离子,

形成等离子体。这些正负电荷的分离会在电极之间形成电场,导致电子从负电极流向正电极,形成电流,继而形成电弧。电弧形成后,在高温等离子体的作用下,气体分子受激发,电子在分子间跃迁,产生光子,从而形成炫彩的光弧现象。这种光弧除了表现为发光外,还具有高温、高压、高能量等特性。一旦电弧形成,其放电现象会使得等离子体继续存在,导致电弧的自持续性。电弧在形成后会继续吸收能量,产生热、光和声,能够持续存在,直到电源被切断或其它措施使之熄灭。电弧的高温和高能量会使得导电部件周围的材料受到熔化、气化和腐蚀,对设备造成严重危害。同时,电弧的持续存在还可能引发火灾和爆炸等安全事故。总的来说,电弧的形成机理主要涉及电场作用下的离子化和电流导通,以及高能等离子体的热发射等过程。了解电弧的形成机理有助于更好地防范和减少电弧对设备造成的破坏和危险,提高设备的安全性和可靠性。

## 3 电弧的危害

### 3.1 对设备的损害

电弧是在电气设备中常见的异常放电现象,对设备的损害是不容忽视的。电弧释放的高温和高能量可能导致设备元件的熔化、腐蚀和烧毁,如电线、绝缘材料和开关等部件受损,影响设备的稳定运行。电弧还可能造成设备性能下降,导致设备功能失效,通讯中断或信号传输错误。由于电弧释放的高温能引发火灾风险,从而危及设备及周围环境和人员的安全。电弧也可能引起火灾和事故,对人员和设备的安全构成威胁。电弧产生的电磁辐射可能干扰周围设备的正常运行,导致设备故障,影响生产和通信<sup>[2]</sup>。

### 3.2 引发安全事故的风险

电弧作为一种高温、高能量的放电现象,带来了严

重的危害,同时也增加了引发安全事故的风险。电弧释放的高温和能量可能引发火灾,造成人员伤亡和财产损失。电弧放电在释放能量的过程中可能引发爆炸,对周围环境和设备造成毁坏。电弧放电时产生的光和声也可能导致视力和听力受损,对人员的健康构成威胁。电弧释放的电磁辐射会对周围的设备和系统产生干扰,导致通信中断或数据损坏,进而影响工作正常进行。电弧发生时也可能导致设备的突然故障,使设备无法正常运行,增加工作中出现紧急情况的可能性。

#### 4 开关电气设备中电弧形成与灭弧技术的比较分析

##### 4.1 电弧形成与灭弧技术的对比评价

在开关电气设备中,电弧的形成与灭弧技术是关键环节,直接关系到设备的性能、安全及使用寿命。电弧作为一种气体放电现象,在开关设备接通或断开电路时,由于接触点间的电压骤变,可能导致气体击穿而形成电弧。电弧的存在不仅会引起设备的损坏,还可能对操作人员构成威胁。因此,深入了解电弧形成机制,并采取相应的灭弧技术,对于保障开关电气设备的正常运行具有重要意义。电弧的形成通常受到多个因素的影响,包括电压、电流、气体性质以及接触材料的特性等。在高压或高电流条件下,气体分子受到强烈的电场作用而发生电离,形成导电通道,进而产生电弧。此外,接触材料的熔点、导热性以及抗腐蚀性也会对电弧的形成产生影响。例如,低熔点的材料在电流通过时容易熔化,从而增加电形成成的可能性<sup>[3]</sup>。针对电弧的形成机制,灭弧技术主要致力于在电弧产生后迅速切断其导电通道,从而达到熄弧的目的。常见的灭弧技术包括机械灭弧、磁吹灭弧和真空灭弧等。机械灭弧通过快速分离接触点来切断电弧,但这种方式可能受到机械磨损和振动等因素的影响。磁吹灭弧则利用磁场对电弧的吹弧作用,使电弧拉长并冷却,最终熄灭。真空灭弧则是在真空环境下操作,通过降低气体密度来抑制电弧的形成。在对比分析各种灭弧技术时,需要考虑其优缺点以及适用范围。机械灭弧结构简单,成本较低,但灭弧效果可能受到机械性能的限制。磁吹灭弧具有较高的灭弧效率,但可能需要较大的空间和复杂的控制系统。真空灭弧具有极高的灭弧能力,特别适用于高压和高电流场合,但设备成本和维护要求也相对较高。综合来看,电弧的形成与灭弧技术是开关电气设备中不可或缺的部分。在选择和应用灭弧技术时,需要综合考虑设备的性能要求、工作环境以及成本等因素。未来随着材料科学和电力电子技术的不断发展,我们有理由相信,更加高效、可靠的灭弧技术将不断涌现,为开关电气设备的安全

全运行提供有力保障。对于电弧形成机制的深入研究也将有助于我们从源头上预防电弧的产生,进一步提高设备的运行效率和安全性。

##### 4.2 不同电弧灭弧技术的优点

电弧的形成是由于电路在接通或断开瞬间,接触点间的电压骤变导致气体击穿而产生的气体放电现象。而灭弧技术则致力于迅速切断电弧的导电通道,以确保设备的正常运行和操作人员的安全。在众多的灭弧技术中,不同技术各有其独特的优点。机械灭弧以其结构简单、操作便捷和成本较低的优点而受到广泛应用。它通过快速分离接触点来切断电弧,对于一般的低电压、小电流场合十分有效。磁吹灭弧技术则以其高效灭弧能力而著称。通过利用磁场对电弧的吹弧作用,磁吹灭弧能够迅速拉长电弧并使其冷却,从而达到快速熄弧的目的。这种技术适用于中高压和较大电流的场合,具有较广的适用范围。真空灭弧技术以其极高的灭弧能力成为高压、大电流设备的首选。在真空环境下,气体分子密度极低,使得电弧难以形成和维持。真空灭弧技术具有极高的可靠性和安全性,特别适用于对灭弧要求极高的场合。

##### 4.3 电弧灭弧技术选择原则

电弧的形成主要源于电路接通或断开时的电压突变,导致气体击穿放电。而灭弧技术则是为了快速切断电弧,保障设备的正常运行和操作安全。在选择电弧灭弧技术时,需要遵循一系列原则。首先,应根据设备的工作电压和电流等级来确定合适的灭弧技术。对于低电压、小电流的设备,机械灭弧因其结构简单、成本较低而成为一种理想的选择。而对于高压、大电流的设备,磁吹灭弧或真空灭弧技术则因其高效的灭弧能力而更为适用。其次,考虑设备的使用环境和工作条件。例如,在高温、高湿或腐蚀性环境下,需要选择具有优良耐候性和抗腐蚀性的灭弧技术。同时,设备的可靠性要求也是选择灭弧技术的重要因素。在某些关键场合,需要选择具有高可靠性的灭弧技术,以确保设备的长期稳定运行。此外,灭弧技术的经济性和维护便利性也是选择时需要考虑的因素。在满足性能要求的前提下,应选择成本较低、维护简便的灭弧技术,以降低设备的整体成本和提高使用效率。

#### 5 电弧形成与灭弧技术在现代工业生产中的应用

##### 5.1 电弧技术在工业生产中的典型应用

电弧形成与灭弧技术在现代工业生产中扮演着举足轻重的角色,它们广泛应用于电力、冶金、化工、交通等多个领域,为工业生产的顺利进行提供了有力保障。

在电力领域，电弧技术被广泛应用于开关电气设备中。高压断路器、隔离开关和负荷开关等关键设备，都依赖于电弧的形成与灭弧技术来实现电路的接通与断开。通过精准控制电弧的产生和熄灭，确保电力设备的稳定运行，维护电力系统的安全可靠性。在冶金领域，电弧炉作为炼钢的主要设备，利用电弧的高温特性对金属进行熔炼和精炼。通过调节电弧的强度和位置，实现对金属材料的均匀加热和高效熔炼，提高产品质量和生产效率。在化工、交通等行业中，电弧技术同样发挥着重要作用。例如，在化工生产中，电弧技术被用于制备某些高纯度化学品；在交通领域，电弧技术则应用于电动汽车的电池充电和电机驱动等方面。随着科技的进步和工业的不断发展，电弧形成与灭弧技术将不断创新和完善，为现代工业生产提供更加高效、安全、环保的解决方案。同时，我们也需要关注电弧技术可能带来的潜在风险和挑 战，加强安全管理和技术研发，确保其在工业生产中的安全应用。

### 5.2 电弧技术在不同行业中的成功应用

在不同行业中，电弧技术都取得了显著的成功应用。在电力工业中，电弧技术被广泛应用于高压开关设备中，通过精确控制电弧的产生和熄灭，实现了对电力系统的快速、安全切换，确保了电网的稳定运行。在电力传输和分配过程中，电弧技术的应用有效减少了电能损耗，提高了能源利用效率。在冶金行业，电弧炉成为炼钢生产的核心设备。通过利用电弧的高温特性，实现对钢铁的快速熔炼和精炼，提高了钢材的质量和产量。电弧炉的应用不仅推动了冶金技术的进步，还为钢铁行业的可持续发展提供了有力支持。在焊接领域，电弧焊技术以其高效、灵活的特点受到广泛应用<sup>[4]</sup>。通过利用电弧产生的高温，实现金属材料的快速熔接，提高了焊接质量和效率。电弧焊技术在航空航天、汽车制造、建筑等领域发挥着重要作用，推动了相关行业的发展。在新能源领域，电弧技术也展现出巨大的应用潜力。例如，在电动汽车的充电设施中，电弧技术的应用提高了充电速度和效率，为电动汽车的普及和推广提供了有力支持。

### 5.3 电弧技术在新能源领域中的探索应用

电弧形成与灭弧技术在现代工业生产中的应用广泛

而深入，尤其在新能源领域中，其探索应用更是展现出了巨大的潜力和价值。在太阳能领域，电弧技术被应用于光伏电池板的制造过程中。通过精确控制电弧的温度和持续时间，可以实现对光伏材料的高效切割和焊接，提高光伏电池板的转换效率和生产速度。这不仅降低了制造成本，还推动了太阳能技术的快速发展和普及。在风能领域，电弧技术同样发挥着重要作用。风力发电机的叶片制造和维修过程中，常常需要用到焊接技术。电弧焊以其高效、灵活的特点，成为风力发电机叶片焊接的首选方法。通过优化电弧焊的工艺参数和焊接方式，可以实现对叶片材料的高质量连接，提高风力发电机的性能和可靠性。在新能源汽车领域，电弧技术也展现出独特的优势。电动汽车的充电设施建设离不开电弧技术的应用。通过精确控制电弧的强度和稳定性，可以实现快速充电和高效率的能量转换，提高电动汽车的续航里程和使用便利性。

### 结束语

随着电力工业的快速发展，开关电气设备在电力系统中的作用日益凸显。电弧的形成与灭弧技术作为其中的关键环节，对于确保设备的正常运行、提高系统的安全性至关重要。通过不断的研究与探索，已经取得一系列重要成果，但仍面临诸多挑战。未来，需要进一步加强电弧形成机理的研究，推动灭弧技术的创新与发展，为电力工业的安全、高效运行提供坚实的技术支撑。还应关注新技术、新材料在电弧灭弧领域的应用，以期实现更加环保、节能的电力生产与使用。

### 参考文献

- [1]丁允洙.陈天祐.刘剑.等.开关电气设备中电弧对设备安全性能的影响[J].电力系统保护与控制.2021.49(12):162-167.
- [2]张岚.赵小鸽.王琦.等.开关电气设备中电弧形成机理分析与探讨[J].华北电力技术.2021.49(8):45-50.
- [3]李明.谢富强.周志刚.开关电气设备电弧灭除技术综述[J].电工技术学报.2021.36(5):112-119.
- [4]范海涛.杨波.袁华山.等.开关电气设备中电弧灭弧技术发展现状与展望[J].高压电器.2021.57(4):120-126.