

超高压交流变电站金具电晕特性及选型研究

黄国柱

中国电建集团河南电力器材有限公司, 河南 漯河 462000

[摘要]随着电力需求的不断增长和能源技术的不断发展,超高压交流变电站作为电力系统的关键组成部分,其设计与运行显得尤为重要。在电力系统中,电晕现象作为一种潜在的安全隐患,引起了广泛关注。电晕产生的过程中,空气中的分子被电场强烈激发,形成电子和离子,从而导致电晕放电,不仅对电力设备产生影响,还可能对人体和环境带来潜在的危害。

[关键词]超高压;交流变电站;均压环;电晕特性

DOI: 10.33142/hst.v7i1.11215

中图分类号: TM726.1

文献标识码: A

Research on Corona Characteristics and Selection of Hardware in Ultra High Voltage AC Substation

HUANG Guozhu

PowerChina He'nan Electric Power Equipment Co., Ltd., Luohe, He'nan, 462000, China

Abstract: With the continuous growth of electricity demand and the continuous development of energy technology, the design and operation of ultra high voltage AC substations, as a key component of the power system, are particularly important. In the power system, corona phenomenon, as a potential safety hazard, has attracted widespread attention. During the process of corona generation, molecules in the air are strongly excited by the electric field, forming electrons and ions, leading to corona discharge, which not only affects power equipment but may also pose potential hazards to human health and the environment.

Keywords: ultra high voltage; AC substation; equalizing pressure ring; corona characteristics

引言

为确保电力系统的稳定运行、提高设备的安全性和环保性,对超高压交流变电站金具电晕特性与选型进行研究尤为重要。金具作为电力系统中的关键组件,其在高电场环境下的性能直接关系到系统的可靠性和安全性。因此,通过深入了解电晕的基础理论、研究金具材料与电晕特性的关系、进行电场分布计算与优化选型,以及应用电晕抑制技术、改进金具设计、采用绝缘涂层等手段,可有效降低电晕现象对电力系统运行的潜在风险,为构建更加安全、高效和环保的电力系统奠定坚实的基础。

1 电晕现象的基础理论

1.1 电晕现象概述

电晕现象是高电压下导致气体分子电离、电荷累积和放电的一种物理现象。当电压升高时,周围气体中的分子受到电场的影响,逐渐发生电离现象,形成带电离子,导致局部电场强度增大,超过气体的击穿电场强度,使得局部气体发生放电现象。这种电离和放电的相互作用形成了一种闪烁、辉光或爆破的现象,即电晕。电晕现象常见于高压线路、变电站设备等高电压系统中,不仅仅是一种光和声的表面现象,更是在高电场强度下气体电离过程的产物,会影响电力设备的正常运行,还可能导致电气设备的损坏,甚至对周围环境和人体健康产生一定的影响。

1.2 电晕产生的机制

电晕产生的机制,主要涉及高电场强度下气体分子的

电离和电荷运动,当电场强度超过气体的击穿电场强度时,电场会引起局部气体分子的电离。带电离子和自由电子在电场的作用下开始运动,并在气体中形成电流,当电子和带电离子撞击其他分子时,它们可以将能量传递给其他分子,使得更多的电离事件发生,形成电离层。被电离的气体分子中的带电离子和自由电子也会在电场的作用下重新结合,形成中性的气体分子,电离和复合的过程不断重复,形成了电晕现象。

1.3 电晕的影响与危害

电晕放电会产生可见或不可见的光辉,引起视觉上的不适甚至是对设备运行的影响。电晕放电伴随着特殊的噪声,持续且频繁的电晕放电噪声可能引起人们的不适感,甚至对周围居民的生活质量造成困扰^[1]。因此,对于电力设备安装在人口密集区域的情况,需要认真考虑电晕产生的噪声影响。在高电场强度下,电晕现象可能引起设备表面的放电损耗,导致材料老化和设备寿命的缩短,还会导致设备的局部过热,增加设备的运行风险,甚至可能引发火灾等安全问题。

2 金具材料的选择与电晕特性关系

2.1 金具材料的种类

金具材料的选择直接影响到设备的性能、可靠性和耐久性。常见的金具材料主要包括铝合金、铜及其合金、镀锌钢等。铝合金的轻量化特性使得设备更易于安装和维护,同时其导电性能也能满足电流传输的要求。然而,铝合金

相比铜的导电性稍逊,因此在一些对导电性能要求极高的场合,如大容量电流的输电线路中,可能更倾向于使用铜制金具。铜具有较低的电阻和较高的导电率,有助于减小电流传输时的能量损耗,提高系统的效率,铜还具有良好的导热性能和耐腐蚀性,适用于各种气候和环境条件。镀锌钢以其防腐特性而受到青睐,镀锌层能够有效抵御气象和环境中的腐蚀因素,延长金具的使用寿命。

2.2 材料选择的影响因素

材料选择在超高压交流变电站等电力系统中受到多方面因素的影响,导电性能是一个关键的考虑因素。不同材料具有不同的电导率,而电导率决定了金具在电流传输过程中的能量损耗。因此,对于大容量电流传输的场景,如超高压变电站,选择具有良好导电性的材料,如铜,可以降低系统的电阻,提高电能传输的效率。在高电流负荷下,选择具有良好导热性能的材料有助于有效地散热,防止设备局部过热,提高系统的稳定性和可靠性。在不同的气象和环境条件下,金具可能面临强风、潮湿、盐雾等因素,这要求金具具有足够的机械强度和耐腐蚀性,以确保设备在恶劣环境中的长期稳定运行^[2]。一些高性能材料可能成本较高,而一些常规材料可能更经济实惠。因此,在选择金具材料时需要在性能和成本之间进行平衡,以满足工程的预算和性能要求。综合考虑导电性能、导热性能、机械强度、耐腐蚀性、成本和可获得性等多方面因素,以确保金具能够适应特定电力系统的工作环境和要求,是材料选择的关键。

3 电晕区域电场分布计算与金具选型

3.1 耐张绝缘子串屏蔽环电场计算与选型

耐张绝缘子串用于支撑和固定输电线路,而屏蔽环则用于平衡绝缘子串上的电场分布,减小电场强度,防止电晕放电的发生。

电场(E)的强度与电场强度与电势差(V)之间的关系可通过以下公式表示:

$$E = -\frac{dV}{dr} \quad (1)$$

其中,E为电场强度,V为电势差,r为距离。在耐张绝缘子串上,屏蔽环的作用是通过调整电场分布,使电场强度在绝缘子串周围更加均匀,防止电晕放电的发生。屏蔽环的设计通常涉及到电场分布的数值计算,可采用有限元法(Finite Element Method, FEM)等数值模拟方法进行。设计工程师需要考虑绝缘子串的几何形状、电场分布的目标值、绝缘子串所处的环境条件等因素,以确定最优的屏蔽环设计。在电场计算中,屏蔽环的设计参数包括屏蔽环的形状、尺寸、与绝缘子串的距离等。通过调整这些参数,可以使电场分布更加均匀,最小化电场强度,降低电晕放电的风险。因此,在耐张绝缘子串屏蔽环电场计算与选型过程中,需要结合工程实际情况,运用数值计算方

法,以确保设计的屏蔽环在绝缘子串周围形成合适的电场分布,提高电气设备的安全性和可靠性。

3.2 V形绝缘子串均压环电场计算与选型

V形绝缘子串均压环的电场计算与选型直接影响着电场的分布情况,对于确保系统的绝缘性能至关重要。在超高压交流变电站等电力工程中,V形绝缘子串均压环的任务是确保电场强度在串内各点更为均匀,减小电场梯度,以防止电晕放电的发生。通常,电场强度与电势差之间的关系是通过数值模拟方法进行计算的,例如有限元法。在进行均压环的设计时,需要综合考虑绝缘子串的几何形状、均压环的尺寸和位置,以及串中导线的电位分布。正确选择均压环的设计参数对于确保绝缘子串在高电压环境中的稳定运行至关重要。因此,在进行选型时,需要全面考虑电力设备的工作条件、环境因素以及电场分布的优化目标,以确保均压环的设计能够最大程度地提高系统的绝缘性能,减小电晕的潜在风险。

3.3 导线屏蔽球电场计算与选型

导线作为电力传输的重要组成部分,其周围的电场分布直接影响着系统的性能。导线屏蔽球的设计旨在降低电场强度,减小电场梯度,有效防止电晕放电的发生。电场计算通常采用数值模拟方法,例如有限元法,以分析导线周围的电场分布。在导线屏蔽球的选型中,需考虑导线的电位分布、导线直径、屏蔽球的尺寸和形状等因素。合适的导线屏蔽球选型对于电力系统的可靠运行至关重要,选型时需要全面考虑电力设备的工作条件、环境因素,以及对电场分布的优化目标。通过科学合理的电场计算与选型,导线屏蔽球能够在电力系统中起到良好的抑制电晕现象的作用,不仅有助于提高系统的安全性和稳定性,也有利于降低对周围环境和人体的潜在影响。因此,在电力系统设计中,导线屏蔽球的精心计算与选型是确保系统可靠运行的不可或缺的一环。

4 金具电晕防治技术

4.1 电晕抑制技术

在超高压交流变电站等电力系统中,电晕抑制技术对于维护设备的稳定运行和延长设备寿命至关重要。电晕抑制器是一种常见的电晕抑制技术,它通常由金属材料制成,安装在电力设备的关键部位,使电场强度均匀分布,减小电场梯度,有助于降低电晕放电的风险,改善设备的绝缘性能。通过在设备表面涂覆特殊的绝缘涂层,可以改变电场分布,减小电场强度,不仅有助于抑制电晕放电,还能提高设备的绝缘性能,增强设备的耐电压能力。电晕抑制技术的研究还包括了导线屏蔽、绝缘子串设计改进等方面,通过在导线上添加屏蔽装置,可以有效地改善导线附近的电场分布,减小电晕放电的概率。总之,电晕抑制技术是一系列工程手段和方法的综合应用,以最小化电场强度、减小电场梯度,从而有效地抑制电晕放电的发生。

4.2 金具设计改进

金具设计改进的关键在于优化金具的形状、材料和结构,以减小电场梯度、提高绝缘性能,同时降低电晕放电的风险。通过优化金具的几何形状,如采用圆滑的曲线或增加边角半径,可以减小电场梯度,使电场更加均匀分布,有助于降低电晕放电的可能性,提高金具的耐电压性能。选择具有良好导电性、导热性和机械强度的材料,如优质的铜合金或铝合金,有助于提高金具的整体性能。此外,考虑到金具所处的环境条件,对金具表面进行特殊处理或涂层,以提高其抗腐蚀性能,延长金具的使用寿命。金具结构的改进也是一项重要任务。例如,在导线连接点附近增加导向罩,可以有效地调整电场分布,减小电场梯度。另一方面,在金具设计中加入电场调整装置,如均压环或导线屏蔽球,也是降低电晕发生的有效手段。

4.3 绝缘涂层的应用

绝缘涂层广泛用于超高压交流变电站等电力系统中,可以改善设备的绝缘性能,减小电场梯度,防止电晕放电的发生。绝缘涂层通常由高绝缘性的材料构成,如聚合物或橡胶类材料。这些材料具有优异的电绝缘性能,能够有效地阻止电流流动,减小电场强度,通过在电力设备的表面涂覆绝缘涂层,可以改变电场分布,使电场更加均匀分布在设备表面上^[3]。在绝缘涂层的应用中,适当选择合适的绝缘涂层厚度可以达到最佳的电场调整效果,从而提高设备的绝缘性能。绝缘涂层的应用是需要根据具体设备的工作环境、电场特性以及设备类型进行精心设计。在一些特殊工况下,如高温、高湿度或化学腐蚀性较强的环境,需要选择耐高温、耐湿润、抗腐蚀的绝缘涂层材料。

5 安全与环保问题

5.1 电晕对人体的影响

电晕是在高电场强度下,空气中分子被电离形成电子、离子等导体,从而产生电晕放电现象。在电晕放电的过程中,气体分子被电离并重新组合,形成臭氧。高浓度的臭氧对人体的呼吸系统和眼睛产生刺激作用,长时间暴露可能引起不适感和健康问题。持续而频繁的电晕放电噪声可能导致人体的听觉疲劳,影响工作和休息,甚至可能引起失眠等健康问题。电晕放电产生的电场变化可能对人体的神经系统产生一定的影响。尽管这方面的研究还相对有限,但一些研究表明,长期暴露在强电场变化的环境中可能对人体的神经系统和生理机能产生一定的影响,需要谨慎对待。在电力系统设计中,为了减小电晕对人体的潜在影响,工程师通常会采取一系列的电晕抑制技术,如改进金具设计、采用绝缘涂层、合理布置电力设备等。

5.2 电晕对环境的影响

在电晕放电的过程中,气体分子的电离和重新组合可能形成臭氧。臭氧是一种对空气质量有害的气体,其高浓度可能对植物生长和生态系统产生不利影响。电晕放电引起的噪声可能扰乱周围居民的生活,影响野生动物的栖息和繁衍。长期暴露于电晕放电噪声中可能对生态系统的平衡产生一定影响。电晕放电过程中产生的电子和离子可能与大气中的气体分子发生反应,形成一些化学物质。这些反应可能对大气化学过程产生一定的影响,尤其是在高电场区域。在电力系统设计中,为了减小电晕对环境的潜在影响,工程师通常会采取一系列的电晕抑制技术,如改进金具设计、采用绝缘涂层、合理布置电力设备等。

5.3 安全与环保措施

针对电晕现象,工程师可以采用先进的电晕抑制技术来最小化电场强度和梯度,包括改进金具设计、使用绝缘涂层、合理布置电力设备等。优选导电性好、导热性能强、机械强度高的材料,如铜合金或铝合金,以提高金具的整体性能。在设备表面涂覆绝缘涂层,可以有效改善绝缘性能,减小电晕对环境的潜在影响。此外,对于高温、高湿度或化学腐蚀性较强的环境,需选择耐高温、耐湿润、抗腐蚀的材料,以确保设备的长期可靠运行。在整个电力系统设计中,综合考虑电气设备的性能、环境条件以及安全与环保的要求,采用先进的技术和材料,是确保电力系统稳定、可靠、环保运行的关键。

6 结论

电晕特性与金具选型研究揭示了电力系统中的潜在挑战。通过优化金具设计、采用电晕抑制技术和绝缘涂层,成功减小了电晕带来的安全隐患,提升了系统的可靠性。未来,随着技术不断发展,电晕抑制方法将得到进一步改进,金具设计将更加注重环保性能,将有效减少电力系统对环境的负面影响,为实现可持续电力发展打下坚实基础。新的技术和设计理念将推动电力系统向更安全、高效、环保的方向发展,以适应不断增长的能源需求。

[参考文献]

- [1]张泽琳.尘埃颗粒行为对直流电晕放电等离子体参量的影响[D].山西:山西大学,2023.
 - [2]王必强,刘军建,牟令,等.新能源电站功率预测系统的运维关键技术研究及应用[J].太阳能,2023(8):66-71.
 - [3]彭长志,董旭柱,阮江军,等.基于物理信息神经网络的短间隙流注放电模拟[J].高压电器,2023,59(9):90-97.
- 作者简介:黄国柱(1974.3—),男,毕业院校:重庆大学,所学专业:电气工程信息化,当前就职单位:中国电建集团河南电力器材有限公司,职务,副总经理。