

供配电系统中的防雷与接地技术应用初探

李海成

内蒙古电力集团包头市固阳供电公司 内蒙古 包头 014200

摘要：本文全面解析了电力配电系统防雷与接地技术的核心原理与实际应用。通过防雷技术有效疏导雷电能量，利用避雷装置保护系统；接地技术则为设备提供稳定电气连接，确保人员安全。文章介绍了TN-S、TN-C、TN-C-S三种接地防雷系统及其应用，并提出直击雷与感应雷的防护措施。针对高压、中压、低压线路及变电所建筑、配电变压器等关键环节，文章给出了详细的防雷接地方案。本文旨在提升电力配电系统的防雷与接地技术水平，为电力系统的安全稳定运行提供坚实保障。

关键词：供配电系统；防雷；接地；技术应用

引言

电力配电系统作为现代社会的能源供应核心，其安全稳定运行至关重要。然而，雷电等自然灾害对电力配电系统的威胁不容忽视。为了提高系统的防雷与接地能力，保障电力系统的安全性和可靠性，本文将对电力配电系统防雷与接地技术的原理、主要形式及防护措施进行深入探讨。通过对现有技术的分析与总结，旨在为电力配电系统的设计与维护提供有价值的参考。

1 电力配电系统防雷与接地技术原理

1.1 防雷技术原理

防雷技术的核心在于有效地疏导与泄放雷电能量，从而保护电力配电系统免受雷电的破坏。当雷电击中配电系统时，会瞬间释放出巨大的能量，这些能量如果直接作用于设备的绝缘部分，将会导致设备损坏甚至引发火灾等严重事故。因此，防雷措施的主要目标就是控制雷电的冲击路径，避免其直接作用于设备的绝缘部分。在实际应用中，常见的防雷设备如避雷针、避雷线等，都是利用了尖端放电的原理来工作的。在雷云电场的作用下，这些设备的尖端会提前电离周围的空气，形成导电通道，使得雷电先导优先向这些设备放电。然后，通过引下线将雷电流安全地导入大地，从而改变雷电直击设备的概率。此外，避雷器也是一种重要的防雷设备。它在过电压的瞬间会呈现出低阻抗的特性，让雷电流能够迅速地泄放掉。而当电压恢复正常后，避雷器又会恢复高阻态，从而限制后续的工频续流，保护设备免受过电压的持续冲击。

1.2 接地技术原理

接地技术则是为电气设备及防雷装置构建一个与大地土壤之间稳定的电气连接。这种连接不仅提供了雷电流泄放的低电阻通道，还能够一定程度上保障设备

和人员的安全。良好的接地系统能够提供一个低电阻的通道，使得雷电流能够更容易地流入大地。根据欧姆定律，电阻越低，在相同的电压下，电流就越容易通过。因此，一个良好的接地系统能够显著地减少设备接地电位的抬升幅度，从而降低雷电对设备的破坏力。此外，接地系统还能够均衡设备间的电位。在雷电冲击下，如果设备间的电位差过大，就可能引发反击事故。而接地系统则能够将设备间的电位差控制在安全的范围内，从而防止这类事故的发生。同时，接地系统还能够确保人员触碰设备外壳时的安全。当设备外壳接地良好时，即使设备内部发生漏电或雷击等事故，外壳上的电位也不会过高，从而保障了人员的安全。最后，接地系统还能够维持整个配电网的等电位环境。在一个等电位的环境中，各个设备之间的电位差都很小，因此即使发生雷电冲击等事故，也不会对整个电力系统造成太大的影响。这有助于保持电力系统的正常运行秩序，提高供电的可靠性和稳定性。

2 电力配电系统防雷与接地的主要形式

2.1 TN-S接地防雷系统

TN-S系统具有独立的保护零线（PE线）与工作零线（N线）。正常运行时，N线传输工作电流，PE线无电流，仅起保护作用^[1]。遭遇雷击时，雷电流经防雷装置引下线直击大地，设备外壳漏电或感应雷电压产生时，PE线迅速将故障电流导入地中，因PE线全程与大地可靠连接，接地电阻低，能快速降低设备外壳电位，保障人员接触安全，且其独立N线避免了杂散电流干扰，适用于对电磁兼容性要求高、人员密集场所如医院、学校等精密电子设备集中的配电区域。

2.2 TN-C接地防雷系统

TN-C系统工作零线与保护零线合一，称PEN线。此

系统接线简洁,节省线缆成本,PEN线兼具载流与接地保护功能。然而,因其工作电流与故障电流共用线路,PEN线正常运行也有电流,接地故障时,故障电流经PEN线回流,可能致使线路电位不均,存在一定安全隐患,多应用于三相负荷较平衡、用电设备分散且对漏电保护要求相对不苛刻的小型工业厂房、简易居民楼等配电场景,需配合合适短路保护装置确保安全。

2.3 TN-C-S接地防雷系统

TN-C-S系统前端采用TN-C形式,后端在合适位置将PEN线分开为N线与PE线,结合二者优势。前端PEN线降低成本,后端独立PE线保障用电安全,尤其适用于既有老旧建筑改造升级配电系统。老旧建筑原TN-C布局无需大规模线缆更换,改造时增设PE线分支,既能兼容前期线路,又提升防雷接地性能,满足现代用电设备对漏电保护与防雷击要求,平衡经济性与安全性,逐步提升配电系统可靠性。

3 电力配电系统防护措施

3.1 直击雷防护

直击雷是雷电直接击中建筑物或设备的现象,其破坏力极大。为了有效防止直击雷对电力配电系统造成损害,我们需要安装避雷针、避雷带、避雷网等直击雷防护装置。这些装置的选择和布置需要充分考虑建筑物的结构特点和配电设施的布局,以实现最佳的防护效果。对于高层变电所,由于其位置较高,容易成为雷电的攻击目标。因此,我们需要在变电所的屋顶全面覆盖避雷网,并确保网格尺寸符合防雷规范。同时,在变电所四周的女儿墙上设置避雷带,以提高防雷效果。对于空旷场地的配电线路,我们需要设置独立的避雷针,并通过精准计算确定其高度和位置,以确保对线路的有效防护。此外,避雷针的引下线需要严格按照热稳定校验选择截面,并多点可靠接地,以降低接地电阻,从而全方位阻挡直击雷的侵袭。

3.2 感应雷防护

感应雷是指雷电在附近放电时,由于电磁感应而在建筑物或设备上产生的过电压。这种过电压虽然通常低于直击雷,但仍然可能对电力配电系统造成损害。为了有效防止感应雷的损害,我们需要对电缆线路采取屏蔽措施^[2]。具体来说,可以在电缆外层包裹金属屏蔽层,并将屏蔽层的两端接地,以削弱感应雷产生的电磁干扰。此外,我们还可以在配电柜内安装浪涌保护器(SPD)。浪涌保护器是一种专门用于防护雷电过电压的设备,其响应速度快,能够瞬间钳制感应雷过电压,并将能量泄放至地。在选择浪涌保护器时,我们需要根据线路的电

压等级和冲击耐受水平选择适配的参数,以确保其能够充分发挥防护作用。通过安装浪涌保护器,我们可以有效保护内部开关电器、测控元件等免受瞬间高压损毁,从而确保二次系统的正常信号传输和控制功能稳定。

3.3 接地电阻控制

为了确保电力配电系统的安全稳定运行,我们需要定期检测接地电阻,并采取必要的措施维护其低阻状态。在接地电阻控制方面,可以采用降阻剂、扩大接地极面积、增设接地深井等手段。对于高土壤电阻率区域,如岩石山区等,可以利用化学降阻剂来改善土壤的导电性能,从而降低接地电阻。对于大型变电所等场所,可以在其周边敷设环形接地网,并对外辐射接地极,以增加散流路径,提高接地效果。此外,我们还需要定期对接地装置进行检查和维护,确保其长期保持良好的工作状态。

4 电力配电系统防雷与接地技术的具体应用

4.1 配电线路防雷与接地保护

(1) 高压线路防雷接地

高压线路由于其传输电压高、线路长且多架设于旷野等开阔地带,因此直击雷的风险相对较高。为了有效防范直击雷的破坏,高压线路全线架设避雷线是必要的措施。避雷线的高度与弧垂需要经过精准设计,以确保其对导线形成有效的屏蔽,从而减少雷电直击导线的概率。同时,杆塔的接地电阻也需要严格控制,以确保雷电流能够迅速通过接地装置泄入大地。在山区等土壤电阻率较高的地区,可以采用降阻模块来强化接地效果,进一步降低接地电阻。此外,多基杆塔接地体互联也是增强雷电流泄放能力的重要手段,它能够使雷电流在更大的范围内分散,从而降低对单一杆塔的冲击。均压环能够均衡电场分布,防止绝缘子因雷击而发生闪络现象。

(2) 中压线路防雷接地

中压线路主要分布于城市街区,其运行环境相对复杂,受到周边建筑的影响较大。因此,感应雷成为中压线路防雷的重点。为了减小感应雷过电压对线路的影响,中压线路通常采用绝缘导线并逐杆接地的方式。这种方式能够降低线路对雷电波的感应灵敏度,从而减少雷电波对线路的破坏。此外,在线路分支、T接处等关键位置安装避雷器也是中压线路防雷的重要措施。避雷器能够在雷电波侵入时迅速动作,将雷电波限制在较小的范围内,从而防止雷电波沿线路传播并对分支线路造成破坏。对于电缆与架空线混合线路,需要在电缆头处设置避雷器与接地箱,以实现不同线路结构之间的平滑防雷过渡。

(3) 低压线路防雷接地

低压线路深入用户端，与居民的日常生活密切相关。因此，低压线路的防雷接地工作尤为重要。为了保证居民用电安全，用户配电箱内需要安装一级浪涌保护器（SPD）。SPD能够在雷电波侵入时迅速动作，将雷电波的能量泄放至大地，从而保护配电箱内的电器设备免受雷击损害^[1]。同时，入户线需要穿金属管并两端接地屏蔽，以降低雷电波对线路的影响。对于农村地区的架空低压线，由于线路长且分散，防雷工作相对困难。为了降低雷击风险，需要缩短电杆间距并强化线路的机械强度与接地连贯性。在易击段可以设置简易避雷装置，如避雷针或避雷带等，以提高线路的防雷能力。此外，漏电保护开关能够在线路发生漏电时迅速切断电源，从而避免漏电电流对人员和设备造成损害。

4.2 变电所建筑防雷

变电所作为电力系统的枢纽站，其防雷要求极高。为了确保变电所建筑的安全稳定运行，需要采取一系列防雷措施。（1）变电所建筑的主体结构需要采用法拉第笼结构。法拉第笼是一种由导电材料制成的封闭笼状体，其内部电场为零或近似为零。通过将变电所建筑的屋面避雷网、四周墙面避雷带及柱内钢筋可靠焊接在一起，可以形成一个立体的屏蔽笼。这个屏蔽笼能够有效地阻挡雷电波的侵入，从而保护变电所内的设备免受雷击损害。（2）变电所建筑的门窗需要设置金属屏蔽网。金属屏蔽网能够防止雷电电磁脉冲通过门窗侵入变电所内部。同时，进出变电所的线缆也需要穿金属管并全程接地。在入口处设置多级SPD可以进一步降低雷电波对线缆的影响，确保变电所内部设备的正常运行。（3）变电所建筑的接地系统。接地系统需要确保变电所内的所有设备都能够与大地形成良好的电气连接。这既能降低设备的接地电位，还能为雷电流的泄放提供低电阻的通道。在接地系统的设计中，需要充分考虑土壤电阻率、接地体的形状和尺寸等因素，以确保接地系统的可靠性和有效性。

4.3 配电变压器防雷接地

为了确保配电变压器的安全稳定运行，需要在其高低压侧均安装避雷器。高压侧避雷器的选择需要根据配电变压器的额定电压和通流容量来确定。避雷器需要能够在雷电波侵入时迅速动作，将雷电波的能量泄放至大地，从而保护配电变压器免受雷击损害。同时，避雷器的安装位置也需要经过精心设计，以确保其对配电变压器形成有效的保护。低压侧则需要根据接地形式搭配相应的SPD。SPD能够在雷电波侵入时迅速动作，将雷电波的能量限制在较小的范围内，从而保护配电变压器低压侧的电器设备免受雷击损害。同时，SPD的选型也需要根据配电变压器的额定电压和通流容量来确定。此外，配电变压器的中性点需要直接接地。接地电阻需要严格控制，以确保中性点电位不会异常升高。当单台或多台配电变压器共用接地装置时，需要确保接地极之间的连接可靠且散流均匀。这既能降低接地电阻，还能防止中性点电位因雷击而升高，从而保护配电变压器的绝缘寿命和供电电压质量。

结束语

电力配电系统防雷与接地技术贯穿电力输送全程，从原理认知到形式抉择，从防护策略拟定至各环节精准应用，各环节紧密相扣。随电力需求增长与技术革新，未来需持续深化技术融合，如智能监测接地电阻实时状态、SPD远程预警寿命及性能，借助大数据分析优化防雷布局，在复杂多变环境中为电力配送筑牢安全根基，推动电力产业稳健迈向智能化、高效化、安全化新征程，保障社会用电无虞。

参考文献

- [1]宋然.供配电系统中防雷接地施工技术探讨[J].中国设备工程,2022(10):198-200.
- [2]宁静,王云坤,王成等.供配电系统中的防雷与接地技术应用[J].集成电路应用,2022,39(08):200-201
- [2]周荣.电力配电系统的防雷与接地技术分析[J].光源与照明,2021(6):111-112.