

基于500kV输电线路杆塔的接地电阻研究讨论

张 鑫

内蒙古送变电有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010020

摘要：本文围绕500kV输电线路杆塔接地电阻展开研究。阐述了接地电阻基础理论，包括其概念、作用及影响因素。分析500kV输电线路杆塔接地电阻的特殊影响因素，介绍了现场测量方法与数据处理方式。探讨降低接地电阻的物理、化学降阻措施，新型接地技术与材料，以及降阻措施的综合应用与优化，旨在为保障500kV输电线路安全运行提供参考。

关键词：500kV输电线路；杆塔接地电阻；影响因素；降阻措施

1 500kV 输电线路杆塔接地电阻基础理论

1.1 接地电阻的概念及作用

接地电阻是衡量接地装置性能的关键参数，它指的是电流通过接地体向大地扩散时所遇到的电阻。在输电线路杆塔系统中，接地电阻起着至关重要的作用。从安全角度来看，当输电线路遭受雷击时，巨大的雷电流会通过杆塔及其接地装置泄入大地。如果接地电阻过大，雷电流在接地装置上产生的电压降就会升高，可能导致杆塔顶部电位过高，进而引发反击现象，即雷电过电压反击到输电线路导线上，造成线路绝缘闪络，影响线路的安全运行，甚至可能引发停电事故。从电气性能方面考虑，接地电阻影响着输电线路的电磁环境^[1]。在正常运行情况下，接地电阻有助于维持杆塔与大地之间的电位平衡，减少因电位差引起的杂散电流，降低对周围通信线路、电气设备等的干扰。在发生接地故障时，接地电阻的大小决定了故障电流的泄放能力，合理的接地电阻能够快速将故障电流引入大地，保护电力设备和人员的安全。

1.2 接地电阻的影响因素

接地电阻受多种因素的综合影响。首先是土壤电阻率，它是决定接地电阻大小的关键因素之一。土壤电阻率与土壤的成分、含水量、温度以及土壤的紧密程度等密切相关。接地体的形状与尺寸同样对接地电阻有重要影响。一般来说，接地体的表面积越大，与土壤的接触面积就越大，电流扩散的路径就越多，接地电阻也就越小。常见的接地体形状有水平接地体、垂直接地体以及环形接地体等。水平接地体适用于土壤电阻率较低的地区，而垂直接地体在土壤电阻率较高或空间受限的情况下更为常用。接地体的尺寸，如长度、直径等，也会影响其接地效果，增加接地体的长度或直径通常可以降低接地电阻。接地引下线的材质、截面积和长度也会影响

接地电阻。接地引下线应具有良好的导电性能，常用的材质有铜、钢等。截面积越大，电阻越小，能够更有效地将雷电流或故障电流从杆塔引至接地装置。接地引下线的长度应尽量短，以减少其自身的电阻和电感，降低对接地电阻的影响。另外，季节与环境因素也不容忽视。不同季节土壤的含水量和温度会发生变化，从而导致土壤电阻率波动，进而影响接地电阻。例如，在雨季，土壤含水量增加，接地电阻会降低；而在旱季，土壤干燥，接地电阻会升高。环境因素如土壤的腐蚀性、周围植被的生长情况等也会对接地装置的性能产生影响，土壤腐蚀性强可能导致接地体腐蚀，增加接地电阻；植被的生长可能会改变土壤的湿度和成分，间接影响接地电阻。

2 500kV 输电线路杆塔接地电阻的影响因素分析

2.1 土壤电阻率

土壤电阻率是影响500kV输电线路杆塔接地电阻的主要因素。对于500kV输电线路，由于其输送功率大、电压等级高，对接地电阻的要求更为严格。不同地区的土壤电阻率差异很大，在一些山区、沙漠等地区，土壤电阻率可能高达数千欧姆·米甚至更高，而在一些潮湿的平原、沼泽地区，土壤电阻率可能只有几十欧姆·米。在高土壤电阻率地区，要使接地电阻满足要求，需要采取特殊的降阻措施。土壤电阻率的不均匀性也会对接地电阻产生影响。如果接地体周围的土壤电阻率分布不均匀，电流在扩散过程中会优先选择电阻率低的路径，导致接地体的有效利用长度降低，接地电阻增大。

2.2 接地体形状与尺寸

在500kV输电线路杆塔接地系统中，接地体的形状与尺寸设计至关重要。由于500kV线路的杆塔较高，遭受雷击的概率相对较大，对接地电阻的要求更为苛刻。水平接地体通常采用扁钢或圆钢，其长度和宽度（或直径）

的选择需要根据土壤电阻率和接地电阻的要求来确定。在土壤电阻率较低的地区，可以适当缩短水平接地体的长度；而在土壤电阻率较高的地区，则需要增加水平接地体的长度，甚至采用多根水平接地体并联的方式^[2]。垂直接地体一般采用钢管或角钢，其长度和直径也会影响接地电阻。增加垂直接地体的长度可以深入到电阻率较低的深层土壤中，降低接地电阻。同时增大垂直接地体的直径可以增加其与土壤的接触面积，提高电流扩散能力。在实际工程中，常常将水平接地体和垂直接地体组合使用，形成复合接地网，以进一步降低接地电阻。

2.3 接地引下线

接地引下线在500kV输电线路杆塔接地系统中起着连接杆塔和接地装置的重要作用。由于500kV线路的雷电流幅值较大，对接地引下线的性能要求较高。接地引下线的材质应具有良好的导电性和耐腐蚀性。铜材质的接地引下线导电性能好，但成本较高；钢材质的接地引下线成本较低，但耐腐蚀性相对较差，需要采取防腐措施，如镀锌等。接地引下线的截面积应根据雷电流的大小和允许的温升来确定。截面积过小，在雷电流通过时会产生较大的发热，可能导致接地引下线烧毁；截面积过大，则会增加成本。接地引下线的连接方式也会影响接地电阻，连接应牢固可靠，接触电阻要小。在实际工程中，常采用焊接、螺栓连接等方式，并确保连接部位的防腐处理到位，防止因连接不良或腐蚀导致接地电阻增大。

2.4 季节与环境因素

季节变化对500kV输电线路杆塔接地电阻的影响较为显著。在雨季，土壤含水量增加，土壤电阻率降低，接地电阻也会相应减小。此时，接地装置能够更好地泄放雷电流和故障电流，保障线路的安全运行。然而，在旱季，土壤干燥，土壤电阻率升高，接地电阻增大，可能会影响接地装置的性能。环境因素如土壤的腐蚀性、周围植被的生长情况等也会对接地电阻产生影响。在一些工业污染地区，土壤可能具有较强的腐蚀性，导致接地体腐蚀，增加接地电阻。因此需要定期对接地装置进行检查和维护，及时更换腐蚀严重的接地体。周围植被的生长可能会改变土壤的湿度和成分，同时植被的生长也可能会影响接地体的散热，对接地装置的性能产生间接影响。

3 500kV 输电线路杆塔接地电阻的现场测量与数据分析

3.1 现场测量方法与仪器

目前，常用的500kV输电线路杆塔接地电阻现场测量

方法主要有电压-电流表法和钳形接地电阻测试仪法。电压-电流表法是一种传统的测量方法，其原理是通过向接地装置注入一定的电流，测量接地装置上的电压降，然后根据欧姆定律计算出接地电阻。该方法需要使用交流电源、电流表、电压表等仪器。测量时，将电流极和电压极按照一定的距离布置在杆塔周围，电流极用于注入电流，电压极用于测量电压降。该方法测量结果准确可靠，但操作相对复杂，需要较大的测量场地，且在测量过程中可能会受到周围电磁场的干扰^[3]。钳形接地电阻测试仪法是一种较为便捷的测量方法，它利用电磁感应原理，无需断开接地引下线，只需将钳口夹住接地引下线即可测量接地电阻。该方法操作简单、测量速度快，适用于现场快速测量。然而，钳形接地电阻测试仪的测量精度相对较低，且在测量过程中可能会受到周围金属物体的影响。在实际测量中，应根据具体情况选择合适的测量方法和仪器。对于对测量精度要求较高的场合，如新建线路的验收测量，可采用电压-电流表法；对于日常巡检和维护测量，可采用钳形接地电阻测试仪法。

3.2 测量数据的采集与处理

在现场测量过程中，需要严格按照测量方法和仪器的操作规程进行数据采集。对于电压-电流表法，要确保电流极和电压极的布置位置准确，电流和电压的测量值准确可靠。测量时应多次测量取平均值，以减小测量误差。采集到的测量数据需要进行处理。首先，要对测量数据进行检查和筛选，剔除明显异常的数据。然后，根据测量方法和仪器的特性，对测量数据进行修正。在数据处理过程中，还可以采用统计分析方法，如计算测量数据的平均值、标准差等，以评估测量数据的可靠性和稳定性。同时将测量数据与设计要求和相关标准进行对比，判断接地电阻是否满足要求。

3.3 数据分析与结果讨论

通过对测量数据的分析，可以了解500kV输电线路杆塔接地电阻的实际状况。如果接地电阻满足设计要求，说明接地装置的性能良好，能够保障线路的安全运行。但如果接地电阻超标，则需要进一步分析原因。结合前面分析的接地电阻影响因素，如土壤电阻率、接地体形状与尺寸、接地引下线以及季节与环境因素等，对超标原因进行排查。根据分析结果，制定相应的处理措施。对于因季节因素导致的接地电阻超标，可以在雨季进行复测，以评估接地装置的实际性能；对于因接地体腐蚀或接地体尺寸不足导致的接地电阻超标，需要及时进行维修或改造，如更换腐蚀的接地体、增加接地体的数量和长度等。同时应建立接地电阻测量档案，记录每次测

量的数据和分析结果，为后续的维护和管理提供依据。

4 降低500kV输电线路杆塔接地电阻的措施研究

4.1 物理降阻措施

物理降阻措施是通过改变接地体的形状、尺寸和布置方式，增加接地体与土壤的接触面积，改善电流扩散条件，从而降低接地电阻。扩大接地网面积是一种常用的物理降阻方法，通过增加水平接地体的长度和数量，或者增加垂直接地体的数量，形成更大面积的接地网，可以有效地降低接地电阻。在实际工程中，可以根据地形和土壤条件，合理设计接地网的形状，如采用方形、矩形、环形等。深井接地也是一种有效的物理降阻措施，在土壤电阻率较高的地区，通过钻深井并埋设接地极，将接地极深入到电阻率较低的深层土壤中，可以显著降低接地电阻。深井接地的深度一般根据土壤电阻率的分布情况确定，通常可达数十米甚至更深。另外，还可以采用外引接地的方式，将接地装置延伸到土壤电阻率较低的地区。这种方法适用于杆塔周围土壤电阻率较高，但在一定距离外存在低电阻率土壤的情况。外引接地时，需要注意外引接地的长度和方向，避免因外引接地过长而增加接地电阻和成本。

4.2 化学降阻措施

化学降阻剂一般具有良好的导电性和吸水性，能够降低土壤电阻率。常用的化学降阻剂有膨润土、降阻膏、导电水泥等。在使用化学降阻剂时，需要按照一定的比例和方法将其与土壤混合均匀。例如，对于膨润土，可以将其与土壤按一定比例混合后填充在接地体周围；对于降阻膏，可以直接涂抹在接地体表面。化学降阻措施具有施工方便、见效快等优点，但也存在一些问题。因此，在使用化学降阻剂时，需要选择环保型的产品，并严格按照相关标准和规范进行施工和使用。

4.3 新型接地技术与材料

随着科技的不断进步，一些新型接地技术和材料逐渐应用于500kV输电线路杆塔接地系统中。离子接地系统是一种新型的接地技术，它通过在接地体周围填充含有电解质的离子化合物，使离子化合物在土壤中缓慢释放离子，改善土壤的导电性能。离子接地系统具有降阻效果好、使用寿命长等优点，适用于土壤电阻率较高且对

接地电阻要求严格の場合。新型接地材料如铜包钢、石墨接地模块等也得到了广泛应用^[4]。铜包钢接地材料具有铜的良好导电性和钢的高强度，耐腐蚀性好，使用寿命长；石墨接地模块具有良好的导电性和稳定性，且对土壤的腐蚀性小。这些新型接地材料的应用可以提高接地装置的性能和可靠性。

4.4 降阻措施的综合应用与优化

在实际工程中，为了达到更好的降阻效果，通常需要将多种降阻措施进行综合应用。在综合应用降阻措施时，需要进行优化设计。根据杆塔所在地区的土壤电阻率、地形地貌、气象条件等因素，合理选择降阻措施的组合方式和参数。例如，在土壤电阻率较高的山区，可以采用深井接地与外引接地相结合的方式，并适当添加化学降阻剂；在土壤电阻率较低的平原地区，可以主要采用扩大接地网面积的方法。同时还需要考虑降阻措施的成本和施工难度。在满足接地电阻要求的前提下，尽量选择成本较低、施工方便的降阻措施。通过综合应用和优化降阻措施，可以有效地降低500kV输电线路杆塔的接地电阻，提高线路的安全运行水平。

结语

500kV输电线路杆塔接地电阻对线路安全运行意义重大。本文全面分析了其影响因素、测量方法及降阻措施。在实际工程中，需综合考虑土壤电阻率、地形等因素，合理选择并优化降阻措施。未来，随着技术发展，应持续探索更高效、环保的降阻技术与材料，加强对接地装置的监测与维护，以进一步提升500kV输电线路的可靠性与安全性。

参考文献

- [1] 陈鹏,王禹,吕宁.基于500kV输电线路杆塔的接地电阻研究讨论[J].百科论坛电子杂志,2018(19):26-2621.
- [2] 漆思怡,赵洪峰.线路杆塔的放射形接地体防雷特性优化与设计[J].电网与清洁能源,2022,38(1):1-6.
- [3] 王毅,程梓航,王喆,等.输电线路杆塔长距离外延接地散流特性研究[J].山东电力技术,2022,49(11):1-6,19.
- [4] 陈四甫,陶晓莉,朱渊博,等.接地材料与土壤接触电阻测定方法研究[J].电气技术,2023,24(3):31-35.