

输电线路杆塔边坡稳定性分析

徐 亮 苏志龙

内蒙古超高压供电公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要：本论文系统研究输电线路杆塔边坡稳定性问题。分析其对输电安全、电力供应及生态保护的重要意义，梳理工程地质分析、极限平衡、数值分析等方法的特点与应用场景，剖析地形地貌、岩土性质等关键影响因素。基于研究，针对性提出优化地质勘察、实施工程防护、建立监测预警及强化运维管理等保障措施，为降低边坡失稳风险、保障输电线路稳定运行提供理论与实践支撑。

关键词：输电线路；杆塔边坡；稳定性分析；影响因素；保障措施

引言：随着我国经济高速发展，电力需求激增，输电线路建设不断向复杂地形拓展。山区、丘陵等地段的杆塔多依边坡而立，边坡稳定性直接关乎输电安全。一旦发生失稳，杆塔倾斜倒塌将导致电力中断，不仅严重干扰社会生产生活，还可能造成重大经济损失与人员伤亡。近年来，因暴雨滑坡引发的输电线路故障频发，严重威胁电力供应安全。因此，系统开展杆塔边坡稳定性分析，精准评估风险并制定保障措施，对筑牢电力输送安全防线、保障社会稳定用电意义深远。

1 输电线路杆塔边坡稳定性研究意义

1.1 保障输电线路安全运行

输电线路杆塔作为支撑输电导线的核心设施，其基础稳固性高度依赖边坡稳定性。稳定的边坡能为杆塔提供可靠支撑，使其在各类荷载下保持直立，保障线路正常运行。一旦边坡失稳，杆塔基础将遭破坏，引发倾斜、倒塌，导致导线断裂、短路等故障，造成大面积停电。如某山区暴雨致边坡滑坡，多基杆塔倒塌，供电中断数天，严重影响生产生活。故研究杆塔边坡稳定性并采取保障措施确保其稳定，是保障输电安全的关键。

1.2 提高电力供应可靠性

稳定的输电线路杆塔边坡是电力稳定供应的重要保障。在现代社会，电力供应的可靠性直接影响到工业生产、商业活动、居民生活等各个领域。若因边坡失稳导致输电线路故障，不仅会造成直接的电力损失，还会对相关产业产生连锁反应，影响经济发展和社会稳定^[1]。通过对杆塔边坡稳定性的研究，提前发现潜在的边坡失稳风险，及时采取预防和治理措施，能够有效降低输电线路故障发生概率，提高电力供应的可靠性，为经济社会发展提供稳定的电力支撑。

1.3 减少经济损失

边坡失稳引发的输电线路事故会带来巨大的经济损

失，包括杆塔修复费用、线路抢修费用、电力中断造成的生产损失以及可能的赔偿费用等。据统计，一次因边坡失稳导致的输电线路重大事故，经济损失可达数百万元甚至上千万元。此外，为应对边坡失稳风险，电力企业还需投入大量资金用于边坡监测、维护和治理。研究杆塔边坡稳定性，通过科学合理的分析和预防措施，避免或减少边坡失稳事故的发生，能够显著降低经济损失，提高电力企业的经济效益和运营效率。

1.4 保护生态环境

在输电线路建设和运行过程中，若边坡失稳引发滑坡、泥石流等地质灾害，不仅会破坏输电设施，还会对周边生态环境造成严重破坏，如破坏植被、损毁农田、堵塞河道等。通过对杆塔边坡稳定性的研究，采取合理的边坡防护和治理措施，能够有效减少地质灾害的发生，保护生态环境。同时，科学的边坡设计和施工还能促进生态恢复，实现输电线路建设与生态环境保护的协调发展。

2 输电线路杆塔边坡稳定性分析方法

2.1 工程地质分析法

工程地质分析法是通过对边坡区域的地形地貌、岩土类型、地质构造、水文地质条件等进行详细勘察和分析，了解边坡的工程地质特征，从而对边坡稳定性作出定性评价。该方法主要包括工程地质测绘、钻探、原位测试、室内试验等工作。（1）通过工程地质测绘，可直观了解边坡的地形地貌、地质构造、岩土分布等情况；（2）钻探能够获取不同深度的岩土样品，进行室内试验分析岩土的物理力学性质，如密度、含水量、抗剪强度等；（3）原位测试可在现场测定岩土的力学参数，如标准贯入试验、静力触探试验等。工程地质分析法是边坡稳定性分析的基础，为其他分析方法提供基础数据和资料，但该方法主要是定性分析，缺乏定量评估。

2.2 极限平衡法

极限平衡法是基于边坡土体或岩体处于极限平衡状态的假设,通过分析边坡滑体的受力平衡条件,计算边坡的稳定性系数,从而判断边坡的稳定性。常见的极限平衡法有瑞典条分法、毕肖普条分法、简布法等。(1)瑞典条分法将滑体分成若干土条,不考虑土条间的作用力,计算相对简单,但结果相对保守;(2)毕肖普条分法考虑了土条间的作用力,计算结果更接近实际情况;(3)简布法进一步考虑了土条间的不平衡力,计算精度更高^[2]。极限平衡法计算原理明确,计算过程相对简便,在工程实践中应用广泛,但该方法假设边坡破坏时滑面为已知,且忽略了土体的应力-应变关系和变形过程。

2.3 数值分析法

数值分析法主要包括有限元法、离散元法等,通过建立边坡的数学模型,利用计算机软件模拟边坡在各种工况下的应力、应变和变形情况,从而评估边坡的稳定性。(1)有限元法将边坡划分为有限个单元,通过求解单元的平衡方程,得到整个边坡的应力和应变分布,可分析边坡的变形破坏过程和机理;(2)离散元法将边坡土体或岩体看作由离散的单元组成,通过计算单元间的相互作用力和运动状态,模拟边坡的破坏过程。数值分析法能够考虑土体的非线性特性、复杂的边界条件和多种影响因素,可直观地展示边坡的变形和破坏过程,但该方法对模型的建立和参数的选取要求较高,计算过程复杂,计算时间较长。

2.4 其他分析方法

除上述方法外,还有基于监测数据的边坡稳定性分析方法,如位移监测、应力监测、地下水监测等。通过对边坡的位移、应力、地下水位等数据进行实时监测和分析,判断边坡的稳定性状态和发展趋势。例如,当边坡位移出现异常增大时,可能预示着边坡即将失稳。此外,还有一些新的分析方法不断涌现,如人工智能方法(神经网络、支持向量机等),通过对大量的边坡稳定性数据进行学习和训练,建立边坡稳定性预测模型,实现对边坡稳定性的快速评估。

3 输电线路杆塔边坡稳定性影响因素

3.1 地形地貌因素

地形地貌对杆塔边坡稳定性有着重要影响。边坡的坡度、坡高和坡形直接关系到边坡的稳定性。一般来说,坡度越大、坡高越高,边坡的稳定性越差。陡峭的边坡在重力作用下,岩土体更容易发生滑动;高边坡由于自重应力大,潜在的滑动力也大。此外边坡的形态也会影响稳定性,如凸形坡比凹形坡更容易失稳。同时,边坡所处的

地形部位也很关键,位于山脊、陡坡等部位的边坡,受到风化、侵蚀等作用较强,稳定性相对较低。

3.2 岩土性质因素

岩土的物理力学性质是决定边坡稳定性的内在因素。岩土的密度、含水量、抗剪强度、压缩性等指标对边坡稳定性影响显著。抗剪强度高的岩土体,能够抵抗更大的滑动力,边坡稳定性较好;含水量增加会降低岩土体的抗剪强度,增加滑动力,导致边坡稳定性下降^[3]。例如,黏土在含水量较低时具有较高的强度,但当含水量增加时,其强度会急剧降低,容易引发滑坡。此外,岩土的结构和构造也会影响边坡稳定性,如存在软弱夹层、节理裂隙发育的岩土体,更容易发生滑动破坏。

3.3 水文地质因素

水文地质条件对杆塔边坡稳定性影响较大。地下水的存在会改变岩土体的物理力学性质,增加岩土体的重量,降低抗剪强度。地下水位上升,会使岩土体处于饱水状态,孔隙水压力增大,有效应力减小,从而降低边坡的稳定性。此外,地下水的流动还会对岩土体产生动水压力,当动水压力达到一定程度时,可能引发流砂、管涌等现象,破坏边坡的稳定性。降雨是影响边坡地下水的重要因素,暴雨或持续降雨会使地下水位迅速上升,增加边坡失稳的风险。

3.4 地震作用因素

地震是导致边坡失稳的重要诱因之一。地震产生的地震波会使边坡岩土体受到强烈的震动,产生附加的地震力,打破边坡原有的平衡状态。地震力的作用会使岩土体的结构破坏,抗剪强度降低,同时还会引发滑坡、崩塌等地质灾害。地震的震级、震中距、地震持续时间等因素都会影响边坡的稳定性。一般来说,震级越高、震中距越近、地震持续时间越长,对边坡稳定性的影响越大。

3.5 人类活动因素

人类活动对输电线路杆塔边坡稳定性的影响日益显著。在输电线路建设过程中,不合理的开挖、填方等施工活动可能改变边坡的原有形态和应力状态,引发边坡失稳。例如,在边坡上进行大规模的开挖,会削弱边坡的支撑力,增加滑坡的可能性;填方过高或填方方式不当,会增加边坡的荷载,导致边坡稳定性下降。此外,工程建设中的爆破施工也会对边坡产生震动影响,降低边坡的稳定性。在输电线路运行过程中,不合理的维护和管理活动,如在边坡附近堆放重物、过度砍伐植被等,也会影响边坡的稳定性。

4 输电线路杆塔边坡稳定性保障措施

4.1 加强地质勘察工作

在输电线路规划和设计阶段,加强地质勘察工作是保障杆塔边坡稳定性的前提。地质勘察应采用多种手段,包括工程地质测绘、钻探、物探等,全面了解边坡区域的地形地貌、岩土性质、地质构造、水文地质条件等。勘察过程中,要合理布置勘察点,确保勘察结果能够准确反映边坡的实际情况。对于复杂的边坡,应进行专项勘察和研究,获取详细的地质资料。同时,要对勘察数据进行深入分析,为边坡稳定性评估和设计提供可靠依据。

4.2 优化边坡设计与施工

根据地质勘察结果和边坡稳定性分析,优化杆塔边坡设计。合理选择杆塔基础形式,如对于稳定的边坡,可采用浅基础;对于稳定性较差的边坡,可采用桩基础或锚杆基础等。在边坡设计中,要充分考虑边坡的坡度、坡高、坡形等因素,采取合理的放坡措施,降低边坡的下滑力。在施工过程中,要严格按照设计要求进行施工,避免不合理的开挖和填方。采用科学的施工方法和工艺,减少施工对边坡的扰动^[4]。例如,在开挖过程中,可采用分层分段开挖的方式,及时进行支护;在填方过程中,要控制填方速度和高度,确保边坡稳定。

4.3 实施工程防护与加固

针对稳定性较差的边坡,应及时实施工程防护与加固措施。常见的防护措施有挡土墙、抗滑桩、锚杆(索)、格构梁等。挡土墙可用于支挡边坡土体,增加边坡的稳定性;抗滑桩能够有效地抵抗滑坡推力,常用于大型滑坡的治理;锚杆(索)通过将拉力传递到稳定的岩土体中,提高边坡的稳定性;格构梁与锚杆(索)结合使用,可增强边坡的整体稳定性。此外,还可采用植被防护措施,如植树种草,增加边坡的植被覆盖率,减少雨水冲刷,改善边坡的生态环境,提高边坡的稳定性。

4.4 建立监测预警系统

建立完善的输电线路杆塔边坡监测预警系统,对边坡的位移、应力、地下水位等参数进行实时监测。采用先进的监测技术和设备,如GPS监测、全站仪监测、光纤

监测等,提高监测的准确性和可靠性。通过对监测数据的分析和处理,及时发现边坡的异常变化,预测边坡的发展趋势。当监测数据超过预警阈值时,及时发出预警信号,以便采取相应的应急措施,避免边坡失稳事故的发生。同时,要定期对监测系统进行维护和升级,确保监测系统的正常运行。

4.5 强化运维管理

加强输电线路杆塔边坡的运维管理,是保障边坡稳定性的重要环节。制定完善的边坡巡检制度,定期对边坡进行巡查,检查边坡的外观形态、排水设施、防护结构等是否正常。及时清理边坡上的杂物和危石,保持排水系统畅通。对发现的边坡隐患,要及时进行处理,如对裂缝进行封堵、对松动的岩土体进行加固等。此外,还要加强对周边环境的管理,禁止在边坡附近进行违规的人类活动,如乱挖、乱堆、乱砍等,保护边坡的稳定性。

结束语

输电线路杆塔边坡稳定是电力安全输送的核心保障。本研究剖析其对电力供应、经济发展及生态保护的关键意义,梳理多元分析方法,明确各类影响因素,并提出涵盖勘察、设计、防护、监测及运维的全流程保障策略。在实际工程中,需综合运用这些手段,动态管控边坡风险。随着科技迭代,后续应聚焦人工智能、大数据等前沿技术与边坡稳定性研究的深度融合,持续探索更高效精准的分析及保障方案,筑牢电力传输安全防线。

参考文献

- [1]顾鹏.架空输电线路铁塔结构与基础设计[J].现代工业经济和信息化,2020,10(12):53-54+58.
- [2]马涛.浅析输电线路大跨越铁塔结构设计[J].中国新技术新产品,2020(23):83-85.
- [3]王恒泰.基于有限元强度双折减系数法的非均质边坡稳定性分析[J].山西建筑,2025,51(08):63-68+72.
- [4]严行云,杨寅,刘欣怡,等.堤防工程边坡稳定性分析及其防护技术研究[J].珠江水运,2025,(05):111-114.