

超高压输电线路电磁环境影响评估与优化措施

俱永森, 冯燕军, 曹喆

国网甘肃省电力公司经济技术研究院, 甘肃 兰州 730000

摘 要 : 超高压输电技术广泛应用后, 电磁辐射对环境和人类健康的影响成重要研究课题。文中分析超高压输电线路电磁场特征, 评估对环境及人体健康潜在影响, 经典型线路电磁场计算确定辐射影响范围, 探讨对居民生活及电子设备的干扰。基于评估结果提出线路设计优化、电磁屏蔽等系列优化措施减轻负面影响, 保障电力系统安全绿色运行, 还结合研究与实践指出未来研究方向。

关 键 词 : 超高压输电线路; 电磁辐射; 电磁环境

Electromagnetic environmental impact assessment and optimization measures of ultra-high voltage transmission lines

Ju Yongsen, Feng Yanjun, Cao Zhe

Economic and Technological Research Institute, State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou, Gansu 730000

Abstract : Since the extensive application of ultra-high voltage power transmission technology, the impact of electromagnetic radiation on the environment and human health has gradually become an important research topic. This article analyzes the electromagnetic field characteristics of ultra-high voltage transmission lines, further evaluates the potential impacts on the environment and human health. Through the calculation of the electromagnetic fields of typical transmission lines, the influence range of electromagnetic radiation is determined, and the interference of the electromagnetic environment on the lives of residents and surrounding electronic equipment is discussed. Based on the evaluation results, a series of optimization measures such as transmission line design optimization, electromagnetic shielding technology, power system operation optimization and policy and regulation support are proposed to reduce the negative impacts of electromagnetic radiation and ensure the safe and green operation of the power system. Combined with current research and practice, the future research directions are also pointed out.

Keywords : ultra-high voltage transmission lines; electromagnetic radiation; electromagnetic environment

引言

超高压输电线路(UHV)由于其输电容量大、远距离传输能力强、有效降低电力损耗,在全球范围内得到了广泛应用。随着超高压电力传输系统规模的逐步扩大,电磁辐射对环境和人类健康的潜在影响也引发了社会广泛关注。电磁辐射不仅可能对居民的生活环境产生影响,还对输电线路周围的电子设备造成干扰,进而影响其正常运行。评估超高压输电线路的电磁环境影响并提出相应的优化措施成为当前研究的重要课题^[1]。

一、超高压输电线路电磁场特征

电场与磁场分布: 电场与磁场的分布具有一定的规律性。根据物理学原理,电磁场会随着距离的增加而呈指数衰减。具体来说,电场的强度与距离的平方成反比,意味着离电源越远,电场的强度就越小。而磁场的衰减则更为复杂,通常随着距离增加而呈现指数级衰减,且受多种因素影响,如电流波动、输电线路架设方式等^[2]。

在超高压输电线路的直流系统中,由于电流方向保持不变,电场的分布通常较为平稳,影响范围相对较小。但在交流输电系

统中,电流的周期性变化,产生的磁场具有方向变化,还会随时间波动,对周围环境的影响较为显著。交流电磁场导致附近设备的电磁干扰,影响通信信号传输、精密仪器的正常工作,甚至对人体健康造成潜在风险。

输电线路的架设高度、走向及环境地形等都会影响电磁场的分布。一般来说,架设高度较低的线路会使电磁辐射更集中,造成较大的局部影响;而在山区或城市等复杂地形中,电磁场的传播范围会受到山体、建筑物等障碍物的影响,导致电磁场分布不均,进一步增加评估和防护的难度。

电磁场强度的评估标准: 为了避免电磁场对人体和周围环境

产生不利影响，国际上已经制定了相关的电磁辐射评估标准。国际非电离辐射防护委员会（ICNIRP）发布的《电磁场暴露限值》对各类电磁场暴露的安全限值进行了明确规定。ICNIRP 建议，长期暴露在电磁场强度超过一定限值的环境中，会对人体健康产生不利影响，需要对电磁场强度进行严格监测和管理^[3]。

在国内，针对超高压输电线路的电磁辐射，国家相关部门也制定了相应的标准和技术规程。比如，《电力设施电磁环境防护技术规程》明确规定了电磁场辐射的强度限值及评估指标。这些标准和规定为电力设施的设计、建设和运行提供了明确的指导，确保了电力系统在保障安全和高效运行的同时，减少了对环境和公众健康的潜在威胁。

电磁场的强度和影响评估是一个多因素、多层次的过程。评估标准考虑了电磁场的强度，还要分析电磁波的频率、暴露时间及暴露环境等因素。在人口密度高或工业区附近，需要采取更严格的标准，防止电磁辐射对居民生活、工业生产或通信设施造成影响。随着电力系统的不断发展，评估标准和技术要求也会随着新的研究成果的不断推出而不断更新和完善。

二、电磁环境影响评估

（一）影响范围的确定

超高压输电线路的电磁辐射强度是一个随着距离变化而衰减的过程。对典型超高压输电线路的电磁场分布进行计算，确定电磁辐射的影响范围。以下是基于中国“特高压”输电线路的电场和磁场分布特征的评估：

电场分布：对于直流输电系统（如1000kV直流输电系统），电场的分布相对稳定，随着距离的增加，电场强度呈指数级衰减。在距线路数百米的地方，电场强度通常会低于安全标准。这是因为直流电场变化较小，电场的持续作用不如交流系统明显，对远距离区域的影响相对较小^[4]。

磁场分布：交流输电系统（如1000kV交流输电系统）则表现出不同的电磁场特性。由于交流电流的方向周期性变化，导致磁场会随电流波动而变化。这种变化使得磁场的影响范围较广，且在较远的距离内，磁场的强度仍高于安全标准。特别是在人们长期暴露的区域，即便距离输电线路较远，交流系统产生的磁场效应仍然会影响到周围环境，甚至对周围电子设备造成干扰。

影响范围：根据相关研究和计算模型，超高压输电线路电磁辐射的影响范围通常与电压等级、输电线路的架设高度、线路的电流波动以及周围地形等因素密切相关。对于1000kV的直流系统，影响范围通常在500米以内，而对于交流系统，这一范围会扩大至几千米。进一步的研究和监测可以精确确定特定地区的电磁辐射强度和影响范围，在居住区、工业区等密集区域周围^[5]。

（二）电磁环境对人体健康的影响

长时间暴露于较强的电磁场环境中，对人体健康产生一系列不良影响。当前的研究重点集中在电磁辐射与某些健康问题之间的关联，在长时间暴露于强电磁场的环境下，对人体产生的负面效应。以下是电磁环境对人体健康的主要潜在影响：

电子设备干扰：对于佩戴心脏起搏器、听力辅助器等电子设备的患者来说，超高压输电线路产生的电磁场可能对这些设备产生干扰，导致设备无法正常工作，进而影响患者的生命安全。电磁场的强度和频率必须严格控制，确保这些电子设备的正常运行^[6]。

癌症风险：部分流行病学研究表明，长期暴露于较强的电磁场中，增加某些癌症的风险，特别是白血病和脑肿瘤等类型的癌症。至今尚未有明确的科学证据表明电磁辐射与癌症之间存在直接的因果关系。尽管如此，电磁辐射与人体健康之间的潜在关系依然是公共健康领域的研究重点。世界卫生组织（WHO）等相关机构也对长期暴露在电磁场中的健康影响进行了大量的研究，得出的结论是电磁辐射的影响与暴露强度、暴露时间以及个体的敏感性密切相关。

神经系统及其他影响：一些研究还表明，长期暴露在电磁场中可能对神经系统产生影响，如头痛、失眠、焦虑等症状。这些症状在不同人群中会有不同表现，但电磁辐射是否与这些症状之间存在直接联系仍需进一步研究。

电磁环境对人体健康的影响尚无统一结论，但可以明确的是，长时间高强度的电磁场暴露对人体可能产生一定的健康风险。在设计和建设超高压输电线路时，加强对电磁环境的监测，采取有效的防护措施，减少对居民和工作人员的影响。

（三）对周围设备的影响

超高压输电线路产生的电磁辐射会影响人体健康，还对周围的电子设备、通信设备以及精密仪器造成干扰。具体影响表现如下：

通信设备的干扰：电磁辐射对电力设施附近的通信信号可能产生较大影响。特别是对于高频通信设备（如无线通信、卫星通信等），电磁干扰导致信息传输错误或信号丢失，影响数据的准确性和实时性。在电力传输线路附近的通信基站，因电磁辐射的干扰导致通信质量下降，影响远程控制和调度系统的正常运行。

精密仪器的干扰：电磁干扰影响通信设备，也对周围的精密仪器产生影响。在医疗设备（如核磁共振、X射线设备等）和科研仪器（如粒子加速器、电子显微镜等）的运行过程中，电磁辐射干扰设备的正常功能，造成测量误差或设备故障。特别是在输电线路附近的实验室或医院等特殊场所，电磁环境的影响需要特别关注^[7]。

工业控制系统的干扰：在电力设施附近，工业自动化系统和控制系统会受到电磁干扰，导致设备误操作或故障。电磁辐射对PLC（可编程逻辑控制器）或DCS（分布式控制系统）等工业控制系统产生影响，进而导致设备停机、生产中断或安全事故。

三、优化措施

（一）线路设计与布局优化

输电线路的设计和布局在电磁辐射的控制中起到至关重要的作用。通过合理的规划，可以有效减少电磁场对周围环境的影响。具体优化措施包括：

线路路径选择：选定输电线路的路径时，尽量避开人口密集区、城市区域和重要设施。将输电线路建设在偏远地区、山区或荒无人烟的区域，避免不必要的电磁辐射暴露。远离居民区的选择还可以减少电磁辐射对生态环境的影响，避免对动植物栖息地造成干扰。

架设高度调整：电磁场的强度与输电线路的架设高度密切相关。提高输电线路的架设高度有效降低地面及周围区域的电场和磁场强度。设计合理的架设高度，可以降低电磁辐射的直接影响，还为线路维护提供便利。

地下输电：虽然地下输电技术相对成本较高，但对于特定区域（如城市中心、居民区或历史遗址附近），地下电力传输可有效避免电磁辐射的外泄。地下输电还减少输电线路受天气、自然灾害影响的风险，提升电力系统的稳定性。

这些线路设计与布局的优化，最大程度地减少电磁场对环境 and 居民生活区的影响，实现更为环保和可持续的电力输送^[8]。

（二）电磁屏蔽技术

电磁屏蔽技术是减少电磁辐射对外界环境影响的重要手段。有效的屏蔽，抑制电磁波的外泄，保护周围设施免受干扰。具体措施包括：

屏蔽网的使用：在输电线路重要设施周围，在人流密集的区域、医院、学校等场所，安装电磁屏蔽网。这些屏蔽网有效地阻挡电磁波的传播，减少电磁辐射的外泄。

低辐射材料的应用：在输电线路的建设过程中，选用低辐射材料和导电性能较好的材料，减少电磁辐射的生成。采用高导电性、低电阻的电缆材料，或者在设备外壳和输电线路周围安装带有电磁屏蔽功能的涂层，有效减少电磁干扰。

电磁隔离保护：对于关键设备，如电力变电站的控制系统、通信设备、医疗设施等，采取电磁隔离措施。这通过设置专门的电磁屏蔽室或在关键部件上加装电磁防护装置来实现，确保这些设备免受电磁辐射干扰，避免设备故障或误操作。

电磁屏蔽技术的应用能够降低电磁辐射对周围环境和设备的影响，保障社会生活和生产活动的正常进行。

（三）优化电力系统运行模式

电力系统的运行模式直接影响输电线路产生的电磁辐射强度。对电力系统的合理调度和运行模式优化，有效减少不必要的电磁辐射。优化措施包括：

电压与电流调节：根据负荷需求和电力输送的实际情况，合理调节输电线路的电压和电流。过高的电压和电流会产生较强的电磁场，在满足电力需求的前提下，尽量避免过高的电流流过线路。调节电力负荷和负载均衡，降低电磁辐射的强度，还提升电力系统的稳定性和运行效率。

负载优化：在电力系统运行过程中，合理安排输电线路的负载，避免线路过载运行，避免过多电力被输送到特定区域。负载过大不仅会增加电磁辐射，还导致输电线路的损耗和设备的过热。通过合理调度电力负荷，减少电力线路的电磁波辐射是确保电力系统安全稳定运行的关键。

动态调度：通过智能化电力调度系统，实现电力流向的实时监控与动态调整。这不仅可以根据需求调配电力供应，还在电力需求较低时减少输电线路的负载，进而减小电磁辐射的强度。

通过优化电力系统的运行模式，可以提高电力输送效率，还有效减少电磁场对周围环境的影响，降低对人体健康和设备的潜在危害。

（四）政策法规支持

为了有效控制超高压输电线路的电磁环境影响，政府在政策制定和实施过程中起着至关重要的作用。具体措施包括：

电磁辐射标准的制定：政府根据科学研究和国际标准，制定严格的电磁辐射限值和相关安全标准。建立完善的电磁环境保护法规，确保超高压输电线路的电磁场强度不会超过安全限值。这有助于保护居民的身体健康，也为电力设施的安全运行提供了法律依据。

电磁环境监测与管理：加强对超高压输电线路电磁环境的监测，及时评估电磁辐射对周围环境的影响。政府应定期开展电磁环境监测，特别是在敏感区域和居民区附近，确保电磁辐射强度符合安全标准。如果发现超过限值的情况，应及时采取整改措施，确保电力设施对环境和社会的影响降到最低。

科研支持与技术创新：政府应鼓励和支持科研机构、高校、企业等单位开展电磁环境防护技术的研究与应用。资金支持和政策引导，推动电力设施的绿色发展，提升电力系统的环境友好性和可持续性。例资助研究新型低辐射材料、新的电磁屏蔽技术等，以促进电力行业在环保方面的创新^[9]。

公众意识提升与教育：加强公众对电磁环境保护的认知和意识，开展科普宣传活动，提高居民和企业对电磁辐射潜在风险的认识，倡导采取必要的防护措施。

四、结论

随着超高压输电线路的建设和使用逐步增加，产生的电磁环境对社会、环境及人体健康的影响不容忽视。本文对超高压输电线路电磁环境的评估，指出了其对人体健康、周围设备及环境的潜在影响，提出了优化设计、合理布局、电磁屏蔽及政策支持等措施，为未来电力系统的建设提供参考，以实现电力传输的安全性、可靠性和环保性^[10]。

参考文献

- [1] 张启. 特高压交流输电线路电磁环境安全评估的实验测量研究 [D]. 兰州交通大学, 2019.DOI:10.27205/d.cnki.gltcc.2019.000351.
- [2] 陈佩. 高压交流架空输电线路电磁环境特性及对电磁环境保护目标的环评重点 [J]. 皮革制作与环保科技, 2020,1(22):87-91.
- [3] 叶艳峰. 特高压交流输电线路电磁暴露安全评估研究 [D]. 兰州交通大学, 2018.
- [4] 李晨晖. 多回同走廊750千伏高压输电线路电磁环境影响调查与分析研究 [D]. 兰州理工大学, 2019.
- [5] 刘丽娜, 陶加祥, 张业茂等. 特高压交流示范工程输电线路电磁环境实测分析 [J]. 中国电力, 2017,50(10):46-51.
- [6] 万保权, 史兴华, 冯华等. 平行架设的特高压交流输电线路电磁环境特性研究 [J]. 浙江电力, 2022,41(01):102-109.DOI:10.19585/j.zjdl.202201014.
- [7] 徐峥. 输电线路环境敏感点工频电磁场影响减缓模型研究 [D]. 北京交通大学, 2019.DOI:10.26944/d.cnki.gbjtu.2019.000513.
- [8] 燕飞霏, 赵洪峰, 郝博可. 特高压输电系统电磁环境研究综述 [J]. 电子制作, 2019,No.383(19):51-54.DOI:10.16589/j.cnki.cn11-3571/tn.2019.19.018.
- [9] 陈晓琳. 110kV新建输电线路并行时电磁环境影响预测研究 [J]. 能源与环境, 2017,No.141(02):23-24.
- [10] 何应东, 章涛, 连勇等. 500 kV交流并行架设输电线路电磁环境叠加影响分析 [J]. 电力科技与环保, 2018,34(05):5-8.