

Research on Performance Optimization and Maintenance of Short Wave Transmitting Antenna System

Kadeya Maimaiti

Xinjiang Uygur Autonomous Region Radio and Television Bureau 91613, Atushi, Xinjiang, 845350, China

Abstract

As an important branch of radiocommunication, short-wave communication has the unique advantages of long-distance propagation and cross-border communication. This propagation method relies on the reflection of the ionosphere and can cover the vast majority of the Earth, even in remote and underdeveloped areas, enabling reliable communication. Therefore, shortwave communications occupy an irreplaceable position in the fields of military, diplomacy, disaster relief and emergency communications. However, with the growing demand for communication, the performance of shortwave transmitting antenna systems is also facing great challenges. The design, installation and maintenance of antennas directly affect the stability and reliability of communication, and the study of how to optimize the performance of shortwave antenna systems and improve their service life through effective maintenance management has become the focus of research in related fields.

Keywords

shortwave emission; antenna systems; performance optimization; maintenance studies

短波发射天线系统的性能优化与维护研究

卡得牙·买买提

新疆维吾尔自治区广播电视局 91613 台, 中国·新疆 阿图什 845350

摘 要

短波通信作为无线电通信的一个重要分支拥有远距离传播和跨国界通信的独特优势。这种传播方式依赖于电离层的反射, 能够覆盖地球上绝大部分区域, 即使在偏远和不发达的地区, 也能够实现可靠的通信。因此, 短波通信在军事、外交、救灾和应急通信等领域占据着不可替代的地位。不过, 随着通信需求的不断增长, 短波发射天线系统的性能也面临着巨大的挑战。天线的设计、安装和维护直接影响到通信的稳定性和可靠性, 而研究如何优化短波天线系统的性能并通过有效的维护管理提高其使用寿命, 已经成为当前相关领域的研究重点。

关键词

短波发射; 天线系统; 性能优化; 维护研究

1 引言

短波通信自其诞生以来在全球范围内就发挥了至关重要的作用, 无论是在战时通信、跨国广播还是在灾害应急中, 短波通信都以其卓越的覆盖能力和较低的依赖性而被广泛应用。短波发射天线系统作为这一通信形式的核心, 其设计与维护对信号的传输效果有着直接的影响。伴随着通信技术的不断进步, 短波天线系统面临着新的挑战, 如何在不同的环境条件下保持高效的通信性能成为一个关键问题。深入研究天线系统的性能优化策略与维护方法可以有效提升短波通信的质量, 确保其在未来复杂环境中的适用性和可靠

性。这不仅是对技术的精进, 更是对短波通信服务的承诺与保障。

2 短波天线性能参数分析

短波发射天线系统的性能参数关系到通信质量与覆盖范围, 而在性能优化中, 天线增益、辐射模式、带宽、天线效率与极化特性是核心参数, 这些参数的微小变化往往带来巨大的影响 (见表 1)^[1]。综合来看, 这些参数既相互独立又相互制约, 其优化需要充分考虑实际应用场景与通信需求的平衡与取舍。

【作者简介】卡得牙·买买提 (1985-), 女, 维吾尔族, 中国新疆阿图什人, 本科, 工程师, 从事广播电视短波发射研究。

表 1 短波天线性能参数分析一览表

参数	具体内容	影响
天线增益	反映天线定向辐射能力，通常以“dBi”为单位	影响信号传播强度与覆盖范围，高增益集中能量但覆盖范围较窄
辐射模式	天线在空间中的能量分布，常见为全向或定向	决定信号覆盖形态，影响通信的距离与方向性
带宽	支持的频率范围，通常以“MHz”为单位	影响信号传输能力与频谱利用效率，宽带适应性强但增益较低
天线效率	输入功率中被有效辐射的部分，通常以百分比表示	低效率导致能量损耗，影响通信质量与系统性能
极化特性	电磁波的振动方向，水平、垂直或圆极化	影响接收信号强度与质量，匹配度决定通信效果

3 短波天线系统性能优化策略

3.1 天线设计优化

短波发射天线系统的优化工作始终围绕着方向性、极化与频率选择这三个核心要素展开。在天线设计的过程中，方向性决定了信号的有效覆盖范围与辐射强度，特别是在高效传输信息的过程中，合理的方向性设计可以有效减少信号干扰。比如，将天线的主瓣宽度控制在 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，通过精确的定向辐射能够显著提高目标区域内的信号接收强度。对于极化方式的选择，一般情况下，水平极化更适合于大地反射路径，能够增强信号的传播距离；而在复杂地形中，垂直极化能够减轻多路径效应的干扰。在这方面，选择双极化设计可以让天线在不同传播条件下灵活调整，有效提升系统性能。频率选择同样是短波天线设计中的关键，在频率范围内，较低频段如 3~10MHz 适合远距离传播，而高频段如 10~30MHz 则更利于短距离内的高效传播。频率选择不仅需要考虑传播距离，还需要针对地理条件、日夜变化以及季节性因素进行优化。例如，在地理复杂、环境变化剧烈的区域可以通过自动调谐技术灵活调整频率，确保信号传输的稳定性。各项参数的优化配合技术上的实时调整，不仅提升了发射系统的整体性能，也为信息传播的精准性与稳定性奠定了基础。

3.2 馈线与匹配网络的优化

馈线作为信号传输的重要通道，其阻抗、长度和衰减特性直接关系到系统的传输效率和信号质量。优化馈线的首要步骤是选择低损耗、高耐压的同轴电缆，如使用衰减系数低于 0.1dB/100m 的电缆可以有效减少信号在传输过程中的损耗，确保更高的传输效率。馈线长度应当严格按照波长的整数倍或半波长倍数进行布置，以避免驻波比（SWR）的增加，减少反射功率的损失，提升整体系统的效率。在匹配网络的优化方面，精确的阻抗匹配是天线系统发挥最大功率的基础。匹配网络的设计应考虑到频率的多变性与负载的多样性，采用 L 型、 π 型或 T 型网络进行精准调谐。针对不同的频率段可以选用高 Q 值的电感和电容元件，以降低损耗并提高系统的带宽适应性。当频率范围较广时，自动调谐匹配网络是理想的选择，能够动态调整阻抗，确保天线系统在各个工作频率段都能实现最佳匹配。“定期维护和测试匹配网络的元件参数”“及时更换老化或失效的元件”也是优化的关键所在，这不仅能够延长系统寿命，还能持续保持高效的传输性能。

3.3 多天线系统与阵列技术的应用

阵列天线通过组合多个天线单元，形成特定的波束方向从而增强信号的传输和接收能力。在短波通信中，由于传播环境复杂多变，传统单一天线难以满足高效传输的要求，阵列技术的引入能够有效提升系统的抗干扰能力和信号增益。应用多天线系统可以调整阵列单元的相位差和幅度以精确控制天线波束的方向性和宽度，实现最佳的辐射方向。针对不同的通信需求，灵活配置阵列天线的阵元数量和排列方式，例如采用均匀线性阵列或均匀圆形阵列，可以分别在水平或全方位实现波束扫描，提升覆盖范围和信号强度。具体来说，在短波天线系统中，采用 4×4 的阵列结构能够有效地提高天线增益约 6dB，并且在噪声环境下显著提升信噪比（SNR），达到约 15dB 以上。同时，通过数字波束成形技术，对天线阵列的各单元信号进行加权处理，可以实现自适应波束成形，在多径效应显著的场景下，能够将主波束对准期望信号方向，抑制来自其他方向的干扰信号，进一步提升通信质量。在天线系统的维护中，保证各阵元之间的相位匹配以及系统校准的精确性极为关键，这直接影响到阵列的波束成形效果和系统的整体性能。因此，阵列技术的应用不仅仅是一种简单的天线组合，而是通过科学合理的设计与精密的调控赋予了短波通信系统更强的适应性和可靠性，确保了在复杂电磁环境中的稳定运行^[2]。

4 短波天线系统的维护与管理

4.1 定期检查与预防性维护策略

定期检查的意义在于及时发现并处理隐患，避免系统在关键时刻因故障而失效。每一个细微的偏差都会在长时间运行中积累，直至引发系统性问题，每一位工程师都必须对定期检查有着足够的重视和执行力。短波天线系统的复杂性决定了其对维护的高要求，天线阵列的性能会影响发射信号的覆盖范围和质量，而天线结构的老化、腐蚀、接地不良等问题常常是造成性能下降的根源。为了确保天线系统的最佳性能，应该对天线的机械结构、电气连接、反射板、馈线等部分进行详细的检查和维护。特别是在天线阵列的机械结构上，塔架的垂直度、横梁的完整性、螺栓的紧固状态等细节绝不能忽视。一旦发现锈蚀或机械松动，应立即采取措施修复或更换，确保结构的稳定性和安全性。在电气连接方面，每个接头的电阻都应保持在规范范围内，通常应小于 0.1Ω 。这些接头连接的不仅仅是电缆，更是天线系统的“生命线”。

高频电流通过这些接头,任何一点电阻的异常都会导致损耗增加。因此,定期对所有接头的电阻进行测量,并对接头表面进行清洁和抗氧化处理,是确保系统高效运行的关键。馈线作为信号传输的通道必须保持其外皮无破损,内部无水汽渗入,以防止阻抗变化和信号反射。对馈线的定期检查,特别是在天气恶劣条件下的检查,能够有效避免因馈线损坏导致的系统失效。对于长时间暴露在外的馈线,建议使用专门的防护涂层或护套,以增强其耐久性。预防故障方面,需要制定详细的预防性维护计划,包括定期的设备校准、天线调试和性能测试。校准过程中尤其要注意反射系数的测试,理想情况下,天线的驻波比应低于1.5。如果超出这一范围就可能意味着天线的某些部分已经偏离设计参数,需及时调整或更换。定期的反射系数测试不仅能够验证天线系统的工作状态,还能为进一步的优化提供数据支持^[1]。

4.2 天线系统的故障诊断与快速响应

一旦天线系统出现故障,整个通信链路的正常运行将受到严重影响,可能导致信号衰减、覆盖范围缩小甚至完全中断,这可能引发严重的连锁反应,因此对天线系统的故障诊断必须具备极高的敏感性和准确性。故障诊断的关键在于精确定位故障点并迅速排除。为了实现这一目标,首先应构建一套高灵敏度的监测系统,该系统需要能够实时监测天线阵列的电气性能,包括驻波比(VSWR)、输入阻抗、辐射功率等关键参数。驻波比的波动尤其值得注意,一旦超过1.5的安全阈值就必须立即引起重视,及时对天线馈线及接头进行全面检查。输入阻抗的偏离可能反映出天线匹配的异常,通常需将此参数控制在 50Ω 左右,以确保最佳的功率传输效率。在快速响应方面,维护团队需要建立高效的应急预案,预案中应明确各类故障的排查步骤及所需的工具设备。例如,在应对馈线断裂时,快速定位仪和网络分析仪可以在最短时间内确定断裂点的位置及性质,同时还需储备足够的备品备件,如同轴电缆、连接器等,以便在故障发生时能够立即进行更换而不致延误修复时间。

4.3 维护团队的专业培训与技能提升

维护人员的知识储备和实践经验直接决定了整个系统

的可靠性和长期运行的稳定性。短波天线系统因其频率范围广泛容易受环境因素影响,这就要求团队成员具备扎实的电磁理论基础,能够迅速判断和处理因天气、地形等因素引发的异常信号衰减或干扰问题。维护团队也要熟悉天线的阻抗匹配、驻波比调节等关键参数,并掌握使用网络分析仪、频谱分析仪等仪器对这些参数进行精确测量和调整的技能。实践中,团队成员必须能够独立进行复杂的电气故障排查,并在必要时进行快速有效的修复操作。团队还应定期接受关于新技术和新设备的培训,以适应不断变化的技术环境。例如,近年来数字化技术在短波通信中的应用日益广泛,掌握数字信号处理、调制解调技术成为维护人员的必修课。实战演练同样是培训不可或缺的部分,团队模拟天线系统故障、环境极端变化等多种场景可以在实践中锻炼快速反应和协作能力,从而提高应急处置的效率和准确性。长期来看,针对培训效果的定期评估和反馈也是确保技能提升的关键,统计分析培训后实际维护工作中问题解决的效率和效果可以及时调整培训内容和方法,以达到最佳的培训效果。这样系统化、专业化的培训能打造出一支能够胜任复杂维护任务的高效团队,从而保障短波天线系统的持续稳定运行。

5 结语

短波发射天线系统的性能优化与维护是一个系统性工程,要求在设计、实施和管理各个环节都能保持高标准。经过科学的天线设计优化、合理的馈线与匹配网络配置以及多天线系统的创新应用,短波通信的性能可以得到显著提升;定期的预防性维护和专业的故障诊断能力对于延长天线系统的使用寿命至关重要。未来的短波天线系统将更加智能化和自动化,进一步提高通信的稳定性和覆盖范围。对于这一技术的发展与研究需要持续投入和关注,以确保短波通信在未来的复杂应用场景中依然发挥不可替代的作用。

参考文献

- [1] 刘亮.浅谈短波发射天线的系统维护[J].黑龙江科技信息,2017(11):20.
- [2] 魏红星.浅谈短波天线使用维护方法[J].信息记录材料,2020,21(10):202-203.
- [3] 任远.短波天线使用维护技术分析[J].中国高新科技,2023(2):147-149.