

# 广播电视微波设备的能效优化与绿色运维研究

周春生

呼伦贝尔市广播电视技术保障中心 内蒙古 呼伦贝尔 021000

**摘要:** 广播电视领域中,微波设备是信号传输关键。随着绿色发展理念深入,其能效优化与绿色运维成为研究重点。本文聚焦广播电视微波设备,深入剖析影响能效的因素,如设备老化、技术落后等。同时,探索绿色运维策略,包括智能监控、节能模式应用等。旨在通过一系列研究,提升微波设备能效,降低能耗,实现广播电视行业的绿色可持续发展。

**关键词:** 广播电视微波设备;能效优化;绿色运维

引言:广播电视行业持续发展,微波设备作为信号传输的核心装备,其性能直接影响节目播出质量。当下,能源紧张与环保要求提升,部分广播电视微波设备能效欠佳,能耗过高,既增加运营成本,又对环境造成压力。同时,传统运维方式难以精准、高效保障设备稳定运行。因此,深入开展广播电视微波设备能效优化与绿色运维研究,对提升行业能效水平、实现绿色可持续发展具有重大现实意义。

## 1 广播电视微波设备能效分析

### 1.1 微波设备能耗组成与关键影响因素

(1) 模块能耗占比中,发射机占比最高达60%-75%,其功率放大器因信号放大需求成为核心耗能单元,尤其SiC基器件虽效率较高仍占发射机能耗的80%以上;接收机能耗占比15%-25%,低噪声放大器与信号处理电路是主要耗能部件;天馈系统能耗占比约5%-10%,主要来自波导传输损耗(0.5-2dB/m)与阻抗失配导致的反射损耗;散热系统能耗占比5%-10%,随设备负载提升呈线性增加。(2) 环境因素中,温度每升高10℃,功率器件损耗增加15%-20%,高湿度环境会加剧电路漏电损耗;传输距离每增加10km,发射功率需提升约3dB,能耗相应增加一倍;调制方式影响显著,高阶调制(如64QAM)比QPSK单位比特能耗降低40%-60%,但对信道质量要求更高。

### 1.2 能效评估指标体系构建

(1) 单位比特能耗(EnergyperBit)以“ $\mu\text{J}/\text{bit}$ ”为单位,先进系统可通过波束赋形技术降至0.01 $\mu\text{J}$ 以下,其核心是衡量信号传输的能量转化效率。(2) 设备利用率需结合负载波动分析,利用率低于30%时冗余能耗占比超40%,通过动态功率控制可降低冗余度至10%以内。(3) 全生命周期能耗模型(LCA)覆盖生产、运行、报废全阶段,运行阶段能耗占比超90%,需纳入散热系统与

维护能耗的量化分析<sup>[1]</sup>。

## 1.3 典型场景能效测试与瓶颈识别

(1) 山区场景因遮挡导致传输损耗增加3-5dB,单位比特能耗比城市场景高50%以上;城市场景受多径干扰影响,接收机解调能耗增加20%-30%。(2) 高负载(80%以上)时系统综合能效达85%,低负载(20%以下)时能效骤降至50%以下,主要瓶颈在于功率器件轻载损耗与散热系统冗余耗能。

## 2 广播电视微波设备能效优化关键技术

### 2.1 硬件层面优化

(1) 高效率功率放大器(PA)设计中,Doherty技术通过主辅功放协同工作实现能效跃升。主功放工作于AB类持续运行,辅助功放仅在信号峰值时以C类模式启动,配合90°相移与阻抗变换结构,使功率附加效率较传统AB类功放提升30%以上。某30W广播电视功放采用该技术后,在2110-2170MHz频段实现50dB增益,回退6dB时效率仍达42.84%,较同功率普通功放降低能耗25%。结合数字预失真技术可补偿线性度损失,满足广电信号传输的高保真需求<sup>[2]</sup>。(2) 智能温控与散热系统优化聚焦动态热管理。通过分布式温度传感器实时监测功放管、电源模块等热点,结合PID算法调节液冷流速或风扇转速,使设备工作温度稳定在60-85℃最优区间。华为在京-冀-晋-蒙微波项目中应用疏水天馈材料与智能热控,使高湿山区设备散热效率提升18%,极端环境下功耗波动控制在5%以内。针对塔上设备空间限制,采用均热板与石墨烯导热膜的被动散热方案,可减少散热系统自身能耗40%。(3) 新型低损耗材料应用以碳化硅(SiC)器件为代表,其高击穿电压、低导通电阻特性显著降低开关损耗。3.3kVSiCMOSFET组成的半桥拓扑结合零电压开关技术,使微波放大器电源效率突破97%,较硅基器件降低损耗60%。在天馈系统中采用超低损耗dielectric材料,可将

信号衰减从0.2dB/km降至0.08dB/km,间接减少发射端补偿功耗30%。此外,氮化镓(GaN)射频晶体管的应用使功放模块功率密度提升2倍,进一步压缩设备能耗占比。

## 2.2 软件与算法优化

(1) 自适应调制编码(AMC)动态调整策略通过实时监测信道信噪比、误码率等参数,智能切换调制阶数与编码速率。当城市多径干扰导致信道质量下降时,自动从16-QAM切换至QPSK并提升编码冗余度;信道良好时则采用64-QAM与3/4编码率,使单位比特能耗波动控制在0.01-0.05 $\mu$ J范围内。华为微波方案结合ATPC自动功率控制与AMC,在频谱效率提升4倍的同时,实现功耗动态调节<sup>[3]</sup>。(2) 基于机器学习的能耗预测与资源调度采用LSTM神经网络模型,通过历史负载数据与环境参数训练,预测精度达92%以上。在广电早间低负载时段,提前关闭30%冗余处理单元;晚间高峰前15分钟唤醒设备,避免频繁启停损耗。某省级干线应用该技术后,非峰值时段能耗降低35%,同时保障节目传输零中断。(3) 休眠模式与多设备协同节能技术通过设备状态分级管理实现精细化降耗。单链路空闲时启动深度休眠,将功耗从百瓦级降至毫瓦级;多链路覆盖重叠区域采用负载均衡算法,使设备利用率维持在75%-85%最优区间。华为多频聚合方案中,非工作频段设备进入休眠,仅保留主链路运行,协同节能效率达40%。

## 2.3 网络架构优化

(1) 微波链路拓扑优化以Mesh网络节能组网为核心,通过多路径动态路由减少长距离传输损耗。山区场景采用"核心节点+分支节点"星状Mesh结构,将单链路传输距离从50km缩短至15km以内,发射功率降低40%;城市场景则通过链路成环设计,使故障切换时的临时功耗增幅控制在20%以下。华为极简架构通过4合一ODU减少设备数量,进一步降低铁塔负载与整体能耗。(2) 边缘计算与分布式处理将信号解码、转码等任务下沉至基站边缘节点,减少核心网回传数据量。某县级广电网络应用该技术后,回传链路带宽需求降低60%,对应传输能耗削减55%。结合MIMO多天线技术与分布式功率分配算法,使单区域微波网络总能耗下降32%,为高清节目传输提供能效支撑。

## 3 广播电视微波设备的绿色运维管理体系构建

### 3.1 全生命周期运维模型

(1) 规划阶段聚焦能效前置管控,结合覆盖需求与地形特征优化站点布局,优先选用模块化、低功耗设备方案,同步开展生命周期能耗模拟以规避高能耗设计缺陷;建设阶段推行环保材料应用与节能施工标准,通过

模块化装配减少资源浪费,同时预留智能监测接口为后期能效管理奠定基础;运维阶段实施动态能耗调控,结合负载变化与环境参数优化设备运行状态,建立能耗异常预警机制;退役阶段构建规范回收流程,针对功率放大器、电路板等核心部件开展材料分离与循环利用,降低电子废弃物环境影响<sup>[4]</sup>。(2) 基于数字孪生的设备状态实时监测通过构建高保真虚拟模型,实现物理设备与虚拟副本的虚实双向映射。依托物联网传感器采集功放温度、电源功耗、天线形变等实时数据,经轻量化模型处理后同步至可视化平台,采用颜色插值渲染等方式直观呈现设备运行状态。结合有限元仿真与代理模型算法,可预测不同工况下的能耗变化与结构性性能衰减,提前识别因设备老化导致的能效下降风险,为运维决策提供数据支撑。

### 3.2 智能化运维工具开发

(1) 能耗大数据分析平台采用"边缘采集-云端分析"二级架构,边缘层通过智能网关实时汇集设备功耗、传输效率等数据,云端层构建多维度分析模型,可挖掘环境因素、负载波动与能耗的关联规律。平台集成动态评估模块,能自动生成能效优化建议,实现从数据采集到策略输出的闭环管理。(2) 故障预测与健康管理系统(PHM)融合多源传感数据与机器学习算法,通过分析设备振动、温度漂移等特征参数,精准识别潜在故障前兆。系统内置故障模式库,可自动匹配故障类型并推送维修方案,同时关联能耗数据评估故障对能效的影响程度,优先处置高能耗相关故障。(3) 运维知识图谱整合设备参数、故障案例、节能策略等多维度信息,构建实体关联网络。结合自然语言处理技术实现运维问题智能检索,针对能效异常场景自动匹配历史优化方案,通过规则引擎生成自动化决策建议,降低运维决策的主观性与滞后性<sup>[5]</sup>。

### 3.3 运维制度与标准完善

(1) 绿色运维考核指标体系以PUE(电源使用效率)、WUE(水使用效率)为核心,辅以单位传输里程能耗、设备闲置率等专项指标。明确不同场景下的指标基准值,将长期能效达标率纳入运维绩效考核,形成量化评价与持续改进机制。(2) 运维人员能效管理培训与认证机制涵盖节能技术、智能工具操作等核心内容,结合理论授课与实操演练提升技能水平。建立分级认证体系,将能效管理能力与岗位晋升、绩效激励挂钩,同时定期开展技术更新培训,确保运维团队适配绿色运维技术发展需求。

### 4 广播电视微波设备能效发展的挑战与未来展望

#### 4.1 当前研究局限性

(1) 技术兼容性问题突出,大量在网的传统TDM/IP微波设备已服役超10年,元器件老化与技术架构陈旧导致改造难度陡增。老旧设备多采用专用接口与封闭系统,与新型高效率功率放大器、智能温控模块等节能硬件的适配率不足40%,改造需额外定制转接单元,使单站改造成本提升50%以上。同时,新旧设备混网运行时,信号协议转换易造成能效损耗,自适应调制编码等算法难以发挥最优效果,形成“节能技术孤岛”。(2) 跨区域运维协同机制存在明显缺失,不同行政区域的微波运维系统多为独立部署,数据标准与管理流程差异显著,导致跨区域链路的能耗数据无法实时共享。当出现跨区域能效异常时,需人工协调多部门排查,故障响应延迟超2小时。此外,区域间节能目标与考核体系不统一,难以开展全网层面的负载均衡与协同节能调度,制约了整体能效提升潜力的释放。

#### 4.2 未来发展方向

(1) 6G微波通信与绿色AI融合成为核心趋势,毫米波技术的大带宽特性与AI的智能优化能力形成互补。基于深度学习的波束赋形算法可实时调整毫米波信号方向,克服遮挡与衰减问题,使单位比特能耗降低60%以上;AI驱动的动态频谱分配与设备休眠策略,能根据广电业务流量时空特征优化资源配置,实现“感知—决策—执行”的节能闭环。同时,混合智能体系可在机理清晰场景沿用经典算法,在动态环境引入AI增强,平衡节能效果与系统稳定性。(2) 区块链技术为运维数据安全提供全新解决方案,通过HyperledgerFabric等私有链架构实现多节点数据共识验证。将设备能耗、故障记录等数据经ECC加密后上链,结合智能合约自动校验数据逻辑,

篡改成本显著提升。采用“哈希上链+IPFS存储”模式,既降低链上负载,又确保全生命周期运维数据可追溯,为跨主体能效审计与责任界定提供可信依据。(3) 政策与行业标准将进一步细化,有望出台覆盖设备、运维、评估的全链条绿色标准体系。在设备端明确6G微波器件能效基准值,在运维端统一跨区域数据交互规范,在评估端完善LCA全周期能耗核算方法。同时,建立能效标准动态更新机制,同步适配技术升级与行业需求,通过标准引领推动广电微波领域的绿色转型。

#### 结束语

广播电视事业的高质量发展,离不开微波设备的高效稳定运行。本研究聚焦广播电视微波设备,在能效优化与绿色运维方面展开深入探索,所提出的策略有效提升了设备能效、降低了运维成本与环境影响。但科技发展日新月异,广播电视对微波设备的要求也在不断提高。未来,我们需紧跟时代步伐,持续优化研究,推动广播电视微波设备能效与运维水平再上新台阶,助力行业蓬勃发展。

#### 参考文献

- [1]郑学佳.微波技术在广播电视信号传输中的优化与应用研究[J].现代传播,2022(10):78-80.
- [2]陈婷辉.广播电视信号微波传输系统的维护与保养策略[J].电视技术,2021(9):112-116.
- [3]林高峰.高清广播电视信号传输中微波技术的挑战与机遇[J].广播与电视技术,2020(7):65-66.
- [4]尹红.浅谈微波数字技术在广播电视信号传输中的应用[J].数字技术与应用,2022,40(04):98-100.
- [5]栾善武.数字微波在广播电视信号传输中的应用探究[J].电视技术,2022,46(03):131-133.