 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i6.10806

Design and Engineering Practice of Dual-Frequency Shared-Feed Co-Tower Antenna Network for Medium Wave Transmitter

Liying Fu

Songyuan Medium Wave Transmitter, Songyuan, Jilin, 138000, China

Abstract

Focusing on the prominent issues in the solid-state transformation of old medium-wave broadcasting stations, such as the scarcity of transmission tower resources and the ease of impedance mismatch and signal crosstalk in multi-frequency co-tower setups, this project uses the renovation of the Songyuan medium-wave transmission station with 3 kW/1431 kHz and 1 kW/603 kHz full solid-state transmitters on the same tower as an engineering case. By comparing the two co-tower technical models—dual-frequency separate feeding and dual-frequency combined feeding—the dual-frequency separate feeding co-tower implementation plan was optimised. The overall antenna tuning network architecture design focuses on pre-tuned impedance pretreatment, LC blocking network isolation, Butterworth filter matching, notch filter adjacent frequency interference suppression, and a multi-level lightning protection system. Based on on-site measured antenna impedance parameters, component values were optimised to construct a five-level lightning protection system covering antenna–tuning network–transmitter room. Through single-unit debugging, multi-unit joint tuning, and fine parameter optimisation, issues such as adjacent frequency crosstalk and excess reflected power were effectively resolved. Operational results show that this tuning network can achieve reliable dual-frequency signal isolation and precise antenna impedance matching. The system's electrical performance indicators meet Class A broadcasting standards, with stable operation and controllable loss. The research results provide engineering guidance and technical reference for the solid-state upgrade of domestic medium and low-power medium-wave transmission stations, multi-frequency co-tower renovation, and tuning system design.

Keywords

medium-wave transmitter; dual-frequency shared tower; tuning network; impedance matching; Butterworth filter; multi-stage lightning protection; adjacent channel interference

中波发射台双频分馈共塔天调网络设计与工程实践

付立英

松原中波发射台，中国 · 吉林 松原 138000

摘　要

针对中波广播老旧台站固态化改造中发射塔资源紧张、多频共塔易产生阻抗失配与信号串扰等突出问题，以松原中波发射台3 kW/1431 kHz与1 kW/603 kHz全固态发射机同塔改造为工程载体，对比双频分馈、双频共馈两种共塔技术模式，优选双频分馈共塔实施方案。围绕预调阻抗预处理、LC阻塞网络隔离、巴特沃斯滤波匹配、陷波邻频干扰抑制及多级防雷体系开展整体天调网络架构设计；依托现场实测天线阻抗参数优化器件取值，构建天线—天调网络—机房五级防雷防护体系，经单机调试、多机联调与参数精细优化，有效解决邻频串扰、反射功率超标等工程难题。工程运行结果表明：该天调网络可实现双频信号可靠隔离与天线阻抗精准匹配，系统电性能指标达到甲级播出标准，运行稳定、损耗可控。研究成果可为国内中小功率中波发射台固态化升级、多频共塔改造及天调系统设计提供工程借鉴与技术参考。

关键词

中波发射台；双频分馈共塔；天调网络；阻抗匹配；巴特沃斯滤波器；多级防雷；邻频干扰

1 引言

在中波广播覆盖网络优化与老旧台站固态化改造进程中，受地形地貌、建设投资、场区规划等条件约束，多数基层台站难以实现单发射机单铁塔配置，一塔多频、共塔播出成为盘活现有塔体资源、节约征地基建投入、扩大覆盖范围的主流技术路径。目前工程上实现同塔双频播出主要有两种方式：一是双频分馈共塔架构，多机独立馈线、独立天调、共用发射塔；二是利用现有塔体架设T型拉线替代新增铁塔。工程实践表明，双频分馈共塔具备传输效率高、覆盖质量好、系统稳定性强、后期运维成本低等优势，无需新建塔体即可实现双频同步播出，更适配老旧台站升级改造场景。

双频共塔工况下，同一铁塔对不同工作频率呈现截然不同的输入阻抗特性，若发射机直接与天线接驳，极易引发阻抗严重失配、载波串扰、反射功率过大、交叉调制失真等问题，严重时会击穿全固态发射机末级功放模块。天调网络

作为双频共塔系统的核心枢纽，需集成阻抗预调配、频率隔离、带通滤波、邻频干扰抑制与多级防雷保护等功能，实现双频信号互不串扰、天线阻抗精准匹配、雷电能量快速泄放，保障全固态发射机长期安全可靠播出。

本文结合松原中波发射台实际改造工程，系统论述双频共塔技术方案比选、天调网络各单元电路设计思路、多重防雷体系构建策略及现场调试优化方法，梳理工程难点与解决措施，为同类型中波发射台多频共塔工程提供标准化设计依据与实践范例。

2 双频共塔技术选型与天调网络设计原则

2.1 一塔双频两种技术模式对比

当前一塔双频发射系统主要分为双频分馈共塔与双频共馈共塔两类，结构特点、调试难度与适用场景差异明显。

双频分馈共塔模式下，两部发射机分别配置独立馈线与专属天调网络，信号经各自通路送入同一铁塔辐射。该方案网络拓扑简洁、插入损耗小、调试流程简单、长期工作稳定性高，非常适合中小功率全固态发射机共塔应用，为本工程最终采用方案。

双频共馈共塔模式需两部发射机共用一套馈线系统，前端增设合路器件完成双频信号合成，存在元器件配置多、信号损耗大、调试复杂、维护难度高等短板，仅适用于极小功率简易播出场景，工程推广价值有限。

综合技术成熟度、施工难度、运行损耗及全生命周期运维成本，本台确定采用 3 kW/1431 kHz 与 1 kW/603 kHz 双频分馈共塔方案，实现同塔独立、安全稳定播出。

2.2 天调网络总体设计原则

为满足双频共塔长期可靠运行要求，天调网络设计严格遵循五项基本原则：

1）阻抗适配原则：补偿铁塔不同频点下的阻抗差异，实现发射机输出阻抗与天线输入阻抗良好匹配；

2）频率隔离原则：实现双频信号双向高隔离，抑制串音干扰、交叉调制与互调失真；

3）滤波匹配原则：一体化实现阻抗变换与带通滤波，抑制带外杂波，保证音频信号无失真传输；

4）安全防护原则：构建天线、馈线、天调网络、机房多级防雷体系，规避雷击损坏固态功放器件；

5）可调可维原则：网络参数预留调节余量，便于现场精细调试，确保整机指标达到甲级播出标准。

3 双工网络核心单元设计

双工网络是双频分馈共塔系统实现阻抗预处理与双频隔离的核心，主要由预调网络与阻塞网络组成。

（天调网内部子框图如图 2 所示）：

输入信号→预调网络（阻抗均衡）

↓

阻塞网络（异频高阻隔离）

↓

巴特沃斯滤波匹配网络（阻抗变换 + 带通滤波）

↓

陷波网络（邻频干扰抑制）

↓

多级防雷单元→输出至发射铁塔）

3.1 预调网络与阻抗预处理

预调网络承担阻抗变换预处理与初级防雷双重作用。共塔条件下铁塔对不同频率阻抗特性差异显著，经现场实测：1431 kHz 天线阻抗为 114−j444.2 Ω，603 kHz 天线阻抗为 30−j0.3 Ω，两频阻抗数值悬殊。

若不经预调直接接入发射机，将造成天线端电压电流分布失衡、串音加剧、阻塞网络视在功率激增、系统效率下降、发射机反射功率超限频繁保护停机，长期失配还会大幅缩短功放管使用寿命。因此需通过预调网络参数优化，使两频在网络接入点等效阻抗实部趋于一致，弱化失配影响。

经理论计算与工程仿真迭代，确定预调网络电感最优理论值 27.736 μH，工程实取 28 μH。优化后节点等效阻抗：1431 kHz 为 145+j496 Ω，603 kHz 为 37.5+j15.6 Ω，阻抗实部基本均衡，有效消除铁塔频变阻抗带来的系统失配，为后续匹配、滤波与隔离网络奠定良好电气基础。

3.2 阻塞网络与双频信号隔离

阻塞网络核心功能为本频低阻通行、异频高阻阻断，是实现双频互不串扰的关键。阻塞网络分为串联谐振与并联谐振两种结构，串联谐振网络参数敏感度高、调试繁琐、后期维护困难；LC 并联谐振网络结构简单、Q 值适中、隔离性能稳定、现场调试便捷，成为中波共塔工程主流选型。

中波广播信号包含载波与上下边带分量，阻塞网络需同时满足：本频通路低损耗传输；对异频载波阻抗不低于 10 kΩ；对异频边带阻抗不低于 5 kΩ，以此抑制信号泄漏与互调干扰。

本工程采用 LC 并联谐振实现双向隔离：1431 kHz 通路天调网络谐振于 603 kHz，阻隔低频串入；603 kHz 通路天调网络谐振于 1431 kHz，阻断高频反向泄漏。通过精准整定 LC 参数，使两路信号在对方通路形成高阻隔离壁垒，实现同塔独立工作、互不干扰。

4 阻抗匹配与带通滤波网络设计

阻抗匹配是发射机实现最大功率辐射、降低反射损耗的基础。将阻抗匹配电路与带通滤波器一体化设计，可同时完成阻抗变换、滤波选频、带外干扰抑制三重功能。

4.1 滤波器选型依据

广播常用无源滤波器主要包括切比雪夫、椭圆函数、巴特沃斯三类。切比雪夫滤波器阻带衰减快但通带存在波纹；椭圆函数滤波器选频特性最优但设计复杂、调试难度大；巴特沃斯滤波器通带幅值平坦、相位线性度好、阻带衰

减平稳，契合全固态中波发射机音频无失真传输要求。本工程选用巴特沃斯最大平坦度滤波器，构建匹配—滤波一体化网络。

4.2 网络设计技术要求

带通滤波匹配网络需满足：通带带宽符合中波广播制式要求；工作频点插入损耗极低；对非工作频率具备足够衰减量；与前后级预调、阻塞网络电气兼容，便于系统联调。投入使用后可使发射机稳定工作在最佳匹配点，输出功率平稳、波形失真小、抗电磁干扰能力显著提升。

5 陷波网络设计与邻频干扰抑制

多机同场中波发射台干扰主要来源于站内邻频发射机耦合干扰与外部天波电磁折射干扰。本台 1431 kHz（3 kW）与 1575 kHz（3 kW）发射机天线间距仅约 100 m，频率间隔仅 150 kHz，大功率近距离布局导致邻频耦合干扰强烈。实测 1575 kHz 开机后，1431 kHz 发射机反射功率急剧升高，出现保护停机、无法正常开播等问题。

由于频点间隔过近，常规阻塞网络难以实现有效衰减隔离，因此在天调系统中增设陷波抑制电路，配合现场精细调参、优化匹配网络与隔离网络参数，有效压制邻频耦合干扰，使两机均可稳定满功率运行。

6 天线与天调网络多重防雷体系设计

全固态中波发射机末级场效应器件耐压低、电流大，对雷击过压、浪涌冲击极为敏感，极易造成模块永久性损毁。结合发射塔引雷特性，构建天线本体 + 天调网络五级多重防雷体系。

6.1 天线本体防雷措施

发射铁塔为场区制高点，天然具备引雷效应，雷电流易沿天线馈线侵入机房设备。采取三项防护措施：铁塔底座安装可调放电球，雷击瞬间快速泄放雷电流入地；优化接地网结构，天线地网浅埋用于信号回流，增设深层接地针并添加石墨、降阻盐材料，降低冲击接地电阻；单独设置机房专用接地井专供固态发射机使用，实测接地电阻低至 0.4 Ω，远优于行业标准，有效抑制地电位抬升冲击。

6.2 天调网络多级防雷保护

在天调网络内部设置三道分层防护：调配室加装可调间隙石墨放电球，放电特性稳定、寿命长、响应快，接地铜管套装磁环，常态不影响信号传输，雷击工况提升阻抗缓冲冲击；采用微亨级泄放电感替代传统毫亨线圈，加快雷电脉冲泄放速度；串入大功率超高频隔直电容，中波频段损耗可忽略，可靠阻隔雷电直流与低频浪涌能量，形成末端防护屏障。多级防护联动，全面保障全固态发射机安全运行。

7 系统安装调试与指标优化

天调网络硬件安装完毕后，采用单机调试—多机联调—干扰优化三步调试流程。

单机调试阶段关停其余发射机，单独开启待测设备，逐步提升输出功率，微调匹配电感，将反射功率降至最低，锁定最佳阻抗匹配工作点。

多机联调阶段逐台开启场内发射机，实时监测共塔机反射功率、驻波比、工作电流等参数。实测发现 1575 kHz 工作时，1431 kHz 反射功率飙升至 30 W，邻频干扰特征明显。

针对性优化陷波网络、隔离网络与匹配网络参数，反复迭代精细调校，最终系统各项电性能指标全部达标，达到甲级播出标准，双频共塔长期稳定运行。

8 结论

以松原中波发射台工程为依托，完成中小功率全固态发射机双频分馈共塔天调网络整体设计与工程落地，得出如下结论：

1）双频分馈共塔架构简洁、损耗低、稳定性好，可高效复用现有发射塔资源，节约改造投资，适合全国基层中波台固态化、共塔化改造推广应用；

2）通过预调网络均衡双频天线阻抗、LC 阻塞网络实现高频隔离、巴特沃斯一体化网络兼顾匹配与滤波、陷波电路抑制邻频干扰，多单元协同设计可保障系统低损耗、高可靠播出；

3）全固态发射机对阻抗失配与雷击浪涌高度敏感，工程中必须同步做好精细化天调匹配与多级防雷设计，才能充分发挥固态机高效、低耗、易维护的技术优势。

本方案已在松原中波发射台长期稳定运行，各项播出指标满足行业规范，可为同类台站天调网络设计、共塔改造、故障调试及防雷系统建设提供可靠技术参考与工程范例。

参考文献

[1] 吴廷昊,蔡浪生.100kW模块式中波广播发射机天调网络的原理与调试[J].西部广播电视,2006.

[2] 褚国祯.76 m中波天线的输入阻抗[J].广播电视技术,2002.

[3] 何连成.低频率下中波全固态发射机天调网络的设计方法[J].广播电视技术,2000.

[4] 郑津生.小功率中波发射机双频共塔天调网络的设计与调整[J].广播电视技术,1995.