

广播电视信号传输中的干扰抑制技术研究

张若天

内蒙古自治区广播电视传输发射中心呼伦贝尔广播发射中心台海拉尔861台 内蒙古 呼伦贝尔 021000

摘要: 在我国的信息传播进程中,以广播和电视传送网为主体的传播通道,它依靠多种高科技手段来实现特定的传送任务。在广播电视的传播中,图像、音频等信息的传送离不开先进的传送技术。目前,我国的广电产业正处于高速发展时期,各类新型科技的运用有力地促进了广电网络的发展。但是,在广播电视信号的传播中,仍然有很多的干扰因素,所以必须采用先进的抗干扰措施,才能使广播电视的信号传输品质得到充分地提升,为实现高品质的广播电视节目提供一个很好的保障。

关键词: 广播电视信号传输;传输方式;干扰因素;抗干扰技术

广播和电视是目前国内最主要的传播媒介,其地域分布十分广泛。最近几年,国内的广播电视传送技术得到了飞速的发展,它既能保证高品质的广播电视节目,又能让更多的人得到高品质的广播电视节目^[1]。目前,全国的广播电视传播网络在规模和信息化水平上都取得了很大的进步,为国家的广电产业的健康稳定发展做出了贡献。

1 干扰对广播电视信号质量的影响

1.1 信号失真与噪声增加。自然干扰。极端天气(如雷暴、雨雪)导致信号衰减或中断,尤其在卫星传输中引发信号电平波动,产生雪花状噪声或画面卡顿;太阳耀斑和电离层扰动造成信号相位偏移,引发高频段信号信噪比(E_b/N_0)下降。技术干扰。地球站设备老化或接地不良时,杂波和工业噪声通过上行链路进入卫星转发器,导致广播信号中夹杂断续杂音;卫星天线极化隔离度不足($< 30\text{dB}$)或转发器功率超限,引发频谱扩散和邻星干扰,造成画面模糊或色异常。人为干扰。调频广播、雷达等同频/邻频信号窜入下行链路,导致接收端误码率(BER)显著上升,画面出现马赛克或音视频不同步;非法信号注入或恶意攻击可能完全覆盖正常信号,导致频道黑屏或音频中断。

1.2 信号覆盖范围受限。多径传播与障碍物阻挡。建筑物、山体等障碍物反射信号产生多径干扰,导致接收功率随机波动(阴影衰落),弱信号区出现画面断续或信号丢失;城市密集区域金属结构对无线电波的吸收和散射,进一步缩小有效覆盖范围,电磁污染影响健康^[2]。工业设备(如微波发射塔)产生的宽带电磁干扰,使接收端载噪比(C/N)降低,导致偏远地区信号接收不稳定。

1.3 系统性能指标恶化。信噪比(S/I)下降。杂散干扰(如设备非线性失真)导致射频信号与干扰功率比(S/

I)低于阈值,引发音视频质量劣化;地面接收设备受电磁干扰时,解调器锁定失败概率增加,导致频道搜索异常或无法解码。误码率(BER)上升。

1.4 安全隐患与运营风险。对航空导航、防汛通信等关键业务的同频干扰可能引发广播信号传输中断,造成重大公共安全隐患;信号质量持续劣化会导致用户投诉率上升,影响广播电视运营商的信誉与市场竞争力。干扰对广播电视信号的影响呈现多维度、跨层次特征,需通过设备优化(如提升极化隔离度)、频谱管理(动态调整频点)及智能监测系统(实时分析 E_b/N_0 与BER)进行综合治理。

2 广播电视信号传输自然因素干扰抑制方法

2.1 极端天气干扰抑制。链路补偿技术。采用自适应功率控制(APC)自动提升发射功率,补偿雨雪衰减导致的信号损耗;通过动态调整天线仰角,降低降雨或冰晶对卫星信号的吸收效应。冗余传输设计。部署双星热备系统,主用卫星受极端天气影响时,自动切换至备用卫星链路;地面接收端采用高增益抛物面天线(增益 $\geq 45\text{dBi}$),提升弱信号接收能力。

2.2 空间环境干扰抑制。极化隔离优化。校准卫星天线极化方向,将交叉极化隔离度提升至 30dB 以上,减少电离层扰动引发的极化偏移干扰;采用双极化复用技术,降低太阳耀斑对单一极化信号的相位噪声影响。自适应均衡技术。部署实时信道均衡器(如LMS算法),动态补偿电离层波动导致的信号时延扩展;结合前向纠错编码(如LDPC码),修复因宇宙射线引发的突发误码。

2.3 地磁场及低频噪声抑制。设备屏蔽与接地优化。地球站采用双层电磁屏蔽室(屏蔽效能 $\geq 80\text{dB}$),阻断地磁场异常引发的低频传导干扰;接收设备使用多点接地设计,消除地环路电流引起的共模噪声。噪声滤波技

术。在接收链路中插入带阻滤波器（中心频率可调），抑制1MHz以下宇宙射线噪声；采用数字中频处理技术（如FIR滤波），动态滤除地磁场波动产生的窄带干扰。

2.4 综合监测与预警。实时监测系统：通过北斗/GPS同步监测卫星链路参数（如Eb/N0、BER），提前预警太阳活动或电离层异常；动态参数调整：根据监测数据自动调整调制方式（如QPSK切换为BPSK），提升恶劣环境下的传输鲁棒性。自然干扰抑制需结合硬件优化（如极化隔离）、算法增强（如自适应均衡）及系统冗余（双星热备）等综合手段，以保障广播电视信号在复杂自然条件下的稳定传输。

3 减少天气因素对广播电视信号影响的方法

3.1 设备防护与硬件优化。高频头防雨雪设计。高频头加装防雨罩（如塑料瓶套或保鲜膜包裹），并在底部设置排水孔，避免雨水积聚导致信号衰减；采用倒置安装方式，将高频头朝下，降低雨雪直接接触概率。天线设计与屏蔽。使用高增益抛物面天线（增益 $\geq 45\text{dBi}$ ）并优化仰角，减少雨雪天气下的信号吸收效应；地球站采用双层电磁屏蔽室（屏蔽效能 $\geq 80\text{dB}$ ），阻断地磁场波动和工业噪声干扰。

3.2 传输技术升级。自适应调制与链路补偿。部署自适应调制技术（如QPSK切换为BPSK），动态调整传输速率以匹配天气条件，提升信号稳定性；通过链路补偿技术（如功率自动控制APC），实时补偿雨衰导致的信号衰减。波束成形与多天线技术。毫米波设备采用波束成形技术，聚焦信号方向以减少雨滴散射干扰；应用MIMO（多输入多输出）技术，通过多天线抵消恶劣天气引起的信号衰减。

3.3 系统冗余与维护管理。冗余传输与备份系统。部署双星热备系统，极端天气下自动切换至备用卫星链路；地面接收端配置多路信号源（如地面微波+卫星双通道），确保信号连续性。定期维护与参数校准。定期检查天线极化隔离度（需 $\geq 30\text{dB}$ ），避免交叉极化干扰加剧天气影响；校准卫星天线仰角和方位角，优化信号覆盖范围，降低多径传播干扰。

3.4 用户端解决方案。安装优化：天线固定于开阔无遮挡区域，避免建筑或树木阻挡信号传播；备用接收设备：为偏远地区用户提供抗干扰能力更强的接收机（如支持LDPC纠错编码）；用户教育：提前告知雨雪天气可能导致的信号中断，建议通过互联网或地面广播作为临时替代方案。通过综合应用硬件防护（如高频头防雨）、智能算法（自适应调制）及系统冗余（双星热备），可显著降低天气因素对广播电视信号的影响。

4 广播电视信号传输技术因素干扰抑制方法

4.1 硬件优化与设备校准。极化隔离度校准。调整卫星天线极化方向，确保交叉极化隔离度 $\geq 30\text{dB}$ ，降低反极化干扰和信号串扰；定期检测地球站电缆屏蔽性能，避免杂波通过劣化电缆进入上行链路。链路电平配置优化。合理配置上行/下行链路电平参数，抑制工业噪声和地面微波信号窜入卫星转发器；使用高性能调制器和高功放设备，减少设备老化导致的杂散干扰。

4.2 自适应传输技术。动态调制切换。部署自适应调制技术（如QPSK与BPSK动态切换），根据信道质量实时调整传输速率，提升抗干扰能力；结合前向纠错编码（如LDPC码），修复因设备非线性失真或突发干扰引发的误码。实时信道均衡。应用LMS（最小均方）算法实时补偿信号时延扩展，抑制多径传播干扰；通过数字中频处理技术（FIR滤波）动态滤除窄带干扰信号。

4.3 噪声抑制与滤波技术。电磁屏蔽与滤波。地球站采用双层电磁屏蔽室（屏蔽效能 $\geq 80\text{dB}$ ），阻断外部电磁噪声干扰；在接收链路中插入可调带阻滤波器，抑制1MHz以下低频噪声（如宇宙射线干扰）。数字信号处理。应用双边滤波调制技术，增强信号抗干扰性并提升传输稳定性；结合深度学习算法识别干扰模式，动态优化滤波参数。

4.4 冗余设计与系统容错。双星热备与多路传输。部署双星热备系统，主用卫星受干扰时自动切换至备用链路，保障信号连续性；地面接收端配置多路信号源（如卫星+地面微波双通道），降低单点故障风险。设备冗余与维护。关键设备（如高功放、调制器）采用冗余备份设计，避免单设备故障导致中断；定期检测接地系统，消除地环路电流引起的共模噪声。

4.5 智能监测与动态管理。实时参数监测：通过北斗/GPS同步监测链路关键指标（Eb/N0、BER），提前预警干扰风险；动态频谱管理：根据监测数据调整工作频点或极化方式，规避同频/邻频干扰。技术干扰抑制需综合硬件优化（如极化校准）、智能算法（自适应调制）及系统冗余（双星热备）等策略，实现广播电视信号的高可靠传输。

5 广播电视信号传输人为因素干扰抑制方法

5.1 恶意干扰抑制。频谱监测与非法信号打击。建立实时频谱监测系统，识别并定位“黑广播”与“伪基站”等非法信号源，通过执法手段强制关闭干扰设备；采用干扰定位技术（如TDOA时差定位），快速追踪非法发射源位置，提升执法效率。电磁屏蔽与信号隔离。地球站部署电磁屏蔽室（屏蔽效能 $\geq 80\text{dB}$ ），阻断外部恶

意电磁干扰侵入传输链路；接收端使用带阻滤波器滤除非合法信号频段，降低同频/邻频干扰。

5.2 设备配置与操作优化。极化隔离与链路校准。校准卫星天线极化方向，确保交叉极化隔离度 $\geq 30\text{dB}$ ，减少人为极化配置错误导致的信号串扰；优化上行链路电平参数，避免因功率超限或链路配置不当引发转发器过载。电缆与接地系统维护。定期检测地球站电缆屏蔽性能，更换劣化电缆以防止杂波干扰上行信号；采用多点接地设计，消除地环路电流引起的共模噪声，降低设备误操作风险。

5.3 传输协议与抗干扰技术。动态频谱管理与编码增强。实施动态频谱分配，规避人为恶意占用的频段，优先使用低干扰频道组；采用前向纠错编码（如LDPC码）和频率跳变技术，修复因干扰引发的误码并减少信号截获概率。冗余传输与应急响应。部署双星热备系统，主链路受恶意攻击时自动切换至备用卫星，保障信号连续性；制定故障处理预案，包括紧急关机制度和信号源切换流程，降低人为失误导致的连锁风险。

5.4 人员管理与技术培训。操作规范制定：建立严格的设备操作流程，禁止非授权人员调整天线极化或链路参数；定期培训考核：针对维护人员开展电磁兼容设计、干扰识别等专项培训，减少人为操作失误。通过综合应用技术防控（如频谱监测）、设备优化（极化隔离）及管理强化（操作规范），可有效抑制广播电视信号传输中的人为干扰因素。

6 广播电视信号传输综合抑制策略

6.1 技术抑制措施。动态频谱管理与抗干扰传输。采用动态频谱分配技术，根据实时监测结果规避恶意占用频段，优先使用低干扰频道组，降低同频/邻频干扰风险；应用前向纠错编码（如LDPC码）与频率跳变技术，修复信号误码并减少信号截获概率。自适应传输与智能算法。部署自适应调制技术（QPSK/BPSK动态切换），

根据信道质量调整传输速率，提升恶劣天气下的信号稳定性；引入深度学习算法识别干扰模式，动态优化滤波参数和信号均衡策略。

6.2 设备优化与冗余设计。极化校准与链路优化。定期校准卫星天线极化方向，确保交叉极化隔离度 $\geq 30\text{dB}$ ，减少反极化干扰；优化上行链路电平配置，抑制工业噪声和地面微波窜入卫星转发器。冗余系统与防护升级。部署双星热备系统，主链路受干扰时自动切换至备用卫星，保障信号连续性；高频头加装防雨罩，地球站采用双层电磁屏蔽室（屏蔽效能 $\geq 80\text{dB}$ ），阻断雨雪及外部电磁干扰。

6.3 管理强化与规范操作。运维流程标准化。建立设备操作规范，禁止非授权人员调整天线极化或链路参数，降低人为误操作风险；定期检测电缆屏蔽性能及接地系统，消除地环路电流引起的共模噪声。人员培训与监测体系。开展电磁兼容设计、干扰识别等专项培训，提升技术人员应对突发干扰的能力；通过北斗/GPS同步监测关键指标（如Eb/N0、BER），实时预警干扰风险。

6.4 应急响应与用户端防护。多路径传输保障：地面接收端配置卫星+地面微波双通道信号源，降低单点故障影响；用户端优化：偏远地区推广抗干扰接收机（支持LDPC纠错），并引导用户通过互联网或地面广播作为临时替代方案。

总之，综合策略需融合技术升级（如动态频谱管理）、设备防护（双星热备）及管理规范（操作流程标准化），系统性提升广播电视信号的抗干扰能力与传输稳定性。

参考文献

- [1]刘轩.广播电视信号传输中的干扰抑制技术分析.2022.
- [2]王建英.关于广播电视信号传输中的干扰抑制技术研究.2023.