

广播节目制作与播出中的音频质量控制与管理

邓辉

江苏省广播电视总台 江苏南京 210087

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18485

[摘要] 为了提升广播媒体竞争优势,应注重先进技术的应用改进广播节目采访工作,收集和处理高质量的素材。维持高保真的听觉效果要依靠严格的技术指标和物理参数,而不是主观听感。信号链路中电平匹配、频谱均衡、动态范围控制、编码传输特性直接决定终端接收效果的好坏。全数字化生产环境中的采样率一致性、时钟同步机制构成了系统运行的基础,而模拟前端换能器的特性、阻抗匹配是决定信噪比的关键因素。根据不同的频段信号特性来制定不同的处理策略,可以有效地避免相位抵消和互调失真。对关键节点的电平进行监测并执行响度标准化,可以消除链路中非线性畸变。本文主要对广播音频制作全过程中的技术控制要点进行分析,研究各个环节参数设置的物理依据以及工程实践。

[关键词] 音频信号处理; 动态范围控制; 传输链路损耗; 频谱均衡策略

广播是依赖声音生存和发展的,满足用户高质量收听需求是广播立足融媒体发展趋势下的必然选择。从技术角度来看,在广播节目制作与播出过程中,注重音频质量控制、逐步完善内容生产流程中各个环节的管理,已成为推进广播高质量发展的关键所在。传统的模拟系统重视信噪比、谐波失真,现代的数字系统更加看重时钟抖动、量化噪声、编解码伪影。建设高标准的广播音频系统必须抛弃经验主义的操作方式,用精确的物理量值的技术规范来取代它。不但要对单个设备性能有深入的认识,还要对整个系统的级联效应有精准的掌控。

一、录音室声学建构与基准设定

录音室是广播节目发源地,录音室物理声学特性好坏决定着原始信号好坏。声学环境的营造不是单纯的吸声处理,是对房间简正模式合理分布、混响时间准确控制的过程。物理空间里驻波效应会造成某些频率的能量堆积或者抵消,破坏声音的频谱平衡。采用非平行墙面设计以及低频陷阱布置,可以很好地平滑房间的频率响应特性。背景噪声控制严格依照噪声评价曲线标准执行,空调系统和照明电路的电磁干扰要经过严格的隔离处理,保证话筒拾音区的底噪低于系统量化噪声基准。从系统电路角度来说,全系统必须建立统一的参考电平标准,模拟设备和数字设备之间的电平校准要保持严格的对应关系,一般把模拟电路的某个电压值对准数字满

刻度电平的某个阈值,留出足够的动态余量来应对突发瞬态信号,防止削波失真的发生^[1]。

二、前端拾音链路的技术指标

(一) 换能器指向性与邻近效应规避

话筒是声电转换的第一关口,极性图形的选择直接影响到达声和反射声的比例。心形或者超心形指向性可以有效地抑制离轴方向的噪声干扰,但是也带来了明显的邻近效应。当声源距离振膜很近的时候,低频分量会呈指数级上升,声音就会变得浑浊不清。技术人员根据声源的频谱特征,改变拾音距离或者开启话筒自带的低频衰减电路来抵消这一物理现象。多话筒作业时,必须按照声源距离和话筒间距的一定比例原则来执行,防止不同的话筒接收到同一个声源信号时,由于传播时间的不同而产生梳状滤波效应,造成高频梳状缺口,严重破坏音色的自然度。

(二) 阻抗匹配与前置放大器增益架构

微弱的毫伏级电信号在传输过程中很容易受到电磁感应的干扰,前置放大器的输入阻抗要与话筒的输出阻抗相匹配,才能使电压传输最大化。增益架构的设置要找到信噪比和动态余量之间的平衡点,增益过低会造成放大器的本底热噪声,增益过高会造成后续电路级的过载。信号进入模数转换器之前,模拟链路中每一级放大电路都应在线性区工作。平衡传输线路共模抑制比的大小可以用来衡量系统的抗干扰能力,

严格接地屏蔽、双绞线结构可以有效地抵消长距离传输产生的工频干扰、射频噪声,保证进入数字域的信号保持较高的纯净度。

(三) 模数转换中的采样率与位深控制

进入数字域的瞬间,连续的模拟波形被离散为二进制数据流。采样率的选择要满足奈奎斯特采样定理,防止频率混叠。过采样技术在实际应用中可以简化模拟抗混叠滤波器的设计,改善高频相位特性。量化位深直接决定了系统理论动态范围,24bit 量化精度提供了远超人耳听觉极限的动态空间,在后期处理中即使进行大幅度电平衰减或者提升,量化噪声也处于不可闻的低电平状态。系统内部必须依靠统一的主时钟源进行同步,任何时钟信号的抖动都会在数模转换环节转化为由于时间轴偏差引起的失真,影响声音的定位感与清晰度^[2]。

(四) 信号通道的相位一致性监测

立体声广播节目当中,左右声道的相位关系决定着声场的宽度以及单声道兼容性。如果左右声道存在相位反转或者严重的时间差,合成单声道播出时就会出现严重的信号抵消,造成中心结像消失。多轨录音或者多话筒访谈的场景中,相位相关度表是必须要时刻关注的技术仪表。对使用 XY 制式或者 MS 制式录制的立体声素材,要保证解码矩阵的参数设置正确。对于由于线缆反接或者设备故障造成的极性反转,应在调音台输入端立即进行极性倒换。保持正向的相位相关度既是立体声听感的要求,又是保证调频立体声导频信号稳定传输的技术前提,防止多径传播环境下接收失真。

三、音频信号处理与动态架构

(一) 频谱均衡与掩蔽效应的修正

原始录音素材一般存在频谱能量分布不均的问题,均衡处理的关键是做减法而不是盲目提高。使用高通滤波器去掉低频的隆隆声,给中高频的乐器或者人声留出能量空间。听觉掩蔽效应就是指高能量低频信号对临近频段微弱信号的遮蔽。对一些频段进行衰减可以提高整体清晰度、层次感。对人声处理时,对于齿音所在高频段,使用动态均衡或者去齿音器进行针对性抑制,防止在之后的压缩处理中造成高频失真被夸大。均衡器的 Q 值设置要准确,窄带衰减用来去除

谐振频率,宽带提升用来修饰音色取向,严禁在没有进行频谱分析的情况下大幅度提高增益,以免引入严重的相移失真。

(二) 动态范围压缩与瞬态响应保留

广播播出的载波调制特性会限制信号的动态范围,过大的动态起伏会使平均调制度降低或者造成峰值过载。压缩器的作用就是减小信号的最大电平和最小电平之间的电平差,提高整体平均响度。启动时间和释放时间的设置十分关键,启动时间过快会使瞬态冲击力被抹平,声音就会变得单薄无力;释放时间过慢会带来明显的抽吸效应,背景氛围的稳定性也会被破坏。在多段压缩处理时,把频谱分成不同的频段独立地做动态控制,可以防止低频的大动态信号把中高频信号无端压制。压缩比的设定要和阈值配合着做精细的微调,保证在控制峰值的同时保留声音原本的微动态起伏,使听感自然、鲜活^[3]。

(三) 效果器链路的串行与并行逻辑

复杂的节目制作当中,混响、延时这些空间类效果器的运用要遵照一定的路由逻辑。采用并行发送的方法加载混响效果,可以保证干信号的原始完整性不被破坏,同时方便地控制湿信号的比例和频谱特性。串行处理一般被用来做均衡、压缩等直接改变信号形态的环节。效果器链的排列顺序一般遵循先做减法均衡、再做动态压缩、最后做音色修饰的原则。如果在压缩之后大幅度地均衡提升,就会把压缩器压下去的噪声重新拉起来,降低信噪比。对于具有强染色特性的模拟仿真插件,要注意它引入的谐波失真分量是否在可控范围内,防止多级串联之后失真累积超过系统容限。

(四) 混音总线的电平叠加与裕量

多轨素材在总线上叠加时会产生电平累积效应,单轨正常的信号在混合之后很容易造成总线削波。混音工程师需要在推子前和推子后建立严格的增益级结构,用编组母线做分级控制。总线压缩器使用目的在于提高声音的融合度,而不是用来解决电平过载的问题。数字混音引擎内部有极大的浮点运算动态余量,但是在最终输出到定点格式文件或者数模转换器的时候,必须保证峰值电平不能超过满刻度值。

四、最终播出链路的信号监测

(一) 响度标准化与真峰值限制

随着数字广播技术的发展,单纯的峰值电平已经不能准确地反映出人耳对声音大小的主观感受。引入响度标准可以强制规定节目信号的平均响度在某一数值区间内,EBU R128标准所建议的参数就是这样的一个数值区间。这就要求技术处理环节由关注瞬间电压峰值转为关注积分响度值。真峰值限制器不同于传统的准峰值表,它利用过采样运算预测两个采样点之间存在的模拟波形峰值,拦截了传统数字限制器不能检测到的采样间峰值。在播出末端加入具有响度归一化功能的处理器,可以消除不同节目源、不同时段之间响度的跳变,保证受众在收听过程中不需要频繁调节接收机音量,获得稳定的听觉体验^[4]。

(二) 传输编码算法的损耗补偿

音频信号传输到发射台或者网络分发端时,一般都会经过有损压缩编码。心理声学模型会去掉人耳不敏感的频谱成分来降低码率,不可避免地会引入量化噪声和高频截止。在编码端,信号中极高频噪点或相位混乱成分过多会占用大量编码器比特资源,从而降低有用信号的编码质量。技术人员在编码之前就要加入低通滤波,并且留出足够的动态余量来应对解码恢复时可能产生的电平过冲。根据不同的分发渠道,即调频广播和网络流媒体,采取不同的预处理策略。低码率传输链路时,适当减小立体声声场宽度来提高编码效率和信号清晰度,防止出现水下音那样的编码伪影。

(三) 射频调制特性与频偏控制

对于调频广播来说,音频信号的幅度就是载波的频率偏移量。过大的音频幅度会造成频偏超过法定限值,对相邻频道产生干扰,还会使发射机发生保护性关机。预加重电路的加入是为了提高高频段的信噪比,但是在接收端去加重时会削弱高频。因此,在发送端音频处理时,必须对高频能量进行严格的控制,防止高频分量预加重之后幅度过大引起过调制。多波段限制器的核心任务之一就是保持响度的同时,严格控制高频部分的能量密度。复合立体声信号中导频、副载波的注入电平要和主音频信号保持严格的比例关系,任何幅度的偏差都会影响立体声分离度指标和解调信噪比^[5]。

(四) 终端接收效果的客观测试

播出信号最终质量要以接收端解调指标为准。在覆盖区域内布设标准接收监测点,实时把解调出来的音频信号传送到分析系统中进行对比。用快速傅里叶变换分析仪检测解调信号的频谱特性,看有无非线性互调产物或者异常的底噪上升。信噪比和总谐波失真用来度量发射链的线性度。除射频指标外还要检测解调后左右声道的分离度,看传输链路中是否存在相位漂移。客观测试数据应该和发射机房的输入信号做相关性分析,用差分运算找出链路中造成信号劣化的具体环节,无论是传输光缆的误码还是微波中继的频响畸变,都必须用闭环的监测数据来定位并修正。

五、结语

广播音频制作与播出是紧密联系在一起的各种技术环节互相咬合的系统工程。从话筒拾音产生的微小电压信号,经过发射天线的调制、放大后变成高频电磁波。每一个环节的技术参数设定都不是孤立存在的,前一级的微小偏差在经过多级放大与处理之后,都会在终端变成不可接受的听觉缺陷。坚持物理声学的客观规律,严格遵循数字信号处理的数学逻辑,精准把控模拟电路的电气特性,是保证音频质量的根本途径。摒弃主观随意性,用量化标准为依据的技术作业规范,在全链路信号监测和闭环控制的基础上,在复杂的电磁环境、多样的接收条件下保证高保真的声音信息传递。

[参考文献]

- [1]肖晓初. 中央广播节目信号复用平台智慧运维系统的设计与实现[J]. 广播与电视技术, 2025, 52(07): 124-130.
- [2]王雷. 基于AI技术的广播电视节目质量评审系统设计与实现[J]. 电视技术, 2025, 49(04): 21-23.
- [3]茹国钰. 基于视音频技术的广播电视节目质量提升研究[J]. 电视技术, 2025, 49(03): 222-225.
- [4]何文娟. 广播节目制作与播出中的音频质量控制与管理[J]. 广播电视信息, 2024, 31(07): 73-75.
- [5]李良勇. 广播音频信号的质量分析与测量[J]. 电声技术, 2020, 44(09): 77-80.

作者简介: 邓辉, 男, 1985.3, 汉族, 扬州, 本科, 副高, 研究方向: 广电工程。