

现代 中短波 广播发射机

刘洪才 编著

中国广播电视出版社



现代

中短波
广播发射机



国家广播电影电视总局

广播电视工程技术
职业教育规划教材

现代中短波广播 发射机

刘洪才 编著

中国广播电视出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代中短波广播发射机/刘洪才编著. —北京: 中国
广播电视出版社, 2003.6

国家广播电影电视总局广播电视工程技术职业教育规划
教材

ISBN 7-5043-4077-4

I. 现… II. 刘… III. ①高频 (3兆赫~30兆赫)
—广播发射机—专业学校—教材 ②中频—广播发射机—
专业学校—教材 IV. TN839

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 033546 号

现代中短波广播发射机

编 著:	刘洪才
责任编辑:	王本玉
封面设计:	张一山
责任校对:	谭 霞
监 印:	戴存善
出版发行:	中国广播电视出版社
电 话:	86093580 86093583
社 址:	北京复外大街 2 号(邮政编码 100866)
经 销:	全国各地新华书店
印 刷:	廊坊人民印刷厂
装 订:	涿州市西何各庄新华装订厂
开 本:	787×1092 毫米 1/16
字 数:	270(千)字
印 张:	12.5
版 次:	2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月第 1 次印刷
印 数:	5000 册
书 号:	ISBN 7-5043-4077-4/TN·288
定 价:	25.00 元

(版权所有 翻印必究·印装有误 负责调换)

国家广播电影电视总局
广播电视工程技术职业教育规划教材
编 委 会

主 编 刘爱清

副主编 高 峰 关良柱

编 委 李绍新 刘宁生 杨金明 尹秀珍

王泗德 沈联俊 孙建华 王 萍

章 辉 刘长年 贾 建 张春芳

胡 红

序

在全面建设小康社会的新时期，我国广播电视事业的实力和水平要达到亚洲一流，进入世界前列。实现这一宏伟目标的技术依托和重要条件，就是加快发展以数字技术、网络技术为标志的广播电视高新技术，构建以数字技术、网络技术为基础的广播电视科技新体系。

广播电视是一个国家和地区文明进步的标志性窗口，是当今世界各个国家和地区普遍重视的一项事业。它作为最有效、最广泛、最有影响的主流媒体，主要是因为它具有很高的科技含量，不断用高新技术发展和提升自己，始终体现着先进的生产力。而目前开始的数字技术、网络技术在广播电视领域的推广、应用和发展，是广播电视事业发展史上的又一场重大革命。它必将引起传输系统、制作手段、运行体制、管理模式、服务方式等各个方面的重大变革。毋庸置疑，用数字技术、网络技术装备起来的广播电视，其制作与传输手段将更先进，服务质量和效率会更高，应对各种挑战的实力和能力会更强。广播电视事业发展和技术进步的这种必然的大趋势，无疑对广播电视教育和培训提出了新的更高的要求。因此，加快培养一大批懂得新技术、使用新技术、管理新技术的专业人才，是我们面临的一项重大而紧迫的任务。

为适应新时期、新任务对广播电视人才培养提出的新要求，我们组织编写了这套“国家广播电影电视总局广播电视工程技术职业教育规划教材”，共8本，构成了一套学科体系相对完整的系列教材。这8本书：《数字广播电视技术基础》、《数字音频广播与数字高清晰度电视》、《电视多媒体技术与应用》、《数字电视节目制作与播控技术》、《广播电视宽带网络技术》、《卫星数字广播电视技术》、《现代中短波广播发射机》、《信号与线性网络技术》。

这套教材的编写原则和指导思想是：紧密追随广播电视新技术的发展前沿，力求吸收其最新成果；紧密结合广播电视职业教育的人才培养目标和广播电视在职人员的岗位培训要求，力求贴近实际需要；在强化专业基础理论和实践教学的基础上，突出先进性、科学性、准确性和实用性，力求有所创新；遵循工科教学规律，贯彻理论联系实际和少而精的原则，力求言简意赅、通俗易懂；在体例上既适当保持各本教材的相对独立性，可分别单独使用，又兼顾相互间的有机结合与整体配套，力求构成比较完整、系统的广播电视工程技术的新课程体系。

这套教材是适合广播电视职业教育特点的专业教材。主要面向高、中等职业教育和普通专科教育，同时也适合广播电视工程技术人员、节目制作人员岗位培训的需要，适合相关影视、通信类专业公司人员学习和阅读。这是一套适用范围较广的规划教材。

这套教材是集体智慧的结晶。编委和编写人员的组成体现了产教结合和新老结合的

原则。他们有的是各广播电视学校中理论功底扎实、教学经验丰富的资深教师，有的是广播电视行业的专家、学者，有的是工程技术岗位上的专业骨干。本套教材的编写是经过大纲审定会（2001年12月，厦门）和审稿、统稿会（2002年8月，成都），经过多次研讨审议、通力合作，历时两年余，终成这套实用性强的新技术工科教材。除本书已署名者外，还有吉林广播电视学校的王志俊老师、内蒙古广播电视学校的田伟老师、新疆广播电视学校的丁龙老师分别参加了部分大纲和文稿的审定。以上同志均以求真务实、严谨细致、一丝不苟、认真负责的精神，为之奉献了才智，付出了心血。我借此机会谨表深切的谢意！

这套教材的出版，无疑是广播电视职业教育和在职培训的一件有益之事。它将完善职业教育的工科教材体系，为提高教学质量提供保证，也为岗位培训和广大工程技术人员的学习提供凭借。但由于参编人员较多，成书时间又紧，难免存在内容交叉、体例不一、水平参差甚至个别差错等问题，诚恳希望读者批评指正。同时我们还要充分意识到，科学技术的进步日新月异，广播电视领域的新理论、新技术层出不穷。因此，我们必须继续跟踪科技发展的前沿，适时补充和完善本教材的内容，使其与时俱进，保持相对较长时期的应用价值。

刘爱清

2003年元月8日

（注：为本书作序者系国家广播电影电视总局人事教育司副司长）

前 言

我国无线电广播始于20世纪20年代，板调发射机一直居主导地位。直至80年代，我国先后引进脉宽调制（PDM）和脉阶调制（PSM）发射机。到了90年代，先后引进了数字调制（DM）、幅相调制（APM）和数字直接驱动（3D）发射机。我国广播电视工业部门对引进设备进行消化、吸收和研制后，现已批量生产，为我国70年代以前使用的板调发射机的更新改造奠定了基础。

目前，我国板调发射机正处于新老交替的时期，老式板调机还没有完全被更新，仍在正常运行。即使更新成为新型发射机，如PDM、PSM，它们仍属于板调范畴。这说明板调作为一种调制方式还没有废除。另外，新型发射机已经基本实现了固态化，惟独在大功率短波发射机的高末级仍使用电子管或陶瓷四极管。鉴于目前的实际情况，本书在系统地讲述了新技术基础理论的同时，也讲述了有关板调以及电子管方面的基础理论。考虑到作为中专教材，尽量避免繁琐的数学推导，通俗易懂，图文并茂。同时介绍了丰富的实际维护经验，有利于提高广播发射台维护技术人员的维护测试和处理故障能力，增强技术安全意识。此外，本书还介绍了地面数字音频广播（DAB-T）和调幅波段的数字音频广播（数字AM），对了解国内外声音广播的发展方向有所帮助。本书适合于具有大中专文化水平的维护人员阅读，也可供具有大专以上文化水平的科技人员参考。在编著本书时，以1999年作者所编著的《中短波广播发射机》一书为基础，进行了修改和补充，又参阅了刘启鹤、张丕炆、陈晓伟等专家最新发表的文章和著作，在此谨表示衷心的感谢。

作 者
2003年3月

内 容 提 要

本书共分十章。第一章为调幅广播与数字声音广播，重点介绍7种调幅广播的调制方式，并指出了中短波广播的发展方向。在第二章至第八章里，讲述了现代中短波广播发射机中的射频系统（包括天馈线）、音频处理与编码调制、电源系统、控制系统和冷却系统的工作原理。第九章和第十章介绍了广播发射机的维护、调试和故障处理，同时讲述了广播发射台的技术安全管理工作。

本书可供广播发射专业、通信专业大中专生、高职生、函授生作为教材，也适合在职技术人员作为培训教材或参考书。

目 录

第一章 调幅广播与数字声音广播	(1)
第一节 无线电广播	(1)
第二节 声音广播的主要类型	(4)
第三节 发射机技术指标	(19)
第四节 广播发射机的发展方向	(23)
第五节 地面数字音频广播	(25)
第六节 调幅波段数字音频广播 (数字 AM)	(29)
第二章 射频系统	(41)
第一节 激励级	(42)
第二节 射频功率放大器	(46)
第三节 放大器的中和	(58)
第四节 MOSFET 功率放大器	(61)
第五节 输出网络	(68)
第六节 并机网络	(70)
第三章 低频放大	(73)
第一节 限制放大器	(73)
第二节 音频处理器	(75)
第三节 低频电压放大器	(78)
第四节 阴极输出器	(88)
第五节 负反馈	(90)
第六节 晶体管放大器	(94)
第四章 脉冲与数字电路基础	(98)
第一节 脉冲电路基础	(98)
第二节 逻辑门电路	(102)
第三节 脉冲宽度调制 (PDM) 基础	(108)
第四节 数字调制理论基础	(111)

第五节	运算放大器	(118)
第六节	模数转换	(120)
第五章	天馈线系统	(127)
第一节	电波传播	(127)
第二节	馈线	(129)
第三节	天线的主要特性参数	(130)
第四节	中波天线	(132)
第五节	短波天线	(134)
第六节	馈线与天线的匹配	(136)
第七节	中波两频共塔发射双工网络	(137)
第六章	电源系统	(140)
第一节	变电与配电	(140)
第二节	灯丝电源	(141)
第三节	整流电源	(141)
第七章	控制系统	(149)
第一节	广播发射机的自动控制与管理	(149)
第二节	发射中心的自动控制与管理	(152)
第八章	冷却系统	(155)
第一节	风冷	(155)
第二节	水冷	(156)
第三节	蒸发冷却	(156)
第四节	超蒸发冷却	(158)
第九章	维护与调整	(159)
第一节	发射机的维护周期与项目	(159)
第二节	电平的计算	(163)
第三节	大型电子管的维护	(165)
第四节	天馈线系统的维护	(169)
第五节	稳定性检查	(172)
第六节	故障处理的一般原则	(180)
第十章	广播发射台技术安全管理	(182)
第一节	技术安全事故的属性及其防范措施	(182)

第二节	电源系统技术安全.....	(185)
第三节	天馈线系统技术安全.....	(187)
第四节	大型电子管技术安全.....	(187)

第一章 调幅广播与数字声音广播

本章内容提要

- ◎ 声音广播的主要类型：调幅、调频
- ◎ 调幅广播的7种调制方式
- ◎ 地面数字音频广播 (DAB-T)
- ◎ 调幅波段数字音频广播 (数字 AM)

1895年，意大利物理学家马可尼发明了电磁波发射装置和柱状垂直天线，改良了金属检波器，成功地进行了无线电通信实验，1896年，俄国物理教授波波夫在莫斯科表演了无线电发送接收试验。1906年，无线电广播在美国实验室里诞生。1920年，世界上第一座美国匹兹堡 KDKA 广播电台开始播音。中国的无线电广播于1923年在上海商业电台首播。1940年12月31日，延安新华广播电台正式播出，中国人民广播事业从此诞生了。从世界上第一个广播电台诞生至今，声音广播已走过了80年的光辉历程。从调制方式上看，乙类板调一直居主导地位。到了80年代，先后出现了几种先进的调制方式，如脉冲宽度调制 (PDM)、脉冲阶梯调制 (PSM)、数字调制 (DM)、幅相调制 (APM)、数字直接驱动 (3D) 等。从发射功率方面看，中波发射机功率可达1~2MW，短波发射机可达500kW。从发射效率方面看，可以达到70%~85%。尽管如此，它们仍属于模拟双边带调幅广播，存在所占用频带宽、耗能高、质量差等弊端。

第一节 无线电广播

随着世界进入信息时代，广播技术取得了飞跃的发展。除了调幅广播、调频广播和电视广播外，卫星广播、图文数据广播、数字音频广播 (DAB)、数字 AM 以及高清晰度电视 (HDTV) 广播等新型广播将相继问世，推广应用。

调幅广播系统包括新闻采编、节目制作、播控中心、节目传输、电波发射、监测监听等环节。调幅广播发射台的任务是产生、发射无线电波，供听众收听。

广播发射台有直播台和转播台两种：将播控中心的广播节目用电缆或微波直接送到发射台播出，这样的发射台叫直播台。将播控中心的广播节目通过卫星、微波干线、短波传输到发射台播出，这样的发射台叫转播台。直播台在播控中心所在城市的郊区，转

播台不在播控中心所在的城市，有些转播台甚至建在边疆地区。

一、发射台组成

发射台的主要设备是广播发射机及其天馈线系统。节目传送设备包括卫星地面接收站、微波机房、短波收音机房。电源设备包括变电站、配电间。电源设备应有主用和备用两套。冷却设备包括水冷系统和风冷系统。此外，还应有监测监听设备。技术先进的发射台还有自动化设备，利用微机进行自动程序控制，实现有人留守、无人值班。

二、发射机构成与分类

1. 发射机构成

图 1-1 为发射机及其相关设备方框图。节目传送机房可以通过卫星、微波、短波等方式，接收广播节目信号，送往调度室。调度室的任务是统一控制发射台节目种类、各发射机的使用频率、天线方位，并进行监测监听。广播发射机安装在发射机房内，每个机房可能有几部发射机（包括备份机）。一个发射台可能有几个发射机房。发射天线将射频电流变成电磁波，并向空间辐射。一部发射机可以切换使用多个方向的天线。为了提高天线的发射效率，在天线场区要埋设辐射状地网。电源系统包括交流电源和直流电源。交流电源主要供给各整流器、动力设备、电控系统、照明。直流电源主要供给节目传送机房、广播发射机、微机控制、调度室。通过微机控制实现发射机及其相关设备的自动开关机，工作状态参数（电压、电流、功率等）自动巡检、打印、故障报警、倒备机、自动调谐。发射机大功率电子管及其相关元器件需要进行水冷或风冷，保护它们正常运行。

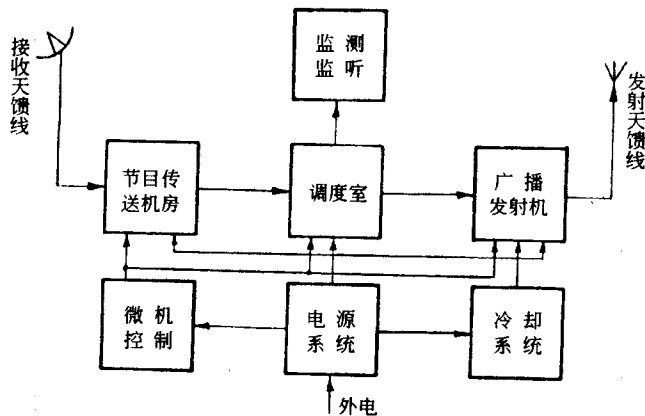


图 1-1 发射机及其相关设备方框图

2. 发射机分类

(1) 按工作频段划分

无线电频段和波段划分示于表 1-1。

表 1-1 无线电频段和波段划分

段号	频段名称	频率范围	波段名称	波长范围	
1	极低频	3~30Hz	极长波	100~10Mm	
2	超低频	30~300Hz	超长波	10~1Mm	
3	特低频	300~3000Hz	特长波	1000~100km	
4	甚低频 VLF	3~30kHz	甚长波	100~10km	
5	低频 LF	30~300kHz	长波	10~1km	
6	中频 MF	300~3000kHz	中波	1000~100m	
7	高频 HF	3~30MHz	短波	100~10m	
8	甚高频 VHF	30~300MHz	米波	10~1m	
9	特高频 UHF	300~3000MHz	微波	分米波	10~1dm
10	超高频 SHF	3~30GHz		厘米波	10~1cm
11	极高频 EHF	30~300GHz		毫米波	10~1mm
12	至高频	300~3000GHz		亚毫米波	1~0.1mm

中波广播发射机的频率范围为 526.5~1605.5kHz，波长为 570~187m。短波广播发射机的频率范围为 3.2~26.1MHz，波长为 9.38~11.5m。

(2) 按功率等级划分

大功率发射机是指单机输出功率在 50kW 以上的发射机。目前，我国使用的有 50kW、100kW、150kW、200kW、250kW、500kW 等大功率发射机。中小功率发射机是指单机输出功率小于 50kW 的发射机。现在运行的有 15kW、10kW、7.5kW、1kW 等中小功率发射机。

(3) 按调制方式划分

调幅方式有栅极调制、帘栅极调制、板极调制、自动板极调制，其中板极调制应用最广。由于音频加工方式不同，板极调幅又可分为乙类板极调制 (AM)、脉冲宽度调制 (PDM)、脉冲阶梯调制 (PSM)、单边带调制 (SSB) 等四种调制方式 (见图 1-2)。

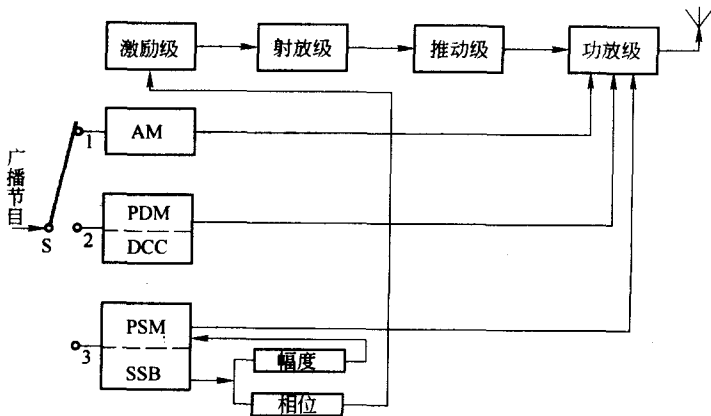


图 1-2 板极调幅方式

将调制方式切换开关 S 切换至位置 1，即为乙类板极调制；S 切换至位置 2，即为脉冲宽度调制 (PDM)。在串馈脉宽调制发射机中，还可以实现浮动载波控制 (DCC)。S 切换至位置 3，即为脉冲阶梯调制 (PSM)；S 切换至位置 3，再拨动机器面板上的工作方式选择开关至 SSB 位置，即为单边带调制。近年来又出现了数字调制 (DM)、幅相调制、3D 等新型调制方式。

(4) 按广播方式划分

为提高中波广播覆盖率，采用同步广播方式。所谓同步广播，就是用两台或两台以上的发射机，使用同一频率，播出同一节目，进行同步播音的广播方式。单一频率同步网示于图 1-3。图中 A、B、C 三部发射机都使用相同频率 f_1 。

采用同步广播，可以减少每套节目所占用的频率数，减轻了中波频率的拥挤。此外，还可以提高由于中长波绕射和天线传播所造成的各种频率相互干扰的抵抗能力。

同步广播制式分为相位同步制和频率同步制。相位同步制的特点是在同步网内各发射机的载频由同一标准频率变换而得，同步网要求各载频保持严格同步。

频率同步制要求用标频信号进行校频，各发射台必须设置高稳定度的晶体振荡器，并定时与标频校准。传送标频的方法有几种，有的用调频发射机播发 18kHz 的标频，有的用视频信号中的行同步信号作为标频，有的利用电缆、微波、卫星传送标频，特别是通过卫星传送的彩色电视信号，可以在全国范围内使用同一标频校频，以满足各同步台频差为 0.015Hz 的要求。国际电联规定，中波频率间隔为 9kHz，故我国采用 4.608MHz、稳定度为 5×10^{-9} /日数量级的晶振作为各同步台的振荡信号源。选用 4.608MHz 时，经过 512 次分频，即可得到 9kHz，通过倍频很容易得到发射机所需要的中波频率。

如果 A、B、C 三部发射机使用不同频率发射称为不同步广播。

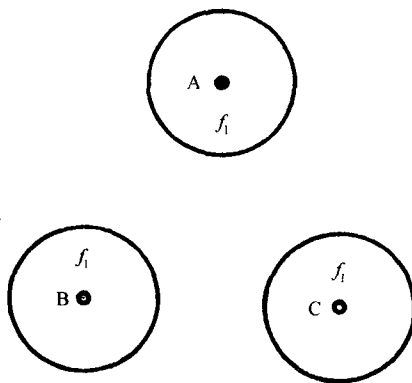


图 1-3 单一频率同步网

第二节 声音广播的主要类型

各种广播的目的都是为了把信息远距离的传送出去。传送的工具就是高频电磁波 (载波)。把要传送的信息称为调制信号，把信息寄载到高频电磁波上称为调制。用调制信号去控制高频电磁波 (高频振荡) 的任一参数的变化即可实现调制。

一、调频与调幅广播

1. 调频广播

采用调频技术进行广播称为调频广播，其频段为 87~108MHz。

(1) 频率调制

高频振荡信号的频率随着调制信号幅度的变化而变化称为频率调制，简称调频（见图 1-4）。

图 1-4 中： i_{Ω} ——音频信号；
 i_T ——载频信号；
 $i(t)$ ——调频信号。

用音频信号 i_{Ω} 对载频信号 i_T 进行调制，得到调频信号 $i(t)$ 。

在音频信号正峰时刻调频信号的瞬时振荡频率最高，而在音频信号负峰时刻调制信号的瞬时振荡频率最低。

高频振荡的初相位随着调制信号幅度的变化而变化称为相位调制，简称调相。实际上频率调制与相位调制没有本质上的区别，因为频率的变化总是和相位的变化密切相关的，频率的变化总伴有相应的相位变化，而相位的变化也伴随着相应的频率变化。

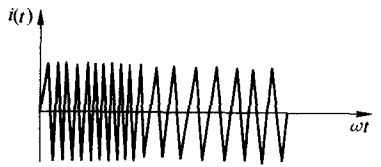
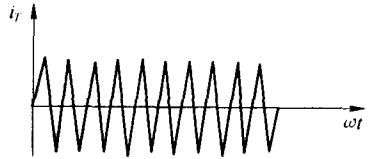
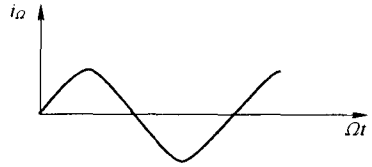


图 1-4 频率调制

(2) 调频波瞬时值表达式

一个载频电压的瞬时值可用下式表达：

$$u_c = U_c \sin (\omega_c t + \varphi_0)$$

式中： u_c ——载频电压的瞬时值；

U_c ——振幅；

ω_c ——角频率；

φ_0 ——初始相位。

如果用一个单音调制信号 $u_{\Omega} = U_{\Omega} \cos \Omega t$ 对载频电压 $u_c = U_c \sin (\omega_c t + \varphi_0)$ 进行调频，即在 ω_c 的基础上迭加一个随调制信号变化规律而变化的 $\Delta \omega(t)$ ，则其瞬时角频率为

$$\begin{aligned} \omega(t) &= \omega_c + \Delta \omega(t) \\ &= \omega_c + K U_{\Omega} \cos \Omega t \\ &= \omega_c + \Delta \omega_f \cos \Omega t \end{aligned}$$

式中： $\omega(t)$ ——瞬时角频率；

$\Delta \omega_f$ ——角频率频偏幅值；

K ——比例常数。

通过数学运算，可得到调频波瞬时值表达式

$$u_c = U_c \sin (\omega_c t + m_f \sin \Omega t + \varphi_0)$$

式中：

$$m_f = \frac{\Delta \omega_f}{\Omega} = \frac{\Delta f}{F};$$