

引用格式:袁江斌,李实锋,车爱霞,等.中国短波授时技术发展[J].时间频率学报,2026,49(1):80-89.

中国短波授时技术发展

袁江斌^{1,2,3}, 李实锋^{1,2,3}, 车爱霞^{1,2,3}, 谢亮^{1,2}, 华宇^{1,2,3},
李孝辉^{1,2,3}, 张首刚^{1,2,3}

- 中国科学院 国家授时中心,西安 710600;
- 时间基准及应用重点实验室(中国科学院),西安 710600;
- 中国科学院大学,北京 100049

摘要:我国短波授时技术历经多年发展,从早期 BPV 时号到 BPM 短波授时系统的建立与不断升级改造,实现了从无到有、由弱到强的跨越。系统梳理了我国短波授时技术的发展历程,包括 1966 年西北天文台成立开启建设、1970 年 BPM 短波发射系统建成试播、1988 年国产化全自动短波定时接收机取得突破、1998 年 BPM 授时台迁建及技术升级、2017 年现代化升级改造提升信号发播质量,直至 2024 年开展新信号体制对比测试等关键节点。分析了每个阶段的技术特点、取得的代表性成果,并综述了短波授时接收技术的发展历程。纵览半个多世纪中国短波授时技术发展的历程,可以看出,我国短波授时技术在系统升级、终端研发、信号体制等方面持续创新持续发展,为国民经济建设和国防建设提供了重要的时间同步保障,且新信号体制的应用将有望推动短波授时服务质量实现质的突破。

关键词:短波授时;“326”工程;BPM 时号;短波授时信号体制

DOI:10.13875/j.issn.1674-0637.2026-01-0080-10

Development of shortwave time service technology in China

YUAN Jiang-bin^{1,2,3}, LI Shi-feng^{1,2,3}, CHE Ai-xia^{1,2,3}, XIE Liang^{1,2}, HUA-Yu^{1,2,3},
LI Xiao-hui^{1,2,3}, ZHANG Shou-gang^{1,2,3}

- National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China;
- Key Laboratory of Time Reference and Applications, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China;
- University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: China's shortwave time service technology has undergone years of development, achieving a leap from scratch and from weakness to strength, from the early BPV time signals to the establishment and continuous upgrading of the BPM shortwave time service system. This study systematically combs through the development history of China's shortwave time service technology, including key milestones such as the establishment of the Northwest Astronomical Observatory in 1966 to initiate construction, the completion and trial broadcast of the BPM shortwave transmission system in 1970, the breakthrough of the domestically produced fully automatic shortwave timing receiver in 1988, the relocation and technical upgrading of the BPM time service station in 1998, the modernization upgrading in 2017 to improve signal broadcasting quality, and the launch of new signal system comparison tests in 2024. It also analyzed the

收稿日期:2025-07-10;接受日期:2025-09-15

基金项目:陕西省创新能力支撑计划(2024ZC-KJXX-104)

作者简介:袁江斌,男,博士,副研究员,主要从事无线电授时方法与技术研究。

technical characteristics and representative achievements of each stage, summarized the development history of shortwave time service receiving technology. Looking back on the development course of China's shortwave time service technology over more than half a century, it can be seen that China's shortwave time service technology has continued to innovate and develop in system upgrading, terminal R&D, signal systems, etc., providing important time synchronization support for national economic construction and national defense construction. The application of new signal systems is expected to drive a qualitative breakthrough in the quality of shortwave time service.

Keywords: shortwave time service; “326” project; BPM time signals; shortwave time service signal system

短波授时是利用短波波段内的无线电频率作为载波发播标准时间和标准频率的授时方法,具有作用距离远(有效覆盖超 3 000 km)、接收设备简单、抗摧毁性强等特点。根据国际无线电咨询委员会(CCIR)规定,分配给短波波段标准频率和时号发播的频带为 $2.5\text{ MHz}\pm 5\text{ kHz}$ 、 $5\text{ MHz}\pm 5\text{ kHz}$ 、 $10\text{ MHz}\pm 5\text{ kHz}$ 、 $15\text{ MHz}\pm 10\text{ kHz}$ 、 $20\text{ MHz}\pm 10\text{ kHz}$ 和 $25\text{ MHz}\pm 10\text{ kHz}$ 。

1919年,国际上首个短波授时台建成^[1],标志着短波授时进入历史舞台,此后,主要发达国家相继开展短波授时服务。20世纪80年代,全球共有18个国家的27个短波授时台处于运行状态^[2];截至目前,仍有8个国家使用短波无线电台发播时号^[3],包括我国的BPM、加拿大的CHU、西班牙的EBC、韩国的HLA、阿根廷的LOL、芬兰的MIKES、俄罗斯的RWM、美国的WWV和WWVH。

BPM短波授时系统自建成以来一直承担着国家标准时间和标准频率的发播任务,在国民经济建设和国防建设中发挥了重要应用,是相关用户和部门解决时间同步的重要手段^[4]。

我国短波授时技术发展并非一帆风顺,而是经历了从无到有、从弱到强的艰难探索过程。本文从台站建设、现代化升级改造、体制革新等关键阶段的发展历程进行了回顾分析。

1 1966年,西北天文台成立,“326工程”启动建设

中国现代无线电授时起源于中国科学院紫金山天文台徐家汇观象台(图1)的BPV时号^[5-6]。1872年,法国传教士高龙馨^[7]在上海创立徐家汇观象台,初期以气象观测为主。1950年12月12日徐家汇天文台被接管,成为了中国科学院紫金山天文台下属的一座观象台,授时工作是其中心任务^[8]。经过最初四至五年的维持、巩固和改进工作,徐家

汇观象台分别通过上海港务局电台(呼号XSG)和上海电信局真如电台(呼号BPV)发播科学式时号^[8]。



图1 上海徐家汇观象台

虽然BPV时号满足了当时国家建设的部分需要,但是它偏处东南一隅,难以满足中西部地区需求;加之冷战时期“靠山进洞”的国防战略要求,在沿海易受攻击的BPV已无法适应国家发展需要,在内陆建设全国性高精度授时台迫在眉睫。

1955年,全国科技发展12年远景规划中,天文学科将筹建西北授时台列为重点项目^[6]。中国科学院于同年派员赴西北考察,初定兰州为台址,并购置了部分设备^[6]。1956苏联专家来华考察,认为兰州是地震活动区,不宜建授时台^[6]。因此,在兰州建立授时台的计划被迫搁置,所购设备用于1958年开始筹建的北京天文台的沙河时间工作站^[6]。

1965年,国家科委(现科技部)在“我国的综合时号改正数”研究成果鉴定书中再次提议中国科学院在西部地区从速增设一个授时台^[9]。中国科学院迅速响应,组建选址工作组,确定陕西省武功县杨陵镇为预选台址。彼时我国正在推进卫星与战略武器发射,国防部国防科学技术委员会(简称国防科委,1958—1982年)在“651”计划(发射人造卫星计划)中建议在西安地区建造短波授时台^[10-11]。同

年 12 月 12 日,国家科委召开时间和频率问题座谈会,综合军方需求,明确西北授时台由中国科学院筹建,台址选在西安与兰州之间较为适宜^[12]。同年 12 月 31 日,中国科学院提出建议,强调授时台功能拓展与选址要靠近卫星控制中心,该中心已初步确定在西安地区^[13]。

1966 年 2 月 7 日,上海天文台受中国科学院委托提出《西北授时台(暂名)第一期基本建设设计任务书》和《西北授时台(暂名)筹建方案》^[14]。同年 3 月,中国科学院决定在陕西省关中地区筹建授时台,代号为“中国科学院 326 工程”^[6]。至此,“326 工程”正式启动。同年 6 月,授时台台址改在陕西省蒲城县境内^[6]。同年 9 月,中国科学院向国家科委提交了《西北天文台基本建设任务书》^[15],决定从速在我国西北地区增设一个完整的授时台,定名为“西北天文台”。国家科委于 1966 年 11 月批复同意了该任务书^[16]。中国科学院抽调骨干组建筹建处,1966 年 10 月于西北分院开展工作,次年 6 月迁至蒲城^[6]。按“靠山进洞”要求,工程建于蒲城金帜山,山洞由工程兵设计施工,中国科学院负责技术,收讯等区域建于县城西南。图 2 为金帜山短波台全景。



图 2 金帜山短波台全景

“326 工程”的建设过程十分艰辛,国外对我们进行技术封锁,国内正处于“文化大革命”时期,建设的地址处于远离县城、人迹罕至的大山脚下,面临一无基本研制条件、二无完整资料可借鉴的困境。即便如此,仍然挡不住一批又一批的科研工作者奔赴而来,怀揣为国授时的使命,攻坚克难,扛起从零建起一座天文台的重任。

2 1970 年, BPM 短波发射系统基本建成,周恩来总理亲笔批示同意试播

1970 年末,我国短波发射系统基本建成^[6,10,17],该系统涵盖时间基准系统、授时发播控制系统、发播系统、配供电及供水系统等核心组成部分。其

中,时间基准系统采用石英钟作为时间基准载体。作为全新的“326 工程”成果,短波发射系统建设无先例可循,建成初期仅能实现信号发射,其性能指标尚待验证,需通过系统性试播实验进行测定,并依据实验结果对系统进行优化与改进。

完成系统全面检查与调试后,中国科学院在蒲城召开试播工作会议,并于 1970 年 10 月 17 日向国务院提交试播申请^[17],并正式将“326 工程”命名为中国科学院陕西天文台(2001 年更名为中国科学院国家授时中心)。同年 12 月 2 日,周恩来总理对申请文件作出亲笔批示^[18]。次日,中国科学院提交进一步报告,建议 12 月 15 日启动试播,该提议于 12 月 5 日获总理批示“照办”^[18](见图 3)。于是,中国科学院陕西天文台短波授时台于 12 月 15 日正式开启试播^[19-21],电台呼号定为 BPM,发播频率设定为 2.5、5、10 和 15 MHz。

为期 3 年的试播期间,中国科学院统筹协调上海天文台、北京天文台等多所科研机构,配合陕西天文台开展长时间接收监测^[6];陕西天文台亦派遣技术人员赴喀什、海拉尔等地实地监测。监测数据显示,试播阶段存在发射功率不足、信号波形未达设计标准、信号覆盖半径仅约 2 000 km 等问题^[6]。技术团队围绕系统性能开展全面测试与升级改造,旨在实现授时台稳定高效运行。

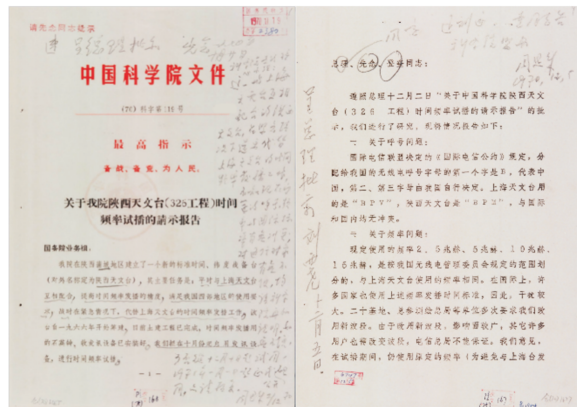


图 3 周总理亲笔批示的短波试播请示报告

1973 年 8 月,中国科学院组织行业专家对 BPM 短波授时台进行技术审查,基于审查结果提出系统性扩建方案^[6,19]:新增 4 台 50 kW 发射机以提升功率;恢复并扩充 30~60 m 高铁塔天线,构建天线阵列;逐步将时间基准由石英钟升级为原子钟,建立高精度原子时基准体系。同年 12 月, BPM 暂停试播,正式启动扩建工程^[6]。

扩建期间,因国防科委“718 工程”对远洋授时

服务的迫切需求,1975 年 1 月,中国科学院决定在扩建项目中新增 3 台 150 kW 发射机、配套定向天线,并新建洞外发射机房^[22]。1978 年,扩建工程全面竣工,次年重启试播,并成功完成我国向太平洋预定海域发射远程运载火箭试验的授时保障任务,充分验证系统性能与可靠性^[6,10]。图 4 为老短波台的发播天线和监控室。



(a) 发播天线

(b) 监控室

图 4 老短波台的发播天线和监控室

1980 年 10 月,“BPM 短波授时台建成”项目荣获中国科学院科技成果奖一等奖^[6],图 5 为该奖项奖状。同年 12 月,临潼鉴定会经严格评审认定,BPM 各项指标均达设计要求,具备交付国家使用条件^[19]。1981 年 2 月,中国科学院提交正式发播申请获批^[19],自 1981 年 7 月 1 日起,BPM 正式承担我国短波时号发播任务,上海天文台同步停止 BPV 时号发播^[6,19,23]。



图 5 短波授时台建成获得科技成果奖一等奖

BPM 短波授时台与后续建成的 BPL 长波授时台,共同构建我国第一代天地波结合授时系统,为我国时间频率体系建设和发展奠定基石。1989 年,该系统正式纳入国家大科学工程运行和管理^[5]。

3 1988 年,我国短波授时设备国产化进程中的重要里程碑

短波授时用户设备作为时间信号接收与处理

的终端载体,其技术发展对提升授时服务效能至关重要。早期设备呈现类型多样、功能分散的特征,主要涵盖接收机、比对判别器及配套专用设备三大类。其中,接收机型号包括 56 型、702 型、423 型等^[2,24],以 56 型最为典型。该机型作为 20 世纪 50 至 80 年代军用短波接收机的顶级机种,配备于军以上及特种部队,性能和可靠性卓越,但存在成本高昂、体积庞大等局限,其重量达数十千克^[24]。

技术革新推动用户设备向集成化、便携化方向发展。1986 年,陕西天文台科研人员在《陕西天文台台刊》(2002 年更名为《时间频率学报》)发表的“CSAO-1 型标准时号接收机的研制”,系统阐述了陕西天文台自主研发的 CSAO-1 型接收机。该机型通过采用二次变频架构,搭配单差分平衡混频器与窄带晶体滤波器,显著提升镜频抑制、共信道干扰及邻信道干扰的抵抗能力,实现 2.5、5 MHz 等 4 个频点的高效抗干扰接收,具备操作简便、电路集成度高、便携性强等优势^[25]。1988 年,中点检测技术应用于 BPM 定时仪^[26],利用信号对称性原理,有效降低噪声对时号检测精度的影响,为提升定时准确性提供新路径。1988 年 9 月由陕西天文台承研的“高频时号检测技术的研究及 BPM 定时仪”,荣获中国科学院科学技术进步三等奖,成为我国授时设备国产化进程中的一个重要里程碑。图 6 为该获奖奖状。



图 6 BPM 定时仪获得中国科学院科学技术进步奖三等奖

国产化与自动化进程在 PO23 短波定时仪研发中取得突破。该设备作为陕西天文台(现国家授时中心)全自动短波定时接收机,集成点频接收、晶体滤波等技术,采用 89C2051 与 89C51 单片机协同控制,实现信号自动搜索、频点优选、时号检测与同步功能^[27]。凭借专用高增益带通滤波器件 UAF42,

其误码率低、抗干扰性能强,定时精度达 $3\text{ ms}^{[27]}$ 。

进入 21 世纪,软件无线电与数字化技术重塑设备架构。2002 年,中国科学院国家授时中心基于软件无线电理论提出新型短波定时接收机方案,验证其在授时领域的应用潜力^[28];2012 年,针对 BPM 系统开展数字化研究,通过数字滤波、频率合成等关键技术攻关,证实数字化接收机的性能优越性^[29];2016 年,国家授时中心 BPM 短波定时接收机实现定时精度优于 1 ms 的突破^[30]。2019 年研制的 PO23-III 短波授时接收机模块,具备 10、15 MHz 双频接收能力,通过传播时延修正与语音对时功能,将时差标准差提升至 $0.6\text{ ms}^{[4]}$,标志着我国短波授时用户设备在精度与功能集成方面达到新高度。

从电子管到数字化、从手动操作到智能控制,我国短波授时用户设备历经多代技术迭代,在抗干扰能力、定时精度与功能集成度等方面持续突破,为国家时频体系建设发展提供关键技术支撑。

4 1998 年,BPM 授时台迁建与 PDM 脉宽调制技术应用

BPM 短波授时台始建初期,基于“靠山进洞”的国防战略部署,选址于陕西省蒲城县城西北金帜山脚(毗邻唐景陵)。受当时技术限制,其核心发射设备全部采用国产电子管乙类屏调机,设备存在功耗高、运行效率低、体积庞大等固有缺陷^[31]。进入 20 世纪 80 年代后期,设备老化问题加剧,导致运行维护成本攀升,且因技术落后、备件供应中断,设备更新换代需求迫切^[31]。此外,发播台所处地理位置偏远,远离城镇及交通干线,进一步增加了后勤保障成本与运维难度^[31]。

为提升时号发播质量、增强系统可靠性并降低运行成本,陕西天文台于 1988 年 12 月向中国科学院提交 BPM 短波授时台升级改造申请^[6]。1989 年 3 月,中国科学院数理化学局在临潼陕西天文台本部组织召开改造方案论证会,经专家组评估,确认授时台迁址与设备更新的必要性^[6]。此后,陕西天文台于 1990—1992 年期间持续向中国科学院提交短波授时台迁建改造计划的申请^[31-32]。中国科学院于 1993 年 6 月批复同意短波授时台迁建计划^[32]。

经过选址论证等前期工作,BPM 短波授时台迁建工程于 1994 年 7 月正式启动^[33],新址选定于蒲城县城西杨庄村陕西天文台二部机关院内^[34]。工

程建设遵循严格的时间节点推进^[6,33,35-36]:1996 年 7 月完成土建工程与天线架设调试;1997 年 5 月完成发射机安装调试;1998 年 8 月完成时频控制设备安装调试;同年 9 月实现系统联调;1998 年 10 月底至 11 月初,项目组在距发射台 $50\sim 2\,985\text{ km}$ 范围内的不同方位,组织开展多组接收测试;1998 年 11 月,该迁建工程顺利通过中国科学院组织的项目验收,并于同年 12 月 15 日起,在保持原有发播频率、时段及时号程序的基础上,启动 BPM 时号连续试播。

此次改造实现了多项关键技术升级^[33,35-36]:在时间基准层面,发播工作钟由铷原子钟升级为 HP5061A 铯原子钟,时频控制与监测体系由基准钟房—发播钟房两级架构优化为基准钟房直接控制模式,频率准确度从 5×10^{-11} 提升至 1×10^{-12} ,时号控制精度由 $\pm 100\text{ }\mu\text{s}$ 提高至 $\pm 50\text{ }\mu\text{s}$ 。发射设备方面,新安装 7 部 PDM 脉宽调制发射机,缩小了设备体积,功耗和维护便捷性等方面也有明显提升;其中 2 部 10 kW 发射机(北京广播器材厂 TBH411 型)与另外 5 部发射机(陕西广播器材厂 AM103E-1 型 10 kW、AM152E 型 1.5 kW)经技术调试后均满足发播需求。天线系统共架设 5 副天线,包括 4 副固定频率水平振子角笼天线(对应 2.5、5、10、15 MHz 频段)及 1 副 5~25 MHz 宽带对称偶极子天线,分别由不同规格的自立式铁塔与拉网式铁塔支撑,构建起高效稳定的信号发射网络。图 7 为新建天线群和 PDM 脉宽调制发射机。



(a) 新建天线群

(b) PDM脉宽调制发射机

图 7 新建天线群和 PDM 脉宽调制发射机

5 2017 年,BPM 短波授时系统现代化升级改造,发播质量大幅提升

自 1997 年投入使用的 PDM 脉宽调制式发射机,历经十余年连续运行后,因电子元器件老化与技术迭代滞后,出现技术性能显著劣化、可靠性降低等问题。具体表现为设备故障率攀升、维修频次与成本剧增,已难以满足高精度授时服务需求。

由国家授时中心承担的大科学装置维修改造

项目“BPM 短波授时台发射机更新改造项目”于 2009 年 5 月由中国科学院计划财务局和基础科学部批准^[37],并从 2012 年开始分阶段实施^[38-40];将 7 部现役发射机全面替换为中国航天科工集团第二研究院二十三所(航天 23 所)研制的全固态发射机,其中包括 5 部 10 kW 多频发射机(支持 5 MHz、10 MHz、15 MHz 载波频率)及 2 部 1.5 kW 单频发射机(工作于 2.5 MHz)。图 8 为 10 kW 发射机验收现场(2013 年 3 月 14 日)。



图 8 10 kW 发射机验收现场(2013 年 3 月 14 日)

全固态发射机采用先进固态电子器件,具备体积小、能量转换效率高、运行稳定性强等技术优势。其模块化设计显著延长设备使用寿命,降低日常维护工作量与运行成本,可实现连续不间断工作。2013 年 11 月 28 日,首批更新的 3 部 10 kW 发射机顺利通过中国科学院组织的专家组验收,验证了新型设备的技术可靠性与性能优越性^[38,41]。基于首批设备良好的运行反馈,随后项目组又完成了剩余 2 部 1.5 kW 与 2 部 10 kW 发射机的更新工作。2017 年短波授时设备现代化升级改造完成^[41],图 9 为改造完成之后的短波发播机房。2020 年 6 月,国家授时中心组织了一次外场测试,测试结果显示,更新后的短波授时信号波形质量大幅提升,能够满足用户对高精度时间信号的需求^[41]。



图 9 改造完成之后的短波发播机房

2017 年启动了短波时频控制与监测系统升级改造^[41-42]。项目围绕发播台工作钟基准溯源、

基带信号产生、时号监测、系统冗余供电等环节,对软件、硬件均进行了优化升级。发播台工作钟(蒲城)向 UTC(NTSC)(中国科学院国家授时中心保持的协调世界时)基准溯源从互为备份的微波时间传递和全球定位系统(Global Positioning System, GPS)共视方式升级为以光纤时间传递为主(精度优于 ± 1 ns)、北斗卫星导航系统(BeiDou Navigation Satellite System, BDS)共视为辅(精度优于 ± 2 ns)的远程时间比对冗余方式。基于国家授时中心自主研发的远程光纤时间传递系统对溯源链路进行了精确校准,优化了工作钟溯源算法,使发播台工作钟控制精度从 ± 20 ns 提升到 ± 5 ns^[42]。通过引入高精度时延测量方法,精确校准 BPM 发射时号相位,时号控制精度从 1998 年改造后的 ± 50 μ s 提升至 ± 5 μ s^[42]。

6 2024 年,完成两种短波授时新信号体制对比测试,为短波授时系统升级奠定了基础

当前,我国短波授时系统仍存在两大关键问题:一是应用受阻,现有调幅体制抗干扰能力弱、检测精度低、接收可靠性差,且未进行时码等重要信息的发播,导致用户群体受限;二是技术瓶颈突出,该体制已运行超过 50 年,接收处理技术发展陷入停滞状态,相关科研与工程技术人才匮乏,用户定时性能欠佳等问题难以有效解决。

针对现有 BPM 短波授时信号体制存在的弊端,早在 2013 年,国家授时中心研究人员依据国际电信联盟建议书(Rec. ITU-R TF. 583-5)以及美国短波授时台 WWV/WWVH 的时码格式,提出在 BPM 短波授时程序中插入时间信息码的技术方案^[43]。该方案采用副载波调幅体制,设定帧时长为 1 min。然而,此方案在 5 MHz 频点进行试播后,外场接收解码率极低,未能达到预期效果^[43]。

2015 年至 2022 年期间,国家授时中心研究人员持续深入开展短波授时新信号体制研究^[4,41-42,44-48],目前已形成两种体制方案,分别命名为体制 1 和体制 2。

体制 1 基于 BPM 现有调幅发射机工作机制设计,发射机无需任何调整和变更,成本低,技术实现容易。信号体制上保留原有秒和整分信号基带格式和调制方式,在秒和整分信号之后,以相同的基带信号频率和幅度调制方式插播了年月日时分秒、

DUT1、闰秒等编码信息,帧周期缩短到 1 s,以保证编码信号与秒及整分的发播和接收信号质量完全一致^[42]。图 10 为体制 1 基本结构示意图。

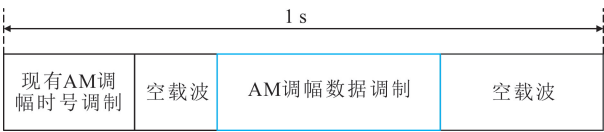


图 10 体制 1 基本结构示意图

体制 2 是在保持现有调幅时号调制保持不变的基础上,创新性地引入线性调频(也称为 Chirp)这一常见扩频技术,用于实现 Chirp 时号调制和 Chirp 数据调制^[4,46-48]。该体制具备两个显著特点:一方面,Chirp 信号与现有调幅信号具有良好的互相关性,不会对现有用户的正常使用造成影响;另一方面,新增加的时号调制信号和数据调制信号为恒包络信号,且幅度与载波幅度一致,不会影响现有发射机的正常运行。图 11 为体制 2 基本结构示意图。

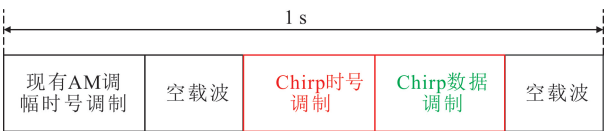


图 11 体制 2 基本结构示意图

体制 2 的研究过程中,充分考虑了短波信号时变多径、干扰复杂非平稳的特性,将正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)、直接扩频、线性调频等主流通信技术融入新体制研究^[4,44-48]。2021 年至 2022 年,国家授时中心科研人员结合实际应用需求,从兼容性、接收复杂度、可靠性和有效性等多个维度开展综合论证比较,最终确定调制方案,包括 Chirp 时号调制方案和 Chirp 数据调制方案,并成功应用于国家时间频率体系建设某工程项目^[49-51]。

2024 年 10 月 22 日至 11 月 23 日,由国家授时中心授时部牵头组织,联合西安空天电子有限公司,在蒲城县及周边区县、西安科学园、喀什等地开展了两种短波授时新信号体制的对比测试与技术验证实验^[52]。

本次测试中,测试激励器和测试接收机的时频参考均由北斗接收机提供,测试接收机自带时差测量功能。

在蒲城县及周边区县开展的 2.5 MHz 频点测试采用短时间交替测试以 1 小时或半小时为时间间隔,由激励器交替产生体制 1 信号和体制 2 信号,测试结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 蒲城及周边地区 2.5 MHz 时号监听结果

序号	测试地点/距离/km	时号监听效果
1	蒲城卤阳湖/19.35	收音机/接收机:时号清晰可辨,干扰较小
2	白水县城关街道耀卓/26.33	收音机/接收机:时号声音差,有杂音(吱吱叫)
3	白水县杜康镇水苏沟/23.97	收音机/接收机:时号清晰可辨
4	黄龙县石堡镇杜家塬东村/74.41	收音机:时号声音很弱;接收机:几乎无法听到时号,有较大啸叫声
5	韩城市新城街道张家巷/99.25	收音机/接收机:听不到时号,杂声大
6	渭南市临渭区故市镇牛家村/34.83	收音机:声音洪亮,干扰较小;接收机:声音清晰,干扰略大于收音机
7	澄城县韦庄镇庙西村/37.38	收音机:听不到时号,噪底大;接收机:不太清晰,干扰较大
8	大荔县段家镇远志山村/34.65	收音机/接收机:时号清晰,间隙性有较大干扰(类似鸟叫声)
9	大荔县朝邑镇安市村/54.33	收音机:时号较为清晰;接收机:时强时弱,噪声大

表 2 蒲城及周边地区 2.5 MHz 短时间交替测试结果

序号	测试地点	信号可用率/%		时差标准差/ μ s	
		体制 1	体制 2	体制 1	体制 2
1	见表 1 序号 1	93.2	93.4	55.42	0.88
2	见表 1 序号 2	0.0	97.1	/	1.06
3	见表 1 序号 3	76.6	97.3	135.10	0.85
4	见表 1 序号 4	0.3	87.2	150.74	19.47
5	见表 1 序号 5	0.0	25.0	/	25.75
6	见表 1 序号 6	95.4	98.0	121.08	0.12
7	见表 1 序号 7	0.0	96.9	/	0.74
8	见表 1 序号 8	57.3	89.5	170.58	0.25
9	见表 1 序号 9	13.8	97.0	334.14	43.96

测试结果显示,体制1在3个测试地点无法接收到信号,而体制2的时差标准差和信号可用率均显著优于体制1。

从本质分析,体制1仍属于传统调幅体制,体制2则是在保留原有调幅时号的基础上,创新性地引入扩频体制。本次测试结果表明,引入线性调频调制技术,能够有效增强短波授时信号的抗干扰接收能力,显著提升短波授时服务性能,满足用户对更高质量短波授时服务的应用需求。

7 BPM短波接收认证卡国际化服务,北京时间传遍世界各地

BPM短波接收认证卡是国家授时中心依据国际无线电通信惯例制发的信号收信确认凭证。自1970年BPM短波授时台建成试播起,国家授时中心先后印制了3版认证卡,为全球广大无线电爱好者提供官方接收认证服务。

无线电爱好者可根据BPM信号发播时序,选取2.5、5、10和15 MHz 4个频点中的一个或多个频点进行接收,在整点/半点前数分钟对准接收频段,并完整记录接收设备名称及型号、实际接收频段、精确接收时间段、接收到的授时信号内容特征、信号清晰度等信息,然后通过电子邮件或平信邮寄提交收听报告,经国家授时中心验证通过后即可获发认证卡。

BPM短波接收认证卡具备双重价值。一方面,可作为无线电爱好者成功接收BPM短波授时信号的官方凭证,激发他们探索无线电通信技术的热情;另一方面,全球提交的“收听报告”为国家授时中心提供BPM信号在不同地域、时段、频段下的接收数据,有助于分析信号发播质量与覆盖范围,支撑BPM短波授时系统的技术优化。

据不完全统计,从2018年至2025年6月,国家授时中心已为国内外无线电爱好者邮寄3400余张BPM短波接收认证卡,覆盖我国34个省级行政区及以下国家和地区。

① 东亚及东南亚地区:日本、韩国、越南、菲律宾、印度尼西亚。

② 南亚及西亚地区:印度、巴基斯坦、孟加拉国、阿联酋。

③ 欧洲地区:俄罗斯、摩尔多瓦、乌克兰、波兰、德国、意大利、西班牙、荷兰、芬兰。

④ 非洲及印度洋地区:摩洛哥、留尼旺岛、马里

内拉。

⑤ 美洲地区:美国、巴西、阿根廷、乌拉圭、智利、哥伦比亚。

⑥ 大洋洲地区:澳大利亚。

8 结语

我国短波授时技术的发展历程,是一部科研人员攻坚克难、不断创新的奋斗史。从1966年西北天文台成立,在“靠山进洞”的艰苦条件下开启建设,到1970年BPM短波发射系统基本建成,经周恩来总理批示试播,再到后续的迁建、设备升级、终端研发以及信号体制革新,每一步都凝聚着科研人员的智慧与汗水。

在短波授时技术发展进程中,发射设备从最初的电子管乙类屏调机逐步迭代至全固态发射机,发射设备不断更新,性能持续提升;时频控制与监测系统经过多次升级改造,系统可靠性、时频控制与监测的自动化程度和信息化管理能力不断得到提升,时号控制精度也有大幅提升。终端设备也从早期体积庞大、操作复杂的接收机,发展到如今集成化、数字化、高精度的现代化设备。2024年开展的两种短波授时新信号体制对比测试,验证了线性调频技术在短波授时应用中的可行性与优越性,为新一代BPM短波授时系统建设提供技术参考。

本文在追溯短波授时技术发展历史时,已尽力查阅各类文献、核实相关史料,但受史料可及性等因素限制,或未能详尽呈现所有贡献者的工作细节,对此疏漏与表述不全之处,深表歉意;同时,本文在史料解读、技术阐述及观点表达上亦难免存在可完善或商榷之处,恳请学界同仁批评指正。

参考文献:

- [1] NELSON G K. A century of WWV[J]. AIP Conference Proceedings, 2019, 2150(1): 020001.
- [2] 陈洪卿. BPM短波时号用户指南[Z]. 西安:中国科学院陕西天文台, 1989.
- [3] BIPM Time Department FTP Server. Time signals [EB/OL]. (2025-04-02) [2025-06-21]. https://webtai.bipm.org/ftp/pub/tai/annual-reports/bipm-annual-report/TIMESIGNALS/timesignals_2024.pdf.
- [4] 袁江斌. BPM短波授时调制技术研究[D]. 西安:中国科学院大学(中国科学院国家授时中心), 2018.
- [5] 中国科学院国家授时中心, 中国科学院基础科学研究所. BPL/BPM长短波授时系统的运行和发展[J]. 中国科学院院刊, 2011, 26(2): 227-229.

- [6] 漆贯荣, 郭际, 主编. 中国科学院陕西天文台 1966—2000[G]. 西安: 中国科学院陕西天文台, 2001.
- [7] 阎林山, 马宗良. 徐家汇天文台的建立和发展(1872—1950)[J]. 中国科技史料, 1984, 5(2): 65-72.
- [8] 宁晓玉. 徐家汇观象台授时工作现代化的动因分析[J]. 自然辩证法通讯, 2018, 40(9): 65-72.
- [9] 中华人民共和国科学技术委员会. “我国的综合时号改正数”研究成果鉴定书[Z]. 文件号: 国家科委(65)国中科研字第 001 号, 北京: 国家科委, 1965.
- [10] 李孝辉, 窦忠, 赵晓辉. 北京时间: 长短波授时系统[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 2018.
- [11] “651”会议地面组. “651 任务”时间统一勤务系统初步方案[Z]. 北京: 国防科委, 1965.
- [12] 中华人民共和国科学技术委员会. 关于为了备战需要应迅速在我国内地建立授时台(时间与频率发讯台)问题座谈会纪要[Z]. (未编文件号), 北京: 中华人民共和国科学技术委员会, 1965.
- [13] 中国科学院. 中国科学院对建立时间与频率发讯台的几点建议[Z]. (未编文件号), 北京: 中国科学院, 1965.
- [14] 中国科学院上海天文台. 上报《西北授时台(暂名)第一期基本建设设计任务书》和《西北授时台(暂名)筹建方案》[Z]. 文件号: (66)计字 016 号, 上海: 中国科学院上海天文台, 1966.
- [15] 中国科学院. 报送西北天文台基本建设设计任务书[Z]. 文件号: (66)院计基字第 252 号, 北京: 中国科学院, 1966.
- [16] 中华人民共和国科学技术委员会. 批复西北天文台基本建设设计任务书[Z]. 文件号: (66)科九字 578 号, 北京: 中华人民共和国科学技术委员会, 1966.
- [17] 中国科学院. 关于我院陕西天文台(326 工程)时间频率试播的请示报告[Z]. 文件号: (70)科字第 119 号, 北京: 中国科学院, 1970.
- [18] 中共中国科学院党的核心领导小组. 关于周总理批示的情况报告[Z]. (未编文件号), 北京: 中国科学院, 1970.
- [19] 中国科学院. 关于 BPM 短波授时台正式发播时号问题的请示[Z]. 文件号: (81)科发物数字 0111 号, 北京: 中国科学院, 1981.
- [20] 中国科学院. 我国短波授时新基地初步建成[A]//档案号: K278-00094-007-001. 西安: 中国科学院陕西天文台, 1973.
- [21] 中国科学院 326 工程革命领导小组、军宣. 中国科学院 326 工程革命领导小组、军宣对 5 兆赫标频初步成功—326 工程试播汇报(四)[A]//档案号: K278-00057-003-001. 西安: 中国科学院陕西天文台, 1971.
- [22] 中国科学院. 下达七一八工程远距离授时任务[G]. 文件号: (75)科发二字 020 号, 北京: 中国科学院, 1975.
- [23] 安跃生. BPM 短波授时台正式发播[J]. 陕西天文台台刊(现《时间频率学报》), 1981, 4(1): 64.
- [24] 成都信息工程大学电子工程学院(大气探测学院). 56 型短波一级接收[EB/OL]. (2017-03-20) [2025-01-21]. <https://dzgxcy.cuit.edu.cn/info/2226/5440.htm>.
- [25] 王宏远. CSAO-1 型标准时号接收机的研制[J]. 陕西天文台台刊(现《时间频率学报》), 1986, 9(1): 51-52.
- [26] 范荣美, 吕彩田, 李为丰. 中点检测技术及在 BPM 定时仪中的应用[J]. 陕西天文台台刊(现《时间频率学报》), 1988, 11(1-2): 92-95.
- [27] 胡永辉. 时间频率系列用户终端产品介绍[R]. 西安: 中国科学院国家授时中心, 2011.
- [28] 华宇. 软件无线电短波定时接收机的研制[D]. 西安: 中国科学院研究生院(中国科学院国家授时中心), 2002.
- [29] 焦明涛. 数字化 BPM 短波接收机基带信号处理关键技术研究[D]. 西安: 中国科学院研究生院(中国科学院国家授时中心), 2012.
- [30] 陈永奇, 邢燕, 陈颖鸣. BPM 短波定时接收机的设计与实现[J]. 时间频率学报, 2016, 39(2): 95-103.
- [31] 中国科学院陕西天文台. 关于短波授时台技术改造项目的申请报告[Z]. 文件号: 陕天发字(90)第 081 号, 西安: 中国科学院陕西天文台, 1990.
- [32] 中国科学院. 关于陕西天文台迁建短波授时台可行性研究报告的批复[Z]. 文件号: (93)科发计字 0502 号, 北京: 中国科学院, 1993.
- [33] 王玉林. 新建 BPM 短波授时台发播系统[C]//1999 年全国时间频率学术报告会, 青岛: 中国计量测试学会, 1999: 225-228.
- [34] 中国科学院陕西天文台. BPM 短波授时台迁建工程竣工报告[A]//档案号: 1999-02-A-003-001. 西安: 中国科学院陕西天文台, 1999.
- [35] 车爱霞. BPM 短波授时台新的时频监控系统[J]. 陕西天文台台刊(现《时间频率学报》), 2000, 23(1): 40-44.
- [36] 王玉林, 车爱侠. 脉宽调制(PDM)发射机时延的分析测量[J]. 陕西天文台台刊(现《时间频率学报》), 2000, 23(2): 81-89.
- [37] 中国科学院国家授时中心. 关于对“BPM 短波授时台发射机更新改造”项目进行延期竣工验收的申请报告[Z]. 文件号: 国授发字[2011]50 号, 西安: 中国科学院国家授时中心, 2011.
- [38] 蒙智谋, 车爱霞, 雷渝, 等. 升级改造后的 BPM 授时发播系统[J]. 时间频率学报, 2014, 37(4): 221-227.
- [39] 谢亮, 芦旭, 蒙智谋, 等. BPM 短波授时发播系统及其通道时延分析与测量[J]. 时间频率学报, 2019, 42(3): 248-255.
- [40] 王一琪, 王大洲. 长短波授时系统建设的工程考察史[J]. 工程样机—跨学科视野中的工程, 2021, 13(1): 87-96.
- [41] 车爱霞, 魏孝锋, 乔建武, 等. BPM 试验编码时号及其

- 校准控制[J]. 时间频率学报, 2025, 48(2): 121-130.
- [42] 车爱霞, 魏孝锋, 乔建武, 等. 长短波授时时间频率控制与监测[J]. 时间频率学报, 2022, 45(3): 194-201.
- [43] 蒙智谋. BPM 短波时码授时发播技术方案[J]. 时间频率学报, 2014, 37(3): 145-150.
- [44] YUAN J B, HUA Y, YAN W H, et al. Novel algorithm of channel estimation for CP-OFDM systems with pilot symbols in frequency domain[C] // 13th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI), Yangzhou: IEEE, 2017.
- [45] 袁江斌, 华宇, 李实锋, 等. OFDM 技术在 BPM 短波数据调制中的应用探讨[J]. 时间频率学报, 2019, 42(2): 169-175.
- [46] 袁江斌, 华宇, 李实锋, 等. 基于 Chirp 信号的 BPM 短波数据调制[J]. 时间频率报, 2019, 42(4): 327-335.
- [47] 袁江斌, 李实锋, 闫温合, 等. 基于扩频体制的短波时号发播新方案及可行性分析[J]. 宇航计测技术, 2019, 39(5): 38-43.
- [48] YUAN J B, LI S F, YAN W H, et al. Research and design of BPM shortwave time signal modulation technology based on chirp[J]. Remote Sensing, 2024, 16(21): 4035.
- [49] 袁江斌. BPM 短波授时新信号体制设计论证报告[R]. 1.1 版. 西安: 中国科学院国家授时中心, 2021.
- [50] 袁江斌. BPM 短波授时新信号体制方案[R]. 1.1 版. 西安: 中国科学院国家授时中心, 2021.
- [51] 郭际, 胡永辉, 胡进社, 等. 《BPM 短波授时新信号体制方案》评审意见[Z]. 西安: 中国科学院国家授时中心, 2021.
- [52] 中国科学院国家授时中心. BPM 短波授时新信号体制对比测试报告[R]. 西安: 中国科学院国家授时中心, 2024.