

引用格式: 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.

BPM 试验编码时号及其校准控制

车爱霞, 魏孝锋, 乔建武, 高飞, 段建文

中国科学院 国家授时中心, 西安 710600

摘要: 介绍了一种 BPM 试验编码时号体制、时号发播控制和监测过程; 详细描述了发播通道时延测量、时号校准方法和校准结果; 通过国土范围的近、远场测试数据统计结果, 证明在科技飞速发展、电磁环境日益劣化的现今, BPM 时号仍能保证其定时精度和覆盖范围, 为国计民生、国防安全等提供高质量的授时服务。试验编码信号体制兼容现有发射机工作机制和原体制信号, 解码快速, 解码率高。随着用户设备的逐步升级, BPM 可实现全时段连续播发完整 BPMc 信息、DUT1 信息等服务, 更好地满足国计民生、国防建设、科学研究等对时间同步的实时性、连续性等应用需求, 实现 BPM 自主定时。

关键词: BPM 编码时号; 发射通道延迟测量; 时号校准; BPM 自主定时

DOI: 10.13875/j.issn.1674-0637.2025-02-0121-10

BPM trial coding time signal and its calibration control

CHE Ai-xia, WEI Xiao-feng, QIAO Jian-wu, GAO Fei, DUAN Jian wen

National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China

Abstract: It is introduced that the BPM trial encoding time signal system, and its phase controlling and monitoring process; a detailed description is given of the measurement of broadcast channel delay, time calibration methods, and calibration results. Through the statistical results of near-field and far-field testing data within the national territory, it has been proven that in today's rapidly developing technology and increasingly deteriorating electromagnetic environment, the BPM time signal still maintain its timing accuracy and coverage range, providing high-quality timing services for the national economy, people's livelihood, national defense security, and other areas. The encoding signal system being tested is compatible with the existing transmitter working mechanism and the original system signal, with fast decoding speed and high decoding rate. With the gradual upgrading of user devices, BPM can achieve continuous broadcasting of complete BPMc information, DUT1 information and other services throughout the entire period, better meeting the real-time and continuous application requirements of time synchronization for the national economy and people's livelihood, national defense construction, scientific research, etc., and realizing BPM autonomous timing.

Key words: BPM encoding time signal; transmission channel delay measuring; time signal calibrating;

收稿日期: 2024-07-12; 接受日期: 2024-09-21

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2023YFB3906503)

BPM autonomous timing

随着科学技术的不断进步,时间频率在国民经济发展、国防建设和科学研究方面的应用越来越广、精度需求越来越高。作为我国重大科技基础设施之一,BPM 短波授时是我国标准时间综合服务体系很重要的组成部分^[1]。虽然其授时精度低于长波、卫星等系统,但因其具有用户终端简单、使用方便、覆盖范围广、抗毁性强等优势,始终是国家科研、军事等的重要战略资源,持续发挥着重要作用^[2]。

多年来,承担 BPM 授时任务的中国科学院国家授时中心(NTSC)不断探索新技术新方法,以期持续提升系统性能,不断完善系统功能,满足国计民生对时间频率日益增长的各种需求。截止 2017 年,BPM 对所有发射机完成了建台以来的第二次全面更新改造^[3];同年又启动了时频控制与监测系统升级,时号体制得到优化,对新体制时号相位做了

进一步校准,系统精度、稳定性、可靠性大幅提高^[4]。

1 BPM 系统组成和发播频率安排

BPM 系统时间基准为 NTSC 保持的协调世界时 UTC (NTSC),该基准位于西安临潼,BPM 授时台位于陕西蒲城。授时台设置发播工作钟,产生 UTC (NTSC) 的物理复现 UTC' (NTSC),作为授时台时频控制的直接参考。UTC' (NTSC) 向 UTC (NTSC) 的溯源通过高精度光纤链路和 GNSS 卫星共视链路完成,溯源精度优于 $\pm 5 \text{ ns}$ ^[4]。

BPM 系统组成框图示于图 1。时号内容主要包括 UTC (Coordinated Universal Time) 和 UT1 两种时间,每天在 4 个载波频率(2.5、5、10、15 MHz)上连续或交替发播。

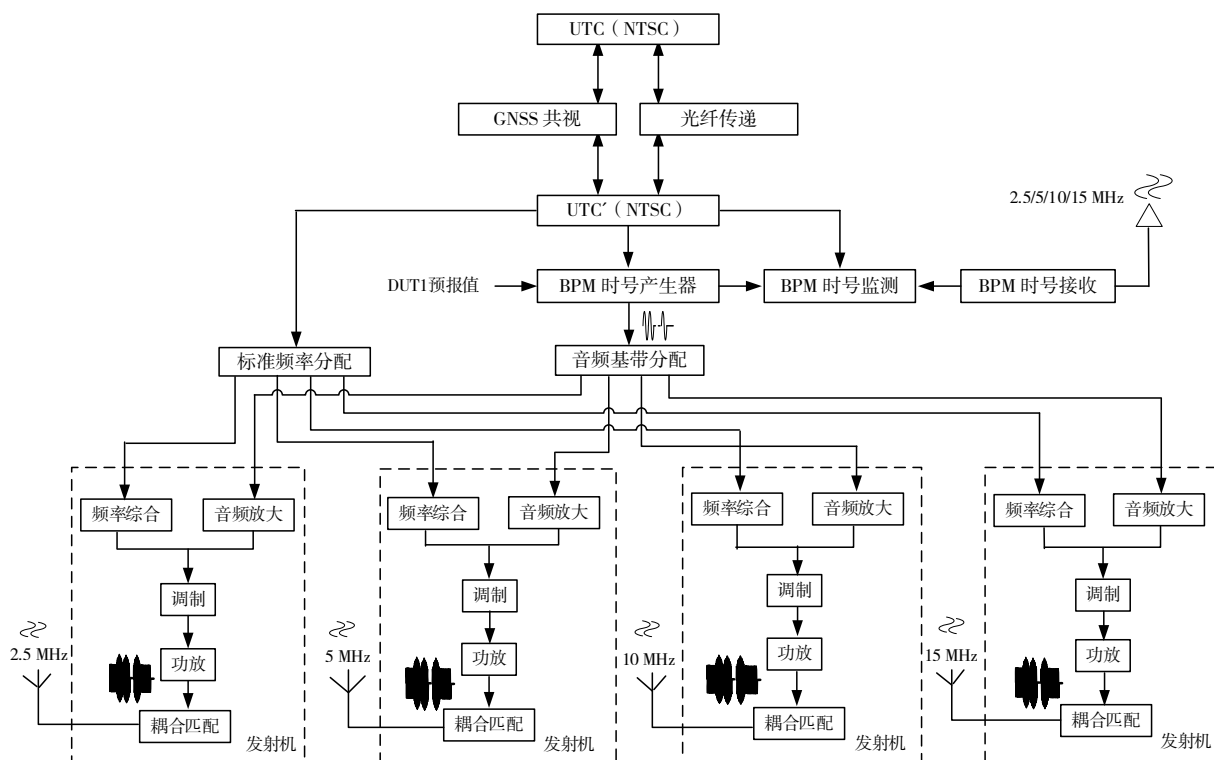


图 1 BPM 授时系统组成框图

UTC' (NTSC) 标准频率信号经分配放大后作为各发射机频率综合器的外部参考,产生各自的发射载频;时号产生器根据 UTC' (NTSC) 基准和 DUT1

预报值,产生 1 kHz 基带信号,经分配放大后对发射机载波信号进行幅度调制、功率放大后耦合匹配到天线辐射出去,完成时号发播。

时频控制和基带信号产生由时频监控室完成,标准频率信号和基带信号分别通过光缆和平衡式音频信号电缆输送给发射机。

时频监控室连续监测所有设备工作状态及 BPM 时号产生器输出相位和幅度,同时通过四通道的 BPM 专用监测接收机对 4 个发射信号的功率电平、时刻准确度等进行闭环监测,确保时号准确无误,连续发播。

根据电离层的变化特性以及较为充分的实验数据,BPM 4 个不同频率发播时间安排如表 1。5 和 10 MHz 作为主频连续发播,2.5 MHz 在午后和夜间发播,15 MHz 白天发播。

表 1 BPM 各频率时号发播时间安排

发播时间	载波频率/MHz
UTC 07:30 至次日 01:00	2.5
全天	5
全天	10
UTC 01:00 至 09:00	15

2 BPM 时号体制

建台初期确定的 BPM 时号程序如图 2 所示。30 min 为一个程序周期,每个程序周期内分两个时段共播发 20 min UTC 信号、4 min UT1 信号,5 min 纯载波,1 min 电台呼号^[5]。UTC 和 UT1 信号相应时段每秒只发秒标志或整分标志信号,分别记作 BPMc 和 BPM1。BPMc 和 BPM1 秒及整分标志分别为不同周数即不同宽度的 1 kHz 等幅正弦波,正相位,起点为时间参考点。BPMc 秒为 1 kHz 正弦的 10 个周波(宽度 10 ms)、BPM1 秒 100 个周波(宽度 100 ms),所有整分均为 1 kHz 正弦的 300 个周波(宽度 300 ms)。每个 10 ms、100 ms 和 300 ms 之后的时段为空^[4]。

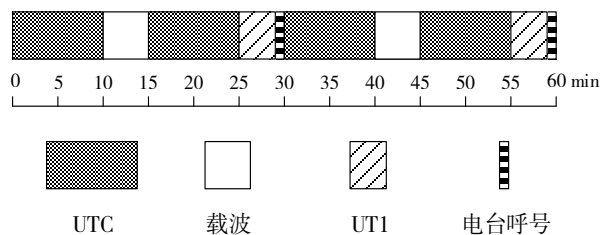


图 2 建台初期确定的 BPM 时号发播程序

这种体制同一时间只能发一种时号,或 BPMc 或 BPM1,对需要连续接收一种时号的用戶非常不便,时间信息也不完整,用戶需要通过其他手段才能确定接收信号对应的年月日时分秒信息。尤其 BPM1 用戶,每 30 min 只有 4 min 有信号,如果恰好该时段短波信道性能变化导致用戶没能捕捉到信号,只能等待 30 min 后再接收。这种时号体制显然已远远落后于高速发展的各种技术需求,严重影响工作效率。

2019 年 12 月开始,BPM 在 2.5 MHz 和 5 MHz 两个频点试播一种实验时号体制。试验时号将原程序中的 5 min 纯载波改为发播 BPMc,同时所有 BPMc 秒和整分标志之后插播了年月日时分秒、DUT1 ($DUT1 = UT1 - UTC$)、闰秒等编码信息,延长了 UTC 连续播发时间,增加了 DUT1 数据播发,无疑也延长了 UT1 服务时间。考虑到部分用户的设备未及更新,暂时保留原规定时段的 UT1 信号和电台呼号发播。UT1 时段未插播数据信息。

BPM 试验用时号程序安排如图 3 所示。

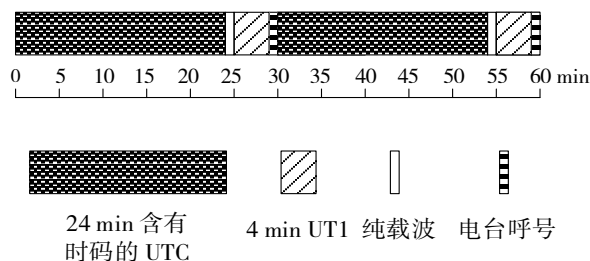


图 3 BPM 带编码时号发播程序

数据信息采用二进制脉冲宽度编码,码元宽度 10 ms。信息“1”为 1 kHz 的 5 个周波,与秒及整分信号等幅同频,信息“0”为空,帧周期为 1 s。每秒一帧信号之间留有大约 0.5 s 的间隔,方便音频辨识。编码示意图如图 4,其中“S”为秒信号,“M”为整分信号,左下角为时号波形示意。“S”引导的秒帧发年月日时分秒和精确到毫秒位的 DUT1,“M”引导的整分帧发 DUT1 的 0.1 ms 位数值、当前闰秒总数及闰秒预报等。每类信息后设一位该段的奇偶校验。时码信息对应帧前的秒“S”或整分“M”标志的时刻。

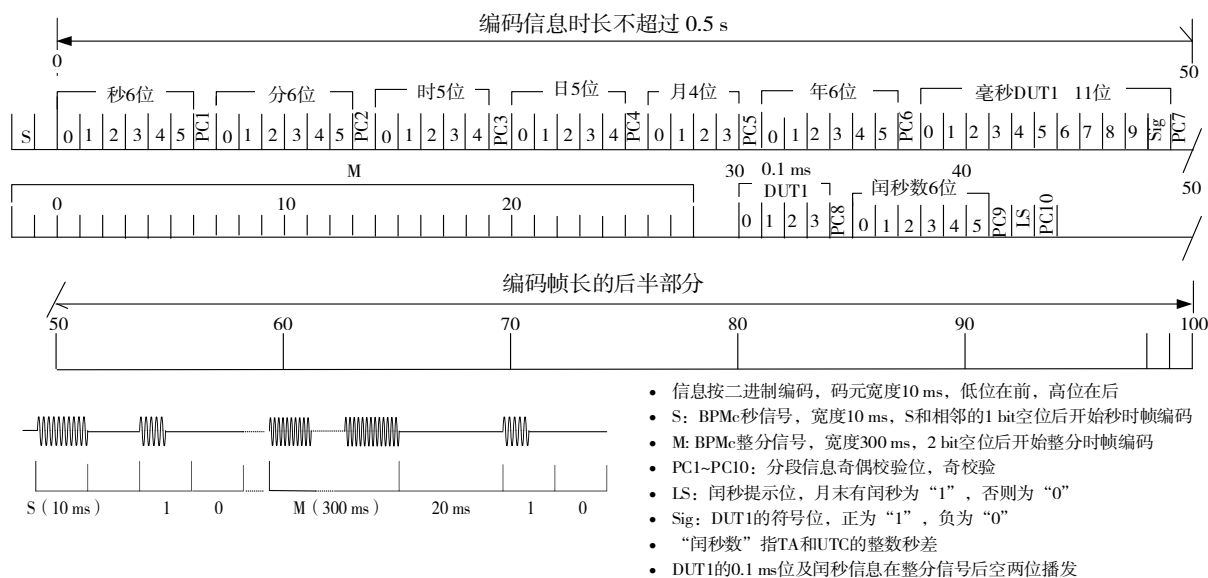


图4 BPM 编码信息的秒和整分时帧图

基于 BPM 现有调幅发射机工作机制, 编码信号与秒及整分标志按等幅同频、时分复用设计。编码信号与秒及整分标志组成的 1 kHz 基带信号在时号产生器中形成, 作为发射机调制信号。发射机无需任何调整和变更, 成本低, 技术实现容易。等幅同频、每秒一帧的设计, 能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, 编码信号的有效性自不必再论证。保持原有秒、整分标志并留有大约半秒的帧间隔, 兼顾了 BPM 老体制用户的使用需求, 最大限度降低体制变更过程给用户带来的不便。

试验用时号体制仍然保持 BPMc 秒和整分信号起点超前国际 UTC 20 ms (避免临近各国授时台同一载频上的相互干扰)^[6]。

3 时号相位校准

时间频率用户利用任一授时信号进行定时, 都是默认发射天线端时号相位与标准时间是对齐的。用户只需修正传播通道和接收通道时延即可完成定时。BPM 授时也一样, 在系统建设或各次的升级改造中必须精确测量发射通道时延, 并对时号输出进行提前量修正, 才能保证发射天线端时号的时间参考点与 UTC (NTSC) 时刻对齐, 完成时号校准。

3.1 发射通道时延测量

BPM 发射通道时延是指从 UTC (NTSC) 参考点到 BPM 发射天线端射频输出的通道总时延, 其中包括时号产生器时延、传输线缆时延、放大器时延、发射机内部时延、天线馈线时延等。BPM 发射机系统和时频监控系统升级改造后, 进一步精确测量发射通道时延是时号精度提升最重要的因素之一。

因为发射天线端时号不易直接获得, 发射机输出端天线馈电点时号时间参考点与 UTC (NTSC) 的时间差是发射通道总时延测量的重心, 天线馈线时延根据实际长度容易计算, 误差最大几个纳秒, 对短波定时几乎不产生影响。而 UTC' (NTSC) 向 UTC (NTSC) 的溯源误差不超过 5 ns, 直接以 UTC' (NTSC) 为系统参考几乎不会引入误差。

发射机输出馈电点与 UTC' (NTSC) 的时间差测量原理如图 5 所示。

将一个可移相秒脉冲从时频监控室传输至短波发播机房并经过整形放大, 作为示波器触发信号, 观测发射机输出馈电点射频波形相位。调整可移相秒的移相量, 使其整形放大后的脉冲起点与射频信号时间参考点对齐, 此时, 移相秒相对于 UTC' (NTSC) 的移相量 T_1 , 加上移相秒经传输、分配放大的总时延 T_2 , 即是 UTC' (NTSC) 参考点到发射机输出馈电点的总时延 D 。移相秒整形放大的目的, 是为了消

除色散等因素引起脉冲前沿变化引入延迟测量误差。

移相秒经传输和整形放大的总时延 T_2 测量采用双向传输法, 测量不确定度优于 $\pm 1 \text{ ns}$ 。实际使用的移相秒移相量精度也优于 $\pm 1 \text{ ns}$; 两者合计的测量不确定度对于短波时号的影响不足一提。所以 D 值的测量

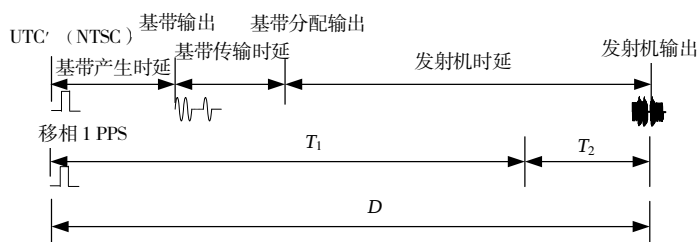


图5 BPM 发射机输出信号相位测量原理

精度只取决于射频波信号本身的相位测量不确定度。

图6是发射机输出实际波形。可以看出, 已调信号起点较难分辨, 且第一周波形不够规则。测试中选择了容易辨识的第一周之后的信号峰点, 通过周期修正获得起点相位, 有效减小了测量误差。



图6 BPM 射频信号实际波形

实测发现, 发射机输出射频信号相位抖动大约 $1 \sim 2 \mu\text{s}$ 。在发射机和天线良好匹配、射频信号波形规则的情况下, BPM 当前配置的不同发射机输出馈电点信号时间参考点的相位有很好的一致性。实测 D 值大约 $159.5 \mu\text{s}$ 。其中时号产生器的时延 $1 \mu\text{s}$, 传输线缆和基带信号放大的时延不超过 $1 \mu\text{s}$ 。 $159.5 \mu\text{s}$ 的时延主要产生于发射机内部基带放大、幅度调制、功率放大和耦合匹配等部分。BPM 不同发射天线的馈线时延最小约 200 ns , 最大约 500 ns 。

3.2 BPM 时号相位校准

根据发射通道时延测量结果, 为了极大简化系统组成和时号控制的复杂度, BPM 对不同频率、不同发射机和发射天线组合, 采用同一时号产生器作为基带信号源, 即对所有发射机采用同一发射提前量。这是因为, BPM 发射天线的馈线时延小于 500 ns , 对不同发射天线的馈线时延按均值 350 ns 计算, 产生的最大误差不超过 200 ns 。相对于射频信号 $1 \sim 2 \mu\text{s}$ 的相位抖动, 以及短波信道引入的百微妙甚至毫秒量级的相位波动^[7], 该误差对用户定时精度不会产生影响。

目前 BPM 所发的 UTC、UT1 时号及数据信息均进行了 $160 \mu\text{s}$ 的提前量设置。发射机输出射频信号 $1 \sim 2 \mu\text{s}$ 的相位抖动, 是现有发射机性能决定的, 也是目前 BPM_c 时号相位控制的极限精度。BPM_i 时号根据 DUT1 预报值 (精度到 $10 \mu\text{s}$ 位) 变化每秒进行一次调整, 时号控制准确度与预报值准确度相当。

4 BPM 时号定时精度及编码体制有效性测试

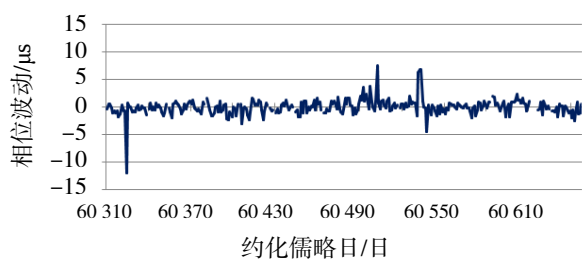
4.1 近场测试

图7是2024年授时台时频监控室接收的两个主频信号相位波动曲线 (取样时间为每日 UT0 时), 5 MHz 相位波动基本在 $\pm 5 \mu\text{s}$ 以内, 10 MHz 基本在 $\pm 10 \mu\text{s}$ 范围 (最大不超过 $20 \mu\text{s}$)。接收信号相位波动大于发射时号相位波动, 产生原因除了发射系统噪声、空间噪声和接收系统噪声外, 监测系统触发电平设置在 0.4 V 、不是正弦过零点相位检测是主要原因之一。因为基带信号是 1 kHz 正弦波, 接收信号幅度小幅变化, 相位比对数据必然跳变, 实际过零点或时间参考点相位是稳定的。

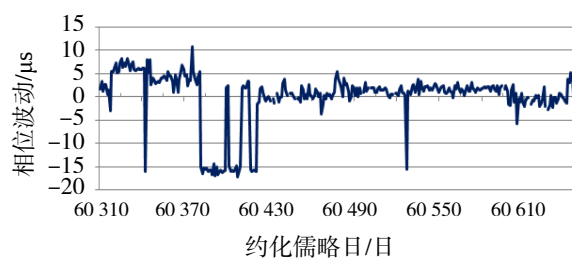
2019年11月23日至12月3日, BPM 在4个载频上同时试播了图4所示编码时号, 利用 KT-101 型 BPM 短波监测接收机在授时台时频监控室和西安两地分别进行了接收实验。授时台时频监控室, 4个频率均可开机解码, 解码率 100% 。西安没有收到过 10 MHz 和 15 MHz 信号。 5 MHz 白天能较好接收, 解码很快, SNR 在 $10 \sim 25 \text{ dB}$ 之间波动, 场强 FLD 基本大于 $40 \text{ dB}\mu$, 如图8所示。 2.5 MHz 接收质量较差, 信噪比 SNR 大多低于 10 dB , 解码需要较长时间, 这与 2.5 MHz 发射功率低, 西安市区环境噪声大有关。但 2.5 和 5 MHz 两个频率互补接收, 基本可以保证全天可连续获得正确的 DUT1 和年月

日时分秒信息。图 9 是 2.5 MHz 和 5 MHz 西安 24 h

接收典型 SNR 曲线, 信号质量大致可见。



(a) 5 MHz



(b) 10 MHz

注: 20240101/1203

图 7 授时台接收信号相位抖动曲线

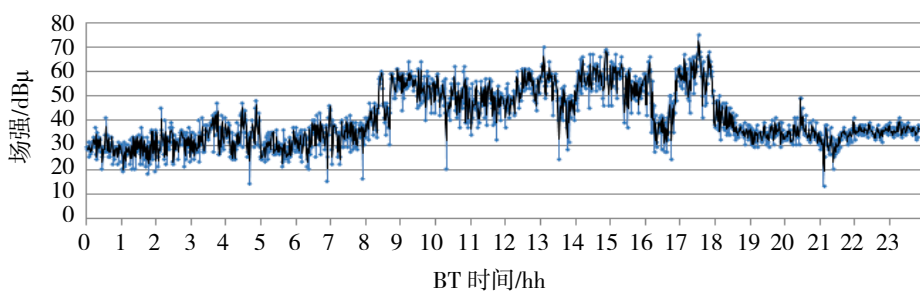
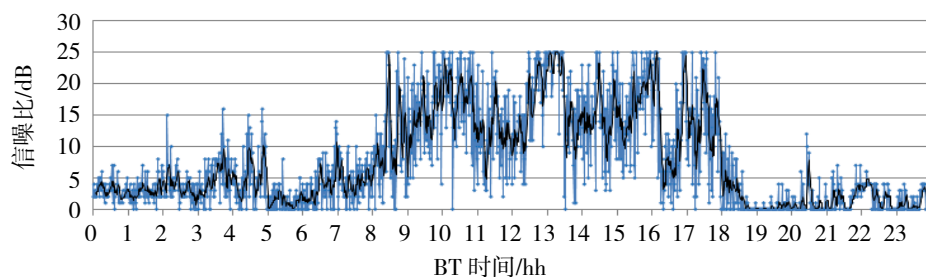
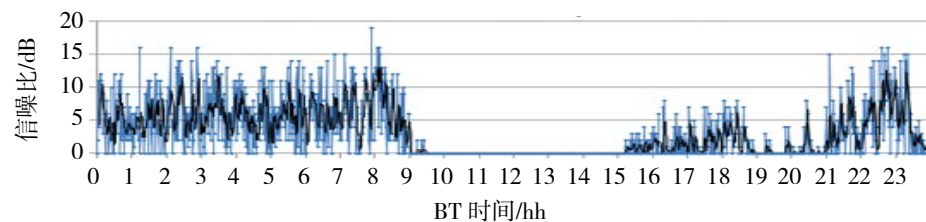


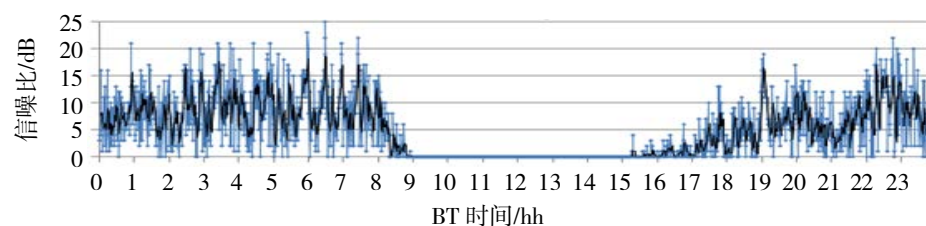
图 8 西安 5 MHz 24 h 信号接收场强典型曲线



(a) 5 MHz 信号信噪比典型曲线



(b) 2.5 MHz 信号信噪比典型曲线 1



(c) 2.5 MHz 信号信噪比典型曲线 2

图 9 西安全天 2.5 和 5 MHz 信号信噪比典型曲线

表2是2024年1~2月授时台时频监控室接收信号场强、信噪比及解码情况统计。可以看出,5、10、15 MHz 信号场强逐次变大;15 MHz 停播时段仍有30~50 dB μ 的信号场,且信噪比均不为零;10和15 MHz 信号均时有解码(发播信号没加时码)。

这些现象说明近区10和15 MHz 上叠加了5 MHz 信号的2次、3次谐波,这也是图7所示的10 MHz 信号相位抖动较5 MHz 偏大的一个原因。近场测试结果证明,BPM 授时信号的发播控制精度和试验编码体制的有效性符合预期。

表2 授时台接收信号场强、信噪比及解码情况

频率/MHz	SNR/dB	SNR 波动范围/dB	FLD/dB μ	FLD 波动范围/dB μ	解码情况
2.5	24.58	15~25	69	61~82	开机即解码,解码率100%
5	24.16	15~25	61	49~80	
10	24.95	15~25	65	43~89	两个频率均有解码且15 MHz 停发时有弱信号,场强30~50 μ dB,说明叠加5 MHz 谐波
15	23.80	15~25	75	53~94	

4.2 外场测试

2020年6至7月,BPM组织了一次外场测试,以进一步确认电磁环境越来越复杂的情况下BPM辐射信号质量和试播的时码体制解码效果。测试期间2.5和5 MHz 两个频率加发了时码,10和15 MHz

按原体制发播。仍用KT-101型BPM短波监测接收机接收测试。

图10是几个典型的远场接收信号实际波形,可以直观看出BPM授时质量和信号覆盖情况。

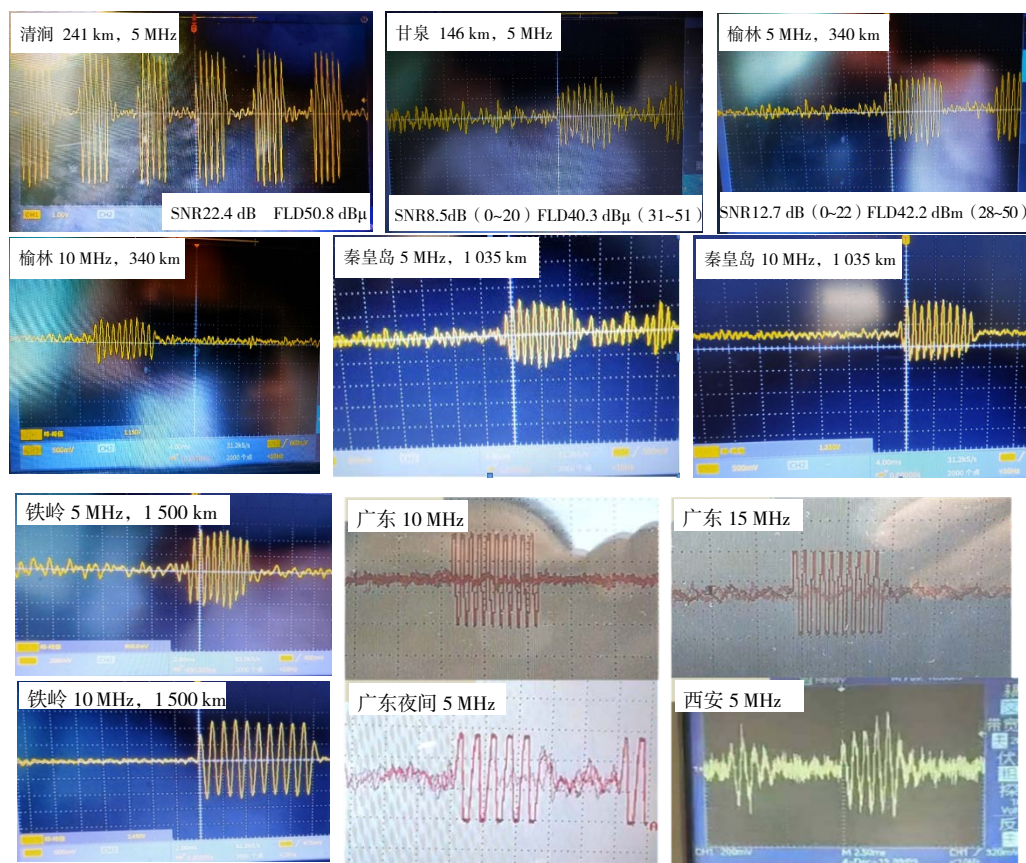


图10 外场接收 BPM 信号波形

表 3 列出了测试时间段内不同方向、不同距离上 BPM 可收频率、信号 FLD、SNR 以及根据接收机输出音频信号的听觉效果给出的信号质量评价。其中 FLD、SNR “/” 前为均值、“/” 后为波动范围。

表 3 BPM 外场时号测试数据统计

日期	地点	直线距离 /km	测试时段 (UT)	可收频率 /MHz	FLD 及波动 /dBμ	SNR 及波动/dB	信号评价
2020/06/02	卤阳湖	14	0700/1400	2.5	42.3/42~44	15.0/12~17	较好，解码
				5	56.0/32~67	16.5/2~25	
				10	35.9/22~48	20.4/6~25	
2020/06/03	甘泉服务区	146	0400/0700	5	40.3/31~51	8.5/0~20	解码
	清涧县	241	0900/1100	5	50.8/41~60	22.4/15~25	好，解码
2020/06/04	榆林南	340	0100/0300	5	42.2/28~50	12.7/0~22	较好，解码
				10	33.4/16~43	18.6/0~25	信号弱
				10	35.6/19~44	16.8/0~25	信号弱
2020/06/05	包头东	625	0100/0300	10	27.5/16~38	12.7/0~25	质量差
	乌兰察布	711	0700/0800	10	31.5/0~43	16.6/2~25	不稳定
2020/06/06	辽宁朝阳	1 180	1200/1400	5	52.3/35~62	23.5/9~25	好，解码
2020/06/07	铁岭新区	1 500	1100/1600	5	44.8/32~56	15.4/0~24	较好，解码
				10	40.4/15~51	20.9/5~25	好
2020/06/08	秦皇岛	1 035	1300/1600	5	50.7/31~57	15.7/0~25	解码，有噪声
	东海滩			10	41.0/24~51	23.4/7~25	较好
2020/06/09	唐山市	915	0400/0800	5	29.3/0~40	0.4/0~7	有解码
				10	22.9/3~35	15.9/1~25	较差
2020/06/10	廊坊市广阳	804	0000/0200	10	35.8/28~42	18.1/12~22	弱
	阳泉市孟县	491	0800/1000	5	38.4/27~48	8.1/0~20	解码
	太原开发区	410	1300/1500	10	35.9/23~47	14.4/0~24	解码
				5	51.8/41~57	13.6/0~24	
2020/06/11	临汾	260	0300/0500	5	40.2/25~47	14.1/0~25	解码，较好
	韩城	95	0700/0900	5	55.1/38~66	20.0/0~25	好，解码
				10	43.6/36~50	20.1/0~25	较好
2020/07/08	黄龙石堡镇	71	0400/0500	10	24.3/4~25	36.9/27~57	噪声大
				5	49.2/19~65	22.7/0~25	解码
				2.5	22.3/13~33	1.9/0~12	弱，解码
				10	37.0/29~41	24.4/18~25	开机解码
				5	46.6/22~58	18.6/2~25	开机解码
10	29.9/16~44	20.9/1~25					
2020/06/28	三门峡	156	0400/0500	10	47.7/31~63	22.5/7~25	信号好
				5	53.9/33~66	25.0/24~25	解码，信号好
				15	27.2/3~61	16.6/1~25	较好

续表 3

日期	地点	直线距离 /km	测试时段 (UT)	可收频率 /MHz	FLD 及波动 /dBμ	SNR 及波动/dB	信号评价
2020/06/27	平顶山	353	0800/0900	15	32.3/13~57	13.9/0~25	较好
				5	43.2/30~54	10.5/0~25	解码, 噪声大
	河南周口	538	0300/0400	10	37.7/24~47	15.9/0~25	噪声大
				10	44.0/25~56	23.3/3~25	信号好
2020/06/26	安徽阜阳	662	1200/1400	15	40.7/21~51	21.0/0~25	有噪声
				5	50.7/42~60	10.7/0~25	解码, 较好
	安徽八公山	736	0700/0900	10	44.5/27~49	18.8/0~24	噪声大
				5	31.1/17~41	14.1/0~25	解码, 噪声大
				10	32.9/19~43	17.4/0~25	接收不稳定
				10	34.4/8~45	23.3/7~25	有噪声
	合肥	802	0300/0400	15	40.4/20~52	20.7/0~25	好
				10	44.4/27~50	24.3/16~25	好
	安徽上饶	1 050	0300/0400	10	38.8/19~46	22.3/4~25	好
				15	38.6/13~55	23.3/10~25	好, 有波动
2020/06/24	武夷山	1 147	0700/0900	10	33.8/12~49	21.9/0~25	较好
				15	21.5/0~34	16.4/0~25	
2020/06/23	福建永安	1 242	1100/1400	10	47.4/32~60	20.8/2~25	好
				5	43.8/30~53	5.5/0~22	解码不稳定
				10	45.4/42~48	25.0/24~25	好
				15	22.2/4~34	14.5/0~25	弱
2020/06/20			0600/1000	5	28.5/15~42	6.8/0~21	解码慢
			0900/1000				
			0100/1000	10	34.9/0~50	21.6/0~25	
				15	33.4/0~53	19.5/0~25	
2020/06/21	福建厦门	1 423		10	36.1/18~48	20.1/0~25	较好
				15	42.4/20~55	22.8/2~25	

表 3 中对几个 SNR 均值小于 11 dB 还能够解码的数据做了斜体加粗处理, 可见 BPM 试播的幅度调制编码时号是有效的。对外场时差测试数据按照 3 Sigama 原则处理后, 基本能证明在接收信号质量较好时, 定时精度 (均方根误差) ± 1 ms 左右, 与建台初期结果一致^[8]。

外场测试结果证明, 目前 BPM 四个频率交替或连续发播, 时号能够有效覆盖国土及近海; 在电磁环境日益劣化的现今, 只要接收天线架设环境选择适当^[9], 同时采用适当的先进检波手段^[10], 任何时

间在任何地点基本可以保证至少有一个 BPM 频率可有效接收并解码, 定时精度与建台初期电磁环境较好时的精度一致。SNR 大于 20 dB 左右、场强大于 50 dBμ 左右时, 开机即可解码。10 和 15 MHz 信号在远场接收质量非常好, 若加发编码信息, 解码效果毋庸置疑。

5 总结及展望

随着 BPM 系统的不断升级和完善^[11], BPMc 时

号控制精度已从建台初期的 $\pm 100\ \mu\text{s}$ 提高到 $\pm 2\ \mu\text{s}$; BPM1 时号控制精度从建台初期的 $\pm 0.3\ \text{ms}$ 提高到与 DUT1 预报精度相当。在科技飞速发展、电磁环境日益劣化的现今, BPM 时号仍能保持较好的定时精度和预期覆盖范围, 为国计民生、国防安全等提供高质量的授时服务。

BPM 试验编码体制完全兼容现有发射机工作机制和原体制信号, 时帧周期 $1\ \text{s}$, 兼顾老体制用户的过渡需求; 编码信号的发播和接收信号质量与原体制完全一致, 解码速度快, 解码率高。可以预见, 随着用户设备的逐步升级, BPM 可实现全时段连续发播 BPMc 信号、编码信息、DUT1 信息等, 更好地满足国计民生、国防建设、科学研究等对时间同步的实时性、完整性和连续性应用需求。用户随时可以通过选择适当的频率和接收环境从 BPM 获得完整的 UTC、UT1 时间, 实现 BPM 自主定时。

近年来, 随着国际形势变化, “卡脖子” 问题凸显。为了摆脱对国外地球自转测量服务的依赖, 2021 年 NTSC 开始利用国产数字天顶筒、VLBI 网以及大型激光陀螺仪等技术, 恢复了我国世界时自主测量, 精度与 IERS BULLETIN-A 的预报精度相当。BPM 已完全具备独立自主完成 UT1 时间服务的能力。

致谢

衷心感谢在炎热天气不辞辛苦完成外场测试

实验和获得实验数据的各位同仁!

参考文献:

- [1] 华宇, 郭伟, 燕保荣. 我国授时服务体系发展现状分析[J]. 时间频率学报, 2016, 39(3): 193-201.
- [2] 左兆辉, 淮鸽, 戴群雄. 短波授时在高精度授时领域的应用[J]. 计算机与网络, 2021, 47(24): 55-58.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 漆贯荣. 时间科学基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 109-116.
- [6] 漆贯荣. 时间科学基础[K]. 西安: 中国科学院国家授时中心, 2005: 115.
- [7] 宁百齐, 吴振华, 李钧. 电离层信道的时变特性对短波授时的影响[J]. 电波科学学报, 1994(2): 78-84.
- [8] 中国科学院. BPM 短波授时台鉴定技术文件[K]. 1980.
- [9] 陈洪卿. BPM 时号的接收和使用[J]. 时间频率公报, 1981(3): 17-21.
- [10] 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, 1988(Z1): 92-95.
- [11] 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, 2000(2): 81-89.