

研究简讯

## 上海天文台氢原子钟的研制进展

翟造成 林传富 黄亨祥 江国兴  
陆家复 罗薇华 何建卫 张为群  
(中国科学院上海天文台)

### 氢原子钟的早期发展

上海天文台1970年开始氢原子钟的研制,1972年研制成功。一共研制了6台这种实验室型的氢原子钟。这些标准主要用于VLBI国际联测和频率测量的参考标准。它们的设计特征和性能指标在文章[1-3]中已经描述过了。图1是两台这种标准的照片。

### 实用型氢原子钟

为了装备中国VLBI网,上海天文台1985年开始研制一种新型氢原子钟——一种实用型标准,并于1987年研制成功[4]。到目前为止,已经研制了

6台这种标准,用于VLBI观测和军事工程[5]。这些标准不仅体积小、重量轻,而且可适用于各种运输工具整体运输,是一种坚固的集成式时、频标准。它的所有电子学和脉泽物理部分一起集成为一个机箱。机箱内设有恒温空气循环系统,使整个标准处于机箱内的恒温环境中,相对来说,这降低了标准对用户工作环境的要求。图2表示这种标准正在军工程车上工作的情景。

对这种标准的稳定度性能和环境灵敏度性能进行了严格的测试[6]。图3表示它们的短、中期频率稳定度性能。由图3可见,对于超过100秒的取样时间,它们的频率稳定度保持在 $10^{-15}$ 水平。在环

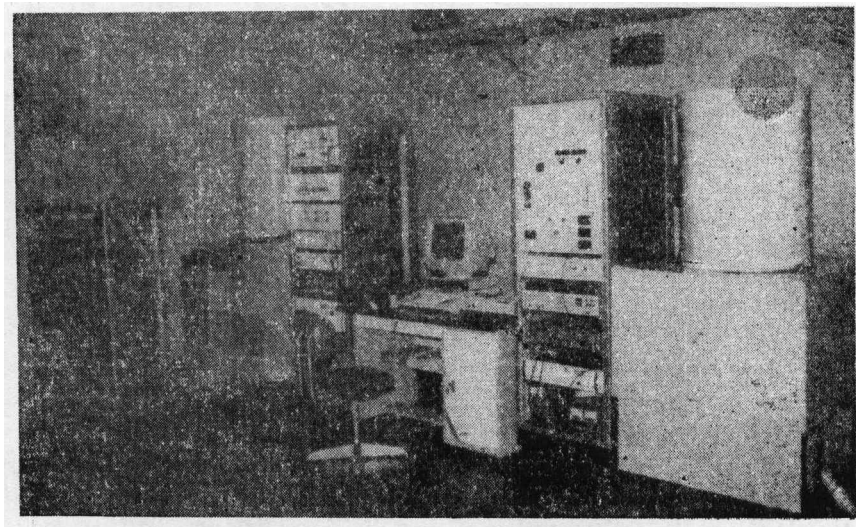


图1 实验室型氢原子钟

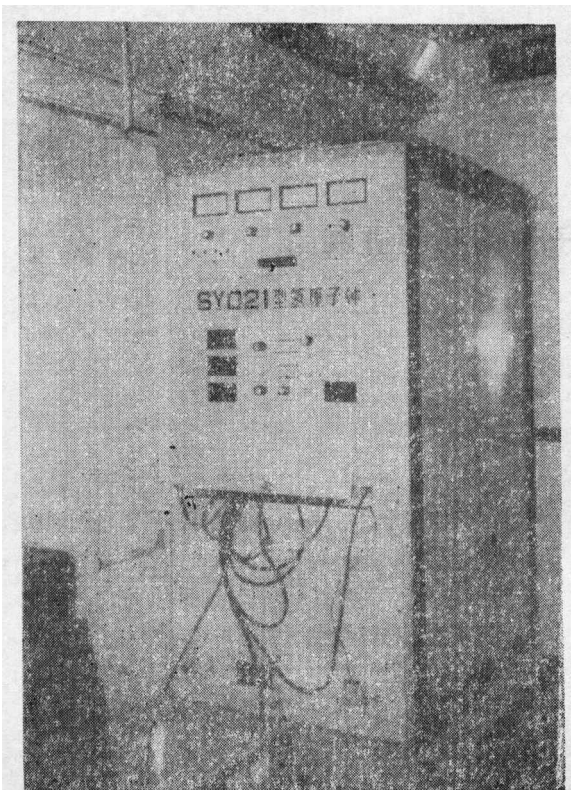


图 2 实用型氢钟

境性能测试中,每改变一个环境条件,仔细地监测输出频率的变化.环境灵敏度的测量结果摘要于表 1.

表 1 环境灵敏度<sup>[6]</sup>

条 件	灵 敏 度	
温 度 (22℃—31℃)	慢 系 数	快 系 数
	$\Delta T \uparrow$ (升) $2.9 \times 10^{-14}/^\circ\text{C}$	$1.2 \times 10^{-14}/^\circ\text{C}$
	$\Delta T \downarrow$ (降) $3.0 \times 10^{-14}/^\circ\text{C}$	$1.3 \times 10^{-14}/^\circ\text{C}$
气 压 ( $\pm 25 \text{ mmHg}$ )	$< 1 \times 10^{-14} / \text{mmHg}$	
磁 场 ( $\pm 0.4 \text{ G}$ )	$1.1 \times 10^{-12} / \text{G}$	

单脉泽自动腔调谐系统

为了用氢原子钟守时,一种单台氢原子钟就可实现腔调谐的自动调谐系统,已经在上海天文台研制成功<sup>[7]</sup>,并已用于氢原子标准中正常工作,大大改善了标准的长期稳定度.

腔自动调谐系统的原理如图 4 所示<sup>[7,8]</sup>.当一个频率调制的微波信号  $f(t)$  送到腔中,在输出信号中便得到一个幅度响应信号  $A(t)$ ,然后通过 Lock-in 放大器送到腔耦合变容二极管去修正腔的频率.结果腔的共振频率响应被自动维持在图中所希望的实线所示的状态.自动调谐系统的方块图如图 5 所示<sup>[7]</sup>.

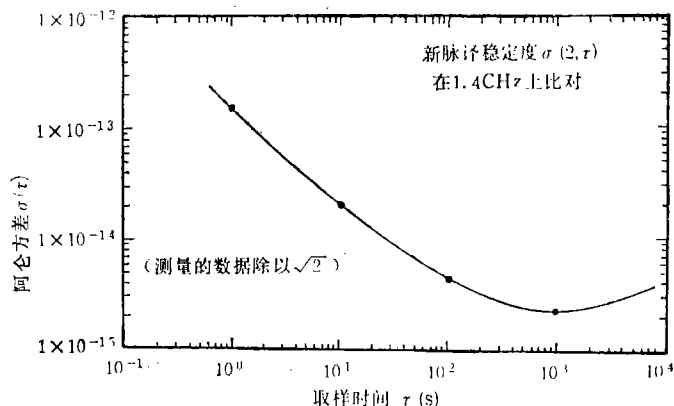


图 3 新脉泽稳定度数据

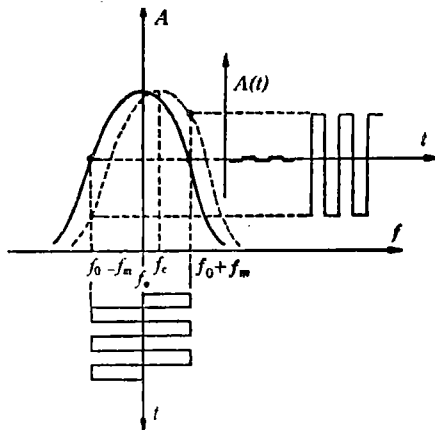


图 4 腔对频率调制信号的响应

对自动调谐系统的工作特性进行了一系列的严格测试.在应用和不用自动调谐系统两种情况下,标准的频率稳定度数据如图 6 所示.很明显,标准的长期稳定度由于采用自动调谐系统而得到改善,而短稳影响不大,这正适用于我们所期望的守时目

的.目前,装备着自动调谐系统的两台氢原子钟正用于上海天文台原子时守时系统中.

守时用极小型氢原子钟

目前,上海天文台同时正在研制一种守时用极

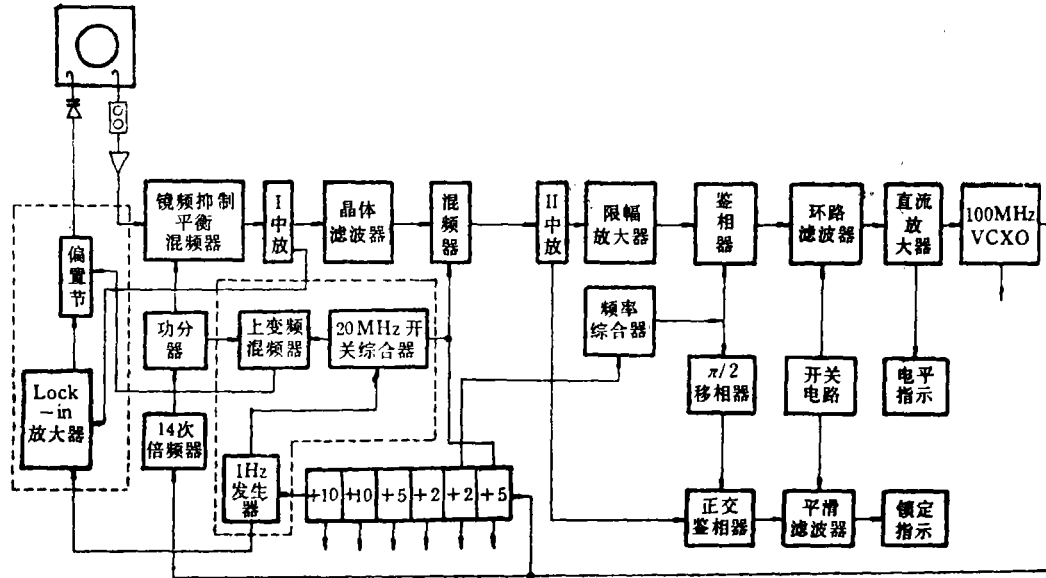


图 5 氢脉泽自动调谐系统方块图

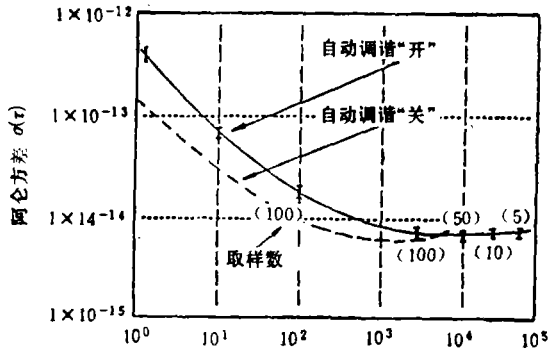


图 6 带自动调谐的氢钟稳定度数据

小型氢原子标准。这种标准采用了一种精密的电极负载腔结构。由于这种腔很小，使该种氢原子标准与传统的氢标准相比，其体积和重量大大减小。

这种极小型氢原子标准的工作原理如图 7 所示<sup>[9]</sup>。与通常的氢原子标准相比，由于谐振腔为电极负载结构，腔 Q 值很低而不能维持脉泽振荡。但是这种限制正如图 7 所示，可用正反馈来克服。腔输出放大后的一部分再正反馈到腔中，这样就有效地减小腔的损耗或说使腔的 Q 值得到增益，从而可以维持脉泽振荡。但是，在这种标准中，腔由于反馈回路的存在而不再像通常氢脉泽腔是孤立元件。实际上，此时腔和反馈回路一起构成共振系统，

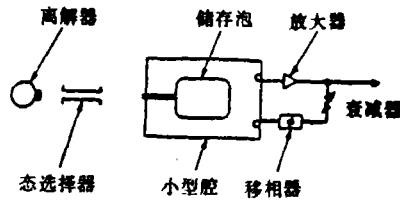


图 7 反馈振荡型氢脉泽原理

因而对于外负载的变化或对环境干扰特别灵敏，而不得不采用腔频稳定伺服系统，也即前面我们所谈到的腔自适应调谐系统。

这样看来，正反馈使脉泽能起振成为振荡器，因而短期稳定度比纯被动工作机理要好，而自适应腔调谐系统的应用又将改善标准的长期稳定度。所以该标准不失为氢标准的一种有前景的新品种。

守时用极小型氢原子标准的功能方块图如图 8 所示<sup>[10]</sup>。腔 Q 增益和腔调谐系统分别位于图 8 的中部和左侧。图 9 表示上海天文台研制的该标准的实物照片。目前，该标准已实现振荡，已于最近装成样机。

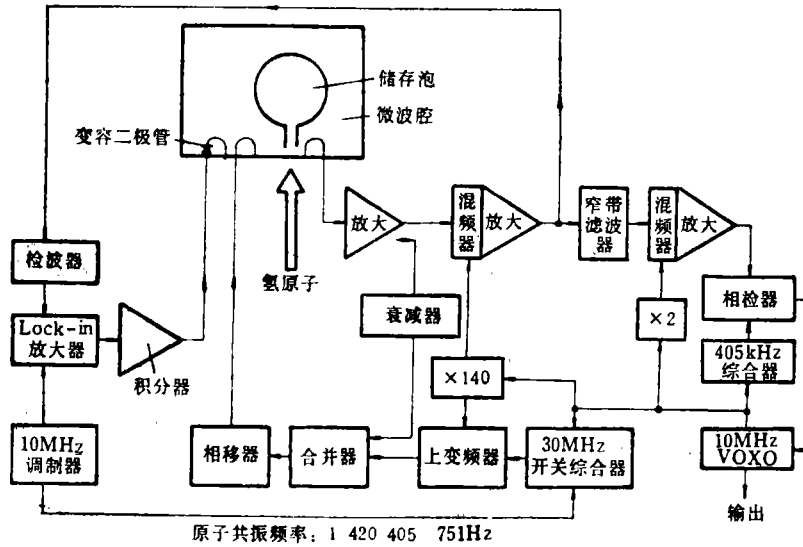


图 8 包含腔伺服系统的反馈振荡型氢脉泽系统方块图

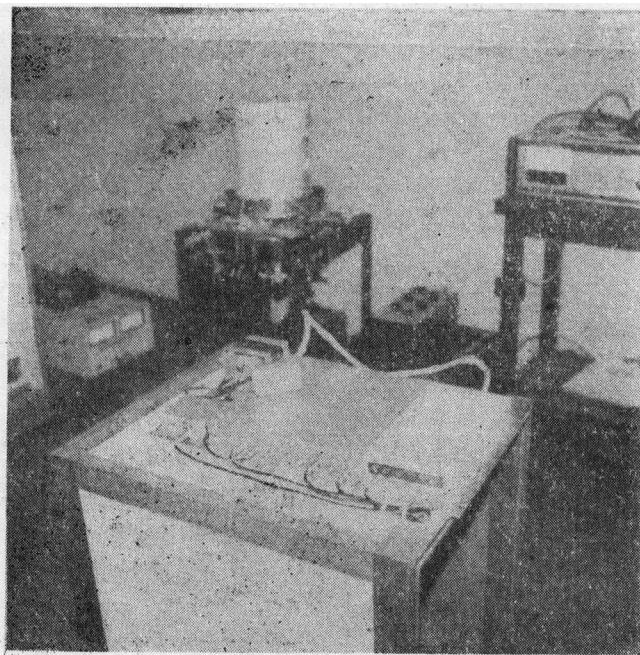


图 9 极小型氢原子频标实物照片。背景为脉泽振荡器，前面为它的电子学线路

### 应 用

上海天文台研制的氢原子钟主要用于国际 VLBI 观测。在 VLBI 观测期间，氢标准的性能用微机实时测量系统监视。频率稳定度数据不仅可以用 Allan 方差给出，而且也以 VLBI 天文学家习

惯的形式给出。图 10 表示两台氢标准扣除固定频差后的相位比较数据。图 11 表示同样的数据扣除频率漂移后的相位比较数据。

上海天文台实用型氢标准也已用于流动跟踪站。在这种跟踪用途中，非常强调瞬间稳定度。表 2 表示实用中的瞬间稳定度数据。

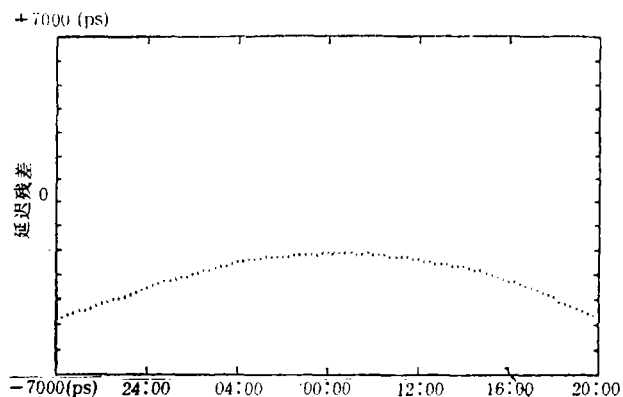


图 10 VLBI 相位比较数据(去掉固定频差)

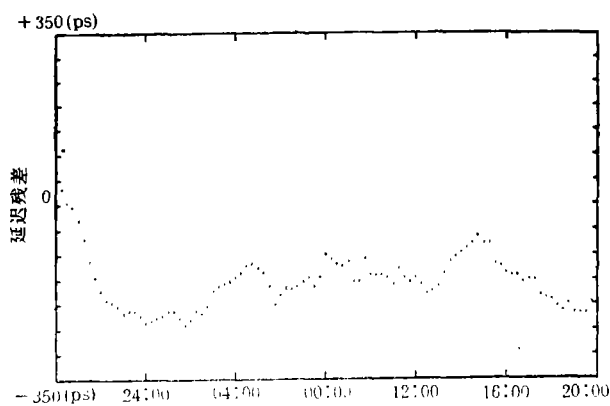


图 11 VLBI 相位比较数据(扣除漂移后)

表 2 瞬间稳定度数据

取样时间	测量系统带宽	稳定度
10ms	1.6Hz	$8.5 \times 10^{-11}$
	400Hz	$5.1 \times 10^{-11}$
100ms	100Hz	$7.1 \times 10^{-12}$

当然，上海天文台的氢原子钟，特别是带自动调谐的氢标准也已用于守时系统中。图12表示氢钟与 UTC 通过 GPS 的比对数据。

### 结 束 语

上海天文台研制的氢原子钟，尤其是实用型标准，已经证明它们是坚固的和容易整体运输的标准。能够经受得住用各种运输工具从一个站到另一

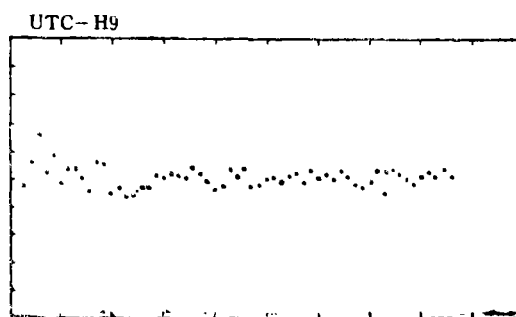
X-168h/格 Y-7.99999 $\times 10^{-13}$ /格  $\tau=24h$ 

图 12 氢钟与 UTC 比对数据

个站运输的颠簸与震动。它们是 VLBI 观测和守时工作满意的时、频标准。显然，它们的容易运输和工作方便等特点，无疑也为其他领域提供了理想的时、频标准。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Zhai Zao Cheng, Shanghai Observatory's hydrogen maser, *JIETE*, 27 (1981), 11, 510.
- [ 2 ] Zhai Zao Cheng, et al., A Brief introduction to the atomic time and frequency standards at Shanghai Observatory, Proc. of 38th Annual Symposium on Frequency Control, (1984), 476.
- [ 3 ] Zhai Zao Cheng, et al., Activities on time and frequency at Shanghai Observatory, Proc. of 18th PTTI Meeting, (1986), 156.
- [ 4 ] Z. C. Zhai, H. X. Huang, et al., The new generation of hydrogen maser at Shanghai Observatory, Proc. of 41st Annual Symposium on Frequency Control, (1987), 82.
- [ 5 ] Z. C. Zhai, H. X. Huang, et al., A new hydrogen-maser time and frequency standard at sheshan VLBI station of Shanghai Observatory, Proc. of 21st PTTI Meeting, (1989).
- [ 6 ] Z. C. Zhai, C. F. Lin, et al., Performance evaluation of the Shanghai Observatory's new H-maser, electromagnetic metrology, International Academia Publishers, (1989), 286.
- [ 7 ] C. F. Lin, J. W. He, et al., A hydrogen maser with cavity auto-tuner for time-keeping in Proc. of 23rd PTTI Meeting, (1991), 161.
- [ 8 ] C. F. Lin, Y. Ohta, A cavity frequency stabilization servo system for the oscillating compact hydrogen maser, Journal of the CRL, Vol. 36(1989), No. 149, 171.
- [ 9 ] H. T. M. Wang, An oscillating compact hydrogen maser, Proc. of 34th Annual Symposium on Frequency Control, (1980), 364.
- [ 10 ] Z. C. Zhai, C. F. Lin, J. W. He, et al., A kind of small hydrogen maser for time-keeping, in Proc of 23rd PTTI Meeting, (1991), 169.

**Progress in the Development of Hydrogen Maser at  
Shanghai Astronomical Observatory**

Zhai Zaocheng Huang Hengxiang He Jianwei Lin Chuanfu

Jiang Guoxing Luo Weihua Lu Jiafu Zhang Weiqun  
(Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences)

**Abstract**

Progress in the development of hydrogen maser in recent years at Shanghai Observatory is summarized as follows:

1. After the success of the first Chinese hydrogen Maser made at Shanghai Observatory in 1972, five more hydrogen masers with several improvements to the maser design, but still traditional structures, were made at Shanghai Observatory for VLBI Observations and time-keeping.

2. In order to equip the Chinese VLBI network with a new generation of hydrogen maser, an integrated, rugged and easily transportable maser, was developed successfully in 1987. And so far five hydrogen masers of this kind have been in use in VLBI network.

3. For time-keeping with hydrogen masers, a kind of one-maser autotuning system was developed at Shanghai Observatory.

4. Meanwhile Shanghai Observatory is developing the third generation of hydrogen maser, an oscillating compact hydrogen maser which employs a compact cavity design, resulting in significant size and weight reductions compared to the conventional maser. This kind of maser is suitable for time-keeping because of its excellent long-term stability.

In this paper, we describe the developments and performances of hydrogen Masers at Shanghai Observatory, as well as their applications,