

基于 GPS/北斗共视技术的铷钟驯服方法

迟华山^{1,2}, 张磊², 迟文波², 强成虎²

(1. 海军装备研究院 博士后科研工作站, 北京 100073; 2. 海军装备研究院 信息工程技术研究所, 北京 102249)

摘要: 为了提升铷钟的频率准确度等性能, 以提供高精度的原子频率标准, 在分析了现有铷钟驯服方法的基础上, 提出了一种基于 GPS/北斗共视技术的铷钟驯服方法, 将铷钟的输出频率驯服到时间频率的最高国家基准 UTC (NIM) 上, 克服了原来将铷钟频率直接驯服到星载原子钟方法中存在的频率准确度不高的缺点; 另外, 为了拓展北斗卫星导航系统的应用范围和维护我国在时间频率计量领域的独立自主地位, 系统设计中除实现了 GPS 共视驯服外, 还设计兼容了北斗共视驯服模式; 试验结果表明, 利用基于共视技术的驯服方法可以有效实现对铷钟的驯服, 原来相对频率偏差指标为 5×10^{-11} 的铷钟经过 GPS 和北斗共视驯服后, 其相对频率偏差指标分别提升至 1.62133×10^{-14} 和 1.36395×10^{-14} , 提升了 3 个数量级, 达到了铯钟的水平。

关键词: 共视技术; 铷钟; 驯服

Approach to GPS/BDS Disciplined Rubidium Clock Based on Common View Technology

Chi Huashan^{1,2}, Zhang Lei², Chi Wenbo², Qiang Chenghu²

(1. Postdoctoral Working Station, Naval Academy of Armament, Beijing 100073, China;

2. Information Engineering Technology Institute, Naval Academy of Armament, Beijing 102249, China)

Abstract: To improve the accuracy of the rubidium clock frequency to provide the atom frequency standard with high accuracy, after analyzing the existing approaches to disciplined rubidium clock, an approach based on GPS/BDS common view technology is put forward in which the output frequency of rubidium clock is disciplined to UTC (NIM) and the existing problem of low accuracy of the old method in which the rubidium frequency is directly disciplined to the satellite carried atom clock is overcome. In addition, to expand the applied range of the BDS and maintain our independent position in time frequency metrology, BDS and GPS patterns are compatible in the system design. The experiments show that the approach based on the common view technology can realize the disciplined rubidium clock effectively, and the rubidium clock frequency accuracy, 5×10^{-11} , is improved to 1.62133×10^{-14} and 1.36395×10^{-14} by three orders of magnitude with GPS and BDS patterns respectively and the caesium clock level is reached.

Keywords: common view technology; rubidium clock; discipline

0 引言

随着现代装备信息化水平的不断提升, 计量领域对高性能原子频率标准 (或称原子钟) 的需求越来越大。在众多原子频率标准中, 铯原子频率标准的准确度和稳定度等方面性能优异, 能够满足日益提高的性能要求, 但是铯原子频率标准体积大, 价格昂贵, 而且国外对其高性能铯钟在我国军事等重要领域的应用有严格的禁止条款, 极大限制了其应用范围。另外由于铷频率标准不需要真空系统、致偏磁铁和原子束, 因而具有体积小、质量小、预热时间短、价格相对低廉等优点, 但是其频率漂移比较大, 准确度性能较铯原子频率标准有较大差距, 仅能用作二级标准^[1-2]。要应用到一些更高精度要求的场合, 必须对其进行性能提升。目前广泛采用的方法就是利用卫星导航系统 (GNSS, global navigation satellite system) 对铷钟进行驯服, 从而提高性能, 扩展应用。

本论文针对这一需求, 将铷振荡器与卫星 (GPS 和北斗) 共视技术、时间同步技术等有机地结合在一起, 将铷振荡器输出频率驯服到我国最高的时间频率基准 (中国计量科学研

究院的 UTC (NIM)) 上, 大大提高其频率长期稳定性和准确度, 能够为电力、电信、时统、计量校准等提供铯钟量级的高精度时间频率标准。

1 传统铷钟驯服方法

为了提升铷钟的性能, 近年来国内外一些科研单位和公司也相继开展了针对铷钟的驯服研究^[3-4]。

中科院武汉物理与数学研究所利用 GPS 授时、测频及时间同步技术, 将高稳定性铷振荡器的输出频率驯服于 GPS 卫星的星载铯原子钟信号上, 提高了频率信号的长期稳定性和准确度, 而且当 GPS 失锁或出现异常不可用时, 系统能够智能判别, 切换到铷钟进行守时, 继续提供时间频率信号。

西安同步电子科技有限公司研发的 SYN3206 型北斗驯服铷原子频率标准, 将铷原子频率直接溯源到北斗卫星导航系统的星载原子钟频率标准上, 在跟踪到北斗信号 24 小时后, 其驯服铷钟的准确度最高可以达到 5×10^{-12} 水平。

综上, 传统驯服铷钟的方法不管采用的是 GPS 还是北斗手段, 都是将铷钟输出频率直接驯服到卫星导航系统的星载原子钟上, 其驯服原理如图 1 所示。

利用 GNSS 驯服铷钟的常规实现方法是: 利用 GNSS 接收机得到 1pps 信号作为参考标准, 将其与待驯服铷钟产生的 1pps 信号同时输入到高分辨率的时间间隔计数器, 进行时差

收稿日期: 2017-05-01; 修回日期: 2017-05-05。

作者简介: 迟华山 (1978-), 男, 山东栖霞人, 博士, 工程师, 主要从事时间频率的计量和航空电子技术方向的研究。

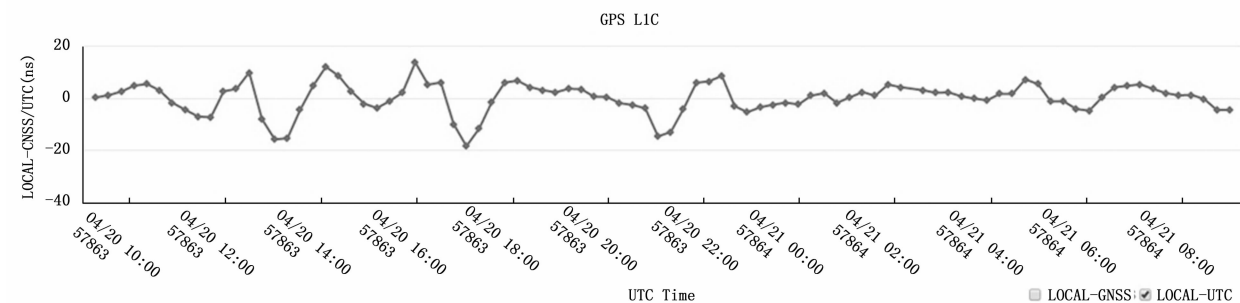


图 4 GPS 共视驯服模式下的钟差曲线

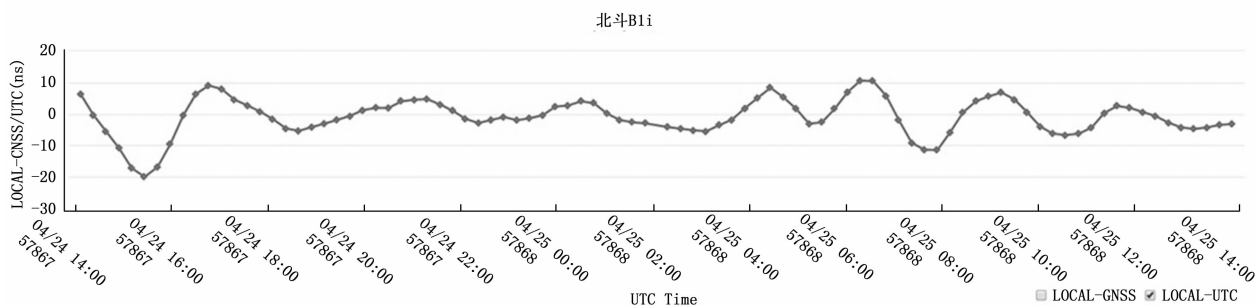


图 5 北斗共视驯服模式下的钟差曲线

3.1 GPS 模式下铷钟驯服试验步骤和结果

首先将驯服铷钟设备的工作模式设置为 GPS 驯服工作模式, 设备预热后, 通过控制软件开启驯服按钮。经过 24 小时的不间断数据采集, 得到驯服铷钟与 UTC (NIM) 基准之间的钟差数据文件, 绘制钟差曲线, 如图 4 所示。

从图 4 中, 可以看到经过 GPS 共视驯服的铷钟与 UTC (NIM) 基准之间的钟差很小。经过对试验数据的统计分析, 以上钟差值的均值为 $0.103\ 371\ \text{ns}$ 。利用观测得到的钟差数据, 经过线性拟合方法解算, 可以得到经过 GPS 共视驯服的铷钟与 UTC (NIM) 基准的相对频率偏差 (1 天) 结果为 $1.621\ 33\text{e}-14$ 。

3.2 北斗模式下铷钟驯服试验步骤和结果

将驯服铷钟设备的工作模式设置为北斗驯服工作模式, 设备预热后, 通过控制软件开启驯服按钮。经过 24 小时的不间断数据采集, 得到驯服铷钟与 UTC (NIM) 基准之间的钟差数据文件, 绘制钟差曲线, 如图 5 所示。

从图 5 中, 可以看到经过北斗共视驯服的铷钟与 UTC (NIM) 基准之间的钟差很小。经过对试验数据的统计分析, 以上钟差值的均值为 $-0.961\ 111\ \text{ns}$ 。利用观测得到的钟差数据, 经过线性拟合方法解算, 可以得到经过北斗共视驯服的铷钟与 UTC (NIM) 基准的相对频率偏差 (1 天) 结果为 $1.363\ 95\text{e}-14$ 。

3.3 试验结论

以上试验中采用的是美国斯坦福公司生产的铷钟模块 (型号: PRS10), 经查技术说明书, 其相对频率偏差指标为 5e

-11 , 其值是典型的铷钟水平。经本文方法的 GPS 共视驯服后, 其相对频率偏差指标提升到 $1.621\ 33\text{e}-14$, 经北斗共视驯服后, 其相对频率偏差指标提升到 $1.363\ 95\text{e}-14$, 提高了 3 个数量级水平。试验结果表明, GPS 和北斗两种模式下的性能指标都得到了极大地提升, 达到了与高性能铯钟相当的水平。

4 结束语

本论文采用基于北斗/GPS 共视技术的铷钟驯服方法, 将铷钟驯服到时间频率的最高国家基准 (UTC-NIM) 上, 保证了频率的准确性和稳定度。试验数据和计算结果表明, 本文提出的方法可以有效实现对铷钟的驯服, 经驯服的铷钟频率信号指标良好, 能够提供铯钟量级的高精度频率标准, 具有广阔的应用前景。另外, 随着具有我国自主知识产权的北斗卫星导航系统的不断发展和完善, 基于北斗共视方法的驯服铷钟的性能还将有更大的提升空间。

参考文献:

- [1] 周渭, 偶晓娟, 周晖. 时频测控技术 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006: 7-20.
- [2] 童宝润. 时间统一系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 97-103.
- [3] 单庆晓, 杨俊. 卫星驯服时钟系统的新进展 [J]. 测试技术学报, 2009, 23 (5): 396-401.
- [4] 杨旭海, 翟惠生. 基于新校频算法的 GPS 可驯铷钟系统研究 [J]. 仪器仪表学报, 2005, 26 (1): 41-44.