

高精度高稳定度钟房恒温控制研究^{*}

李荫康

(中国科学院云南天文台, 云南 昆明 650011)

摘要: 为了减小环境温度变化对原子钟性能的影响, 必须对钟房进行恒温控制。提出一种钟房恒温控制的新方法, 在普通室内实现了密闭小环境的高精度和高稳定度温度控制, 使钟房(面积 $5\sim 9\text{ m}^2$, 高 $2.2\sim 2.5\text{ m}$)的温度波动长期调控在特定温度的 $\pm 0.3\sim 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内。实践证明该方法效果好, 具有较高的实用价值, 目前已成功应用于昆明站, 并已推广到三亚和盱眙等观测站。

关键词: 钟房; 恒温; 控制

中图分类号: TM924.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7673(2015)02-0243-04

原子钟是时间这个基本物理量的重要载体, 其基本功能是守时和授时。在信息时代, 约 80% 的信息和导航定位有关, 定位能力的高低与原子钟精度直接相关, 而温度变化对原子钟的稳定度产生极大的影响, $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ 的温度变化一般可以使原子钟的稳定度降低一个数量级^[1]。为此, 所有原子钟要求运行环境温度波动必须控制在 $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ 的范围内。查阅昆明地区气温变化方面的资料^①, 昆明地区年极端温度达 $32\text{ }^\circ\text{C}$, 平均昼夜温差 $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, 加上晴天、阴天、雨天以及雪天等影响, 对一个长年连续开机的设备, 所需的工作环境必须每时每刻保持在 $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内, 要求极高, 实现技术难度大。

当前对于钟房恒温来说有两套成熟可靠的方法: (1) 采用地下自然恒温的方法, 在地下几十米处建设钟房^[2]; (2) 采用进口的专用高精度实验室空调, 配备相应的热工设计空间, 实现热工设计的费用相当于高精度实验室空调的费用, 例如, 上海天文台的守时钟房^②。这两种方法的造价高昂, 维护管理困难。为了节省经费, 减少对高精度仪器的依赖, 提出一种崭新的方案。

1 温度调控原理

采用一般家用变频空调作为钟房的温度调控设备无法达到 $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ 的要求, 甚至 $\pm 3\text{ }^\circ\text{C}$ 都难以实现。经过分析主要有如下 4 方面的原因: (1) 加热方式不对, 热风太热, 冷风太冷; (2) 加热和制冷均出自一口, 不符合对流原理; (3) 空调的温控点采用间隔控制方式, 实测温度变化大于 $\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$, 精度不够, 结果造成热惯性、温度梯度太大, 温度分布混乱; (4) 在季节变换时, 温控点选择困难。

本文通过研究小空间的气温变化规律及相关因素, 得到新的设计思路和解决方案, 并在实验过程中加以验证。新的思路是利用温度传导慢, 辐射、对流快的特性, 从粗到精, 分层次地解决外界温度激烈变化的影响。首先通过机房墙壁的隔离, 使室外温度变化得到阻滞, 同时空调运转与室外通过墙面传导的温度在室内空间进行融合(空调的预设温控值略低于钟房预设温控值), 形成一个小气候空间, 把较大的温度变化(如昼夜、季节的温度变化)进一步化解。钟房建在这个空间里, 它是一个独立的密闭空间(含保温层和电磁隔离层), 室外温度波动的影响得到了更进一步的隔离与阻滞, 在此基础上钟房内设置了温度补偿装置, 以辐射和对流的方式对钟房的温度进行精密校正补偿, 达到静态恒温^[3]的控制效果, 使其空间温度达到温度控制点 $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ 以内。

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金(U1431116)资助。

收稿日期: 2014-10-12; 修定日期: 2014-11-02

作者简介: 李荫康, 男, 工程师。研究方向: 电子线路设计、制作, 嵌入式系统应用。Email: 1275359335@qq.com

① <http://www.weather.com.cn/cityintro/101290101.shtml>

② www.bjhtjb.com, 上海天文台原子钟房恒温湿系统(工程案例), 花泰建邦(北京)机电设备有限公司

2 钟房土建设计

图 1 中, 房间 A 为普通房间, 要求门窗密闭, 面积大于钟房; 空调为普通家用空调, 其功率适合相应面积, 考虑室内可能有其他发热设备, 应适当增加空调的功率; 房间 B 为放置原子钟的房间, 面积为 $3 \sim 9 \text{ m}^2$ ($1.8 \sim 2 \text{ m}$), 由保温、电磁屏蔽层构成, 门尽可能小, 不设窗。其中 5 个面不能和房间的墙接触, 离墙、离顶 $1 \sim 2 \text{ m}$ 。需要被恒温控制的原子钟放置于房间 B 中。

具体实施方法需要注意以下两点:

(1) 土建部分的合理布局, 把外界温度的影响变得最小, 其原则是钟房墙面没有一个面同室外连接(包括钟房的顶部, 并对外保持有一定的气温交流循环空间($1 \sim 2 \text{ m}$), 减少室外气温的直接影响, 这看似简单, 但极其关键。钟房可以由普通砖墙+屏蔽层+一般粉刷即可, 但钟房门必须完全密封。

(2) 在钟房地面铺设加热板, 其面积等同钟房的面积, 形成无空白、无死角的均衡对流, 有效降低了温度梯度。

3 温控装置研发

基于以上的布局, 独立研发了温控装置, 实现对钟房温度的连续调控。温控装置的精度决定整个系统的精度, 也就是钟房温度的稳定程度。温控装置必须做到适时、适量和连续, 这完全不同于普通温度控制器。

温控装置由电源、单片机、温度传感器和显示、带隔离的功率驱动单元组成, 如图 2。控制程序用 C 语言编写。温控装置的灵敏度为 $0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 根据温控点的温度(如 $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$)的偏差值通过电热板进行补偿, 补偿大小由偏差确定, 降低了热惯性, 提高了钟房内的温度稳定性。

由于钟房是电磁屏蔽的特殊环境, 不允许有任何电磁干扰, 温控装置有相应的设计。

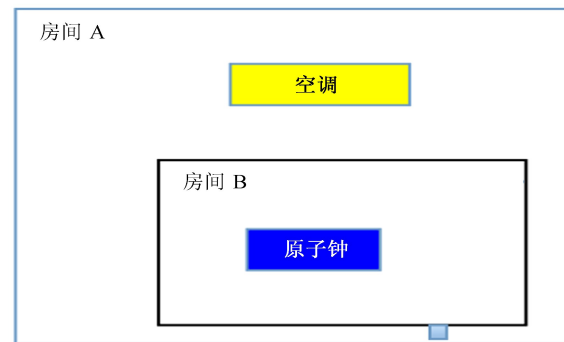


图 1 恒温控制方案布局图

Fig. 1 Illustration of the layout of the rooms for thermostatic control (including an atomic-clock room)

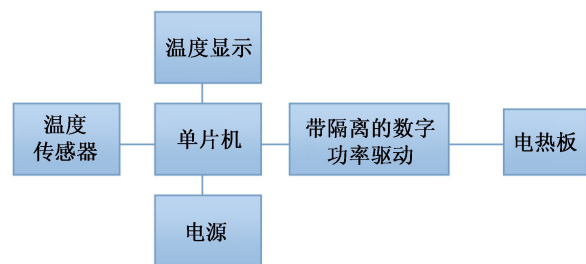


图 2 恒温控制系统组成

Fig. 2 A block diagram of the thermostatic-control system

4 结果与分析

由实验数据表明(见图 3 和图 4), 本文的方案和所研发的控制器可以实现小空间范围内高稳定度($\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$)的恒温。即用简单的技术也可以实现高精度的控制, 效果等同于投资几十万采用专用高稳定度空调的方法, 且操作简便, 平时无需人工干预。本文所述方案的突出特点为: (1) 高精度, 高稳定度(实测 $\pm 0.2 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim \pm 0.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$), 完全满足原子钟的环境温度要求; (2) 由于没有风机、风道设计, 所以热惯性小, 温度梯度小; (3) 温度控制值设置灵活, 操作简便, 平时无需人工干预; (4) 造价低廉, 为其他方法的十分之一; (5) 维护成本低, 无需专业人员。

目前云南天文台(昆明站)、紫金山天文台(盱眙站)和国家授时中心(三亚站)均采用该项技术, 已完成了钟房建造, 验收合格并投入使用, 测试数据结果如图 3、图 4 和图 5。

图 3 为昆明站钟房的温度测试数据, 从图中可知钟房温度基本控制在 $25.03 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 变化在 $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内。图 4 为三亚站钟房的温度测试数据, 从图中可知钟房温度基本控制在 $22.73 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 变化在 $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

范围内。图 5 为盱眙站钟房的温度测试数据，从图中可知钟房温度基本控制在 22.66 ℃，变化亦在 ±0.5 ℃ 范围内。对 24 h 的测量数据进行处理，它们的均方根(RMS)约为 0.02 ℃。图中凸起较高部分是由于将温控计取出读取数据导致，小的波动则是由于手工记录温度打开钟房门所致。

恒温是对某一物质(固体、液体、汽体)在特定的温度点上，用人工或自动控制方法保持温度值的恒定不变。所设定的温度值不受其它因素的影响，也使初期设定的温度与任何时刻的温度相同或者相近似^③。因而这种控制必须是适时的，适量的。加热或制冷的温度越接近设定温度，产生的温度梯度和热惯性越小，恒温精度越高。

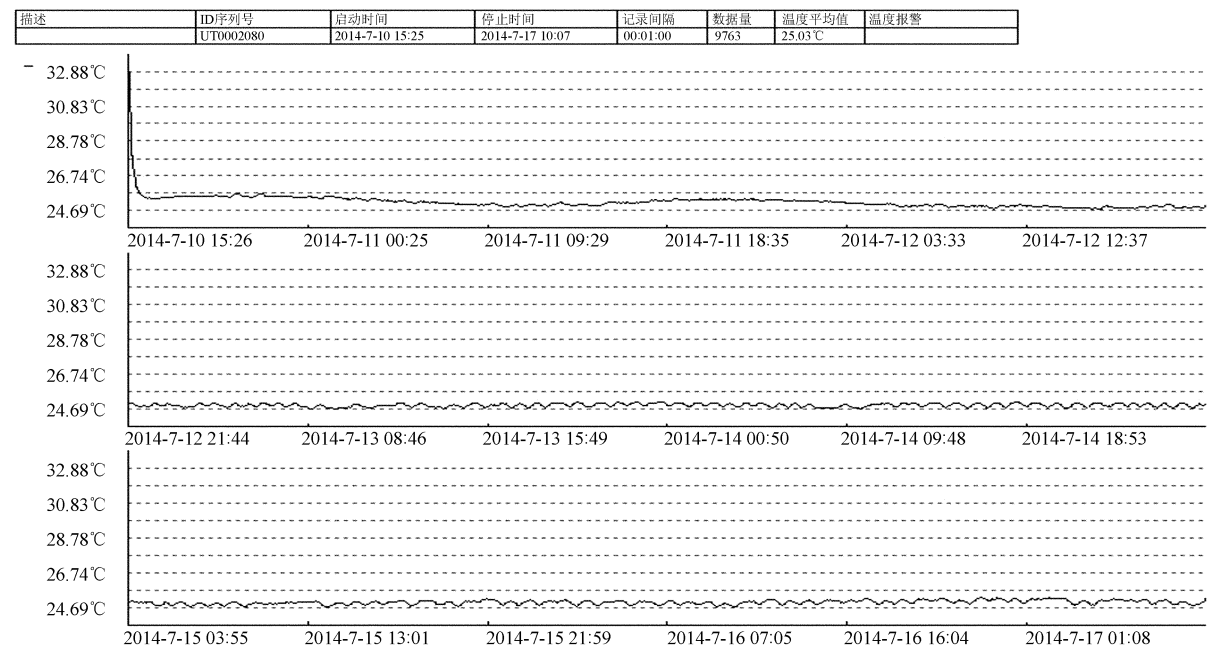


图 3 昆明钟房温度测试报告

Fig. 3 Measurements of temperatures of the atomic-clock room in Kunming for test

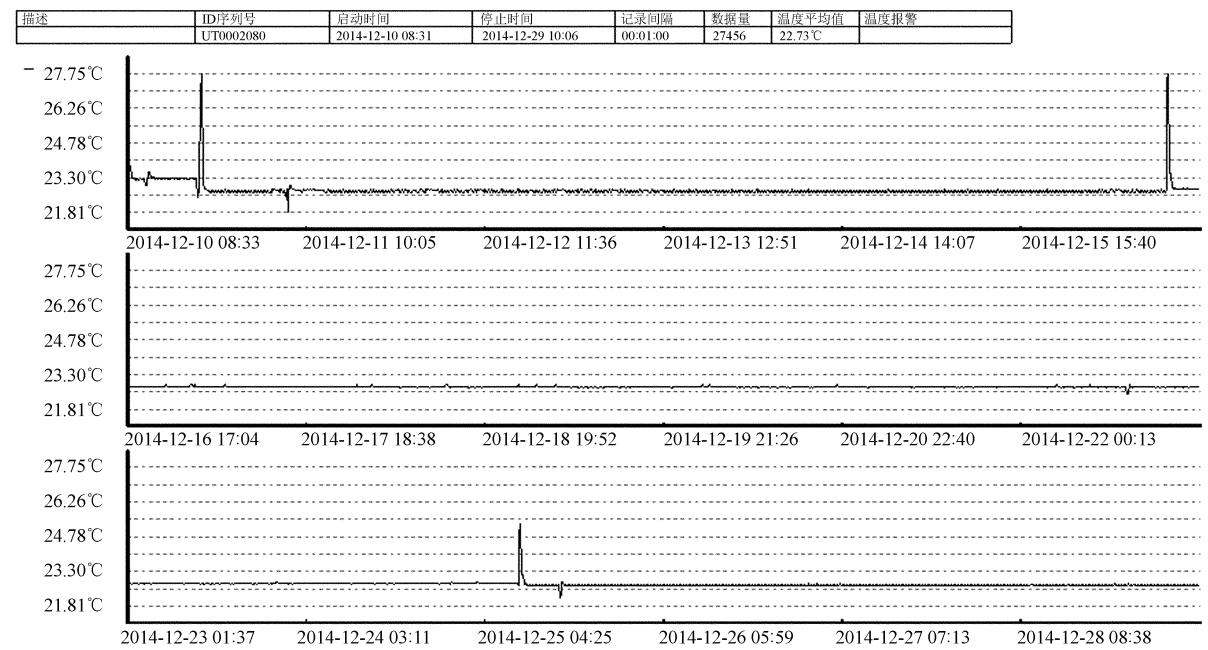


图 4 三亚钟房温度测试报告

Fig. 4 Measurements of temperatures of the atomic-clock room in Sanya for test

^③ <http://baike.baidu.com/>

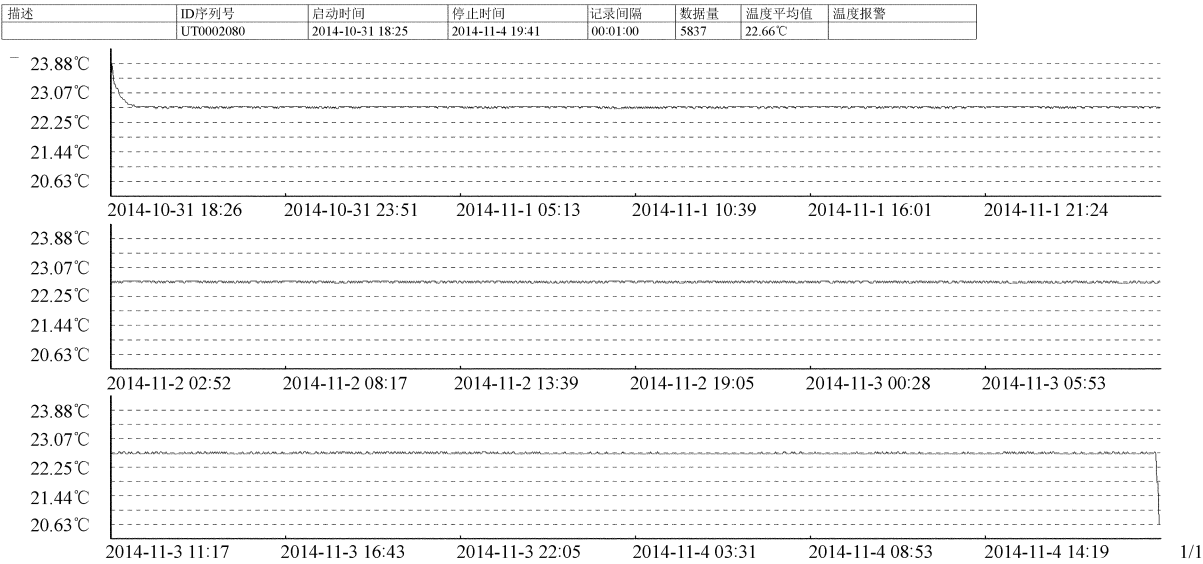


图 5 盱眙钟房温度测试报告

Fig. 5 Measurements of temperatures of the atomic-clock room in Xuyi for test

致谢：感谢伏红林和何超在实验过程中的大力协助。

参考文献：

[1] 杨军, 李世光, 徐月青, 等. 环境温度对氢原子钟性能的影响 [J]. 测试技术学报, 2014, 28(2): 93-97.
Yang Jun, Li Shiguang, Xu Yueqing, et al. Effect of temperature on hydrogen maser performance [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2014, 28(2): 93-97.

[2] 安卫, 刘春侠, 王改霞. HIROSS 空调在守时钟房试运行中存在的问题及改进 [J]. 陕西天文台台刊, 2001, 24(2): 147-151.
An Wei, Liu Chunxia, Wang Gaixia. Problem and improvement of HIROSS air-conditioner systems in CSAO's time keeping rooms [J]. Publications of the Shanxi Astronomical Observatory, 2001, 24(2): 147-151.

[3] 刘宏良, 柯熙政. 钟房控温的一种方法及结果分析 [J]. 陕西天文台台刊, 1998, 21(1): 42-45.
Liu Hongliang, Ke Xizheng. A method of controlling temperature for clock room [J]. Publications of the Shanxi Astronomical Observatory, 1998, 21(1): 42-45.

A Study of a New Method of Thermostatic Control of an Atomic-Clock Room with High Precision and High Stability

Li Yinkang

(Yunnan Observatories, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011, China, Email: 1275359335@qq.com)

Abstract: In order to reduce influences of variations of environmental temperatures on the performance of an atomic clock, it is necessary to put the atomic-clock room (the room hosting the atomic clock,) under thermostatic control. In this paper we present a new method of thermostatic control of an atomic-clock room. We have used this method to achieve thermostatic control of a usual small insulated room with high precision and high stability. Particularly, the method can achieve long-term temperature stability for an insulated atomic-clock room of an area of 5m² to 9m², with the deviation of the room temperature from a desired temperature controlled within a level of 0.3℃ to 0.5℃. Our experiments show that the method is feasible, can achieve satisfactory results, and is practically highly valuable. After having been successfully used for an atomic-clock room in Kunming, this method and related equipments are being used for atomic-clock rooms in Sanya and Xuyi.

Key words: Atomic-clock room; Thermostatic condition; Control