第20卷 第2期 空 间 科 学 学 报 Vol.20, No.2
2000 年 4月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Apr., 2000

一种新型球载天文观测目标自动跟踪系统的成功应用

李小青 刘善昭 杭恒荣 王楠森 宫一忠 张仁键
(中国科学院紫金山天文台 南京 210008)

摘 要

介绍了基于新型球载天文观测目标自动跟踪系统的飞行试验，重点分析了对 3 个观测目标的跟踪观测结果，并给出了跟踪曲线. 对系统工作原理及组成也做了描述.

关键词 球载—天文观测—自动跟踪— GPS

1 引 言

在空间运载工具中，与卫星、飞船相比，高空科学气球具有花费少、造价低、研制周期短等优势，并取得了相当多的观测成果. 在国内气球发放工作进展较快，故气球天文观测是较现实的手段.

气球天文观测的特点是球载望远镜始终处于运动中，位置不断地变化，且受风速、风向等许多因素干扰. 而天体信号较弱，必须长时间精确跟踪目标，才能得到有效信息. 随着高能天体物理观测定位精度要求的提高，诸如采用编码孔罩的硬 X 射线成像系统的投入使用，必须研制能够长时间精确跟踪被测天体的自动跟踪系统.

利用 GPS 全球定位技术，我们研制了一种新颖的基于 GPS 的球载空间 X 射线望远镜观测目标自动跟踪系统. 经过大量地面试验，于 1998 年 5 月在石家庄机场的飞行观测中成功地使用了该系统，取得了实测跟踪数据，这也是国内首次在实测飞行中采用这种方法.

2 自动跟踪原理及实测结果

2.1 跟踪原理及算法

所谓自动跟踪就是要使望远镜在运动中始终对准被测天体. 球载系统建立在地平坐标上，天体的位置由赤道坐标表示，计算机从 GPS 读取当前望远镜实时位置后，计算跟踪方位角 A 、天顶距 (仰角)Z, 再调整望远镜对准目标. 按以下公式计算:

$$\cos Z = \sin\psi \sin\delta + \cos\psi \cos\delta \cos(S-\alpha), \tag{1}$$

$$\sin Z \sin A = \cos\delta \sin(S-\alpha), \tag{2}$$

1998-07-27 收到原稿， 2000-01-03 收到修定稿

$$\sin Z\cos A = -\sin\delta\cos\psi + \sin\psi\cos\delta\cos(S-\alpha), \tag{3}$$

$$S = S_0 + (1+\mu)(T-8) + \lambda. \tag{4}$$

式中，(A,Z) 是要求的望远镜方位、仰角；(α,δ) 为已知被测天体赤经、赤纬；(λ,ψ,T) 是由 GPS 给出的气球地理经纬度和北京时间；S 是地方恒星时，与观测时间 T 及 λ 有关；S_0 是 0000 UT 的恒星时；$\mu = 1/365.2422$. 其中 Z 取值 0—90°，而方位 A 取值 0—360°，需由 $\sin A$ 、 $\cos A$ 的 + 、 − 号定出象限后取值. 在天文学中，时间与角度具有对应关系，1h = 15°. 计算时将时间转换为角度，统一量纲.

求出 (A,Z) 后，由计算机跟踪系统算出与当前望远镜实际指向的差值 $(\Delta A,\Delta Z)$，修正指向直到 $(\Delta A,\Delta Z)$ 为 0.

此系统新颖之处在于充分利用了 GPS 全球定位技术，从 GPS 每秒一次的定位数据中，取得实时地理位置，将风速、风向干扰一并由新位置反映出，并在新的 (A,Z) 中自动修正，消除了积累误差，且不再需要地面雷达定位，大大简化了系统设计. 依靠 GPS 的精确定位数据和时间，实现了全自主多目标自动观测方式.

2.2　实测结果

1998 年 5 月 16 日夜在石家庄机场首次采用该系统的 X 射线气球天文观测，预定观测 5 个目标.　17 日 0052 LT 气球升空，图 1 是这次飞行的航迹和高度图. 数据由球载 GPS 接收机测出. 需要说明的是，在 0400 LT 左右由于工程系统遥测信道出现故障，为防止吊篮设备丢失，立即进行了切割，结束观测. 此时这套系统已跟踪 3 个目标，记录到的数据，足以验证系统成功与否.

在约 2.5 h 中成功地跟踪的 3 个目标是

No.1: 假目标，$\alpha = 21:44:37$, $\delta = 38°18'50''$,

No.2: SCOX−1, $\alpha = 16:19:49.3$, $\delta = -15°38'10.1''$,

No.3: 1758−250, $\alpha = 18:01:1.8$, $\delta = -25°04'44.9''$.

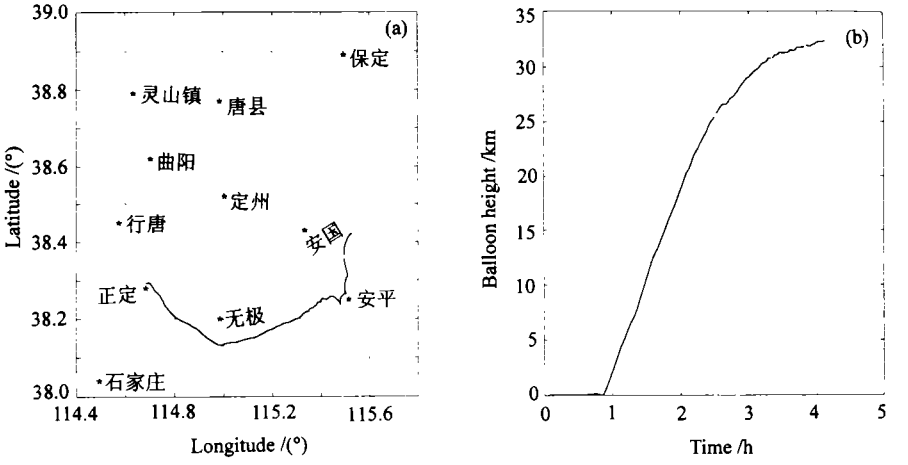


图 1　(a) 气球航迹，(b) 气球飞行高度变化

Fig.1　(a) Trajectory of the balloon flight, and (b) Altitude variation of the balloon flight

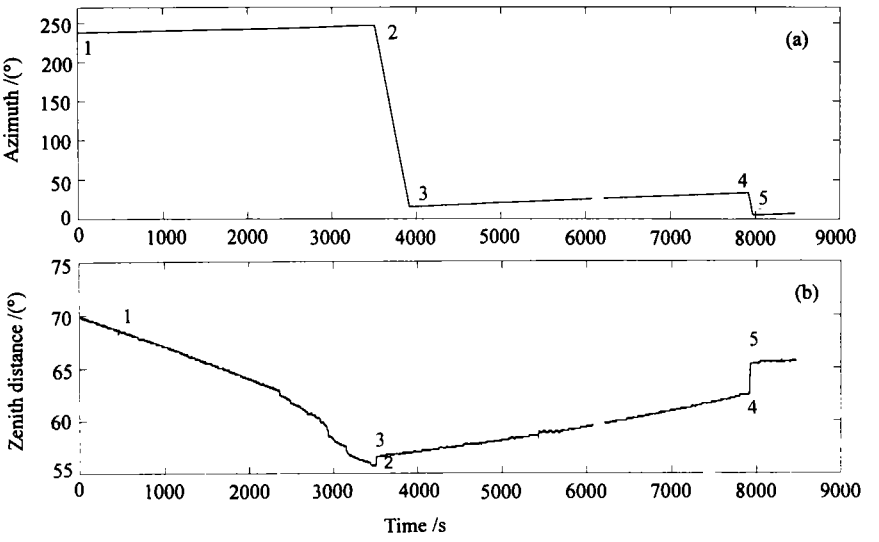


图 2 (a) 方位角跟踪曲线, (b) 仰角跟踪曲线

Fig.2 (a) Tracking chart of azimuth A, and (b) Tracking chart of zenith Z

图 2 是 A 和 Z 的跟踪过程曲线. 图中 1—2 段是对假目标的跟踪过程, 气球处于上升段, 数据用来验证跟踪系统的工作情况; 2—3 段是从 No.1 向 No.2 的过渡, 因连续转向没有来回修正过程, 所以线段光滑, 大约 4 min 后即对准 SCOX-1; 3—4 段是跟踪过程, 目标过中天, 方位由南向西变化, 天顶距 Z 变大, 线段有些粗糙正反映了跟踪修正过程; 4—5 段是从 No.2 转到 No.3 的过渡段, 两目标相对位置较近, 方位变化 29°, 过渡 1 min 即跟上; 5—6 段是跟踪 No.3 的过程.

从记录的数据分析, 绝大部分时间内, 跟踪精度可达 ±0.1°, 即使有小干扰, 数秒内即可修正. 这足以证明该系统在设计上是成功的, 完全满足了观测要求.

3 自动跟踪系统设计

我们研制的基于 GPS 的空间 X 射线望远镜自动跟踪系统结构如图 3 所示. 它是由球载控制计算机系统、姿态稳定系统和 GPS 接收机组成, 是一个自主工作的闭环控制系统, 所有球上数据经 BPSK 调制后由数据传输电台发回地面. 其中球载控制计算机是按 IEEE-961 标准设计的模块化 STD 系统, 由 80C196CPU 主板, 数字 I/O 驱动器组成. 算法软件由 PLM96 高级语言编制, 采用浮点运算, 求出 (A, Z) 并给出修正量 $(\Delta A, \Delta Z)$, 通过驱动器, 以每步 0.1° 修正望远镜指向. 图 4(a)、(b) 分别是方位、仰角的详细指向跟踪过程. 图中取 200 s 的变化情况, 有台阶和锯齿的曲线表明系统的实际指向修正过程, 光滑曲线则是理论指向曲线. 反捻式姿态稳定系统稳定吊篮, 为望远镜提供一个稳定工作平台, 并由地磁敏感器建立指向基准, 正北为 0 点即 0°, 顺时针 0°—360°. 方位 A 变化通过转动整个吊篮实现, 而仰角直接由电机驱动, 使望远镜稳定跟踪目标. GPS 接收机选用

Rockwell 公司产品，由它提供实时地理经纬度和时间 (γ, ψ, T). 定位数据每秒更新一次，采用 C/A 码，定位精度 $\leqslant 30$ m, 时标准确度为 1 ns. 定位误差相当于 A 、 Z 的角秒级.

对天文观测特有的指向校零问题，本次飞行前使用此系统跟踪太阳，半小时即完成了零点校正.

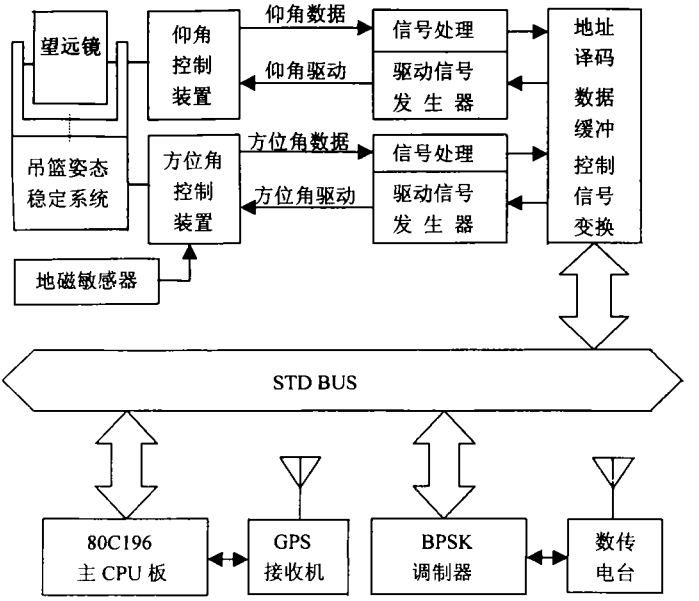


图 3　系统框图

Fig.3　System diagram

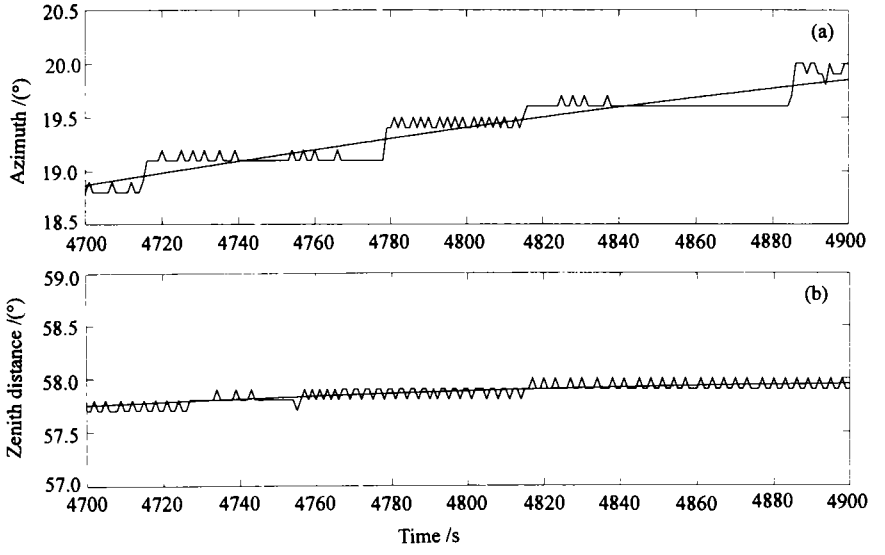


图 4　(a) 方位角 A 修正过程，(b) 仰角 Z 修正过程

Fig.4　(a) Correcting process of azimuth A, and (b) Correcting process of zenith Z

目前用于 X 射线观测的系统指向精度最高是 0.1°, 因此这次实测结果已经是所能达到的最佳状态. 但此方法和系统具有很大潜力, 如提高仰角显示转动部件精度和姿控系统稳定度, 可以应用于要求更高的场合.

4 结 语

这种基于 GPS 的观测目标自动跟踪系统的试验成功, 提高了气球天文观测的效率和技术水平, 实现了全自主多目标的观测模式, 并具有较广泛的应用前景和发展潜力. 球载 GPS 提供了航迹、飞行高度和时间等数据, 利用这些数据可以设定自动切割等功能. 利用 GPS 接收机 ns 甚至 ps 级定时信号做时标记录数据, 为更精细研究 X 、 γ 射线等波段的快速时变现象、能谱特征提供了便利.

参 考 文 献

[1] 罗思 G D. 天文学手册. 北京: 科学出版社, 1985
[2] 周忠谟, 易杰军. GPS 卫星测量原理与应用. 北京: 测绘出版社, 1992
[3] Leich A. GPS Satellite Surveying. John Wiley & Sons, 1990
[4] NMEA 0183 Standard for Interfacing Marine Electronic Devices. Ver. 2.00, 1992

THE SUCCESSFUL APPLICATION BASED ON A NEW AUTOMATIC TRACKING SYSTEM FOR BALLOON-BORNE ASTRONOMICAL OBSERVATION OBJECTS

LI Xiaoqing LIU Shanzhao HANG Hengrong WANG Nansen
GONG Yizhong ZHANG Renjian
(*Purple Mountain Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210008)

Abstract

This paper introduces the flight experiment based on a new automatic tracking system for balloon-borne astronomical observation objects. The tracking results of three objects are analyzed and their tracking charts are provided as well. The working principle and construction of the system are also described.

Key words Balloon-borne, Astronomical observation, Automatic tracking, GPS