

神舟3号飞船上太阳辐射测量^{*}

禹秉熙 方 伟 姚海顺 安 玉

弓成虎 李 哲 金锡峰

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 长春 130031)

吕达仁

(中国科学院大气物理研究所)

摘 要

2002年3月至9月间,用3台太阳辐照度绝对辐射计(SIAR)组装的太阳常数监测器在神舟3号飞船轨道舱上测量了太阳辐照度.改进了SIAR辐射计的锥腔结构,把电加热丝埋在薄锥腔壁中间,提高了绝对精度.采用了用宽视场辐射计飞船在轨运动中太阳扫过其视场期间进行测量的方法,测量值与美国EOS上ACRIM III测量数据的最大偏差在0.2%以内.

关键词 太阳常数监测器; 太阳辐照度; SIAR; 神舟3号飞船

1 引言

为了研究地球辐射收支与能量循环及其对全球环境和气候变化的影响,需要精确测量和长期监测太阳辐照度.

自1978年Nimbus-7/ERB^[1]开始在卫星上测量太阳辐照度以来,至今已经在太阳活动年任务SMM/ACRIM I^[2]、地球辐射收支ERBS/ERBE^[3]、NOAA-9^[4]、欧洲携带者EURECA/SOVA^[5]、上层大气研究UARS/ACRIM II^[6]、太阳日光层观测SOHO/VIRGO^[7]、地球观测系统EOS/ACRIM III^[8]等多颗卫星上用不同的仪器进行了不间断地观测,今后仍将在新发射的卫星或其他航天器上进行持续地长期监测^[9].

太阳辐照度可以换算成太阳常数——地球与太阳之间平均距离上地球大气层外的太阳辐照度.太阳常数表征太阳本身的辐射特性,从20多年不同仪器测得的太阳常数数据来看,约有0.5%的偏差^{[10],[11]}.这里除太阳常数本身的变化外,还包括不同仪器产生的系统误差.1993年Crommelynck等人在航天飞机ATLAS2上带4台绝对辐射计,与当时在ERBS、EURECA、UARS卫星上测量的6台绝对辐射计进行同时观测太阳实验,以其中8台辐射计测量太阳辐照度的平均值建立了空间绝对辐射参考标准SARR(Space Absolute Radiation Reference)^[12],并给出每台辐射计相对于SARR的修正系数,把不同卫星上测量的数据都校正到SARR标度上.

^{*} 国家载人航天工程太阳常数监测器课题资助

光学国家重点实验室

2003-06-12 收到原稿, 2003-11-10 收到修定稿

卫星上太阳辐照度测量活动和结果可知,为了掌握太阳常数在短时间尺度上的微小变化及其规律,需要在多星上不间断地长期监测太阳辐照度.另外,绝对辐射计的精度和长期稳定性也需提高.

为此目的研制了太阳辐照绝对辐射计 SIAR (Solar Irradiance Absolute Radiometer),由 3 台 SIAR 绝对辐射计扇形排列构成太阳常数监测器,搭载在神舟 3 号飞船轨道舱上进行了半年的太阳辐照度测量实验.

2 仪器

神舟 3 号飞船太阳常数监测器上用的 SIAR 绝对辐射计是双锥腔补偿型电校准绝对

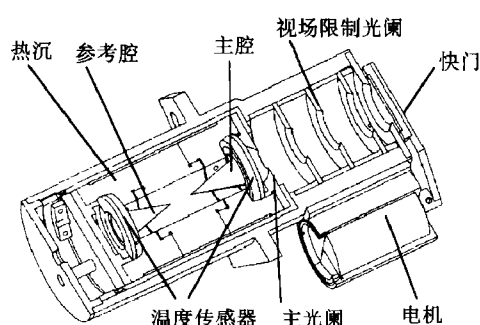


图 1 绝对辐射计结构示意图

Fig.1 Diagram of SIAR

辐射计 (见图 1)^{[13],[14]}. 锥腔是采用银两次化学电镀方法把电加热导线埋入薄银腔壁中间,这种新锥腔结构同通常把电加热丝设在腔壁外或内表面的结构相比,辐射加热和电加热腔的等效性更好,因而提高了辐射测量的绝对精度.腔内表面涂镜向反射黑漆,锥腔底开口处接环形辐射状排列的铜-康铜热电堆温度传感器.仪器在电子系统控制下,用电动快门使太阳光入射和电加热交替进行的方式标定辐射量值,自动进行数据采集和处理.

精度分析表明, SIAR 辐射计的不确定度可达到 0.2%. 2002 年 9、10 月, SIAR-1 辐射计参加在瑞士达沃斯物理气象观测站 PMOD/WRC (Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos)/世界辐射中心 (World Radiation Center) 进行的第 9 届国际日射强度计比对 IPC-IX (International Pyrheliometers Comparison), 与世界辐射基准 WRR (World Radiometric Reference) 的辐射标度在 0.1% 以内相符合^[14].

太阳常数监测器是由 3 个相同的、半视场 (Opening Half Angle) 为 7.5° 的 SIAR 绝对辐射计轴线依次成 15° 角扇形排列构成^{[14],[15]}. 在飞船轨道舱的朝天面上, 3 个辐射计所在平面同飞船的飞行方向垂直安装, 这样, 太阳常数监测器在飞船轨道面上形成 $\pm 22.5^\circ$ 的观测太阳的视场.

3 测量方法

通常测量太阳辐照度要跟踪太阳, 使太阳光线始终沿辐射计轴线 (即垂直于主光阑面) 入射. 神舟 3 号飞船上的太阳常数监测器采用了较大视场的绝对辐射计, 太阳光在飞船运动过程中扫过绝对辐射计的视场期间, 用非跟踪太阳的方法进行太阳辐照度测量. 研究表明, 这种测量方法能达到与跟踪太阳测量方法一样高的测量精度^[15]. 当然, 由于

太阳光并不是都垂直于主光阑面入射的, 数据处理时需要进行余弦修正, 同时进行黑吸收率、电再现等效性等修正。

神舟 3 号飞船轨道舱的轨道倾角是 43° , 太阳矢量同轨道面的夹角是变化的, 只有当太阳矢量与轨道面夹角小于 $\pm 22.5^\circ$ 时, 太阳光才能进入太阳常数监测器的视场。这期间, 当飞船在轨道上飞行到太阳对地垂直照射的地域 (1200 LT, 在南北回归线 $\pm 23.5^\circ$ 纬度以内某地区) 上空, 太阳光就扫过太阳常数监测器中某一绝对辐射计的视场。如果太阳矢量和轨道面的夹角是 -15° 、 0° 或 15° , 太阳光分别从 3 个绝对辐射计视场中心越过。飞船的轨道周期为 5400 s, 所以, 这时太阳扫过辐射计视场的时间约为 225 s, 夹角为其他值时太阳扫过辐射计视场的时间就比它短。太阳辐照度的测量是在太阳光扫过辐射计视场的时间内进行, 而且时间也要足够长 (大于 180 s), 因此也就在辐射计的半视场角 $\pm 4^\circ$ 范围内太阳光越过时才能测得辐照度数据。太阳常数监测器在神舟 3 号飞船轨道舱上用这种方法进行了半年的测量实验。

太阳常数监测器上的 3 个绝对辐射计在上天测量前曾经与参加过 IPC-IX 国际比对的 SIAR-1 太阳辐照绝对辐射计进行了比对实验验证, 它们的绝对精度都在 0.2% 以内一致。

4 测量结果

2002 年 3 月 25 日神舟 3 号飞船发射后, 3 月 30 日自主飞行阶段太阳常数监测器开机进行测量。当时飞船是对日定向, 所以太阳光沿中间 (2 号) 绝对辐射计视场越过, 开始测量并获得数据。

返回舱和轨道舱分离后, 太阳常数监测器在轨道舱上进行了半年的观测。由于轨道舱的轨道面和太阳矢量夹角的变化和轨道舱执行其他任务 (偏航飞行), 只能断续的测量太阳辐照度。期间 18 天观测了太阳, 共计测得了 134 个太阳常数值。图 2 为半年测得的太阳常数数据。表 1 列出了测得的太阳常数日平均值。太阳常数的瞬时值的变化是很大的 (超过 0.5%), 每次测量的值是太阳常数的瞬时值, 如图 2 所示, 变化比较大, 为了研究太阳辐射对全球环境和气候的影响, 需要太阳常数的平均值和它在长时间尺度 (11 年或 22 年太阳活动周期) 上的变化情况。

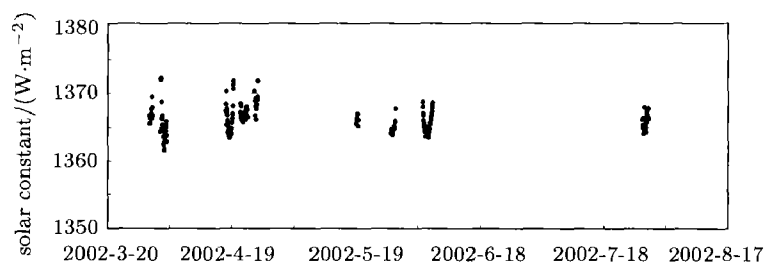


图 2 半年测得的太阳常数数据

Fig.2 Data measured during the half year

表 1 SZ-3 在轨测试数据
Table 1 Data measured on the orbit

北京时	日平均太阳常数 $/(W \cdot m^{-2})$	ACRIM 测量值 $/(W \cdot m^{-2})$	北京时	日平均太阳常数 $/(W \cdot m^{-2})$	ACRIM 测量值 $/(W \cdot m^{-2})$
2002-03-30	1366.9	1366.5	2002-04-25	1369.2	1366.9
2002-04-02	1366.3	1365.7	2002-05-19	1366.2	1366.2
2002-04-03	1364.9	1366.1	2002-05-27	1364.2	1367.0
2002-04-17	1367.5	1366.8	2002-05-28	1365.0	1367.0
2002-04-18	1364.3	1366.9	2002-06-04	1365.7	1366.6
2002-04-19	1366.0	1366.9	2002-06-05	1364.4	1366.9
2002-04-21	1366.5	1366.8	2002-06-06	1366.4	1366.9
2002-04-22	1366.8	1366.8	2002-07-27	1365.5	
2002-04-24	1368.2	1366.8	2002-07-28	1366.0	

神舟 3 号飞船由于执行其他任务有时需要改变姿态 (偏航等), 太阳光入射辐射计的角度不能准确测得, 因此产生了一些误差. 如 4 月 17 和 18 日太阳常数测量值相差 $3.2 W/m^2$, 6 月 5 和 6 日测量值相差 $2 W/m^2$, 但这些误差均在技术指标不确定度 0.2% 的误差范围内. 为了比较, 表 1 中也列出了同一时间美国 EOS 卫星 ACRIM III 测得的太阳常数数据, SIAR 和 ACRIM III 测得的数据之间的最大偏差不超过 0.2%.

5 结论

神舟 3 号飞船上太阳辐照度测量实验的结果证明, SIAR 绝对辐射计的绝对精度能够胜任测量太阳辐照度微小变化的要求. 用较宽视场角的绝对辐射计, 采用在太阳越过其视场期间进行测量的方法同样能够获得高精度的数据. 如果在太阳同步轨道卫星上采用这种测量方法, 就能够在卫星轨道寿命期间的所有天连续测量和长期监测太阳辐射.

致谢 PMOD/WRC 的 Isabelle Rüedi 女士对论文中有关测量数据的处理提出了宝贵意见, 并进行了有益的讨论.

参 考 文 献

- [1] Hickey J R, Alton B M, Kyle H L. Total solar irradiance measurements by ERB/Nimbus 7, a review of nine years. *Space Sci. Rev.*, 1988, **48**:321—342
- [2] Willson R C, Hudson H S. Solar luminosity variation in solar cycle 21. *Nature*. 1988, **332**:810—812
- [3] Robert B L, Barkstrom B R, Robert D C. Characteristics of the earth radiation budget experiment solar monitors. *Appl. Opt.* 1987, **26**(15):3090—3096
- [4] Chapman G A. Variations in total solar irradiance during solar cycle 22. *J. Geophys. Res.*, 1996, **101**(A6):13 541—13 548
- [5] Crommelynck D, Domingo V, Frohlich C. The Solar Variations (SOVA) experiment in the EURECA space platform. *Adv. Space Res.*, 1991, **11**(4):83—87
- [6] Willson R C. Irradiance observations of SMM, Spacelab1, UARS, and ATLAS experiments. *The Sun as a Variable Star: Solar and Stellar Irradiance Variations*. New York: Cambridge University Press, 1994. 54—62

- [7] Frohlich C. First results from VIRGO, the experiment for helioseismology and solar irradiance monitoring on SOHO. *Solar Phys.*, 1997, **170**:1—25
- [8] Willson R C, Helizon R. EOS/ACRIM III Instrumentation. *SPIE*, 1999, 3750:233—242
- [9] George M L *et al.* The total irradiance monitor (TIM) for the EOS SORCE mission. *SPIE*, 2000, 4135:215—224
- [10] Willson R C. Total solar irradiance trend during solar cycles 21 and 22. *Science*, 1997, **277**:1963—1965
- [11] Frohlich C, Anklin M. Uncertainty of total solar irradiance: an assessment of the last twenty years of space radiometry. *Metrologia*, 2000, **37**:387—391
- [12] Crommelynck D *et al.* First realisation of the space absolute radiometric reference (SARR) during the ATLAS 2 flight period. *Adv. Space Res.*, 1995, **16**(8):17—23
- [13] Fang Wei, Jin Xifeng. Development of a compensate dual-conical cavity absolute radiometer. *Acta Ener. Sol. Sinca.* 1992, **13**(3):406—411. in Chinese (方伟, 金锡峰. 一种双锥腔补偿型绝对辐射计的研制. *太阳能学报*. 1992, **13**(3):406—411)
- [14] Fang Wei, Yu Bingxi, Yao Haishun, Li Zhe, Gong Chenghu, Jin Xifeng. Solar irradiance absolute radiometer and international comparison. *Acta Opt. Sinca.* 2003, **23**(1):112—116. in Chinese (方伟, 禹秉熙, 姚海顺, 李哲, 弓成虎, 金锡峰. 太阳辐射绝对辐射计 (SIAR-1) 与国际比对. *光学学报*. 2003, **23**(1):112—116)
- [15] Fang Wei, Yu Bingxi. Easily Performed method of solar total irradiance measurement in space. *SPIE*, 1998, 3501:469—474

SOLAR RADIATION MEASUREMENT ON SHENZHOU-3 SPACECRAFT

YU Bingxi FANG Wei YAO Haishun AN Yu
GONG Chenghu LI Zhe JIN Xifeng

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130031)

LU Daren

(Institute of Atmospheric Physics, The Chinese Academy of Sciences)

Abstract

TSI (Total Solar Irradiance) has been measured by solar constant monitor, which is composed of three SIAR (Solar Irradiance Absolute Radiometer), on board of Shenzhou-3 spacecraft from March to September in 2002. The structure of the cavities has been improved, the substitution winding being embedded in the wall of each SIAR's cavities, so the absolute precision is heightened. Solar irradiance was measured when the sun scans over the field of view of each absolute radiometer respectively. The data is coincident with the data simultaneously measured by EOS/ACRIM in 0.2%.

Key words Solar constant monitor, Total solar irradiance, SIAR, Shenzhou-3 spacecraft