

文章编号: 1672-8785(2010)09-0001-05

空间地球辐射探测技术研究进展

马庆梅 陆段军

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘 要: 地球辐射收支对于研究天气气候及其相互关系具有重要作用。对国内外空间地球辐射探测技术的近代发展及现状进行了分析和研究, 并结合地球辐射收支工程项目, 论述了静止轨道地球辐射收支探测的特点。

关键词: 地球辐射收支; 探测; 信息获取与处理

中图分类号: TN215 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2010.09.001

Overview of Spaceborne Earth Radiation Budget Detection Technologies

MA Qing-mei, LU Duan-jun

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Earth radiation budget is of significance to the study of weather and climate and their correlation. The spaceborne earth radiation detection technologies in the world are overviewed and the features of geostationary earth radiation budget detection are discussed according to an earth radiation budget detection project.

Key words: earth radiation budget; detection; information capture and processing

1 引言

全球气候及生态环境与人类的生产和生活密切相关, 始终是气象学、地理学和环境科学的研究热点。尤其是近十多年来, 厄尔尼诺与南方涛动 (ENSO) 现象频繁出现, 全球气候异常, 经常出现洪涝及干旱, 对人类生命财产及社会经济造成了严重损害。因此, 气候问题已引起世界各国政府和联合国的高度重视。

影响全球气候及生态环境的因素有很多, 如太阳照射、火山爆发和人类活动等。天气气候变化及生态环境变化也与其它各种地气系统的动热力过程密切相关。其中所涉及的过程非常复杂, 但它们有一个共同特征, 即都是通过改变地球辐射收支 (ERB) 而产生作用的。所谓地球

辐射收支是指地球大气系统从太阳接收紫外、可见和近红外电磁辐射和地球大气系统向外层空间放射红外辐射的辐射交换过程。地球辐射收支是全球天气和气候根本能量的源和汇。受辐射过程驱动的全球大气和海洋环流是决定气候带分布的主要因子。辐射过程还担负着驱动地球-大气的水分循环与碳循环, 使地球生物系统得以生存和维持, 为工业和家庭提供能源以及为人类居住提供适宜的环境等方面的责任。因此, 地球辐射收支资料对于研究天气气候、生态环境及海洋大气环流, 对于研究云、气溶胶、水汽、CO₂ 及 O₃ 等大气成份的作用并追根求源, 对于研究冰雪融化及土壤沙漠化等现象与天气气候的相互关系等都具有重要作用。

收稿日期: 2010-04-19

作者简介: 马庆梅 (1977-), 女, 陕西咸阳人, 副研究员, 博士研究生, 研究方向为空间遥感技术。E-mail: maqingmei@gmail.com

在卫星观测以前,地球辐射收支是根据安装在地面、气球或飞机上的仪器的测量结果,借助于辐射传输计算方法估算的。卫星的出现为地球辐射收支提供了一个长期、连续、全球化、高时间分辨率的定量准确观测平台。目前,我国的第二代极轨气象卫星——FY-3 卫星已经开始用地球辐射探测仪观测全球地气系统的反射太阳辐射和自身辐射。国家卫星气象中心在 2000 年 1 月确定的《FY-4 卫星初步使用要求》中,提出了静止轨道地球辐射收支探测器的研制需求。在 FY-4 卫星上进行地球辐射收支探测,可得到高频次的区域观测资料,这样便可与 FY-3 卫星的地球辐射收支探测实现有效互补。

2 地球辐射探测的特点

地球辐射收支探测主要测量三部分辐射:太阳对地气系统的辐射(收)、地气系统对外层空间的长波辐射(支)和地气系统对太阳辐射的反射(支)。其中第一部分辐射(收)比较稳定,年变化率较小,可由专门的仪器(太阳常数探测仪等)进行探测,所以地球辐射收支探测的重点是地球辐射的支出。

对于地气系统对外层空间的辐射(能量主要集中在长波红外波段)和地气系统对太阳辐射的反射(能量主要集中在可见和短波红外波段)这两部分的探测,通常采用全波($0.2\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$ 左右)和短波($0.2\mu\text{m} \sim 4.5\mu\text{m}$ 左右)两个通道分别进行探测。全波通道的探测结果是两部分支出能量之和,短波通道的探测结果是地气系统对太阳辐射反射的能量。通过减法运算,便可以得到这两部分地球辐射支出能量的信息。

因此,仪器探测具有以下特点:

(1) 探测波段宽。由于探测波段宽达几十微米,光子探测器几乎无法使用,只能选择热探测器(例如热敏电阻)。

(2) 灵敏度要求高。由于采用热探测,而且目标温度同仪器的环境温度接近,因此背景问题是提高仪器灵敏度的最主要障碍。

(3) 稳定性要求高。由于仪器环境(主要是温度)是不断变化的,仪器必须能克服这种漂移,

并具有较好的稳定性。另外,由于这种探测必须在大气顶层进行,且探测仪器的运行平台多为卫星或飞船等,因此这种探测必须具有长时间稳定性。

3 国内外发展情况综述

由于了解地球辐射的收支情况对气候研究十分重要,国际上很早就开始用卫星来观测地球辐射收支了。

1959 年,美国探险者 7 号卫星携带的 Wiscosion 传感器,首次实现了从空间对地球辐射收支的测量。装载在雨云 6 号(1975)和 7 号卫星(1978)上的地球辐射收支仪(ERB),可用来测量整个地球圆盘中 5 经度 $\times$ 5 纬度区域内的反照率和放射辐射通量,并可检测太阳常数。

美国宇航局(NASA)在 20 世纪 80 年代发展了新的地球辐射收支试验(ERBE)仪器。ERBE 实际上包括两种仪器:一种是 ERBE 非扫描仪(ERBE-NS);另一种是 ERBE 扫描仪(ERBE-S)。ERBE-NS 设有 5 个探测通道,分别为宽视场的全波通道和短波通道,中视场的全波通道和短波通道和一个太阳观测通道。ERBE-S 包含三个通道,分别是全波通道、短波通道和长波通道。1984 年发射的地球辐射收支卫星(ERBS)上装载了 ERBE,此后在 1984 年发射的 NOAA 9 号卫星和 1986 年发射的 NOAA 10 号卫星上也装载了 ERBE。ERBE-NS 采用腔体探测器,以铂电阻为温度敏感元件;ERBE-S 采用热敏探测器,在垂直于卫星飞行轨迹的方向上进行扫描,其性能比以前的 ERB 观测仪器有了很大提高。ERBE 在地球辐射收支的空间观测中起到了重要的作用。

NASA 的 ERBE 大约在 20 世纪 90 年代初停止工作。为了避免 ERB 数据采集的中断,法国会同德国和俄罗斯共同研制了地球辐射收支扫描仪(SCARAB)。1994 年,俄罗斯 Meteor 3 号极轨卫星平台上装载了首台 SCARAB。俄罗斯 Meteor 3 号卫星如图 1 所示。

SCARAB 采用扫描方式工作,扫描方向与卫星飞行轨迹垂直。表 1 为它的四个探测通道的配置。

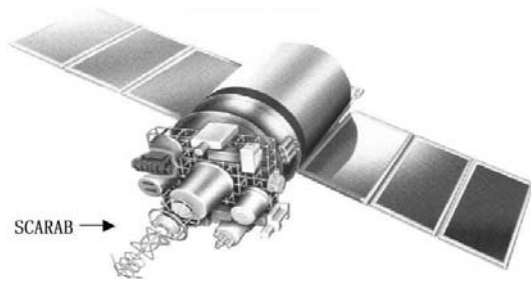


图 1 俄罗斯 Meteor 3 号卫星和安装在上面的地球辐射收支扫描仪

表 1 SCARAB 的通道配置

序号	通道	光谱范围	滤光方式
1	可见光通道	$0.5\mu\text{m} \sim 0.7\mu\text{m}$	干涉滤光片
2	太阳光通道	$0.2\mu\text{m} \sim 4\mu\text{m}$	熔融石英
3	全波通道	$0.2\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$	无滤光
4	窗区通道	$10.5\mu\text{m} \sim 12.5\mu\text{m}$	干涉滤光片

其中通道 2 和 3 用于测量地球辐射收支, 通道 1 和 4 与业务仪器一起用于识别云景象。SCARAB 采用热释电探测器, 以调制方式工作。

20 世纪 90 年代, NASA 在 ERBE 扫描仪的基础上进行了改进, 研制出了云和地球能量系统 (CERES), 如图 2 所示。

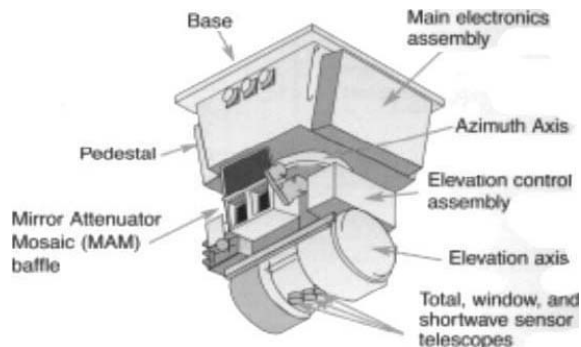


图 2 CERES 的外形结构配置

CERES 具有三个探测通道, 表 2 为其通道配置。

1997 年 11 月, 装载着首台 CERES 仪器的热带雨林测量任务卫星 (TRMM) 发射升空。1999 年, Terra 地球观测卫星上装载了第二和第三台 CERES(见图 3)。

2002 年, AQUA 卫星上装载了第四和第五台 CERES 仪器, 同时搭载的这两台仪器分别进行跨轨和方位扫描。在多个卫星平台上装载 CERES, 可以弥补在单个卫星平台进行观测时间分辨率

低的弱点, 从而可减少一天之内由于云和能量流变化所带来的影响。CERES 采用卡氏望远镜光学系统, 使用半导体热敏探测器探测地气辐射, 其光学系统和探测器组件采取扫描工作方式。

表 2 CERES 的通道配置

序号	通道	光谱范围	滤光方式
1	短波通道	$0.3\mu\text{m} \sim < 5\mu\text{m}$	熔融石英
2	全波通道	$0.3\mu\text{m} \sim < 100\mu\text{m}$	无滤光
3	窗区通道	$8\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m}$	硫化锌-碲化镉滤光片组件

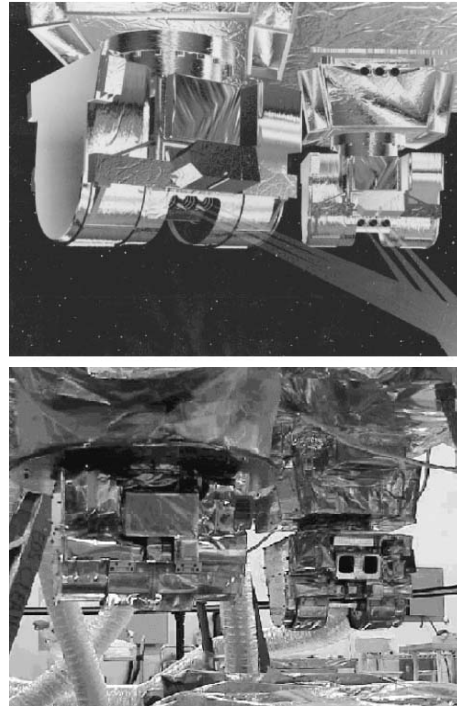


图 3 装载在 Terra 卫星上的两台 CERES 仪器

美国最新的地球辐射收支仪器是由美国国家标准与技术研究院 (NIST) 研制的先进辐射计 (NISTAR)(见图 4)。

NISTAR 设有三个探测通道, 表 3 为其通道配置。

NISTAR 具有很高的辐射测量灵敏度和准确度。NISTAR 将被装载在 NASA 的 TRIANA 卫星平台上。TRIANA 将是第一个运行在地球与太阳引力平衡点(Lagrange-1 Orbit: L1)的平台, 可以一直保持正对地球的向阳面。在这里, NISTAR 可以同时观察地球的反射辐射和其自身的长波出射, 为地球辐射收支的观测提供一个新的典型视角。

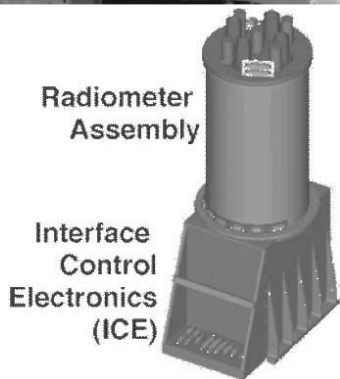


图 4 NIST 研制的先进辐射计 NISTAR

在低轨道上运行的 ERB 观测仪器具有较好的空间分辨率,但由于受轨道高度的限制,同一地面目标的时间分辨率会受到影响,难以对由风暴卷起的悬浮物、火山或对流云层的运动等天气现象引起的辐射收支变化进行观测。

表 3 NISTAR 的通道配置

序号	通道	光谱范围	探测器
1	全波通道	$0.2\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$	电替代腔体 辐射计
2	太阳光通道	$0.2\mu\text{m} \sim 4\mu\text{m}$	
3	近红外通道	$0.7\mu\text{m} \sim 4\mu\text{m}$	

然而,搭载在静止卫星上的高精度 ERB 探测仪则可以充分利用静止轨道长时间采样特征,这对于极地轨道观测是重要的补充;静止轨道 ERB 观测可以对气候模式结果进行检验,使我们对于气候的自然平衡以及人类活动对其可能产生的扰动的认识能力有本质上的提高。

为了提高对地球辐射收支的时间观测频次,欧洲新研制了首台能够在静止轨道上运行的地球辐射收支仪 (GERB)(见图 5 和图 6)。

首台 GERB 装载于欧洲首颗第二代静止轨道气象卫星 (MSG-1, 后被命名为 Meteosat-8)

上,该卫星是 2002 年 8 月发射的。按照规划,MSG 卫星系列计划将至少持续 10 年。以后的每颗 MSG 卫星上都将装载一台 GERB。GERB 投入使用后,其高时间分辨率优势使得它的数据与来自极轨平台的 CERES、ScaRaB 地球辐射收支仪器的数据实现了互补。

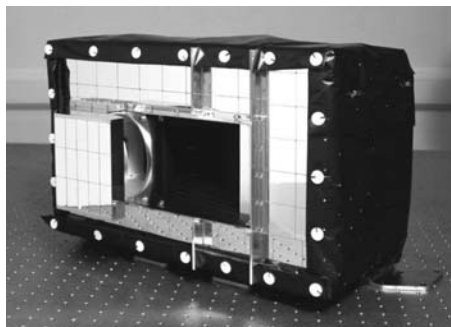


图 5 GERB 正样产品光学单元外形

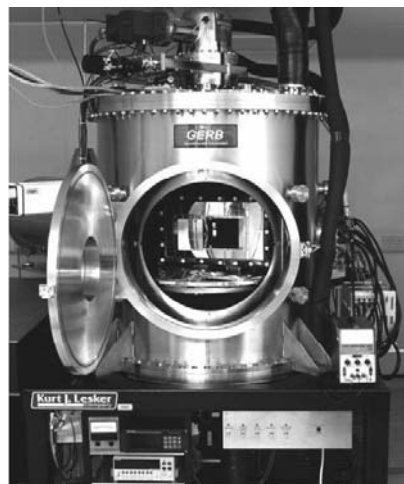


图 6 置于定标真空罐中的 GERB

GERB 的光学单元负责收集地面目标辐射信号,并将其经由热线列探测器组件转换成电信号。该单元中还设置了一个黑体定标源和一个短波定标源(用于在轨标定)。GERB 的电子学单元负责收集光学单元的探测通道数据,然后将其打包并传送给卫星处理系统。GERB 的通道配置见表 4。

将 GERB 两个通道的测量数据相减就可以得到地气系统的长波出射。表 5 列出了 GERB 的主要性能。

我国是从上世纪 90 年代起发展地球环境监测分系统的,我所承担了该分系统中地球辐射收支仪的研制任务。该地球辐射收支仪设有两

个中视场探测通道, 采用电替代腔体探测器, 并于 2002 年 2 月搭载神舟三号飞船发射升空, 圆满完成了各项在轨测试任务。

表 4 GERB 的通道配置

序号	通道	光谱范围	探测器
1	全波通道	$0.3\mu\text{m} \sim 30\mu\text{m}$	热线列探测器
2	短波通道	$0.3\mu\text{m} \sim 4\mu\text{m}$	

表 5 GERB 的主要性能

性能参数	指标	
	短波	长波
绝对精度	1%	1%
动态范围	$0 \sim 380\text{W}/\text{m}^2\text{sr}$	$0 \sim 90\text{W}/\text{m}^2\text{sr}$
空间分辨率	$44.6\text{km} \times 39.3\text{km}$	
时间分辨率	15min	

在 2000 年开始的 FY-3 卫星工程中, 国家卫星气象中心提出了研制地球辐射探测器的项目需求。FY-3 卫星地球辐射探测器设有宽视场和窄视场两个探测部分, 这两个部分各设有全波与短波两个探测通道。宽视场的全波、短波探测通道采用腔体探测器, 以凝视方式工作; 窄视场的全波、短波探测通道采用热敏探测器, 以扫描方式工作。FY-3 卫星产品已于今年 5 月成功发射, 其目前的工作状态良好。

国家气象卫星中心在 2000 年确定的《FY-4 卫星的初步使用要求》中, 提出了静止轨道地球辐射收支探测器 (GERBR) 的发展计划。该探测器的时间分辨率高、时间同一性好, 能够快速反映昼夜天气变化状况。它将与目前的低轨道 FY-3 地球辐射探测器形成互补, 从而可以使我们得到完整、全面的地球辐射数据。

4 静止轨道地球辐射探测的关键技术

静止轨道地球辐射探测的主要关键技术如下:

(1) 高性能线列热电探测器

工作波段: $0.32\mu\text{m} \sim 30\mu\text{m}$

元数: 256

D^* : $1 \times 10^8 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$

时间常数: 20ms

国内尚无此类探测器, 有一定的研制难度。计划使用 128 元线列热探测器或热敏探测器。

(2) 星上和地面定标技术

定标是技术难度大、耗资多和耗时长试验测试工作。我所在黑体和短波定标设备的研制方面具有一定的经验, 这为研制静止轨道地球辐射收支探测器定标设备创造了条件。但定标环境 (高真空冷背景) 的仿真和黑体输出的准确性与长期稳定性是研制难点。

(3) 消像散的主光学系统与扫描机构设计

考虑到我所已具备的技术基础, 经过预研阶段攻关, 我们能够解决以上关键技术。

5 结束语

作为气象卫星上的主要遥感仪器之一, 地球辐射收支仪可以实时、实地、长期、连续、全球化、定量地探测整个地球的辐射收支资料, 它对于研究天气气候、生态环境及海洋大气环流具有极其重要的作用。

参考文献

- [1] 陆段军, 王模昌. 静止轨道地球辐射收支探测器 (GERBR) [C]. 风云四号北京研讨会, 2005.
- [2] 王桂平. 地球辐射探测器结构研究 [D]. 上海: 中科院上海技术物理研究所, 2005.
- [3] Dr D A Bell. A geostationary earth radiation budget instrument [J]. *SPIE*, 1994, **2209**: 236-242.
- [4] G Butcher, R E Cole, N Nelms, et al. The IR detector system for the GERB instrument [J]. *SPIE*, 1998, **3437**: 185-191.
- [5] G Butcher, A D Holland, R.E.Cole, et al. IR detector for the GERB instrument on MSG [J]. *SPIE*, 1997, **3122**: 384-391.
- [6] N Nelms, G Butcher, C Whitford, et al. Operation and performance of the ASIC for the GERB IR focal plane assembly [J]. *SPIE*, 1999, **3759**: 347-356.
- [7] Leonard P Kopia, Robert B Lee III. Thermistor bolometer scanning radiometer: applications and flight experience [J]. *Optical Engineering*, 1992, **31**(1): 156-164.
- [8] M R Luther, J E Cooper, G R Taylor. The Earth Radiation Budget Experiment Nonscanner Instrument Review of Geophysics [J]. *Reviews of Geophysics*, 1986, **24**(2): 391-399.
- [9] Barkstrom B R, J B Hall. Earth Radiation Budget Experiment (ERBE): An Overview [J]. *Journal of Energy*, 1982 (6): 141-146.
- [10] Lee R B III, L M Avis, et al. Characterizations of the Earth Radiation Budget Experiment (ERBE) Scanning Radiometers [J]. *SPIE*, 1989, **1109**: 186-194.
- [11] 陆段军. FY-4 气象卫星静止轨道地球辐射收支探测器 [C]. 2005.