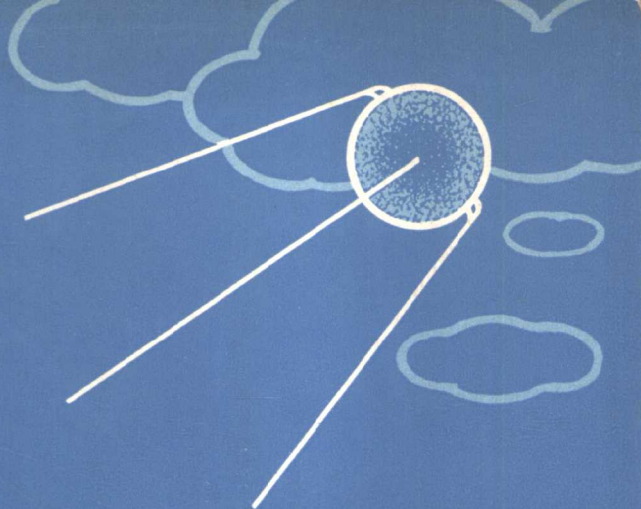




中国科学院地理研究所

气象卫星的 辐射测量及其应用

左大康 陈建綏 李玉海 編著
周允华 項月琴 苗曼倩

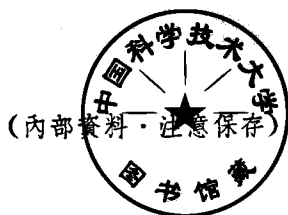
(内部资料·注意保存)

科学出版社

中国科学院地理研究所編輯

气象卫星的輻射測量及其應用

左大康 陈建綏 李玉海 編著
周允华 項月琴 苗曼倩



科学出版社

1966

内 容 简 介

本书比较系统地介绍了气象卫星轨道的选择及其辐射测量仪器的一般情况,以及气象卫星辐射测量资料的整理与计算方法,以便读者了解与应用这些资料;并且重点地阐述了地球-大气系统射出辐射场特性的理论研究及地球-大气系统辐射差额和其组成要素的一般研究结果。本书还用了一半以上的篇幅讨论了气象卫星辐射测量的初步结果及其在气象学方面的若干应用,并把这些测量结果和理论研究结果作了比较,指出了在气象学的应用方面所存在的问题及今后改善的途径。

本书可供气象工作者,地理工作者,高等院校气象系和地理系师生,及其它有关人员参考。

气象卫星的辐射测量及其应用

左大康 陈建绥 李玉梅 编著
周允华 项月琴 苗曼倩

北京朝阳门内大街 137 号
北京市书刊出版业营业许可出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行

*

1966 年 6 月第 一 版 开本:850×1168 1/32
1966 年 6 月第一次印刷 印张:7 1/4
印数:1—700 字数:188,000

统一书号:13031·2306

本社书号:3494·13-15

定 价:1.40 元

前 言

近几年来,利用气象卫星从地球大气外界对地球进行了许多气象观测。这种新技术和新的测量工具的采用,无疑会促进气象科学的迅速发展,并有可能在将来利用它来为生产建设事业服务。到目前为止,气象卫星已经取得了大量的测量资料,各国学者发表了许多有价值的论文,但是从总的情况来看,这项研究工作还仅仅是开始,要达到完善的阶段,必须继续进行大量的劳动。

辐射测量是气象卫星最重要的测量任务之一。这项工作的进行不但对辐射学本身的发展有着重要的作用,同时对大气物理学、天气学、气候学甚至地理学也有重要的意义。本书比较系统地介绍了国外在气象卫星辐射测量及其应用方面的研究成果,我们编写本书的目的在于满足各有关部门在这方面的需要,并促进我国这项研究工作的开展。

全书共分七部分,在绪论和第一章中扼要地介绍了气象卫星的研究任务,它的轨道的选择及其辐射测量仪器的一般情况。第二章系统地讨论了地球-大气系统短波和长波射出辐射的光谱分布和角分布的特性,通过对影响这些分布的气象因子的讨论,比较清楚地揭示了它们的物理机制。第三章以简短的篇幅介绍了气象卫星辐射测量资料的整理与计算方法,它将有助于我们对这些资料的了解与应用。第四章对地球-大气系统辐射差额及其分量的理论研究方法和主要结果作了讨论,同时描述了气象卫星的直接测量结果,并与理论计算作了比较。第五章介绍了利用气象卫星辐射测量资料来分析下垫面温度、云顶高度、大气动力学的能量参数和天气状况的一些初步结果和存在的问题。最后一章比较完整的讨论了辐射测量资料在确定大气成分、大气结构方面的应用理论以及有关方法,其中把个别情况下的讨论作了推广。书内采用

的插图均取自所附的文献中。

本书是集体编写的，书中绪论和第一章由陈建绥与苗曼倩执笔，第二章由周允华和左大康执笔，第三章由李玉海执笔，第四、第五章由左大康执笔，第六章由周允华和项月琴执笔。李玉海和周允华担负了较多的修改和定稿工作，彭公炳担负了绪论和第五章的修改和定稿，并参加了部分写作。

本书初稿完成后，得到程纯枢、陶诗言、尹宏和龚知本等同志审阅原稿并提供宝贵意见，使我们得到很大的启发，谨此表示衷心的感谢。所有插图的清绘工作是夏庆根同志完成的，书中全部照片是中国科学院地理研究所地图工艺实验室复制的，我们也表示感谢。

由于编写过程的时间较短和为水平所限，因此距离读者的要求和我们的期望还是很远的，如有欠妥和错误之处，诚恳地希望读者指正。

目 录

前言	vii
绪论	1
一、气象卫星的科学意义及其研究任务	1
1. 测云分析的研究(2)	
2. 气象卫星的辐射研究(4)	
二、气象卫星的简单介绍	5
1. 苏联第二个人造地球卫星(5)	
2. 先锋 II 号卫星(6)	
3. 探险者 VII 号卫星(6)	
4. 泰罗斯气象卫星系统(8)	
第一章 气象卫星轨道的选择及辐射测量仪器	13
第一节 气象卫星轨道的选择	13
一、人造卫星轨道的基本知识	13
1. 人造地球卫星的椭圆轨道及其变化(13)	
2. 卫星的运行和观测(17)	
二、轨道的选择	20
第二节 气象卫星的辐射测量仪器	22
一、五通道中分辨能力辐射仪	22
二、地球-大气系统辐射差额的测量——球形、半球形和宽角低分辨力辐射仪的测量原理和结构	34
1. 全方向球形辐射仪和半球形辐射仪(34)	
2. 宽角低分辨力辐射仪(40)	
三、红外地平感应器	44
四、其他辐射仪器	46
1. 测量大气臭氧分布的仪器(46)	
2. 测定太阳常数的辐射仪器(47)	
3. 红外干涉光谱仪(48)	
第三节 卫星辐射测量的一般过程及其他辅助设备	49
第二章 地球-大气系统射出辐射场特性的理论研究	52
第一节 地球-大气系统短波射出辐射场特性的理论研究	52
一、雷莱大气情况下的地球-大气系统短波射出辐射场	53
二、二层模式大气的短波射出辐射场	59
第二节 地球-大气系统长波射出辐射场的光谱分布和	

角分布特性·····	64
一、球状折射大气的辐射热传输方程·····	64
二、地球-大气系统长波射出辐射场与天气状况的关系·····	68
1. 射出辐射光谱分布与天气状况的关系(68)	
2. 射出辐射角分布与天气状况的关系(72)	
三、泰罗斯卫星五通道辐射仪的测量结果·····	82
第三章 气象卫星辐射资料的整理与计算·····	88
第一节 气象卫星辐射资料整理的一般过程·····	88
第二节 射出辐射通量和太阳常数的计算·····	96
一、根据五通道辐射仪测量资料计算射出辐射通量·····	96
二、根据半球形辐射仪测量资料计算射出辐射通量及太阳常数·····	101
三、根据平板状感应器测量资料计算射出辐射通量·····	105
第三节 下垫面温度的确定方法·····	110
一、沃克等的方法·····	111
二、M. C. 马尔科维奇的方法·····	113
第四节 大气对太阳辐射吸收的计算·····	114
第五节 气象卫星辐射资料的精确度·····	116
一、辐射资料的地理位置误差·····	116
二、五通道辐射仪的退化和精度的估计·····	116
第四章 地球-大气系统辐射差额及其组成要素的研究·····	120
第一节 理论计算结果·····	120
一、地球行星反射率·····	120
二、长波射出辐射·····	125
三、地球-大气系统 辐射差额·····	130
第二节 气象卫星辐射测量的初步结果·····	133
一、地球行星反射率·····	133
二、长波射出辐射·····	138
三、地球-大气系统 辐射差额·····	144
第五章 卫星辐射测量资料在气象学方面的若干应用·····	149
第一节 利用卫星辐射测量推求下垫面温度·····	149
一、利用卫星辐射测量资料确定地面温度的某些结果·····	150
二、地面温度日变化的计算·····	155

第二节 射出辐射场的天气利用	158
一、云场分析	158
二、热带气旋的研究	160
三、大尺度天气系统的研究	162
四、数值预报方面的应用	168
第三节 云顶高度的确定	172
一、作温度-高度曲线的方法	172
二、气候学方法	174
三、光学方法	177
四、利用水热平衡方程计算云高	180
第四节 利用射出辐射确定大气动力学的能量参数	182
第六章 气象卫星辐射测量在确定大气成分和大气结构中的应用	187
第一节 利用卫星对太阳短波辐射的测量确定大气臭氧含量及其垂直分布	187
一、利用卫星对反射太阳辐射的测量推算 O_3 垂直分布的方法	190
1. 大气中仅存在一种辐射削弱物质时的情况(190)	
2. 多种大气物质削弱时的情况(194)	
3. “回声”通讯卫星的测量结果(195)	
二、利用卫星携带辐射仪直接测量太阳辐射来推算 O_3 的方法	197
三、根据卫星对行星地球紫外散射辐射的测量推算 O_3 分布的探讨	198
1. 太阳和卫星都在天顶方向,并且忽略大气分子散射时方程的解(200)	
2. 一般情况下方程的解(202)	
第二节 利用卫星对地球-大气系统长波射出辐射的测量推算大气成分和结构的理论探讨	204
一、利用卫星辐射测量推求大气的成分和结构的基本方程	204
1. 大气温度、温度递减率和动力稳定度垂直分布的确定(204)	
2. 辐射气体混合比的垂直分布的确定(207)	
3. 地面或云面气压的确定(207)	
4. 大气层内部有效辐射通量的确定(208)	
5. 长波辐射变温率的确定(211)	
二、拉普拉斯变换反演运算的方法	213
1. 分层积分的近似解法(214)	
2. 多项式展开的近似解法(215)	
三、光谱重迭区的订正和温度效应的订正	219

绪 论

一、气象卫星的科学意义及其研究任务

从二十世纪四十年代起,由于先后出现了火箭和人造地球卫星,为高空科学提供了新的研究工具,使得与其有关的许多重要的科学技术领域获得了新的发展;气象火箭和气象卫星也先后相应出现,从而为气象科学开辟了一个新的研究领域。它们所提供的资料,进一步地丰富了气象科学的研究内容,有助于气象科学理论及其实验研究的发展,有助于人们对客观世界的进一步认识。

众所周知,地表面大约有十分之七的地区被海洋所包围,其中大部分地区缺少专门的气象观测;在十分之三的陆地上,也有大量的地区,例如森林、苔原、沙漠和极地地区等,在气象研究方面也多半还是空白点。到目前为止,尽管飞机、气球和火箭的气象探测已得到了很大的发展,但它们仍不免受到时间和地区的限制。实际上,天气过程常常是在广大的地区上连续地发展和演变着的,这就需要在大规模内连续地进行观测,而现有的几百个高空观测站和有限的火箭观测难以胜任这些任务。人造卫星的出现,为克服这种地域上和时间上的限制创造了新的条件,使我们有可能得到地球上广大地区内天气过程的连续资料,这对改进天气预报和掌握灾害性天气也具有重大的作用。

此外,利用气象卫星在外空对地球大气进行直接的观测,可以获得过去在地面上无法得到的关于行星尺度气象过程的资料,通过这些资料同地面观测资料的综合研究,人们就有可能更客观地、更直接地了解到发生在地球大气中的各种现象和各种物理过程的本质及其规律性。

因此,气象卫星对气象科学的进一步发展起了促进作用。但

是,必须指出,到目前为止,建筑在卫星观测基础上的辐射学距成熟阶段还有相当远的距离。气象卫星的实验研究还处于探索阶段,卫星辐射学的理论研究还只是开始,实际应用也很粗糙,人造卫星所得资料的局限性还很大。尤其值得指出的是:资料的精度还不高,而且许多仪器(例如五通道中分辨力辐射仪)所取得的资料只代表相对值,而无绝对意义;加之卫星施放高度很大,所得资料都是较大面积上的平均值,因而不能代替地面气象台站网及其它高空探测手段所获得的资料;此外,人造卫星发射的价值昂贵,不宜大量使用,于是难以借助卫星得到气候资料。上述这些资料上的局限性自然会给人造卫星辐射学的研究带来一定的困难。

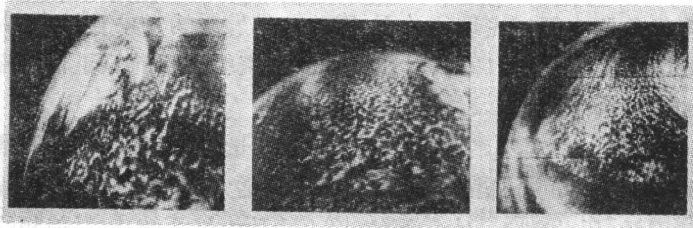
目前气象卫星主要有下列两方面的研究任务:1. 测云分析的研究;2. 辐射测量及其应用的研究。下面简要介绍这两方面的情况。

1. 测云分析的研究

测云分析的研究是气象卫星研究的一个重要方面,对天气预报的改进具有直接的作用。测云分析是借助卫星携带的电视照相机所拍摄的云场照片进行的,根据这些电视照片可以获得有关云量和云型分布的情报,从卫星上获得的照片中,大约有75%—85%可用于天气分析。

得到云的照片资料以后,需要迅速地进行处理、订正,并初步作出有关云的位置、形状和云量分布的分析,以及对图片失真的原因加以说明,以供进一步分析时参考。经过初步分析以后的图片便可用来作云的形成及其和天气的关系等一系列的研究,综合目前已有的研究,通常将卫星获得的云图分成为涡旋状、链条状和粒状三类结构的云(图1)。

根据云的结构形状的分析可以了解与云的形成有关的垂直运动、气流方向、湿度场和大气层结等情况。例如粒状云大多属于积云;链条状的云通常和气流的方向一致;涡旋状的云往往和气旋及风暴相伴随,因此对天气预报有直接的帮助。卫星获得的云图和



(上)涡旋状的云；(中)链条状的云；(下)粒状云。

图1 卫星获得的云图

天气关系的研究可以帮助我们进行天气分析,确定和修改锋面位置,区别不同的气团,从而使天气图的分析更加准确,特别是有助于对灾害天气(如飓风,台风等)的研究和预报。图2是一张卫星在北美上空得到的风暴区云的图片。但是需要指出,目前测云分析的研究还只停留在一般的经验关系上面,云的形成及其特性同天气过程之间的定量关系还需要作进一步的研究。

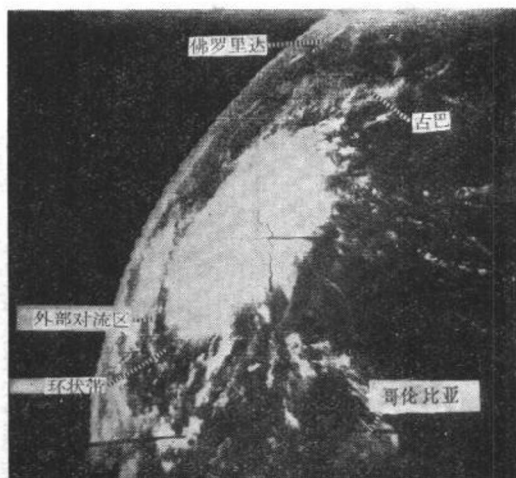


图2 1961年7月22日北美上空风暴区云的电视图片

2. 气象卫星的辐射研究

太阳辐射和地球大气红外辐射,是大气中一切天气过程的主导因素,也是气候形成的一个重要因子,而且地球辐射场的特性与许多气象要素都有密切的关系,因此在已发射的气象卫星上,大多都安装了辐射测量仪器,并获得了大量资料。目前卫星辐射学研究的主要内容有:

(1) 地球-大气系统辐射差额及其分量的研究 辐射能量差额的时间和空间分布的不均匀性,是决定大气热力和动力过程的重要因子,因此,地球-大气系统(以下简称地气系统)辐射差额的研究有助于了解大尺度动力过程和热力过程的形成和演变规律。过

去这方面的大量研究都是以理论计算为基础的,然而利用卫星辐射测量可以得到入射太阳短波辐射,地气系统长波射出辐射和反射辐射等一系列直接测量资料,利用卫星研究太阳辐射,可以避免地球大气的影 响。地气系统长波射出辐射是大气热量收支中的一个重要部分,有关射出辐射时空变化、光谱分布及角分布的实际测量,对辐射场结构的研究和辐射理论的发展,也都有很大的作用。

(2) 气象卫星辐射测量在天气、大气成分和大气结构研究中的应用 卫星辐射测量不但对辐射学本身的发展有重大的作用,同时可以用于天气学和气象学的其他领域之中。例如根据天气系统(如气旋、反气旋)与射出辐射场之间的关系,就可以利用辐射场的形势来研究天气形势。另外,通过包含在某些光谱段内(如水汽、二氧化碳和臭氧吸收带或其中的一部分)地气系统射出辐射的测量,也可以推算出大气结构(如温度的分布,大气垂直稳定度等)和吸收气体的时空分布情况,这对于大气物理过程的了解具有重要意义。

二、气象卫星的简单介绍

1957年11月3日苏联第二个人造地球卫星首先对太阳直接辐射进行了直接测量^[1,2],以后美国先后发射了“先锋II号”和“探险者VII号”卫星,它们分别对云的行星分布和地球大气系统辐射差额进行了试验性的测量,这些卫星的发射和所获得的结果证实了利用人造卫星进行气象观测是完全可行的,接着又发射了泰罗斯气象卫星系统,获得了不少有用的资料,1964年开始发射了新的“雨云”气象卫星。表1中列出了各个卫星的特征资料。下面对这些卫星作一些简单的介绍。

1. 苏联第二个人造地球卫星 该卫星上装有电子倍增器作为接收太阳辐射的感应元件,其外罩有不同材料的滤光器,用以得到不同光谱段内的太阳短波辐射强度,这是卫星上最早的太阳辐射观测装置,但是到目前为止,我们并没有看到有关测量结果的介绍。

表 1 气象卫星系统及其研究任务

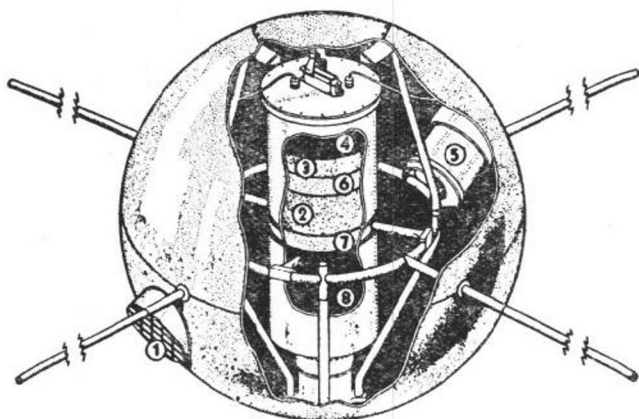
译名	称		发射日期	重量 (公斤)	主要轨道参数				主要仪器及研究任务
	原名	名			近地点 (公里)	远地点 (公里)	运行周 期(分)	倾角 (度)	
卫星 II 号	Спутник-2		1957年11月3日	508.3	225	1671	103.8	65.3	电子倍增器, 太阳短波辐射
先锋 II 号	Vanguard II		1959年2月17日	9.75	540	3200	126	32.2	光电管, 云场分析
探险者 VII 号	Explorer VII		1959年10月13日	37.0	550	1090	101.2	50.3	半球形低分辨率辐射仪, 地气系统辐射差额的研究
泰罗斯卫星系统	TIROS Series		1960年4月*	—	670**	750***	98**	48—58	电视照象机, 测云分析; 中低分辨率辐射仪, 辐射研究
雨云卫星系统	Nimbus		1964年8月*	—	423****	933****	—	—	电视照象机, 测云分析; 辐射仪, 辐射研究

注: * 系指开始发射年代, 现在还在继续发射中; ** 系平均高度和平均运行周期; *** 为雨云 I 号卫星的资料。

2. 先锋 II 号卫星 先锋 II 号是一个直径约为 508 毫米的球状卫星^[3-5](图 3), 它携带了两个视角为 1.1 度, 能够在 0.6—0.8 μ 波长范围内感应太阳辐射的光电管, 光学装置与卫星旋转轴的交角为 45°, 当卫星旋转的时候, 两个光电管便交替地朝向地球, 从而得到地球表面亮度分布的图象。由于云的反射率一般比陆面及海面要高(除了冰雪覆盖地区), 这样就可以根据亮度分布来判断云的分布。当卫星在 540—3200 公里的高度上运行时, 大约有 1/2 的时间能观测到地球上北纬 33°—南纬 33°之间被太阳照射的地区。

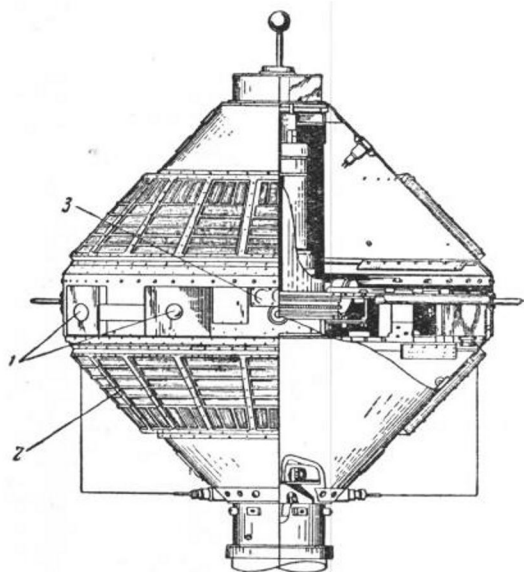
先锋 II 号卫星发射后, 由于它的轨道有显著的偏离, 并且由于卫星自旋的不稳定, 所以卫星发射失败, 未能获得任何有用的科学资料^[6], 卫星运行了三星期以后, 终于因为能量消耗完毕而停止工作。

3. 探险者 VII 号卫星 探险者 VII 号卫星是第一个用来作为地球辐射差额测量的地球物理卫星^[7,8,9], 其外形如图 4 所示, 辐射仪是由 5 个涂有



1, 5——光电元件； 2——记录装置； 3, 4, 6, 7——电子装置；
8——电源部分

图 3 先锋 II 号气象卫星



1——感应器； 2——太阳电池； 3——微气象感应器

图 4 探险者 VII 号地球卫星

不同颜色的半球形感应器组成,感应器分别安装在卫星的中部,它们和卫星体之间用铝制的反射镜绝热,根据不同感应器温度测量结果,就可以计算出地气系统的辐射差额来。卫星的旋转速度是360转/分,感应器的视野是全方向的(其视角等于 2π),空间分辨力很低。例如在1000公里的高度上,观测面积的半径就可以达到3500公里左右,所以探险者 VII 号所得到的结果只能代表大面积的平均状况。由于取得了所需要的实验资料,地面接收站于1961年8月19日中断了和它的联系。

4. 泰罗斯气象卫星系统 泰罗斯卫星(TIROS)是“电视和红外辐射观测卫星”(Television and Infrared Observations Satellite)的缩写,它用来进行电视测云观测和红外辐射观测,到目前为止已先后发射了8个这种卫星,获得了大量云的照片和红外辐射资料,并且对其中的部分资料已作了研究和分析^[6,9,10,11]。

泰罗斯卫星的外形是个18边形的扁柱体,直径约110厘米,高约50厘米(图5),卫星上装有比较完整的控制和操纵系统及太

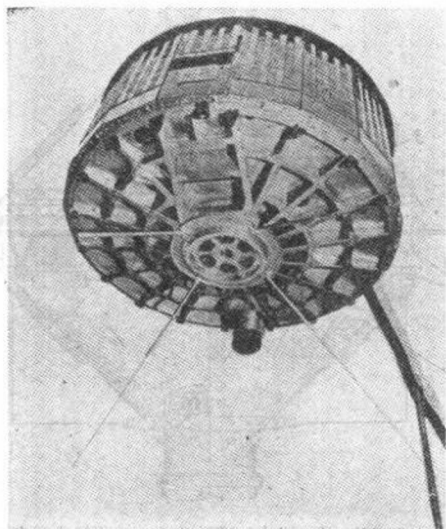


图5 泰罗斯气象卫星

阳电池装置，保证了卫星工作和测量的需要^[12,13]。各个卫星的基本参数和测量仪器列在表2中。

在泰罗斯 I 号和 II 号卫星上安装了一架宽角和一架窄角电视照象机(参看表2)，当它们的镜头垂直对着地球表面时，可分别看到 1200×1200 和 120×120 平方公里的面积，其分辨力分别为 3 和 0.3 公里，卫星沿轨道运行一周能够得到 32 张云的电视照片。在泰罗斯 III 号卫星上携带了两架宽视角照象机，所以当一个是坏了时，另一个可以继续观测工作。由于泰罗斯 II 号卫星上宽角照象机镜头曾受到了第三级火箭排出物的影响^[11]，使得卫星发射后的一段时间内没有获得满意的照片，在以后发射的泰罗斯气

表2 泰罗斯气象卫星的基本参数和测量仪器

编 号	发 射 日 期	主 要 轨 道 参 数			偏 心 率	电 视 照 象 机		摄 射 测 量 仪 器		
		远地点 (公里)	近地点 (公里)	轨道倾角 (度)	轨道周期 (分)			五通道 辐射仪	宽角辐 射仪	半球形 辐射仪
1	1960. 4. 1.	749.6	689.8	48.36	99.19	13	104	无	无	无
2	1960. 11. 23.	728.9	622.7	48.53	98.27	13	104	有	有	无
3	1961. 7. 12	814.8	741.7	47.53	100.42	无	104(2)	有	有	有
4	1962. 2. 8.	844.4	709.9	48.30	100.40	80	104	有	有	有
5	1962. 6. 19	971.7	589.5	58.10	100.47	80	104	—	—	—
6	1962. 9. 18.	711.3	684.3	58.32	98.73	80	104	—	—	—
7	1963. 6. 19.	649.2	621.2	58.23	97.42	无	104(2)	有	有	有
8	1963. 12. 21.	754.8	701.6	58.50	99.35	—	—	—	—	—
9	1965. 1. 22.	2579.0	701.0	96.40	119.10	—	—	—	—	—
10	1965. 7. 1.	839.2	752.1	98.64	100.78	—	—	—	—	—

注：—表示不详。