

# 卫星气象的现状 & 展望\*

赵柏林

(北京大学地球物理系)

## 摘 要

本文讨论了气象卫星遥感技术的现状及展望, 以及在未来十几年内气象卫星可能提供遥感信息的前景。由于卫星技术的发展以及信息处理能力的提高, 遥感信息将会对于气象及有关学科的发展有所推动, 本文预期了它对于天气预报、气候与长期预报、大气探测(包括云雨)、大气污染、海洋环境及陆地冰雪研究的促进效果。气象卫星遥感提供了地球环境综合性研究的可能性, 本文也讨论了这样一个发展趋势。最后, 概述了我国卫星气象事业的发展概况。

## 一、引言

在二十世纪 80 年代气象卫星的技术和应用有了很大的发展。气象卫星从试验阶段已逐渐走向业务使用, 并且向着纵深发展和新的开拓。

气象卫星的功能可概括为

1. 遥感探测大气、海洋、环境的状况, 如大气温度、湿度、云、雨、大气污染、海温、海风、海洋环境等。提供大气、海洋实况, 作为预报的基础。

2. 收集遍布各地气象海洋水文资料站发来的资料, 转发给用户, 或把观测资料处理后转发给用户。

卫星气象是要将卫星信息进行开发和解释, 为气象和海洋服务。

## 二、气象卫星的现状和前景

气象卫星分极轨气象卫星和静止气象卫星两种。目前拥有极轨气象卫星的有美国、苏联; 静止气象卫星的有美国、日本、欧洲、印度。

### 1. 极轨气象卫星

#### (1) 美国

目前运行的是 NOAA-8 和 NOAA-9。它们的高度为 830—870km, 周期为 101min。卫星上的主要遥感仪器如表 1。

NOAA-J 卫星, 计划在 1987 年发射。

在 90 年代初将发射 NOAA-K, L, M 卫星。它们具有 NOAA-NEXT 的性能。其主要特点是:

① 先进微波探测装置 (AMSU) 的使用。它是在 0.15—1.60cm 波段 20 个通道的微波辐射计, 其中 15 个通道作为大气温度探测, 水平分辨率为 60km, 5 个通道作为大气湿度探测, 水平分辨率为 20km。它可以消除云的影响, 提供全天候条件下大气温、湿度垂直探测资料。探测的垂直分辨率也有所改善。它可测量云下的冰图及全球降水图。如果 AMSU 被证明效果好, HIRS/2 没有提供更多信息, 则 AMSU 将成为主要探测工具。

② 改进的甚高分辨率辐射器 (AVHRR) 略有改变, 增加第 6 通道 (1.57—1.78 $\mu\text{m}$ ) 以利于白天鉴别云和雪。

③ 在 90 年代将增加海洋彩色图象仪 (OCI), 用它测量海水中叶绿素的含量, 可见光 8 通道, 水平分辨率为 1.1km。

### (2) 苏联

Meteor 卫星, 高度 900km, 周期 102 min。其主要遥感仪器见表 2。

目前, 红外扫描大气探测器及微波辐射

\* 中国气象学会全国会员代表会议 (1986 年) 上的报告。

表 1

仪 器 名 称	通 道	分 辨 率	扫 描 宽 度	目 的
改进的甚高分辨率辐射器 (AVHRR)	4—5通道(0.55—12.5 $\mu\text{m}$ )	1km	2600km	海温、海冰、冰雪、云层
业务垂直探测器 (TOVS)				
1. 高分辨率红外探测器 (HIRS/2)	20通道(0.7, 3.7—15 $\mu\text{m}$ )	20km	2250 km	大气温度, 大气湿度
2. 平流层探测器 (SSU)	3 通道 (15 $\mu\text{m}$ )	147km	1500 km	云层, 冰雪
3. 微波探测器 (MSU)	4 通道(5—6mm)	110km	2250 km	海面温度, 海面风
空间环境监测器 (SEM)				太阳质子和电子流的数量和质量
太阳后向散射紫外辐射器 (SBUV)	12通道(2500—3400 $\text{\AA}$ )			大气臭氧总含量及垂直分布
地球辐射收支实验 (ERBE)	22通道(0.2—50 $\mu\text{m}$ )	4.6 $\times$ 9.1km <sup>2</sup>		入射太阳辐射, 地球反射, 地球辐射
搜索和营救系统 (SAR)				
资料收集和平台定位系统 (DCPLS)		定位精度 1km		固定观测站, 浮标位置, 收集其资料(包括温度等)
自动图象传输 (APT)	2 通道 (可见, 红外)			云图
高分辨率图象传输 (HPPT)		1km		

表 2

仪 器 名 称	通 道	分 辨 率	扫 描 宽 度	目 的
APT扫描遥测光度计	0.5—0.7 $\mu\text{m}$	2 km	2100 km	
电视扫描器	0.5—0.7 $\mu\text{m}$	1 km	2400 km	
红外电视扫描辐射器	8—12 $\mu\text{m}$	8 km	2600 km	
红外扫描大气探测器	11.1—18.7 $\mu\text{m}$ 8通道	20km	1000 km	大气温度
微波辐射计	8 mm			冰雪覆盖, 云中含水量
直接广播资料APT	可见光	2 km		云图
	红 外	8 km		云图

计只是在一些型号上载有。在 90 年代, Meteor 卫星的特点是:

- ① 红外扫描大气探测器投入业务使用。
- ② 红外图象分辨率提高。
- ③ 增加微波探测仪器。
- ④ 提高卫星高度, 使得能提供赤道上的

连续图象。

### (3) 日本

MOS-1 号卫星计划于 1987 年初发射, 高度为 900km, 周期为 102min。它不具备

直接广播功能, 其观测资料由卫星发射送至中央资料接收设施。其主要遥感仪器见表 3。

在 90 年代计划增加微波雷达高度计、散射计和海岸线彩色扫描器, 提高探测海况的功能。

## 2. 静止气象卫星

### (1) 美国

GOES 卫星一颗定点于 75°W, 另一颗定点于 135°W, 卫星上主要遥感仪器如下:

表 3

仪 器 名 称	通 道	分 辨 率	扫 描 宽 度	目 的
多光谱电扫描辐射器 (MESSR)	0.5—1.1 $\mu\text{m}$ 4通道	0.05km	400km	海色,土地利用
可见光及红外辐射器 (VTIR)	0.5—0.7 $\mu\text{m}$ , 1通道 6—12.5 $\mu\text{m}$ , 4通道	0.9km 2.7km	1600km	海温等
扫描微波辐射计 (MSR)	12.6cm (23.8GHz) 0.96cm (31.4GHz)	47km 38km	320km	水汽,云中水量,冰 雪
数据收集系统 (DCS)				

①VISSR 大气探测器 (VAS) 有两部分, 即 1) 可见光和红外自旋扫描辐射器 (VISSR) 为可见光 (0.55—0.75 $\mu\text{m}$ ) 波段, 分辨率为 1km。红外 (10.5—12.5 $\mu\text{m}$ ) 波段, 分辨率为 7km。每 30min 得一张圆盘图。2) 垂直探测器, 在 0.6—15 $\mu\text{m}$  波段有 12 个通道, 分辨率为 7—14km。可用其中 2 个通道成象, 需要 1 小时。但它和 VISSR 不能同时进行测量。

②数据收集系统 (DCS): 有 200 个区域通道和 33 个国际通道。

在 1990 年左右, 将使用 GOES-NEXT, 已有三颗卫星 (GOES-I, J, K) 列入计划, 其特点是: 成象和大气探测的质量、数量, 定位的速度、精度将有较大的进展。

①五通道成象辐射器将装载在卫星之上, 其波段为 0.55—12.5 $\mu\text{m}$ 。分辨率在可见光、红外及 6.5—7 $\mu\text{m}$  水汽波段, 分别是 1km、4km 和 8km。成象地区可按指令灵活控制。25 分钟时间内获得 60°N 与 60°S 之间的图象, 5 分钟之内获得 3000km $\times$ 3000km 的区域图。南北方向及东西方向均可以改变。

②红外大气探测器将装载在卫星之上, 它有 14 个通道, 分辨率为 8km, 4 分钟可得到 3000km $\times$ 3000km 区域资料。

③卫星采用三轴姿态稳定方式。卫星成

象、大气探测、收集资料和广播, 可同时独立地进行。

### (2) 日本

GMS 卫星定点于 140°E。其遥感仪器如下:

①可见光和红外自旋扫描辐射器 (VISSR) 有 2 个通道。可见光 (0.50—0.75 $\mu\text{m}$ ) 分辨率为 1.25km。红外 (10.5—12.5 $\mu\text{m}$ ) 分辨率为 5km。每 30 分钟得一幅圆盘图, 观测次数约 2 小时一次。

②资料收集系统 (DCS), 有 100 个区域通道, 33 个国际通道。

日本将于 1987 年发展宽数字资料。1988 年取代高分辨率传真系统 (HR-FAX)。高分辨传真系统每天播发 8 次, 而展宽数字资料可使 VISSR 观测次数大为增加, 最多可达每半小时一次。用户将能每小时得到一幅圆盘图。日本计划于 1989—1999 年发射 GMS-4, 5, 6 卫星, 考虑增加水汽通道, 亦可能增加大气垂直探测的红外通道。

### (3) 欧洲

Meteosat 卫星定点于赤道 0°。其主要遥感仪器如下:

①高分辨率辐射器: 它为可见光及红外 3 通道, 分别为 0.4—1.4 $\mu\text{m}$ , 分辨率为 2.5km; 5.7—7.1 $\mu\text{m}$  和 10.5—12.5 $\mu\text{m}$ , 分辨率为 5km。每 30 分钟得一圆盘图。

②资料收集系统(DCS):有62个通道。

在90年代欧洲将发射第二代地球静止气象卫星,其分辨率会有所提高,探测大气的功能将增强。计划将增加:

①可见光和红外成像仪,为0.4—12.5 $\mu\text{m}$ 波段8通道,目的是获取地球可见光、红外及水汽、冰、云的图象。

②红外探测器,为4.4—14.75 $\mu\text{m}$ 波段15通道,目的是大气温度的探测。

③微波探测器,为0.16—6mm波段14通道的微波辐射计,目的是探测大气温度和水汽的垂直分布。

#### (4) 印度

Insat卫星是广播、通信、气象综合卫星。Insat-1B于1983年8月发射定点于74°E。其主要遥感仪器为:

①甚高分辨辐射器(VHRR),有可见光及红外两通道:可见光(0.55—0.75 $\mu\text{m}$ )分辨率为2.7km;红外(10.5—12.5 $\mu\text{m}$ )分辨率为11km。每半小时对地球大气进行一次全景圆盘观测,有灾害性天气时,可加密观测。

②资料收集系统(DCS)可收集400个平台资料。

印度计划发射Insat-1C定点于94°E。

90年代印度将发射Insat-II,它的特点是寿命长、图象分辨率提高,可见光为2km,红外为8km。

### 3. 气象卫星的前景

在卫星星体和探测器方面,随着科学和技术的发展将获得不断地改进和提高;在探测功能、精确度和连续性方面将会有所增强。其主要特点如下:

(1)极轨气象卫星:改进甚高分辨率辐射器(AVHRR)将有5—6个通道成像。加强白天鉴别云与冰雪的能力。有些卫星可以有微波成像,以利于探测云层、水汽及冰雪。垂直探测将用先进微波探测装置(AMSU),而HIRS/2中探测地表及较低大气的红外通道将可能保留。综合起来可望得到精度为0.5—1K的全球洋面温度。

(2)静止气象卫星:成像辐射器将有3个通道,即可见光、红外和水汽通道。或

5个通道,即增加3.7 $\mu\text{m}$ 通道和把原来红外窗区通道分为两个,以改进洋面温度的测量。其分辨率亦有所提高,可见光为1km,红外为4km。增加十几个红外通道的垂直探测器,其分辨率为8km,用以探测大气温度和水汽的垂直分布。成像和垂直探测是在控制区域内进行。因此观测次数增加,观测时间也缩短。

(3)随着通道增加,分辨率和观测次数的提高,气象卫星数据将急剧地增长。资料的存档管理将越来越艰巨。势必要研制高密度大容量的存贮器。在存贮之前要加工处理以减少实际存贮量。

(4)由于卫星轨道和姿态的改进,从自旋稳定(可得南北区域控制的地球圆盘图)改变为三轴稳定(扫描东西方向亦可控制),使卫星在指定的范围进行观测。这样,各个国家发展自己的卫星系统变得更为迫切了。

### 三、气象卫星资料的应用

静止气象卫星(如GMS卫星)在监测台风等天气系统方面起着重要的作用。极轨气象卫星(如TIROS-N卫星)可以测量大气温度、湿度、云层、海温、海风、冰雪及大陆状况等。气象卫星资料参与处理一些大气科学和海洋科学综合性项目,已成为必然的趋势,如国际卫星云气候计划(ISCCP),国际卫星地表气候计划(ISLCP)及地球辐射收支实验(ERBE)等。

#### 1. 天气分析与预报

由于卫星测温和测风的精度提高,全球天气分析有丰富的资料,促进数值天气预报准确性的提高。因为时间分辨率和空间分辨率的提高,有可能监测中尺度天气过程,如监测台风和暴雨等。把卫星资料和雷达等遥感手段配合起来,可用于监测强烈灾害性天气,进行临近天气预报。

#### 2. 气候和长期预报

目前的极轨气象卫星和静止气象卫星提供全球云的分布、海温分布资料,以及地球辐射收支实验(ERBE)仪器提供了射入短波辐射、射出长波辐射的资料,将使气候和长期天气过程的研究出现崭新的面貌,以这些资料为基础,将使建立长期数值天气预报模

式和气候模式,实现长期数值预报成为可能。国际卫星云气候计划(ISCCP)通过卫星遥感收集全球表面可见光、红外辐射数据,从辐射量导出云的特性、大气和地表的状况,为研究气候物理过程提供条件。累积全球云气候资料,用以改进气候模式中云参数化问题,并对于地球上辐射收支和水分循环进行评估。

### 3. 大气温度、湿度廓线及云、雨特性

(1) 由于微波波段增加,可望解决云天卫星遥感大气温度、湿度廓线以及云层特性。如鉴别云层的冰水状况、云层水分的累积等等,可供云物理及人工影响天气、临近天气预报的参考。由于卫星空间分辨率提高及图象处理技术改善,亦有利于观测云雨、强风暴的发展。卫星遥感与地面遥感相结合,这是一个趋势,它将有助于大气探测精度的提高,并使天气监测更为有效。

(2) 闪电。卫星监测闪电,它的目的是用于警戒强风暴活动,林区落雷及雷电状况的勘察,以供设计电力输送线路和通讯网络之用。首先美国国防气象卫星(DMSP)对于夜间全球闪电进行观测,发现海洋上的闪电远少于大陆上的闪电。1981年4月航天飞机成功地用日夜闪电光谱仪测量全球闪电,包括电频数、闪电强度及其持续时间、闪电光谱,并区分云间闪电及云地闪电。这些过程会促进对雷电过程和雷暴活动的了解。

### 4. 大气污染

卫星遥感提供了研究全球环境的可能。卫星遥感可用以评估全球大气污染状况。

#### (1) 痕量气体的监测

卫星遥感可用于监测地域性或全球性大气污染。例如航天飞机的测量大气污染计划,首先用来测量CO,在对流层中CO的含量约为 $40-300/10^9$ 。此计划的测量是基于 $4.5-4.8\mu\text{m}$  CO的吸收带,用地球辐射经过大气的消光作用,推断CO在大气中的总含量及其在对流层中分布廓线。卫星可长期地监测大气中污染物质的分布和变化,用此可以评价大气中的化学过程。近年来用卫星监测工业烟羽扩散及火山灰尘的踪迹均取得效果。

### (2) 大气臭氧

卫星监测大气臭氧无论在全球分布上,或者在垂直分布廓线上均显示着前景。利用臭氧的紫外吸收光谱和红外吸收光谱特性,形成了卫星遥感大气臭氧的三种方法:太阳反向散射紫外光谱法、红外临边辐射法和太阳掩星法。大气臭氧总含量卫星遥感和地面观测取得一致的结果。卫星遥感得到了大气臭氧总含量的全球分布、纬度和季节变化。臭氧含量垂直分布廓线,卫星遥感和火箭(化学荧光法)测量取得的结果相符合。长期监测全球臭氧的分布和变化,预期会对大气臭氧循环进一步了解。臭氧在大气环境中具有重要的意义。臭氧也是大气中的示踪物,它可用作大气环流的诊断。

### (3) 大气尘暴和气溶胶

尘暴是地球沙漠化的表现,地面土壤风化成细沙,随着定向气流,在地球上淤散,成为大气的污染源。尘暴的影响已波及全球大气。因此利用卫星监测大气尘暴,日益受到重视,它已从定性分析转入定量评价。从地物景观(如海陆)模糊的程度或尘埃大气对于日光的反射率,来评估大气气溶胶的光学厚度及载尘量。从卫星遥感监测大气尘暴和气溶胶,必然要成为分析大气环境重要的一环。

## 5. 海洋环境

### (1) 海温

红外波段测量海温精度可达 $0.5-1.5\text{K}$ ,良好的分辨率约 $1-2\text{km}$ ,但受大气影响严重。目前用多波段组合(如 $3.8\mu\text{m}$ 和 $11\mu\text{m}$ 等)的方法,修正大气的干扰。微波遥感可排除云和大气的干扰,海温月平均值和船舶观测月平均值之差在 $0.6\text{K}$ 之内。由于陆地噪音干扰,测量海岸附近海域的海温尚有一定困难。随着微波遥感仪器的改善,它会得到解决。微波遥感海温,精度高,范围广,3天之内可以对世界大部分海洋进行两次测量。从海洋的强温度梯度区,可以确定海洋锋的位置,这是人们所关心的区域。

### (2) 海洋环境及海洋污染

海洋颜色是用来分析海洋叶绿素的,海

岸带水域的叶绿素小于 $1\text{g}/\text{m}^3$ 。同时海岸带水域的色彩反映着水中泥沙，可用来勘测海岸附近的沉积羽区。目前已用陆地卫星测绘全球图，标明高叶绿素区和泥沙区。航天飞机上海洋颜色实验计划是用 $0.4-0.8\mu\text{m}$ 波段中8通道进行测量的。一些气象卫星上亦有海洋彩色图象的观测计划。海洋颜色的长期观测对于海洋生态环境的评价，对了解全球二氧化碳的循环是很重要的。海洋环境污染日益严重，工业废水和石油污染是一种海洋污染；浮游生物异常发生导致另一种污染。如何监测和保护海洋环境已提到日程。陆地卫星光学遥感油污已取得成效。海洋卫星亦有微波遥感监测油污的计划。卫星遥感用于大范围漂油和工业废水的监测，以及近海水质的评价。

### (3) 海风和海浪

海洋卫星雷达高度计利用脉冲回波波形成测量波浪的高度，从回波功率可以测风速。当浪高小于 $6\text{m}$ 及风速小于 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时，测量浪高精度为 $30\text{cm}$ ，风速精度为 $1.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。卫星遥感的范围和密度都远远超过常规观测。卫星测量亦比船舶测量准确。卫星测量可得全球风场图、浪图，从浪高的状况可以判断涌的所在。海洋卫星散射计，从海面粗糙度可以推测风速和风向，风速测量精度为 $1.42\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，用它可以给出海湾风场图，由此可以确定锋面、风暴位置。通过散射计风场资料可及早识别出发展成破坏性风暴低压区域，可以提早发出警报。有人估计，常规观测方法要比它晚 $12-14$ 小时才能监测到。卫星微波辐射计测量风速精度为 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，但是由于空间分辨率较低，适于广阔海洋上的测量。

## 6. 冰雪覆盖

### (1) 海冰

在海洋中，北半球为 $10\%$ ，南半球为 $13\%$ 是冰盖。浮冰常以每天 $10-50\text{km}$ 的速度移动。在北极区亦常有 $10\%$ 的洋面为无冰区，这些水道时开时合，极区冰盖盈虚变化很大，为了航运的目的，经常要报告冰流图。极冰和地球气候变化互为因果，亦有经常监

测的必要。卫星微波遥感是监测海冰极好的工具。冰水亮度温度差达 $100\text{K}$ ，微波辐射计可容易地检测出来。用它可以检测极区海冰的分布、海湾中冰水比例、极区冰盖范围及区分当年冰层和多年冰层。雨云7号多频扫描微波辐射仪测量视野中冰块成分的精度约为 $8\%$ 。雷达波对于冰层和岩石界面，冰层和海水界面均有强的反射特性，用雷达波在南极和格陵兰冰盖厚度和冰层结构的勘测上均取得成效。全球有 $85\%$ 的淡水属于南极和格陵兰的冰层，将成为重要的资源。星载雷达的性能会越来越好，可在勘测冰层方面取得进展。

### (2) 陆地冰雪

用陆地卫星或气象卫星可见光和红外波段的灰度，判断雪线位置和积雪深度有一些经验的关系。但是微波遥感陆地冰雪方面，无论是主动还是被动遥感，均取得良好的效果。实验表明，积雪水量、积雪深度，在微波上有十分灵敏的响应。雨云5—6号电子扫描微波辐射仪观测了大陆的雪盖，从卫星资料分析历年积雪面积与该地区春汛河水流量成正比，利用积雪面积资料预告日融雪流量取得良好的效果。卫星资料将在勘察大陆雪情，开发大陆上的冰雪资源，预告融雪和春汛方面发挥作用。

## 四、结束语

我国卫星气象事业正在蓬勃地发展。七五期间，我国即将发射自己的气象卫星。

近年来，卫星资料在天气预报业务中，日益发挥其重要作用。在遥感技术，卫星接收系统及资料处理的能力方面，均有很大的发展。学术水平亦有很大的提高。

由于时代的发展，对于天气预报、气候预测、环境保护和资源利用都有新的要求，赋予新的内容。卫星遥感的功能日益增强，配合地面遥感等方法对于许多问题可进行深入的研讨，从而提供了从地球整体进行综合评估的条件。卫星气象学必然将在许多地球环境科学中发挥重要的作用。

(下转第13页)

(上接第 8 页)

## Recent development in satellite meteorology

Zhao Bolin

(Department of Geophysics, Beijing University)

### Abstract

In this paper, the status and prospect of remote sensing technique of meteorological satellite have been described. The condition of remote sensing information from meteorological satellite in next decade has been predicated. By the development of meteorological satellite technique and the improvement of information treatment capability, the research of some branches of meteorology would be urged forward, for example, weather forecasting, climate and long range weather forecasting, atmospheric exploration (include clouds and rain), atmospheric pollution, marine environment and snow-ice. Meteorological satellite remote sensing supplies a demand of comprehensive survey of earth environment, in this paper, this item has been discussed also. The last, we make an overview of the satellite meteorology activity in China.