

# 卫星陆地表面气候研究的发展\*

左大康 张仁华

(中国科学院 地理研究所  
国家计划委员会)

**提 要:** 本文阐述国际卫星陆地表面气候的研究思路、气候模式与陆地表面参数之间的关系。综述由卫星遥感信息转换为陆面参数的推算原理、现状和存在的问题。介绍最近国际联合试验(以FIFE为例)的纲领和目的。

**主 题 词:** 遥感 气候

研究由地球表面自然环境参数的变化所引起的气候变化,是地表能量物质交换规律中的一个重要分支,八十年代兴起的国际卫星陆地表面气候研究,就是以卫星遥感的陆面信息为基本信息源,演绎推算地球陆地表面的各种参数,结合气候模式,表达、推断、预报气候及地理环境的变化。这是在文献〔1〕的基础上的发展。

目前,卫星陆地表面气候研究发展迅速,并且从卫星到地表各高度平台的国际联合试验已经开展。卫星遥感不能直接测量气候模式中所需要的陆地表面参数,必须结合地面“锚站”(Anchor station)的观测资料,建立信息转换模式(标法)。因此将卫星遥感信息转换为陆地表面参数的研究,是该课题的主要研究内容。

本文将综述国际卫星陆地表面气候研究的基本思路,表面参数的推算原理,现状及问题和介绍目前国际上开展这项研究的国际联合试验。

## 一、基本思路

研究卫星陆地表面气候首先要建立可靠实用的信息源。这包括信息采集、信息转换模式研究和信息库三方面工作:遥感信息采集是以卫星为主,飞机、气球、高塔、遥感车为辅。而地面实况,即常规的气象要素、水文、土壤、植被,大气状况等是十分重要的对照信息。所以必须在有气候代表性的地区或气候敏感地区建立地面“锚站”(见图1)。

遥感信息的转换模式(算法)研究应该在锚站进行。这样便于将遥感信息和对照信息及时比较,对转换模式及时检验修正。通常信息转换有经验统计法,实验模拟法及理论演绎法。

建立信息库应有科学的管理办法。并研究建立资料时间序列和空间分布方面有代表性信息的方法。

本文1987年10月16日收到,1988年8月30日收到修改稿。

\*本文为中国科学院地理研究所所长基金“地表能量转化和物质迁移规律研究”内容。

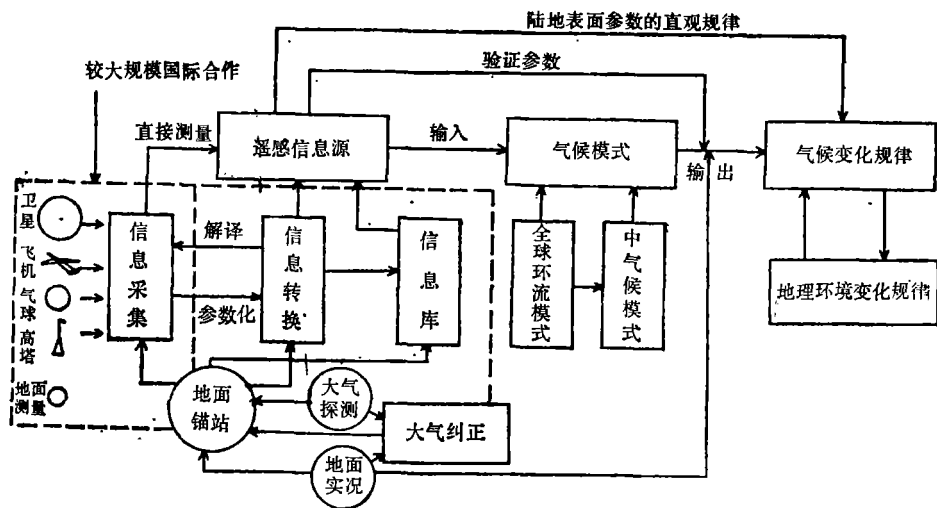


图 1 卫星陆地表面气候学研究思路框图  
The basic train of thought on ISLSCP

气候模式有全球环流模式，中气候模式，能量平衡模式，辐射对流模式，二维统计动力模式等等。在陆地表面气候研究中主要是前两种模式。

在遥感信息源中建立的各种表面参数信息必须和气候模式中要求输入的信息匹配。达到最佳效果。表面参数的最佳空间尺度与最佳时间尺度的选择应在气候模式的试验中获得，而

表 1 全球环流模式的监测与验证  
Monitoring and Validation of Global Climate Modeling

陆 面 参 数		空间尺度	时间尺度	周 期	准确度	精 度	注
监 测	植 被	250km×250km	3 个月	1 年	±0.05		主要陆地覆盖率及类型。
	干土反射率	250km×250km	年平均	3 年	±0.05	±0.02	从干土反射率预报其他土壤反射率
	总表面反射率	250km×502km	月	1—3 年	±0.05	±0.02	
	陆面发射辐射	250km×250km	年平均		±0.02	±0.01	可能随着主要陆地覆盖而变化
验	白天与夜间（3 小时）表面温度	250km×250km	月	1 年	±1℃		也需要日振幅温度
	中午地表面的太阳辐射强度	250km×250km	月	1 年	±25W/m <sup>2</sup>	±10W/m <sup>2</sup>	
	陆面土壤湿度	250km×250km	月	1 年			
证	降雨指标	250km×250km					
	雪被面积深度	250km×250km	月/周	1 年			利用微波辐射计
	中午净辐射及蒸发	250km×250km	日/周	1 年	±10W/m <sup>2</sup> ±10—20%		

表 2 中气候模式监测与验证  
Monitoring and validation of mesoscale climate modeling

	陆 面 参 数	空间尺度	时间尺度	周 期	准 确 度	精 度
监 测	地形（高度/斜率）	10km—30km	固定	日→周	±5—10%	
	主要陆地覆盖率及类型	10km—30km	周/日	日→周	±10%	
	植被覆盖	10km—30km	周/日	日→周	±10%	
	同一粗糙度范围	10km—30km	周/日	日→周	±10%	
	反射率（总）	10km—30km	周/日	日→周	±0.01—±0.03	±0.02
	植被高度	10km—30km	周/日	日→周	±5—10%	
	叶面积指数	10km—30km	周/日	日→周	±0.5%	
	比辐射率	10km—30km	周/日	日→周	±0.02—±0.01	
验 证	土壤结构	10km—30km	季节		±10%	
	表面温度	5 km × 5 km	月	1 个月/1 年	±0.5°C	
	蒸 发	5 km × 5 km	月	1 个月/1 年	±10—20%	
	净 辐 射	5 km × 5 km	月	1 个月/1 年	±10W/m <sup>2</sup>	
	降 雨	5 km × 5 km	日	1 个月/1 年	0.1mm/日	
	土壤湿度	5 km × 5 km	周	1 个月/1 年	±10%	

不是凭经验推测。表 1 和 2 为两种气候模式对陆面参数的空间尺度，时间尺度，时间周期，准确度，精度的要求。中气候模式的输入可从全球环流模式的输出值推出。高分辨的空间信息对高分辨气候模式的论证是非常有用的。

在遥感方法和其他方法的对比验证中，空间尺度往往是不相同的。以蒸发测定为例：有如图 2 中的 1. 器测法、2. 生物学法、3. 热量平衡法、4. 涡度相关法、5. 水量平衡法不同的测量尺度。而遥感法的尺度是随着象元大小而变化。在对比时可以利用各种方法的尺度重迭部分进行比较（见图 2）。

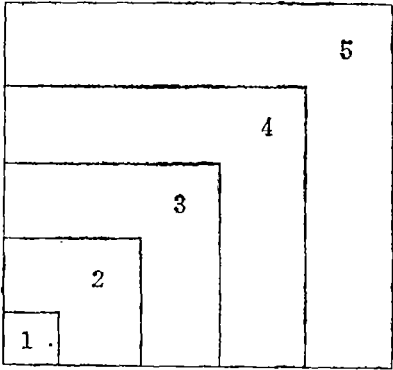


图 2 重叠对比示意图  
Sketch map of the overlapping contrast method

## 二、从卫星遥感信息推算陆面参数的原理、现状及存在的问题

### (一) 陆面反射率

首先测量大气顶部的双向反射率,此反射率的波长是探测器的响应波段。要得到地表反射率必须对大气顶部的反射率进行大气纠正并从仪器响应的窄光谱转化到整个太阳光谱。雨云卫星(Nimbus)7的地球辐射平衡试验(ERBE)表明,双向反射方法是是可以实现的。但因缺乏实时大气资料,大气纠正存在很大困难,有些研究者只得根据气候平均资料作大气纠正。

TIROS高分辨红外辐射计及ERBE中窄视场辐射计也可测定大气顶部的反射率。

卫星传感器的标定对确定反射率很重要。

观测误差主要来源于观测角的变化,反射率的光谱变化,大气纠正,薄云层。至今还没有可靠的误差统计方法。因此选择特定(地表均匀)区域进行航空遥感试验,对误差分析有作用〔2〕。

### (二) 陆面太阳辐射通量

从卫星测量到的太阳辐射推算到达地面的太阳辐射通量需进行两种订正:一是大气中的气体、水汽和气溶胶的吸收,散射效应的订正。依此订正,转换成晴天地面太阳辐射。目前用诺瓦卫星与地面观测的日射进行回归计算。在水汽和气溶胶不变的条件下,晴天的日射强度仅取决于太阳高度角。另一是云的订正,通常用辐射混合转换模式或用地面日射资料与卫星观测的日射资料进行回归计算。利用GOES同步卫星资料,每三小时一次,推算值精度为95—92%,必要时由诺瓦甚高分辨辐射计辅助,判断云状与云量。

推算中主要误差来自两个方面,一是在雪被区,云与雪被难以区别。另一是地面资料是点状小面积范围。从点外推到大面积,会引起较大误差。因此要建立一个合理分布的地面观测网。

利用无线电探空资料或TIROS卫星的温湿垂直廓线探测资料,求出大气中可降水量和气溶胶的光学厚度。然后再对卫星上观测到的日射进行订正,比单用回归方法要好。当然探空资料也有一个以点代面的误差问题〔2〕。

### (三) 陆面长波辐射通量

由于大气的吸收,从陆面向上的长波辐射通量的整个光谱覆盖(3—100 $\mu\text{m}$ )不能被观测到。如果能够设定重要光谱区(5—40 $\mu\text{m}$ )的比辐射率,向上长波辐射通量可用表面温度计算。晴天可以用11 $\mu\text{m}$ 窗口通道估算表面温度及向上长波辐射通量,在气溶胶影响较大时,误差高达4 $^{\circ}\text{C}$ ,向上长波辐射通量的误差达30 $\text{W}/\text{m}^2$ 。有云天误差就更高。

向下到达地表的长波辐射通量取决于大气温湿度廓线和云量、云底高度。有两种方法推断向下长波辐射:1. 利用多个光谱通道的辐射,例如诺瓦卫星的TIROS垂直廓线探测仪和甚高分辨率辐射仪,求出大气的温湿廓线,从这些廓线资料计算向下辐射。2. 利用不同光谱辐射和向下长波辐射进行多元回归计算。

这两种方法只有少数理论研究和应用工作和已有的地面站资料作过对比分析,利用多元

回归比较适合于计算净辐射通量。

在复杂的天空复盖下，还没有求得地表温度的办法。改善表面温度和比辐射率的估算方法，对气溶胶和水汽影响的深入理解，对长波辐射通量的估算是肯定有价值的。在日常观测中增加平流层的气溶胶观测会提高计算精度。云基高度的不确定性会给计算向下长波辐射带来困难〔2〕。

#### （四）陆面净辐射通量

虽然陆面净辐射通量可以由进入的和反射的太阳辐射及进入的和射出的长波辐射计算，但由于用卫星资料推算长波辐射通量难以得到可靠结果，仍希望由卫星直接测量。目前从卫星观测值推算到达地面的净辐射通量的有效方法仍是回归算法。美国和加拿大锚站的研究表明：到达地面的净辐射值和大气顶部的净辐射值高度相关：白昼全天相关系数达0.93，每小时相关系数达0.77。这些估计方法还可进一步改善〔2〕。

为了提高地面净辐射通量的计算精度，必须提高大气顶部净辐射通量测量的准确度。利用GOES同步卫星资料监测每天白昼的情况，可以找到一个有代表性时刻的资料。可见光和红外螺旋扫描辐射计（VISSR）的标定也必须解决。

#### （五）陆面温度与陆面比辐射率

射出宇宙空间的辐射与大气热状况、云、气溶胶、地表温度、比辐射率、大气吸收性质、观测仪器的光谱波段等因素有关。其中表面温度与比辐射率原则上可从窗口的光谱辐射观测值求得。在窗口的大气衰减是非常小的，为了达到需要的精度，衰减程度也应确定。卫星观测的两个窗口（8—12 $\mu\text{m}$ ，3.5—4.0 $\mu\text{m}$ ）不是完全透明的，大气纠正仍需要进行。8—12 $\mu\text{m}$ 波段的纠正包括水、稀有气体和云的衰减，3.5—4.0 $\mu\text{m}$ 波段水吸收非常小，而云的影响相当重要。太阳反射辐射在此波段有影响。

目前，确定陆面温度有两个途径：

1. 利用诺瓦卫星的甚高分辨率辐射计，辅以同步卫星单红外通道辐射计作高分辨率测量（1km $\times$ 1km，8km $\times$ 8km）采集晴天的资料，它有可见光及4 $\mu\text{m}$ 、12 $\mu\text{m}$ 几个窗口通道，根据这些窗口资料可估算水和其他稀有气体的吸收。当陆面比辐射率给出后，利用类似计算海面温度的回归方法，可计算陆面温度。气溶胶的不均匀分布可能造成较大误差。

2. 利用高分辨红外探测器（HIRS）及微波探测器（MSU）作中等分辨率测量（20km $\times$ 20km，200km $\times$ 200km），可获得全球覆盖资料。并利用滤波技术，清除云的影响（85%浑浊度的云除外）。这两个探测器的光谱范围分别为3.5 $\mu\text{m}$ ，15 $\mu\text{m}$ 及50GHz在分析资料时也必须考虑水和其他衰减作用，陆面温度和比辐射率可以通过解8—12 $\mu\text{m}$ 中两个通道或3.5—4.0 $\mu\text{m}$ 中两个通道的两个方程组得到。

这种方法提供了许多陆地表面的定量资料，例如陆面温度、表面比辐射率、雪和冰覆盖、昼夜温差等。

在最近10年，甚高分辨率辐射计、高分辨率红外辐射计及微波探测器将连续提供资料。同时，“高级温湿探测器”（AMTS）已计划首次试验，它有28个光谱通道：在3.5—4.0 $\mu\text{m}$ 中有3个，在8—12 $\mu\text{m}$ 中有2个。这5个通道对水和臭氧是最透明的，其他通道考虑了大气、云、气溶胶的效应。

## (六) 植被指标

描述植被覆盖有许多参数: 植被覆盖率、植被类型、植被高度、叶面积指数、生长期长度等。这些参数对监测小的气候敏感区很有价值。在以遥感信息推算蒸发量的计算中, 上述参数对推算粗糙度及空气阻力有用处。

由植物光谱信息推算植物指标, 在理论及实践方面均有较深入的研究。

G. H. Suits提出的作物连续冠层(包括有行距影响的情况)反射模式<sup>[3]</sup>, 定量表达了作物双向反射辐射和作物几何结构、生物量之间的关系。N. G. Goel又在此基础上, 提出以四组不同观测角所组成的方程组, 解出作物生态, 几何结构等 9 个参数。这些进展是令人鼓舞的。但目前卫星遥感不能对同一目标作四个不同观测角度的测量, 因此这些成果尚未得到应用。

项月琴、周允华利用植物冠层的直接太阳辐射、总辐射的透过率可以推算植物冠层的几何结构参数<sup>[4]</sup>。如果作物冠层的吸收率能知道, 就可找出作物反射率和几何结构的关系, 可在遥感中得到应用。

李小文提出森林的几何光学模式, 仅用可见光波段和部分地面测量参数, 就可分析森林的几何结构<sup>[5]</sup>。以后他又提出不连续植物层空隙概率的计算模式。

根据禹城遥感试验场的光谱资料, 作物生态参数的信息主要蕴藏在近红外和红光波段的反射辐射的差值与比值之中。笔者提出的适合黄淮海地区的绿度模式<sup>[6]</sup>在鉴别作物类型得到应用。

利用陆地卫星MSS及TM的各波段可以组合许多植物指标。Richardson等提出二维\*垂直植物指标(PVI), Kauth等以陆地卫星多光谱波段(MSS)作线性组合, 得出亮度(BR)、绿度(GN)、黄度(YE)和干扰度(NS)等指标, 这些指标除表达植物生态状态外, 还可表达大气状况。利用这些指标的多时相资料, 得出穗帽(Tasseled cap)鉴别指标, 是遥感鉴别作物种类的最有效途径。

Jackson提出由n个波段组合的n维植物指标, 经地面光谱试验表明, 由陆地卫星TM七个波段组成绿度的动态范围(Dynamic range)比诺瓦卫星两个波段组成的要高出一倍<sup>[7]</sup>。

对于全球变化, 诺瓦卫星的甚高分辨率双波段辐射计的资料比较适合。虽然没有像陆地卫星那样高空间分辨率和多波段, 但时相要多得多。资料比较廉价。因此研究更多的二维植物指标是有价值的。目前通常利用“标准差”(NVI)作植物指标。大气效应中的气溶胶的散射, 雷利散射和云的干扰, 均增加可见光的辐射, 从而使植物指标值变小。在高扫描角的情况下, 变小的最厉害。因为缺乏气溶胶资料, 大面积的大气订正是困难的。

在计算中, 为了消除瞬时视场出现的云, 特别是白天中午小对流云, 通常利用多时相同一地点的影象图, 因为在这些图中植被覆盖不变, 而云出现的位置有变化, 从而获得该区的最大覆盖率。

在少于30%植被覆盖区, “标准差”指标的作用不肯定, 因为有阴影的影响及背景土壤的干扰。K. Blumel<sup>[8]</sup>提出一个能消去大部分大气影响、几何角度影响与土壤背景干扰的

\* 这里的维数是指光谱通道组合的变量数。

新“标准差”植物指标。

这领域的研究正在不断进展。在地面锚站建立更有应用价值的植物指标，发展标准化大气纠正的方法，建立具有稳定均一地表反射率的靶区作为卫星资料标定点等等。这些都是在发展陆地表面气候研究中建立植被定量遥感模式所应该做的内容。

### （七）降水

通常，降水信息是从卫星的可见、红外成像辐射计及被动微波、主动微波辐射计的测量中获得的。对于全球尺度的气候学估计方法有：

#### 1. 可见红外成像辐射计观测法

根据云的性质判断是否有降水的方法大都是经验统计法。有根据降水云和不降水云在可见光、红外的发射辐射、反射辐射的差异<sup>[1]</sup>，有根据降水云的温度和降水概率之间的关系<sup>[1]</sup>，也有根据云的亮度及地面反射率的变化等等，作出降水估计和预报。这些方法都有局限性，没有一个能适用于所有类型的降水，也不适合所有气候区域。在日常业务中广泛采用云指标化法和云寿命法。云指标化就是在卫星云图上把云的类型、云量和降水估计作指标化处理，这方法已用于 $20 \times 20 \text{ km}$ 的范围。云寿命法是以同步卫星资料从对流云生长消失中分析降水的可能性。资料时间间隔需要3分钟到1小时，用于暴雨监测和洪水预报。

#### 2. 微波法

众所周知，液体水的颗粒对微波有吸收效应，据此判断降水可能性。这是今后要大力发展的直接测量法。然而目前利用微波辐射计去估计大面积降水还没有可靠的方法。因为表面发射系数不确定。如果能提出新的算法，可利用雨云卫星5、6、7号过去的被动微波资料来验证这些算法。国防气象卫星微波成像光谱仪（DMSPSSMI）的资料对发展微波测雨有价值。

### （八）土壤水分含量

卫星遥感估算土壤水分含量有三种方法：主动微波法、被动微波法及热红外法。

#### 1. 被动微波法

该法利用了土壤湿度对土壤介电常数和发射系数有影响的原理。微波的大气效应很小而且易于纠正。对于平整的裸地，土壤水分含量每增加1%（典型的土壤水分含量范围是0—40%）则土壤亮度温度降低 $3^\circ \text{K}$ 。这种灵敏度随着表面粗糙度及植被的增加而减小。在低频区这种降低较小，而且可以穿透较深的土壤。当微波探测器天线尺寸固定时，其空间分辨率随频率降低而降低，最佳的频率认为是1—3 GHz，而大多数研究者都用1.4 GHz（L波段）。过去几十年已经在理论模式、地面基础试验和航空试验方面论证了平整的2 cm厚土壤层的土壤湿度与亮度温度的关系。主要遗留问题是土壤粗糙度和植被的定量化问题。利用卫星微波资料推算土壤水分含量的应用研究也有少量报道。雨云卫星5的电扫描微波辐射计，雨云卫星7的多通道微波扫描辐射计的试验表明，可以得到有价值的土壤湿度信息。

#### 2. 主动微波法

主动微波探测器——微波雷达，是通过发生的微波对介电常数及背向散射系数的变化而提取土壤湿度信息的。这种效应受表面粗糙度、观测角的影响。植被复盖会降低探测灵敏度。由于雷达标定困难，限制了它对土壤湿度的精确测量。利用合成孔径雷达可以获得优于

30m的空间分辨率。在航天遥感平台上微波雷达测量结果表明无植被高湿区在雷达影象图上呈现暗黑色图形。

### 3. 热红外法

在裸露土壤或植被稀疏地区,采用热惯量原理。Kahle等提出理论热惯量模式<sup>[9]</sup>,Price提出了可以应用卫星资料计算表观热惯量模式<sup>[10]</sup>。美国的热惯量卫星(HCMM)可以一日两次飞过同一地方,利用该资料可推算土壤热惯量。美国宇航局已用这种资料推算裸地土壤水分含量,其精度达79%。中国科学院地理研究所禹城遥感实验场提出的相对热惯量模式,以航空热红外资料验证,其精度达85%<sup>[11]</sup>。而后又在多年试验基础上提出了一个具有理论基础的可利用遥感资料计算的表观热惯量模式\*。该模式复盖了price模式,并考虑了显热、潜热通量的影响。

还有一种思路是利用凌晨表面温度升高的速率,结合气象参数求得土壤水分含量。Abdellaui<sup>[12]</sup>提出利用表面温度的时间变化过程作富里叶分析,用诺瓦气象卫星资料解出热惯量,从而推算土壤水分含量。

在浓密植物覆盖区,通过热红外遥感测量植物由于土壤水分亏缺造成的受胁程度(stress),推算土壤水分含量。Jackson、Idso、Reginato提出的SDD模式和CWSI模式<sup>[13、14]</sup>,已在热红外遥感中得到应用。文献<sup>[15]</sup>提出了一个可以估算作物根系层土壤水分含量的计算模式。它的物理概念明确,易于计算。同时也沟通了Jackson的热量平衡模式和Idso的图解法模式。在整个小麦生长期,计算出的模式指数与实测的土壤水分含量的相关系数达0.90以上。

上述三种方法,微波法的优点是全天候,受大气影响小。缺点是受粗糙度和植被覆盖影响大,探测深度较浅(与微波波长相当),常小于10cm。热红外法受天气和云的影响较大,但空间分辨率较被动微波法要高。无论在裸地和植被覆盖处均可探测。探测深度可达5—100cm。因此,三种方法应该取长补短同时发展。

### (九) 陆面潜热通量

陆面潜热通量是气候变化研究及模式建立中的关键因子,对作物产量预报和地理环境中自然生态系统的稳定度估计均有重要作用。

区域尺度潜热通量是一个重要的物理量,但用常规的方法又难以获得。在近十多年发展了许多以遥感信息为基础的计算模式和算法。

#### 1. 经验模式

这种模式(Sequin, Jackson)要以遥感信息推算陆面温度 $T_0$ 及净辐射通量 $R_n$ ,并要测量有区域代表性的气温 $T_a$ 。潜热通量 $LE$ 可通过公式 $LE = R_n - B(T_0 - T_a)$ <sup>[16]</sup>计算而得。 $B$ 是待定系数,由地面测量的有代表性的潜热通量值代入上式,反求出 $B$ 值。此法简单,适用于大面积绝对均匀一致的区域,在复杂的下垫面,不易取得精确结果。

#### 2. 热量平衡余项模式

此法与经验模式类似,不同之处是确定显热交换系数时不用经验的地面标定,而是发展

\* 张仁华:一种新热惯量模式,中国科学院禹城试验站文集。



更精确的计算方法。很多研究集中在如何确定空气动力学阻力  $\gamma_a$ ，及其影响  $\gamma_a$  的稳定度方面。利用红外测温仪进行这项研究有：Brown和Rosenberg，Stone和Horton，Heilman和Kanemasu，Seguin和Petit，Hatfield<sup>[17]</sup>，Blad和Rosenberg等等，利用航空红外扫描仪进行研究的有Heilman，Blad和Rosenberg。利用卫星热红外影象图研究的有Seguin<sup>[18]</sup>和Petit等。

这类方法中下垫面粗糙度、风速和稳定度等参数是关键因子。风速和稳定度还不能用遥感信息获得精确值。因而即使有锚站的测量值，也还存在代表性问题。下垫面粗糙度有希望根据倾斜光谱测定，提出计算方法。

### 3. 分析近似模式

这种模式是利用热红外遥感的多时相信息获得不同时刻（白天与夜晚）的表面温度，从而求得土壤热惯量（Watson，Pratt，Price...）以此表达土壤湿度状况，结合净辐射，间接表达地表潜热通量。只要遥感土壤水分含量及净辐射通量有足够的精度，利用这种模式来推算大面积潜热通量是有发展前途的。

### 4. 地—气联合模拟模式

这模式包括Myrup和Sasamori的一维诊断模式，Blackadar的一维和三维数值模式<sup>[19]</sup>。这些模式都要以遥感信息作为边界条件。

值得提及的是Rozema，Dejace，Carlson模式<sup>[20]</sup>的反演计算方法：即利用遥感获得两个时刻的表面温度作为比较值，调整模式中的潜热通量及热惯量，使其输出的表面温度和比较表面温度的差值达到最小，这时的潜热通量就是我们所需要的值。

根据HCMM卫星资料提出的一种计算模式也与上述反演算法类似。

然而这些模式尚存在不少问题，有概念上的误差，经验参数化的误差，假设条件限止造成的误差以及测量上的误差。因此离开实际应用还有距离。

如上所述，不论哪种模式，有些问题是共同的：即由卫星资料推算表面温度，净辐射必须进行大气纠正；在卫星象元点上建立的显热交换系统与覆盖率、类型、地形间的关系问题；时间积分（瞬间测量与日总量系统）问题；在有云条件下计算方法的应用问题；空气温度及风速的代表性问题。因此，遥感潜热通量的研究还不成熟。今后应加强利用相同资料，对不同模式进行比较研究。

## 三、国际联合试验

目前在国际上，选择有条件的区域开展综合试验是一个趋势。在法国开展的水文大气引导试验（HAPEX），在美国开展的国际卫星陆地表面气候计划的第一次野外试验（FIFE），以及今年在苏联开展的库尔茨克试验都有类似的目的。在澳大利亚的塔斯马尼亚、利比亚沙漠、荷兰、马里等地也开展了单项蒸发联合试验。其中以在美国开展的FIFE试验最有代表性，现简介它的目标计划。

FIFE试验的主要目标<sup>[21]</sup>

1. 进行地面、航空、卫星的同步观测：（1）卫星资料有诺瓦<sup>1</sup>气象卫星9—10资料，

法国Spot卫星资料, 美国陆地卫星资料, 地球同步卫星资料。(2) 航空辐射资料: 在卫星飞过试验场时, 组织航空辐射同步试验。(3) 近地面/地表通量观测: 测量陆地表面潜热、显热通量、二氧化碳及动量通量。(4) 地表面与近地面状况观测、大气光学和气象条件观测、陆地表面光学性质、热性质、生物性质的观测和土壤水分观测。

## 2. 对控制能量、物质交换过程的深入研究, 以及论证辐射资料分辨能力的研究。

为了达到这一目标, 应进行在一个区域尺度范围内资料的采集工作。这些资料可以把小尺度上已综合理解的过程(如光合有效辐射、蒸腾、叶子对光的散射等等)推广到各种卫星象元点的尺度上去。为此采集方针是: (1) 辐射资料应采集一系列不同特征尺度的辐射资料: 叶子是  $(\text{cm})^2$  量级, 冠层是  $(\text{m})^2$  量级, 通量状态是  $(10\text{m})^2$ — $(100\text{m})^2$  量级, 卫星分辨率是  $(10\text{m})^2$ ,  $(30\text{m})^2$ ,  $(100\text{m})^2$ ,  $(1000\text{m})^2$ ,  $(8000\text{m})^2$  量级。(2) 通量资料: 这些资料也要在叶子、冠层、试验场、和整个试验区  $(10-20\text{km}^2)$  的各种不同尺度上采集。要利用各种参数的测量仪: 闭合通量计、波文比测量装置、地面和航空涡度相关测量仪以及雷达设备等仪器。在试验场、试验区的尺度范围内主要测量热通量、水汽通量和  $\text{CO}_2$  通量。(3) 生物物理学资料: 包括植物的生理、物理和光学性质, 土壤物理性质、土壤湿度等等。

以上这些资料将检验各种模式及陆面过程, 对比它们的趋势是否正确。

3. 观测日期: 1987年, 观测分四个阶段: 绿峰前期(5月26日到6月6日), 绿峰期(6月25日到7月15日), 绿峰后期(8月10到8月21日), 成熟期(10月5日到10月16日)。

4. 抽样观测安排: 设置了若干测站, 如上这些地面实况观测被分配在这些有限的微气象站, 这试验共有16个自动气象观测站(站内有波文观测点), 6个涡度相关观测站。

国际卫星陆地表面气候研究是正在发展中的学科。由卫星遥感信息转化为陆面参数的演绎和推算方法尚处于不成熟阶段, 急需发展和深化。今后, 应该重视地面锚站工作, 在我国的气候敏感区(例如华北、西北)应建立地面锚站。重视地面实况采集、重视标定与对比、重视方法的误差分析。积极创造条件开展各种方法、各种仪器的联合试验。

## 参 考 文 献

- (1) Barrett E.C., Satellite Climatology, 1974.
- (2) Bolle, H.J. and S.I. Rasool, Development of the Implementation plan for the International Satellite land Surface Climatology Project, WMO/TD-NO, 46, WCP-94 1985.
- (3) Suits, G.H., Extension of a Uniform Canopy Reflectance Model to Include Row Effects, Remote Sensing of Environment 13: 113-129, 1983.
- (4) 项月琴、周允华: 从透过率推算植冠层几何结构参数(I)、(II), 农田生态系统能量物质交换文集, 气象出版社, 1987年。

- (5) Xiaowen Li (李小文) and A. H. Strahler, Geometric optical Modeling of a Conifer Forest Canopy TEEE, Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-23 No. 5 1985.
- (6) 张仁华：黄淮海地区主要农作物的光谱结构与时相分析法，地理研究，3(2)，1984年。
- (7) Jackson, R.D., Spectral Indices in N-Space, Remote Sensing of Environment, 1984.
- (8) Blumel, K. et al., Satellite-Derived Vegetation Index over EUROPE, The Proceedings of ISLSCP Conference, Rome. 1986
- (9) Kahle, A.B., A Simple Thermal Model of the Earth's Surface for Geological Mapping by Remote Sensing, Journal of Geophysical Research, Vol. 82, No. 11, pp 1673-1680, 1977.
- (10) Price, J.C., Thermal Inertia mapping, A New View of the Earth, Journal of Geographical Research, 82, pp 2582-2590.
- (11) Zhang Renhua, Investigation of Soil Moisture of Remote Sensing, The Proceedings of 14th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vol. 1 1980.
- (12) Abdellaou, A., Use of Meteosat for Mapping Thermal Inertia and Evapotranspiration over a Limited Region of Mali, Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol. 25 No. 11, 1986.
- (13) Jackson, R.D., S.B. Idso, R.J. Reginato, and P.J. Pinter, Canopy temperature as a Crop Water Stress Indicator, Water Resource Research, Vol. 17 No. 4, pp. 1153-1158, 1981.
- (14) Reginato, R.J. Field Quantification of Crop Water Stress Transaction of ASAE, No. 10 1984.
- (15) 张仁华：以红外辐射信息为基础的估计作物缺水状况的新模式，中国科学，第7期，1986年。
- (16) Seguin, B. et al., Estimation of Regional Evaporation using Midday Surface Temperature from Satellite Thermal IR Data, The Proceedings of ISLSCP Conference, Rome, 1986.
- (17) Hatfield, J.L., R.J. Reginato, S.B. Idso, Evaluation of Canopy temperature Evapotranspiration Models over Various Crops, Agric. For. Meteorol. 32: 41-5, 1984.
- (18) Seguin, B., and B. Itier, Using Midday Surface Temperature to estimate Daily Evaporation from Satellite Thermal IR Data, Int. J. Remote Sensing, 4, No. 2, 371-382, 1983.
- (19) Blackadar, A.L., High Resolution model of the Planetary Boundary Layer. In Advances in Environmental Science and Engineering' Vol. Fundamentals, New York, 1985.
- (20) Carlson, T.N., Regional-Scale estimate of Surface Moisture Availability and Thermal Inertia Using Remote Sensing Measurements, Remote Sensing Reviews, 1985.
- (21) First International Satellite Land Surface Climatology Project Field Experiment Plan, May 1987