

文章编号: 1007-4619(2005)04-0459-09

# GM S5 红外卫星云图参数化及在降水预测中的应用

谷晓平<sup>1,2</sup>, 王长耀<sup>1</sup>, 王 汶<sup>1</sup>

(1. 中国科学院遥感应用研究所遥感信息科学重点实验室, 北京 100101; 2 贵州省山地环境气候研究所, 贵州 贵阳 550002)

**摘 要:** 从大气探测的基本原理出发, 利用 2001—2002 年 4—10 月逐时的气象卫星红外云图和地面观测资料, 对云图进行参数化估计, 得到一些参数化估计结果, 分析了不同视场条件下各类参数与降雨强度的关系, 发现测站降水强度和其上空一定视场范围内的平均亮温、亮温方差、等效云量、亮温面积指数(1 级、5 级、6 级)关系较明显, 并利用最优子集回归方法建立小区域降水强度的预测方程, 检验结果表明: 利用红外资料估算未来 6h 的降雨强度其平均准确率在 80% 以上, 分析视场大小对预测效果影响不大。

**关键词:** 红外卫星云图; 参数化估计; 降水强度; 预测

中图分类号: P407 文献标识码: A

## 1 引 言

云的发生发展与降水密切相关。云的状态如云状、云量、云底高以及云的变化特性等直接关系到降水的有无及强弱。卫星云图由于其高时间分辨率和高直观性, 为降水估计提供了非常有用的资料。

早在 20 世纪 60 年代就已开始了卫星资料估计地面降水的研究工作。随着气象卫星及星载探测器的不断改进, 卫星资料估计降水的技术也得到发展。利用卫星图像来估算降水, 主要根据卫星云图提取的特征信息与降水之间的关系利用统计方法间接求得, 如分别以极轨卫星和静止卫星为基本资料的“云指数法”<sup>[1]</sup>和“生命史法”<sup>[2]</sup>。近年来, 人们又从云图的结构、纹理及其波谱特征与降水的关系等方面进行了研究, 并采用统计和动力学相结合的方法<sup>[3,4]</sup>。目前全世界有影响的降水估计方法有 30 多个, 它们在全球天气、气候研究中发挥着重要的作用<sup>[5]</sup>。自 20 世纪 80 年代以来, 国内陆续开展降水估计研究工作, 形成了各具特色的降水估计方法<sup>[6,8]</sup>。国家卫星气象中心 1986 年开始到现在, 已经形成了强对流云团降水估计方法。但由于地面自

动站降水资料较为缺乏, 国内对卫星云图用于小流域的降水预测研究还很少。

目前利用卫星云图资料主要是红外单通道资料, 但是鉴于单通道红外云图信息的局限性, 要想从中获得更全面的特征信息, 必须辅助其它一些探测手段。本文以广东清新县两年来的自动站观测资料和 GM S5 红外云图资料为基础, 将地面温度观测资料与红外卫星云图相结合, 提取一些参数信息, 并将这些信息与局地降水相联系, 寻求它们之间的一些相关关系, 进行小区域短期降水强度的预测。

## 2 资料来源及预处理

### 2.1 资料来源

本研究使用的 GM S5 红外卫星云图由中国气象中心提供, 包括 2001 年至 2002 年 4—10 月逐时的云图资料。相对应的逐时降水及地面温度资料取自广东省滨江流域的清新自动气象观测站。

由于高空气象探测网站点分布稀疏, 清新不是高空探测站, 为此对流层顶温度采用离清新最近的清远站资料(1996—2001 年)。

为了验证用清远对流层顶温度代替清新的合理

收稿日期: 2003 04 03 修订日期: 2003 05 15

基金项目: 中意合作项目“洪水风险规划、监测和实时预报的集成系统”和 863 计划(2003AA131020)、国家自然科学基金(40271086)项目资助。

作者简介: 谷晓平(1968—)女, 高级工程师, 中国科学院遥感应用研究所在读博士研究生, 主要从事气象、遥感研究。

性,本文对清远(N23°43',E113°01')和其附近的探空站梧州(N23°29',E111°18')的多年旬平均对流层顶温度进行了比较。从图1中可见,两站的旬平均对流层顶温度为-77℃~-82℃,站间差异不大,为1℃左右。清远和梧州的空间距离为200km左右,对流层顶温度差异仅为1℃左右;而清远和清新空间距离仅为12km左右,因此采用清远站的对流层顶温度代替清新站是可行的。

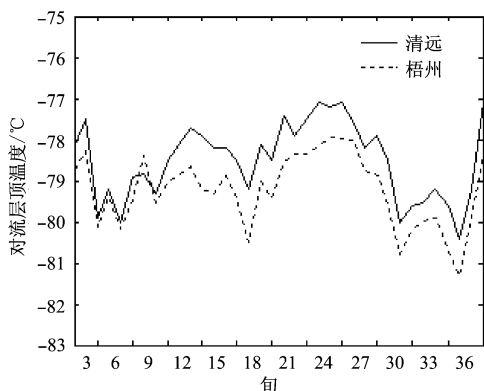


图1 测站间旬平均对流层顶温度的比较

Fig. 1 The comparison of tropopause temperature once every ten days

## 2.2 红外云图预处理

首先对云图进行定位,然后以清新为中心,各上下左右扩大2 4 6 10 14个像元,组成一个3×3 5×5 7×7 11×11 15×15范围的分析视场。如分析视场内的灰度值有明显错误者,将该时次资料剔除。

## 3 红外云图参数化

利用红外云图进行降水预报,一般要在大气背景背景下结合云的形态分布、云量、云高、云的纹理特征以及多种气象资料和预报手段,推知天气系统的动力学和热力学结构等进行降水预报。

对单通道红外卫星云图而言,在一个像元内,红外探测器只能测到一个结果(亮温值),因而无法从某一像元的值区分出地表或云层的各种特征。从统计学的角度来讲,已知条件是:“观测区域上空的云顶温度”。为此,在研究过程中,需要借助一些统计手段把这些已知条件进一步细化,与相应的降水量配合,从中寻找可用于估计降水的有用因子。

对红外卫星云图进行参数化,目的就是为了获取类似的信息。

## 3.1 亮温

在红外波段,把地球作为遥感靶面时,其辐射率几乎不随波长发生变化。在红外的某些区域,大气几乎不吸收来自下垫面的辐射。气象卫星的红外窗通道(波长:10.5—12.5 $\mu\text{m}$ )探测的是云顶和无云或少云地球表面的辐射。利用普朗克函数可将感应器探测的辐射值换算成云顶或地球表面的亮度温度。

在红外云图上温度愈低的探测点,一般来说云层愈高,云层亦愈厚,降水潜势也愈大。但是实际上亮温值并不等于云顶温度,只有积雨云、层云时,亮温值才与云顶温度相等。因而红外云图的亮温数据虽然与降水存在某种对应关系,这种关系并不是确定的函数关系,由于地理分布不同、季节不同、天气系统不同,都会造成这种关系的不确定性。此外,在卷云为主的场合,其红外辐射值也会造成降水概率很大的假象。

亮温的统计参数主要如下:

### 3.1.1 平均值 $T_b$

$$T_b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_b(i) \quad (1)$$

式中, $T_b$ 为分析视场的亮温平均值; $T_b(i)$ 为分析视场内某一像元的亮温, $n$ 为分析视场的像元总数。

### 3.1.2 亮温最低值 $dT_b$

$$dT_b = T_{b_{\min}} \quad (2)$$

### 3.1.3 亮温方差 $f_c$

$$f_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_b(i) - T_b)^2 \quad (3)$$

通常,当视场内出现卷云的时候,亮温也很低,但是卷云并不产生降水。已有研究表明,可用区域方差来判别是否为卷云云系。

### 3.1.4 不同等级亮温的面积指数

在有云的时候,红外探测器测到的亮温可以认为是云顶温度。云的发展史一般可分为4个阶段:初期(0℃—300℃)、发展期(-31℃—-54℃)、成熟期(-55℃—-64℃)、消散期(>-65℃)。据此,本文把云顶温度分成6个量级,见表1。

表1 云顶温度分级标准

Table 1 The classification standard of cbud brightness temperature

等级	1	2	3	4	5	6
云顶温度 /℃	$\geq 0$	0— -20	-20— -30	-30— -42	-42— -54	$\leq -54$

面积指数是指在各分析视场内,亮温在不同量

级的像元数占总区域像元数的百分比。不同等级亮温面积指数能较好的描述云体结构, 计算如下:

$$A_i = \frac{m_i}{nm} \quad (4)$$

式中,  $A_i$  为亮温为第  $i$  等级的面积指数;  $m_i$  为分析视场内亮温为第  $i$  等级的像元个数;  $nm$  为分析视场内总像元数。

### 3.2 等效云量 $CN$

红外云图的亮温值均小于地表温度, 这种现象可看作是像元视场在对流层顶被云掩蔽造成的。以地表温度 ( $T_s$ ) 和对流层顶温度 ( $T_c$ ) 作为归一化条件, 对分析视场内各像元的亮温值进行归一化处理, 得到的结果称之为等效云量 ( $CN$ )。当  $CN=1$  时表示云发展到、甚至超过对流层顶, 布满整个像元视场; 当  $CN=0$  时则表示该像元视场内无云。

对于  $n$  个像元组成的分析视场而言, 其平均等效云量为<sup>[8]</sup>:

$$CN = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n CN_i \quad (5)$$

式中,  $CN_i$  为第  $i$  个像元的等效云量, 当  $T_b \leq T_c$  时  $CN_i=1$ , 当时  $T_b > T_c$  时  $CN_i = (T_s - T_b) / (T_s - T_c)$ 。

亮温相同的像元, 在不同季节、不同天气条件下, 其对流层顶温度和地表温度也可能不同, 其等效云量  $CN$  也就会不同。等效云量  $CN$  的引入使红外云图的分析更具有可比较性和代表性。

### 3.3 动态变化指数

#### 3.3.1 趋向指数 $KT$

分析视场内的亮温随时间的变化, 可反映大气的垂直运动状况。平均亮温随时间降低 (升高), 表征大气有上升 (下沉) 运动, 有利于 (不利于) 云的生成和降水的发生, 平均亮温降低 (升高) 速度越快, 表征上升 (下沉) 运动越强烈。趋向指数  $KT$  就是用来描述分析视场内云面亮温的发展变化趋势。 $KT$  定义如下<sup>[8]</sup>:

$$KT = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M KT_i \quad (6)$$

式中,  $KT_i$  为在  $M$  个向后滑动时次中第  $i$  个序列 (包括  $N$  个相临时次) 像元亮温变化的趋向指数。

$$KT_i = \frac{2T_b - T_{bmax} - T_{bmin}}{T_{bmax} - T_{bmin}} \quad (7)$$

$KT > 0$  表示一段时间以来平均亮温逐渐升高, 云处在消散之中; 若  $KT < 0$  表示一段时间以来平均

亮温逐渐降低, 云处在发展阶段。本研究当中取  $N$ 、 $M$  均取值为 6。

#### 3.3.2 云面升降速率 $VT$

设  $t$  时刻分析视场内的云面平均亮温为  $T_b(t)$ , 则云面平均亮温在单位时间内的变化率为<sup>[8]</sup>:

$$V = \frac{T_b(t-1) - T_b(t)}{T_b(t-1)} \quad (8)$$

取一段时间的  $V$  做平均, 则可以了解云面的升降情况, 从中了解天气变化的趋势:

$$VT = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M V_i \quad (9)$$

根据  $VT$  的定义, 可知  $VT > 0$  说明这段时间内云处在发展之中,  $VT < 0$  说明这段时间内云处在消散阶段。在研究中取  $M=6$ 。

#### 3.3.3 其它动态变化指数

为了更好地应用卫星云图连续性的特点, 在参数处理过程中, 又分别计算了所有参数与前一时刻参数的差值, 以便更好的动态利用云图。

## 4 红外云图参数化结果与局地降水的对比分析

利用上述参数化方法, 计算出以清新为中心, 分析视场分别为  $15 \times 15$   $11 \times 11$   $7 \times 7$   $5 \times 5$   $3 \times 3$  等 5 种不同大小范围, 对红外云图进行参数化, 用于分析这些参数与局地降水的关系。

本研究共计有 8675 个个例, 根据统计, 其中有 6072 个个例产生降水, 2603 个个例未产生降水。

### 4.1 亮温级别与降水概率

为分析红外云图参数化结果与局地降水的关系, 本文将不同分析视场所提取的参数与局地降水情况进行了比较。见表 2。

从表 2 可见, 当亮温等级为 1 的时候, 未来 6h 有雨概率为 0.05—0.1, 也就是降水基本上不在亮温  $> 0^\circ\text{C}$  时发生。随着亮温级别的增加出现降水的概率也随着增大。此外, 随着分析视场的加大, 在各亮温等级下出现降水的概率均在减少, 说明了分析视场越小, 对判别降水越有利。

从云顶温度与系统发展史对应关系来看, 当云系在发展期到成熟期时, 即温度在  $-30^\circ\text{C}$ — $-64^\circ\text{C}$  时出现降水概率较大。

### 4.2 红外云图参数与降水强度的关系

本文以未来 6h 的降水强度为研究对象。在气

表 2 亮温等级与未来 6h降水概率

Table 2 The grades of brightness temperature and 6 hours rain probability

分析视场	亮温等级					
	1	2	3	4	5	6
3×3	0.10	0.33	0.42	0.49	0.55	0.67
5×5	0.09	0.28	0.37	0.45	0.52	0.65
7×7	0.08	0.25	0.33	0.42	0.46	0.63
11×11	0.06	0.20	0.27	0.38	0.39	0.59
15×15	0.05	0.17	0.23	0.33	0.34	0.56

象界关于降水强度的划分标准都是按 24h 或 12h 降水量来划分的。但是对一个小流域来说,降水从落地到流域出口的时间不到 10h 因而 24h 或 12h 的预报时段不适合小流域的实际情况。结合气象界 24h 和 12h 降水强度的划分标准和水文上应用的降水强度划分标准<sup>[9]</sup>,本文采用 6h 降水强度划分标准如下:

表 3 6h 降水强度划分标准

Table 3 The classification standard of rainfall intensity within 6 hours

等级	雨量 /mm	备注
1	< 0.1	无雨
2	0.1—4.9	小雨
3	5.0—9.9	小—中雨
4	10.0—14.9	中雨
5	15.0—19.9	中—大雨
6	20.0—29.9	大雨
7	> 30.0	暴雨

不同降水强度与各参数的关系见图 2—图 5。

由图 2—图 5 可见,降水强度随着平均亮温、最低亮温、等效云量  $CN$ 、等效云量  $CN$  最大值 ( $CN_{max}$ )、第 5、6 级亮温面积指数增大而增大,随第 1 级亮温面积指数的增大而减小。当降水强度小于 4 时,降水强度随着方差增大呈现上升的趋势,大于 4 则出现波动。

当降水强度为 3—5 时,云面升降速率  $VT$  表现为正值,其它则表现为负值。 $KT$  则一直在 0 附近徘徊。当降水强度较小时,其随第 2、3、4 级亮温的面积指数增加而增加,当降水强度大于 3 时,随着降水强度的增加,2 级亮温的面积指数变趋于稳定,3、4 级亮温的面积指数仍在继续波动。

当降水强度为 1 即无雨的时候, $KT$  为 0.0034 表示一段时间以来平均亮温逐渐升高,云处在消散之中;当出现降水时, $KT$  均为负值,表明一段时间以来平均亮温逐渐降低,云处在发展阶段。

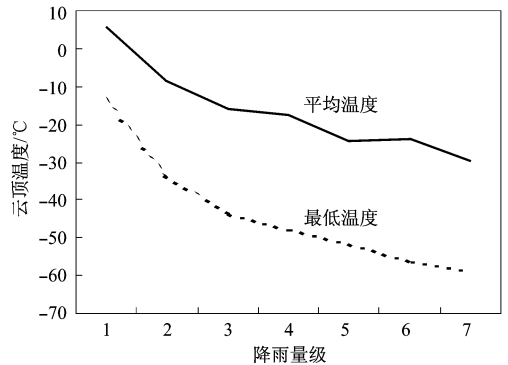


图 2 云顶温度与降水强度的关系

Fig. 2 Relation between cloud brightness temperature and rainfall intensity

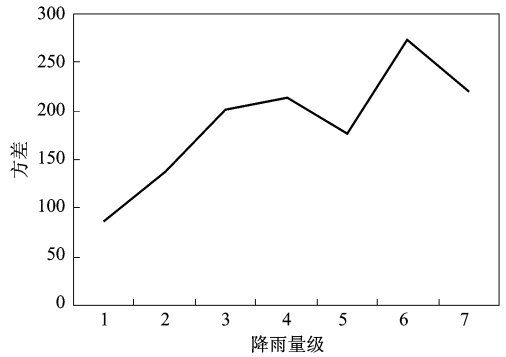


图 3 云顶温度方差与降水强度的关系

Fig. 3 Relation between cloud brightness temperature variance and rainfall intensity

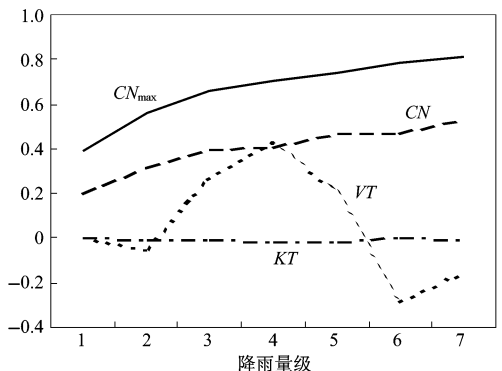


图 4  $CN_{max}$ ,  $CN$ ,  $VT$ ,  $KT$  与降水强度的关系

Fig. 4 Relation between  $CN_{max}$ ,  $CN$ ,  $VT$ ,  $KT$  and rainfall intensity

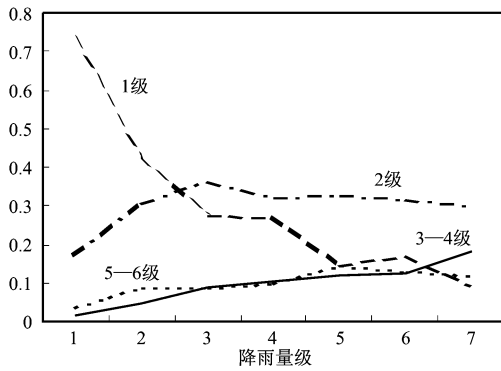


图 5 亮温面积指数与降水强度的关系

Fig. 5 Relation between brightness temperature area index and rainfall intensity

从  $VT$  看来, 无雨和出现大到暴雨时,  $VT < 0$  说明这段时间内云处在消散阶段, 其它情况  $VT > 0$  说

明这段时间内云处在发展之中。

### 4.3 不同分析视场下降水强度和各参数的相关系数

表 4 给出了在不同分析视场下降水强度与各参数的相关系数。由表 4 可看出, 对于各参数而言, 不同分析视场下的相关系数差别不大, 没有明显的倾向性差异。因此, 从参数与降水强度的关系来看, 分析视场大小的影响不大。

从各参数相关系数的比较来看, 平均亮温  $T_b$ 、最低亮温  $T_{bmin}$ 、平均等效云量  $CN$ 、最大等效云量  $CN_{max}$ 、亮温面积指数 1 级与降水强度的相关系数最好, 绝对值都在 0.40 以上, 其次为亮温面积指数 5 级和 6 级, 相关系数分别为 0.3 和 0.32 趋向指数  $KT$ 、云面升降速率  $VT$ 、动态变化指数与降水强度的相关系数较小。

表 4 红外云图参数与降水强度的相关系数 (样本数: 8675)

Table 4 The correlation coefficient of infrared cloud imagery parameters and rainfall intensity (sample number 8675)

参 数	分析视场					平均
	3×3	5×5	7×7	11×11	15×15	
平均亮温 $T_b$	-0.42	-0.43	-0.44	-0.44	-0.45	-0.43
最低亮温 $T_{bmin}$	-0.42	-0.42	-0.41	-0.40	-0.39	-0.41
方差 $f$	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.20
平均等效云量 $CN$	0.41	0.42	0.42	0.43	0.43	0.42
最大等效云量 $CN_{max}$	0.40	0.41	0.40	0.39	0.39	0.40
亮温面积指数 1 级 $A_1$	-0.38	-0.39	-0.40	-0.41	-0.41	-0.40
2 级 $A_2$	0.16	0.17	0.17	0.19	0.20	0.18
3 级 $A_3$	0.14	0.17	0.19	0.22	0.23	0.19
4 级 $A_4$	0.19	0.22	0.24	0.26	0.28	0.24
5 级 $A_5$	0.25	0.25	0.30	0.33	0.35	0.30
6 级 $A_6$	0.27	0.30	0.32	0.34	0.37	0.32
趋向指数 $KT$	-0.05	-0.04	-0.02	-0.03	-0.01	-0.03
云面升降速率 $VT$	-0.00	-0.05	0.01	0.00	-0.01	-0.00
动态变化指数 $T_b$	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.12
$T_{bmin}$	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.10	-0.11
$f$	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.05
$CN$	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
$CN_{max}$	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10
$A_1$	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.06
$A_2$	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.03
$A_3$	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03
$A_4$	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.05
$A_5$	0.04	0.07	0.08	0.10	0.10	0.08
$A_6$	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.09
$KT$	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.00
$VT$	0.00	0.00	-0.00	0.01	-0.01	-0.00

## 5 红外云图参数化在降水强度估算中的应用

将测站资料分为 2 组, 第一组为总样本的 7/10 用于估算模型建立; 余下的为第二组, 用做检验样

本, 分别为 6072 和 2603

在红外云图的参数化过程中, 共获得了 3 类因子: (1) 描述天气性质的参数, 如亮温、等效云量  $CN$ ; (2) 描述天气变化趋势的参数, 如趋向指数  $KT$ 、云面升降速率  $VT$ 、动态变化指数; (3) 描述云体结构的参数, 如亮温面积指数。

下面将通过历史云图参数化因子和实测雨量资料进行数理统计分析,寻找合适的预报因子,建立未来 6h 降水强度的估算模型。

### 5.1 预报因子选择及预测模型的建立

目前常用的因子筛选方法是基于残差平方和 (RSS) 准则下的逐步回归,其不足之处在于<sup>[3]</sup>: 选入或剔除变量时的 F 检验,在理论上并不能以任何概率保证所选变量的显著性,逐步回归所选择的因子不一定是全局最优。最优子集回归则穷尽所有的因子组合,从所有可能的回归方程中确定一个效果最好的子集回归,能保证选入的因子子集是全局最优的。

为此在对上述因子进行相关普查、选出相关系数较大的因子 15 个左右后,本文利用最优子集回归方法进行因子筛选。

$m$  个自变量因子就可组建  $2^m$  种不同的线性子集回归方程,因此就涉及到如何识别最优子集的问题。由于 CSC 准则兼顾了拟合的精度和趋势,较为适合判别预测模型的精度,为此本文采用双评分准则<sup>[10]</sup>,计算如下:

$$CSC = S_1 + S_2 \quad (10)$$

$$S_1 = nR^2 = n(1 - Q_k / Q_y)$$

$$Q_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y(t) - \hat{y}(t))^2$$

$$Q_y = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y(t) - \bar{y})^2$$

$$S_2 = 2I = 2 \left[ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I n_{ij} \ln n_{ij} + n \ln n - \left[ \sum_{i=1}^I n_i \ln n_i + \sum_{j=1}^I n_j \ln n_j \right] \right]$$

式中,  $S_1$  为数量评分;  $S_2$  为趋势评分;  $n$  为样本长度;  $Q_k$  为残差平方和;  $y(t)$  为样本值;  $\hat{y}(t)$  为模型预

测值;  $\bar{y}$  为样本平均值;  $Q_y$  为模型的总离差平方和;  $I$  为预报趋势类别数;  $n_{ij}$  为  $i$  类事件与  $j$  类估计事件的列联表中的个数,其中:

$$n_j = \sum_{i=1}^I n_{ij} \quad n_i = \sum_{j=1}^I n_{ij} \quad (11)$$

如此,每一个子集对应一个 CSC 值, CSC 最大时相应的回归为最优。

根据上述方法,最终选择了 7 个预报因子,分别是平均亮温 ( $x_1$ ); 方差 ( $x_2$ ); 平均等效云量  $CN$  ( $x_3$ ); 最大等效云量  $CN_{max}$  ( $x_4$ ); 亮温面积指数  $A_1$  ( $x_5$ ); 亮温面积指数  $A_5$  ( $x_6$ ); 亮温面积指数  $A_6$  ( $x_7$ ), 用于降水预报模型的建立。

预测方程形式为:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + a_5 x_5 + a_6 x_6 + a_7 x_7 \quad (12)$$

式中,  $y$  为估计值;  $a_i$  为方程系数。

### 5.2 效果分析

表 5 给出了在不同分析视场下, 预报模型的效果比较。定义当样本估计值与样本原始值绝对差在 0.5 以内时, 视为正确。由表 5 可看出, 不同分析视场下的相关系数、拟合率、检验率差别不大, 没有明显的倾向性差异, 方程系数也相近。由于样本比较充足, 拟合正确率和检验正确率也基本一致, 在 80% 左右。

下面以  $11 \times 11$  分析视场资料为例, 给出估算的详细结果, 如表 6 所示, 分别按总样本、无雨 ( $< 0.1 \text{ mm}$ )、小雨—中雨 ( $0.1 - 15.0 \text{ mm}$ )、大雨以上 ( $> 15.0 \text{ mm}$ ) 进行统计。总的说来无雨的正确率最高, 大雨以上的正确率仍是很低的。这可能与大雨以上样本较少有关。有待更多的样本进一步研究。

表 5 不同分析视场下的回归结果

Table 5 The regress result under different analysis fields

分析区域	3×3	5×5	7×7	11×11	15×15
方程系数					
$a_0$	2.1026	2.1962	2.1960	2.2200	2.2522
$a_1$	-0.0652	-0.0672	-0.0675	-0.0701	-0.0722
$a_2$	-0.0008	-0.0005	-0.0004	-0.0004	-0.0004
$a_3$	-8.6733	-8.6112	-8.2102	-8.3372	-8.4596
$a_4$	2.2868	1.7622	1.3443	1.1796	1.0557
$a_5$	-0.3594	-0.4214	-0.4327	-0.4381	-0.4385
$a_6$	0.8677	1.1588	1.1215	1.2633	1.2784
$a_7$	1.4651	1.8537	2.1030	2.6884	3.1984
拟合正确率 %	86.1	86.2	86.2	86.9	86.4
检验正确率 %	83.6	84.1	83.8	83.9	83.4
F 检验值	220.0	245.6	245.6	273.7	288.8

注: 均通过  $F_{0.01} < 5.0$  信度检验, 拟合样本, 6072; 检验样本, 2063

表 6 11×11 分析视场回归的详细结果

Table 6 The detailed result under 11×11 analysis fields

降水强度	拟合样本 (6072)		预测样本 (2063)	
	正确 个数	正确 %	正确 个数	正确 %
总样本	5243	86.3	2185	84.1
无雨	4464	98.3	1814	98.9
0.1—15mm	779	58.4	371	56.9
> 15mm	8	2.5	2	1.7

### 5.3 分月模型效果比较

对一个小区域而言,其空间尺度最多是中尺度天气系统。天气系统的气候特征具有明显的时间分布上的差异,同样一种天气系统在不同季节所造成

的降水是不同的。由于天气系统在时间分布上有一定的规律可循,因此在理论上来说建立分月模型可减少这种时间分布上的差异,应该对预测效果有一定的改进。下面以 11×11 分析视场为例,进行分月模型建立和效果比较。见表 7。

表 7 11×11 分析视场资料分月回归估算结果

Table 7 The regress result by month under 11×11 analysis fields

月份	降水强度	拟合样本		预测样本	
		正确 个数	正确 %	正确 个数	正确 %
4月	总样本	629	84.2	322	94.7
	无雨	347	98.9	276	97.8
	0.1—15mm	282	74.0	40	87.5
	> 15mm	4	9.9	1	16.7
5月	总样本	775	90.0	322	81.0
	无雨	658	98.9	276	92.8
	0.1—15mm	117	67.6	40	47.5
	> 15mm	45	12.2	2	11.1
6月	总样本	681	79.4	308	83.4
	无雨	482	94.5	261	90.6
	0.1—15mm	199	68.4	47	58.0
	> 15mm	9	10.1	—	—
7月	总样本	727	80.1	252	64.8
	无雨	584	94.7	173	90.6
	0.1—15mm	143	63.8	79	53.4
	> 15mm	2	2.5	—	—
8月	总样本	802	87.0	334	84.3
	无雨	711	99.0	310	98.7
	0.1—15mm	91	52.9	24	33.3
	> 15mm	8	16.7	1	10.0
9月	总样本	804	93.7	288	78.1
	无雨	746	99.3	208	92.4
	0.1—15mm	58	63.7	80	63.0
	> 15mm	1	3.6	—	—
10月	总样本	904	98.7	275	69.8
	无雨	904	100.0	275	100.0
	0.1—15mm	5	41.3	23	10.4
	> 15mm	—	—	—	—

注:—表示无样本

从表 7 可见, 分月模型在估算结果中的改进并不明显, 这可能与样本不足有关。

## 6 结 论

(1) 红外卫星云图参数化估计值, 与局地降水过程的发生、发展具有较为密切的关系。相关较密切的参数有平均亮温、亮温方差、等效云量、亮温面积指数(1级、5级、6级), 其中, 降水量级随着方差、等效云量、亮温面积指数(5级、6级)增大而增大、随着平均亮温、亮温面积指数(1级)增加而减小的变化趋势。

(2) 在不同分析视场下( $3 \times 3$ 、 $5 \times 5$ 、 $7 \times 7$ 、 $11 \times 11$ 、 $15 \times 15$ ), 云图参数与降水的相关系数和预测模型方程的系数差别不大, 没有明显的差异。

(3) 利用红外云图参数建立了降水强度预测方程, 检验结果表明: 利用红外资料估算未来 6h 的降水量其平均正确率为 80% 左右, 这对小区域短时降水预报具有很好的参考价值, 但大雨以上的预报正确率仍然很低。

(4) 分月模型在估算结果中的改进并不明显, 这可能与样本不足有关。

(5) 由于降水具有很强的区域性, 本文的研究成果只是针对滨江流域, 是否适用于其它流域有待进一步研究。

## 参 考 文 献 (References)

[ 1 ] Alvin Xie. The Globe Precipitation Climatology Project First Algorithm Intercomparison project [ J ]. *Bull Am Meteor Soc*, 1994, 75: 401—419

- [ 2 ] Scofield R A. The NESDB Operational Convective Technique [ J ]. *Mon. Wea. Rev.*, 1987, 115: 1773—1792
- [ 3 ] Robert JK, Bamos A P. Experiments in Short term Precipitation Forecasting Using Artificial Neural Networks [ J ]. *Mon Wea Rev* 1998, 126: 470—482.
- [ 4 ] Finbarr O sullivan, Carlyle H W ash, Michael Stewart *etal*. Rain Estimation from Infrared and Visible Geos Satellite Data [ J ]. *J. Appl. Meteor.*, 1999, 29: 209—223
- [ 5 ] Lu N M. Monitoring Technique for Precipitation Using Weather Satellite [ J ]. *Science (Shanghai)*, 2002, 52(2): 53—54 [ 卢乃锰. 气象卫星降水监测技术 [ J ]. 2002, 52(3): 53—54. ]
- [ 6 ] Shi C X, Lu N M, Zhang W J. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Neural Networks [ J ]. *Climatic and Environmental Research*, 2001, 6(4): 467—472 [ 师春香, 卢乃锰, 张文建. 卫星面降水估计人工神经网络方法 [ J ]. 气候与环境研究, 2001, 6(4): 467—472 ]
- [ 7 ] Lang H R, Zhang R L. Infrared Rainfall Estimation Technique for Small Area and Its Use in very Short term Weather Forecasting [ J ]. *Journal of Tropical Meteorology* 2000, 16(4): 366—373 [ 兰红平, 张儒林. 用红外云图估测小区域雨强及其在短时预报中的应用 [ J ]. 热带气象学报, 2000, 16(4): 366—373. ]
- [ 8 ] Wang Y, Xiao W A, Shi H Q. Parameterization of Infrared Satellite Cloud image and Its Relation with Local Rainfall [ J ]. *Meteorological Science* 1999, 19(4): 366—374. [ 王越, 肖稳安, 石汉青. 红外云图的参数化及其与局地降雨的关系探讨 [ J ]. 气象科学, 1999, 19(4): 366—374 ]
- [ 9 ] Qi W Z, Zheng X B. Application of Weather Satellite Image on Precipitation Forecast System [ J ]. *Electric Power of Central China* 2001, 14(3): 57—59. [ 齐卫忠, 郑雄波. 气象卫星云图降水预报系统的应用 [ J ]. 华中电力 [ J ], 2001, 14(3): 57—59. ]
- [ 10 ] Huang J Y. Meteorological Statistical Analysis and Forecast Methods [ M ]. Beijing: *Meteorological Press* 2000 [ 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法 [ M ]. 北京: 气象出版社, 2000 ]

## Parameterization of Infrared Satellite Cloud Imagery and Its Application in Rainfall Prediction

GU Xiaoping<sup>1,2</sup>, WANG Changyao<sup>1</sup>, WANG Wen<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Remote Sensing Information Science, Institute of Remote Sensing Application, CAS, Beijing 100101, China)

2 Institute of Mountainous Environment and Climate of Guizhou Guiyang 550002, China)

**Abstract** In this paper, the GMS-5 infrared cloud imagery together with surface temperature data of two years in Binjiang reaches of Guangdong province in China is used to study the relationship between infrared cloud imagery and surface rainfall rates. First, parameterization estimate of infrared cloud imagery is made on the base of atmospheric probing principle, then some parameterization estimate results have been obtained under different analysis field from  $3 \times 3$  to  $15 \times 15$  pixels. The result shows: 1) there exists obvious correlation between the probability of rain and parameterization estimate such as average brightness temperature ( $T_b$ ), brightness temperature variance ( $f$ ), equivalent cloudage ( $CN$ ), brightness temperature area index ( $A_1$ —the first,  $A_5$ —the fifth grade,  $A_6$ —the sixth grade); 2) The rainfall intensity increase with  $T_b$  and  $f$  and  $CN$ , and decrease with  $T_b$  and  $A_1$ . Finally, the prediction empirical formula of rainfall intensity has been established by means of optimized subclass regression under different analysis field. The statistical result shows that the average precision of rainfall intensity is over 80% using infrared cloud imagery parameters and the size of analysis field has slight effect on it.

**Key words** infrared cloud imagery; parameterization estimate; rainfall intensity; prediction