

应用 GMS-5 多通道云图估计 降水技术的研究^①

杨引明 姚祖庆

(上海中心气象台, 200030)

提 要

对近两年来 5~8 月中国东部地区 120 多个测站雨量观测资料 and 对应 4400 多幅 GMS-5 四个通道云图的研究发现: 红外亮温的时间、空间变率、红外和水汽通道亮温差等云图衍生资料对消除卷云, 弥补夜间缺少可见光云图的不足起到明显作用。从而, 应用双判据双重 MOS 多元回归法建立四通道云图因子、衍生因子与降水量之间的回归方程, 进行 6 小时分级降水估计。为了进一步消除厚卷云和特殊地形的影响, 提出使用逐日实时资料自动建立多元回归方程估计降水量, 从而对双判据双重 MOS 多元回归法估计结果进行校正。上海中心气象台的业务使用表明, 总体估计的准确率达 70% 左右。

关键词: GMS-5 多通道卫星云图 云图衍生因子 降水估计 双判据双重 MOS 多元回归 逐日多元回归

引 言

利用静止卫星云图估计降水量, 因其广阔的探测范围、较高的时空分辨率, 对雨量预

报、洪水警报都具有很好的应用价值。近年来我国许多人作了卓有成效的工作, 如张明席等^[1]应用红外动态云图信息对对流云不同

^①本文得到上海市气象局 9909 课题资助

发展阶段做了深入研究并建立了数学模式,较成功地自动刻画出对流云的不同发展阶段。卢乃锰等^[2]使用 GMS-5 红外云顶温度及其梯度等因子建立了对流云降水的估计方法,已投入业务使用。中国科学院王立志等^[3]利用 GMS-5 四个通道云图,通过动态聚类法实现了自动云分类,并根据一维云模式确定对流云对流核心云顶温度与降水的关系,定量估计对流云降水。郑媛媛等使用红外和可见光云图资料,利用大量历史样本库建立降水估计方程,也取得较好的结果^[4]。本文进一步研究了红外亮温的时间、空间变率及通道差等云图衍生资料对消除卷云和弥补夜间缺少可见光云图不足的作用,并提出应用四通道云图资料和以上因子采取双判据、双 MOS 方法,建立夏季中国东部地区降水量估计的回归方程,进行 6 小时分级降水估计;在自动跟踪估计误差的条件下,对大片厚卷云和特殊地形引起的空报,应用逐日实时资料自动建立降水估计回归方程的方法,对消除空报的效果十分明显。这一技术已在上海中心气象台投入业务使用,总体正确率在 70% 左右。

1 资料处理

1.1 雨量资料

选用 2001 年和 2002 年 6~8 月 8 次降水过程,取中国东部地区(20~40°N、110~130°E)约 120 个地面观测站 6 小时雨量资料。共提取出总样本 58864 个,其中降水样本 14105 个,降水强度的划分依次为小雨($R < 7.5\text{mm}$)、中雨($7.5 \leq R < 18\text{mm}$)、大雨($R \geq 18\text{mm}$)三级。样本分布情况见表 1。

表 1 地面观测站 6 小时雨量样本库特征
(括号中的数字为占总样本数的百分比)

月份	时段	样本总数	降水样本数	中雨以上的样本数
6 月	白天	23762	5737(24.14%)	1518(6.39%)
	夜间	17796	5456(30.66%)	1440(8.10%)
7、8 月	白天	11380	1512(13.29%)	396(3.48%)
	夜间	5926	1400(23.62%)	348(5.87%)

1.2 云图资料

选用与上述两类雨量资料相应时段内的

GMS-5 可见光 VIS 水汽 VAP、红外 IR、红外分裂窗 IRS 四个通道云图 4400 多幅,其中可见光云图反射率分 64 个等级,其它三个通道云图亮温都分 256 个等级,各通道的定位表和定标表从实时云图接收系统中获取,每小时更新一次。统计时以 6 小时内红外云图亮温最低的一幅为基准。对可见光通道资料进行了严格的太阳高度角订正。另外,考虑到地形或信号噪声等影响,对每个雨量计站点上的亮温或反射率值进行了九点平均处理。

2 云图特征因子的提取及其与降水间的关系研究

我们从云图上共提取了以下因子:IR、IRS、VAP 亮温、VIS 反照率、亮温和反射率空间变化梯度(GIR、GIRS、GVAP、GVIS),各通道的亮温差(IR-IRS, IR-VAP, IRS-VAP),各通道亮温和反照率 1 小时和 2 小时时间变率(DIR、D2IR、DIRS、D2IRS、DVAP、D2VAP、DVIS、D2VIS),云生命史(LOC,即红外亮温连续小于 -40°C 的时间),共计 20 个因子。经筛选得到以下 9 个因子与云中降水有特定的关系,作为多元回归法估计 6 小时降水量选用的因子。

2.1 亮温(IR、IRS、VAP)和反射率(VIS)与降水

红外通道 IR 和 IRS 很相似,两者的相关系数高达 95% 以上,它们对降水强度十分敏感,一般 IR 或 IRS 值越低,出现较强降雨的概率也增大,但难以区分非降水卷云和降水云;白天可见光反射率 VIS 对消除不很厚的卷云有明显作用,同时很好地反映了中低云对降水的作用,一般降水样本的反照率在 0.2 到 0.7 之间,峰值发生在 0.45 左右(图略)。进一步比较红外云图和水汽通道云图还可看出,水汽云图上的天气系统比红外云图上表现得更加完整和连续,大气环流特征更清晰,红外云图上无云区,在水汽云图上也可清楚的反映其水汽分布。

研究表明,仅根据这四个因子还不足以消除卷云的影响,对降水分级也有较大的困

难,特别是夜间缺少可见光云图,必须进一步寻找别的因子。

2.2 红外或红外分裂窗与水汽通道亮温差与降水

GMS-5的水汽通道处于水汽的强吸收带中,大约80%的辐射来自于600hPa以上的大气层,最大辐射贡献大约在400hPa高度处,如果有云存在,水汽通道看到的是云而非水汽,此时与红外通道亮温差别不大;反之,少云或晴空时,水汽通道亮温反映的是水汽,而红外亮温反映的是地表或水表等,两者差别较大。因此红外亮温减水汽亮温 IR-VAP 或 IRS-VAP 能够从数值上反映云发展的强弱,分离中低层降水云和地表、水表、高层非降水云,特别是对夜间没有可见光云图资料时可以很好的代替可见光资料。我们进一步发现红外或红外分裂窗与水汽降水样本的亮温差主要集中在45~70℃之间(图1),且随着雨强越大 IR-VAP 越集中,大雨样本 IR-VAP 的亮温差在50~65℃之间,峰值在50~65℃(图略),即 IR-VAP 与降水量等级间有较显著的相关性。

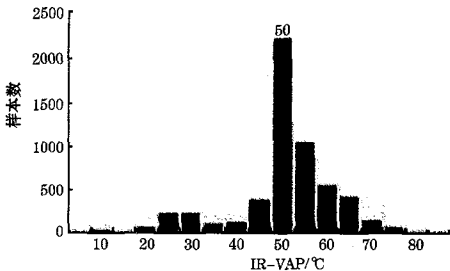


图1 6月份 IR-VAP 与降水样本直方图

2.3 红外亮温空间梯度(GIR)与降水

红外亮温空间梯度 GIR 体现了降水云,特别是对流云中水平分布,也是降水估计中一个重要的因子,我们将其定义为:

$$GIR = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 T_i - T_0$$

其中 T_0 为雨量站点上亮温, T_i 为上下左右4个邻点上的亮温。

图2为6月份白天 GIR 与地面观测站6小时降水样本分布图(夜间情况相似,图略),

从图中可见,基本呈正态分布,峰值出现在-0.1℃附近,其样本数均占总降水样本数的1/5左右。因此可认为降水主要发生在对流云的成熟阶段和稳定的层云中,当卷云叠加在降水量云上时,因其红外亮温降低而加大了空间梯度,可以部分消除卷云对降水的不良影响。

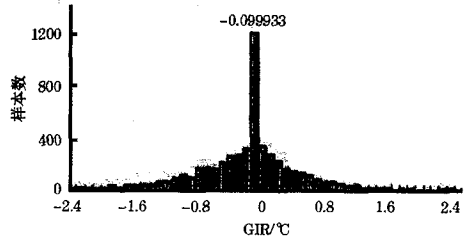


图2 6月份白天 GIR 与地面观测站6小时降水样本分布图

2.4 红外亮温随时间变率与降水

红外亮温随时间变率 DIR 和 D2IR 是分别通过计算某一像素点上红外亮温1小时和2小时的变化得到的。亮温随时间变化 DIR 和 D2IR 不但反映了降水云的移动信息,还反映了降水云发展阶段及其生命史与降水的关系,特别是与对流云降水的关系更好一些。

图3是6月份地面观测站6小时降水样本随 DIR 的分布图,从图中可见,降水样本分布的峰值都出现在0~5℃附近,绝大多数降水样本数都集中在峰值左侧的 DIR 负值区,峰值右侧降水样本数骤然减少,即云顶亮温随时间下降区,集中了大部分降水个例,DIR 的分布图与 D2IR 基本一致。从降水云生命史角度可解释为,降水主要发生于对流云的成熟到消亡阶段初期和稳定的层云中,生命史与降水量成正比。从云移动的角度讲,移动缓慢的云有利于降水。另外,在降水云区的前端多以卷云为主,虽云顶亮温低,但 DIR 和 D2IR 较大,一般没有明显降水,而主要降水区集中在云区的中后部分,虽那里并不是云顶亮温最低的部分。

7、8月份降水样本随 DIR 与 D2IR 的分布峰值也均在降温区(图略),且其峰值比6月份低5~10℃,说明7、8月份以对流性降

水为主。

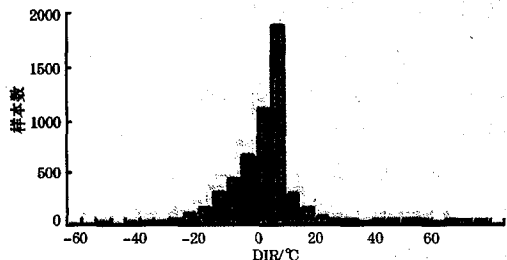


图3 6月份白天 DIR 与地面观测站 6 小时降水样本分布图

3 利用历史样本库建立降水估计方程

3.1 双判据、双重 MOS 预报方法

在对因子充分分析的基础上,我们选用了双判据、双重 MOS 方法^[5]求解回归方程,即根据预报对象的特点选择因子,求解预报方程,然后以此方程和样本资料作拟合预报,按拟合预报值的大小和预报情况,找出两个临界值(上限与下限),以此把历史样本分为3个子集:当拟合预报值大于上限临界值,预报对象常常出现,预报结论较为肯定;当拟合预报值小于下限临界值,预报对象常常不出现,预报结论也较为肯定;当拟合预报值在两个临界值之间时,预报对象有时出现,有时不出现,属于模糊区间,将模糊区间的个例提出来,再建立一次预报方程,并找出一个临界值,该临界值能较好地模糊区间个例中的预报对象出现与否的情况分辨出来,从而提高了准确率,使降水样本的拟合率接近80%。

3.2 降水区域的估计

以6月份为例,首先对地面观测站6月份的6小时雨量样本做0、1化处理,降水量值在0.1mm以下的为0,否则为1。取4种云图和衍生因子作为预报因子,预报量为6小时降水量;分白天和夜间分别进行求解回归方程,如6月白天总样本为23762个,其中降水样本5737个,回归过程中置信度因子 F 取2.0。6月份白天降水样本的回归方程为:

$$Y = 0.14046 - 0.0045IR + 0.00368VAP + 1.2223VIS + 0.00080DIR +$$

$$0.00154D2IR$$

其中:复相关系数 $R = 0.5022$, 剩余标准差 $S = 0.3743$ 。当取临界值 $Y = 0.55$ 时,降水样本的拟合率为 28.61%,非降水样本的拟合率为 95.68%,而错误地把无降水样本报为降水样本的概率为 4.32%,因此我们认为 $Y \geq 0.55$ 的样本均为有降水的样本;而当取 $Y = 0.18$ 时,降水样本的拟合率为 90.23%,非降水样本拟合率为 54.81%,错误地把降水样本报为无降水样本的概率仅为 9.73%,因此我们认为 $Y \leq 0.18$ 时的样本均为无降水的样本。对剩下的模糊区间(0.18~0.55)进行第二次回归,得到二次回归方程:

$$Y^* = 0.25212 - 0.01251IR + 0.01100VAP + 1.91311VIS + 0.00336D2IR$$

其中 $R = 0.3206$, $S = 0.4470$ 。当临界值 $Y^* = 0.42$ 时降水样本拟合率为 52.34%,非降水样本拟合率为 76.31%。

综合前后两次回归,降水样本的总体拟合率达到70%以上,达到预期目标。同理,得到6月份夜间的两组回归方程,7、8月份白天的两组回归方程,和7、8月份夜间白天的两组回归方程,共计8个利用四通道卫星云图因子及其衍生因子估计降水区域的方程。

3.3 降水强度的估计

将6小时降水量 $Y \geq 0.1\text{mm}$ 的样本组成新降水样本库,对降水量分别做0、1化处理,当 $Y \geq 7.5\text{mm}$ 时取1,否则为0;然后采取双判据、双 MOS 与逐步回归相结合的方法建立中雨以上的回归方程。同样可得6月份白天、夜间,7、8月份白天、夜间共计8个分离小雨和中雨的方程。

将6小时降水量 $Y \geq 7.5\text{mm}$ 的样本组成中雨以上新样本库,对降水量分别做0、1化处理,当 $Y \geq 18\text{mm}$ 时取1,否则为0。建立大雨以上的回归方程。由于大雨以上样本数较少,只做一次逐步回归。最终可得6月份白天、夜间,7、8月份白天、夜间共计4个分离中雨和大雨的方程。

4 利用逐日样本库自动建立降水估计方程

在利用上述由历史样本库得到的方程估计降雨的业务试验中,我们发现当方程应用到有大范围无雨区的时候,经常出现空报区,尤其是中雨的估计面积明显比实际偏大。分析其原因,主要是在求解回归方程的时候,使用的历史样本库多为有大片降水的样本,降水样本占总样本的25%左右,而当回归方程应用到有大范围无雨区的时候,它对卷云的消除能力更加薄弱了。为此,我们提出采用实时样本库(当天的降水资料)建立回归方程进行降水区域和降水量估计。步骤如下:

建立样本库:选取距估计时刻最近的前12小时内两组地面降水量资料,并提取各雨量站点上相应的上述四种云图特征因子及衍生因子,形成新的样本库。

建立回归方程:根据需要对雨量样本库进行0、1化处理,如建立降水区估计方程,降水量值0.1mm以下的为0,否则为1;对中雨和大雨情况同样处理。回归分析中取 $F=2.00$,建立降水区及中雨、大雨回归方程。例如,2001年6月7日02时分离小雨和中雨的回归方程为:

$$Y = -0.56577 - 0.00752 VAP - 0.00624 D2IR$$

其中 $R=0.5349$, $S=0.3855$ 。

Y值的选定从0.99开始按0.01步长依次递减,自动计算样本总体拟合率(拟合成功的样本与总样本数之比),直到总体样本拟合率达到60%的预置期望值,否则,本次回归失败。例如上一方程取 $Y=0.50$ 时样本拟合率为72.73%,大于60%的期望值(图略)。

5 结果检验分析

依据上面讨论的技术,我们建立了基于业务使用的夏季中国东部地区利用多通道卫星云图估计降水量的计算系统。5月上旬到7月上旬使用由6月份历史样本库得到的估计方程,7月中旬到9月上旬使用由7、8月份历史样本库得到的估计方程,并实时跟踪

估计误差,如发现有较大估计误差,使用由逐日样本库自动建立降水估计方程进行订正。

应用该系统对近两年5~9月各种类型降水过程进行检验,结果表明降水区和降水强度与实况基本吻合,对有大片降水的情况优于零星降水的情况,总体准确率在70%左右。

6 小结

该研究使用GMS-5卫星4通道云图资料,以及红外和水汽通道亮温差、红外亮温的1小时时间变率、2小时时间变率、空间变率等云图衍生资料进行6小时分级降水估计,充分发挥了红外分裂窗通道和水汽通道的作用,对消除卷云及夜间弥补没有可见光资料的缺欠起到明显的作用。

在建立多元回归估计方程过程中,首次应用了双判据双重MOS逐步回归方法,明显改善了回归效果。

对大片厚卷云和特殊地形引起的空报,提出使用实时样本库(当天的降水资料)建立回归方程进行降水区域和降水量估计。对由历史样本得到的回归估算方程的结果进行校正,对减少空报取得明显效果,但有时会造成一些漏报。

本研究存在的不足,主要是由于无法获取较大范围内每小时一次的降水量资料,导致建立样本库时使用6小时内红外亮温最低的一张为基础,带来一定误差。另外在对红外亮温空间梯度、时间变率等的提取方法等方面还有待进一步的改进。

致谢:原南京大学大气科学系威迪同学参加了逐步回归及分析工作,表示感谢。

参考文献

- 1 张明席,林忠敏,刘爱鸣等. 用双时次GMS/IR通道数据合成动态云图的研究. 应用气象学报, 1998, 9(4): 425~430.
- 2 Lu NaiMeng and Wu Rongzhang. A Convective Rainfall Estimate Technique Developed By NSMC CHINA. Acta Meteorologica Sinica, 2000, (2): 225~232.
- 3 王立志,李俊,周凤仙. GMS-5四通道云图的自动分

- 类及其在定量降水估算中的应用. 大气科学, 1998, 22 (3):371~378.
- 4 郑媛媛,冯志贤,郭 萍.用红外云图和降水资料综合作降雨估算的试验.热带气象学报,1998,14(3):263~269.
- 5 省地气象台短期预报岗位培训教材.北京:气象出版社,1998:107~109.

Study of Rainfall Estimate Technique with GMS-5 Data

Yang Yinming Yao Zuqing

(Shanghai Meteorological Center, 200030)

Abstract

Through the study of six-hour raingauge data from about 120 stations in East China and the corresponding 4400 multi-channel cloud imagines of GMS-5 during the summer of 2001—2002, it is found that the temporal and spatial variation of the TBB and its gradient of the infrared channel, the TBB difference between the infrared and the vapor channel have certain function to eliminate error caused by cirrus, even to solve the absence of visible-channel data. Based on the study above, the rainfall estimate equations between six-hour rainfall and GMS-5 data are obtained by using double-judging & double-MOS regression method, which can be used to estimate six-hour rainfall. In order to further eliminate error caused by deep cirrus or special terrain, a day-by-day rainfall estimate equation by using real-time data is set up. The operational application in Shanghai Meteorological Center shows that its average estimate accuracy reaches about 70%.

Key Words: GMS-5 multiple channel cloud imagines rainfall estimation double-judging & double-MOS multiple regression method day-by-day multiple regression