

强对流降水云团的云图特征分析*

卢乃锰 吴蓉璋

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

提 要

对1992~1994年夏季四川、湖北、河南3省333个地面雨量站2万多个雨量观测数据以及与之相应的4千余幅GMS-4红外数字云图资料的分析结果表明, 云顶温度、温度梯度、云团的膨胀、穿透性云顶的存在、云体相对于云团中心的偏离量与云的降水强度有着明显的对应关系。在不同的地区, 这种对应关系有所不同。

关键词: 强对流云团 云图的特征量 降水量

引 言

强对流云团的出现往往伴随着暴雨过程的发生, 利用卫星资料估计降水, 主要是估计强对流云团的降水。尽管实现降水估计的手段多种多样, 但是, 只有当我们对降水过程尤其是降水过程在卫星云图上的表现形式有了正确的认识之后, 才可能提出较为合理的卫星云图降水估计方法。本文通过对1992~1994年夏季出现在河南、湖北和四川3省所有强对流过程的分析, 不仅定性, 而且定量地给出了一系列强对流云团云图特征量与云团降水量的相互关系。这项工作作为利用卫星资料估计强对流云团降水方法的形成奠定了基础。

1 资 料

地面小时雨量资料的选取详见表1。河南、湖北、四川3省总计有效雨量站点333个, 经质量检验后, 剔除了没有其它雨量记录相配合的个别大值点和负值点, 共得到22000个有效雨量数据。卫星资料为日本GMS-4卫星S-VISSR数字云图, 原始的卫星图像通过等经纬度投影后转换成分辨率为 $0.06^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 的标准图像。所有在研究区域且云顶温度低于 -37°C 的强对流云团均被选入样本, 共有云图4000余幅。

* 本研究得到“八五”国家科技攻关项目85-906-01-06的资助。
1996-08-26收到, 1997-01-15收到修改稿。

表1 地面雨量资料的选取

Table 1 The selection of rainfall data

省 份	1992年	1993年	1994年
河 南	6月15日~7月15日	6月15日~7月15日	6月15日~7月15日
湖 北	6月1日~8月31日	6月1日~8月31日	6月1日~8月31日
四 川	6月1日~8月15日	6月1日~8月15日	6月1日~8月15日

2 强对流云团云图特征量分析

2.1 云顶温度/灰度与降水

云团的云顶温度是能够反映云团降水强弱的最重要的云图特征量. 就降水估计而言, 无论是以 Arkin^[1]为代表的云指数法还是以 Scofield^[2]为代表的云生命史法均以云顶温度为依据进行降水估计. 我们作出了适用于长江中下游地区的强对流云团云顶温度与云团降水强度的关系曲线(图 1a). 为便于云图数字资料的处理, 图中的横坐标以 GMS-4 卫星的云顶灰度取代了云顶温度, 温度值越低, 灰度值越大(GMS-4 卫星的灰度与温度换算见表 2, 本文其它图表均以此办理), 纵坐标是地面小时雨量平均值, 即对应于某一

表2 GMS-4 红外通道灰度与温度(°C)对照表

Table 2 The calibration table of grey degree and temperature(°C) for GMS-4 infrared channel

项目	数 值																					
灰度	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222		
温度	-37	-38	-39	-40	-41	-41	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54	-55		
灰度	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242		
温度	-56	-58	-59	-60	-61	-62	-64	-65	-66	-68	-69	-71	-72	-74	-75	-77	-79	-81	-82	-84		

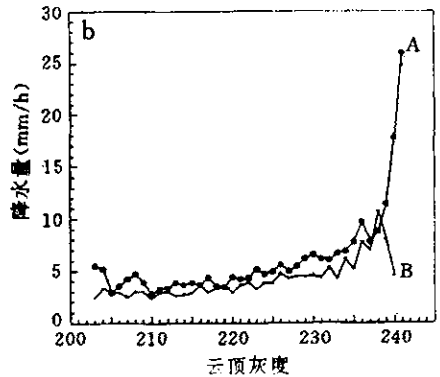
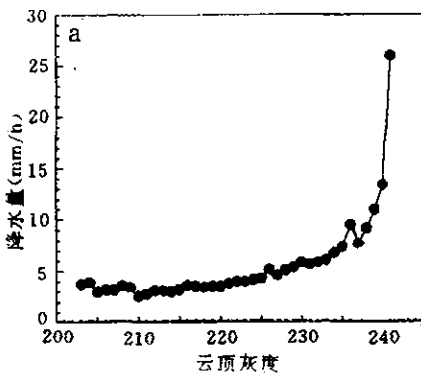


图1 云顶灰度与降水强度关系 (a) 所有云团 (b) 膨胀着的云团(曲线A)与萎缩着的云团(曲线B)

Fig. 1 The relationship between cloud top grey degree and rainfall intensity for (a) all cloud clusters (b) developing clouds (curve A) and disappearing clouds (curve B)

灰度的地面实况降水的平均值. 图中的每个点并不是代表一个样点而是代表许多同一灰度样点的平均情况. 从图上我们看到, 在灰度值较低的区段, 曲线走向平直, 表明随云

顶灰度的增大, 降水强度无明显变化. 在中等灰度区段, 曲线渐渐向上抬升, 降水强度开始随云顶灰度值的增加而变大. 这种变化在高灰度值区段尤为显著, 特别是当灰度值大到 241 时, 降水强度较前一个灰阶加大了近 1 倍.

2.2 云顶温度梯度与降水

除云顶温度之外, 另一个与降水强度密切相关的云团特征量就是云顶温度梯度. 云顶温度梯度大, 说明云顶的纹理丰富, 起伏剧烈. 从某种意义上讲, 云顶温度梯度的大小体现了云团内部的对流活跃程度. 对流云团的低空入流区, 楔状云团的前沿(常伴有两支低空急流)都会呈现出较大的温度梯度.

图 2 表示云团的云顶灰度梯度与降水强度之间的关系. 我们采用了 3×3 的窗口计算云顶温度梯度, 梯度的表达式为

$$G = \{ [T(i+1, j) - T(i-1, j)]^2 + [T(i, j+1) - T(i, j-1)]^2 \}^{1/2}$$

其中 T 为灰度, i, j 为像素坐标. 从图中可以看到在弱降水区, 当雨强增大时, 相应的云顶温度/灰度梯度也随之增大, 表明其对流云团的降水强度与云团的云顶温度梯度呈正相关. 但在强降水区, 当雨强增大时, 相应的云顶温度/灰度梯度却在减小, 即很强的降水更容易发生在云顶比较平坦的区域. 这是由于在成熟的强对流云团中心, 卷云砧的覆盖使得云团云顶纹理平淡, 云顶温度梯度减小, 而最强的降水却恰恰发生在那里. 这种降水量的大值与云顶温度梯度的小值的对应, 在有穿透性云顶出现时, 会受到一定程度的破坏.

2.3 云团的生命史与降水

与发展成熟时的对流云团不同, 处在初生和消亡阶段的对流云团的各项云团特征量往往表现得更为离散. 对数千幅强对流云团图像的数值分析进一步表明, 同一云团在不同发展阶段的降水会有很大差异^[9]. 尽管事后我们可以对云团的生命史进行细致的剖析, 然而, 由于云团发展的复杂性, 事前很难就云团的生命进程作出准确的判断. 目前, 云团最冷层面积的增减是一项比较容易把握的描述云团发展进程的指标. 一般而言, 如果云团最冷层面积持续增大, 云团便是在发展, 反之, 则是在消亡. 在分析中, 我们把所谓最冷层的温度阈值定在 -48°C .

许多天气分析人员都注意到了云团的膨胀与云团的降水强度有着某种正相关. Scofield 在降水估计方法中认为云团的膨胀对云产生的降水有着重大的贡献. 当云团的膨胀率为 $1/3$ 纬距每半小时时, 它的降水强度要比不膨胀的云团大 1 倍. 尽管我们在分

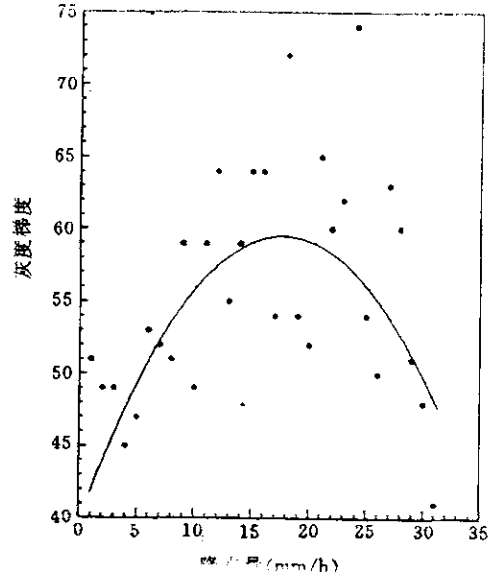


图 2 云团的云顶灰度梯度与降水强度关系曲线
Fig. 2 The relationship between the grey degree gradients and the rainfall intensity

析当中目睹了许多伴随着云团快速膨胀的强降水过程,并且,从平均情况看,对流云团的膨胀仍对云团的降水具有明显的影响(见图 1b).但是,值得注意的是有相当数量的快速膨胀着的对流云团并不产生强降水,而一些不膨胀甚至萎缩着的云团却产生了超乎常值的大降水.目前我们还不清楚这种‘例外’出现的原因.

2.4 对流云体相对于云团中心的偏离量与降水强度之间的关系

在图 3a 所示的强对流云团中,如果 A、B 两点的云顶温度相同, C 是云团的中心,哪一个更有可能产生较大的降水?图 3b 是对这个问题的解答.在图 3b 中,横坐标为云偏离其所在对流云团中心的相对距离,它定义为云与其所在对流云团中心的距离与云团低于 -38°C 的面积的开方之比.纵坐标为对应样本点的降水强度的均值.由图可见,云越是接近对流云团中心,它的降水强度越大;越是远离对流云团中心,它的降水强度越小.需要说明的是虽然对流云团的前沿部分经常远离对流云团的中心,但是在许多情况下,它仍然可以产生较强的降水.这种现象之所以未在图 3b 中有所表现,是因为图中的样本来源于云团中 216~224 的灰度层,而这一层一般并不对应着对流云团的前沿(图中的圆弧为对流云团的前沿).

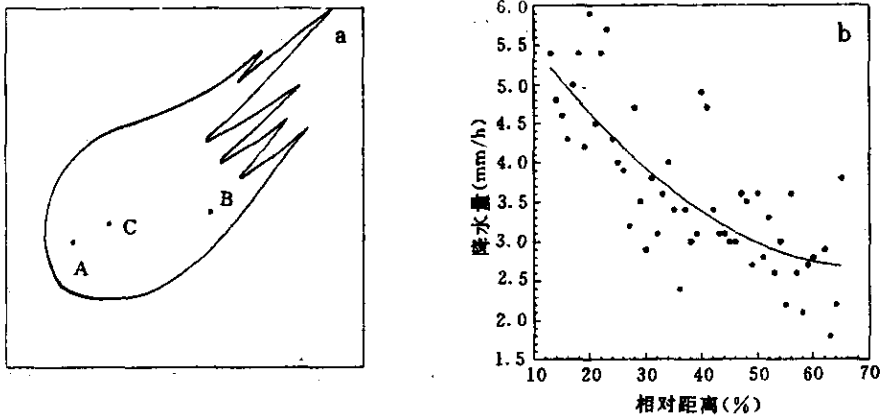


图 3 云体偏离其所在对流云团中心的相对距离与降水强度的关系

(a) 示意图 (b) 关系图

Fig. 3 The relationship between the relative distance to the cloud center and the rainfall intensity (a) cloud cluster schematic chart (b) relation curve

2.5 云团的移动速度与降水

图 4a 为强对流云团移动速度与小时降水量相互关系图.图中直线是对 15000 个降水样点的拟合.从图上不难看出,随着云团移动速度的加快,小时降水量呈现增大的趋势.一般认为暴雨往往产生在静止少动的对流云团内^[4],实际情况也的确是这样.云团的移动速度慢,降水持续时间就长,累积的雨量便相应增大.这与图 4a 并不矛盾,图 4b 对这一点作出了进一步的解释.在图 4b 中有同样大小的两个云团,云团 A 的平均降水率为 10 mm/h ,移动速度为 5 km/h ,云团 B 的平均降水率为 20 mm/h ,移动速度为 15 km/h .但 5 h 之后,云团 A 的最大降水量为 50 mm ,而云团 B 的最大降水量却为

40 mm. 这张示意图说明由于移动速度的差异弥补了降水率的不足, 使得具有较小降水率的云团仍然会产生较强的降水, 这就是云团移动越是缓慢, 云团的降水越大的原因. 实际上, 云团在某一测站的累积降水量是由云团尺度, 云团移动速度以及云团降水率共同作用的结果. 它们之间的相互关系可用下式表示:

$$R = r \cdot L/V$$

其中, R 为云团在某一位置产生的累积降水量, r 为云团沿移动方向上的平均降水率, L 为云团沿移动方向上的尺度, V 为云团的移动速度.

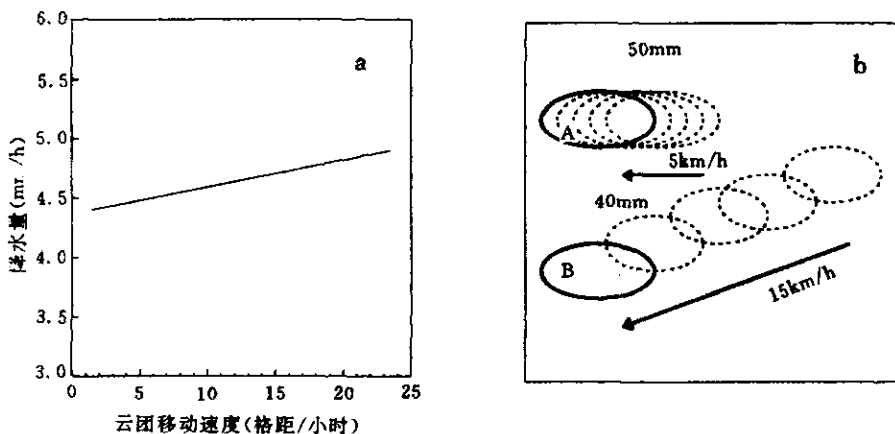


图 4 云团移动速度与降水强度关系(a)关系图 (b)示意图

Fig. 4 The relationship between the cloud moving speed and rainfall intensity

(a) relation curve (b) schematic chart

2.6 地理区域与降水

众所周知, 不同地理区域的降水特征差异甚大^[5]. 从云图估计降水的角度看这种差异有两种表现形式: 一种是由于云分布的差异带来的降水量分布的差异, 即有些区域总是少云或多云, 因此这些地方也就总是少雨或多雨; 另一种是由于云团本身降水效率的差异所带来的降水量的差异. 就利用卫星云图估计降水而言, 我们更关心的是后者. 某些地方的降水云团不需要发展得十分旺盛就可以产生很强的降水, 而另一些地方的降水云团尽管发展得非常旺盛, 但降水却并不很大, 这种现象给降水估计带来了很大困难. 为能定量地对这一现象给予描述, 把云的降水效率定义为小时降水量与云团云顶灰度之比. 在具有同样云顶灰度的前提下, 可认为降水强度大的云具有高的降水效率. 同样, 在降水强度相同的情况下, 云顶灰度小的云

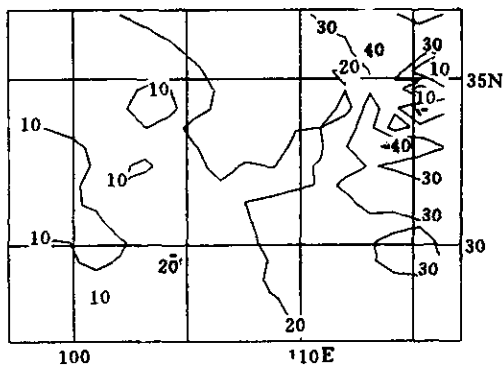


图 5 强对流云团降水效率的地理分布

Fig. 5 The distribution of rainfall efficiency for strong convective cloud cluster during the summer seasons of 1992~1994

降水强度大的云具有高的降水效率. 同样, 在降水强度相同的情况下, 云顶灰度小的云

也具有高的降水效率. 图 5 是对四川、湖北、河南 3 省 1992~1994 年夏季强对流云团出现时的平均降水效率区域分布情况的计算结果. 由图可见, 降水效率具有较强的地域特性. 相对于其它两个省而言, 四川特别是川西高原对流云团的降水效率很低, 这与我们经常观察到的白亮云团自川西北向东移动时很少产生降水的现象相符. 四川境内由于地形作用产生的一条易降水带在图中也有所表现, 天漏雅安便在其中. 与上述情况相反, 降水云团在河南表现出较高的降水效率, 在那里, 产生大雨甚至暴雨的云团并不一定具有很低的云顶温度. 对于基于云顶亮温进行降水估计的方法, 必须考虑到这种地域差异, 并进行订正.

2.7 亮温/灰度与亮温/灰度梯度

图 6 给出了对流云团云顶灰度与灰度梯度的关系曲线. 从曲线中可看到在强对流云团中, 云顶温度较低(灰度值较大)的区域云顶温度/灰度梯度较小. 这是由于一方面发展旺盛的对流云团其中心区域往往已接近对流层顶, 云顶本身比较平坦; 另一方面这一区域会被发散的卷云羽所覆盖, 而这种卷云的出现会进一步削弱对流云体的纹理. 然而, 在云温极其低的地方, 即图 6 曲线的最低端却出现了梯度值的回跳, 它的出现暗示着在本来没有什么纹理的强对流云团的最冷区常常有某种云结构产生. 它表示雷暴暴雨云团的显著特征——穿透性云顶. 图 1b 中曲线右端表示出发展着的强对流云团最冷区的降水强度明显增大, 这刚好与云顶灰度梯度的反跳即穿透性云顶的出现相对应. 上述分析表明: 正确判断穿透性云顶的出现, 确定其位置对于估计降水过程最大降水量和确定降水中心所在位置十分重要.

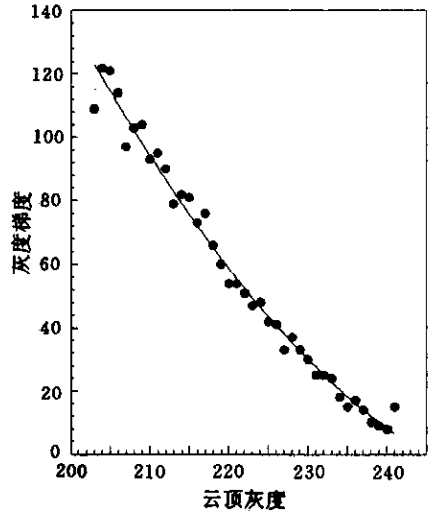


图 6 云顶灰度与灰度梯度关系曲线
Fig. 6 The relationship between the grey degree of cloud top and its gradient

3 结 论

利用卫星资料估计降水量是降水估计的有效方法. 与常规手段相比它在时效和对降水细节的描述上占据优势. 从上述分析结果看, 云顶温度、温度梯度、云团的膨胀、穿透性云顶的存在、云体相对于云团中心的偏离量与云的降水强度有着明显的对应关系. 因此, 利用卫星资料估计降水有望获得比较好的结果. 当然, 利用红外资料估算云所产生的降水也存在着一些问题: ① 卫星资料的时间分辨率不够, 1 h 间隔的图像不足以反映对流云团的快速变化; ② 卫星资料的空间分辨率不够, 在中纬度地区, 一个 GMS 卫星红外象素覆盖了几十平方公里的面积, 而在几十平方公里的范围内, 强对流云团的云顶表现以及地面降水都会有很大差异, 显然, 仅靠一个或几个象素辐射值是不足以反映这种差异的; ③ 云顶辐射特性与云所产生的降水之间的对应关系十分复杂, 与直接探测

云中水滴的雷达相比, 卫星探测地面降水具有更多的不确定性; ④ 不同地区的降水特性有很大差异, 在设计降水估计方法时必须考虑这种差异.

参 考 文 献

- 1 Arkin P A and Xie R. The global precipitation climatology project; First algorithm intercomparison project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1994, **75**: 401~419.
- 2 Scofield R A. The NESDIS operational convective precipitation estimation technique. *Mon. Wea. Rev.*, **115**(8): 1773~1792.
- 3 Griffith C G, Angustine J A and Woodley W L. Satellite rain estimation in U. S. high plains. *J. Appl. Meteor.*, 1981, **20**: 53~66.
- 4 Xie Juying and Scofield R A. Satellite-derived rainfall estimates and propagation characteristics associated with mesoscale convective systems(MCCs). NOAA Technical Memorandum NESDIS 34, 1989.
- 5 章 淹, 林宗鸿, 陈渭民, 等. 暴雨预报. 北京: 气象出版社, 1990. 1~26, 89~179.

STRONG CONVECTIVE CLOUD CHARACTERISTICS DERIVED FROM SATELLITE CLOUD PICTUER

Lu Naimeng Wu Rongzhang

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

In order to get the strong convective cloud characteristics exhibiting in satellite images, about 20000 hourly gauge data of 333 surface rainfall stations and corresponding 4000 IR digital cloud images of GMS-4 during the period of 1992~1994 in Henan, Hubei and Sichuan provinces were analyzed. The results show that the cloud top temperature, the temperature gradients, the expansion of a convective cloud cluster, the occurrence of overshooting tops and the normalized distance from a cloud-covered area to the cluster center have correspondent relations to the cloud precipitation. These relations could vary with different geographical regions.

Key words: Strong convective cloud cluster Characteristics of satellite image Rainfall amount