

# 山西暴雨云团的卫星云图 统计分析及其预报研究

王 英 师  
(山西省气象台)

## 提 要

本文统计分析影响山西省的暴雨云团。在分类的基础上,分别讨论它们的发生区、生命史、移动路径等,同时还分析了云团的云顶温度与3小时降水强度的相关性。利用已取得的统计分析结果,结合部分物理量和雷达回波资料,得出一个甚短期(6小时)暴雨预报的方法。经试用,结果是令人满意的。

## 引 言

大多数暴雨的产生是云团活动的结果,对暴雨云团的生消、强弱、持续时间及移动路径的分析,直接影响着暴雨预报。预报业务深入开展,需要探讨和揭示暴雨云团的生消特点和活动规律,为此,有必要利用卫星云图资料对暴雨云团作统计分析和预报研究。

### 一、暴雨云团的统计分析

本文所分析的暴雨云团,是指12小时降水量 $\geq 30$  mm,且其中1小时降水量 $\geq 10$  mm,不伴有冰雹的云团。普查1980—1986年6—8月的逐日降水和卫星云图资料,共出现此类云团166次。依白色云区或低分辨红外分层增强云图云顶温度 $\leq -49^{\circ}\text{C}$ (指增强灰度等级对应的平均亮度温度)的云区直径大小,可将以上暴雨云团分为三类:小于150 km的为小尺度暴雨云团,共出现126次;250 km左右的为中尺度暴雨云团,共出现32次;400 km左右的为次天气尺度暴雨云团,出现8次。

#### 1. 暴雨云团的特点

##### (1) 小尺度暴雨云团的特点

这类云团多数出现在冷锋云系向外伸出的“云枝”上,或冷锋云系前缘的积云线上。它们主要生成在河套地区东北部和山西省西部山区,有的则出现在切变线云系靠近

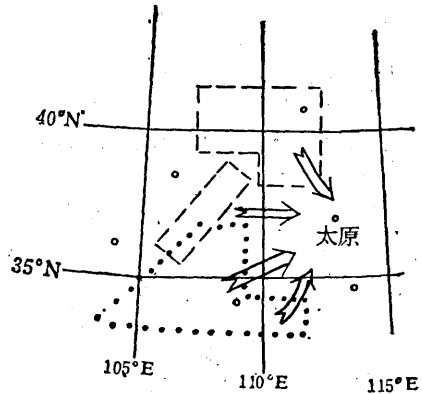


图1 中小尺度云团主要生成源地及移动路径点、虚线分别为中、小尺度云团生成源地,箭头为移动路径

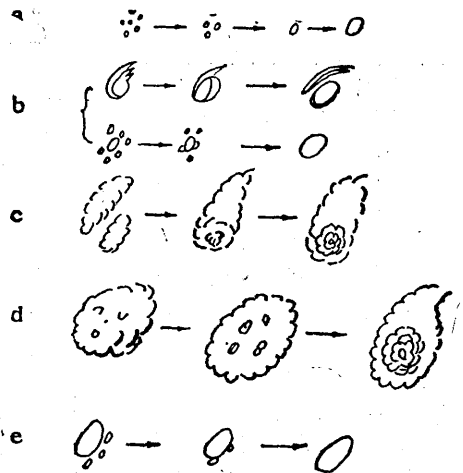


图2 各类云团形成方式

a, 并合型; b, 扩展型; c, 云系合并生成型; d, 中低云区发展型; e, 小尺度云团合并型

副高一测,或由局地发展的对流云演变而成,多出现在榆林—平凉一线(图1)。它们的形成可分为两种类型(见图2):

并合型(图2a):最初为若干个小而密实的对流单体,随着对流的发展,相互靠近并合成小尺度暴雨云团。

扩展型(图2b):最初表现为一个发展旺盛的对流单体,有向外辐散的细长卷云羽,原来的白亮云区随卷云羽的延伸而扩展成为小尺度暴雨云团。有的表现为离散状云区中某块云随四周云区的缩小而结构变密,色调变亮,形成小尺度暴雨云团。

在河套地区和山西省西部山区生成的云团多数随天气尺度云系自西北向东南方向移动(图1)。在初生期移速为 $40\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$ ,发展旺盛期移速减慢到 $20\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 。而在我省东部山区和中条山区生成的云团则明显地稳定少动,在某地来回打转。

在红外增强云图上,强盛的小尺度暴雨云团云顶温度 $\leq -64^{\circ}\text{C}$ 的云区直径为 $50\text{km}$ 左右。它们主要活动在我省北部的浑源—应县、岢岚—静乐、平鲁—神池、河曲和五台,中部的阳泉、榆社和离石,南部的沁源、平陆—垣曲。

小尺度暴雨云团的生命史为6小时左右,发展具有突发性,它主要产生1—3小时的局地强降水。在 $38^{\circ}\text{N}$ 以北,1—3小时最大降水量为 $25\text{—}68\text{mm}$ ;  $38^{\circ}\text{N}$ 以南则为 $40\text{—}97\text{mm}$ 。统计中发现,当小尺度云团移入喇叭口区域狭谷区时,将稳定少动,生命史可延长到9小时左右,并可产生局地持续2小时的强降水或有2—3个强降雨峰,每个雨峰的雨量在 $30\text{—}50\text{mm}$ 之间,两个雨峰间隔为50分钟左右。

## (2) 中尺度暴雨云团的特点

这类云团多数出现在冷锋云系和其它系统云系的相交合并处,有的出现在低涡或低空急流云系或切变线云系中,它主要生成在秦岭西部和陕西的关中地区,有的在秦岭的

中东部生成,随云系北抬影响我省(图1)。它的形成方式可分为三种类型:

云系合并生成型(图2c):最初是两条独立的云系,在移动过程中合并成一条云带,在合并处云区结构变密,范围扩大,形成中尺度暴雨云团。

中低云区发展型(图2d):其形成过程,初始表现为稠密的中低云区中出现对流泡或起伏状,随着云区内对流发展演变而成。

小尺度云团合并型(图2e):起始表现为一个小尺度暴雨云团,四周不断有新的对流体生成,随之小尺度暴雨云团发展并与新生的单体合并。

中尺度暴雨云团的移速与小尺度云团移速基本一致。它的移动路径与 $700\text{hPa}$ 的流场有密切关系,因影响系统和流场的差异可分为偏西路径、西南路径和北上路径(图1)。

强盛的中尺度暴雨云团,云顶温度 $\leq -64^{\circ}\text{C}$ 的云区直径为 $100\text{—}150\text{km}$ ,主要活动在 $38^{\circ}\text{N}$ 以南地区。若强盛的中尺度暴雨云团由河南东北部移入山西省北部,则主要活动在垣山以北。

中尺度暴雨云团生命史为9小时左右,若低空急流加强或环流形势稳定,其生命史可延长到12小时左右。它发展较缓慢,主要产生3—6小时的强降水。在 $38^{\circ}\text{N}$ 以北,3—6小时最大降水量为 $35\text{—}76\text{mm}$ ;  $38^{\circ}\text{N}$ 以南为 $60\text{—}140\text{mm}$ 。

## (3) 次天气尺度暴雨云团的特点

这类云团的出现与天气尺度系统之间相互作用有关,均伴有低空急流云系。它的生成方式与中尺度暴雨云团的云系合并生成型相同,生成在两个云系合并处,它没有固定的生成源地。此类云团总是沿着深厚的暖湿中心移动。

强盛的次天气尺度暴雨云团云顶温度 $\leq -64^{\circ}\text{C}$ 的云区直径为 $200\text{—}250\text{km}$ 。它均

活动在山西省 38°N 以南地区，所产生的强降水呈带状分布，与地形没有显著关系。它的生命史为 12 小时以上，旺盛的对流中心可持续 5 小时以上。主要产生 6 小时以上的区域性强降水。次天气尺度暴雨云团降水中心的 6 小时降水量均在 50mm 以上，有的高达 147mm。

### 2. 暴雨云团发生发展的时间分布

统计结果表明，暴雨云团在 14<sup>h</sup>（北京时）和 02<sup>h</sup> 生成的数目最多，08<sup>h</sup> 和 20<sup>h</sup> 生成的数目最少。20<sup>h</sup> 达到强盛的数目最多，其次是 17<sup>h</sup> 和 02<sup>h</sup>。

不同类型的云团达到强盛的时刻也不同。小尺度暴雨云团多在下午至半夜之间；中尺度暴雨云团多在傍晚到 02<sup>h</sup>；次天气尺度暴雨云团多在 02<sup>h</sup> 至次日上午达到强盛（图 3）。

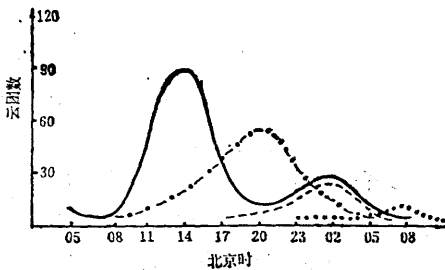


图 3 云团的日变化

实线：云团生成的日变化；点划线、虚线和点线分别代表发展强盛的小尺度、中尺度和次天气尺度云团的日变化

### 3. 云顶温度与 3 小时降水量

我们统计了 1983—1986 年 6—8 月 08<sup>h</sup>、14<sup>h</sup> 和部分 17<sup>h</sup> 和 50 个时次暴雨云团云顶温度与云团时次之后 3 小时降水量的关系。发现，小尺度暴雨云团在云顶温度  $\leq -34^{\circ}\text{C}$  开始产生降水，在  $-56^{\circ}\text{C}$ — $-72^{\circ}\text{C}$  之间降水强度最大；中尺度及次天气尺度暴雨云团云顶温度在  $\leq -27^{\circ}\text{C}$  处开始产生降水，在  $-49^{\circ}\text{C}$ — $-72^{\circ}\text{C}$  之间降水强度最大。在  $-34^{\circ}\text{C}$ — $-72^{\circ}\text{C}$  时，降水量随云顶温度降低而增加。当云顶温度  $< -72^{\circ}\text{C}$  时，降水强度反而减弱。这样

就可以利用云顶温度的变化估计降水强度的变化。图 4 是云顶温度与 3 小时降水量的关系曲线。

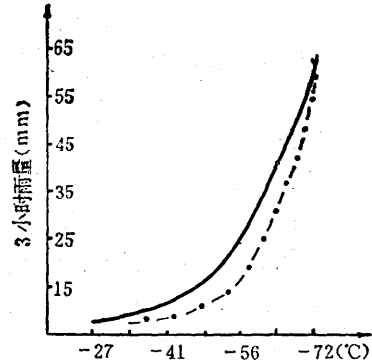


图 4 云顶温度与 3 小时降水量的关系曲线  
实线、点划线分别为中（次天气）尺度和小尺度云团

### 4. 暴雨云团降雨峰值出现时段

暴雨云团形成后，是否很快出现强降雨峰值（1 小时降水量  $\geq 25\text{mm}$ ），对暴雨云团的临近预报很有用。统计中发现，强降雨峰值出现的快慢与暴雨云团的水平尺度以及分布状态有较好关系。

**缓慢型：**它是指强降雨峰出现在开始降水 3 小时以后。这种降水对应着次天气尺度暴雨云团和部分中尺度暴雨云团，以混合性降水为主。在云图上表现为混乱的中低云区中嵌着暴雨云团。其演变过程，先是大面积中低云区中有对流云生成，以后发展成暴雨云团。如 1982 年 7 月 30 日和 1984 年 7 月 17 日两次暴雨过程就是此种类型。

**突发型：**它是指强降雨峰出现在开始降水 3 小时内，有时和降水开始基本是同时的。这种降水对应着小尺度暴雨云团和部分中尺度暴雨云团，以对流性降水为主。在云图上，暴雨云团是相对孤立的，呈块状分布。这类云团主要由冷峰云系前缘的对流云发展而成，有的是离散状的云块合并强烈发展而成。如 1985 年 7 月 28 日和 1985 年 7 月 23 日两次暴雨过程均属此种类型。

### 5. 暴雨云团的中尺度雨带

这种雨带是指 1 小时降水量  $\geq 5\text{mm}$  的

降水区。不同类的暴雨云团所产生的短时大暴雨(6小时降水量 $\geq 50\text{mm}$ )的范围和中尺度雨带有较大的差异,就短时大暴雨的影响范围而言,中尺度或次天气尺度暴雨云团的影响范围是小尺度暴雨云团的2—4倍。

突发型中尺度暴雨云团和小尺度暴雨云团的短时大暴雨面积占中尺度雨带平均面积的75%左右,缓慢型中尺度暴雨云团和次天气尺度暴雨云团的中尺度雨带平均面积占暴雨云团面积45%,短时大暴雨面积占中尺度雨带平均面积的30%。

## 二、暴雨云团的预报

暴雨云团的卫星云图资料统计分析,为暴雨云团预报提供了基本依据。下面介绍的暴雨云团临近预报方法,就是根据不同类型的暴雨云团在生成源地、形成方式和移动路径等方面的差异,以及在温湿场和层结状态等方面的差异(表1)作出的。

### 1. 暴雨云团的生成预报

在有利的天气形势下,当云系移近或移入山西省,云系中某一区域内出现表2所描述的特征,且该区域和它的下风区域内的

表1 三类暴雨云团环境条件对比

项 目	小尺度云团	中尺度云团	次天气尺度云团
水汽条件	无低空急流,湿层主要在850hPa	多数有低空急流,湿层厚度在700hPa以上	有低空急流,准饱和层超过500hPa
层结状态	上冷下暖,对流不稳定为主	上下冷暖平流较弱,条件不稳定为主	高低层同是暖平流,高温、高湿,条件不稳定为主
温度场分布	对流层中低层有明显的温度梯度和温度平流	温度梯度和温度平流较弱	温度梯度和温度平流很小或没有
锋区结构	锋区强,随高度倾向冷空气一侧	锋区较弱,坡度较小	锋区很弱,坡度较小
$T_{0^*}$	$\geq 57^{\circ}\text{C}$	$\geq 60^{\circ}\text{C}$	$\geq 62^{\circ}\text{C}$

表示太原站地面至500hPa的平均值。

温、湿场满足表2中的条件时,未来12小时内该区域将很可能有暴雨云团生成发展或对流泡在该区域发展成暴雨云团,形成强降水天气过程。

表2 云系特征和部分参数

暴雨云团初生前兆	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 稠密云区或絮状云区中开始出现对流泡或呈起伏状。</li> <li>(2) 低槽云系前缘有积云线或低槽云系上出现外伸的“云枝”。</li> <li>(3) 切变线云系靠近副高一侧出现对流泡。</li> <li>(4) 云系呈反气旋弯曲,有卷云羽发展。</li> <li>(5) 密实云区开始向外射出卷云羽或出现涡旋状。</li> <li>(6) 云系之间合并处结构变密,出现白亮云区。</li> </ol>
温湿场	$T_{500} \geq -5^{\circ}\text{C}$ , $T_{850} - T_{500} = 21 - 24^{\circ}\text{C}$ , $\theta_{se850} \geq 342\text{K}$ , $T_{d地} \geq 20^{\circ}\text{C}$ , $T_{d850} \geq 14^{\circ}\text{C}$ , $(T_{d700} \geq 6^{\circ}\text{C})$ $\Sigma(T - T_d)_{850-700-500} \leq 8^{\circ}\text{C}$
稳定度	$S_i = 0 - -3^{\circ}\text{C}$ $\Delta\theta_{se(700-850)} = 0 - -5\text{K}$
物理量	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 700hPa<math>\theta_{se}</math>图我省为高能区,河套地区到我省西部有能量锋区。</li> <li>(2) 高能区为上升运动区,能量锋区在上升区和下沉区的交界区上,并且上升速度<math>\omega_{700} &lt; -3.0 \times 10^{-3} \text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}</math></li> <li>(3) 散度<math>D_{(850+700)} \leq -6.0 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}</math></li> <li>(4) 相对散度<math>D_{300} - D_{850} \geq 5.0 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}</math></li> </ol>

表2中各项参数均是当日08<sup>h</sup>探空资料的计算结果。暴雨云团的生成预报只考虑是否有暴雨云团生成,不考虑属于哪类云团。

### 2. 暴雨云团的6小时雨量预报

首先,对发展趋于成熟并影响山西省的暴雨云团,根据红外增强云图的灰度等级分

为两部分：云顶温度 $\leq -56^{\circ}\text{C}$ 的云区称为强暴雨云区(ERS)；云顶温度在 $-41^{\circ}\text{C}$ — $-56^{\circ}\text{C}$ 之间的云区称为密蔽云区(CDO)。然后，对各部分云区再分析做出6小时雨量预报。

(1) 各部分云区6小时降水量

依上述暴雨云团的划分方法，对所选时次的3小时和6小时间隔云图上的暴雨云团作分析，将各部分云区廓线描在对应时间之后的6小时雨量图上，由云区覆盖廓线的移动和降水区的移动，得出各部分云区6小时降水量，再按照各部分云区自身强度和环流场因素分别处理，每种云区得到三种不同的降水量值(表3)。

表3 各部分云区6小时降水量

云区名称	6小时降水量(mm)
ERS	35~60~100
CDO	20~35~50

当暴雨云团出现面积扩大结构变密实，或云顶升高，或暴雨云团与其它云系合并时，6小时雨量取表3右边值；当暴雨云团面积缩小，或云顶降低，或为快移速暴雨云团时，6小时降雨量取左边值；除以上情况外则取中间值。

(2) 6小时降雨量的计算

6小时雨量预报是根据外推法，计算暴雨云团移动路径上云系覆盖区内不同云区所覆盖的时间内降雨量之和。计算式为：

$$R_6 = a \times b \times c \times y \times \left( \frac{D_{ERS} \times R_{ERS}}{V_{ERS}} + \frac{D_{CDO} \times R_{CDO}}{V_{CDO}} \right) \quad (1)$$

$$R_6 = f \times e \times \frac{D_{CDO} \times R_{CDO}}{V_{CDO}} \quad (2)$$

式中，D是云系移动方向上各部分云区宽度，单位是km； $R_{ERS}$ 、 $R_{CDO}$ 是各部分云区6小时降水量；V是各部分云区移速，单

位为km/6小时；a、b、c和y分别表示强暴雨云区的结构系数、地面环境系数、并合系数和降水型修正系数；f、e分别表示密蔽云区的水汽条件和云区降水时数修正系数。6个系数取值见表4。

表4 雨量预报中的各项修正系数

系数	天气状况	系数值
a	ERS云区结构变密或出现块状结构·云顶趋于升高；ERS云区面积扩大。	2
	否	1
b	暴雨云团移向风场辐合区或狭谷区或3小时负压变中心；露点温度升高或少变。	1.5
	否	1
c	ERS云区周围有新对流云发展并相互合并	2
	无	1
y	暴雨云团在云区中缓慢发展，缓慢型降水	0.7
	暴雨云团在云区中突发性发展，突发型降水	0.5
f	有低空急流和强的水汽辐合	1.5
	无	1
e	CDO云区宽度 $>200\text{km}$ ，云区移速 $<30\text{km/小时}$ 或天气形势稳定少变。	0.9
	否	0.4

应用(1)、(2)式计算6小时降雨量的具体步骤是：先根据相邻两个时次的卫星云图资料和天气形势，外推未来6小时云区位置，用曲线描出各部分云区边界，量出它们的宽度并计算其移速。在云系移动方向上选取几个有代表性的点，最后从表3.4中选取相应的系数值，代入(1)、(2)式，计算各点雨量。在有强暴雨云区存在时使用(1)式，否则用(2)式。图5为6小时降水量的预报和实况。

我们规定：预报某区有短时暴雨( $R_6 \geq 25\text{mm}$ )或大暴雨，若该区的实况是6小时降雨量 $\geq 20\text{mm}$ ，算报对；若没有降

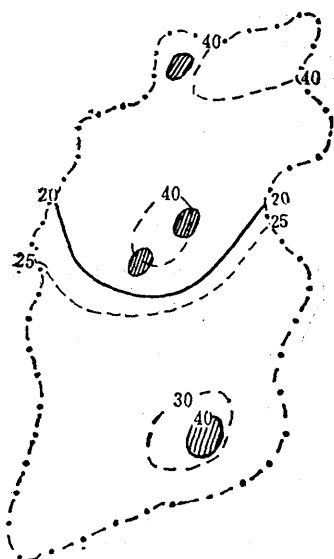


图5 1986年6月26日14—20<sup>h</sup>雨量预报和实况  
点划线, 山西省界; 虚、实线分别为预报与实况  
6小时降雨量; 斜线区为 $\geq 30\text{mm}$ 降雨区

水或6小时降雨量 $< 15\text{mm}$ 则算空报; 若实况出现短时暴雨, 而没预报, 则算漏报。通过1986年6—8月试用和1985年6—8月历史检验, 结果见表5。

表5 试用检验结果

时间	项目	报对	空报	漏报	预报准确率(%)	成功界限指数(%)
1985年		20	8	5	71	60
1986年		9	3	2	75	64

### 三、结束语

本文利用卫星云图资料对影响山西省的暴雨云团活动规律进行统计分析, 对比了三类云团的差异, 为暴雨云团预报提供了依据。

在预报方法中, 我们把暴雨云团的云系特征及变化, 与诊断分析的物理量结合起来, 先作暴雨云团的生成预报, 然后用计算式作6小时雨量估算。

引入各种参数, 同时应用红外增强云图资料估算暴雨云团的降水量, 从而提出了一个简单的定量的短时预报方法。

目前, 此项工作只是初步的尝试, 需要进一步地准确估计云团移动速度和方向, 减少空、漏报现象, 提高预报准确率。

## A statistical analysis of the rainstorm image over Shanxi Province and its forecasting

Wang Yingshi

(Meteorological Observatory, Shanxi Province)

Based on the classification of rainstorm image affecting Shanxi Province, its genesis regions, life cycles and tracks are discussed, and the relation between the temperature of cloud top and 3-hours precipitation intensity is analysed. Using this statistical result, some physical parameters and radar echoes, a method of 6-hour rainstorm forecast is obtained. The forecast accuracy is satisfactory.