

暴雨的天气尺度和中— α 尺度分析

R. A. 马多克斯(Maddox)等

1. 引言

在二十世纪七十年代, 暴雨已变成美国最重要的自然灾害问题。

在许多方面, 暴雨预报问题是类似于强雷暴和龙卷预报、探测和警告问题。建立在堪萨斯城的国家中心有效地管理了强风暴的预报问题, 其主要职责是勾画出风暴可能发展(监视阶段)的区域。然而暴雨系统分散在各地, 监视和预告阶段的责任在各个州预报局。

2. 洪水

a. 数据和取样程序

美国海洋大气局出版物“风暴资料”(Storm Data), 包括了1973—1977年的每月风暴, 而且编辑五年暴雨事件的气候分析。但个别事件的有效情报的数量和质量参差不齐。关于发生时间的报告经常是含糊的, 有时特别缺乏关于定时、持续时间以及降水量的细节。虽然洪水事件的统计资料不完善, 但它的确提供了判别大量强降雨事件所需的基本资料。与热带天气系统相联系的暴雨已明确地被排除在样本之外。下节将暴雨分为四类(天气尺度类、锋面类、中高压类和西部类), 并详细地分析其特征。通常, 天气尺度类是与重要的大尺度天气系统以及很强的对流层风场相联系。锋面类是与处在弱的大尺度型内的准静止的且通常呈东西向的锋带相联系。中高压类是与先前的雷暴活动产生准静止的、冷空气流出气流边界相联系。西部类是按地理位置定的, 即把发生在 104°W 以西, 包括南达科他州的西部和德克萨斯州的大湾头(Big Bend)多山的地区。某些地区整年很少发生暴雨, 可能是取样的结果或缺乏报告。从阿巴拉契亚山脉向西伸展到密苏里河流域, 而且向西南越过俄克拉何马州东部和得克萨斯州暴雨很多。在夏季几个月里, 严重的暴雨在东南面显得特别少。

对于151个暴雨中的每一例都编了一套资料, 包括3小时地面分析和每日两次标准层850、700、500、300和200毫巴图。进行主观的内插(时间和空间)以估计恰好在大雨前存在的气象条件。对于估计了正

好在暴雨发生前能影响本地的最西部地区的气象条件的天气尺度类(它代表了在相当长的时间内影响很大区域的那种暴雨), 只给出了地面和标准层的平均探空资料。因为这个限制, 只算出沙氏抬升指数(SI)和K指数(KI)。对于每次暴雨, 从由Lott(1976)提供的图确定了地面到500毫巴高度可降水份的月平均气候值。只对平均探空资料才做了可降水份的计算。

b. 共同特征

暴雨主要发生在7月, 差不多占样本的25%。由于暴雨是对流性降水引起的, 大约占整个样本的86%发生在暖季月(4—9月)是不足为奇的。

作者于1978年就注意到许多暴雨发生在夜间。图1是三类暴雨大雨发生的时间。(注意图1和图2中总暴雨的数目少于151个, 因为有时缺乏特别详细的资料)。该资料是6小时间隔, 由于许多风暴资料报告不明确妨碍更精确定时。中高压类和锋面类的夜发性明显, 而美国西部类似乎更明显受午后不稳定过程影响。由于所取的时间较长而没有包括天气尺度类; 在整个国家东部的三分之二地区暴雨风暴的夜发性使已经够难预报的问题复杂化, 因而发出的监视和警报大概只能到达有限的人那里。

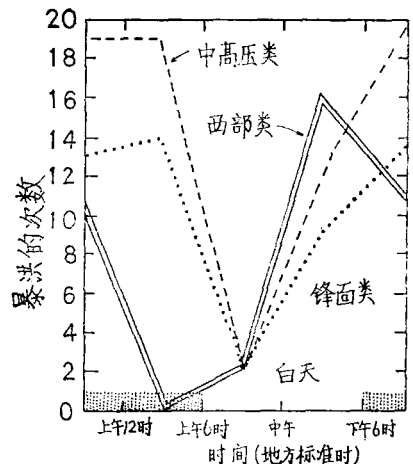


图1 三类暴雨大雨发作的时间。在时间间隔的中点处绘出本间隔中开始的暴雨次数。

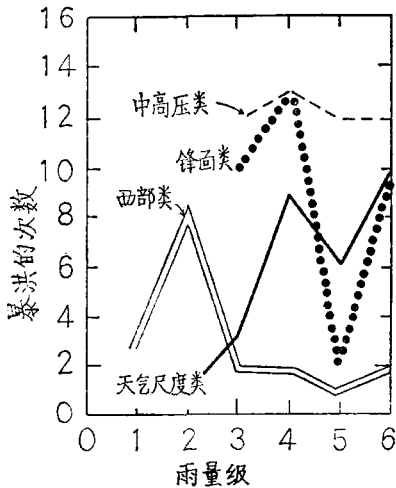


图2 各类暴洪最大降水量报告图, 雨量级是: 1) <2英寸 (50毫米); 2) 4—6英寸 (50—100毫米); 3) 4—6英寸 (100—150毫米); 4) 6—8英寸 (150—200毫米); 5) 8—10英寸 (200—250毫米); 6) ≥10英寸 (250毫米)

图2中提到所研究的四类暴洪的最大降水量。在美国东部的暴洪几乎总是与大于100毫米的雨量相联系, 其中产生250毫米以上的有32次。最强降水时段通常只持续几小时, 典型地短于6小时。西部类的特征是持续时间短且只有50—60毫米的强降雨。由于崎岖地形经常与强降雨相结合发生“暴发”性快速径流, 造成预报上的困难。

如果强雷暴(产生损害性风暴和/或大冰雹, 和/或陆龙卷)发生在与强降雨相联系的事件中, 预报员关心的暴洪可能性问题可能变成次于由风暴的其它方面引起的问题。在151个暴洪样本中, 有56次强雷暴伴随大雨, 17次在大雨以前。这意味着(因为所有的强风暴都没有报告)在一半的暴洪中, 州预报台必须同时与强风暴和暴洪作斗争。

分析发现有些特征几乎对所有的暴洪(不管类型)都是共同的。这些重要的共同特征如下:

- 1) 大雨是由对流风暴产生的。
- 2) 地面露点温度很高。
- 3) 深厚的对流层中存在很大的水汽含量。
- 4) 在云层厚度内为弱到中等的垂直风切变。

在以下几节中详细讨论四种暴洪的每一特征。

3. 天气尺度类

这一类的暴洪占样本的20%。天气尺度类暴洪的发展与较强的天气尺度气旋或锋系相联系。在500毫巴的主槽通常缓慢向东或向东北方向移动, 与其配合

的地面锋经常是准静止的。对流降水在大致相同的地区重复地发展, 而且迅速地移动。强雷暴经常(24例或80%)伴随暴雨发生。这些暴洪有时影响几个州, 偶而持续2—3天。在受大雨影响的区域内, 有时有几个暴洪发生。

天气尺度类暴洪的逐月分布最经常地发生在有利于存在动力过程和热力条件结合的春季和秋季月份。表1列出在标准层温度和风场的平均值, 而且给出每月平均值计算的标准差。850和300毫巴之间的风速差只有13米/秒, 所记录的风向顺转约40°。在此类暴洪的开始地面气压平均是1009毫巴, 而且露点高。参数值中的变率相当大, 尤其是风场。天气尺度系统的来向影响风场的变化, 虽然伴随这些暴洪的多数是SSW和NNE来向, 但有少数是东西向。不管锋的来向怎样, 高层的锋总是趋于平行锋带。合成探空记录显示气层是不稳定的: +36的KI和-2的SI。在地面到500毫巴层的可降水份总计是37.5毫米, 它是月平均气候值的181%。

表1 与天气尺度类暴洪相联系的温度和风的平均值与标准差 (平均值/标准差)

高度(毫巴)	T(°C)	T _d (°C)	风向(度)	风速(海里/小时)
1009(地面)	23.3	19.4	165	13
6	7	4	33	3
850	15	2*	195	22
	3	1	28	11
700	5	3	215	36
	2	3	29	11
500	-11	8	210	47
	3	9	29	14
300	-23	10	230	57
	3	7	30	21
200	-57	—	235	66
	3	—	32	21

(地面气压订正到海平面, *表示T-T_d, 表2、3、4相同)

图3给出了一个典型的天气尺度型的地区特征和850毫巴气流型。在大雨和暴洪的可能性的区域用矩形阴影表示。由图可见该型暴洪向东伸展, 因为暖锋边界经常限制大雨向北蔓延, 而有利于进一步向东触发新的发展。

4. 锋面类

锋面类暴洪有38例, 占样本的25%。有利于触发暴洪并使降水集中静止的或移动很缓慢的天气尺度锋的边界(通常定为西到东走向)的存在是这类暴洪的主要特征。由于在锋区上有暖的不稳定空气输入风暴, 大雨发生在地面锋的冷空气一侧。显然, 这种形

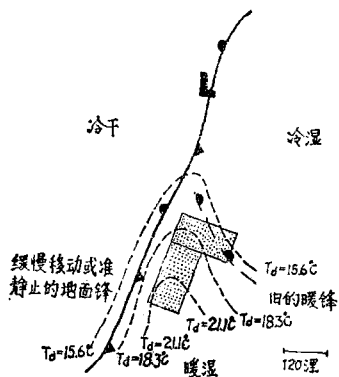


图 3a 典型的大气尺度类暴雨的地面气压型。阴影区内可能存在大雨和暴雨。

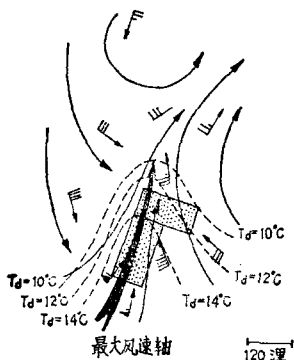


图 3b 典型的天气尺度类暴雨的850毫巴气流型。风是以海里/小时表示，实杆=10海里/小时（5米/秒），虚杆=50海里/小时

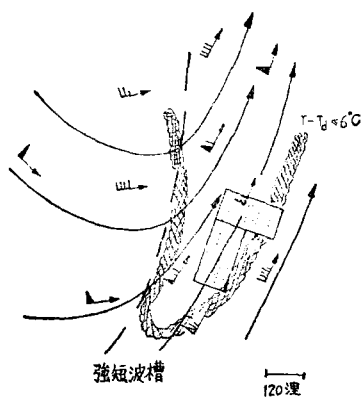


图 3c 典型的天气尺度暴雨的500毫巴气流型。势不同于天气尺度类，其风暴通常发展并持续于锋的暖空气一侧。高空风几乎平行地面锋，而且对流风暴在相同的地区重复地发展和移动。锋面类暴雨有明显的夜发性（图1）。在仅有的7例中，强雷暴和大雨一起发生。500毫巴分析表明，31例有可察觉到的中- α 尺度短波槽。

这些暴雨相当均匀地发生在3—9月几个月里，少数发生在6月，这也许是取样的差别造成的。表2列

出了与这些暴雨相联系的温度和风的平均值以及标准差。从850—300毫巴风速增加很少，出现明显的转向。这种转向有利于风暴在大致平行于起强迫作用的锋的边界而运动，而且在它们的右侧，并不妨碍不稳定空气的连续入流。地面气压较高，而且风场变化最大。合成探空有一个KI为+38和SI为-4的不稳定区。地面到500毫巴层的可降水份总计40.6毫米，或者是月平均气候值的158%。

表 2 与锋面类暴雨相联系的温度和风的平均值与标准差

高度(毫巴)	T(°C)	T _d (°C)	风向(度)	风速(海里/时)
1000(地面)	21.1	18.3	190°	9
4	6	5	36	2
850	17	4*	200	26
	3	2	26	8
700	7	3	235	29
	2	3	30	19
500	-10	6	250	28
	3	7	34	12
300	-36	15	260	40
	3	11	29	16
200	-56	—	270	47
	3	—	22	21

图4给出了一个典型的锋面类暴雨的地面特征和850与500毫巴气流型。虽然500毫巴弱的中- α 尺度槽通常有利于加强发展和启动对流，最大雨量的实际位置经常在大尺度脊附近。在某些个例中弱的中低压沿着锋的边界向东移动，增加小尺度辐合而且流入风暴区。

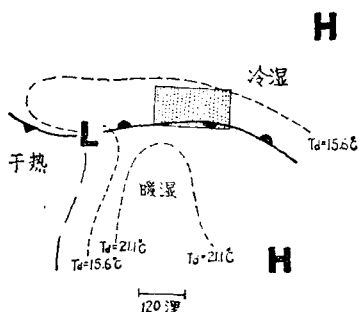


图 4a 典型的锋面类暴雨的地面气压型，说明同图 3

5. 中高压类

中高压类暴雨在样本中是最多的，有52例(34%)。这些暴雨是与在先对流活动产生的一个几乎静止的雷暴外流边界相联系的。最大的雨发生在该边界的冷侧，通常在高压中心以南或西南。该型暴雨的一半发生在缓慢移动的大尺度锋系以东，而另一部分远离地面锋

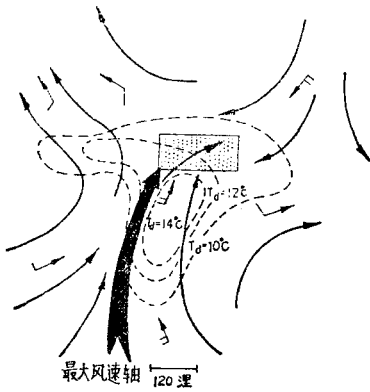


图 4b 典型的锋面类暴洪的850毫巴气流型

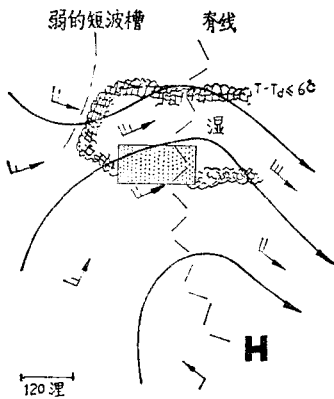


图 4c 典型的锋面类暴洪的500毫巴气流型

移动。高空风几乎平行流出气流的边界，风暴在相同的地区重复地发生、发展和移动。强雷暴伴随大雨的有 12 例，另外 12 例在大雨前有强雷暴。这些事件显然也是夜发性（图 1）。500 毫巴分类表明，可查明的 31 个暴洪与中- α 尺度槽相联系。

这类暴洪主要发生在 6、7、8 月，偶而发生在

表 3 与中高压类暴洪相联系的温度和风的平均值与标准差

高度 (毫巴)	T (°C)	T _d (°C)	风向 (度)	风速 (海里/时)
1014 (地面)	21.7	18.9	90	9
4	4	4	41	3
850	18	3*	205	22
	3	2	33	8
700	7	4	230	21
	2	3	32	10
500	-10	6	240	27
	3	6	27	11
300	-36	10	255	37
	4	8	32	16
200	-57	—	260	41
	3	—	40	20

春、秋。表 3 给出在标准层温度和风的平均值与标准差。一些条件与锋面类暴洪很相似。虽然发生明显的转向，但从 850—300 毫巴风速变化很小。合成探空记录 KI 为 +39，SI 为 -5。地面到 500 毫巴层的可降水份总计 46.1 毫米，它是月平均气候值的 162%。

图 5 给出一个典型的中高压类暴洪的地面特征和 850 与 500 毫巴高度的气流型。虽然 500 毫巴层弱的

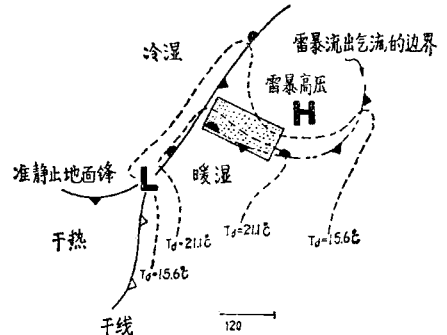


图 5a 典型的中高压类暴洪的地面气压型，说明见图 3

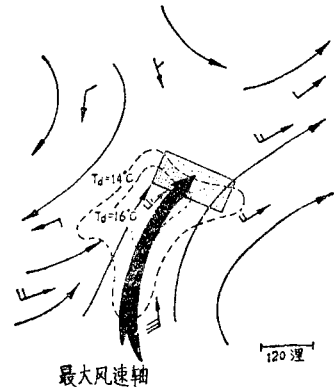


图 5b 典型的中高压类暴洪的850毫巴气流型

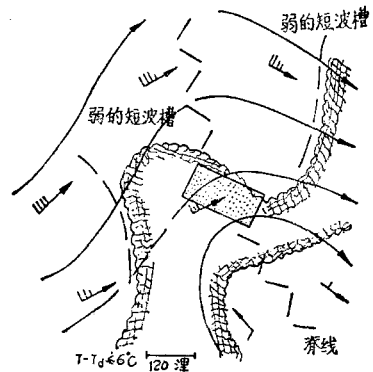


图 5c 典型的中高压类暴洪的500毫巴气流型

短波通常与这些暴洪相联系，实际大雨区常常再次地靠近大尺度脊的位置。

6. 西部类

西部类有 31 例，占样本的 21%。这些个例中两次是天气尺度类发生在塞拉山脉 (Sierra Range) 以西；而三次是由极锋后部强的潮湿偏东气流造成的。这五例与大部分西部类样本大不相同，而且不包括在平均中。许多西部类暴洪发生在没有清楚的地面气压型的比较弱的大尺度气流型下。此类多数暴洪似乎是“老的”锋面边界、雷暴流出气流地形特征与大尺度特征相互作用产生的局地大雨。在 7 月和 8 月里明显的最大值表示与季风季节的水汽有密切联系。26 次暴洪中的 13 次雷暴与大雨相伴随，其中 24 次雷暴在 500 毫巴有可辨认的短波槽。

表 4 与西部类暴洪相联系的温度和风的平均值与标准差

高度 (毫巴)	T (°C)	T _d (°C)	风向 (度)	风速 (海里/时)
1012(地面)	30	17.3	120	9
4	6	6	57	4
700	10	3*	190	11
	2	4	73	7
500	-9	4	219	16
	2	3	79	11
300	-34	19	220	27
	3	7	62	19
200	-55	—	235	34
	2	—	65	20

表 4 是与西部类相联系的参数的平均值和参数标准差。风场弱而变化快。合成探空表明气层有相当大的条件不稳定，KI 为 +42 和 SI 为 -5；然而，这些值不能直接与美国东部类得到的 KI 和 SI 值比较，因为在美国西部的大部分地区 850 毫巴和地面值几乎一致。云下比较干而热的条件，明显的在下午发生最多，都有利于解释与这些暴洪相联系的强雷暴发生的高频率。地面到 500 毫巴高度的可降水份总计 25.8 毫米，

它是月平均值的 143%。这类暴洪发生的危险区可由下列条件勾画出：对流层中层向前移的中- α 尺度槽的前方的高温（地面图至少到 500 毫巴），弱垂直风切变以及较大的条件不稳定。暴洪经常发生在很靠近大尺度脊的位置。

7. 小结

对 151 个重要的大降水事件按照四个基本类划分，若干特征对许多事件是共同的。这些特征包括：

- 1) 暴洪是与对流风暴相联系的。
- 2) 风暴发生在地面露点高的区域中。
- 3) 对流层深厚层次内存在比较高的水汽含量。
- 4) 在云层内存在弱到中等的水平风的垂直切变。
- 5) 对流风暴和/或对流单体在相同的地区重复地形成或移动。
- 6) 一个弱的、对流层中层的中- α 尺度槽有助于触发和集中风暴。
- 7) 风暴区很靠近对流层中层的大尺度脊的位置。

8) 风暴经常发生在夜间。

确定暴洪危险区或“监视区”的问题，似乎与确定强雷暴或龙卷监视区很相似。若干气象过程在几种运动尺度上相互作用，最后确定特大雨量的地区。资料表明，正如在强雷暴形势中一样，一个重要参数的边缘值可以由另一个参数的更强值补偿。由这种很大的自然变率确定一组必要条件（且不说充分条件）是极端困难的。

由于许多暴洪的夜发性，使预报和警告问题复杂化。不象许多强雷暴，暴洪风暴经常发生在很靠近大尺度脊的位置并通常有有利的地面气压型。这个难以捉摸的特征进一步使预报问题复杂化。

杨红梅摘译自 Bulletin of the American

Meteorological Society Vol.60, No.2

1979. pp. 115—123 雷雨顺 校