

“雅安天漏”研究*

I: 天气分析

彭贵康** 柴复新

(四川省雅安地区气象局, 雅安 625000)

曾庆存 宇如聪

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100080)

提 要

雅安位于四川盆地西缘、青藏高原东麓。由于特定的地理和地形条件所致, 降水特多, 夏季暴雨频繁, 历来素有“天漏”之称。本文基于大量的“雅安天漏”(区域暴雨)个例资料, 从气候、大尺度环流、物理量合成、地形作用和中尺度系统等方面进行了研究。结果表明: “雅安天漏”是在青藏高原东坡特定的地形作用下产生的特殊降水现象, 其气候特征具有显著的中尺度特点, “夜雨”显著, 环境场条件和中尺度系统的物理量结构等方面, 都有异于华北、华东和华南等地的暴雨。

关键词: 暴雨; 大尺度环流; 物理量合成; 地形作用; 中尺度系统。

一、引 言

雅安地区位于四川省西部, 101°55'E—103°22'E、28°50'N—30°55'N, 东邻川西平原, 西接青藏高原, 地处高原东南麓陡峭坡地边缘。地区北部, 名山、雅安、天全一带的青衣江河谷, 地形兼有“迎风坡”、“喇叭口”的特点。地区南部, 大渡河贯穿东西, 整个流域为高差很大的峡谷(见图1a、b、c, 细致的地形可参见文献[1])。由于特定的地理和地形条件, 雅安的降水特多, 无论是年雨量、雨日和暴雨日数, 都是高原东部的最大值区, 历来素有“雨城”和“天漏”之称, 杜甫曾诗曰“地近漏天终岁雨”。尤其在夏季, 暴雨频繁, 常常给当地造成严重的灾害。因此, “雅安天漏”长期受到气象工作者的重视: 汪之义^[2]、柴复新^[3]等曾从天气学角度对其形成及预报进行过研究; 芮良生^[4]等曾从专家系统方面, 对暴雨预报进行过研究; 彭贵康等曾从气候角度研究过雅安降水与地形的关系, 结论指出: 地形爬坡和常定性地形涡旋对暖湿气流的强迫性抬升和辐合, 是造成雅安“雨多”和“雨大”的主要原因(参见文献[1]), 等等。上述研究从不同角度, 得到了一些有价值的结果, 但在深入、全面, 特别是在抓住“雅安天漏”的独特本质方面,

1991年12月10日收到, 1992年7月29日收到再改稿。

* 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室资助课题。

** 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室客座人员。

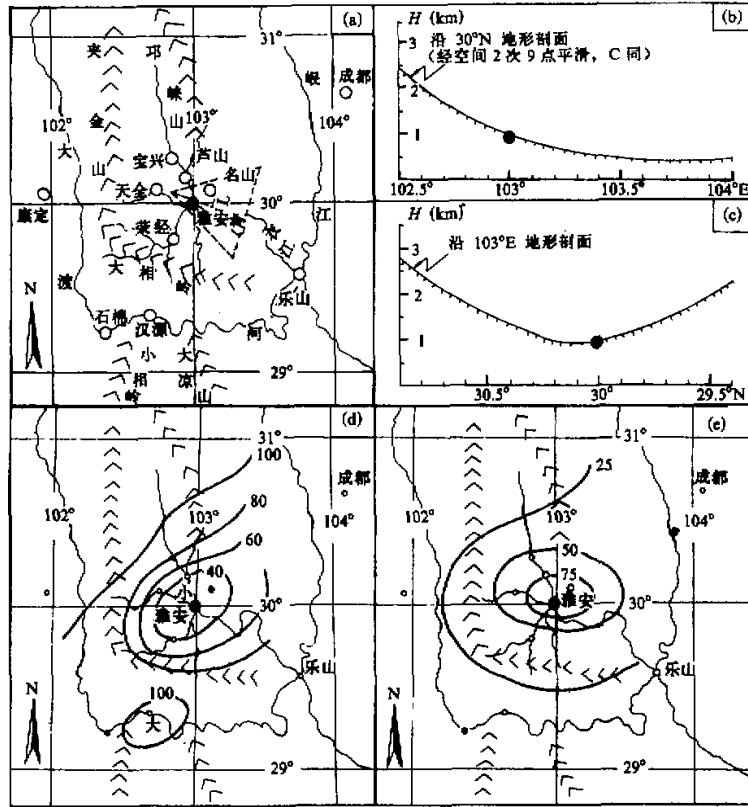


图1 地形(a, b, c)、年暴雨次数变率(d, %)和合成雨量(e, mm)
图(a)中三角形为喇叭口地形区域, 各图中黑圆点为雅安所在位置

显然存在不足。本研究工作, 试图在以上研究的基础上, 通过全面、系统的天气分析和数值模拟, 对“雅安天漏”作出深入的研究。本文给出天气分析方面的研究结果, 包括气候、大尺度环流、物理量合成、地形作用和中尺度系统等分析。

二、气候分析

据雅安地区8县、市1959—1988年(30年)的资料统计, 当有2站(包括2站)以上日降水量(北京时20—20时) ≥ 50 mm时, 则定为一次“雅安天漏”(区域暴雨)过程, 共计有198个个例。其时间分布及变化特征为: 最少年2次, 最多年13次, 年平均6.6次。按如下公式计算年暴雨次数变率:

$$C = \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right) \times 100\% \right], \quad (1)$$

式中 \bar{x} 为平均暴雨次数, x_i 为各年暴雨次数, n 为资料年代数。计算结果表明, 雅安地

区的年暴雨次数变率在 36%—111% 之间, 中部各县(市)的变率小, 尤以雅安为最小(见图 1d)。最早开始期为 5 月 5 日, 最迟为 8 月 13 日。最早终止期为 7 月 21 日, 最迟终止期为 11 月 5 日。平均初日为 6 月 28 日, 平均终日为 9 月 2 日, 平均初终日天数为 67 天。暴雨主要集中于 6 月下旬—9 月上旬, 尤以 7 月下旬—8 月中旬最为集中。暴雨主要在一日内结束, 最长持续天数为 2 天, 绝大多数降水发生在夜间, 午夜左右降水最强盛, “巴山夜雨”的特征非常显著, 图 2 是 1980—1989 年(10 年)雅安暴雨期间

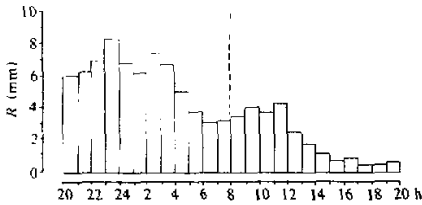


图 2 雅安暴雨期间平均降水率的日变化

平均降水率的日变化图。由 1980—1989 年资料统计的雅安暴雨夜雨率(20 时—08 时夜雨量除以日总雨量)为 74.7%, 夏季(5—9 月)降水夜雨率为 74.0%, 年降水夜雨率为 73.4%, 可见雅安的夜雨率是比较大且稳定的, 夏季略大于全年, 暴雨中又略大于整个夏季。表 1 给出了按 1980—1989 年 5—9 月资料统计的雅安地区各个县、市的夜雨率、阴天率(日

平均总云量 > 8.0 成的天数除以总天数)和平均风速。由表 1 可见, 雅安地区各县、市夏季降水夜雨率平均在 70.8%—77.4% 之间, 相应的阴天率均在 72.4%—77.1% 之间, 为典型的“昼阴夜雨”气候区域。除海拔最高(1009.7m)的宝兴县外, 夏季(5—9 月)平均风速均在 0.4—1.9 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 间, 最多风向为静风, “山谷风”现象不显著。降水中青衣江流域的各站多为吹向其迎风坡的偏东风, 大渡河流域的各站多为吹向其迎风坡的偏西南风。暴雨中, 850—700 hPa 多伴有西南低空急流夜间突然增强现象。“雅安天漏”的形成、发展, 与青衣江流域的偏东风爬坡可能有很大关系。

表 1 雅安地区夏季(5—9 月)气候状况

要素 \ 县市	宝兴	天全	芦山	雅安	名山	荣经	汉源	石棉
夜雨率(%)	73.6	72.5	73.9	74.0	70.8	76.1	77.4	77.0
阴天率(%)	76.1	76.9	72.4	73.7	75.2	77.1	74.6	74.6
平均风速(m / s)	3.5	0.8	0.7	1.8	1.1	1.4	0.4	1.9

雅安暴雨的空间分布特征为: 暴雨落区主要为青衣江河谷内的中部县(占 91.9%), 尤以雅安暴雨最多(见图 1e)。水平尺度为 100 km 左右。

暴雨强度的分布特征为: 中部县(市)的大暴雨次数多, 一日(小时和 10 分钟)最大雨量大, 尤以雅安为最多(大), 详见表 2。

三、大尺度环流分析

普查 198 个区域暴雨个例的历史天气图, 发现其与 100 hPa 南亚高压的活动有密切关系。夏季前期, 当南亚高压东西向脊线(以下同)与 103°E 交点, 北上到 24—26°N

表 2 暴雨雨强情况

(雨量单位: mm)

站名	宝兴	芦山	天全	雅安	名山	荣经	汉源	石棉
最大日雨量	123.5	188.6	161.8	339.7	310.4	261.9	85.9	108.6
最大小时雨量	42.5	44.8	59.0	88.5	59.9	64.7	54.5	54.8
最大 10 分钟雨量	17.1	18.3	26.0	28.2	23.3	28.1	20.5	21.9
大暴雨日数	3	20	22	53	39	15	0	1

时, 雅安地区随即进入暴雨自然季节, 当进到 30°N 附近时, 暴雨、大暴雨较集中发生。在 500 hPa 环流形势上, 夏半年中国的季风雨带位于西太平洋副热带高压 (以下简称副高) 脊线西至西北侧湿润的西南气流中, 人们称之为副热带湿区, “雅安天漏”绝大多数是在副热带湿区中产生的。其大尺度环流可概括为 3 类, 即青藏高压 (脊) 后部低涡 (切变) 东移触发的暴雨过程 (简称 A 类, 占 10.1%); 副高边缘西风短波槽触发的暴雨过程 (简称 B 类, 占 76.3%); 西风大槽发展影响产生的暴雨过程 (简称 C 类, 占 13.6%)。B 类暴雨占雅安区域暴雨绝大多数。其 500 hPa 合成位势高度场见图 3。

在暴雨的年际分布中, 当该年副高偏强、稳定在大陆东部。588gpm 线控制在川东一带时, 则当年暴雨多和强, 否则暴雨少和弱。

四、物理量合成分析

以下物理量合成计算中涉及的物理量基本资料, 来源于 1983—1986 年进行的“四川暴雨研究”课题的结果, 其计算方案参见文献[5]。合成计算的具体作法是: 凡涉及流场的计算均采用 $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ 网格, 凡涉及湿、温场的计算均采用 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 网格, 将对应网格点上的资料相加后, 再作平均, 风资料以 u 、 v 分量进行计算。在 1959—1981 年的区域暴雨中选取 10 个典型的“天漏”个例, 分别进行暴雨前 (指降水前 12h, 下同) 和暴雨中的物理量合成计算, 其结果分别简要概括如下。

1. 水平流场和空间环流

在水平流场上, 对流层中下层, 暴雨中雅安的平流场如图 4 所示: 500 hPa 处于高空槽前的西南气流中; 700 hPa 为一气旋环流, 其东南象限有强烈的汇入气流; 850 hPa 为偏东辐合气流; 850 和 700 hPa 在雅安以东附近都有一支低空急流。对流层上层, 暴雨前、中, 南亚高压脊线在 103°E , 位于 $30 \pm 0.5^{\circ}\text{N}$, 雅安上空为风速较小的辐散气流 (图略)。

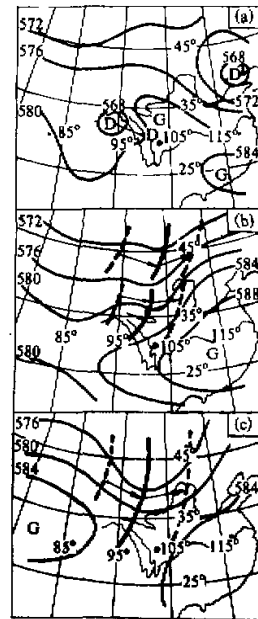


图 3 暴雨环流分类合成位势高度场

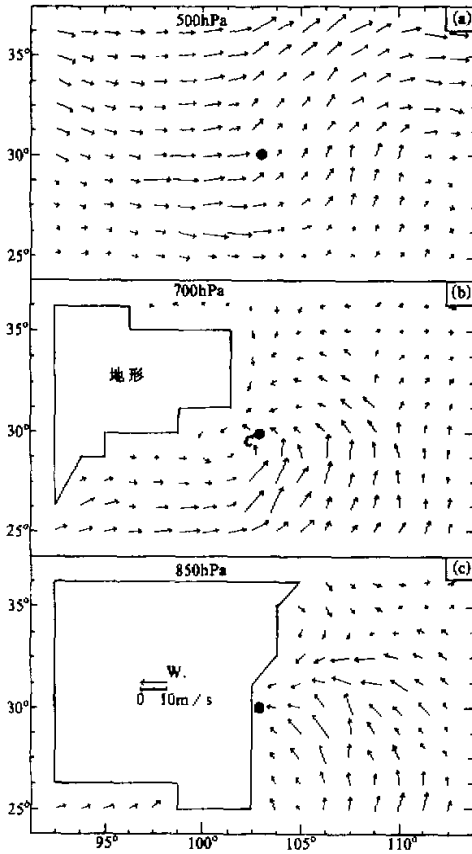


图4 暴雨中合成水平流场

在涡度场中,暴雨前,雅安850—600或500 hPa为正涡度,最大值出现在700 hPa附近,400—100 hPa为负涡度,最小值出现在200 hPa附近。700—200 hPa,雅安分别为正涡度(平流)和负涡度(平流)中心(参见图6a、c)。暴雨中,高层的负涡度中心和低层的正涡度中心都显著东移,且中心强度都显著加强,正涡度层向上扩展到300 hPa,涡度场随暴雨过程而同步增强(图略)。

暴雨中的空间环流如图5所示:700—500 hPa,雅安均为明显的辐合上升,直至200 hPa,在雅安上空形成强烈的辐散气流,流出后分别在东南、西北和西南方向形成三支辐散下沉气流,东南方向支(最强)在川东一带(中心在酉阳附近);西北方向支在巴颜喀拉山一带(中心在玉树附近);西南方向在横断山脉一带(中心在贡山附近)。三支下沉气流下沉到850—700 hPa后,又辐合于雅安,再次向200 hPa上升,从而形成了完整的暴雨的空间环流。雅安暴雨前、中平均无辐散层在350 hPa附近。

2. 水汽

从合成水汽通量散度来看,暴雨前,850—700 hPa,雅安均处于水汽辐合区中,辐合在850 hPa最强。随暴雨强度加大(大暴雨中)水汽辐合层向上扩散到500 hPa,且在850—500 hPa雅安都为水汽辐合中心(见图6b)。暴雨中,850—500 hPa,雅安仍处于水汽辐合区中,但在850—500 hPa水汽辐合中心略东移,低层(850—700 hPa)辐合中心的强度值较暴雨前增大了一倍多,与低层辐合流场显著加强相对应(图略)。

3. 温度场

在500—850 hPa的 θ_{se} 图上,暴雨前,宜宾—威宁一带为一不稳定中心,雅安处于该中心西北缘的不稳定能量锋区之中(见图6b)。暴雨中,上述不稳定中心逐渐东北移到安康附近,雅安附近的不稳定能量锋区逐渐减弱(图略)。

在温度平流图上,暴雨前,雅安地面到500或400 hPa为暖平流中心,以上至200

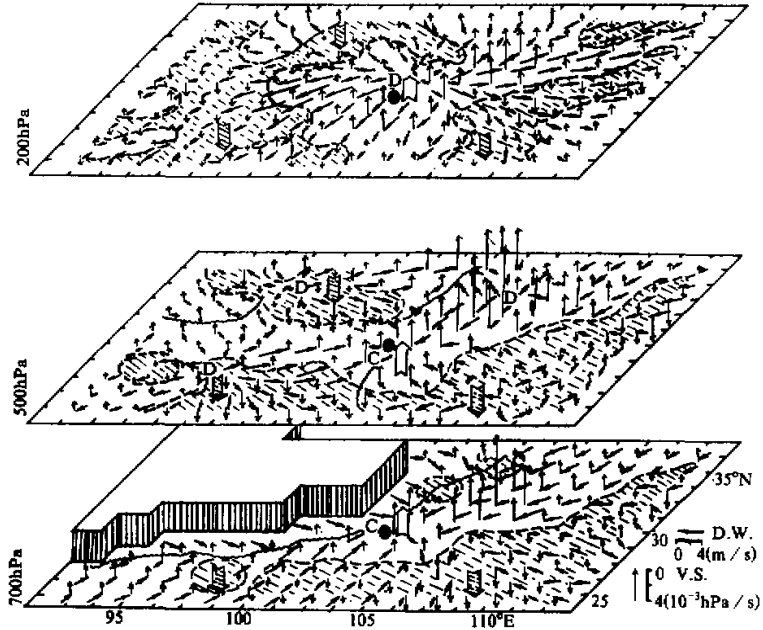


图5 暴雨中合成空间环流

波纹线为辐合线，水平箭头为散度风，铅直箭头为铅直速度，
C为汇，D为源，阴影区为下沉运动区，空白区为上升运动区

hPa 为冷平流中心，随暴雨强度增大（大暴雨中）暖平流可向上扩展到 400 hPa。低层暖平流在 700 hPa 最强，高层冷平流在 200 hPa 最强。暴雨强度与 700—200 hPa 温度平流成正相关。暴雨落区与 700（或 200）hPa 温度平流的 $4 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ （或 $-4 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ ）闭合等值线范围对应较好（见图 6a、c）。

由上可见：暴雨前雅安大气为层结不稳定状态，且这种不稳定状态还受到环境场的动态维持。

五、地形作用分析

由文献[1]和[6]，根据雅安的实际情况，在 P 坐标中，考虑地形摩擦和迎风坡、喇叭口地形作用的地形铅直速度可写为

$$\omega_f = -[\bar{V}_f \cdot \nabla h + 3.6V_f \cos\beta + 0.3\zeta_{700}] \quad (2)$$

(2) 式中 ω_f ，单位为 $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ， β 为 \bar{V}_f 与喇叭口人口方向的夹角。由于雅安的高空风观测已经停止，而雅安与成都高空风的对比观测试验及统计结果^[7]都表明，用成都 850 hPa 风替代雅安摩擦层的 \bar{V}_f 是可行的。表 3 给出了成都 850 hPa 风速为 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、

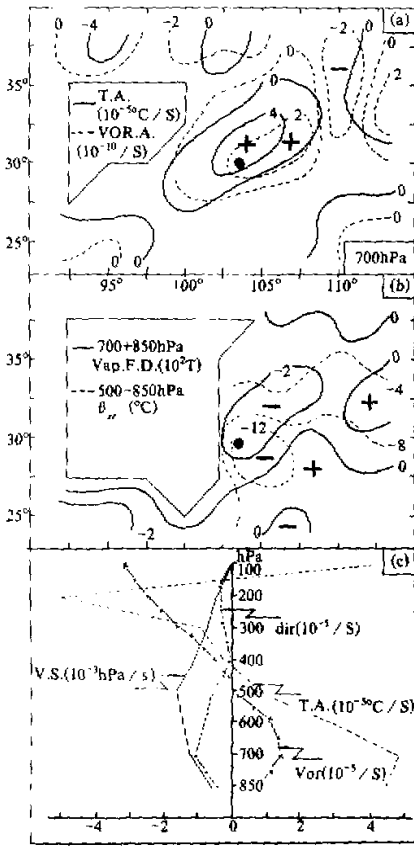


图 6 暴雨前物理量合成特征

(a) 图中 T.A. 为温度平流, VOR.A. 为湿度平流;
 (b) 图中 Vap.F.D. 为水汽通量散度; (c) 图中
 div 为散度, Vor 为涡度, V.S. 为铅直速度

风向为 8 个方向时, 雅安地区 8 个县 (市) 气象台 (站) 点的地形爬坡铅直速度 ($\omega'_f = -\bar{V}_f \cdot \nabla h$) 以及喇叭口地形辐合铅直速度 ($\omega''_f = -3.6V_f \cos\beta$)。

另外, 由于青藏高原大地形的影响, 高原东部的地形作用可以影响到很高层次, 根据文献[8]中的分析, 可计算出雅安 ω_f 随高度的递减系数, 即使在 500 hPa 上 ω_f 仅衰减约 50%。

通过用凝结函数^[9]求雅安地区的地形雨分布得到: 地形雨分布与实际降水分布十分一致。当低层为偏东气流时, 沿青衣江河谷的雅安一天全, 地形对降水的正贡献最大。当中尺度系统越强时 (ζ_{700} 越大), 地形雨越大。雅安地区境内地形差异很大, 从而使水平距离仅 10—25 km 的气象站之间, 年平均雨量和雨日及暴雨次数等都有很大差异。在气候上 (参见文献[1]), 雅安年、冬 (春) 和夏 (秋) 季地形雨所占比率 (%) 分别为 30、29 和 39, 而在暴雨中可达 50—60。

盛华和陶诗言^[10]通过数值试验方法证实了气流主要是绕青藏高原而行的, 并指出“气流绕流在我国西南易生成涡旋, 在长江中下游生成倒槽...。绕流作用使北部常常生成小高压, ...高原

表 3 成都 850 hPa 风速为 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时 ω'_f 和 ω''_f (单位: $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

风向	N		NW		W		SW		S		SE		E		NE	
站名	ω'_f	ω''_f	ω'_f	ω''_f	ω'_f	ω''_f	ω'_f	ω''_f	ω'_f	ω''_f	ω'_f	ω''_f	ω'_f	ω''_f	ω'_f	ω''_f
宝兴	4.5	0	4.0	0	6.0	0	6.0	0	3.0	0	0	0	6.0	0	1.0	0
天全	4.0	0	6.0	1.8	6.0	1.8	3.5	1.8	3.8	0	-4.0	-1.8	-4.7	-1.8	-4.0	-1.8
芦山	4.0	0	6.0	0	6.0	0	4.0	0	3.0	0	1.0	0	-4.0	0	-5.0	0
雅安	4.0	0	4.0	3.6	5.5	3.6	4.9	3.6	3.6	0	-4.0	-3.6	-8.5	-3.6	-3.0	-3.6
名山	4.0	0	4.0	0	4.0	0	2.0	0	3.6	0	-4.0	0	2.0	0	-6.0	0
荣经	4.0	0	2.5	0	4.0	0	4.0	0	3.0	0	0.7	0	0	0	0.8	0
汉源	7.0	0	6.0	0	6.5	0	-2.0	0	3.3	0	6.3	0	8.5	0	5.3	0
石棉	7.0	0	6.0	0	8.0	0	-2.0	0	2.8	0	4.0	0	8.0	0	6.0	0

有低涡...”。青藏高原大地形和雅安局地中小尺度地形的综合利用使得雅安常年维持一中尺度气旋性地形涡旋（参见文献[1]），该涡旋是产生“雅安天漏”的直接影响系统。

六、中尺度系统分析

1. 高空中尺度系统

“雅安天漏”在高空属中β尺度系统，水平尺度（直径）<250 km，其最大扰动波长约500 km，用文献[11, 12]相同的尺度分离方法，取滤波器的权重常数 $G=0.4$ ， $C=40000$ ，通过低通滤波分离中尺度系统，由响应函数曲线图可知，通过该低通滤波器后，可得较短波长的响应函数值在 $\lambda=500$ km 处， $R=0.95$ 。计算的10个个例的中尺度系统特征较相似，其合成图见图7。

分析结果说明：中尺度系统与500 hPa 青藏高原低值系统的联系为：当高原槽（涡、切变）东移到高原东部时，其前部强烈的正涡旋平流与边坡低层的地形涡旋叠加，在适宜的环境场中使地形涡旋迅速强烈地发展起来。在卫星云图上可见：高原槽（涡、切变、冷锋）云系移至90—100°E 时，常在雅安东南方附近有一孤立的，结构密实呈准圆形的对流云团生成，并迅速向雅安移动，到雅安时发展最盛，辐散云羽主要朝东，当中尺度云团与高原云系合并后，降水随之减小。

中尺度系统的结构特征为：系统的湿层很厚，以平均温度减去平均露点小于4°C 定为准饱和层，则在暴雨中整个对流层基本均达到准饱和。系统在对流层中部最强，100—200 hPa 为强烈的点源式辐散或反气旋环流，400 hPa 以下为点汇式辐合或气旋环流。发展强烈时，无辐散、零涡度层和暖区上抬到300 hPa，对流顶附近出现冷堆。

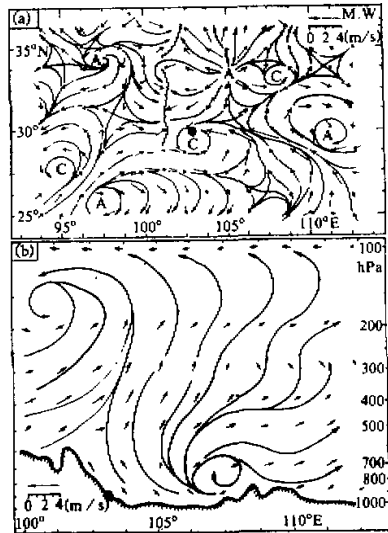


图7 中尺度合成图
(a) 500 hPa 流场，图中短箭头为中尺度风；
(b) 沿30°N 剖面，图中短箭头为二维剖面气流

2. 地面中尺度系统

川西地区气象台、站间平均相邻距离<30 km，地面观测资料丰富。1989年夏，我们针对典型的“天漏”过程，组织了若干次中尺度观测和预报试验。根据这些资料对6个典型个例进行了综合地面中分析。

分析结果表明：由于地形作用，中尺度系统为一水平尺度<150 km 的气旋式地形涡旋，其配有相同尺度的高能(θ_{se})中心。系统生成初期，对流云、降水和雷暴主要

在涡旋的东南象限,随系统加强而向中心辐合,且强度迅速增大。地形涡旋在降水过程中移动不大,主要在青衣江河谷内摆动。小时雨强与雅安近地面的偏东风正相关。在雷达回波上可见:通常在下午,多个对流小单体在雅安偏东方生成,入夜后迅速向雅安移动、合并,降水强盛时,回波呈准圆形的混合对流回波,有明显的涡旋特征。降雨中回波移动不大,某方向有新的对流单体并入时,涡旋回波就朝其方向略摆动。涡旋云区与强降雨区对应,小时雨强与回波强度(dBz)和顶高正相关、与最强回波中心的高度反相关。

3. 中尺度系统发生、发展的概念模型

综上,“雅安天漏”中尺度系统发生、发展的概念模型为:地面—850 hPa为气旋式地形涡旋,700 hPa为西南暖湿气流中的气旋式扰动(气旋曲度),500 hPa为低槽(涡、切变)前部的西南气流,100 hPa为南亚高压的辐散场,高压脊线与103°E交点位于 $30 \pm 0.5^\circ\text{N}$;地面上涡旋东南方配有 θ_{se} 大值中心,850—700 hPa为强烈的湿空气汇、有 θ_{se} 暖平流和正涡度平流向涡旋中心输送,500 hPa有低值系统东移影响,大气层结为不稳定。

七、结 论

(1) 由于地形的作用,雅安暴雨日数、一日最大雨量等都为高原东部最大值区之一,年暴雨次数变率为最小值区之一,“夜雨”显著,暴雨的时空分布有显著的中尺度特征。

(2) 雅安暴雨主要发生于副高边缘的西风扰动之中,暴雨强弱多少的年际变化与副高的年际变化密切相关。

(3) 雅安暴雨前和暴雨中,对流层中下部为湿空气汇、空气质量辐合、暖平流和正涡度平流中心,对流层上部为干层、空气质量辐散、冷平流和负涡度平流中心。

(4) 地形对雅安降雨的主要影响为:气流沿青衣江河谷喇叭口地形辐合;沿陡峭的坡地爬升;而青藏高原大地形将两种地形作用的影响延伸到500 hPa以上高度。天气尺度地形(青藏高原)和中小尺度地形(高原边坡的喇叭口河谷)的综合作用,在雅安产生准定常的中尺度地形涡旋,在适宜的热力和动力条件下,该涡旋即发展成“雅安天漏”中尺度系统。

致 谢: 席官臣、曾建华、王建新、李小川、刘正礼参加了部分工作。

参 考 文 献

- [1] 彭贵康, 1985, 雅安地形与降水的气候特征, 高原气象, 4, No.3, 230—240.
- [2] 汪之义, 1977, 雅安“天漏”的形成及其预报, 气象科技资料, No.5, 66—74.
- [3] 柴复新, 1981, 预报员经验选编(一), 四川省气象局, 136—148.
- [4] 芮良生, 1990, 气象预报专家系统文集, 气象出版社, 232—237.
- [5] 四川盆地暴雨研究课题组, 1987, 四川盆地区域性大暴雨过程实例研究, 四川省气象科学研究所, 1—6.

- [6] Pedlosky, J., 王 斌译, 1981, 地球物理流体力学导论, 海洋出版社, 170—175。
- [7] 彭贵康, 1992, 夏季雅安高空风的统计分析, 四川气象, 12, No.1。
- [8] 梁必骥, 1980, 天气学(下册), 国家气象局, 276—278。
- [9] 朱乾根, 1979, 天气学原理和方法, 气象出版社, 502。
- [10] 盛 华、陶诗言, 1988, 青藏高原和落基山对气旋的动力影响, 气象学报, 46, No.2, 130—141。
- [11] Maddos, R.A., 1980, An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in meteorological data, *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1108—1121。
- [12] Barnes, S. L., 1973, Mesoscale objective map analysis using wighted timeseries observation, NOAA Technical Memorandum ERL NSSL-62。

Research on “Ya-An-Tian-Lou”

Part I: Weather Analysis

Peng Guikang, Chai Fuxin

(*Meteorological Bureau of Ya'an Prefecture, Sichuan Province, Ya'an 625000*)

Zeng Qingcun and Yu Rucong

(*LASG, Institute of Atmosphere Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Abstract

Ya'an is located on the west edge of the Sichuan Basin, the east periphery of the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau. There are very close relationship between the special topography and the precipitation in this area. Whether in the aspect of total rain days or total rainfall amount in a year, Ya'an is always an extreme range, which has been called “Ya-An-Tian-Lou” (YATL) in Chinese. This paper systematically analyses the weather, climate, large-scale circulation, meso-scale systems and especially the terrain effect related to YATL, based on a large number cases of Ya'an heavy rain. The main results are as follows: The YATL is a special precipitation phenomenon affected by the special topography and has an outstanding meso-scale characteristics. On large-scale, the main weather system affecting the YATL is the subtropical high pressure. The precipitation mainly occurs at night. That is night-time precipitation. The raining mechanism and physical structure in Ya'an are extraordinarily different from other areas.

Key words: torrential rain; large-scale circulation; orographic precipitation; meso-scale system.