

肖云, 黄绍文, 马中元. 庐山夏季台风暴雨物理量分析 [J]. 陕西气象, 2014 (5): 7-13.

文章编号: 1006-4354 (2014) 05-0007-07

庐山夏季台风暴雨物理量分析

肖 云¹, 黄绍文¹, 马中元²

(1. 新余市气象局, 江西新余 338025; 2. 江西省气象科学研究所, 南昌 330046)

摘 要: 利用地面观测资料和 NCEP1°×1°格点再分析资料, 对庐山夏季强降水的天气系统进行统计分析和物理量计算, 结果表明: 台风是庐山后汛期暴雨或大暴雨产生的主要天气系统; 台风暴雨分为 A 型和 B 型两种降水类型; 涡度、散度、螺旋度、垂直速度、水汽通量与水汽通量散度等物理量与台风暴雨关系密切, 物理量特征阈值对确定台风暴雨预报有一定指导意义; 24°N~30°N、116°E~120°E 为物理量特征区域, 各物理量在特征区域中超过阈值时, 庐山极有可能有暴雨发生。

关键词: 庐山; 台风暴雨; 物理量场; 物理量阈值

中图分类号: P458.124 **文献标识码:** A

庐山台风暴雨主要发生在 7—9 月。自 1970 年以来, 庐山出现过三次引发重大灾害的台风暴雨: 1975 年 8 月 12—20 日, 受台风影响, 庐山累积雨量达 1 100.0 mm, 死 3 人伤 3 人; 1990 年 6 月 30 日—7 月 2 日, 受 6 号台风波西影响, 庐山累积过程降雨量达 427.0 mm, 死 6 人伤 1 人; 2005 年 9 月 2—4 日, 受 13 号台风泰利影响, 庐山累积过程降雨量达 937.4 mm, 出现严重泥石流和山体滑坡, 死 9 人伤 11 人, 经济损

失 2 亿多元。
针对带来严重灾害的台风暴雨, 国内外不少学者进行了大量研究, 取得了不少成果。孟妙志^[1]对 2002-08-05 陕西省突发性暴雨进行诊断分析, 发现暴雨区具有高能量、位势不稳定很深厚的环境场, 台风北上加强了扰动和水汽输送。陈玉林等^[2]利用 1949—2001 年的台风资料, 统计出 7—9 月是台风多发季节, 其中 8 月份台风最多。张弘等^[3]分析了近海台风对陕西暴雨的影

收稿日期: 2014-04-29
作者简介: 肖云 (1982—), 男, 汉族, 四川邛崃人, 大学本科, 工程师, 主要从事天气预报及研究。
基金项目: 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室开放课题 (2010LASW-A03)、中国气象局气象关键技术与应用项目 (CMAGJ2011Z05)、江西省气象局重点项目 (JXQX2010Z09)、(JXQX2008Z04)、江西省气象局创新基金 (GCX200909) 共同资助

[13] 韩礼应, 何振伟. 桂西北汛期强降水前期环流和影响天气系统特征分析 [J]. 广西气象, 2006, 27 (增): 32-34.

[14] 刘瑜, 赵尔旭, 孙丹, 等. 东南亚地区夏季风异常对云南 2005 年初夏干旱的影响 [J]. 气象, 2006, 32 (6): 91-96.

[15] 王宝鉴, 黄玉霞, 何金海, 等. 东亚夏季风期间水汽输送与西北干旱的关系 [J]. 高原气象, 2004, 23 (6) 912-918.

[16] 马福慧. 长江中游 1998 年特大洪涝成因分析 [J]. 地球物理学报, 2000, 43 (3): 331-338.

[17] 巢纪平. 厄尔尼诺与中国气候异常 [J]. 中国科学院院刊, 1998 (6): 434-437.

[18] 韦志刚. 青藏高原积雪异常的持续性研究 [J]. 冰川冻土, 2001, 23 (3): 225-230.

响特征,指出陕西汛期区域性暴雨与近海台风有着较高的相关率和近海台风对陕西暴雨的影响主要有两类。尹东屏等^[4]通过对台风暴雨期间涡度与垂直速度空间结构变化进行了分析,认为暴雨的增幅发生在正涡度发展和上升运动明显增强的过程中,当上升运动减弱时,雨强也减小。宁志谦^[5]选取 2003-08-29 和 2005-08-15 两个暴雨个例,对流层低层两类偏东风气流上的物理量分布特征进行对比分析认为台风低压北侧偏东风是水汽输送的通道,并对水汽的输送和能量的聚集有重要作用。张淑敏^[6]对 2010 年 7 月 22—24 日发生在陕西渭北的强降水天气进行分析,发现低层切变线、低涡、低空急流是暴雨产生的主要影响系统。牛乐田^[7]认为对流层高低层湿位涡“正负区垂直叠加”的结构是暴雨发展的有利配置。

上述研究对庐山夏季台风暴雨的预报和研究具有重要指导意义,但从物理量上分析台风暴雨还很少。本文利用常规天气资料和 NCEP1°×1°再分析资料进行分析和计算,试图总结出庐山台风暴雨过程的物理量特征,为庐山台风暴雨预报奠定基础。

1 强降水特征

1.1 强降水统计

2002—2010 年的 7—9 月,庐山 25 次强降水过程日降水量(20:00—20:00)大于 45 mm(表 1),其中 9 次大暴雨,4 次特大暴雨。平均每年暴雨为 2.7 次,以 2005 年为最多,以 2003、2004 和 2007 年为最少。大暴雨每年平均为 1 次,除少数年份外,分布较均匀。2005 年为台风活动高峰年,出现大暴雨 3 次,特大暴雨 2 次。

表 1 2002—2010 年 7—9 月庐山

25 次强降水过程日降水量（20—20）统计											次
年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	合计	
≥45 mm	3	1	1	4	4	1	3	5	3	25	
≥100 mm	1	0	1	3	1	0	1	1	1	9	
≥250 mm	0	0	1	2	1	0	0	0	0	4	

1.2 强降水过程天气系统分型

对庐山 25 次强降水天气形势及系统配置进

行分型(表 2):① 台风暴雨型,因台风及其减弱后的低压给庐山带来的降水,包括台风及其低压与西风带系统共同作用的降水;② 西风带型,指因江淮气旋、高空低槽、中层切变、低涡、地面锋、地面倒槽等系统引起的强降水;③ 副热带高压边缘型,除副热带高压以外没有明显的其他系统相配合而产生的降水;④ 东风波型,指没有达到台风级别的东风带系统带来的强降水,如东风波、热带低压、华南季风槽等。

25 次强降水中,台风型有 11 次,占个例总数的 44%,说明台风是庐山暴雨或大暴雨的主要天气影响系统。

表 2 2002—2010 年 7—9 月庐山强降水过程的

四类天气系统分型										次
年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	合计
台风	1		1	3	3	1	1	1		11
西风带	1	1		1				2	3	8
副高边缘	1				1		1	1		4
东风波	0	0	0	0	0	0	1		1	2

1.3 台风暴雨分型

台风暴雨分两种类型(表 3)(台风等级按 GB/T19201—2006 划分)。

台风暴雨 A 型:台风沿福建南部,进入江苏中部后西行,引发庐山降水发生,此类个例有 8 个(辛乐克、云娜、海棠、马莎、泰利、格美、桑美、莫拉克)。

台风暴雨 B 型:台风登录时没有形成降水,登陆减弱后的低压环流进入江西,引发降水发生,此类个例有 3 个(碧利斯、圣帕、凤凰)。

2 动力条件

2.1 涡度场

强盛的正涡度为庐山暴雨的发生提供了动力条件。8 次台风 A 型降水过程发生前 20:00 涡度场,都有强涡度中心位于庐山以东偏南苏闽地区(117°E~122°E、25°N~31°N),中心强度大于 $14\times10^{-5}\text{ s}^{-1}$,强中心位于 850~400 hPa。台风玛莎 2005-08-06T20 850 hPa 涡度场上(图 1a),庐山以东 117°E~122°E、950~500 hPa 为大于 $14\times10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 正涡度中心。正涡度最大高度可伸展至 300 hPa(图 1c)。

表 3 影响庐山强降水的 11 次台风概况

编号	台风名称	时间	累计降水量	近中心风速	强度等级	台风暴雨 分型
			/mm	/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$		
1	辛乐克	2002-09-08	85.2	43	强台风	A
2	云娜	2004-08-13—14	270.9	40	台风	A
3	海棠	2005-07-20—21	272.6	55	超强台风	A
4	马莎	2005-08-07	130.3	40	台风	A
5	泰利	2005-09-02—04	937.4	53	超强台风	A
6	碧利斯	2006-07-16—17	244.3	25	强热带风暴	B
7	格美	2006-07-26	70.7	38	台风	A
8	桑美	2006-08-11	70.3	48	强台风	A
9	圣帕	2007-08-22	45.5	53	超强台风	B
10	凤凰	2008-07-30	52.6	43	强台风	B
11	莫拉克	2009-08-06—13	198.8	40	台风	A

台风 B 型低压环流在江西上空，位置接近庐山，正涡度中心较 A 型的偏弱，位于江西南部和中部上空（ $114^{\circ}\text{E}\sim123^{\circ}\text{E}$ 、 $24^{\circ}\text{N}\sim28^{\circ}\text{N}$ ）， $900\sim650\text{ hPa}$ 中心涡度值大于 $10\times10^{-5}\text{ s}^{-1}$ （图 1b），剖面特征为 $114^{\circ}\text{E}\sim121^{\circ}\text{E}$ 存在大于 $6\times10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 正涡度中心，正涡度最大高度可伸展至 300 hPa （图 1d）。

2.2 散度场

台风 A 型：低层辐合在 $116^{\circ}\text{E}\sim122^{\circ}\text{E}$ 、 $24^{\circ}\text{N}\sim32^{\circ}\text{N}$ ， $1\ 000\sim900\text{ hPa}$ 为 $-5\times10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 强辐合， 800 hPa 以上辐散明显，辐散值为 $3\times10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 左右；剖面上低层辐合高层辐散同样明显， $1\ 000\sim800\text{ hPa}$ 低层辐合区位于 $118^{\circ}\text{E}\sim123^{\circ}\text{E}$ ，高层辐散中心位于 $700\sim200\text{ hPa}$ ，这种高低空散度场配置有利于低层暖湿水汽抽吸到高层，形成大暴雨或特大暴雨。

台风 B 型：庐山附近上空有比较明显的辐合区，其中心最大值为 $-3\times10^{-5}\text{ s}^{-1}$ ，高空无明显辐散，抽吸作用相对较弱。

2.3 螺旋度场

螺旋度场主要有两种形势：一种是有强正螺旋度中心；另一种是具有符号相反的相邻正负螺旋度对。

台风 A 型：降水发生前 20：00，螺旋度特征最为明显。辛乐克、云娜、海棠台风过程中，

低层 800 hPa 以下 $120^{\circ}\text{E}\sim123^{\circ}\text{E}$ 、 $25^{\circ}\text{N}\sim30^{\circ}\text{N}$ 有大于 $30\times10^{-4}\text{ m/s}^2$ 正螺旋度中心。而马莎、泰利、桑美、格美、莫拉克台风，具有明显符号相反的相邻正负螺旋度对，正螺旋度中心值相对较大，强度在 $10\times10^{-4}\text{ m/s}^2$ 以上。正负螺旋度对出现在 200 hPa 以下，范围较为宽广， $114^{\circ}\text{E}\sim123^{\circ}\text{E}$ 、 $22^{\circ}\text{N}\sim30^{\circ}\text{N}$ 都可能出现（图 2a），剖面分析可以发现庐山东侧上游 $120^{\circ}\text{E}\sim123^{\circ}\text{E}$ 的正螺旋度中心非常强盛，8 例中有 5 例 $900\sim500\text{ hPa}$ 有大于 $16\times10^{-4}\text{ m/s}^2$ 的正螺旋度强中心（图 2c）。

台风 B 型：3 例中有 2 例螺旋度场上 $700\sim500\text{ hPa}$ 有符号相反的正负螺旋度对，其正螺旋度中心大于 $6\times10^{-4}\text{ m/s}^2$ （图 2b）；沿 29°N 剖面图上， $119^{\circ}\text{E}\sim123^{\circ}\text{E}$ 、 $500\sim200\text{ hPa}$ 有一强度大于 $8\times10^{-4}\text{ m/s}^2$ 的正螺旋度中心（图 2d）。

2.4 垂直速度场

台风 A 型 8 例中有 6 例（辛乐克、云娜、海棠、马莎、泰利、莫拉克） $24^{\circ}\text{N}\sim30^{\circ}\text{N}$ 、 $116^{\circ}\text{E}\sim122^{\circ}\text{E}$ ， $925\sim500\text{ hPa}$ 存在小于 $-1\times10^{-5}\text{ Pa/s}$ 强上升运动区；沿 29°N 经向剖面上垂直速度区最高可维持到 200 hPa ，上升运动区主要位于 $117^{\circ}\text{E}\sim123^{\circ}\text{E}$ ，中心值在 $-0.8\times10^{-5}\text{ Pa/s}$ 以下。

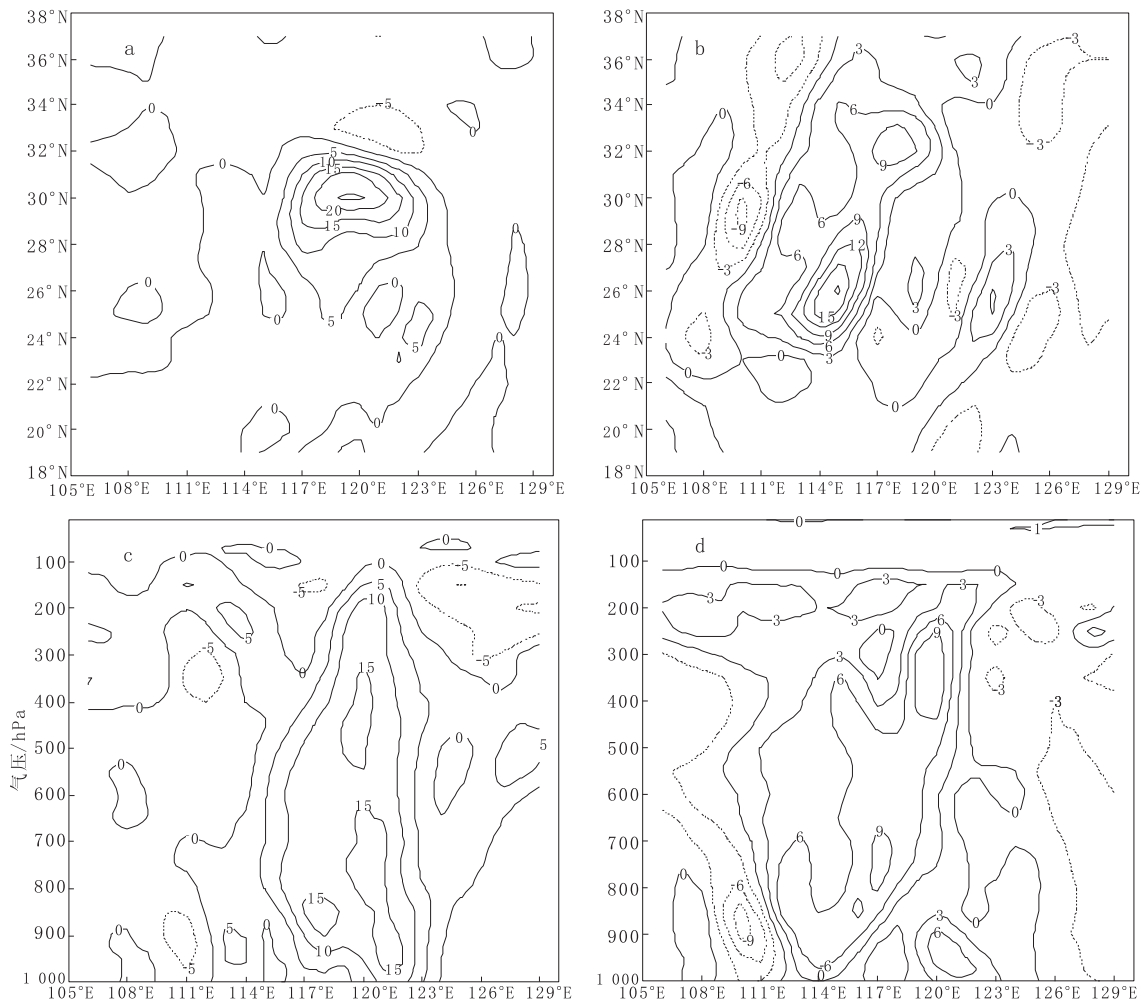


图1 台风暴雨 A 型及 B 型涡度场 (单位为 10^{-5} s^{-1} ; a 台风玛莎 2005-08-06T20 850 hPa; b 台风碧利斯 2006-07-15T20 850 hPa; c 台风玛莎 2005-08-06T20 沿 29°N 剖面; d 台风碧利斯 2006-07-15T20 沿 29°N 剖面)

台风 B 型上升运动区最大中心值相对台风 A 型略小, 在 $-0.8 \times 10^{-5} \text{ Pa/s}$ 以下, 且中心位置离庐山较远。

3 水汽条件

3.1 水汽通量

台风登陆往往带来充沛水汽, 水汽通量是表示水汽输送强度的物理量, 代表水汽输送的大小和方向。

台风 A 型: 975~925 hPa 有来自东路的强水汽输送, 水汽通量中心值大于 $34 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$, 并位于 119°E 以东 (图 3a); 水汽通量剖面上, 水汽通量强输送特征也非常明显, 主要表现在中低层 1000~700 hPa, 119°E 以东, 所有个例都存在大于 $30 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 的水汽通量

输送中心, 其中 6 个个例水汽通量输送中心值大于 $40 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ (图 3c)。

台风 B 型: 降水发生前 20:00, 由于台风减弱后的低压环流还存在, 来自东路水汽输送明显, 但中心范围比较散乱 ($111^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 、 $23^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$), 水汽通量中心最大值大于 $22 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$, 位于 975~850 hPa (图 3b); 沿 29°N 剖面图上, 700~900 hPa 庐山以东上游 $118^{\circ}\text{E} \sim 124^{\circ}\text{E}$, 有大于 $24 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 的水汽中心存在 (图 3d)。

3.2 水汽通量散度

水汽通量散度表示水汽的源和汇, 即水汽通量的收支。台风 A 型降水过程中, 台风环流附近 ($117^{\circ}\text{E} \sim 123^{\circ}\text{E}$ 、 $24^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$), 低层 1000

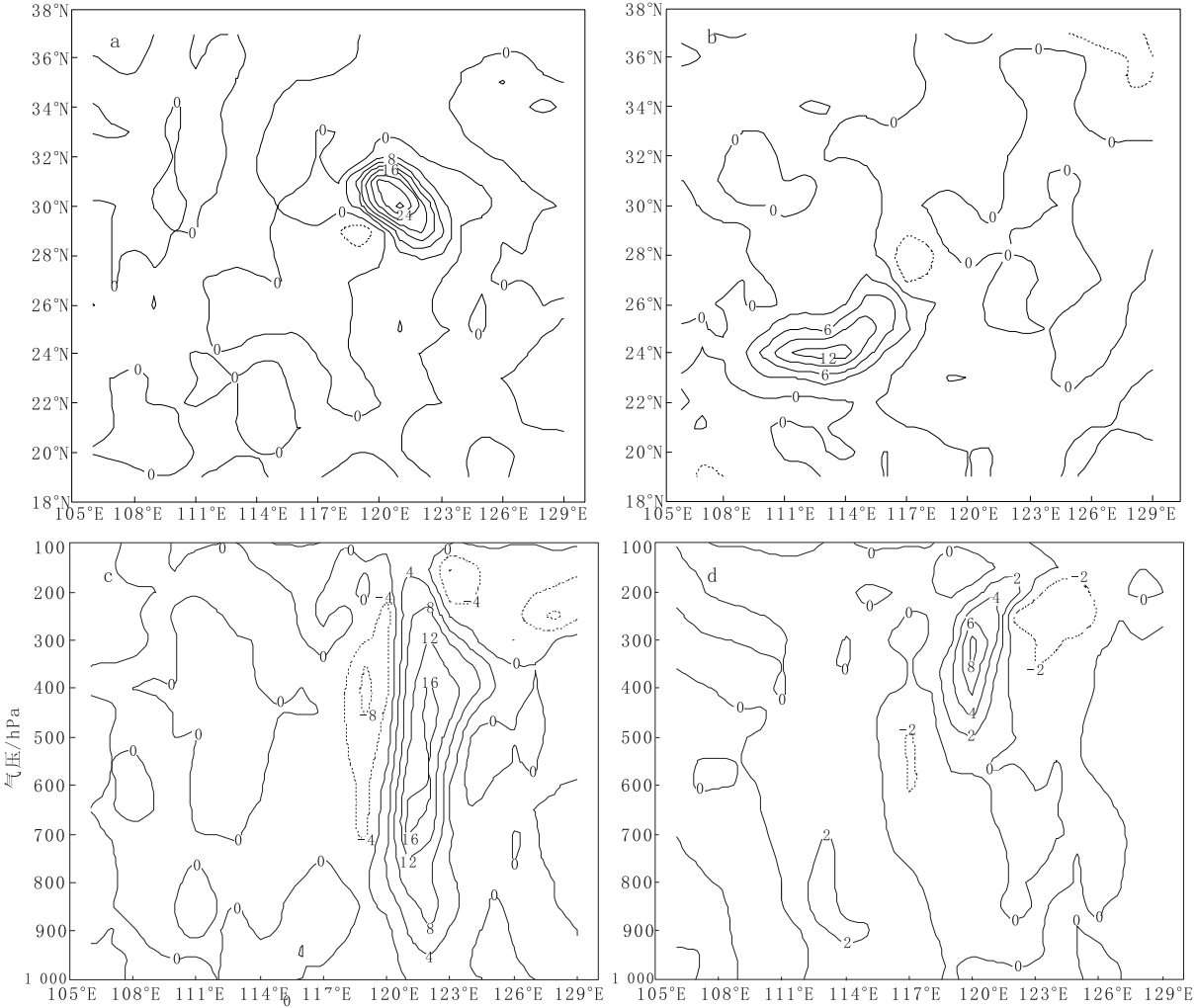


图2 台风暴雨A型及B型螺旋度场(单位为 10^{-4} m/s^2 ; a 台风玛莎 2005-08-06T20 500 hPa; b 台风碧利斯 2006-07-15T20 500 hPa; c 台风玛莎 2005-08-06T20 沿 29°N 剖面; d 台风碧利斯 2006-07-15T20 沿 29°N 剖面)

~800 hPa 的水汽通量散度中心值都在 $-12 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 以下。900 hPa 以上水汽通量散度辐合迅速减小,表明台风A型降水发生之前,低层有来自台风的丰富水汽;水汽通量散度剖面上,庐山东侧 $117^\circ\text{E} \sim 123^\circ\text{E}$ 、低层1 000~800 hPa有强水汽辐合,其辐合强度中心在 $-11 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 以下,非常有利于庐山强降水的发生。

台风B型位于江西上空的水汽通量散度略弱,但仍然达到 $-8 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$;水汽通量散度剖面场上,水汽通量散度辐合区域相对于台风A型较偏西,位于 $114^\circ\text{E} \sim 117^\circ\text{E}$,

中心最大值在 $-7 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 以下,出现的高度相对较低,位于1 000~850 hPa。

4 物理量阈值

庐山东侧 $24^\circ\text{N} \sim 31^\circ\text{N}$ 、 $116^\circ\text{E} \sim 121^\circ\text{E}$ 为物理量特征区域,在该区域中物理量值超过阈值并有发展向庐山移动时,庐山极有可能出现暴雨。

台风A型暴雨物理量特点:

- ① $116^\circ\text{E} \sim 121^\circ\text{E}$ 、 $24^\circ\text{N} \sim 31^\circ\text{N}$ 满足 850~400 hPa 正涡度中心 $\geq 14 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;
- ② 1 000~900 hPa 辐合中心强度 $\leq -5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;

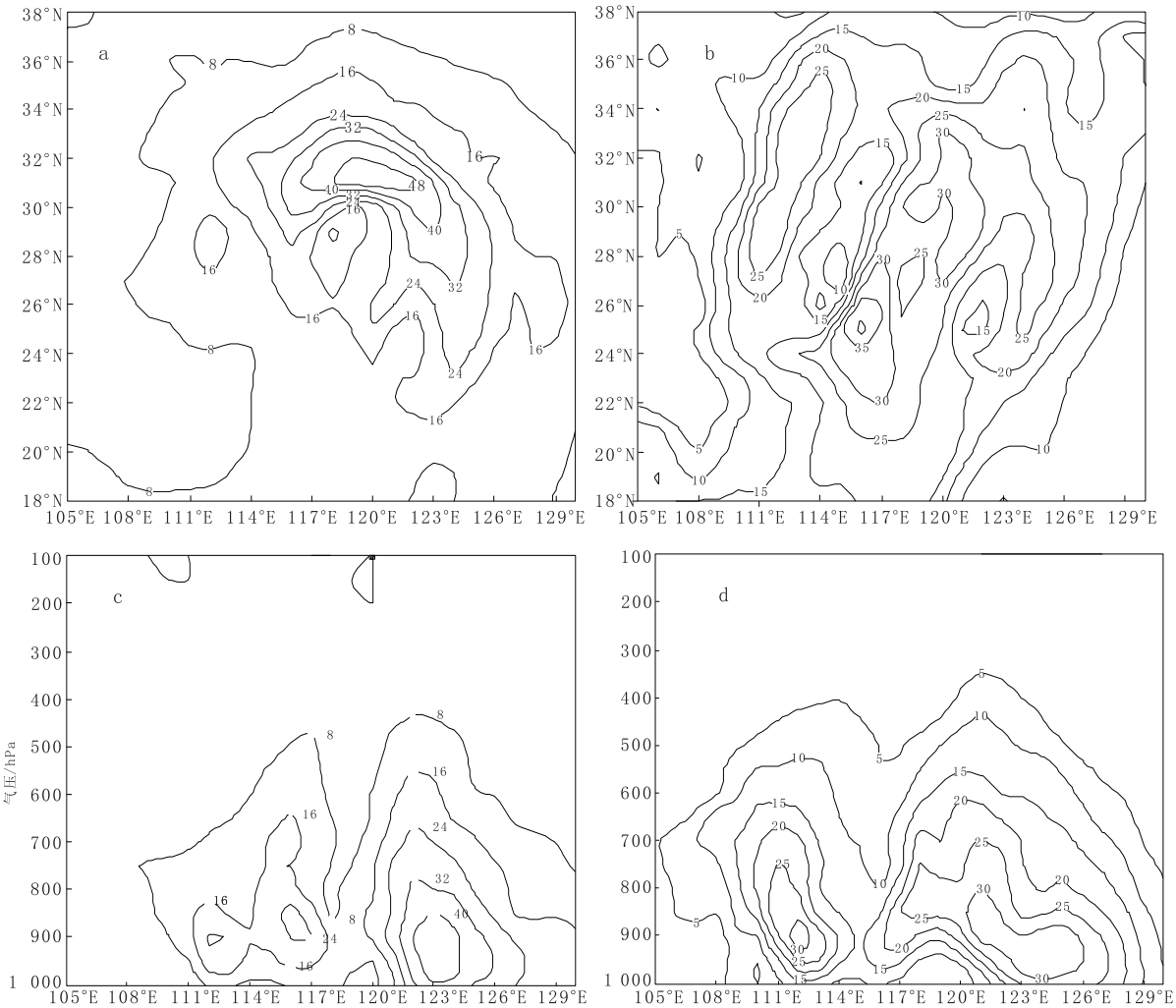


图 3 台风暴雨 A 型及 B 型水汽通量场 (单位为 $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$; a 玛莎 2005-08-06T20 850 hPa; b 碧利斯 2006-07-15T20 850 hPa; c 玛莎 2005-08-06T20 沿 29°N 剖面; d 碧利斯 2006-07-15T20 沿 29°N 剖面)

③ 850~700 hPa 正螺旋度中心 $\geq 30 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}^2$ 或高空有正螺旋度 $\geq 10 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}^2$ 的正负螺旋度对;

④ 925~500 hPa 垂直上升运动中心 $\leq -1 \times 10^{-5} \text{ Pa/s}$;

⑤ 975~925 hPa 水汽通量 $\geq 34 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$;

⑥ 1 000~800 hPa 水汽通量辐合 $\leq -12 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。

台风 B 型降水主要物理量特点:

① $114^\circ\text{E} \sim 120^\circ\text{E}$; $24^\circ\text{N} \sim 30^\circ\text{N}$ 满足 900~650 hPa 正涡度中心 $\geq 10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;

② 1 000~850 hPa 辐合中心 $\leq -3 \times$

10^{-5} s^{-1} ;

③ 750~500 hPa 正螺旋度中心 $\geq 6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}^2$ 的正负螺旋度对;

④ 925~500 hPa 垂直上升运动中心 $\leq -0.8 \times 10^{-5} \text{ Pa/s}$;

⑤ 975~850 hPa 水汽通量 $\geq 24 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$;

⑥ 1 000~850 hPa 水汽通量辐合 $\leq -8 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。

5 阈值检验

2011—2013 年影响并造成庐山产生暴雨的台风有 4 个, 分别是 2011-08-07 “梅花”、2012-08-09—11 “海葵”、2013-07-14—15 “苏

力”、2013-08-22—23 “潭美”, 其中“海葵”的影响最大, 造成了连续三天大暴雨, 过程降水量达 533.4 mm。通过对台风路径、降水量分析, 4 次台风过程都属于台风 A 型, 且物理量特征满足以下特点:

① $116^{\circ}\text{E}\sim 119^{\circ}\text{E}$ 、 $24^{\circ}\text{N}\sim 29^{\circ}\text{N}$ 满足 $850\sim 400$ hPa 正涡度中心 $\geq 15\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;

② $1\ 000\sim 900$ hPa 辐合中心 $\leq -6\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;

③ $850\sim 700$ hPa 正螺旋度中心 $\geq 32\times 10^{-4} \text{ m/s}^2$;

④ $925\sim 500$ hPa 垂直上升运动中心 $\leq -1\times 10^{-5} \text{ Pa/s}$

⑤ $975\sim 925$ hPa 水汽通量 $\geq 36 \text{ g}/(\text{cm}\cdot \text{hPa}\cdot \text{s})$;

⑥ $1\ 000\sim 800$ hPa 水汽通量辐合 $\leq -14\times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2\cdot \text{hPa}\cdot \text{s})$ 。

以上物理量标准都大于上文所述的物理量阈值, 可以用于实际预报应用。

6 结论

(1) 2002—2010 年 7—9 月, 庐山过程降水量大于 45 mm 的强降水过程共有 25 次, 天气学分型可以分为台风型、西风带型、副热带高压边缘型、东风波型, 其中台风是庐山夏季强降水的主要影响系统。

(2) 11 次台风暴雨过程, 辛乐克、云娜、海棠、马莎、泰利、格美、桑美、莫拉克 8 例为台风 A 型降水; 碧利斯、圣帕、凤凰 3 例为台风 B 型降水。

(3) 台风 A 型降水前 20:00 物理量特征为: ① $116\sim 121^{\circ}\text{E}$ 、 $24\sim 31^{\circ}\text{N}$ 满足 $850\sim 400$ hPa 正涡度中心 $\geq 14\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; ② $1\ 000\sim 900$ hPa 辐合中心 $\leq -5\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; ③ $850\sim 700$ hPa 正螺旋度中心 $\geq 30\times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ 或高空有正螺旋度 $\geq$

$10\times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ 的正负螺旋度对; ④ $925\sim 500$ hPa 垂直上升运动中心 $\leq -1\times 10^{-5} \text{ Pa/s}$; ⑤ $975\sim 925$ hPa 水汽通量 $\geq 34 \text{ g}/(\text{cm}\cdot \text{hPa}\cdot \text{s})$; ⑥ $1\ 000\sim 800$ hPa 水汽通量辐合 $\leq -12\times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2\cdot \text{hPa}\cdot \text{s})$ 。

(4) 台风 B 型降水前的 20:00 物理量特征为: ① $114\sim 120^{\circ}\text{E}$ 、 $24\sim 30^{\circ}\text{N}$ 满足 $900\sim 650$ hPa 正涡度中心 $\geq 10\times 10^{-5}$; ② $1\ 000\sim 850$ hPa 辐合中心 $\leq -3\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; ③ $750\sim 500$ hPa 正螺旋度中心 $\geq 6\times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ 的正负螺旋度对; ④ $925\sim 500$ hPa 垂直上升运动中心 $\leq -0.8\times 10^{-5} \text{ Pa/s}$; ⑤ $975\sim 850$ hPa 水汽通量 $\geq 24\times 10^{-5} \text{ g}/(\text{cm}\cdot \text{hPa}\cdot \text{s})$; ⑥ $1\ 000\sim 850$ hPa 水汽通量辐合强度 $\leq -8\times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2\cdot \text{hPa}\cdot \text{s})$ 。

参考文献:

- [1] 孟妙志, 高菊霞, 王仲文. 2002-08-05 突发性暴雨天气过程分析 [J]. 陕西气象, 2003 (2): 15-17.
- [2] 陈玉林, 周军, 马奋华. 登陆我国台风研究概述 [J]. 气象科学, 2005, 25 (3): 319-329.
- [3] 张弘, 侯建忠, 乔娟. 陕西暴雨若干特征的综合分析 [J]. 灾害学, 2011, 26 (1): 70-74.
- [4] 尹东屏, 张备, 吴海英. 登陆台风低压再度发展引发的特大暴雨诊断分析 [J]. 灾害学, 2010, 25 (2): 13-17.
- [5] 宁志谦, 梁生俊. 对流层低层两类偏东风气流上物理量分布特征 [J]. 陕西气象, 2006 (2): 20-23.
- [6] 张淑敏, 李伟. 渭北 2010 年 7 月下旬区域性大暴雨天气过程分析 [J]. 陕西气象, 2011 (3): 7-11.
- [7] 牛乐田, 石小龙, 胡伟. 2010-07-23 陕西中西部大暴雨天气诊断分析 [J]. 陕西气象, 2012 (1): 1-4.