

1998年青藏高原东侧边界层风场 与长江暴雨洪水的关系

李跃清

(成都高原气象研究所, 成都 610071)

摘 要 应用1998年6~8月四川省和重庆市探空资料, 分析了青藏高原东侧大气边界层风场演变与长江上游暴雨和长江洪水的关系。结果表明: 1998年夏季长江上游的暴雨天气与高原东侧成都边界层风场变化密切相关, 当成都边界层为东北风时, 高原东侧边界层维持气旋式偏东流场, 长江上游未来产生暴雨等强对流天气; 当为西南风等其他风向时, 高原东侧边界层维持反气旋式偏南流场, 未来是无降水天气; 高原东侧边界层的动力激发作用是1998年长江上游暴雨产生的重要机制。并且, 再次证明了西邻青藏高原的成都是长江上游天气变化关键点的观点。

关键词: 青藏高原; 边界层; 风场; 长江流域; 暴雨洪水

1 引言

1998年夏季, 长江流域发生了自1954年以来又一次历史罕见的特大洪水, 其持续时间长, 影响范围大, 灾害损失严重。这次洪水成因十分复杂, 但大范围持续强降水是直接原因, 其中, 长江上游的降水对洪水的形成有重要影响。1998年长江上游四川省天气气候十分反常, 暴雨开始早, 结束晚; 降雨过程多, 持续时段长。暴雨频繁, 多区域性、突发性暴雨和川西高原暴雨及大暴雨, 直接影响了长江洪水的发生。因此, 研究1998年长江上游暴雨天气发生发展的原因及其对长江流域洪水的影响是非常必要的。

研究表明: 大气行星边界层的热力、动力作用, 显著影响着自由大气中天气系统的发生、发展和演变, 对暴雨等强对流天气有着重要作用^[1~3]。李跃清^[4,5]应用高原东侧四川省7个探空站逐日观测资料, 系统地对比分析了大气边界层物理特征及其与暴雨等强对流天气的关系, 得到一些新的结果。在研究中发现, 由于高原盆地地形与环流的相互作用, 高原东侧成都边界层风场, 主要表现为东北风和西南风的交替变化, 并与长江上游强降水天气有密切联系。夏半年, 当成都边界层为东北风时, 四川盆地将产生暴雨等强对流天气; 当为西南风时, 为无降水天气。在边界层动力作用激发长江上游暴雨物理机制的基础上, 提出了成都是长江上游四川盆地天气变化关键点的观点。李跃清等^[6]又利用1993年4月25日~5月4日四川盆地加密观测探空资料, 详细分析了边界层风场时空变化及与4月30日~5月1日四川盆地初夏少见的大范围大风、冰雹、暴雨等天气的关系, 进一步检验和证实了上述结果^[4,5]。而1998年夏季长江上游异常的天气气候, 对应着自由大气中西太平洋副热带高压, 长时间活跃于30°N附近, 控制川渝盆

地,使其暖湿气流活跃,中高纬度贝加尔湖地区长波槽经常存在,这些构成了四川暴雨发生十分有利的环流背景。而青藏高原、高原低值系统异常活跃是直接的原因,其中,高原切变线、低涡及盆地低涡为四川暴雨天气主要的影响和触发系统,但1998年高原东侧边界层风场的演变特征是什么?它与长江暴雨洪水的关系怎样?开展这方面的研究,对于深入认识1998年长江暴雨洪水成因有重要意义。

本文分析了1998年夏季高原东侧边界层风场演变及其与长江上游(指现川渝地区)天气变化和长江流域洪水的关系。

2 资料与方法

应用高原东侧川渝地区成都、宜宾、达川、重庆等探空站1998年6~8月每日北京时间07和19两个时次的逐日资料,通过风矢量分解,分析了风场的水平和垂直分布及其演变,并重点分析了边界层内风场的垂直分布和水平结构,尤其是详细分析了高原东侧成都边界层风场的变化及其与长江上游晴雨天气和暴雨等强对流天气的关系。进一步验证:由于处于高原盆地交界处的特殊地理位置,在地形与环流相互作用下,成都是长江上游川渝地区天气变化的关键点^[4~6]。同时也分析了长江上游强降水过程对长江流域洪水的影响。

3 1998年长江上游降水天气特点

1998年长江上游四川天气气候异常是历史少见的,其主要特点是:暴雨开始早,结束晚。川东北巴中地区通江县2月13日出现了暴雨,12日20时~13日20时雨量64.3 mm,4月28~30日四川盆地就产生了首场区域性暴雨天气,其中绵阳站最大日降雨量达155.1 mm,迟至9月16~18日还出现了区域性暴雨天气,有4站为特大暴雨,这些都是历史同期未见的。而且,降雨过程多,时间长,暴雨面积广,强度大。1998年汛期全省有130多个站出现了暴雨,接近总站数的90%,近20个站产生了大暴雨天气,温江、双流、自贡等地日降雨量创历史最高记录。全省共出现了明显的降雨过程10多次,区域性暴雨过程10次,其中5次为突发性暴雨,4次为区域性大暴雨。川西高原也出现了10多次暴雨天气,夏季6~8月92天雨日约50多天,共有近10次降雨过程,主要区域性暴雨天气“6月28日”、“7月5日”、“7月20日”、“8月2日”、“8月19日”、“8月26日”等影响严重。分析表明:“6月28日”川东突发性大暴雨过程,是500 hPa西北气流与四川盆地西南气流形成的高原切变和低层盆地低涡及低空急流的共同影响造成的,达川地区的开江县24 h雨量达120.2 mm;“7月5日”川西大暴雨过程是高原低涡、低槽切变与西南涡共同作用造成的,全川有36个站雨量为100 mm以上,暴雨中心的成都市有9个站达大暴雨和特大暴雨,双流和温江总雨量分别为372.9和444.2 mm;“7月20日”川东突发性暴雨、“8月19日”川西北大暴雨过程是高原切变线与高原低涡共同作用造成的,“7月20日”暴雨中心达川不到24小时就产生大暴雨,“8月19日”有14个站雨量大于100 mm,绵阳西部的安县、北川总雨量达到了343.5、306.5 mm;“8月2日”川西南暴雨过程是高原切变线与西南涡共同作用造成的,乐山市沐川、犍为

24 h 雨量为 199.7 和 129.7 mm; “8 月 26 日”、“8 月 13 日”、“8 月 10 日”区域性暴雨过程也都是高原切变线与盆地低涡系统的共同作用下形成的, 都带来了明显洪灾。总之, 因西太平洋副高稳定强大, 长时间控制四川盆地, 贝加尔湖长波槽经常出现, 高原低值系统异常活跃, 使得 1998 年长江上游暴雨洪涝的面积和强度都是历史罕见的。

另外, 1998 年长江流域出现了 8 次洪峰, 作为长江上中游分界点的宜昌, 8 次洪峰出现时间是: 7 月 3 日、18 日、24 日, 8 月 7 日、13 日、17 日、26 日、31 日, 而每次洪峰出现前的 3~5 天 (6 月 27~29 日、7 月 9~15 日、19~22 日, 8 月 1~3 日、9~11 日、12~15 日、19~22 日、23~28 日) 四川省都出现了暴雨天气。正是在长江干流水位居高不下的背景下, 长江上游每一次强降水过程都影响和加剧了中下游的大洪峰。

4 1998 年长江上游边界层特征

4.1 成都边界层风场

图 1 给出了成都边界层 1500 m 以下 0、300、600、900 m 平均的风场变化。由此看到, 1998 年夏季成都边界层风场变化具有明显的规律性, 主要表现为东北风 ($u < 0$, $v < 0$) 和西南风 ($u > 0$, $v > 0$) 的交替出现, 东北风明显大于西南风。并且, 夏季 92 天中, 当成都边界层为东北风时, 长江上游为降水天气; 当为西南风等非东北风时, 长江上游为无降水天气。暴雨等强对流天气都发生在东北风位相里, 成都边界层东北风的建立、增强、结束, 预示着长江上游暴雨等强对流天气的发生、发展、消亡, 两者具有非常密切的对应关系。

合成分析 (见图 2) 表明: 1998 年夏季 92 天中, 6 月 27~28 日, 7 月 9~14 日、19~22 日, 8 月 1~4 日、9~15 日、18~27 日共 33 天降雨日合成的成都风场垂直分布和 6 月 1 日、4 日、8~9 日、16 日、19~20 日、25~26 日, 7 月 2 日、17~18 日、28~29 日, 8 月 7 日、16~17 日、29~31 日共 20 天无雨日合成的成都风场垂直分布, 在 5 000 m 以下表现出相反的垂直结构。07 时降雨日合成表现出显著的风垂直切变, 3 000 m 以下是东北风, 以上是西南风, 边界层为东北风控制, 19 时与此类似; 而 07 时无雨日合成也表现出显著的风垂直切变, 但 2 000 m 以下是西南风, 以上主要是东北风, 边界层为西南风控制, 19 时与此类似。因此, 长江上游降雨 (无雨) 日, 成都 0~5 000 m 表现出东北风 (西南风) 与西南风 (东北风) 的垂直切变, 而边界层盛行东北风 (西南风)。

4.2 长江上游边界层流场

分析表明 (图略): 与成都边界层风场变化相对应, 1998 年夏季高原东侧川渝地区边界层风场也表现出明显的规律性。在长江上游降雨天气时段, 高原东侧地区边界层平均流场表现出由东向西的偏东气流, 在高原东侧沿高原盆地地形走向气旋式向南向东弯曲, 流场强度加强; 在长江上游无雨天气时段, 高原东侧地区边界层平均流场表现出反气旋式偏南流场。并且, 气旋式偏东流场的建立、维持、消亡, 对应长江上游强降水等天气的发生、发展、结束。

图 3 分别给出了上述 33 天降雨日和 20 天无雨日高原东侧边界层的平均合成流场结构, 进一步证明了降雨日和无雨日高原东侧边界层水平流场的本质差异。

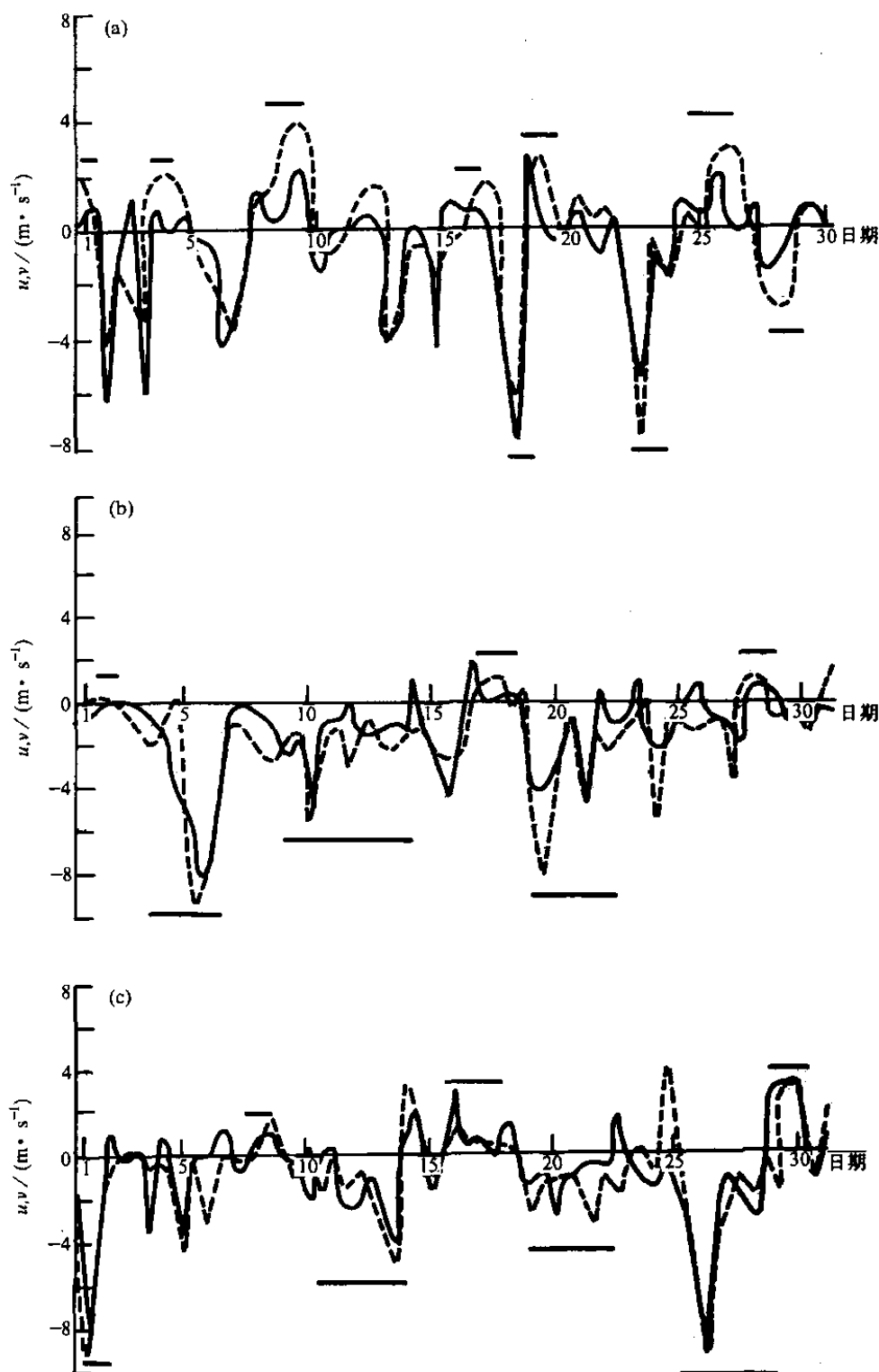


图1 1998年夏季成都边界层平均风场逐日变化

(a) 6月; (b) 7月; (c) 8月. 单位: m/s

实线为 u 分量, 虚线为 v 分量, 图上的线段代表主要无雨过程, 图下的线段代表主要暴雨过程 (下同)

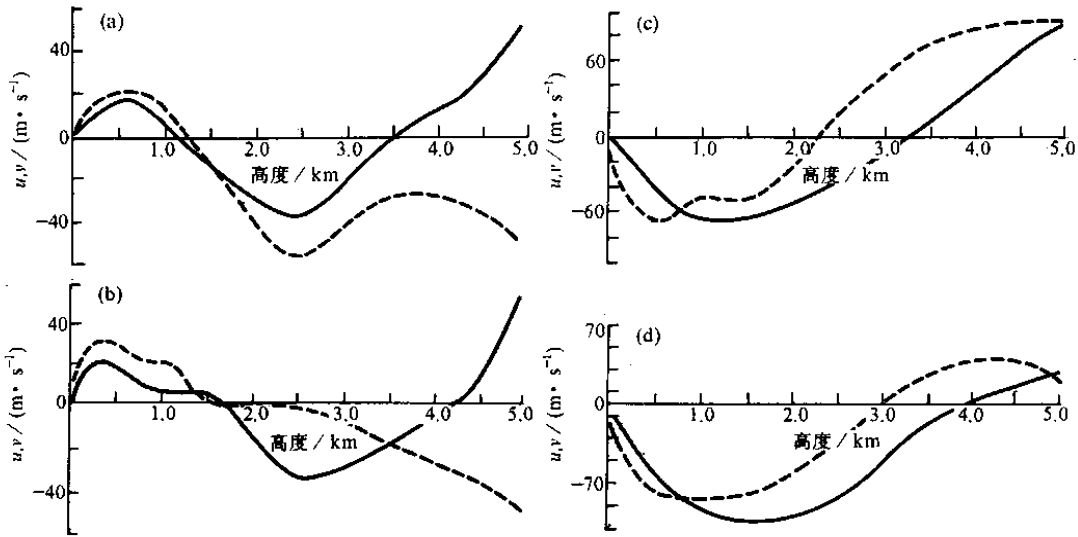


图 2 1998 年夏季 20 天无雨日 07 时 (a)、19 时 (b) 和 33 天降雨日 07 时 (c)、19 时 (d) 成都合成风场垂直分布

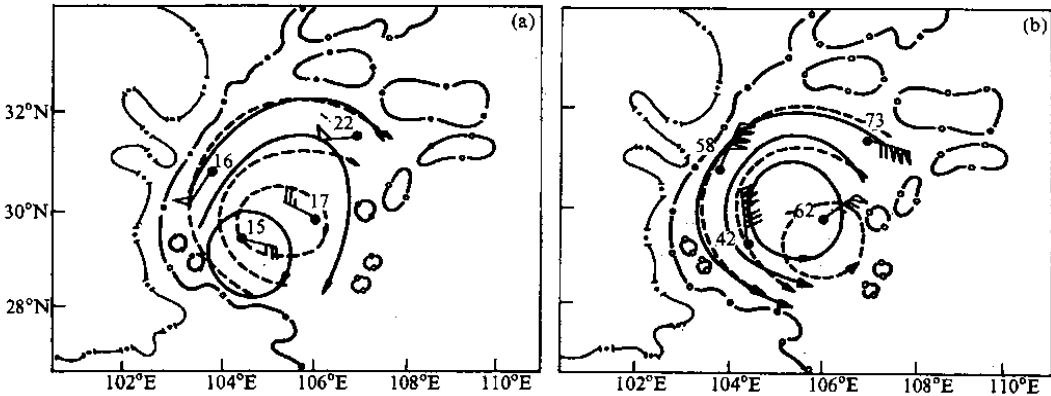


图 3 1998 年夏季 20 天无雨日 (a) 和 33 天降雨日 (b) 长江上游川渝地区边界层平均合成风场分布
实线为 07 时, 测站旁数值为 07 时合成风速大小, 虚线为 19 时, 风矢量为 19 时合成风,
实心和空心点的点划线分别为 3 000 和 1 000 m 等高线

4.3 1998 年暴雨过程个例分析

1998 年长江上游四川省共发生了 10 次区域性暴雨天气过程, 不失一般性, 我们以 8 月中下旬的集中降水天气过程为时段, 重点分析“8 月 19 日”、“8 月 26 日”两次区域性暴雨天气过程前后的边界层风场变化。

图 4 给出了降雨过程前 17~18 日, 暴雨中 19~20 日和 26~27 日, 过程结束前后 29~30 日成都风场垂直分布。我们看到; 8 月 16~17 日成都边界层主要为西南风, 长江上游为无雨天气; 18 日 07 时开始成都边界层风场转变为非西南风 (东南风和东北风), 长江上游开始产生降水过程, 随着东北风的扩大和增强, 产生了大范围暴雨天气过程。降水主要集中在 19 日 20 时至 20 日 08 时, 这次大暴雨天气过程, 直接影响了 1998 年长江第 7 次洪峰, 以后由于东北风的维持, 长江上游为持续的强降水天气。24 日后东北风增大, 长江上游又产生了大范围暴雨天气过程, 主要降水集中在 26 日 08 时

至 27 日 08 时, 这次暴雨严重影响了 1998 年长江第 8 次洪峰。8 月 29 日 07 时开始, 成都边界层风场转为西南风, 降水结束, 以后在西南风控制下, 长江上游为无雨天气。

长江上游川渝地区边界层流场(图略)与图 3 类似。降雨过程前期为反气旋式偏南流场, 18 日开始转为气旋式偏东流场, 长江上游发生了降水天气, 随着气旋式偏东流场的维持和增强, 出现了“8 月 19 日”、“8 月 26 日”区域性暴雨天气过程, 29 日开始又转为反气旋式偏南流场, 降水结束, 转为无雨天气。

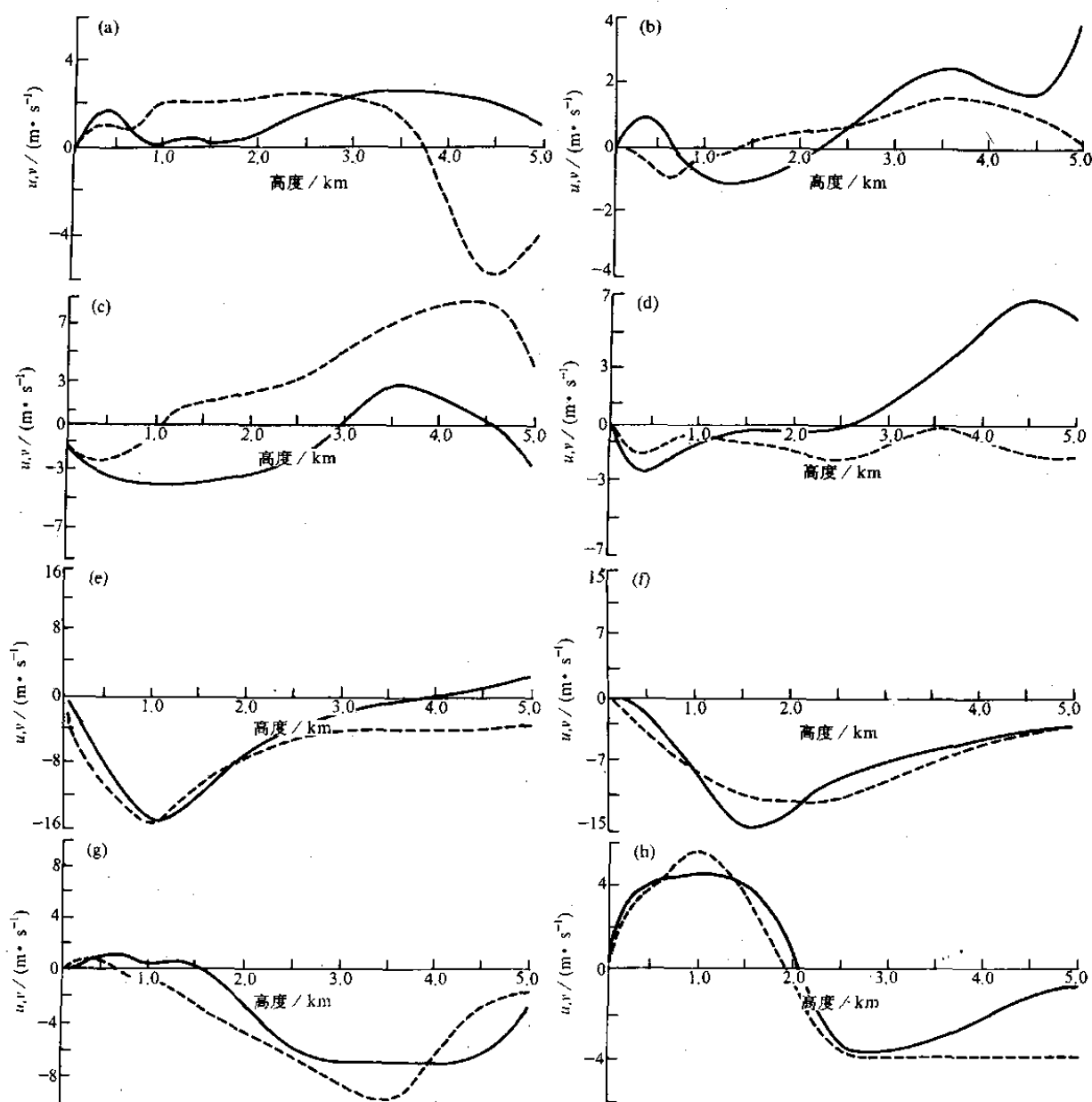


图 4 1998 年 8 月降雨过程前 17 日 19 时 (a)、18 日 07 时 (b), 暴雨中 19 日 19 时 (c)、20 日 07 时 (d)、26 日 19 时 (e)、27 日 07 时 (f) 和过程结束前 29 日 07 时 (g)、结束后 30 日 07 时 (h) 成都风场垂直分布

5 结论

(1) 1998 年高原东侧成都边界层风场保持东北风与西南风交替出现的规律, 与长江上游晴雨天气具有密切联系。

(2) 1998 年夏季成都边界层风场东北风出现时间相当多, 持续时段长, 西南风出现时间相当少, 持续时段短。相应长江上游雨日相当多, 降水时段长, 暴雨频繁, 无雨日相当少, 无降水时段短。

(3) 1998 年长江上游暴雨等强对流天气都发生在成都边界层东北风位相中, 东北风的建立、增强、消亡, 预示着长江上游暴雨等强对流天气的发生、发展、结束。其物理图象和天气意义是: 在青藏高原和川渝盆地特定地形环境下, 当西邻高原的成都边界层为东北风时, 高原东侧川渝地区边界层维持气旋式偏东流场, 未来长江上游为强降水天气; 当成都边界层风场转变为西南风时, 高原东侧川渝地区边界层调整为反气旋式偏南流场, 长江上游降水结束, 进入无雨天气。

(4) 本研究再次证明了高原东侧边界层动力激发作用, 是长江上游暴雨等强对流天气产生的重要机制和成都是长江上游天气变化关键点的观点。

(5) 1998 年长江洪水与长江上游异常天气相联系, 长江上游持续的降雨过程, 频繁的暴雨天气, 使上游洪水叠加在中游高水位上而对长江洪水有重要影响。

本文仅研究了边界层风场对暴雨的重要影响, 今后从热力场、水汽场等方面进一步分析 1998 年暴雨是非常必要的。

参 考 文 献

- 1 杨大升, 行星边界层对低涡降水过程的作用, 暴雨文集, 长春: 吉林人民出版社, 1978, 47~57.
- 2 陶诗言、丁一汇等, 暴雨与强对流天气的研究, 大气科学, 1979, 3(3), 227~238.
- 3 赵思雄、周晓平等, 中尺度低压系统形成和维持的数值实验, 大气科学, 1982, 6(2), 109~117.
- 4 李跃清, 夏半年成都边界层风场与四川盆地暴雨的关系, 高原气象, 1995, 14(2), 232~236.
- 5 李跃清, 长江上游暴雨的边界层动力诊断研究, 大气科学, 1996, 20(1), 73~78.
- 6 李跃清、彭虎等, 成都边界层风场演变天气意义的检验, 高原气象, 1997, 16(3), 331~336.

The PBL Wind Field at the Eastern Edge of the Tibetan Plateau and Its Relations with Heavy Rain-Flood of the Changjiang River in 1998

Li Yueqing

(Chengdu Institute of Plateau Meteorology, Chengdu 610071)

Abstract By using the radiosonde data in Sichuan Province and Chongqing Municipality during the June-August of 1998, the relationship between wind field in planetary boundary layer (PBL) at the eastern edge of the Tibetan Plateau and heavy rain-flood of the Changjiang River are analyzed. The result shows that the heavy rain weather at the upper reaches of the Changjiang River is closely connected with the variation of PBL wind field in Chengdu at the eastern edge of the Tibetan Plateau in 1998.

When it is northeast wind in the PBL in Chengdu, the PBL at the eastern edge of the Tibetan Plateau maintains easterly cyclonic flow field, and these will be strong convection weather such as heavy rain at the upper reaches of the Changjiang River. When non-northeast wind such as southwest wind maintains, these will be southerly anticyclonic flow field, and rainless weather. The PBL dynamical trigger at the eastern edge of the Tibetan Plateau is a important mechanism for heavy rain at the upper reaches of the Changjiang River in 1998. Furthermore, it is confirmed again that the Chengdu station near the Tibetan Plateau is the key point for the weather variation at the upper reaches of the Changjiang River.

Key words: Tibetan Plateau; planetary boundary layer; wind field; Changjiang River basin; heavy rain and flood

“珠峰环境 2000”野外观测计划圆满完成

青藏高原地区大气臭氧亏损是近年来中国科学家首先发现的重要环境科学问题。珠穆朗玛峰位于高海拔地区,地面加热造成的臭氧亏损更为典型。在这一地区观测臭氧垂直分布的结构有助于进一步理解该地区臭氧亏损的过程和对环境造成的影响。

由中国著名科学家叶笃正院士和著名山地气象专家高登义研究员建议,中国科学院大气物理研究所建立了“珠峰及喜马拉雅地区环境监测研究”项目,决定对珠峰及喜马拉雅地区进行为期 10 年的环境监测研究。2000 年 5 月 25 日至 6 月 10 日,由中国科学院大气物理研究所与中国科学探险协会共同组织,来自 3 个城市 6 个单位的 21 位科学家和野外协作人员共同执行了该项目的野外观测计划“珠峰环境 2000”。

2000 年 5 月 31 日,“珠峰环境 2000”考察队在珠穆朗玛峰脚下海拔 5 000 m 的绒布河谷建起了营地,半球形的探空接收天线、全球卫星定位系统天线和卫星通讯系统天线成为绒布山谷的新景观。考察队进行了 3 次为期 12 h 的分层气溶胶样品收集工作,为了解该地区大气悬浮颗粒的化学成分积累了第一手资料。

在珠峰的绒布河谷,考察队进行了 3 次为期 12 小时的分层气溶胶样品收集工作,为了解该地区大气悬浮颗粒的化学成分积累了第一手资料。分为 8 层的滤膜将气泵吸进的大气悬浮颗粒按不同大小进行收集,化学分析实验室将化验得到不同大气悬浮物的化学成分。考察队在绒布河谷收集了大气和河水的样品。其目的在于监测我国乃至全球的环境背景场变化。

6 月 4 日至 6 日,考察队在绒布河谷营地连续释放了 3 个臭氧探空气球,最大飞行高度达到 32 000 m。该气球携带着全球卫星定位系统,每 2~3 min 通过无线电向地面报告 30~50 m 内的大气压力、温度、湿度、风向、风速以及臭氧含量的数据。这种探测可以提供该地区大气结构和臭氧分布的详细资料,对研究珠峰和喜马拉雅地区的大气臭氧分布以及亏损过程极为重要,同时该系统探测的从地面到 30 公里高度的大气风场资料,也为研究大气污染物质输送过程提供了重要的依据。

本次科学考察在科学思想指导和管理下,在藏、汉同志的团结协作下,于 2000 年 6 月 10 日圆满结束。但是作为对珠峰和喜马拉雅山脉的 10 年环境监测却刚刚开始,任重而道远,愿社会各界的有识之士关心和支持这项对我国可持续性发展具有深远意义的事业。

(周立波)