

刘洪韬, 严中伟, 戴新刚, 等. 20 世纪新安江水库 4 次泄洪极端降水与环流背景分析 [J]. 大气科学学报, 2010, 33 (2): 198-204

Liu Hong-tao, Yan Zhong-wei, Dai Xin-gang, et al. Precipitation and circulation background analysis of the four flood discharge events at Xin'anjiang in the 20th century [J]. Trans Atmos Sci, 2010, 33 (2): 198-204.

20 世纪新安江水库 4 次泄洪极端降水与环流背景分析

刘洪韬^{1,2}, 严中伟², 戴新刚^{1,2}, 黄刚²

(1. 兰州大学 大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2 中国科学院 大气物理研究所 东亚区域—气候环境重点实验室, 北京 100029)

摘要: 用观测记录和再分析数据 NCEP-2 合成分析了 20 世纪八、九十年代新安江水库 4 次泄洪事件中降水及环流背景场的时空特征。结果表明, 泄洪事件通常发生在江淮梅雨期间, 泄洪前存在一个季节尺度多雨期, 从 4 月中旬起降水累积量大都超过气候平均值; 在临近泄洪前都出现累积降水量激增的暴雨过程, 说明泄洪事件既有持续性多雨的气候背景, 又有极端降水事件的参与。合成分析表明, 4—6 月从新安江上游至杭州湾一带存在一个区域尺度的降水偏多带, 中心在水库产流区黄山附近。与此对应, 对流层存在有利于江南降水的大尺度环流特征型和定常水汽输送场, 6 月呈现贝加尔湖阻塞型梅雨环流形势。统计分析亦揭示泄洪事件当年南海季风和梅雨爆发偏早, 梅雨期偏长。这些结果表明, 新安江水库泄洪事件有先期的天气气候背景, 结合专业预测分析和决策, 有可能避免某些泄洪事件, 提高水库风险管理水平。

关键词: 新安江水库; 泄洪事件; 累积降水; 天气气候特征

中图分类号: P468.0 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097(2010)02-0198-07

Extreme Precipitation and Circulation Background Analysis of the Four Flood Discharge Events at Xin'anjiang Reservoir in the 20th Century

LIU Hong-tao^{1,2}, YAN Zhong-wei², DAI Xin-gang^{1,2}, HUANG Gang²

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia (RCE-TEA), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Daily observational precipitation data and the NCEP-2 reanalysis data of the rainy seasons (April-July) in the 4 flood discharge years (1983, 1994, 1995 and 1999) were analyzed in order to study the spatio-temporal characteristics of precipitation and circulation background of the four flood discharge events. The result shows that a common feature of flood discharge years was that the discharge events usually happened during the Meiyu season and that the accumulated daily rainfall kept positively anomalous (above climatological mean level) since mid-April, unusually followed by heavy rainfall processes in late June just before the flood discharges. It showed that the discharge events were caused by not only the accumulated daily rainfall, but also unusually heavy rainfall processes. The synoptic analysis indicated that there existed a precipitation zone, whose center was near Huangshan city—the contributing area, between the upstream of Xin'anjiang and Hangzhou Bay from April to June. Meanwhile, as for the troposphere, there were two main factors to increase rainfall in this area: the characteristic patterns of large scale circulation and standing fields of water vapor transporting. It also showed the Meiyu circulation blocking over Lake Baikal especially in June. It was demonstrated in statistic analysis that the burst time of the Asian

收稿日期: 2009-01-05; 改回日期: 2009-02-26

基金项目: 面向 TIGGE 的集合预报关键应用技术研究; 国家自然科学基金资助项目 (40775948); 国家重点基础研究发展规划项目 (2006CB400504)

作者简介: 刘洪韬 (1980—), 男, 吉林省吉林市人, 博士生, 研究方向为气候预测与政策评估, liuht@mail.iap.ac.cn

summer monsoon and Meiyu were earlier than usual in these 4 years and that the Meiyu periods were longer. The results show that there were early weather and climate background for these discharge events. Most discharge events could be avoided and the reservoir risk management could also be improved with better professional forecast analyses and management.

Key words: Xin'anjiang Reservoir; discharge event; accumulated rainfall; characteristic of weather and climate

0 引言

叶笃正等^[1]于 2006 年提出建立未来天气气候预测体系的构想,其中强调现代天气气候预测系统应该与用户知识进行耦合和反馈。本文选择新安江水库做一案例研究,从天气气候学角度探讨发展这种新的预测体系的可能性和必要性。新安江水电站位于浙江省西部的新安江上,是中国第一座自己设计和建设的大型水电站,是杭州等城市的饮用水源地^[2]。新安江水库以发电为主,兼有防洪、灌溉、养殖、旅游等效益。控制流域面积约 1.05 万 km²^[3]。平均年径流量 113 亿 m³。总库容 220 亿 m³。由于其优越的设计特点,一般的降水都不会造成威胁,1980 年前很少发生泄洪事件。但随着全球变暖、20 世纪八、九十年代我国南方进入多雨气候阶段^[4-5],暴雨事件频发、洪水灾害增多^[6-9]。新安江水库分别在 1983、1994、1995、1996 和 1999 年发生了 5 次暴雨导致的泄洪弃水事件^[10-11],其中 1996 年泄洪由台风暴雨造成。1999 年洪水最为猛烈,水库开启 8 孔泄洪,不仅自身经济损失严重,还冲毁了下游城市的防洪设施,给当地人民生活带来严重灾害。

对于水库洪水问题国内外已有不少研究。Furey 和 Gupta^[12]曾研究极端降水对观测的泄洪峰值的作用,为多空间尺度峰值泄洪的预测提供了一条新的途径。Zhang 等^[13]认为日降雨量在 50~100 mm 和超过 100 mm 的极端降水是导致大沙河泄洪的主要因素。李发东等^[14]观测了水源区的太行山小流域径流及降雨过程,指出连续暴雨导致径流迅速形成洪峰,其中径流量与累积降雨量呈显著的线性正相关关系。而对于新安江水库致洪暴雨仅有一些个例分析^[10-11,15],尚缺乏系统的天气气候学研究。本文以新安江水库 4 次非台风致泄洪事件为例,系统研究其产生的气候背景和极端降水事件的天气学特征,从气象预测角度探索改进水库洪水调度决策的可能性。

1 资料与水库地理

使用全国日降水量观测资料和美国数值预报中

心 NCEP-2 再分析数据集^[16],后者分辨率为 2.5°×2.5°。对站点观测降水记录进行适当的质量控制,剔除资料缺测较多、台站迁移和资料时间序列较短的台站,选取其中位于华东东部地区(112~122°E, 25~35°N)的站点,集中分析与新安江泄洪有关的关键产流区和关键测站的降水记录。用 4 次泄洪年 6 月降水合成距平的极大值区域中的气象站点作为上游产流区代表站,以这些站点的降水记录生成产流区降水序列。

2 降水特征

新安江水库主要产流区在黄山附近。4 次泄洪年 6 月降水量距平合成图显示,在安徽南部和浙江省存在一个区域尺度异常降水偏多型(图 1),它位于安徽黄山、屯溪和江西的波阳一带,极端降水距平可达 230 mm 左右,景德镇、宁国的降水距平也在 220 mm 左右。从 4 个年份各自的降水距平(图略)中也可以看出,历次泄洪 6 月的降水距平最大中心几乎都集中在新安江库区的上游,个别年份降水中心的最大距平值甚至接近 600 mm。可见库区上游极端降水事件是导致新安江水库泄洪的重要原因之一。

图 1 中极大降水距平中心的黄山、屯溪、波阳、景德镇和宁国 5 个站恰好位于新安江库区的上游产流区,用它们的降水量序列近似代表新安江水库产流区降水,分析其演变特征。水库的水位取决于入库与出库流量的差,水库水位和前期累积降水量存在很好的线性关系^[14]。从绘出的 4 月至 7 月间 4 次泄洪 5 个站逐日降水累积曲线(图 2)中可以看到,4 次泄洪年份几乎都从 4 月中旬开始出现累积降水量高于气候平均值的现象,表明泄洪前存在一个季节尺度的多雨过程。6 月下旬降水的累积量曲线斜率突然变大,说明发生了强降水天气过程。这 2 个降水演变特征说明,泄洪前期都存在降水持续偏多的气候背景,导致流域土壤饱和或近于饱和,后续降水易产生超渗产流,水库易处于较高的水位,一旦有强降水发生,径流会迅速增长,水库水位迅速上

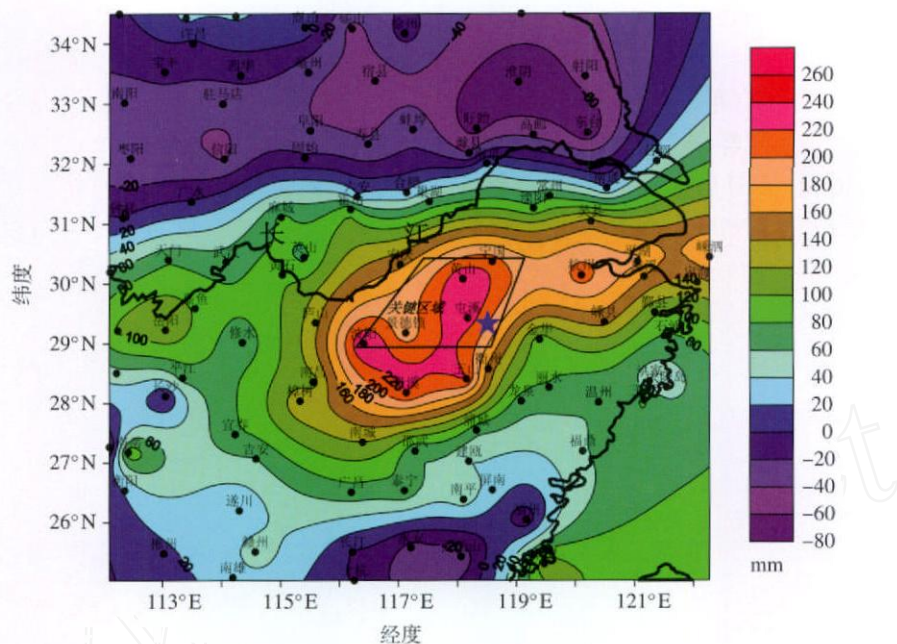


图 1 4次泄洪合成与 6 月份气候平均降水的差值分布 (图中 代表新安江水库所在位置; 四边形包括区域为关键区域)

Fig 1 Synthesis of the climate anomalies spatial distribution of the four minus the national average in June (indicates Xin'anjiang Reservoir; quadrilateral area is the key region; units: mm)

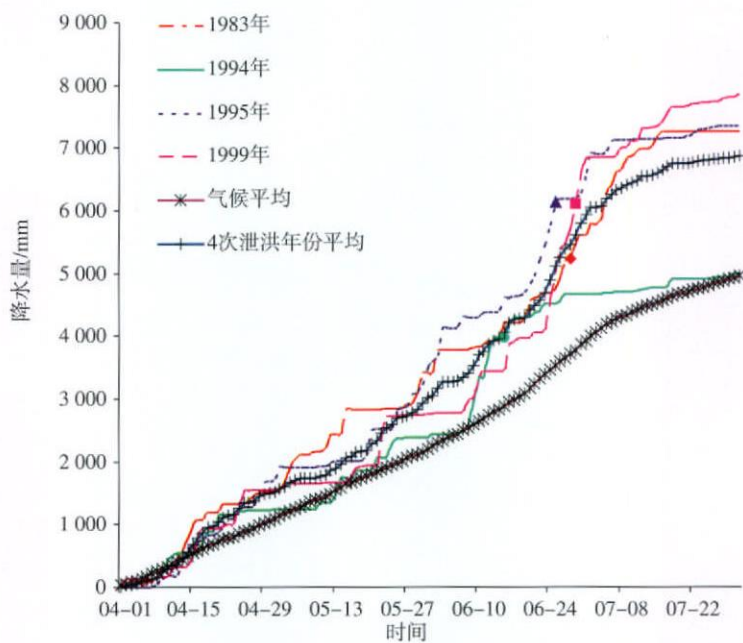


图 2 宁国、黄山、屯溪、波阳、景德镇 4—7 月逐日累积降水量 (图中 ▲ ■ ● 表示泄洪开始时间)

Fig 2 Daily accumulative rainfall amount from April to July at key stations in Ningguo, Huangshan, Tunxi, Boyang and Jingdezhen (The ▲ ■ ● indicate the beginning of discharges)

升,迫使水库泄洪弃水。此外,从图 2 中还可以看到,4 次泄洪的累积降水量在 7 月份也都超过了气候平均,1999 年甚至超过了气候平均 3 000 mm 左右。所以,泄洪的另一个

特征是泄洪后新安江上游依然保持持续多雨态势,说明泄洪弃水决策是正确的。泄洪的强度和持续时间与泄洪后的降水演变亦有很大关系。如果后期降水减弱,过多的弃水会造成经济损失。如 1994 年开始泄洪较早,但在 6 月 15 日后降水锐减,至 7 月累积降水接近常年平均。在此情形下过多泄洪将浪费宝贵水资源,降低水库发电的经济收益。因此,天气、气候和气象水文预报对于水库调度决策有十分重要的意义^[17]。

3 季风爆发和梅雨

统计分析指出,新安江流域降水与江淮梅雨和夏季风存在密切关系。从表 1 中可以看出,4 次泄洪年份南海夏季风爆发时间都在 4 月下旬到 5 月中旬之间,即南海夏季风爆发时间偏早^[17]。例如 1999 年南海夏季风爆发最早,比平均爆发时间提前了大约 1 个月。除 1999 年外,其余 3 次泄洪年份梅雨开始的时间均在 6 月上中旬,其中,以 1994 年梅雨起始的时间为最早,在 6 月 7 日。梅雨结束的时间大都在 6 月末和 7 月初。但 1999 年梅雨期比较长,在 7 月下旬才结束,持续了大约 1 个月,比一般梅雨持续时间长约 14 d^[18]。在表中可以看到,一般泄洪当年南海夏季风爆发一个多月后江淮入梅,并且梅雨持续时间都比较长。泄洪事件几乎都发生在梅雨起始时间之后 1~2 周左右。因此,新安江水库泄洪事件的天气气候背景之一是南海季风爆发和江淮入梅偏早,梅雨期偏长。

4 定常水汽输送

新安江流域的持续降雨有相应的定常水汽输送场配合。4 次泄洪当年合成的 850 hPa 定常水汽输送距平场显示(图 3a),4 月在长江以南存在很强的指向长江的水汽输送距平,水汽主要来源于南海,距

平水汽输送在新安江所在纬度附近辐合。图 1 中的极大降水距平带就在该辐合带上,说明 4 月定常水汽场为新安江流域持续降水提供了充沛的水汽供给。5 月,长江中下游水汽输送距平接近于东西向(图 3b),在长江以南略呈现反气旋式弯曲,计算出的距平水汽输送散度在新安江流域存在弱的辐合(图略),与北方南下冷空气配合将会有利于降水。6 月梅雨爆发,异常水汽输送主要来自西南方的南海(图 3c),同东北方向来的定常水汽距平输送在新安江附近辐合,为新安江持续性强降水提供了稳定的水汽供给。图 3c 还显示,新安江流域的持续性强降水与梅雨期间梅雨锋偏南有关(其环流特征见下一节)。总之,新安江水库泄洪当年 4—6 月在对流层低层存在向新安江流域辐合的异常水汽输送,异常水汽主要来源于中国南海。

5 环流背景

新安江水库泄洪前季节尺度的多雨期必然伴有相应的环流背景。4 次泄洪年份合成的 4 月 200 hPa 高度距平场显示(图 4a),亚洲上空存在一对西北东南走向的负正距平中心,江南受正高度距平控制,这一结构在 500 hPa 和 700 hPa 均存在,只不过强度和位置有些变化,正负高度距平中心都随高度向北倾斜,有利于江南的垂直运动和降水。值得注意的是,在中国东南部,中低层是所谓“东南高西北低”的环流形势,有利于持续性降水发生。西北方向偏低的高度场可以为江南降水提供南下的冷空气扰动,东南部沿海高度场偏高有利于来自南海的暖湿气流输送(图 3a),从而有利于新安江流域的降水。

在 5 月的等压面位势高度距平图上,中国东部最显著的特征是受一个深厚的负距平区控制(图 4c、d),中心位于我国东北,新安江流域位于负距平槽后接近于槽底的位置(图 3b)。这种形势使得新

表 1 4 次泄洪年份南海夏季风爆发时间、入梅出梅时间及泄洪时间^[19-25]

Table 1 Dates of discharge, onset of South China Sea summer monsoon and the beginning and the end of Meiyu in the four discharge years^[19-25]

年份	南海夏季风爆发时间	梅雨开始时间	梅雨结束时间	梅雨期日数 / d	泄洪开始时间
1983 年	5 月 16 日	6 月 19 日	7 月 2 日	14	6 月 28 日
1994 年	4 月 29 日	6 月 7 日	6 月 28 日	22	6 月 15 日
1995 年	5 月 12 日	6 月 12 日	7 月 7 日	26	6 月 25 日
1999 年	4 月 22 日	6 月 23 日	7 月 20 日	28	6 月 29 日

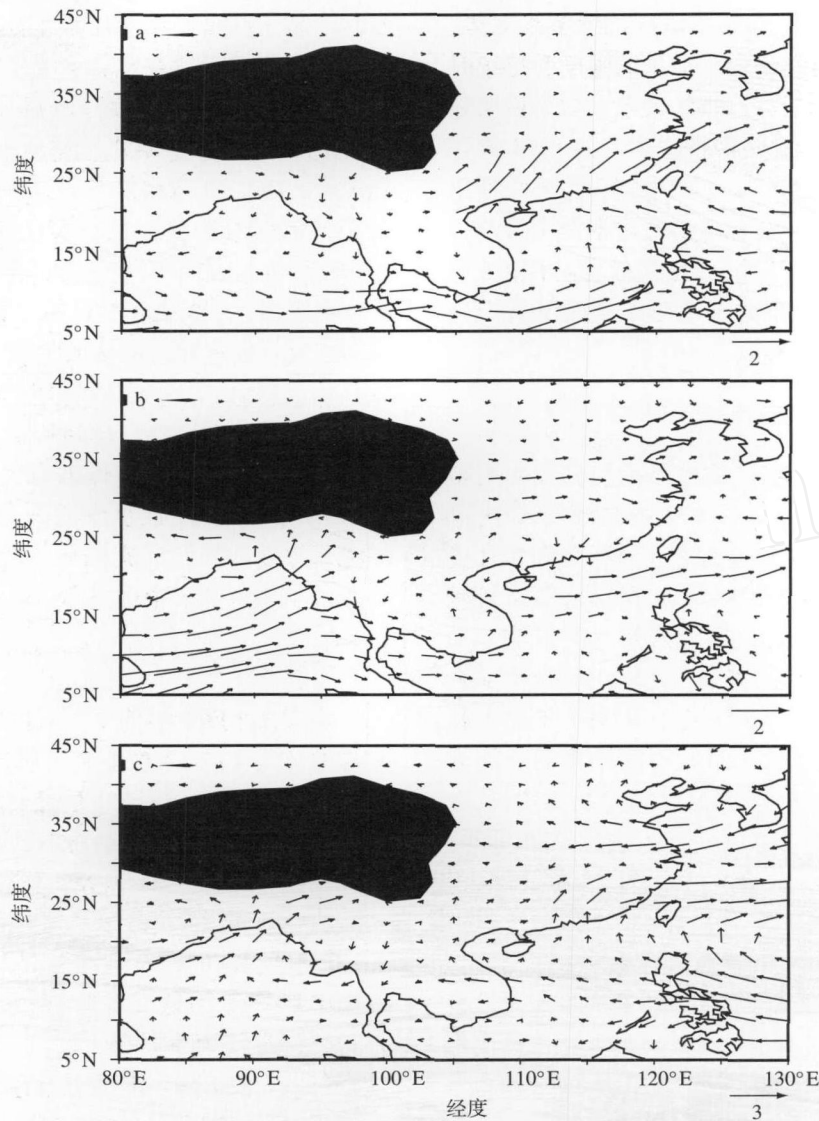


图 3 4 次泄洪 80 ~ 130 °E, 5 ~ 45 °N 区域 850 hPa 的水汽通量距平合成 (箭头; 单位: $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$; 图中黑色区域海拔高于 3 000 m) a 4 月; b 5 月; c 6 月

Fig 3 Anomalous water vapor flux fields (arrow; units: $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$) over 850 hPa in 5—45 °N, 80—140 °E, averaged for the four discharge years (The black shaded area in the figure indicates the area over 3 000 m) a April; b May; c June

安江在 5 月易受南下冷空气活动影响。此外,青藏高原上空是正高度距平区,说明泄洪事件当年南亚高压上高原偏早,南海季风爆发提前,5 月冷暖空气容易在华南及江南交汇产生降水。

6 月,中国东部上空 200 hPa 受强的正高度距平控制 (图 4e),有利于上升运动。对流层中低层的距平分布也有利于梅雨期间新安江流域的降水 (图 4f)。例如,在 700 hPa 层上副热带高压偏强、偏西,有利于梅雨锋偏南;位于我国北方至贝加尔湖附近的正高度距平在 200 与 700 hPa 都存在,说明泄洪当年 6 月容易出现贝湖阻塞型梅雨环流形势。在日本附近出现的强高度负距平中心表明,泄洪当年 6

月东部海上副高偏南,日本上空的副热带急流亦偏南、偏强 (图 4e)。在 700 hPa 层上,从日本南部至长江流域形成一条较深的梅雨锋距平低槽,说明梅雨锋偏强;沿贝湖阻塞高压东侧南下的东北风距平与副高西北侧的西南风距平在江南交汇 (图 3c),与高层正距平中心结合,为新安江流域的持续降水提供了十分有利的水平和垂直运动环流背景场。

6 结论与讨论

综上所述,发生在 20 世纪八、九十年代的新安江水库 4 次泄洪事件即有极端降水事件参与,也有前期的气候背景。对其中 4 次非台风导致的泄洪事

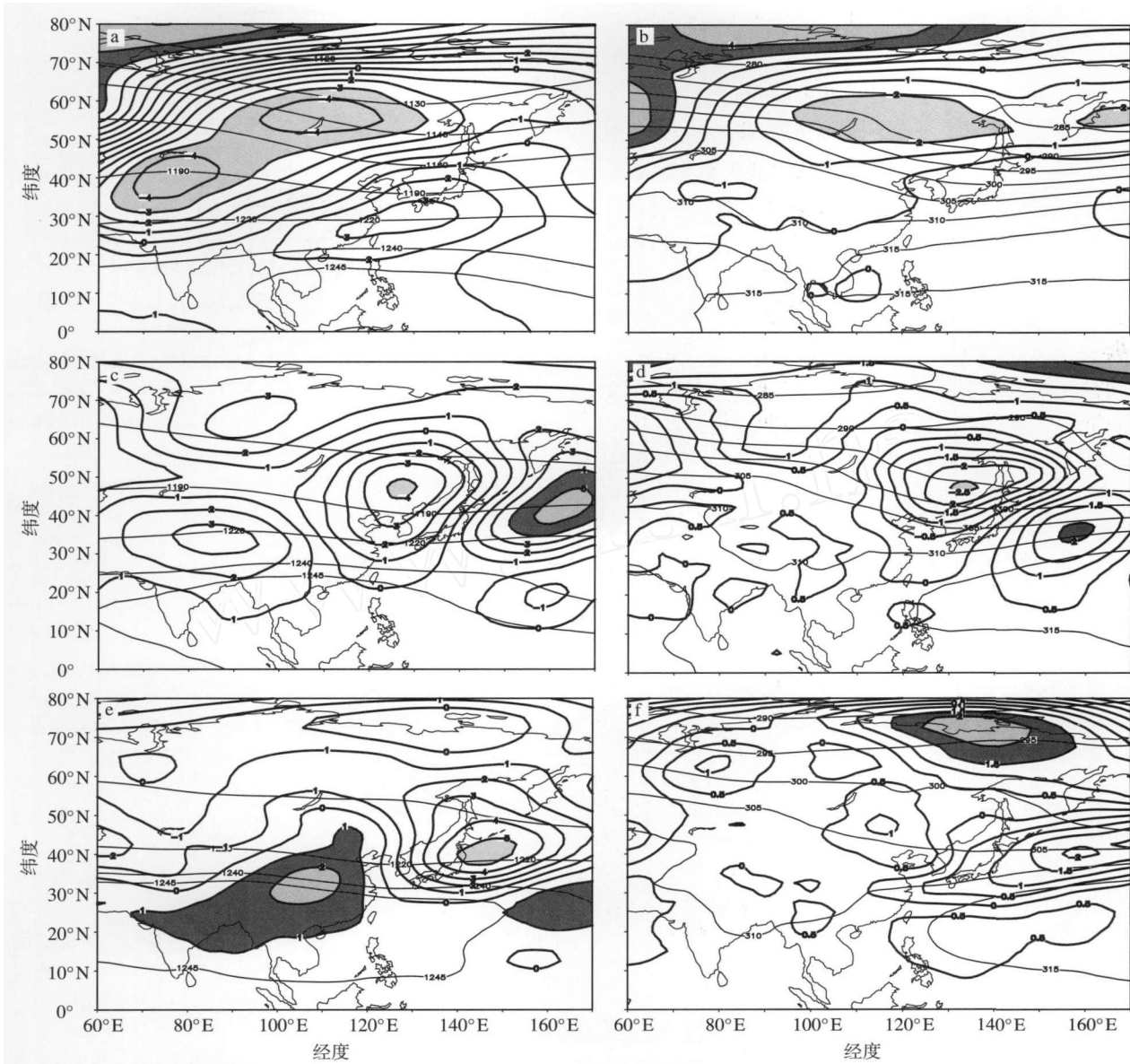


图 4 4 次泄洪位势高度距平场合成 (粗线) 和气候 (1971—2000 年) 平均场 (细线) (单位: dagpm; 阴影区是最大距平值区域) a 4 月 200 hPa; b 4 月 700 hPa; c 5 月 200 hPa; d 5 月 700 hPa; e 6 月 200 hPa; f 6 月 700 hPa

Fig 4 Anomalous geopotential height fields for the four flood discharges (bold line, units: dagpm) against the climatological mean fields (1971—2000, fine line, units: dagpm). The regions of the largest anomalies are shaded a 200 hPa in April; b 700 hPa in April; c 200 hPa in May; d 700 hPa in May; e 200 hPa in June; f 700 hPa in June

件合成分析表明,导致水库泄洪的降水演变有 2 个特征: (1)是泄洪前期即 4—6 月在新安江流域均存在一个季节尺度的持续多雨期; (2)是泄洪近期都存在一个大暴雨过程。前者导致库区流域土壤水分含量上升,流域超渗产流增加,水库水位偏高,水库调蓄洪空间缩小;后者促使径流迅猛增大、水位快速上升,最终导致水库泄洪弃水,造成经济损失。

新安江水库泄洪事件均存在大尺度环流背景。

泄洪当年南海季风爆发偏早,入梅偏早,异常水汽输送主要来自南海。4 月对流层高层在水库上方为正高度距平,中低层为东南高西北低的高度场形势,有利于冷空气南下造成江南降水; 5 月南亚高压上高原偏早,中国东部受一个深厚负距平区控制,新安江流域易受南下冷空气影响; 6 月副热带高压偏西、偏南、偏强,梅雨形势呈现类似贝加尔湖阻塞型,其东侧的东北气流同副高西北侧的西南暖湿气流在新安

江流域交汇,形成有利于持续强降水发生的环流背景场。

从上述分析不难看出,泄洪事件前期都有 2~3 月的多雨气候背景,如果根据前期信号和季节尺度气候预测进行提前调度,有可能避免泄洪弃水,提高水库及流域的经济效益。此外,泄洪的强度和持续时间等调度决策也同泄洪开始后强降水的持续性和波动性有关,需要有较准确的中、短期降水预报支持。显然,要进一步提高水库的风险管理水平,减少损失,水库调度部门需要同气象水文部门密切合作,共同构建在不确定性天气气候预测基础上的水库风险调度决策系统^[1],真正实现水库的科学管理和最优决策。

参考文献:

- [1] 叶笃正,严中伟,戴新刚,等. 未来的天气气候预测体系[J]. 气象, 2006, 32(4): 3-8
- [2] 帅以政. 新中国大型水电第一坝[J]. 浙江水电, 2005(2): 26-27.
- [3] 李福钢,栗运华. 浅论新安江水库的区域生态环境影响[J]. 水利经济, 2006, 24(3): 54-60.
- [4] 龚道溢,王绍武,朱锦红. 1990年代长江中下游地区多雨的机制分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 567-575.
- [5] Dai Xingang, Wang Ping, Zhang Peiqun, et al Rainfall spectrum change in North China and its possible mechanism[J]. Progress in Natural Science, 2004, 14(7): 598-604.
- [6] 陈桂兴,黎伟标,袁卓建,等. 1998年长江流域洪水期大气季节内振荡特征及机理研究[J]. 中国科学 D 辑, 2004, 34(6): 562-572.
- [7] 吴志伟,江志红,何金海,等. 近 50 年华南前汛期降水、江淮梅雨和华北雨季旱涝特征对比分析[J]. 大气科学, 2006, 30(3): 391-401.
- [8] 苏布达,姜彤,任国玉,等. 长江流域 1960—2004 年极端强降水时空变化趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 9-14.
- [9] 刘明丽,王谦谦. 江淮梅雨期极端降水的气候特征[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(5): 676-681.
- [10] 黄仕勇. 新安江流域“96·7”暴雨洪水分析[J]. 水文, 1999(2): 63-65.
- [11] 周黔生,黄健中. 新安江水库 990701 洪水调度与分析[J]. 水利建设与管理, 2001, 21(1): 59-61.
- [12] Furey P R, Gupta V K. Effects of excess rainfall on the temporal variability of observed peak-discharge power laws[J]. Advances in Water Resources, 2005, 28(11): 1240-1253.
- [13] Zhang Jian-chun, Zhang Wei, Li Ji-hong, et al Relation between precipitation and sediment transport in the Dasha river watershed[J]. Chinese Geographical Science, 2004, 14(2): 129-134.
- [14] 李发东,芝野博文,张万军,等. 太行山小流域降雨—径流关系及其过程的研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 120-122.
- [15] 孙彭龄,侯翠香. 1996 年新安江水库泄洪与汛期天气特点分析[J]. 科技通报, 1998, 14(2): 98-107.
- [16] Bromwich D H, Fogt R L. Strong trends in the skill of the ERA-40 and NCEP-NCAR reanalysis in the high and midlatitudes of the southern hemisphere, 1958—2001[J]. J Climate, 2004, 17(23): 4603-4619.
- [17] 贺海晏,温之平,简茂球,等. 1982~1996 年亚洲热带夏季风建立迟早的探讨()——热带季风环流的主要特征和季风建立指数[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2000, 39(3): 91-96.
- [18] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理与方法[M]. 北京:气象出版社, 2000.
- [19] 李崇银,王作台,林士哲,等. 东亚夏季风活动与东亚高空西风急流位置北跳关系的研究[J]. 大气科学, 2004, 28(5): 641-658.
- [20] 邹力,乔全明. 1983 年梅雨期前后亚洲季风区热源分布及其演变特征[J]. 高原气象, 1992, 11(2): 186-191.
- [21] 周曾奎. 1994 年江淮地区持续高温干旱的环流特征[J]. 气象, 1996, 22(7): 40-42.
- [22] 栗运华. 三年来新安江水库防洪效益分析[J]. 华东电力, 1996(8): 18-20.
- [23] 梁建茵,吴尚森. 南海西南季风爆发日期及其影响因子[J]. 大气科学, 2002, 26(6): 829-844.
- [24] 余良茂. 1995、1996 年出梅后至 9 月底我省强对流天气特点[J]. 浙江气象科技, 1997, 18(4): 44-46.
- [25] 徐辉忠,顾圣华,何金林. 1999 年上海市特大梅雨水情分析[J]. 水文, 2001, 21(5): 59-61.

(责任编辑:张福颖)