

三峡库区来水流量与长江流域上游 前期降水的关系研究

施晓晖, 徐祥德

(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 较为准确地预估三峡库区9月份来水流量, 对于安全而有效地完成三峡水库蓄水任务具有重要的实用意义。通过分析, 发现三峡库区9月的来水流量与长江流域(Yangtze River Valley, YRV)上游大多数气象站点的8月降水量有显著的正相关, 据此定义了影响三峡库区来水流量的长江流域上游前期降水关键区。计算关键区内各气象站点8月降水量的算术平均值, 并对比其与三峡库区9月三峡库区来水流量的年际变化, 发现两者的变化较为一致, 同样具有显著的正相关关系, 因此长江流域上游前期降水关键区的8月降水量可以作为预估9月三峡库区来水流量的一个重要因子, 这可以为三峡水库蓄水计划的制定提供一定的参考依据。还分析了相应的大气环流背景, 发现三峡库区来水流量的多少与大气环流的变化具有密切的联系, 即三峡库区来水流量偏少的年份, 天气形势及水汽输送等因素都不利于降水过程的发生, 进而可能导致三峡库区后期的来水流量偏少; 相反地, 在三峡库区来水流量高值年, 天气形势和水汽输送都有利于降水过程的发生, 使后期三峡库区来水流量偏多。

关键词: 三峡水库; 流量; 蓄水; 长江流域上游; 降水

中图分类号: P468 文献标识码: A 文章编号: 1004-8227(2011)09-1062-05

合理利用水资源、提高发电效益是三峡水库进行优化调度的重要目的, 而合理利用水资源的前提是必须对三峡库区来水流量具有较为准确的预估。对三峡库区复杂地形下的气候特征及其影响效应进行了研究, 取得了丰硕的成果^[1-5]。晏玲等^[6]指出, 随着气象预报数值产品的日益丰富和上游降水监测数据的积累, 降水预报与来水流量预报之间的衔接益发重要, 特别在汛期和蓄水期, 根据多方案的降水预报确定未来5~7 d的来水情况确定调度策略对于提高发电效益具有更为重要的意义。另外, 针对三峡水库, 在降水预报以及径流的长期预报、中期预报和短期预报方面也已经开展了大量的工作, 取得的成果已被应用到业务系统中, 在提高三峡水库利用效率方面发挥了一定的作用^[7-14]。

2008、2009年三峡水库进行了蓄水试验, 但均未能达到175 m水位的预定目标, 究其原因, 10月份来水偏少是其中一个主要原因。中国长江三峡集团在2010年的蓄水计划方案中提出, 为实现175 m蓄水目标, 需要适当增加9月份蓄水任务的应对举措。因此, 较为准确地预估三峡库区9月份

来水流量对于安全而有效地完成三峡水库蓄水任务具有重要的实用意义。而影响径流量的主要因素就是降水, 因此本文将研究目标集中在长江流域(Yangtze River Valley, YRV)上游的降水, 从气象角度出发, 寻找三峡库区来水流量与长江流域上游前期降水的相关关键区, 力图建立关键区内前期降水量与三峡库区来水流量的联系, 为预估三峡库区9月来水流量提供一定的科学依据。

1 资料简介

所用的资料主要包括: (1) 三峡库区9月来水流量(以宜昌水文站的观测数据代表, 图1中红色圆点位置); (2) 中国气象局国家气象信息中心提供的中国大陆753个气象站的逐月降水量, 考虑到三峡库区来水流量的多少主要受长江流域上游降水的影响, 我们选取了90~110°E, 25~37.5°N区域为研究区域(图1中青绿色方框所围内域), 共包括191个气象站点(图1中黑色圆点所示); (3) 美国NCEP/NCAR再分析资料。由于从相关部门获取的三峡库

区 9 月来水流量资料有限, 其时间为 1990~ 2009 年, 因此本文将研究所使用资料的时间均统一为 1990~ 2009 年。

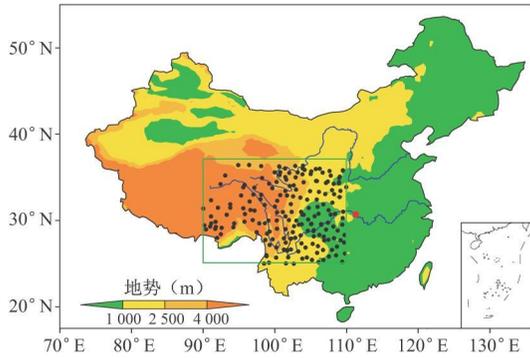


图 1 宜昌水文站(红色圆点)和长江流域上游地区(青色方框)内气象站点(黑色圆点)的分布, 图中阴影为地形高度, 蓝色曲线为长江与黄河

Fig. 1 Distribution of Yichang Hydrometric Station (red dot) and Meteorological Stations (Black dots) in the Upstream of Yangtze River Valley (YRV, cyan rectangle) (The shades denote topography height and blue curves are Yangtze and Yellow Rivers)

2 影响三峡库区来水流量的长江流域上游前期降水关键区

为寻找影响三峡库区 9 月来水流量的长江流域上游降水关键区, 本文计算了 1990~ 2009 年三峡库区 9 月来水流量与前期 6~ 8 月及同期 9 月长江流域上游 191 个气象站降水量的相关系数。结果显示, 三峡库区 9 月来水流量与长江流域上游地区多数气象站点 8 月的降水量有良好的正相关关系(图 2), 与其它月份降水量的相关则较差(图略)。这说明如长江流域上游地区 8 月的降水偏多, 则三峡库区 9 月的来水流量偏多; 相反地, 如果长江流域上游地区 8 月的降水偏少, 则三峡库区 9 月的来水流量偏少。据此本文将图 2 中红色阴影部分定义为影响三峡库区 9 月来水流量的长江流域上游降水关键区, 共包含了 71 个气象站点。

为验证上述三峡库区 9 月来水流量与长江流域上游降水关键区 8 月降水量的相关关系, 本文选取 9 月库区来水流量小于 20 000 m³/s 的年份为流量低值年, 大于 25 000 m³/s 的年份则作为流量高值年, 分别进行合成(即分别计算流量低值年、高值年 8 月降水量的算术平均值, 以下合成分析均指求取算术平均值), 然后求取了流量低值年、高值年合成

长江流域上游降水关键区各气象站 8 月降水量与多年平均(1990~ 2009 年)降水量的距平分布(图 3)。

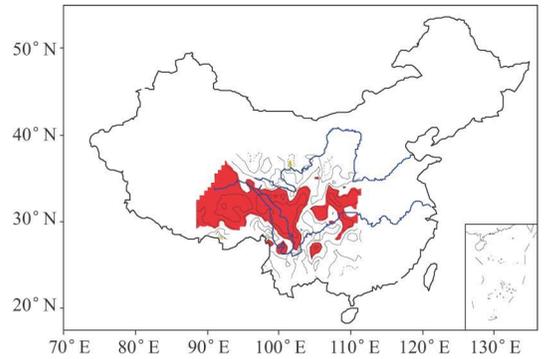


图 2 三峡库区 9 月来水流量与长江流域上游地区各气象站点 8 月降水量的相关系数分布(红色阴影为通过 90% 置信度检验的正相关区域)

Fig. 2 Correlation Coefficients Between Runoff of the Three Gorges Reservoir (TGR) Area in September and Precipitation of Meteorological Stations Located in the Upstream of YRV in August (The significant positive correlation areas are denoted by red shades)

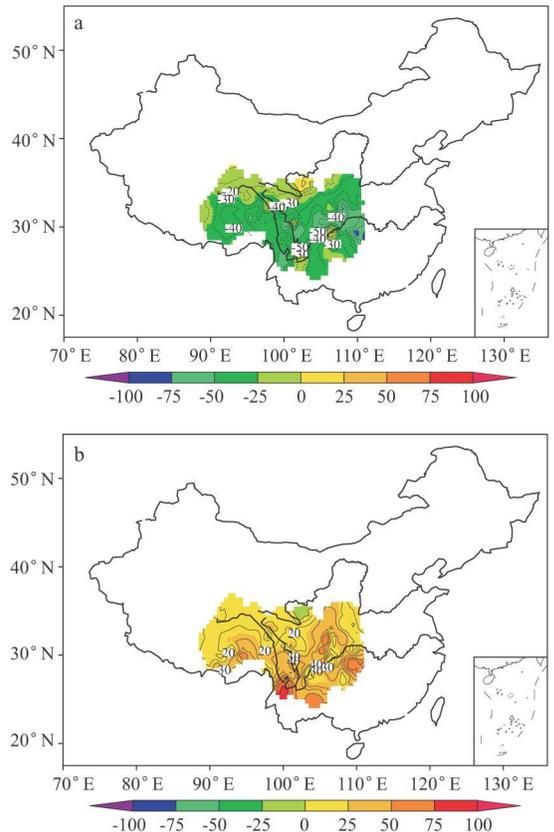


图 3 三峡库区来水量低值年(a)、高值年(b)合成的长江流域上游降水关键区的 8 月降水量距平(mm)

Fig. 3 Anomalies of Composed Precipitation of the Key Region in the Upstream of YRV in August for Low (a) and High (b) Value Years of Runoff of TGR Area (mm)

从图中可以看出, 流量低值年合成的 8 月降水量距平在长江流域上游降水关键区基本上为负值(图 3a); 而流量高值年合成的 8 月降水量距平分布则相反, 长江流域上游降水关键区内基本上均为正距平(图 3b)。这一结果很好地验证了相关分析所得到的结论。

综合上述分析, 可以考虑使用长江流域上游降水关键区的 8 月降水量来预估三峡库区 9 月的来水流量, 为此本文将上游降水关键区内 71 个气象站点进行算术平均, 得到了上游关键区的平均 8 月降水量时间序列, 绘制了其于三峡库区 9 月来水流量的年际变化图(图 4a), 可以看到, 上游关键区平均 8 月降水量和三峡库区 9 月来水流量的年际变化较为一致。仔细分析可以看到图中 1999~2001、2003~2004 年流量与降水的变化趋势相差较大, 这是否与上游水库的蓄水和放水等人工调度因素有关, 还需要获取相应的资料来进行分析。进一步通过线性拟合建立两者之间的关系(图 4b), 二者之间的相关系数 R^2 达到 0.6159, 远远超过了 99.9% 的置信度水平, 因此利用上游关键区 8 月降水量对 9 月三峡库区来水流量进行预估是具有可行性的。

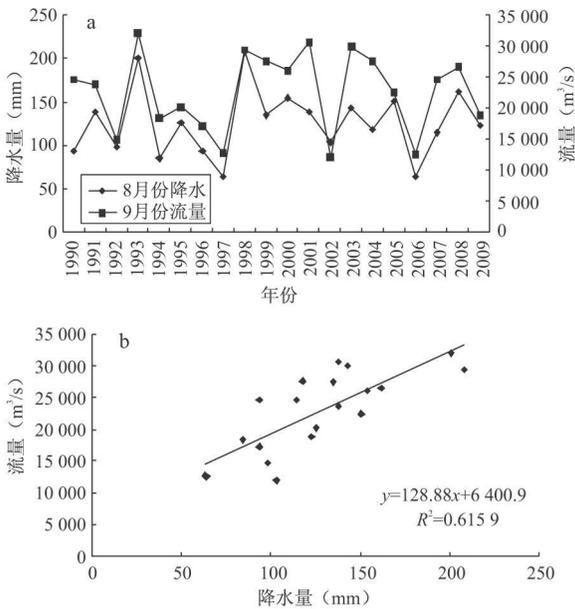


图 4 长江流域上游关键区平均 8 月降水量与三峡库区 9 月来水流量的年际变化(a) 及两者的散点分布(b)
Fig. 4 Interannual Changes of Averaged Precipitation of the Key Region in the Upstream of YRV in August and Runoff of TGR Area in September(a) and Their Scatter Map(b)

3 大气环流背景分析

大气中水汽的含量和输送状况与降水量的大小密切相关, 本文比较了三峡库区来水流量低值年和高值年合成的 8 月整层水汽总量及其输送通量的距平分布(图 5)。可以发现, 三峡库区来水流量低值年(图 5a), 长江流域上游地区(图中实线方框所围区域, 下同)的整层水汽总量均为负距平, 水汽输送通量亦为偏东或东北向的负距平, 表明这一区域的西南水汽输送较常年偏弱, 同时该区域上空的水汽也较常年偏少, 与长江流域上游关键区降水量偏少的分布形势(图 3a)相吻合。相反地, 三峡库区来水流量高值年(图 5b), 长江流域上游地区的整层水汽总量均为正距平, 水汽输送通量则为偏西或西南向的正距平, 表明这一区域的西南水汽输送较常年偏强, 同时该区域上空的水汽较常年偏多, 对应于长江流域上游关键区降水量偏多的分布形势(图 3b)。

比较三峡库区来水流量低值年和高值年合成的 8 月 500 hPa 位势高度距平分布可以发现, 三峡库区来水流量低值年(图 6a), 东亚大陆中部地区的位势高度为正距平, 表明西太平洋副热带高压强度偏强, 位置偏西偏北, 长江流域上游地区更多地受高压系统控制, 从而导致降水偏少; 而东亚大陆中部地区的位势高度在三峡库区来水流量高值年为负距平(图 6b), 即长江流域上游地区多低槽、低涡等低值天气系统活动, 这将有利于降水过程的发生, 使这一区域的降水量偏多。

4 结论与讨论

本文从气象的角度出发, 通过相关分析, 发现三峡库区 9 月的来水流量与长江流域上游地区的 8 月降水量有密切的联系, 并据此定义了影响三峡库区 9 月来水流量的长江流域上游降水关键区。本文的研究还发现近 20 多年来的上游降水关键区平均 8 月降水量与 9 月三峡库区来水流量的年际变化较为吻合, 其可以作为预估 9 月三峡库区来水流量的一个重要因子。

本文还分析了三峡来水流量多寡的大气环流背景, 发现三峡库区来水流量偏少的年份, 长江流域上游地区更多地受高压系统控制, 同时西南水汽输送偏弱, 水汽偏少, 天气形势不利于降水天气过程的发生, 导致三峡库区后期的来水流量偏少。相反, 东亚

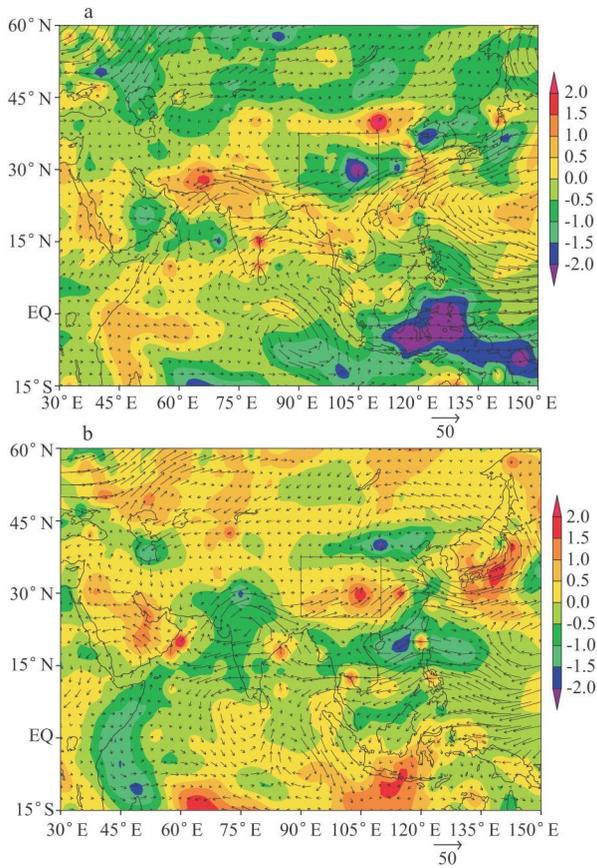


图 5 三峡库区来水流量低值年(a)、高值年(b)合成的 8 月水汽总量(阴影, 单位: kg/m^2)及水汽输送通量(矢量, 单位: $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$)距平

Fig. 5 Anomalies of Composed Total Water Vapor (shad, unit: kg/m^2) and Water Vapor Transportation Flux (vector, unit: $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$) in August for Low (a) and High (b) Value Years of Runoff of TGR Area

大陆中部地区的位势高度在三峡库区来水流量高值年为负距平, 即长江流域上游地区多低值天气系统活动, 且西南水汽输送较常年偏强, 使该区域上空的水汽偏多, 这些因素有利于降水过程的发生, 使后期三峡库区来水流量偏多。

至于蒸发、气温等气象要素的可能影响, 因为气温、蒸发与降水本身就存在相关联系, 降雨偏少时, 气温和蒸发量一般也偏高, 同样可能使流量偏小; 相反地, 降雨偏多时, 气温和蒸发量一般也偏低, 则可能使流量偏大。为达到文章主题集中的目的, 本文仅选取了与流量直接相关的降水, 以寻找三峡库区来水流量与长江流域上游前期降水的相关关键区作为研究目标, 对其他气象要素没有做更多的讨论。当然, 本文目前得到的还只是一些初步的统计结果, 而陆地水文过程本身十分复杂, 三峡库区来水流量

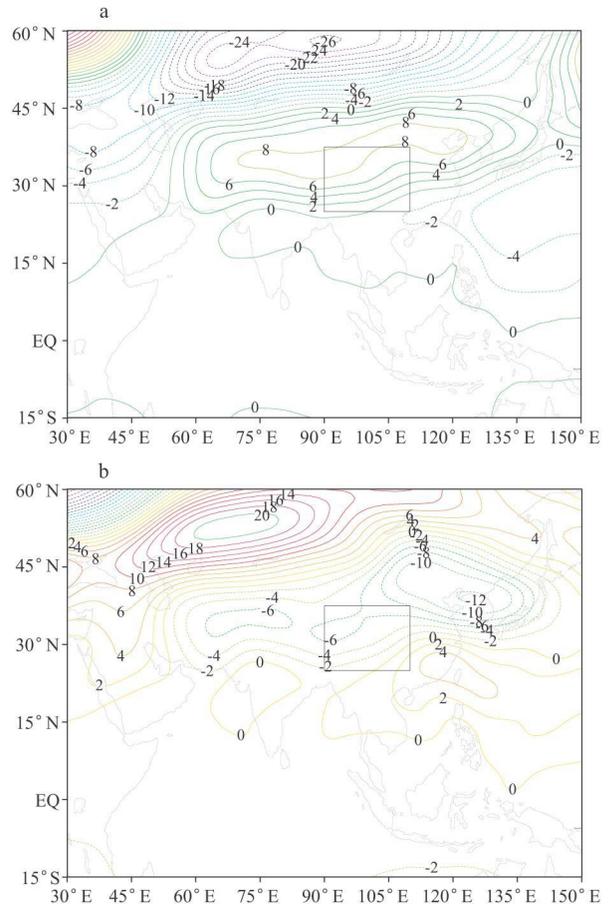


图 6 三峡库区来水流量低值年(a)、高值年(b)合成的 8 月 500hPa 位势高度距平(单位: 位势米)

Fig. 6 Anomalies of Composed Geopotential Height in August for Low (a) and High (b) Value Years of Runoff of TGR Area (unit: gpm)

除了与上游沿途降水的土地渗漏等自然因素有关外, 同时还会受到农田引水灌溉、上游水库的蓄水和放水等人类活动因素的影响, 同时因此要准确预估三峡库区的来水流量, 还需要获取更多的资料来进行深入的研究。

参考文献:

[1] 陈鲜艳, 张强, 叶殿秀, 等. 三峡库区局地气候变化[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(1): 47~ 51.
 [2] 张强, 万素琴, 毛以伟, 等. 三峡库区复杂地形下的气温变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2005, 4(1): 164~ 167.
 [3] 林德生, 吴昌广, 周志翔, 等. 三峡库区近 50 年来的气温变化趋势[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(9): 1 037~ 1 043.
 [4] 叶殿秀, 张强, 邹旭恺. 三峡库区雷暴气候变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(3): 381~ 385.
 [5] 马占山, 张强, 秦琰琰. 三峡水库对区域气候影响的数值模拟分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(9): 1 044~ 1 052.

- [6] 晏玲, 张世强, 张小文. 气象水文耦合的三峡水库入库水量预报研究[J]. 人民长江, 2009, 40(24): 29~33.
- [7] 李才媛, 王仁乔, 王丽, 等. 长江上游流域短期强降水雨量预报系统[J]. 气象, 2003, 29(3): 34~37.
- [8] 李才媛, 顾永刚. 灰色预测模型在长江上游流域雨量预报中的应用[J]. 气象科技, 2003, 31(4): 223~225.
- [9] 袁雅鸣, 李春龙. 三峡明渠截流期短期降雨预报实践[J]. 人民长江, 2003, 29(3): 66~70.
- [10] 万汉生, 沈游英. 长江三峡明渠截流期长期水文气象预报实践[J]. 人民长江, 2003, 34(增刊): 62~73.
- [11] 王船海, 郭丽君, 芮孝芳, 等. 三峡区入库洪水实时预报系统研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(6): 677~681.
- [12] 井立阳, 张行南, 王俊, 等. GIS在三峡流域水文模拟中的应用[J]. 水利学报, 2003, 14(6): 15~20.
- [13] 杨文发, 段红. 三峡水库中期水文气象耦合预报应用试验及探讨[J]. 水资源研究, 2006, 27(1): 31~33.
- [14] 何文杜, 陈骥, 戴会超, 等. 决策支持系统在长江三峡水库调度中的应用[J]. 水力发电学报, 2008, 27(2): 11~15.

RELATIONSHIP BETWEEN RUNOFF OF THE THREE GORGES RESERVOIR AREA AND ANTERIOR PRECIPITATION IN UPSTREAM OF THE YANGTZE RIVER VALLEY

SHI Xiao-hui, XU Xiang-de

(State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081, China)

Abstract: Preferably estimating runoff of the Three Gorges Reservoir (TGR) area in September is important to safely and effectively achieve the pondage mission of TGR. Using correlation analysis, it found that there was a significant positive correlation between runoff of TGR area in September and precipitation in most meteorological stations which located in upstream of the Yangtze River Valley (YRV) in August. According this, we define the key region of anterior precipitation in upstream of the YRV for influencing runoff of TGR area. Calculating the arithmetic mean value of precipitation in the meteorological stations which located in the key region in August and comparing the interannual changes of the mean precipitation and runoff of TGR area in September, it found that they changed in accordance and had a significant positive correlation. So the precipitation of the key region in August can act as an important factor to estimate runoff of TGR area in September. This result can provide some references to make the pondage plan of TGR. We also analyze the relevant background of atmospheric circulation, and found that the amount of runoff of TGR area tightly correlated with the variation of atmospheric circulation, i.e., in the low value years of runoff of TGR area, the synoptic situation and water vapor transportation are disadvantaged to occurring of precipitation process, and then it can cause the low runoff of TGR area in posterior, and vice versa.

Key words: the Three Gorges Reservoir; runoff; pondage; upstream of the Yangtze River Valley; precipitation