

1997、1998年长江上游地区水汽输送及其 与径流量之间关系的对比分析*

马 岚 许 熙 高 云 马再兰

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

提 要

该文利用1997、1998年7~8月的探空资料, 计算了围绕长江上游地区四周925~200 hPa之间的水汽通量及每日的水汽输送净量. 通过水汽输送净量的候、旬资料, 讨论了长江上游地区水汽输送净量与径流量之间的关系, 发现这两者之间有显著的相关性, 其平均相关系数为0.871. 另外, 对比分析了这一地区1997与1998年水汽输送与大气环流形势的关系. 其结果表明: 由于特殊的大气环流背景, 导致了长江上游地区这两年水汽输送的主要方向差异很大.

关键词: 长江上游地区 水汽输送 径流量

引 言

水汽输送和水分平衡的研究, 在国民经济建设中具有重大的实际意义. 如何改进、提高对一些流域的雨量预报和估测的能力, 增强对暴雨、洪水减灾的可行性, 日益显得迫切和重要. 如有关三峡水利工程进一步实施及水利、水电、水土保持等农业建设就需要参考这方面的研究, 它也是一项重要课题.

早在1933年, Каминский^[1]曾应用地面天气图研究过内陆上的水汽输送问题, 以后Benton^[2]等又利用大量的气象水文资料计算个别流域或大陆水分循环各要素, 使人们对水汽循环有了比较清楚的认识.

许多学者利用常规气象资料进行了这方面的工作. 但是由于资料缺乏, 得到的研究结果存在一定局限. 随着高空资料的逐渐增加, 尤其是气象卫星观测资料的增加, 水汽图像的获取, 给我们的研究提供了更为有利的条件.

徐淑英^[3]、郑斯中^[4]研究了平原地区水汽输送问题, 指出我国东部地区的水汽输送与季风影响的关系, 以及长江流域的水分循环对水利化、绿化、降水的影响; 王作述和许熙^[5]研究了1955~1961年长江上游地区盛夏季节的水汽输送及水分平衡, 但资料年度还不够. 本文采用了1997、1998年盛夏季节的资料进行计算和分析.

1 资 料

选取1997年7~8月及1998年7~8月围绕长江上游地区共13个探空站的探空资

* 2000-02-02 收到, 2000-03-14 收到修改稿.

料(图1),并对这些资料进行了差值分析和奇异分析,剔除不合理的奇异值.在计算区域内,包含了四川盆地四大水系:岷江流域、沱江流域、嘉陵江流域和涪江流域,并选择四川屏山水文站的径流量作为流入长江上游地区的流量,湖北宜昌水文站的径流量资料作为流出长江上游地区的流量,这两个水文站径流量的差值,作为对比的径流量值.

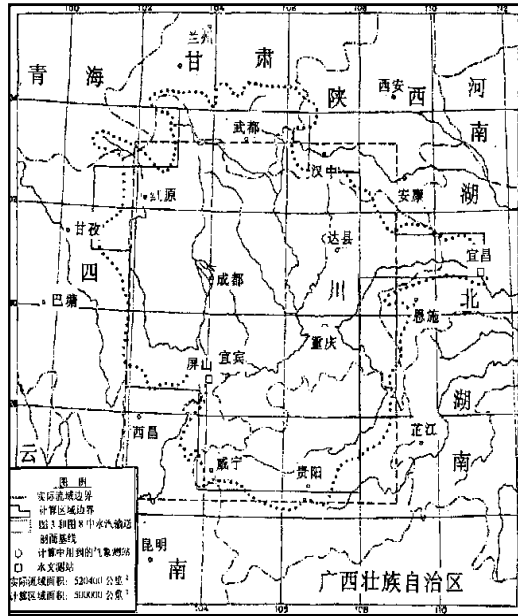


图1 计算区域图

2 计算

水汽输送的计算公式为:

$$F_w = \int_l \int_{p_1}^{p_2} \frac{vq}{g} dp dl dt$$

其中, F_w 是某一时段(T)内,在等压面 p_1 、 p_2 之间通过边界 l 的水汽输送量, q 是比湿, v 是垂直于 l 的速度分量.

我们在计算区域内,分东、南、西、北4个面,分别计算各面的925~200 hPa之间共8层的水汽通量值.对高度积分采用不等距差值方法求和,对边界长度积分采用等距差值方法求和.详细的计算步骤及一些具体问题的处理方法从略.

假若忽略大气中液态水分的输送,以及计算时期前后大气中水汽及液态水含量的差额,则某一区域大气中的水量平衡方程为:

$$R = F_i - F_o + E \quad (1)$$

式中 R 为降水量, E 为蒸发量, F_i 为水汽总输入, F_o 为水汽总输出, $F_i - F_o$ 即为水汽输送净量. $F_i - F_o > 0$ 表示水汽净输入, $F_i - F_o < 0$ 表示水汽净输出.

地表及地下的综合水量平衡方程为:

$$R = E + F \pm \Delta S \quad (2)$$

其中, F 是该区域的径流量, ΔS 是计算时段前后该区域土壤含水量及塘库栏蓄量等的变化, 其中主要是土壤含水量的变化. 比较式(1)、(2), 得到:

$$F_i - F_o = F + \Delta S$$

如果我们认为 ΔS 也是一较小的量^[5], 则水汽输送净量应近似等于径流量.

3 水汽输送净量与径流量关系的分析

1997 年 7 月下旬至 8 月底, 长江上中游持续少雨, 四川盆地中部和东部 8 月中下旬雨量为建国以来同期最少或次少值, 其中重庆和四川南充两旬雨量为 0, 出现了持续干旱^[6].

1998 年夏季长江流域发生了解放后仅次于 1954 年的全流域性大洪水, 位于长江上游地区的四川盆地也遭受了暴雨、洪涝等严重灾害. 1998 年 7、8 月间长江上游干线共出现洪峰 8 次^[7]. 我们从旬、候及统计的角度对其水汽输送净量和径流量进行了分析.

(1) 旬分析 从图 2a 中可以清楚地看到 1998 年与 1997 年长江上游地区水汽输送净量存在明显差异. 1998 年 7 月至 8 月间旬平均水汽输送净量为 $2.38 \times 10^9 \text{ t}$, 最大为 $3.28 \times 10^9 \text{ t}$, 最小为 $1.71 \times 10^9 \text{ t}$; 而 1997 年 7 月至 8 月间旬平均水汽输送净量为 $0.75 \times 10^9 \text{ t}$, 最大为 $1.40 \times 10^9 \text{ t}$, 最小为 $-0.16 \times 10^9 \text{ t}$. 尤其是在 1997 年 8 月中、下旬最早的时期内, 两旬的水汽输送净量的平均值仅为 $-0.02 \times 10^9 \text{ t}$.

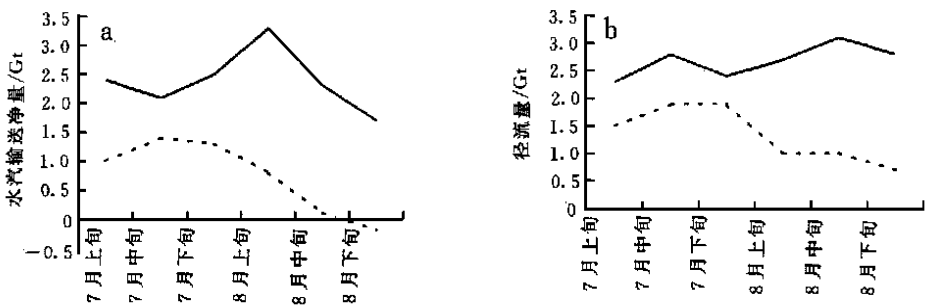


图 2 1997 年 7~8 月和 1998 年 7~8 月长江上游地区水汽输送净量(a)和径流量(b) (实线为 1998 年, 虚线为 1997 年. a 中, > 0 表示水汽净输入; < 0 表示水汽净输出. 单位: $\times 10^9 \text{ t}$)

从径流量旬平均图上(图 2b), 也可以看到 1998 年与 1997 年之间存在差异. 1998 年 7 月至 8 月间旬平均径流量为 $2.68 \times 10^9 \text{ t}$, 其间共出现洪峰 8 次; 而 1997 年 7 月至 8 月间旬平均径流量为 $1.34 \times 10^9 \text{ t}$, 其间没有出现洪峰. 1997 年 8 月中、下旬的径流量最少, 为 $0.85 \times 10^9 \text{ t}$.

因此, 水汽输送净量和径流量都可以反映出洪涝时期与干旱时期的差别, 而且还可以看出水汽输送净量与相应的径流量之间似乎存在某种关系.

(2) 候分析 从 1998 年 7 月的水汽输送净量候平均值分布情况来看(图略): 出现洪峰的第一候、第四候和第五、第六候与不出现洪峰的第二候和第三候在水汽输送净量上存

在明显的差异, 出现洪峰的候, 其候平均水汽输送净量均大于 $1.06 \times 10^9 \text{ t}$, 而不出现洪峰的候, 其候平均水汽输送净量均小于 $0.61 \times 10^9 \text{ t}$.

(3) 统计分析 通过 1998 年 7、8 月和 1997 年 7、8 月共 12 个旬的水汽输送净量旬平均值与径流量旬平均值, 计算得到水汽输送净量与径流量之间的相关系数为 0.871, 其中 1997 年 6 个旬的相关系数为 0.927. 说明水汽输送净量与径流量之间确实存在较好的相关关系.

4 水汽输送与环流形势关系的分析

4.1 各个方向的水汽输入和输出

表 1 是各边输入或输出占该年 7、8 月合计四边总输入或总输出的百分比. 从表 1 中可以看到: 1998 年盛夏, 长江上游地区, 南边是最主要的水汽输入边, 其水汽输入占总输入的 72.1%, 西边次之约占 17.0%. 这两边水汽输入之和占总输入近 90%. 而主要的输出边是东边, 其水汽输出占总输出的 69.8%, 其次是北边, 约占 22%. 从主要的南边水汽输入和主要的东边水汽输出来看: 在长江上游地区, 水汽输送出现了顺时针的旋转. 通过计算 1998 年 7、8 月水汽输送通量矢量, 发现在这一地区确实有一强辐合区^[8].

表 1 长江上游地区各边水汽输入输出占该年 7、8 月合计四边总输入输出的百分比

年份	方向	输入百分比	输出百分比
1998 年	东	2.2	69.8
	南	72.1	6.7
	西	17.0	1.5
	北	8.7	22.0
1997 年	东	31.7	23.3
	南	29.0	39.1
	西	18.6	8.6
	北	20.7	29.0

反观 1997 年盛夏, 没有占绝对优势的输入边和输出边, 相对来讲东边输入最大, 其水汽输入占总输入的 31.7%; 南边输出最大, 其水汽输出占总输出的 39.1%. 这就是说, 1997 年长江上游地区水汽输送的主要方向与 1998 年相比有显著的差别.

4.2 水汽输送与天气形势关系

1998 年 7、8 月平均水汽通量在四边垂直剖面上的分布显示出, 南边界(图 3a)强大的水汽输入, 主要是在贵阳到怀化一带低空 900 hPa 到 700 hPa 之间. 这主要是由于 1998 年夏季, 西太平洋副热带高压位于华南、南海及热带西太平洋上空. 副高的这个位置与常年同期比较异常偏南偏西(图略). 这样的环流形势就会导致从孟加拉湾来的大量水汽及从南海与热带西太平洋输送来的大量水汽涌入长江上游地区. 而 7~8 月又正是东南亚季风活跃时期, 且 1998 年 7~8 月的季风又比常年偏强. 因此南边界成为 1998 年盛夏长江上游地区水汽输送来源的主要渠道. 在南边界的高层 200 hPa 附近有微弱的水汽输出. 这是对流层上层高压脊的偏北气流引起的. 这个高压脊在云迹风场上, 有非常清楚的表现^[9](图 4).

东边界(图 3b)最强的水汽输出是在怀化至恩施一带低空 900 hPa 至 800 hPa 之间, 在恩施上空 700~500 hPa 之间还有一个次中心. 这虽然与东南亚季风活动有关, 但输出水汽的强度比输入的要弱得多. 高层的输出仍然是由对流层上层高压脊的偏西气流引起的(图 4). 东边界北侧 850 hPa 附近的输入, 是由于低层切变线以北的偏东风所造成的(图略).

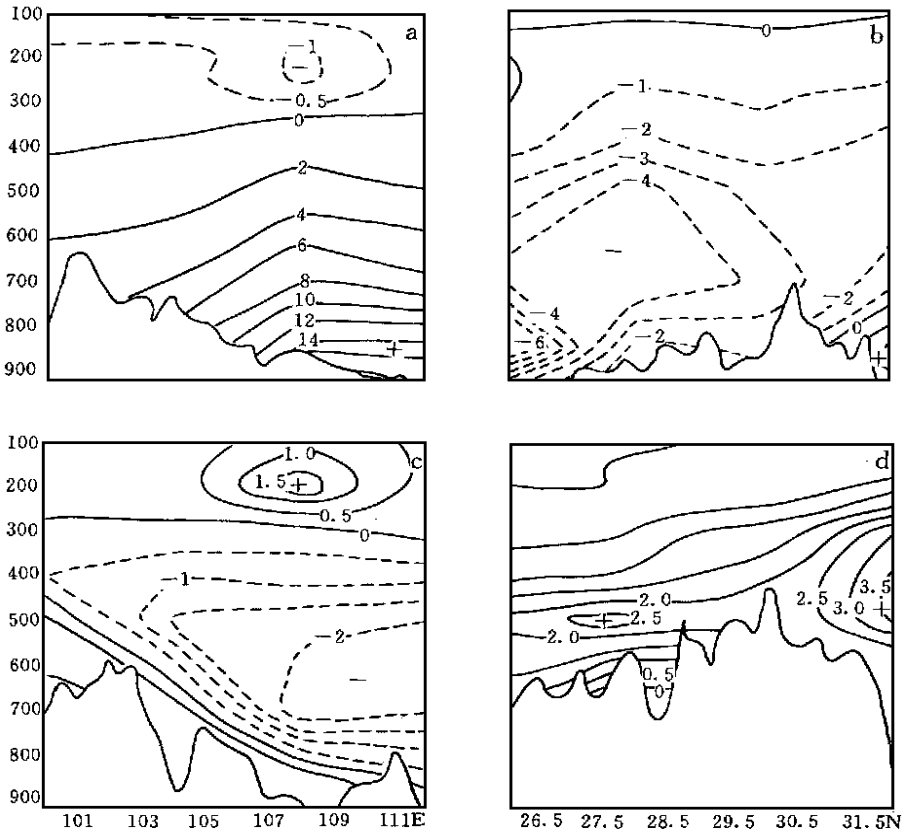


图 3 1998 年 7~8 月平均水汽通量在(a)南(b)东(c)北(d)西四边垂直剖面上的分布 (实线表示输入,虚线表示输出)

北边(图 3c)是次要的输出边,最大的输出中心在安康至汉中上空的 700 hPa 至 500 hPa 之间.说明活跃的西南季风将水汽一直输送到了西北地区,但强度要弱得多,而且随着水汽向北输送,其输送层次逐渐升高.在输出层上下分别是输入区.底层的输入区与低层切变线北侧的偏北气流有关(图略);而高层的输入区,则与对流层上层高压脊的偏北气流有关(图 4).

西边(图 3d)是次要的输入边,最大的输入中心较高,在 500 hPa 附近且南、北各有一个.北侧的中心是由西风带气流引起的;南侧的则是由于印度季风的爆发^[10],水汽越过青藏高原来到长江上游地区.因而西边界是长江上游地区水汽来源的第二渠道.

1997 年发生了本世纪最强的厄尔尼诺事件.受其影响,季风和越赤道气流偏弱,暖湿的季风气流难以向北推进和维持在偏北的位置上.另外,7 月西北太平洋副热带高压季节性北跳,

控制了黄淮、华北和西北地区东部,强度偏强,位置偏北.7 月中下旬至 8 月,对流层中低层西风带暖性高压脊长时间稳定在东亚地区,在西北地区东南部及四川盆地北部有一个独立的高压体,四川盆地及其附近的 500 hPa 高度均在 5840 gpm 以上(图略).对流

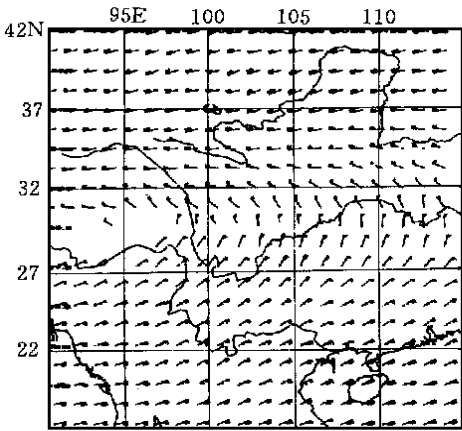


图 4 1998 年盛夏季节云迹风场平均图

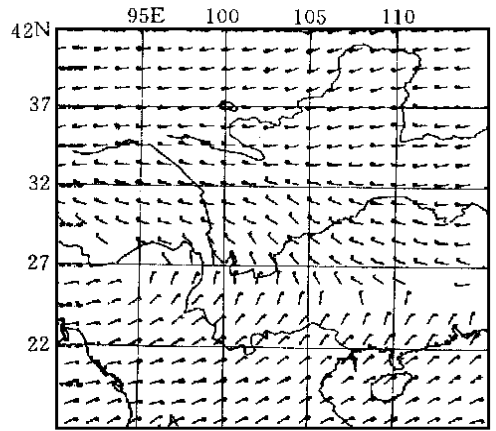


图 5 1997 年盛夏季节云迹风场平均图

层上层的青藏高压位置偏南, 脊线位于 26°N 附近, 长江上游地区所对应的是脊线北侧的西北气流(图 5).

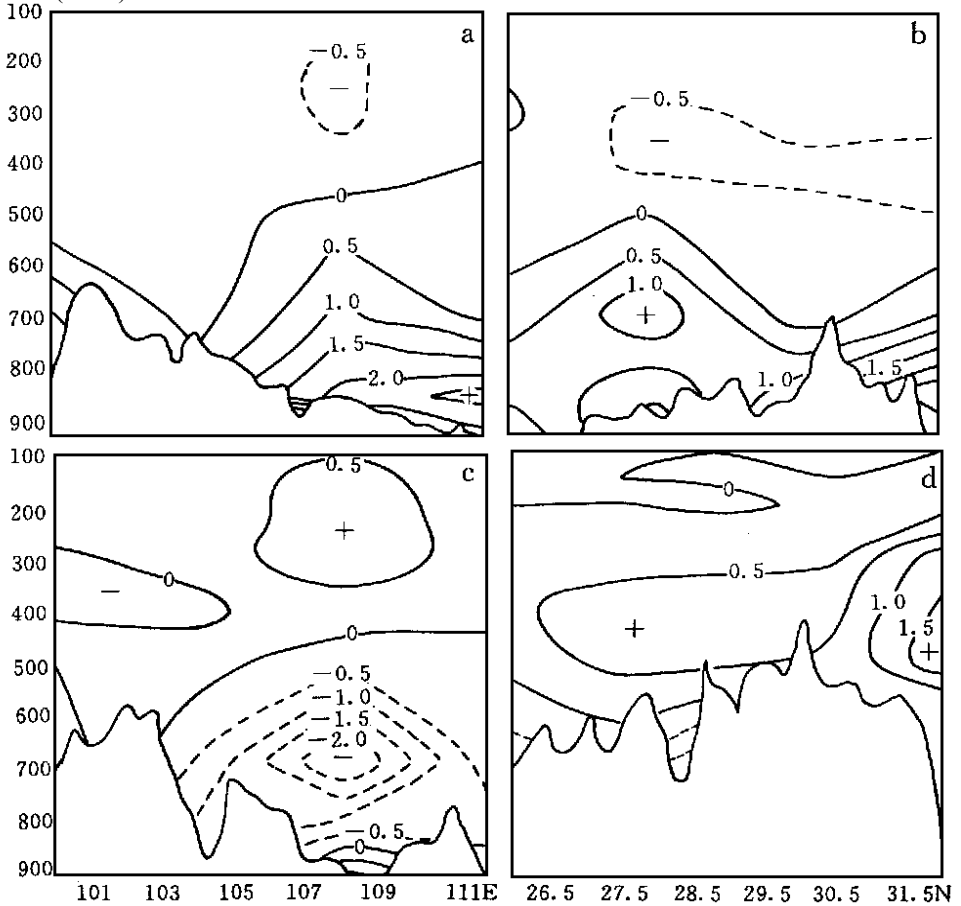


图 6 1997 年 7~8 月平均水汽通量在(a)南(b)东(c)北(d)西四边垂直剖面上的分布(说明同图 3)

从南边界剖面图显示出(图 6a), 由于季风活动弱, 使得低层水汽输送与 1998 年比较大大减弱. 对流层中上部完全被高压脊北侧的偏北气流控制, 与 1998 年相比, 水汽输出中心降低, 强度减弱.

东边界(图 6b)与 1998 年相比, 情况完全相反, 对流层中下部全部都是水汽输入层. 这是由于对流层中低层暖高压脊南侧的偏东气流造成的(图略). 对流层上层(图 6)则受高压脊的偏西气流影响, 是弱的水汽输出区域.

北边界上(图 6c), 汉中上空 700 hPa 附近有一个输出中心, 这是对流层中低层暖高压脊西侧的偏南气流引起的. 高层上的水汽输入中心与 1998 年相比, 位置相似, 但强度明显减弱.

与 1998 年比较, 在西边界上(图 6d)的南侧, 没有强的水汽输入中心, 其北侧的水汽输入中心与 1998 年比较位置相似, 强度减弱.

通过上述对比分析, 我们初步了解到: 副热带高压位置偏南偏西(偏北偏东), 南亚和东南亚季风强(弱), 印度季风爆发(间歇), 西风带系统偏南(北)是导致长江上游地区水汽来源充沛(不足)的重要原因.

5 总 结

(1) 通过水汽输送净量的候、旬资料, 分别讨论了长江上游地区水汽输送净量与径流量之间的关系. 当水汽输送净量充沛时, 径流量加大, 甚至导致出现洪峰; 当水汽输送净量枯竭时, 径流量也大大地减少. 水汽输送净量与径流量之间有显著的相关性, 平均相关系数为 0.871, 其中 1997 年的相关系数为 0.927.

(2) 对比分析了长江上游地区 1997(干旱)与 1998(洪涝)年水汽输送与大气环流形势之间的关系. 由于副热带高压的位置, 季风的强弱以及西风带系统的变化, 导致了长江上游地区这两年水汽输送的主要方向出现明显差别.

(3) 长江上游地区的主要水汽来源在南边界上, 另外西边界也有可能成为长江上游地区水汽来源的第二渠道.

致谢: 江吉喜同志对本文进行了修改, 特此致谢.

参 考 文 献

- 1 Каминский А А, и Ванеева О В. Перенос водяного пара на Европейскую территорию СССР в теплый сезон. Зап. ГГИ, 1933, 8.
- 2 Benton G S, Estoque M A. Water-vapor transfer over the North American continent. *J. Meteor.*, 1954, 11: 462~477.
- 3 徐淑英. 我国的水汽输送和水分平衡. 气象学报, 1958, 28: 33~43.
- 4 郑斯中, 沈建柱. 长江流域的大气水分循环. 地理学报, 1959, 25: 346~355.
- 5 王作述, 许熙. 长江上游地区盛夏季节的水分循环. 气象学报, 1964, 34(3): 345~354.
- 6 国家气候中心. '98 中国大洪水与气候异常. 北京: 气象出版社, 1998. 11~16.
- 7 国家气候中心. 1997 年全国气候评价. 1997 年 8 月, 1~3.
- 8 黄荣辉. 1998 年夏季长江流域特大洪涝特征及其成因. 1998 年特大暴雨(洪涝)学术研讨会论文摘要汇编. 中国气

- 象局中国气象学会, 1999, 20~ 23.
- 9 许健民, 王峰. 卫星导风资料所揭示的对流层上部环流形势与 1998 年夏季我国南方雨带的关系. 1998 年特大暴雨(洪涝)学术研讨会论文摘要汇编. 中国气象局中国气象学会, 1999, 183.
- 10 江吉喜, 范梅珠. GMS T_{BB} 揭示的热带天气系统异常及中低纬相互作用与 '98 长江大暴雨. 1998 年特大暴雨(洪涝)学术研讨会论文摘要汇编. 中国气象局中国气象学会, 1999, 205~ 208.

ANALYSIS OF WATER VAPOR TRANSPORTATION OVER THE UPPER REACHES OF THE CHANGJIANG RIVER AND ITS RELATION WITH THE RUN-OFF IN 1997 AND 1998

Ma Lan Xu Xi Gao Yun Ma Zailan

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

Using the radiosonde data in summer of 1997 to 1998, the water vapor flux over the upper reaches of the Changjiang River from 925 hPa to 200 hPa are calculated. The relationship between the inflow of water vapor and the run-off over the area and contrast analysis between 1997 and 1998 is made based on the five-day and ten-day averages of net inflow water vapor. The statistical dependence is described and the relation between water vapor transportation and circulation situation is discussed.

Key words: Water vapour transportation Run off Upper reaches of the Changjiang River