

文章编号:1004-9045(2007)01-0036-05

# 1998 年夏季长江上游暴雨过程的水汽输送特征

李跃清<sup>1</sup>, 蒋兴文<sup>1,2</sup>

(1.中国气象局成都高原气象研究所,成都 610071;2.中国气象科学研究院,北京 100081)

**摘要:**应用 ECMWF 再分析资料,分析了 1998 年夏季长江上游 9 次暴雨过程的水汽输送特征。结果表明:长江上游暴雨的水汽主要来源于孟加拉湾、南海和西太平洋,也存在由阿拉伯海北部经印度半岛北部再经青藏高原东南部进入长江上游的水汽路径;不同暴雨过程其水汽来源差别较大;长江上游的复杂地形和水汽输送形式的共同作用是决定长江上游暴雨发生的一个重要因素;当西太平洋副热带高压偏南、偏西、偏强,印度季风低压偏弱时,有利于长江上游暴雨的水汽输送;长江上游水汽输送的特征决定了其暴雨过程发生发展的复杂性。

**关键词:**1998;长江上游;暴雨;水汽输送

**中图分类号:**P458.1\*21.1 **文献标识码:**A

## 1 引言

1998 年长江流域发生了自 1954 年以来又一次全流域性大洪水,其持续时间长、影响范围大,洪涝灾害严重。大范围持续性降水是这次洪水过程得以发生的主要原因。1998 年长江上游暴雨出现时间早,结束晚,次数多,多大暴雨和突发性暴雨,对长江流域洪峰的形成具有很大影响,第 4~8 次洪峰是直接由长江上游暴雨叠加在中游高水位上形成的<sup>[1]</sup>。因此,深入研究长江上游暴雨天气发生发展的原因是非常重要的。

对 1998 年夏季长江上游暴雨天气,有不少人或机构从不同侧面进行过分析研究。如:国家气候中心分析了 1998 年气候背景异常与中国大洪水的关系<sup>[2]</sup>;杨克明等<sup>[3]</sup>对触发长江上游暴雨的高原涡及环流系统相互作用对暴雨的影响作了分析;李跃清<sup>[4]</sup>研究认为,长江上游暴雨时段四川盆地边界层风场呈现出不同结构;王立琨等<sup>[5]</sup>分析了 1998 年夏季长江流域暴雨期的云图特征。持续的大范围水汽输送及辐合是暴雨形成的重要条件之一,四川暴雨主要有两个水汽源地,即孟加拉湾与南海一带。以往人们对四川暴雨过程水汽来源的研究侧重于个例分析,但不同个例分析得出的其水汽主要源地有所不同,或认为其水汽主要来自南海,或认为其主要来自孟加拉湾,或认为其同时来自南海和孟加拉湾<sup>[6-8]</sup>。这些暴雨过程的水汽源地虽不同,但在其都能为长江上游暴雨过程提供源源不断的水汽上却是一致的。然而,其不同源地水汽输送之间到底存在哪些异同,则是一个值得探讨的问题。1998 年

在同一气候异常背景下,长江上游出现多次暴雨过程,分析这些暴雨过程的水汽输送特征及其与气候背景异常的联系,无疑有利于深化对暴雨天气过程的认识。基于此目的,本文首先分析了 1998 年长江上游不同暴雨过程的水汽输送特征;然后对不同暴雨过程的水汽输送异常进行比较分析,揭示其相互间的差异与联系;最后,通过对长江上游暴雨过程水汽输送异常背景的分析,初步探讨了其成因。

## 2 资料与方法

文中所使用的资料主要包括:ECMWF 提供的 1961~2002 年月平均和 1998 年逐日 4 个时次再分析资料,水平分辨率为 2.5×2.5 经纬度,垂直方向 13 层;气象要素资料包括地表面气压场、风场、比湿场和位势高度场等。

对单位长度整层大气水汽输送矢量  $Q$  的计算,采用如下公式:

$$\text{纬向水汽输送 } \bar{Q}_\lambda = \frac{1}{g} \int_{p_i}^{p_s} \overline{qu} dp \quad (1)$$

$$\text{经向水汽输送 } \bar{Q}_\varphi = \frac{1}{g} \int_{p_i}^{p_s} \overline{qv} dp \quad (2)$$

式(1)~(2)中, $p_s$ 为地表面气压, $p_i$ 取 100 hPa。

## 3 长江上游暴雨的水汽输送特征

### 3.1 水汽输送来源与路径

针对 1998 年长江上游暴雨频繁,多突发性、区域

收稿日期:2007-04-01;定稿日期:2007-05-20

基金项目:中国气象局气候变化专项项目(CCSF2007-23)、江苏省气象灾害重点实验室基金项目(KLME050210)

作者简介:李跃清,1960 年生,男,研究员,主要从事高原天气气候、气候变化及其影响等研究.E-mail:Yueqingli@163.com

性和高原大暴雨的特点,选取对长江流域洪峰有重大影响的 9 次暴雨过程的水汽输送特征进行分析。这 9 次暴雨过程主要出现在长江上游地区<sup>[1]</sup>,其发生时间(北京时)分别是 6 月 27 日 08 时至 29 日 08 时、7 月 9 日 20 时至 14 日 20 时、7 月 19 日 08 时至 22 日 20 时、8 月 1 日 08 时至 3 日 08 时、8 月 9 日 08 时至 10

日 08 时、8 月 11 日 08 时至 14 日 20 时、8 月 18 日 08 时至 21 日 20 时、8 月 22 日 08 时至 23 日 20 时、8 月 24 日 08 时至 27 日 20 时。为了分析上的方便,将这 9 次暴雨过程按时间顺序分别排序为第 1~9 次,其过程整层水汽输送矢量及 850 hPa 平均位势高度详见图 1。

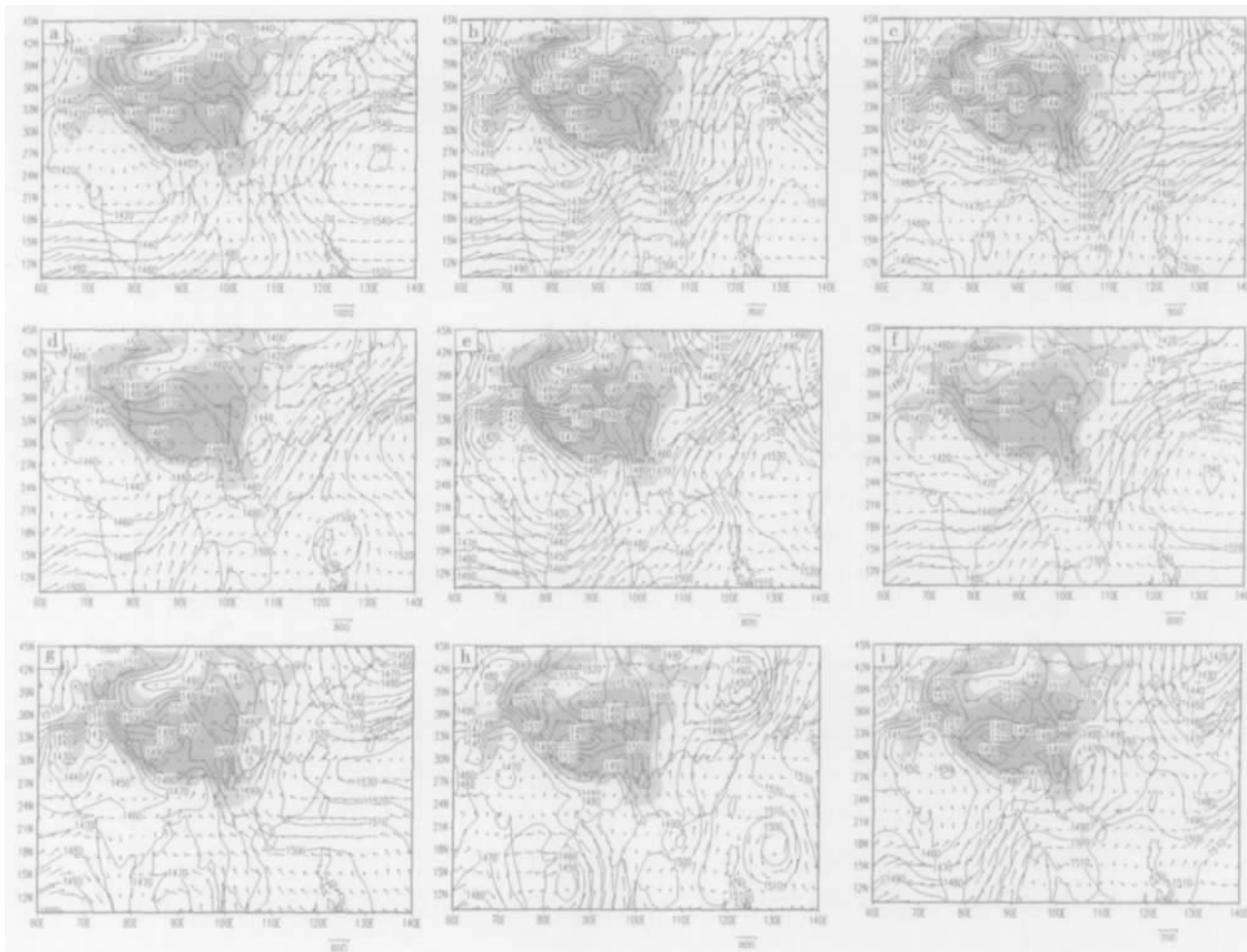


图 1 1998 年 6 月 27 日 08 时至 29 日 08 时(a)、7 月 9 日 20 时至 14 日 20 时(b)、7 月 19 日 08 时至 22 日 20 时(c)、8 月 1 日 08 时至 3 日 08 时(d)、8 月 9 日 08 时至 10 日 08 时(e)、8 月 11 日 08 时至 14 日 20 时(f)、8 月 18 日 08 时至 21 日 20 时(g)、8 月 22 日 08 时至 23 日 20 时(h)、8 月 24 日 08 时至 27 日 20 时(i)暴雨期间整层大气水汽输送(单位: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )及相应时段平均的 850 hPa 位势高度场(单位:gpm),阴影区为 1500 m (浅灰)及 3000 m (深灰)地形

第 1 次暴雨过程的水汽主要来自西太平洋及南海地区,孟加拉湾的水汽输送不明显。水汽沿着副高外侧输送,开始呈东南向输送,当到达长江上游之后逐渐转为随西南风输送,在四川盆地中东部为明显的西南向输送。

第 2 次暴雨过程水汽主要来自孟加拉湾地区,在印度季风低压的作用下,孟加拉湾北部的水汽最开始沿槽前随西南风向青藏高原东南地区输送,然后转为随西北风向南海输送,当到达南海西北部之后转为随东南风向长江上游输送。

第 3 次暴雨过程主要来自孟加拉湾,在青藏高原南侧存在一条显著的东西向水汽输送带,该条水汽输送带起源于阿拉伯海北部地区,向东经印度半岛北部到达孟加拉湾西北后,与孟加拉湾的水汽汇合,转为随偏南风向南海输送,在南海西北面转为随东南风输送,在四川盆地东南部为明显的西南风输送。

第 4 次暴雨过程的水汽主要来自于孟加拉湾,水汽在孟加拉湾北部随南风到达青藏高原南面之后转为随西风输送,在南海西北面转为随西南风输送,到达四川盆地西南面时仍为随西南风输送,在四川盆地

东部转为随南风输送。

第 5 次暴雨的水汽同时来自南海和孟加拉湾,孟加拉湾水汽经中南半岛进入南海之后,与南海水汽共同向北输送,在川西高原南部至四川盆地东部为随西南风输送。

第 6 次暴雨的水汽输送来源和路径均与第 5 次相似,但孟加拉湾水汽不但可向东经南海进入,也可从青藏高原东南部进入。

第 7 次暴雨过程的水汽主要来自西太平洋,水汽沿着副高外侧输送,在四川地区中东部形成强的南风输送。

第 8 次暴雨过程的水汽主要来自南海,南海向北的水汽进入我国东南之后转为随东南风输送,在向长江上游输送的过程中逐渐转为随南风输送。

第 9 次暴雨过程的水汽主要来自孟加拉湾,孟加拉湾水汽经中南半岛之后随南风向长江上游输送。

### 3.2 影响水汽输送的大尺度系统

从以上 9 次暴雨过程的水汽输送可知,影响长江上游暴雨的水汽除来自孟加拉湾和南海之外,也有的来自西太平洋,同时在青藏高原南侧存在一条影响四川暴雨的水汽输送通道。不同暴雨过程水汽来源存在较大的差别。对于这 9 次暴雨过程,来自孟加拉湾的水汽输送次数最多,其次是南海,最后是西太平洋。

孟加拉湾的水汽主要通过两条路径进入长江上游地区:一是向东经中南半岛到达南海之后转为随东南风向长江上游输送;二是向东北通过青藏高原东南地区进入长江上游。来自南海和西太平洋的水汽都是随东南风向长江上游输送。水汽进入长江上游主要是随东南风或西南风而来。由孟加拉湾向长江上游输送的水汽,其输送路径受印度季风低压和西太平洋副热带高压的共同影响。印度季风低压的强弱决定孟加拉湾水汽是否能进入长江上游地区。印度季风低压强时,不能形成向东的水汽输送,此时水汽不能进入长江上游。印度季风低压偏弱时,孟加拉湾水汽可经南海或青藏高原东南部进入长江上游。西太平洋副热带高压的位置决定孟加拉湾到达南海的水汽以及南海水汽、西太平洋水汽进入长江上游地区的输送方向和位置,同时也可决定由孟加拉湾经青藏高原东南部进入长江上游水汽的位置。当西太平洋副热带高压强烈西伸时,水汽容易到达四川西部;当西太平洋副热带高压偏东时,水汽输送主要在四川东部地区;当西太平洋副热带高压偏南时,水汽随西南风进入长江上游,而偏北时水汽随东南风进入。

### 3.3 长江上游水汽输送形式与暴雨位置的关系

上述 9 次暴雨过程分别发生在长江上游不同位

置,水汽输送进入长江上游的方向和位置也不尽相同。长江上游位于从青藏高原到我国东部平原的过渡区,主要包括四川盆地和川西高原,其地形陡峭复杂,地形对水汽的抬升作用与水汽输送方向有关。从这 9 次暴雨过程出现位置来看,其中,2 次在四川盆地北部和川西高原南部(第 2、8 次),2 次在四川盆地东部和川西高原南部(第 5、6 次),1 次在四川盆地中东部(第 1 次),1 次在盆地东部和南部(第 3 次),1 次在四川盆地北部和南部(第 4 次),1 次在盆地北部和西部(第 7 次),1 次在四川盆地东部(第 9 次)<sup>[1]</sup>。

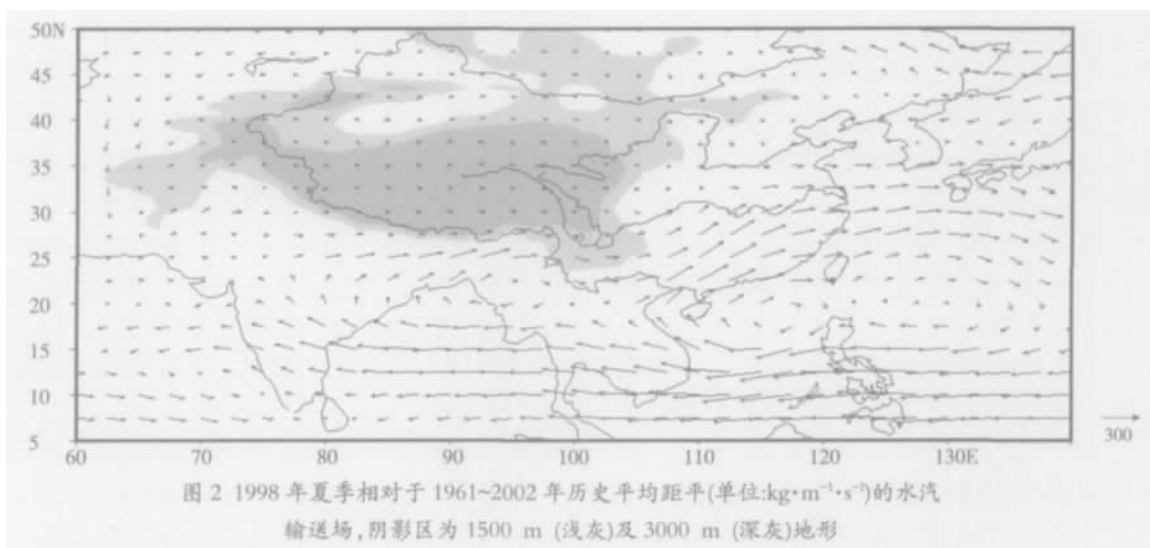
对照其相应时段水汽输送发现,进入长江上游水汽的输送方向与位置同暴雨出现地点密切相关。如同时出现在四川盆地北部和川西高原南部的 2 次暴雨过程,其水汽均是在长江上游地区由随东南风输送转为随南风输送;水汽在川西高原南部为随东南风输送,在四川盆地西部为随南风输送;同时出现在四川盆地东部与川西高原南部的降水过程,水汽均为随西南风输送;第 1 次暴雨过程,其水汽在四川盆地中东部为随强的西南风输送;第 3 次暴雨过程,其水汽在四川盆地东南部为随强的西南风输送;第 4 次暴雨过程,其水汽在四川盆地东南部随西南风进入,顺着盆地东部随南风向北输送,最后在四川北部转为随东北风输送,在盆地内表现为气旋式水汽输送特征;第 7 次暴雨过程,其水汽在四川盆地西南部随西南风进入,然后随南风顺着四川盆地西部向北输送;第 9 次暴雨过程,其水汽在四川盆地东部为随南-西南风输送。根据降水均出现在与水汽相交的地形迎风面上的事实可知,强水汽输送的方向和位置与地形共同作用是决定暴雨出现位置的重要因素之一。

## 4 长江上游暴雨过程水汽输送的气候背景

1998 年长江上游暴雨过程是在大气环流异常的气候背景下发生的,大气环流异常是导致降水异常的直接因素,其一方面导致异常水汽辐合,另一方面为暴雨发生发展提供动力条件。至于大气环流异常配置对暴雨水汽输送异常有何影响,对其简要分析如下。

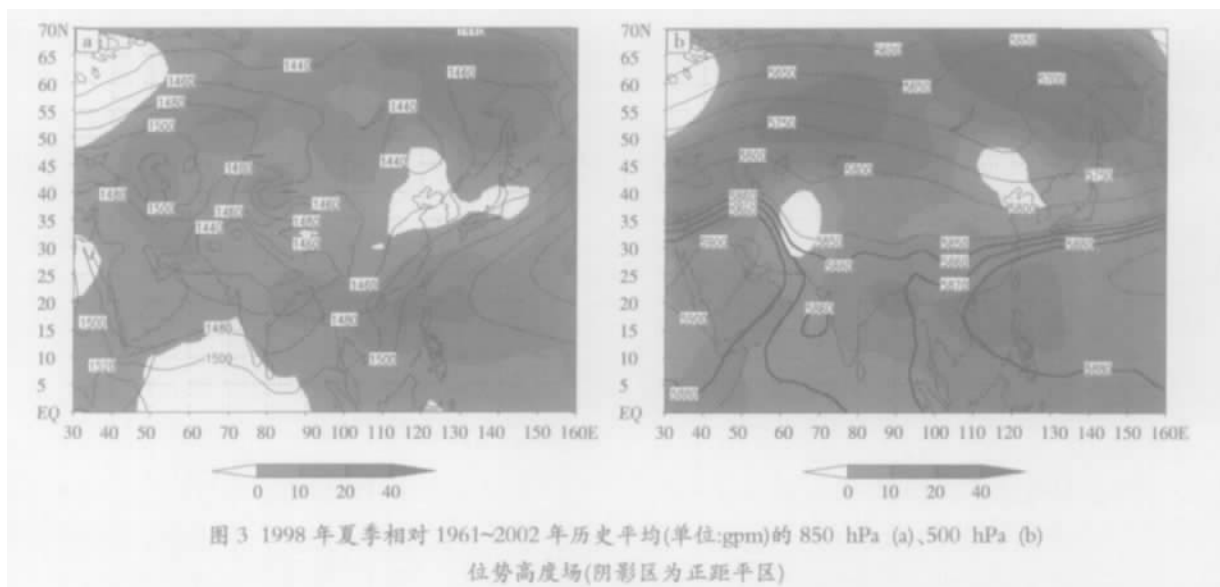
从 1998 年夏季相对于 1961~2002 年历史平均距平的水汽输送场可见(图 2),大量来自南海、孟加拉湾的异常暖湿水汽与我国北方地区冷空气交汇于长江流域,同时有大量水汽从青藏高原随西风向长江流域输送,这两条路径成为 1998 年长江上游暴雨的重要水汽输送路径。

从 1998 年夏季相对 1961~2002 年历史平均的位势高度场上可见(图 3),高度场异常在垂直空间上表现



出准正压特征,除我国华北至日本海一带为负高度场异常外,整个亚洲及邻近地区均表现为正的高度场异常,低纬地区的西太平洋至孟加拉湾北部为强正异常,中高纬地区在乌拉尔山东面及鄂霍茨克海西面也是强的高度场异常中心;受此高度场异常的影响,印度季风低压偏弱,西太平洋副热带高压偏南、偏西、偏强,长江上游地区存在明显低槽。由于副高西伸到我

国内陆,其脊线位于 20°N 以南,长江流域位于副高西北侧,盛行西南风,南海及西南太平洋地区处于副高西南侧,盛行东南风,有利于引导大量水汽进入长江流域。印度季风低压偏弱,既有利于引导孟加拉湾北部水汽进入青藏高原东南部,并在长江上游低槽作用下进一步向长江上游输送,也有利于孟加拉湾水汽经中南半岛向南海输送,再进入长江上游。



## 5 结论与讨论

通过对 1998 年夏季长江上游 9 次暴雨过程水汽输送特征及其异常气候背景的分析,得出如下几点结论。

(1)长江上游暴雨的水汽主要来源于孟加拉湾、南海和西太平洋,也存在通过由阿拉伯海北部经印度半岛北部再沿青藏高原东南部进入长江上游的路径。不同暴雨个例,尽管其水汽来源彼此存在差别,但相同之点是水汽都是随东南风或西南风进入到长江上游地区的。

(2)印度季风低压和西太平洋副热带高压是影响水汽向长江流域输送的重要系统,其强度、位置决定由孟加拉湾、南海和西太平洋进入长江流域水汽的输送特征。

(3)长江上游的地形作用与水汽输送方向、位置是决定长江上游暴雨过程发生地点的一个重要因素。

(4)当西太平洋副热带高压偏南、偏西、偏强,且印度季风低压偏弱时,则有利于长江上游暴雨的水汽输送。

长江上游水汽输送特征决定了其暴雨过程发生发展的复杂性。根据对 1998 年长江上游 9 次暴雨过

程水汽输送特征的分析所得出的结论,有待于选取更多暴雨个例进行验证。此外,气候年际变化为长江上游暴雨多发提供了重要背景条件,通过深入研究两者之间的关系,无疑可提高对长江上游暴雨天气气候成因与演变的认识。

#### 参考文献:

- [1] 郁淑华.长江上游暴雨对 1998 长江洪峰影响的分析[J].气象,2000,26(1):56-57.
- [2] 中国气象局国家气候中心.98 中国大洪水与气候异常[M].北京:气象出版社.1998:1-139.
- [3] 杨克明,毕宝贵,李月安,等.1998 年长江上游致洪暴雨的分析研究[J].气象,2001,27(9):9-14.
- [4] 李跃清.1998 年青藏高原东侧边界层风场与长江暴雨洪水的关系[J].大气科学,2000,24(5):641-648.
- [5] 王立琨,陶祖钰,杨阳,等.1998 年长江洪水大暴雨的卫星云图分析[J].北京大学学报(自然科学版),2000,36(1):87-94.
- [6] 周长艳,李跃清.四川“9.3”大暴雨中的水汽输送分析[J].成都信息工程学院学报,2005,20(6):733-738.
- [7] 郁淑华.一次华西秋季大暴雨的水汽输送分析[J].高原气象,2004,23(5):689-696.
- [8] 顾清源,康岚,徐琳娜.川北两次特大暴雨过程成因的对比分析[J].气象科技,2004,32(1):29-33.

## Characteristics of Water Vapor Transportation During Summer Heavy Rainfall at the Upper Reaches of Yangtze River in 1998

LI Yue-qing<sup>1</sup>,JIANG Xing-wen<sup>1,2</sup>

(1.Institute of Plateau Meteorology,China Meteorological Administration,Chengdu 610071;

2.Chinese Academy of Meteorological Sciences,Beijing 100081)

**Abstract:** Using the ECMWF reanalysis data in summer of 1998, we analyzed the characteristics of water vapor transportation in the nine heavy rains taken place at the upper reaches of Yangtze River. The result shows that the water vapor of heavy rains at the upper reaches of Yangtze River mainly originates from Bay of Bengal, South China Sea and West Pacific, and sometimes the water vapor from north part of Arabian Sea can transport through the north part of India and southeast part of Tibetan Plateau which can contribute to the heavy rains. The source regions of the water vapor have an obvious difference between different heavy rains. Both the complex topography and the water vapor transportation ways at the upper reaches of Yangtze River are an important factor to determine the heavy rains. When the West Pacific Subtropical High is strong and shifts both to south and to west, and the Indian Monsoon Low Pressure is weak, there is a favor condition of water vapor transportation for the occurrence of heavy rains at the upper reaches of Yangtze River. The characteristics of the water vapor transportation also result in the complexity of the occurrence and development of heavy rains at the upper reaches of Yangtze River.

**Key words:** 1998;The upper reaches of Yangtze River;Heavy rain;Water vapor transportation