

1998年夏季松花江、嫩江流域 大暴雨的水汽输送

孙永罡 白人海

(黑龙江省气象台, 哈尔滨 150030)

提 要

使用松花江、嫩江流域内 94 个地面气象观测站 1998 年 6~8 月逐日降水资料 and 同期的 NCEP/NCAR 再分析资料, 分析了造成 1998 年夏季中国东北地区松花江、嫩江流域出现超历史纪录特大洪水大暴雨过程时的水汽输送。分析结果认为, 关键在于南部充沛的水汽向高纬度地区的经向输送。水汽的源地可以追溯到相当远, 主要来自西太平洋副热带高压南部低纬热带地区和印度洋洋面。制约水汽输送的条件主要是西太平洋副热带高压南北位置、低空偏南急流强弱等。

关键词: 水汽输送 大暴雨 松花江嫩江流域

引 言

1998 年夏季, 中国东北地区的松花江、嫩江流域出现了超历史纪录的特大洪水, 造成黑龙江、吉林、内蒙古三省(区)严重的洪涝灾害。

造成此次特大洪水的根本原因是该流域夏季降水异常偏多, 尤其是嫩江流域。流域内相继出现多次大范围的大暴雨。每次暴雨过程都涉及十几个县, 面积达到 $25 \times 10^4 \sim 30 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在松花江、嫩江流域内同一地区反复出现大范围暴雨、甚至大暴雨的情况在历史上是没有的, 在中高纬度地区也是鲜见的。

强烈的上升运动、充沛的水汽和不稳定触发机制是暴雨发生的宏观物理条件。其中, 水汽条件是至关重要的, 不少人都讨论有关水汽收支与输送方面的问题。谢义炳和戴武杰讨论过黄淮地区强降水过程的水汽输送, 认为强降水过程与水汽的输入有密切的关系^[1]。游景炎在分析“63.8”河北特大暴雨过程时指出, 单从空中水汽输入净余量一项就足以提供充沛的水汽条件^[2]。罗绍华讨论过

盛夏期间我国东南部地区的水汽输送和水分平衡, 指出影响该地区的水汽来源主要是孟加拉湾、我国南海和西太平洋^[3]。黄荣辉等讨论了东亚季风区夏季水汽输送的特征, 并与印度季风区进行了比较^[4]。所有这些工作都不仅证明了水汽在暴雨发生中的作用, 也指出影响我国暴雨的水汽主要来自南部的低纬地区。

本文通过 1998 年夏季松花江、嫩江流域大暴雨的水汽输送分析, 对东亚中高纬度暴雨过程中水汽的作用和输送提出一些看法。

本文使用松花江、嫩江流域内 94 个地面气象观测站 1998 年 6~8 月逐日降水资料 and 同期的 NCEP/NCAR 再分析资料 ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$)。

1 暴雨期间环流形势概述

1998 年夏季, 东亚中高纬度地区经常维持一个强大的阻塞高压, 维持的时间也较长。如 7 月末形成的一次阻塞高压过程持续时间长达半个月。亚洲中高纬度地区的另一个特点是乌拉尔山地区附近的高压脊也比正常偏

强。它不断向东扩展,使中亚高压脊加强,相应从贝加尔湖或蒙古移来的低涡,稳定在我国东北区的西北部。冷涡西侧上游的高压脊有利于北方冷空气沿脊前西北气流南下;鄂霍次克海阻塞高压和西太平洋副热带高压引导偏南的暖湿气流北上。两者恰好在松花江、嫩江流域交汇相互作用,为暴雨的反复出现提供了极有利的天气尺度环流条件。

以往研究表明,造成松花江、嫩江流域大范围暴雨的天气系统统计结果中,冷涡所占的比例最小,仅有3%~7%^[5,6]。冷涡暴雨更多的表现为局地强对流天气。因此,1998年夏季松花江、嫩江流域大暴雨的形成有一定的特殊性。

1998年夏季松花江、嫩江流域暴雨形成的天气形势分析指出^[7]:暴雨发生的天气形势从与副热带系统活动的关系来划分,有两种情况。一是仅由西风带上的冷涡系统造成的,暴雨范围小、强度低,如6月出现的两次局地暴雨。二是西太平洋副热带高压北进后,低纬天气系统对西风带低值系统降水产生加强作用,如7、8月出现的暴雨、大暴雨。尽管有时两者的西风带影响系统是一样的,但是结果相差悬殊。重要原因之一就是水汽输送上的差别。

2 暴雨区域的水汽收支

2.1 暴雨区域的水汽通量

根据松花江、嫩江流域的范围,划定计算水分收支的区域为42.5~50°N、120~130°E。计算各边界单位空气柱(1000~300hPa)水汽通量(F_w, F_E, F_S, F_N ,下标W、E、S、N分别表示西、东、南、北边界)、纬向($Q_{WE} = F_w - F_E$)、经向($Q_{SN} = F_S - F_N$)和总($Q = Q_{WE} + Q_{SN}$)水汽收支。表1列出了5次暴雨过程该范围的水汽收支情况。水汽的输入多数情况下是来自经向分量,纬向输入的作用相对较小。因此形成暴雨的水汽主要来自南

部边界。

1998年7~8月该区域逐日水汽收支和全流域面雨量(全流域94个站的雨量的平均)的变化趋势是一致的。面雨量与当天水汽收支的相关系数为0.397,与前一天的相关系数达到0.458($\alpha_{0.001} = 0.414$)。由此可见,同样在冷涡形势下,只有水汽收支是较大正值时暴雨才可能发生。水汽的输送与辐合创造了暴雨发生的充沛水汽条件。

表1 1998年7~8月松花江、嫩江流域暴雨过程时42.5~50.0°N、120.0~130.0°E范围的水汽收支(单位: $g \cdot s^{-1}(100hPa)^{-1}$)

日期/月·日	F_w	F_E	F_S	F_N	Q_{WE}	Q_{SN}	Q
7.6~7.8	7.7	14.9	32.2	6.9	-7.2	25.2	18.1
7.14	-14.4	-2.0	31.6	4.7	-12.5	26.9	14.4
7.29	12.4	7.5	17.5	12.5	4.9	5.0	9.9
8.5~8.6	7.0	3.8	23.6	14.3	3.2	9.4	12.6
8.8~8.11	-8.4	-5.2	31.5	21.9	-3.2	9.5	6.3
平均	0.9	3.8	27.3	12.1	-2.9	15.2	12.3

另外,分析还表明水汽的输送主要在700hPa以下,占85%以上。只有7月14日这次暴雨过程的水汽输送在600~500hPa还保持一定的数值。

2.2 暴雨区域的水汽通量辐合

水汽通量散度可以分解为由风场辐合与由水汽平流引起的水汽辐合两部分。

计算分析结果表明,暴雨区内水汽平流的作用与风场相比,数值上基本相当。这一点与低纬度地区不同,低纬地区水汽分布差异较小,水汽辐合主要取决于风场。在较高纬度地区局地水汽较少,变化较大,水汽平流在水汽辐合中的作用变得相当明显。图1是8月5~6日松花江、嫩江流域大暴雨过程的水汽通量散度图。在松花江流域有一个较强的水汽辐合区,最大值为-24.5(图1a,单位: $10^{-8} \cdot g \cdot s^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1}$,以下同),该区域内水汽平流(图1b)和风场引起的水汽辐合(图1c)最大值分别为-15.5和-11.4。

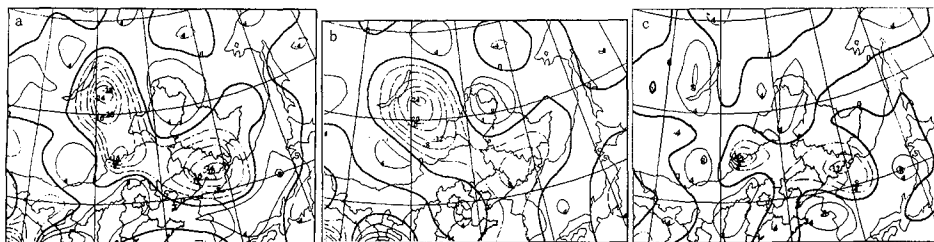


图1 1998年8月4日水汽通量散度(a),由风场引起的水汽通量散度(b)和由水汽平流引起的水汽通量散度(c,单位: $10^{-8} \cdot \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$)

3 水汽来源及影响输送的条件

暴雨区的水汽主要来自南部边界的水汽输入。根据南部边界水汽通量流线分析,能够看到水汽的源地可以追溯到相当远的南部低纬热带地区。实际上,影响我国的主要水汽基本来源于此。对松花江、嫩江流域来说,关键是水汽最终能否输送到较高纬度地区。因此,对松花江、嫩江流域的水汽输送更应注重副热带和西风带中各环流系统的制约。

3.1 水汽源地和输送通道

从1998年8月上旬850hPa高度的水汽

通量流场图(图2)中可以看到影响松花江、嫩江流域的水汽来源主要有两个:第一是西太平洋副热带高压南部低纬热带地区,水汽沿西太平洋副热带高压西侧偏南气流转向北输送;第二是孟加拉湾,沿西南气流进入我国西南地区向东北输送。后者可追溯到印度洋赤道以南洋面,水汽先沿马克斯林高压东侧经索马里急流穿越赤道进入印度季风槽。有时这两支水汽在我国南海($20 \sim 30^{\circ}\text{N}$ 、 110°E)合并后向北输送。

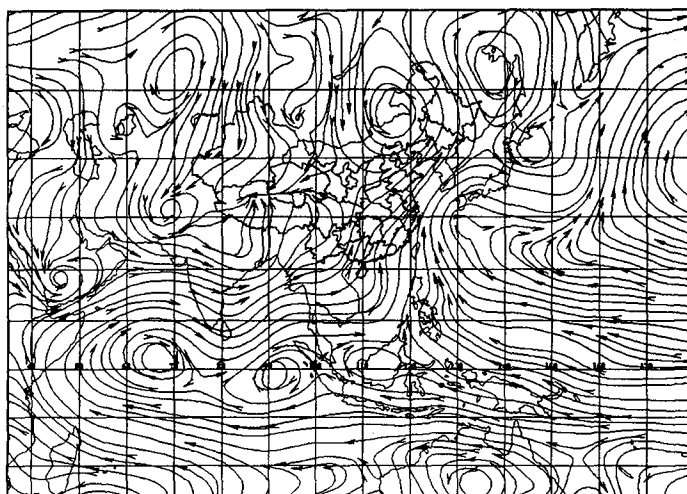


图2 1998年8月1~10日850hPa水汽通量流线平均图

3.2 影响水汽输送的条件

水汽的输送取决于比湿分布和流场两个因素,这两个因素往往又是与环流系统密切

相关的。

3.2.1 水汽分布

分析表明,当松花江、嫩江流域发生区域

性暴雨时,在其南部有一个高比湿中心。如1998年8月5~6日暴雨过程,850hPa层上在辽宁省和朝鲜之间有一个 $14.4\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的高比湿中心;8月8~11日暴雨过程,在朝鲜有一个 $13.9\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的高比湿中心。这两个高比湿中心都是从我国西南地区的高湿带向东北方伸出的,与印度季风相联系。高比湿中心向松花江、嫩江流域伸出一个湿舌,两地比湿的数值相差约 $4\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右,保证了有充沛的水汽向暴雨区输送。

3.2.2 低空急流

在对流层的低层,行星边界层附近,存在着一支强风带,即通常所称的低空急流。这支低空急流与暴雨的出现关系密切,绝大多数暴雨过程伴有低空急流。暴雨区往往位于急流的左前方^[8]。

1998年夏季松花江、嫩江流域大暴雨的发生也与低空急流有很明显的关系,即暴雨发生时, $30.0 \sim 50.0^{\circ}\text{N}$ 、 $120.0 \sim 130.0^{\circ}\text{E}$ 范围内的偏南风明显加强。从图3可以看出,7月6~8日、14日、29日、8月5~6日、8~11日、19日等几次暴雨过程发生,都与偏南风的加强相对应。这支急流在将东南沿海的水汽向松花江、嫩江流域输送过程中,起到重要的作用。这支偏南急流与东亚夏季风关系密切,季风一旦活跃,偏南急流便会加强。虽然1998年夏季东亚季风与常年相比较弱,7月初建立后曾一时活跃即后退。但8月初又再度活跃, 125°E 的 $850\text{hPa } \theta_{se} = 332\text{K}$ 线向北伸入到 50°N , 促使伸向东北地区的南风加强,造成影响松花江、嫩江流域有利于大暴雨发生的急流。

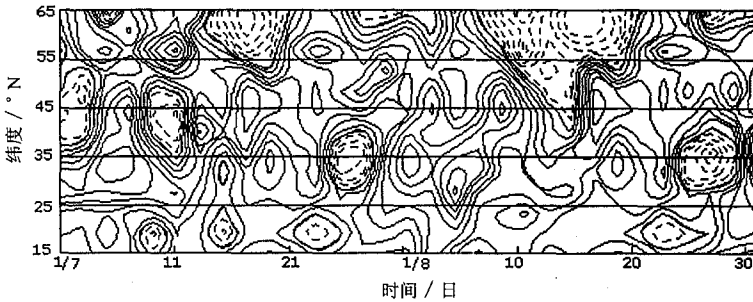


图3 1998年7~8月850hPa高度层 125.0°E 的南风分量(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 等值线间隔:4)

3.2.3 西太平洋副热带高压位置

众所周知,西太平洋副热带高压的位置与我国夏季降水的关系极为密切,与东北夏季降水也有很大的关系。但是,由于松花江、嫩江流域地处较高纬度地区,这里的夏季降水既受到西太平洋副热带高压的影响,同时又受到西风带天气系统的影响。

1998年夏季,东亚阻塞高压形势稳定,松花江、嫩江流域长时间受冷涡系统的控制。一般情况下,多局地对流性天气,单站暴雨出现的机会也较多。若是西太平洋副热带高压的位置偏东、偏北,有利于南部暖湿气流北上时,冷暖空气恰好在东北地区交汇,则会造成

区域性的大暴雨发生。1998年夏季松花江、嫩江流域的大暴雨就是在这种特定的环流形势下形成的。

1998年夏季,西太平洋副热带高压虽然偏强,但总体位置偏南。6月下旬末出现第一次北跳,造成7月上旬松花江、嫩江流域出现暴雨。随后西太平洋副热带高压很快南落,出现历史少有的异常偏南现象。但是,图4清楚表明,8月上旬西太平洋副热带高压还是暂时北进的,位置适当,700hPa高度上的312线在 130.0°E 的位置两次到达 40°N 以北,引导偏南气流直指松花江、嫩江流域右侧。与之相对应,松花江、嫩江流域在同一冷涡系统下

先后两次出现大范围的暴雨天气。两次之间，7日312线暂时回落到40°N以南，西太平洋副热带高压西侧的偏南急流也在40°N以南

成反气旋环流转向东去。松花江、嫩江流域得不到充足的水汽供应，虽仍有降水，但远达不到暴雨的程度了。

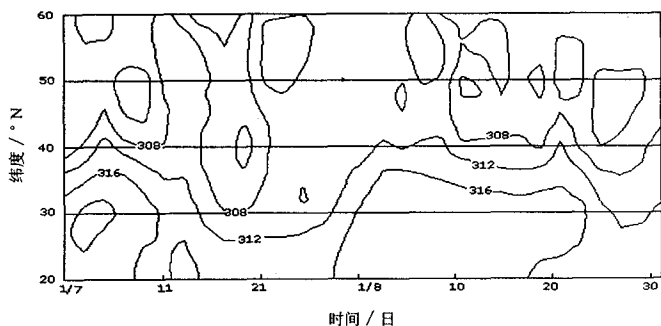


图4 1998年7~8月700hPa高度上的312线在130.0°E的位置(单位:10gpm,等值线间隔:4)

由此可见，西太平洋副热带高压的南北位置对急流的位置、水汽的输送，影响是很大的。

4 小结

本文分析了1998年盛夏几次暴雨过程发生的水汽条件，认为：

①1998年夏季，松花江、嫩江流域有大范围暴雨发生时，42.5~50°N、120~130°E。范围内单位空气柱(1000~300hPa)的水分收支均为较大的正值。水汽的输入以经向为主，即南部边界低层的水汽流入是水汽净余量的主要贡献者。

②暴雨区的水汽辐合中，由水汽平流引起的辐合占有重要地位。

③影响松花江、嫩江流域的水汽来源主要来自西太平洋副热带高压南部低纬热带地区和孟加拉湾。后者可追溯到印度洋赤道以南洋面。关键是水汽最终能否输送到较高纬度的松花江、嫩江流域。

④在水汽的输送过程中，在我国东北南部存在的高比湿中心，东亚大陆边缘的低空

偏南急流，以及西太平洋副热带高压的南北位置等，有至关重要的作用。

造成1998年夏季冷涡系统产生大范围暴雨的关键是充沛的水汽输送，即使在同一冷涡系统的控制下，也只有充沛的水汽输送并辐合时，才能造成大范围的暴雨发生。

参考文献

- 1 谢义炳,戴武杰.中国东部地区夏季水汽输送个例计算.气象学报,1959,30:173~185.
- 2 游景炎.1963,“63.8”河北特大暴雨过程的水汽输送与水汽平衡.暴雨文摘,北京:北京大学出版社,1994.
- 3 罗绍华.盛夏期间我国大陆东南部低纬地区的水汽输送和水份平衡.全国热带夏季季风学术会议文集,昆明:云南人民出版社,1983:142~151.
- 4 黄荣辉等.夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别.大气科学,1998,22:460~469.
- 5 郑秀雅等.中国北方暴雨丛书,东北暴雨.北京:气象出版社,1992:1~18,129~153.
- 6 白人海等.黑龙江暴雨之研究.北京:气象出版社,1992:20~21.
- 7 陈立亭等.1998年夏季松花江、嫩江流域暴雨过程天气分析.气象,2000,26(10).
- 8 陶诗言等.中国之暴雨.北京:科学出版社:51~65.

(下转第34页)

Vapor Transport of Heavy Rain over Songhuajiang and Nenjiang in 1998

Sun Yonggang Bai Renhai

(Meteorological Observatory of Heilongjiang, Harbin 150030)

Abstract

The NCAR/NCEP re-analysis data and the daily precipitation data in July—August, 1998 from 94 surface stations in the Songhuajiang and Nenjiang area were used to analyze vapor transport, which causes a severe flood of 1998. The analysis considers that the meridional transport of abundant vapor is the key. The water source comes from the low latitude south of the subtropical high over the west Pacific and the Indian Ocean. The strength of south jet, position of the subtropical high over the west Pacific and so on, are closely related to summer monsoon, affecting vapor transport.

Key Words: vapor transport Songhuajiang and Nenjiang area heavy rain