

华北强天气的水汽图象特征研究*

郑新江 王 峰 张凤英
吕 杰 黄 涛 丁海芳

(国家卫星气象中心,北京 100081)

赵亚民

(河北省气象局,石家庄 050021)

提 要

利用 1991~1993 年共 37 个时次的 NOAA TOVS 反演的红外水汽亮度温度图、卫星云图及常规气象资料,分析华北地区夏季强天气过程,归纳出降水和强对流天气的水汽图象 4 种基本类型,为分析和预报此类天气提供了新的依据。

关键词:水汽图象;强对流;预报。

1 引 言

NOAA 卫星上的 HIRS/2 探测仪反演的红外水汽亮温图(以下简称水汽图)可以提供大气不同层次的水汽分布与输送情况,为了解强天气发生的环境场以及中尺度云团发生、发展情况提供有用信息. McGuirk(1987)^[1]等人在研究水汽图时发现,当太平洋 ITCZ 爆发时,热带洋面上的水汽呈“羽”状(称热带水汽羽)形式向北输送达 2000km 以上,显示中低纬度水汽的交换. Scofield(1992)^[2]等人从水汽图上发现,起源于太平洋、墨西哥湾以及加勒比海的热带辐合带向北伸展的热带水汽羽,可以与在副热带地区的副热带羽和在中纬度地区的极地羽相互作用,并产生强对流云团和洪暴. 到目前为止,我国尚未开展这方面的工作. 本文首次对水汽图象的特征以及在我国北方强天气过程中的应用进行了研究,为广大大气工作者在天气分析与预报中应用水汽图象提供一些新的技术与方法.

2 水汽图象的一般特征

NOAA 卫星上的高分辨率红外探测仪-2 型(HIRS/2)可以探测晴空条件下大气温、

* 本工作得到 85-906-04-05 项目经费的支持。
1994-03-23 收到,1994-09-24 收到修改稿。

湿分布,由 19 个红外通道和 1 个可见光通道组成^[3]. 表 1 列出了 HIRS/2 的光谱通道特性. 从表 1 中可以看到,位于 6.70 μm 至 8.30 μm 水汽吸收带附近的 3 个通道(第 10~12 通道)主要用于探测大气中湿度的分布,其中 6.7 μm (第 12 通道)波长不受地面发射的影响^[4],因此反映出大气的水汽状态更加真实. 此通道在 500hPa 附近有一敏感的峰值区,因而可以反映出对流层中部的水汽区,本文主要使用了这个通道的资料.

图(1a,b)是同时刻的 GMS 红外云图(10.5~12.5 μm)以及 6.7 μm 的水汽图象. 对比分析可以发现水汽图能清楚地反映出水汽分布以及干、湿区的位置等特征. 在红外云图上(图 1a),高云(B)呈白色调;中、低云(D、C、T)呈灰白色调;青藏高原地形(Z)呈灰色调,晴空区呈黑色调. 在水汽图象(图 1b)上:图中较湿、较冷的区域表现为较亮(白)的色调;而较干、较暖的区域表现为较暗(黑灰)的色调. 在台风云系的北侧和西侧(图 1a 中 M、H 处)对应水汽图上的带状黑色调干区;在青藏高原以北的地区,也存在着东、西走向的干区. 另外,云带 DC 及云带 KE 之间相对应的水汽图上也存在着东北至西南向的黑色调干

表 1 HIRS/2 光谱通道特性

Table 1 HIRS/2 characteristics of spectrum channel

通道序号	中心波长(μm)	主要吸收成分	峰值能量		探测目的
			贡献高度(hPa)		
1	15.00	CO ₂	30		大气温度的垂直分布
2	14.70	CO ₂	60		
3	14.50	CO ₂	100		
4	14.20	CO ₂	400		
5	14.00	CO ₂	600		
6	13.70	CO ₂ /H ₂ O	800		
7	13.40	CO ₂ /H ₂ O	900		
8	11.10	窗区	表面		表面温度
9	9.70	O ₃	25		臭氧总含量
10	8.30	H ₂ O	900		水汽
11	7.30	H ₂ O	700		垂直
12	6.70	H ₂ O	500		分布
13	4.57	N ₂ O	1000		大气温度垂直分布
14	4.52	N ₂ O	950		
15	4.46	CO ₂ /N ₂ O	700		表面温度
16	4.40	CO ₂ /N ₂ O	400		
17	4.20	CO ₂	5		
18	4.00	窗区	表面		表面反照率
19	3.70	窗区	表面		
20	0.70	窗区	表面		

区,表明在两条云带中间存在着中尺度下沉区^[5]. 此外,极地附近存在弧状干区(图 1a 中 R 对应位置). 对比分析还可以发现,在有高云存在的区域,红外云图与水汽图象的特征基本相同,例如台风云系的北支输送带(图 1a 中 B 处所示),在两种图上,二者相似.

而在中、低云存在的区域,二者有所差别. 例如云带 DC,在红外云图上前边界(云带东侧)很清晰,而在水汽图上则模糊不清,而且一条浅白色的水汽带从黄海经长江中下游到华南直至南海与台风南支输送带相连. 这些特征在红外云图上是分析不出来的. 另外,

台风的南支输送带在两种图上有明显差别;在红外云带上表现为减弱、断裂;而在水汽图象上表现为一条连续的灰色水汽带一直南伸到赤道辐合带地区,表明台风的水汽供应仍然存在。青藏高原地形在红外云图上很清楚(Z处),而在水汽图上则不清楚,这是由于受高原上空水汽再辐射的影响而变得模糊不清的。

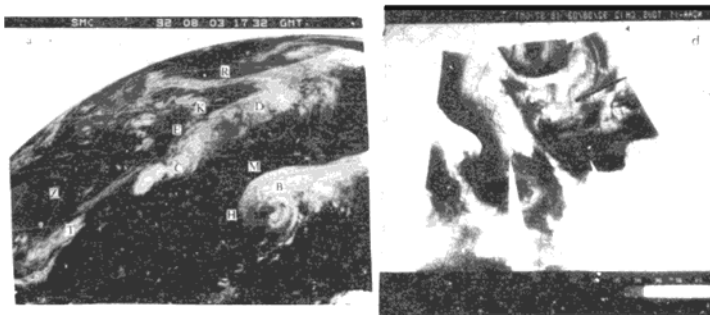


图1 (a)1992年8月3日17:32UTC的红外云图(GMS-4)

(b)1992年8月3日18:37UTC的水汽图(NOAA-11)

Fig. 1 (a)Infrared satellite image(GMS-4) at 17:32UTC August 3,1992

(b)Water vapour image(NOAA-11) at 18:37UTC August 3,1992

3 华北夏季强天气的水汽图象类型

在水汽图象的研究过程中,我们引用了文献[1]与文献[2]中关于“水汽羽”的概念,即由我国西南地区伸入华北的热带水汽带称为“西南羽”;由东海、黄海伸向华北的副热带水汽带称为“东南羽”;而由西北方移入华北的极地水汽带称为“西来羽”。这些水汽羽的相互作用,可以使华北地区强天气分为以下4种类型与一种不确定型。其中A、B、C3类以暴雨为主或兼有冰雹;D、E类以飑线、冰雹等强对流性天气为主,也可伴有局地暴雨。

3.1 A类(西南羽与西来羽类)

A类最大的特点是在水汽图上有水汽羽自西南方向影响华北地区。当孟加拉湾北部有低压活动、西太平洋副热带高压向西伸展时,我国西南地区偏南气流加强,孟加拉湾的水汽可以北上影响到华北。在水汽图上,反映这支热带水汽的西南羽常呈反气旋弯曲,由高原东部或西南地区伸向华北,并与低层(700或850hPa) θ_w 大值区有较好的对应关系,为北方降水带来水汽和能量。来自极地的西来羽常与低槽或低涡相伴随,在水汽图上,西来羽呈气旋性弯曲,当两支水汽羽接近或叠加时,可有中尺度云团或气旋生成,并可产生暴雨天气或冰雹等强对流天气。

本文分析了1991~1993年期间的7个A类个例,现举其中1例分析。

在1992年7月31日19:13UTC的水汽图上(图2a),蒙古至我国西北地区有一条

呈气旋性弯曲的水汽羽东移。另外,自西南地区经高原东部有一支呈反气旋状水汽羽向黄河河套一带伸展。至8月1日19:00UTC,西来羽与西南羽前缘汇合(图略),在汇合处有云团发展,造成河北省北部和北京市较大降水。例如2日00UTC(以下均为世界时)至3日00UTC,河北省香河的降水量为107mm,昌黎县刘台庄109mm,大厂128.1mm。图2b是8月1日00UTC重要气象要素综合分析图,700hPa副热带高压中心位于浙江省上空(图中A处),高压西侧为大范围的偏南气流(图略);此时孟加拉湾恒河口有强低压活动,

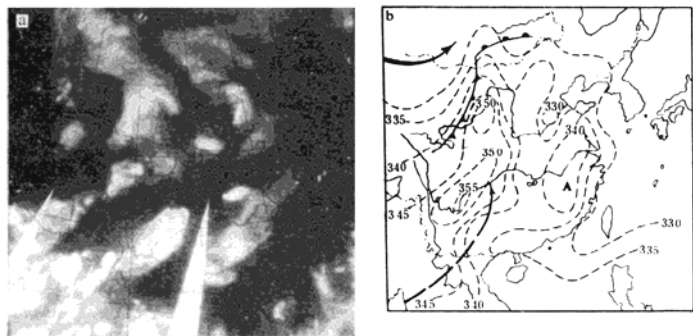


图2 (a)1992年7月31日19:13UTC水汽图 (b)1992年8月1日00UTC重要气象要素综合分析图 (虚线:700hPa θ_w 线;实线箭头:500hPa最大风速轴;虚线箭头:850hPa急流轴)

Fig. 2 (a)Water vapour image at 19:13UTC July 31, 1992

(b)Composite map of important meteorological elements at 00:00UTC August 1, 1992

(dashed line, 700hPa θ_w isoline; solid line, 500hPa maximum wind axis; dashed arrow, 850hPa jetstream axis)

使大量暖、湿空气沿西南气流北上到华北北部。700hPa θ_w 大值区位于成都至银川一线,并且有低空急流相配合,这支湿舌与西南羽有良好的对应关系。与西风带低压相配合的地面冷锋主要位于西北地区东部,槽后有较强的偏北气流。当低槽冷锋不断东移,使华北地区不稳定加强,产生强降水过程。

3.2 B类(西南羽与东南羽类)

B类在水汽图上最大的特点是两支不同的水汽羽共同影响华北地区。此种形式下,由西南地区伸向华北的西南羽仍然存在,另一支水汽羽由东部海面影响到华北南部。由于两支不同高度水汽羽互相叠加,使这一地区水汽深厚,可产生云团,易有暴雨。

本文分析了1991~1993年期间的8个B类个例,现举其中1例分析。

在1992年8月1日19:01UTC(图3a)的水汽图上,华北南部受两支水汽羽控制,其中西南羽位于河套西部,东南羽从东海、黄海进入到河套地区。10个小时后,在河套地区有云团生成并进入到河北省西部出现大到暴雨。如24小时雨量灵寿县横山岭为189mm,

口头水库 132mm, 西大洋水库 106mm. 在 1992 年 8 月 1 日 12:00UTC 的重要气象要素综合图上(图 3b), 地面冷锋位于银川一带, 700hPa 湿舌(θ_w 大值)位于锋前偏南气流区域, 并与西南羽有较好的对应关系. 而 850hPa 最大风速轴从东部海面伸向河套地区, 并与一水汽通量大值区相配合(图略).

这两支来自不同地区的湿舌为河套与华北东部地区带来大量水汽和能量, 增加了气层的不稳定, 促使云团生成和产生降水.

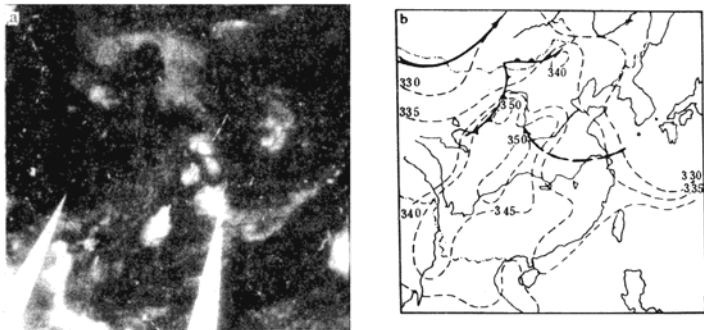


图 3 (a)1992 年 8 月 1 日 19:01UTC 6.7 μ m 水汽图
(b)1992 年 8 月 1 日 12:00UTC 重要气象要素综合图(注释同图 2b)

Fig. 3 (a)6.7 μ m water vapour image at 19:01UTC August 1, 1992
(b)Composite map of important meteorological element at 12:00UTC August 1, 1992 (same as Fig. 2b)

3.3 C 类(单独西南羽类)

C 类是由 A 类或 B 类的后期发展而成的. 在水汽图上清楚地反映了一支由南方经黄河中游影响到华北地区的热带水汽羽. 羽的西侧边缘整齐, 北部边缘光滑, 南侧边缘参差不齐. 在西南水汽羽北侧, 可产生冰雹等强对流天气, 而在这支水汽羽的南侧, 可有中尺度云团发生(地面常伴有气旋发展)并造成大暴雨天气.

本文分析了 1991~1993 年期间的 4 个 C 类个例, 现举其中 1 例分析.

在 1993 年 8 月 3 日 20:24UTC 的水汽图(图 4a)上, 西南水汽羽控制着我国西南地区、黄河中游到华北地区. 在羽的西侧干区(黑色调)与湿区交界处靠湿区一侧有气团生成. 云团在东移过程中不断发展, 降水强度不断加大, 使河北南部和山东南部出现了特大暴雨. 例如 24 小时降水量河北威县达 388.5mm, 广宗 383.9mm, 丘县 303.2mm, 山东临沂盛庄 540mm, 为当年全国降水量之最. 在 1993 年 8 月 4 日 00:00UTC 的重要气象要素综合图上(图 4b), 700hPa θ_w 大值区与热带羽相一致, 850hPa 最大风速轴位于 θ_w 大值轴的东侧, 700hPa 有一个较强的低涡位于延安附近上空(图中 D 处), 地面有锋面配合, 有利于云团发展. 另外, 低涡前部为偏南气流, 后部为偏北气流, 造成水汽图上西边界清楚.

河北北部上空流线为西北至东南走向(图略),使水汽图北侧边界光滑。

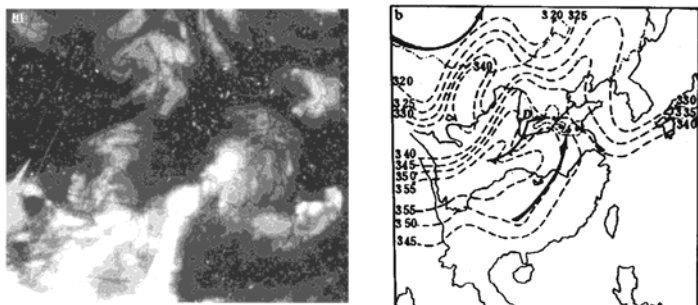


图4 (a) 1993年8月3日20:24UTC水汽图 (b) 1993年8月4日00:00UTC重要气象要素综合图 (注释同2b,点线,24小时降水 $\geq 100\text{mm}$ 区域;黑点区,24小时降水 $\geq 300\text{mm}$)

Fig. 4 (a) Water vapour image at 20:24UTC August 3, 1993

(b) Composite map of important meteorological element at 00:00UTC August 4, 1993
(same as Fig. 2b, dot line, precipitation in 24h is more than 100mm; block dot area, precipitation in 24h is more than 300mm)

3.4 D类(涡旋状羽类)

D类的最大特点是无明显水汽向华北地区输送。在水汽图上,内蒙中部上空存在着由数条水汽带组成的涡旋状羽。京、津、冀地区处于涡旋状羽东南方的干区内。对流云团一般易在干、湿区交界处附近形成,并向干区内移动,在移动过程中不断加强、发展,形成飚线,

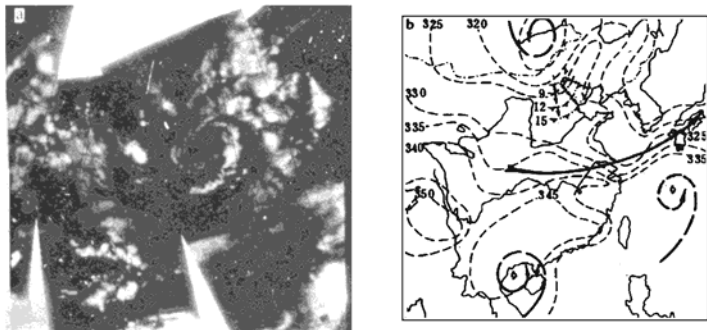


图5 (a) 1992年6月29日04:55UTC水汽图 (b) 1992年6月29日00:00UTC重要气象要素综合图(注释同图2b,小箭头,飚线)

Fig. 5 (a) Water vapour at 04:55UTC June 29, 1992 (b) Composite map of important meteorological element at 00:00UTC June 29, 1992 (same as Fig. 2b, small arrow, squall line)

造成冰雹、大风等天气. 至于云团能在水汽图干区内发展的物理原因, 目前尚不清楚, 但从这类的 θ_{se} 场分布来看, 干区处在 θ_{se} 场的高值区内.

本文分析了 1991~1993 年期间的 10 个 D 类个例, 现举其中 1 例分析.

在 1992 年 6 月 29 日 04:55UTC 的水汽图上(图 5a), 蒙古东部上空有涡旋状羽存在, 在其东南方为一狭长的干区, 京、津、冀地区处于干区内, 在干区与湿区的交界处附近有 3 个水汽密集区(白色), 后来形成 3 个对流云团(图略), 并发展成飑线, 11 时影响北京等地, 飑线所到之处, 出现大范围冰雹天气. 在 6 月 29 日 00:00 的综合图上(图 5b), 蒙古上空为冷性低涡控制; 京、津、冀地区处于偏西气流控制下; θ_{se} 的高值区也位于华北东部, 故有利于飑线云团发展, 并向东南方移动.

3.5 E 类(不规则类)

分析过程中发现, 还有相当一些个例在水汽图上羽的表现形态各异, 为不规则类. 对流云团一般发生在干、湿区交界处, 所产生的天气以强对流为主. 这种类型的水汽羽也分析了 8 例. 例如, 在 1992 年 6 月 23 日 06:01UTC 的水汽图上(图略), 在华北北部及东北地区上空有分布散乱的水汽羽存在, 上午华北地区有对流云团生成, 自南向北移动, 产生 20~45mm 降水. 下午形成的飑线云团自西北向东南移动, 所到之处有雷暴、降雨与大风天气. 在 1992 年 6 月 23 日 00:00UTC 的 700hPa 综合图上(图略), 华北至东北地区高空风场比较弱, 为一鞍型场, 上午华北中空气流以偏南为主, 故云团自南向北移; 下午转为偏西风, 使云团向东南方移动. 华北处于 θ_{se} 场高能舌前方, 但 θ_{se} 等值线梯度小, 故产生的降水与对流强度一般.

由于本文所研究的大部分水汽图上的水汽羽均有云层覆盖, 对分析效果有较大的影响. 另外, 水汽通道的卫星遥感图象是一种新的资料, 对水汽通道图象的解释要比可见光和红外云图复杂得多, 有待今后作更深入的研究.

致谢: 方宗义研究员给本文提出了宝贵的意见, 叶惠明、张光武同志参加了天气分析与资料处理工作, 特表感谢.

参 考 文 献

- 1 McGuirk J P. An eastern Pacific tropical plume. *Mon. Wea. Rev.*, 1988, **116**:2505~2521.
- 2 Roderick A Scofield. 水汽羽、势能轴与强对流性降雨的关系. *气象科技*, 1993, **3**:67~72.
- 3 Adolf Werbowetzki. Atmospheric Sounding User's Guide. NOAA Technical Report NESS 83 (1981). US Department of Commerce, Washington, D. C.
- 4 James F W Purdom. 气象卫星对中尺度系统的监测. 国家卫星气象中心编. 1993. 64.
- 5 Weldon R B and Holems S J. Water Vapor Imagery, NOAA Technical Report NESDIS 57(1991). US Department of Commerce, Washington, D. C.

A STUDY OF THE CHARACTERISTIC OF WATER VAPOUR IMAGE FOR SEVERE WEATHER IN NORTH CHINA

Zheng Xinjiang Wang Feng Zhang Fengying
Lu jie Huang Tao Ding Haifang
(National Satellite Meteorology Center, Beijing 100081)
Zhao Yamin

(Hebei Meteorological Administration, Shijiazhuang 050021)

Abstract

Based on NOAA TOVS infrared water vapour brightness temperature data for 37 times from 1991 to 1993, the four types of summer severe convective weather process and precipitation have been summarized by analyzing summer severe weather process over north China. It provides new basis for analyzing and forecasting such kind of weather.

Key words: Water vapour image; Severe convection; Forecasting.