

黄石璞 夏立新

(河南省气象台, 郑州 450003)

提 要

黄河中游地区区域性暴雨的爆发及强弱与低纬天气系统(尤其是台风, 含热带风暴、强热带风暴, 下同)有着密切的关系。普查了1982—1991年6—9月间黄河中游地区区域性暴雨过程。分析了中、低纬天气系统相互作用下, 该区出现区域性暴雨时的水汽来源、输送及辐合、辐散的空间结构特征。结果表明: 该区产生区域性暴雨以上强度降水所需水汽的75%以上来自台风, 台风所提供的水汽主要是从700hPa以下输入到该区, 且水汽输送通道中心始终维持在850hPa附近。故低层水汽输入量的大小是该区能否产生区域性大暴雨、特大暴雨的关键。水汽输送通道中心的移向与低空东南急流的移向一致。另外, 暴雨区南侧或东南侧底层水汽强迫辐散区的存在, 有利于周围水汽向暴雨区发生再辐合。

关键词: 中低纬天气系统 相互作用 暴雨 水汽特征

前 言

充沛的水汽是产生暴雨的必要条件之一。本文着重分析了中低纬天气系统相互作用下黄河中游地区区域性暴雨的水汽来源、输送及产生暴雨时的水汽辐合、辐散特征。

通过对1982—1991年6—9月间黄河中游地区区域性暴雨的普查分析发现: 这一地区区域性暴雨的爆发, 与中纬度西风带、副热带及热带的低值系统之间的相互影响、相互配合作用密切相关。为便于分析, 做如下规定:

①20°N以北、122°E以西为样本区。凡北京发报的台风或台风低压进入此区内, 或停止发报后24h内黄河中游仍有暴雨时为一样本日。

②在黄河中游(大约34—41°N、105—113.5°E范围, 以下简称H区)国家基本站中, 有5站及以上(连成片)24h雨量 $\geq 30\text{mm}$, 其

中至少一站24h雨量 $\geq 50\text{mm}$ 时, 即为一个暴雨日。按上述规定选出5个暴雨过程。

统计结果表明: 黄河中游地区区域性暴雨的爆发及强弱与低纬天气系统(尤其是台风)有着极为密切的关系。在中低纬天气系统相互作用中, 台风是黄河中游地区产生区域性暴雨的直接或间接水汽源。因此, 我们根据台风进入样本区第一天的中心位置和强度, 以24°N以北、120°E以西区域为关键区, 可将5个过程大致分为两类: 台风进入关键区且中心强度 $P \leq 985\text{hPa}$, $V \geq 30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时为A类, 如1982年7月29日—8月1日(8209号台风)和1985年8月23—24日(8510号台风)暴雨过程; 台风进入样本区但未进入关键区或虽进入关键区, 但中心强度 $P > 985\text{hPa}$, 或 $V < 30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时为B类, 如1984年8月1日(8406号台风)、1988年7月19日(8805号台风)和1989年7月21日(8909

号台风)暴雨过程。

1 各层水汽通量

计算各过程逐日 08 时 850、700、500hPa 在 24.5—41.6°N、100—123°E 范围内的全风速水汽通量,分析发现主要在 700hPa 及以下层次内有较清楚的反映。

1.1 A 类过程

在 A 类过程中,因台风较强,生命史较长,自身携带的水汽量很大,加之外围有较强的东到东南急流相伴,可将充沛的水汽直接输送到 H 区内。此时如有中纬低值系统与之配合,就会在 H 区内形成一较强的水汽辐合场,对 H 区内产生强度较大的降水是非常有利的。各过程的有关资料见表 1。

表 1 各过程综合资料表

时间	台 风 中 心				700hPa $q^{(1)}$		暴雨区上风方 $q^{(1)}$			24h 降水量 $\geq$ 24h 最大		
	纬度	经度	气压	风速	源于	台风除外的	最大中心值			30mm	50mm	降水量
	°N	°E	(hPa)	(m·s ⁻¹)	台风的中心值	的最大等值线	850	700	500	(站)	数)	/mm
1982.7.29	24.5	119.3	975	35	31.5	26	45.5	31.5	13.4	10	5	187
1982.7.30	26.4	117.5	985	20	23.4	22	31.9	23.4	11.0	11	3	186
1982.7.31	30.0	115.3	停发		21.0	20	32.1	21.0	7.6	10	8	234
1982.8.1	停发				13.7	12	23.1	13.7	7.1	7	2	126
1985.8.23	25.7	119.9	955	50	16.8	16	24.3	16.8	11.4	5	3	88
1985.8.24	25.3	118.0	990	20	16.3	15	25.5	16.3	13.1	7	3	100
1984.8.1	33.4	120.4	993	18	13.6	12	12.9	12.9	5.2	6	2	71
1988.7.19	23.3	115.7	980	28	17.2	10	10.4	9.1	4.4	6	1	67
1989.7.21	29.2	121.3	985	28	13.5	12	无成片暴雨区			2	2	89
1989.7.22	停发				15.3	12	12.5	8.4	3.6	5	1	65

1) 水汽通量,单位为 $g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$

由表 1 可见,8209 号台风登陆后其中心气压仍为 985hPa,一直西北行到长江中游一带才减弱为台风低压,台风携带的水汽量非常大:在 7 月 29—31 日期间,以台风为源的水汽通量(单位为 $g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)中心最大值 850hPa 上均 >30 ,最强时达 45.5,700hPa 上均 >20 ,最强时达 31.5。用 700hPa 上全风速水汽通量为 15 的等值线作为水汽特征线进行动态分析,可以看到其所围的区域进入陆地后,随台风的西北行不断向西北方向扩展,直至长江中下游一带(图略)。在此期间,台风外围中低空东南急流也不断西北移,其顶端向西北方向伸入到 115°E 以西,直到 H 区,从而可将充沛的水汽直接输送到 H 区内;同时,在中纬度有西风带低槽东移,与西移的台风倒槽在 H 区内结合,使水汽在该区大量堆积,形成一个明显的水汽辐合区,即水汽通量梯度大的区域(见图 1),为暴雨的

产生和维持提供了充沛的水汽。这次过程台风及台风低压维持了 3 天,暴雨持续了 4 天,且 4 天内 24h 最大降水量均 $>100mm$,最强时 $R_{max}=234mm/24h$,达到大暴雨、特大暴雨强度。我们认为降水强度如此之大,持续时间如此之长,与台风外围的东南急流源源不断地将其所携带的水汽,直接输送到台风西北方向的 H 区是密不可分的。

8510 号台风与 8209 号台风相比,虽然中心强度较强,但减弱很快,生命史较短,台风进入关键区后维持了两天。H 区的暴雨也持续了两天,但由于中、低空东南急流的顶端到 24 日才伸入到 115°E 以西,使 H 区内的水汽辐合量在 24 日明显增加,因而中心最大降水由 23 日的 $R_{max}=88mm/24h$ 增强到 24 日的 $R_{max}=100mm/24h$ (见表 2)。由此可见,中、低空东南急流在向 H 区输送水汽的过程中所起的作用是至关重要的。

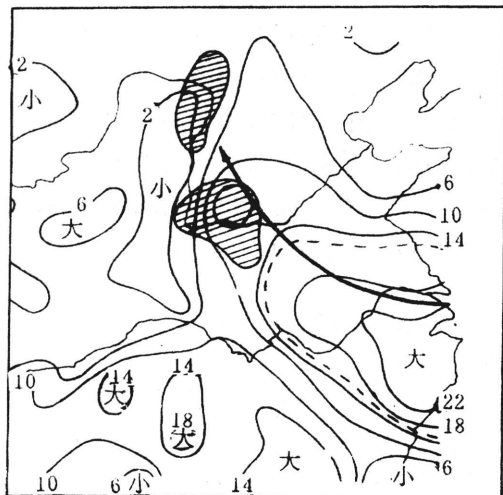


图1 1982年7月30日700hPa全风速水汽通量/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

实线:全风速水汽通量等值线;虚线:水汽特征线;粗矢线:急流轴;阴影区:未来24h暴雨区。

表2 气柱内水汽辐合量($q/10^6 \text{g} \cdot \text{s}^{-1}$)与最大降水量(R_m/mm)的关系及各界面输入水汽所占的比例

时间	q	R_m	各界面输入水汽比例/%			
			N	S	E	W
1982.7.28			7.26	65.75	26.98	0
1982.7.29	85486	187	0	23.38	76.32	0
1982.7.30	335562	186	0	12.78	78.39	8.83
1982.7.31	148719	234	0	1.00	99.00	0
1982.8.1	234358	126	0	17.97	82.03	0
1985.8.23	13328	88	0	66.3	33.7	0
1985.8.24	81089	100	0	35.64	64.36	0
1984.8.1	-4774	71	0	15.03	84.97	0
1988.7.19	10098	67	318	68.43	0	28.39
1989.7.22	-27247	65	0	47.76	0	52.24

1.2 B类过程

从天气形势分析可知:在B类过程中,由于台风强度较弱或位置偏南(或偏东),其外围的偏东气流在700hPa以下有所表现,但无东到东南急流形成。台风自身携带的水汽量也较小,水汽特征线未进入陆地(见表1)。由图2可见:以台风为源的水汽不能被直

接输送到H区,此时该区产生暴雨所需的水汽主要由与中纬度低值系统相配合的偏南急流提供,低纬天气系统的主要作用则在于:其本身的存在和西移,使西风带系统东移速度减慢,系统加深,因而西南气流加强,使其携带的水汽在H区辐合堆积,形成对强降水较为有利的水汽场。但终因台风较弱,生命史短,这种阻滞作用所能维持的时间不长,又没有台风所携带水汽的直接输入,因此产生的暴雨持续时间较短,强度也明显小于A类过程。B类的3次过程均只出现一个暴雨日,且24h降水中心的最大值均 $<100\text{mm}$ 。

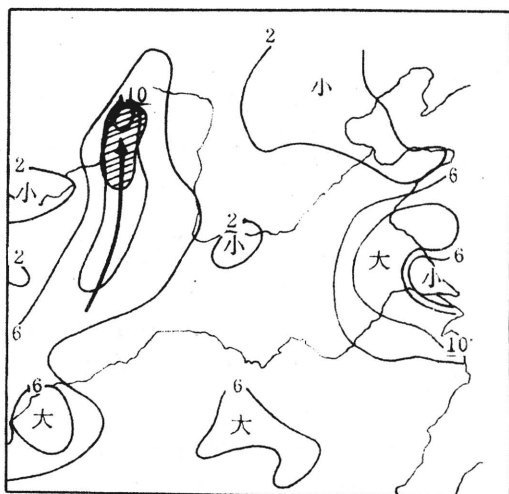


图2 1984年8月1日700hPa全风速水汽通量/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

说明同图1

2 黄河中游的水汽收支及垂直分布

沿 33°N — 40°N 、 107°E — 114°E 所围区域(东西方向长约750km,南北方向宽约670km)的东、南、西、北四个边界做垂直剖面图,分析各界面上水汽的垂直分布及对H区的水汽贡献,同时探讨H区产生暴雨的水汽来源及辐合、辐散的空间结构特征。

2.1 各界面上水汽垂直分布

每个边界上选择4个国家基本站作代表

站。用各站 08 时地面、850、700、500hPa 的资料直接计算垂直于各界面的水汽通量 f_h (单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), 并规定流入界面为正。

$$f_h = v_n q / g \quad (1)$$

其中 v_n 为垂直于界面的风速分量。

1982 年 7 月 28 日到 8 月 2 日, 东界面和南界面逐日 08 时的水汽垂直分布图(图 3)可见: 在 8209 号台风未进入关键区时(7 月 28 日 08 时), H 区受西风带低值系统影响, 水汽主要由西风带低值系统前的西南气流携带, 由南界面进入 H 区, 其水汽输送通道中心位于 700hPa 附近; 而台风携带的水汽由东界面的 850hPa 以下输入, 量值很小。当天 H 区没有暴雨产生。随着 8209 号台风的西北行(于 29 日 08 时开始进入关键区), 由于东南急流的作用, 其携带的水汽大量地输入到 H 区。由图 3 可见, 29 日 08 时以后的几天中, 水汽由原来的以南界面输入为主转为以东界面输入为主, 并且随着台风的逼近, 东风层次不断加厚, 东界面上水汽输入的范围也不断扩大(一直扩展到 500hPa), 但自始至终其最强的水汽输送中心一直维持在 850hPa 附近, 只是随着台风的西北行其中心也自南向北略有移动。这与 700hPa 和 850hPa 上东南急流的位置在降水过程中有规律地西北移一致。到 7 月 31 日 08 时, 由东界面输入的水汽量仍非常大, 而其余几个界面则均表现为水汽输出。仅是由于地形的作用, 在西界面秦岭的底层有一定的水汽辐合。这表明当台风所携带的水汽由东界面向 H 区输送特别强时, 在暴雨区周围的其它方向将出现强迫辐散。南界面原来在近地面层的辐散区向上亦有所扩展, 从而使 H 区域内降水区的辐合加强, 已出现的暴雨得以维持和加强(当天暴雨区在三花间、渭河、伊河、洛河流域, $R_{\max} = 234\text{mm}/24\text{h}$)。自 29 日 08 时起 H 区出现了连续 4 天的大暴雨。到 8 月 2 日 08 时, 随着台风的减弱, 由东界面输入的水

汽量也明显减小, 这时在 H 区持续了 4 天的暴雨过程结束。这一方面表明, 由台风提供的水汽主要是从 850hPa 层附近被输送到 H 区的; 另一方面说明, 台风携带的水汽直接大量地输入, 是 H 区产生这次暴雨的主要水汽来源。另外, 由南界面水汽垂直分布的连续变化还可看出: 自 7 月 29 日 08 时起在南阳和阜阳附近(位于当天暴雨区的东南侧)的近地面层(约 900hPa), 出现了一明显的水汽辐散区, 并且该辐散区在 7 月 29—31 日, 由开始的近地面层向上扩展, 并自下而上向西倾斜。到 31 日辐散的范围和量值均达到最大。而 29—31 日期间由东界面输入的水汽通量值特大, H 区的降水强度也是逐日加强的。我们认为由于东界面水汽输入的不断加强, 使南界面的底层形成了水汽的强迫辐散区。由东界面输入的水汽越多, 南界面底层的强迫辐散区越大, 暴雨区的辐合作用也相应得以加强, 因而更有利于周围的水汽向 H 区域内的降水区发生再辐合, 有利于暴雨的维持和加强。

2.2 各界面水汽的收支及分布差异

为了分析在各过程中各界面的水汽收支情况, 进一步了解各系统所携带水汽对 H 区产生暴雨的贡献大小, 计算了各界面水汽通量的面平均值 $\bar{F}$ 。

由于所选各站点的海拔高度不同, 各站点间距离不同, 采用权重法先分别求出各站点下垫面上的单位面积水汽通量值和 500、700、850hPa、下垫面等层的水汽通量层均值 $\bar{f}_j$ (单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)。

$$\bar{f}_j = \sum_{i=1}^3 \frac{f_{h_i} + f_{h_{i+1}}}{2} \alpha_i \quad (2)$$

其中, $\alpha_i = s/L$, f_{h_i} 为第 i 站点垂直于界面的单位面积水汽通量值, s 为 $i+1$ 站点到 i 站点间距离, L 为界面总长度。

然后求出 $\bar{F}$ (单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$):

$$\bar{F} = \sum_{j=1}^4 \bar{f}_j / 4 \quad (3)$$

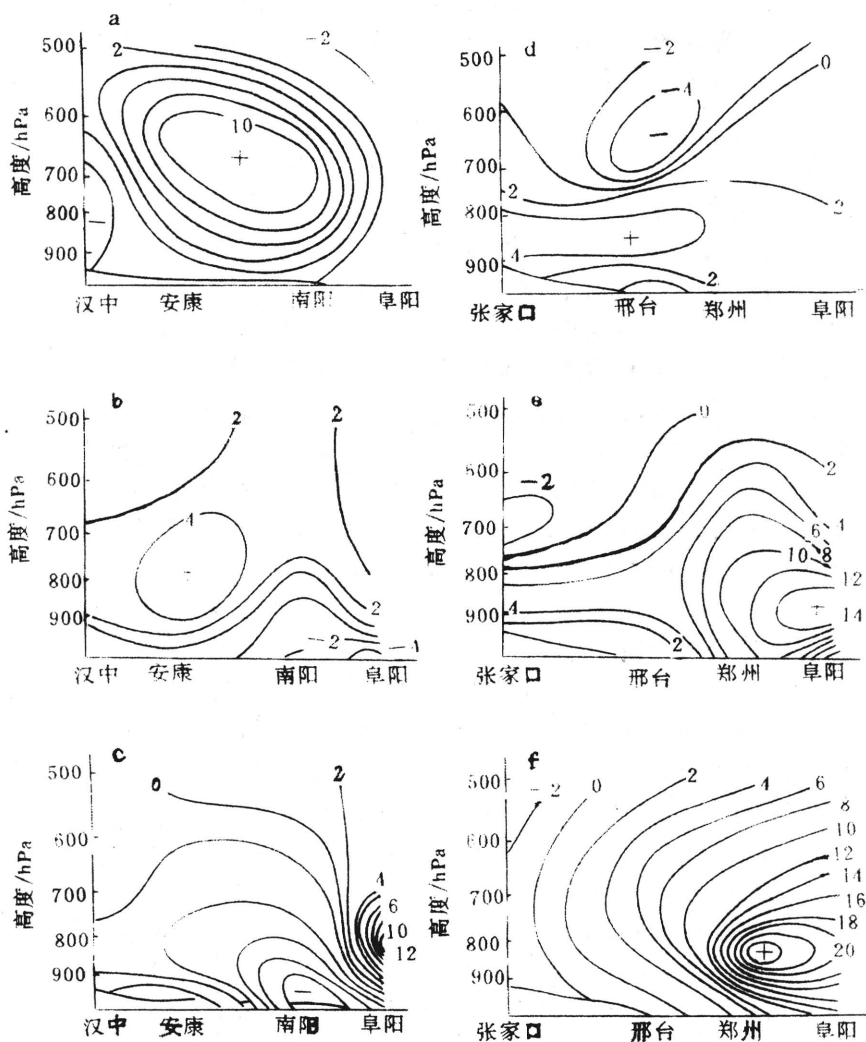


图3 1982年7月28日—8月2日逐日08时水汽垂直分布图

2.2.1 东界面水汽贡献 由各界面水汽通量面均值逐日变化曲线(见图4)可见,在这次过程中,北、西两界面以输出为主,南界面基本为输入,但其输入量远小于东界面,即东界面的面均值远远大于其它各界面。由于地形的作用,东界面的面积又最大,因而由东界面输入的水汽量就更大。所以,由东界面输入的水汽在这次暴雨过程中是起主导作用的。进一步计算各界面对500hPa以下气柱的贡献可知:在7月29日以后的几天中,由东界

面输入的水汽量始终占输入气柱总水汽量的75%以上(见表2)。以7月30日为例进一步计算发现:该天通过700hPa以下、邢台以南所围面积输入的水汽占当天整个东界面输入气柱的水汽总量的61.2%。至此,我们认为,在A类过程中,当台风进入关键区与中纬度低值系统发生相互作用后,造成H区大暴雨的水汽主要来源于台风,并且较集中地由700hPa以下输入到H区,以850hPa层输入为最强(见图5)。

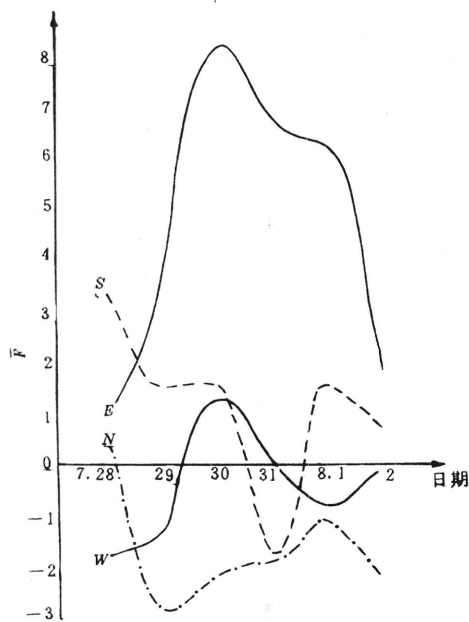


图4 1982年7月28日—8月2日暴雨过程各界面水汽通量面均值变化曲线
单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

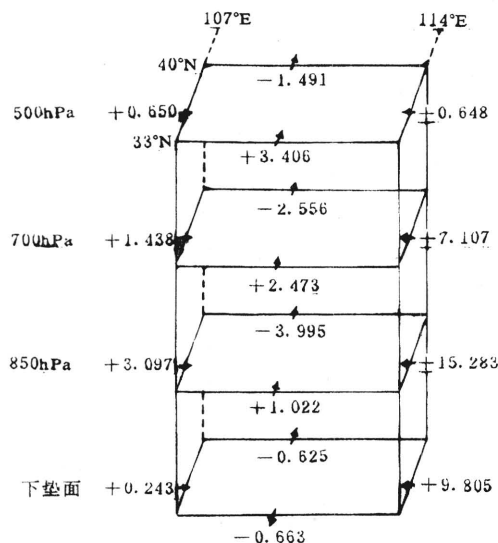


图5 1982年7月30日各层水汽通量均值分布
单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

过程中,水汽主要由南界面的700和850hPa输入,而东界面的水汽分布则主要表现为辐散状态,无水汽输入(图略)。与天气系统配合分析可知:此时产生降水所需的水汽主要由中纬度低值系统前的西南暖湿气流携带,由南界面输入到H区。而台风所起的主要作用是使已西伸北挺的副热带高压维持稳定,使西风带低值系统在H区加深,其所携带的水汽沿副高外围的西南气流北行,仅对降水区有间接的补充作用。所以由南界面输入的水汽量明显地小于A类过程中台风外围的偏东气流直接作用时的输入量。由两类过程各界面水汽通量层均值对比可知,在700hPa及以上层次中向H区输入水汽的贡献相差不多,但在850hPa上则存在着显著差异,A类过程中该层的水汽通量均明显地大于B类过程,甚至相差一个量级(表略),因而在A类过程中,降水强度大,其中心最大降水量往往 $\geq 100\text{mm}/24\text{h}$,而B类过程中心最大降水量 $< 100\text{mm}/24\text{h}$ 。所以,低层水汽输入量的大小对H区未来能否产生大暴雨以上强度的降水是至关重要的。

我们认为:A类过程是H区的主要暴雨类型之一,也常常是导致该区大暴雨或特大暴雨的主要机制。

2.2.3 其它水汽来源 分析中还可看出:在5次过程中,西(或北)界面的700hPa以上也有一定量的水汽输入。这从另一方面表明在有低纬系统影响的同时,中纬度也有西风带低值系统携带冷空气和一定量的水汽东移,从中高层侵入H区。

另外,由于气流的循环作用,在暴雨区附近,气流表现为辐合,而在其周围的一定范围内,气流则表现为明显的辐散。因而,在进行强降水的分析时,一定要选用与强降水空间结构相匹配的资料空间。否则,将会出现在无水汽辐合的情况下仍有暴雨产生的假象(见表2中1984和1989年资料)。这种假象经重新选取资料空间后消失。

2.2.2 两类过程差异 B类过程与A类过程比较,台风位置和强度的差异使得其水汽垂直分布及输送情况也有较大差异。在B类

3 小结

综上所述,台风或台风低压进入样本区后,其自身的强弱和所携带水汽量的大小以及能否对H区产生直接作用,均对H区内降水强度的大小有着直接影响,暴雨持续时间长短与台风进入样本区后生命史的长短成正比。水汽输送通道中心的移向与低空东南急流的移向一致。两类过程对比可知:A类过程是H区的主要暴雨类型之一,也常常是导致该区大暴雨或特大暴雨的主要机制。

A类过程主要特征:

①中、低纬低值系统可直接相互作用,使H区内的辐合作用加强。

②在700hPa上与台风配合的水汽特征

线进入了我国陆地,并有伸入 115°E 以西的中低空东南急流相伴,将大量的水汽直接输送到H区,使该区形成很强的水汽辐合场。H区产生暴雨所需水汽的75%以上是来自进入关键区后的台风。

③台风所提供的水汽主要是从700hPa以下输送到H区,并且水汽输送通道中心始终维持在850hPa附近,故低层输入H区水汽量的大小是该区内未来能否产生大暴雨、特大暴雨的关键所在。

④暴雨区南侧或东南侧的底层有明显的水汽强迫辐散区存在。

致谢:工作中得到廉德华、杨昭两位高级工程师的热心指导,在此表示衷心感谢。

The Moisture Feature of Storm in the Middle Reaches of Huanghe River

Huang Shipu Xia Lixin

(Henan Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003)

Abstract

The outbreak and intensity of regional storm in the middle reaches of Huanghe River is closely related to the low latitude synoptic system (especially typhoon). The regional storm process in middle reaches of Huanghe River during June to Sept in 1982—1991 has been investigated. As the regional storm appeared, the space-structure characteristics of moisture source, transportation, convergence and divergence influenced by the interaction of middle and low latitude synoptic systems were analysed. It is shown that 75 percent moisture of regional storm and upwards precipitation stems from typhoon, and the moisture source is located bellow 700hPa. The moisture channel center is maintained over 850hPa. The key factors of the regional storm and hard rain are the input capacity of low-level moisture. The movement direction of the moisture channel center is identical with the low-level southeast jet. Otherwise, the presence of the lower surface moisture forced divergence in the south and southeast of the storm region is benefit to the moisture re-convergence towards the storm region.

Key Words: middle and low latitude synoptic system interaction storm the moisture feature