

郝立生, 李维京. 华北区域环流型与河北气候的关系 [J]. 大气科学学报, 2009, 32(5): 618-626

## 华北区域环流型与河北气候的关系

郝立生<sup>1,2</sup>, 李维京<sup>3</sup>

(1. 南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044;

2. 河北省气候中心, 河北 石家庄 050021; 3. 中国气象局 气候研究开放实验室, 北京 100081)

**摘要:** 利用 Lamb-Jenkinson 方法和 NCEP/NCAR 再分析的 1951—2006 年月平均海平面气压场资料, 对华北区域环流进行分型并分析了对河北气候的影响。结果表明, 影响华北的主要环流型有 8 种 (A、SW、NE、W、C、N、ANE、AN), 占全部环流型的 64.43%。冬季主要盛行 A、NE 环流型, 夏季主要盛行 SW、C 环流型, 冬季最主要的环流型 A 和夏季最主要的环流型 SW 出现次数呈反相变化。河北夏季降水量与 SW 出现次数呈明显的同相变化, 而与 A 型出现次数呈非常好的反相变化, 即冬季 A 环流型出现多, 夏季 SW 环流型出现就少, 夏季降水量就少, 反之亦然。冬季的主要环流型在 20 世纪 60 年代中期发生了明显改变, 夏季环流型在 60 年代和 70 年代发生了两次明显改变, 之后基本维持改变后的环流型。河北气候与区域环流型变化有很好的对应关系。

**关键词:** 华北; 区域环流型; 气候变化

**中图分类号:** P468 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097(2009)05-0618-09

## Relationships of Regional Circulation Patterns in North China and Hebei Province Climate Changes

HAO Li-sheng<sup>1,2</sup>, LI Wei-jing<sup>3</sup>

(1. School of Atmospheric Sciences, NU IST, Nanjing 210044, China; 2. Hebei Climate Center, Shijiazhuang 050021, China;

3. Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Based on the monthly mean NCEP/NCAR reanalysis sea level pressure data during 1951—2006, by using the Lamb-Jenkinson method, the regional atmospheric circulations over North China were divided into 27 patterns, among them eight major patterns (A, SW, NE, W, C, N, ANE, and AN) accounting for 64.43% of total number of circulation patterns in the 56-year. Each month (season) is tendentious to have itself prevail circulation pattern; patterns A and NE are prevail ones for winter and patterns SW and C for summer; and the number of occurrence for the principle pattern A of winter and that for the principle pattern SW of summer have an opposite change tendency. The summer precipitation in Hebei intends to have an obvious in-phase change with the occurrence number of pattern SW, and an anti-phase change with the occurrence number of pattern A. That is to say, if there is more pattern A in winter than normal, then there must be less pattern SW for summer, therefore leading to less precipitation in summer; and vice versa. The winter principle circulation pattern significantly changed in the 1960s, and the summer principle circulation patterns had happened significantly changed twice in the 1960s and 1970s, respectively. Afterwards, changed patterns maintained. Hebei province climate changes have a good relationship with those in North China regional circulation pattern.

**Key words:** North China; regional circulation pattern; climate change

收稿日期: 2008-10-23; 改回日期: 2009-08-25

基金项目: 河北省重点基础研究项目 (08966711D)

作者简介: 郝立生 (1966—), 男, 河北廊坊人, 博士, 高级工程师, 研究方向为季风和气候变化, hls4515@163.com

### 0 引言

气候异常往往是由大气环流异常造成的,不同大气环流型对应不同的气候特征。对区域大气环流变化规律的认识对了解区域天气、气候异常非常重要。一般定义能够代表大气环流特征的环流指数来解释区域的气候变化。例如,由 Rossby<sup>[1]</sup>定义的“纬向指数”已经被广泛应用于对欧洲气候的研究<sup>[2]</sup>。近年来,随着对行星大气遥相关类型的深入研究,又发展了许多很好的环流指数,在世界范围内广泛地应用于区域气候的研究<sup>[3]</sup>。研究不同的大气环流型与区域气候变化的关系,可以揭示区域气候变化的成因,为天气预报和气候预测提供很好的基础。

如何对大气环流进行客观分型是关键。过去,预报人员根据天气图进行统计主观分型,开展起来非常耗时且通用性不好。Lamb<sup>[4]</sup>提出了一种大气环流分型方法,后来 Jenkinson 等<sup>[5]</sup>对其进行了改进,称之为 Lamb-Jenkinson 环流分型法。这种方法把主观、客观分型结合起来,简便易操作,又有很好的天气学意义,其优点逐渐被人们所认识,在天气和气候变化中逐渐被广泛应用<sup>[6-8]</sup>。Lamb-Jenkinson 法不仅可以划分逐日环流型<sup>[9-10]</sup>,也可以对月平均资料进行很好的环流分型<sup>[7,11]</sup>。

华北地区是水资源十分贫乏的地区,由夏季降水减少而引起的该地区干旱化问题引起了气象学者的广泛关注<sup>[12-15]</sup>,很多学者从不同方面对华北夏季降水减少进行了很好的研究<sup>[16-19]</sup>,但从区域环流变化方面研究还不多见。本文采用 Lamb-Jenkinson 法对月平均海平面气压场在华北地区的环流进行分型,并分析其变化与河北气候的关系,为改进气候预测提供参考依据。

### 1 资料与方法

环流资料用 NCEP/NCAR 再分析的 1951—2006 年月平均海平面气压场 2.5°×2.5 全球格点资料。

河北位于华北中部,其气候变化对华北具有很好的代表性。因此,气候分析资料选用河北省气象台整理的 1951—2006 年 36 站降水资料和 22 站气温资料。统计分析时降水和气温分别用 36 站和 22 站的平均值。

以 (115 E, 40 N) 为中心点,在 100~130 E, 30~50 N 范围内,每隔 10 个经度、5 个纬度的网个格

点上取 16 个点,范围覆盖了整个华北及其附近地区(图 1),对该范围内的月平均海平面气压场进行环流分析。

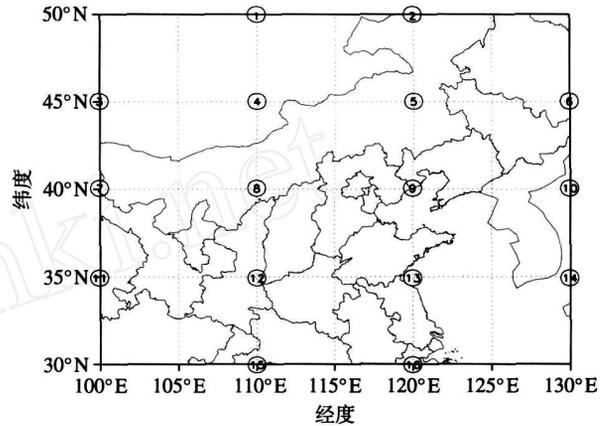


图 1 划分环流型时所选 16 个格点位置

Fig 1 The 16 grid points for dividing regional circulation pattern for North China

根据参考文献 [11],可定义 6 个环流因子  $u, v, V, u_s, v_s$ , 具体计算公式如下:

$$u = \frac{1}{2} [ p(12) + p(13) - p(4) - p(5) ],$$

$$v = \frac{1}{4\cos 40^\circ} [ p(5) + 2p(9) + p(13) - p(4) - 2p(8) - p(12) ],$$

$$V = \sqrt{u^2 + v^2},$$

$$u_s = \frac{\sin 40^\circ}{2\sin 35^\circ} [ p(15) + p(16) - p(8) - p(9) ] - \frac{\sin 40^\circ}{2\sin 45^\circ} [ p(8) + p(9) - p(1) - p(2) ],$$

$$v_s = \frac{1}{8\cos^2 40^\circ} [ p(6) + 2p(10) + p(4) - p(5) - 2p(9) - p(13) + p(3) + 2p(7) + p(11) - p(4) - 2p(8) - p(12) ],$$

$$= u_s + v_s.$$

式中  $p(n)$  ( $n = 1, 2, \dots, 16$ ) 是格点上的海平面气压值;  $V$  代表地转风,  $u, v$  分别为地转风的纬向和经向分量;  $V$  是总切变涡度,  $u_s$  是  $u$  的经向梯度,  $v_s$  是  $v$  的纬向梯度。为了便于比较,以 40 N 为基准进行标准化<sup>[11]</sup>处理后,则 6 个环流指数的单位都为 hPa/10°。根据这 6 个环流指数可以划分出不同的环流类型。定义当  $|u_s| < v_s$  时,为平直环流型,包括北(N)、东北(NE)、东(E)、东南(SE)、南(S)、西南(SW)、西(W)、西北(NW);当  $|u_s| > 2v_s$  时,为旋转环流型,包括气旋型(C)、反气旋型(A);当  $v_s < |u_s|$

<2V 时,为混合环流型,即平直环流和旋转环流的结合;当  $V < 3$  且  $|U| < 3$  时,则环流没有确切的特征,称为模糊环流型,用 UD 表示。这样可以定义出 27 种不同的环流类型(表 1)。

表 1 定义的 27 种环流型

Table 1 27 circulation patterns defined

平直环流型	气旋式平直环流型	反气旋式平直环流型	旋转环流型	模糊环流型
N	CN	AN	C	UD
NE	CNE	ANE	A	
E	CE	AE		
SE	CSE	ASE		
S	CS	AS		
SW	CSW	ASW		
W	CW	AW		
NW	CNW	ANW		

## 2 结果分析

### 2.1 环流型逐月分布

为了分析不同的环流型在各月出现情况,将 1951—2006 年 672 个月的环流进行了统计,见表 2。从表中可以看到, CN、CNE、CE、CSE、AE 环流从没出现过,说明在华北地区不会有这样的环流型。从多年出现的总次数多少看,影响华北的环流型主要有 8 种,依次是 A、SW、NE、W、C、N、ANE、AN,占全部环流型的 64.43%。其他环流型出现的总次数不多,但也有一些特点:如 E 主要出现在 2 月,其他月份很少出现,SE 主要出现在 3 月,NW 主要出现在 4—5 月,CSW 主要出现在 6—7 月,ANW 主要出现在 10 月。8 种主要环流型在各月的分布情况是: (1)环流型 A 主要出现在 9 月至次年 3 月,在偏冷的月份比较多,一般 8 月份开始出现,10 月份出现最多,至次年 4 月份迅速减少,5—7 月没有出现; (2)环流型 SW 主要出现偏暖的 4—9 月份,5 月份最多,9 月出现次数明显减少,10 月更少; (3)环流型 NE 只出现在偏冷的 10 月至次年 3 月半年中,其他月份没有出现,12 月至次年 2 月的冬季出现比较集中,12 月最多; (4)环流型 W 出现在 4—10 月,其中 5 月份出现最多,其他月份没有出现; (5)环流型 C 出现在 5—8 月,其他月份没有出现,6—7 月较多,7 月最多; (6)环流型 N 主要出现在 11 月至次年 1 月中,11—12 月最多,偏暖的 4—9 月几乎没有出现; (7)环流型 ANE 出现在 11 月至次年 3 月,其

他月份没有,其中 1 月出现最多; (8)环流型 AN 出现在 9 月至次年 2 月,其中 12 月出现最多。

从这里可以看到,华北主要区域环流型及月分布情况与东北区域主要环流型有明显不同<sup>[11]</sup>。

如果以环流型出现次数大于 10 次/月和大于 20 次/季度进行统计,则每月和每季度都有明显的盛行环流型,见表 3。冬季主要盛行 NE、A、ANE、N、AN 环流型,春季盛行 SW 环流型,夏季盛行 SW 和 C 环流型,秋季盛行 A 环流型。从模糊环流型分布看,除冬季外,春、夏、秋三季模糊环流型出现比较多,说明三个季节天气变化比冬季复杂。从 1—12 月盛行的环流型依次是 NE、A、A、SW、SW、SW、C、SW、A、A、A、NE。

### 2.2 环流型对河北气候的影响

图 2 是主要的 8 种环流型出现月份里海平面气压场与 1951—2006 年 672 个月平均气压场的差值场。A 环流型,地面在蒙古东南部为高压中心,河北基本处在高压中心附近,地面盛行反气旋性环流。这种环流型平均降水量为 17.5 mm,气温距平为  $-0.17$ 。SW 环流型,地面蒙古中南部为低压中心,河北处于低压前的西南气流里。NE 环流型,地面蒙古中部为高压中心,强度比 A 型环流大的多,河北都为东北气流控制。这种环流型平均降水量为 86.9 mm,气温距平为  $-0.16$ 。W 环流型,地面蒙古东部为低压中心,河北处于低压中心南部的偏西气流控制之下。环流型降水量稀少,平均为 4.68 mm,气温明显偏低,平均距平为  $-0.69$ 。C 环流型,地面蒙古东部中蒙交界处为低压中心,河北处于伸向东南方的槽区内。N、ANE、AN 环流型,基本都是在地面蒙古中部偏南为高压中心,不同的是, N、AN 型时,河北处于东北偏北气流控制之下,而 ANE 型时,河北为东北气流控制。从环流场可以看出,冬季出现风速最大时应是东北风,吹北风时风力不会很大。夏季风速最大出现在西南风时,其他环流时风速不会很大。

对表 2 进一步分析可知,河北夏季降水量最多的是 C 环流型,平均降水达 217.15 mm。CS、CSW、CW 环流型虽然平均降水量较多,但出现几率非常少,而 SW 环流型出现几率很高,且平均降水量较大,为 86.9 mm。因此,河北夏季主要降水环流型是 C 型和 SW 环流型。从表 2 中可以看到,没有出现造成河北夏季明显高温的环流型。因此,河北夏季的高温与地面环流型可能不是很密切,而是与高空环流型或华北地区上空夏季下沉升温有关<sup>[20]</sup>。河北冬季主要的降

表 2 环流型各月分布及对应的河北降水、气温情况

Table 2 Monthly distribution of the occurrence number of circulation patterns and corresponding precipitation and temperature in Hebei

环流型	出现次数	出现几 率 / %	各月出现次数												平均降水量 / 气温距平 /		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	mm		
A	117	17.41	12	18	17	2					3	18	25	12	10	17.5	- 0.17
SW	90	13.39				15	17	15	15	14	9	4	1			86.9	- 0.16
NE	48	7.14	14	12	3								1	2	16	4.7	- 0.69
W	38	5.65				2	15	7	3	3	4	4				58.4	- 0.02
C	37	5.51					5	11	18	3						217.2	0.08
N	36	5.36	8	2	2		1					1	11	11		7.1	0.66
ANE	34	5.06	12	8	4								4	6		5.5	- 0.41
AN	33	4.91	7	2								2	1	9	12	6.7	0.67
E	13	1.93	1	6	3									3		9.4	- 1.18
SE	9	1.34	1	2	5	1										12.0	- 0.72
S	16	2.38		1	5	3				3	2	2				47.9	- 0.21
NW	21	3.13			2	8	7					1	2	1		24.8	0.72
CN																	
CNE																	
CE																	
CSE																	
CS	1	0.15							1							202.8	- 0.77
CSW	12	1.79				1		7	4							107.0	- 0.28
CW	6	0.89						4	1	1						110.4	- 0.18
CNW	1	0.15						1								74.3	0.23
AE																	
ASE	2	0.30	1	1												8.4	- 1.14
AS	2	0.30											2			28.6	- 0.73
ASW	2	0.30											2			28.8	- 0.44
AW	4	0.60				1	1						2			41.4	0.02
ANW	13	1.93			1	2							2	5	3	23.5	0.43
UD	137	20.39		4	14	21	10	11	14	29	14	9	10	1		64.6	0.34

表 3 月和季度盛行的环流型

Table 3 Prevailing circulation patterns for each month and season

出现几率	各月环流类型												各季环流类型				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	春	夏	秋	冬	
多	NE	A	A	SW	SW	SW	C	SW	A	A	A	NE	SW	SW	A	NE	
	A	NE			W	C	SW				N	AN		C		A	
	ANE											N				ANE	
												A					N
少																	AN

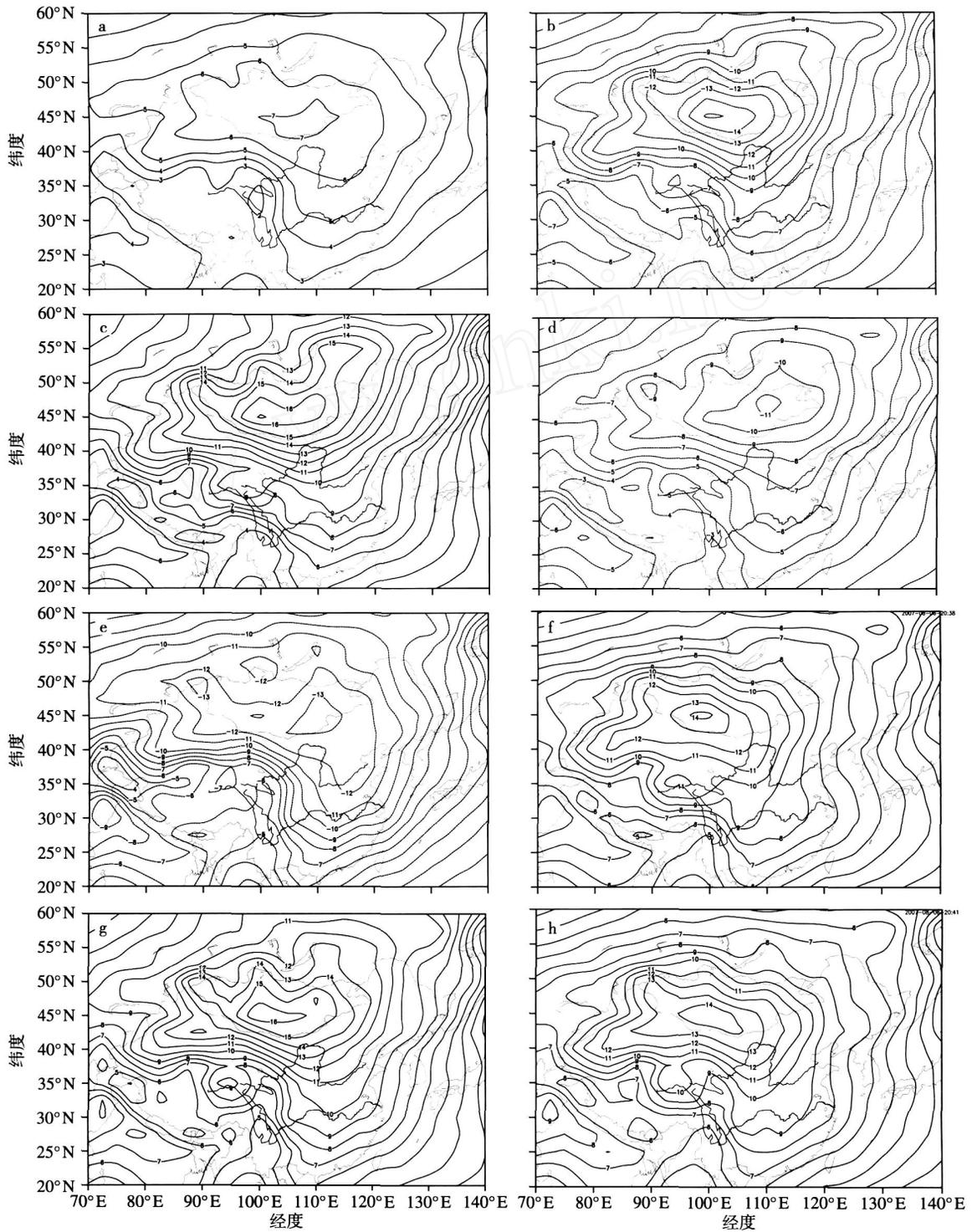


图 2 8种主要环流型海平面气压距平场 (单位: hPa) a A型; b SW型; c NE型; d W型; e C型; f N型; g ANE型; h AN型

Fig 2 Sea level pressure anomaly fields (hPa) for eight major circulation patterns a pattern A; b pattern SW; c pattern NE; d pattern W; e pattern C; f pattern N; g pattern ANE; h pattern AN

水环流型是 A 型环流, 平均降水量为 17.5 mm。冬季主要降温型是 E 型和 NE 型环流, 主要升温型是 N、AN 型环流。春、秋季造成降水的环流型不突出,

大部分环流型都能产生大小相当的降水量, 但 A 型环流型出现的几率最多, 而平均降水量最多的环流型是 SW 型、W 型和 S 型。NW 型有利于春、秋季

气温偏高,平均距平为 0.72 , AN 型有利于秋季气温偏高,平均距平为 0.67 。

### 2.3 环流因子时间变化

图 3是因子 v 的年际变化。在 3、4、10、11 月份,即在春、秋季, v 多年来增强或减弱不明显,而在其他 8 个月,20 世纪 60 年代中期开始出现明显的衰减趋势,不同的是 1、2、12 月 v 从 70 年代中期又开始出现逐渐加强趋势,而 5、6、7、8、9 月都从 60 年代中期以来一直为衰减趋势。这表明,夏季平均风速从 60 年代中期以来出现减小趋势。因为夏季盛行偏南风,所以,从 60 年代中期以来夏季风速减小是由于偏南风减小造成的,这与华北夏季降水变化有很好的对应关系。

图 4是 1951—2006 年环流因子 u、v、V、的逐月变化情况。由图 4a 可见,50 年代至 60 年代前期, u 为正值,60 年代中期出现短暂减弱,之后又加强,70 年代后期出现明显衰减,直到现在一直维持在“0 值附近变化。这说明 50 年代至 60 年代前期西风风速较大,60 年代中期有所减小,之后加大,70 年代后期以来,西风风速明显减小。由图 4b 可见, v

的变动比 u 剧烈得多,从趋势变化看,同样在 60 年代中期出现短暂衰减,之后又加强,70 年代后期再次出现衰减,直到现在一直维持在“-3 值附近变化。这说明 60 年代前期,偏南风强,60 年代中期出现强的偏北风,偏南风突然减小,60 年代后期南风又开始加强,70 年代中期南风又突然减小,之后一直很弱。可见,南风在 60 年代中期和 70 年代中后期出现两次突然衰减。由图 4c 可见, v 在 60 年代中期出现衰减趋势,从 60 年代后期以来一直维持在较低的值,大小为 3 hPa/10°。说明总风速从 60 年代中期出现突然减小,之后一直比较小。夏季多低压活动,风速减小意味着夏季大范围辐合上升运动从 60 年代中期以来减弱了,这与华北夏季降水变化有很好的对应关系。由图 4d 可见,涡度 从 70 年代中期开始出现减小趋势,此后一直维持在“-2.7 值附近变化,即从 70 年代后期以来,华北地区的涡度一直为负值,这说明华北自 70 年代后期以来,低压活动减少或低压强度明显减弱了。

### 2.4 主要环流型年代际变化

表 4 是华北主要区域环流型按年代统计结果。

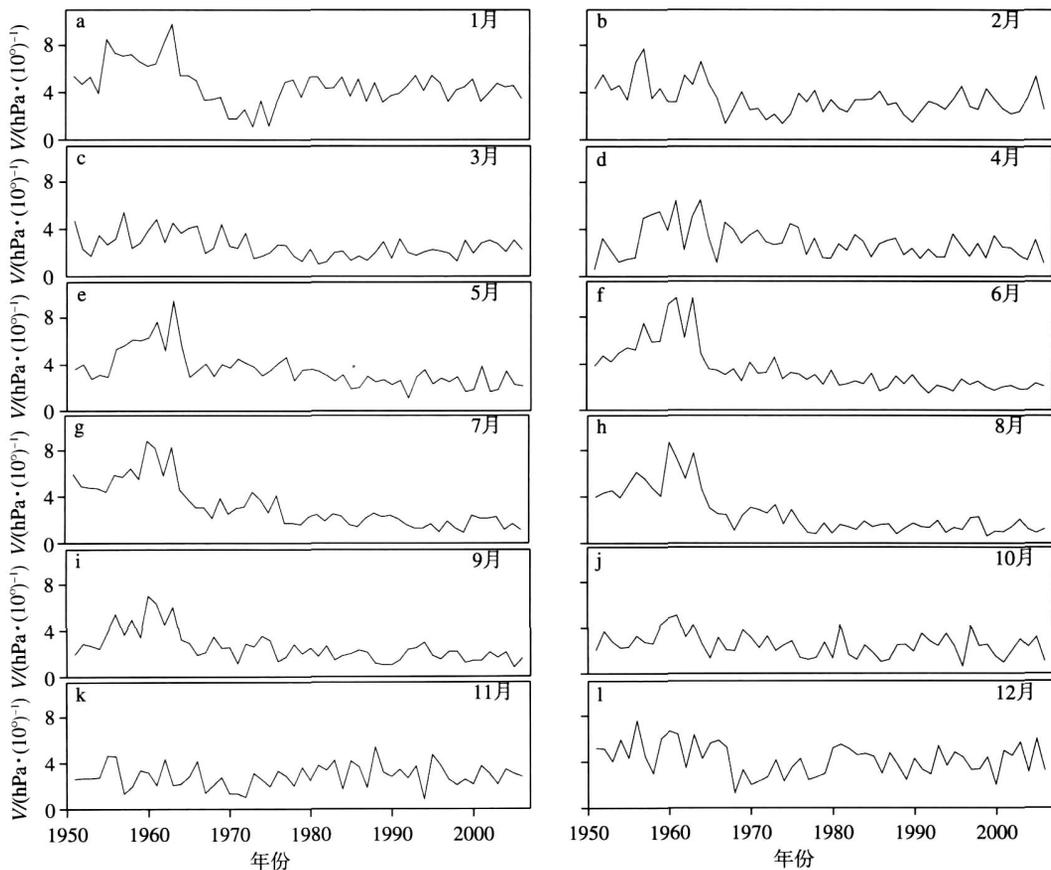


图 3 环流因子 v 的年际变化 (单位: hPa/10°)

Fig 3 Yearly variations of circulation factor V (units: hPa/10°) in 1951—2006

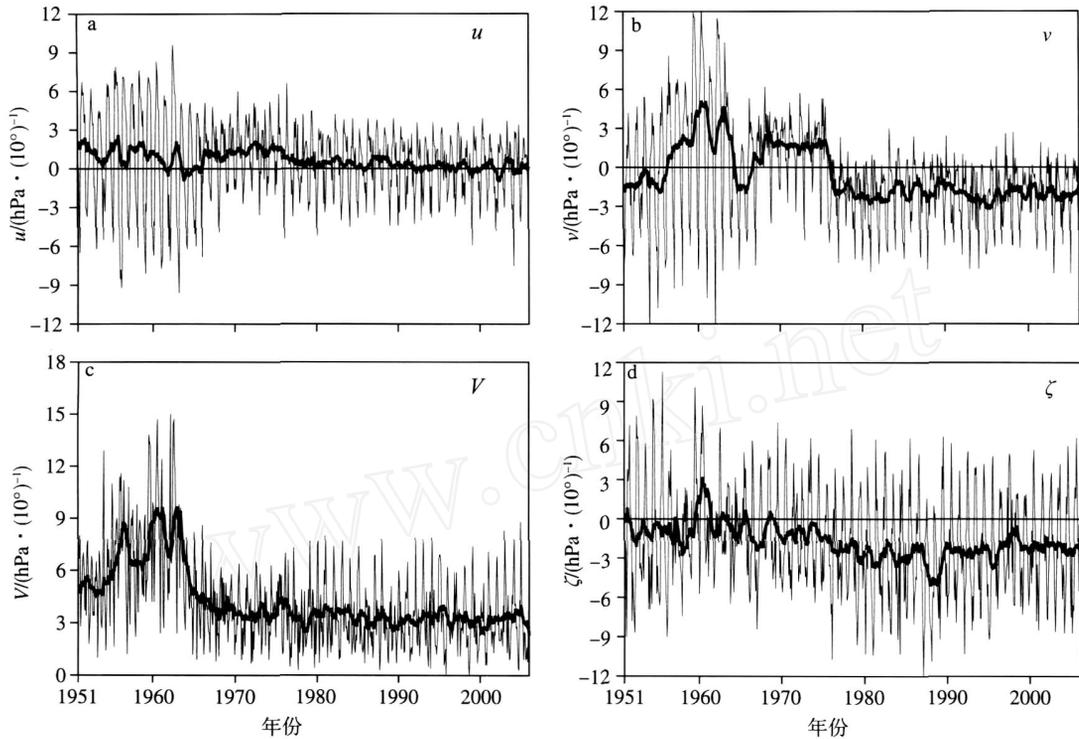


图 4 环流因子  $u$ (a)、 $v$ (b)、 $V$ (c)、 $\zeta$ (d)变化 (单位:  $\text{hPa}/10^9$ ;粗线为变化趋势)

Fig 4 Monthly variations of circulation factors (a)  $u$ , (b)  $v$ , (c)  $V$ , and (d)  $\zeta$  (units:  $\text{hPa}/10^9$  in 1951—2006 (thick line: trend))

A 型环流从 60 年代到 70 年代突然增加, 80 年代更多, 90 年代后虽有所减少, 但仍然很多; NE 环流型从 60 年代到 70 年代突然显著减少, 此后出现几率一直非常小; SW 环流型从 60 年代到 70 年代显著减少, 70 年代到 80 年代再次显著减少, 此后就很少出现这种环流型; C 型环流从 70 年代到 80 年代明显增多, 此后一直维持比较多。模糊环流型 UD 从

60 年代到 70 年代明显增加, 此后一直保持很高的出现几率。因为 A、NE 是冬季的主要环流型, 而 SW、C 是夏季的主要环流型, 综合分析可知, 冬季的主要环流型从 60 年代到 70 年代发生了明显改变, 之后基本维持改变后的环流型; 夏季环流型在 60 年代和 70 年代发生了两次明显改变, 之后基本维持改变后的环流型。

表 4 主要环流型年代际变化

Table 4 Interdecadal variations of major circulation patterns

环流型	总出现次数	百分率 / %	各年代出现次数					
			1951—1960	1961—1970	1971—1980	1981—1990	1991—2000	2001—2006
A	117	17.41	10	12	27	37	19	12
SW	90	13.39	33	36	17	3	1	
NE	48	7.14	19	18	1	2	5	3
W	38	5.65	12	5	11	8	2	
C	37	5.51	4	4	4	9	10	6
N	36	5.36	10	3	5	5	7	6
ANE	34	5.06	6	2	3	7	10	6
AN	33	4.91	1	1	5	9	12	5
UD	137	20.39	9	12	24	32	40	21

图 5 是冬季主要环流型 A、NE 和夏季主要环流型 SW、C 的年代际变化及年降水量距平。冬季环流型 A 和 NE 出现次数呈反相变化,夏季环流型 SW 和 C 基本呈反相变化。冬季最主要的环流型 A 和夏季最主要的环流型 SW 出现次数也呈反相变化,即冬季 A 型出现多时,夏季 SW 型出现就少,反之亦然。年降水量变化与 SW 出现次数呈明显的同相变化,而与 A 型出现次数呈非常好的反相变化。因此,当冬季 A 环流型出现多,夏季 SW 环流型出现就少,年降水量就少,反之亦然。

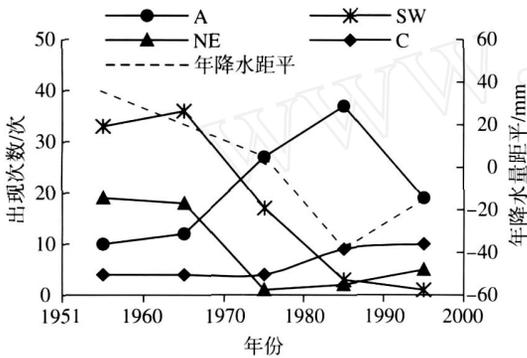


图 5 环流型 A、NE、SW、C 出现次数的年代际变化及年降水量距平 (单位: mm)

Fig 5 Interdecadal variations of the occurrence number of patterns A, NE, SW, and C, and annual precipitation anomaly (mm)

图 6 是冬季最主要环流型 A 和夏季最主要环流型 SW 的逐年变化情况。冬季环流型 A 近 56 a 平均每年出现 2.1 次, 60 年代出现次数显著增加, 80 年代最多; 夏季环流型 SW 近 56 a 平均每年出现 1.6 次, 但从 70 年代末之后出现几率非常小, 年均还不到 0.5 次。在图上也可以看到, SW 与 A 环流型出现次数有很好的反相变化, 夏季降水量变化与 SW 环流型出现次数有很好的同相变化, 而与 A 环流型出现次数有很好的反相变化, 即冬季出现 A 环流型少, 夏季出现 SW 环流型就多, 夏季降水量就多, 反之亦然。

### 3 小结

影响华北的区域环流型主要有 8 种, 即 A、SW、NE、W、C、N、ANE、AN, 占全部环流型的 64.43%。环流型在各月或各季度的出现很有规律, 冬季主要盛行 NE、A、ANE、N、AN 环流型, 春季盛行 SW 环流型, 夏季盛行 SW 和 C 环流型, 秋季盛行 A 环流型。

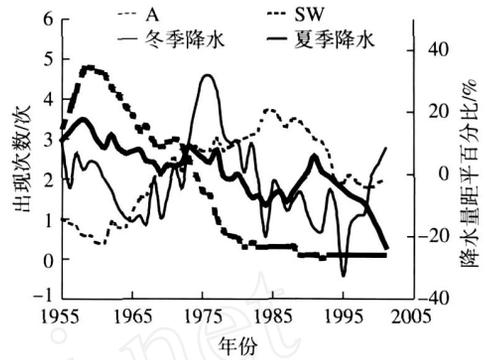


图 6 环流型 A、SW 出现次数的逐年变化及冬、夏季降水量距平百分比 (10 a 滑动平均)

Fig 6 Yearly variations of the occurrence number of patterns A and SW, and the percent anomaly of winter (thin solid line) and summer (thick solid line) precipitation (10-yr moving average)

夏季, 河北降水主要环流型是 SW 和 C 环流, 没有造成河北明显高温的区域环流型。冬季, 河北主要降水型是 A 型环流, 主要降温型是 E 型和 NE 型环流 (东风或东北风), 主要升温型是 N、AN 型环流 (北风)。春、秋季, 降水主要环流型不突出, NW 型 (西北风) 有利于春、秋季气温偏高, AN 型 (北风) 有利于秋季气温偏高。

冬季最主要的环流型 A 和夏季最主要的环流型 SW 出现次数呈反相变化, 夏季降水量与 A 型出现次数呈非常好的反相变化, 而与 SW 出现次数呈明显同相变化。因此, 即冬季 A 环流型出现多, 夏季 SW 环流型出现就少, 夏季降水量就少, 反之亦然。

夏季南风在 20 世纪 60 年代中期和 70 年代中后期出现两次突然衰减现象, 总风速从 60 年代中期出现突然减小, 之后一直比较小。冬季的主要环流型从 60 年代到 70 年代发生了明显改变, 夏季环流型在 60 年代和 70 年代发生了两次明显改变, 之后基本维持改变后的环流型。河北气候变化与区域环流型变化有很好的对应关系。

### 参考文献:

- [1] Rossby C G. The scientific basis of modern meteorology in climate and man[R]//Yearbook of Agriculture Washington D C: US Department of Agriculture, 1941: 599.
- [2] Kozuchowski KM, W ible J, Maheras P. Connections between air temperature and precipitation and the geopotential height of the 500 hPa level in a meridional cross-section in Europe[J]. Int J Climatol, 1992, 12: 343-352.
- [3] Malmgren B, Winter A, Chen D. El Nino-Southern Oscillation

- and North Atlantic Oscillation control of Caribbean climate[J]. *J Climatol*, 1998, 11(10): 2713-2717.
- [4] Lamb H H. Types and spells of weather around the year in the British Isles[J]. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1950, 76: 393-438.
- [5] Jenkinson A F, Collison F P. An initial climatology of gales over the North Sea [R]//Synoptic Climatology Branch Memorandum. Bracknell Meteorological Office, 1977: 18.
- [6] Zhang X, Wang X L, Corte-Real J. On the relationships between daily circulation patterns and precipitation in Portugal[J]. *J Geophys Res*, 1997, 102: 13495-13507.
- [7] Chen D. A monthly circulation climatology for Sweden and its application to a winter temperature case study[J]. *Int J Climatol*, 2000, 20: 1067-1076.
- [8] Busuioc A, Chen D. Performance of statistical downscaling models in GCM validation and regional climate change estimates: Application for Swedish precipitation[J]. *Int J Climatol*, 2001, 21: 557-578.
- [9] Jones P D, Kelly P M. Principal component analysis of the Lamb catalogue of daily weather types: Part 1, Annual frequencies[J]. *Int J Climatol*, 1982, 2: 147-157.
- [10] 贾丽伟, 李维京, 陈德亮. 东北地区降水与大气环流关系[J]. *应用气象学报*, 2006, 17(5): 557-566.
- [11] Jia L wei, Li W eijing, Chen D eliang. A monthly atmospheric circulation classification and its relationship with climate in Harbin [J]. *Acta Meteor Sinica*, 2006, 20(4): 403-412.
- [12] 叶笃正, 黄荣辉. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1996.
- [13] 谭桂容, 孙照渤, 陈海山. 华北夏季旱涝的环流特征分析[J]. *气象科学*, 2003, 23(2): 135-143.
- [14] 建军, 余锦华, 荣艳淑. 华北地区降水的准周期信号及其阶段件变化特征[J]. *南京气象学院学报*, 2005, 28(6): 770-777.
- [15] 郝立生, 闵锦忠, 姚学祥. 华北和印度夏季风降水变化对比[J]. *气候变化研究进展*, 2007, 3(5): 271-275.
- [16] 建军, 余锦华. 登陆我国台风与华北夏季降水的相关[J]. *南京气象学院学报*, 2006, 29(6): 819-826.
- [17] 李春, 罗德海, 方之芳, 等. 北极涛动年代际变化与华北夏季降水的联系[J]. *南京气象学院学报*, 2005, 28(6): 755-762.
- [18] 谢坤, 任雪娟. 华北夏季大气水汽输送特征及其与夏季旱涝的关系[J]. *气象科学*, 2008, 28(5): 508-514.
- [19] 蔡学湛, 温珍治, 扬义文. 东亚夏季风异常大气环流遥相关及其对我国降水的影响[J]. *气象科学*, 2009, 29(1): 46-51.
- [20] 周连童. 引起华北持续干旱的环流异常型及其与西北干旱区热力变化的关联[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007: 117-149.

(责任编辑: 刘菲)