

# 东北地区月平均大气环流型与哈尔滨气候关系的初步研究<sup>\*1</sup>

贾丽伟<sup>1,2</sup> 李维京<sup>2</sup> 陈德亮<sup>2,3</sup> 安晓存<sup>4</sup>

1 中国气象科学研究院,北京,100081

2 国家气候中心,北京,100081

3 瑞典哥德堡大学地球科学系,瑞典,40530

4 哈尔滨市气象局,哈尔滨,150080

## 摘 要

利用基于英国 Lamb(1950 年)发展的大气环流分型方法的 Jenkinson(1977 年)法对东北地区 1951—2002 年的月平均海平面气压场(MSLP)进行环流分型。由月平均海平面气压场算出 6 个环流指数,并由此划分出 27 种环流类型,分析了其中出现频率最高的 5 种主要环流类型(N,NW,C,CSW,SW)在不同时间尺度下的变化规律及它们与哈尔滨月平均温度的关系,利用逐步回归方法得到了温度距平的拟合曲线。给出了各种环流类型的月平均降水量和与哈尔滨降水密切相关的 C,CSW 和 SW 3 种环流类型对应的平均海平面气压合成图。结果表明:哈尔滨冬季以 N,NW 型为主,夏季以 C,CSW 和 SW 型为主。出现 N 和 NW 型时气温偏低,降水偏少;而出现 C,CSW 和 SW 型时气温较高,降水偏多。用 6 个环流指数中的地转风  $V$  和大尺度平均温度  $t$  可以建立其与温度距平之间的一个统计模式,利用此模式,能解释哈尔滨 1951—2002 年温度变化方差的 77.3%。C,CSW 和 SW 3 种环流类型为哈尔滨的主要降水类型,C 型与哈尔滨总降水的相关关系很好,并且近 20 年来哈尔滨主要以 C 型降水为主。这种研究大尺度大气环流与区域气候变量—温度、降水之间关系的方法是一种统计降尺度(statistical downscaling)方法,可以用于区域气候预测。

**关键词:** 大气环流分型, 温度, 降水, 统计降尺度, 哈尔滨。

## 1 引 言

大气环流形势往往决定着全球或区域的天气和气候类型及其变化。尤其是气候的异常(例如大范围旱涝的发生)通常都与大气环流的某种持续异常有关。因此,大气环流形势的特征及其异常对认识和了解气候及气候变化是非常重要的<sup>[1]</sup>。不同的大气环流类型对应不同的区域气候变化特征,因此,对区域气候变化的研究常常是同大气环流的变化相联系的<sup>[2]</sup>。一般定义能够代表大气环流特征的环流指数来解释区域气候的变化。例如由 Rossby<sup>[3]</sup>定义的“纬向指数”已经被广泛地应用于对欧洲气候的研

究<sup>[4]</sup>。近年来,随着对行星大气遥相关类型的深入研究,又发展了许多有用的环流指数,在世界范围内广泛地应用于区域气候的研究<sup>[5]</sup>。研究不同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,同时也可以为不同时间尺度的气候预测提供参考依据。

大气环流分型方法有主观的也有客观的。客观的分型方法有可重复性,并且很容易在计算机上执行,但它也有许多缺点:数学上的局限性限制了其在实际中的应用;而且客观分型方法依赖于原始资料,即应用不同时期的气象资料得到的分型结果也是不同的。主观的分型方法十分直观且容易解释其物理

\* 初稿时间:2005 年 2 月 25 日;修改稿时间:2005 年 6 月 23 日。

资助课题:国家自然科学基金项目(40375025)和中国科技部“全球环境变化对策与支撑技术研究”项目(2001BA611B-01)。

作者简介:贾丽伟,1979 年生,女,硕士研究生。

意义,但此方法主要依靠经验,因人而易,有明显的主观性。然而,我们可以通过定义一些客观的标准把主观的分型方法客观化,由定性的分型变为定量的分型,这样就可以自动地划分出环流类型,克服了其主观性的缺点,把主客观方法结合起来。基于 Lamb<sup>[6]</sup>大气环流分型方法的 Jenkinson 法<sup>[7]</sup>就是这样一种方法(以下简称 Lamb 法),它简单易操作,又有明确的天气学意义,其优点逐渐被人们认识,故在气候变化的研究中被广泛采用。此方法结合主成分分析<sup>[8]</sup>、典型相关分析<sup>[9]</sup>、线性回归<sup>[10]</sup>等统计方法,可以得出大尺度大气环流与区域气候之间的统计关系,目前 Lamb 法已经成功地应用于瑞典<sup>[11-12]</sup>、西班牙<sup>[13-14]</sup>、爱沙尼亚<sup>[15]</sup>、葡萄牙<sup>[8]</sup>等许多国家,而在中国还很少被应用,因此,十分有必要检验其在中国中高纬度地区的适用性,使之成为研究气候变化的有用工具。

虽然 Lamb 法最初是应用于对逐日环流类型的划分<sup>[16]</sup>,但是,许多研究表明,它也可以很好地应用于对月平均环流的划分<sup>[11]</sup>。本文就是将 Lamb 法应用于东北地区,对东北地区月平均海平面气压场进行环流分型并且分析主要环流类型频率的变化规律,找出环流类型与影响区域气候的变量—温度和降水之间的关系。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料

研究所用的资料是美国国家环境预报中心(NCEP)提供的全球  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  (经纬距)1951—2002 年月平均海平面气压场、地面温度再分析格点

资料和中国国家气象中心提供的哈尔滨站 1951—2002 年月平均温度、月降雨量和月平均风速资料。月平均温度、月降雨量和月平均风速的平均值取 1951—2002 年的平均,并用于计算相应的距平值。

### 2.2 方法

哈尔滨位于  $45^\circ 45' N, 126^\circ 46' E$ , 地处中国东北的北部,黑龙江省的南部。东南临张广才岭支脉丘陵,北部为小兴安岭山区,中部有松花江通过,海拔高度为 143 m。本文以  $(45^\circ N, 125^\circ E)$  为中心点,在  $35^\circ—55^\circ N, 110^\circ—140^\circ E$  的范围内,每隔 10 个经度,5 个纬度的网格点上取 16 个点(图 1),范围覆盖了整个东北地区,对该范围内的月平均海平面气压场进行环流分型。

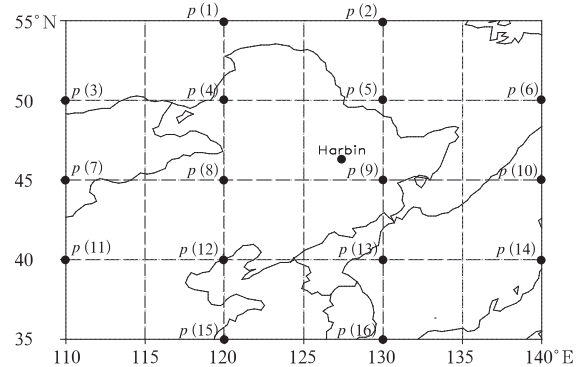


图 1 划分环流类型时所选用的 16 个格点位置

Fig. 1 The 16 grid points in constructing the circulation climatology

在以上区域中,用差分公式由 16 个网格点的月平均海平面气压值计算出中心点  $(45^\circ N, 125^\circ E)$  的地转风  $(u_g, v_g)$  和涡度  $(\xi_x, \xi_y)$ :

$$u_g = -\frac{1}{f_{45}\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \approx -\frac{1}{f_{45}\rho} \frac{\Delta p}{\Delta y} \approx \frac{1}{2f_{45}\rho} \left[ \frac{p(12) - p(4)}{\Delta y} + \frac{p(13) - p(5)}{\Delta y} \right] \approx \frac{1}{2\Delta y f_{45}\rho} [p(12) + p(13) - p(4) - p(5)] \quad (1)$$

$$v_g = \frac{1}{f_{45}\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \approx \frac{1}{f_{45}\rho} \frac{\Delta p}{\Delta x} \approx \frac{1}{4f_{45}\rho} \left[ \frac{p(5) - p(4)}{\Delta x_1} + \frac{2p(9) - 2p(8)}{\Delta x} + \frac{p(13) - p(12)}{\Delta x_2} \right] \approx \frac{1}{4\Delta x f_{45}\rho} [p(5) + 2p(9) + p(13) - p(4) - 2p(8) - p(12)] \approx \frac{1}{4\Delta y \cos 45^\circ f_{45}\rho} [p(5) + 2p(9) + p(13) - p(4) - 2p(8) - p(12)] \quad (2)$$

$$\xi_x = -\frac{\partial u}{\partial y} \approx \frac{1}{\Delta y} \left\{ \frac{1}{2f_{40}\rho} \left[ \frac{p(15) - p(8)}{\Delta y} + \frac{p(16) - p(9)}{\Delta y} \right] - \frac{1}{2f_{50}\rho} \left[ \frac{p(8) - p(1)}{\Delta y} + \frac{p(9) - p(2)}{\Delta y} \right] \right\} \approx \frac{1}{\Delta y^2 f_{45}\rho} \left\{ \frac{\sin 45^\circ}{2\sin 40^\circ} [p(15) + p(16) - p(8) - p(9)] - \frac{\sin 45^\circ}{2\sin 50^\circ} [p(8) + p(9) - p(1) - p(2)] \right\} \quad (3)$$

$$\xi_y = \frac{\partial v}{\partial x} \approx \frac{1}{2\Delta x} \left\{ \frac{1}{4f_{45}\rho} \left[ \frac{p(6) - p(5)}{\Delta x_1} + \frac{2p(10) - 2p(9)}{\Delta x} + \frac{p(14) - P(13)}{\Delta x_2} \right] - \frac{1}{4f_{45}\rho} \left[ \frac{p(4) - p(3)}{\Delta x_1} + \frac{2p(8) - 2p(7)}{\Delta x} + \frac{p(12) - P(11)}{\Delta x_2} \right] \right\} \approx \frac{1}{8\Delta x^2 f_{45}\rho} [p(6) + 2p(10) + p(14) - p(5) - 2p(9) - p(13) + p(3) + 2p(7) + p(11) - p(4) - 2p(8) - p(12)] \approx \frac{1}{8\Delta y^2 \cos^2 45^\circ f_{45}\rho} [p(6) + 2p(10) + p(14) - p(5) - 2p(9) - p(13) + p(3) + 2p(7) + p(11) - p(4) - 2p(8) - p(12)] \quad (4)$$

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

$$v = \frac{1}{4\cos 45^\circ} [p(5) + 2p(9) + p(13) - p(4) - 2p(8) - p(12)] \approx 0.3536 [p(5) + 2p(9) + p(13) - p(4) - 2p(8) - p(12)] \quad (6)$$

$$V = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (7)$$

$$\xi_u = \frac{\sin 45^\circ}{2\sin 40^\circ} [p(15) + p(16) - p(8) - p(9)] - \frac{\sin 45^\circ}{2\sin 50^\circ} [p(8) + p(9) - p(1) - p(2)] \approx 0.55 [p(15) + p(16) - p(8) - p(9)] - 0.4615 [p(8) + p(9) - p(1) - p(2)] \quad (8)$$

$$\xi_v = \frac{1}{8\cos^2 45^\circ} [p(6) + 2p(10) + p(4) - p(5) - 2p(9) - p(13) + p(3) + 2p(7) + p(11) - p(4) - 2p(8) - p(12)] \approx 0.25 [p(6) + 2p(10) + p(4) - p(5) - 2p(9) - p(13) + p(3) + 2p(7) + p(11) - p(4) - 2p(8) - p(12)] \quad (9)$$

$$\xi = \xi_u + \xi_v \quad (10)$$

$$\text{则 } u_g = \frac{1}{\Delta y f_{45}\rho} u \quad (11)$$

$$v_g = \frac{1}{\Delta y f_{45}\rho} v \quad (12)$$

$$\xi_x = \frac{1}{\Delta y^2 f_{45}\rho} \xi_u \quad (13)$$

$$\xi_y = \frac{1}{\Delta y^2 f_{45}\rho} \xi_v \quad (14)$$

把式(5)–(10)的  $u, v, V, \xi, \xi_u, \xi_v$  作为 6 个环流指数来划分环流类型。

上式中  $f = 2\Omega \sin \varphi$  为地转参数 (是纬度的函数),  $f_{40}, f_{45}$  和  $f_{50}$  分别表示  $40^\circ\text{N}, 45^\circ\text{N}$  和  $50^\circ\text{N}$  的地转参数 ( $f_{40} = 2\Omega \sin 40^\circ, f_{45} = 2\Omega \sin 45^\circ, f_{50} = 2\Omega \sin 50^\circ$ );  $\rho$  为空气密度;  $\Delta x, \Delta y$  为空间实际差分距离,  $\Delta x = R \cos 45^\circ \frac{10\pi}{180}, \Delta x_1 = R \cos 50^\circ \frac{10\pi}{180}, \Delta x_2 = R \cos 40^\circ \frac{10\pi}{180}, R$  为地球半径; 这里由于  $\Delta x, \Delta x_1, \Delta x_2$  相差很小, 为了简便, 取  $\Delta x = \Delta x_1 = \Delta x_2; \Delta y = R \frac{10\pi}{180}; p(n) (n = 1, 2, \dots, 16)$  是格点上的月平均海平面气压值;  $V$  代表地转风,  $u, v$  分别为地转风的西风和南风分量;  $\xi$  是总切变涡度,  $\xi_u$  是  $u$  的经向梯度,  $\xi_v$  是  $v$  的纬向梯度; 把式(11)–(14)中的地转风和涡度的系数以  $45^\circ\text{N}$  为基准进行标准化, 即  $45^\circ\text{N}$  的系数

看作 1, 则 6 个环流指数的单位为  $\text{hPa}/(10^\circ)$ 。一旦  $u, v$  确定了, 地转风的方向也就确定了。通常划分两种主要的环流类型, 分别为平直气流型和旋转型。我们定义当  $|\xi| < V$  时, 为平直气流型 (北, N; 东北, NE; 东, E; 东南, SE; 南, S; 西南, SW; 西, W; 西北, NW); 当  $|\xi| > 2V$  时, 为旋转型 (强调大气的旋转性, 气旋 C 或反气旋 A); 另外还有一种类型介于以上两者之间, 即  $V < |\xi| < 2V$ , 称其为混合型 (平直气流型和旋转型的结合)。如果当  $V < 6$  并且  $|\xi| < |6|$  时, 则无定义 (UD)。这样, 即可得到 27 种不同的环流类型。

### 3 结果分析

#### 3.1 环流类型出现的频率

利用上述方法对 1951 年 1 月—2002 年 12 月共 624 个月的环流类型进行划分。结果表明, 相同的环流类型在不同的年月它们的环流形势是十分类似的, 图 2 给出这 624 个月中各种环流类型出现的频率。

从图 2 中可看出, 共出现了 22 种环流类型, 另外 5 种 (E, CNE, CE, ASE, UD) 没有出现。绝大多数类型的出现频率低于 5%, 也就意味着用较少的几种环流类型就能代表东北地区的大气环流形势。如果以每年只出现一次作为下限 (8.3%), 那么仅仅有 5 种类型是常常出现的, 它们分别是: N (24.68%), C (17.15%), NW (9.29%), SW (8.65%) 和 CSW

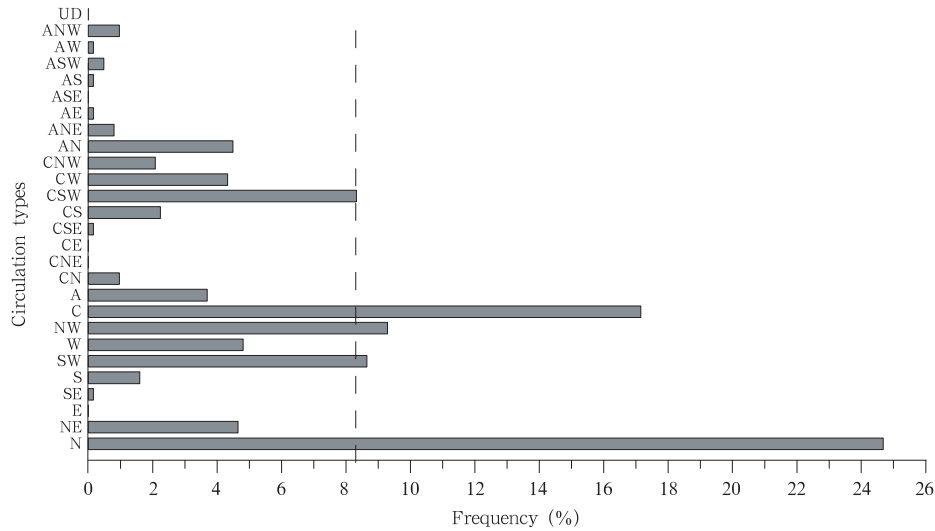


图2 1951—2002年27种环流类型的频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of the circulation types during 1951 and 2002

(8.33%)。这5种环流类型出现的频率总和为68.1%，因此可以认为它们是决定东北地区环流形势的主要环流类型。

### 3.2 环流类型频率的逐月变化

1951—2002年各种类型逐月的频率变化(表1)的主要特征是:10月至次年3月出现的主要类型

表1 1951—2002年各种环流类型出现频率(%)的逐月变化  
Table 1 Monthly frequencies (%) of the circulation types between 1951 and 2002  
(Bold numbers indicate frequency over 15%)

类型	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
N	<b>63.46</b>	<b>59.62</b>	<b>46.15</b>	0	0	0	0	0	1.92	9.62	<b>48.08</b>	<b>67.31</b>
NE	13.46	<b>15.38</b>	13.46	0	0	0	0	0	0	0	3.85	9.62
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	0	0	0	0	0	0	0	1.92	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	3.85	11.54	3.85	0	0	0	0
SW	0	0	0	13.46	1.92	<b>23.08</b>	<b>17.31</b>	<b>30.77</b>	<b>17.31</b>	0	0	0
W	0	0	0	9.62	5.77	0	0	5.77	<b>26.92</b>	9.62	0	0
NW	3.85	1.92	<b>15.38</b>	1.92	0	0	0	0	9.62	<b>40.38</b>	<b>28.85</b>	9.62
C	0	0	0	<b>48.08</b>	<b>48.08</b>	<b>30.77</b>	<b>32.69</b>	<b>26.92</b>	<b>15.38</b>	3.85	0	0
A	7.69	5.77	0	0	0	0	0	5.77	13.46	7.69	3.85	0
CN	0	0	9.62	0	0	0	0	0	0	1.92	0	0
CNE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CSE	0	0	0	0	0	0	0	1.92	0	0	0	0
CS	0	0	0	0	1.92	9.62	13.46	0	1.92	0	0	0
CSW	0	0	0	0	<b>26.92</b>	<b>30.77</b>	<b>25.00</b>	11.54	3.85	1.92	0	0
CW	0	0	0	<b>17.31</b>	<b>15.38</b>	1.92	0	3.85	5.77	7.69	0	0
CNW	0	0	5.77	9.62	0	0	0	0	1.92	7.69	0	0
AN	9.62	11.54	7.69	0	0	0	0	0	0	0	11.54	13.46
ANE	1.92	5.77	0	0	0	0	0	0	0	0	1.92	0
AE	0	0	0	0	0	0	0	1.92	0	0	0	0
ASE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AS	0	0	0	0	0	0	0	1.92	0	0	0	0
ASW	0	0	0	0	0	0	0	3.85	0	1.92	0	0
AW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.92	0	0
ANW	0	0	1.92	0	0	0	0	0	1.92	5.77	1.92	0
UD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注:黑体字代表频率超过15%。

有 N, NE, AN, NW, 其中 N 型出现的频率最高。4—9 月以 C, SW, CSW 类型为主。从北半球月平均海平面气压场(图略)可以看到, 冬季欧亚大陆为一个强大的冷高压, 东北地区位于冷高压的东侧, 则主要吹北风和西北风。夏季整个东北地区通常为一个弱低压系统, 则以西南风和气旋型为主。这样看来, 所分的环流类型与实际情况是相符的。

### 3.3 5 种主要环流类型频率的季节变化

为了更清楚地了解环流类型的季节变化特点, 找出主要环流类型的变化规律, 图 3 给出了 5 种主要环流类型的季节变化。可见, 季节变化最剧烈的两种类型是 N 和 C 型。N 型绝大多数发生在冬季, C 型则夏季出现最多, 冬季很少出现。N 和 C, CSW, SW 有明显的反相关性, 即当 N 型常出现的时候, C, CSW, SW 型很少发生, 而当 N 型很少的时候, C, CSW, SW 型占优势。NW 型与 C, CSW, SW 型也有反相关性, 但不如 N 型明显。

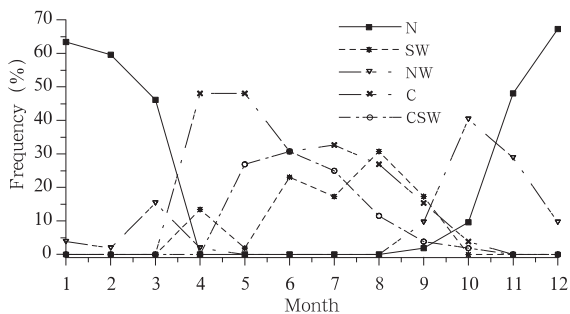


图 3 1951—2002 年 5 种主要环流类型出现频率的季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of the frequency distribution for five major circulation types during 1951 and 2002

### 3.4 5 种主要环流类型频率的年代际变化

为了得到哈尔滨气候变化与环流类型的相关程度, 这里给出了 1951—2000 年 5 种主要环流类型频率的年代际变化(图 4)。可见, C 型出现的频率有逐渐增高的趋势, N 型频率从 20 世纪 60 年代开始也呈上升趋势, 这说明东北地区的大气环流类型逐渐转变为冬季以 N 型为主, 夏季以 C 型为主, 而 CSW 和 SW 型逐渐减少。N 型与 CSW 和 SW 型有明显的反相关性, 即在 CSW 和 SW 型减少的同时出现 N 型的频率增多。NW 型的变化趋势不明显。近 50 年 N+NW 出现的频率相对于 C+CSW+SW 来说明显增高, 并且在 20 世纪 70 年代初超过了 C

+CSW+SW, C+CSW+SW 的频率在 60, 70 年代有所下降, 80 年代后又开始缓慢回升。总的看来近年来 N+NW 出现的比例增多了(图 5)。

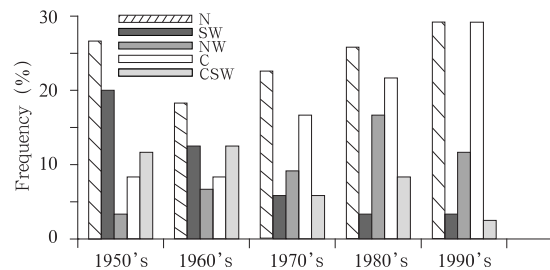


图 4 1951—2002 年主要环流类型频率的年代际变化

Fig. 4 Frequency changes of five major circulation types during 1951 and 2000

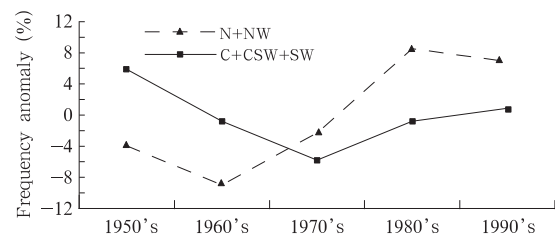


图 5 N+NW 和 C+CSW+SW 出现频率距平的年代际变化

Fig. 5 Decadal changes in frequency anomaly of N+NW and C+CSW+SW types

## 4 东北地区的大气环流类型与哈尔滨月平均温度的关系

一定的天气是与特定的环流类型相对应的, 正如图 6 所示, 当出现 N 和 NW 型时, 气温偏低, 出现 N 型时气温最低, 比年平均气温低  $15^{\circ}\text{C}$  左右, 出现 NW 型时的气温比年平均气温低  $5^{\circ}\text{C}$  左右。相反, 当出现 C, CSW 和 SW 型的时候, 气温较高, 而 C, CSW 和 SW 3 种类型之间的差别不大, 均比年平均温度高  $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$  左右。这与前面所说的 N, NW 型主要出现在冬季, C, CSW 和 SW 型主要出现在夏季是相符的。但是, 如前面所述, 随着近年来 N+NW 型出现比例的增多, 年平均气温还应有下降的趋势, 而哈尔滨站 1951—2002 年的实际观测气温却有增高的趋势(图 7), 尤其是从 20 世纪 80 年代开始, 增高趋势十分明显, 并且超过了 52 年来的平均温度。为了揭示其原因, 图 8 给出了 1951—2002 年

N+NW 和 C+CSW+SW 实际观测的风速距平。N+NW 与 C+CSW+SW 风速变化趋势大体相同,20 世纪 50 年代 N+NW 平均风速比 C+CSW+SW 强,60,70 年代两者基本相当,80 年代后虽然两者均下降很快,但是 C+CSW+SW 的平均风速大于 N+NW,这说明 80 年代后冬季偏北风和与其相应的冷空气很弱(由于青藏高原减弱,图略),所以,虽然近年来 N+NW 型增多,但是强度明显不如从前,所以气温并没有出现下降的趋势。

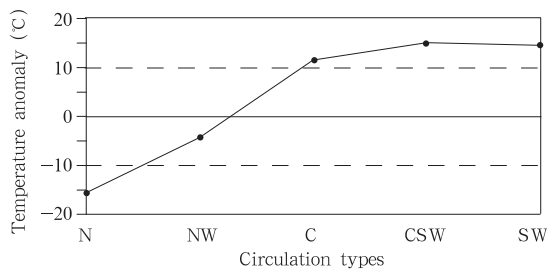


图 6 5 种主要环流类型的温度距平  
(1951—2002 年年平均温度为 3.98 °C)

Fig. 6 Temperature anomaly of five major circulation types  
(Annual mean temperature between 1951 and 2002 is 3.98 °C)

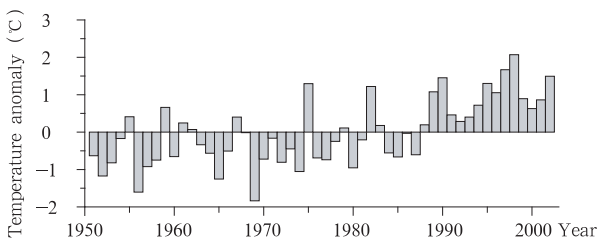


图 7 哈尔滨站 1951—2002 年温度距平

Fig. 7 Temperature anomaly during 1951 and 2002 in Harbin

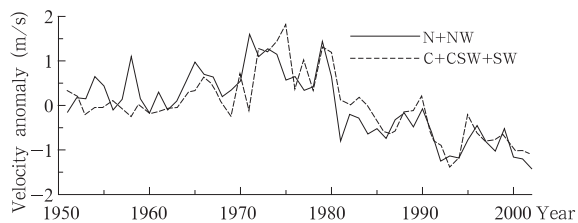


图 8 1951—2002 年哈尔滨站实际观测的 N+NW 与 C+CSW+SW 风速距平

Fig. 8 The observed velocity anomaly of N+NW and C+CSW+SW in Harbin

为了研究东北地区大气环流型与哈尔滨温度变化的定量关系,可以利用上面所得的 6 个环流指数和大尺度(范围取图 1 所示的区域)平均温度( $t$ ),用

多元回归法得出它们与温度距平的关系。由于 6 个环流指数之间是相互关联的,一个指数所包含的信息在另外指数中也会有所体现,为此选用逐步回归法,采用  $F$  检验,取 95% 的信度水平,可以得到一个温度距平  $T_a$  和  $V, t$  之间的回归方程:  $T_a = -4.053 - 0.16V + 1.202t$ ,由此可以重建哈尔滨 52 年的温度距平,结果实际观测到的温度距平与重建值之间的 Pearson 相关系数  $R = 0.879$ (图 9),拟合效果较好。上式中,风速  $V$  与温度距平  $T_a$  成反比关系,即风速越大,温度越低;  $t$  与  $T_a$  成正比关系,即大尺度平均温度越高,哈尔滨的气温也越高。

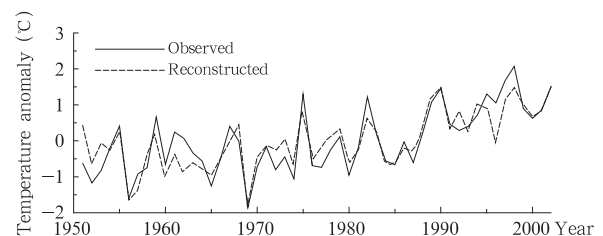


图 9 哈尔滨 1951—2002 年观测的与重建的温度距平

Fig. 9 The observed and reconstructed temperature anomaly from 1951 to 2002 in Harbin

## 5 东北地区环流类型与哈尔滨降水的关系

表 2 给出了各种环流类型出现的频率、平均降水量、最大降水量和频率与平均降水量的乘积的统计结果。结果显示,在所有的环流类型当中,S,SE,CSE,CS,CSW 型的平均降水量较多,月降水量超过 100 mm,其他类型月降水量均在 100 mm 以下。可以发现,以上几种降水比较充沛的环流类型均发生在有偏南气流或气旋型出现的时候;虽然它们的平均降水量比较多,但是由于它们出现的频率各不相同,则不能把它们都作为哈尔滨的主要降水类型,而以各种环流类型出现的频率乘以它们各自的平均降水量所得的结果大小作为衡量主要降水类型的标准才比较合理。若以每年出现一次的频率(8.3%)与哈尔滨 52 年的月平均降水量(44.52 mm)的乘积(369.5)作为下界来判断主要降水类型,则主要类型为 C,SW,CSW 型 3 种,因此把 C,SW,CSW 型作为决定哈尔滨降水的主要环流类型,其中又以 C 型为主(表 2)。哈尔滨的降水主要出现在夏季(图略),这与 C,SW,CSW 型主要出现在夏季也是相符的。图 10 是这 3 种主要降水类型对应的平均海平面气



表 2 各类型的出现频率、月平均降水量、月最大降水量及频率×平均降水量统计表  
Table 2 Frequency, monthly mean precipitation, monthly maximum precipitation and frequency multiply mean precipitation of all circulation types

类型	频率(%)	平均降水 (mm)	最大降水(mm)	频率×平均降水
S	1.60	144.89	310.20	231.82
SE	0.16	136.20	136.20	21.79
CSE	0.16	103.20	103.20	16.51
CS	2.24	101.22	207.20	226.73
CSW	8.33	100.68	241.80	<b>838.66</b>
AE	0.16	84.90	84.90	13.58
C	17.15	83.10	352.70	<b>1.425.17</b>
SW	8.65	81.81	223.60	<b>707.66</b>
AS	0.16	81.10	81.10	12.98
W	4.81	39.56	86.60	190.28
ASW	0.48	39.30	67.90	18.86
CW	4.33	39.12	143.80	169.39
CNW	2.08	26.02	68.20	54.12
AW	0.16	23.00	23.00	3.68
A	3.69	22.64	128.80	83.54
NW	9.29	16.82	67.60	156.26
ANW	0.96	15.98	31.40	15.34
CN	0.96	14.18	25.40	13.61
NE	4.65	8.77	38.10	40.78
ANE	0.80	8.14	16.00	6.51
N	24.68	7.35	57.80	181.40
AN	4.49	4.80	22.40	21.55

注:黑体字为主要降水类型

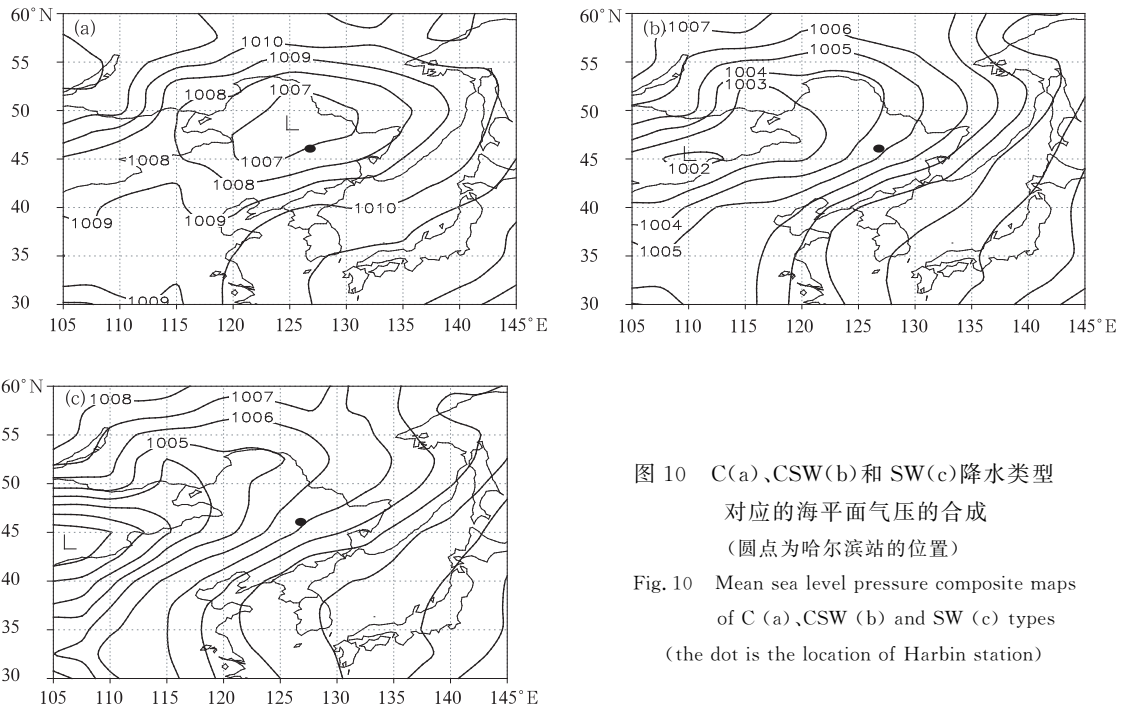


图 10 C(a)、CSW(b)和 SW(c)降水类型对应的海平面气压的合成 (圆点为哈尔滨站的位置)  
Fig. 10 Mean sea level pressure composite maps of C (a), CSW (b) and SW (c) types (the dot is the location of Harbin station)

压合成结果,当 C 型出现的时候,整个黑龙江省为一个完整的气旋,中心气压在 1007 hPa 左右。CSW

与 SW 型的环流形势十分相似,即当出现 CSW 或 SW 类型时,气旋中心均出现在黑龙江以西的蒙古

地区,中心气压分别为 1002 hPa 和 1000 hPa,CSW 型比 SW 型的气旋中心略偏东些,哈尔滨则位于气旋东侧的西南气流中,水汽充沛。图 11 给出实际观测的总降水分别与 C,CSW,SW 型降水的关系,3 种类型中 C 类型与总降水的相关关系最好,相关系数  $R=0.562$ ,CSW 和 SW 次之;这 3 种环流类型对总降水的贡献在不同时期也是有差异的,20 世纪 80 年代前哈尔滨的降水以 SW 和 CSW 型为主,其中 50 年代以 SW 型降水为主,60,70 年代 SW 和 CSW 型基本同样重要,到 80 年代以后则明显转为以 C 型降水为主,而 SW 和 CSW 型降水对总降水的贡

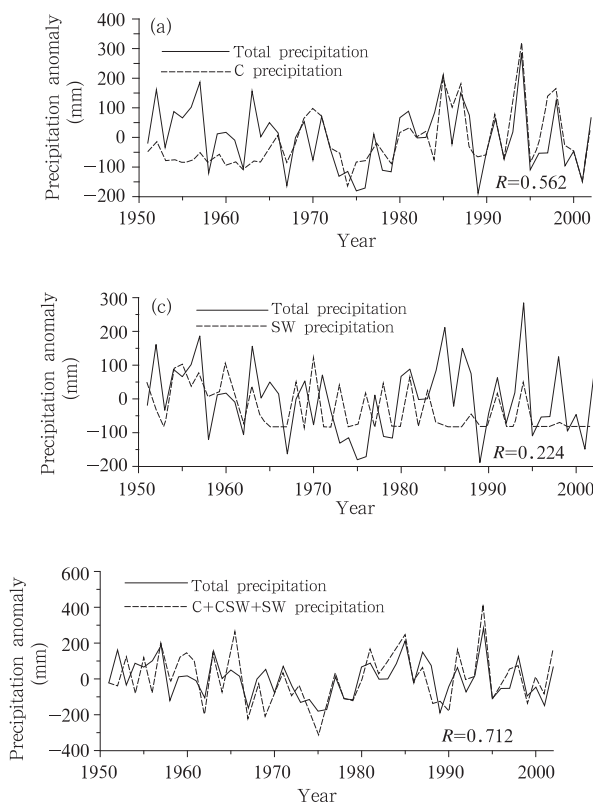


图 12 实际观测的哈尔滨总降水和 C+CSW+SW 降水距平

Fig. 12 The observed C+CSW+SW and total precipitation anomaly

## 6 结论与讨论

(1) 用 Lamb 法所划分的 27 种环流类型中,尽管有 22 种类型出现,但是绝大多数环流类型出现的频率在 5% 以下,只有 C,CSW,SW,N,NW 经常出现,则可以认为它们是东北地区的主要环流类型。并且 NW,N 型主要出现在冬季,C,CSW,SW 型主

献则很小。实际观测的全年总降水距平和 C+CSW+SW 降水距平在这 52 年中的变化趋势为:60 年代末到 70 年代略有下降,80 年代开始缓慢地上升(图 12)。这与前面所述的环流类型年代际变化趋势是十分吻合的,与黄荣辉等<sup>[17]</sup>研究所得的东北地区夏季降水异常的年代际变化特征也是一致的。从图 12 中还可以看到,全年总降水和 C+CSW+SW 降水的相关性很好,相关系数  $R=0.712$ ,进一步说明把 C,CSW 和 SW 3 种类型作为决定哈尔滨降水的主要环流类型是合理的。

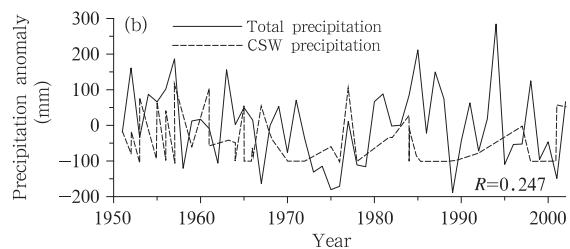


图 11 实际观测的 C (a),CSW (b),SW (c) 型降水与总降水的变化

Fig. 11 The observed precipitation variations of C (a),CSW (b),SW (c) types and total types

要出现在夏季,10 和 3 月可以认为是过渡季节。

(2) 出现 NW,N 型时气温通常较低,而出现 C,CSW,SW 型时气温则偏高。即出现偏北风时气温低,出现西南风时气温高。这是由于偏北风会引导极地冷空气南下,使温度降低,而西南气流会从海上带来大量的暖湿空气,气温显然很高。这样,可以根据环流类型很容易地来解释温度距平。

(3) 用环流指数  $V$  和大尺度平均温度  $t$  和温度距平  $T_a$  之间的统计模式:  $T_a = -4.053 - 0.16V + 1.202t$  可以很好地模拟哈尔滨气温的变化。

(4) C,CSW,SW 3 种类型作为哈尔滨的主要降水类型,它们对总降水的贡献是不同的,并且随着时间的变化也是变化的,近 20 年来,哈尔滨以 C 型降水为主。

(5) 东北地区的环流类型与哈尔滨温度、降水的年代际变化表明:偏北风的频率 20 世纪 80 年代以来增加很快,但其风速明显变小,而偏南风出现的



频率从 80 年代起略有增加,故哈尔滨的温度和降水年代际变化特征为:80 年代后温度明显升高;降水在 60 年代末到 70 年代略有减少,80 年代后开始呈现缓慢增加的趋势。

**致谢:**北京大学的欧廷海、国家气候中心的孙丞虎博士在本文完成过程中曾提出许多宝贵意见;国家气候中心的韩荣青博士在绘图方面给予了极大的帮助,在此向他们表示衷心的感谢。

## 参考文献

- [1] 李崇银. 气候动力学引论(第二版). 北京:气象出版社,2000. 27  
Li Chongyin. Dynamics of Climate (The second edition). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 27
- [2] Yarnal B. The effect of weather map scale on the results of a synoptic climatology. *J Climatol*, 1984, 4:481-493
- [3] Rossby C G. The scientific basis of modern meteorology in climate and man. In: Yearbook of Agriculture. Washington D C: US Department of Agriculture, 1941. 599
- [4] Kozuchowski K M, Wibig 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. *Int J Climat*, 1992, 12:343-352
- [5] Malmgren B, Winter A, Chen D. El Nino-Southern oscillation and North Atlantic oscillation control of Caribbean climate. *J Climate*, 1998, 11(10): 2713-2717
- [6] Lamb H H. Types and spells of weather around the year in the British Isles. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1950, 76:393-438
- [7] Jenkinson A F, Collison F P. An initial climatology of gales over the North Sea. Synoptic Climatology Branch Memorandum, 1977, No. 62, Meteorological Office, Bracknell, 18
- [8] Zhang X, Wang X L, Corte-Real J. On the relationships between daily circulation patterns and precipitation in Portugal. *J Geophys Res*, 1997, 102:13495-13507
- [9] Heyen H, Zorta E, von Storch H. Statistical downscaling of monthly mean North Atlantic air-pressure to sea level anomalies in Baltic Sea. *Tellus*, 1996, 48(A):312-323
- [10] Schubert S, Henderson-Sellers A. A statistical model to downscale local daily temperature extremes from synoptic-scale atmospheric circulation patterns in the Australian region. *Clim Dyn*, 1997, 13:223-234
- [11] Chen D. A monthly circulation climatology for Sweden and its application to a winter temperature case study. *Int J Climat*, 2000, 20:1067-1076
- [12] Busuioac A, Chen D. Performance of statistical downscaling models in GCM validation and regional climate change estimates: Application for Swedish precipitation. *Int J Climat*, 2001, 21:557-578
- [13] Goodess C M, Palutikof J P. Development of daily rainfall scenarios for southeast Spain using a circulation-type approach to downscaling. *Int J Climat*, 1998, 10:1051-1083
- [14] Goodess C M, Jones P D. Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall. *Int J Climat*, 2002, 22: 1593-615
- [15] Post P, Tuulik J. About the relationship between Estonian weather elements and European circulation patterns. *Phys Chem Earth(B)*, 1999, 24:97-102
- [16] Jones P D, Kelly P M. Principal component analysis of the Lamb catalogue of daily weather types: Part 1, Annual frequencies. *Int J Climat*, 1982, 2:147-157
- [17] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. *高原气象*, 1999, 18(4):465-476  
Huang Ronghui, Xu Yutong, Zhou Liantong. The interdecadal variation of summer precipitations in China and the drought trend in north China. *Plateau Meteor(in Chinese)*, 1999, 18(4): 465-476

## A MONTHLY ATMOSPHERIC CIRCULATION CLASSIFICATION AND ITS RELATIONSHIP WITH CLIMATE IN HAERBIN

Jia Liwei<sup>1,2</sup> Li Weijing<sup>2</sup> Chen Deliang<sup>2,3</sup> An Xiaocun<sup>4</sup>

*1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*

*2 National Climate Center, Beijing 100081*

*3 Department of Earth Sciences, Gothenburg University, Sweden*

*4 Harbin Meteorological Bureau, Harbin 150080*

### Abstract

The classification scheme developed by Jenkinson and Collison (1977) based on a typing scheme of Lamb(1950) is applied to obtain circulation types from the mean sea-level pressure of Northeast of China on a monthly basis. Monthly mean sea-level pressure data from 1951 to 2002 is used to derive six circulation indices and to provide a circulation catalogue with 27 circulation types. Five major types (N, NW, C, CSW, SW) which occurred most frequently are analyzed to reveal their relationships with the temperature of Harbin on various time scales. Stepwise multiple regression is used to reconstruct temperature anomaly. The monthly mean rainfall of all types occurred and the composite maps of the three major types(C, CSW, SW) relevant to Harbin's precipitation are studied.

The results show that the dominant types in winter are N and NW types. C, CSW and SW types occur frequently in summer. N and NW types favour a negative temperature anomaly and correspond to less rainfall, while C, CSW and SW types often induce a positive temperature anomaly and correspond to more rainfall. Moreover, a successful statistical model can be established with only one of the six indices and large-scale mean temperature. Using the model, 77.3% of the total variance in the temperature anomaly between 1951 and 2002 can be reconstructed. C type has a close relationship with total rainfall and C type precipitation played a major role in determining the total rainfall of Harbin in recent years. This classification scheme is a statistical downscaling model and its relationships with temperature and precipitation can be used to forecast the regional climate.

**Key words:** Atmospheric circulation classification, Temperature, Precipitation, Statistical downscaling, Harbin.