

三种实时计算风向标准差 方法的比较

姚增权 李智边

(能源部南京电力环境保护研究所)

提 要

文章介绍了三种可用于实时计算水平风向标准差的方法,并用它们处理了1988年夏季在浙江省北仑港和嘉兴现场测试中用超声风速仪测量的资料,与按风向标准差定义计算的结果进行了对比。结果表明, Yamartino 算法精度最好,且算法简单,适于风向标准差的实时处理。

一、引 言

近年来,在空气污染预测中,越来越多地使用风向标准差 σ_θ 来对大气边界层的湍流状况进行稳定度分类,因此,获取 σ_θ 已成为大气环境影响评价工作中一项重要工作。特别是随着数据采集设备的大量使用,人们希望在现场实时看到水平风向标准差的结果。数据的实时处理,不仅要求尽量减少存贮中间数据和存取次数,而且要求计算方法简单可靠。

从瞬时风向计算水平风向标准差要求两次调用各瞬时风向角的值,第一次计算平均风向 $\bar{\theta}$,第二次按下式计算风向标准差:

$$\sigma_\theta^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta_i \right)^2 \quad (1)$$

式中 Δ_i 是这样定义的,使 $|\Delta_i|$ 是 $|\theta_i - \bar{\theta}|$ 和 $2\pi - |\theta_i - \bar{\theta}|$ 中的较小者。 θ_i 为瞬时风向角。 $\bar{\theta}$ 为平均风向角,按下式计算:

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{M_s}{M_c} \right) \quad (2)$$

$$M_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sin \theta_i \quad (3)$$

$$M_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \cos \theta_i \quad (4)$$

N 是每个样本中的采样点数。式(1)中右端第二项是补偿 $\bar{\theta}$ 和算术平均风向角 $\langle \theta \rangle$ 之间的任何微小差别。

由于用(1)式计算风向标准差需要两次用到瞬时风向角,因此,必须把瞬时风向存贮起来。这不仅要求计算机有较大的内存,而且计算方法较为复杂,不适于数据的实时处理。人们通常采用较为简单的近似算法进行数据的实时处理。本文介绍的三种近似算法,都是一次性地使用瞬时风向。但三种算法的复杂程度不同,计算精度也不同。

二、三种近似算法

1. Verrall 和 Williams 算法

Verrall 和 Williams(1982)^[1]提出一种可用于实时计算风向标准差的近似算法。这种方法先由瞬时风向角用(3)、(4)两式计算 M_s, M_c , 用下式计算 A_s, A_c :

$$A_s = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \sin^2 \theta_i \quad (5)$$

$$A_c = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \cos^2 \theta_i \quad (6)$$

然后计算 S_s, S_c , 并构成矢量 \vec{V}_1, \vec{V}_2 :

$$S_s = (A_s - \frac{N}{N-1} M_s^2)^{1/2} \quad (7)$$

$$S_c = (A_c - \frac{N}{N-1} M_c^2)^{1/2} \quad (8)$$

$$\vec{V}_1 = (|M_s| - S_s) \vec{i} + (|M_c| + S_c) \vec{j} \quad (9)$$

$$\vec{V}_2 = (|M_s| + S_s) \vec{i} + (|M_c| - S_c) \vec{j} \quad (10)$$

水平风向标准差等于这两个矢量间夹角的 $1/2$:

$$\sigma_\theta = \frac{1}{2} \cos^{-1} \left(\frac{\vec{V}_1 \cdot \vec{V}_2}{|\vec{V}_1| \cdot |\vec{V}_2|} \right) \quad (11)$$

(9)、(10)式中的 \vec{i}, \vec{j} 分别为 x 坐标(向东为正)和 y 坐标(向北为正)的单位矢量, (11)式中的 $\vec{V}_1 \cdot \vec{V}_2$ 为两矢量的内积, $|\vec{V}_1| \cdot |\vec{V}_2|$ 为两矢量模的乘积。

2. Ackermann 算法

当风向脉动较小时, 人们常用横风向湍流强度 I_{sc} 近似地估算水平风向标准差:

$$\sigma_\theta \approx I_{sc} = \frac{\sigma_{sc}}{S} \quad (12)$$

式中 σ_{sc} 为横风向风速标准差, S 为水平平均风速。这种方法因用到 σ_{sc} , 有时不能用于数据的实时处理。Ackermann(1983)^[2]提出了一种用风速标准差计算风向标准差的近似算法:

$$\sigma_\theta = \left[\left(\frac{\partial \theta}{\partial U} \right)^2 \sigma_u^2 + \left(\frac{\partial \theta}{\partial V} \right)^2 \sigma_v^2 + 2 \left(\frac{\partial \theta}{\partial U} \right) \left(\frac{\partial \theta}{\partial V} \right) \sigma_{uv} \right]^{1/2} \quad (13)$$

式中:

$$\sigma_u^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i^2 - U^2$$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2 - V^2$$

$$\sigma_{uv} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i v_i - U \cdot V$$

$$U = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i$$

$$V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i$$

$$S = (U^2 + V^2)^{1/2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{U}{V}\right)$$

上述各式中 u_i, v_i 分别为瞬时东风和北风分量; U, V 为水平平均风速的东风分量和北风分量, S 为水平平均风速; θ 为水平平均风向。从而可以得到 $\frac{\partial \theta}{\partial U} = V/S^2, \frac{\partial \theta}{\partial V} = -U/S^2$ 。于是(13)式可写成:

$$\sigma_\theta = [V^2 \sigma_u^2 + U^2 \sigma_v^2 - 2U \cdot V \sigma_{uv}]^{1/2} / S^2 \quad (14)$$

这就构成了 Ackermann 算法。

3. Yamartino 算法

Yamartino (1984)^[3]在假定 Δ_i 很小的前提下,对(1)式应用 $Q_i = \bar{Q} + \Delta_i$ 及小角度近似: $\sin \Delta_i \approx \Delta_i, \cos \Delta_i \approx 1 - \frac{1}{2} \Delta_i^2$, 得到:

$$\sigma_\theta \approx E \quad (15)$$

式中 $E^2 = 1 - (M_s^2 + M_c^2)$, M_s, M_c 由(3)、(4)式计算。这种算法只能用于很小的 σ_θ , 且总是过小地估算风向标准差。为了改进这种算法,他又提出了一种修正方案,应用下式计算 σ_θ :

$$\sigma_\theta = \sin^{-1}(E) \quad (16)$$

这种算法虽比(15)式略有改进,但仍存在上述两个缺点,即只能用于较小的 σ_θ , 且仍过小地估算风向标准差。为了找到一种更好的方案,他应用各向同性风分布假定,得到 σ_θ 的可能最大值是 $\pi/\sqrt{3}$, 然后在 $\sin^{-1}(E)$ 和 $\pi/\sqrt{3}$ 之间试验了二十余种内插函数,选出了一种最好的内插公式:

$$\sigma_\theta = [1.0 + \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1\right)E^3] \sin^{-1}(E) \quad (17)$$

这就是 Yamartino 算法。

三、计算结果的比较

我们用上述三种近似算法处理了浙江省北仑港和嘉兴沿岸地区四个测点用超声风速仪测量的数据,并与(1)式(文中称为精确算法)的计算结果进行了对比。超声风速仪的采样频率各通道均为10赫兹,每个样本连续采样1小时,总共有260个小时的样本。我们随机取出75个样本进行比较,表1中列出部分结果,其中 A-SIG 是用(1)式计算的结果, B-SIG、C-SIG、D-SIG 依次为 Verrall 和 Williams 算法、Ackermann 算法、Yamartino 算法的计算结果。右端三列分别为三种近似方法计算结果对精确算法计算结果的百分率误差,定义为各种近似算法的结果与精确算法结果之差与精确算法结果之比。表中倒数第二行为75个样本的百分率误差平均值,最末一行为百分率误差的标准差。从表1可以看出, Yamartino 方

表1 几种不同方法计算水平风向标准差的结果比较

U (m/s)	ALFA (度)	A-SIG (度)	B-SIG (度)	C-SIG (度)	D-SIG (度)	(B-A)/A (%)	(C-A)/A (%)	(D-A)/A (%)
6.64	87.0	4.38	4.34	4.20	4.34	-0.76	-4.00	-0.77
4.80	118.7	28.36	28.08	32.18	28.61	-0.97	13.50	0.89
6.29	132.2	6.13	6.12	5.86	6.12	-0.16	-4.40	-0.14
7.12	134.5	15.27	15.09	14.82	15.20	-1.18	-2.95	-0.47
7.60	122.2	7.12	7.11	6.73	7.11	-0.18	-5.60	-0.16
6.22	132.7	9.88	9.84	9.76	9.85	-0.40	-1.18	-0.26
5.38	137.5	11.08	11.04	10.93	11.06	-0.30	-1.32	-0.20
2.39	133.5	25.21	23.01	14.87	23.61	-8.72	-41.01	-6.34
3.54	140.0	15.06	14.93	11.80	14.98	-0.86	-21.68	-0.51
3.18	137.6	13.73	13.39	10.22	13.54	-2.52	-25.60	-1.43
7.00	198.8	10.07	9.67	9.65	9.70	-3.95	-4.19	-3.61
3.00	242.3	11.38	11.35	12.15	11.36	-0.24	6.85	-0.14
3.06	237.6	10.21	10.15	10.33	10.15	-0.62	1.18	-0.55
2.79	231.4	10.51	10.47	9.64	10.47	-0.41	-8.27	-0.32
1.58	229.8	21.37	20.82	16.07	21.00	-2.58	-24.80	-1.73
1.25	124.3	16.96	16.78	17.42	16.86	-1.04	2.68	-0.59
6.12	313.3	19.64	18.45	12.73	19.08	-6.07	-35.18	-2.85
7.80	305.4	5.62	5.62	5.83	5.62	-0.12	3.58	-0.11
8.44	317.2	6.08	6.07	5.68	6.07	-0.17	-6.51	-0.17
5.27	311.7	5.10	5.09	5.12	5.09	-0.08	0.53	-0.09
3.92	329.5	7.77	7.76	7.37	7.76	-0.17	-5.18	-0.16
1.59	279.4	14.32	13.92	16.66	14.19	-2.82	16.34	-0.88
1.00	298.5	22.81	19.10	10.35	20.62	-16.26	-54.62	-9.60
3.53	317.9	5.03	5.03	5.00	5.03	-0.08	-0.67	-0.09
3.87	318.1	6.52	6.51	6.40	6.51	-0.16	-1.81	-0.15
3.05	302.8	10.07	10.01	10.13	10.02	-0.51	0.61	-0.45
5.75	119.9	9.20	9.17	8.69	9.18	-0.34	-5.56	-0.25
5.46	125.2	11.00	10.92	10.46	10.94	-0.71	-4.91	-0.47
3.89	119.5	14.50	14.33	12.49	14.39	-1.12	-13.84	-0.74
4.95	126.3	10.39	10.31	9.61	10.33	-0.83	-7.53	-0.57
百分率误差平均值(75个样本)						-1.969	-8.785	-1.229
百分率误差标准差(75个样本)						2.547	10.814	1.644

法的计算结果(表中的 D-SIG)与精确算法结果最为接近,75个样本中的最大误差为-9%左右,误差在±1%以内的占总样本数的64%,在±2%以内的占87%,百分率误差的平均值为-1.23%,标准差为1.64%。列第二位的是 Verrall 和 Williams 算法。75个样本中最大误差为-16.27%,误差在±1%以内的占44%,在±2%以内的占69%,百分率误差平均值为-1.97%,标准差为2.55%。Ackermann 算法的误差较前两种算法都大,在75个样本中最大误差达-54%。误差在±1%以内的只占8%,在±2%的样本也只有13%。百分率误差平均值为-8.79%,标准差为10.81%。

图1—3分别为各种近似算法的计算结果(纵坐标)与精确算法计算结果(横坐标)比较的散点图。可以明显地看出,Verrall 和 Williams 算法(图1)和 Yamartino 算法(图3)与精确算法的一致性较好,特别是 Yamartino 算法,点的离散度很小,基本都在对角线上。Ackermann 算法(图2)误差要大得多,特别是当 $\sigma_\theta > 12'$ 时,离散度较大,说明这种算法用在风向脉动较大时会带来较大的误差。

另外,值得注意的是 Verrall 和 Williams 算法的计算结果都比精确算法低,Yamartino 算法的计算结果除一例外,也均小于精确算法的结果。这表明,这两种近似算法基本上都低估了水平风向标准差。

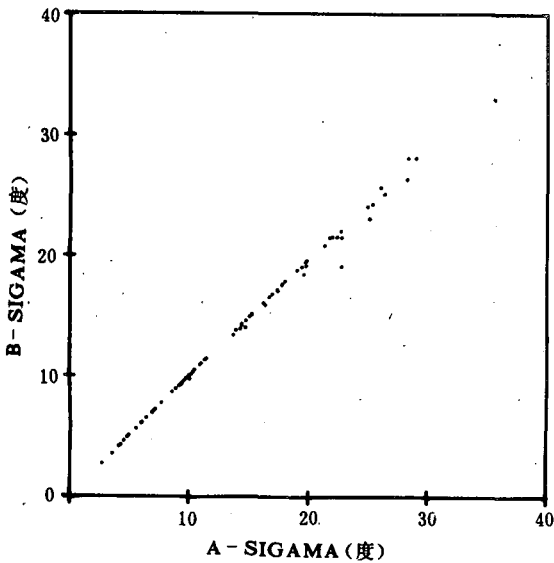


图1 Verrall & Williams 算法与精确算法计算结果的比较

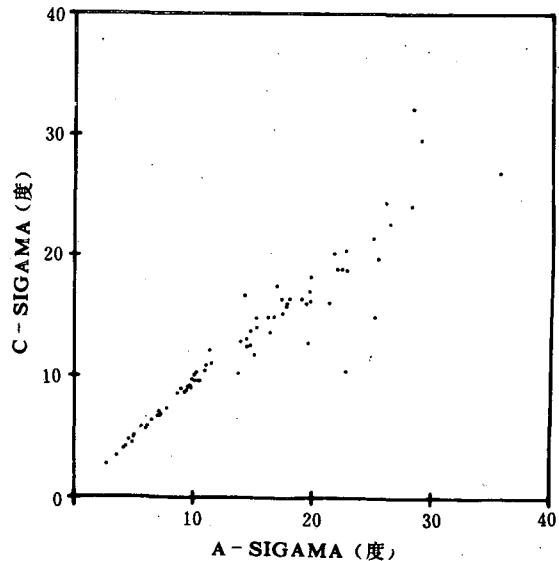


图2 Ackermann 算法与精确算法计算结果的比较

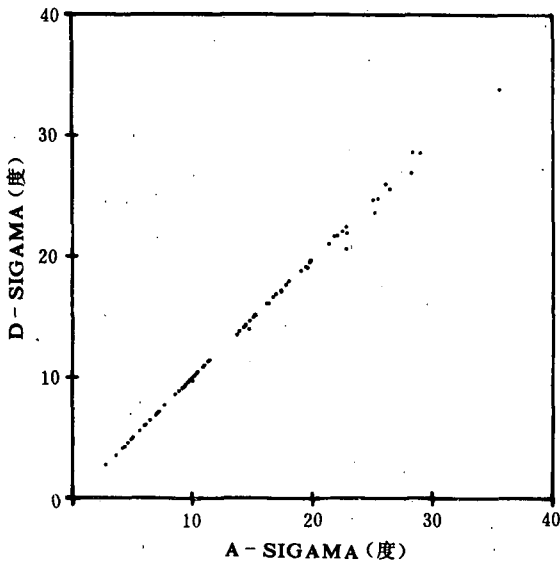


图3 Yamartino 算法与精确算法计算结果的比较

四、占用机时比较

几种算法的复杂程度不同,耗用机时也有差异。进行数据实时处理时,希望计算方法尽可能简单,计算步骤尽可能少,占用机时尽可能短。通常在获取风向标准差时所使用的采样频率为1赫兹(也有的使用0.2赫兹),采样时间为1小时。由于一些中间量可以在采样过程中计算,故不再占用额外机时,因此,我们只比较采样结束后计算和输出最终结果时所用的机时,使用的计算机为 IBM-PC,程序分别用解释 BASIC 语言和编译 BASIC 语言写成。各种方法所用机时列于表2。从表2可以看到,精确算法耗用机时最多,相当于其它几种近似算法的1500~3000倍。这是因为它要重新读取原始数据再进行计算。几种近似算法中,Verrall 和 Williams 算法耗用机时最多,它分别是 Ackermann 算法的1.5倍,是 Yamartino 算法的2倍。不过这三种近似算法占用计算机时间均不足1秒,从占用机时衡量,均可作为数据实时处理的算法。

表2 各种算法占用机时比较(单位,s)

程序语言	精确算法	Verrall 和 Williams 算法	Ackermann 算法	Yamartino 算法
解释 BASIC	365	0.23	0.15	0.11
编译 BASIC	61	0.04	0.03	0.02

五、结 论

从三种近似算法与精确算法的符合程度以及算法的复杂程度衡量,进行风向标准差的实时数据处理,以 Yamartino 算法最优,其次是 Verrall & Williams 算法,而 Ackermann 算法误差最大。从占用计算机时间衡量, Yamartino 算法最省时,然后是 Ackermann 算法、Verrall 和 Williams 算法。不过三种近似算法耗用机时均不超过1秒钟。从计算的准确度、算法的复杂程度及占用机时综合衡量,应以 Yamartino 算法做为优选算法。Ackermann 算法误差较大,特别是当风向脉动较大时,比如在不稳定条件下,在沿海或山区,以及在稳定的小风情况下,风向常出现较大摆动,这时均不宜采用这种算法进行风向标准差的实时处理。

参 考 文 献

- [1] Verrall, K. A. and R. L. Williams, *J. Appl. Meteor.*, **21**, 1922—1925, 1982.
- [2] Ackermann, G. R., *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 959—961, 1983.
- [3] Yamartino, R. J., *J. Climate. Appl. Meteor.*, **23**, 1362—1366, 1984.

COMPARISON OF THREE METHODS FOR REAL-TIME CALCULATING THE STANDARD DEVIATION OF WIND DIRECTION

Yao Zengquan Li Zhibian

(*Environmental Protection Research Institute for Electric Power,
Ministry of Energy, Nanjing*)

Abstract

Three approximate methods for real-time calculating the standard deviation of wind direction are introduced. The ultrasonic anemometer-measured data collected at four sites are analysed with these methods. By comparing the results with those from accurate method, it is found that Yamartino method is the most accurate one for real-time calculating the standard deviation of wind direction.

黄淮海及其附近地区降水资源的稳定性*

林之光 陆业传 陈玉琼

(国家气象局气象科学研究所)

提 要

本文设计三种指标,使用43个站点1951—1982年的逐月和逐日降水资料分析得出:黄淮海及其附近地区降水资源的稳定性可分为南方型、北方型和西南部型三个类型。论述了各型和全年四个季节中降水资源稳定性的时空分布特征。指出多雨区和雨季中降水资源较为稳定,少雨区和旱季中雨量少且不稳定,以及太行山东麓平原地区是本区中降水资源最不稳定的地区。

一、三种指标

本文设计了三种指标,从量、序、月、日降水量来研究降水资源的稳定性。第一种指标是平均月降水量距平百分率,它表示该月各年降水量偏离平均的程度,反映量的变化;第二种指标是月降水量的平均年际变化百分率,表示逐年之间降水量的变异程度,主要和序有关;第三种指标是日降水量 $\geq 5, 10,$ 和 20mm 平均间隔日数的平均距平,表示一定强度降水(透雨)重复出现的稳定程度,和量、序均有关系。

二、结果分析

本文共使用43个站点,1951—1982共32年资料。根据上述指标各月分布形势的相似性,把12个月归并为3—6,7—8,9—10,11—2月四个季节进行讨论。因为6月和11月虽然在温度季节上分属夏季和秋季,但在本区降水量分布形势上仍分别属于春季和冬季的缘故。

1. 平均降水量距平百分率 k_1

本指标的计算公式为:

$$k_1 = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{nx}$$

本文1989年6月22日收到,1990年1月12日收到修改稿。

* 本文系国家气象局气候基金资助项目

式中 x_i 为逐月降水量, \bar{x} 为该月累年平均降水量, \bar{d} 为降水量平均距平(mm), n 为年份。 k_1 值越大表示当地降水量偏离平均越大, 降水资源不稳定, 旱涝机率大。

(1) 各季 k_1 值分布形势

3—6月平均距平百分率 k_1 分布见图1。由图可见, 全区 k_1 最高的地区正是号称十年九春旱最严重的太行山东麓及其近平原地区, 可达40—50%之间(保定50%), 向东降到山东半岛的30%左右, 向南降到淮河的32%左右, 长江两岸春雨区仅约20%。

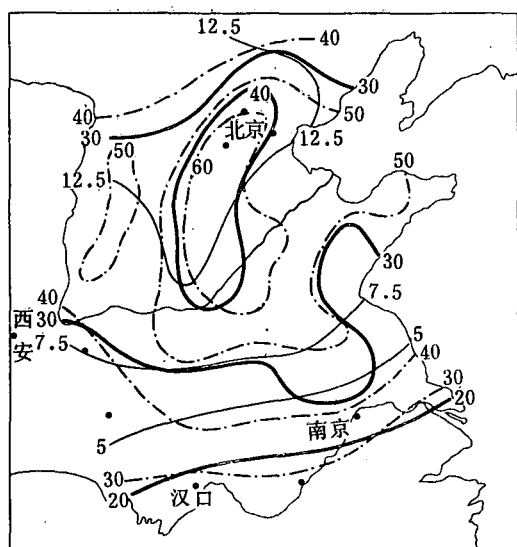


图1 3—6月平均距平百分率(粗实线), 平均年际变化百分率(点划线)和日降水量 ≥ 5 mm平均间隔日数的平均距平(细实线)

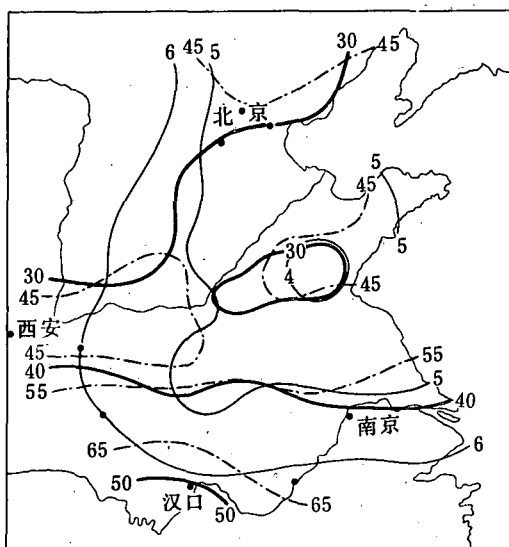


图2 7—8月平均距平百分率(粗实线), 平均年际变化百分率(点划线)和日降水量 ≥ 10 mm平均间隔日数的平均距平(细实线)

7—8月 k_1 值分布形势(见图2)基本上和3—6月相反, 最高在本区最南部江淮地区40—50%(汉口51%), 淮河以北正处雨季, 一般低于40%, 沂蒙山区和华北平原最北部甚至 $< 30\%$ 。等值线大体呈纬向分布。

9—10月全区 k_1 值分布稍不规则(图3), 大体呈经向分布。最大仍在太行山前地区, 50—58%之间(邯郸58%), 最小有两块, 分别是华西秋雨区和沪浙沿海秋雨区, k_1 均略低于40%, 西安最低为31%。全区其余广大地区 k_1 均在40—50%之间。其中淮河两岸相对其南北略低, 在40—45%之间。

冬季11—2月情况大体和春季近似。 k_1 值南小北大, 等值线又趋纬向分布。冬季阴雨的江南 k_1 值最低, 为30%以下(汉口23%), 34°N 以北的绝大部分地区在40—50%之间(图4)。

由于各季 k_1 值分布形势不一致, 有时甚至相反, 因而年雨量的 k_1 值等值线分布形势对比不很鲜明。但总的趋势仍是北大南小, 黄河以北 k_1 为20—25%, 黄淮之间约20%, 江淮之间15—20%左右。

(2) 平均距平百分率 k_1 年变化类型分区

根据本区43个台站 k_1 年变化曲线, 可以大体划分出三个主要类型(见图5)。北方型可

以北京、天津和保定三站平均为代表。南方型以武汉、安庆和南京三站平均作代表。西南部型以卢氏、西安和光化老河口三站平均为代表。

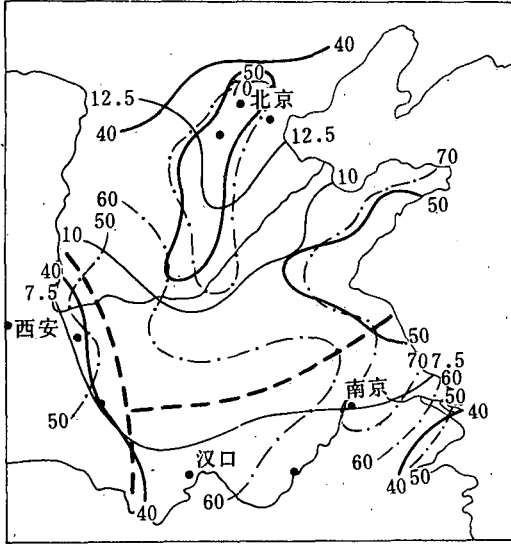


图3 9—10月平均距平百分率(粗实线),平均年际变化百分率(点划线)和日降水量≥5mm平均间隔日数的平均距平(细实线)分布

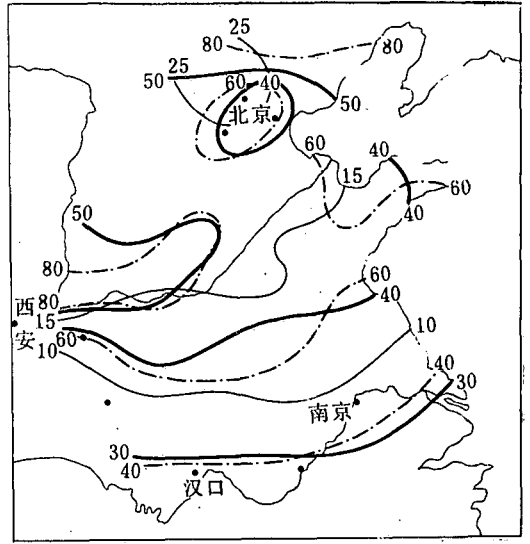


图4 11—2月平均距平百分率(粗实线),平均年际变化百分率(点划线)和日降水量≥5mm平均间隔日数的平均距平(细实线)分布

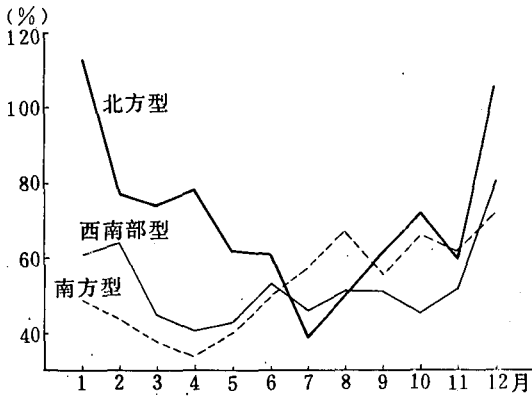


图5 南方型、北方型和西南部型平均距平百分率的年变化曲线

比较图5上三条曲线可以看出,12—6月间 k_1 值以北方型最大而南方型最小;盛夏7—8月情况正好相反,即南方型因进入伏旱反而成为最大,北方型进入雨季变为最小;9—10月大体上是北方型最大而西南部型最小,因为此时正属当地的秋雨季节。全年总的比较,以北方型最大 $k_1 = 30\%$,南方型和西南部型相近,分别为18%和17%。

2. 平均年际变化百分率 k_2

本指标反映年际之间雨量的稳定程度。因为如果一地的 k_1 较大而 k_2 较小,农业上仍可采取适当措施补救。但如果年际之间变化

亦很大且没有规律,则对农业造成的威胁就大得多。 k_2 的计算公式为:

$$k_2 = \frac{\sum_{i=1,2}^{n-1,n} |x_i - x_{i-1}|}{(n-1)\bar{x}}$$

式中符号代表的意义同前。

(1) 各季 k_2 值分布形势

从图1可以看出,全区3—6月 k_2 分布形势和 k_1 十分相似,即南方小而北方大,太行山前平原最大。 k_2 数值平均比 k_1 高10—20%左右。

7—8月 k_2 值分布亦和 k_1 值很相似,即北方小而南方大, k_2 值平均比 k_1 高15%左右(见图2)。

9—10月 k_2 分布亦呈经向分布(见图3),以西南部最小,东南次之,中部最大。 k_2 值一般比 k_1 偏高10—20%之间。值得指出的是,全区最高值却发生在山东半岛和苏北沿岸,可达75—80%左右(青岛97%),说明这里秋季雨量逐年间变化之烈,其原因是台风降水 and 气旋降水逐年间很不稳定(但长江口以南就稳定得多)。淮河两岸 k_2 和 k_1 较低的原因主要是秋季中季风雨带南撤时每年平均约在此停留一个月的缘故。

11—2月 k_2 值分布(见图4)大体又呈南小北大的纬向形势,和 k_1 分布很相似,仅数值偏高10—30%。

年雨量年际变化百分率的地区差异也不大,最大在本区北部,36°N 以北普遍在30%以上,甚至达40%(保定54%),长江两岸20—30%是全区最低值带。

(2) 年际变化百分率的年变化类型分区

和距平百分率一样,也可以归纳出前述三种主要类型(图略),仅仅在数值上要偏高10—20%而已。三种类型中,亦以北方型44%为最大,南方型和西南部型均为27%。

3. 日降水量 $\geq 5, 10, 20\text{mm}$ 的平均间隔日数的平均距平(日数) k_3

本指标的目的在于了解本区各级透雨出现的频度及透雨之间间隔的稳定性。平均距平愈大,稳定性愈差。由于透雨雨量指标不易确定,且亦随作物的季节而变化,本文中统一使用5, 10和20mm 三种指标。因为5—10mm 日雨量至少可以缓解旱情,10—20mm 雨量可以解除或大大缓和旱情。

本指标中的间隔日数是指两次大于指标降水日之间的天数。如果连续出现指标以上降水,则其间隔日数按1次0天计。该季中第一次和最后一次出现超过指标降水日之前和之后的间隔日数是这样计算的:如第一(或最后)次出现在第5日(或季末前5天),则其间隔日数为4天;如正好第一或最后一天出现,则间隔日数亦按1次0天计。这样规定是从连续性考虑,在统计年代较长情况下,各种机会均等,因此计算结果还是具有代表性的。

为节省篇幅本文仅讨论以下指标的空间分布形势:3—6月,9—10月和11—2月为 $\geq 5\text{mm}$, 7—8月为 $\geq 10\text{mm}$ 。各级指标间的比较可从表1中的6个代表站的比较中了解一个概况。

(1) 各季平均间隔日数的平均距平(k_3)分布

本区北部春旱现象十分显著,黄河以北3—6月份中平均10—15天才有一次 $\geq 5\text{mm}$ 降雨,但黄淮和江淮之间已分别缩短为5—10天和3—5天。可见淮河以南已基本无旱而属于江南春雨区的北缘了。 k_3 的分布和间隔日数(图略,下同)十分相似(其他季节亦如此,以下不再重复)。即北方大而南方小,以华北平原上太行山东麓地区为最大,可达15天左右;黄河以南降到10天以下,淮河以南更降到5天以下。

间隔日数及其距平日数分布形势的相似,说明旱区(旱季)中不仅降雨间隔日数长,且这种难得的降雨也很不稳定。华北春旱也是这样,以保定为例, $\geq 5\text{mm}$ 平均间隔日数为 16.5 天,而间隔日数的平均距平 k_3 为 15.0 天。假设距平呈正态分布,则保定将有一半年份平均要相隔 24.0 天以上才能出现第 2 次 5mm 以上降水。而春雨区的武汉一半年份中仅相隔 5.3 天以上即有第二次 $\geq 5\text{mm}$ 的降水。

7—8 月是秋收作物的关键生长期,其降水量的稳定性对农业影响也是很大的。7—8 月 $\geq 10\text{mm}$ 的 k_3 分布在黄淮海平原地区上是呈南高北低形势(见图 2);淮河以北地区均在 4—5 天之间,其中以迎风的沂蒙山区约 4 天左右为最低。汉水长江两岸高达 6 天左右。但从图 2 上还可看出中、北部地区西高东低的趋势也很清楚;东部沿海 4—5 天左右而汾河河谷及以西经度已升到 6 天以上,西安高达 7.7 天。这就表明夏季风湿润气流经过太行山和豫西山区后已变得较不稳定了, $\geq 20\text{mm}$ 以上的强降水则更不稳定了。

9—10 月平均距平日数 k_3 分布(见图 3)。京津地区 $\geq 5\text{mm}$ 为 14 天左右,黄河两岸 10 天上下,淮河一带为 9 天左右。值得指出的是,本区最西南部 $\geq 5\text{mm}$ 距平日数明显地比同纬度东部地区偏小,但 $\geq 10\text{mm}$ 以上的偏低趋势开始变得不明显,这说明豫西和晋西南秋雨季中主要以小雨居多。

表 1 $\geq 5, 10, 20\text{mm}$ 各级降水强度的平均间隔日数及其平均距平日数

型名		站名	3—6 月	7—8 月	9—10 月	11—2 月
$\geq 5\text{mm}$	北方型	北京	15.3, 14.6	3.4, 2.9	17.2, 14.7	25.5, 25.3
		保定	16.5, 15.0	3.5, 3.3	17.3, 14.5	24.2, 24.2
	西南部型	西安	9.0, 7.2	5.3, 5.1	6.4, 6.6	9.8, 10.7
		卢氏	8.5, 7.5	4.0, 3.8	7.5, 7.6	12.1, 13.3
	南方型	汉口	3.5, 3.5	5.3, 5.3	7.3, 7.6	8.3, 8.6
		安庆	3.2, 3.0	4.8, 5.0	7.0, 7.0	7.7, 8.1
$\geq 10\text{mm}$	北方型	北京	27.3, 26.0	4.8, 4.2	26.5, 21.6	41.7, 39.6
		保定	27.5, 26.1	4.9, 4.3	28.4, 22.2	35.9, 34.6
	西南部型	西安	15.7, 11.8	8.7, 7.7	11.4, 11.1	17.9, 18.8
		卢氏	15.9, 14.2	6.1, 5.5	14.0, 13.7	22.3, 23.0
	南方型	汉口	5.5, 4.8	7.3, 6.9	12.3, 11.2	15.3, 14.3
		安庆	4.9, 4.4	6.5, 6.4	11.8, 10.8	13.3, 12.9
$\geq 20\text{mm}$	北方型	北京	45.9, 41.3	7.6, 6.4	41.7, 30.0	61.7, 48.4
		保定	44.8, 40.9	8.0, 6.6	56.7, 32.0	64.9, 50.5
	西南部型	西安	40.4, 24.1	16.2, 13.4	26.0, 22.1	38.6, 35.8
		卢氏	36.7, 25.6	11.9, 10.1	33.5, 27.8	53.9, 45.8
	南方型	汉口	10.5, 8.2	11.2, 10.3	23.5, 18.8	32.9, 27.0
		安庆	9.1, 7.4	10.1, 8.6	22.6, 19.0	28.1, 23.2

11—2 月间隔日数的平均距平日数 k_3 分布(见图 4)华北平原最北部为最高,约 25 天左右,黄淮之间 10—15 天,淮南已在 10 天以下,纬向分布很明显。

(2) 间隔日数平均距平日数 k_3 的年变化

表1中以北京、保定、卢氏、西安和汉口、安庆分别代表北方型、西南部型和南方型，列出了 ≥ 5 、10和20mm各级降水强度日发生的平均间隔日数(左)及其平均距平日数(右)。综合表1可以看出：

1) 在各级雨强情况下，北方型和西南部型全年均以夏季7—8月为最稳定，冬季为最不稳定；南方型虽亦以冬季为最不稳定，但却以春季为最稳定。可见，本指标各型的年变化规律大体上和平均距平百分率 k_1 及平均年际变化百分率 k_2 的年变化规律都是一致的。

2) 随着降水指标强度的提高，平均间隔日数和它的平均距平日数数值的递增速度不同，以雨季最慢而干季最快。以3—6月为例，南方型为雨季，只不过从(3.4, 3.3天)增加到(9.8, 7.8天)，而北方型此时正值干季，竟从(15.9, 14.8天)增加到(45.2, 41.1天)。其他季节也有类似情况。当然，增加速度也因雨旱强度不同而有变化。例如西南部型的9—10月，由于这里秋雨雨强较小，所以 ≥ 5 mm级的平均间隔日数及其平均距平日数尚比南方型略小，但随着指标强度的提高，其递增速度却很快，因此 ≥ 20 mm级中，西南部型就反而比南方型不稳定多了。

STABILITY OF PRECIPITATION RESOURCES IN HUANG-HUAI-HAI RIVER AREA AND ITS SURROUNDING AREA

Lin Zhiguang Lu Yezhuan Chen Yuqiong

(Academy of Meteorological Science, SMA)

Abstract

Based on the 1951—1982 monthly and daily precipitation data at 43 stations, the three indices, i. e. mean anomaly percentage, mean interannual change percentage, and mean anomalies of mean interval days with daily precipitation greater than 5, 10 and 20 mm, are presented to study the stability of precipitation resources in Huang-Huai-Hai river area and its surrounding area. It can be divided into three types, northern, southern, and southwestern. Meanwhile, the characteristics of the stability in temporal and spatial distributions are also discussed for each type and each season.