

空间结构函数在北京地区气象观测站网设计中的应用^{*}

赵瑞霞¹⁾²⁾³⁾ 李 伟²⁾³⁾⁴⁾ 王玉彬⁵⁾ 付 强⁶⁾

¹⁾(国家气象中心,北京 100081) ²⁾(中国科学院大气物理研究所 LASG 实验室,北京 100029)

³⁾(中国科学院研究生院,北京 100039) ⁴⁾(中国气象局大气探测技术中心,北京 100081)

⁵⁾(北京市气象局,北京 100089) ⁶⁾(民航北京气象中心,北京 100621)

摘 要

通过统计 1978—2000 年北京东南低地形区有关台站在春季、夏季、秋季、冬季的逐日平均气温和水汽压的结构函数,分季节分析了该地区这两个二类气象要素的线段及平面内插精度和台站间距的对应关系,并根据内插标准误差不超过观测标准误差的原则,对上述两要素在北京东南低地形区的合理布站方案及间距进行了估算,可以为 2008 年北京奥运会气象服务系统建设中气象台站布网建设提供一定的依据。结果表明,正三角形排列方案为北京东南地区二类气象台站的最佳布站方案,且布站精度应小于等于 16 km。

关键词: 结构函数; 观测随机标准误差; 内插标准误差; 最大容许误差; 最大容许距离

引 言

气象台站资料的使用过程中,常常需要进行内插处理,对应于一定的内插精度,气象台站必须达到相应的密度,这是气象台站布网的科学依据之一。1946 年, Drozdov^[1]的研究中指出,气象要素的线性内插标准误差,只与该要素的结构函数有关。因此,结构函数被广泛用于气象台站网的合理分布研究^[2-7]。

根据世界气象组织规定^[5-6],按照观测内容和项目的不同,气象台站可划分为密度不同的 3 个等级。第一类台站间距最大,主要用来观测气压、土壤温度和日照时数;第二类台站间距居中,主要用来观测气温、相对湿度以及风速、云量等;第三类台站的间距最小,主要用来观测降水、积雪以及各种天气现象。

本文主要利用结构函数讨论北京地区的合理布站问题,所研究要素为气温和水汽压,属于第二类气象要素。北京地区西北为高地形区,东南为低地形区,为了保证以上两要素的结构函数满足均匀性和

各向同性的条件,主要对东南低地形区的结构函数、内插误差以及布站方案进行研究,并给出对全区情况的讨论。

1 原理与方法

Gandin^[3]的研究指出,对于大多数气象要素来说,点值内插的标准误差数值不应超过观测标准误差的数值。不论是线段内插还是平面内插,从实际观测资料统计得到的结构函数出发,可以得到观测随机标准误差的估计值,以及不同排列方案内插标准误差的空间分布,根据内插标准误差不超过观测标准误差的原则,就可以通过统计区域的结构函数来确定区域的合理布站方案和间距。文献^[1-7]中详细给出结构函数的计算方法、观测随机误差与结构函数的关系以及线段和平面内插误差与结构函数的关系,以下简要介绍本文计算中所用到的公式。需要说明的是,与以上文献略有不同,本文通过比较各种回归方案,选取最优回归方案来表述实测资料的结构函数与距离的关系,而不是像以上文献中单

* “不利气象条件对公路安全影响机理及对策研究”项目(2004DIB3J100)与北京市科技计划重大项目“奥运会气象保障技术试验与研究”(H020620190091)共同资助。

2005-09-05 收到,2006-09-28 收到再改稿。

纯采用“绘制对应曲线图”的方法,增加了计算分析结果的客观性。

1.1 结构函数

结构函数表征变量在空间不同点间的离散程度。以下分别给出平面上两点间及某一区域的结构函数的算法,从其中可以更进一步看出它所表征的物理意义。

首先,若以 $f'(A), D_f(A), S_f(A, B)$ 分别表示要素 f 在 A 点的距平、方差以及 A, B 两点的协方差函数,则要素 f 在 A, B 两点间的结构函数为:

$$b_f(A, B) = \overline{[f'(A) - f'(B)]^2} \quad (1)$$

也可以推导得出 $b_f(A, B)$ 与 $D_f(A), S_f(A, B)$ 的关系式:

$$b_f(A, B) = D_f(A) + D_f(B) - 2S_f(A, B) \quad (2)$$

可见,要素 f 在 A, B 两点间的结构函数主要决定于要素在 A, B 两点各自的时间变化幅度及两点间的相关性。

而区域的结构函数 $b_f(l)$ 的算法如下:首先,由式(1)计算区域内每对台站的结构函数 $b_f(A, B)$,并由式(3)计算其相应的距离 l ,式(3)中 φ, λ 为各点的纬度和经度, $\rho = 6371.229$ km 为地球半径。如果区域内共有 m 个台站,则总共可以得到 $m(m-1)/2$ 对结构函数值 b_f 和相应的距离 l ,从而利用这 $m(m-1)/2$ 对数据,便可求得结构函数对于距离的回归曲线函数 $b_f(l)$,表示该区域的结构函数与距离的关系。

$$l = \rho \sqrt{2 - 2\sin\phi_A \sin\phi_B - 2\cos\phi_A \cos\phi_B \cos(\lambda_A - \lambda_B)} \quad (3)$$

1.2 观测随机误差的估算

气象要素的观测误差包括系统误差和随机误差,使用偏差来计算各特征函数,可以消除系统误差。假设某区域内的结构函数满足均匀性和各向同性的条件,且各点的观测随机误差(以下简称观测误差)相等,若 A, B 两点的距离为 l ,则有:

$$b'_f(l) = b_f(l) + 2\sigma_f^2 \quad (4)$$

式(4)中, $b'_f(l)$ 表示采用实际观测资料计算得到的结构函数, σ_f^2 为观测标准误差。可见,由实际观测资料计算的结构函数比式(1)中的理论值高一些。当 $l = 0$ 时,有 $b_f(0) = 0$,所以观测标准误差可表示为:

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{2} b'_f(0) \quad (5)$$

所以,只要把以实际观测资料计算得到的结构函数

曲线外推到零距离,就可以获得观测随机标准误差的估计值。

1.3 内插标准误差与结构函数的关系

线段内插标准误差可以表示为:

$$E = b_f\left(\frac{l}{2}\right) - \frac{1}{4} b_f(l) + \frac{1}{2} \sigma_f^2 \quad (6)$$

由式(4)、(5)可得,

$$E = b'_f\left(\frac{l}{2}\right) - \frac{1}{4} b'_f(l) - \frac{1}{2} b'_f(0) \quad (7)$$

平面内插包括正三角形和正方形内插。如果台站按照正三角形排列,对边长为 l 的正三角形的中心进行内插,其内插标准误差与实测资料的结构函数的关系可以表示为:

$$E = b'_f\left(\frac{l}{\sqrt{3}}\right) - \frac{1}{3} b'_f(l) - \frac{1}{2} b'_f(0) \quad (8)$$

如果台站按照正方形排列时,对边长为 l 的正方形中心进行内插的标准误差表达式为:

$$E = b'_f\left(\frac{l}{\sqrt{2}}\right) - \frac{1}{4} b'_f(l) - \frac{1}{8} b'_f(l\sqrt{2}) - \frac{1}{2} b'_f(0) \quad (9)$$

利用式(7)~(9),便可以由实测资料统计得到的结构函数来计算不同距离下的 E, \sqrt{E} 值,并绘制相应的关系曲线。由这些图表,可以推算不同站网密度(间距)的线性内插误差,也可以根据不同的内插精度要求来设计新网站的密度。

1.4 最大容许误差和最大容许距离

同一站距下,不同月份的内插误差之间存在很大差别,如何确定适用于不同季节的最大容许误差,并据此推算适用于不同季节的最大容许距离呢? Gandin^[3]的研究结果认为,对于大多数气象要素,点值内插的标准误差数值不应超过观测标准误差的数值。一般情况下,最大容许误差可通过式(6)中右边前两项的数值不超过观测标准误差来确定^[4-6],由此可以得到,

$$E \leq \frac{3}{2} \sigma_f^2 \quad (10)$$

所以,由

$$E_{\max} = \frac{3}{2} \sigma_f^2 = \frac{3}{4} b'_f(0) \quad (11)$$

计算所得的 E_{\max} ,通常便作为最大容许误差的指标,对应于此最大容许误差的站距 l_{\max} (当 $E = \frac{3}{2} \sigma_f^2 = \frac{3}{4} b'_f(0)$ 时),即作为确定站网合理间距的依据。

2 研究区域和资料

本文的研究范围是北京地区,主要集中于 $39.7^{\circ} \sim 40.7^{\circ} \text{N}$, $115.7^{\circ} \sim 117.1^{\circ} \text{E}$,其地形及所选台站的分布如图 1 所示,西北地区地形较高,东南地区地形较低,为了更好地使其结构函数满足均匀性和各向同性的要求,本文主要对北京东南低地形区海拔高度介于 $29 \sim 93 \text{ m}$ 的 14 个台站进行分析。另外,对于图 1 所示全区 的 20 个台站也进行了整体分析。

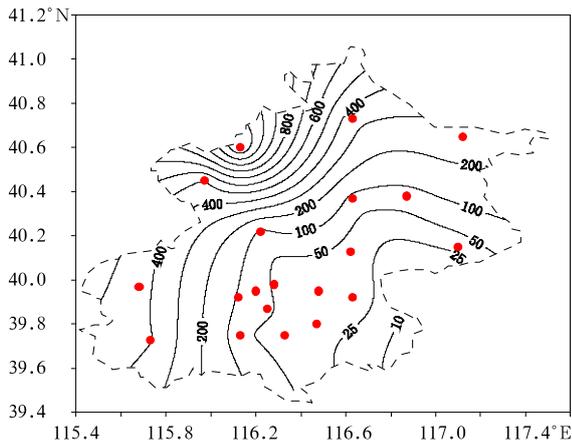


图 1 北京地区边界(虚线)、地形高度(实线,单位:m)及台站(实心圆点)分布

Fig. 1 The outline (dashed line), the topographic altitude of Beijing (solid line, unit: m) and the location of the observation stations (thick dots)

文章研究的要素为逐日平均气温(以下简称气温)和逐日平均水汽压(以下简称水汽压)。观测资料来自于北京市气象局气候中心资料室,已对该资料进行了较为严格的数据质量控制^[8-11],通过历史气候统计阈值比较以及时间连续性和空间一致性比较等方法,增强了此观测数据的可信度。为了分别研究冬季、春季、夏季和秋季的情况,选取了以上 14 个台站 1978—2000 年 1,4,7,10 月的资料作为代表。在各月的序列中,每隔两天挑选一天的资料作为计算样本,以免相邻的观测数据过分相关。

3 计算结果

本文统计了北京东南地区 1978—2000 年 1,4,7,10 月气温和水汽压的结构函数,并通过结构函数进一步分析了气温和水汽压的观测随机标准误差,以及线段和平面内插精度与台站间距的对应关系。然后,根据内插标准误差不超过观测标准误差的原则,估算了上述两要素在北京东南低地形区的最大容许误差和最大容许距离,讨论了北京低地形区二类气象要素的合理布站方案及间距。

3.1 结构函数

图 2 为 1978—2000 年 1,4,7,10 月北京东南低地形区日均气温和日均水汽压的结构函数与距离的关系曲线。由图可见,不论气温还是水汽压,其结构函数均随着距离的增加而增大,基本接近于线性,而

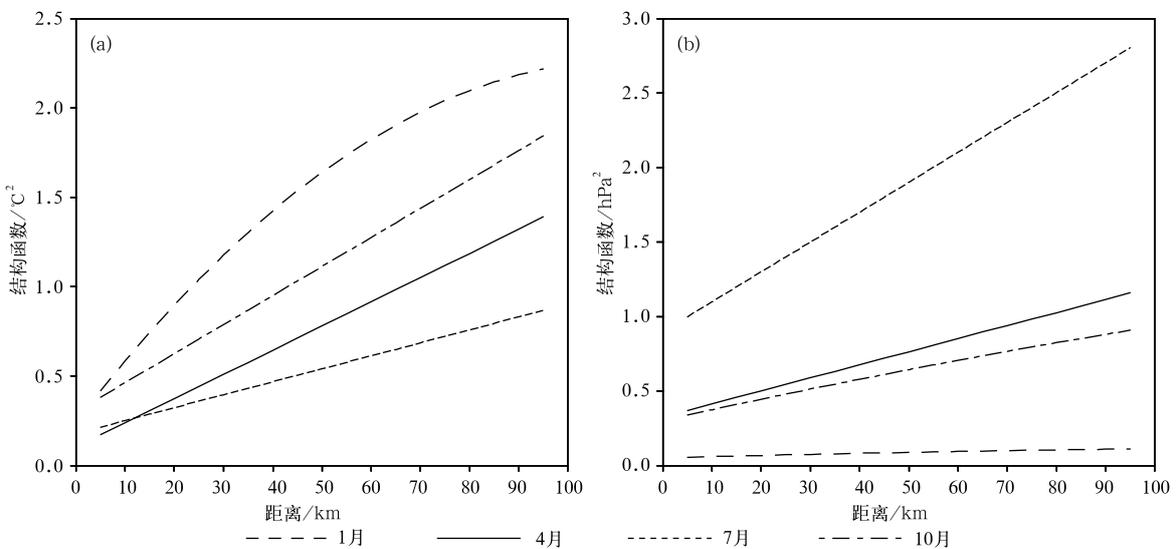


图 2 北京东南低地形区 1978—2000 年 1,4,7,10 月日平均气温(a)和日平均水汽压(b)的结构函数与距离的关系
Fig. 2 The spatial structure functions of daily average air temperature (a) and water vapor pressure (b) varying with the distance between stations over the southeast Beijing for different seasons during 1978 to 2000

且随着季节有极大的变化。就气温而言,其结构函数由大到小的顺序为:1月、10月、4月、7月,这主要是由于北京冬季及秋季气温的时间变幅及空间梯度较大,而春季及夏季气温的时间变幅及空间梯度相对较小而造成的。有趣的是,水汽压的结构函数随季节的变化几乎与气温完全相反,顺序从大到小依次为7月、4月、10月、1月,说明北京地区水汽压的时间变幅及空间梯度的季节分布与气温恰好相反,夏季水汽压的时间变幅及空间梯度最大,春季较大,秋季较小,冬季最小。

在此,也给出统计所得的气温和水汽压的结构函数对于距离的各个回归方程,如表1所示。在回归方程中,考虑到结构函数的物理意义,以及由式

(5)所确定的对由实测资料计算所得的结构函数的限制条件,即 $b'_f(0) > 0$,只统计比较了线性、二次、三次、指数及e指数几种回归方案,且为了便于讨论,在回归相关系数接近的情况下,尽量采用了线性、二次、三次回归方案。由表1可见,气温和水汽压的结构函数对于距离的最优回归方程为一次或二次多项式,大部分为线性,二次回归方程也基本上接近于线性,二次项的系数接近于零。

在计算中需要注意的是,一次和二次方程的回归系数必须保持足够的精度,否则会造成很大的误差,尤其是二次回归方程中的二次方系数,其精度的改变会改变图2中的曲线形状。因而,从实际情况出发,表1中各系数的精度选取有所不同。

表1 北京东南低地形区1978—2000年1,4,7,10月日平均气温和水汽压的结构函数对于距离的回归方程
Table 1 The equations of regressed spatial structure functions of daily average air temperature and water vapor pressure to the distance between stations over the southeast Beijing for different seasons during 1978 to 2000

月份	结构函数回归方程	
	气温	水汽压
1月	$b'_f = 0.24340 + 0.03590l - 1.59 \times 10^{-4}l^2$	$b'_f = 0.05078 + 0.00087l - 2.389 \times 10^{-6}l^2$
4月	$b'_f = 0.10440 + 1.353 \times 10^{-3}l$	$b'_f = 0.32700 + 0.00880l$
7月	$b'_f = 0.17940 + 0.00724l$	$b'_f = 0.89940 + 0.02000l$
10月	$b'_f = 0.30262 + 0.01622l$	$b'_f = 0.30300 + 0.00730l - 1.00 \times 10^{-5}l^2$

3.2 内插误差与距离的关系

由表1可知,北京东南低地形地区气温和水汽压的结构函数的各回归方程均为一次或二次多项式回归方程,若将其方程表示为:

$$b'_f = A + Bl + Cl^2 \quad (12)$$

其中A,B,C为各回归方程的回归系数。将式(12)代入式(7)~(9),便可得到以下各式,它们直接给出了内插标准误差与距离的关系:

线段中点内插:

$$E = \frac{1}{4}A + \frac{1}{4}Bl \quad (13)$$

正三角形中心内插:

$$E = \frac{1}{6}A + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{1}{3}\right)Bl \quad (14)$$

正方形内插:

$$E = \frac{1}{8}A + \frac{3-\sqrt{2}}{4\sqrt{2}}Bl \quad (15)$$

可以看到,3种内插方案的内插标准误差与距离的关系亦为线性关系。

将表1中的各系数代入式(13)~(15)中,便可得到北京地区各季节气温和水汽压在3种布站方案下的内插标准误差的具体表达式(与距离的关系),

这里不再给出。从而也可以绘出内插标准误差与距离的关系曲线(图3、图4)。

由图3可知,对于气温来说,在距离较小时,正方形中心内插的精度最大,线段内插的精度最小,而当距离大于某一临界值 R_0 时,三角形中心内插的精度最大。对于水汽压来说(见图4),则平面内插(包括三角形中心内插及正方形中心内插)的精度总是高于线段内插;而且就平面内插而言,当小于一定临界距离 R_0 时,正方形排列方案的内插精度高于正三角形排列;而大于临界距离 R_0 时,三角形排列方案精度更高。以上临界距离 R_0 均随季节的不同而变化。参照表2可知,在距离满足点值内插标准误差小于观测标准误差的范围时,不论气温还是水汽压,三角形排列方案的内插精度最高。

不论是何种排列方案,一般情况下,气温及水汽压的内插精度均有很大的季节差异。对于气温来说,内插误差从大到小的季节排列为冬、秋、春、夏,这与前面结构函数分析中的情况是一致的,原因也是一样的,也就是说,北京冬季及秋季气温的时间变幅及空间梯度较大,而夏季及春季较小,因而在同样站距下,冬季、秋季的内插误差就大于春季及夏季。对于水汽压来说,内插误差从大到小的季节排

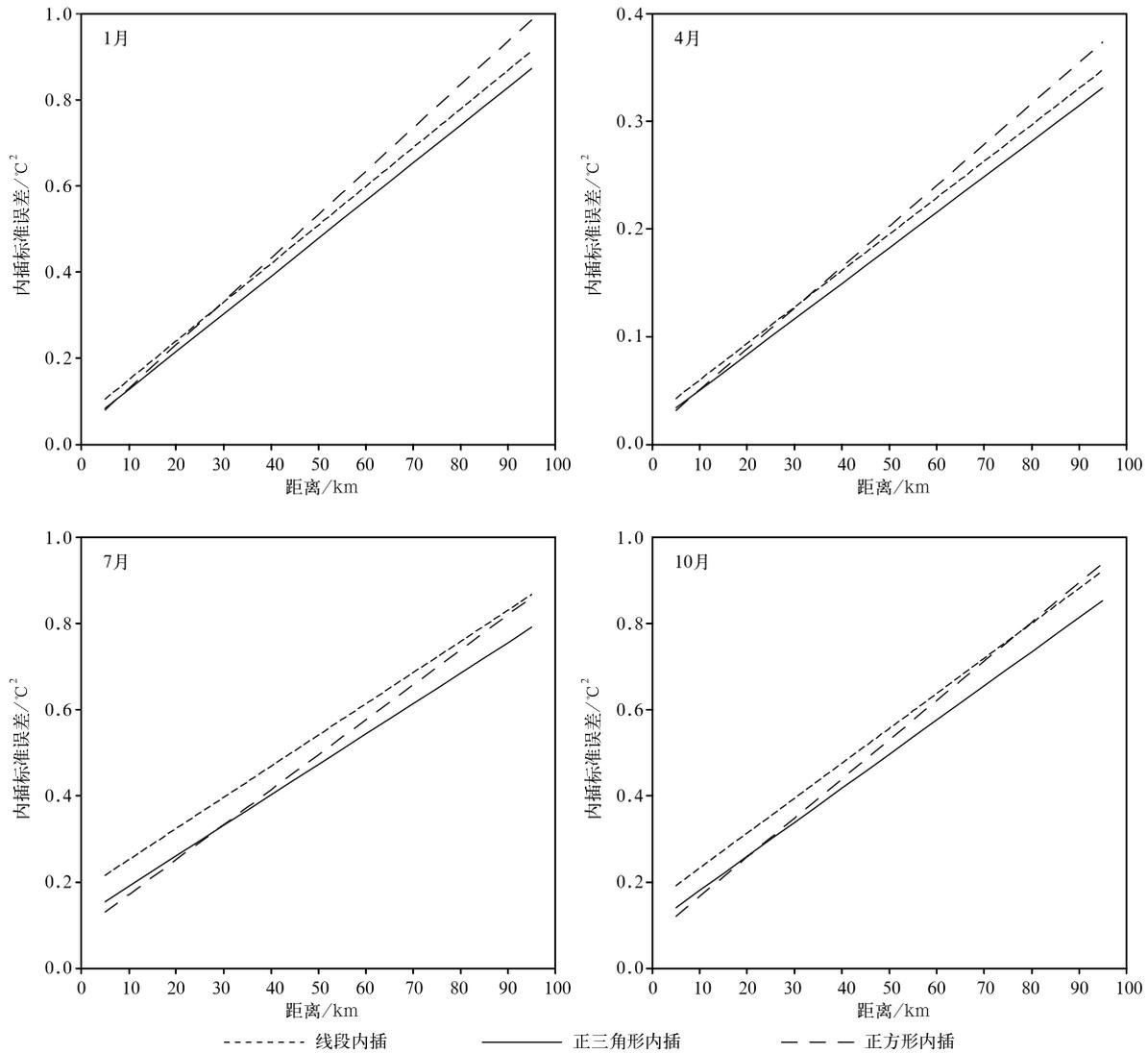


图3 北京东南低地形区 1978—2000 年 1,4,7,10 月日平均气温在 3 种布站方案下的内插标准误差与距离的关系
 Fig.3 The interpolation error of daily average air temperature for linear, equilateral triangle and equilateral rectangle distributing schemes varying with the distance between stations over the southeast Beijing for different seasons during 1978 to 2000

列顺序为夏、春、秋、冬,正好与气温的情况相反,这也与前面提到的一致,说明北京夏季及春季水汽压的时间变幅及空间梯度较大,而冬季及秋季较小。

3.3 最大容许误差及其对应的距离

由于北京地区气温和水汽压的结构函数的各回归方程均为一次或二次多项式,所以由式(11)~(15),可以得到北京地区最大容许误差及最大容许距离的表达式:

最大容许误差:

$$E_{\max} = \frac{3}{4}A \tag{16}$$

线段中点内插最大容许距离:

$$l_{\max} = \frac{2A}{B} \tag{17}$$

正三角形中心内插最大容许距离:

$$l_{\max} = \frac{\sqrt{3}A}{4(3-\sqrt{3})B} \tag{18}$$

正方形中心内插最大容许距离:

$$l_{\max} = \frac{5A}{(3\sqrt{2}-2)B} \tag{19}$$

由以上各式,结合表1,便可计算北京低地形区各代表月份气温及水汽压在不同布站方案下的最大容许误差及最大容许距离(表2)。

由表2可知,北京低地形区气温和水汽压的最大容许误差及最大容许距离均随季节有很大的变化。气温的最大容许内插距离冬季最小,春季、秋季、夏季依次增大,由3.2节知,北京气温内插误差从小到大

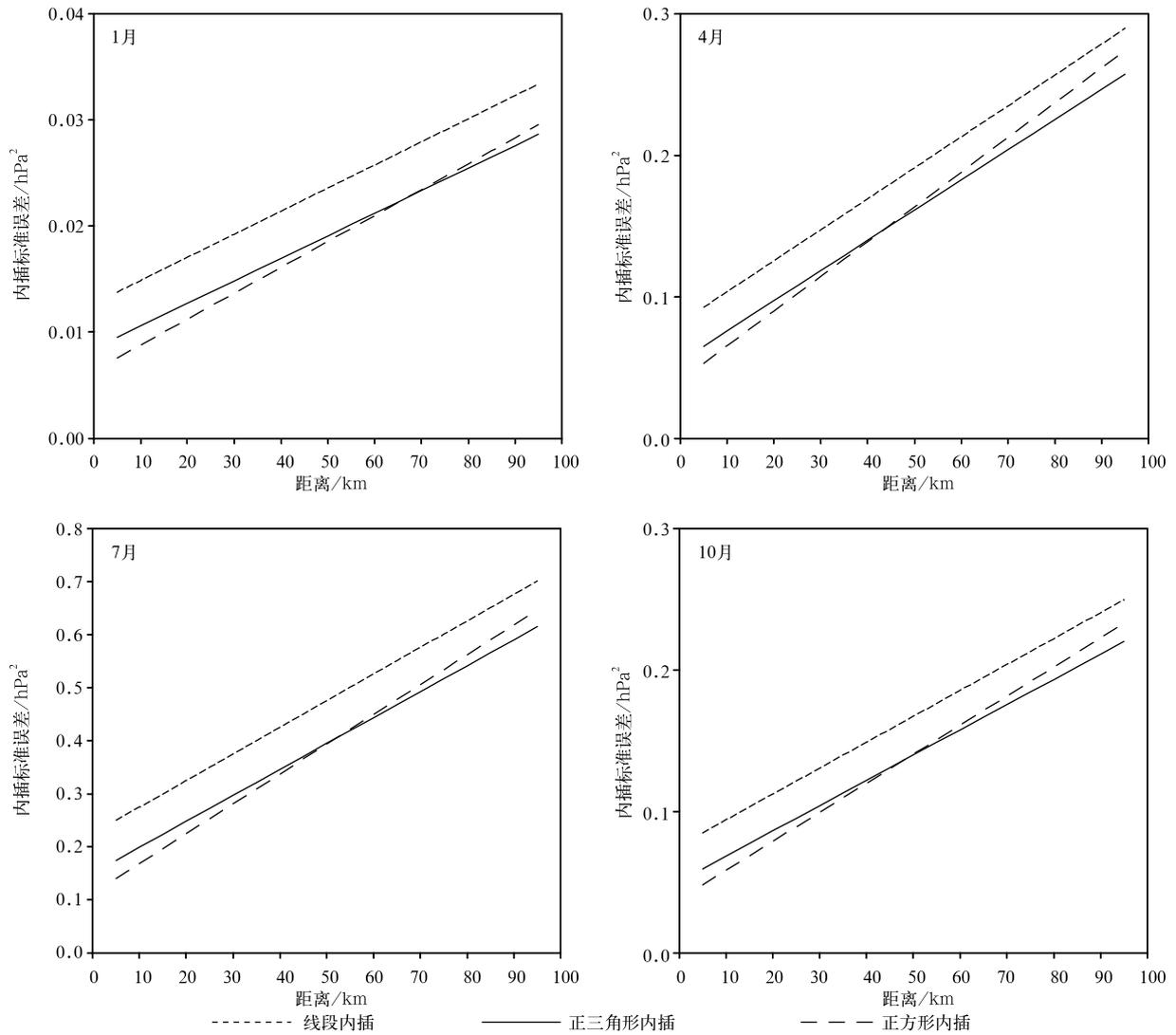


图 4 北京东南低地形区 1978—2000 年 1,4,7,10 月日平均水汽压在 3 种布站方案下的内插标准误差与距离的关系

Fig. 4 The interpolation error of daily water vapor pressure for linear, equilateral triangle and equilateral rectangle distributing schemes varying with the distance between stations over the southeast Beijing for different seasons during 1978 to 2000

表 2 北京低地形区 1978—2000 年各代表月份气温及水汽压在不同布站方案下的最大容许误差及最大容许距离
Table 2 The maximum admissible error and maximum admissible spacing of daily average air temperature and water vapor pressure for different distributing schemes over the southeast Beijing for different seasons during 1978 to 2000

要素	月份	E_{\max}	$\sqrt{E_{\max}}$	对应的距离/km		
				线段内插	正三角形内插	正方形内插
气温/ $^{\circ}\text{C}$	1 月	0.183	0.427	13	16	15
	4 月	0.078	0.280	15	18	17
	7 月	0.135	0.367	49	59	55
	10 月	0.227	0.476	37	44	41
水汽压/hPa	1 月	0.038	0.195	112	134	125
	4 月	0.245	0.495	74	88	82
	7 月	0.675	0.821	89	107	100
	10 月	0.227	0.477	83	99	92

的季节排列为夏、春、秋、冬,可见它们的排列顺序基本上是相反的,内插误差越大,则最大容许距离越小,只是秋天的最大容许误差要比其他季节格外大一些,导致秋天的最大容许距离反而比春天更大一些。水汽压的最大容许距离的季节变化也很大,春季最小,冬季最大,与气温一样,这也是由不同季节下水汽压不同的内插精度和最大容许误差决定的,也即决定于该要素的时间变幅、空间梯度以及观测随机标准误差。

由表2还可以看出,在满足点值内插标准误差小于观测标准误差条件下,正三角形排列方案的最大容许内插距离最大,所以最好采取正三角形布站方案。若采取正三角形排列方案,则在北京东南低地形区,气温的要求布站精度为小于等于16 km,水汽压为小于等于88 km。

按照世界气象组织规定,气温和水汽压属于第二类气象观测台站的观测要素。综上所述,根据这两个要素的分析结果,对于北京东南低地形区的第二类气象台站,最好采用正三角形排列方案,而且布站精度应小于等于16 km。

4 结论与讨论

1) 统计分析了1978—2000年1,4,7,10月北京东南低地形区气温及水汽压的结构函数,它们的回归方程大多数为线性函数,也有二次方程,不过二次项系数很小,接近于线性;在研究空间范围内,各结构函数均随距离的增加而增大,且随季节变化有很大变化,对于气温,其从大到小的顺序为:1,10,4,7月份,而对于水汽压其顺序则正好相反,说明北京东南地区气温的空间梯度在冬季最大,秋季次之,春季较小,夏季最小,水汽压则相反。

2) 气温及水汽压内插误差的季节分布顺序与结构函数的季节分布相一致。另外,在距离满足内插标准误差小于观测标准误差的范围时,不论气温还是水汽压,在4个季节中,正三角形排列方案的内插误差均最小。

3) 北京东南低地形区气温及水汽压的最大容许误差及最大容许距离也随季节及排列方案的不同而不同,但不论哪个季节,在满足内插标准误差小于观测标准误差的条件下,正三角形排列方案的最大容许距离最大,所以最好采用正三角形布站方案,此时,气温的布站精度要求小于等于16 km,水汽压则要求小于等于88 km。所以若以这两个要素为准,则

北京东南低地形区的二类气象台站最好采用正三角形排列方案,且布站精度应小于等于16 km。

所选20个台站中,西北高地形区6个台站的海拔高度介于286~490 m(图1),由于台站数目较少,未对高地形区进行单独分析。不过,20个台站中最高台站的拔海高度也只有490 m,若假设其结构函数满足均匀性及各向同性的要求,则可以就20个台站所覆盖范围的布站方案进行讨论。

经分析表明,对于北京全区,当距离满足点值内插标准误差小于观测标准误差的范围时,不论气温还是水汽压,三角形排列方案的内插精度最高,而且最大容许距离也最大,所以应采用正三角形布站方案;若采用正三角形布站方案,则1,4,7,10月气温最大容许距离分别为4.14,40.51,8.46,25.09 km,水汽压最大容许距离分别为50.20,21.80,65.30,15.28 km。可见,若以全区统一布站,北京地区二类气象台站的布站精度需小于等于4 km。

这与二类台站的布站精度要求不一致,所以北京地区二类台站的布站方案应该分高、低地形区分别进行设计,否则会造成浪费。

参考文献

- [1] Drozdov O A, Shepelevskii A A. The theory of interpolation in a stochastic field of meteorological elements and its application to meteorological elements and its application to meteorological map and network rationalization problems. *Trudy Niu Gugms Series* 1, 1946: 13.
- [2] Czelnai R F, Desi F, Rakoczi F. On the determination of the temperature measuring network. *Idojaras*, 1963, 67: 129-136.
- [3] Gandin L S. The Planning of Meteorological Station Networks (Technical Note No. 111). WMO No. 265, 1970, Geneva.
- [4] Mooley D A, Mohamed Ismail. P M. Structure functions of rainfall field and their application to network design in the tropics. *Arch Me Geoph Biok (Ser B)*, 1982, 30: 95-105.
- [5] 杨贤为,何素兰. 江淮平原二类气象站网的设计. *气象学报*, 1987, 45(1): 104-110.
- [6] 卢文芳,王永华. 空间结构函数在上海地区气象站网设计中的应用. *南京气象学院学报*, 1989, 12(3): 325-332.
- [7] 于杰,曾文华,王建刚. 中国东南地区气象要素场线性内插标准误差初步分析. *解放军理工大学学报(自然科学版)*, 2003, 4(5): 95-99.
- [8] 周尚河. 全国高空资料质量控制和建库方法的研究. *应用气象学报*, 2000, 11(3): 364-370.
- [9] 张强,郭发辉,许松. 全球地面天气报资料质量控制和数据集特征分析. *应用气象学报*, 2004, 15(增刊): 121-127.
- [10] 王伯民. 基本气象资料质量控制综合判别法的研究. *应用气象学报*, 2004, 15(增刊): 50-59.
- [11] 吴增祥. 气象台站历史沿革信息及其对观测资料序列均一性影响的初步分析. *应用气象学报*, 2005, 16(4): 461-467.

The Application of Spatial Structure Functions to the Design of Weather Station Networks in the Beijing Area

Zhao Ruixia¹⁾²⁾³⁾ Li Wei²⁾³⁾⁴⁾ Wang Yubin⁵⁾ Fu Qiang⁶⁾

¹⁾ (National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

²⁾ (State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

³⁾ (Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

⁴⁾ (Atmospheric Observation Technology Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

⁵⁾ (Beijing Municipal Meteorological Bureau, Beijing 100089)

⁶⁾ (Beijing Meteorological Center of Civil Aviation Administration of China, Beijing 100621)

Abstract

Using the data of daily air temperature and water-vapor pressure from 1978 to 2000 over the southeast Beijing, the spatial structure functions of the two elements are regressed for different seasons. Furthermore, based on the structure functions, the relationships between the error of linear and plane interpolation and distance are established. Finally, according to the principle that the standard error of interpolation should not exceed the standard error of observation, the maximum admissible spacing between stations of second group meteorological networks have been estimated over the area.

It is found that the equilateral triangle distributing is the best scheme to use, and the distance between stations should be less than 16 km. Firstly, the regressed spatial structure functions to the distances of the air temperature and water-vapor pressure are linear or close to linear. Over the southeast Beijing, the spatial structure functions increase monotonously with the distances, and have different values in different seasons. The season sequences in which the spatial structure functions of air temperature varies from largest to least are winter, autumn, spring and summer, and they are just opposite for the structure functions of water-vapor pressure. It illustrates that the temperature gradient is largest in winter, least in summer, and larger in autumn than in spring over the southeast Beijing, and the water-vapor pressure gradient varies from the largest to the least sequentially in summer, spring, autumn and winter, just oppositely to the condition of temperature gradient. The standard error of interpolation, maximum admissible error, and maximum admissible spacing all vary with seasons and distributing schemes, and the season sequences according to the standard error values is the same with that for the structure functions. When the standard error of interpolation is less than the standard error of observation, in all seasons, the equilateral triangle distributing has the least interpolation error, the largest maximum admissible error and admissible spacing between stations for the both elements. So the equilateral triangle distributing is the best scheme to use. With this distributing scheme, the distance between stations should be less than 16 km for temperature and 88 km for water-vapor pressure. So in a word, based on these two elements, the equilateral triangle distributing is the best scheme to use, and the distance between stations should be less than 16 km for the second group meteorological networks over the southeast Beijing.

Further investigation shows that if consider the northwest high altitude region together with the southeast low lying region of Beijing, the equilateral triangle distributing is still the best scheme, but the distance between stations should be less than 4 km for the second group meteorological networks over the whole Beijing region. This is not consistent with the request of the second group meteorological networks. So the second group meteorological networks over the southeast and northwest region of Beijing should be designed separately, or some resource would be wasted.

Key words: structure function; standard error of observation; standard error of interpolation; maximum admissible error; maximum admissible spacing