

文章编号:1007 - 7588(2005)05 - 0173 - 07

气象要素空间化方法精度的比较研究 ——以平均气温为例

蔡 福¹, 于贵瑞², 祝青林¹, 何洪林², 刘新安^{1,2}, 李正泉², 郭学兵²

(1. 沈阳农业大学应用气象系, 沈阳 110161;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要:以国家气象局 1971 年~2000 年 30 年整编资料中的东北、华中地区 1978 年、1984 年、1990 年、1996 年 4 年的 1 月份、7 月份及年平均气温数据为数据源,采用直接插值法(反距离权重法和普通克里格法)、趋势面模拟+残差内插法、空间化气候值+年际距平空间插值方法、空间化气候值+年际距平趋势面模拟+残差内插等 4 种方法,进行了空间化精度的比较研究。通过平均绝对误差(MAE)、平均相对误差(MRE)以及交叉验证等几种评估标准的比较,认定在具有 30 年月平均气温栅格数据库作为背景的前提下,采用空间化气候值+年际距平值 IDW 内插的方法在东北、华中两个地区空间化的误差相对较小,并且其操作方便,是一种对平均气温这一要素的短时间序列空间化而言既方便,插值效果又相对较好的空间化方法。

关键词:空间化;平均气温;年际距平值;反距离权重法;克里格法;趋势面法

1 引言

现代生态学和全球变化科学(global change science)的发展,迫切需要空间化的气象/气候要素的动态数据,并且所要求的时间和空间分辨率也越来越高。然而,我国现阶段的地面气象观测系统还难以提供所要求的时间和空间分辨率的观测数据。因此,基于 GIS 技术,利用地面气象观测资料研究气象/气候要素栅格化方法,开发数据产品成为近年来资源科学、生态学和环境科学研究的重要任务之一。

目前,常见的气象/气候信息的空间化技术主要有简单的几何数学模型(IDW 方法、泰森多边形方法)法,较为复杂的趋势面方法和多元回归方法,以及更为复杂的空间统计方法(协同克里格等)和薄片样条技术等^[1]。在我国,地域辽阔,地形地貌复杂,地面气象站点分布密度远低于发达国家,使得利用有限的地面观测资料估算全国或某一研究区域的气象/气候要素的空间化数据成为制约资源科学、气象学、生态学和地学研究发展的难点问题。尚宗波等(2001)^[2]用三维三阶趋势面结合数字高程模型的方法计算了中国降水量的空间分布,为精确地计算栅格气象要素值提供了一种有效的方法,但空间分辨

率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,时间尺度为月和年,时空分辨率均较低。林忠辉等(2002)^[3]利用 725 站 1951 年~1990 年整编资料中的旬平均温度和计算得来的 675 站月平均光和有效辐射日总量(PAR)为数据源选用了 IDW、梯度距离平方反比法、普通克里格法进行了方法选取的探讨,对中国陆地区域以 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 进行插值,生成了中国陆地区域的温度和 PAR 的空间分布栅格图。本课题组在系统研究国内外气候要素的空间化方法的基础上,利用中国 1:25 万的数字高程模型和 1971 年~2000 年约 740 个气象站点的气象资料,建立了精度与分辨率均较高的中国气象/气候要素的(太阳辐射、温度、降水以及其他相关因子) $1\text{km} \times 1\text{km}$ 栅格数据库,并提出一些行之有效的气候要素空间化的方法(李正泉,2002;任传友,2003;范辽生,2003;何洪林,2003,2004;刘新安,2004)^[4-8]。

但以上研究都是针对长时间序列(例如 30 年或 40 年的多年平均值)的气候要素进行的,而以较短时间序列的气象要素(例如 1 年或 1 个月的资料)空间化的研究还很少。气象要素的多年平均值,滤掉了其高频振荡部分,时空分布规律性更强。相对而言短时间序列要素,影响因子更多、更复杂,其时空

收稿日期:2004 - 08 - 10;修订日期:2004 - 12 - 17

基金项目:国家杰出青年基金项目“陆地生态系统水碳耦合的生理生态学机制与模型研究”(编号:30225012)。

作者简介:蔡福(1980~),男,辽宁海城人,硕士,从事应用气象方面的研究。

通讯作者:于贵瑞, E-mail: yuguirui@cern.ac.cn

分布规律与多年平均的气候值有较大差异, 年际间的差异也很大, 特别随着人类活动对环境的影响的不断加剧, 近年来气候异常, 暖冬和局地高温打破了气温随纬度和距海远近的时空分布特征, 各年的气象要素时空分布随局地自然条件的改变而不断发生着变化。这使得资源科学、地理科学、生态学、环境科学、气象学等相关学科对短时间序列气象要素的时空分布有了更广泛的需求, 因此, 对于短时间序列气象要素空间化方法的研究成为了必要的基础性工作。本文以平均气温这一气象要素为例, 利用 1978 年、1984 年、1990 年、1996 年 4 年的 1 月份、7 月份及年平均气温资料, 以东北地区、华中地区为样区, 采用多种插值方法进行了方法比较, 旨在从中选取出实现短时间序列气象要素空间化的最优方法, 为短时间序列气象要素空间化的研究做出一点微薄的贡献。

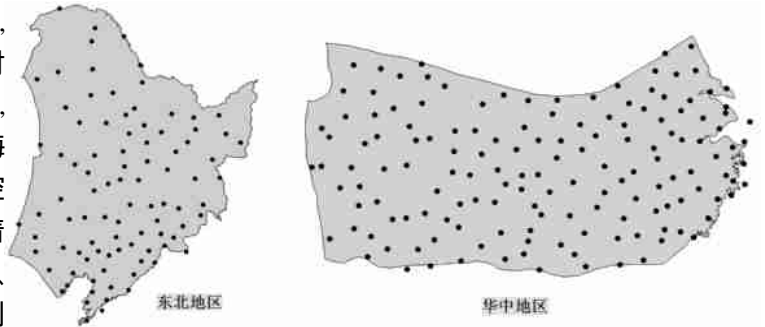


图 1 东北、华中地区气象站点分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in Northeast of china and center of china

2 数据和方法

2.1 数据来源

本研究所用的东北、华中地区 1978 年、1984 年、1990 年、1996 年 4 年的 1 月份、7 月份及年平均气温资料, 来源于国家气象局。由于经过数据预处理, 剔除了相应时间内缺测、漏测及异常数据, 因此每年各月气象站点数并不相同, 但差异不大, 其中东北地区用于建模站点 91 个~93 个, 检验站 5 个; 华中地区建模站点 149 个~152 个, 检验站 6 个。图 1 为 1996

年东北与华中地区站点分布情况。本研究所用的 30 年各月及年平均气温 1km × 1km 空间化数据, 来源于中国科学院地理科学与资源研究所生态系统研究网络综合研究中心的研究成果。

地理信息资料使用的是中国科学院地理科学与资源研究所提供的全国 1 25 万 500m × 500m DEM 数据, 借助 GIS 平台生成东北、华中地区 1km × 1km 网格的经度、纬度、海拔高度地形因子数据库。

2.2 方法

本研究采用 4 种插值方法对东北、华中地区站点的气温数据进行空间化处理, 包括直接插值法(反距离权重法和普通克里格法), 趋势面模拟 + 残差内插法, 空间化气候值 + 年际距平空间插值, 空间化气候值 + 年际距平趋势面模拟 + 残差内插等方法。图 2 为方法流程。

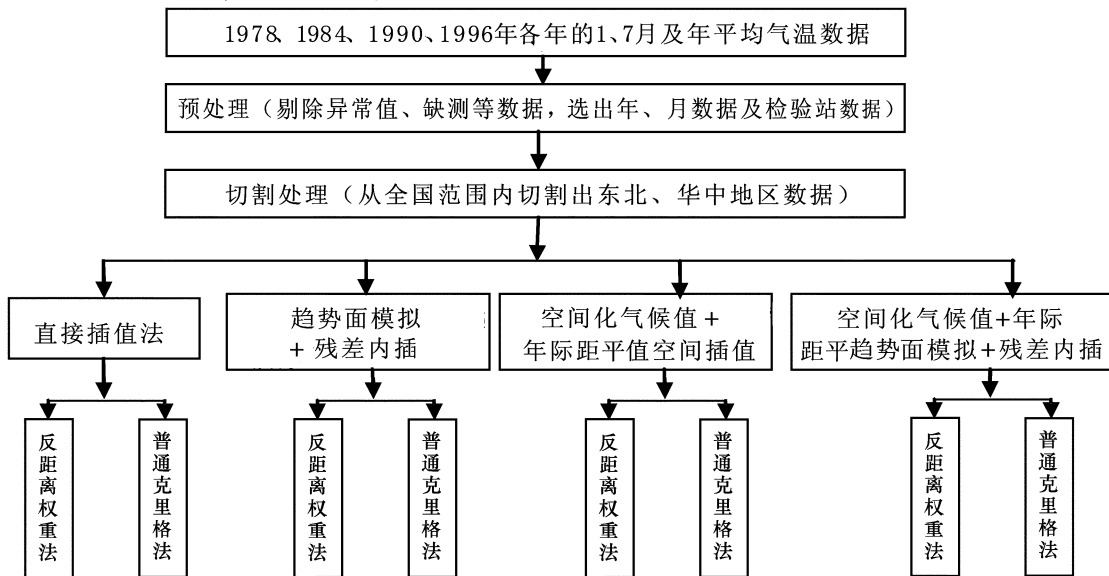


图 2 方法流程

Fig. 2 The flowchart of methods

2.2.1 直接插值方法(方法一)

(1) 反距离权重法 (Inverse Distance Weighted, IDW)。IDW 是基于“地理第一定律”的基本假设:即两个物体的相似性随它们间的距离增大而减小。假设已知样点对预测点值的预测都有局部性影响,其影响随距离增加而减小。离预测点近的已知样点在预测过程中所占权重大于离预测点远的已知样点:

$$Z(s_0) = \frac{1}{\sum_{i=1}^N w_i} \sum_{i=1}^N w_i Z(s_i) \quad (1)$$

式中: $Z(s_0)$ 为 s_0 处的预测值, $Z(s_i)$ 为在 s_i 处测量值; N 为预测过程中要使用的预测点周围样点的数量; w_i 为预测过程中已知样点的权重, 确定权重的公式:

$$w_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}} \quad (2)$$

$$d_{i0} = \sqrt{\sum_{j=1}^2 (x_{ij} - x_{j0})^2} \quad (3)$$

式中: d_{i0} 为预测点 s_0 与各已知样点 s_i 之间的距离。这里 p 的最佳值通过求均方根预测误差 (RMSPE, Root-Mean-Square Prediction Error) 的最小值求得, 一般情况下该值取 2。

(2) 普通克里格法 (Ordinary Kriging, OK)。OK 是以空间数据满足平稳性假设的前提下进行插值的。两类平稳性: 均值平稳: 假设估计临域内均值是不变的, 与位置无关。二阶平稳和内蕴平稳: 二阶平稳是假设具有相同的距离和方向的任意两点的协方差相同, 即协方差只与两点的值相关而与位置无关。内蕴平稳是假设具有相同距离和方向的任意两点的方差相同。Kriging 内插公式:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (4)$$

式中: $Z(s_0)$ 为 s_0 处的预测值; $Z(s_i)$ 为在 s_i 处测量值; N 为预测过程中要使用的预测点周围样点的数量; λ_i 为权系数, 取决于半变异图、预测点周围的观测点距预测点的距离和它们之间的空间关系。对于未知点来讲, 为了保证预测模型是无偏估计, 则需满足 (3) 式。且使 $Z(s_0) - \hat{Z}(s_0)$ 趋于最小, 通过数学期望的最小可得克里格方程:

$$\mathbf{X} \mathbf{g} = \mathbf{y} \quad (5)$$

式中: \mathbf{X} 为含有所有已知点对半变异值的矩阵; \mathbf{y} 为权系数矩阵; \mathbf{g} 为所有已知点与预测点之间的半变异值 γ_{ij} 所组成的矩阵。这里 γ_{ij} 为两样点间的半方差, 由公式 (6) 可得:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(X_i) - Z(X_j)]^2 \quad (6)$$

由半变异值和距离可以拟和理论半变异模型, 常用的变异函数有: 高斯、球面、指数、阻尼正弦等。本研究采用的变异函数为球面模型:

$$\gamma(h) = \begin{cases} \left[\frac{3}{2} \frac{h}{r} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{r} \right)^3 \right]^2, & 0 \leq h \leq r \\ s, & h > r \end{cases} \quad (7)$$

式中: s 为基台值; r 为自相关阈值; h 为步长。

2.2.2 趋势面模拟 + 残差内插法(方法二) 气象要素的空间分布可表示为 (8) 式:

$$T = e + F(\lambda, \phi, h) \quad (8)$$

式中: T 为的气温要素; λ 为经度; ϕ 为纬度; h 为海拔高度, e 为误差项; $F(\lambda, \phi, h)$ 为大地形影响的宏观本底值; e 为小地形综合影响的结果。当忽略小地形影响时 (8) 式可以表示为:

$$F(\lambda, \phi, h) = b_0 + b_1 \lambda + b_2 \phi + b_3 h + b_4 \lambda^2 + b_5 \phi^2 + b_6 h^2 + b_7 \lambda^2 + b_8 \phi^2 + b_9 h^2$$

式中: $b_0 \sim b_9$ 为待定系数。

建模时, 首先把经纬度减去各区的基准经纬度, 海拔高度除以 100, 即进行中心化处理, 然后利用 SPSS 统计软件与各月平均气温进行逐步回归, 这样可得到各区的平均气温与宏观地理因子 (经度、纬度、海拔高度) 的模拟方程。最后把经中心化处理的经度、纬度、海拔高度的栅格图代入到方程进行图层运算, 可得到平均气温的趋势栅格图。用 VB 提值程序把趋势栅格图中相应建模站点的值提出来与实测值相减获取残差, 这部分可以看作是小地形综合影响的效应, 把残差用反距离权重法和普通克里格法分别进行内插获得残差面, 最后把残差面与趋势栅格图进行图层叠加运算获取订正趋势面。

2.2.3 空间化气候值 + 年际距平值空间插值法(方法三) 用每年各月平均气温数据与 30 年平均气温相减得到年际距平值, 对距平值分别采用反距离权重和普通克里格插值方法进行空间化处理, 把处理后的距平栅格图与 30 年的平均气温栅格图相叠加获取预测图。具体技术流程见图 3。

2.2.4 空间化气候值 + 年际距平趋势面模拟 + 残差内插法(方法四) 对图 3 中获得的年际距平值用三元二次趋势面进行空间插值, 具体方法与方法二一样, 只是所用数据不同。这里残差内插所用的残差值由年际距平值与距平趋势值相减得到, 对残差分别用反距离权重和普通克里格进行空间内插获取

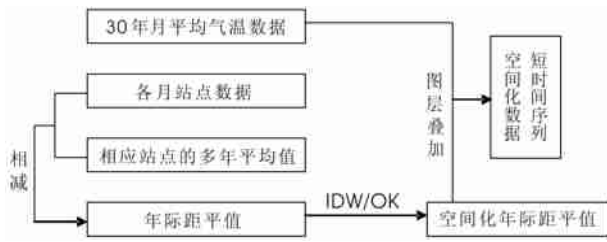


图3 技术流程

Fig. 3 The flowchart of technology

残差面,然后把多年平均值与年际距平趋势面和残差订正面相叠加得到预测栅格图。

2.3 检验方法及标准

为了能够对以上各种方法的空间化效果进行比较,本研究在建模前预留了检验站点,通过计算站点实测数据与预测数据的误差来评估各种方法的优劣。为了能够使定量与定性评估相兼顾,所采用误差标准为平均绝对误差 (Mean Absolutle Error, MAE) 和平均相对误差 (Mean Relative Error, MRE)。其中, MAE 反映出了估计值的实测误差范围,定量的给出误差。MRE 能过反映不同数据量或不同要素的误差相对值, MRE 定性的给出误差范围,效果更直观。MAE 和 MRE 的表达式:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Z_{ai} - Z_{ei}| \quad (9)$$

$$MRE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Z_{ai} - Z_{ei}}{Z_{ai}} \right| \quad (10)$$

式中: Z_{ai} 为第 i 个站点的实测观测值; Z_{ei} 为估计值; N 为检验站点数目。此外,对于采用 IDW 和 OK 对站点数据进行直接插值的验证,本研究也增加了交

叉验证的方法来对其进行评估。交叉验证即首先假定每一站点的要素值未知,用周围站点的值来估算,这样轮流改变未知站点,最后计算所有站点实测观测值与估算值的误差,以此来评判估值方法的优劣。

3 各种空间化方法的误差比较和分析

3.1 交叉验证结果比较

对于采用 IDW 和 OK 直接插值的结果,通过交叉验证可以较明显的看出 OK 比 IDW 误差较小。以华中地区 1996 年 1 月为例(图 4)。图 4 中的横纵坐标分别是实测值与估计值,虚线表示为估计值与实测值完全相同的情况,实线由估计值与实测值模拟得到。实线与虚线的夹角大小反映出插值效果的好坏,从图 4 中可明显看出 OK 插值的效果要优于 IDW。平均误差和均方根误差 OK 也都小于 IDW。其他交叉验证图的情况基本也是如此,可以看出直接插值采用 OK 要优于 IDW 方法。

3.2 检验站验证结果比较

本研究对东北地区和华中地区分别预留 5 个~6 个检验站点,用这些站点分别对上述多种方法进行检验,求算各种方法的 MAE 和 MRE。表 1 为东北地区 5 个检验站 4 年的 1 月、7 月及当年平均气温的 MAE 和 MRE 的平均值;表 2 为华中地区 6 个检验站 4 年的 1 月、7 月及当年平均气温的 MAE 和 MRE 的平均值;表 3 为各月份实测值所建立的趋势面模型与距平值建模的复相关系数的比较情况。

3.3 误差比较分析

由表 1 可知,总的来看东北地区验证结果无论是 MAE 还是 MRE 都表现为方法 > 方法二 > 方法四

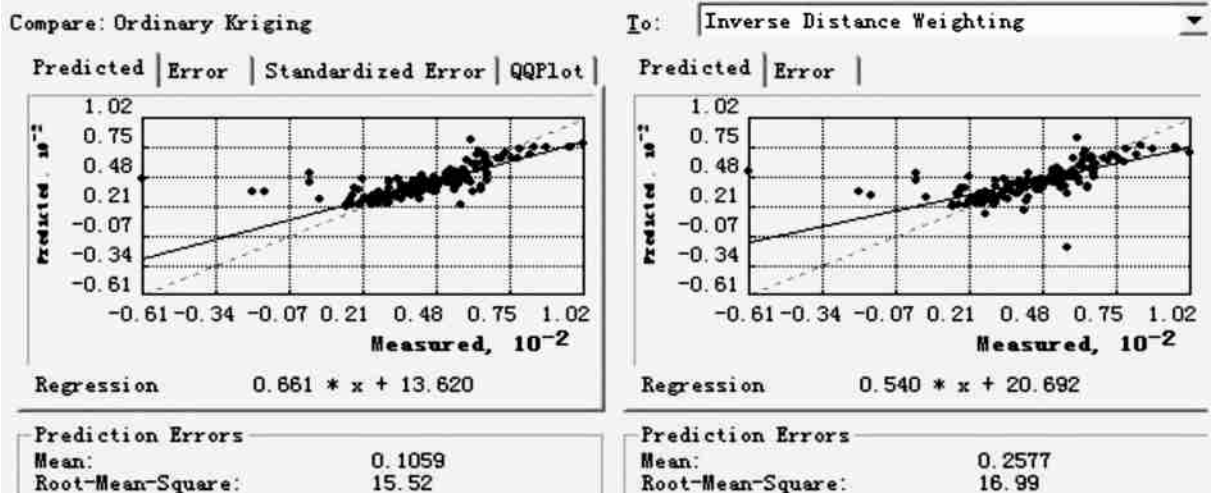


图4 IDW与OK方法空间化结果的交叉验证比较

Fig. 4 The comparison of cross validation between spatialication result of IDW and OK methods

>方法三,且可以明显的看出,方法一中采用 IDW 和 OK 进行直接插值效果明显不如其他几种方法,其主要原因是一些局部地区海拔剧烈变化且气象台站分布相对稀疏,直接插值法很难顾及地形和气温剧烈变化的情况,同时直接插值只是简单的对平面上的数据进行运算,没能考虑到气象要素受到精度、纬度、海拔的大地理因素的影响,尤其是后两种因素对气温的时空分布影响更大,因此这种方法的插值精度自然会较低。其中 OK 要好于 IDW,其原因是 IDW 法只考虑周围样点对预测点的影响,没有考虑到样点间的空间自相关关系,忽视了气温要素的空间变化规律,而 OK 更多地考虑到数据构形的作用,因此其精度要较 IDW 法高些,这与交叉验证的结果一致。

其中方法二对于多年平均值来说插值效果很好,但对于短时间序列情况就不同了。因为趋势面法虽然考虑了经纬、海拔对气象要素的影响,能够很好地反映出气温场随经度、纬度、海拔高度等大地理因子的变化趋势,特别是对于已滤掉了年际差异的较平滑的多年平均气温数据更加适应,而对某一年的数据而言,其时空分布受当年大气环流、太阳活动等不确定性因素影响较大,大地理因子的作用不能完全占主导地位,这样仅考虑大地理因子进行建模就忽略了当年各种因素造成的影响,势必导致拟合精度较差。

采用年际距平值进行空间化(方法三、方法四)的效果要好于直接插值(方法一、方法二)的效果。年际距平值可以看作是当年各种自然条件及环境因素对气温的影响部分,方法三、四考虑了这部分的影响,自然会提高插值精度。方法四综合地采用了多种方法,但其效果并不非常明显,在处理过程中比较了直接趋势面模拟与距平值趋势面模拟建模的效果,如表 3 所示,对距平值进行趋势面模拟比用原数据模拟的复相关系数小得多,可以说明距平值已经剔除了要素空间分布的趋势效应,再用地理因子进行趋势面模拟已难以反映出局地地形的影响。

从表 1 还可以看出,考虑年际距平进行空间化处理中所采用的 IDW 有很多较 OK 误差要小,可以说明年际距平值占真实值的比例较小,数据空间分布的规律性以及连续性都很差,而 OK 法的空间内插是以空间连续性为隐含假设的,这就使得 OK 的优势难以表现出来,而 IDW 仅考虑距离远近的影响反而空间化效果更好。

表 1 东北地区验证结果

Table 1 The validation result of Northeast of China

	MAE			MRE		
	1月	7月	年	1月	7月	年
直接插值(IDW)	1.3476	1.6481	1.5323	0.0693	0.1498	0.2371
直接插值(OK)	1.1407	1.4935	1.3892	0.0591	0.1375	0.2002
直接趋势面插值+残差内插(IDW)	1.2265	1.3230	1.1717	0.0656	0.1265	0.1761
直接趋势面插值+残差内插(OK)	0.8762	1.4384	1.1689	0.0483	0.1391	0.1742
多年平均+年际距平内插(IDW)	0.4838	1.4152	0.7999	0.0322	0.1182	0.1167
多年平均+年际距平内插(OK)	0.6736	1.6673	0.7045	0.0469	0.1290	0.1011
多年平均+年际距平趋势面+残差内插(IDW)	0.6407	1.4272	0.9121	0.0407	0.1271	0.1295
多年平均+年际距平趋势面+残差内插(OK)	0.7661	2.0298	0.8588	0.0495	0.1539	0.1189

表 2 华中地区检验结果

Table 2 The validation result of Center of china

	MAE			MRE		
	1月	7月	年	1月	7月	年
直接插值(IDW)	1.7341	2.2104	1.8699	0.4992	0.1080	0.2093
直接插值(OK)	1.6599	2.1146	1.7880	0.5451	0.1044	0.2011
直接趋势面插值+残差内插(IDW)	0.8066	0.8373	0.6829	0.2589	0.0405	0.0770
直接趋势面插值+残差内插(OK)	0.6750	0.7649	0.5342	0.2210	0.0363	0.0571
多年平均+年际距平内插(IDW)	0.4140	0.9769	0.6506	0.1553	0.0360	0.0444
多年平均+年际距平内插(OK)	0.4903	1.3853	0.9080	0.1267	0.0502	0.0600
多年平均+年际距平趋势面+残差内插(IDW)	0.3849	0.8662	0.5958	0.1575	0.0320	0.0396
多年平均+年际距平趋势面+残差内插(OK)	0.4902	1.3621	0.9125	0.1480	0.0492	0.0596

表 3 实测值与距平值所建模型的复相关系数间的比较

Table 3 The comparison between multiple correlation coefficient of models built by the real value and the Deviation from normal

复相关系数	1978		1984		1990		1996		
	实测值	距平值	实测值	距平值	实测值	距平值	实测值	距平值	
东北地区	1月	0.952	0.336	0.941	0.448	0.942	0.323	0.962	0.556
	7月	0.970	0.453	0.960	0.412	0.941	0.436	0.950	0.341
	年	0.943	0.303	0.983	0.349	0.982	—	0.986	0.328
华中地区	1月	0.963	0.470	0.932	0.400	0.919	0.499	0.932	0.441
	7月	0.962	0.370	0.966	0.6425	0.955	0.358	0.929	0.364
	年	0.961	0.355	0.964	0.378	0.958	0.384	0.941	0.447

在表 2 中,方法一能够较明显的看出比其他三种误差要大,原因同上。对于 MAE,在 1 月份方法四 < 方法三 < 方法二,在 7 月份和年平均方法二 < 方法四 < 方法三。对于 MRE,在 1 月份方法三 < 方法四 < 方法二,在 7 月份三种方法相差不明显,年平均方法四 < 方法三 < 方法二。总体上看方法四略优于方法三,方法三略优于方法二。总的来看,直接趋势面模拟(方法二)不如通过距平插值(方法三、方法四)的效果好。对残差内插与距平内插所采用的 IDW 和 OK 比较,结果 IDW 较 OK 要好些,其原因与东北地区情况相同。

从时间角度看,东北地区 1 月误差小于 7 月,华中地区与之相反。由此可以看出不同地区间气温的时空分布存在较大差异,受局地小地形及当地自然环境条件等因子影响较大。从表 1、表 2 中也可以看出,并不是某一种方法在每个月份插值效果都好于其他方法,因此对于不同时段而言在方法选取上并不是绝对的。

4 结论

本文采用多种空间化方法对不同时空的气温数据进行了空间化处理,对模拟误差进行了分析和对比,得到以下结论:

(1) 在两个样区中,方法一采用的 IDW 和 OK 两种方法,方便快捷易于在 GIS 平台上实现,但误差最大,该方法仅可在气象站点密度大且地形起伏较小的情况下使用,目前的条件很难满足,最好用于较小区域的栅格化,不宜在较大范围内进行插值。

(2) 方法二更适用于多年平均气温的空间化插值,对距平值而言忽略了年际差异对气温要素的影响,很难反映年际间气候变异性对气温时空分布的作用。

(3) 方法四虽然插值效果较好,但特别繁琐,工作量大,在实际工作中实现数据空间化的效率很低,不宜采用。

(4) 通过比较可以看出,采用空间化气候值 + 年际距平内插(方法三)方法易于操作,方便快捷,插值效果较好。对于年际距平值的内插,IDW 法的插值结果与 OK 法相差不大,甚至有时优于 OK 法,且原理简单,易于操作,是一种较优的内插方法。方法三要求在已经空间化气候值的前提下进行,目前中国科学院地理科学与资源研究所已经完成平均气温、降水、相对湿度、太阳辐射的气象要素的 30a 平均气温值的空间化工作,因此在不用考虑对气温气候值

进行空间化的前提下,获取短时间序列气温要素进行逐年逐月的空间化数据,无疑方法三是一种比较好的方法。

通过采用多种方法对 4 年中的 1 月、7 月及年平均气温的站点数据进行空间化的结果的比较,可以看出在具有 30 年月平均气温栅格数据库作为背景的前提下,采用空间化气候值 + 年际距平值 IDW 内插的方法在东北、华中两个地区空间化的误差相对较小,并且其操作方便,是一种对短时间序列空间化而言较适合的方法。在比较过程中,发现适用于多年平均气温数据空间化的趋势面 + 残差内插(方法二)方法对短时间序列而言并不是最优方法。这里所得出的结论只限于平均气温这一气象要素,对于其他气象要素并不一定都适用,因为不同要素的时空分布不同,要素的连续性也不同,即使是同一要素在不同地区由于其站点空间分布上的差异以及当地地理条件的影响都会影响空间化的效果。

参考文献 (References):

- [1] 李新,程国栋,卢玲. 空间内插方法比较[J]. 地球科学进展, 2000, 15(3): 260 ~ 265. [LIN Xin, CHENG Guo-dong, LU Ling. Comparison of special interpolation methods[J]. *Advance in Earth Sciences*, 15(3): 260 ~ 265.]
- [2] 尚宗波,高琼,杨奠安. 利用中国气候信息系统研究年降水量空间分布规律[J]. 生态学报, 2001, 21(5): 689 ~ 694. [SHANG Zong-bo, GAO Qiong, YANG Dian-an. Spatial pattern analysis of annual precipitation with Climate Information System of China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(5): 689 ~ 694.]
- [3] 林忠辉,莫兴国,李宏轩,等. 中国陆地区域气象要素的空间插值[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 47 ~ 55. [LIN Zhong-hui, MO Xing-guo, LI Ruo-xuan et al. Comparison of three spatial interpolation methods for climate variables in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(1): 47 ~ 56.]
- [4] 李正泉,于贵瑞,刘新安,等. 东北地区降水与湿度气候资料的栅格化技术[J]. 资源科学, 2002, 5(1): 3: 72 ~ 77. [LI Zheng-quan, YU Gui-ru, LIU Xin-an, et al. Grid technology for precipitation and humidity information in Northeast of China[J]. *Resources Science*, 2002, 25(1): 72 ~ 77.]
- [5] 任传友,于贵瑞,刘新安,等. 东北地区热量资源栅格化信息系统的建立与应用[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 66 ~ 71. [REN Chuan-you, YU Gui-ru, LIU Xin-an, et al. Establishment and application of grid thermal resource information system in Northeast of China[J]. *Resources Science*, 2003, 25(1): 66 ~ 71.]
- [6] 范辽生,刘新安,于贵瑞,等. 东北地区辐射资源栅格化信息系统的建立[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 59 ~ 65. [FAN Liao-sheng, LIU Xin-an, YU Gui-ru, et al. Establishment of grid information system of radiation resource in Northeast of China[J].

- Resources Science*, 2003, 25(1):59~65.]
- [7] 何洪林,于贵瑞,牛栋 复杂地形条件下的太阳辐射资源方法研究[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 78-75. [HE hong-lin, YU Gui-ruì, NIU Dong. Method of global solar radiation calculation on complex territories[J]. *Resources Science*, 2003, 25(1):59~65.]
- [8] 刘新安,于贵瑞,范辽生,等. 中国陆地生态信息空间化技术研究(温度、降水要素) [J] 自然资源学报, 2004, 19(6):818~825. [LIU Xin-an, YU Gui-ruì, FAN Liao-sheng, et al. Spatialization technology research of terrestrial ecological information in China climatic factor(Temperature and Precipitation) [J]. *Journal of Nature Resources*, 2004, 19(6):818~825.]

Comparison of Precisions between Spatial Methods of Climatic Factors: A Case Study on Mean Air Temperature

CAI Fu¹, YU Gui-ruì², ZHU Qing-lin¹, HE Hong-lin², LIU Xin-an^{1,2}, LI Zheng-quan², GUO Xue-bing²

(1. Department of Applied Meteorology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. Institute of Geographical Science and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Based on the data of mean air temperature in January, July and whole year of 1978, 1984, 1990, 1996 in Northeastern and Central China, the comparison of precisions of spatial methods were conducted using direct interpolation methods including Inverse distance weighted and Ordinary Kriging, three dimension-second order trend surface analysis and spatial interpolation method, spatial climatic value integrating with the multi-annual deviation from normal interpolation methods and spatial climatic value integrating with trend simulating to the multi-annual deviation from normal combining with residual interpolation methods. Taking mean absolute error, mean relative error and crossing validation as evaluation criterion, it is concluded that as far as mean air temperature is concerned, the method of spatial climatic value integrating with the multi-annual deviation from normal interpolation by IDW is not only a convenient but also relatively precise spatial method with smaller error in Northeastern and Central China based on multi-annual mean air temperature raster database. Furthermore, three dimension-second order trend surface analysis and spatial interpolation method, which is suitable for interpolate to multi-annual mean climatic data, is unsuitable for the interpolation of short time serial climatic data. It is worthily noticed that above methods cannot play a good role to all of climatic factors because the diversity exists between different climatic factors for the difference of spatial-temporal distribution, continuity and local natural conditions.

Key words: Spatial method; Mean air temperature; Deviation from normal; Inverse distance weighted method; Kriging method; Trend simulating method