

基于信息扩散的海洋稀疏资料插值算法-概率模型

张 韧¹, 徐志升², 刘 巍³, 黄志松¹, 安玉柱¹

(1. 解放军理工大学 气象海洋学院, 军事海洋环境军队重点实验室, 南京 211101;
2. 成都军区气象中心, 成都 610051; 3. 西南交通大学 信息科学与技术学院, 成都 610031)

摘 要:针对海洋观测资料零散、稀少等问题,提出了基于信息扩散思想的插值方法-信息扩散插值算法。该方法基于模糊映射思想,通过对稀疏数据点信息进行模糊扩散和插值映射,进而实现有限数据点信息向其邻近区域点的概率插值。针对正态扩散函数在表现广义非对称结构数据资料时存在的局限性,发展了一类非均匀信息扩散插值算法-概率模型,进行了海温资料插值试验和对比分析。

关键词:信息扩散;插值算法;稀疏数据;概率模型

中图分类号:P731.1;O241.3

文献标志码:A

doi:10.7511/jslx201304017

1 引 言

准确、可靠的观测资料是海洋科学研究及海洋-大气数值预报的重要前提和必要条件。但是由于海洋上缺少固定观测站点,资料密度和时效均大大低于陆地,虽有部分船舶资料和浮标资料可以利用,但这些资料大多稀疏、零散、缺测严重,难以有效应用于海洋环境分析和海洋数值预报。资料获取困难、数据质量低和信息提取难已成为制约海洋环境研究的瓶颈^[1]。

插值方法是用周边资料估算和逼近缺测点数据信息的常用手段,常用的插值方法包括 Newton 插值法、Lagrange 插值法、样条拟合插值法和多项式法、有限元法、权重函数法、变分法、谱方法以及逐步订证法、最优内插法和小波自相关函数插值等^[2,3]。这些方法基本可满足大尺度大气、海洋数据的插值拟合需要。

然而,上述插值方法的一个重要前提条件是必须具备必要的资料站点或数据信息,若观测资料过于稀少,将严重制约这些方法的准确性和可靠性^[4]。鉴于观测技术和观测成本的制约,海洋资料的获取非常困难,可利用的海洋观测资料普遍零散、稀疏、缺损,一般插值方法在处理这类资料时有较大局限性^[5]。因此,研究稀疏观测资料插值方法

具有重要的科学意义和价值。我们曾基于信息扩散思想,提出针对稀疏资料的插值方法—信息扩散插值算法-正态模型^[6];随后针对实际数据结构中存在的非对称特性,发展了非对称信息扩散插值算法-椭圆模型^[7]。本文拟通过信息量子化以及用“信息量子”移动概率来表征信息扩散的思想,构建发展另一类非对称信息扩散插值算法-概率模型。

2 信息扩散插值

“信息扩散”是为解决地震、风暴潮及泥石流等强灾害、小样本等自然灾害事件评估中的信息不完备而提出的研究思想和数学模型^[8]。信息扩散作为弥补信息不足而考虑优化利用样本模糊信息的一种对样本集值化的模糊数学处理方法,它通过将单值样本转换成概率形式表达的模糊集值样本,进而对非完备样本信息进行有效处理^[9]。目前,“信息扩散”主要用于小样本事件风险评估。

信息扩散思想:对于一个非完备样本,可通过某个扩散函数 $\mu(x)$ 来获取该样本携带的更多信息。对稀疏数据的扩散插补,其核心是寻求一个客观、准确、有效的扩散函数,以实现非完备稀疏样本数据合理扩散和优化逼近。相应阐述和推导详参相关文献^[6-8],不再展开。

3 非对称信息扩散插值-概率模型

基于对称扩散函数,建立了均匀信息扩散插值算法-正态模型^[6]。由于正态信息扩散反映的是较

收稿日期:2012-03-10;修改稿收到日期:2012-07-20.

基金项目:国家自然科学基金(41276088)资助项目.

作者简介:张 韧*(1963-),男,博士,教授

(E-mail: zren63@126.com).

理想的均匀分布过程,而实际大气、海洋数据资料往往具有复杂结构和差异,更多是非对称、非线性结构。随后发展了一类非对称信息扩散插值算法-椭圆模型^[7]。本文拟基于用可能性概率来描述和度量信息非均匀扩散的思想,构建“概率式”非均匀信息扩散函数及相应的插值算法模型。

“概率式”非均匀信息扩散思想如下。

(1) 将信息量子化,信息扩散是通过一个个“信息量子”的移动来实现的。

(2) “信息量子”在单位时间内向各个方向移动的空间步长是相等的(记为1)。

(3) 扩散的非均匀性主要体现在其向各个方向运动的可能性是不同的,即“信息量子”在信息扩散最快的方向上发生移动的概率最大;反之,扩散最慢的方向则概率最小。

依据该思想可构建如下的“概率式”非均匀信息扩散函数。

3.1 二维“概率式”信息扩散函数

以二维情况为例,对单个“信息量子”的运动进行分析。如图1所示,信息扩散空间为 xy 平面,仅考虑扩散最快和最慢的两个方向。

不妨假设扩散最快和最慢的两个方向与坐标轴重合,则 O 点的“信息量子”只能经过 OA 、 OB 、 OC 、 OD 四条路径进行移动,即 O 点的信息将从这四条路径扩散出去;反之, O 点的信息也将经这四条路径扩散而来。假设“信息量子”经上述四条路径移动的概率(信息扩散概率)分别为 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 ,用 $u(t, x, y)$ 表示在 t 时刻 $O(x, y)$ 点的信息分布情况,信息扩散的时间步长为 Δt ,空间步长分别为 Δx 和 Δy 。则根据“ O 点的信息是从其周围扩散而来”,可建立如下差分方程:

$$u(t + \Delta t, x, y) = u(t, x + \Delta x, y) p_1 + u(t, x, y + \Delta y) p_2 + u(t, x - \Delta x, y) p_3 + u(t, x, y - \Delta y) p_4 \quad (1)$$

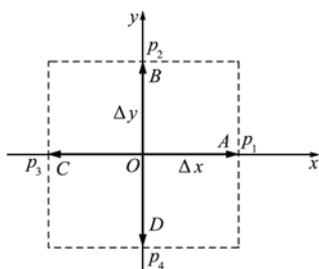


图1 “概率式”非均匀信息扩散示意图

Fig.1 Unsymmetrical information diffusion frame of probability model

由扩散对称性可知, $p_1 = p_3$, $p_2 = p_4$, 且 $p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1$ 。将上式两边同时减去 $u(t, x, y)$, 可得

$$u(t + \Delta t, x, y) - u(t, x, y) = u(t, x + \Delta x, y) p_1 + u(t, x, y + \Delta y) p_2 + u(t, x - \Delta x, y) p_3 + u(t, x, y - \Delta y) p_4 - 2(p_1 + p_2) u(t, x, y) \quad (2)$$

令 $\Delta t \rightarrow 0$, 并假设 $\Delta x^2 / \Delta t \rightarrow D_x > 0$, $\Delta y^2 / \Delta t \rightarrow D_y > 0$, 对上式差分方程微分处理, 可得到扩散方程:

$$u_t = p_1 D_x u_{xx} + p_2 D_y u_{yy} \quad (3)$$

解得

$$u = \frac{1}{4\pi t \sqrt{p_1 p_2 D_x D_y}} \exp \left[-\frac{p_2 D_y x^2 + p_1 D_x y^2}{4 p_1 p_2 D_x D_y t} \right] \quad (4)$$

令 $h_x = \sqrt{\frac{1}{2} D_x t}$, $h_y = \sqrt{\frac{1}{2} D_y t}$, 上式变为

$$u = \frac{1}{2\pi h_x h_y \sqrt{16 p_1 p_2}} \exp \left[-\frac{1}{4 p_1} \frac{x^2}{2 h_x^2} - \frac{1}{4 p_2} \frac{y^2}{2 h_y^2} \right] \quad (5)$$

如果扩散是均匀的, 则 $p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = 1/4$, 上式即退化为正态信息扩散函数, 表明上述假设是可取的; 同时, 与正态信息扩散一样, 将 h_x 和 h_y 定义为扩散系数。

“概率式”非均匀扩散中, 扩散最快和最慢两个方向都是垂直正交, 而非均匀扩散更广义的情况这两个方向可能并非正交如图2所示, 它们之间存在夹角 θ_0 ($0 < \theta_0 < \pi$)。不妨假设它们其中之一与 x 坐标轴方向对应, 则另一个与 x 坐标轴的夹角为 θ_0 。图2中的 $|OA|$ 、 $|OB|$ 、 $|OC|$ 、 $|OD|$ 为“信息量子”在单位时间内的移动步长, 由“概率式”扩散的思想可知,

$$|OA| = |OB| = |OC| = |OD| = |\Delta x| = |\Delta y| = 1$$

且有 $k = \cos \theta_0$, $l = \sin \theta_0$; 再根据扩散的对称性, 有 $p_1 = p_3$, $p_2 = p_4$, $p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1$ 。

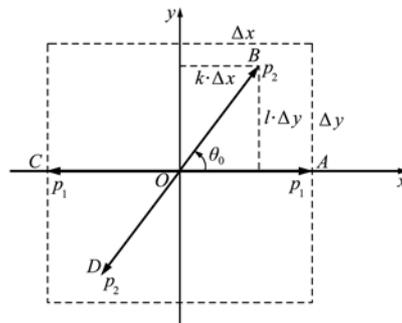


图2 扩散方向非正交的“概率式”非均匀扩散

Fig.2 Unsymmetrical information diffusion with non-Cross direction of probability model

于是,根据“O点的信息将从其周围 A、B、C、D 四点扩散而来”,可以建立如下差分方程:

$$u(t + \Delta t, x, y) = u(t, x + \Delta x, y) p_1 + u(t, x + k \cdot \Delta x, y + l \cdot \Delta y) p_2 + u(t, x - \Delta x, y) p_1 + u(t, x - k \cdot \Delta x, y - l \cdot \Delta y) p_2 \quad (6)$$

令 $\Delta t \rightarrow 0$, 并假设 $\Delta x^2/\Delta t \rightarrow D_x > 0, \Delta y^2/\Delta t \rightarrow D_y > 0$, 对上式微分处理,可得扩散方程:

$$u_t = A u_{xx} + 2B u_{xy} + C u_{yy} \quad (7)$$

式中 $A = (p_1 + k^2 p_2) D_x, B = kl p_2 \sqrt{D_x D_y}, C = l^2 p_2 D_y$ 。

由于 $AC - B^2 = p_1 p_2 l^2 D_x D_y > 0$, 求解扩散方程式(9)可得

$$u = \frac{1}{4\pi t \sqrt{AC - B^2}} \exp\left[-\frac{Cx^2 - 2Bxy + Ay^2}{4(AC - B^2)t}\right] \quad (8)$$

$$u = \frac{1}{4\pi t \sqrt{l^2 p_1 p_2 D_x D_y}} \times \exp\left[-\frac{l^2 p_2 D_y x^2 - 2kl p_2 \sqrt{D_x D_y} xy + (p_1 + k^2 p_2) D_x y^2}{4l^2 p_1 p_2 D_x D_y t}\right] \quad (9)$$

令 $h_x = \sqrt{\frac{1}{2} D_x t}, h_y = \sqrt{\frac{1}{2} D_y t}$, 上式变为

$$u = \frac{1}{2\pi h_x h_y \cdot l \sqrt{16 p_1 p_2}} \times \exp\left[-\frac{l^2 p_2 h_y^2 x^2 - 2kl p_2 h_x h_y xy + (p_1 + k^2 p_2) h_x^2 y^2}{8l^2 p_1 p_2 (h_x h_y)^2}\right]$$

$$= \frac{1}{2\pi h_x h_y \sin \theta_0 \sqrt{16 p_1 p_2}} \times \exp\left[-\frac{1}{4 p_1} \left(\frac{x}{\sqrt{2} h_x} - \frac{\cos \theta_0}{\sin \theta_0} \frac{y}{\sqrt{2} h_y}\right)^2 - \frac{1}{4 p_2 \sin^2 \theta_0} \frac{y^2}{2 h_y^2}\right] \quad (10)$$

这就是二维的扩散方向非正交的“概率式”非均匀信息扩散函数,如果令 $\theta_0 = \pi/2$ (即扩散最快与最慢的两个方向垂直正交),上式就退化为式(5),亦与实际情况相符。前面假设了扩散最快和最慢两个方向中有一个与 x 坐标轴重合,下面将其拓展到更普遍的情况。

一般情况下,扩散最快与最慢的方向可以是平面上任意两个非重合的方向如图3所示。可以看出,一个方向与 x 轴的夹角为 $\theta_1 = \theta$,另一个方向与 x 轴的夹角为 $\theta_2 = \theta + \theta_0$,它可以看成是图3所示的两个扩散方向逆时针方向旋转 θ 角的结果,扩散方程则可通过坐标轴的旋转变换来得到。令式(10)

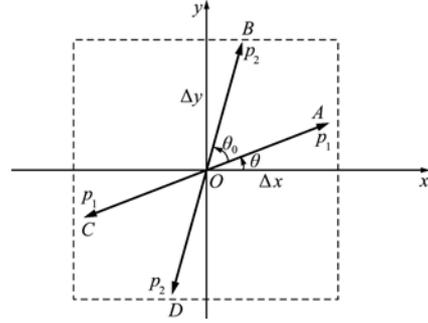


图3 扩散方向非正交的“概率式”非均匀扩散
Fig. 3 Unsymmetrical information diffusion with non-Cross direction of probability model

中的 $x/\sqrt{2} h_x = x', y/\sqrt{2} h_y = y'$, 并进行旋转变换:

$$\begin{cases} x' = x' \cos \theta + y' \sin \theta \\ y' = -x' \sin \theta + y' \cos \theta \end{cases} \quad (11)$$

可以得到更为一般的二维“概率式”非均匀扩散函数:

$$u = \frac{1}{2\pi h_x h_y \sin \theta_0 \sqrt{16 p_1 p_2}} \times \exp\left\{-\frac{1}{4 p_1 \sin^2 \theta_0} \times [x' \sin(\theta_0 + \theta) - y' \cos(\theta_0 + \theta)]^2 - \frac{1}{4 p_2 \sin^2 \theta_0} (-x' \sin \theta + y' \cos \theta)^2\right\} \quad (12)$$

即

$$u = \frac{1}{2\pi h_x h_y \sin \theta_0 \sqrt{16 p_1 p_2}} \times \exp\left\{-\frac{1}{4 p_1 \sin^2 \theta_0} \times \left[\frac{x}{\sqrt{2} h_x} \sin(\theta_0 + \theta) - \frac{y}{\sqrt{2} h_y} \cos(\theta_0 + \theta)\right]^2 - \frac{1}{4 p_2 \sin^2 \theta_0} \left(-\frac{x}{\sqrt{2} h_x} \sin \theta + \frac{y}{\sqrt{2} h_y} \cos \theta\right)^2\right\} \quad (13)$$

同前面类似,也可从差分方程出发来进行推导,并建立如下差分方程:

$$u(t + \Delta t, x, y) = u(t, x + k_1 \cdot \Delta x, y + l_1 \cdot \Delta y) p_1 + u(t, x + k_2 \cdot \Delta x, y + l_2 \cdot \Delta y) p_2 + u(t, x - k_1 \cdot \Delta x, y - l_1 \cdot \Delta y) p_1 + u(t, x - k_2 \cdot \Delta x, y - l_2 \cdot \Delta y) p_2 \quad (14)$$

式中

$$k_1 = \cos \theta, l_1 = \sin \theta$$

$$k_2 = \cos(\theta + \theta_0), l_2 = \sin(\theta + \theta_0)$$

且 $k_1/l_1 \neq k_2/l_2$ (即两个方向不能重合),进行微分处理,可以得到扩散方程:

$$u_t = A u_{xx} + 2B u_{xy} + C u_{yy} \quad (15)$$

式中

$$A = (k_1^2 p_1 + k_2^2 p_2) D_x$$

$$B = (k_1 l_1 p_1 + k_2 l_2 p_2) \sqrt{D_x D_y}$$

$$C = (l_1^2 p_1 + l_2^2 p_2) D_y$$

因为 $AC - B^2 = p_1 p_2 D_x D_y \sin^2 \theta_0 > 0$, 求解扩散

方程(15)并令 $h_x = \sqrt{\frac{1}{2}D_x t}$, $h_y = \sqrt{\frac{1}{2}D_y t}$, 得

$$u = \frac{1}{2\pi h_x h_y \sin \theta_0 \sqrt{16 p_1 p_2}} \times \exp\left[-\frac{1}{4 p_2 \sin^2 \theta_0} \times \left(\frac{l_1 x}{\sqrt{2} h_x} - \frac{k_1 y}{\sqrt{2} h_y}\right)^2 - \frac{1}{4 p_1 \sin^2 \theta_0} \left(\frac{l_2 x}{\sqrt{2} h_x} - \frac{k_2 y}{\sqrt{2} h_y}\right)^2\right] \quad (16)$$

上式与式(13)结果一样,可以说是殊途同归。但这里的扩散路径只有四条,若再增加一些对称的扩散路径(即增加扩散方向),则各扩散方向与 x 坐标轴的夹角分别为 $\theta_i (i=1, 2, \dots, m)$, 它们对应的扩散概率分别为 p_i , 且 $p_{m+i} = p_i (i=1, 2, \dots, m)$, $\sum_{i=1}^{2m} p_i = 1$ 。

于是,根据“概率式”非均匀扩散的思想可建立如下差分方程:

$$u(t + \Delta t, x, y) = \sum_{i=1}^m u(t, x + k_i \cdot \Delta x, y + l_i \cdot \Delta y) p_i + \sum_{i=1}^m u(t, x - k_i \cdot \Delta x, y - l_i \cdot \Delta y) p_i \quad (17)$$

进行微分处理,可得扩散方程:

$$u_t = Au_{xx} + 2Bu_{xy} + Cu_{yy} \quad (18)$$

式中 $A = D_x \sum_{i=1}^m k_i^2 p_i$, $B = \sqrt{D_x D_y} \sum_{i=1}^m k_i l_i p_i$

$$C = D_y \sum_{i=1}^m l_i^2 p_i$$

求解扩散方程(18),可得到二维多扩散方向“概率式”非均匀扩散函数。

信息扩散插值时,一般需处理多个要素,所以扩散函数也应该是多维的。运用上述类似的思路和方法,可以进一步得到多维“概率式”信息扩散函数。限于篇幅,不再展开阐述。

4 算法试验

为检验信息扩散插值算法的有效性和可靠性,采用美国大气环境预报中心(NCEP)/美国大气环境研究中心(NCAR)提供的海面温度(SST)再分析资料进行插值试验和不同算法的对比分析。资料时间:2009年逐月平均;资料范围:100°E~25°E, 0°N~60°N;资料分辨率:2°×2°,共75(纬向)×30(经向)=2250个网格数据点,扣除陆地后约2000个海温格点数据。分别用Kriging插值模型、正态扩散插值模型^[6]以及非均匀“椭圆”扩散模型^[7]和非均匀“概率”扩散插值模型作数据插补试验和对比分析。

试验一 从2000个数据点中随机抽取1%样本(23个)作为“观测”资料(其余视为资料缺测),分别用Kriging模型、正态扩散模型和非均匀“椭圆”和“概率”扩散模型作数据插补试验对比分析,检验不同方法用1%“观测”资料插值出逼近原有海温场的准确率和可靠性。

试验一插值结果如图4所示。海温插值场与实际场的相关系数和误差均方差的对比结果表明:正态信息扩散模型插值效果接近和略优于Kriging插值方法,非均匀信息扩散插值模型更为准确。相对而言,非均匀“概率模型”效果略胜一筹(相关系数12个月中9个最大、3个次大;误差均方差12个月中11个最小、1个次小)，“椭圆模型”效果次之(相关系数12个月中3个最大、8个次大;误差均方差1个最小,7个次小)。

随机抽取2%~5%样本点进行的插值对比试验结果与试验一较为类似,即非均匀“概率”插值模型效果最佳、“椭圆”插值模型效果次之、正态扩散模型与Kriging方法效果接近(正态模型略优于Kriging模型)。但是彼此之间的优势差距随插值

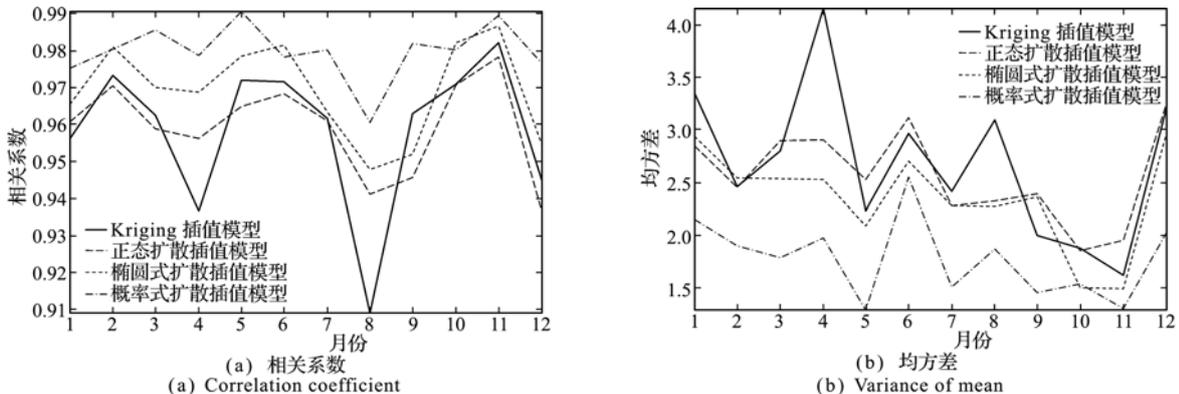


图4 不同算法的插补效果比较(1%样本)
Fig. 4 Contrast between different interpolation techniques(1% sample only)

样本的增加而有所减小(图略)。

试验二 资料、区域、时间同实验一,但插值样本点增至 10%,即随机抽取 10%的样本(230 个)作为“观测”资料(其余格点视为资料缺测),用 Kriging 模型和正态扩散以及非均匀“椭圆”、“概率”扩散模型进行数据插补试验和对比分析,检验不同方法用该 10%的“观测”点资料插值出逼近原有海温场的准确率和可靠性。

不同插值模型的试验对比结果表明,随着插值信息量(样本数)增加,不同方法之间的插值效果逐渐接近、差别减小(相关系数最大相差 0.002;均方差最大相差 0.2,较之试验一减小了约 1 个量级),Kriging 方法的插值效果优势逐渐凸显(相关系数 12 个月中 10 个最大;误差均方差 12 个月中 10 个最小)、正态信息扩散模型效果次之。Kriging 方法较信息扩散插值略为有效,表明 Kriging 插值作为经典成熟的插值算法在常规插值(样本数据相对较多情况)分析中的可靠性和有效性(图略)。

试验一与试验二的对比结果表明:本文提出的基于小样本信息扩散的插值方法(尤其是非均匀“概率”模型)在处理数据样本极稀疏的海温要素场插值中表现出较为明显的优势,而随着样本信息增加其优势逐渐减退(2%~5%的样本试验中仍保持一定程度优势,图略)。因此,该方法适宜于分析处理数据样本极为稀少等信息不完备情况的插值计算。

5 结 语

针对海洋中广泛存在的观测资料零散、稀少等问题,提出一种数据插值新方法-信息扩散插值算法。该方法基于模糊集思想,通过构建逼近目标分布结构的扩散函数来对有限稀少数据点信息进行模糊集扩散和插值映射,以实现有限数据点信息向其邻近区域点的预估插值。针对正态扩散函数在表现非对称结构数据资料时存在的局限性,发展了一类非均匀信息扩散函数,建立了相应的非均匀信息扩散插值算法-概率模型。试验对比分析表明,概率信息扩散插值方法可为自然科学领域中实际存在的小样本和稀疏数据的分析处理提供可资参考借鉴的方法和途径。

参考文献(References):

[1] Eugenia Kalnay. 蒲朝霞译. 大气模式、资料同化和可预报性[M]. 北京:气象出版社,2005. (Eugenia Kalnay. *Atmospheric Modeling Data Assimilation and*

Predictability [M]. Beijing: Meteorological Press, 2005. (in Chinese))

- [2] 封国林,董文杰. 观测数据非线性时空分布理论和方法[M]. 北京:气象出版社,2006. (FENG Guo-lin, DONG Wen-jie. *Theory & Method for Dealing with Nonlinear Spacetime Pattern of Observational Data* [M]. Beijing: Meteorological Press, 2006. (in Chinese))
- [3] 樊成,栾茂田,黎勇. 有限覆盖径向点插值方法理论及其应用[J]. 计算力学学报,2007,24(3):306-311. (FAN Cheng, LUAN Mao-tian, LI Yong. The radial point-interpolation procedure based on finite covers and its applications[J]. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 2007, 24(3): 306-311. (in Chinese))
- [4] 张 韧,万齐林. 地学资料中的散乱数据优化与缺损信息恢复[J]. 数据采集与处理,2006,21(2):209-216. (ZHANG Ren, WANG Qi-lin. Scattered data optimization and imperfect information recovery in geoscience[J]. *Journal of Data Acquisition and Processing*, 2006, 21(2): 209-216. (in Chinese))
- [5] 王辉赞,张 韧. ARGO 浮标温盐剖面观测资料的质量控制技术[J]. 地球物理学报,2012,55(2):577-588. (WANG Hui-zan, ZHANG Ren. Quality control of argo temperature and salinity observation profiles [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2012, 55(2): 577-588. (in Chinese))
- [6] 刘 巍,张 韧,徐志升. 基于信息扩散稀疏数据插值算法-正态模型[J]. 解放军理工大学学报,2012,13(1):114-118. (LIU Wei, ZHANG Ren, XU Zhi-sheng. Normal model-an interpolation technique for sparse data based on information diffusion[J]. *Journal of PLA University of Science and Technology*, 2012, 13(1): 114-118. (in Chinese))
- [7] 刘 巍,张 韧,徐志升. 基于信息扩散的海洋稀疏观测资料插值算法-椭圆模型[J]. 计算力学学报,2012,29(6):879-884. (LIU Wei, ZHANG Ren, XU Zhi-sheng. Ellipse model-An algorithm for sparse data interpolation based on information diffusion[J]. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 2012, 29(6): 879-884. (in Chinese))
- [8] 黄崇福. 自然灾害风险评估-理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2006. (HUANG Chong-Fu. *Natural Disaster Risk Assessment-Theory and Practice* [M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese))
- [9] Huang C F. Information diffusion technique and small sample problem [J]. *Information Technology and Decision Making*, 2002, 1(2): 229-249.

(下转第 579 页)

The superelasticity constitutive model for foam rubber materials

GUO Hui¹, HU Wen-jun^{*1,2}, TAO Jun-lin¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China;

2. Institute of Structure Mechanics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, 621900, China)

Abstract: The new constitutive model of foam rubber materials is established considering compressible caused by the porosity of foam materials, the constitutive data for the new model is fitted and the uniaxial compression experiment is utilized to prove the feasibility of the constitutive equation produced in this paper. The model is in good agreement with the experimental results.

Key words: foam rubber; superelasticity; finite deformation; constitutive relationship

(上接第 558 页)

Probability model-an interpolation technique for oceanic sparse data based on information diffusion

ZHANG Ren¹, XU Zhi-sheng², LIU Wei³, HUANG Zhi-song¹, AN Yu-zhu¹

(1. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China;

2. Meteorology Center of Chengdu Military Area 610051, China;

3. School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Aiming at the difficulties of scattered and sparse observational data in ocean science, a new interpolation technique based on information diffusion idea is presented in this paper. By fuzzy mapping route, the sparse data samples are diffused and mapped into corresponding fuzzy sets in the form of probability in the probability interpolation model. For avoiding the shortcoming of data asymmetrical structure in normal diffusion function, a kind of unsymmetrical information diffusion function is developed, and the corresponding unsymmetrical information diffusion algorithm-probability model is established. By making the interpolation experiments and contrast for sea surface temperature data, the rationality and validity of the ellipse-model are validated.

Key words: information diffusion; interpolation technique; sparse data; probability model