

作物需水量观测站点的优化设计

王景雷, 孙景生, 刘祖贵, 张寄阳

(水利部 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003)

摘要: 作物需水量观测站点的布置主要包括合理的采样数目和合理的采样位置的确定。本文将GIS的空间管理功能和地统计的空间分析功能有机结合, 在分析作物需水量空间变异的基础上, 首先用经典统计学确定合理的采样数目, 进而利用地统计学处理空间结构的优良特性, 确定合理的采样结构。在总结作物需水量观测站点优化设计主要步骤的基础上, 对山东省冬小麦需水量进行空间分布分析和观测站点的优化设计。初步研究结果表明: 现有的3个重点观测试验站并不能满足观测精度要求, 必须补充必要的观测站点数目, 增至10个左右较为合适。

关键词: GIS; 半方差函数; Kriging方法; 作物需水量; 合理取样数; 优化设计; 冬小麦

中图分类号: S127 **文献标识码:** A

水土资源平衡计算、灌溉工程设计与管理过程中, 作物需水量是不可缺少的基本数据, 其精度如何对于国家宏观决策和水资源的科学管理至关重要。但是作物需水量受气象、土壤及作物等自然地理条件的影响, 具有较大的空间变异性。许多调查研究表明区域面积上的作物需水量的平均值和变异程度常常受到观测面积、观测方法和样点布局的影响, 因此在观测手段相近, 监测面积一定的条件下, 观测精度主要受观测站点数目和布局的影响。观测站点过多, 不仅消耗大量人力、物力、财力, 而且易于产生信息冗余, 观测站点过少, 精度往往难于满足要求。即使确定了适宜的观测站点数目, 但由于作物需水量的空间变异性, 传统的分析方法因为不能兼顾观测站点空间特性的缺陷, 必然导致一些地方信息冗余, 一些地方难以达到精度要求。因此只有根据作物需水量的空间分布情况, 进行经济、合理的试验站点布局, 才能以最小的投入获取最大的信息量, 同时也能比较科学地回答某一观测数值能代表多大面积, 解答某一区域观测样点的有限数据能否代表这一区域的平均水平的困惑。

近年来, 地统计学已在作物需水量的估值和空间结构分析方面得到了初步应用^[1~4], 但是由于对作物需水量这种具有空间属性的变量进行分析和估算, 往往要面对政区图、地形图等空间图形数据, 以及降雨量、温度、湿度、地下水位等属性数据, 用人工方法对这些繁杂的数据作统计、分析的工作量较大且有一定的难度, 成图时也难于把这些属性数据都表示在相应的地图上, 这些都给大区域范围的地统计学研究带来一定的困难。而GIS可以把空间和属性信息有机地结合起来, 通过地理数据能够比较容易地确定样本点之间的距离, 进而根据同性数据可以计算出变量之间的差异, 从而得到地统计学所需要的步长和半方差的函数关系, 使分析大尺度上作物需水的变异规律变得较为方便, 另外还可以利用DEM方便地生成小地形因子(坡向、坡度、遮蔽度等)栅格数据库, 有利于提高复杂地形条件下的插值精度。GIS虽然具有较强的空间数据管理功能, 但缺乏对一些问题的空间分析能力; 地统计学则具有较强的空间分析功能, 但其空间数据管理功能较弱, 二者的结合为地统计学在大尺度作物需水量估值中的广泛应用提供了技术支持和条件^[5~8]。

收稿日期: 2003-11-05

基金项目: 国家“863”计划(2002AA2Z4031); 水利部创新基金项目(SCX2002-22)

作者简介: 王景雷(1972-), 男, 河南开封人, 助理研究员, 主要从事节水灌溉及地下水环境研究。

本研究以ERSI的ARCGIS和微软电子表格EXCEL为工具,将经典统计学与地统计学有机结合,利用经典统计学确定合理的观测站点数目,进而通过地统计学分析作物需水量的空间分布结构,利用Kriging估值方法分析计算不同观测站点数目的估值精度,最后利用估计误差确定观测站点的空间布局,以便取得经济合理的观测效果。

1 理论方法概述

1.1 经典统计学确定合理的观测站点数目^[9,10] 把作物需水量看作是相互独立的随机变量,并假定从均值为 μ 方差为 σ^2 的总体中取出 n 个样本(即实际工作中的采样数)的平均值为 X_n ,事件 $|X_n - \mu| \leq k\mu$ 的概率 P 所要达到的置信水平 P_i 的表达式为

$$P\{|X_n - \mu| \leq k\mu\} = P_i \quad (1)$$

式中: k 为某一特定精度。

若假定取样是独立进行的,且取样数目足够多,根据中心极限定理随机变量 $Z = (X_n - \mu) / (\sigma^2/n)^{1/2}$ 服从 $\mu=0, \sigma=1$ 的标准正态分布。在实际应用中,置信水平 P_i 一般取90%~95%即

$$P\{|Z| \leq 1.960\} = 95\%; \quad P\{|Z| \leq 1.645\} = 90\% \quad (2)$$

式中:1.960和1.645分别是置信水平为95%和90%的标准正态分布特征值,可在EXCEL中利用normsinv函数获得。

由式(1)和式(2)可得合理的采样数 n 为

$$n = 3.84 \left| \frac{\sigma}{k\mu} \right|^2, P_i=95\%; \quad n = 2.71 \left| \frac{\sigma}{k\mu} \right|^2, P_i=90\% \quad (3)$$

式中: k 为取样精度,可取为5%,10%,15%等。从式(3)可知:取样数目的多少取决于置信水平与所要求的精度。在实际工作中,总体方差 σ^2 是未知的,须用样本方差 s^2 代替,此时取样数目可由下式取得

$$n = \lambda_{a,f}^2 \left(\frac{s}{\Delta} \right)^2 \quad (4)$$

式中: $\lambda_{a,f}$ 为 t 分布的特征值,可由 t 分布表查得或利用EXCEL函数tinv(显著水平,自由度)获得。

由于取样空间序列多是结构性与随机性的统一,而上述计算的采样结果只能考虑置信条件下的合理采样数目,并不能决定采样点的空间布置,因此必须与地统计相结合才能达到经济有效地获取信息的目的。

1.2 利用地统计学确定观测站点分布的基本原理^[11~16] 作物需水量是一种区域化变量^[3],在一定的范围之内,各采样点信息并非完全独立邻近的采样值,具有一定的相关性,在分析作物需水量空间分布的基础上,利用Kriging估计方差确定合理的采样位置。

1.2.1 利用半方差函数分析作物需水量的空间分布 半方差函数是地统计学分析中的关键概念,它通过测定区域化变量分隔等距离的样点间的差异来研究(区域化)变量的空间相关性和空间结构。由半方差函数定义可知,半方差函数越小,说明在此距离段上该变量值的相关性越好,越大则在此距离段上该变量值的相关性越差。在实际工作中,观测点常常是离散的,对于观测的数据系列 $Z_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$,样本半方差

函数值的计算如下：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

式中： $\gamma(h)$ 为半方差； h 为滞后距离(distance lag)。数学上已经证明，变异函数只有在滞后距离为最大距离的1/2之内才有意义； N_h 为在 (x_i, x_i+h) 之间用来计算样本的变异函数值的样本的(成)对(的)数； $Z(x_i)$ 为处于点 x_i 处变量的实测值； $Z(x_i+h)$ 为与点 x_i 偏离 h 处变量的实测值。

根据实验半方差函数就可以作出半方差曲线。当存在空间自相关时，随着距离 h 的增大，半方差函数值 $\gamma(h)$ 也增大，当 h 超过某一称之为“变程”(range) a 的距离后， $\gamma(h)$ 往往不再增大，并稳定在一个极限值附近，该值 $\gamma(a)$ 称为“基台值”(Sill)。在此范围内，两个点 $z(x_i+h)$ 和 $z(x_i)$ 间存在某种程度的相关关系，而 $h>a$ 时，它们就不再相关，因此，变程 a 可以看作区域化变量的影响范围。半方差函数曲线在 y 轴上的截距称为块金系数(Nugget)。通过对各个方向上的 $\gamma(h)$ 的研究，可以确定作物需水量是否具有各向异性。

1.2.2 利用Kriging方法进行作物需水量的最优估值 Kriging方法能最大限度地利用各种信息对区域化变量作出线性无偏最优估计。利用Kriging方法既能对区域化变量进行估值，又能计算其估计方差的标准差。

将依空间位置 x 而变化的作物需水量 $z(x)$ ，解释为随机变量 $z(x)$ 的一次具体现实。设位于 x_0 处的作物需水量估计值为 z_0^* ，它是周围若干站点实测需水量 $z(x_i)$ ， $i=1, 2, \dots, n$ 的线性组合，即

$$z_0^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (6)$$

式中： λ_i 为权重系数。

在满足无偏等条件下，通过一系列推导可得如下的方程组(具体可参见有关文献)

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \gamma(x_i - x_j) + u = \gamma(x_j - x_0) & j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (7)$$

式中： u 为拉格朗日值。解上述方程组即可得到所有的权重 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ 和拉格朗日值 u 。利用计算所得到的权重拉格朗日值，不仅可通过式(6)求得估计 z_0^* ，还可利用式(8)计算Kriging估计方差。

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_0 - x_i) + u \quad (8)$$

上述介绍的是常用的普通Kriging方法，其它Kriging方法基本原理同上，但使用条件有所不同。

由 σ_k^2 的表达式可以看出，估计误差的标准差仅与变差函数的类型和估计点的位置有关。而变差函数反映了作物需水量的结构性特点，对特定区域的某一作物需水量其变差函数是固定的。因此，对某一区域

的作物需水量,当观测手段相同时,其估计误差的标准差仅与观测点的位置、数量有关,这就为确定观测网最佳布设提供了理论依据:在经典统计学确定适宜观测数目的情况下,用半方差函数分析作物需水量的空间分布,用Kriging方法估计任一点估计误差的标准差,进而可绘出估计误差的标准差等值线图,在估计误差的标准差大于给定允许误差限的地方增加观测点;反之,则减少。

2 工具及主要步骤

2.1 采用的主要工具 本项研究主要采用美国环境系统研究所(ERSI)的GIS桌面平台系统 ARCGIS8.3以及目前常用的微软电子表格工具EXCEL2000。ARCMAP主要用于空间数据显示和高级制图,ArcToolbox主要用于空间数据格式转换、叠加处理、缓冲区生成和坐标转换等。电子表格工具EXCEL2000主要用于原始数据的输入、处理、简单计算和常规的统计分析。半方差函数的计算和Kriging估值主要利用ARCGIS的地统计分析扩展模块进行。

2.2 基本步骤 进行作物需水量观测站点的优化设计的步骤可概括为:从资料库中尽量均匀地选择作物需水量资料;数据资料的预处理。包括观测资料的特异值的分析与剔除,正态分布的检验等;观测站点适宜数目的初步确定。在确定置信精度和误差水平后,根据式(4)利用EXCEL的统计分析工具进行;将第3步确定的适宜数目的观测站的基本资料通过 ArcToolbox工具对EXCEL数据格式进行导入和坐标变换,叠加到政区图或地形图上;确定半方差函数。利用ARCGIS8.3的地统计分析扩展模块确定半方差函数,分析作物需水量的空间分布结构;利用第3步中初步确定的站点数目及其资料进行Kriging估值,进而求出估计方差,作出估计方差的等值线图。定出高方差区和低方差区后,作出相应的增加观测点或减少观测点的建议。

3 实例研究

3.1 站点资料的获取 从“全国灌溉试验资料数据库”中选择山东省冬小麦作物需水量资料,此项工作可通过联合查询省名字段“山东省”和作物名称字段“冬小麦”获得,为了使选择的站点具有代表性,还应在GIS支持下结合政区图和地形图进行确定,初步确定站点数目为30个。

3.2 数据的正态分布检验 采用Kriging方法进行估值方差的计算,但Kriging方法要求样本数据服从正态分布,因此必须对样本数据进行分布类型检验,此处采用偏度峰度检验法。

$$\text{偏度: } R = m_3 / S^3 \quad (9)$$

$$\text{峰值: } P = m_4 / S^4 - 3 \quad (10)$$

其中: $S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}$; $m_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^3$ (样本3阶中心距); $m_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^4$ (样本4阶中心距)。

如果 $|R| < 2\sqrt{6/n}$ 且 $|P| < 2\sqrt{24/n}$, 则作物需水量值样本可认为是正态分布,当为非正态分布时,可将其取对数后再计算偏度和峰度,若满足上述条件,则为对数正态分布,否则为其它分布。

选择了30个山东省冬小麦需水量数据,其基本的统计分析结果见表1。

表 1 冬小麦需水量统计分析结果

样本数目	最大值	最小值	平均值	中值	标准差	偏度	峰值	$2\sqrt{6n}$	$2\sqrt{24/n}$
30	576.32	414.05	475.72	485.11	43.125	0.22256	-0.6105	80.49	1.788

从表1可看出，该样本数据基本满足正态分布，可以运用1.1中所述的方法进行适宜数目的确定。

3.3 观测站点适宜数目的初步确定 在置信水平和精度确定的条件下，主要任务是求不同置信水平下的特征值，此值可在EXCEL中利用tinv函数求得，不同置信水平不同精度条件下的适宜数目见表2。

从表2可看出，当观测精度要求不高(如误差为均值的20%)时，上述4种置信水平，对冬小麦需水量而言，全省仅需一个观测站点即可满足要求，而当精度要求较高(误差为均值的5%)，置信水平较高(95%)时，则需要14个观测站点才能满足要求。综合考虑精度和工作量，本项研究初步选取精度为误差的

表 2 不同置信水平不同精度下的适宜取样数目

置信水平(%)	60	80	90	95
t分布的特征值	0.854192	1.311435	1.699127	2.045231
取 0.05倍均值(精度)	2	6	10	14
样 0.10倍均值(精度)	1	2	3	4
数 0.15倍均值(精度)	1	1	2	2
目 0.20倍均值(精度)	1	1	1	1

5%，置信水平为90%时计算得到的适宜数目(10个)。并将其导入到ARCGIS中。

3.4 观测数据的空间分布分析

3.4.1 正态分布检验 根据3.2所述方法进行正态分布检验，检验结果见表3。

表 3 初选试验站点正态分布检验结果

样本数目	最大值	最小值	平均值	中值	标准差	偏度	峰值	$2\sqrt{6n}$	$2\sqrt{24/n}$
10	576.32	416.67	484.29	486.1	53.531	0.26257	2.1222	15.49	3.098

从表3看出，样本中值接近平均值，偏度和峰值满足2.2中所述条件，可判定为样本符合正态分布。

3.4.2 样本数据的趋势分析 为了提高预测的准确性，一般要先对样本数据进行趋势分析，以便采用合适的方法剔除趋势。本文采用ARCGIS8.3中地统计分析模块中的趋势分析工具进行样本数据的趋势效应分析。趋势分析结果见图1。

图中 X 轴表示正东方向，Y 轴表示正北方向，Z 轴表示各观测站点观测值的大小；左后投影面上的浅颜色线表示东西向的全局性的趋势效应变化，右后投影面上的深颜色线表示的是南北向全局性的趋势效应变化。一般把趋势效应分成 0(没有趋势效应)、常量(区域化变量沿一定方向呈常量增加或减少)、一阶(区域化变量沿一定方向呈直线变化)、二阶或多阶(区域化变量沿一定方向呈多项式变化)。从图 1 可看出，东西方向基本呈直线，基本上没有趋势；南北方向呈“半倒 U 型”，可用一阶或二阶多项式进行拟和。

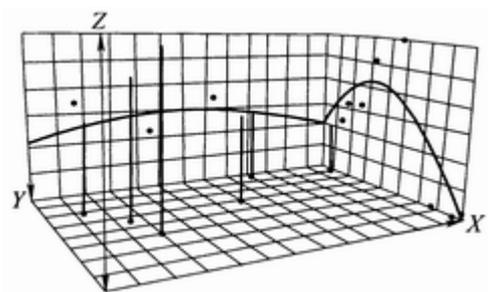


图 1 观测数据趋势分析

3.4.3 空间分布分析 分别采用指数模型,高斯模型、球状模型进行半变异函数的拟和,为了比较样本趋势对预测精度的影响,对样本进行一阶趋势分析后又利用上述3种模型对半变异函数进行了拟和,不同模型特征参数见表4。

表 4 不同模型及参数

趋势分析	模型类型	块金值(C_0)	基台值(C_0)	$C_0/(C_0+C_1)$	最大变程方向 (长轴方位角)	最大变程/km	最小变程/km	相异性比
无	球状	0	3197.6	0	86.2	499.73	146.43	3.4128
	指数	0	3097.9	0	85.7	499.72	124.36	4.0183
	高斯	3.3284	3331.728	0.001	86.7	499.72	124.36	4.0183
一阶	球状	0	2117.4	0	83.6	499.72	102.28	4.8858
	指数	0	2089.3	0	82.7	499.72	80.196	6.231
	高斯	2.2243	2226.5	0.00095	83.8	499.72	102.28	4.8858

从表4可看出,无论那种模型,半变异函数的“块金效应”均很小,块金值均小于4,说明它对于分析冬小麦需水量的空间变异几乎不起作用, $C_0/(C_0+C_1)$ 值很小,说明由随机部分引起的空间变异程度较小,其变异主要由空间自相关引起。从表4还可看出,各种模型的最大变程都在500km左右,最小变程也在100km左右,出现这种较大范围的空间结构性,主要归因于气象因子(如湿度、风力、温度等)在区域上的连续性。此外也与该省地势相对较平坦有关。不论那种模型,样本数据都呈现出明显的各向异性,从大方向来说,在东偏北—西偏南方向变程较大,说明这个方向其变异较小,而在其相垂直的方向即北偏西—南偏东方向其变异较小,初步说明山东小麦需水量受纬度影响较大。山东省南北距离400km左右,东西方向500km左右,若按变程影响初步估计,仅沿南北方向布置4个站点即可,但该省政区并不是很规则的长方形,这样布置势必影响该省边界区域的估值精度,另外,该省泰安附近是一较高的需水量区,因此还必须根据具体情况利用Kriging估值结果做进一步的分析。

3.5 不同模型Kriging估值分析 在地统计学方法中通常采用下面5个指标来评价其估值精度,即:预测误差的均值;预测误差的均方根;平均预测标准差;平均标准差;标准均方根预测误差。其中前4个指标越小越好,第5个指标越大越好。

表 5 不同模型方法的检验比较结果

项目	无趋势分析			一阶趋势分析		
	球状	指数	高斯	球状	指数	高斯
预测误差的均值	5.09	6.053	3.007	4.336	5.26	1.879
预测误差的均方根	35.89	43.12	32.84	38.37	42.74	35.55
平均预测标准误差	48.77	54.38	41.69	43.26	46.76	37.44
平均标准差	0.09542	0.1058	0.06619	0.1131	0.121	0.06872
标准均方根预测误差	0.7438	0.7782	0.7571	0.8349	0.8891	0.8373

从表5可看出,无论进行趋势分析与否,高斯模型估值精度都高于指数和球状模型,但进行一阶趋势分析后,各种模型估值精度都较趋势分析前有所提高。综合上述5个指标,决定采用一阶趋势分析的高斯模型的普通Kriging方法进行估值和预测标准误差等值线图的绘制,其插值结果见图2,估计方差等值线图见图3。若以均值的5%作为控制精度,置信水平取为95%,估计误差也取同样的水平,则估计误差的方差在1.70以下区域即满足精度要求,从图3可知,按照10个观测站点方案,山东中西部地区由于突然出现高值区,尽管布置了较密的观测站点,但仍难满足估值精度,因此对站点位置必须进行必要调整。根据图3分

析结果, 建议将文登观测点调整到莱阳附近, 将济南观测点调整到淄博的桓台县, 将潍坊的观测点调整到诸城市, 在聊城附近增加一观测点。

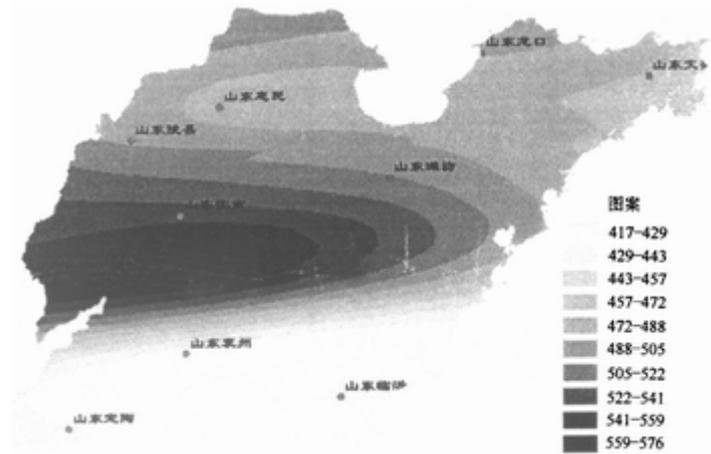


图2 普通Kriging法山东冬小麦多年平均需水量等值线(一阶趋势分析高斯模型)

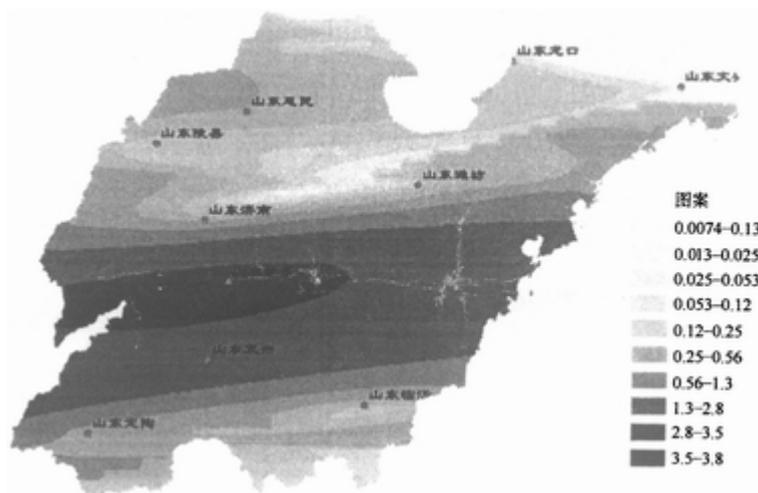


图3 普通Kriging法山东冬小麦多年平均需水量估计方差等值线(一阶趋势分析高斯模型)

4 结论与讨论

本文提出了经典统计学与地统计学相结合的站点优化方法及一般步骤。利用GIS和EXCEL等工具, 从“全国灌溉试验数据库中”选取了山东30个观测站点的冬小麦需水量数据, 对山东省冬小麦需水量观测站点进行了适宜站点数目的确定和空间布局的分析, 提出了观测站点调整建议。该方法与单纯利用经典统计学方法相比, 具有充分考虑空间结构特点, 减少信息冗余和经济的特点, 与单纯利用地统计分析相比, 由于GIS工具の利用, 不仅解决了地统计学在大尺度应用上的困难, 而且可以方便地合成不同作物的专题图件, 直观地对图、文信息进行多形式的查询和可视化表达, 便于观测站点的调整布置。另外, 在站点的合理布置过程中, 需要参考很多空间信息(如政区图、地形图, 土壤分布图等), GIS的空间信息管理功能简化了一系列的查图等繁琐操作, 因此将GIS与地统计学方法相结合进行站点的优化设计是方便可行的。实例研究过程中, 由于资料所限, 没能考虑非均匀地表对作物需水量的影响, 因此只能反映该省大范围的连续的作物需水量空间分布状况, 可能对泰安等地形变化较大地区的作物需水量估算精度产生影响, 因此将GIS、GPS, RS等先进技术手段相结合, 获取精度较高的DEM数据, 充分考虑非均匀地表对作物需水量空间分布的

影响将是未来一段时期该领域主要研究方向。另外,作物需水量观测站点的优化设计,除了应该考虑适宜观测数目和空间布局外,似乎还应根据不同作物的生长发育情况,进行观测频率的优化设计。本文由于资料所限,没能进行这方面研究,但是时空问题结合,不同作物结合和一站多用实际上是一个多目标决策问题,因此如何对上述问题进行概化,构建适当的数学模型,选用合适的求解方法也是目前迫切需要研究的问题之一。

参考文献:

- [1] 李思羊.地质统计学在作物需水量研究中的应用[J].武汉水利电力学院学报,1991,24(1):1-9.
- [2] 李恩羊,袁新.作物需水量的最优估计[J].水利学报,1989,(10):45-49.
- [3] 袁新,李恩羊.参照作物需水量的空间变异性[J].水利学报,1990,(2):33-37.
- [4] 李恩羊.作物需水量空间变异性的研究[R].武汉:武汉水利电力学院,1989.
- [5] 韦红波,任红玉,杨勤科.中国多年平均输沙模数的研究[J].泥沙研究,2003,(1):39-45.
- [6] 王海江,王波.基于GIS的区域间作物合理灌溉模型研究[J].科技通报,2001,17(2):48-52.
- [7] 李正泉,于贵瑞,刘新安.东北地区降水与湿度气候资料的栅格化技术[J].资源科学,2003,25(1):73-77.
- [8] 牛振国,李保国,张风荣,等.参考作物蒸散量的分布式模型[J].水科学进展,2002,13(3):303-307.
- [9] 雷志栋,杨诗秀,罗毅.田间墒情监测布点方法的研究[J].灌溉排水,1996,15(3):9-15.
- [10] 杨贵羽,陈亚新.土壤水分盐分空间变异性与合理采样数研究[J].干旱地区农业研究,2002,20(4):64-66.
- [11] 郭占荣,刘志明,朱延华.克立格法在地下水观测网优化设计中的应用[J].地球学报,1998,19(4):429-433.
- [12] 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学[M].北京:清华大学出版社,1988.
- [13] Muhammad Ashraf a, Jim C Loftis a, Hubbard K G. Application of geostatistics to evaluate partial weather station networks[J].Agricultural and Forest Meteorology,1997,84:255-271.
- [14] 薛正平,杨星为,段项锁,等.土壤养分空间变异及合理取样数研究[J].农业工程学报,2002,18(4):6-9.
- [15] 高峻,黄元仿,李保国,等.农田土壤颗粒组成及其剖面分层的空间变异分析[J].植物营养与肥料学报,2003,9(2):151-157.
- [16] 张朝生,陶澎,袁贵平,等.天津市平原土壤微量元素含量的空间自相关研究[J].土壤学报,1995,32(1):51-57.

Optimal arrangement of observation stations for crop water requirement

WANG Jing-lei, SUN Jing-sheng, LIU Zu-gui, ZHANG Ji-yang
(Farmland Irrigation Research Institute, Xinxiang 453003, China)

Abstract: The GIS technology is applied to combine with geostatistics to optimize the rational sampling number and appropriate positioning of the observation stations for crop water requirement. Firstly, the rational sampling

number is derived by classical statistic based on the analysis of spatial variation of crop water requirement. Then, the positions of observation stations are determined by geostatistics methods. The procedure of the optimal design is proposed. This method is applied to design the optimal arrangement of the observation stations for water requirement of winter wheat in Shandong Province. The calculated result shows that the original arrangement which includes only 3 stations can not meet the necessary accuracy. It must be added to 10 stations.

Key words: semivariogram; kriging method; crop water requirement; rational sampling number; optimal design; winter wheat