

# 基于 GIS 的大兴安岭中段东南坡降水量空间插值分析

唐红艳, 牛宝亮

(内蒙古兴安盟气象局, 内蒙古 乌兰浩特 137400)

**摘 要:** 采用大兴安岭中段东南坡即内蒙古兴安盟及其周边地区共计 26 个气象观测站资料, 应用半经验半理论回归模拟方法, 建立了内蒙古兴安盟地区 18 个降水量空间分布模型, 模型全部通过 0.05 显著性检验。在此基础上, 应用 GIS 技术和 1: 25 万地理信息数据, 将兴安盟地区降水量插值到  $3'' \times 3''$  的网格点上。结果表明: 兴安盟地区年降水量自东南向西北逐渐递增, 年降水量随经度的增加而递减, 递减率为  $24.7 \text{ mm}/^\circ \text{E}$ ; 随纬度的增加而递增, 递增率为  $37.6 \text{ mm}/^\circ \text{N}$ ; 随海拔高度的增加而递减, 递减率为  $6.4 \text{ mm}/100 \text{ m}$ 。研究结果为更好地满足当地农牧林业生产、工业基地布局等合理开发利用水资源提供科学依据。

**关键词:** 降水量; 模型; 空间插值; GIS

中图分类号: P426.613; T P79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0198-04

## Spatial Interpolation Analysis on Precipitation of Southeast Slope of the Greater Hinggan Mountains Based on GIS Technology

TANG Hong-yan, NIU Bao-liang

(Xing'an League Meteorological Bureau Inner Mongolia, Wulanhaote, Inner Mongolia 137400, China)

**Abstract:** Using 26 meteorological observatory data from Xing'an league Inner Mongolia and its surrounding areas which located in the southeast slope of the Greater Hinggan Mountains, semi-theoretical and semi-empirical regression simulation of climatic resources was used to establish 18 models of spatial distribution characteristics of precipitation of Xing'an league Inner Mongolia. All the 18 models pass statistical test at the significant level. On this basis, using GIS technology and 1: 250 000 digital map, the authors interpolated precipitation of Xing'an league Inner Mongolia to the  $3'' \times 3''$  grid. The results show that annual precipitation are gradually increasing from southeast to northwest. Annual precipitation reduces with increase of longitude by  $24.7 \text{ mm}/^\circ \text{E}$  and increases with increase of latitude by  $37.6 \text{ mm}/^\circ \text{N}$  and reduces with increase of height above sea level by  $6.4 \text{ mm}/100 \text{ m}$ . The results provide scientific basis for rational utilization of water resources to meet agricultural production and distribution of industrial base.

**Key words:** precipitation; model; spatial interpolation; GIS

降水量作为水资源的重要组成部分, 是动植物生长发育和人类社会生存、发展不可或缺的自然环境条件之一。进行无气象观测站地区降水量的推算, 研究其空间分布特征和规律, 对于科学合理利用水资源, 发展高效农业、特色农业和农牧业产业结构调整都有很好的指导作用, 因此受到决策管理部门、生产部门和气候专家的广泛关注。但终因气象站点稀少, 研究工作进展缓慢。早在 20 世纪 60-70 年代, 国外学者就用月平均最低气温推算初、终霜日期<sup>[1]</sup>, 用海拔高度、坡向、离海岸距离推算无测站地区的降水量分

布<sup>[2]</sup>。国内学者在推算无测站地区的气象要素空间分布方面也做了大量研究<sup>[3-11]</sup>, 沈国权 1984 年考虑宏观地形温度效应的前提下推算丘陵山区的气候要素, 傅抱璞 1988 年、1992 年利用地理因子又提出半经验半理论回归模拟方法推算无测站地区气候要素的空间分布方法, 并对福建省建阳地区月降水量进行了推算, 取得了比较满意的效果。近年来, GIS 技术的广泛应用, 使得气候要素推算结果<sup>[12-14]</sup>更加精细。

内蒙古兴安盟地区气象站点稀疏(气象站之间最近距离 100 km), 现有的气象观测站资料难以满足日

收稿日期: 2010-05-11

资助项目: 国家科技支撑计划子专题(2007BAC03A02-3); 内蒙古气象局科研项目(200513)

作者简介: 唐红艳(1966-), 女, 辽宁建平县人, 高级工程师, 主要从事农业气象、气候对环境的影响研究 E-mail: wsythy@sohu.com

益发展的农牧业生产需求。本文采用回归分析方法建立了兴安盟降水量空间分布模型,并在 GIS 平台下推算出无测站地区降水量的空间分布,为更好的满足农牧林业生产、工业基地布局等合理开发利用水资源提供科学依据。

## 1 研究区概况、资料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区域位于内蒙古自治区东北部的兴安盟(44°14′-47°39′N, 119°28′-123°38′E),大部分地区地处大兴安岭中段东南坡,只有阿尔山市的少部分地区位于大兴安岭的西北坡。行政区域包括 6 个县级单元,总土地面积 598.06 万  $\text{hm}^2$ ,辖区内有 8 个气象观测站。东北-西南走向的大兴安岭贯穿境内西部,岭西北地势平缓,渐向蒙古高原过渡,岭东南地势相对陡峻,与松辽平原连接。地形由西北向东南阶梯状下降,依次为中山、低山、丘陵和平原,山地占兴安盟总面积的 60%,丘陵占 21%,平原只占 19%。该区属于中温带大陆性季风气候,由西北向东南对应植被依次为林地、草地及农田,属于典型的农牧林交错带。

### 1.2 资料来源

地理信息资料来源于国家测绘局 1:25 万地理信息数据,包括兴安盟行政边界、经纬度、数字高程栅格数据(3″×3″)等地理信息资料;气候资料来源于大兴安岭东南坡的兴安盟 8 个站,内蒙古呼伦贝尔市的扎兰屯、阿荣旗、莫力达瓦旗和博克图 4 个站,通辽市的通辽、开鲁、科左后旗、舍伯吐、巴雅尔吐胡硕和鲁北 6 个站,吉林省白城市的白城、洮南、大安和通榆 4 个站,黑龙江省齐齐哈尔市的齐齐哈尔、泰来、甘南和龙江 4 个站共计 26 个观测站资料,包括 1971-2000 年月、季、年降水量等共计 18 个标准气候统计值以及各气象观测站的经度、纬度和海拔高度。

### 1.3 研究方法

1.3.1 地理信息资料的处理 应用 1:25 万地理信息数据,在地理信息系统 Citystar 4.0 平台下,进行各层地理信息数据的导入、拼接、拓扑运算和投影、配准等图层处理,最终生成兴安盟地区的海拔高度、经度和纬度栅格图层(3″×3″)。

1.3.2 降水量空间分布模型建立方法 影响气候要素空间分布的主要因素有经度( $\lambda$ )和纬度( $\varphi$ )、宏观地形和大地形因素(包括山体走向、总体高度和长度等)、局地海拔高度( $z$ )和微观地形因素(包括坡地方位、地形形态、植被、土壤)等<sup>[4]</sup>。在某个地区范围内气候要素  $y$  的空间分布函数可以表示如式(1)。

$$y = F(\lambda, \varphi, z) + \Delta y_m \quad (1)$$

式中:  $F(\lambda, \varphi, z)$  ——某气候要素  $y$  受地理位置、宏观地形和局地海拔高度影响的空间分布函数;  $\Delta y_m$  ——微观地形因素对该要素的影响订正,一般可以近似地看作常数。若把  $\Delta y_m$  包含到  $F(\lambda, \varphi, z)$  中,则(1)式可变为式(2)。

$$y^* = F(\lambda, \varphi, z) \quad (2)$$

对于表征气候要素的降水量,可以将式(2)的空间分布函数表示如式(3)。

$$y^* = \phi_h(\lambda, \varphi) + f(z - h) \quad (3)$$

若选取研究地区中心经度  $\lambda_0$ 、纬度  $\varphi_0$  和高度  $h$  作为基准经、纬度和海拔高度,而将其他任意点的经、纬度表示为  $\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$  和  $\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$ ,对属于同一气候区范围不大的一个地区来说,  $\Delta\lambda$  和  $\Delta\varphi$  都比较小,可以将未知函数  $\phi_h(\lambda, \varphi)$  和  $f(z - h)$  用幂级数展开整理得式(4)。

$$y_i^* = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i + \dots + a_mx_m \quad (4)$$

式中:  $y_i^*$  ——研究地区气候要素的空间分布函数;  $x_i$  ——地理因子;  $a_i$  ——待定系数,用最小二乘法求得。

1.3.3 空间分布模型精度检验方法 用参与建模的 23 个站资料进行回代检验,用未参与建模的 3 个站资料进行模拟检验,通过回代和模拟检验平均相对误差( $\delta$ )分析模型的推算精度。

$$\delta = (n^{-1} \sum_{i=1}^n y_i^* / y_i - 1) \quad (5)$$

式中:  $y_i^*$  ——回代或模拟值;  $y_i$  ——实测值。精度标准:  $|\delta| \leq 5\%$  为高精度,  $5\% < |\delta| \leq 10\%$  为中等精度,  $10\% < |\delta| \leq 15\%$  为低精度。

1.3.4 不同时间尺度模型推算结果的一致性检验方法 月、季、年不同时间尺度模型推算结果的一致性关系到所有模型的可靠性和推算结果的可用性。先用逐月降水模型推算结果统计出年、季降水量,再用年、季降水量模型计算出相应的降水量,通过对两种方法相对误差( $\delta$ )的对比分析,检验同一气候要素不同时间尺度模型的一致性。

## 2 结果与分析

### 2.1 降水量空间分布模型的建立

根据(4)式,经过对不同幂级数展开式的反复试验,一次幂级数展开式能够较好的模拟兴安盟降水量的空间分布,即

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 \quad (6)$$

式中:  $a_0, a_1, a_2, a_3$  ——待定系数;  $x_1, x_2, x_3$  ——经度、纬度和海拔高度。采用多元回归统计方法,用其

中 23 个站资料建立方程,用吉林省的洮南、黑龙江省的龙江和通辽市的鲁北三个周边站资料进行模拟检

验。降水量空间分布模型见表 1,同时将相关系数 ( $R$ ), 显著性检验( $\alpha$ ), 平均相对误差( $\delta$ ) 列入表 1。

表 1 降水量空间分布模型、显著性检验及回代检验结果

序号	回归模型	相关系数 $R$	$\alpha$	回代 $\delta$	模拟 $\delta$
1	$y = 1730.0 - 24.7278x_1 + 37.6327x_2 - 0.0642x_3$	0.9016	0.01	3.9	2.2
2	$y = -330.1 + 3.3658x_1 - 0.834x_2 + 0.0221x_3$	0.6349	0.05	6.9	4.8
3	$y = 3058.5 - 35.6577x_1 + 35.7897x_2 - 0.1432x_3$	0.8244	0.05	3.1	3.0
4	$y = -514.5 + 2.9195x_1 + 4.5185x_2 + 0.0218x_3$	0.9268	0.01	5.0	4.9
5	$y = -463.6 + 4.4201x_1 - 1.6844x_2 + 0.0339x_3$	0.8234	0.05	8.2	7.6
6	$y = 2646.6 - 33.5943x_1 + 40.9746x_2 - 0.124x_3$	0.8847	0.05	4.4	2.7
7	$y = -77.8 + 0.7243x_1 - 0.2478x_2 + 0.0065x_3$	0.7780	0.05	10.4	9.8
8	$y = -34.0 + 0.3808x_1 - 0.2652x_2 + 0.0045x_3$	0.7808	0.05	9.6	9.3
9	$y = -173.4 + 1.8583x_1 - 1.135x_2 + 0.0115x_3$	0.8216	0.05	7.5	3.0
10	$y = -208.1 + 1.5692x_1 + 0.6138x_2 + 0.007x_3$	0.7776	0.05	5.9	3.2
11	$y = 51.3 - 0.0618x_1 - 0.3129x_2 + 0.0036x_3$	0.6529	0.05	4.8	4.3
12	$y = 598.1 - 6.5209x_1 + 6.1556x_2 - 0.0179x_3$	0.6941	0.05	4.1	4.0
13	$y = 2432.5 - 25.7887x_1 + 19.3109x_2 - 0.1071x_3$	0.7394	0.05	4.9	4.4
14	$y = 27.9 - 3.3481x_1 + 10.3231x_2 - 0.0183x_3$	0.8670	0.05	4.6	4.8
15	$y = -255.3 + 0.5559x_1 + 4.8838x_2 + 0.0085x_3$	0.9610	0.01	5.1	7.0
16	$y = -259.2 + 2.3635x_1 - 0.3653x_2 + 0.0133x_3$	0.6336	0.05	8.3	2.7
17	$y = -191.7 + 1.8715x_1 - 0.8023x_2 + 0.0125x_3$	0.8857	0.05	8.4	8.7
18	$y = -160.0 + 1.4433x_1 - 0.3691x_2 + 0.0103x_3$	0.7890	0.05	10.3	9.8

表 1 中序号 1~18 依次分别为年(1-12 月)、春季(3-5 月)、夏季(6-8 月)、秋季(9-10 月)、冬季(11 月至翌年 2 月)、作物生长季(4-9 月)和 1-12 月各月降水量空间分布模型。

## 2.2 降水量空间分布模型的检验

2.2.1 模型效果检验 由表 1 可见,建立的 18 个降水量空间分布模型全部通过了显著性检验 ( $P \leq 0.05$ ), 其中有 3 个模型通过极显著性检验 ( $P \leq 0.01$ )。说明降水量空间分布模型推算效果较好, 统计意义上可用来推算兴安盟无气象资料地区的降水量空间分布。

模型回代检验和模拟检验结果(表 1)表明, 有

表 2 不同时间尺度空间分布模型一致性检验结果

模型名称	回代 $\delta_1$	回代 $\delta_2$	回代 $\delta_1 - \delta_2$	模拟 $\delta_1$	模拟 $\delta_2$	模拟 $\delta_1 - \delta_2$
年降水量	4.8	3.9	0.9	3.2	2.2	1.0
春季降水量	6.4	6.9	-0.5	6.8	4.8	2.0
夏季降水量	3.9	3.1	0.8	3.7	3.0	1.7
秋季降水量	6.7	5.0	1.7	7.1	4.9	2.2
冬季降水量	9.5	8.2	1.3	9.2	7.6	1.6
生长季降水量	4.1	4.4	-0.3	4.5	2.7	1.8

注:  $\delta_1$  为采用月模型计算的相对误差;  $\delta_2$  为采用年、季模型计算的相对误差。

## 2.3 兴安盟地区降水量空间分布特征

在 GIS 平台下, 将  $3' \times 3'$  的地理信息栅格图层代入降水量分布模型中, 输出兴安盟地区  $3' \times 3'$  的降水量空间分布图(18 张), 由于篇幅有限本文只分析年降水量的空间分布特征。

44% 的模型回代检验和 67% 的模型模拟检验平均相对误差在  $-5\% \sim 5\%$  之间, 只有 1 月和 12 月降水模型回代相对误差超过 10%, 回代检验的最大误差出现在所选样本范围的南北两端地区, 只有极少数出现在兴安盟境内。说明建立的降水量空间分布模型推算精度能够满足兴安盟地区不同用户需求。

2.2.2 不同时间尺度模型一致性检验 检验结果(表 2)表明, 采用月降水量时间尺度模型回代和模拟的年、季降水量误差 ( $\delta_1$ ), 比采用年、季降水量模型回代和模拟的误差 ( $\delta_2$ ) 大, 其差值 ( $\delta_1 - \delta_2$ ) 小于任何时间尺度模型本身的相对误差, 说明建立的月降水量模型和年、季降水量模型之间具有较好的一致性。

由于所建立模型均采用大兴安岭东南坡资料, 因此本文只对大兴安岭东南坡兴安盟地区降水量进行分析。图 1 表明, 兴安盟地区年降水量自东南向西北逐渐递增, 大兴安岭西北坡降水量最多, 而东南部的主要农区降水量最少。西北部的林牧农交错带年降

水量为 440~460 mm, 包括扎赉特旗的西北部、科右前旗的西北部和阿尔山市; 依次向东南的半农半牧区为 420~440 mm, 包括扎赉特旗的东南部、科右前旗的东南部、乌兰浩特市、突泉县和科右中旗西北部的少部分地区; 农区降水量不足 420 mm, 包括突泉县、科右中旗的大部分地区。受季风气候影响, 年降水量的 73%~76% 集中在夏季(250~370 mm), 作物生长季(4~9月)降水量占年降水量的 93%~94%, 冬季降水量最少, 仅占年降水量的 1%~2%, 阿尔山林区冬季降雪量接近 30 mm, 占年降水量的 6%。

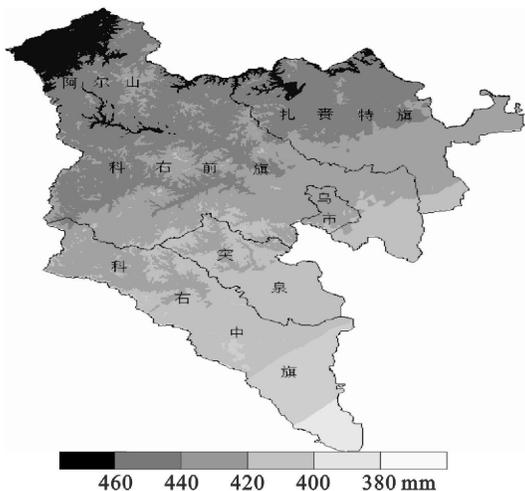


图1 兴安盟年降水量空间分布

由于夏季盛行东南风, 其他季节均盛行西北风, 受东北-西南走向的大兴安岭山脉影响, 降水量随地理因子的变化特征为: (1) 冬、春季节以及 1~4月、6~7月、10~12月经度的影响大于纬度的影响, 年、秋季、作物生长季以及 5月、8~9月纬度的影响大于经度的影响, 夏季经、纬度的影响接近; 海拔高度的影响则夏季最大(14.3 mm/100 m), 春秋季最小(2.2 mm/100 m)。 (2) 在同纬度和高度下, 年、夏季、作物生长季以及 5~8月降水量随经度的增加而递减, 即由西向东逐渐减少, 递减率最大的是夏季为 35.7 mm/1°E, 最小的是 5月为 0.06 mm/1°E, 其他时段递减率为 3.4~33.6 mm/1°E; 春季、秋季、冬季以及 1~4月和 9~12月降水量则随经度的增加而递增, 即由西向东逐渐增加, 递增率最大的是冬季为 4.4 mm/1°E, 最小的是 2月为 0.4 mm/1°E, 其他时段递增率为 0.6~3.4 mm/1°E。 (3) 在同经度和高度下, 年、夏季、秋季、作物生长季以及 4月和 6~9月降水量随纬度的增加而递增, 即由南向北逐渐增加, 递增率最大的是作物生长季为 41.0 mm/1°N, 最小的是 4月为 0.6 mm/1°N, 其他时段递增率为 4.5~37.6 mm/1°N; 冬季、春季、以及 1~3月、5月和 10~12月降水量则随纬度的增加而逐渐递减, 递减率最大的是冬季为

1.7 mm/1°N, 最小的是 1月为 0.3 mm/1°N, 其他时段递减率为 0.4~1.1 mm/1°N。 (4) 在同纬度和同经度下, 春季、秋季、冬季、以及 1~5月和 9~12月降水量随海拔高度的增加而递增, 递增率最大的是冬季为 3.4 mm/100 m, 递增率最小的是 5月为 0.4 mm/100 m, 其他时段递增率为 0.7~2.2 mm/100 m; 年、夏季、作物生长季和 6~8月降水量则随海拔高度的增加而递减, 递减率最大的是夏季为 14.3 mm/100 m, 递减率最小的是 6月和 8月为 1.8 mm/100 m, 其他时段递减率为 6.4~12.4 mm/100 m。

### 3 结论与讨论

大兴安岭中段东南坡降水量推算结果表明, 内蒙古兴安盟地区年降水量由东南向西北逐渐递增, 大兴安岭西北坡降水量最多, 而东南部的农区降水量最少。岭东南林牧农交错带年降水量为 440~460 mm, 半农半牧区为 420~440 mm, 农区降水量不足 420 mm。受季风气候影响, 年降水量的 73%~76% 集中在夏季(250~370 mm), 作物生长季(4~9月)降水量占年降水量的 93%~94%, 冬季降水量最少, 仅占年降水量的 1%~2%, 阿尔山林区冬季降雪量接近 30 mm, 占年降水量的 6%。

受盛行西北风向和大兴安岭山脉遮挡影响, 兴安盟地区年降水量空间分布受纬度影响最明显, 其次是经度, 海拔高度的影响比较小。地理因子对不同季节、不同月份降水量的影响程度因季节而有所差异。年降水量随纬度的增加而递增, 递增率为 37.6 mm/1°N; 随经度的增加而递减, 递减率为 24.7 mm/1°E; 随海拔高度的增加而递减, 递减率为 6.4 mm/100 m。

大兴安岭西北坡与东南坡地形差异较大, 应用同一模型推算降水量可能造成岭西北坡的推算结果误差偏大。随着自动气象站点的增加, 今后可以为岭西北坡单独建立降水量空间分布模型。另外, 降水量局地性比较强, 受下垫面性质以及坡度、坡向影响显著, 对于降水量宜采用普通克里金法进行空间插值效果可能更加理想<sup>[14]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] C. A. 萨鲍日妮科娃. 小气候与地方小气候[M]. 江广恒译. 北京: 科学出版社, 1963: 45-83.
- [2] 正务章. 岐阜县地方レニおしうの日最高气温/日最低气温の地理分布の推定方法[J]. 研究时报, 1976, 26(8): 371-337.
- [3] 沈国权. 考虑宏观地形的小网格温度场分析方法及应用[J]. 气象, 1984, 10(4): 2-27.

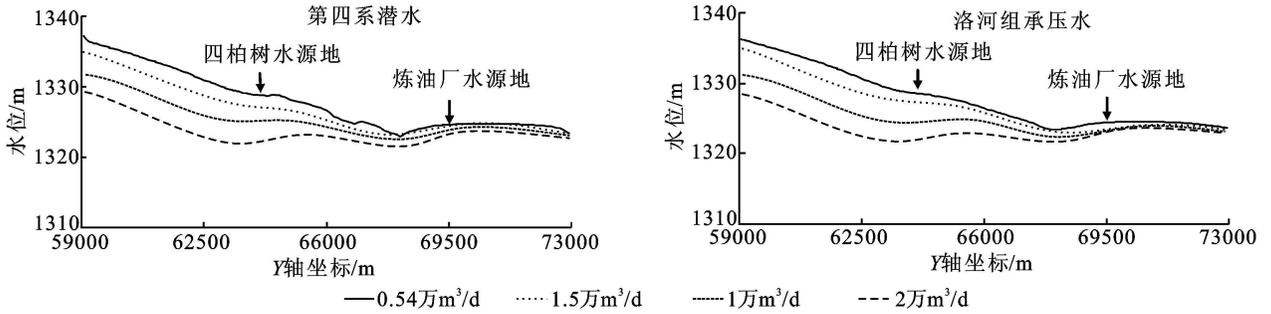


图 8 30 年末 I-I 剖面地下水位(头)

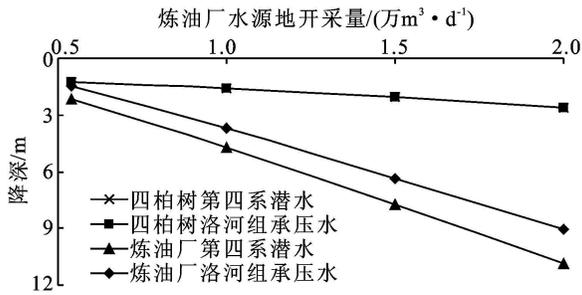


图 9 水源地井点单元最大水位降深曲线

### 4 结论

通过数值评价, 综合分析了两水源地的运行对区域水环境的影响。研究表明:

(1) 两水源地均属开采“消耗”型水源地。随着开采量的增加, 水位(头)降在增大, 区域上地下水水位(头)的下降幅度差异不是很大, 近于等幅下降, 仅在水源地开采区内降幅增大, 两水源地大致以芦河为界分别形成两个地下水降落漏斗, 且均以水源地开采区为中心呈近似圆形宽浅的封闭降落漏斗。

(2) 两水源地在现状条件下单独增采时, 随开采量的增加, 两水源地开采后相对稳定的水位(头)下降速度及 30 a 末水位(头)降深均呈逐渐增大的趋势, 相互的影响也越来越显著, 在水源地实际增采时需统筹安排。

(3) 水资源数值评价是预测开采条件下远期年区域水资源状况的有效手段, 对区域生态环境的保护与水资源合理开发利用有着积极的作用。

### 参考文献:

[1] 王玮, 马思锦. 靖边平原地下水开发利用模式初探[C]//中国西部环境问题与可持续发展国际学术研讨会论文集. 2004: 588-592.

[2] 王玮, 马思锦, 郭洪钧. 四柏树水源地三维水文地质数值模拟中的参数最优估计[J]. 地下水, 2003, 25(3): 141-146.

[3] 孙纳正. 地下水流的数学模型和数值方法[M]. 北京: 地质出版社, 1981: 25-51.

[4] 李俊亭. 地下水数值模拟[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 44-52.

[5] Chiang W H, Kinzelbach W. 3D-groundwater modeling with PMWIN a simulation system for modeling groundwater flow and pollution[M]. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.

[6] 李佩成. 地下水动力学[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 183-201.

[7] 陈雨孙, 颜明志. 抽水试验原理与参数测定[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.

[8] 邹正盛, 郑清洁. 求水文地质参数的计算机配线法[J]. 工程勘察, 2001(6): 30-33.

(上接第 201 页)

[4] 傅抱璞. 山地气候要素空间分布的模拟[J]. 气象学报, 1988, 46(3): 319-326.

[5] 傅抱璞. 地形和海拔高度对降水的影响[J]. 地理学报, 1992, 47(4): 302-314.

[6] 卢其尧, 傅抱璞, 虞静明. 山区农业气候资源空间分布的推算方法及小地形的气候效应[J]. 自然资源学报, 1988, 3(2): 101-112.

[7] 翁笃鸣. 山地温度状况的分析和推算(一)[J]. 气象, 1985, (3): 34-38.

[8] 欧阳宗继, 赵新平, 赵有中, 等. 山区局地气候的小网格研究方法[J]. 农业工程学报, 1996, 12(3): 144-148.

[9] 内蒙古自治区改造中低产田的综合农业气象工程研究

课题组. 内蒙古东部丘陵山区水热资源的推算和分析[J]. 内蒙古气象, 1996(4): 11-14.

[10] 穆兴民, 陈国良. 黄土高原降水与地理因素的空间结构趋势分析[J]. 干旱区地理, 1993, 16(2): 71-76.

[11] 穆兴民, 徐学选, 陈国良. 黄土高原降雨量的地理地带性研究[J]. 水土保持通报, 1992, 12(4): 27-32.

[12] 钱锦霞, 张建新, 王果静, 等. 基于 Citystar 地理信息系统的农业气候资源格点推算[J]. 中国农业气象, 2003, 24(1): 47-50.

[13] 吴文玉, 马晓群. 基于 GIS 的安徽省气温数据栅格化方法研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(2): 263-267.

[14] 孟庆香, 刘国彬, 杨勤科. 基于 GIS 的黄土高原气象要素空间插值方法[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 10-14.