

# 基于 DEM 的山区气温空间模拟方法

张洪亮<sup>1</sup>, 倪绍祥<sup>1</sup>, 邓自旺<sup>2</sup>, 谌芸<sup>2</sup>, 查勇<sup>1</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210097; 2. 南京气象学院, 江苏 南京 210044)

**摘 要:** 气温作为一种农业资源是由太阳辐射到达大气形成的, 在地球表面的分布与地表的地形特征密不可分(特别在山区)。数字高程模型(Digital Elevation Model, 简称 DEM)作为一种地表形态的描述方式, 在利用空间信息进行各种专题分析研究和规划决策过程中具有很大的实用价值。研究提出了以地理信息系统(GIS)为支撑, 在常规统计模型(CSM)的基础上, 利用地形的坡度、坡向因子进行山区气温空间小尺度模拟的修正模型——地形调节统计模型(TASM), 并在环青海湖地区进行实际应用。研究结果表明, 地形调节统计模型优于常规的统计模型, 从而为山区任一地域单元气温空间分布的快速计算提供了一种可行的方法, 对山区气温资源的专题应用具有重要的意义。

**关键词:** 数字高程模型(DEM); 地理信息系统(GIS); 气温模拟; 地形调节统计模型; 山区

中图分类号: P423; P46

文献标识码: A

气温作为人类社会的一种自然资源, 由于纬度、海陆分布以及地势地貌与下垫面的特性不同, 造成气温资源在空间分布上有明显的区域差异。评估一个区域的气温资源方法很多。20 世纪 80 年代以前, 一般用离散点等值线法, 这种方法简单, 在地形不复杂的平原地区基本可用, 但对以丘陵山地为主的地区用这种方法显得十分粗糙, 因为没有考虑地形的影响可能出现错误的结论。自 80 年代以来, 国内学者相继提出了相关的一些计算方法和模型<sup>[1, 2, 3]</sup>, 这些研究方法虽然能反应整个区域的趋势, 但局部误差较大, 且计算繁琐, 工作量大。随着地理信息系统(GIS)的迅速发展, 在 90 年代后期, GIS 技术开始被用于气温资源的定量评估分析, 提高了分辨率, 大大减少了工作量<sup>[4, 5]</sup>。

气温是由太阳辐射到达大气形成的, 在地球表面的分布与地表的地形特征密不可分, 特别在山区, 微观地形复杂, 影响程度不一, 如何在气象站点有限的情况下, 提高山区气温空间模拟的精度, 仍然是一个很值得研究的内容。数字高程模型(Digital Elevation Model, 简称 DEM)作为一种地表形态的描述方式, 在利用空间信息进行各种专题分析研究和规划决策过程中具有很大的实用价值<sup>[6]</sup>。因此, 本文提出了以地理信息系统为支撑, 在常用统计模型的基础上, 利用坡度、坡向因子进行山区气温空间小

尺度模拟的修正模型——地形调节统计模型, 并在环青海湖地区进行实际应用, 取得了较好的效果。

## 1 地形调节统计模型的提出

### 1.1 气温模拟的常规统计模型

关于气温的推算方法, 目前主要有如下两种, 一是先将影响一地温度(或两地温差)的要素分解为若干订正项, 然后进行综合, 得出任意地点温度的推算值; 二是建立温度与其影响要素之间的多元统计模型, 用以进行温度推算。

这里考虑到以地理信息系统为技术工具, 选用第二种方法, 即根据实测站点的气温, 建立气温因子同位置、地形等因子间的关系, 模拟气温信息的空间变化规律。该类模型可表示为

$$T_H = f(\lambda, \Phi, h)$$

式中  $\lambda, \Phi$  分别为观测站点的经纬度;  $h$  为观测站的海拔高度。

其中海拔高度、纬度因子一般对气温表现显著相关, 在温度场要素成单向化分布的一阶情况下, 可简单的表述为多元一次回归方程

$$T_H = a_0 + a_1 \lambda + a_2 \Phi + a_3 h$$

### 1.2 气温模拟的地形调节统计模型

假设地球表面为接近朗伯体, 则地球表面在各

收稿日期: 2001-10-22; 改回日期: 2002-03-18.

基金项目: 国家自然科学基金(49971056)和南京气象学院气象灾害和环境变化重点开放实验室开放基金(KLMED10202)资助。

作者简介: 张洪亮(1969-), 男, 四川省仁寿县人, 副教授, 博士后, 主要从事遥感和 GIS 应用研究。公开发表学术论文 20 余篇, 获省科技进步三等奖一项。E-mail: zhlhjn@263.net Tel: 025-3598172(h), 025-3598121(O).

个方向上的反射入射辐射相同, 这非常近似于被漫射的天空光照明的一张表面粗糙的白纸, 此白纸的观察亮度不随观察角度的变化而变。因此, 朗伯体校正函数仅仅修正由表面方位产生的照度差异<sup>[7]</sup>。假设面辐射强度与入射角的余弦值成比例。入射角( $i$ )是表面法线与太阳光束(射线)之间的角度。可按下面的公式进行计算<sup>[8,9]</sup>

$$\cos i = \cos e \cos z + \sin e \sin z \cos(\Phi_s - \Phi_n)$$

式中  $e$  为表面法线天顶角或地形坡度;  $z$  为太阳天顶角;  $\Phi_s$  为太阳方位角;  $\Phi_n$  为坡度角的表面方位。

当太阳不在天顶时, 把一倾斜表面的面辐射强度修正为一投影于水平表面的面辐射强度, 可由下面的函数得到<sup>[10]</sup>

$$L_H(\lambda) = L_T(\lambda) \cos z / \cos i$$

式中  $L_H(\lambda)$  为水平表面的面辐射强度;  $L_T(\lambda)$  为倾斜地形的面辐射强度。

我们知道, 温度是由太阳辐射到达大气形成, 与辐射强度成正比, 辐射强, 温度高; 辐射弱, 温度低。由常规统计模型模拟得到的气温, 没有考虑地形对它的影响。因此, 在考虑地形(坡度、坡向)特征的情况下, 根据上述面辐射强度与地形的函数关系, 实际的气温值由下面的函数得到

$$T_T = T_H \cos i / \cos z$$

式中  $T_T$  为地形调节统计模型模拟的气温值;  $T_H$  为常规统计模型模拟的气温值。

在由常规统计模型模拟气温的过程中, 假设忽略除地形外其它所有因素所带来的误差, 理论上, 常规统计模型模拟的温度在阴坡比实际的气温高, 在阳坡比实际的气温低。因此, 从站点气温测定方法和气温模拟方法来看, 我们可把太阳天顶角假设为  $45^\circ$ , 太阳方位角假设为  $180^\circ$ , 由此, 上述地形调节统计模型为

$$T_T = T_H (\cos e - \sin e \cos \Phi_n)$$

## 2 应用实例

结合国家自然科学基金资助项目“遥感和 GIS 支持下的蝗虫生境模型和技术系统研究”, 利用所提出的地形调节统计模型对环青海湖地区的气温空间分布进行模拟, 目的在于进行气温与草地蝗虫发生关系的研究。

### 2.1 研究区概况

环青海湖地区即青海湖周边地区, 总面积  $16\ 730\text{km}^2$ 。它地处青藏高原的东北隅, 位于  $99^\circ 36' \text{E} \sim 100^\circ 47' \text{E}$  和  $36^\circ 32' \text{N} \sim 37^\circ 15' \text{N}$ 。地形上为一湖泊

盆地, 四周为高山阻挡, 区内地形复杂多样, 海拔高度差异明显, 其北、东、南侧的山地海拔大多在  $4\ 200\text{m}$  以上。典型的高原大陆性气候, 以干旱、寒冷、多风为主要特征。

### 2.2 GIS 气温数据库的建立

GIS 数据库是某一区域内关于一定地理要素特征的数据集合, 也称为空间数据库。每个气象台站都有几十年的气象观测资料。收集环青海湖地区邻近 13 个气象观测站点的多年月均温资料及各站点的经纬度和海拔高度, 建立了月均温资源 GIS 数据库。在该数据库中每个气象台站在空间上用一点表示, 根据其经纬度, 确定其空间位置。该数据库在 GIS 中为一个点层, 每个点的属性数据即为月均温资源的要素值。建立该点图层时为免去数字化的麻烦, 我们将气象台站的位置和观测站名写成一个文本文件, 利用 ARC/INFO 把此文本文件转换成点层 coverage 数据。

### 2.3 数字高程模型(DEM)的建立

气温资源的分布与地形特征紧密相连, 在 GIS 中要分析一个地区的气温资源, 必须建立该区的数字高程模型, 它是带有空间位置特征和地形属性特征的数字描述。利用青海省气象中心提供的  $1:25$  万 ( $96^\circ \text{E} \sim 102^\circ \text{E}$  和  $35^\circ \text{N} \sim 38^\circ \text{N}$ ) 的等高线矢量数据 (ARC/INFO 格式) 及数字化  $1:10$  万 ( $99^\circ 36' \text{E} \sim 100^\circ 47' \text{E}$  和  $36^\circ 32' \text{N} \sim 37^\circ 15' \text{N}$ ) 的地形图资料, 建立了环青海湖邻近地区  $1:25$  万及环青海湖地区  $1:10$  万的矢量和栅格结构的地形、经度和纬度等空间数据库。利用 ARC/INFO 地理信息系统, 对研究区内的实测气温资源和地形等空间数据库, 分别进行投影转换, 形成统一的地图投影坐标系。

### 2.4 地形调节统计模型的实施和结果输出

这里, 我们以环青海湖地区 1997 年 5 月的月均温空间模拟为例, 说明地形调节统计模型的实施过程。

首先, 选用青海湖地区邻近 13 个气象观测站点 1997 年 5 月的月均温和地形资料, 采用多元一次线性回归的方法, 得出环青海湖地区 1997 年 5 月的月均温统计模型为

$$T_H = 68.198 - 1.1 \times 10^{-5} X - 6.85 \times 10^{-6} Y - 8.25 \times 10^{-3} H \quad (R^2 = 0.95)$$

式中  $X$ 、 $Y$  分别为 UTM 投影的  $X$ 、 $Y$  值;  $H$  为海拔高度(m)。

其次, 利用 ARC/INFO 系统产生研究区的  $X$  坐标栅格图、 $Y$  坐标栅格图和海拔高度栅格图以及由

数字高程模型(DEM)提取研究区的坡度图和坡向图(栅格大小为 $250\text{m}\times 250\text{m}$ )。

最后,利用地形调节统计模型在ARC/INFO的

GRID模块下进行各种运算,得到由地形调节统计模型产生的环青海湖地区1997年5月的月均温空间数据库和栅格空间分布图(见图1)。

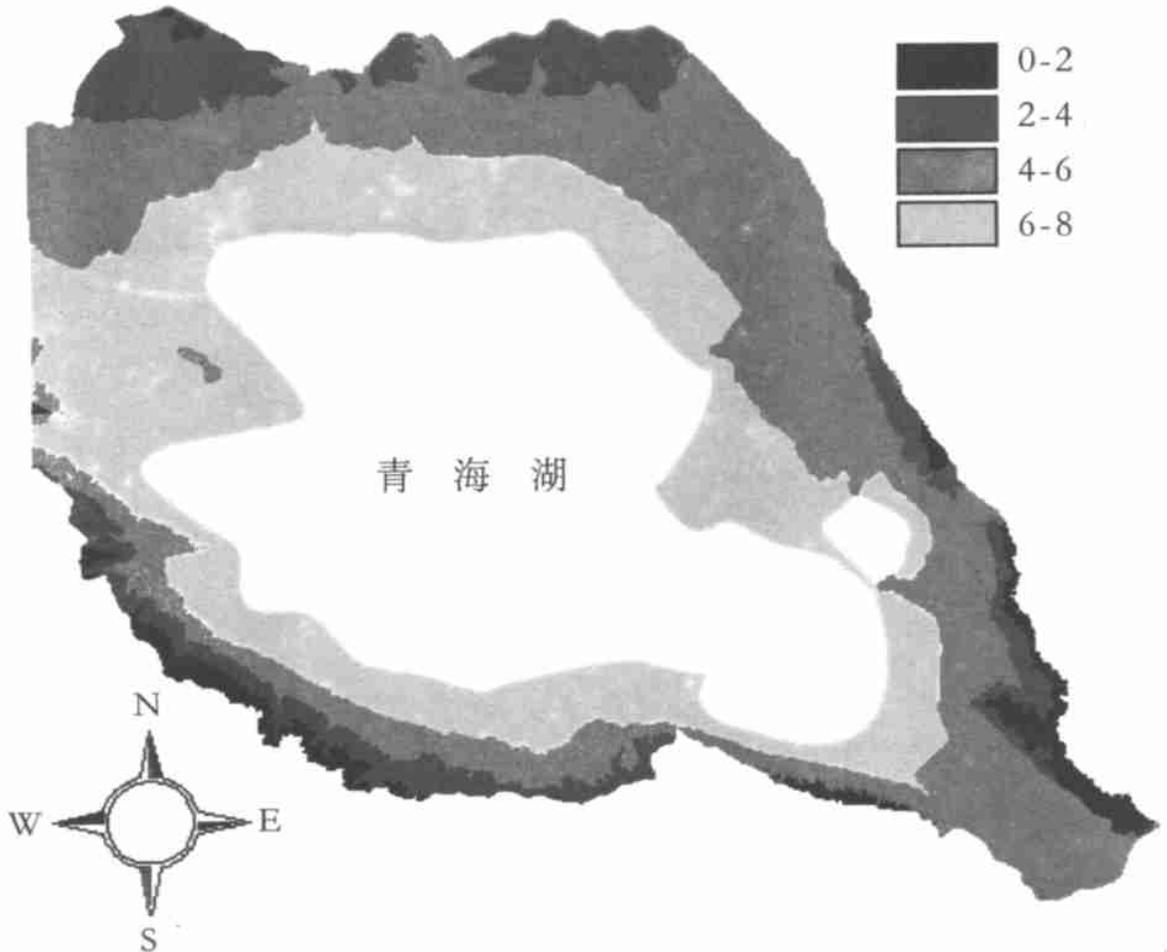


图1 环青海湖地区1997年5月月均温空间分布图(由地形调节统计模型产生)

Fig. 1 The spatial distribution map of average month temperature in May, 1997 in the region around Qinghai lake by topography-adjusted statistical model

从上述模型和图1可看出,研究区内任一栅格单元的气温与其所在的经度、纬度和海拔高度密切相关。环青海湖地区的气温随着经度和纬度的增加而减少,其总体分布有自西北向东南递减的规律。多元统计回归模型可以反应气温的总体分布趋势,通过引入坡度和坡向因子,可以消除地形因子的影响,反应局部地区的特异变化。

## 2.5 模型验证

由于某一位置实际气温获取的不可能性,且在邻近13个气象观测站点中只有4个观测站点具有

坡度(表1),所以在进行模型验证时,采用了1997年5月和1997年6月两次模拟的月均温结果,用绝对误差值的大小进行常规统计模型和地形调节统计模型的精度比较分析(表2)。绝对误差计算公式

$$T_{err} = T_s - T_m$$

式中  $T_{err}$  为气温模拟误差值;  $T_s$  为检测站点的实测值;  $T_m$  为检查站点的模拟值,对于常规统计模型为  $T_H$  值,对于地形调节统计模型为  $T_r$  值。从表2可看出地形调节统计模型在模拟精度上比常规的统计模型都有不同程度的提高,从而也说明了在山区

微观地形对气温空间分布的影响是不可忽略的。

表 1 四个气象观测站点的地形特征

Table 1 Topographical characteristics of four meteorological viewing stations

站名	坡度	坡向
同德	1.79	23.2
江西沟	0.95	348.3
刚察	3.61	243.02
贵德	2.0	311.7

### 3 结论与讨论

1. 多元统计模型反映了气温因子在空间上的宏观变化规律, 尤其是消除了海拔高度对气温空间分布的影响; 在常规统计模型的基础上, 引入地形因子

(坡度和坡向), 进行地形因子的影响校正, 从而消除了常规统计模型在局部位置上的误差。因此, 在气象观测站点有限的情况下, 采用本文所提出的地形调节统计模型, 进行山区气温小尺度空间模拟, 建立空间分布式数据库, 是一种可行的方法。

2. 基于朗伯体假设的面辐射强度“地形影响”校正, 仅对一限定范围的入射角和反射角有效, 而且可能对“地形影响”过度补偿<sup>[11, 12]</sup>。在采用基于朗伯体假设的地形统计模型进行气温空间模拟的“地形影响”校正时, 是不是也存在同样的问题, 由于受到实际检验数据的限制, 有待今后进一步探讨。另外利用此种方法进行山区其它气候要素的研究(如降水量的空间分布模拟)也是大有可为的。

表 2 地形调节统计模型与常规统计模型模拟月均温精度比较

Table 2 A comparison of the stimulated average month temperature accuracy by TASM and CSM

站名	月/年	实际月均温 $T_S$ (°C)	模拟月均温 $T_H$ (°C)	模拟月均温 $T_T$ (°C)	$T_S - T_H$ (°C)	$T_S - T_T$ (°C)
同德	5/1997	6.8	7.39	7.17	-0.59	-0.37
江西沟	5/1997	6.8	6.97	6.86	-0.17	-0.06
刚察	5/1997	6.2	5.98	6.14	0.22	0.06
贵德	5/1997	13.9	14.71	14.36	-0.81	-0.46
同德	6/1997	9.4	10.12	9.82	-0.72	-0.42
江西沟	6/1997	9.3	9.44	9.29	-0.14	0.01
刚察	6/1997	8.6	8.44	8.66	0.16	-0.06
贵德	6/1997	16.1	16.88	16.48	-0.78	-0.38

### 参考文献:

- [1] 傅抱璞. 山地气候[M]. 北京: 科学出版社, 1983. 231~237.
- [2] 卢其尧. 山区年月平均气温推算方法的研究[J]. 地理学报, 1988, 43(3): 213~222.
- [3] 袁德辉, 翁笃鸣. 县级山区月平均气温推算方法[J]. 地理研究, 1992, 11(3): 32~36.
- [4] 史舟, 王人潮, 吴宏海. 基于 GIS 的山区年均温分布模拟与制图[J]. 山地研究, 1997, 15(4): 264~268.
- [5] 殷剑敏, 魏丽. 基于 Arcinfo, Erdas, Arcview 下的气候资源评估方法[A]. 见富融科技公司. 第四届 ARC/INFO 暨 ERDAS 年会论文集[J]. 北京: 地质出版社, 2000. 83~88.
- [6] 柯正谊, 何建邦, 池天河. 数字地面模型[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 1~318.
- [7] Jones A. R., J. J. Settle, and B. K. Waytt. Use of digital terrain data in the interpretation of SPOT-1 HRV multispectral image. *International Journal of Remote Sensing*, 1988, 9(4): 669~682.
- [8] Smith, J., Lin, T., and Ranson, K.. The Lambertian assumption and Landsat data. *PE&RS*, 1980, 46: 1183~1189.
- [9] Holben B. N., and C. O. Justice. The topographic effect on spectral response from nadir-pointing sensors. *PE&RS*, 1980, 46(9): 1191~1200.
- [10] Teillet P. M., B. Guindon, and D. G. Coodeonugh. On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1982, 8(2): 84~106.
- [11] Smith, J., Lin, T., and Ranson, K.. The Lambertian assumption and Landsat data. *PE&RS*, 1980, 46: 1183~1189.
- [12] Ekstrand, S. Landsat TM-based forest damage assessment: correction for topographic effects. *PE&RS*, 1996, 62: 151~161.

## A Method of Spatial Simulating of Temperature Based Digital Elevation Model (DEM) in Mountain Area

ZHANG Hong-liang<sup>1</sup>, NI Shao-xiang<sup>1</sup>, DENG Zi-wang<sup>2</sup> and CHEN Yun<sup>2</sup>, ZHA Yong<sup>1</sup>

(1. College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097 China;

2. Nanjing Meteorology University, Nanjing 210044 China)

**Abstract:** Temperature, as a kind of agriculture resource, is formed by solar radiation to atmosphere, its distribution on earth surface is interwoven with topographic characteristics of the surface, especially in mountain area. Digital Elevation Model (DEM), as a descriptive way of the surface pattern, has practical value in all kinds of monographic study and planning-decision using spatial information. In this paper, Topography- Adjusted Statistical Model (TASM), which corrects the mountain temperature based Conventional Statistical Model (CSM) by using the topographic factors (slope and aspect) on the small scale, was presented, and applied in the region around Qinghai lake. The results show that TASM is superior to CSM and provides a method of temperature simulating spatially in mountain area, and has important significance to thematic application concerning temperature resource in mountain area.

**Key words:** digital elevation model; geographic information system; temperature simulation, topography-adjusted statistical model; mountain area