

利用 GIS 方法建立山区温度分布模型

陈晓峰 刘纪远 张增祥 彭旭龙 刘斌

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要 提出了一种在气象站点实测数据基础上, 利用 GIS 技术建立山区温度分布模型的方法。通过建立数字地形模型(DTM), 获取影响山地温度分布的地形要素, 并结合太阳年运动轨迹求出任一地点的天文太阳辐射值, 同时考虑海拔高度、地理位置等影响气温的因素以及站点实测数据建立山区温度分布模型。

关键词 山区气温、DTM、GIS

1 引言

众所周知, 影响山区气温分布与变化的因素很多, 主要包括: 宏观地理条件, 测点海拔高度, 地形(地形类别、坡向、坡度、地平遮蔽度等), 下垫面性质(土壤、植被状况等)。其中尤以海拔高度和地形的影响最显著^[1]。关于山区平均气温随海拔高度的分布问题, 许多人都进行过详细的研究, 一般认为平均气温随海拔高度增大呈线性递减。文献[2]对于目前国内推算山区月平均气温比较有代表性的方法进行了较详细的分析和比较。总的结论是, 现有的山区平均气温的推算方法还是很初步的, 主要还是通过精确计算山区气温递减率来了解不同高度带的温度特征, 对于各种小地形影响的考虑, 基本还处于粗略估算或移植借用阶段。本文提出了一种比较有效的和充分考虑地形影响因素的山区平均气温的计算方法。我们知道, 不同方位坡地上的温度差异主要是由于太阳辐射的差异而引起的。由于坡地位置不同, 坡地上每天的日照时间和一天中所接受的太阳辐射总量大有差异。凡是接受太阳辐射多的坡地, 其温度一般也高, 反之, 亦然。因此, 坡地上温度分布随坡向、坡度及季节和纬度而变化的特点和规律性, 一般与坡地上的辐射相类似^[3]。以此为依据, 首先以地理信息系统(GIS)为手段在研究区内建立网格形式的数字高程模型(DEM), 得到高程、坡度、坡向等地貌要

素; 结合太阳轨迹的变化周期, 建立太阳辐射模型, 求出任一时刻, 任一地点上的天文太阳辐射值, 以此来反映地形变化对气温的影响。综合考虑海拔高度、地理纬度、经度和天文太阳辐射值等因素对气温的影响, 进行多元回归计算, 最后建立温度分布模型。

2 山区直接太阳辐射模型

2.1 直接太阳辐射式

起伏不平的山地在不同的时刻太阳光线的入射角不同, 各种地形表面上所接收的直接太阳辐射量有着明显的差异。它是由地球表面法线方向与太阳照射方向的夹角以及大气的影两个因素决定的。根据朗伯定律, 坡面上的直接太阳辐射值可通过下式计算:

$$I = I_p \cos \theta \quad (1)$$

式中, I_p 表示垂直于太阳光线的平面上的直接太阳辐射, θ 表示地球表面法线方向(\vec{n})与太阳照射方向(\vec{S})的夹角(图 1)。

同时有:

$$\cos \theta = \vec{n} \cdot \vec{S} \quad (2)$$

将图 1 分解为图 2 和图 3, 可容易求出:

$$\vec{n} = (\cos \beta \cdot \sin \alpha, \sin \alpha \cdot \sin \alpha, \cos \alpha)$$

$$\vec{S} = (\cos \alpha \cdot \cos h, \sin \alpha \cdot \cos h, \sin h)$$

其中, α 、 β 分别表示坡面的坡度和坡向, a 、 h 分别表示太阳的方位角和高度角。

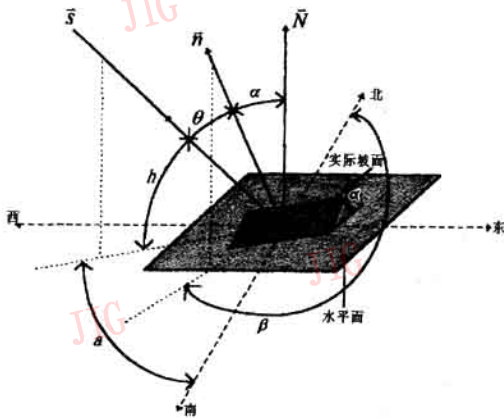


图 1 实际坡面与太阳的相对位置示意
Fig. 1 Relative position between sun direction and elementary surface

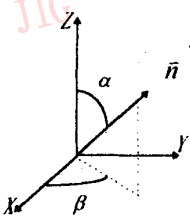


图 2 坡面法线向量
Fig. 2 Normal direction of elementary surface

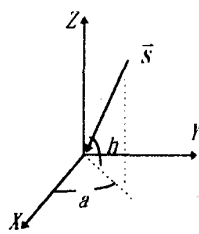


图 3 太阳光线向量
Fig. 3 Sun direction

将式(2)代入式(1),得

$$I = I_p \cdot [\cosh \cdot \sin \alpha \cdot \cos(\alpha - \beta) + \sinh \cdot \cos \alpha] \quad (3)$$

即为坡面上获得直接太阳辐射强度的普遍式,据此求得直接太阳辐射。

2.2 计算太阳赤纬和太阳时角

根据天文式可知:

$$\sinh = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t \quad (4)$$

$$\sin \alpha \cos h = \cos \delta \sin t \quad (5)$$

其中 δ 为太阳赤纬, φ 为地理纬度, t 为太阳时角。

太阳赤纬可从每年发布的天文年历中查出,或用傅里埃级数计算^[4]:

$$\begin{aligned} \delta = & 0.006918 - 0.399912 \cos \tau + \\ & 0.070257 \sin \tau - 0.006758 \cos 2\tau + \\ & 0.000907 \sin 2\tau - 0.002697 \cos 3\tau + \end{aligned}$$

$$0.001480 \sin 3\tau \quad (6)$$

其中 $\tau = \frac{2\pi}{365}(d_n - 1)$, d_n 表示太阳历的日期排列序号。

考虑到山地日出、日落时角至多与平地相同,通常研究中设日出、日落时的太阳高度角为零。根据式(4)简化得出:

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \quad (7)$$

太阳时角 t 在日出时为负,日落时为正,而且 $0^\circ < |t| < 180^\circ$ 。

已知太阳赤纬和地理纬度,用式(7)可以求出某一天太阳日出、日落时的时角,然后利用式(4)和(5),分别求出太阳高度角和方位角,最后根据式(3)求出某一时刻坡面上获得的瞬时直接太阳辐射量。

2.3 建立数字地形模型(DTM)

数字地形模型(DTM)能综合反映地形的基本特征,如:海拔高度、坡度和坡向。通过采用读点和等高线扫描输入等两种方法完成研究区内的高程数据采集,利用 GIS 软件的基本功能对高程数据进行内插,并建立数字高程模型(DEM)。然后计算得到具有高程、坡度和坡向因子的网格图(DTM)。网格的大小可以根据精度要求设定,研究中采用 100 米 × 100 米的网格,即每一个网格代表地面 10,000 平方米的实际面积,每一个网格同时具有海拔高度、坡度和坡向等地形属性特征,作为计算分析时实际地表的最小分析单元。最后将这些因子代入式(3)求出每一网格在某一时刻获得的瞬时直接太阳辐射量。

2.4 日太阳辐射量计算

计算中,地形要素是一个相对稳定的因子,而由于太阳位置每时每刻都处于变化中,同一地点所受到的辐射量随时间而不断变化。为了求取不同时间内的辐射量,将某一天从日出时刻 T_r 到日落时刻 T_s ,按精度要求分成 m 个时间段,每个时间段的时间增量(ΔT)为:

$$\Delta T = (T_s - T_r) / m \quad (8)$$

然后,按照式(3)分别计算每个时间段开始时的瞬间辐射 I ,然后乘以 ΔT ,得到每个时间段的近似辐射值 I_i :

$$I_i = I \cdot \Delta T = I \cdot (T_s - T_r) / m \quad (9)$$

将每个时间段的 I_i 累加得到日辐射总量 I_d :

$$I_d = \sum_{i=1}^m I_i \quad (10)$$

根据日辐射量 I_d , 可以求出月、年的直接太阳辐射总量。

2.5 地形遮蔽

上面所讨论的太阳辐射没有考虑地形遮蔽的影响。在实际研究中, 起伏的地形对太阳照射的影响是很大的, 不容忽视。有很多种计算地形遮蔽影响温度的算法, 文献[5]采用的算法相对比较简单, 而且适用于网格形式的数字高程模型(DEM)。图4为地形

关系, 从而影响被遮挡部位所接受到的太阳辐射量。由于将研究区划分为若干个基本分析单元, 每一个单元即为一个网格, 根据 DEM 中每个网格的边长 (P)、太阳方位角 (a) 和太阳高度角 (h), 可以计算太阳入射方向的高度递减值 (ΔE):

$$\Delta E = P \cdot \text{cosec } a \cdot \tan h \quad (11)$$

以 DEM 第一列网格的高度值减去 ΔE , 得到一个新的高度值 E_n , 如果第 2 列网格的高度值小于 E_n , 则此网格位置被遮蔽, 否则不被遮蔽。为了继续计算, 需重新设置 E_n , 如第 2 列的实际高度高于 E_n , 则 E_n 取第 2 列网格的高度值, 否则 E_n 不变。在计算第 3 列网格位置是否被遮蔽时, 置 $E_n = E_n - \Delta E$, 然后判断第 3 列网格的高度值是否高于 E_n , 如高于则不被遮蔽, 否则被遮蔽。依此类推, 重复以上步骤, 得到全区在给定时刻的遮蔽图。如果某一网格位置被遮蔽, 令 $I_p = 0$, 那么该网格位置所接受的太阳辐射为零。图 5、图 6 分别为计算形成的西藏拉萨市城关区一月、七月直接太阳辐射分布图。颜色越浅辐射值越高。

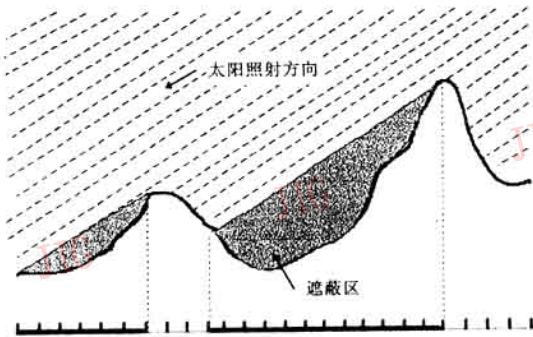


图4 地形剖面图

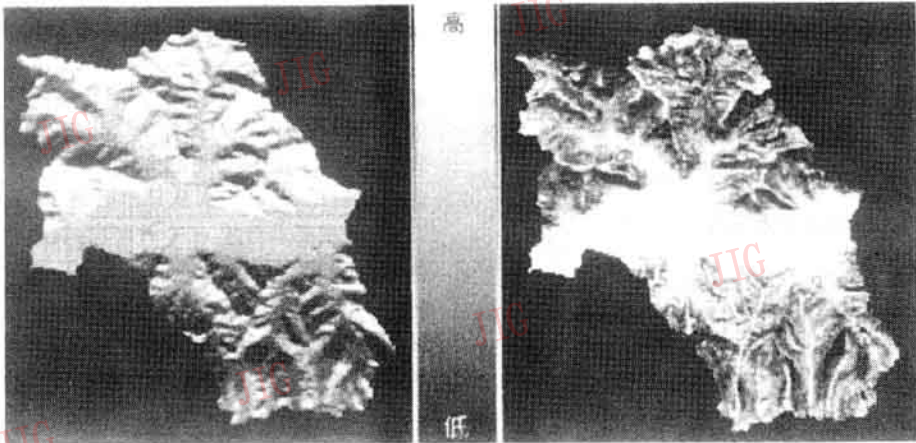
Fig. 4 One cross-section

剖面示意图, 被遮蔽部分表示成黑色。DEM 网格的行垂直于图面。地形遮蔽对温度的影响实际上是相邻或相近地点之间由于海拔高度不同而相互遮挡的

3 山区气温分布模型的建立

3.1 直接太阳辐射与平均气温的关系

在我国大陆地区, 气温年变程特点在很大程度上取决于天文辐射年变程, 任一月的平均气温与前一月天文辐射的相关系数可达 0.90 以上^[6]。也就是



说明: 图中颜色越亮代表辐射值越高, 颜色越暗代表辐射值越低。

图5 拉萨市城关区一月份直接辐射分布图

图6 拉萨市城关区七月份直接辐射分布图

Fig. 5 Insolation on Jan. in Lhasa area

Fig. 6 Insolation on July in Lhasa area

说直接太阳辐射与气温是线性相关的^[7]。根据计算直接太阳辐射而形成了西藏自治区拉萨市城关区的太阳辐射三维空间分布结果,然后结合周围地区 10 个气象站的实测数据建立线性回归方程,其相关系数为 0.94。这与文献[6]的结论相吻合。

3.2 气温分布模型

根据国内外学者的研究,影响气温的因素归纳起来有:推算点的地理纬度和经度、山脉走向、海拔高度和地形的影响。由于坡地上所接收到的直接太阳辐射量与坡地所处的坡度、坡向、周围地形的遮蔽,以及太阳的年变化轨迹有直接的关系,所以我们用该辐射量的大小表示地形对气温的影响。综合考虑以上因素建立多元线性回归方程式:

$$T = b + b_1 * I + b_2 * H + b_3 * X + b_4 * Y \quad (12)$$

式中, T 代表温度, b 为常数, b_1, b_2, b_3, b_4 为偏回归系数。 I, H, X, Y 分别代表直接太阳辐射、海拔高度、经度和纬度等。

根据西藏中部地区(不包括拉萨气象站)的 9 个气象站多年连续观测平均数据进行回归计算,复相关系数为 0.958。其中,经度与温度的显著性较差,其它因素的相关程度显著。得出下式:

$$T = 48.7335 + 0.001049 * I - 0.006882 * H - 0.212557 * Y \quad (13)$$

表 1 给出了拉萨市气象台月平均气温的实测值和模拟值(计算时 I_p 值取太阳常数 1.9 卡/厘米².分),对比表明二者之间具有相对较好的一致性。拉萨市城关区一月份气温的三维模拟分布如图 7 所示,图 8 是根据其计算的温度等值线分布图。



图 7 拉萨市城关区一月份的三维气温模拟分布图
Fig.7 Temperature distribution on Jan. in Lhasa area

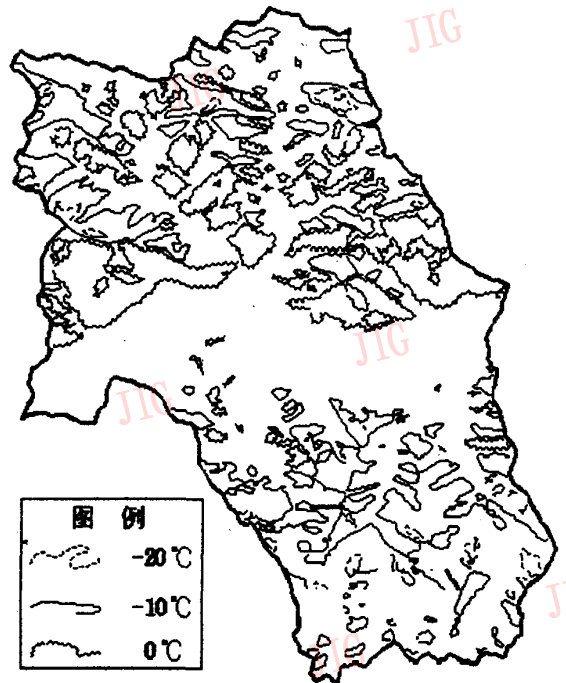


图 8 拉萨市城关区一月份气温等值线图
Fig.8 Equal line of temperature on Jan. in Lhasa area

表 1 拉萨气象站月平均气温的实测和模拟值比较
Table 1 Measured and derived average temperature

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
实测值	-2.5	1.3	5	8.3	11.6	15.5	15.3	14.9	12.8	8.1	2.8	-1.4
模拟值	-1.58	0.46	4.76	8.13	11.42	14.93	14.85	15.47	13.62	9.28	2.51	-0.82

4 结束语

作为计算 $\cos\theta$ 的输入数据,如坡度、坡向等,通过 DEM 可以比较精确的得到。而垂直于坡面的太

阳辐射 I_p 通常很难获得较高精度值。因为它会受到大气的影 响,如云、大气的吸收和反射等。在精度要求不很高时,可以利用太阳常数代替 I_p 值。用以上方法求出的是理论太阳辐射值,实际运用时可根据当地具体大气条件加以校正。在计算多元回归系数

时,具有足够的、有代表性的样本数据是很重要的。

参考文献

- 1 翁笃鸣,罗哲贤.山区地形气候.北京:气象出版社,1990:144.
- 2 翁笃鸣,罗哲贤.山区地形气候.北京:气象出版社,1990:229.
- 3 傅抱璞,山地气候.北京:科学出版社,1986:94.
- 4 潘守文,小气候考察的理论基础及其应用.北京:气象出版社,1989:57.
- 5 Stefanovic P. Insolation from digital elevation models for mountain habitat evaluation. ITC Journal 1985-3.
- 6 翁笃鸣,罗哲贤.山区地形气候.北京:气象出版社,1990:220.
- 7 傅抱璞,翁笃鸣等.小气候学.北京:气象出版社,1994:519.
- 8 Chen Xiaofeng, Liu Jiyuan. The study of Insolation Model from Digital Elevation Model, Proceedings of the 4th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, Karlstad, Sweden, 1996.



陈晓峰,中科院遥感应用研究所博士研究生。1982年毕业于中国人民解放军第二炮兵工程学院自动化控制系计算机专业,获学士学位。1991年10月至1994年2月在奥地利格拉茨工业大学进修学习。主要研究方向,数据库和地理信息系统。



张增祥,1985年毕业于北京大学地理系,现为中国科学院遥感应用研究所研究员,长期从事再生资源与生态环境遥感应用研究。



彭旭龙,1987年毕业于西北大学,现为中国科学院遥感应用研究所副研究员,长期从事再生资源遥感应用与GIS研究工作。



刘斌,现为中国科学院遥感应用研究所实验师长期从事再生资源与GIS应用研究工作。

Using GIS to Establish Temperature Distribution Model in Mountain Area

Chen Xiaofeng, Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, Peng Xulong, Liu Bin

(Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101)

Abstract A method of combining GIS with measured data from meteorology station to establish temperature distribution model in mountain area is introduced. On the basis of DEM, terrain characteristics and solar data for various dates are used to derive insolation. Elevation, latitude and longitude with insolation are used to establish temperature distribution model in mountain area.

Keywords Temperature in Mountain Area, DTM, GIS