

文章编号: 1001-1498(2003)01-0008-05

基于 GIS 太阳直接辐射模型的研究

谢阳生, 唐小明, 黄水生

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要: 地面所接收到的太阳直接辐射量是随地面的纬度、高程、坡度、坡向以及地形遮蔽等地形因子的变化而变化的。本文基于 GIS 技术, 利用 DEM 获取地形因子, 在 GIS 中建立了晴空太阳直接辐射模型。本模型的计算结果准确率达到 90%, 可应用于农业、林业、生物、生态等领域。

关键词: 太阳直接辐射模型; GIS; DEM

中图分类号: X87

文献标识码: A

地球表面所接收到的太阳辐射有 3 种形式: 直接辐射、散射辐射和反射辐射。直接辐射是地面所接收到的没有改变方向的太阳辐射, 是总辐射中最重要的部分, 它不仅在能量的平衡中起了最重要的作用, 而且总辐射中其它辐射成分都依赖于它^[1]。正是由于直接辐射的重要性, 许多领域的研究都需要直接辐射的数据。要取得实验区合理准确的辐射通量, 一种手段是用直接辐射仪来收集各个站点的数据资料, 另一种手段即建立太阳辐射模型。基于 GIS 的太阳辐射模型国外从 20 世纪 90 年代开始进行了理论的探讨和实践, 国内在这方面的研究刚刚起步, 仅在理论上有一些探讨, 还没有成型的模型。本文对基于 GIS 的太阳辐射模型进行了研究与实践。运用地理信息系统获取地理坐标、地形地貌与太阳运动之间的关系建立太阳直接辐射模型, 从而得到太阳直接辐射及相关信息的空间格局。

1 计算方法

1.1 基本参数的计算

计算太阳直接辐射量需要用到的基本天文参数有太阳高度角、太阳方位角、时角、赤纬。太阳高度角 (h) 是太阳与水平面所成的夹角, 其计算公式为:

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (1)$$

其中 h 为太阳高度角, ϕ 为地理纬度, δ 为赤纬, ω 为时角。

太阳方位角 (A) 是水平面上向北的直线与太阳和测点之间连线在水平面上的投影线的夹角, 计算公式为:

$$A = \arctan\left(\frac{\sin \omega}{-\cos \phi \tan \delta + \sin \phi \cos \omega}\right) \quad (2)$$

时角是指太阳向东或向西偏离子午线的度数。其计算公式为:

$$\omega = \arccos(-\tan \phi \tan \delta) \quad (3)$$

收稿日期: 2001-07-04

基金项目: 国家 948 项目“INSAR 自动生成 DEM 技术的引进”(99-4-25)

作者简介: 谢阳生(1975—), 女, 贵州贵阳人, 研究实习员。

太阳赤纬是太阳方向和地球赤道平面的夹角,由以下方程式给出:

角度用天数来计算,以弧度表示,以 1 月 1 日为 0 到 12 月 31 日为 364,闰年为 365。

$$\begin{aligned}
&= 0.006\ 918 - 0.399\ 912 \cos \theta_0 + 0.070\ 257 \sin \theta_0 \\
&\quad - 0.006\ 758 \cos 2\theta_0 + 0.000\ 907 \sin 2\theta_0 \\
&\quad - 0.002\ 697 \cos 3\theta_0 + 0.001\ 480 \sin 3\theta_0
\end{aligned} \tag{4}$$

角度 θ_0 用天数 d_n 来计算,以弧度表示, d_n 以 1 月 1 日为 0 到 12 月 31 日为 364,闰年为 365。

$$\theta_0 = 2\pi d_n / 365$$

1.2 太阳直接辐射量的计算

大气外层的太阳辐射通量、大气质量、水蒸气和大气中的悬浮微粒都决定了一个地区的太阳辐射量。大气外层的太阳辐射通量 I_0 的计算式如下^[2,3]:

$$I_0 = S_0 (1 + 0.034 \cos(360^\circ d_n / 365)) \tag{5}$$

其中 S_0 表示太阳常数,太阳常数本文采用国际气象组织推荐的 $1\ 367\ W \cdot m^{-2}$ ^[11]。

到达地面的太阳辐射由于受到大气的吸收散射而削弱,因此在计算太阳辐射之前应首先计算大气透射率(b),晴空条件下辐射光束在大气中传输的经验关系式如下^[3]:

$$b = 0.56 (e^{-0.65M} + e^{-0.095M}) \tag{6}$$

其中 M 为大气光学质量,大气光学质量的计算采用如下方程式^[1,3]:

$$M(0, h) = [1\ 229 + (614 \sin h)^2]^{1/2} - 614 \sin h \tag{7}$$

于是水平面上的太阳直接辐射量 I_s 为:

$$I_s = I_0 b \tag{8}$$

得到水平面上的太阳直接辐射量后,接下来要计算坡面上的太阳直接辐射。如图 1 所示, p_0 为太阳入射方向, I_n 为坡面法向,它们的夹角为 i ,将太阳入射量乘以夹角 i 的余弦即得坡面太阳直接辐射量:

$$I_p = I_s \cos i \tag{9}$$

其中 $\cos i$ 为法线 I_n 和太阳入射方向 p_0 分别在 3 个轴上的分量的乘积之和^[1,2,4,5](见式 10):

$$\begin{aligned}
\cos i = &\sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma \cos \delta \\
&+ \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma \cos \delta + \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma \cos \delta \sin \epsilon + \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma \sin \epsilon
\end{aligned} \tag{10}$$

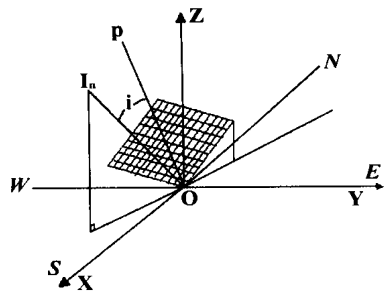


图 1 坡面太阳直接辐射

2 模型建立

太阳辐射模型与 GIS 集成其中一个重要的结合点就是 GIS 为太阳辐射模型提供地形参数。坡度、坡向、地形遮蔽均可由 DEM 派生计算^[6,7]。

2.1 地形因子的计算

地面上某点的坡度(α)是表示地表面在该点倾斜程度的一个量,它是坡度线与地平面的夹角,从 0 到 90°。坡向(β)是坡度线在水平面的投影于正北方向线的夹角,从 0 到 360°^[8]。求解坡度坡向有很多成熟的算法,笔者采用的是拟合曲面法。地形对地面所接收的太阳直接辐

射量的影响是很大的(如图 2),因此在计算直接辐射量时是一个必须考虑的因子。关于地形对直接辐射遮蔽的计算,不象坡度坡向一样有成熟的算法,笔者在总结了前人算法的基础上,提出了以下算法。

地形对直接辐射遮蔽的算法如下:

- (1) 由太阳的入射方向得到直线所通过的 DEM 格网的行列数,设 DEM 格网的间距为 p 。
- (2) 计算高度递减值。如图 3 所示,太阳高度角为 h 时,高度递减值()的计算公式为:

$$= p \tan h \tag{14}$$

其中

$$p = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \times p \tag{15}$$

$(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 分别为线段前后通过的两个格网的行列值。

- (3) 计算是否被遮蔽。比较 与前后两点的高程差,如前者大于后者则后者可被照射到,否则被遮蔽。

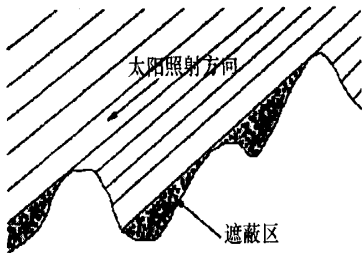


图 2 地形遮蔽示意图

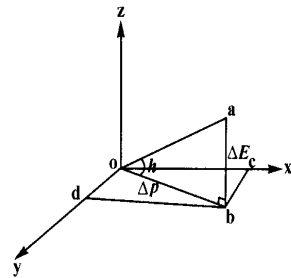


图 3 计算高度递减值示意图

2.2 模型算法流程

图 4 所示的是太阳辐射模型的算法流程。本模型的实现使用 VC++ 语言。借地理信息系统基础平台 ViewGIS 有关 DEM 的函数来获取高程、坡度、坡向数据。考虑到 PC 机的性能,本模型只计算 1 d 的辐射量,需要用户输入的参数有:月份、日期、是否闰年、计算 1 d 辐射量所取的时间间隔(默认为 30 min)。首先计算天数,以天数为参数计算赤纬和天文辐射量。接下来从 DEM 中获取起始的行列号,算出其纬度,将纬度和赤纬作为参数,算出日出时角。根据上面叙述可知由日出时角可算出该纬度下水平面的照射时间。以日出时角作为循环的起始点,日落时角作为终点,时间间隔换算成弧度后作为递进量,可算出 1 d 的直接辐射量、遮蔽时间。

3 数据验证

实验区选在宁夏西吉县,该县地形陡峭崎岖,海拔 1 688—2 633 m^[9]。位于 105°20′—106°04′ E,35°35′—36°14′ N 之间。具体测定地点:黄家二岔行政村。测定时间:2001-04-01。测量仪器:直接辐射仪。选取包括平地(A)、阳坡(B)、谷底(C)、阴坡(D)在内的 4 个点,每一个点共测定 6 次,得到实测值与模拟值的比较表(如表 1)。

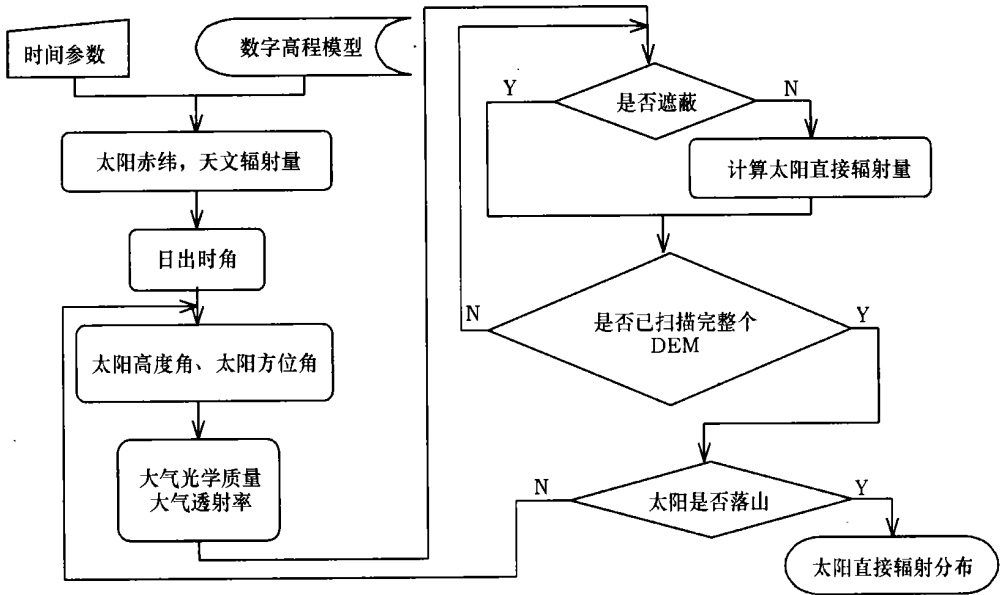


图 4 太阳直接辐射模型算法流程

表 1 A、B、C、D 点实测值与模拟值比较

测点	测定时间	实测值/ ($J\ m^{-2}\ s^{-1}$)	模拟值/ ($J\ m^{-2}\ s^{-1}$)	误差率/ %	测点	测定时间	实测值/ ($J\ m^{-2}\ s^{-1}$)	模拟值/ ($J\ m^{-2}\ s^{-1}$)	误差率/ %
A	07:58	312.54	309.33	1.03	C	06:58	98.60	92.94	5.74
	08:58	513.51	537.01	4.58		09:33	623.70	644.70	3.37
	11:58	871.10	941.83	8.12		11:13	824.55	886.14	7.47
	12:58	852.56	926.37	8.66		13:43	781.94	854.72	9.31
	15:48	445.53	481.61	8.10		15:18	533.05	592.77	11.20
	17:28	1.68	0	—		17:08	147.71	176.35	19.39
B	07:33	218.05	215.88	0.99	D	06:28	63.73	79.88	25.34
	09:18	590.59	607.98	2.95		10:08	665.90	681.67	2.37
	11:38	878.19	928.61	5.74		10:58	713.09	746.22	4.65
	13:28	828.82	887.90	7.13		14:08	493.86	591.51	19.77
	16:08	412.77	403.47	2.25		14:58	399.74	461.1	15.35
	17:38	0	0	—		16:58	98.93	107.17	8.33

4 结 论

本模型能够在只有研究区域 DEM 的情况下计算晴空条件下的太阳直接辐射强度和日太阳直接辐射量。计算上百万个地块单元 1 d 的累计直接辐射量,在 CPU 速度为 450 MHz 的计算机上所需时间仅为 2.4 min,还可按照不同研究的需要计算月、季度以及年的总直接辐射量和平均辐射量。本模型计算结果的准确率可达到 90%。最后结果以地图的形式直观地表示。

参考文献:

- [1] Lalit K, Andrew K S, Knowles E. Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment[J]. Geographical Information Science, 1997, 11(5):475-497
- [2] 达菲 J A, 贝克曼 W A. 太阳能—热能转换过程[M]. 北京:科学出版社, 1980
- [3] Kreith F, Kreider J F. Principles of Solar Engineering[M]. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1978
- [4] 赛义夫 A A M. 太阳能工程[M]. 北京:科学出版社, 1984
- [5] Pavao S, Gerbrandt W. Insolation from digital elevation models for mountain habitat evaluation[J]. ITC Journal, 1985(3):177-186
- [6] 陆守一, 唐小明, 王国胜. 地理信息系统实用教程[M]. 北京:中国林业出版社, 1998
- [7] 张超. 地理信息系统实习教程[M]. 北京:高等教育出版社, 2000
- [8] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社, 2000
- [9] 中华人民共和国民政部, 中华人民共和国建设部. 中国县情大全. 西北卷[M]. 北京:中国社会出版社, 1993

Studies on Modelling Direct Solar Radiation in a GIS Environment

XIE Yang-sheng, TANG Xiao-ming, HUANG Shui-sheng

(Research Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: Clear sky solar radiation varies in response to latitude, elevation, surface gradient (slope) and orientation (aspect), as well as position relative to neighbouring surfaces. This paper presents a model for estimating daily direct solar radiation. The model is based on technology and theory of GIS, using DEM to calculate slope, aspect and shading. Compared with measured radiation in the south of Ningxia Hui Autonomous Region, the results of the model is in a high degree of accuracy and can be used in the fields of forestry, ecology, biology and agriculture.

Key words: solar radiation model; GIS; DEM