

基于GIS的起伏地形下天文辐射分布式模型 ——以贵州高原为例

袁淑杰^{1,2}, 谷小平², 缪启龙³, 邱新法³

(1 河北农业大学植物保护学院, 河北 保定 071001; 2 贵州省山地气候与资源重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

3 南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验, 江苏 南京 210044)

摘要: 天文辐射是辐射计算、太阳能资源评估及其他相关研究领域重要的起始参量, 由于坡度、坡向和地形之间相互遮蔽等局地地形因子的影响, 使实际起伏地形下获得的天文辐射与水平面上获得的天文辐射有一定差异。确定实际起伏地形下天文辐射是比较困难的。应用数字高程模型 (DEM) 数据和地理信息系统 (GIS), 建立起伏地形下天文辐射分布式计算模型, 计算了起伏地形下贵州高原 100 m × 100 m 分辨率天文辐射精细空间分布, 分析了局地地形因子对起伏地形下天文辐射的影响。结果表明: (1) 贵州高原起伏地形下天文辐射的空间分布具有明显的地域分布特征。(2) 贵州高原起伏地形下天文辐射年总量平均为 481.7~13 041.8 MJ/m², 1月、7月天文辐射分别为 0.0~1 244.7 MJ/m²、0.0~1 264.8 MJ/m²。(3) 局地地形因子对起伏地形下天文辐射空间分布的影响随季节和纬度变化, 虽然坡度、坡向和地形遮蔽对天文辐射的影响, 在太阳高度角较低的 1月比太阳高度角较高的 7月相对较大, 但因为 7月水平面获得的天文辐射的强度相对较大, 7月局地地形对天文辐射的影响依然显著。因此, 贵州高原起伏地形对天文辐射的影响是不容忽视的。

关键词: 天文辐射; 贵州高原; 起伏地形; 数字高程模型; 分布式模型

中图分类号: P422

文献标识码: A

天文辐射是地表实际入射太阳辐射的基础背景^[1], 也是辐射计算、太阳能资源评估及其他相关研究领域重要的起始参量^[2,3]。实际起伏地形下天文辐射除受季节、纬度影响外, 还受地形因子——坡度、坡向和地形遮蔽的影响。不同的坡度、坡向、地形之间的相互遮蔽不同, 所接受的太阳辐射不同, 造成局部的小气候特征差异, 从而形成复杂的太阳辐射空间分布。

起伏地形下坡度、坡向和周围地形遮蔽作用会强烈影响局地可照时间的分布, 不同坡面上太阳光线入射角的不同, 使其接受的太阳辐射存在显著差异^[4]。坡度、坡向、地形之间的相互遮蔽影响使得实际起伏地形下天文辐射的计算变得非常复杂。对

实际起伏地形条件下太阳辐射的开创性研究是由傅抱璞做出的^[2,5], 接着翁笃鸣等一些学者相继提出了相关的计算模型^[6-9], Civco^[10]、Bonan^[11]和Dubayah等^[12]计算了大尺度的天文辐射值。地理信息系统 (GIS) 提供的地形分析功能, 为模拟不同地形条件下的天文辐射的空间分布提供了可能, 国外此类工作首推 Dozier^[13], 他发展了利用数字高程模型 (DEM) 模拟太阳辐射的方法, 使模拟精度更高, 空间性更强。之后, 围绕应用 GIS 计算起伏地形下太阳辐射的分布问题, 国内外做了大量的理论和技术上的研究, 有些研究只考虑了坡度和坡向因子^[14,15], 还有一些研究计算太阳辐射^[16-20]时进一步考虑了地形之间相互遮蔽作用。但是以往的研究

收稿日期 (Received date): 2007-03-15; 改回日期 (Accepted): 2007-07-23.

基金项目 (Foundation item): 贵州自然科学基金 (2005J2086)、贵州省省长专项基金 (2005Z92) 共同资助。[Financially supported by Natural Science Foundation of Guizhou (2005J2086) and Nanchang Special Foundation of Guizhou (2005Z92)]

作者简介 (Biography): 袁淑杰 (1966-), 女, 汉, 河北抚宁人, 副教授, 主要研究方向为地理信息系统应用、气候与环境。[Yuan Shujie (1966-), female, the Han nationality, born in Funing County of Hebei, adjunct professor, mainly study on Geographic Information Systems, climate and environment, e-mail: yuanshujie@yahoo.net]

一般只在于分析某一个小区内或某一个时间段, 缺乏对区域尺度上一年内实际起伏地形下的天文辐射进行研究。本文在前人研究的基础上, 建立了考虑坡度、坡向和地形之间相互遮蔽对起伏地形下天文辐射影响的分布式计算模型, 以地形复杂的贵州高原为例, 应用 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 分辨率的数字高程模型数据, 计算了贵州高原起伏地形下各月及年的天文辐射精细空间分布。对今后的山区气候研究有一定的指导意义, 为太阳能资源开发利用、资源和环境等方面的研究等提供基础数据。

1 计算模型

1.1 水平面天文辐射模型

根据理论公式^[21], 任一天内某一网格点水平面得到的天文辐射 Q_0 可以表示为

$$Q_0 = \frac{T}{\pi} \left(\frac{1}{\rho} \right)^2 I_0 (\omega_s \sin \varphi_s \sin \delta + \cos \varphi_s \cos \delta \sin \omega_s) \quad (1)$$

式中 T 为一天的时间, $\left(\frac{1}{\rho} \right)^2$ 为日地距离订正系数, I_0 为太阳常数, ω_s 为水平面日没时角

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi_s \tan \delta) \quad (2)$$

式中 φ_s 为网格点纬度, δ 为太阳赤纬。在某一日内, Q_0 只随纬度而变。

1.2 起伏地形下天文辐射模型

任一时刻, 起伏地形下的天文辐射 $Q_{\alpha\beta}$ 可表示为^[21]

$$Q_{\alpha\beta} = \left(\frac{1}{\rho} \right)^2 \times I_0 (u \sin \delta + v \cos \delta \cos \omega + w \cos \delta \sin \omega) \quad (3)$$

式中 ω 为太阳时角, u 、 v 、 w 分别为地理、地形特征因子, 其计算式为

$$u = \sin \varphi_s \cos \alpha - \cos \varphi_s \sin \alpha \cos \beta \quad (4)$$

$$v = \sin \varphi_s \sin \alpha \cos \beta + \cos \varphi_s \cos \alpha \quad (5)$$

$$w = \sin \alpha \sin \beta \quad (6)$$

式中 α 为坡度, β 为坡向, 其他符号意义同前。

对 (3) 式进行积分可得起伏地形下在任一天可照时段内获得的天文辐射 $Q_{\alpha\beta}$

$$Q_{\alpha\beta} = \frac{T}{2\pi} \left(\frac{1}{\rho} \right)^2 I_0 \times \int_{\omega_{sr}}^{\omega_{ss}} (u \sin \delta + v \cos \delta \cos \omega + w \cos \delta \sin \omega) d\omega \quad (7)$$

式中 ω_{sr} 和 ω_{ss} 为起伏地形下可照时段的起始和终止太阳时角。

1.3 起伏地形下天文辐射分布式计算模型

将起伏地形下天文辐射按一天的可照时间进行

积分即可得起伏地形下天文辐射日总量。在不同时段内, 由于地形之间有可能造成日照的相互遮挡, 使实际地形中某一网格点在一天的可照时间无法直接用数学公式一次算出, 因此, 起伏地形下天文辐射日总量只能采用分段积分的方法获得。分布式天文辐射计算模型的基本步骤为:

1 提取地形参数: 利用 DEM 数据作为地形的综合反映, 借助地理信息系统 ARCGS 8.1 获得每个网格点的坡度、坡向、纬度和高程信息。

2 确定计算网格点在一天的可照时段数及各可照时段的起始、终止太阳时角: 由于起伏地形下日出、日落时角至多与平地相同, 以公式 (2) 得出的水平面日出、日落时角 $(-\omega_s, \omega_s)$ 作为起伏地形下计算网格点可照时段的取值区间。

(1) 给定时间步长 (本研究为 10 min), 将水平面上的日出至日没时间划分为 n 个阶段, 共对应 $n+1$ 个时刻, 即 $\omega_s, i=1, \dots, n+1$ 其中 ω_i 为第 i 时刻对应的太阳时角, 并且有 $\omega_1 = -\omega_s, \omega_{n+1} = \omega_s$ 。

(2) 根据太阳视轨道方程, 确定与各时角对应的太阳高度角 $h_s, i=1, \dots, n+1$ 和太阳方位角 $\Phi_i, i=1, \dots, n+1$ 与此同时, 借助 DEM 提供的网格点高程, 计算出时角为 ω_i 时, 在方位 Φ_i 上的网格点对计算网格点造成的地形遮蔽状况函数 S_i 。记 $S_i=1$ 表示计算网格点可照, $S_i=0$ 表示计算网格点受地形遮蔽不可照^[13], 得到遮蔽状况函数数组 $S_i, i=1, \dots, n+1$ 。依次比较遮蔽状况函数数组 S_i 得到可照时段数组, $\omega_0(\omega_{sr}, \omega_{ss}), i=1, \dots, m$ 。

3 计算日天文辐射: 根据 (7) 式, 逐时段求算计算网格点在每个可照时段所获得的天文辐射, 之后累加得到起伏地形下计算网格点任一天天文辐射 $Q_{\alpha\beta}$ 计算式

$$Q_{\alpha\beta} = \frac{T}{2\pi} \left(\frac{1}{\rho} \right)^2 \times \left\{ \begin{aligned} &u \sin \delta \left[\sum_{i=1}^m (\omega_{ss} - \omega_{sr}) \right] \\ &+ v \cos \delta \left[\sum_{i=1}^m (\sin \omega_{ss} - \sin \omega_{sr}) \right] \\ &- w \cos \delta \left[\sum_{i=1}^m (\cos \omega_{ss} - \cos \omega_{sr}) \right] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

对每一网格点计算其日天文辐射量, 之后累加, 获得其逐月和年天文辐射总量, 借助地理信息系统 ARCGS 8.1 生成 1~12 月和年天文辐射量的精细空间分布图。

2 贵州高原天文辐射分布式模拟

贵州地处云贵高原, 介于 $103^{\circ}36'E \sim 109^{\circ}35'E$ 、 $24^{\circ}37'N \sim 29^{\circ}13'N$ 之间, 平均海拔在 1 100 m 左右, 地貌复杂, 全省 92.5% 的面积为山地和丘陵, 境内山脉众多, 重峦叠峰, 绵延纵横, 山高谷深, 是典型的山区地形。因此我们选择贵州高原进行起伏地形下天文辐射的分布式模拟, 利用贵州省气象局提供的 100 m \times 100 m 分辨率的 DEM 数据, 生成了贵州高原起伏地形下天文辐射的精细空间分布图。

2.1 起伏地形下天文辐射 $Q_{0a\beta}$ 的时间变化

为了有一定的代表性, 我们选取北部的道真、西部的毕节、中部的贵阳、东部的铜仁和南部的荔波来分析贵州高原起伏地形下天文辐射的年变化情况。图 1 给出了道真、毕节、铜仁、贵阳、荔波实际起伏地形下 1~12 月天文辐射年变化图。各站天文辐射最大值均在 6 月, 为 $40.56 \sim 40.98 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 荔波最小, 道真最大。这是由于 6 月太阳位于北半球, 太阳高度角最大值在这个月, 纬度越高, 日照时间越长, 得到的天文辐射越多; 最小值在 12 月, 为 $20.52 \sim 22.55 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 12 月太阳位于南半球, 太阳高度角最小值在这个月, 纬度越高, 日照时间越短, 得到的天文辐射越少。

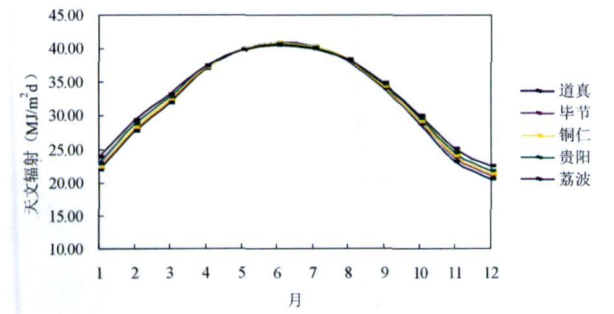


图 1 起伏地形下天文辐射年变化
(单位: $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)

Fig 1 Temporal variation of astronomical solar radiation quantity over rugged terrains(unit MJ/m^2)

2.2 起伏地形下天文辐射 $Q_{0a\beta}$ 的空间分布

2.2.1 冬、夏季天文辐射 $Q_{0a\beta}$ 的空间分布

通常在研究气候问题时, 用 1、7 月分别代表冬季、夏季, 因此本文在讨论天文辐射时也用 1、7 月的数据分别进行讨论。图 2 (a) 和 (b) 分别为贵州高

原起伏地形下 1 月和 7 月天文辐射的分布图。贵州高原起伏地形下 1 月天文辐射平均为 $0.0 \sim 1\,244.7 \text{ MJ}/\text{m}^2$, 大部分介于 $650.1 \sim 800.0 \text{ MJ}/\text{m}^2$, 地域差异明显。在地形复杂的地区, 图中颜色比较丰富, 意味着天文辐射差异较大, 坡度、坡向、地形遮蔽对贵州高原起伏地形下 1 月天文辐射的影响充分体现在其

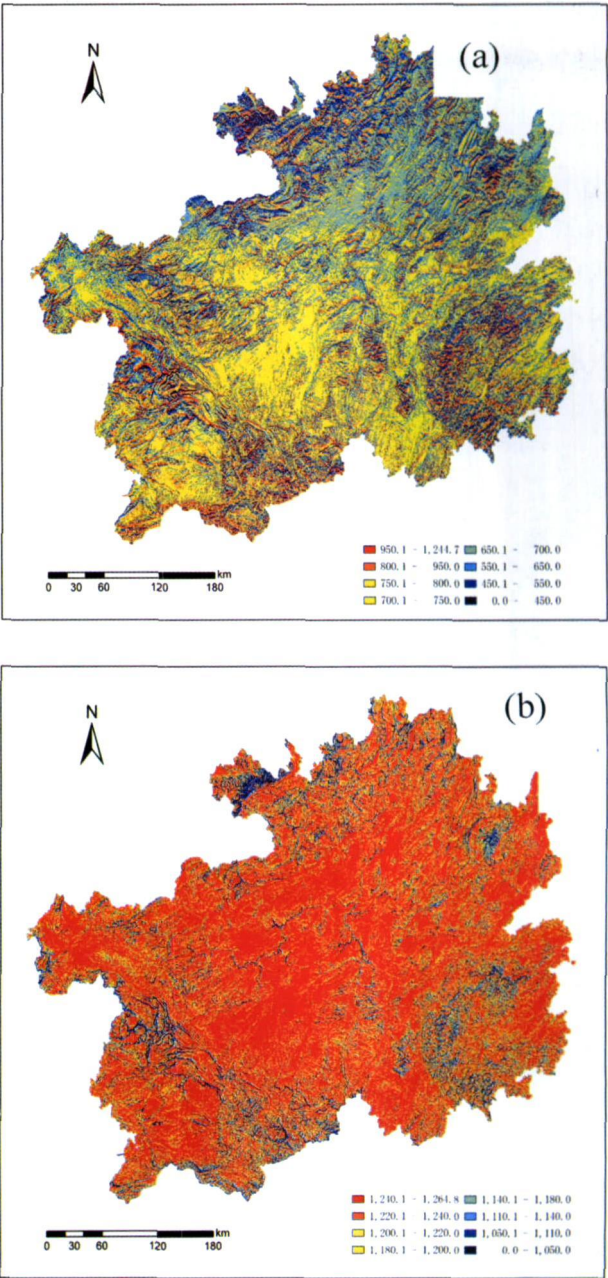


图 2 贵州高原起伏地形下天文辐射空间分布
(单位: MJ/m^2) (a) 1 月 (b) 7 月

Fig 2 Spatial distribution of astronomical solar radiation quantity over rugged terrains in the Guizhou plateau (unit MJ/m^2)
(a) January (b) July

空间分布图上。在东北部的大娄山地区, 谷岭相间, 地形多样, 图上的颜色也最多样化; 在东南部的雷公山地区、西北部的赫章地区, 西南部的轿子顶、贞丰、望谟一带, 地形相对复杂, 图中颜色对比明显。1月太阳位于南半球, 太阳高度角较低, 地形之间的相互遮蔽对天文辐射的影响较大, 坡度、坡向的作用显著。贵州高原起伏地形下 1 月天文辐射空间分布与地形的吻合较好, 这也进一步验证了上述的计算方法的正确性。

贵州高原起伏地形下 7 月天文辐射平均为 $0.0 \sim 1\,264.8\text{ MJ/m}^2$, 大部分介于 $1\,200.1 \sim 1\,264.8\text{ MJ/m}^2$, 7 月太阳位于北半球, 太阳高度角较大, 地形遮蔽面积相对较小。但由于 7 月水平面天文辐射的强度相对较大, 因此, 局地地形的影响仍然显著, 在图中地形多变的大娄山地区、雷公山地区、轿子顶地区和望谟、关岭地区, 天文辐射差异明显。

2. 2. 2 天文辐射 $Q_{0a\beta}$ 年总量的精细分布

图 3 为贵州高原起伏地形下天文辐射年总量 $Q_{0a\beta}$ 的分布图, 由图中可以看出, 贵州高原起伏地形下天文辐射年总量平均为 $481.7 \sim 13\,041.8\text{ MJ/m}^2$, 最大值是最小值的 27.1 倍, 大部分介于 $11\,300.1 \sim 12\,200.0\text{ MJ/m}^2$, 贵州高原起伏地形下天文辐射年总量的分布图具有更丰富的颜色, 局地地形对天文辐射年总量的作用更加显著, 局地差异更加明显。天文辐射数值变化最大的依然在海拔高差悬殊, 高原、平原、盆地及众多坝坝河谷相间的大娄山地区、雷公山地区、轿子顶地区和赫章、望谟地区。较小值 $481.7 \sim 9\,000.0\text{ MJ/m}^2$ 位于中山、河谷的阴坡, 而较大值 $12\,200.1 \sim 13\,041.8\text{ MJ/m}^2$ 在阶地、台地、高山的阳坡与半阳坡等; 坡度、坡向的作用明显, 地形之间的相互遮蔽对起伏地形下天文辐射年总量的影响较大。由于地形的影响, 破坏了天文辐射随纬度的带状分布, 起伏地形下天文辐射年总量的空间分布与地形有较好的一致性, 具有明显的地域分布特征。

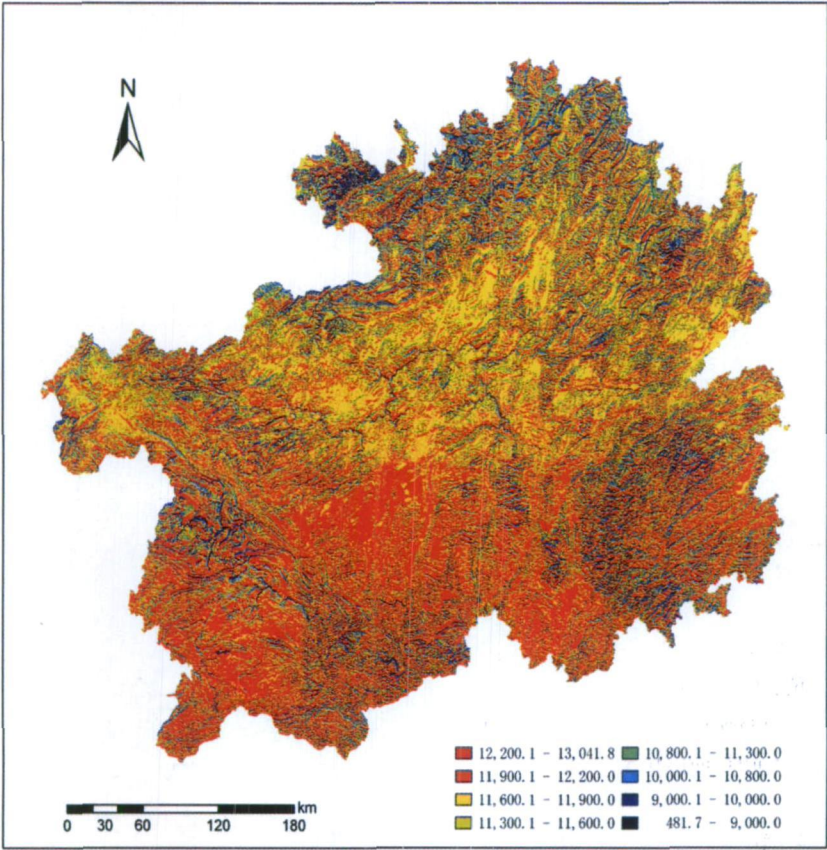


图 3 贵州高原起伏地形下年天文辐射空间分布
(单位: MJ/m^2)

Fig 3 Spatial distribution of annual astronomical solar radiation quantity over rugged terrain in the Guizhou plateau (unit MJ/m^2)

3 局地地形因子对天文辐射 $Q_{0\alpha\beta}$ 的影响

为了分析局地地形对天文辐射的相对影响, 计算了起伏地形下天文辐射 $Q_{0\alpha\beta}$ 与水平面天文辐射 Q_0 之比 R_b [21], 称之为转换因子。根据 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 分辨率天文辐射计算结果, 绘制了 R_b 随季节、纬度、坡度、坡向的变化规律曲线 (图 4)。其中, 坡向从正北开始, 顺时针方向度量, 即: 正北为 0° , 正东为 90° , 正南为 180° , 正西为 270° 。

3.1 不同季节转换因子 R_b 随坡向的变化

图 4(a) 为纬度为 27°N 、坡度为 10° 时, 不同月份 R_b 随坡向的变化曲线。 R_b 随坡向的变化以 1 月起伏最大, 其次为 10 月, 4 月和 7 月起伏相对较小。即在冬半年, 天文辐射受坡向影响较夏半年要大。1 月, 偏南坡明显大于 1, 其获得的天文辐射比平地要多, 而偏北坡情况恰好相反, 其获得的天文辐射比平地要少; 10 月与 1 月类似, 但 R_b 受坡向影响的程度要比 1 月弱; 4 月, R_b 随坡向变化幅度不大, 不同坡向 R_b 均接近于 1 即不同坡向获得的天文辐射基本相当; 7 月, R_b 随坡向变化的形式与 1 月相反, 偏北坡获得的天文辐射略高于偏南坡, R_b 随坡向的变化幅度整体也比较小。从各曲线交汇点可以看出, 东坡和西坡 R_b 基本接近于 1, 因此其全年获得的天文辐射均与平地差别不大。

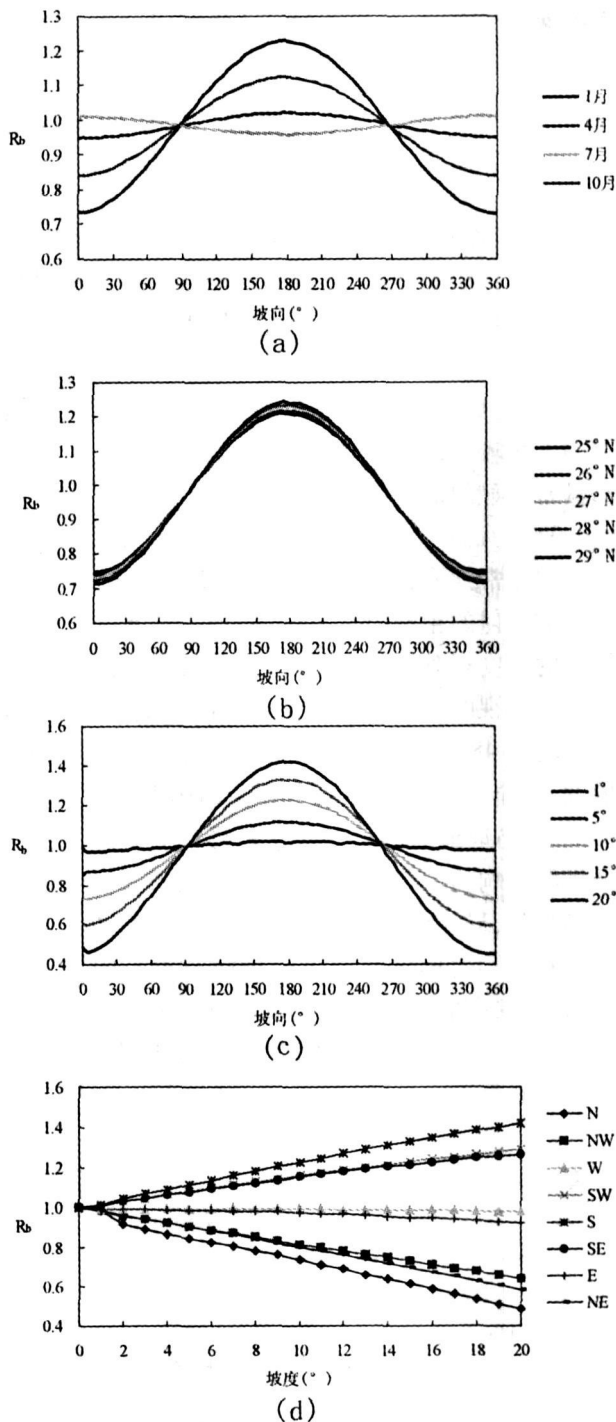
3.2 不同纬度、不同坡度转换因子 R_b 随坡向的变化

从坡度为 10° 的 1 月不同纬度 R_b 随坡向变化曲线 (图 4(b)) 可以看出: 从 25°N 到 29°N , 纬度越高, R_b 受坡向的影响越大。东坡和西坡 R_b 基本接近于 1。

图 4(c) 给出了纬度为 27°N 、1 月、不同坡度 R_b 随坡向的变化曲线。从 1° 到 20° , 随着坡度增加, R_b 受坡向的影响逐渐加大, 东坡和西坡 R_b 基本接近于 1。

3.3 不同坡向转换因子 R_b 随坡度的变化

图 4(d) 给出了纬度为 27°N 、1 月、不同坡向 R_b 随坡度的变化曲线。南坡、东南坡、西南坡均 > 1 且随着坡度的增加, R_b 逐渐增大, 坡地获得的天文辐射高于平地; 北坡、东北坡、西北坡均 < 1 且随着坡度的增加, R_b 逐渐减小, 坡地获得的天文辐射低于平地; 东坡、西坡 R_b 接近于 1, 与平地获得的天文辐射基本相当, 且随着坡度增大, R_b 变化不大;



(a) 纬度 27°N , 坡度 10° Latitude 27°N , slope 10°

(b) 1 月, 坡度 10° January, slope 10°

(c) 纬度 27°N 1 月 Latitude 27°N , January

(d) 纬度 27°N , 1 月 Latitude 27°N , January

图 4 R_b 受地形因子影响的变化规律曲线

Fig 4 Changes of R_b with topographical factors

从图中还可以看出, 东南坡与西南坡、东北坡与西北坡 R_b 的值基本相当, 即在同纬度地区, 坡度相同的

东南坡与西南坡、东北坡与西北坡获得的天文辐射基本相当。

4 结论

1 本文考虑了坡度、坡向、地形相互遮蔽作用,建立了起伏地形下天文辐射分布式模型,以贵州高原为例,生成了贵州高原起伏地形下天文辐射的精细空间分布图。

2 坡度、坡向、地形遮蔽对起伏地形下天文辐射的影响较大,使得起伏地形下天文辐射的空间分布具有明显的地域分布特征。

3 1月由于太阳高度角较低,地形对天文辐射的影响非常强烈;7月,由于太阳高度角较高,地形对天文辐射的相对影响小的多,但7月水平面天文辐射的强度相对较大,地形对天文辐射的影响仍然是不容忽视的。贵州高原起伏地形下天文辐射年总量平均为 $481.7 \sim 13\,041.8 \text{ MJ/m}^2$,地域差异很大,坡度、坡向、地形之间的相互遮蔽的作用非常明显。

4 局地地形因子对起伏地形下天文辐射空间分布的影响随季节、纬度而变。在太阳高度角较低的冬半年,局地地形因子对起伏地形下天文辐射空间分布的相对影响远较太阳高度角较高的夏半年大,且随纬度的增大,局地地形因子的作用在增大。

因此,对于太阳天文辐射而言,地形对其的影响在计算时是不容忽视的。

参考文献 (References)

- [1] Zuo Dakang Dictionary of Contemporary Geography [Z]. Commercial Press Beijing 1990 [左大康 主编. 现代地理学辞典 [Z]. 北京: 商务印书馆, 1990]
- [2] Fu Baopu. Mountain Climate [M]. Beijing: Science Press 1983: 1~85 [傅抱璞. 山地气候 [M]. 北京: 科学出版社, 1983: 1~85]
- [3] Weng Duming, Chen Wanlong, Shen Juecheng et al. Microclimate and Farm Microclimate [M]. Beijing: Agriculture Press 1981. [翁笃鸣, 陈万隆, 沈觉成, 等. 小气候和农田小气候 [M]. 北京: 农业出版社, 1981]
- [4] Li Zhanqing, Weng Duming. A computer model for calculating the duration of sunshine in mountainous areas [J]. Chinese Science Bulletin, 1988, 33: 1624~1629
- [5] Fu Baopu. Discuss on the global solar radiation over sloping fields [J]. J. Nanjing Univ. (Natural Science Edition), 1958, 2: 47~82 [傅抱璞. 论坡地上的太阳辐射总量 [J]. 南京大学学报 (自然科学), 1958, 2: 47~82]
- [6] Weng Duming, Luo Zhexion. Mountainous Terrain Climate [M]. Beijing: Meteorological Press 1990: 114~117 [翁笃鸣, 罗哲贤. 山区地形气候 [M]. 北京: 气象出版社, 1990: 114~117]
- [7] Li Zhanqing, Weng Duming. A calculation model of global radiation over mountain [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1988, 46 (4): 461~468 [李占清, 翁笃鸣. 丘陵山地总辐射的计算模式 [J]. 气象学报, 1988, 46 (4): 461~468]
- [8] Weng Duming. Climatological method for direct solar radiation calculation and its distribution over China [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 1986, 7 (2): 121~130 [翁笃鸣. 中国太阳直接辐射的气候计算及其分布特征 [J]. 太阳能学报, 1986, 7 (2): 121~130]
- [9] Yu Qiang, Fu Baopu, Peng Naizhi et al. Analytic models for warmest slope calculated according to the daily solar radiation and its global distribution [J]. Acta Geographica Sinica, 1994, 49 (6): 526~532 [于强, 傅抱璞, 彭乃志, 等. 辐射日总量的最热坡度解析模式及其全球分布规律 [J]. 地理学报, 1994, 49 (6): 526~532]
- [10] Civco D L. Topographic normalization of landsat thematic mapper digital imagery [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1989, 55 (9): 1303~1310
- [11] Bonan G B. A computer model of the solar radiation, soil moisture, and soil thermal regime in boreal forests [J]. Ecological modeling, 1989, 45: 275~306
- [12] Dubayah R, J Dozier, F W Davis. Topographic distribution of clear sky radiation over the Konza Prairie, Kansas [J]. Water Resource Research, 1990, 26 (4): 629~690
- [13] Dozier J, Outcalt S I. An approach to energy balance simulation over rugged terrain [J]. Geographic Analysis, 1979, 11: 65~85
- [14] Huang Xueqiao. GIS-based computation of solar radiation on slope surface [J]. Geographical Research, 1992, 11 (3): 80~83 [黄雪樵. 地理信息系统支持下的坡面太阳辐射计算 [J]. 地理研究, 1992, 11 (3): 80~83]
- [15] Wang Kaicun, Zhou Xiaojie, Liu Jingmin. The effects of complex terrain on the computed surface solar shortwave radiation [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2004, 28 (4): 625~633 [王开存, 周秀骥, 刘晶森. 复杂地形对计算地表太阳短波辐射的影响 [J]. 大气科学, 2004, 28 (4): 625~633]
- [16] Sun Jianguo, Zhao Jun, Zhen Jiguang et al. The study of computer model and application of solar radiation value in Yellow Earth Will Ravine region based on DTM [J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2003 (1): 28~30 [孙建国, 赵军, 甄计国, 等. 基于DTM的黄土丘陵沟壑区太阳辐射值计算模型及应用研究 [J]. 测绘工程, 2003, (1): 28~30]
- [17] He Honglin, Yu Guirui, Niu Dong. Method of global solar radiation calculation on complex territories [J]. Resources Science, 2003 (1): 78~85 [何洪林, 于贵瑞, 牛栋. 复杂地形条件下的太阳资源辐射计算方法研究 [J]. 资源科学, 2003, (1): 78~85]
- [18] Chen Zhiqiang, Chen Jianfei. The simulation of clear-day solar ra-

- diation based on DEM in Zhangpu [J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*. 2006, 27 (6): 579~581 [陈志强, 陈健飞. 基于数字高程模型的漳浦样区太阳天文日辐射模拟 [J]. 太阳能学报. 2006, 27 (6): 579~581]
- [19] Zeng Yan, Qiu Xinfu, Liu Changming, et al. Simulation of astronomical solar radiation over Yellow River Basin based on DEM [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58 (6): 810~816 [曾燕, 邱新法, 刘昌明, 等. 基于DEM的黄河流域天文辐射空间分布 [J]. 地理学报, 2003, 58 (6): 810~816]
- [20] Yang Xin, Tang Guoan, Wang Lei. Modeling of global radiation over rugged areas based on DEM [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2004, 20 (5): 41~44 [杨昕, 汤国安, 王雷. 基于DEM的山地总辐射模型及实现 [J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20 (5): 41~44]
- [21] Zuo Dakang, Zhou Yunhua, Xiang Yueqin, et al. On Surface Radiation [M]. Beijing: Science Press, 1991 [左大康, 周允华, 项月琴, 等. 地球表层辐射研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1991]

Distributed Models of Astronomical Solar Radiation over Rugged Terrains Based on GIS ——Taking Guizhou Plateau as an illustration

YUAN Shujie^{1,2}, GU Xiaoping², MAO Qilong³, QIU Xinfu³

(1. College of Plant Protection, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China;

2. Guizhou Key Lab of Mountainous Climate and Resources, Guiyang, Guizhou 550002, China;

3. Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract The astronomical solar radiation (ASR) is an important starting parameter in radiation calculation, solar energy source assessment and other related studies. Due to local terrain factors such as slope, aspect and terrain shelter, the ASR over rugged terrain (RT) is different from over horizontal surface. To calculating the ASR over RT is very difficult. Based on digital elevation model (DEM) and geographical information system (GIS), the distributed models for calculating the ASR over RT are developed. Applying the models to Guizhou Plateau with 100 m \times 100 m DEM data, the elaborated spatial distributions of the ASR over RT have been generated. The effect of the local terrain factors on the ASR over RT is analyzed. The results are as follows: (1) The ASR over RT has obvious terrain distributing feature in Guizhou Plateau. (2) The annual average ASR over RT varies spatially 481.7~13 041.8 MJ/m² in Guizhou Plateau. The average ASR over RT varies spatially 0.0~1 244.7 MJ/m² and 0.0~1 264.8 MJ/m² in Guizhou Plateau in January and July, respectively. (3) The influence of the local topographic factors on spatial distribution of the ASR over RT varies with season and latitude. Although the solar altitude angle is lower in January than in July, which causes more inter-shielding by the RT in January, the ASR is very strong over horizontal surface in July, so the effect of local topography on ASR over RT is still marked in July. Therefore, the effect of complex topography on ASR should be considered.

Key words Astronomical solar radiation; Guizhou Plateau; rugged terrain; digital elevation model; distributed model