

任一坡面日照时间的确定

黎富煜

(农学系)

提 要

本文对任意坡面的日照时间的计算,提出了一个方法。这个方法通过对日出、日落和中午时坡面是否受遮蔽进行判别,从而确定了不同情况下的坡面的日照时间。

前 言

对于坡面日照时间的确定,在傅抱璞的《山地气候》和翁笃鸣等的《小气候和农田小气候》等专著或教材中都有所阐述,但多局限于一些特殊坡向,对任意坡向的坡面的日照时间的确定都未给出较完善的方法。本文试图在这方面进行探索。

一、坡面日出、日落临界时角的计算

不考虑水平面对坡面的遮蔽,即把坡面看成空间一孤立平面时,坡面的日出与日落时刻可看成是这一平面与太阳视轨道的交点 ω_{s1} 和 ω_{s2} (见图1),用时角表示之,称为坡面日出或日落的临界时角。此时,坡面上的太阳辐射强度为零。

因为坡面的太阳直接辐射强度 $I_{0\lambda}$ 可用下式表示:

$$I_{0\lambda} = \sin\lambda \cosh \cos(\theta - D) + \cos\lambda \sinh \dots \dots \dots (1)$$

所以,临界时角可通过解下述方程求得:

$$\sin\lambda \cosh \cos(\theta - D) + \cos\lambda \sinh = 0$$

其中 λ 为坡度; θ 为坡向,用坡面法线在地平面的投影与正北方向的夹角(逆时针为正)表示; D 为太阳方位角(表示方法如 θ); h 为太阳高度角。解得:

$$\cos \omega_{s1} = \frac{-a \tan \delta + c \sqrt{1 - a^2 (1 + \tan^2 \delta)}}{1 - a^2} \dots \dots \dots (2)$$

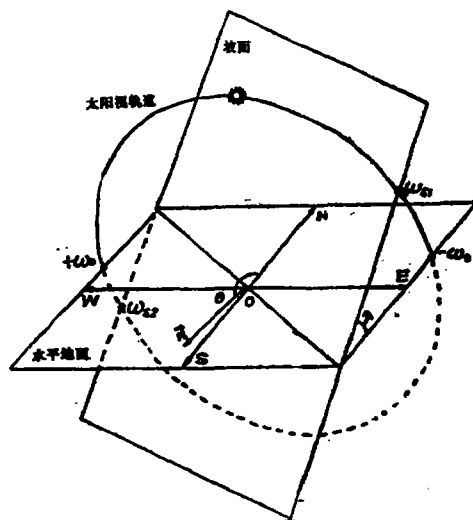


图1 坡面日出、日落示意图

$$\cos \omega_{s2} = \frac{-abt\delta - c\sqrt{1-a^2(1+tg^2\delta)}}{1-a^2} \dots\dots\dots (3)$$

其中: $a = \cos\lambda \sin\varphi + \sin\lambda \cos\theta \cos\varphi$

$b = \cos\lambda \cos\varphi - \sin\lambda \cos\theta \sin\varphi$

$c = \sin\lambda \sin\theta$

φ ——地理纬度; δ ——太阳赤纬。

因为 $\cos\omega_{s1}$ 和 $\cos\omega_{s2}$ 是由上述方程演变而成的以 $\cos\omega$ 为自变量的二次方程的两个根。所以, 根据二次函数的性质, 很容易说明 $\cos\omega_{s1}$ 是坡面太阳辐射强度由负转变为正的临界点, 而 $\cos\omega_{s2}$ 则是坡面的太阳辐射强度由正转变为负的临界点。因此, ω_{s1} 和 ω_{s2} 分别为坡面日出和日落的临界时角。区别它们出现在午前或午后; 其计算式可分别写成:

午前坡面日出临界时角:

$$-\omega_{s1} = -\arccos \frac{-abt\delta + c\sqrt{1-a^2(1+tg^2\delta)}}{1-a^2};$$

$$(-\pi \leq -\omega_{s1} \leq 0) \dots\dots\dots (4)$$

午前坡面日落临界时角:

$$-\omega_{s2} = -\arccos \frac{-abt\delta - c\sqrt{1-a^2(1+tg^2\delta)}}{1-a^2};$$

$$(-\pi \leq -\omega_{s2} \leq 0) \dots\dots\dots (5)$$

午后坡面日出临界时角:

$$+\omega_{s1} = \arccos \frac{-abt\delta + c\sqrt{1-a^2(1+tg^2\delta)}}{1-a^2};$$

$$(0 \leq +\omega_{s1} \leq \pi) \dots\dots\dots (6)$$

午后坡面日落临界时角:

$$+\omega_{s2} = \arccos \frac{-abt\delta - c\sqrt{1-a^2(1+tg^2\delta)}}{1-a^2};$$

$$(0 \leq +\omega_{s2} \leq \pi) \dots\dots\dots (7)$$

二、遮蔽情况与日照时间的关系

事实上, 不考虑海拔高度对昼长的影响(其影响很小, 可忽略), 坡面只有在地平面日出和日落之间才能受到太阳直接照射, 因此, 临界时角 ω_{s1} 和 ω_{s2} 只有在地平面日出时角 $-\omega_0$ 和地平面日落时角 $+\omega_0$ 之间的范围内才有实际意义, 即必须满足下述条件:

$$|\omega_{s1}, \omega_{s2}| \leq \omega_0 \dots\dots\dots (8)$$

因此, 如何确定坡面的日照时间是一个较复杂的问题。因为, 要确定某一坡面是午前日出或日落, 还是午后日出或日落, 必须考虑坡面的坡向、坡度以及太阳方位和太阳高度之间的关系。

下面通过分析太阳视运动轨迹与坡面的关系，提出确定北半球任一坡面日照时间的方法。

首先，很容易理解的，除非坡面与子午面重合（这时坡面日出、日落的临界时角是 0 或 π ），否则，坡面日出或日落的两个临界时角必然是一个出现在午前，一个出现在午后。也就是说，坡面的日出临界时角和日落临界时角不可能同时出现在午前或同时出现在午后。

因此，坡面日照情况可归纳成下表的 8 种类型。

坡面遮蔽情况与日照时间关系表（表中 ω 表示坡面有日照的时角）

	正午不受遮蔽		正午受遮蔽	
	日出不受遮蔽	日出受遮蔽	日出不受遮蔽	日出受遮蔽
日落不受遮蔽	1. 全白天有日照。 $-\omega_0 < \omega < +\omega_0$	2. 午前坡面日出。 $-\omega_{s1} < \omega < +\omega_0$	5. 午前坡面日落， 午后坡面日出。 $-\omega_0 < \omega_1 < -\omega_{s2}$; $+\omega_{s1} < \omega_2 < +\omega_0$	6. 上午无日照。 $+\omega_{s1} < \omega < +\omega_0$
日落受遮蔽	3. 午后坡面日落。 $-\omega_0 < \omega < +\omega_{s2}$	4. 午前坡面日出，午 后坡面日落。 $-\omega_{s1} < \omega < +\omega_{s2}$	7. 下午无日照。 $-\omega_0 < \omega < -\omega_{s2}$	8. 全天无日照。

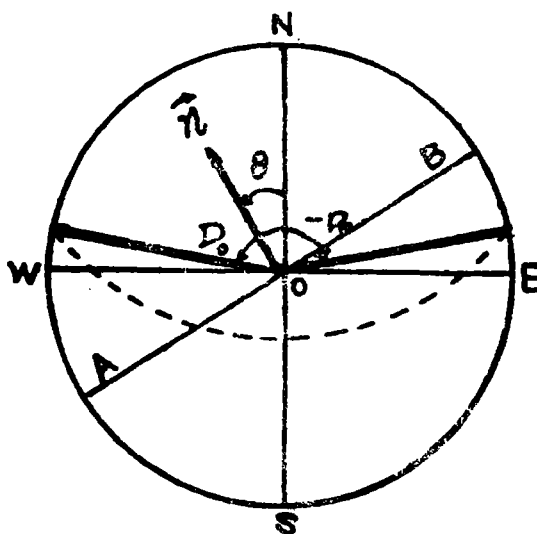
某一坡面的日照情况，必然属于这 8 种类型之一。究竟属于何种类型，则可通过判别该坡面在地平面日出、日落和正午是否受遮蔽来确定。

三、坡面是否受遮蔽的判别条件

（一）地平面日出、日落时坡面是否受遮蔽的条件

从图 2 中可看出，分析地平面日出或日落的太阳方位和坡向的关系就可判别当时坡面是否受遮蔽。

日出或日落瞬间，太阳高度为零，坡面是否受遮蔽，可看成只决定于太阳方位和坡向的关系。为了讨论方便，设 $\lambda = \frac{\pi}{2}$ ，



——表示太阳视运动迹线；AB表示坡面位置，
 $\vec{n}$ 为坡面法线在地平面的投影。

图 2 地平日出、日落时坡面日照示意图

根据(1)式, 则可得以下判据:

日出时 $\cos(\theta + D_0) > 0$, 坡面不受遮蔽; 否则受遮蔽。

日落时 $\cos(\theta - D_0) > 0$, 坡面不受遮蔽; 否则受遮蔽。

$D_0 = \arccos\left(\frac{\sin\delta}{\cos\varphi}\right)$ 是日落时的太

阳方位, 可由太阳方位公式求得, 日出时的太阳方位是 $-D_0$ 。

(二) 正午坡面是否受遮蔽的条件

正午太阳方位正北时, 偏北坡有日照, 偏南坡的日照情况如图3, 当 $h > \alpha$ 时, 坡面有日照, 否则受遮蔽。据此, 可得以下结论:

当 $\text{tg}h \text{正午} > -\text{tg}\lambda \cdot \cos\theta$ 时, 偏南坡有日照, 否则受遮蔽。

正午太阳方位正南时, 偏南坡有日照, 偏北坡的日照情况如图4。如上分析, 也可得下面结论:

当 $\text{tg}h \text{正午} > \text{tg}\lambda \cdot \cos\theta$ 时, 偏北坡有日照, 否则受遮蔽。

因为偏南坡 $\cos\theta < 0$, 上面两结论可写成:

正午太阳方位正南或正北时, 与其同侧的偏南坡或偏北坡有日照; 与其相反一侧的偏北坡或偏南坡是否有日照的条件是:

若 $\text{tg}h \text{正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则坡面有日照; 否则受遮蔽。

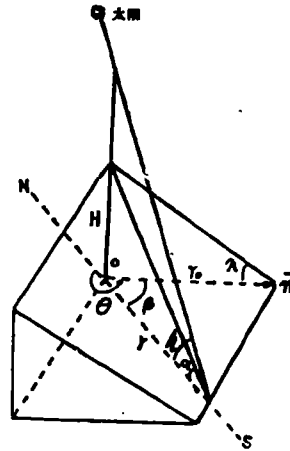


图3 正午太阳方位正北时偏南坡日照情况示意图

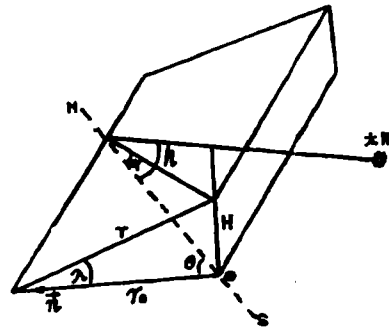


图4 正午太阳方位正南时偏北坡日照情况示意图

四、不同方位的坡面的日照时间

任何一个坡面都可以用上述2个条件来判别它在日出、日落和正午是否受遮蔽, 从而确定其日照类型, 然后计算出日照时间。

下面对不同坡向进行具体讨论。

如图5所示, S_1 、 S_2 和 S_3 表示不同季节、不同纬度的太阳视运动迹线。由于太阳方位的变化, 太阳与各种坡面的相对位置是随季节和纬度而变化的, 因此, 也影响了坡面的日照时间。

(一) 北坡 ($\theta_N = 0$)

1. 夏半年, $\varphi \leq \delta$ 处, 全白天北坡都有日照。即: $-\omega_0 < \omega < +\omega_0$

2. 夏半年, $\varphi > \delta$ 处, 日出、日落北坡不受遮蔽; 中午视 h 正午与 λ 的关系而异。所以:

若 $h_{\text{正午}} > \lambda$, 则全白天有日照。

即: $-\omega_0 < \omega < +\omega_0$

若 $h_{\text{正午}} \leq \lambda$, 则中午前后受遮蔽, 午前出现坡面日落, 午后出现坡面日出, 日照时间有两段。即: $-\omega_0 < \omega_1 < -\omega_{S2}$; $+\omega_{S1} < \omega_2 < +\omega_0$ 。

3. 冬半年, 日出、日落时北坡受遮蔽, 正午则视 h 正午与 λ 的关系而异。所以:

若 $h_{\text{正午}} > \lambda$, 则正午前后有日照。

即: $-\omega_{S1} < \omega < +\omega_{S2}$

若 $h_{\text{正午}} \leq \lambda$, 则全天无日照。

(二) 南坡 ($\theta_S = \pi$)

1. 夏半年, $\varphi \leq \delta$ 处, 日出、日落时南坡受遮蔽。正午视 h 正午与 λ 的关系而异。所以:

若 $h_{\text{正午}} > \lambda$, 则中午前后有日照。即: $-\omega_{S1} < \omega < +\omega_{S2}$

若 $h_{\text{正午}} \leq \lambda$, 则全天无日照。

2. 夏半年, $\varphi > \delta$ 处, 日出、日落时南坡受遮蔽, 但中午不受遮蔽。所以: $-\omega_{S1} < \omega < +\omega_{S2}$

3. 冬半年, 南坡全天不受遮蔽。所以:

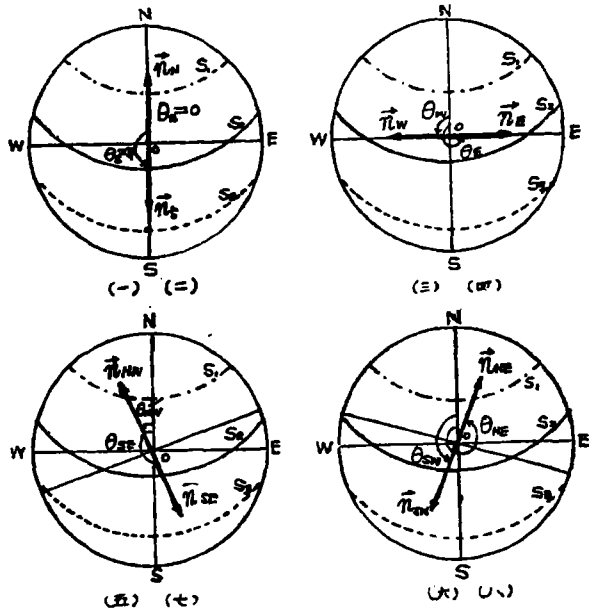
$-\omega_0 < \omega < +\omega_0$

(三) 东坡 ($\theta_E = \frac{3}{2}\pi$)

上午有日照, 午后坡面日落。即 $-\omega_0 < \omega < +\omega_{S2}$

(四) 西坡 ($\theta_W = \frac{\pi}{2}$)

下午有日照, 午前坡面日出。即: $-\omega_{S1} < \omega < +\omega_0$



(一) (二) 北坡和南坡; (三) (四) 东坡和西坡; (五) (七) 偏西北坡和偏东南坡; (六) (八) 偏西南坡和偏东北坡。

S_1 —夏半年直射点以南的太阳视运动迹线

S_2 —夏半年直射点以北的太阳视运动迹线

S_3 —冬半年太阳视运动迹线

图5 北半球各种坡向的坡面日照情况示意图

(五) 偏西北坡 ($0 < \theta_{NW} < \frac{\pi}{2}$)

1. 夏半年, $\varphi \leq \delta$ 处, 日落和正午坡面不受遮蔽。日出时, 视条件而异。所以:

若 $\cos(\theta + D_0) > 0$, 则 $-\omega_0 < \omega < +\omega_0$

若 $\cos(\theta + D_0) \leq 0$, 则 $-\omega_{s1} < \omega < \omega_0$

2. 夏半年, $\varphi > \delta$ 处, 日落时坡面不受遮蔽, 中午和日出时视条件而异。所以:

若 $\cos(\theta + D_0) > 0$, $\text{tgh正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_0 < \omega < +\omega_0$

若 $\cos(\theta + D_0) > 0$, $\text{tgh正午} \leq \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_0 < \omega_1 < -\omega_{s2}$; $+\omega_{s1} < \omega_2 < +\omega_0$

若 $\cos(\theta + D_0) \leq 0$, $\text{tgh正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_{s1} < \omega < +\omega_0$

若 $\cos(\theta + D_0) \leq 0$, $\text{tgh正午} \leq \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $+\omega_{s1} < \omega < +\omega_0$

3. 冬半年, 日出时受遮蔽; 正午和日落时视条件而异。所以:

若 $\cos(\theta - D_0) > 0$, $\text{tgh正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_{s1} < \omega < +\omega_0$

若 $\cos(\theta - D_0) > 0$, $\text{tgh正午} \leq \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $+\omega_{s1} < \omega < +\omega_0$

若 $\cos(\theta - D_0) \leq 0$, $\text{tgh正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_{s1} < \omega < +\omega_{s2}$

若 $\cos(\theta - D_0) \leq 0$, $\text{tgh正午} \leq \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则全天无日照。

(六) 偏西南坡 ($\frac{\pi}{2} < \theta_{SW} < \pi$)

1. 夏半年, $\varphi \leq \delta$ 处, 日出时坡面受遮蔽; 正午和日落时视条件而异。所以:

若 $\cos(\theta - D_0) > 0$, $\text{tgh正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_{s1} < \omega < +\omega_0$

若 $\cos(\theta - D_0) > 0$, $\text{tgh正午} \leq \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $+\omega_{s1} < \omega < +\omega_0$

若 $\cos(\theta - D_0) \leq 0$, $\text{tgh正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_{s1} < \omega < +\omega_{s2}$

若 $\cos(\theta - D_0) \leq 0$, $\text{tgh正午} \leq \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则全天无日照。

2. 夏半年, $\varphi > \delta$ 处, 日出时受遮蔽; 正午时不受遮蔽; 日落时视条件而异。所以:

若 $\cos(\theta - D_0) > 0$, 则 $-\omega_{s1} < \omega < +\omega_0$

若 $\cos(\theta - D_0) \leq 0$, 则 $-\omega_{s1} < \omega < +\omega_{s2}$

3. 冬半年, 正午和日落时不受遮蔽; 日出时视条件而异。所以:

若 $\cos(\theta + D_0) > 0$, 则 $-\omega_0 < \omega < +\omega_0$

若 $\cos(\theta + D_0) \leq 0$, 则 $-\omega_{s1} < \omega < +\omega_0$

(七) 偏东南坡 ($\pi < \theta_{SE} < \frac{3}{2}\pi$)

1. 夏半年, $\varphi \leq \delta$ 处, 日落时受遮蔽; 日出时和正午视条件而异。所以:

若 $\cos(\theta + D_0) > 0$, $\text{tgh正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_0 < \omega < +\omega_{s2}$

若 $\cos(\theta + D_0) > 0$, $\text{tgh正午} \leq \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_0 < \omega < -\omega_{s2}$

若 $\cos(\theta + D_0) \leq 0$, $\text{tgh正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_{S1} < \omega < +\omega_{S2}$

若 $\cos(\theta + D_0) \leq 0$, $\text{tgh正午} \leq \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则全天无日照。

2. 夏半年, $\varphi > \delta$ 处, 日落时受遮蔽; 正午不受遮蔽; 日出时视条件而异。所以:

若 $\cos(\theta + D_0) > 0$, 则 $-\omega_0 < \omega < +\omega_{S2}$

若 $\cos(\theta + D_0) \leq 0$, 则 $-\omega_{S1} < \omega < +\omega_{S2}$

3. 冬半年, 日出时和正午均不受遮蔽; 日落时视条件而异。所以:

若 $\cos(\theta - D_0) > 0$, 则 $-\omega_0 < \omega < +\omega_0$

若 $\cos(\theta - D_0) \leq 0$, 则 $-\omega_0 < \omega < +\omega_{S2}$

(八) 偏东北坡 ($\frac{3}{2}\pi < \theta_{NE} < 2\pi$)

1. 夏半年, $\varphi \leq \delta$ 处, 日出时和正午均不受遮蔽; 日落时视条件而异。所以:

若 $\cos(\theta - D_0) > 0$, 则 $-\omega_0 < \omega < +\omega_0$

若 $\cos(\theta - D_0) \leq 0$, 则 $-\omega_0 < \omega < +\omega_{S2}$

2. 夏半年, $\varphi > \delta$ 处, 日出时不受遮蔽; 正午和日落时视条件而异。所以:

若 $\cos(\theta - D_0) > 0$, $\text{tgh正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_0 < \omega < +\omega_0$

若 $\cos(\theta - D_0) > 0$, $\text{tgh正午} \leq \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_0 < \omega_1 < -\omega_{S2}; +\omega_{S1} < \omega_2 < +\omega_0$

若 $\cos(\theta - D_0) \leq 0$, $\text{tgh正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_0 < \omega < +\omega_{S2}$

若 $\cos(\theta - D_0) \leq 0$, $\text{tgh正午} \leq \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_0 < \omega < -\omega_{S2}$

3. 冬半年, 日落时受遮蔽; 日出时和正午视条件而异。所以:

若 $\cos(\theta + D_0) > 0$, $\text{tgh正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_0 < \omega < +\omega_{S2}$

若 $\cos(\theta + D_0) > 0$, $\text{tgh正午} \leq \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_0 < \omega < -\omega_{S2}$

若 $\cos(\theta + D_0) \leq 0$, $\text{tgh正午} > \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则 $-\omega_{S1} < \omega < +\omega_{S2}$

若 $\cos(\theta + D_0) \leq 0$, $\text{tgh正午} \leq \text{tg}\lambda \cdot |\cos\theta|$, 则全天无日照。

五、总 结

任一坡面的日照时间的确定, 可按下述步骤进行:

(一) 用判别条件, 判别坡面在地平日出、日落时或正午是否受遮蔽。

(二) 根据遮蔽情况与日照时间的关系, 确定坡面的日照类型。

(三) 利用 (4) (5) (6) (7) 式计算坡面的日照时间。

THE DETERMINATION OF SUNSHINE DURATION ON DIFFERENT HILL SLOPES

Li Fuyu

(Department of Agronomy)

ABSTRACT

In this article a device for measuring the sunshine duration of different directions on hill-slopes has been proposed. This device can determine the existence of shadowiness on hill-slopes during sunrise or sunset or noon-time so as to assure the sunshine duration on hill-slopes in different conditions.