

山地气候

傅抱璞著

科学出版社

山 地 气 候

傅抱璞 著



科 学 出 版 社

1 9 8 3

内 容 简 介

本书是作者二十多年来从事山地气候考察和研究的成果。书中论述了山地日照时间和辐射收支各分量的计算方法，分析了各种气象要素随坡地方位、地形形态及海拔高度变化的特点和规律，并附有不少实际观测资料。

本书最后一章专论山地气候资料的延长和推算，并着重介绍作者所提出的一套推算方法，这些方法已在我国很多地方推广使用，效果良好。

本书可供气象、气候、农业气象、森林气象、水文气象、自然地理以及农、林、牧业，电力设计和建筑工作者参考。

山 地 气 候

傅抱璞 著

责任编辑 郑秀灵

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

朝阳六六七厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1983年10月第 一 版

1983年10月第一次印刷

印数：0001—3,550

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$

印张：8 $\frac{1}{4}$ 插页：1

字数：197,000

统一书号：13031·2413

本社书号：3295·13—13

定价：1.40 元

前 言

在地球上除掉海洋和少数平原地区以外，绝大部分地区都是起伏不平的山地和丘陵地，特别是我国，山地和丘陵地所占面积很大，大部分农田和森林都分布在这些地方，不少工厂也建在山区。为了合理设计农、林业布局，提高农、林业生产率，以及在山区兴建工厂时，合理选择工厂位置、设计烟囱的高度、减轻污染影响，都必须了解和研究山地气候的特点和规律，才能因地制宜，利用山地气候的有利方面，避免和改造其不利方面，充分发挥山地气候资源的作用。

影响山地气候的地形因子主要是：

1) 大山脉的走向、总体高度和长度 高大的山脉能影响大气环流的流场和大系统的天气过程，使山脉两边的气候和天气情况截然不同。例如，象秦岭那样东西走向的山脉，能隔阻南北气团的交换，或改变气流通过秦岭山脉以后的性质，使秦岭南北两面的气候截然不同，成为我国气候的分界线。山脉总体愈高、愈长，阻隔作用愈大，对山脉两边气候的影响也愈大。距离阻隔的山脉愈近，所受影响愈大。

2) 地方海拔高度 地方海拔高度对气候的影响，特别是对温度的影响非常明显，一般海拔高度每升高 100 米所降低的温度可与纬度向北推移 1° 相近似。

3) 坡地方位（坡向和坡度） 坡地方位不同，由于接受太阳辐射和日照长短不同以及受到风的影响不同，其气候状况也不同，而且坡地方位对日照、辐射和温度的影响，是随着纬度和季节而变化的。

4) 地形形态 地形形态(山谷、盆地、坡地和山顶等)不同,由于辐射、日照、通风和夜间冷空气径流不同,以及气流经过时受到的机械作用不同,其气候状况也有差异,而且还和地面植被情况有关。

对于一定地区来说,因为大山脉的走向、总体高度和大地形的方位是比较固定的,其对该地区气候的影响在空间上的变化都有一定规律而比较稳定。但地方海拔高度、小地形的坡地方位和地形形态则各地不同,变化无穷,其对气候影响的空间变化也是错综复杂而不稳定的。因此,我们在研究地形对气候的影响时,最好把稳定地形因素和不稳定地形因素分开,以免各种矛盾互相混淆,不易找出规律。为了区别稳定地形因素和不稳定地形因素的影响,我们把前者叫做宏观地形影响,后者叫做微观地形影响。

本书主要是根据作者二十多年来从事教学和科研工作的经验及参加各种野外考察工作所累积的实际材料写成,书中探讨了微观地形的影响,并着重分析坡地方位和地形形态对小气候的影响。许多研究工作^[1-25]表明,坡地方位和地形形态不同,会引起太阳照射条件和辐射收支的巨大差异。由于辐射收支的差异,又造成热状况和水分情况的不同,因而形成不同的小气候特点。换句话说,也就是从小气候学的角度来看,坡地方位和地形形态是影响山地小气候的主要因素,本书着重分析这两个主要因素的影响是为了更清楚地揭露山地小气候变化的特点和规律。

目 录

前 言	i
第一章 山地的日照	1
第一节 坡地方位对日照的影响	1
一、坡地上日出和日没时间的确定	1
二、不同方位坡地上日照的特点	11
第二节 地形对日照的影响	19
一、理论计算法	20
二、图解法	35
第三节 海拔高度对日照的影响	36
第二章 山地的辐射收支和热量平衡	38
第一节 地形对辐射收支的影响	38
一、山地辐射收支的计算	38
二、地形对辐射收支的影响	46
第二节 坡地方位对辐射的影响	51
一、一般情况	51
二、坡地上可能直达辐射总量的计算	61
三、坡地上可能直达辐射总量变化的特点	74
第三节 海拔高度对辐射的影响	85
第四节 山地的热量平衡	87
第三章 山地的温度	94
第一节 坡地方位对温度的影响	94

第二节	地形对温度的影响	105
第三节	海拔高度对温度的影响	114
第四节	山地温度的空间分布	122
一、沿坡地的分布		122
二、铅直分布		128
第五节	山地逆温的特点	132
第四章	山地的湿度	138
第一节	坡地方位对湿度的影响	138
第二节	地形对湿度的影响	141
第三节	海拔高度对湿度的影响	144
第五章	山地的风状况	150
第一节	山地的流场情况	150
第二节	地形对风向的影响	154
第三节	地形对风速的影响	157
第四节	谷地的风速变化	167
第五节	海拔高度对风速的影响	173
第六节	山地的局地环流	175
一、局地环流的形式		175
二、山谷风的特点		176
三、山谷风的数学分析		182
第七节	山地风速的日变化	200
第六章	地形对水凝体的影响	204
第一节	地形对降水的影响	204
第二节	地形对云雾的影响	216

第七章 关于山地气候资料的延长和推算问题.....	221
第一节 关于短期资料的延长问题	221
第二节 关于气候资料的推算问题	226
一、推算法	226
二、自然景观法	259
附录 山区建厂应注意的一些问题.....	263
参考文献.....	266

和计算坡地上的辐射日总量，从而了解一系列与此有关的山地小气候的特点，首先必须确定坡地上每天日出和日落的时间或时角。从图 1 可以看出，即使在周围没有其它障碍物遮蔽的情况下，坡地上要受到太阳照射，不仅要太阳光线不被地球遮蔽，而且还要不被坡地本身遮蔽，亦即要太阳光线从坡地前面射来（这时坡地上的太阳高度和直达太阳辐射通量都是正值）。设 $-\omega_H$ 和 $+\omega_H$ 为在没有地形遮蔽情况下海平面上 H 高度处的日出和日落时角， $h_{\beta\alpha}$ 和 $S_{\beta\alpha}$ 代表坡向为 β ，坡度为 α 的坡地上的太阳高度和直达太阳辐射通量，则在周围没有其它遮蔽的情况下，坡地上可能受到太阳照射的必要和充分条件是

$$-\omega_H \leq \omega \leq +\omega_H \quad (1.1)$$

$$S_{\beta\alpha} \geq 0 \text{ (或 } h_{\beta\alpha} \geq 0 \text{)} \quad (1.2)$$

这里 ω 为太阳时角。

由 $\triangle NOP$ 有

$$\cos \angle NOP = \cos \gamma = \frac{R}{R+H}$$

因为 $\angle NOP = \gamma = \angle NEA' = -h$

所以 $\sin(-h) = \sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma}$

$$\begin{aligned} &= \sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+H}\right)^2} = \sqrt{\frac{(R+H)^2 - R^2}{(R+H)^2}} \\ &\approx \sqrt{\frac{2RH}{R^2}} \end{aligned}$$

即
$$\sinh \approx -\sqrt{\frac{2}{R}} \sqrt{H}$$

再利用天文学公式

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (1.3)$$

并取地球半径 $R = 6371$ 千米，即得到

$$\omega_H = \cos^{-1}(-\tan\varphi \tan\delta - 0.0177\sqrt{H} \sec\varphi \sec\delta) \quad (1.4)$$

式中 φ 为地理纬度, δ 为太阳赤纬, H 为以千米表示的海拔高度。

(1.4) 式表明, 在没有地形遮蔽的情况下, 高处日出时间比海平面上早, 日没的时间比海平面上晚, 因而每天的日照时间比海平面上长。但是在我国纬度范围内 ($\varphi < 50^\circ$), 在 1 千米以下高度, (1.4) 式右端括号内第二项由高度所产生的对 ω_H 的影响最多不超过 2° (相当于 8 分钟), 因此实际上可以把它略而不计, 即 (1.4) 式可以近似地写为

$$\omega_H \approx \cos^{-1}(-\tan\varphi \tan\delta) = \omega_0 \quad (1.5)$$

这里 ω_0 为海平面上日出和日没的时角。

关于坡地上的直达太阳辐射通量 $S_{\beta\alpha}$ 推求如下。

如图 2 所示, 取坐标轴 OS 指向正南, OW 指向正西, OZ 指向天顶, 并假定斜坡的坡度为 α , 其法线 On 在水平面上的投影 On' 与正南方向的夹角为 β (相当于以从南向顺时针方向计算的方位角所表示的坡向)。矢量 MO 代表

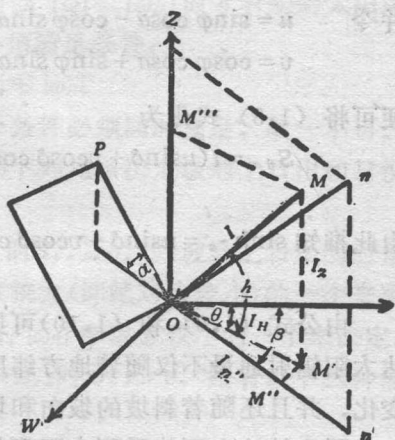


图 2

太阳辐射强度 I ; I_z 和 I_n 代表 I 在 OP 斜坡的法线平面内 OZ 和 On' 方向的分量; 而 $\angle MOM'$ 等于太阳高度 h , $\angle M'OS$ 等于太阳的地平经度 θ (从南向顺时针方向计算), 则由图 2

可得

$$I_z = I \sin h$$

$$I_N = I \cos h$$

$$I_{n'} = I_H \cos(\beta - \theta) = I \cos h \cos(\beta - \theta)$$

显然, 在 OP 斜坡上的太阳辐射通量应等于 I 在其法线方向的投影, 或 I_z 和 $I_{n'}$ 在 On 上投影之和, 即

$$S_{\beta\alpha} = I_z \cos \alpha + I_{n'} \sin \alpha$$

将 I_z 和 $I_{n'}$ 的表示式代入上式, 便得到

$$S_{\beta\alpha} = I [\cos \alpha \sinh + \sin \alpha \cosh \cos(\beta - \theta)] \quad (1.6)$$

利用公式 (1.3) 及以下天文学公式:

$$\left. \begin{aligned} \cosh \cos \theta &= -\sin \delta \cos \varphi + \cos \delta \sin \varphi \cos \omega \\ \cosh \sin \theta &= \cos \delta \sin \omega \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

$$\left. \begin{aligned} u &= \sin \varphi \cos \alpha - \cos \varphi \sin \alpha \cos \beta \\ v &= \cos \varphi \cos \alpha + \sin \varphi \sin \alpha \cos \beta \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

便可将 (1.6) 式化为

$$S_{\beta\alpha} = I (u \sin \delta + v \cos \delta \cos \omega + \sin \beta \sin \alpha \cos \delta \sin \omega) \quad (1.9)$$

$$\text{由此推知 } \sinh_{\beta\alpha} = u \sin \delta + v \cos \delta \cos \omega + \sin \beta \sin \alpha \cos \delta \sin \omega \quad (1.10)$$

由公式 (1.9) 和 (1.10) 可见, 坡地上的太阳高度和直达太阳辐射通量不仅随着地方纬度、太阳赤纬和太阳时角而变化, 并且还随着斜坡的坡向和坡度而改变。

因为坡地上可能受到太阳照射的必要条件是 $S_{\beta\alpha} \geq 0$, 所以如果设 $S_{\beta\alpha} = 0$ 时的太阳时角为 ω_c , 那么这个时角显然就是 $S_{\beta\alpha}$ 由负值转变为正值或相反转变的临界时角。令 (1.10) 式右端等于零, 可以求得临界时角 ω_c 的表示式如下:

$$\left. \begin{aligned} \omega_s &= \cos^{-1} \left[\frac{-uv \tan \delta \pm \sin \beta \sin \alpha \sqrt{1-u^2(1+\tan^2 \delta)}}{1-u^2} \right] \\ \omega_s &= \sin^{-1} \left[\frac{-u \sin \beta \sin \alpha \tan \delta \mp v \sqrt{1-u^2(1+\tan^2 \delta)}}{1-u^2} \right] \end{aligned} \right\} \quad (1.11)^*$$

由 (1.11) 第一式可以确定 ω_s 两个根的绝对值, 第二式可以决定两个根的符号。设 ω_s 的两个根分别为 $\omega_{s,1}$ 和 $\omega_{s,2}$, 且 $\omega_{s,2} > \omega_{s,1}$, 则因坡地上要能受到太阳照射必须 $S_{\beta\alpha} \geq 0$, 我们很容易看出坡地上日出的时角 ω_1 和日没的时角 ω_2 必须满足下列条件:

若当 $\omega_{s,1} \leq \omega \leq \omega_{s,2}$ 时, $S_{\beta\alpha} \geq 0$, 则 $\omega_1 \geq \omega_{s,1}$, $\omega_2 \leq \omega_{s,2}$;

若当 $\omega < \omega_{s,1}$ 与 $\omega > \omega_{s,2}$ 时 $S_{\beta\alpha} > 0$, 则 $\omega_1 \leq \omega_{s,1}$, $\omega_2 \geq \omega_{s,2}$ 。

同时, 因为坡地上只有当 $|\omega| \leq |\omega_H|$ 时才有受到太阳照射的可能, 所以 ω_1, ω_2 还必须满足条件:

$$\omega_1 \geq -|\omega_H|, \quad \omega_2 \leq +|\omega_H|$$

因为 ω_1, ω_2 对以上两个条件必须同时满足, 缺一不可, 所以综合起来我们可以得到下列几条决定坡地上日出和日没时角的规则:

1. 若当 $\omega_{s,1} \leq \omega \leq \omega_{s,2}$ 时 $S_{\beta\alpha} \geq 0$, 则坡地上日出的时角 ω_1 应用 $\omega_{s,1}$, $-|\omega_H|$ 中数值较大 (即绝对值较小) 的一个来决定, 而日没的时角 ω_2 应用 $\omega_{s,2}$, $|\omega_H|$ 中数值较小的一个来决定。

2. 若当 $\omega < \omega_{s,1}$ 与 $\omega > \omega_{s,2}$ 时 $S_{\beta\alpha} > 0$, 则有以下三种情形:

(1) 若 $\omega_{s,1}$ 与 $\omega_{s,2}$ 的绝对值均小于 ω_H 的绝对值, 则 ω_1, ω_2 有两组, 一组是 $\omega'_1 = -|\omega_H|, \omega'_2 = \omega_{s,1}$; 另一组是 $\omega''_1 =$

* 为简便起见, 本书采用在三角函数符号的右上角加角标“-1”的方法表示反三角函数, 即用 $\sin^{-1}x$ 表示 $\arcsin x$, $\cos^{-1}x$ 表示 $\arccos x$, ……。

$\omega_1, \omega_2'' = + |\omega_H|$, 这表示坡地上每天各有两次日出和日没的时间 (每天有两次受到太阳照射)。

(2) 若 $\omega_{s1} > -|\omega_H|$, $\omega_{s2} \geq +|\omega_H|$, 则 $\omega_1 = -|\omega_H|$, $\omega_2 = \omega_{s1}$; 反之, 若 $\omega_{s1} \leq -|\omega_H|$, $\omega_{s2} < +|\omega_H|$, 则 $\omega_1 = \omega_{s2}$, $\omega_2 = +|\omega_H|$ 。

(3) 若 $\omega_{s1} < -|\omega_H|$, $\omega_{s2} \geq +|\omega_H|$, 则 ω_1, ω_2 不存在或者是日出和日没的时间正好相重合。在这种情况下, 坡地上实际是全天受不到太阳照射。

3. 若 ω_s 不存在 (即公式 (1.11) 右边括号内为虚数或其绝对值大于 1) 则有以下两种情形:

(1) 若在公式 (1.11) 中无论 ω 为何值, $S_{\beta\alpha}$ 都大于或等于零, 则表示坡地本身对太阳光线全天无遮蔽或刚刚无遮蔽, 故坡地上日出和日没的时角就等于水平面上日出和日没的时角, 即 $\omega_1 = -|\omega_H|$, $\omega_2 = +|\omega_H|$ 。

(2) 若在公式 (1.11) 中无论 ω 为何值, $S_{\beta\alpha}$ 均小于零, 则表示太阳全天都在坡地背面, 因此坡地上全天受到遮蔽, 没有日出和日没的时候。

总之, 坡地上日出和日没的时角或则是由 (1.4) 和 (1.11) 二式之一式决定。或者是由二者配合决定之。同时, 由于随着坡向、坡度、纬度及太阳赤纬的改变, 限制 $S_{\beta\alpha}$ 为正直的时角范围会有变化, 因此, 坡向、坡度和纬度不同, ω_1, ω_2 的表示式固然不相同, 但即使在同一坡地上, 因一年中的时间不同 (即 δ 不同), ω_1, ω_2 的表示式亦会发生改变。所以在计算坡地上的可照时间和直达太阳辐射总量时, 不仅要根据坡向、坡度和纬度, 而且要根据一年中的不同时期来确定 ω_1, ω_2 的表示式。下面以北坡为例来说明以上确定坡地上日出和日没时角 ω_1, ω_2 规则的具体运用, 并附带也简单说一下其它各坡上日出和日没的时角。

对于北坡 $\beta = 180^\circ$ ，于是

$$\begin{aligned}u &= \sin\varphi\cos\alpha + \cos\varphi\sin\alpha = \sin(\varphi + \alpha) \\v &= \cos\varphi\cos\alpha - \sin\varphi\sin\alpha = \cos(\varphi + \alpha) \\ \omega_s &= \cos^{-1}[-\tan(\varphi + \alpha)\tan\delta] \end{aligned} \quad (1.12)$$

$$\begin{aligned}S_{180^\circ, \alpha} &= I\cos(\varphi + \alpha)\cos\delta[\tan(\varphi + \alpha)\tan\delta + \cos\omega_s] \\ &= I\cos(\varphi + \alpha)\cos\delta(\cos\omega - \cos\omega_s) \end{aligned} \quad (1.13)$$

$$\text{同时} \quad \omega_H \approx \omega_0 = \cos^{-1}(-\tan\varphi\tan\delta) \quad (1.14)$$

夏半年

在夏半年，北坡上日出和日没时角的决定比较复杂，现详述如下：

1. 当 $\tan(\varphi + \alpha)\tan\delta > 1$ 时

因夏半年 $\delta > 0$ ，不等式两边可同时乘以 $\cot\delta$ ，于是得到

$$\tan(\varphi + \alpha) > \cot\delta$$

$$\text{或} \quad \tan(\varphi + \alpha) > \tan(90^\circ - \delta)$$

$$\text{所以} \quad 90^\circ - \delta < \varphi + \alpha < 90^\circ$$

$$\text{即} \quad 90^\circ - \varphi - \delta < \alpha < 90^\circ - \varphi$$

由公式 (1.12)，(1.13) 可以看出，在这种情况下， ω_s 不存在，但无论 ω 为任何数值， $S_{180^\circ, \alpha}$ 都大于零。因此，根据决定 ω_1, ω_2 的第 3 条规则 (1)，可以确定 $\omega_1 = -|\omega_0|$ ， $\omega_2 = +|\omega_0|$ ；

2. 当 $0 < \tan(\varphi + \alpha)\tan\delta \leq 1$ 时

以上不等式相当于

$$0 < \varphi + \alpha \leq 90^\circ - \delta$$

$$\text{或} \quad \alpha \leq 90^\circ - \varphi - \delta$$

在这种情况下，因当 $|\omega| < |\omega_s|$ 时 $S_{180^\circ, \alpha} > 0$ ，且 $|\omega_0| < |\omega_s|$ ，所以按照决定 ω_1, ω_2 的第 1 条规则， $\omega_1 = -\omega_0$ ， $\omega_2 = +|\omega_0|$ 。

3. 当 $\tan(\varphi + \alpha)\tan\delta = 0$ 时

这代表在春秋分时候的情况，因为只有在春秋分日，太阳赤纬 $\delta = 0^\circ$ ， $\tan(\varphi + \alpha)\tan\delta$ 才会等于零。在这种情况下 $|\omega_s| = |\omega_0| = 90^\circ$ 。由公式 (1.13) 可以看出：若 $\alpha < 90^\circ - \varphi$ ，则当 $|\omega| < |\omega_s|$ 时 $S_{180^\circ, \alpha} > 0$ ，故 $\omega_1 = -|\omega_0|$ ， $\omega_2 = +|\omega_0|$ ；若 $\alpha = 90^\circ - \varphi$ ，则无论 ω 为任何数值， $S_{180^\circ, \alpha}$ 都等于零，这表示太阳光线整天和坡面平行，坡地本身在一天中的任何时间都对太阳光线恰好没有遮蔽，因此坡地上日出和日没的时角都和水平面上相同，即 $\omega_1 = -|\omega_0|$ ， $\omega_2 = +|\omega_0|$ ；但若 $\alpha > 90^\circ - \varphi$ ，则当 $|\omega| > |\omega_s|$ 时 $S_{180^\circ, \alpha} > 0$ ，故按照决定 ω_1, ω_2 的第 2 条规则 (3)，坡地上日出的时间同时也就是日没的时间，因此坡面恰好全天处在荫蔽中，没有可照时间。这是因为在春秋分时，太阳正东而出，正西而没，但在日出以后和日没以前太阳的方位都偏向于南方。当北坡坡度 $\alpha > 90^\circ - \varphi$ ，早晨水平面上刚刚日出时，太阳光线正好平行照射坡面，坡地上也同时日出。但随着太阳升高，因其方位逐渐偏向南方，坡地本身立刻把太阳光线遮蔽了，使坡面上受不到太阳照射。待至下午水平面上日没时，太阳光线正好刚从坡地的背面转到平行照射于坡面，但接着太阳就落于地平线下，坡地上又即刻受不到太阳照射，所以实际上坡地是全天都处在荫蔽中。

4. 当 $-1 < \tan(\varphi + \alpha)\tan\delta < 0$ 时

这个不等式相当于

$$\varphi + \alpha > 90^\circ + \delta$$

或
$$\alpha > 90^\circ - \varphi + \delta$$

在这种情况下，因当 $|\omega| > |\omega_s|$ 时 $S_{180^\circ, \alpha} > 0$ ，且 $|\omega_s| < |\omega_0|$ ，故按照决定 ω_1, ω_2 的第 2 条规则 (1) 可以确定 ω_1, ω_2 有两组值，一组是 $\omega_1' = -|\omega_0|$ ， $\omega_2' = -|\omega_s|$ ；另一组是 $\omega''_1 = +|\omega_s|$ ， $\omega''_2 = +|\omega_0|$ ，这是不难理解的。因为夏半年太阳是由

东偏北的方向而出,西偏北的方向而没,在正午前后则偏于南方,且纬度愈高,正午偏南愈厉害。因此,当纬度较高和坡度较大(即当 $\varphi + \alpha > 90^\circ + \delta$)时,北坡只有在上午日出以后一段时间和下午日没以前一段时间可以受到太阳照射。在正午前后,由于太阳位置偏南,太阳光线被坡地本身遮住,北坡反而处在荫蔽之中,这就使得它在上午和下午各有一次日出和日没的时间,即 ω_1, ω_2 有两组值。第一组 ω_1', ω_2' 是早晨太阳刚升到地面上北坡开始受到太阳照射(第一次日出)和坡面开始受到荫蔽(第一次日没)的时角。第二组 ω''_1, ω''_2 是下午荫蔽结束,北坡第二次开始再受到太阳照射(第二次日出)和傍晚太阳开始落到地平线以下,北坡又第二次受不到太阳照射(第二次日没)的时角,

5. 当 $\tan(\varphi + \alpha)\tan\delta = -1$ 时

以上不等式相当于

$$\varphi + \alpha = 90^\circ + \delta$$

或

$$\alpha = 90^\circ - \varphi + \delta$$

在本情况下,因当 $|\omega| > |\omega_s|$ 时, $S_{180^\circ, \alpha} > 0$ 且 $|\omega_s| < |\omega_0|$,故按照第2条规则(1)有 $\omega'_1 = -|\omega_0|, \omega'_2 = -|\omega_s|$; $\omega''_1 = +|\omega_s|, \omega''_2 = +|\omega_0|$ 。但因 $\omega_s = 0$,所以实际上是 $\omega_1 = -|\omega_0|, \omega_2 = +|\omega_0|$

6. 当 $\tan(\varphi + \alpha)\tan\delta < -1$ 时

这个条件相当于

$$90^\circ < \varphi + \alpha < 90^\circ + \delta$$

或

$$90^\circ - \varphi < \alpha < 90^\circ - \varphi + \delta$$

由公式(1.12), (1.13)可以看出:在这种情况下, ω_s 不存在,但无论 ω 为何值, $S_{180^\circ, \alpha}$ 都大于零,故按照第3条规则(2)可以确定 $\omega_1 = -|\omega_0|, \omega_2 = +|\omega_0|$ 。

综上所述,可知夏半年在春秋分以外的时间,当坡度