

大连市石道街至八一路地段不同坡面晴天正午太阳直达辐射状况分析

辽宁师范大学 张 俊

大连市地处 $38^{\circ}54'N$, 属低丘陵山区, 市区内地形起伏较大, 在相同的太阳辐射条件下, 不同坡地接受的太阳辐射有很大差异。近年来, 随着大连市范围的不断扩大, 居民住宅和居民小区正在向坡地发展。根据大连市的坡地条件, 利用有关的辐射定律, 在不考虑大气层作用的条件下, 从理论上计算并分析不同地形条件的太阳辐射分布, 其结果是城市规划和建设部门十分关心的问题。

1 计算地区地形概况

计算地区位于市区内石道街至八一路地段, 总面积约为 8 平方公里, 是本市城市小区开发的重要区域之一。地段中间有公路沿山间谷地穿过, 谷地走向为 NW-SE, 谷地的海拔高度在 35~70 米, 高度沿 SE-NW 方向增加, 最高山峰海拔高度为 190 余米。谷地两侧低山迭起, 谷地和山峰的相对高差最大可达 140 米。各坡面的坡向和坡度变化较大, 亦能代表大连的基本地形特征。

2 坡面上太阳直接辐射的计算公式

根据伯朗定律, 斜面上接受的太阳直接辐射如下式:

$$S_{\beta} = S_m [\sin h_0 \cos \alpha + \cos h_0 \sin \alpha \cos (A - \beta)]$$

式中, S_{β} 为斜面上的太阳直接辐射; S_m 为太阳辐射强度; h_0 为正午太阳高度角; α 为坡度; β 为坡向(由正南量度, 顺时针向西为正, 逆时针向东为负); A 为太阳方位角。利用上式可计算出任意坡面上正午时接受的太阳辐射值。当太阳高度角一定时, S_{β} 受坡度 α 和坡向 β 的影响。

首先分析坡度对直接辐射的影响。当太阳正照坡面时, 太阳的方位与坡地方位一致。如图

1 所示。

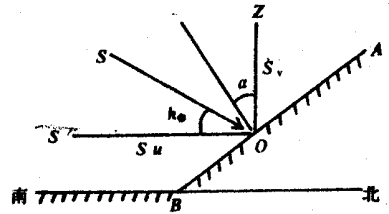


图 1 太阳正照坡面时的水平的垂直辐射分量

图 1 中, AB 为坡面; OZ 为天顶(铅直)方向; ON 为坡面法线; OS 为太阳入射光线; OS' 为太阳入射光线在水平面上投影。当满足太阳正照坡面条件时, ON 、 OS 、 OS' 在同一水平面上。如以 S_m 表示太阳辐射强度, 设 S_v 和 S_u 分别表示太阳辐射强度在天顶方向和水平方向的两个分量, 则有

$$S_v = S_m \cdot \sin h_0$$

$$S_u = S_m \cdot \cos h_0$$

任何平面上获得的太阳辐射量都指从其法线方向来的。因此, 坡面上任何一点所获得的太阳辐射量应是水平方向辐射分量与天顶方向辐射分量在坡面法线方向上的投影总和。即为:

$$\begin{aligned} S_{\alpha} &= S_v \cos \alpha + S_u \sin \alpha \\ &= S_m (\sin h_0 \cos \alpha + \cos h_0 \sin \alpha) \\ &= S_m \sin (h_0 + \alpha) \end{aligned}$$

该式即为太阳光线正照坡面时, 任一坡度坡地上所获得的太阳辐射量。分析上式可以看出, 当正午太阳高度角 h_0 一定时, 任一坡面获得的太阳辐射量仅决定于坡度 α 。当 $h_0 + \alpha < 90^{\circ}$ 时, S_{α} 随着 α 增大而加大, 直到 $h_0 + \alpha = 90^{\circ}$ 时, S_{α} 达最大值。当 α 进一步增大, S_{α} 将随之减小。在不同季节里, 正午太阳高度角不同, 决定辐射量

极大值的坡度亦有一定变化。在大连的地理纬度

条件下,冬至日的正午太阳高度角最小,为 27.7° ;夏至日最大,为 74.5° 。因此,冬至日的 S_e 最大值应出现在 $\alpha = 62.3^\circ$ 的坡面上;夏至日的 S_e 最大值应出现在 $\alpha = 15.5^\circ$ 的坡面上。

阳光正照坡面只是一种特殊情况,大多数情况下,阳光并不正照坡面,即太阳光线在水平面上的投影并不与坡面法线在水平面上投影重合。在这种情况下,正午时,当 h_0 和 α 一定, $S_{e\beta}$ 则因坡向不同而不同。展开公式:

$$S_e = S_m(\sinh_0 \cos\alpha + \cosh_0 \sin\alpha) \\ = S_m \sinh_0 \cos\alpha + S_m \sin\alpha \cosh_0$$

展开式中等号右边第一项为太阳辐射在天顶方向的分量 S_m 。当 h_0 一定时,无论太阳光线来自何方,光线的天顶距不变。因此,太阳辐射在天顶方向上的分量总等于 $S_m \sinh_0$ 。再投影到坡面法线方向上,其值为 $S_m \sinh_0 \cos\alpha$ 。铅直分量不随坡向改变而发生变化。太阳辐射在水平方向上的分量 S_e 则不同,见图 2。

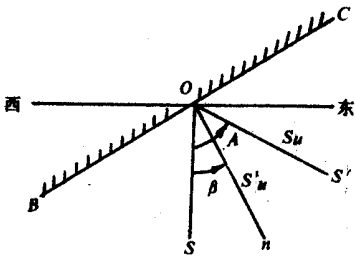


图 2 太阳斜照坡面时水平辐射分量的分解

图 2 中, BC 为斜坡走向; On 为斜坡方向(坡面法线在水平面上的投影),用 β 表示; OS' 为太阳方向; A 为太阳方位角; S_e 为太阳辐射在水平面上的分量; $S_e = S_m \cosh_0$ 。任一坡面上接受的太阳直接辐射应在法线方向上, S_e 在其法线水平方向(On 方向)上的投影为 S'_e 。

$$S'_e = S_e \cdot \cos(A - \beta) \\ = S_m \cosh_0 \cosh_0 (A - \beta)$$

比较 S_e 与 $S_{e\beta}$ 看出:当 α 和 h_0 一定时, $S_{e\beta}$ 只在水平分量上增加了一个订正项 $\cos(A - \beta)$; 并且, $S_{e\beta}$ 随 $(A - \beta)$ 增大而减小。正南坡(A

$-\beta) = 0$, $S_{e\beta}$ 值最大; 正北坡, $(A - \beta) = 180^\circ$, $S_{e\beta}$ 值最小。

通过上面的分析看出,坡向、坡度都在影响着坡地上的太阳直接辐射。若以南坡正午为例,则有 $A = 0, \beta = 0$, 坡面上的太阳直接辐射应为:

$S_{e\beta} = S_m \sin(h_0 + \alpha)$, 因为, $h_0 = 90^\circ - \varphi + \delta_0$ 。式中, φ 为地理纬度, δ_0 为太阳赤纬。代入上式得:

$$S_{e\beta} = S_m \sin(90^\circ - \varphi + \delta_0 + \alpha)$$

该式即为纬度为 φ 处南坡正午的太阳直接辐射。分析该式可以看出,纬度为 φ 处,坡度为 α 的南坡面上,正午接受的太阳直接辐射,与纬度比 φ 处低 α 度地区水平面上接受的太阳直接辐射相同。如大连($\varphi \approx 39^\circ N$)的坡度 $\alpha = 8^\circ$ 的坡面上,正午获得的太阳直接辐射量相当于上海($\varphi \approx 31^\circ$)水平面上的太阳直接辐射量。在坡度 $\alpha = 16^\circ$ 的坡面的太阳直接辐射量,相当于广州($\varphi = 23^\circ$)水平面上的太阳直接辐射量。即对于南坡而言,坡度每增加 1 度,相当于纬度降低 1 度。北坡的情况正好相反,坡度每增加 1 度,相当于纬度升高 1 度,随着坡度的增加,接受的太阳辐射愈少。就偏南坡而言,一年中各季节正午接受的太阳直接辐射量差异很大。其中尤以 $\alpha = 90^\circ$ 时差异为甚。此时 α 即表示地形中的陡崖,又表示建筑物中直的墙壁, β 则表示陡崖和墙壁的朝向。计算表明,当朝向为 SE 和 SW 方向时,陡崖和直立墙壁冬至日正午接受的太阳直接辐射量为夏至日的 2.5 倍,朝南时为 3.3 倍,朝南向是冬季采光、取暖的最佳选择。

3 坡面上的相对辐射

正午时坡面上与平面上接受的太阳直接辐射之比称做相对辐射,用 C 表示。

$$C = \frac{S_{e\beta}}{S_e} = \cos\alpha + \text{ctgh}_0 \cos(A - \beta) \sin\alpha$$

大连地区各季节正午不同坡地上相对辐射值的计算结果在附表中列出。从附表中可见,当坡度一定时,正午南坡太阳直射,相对辐射值最大,并由南坡依次向两侧减小,北坡最小,该

规律适用于各个季节。对偏南坡而言,相对辐射值先是随坡度增加而加大,到某一坡度出现最大值,再随坡度增大而减小。东西坡和偏北坡,相对辐射均随坡度增大而减小。相对辐射的季节变化因坡向而异,南坡和偏南坡C值随 h_0 增加而减小;偏北坡随 h_0 增加而增大;东西坡C值不随季节发生变化。由于南坡和偏南坡的太阳直接辐射多大于水平面上的太阳直接辐射,而东西和偏北坡的太阳直接辐射均小于水平面上。所以,前者在多数情况下 $C > 1$,后者均为 $0 \leq C < 1$ 。

4 石道街至八一路地段冬季正午相对辐射分布

利用该地段1:10000地形图,在地段内选择了1700余个特征点。图3是根据特征点冬至日的C值绘制的等值线图。图3中1区表示 $C \geq 1.5$;2区表示 $1 \leq C < 1.5$;3区表示 $0 \leq C < 1$ 。C值的分布特点,分析如下:

4.1 1区面积最小。主要分布在谷地北侧的捷山南坡和南南东坡。北石道街眼镜厂附近、轻工研究所与石道街之间亦有间断分布。谷地南侧只有一个局部小区相对辐射 ≥ 1.5 。

4.2 由八一路经新起屯到石道街的整个谷地是2区的主要分布地段。谷地两侧的坡地上,2区与1区或3区交错分布,且路南2区面积小于路北。

4.3 以绿山至烈士山的山脊线向西穿过公路继续沿公路南侧的山脊线为界,界线以北都为3区。公路以南绝大部分地区为3区。主要分布在石道街路南,新起屯路南和八一路南。公路以北3区面积明显少于路南,且呈零星分布。

附表 大连各季正午不同坡地上相对辐射($\frac{Sa\beta}{S_0}$)值

项目	冬至日 (27.7°)	春分秋分日 (51.5°)	夏至日 (74.5°)	
				冬至日 (27.7°)
水平面	0°	1	1	1
S ($\beta = 0^\circ$)	10°	1.31	1.12	1.03
	30°	1.81	1.27	1.00
	45°	2.05	1.28	0.90
	90°	1.90	0.81	0.28
SE ($\beta = \pm 45^\circ$)	10°	1.22	1.08	1.02
	30°	1.54	1.15	0.96
	45°	1.66	1.11	0.85
SW ($\beta = \pm 45^\circ$)	90°	1.35	0.57	0.20
	10°	0.98	0.98	0.98
	30°	0.87	0.87	0.87
E ($\beta = \pm 90^\circ$)	45°	0.71	0.71	0.71
	90°	0.00	0.00	0.00
NE ($\beta = \pm 135^\circ$)	10°	0.76	0.89	0.95
	30°	0.19	0.58	0.77
NW ($\beta = \pm 135^\circ$)	45°	-0.25	0.30	0.58
	90°	-1.35	-0.57	-0.20
	10°	0.65	0.84	0.94
N ($\beta = \pm 180^\circ$)	30°	-0.09	0.46	0.73
	45°	-0.63	0.14	0.51
	90°	-1.90	-0.81	-0.28

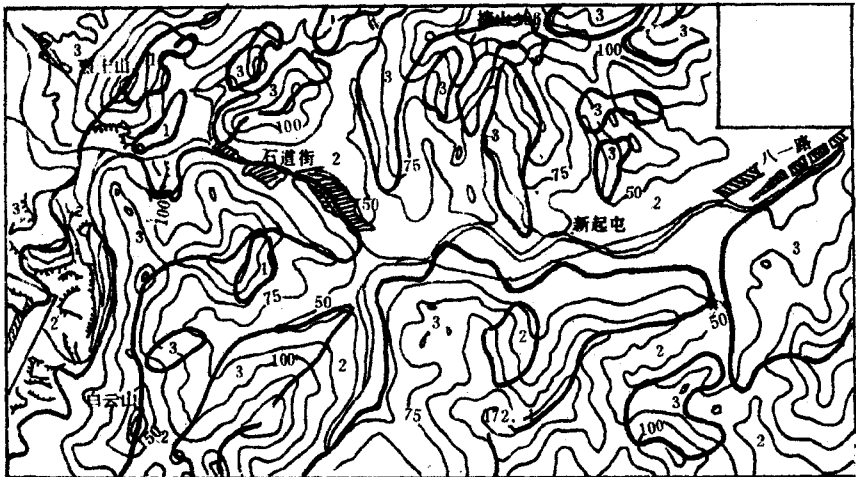


图3 石道街至八一路地段不同坡地正午相对辐射等值线图