

澳门的太阳辐射

邓 汉 增

(广州地理研究所)

澳门地处南亚热带南缘,位于珠江口西岸,与香港隔海相望。总面积 16.92平方公里*,由澳门半岛和氹仔、路环两海岛组成,其中作为主要市区的澳门半岛只有 6.05平方公里。

澳门从1956年起就开始进行太阳辐射观测,它的观测资料不仅对澳门,而且对我国热带和南亚热带太阳辐射气候的研究和太阳能利用都有重要的意义。本文根据澳门气象台(22°12'N, 113°32'E, 海拔57米)1975—1984年的资料对澳门太阳辐射进行一些初步分析。该台用Kipp & Zonen公司的Link-Feusner总辐射表测量太阳总辐射,用同样的总辐射表配上遮光带测量散射辐射,并用该公司的CCI电子日射积分计记录小时总量,用YEW公司的毫伏表进行连续记录,日照时数用康培尔—斯托克日照计测量。

一、太阳总辐射

1975—1984年澳门太阳总辐射月总量和年总量列于表1。投射到水平面上的总辐射

表1 澳门太阳总辐射月总量和年总量(兆焦/米²)

Tab.1 Monthly and annual totals of global radiation, Macao (MJ/m²)

年\月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年总量
1975	264	362	223	472	438	444	660	511	553	420	430	385	5162
1976	454	327	274	317	487	510	577	588	457	437	457	391	5276
1977	298	400	502	429	631	577	624	601	500	564	470	397	5993
1978	341	299	160	323	439	576	643	567	542	425	436	410	5161
1979	297	291	205	342	404	529	697	486	486	628	401	451	5217
1980	338	254	292	341	462	612	600	634	534	507	453	396	5423
1981	398	260	290	394	463	550	538	646	445	441	353	415	5193
1982	390	202	312	402	477	513	612	541	520	460	367	383	5188
1983	252	143	193	327	468	608	706	609	538	443	502	378	5166
1984	340	210	228	216	455	560	752	539	539	523	435	308	5105
平均	337	275	268	356	472	548	641	572	513	485	430	391	5288

*关于澳门总面积和半岛面积,过去一直沿用15.52平方公里和5.42平方公里两数字。这里是根据澳门统计暨普查司出版的《澳门资料》(1986年出版)采用的最新数字。

年总量10年平均为5288兆焦/米²·年,最高的是1977年,达5993兆焦/米²·年,最低的是1984年,只有5105兆焦/米²·年。

总辐射月总量最高值一般出现于7月,也有出现于8月或5月的;月总量最低值则出现于2月或3月,个别年份出现于1月。10年平均月总量最高是7月,达641兆焦/米²·月;最低是3月,仅268兆焦/米²·月。澳门3月多云雾,日照百分率相当低。1975—1984年平均3月雾日多达10天,总云量9.0,日照百分率只有16%。因此,3月总辐射较低。

总辐射年总量的年际变化很小,最大值与最小值之差仅相当于10年平均值的16.8%。但是月总量的年际变化则较大,1—5月均大于45%。尤其是3月,最大值(502兆焦/米²·月,1977年)竟相当于最小值(160兆焦/米²·月,1978年)的3倍以上,最大值与最小值之差达到10年平均值的127.6%。

图1是1974—1978年澳门、香港和广州三地实测的总辐射平均月总量的比较(香港的资料取自文献^[1])。从图中可以看出,除3月和4月外,香港的总辐射月总量比澳门的低;而广州则全年均比澳门和香港的低得多。5年平均的总辐射年总量,澳门最大,5431兆焦/米²·年,香港次之,5211兆焦/米²·年,广州最小,仅4187兆焦/米²·年。

图2为1975—1984年澳门各月平均总辐射时总量日变化的等值线图,等值线间距为0.5兆焦/米²·时。上午和下午时总量的变化是比较对称的。中午太阳总辐射通量最大值出现于7月,超过2.5兆焦/米²·时;最小值出现于3月,不到1.5兆焦/米²·时。

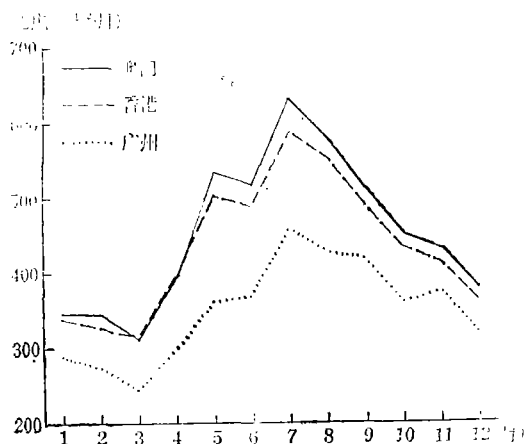


图1 澳门、香港、广州的总辐射月总量
(1974—1978年)

Fig.1 Monthly totals of global radiation in Macao,
Hong Kong and Guangzhou (1974—1978)

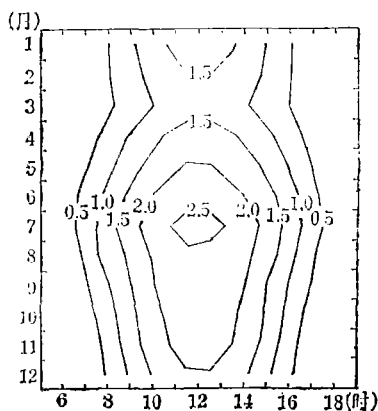


图2 澳门各月平均总辐射时总量
日变化(兆焦/米²·时)

Fig.2 Diurnal variation of hourly totals
of global radiation in Macao
(MJ/m²·hr)

图3则为各月平均总辐射时总量对日总量百分比的日变化等值线图。从图中可以清楚看出,正午前和正午后第1个小时的总辐射时总量一般超过日总量的14%,冬季各月更超过15%;正午前和正午后第2个小时也超过12%。也就是说,正午前后的4个小时集中了总辐射日总量的50—60%,夏季较少,冬季较多。日出后和日落前则相反,夏季的时总

量占日总量百分比稍大,而冬季则较小。

二、总辐射与日照百分率的关系

日照百分率 S/S_0 (S 为日照时数, S_0 为可能日照时数)是影响地面太阳辐射的重要因素之一。到达地面的总辐射 Q 与天文辐射 Q_a 的比值与日照百分率的相关关系很好。这种关系可以表示为

$$Q = Q_a(a + b \frac{S}{S_0}) \quad (1)$$

或

$$Q = Q_a[c + d \frac{S}{S_0} + e(\frac{S}{S_0})^2] \quad (2)$$

式中 a 、 b 、 c 、 d 、 e 为经验系数。对于缺乏太阳总辐射观测的地区,人们经常利用上面的公式计算总辐射。

图4是根据澳门1975—1984年各月的 Q/Q_a 和 S/S_0 值点绘而成的。从图中可以看出,二者略呈非线性关系,但是也很接近线性关系。如果分成2—4月和5月至次年1月两段,则各自呈明显的线性关系。

利用这10年共120个月的 Q/Q_a 和 S/S_0 值,通过回归分析,得出下面各个计算澳门总辐射月总量的公式:

$$1-12月: Q = Q_a(0.1855 + 0.5900 \frac{S}{S_0}) \quad (3)$$

$$2-4月: Q = Q_a(0.1412 + 0.7554 \frac{S}{S_0}) \quad (4)$$

$$5-1月: Q = Q_a(0.2307 + 0.5042 \frac{S}{S_0})$$

$$1-12月: Q = Q_a[0.1548 + 0.8048 \frac{S}{S_0} - 0.2809(\frac{S}{S_0})^2] \quad (5)$$

(3)式的相关系数为0.98, (4)式两个相关系数分别为0.99和0.98。

为了检验公式的精度,利用澳门1974年和1985年各月日照百分率,分别按上面3公式算出总辐射月总量,并与实测总辐射月总量比较,计算相对误差。(3)、(4)、(5)式算出的月总量相对误差绝对值平均为5.94%、4.44%和4.85%,年总量相对误差分别为-2.22%、-2.01%和-1.53%。可见(4)、(5)式的精度较(3)式高。

三、散射辐射

利用1975—1984年的实测资料对澳门的散射辐射进行了分析。如表2所示,10年平均散射辐射年总量为2576兆焦/米²·年,1982年最高,达2863兆焦/米²·年,1976年最

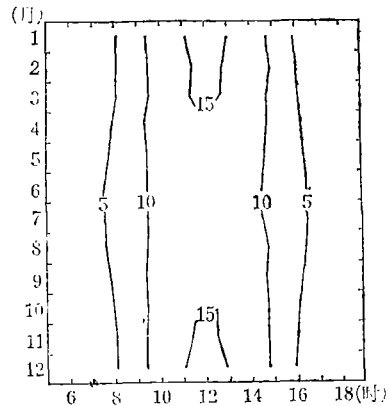


图3 澳门各月平均总辐射时总量占日总量百分比的日变化(%)

Fig.3 Diurnal variation of percentages of hourly to daily global radiation in Macao (%)

低，仅有2456兆焦/米²·年。从表2可以看出，散射辐射月总量的年变化比较平缓，一年中最大值与最小值相差大多数小于1倍。月总量最大值一般出现于5月，也有出现于4月或6—7月，最小值则出现于2、3月或10—12月。1975—1984年散射辐射平均月总量最大是5月，278兆焦/米²·月，最小是2月，只有164兆焦/米²·月。

散射辐射年总量的年际变化很小，最大值与最小值之差只相当于10年平均值的15.8%。月总量的年际变化也不大，大多数小于40%，只有2月、6月和9月达到45%—50%

散射辐射在总辐射中所占比例的大小，可以用比值D/Q(D为散射辐射)表示。

澳门1975—1984年平均各月D/Q值年变化列于表3。1—5月，散射辐射占总辐射的54%以上，尤以3、4月更甚，分别占75%和68%。6—12月均小于50%。表3还列出了平均总云量和日照百分率。可以清楚看出，D/Q值的年变化与总云量的年变化趋势基本相似，而与日照百分率年变化趋势恰恰相反。

多数研究表明，散射辐射与总辐射之比值D/Q同总辐射与天文辐射之比值D/Q_a之间存在着很好的相关关系。有人得出非线性关系^[2]，也有人得出了线性关系^[3]。为了考察这种关系，将澳门1975—1984年各月的D/Q值和Q/Q_a值点绘成图5。

从图5可以清楚看出，D/Q与Q/Q_a呈明显的负相关关系。Q/Q_a值越大，D/Q值越小；Q/Q_a越小，则D/Q值越大。阴天时，比值Q/Q_a很小，到达地面的太阳总辐射几乎全

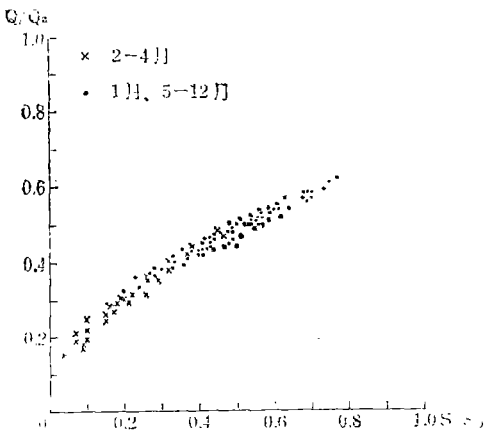


图4 澳门1975—1984年各月Q/Q_a与S/S₀关系
Fig.4 Monthly Q/Q_a vs. S/S₀, Macao (1975—1984)

表2 澳门散射辐射月总量和年总量(兆焦/米²)

Tab. 2 Monthly and annual totals of diffus radiation, Macao (MJ/m²)

年/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年总量
1975	158	181	181	275	263	251	209	254	213	200	167	152	2504
1976	169	180	197	222	259	230	260	221	176	203	181	158	2456
1977	180	186	251	271	272	265	261	276	240	218	161	161	2742
1978	184	190	146	209	308	247	192	279	224	219	179	173	2550
1979	199	184	163	235	258	286	234	261	224	155	192	165	2561
1980	176	156	205	236	283	203	228	234	220	212	152	169	2474
1981	173	154	199	267	276	253	221	274	231	196	164	176	2584
1982	202	144	220	259	284	324	286	259	279	227	195	185	2863
1983	170	108	158	222	293	267	252	252	206	220	169	168	2485
1984	167	162	182	184	288	374	212	263	233	228	170	177	2540
平均	178	164	191	238	278	260	236	257	225	208	173	168	2576

表3 澳门1975—1984年平均D/Q值、总云量和日照百分率

Tab.3 Average D/Q, cloudiness and relative duration of sunshine in Macao(1975—1984)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D/Q	0.54	0.62	0.75	0.68	0.60	0.48	0.37	0.45	0.44	0.44	0.41	0.44
总云量(成)	6.50	7.90	8.90	8.90	8.20	7.90	7.10	7.60	7.00	5.90	5.10	4.80
日照百分率(%)	0.39	0.25	0.16	0.22	0.32	0.44	0.59	0.50	0.50	0.53	0.59	0.56

是散射辐射。因此,比值D/Q趋近于1。但是在晴天无云时,即 Q/Q_a 值很大时,由于瑞利散射的存在,D/Q值并不趋近于零。晴天时散射辐射约占总辐射的15—25%^[4]。因此当比值 Q/Q_a 大约等于0.8—1.0,D/Q值趋近于一个不等于零的极限,这一极限大约为0.15。这种变化可以用图5中的曲线表示,它实际上是一条颠倒过来的皮尔型生长曲线^[5]:

$$\frac{D}{Q} = 1 - \frac{L}{1 + ae^{-b(Q/Q_a)}} \quad (6)$$

式中L是当 Q/Q_a 很大时D/Q趋近的极限值,a和b是经验系数。本文由于资料所限,难以对此曲线进行拟合。

从澳门的辐射资料分析可以看出,在 Q/Q_a 等于0.15—0.65的区间内,D/Q与 Q/Q_a 的关系基本上可以看成是线性的,其相关系数为0.95。得出的计算散射辐射月总量公式为:

$$D = Q(1.0416 - 1.2068 \frac{Q}{Q_a}) \quad (7)$$

用1974年和1985年澳门总辐射实测值计算出各月散射总量,同实测值比较,相对误差绝对值平均为7.6%,年总量的相对误差为2.6%。

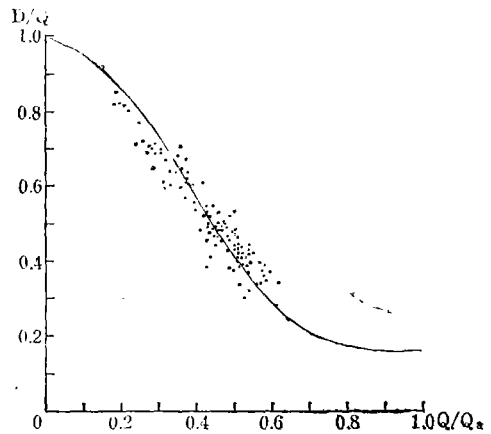


图5 澳门1975—1984年各月D/Q与 Q/Q_a 关系
Fig.5 Monthly D/Q vs. Q/Q_a , Macao (1975—1984)

四、1951—1985年太阳辐射平均状况

上述分析是根据10年的实测资料,还不能很好地说明多年的长期平均状况。例如,1975—1980年平均总辐射月总量是3月最小,而3月总辐射的年际变化很大,长期平均来看,就不一定是3月最小了。因此,利用澳门1951—1985年的实测日照百分率,根据(4)式和(7)式,分别算出35年平均的太阳总辐射和散辐射值,并由二者之差算出直接辐射值。计算结果列于表4。

澳门是华南太阳辐射资源比较丰富的地区之一。1951—1985年35年澳门平均太阳

表4 澳门1951—1985年平均太阳总辐射、直接辐射、散射辐射月总量和年总量(兆焦/米²)Tab.4 Monthly and annual totals of global, direct and diffuse solar radiation in Macao, 1951—1985 (MJ/m²)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年总量
总辐射	349	287	327	391	529	530	648	585	520	503	418	371	5458
散射辐射	180	180	219	245	275	269	262	261	235	210	174	168	2678
直接辐射	169	107	108	146	254	261	386	324	285	293	244	203	2780

总辐射年总量为5458兆焦/米²·年。其中直接辐射占51%，散射辐射占49%。总辐射月总量2月最小，7月最大，相差1倍多。直接辐射月总量也是2月最小，7月最大，相差2.6倍。散射辐射月总量则是12月最小，5月最大，相差仅64%。

1—6月，散射辐射大于直接辐射，D/Q值大于0.5，尤其是2—4月，更高达0.6以上。7—12月则相反，直接辐射大于散射辐射，D/Q值只有0.4—0.45左右。

由于受到资料的限制，本文只作了很初步的分析。有必要收集更齐全的资料，对澳门的太阳辐射气候作进一步的深入分析研究。其结果将会具有超出澳门本身的更普遍的意义。

参 考 文 献

- [1] Leung, C. T. : Solar Energy, 25(3), 1980.
- [2] Liu, B. Y. and Jordan, R. C. : Solar Energy, 4(3), 1986.
- [3] Page, J. K. : Proc. UN Conf. on New Sources of Energy, 1961.
- [4] Monteith, J. L. : Principles of Environmental Physics, 1980.
- [5] 山田一茂等：北陸地方及び信州における日射気候，北陸農業試験場報告，第25号，1983。

SOLAR RADIATION IN MACAO

Deng Hanzeng

(Guangzhou Institute of Geography)

Abstract

Macao (22°12' N, 113°32' E) is one of the places which receive plenty of solar energy in South China. The author analysed the observation data of the period from 1975 to 1984, described the variations of solar radiation and their relations with other factors.

The average annual amount of global solar radiation was 5288 MJ/m² during the

studied period. The maximum monthly amount occurred in July (641 MJ/m^2), and the minimum in March (268 MJ/m^2).

The average annual amount of diffuse solar radiation was 2576 MJ/m^2 during the period from 1975 to 1984. February received the minimum monthly amount (164 MJ/m^2), and May the maximum (278 MJ/m^2).

The annual amounts of global and diffuse radiation were not so variable from year to year. The differences between maximum and minimum accounted for about 16.8% and 15.8% of the average, respectively. The interannual variations of the monthly totals of diffuse radiation were not remarkable. However, the monthly global radiation varied much from year to year. In March, the difference between maximum and minimum accounted for 127.6% of the average for these ten years.

Very good linear correlations were found between Q/Q_a and S/S_o , and between D/Q and Q/Q_a through regression analyses (Q_a —extraterrestrial radiation; Q —global radiation; D —diffuse radiation; S —sunshine duration; and S_o —possible sunshine duration). Equations for the calculation of Q and D were obtained:

$$Q = Q_a(0.1412 + 0.7554S/S_o) \quad \text{for February to April}$$

$$Q = Q_a(0.2307 + 0.5042S/S_o) \quad \text{for May to January}$$

$$D = Q(1.0416 - 1.2068Q/Q_a) \quad \text{for January to December}$$

The correlation coefficients of the above equations are 0.99, 0.98 and 0.95, respectively. For the purpose of checking their precision, monthly global and diffuse radiation for 1974 and 1985 were estimated by these equations. Comparing with the measured data, absolute values of the relative errors averaged less than 8%.

Finally, by using the above equations, average monthly and annual totals of global, direct and diffuse solar radiation for 1951 to 1985 were calculated from the measured S/S_o values.