唐古拉地区的总辐射和净辐射

陆龙骅　　戴加洗
（中央气象局气象科学研究院天气气候研究所）（青海省气象局）

1976—1977年，我们随青海省青藏高原气象科学考察队*，对地处青藏高原腹地的唐古拉地区进行了综合气象考察．本文仅就该地区的总辐射和净辐射作一些探讨．

唐古拉地区夏季考察的辐射观测基点设在布曲河畔，海拔4872米，观测场地为砂质草滩，长有高约3—5厘米的稀疏短草．冬季考察点设在公龙曲河畔，海拔5068米，下垫面为高山荒漠土，大部分时间裸露，很少积雪．这两个考察点相距约30公里，均在33°N、92°E附近，地势开阔，水平遮蔽角在8°以下．

考察期为1976年7月16日—8月31日及1977年1月1日—1月31日．每天除日出至日落每小时观测一次外，地方时0时再观测一次．

考察使用的主要仪器为：DFY_1型直接辐射表、DFY_2型天空辐射表、CN-11型净辐射仪．这些仪器在考察前后均作了检定．

一、总辐射

图1给出了唐古拉和上海晴天总辐射的日变化．高原和平原地区的晴天总辐射除强度不同外，日变化型式无大差异；而其最大总辐射和总辐射月总量却有着不同的特点．

1. 最大总辐射

考察期间，唐古拉地区总辐射的最大值为2.30卡/厘米²·分（短暂曾达2.44卡/厘米²·分）．当时满天为积状云，云隙有阳光透过．如表1所示，其余5次达1.94卡/厘米²·分以上的记录，也是在类似情况下测得的．同期，平原地区上海的最大总辐射只有1.58卡/厘米²·分．

高原地区总辐射大于太阳常数的现象，并非是观测误差造成的．观测误差可分为偶然误差和系统误差两部分．考察时，每次观测都进行了三次读数，结果是稳定的．不但这种现象在相同条件下重复出现，而且其直接辐射和散射辐射数值，在类似的日光、云天条件下也是经常出现的．因此，不可能是由于偶然误差所致．那么，是否与系统误差有关呢？考察时，我们用的是热电型相对辐射仪器．在高原条件下，仪器的灵敏度可能要比平原上的鉴定值偏大[2]，但这也改变不了问题的实质．以2.30卡/厘米²·分的资料为例，如果说，大于太阳常数的部分完全是由于仪器的系统误差造成的，那么，唐古拉地区测得的总辐射值就应当至少偏大15%$\left(\frac{Q-I_0}{Q}=15.7\%\right)$．唐古拉地区夏季中午前后日面无云时，实测总辐射平均强度为1.54卡/厘米²·分，减少15%后为1.31卡/厘米²·分，几乎与同期上海地区相应条件的总辐射平均强

本文1978年8月15日收到．

* 科学考察队由青海、西藏、甘肃、四川等省(自治区)气象局及中央气象局天气气候研究所派员组成．

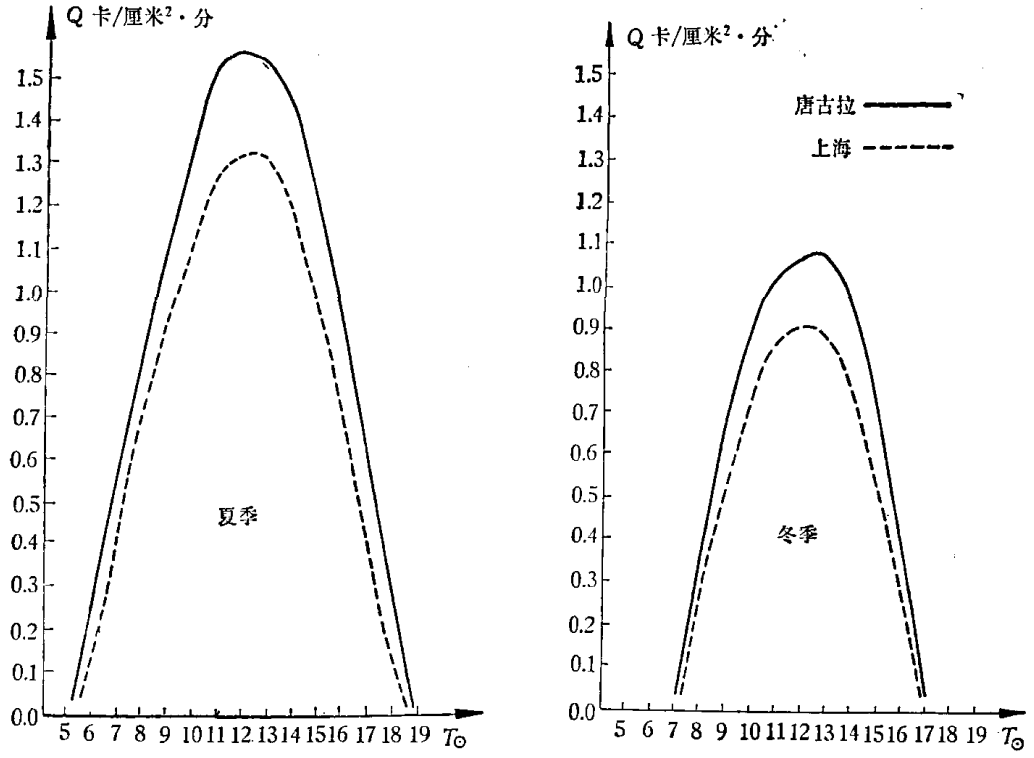


图 1　晴天总辐射的日变化

(日光 ⊙², 总云量 ≤3, 天顶云 0/0)

表 1　唐古拉地区总辐射达 1.94 卡/厘米²·分以上时的日云条件*

日　期	地方时	S′	D	Q	$\frac{Q-I_0}{I_0}$(%)	日　光	总云量及云状	备　考
76, 8, 21	11^{31}	1.54	0.76	2.30	18.6	⊙²	9Sc Cu Fc	反射率 0.15
8,22	11^{36}	1.48	0.50	1.98	2.1	⊙²	9 Sc	
	11^{43}	1.48	0.96	2.44	25.8	⊙²	9 Sc	一次读数
	12^{01}	1.20	0.76	1.96	1.0	⊙	9 Sc	
8,23	11^{49}	1.46	0.60	2.06	6.2	⊙²	8Cb Cu Fc	
8,27	13^{32}	1.26	0.68	1.94	0	⊙	$\overline{10}$Cu F:	反射率 0.18
8,29	12^{33}	1.42	0.53	1.95	1.0	⊙²	8 Sc Cu Fc	反射率 0.21

* 表中 S′ 为到达水平面上的太阳直接辐射，D为散射辐射，Q为总辐射，单位是卡/厘米²·分. I_0 为太阳常数，取 1.94 卡/厘米²·分[1].

度(1.30 卡/厘米²·分)相同,这显然是不合理的.

青藏高原地区大气干洁、海拔高,即使是多云时，只要日面未被遮蔽，透过云隙到达地面(水平面上)的太阳直接辐射仍可达 1.4—1.5 卡/厘米²·分. 如果此时的云为积状云，由于云体反射等作用,到达地面的散射辐射很强,在夏季唐古拉地区有时竟可达 0.96 卡/厘米²·分. 只要两者配合适当,由于多云对直接辐射的减弱完全可以被散射辐射的增加所补偿. 此时,总辐射比碧空条件下大,接近或超过太阳常数是完全可能的.

造成高原地区总辐射值大于太阳常数的两个因素中，起决定作用的是高原地区直接辐射强. 这也是平原地区很难出现这种情况的原因. 以上海为例，1976 年 8 月中午前后散射辐射

最大值也可达 0.76 卡/厘米²·分，但由于该地日面无云时直接辐射最大值（水平面上）只有 1.23 卡/厘米²·分(仅为唐古拉地区的 80%),很难出现总辐射大于太阳常数的现象.

这种在特殊情况下,总辐射值大于太阳常数的现象,国内有过报道[12],国外也出现过[3]. 至于这种现象的原因, Кондратьев 认为，局部有云大气的水平光学不均匀性，使辐射能在地面某些地段造成了特殊的焦点[3]; Волошина 则强调雪覆盖面反射率和高山冰川地区云的增加，对总辐射影响很大[5]. 上述"聚焦"的说法，不能解释为什么这种现象大都出现在高海拔地区，而强调下垫面反射率则不能说明，为什么高原上的非冰川地区也经常可以观测到这种现象.

表 2　高山地区观测到的总辐射最大值(卡/厘米²·分)

地点		海拔(米)	纬度(°N)	总辐射最大值	$\frac{Q-I_0}{I_0}$(%)	反射率	总云量	云状	出现日期	资料时段	资料来源
青藏高原	唐古拉	4872	33	2.30	18.6	0.15	9	Sc Cu Fc	76.8.21	76.7.16—8.31	本文
	拉萨	3658	30	2.29	18.0		[10]	Sc Cu Fc	57.7.17	54.7—68.3	西藏气象局
	昌都	3175	31	1.98	2.1	0.20	8	Ac Cb Cu	76.7.26	70.3—76.12	
	那曲	4507	31	2.17	11.8	0.17	[10]	Cb Cu Ci	74.8.8	72.5—78.5	
	噶尔	4278	33	2.19	12.9		7	Cb Cu Ci	71.8.1	71.7—77.12	
	玉树	3703	33	2.26	16.5		9	Ac Cu Cb	69.7.24	60.4—70.12	青海气象局
	风火山	4740	35	2.21	13.9		7	Cu Ac	75.7.24	75.6—77.6	
	格尔木	2808	36	2.12	9.3		[10]	Ac Cu	76.6.20	56.11—78.7	
	西宁	2296	37	2.12	9.3		[10]	Sc Cb Cu	62.6.13	59.1—78.8	
	珠峰地区	5000	28	2.17	11.9						文献[2]
		7029	28	1.98	2.1					66.4.8—4.11	
巴统(苏)			42	2.20	13.4						文献[3]
阿尔卑斯山(奥)		1940	47	2.09	7.7		7	Sc As Ac	53.6.12	53.5—53.11	文献[4]
厄尔布鲁士(苏)		3750	43	2.09	7.7	0.63	6	Cu	59.7.6	59.7.5—8.25	文献[5]

由表 2 可见,最大总辐射值大于太阳常数的现象在青藏高原上并不罕见,它们均出现在满天多积状云、日面未被遮蔽的情况下. 海拔高度升高 1000 米，观测到的总辐射最大值约增加 0.09 卡/厘米²·分. 因此，此现象仅仅是高山地区由云造成的太阳辐射再分配的结果[2]，应当视作高原有别于平原地区的辐射气候特点之一.

2. 总辐射日总量和月总量

日面无云(⊙²)时,上海的总辐射日总量只有唐古拉的 80%左右. 夏季唐古拉总辐射日总量最大值为 801 卡/厘米²·日,比同期拉萨的多 28 卡/厘米²·日，比上海则多 133 卡/厘米²·日. 而 8 月总辐射月总量则与此不同，唐古拉地区仅 13.9 千卡/厘米²·月，不仅比拉萨少 2.1 千卡/厘米²·月，且比上海的 14.0 千卡/厘米²·月还少. 唐古拉总辐射月总量偏小是由于水平面上直接辐射月总量偏小造成的. 出现这种情况的原因在于,拉萨地区向有"日光城"之称，夜雨多、白天晴朗;而地处高原腹地的唐古拉地区,夜雨不明显，白天对流旺盛，多高原的阵性降水天气. 以 1976 年 8 月为例,在 06—17 时(地方时)每小时一次的观测中，唐古拉有 53 次

因降水而缺测，缺测率达 14%，观测时间过后，往往天又转晴；而同期拉萨却只有三次因降水而缺测．此外，两地的日光状况及云量也有明显的差异．这势必造成夏季拉萨地区直接辐射和总辐射的月总量比唐古拉地区大的现象．高原腹地夏季多阵性降水、缺测率高，则暴露了用离散的定时观测资料，来计算日总量方法本身存在的问题．唐古拉 8 月总辐射月总量比上海小，就是由此造成的．

冬季唐古拉日总辐射最大值为 443 卡/厘米²·日，比同期拉萨的 451 卡/厘米²·日略小，但大于上海的 385 卡/厘米²·日．月总量的情况与此类似，唐古拉为 9.0 千卡/厘米²·月，拉萨是 11.1 千卡/厘米²·月，上海只有 4.0 千卡/厘米²·月．冬季拉萨月总辐射量大，与该地日照百分率高、时数长有关．

二、净 辐 射

净辐射又叫辐射平衡，系下垫面收到的辐射能和放出的辐射能之差．一般认为，当净辐射大于 0 时，可以肯定，大气通过长波辐射及感热和潜热交换，从地面获得热量，因而地面对大气而言是热源；反之，在某些情况下，则有可能为冷源．

图 2 给出了唐古拉地区净辐射的日变化．这种日变化型式也是与平原地区类似的．

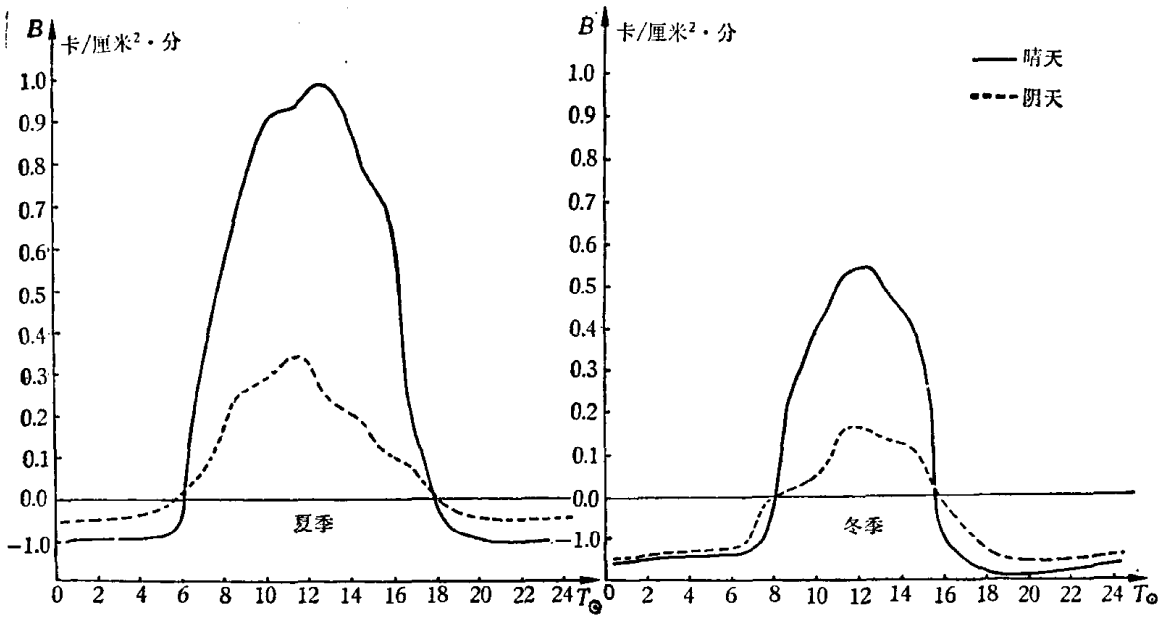


图 2　唐古拉地区净辐射日变化

1. 晴天(日光⊙², 总云量 ≤3, 天顶云 0/0)；　2. 阴天(日光⊓, 总云量≥10)

考察期间测得的净辐射最大值为 1.44 卡/厘米²·分，也是在夏天中午，满天有云，但日光可透过云隙，地物影子清晰时出现的．

表 3　唐古拉及上海的净辐射日总量(卡/厘米²·日)

地　点	1976 年 8 月			1977 年 1 月		
	平　均	晴	阴	平　均	晴	阴
唐古拉	259.2	400.5	107.7	22.9	26.7	−81.0
上　海	313.5	404.1	151.5	38.4	123.9	15.3

由表 3 可见，除唐古拉冬季阴天时，净辐射日总量小于 0，此时有可能地面对大气而言是冷源外，其它情况下净辐射日总量均大于 0，地面对大气而言是热源. 就平均情况而言，唐古拉地区 1976 年 8 月净辐射月总量为 8.0 千卡/厘米²·月，1977 年 1 月为 0.7 千卡/厘米²·月，地面对大气而言，均为热源.

青藏高原是热源还是冷源，历来是中外气象学者十分关心的问题. 近年来的高原考察活动不断地为解决这一问题提供了依据. 如表 4 所示，昆仑山口地区 1 月和 8 月的净辐射月总量分别为 1.2 千卡/厘米²·月及 7.0 千卡/厘米²·月. 珠穆朗玛峰的科学考察也表明，只有在 6000 米以上的粒雪区，冬季净辐射月总量才是负的. 而在此高度以下，即使是在冰川冰面区，冬季净辐射月总量仍为正值. 因此可以认为，在青藏高原主体上，不但夏季是热源，而且冬季有相当大的地区，地面对大气而言，仍可能为热源. 当然，要进一步明确这一点，现有的资料还是不够的.

致谢：本文承程纯枢总工程师和朱福康同志提出宝贵意见，谨致谢意.

表 4　青藏高原部分地区的净辐射月总量(千卡/厘米²·月)

地　点	海拔(米)	纬度 (°N)	下垫面	净辐射月总量		资料来源
				1　月	8　月	
唐古拉	5068	33	砂　砾	0.7		本　文
	4872	33	砂质草滩		8.0	
昆仑山口	4550	36	砂　砾	1.2	7.0	*
珠穆朗玛峰地区	5000	28	砂　砾	2.8	10.2	文献[2]
	5440	28	石　块	4.3	10.4	
	5730	28	冰、粒雪	1.6	7.2	
	6325	28	粒　雪	−2.4	2.3	

* 南京气象学院等，青藏高原气象论文集 (1975—1976)，109—119.

参　考　文　献

[1] Кондратьев К. Я., *Солнечная постоянная метеорология и гидрология*, 1971., 3:8—14.
[2] 寇有观等，珠穆朗玛峰地区科学考察报告，1966—1968，气象与太阳辐射，科学出版社，1975，113—132.
[3] Кондратьев К. Я., *Лучистая энергия Солнца*, Гидрометеоиздат, 1954 (李怀瑾等译，太阳辐射能，科学出版社，1962).
[4] Turner. H., *Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol.*, Ser. B, 8(1958), 273—325.
[5] Волошина А. П., *Тепловой баланс поверхности высокогорных ледников в летний период*, Издательство Наука, Москва, 1966.