



# 唐古拉地区的辐射和热状况

陆龙骅

戴加洗

(气象科学研究院天气气候研究所) (青海省气象局)

青藏高原地区的辐射和热状况，历来是气象工作者十分关心的。由于资料的限制，过去大多用间接推算的方法来讨论，是否符合实际，取决于推算方法及其假定的合理性。近年来，随着高原地区考察活动的增多，提供了用实测资料来讨论这一问题的可能性。

1976年7—8月及1977年1月，青海省青藏高原科学考察队<sup>\*</sup>对高原腹地唐古拉地区进行综合气象考察，首次获得了5000米高度上夏、冬季不小于一个整月的辐射和热状况资料。考察时的仪器和测点等情况在文献[1]中已给出，所用仪器在考察前后均作了检定。下面我们对唐古拉地区的辐射和热状况作一些讨论。

## 一、辐射状况

(一) 直接辐射：唐古拉地区海拔高，大气透明度相当好。1977年1月21日12<sup>时</sup>（地方时）测得直接辐射的最大值为1.80卡/厘米<sup>2</sup>·分（垂直面上），此时的大气绝对光学质量为0.90，透明度系数达0.89。同期拉萨及上海测得的直接辐射最大值仅为1.62卡/厘米<sup>2</sup>·分及1.24卡/厘米<sup>2</sup>·分，此时的透明度系数只有0.80及0.75。

日面无云（太阳面上未见云迹，下同）时，唐古拉地区垂直于光线面上的直接辐射，冬季大于夏季；其日变化形式与纬度相近的平原地区相同，但强度则差异很大。日面无云时，上海夏季及冬季的直接辐射平均强度仅为唐古拉地区的69%及57%。

唐古拉地区辐射平衡各分量的月总量在表1中给出，其中直接辐射是指到达水平面上的。

表1 唐古拉地区辐射平衡各分量的月总量  
(千卡/厘米<sup>2</sup>·月)

项目 时期	海拔 (米)	直接 辐射	散射 辐射	总辐 射	净辐 射	有效 辐射	反射 率 (%)
1976年8月	4872	7.7	6.2	13.9	7.3	3.7	20.9
1977年1月	5068	5.2	3.8	9.0	0.7	6.1	24.5

拉萨地区1976年8月到达水平面上的直接辐射为9.4千卡/厘米<sup>2</sup>·月，与此相比，表1的数值明显偏小。其原因在于，有“日光城”之称的拉萨地区多夜雨、白天晴朗，而在高原腹地的唐古拉地区，夏季多阵性降水，缺测率高。

(二) 分光观测：分光观测是在典型晴天、日面

无云时，用直接辐射表加滤光片进行的。

唐古拉地区夏季06—17时及冬季07—16时（地方时），垂直于光线面上紫外辐射( $\lambda < 380$ 毫微米)的平均强度为0.054及0.074卡/厘米<sup>2</sup>·分，占全波段太阳直接辐射强度的3.8%及4.4%。照此比例可求得日面无云时垂直于光线面上紫外辐射的平均日总量为41.5卡/厘米<sup>2</sup>·日及40.6卡/厘米<sup>2</sup>·日；红外辐射( $\lambda > 690$ 毫微米)的平均强度为0.759卡/厘米<sup>2</sup>·分及0.988卡/厘米<sup>2</sup>·分，占全波段的53.5%及59.7%；相应的平均日总量为584.2卡/厘米<sup>2</sup>·日及550.2卡/厘米<sup>2</sup>·日。

高原上紫外、红外辐射都比平原上强。1977年1月唐古拉和上海的分光对比观测表明，上海紫外辐射及红外辐射的平均强度只为同期唐古拉地区的35%和67%。

(三) 散射辐射：唐古拉地区晴天的散射辐射很弱，中午前后散射辐射最小值为0.03卡/厘米<sup>2</sup>·分，出现在冬季碧空时；同期上海的散射辐射最小值却为0.18卡/厘米<sup>2</sup>·分。天空散射辐射与云量和云状的关系很大。夏季中午前，在满天积状云、日面未被遮蔽时，测得散射辐射最大值0.96卡/厘米<sup>2</sup>·分，这在平原地区是很难出现的（同期上海的最大值仅为0.76卡/厘米<sup>2</sup>·分）。

(四) 总辐射：考察期间，唐古拉地区测得的总辐射最大值为2.30卡/厘米<sup>2</sup>·分（短时曾达2.44卡/厘米<sup>2</sup>·分），是目前见到的地面对总辐射观测的极值。当时满天为积状云、日面未被遮蔽、云隙有阳光透过。如表2所示，其余5次达1.94卡/厘米<sup>2</sup>·分（太阳常数）及以上的记录，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<sup>2</sup>·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。考察时，每次观测都进行了三次读数，结果是稳定的。高原地区海拔高、大气干燥洁净，即使是多云天，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<sup>2</sup>·分。如果此时为积状云，由于云状反射等作用，到达地面的散射辐射很强。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

\* 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气象科学研究院派员组成。

表2 唐古拉地区总辐射达 $1.94 \text{ 卡}/\text{厘米}^2 \cdot \text{分}$ 以上时的日、云条件

日期	地方时	S'	D	Q	日光	总云量	云状	备 考
76.8.21	11 <sup>21</sup>	1.54	0.76	2.30	②	9	Sc Cu Fe	反射率0.15
8.22	11 <sup>26</sup>	1.48	0.50	1.98	②	9	Sc	一次读数
	11 <sup>45</sup>	1.48	0.96	2.44	②	9	Sc	
	12 <sup>21</sup>	1.20	0.76	1.96	②	9	Sc	
8.23	11 <sup>40</sup>	1.46	0.60	2.06	②	8	Cb Cu Fe	
8.27	13 <sup>22</sup>	1.26	0.68	1.94	②	10 <sup>-</sup>	Cu Fe	反射率0.18
8.29	12 <sup>38</sup>	1.42	0.53	1.95	②	8	Sc Cu Fe	反射率0.21

注：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。

全可能的。对这一问题的进一步讨论可见文献〔1〕。

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，在唐古拉夏季考察期间出现过 7 次，其他测点也都出现过〔1〕。它们均出现在夏季中午前后，满天多积状云，日面未被遮蔽的情况下。此现象仅是高山地区由云造成的太阳辐射再分配的结果，是高原地区有别于平原的辐射气候特点之一。

应当指出的是，考察时我们使用的是国产 DFY<sub>1</sub>型直接辐射表和电流表，考察前后均作了检定。但由于它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检定值偏大〔2〕。虽这不至于改变唐古拉地区总辐射观测值能大于太阳常数的问题实质，但有可能对具体数值有所影响。因此，青藏高原上最大总辐射强度数值的进一步确认，还有待于辐射仪器的改进及考察资料的增多。

日面无云时，上海的总辐射日总量只有唐古拉的 80% 左右。夏季唐古拉地区总辐射日总量最大值为 801 卡/ $\text{厘米}^2 \cdot \text{日}$ ，比上海地区多 133 卡/ $\text{厘米}^2 \cdot \text{日}$ ；月总量情况却与此不同，唐古拉仅 13.9 千卡/ $\text{厘米}^2 \cdot \text{月}$ ，比上海的 14.0 千卡/ $\text{厘米}^2 \cdot \text{月}$ 还少。这是由于高原腹地夏季多阵性降水，缺测率高（14%）所致。这也暴露了用离散的定时观测资料来计算日总量的方法本身存在的问题。

冬季唐古拉地区总辐射日总量的最大值为 443 卡/ $\text{厘米}^2 \cdot \text{日}$ ，大于上海的 385 卡/ $\text{厘米}^2 \cdot \text{日}$ ；月总量与此类似，唐古拉为 9.0 千卡/ $\text{厘米}^2 \cdot \text{月}$ ，上海只有 4.0 千卡/ $\text{厘米}^2 \cdot \text{月}$ 。

（五）净辐射：由表 1 可见，无论冬夏，唐古拉地区的净辐射月总量均大于零。珠峰地区的考察也表明：在青藏高原上，只有在 6000 米以上的粒雪区，冬季净辐射月总量才是负值；而在此高度以下，即使在冰川冰面区，冬季净辐射月总量仍为正值〔2〕。寇有观等根据高原地区辐射实测资料，确定了适于高原的辐射平衡各分量的计算方法\*。他们也得出了在昆仑

山、阿尔金山以南 5000 米以下的青藏高原上各月净辐射均为正值的结论。

高国栋等曾计算过东亚地区的净辐射，他们得出冬季青藏高原地区的净辐射月总量为负值〔3〕，这是与近年来高原地区观测事实不符的。问题可能在于，他们计算时把高原地区的年平均反射率取在 40% 以上。该数值作为行星反照率尚可，要作为地面反射率则偏大了。实际上，高原地区的实测地面反射率只有 20%—30%，仅与卫星测得的该地区最小行星反照率（25%）相当。

## 二、热 状 况

考察时对热状况各分量的计算方法见文献〔4〕。由表 3 可见，在唐古拉地区，白天（无论冬夏）大气和土壤深层通过地面与大气间感热、潜热交换及地中热交换，由地面获得热量。夜间则不同，除了 8 月份仍有少量潜热供给大气外，热通量的方向都是指向地面的，此时感热和潜热输送量也很小。就月总量而言，感热和潜热交换都是正值，均是由地面向大气输送热量，其数值夏季大于冬季；1 月份地中热交换是负值，地面获得热量，8 月则反之。

表3 感热、潜热、地中热交换通量强度及月总量

要 素	1976 年 8 月			1977 年 1 月		
	感热	潜热	地中热	感热	潜热	地中热
平均强度 (卡/ $\text{厘米}^2 \cdot \text{分}$ )	中午	0.21	0.25	0.26	0.13	0.13
	子夜	-0.01	0.01	-0.13	0.00	-0.01
总 量 (千卡/ $\text{厘米}^2 \cdot \text{月}$ )		2.8	4.2	0.4	0.5	0.5
						-0.2

注：表中各项均以地面丧失热量为正，获得热量为负。

## 三、地 面 冷 热 源

目前对青藏高原冷热源问题的认识并不一致，原因之一是不同作者考虑冷热源的对象及定义不同。冷热源可分为三种。地面冷热源讨论地面对大气而言的热量收支情况，大气冷热源讨论大气柱中的热量收支，地气系统的冷热源则讨论整个地球-大气系统的热量收支。我们这里讨论的是地面冷热源，着眼于下垫面与大气之间的热量交换。

在近地面的热量平衡方程中，地面与大气间的热量交换共三项，即湍流感热、蒸发凝结潜热交换及隐含在净辐射中的长波有效辐射输送。如果在某一段的热交换过程中，大气从地面“净收入”热量，也就

\* 见寇有观等：青藏高原辐射平衡各分量的计算及其时空变化特征。

是上述三项的总和指向大气时，我们就称地面对大气而言是热源，反之为冷源。

过去有人在讨论地面冷热源时认为地面与大气之间的热量交换是通过感热和潜热进行的，不考虑有效辐射。这种考虑恐怕并不妥当。感热和潜热仅是“热源”的一部分，尚未包括由地面向大气输送的长波净辐射（地面有效辐射）在内。虽然地面有效辐射进入大气后对大气的加热过程极为复杂，其中有很多热量是透过大气层进入宇宙空间的，但并不能排除这部分热量是由地面向大气输送的，应当是地面热源的一个组成部分。地面供给大气的热量能否真正为大气所吸收，以及在大气中热量的平衡等问题，则应是大气冷热源所讨论的问题。

表4 唐古拉地区地气间热量交换的平均日总量\*（卡/厘米<sup>2</sup>·日）

项目 时期	感 热	潜 热	有效辐射	地面供给大 气的总热量
1月	14.8 (6.5%)	15.8 (6.9%)	197.0 (86.6%)	227.6
8月	90.3 (26.2%)	133.5 (39.4%)	118.4 (34.4%)	344.2

\* 括号中的数字为与总热量的百分比。

由表4可见，在唐古拉地区，无论冬夏，大气总是由地面获得热量的，地面对大气而言均为热源。冬季和夏季地面向大气输送热量的方式是不同的。1月份地面主要以有效辐射方式向大气输送热量，这部分热量占总热量的87%。8月份，感热和潜热输送占66%，有效辐射输送下降为34%。1月份唐古拉地区的热源强度比8月份小，地面输给大气的热量只有8月份的66%。

关于青藏高原夏季是热源的结论，目前没有争议，至于冬季高原地面是热源还是冷源的问题，还有不同的看法。根据前面的定义，由现有的资料可粗略估计出，冬季高原地面对大气而言仍为热源，1月份青藏高原地区供给大气的热量大致为6.9千卡/厘米<sup>2</sup>·月〔4〕。无论冬夏，就整个高原平均来说，地面相对于大气都是热源的结论已逐渐为人们所接受，文献〔5〕已将此列为近十几年来我国青藏高原气象学的主要进展之一。此外，由辐射平衡和热量平衡方程还可证明，无论冬夏，所有的陆地地面总是供给大气热量的，地面对大气而言总为热源。应当注意地面热源强度的季节变化对大气环流的影响。

以上，我们根据考察资料讨论了唐古拉地区的辐射和热状况。这些看法是否妥当，在高原地区有无代表性等，尚有待于高原地区考察资料增多后检验。现行的辐射和热状况计算方法在高原地区是否适用，也有待于进一步研究。

## 参 考 资 料

- 〔1〕陆龙骅、戴加洗，科学通报，1979年第9期。
- 〔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。
- 〔3〕高国栋、陆渝蓉等，大气科学，1979年第1期。
- 〔4〕陆龙骅、戴加洗，科学通报，1980年第9期。
- 〔5〕叶笃正、高由禧等，青藏高原气象学，科学出版社，1979。

## 小麦干热风科研取得新成果

1981年3月10—16日在青岛召开了北方13省市小麦干热风科研协作会。参加这次会议的有来自陕西、河南、甘肃等12个省（自治区）气象局（台站）和内蒙古农科所的代表共39人。

从会议收到的研究成果和技术材料看，主要内容有干热风的农业气象指标和预报、气候分析和区划、生理机制、防御措施等。

干热风中长期预报当前主要是运用常规预报方法，如用《多因子集成法》作干热风年型预报，用《多因子概率综合预报法》作年干热风总日数和重干热风日数预报，用《时间序列法》预报干热风总日数。有的台站预报准确率可达60—70%。陕西大荔县气象站、山西临汾气象台、内蒙古巴盟气象台等不仅报出了当年有无干热风，还报出了干热风发生的时段及持续天数，为生产单位早期抓预防提供了依据，受到了好评。

甘肃、陕西等地的科研工作者，在研究干热风指标的基础上，分析研究了北方麦区干热风气候规律，作出了我国第一个《北方小麦干热风气候分析及区划》。经过农业部门初步应用推广后反映较好。这项研究成果，最近经中央气象局批准授予三等奖。

为了了解和掌握干热风危害后小麦植株内部物质的运输、转化的生理生态变化特点，更有效合理地防御干热风，开展了灌浆速度、蒸腾强度、光合强度、叶片含水率、叶绿素含量、根系伤流量等项的测定工作。并初步掌握了小麦灌浆速度的日、年变化规律；在田间观测和模拟试验中，可明显的看出干热风出现后蒸腾量加大，根系活力减弱，光合强度降低，叶绿素含量减少，严重影响有机物质的制造、输送和积累。在干热风的防御措施的试验研究方面也取得一些进展。

会议认为，干热风的预报工作还比较薄弱，难度也比较大，今后应从省、地、县普查环流特点和小麦产量年成入手，不但要报出干热风出现日期和强度，还要报出小麦可能受害程度，便于生产单位使用。

（薛农）