

青藏高原气象科学实验文集

(一)

《青藏高原气象科学实验文集》编辑组 编

科学出版社

青藏高原气象科学实验文集

(一)

《青藏高原气象科学实验文集》编辑部 编

科学出版社

1984

内 容 简 介

1979年5—8月我国在青藏高原地区进行了第一次青藏高原气象科学实验,获得了大量的实测资料。在此基础上所取得的研究成果将以本文集分辑出版。本辑(第一辑)收集了有关青藏高原辐射特征、行星尺度环流季节变化、青藏高原天气系统及其动力学和热力学影响等方面研究论文,共30篇。

本文集可供气象台站预报人员、气象院校师生和气象科研人员参考。

青藏高原气象科学实验文集

(一)

《青藏高原气象科学实验文集》编辑组 编
责任编辑 侯建勤

科学出版社 出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1984年3月第一版 开本:787×1092 1/16

1984年3月第一次印刷 印张:22

印数:0001—1,670 字数:508,000

统一书号:13031·2498

本社书号:3431·13—15

定价:3.40元

前 言

青藏高原约占我国陆地面积的四分之一,平均海拔在 4000 米以上,是世界上最高大、地形最复杂的高原。多年来,业务工作和科研实践都指出,青藏高原对我国,对亚洲甚至对北半球、南半球的大气环流演变都有极其重要的影响,它直接影响我国的旱涝等天气、气候的形成和演变。因此,研究青藏高原对我国天气、气候的影响机制及其演变规律,对提高我国灾害性天气预报的准确率有重要的意义。1972 年中央气象局组织了青藏高原气象科研协作领导小组[包括四川、甘肃、西藏、新疆、青海、陕西、宁夏、云南和贵州省(区)气象局以及中国科学院兰州高原大气物理研究所、大气物理研究所等],对青藏高原气象进行了较系统的、有针对性的研究。组织了多项集体研究会战,举行了 6 次大型学术报告会,取得了许多研究成果。在此基础上,对进一步开展青藏高原气象科研提出了不少重大课题,对开展青藏高原气象科学实验提出了许多设想。为此,1978 年 8 月青藏高原气象科研协作领导小组在兰州召开了有 24 个单位、60 余名气象专家和科技人员参加的科学实验方案论证会,制订了 1979 年 5—8 月青藏高原气象科学实验计划。这个实验计划很快地得到了国家科委,国家计委的赞同,并得到了有关部门的大力支持。这次实验由中央气象局和中国科学院领导,青藏高原气象科学实验领导小组负责组织实施。为做好这次实验工作设立了专家顾问组、技术组和办公室。

1979 年 5—8 月青藏高原气象科学实验期间在高原地区增设了四个探空观测站、六个热源观测站和一个气象雷达观测站,大约有 2000 多名气象科技工作者参加了这次高原气象实验。

这次科学实验的目的,是研究高原地区地面辐射平衡和热量平衡各分量的日变化、季节变化和地理分布特征,以及高原的加热作用;研究高原对行星尺度环流季节变化(包括夏季风爆发)的作用;研究高原上夏季天气系统的发生、发展及其结构;进行高原对大气环流影响的数值模拟试验。

这次科学实验的资料和各种分析图将陆续整理出版。研究成果将以论文集分辑出版,第一辑文集收集了在 1979 年实验期间根据现场资料所进行的研究论文共 30 篇。

这 30 篇论文可分成四个方面:第一,关于高原辐射特征的研究有 9 篇。我们对实测资料进行初步分析后,发现由于高原大气透明度好、太阳辐射强,在一定的天空状况下夏季太阳总辐射值可超过太阳常数;高原上辐射平衡各项有明显的日变化、天气过程变化和季节变化。发现高原地面有效辐射比平原地区大得多,季节转换前后差异尤其明显,它对地面净的辐射收支及其季节变化有重大影响。从实测净辐射值看,过去对高原地面感热加热值的估计偏大。

第二,关于青藏高原对行星尺度环流季节变化影响(包括夏季风爆发)的研究有 8 篇。1979 年夏季风和印度西南季风强度弱、爆发迟、降雨量少。1979 年初夏的季节性转变是带有全球性质的,其中在亚欧大陆上空变化最为显著。从多年情况来看,热带东风急流并不是在青藏高原正南方突然建立和加强的,1979 年热带东风急流也是首先建立于中南半

岛南端。此外,还发现高原地区辐射平衡各分量和热源强度的季节变化与大气环流季节变化有对应的关系。

第三,有关高原天气系统和天气的研究有 8 篇。夏季高原次天气尺度的低涡是高原的降水天气系统。我们研究了高原低涡的结构及其发生、发展的条件,发现大多数的低涡都是在高原西部产生,在低涡初生时是个热低压,多数低涡在高原东部消失,少部分东移出高原。还发现当印度西南季风中断时,高原上常常为季风活跃期,降水偏多。高原雷达观测资料的研究指出,高原地区的对流云底高度一般在海拔 1500—2000 米,云顶在海拔 9000—12000 米,降水时期对流云顶高一般为海拔 13000—14000 米,最高可达 17000—18000 米,但云体呈细长条,可见夏季高原对流云可以很多,但个体小,发展并不旺盛。

第四,有关青藏高原的动力学和热力学影响的研究有 5 篇。热源的计算指出,1979 年 5—8 月,虽然青藏高原地区是个相对的热源区,但最强的热源中心不在高原上,而是在印度阿萨姆地区,而且热源强度远比过去一般估算的值要小。高原地区大气热源,在高原西部以感热加热为主,高原东部感热和降水潜热加热同样重要,高原以东以降水潜热加热起主要作用。动力学研究还得到 100 毫巴青藏高压的东西振荡机制是地形热力强迫驻波和非周期性长波扰动两者重合的结果。

这辑文集是这次实验的第一批初步研究结果,这些结果并不是最后的定论,而且还可能有错误之处,请读者批评指正。

最后,我们向参加这次科学实验的气象科学工作者、技术人员、观测人员和后勤人员致敬,向支援这次科学实验的部门和单位表示衷心的感谢。

青藏高原气象科学实验领导小组

目 录

前言	iii
青藏高原热源观测实验概况	沈志宝 翁笃鸣 潘守文 1
高原西部的辐射状况	季国良 袁福茂 水登朝 陈有虞 王文华 10
南羌塘高原东部双湖地区的辐射状况	沈志宝 水登朝 王文华 23
青藏高原那曲地区夏季辐射平衡的气候学特征	潘守文 38
格尔木地区 1979 年 5—8 月的辐射特征	
.....谢贤群 周允华 项月琴 徐兆生 马玉堂	48
柴达木盆地尘埃和水汽对太阳辐射减弱的特征	项月琴 周允华 61
拉萨河谷的太阳辐射特征研究(一)	翁笃鸣 陈万隆 陈留华 70
拉萨河谷的太阳辐射特征研究(二)	翁笃鸣 陈万隆 陈留华 82
西藏林芝地区的辐射状况	陈明荣 杨化镒 95
1979 年夏季风发展及其影响因子的探讨	徐淑英 殷延珍 104
从 1979 年 6 月南北半球大气环流的变化探讨青藏高原的作用	郭其蕴 117
1979 年高原和印度夏季风的一些气候特征	袁福茂 高由禧 129
1979 年东亚地区初夏季节变化的若干特征	赵 卫 许炳南 吴祥正 142
亚洲季风流管及其对我国南方夏季降水的影响	
.....尹树新 梁汉明 刘美珍 谭信珍 郭绵钊	154
南亚高压的结构及其东西振荡	孙国武 167
1979 年 5—7 月热带东风急流的观测事实	朱福康 陆龙骅 175
夏季青藏高原各热源分量的时频特征及高度场对它们的响应	
.....章基嘉 彭永清 王鼎良	182
• 1979 年青藏高原地区由春入夏的季节转变	罗四维 姚兰昌 193
1979 年盛夏青藏高原雨季中断和活跃及其与印度季风的关系	黄福均等 203
• 雨季前的青藏高原低涡的研究	吕君宁 郑昌圣 218
雨季中高原西部初生涡的分析	钱正安 单扶民 229
1979 年夏季高原地区对流云的分析	钱正安 张世敏 单扶民 243
青藏高原那曲地区对流性降水回波的统计特征	
.....秦宏德 周和生 刘建西 杨秀容 瞿 章	258
1979 年 5—8 月青藏高原地区天气系统的统计分析	罗四维 王玉佩 269
1979 年 5—8 月青藏高原降水分析	陈产贤 279
夏季青藏高原及其邻近地区平均大气冷热源的研究	
.....姚兰昌 王安宇 王谦谦 罗四维	291
• 青藏高原的形成过程和准周期振荡——观测事实的分析	朱抱真 宋正山 303

青藏高压的形成过程和准周期振荡——准周期振荡的一个理论探讨·····	朱抱真 骆美霞	314
大气热源和青藏高原对季风环流形成的数值试验的初步结果·····	何家骅 陈隆勋 李维亮	324
夏季北半球平均环流的转盘模拟实验·····	宋正山 王允宽 王桂芳 黄巧意	333

青藏高原热源观测实验概况

沈志宝

(中国科学院兰州高原大气物理研究所)

翁笃鸣

(南京气象学院)

潘守文

(南京大学气象系)

近十几年来,青藏高原气象学的研究进展很大。从已经揭露的大量现象分析,青藏高原大地形的冷热源作用对高原天气、气候、大气环流起着重要的作用。有人根据少数短期的观测资料估计,青藏高原地面冷热源强度的冬夏变化极大,季节变化迅速¹⁾。更多的气象学者则认为,青藏高原上夏季频繁出现的低值天气系统,高原近地面层自成体系的平均气压系统以及由此形成的一种独立风系——高原季风,还有东亚季节性环流突变等天气、气候和环流现象,都与高原冷热源强度的季节变化特征有关。然而,正如叶笃正²⁾所指出的,“以往高原地面热源强度,只能看作为量级的估算。由于它对环流影响的重要性,开展直接观测是应该的。”鉴于此因,青藏高原气象科学实验领导小组将青藏高原热源强度的野外观测和分析研究列为1979年青藏高原气象科学实验的一个重要课题,投入了大量的人力、物力和财力,组织了一次在我国气象科研史上前所未有的观测实验。参加这一次热源观测实验的单位有:中国科学院兰州高原大气物理研究所,南京气象学院,南京大学气象系,中国科学院地理研究所,西北大学地理系。从野外观测到室内研究工作,均由中国科学院兰州高原大气物理研究所负责组织和协调。四川、甘肃、西藏、新疆、青海、云南、贵州、陕西、宁夏等省(区)气象局,都派出了一批优秀的观测员参加野外观测工作³⁾,他们克服了高山缺氧引起的种种病痛,在极其艰苦的工作和生活条件下辛勤劳动,取得了极其丰富的珍贵资料,为青藏高原气象研究创造了新条件。人们永远不会忘记他们为高原气象事业作出的巨大贡献!

兰州高原大气物理研究所所长高由禧同志和南京气象学院副院长章基嘉同志,受高原气象科学实验领导小组的委托,担任本课题组顾问。他们对本课题组实验方案的制定,野外观测计划的实施以及观测资料的分析研究,都给与了严肃认真和热忱的指导。

1979年5—8月的青藏高原热源强度的野外观测实验,其目的是通过直接观测,确定高原地面热源强度及其季节变化。整个工作从观测到研究都可分成地面辐射平衡和地面热量平衡两个课题。本文集仅搜集了各热源观测点的地面辐射状况考察报告。

一、各热源观测点的自然地理概况²⁾

众所周知,青藏高原地形复杂,地广人稀,气象台站少而分布不匀。过去曾有人在高原上进行过野外考察,取得了十分宝贵的资料,但其所取资料的地理局限性太大,用以估

1) 参加热源野外观测人员姓名,将分别在本文集中的各热源点考察报告中列出。

2) 本节部分内容取自各热源观测点的考察报告。

计整个青藏高原的加热作用有不少的困难。为了取得足以了解青藏高原上地面热源强度分布特征的第一手资料,在选择观测点时,在生活和工作条件许可的范围内,我们既考虑了测点地理分布的均匀性,也考虑了整个青藏高原几种主要下垫面、自然景观带的代表性和气候的区域特征。根据以上原则选定的六个热源观测点的地理位置以及自然地理特征列于表 1 之中。为了突出青藏高原加热作用的特点,我们选择南京作为热源对比观测点,进行同步观测。此外,还在西藏贡嘎机场进行了为期一个月的对比观测,以比较拉萨热源观测点的区域代表性。

表 1 青藏高原各热源观测点的区域特征

测 点	纬 度	经 度	海拔高度	自 然 地 带	气 候 区 划
狮 泉 河	32°30'N	80°05'E	4278 米	山地荒漠草原与荒漠地带	阿里高原温带干旱气候区
双 湖	32°38'N	89°00'E	4920 米	高山草原地带	南羌塘高原亚寒带半干旱气候区
那 曲	31°29'N	92°63'E	4507 米	高山灌丛草甸地带	那曲高原亚寒带半湿润气候区
格尔木气象站	36°25'N	94°54'E	2808 米	草甸盐渍土	柴达木高原温带极度干旱气候区
格尔木机场	36°24'N	94°48'E	2841 米	戈 壁	同 上
拉 萨	29°00'N	91°03'E	3633 米	雅鲁藏布江河谷农业区	藏南高原温暖半干旱气候区
林 芝	29°33'N	94°21'E	3000 米	山地针叶林地带	藏东高原温暖半湿润气候区

注: 1. 双湖点的经度、纬度和海拔高度均为约测,由它计算的该站日出、日没时间,经多次比较均与实况一致。

2. 本表各地自然地带参见文献 [3],气候区划参见文献 [4]。

各热源观测点的观测场地,都经过认真选择,使其具有较好的区域代表性,同时符合地面辐射平衡和热量平衡观测要求。表 2 列出了各测点观测场地的具体位置、地表状况和遮蔽状况等,其中格尔木热源观测点 5—6 月设在青海省格尔木气象站,因场地均一性不够理想,7—8 月改设在格尔木机场。

表 2 各热源观测点地表及遮蔽状况,观测日期

站 名	地 址	地表状况	最大遮蔽角	观 测 时 间
双 湖	西藏阿里地区气象局地面观测场东南侧	荒漠草地	8.5°	5 月 17 日—8 月 31 日
狮泉河	西藏那曲地区双湖办事处	荒漠草地	5.2°	5 月 21 日—8 月 31 日
那 曲	西藏那曲地区气象局地面观测场内	草 地	7.0°	5 月 22 日—8 月 31 日
格尔木	青海省格尔木气象站	草甸盐渍土	4.3°	5 月 15 日—7 月 6 日
格尔木	格尔木机场	戈 壁	四周无遮蔽物	6 月 28 日—8 月 31 日
拉 萨	西藏拉萨市西藏农科所农田	农 田	12°	5 月 6 日—8 月 31 日
林 芝	西藏林芝县	农 田	12—15°	5 月 11 日—8 月 31 日

二、观测项目及仪器设备

地面辐射平衡观测包括: 太阳直接辐射、天空散射辐射、总辐射、地面反射辐射和反

射率、地面和大气的长波放射辐射及长波辐射的净交换——地面有效辐射、地面辐射平衡(净辐射),以上各项均由仪器实测。

用于测定太阳直接辐射的仪器是 MS-52 型直接辐射表。总辐射和地面反射辐射均用 MR-21 型反射率表测定,日平均地面反射率为

$$\bar{A} = \Sigma R_k / \Sigma Q \quad (1)$$

ΣR_k 和 ΣQ 分别为地面反射辐射和总辐射的日总量。

天空散射辐射是通过 MB-11 型遮光环遮蔽太阳直接辐射,由 MS-42 型天空辐射表测定的。为了消除遮光环对散射辐射的影响,对观测值按下式进行修正:

$$D = \frac{I(\text{天空辐射表输出电流,毫伏})}{K(\text{天空辐射表灵敏度常数})} \times f(\text{修正系数}) \quad (2)$$

修正系数 f 由下式得到:

$$f = \frac{1}{1 - \frac{2b}{\pi r} \cos^3 \delta (\sin \varphi \sin \delta \cdot \tau + \cos \varphi \cos \delta \sin \tau)} \quad (3)$$

式中, b 为遮光环宽度 (70 毫米)

r 为遮光环半径 (200 毫米),

δ 为太阳赤纬,

φ 为测点的地理纬度,

τ 为半日长(以弧度表示)。

各测点分别计算了 5 月 15 日(或开始观测日)、6 月 15 日、7 月 15 日和 8 月 15 日四天的修正系数 f ,然后取其平均值作为整个考察期间的修正系数,其相对误差在 2% 以内。

地面有效辐射由 PIR 型精密红外辐射表测量,观测时人工改变仪器感应面的方向,可以分别测出地面长波放射辐射通量 (U) 和大气逆辐射 (G),地面有效辐射 $F = U - G$ 。由于 U 和 G 的误差是同向的,所以有效辐射的误差要比 U 和 G 的误差小。

辐射平衡是由 CN-II 型净辐射表实测的。受野外工作条件的限制,部分测点不能按仪器使用要求对聚乙烯罩进行通风。

上述辐射平衡各分量的观测读数,均用微型数字式万用表。

除以上规定项目外,格尔木热源点还用苏制相对日射表配上四种国产有色玻璃滤光片 (JB_2 , CB_2 , HB_{11} , HB_{16}),在整个观测期间进行太阳直接辐射的分光观测。部分测点还进行不同下垫面的流动对比观测。

三、观测资料及其误差

这次高原地面热源观测实验,高原上的六个热源观测点和南京对比观测点都取得了三至四个整月的观测资料,各测点观测资料的期限见表 2。

为保障地面辐射平衡各分量观测资料的准确可靠,我们进行了三个方面的工作: (1) 在考察前后对所有仪器进行标定或平行观测,分析仪器灵敏度的稳定状况; (2) 根据地面辐射平衡各分量内在一致性的关系,分析各分量的日,旬,月总量的误差状况; (3) 格尔木热源点在考察期间对仪器进行野外标定和平行观测试验。

(一) 辐射仪器的标定结果¹⁾

高原上的六个观测点所用的辐射仪器,其灵敏度都是当年1月出厂时标定的。在野外观测结果之后,于1979年10月29日—11月8日,在兰州中川机场对全部短波辐射仪器进行了一次标定。标定中,我们以美国埃普莱实验仪器公司制造的埃普莱-埃斯川姆绝对辐射表,作为绝对标准仪器(该表于1979年2月标定出厂)。各类仪器的标定均采用通常的野外标定方法,标定结果如下:

1. MS-52 型直接辐射表

表3 MS-52 型直接辐射表的标定结果

[灵敏度 K :毫伏/(卡·厘米⁻²·分⁻¹)]

仪 器 号 码	P79001	P79002	P79003	P79004	P79005	P79006
使用站名	拉 萨	狮泉河	那 曲	格尔木	林 芝	双 湖
出厂标定灵敏度	6.63	6.24	6.06	5.50	5.29	5.24
重新标定灵敏度	6.55	6.16	6.06	5.55	5.01	5.15
灵敏度变化的平均偏差(%)	-1.25	-1.28	0.0	0.85	-5.29	-1.68
平均偏差的方差(%)	4.8	2.4	3.2	6.0	13.6	2.0
温度系数(%/°C)	-0.81	-0.86	-1.21	-0.52	-2.95	-0.53

表3给出了MS-52型直接辐射表的标定结果。在六台仪器中,只有一台(P79005)灵敏度的变化超过2%,达到了5%,其余各台均在2%以内,绝大部分仪器的灵敏度与出厂时的标定值比较是偏低的。根据地面辐射平衡各分量内一致性的关系,在处理观测资料时,P79005号直接辐射表的灵敏度暂改用重新标定值,其余各台则均用出厂标定值。

从标定结果还发现,MS-52型直接辐射表有明显的温度效应,仪器灵敏度随温度的升高而下降温度系数在(-0.53—-2.95%)/°C之间,只有两台超过了(1%)/°C。

表4 MS-42 型天空辐射表的标定结果

[灵敏度 K :毫伏/(卡·厘米⁻²·分⁻¹)]

仪 器 号 码	A79001	A79002	A79005	A79006	A79007	A79008
使 用 站 名	林 芝	格尔木	拉 萨	双 湖	狮泉河	那 曲
出厂标定灵敏度	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
重新标定灵敏度	4.62	4.61	4.75	4.76	4.78	4.68
灵敏度变化的平均偏差(%)	-7.6	-7.8	-5.0	-4.8	-4.4	-6.4
平均偏差的方差(%)	14.6	11.1	9.4	5.9	5.0	9.0

1) 此次标定工作由兰州高原大气物理研究所负责完成,参加者有王尧奇、季国良、王文华、陈有虞、陆共、李新成、杨秀华、雍小春、宋洁、杨济良、张健。此处内容选自王尧奇、季国良、王文华等“辐射仪器标定结果的分析”一文。

2. MS-42 型天空辐射表

由表 4 给出的标定结果可见,六台天空辐射表的灵敏度都比出厂标定值偏低,平均偏差为 -4.4% — -7.8% 。

表 5 MR-21 型反射率表的总辐射表的标定结果

[灵敏度 K : 毫伏/(卡·厘米 $^{-2}$ ·分 $^{-1}$)]

仪 器 号 码	W79001	W79002	W79003	W79004	W79005	W79006
使 用 台 名	林 芝	狮泉河	双 湖	拉 萨	格尔木	那 曲
出厂标定灵敏度	7.0	5.4	5.3	7.1	5.8	6.3
重新标定灵敏度	6.57	5.19	4.94	6.47	5.75	5.81
灵敏度变化的平均偏差(%)	-6.1	-3.9	-6.8	-8.9	-0.9	-7.8
平均偏差的方差(%)	14.5	12.1	11.9	13.7	5.6	8.0

3. MR-21 型反射率表

MR-21 型反射率表仅对其上半部的总辐射表进行了标定,对其下半部的反射辐射表未进行标定。由表 5 给出的标定结果可见,总辐射表的灵敏度也都不同程度地偏低,最大的平均偏差为 -8.9% 。

(二) 地面辐射平衡各分量观测资料的精度¹⁾

在日射观测中,由于仪器灵敏度的改变;或是仪器安置的不符合要求;或者操作、读数、日光状况的错判以及仪器感应面被污染等原因,均会引起观测资料的误差。在以上三类误差中,前二类是系统性误差,后一类是随机误差。为了检验高原上六个点的观测资料的精度,我们进行了两方面的工作:

(1) 用不同日光状况(Π 和 $\odot^2$)和不同时段(白天和夜间)的辐射平衡方程检验各有关分量是否闭合,由此判别第一、二类误差状况;

(2) 用辐射平衡方程检验各分量实测值的日、旬、月总量的闭合状况,以检验实测资料的可靠性。

检验结果如下:

1) 总辐射(Q)、天空散射辐射(D)和太阳直接辐射(S')

总辐射是到达水平地面上的太阳直接辐射和天空散射辐射之和,

$$Q = S' + D = Q' \quad (4)$$

在日光状况为 Π 时,太阳直接辐射 $S' = 0$, 则有

$$Q = D \quad (5)$$

对六个测点所有观测时次中日光状况稳定为 Π 和 $\odot^2$ 的 Q, D, S' 资料的检验结果表

1) 此处内容选自兰州高原大气物理研究所水登朝、吴敬之、季国良、沈志宝等“地面辐射平衡各分量的精度分析”一文。

明,各测点总辐射与太阳直接辐射和天空散射辐射之和基本上保持平衡(表6)。 Q 与 D 以及 Q 与 $(S' + D)$ 的平均相对误差都在 $\pm 5\%$ 以内,总辐射月总量的实测值与计算值 $(S' + D)$ 之间的相对误差也很小,在 $-5.5\% - 4.8\%$ 之间。

2) 地面有效辐射 ($F = U - G$)

对于长波辐射,我们采用比较地面长波放射辐射(U)的实测值和其理论计算值来检验其精度。按照斯蒂芬-波尔兹曼公式,地面长波放射辐射强度可由下式计算:

$$U = \varepsilon \sigma T_0^4 \quad (6)$$

式中 T_0 为地面温度, σ 为斯蒂芬——波尔兹曼常数,取为 0.826×10^{-10} 卡/厘米²·分·度⁴, ε 为地面辐射系数,通常取为 0.95。我们由各站月平均地面温度和实测 U 的月总量计算出的平均 ε , 其值在 0.957—1.017 之间。若取 $\varepsilon = 0.95$, 则地面长波放射辐射的理论计算值 ($\bar{U}_0$) 和实测值 (U) 之间的相对误差在 6.2% 以内(见表7)。因此,我们认为有效辐射资料的精度较高。

表6 总辐射实测资料的检验结果

站名		狮泉河	双湖	那曲	格尔木	拉萨	林芝
日光状况为 II 时 Q 与 $Q' = D$ 的平均相对误差(%)	$\frac{Q' - Q}{Q} \times 100\%$	0.1	0.2	-5.2	-0.2	3.5	-2.5
	个例数	89	89	177	93	161	287
日光状况为 ☉ 时 Q 与 $Q' = S' + D$ 的平均相对误差(%)	$\frac{Q' - Q}{Q} \times 100\%$	5.1	-1.5	0.4	-3.0	2.6	-1.1
	个例数	339	214	198	243	220	73
Q 和 $Q' = S' + D$ 的月总量的平均相对误差(%)	6月	2.4	-5.5	-3.8	-2.2	0.8	4.8
	7月	0.8	-3.0	-3.7	-1.7	0.9	1.0
	8月	2.3	-2.9	-5.1	-1.4	-1.2	-4.5

表7 地面长波放射辐射资料的检验结果

站名	狮泉河	双湖	那曲	格尔木	拉萨	林芝
U' 和 U 的相对误差(%)	-2.2	-4.1	-3.3	-3.6	-6.2	-5.3

注: U' 为取 $\varepsilon = 0.95$ 时由公式(6)的计算值, U 为实测值。

3) 辐射平衡 (B) 和地面反射率 (A)

地面辐射平衡方程为

$$B = Q(1 - A) - F = B' \quad (7)$$

在日光状况为 II 时, $Q = D$

$$B = D(1 - A) - F \quad (8)$$

在夜间,太阳短波辐射消失

$$B = -F \quad (9)$$

根据以上三个关系式,参照前述各分量的精度分析结果,便可检验 B 和 A 的精度。由表8可见,在夜间,那曲、格尔木、拉萨、林芝四站95%以上的观测记录 B 和 $B' = -F$ 之差

在 ± 0.02 卡/厘米²·分之内,狮泉河和双湖两站相对误差稍大些,实测 B 值系统偏低,其原因可能与该两站 CN-II 型辐射平衡表未通风有关。在日光状况为 II 时,除那曲点外其余各测点 B 与 $B' = D(1 - A) - F$ 的相对误差都在 $\pm 6.2\%$ 以内,那曲点 B' 与 B 比偏小 16.3%,估计与表 5 中所列的日光状况为 II 时 D 与 Q 的不平衡有关。在日光状况为 $\odot$ 时,除双湖点外其余各测点 B 与 $B' = Q(1 - A) - F$ 之相对误差都在 ± 4.2 之间。双湖点辐射平衡实测值系统偏小 7%,其结果使 7, 8 月的月总量偏小 15.8%—11.4%,而其它各点 B 与 B' 的相对误差均在 $\pm 12.1\%$ 以内。根据双湖点的分析,该点辐射平衡值系统偏低的原因,不在于仪器本身或观测技术,而主要是由于反射辐射表的测量值偏低造成的。双湖热源点的地面反射率实测值,比那曲低 3% 左右,基本上与西藏东南地区的林芝接近。显然,从双湖和林芝两地的下垫面状况差异来看,这是不可能的,双湖点的实测反射率明显偏低。因此,我们将双湖点的实测反射率提高 3%,使其与下垫面状况基本相同的那曲一致。经过这样的修改,双湖点辐射平衡的实测值和计算值也比较接近,系统误差基本上消除。

表 8 辐射平衡实测资料检验结果

站 名		狮泉河	双湖	那曲	格尔木	拉萨	林芝
日光状况为 II 时 B 和 $B' = D(1 - A) - F$ 的平均相对误差(%)	$\frac{B' - B}{B} \times 100\%$	-5.7	3.4	-16.3	0.9	-3.8	-6.2
	个 例 数	44	50	104	51	62	173
日光状况为 $\odot$ 时 B 和 $B' = (S' + D)(1 - A) - F$ 的平均相对误差(%)	$\frac{B' - B}{B} \times 100\%$	2.7	7.0	-1.5	-0.5	4.2	2.1
	个 例 数	255	166	151	187	185	68
B 和 B' 的月总量的相对误差 (%)	6 月	5.7	3.3	-7.0	(-2.6)	-0.9	3.3
	7 月	4.4	15.5	-5.7	-0.3	0.4	0.8
	8 月	5.2	11.4	-12.1	1.5	-2.4	-3.9

(三) 格尔木热源站的野外标定和对比观测试验结果¹⁾

格尔木热源观测站在野外观测期间用埃斯川姆绝对辐射仪对各种相对辐射仪进行了野外标定,以检验各相对仪器稳定性能和测量精度,运用澳大利亚充气式辐射平衡表(CN-2 型)与 CN-II 型净辐射表进行长期平行观测,结果如下:

- (1) 直接辐射表的仪器灵敏度与出厂值几乎完全相等,但灵敏度的温度效应比较大,为 $-0.7\%/^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 天空散射辐射的测量结果比较满意,没有系统误差。
- (3) 总辐射的仪器灵敏度和太阳高度角也有明显关系。

1) 此处内容由中国科学院地理研究所气候室提供。

(4) CN-II 型净辐射表由于聚乙烯塑料罩的老化和污染,辐射平衡值的测量误差会超过 $\pm 5\%$,最大可能达到 $\pm 10\%$,它与澳大利亚充气式辐射平衡表(CN-2 型)对比观测无系统差异。

四、热源野外观测的主要结果

在这次青藏高原气象科学实验中,我们取得了代表高原上主要自然地理带,且地理分布比较合理的六个热源点的地面辐射平衡各分量的实测资料。对观测仪器的标定和观测资料的统计检验结果表明,所有观测资料都具有较高的精度,接近或达到目前国际上辐射野外观测的精度要求^[5]。

对六个单点的地面辐射平衡资料的分析和研究,都发现或肯定了一些高原上地面辐射状况的新现象和新事实,归纳起来有如下几点:

(1) 以往对高原西北部地面反射率估计偏高,高原西北部狮泉河的地面平均反射率为 $25-26\%$ 。

(2) 以往对高原夏季地面热源强度的估计可能偏高,从实测结果看,夏季地面辐射平衡的最大中心在雅鲁藏布江河谷中下段,7 月月总量可达 10 千卡/厘米 $\cdot$ 月,高原西部辐射平衡较小,7 月月总量接近 7 千卡/厘米 $^2\cdot$ 月。

(3) 青藏高原上影响大气透明度的主要因子是尘埃。由于下垫面状况的差异,大气透明度有较大的地域变化,在高原北缘的柴达木盆地,春季大风扬砂使大气极为浑浊,而高原主体部分大气透明度都较好。

(4) 海拔高度对太阳辐射有重大的影响。高原上太阳直接辐射,总辐射和有效辐射都要比平原地区大。

(5) 高原各地,尤其是高原主体部分,夏季均会出现超过太阳常数 (1.98 卡/厘米 $^2\cdot$ 分)的极大总辐射,这是高原夏季特殊的云天条件下的必然结果。

(6) 高原上天气气候的季节变化,对辐射状况有明显的影响,就地面辐射平衡而言,其季节变化特征为雨季比干季要大。

五、地面辐射平衡各分量的扩展

为了解整个青藏高原地面辐射状况和加热场强度的大小及其时空分布特征,需要将六个热源点的观测资料扩展到整个青藏高原,绘制青藏高原辐射平衡各分量以及地面加热场强度的旬、月总量分布图。

目前,国内外关于辐射平衡各分量的扩展方法,基本上属于气候学计算方法的范畴。我们所面临的问题,是根据六个热源点的短期观测资料得到同时期整个青藏高原的分布状况,严格来讲,它与通常气候学计算是不同的。因此,在确定青藏高原辐射平衡和加热场强度的扩展方法时,我们从气象要素之间的统计概念出发,着重考虑它们之间的物理关系,使得由有限点短期观测资料建立的经验关系式具有普遍意义的物理基础。在此指导思想下,我们建立气候计算公式时遵循以下三个原则:(1) 所选择的要素之间具有明确的物理意义;(2) 计算值对观测值的误差较小,基本上保持在 10% 以内;(3) 方法简单明了,

便于推广。

在扩展工作中,我们以高原气象科学实验期间六个热源考察点的观测资料作为基本资料,以青藏高原及其邻近地区现有的16个日射站的同时期观测资料作为基本参考资料,同时选用了包括上述各测站在内的106个气象台站的同时期常规气象资料。在绘制分布图时,我们还认真参考了青藏高原及其邻近地区的地形、植被、土壤、冰川分布图和有关资料,充分考虑了自然地理状况的差异对太阳辐射和地面加热强度的影响。

我们也曾试图用泰罗斯-N卫星的云量资料来计算高原西部气象台站稀少地区的辐射平衡各个分量。但是,对卫星云图的云量资料进行天气学和地理学的分析后发现,在我国目前的技术水平下,很难精确地判读卫星云图云量,在定量使用时更无法估计其误差,故暂时未用,待获得经过数值处理的70°E静止卫星云量资料后,将可对现有的工作进一步修正和提高。

我们已经绘制了总辐射、地面反射率、地面吸收辐射、地面有效辐射、辐射平衡以及地面加热强度六个项目,1979年5—8月和高原季节转换前后的6月份三个旬的总量(地面反射率则为平均)分布图。在这六个项目中,总辐射、地面反射率,地面有效辐射和与地面热源强度有关的地表土壤热通量是直接由气候计算公式计算的,辐射平衡由辐射平衡方程按常规方法用余项法计算。

关于地面对大气的加热强度,近年来有不同的定义。通常,地表面热量平衡方程为

$$B = P + LE + H \quad (10)$$

改写为如下形式:

$$B - H = P + LE \quad (11)$$

式中 B 为辐射平衡, P 为地面与空气之间的湍流热交换, LE 为地面蒸发耗热或凝结释热, H 为地面与下层土壤的热交换,或称地表土壤热通量,而 $B - H$ 代表了由地面指向大气的感热(P')和潜热(LE)的总和,习惯上称为地面对大气的加热强度。显然,当 $B - H > 0$ 时,表示地面通过湍流热交换和蒸发向大气输送热量,此时地面对大气而言称为热源,反之则为冷源。近年来,有人定义

$$\hat{Q} = P + LE + F \quad (12)$$

为地面对大气的加热强度^[2,6]。且不论以上二种定义的合理性,仅为了与前人的成果比较,我们仍取 $B - H$ 作为地面对大气的加热强度。

参 考 文 献

- [1] 曾群柱、寇有观等: 青藏高原辐射平衡的研究,中国科学院兰州冰川冻土所集刊,第3号
- [2] 叶笃正、高由禧等: 青藏高原气象学,科学出版社,1979。
- [3] 郑度、张荣祖、杨勤业: 试论青藏高原的自然地带,地理学报,34(1979),第1期。1—11。
- [4] Lin Zhen-yao, Wu Xiang-ding: Climatic classification of Qing hai-Xizang Plateau, Geological and ecological studies of Qinghai-Xizang Plateau, Science Press, Beijing, 1981, Gordon and Breach, Science Publishers, Inc. New York, 1575—1580.
- [5] Paltridge, G. W. and Platt, C. M. R.: Radiative Processes in Meteorology and Climatology, Elsevier Scientific Publishing Company, 1976.
- [6] 陆龙骅、戴加洗: 唐古拉地区的热状况,科学通报,1980年,第9期,404—406。

高原西部的辐射状况

季国良 袁福茂 水登朝 陈有虞 王文华*

(中国科学院兰州高原大气物理研究所)

高原西部的阿里地区平均高度在 4500 米以上。该地区的辐射状况和热状况对天气系统的发生、发展以及季节转换等有着极为重要的影响。长期以来,由于西部地区测站稀少,资料不足,在这方面所作的工作不多。为了较系统地测定和研究高原西部的加热场及其对天气气候的影响,我们在阿里地区的狮泉河($32^{\circ}30'N$, $80^{\circ}05'E$, 海拔 4278 米)进行了为时四个月的辐射平衡和热量平衡观测,取得了一批精度高、项目较全的宝贵资料,从而为进一步研究高原的加热作用及其影响提供了有利条件。

一、概 况

狮泉河位于青藏高原的最西部,与印度接壤,是我国西南部的边防前哨。它四面环山,整个地区处在喜马拉雅山和冈底斯山的包围之中。下垫面以荒漠和荒漠草原为主,植被多低矮的红柳和针茅草。狮泉河从盆地中部穿过,向西流入印度河。

狮泉河的气候特点是:气温日较差大,7 月份多年平均气温日较差达 $15.3^{\circ}C$;空气干燥,绝对湿度小,干季日平均绝对湿度仅在 2—4 毫巴之间,即使在雨季日平均绝对湿度也只有 5—6 毫巴,最大不超过 8.5 毫巴¹⁾;冬春季节多大风;干雨季分明,降水稀少而集中,就多年平均情况来看,本站 7 月份进入雨季,7、8 月份降水占全年降水的 70% 以上;夏季云量少,晴天多,夏季各月日照时数多年平均可达 300 小时²⁾以上。

热源观测的观测点选在狮泉河市区东南部的阿里地区气象局附近,观测场位于地区气象局气象台观测场的东南方向 30—40 米处。观测场南临狮泉河,距河道 50—60 米,东西方向平坦开阔,下垫面土壤性质为荒漠砂性土壤,除有个别低矮的红柳外,测站周围别无其他植被,具有荒漠盆地的代表性。

测站四周最大遮蔽角为 8.5° (方位角为 40°),其余水平遮蔽角均在 6° 以下。由于地形遮蔽,在整个观测期间,实际日出时间比天文日出时间平均晚 24 分钟左右,实际日没时间比天文日没时间早 12 分钟左右。

二、辐射气候特征分析

狮泉河多年平均气压在 600 毫巴左右,绝对大气质量仅为海平面的 60%,因此,太阳

* 参加观测工作的有:袁福茂(观测组长)、张礼才、水登朝、陈有虞、王文华、王玉佩、索南多杰(西藏阿里地区气象局)、王志军(西藏阿里地区气象局)等同志。季国良同志担任技术指导工作。陆共、雍小春等同志参加了资料整理、计算工作。本文承高由禧、汤懋苍、苏从先等同志热忱指导,特致感谢。

1) 数据取自中国科学院兰州高原大气物理研究所袁福茂、季国良等《狮泉河低层气象要素的时空分布特征》一文。
2) 多年平均资料取自中国科学院兰州高原大气物理研究所《西藏阿里地区气候考察报告》一文。