

# 青藏高原气象学进展

青藏高原气象科学实验(1979)和研究

章基嘉 朱抱真

朱福康 翁笃鸣

孙国武 吕君宁

彭永清 王远忠

科学出版社

# 青藏高原气象学进展

青藏高原气象科学实验(1979)和研究

章基嘉	朱抱真
朱福康	翁笃鸣
孙国武	吕君宁
彭永清	王远忠

科学出版社

1988

## 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。在此基础上取得了丰硕的研究成果,本书作了综合评述。主要内容有:1979年夏季青藏高原辐射和地面热状况,高原热源的时频特征及其影响,高原上空的低频振荡,高原在初夏大气环流季节转换中的作用,南亚高压在高原上空的建立,高原低涡的分析研究及其降水回波特征,高原动力学和热力学影响的数值试验以及高原边界层特征。另外,这次实验计划(草案)作为附录刊出,以供借鉴。

本书可供气象台站预报人员、气象院校师生和气象科研工作者参考。

## 青藏高原气象学进展 青藏高原气象科学实验(1979)和研究

章基嘉 朱抱真 朱福康 翁笃鸣  
孙国武 吕君宁 彭永清 王远忠  
责任编辑 赵徐懿 许贻刚

科学出版社 出版  
北京朝阳门内大街137号  
上海竟成印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1988年4月第一版 开本:787×1092 1/16

1988年4月第一次印刷 印张:17 1/4

印数:0001—1,000 字数:400,000

ISBN 7-03-001106-6/P·201

定价:28.10元

## 序

1979年5—8月国家气象局和中国科学院共同组织了首次青藏高原气象科学实验。这样大规模地有组织、有领导、有计划地,采取比较现代化的手段,组织这样一个大协作,取得这样大的丰硕成果,这在中国气象史上是第一次;对世界上仅有的如此之高、面积如此之大的青藏高原进行气象科学实验,也是第一次。这次实验的胜利完成,证明我国广大气象工作者是敢于也能够攀登现代气象科学高峰的。

通过这次青藏高原气象科学实验,我们首次取得了高原腹地的一批十分宝贵的气象资料,获得了有世界水平的一批科学研究成果,培养和锻炼了一批气象科学研究人员,这是极其可贵的。这次科学实验进行的时间并不长,但是对于发展我国高原气象科学,对于进一步认识青藏高原对我国天气气候的影响,改进我国夏季旱涝预报方法,提高天气预报准确率,都是有重要意义的。

科学探索是无止境的。1979年青藏高原气象科学实验仅仅是一个良好的开端,或者说对于青藏高原气象科学实验仅仅是迈出了第一步。我们绝不能满足现已取得的成果,还有许多工作有待我们去做。因此,我冀望于我国青藏高原气象科学工作者继续努力,再接再厉,争取在本世纪内再组织一次青藏高原气象科学实验。

本书系统地阐述了我国首次青藏高原气象科学实验及其后三年进行的科学研究的主要成果,它的出版无疑是对高原气象学的一个重要贡献,相信它对发展我国高原气象事业,深入开展高原气象的科学研究和培养高原气象专业人才,都会起到积极的作用。

郭钰蒙

1988年1月

# 目 录

序	(v)
前 言	(1)
第一章 青藏高原气象科学实验计划(QXPME X-1979)	(4)
§1.1 绪论	(4)
§1.2 科学问题	(6)
§1.3 主题和任务	(7)
§1.4 观测系统	(10)
§1.5 资料系统	(10)
§1.6 研究概况	(11)
§1.7 基本经验	(14)
第二章 青藏高原地面辐射特征	(14)
§2.1 太阳直接辐射	(23)
§2.2 太阳散射辐射	(28)
§2.3 太阳总辐射	(35)
§2.4 地面反射辐射和地面反射率	(39)
§2.5 地面长波辐射交换	(51)
§2.6 高原地面净辐射	(58)
§2.7 小结	(61)
第三章 青藏高原地面热平衡特征	(61)
§3.1 高原近地层气象状况	(70)
§3.2 高原地面感热和潜热	(78)
§3.3 高原地面热源分析	(84)
§3.4 高原土壤中热交换	(86)
§3.5 小结	(89)
第四章 夏季青藏高原大气变化的时频特征及其响应	(89)
§4.1 引言	(90)
§4.2 夏季高原各热源分量的时频特征	(92)
§4.3 单输入常系数线性系统:高度场对热源的响应	(95)
§4.4 双输入线性系统:高度场对热源及温度场的综合响应	(98)
§4.5 夏季高原大气变化的中期振荡特性	(103)
§4.6 夏季高原对流层中部风场的谱特性	(111)
§4.7 小结	(114)
第五章 青藏高原大气低频振荡	(114)
§5.1 引言	(114)



§5.2	高原大气低频振荡的观测事实·····	(115)
§5.3	高原大气低频振荡的传播·····	(120)
§5.4	高原大气低频振荡的时间变化·····	(122)
§5.5	青藏高原——大气低频振荡的源地·····	(124)
§5.6	高原大气低频振荡和传播的天气学意义·····	(125)
§5.7	高原大气低频振荡的遥相关结构·····	(126)
§5.8	小结·····	(128)
<b>第六章</b>	<b>青藏高原在北半球初夏大气环流季节转换中的作用·····</b>	<b>(130)</b>
§6.1	引言·····	(130)
§6.2	1979年初夏大气环流季节转换的观测事实·····	(130)
§6.3	平流层与对流层的耦合作用·····	(132)
§6.4	南北半球的相互作用·····	(134)
§6.5	高原西部感热加热的启动作用·····	(141)
§6.6	小结·····	(144)
<b>第七章</b>	<b>南亚高压在青藏高原上空建立的过程·····</b>	<b>(146)</b>
§7.1	引言·····	(146)
§7.2	南亚高压活动的平均状况·····	(147)
§7.3	南亚高压在高原上空的建立·····	(149)
§7.4	南亚高压在高原上空建立的天气学意义·····	(154)
§7.5	南亚高压在高原上空建立时的波数域能量分析·····	(157)
§7.6	南亚高压在高原上空建立的可能原因·····	(160)
§7.7	小结·····	(166)
<b>第八章</b>	<b>青藏高原低涡·····</b>	<b>(168)</b>
§8.1	引言·····	(168)
§8.2	1979年高原低涡若干统计事实·····	(168)
§8.3	高原低涡综合结构·····	(170)
§8.4	高原低涡发生发展条件·····	(176)
§8.5	低涡产生频数的气候因子·····	(183)
§8.6	高原低涡产生的物理图象·····	(185)
§8.7	高原低涡东移条件分析·····	(186)
§8.8	小结·····	(192)
<b>第九章</b>	<b>夏半年青藏高原降水及对流云特征·····</b>	<b>(194)</b>
§9.1	引言·····	(194)
§9.2	高原的水汽输送和收支·····	(195)
§9.3	高原夏季降水·····	(202)
§9.4	夏季高原对流云分布及其特征·····	(207)
§9.5	小结·····	(216)
<b>第十章</b>	<b>青藏高原的边界层特征及其对大气环流的影响·····</b>	<b>(217)</b>
§10.1	引言·····	(217)

§10.2	高原边界层的特征 .....	(217)
§10.3	高原边界层对天气系统和大气环流的影响 .....	(221)
§10.4	小结 .....	(226)
<b>第十一章</b>	<b>青藏高原的动力和热力作用的模拟研究</b> .....	<b>(227)</b>
§11.1	引言 .....	(227)
§11.2	高原动力和热力作用的数值模拟 .....	(227)
§11.3	夏季北半球平均环流的转盘模拟实验 .....	(236)
§11.4	小结 .....	(237)
<b>附录</b>	<b>1979年5—8月青藏高原气象科学实验计划(草案)</b> .....	<b>(239)</b>
<b>后记</b>	.....	<b>(261)</b>
<b>Contents</b>	.....	<b>(262)</b>
<b>Abstract</b>	.....	<b>(265)</b>

# 前 言

地球大气是个不可分割的整体。为了进一步了解全球大气的演变规律,提高天气预报准确率,世界气象组织(WMO)主持的“全球大气研究计划第一期全球试验”(FGGE)于1978年12月1日到1979年11月30日实施。在实施过程中,我国也派遣了船只赴太平洋热带地区参加了观测。在此期间,还同时进行几个区域性实验,包括1979年5—6月在阿拉伯海、1979年7月在孟加拉湾进行的“夏季风试验”(MONEX)。

FGGE 虽然是全球性的,但在青藏高原的大部分地区仍是空白。这对 FGGE,尤其是对其中的 MONEX 来说,是个大缺陷。为了深入了解夏季青藏高原上的天气系统和它对不同尺度环流的作用及对我国天气的影响,我国也于1979年5—8月进行了“青藏高原气象科学实验”(QXPME X)。

人们从实践中早已认识到,青藏高原对我国、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具有重要的意义。中央气象局组织的青藏高原气象科学协作领导小组于1978年8月制订了“1979年5—8月青藏高原气象科学实验计划”(QXPME X-1979)。这个实验计划很快得到了国家科委、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。

这次科学实验的目的,是研究青藏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;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。

整个青藏高原气象科学实验分两个阶段进行。第一阶段是野外观测,从1979年5月1日到8月31日。在高原地区增设了4个探空观测站、6个热源观测站和1个气象雷达观测站。此外,在高原及其邻近地区还有223个地面气象站参加了这次实验观测。总共约有2000多名气象科技工作者参加了这次高原气象实验。这次实验使我们首次在青藏高原上获得十分宝贵的各种气象特殊观测资料。此外还有 FGGE 和 MONEX 在同一时期的各种气象探测资料。因此为成功地完成这次实验奠定了基础,从而为我国高原气象科研工作跨入世界先进行列创造了有利的条件。

第二阶段是研究分析获得的资料,从1979年到1983年共进行了五年。通过这五年的研究,发现了一些新的高原特殊大气现象并取得了丰硕成果。本书总结了这方面的主要成果,着重介绍了通过1979年青藏高原气象科学实验所得到的新结果和新进展。

本书共分十一章。第一章扼要介绍青藏高原气象科学实验计划(QXPME X-1979)。这一次实验是我国气象界迄今组织的最大的一次科学实验,不论在计划制定上,台站网的设置上,资料收集处理上,研究任务的分配上和科学管理上都是第一次尝试,积累了经验,取得了教训。这些都是可贵的财富,将成为今后再次组织科学实验有益的借鉴。为此,我



们将 1978 年制定的“1979 年 5—8 月青藏高原气象科学实验计划”(草案)作为附录,列在书后,以供参考。

第二章较全面地讨论了 1979 年夏季青藏高原的地面辐射特征。例如,在适当的云天条件下,在青藏高原上可观测到极大的太阳总辐射、有效辐射和地表净辐射。在高原上,夏季太阳总辐射值超过太阳常数的现象并不罕见。同时指出,青藏高原地区的夜雨,使得地表净辐射日平均通量密度从旱季进入雨季有明显的增大现象。

第三章论述了青藏高原地面热平衡特征。根据实测资料明确指出,夏季青藏高原地面是个强大热源,且从旱季至雨季,地面热源有明显的加强过程。另外,夏季青藏高原平均地面拖曳系数  $C_D$  约为  $4-5 \times 10^{-3}$ , 这比早先估算的要小得多。

第四章着重探讨了夏季青藏高原热源各分量的时频特征及其高度场对热源扰动响应的滞后现象。值得重视的是,高度场对地表与土壤中热交换有一个时间长达 41 天的特征响应周期,其响应的滞后时间为 20 天。这一结果在一定程度上说明了青藏高原陆面过程对长期天气预报的重要性。

第五章阐述的是青藏高原上空对流层环流存在着内在的低频振荡,并有向外传播的特点。由此初步证明,青藏高原地区可能是另一个低频振荡的源地。这个结果是值得重视的,并期待今后用更多的资料来进一步证实和补充。

第六章讨论了青藏高原在初夏大气环流季节转换中的作用。一方面肯定了青藏高原对大气环流季节性变化和季风的重要作用;另一方面用更新的资料指出了高原作用没有象过去估计得那么大。同时在这一章中较详细地叙述了平流层与对流层的耦合作用、南北半球环流的“联锁”和“南浪北涌”等现象在初夏大气环流季节转换中所起的重要作用。

第七章着重介绍南亚高压在青藏高原上空建立的过程。初夏南亚高压初上青藏高原有两条路径:东路和西路。不同的路径不仅反映出青藏高原下垫面不同的热力状况,而且还有一定的天气学意义,南亚高压初上高原的时间迟早和路径不同与影响我国的台风、我国雨带的形成和雨季的开始等大范围天气过程都有一定的关系。同时,还讨论了西风带瞬变波和热源对南亚高压在青藏高原上空建立过程中的重要性。

第八章根据青藏高原气象科学实验资料,对高原低涡的发生、发展和消亡或移出高原进行了较为深入的分析和研究。发现高原低涡是一个尺度小、厚度薄、强度弱和生命史短的高原特有的天气系统,并认为产生高原低涡的主要涡源在高原西部。还发现从印度北部经仲巴、定日伸向高原腹地存在着另一条水汽通道,这支通道对高原低涡的生消有重大的影响。

第九章利用 1979 年青藏高原气象科学实验期间获得的资料对高原雨季降水、水汽输送、对流云的发展和演变等进行了深入细致的分析。首次从那曲测雨雷达观测发现,那曲对流性降水的回波顶高与平原地面的回波顶高绝对高度相同,但单体回波等效直径一般要比北京的小得多。这说明青藏高原上虽然水汽不十分充沛,但高原上的对流活动依然是非常旺盛的。

第十章阐述了青藏高原的边界层特征,尤其较详细地讨论了高原近地面混合层的动力和热力结构。由于边界层是地球表面与大气之间各种能量交换的直接层次,因此有必要较系统地研究边界层的特征。特别是青藏高原,夏季是个抬高的热源,因此更是陆气相互作用的重要一环。本章亦举例说明了边界层对高原大气的作用。

第十一章综述了青藏高原气象科学实验期间所进行的动力学研究。对热源的计算指出,夏季青藏高原地区虽然是个相对热源区,但最强的热源中心不在高原上,而是在印度阿萨姆地区。另外,对夏季青藏高原的动力学和热力学影响进行了数值试验和转盘模拟实验。并利用转盘实验,对比研究了夏季青藏高原与落基山地区上空环流状况的同异,强调了地形热力性高压与环境场的相互作用。

本书是青藏高原气象科学实验的集体研究成果,编写组的主要成员有:章基嘉、朱抱真、朱福康、翁笃鸣、孙国武、吕君宁、彭永清和王远忠。

# 第一章 青藏高原气象科学实验计划

(QXPMEEX-1979)

## §1.1 绪 论

青藏高原约占我国陆地面积的四分之一,平均海拔在 4000m 以上,是世界上最高大,地形最复杂的高原。多年来,业务和科研工作都指出,青藏高原对我国、亚洲,甚至全球的环流和天气气候都有巨大的影响。但由于高原上观测资料的缺乏,大大影响了人们对青藏高原作用的认识深度,甚至对高原上不少重要观测事实也了解很少,还不能很好地了解青藏高原影响的物理机制以及高原上天气系统的活动,这也就深深地阻碍了天气预报准确率的进一步提高。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,对提高我国长期、中期和短期天气预报的准确率都有重要的意义。

1976 年 5 月在西宁召开的青藏高原气象科研经验交流会上,就提出了开展青藏高原气象科学实验的问题。1977 年 5 月青藏高原气象科研协作领导小组正、副组长在兰州召开了会议,一致同意开展一次青藏高原气象科学实验,并责成同年在拉萨工作的高原低涡切变线会战组在总结的基础上提出高原气象科学实验的初步意见。

这项建议很快得到了中央气象局和中国科学院领导的重视和支持,并先后在中国科学院 1977 年 9 月召开的自然科学学科规划会上和 11 月国家科委召开的全国科技规划会议上获得同意,并列为国家科技规划重点项目的重要内容。1978 年 3 月经过全国科学大会和 5 月青藏高原气象科研协作领导小组成都会议审议,并由中央气象局和中国科学院提出行动计划,报国家科委审批。1978 年 7 月国家科委和国家计委正式批准 1979 年夏季在我国青藏高原上首次进行气象科学实验。

为了切实搞好这次实验,经中央气象局和中国科学院的批准,青藏高原气象科研协作领导小组于 1978 年 8 月 4—22 日在兰州召开了有 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”(见附录)。会议后期,青藏高原气象科研协作领导小组召开了正、副组长扩大会议,审定了这次会议所制订的气象科学实验计划的方案。为做好这次实验工作,会议决定聘请叶笃正、陶诗言、程纯枢、黄仕松、高由禧、章基嘉、巢纪平、陈其恭、朱抱真和徐淑英等教授为本次实验顾问,并成立了技术组和办公室。

## §1.2 科学问题

夏季东亚大气环流的建立、维持和演变以及天气系统的发生和发展,是在复杂的海陆分布不均匀加热和青藏高原的动力和热力作用下,不同尺度大气运动相互作用的结果。过去虽然研究很多,但仍有许多问题有待解决。

## 1. 夏季青藏高原的热源

隆起的青藏高原地面对大气的加热作用,是青藏高原气象学研究中的重要课题之一。有关青藏高原热量收支的气候平均情况,有过不少研究<sup>[1-4]</sup>。基本一致的结论是,夏季青藏高原是个热源。但是,关于高原加热分布的详细情况还很不清楚,不同的计算方法所得的结果也下不一致。为此,还需进行下列各项研究工作:

(1) 利用高原气象站的常规资料和科学实验期间的特殊观测资料,研究适用于高原地区的经验公式,计算高原地面热量收支各分量。

(2) 高原大气能量转换过程的研究。

(3) 高原上不同天气系统的能量收支的研究。

(4) 高原能量收支异常与短期气候异常关系的研究。

## 2. 初夏亚洲大气环流的季节变化

初夏,亚洲大气环流季节变化特征是气象学上非常著名的现象<sup>[5-7]</sup>,它影响了亚洲特别是我国的天气、气候。季节变化时间的迟早,对我国南部的旱涝影响很大,因此行星环流季节演变直接关系到我国高原地区和江淮流域雨季的建立,是中长期天气预报的一个非常重要的课题。

每年6月,在亚洲甚至在全球范围内大气环流都要发生一次急剧的季节性变化<sup>[6]</sup>,利用数值试验来模拟这一过程,得到了大气环流季节转换中的一些特征<sup>[8]</sup>。从这个模拟可以看到高原地形隆起的后果是巨大的。这个气候动力学的模拟是比较成功的,但对计算结果的解释还有不同的看法。今后有必要从下列几方面来研究这个问题:

(1) 研究高原加热作用对5—6月西风急流突变、大气长波调整与西南季风爆发的关系。

(2) 研究季节转换时期对流层与平流层环流之间的相互关系。

(3) 研究季节转换时期南北半球环流之间的相互作用。

## 3. 夏季环流盛行时期内的环流变动

夏季环流建立后,它的平均特征主要是:1) 南亚100hPa上空的强大的反气旋(南亚高压)及其南侧的东风急流,2) 西风带4—5个平均槽,3) 南亚热带季风环流和我国南部的季风气流。虽然这些行星尺度的大型环流系统是北半球强大的大气活动中心,但它们建立后仍然有明显的变动,例如:

(1) 南亚高压的东西振荡过程<sup>[9]</sup>。

(2) 夏季风的变动<sup>[10]</sup>;西南季风中断和我国雨期中断等过程。

(3) 热带和副热带环流的准周期振荡<sup>[11]</sup>。

值得研究的问题是,这些现象是否同时发生?它们之间的联系如何?这些现象产生的物理机制是什么?其中高原的作用怎样?

## 4. 夏季高原及其邻近地区天气尺度系统

夏季高原及其邻近地区的天气尺度系统,主要是高原上空500hPa低涡及切变线<sup>[12]</sup>、

高原边缘 700hPa 上的西南低涡<sup>[19]</sup>和甘南川北一带的武都-松潘低涡。这些都是青藏高原大地形边界层内的产物，它们的活动造成高原及其邻近地区的降水，因此在天气分析和预报上是非常重要的。但是，由于青藏高原复杂地形造成很复杂的地区性天气系统，加上观测资料的不足，有关天气尺度系统的很多问题还不很清楚，如

- (1) 天气尺度系统的详细结构。
- (2) 天气尺度系统的生成机制以及高原的动力和热力条件引起的作用。
- (3) 天气尺度系统的发展和移动。
- (4) 高原的降水机制。

### §1.3 主题和任务

首次青藏高原气象科学实验(QXPMEEX-1979)的主题是：研究夏季青藏高原对东亚大气环流和天气过程的热力、动力影响，特别是对高原及其邻近地区和江淮流域的雨季开始、雨期和雨期中断的影响，以提高中长期天气预报的准确率。

根据这个主题选定了首次青藏高原气象科学实验的四个主要课题。这四个主要课题及其主要内容如下。

#### 1. 青藏高原热源强度的野外观测和分析研究

- (1) 高原地区的辐射平衡和热量平衡各分量的日变化及季节变化特征和地理分布特征。
- (2) 高原加热作用与高原大气能量变化的关系。
- (3) 高原地-气系统能量变化与天气变化的关系。

#### 2. 青藏高原对行星尺度环流演变的作用及其与我国季节转换、雨季开始和雨期中断的关系

- (1) 季节转换期间的行星尺度环流特点：
  - a. 南亚高压在青藏高原上空的季节性建立过程及其结构特征；
  - b. 南亚高压的东西振荡规律及其原因；
  - c. 亚洲东、西风带的演变特征；
  - d. 北半球超长波与长波调整过程；
  - e. 平流层环流的变化特征。
- (2) 高原加热作用季节变化与我国雨季和夏季风活动的关系：
  - a. 初夏高原的热力作用与印度西南季风爆发和我国季风活动的关系；
  - b. 南亚西南季风的活跃和中断的规律与我国夏季风变化的关系；
  - c. 南北半球环流的相互作用对我国季风活动的影响；
  - d. 夏季风活动与我国雨季、旱涝的关系及其预报。

#### 3. 青藏高原地区的天气尺度系统的天气学和热力动力学分析

- (1) 高原雨季开始期的天气过程分析(着重低涡、切变线结构生成和演变及高原的热

力动力作用)。

- (2) 高原邻近地区降水系统形成演变的研究。
- (3) 高原地区天气尺度系统与大尺度环流的相互作用。
- (4) 高原地区天气分析方法的试验研究。

#### 4. 青藏高原对夏季大气环流、天气系统和气候影响的数值试验、模型实验和理论研究

- (1) 数值试验:
  - a. 高原对初夏行星尺度环流和季节变化影响的数值模拟和数值预报的试验研究;
  - b. 夏季高原地区的天气尺度系统发生发展的动力分析、数值模拟和数值预报的试验研究;
  - c. 高原地区的天气尺度系统和行星尺度环流之间的相互作用的研究。
- (2) 模型实验:
  - a. 实际地形模型对大气环流影响的实验研究;
  - b. 实际地形模型对高原低涡、切变线影响的实验研究。
- (3) 动力学研究:
  - a. 南亚高压、低纬超长波的形成和维持及其中长期变化过程的动力学;
  - b. 青藏高原对大尺度扰动的热力学和动力学影响的研究;
  - c. 高原地区小尺度物理过程的参数化问题及其对大尺度影响的研究。

## §1.4 观测系统

根据上述的科研任务,这次实验的重点在于初夏过渡时期大气环流季节转变、雨季开始和夏季环流建立后雨期形成和雨期中断的物理机制,明确青藏高原在这些变化中的热力和动力作用,特别是热力作用的影响。因此,在取得全球大气研究计划第一期全球试验(FGGE)和季风试验(MONEX)观测系统中的资料的同时,需要设置青藏高原气象科学实验所特定的观测系统。

### 1. 实验区

实验区的确定,完全是为了研究课题的需要。这次实验区包括整个高原地区,即 $45^{\circ}\text{N}$ 以南和 $105^{\circ}\text{E}$ 以西的地区,包括西藏,青海、新疆、云南、贵州、四川、甘肃和宁夏等省(区)。为了研究高原西部羌塘高原及中部那曲附近地区的天气尺度系统,在低涡、切变线发生期间增加两个重点观测区,并增加观测次数;

A区范围:  $80^{\circ}\text{E}$ — $90^{\circ}\text{E}$ ,  $28^{\circ}\text{N}$ — $37^{\circ}\text{N}$ ;

B区范围:  $90^{\circ}\text{E}$ — $95^{\circ}\text{E}$ ,  $29^{\circ}\text{N}$ — $34^{\circ}\text{N}$ 。

### 2. 观测网

在青藏高原气象科学实验期间,实验区内共有 223 个地面观测站,其中气候站 40 个,

701 雷达探空站 36 个,无线电探空站 10 个,经纬仪测风站 37 个。此外,在高原中部那曲还增设了一个 711 天气雷达观测站。为了填补高原地区热源观测资料的空白,还增设了 6 个地面热源观测站,分布在不同植被地区。

(1) 常规观测内容:常规观测均采用国产常规仪器。观测内容为:

a. 地面站:每日 4 次(02,08,14 和 20 时)。项目有压、温、湿、风、云、能见度、降水量、0cm 地面温度和压、温、湿、雨量日转自记仪器。

b. 测风站:每日 2 次(07 和 19 时)。内容为现行规定观测的各高度上的风向和风速。

c. 探空站:每日 2 次(07 和 19 时)。内容为现行规定观测的各层等压面上的高度、温度、湿度、风向和风速。

d. 日射站:按原规定要求进行观测。

(2) 雷达观测:那曲雷达观测站的地理位置在  $31^{\circ}29'N$ ,  $90^{\circ}04'E$ ,海拔高度 4507m。采用的是三公分的 711 天气雷达。正式开机观测以前,按技术要求对整机进行了调试。全部观测时间内,雷达工作基本良好。

雷达相邻两次观测的间隔一般为 1 小时左右。PPI 的工作仰角多数为  $3-4^{\circ}$ ,主要采用 50km 或 100km 距离量程。对强中心回波所在方位进行垂直剖面 RHI 观测。在 100 km 水平距离以内的回波顶高的误差大约为 1km 左右,在 50km 以内的水平尺度的回波距离的误差大约小于 1 km<sup>[14]</sup>。

表 1.1 地面辐射平衡观测项目及使用的仪器

观 测 项 目	使 用 仪 器
太阳直接辐射 $S$	日产 MS-52 型直接辐射表
天空散射辐射 $D$	日产 MS-42 型天空辐射表和 MB-11 型遮光架
总辐射 $Q$	MR-21 型反射率表
地面反射辐射 $R_k$	
地面反射率 $A$	$A = \Sigma R_k / \Sigma Q$
地面长波放射辐射 $u$	美制 PIR 型精密红外辐射表
大气长波放射辐射 $G$	
有效辐射 $F$	$F = u - G$
地面辐射平衡 $B$	日产 CN-II 型净辐射表

表 1.2 地面热量平衡观测项目及使用的仪器

观 测 项 目	使 用 仪 器
近地面气温梯度观测 $T(0.2, 0.5, 1.5, 2.0m)$	通风干湿表(阿斯曼)
近地面湿度梯度观测 $e(0.2, 0.5, 1.5, 2.0m)$	
近地面风速梯度观测 $V(0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0m)$	日产遥测多点风速仪
土壤热通量 $H$	日产 CN-81 型土壤热流板
地面温度 $T_0$	国产地面温度表
地中温度 $\theta(5, 10, 15, 20cm)$	国产曲管地温表
地中温度 $\theta(0.4, 0.8, 1.6m)$	国产遥测地温表



(3) 卫星观测:在青藏高原气象科学实验期间,分别由拉萨、北京和兰州接收3个不同的极轨卫星云图资料。

(4) 热源观测:热源观测实验试图通过直接观测来确定高原地面热源强度及其季节变化。野外观测和研究包括地面辐射平衡和地面热量平衡两部分。表1.1和1.2列出了地面辐射平衡和地面热量平衡的观测项目及使用的仪器<sup>[15]</sup>。此外,格尔木测站还用苏制AT-50型热电式相对日射表配上三种国产的锐截止型有色玻璃滤光片,进行太阳直接辐射的分光观测。滤光片的型号和透光特性见表1.3<sup>[16]</sup>。它们的长波截止波长为2800nm。

表 1.3 滤光片型号和透光性能

滤光片型号	CB <sub>3</sub>	HB <sub>11</sub>	HB <sub>16</sub>
短波截止波长(nm)	523	630	700
主带平均透射率(%)	88	90	90

表 1.4 青藏高原上6个热源观测站的地理位置、下垫面状况及观测日期

站名	纬度(N)	经度(E)	海拔高度(m)	地表状况	观测时间
狮泉河	32°30'	80°05'	4278.0	荒漠草地	5月17日—8月31日
双湖	32°38'	89°00'	4920.0	荒漠草地	5月21日—8月31日
那曲	31°29'	92°03'	4507.0	草地	5月22日—8月31日
格尔木(I)	35°54'	94°54'	2806.1	草甸盐渍土	5月15日—7月6日
格尔木(II)	35°24'	34°48'	2841.0	戈壁	6月28日—8月31日
拉萨	29°42'	91°08'	3658.0	农田	5月6日—8月31日
林芝	29°34'	94°28'	3000.0	林区农田	5月11日—8月31日

为取得足以了解青藏高原上地面热源分布特征的观测资料,既考虑了地面热源观测站地理分布的均匀性,又考虑了整个青藏高原上几种主要下垫面、自然景观带和气候带,选定了6个热源观测站(表1.4)。为了突出青藏高原地面加热作用的特点,还选择我国东部的南京,作为热源观测的平原对比点。

各热源观测站均在地方时00,04,06,08,10,12,14,16,18和20时观测。为保证观测资料的精度,在野外观测前、后对所用仪器进行了标定或平行对比观测<sup>[16]</sup>。仪器的灵敏度没有明显的变化。在野外观测结束后,对观测资料进行了认真的检查和误差分析。通风干湿表的仪器误差和读数误差均为0.2℃。总辐射的实测值(Q)与计算值的平均相对误差在±5%以内。有效辐射(F)的平均相对误差在±6.2%以内。净辐射(B)的平均相对误差在±12.1%以内,其中双湖站7月份误差较大,达15.8%。

### 3. 主要时段

首次青藏高原气象科学实验期间为1979年5月1日—8月31日。

按照气候平均情况,印度西南季风和拉萨雨季开始的平均日期为6月10日。为了有利于对季节转换前后进行对比分析,拟定把(1)5月18—20日初夏季节转换前的形势;(2)6月8—12日季节转换时段;(3)6月20—22日夏季环流开始建立后的形势,作为重要的

观测分析时段。在此期间要求仲巴、拉萨等若干站的探空和测风的观测次数,由每日两次增加为每日四次观测。可惜由于这一年拉萨雨季来临较晚,6月17日才雨季来临,加上交通和通讯等方面的不便,除个别站进行了加密观测外,绝大多数站的加密观测,包括A、B区的加密观测的工作都没有按原定计划完成。

## §1.5 资料系统

为了使青藏高原科研工作更好地进行,在成都建立了资料中心,对 FGGE, MONEX 和高原实验等有关的资料进行收集和整理。现已整理出版了下列这些资料和图集:

- (1) 青藏高原气象科学实验资料(1979年5—8月):
  - 第一册 各高度测风资料;
  - 第二册 探空规定等压面层资料;
  - 第三册 探空特性层资料;
  - 第四册 日降水量、地气温差资料;
  - 第五册 地面辐射平衡观测资料;
  - 第六册 地面梯度观测资料。
- (2) 青藏高原地面辐射平衡和热量平衡图集(1979年5—8月)。
- (3) 1979年5—8月亚洲高空流线图集。

## §1.6 研究概况

青藏高原气象科学实验分两个阶段进行:第一阶段是野外观测,从1979年5月1日到8月31日,连续观测4个月;第二阶段是研究分析,从1979年到1983年,共进行5年。

基于上述科学问题,成立了4个课题组,利用 FGGE, MONEX 和高原气象科学实验所获得的资料,分别从高原热源特征、行星尺度环流、高原天气尺度系统和模拟试验等四方面进行了研究。参加研究分析工作的人数近百人。

通过这五年的研究,发现了一些新的高原特殊大气现象并取得了丰硕的成果。所有这些成果已由科学出版社以《青藏高原气象科学实验文集》的形式分三辑出版,共发表了83篇论文。主要内容有:

(1) 关于高原辐射和热状况的研究(27篇)。通过对实测资料的分析,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;高原上辐射平衡各分量有明显的日变化、随天气过程的变化和季节变化;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,它对地面净辐射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。提出了一套适合于高原辐射和热状况的计算方法。分析了青藏高原地面辐射平衡时空分布特征,并对实测辐射资料的应用作了探讨。

(2) 关于青藏高原对行星尺度环流季节变化的影响研究(23篇)。1979年印度西南季风强度弱、爆发迟、降雨量少。1979年初夏的季节性转换是带有全球性质的,因此认为青藏高原对大气环流的作用应从全球尺度上来考虑,特别是应从整个欧亚大陆和印度洋的