

国家科技部攀登—B项目

TIPEX

第二次青藏高原大气科学试验 理论研究进展 (三)

陶诗言 陈联寿 徐祥德 章国材 编著



气象出版社

第二次青藏高原大气科学试验 理论研究进展

(三)

陶诗言 陈联寿 徐祥德 章国材 主编

气象出版社

内 容 简 介

本书基于攀登-B“青藏高原地气系统物理过程及其对全球气候和中国灾害性天气影响的观测和理论”项目的有关最新研究工作,对青藏高原地气系统物理过程及其对全球气候和中国灾害性天气影响的有关问题作了系统地探讨与研究,全书共分三部分。

本书可供广大气象科研与业务专家,尤其是从事天气气候变化、预测业务的研究和技术人员阅读;也可供地球物理、农业生态、大气物理、环境等学科领域的科研和教学人员参阅,还可以作为有关专业的硕士、博士研究生学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

第二次青藏高原大气科学试验理论研究进展(三)/
陶诗言等主编. —北京:气象出版社,2000. 8
ISBN 7-5029-2968-1

I. 第… II. 陶… III. 大气科学-科学实验-研究-青藏高原-文集 IV. P4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 36287 号

第二次青藏高原大气科学试验理论研究进展(三)

陶诗言 陈联寿 徐祥德 章国材 主编

责任编辑:宋 钢 于淑秋 终审:李如彬

封面设计:华 艺 责任技编:刘祥玉 责任校对:李 军

气象出版社出版

(北京市海淀区白石桥路 46 号 邮政编码:100081)

北京市白河印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:13.375 字数:342 千字

2000 年 8 月第一版 2000 年 8 月第一次印刷

印数:1~1000 定价:40.00 元

ISBN 7-5029-2968-1/P·1033

序 言

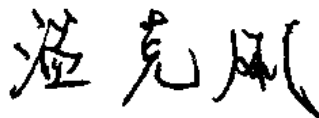
青藏高原地气系统物理过程及其对全球气候和中国灾害性天气影响的观测和理论研究,简称:第二次青藏高原大气科学试验(TIPEX)研究。该项目系国家重大基础理论科学研究项目。

青藏高原占有我国陆地面积的 1/4、亚洲面积的 1/6,平均海拔在 4000m 以上,是全球面积最大最高的高原,号称地球“第三极”,它已伸入大气对流层的中部,对气候和天气的影响为世人关注。青藏高原的地气物理过程对全球气候异常与东亚大气环流及中国灾害性天气的发生发展具有重大的影响。TIPEX 是继 1979 年第一次青藏高原科学试验(QZPMEX)后在 20 世纪末进行的第二次青藏高原大气科学试验。该项目是在国家科技部的支持下,由中国气象局、中国科学院等单位于 1994~1999 年期间共同组织实施的。1998 年 5~8 月, TIPEX 与全球其它大气科学试验的“加强观测期(IOP)”同步,以改则—当雄—昌都为边界层观测基地,启动了地面自动站、Doppler 雷达及常规探空、地面加密观测系统,重点开展了高原地气物理过程边界层观测试验,取得了青藏高原及其周边地区高空大气各类高原下垫面地形与植被的近地和行星边界层地气物理过程观测等十分珍贵的气象资料,有助于改进高原地区地气系统物理过程参数化方案,以及各类时间尺度的数值预报模式,从而提高灾害性天气气候预报的准确率,并进一步深化对亚洲季风以及全球气候变异成因的理论认识。

本项目研究成果将涵盖 TIPEX 五个课题的研究内容,对青藏高原地气系统物理过程及其对全球气候和中国灾害性天气影响的观测和理论的有关问题作较为深入的研究。

青藏高原大气科学试验的实施及其所取得的研究成果,对全球气候与东亚乃至中国区域性天气气候异常问题的探讨均具有极为宝贵的科学价值。希望参加第二次青藏高原大气科学试验研究的科学家们发扬勇于攀登、团结拼搏的精神,不断有创新的科研成果面世,为高原气象研究领域作出具有学术与应用价值的贡献。

四大气象科学试验总协调人



1998 年 12 月 13 日



前言

青藏高原占我国领土四分之一,平均海拔高度 4000m 以上,是世界上海拔最高、面积最大、地形最为复杂的高原。青藏高原对东亚大气环流、气候变化以及灾害性天气的形成和发展都有重要影响。青藏高原的动力作用对大气环流的季节变化有显著影响,它作为一个热源,对东亚环流、季风、长江梅雨以及海气相互作用也有极为重要的热力作用。1991 年和 1998 年长江流域出现了持续性大暴雨洪水,卫星资料的分析表明,造成如此暴雨的某些涡旋系统,其胚胎可以追踪到高原上空。世界上很多科学家都关注着高原物理过程对气候和天气的影响,并试图揭开其中的奥秘,但由于高原上条件艰苦,测站稀少,资料缺乏,给科学研究带来重重困难、进展缓慢。

我国科学家首先于 1979 年 5~8 月在青藏高原实施了代号为 QXPMEEX 的首次大气科学实验。这次实验布设了 4 个探空站,6 个热源观测站和 1 个雷达站。另外,高原内外共有 200 余个地面站参加了观测实验。这次高原科学实验取得了十分宝贵的资料,揭示了一些不为人知的天气事实。中外科学家利用这些资料开展了多年的研究,揭示了一些重要的物理过程,但也还留下不少科学疑案。

与第一次青藏高原科学实验相隔将近 20 年的 1998 年,中国科学家再次发动了代号为 TIPEX 的第二次青藏高原大气科学试验。与 1979 年相比,气象科技现代化有了极大发展。中国已经有能力于 1988 年和 1990 年先后发射了两颗极轨气象卫星(FY-1A 和 FY-1B),以后又在 1997 年发射了地球同步气象卫星(FY-2A)。中国的计算机运算能力也从 1979 年的百万次发展到如今数亿次巨型机。新一代边界层观测仪器的精确度和自动化程度也有了迅猛的发展。资料采集、加工处理、储存分发等手段也有根本的改革。因此,在现代化高新技术发展的今天,再来实施第二次青藏高原大气科学试验是十分必要和适时的。中国四大气象科学试验是同步进行的,除本试验外,其他三个试验是淮河流域能量和水分循环试验(HUBEX)、南海季风试验(SCSMEX)和华南中尺度暴雨试验(HUAMEX)。其中 HUBEX 是国际大规模科学试验——能量和水分循环试验(GEWEX)的一部分。GEWEX 在中国进行的另一个与此同步的试验代号为 GAME/Tibet,其基地在西藏那曲。这样实际上有 5 个大气科学试验在中国同步展开,以便得到更大范围的地-气-海加密观测资料。这也是再次开展青藏高原大气科学试验的背景和良机。

中国科学家于 1998 年 5~8 月在青藏高原实施了代号为 TIPEX 的第二次大气科学实验。这次实验的科学目标是揭示地气相互作用的物理过程、高原大气边界层(PBL)和对流层结构、云-辐射过程,并研究高原动力和热力作用对大气环流、季风、气候变化和灾害性天气形成和发展的影响。

投入这次实验的边界层观测共有三个站,即当雄、改则、昌都,它们的加密观测期(IOP)分别为:5 月 20 日到 7 月 1 日(当雄),6 月 6 日到 7 月 18 日(改则),5 月 20 日到 8 月 10 日(昌都)。高空探测、地面观测和辐射观测的 IOP 时段统一为 5 月 10 日到 8 月 10 日。仅在高原地区投入实验的高空站有 11 个(其中西藏 7 个、青海 3 个、四川 1 个),地面站 12 个(其中西藏 8 个、青海 3 个、四川 1 个),辐射站 6 个(其中西藏 4 个、青海 1 个、四川 1 个)。这次实验除了有

大量的卫星探测资料外,还使用了自动化程度和精确度较高的边界层探测仪器,例如廓线仪、多普勒(Doppler)声雷达、系留气艇、通量观测仪、超声风速温度仪、光学雨量计、无线电低空探测仪、多层塔装观测系统。仪器运行以后其观测资料便自动采集、储存、加工处理,并建成数据库提供科研使用。

第二次青藏高原大气科学试验是在与一系列国际试验(例如 GEWEX)同步的背景下实施的,具有较强的国际合作性质。尤其 TIPEX 与日本科学家在高原上同时进行的 GAME/Tibet 科学试验合作较为成功。在这两个科学实验之间成立了一个称为 JCC (Joint Coordination Committee)的机构对实验合作进行协调。JCC 就观测对比、资料格式、模式比较、数据共享、技术支持等方面开展了 4 年的合作。

TIPEX 的研究工作可分为高原实验(1998)之前的预研究(Pre-Study)和实验之后的研究(Post-Study)。预研究从 1994 年就已开始,并于 1995 年在北京召开了第一届 TIPEX 国际科学讨论会。TIPEX 研究内容可概括为 5 个方面:(1)高原地气物理过程的研究;(2)高原动力和热力作用对大气环流的影响;(3)高原对季风活动的影响;(4)高原热源效应对全球气候的影响;(5)青藏高原对亚洲灾害性天气发生发展的影响,其中包括暴雨和洪涝、干旱、涡旋等系统的加强发展等。这部研究进展共分两册,是 TIPEX 第二阶段预研究(1996~1998)成果的综合(第一阶段预研究成果收在第一届 TIPEX 国际科学讨论会的论文集中)。我们还计划适时出版 TIPEX 的现场实验观测系统的专著和 Post-Study 的研究论文。

我们希望这些研究成果能逐步转化为业务能力,尤其是高原上有关物理量的计算结果和物理过程,可供业务数值预报模式研制的参考。我国是一个频受气象灾害袭击的国家,无论急性灾害(Acute Disaster)还是慢性灾害(Chronic Disaster)都和高原动力和热力作用有关。我们更希望第二次青藏高原大气科学试验(TIPEX)能推动这一领域的基础理论研究和提高减灾防灾的业务能力。

《青藏高原地气物理过程及其影响》项目

首席科学家

陶诗言、陈联寿

1999 年 3 月

目 录

序言

前言

高原与灾害性天气

- 1 青藏高原下垫面热力异常对江淮地区旱涝影响的动力学特征.....
..... 徐祥德 张雪金 周明煜 柏晶瑜(1)
- 2 1998年青藏高原夏季降水季节变化特征及其对中国夏季降水和副热带
高压活动影响的初步分析..... 李 薇 陈隆勋(16)
- 3 华北汛期降水与青藏高原热力异常关系的研究..... 赵声蓉 宋正山(27)
- 4 1998年夏季青藏高原及其邻近地区多时间尺度低频降水的活动和传播特征
..... 朱乾根 徐国强(43)
- 5 1998年夏季青藏高原及其邻近地区低频降水分布和传播特征 ... 朱乾根 徐国强(52)
- 6 青藏高原热力状况异常与长江中下游地区梅雨关系的相关分析及数值试验
..... 葛旭阳 陶立英 朱永提 李砚华(64)
- 7 一次强西南低涡过程雨团活动的观测分析..... 陈忠明 闵文彬 程耕奎(72)

高原与大气环流

- 1 青藏高原地表热通量变化及其对初夏东亚大气环流的影响.....
..... 董 敏 徐祥德 朱文妹(81)
- 2 大地形对涡旋运动的影响..... 陈联寿 马镜娴 罗哲贤(90)
- 3 青藏高原动力和热力作用对热带大气环流影响的数值研究.....
..... 郑庆林 宋青丽 王三杉 张朝林(98)

高原地气物理过程

- 1 1995~1998年夏季青藏高原上及其邻域对流活动的天气气候学特征.....
..... 朱国富 陈受钧(106)
- 2 雅鲁藏布江流域地-气系统的水平衡..... 张顺利 陶诗言(118)
- 3 中国地区云对地气系统太阳短波吸收辐射强迫的气候研究.....
..... 刘 艳 高 歌 成天涛 翁笃鸣(126)
- 4 利用卫星资料试作青藏高原地表净辐射场的气候反演 翁笃鸣 高 歌(135)
- 5 青藏高原云对地气系统长波射出辐射(OLR)强迫的气候研究..... 刘 艳 翁笃鸣(142)
- 6 青藏高原西部地区总体输送系数和地面通量的特征 ... 李国平 段廷扬 巩远发(149)
- 7 1998年青藏高原东部及其邻近地区大气热源与南海夏季风建立的关系.....
..... 简茂球 罗会邦(158)
- 8 简化的雪盖-大气-土壤间的输运模型(SAST)..... 孙菽芬(166)
- 9 土壤热传导、热模型的解析解和那曲地区水热运动数值模拟研究.....
..... 高志球 卞林根 陆龙骅(174)
- 10 简化生物圈模式(SiB2)在青藏高原那曲草原的应用.....
..... 高志球 卞林根 程彦杰 张雅斌(183)
- 11 青藏高原西部地区地表通量的分布特征.....
..... 刘晶淼 余锦华 下裕国 获野谷 成 德(196)

CONTENTS

Prologue

Preface

The Plateau and Disastrous Weather

- 1 Dynamic Features of the Impact of the Thermal Anomaly of Tibetan Plateau Underlying Surface on the Drought-flood in Yangtze-Huaihe River Basin..... Xu Xiangde Zhang Xuejin Zhou Mingyu Bai Jingyu (1)
- 2 Analysis of the Seasonal Variation of Rainy Period over Tibetan Plateau in 1998 and Its Relation to the Rainfall in China Li Wei Chen Longxun (16)
- 3 Anomalies of Rainfall over North China during Rainy Season and the Heating Effect of Tibetan Plateau Zhao Shengrong Song Zhengshan (27)
- 4 The Activities and Propagating Characteristics of the Multi-time Scale Low Frequency Rainfall on Tibetan Plateau and Its Ambient Area in the Summer of 1998 Zhu Qiangen Xu Guoqiang (43)
- 5 The Features of LFP Distribution and Propagation over Tibetan Plateau and Its Vicinity in the Summer of 1998 Zhu Qiangen Xu Guoqiang (52)
- 6 Correlation Analyses and Numerical Experiment on the Relation between the Abnormal Thermal Condition of Tibetan Plateau and Meiyu at the Middle and Lower Reaches of Yangtze River..... Ge Xuyang Tao Liying Zhu Yongti Li Yanghua (64)
- 7 A Analysis on Activity of Rain Mass in a Case of Severe Southwest Vortex Chen Zhongming Min Wenbin Cheng Gengkui (72)

The Plateau and General Circulation

- 1 The Effects of Variation of Surface Heat Fluxes over Tibetan Plateau on Early Summer General Circulation in East Asia... Dong Min Xu Xiangde Zhu Wenmei (81)
- 2 A Preliminary Study on the Movement of Vortex over the Orography..... Chen Lianshou Ma Jingxian Luo Zhexian (90)
- 3 Numerical Study on the Dynamic and Thermodynamic Effects of the Tibetan Plateau on the Tropical Atmospheric Circulation in Summer Zheng Qinglin Song Qingli Wang Sanshan Zhang Chaolin (98)

Air-land Physical Process on the Plateau

- 1 Synoptic and Climatic Features of Convection over Tibetan Plateau and Its Ambient Area in the Summers during 1995—1998 Zhu Guofu Chen Shoujun (106)
- 2 Water Balance in Land-atmospheric System over the Yarlung Zangbo River Basin Zhang Shunli Tao Shiyan (118)
- 3 Climatology of Cloud Effects on Earth-atmosphere System Absorbed Shortwave Radiation Forcing in China.....

- Liu Yan Gao Ge Cheng Tianchao Weng Duming(126)
- 4 Trial of Surface Net Radiation's Climatic Retrieval over Tibetan Plateau Using
Satelite Data Weng Duming Gao Ge(135)
- 5 Climatological Study of the Earth-atmosphere System Outgoing Longwave Cloud-
radiative Forcing over the Tibetan Plateau Liu Yan Weng Duming(142)
- 6 The Characteristics of Bulk Transportation Coefficient and Surface Flux in Wes-
tern Tibetan Plateau Li Guoping Duan Tingyang Gong Yuanfa(149)
- 7 Heat Sources over the Tibetan Plateau and Surrounding Areas and Their Rela-
tionships to the Onset of the SCS Summer Monsoon in 1998
..... Jian Maoqiu Luo Huibang(158)
- 8 A Simple Transportation Model Between Snow-Atmosphere-Soil(SAST).....
..... Sun Shufen(166)
- 9 Study on Analytical Solutions of Soil Thermal Conduction and Numerical Simul-
ation of Water and Heat Movement in Nagqu of Tibetan Plateau.....
..... Gao Zhiqiu Bian Lingen Lu Longhua(174)
- 10 Application of SiB2 (Simple Biosphere Model Version 2) over Tibetan Nagqu
Prairie Gao Zhiqiu Bian Lingen Cheng Yanjie Zhang Yabin(183)
- 11 Characteristics of Surface Fluxes in Western Area of Tibetan Plateau
..... Liu Jingmiao Yu Jinhua Ding Yuguo Shigenori Haginoya(196)

高原与灾害性天气

青藏高原下垫面热力异常对江淮地区旱涝影响的动力学特征

徐祥德 张雪金 周明煜 柏晶瑜
(中国气象科学研究院) (国家海洋局) (中国气象科学研究院)

提 要 本文揭示了长江中下游地区夏季旱涝年前期及春季高原南北地温距平分布特征存在显著差异。对于长江中下游地区的夏季降水,前期及春季青藏高原的下垫面的热力状况是一个“强信号”。本文理论推导证明自高原出发的波列路径传播路径也同高原热源的分布及其经向变化特征、 β 因子、基本风速分布有关,特别是与热源的一阶和二阶的经向梯度有关。本文模拟涝年1998年春季高原地温异常特征对该年长江中下游地区夏季降水的影响在高原加入地温分布异常特征的敏感试验与控制试验偏差场,呈现显著的经向风场偏差东传波列,此波列特征相似于上述NCEP逐日经向风资料低频波带通滤波所描述的二维Rossby波特征。

关键词 青藏高原 热力异常 动力学

1. 引 言

青藏高原东西长约3000km,南北宽1000多km,平均海拔高度在4000m以上,约达对流层高度的三分之一,是世界上面积最大、平均高度最高、地形也最复杂的高原。它作为巨大的障碍使得大气运动产生了强制性的爬绕,作为地球上的一块隆起的台地,通过辐射、感热和潜热形成了一个高耸入自由大气中的热源。

热源相对大气运动属慢变化时间尺度的影响因子,则可以认为大气运动是某定常热源的适应过程。热源状况和环流特征存在密切的相关作用,大气的上、下边界可以被看作这种外部因子,其中海洋和陆地均可看作大气的下边界。

对于大气的下边界物理属性,土壤的温度、湿度变化直接影响着地-气间的感热与潜热通量,从而影响地球陆气间变化,造成影响作用。青藏高原作为固定地理区域上的一个强大的外在强迫源,除了它的动力作用对气候的形成有不可忽视的作用以外,它的热力作用对大气环流的形成和变化也有着重要作用,是几十年来气象学家们研究的热点之一。

汤懋苍等曾分析了土壤温度与降水的关系,发现土壤深层(0.8~3.2m)的温度与同一地区或临近地区后期降水有显著的统计相关性。土壤作为一个大气环流变化的能量调节器,它的能量储放可以对长期天气变化产生重要影响,且大范围的旱涝与下垫面状况异常密切相关。

第一次青藏高原科学试验考察后,气象学家们对夏季青藏高原热源各个分量的时频响应特征及其高度场对热源扰动的滞后响应现象做了探讨,发现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。青藏高原由于地势高耸,范围广大,其热力状况直接关系到对流层中的加热。叶笃正和高由禧(1979)、Nitta(1983)等的研究都表明,北半球夏季最大热源位于青藏高原上空。

观测事实表明,1991、1998 年长江中下游洪涝前期,青藏高原地面温度表现异常特征。1991 年 3 月起,高原南部、95°E 以西(拉萨等站)地面温度连续 5 个月出现 2℃左右的正距平。1998 年春季高原存在类似的地温异常。这说明,春季和夏季期间高原地面增温不仅开始较常年早,而且持续稳定。显然,高原下垫面热力结构与长江中下游旱涝的相关关系及其动力机理,可能对东亚异常气候形成起着重要的作用。

有关研究结果表明,青藏高原陆面与海洋洋面对激发大气低频振荡可能存在某些相似的机制,这是因为夏半年青藏高原上空大气的物理属性与赤道低纬地区有许多相似之处。如青藏高原地区是低涡、切变线产生的源地;存在强烈发展的对流活动,对流云出现的频数及平均云量比邻近的印度北部平原更高、更多;有热力混合层和超干绝热率现象等,可能表明青藏高原大气结构存在与热带低纬激发低频波的相似对流云团活动特征。

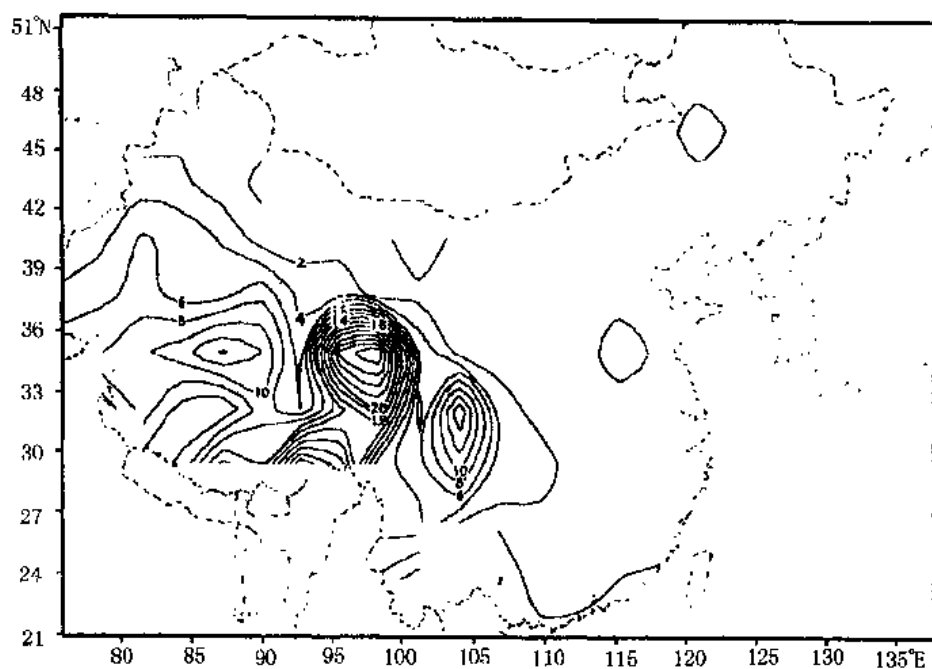
2. 高原下垫面热力强迫特征

对于中国区域长江中下游地区夏季旱涝问题,本文着重研究青藏高原地区下垫面热源是否为影响中国区域旱涝的强信号因子。由长江中下游地区旱涝年前期春季中国区域地温异常方差分布图可以发现,中国区域地温异常的高方差数值区分布于高原及其周边东部地区(图 1),与中国其他区域相比,高原地区地温呈显著高方差特征,高原下垫面地温因素可能对长江中下游地区旱涝存在强信号相关特征。

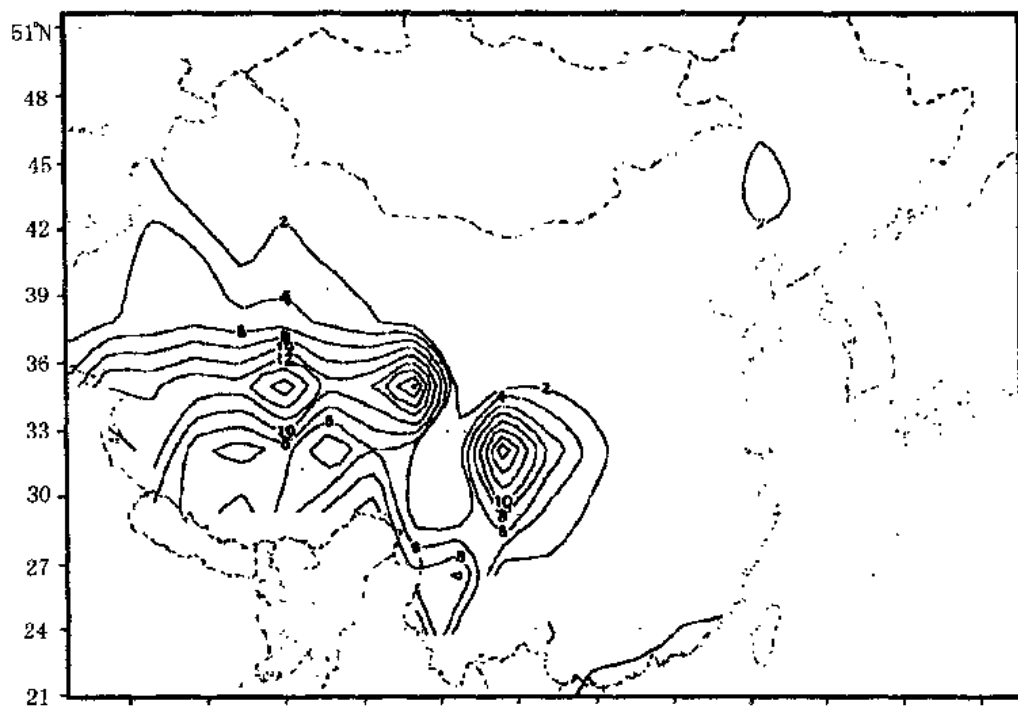
我们还计算了长江中下游地区旱涝年前期春季高原的地温距平分布。计算结果(如图 2 所示)亦发现,长江中下游地区旱涝年前期高原地温距平场和长江中下游地区夏季降水呈反相关特征,即高原地区是一个与长江流域旱涝呈“反相关”明显的强信号地区。高原地区地温分布作为长江流域降水一个“高方差”与“反相关”的强信号区。图 2 描述了对应于长江中下游旱涝年春季高原中部(90°E)40cm 地温南北剖面特征,即相对于长江中下游涝年,高原地区地温距平均状态呈“南高北低”特征,如图 2 所示,例如典型涝年 1991、1998 年“南高北低”特征尤为显著;相对于长江中下游旱年,高原地区地温分布则相反,呈“北高南低”现象,如 1988、1992 年。进一步说明了它的陆面热力结构有可能导致区域性降水的异常。下面我们重点来讨论长江中下游夏季旱涝前期春季高原下垫面的热力状况特征以及此热力状况特征对长江中下游地区夏季旱涝的影响。

长江中下游地区夏季涝年前期春季高原下垫面深层土壤南高北低的地温距平分布通过土壤之间的热量输送及下垫面对大气的加热和地气之间能量反馈的滞后特性,可能改变了春末夏初季节转换时期高原南北两侧的由南向北的气温梯度,使高原北边的西风急流随时间演变异常,与中国东部地区降水的发生相联系。长江中下游地区夏季旱涝年前期春季高原南北地温距平分布特征存在显著差异。对于长江中下游地区的夏季降水,前期春季青藏高原的下垫面热力状况是一个“强信号”。

长江中下游洪涝的发生与否与前期大气环流的异常及其遥相关波列低频振荡有一定内在联



(a) 涝年



(b) 旱年

图1 长江中下游地区旱涝年前期春季中国区域地温异常旱涝方差分布图

系,即春季青藏高原下垫面热力异常可能是来年夏季长江中下游地区降水异常的主要原因之一,我们通过求取青藏高原各个层次地温与北半球 500hPa 高度场隔 1 个季的相关场,来描述青藏高原下垫面热力异常强迫源可能产生的传播流型特征。结果如图3所示:高原的地温

(0cm)与北半球高度场的相关偏差场波列东传特征显著,其隔季相关场趋势图呈自高原向东传的一串波列。这说明高原下垫面的热力异常强迫可能通过自西向东“弧线型”相关波列的传播影响到长江中下游地区。本文通过诊断分析,从统计学的角度提出了青藏高原下垫面热力结构与北半球环流型相关的季节尺度变化扰动可能遵循类似二维 Rossby 波列传播的动力学机制,此遥相关波列路径可能是联系高原下垫面三维热力结构异常与长江流域夏季降水的“关键纽带”之一。

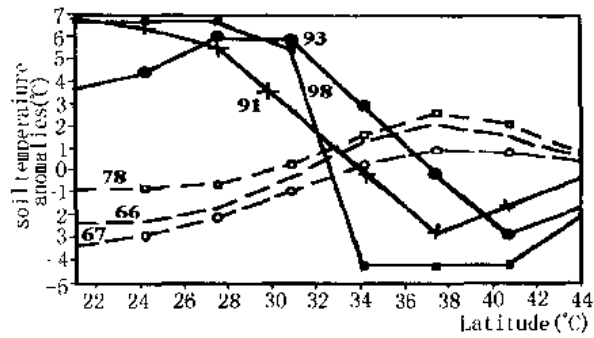


图2 长江中下游地区旱涝年前期春季高原的40cm地温距平分布

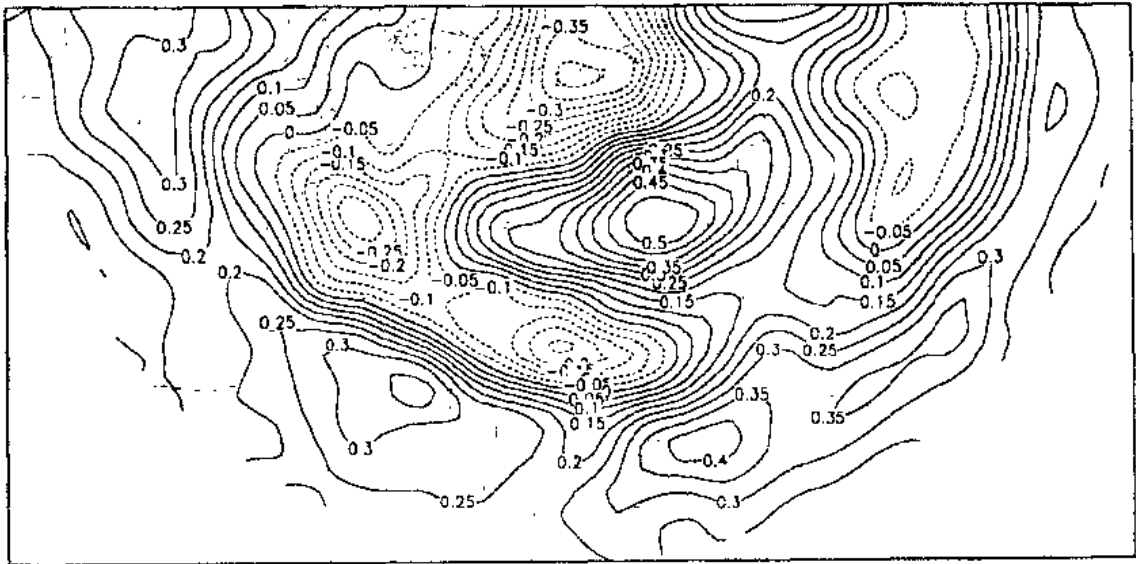
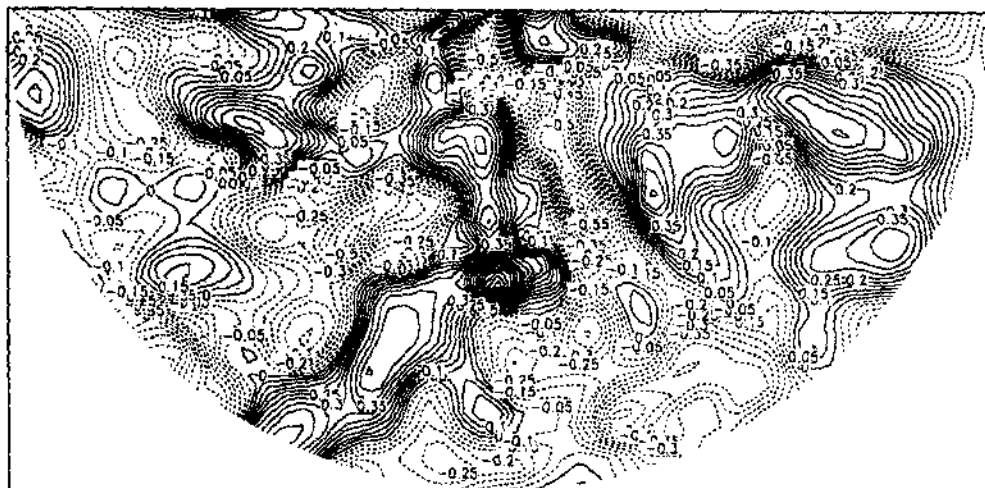


图3 高原地温(0cm)与北半球500hPa高度场隔季相关变化趋势图

长江中下游地区夏季旱涝前期春季青藏高原热力结构呈明显的反位相分布,长江中下游地区夏季降水异常原因之一可能是前期春季青藏高原下垫面热力结构异常,通过二维 Rossby 波的激发和传播,从而影响到长江中下游地区,其影响时间尺度为季尺度。

3. 高原低频波传播特征

关于中低纬度低频波传播问题,有关文献均采用带通滤波的处理方法,获得了很有价值的研究成果。林学椿等对江淮地区20个观测站逐日降水作功率谱分析,研究表明,中国江淮地区逐日降水量的周期主要集中在两个频带,即双周振荡和20~40天周期期间的低频振荡,且研究结论揭示出江淮地区夏季降水的低频振荡以20~40天周期为主,要比热带地区40~50天周期振荡短。长江中下游洪涝的发生可能与大气环流的异常及其遥相关波列低频振荡有一定内在联系。那么春季青藏高原陆面热力异常是否可能是来年夏季长江中下游地区降水异常的主要原因之一。



4. 加热源空间结构与经向传播波射线

Wallace 和 Gutzler(1981)发现,如果赤道中、东太平洋出现热力异常(如厄尔尼诺现象),作为这种热力强迫的响应,一个太平洋—北美型的遥相关型(PNA)将出现在远离热力异常的区域。徐祥德(1991)进一步指出了地形结构特征对经向波列的波射线路径的影响。为了进一步探讨热力强迫引起的遥相关型,徐祥德(1989)利用多尺度摄动法与WKB近似分析热源空间结构特征与经向波列传播路径变形及振幅演变之间的关系,从理论模型角度探讨热源强迫产生的低频波的传播路径及振幅演变同热源扰动强度及空间结构特征之间的关系。

4.1 简化动力学模型

利用包含地形及热力强迫的两层准地转模式(图5),则其模式方程可写为:

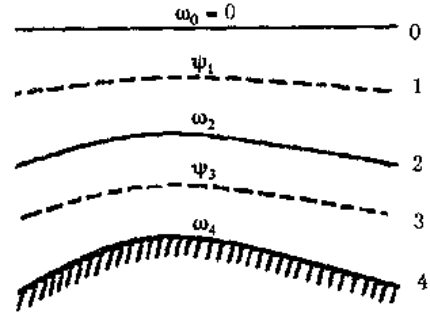


图5 高原地区两层模式分层示意图

阴影部分为高原大地形

$\psi_i (i=1,3)$ 为模式层流函数

$\omega_i (i=0,2,4)$ 为模式层垂直函数

$$\frac{\partial \omega_3}{\partial t} + \mathbf{V}_3 \cdot \nabla (\zeta_3 + f) = f_0 \frac{\partial \omega_3}{\partial p} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t} + \mathbf{V}_1 \cdot \nabla (\zeta_1 + f) = f_0 \frac{\partial \omega_1}{\partial p} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial p} \right)_2 + \mathbf{V}_2 \cdot \nabla \left(\frac{\partial \psi}{\partial p} \right)_2 = -\frac{C_a^2}{f_0 p_2^2} \omega_2 - \frac{RQ}{c_p p_2 f_0} \quad (3)$$

这里 Q 是非绝热加热率,且 $C_a^2 = \alpha_0 RT$, $\alpha_0 = \frac{R}{g} (\Gamma_d - \Gamma)$, $\psi = \frac{p}{f_0}$ 。

上下边界条件分别为:

$\omega_0 = 0$ 时, $z = H$, 在大气层顶。

$\omega_4 = -P_0 g v \frac{\partial h}{\partial y}$ 时, $z = 0$, 在大气下边界包括高原地形特征,且 $\lambda' = \rho_0 g (v/2f_0)^{1/2}$,

由

$$\begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\psi} + \psi'_1 \\ \bar{\psi} + \psi'_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \psi^* \\ \tilde{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\psi_1 + \psi_3)/2 \\ (\psi_1 - \psi_3)/2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\psi} + (\psi'_1 + \psi'_3)/2 \\ (\psi'_1 - \psi'_3)/2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_3 \end{bmatrix} = \nabla^2 \begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\frac{\partial \omega_k}{\partial p} = (\omega_{k+1} - \omega_{k-1})/2\Delta p \quad (k = 1, 2, 3) \quad (7)$$

把方程(4)~(7)代入(1)~(3)并利用上下边界条件,则可得:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\nabla^2 - \lambda'^2) \tilde{\psi} + J(\psi^*, \nabla^2 \psi^*) - \lambda'^2 J(\psi^*, \tilde{\psi}) + \beta^* \frac{\partial \tilde{\psi}}{\partial x} = -\frac{\lambda'^2 R}{2c_p f_0} Q \quad (8)$$

这里 $\lambda'^2 = f_0^2/2\sigma(\Delta p)^2$, $\sigma = c_a^2/p_2^2$, 且 $J(A, B) = \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y} - \frac{\partial A}{\partial y} \frac{\partial B}{\partial x}$, $\beta^* = \beta + \rho g \frac{\partial h}{\partial y}$ 。

如果基本流仅在 y 方向上变化, $\bar{\psi} = \bar{\psi}(y)$, 则基本流及扰动流可表示为:

$$\begin{bmatrix} \bar{u} \\ \bar{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial y} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial \psi'}{\partial y} \\ \frac{\partial \psi'}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (10)$$

方程(8)可被线性化为:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial}{\partial x} \right) (\nabla^2 - \bar{\lambda}^2) \bar{\psi}' + \left(\beta - \frac{d^2 \bar{u}}{dy^2} \right) \frac{\partial \bar{\psi}'}{\partial x} = -\frac{1}{2} \frac{\bar{\lambda}^2 R}{2c_p f_0} \dot{Q} \quad (11)$$

这里 $\bar{\psi}' = (\psi'_1 - \psi'_3)/2$, $\bar{u} = \bar{u}_1 - \bar{u}_3$

方程(11)显示了高原热源强迫、 β 因子、大地形坡度特征、大地形坡度特征西风廓线分布和层结稳定度同大气厚度场扰动演变的相关。赵平(1999)计算分析表明,高原地区从冬季到春季感热加热是造成 Q_1 值增加的主要原因,由于地面感热首先在高原西南部大幅度增加,造成2月、3月西南部 Q_1 值增加最明显,使该地区在3月就变为大气热源,在喜马拉雅山北坡形成热源中心,可能类似图2所示对应长江流域旱涝前期春季高原40cm地温南北经向反位相下垫面热力结构特征分布。就青藏高原平均而言,从4月到9月为热源。高原地区非绝热加热 $\dot{Q}$ 主要强调高原热源存在,其热力强迫的经向特征分量及相应的高原地区季风偏南经向平流特征,即 $\dot{Q} \approx -c^* \bar{v}' \frac{\partial \bar{\psi}'}{\partial y}$ (这里 $\bar{v}' = \frac{\partial \bar{\psi}'}{\partial x}$)。把 $\dot{Q}$ 的表达式代入方程(11)则有:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial}{\partial x} \right) (\nabla^2 - \bar{\lambda}^2) \bar{\psi}' + \left(\beta - \bar{u}'' - \bar{\lambda}^2 \frac{\partial \bar{Q}}{\partial x} \right) = 0 \quad (12)$$

这里 $\bar{\lambda}^2 = \frac{\bar{\lambda}^2 R c^*}{2c_p f_0}$, 且 c^* 是常数。

4.2 波能频散

在准定常低频波的传播问题研究中,常把波振幅视为是一个慢变量,并使用多尺度摄动法来研究,基于这种想法, $\bar{\psi}'$ 可表示为:

$$\bar{\psi}' = A(X, Y, T) e^{i\theta} \quad (13)$$

这里 $X = \epsilon x$, $Y = \epsilon y$, $T = \epsilon t$, $\theta = kX + lY - \omega T$, 并且 θ, ω, k, l 分别是波位相、波频率和水平波数。且有关系

$$\begin{bmatrix} \omega \\ k \\ l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial \theta}{\partial T} \\ \frac{\partial \theta}{\partial X} \\ \frac{\partial \theta}{\partial Y} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial k}{\partial Y} \\ \frac{\partial l}{\partial T} \\ \frac{\partial \omega}{\partial X} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial X} \\ -\frac{\partial \omega}{\partial Y} \\ -\frac{\partial k}{\partial T} \end{bmatrix} \quad (15)$$

将方程(14)、(15)代入方程(13)有:

$$\begin{aligned} & \left(-i\omega + \epsilon \frac{\partial}{\partial T} + i\bar{u}k + \epsilon \bar{u} \frac{\partial}{\partial X} \right) \\ & \left[\epsilon^2 \left(\frac{\partial^2 A}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial Y^2} \right) + i\epsilon \left(2k \frac{\partial A}{\partial X} + 2l \frac{\partial A}{\partial Y} + A \frac{\partial k}{\partial x} + A \frac{\partial l}{\partial Y} \right) - (k^2 + l^2 + \bar{\lambda}^2)A \right] \\ & + \left(\beta - \bar{u}'' - \bar{\lambda} \frac{\partial Q}{\partial y} \right) \left(ikA + \epsilon \frac{\partial A}{\partial x} \right) = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

依据小参数展开,波振幅 $A(X, Y, T)$ 可以被表示为:

$$A(X, Y, T) = A_0(X, Y, T) + \epsilon A_1(X, Y, T) + \epsilon^2 A_2(X, Y, T) + \dots \quad (17)$$

带(17)到方程(16)则有零阶近似

$$\left[(\bar{u}k - \omega)(k^2 + l^2 + \bar{\lambda}^2) - \left(\beta - \bar{u}'' - \bar{\lambda} \frac{\partial Q}{\partial y} \right) k \right] A_0 = 0 \quad (18)$$

由于 $A_0 \neq 0$, 因此

$$\omega = \bar{u}k - \frac{(\beta - \bar{u}'' - \bar{\lambda} \frac{\partial Q}{\partial y})k}{(k^2 + l^2 + \bar{\lambda}^2)} \quad (19)$$

这里 ω 是局地波频率, k 和 l 是局地波数, 因此准定常波的群速度分量为:

$$\begin{aligned} C_{rx} &= \bar{u} - \frac{(\beta - \bar{u}'' - \bar{\lambda} \frac{\partial Q}{\partial y})}{(k^2 + l^2 + \bar{\lambda}^2)} + \frac{2(\beta - \bar{u}'' - \bar{\lambda} \frac{\partial Q}{\partial y})k^2}{(k^2 + l^2 + \bar{\lambda}^2)^2} \\ &= \bar{u} + (k^2 + l^2 + \bar{\lambda}^2)(\beta - \bar{u}'' - \bar{\lambda} \frac{\partial Q}{\partial y}) / (k^2 + l^2 + \bar{\lambda}^2)^2 \\ C_{ry} &= \frac{2(\beta - \bar{u}'' - \bar{\lambda} \frac{\partial Q}{\partial y})kl}{(k^2 + l^2 + \bar{\lambda}^2)^2} \end{aligned} \quad (20)$$

这里 Q^* 是 $\frac{\partial Q}{\partial y}$, 即为高原地区非绝热加热的经向梯度。从方程(19)、(20)可以看到高原热强迫可以影响低频波的频率及其群速度的特征(C_{rx} , C_{ry})。方程(19)表明如果高原热源中心北侧 $\partial Q / \partial y < 0$, 频率 ω 将会下降, 反之, 热源中心南侧频率将增大。从方程(20)中也可以看出, 非绝热加热也影响低频波数的经向传播, 即: 如果高原热源中心存在, 其南侧 $Q^* > 0$ ($\partial Q / \partial y > 0$), 则有利于 $C_{ry} < 0$, 波射线向南传播; 如果 $Q^* < 0$ ($\partial Q / \partial y < 0$), 则有利于 $C_{ry} > 0$, 波射线向北传播。

4.3 遥相关经向波流型

若令

$$\tilde{\psi}' = \psi^*(y) e^{(kx - \omega t)} \quad (21)$$

将方程(21)代入方程(12)则有:

$$\psi^{*''}(y) + \left[\frac{\beta(y) - \bar{u}'' - \bar{\lambda} \frac{\partial Q}{\partial y}}{\bar{u}(y)(1 - \omega / \bar{u}(y)k)} - k^2 \right] \psi^*(y) = 0 \quad (22)$$

方程(22)可写为:

$$\psi^{*''}(y) + v^2(y)\psi^*(y) = 0 \quad (23)$$