

2000 1

暴雨·灾害

TORRENTIAL RAIN · DISASTER

ISBN 7-5029-3074-4



9 787502 930745 >

武汉区域气象中心 主办
气象出版社 出版

《暴雨·灾害》

(四)

目 次

论文

不同社会经济结构与暴雨洪涝灾害损失程度的关系	冯 强 陶诗言 王昂生 李吉顺 徐乃璋(1)
中尺度地形对大气铅直运动和强降水的影响	胡伯威(8)
关于西太平洋副热带高压的垂直环流结构和年际变动特征及其机制研究	何金海 周 兵 温 敏 李 峰(24)
三峡区间高空低槽(切变)类暴雨增幅的诊断分析	李武阶 李 俊 郑启松(36)
梅雨锋上气旋发展的反演诊断	吕 梅 周 毅(45)
η 坐标有限区域模式在 1999 年江淮流域汛期中的应用	闵爱荣 崔春光(53)
几种面雨量计算方法在气象和水文上的应用比较	李武阶 王仁乔 郑启松(62)
夏季对流云火箭增雨技术的初步研究	唐仁茂 杨维军 王 斌 王志斌 周 勇(68)
武汉城市热岛强度变化的非对称性特征分析	张 霞 杨宏青 陈正洪(75)
1998 年特大暴雨洪涝研究(二)	
1998 年湖北省异常降水特征分析	刘 敏 周月华(82)
福建闽江“98.6”特大洪涝的气候因素剖析	许金镜 吴家富 李 梅(92)
“98.8.9”嫩江流域东北冷涡暴雨过程的中尺度滤波分析	孙 力 安 刚 沈柏竹(99)
武汉市特大暴雨的中尺度分析	徐双柱(111)
“98.6”江西连续大暴雨过程物理量诊断分析	单九生 詹丰兴 曹晓岗 谢梦莉 戴熙敏(118)
暴雨中期过程的卫星云图和数值预报形势场的综合分析	王登炎 周筱兰(127)
西太平洋副热带高压内弱切变上产生的暴雨的湿位涡分析	郁淑华(134)
1998 年长江第六次洪峰成因分析	熊传辉 何明琼 饶传新 曹玉华 付晓辉(143)

《暴雨·灾害》编审委员会成员名单

主任委员:朱正义

副主任委员:彭 广 涂松柏 袁恩国

委 员:(以姓氏笔划为序)

丁一汇	万玉发	丑纪范	王昂生	邓秋华	刘志澄	李泽椿	汪永铭
吴正华	陈双溪	陈正洪	张正洪	张玉玲	杨金政	杨景勋	郑启松
郭肖容	胡才望	胡江林	胡伯威	赵思雄	俞康庆	柯怡明	席国耀
唐新章	黄士松	黄福均	章 淹	章国材			

封面题字:中国气象局局长 温克刚

TORRENTIAL RAIN • DISASTER

CONTENTS

The Different Responses of Regions with Various Economic Structure to Heavy-Rain and Flood ...	FENG Qiang (冯 强) et al. (1)
The Mesoscale Orographic Influence on Intense Precipitation	HU Bowei (胡伯威) (8)
Study on the Subtropical High's Vertical Circulation Struture and Interannual Variation Features and the Mechanism	HE Jinhai (何金海) et al. (24)
Diagnostic Analysis of Amplification of Upper-Trough-Type Torrential Rain in the Three Gorges Region	LI Wujie (李武阶), LI Jun (李 俊), ZHENG Qisong (郑启松) (36)
Potential-Vorticity Inversion Diagnosis for Cyclone Development on Meiyu Front	LU Mei (吕 梅) and ZHOU Yi (周 毅) (45)
The Application of η -Coordinate Limited Regional Model in the Jiang-Huai Area in Flood Season of 1999	MIN Airon (闵爱荣) and CUI Chunguang (崔春光) (53)
Comparison between the Computational Modes of Area Rainfall in Meteorology and the Ones in Hydrology	LI Wujie (李武阶), WANG Renqiao (王仁乔) and ZHENG Qisong (郑启松) (62)
The Elementary Research of Precipitation Enhancement of Convective Clouds by Rockets in Summer	TANG Renmao (唐仁茂) et al. (68)
Asymmetrical Features of Intensity Change of Urban Heat Island Effect in Wuhan	ZHANG Xia (张 霞), YANG Hongqing (杨宏青) and CHEN Zhenghong (陈正洪) (75)
Characteristics of the Precipitation during Flood Period in Hubei Province in 1998	LIU Min (刘 敏) and ZHOU Yuehua (周月华) (82)
Analysis on Climatic Factors of the Flood in June 1998 in the Minjiang River of Fujian	XU Jinjing (许金镜), WU Jiafu (吴家富) and LI Mei (李 梅) (92)
Mesoscale Filter Analysis of a Northeast Cold Vortex Heavy Rain Case over Nenjiang River Basin in Summer 1998	SUN Li (孙 力), AN Gang (安 刚) and SHEN Baizhu (沈柏竹) (99)
Mesoscale Analysis of the Extremely Heavy-Rain in Wuhan	XU Shuangzhu (徐双柱) (111)
Diagnostic Analysis of "98.6" Continuous Torrential Rain Physical Parameters in Jiangxi	SHAN Jiusheng (单九生) et al. (118)
The Synthetic Analysis on the Mid-Range Forecasting of Heavy Rain by Using the Satellite Images and Numerical Weather Prediction	WANG Dengyan (王登炎) and ZHOU Xiaolan (周筱兰) (127)
A Diagnostic Analysis on Moist Potential Vorticity of the Heavy Rain over Weak Shear in the Interior of Subtropical Anticyclone	YU Shuhua (郁淑华) (134)
On the Cause of the Formation of the Sixth Flood Peak of the Yangtze River in 1998	XIONG Chuanhui (熊传辉) et al. (143)

不同社会经济结构与暴雨洪涝灾害损失程度的关系^{①②}

冯 强

(中国科学院遥感信息科学开放研究实验室, 北京 100101)

陶诗言 王昂生 李吉顺 徐乃璋

(中国科学院大气物理研究所减灾中心, 北京 100029)

摘 要

暴雨洪涝灾害的影响,对不同的地区,程度会不一样。这与各地区的经济发展程度及经济结构状况有密切关系。本文以安徽和江苏两省经济结构的差别与 1991 年江淮及长江中下游地区暴雨洪涝灾害对两省的社会经济的影响为例,揭示了不同社会经济结构与暴雨洪涝灾害损失程度的关系。

关键词:暴雨洪涝灾害 经济结构 后效效应

1 引 言

我国是世界上灾害最严重的少数国家之一。每年都有大大小小的各种自然灾害发生,对人民生活及国民经济产生了严重的负面影响。在每年发生的各种大小灾害中,暴雨洪涝灾害是影响我国的最常见、最严重的自然灾害,尤其是处于东亚季风活动影响的我国大陆东部地区。而长江、淮河流域受季风气候下的梅雨期大范围强降水的影响,常常发生暴雨洪涝灾害,这种灾害对该地区经济的影响严重,尤其是对农业生产的阻碍作用极为明显。从直接经济损失来看,进入 90 年代以来,由水灾造成的比重很大,重大洪涝灾害年则更大。如:1994 年全国因水灾造成 661.74 亿元人民币的经济损失,而该年因各种灾害所造成的直接经济损失为 1876 亿元,水灾占的比重为 35.27%^[1]。1991 年因水灾造成 779.08 亿元的损失,因各种自然灾害所造成的损失为 1216 亿元^[1],水灾占到 64.1%。1998 年同 1991 年一样,全国水患严重,因水灾造成 2550.9 亿元的损失,当年全国因各种灾害所造成的损失为 3007.4 亿元^[2],水灾约占 85%。可以说,90 年代初以后,暴雨洪涝灾害已成为影响我国经济发展的重大灾种,必须引起我们的高度重视。

暴雨洪涝灾害的影响,对不同的地区,程度会不一样。这一方面是由于灾害发生的范围与强度有所差别,另一方面则是由于各地自然地理条件的差异所造成的,同时它还与不同地区本身的社会经济情况、人口分布状况、工农业的发展状况有密切关系。同等强度范围的暴雨洪涝在不同的地区所造成的灾害损失大小不一样,灾害所造成的后效效应(即灾害发生后对灾区社会经济和人民生活所造成的一年以上的长时间的影响)对经济和生产的影响不一样,灾后恢复

① 初稿时间 2000 年 9 月 1 日,修改稿时间 2000 年 10 月 16 日。

② 本研究工作受中国科学院重大项目 KZ951-B1-402 的支持。

能力和恢复速度不一样。这与各地区的经济发展程度及经济结构有关,也与各地的抗灾能力有关。对于暴雨洪涝灾害来讲,农业比工业易损度要大,经济发达地区比不发达地区的易损度要低。这里所谓的“易损度”,是指人员和财产面临各种自然灾害可能遭受损害的程度,它主要包括有形物质的易损度、社会的易损度、经济的易损度^[3]。

本文以安徽和江苏两省为例,着重分析1991年江淮及长江中下游地区暴雨洪涝灾害对社会经济的影响与两省经济结构差别的关系。

2 1991年暴雨洪涝灾害发生的范围和强度

冯强、王昂生^[4]和丁一汇^[5]等人的工作曾说明暴雨洪涝灾害的影响与灾害发生的范围、落区及强度有关。例如,1991年的梅雨暴雨在暴雨范围、落区和降水强度等方面都存在一种季节内振荡的现象,相应地,暴雨洪涝灾害的损失程度也发生季节内变化^[4,5]。有分析表明,1991年梅雨期间安徽、江苏两省均处于降水最大中心,而主雨带在江淮间较稳定^[5]。然而1991年梅雨期间安徽、江苏两省各地的降水是不均匀的。为比较两省在灾害发生过程中的降水强度,分别选取两省降水较大的测站各8个,计算它们在暴雨洪涝期间降水量的总累计值,安徽为6374mm,江苏为6235mm,大致可以认为1991年两省暴雨洪涝灾害发生的强度是相当的。

3 安徽省与江苏省的经济结构比较

3.1 社会总产值的构成

这里以1992年国家公布的1991年的“统计年鉴”资料为准^[6]。表1、表2分别为1991年安徽、江苏两省社会总产值和国民收入的构成情况。从表中可以看出,安徽省经济构成中农业比重比江苏省高很多,而工业所占的比例比江苏要低很多。江苏省的人口构成为:农业人口占总人口的78.8%;非农业人口占21.2%;安徽省的人口构成是:农业人口占84.7%;非农业人口占15.3%。安徽省从事农业生产的人口比例比江苏高出5.9个百分点。这表明安徽是个农业大省,江苏省的工业比较发达,其产值在经济结构中所占的比重大大高于农业。这样,江苏的抗灾能力应强于安徽省,因为农业对旱涝的易损度大大高于工业,加上工业产生的产值高,对当地的经济实力的增强有明显的潜在优势。而一般而言,经济实力强的地区抗灾能力较强。

表1 1991安徽省的社会总产值及国民收入的构成比例

项目	工业	农业	商业	运输业	建筑业
社会总产值	58%	25%	5%	3%	9%
国民收入	48%	37%	5%	3%	7%

表2 1991江苏省的社会总产值及国民收入的构成比例

项目	工业	农业	商业	运输业	建筑业
社会总产值	73%	14%	4%	3%	6%
国民收入	56%	27%	7%	4%	6%

3.2 工农业产值的空间分布

再来看两省工农业产值的空间分布情况。表 3 及表 4 分别为安徽、江苏两省每平方公里的工农业总产值和人口密度分布情况。从表中可以看出:(1)江苏省单位面积的工农业产值大大高于安徽省;(2)对江苏省而言,沿江地区及江南地区的单位面积产值要高于其它地区,而苏北却较低;(3)对安徽省而言,沿江地区及淮河流域的单位面积的产值较高,其它地区较低。然而 1991 年的洪涝灾害就发生在江苏的苏南地区和苏北地区,这些地区单位面积产值较高。而 1991 年梅雨期的严重洪涝灾害也正好发生在安徽省的单位面积的产值相对较高地区,使得灾害损失较重。

表 3 安徽省每平方公里的工农业总产值和人口的分布情况

区别	工农业产值/土地面积 (万元/km ²)	人口密度 (人/km ²)
安徽省	77.9	413
合肥市	170.8	531
芜湖市	219.4	616
蚌埠市	121.5	519
淮南市	282.0	864
马鞍山市	375.8	635
淮北市	158.2	602
铜陵市	311.0	552
安庆市	68.4	373
黄山市	26.7	146
阜阳地区	73.7	696
宿县地区	69.7	552

表 4 江苏省每平方公里的工农业总产值和人口的分布情况

区别	工农业产值/土地面积 (万元/km ²)	人口密度 (人/km ²)
江苏省	364.8	667
南京市	600.6	777
无锡市	1228.2	906
徐州市	195.6	669
常州市	255.2	747
苏州市	846.5	665
南通市	411.0	973
连云港市	144.9	547
淮阴市	107.8	513
盐城市	163.0	519
扬州市	341.2	748
镇江市	497.6	674

由于灾害的发生对人民群众的生活会造成破坏作用,那么灾区的人口密度情况可以反映遭受灾害影响的人口数量。这是评估灾害的一个重要方面。灾区人口密度越小,受灾人口越少,灾害的损失相对要轻,否则相反。从表 3 和表 4 中可以发现,安徽、江苏两省的沿江地区,江淮之间地区及江南地区人口密度最大,而这些地区也大多处于重灾状态,使受灾人口数量庞大。

3.3 乡镇企业

两省农村乡镇企业的情况见表 5。从中可以看出,安徽省的企业个数要比江苏省多一些,但其容纳的就业人数却几乎只为江苏省就业人数一半多一点,而总产值和总收入几乎只到江苏的 1/4 强。这说明安徽的乡镇企业规模一般较小,产值较低。

表 5 安徽、江苏两省的乡镇企业情况比较

省别	企业个数(个)	就业人数(人)	总产值(万元)	总收入(万元)
安徽省	848,505	4,765,453	3,757,497	3,550,121
江苏省	828,320	8,655,651	16,642,632	13,696,710

3.4 农民人均收入

安徽省是农业型大省,江苏省为工业型大省。江苏省的经济结构要优于安徽省。表 6 为

1991年江苏、安徽两省不同农民人均收入水平按县分组的情况。从表6可以看到,安徽省农民年均收入低于400元的共有27个县,而江苏只有1个;低于300元的安徽有17个县,江苏一个也没有;高于1000元的江苏共有22个县,而安徽却一个也没有;安徽省绝大多数县的农民年平均收入水平在700元以下,超过700元的只有4个县。江苏省绝大多数县的农民年平均收入水平在500元以上,低于500元的只有6个县。由此可以确定安徽省农民的易损度较大,抗灾能力弱;而江苏省农民的易损度相对较小,抗灾能力强。目前在我国,平均而言农民的年经济收入普遍低于城镇职工的年均经济收入很多,农民往往只能靠天吃饭,故相比较而言,农民的易损度较大。同样的道理,农业人口比例高的安徽省相对于暴雨洪涝灾害的易损度比江苏省要大。

表6 1991年江苏、安徽两省不同农民人均收入所占县数

省别	≤200元	200~300元	300~400元	400~500元	500~600元	600~700元	700~800元	800~1000元	>1000元
江苏	0	0	1	5	15	15	13	19	22
安徽	7	10	10	28	14	9	3	1	0

4 1991年暴雨洪涝灾害对江苏、安徽两省经济的影响

上面对江苏、安徽两省的经济结构、经济水平状况等作了比较分析,并在此基础上对两省的潜在抗灾能力和易损度作了评估。有关易损度的问题本身比较复杂,它应包括许多方面的因素,且难以量化及给出一个具体的指标体系,前文中只从经济角度定性地讨论了其易损度的相对强弱。本小节将阐明暴雨洪涝灾害对具有不同的社会经济条件地区的影响问题,仍然以1991年梅雨期的暴雨洪涝灾害对安徽和江苏两省的经济影响分析为例来对该问题进行阐述。这里既要讨论灾害的直接影响问题,也要讨论灾害的后效效应问题,即灾害对经济的相对长时间的影响问题。

4.1 直接影响

1991年的暴雨洪涝灾害在江苏、安徽造成了重大损失,严重破坏了两省灾区人民的正常生活和灾区的社会经济建设,造成了巨大的物资消耗和庞大的受灾人口及大量的人员伤亡。据统计^[1,7,8],1991年洪涝灾害对两省的直接影响如表7所示。从表7中可以看出,两省因灾所受的损失十分严重。而安徽省的灾情更为严重,尤其是农业灾害,比江苏省的受灾面积大362.2多万公顷,而直接经济损失也比江苏省多近20亿元。这说明安徽省作为农业大省对暴雨洪涝灾害的易损度的确较大,也揭示出暴雨洪涝灾害对农业的影响最为严重。江苏省尽管农业受灾面积比安徽省小得多,但其直接经济损失却与安徽省差不多。徐乃璋^[9]的研究发现,灾害损失大小直接与灾区的单位面积产值有关。从表3、表4可以清楚地看到,1991年安徽省的单位面积工农业总产值为77.9万元/km²,而江苏省的单位面积工农业总产值为364.8万元/km²,远远高于安徽省,这进一步说明了灾区的直接经济损失与灾区的单位面积产值有关。当然,从总的趋势来看,暴雨灾害严重的地方灾害损失较大,然而,这种相关关系是比较复杂的非线性关系,其原因是暴雨降水的时空不均匀性^[4]、各省和省内各地区之间社会经济不平衡及其自然条件的不同等诸多因素的综合影响。

表 7 1991 年安徽、江苏两省的暴雨洪涝灾害损失

省别	受灾面积(万公顷)	倒塌房屋(万间)	死亡人口(人)	直接经济损失(亿元)
安徽省	942.53	≥23.8	695	275.0
江苏省	580.33	58.4	350	254.8

4.2 长期影响(后效效应)

暴雨洪涝灾害的发生无疑会对灾区的经济发展带来负面影响,即洪涝灾害对社会经济的长时间的影响,即灾害的后效效应。下面就国家公布的 1991 年安徽、江苏两省的社会经济数据作些统计分析。

图 1 为 1991 年江苏、安徽两省工农业总产值及其构成比 1990 年的增长率^[6]。从这张图中可以看出,两省的工农业总产值及工业产值是增加的,而且工业产值增长的速率两省均很接近。但是两省的农业产值都是下降的,且农业产值的负增长率的绝对值安徽近乎为江苏的 13 倍。看来农业对洪涝灾害更为敏感,安徽省为农业大省,其对洪涝灾害的易损度较大是有根据的。为进一步弄清这个问题,我们又分析了 1991 年安徽、江苏两省的粮食产量和国民收入^[10,11]与 1990 年相比的变化情况,并作了统计对比分析,结果见表 8 和图 2。从这两张图表中可知,两省的粮食产量都比 1990 年减产,其中安徽省减产幅度较大,达到 30.11%,而江苏只减产 7%,若考虑前几年的时间序列中粮食的增产率,则粮食的减产幅度应更大。从国民收入上来看,江苏增长了 9.78%,安徽省下降了 2.44%。从国民收入的构成成分来看,两省的工业收入均以大于 13% 的速率增长,而农业收入两省都呈负增长状态,安徽省的降幅达 22.32%,江苏降幅较小,只有 2.53%。这说明农业对暴雨洪涝灾害的易损度较大,工业则对它的易损度较小。

表 9 为安徽、江苏两省 1986~1992 年工业总产值的增长速度与这几年的平均增长速度的差值^[6],从中可以看出 1989~1991 年两省的增长率差值很小或为负值,表明增长速度放慢。这其中的原因除了当时的社会政治和经济等环境因素的影响外,也与 1988 年的重大旱灾和 1991 年的特大水灾的发生所产生消极影响有关。徐乃璋等^[12]的相关研究表明,建国以来重大的水旱灾害对我国

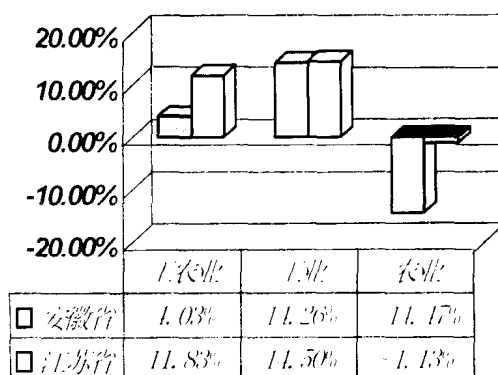


图 1 1991 年安徽、江苏两省工农业总产值及其构成比 1990 年的增长率

表 8 1991 年安徽、江苏两省国民收入及其构成比 1990 年的增长率

	国民收入	工业	农业
安徽省	-2.44%	13.65%	-22.32%
江苏省	9.78%	15.37%	-2.53%

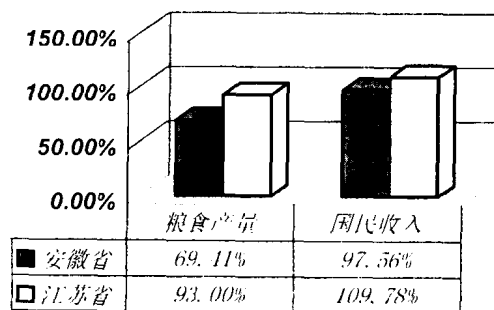


图 2 1991 年安徽、江苏两省粮食产量和国民收入与上年(1990 年)之比

农业的影响最大,它使当年粮食产量大幅度减产,相应地也会使我国或灾区1~3年内工业发展的速度减慢。这表明灾害对社会经济带来的间接损失(长期影响或所谓后效效应)表现在大灾之后的1~2年等长时间的经济发展速度和产值的增长率方面。其中农业较为明显,反映在当年;工业反映较不明显,反映在第1~2年的产值增长速率会减小。这其中的原因,可能是因为在经济活动中,第一产业、第二、三产业间是互动的、相互关联的、产业间的调整是有一定周期的。

表9 安徽、江苏两省1986~1992年工业总产值的增长速度与平均增长速度的差值

省别	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	平均增长速度
安徽	-3.4%	1.3%	10.8%	0.7%	-13.6%	-6.1%	10.0%	20.4%
江苏	-5.4%	4.2%	10.8%	-8.1%	-14.4%	-10.2%	23.2%	24.6%

大灾之后,为抗灾与恢复重建要消耗大量的人力物力,且不得不把原来计划用于发展生产和开发新资源的资金拿来抗灾救灾和恢复重建,这客观上会阻滞灾区社会经济的发展速度。

5 小 结

通过以上几个小节的分析讨论,可以得到以下几个结论:

(1)暴雨洪涝灾害的损失程度不仅与暴雨洪涝发生的范围、落区及强度有关,而且还与不同地区本身的经济结构有着密切的联系。经济密度大的地区直接经济损失较大,但灾中抗灾能力及灾后恢复能力较强;经济密度小的地区直接经济损失相对较小,但灾中抗灾能力及灾后恢复能力较弱。农业型省份或地区对洪涝灾害的易损度较大,工业发达的省份或地区的抗灾能力较强。

(2)暴雨洪涝灾害不仅在发生过程中对灾区人民的生命财产造成直接损失,而且灾后仍然对社会经济产生较长期的影响,即灾害具有后效效应。农业最易遭到暴雨洪涝灾害的破坏,而且其对暴雨洪涝灾害的后效效应反映最为明显。

(3)乡镇企业发达的农村地区农民的抗灾能力较强,反之,乡镇企业不发达地区的这种能力较弱。这主要是因为乡镇企业的多少影响到农民的经济收入水平。

(4)社会经济的发展使单位面积的产值增加,也使得人民群众的经济收入增加。这一方面使得某地区在遭受灾害时损失大大增加的可能性增大,更重要的是它能使该地区及人民群众的抗灾能力增强,有利于减轻灾害的影响程度,加快灾后的恢复速度。

(5)我国是个农业大国,农民占全国人口的80%。而由于农业和从事农业生产的农民相对而言对暴雨洪涝灾害的易损度较大,故在制订国家发展规划和减灾策略时,应注意致力于采取有效的措施保护农业生产,尽可能增强农业防灾减灾能力,同时也应致力于帮助广大农民脱贫致富、发展生产、增加经济收入,以提高应付灾害的经济能力。这将有利于我国经济的良性发展,也有利于社会的稳定。

参考文献

- 1 中华人民共和国国家统计局、中华人民共和国民政部编. 中国灾情报告(1949~1995). 北京:中国统计出

- 版社,1995
- 2 民政部救灾救济司救灾处. 1998 年中国的灾情核定和救灾工作情况. 中国减灾, 1998, 9(1): 1~3
 - 3 范宝俊. 中国自然灾害与灾害管理. 哈尔滨: 黑龙江教育出版社, 1998, 68~69
 - 4 冯强、王昂生等. 我国降水的时空变化与暴雨洪涝灾害. 自然灾害学报, 1998, 7(1): 87~93
 - 5 丁一汇. 1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京: 气象出版社, 1993, 1~27, 208~223
 - 6 中华人民共和国国家统计局编. 中国统计年鉴(1992). 北京: 中国统计出版社, 1992
 - 7 陈洪玲. 1991 年 1~6 月灾情信息. 中国减灾, 1991, 1(3): 43~50
 - 8 陈洪玲. 1991 年 7~9 月灾情信息. 中国减灾, 1992, 2(1): 43~50
 - 9 徐乃璋、郑双治等. 为减灾服务的洪涝灾害等级判别. 台风、暴雨预报报警服务系统和减灾研究. 北京: 气象出版社, 1996, 306~309
 - 10 江苏省统计局编. 江苏统计年鉴(1992). 北京: 中国统计出版社, 1992
 - 11 安徽省统计局编. 安徽统计年鉴(1992). 北京: 中国统计出版社, 1992
 - 12 徐乃璋. 白婉茹. 水旱灾害对我国农业及社会经济发展的影响. (待发表)

THE DIFFERENT RESPONSES OF REGIONS WITH VARIOUS ECONOMIC STRUCTURE TO HEAVY-RAIN AND FLOOD

FENG Qiang (冯 强)

(Institute of Remote Sensing Application, CAS, Beijing 100101)

TAO Shiyao (陶诗言), *WANG Angsheng* (王昂生),

LI Jishun (李吉顺) and *XU Naizhang* (徐乃璋)

(Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029)

Abstract

Regions with various economic structure have different responses to the heavy-rain and flood disaster, which is closely related to the situation of the economic development and economic structure in these regions. On the base of analyses of the heavy-rain and flood's influence on Jiangsu Province and Anhui Province in 1991, this paper illustrates the relevancy between the economic structure and the damage caused by heavy-rain and flood in disaster-affected areas.

Key words: heavy-rain and flood disaster, economic structure, aftereffect

中尺度地形对大气铅直运动和强降水的影响^①

胡伯威

(武汉暴雨研究所, 武汉 430074)

摘 要

本文概略地综述关于地形(特别是中尺度地形)强迫大气扰动的一些经典工作,它们都是由简化的理想情况引出的一些基本物理概念和原理。但这些知识有助于我们科学地去思考和解释那些更具体复杂的现象。文中还着重对地形扰动中的铅直运动作了一些定性推论和讨论,因为它对强降水的触发、加强和持续有直接影响。此外还联系到长江流域的一些有关的观测现象和问题。

关键词: 中尺度地形 铅直运动 强降水

1 引 言

从各种降水气候分布(长年和季节的平均雨量、强降水频数等)图上都可以发现降水与地形有着极为明显的关系。地形以种种方式影响着一次次具体的降水天气过程,从而影响到降水的气候分布。其中给人印象特别深刻的是迄今数十年来发生在国内外的一些特大的灾害性暴雨过程的最强降水区都是连续几小时到十几小时执着地滞留在一个明显具有特殊地形背景的地方,很少有例外。这个事实至少说明地形对特大暴雨中的雨强分布有着决定性的影响。甚至还可以说如果没有特殊的地形影响,则这些暴雨过程不可能达到如此突出的强度。因此在暴雨的预报中,地形作用是必须考虑的一个重要因素。

从全面的观点看,地形对大气的影响是一个很复杂的过程。其中不同尺度的地形因素对降水有着不同性质不同方式的作用。像青藏高原和美洲西部地脊这样的行星大地形影响着大尺度环流特点、长波活动、气团分界、水汽及其流动的宏观分布等,从而间接影响着降水气候和降水系统活动背景。另一方面,近年的气象文献中出现了“中尺度地形”这个提法。其含义大体就是水平范围相当于中尺度天气系统那样的地形起伏。地形和大气扰动一样可以在大范围起伏上叠加着水平尺度较小的次级起伏以及更小的峰峦沟壑。像太行山、长白山、大别山、武夷山、台湾中央山脉等都是突出在相对低平的环境中的中尺度山脉。而在我国大地形第一梯级青藏高原上横亘竖列着若干陡峻的中尺度山脉。第二梯级的内蒙古高原、黄土高原东侧—陕南、川东、鄂西、云贵山地高原等也是由诸多中尺度山脉组成。因此在对大气运动和大气降水的影响方面也同时具有大尺度的因素和中尺度的因素。对一次具体的降水天气过程而言,中尺度地形的影响往往是主要的和直接的。

地形对降水影响的复杂性还在于它的作用是多样和多方面的,而且与大气扰动本身的结构和运动有着各种相互的、连锁的关系。但是可能其中最重要的是通过直接和间接的强迫,影

^① 初稿时间 2000 年 1 月 19 日,修改稿时间 2000 年 7 月 10 日。

响大气的铅直运动,从而导致降水的触发、加强和持续等。

从事天气分析预报的气象工作者常用诸如迎风坡抬升、喇叭口集束涌升,山地—平原热力环流等容易直观设想的过程来解释一部分地形影响降水的观测事例。但是有许多事实往往比能够直观推测的结果复杂得多。这就需要对地形影响铅直运动的机理有更深入和全面的了解。

美国的国土面积和所处纬度都与我国相近,而那里的地表相对说来比我国简单,绝大部分是或多或少近于南北向的较为直、长的山脉;地形影响大气扰动的几类基本现象都表现得比较典型。从40年代中、后期开始就有关于简单地形扰动的有意思的动力学工作。1947年Queney^[1]首先讨论了均匀层结气流过山的二维线性问题;揭示了气流定常扰动状态与动力学参数 Ro 、 Fr 、 $C(NH/(fL))$ 等的关系。1949年Scorer^[2]用线性解析方法给出了关于山脉背风波动的一系列基本性质和规律;1954年Benjamin^[3]等讨论了浅水流过障碍的问题,后来70年代初Benjamin^[4]和McIntyre^[5]用弱的非线性理论方法研究了连续的层结大气越过山脉的情况,成功地得出了山脉下游的山波和上游的回涌(upstream Surge)现象。80年代中期,Pierrehumbert用解析^[6]和数值^[7]的方法比较系统地研究了山脉阻挡的上游效应。上游效应与降水的关系最为密切,因此这个工作特别重要。背风气旋的产生也是地形影响大气扰动的一个重要方面。Queney关于二维过山气流的线性动力学工作在科氏力变得重要的参数空间出现的下游水平扰动暗示了背风气旋产生的部分机制。80年代中期以来,在斜压动力学、位涡动力学和中尺度动力学进一步发展的基础上,过山气流受地形影响的理论研究更加深入。揭示了各种条件下地形扰动的各种模态及其耦合的效应,对坡风和背风气旋产生都作了更好的解释^[8~20]。实际问题往往复杂得多。它涉及到较强的非线性、大气原来结构的非均匀、触发降水后潜热的反馈作用以及也是与地形有关的云物理过程的参与等。所以后来的工作更多地采用数值模拟的方法。特别是近年在中尺度数值模拟方面做得愈来愈细致深入。例如1997年Nair^[21]等用CSU的RAMS模式模拟了1972年6月9~10日黑山(Black Hill)的强对流暴雨。最细的内层格距达到1km,可以很清楚地模拟出强的对流云的演变。我国近年也开始出现关于地形影响降水的中尺度数值模拟,例如崔波等^[22]1997年用NCAR-PSU的MM5模拟了北京延庆地区的一次暴雨过程,内层格距细到5km,正确地模拟出了因地形影响形成的小气旋,它是触发这次暴雨的直接原因。

本文不打算全面综述在这个标题覆盖领域内的工作,而是着重介绍由一些经典的二维动力学和理想数值实验中得到的关于地形强迫扰动的基本物理概念和基本规律,并补充一些关于铅直运动的推论和讨论。希望给实际天气分析工作者去思考和解释有关中尺度地形影响强降水的更为具体、复杂的观测事实和数值模拟结果提供一些比较科学的基本知识要素。

2 动力学理论方法

经典的工作都是把基本气流结构和地形简单化、模型化。

2.1 控制方程

一般都是不可压缩的;多数是准静力的,也有半静力或非静力的;多为二维模式;下边界条件多为平直的无限长的山脉。

2.2 基本气流状态(或初始状态)

最简单的是水平方向和铅直方向都均匀一致的与山脉直交的气流。层结(浮力频率)也均匀一致。也可以把大气分成两层或两层以上,其中每一层内的风速和层结取常数。或者是连续的铅直切变(斜压)气流。

2.3 地形

在数学上最简单的是沿基本气流方向呈简谐波状起伏至无穷范围的地形。这虽然不符合实际情况,但得到的一些基本结果还是具有代表意义的。

比较接近实际的是能够用一个简单解析函数描述的孤立山脉。例如“钟形地形”,即 $h(x) = h_0 a^2 / (a^2 + x^2)$ 和“高斯地形” $h(x) = h_0 \exp(-x^2/L^2)$ 。其中常数 a 和 L 为山脉宽度的特征值。这种地形在 x 方向是对称的。还可以设置上下游坡度不同的简单非对称地形。

2.4 问题类型

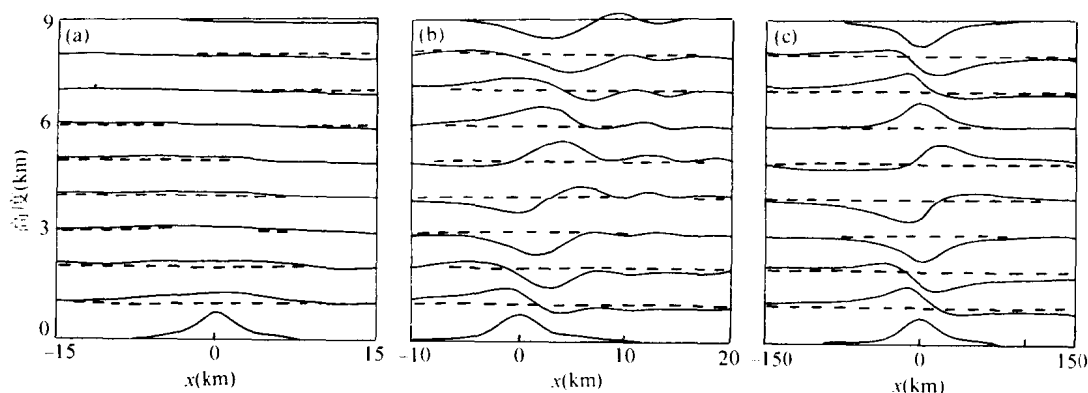
一种是定常扰动状态,即基本气流控制下的小扰动边值问题。另一种是基本气流出现后在山脉作用下随时间变化的动态情况,即初值一边值问题。这一般都是用数值解,其优点除了能揭示变化过程外,还可以研究较强的非线性情况、实际的高山情况。

3 山波

山波指的是气流越过山脉时在背风坡或它的下游出现的铅直平面上的波动,一般的小振幅的波动可以导致平行于山脉的孤立云带或多条平行云带构成的云区。强烈的大振幅山波可导致强烈的下沉运动和大风,称为坡风。在美国落基山东侧观测到的最强坡风风速达到 60m/s,气流起落的深度达到 6500m,大大超过山脊的高度,说明山波并不是限于近坡面的现象。强烈扰动伸展到对流层上部。

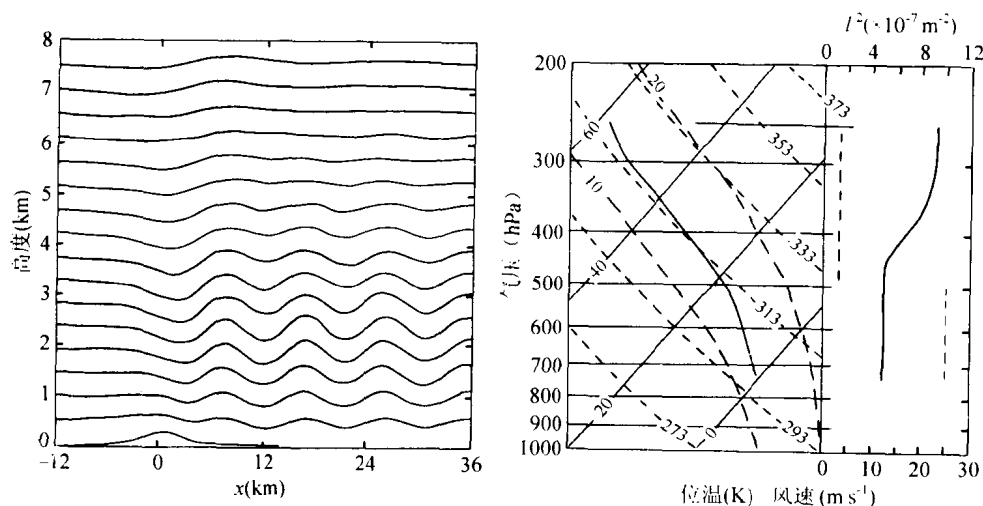
这里先介绍 Qeuney^[23]和 Smith^[24]的简单线性分析的结果。山波是由地形对气流的机械强迫引起的重力波,它(以及相应的地形起伏)的水平尺度小到可以忽略地转偏向力的作用。假设基本越山气流的层结稳定度 N (浮力频率)和风速 U 在铅直方向是均匀的。山脉横断面轮廓可用 $h(x) = h_0 a^2 / (a^2 + x^2)$ 表示。 h_0 为山顶高度, a 为山顶至半山坡的距离。为简单起见,假定山高 h_0 相对于被扰动大气的厚度很小,近似地可使下边界条件线性化。图 1 是三种不同情况下定常状态的解。三种情况分别是 $a^{-1} \gg l$, $a^{-1} = l$ 和 $a^{-1} \ll l$ 。 $l = N/U$ 称为 Scorer 参数。扰动的基本特点取决于层结稳定度、基本风速和山脉的宽度。实际上山的高度也有重要影响,但是它在线性近似解中反映不出来。图 1a 是山脉很窄或者稳定度小、风速大的情况。流线位相随高度不变,扰动高度随高度减弱。在山顶附近流线挤度大、风速大。

图 1c 是山脉较宽(但在 $a \ll U/f$, 即 Rossby 数很大的限度内)或者稳定度大、风速小的情况,流线扰动随高度向上游倾斜,到一定高度后重复出现形如低层的扰动,即有垂直方向的周期性变化(铅直波)。流线扰动向上游倾斜表明,下沉气流区的风速大于上升气流区的风速。由此可以看到下坡大风的苗头。但在山脉不够高的情况下不会有强的下坡风。图 1b 是介于二

图 1 越过孤立钟形山脉的定常气流流线^[23]

[(a) $a^{-1} \gg l$, 窄山; (b) $a^{-1} = l$, 山脉宽度接近 Scorer 参数; (c) $a^{-1} \ll l$, 宽山, 但尚未宽到有显著旋转效应]

者之间的情况。同样存在扰动向上游倾斜和铅直波。与(c)不同的是高空的扰动有些移向下游。此外在山顶扰动的下游出现很弱的水平方向波串。

图 2 Scorer 参数随高度变化的两层结构气流过山情况^[23]

[(a) 定常流线; (b) 与(a)相应的基本气流温度(左)和风速(右)随高度的分布, 具有 Scorer 数的不连续]

如果稳定度 N 和基本风速 U 随高度不均匀, 就能出现其它比较复杂的情况。图 2 表示大气基本状态为一种两层结构下的背风扰动。上层稳定度小; 下层稳定度大; 上层风速大; 下层风速小。总之上层 Scorer 数小; 下层 Scorer 数大。在这种情况下, 下层出现基本上不随高度倾斜的波串。上层则只有随高度迅速减弱的孤波。造成低层水平波串的物理原因是 Scorer 数的不连续形成一个反射面。地形引起的波动能量向上传播到不连续面时不能向上辐射而是反射到下层, 导致能量向下游传播。在波动的每一个脊上可以有云生成。因此在云图上如果看到山脉背风区有若干条平行于山脉的云带则可判断大气有上述形式的两层结构。反之如果只有贴近山脉的一条孤立的、较宽的云带, 表明只有铅直方向的波动, 因而不存在上述两层结构。在具有

连续铅直切变的斜压气流过山的情况下同样地有能量反射以致出现山脉下游的水平波串。反射面(临界面)在 $U - C$ (C 为波速) 为零的高度上, 这种波也局限在临界层以下(参看图 5 中第一行和第二行。后者是 $Ro = 1$ 的情况, 属于惯性成分显著的重力惯性波, 有明显的沿山脉方向的水平风速扰动, 所以已不是单纯的“山波”。) 纯重力性质的背风上下波动对强降水的意义不大。一方面是因为这种波动中只有下沉气流可能比较强或很强, 但上升气流弱。另一方面是因为背风区水汽含量都比较小。如果原来跨山气流中水汽含量大, 则在山脊的上游已经上升凝结而变干了。山波的突出现象是强烈的下坡风和与之相联系的晴空湍流。肖庆农和伍荣生^[25]的数值实验表明, 形成坡风的有利条件是山高、背风坡陡、越山基流的稳定度大、风速强。显然, 山高坡陡意味着铅直方向大振幅的气流扰动, 具有强的非线性性质。Smith^[11], Durran^[12] 和 Clark^[10] 等都指出非线性作用对有临界层的切变气流过山引起的强烈下坡风非常重要。

4 背风气旋的产生

观测事实表明, 气旋在山脉背风区产生和发展的频度高于一般地区。显见存在某些背风气旋的机制。据目前了解, 它不是单一的。Queney^[1] 由均匀气流过山的线性动力学分析得出一些与背风气旋的产生可能有关的结果。

人们可能最熟悉的一个观点是气流下山时气柱在铅直方向伸长, 水平方向收缩辐合, 因而气旋发展。辐合导致气旋发展是靠科氏力的作用, 所以要实现这种机制必须是在科氏力能够发挥作用的条件下, 即要求作用的山脉有足够的水平尺度, 使 $Ro = U/fL \leq 10^{-1}$ 。线性的位涡守恒方程在有山脉地形的定常条件下可以得到定常解。仍考虑钟形地形 $h(x) = h_0 L^2 / (L^2 + x^2)$ 。

图 3c 就是在 $Ro = 10^{-1}$ 的情况下得出的解。第一行是跨山脉铅直剖面上的流线(也是等位温线)。第二行是地面气压(由于是山脉高度很小的假定下的线性近似, 所以实际上是贴近地面的等高面上的气压)。第三行是近地面水平流线。可以看到铅直扰动的位相随高度不变; 峰在山顶的正上方, 但扰动的强度随高度减弱。由于水平运动是准地转的, 所以水平等压线与流线一致。山顶是明显的反气旋和脊。在上游和下游的山麓处都有弱的气旋性弯曲。更具体地说图 3c 给出的是 $L - NH/f$, 即山脉宽度近乎 Rossby 变形半径(也就是山脉断面规模与天气尺度系统接近)的情况。如果 $L \gg NH/f$, 即行星尺度地形情况下, 扰动的强度随高度保持不变, 而且整个流线均呈反气旋弯曲, 不出现扭转点和气旋性曲率。因此行星尺度地形对西风带的机械作用无法解释准定常大洋槽的存在。若 $L \ll NH/f$, 流线基本特征仍类似图 3c。山脉西侧近地面的气旋性曲率更明显些, 但扰动随高度迅速减弱。

图 3a 是 $Ro = \infty$ 的情况, 实际上就是忽略科氏力得到的解。地面有气压扰动, 但流线在水平方向无弯曲。铅直剖面上的流线与图 1c 一致, 即水平方向孤立的山波。对照图 1、图 3 两组结果可以看出, 出现强的下坡风的更确切的条件是 $1/N \ll L/U \ll 1/f$ 。即气流过山的时间尺度远大于重力波周期但远小于惯性波周期。只要 N 比 f 约大两个量级(这属于常见范围), 则在基流风速与山脉宽度适当的数量比情况下, 上述条件可以得到满足。

$Ro \sim 1$ 的情况下无法得到解析解。图 3b 是由数值方法和渐近方法得到的结果。 $Ro \sim 1$ 意味着山脉高度接近惯性波长。可以看到, 铅直方向的扰动有些像图 3a ($Ro = \infty$) 的情况, 但不同的是扰动随高度减弱, 水平扰动的最大反气旋弯曲出现在山脊下游约 $1/4$ 惯性波长处。而在

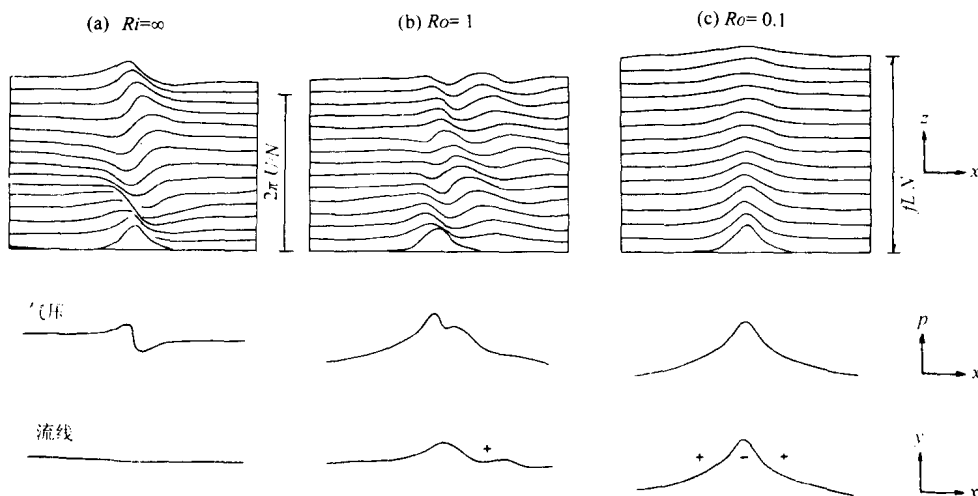


图3 在 $Ro = \infty$, $Ro = 1$ 和 $Ro = 0.1$ 情况下的越山定常气流^[1]

(自上而下第一行为流线在铅直剖面上的投影,它也是等位温线;第二行为用一条等压线表示的地面气压扰动;第三行为近地面的水平流线)

山脊下游 $3/4$ 惯性波长的地方有比较弱但还是比较明显的气旋性弯曲。再往下游还有更弱的波动,这种波动基本上是惯性波,与气压场并不配合。总之,在山脉高度与中尺度到天气尺度相当的这个范围内,山脉扰动的定常状态在背风山麓附近可以出现弱的气旋性弯曲。但是这并不足以令人满意地解释实际观测现象中很强的气旋发展。其原因是,虽然气流下坡时气块(气柱)的正涡度有发展,但因为上游系统在上坡时已有负涡度发展,下坡时的正涡度发展只够恰好抵消已有的负涡度(大尺度情况)或者所剩无几(中尺度—天气尺度情况)。

实际情况下大气环流系统中的背景流场是随时间变化的。如果在较短的时间内新出现一支跨越山脉的气流,这时在山顶附近尚未形成反气旋性曲率,尚未进入气流扰动结构与山脉作用平衡的定常状态。在这个调整阶段可以把准地转平直气流中的要素(温、压、风)场分解为两部分。一部分就是上述定常状态,它不随时间而变化。扣除这部分之后余下一个与之补偿的部分应恰好相反。即初始时刻在山顶上有明显的正涡度。在线性问题中,由于在定常部分中已经包含了地形作用(即有山脉的下边界条件),因此时变部分就不包含地形作用,成为纯粹的平流变化。于是有一个正涡度区(槽)从山顶随时间移向背风区。

对于大型山系如落基山整体的背风气旋产生,观测研究主要揭示了两种情况:一种是已有的天气尺度气旋过山,上山时气旋(槽)一度被负涡度发展所掩盖;下山时又因正涡度发展而重现。但是如果没有其它发展因素,则山的影响并不能使过山前已有的气旋在过山后变得更强。另一种是大型槽(或气旋)过山时山脉中段由槽前偏南风迅速转为槽底的西风(图4)。即出现一支瞬变的越山气流。这样,在前面所述机制下,背风区逐渐出现气旋。

关于中尺度高山,例如欧洲的阿尔卑斯山的背风气旋的产生问题,虽然观测研究和理论研究都比较多,但是还没有一个比较好的动力学解释。这种山脉对低层气流有阻塞作用,这一点可能与背风气旋的发展有重要关系。例如通过影响平流(涡度平流和温度平流)的铅直梯度而造成局部的斜压波不稳定^[10]。由于具体情况多种多样,这种影响也是复杂而多样的。比较容易

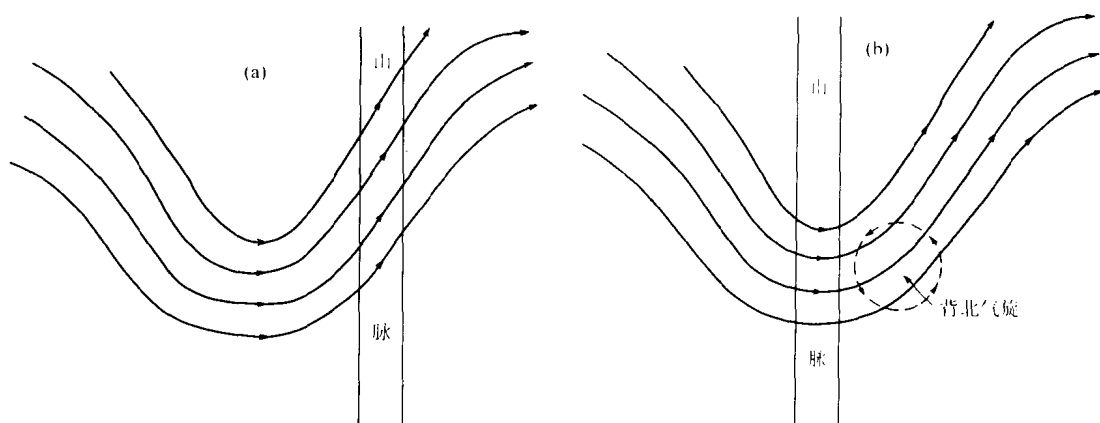


图4 大槽移向山脉变化过程示意图(作者根据 Melain^[26]的个例研究简绘)

[(a) 山脉在槽前偏南风区;(b) 山脉在槽线附近,西风正对山脉,产生背风气旋(虚线)]

设想出直观物理图象的一种情况是冷锋受阻于阿尔卑斯山,低层冷空气在迎风一侧受阻堆积而形成近地面高压;背风一侧则形成低压。经过一段时间的地转适应调整产生背风气旋。

后来的研究表明,地形强迫的斜压波也许能够更好地解释背风气旋的产生。Smith^[13]用相当准地转位涡方程研究铅直逆切变气流(风速随高度减小以至逆向)过山时的背风气旋生成,得到一种斜压背风波,具有共振波长 $L^* = 2\pi NH/f$ (H 为风向逆转的高度)。他把斜压背风驻波第一个槽的形成当作背风气旋生成。而在气旋产生后,斜压背景支持一个非留驻的斜压波。所以他认为背风气旋是地形强迫在初阶段的产物,而不是一种触发的不稳定过程。Lin 等^[16]的非线性数值模式解表明 Smith 的理论至少在气旋生成初阶段是正确的。Bannon 等^[15]用一个半地转模式研究气流过山的初值问题。在山脉低矮的情况下得到的结果与 Smith 一致。但在山脉高的情况下得到的斜压背风槽更窄更强。这说明对于高的山脉,非地转效应很重要。

Wurtele 等^[18]和 Shen 等^[19]新近的工作更揭示了各种参数条件下山脉背风扰动的各种不同的模式。图5是 Shen 等对逆切变过山气流数值解在参数 Ro (Rossby 数)和 Ri (Richardson 数)的各种不同组合情况下的铅直运动剖面图。图中最下面的一行是 $Ro = 0.2$ 的情况,即天气尺度山脉扰动的情况。扰动位相竖直,其中“ m ”位于第一列,即 $Ri = 1$,是斜压不稳定的情况,图中给出的不是准定常态,从“ n ”到“ p ”,波长随 Ri (实际上随 N) 的增大而增大,数值接近 $2\pi NH/f$,这就是 Smith 的斜压背风波。波长都接近和超过 2000km。图中第二行和第三行分别为 $Ro = 1$ 和 $R = 0.6$,即本文更关心的中尺度山脉的情况。其中在“ e, i, j ”($Ro = 1, Ri = 1$; $Ro = 0.6, Ri = 1$ 和 $Ro = 0.6, Ri = 6.25$),即层结稳定度小或者山脉较宽,层结稳定度中等的情况下也有明显的斜压背风波。在“ e ”或“ i ”($Ri = 1$)中,下游第一个上升运动中心距山顶约 1500km。此文设山高仅为 250m,若山高增加到一般中尺度山脉的 1000m,则如 Bannon^[15]等指出的,由于强非地转的作用,斜压背风波的波长应该显著缩短而接近中尺度。在“ j ”中虽然由于 Ri 大(N 大),斜压背风波的波长更长。但可以看到,在背风山脚附近低层还有一个近于竖直的惯性重力波的上升运动中心。此外,在“ f, g, h ”和“ k, l ”中已经没有明显的斜压背风波,但在惯性临界层(又称 Jones 临界层或 Rossby 奇异层)之下,离山不太远的下游存在位相比较竖直的惯性重力波,它的水平波长接近 $2\pi U/f$,即惯性波长。这与 Queney^[1]关于 $Ro \sim 1$ 情况下均