

青藏高原及其邻近地区几类天气系统的研究

青藏高原及其邻近地区 几类天气系统的研究

罗四维 等著

气象出版社

气象出版社

前 言

青藏高原夏季 500 hPa 低涡、高原东侧我国西南地区的低涡以及寒潮和寒潮高压是我国众所周知的重要天气系统，高原地区的天气分析方法是经常遇到的难题。在这些方面过去广大气象研究人员和预报员作了大量的研究工作，并取得了丰硕的成果，但认识总是不断发展的，只有通过进一步研究才能加深认识，有所发现有所提高。作者在过去研究工作基础上，对上述四个问题进行了较深入的研究。本书相当多的内容是尚未发表过的，部分内容已在有关刊物上发表。本书是这些研究的系统概括，希望起抛砖引玉的作用，若能对同行有所参考和启发作者将甚为欣慰。

本书共分六章，第一章绪论，第二章高原低涡，第三章西南低涡，第四章寒潮和寒潮高压，第五章高原客观分析，第六章总结。六章全部由罗四维执笔。第二章中 § 2.4 及 § 2.7 的内容基本上由杨洋所完成，何美兰完成该章中其他计算工作。第三章中 § 3.4 及 § 3.5 中的内容主要由刘当勤完成，许宝玉完成了 § 3.1 中的统计工作，该章中数值模拟的计算工作由惠小英完成。第四章中全部数值试验的计算工作由惠小英完成，§ 4.1 及 § 4.2 中的统计工作由许宝玉完成，何美兰也参加了本章中部分统计工作。第五章中 § 5.4 由刘晓东完成，惠小英参加了其中部分计算工作。§ 5.3 由黄敏所完成，§ 5.1 中的统计工作及客观分析计算工作分别由许宝玉及惠小英所完成。

本书承蒙陶诗言研究员及丁一汇研究员审阅了初稿并提出修改意见，作者在此表示衷心感谢。在出版过程中我所《高原气象》编辑部全体同志负责完成了本书的微机输入、初步编辑、排版和制图工作，对她们的辛勤劳动在此表示衷心感谢。

作者 1979 年 4 月 30 日

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 青藏高原及其附近天气系统研究的回顾	(1)
§ 1.2 研究内容和意义	(5)
第二章 夏季青藏高原低涡	(7)
§ 2.1 夏季青藏高原 500 hPa 低涡的天气气候特点	(7)
§ 2.1.1 拉萨协作组分析的高原涡的天气气候特点	(7)
§ 2.1.2 青藏高原气象科学实验期间分析的高原涡天气气候特点	(9)
§ 2.1.3 客观分析高原涡的天气气候特点	(10)
§ 2.1.4 高原涡与环流型的关系	(12)
§ 2.1.5 小结	(13)
§ 2.2 高原低涡的三维结构	(14)
§ 2.2.1 高原低涡的综合结构	(14)
§ 2.2.2 客观分析高原低涡的结构	(18)
§ 2.2.3 小结	(25)
§ 2.3 高原涡区能量转换	(26)
§ 2.3.1 计算方法	(26)
§ 2.3.2 高原涡区能量转换	(27)
§ 2.3.3 小结	(28)
§ 2.4 西槽东脊环流(II)型高原涡的个例分析	(29)
§ 2.4.1 天气过程	(29)
§ 2.4.2 低涡 ζ , ω 及 div 的垂直分布	(31)
§ 2.4.3 低涡内能量水平分布特点	(31)
§ 2.4.4 低涡内能量的垂直分布特点	(34)
§ 2.4.5 低涡内能量转换	(35)
§ 2.4.6 小结	(36)
§ 2.5 平直西风环流(IV)型高原涡的分析研究	(37)
§ 2.5.1 环流与低涡过程	(37)
§ 2.5.2 低涡 ζ 及 ω 的垂直分布	(37)
§ 2.5.3 低涡能量的垂直分布	(38)
§ 2.5.4 低涡区能量转换	(39)
§ 2.5.5 小结	(39)
§ 2.6 北脊南槽环流(I)型高原涡的个例分析	(39)
§ 2.6.1 1979 年 6 月 6—10 日低涡个例分析	(40)

§ 2.6.2	1979 年 6 月 24—26 日低涡个例分析	(44)
§ 2.6.3	1979 年 6 月 25—27 日高原低涡个例分析	(46)
§ 2.6.4	小结	(47)
§ 2.7	高原低涡的数值试验	(47)
§ 2.7.1	中尺度模式及数值模拟设计	(47)
§ 2.7.2	控制试验	(48)
§ 2.7.3	非绝热过程对低涡影响的数值试验	(50)
§ 2.7.4	高原隆起的热力及动力作用对低涡影响的数值试验	(52)
§ 2.7.5	小结	(53)
§ 2.8	本章小结	(53)
第三章	西南低涡	(56)
§ 3.1	天气气候特点	(56)
§ 3.1.1	资料及统计方法	(57)
§ 3.1.2	1 月西南涡的频率分布	(57)
§ 3.1.3	7 月西南涡的频率分布	(58)
§ 3.1.4	4 月及 10 月西南涡的频率分布	(59)
§ 3.2	1 月西南涡个例分析	(60)
§ 3.2.1	强寒潮前的西南涡	(60)
§ 3.2.2	弱寒潮前的西南涡	(63)
§ 3.2.3	小结	(66)
§ 3.3	7 月西南涡个例分析	(67)
§ 3.3.1	西风带小槽引起的低涡	(67)
§ 3.3.2	高原涡东移触发的西南涡	(71)
§ 3.3.3	小结	(75)
§ 3.4	春季西南涡个例分析	(77)
§ 3.4.1	1983 年 5 月 13—15 日强西南涡	(77)
§ 3.4.2	1979 年 4 月 11—12 日弱西南涡	(83)
§ 3.4.3	小结	(86)
§ 3.5	秋季西南涡个例分析	(86)
§ 3.5.1	1979 年 10 月 24—25 日强西南涡	(87)
§ 3.5.2	1979 年 10 月 12—13 日弱西南涡	(94)
§ 3.5.3	小结	(95)
§ 3.6	本章小结	(96)
第四章	寒潮和寒潮高压	(98)
§ 4.1	亚洲冬季地面高压的气候特点	(98)
§ 4.1.1	1 月地面高压的统计分析	(99)
§ 4.1.2	寒潮高压的统计分析	(100)
§ 4.1.3	小结	(104)
§ 4.2	蒙古高压	(104)

§ 4.2.1	850 hPa 上的蒙古高压	(104)
§ 4.2.2	蒙古高压的结构	(106)
§ 4.2.3	蒙古高压形成的原因	(110)
§ 4.2.4	小结	(114)
§ 4.3	兰州高压	(115)
§ 4.3.1	兰州高压的气候特点	(115)
§ 4.3.2	兰州高压的产生原因	(119)
§ 4.3.3	个例分析	(124)
§ 4.3.4	小结	(127)
§ 4.4	一次全国性寒潮的个例分析	(128)
§ 4.4.1	环流形势	(128)
§ 4.4.2	影响系统	(131)
§ 4.4.3	降温与冷平流	(134)
§ 4.4.4	诊断分析——地形槽(脊)的动力结构	(140)
§ 4.4.5	数值试验——高原对地形槽(脊)的影响	(143)
§ 4.4.6	小结	(149)
§ 4.5	一次区域性寒潮的个例分析	(150)
§ 4.5.1	环流形势	(150)
§ 4.5.2	天气过程与影响系统	(151)
§ 4.5.3	影响系统的温压结构	(152)
§ 4.5.4	诊断分析	(154)
§ 4.5.5	数值试验	(156)
§ 4.5.6	小结	(162)
§ 4.6	本章小结	(162)

第五章 青藏高原地区的客观分析	(165)
§ 5.1 青藏高原地区客观分析方法	(165)
§ 5.1.1 订正 FGGEⅢ _b 资料的方法	(165)
§ 5.1.2 订正图与天气图的对比分析	(166)
§ 5.1.3 订正图与青藏高原气象科学实验期间 分析的流线的比较	(169)
§ 5.1.4 订正图与 FGGEⅢ _b 资料的比较	(169)
§ 5.1.5 订正图与历史天气图的比较	(170)
§ 5.1.6 天气系统的地理分布	(171)
§ 5.1.7 小结	(172)
§ 5.2 青藏高原及其附近地区各要素场时空分布特征及其应用	(173)
§ 5.2.1 资料及其统计方法	(173)
§ 5.2.2 统计结果分析	(174)
§ 5.2.3 上述统计特征的应用	(177)
§ 5.2.4 小结	(178)
§ 5.3 青藏高原及其附近地区资料的统计同化方案与试验	(178)
§ 5.3.1 统计同化方案	(179)
§ 5.3.2 对 FGGEⅢ _b 资料的修正试验	(182)
§ 5.3.3 小结	(185)
§ 5.4 一次青藏高原地区 FGGEⅢ _b 资料订正对环流及降水影响的数值 试验	(185)
§ 5.4.1 订正方法与订正结果分析	(185)
§ 5.4.2 客观分析订正对中期数值预报影响的试验	(187)
§ 5.4.3 客观分析订正对高原地区短期数值预报影响的试验	(190)
§ 5.5 本章小结	(193)
第六章 总结	(194)
§ 6.1 主要结论	(194)
§ 6.2 问题与展望	(196)
参考文献	(198)
英文摘要	(201)

STUDY ON SOME KINDS OF WEATHER SYSTEMS OVER AND AROUND THE QINGHAI-XIZANG (TIBET) PLATEAU

Contents

Preface

Chapter I Introduction

§ 1.1	Review of study on the weather systems in Qinghai-Xizang Plateau and its surroundings	(1)
§ 1.2	The contents and meaning of the study of this book	(5)
Chapter II The summer vortex over Qinghai-Xizang Plateau (QXP)		
§ 2.1	The synoptic-climatic feature of QXP-vortex on 500hPa surface	(7)
§ 2.1.1	The synoptic-climatic feature of QXP-vortex of Lhasa-Workshop	(7)
§ 2.1.2	The synoptic-climatic feature of QXP-vortex of Qinghai-Xizang Plateau Meteorological Experiment	(9)
§ 2.1.3	The synoptic-climatic feature of QXP-vortex of objective analysis	(10)
§ 2.1.4	The relation between circulation pattern and QXP-vortex	(12)
§ 2.1.5	Summary	(13)
§ 2.2	The three dimensional structure of QXP-vortex	(14)
§ 2.2.1	The composition structure of QXP-vortex	(14)
§ 2.2.2	The structure of QXP-vortex of objective analysis	(18)
§ 2.2.3	Summary	(25)
§ 2.3	The energy conversion of QXP-vortex	(26)
§ 2.3.1	The method of calculation	(26)
§ 2.3.2	The energy conversion of QXP-vortex	(27)
§ 2.3.3	Summary	(28)
§ 2.4	Case study of QXP-vortex with west-trough-east-ridge circulation pattern (II)	(29)
§ 2.4.1	Synoptic situation	(29)
§ 2.4.2	The vertical distribution of vorticity, vertical motion and divergence of the vortex	(31)
§ 2.4.3	The energy feature of the vortex in horizontal distribution	(31)
§ 2.4.4	The energy feature of the vortex in vertical distribution	(34)
§ 2.4.5	The energy conversion of the vortex	(35)
§ 2.4.6	Summary	(36)

§ 2.5	Study and analysis of QXP-vortex with zonal west flow pattern (IV)	(37)
§ 2.5.1	Circulation and process of vortex evolution	(37)
§ 2.5.2	The vertical distribution of vorticity and vertical motion in the vortex	(37)
§ 2.5.3	The vertical distribution of the vortex energy	(38)
§ 2.5.4	The energy conversion in the vortex	(39)
§ 2.5.5	Summary	(39)
§ 2.6	Case studies of QXP-vortex with north-ridge-south-trough circulation pattern (I)	(39)
§ 2.6.1	Case study of the vortex in 6—10 June 1979	(40)
§ 2.6.2	Case study of the vortex in 24—26 June 1979	(44)
§ 2.6.3	Case study of the vortex in 25—27 June 1979	(46)
§ 2.6.4	Summary	(47)
§ 2.7	Numerical experiments of QXP-vortex	(47)
§ 2.7.1	The mesoscale model and the design of the numerical experiments	(47)
§ 2.7.2	The control experiment	(48)
§ 2.7.3	The numerical experiment of effect of diabatic process on the vortex	(50)
§ 2.7.4	The numerical experiment of the thermal and dynamic influence of QXP on the vortex	(50)
§ 2.7.5	Summary	(53)
§ 2.8	Conclusion	(53)
Chapter III South-west vortex		
§ 3.1	The characteristics of weather and climate	(56)
§ 3.1.1	Data and statistical method	(57)
§ 3.1.2	The frequency of southwest vortex in January	(57)
§ 3.1.3	The frequency of southwest vortex in July	(58)
§ 3.1.4	The frequency of southwest vortex in April and October	(59)
§ 3.2	Case studies of southwest vortex in January	(60)
§ 3.2.1	Southwest vortex before strong cold surge	(60)
§ 3.2.2	Southwest vortex before weak cold surge	(63)
§ 3.2.3	Summary	(66)
§ 3.3	Case studies of south-west vortex in July	(67)
§ 3.3.1	Southwest vortex induced by short wave trough in zonal flow	(67)
§ 3.3.2	Southwest vortex triggered by QXP-vortex	(71)
§ 3.3.3	Summary	(75)
§ 3.4	Case studies of southwest vortex in spring	(77)
§ 3.4.1	Strong southwest vortex in 13—15 May 1983	(77)
§ 3.4.2	Weak southwest vortex in 12—13 April 1979	(83)

§ 3.4.3	Summary	(86)
§ 3.5	Case studies of southwest vortex in autumn	(86)
§ 3.5.1	Strong southwest vortex in 24—25 October 1979	(87)
§ 3.5.2	Weak southwest vortex in 12—13 October 1979	(94)
§ 3.5.3	Summary	(95)
§ 3.6	Conclusion	(96)
Chaptex IV Cold surges and cold highs		
§ 4.1	Climatic feature of Asian surface highs in winter	(98)
§ 4.1.1	Statistical analysis of surface highs in January	(99)
§ 4.1.2	Statistical analysis of surface cold highs during cold surge	(100)
§ 4.1.3	Summary	(104)
§ 4.2	The Mongolian high	(104)
§ 4.2.1	The Mongolian high on 850hPa surface	(104)
§ 4.2.2	The structure of Mongolian high	(106)
§ 4.2.3	The forming cause of Mongolian high	(110)
§ 4.2.4	Summary	(114)
§ 4.3	The Lanzhou anticyclone	(115)
§ 4.3.1	Climatic feature of Lanzhou anticyclones	(115)
§ 4.3.2	The forming cause of Lanzhou anticyclone	(119)
§ 4.3.3	Case study	(124)
§ 4.3.4	Summary	(127)
§ 4.4	A case study of strong cold surge	(128)
§ 4.4.1	The situation of circulation	(128)
§ 4.4.2	The key system	(131)
§ 4.4.3	Temperature drop and clod advection	(134)
§ 4.4.4	Diagnostic analysis—dynamical structure of orographically induced trough (ridge)	(140)
§ 4.4.5	Numerical experiments—effect of QXP on orographically induced trough (ridge)	(143)
§ 4.4.6	Summary	(149)
§ 4.5	A case study of weak cold surge	(150)
§ 4.5.1	The situation of circulation	(150)
§ 4.5.2	Weather condition and key system	(151)
§ 4.5.3	Thermal and pressure structure of key system	(152)
§ 4.5.4	Diagnostic analysis	(154)
§ 4.5.5	Numerical experiments	(156)
§ 4.5.6	Summary	(162)
§ 4.6	Conclusion	(162)
Chapter V Objective analysis in QXP and its surroundings		

§ 5.1	Method of objective analysis in QXP and its surroundings	(165)
§ 5.1.1	Method of correcting FGGE-III _b data set	(165)
§ 5.1.2	Comparison and analysis between corrected map and weather map	(166)
§ 5.1.3	Comparison between corrected map and streamline map of Qinghai- Xizang Plateau Meteorological Experiment	(169)
§ 5.1.4	Comparison between corrected map and FGGE-III _b data set	(169)
§ 5.1.5	Comparison between corrected Map and history weather map	(170)
§ 5.1.6	Geographical distribution of objective weather systems	(171)
§ 5.1.7	Summary	(172)
§ 5.2	Temporal and spatial statistic features of meteorological elements and their applications in QXP and its surroundings	(173)
§ 5.2.1	Data and statistical method	(173)
§ 5.2.2	Analysis of statistical results	(174)
§ 5.2.3	Applications of statistical results	(177)
§ 5.2.4	Summary	(178)
§ 5.3	Experiment and scheme of statistical assimilation of data in QXP and its surroundings	(178)
§ 5.3.1	Scheme of statistical assimilation	(179)
§ 5.3.2	Numerical experiment of corrected FGGE III _b data set	(182)
§ 5.3.3	Summary	(185)
§ 5.4	A numerical experiment of the influence of the corrected FGGE III _b data set on the circulation and precipitation	(185)
§ 5.4.1	Method of correction and analysis of the corrected result	(185)
§ 5.4.2	Numerical experiment of the influence of corrected data by objective analysis on medium-range forecast	(187)
§ 5.4.3	Numerical experiment of the influence of corrected data by objective analysis on the short-range forecast in QXP	(190)
§ 5.5	Conclusion	(193)
Chaptex VI General conclusion		
§ 6.1	Main results	(194)
§ 6.2	Problems and Prospect	(196)
References		(198)
English abstract		(201)

第一章 绪 论

本书研究了青藏高原附近几种重要的天气系统,以及高原大地形对它们的影响。为便于了解研究的目的及意义,有必要回顾一下过去这方面研究工作的进展。因为天气系统的生成发展与环流背景关系密切,自然要涉及到高原附近环流研究的内容,对早期的研究进展只简单地提及,主要回顾最近 10 余年的研究内容,尤其是总结高原附近若干重要天气系统的研究结果。下面首先回顾一下青藏高原附近天气和环流研究的发展过程,然后讨论本书研究的内容及意义。

§ 1.1 青藏高原及其附近天气系统研究的回顾

(1) 研究过程简介

关于青藏高原(以下简称高原)附近天气与环流的研究,我国早在 40 年代末至 50 年代初已经开始,如叶笃正(1950)当时依据极少的观测资料分析了青藏高原大地形对东亚大气环流的影响,并认为它的动力作用使东亚环流的季节变化在全球中具有特色。以后叶笃正等(1956)开始研究高原的热力作用,认为夏季高原是一个热源,冬季它的东南角起码也是热源。50 年代人们对高原及其周围的天气系统进行了较广泛的分析研究,得到一些初步的认识,最后总结为《西藏高原气象学》(1959)。

随着气象卫星的上天及计算机在气象中的应用,在 1959—1983 年期间关于高原附近天气与环流方面的研究有了明显的进展。罗四维(1964^①, 1982)指出高原地区近地面(5000 m)夏季存在另一条切变线,它与印度北部的季风槽是同时并存的,陈乾(1964)^②、吴永森等(1964)^③指出高原上经常有低涡东移出来,但对涡源有不同的推测。在高原东侧低空由于地形侧边界的影响,则存在另一条准东西向的辐合区或切变线(罗四维, 1963)。以后气象台站预报员,尤其青藏高原气象研究拉萨协作组(1977—1978 年)对高原 500 hPa 切变线低涡进行了大量的天气学研究。

陶诗言等(1964)指出在高原上空夏季 100 hPa 有大型反气旋东西摆动, Flohn(1968)利用卫星云图推测高原的感热作用强大,有利于维持其高空的强大反气旋,罗四维等(1974)进一步分析了这个高压的天气气候特点及其与我国东部降水的关系。钱永甫(1979)用数值模式研究了气流绕流及爬越高原的问题。有关这一时期高原气象中天气、动力及环流的主要研究成果均总结在《青藏高原气象学》中(1979)。

但高原气象研究中一个很大的问题是资料太少,尤其在高原西部,这给人们深入研究

① 罗四维, 1964, 青藏高原及其附近平均流场结构, 1964 年兰州天动会议技术材料。

② 陈乾, 1964, 青藏高原地区 500 hPa 低涡的天气气候分析, 1964 年兰州天动会议技术材料。

③ 吴永森, 1964, 高原夏季 500 hPa 低涡的初步研究, 青海省气象论文集 (2)。

高原的天气系统(如切变线低涡等)带来了很大困难,当时人们对其生成发展过程及其原因仍很不清楚,大大影响我国天气预报准确率的提高。为此,1979年5—8月配合全球大气环流研究计划第一次全球实验(FGGE)及季风研究实验(MONEX),我国进行了第一次青藏高原气象科学实验(QXPME),在高原上尤其在高原西部临时增设了一些探空站及其他特殊观测项目,这大大促进了高原及其附近天气系统和环流的研究工作。这一时期的研究成果都总结在青藏高原气象科学实验论文集I、II、III(1984—1987年)及《青藏高原气象学进展》一书中(章基嘉等,1988)。通过青藏高原气象科学实验,人们对高原的热力作用及其影响,对高原上切变线低涡的结构及其生成发展的认识都大有提高。青藏高原科学实验有组织的研究工作虽已结束,但其所取得的宝贵资料将会继续发挥作用,起到更为深远的影响。从1979年“青藏高原气象科学实验”以来,国内外许多气象学者围绕高原气象的问题继续深入研究,在天气气候、环流、诊断分析、数值模拟和理论研究等方面取得了丰硕成果。最近还出版了《青藏高原大气低频变化的研究》一书(章基嘉、孙国武等,1991),取得了新的成绩。这是过去研究的大致情况及过程。

下面就高原对天气系统影响的几个问题作进一步较详细的回顾。

(2) 高原地区客观分析方法

没有正确的分析方法人们很难从大量的资料中去伪存真地发现有意义的现象。由于高原地形的隆起,使许多低层等压面图被高原所切割,而只好采用由高原地面向下订正的办法来补充,这就使得天气系统在高原附近缺乏很好的连续性。早在50年代,预报员已提出了在高原上分析地面变压场,并得到了较广泛的应用。罗四维(1964)^①曾提出用600 hPa图代替高原地区的地面天气图。因为它接近高原地面,可以利用大量地面资料。以后尹道声(1984)又进一步作了大量的试验研究,现正在青海省推广应用。汤懋苍(1982)提出一种高原地面天气图分析气压距平订正法,并作了一些有益的初步尝试。钱永甫(1983)提出了一种高原地区等压面和地面天气图的分析方法。但这二种方法都仍需进行大量的试验,距实际应用还有一定距离。

目前在高原地区最好用的图是500 hPa图,大致相当于平原地区的850 hPa图。它接近高原地面,可以获得较多的测风资料,容易为预报员所接受。即使如此,对于高原地区来说,特别是高原西部地区资料仍嫌不足。尤其是夏半年高原上的次天气尺度系统尺度小,强度弱,高度场反应不明显,主要靠风场来分析。而目前对500 hPa图的分析方法很不统一,因人而异,影响人们对高原天气系统的了解和认识,也影响到数值预报模式初值的质量,因此,高原500 hPa图的分析也有个改革问题。在高原地区迟早要以客观分析代替人工分析,国内外许多数值模式都在高原地区进行了客观分析。现在对高原问题的研究离不开计算机,也首先遇到客观分析问题。它影响我国数值预报质量和研究工作的深入,应该加强这方面的研究。

(3) 高原对西风分支及绕流作用

高原的存在迫使西风急流分支绕流和会合的观点早已提出(叶笃正等,1950,1958),但当时认识并不完全统一,一直对此缺乏严格的论证,研究绕流作用如何具体体现在天气系统发展中是不够的。

^①罗四维,1964,青藏高原地区600 hPa天气图分析,1964年兰州天动会议技术材料。

王安宇 (1980)、王谦谦 (1981) 做的数值试验指出, 当高原地区的高度超过约 3 km 后低空西风气流主要从高原的南北两侧绕过, 并在高原东侧的江淮流域形成气流辐合区或切变线。吴国雄 (1984) 进一步从理论上证实, 当高原地形超过 1 km 后就迫使低层气流开始绕过高原, 地形高度越高迫使气流绕流的作用越大, 否则气流以爬越高原为主。

李维京 (1985) 用同一纬向气流作为初始值对青藏高原及北美落基山的影响作了数值试验的对比分析, 指出由于前者对气流的绕流作用大, 迫使从高原南边绕过的暖湿空气爬越于北边绕过来的干冷空气上面, 从而使我国高原东侧上空大气稳定度比北美的大得多, 冬半年我国高原东侧多准静锋止及连阴雨天气。我国长江流域秋高气爽这一气候特色也与高原的绕流作用有关。10 月前常有小股冷空气从我国西北 (高原东北边缘) 绕流南下进入长江流域副热带高压的底部, 引起地面降温减湿, 天气晴朗, 从而夏季结束 (罗四维等, 1987)。这种高原影响的绕流作用会反应到各种天气系统的演变中, 我们应把此观点有机地运用到高原对天气系统影响的研究中去。

(4) 高原对北边天气系统的影响

高原作为一个巨大的障碍物, 对于附近的气流必然要产生影响, 我们首先考虑高原对于在它高度以下的天气系统的影响, 在高原的西侧和南侧由于我们掌握的资料很少, 并且这些地区的系统对我国天气的直接影响较小, 过去研究较少暂不讨论。高原北边的地形复杂, 对气流有着各种明显的影响, 如地形西北坡对冷空气的阻挡作用, 常使冷锋停留在阿尔泰山的西边, 天山的北边, 高原主体北边和祁连山北边等, 在新疆有冷空气绕过山从东边流入塔里木盆地。在一些峡谷中经常形成强大“风口”产生巨大的风速, 还有青海湖附近的地形锢囚锋, 柴达木的热低压, 河西的小高压及其偏东风等次天气系统, 这些都对当地的天气产生严重影响, 都是值得研究的问题。由于高原北边人烟稀少, 其对国民经济所产生的影响相对于高原东边的天气系统来讲是较小的。当地的气象工作者对上述天气系统虽作了大量的工作和研究, 但由于资料等条件的限制, 还远没有深入下去。

(5) 西南涡与背风气旋

国外对于地形背风坡气旋的生成发展, 从资料分析到理论研究作了大量的工作, 最近的阿尔卑斯山试验^① (Alpex 1987) 计划专门研究了这个问题。其主要条件是要求气流爬越山脊, 但在我国西风气流主要绕过高原, 地形对气旋生成影响不同。Chung (1976) 的统计指出在亚洲的背风坡气旋主要出现地蒙古西部阿尔泰山等地形的东边, 而在我国高原东侧气旋强度弱, 很不典型, 经常停留不动。我国早期的预报经验也指出在我国大陆上很少见到较强的气旋, 而经常见到的西南低涡停留在四川云南一带, 只有当它东移之后才带来较严重的天气。袁信轩 (1980) 指出高原东侧春季江淮气旋波不但弱, 而且与北美及欧洲的结构也不相同。这些都说明我国高原东侧的低涡和低压与一般的背风坡气旋是不同的。关于西南涡我国广大预报员及卢敬华 (1986) 虽然对它进行过一些统计分析和个例分析, 提出了一些初步的看法, 但远没有形成结论和概念, 还应继续作一些基础的资料分析工作, 提出较清楚的概念模式, 使研究高原地形对低涡的形成、发展建立在可靠的基础上。个别例子的数值试验及诊断分析指出地表热通量对西南涡的生成起一定的作用, 潜热释放主要对其进一步的发展起重要作用, 但不同模式及不同作者关于高原对西南涡生成的

^①阿尔卑斯山试验, 1982, 气象科技, 第1期, 43页, 译自WMO公报, 1981年2期。

影响所得结果不同 (Kuo, 1986, 1988, Hovermale, 1983, 及钱正安等, 1990), 而且研究的例子很少。

(6) 蒙古高压和寒潮

众所周知, 冬半年全球最强的地面冷高压盘踞在蒙古西部地区, 但人们对它的强度及位置形成的原因研究不够深入。从最近数值模拟结果 (Manabe, 1974; Kutzbach, 1989) 来看它受到了地形的严重影响, 如果没有地形的动力作用影响, 这个高压中心强度减弱并向南偏西移动。罗四维 (1964, 1982) 指出蒙古海拔高度平均约 1200 m, 由地面气压订正得到的海平面气压强度不真实 (偏高), 因为从地面上的平均风场及接近地面的 850 hPa 图上看, 高压中心都不在蒙古, 而在高原东北边缘的陕甘宁地区。高原地形对蒙古高压中心位置和强度的影响是巨大的。

虽个别例子的分析指出强寒潮爆发时冷锋可以爬上高原主体, 但维持时间短, 这种研究虽有学术意义, 但实际意义不大, 目前也很难深入。

高原地形的隆起对于冷空气南下的阻挡作用从流体力学的观点看是明显的。一般当冷空气由高原北边经过时, 经常有较薄的冷空气层绕高原边缘迅速南下并进入南海, 然而天气分析很难严格地区分出地形的影响。Murakami 等 (1983) 用数值模拟指出, 高原的动力作用有利于低层的冷高压沿地形东部边缘迅速南下到达高原的东南方。罗四维等 (1988) 的数值试验进一步说明, 由于高原的存在大大加强了对低层冷空气的绕流作用, 使高原东侧平原的降温增强, 降雨增多, 相应的冷锋南下加快到达很偏南的海上。

寒潮是我国重要灾害性天气之一, 从 50 年代至今作过大量的研究, 但这些研究主要重视环流形势的演变和寻找预报重眼点和指标, 而研究寒潮天气系统本身不够, 尤其很少注意到地形的具体影响。我国的寒潮如何受地形的影响应该研究, 它既有理论意义, 又有实际价值, 可以提高我国寒潮预报准确率。

(7) 500 hPa 切变线低涡

由于高原地形的隆起, 500 hPa 等压面接近高原地面, 夏季经常产生一些中尺度天气系统, 如切变线、低涡及小反气旋等。小低涡集中产生在高原中部约 30° — 35° N 的纬带内, 正好与切变线走向一致; 而小反气旋中心则集中在 35° N 以北的高原地区, 其次是 30° N 以南的高原地带。

关于切变线低涡的结构及其形成发展的机理过去作了大量天气学研究及少量数值模拟, 有综合的也有个例分析, 有的还讨论了其东移发展的条件等, 大多数研究论文发表在青藏高原气象协作组的有关文集及青藏高原气象科学实验文集中, 如钱正安 (1987) 指出六种影响低涡生成的因子, 青藏高原低值系统协作组 (1978) 对高原北部边缘的低涡作了较详细的讨论, 其余不一一详述。概括地讲, 夏季高原上 500 hPa 低涡的水平尺度为 500 km 左右, 厚度限于 400 hPa 以下, 高原的动力作用对其形成有贡献意见比较一致; 但热力作用对低涡的贡献看法很不一致, 多数人推测高原的热力作用对低涡的形成很重要, 但也有人认为热力作用不利于其生成。总之, 有说服力的个例分析太少, 高原低涡的源地及其生成发展的图像还不很清楚, 以及在什么条件下可以东移影响外围的降水等都是要继续研究的问题。

100 hPa 青藏高原高压是高原上空一个很重要的天气系统, 60 年代初已经提出 (陶诗言等, 1964), 70 年代作了大量的研究, 80 年代至今没有更大的发展。最近章基嘉等

(1991) 研究了高原地区的低频变化, 这是很有意义的新问题, 但与本书内容关系不大。总之, 高原气象学的科学问题很多, 这里回顾了一些与本书内容关系较大的科学问题。

§ 1.2 研究内容和意义

综合以上高原大地形对它附近天气系统影响的研究, 过去虽作了大量的工作, 研究了诸多方面, 取得了很大的进步, 但好像遇到了某种困难, 很难深入。我认为过去不足之处是研究的问题不够集中, 缺乏更好的研究方法。要想在一个领域取得突破性的进展, 必须要有新的资料、新的方法和新的观点, 至少要具备其中之一。有时虽有新的资料但分析方法不好, 或者还是老方法, 也很难发现新的现象提出新的观点。

本书拟在过去研究的基础上集中研究高原低涡、西南低涡及寒潮和寒潮高压三种天气系统, 突出高原大地形热力及动力作用的影响。在大量资料统计的基础上, 利用 FGGE III_b 及青藏高原气象科学实验的新资料, 利用客观分析方法、能量诊断分析方法及美国大气研究中心 (NCAR) 中尺度模式的最新版本 (MM₄) 进行了大量的个例分析, 客观分析、诊断分析及数值试验, 拟对上述研究问题有所突破、提出新观点或证实过去的推测。下面把本书各章主要内容作一简介。

(1) 第一章 绪论

主要概要地回顾一下过去有关问题研究的历程及成果, 同时提出本书所要研究的内容及意义。

(2) 第二章 高原地区夏季 500 hPa 低涡

我们将用大量事实和诊断分析确切地指出高原低涡是高原上特有的产物, 高原西部 (97°E 以西) 是涡源, 高原东部 (93°E 以东) 是涡汇, 中部是过渡区。在高原西部低涡初生时近地面热源最强, 降水潜热甚微, 几乎全为地表感热的贡献。涡区气柱内由积云对流及湍流所引起总热量垂直涡动输送都是辐合加热, 但以近地层最强。全涡柱内都是热源上升气流。初生涡正涡度强度较弱, 厚度限 450 hPa 以下。其生成机理是: 由地表的非均匀加热转换为扰动有效位能, 然后再转换为扰动动能, 同时四周的扰动动能也向涡区辐合, 低涡常生成于辐合区。

低涡消失于高原东部的热汇中, 由积云对流及湍流所导致总热量垂直涡动输送是辐散冷却的, 尤其夜间最强。其消失机理为: 扰动动能向扰动有效位能转换, 然后再向地表非均匀冷却转换, 同时扰动动能还大量向四周辐散。高原中部低涡发展的平均机理类似东部的, 但强度很弱, 如果除去消失低涡, 则类似西部的, 其强度也很弱。

(3) 第三章 高原东侧的西南涡

我们将用大量统计事实及个例分析指出西南涡也是青藏高原大地形影响的产物, 以 700 hPa 最强, 远比其他地区低压 (涡) 出现的频率大。一年四季均有, 以过渡季节出现的机率最大, 春季又略多于秋季, 冬季又略多于夏季。但夏季低涡降水最大, 春季次之, 冬季最少。西南低涡的生成与环流和天气系统有关, 但地形影响是基础。冬季西南涡生成于寒潮即将来临之前, 与北支西风迅速绕流南下与南支西风辐合关系密切, 但很快减弱消失; 夏季西南涡基本上是西南气流上的一个扰动, 常与高原上东移的中尺度系统有关, 但

地形影响仍然重要,其生命史最长;春、秋季西南涡的正涡度中心也在 700 hPa,其正涡度厚度多数限于 400 hPa 以下,少数可以达到更高层。地形对西南涡的影响是基础,高原上的小槽起触发作用。冬季西南涡生成机理类似高原涡,即主要是地表的非均一加热能向扰动有效位能转换,然后向扰动动能转换,同时四周扰动动能大量向涡区辐合,与高原涡不同之处是潜热能向扰动有效位能转换的比例增大及扰动动能的辐合值比高原涡的大得多。夏季西南涡生成机理与冬季不同的是潜热起决定作用而不是地表非均一加热。春季的类似夏季的,秋季的更接近于冬季的。四季西南涡的共同特点是四周扰动动能向涡区的辐合都比高原涡的强得多,表明高原东侧辐合区的存在对西南涡的生成是很重要的,即地形动力作用的影响是西南涡生成的基础,秋冬季尤其如此,数值试验也证明了这一点。虽然扰动动能的辐合比扰动有效位能向扰动动能的转换值大得多,但无后者转换的配合,西南涡发展很弱,往往就地消失。

(4) 第四章 寒潮和寒潮高压

本章在前人工作的基础上将用大量统计事实及典型个例分析指出:为什么地面(海平面)寒潮高压一定要经过蒙古西部山区并在那里达到最强?为何在其主力东移减弱消失的同时还要分出一个高压中心南跳至长江中上游?为何强大的蒙古高压向上减弱很快?为什么寒潮高压一定要南下,尤其 850 hPa 图上的高压要绕高原地形边缘南移?我们的研究将指出蒙古高压在海平面的强度不真实,实际上它比较浅薄,在接近地表的 850 hPa 蒙古高压已不是最强的了。蒙古高压除受环流影响外,主要是地形影响的产物。寒潮高压南下的路径严重地受到地形的动力作用影响。影响我国东部(35° — 30° N 以南)寒潮的冷空气不是直接来自蒙古而是由高原北侧边缘绕流南下的。高原地形对冷空气的路径、锋的结构及寒潮天气系统产生明显的影响。

(5) 第五章 高原地区客观分析

高原地区的天气分析方法一直存在问题,严重地影响高原天气系统的深入研究,随着计算机的广泛应用及数值预报的开展,客观分析更是刻不容缓。我们的研究将指出 Cressman 逐步订正方法,是在高原地区简便切实可行的一种好的客观分析方法,可以用于研究工作及对该区格点资料的订正。此外对如何弥补高原西部空白区的资料及高原地区的四维同化也作了初步研究。经过订正后的初始场对数值预报的影响我们也进行了有益的试验。

(6) 第六章 结论

本章总结了全书的主要内容,从中得到一些启发以利今后研究工作的开展,同时回顾了本书的缺点,以便今后补充完善。最后展望今后的研究工作将有更新的突破和进展。

第二章 夏季青藏高原低涡

我国青藏高原幅员辽阔,地形和天气气候条件都很复杂。它高耸于大气对流层中,由此而产生的热力、动力作用影响着大范围的大气环流。我国广大地区暴雨、冰雪等灾害性天气也常与高原上的天气系统有直接的关系。

夏季青藏高原 500 hPa 低涡(以下简称高原低涡)是高原地区的主要降水系统之一。它的东移又常常影响着高原附近地区的降水,所以人们一直重视对它的研究。随着观测资料的增加,研究规模的不断扩大,研究人数不断增多。由于预报上的需要预报员最先注意并对它作了大量初步的天气气候分析,接着西南西北各省气象局开始进行小范围的协作研究,1977—1978 年 23 个单位的 40 余科研人员进行了近二年的协作研究(以后简称拉萨协作),对以前这方面的研究进行了较系统的总结与提高。1979 年结合第一次全球大气研究试验(FGGE),我国进行了青藏高原气象科学试验(QXPME),增设了一些很重要的台站,使这方面的研究更深入了一步。虽然这次科学试验的大规模研究已经结束,但深入研究还在不断进行。

500 hPa 的高原低涡及切变线是高原上夏季的主要中尺度降水天气系统,后者是前者形成的基础及背景,而前者又是后者的集中表现,二者有时是不易截然分开的。本章在过去研究的基础上只集中研究高原低涡,在观点上强调积云对流及湍流所引起的地表感热对低涡的生成发展,在方法上重视客观分析、诊断分析及数值模拟。下面将分别从高原涡的客观分析、天气气候特点、结构、形成机理、数值模拟及其与环流的关系等诸方面进行讨论。

§ 2.1 夏季青藏高原 500 hPa 低涡的天气气候特点

500 hPa 高原涡水平范围平均约 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 个经纬度,是强度很弱的中尺度天气系统,一般高度只差 20 gpm,在高度场上反应不甚明显,而主要依据流场(风向)来分析的,因可多利用一部分高空风资料且风向反应较敏感。但终因测站密度不够,给人们在分析中带来困难,增加了主观因素,影响研究工作的深入。本节将从青藏高原气象科学研究协作组(1981)、青藏高原气象科学实验(1983—1987)及最近客观分析结果三个方面来讨论高原涡天气气候特点及其发展过程,为以下的研究提供天气气候背景。

§ 2.1.1 拉萨协作组分析的高原涡的天气气候特点

在此以前有关低涡的天气气候研究比较零散,不再作专门介绍。拉萨协作组所用的资料是中央气象局出版的历史天气图(1969—1973)和兰州、拉萨气象台绘制的天气图(1974—1976 年)。低涡的定义是:有闭合等高线的低压或有三个站风向呈气旋性环流的低涡;如果低涡位于温度脊区,在地面无冷空气入侵,且 $\Delta P_{24} < 0$ 的低涡称为暖性涡;如果低涡