

青藏高原天气学

乔全明 编著
张雅高

气象出版社

青藏高原天气学

乔全明 编著
张雅高

气象出版社

(京) 新登字046号

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了青藏高原天气学的基本事实、理论基础和青藏高原特殊天气系统的形成、性质和结构、主要活动规律以及对我国东部天气的影响。本书还介绍了青藏高原对我国主要天气系统和天气过程的影响。本书经中国气象局高等学校气象类教材编审领导小组审查，确认为大学本科通用教材。

本书可作为高等院校气象专业及相关专业的教材，也可作为从事气象、地震、水文等部门教学、科研和业务人员的参考书。

青藏高原天气学

乔全明 张雅高 编著

责任编辑：黄丽荣 终审：纪乃晋

封面设计：牛涛 责任技编：席大光 责任校对：刘祥云

*

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京昌平环球印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

*

开本：850×1168 1/32 印张：8.125 字数：206千字

1994年9月第一版 1994年9月第一次印刷

印数：1-2500

ISBN 7-5029-1650-4/P·0667 (课)

定价：5.80元

前 言

青藏高原位于我国西部，它包括西藏、青海、新疆南部、四川西部、甘肃南部与云南的西北部。东西长二千多公里，南北宽一千余公里，总面积二百多万平方公里，占我国总面积的四分之一。平均海拔约四千米，约占对流层厚度的三分之一。

高原上地形十分复杂，从帕米尔高原向东，有昆仑山脉，冈底斯山脉和喜马拉雅山脉等高大山系横贯高原的主体。山脉中间既有相对平坦广阔的藏北草原，又有水流湍急的雅鲁藏布江以及大大小小的湖泊和它周围的盆地。地表的物理性质也很复杂，有常年不融化的雪山，有一望无际的草原，有潮湿的热带森林，还有寒漠和碱地。

一、学习青藏高原天气学的目的和意义

青藏高原是世界上最高和地形最复杂的大高原，它具有独特的天气气候特征，更重要的是，它不仅对我国、对亚洲，而且对全球大气环流和天气气候的形成都有重要的作用。

青藏高原是一个扰动源。影响我国东部的大范围暴雨、雷暴等恶劣天气，其初始扰动很多都是在青藏高原产生的；青藏高原又是一个对外来系统的改造场所，所有移近和越过青藏高原的各种尺度的系统都要受到地形的强烈影响。

因此，在日常业务预报中，不考虑高原影响是不会成功的，事实上所有有经验的预报员都把高原影响作为天气分析预报的基本背景来考虑。搞清青藏高原对天气气候的影响及其基本原因，就能够在日常气象业务服务和科学研究中自觉考虑它的作用，这无异会大大提高预报的准确率。

所以，高原天气学不仅要介绍高原本身特殊的天气系统及其分析预报方法，而且要介绍高原对我国东部天气系统和天气过程

的影响。青藏高原天气学不仅仅要研究高原局地地方性天气，而且是天气学理论本身的一个重要组成部分。

二、青藏高原气象的研究简史

由于高原上缺乏气象资料，高原气象长期是一个“谜”。但是，可以说很早以前人们就猜到了青藏高原不仅对它自身而且对周围天气有重大影响。所以，早就引起国内外气象学家的注意。早在十九世纪末和二十世纪初，国外一些探险家和旅行家们跋山涉水收集了一些零星的气象资料。由于这些资料是在不同地方、不同高度、不同时间以及各种各样地形条件下测到的，还不能据此得出哪怕是粗略的科学概念。直到本世纪30年代，我国气象学、地学家竺可桢、徐近之等根据高原建立的几个有限的气候站的资料，发表了早期的几篇论文，这个时期的研究还只能是对高度本身的天气气候的分析。直到40年代开始注意到高原对周围大气环流和天气气候的影响，但这些工作主要还是根据地面上的资料作出的，在某种程度上说还仅仅是一种推论。高空探测网的建立把高原气象的研究推进到一个新的阶段，叶笃正首先发现并证实了青藏高原对西风的机械阻挡所引起的分支现象。在50年代，随着我国高空气象探测网迅速建成，他和顾震潮等人在上述基础上又作了许多工作。陶诗言、叶笃正、朱抱真等从观测研究和动力研究发现和证实了青藏高原对大气环流的季节突变，对恒定行星系统的形成、对西风带移动性槽脊的影响等许多事实。与此同时，广大业务和研究工作者还针对高原特点提出了一套适合高原地区使用的分析预报方法，初步了解到高原天气系统的特殊性质和活动规律。在这个时期的另一重大成果就是张丙辰等发现高原对我国东部天气系统如江淮切变线、华南与昆明准静止锋、西南涡等有重大影响的许多事实，这些成果都收集在“西藏高原气象学”一书中。

60年代以来，理论研究的主攻方向从高原的机械动力影响转向热力影响，特别在数值模拟试验的方法被应用到探讨大气环流

研究的领域以后，高原影响作为大气环流形成的主要因子之一进行许多有成效的试验。在这个阶段中，初步弄清了青藏高原在冬季是一个冷源，而在夏季是一个强大的热源，以及作为冷热源对高原季风和东亚季风的影响，其中Hohn和Manabe对东亚夏季风的模拟最成功，从而肯定了青藏高原对东亚季风气候形成的巨大作用。

近十几年来中国科学院开展了流体力学模拟试验，成功的模拟出青藏高原的动力影响和热力影响的许多事实。此外，在这一阶段中天气学和诊断分析研究也取得很大的进展，陶诗言等首先发现夏季活动于青藏高原上空的南亚高压的东西振荡与西太平洋副热带高压的进退有一定的关系，在这个基础上所进行的一系列的研究，进一步确证它的强度、位置、活动对我国东部季节的转换，汛期降水的多寡，伏旱期的长短等都有密切的关系。这些研究已应用于中长期预报，收到了明显的效果。上述的结果收入“青藏高原气象学”一书中。

1979年，在中国科学院和国家气象局直接领导下，进行了我国有史以来最大的一次气象科学试验——青藏高原气象试验，这是和世界气象组织的季风实验（MONEX）几乎同时进行的，所以具有更大的意义。在实验后所进行的许多研究，又取得了许多新的成果。例如发现高原上空热量平衡、水份平衡、层结状态、边界层分布等非常异常的大气物理状态，高原天气系统的性质、结构、源地和发生发展规律等的特殊性，进一步确证青藏高原是一个扰动源。在行星环流季节变化和数值模拟、流体力学模拟方面也取得了新的成果。

但是，到目前为止，高原气象这个“谜”还远远没有彻底揭开，我们对青藏高原在天气气候上影响的机制还是不很清楚的，不解决这方面的问题，也就大大限制了我们对天气系统发展规律的认识，也就必然影响到天气预报准确率的提高。因此，不断推进高原气象的研究是我国今后气象学界的重点课题。这不仅是专

业研究部门的任务，也是各院校和气象业务部门的责任。

进一步取得大量的资料是高原理论研究工作的基础。它包括原始的观测资料和经过加工分析取得的新的事实。显而易见，高原西部还缺乏探测资料。因此，天气学的综合分析，诊断分析等常规研究方法仍然是高原气象研究的基础。在掌握大量事实基础上，开展理论研究。除掉动力分析方法以外，数值模拟和流体力学模拟试验是理论研究的主要方法，但它并不排除首先从天气学方法入手，进一步搞清高原地区天气气候特点和天气系统演变的特殊规律，如高原热源及其年、季变化，高原主要天气系统的生成发展机制等。最后，要进一步揭露高原对我国东部天气和天气系统的影响，并将这些研究成果广泛应用，以提高预报准确率，达到更好的气象服务，趋利避害，这是我们进行高原研究的最终目的。

三、本书内容简介

本书共有七章。第一章扼要介绍青藏高原主要的基本要素场的平均状态，作为学习青藏高原天气学的事实基础；第二章介绍高原动力学，作为学习青藏高原天气学的理论基础；第三至第六章分别介绍南亚高压、青藏高原 500hPa 切变线，青藏高原低涡和西南涡等与青藏高原有关的特殊天气系统；第七章介绍青藏高原对西风槽、江淮气旋、高原东侧切变线和 500hPa 副热带高压形成、性质及移动的影响，以及对寒潮、降水天气过程强度的影响。

本书第二章由张雅高编写，其余各章均由乔全明编写。

由于编者水平有限，如有错误和不妥之处，欢迎批评指正。

作者

1993年9月

目 录

前言

第一章 青藏高原及其附近地区的天气气候特征 (1)

§1.1 平均水平环流 (1)

§1.2 平均压、温、湿场 (6)

§1.3 平均垂直环流 (8)

§1.4 平均辐射分布 (10)

§1.5 云 (12)

§1.6 降水 (15)

§1.7 特殊天气现象 (18)

第二章 青藏高原动力学基础 (21)

§2.1 地形动力作用和热力作用的一般概念 (21)

§2.2 大地形的动力强迫和热力强迫 (37)

§2.3 大地形和加热作用的数值试验 (62)

第三章 南亚高压 (73)

§3.1 南亚高压的气候平均状态 (73)

§3.2 南亚高压的形成与维持 (77)

§3.3 南亚南压的活动规律 (84)

§3.4 南亚高压与东亚天气气候关系 (95)

第四章 夏季青藏高原500hPa切变线 (102)

§4.1 高原切变线的气候概况 (102)

§4.2 高原切变线的性质和结构 (105)

§4.3 制约切变线活动的因子分析 (109)

§4.4 高原横切变线的南移 (112)

§4.5 高原切变线的天气 (114)

§4.6 高原切变线形成和维持的预报 (116)

第五章 青藏高原500hPa低涡	(120)
§5.1 高原低涡的天气气候特征	(120)
§5.2 高原低涡的结构	(124)
§5.3 高原低涡的发生和发展	(133)
§5.4 高原低涡的移出	(147)
第六章 西南低涡	(156)
§6.1 西南低涡的气候概况	(156)
§6.2 西南低涡的结构和性质	(160)
§6.3 西南低涡的形成	(170)
§6.4 西南低涡的发展和移动	(185)
§6.5 引起各地区大暴雨的西南低涡个例分析	(190)
第七章 青藏高原对我国主要的天气系统和天气过程的影响	(193)
§7.1 青藏高原对西风带低槽的影响	(193)
§7.2 青藏高原对东亚气旋活动的影响	(217)
§7.3 青藏高原东侧700hPa切变线	(227)
§7.4 青藏高原对500hPa副热带高压的影响	(234)
§7.5 青藏高原对东亚寒潮过程的影响	(237)
§7.6 青藏高原对我国降水过程的影响	(243)
主要参考文献	(248)

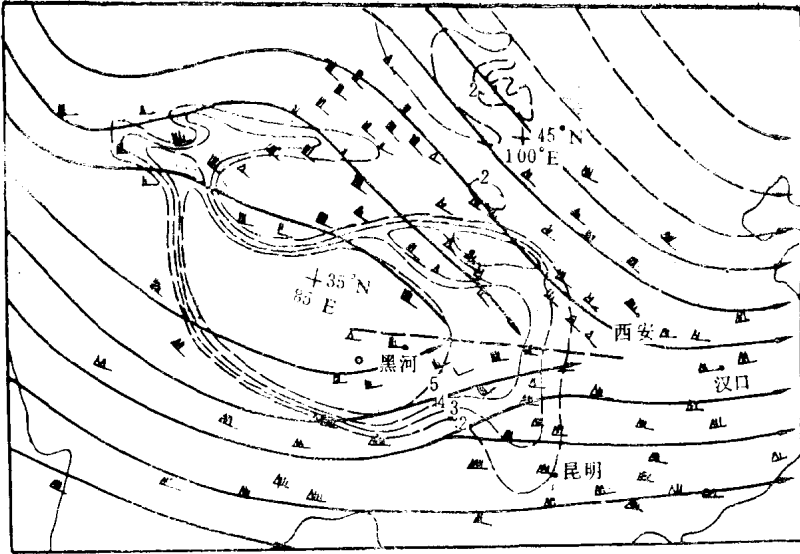
第一章 青藏高原及其附近地区的天气气候特征

这一章介绍青藏高原及其附近地区经长期平均的各种气象要素场，作为学习青藏高原天气学理论的事实根据。

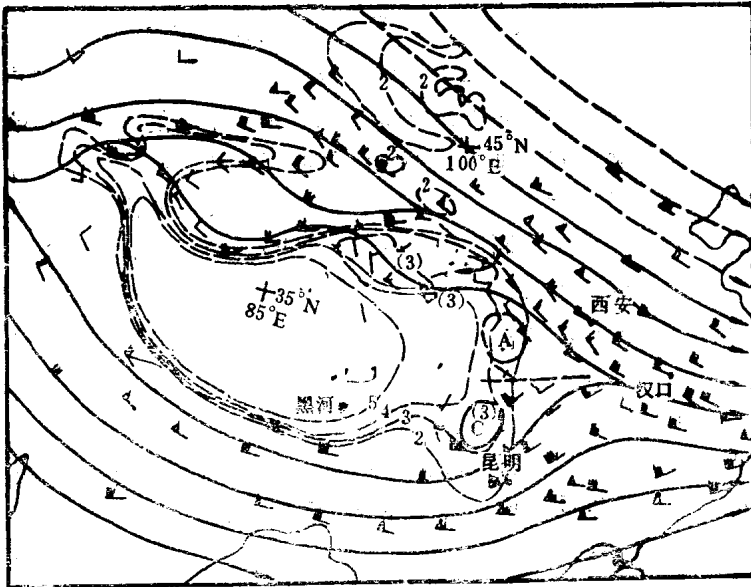
§1.1 平均水平环流

1.1.1 冬季（图1.1）

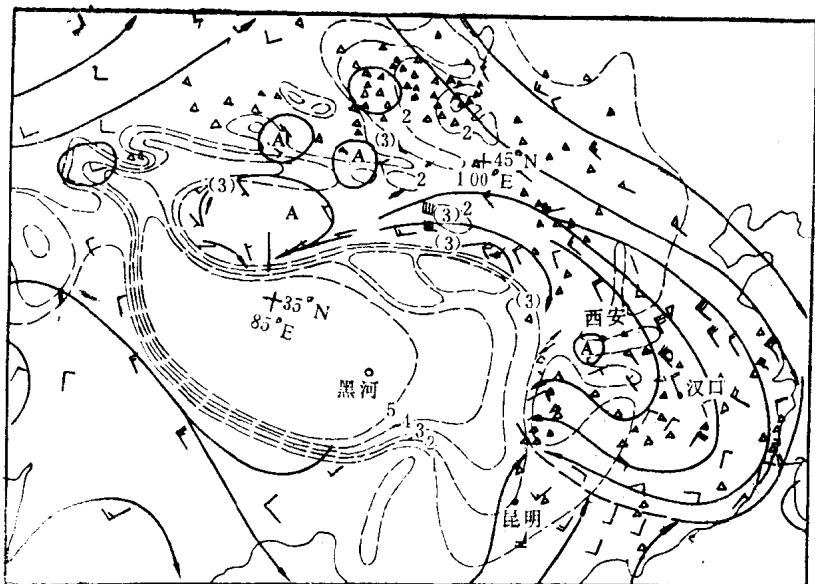
冬季，在5000m上空，流线过高原有明显的分支，气流方向基本与5000m地形等高线平行，气流从西方接近高原后，一支向北绕过天山后折向南下，形成强大的新疆高压脊；一支向南，经印巴大陆过孟加拉湾后折向北，形成宽广的孟加拉湾低压槽。在高原主体的西半部上空，是分支的辐散气流，东半部上空有气流汇合线；新疆高压脊前的宽广西北气流，组成平均的东亚大槽的西半部分，这显示着东亚大槽与青藏高原有密切联系。在青藏高原南北两侧，各有一支西风急流，它们在东亚又逐渐接近而趋于合并。在青藏高原平均高度以下（图1.1(b)、(c)），3000m上空的流线外形与5000m相近，只是东亚大槽的位置更偏东，在高原主体的东侧，其南北各有一个小涡旋，南侧是气旋式，北侧是反气旋式环流，其位置和西南涡及兰州小高压相近，图中可看出这两个系统的成因与流体力学模型试验中尾流涡旋相近。1500m接近蒙古高原的近地层，青藏高原以北的新疆至河西走廊有一连串闭合的次天气尺度的平均反气旋环流（图1.1(c)），那里有频繁的小高压活动；在高原以南，印度次大陆以西为西北气流，孟加拉湾以东转为偏南风，从雅布河谷至我国西南地区一线，气流有明



(a) 5000m



(b) 3000m



(c) 1500m

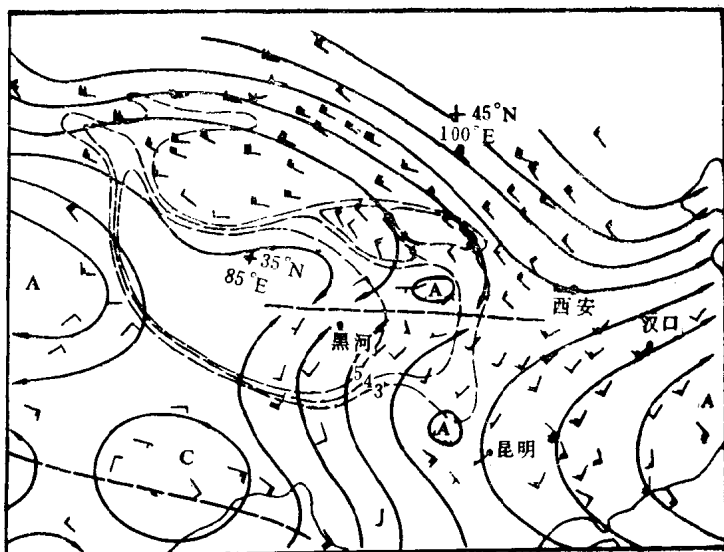
图1.1 青藏高原及其附近冬季（1月）平均水平环流
(图中三角形表示反气旋环流中心,断线为地形等高线,等值线间隔1km,下同)

显地沿地形爬升。据统计,在青藏高原以南,冬季低层反气旋活动与气旋活动的比例为3/17。

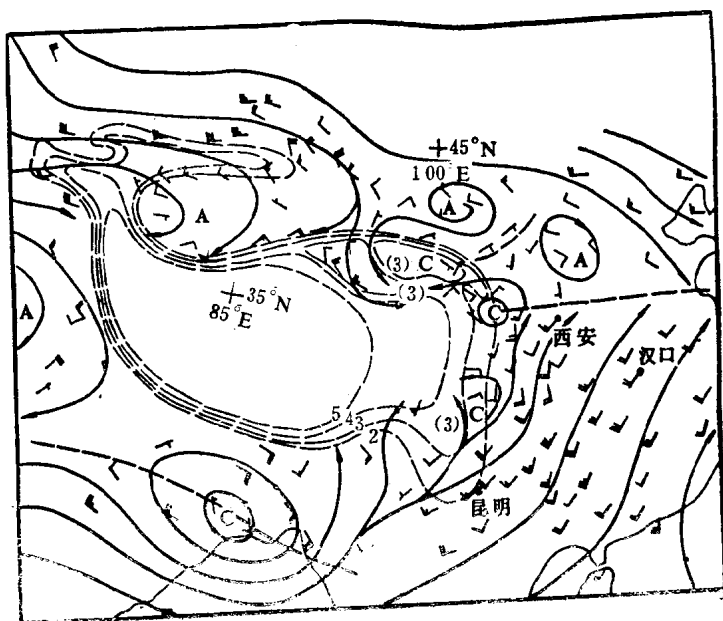
据研究,青藏高原平均高度虽然只有4km,但直到300hPa上,仍然是一个弱风区,这说明青藏高原对流场的影响达到9000m以上,这是不是一种所谓的“泰勒柱”现象,值得深入研究。

1.1.2 夏季(图1.2)

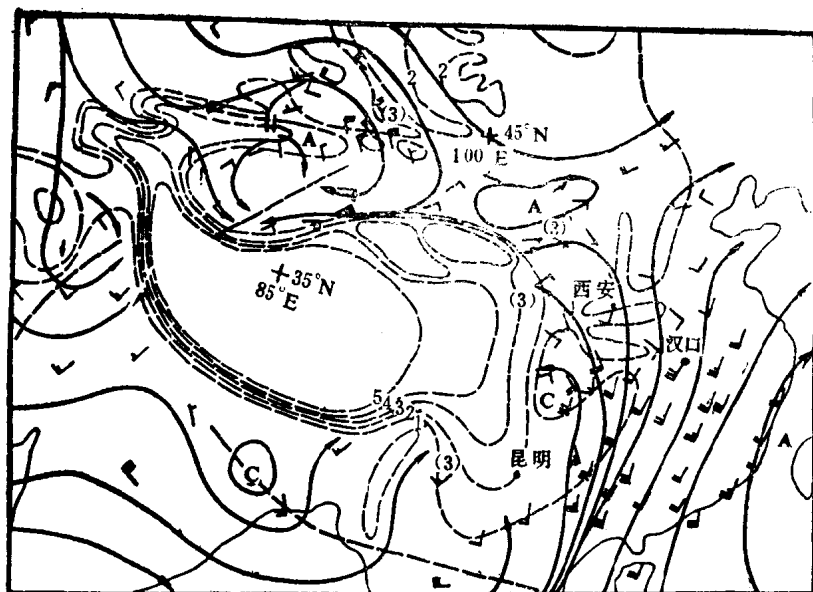
夏季,西风带退到青藏高原以北,高原主体为平均的副热带高压位置,在5000m上空(图1.2(a)),高原以东和以西各有半个大型反气旋环流,它们是西太平洋副热带高压西伸脊和伊朗高压东伸脊的反映,青藏高原主体刚好位于副热带高压的断裂带中。高原以北位于西风带中,新疆的长波脊和东亚大槽尺度比冬季要短,特别是东亚大槽位置比冬季明显偏西。在青藏高原以南为印



(a) 5000m



(b) 3000m



(c) 1500m

图1.2 夏季(7月)青藏高原及其附近平均环流
(说明同图1.1)

度季风槽。在青藏高原上空是西风带气流(进入高原后偏转为东北风)和季风气流(进入高原后偏转为西南风)直接汇合形成的500hPa切变线,在切变上,常有次天气尺度的500hPa低涡活动。在高空的西太平洋高压西伸脊下方,我国东部大陆上空3000m以下,是与热带季风汇通的西南季风(图1.2(b)、(c)),它与西风气流直接交汇形成切变线,它就是我国东部夏季风前沿和季风雨带的平均位置所在。由图1.2(b)、(c)还看出,高原以北低空仍然是一连串反气旋涡旋,而高原以南为印度季风槽和季风低压。西南季风在越过或绕过横断山脉后,在川西背风坡形成动力性气旋涡,它就是夏季的西南涡,可见它与冬半年的西南涡性质明显不同。此外,中低空气流有明显的向高原辐合分量,根据1979年科学实验资料,高原西部的辐合层可达450hPa,再向上至100hPa为向着四面八方的流出(图1.3)。有人甚至用平均资料算出200

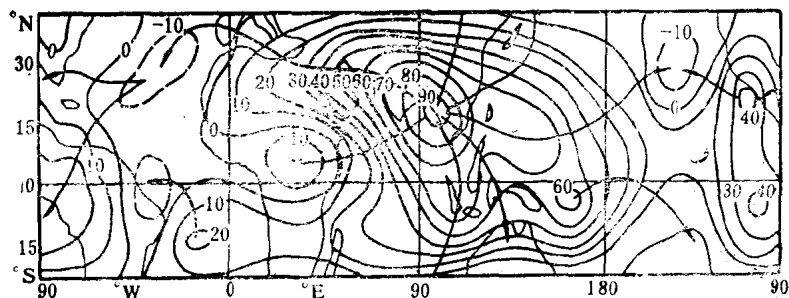


图1.3 1967年7、8月200hPa速度势等值线和辐散风流线（粗矢线）
(单位: $10^5 \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

hPa以下都是辐合的，直到这以上才转为辐散流出。

§1.2 平均压、温、湿场

1.2.1 平均气压场

青藏高原近地气压场和平原地面气压场近似，夏季是一个热低压，而冬季是一个冷高压，但地面气压的年变化却与平原地面相反，即夏季气压高，冬季气压低。青藏高原地面气压日变化的振幅比平原大，如西昌、汉源14时平均三小时变压可达 -4hPa ，在天气分析中必须加以分辨。

1.2.2 平均温度场

与同纬度相比，高原地面年平均气温比四周要低 $10-14^\circ\text{C}$ ，特别是夏季，藏北平均比我国东部平原同纬度日平均温度低 20°C ，比中西伯利亚也要低 $16-20^\circ\text{C}$ ，可见有人将青藏高原称为世界第三冷极是名符其实的。

但是，与自由大气相比，夏季高原比同纬度平原气温要高 $5-7^\circ\text{C}$ ，成为一个叠加在中纬度中的独立暖中心（图1.4），这个暖中心可达200hPa以上。

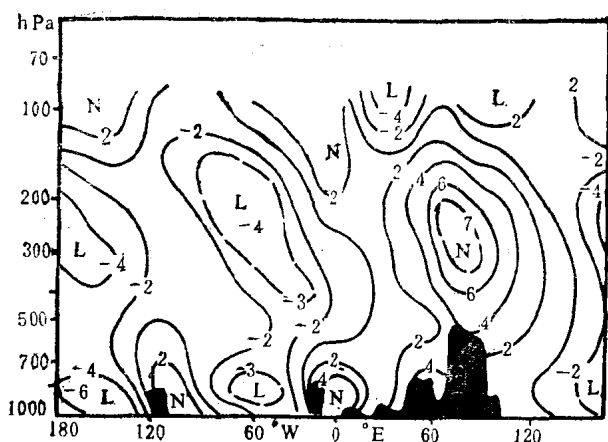


图1.4 30—35°N纬度夏季平均温度距平(相对于纬圈平均)分布
(单位: °C; 描实区为地形)

高原气温年较差比平原要小,而日较差比平原大,前者与海洋相近,而后者则表示一种强内陆山地气候特征。

1.2.3 平均湿度场

高原上空气干燥,全年平均绝对湿度只相当于同纬度平原的三分之一,藏北比中西伯利亚也要小一半。年平均相对湿度40—50%,比同纬度平原(60—80%)要低20%。但冬季低40—60%,而夏季除藏西相对湿度较小外,90°E以东则几乎和同纬度平原相当,比中印半岛西北部(低于60%)和伊朗高原都要大。

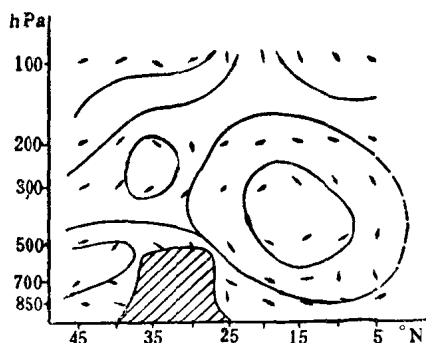
与同高度自由大气相比,青藏高原上空夏季是高湿区,比湿比高原南侧印度、巴基斯坦还要大,冬季高原西部是个干区,但东部仍是高湿区,比湿与我国东部平原上空相当。

§1.3 平均垂直环流

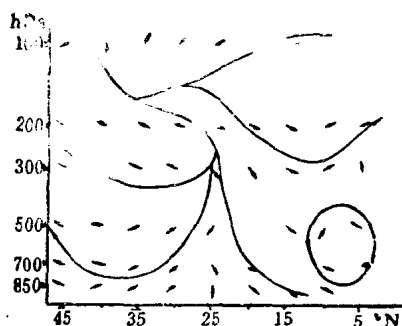
1.3.1 平均径向环流

1.3.1.1 冬季

冬季，中低纬上空是强大的 Hadley 环流圈，它的北侧则是逆环流。但通过青藏高原地区的 Hadley 环流比季风区平均强大（图1.5(a)），伸展地也更偏北。根据研究，冬季北半球的 Hadley 环流主要是高原和大陆的产物，在中东太平洋已缩于 15°N 以南的 400hPa 以下（图1.5(b)）。而中纬度的逆环流在海上最



(a) 1月沿 90°E



(b) 中东太平洋 ($145^{\circ}\text{E}-135^{\circ}\text{W}$)

图1.5 1月平均径向环流
(作图时垂直速度放大100倍)