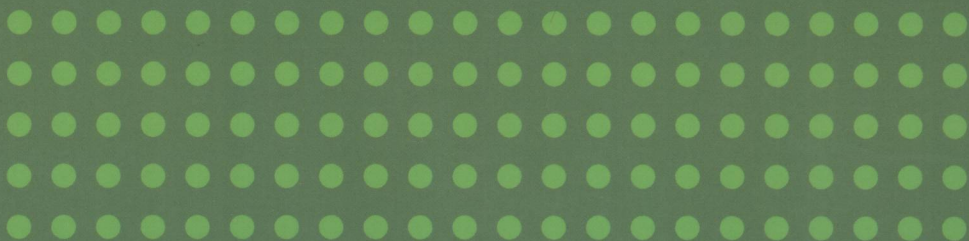


ADVANCED SYNOPTIC METEOROLOGY

高等天气学

(第二版)

丁一汇 编著



气象出版社

China Meteorological Press

高等天气学

(第二版)

丁一汇 编著



气象出版社

内 容 简 介

本书作者汇集多年研究和教学工作的心血,借鉴国内外在近代天气学的各个方面的成果,撰写了这本高水平的近代天气学教材。全书以流畅的文笔、精炼的语言阐述了大气中各类尺度运动系统的结构、生命史、发生和发展的规律以及相关的理论,说明各种系统间的相互作用以及它们在全球大气环流中的功能。本书是一本供研究生阅读的教材,它将高等天气学、中尺度气象学和大气环流三方面有机地融合在一起加以论述,使之在合理的安排下体现了近代天气学中的各个方面。同时它有选择地舍去了一些基本常识和基本公式推导,而着重于对观测事实的物理理解,使全书内容充实又不至累赘。本书是教学和研究中不可多得的高水平著作。这次修订时又增补了近十几年来在季风、中尺度系统与数值模拟和数值预报等方面新的研究成果,并加强了天气学理论方面的阐述。

本书适合于有一定基础的研究生、大学生、研究人员及台站预报人员学习使用,可供各大专院校、气象部门作教学、研究用书。

图书在版编目(CIP)数据

高等天气学/丁一汇编著. 北京: 2 版. 气象出版社, 2005. 2

ISBN 7-5029-3926-1

I. 高… II. 丁… III. 天气学 IV. P44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 013388 号

Gaodeng Tianqixue

高等天气学

丁一汇 编著

责任编辑: 林雨晨 终 审: 周诗健

封面设计: 陈 璐 责任技编: 王丽梅 责任校对: 王丽梅

出版发行: 气象出版社

出版社地址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室: 010-68407112

发 行 部: 010-62175925

印 刷: 北京昌平环球印刷厂

开 本: 787mm×960mm 1/16

印 张: 37.5 插页: 16

字 数: 755 千字

邮政编码: 100081

网 址: <http://cmp.cma.gov.cn/>

Email: qxcbs@263.net

版 次: 2005 年 2 月第 2 版

印 次: 2005 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 0001~4000

定 价: 80.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

第一版前言

十年前作者开始在中国科学院研究生院讲授天气学课程，但那时讲授的方式主要是专题或讲座，整个课程显得系统性不强，各部分之间联系也不够紧密。1982年经叶笃正和陶诗言先生建议，要给研究生系统地讲授近代天气学的基础知识和最新的研究成果，以使他们在学完之后对当前的一些重要问题有一个较全面和较深入的了解，并在毕业之后能更好地迎接未来研究工作和实际工作向他们提出的挑战。高等天气学就是在这样的指导思想之下开设和成书的。

本课程的讲义始写于1982年春。后几经修改，又多次在不同气象部门讲授。近年来又在国家气象局气象科学研究所研究生部讲授。作为硕士研究生的一门学位课，一般可用80学时讲完（一个学期）。但本书的内容从量上远远超出了这个要求。为此在讲授时可根据具体情况加以适当取舍。书中带星号（*）的章节即为供参考的部分。

本书不仅限于研究生使用，对于气象专业的高年级学生，中专和高等学校教师，研究工作者和预报员也有参考价值。

作者在讲授和编写本书的过程中，不断地得到叶笃正和陶诗言先生的热情鼓励，对此表示深切的谢意。孙淑清同志和张可苏同志对本书第四章和第五章的讲授和编写做了大量工作；中国科学院研究生院的何铸文老师，刘征宇和李长青同志以及北京气象学院的林芸美老师对作者给予了许多帮助和支持，对此一并表示感谢。

丁一汇
于国家气象局气象科学研究所
1988年8月

第二版前言

本书自 1991 年正式出版以来, 天气学又有了迅速的发展, 主要表现在再分析资料的使用、季风、中尺度气象学、大尺度遥相关、数值模拟和数值预报等方面。对于这些内容在本书第二版中都做了适当的补充。为了对天气学的事实和模拟结果加强物理上的理解, 专门增加了第二章, 主要阐述与天气学有关的准地转理论、半地转理论、不稳定理论、热带波动力学等。第一版中的有些图表已显陈旧, 在第二版中都尽可能用新的资料进行了重新制作, 同时也增补了一些新的插图, 有些数据和图表也做了重新的核实和修改, 并补充了不少参考文献, 它们都是近十几年中发表的论文。

本书作为中国科学院研究生院的基础课教材已有二十多年的历史, 其间在 1997 年台湾明文书店又出版过繁体字本。在作者执教过程中, 海内外许多学者、同仁和学生对本书提出了不少建议和意见, 在此次修改中都做了认真的考虑。对于书中引文也做了一一校对和补充。但本书篇幅较多, 涉及内容又较广泛, 不足之处在所难免, 敬请读者谅解。

在本书修改中除了感谢孙淑清和张可苏教授外, 特别感谢我的学生沈新勇博士, 他协助我撰写了第二章。柳俊杰、柳艳菊、王慧为本书重新制作了部分图表。宋亚芳、王遵娅、张莉、杨明珠、陈艳、李巧萍等重新打印了本书的手稿, 在此作者对他们的辛勤劳动表示衷心的感谢, 没有她们的帮助这次修改几乎是不能完成的。

陶诗言先生在第一版序言中曾指出, 由于天气学在迅速的发展, 本书在 10 年之后应当改写, 这次新版正是实现了他的期望。作为他的学生, 对他的指导和鼓励表示深深的谢意。

最后作者感谢中国科学院研究生院地学部林秋艳、林黎虹、于东文老师的帮助, 也感谢张锦和朱界平同志的长期协助与合作。

丁一汇
于中国气象局
2004 年 12 月

序 言

过去的 20 年中,随着常规气象观测网的不断改善、新的大气探测技术(如气象卫星和多普勒雷达)的出现以及计算机技术的不断更新,使得天气学有了迅速的发展。天气学的内涵在不断扩充,天气学和动力气象学日益靠拢。我们在目前很难对近代天气学下一个确切的定义。每年有关天气学的文章数量很多,要想对近代天气学作一系统性的概括并不是一件容易的事。这也说明了自从 1969 年 Palmen 和 Newton 的《大气运动系统》一书出版以来,国际上还没有一本新的高水平的近代天气学专著。当然,有关天气分析和预报的技术材料仍是不少的。大气中的运动系统(天气系统)种类很多。从时间尺度讲,有引起大气环流年际变化、季节变化、季节内变化(30~50 天的大气环流变化)、中期变化(5~15 天)、短期变化(1~3 天)、甚短期变化(6 小时)以及超短期变化(1~3 小时)的运动系统。各种不同尺度系统之间相互有作用。近代天气学的任务在于阐明大气中各类尺度运动系统的结构、生命史及其发生和发展物理图象,说明各类系统的相互作用以及它们在全球大气环流中的功能。丁一汇同志编著的《高等天气学》一书,就是按照这个新观点撰写的。

编著这样一本教材是有很多困难的。现时国内外大学研究生院的天气学教材,很多是分成以下三个课程讲授的:高等天气学、中尺度气象学和大气环流,而高等天气学的内容则限于准地转理论的应用、锋和锋生、高低空急流、气旋和反气旋、台风以及阻塞形势等内容。这本书将上述三方面的内容合并在一起,便出现了如何取舍材料的问题。在研究生院一学期或二学期的天气学教材中,不可能包括近代天气学的全部领域。作者在书中作了比较好的安排,使得近代天气学中的各个主要方面都能在本书中出

现。该书的另外一个特点是取材新颖，书中不少材料是八十年代后期的研究新成果。书中没有包括传统的天气分析和诊断分析方法的内容，天气预报的内容只介绍五十年代以来的预报技术。在天气学教材的撰写中，必须分清楚对观测事实的叙述和对观测事实所作的物理解释。作者在写作中很注意这一点，这也是本书的又一特点。

本书虽然是本教材，但写法有些像一般专著。在书中对一些公式没有给出推导，因为这些推导可以在其它书中找到。本书的读者对象是对天气学和动力气象学有一定基础、并且对天气分析和预报有一定知识的研究生和在工作岗位上的预报员及研究人员。

由于近年来天气学研究的领域在不断扩充，新的研究成果在不断涌现。预计在 10 年以后本书的有些内容也许会显得陈旧，我希望在六七年以后本书在再版时应该对有些内容作新的调整。

陶诗言

1989 年 1 月 31 日

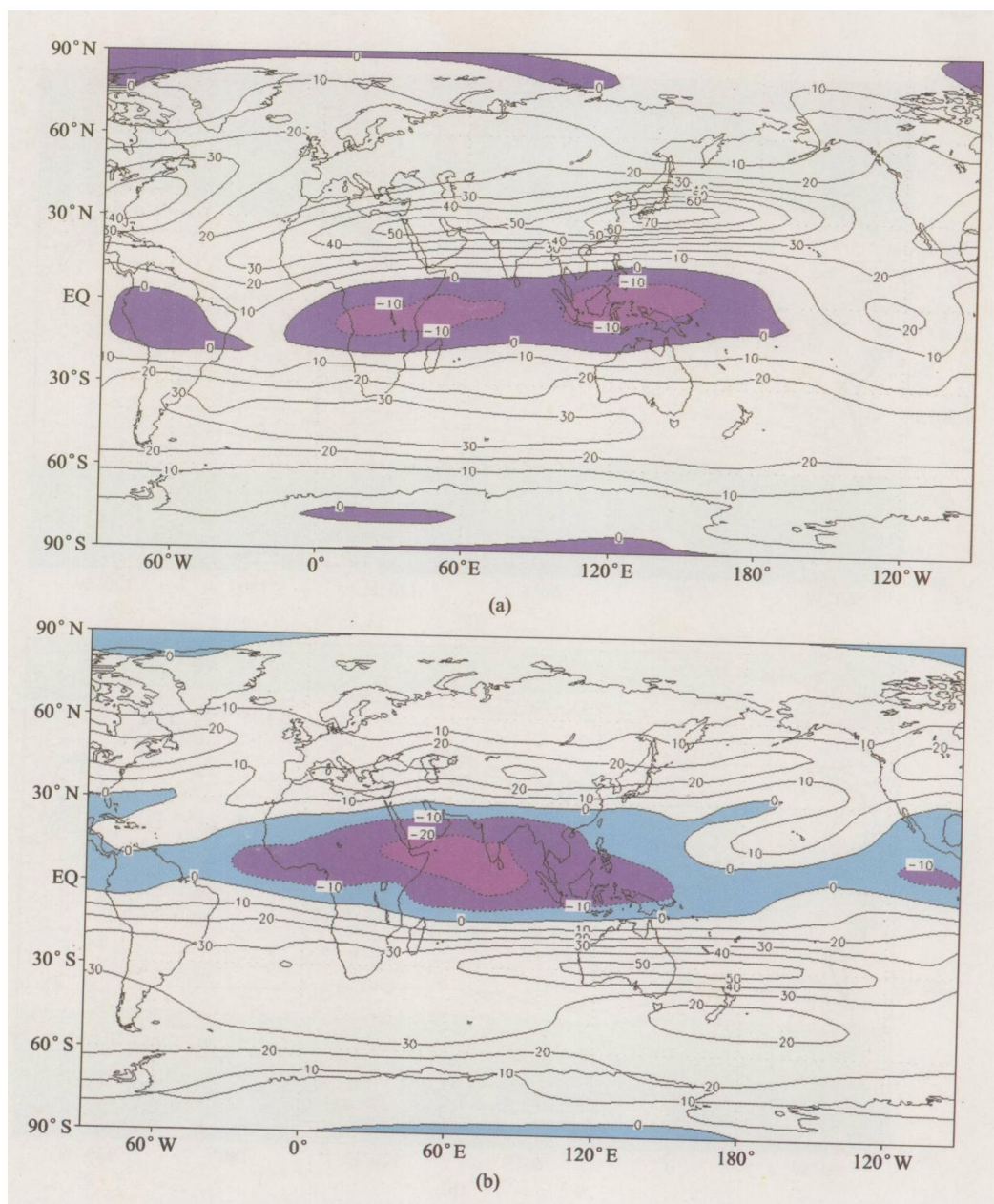
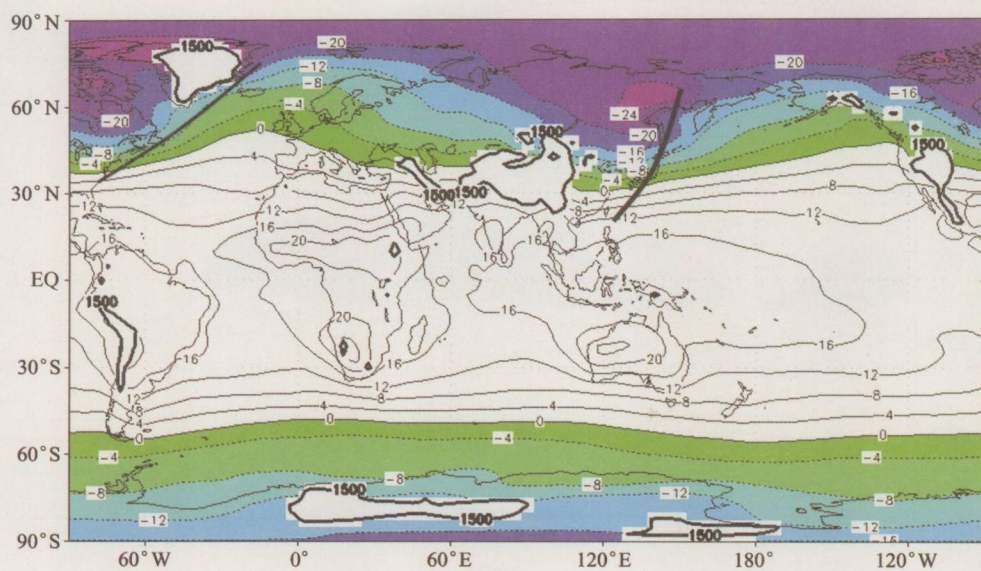
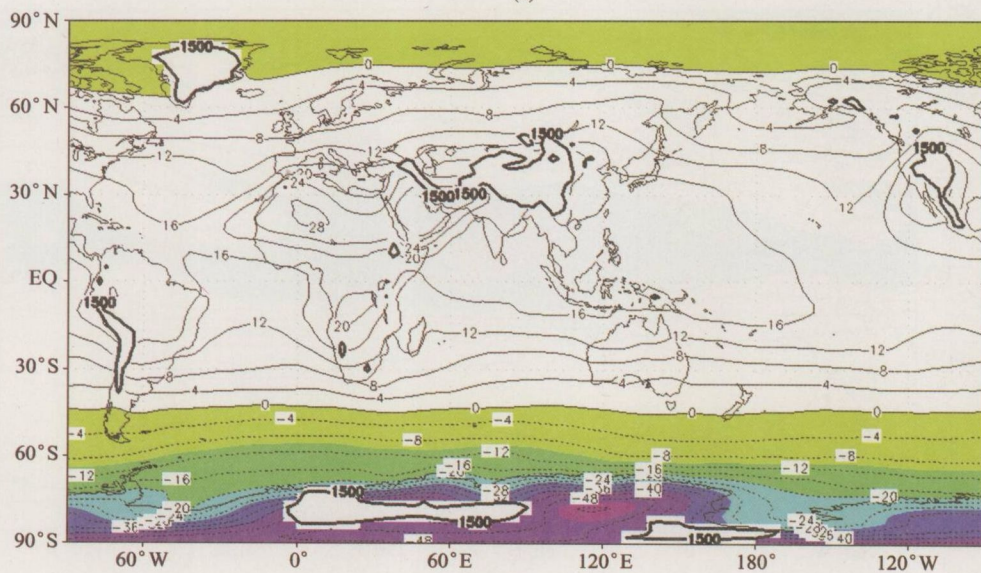


图 1.5 (a) 北半球冬季 1 月 200hPa 气候平均的纬向风分布; (b) 北半球夏季 7 月 200hPa 气候平均的纬向风分布; 单位 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 资料年代 1971~2000 年。
(柳俊杰提供, 2003)



(a)



(b)

图 1.6 (a) 北半球 1 月 850hPa 气候平均的温度场；(b) 北半球夏季 7 月 850hPa 气候平均的温度场；(单位：℃) 资料年代同图 1.5。(柳俊杰提供，2003)

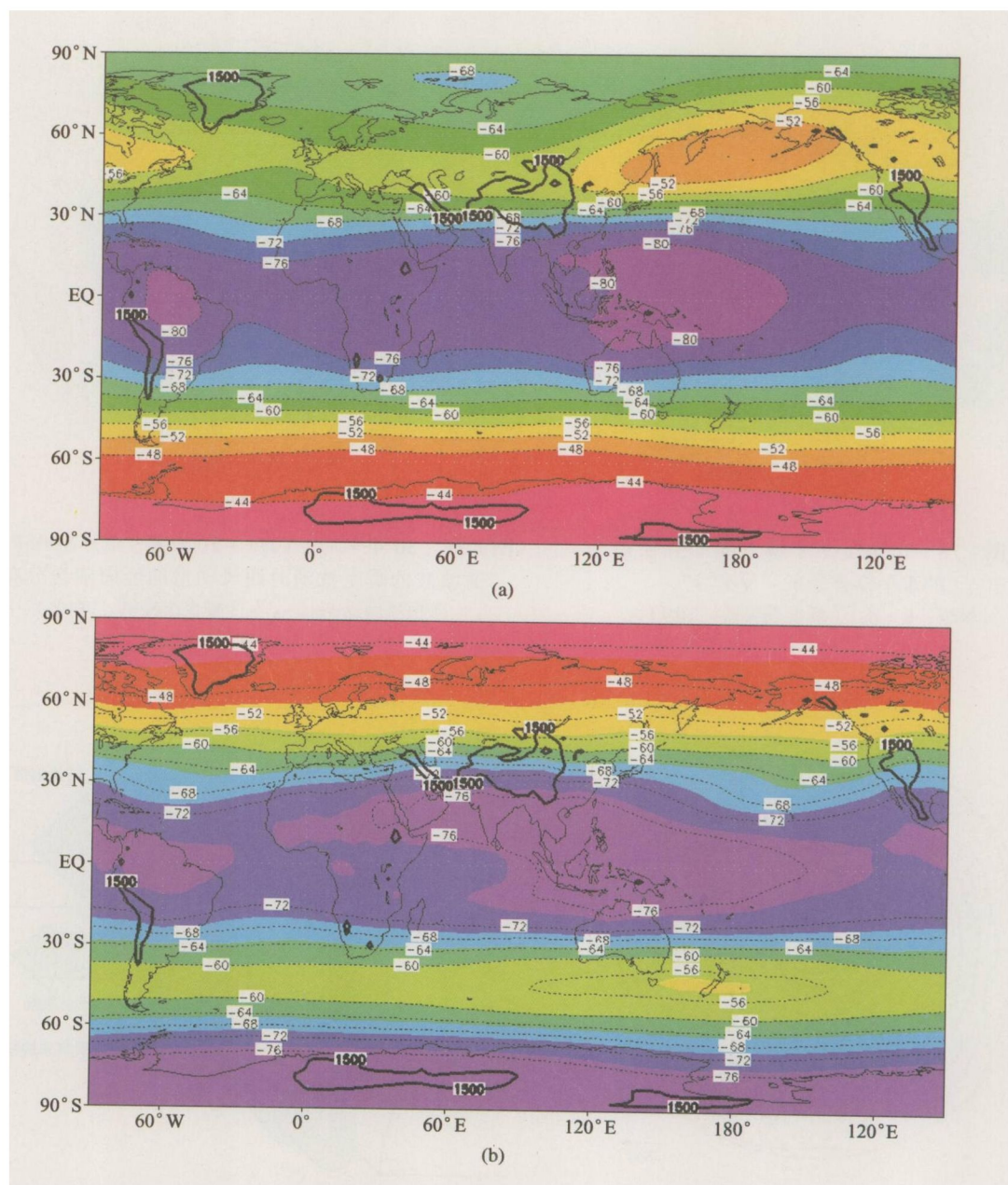


图 1.7 (a) 北半球冬季 1 月 100hPa 气候平均温度场; (b) 北半球夏季 7 月 100hPa 气候平均的温度场 (单位: $^{\circ}\text{C}$) 资料年代同图 1.5。(柳俊杰提供, 2003)

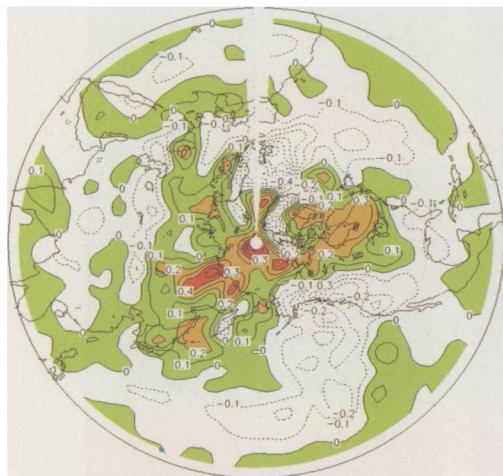


图 1.25 700hPa 冬季瞬变涡动热通量的水平辐合分布 $-\nabla T' V'$
单位: $K \cdot d^{-1}$ (柳俊杰提供, 2003)

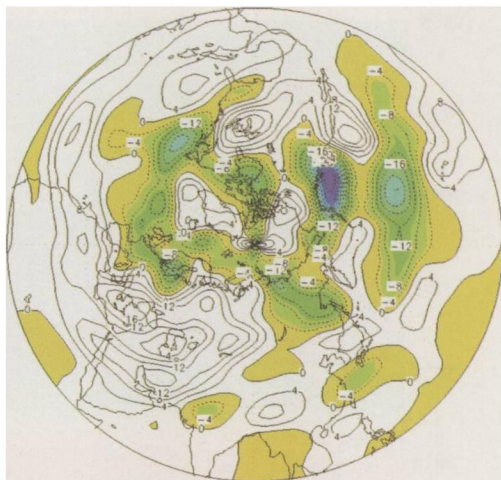


图 1.27 30 年平均 (1971 ~ 2000 年) 1 月 300hPa 带通滤波的瞬变扰动对西风动量的经向输送分布
等值线间隔 $5 m^2 \cdot s^{-2}$ 。(柳俊杰提供, 2003)

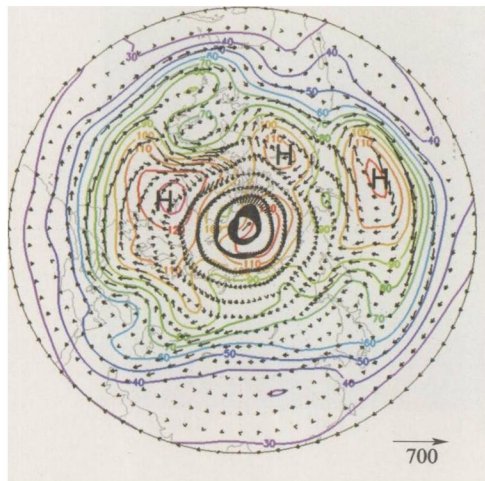


图 1.28 冬季 300hPa 位势高度的瞬变涡动输送分布
等值线代表位势高度的均方根, 即 $(\overline{\phi'^2})^{1/2}$ 。
等值线间隔: 20gpm。 $F(\phi)$ 的单位: $(gpm)^2 s^{-1}$
(柳俊杰提供, 2003)

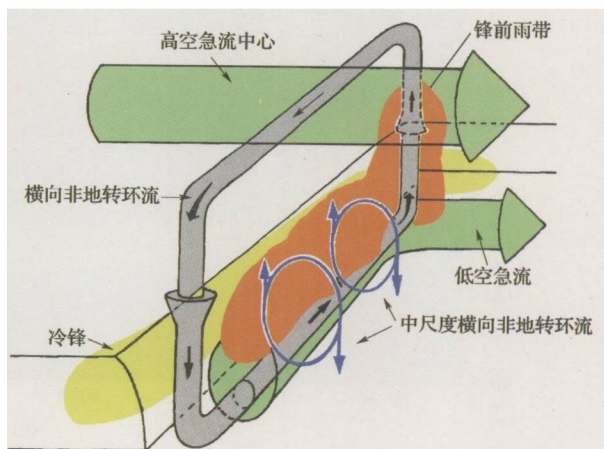


图 3.22 说明冷锋附近高低空急流非地转环流结构与取向的概念模式图 [26]

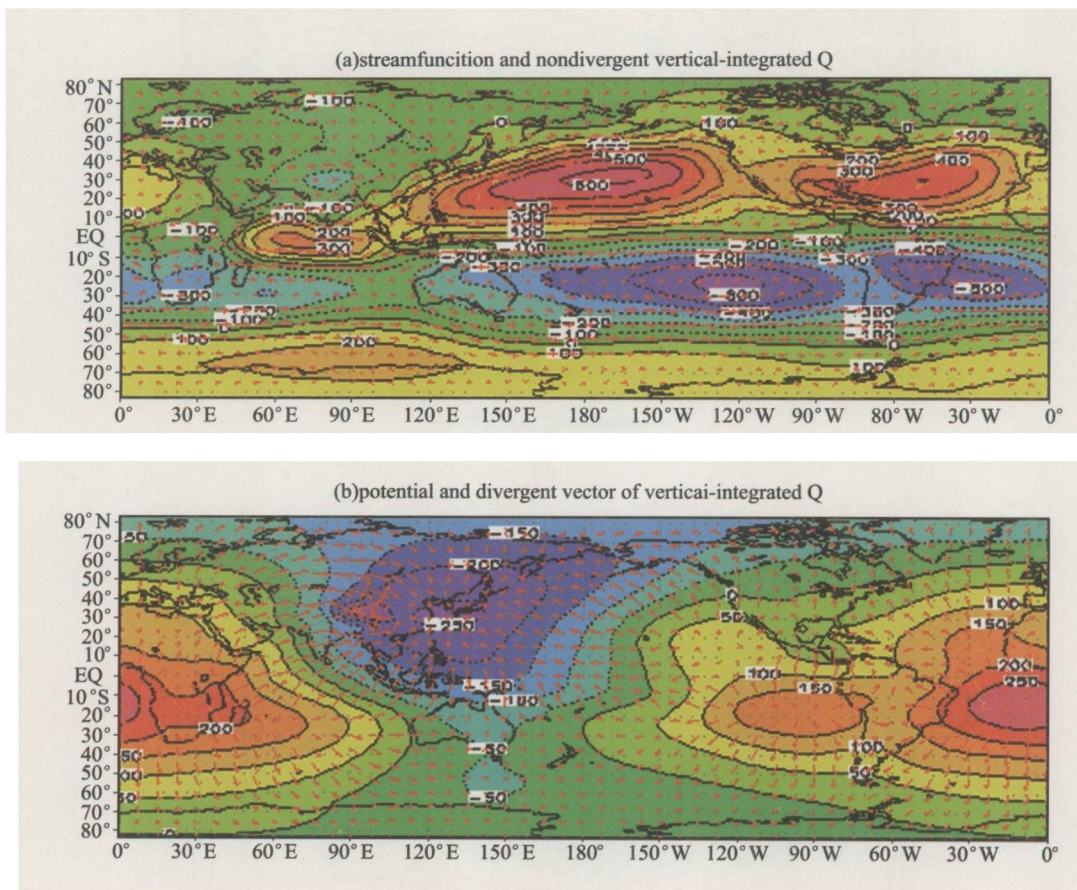


图 1.51 1998 年 5~8 月单位面积空气柱水汽输送的流函数及非辐散分量
 (a) 势函数及辐散分量; (b) 平均分布 (等值线为流函数和势函数值; 单位: $10^6 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$,
 箭矢为非辐散分量和辐散分量, 单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) [46]

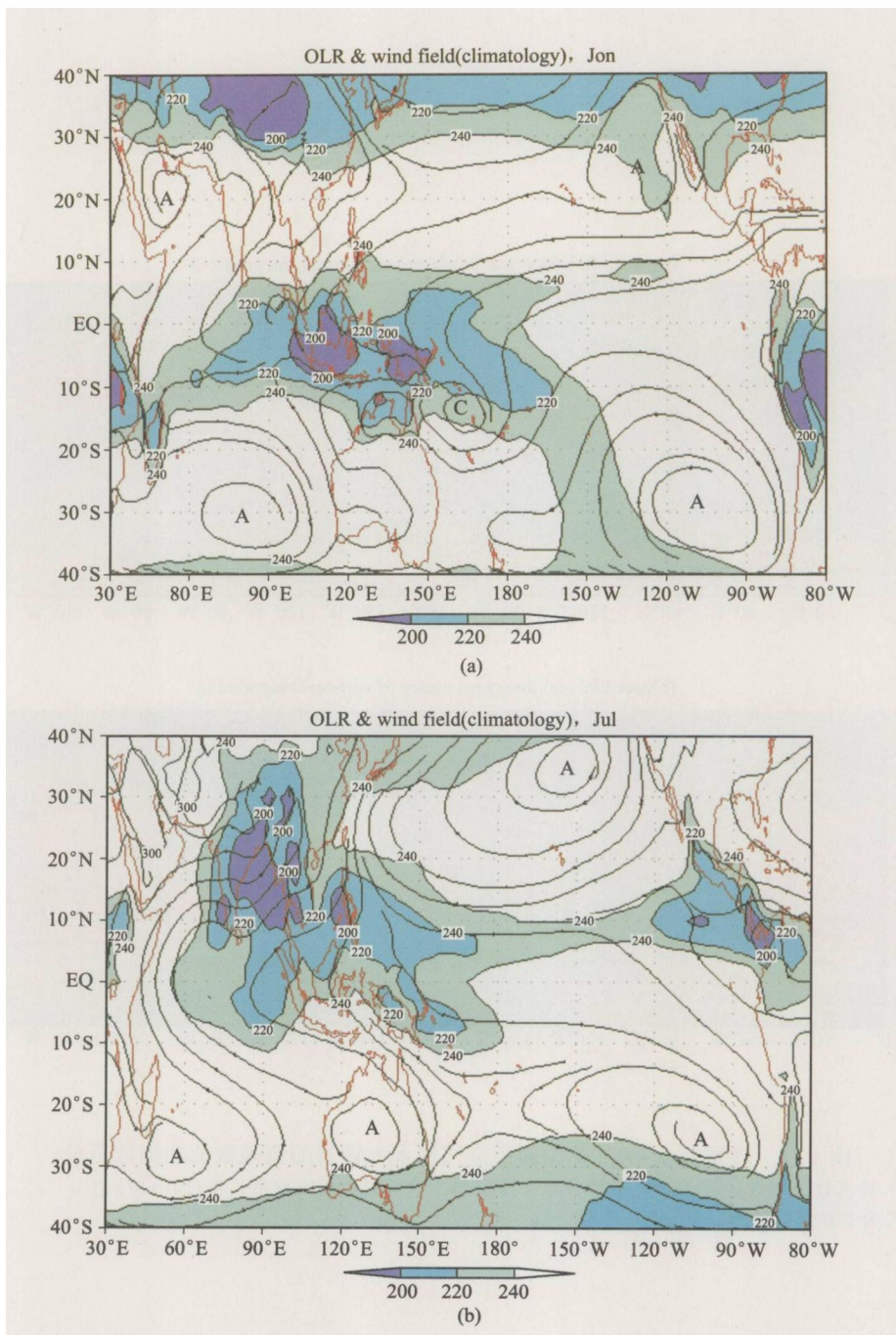


图 4.4 1 月 (a) 和 7 月 (b) 亚洲季风区和热带太平洋 850hPa 平均流场和 OLR 图。
该图由 1971~2000NCEP 资料制作 (柳艳菊提供, 2004 年)

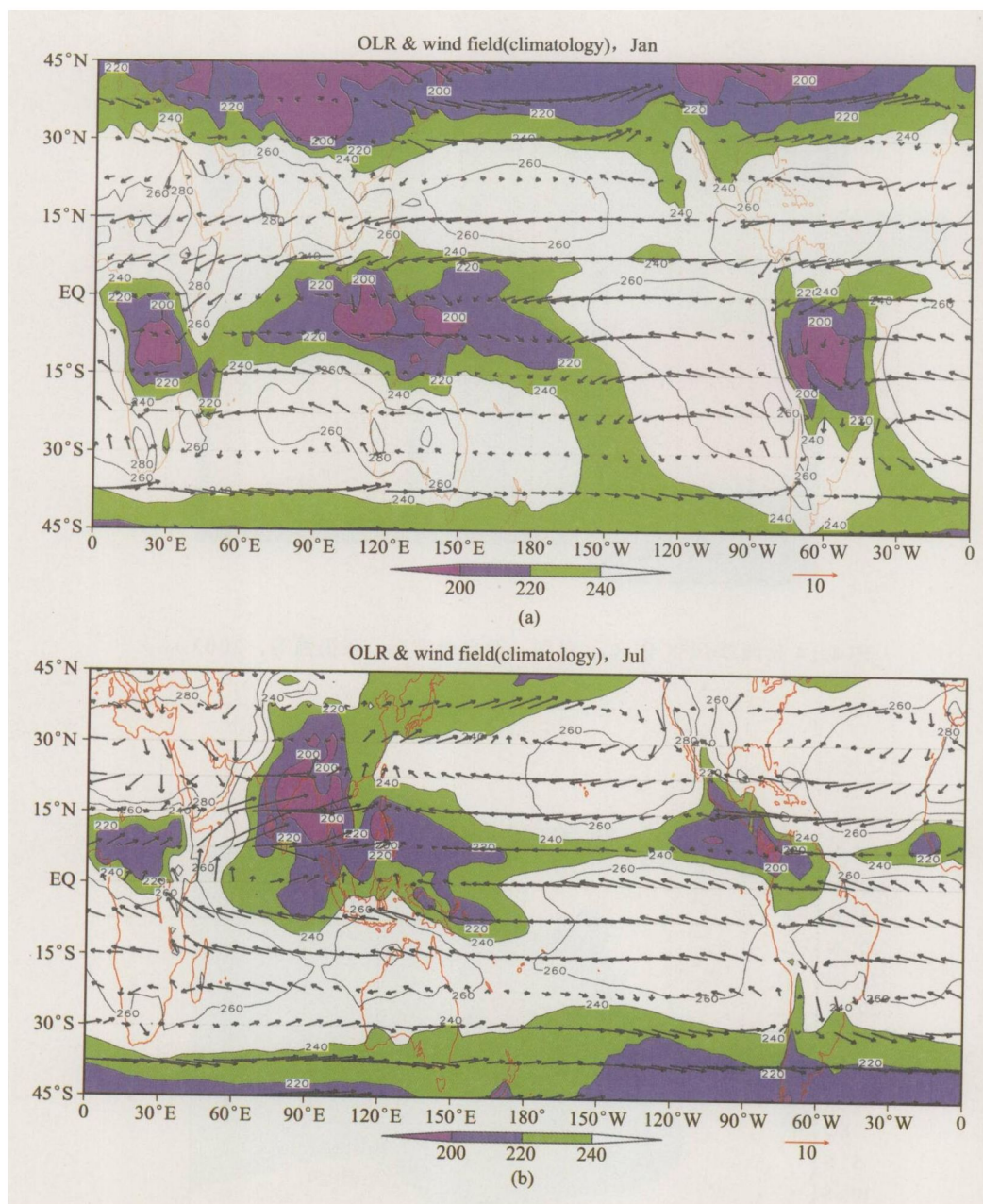


图4.13 全球850hPa 1月(a)和7月(b)(1971~2000)平均流场和多年(1979~2003)平均的OLR(射出长波辐射)分布
斜线区代表OLR在 $-240 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下的强对流区;等值线间隔为 $20 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。(柳艳菊提供, 2004)

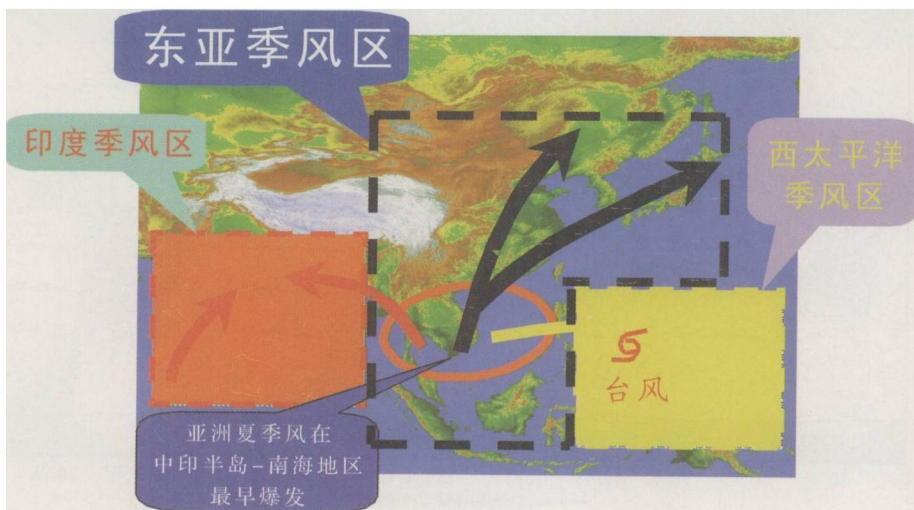


图 4.14 亚洲季风区分区示意图 (取自李维京、张祖强等, 2003)

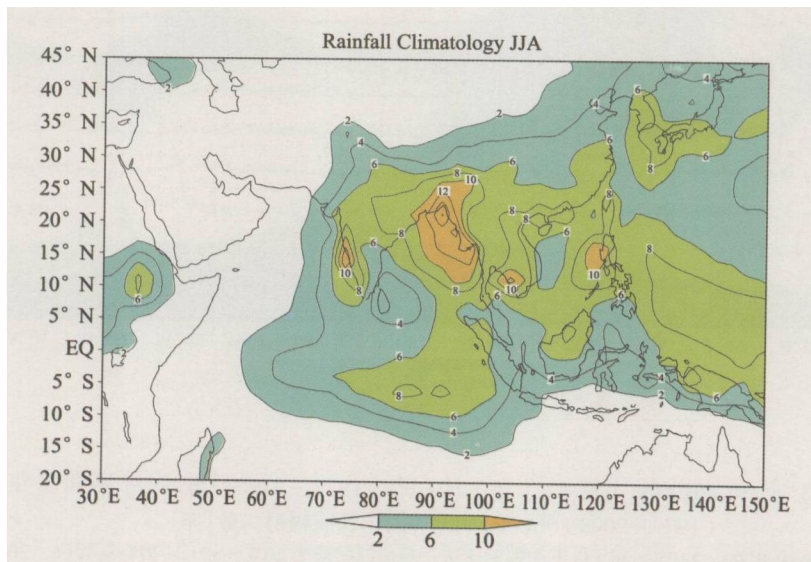


图 4.16 亚洲季风区长期平均 (1961~1990) 的夏季 (6~8 月) 降水分布图
(单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) (取自丁一汇与孙颖)

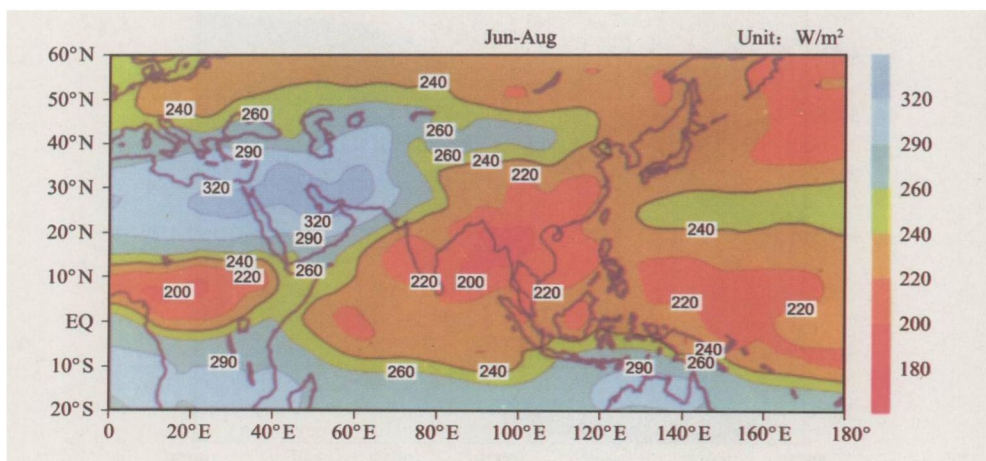


图 4.17 亚洲季风区长期平均 (1958 ~ 1997) 夏季 (6 ~ 8 月) OLR (射出长波辐射) 分布图^[33] (单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) (取自澳门气象局亚洲夏季风图集)

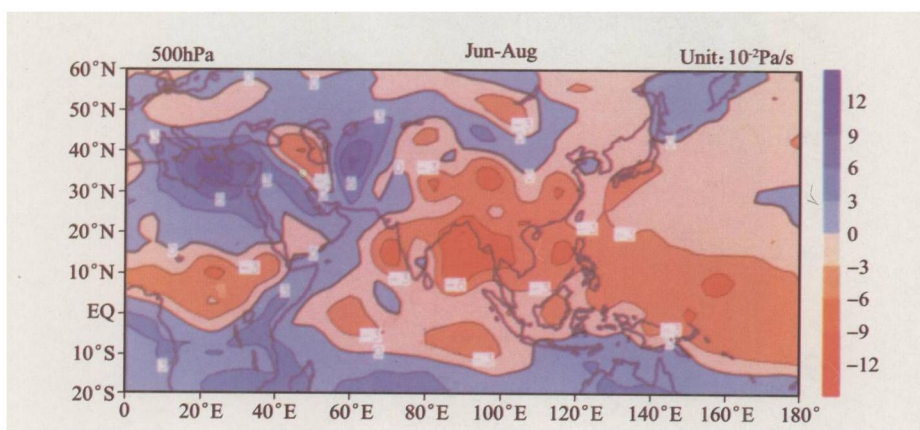


图 4.18 同 4.17, 但是对 500hPa 垂直速度 ($\omega = dp/dt$) 分布图^[33] (单位: $10^{-2} \text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

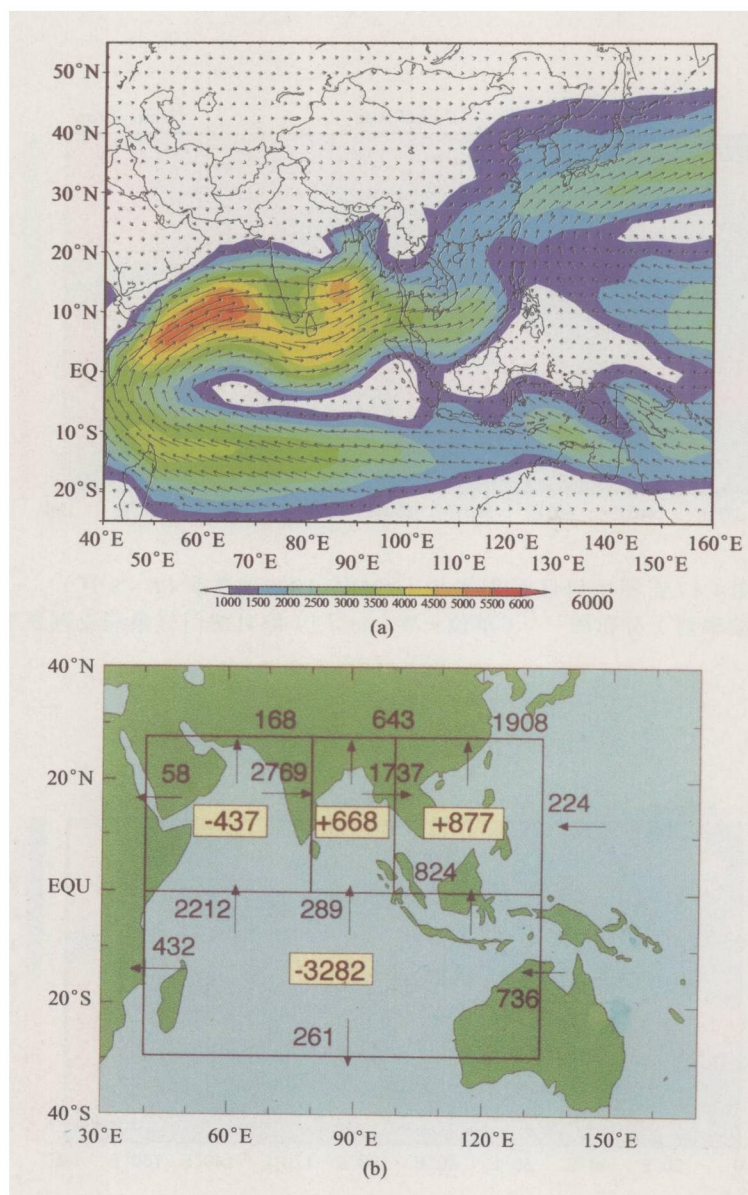


图 4.19 (a) 夏季 (6~8 月) 整层积分 (地表~300hPa) 的水汽输送 (1971~2000 年的气候平均) (单位: $10^6 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$) (取自陈艳等, 2004)。
 (b) 亚洲夏季风 (6~8 月) 水循环计算 ($P - E$), P (降水), E (蒸发 (向下为正)) 与通量值 (由欧洲中期天气预报中心十年再分析资料得到, 单位: $10^{12} \text{ 千克} \cdot \text{秒}^{-1}$) (取自 JASMINE 计划)