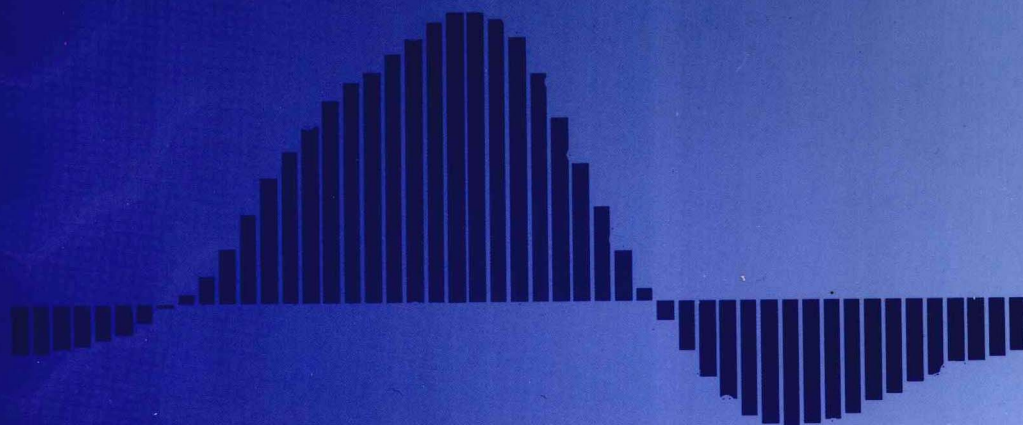
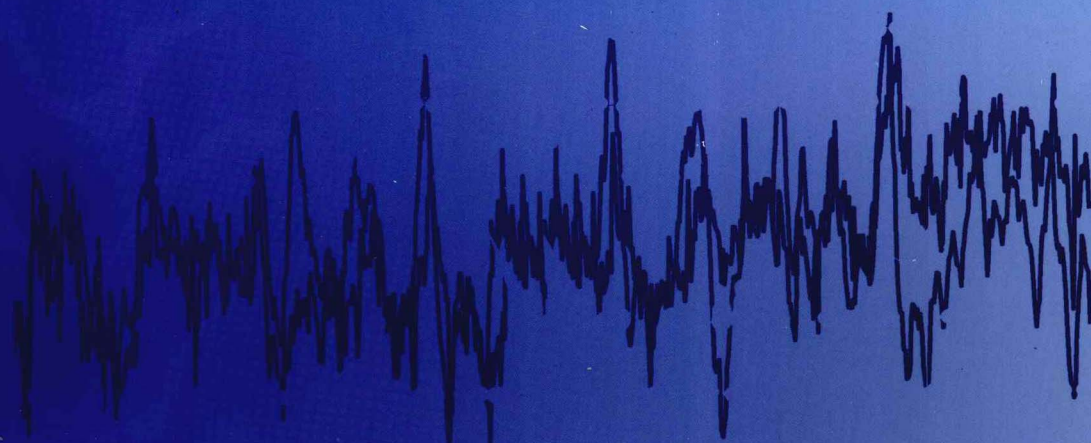


气候变化 与中国极端气候事件图集

Atlas of Climate Change and China
Extreme Climate Events

钱维宏 著



国家科技支撑计划(2009BAC51B04)

中科院战略先导专项(XDA05090400) 资助

国家自然科学基金(40975039)

气候变化与中国极端气候事件图集

Atlas of Climate Change and China Extreme Climate Events

钱维宏 著

内 容 简 介

气候变化与极端气候事件是当前国际社会十分关注的自然科学问题。哪些指标可以反映气候变化? 气候变化与极端气候事件之间有什么关系? 这些问题也是联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)历次评估报告中的核心议题。《气候变化与中国极端气候事件图集》包含以下内容: 气候变化、中国极端气候事件的时空分布和气候变化与极端气候事件预测的可能途径。气候变化的核心指标包括全球气温(海温)和水循环(降水)的变化, 以及全球与区域季风强弱的变化等。中国极端气候包括区域持续性的干旱、暴雨、低温和热浪四类事件。气候变化的预测依赖于气候历史序列的规律分析和归因分析。极端气候事件的预测依赖于大气中异常前期信号的发现。

本图集是一部从事气候变化研究的参考书, 也是一本从事极端气候事件预测的工具书。科研和业务预测人员查阅本图集可以了解当前和未来气候所处的状态(气候钟), 以便于分辨当前的气象要素是否已经偏离了气候态, 即可能会出现极端气候事件。

图书在版编目(CIP)数据

气候变化与中国极端气候事件图集/钱维宏著.

北京: 气象出版社, 2011. 3

ISBN 978-7-5029-5183-2

I. ①气… II. ①钱… III. ①气候变化-中国-图集

IV. ①P467-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 038682 号

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室: 010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑: 陈 红

封面设计: 博雅思企划

责任校对: 永 通

印 刷: 北京天成印务有限责任公司

开 本: 889 mm×1194 mm 1/16

字 数: 460 千字

版 次: 2011 年 3 月第 1 版

定 价: 150.00 元

邮政编码: 100081

发 行 部: 010-68409198

E-mail: qxcs@cma.gov.cn

终 审: 周诗健

责任技编: 吴庭芳

印 张: 17

印 次: 2011 年 3 月第 1 次印刷

序 言

气候变化和极端气候事件以及它们之间的关系是当前国际社会十分关注的研究课题,也是联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)历次评估报告和中国《气候变化国家评估报告》中的核心议题。但是,极端气候事件是不是越来越多了,如果是的话是不是人类排放 CO₂ 所引起的。迄今没有令人信服的结论,处在事实不清,机理不明的状态。

气候变化主要包括以气温为指标的冷暖变化和以降水量为指标的干湿变化。气候变化不但有多个时间尺度,还存在区域差异。极端气候事件的发生也具有不同的时空特征。因此,在气候变化背景下,揭示极端气候事件发生的实况,研究其规律、成因和预测方法十分重要。

我国处于东亚季风区,各种极端气候事件频繁发生,给人们的生产、生活带来了巨大的影响。依托我国近 60 年高时空分辨率气象观测资料,对我国极端气候事件标准、监测和检测技术、时空分布特征、形成机理和预测方法进行研究,有助于提高对极端气候事件的认识,是提高防灾减灾能力和适应气候变化的重要举措。

领导和公众对未来气候状况最想知道的并不是降水的偏多偏少,温度的偏高偏低。暮春三月,江南草长之时,未来汛期我国什么地区,什么时段防汛会非常紧张,或者旱情会非常严重?这种极端气候事件需要提前预报,这是现行的作为正向问题和初值问题难以解决的。需要普查历史实况作为倒向问题找前期信息。

北京大学钱维宏教授领导的研究组经过近 10 年的探索研究,在气候变化和极端气候事件的研究方面取得了丰富的成果,获得了新认识。《气候变化与中国极端气候事件图集》系统地收集和总结了这方面的研究成果。《图集》给出了分布于全球的季风系统和季风降水,并阐明全球季风系统和季风降水是气候变化的重要方面,会直接影响全球温度变化。基于中国台站气象观测资料,《图集》给出了区域持续性干旱、暴雨、低温和热浪四类事件的列表,这对开展气象服务是必不可少的基础数据。针对国家需求的延伸期天气预报和气候预测,《图集》试探性地开展了这方面的研究,取得了一些有应用价值的成果。

该《图集》以图表的方式给出了大气和海洋变化的大量信息,内容丰富、资料详实,为更好地研究气候变化和极端气候事件奠定了基础。同时,《图集》也为气候和气候变化业务发展提供支撑。我相信本图集的出版必将促进气候变化和极端气候事件的研究,并有助于更多、更新、更有成效的研究成果出现。

丑纪范

2011 年 3 月 16 日

前 言

人类工业化以来,全球温度以波动式上升,到 20—21 世纪之交成为一个有历史记录以来的最暖平台。随着经济的发展,极端气候事件频繁发生造成的损失也随之增大。全球温度暖平台的出现和气候灾害的频发是人类活动的结果,还是自然变化的表现?如果是人类活动与自然变化共同作用的结果,那么二者各占多大的比重?这不但是当前全人类十分关注的科学问题,也是气象预测人员迫切需要认识的问题。如果气候变化和极端气候事件完全或有 90% 以上的可能是人类活动引起的,则全人类就要约束自己,从而抑制气候变化,减少极端气候事件的发生,否则地球就会毁于当代人之手。如果气候变化和极端气候事件是自然变化引起的,则科学家就要去寻找引起气候变化的真正原因并预测未来的气候变化,气象预测人员就要把精力集中在极端气候事件的预测方法的研发上,以便未雨绸缪。

探索真理是人类的追求。国内外科学界已经发表了大量的气候变化和极端气候事件的论文。每篇论文,作者都用比较详实的资料和方法来支持自己的观点。但是,不同的资料必然有不同的结论,相同的资料也会由于采用的方法不同和观点不同,论文表述的结论也可能完全不同。当然,要一篇文章,或几篇论文把气候变化和极端气候事件的方方面面描述清楚并集成出一个可靠的结论也不是件易事。传播真理是人类的使命。当前国内外也有大量的气候与极端气候事件的科普图书出版,目的是在传播真理。在由科学出版社出版的《天问:谁驱使了气候变化?》一书中,作者用较大的篇幅给出了全球气候变化的图文,而对极端气候事件的描述和预测相对较少。老预报员或首席预报员的丰富经验是个人几十年长期实践和悟性积累的结果。老预报员经验往往只能会意,而难以言传,这就给传播真理增加了难度。有经验的老预报员不但经历的极端天气和极端气候事件多,他们也善于对事件进行归类和记忆。记忆力再高和记忆量再大的老预报员也比不上现代计算机。如果能够同时让计算机学会对事件进行数理结合的分层次归类,则首席预报员与计算机的人机交互将是无与伦比的。我们希望新预报员也能进行人机交互式学习,以便加快提高预测水平。

鉴于上述缘由,本图集试图用图表的形式系统地给出气候变化和极端气候事件资料中的信息,并附加一些简要说明,这样可较少添加作者的个人立场和评判标准,让读者自己去“看图说话”。

近年来,我国在气候变化和极端气候事件科学研究方面已经跻身于国际前列。众多的研究项目相继启动就是一个标志。这些项目不但要开展全球气候变化归因和预测研究,还要研究中国区域的气候变化并做出未来 10~30 年的气候预估。依托我国近 60 年来高时空分辨率气象观测资料,近 10 年来我国的极端气候事件研究不再仅仅以事件发生的百分位数作为评判标准了,而是进入到了分级气候事件、分区气候事件和区域持续性事件的研究阶段。建立的各类区域持续性极端气候事件序列将有助于为公众服务和科研服务。近年来,我国也在气象行业专项、公关项目和基础研究项目上加大了对气候极端事件和延伸期天气预报方法研究的投入力度。总之,这些项目的开展更有利于科学问题的解决,有利于为民生服务的减灾、防灾。

本图集共分九章。第 1 章是全球季风系统的季节变化,内容包括全球季风区以及季风(气候)系统和气候变化指标的时空演变图。第 2 章分别给出了东亚季风环流和季风降水的季节(候)气候演变过程图,以及与区域性暴雨事件联系的低层(850 hPa)大气扰动流场图。前者有助于预报人员判断当前的状况是否异常并对未来的极端事件有所预估,后者可直接看到扰动环流与区域性暴雨事件之间的联系。第 3 章给出了全球和区域海温变化的图例。海洋具有巨大的热储量和热惯性,对年际气候异常、年代际和世纪尺度气候变化有决定性的影响,是全球气候变化的领跑者。以上三章是从季风和海洋的角度出发利用资

料绘制的图集。第4章是全球和区域气候变化,用百年至千年的温度序列做出了不同尺度规律变化的图示,用不同的气候要素和强迫要素做出了相同尺度分解的比较图示。这些图示阐明,气候变化和极端气候事件是科学问题,而人类活动及大气中CO₂浓度增加是环境问题。科学问题要研究,环境问题要治理,它们是两类不同性质的问题。第5章是中国干旱图表,列出了近60年来发生在中国的主要干旱事件和分布特征。干旱事件往往持续时间长,影响范围广,但一次持续的干旱事件也是由多个干旱过程累加形成的。第6章是中国区域性暴雨事件图表,区域持续性大降水可以是流域性的和跨流域的,受到不同天气系统的影响。第7章是中国区域低温事件图表。依照定义,中国的主要低温事件会发生在任何季节和任何地区。第8章是中国区域热浪事件图表。热浪可分干热浪和湿热浪。干热浪主要出现在中国北方的西风带地区,湿热浪主要出现在我国东部的季风区。第9章是气候和极端气候预测信号的图示。气候变化规律分析和归因分析的目的是要预测未来的气候,极端气候事件的预测是要找到大气中的前期异常信号。

引起气候变化的外源强迫也具有多时空尺度—从年际、年代际到世纪和千万年尺度。极端气候事件是区域热力对比的产物,气候变化是其发生的背景。热浪与低温,干旱与洪涝会同时发生在不同的地区,对生命财产会造成巨大的损失。因此,极端气候事件的预测方法研究还需要长期加大投入力度,是关系民生的大事。对天气和气候变化规律的理解与预测方法的研究思路需要有一个根本性的改变,这样才能提高人力和物力投入的效果。

编辑这本图集的想法来自2010年10月29日在国家气候中心学术报告后的专家座谈提议。这之后,北京大学季风与环境研究组立即组织了编写分工。汤帅奇、单晓龙和朱亚芬完成了季风部分的图表。单晓龙完成了东亚季风演变的时钟图,武凯军协助完成了扰动环流降水图。全球和区域海温图由李进完成。陆波、李进和梁浩原等完成了全球和区域气候变化部分的图表。四类持续性区域极端干旱、低温、热浪和暴雨事件的图表分别由朱亚芬、张宗婕、丁婷和单晓龙等完成。气候和极端气候预测信号章节的图表由陆波、丁婷、张宗婕和朱亚芬等完成。图集出版得到了国家科技支撑计划项目(课题编号:2009BAC51B04)、中国科学院战略性先导科技专项(项目编号:XDA05090400)和国家自然科学基金项目“中纬度西风带与东亚季风气流中波动相互作用对我国东北夏季旱涝影响的研究”(编号:40975039)课题的共同资助。国家气候中心王永光首席给予了大力支持。

气候变化的预测和极端气候事件的预测是气候研究的目标。这套图集列出的大量气候变化自身规律的分析 and 因果关系的分析可以增加我们对未来20~50年气候变化预测的信心。在气候变化的归因分析上,我们能够估算到近百年全球温度增加的1℃中,0.56℃来自年代际和世纪尺度自然波动的贡献,而在趋势0.44℃中有一半来自几百年尺度气候波动的份额,还有一半来自城市气候变化的作用。对区域持续性极端气候事件,用前期大气扰动信号与未来10天中期数值天气预报模式产品扰动信息的结合,我们就有希望把重大灾害性天气预报的时效延伸到10~15天。本图集中已经给出了大量的前期信号预测持续性极端气候事件的例子。

气候变化和中国极端气候事件已有大量相关的内容和图表发表。历次IPCC评估报告和中国《气候变化国家评估报告》中也有大量的气候变化与中国极端气候事件的图表。这本图集仅仅收录了北京大学季风与环境研究组近年来绘制的301幅图和58个表,可以作为对已经出版的国内外气候评估报告的部分补充。这本图集包含的基本科研思路是,对观测序列需要有物理层次的分解。科研思路不能申请专利,只能尽快向社会公布与应用,产生社会效益,减少生命财产损失。作者相信,这样的图集会在今后得到进一步的补充和提高,也欢迎读者批评指正。

作者 钱维宏
2011年元旦

目 录

序言

前言

第 1 章 全球季风系统的变化	(1)
1.1 资料	(2)
1.2 方法	(2)
1.3 全球季风气候区	(4)
1.4 大气中的气候变化系统	(8)
1.5 大气中的气候指数	(12)
第 2 章 东亚季节气候变化与环流扰动场	(18)
2.1 资料和方法	(19)
2.2 七十二候季节气候图	(20)
2.3 环流扰动场与暴雨	(56)
第 3 章 全球海温演变	(61)
3.1 全球气候海温	(62)
3.2 次表层海温结构	(66)
3.3 全球和区域海温长期变化	(72)
3.4 表层与次表层海温变化的关系	(78)
3.5 海气耦合关系	(84)
第 4 章 全球和区域气候变化	(87)
4.1 全球干湿千年变化	(87)
4.2 全球温度千年变化	(94)
4.3 温度变化归因分解	(99)
4.4 欧美碳排放量与气温的关系	(103)
4.5 美国百年城市气温变化	(111)
4.6 中国测站气温变化	(116)
4.7 北京地区气温变化	(121)
第 5 章 中国区域干旱事件	(125)
5.1 资料和方法	(125)
5.2 全国干旱气候特征	(127)
5.3 2010 年初西南干旱	(131)
5.4 区域干旱事件排序表	(133)

第 6 章 中国区域暴雨事件	(146)
6.1 资料	(146)
6.2 方法	(147)
6.3 单站暴雨事件统计	(147)
6.4 区域暴雨事件统计	(149)
6.5 区域暴雨事件(1960—2009 年)	(156)
第 7 章 中国区域低温事件	(172)
7.1 资料和方法	(172)
7.2 中国寒潮气候变率	(173)
7.3 区域低温极端事件的气候特征	(176)
7.4 区域低温极端事件表	(181)
第 8 章 中国区域热浪事件	(200)
8.1 资料	(200)
8.2 单站高温热浪	(200)
8.3 区域热浪事件的定义	(203)
8.4 区域热浪图	(205)
8.5 前十位热浪事件	(210)
8.6 区域干热浪事件	(212)
8.7 区域湿热浪事件	(216)
第 9 章 气候和极端气候预测信号	(222)
9.1 年代际气候预测	(222)
9.2 年际气候预测前期信号	(226)
9.3 热浪前期预测信号	(228)
9.4 区域低温极端事件前期预测信号	(236)
9.5 东亚降水指数中期预报	(249)
附录:北京大学季风与环境研究组的四类研究	(254)

第 1 章 全球季风系统的变化

气候变化的根本原因是太阳辐射量和热量传输(加热)在一地的多时间尺度变化。影响一地气候变化的最主要因素是太阳辐射量的季节变化和海陆热力对比的季节变化。这两个因素引起的气候变化是正常的季节气候变化,无须预报,只需认识。观测的气象要素中扣除季节气候变化部分后的是天气扰动量,是天气预报的基本量。一地气象要素变化的位相总是落后于强迫量变化的位相。本章中的南北半球要素随季节的变化位相落后太阳辐射直射南北回归线的时间一个多月就是例证之一,在第四章还有年代际尺度的例证。南、北半球的最盛夏季节是第 8 候和第 44 候。

理论上假定有数学模型

$$\frac{\partial S}{\partial t} + (N + L + D)S = F \quad (1-1)$$

可以描述多个层次的复杂问题。其中 $S = (d_1, d_2, \dots, d_R)^T$, d_R 为第 R 个变量, R 个变量随时间的变化构成了系统的状态 $S(t)$, F 是外界对系统的强迫源, N , L 和 D 分别为控制系统内部状态变化的非线性、线性和耗散算子, $(N + L + D)$ 构成了这个系统的内部动力学。在数学上,我们可以把系统的状态 S 分成一个时间段上的平均部分 \bar{S} 和这个时间段上的扰动部分 S' 的和,

$$S = \bar{S} + S' \quad (1-2)$$

这里有 $\bar{S} \gg S'$, 即前者的时空尺度远大于后者。又假定在这个时间段上 S 的变化由系统的控制变量(外强迫)和系统内部的线性和耗散两个因素所决定,即

$$\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} = F - (L + D)\bar{S} \quad (1-3)$$

则系统的扰动部分为

$$\frac{\partial S'}{\partial t} = -N(\bar{S} + S') - (L + D)S' \quad (1-4)$$

可见,扰动部分依赖于系统内部的复杂性(非线性),和线性与耗散的作用。扰动部分与系统的非均匀性及内部动力学密切相关。气候是在一定时空尺度下状态(也称吸引子)随时间的连续变化,仅依赖于系统的控制变量(外强迫),是一个线性过程。反过来说,气候异常是在这个线性过程上叠加了气候系统内部的扰动部分。

对线性部分,只要外强迫的控制变量知道,这一部分就是确定的。由于复杂性的存在,就有很多的不确定性,称为随机的成分。于是,我们可以认定:对任何复杂系统的状态, $S(t)$ 都可以写成确定性 D_c 和随机性 R_c 并存的方程

$$\frac{\partial S}{\partial t} = D_c + R_c \quad (1-5)$$

其中 $D_c = F - (L + D)\bar{S}$, $R_c = -N(\bar{S} + S') - (L + D)S'$ 。从上述方程的分化,我们认识到:由于复杂性的存在,确定论的动力系统本质上是不确定的。但在这个不确定中,又蕴藏有确定的成分。这一确定的成分在很多情况下是可以认识的,也是可以预报的。另一部分中,存在对不确定部分的统计可预报性。这里把确定性和随机性两者联系起来了。

其实,这种确定性和随机性的分解分析方法就有应用价值。以全球温度的变化为例,每日的温度可



以分解成由三个部分组成。它们是太阳辐射随季节变化的部分、海陆等地形分布影响的季节变化部分和用观测变量减去前两个部分后的偏差部分。前两个部分是不需要预报的,是气候。要预报的是第三个分量,偏差部分。这个偏差部分也就是随机性 R_t 部分。即使在这个部分中也还可以找到其中的统计规律。这一部分预报的成功就是技巧。

我们注意到,北半球温度和降水的季节变化总是落后太阳直射北回归线的时间一个多月。太阳辐射量的那些几十年的长周期变化和海温变化也都超前全球平均气温的变化。其原因就是在这个平均的线性方程 $\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} = F - (L + D)S$ 中,不是外强迫 F (太阳辐射)直接与大气变量 \bar{S} (气温)的对应关系,而是有一个时间滞后项 $-(L + D)S$ 的作用。可见,数学关系多么好地帮助我们理解了物理现实中的现象问题。

这一章帮助我们认识:什么是气候?气候与强迫之间的时差关系?又什么是天气扰动?全球有哪些季风气候区?全球有哪些气候(季风)槽和大气活动中心?人们可以构造多少个气候指标?

1.1 资料

所用全球气象要素来源于 NCEP/NCAR 的逐日资料。全球范围的高度场和指数计算使用了 NCEP/NCAR Reanalysis 1 的 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 格点资料,起止时间为 1948—2008 年,经度范围 $0^\circ \sim 180^\circ \text{E} \sim 0^\circ$,纬度范围 $90^\circ \text{S} \sim 90^\circ \text{N}$,垂直方向 17 层。资料来源于 <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/>,详细说明参考 Kalnay 等(1996)的相关文献。区域高度、温度和风场来自 NCEP FNL 逐日分析资料 (<https://dss.ucar.edu/datazone/dsszone/ds083.2>),空间分辨率 $1^\circ \times 1^\circ$,时间分辨率 6 小时,起止时间 1999—2007 年,经度范围 $0^\circ \sim 180^\circ \text{E} \sim 0^\circ$,纬度范围 $90^\circ \text{S} \sim 90^\circ \text{N}$,垂直方向 26 层。降水资料也相应地使用了两套资料。一套是由美国 NOAA 提供的 CMAP 格点化降水资料(Xie and Arkin, 1997),来源于 <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>。其起止时间为 1979—2007 年,空间分辨率 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$,经度范围 $1.25^\circ \sim 358.75^\circ \text{E}$,纬度范围 $88.75^\circ \text{S} \sim 88.75^\circ \text{N}$ 。另一套是由美国 NASA 提供的热带测雨(TRMM)卫星逐日降水产品(Huffman, 1997),来自 ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/s4pa/TRMM_L3/TRMM_3B42,起止时间为 1998—2007 年,空间分辨率 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$,时间分辨率 3 小时。

1.2 方法

将气象要素场分解成以下形式(Barry and Carleton, 2001):

$$A = [\bar{A}] + \bar{A}' + [A]' + A'' \quad (1-6)$$

其中左侧是原始气象要素场,右侧第一项是 30 年逐日变量纬圈一时间平均场,反映了太阳辐射的纬度变化确定的气候要素场。第二项是变量相对纬圈距平的 30 年时间平均的逐日变量场,反映了海陆、地形差异影响的气候要素场。前两项之和统称为气候变量季节变化场,反映了太阳直接辐射作用和海陆分布对气候要素场的调整作用。后两项是行星尺度和天气尺度扰动引发的对气象要素场的改变,分别是纬圈平均距平的扰动量(指数循环)和瞬时天气扰动变量(高低压扰动和冷暖扰动等瞬变天气扰动分量)。

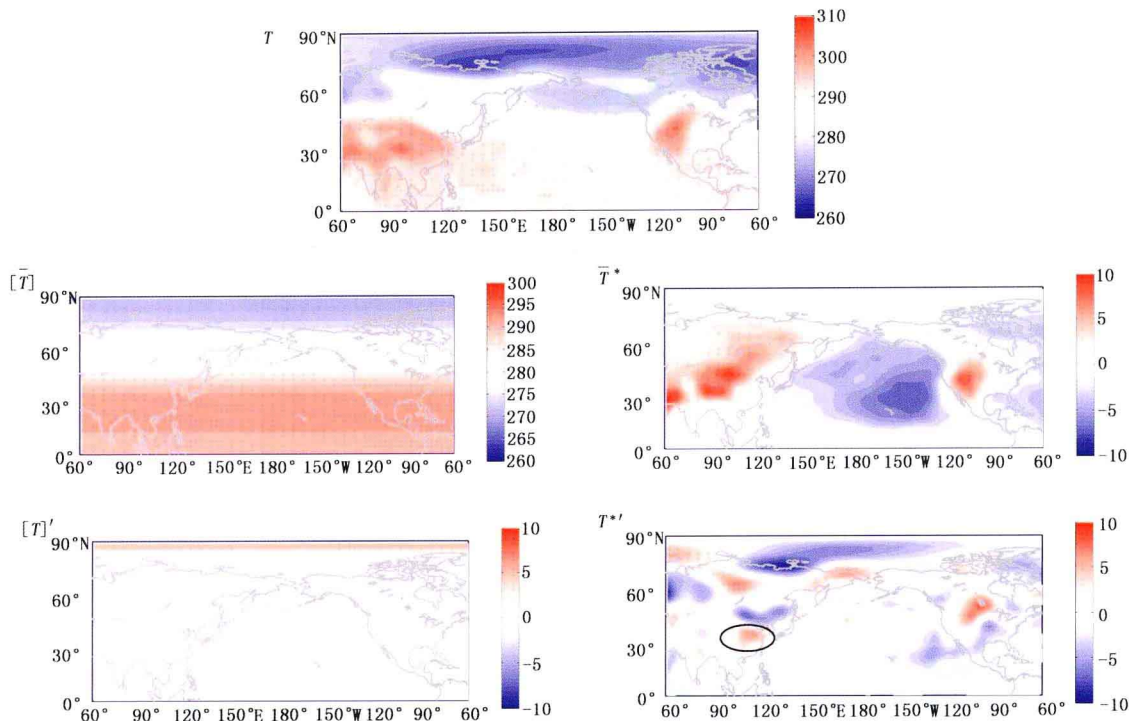


图 1-1 2002 年 7 月 15 日北半球亚洲—太平洋—北美地区 850 hPa 温度场(T)按照公式(1-6)的四项展开分量。第一项是南北温差($[T]$),第二项是海陆温差(T^*),第三项是南北多条带指数循环($[T]'$),第四项是瞬时天气尺度温度扰动(T^{**})。温度扰动场上,我国北方的冷与南方地区的暖比原始温度场清楚。用天气扰动场有利于极端天气气候事件的分析 and 预报。用海陆分布气候场有利于气候分析。对扰动场也可以计算 3 天、5 天、7 天、9 天的时间平均,从而分析和认识扰动系统的持续性。温度扰动中的椭圆位置对应我国南方的热浪事件。

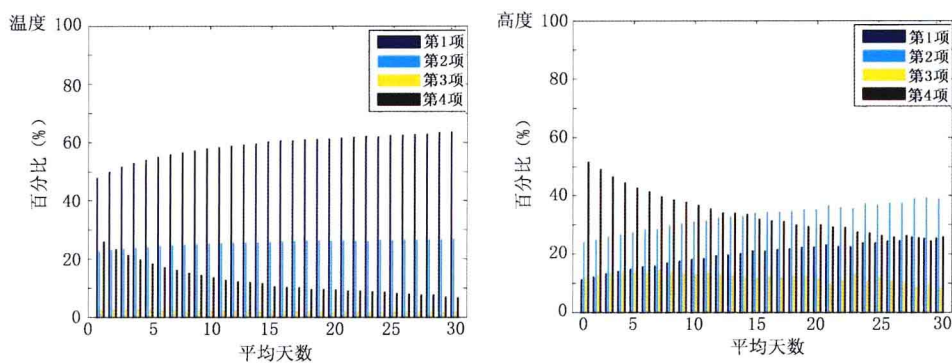


图 1-2 850 hPa 温度场、高度场、风分量 U 和 V 场,在四项分解中各占总方差的相对百分率贡献随平均时间(天数)的变化。对温度场的分解,第一项在最初 15 天平均从 48%增大到 61%左右,而第四项(天气扰动)从 26%减小到 12%,第三项占的比例很小,第二项在 30 天内维持在 25%附近。对高度场的分解,第四项(天气扰动)从 50%下降到 30%,而第二项和第一项分别从 25%和 11%增加到 40%和 27%。对风场 U 分量,天气扰动分量从 60%下降到 30%,而第一、第二项从 13%和 19%上升到 30%。对风场 V 分量,天气扰动分量从 73%下降到 40%,而第一、第二项从 7%和 20%上升到 18%和 42%。15 天以内的高度场和风场天气扰动分解有着较强的信号分量。

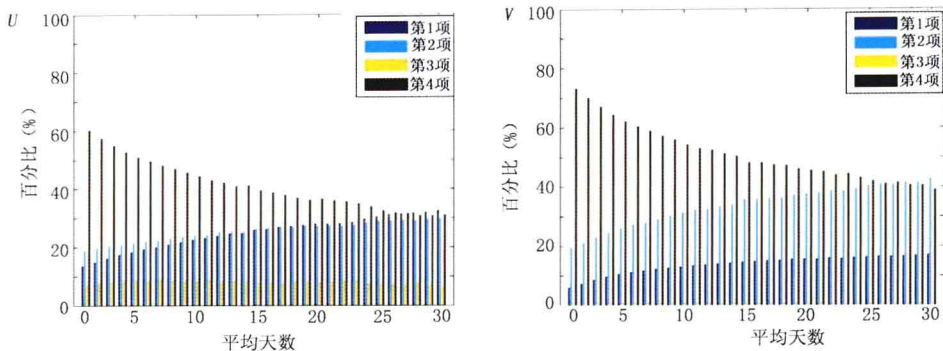


图 1-2 (续)

1.3 全球季风气候区

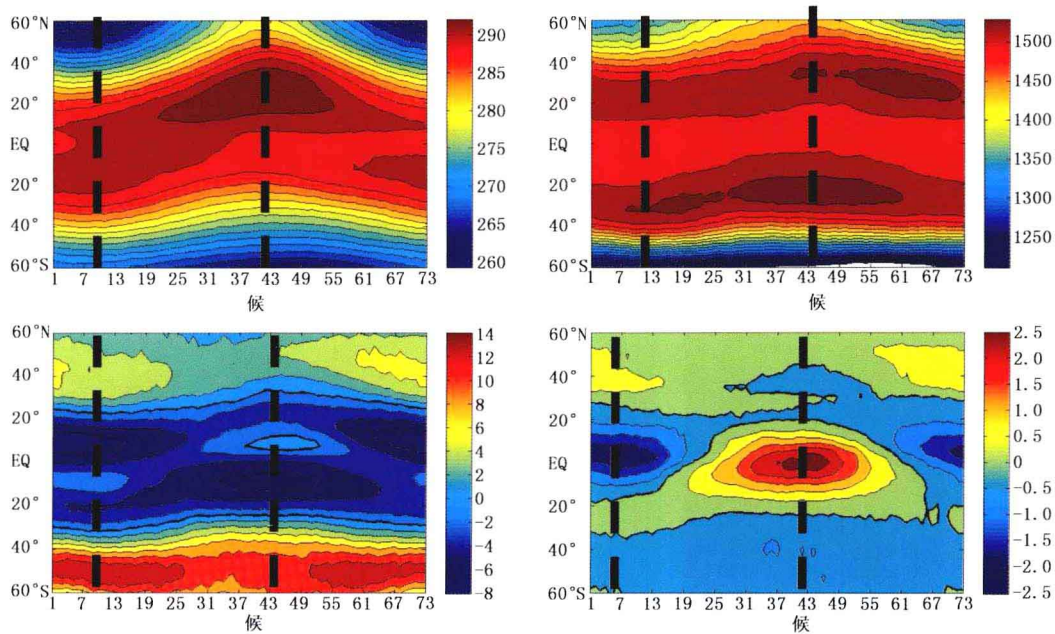


图 1-3 850 hPa 气候平均的温度场(左上,单位 K,等值线间隔 2K)、位势高度场(右上,单位 gpm,等值线间隔 20 gpm)、纬向风分量(左下,单位 m/s,等值线间隔 2 m/s)、经向风分量(右下,单位 m/s,等值线间隔 0.5 m/s)随纬带的分布。左下和右下图中加粗的等值线为 0 m/s。粗虚线表示各气象要素场推进到最南端和最北端的位置分别在第 8 候和第 44 候。第 8 候和第 44 候都滞后太阳直射南北回归线的时间。

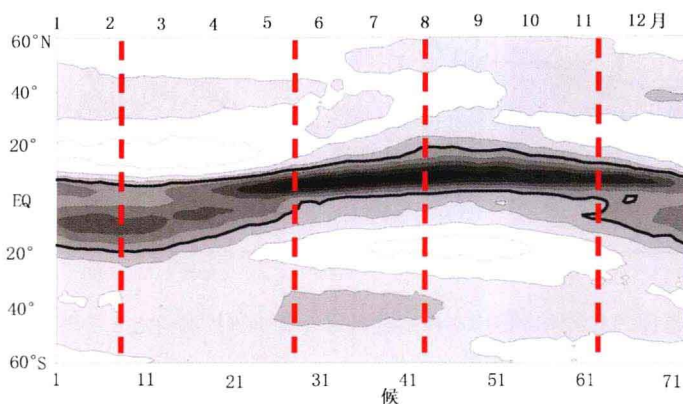


图 1-4 气候平均的降水随纬带的分布,单位 mm/d(毫米/天)。等值线间隔 1 mm/d,加粗的等值线为 4 mm/d。粗虚线表示的位置从左至右分别为第 8 候,第 28 候,第 44 候和第 63 候(Qian 和 Tang, 2010)。第 8 候和第 44 候分别是南、北半球降水最多的季节。第 28 候不但是南海季风的爆发时间,也是南、北半球季节转换的时间。

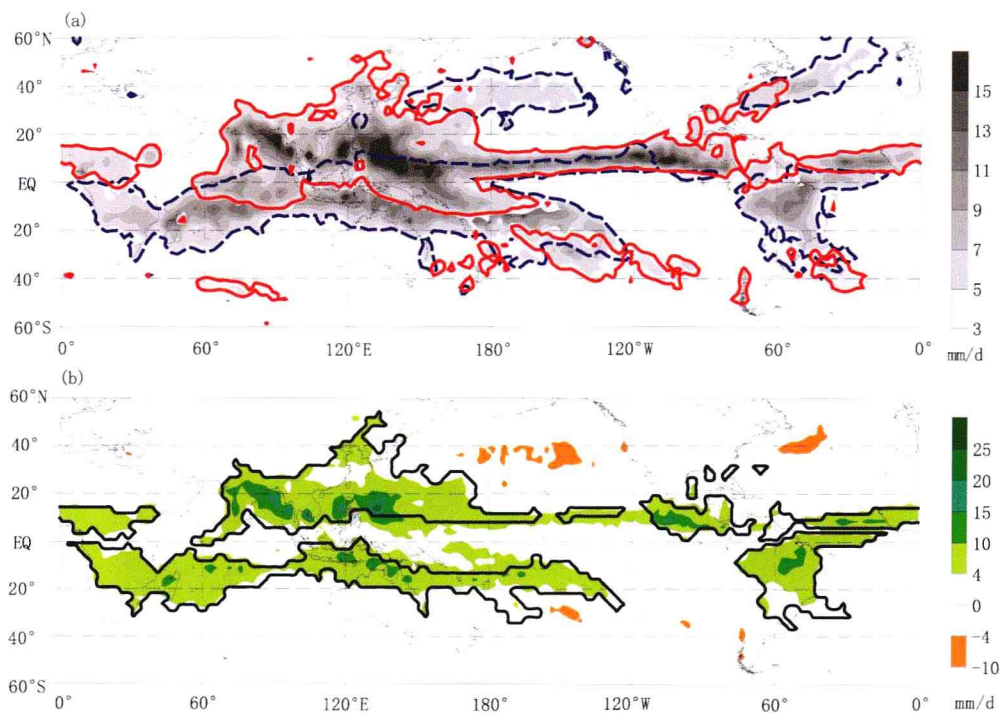


图 1-5 气候干湿转换确定的全球季风区。第 44 候和第 8 候平均降水量分布(上)。红色粗实线为第 44 候 4 mm/d 等降水线,蓝色粗虚线为第 8 候 4 mm/d 等降水线。第 44 候和第 8 候平均降水量之差(下),填充图最浅的区域为 1~8 mm/d 差值。粗实线区域为夏季降水 > 4 mm/d,而冬季降水 < 4 mm/d 的区域在 1979—2007 年的多年平均(Qian 和 Tang, 2010)。全球季风由亚—澳季风、南北美洲季风和南北非洲季风组成。亚—澳季风又可分成亚洲季风和澳大利亚季风。南北美洲和南北非洲存在南美洲季风和北美洲季风,以及北非季风和南非季风。亚洲季风中又可以分为南亚季风、西北太平洋—南海季风和东亚季风。每个子季风的强弱变化与季风槽有关。

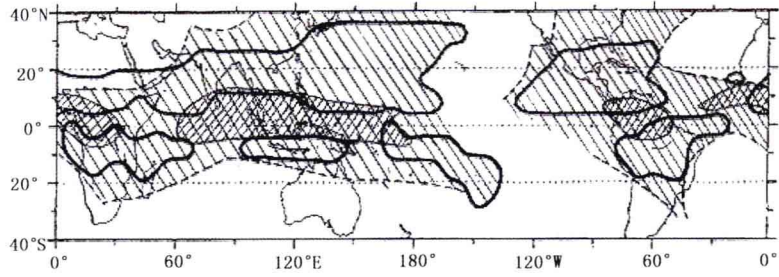


图 1-6 在季风是热带三大水汽大值中心区随越赤道气流季节扩展的定义下得到的全球季风区分布。交叉线阴影区为气候年平均卫星观测的水汽亮温中心，赤道外单粗线闭合区是水汽干湿转换的区域，斜线区为 850 hPa 越赤道气流影响的区域(Qian 等, 2002)。用不同的指标定义的全球季风区域有所不同。

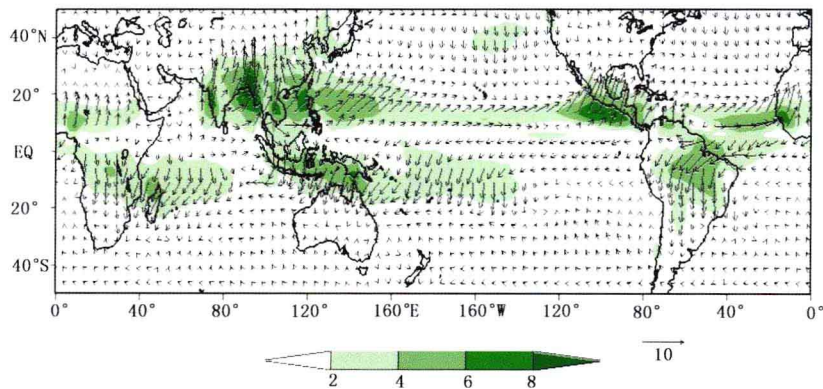


图 1-7 美国 CMAP 降水(1979—2005)谐波分析第一分量振幅矢量图,箭头表示最大降水出现的月份,正北表示 7 月,正南表示 1 月,正东为 10 月,正西为 4 月(钱维宏,2009;祝从文提供)。中低纬度阴影区相当于全球季风区降水(mm/d)。

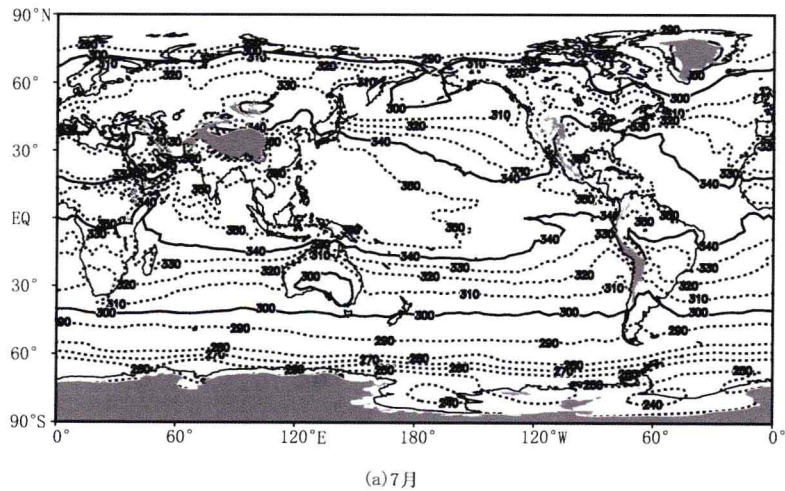


图 1-8 气候平均 7 月(a)和 1 月(b)1000 hPa 假相当位温(K)的全球分布及热带气团 7 月与 1 月位置变化影响的全球范围(c),阴影为 1000 hPa 假相当位温 340 K 扫过的范围(钱维宏,2004; 2009)。(c)中阴影区相当于全球季风区。

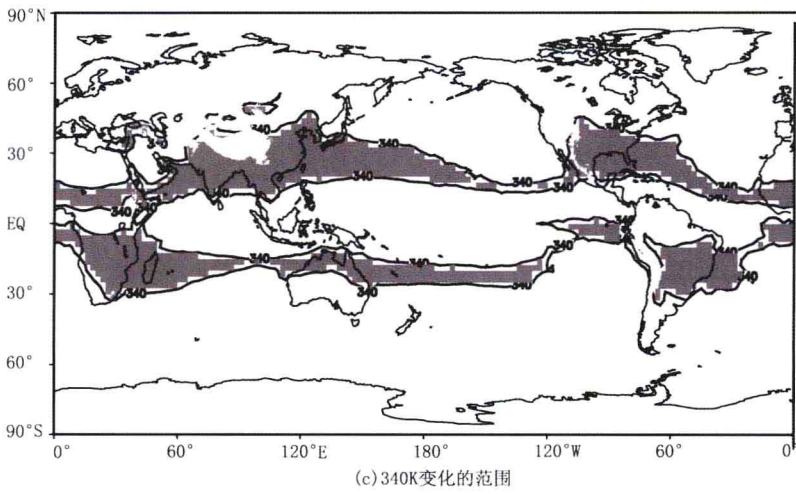
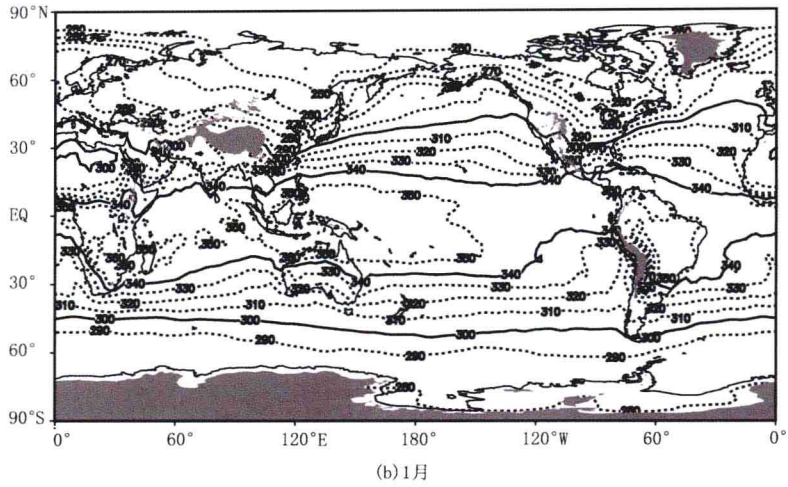


图 1-8 (续)

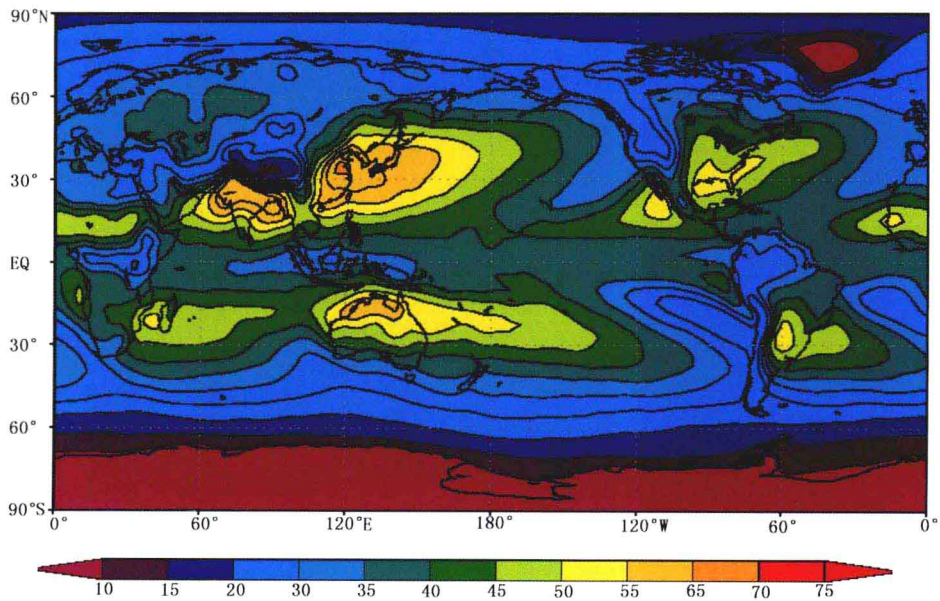


图 1-9 气候平均大气总可降水量(IPW)最大值与最小值之差的全球分布(mm)(汤绪等,2007)。
大值区为赤道外大气干湿转换显著的地区。

1.4 大气中的气候变化系统

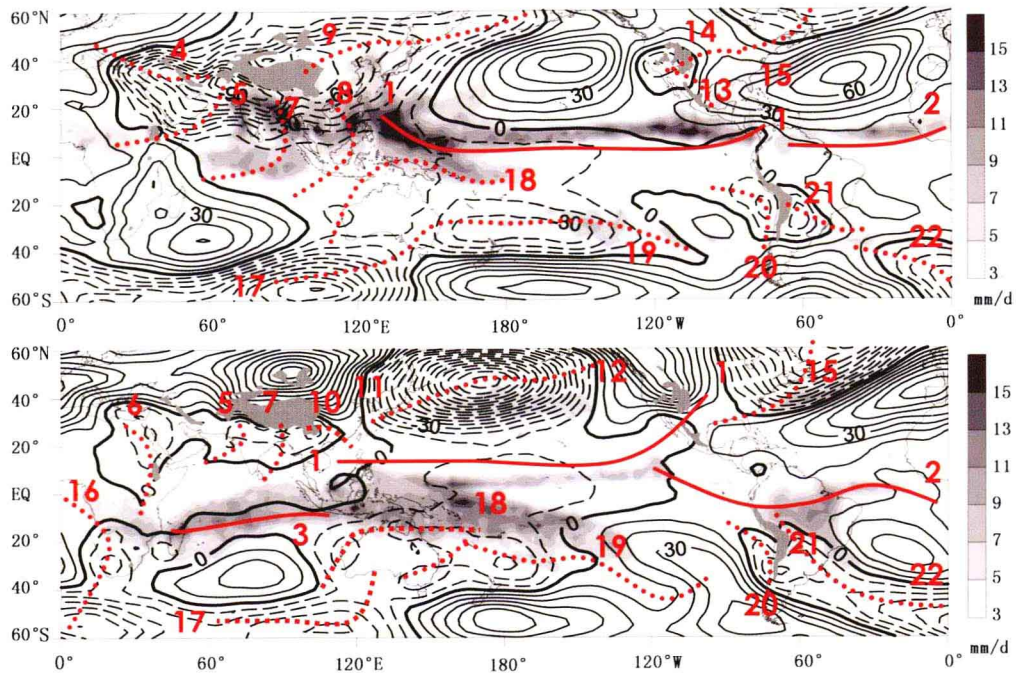


图 1-10 全球大气活动中心 and 全球季风系统。第 44 候(上)和第 8 候(下)气候平均降水(阴影)和 850 hPa 高度纬圈距平(海陆地形分布影响)场(等值线,单位:gpm)。粗实线表示赤道辐合带(ITCZ),点线表示半岛尺度和洋盆尺度槽。全球一共标识出 22 个气候槽但只有 9 个季风槽并伴随有降水。数字 1、2、3 分别为太平洋、大西洋和印度洋上的 ITCZ(Qian 和 Tang, 2010)。

表 1-1 850 hPa 位势高度纬圈距平场确定的全球 22 个气候槽

编号	名称	性质
1	太平洋 ITCZ*	行星尺度,有降水,全年存在
2	大西洋 ITCZ*	行星尺度,有降水,全年存在
3	南印度洋 ITCZ*	行星尺度,有降水,冬季消失
4	地中海槽	半岛尺度,无降水,冬季消失
5	阿拉伯槽*	半岛尺度,夏季有降水冬季无降水
6	东非槽	半岛尺度,无降水,夏季消失
7	孟加拉槽*	半岛尺度,夏季有降水冬季无降水
8	南海槽*	半岛尺度,有降水,冬季消失
9	东亚副热带槽*	洋盆尺度,有降水,冬季消失
10	西南倒槽	半岛尺度,无降水,夏季消失
11	东亚大槽	洋盆尺度,有降水,夏季消失
12	北太平洋倒槽	洋盆尺度,有降水,夏季消失

续表

编号	名称	性质
13	墨西哥槽	半岛尺度, 无降水, 冬季消失
14	落基山倒槽	半岛尺度, 无降水, 冬季消失
15	北美大槽	洋盆尺度, 有降水, 全年存在
16	南非槽*	半岛尺度, 有降水, 冬季消失
17	南印度洋槽	洋盆尺度, 冬季有降水夏季无降水
18	印度尼西亚—西澳大利亚槽*	洋盆尺度, 有降水, 全年存在
19	南太平洋槽	洋盆尺度, 有降水, 全年存在
20	秘鲁—智利槽	半岛尺度, 无降水, 全年存在
21	拉普拉塔槽	半岛尺度, 有降水, 全年存在
22	南大西洋槽	洋盆尺度, 有降水, 全年存在

注:表中加*号的为季风槽,与ITCZ有联系的为行星尺度季风槽,空间尺度跨越北太平洋和北大西洋宽度的槽为洋盆尺度槽,空间尺度相当于印度半岛的槽为半岛尺度槽。槽的性质包括其空间尺度、干湿性质以及槽的维持时间长度。性质中“冬季”、“夏季”是当地季节。

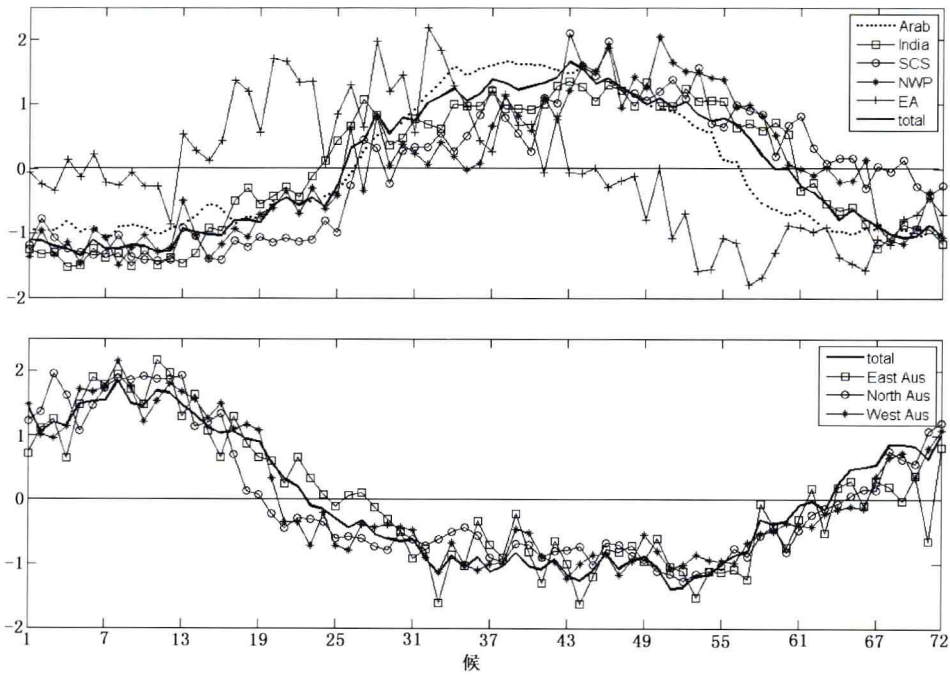


图 1-11 亚洲(上)和澳大利亚(下)不同区域季风槽深度标准化距平指数随时间(候)的变化。亚洲季风区中的阿拉伯季风槽(Arab)、印缅槽(India)和南海槽(SCS)基本上都是在5月中旬明显加深。东亚副热带槽(EA)深度的演变相位超前其他槽约两个月,并有两个峰值时期。第一个峰值期在3—4月份与华南春雨季节相联系,属于西南倒槽。后一峰值从第25候开始,与副热带夏季风降水相联系,属于副热带春季季风槽。东亚夏季季风槽是从南海季风爆发(第28候)开始的。西北太平洋(NWP)区域到6月底才有明显的涡度加深,标志着ITCZ季风槽北伸至此区域。此时亚洲季风槽系统全面建立。澳大利亚三个季风槽深度变化的一致性比较好,其中“真季风”(East Aus)从1月份稳定爆发,北澳大利亚和西澳大利亚季风槽(North Aus and West Aus)的加深是在11月底到12月初。这是因为作为“真季风”的前身,“假季风”系统中的西澳大利亚季风槽建立比较早。北澳季风槽在1月份还有一个明显加深的跳跃,标志着西澳大利亚季风槽东伸发展成“真季风”槽。