

亚洲夏季风北边缘研究

汤 绪
孙国武 著
钱维宏

气象出版社

亚洲夏季风北边缘研究

汤 绪
孙国武 著
钱维宏

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

亚洲夏季风北边缘研究/汤绪,孙国武,钱维宏著.

北京:气象出版社,2007.1

ISBN 978-7-5029-4223-6

I. 亚… II. ①汤…②孙…③钱… III. 季风—研究—亚洲 IV. P425.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 165368 号

气象出版社出版

(北京中关村南大街 46 号 邮编:100081)

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxcbs@263.net

责任编辑:成秀虎 终审:章澄昌

封面设计:王伟 责任技编:郝平 责任校对:赵寒

*

北京市中新伟业印刷有限公司印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:8.25 彩插:4 字数:214 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—1200 定价:25.00 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

序 一

中国地处欧亚大陆东部，幅员辽阔，西南倚“世界屋脊”青藏高原，西北深入亚洲内陆，东临浩瀚的太平洋，地形复杂，海陆分布的热力差异极为明显。由于所处的特殊地理位置和具有的特殊地形，我国的气候表现为显著的季风气候特征，冬季干冷，夏季湿热，各种气候要素均表现出明显的季节变化。季风气候带来的干冷湿热的变化是形成我国特殊地表生态和环境特征的重要原因。因此，季风是影响中国气候与环境的一个重要因子。同样，亚洲地区由于所处的特殊地理位置，是全球最典型的季风气候区之一，亚洲季风区又可分为东亚季风区和南亚季风区，季风的各种特征在这一地区表现得最为明显。季风气候不仅形成了特有的天气气候特征，也对各异的地表生态和环境的形成，甚至各异的地域文化和各民族人民的生活方式产生了深刻的影响。

季风研究在我国有悠久的历史，早在 1916 年就受到竺可桢先生的重视。研究发现，我国历史上发生的特大暴雨和严重干旱的环流背景，都与亚洲夏季风的爆发、进退和维持有密切关系。而且，夏季风北边缘的活动地区与西北、华北和东北地区的农牧交错带、生态脆弱带、气候敏感带和灾害频发带基本一致。由此可见，季风的变异对我国经济和社会有着十分重要的影响。近年来，夏季风北边缘的活动，已成为当前夏季风研究领域的一个重要分支学科。从夏季风北边缘活动的角度深入开展季风气候研究，将有助于进一步提高我国的气候预测尤其是旱涝预测水平。

当今，全球气候变化已成为我国政府、社会公众和科学界高度关注的热点问题之一。气候变化是一个关系到我国政治、经济、外交、环境和科学政策，关系到我国经济社会的可持续发展、关系到我国的长远利益和我国未来的经济和社会发展的重大问题。以全球变暖为主要特征的气候变化正在对人类经济和社会发展产生着深刻的影响。季风既是一个古老的话题，又是一个当前气候变化研究需要涉及的新课题。人类活动特别是人类活动的不均匀分布，必然会深刻地影响着海陆热力差异及其分布，从而影响到季风强弱和范围的变化。大量的研究表明，许多极端气候事件的发生都与季风的异常密切相关。因此，开展气候变化背景下的季风变异及其影响的研究对深入研究气候变化的影响具有重要的科学意义。

《亚洲夏季风北边缘研究》一书，是一部通过对亚洲夏季风北边缘的研究，揭示夏季风系统扩张、收缩和位移及其与周边系统相互作用等在北边缘特殊边

界上的规律和特征及其影响的专著。该专著把亚洲夏季风北边缘的扩张与收缩与西北等地区的严重干旱与洪涝等极端天气、气候事件相联系，建立了季风系统、周边系统的变化指标与北边缘位置异常和降水与沙尘暴等异常的关系。该专著还通过数值模拟，从理论上分析了海陆热力差异的变化、青藏高原大地形的作用，以及土地利用、CO₂ 浓度变化等人类活动对夏季风北边缘异常的影响。该专著揭示了夏季风北边缘与生态环境的关系，即气候决定着植被的地理分布，植被也反映了局地气候，气温和降水是影响植被分布的两个主要的指标。夏季风北边缘的活动，使某一地区在年际之间受夏季风影响不同，从而降水等气候指标变化就较大，而这些地区的降水绝对量本来就少，所以其雨量变化对植被的影响就更强烈。北边缘的年际、年代际变化形成了半干旱气候带，它也是气候和生态系统的过渡地带。对于中国而言，它又是沙漠—黄土相接的地带，在农业上是农牧活动的交错地带，具有敏感性和可恢复性的双重特征，是土地利用方式变化最为剧烈的地区之一。因此，开展对夏季风北边缘的研究有助于更好地认识气候和生态系统在过渡带上的特性，更全面地认识气候系统中生物圈和大气圈的关系，更加合理地划分植被类型带，从而更好地开展生态环境保护和资源合理开发利用。该专著还揭示了季风北边缘的变化特征与全球季风气候系统之间的关系，即夏季风北边缘的多时间尺度变率不是一个孤立的现象，它与夏季风的起源、夏季风的进退和夏季风的强度以及中高纬地区西风带的扰动有密切关系。因此，它是一个涉及多方位多学科的科学问题，与我国区域气候变化、区域生态系统、区域水循环乃至与全球变化等科学问题相联系。因此，探讨这些问题具有重要的科学意义。

加强对包括季风研究在内的气候系统科学研究对贯彻落实科学发展观，促进我国经济和社会的可持续发展具有重要的现实意义。国务院于 2006 年元月下发的《国务院关于加快气象事业发展的若干意见》，已明确将中国气象事业定位为科技型、基础性社会公益事业。由此可见，加强气象科技创新对建设气象强国具有重要支撑和保障作用；加强气象科学研究对国家安全、社会和谐具有基础性作用；对经济社会发展具有现实性作用和对可持续发展具有前瞻性作用。我期望《亚洲夏季风北边缘研究》一书的出版，将对气象科技创新有所裨益。

秦大河

2006 年 8 月 24 日

序 二

季风是大气科学的热点问题之一。亚洲夏季风北边缘刻画的是亚洲夏季风系统扩张到达最北位置的状态。夏季风北边缘的活动与我国北方广大地区干湿的气候状态及相关的严重干旱、洪涝等极端天气、气候事件有密切关系。季风的强弱不仅直接影响季风区降水的多寡，而且对季风边缘的生态、植被及人类的生存环境产生重要影响。因此，随着近年来地球上干旱化、沙漠化等问题的日趋严重，夏季风北边缘相关问题已引起了人们的密切关注。汤绪、孙国武研究员和钱维宏教授所著的《亚洲夏季风北边缘研究》是国内出版的第一本以夏季风北边缘为主题的专著。

在对以往与季风边缘相关的研究进行全面系统概括的基础上，本书采用可降水量指标提出并定义了夏季风北边缘，并从多个角度验证了与传统季风之间的协调性联系。以往的夏季风研究多数集中在东亚夏季风活动和中国东部降水气候变化两个方面，而对中国西部季风活动和降水变化的关系研究较少。本书恰好弥补了国内研究在这方面的空白。即从夏季风北边缘出发，采用诊断和数值模拟等方法研究了夏季风活动的年际、年代际变化及其与中国西部降水、环流和沙尘暴等大气环流和气候变化之间的联系；建立了中国西部夏季风降水与环流之间的物理图像；并对夏季风北边缘年际、年代际变化的物理机制进行了诊断和数值模拟研究等等。这些研究结果都将为深入理解中国的气候变化提供重要的科学基础。

总之，本书是国内最新出版的第一本以夏季风北边缘为主题的专著。相信本书出版后，将会受到广大从事天气、气候、生态等相关领域研究的科技工作者的欢迎。

丁-记

2006年8月28日

前言

当前,以全球增暖为主要特征的全球气候变化问题不仅是一个科学问题,而且正在成为显著影响世界政治、经济、外交等的重大问题。加强气候变化背景下的各种气候变率和变化研究具有十分重要的意义。季风既是一个古老的话题,又是一个气候变化研究需要涉及的新课题。本书阐述的季风边缘是表示季风系统扩张、收缩和位移及其与周边系统相互作用的特殊边界范围。在我国,夏季风每年向北推进达到的最北界,则称之为夏季风北边缘。夏季风北边缘活动直接影响到我国西北、华北和东北地区的特大洪涝和严重干旱的发生,给这些地区带来“干”与“湿”的不同气候状态。因而,开展亚洲夏季风边缘的研究具有重要的科学和现实意义。

本书根据作者近年来最新的科学研究成果写成,全书共分7章。第一章,绪论。第二章,夏季风北边缘的定义、特征及其变化。第三章,夏季风北边缘与西北地区干旱气候变化。第四章,夏季风北边缘与极端气候事件。第五章,夏季风北边缘与夏季风系统和西风带系统的关系。第六章,夏季风北边缘异常的成因分析和数值模拟。第七章,总结与展望。主要内容有:

(1) 根据标准化可降水量指数(NPWI)和可降水量极值差($>40\text{mm}$)定义的夏季风北边缘,在亚洲可以确定两个夏季风系统:印度夏季风系统,覆盖印度半岛,西至阿拉伯海,东跨孟加拉湾,北邻青藏高原南部外围;东亚夏季风系统,覆盖面极广,南达中南半岛,北至鄂霍次克海,西起中国东部,东至太平洋中部以北。对于夏季风北边缘的平均位置而言,其在 100°E 以西沿青藏高原南侧呈东—西走向,年际变化极小;在 100°E 以东呈东北—西南走向,从青藏高原东侧北上经西北地区东部、华北地区北部、东北地区西部延伸到东北亚。

(2) 本书定义的夏季风北边缘与其他学者定义的一样,都具有物理意义。它凸现了地区特点,与西北地区东部“干”与“湿”的气候状态和极端天气、气候事件密切相关。近50年气象资料统计表明,夏季风北边缘偏北(南)和纬向环流指数偏低(高)时,西北地区东部降水偏多(少)。同样的统计还表明,夏季风北边缘偏北(南)对应沙尘暴偏多(少)。夏季风北边缘、冬季风和沙尘暴相互联系的过程是:夏季风偏强(弱)—夏季风北边缘偏北(南)—冬季冷空气偏强(弱)—春季沙尘暴偏多(少)。

(3) 夏季风北边缘有明显的年际、年代际变化。在西北地区东部,夏季风北边缘最北达到 41.6°N ;最南仅到 30.3°N 。56%的年份位于 $37^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 。夏季风北边缘存在准两年和5~6年的周期振荡。而且,从1950年代后期至今,夏季风北边缘平均每10年向南位移一个纬度,而1980年代到1990年代平均向南位移了近4个纬度。在1979年以前和1980年以后是一个明显的转折。1979年以前,夏季风北边缘偏北的年份有17年,偏北率占77%;1980年以后,夏季风北边缘偏南的年份有12年,偏南年占57%。

(4) 35°N 以北的西风带系统和 35°N 以南的青藏高原夏季风系统、印度夏季风系统和东

亚夏季风系统之间互有联系：夏季风北边缘偏北时，西北地区东部降水偏多。这主要是由于 35°N 以北贝加尔湖附近有低槽，利于偏北气流南下；中亚有低压或槽，使得新疆维持高压脊，加强了贝加尔湖槽后的冷空气南下。而 35°N 以南，主要是由于青藏高原维持低值系统，使青藏高原东侧偏南气流维持，起到引导和加强印度夏季风从孟加拉湾北上，到达西北地区东部；印度夏季风系统各成员，从南半球的马斯克林高压较强，到越赤道气流和索马里急流以及西南夏季风都强，这是印度夏季风向北推进的有利环流条件；阿拉伯海气旋和印度—孟加拉湾低压的存在，使孟加拉湾维持偏南气流，与青藏高原低值系统存在一样，对印度夏季风的北进起到引导和加强作用。东亚夏季风系统主要是它的成员——西太平洋副热带高压增强且北抬，在 30°N 以北的华北地区停留时强度强；其底部的偏东气流和西侧转向的西南风强，这样有利于东亚夏季风影响西北地区；反之，则与上述相反。

(5) 诊断和模拟结果均表明：海陆热力差异的年际变化及年代际变化是导致西北地区夏季风北边缘年际变化及年代际变化的重要原因之一。当夏季海陆热力差异增加时，夏季风北边缘偏北，反之则偏南。青藏高原大地形模拟结果表明：大地形对夏季风北边缘的形成及位置的确定有重要影响。青藏高原的存在使其东侧的夏季风明显向北伸展，使西太平洋副热带高压显著加强，也使青藏高原东侧的夏季风降水区北延。无青藏高原时，则与上述情况相反。3月份中国南方地面温度变化可作为前期信号，对西北地区夏季风北边缘的偏北、偏南及其相关的夏季降水有一定的指示意义。另外，土地利用、 CO_2 和SST对夏季风北边缘偏北或偏南有影响，模拟结果表明，对于无人类活动影响的植被分布，夏季风北边缘偏北；对于有人类活动影响、现在的植被状况，夏季风北边缘偏南。当排除 CO_2 增加的影响，用固定的 CO_2 浓度345ppm代替观测的 CO_2 浓度时，模拟结果表明， CO_2 较小时，夏季风北边缘偏北； CO_2 增加，则夏季风北边缘偏南。

本书的出版得到丁一汇院士、董文杰研究员的大力指导，美籍华人学者陈葆德博士、谢立安博士和澳籍华人学者张虎强博士在计算方案方面给予了帮助；也得到上海市气候中心梁萍硕士在计算、绘图和编排等方面的帮助，作者在此一并表示衷心感谢。同时，作者还感谢对本书的完成给予关心和帮助的师长、同事和朋友以及国家自然科学基金(40475023)项目“东亚夏季风北边缘活动带的年际变率及其成因研究”和“上海市气象局副热带季风研究专项”给予的支持。

由于作者学识有限，时间有限，精力有限，不足之处，敬请赐教。

作 者

2006年7月于上海

目 录

序一

序二

前言

第 1 章 绪 论	1
1.1 引言	1
1.2 亚洲夏季风北边缘的研究回顾	2
1.3 亚洲夏季风北边缘的研究意义和研究内容	16
1.4 亚洲夏季风北边缘研究的资料 and 模式	19
参考文献	20
第 2 章 夏季风北边缘的定义、特征及其变化	25
2.1 引言	25
2.2 研究数据与研究方法	25
2.3 夏季风北边缘的特征	28
2.4 夏季风北边缘的年际、年代际变化	32
2.5 不同定义的夏季风北边缘的比较分析	42
2.6 本章小结	48
参考文献	48
第 3 章 夏季风北边缘与西北地区干旱气候变化	51
3.1 引言	51
3.2 资料	52
3.3 夏季风北边缘与西北地区东部的降水	53
3.4 西北地区东部降水异常的对比分析	55
3.5 综合方程建立	64
3.6 本章小结	65
参考文献	66
第 4 章 夏季风北边缘与极端气候事件	67
4.1 引言	67
4.2 夏季风北边缘与沙尘暴	68
4.3 夏季风北边缘与暴雨	73
4.4 夏季风北边缘与严重干旱事件	74
4.5 本章小结	77
参考文献	78

第 5 章 夏季风北边缘与夏季风系统和西风带系统的关系	80
5.1 引言	80
5.2 夏季风北边缘异常的环流形势对比分析	82
5.3 夏季风北边缘与印度夏季风系统	85
5.4 夏季风北边缘与青藏高原夏季风系统	88
5.5 夏季风北边缘与东亚夏季风系统	88
5.6 夏季风北边缘与西风带系统	90
5.7 印度夏季风系统、青藏高原夏季风系统和西风带系统相互作用的 物理图像及其多雨、少雨年的差异	90
5.8 本章小结	93
参考文献	94
第 6 章 夏季风北边缘异常的成因分析和数值模拟	95
6.1 引言	95
6.2 夏季风北边缘异常的诊断分析	96
6.3 热力作用影响夏季风北边缘的数值模拟	100
6.4 大地形作用影响夏季风北边缘的数值模拟	107
6.5 土地利用、CO ₂ 和 SST 变化影响夏季风北边缘的数值模拟	110
6.6 本章小结	115
参考文献	116
第 7 章 总结与展望	119
7.1 主要结论	119
7.2 展望	121
参考文献	122

第1章 绪论

1.1 引言

“季风”既是一个古老的话题，又是一个气候变化研究需要涉及的新课题，更是气象界“永恒”的研究课题。科学来源于实践。数百年前，人们在航海中发现了“信风”现象，并且利用风向季节变化的特点，决定船舶的航行，所以英文中“trade”的含义既是“贸易”又是“信风”。在航海实践中，“信风”的提出，是其后形成季风概念的最早和最原始的“雏形”。传统上的信风主要指在太平洋上的东南信风和东北信风；而传统上的季风是指阿拉伯海上的季节性风向转变，然而它们共同的特点是都发生在低层大气中。

人们通常认为季风具有以下三个特点：(1) 季风是大范围地区的盛行风向随季节变化有很大差异甚至接近相反的现象；(2) 随着盛行风向的改变，控制气团的性质有根本的不同，如冬季寒冷干燥，夏季炎热湿润；(3) 随着盛行风向的变换，将带来天气现象明显不同的季节性差异，如雨季和旱季、冬季和夏季的明显对比。根据研究，全球有几个明显的季风气候区，即澳大利亚北部、西北太平洋以及北冰洋沿岸若干地区；而西非、东非、南亚、东南亚、东亚等地为显著季风气候区，其中东亚—南亚属世界上最著名的季风气候区。季风区是全球大气运动的能量和水汽的主要供应区，全球的大气运动和天气气候变化都直接与季风的有关。

夏季风北边缘是表征夏季风系统扩张、收缩或位移及其与周边系统相互作用的特殊边界。夏季风系统从爆发之日起稳定向北推进的北界在空间上的位移反映的就是夏季风系统向北的推进。亚洲夏季风北边缘刻画的是亚洲夏季风扩张到达最北位置的状态。

北半球每年夏季风爆发后向北推进到达的区域不同，必然会造成夏季风影响区域的不同。有些区域每年都受到夏季风的影响；而有些区域则只有在某些年份才受夏季风影响。这些由于夏季风活动的年际波动而形成的在某些年份受夏季风影响，在某些年份又不受夏季风影响的区域称为夏季风北边缘。

夏季风活动异常造成其北边缘的南北摆动所引起的干旱和洪涝对夏季风北边缘地区的人民生活和社会生产产生重要的影响。在我国北方地区，夏季风推进的北边缘存在明显的年际变化并形成夏季风活动的边缘区域。该区域具有气候敏感性和生态脆弱性，也是极端天气、气候事件频发地区。因此，有关我国北方地区夏季风北边缘的研究不仅有助于加深对夏季风系统、全球大气环流及气候变化的理解，提高对生态系统在过渡带上的特性的认识，而且对国家经济建设和气候学的发展具有重要意义。

研究夏季风北边缘，实质上是研究夏季风的向北推进。它与夏季风的强度变化研究同属于夏季风研究的两个方面。夏季风北边缘的研究，有可能为深入研究全球季风的进退开辟了一个新的途径；为短期气候预测提供了一个新的线索；为气候学与季风研究的相互渗透探索了一个新的思路。它比夏季风强度研究更复杂，涉及到大气环流的变异和下垫面的作用以及大地形的影响、人类活动等。它还与极端天气、气候事件（旱涝、沙尘暴、荒漠化等）的发

生和生态过渡带的位移相联系。

1.2 亚洲夏季风北边缘的研究回顾

国内外关于亚洲夏季风的研究已经持续了百年，包括亚洲夏季风的定义、分类和指数；亚洲夏季风的爆发、进退及其北边缘；亚洲夏季风的成因；亚洲夏季风系统及其时间尺度变化；青藏高原对亚洲夏季风的影响；亚洲夏季风与 ENSO；亚洲夏季风与我国天气、气候及其预报；亚洲夏季风驱动的生态系统等等，如图 1.1 所示。本章将对已有的研究予以回顾。

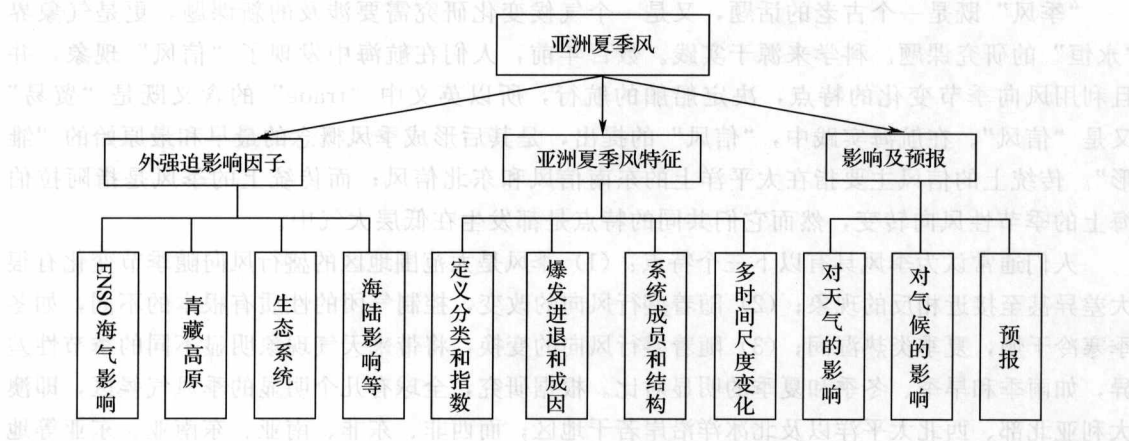


图 1.1 亚洲夏季风研究内容示意图

1.2.1 亚洲夏季风的定义、分类和指数

早在 1868 年，Halley^[1] 首先把季风理解为海陆差异引起的热力直接环流。1879 年，沃耶科夫（Воейков）^[2] 最早给季风下了明确的定义，他认为季风是海陆热力直接变化所引起的现象，并把它和云雨的季节变化联系起来。

1908 年 Hann^[3] 利用 8 个方位的地面风定义“季风”指数 $I_H = \text{仲冬与仲夏之间频率的最大差数（仲冬高些）} + \text{仲冬和仲夏之间频率的最大差数（仲夏高些）}$ 。1921—1929 年，Braal^[4] 断言：“亚洲与澳大利亚的影响促使印度尼西亚成为世界上最典型的季风区”。1936—1940 年 Conrad^[5,6] 和 Hann^[7] 等一些学者，试图把“湿润的夏季/干燥的冬季”加进他们的环流标准，探讨各种季风指数来描述或比较不同地区的季风现象。1940 年 Ekhart^[8~10] 用有限的高空观测资料来讨论印度季风现象。

我国位于世界著名的季风区，是亚洲季风的重要组成部分。冬季，东亚以干冷的大陆气团为主，盛行偏北风；夏季，以暖湿气团为主，盛行偏南风^[11]。

在我国，早在 1934 年竺可桢就将季风现象作为一个专门的问题进行研究，随后他用不多的气象资料肯定了东南亚季风的在^[12]。随后竺可桢^[13]、涂长望^[14] 先后利用地面和对流层低层各月盛行气流和锋面位置，表示了各月季风的平均位置。1944 年，涂长望、黄仕松^[15] 用候平均湿球位温的变化定义夏季风，从而人们对我国季风的平均位置变化有了较深入的理解。陶诗言^[16]、高由禧^[17] 用更多的地面风观测和高空测风记录，绘制并比较各月各层的流场图，得出了东亚夏季风向北推进的月平均位置。

Ramage^[18]在 Khromov^[19]定义的季风指数的基础上进行了改进,定义的季风区域是1月与7月地面环流具有下列特点所包括的区域:1月与7月盛行风向的变化至少有 120° ;1月与7月盛行风向的平均频率超过40%;至少在1月或7月中有一个月的平均合成风速超过 3m/s ,且在 5° 经纬度的矩形内这两个月份中每个月气旋—反气旋的交替出现少于每两年一次。此外,Ramage绘制的季风区在我国的北界与当今我国学者研究的季风区北界是比较接近的。

1980年代以来,特别是1990年代至今,亚洲夏季风的研究始终是热点问题。在亚洲季风的定义方面,由于季风在不同地区有不同表现,有的地区更多地表现在降水的季节变化;而有的地区不仅表现在盛行风向随季节的变化,也表现在降水随季节有很大的变化。所以 Webster^[20]提出了更普遍的季风定义:冬夏风向的季节性反转和干湿期的季节性交替出现。

郭其蕴指出^[21],对季风有种种认识:风向有明显的季节转换,冬季主要为东北风,夏季主要为西南风;海陆的季节热力差异产生的半永久性系统;行星风带的位移。这些看法相互并不排斥,且各有其特点。

关于季风的分类^[22],从季风的性质上可分为庸季风和经典季风(包含类季风)。从纬带上可分为热带季风(包括印度季风、南海季风、澳洲季风、西非季风、西北太平洋季风、南美季风);副热带季风(包括东亚季风、北美季风、北非季风、高原季风、欧洲中亚季风、南非季风);温寒带季风(包括远东季风、北极季风)。从垂直层次上可以分为对流层中低层季风、对流层上层季风和平流层季风。

一般而言,ASM(亚洲季风)=EASM(东亚季风)+SASM(南亚季风)。

EASM=STEASM(副热带东亚季风)+TEASM(热带东亚季风)或 SCSSM(南海季风);

SASM=TISM(印度季风)。

TASM(热带季风)=TEASM(SCSSM)+SASM(TISM)。

季风指数是衡量季风强弱的一个标准,也是研究季风年际变化所必需的。因此,亚洲夏季风指数的定义问题,我国学者几乎从各个方面研究了近一个世纪。值得一提的是,近年来的学者利用东亚/太平洋遥相关型定义的一种东亚夏季风指数 IEAP^[23,24]:

$$\text{IEAP} = \text{Nor}(-0.25Z's(20^\circ\text{N}, 125^\circ\text{E}) + 0.5Z's(40^\circ\text{N}, 125^\circ\text{E}) - 0.25Z's(60^\circ\text{N}, 125^\circ\text{E}))$$

其中 $Z' = Z - \bar{Z}$ (Z 为某年夏季该点的 500hPa 位势高度, $\bar{Z}$ 为气候平均态), $Z's = Z' \sin 45^\circ / \sin \varphi$, φ 为纬度, $\text{Nor}(X)$ 为对 X 进行标准化处理。

此外,为了研究该指数与东亚夏季风的北界以及与水汽场输送的关系,还定义了华北地区夏季南风面积指数,即 $35^\circ \sim 40^\circ\text{N}$, $110^\circ \sim 125^\circ\text{E}$ 区域内的经向风 3m/s 的格点总数,并进行标准化处理,尽管区域固定,但夏季南风有着整体移动的特征,故该指数实际上是反映南风 3m/s 线的进退情况,利用它可以反映东亚夏季风向北推进的程度^[24]。

1.2.2 亚洲夏季风的爆发、进退及其北边缘

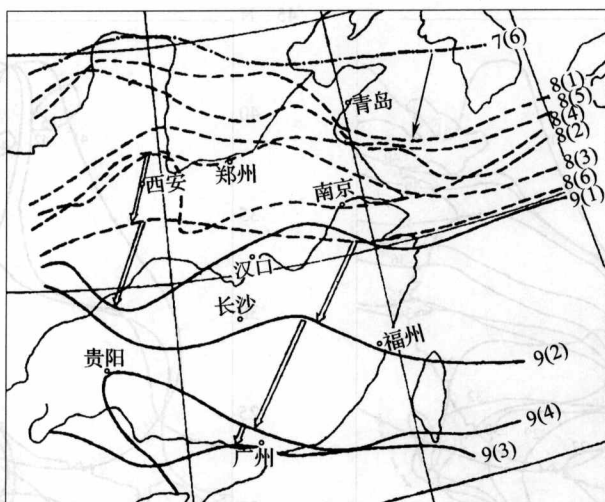
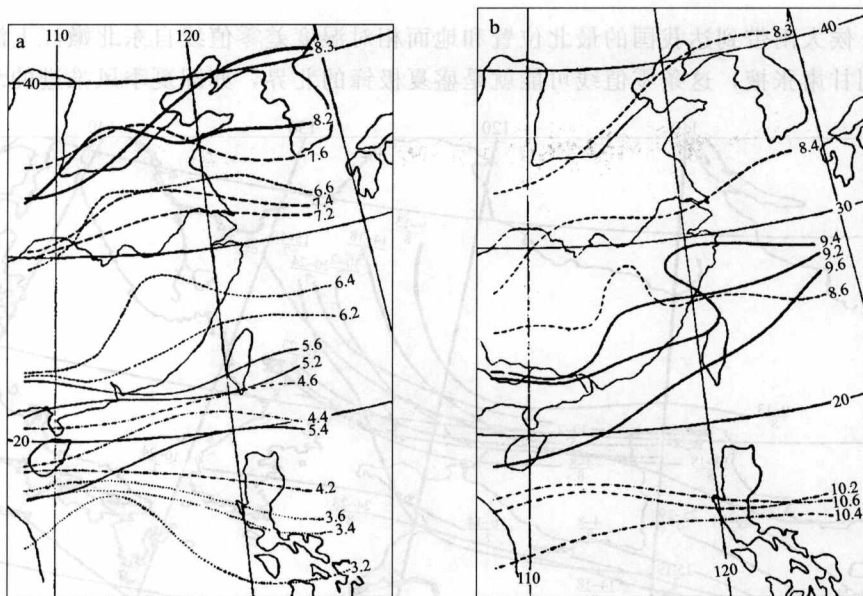
夏季风的爆发^[25,26]。在亚洲夏季风变化中,南海地区的夏季风爆发最早,平均在5月中旬。随后分别向西向东扩展。6月中旬夏季风向西传播到印度西岸,因而印度夏季风的爆发比南海夏季风爆发晚一个月左右。赤道西风带的北抬是促进印度夏季风爆发的环流背景,

阿拉伯海上的一次季风涡旋活动完成了印度夏季风爆发过程。南海夏季风的爆发标志着东亚夏季风的来临和中国雨季的开始。

关于我国夏季风的进退与维持,高由禧等^[27]在研究平均雨带南北位移引起不同地区的雨季起迄时,发现雨带的位移同夏季风进退活动配合较一致。并发现夏季风进退的三次跃进和三次渐变过程,与雨带位移也较一致,因此一般都考虑候或旬雨量的明显增减,来确定各地区雨季起迄及夏季风进退的日期。徐淑英、陶诗言等^[28~30]认为夏季风的进退常与大气环流的季节变化有密切联系。因此,除用近地层风外,有用高空西风强弱、风带位移、西风转东风等作指标来综合考虑夏季风的进退。在夏季风进退与西风环流季节变化的研究中,1952年叶笃正等^[31]指出东亚大气环流发生两次突变,一次是在6月初,一次是在10月中。随着这两次突变,东亚的环流形势、气压系统的移动和气象要素的分布都发生了很大的改变。徐淑英^[28]进一步描述夏季风与西风环流的进退过程:西风环流的三次突变影响了夏季风的三次突进。因此,认为雨带在6月中、7月中和9月初的三次急速位移,亦和西风环流的三次突变有关。6月初,当南支强西风在我国大陆上空减弱或消失时,雨带从华南一跃而至华中、华东;当7月中,热带东风环流迅速向北推进到长江流域附近,北支西风也再次减弱并向北移,地面太平洋高压和高空副热带高压亦自 20°N 附近北移到长江流域,雨带也随着从长江流域跃进到华北;9月初,当西风环流又在长江流域出现时,雨带自北而南的退却仅20d便到达华南。叶笃正^[32]计算证明:在 30°N 附近,亚洲大陆上有强烈的上升气流(青藏高原附近上升速度最大)到高空向四周辐散。除了有经圈环流外,还有纬圈环流,经圈环流把南北半球环流联系起来。更重要的是高空反气旋南侧东风气流,将北半球热量和动量输送到南半球下沉,它又加强了低空的西南季风,从而形成和维持夏季风环流。

关于夏季风的北边缘。夏季风的进退是与它的北边缘紧密联系在一起的。陆菊中等^[33]计算了1971—1980年十年平均850hPa等压面上假相当位温为340K等值线的平均位置,并用此来近似表示夏季风活动的北界(见图1.2)。施尚文等^[34]采用850hPa候平均假相当位温为332K作为夏季风影响的北界,且采用该指标确定的夏季风北界在1971—1981年平均位于 40°N 附近。而汤明敏等^[35]则选取1000hPa等压面上 $\theta_{se}=344-348\text{K}$ (见图1.3)及850hPa等压面上 $\theta=336-340\text{K}$ 作为表征夏季风进退的指标。考虑到夏季风气团具有高温高湿的特点,朱乾根等^[36]采用850hPa等压面上 14°C 等露点线作为描述夏季风进退及其北界的指标。由此看来,这些指标虽各不相同,但假定的基础是相似的,即夏季风具有高温高湿的特点,因此它们并无本质的区别。

由于用湿球位温、假相当位温或露点均不能反映风,因此王安宇等^[37]将西南风与假相当位温相结合定义夏季风区必须满足两个条件:(1)西南风必须大于 2 m/s ; (2)在 30°N 以南,空气 θ_{se} 必须大于340K,在 30°N 以北, θ_{se} 必须大于335K。只要算出了夏季风区,其前沿便是夏季风区的北界,它的进退便可代表我国夏季风的进退(见图1.4)。吴长刚等^[38]利用近50年NCEP/NCAR的候平均风场和比湿场资料,进一步计算了东亚夏季风北界的位置,发现夏季风北界存在着明显的年代际变化,夏季风北界偏北的年份集中于1950年代和1960年代;而偏南的年份则集中于1980年代和1990年代,并且各个夏季风区的夏季风北界的年代际变化比较一致。

图 1.2 $\theta_{se}=340K$ 等值线平均位置^[33]图 1.3 1000hPa 面上夏季风前沿候平均位置 (以 348K 等值线表示) 进退图^[35]

- a. 1979 年 3 月第 2 候至 8 月第 3 候的位置变化, 表示夏季风向北推进过程
b. 1979 年 8 月第 3 候至 10 月第 6 候的位置变化, 表示夏季风向南撤退过程

由于夏季风降水既能反映夏季风环流, 又能反映气团的温湿特性, 雨带的移动能较好地反映夏季风的进退。因此, 不少学者采用降水作为描述夏季风的进退及其北界的指标。关于夏季风的北边缘, 高由禧等^[39]1960 年代初就指出, 在盛夏 7、8 月, 极锋到达最北位置, 这个位置也正是夏季风所影响的北界。盛夏平均极锋的北界不仅仅是夏季风影响的北限和我国干燥气候和湿润气候的分界线, 同时也是温带和副热带夏季风区的界限。同时又分别用候大雨带的位置 (图 1.5) 和地面相对湿度差 (1、2 月减 7、8 月) 零值线 (图 1.6) 表征夏季

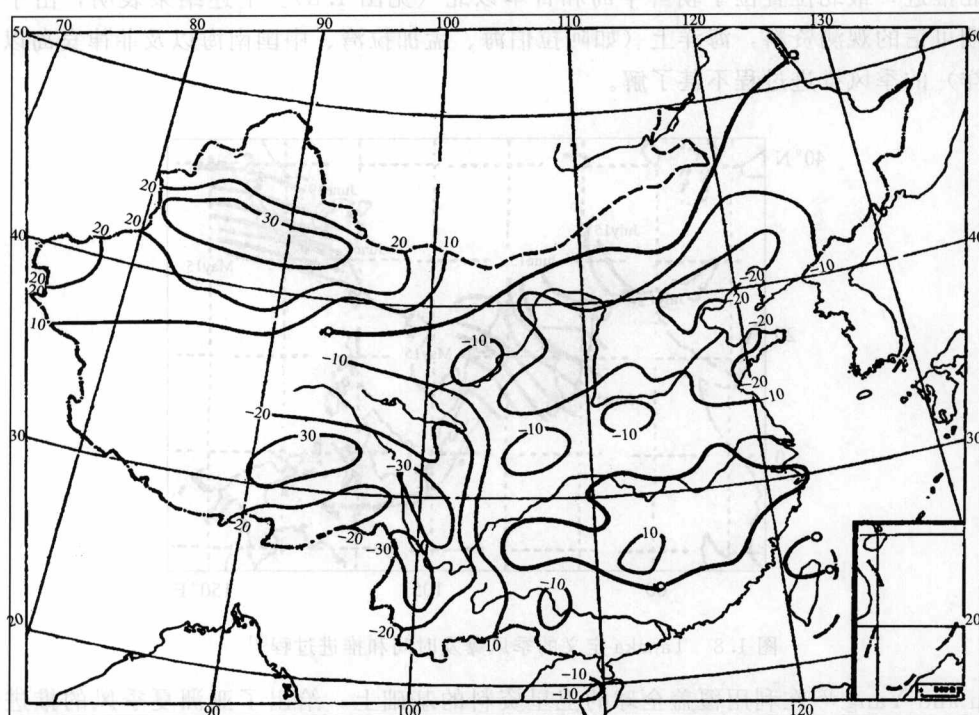


图 1.6 地面相对湿度差 (1、2 月减 7、8 月) 分布表征的季风北边缘^[39]

陶诗言和陈隆勋^[40]根据雨季和风向的变化给出了亚洲夏季风爆发和推进过程 (见图 1.7): 亚洲夏季风最早于 5 月中旬在中印半岛南部爆发并分别向西北方向和向北推进, 平均在 7 月 15 日向西北方向推进到的最北位置位于印度的西北地区 (30°N , 70°E), 在 7 月 30 日向北推进到的最北位置位于华北 (40°N , 115°E)。按照类似的办法, Tanaka^[41]除了给出夏季风从中印半岛南部向西北推进到印度的进程, 还给出了夏季风的另一个推进过程, 即从

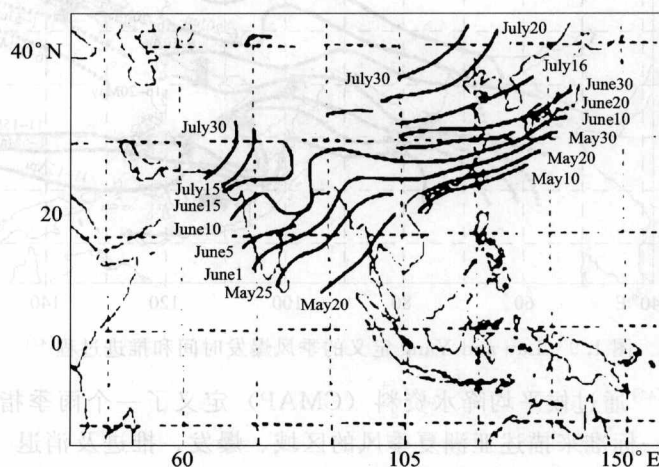


图 1.7 陶诗言、陈隆勋定义的季风爆发时间和推进过程^[40]