

云辐射与气候

Yunfushe yu Qihou

张 华 荆现文 彭 杰 等 / 编著

云辐射与气候

张 华 荆现文 彭 杰 等 编著



内 容 简 介

云可以将大气动力、辐射、水分循环和下垫面等多个物理过程相互耦合、通过多种方式影响气候系统,是当前气候模拟和气候变化研究中最大的不确定因子之一。本书首先结合地面与多种卫星观测资料,分别给出全球和东亚地区云与太阳辐射的变化特征及归因;研究了地面太阳辐射的变化对地面气温的影响程度。其次,基于卫星观测资料研究了气候模式中描述云辐射过程的关键物理参数(抗相关厚度)的时空变化特征,并用于提高气候模式对云辐射物理过程的模拟能力。最后,给出不同的云辐射处理方法对气候模式模拟的辐射收支和各种气候场的影响。

本书内容涉及目前大气科学和气候变化研究中的前沿和热点问题,对相关领域的研究生以及从事数值模拟和气候变化研究的人员均有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

云辐射与气候 / 张华等编著. -- 北京:气象出版社,2019.6

ISBN 978-7-5029-6983-7

I. ①云… II. ①张… III. ①气象学 IV. ①P4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 120914 号

云辐射与气候

Yunfushe Yu Qihou

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 邮政编码:100081

电 话:010-68407112(总编室) 010-68408042(发行部)

网 址:<http://www.qxcbs.com>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

责任编辑:杨泽彬

终 审:吴晓鹏

责任校对:王丽梅

责任技编:赵相宁

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

印 张:17.25

字 数:430 千字

彩 插:5

版 次:2019 年 6 月第 1 版

印 次:2019 年 6 月第 1 次印刷

定 价:98.00 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。

前言

本书是作者团队近年来在云的特征量、云的辐射效应及其对气候影响领域最新研究成果的集成。内容包括了云的宏微观物理与光学特征;中国地区地面太阳辐射分布特征、变化趋势及其归因;气候模式中云-辐射计算方案的关键因子及其对气候模拟的影响等几部分。上述研究成果为全球气候模式中对云辐射物理过程描述的改进与全球气候模式未来的发展提供了重要的科学支撑作用。

云的宏微观物理特征和光学特征是云辐射效应的决定因子,更是研究云与大气辐射相互作用对气候模拟影响的基础。因此,本书进行背景介绍(第1章)后,在第2章首先利用 ISCCP、MODIS、CloudSat 和 CALIPSO(Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations)卫星遥感观测资料分析了东亚地区和全球云特征量的分布特征与变化趋势,主要包括云量、云顶高度、云水含量、云滴有效半径、云光学厚度等,并对国家气候中心全球气候模式(BCC_AGCM2.0)的模拟结果与相应的卫星观测结果进行了对比,以期改进模式中云的参数化方案,进而改善对云的模拟精度。另外,通过对西北干旱区和东亚季风湿润区的对比分析,初步阐述了干旱区与湿润区云参量的气候态差异。同时,为加深了解气溶胶在深厚云系统发展中的作用,本书第2章结尾部分统计了深厚云系统的出现频率和宏观特征的全球分布,试图为进一步在大尺度范围内研究气溶胶对云的激活效应奠定基础。

太阳辐射作为天气和气候系统发生、发展和演变的能量来源,部分到达地表后通过感热和潜热形式加热大气,从而驱动大气环流,是地气系统的能量收支平衡过程的主导因子。因此,掌握地表太阳辐射的变化特征及其归因,既是掌握气候变化的重要基本事实,更是从大气辐射角度研究气候变化的重要途径之一。本书第3章通过对中国地区太阳辐射站点资料进行质控后的分析,探究了华北、华东和东北地区太阳辐射变化的特征与归因,并在第4章中利用北京气候中心大气辐射传输模式(简称 BCC_RAD)研究了不同因子对地面太阳辐射及其谱分布的影响,同时分析了不同污染条件下气溶胶对短波辐射通量的影响。

云的辐射效应,是指云与短波辐射和长波辐射之间的相互作用对地气系统能量的调节,是地气系统辐射收支平衡中的重要因子之一。然而对云的描述与模拟迄今仍是气候模式的薄弱之处,这其中,云-辐射计算方案中对多层云垂直结构的描述是最大的不确定性来源之一。本书第5章首先利用具有垂直观测能力的 CloudSat/CALIPSO 多年主动卫星遥感观测资料,从观测角度分析了云垂直结构特征参数在全球的时空变化特征,总结出用于改进气候模式的气候态查找表。同时,采用日本高分辨率的非静力大气环流模式(NICAM, Non-hydrostatic ICosahedral Atmospheric Model)对云的模拟结果分析了云的垂直重叠特征,改进了对云量的模拟,并在热带地区建立有效抗相关厚度与大气环流场之间的联系。而后在第6章中,通过将具有快速、弹性和近似特点的蒙特卡洛独立柱近似(Monte Carlo Independent Column Approximation,简称 McICA)的云辐射传输算法植入 BCC_AGCM2.0,同时采用相关 k -分布气体吸收方案和 BCC_RAD 辐射模式,对 McICA 引入的随机误差进行了

检验和评估,给出了次网格云的水平分布和垂直重叠结构对气候辐射场的影响。此外,还基于卫星数据得到的云重叠参数改进了模式对云量的模拟。由于新的 McICA 云-辐射方案与 BCC_AGCM 2.0 原有云-辐射方案相比,对云的微物理和光学性质及云的重叠假定等进行了较大更新,因此,本书第 7 章将新方案的气候模拟结果与使用原云-辐射方案的模拟结果以及观测(再分析)资料进行了比较,给读者呈现了新方案的气候模拟效果,目的在于全面了解新方案在全球气候模式中的表现(本书以 BCC_AGCM 2.0 模式为例),为将来云-辐射方案和气候模式的进一步发展提供科学参考。

本书由张华任主编。第 1 章由张华和周喜讯主笔;第 2 章的 2.1 节由杨冰韵、彭杰、周喜讯和张华主笔,2.2 节由周喜讯、赵敏和张华主笔,2.3 节由杨冰韵、周喜讯和张华主笔,2.4、2.5 和 2.6 节由杨冰韵和张华主笔,2.7 节由彭杰主笔;第 3 章的 3.1 节由尹青、朱思虹和张华主笔,3.2、3.3、3.4、3.5 和 3.6 节由尹青和张华主笔,3.7 节由张华和沈钟平主笔,3.8 节由朱思虹和张华主笔;第 4 章的 4.1 和 4.2 节由尹青和张华主笔,4.3 节由谢今范、张婷和张华主笔;第 5 章的 5.1 节由荆现文和彭杰主笔,5.2 节由彭杰和张华主笔,5.3 节由荆现文主笔;第 6 章的 6.1、6.2 和 6.3 节由荆现文和张华主笔,6.4 节由王海波和张华主笔;第 7 章由荆现文和张华主笔。周喜讯为本书做了大量细致和繁琐的整理、修改及其他辅助工作。在此谨向为本书做出贡献的所有成员表示诚挚的感谢。

在完成本书研究工作中,加拿大气候模拟与分析中心的李江南教授,东京大学中岛映至教授,美国华盛顿大学大气科学系的付强教授,加拿大环境署云物理研究分部的 Howard W. Barker 教授和中国科学院大气物理研究所石广玉院士等,都曾给予过非常重要的帮助。在此谨向他们表示诚挚的感谢。

本书中很多新的研究成果分别是在国家重点研发计划“全球变化及应对”重点专项项目“东亚地区云对地球辐射收支和降水的影响”(合同号:2017YFA0603500);国家自然科学基金重大研究计划重点项目“中国大气污染物对云和辐射的影响及其气候效应研究”(合同号:91644211);国家自然科学基金面上项目“新的水云和冰云辐射参数方案的研究及其在气候模式中的应用”(合同号:41375080)和“云的垂直结构的卫星观测和模拟研究”(合同号:41075056);以及科技部公益性行业专项项目“新一代云-辐射-气溶胶物理过程模块的研制与应用”(合同号:GYHY201406023)和“京津经济区气溶胶对辐射、云和降水的影响及其在天气预报模式中的应用”(合同号:GYHY200706036)等的资助下完成的,在此,一并致谢。

本书的出版得到了科技部公益性行业专项项目“新一代云-辐射-气溶胶物理过程模块的研制与应用”(合同号:GYHY201406023)和国家自然科学基金面上项目“新的水云和冰云辐射参数方案的研究及其在气候模式中的应用”(合同号:41375080)的共同资助。

由于时间仓促,科学认识水平有限,书中难免有误,敬请读者指正。

张华

2019 年 3 月

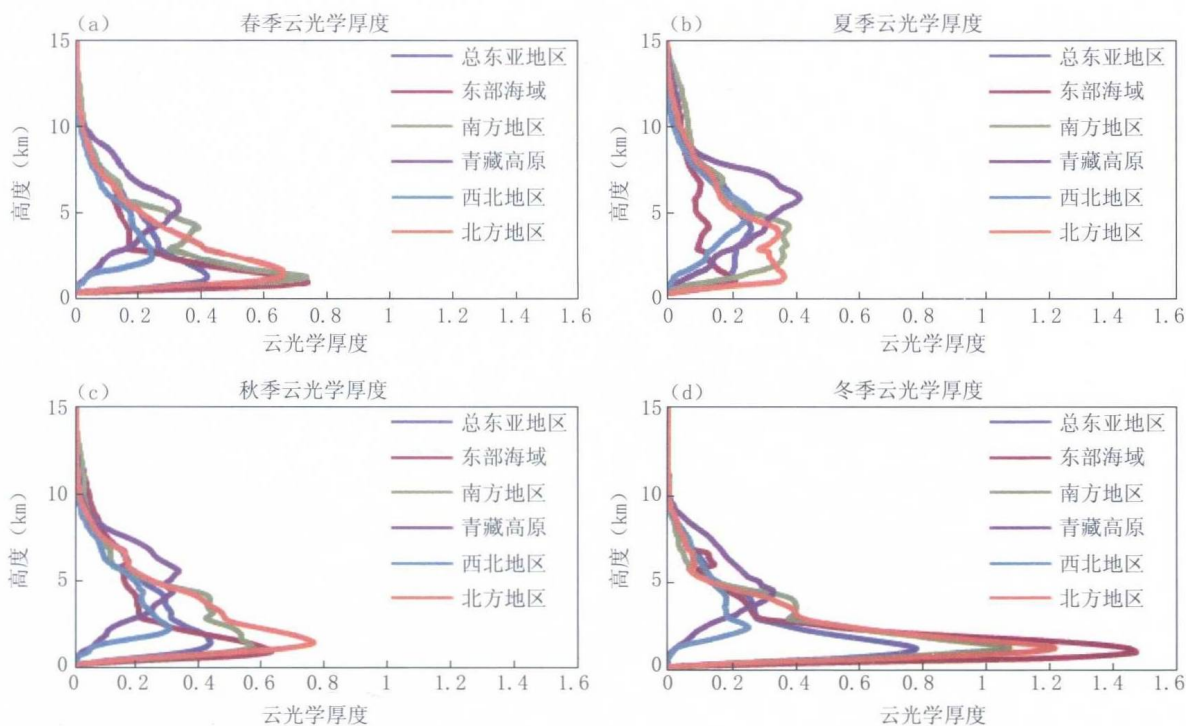


图 2.28 2007—2010 年不同区域内云光学厚度垂直分布的季节变化
(图 a、b、c、d 分别表示云光学厚度在春、夏、秋、冬季的垂直分布)

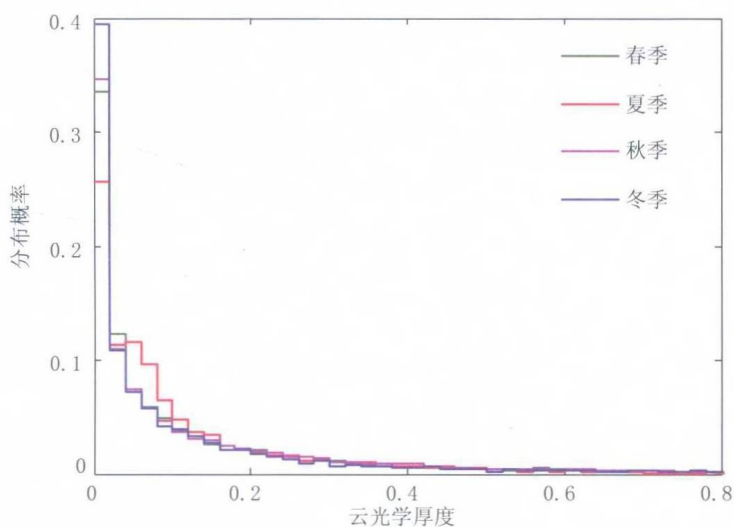


图 2.29 2007—2010 年东亚地区云光学厚度的 PDF 分布

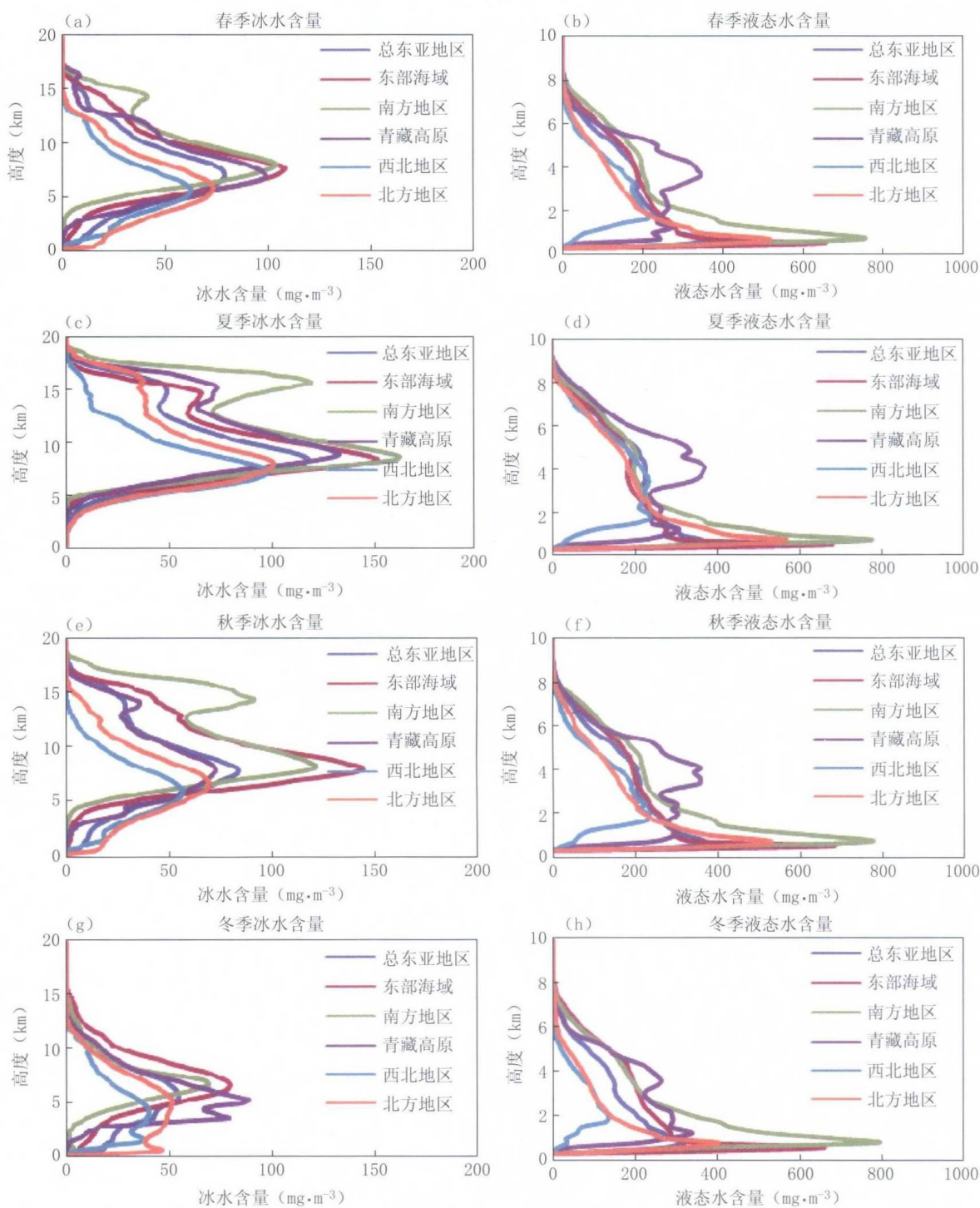


图 2.39 2007—2010 年不同区域内冰水含量(左)、液态水含量(右)垂直分布的季节变化

(a、c、e、g 分别表示冰水含量在春、夏、秋、冬季的垂直分布,b、d、f、h 分别表示

液态水路径在春、夏、秋、冬季的垂直分布,单位: $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)

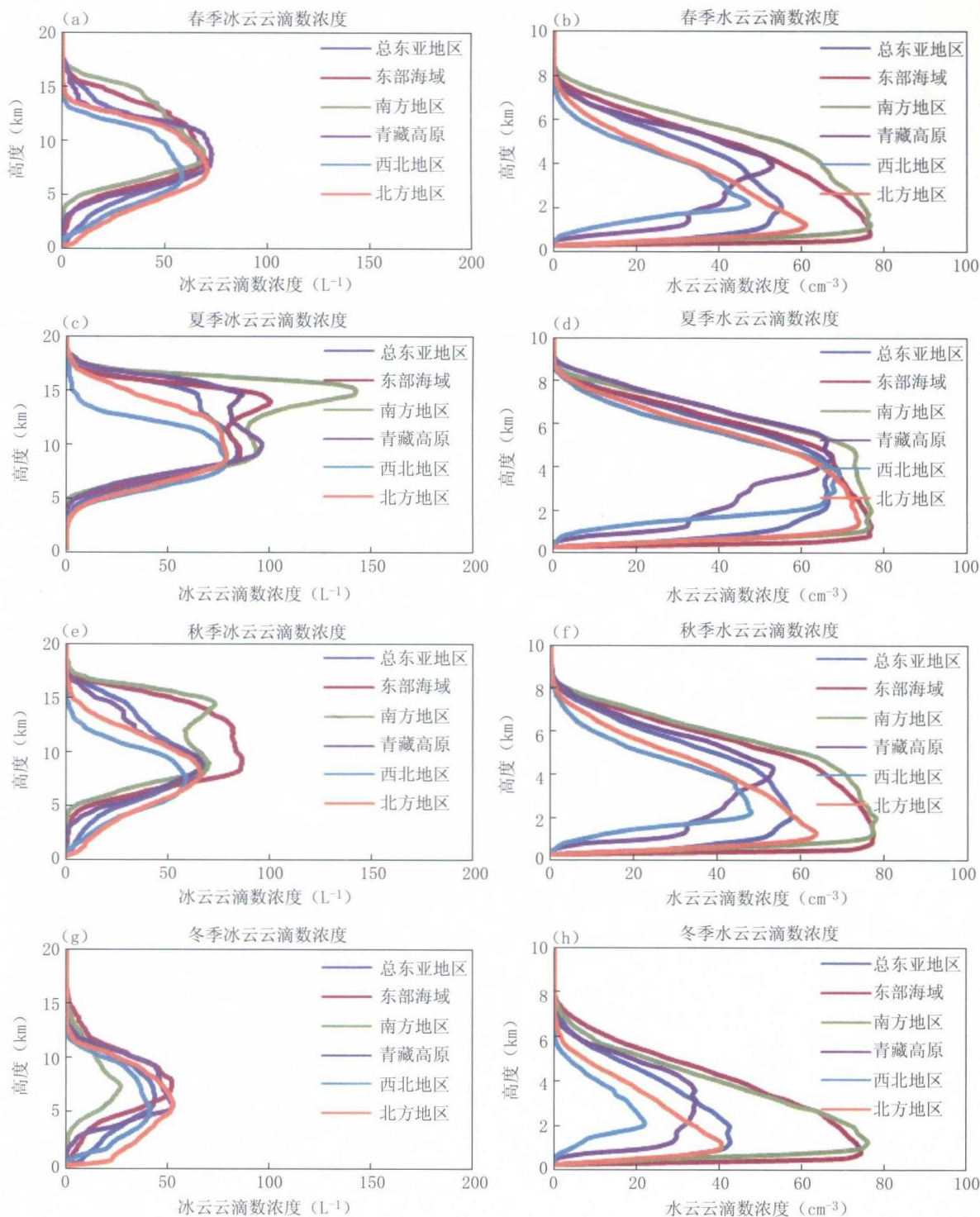


图 2.40 2007—2010 年不同区域内冰云云滴数浓度(左)、水云云滴数浓度(右)垂直分布的季节变化

(a、c、e、g 分别表示冰云云滴数浓度在春、夏、秋、冬季的垂直分布,单位: L^{-1} ;

b、d、f、h 分别表示水云云滴数浓度在春、夏、秋、冬季的垂直分布,单位: cm^{-3})

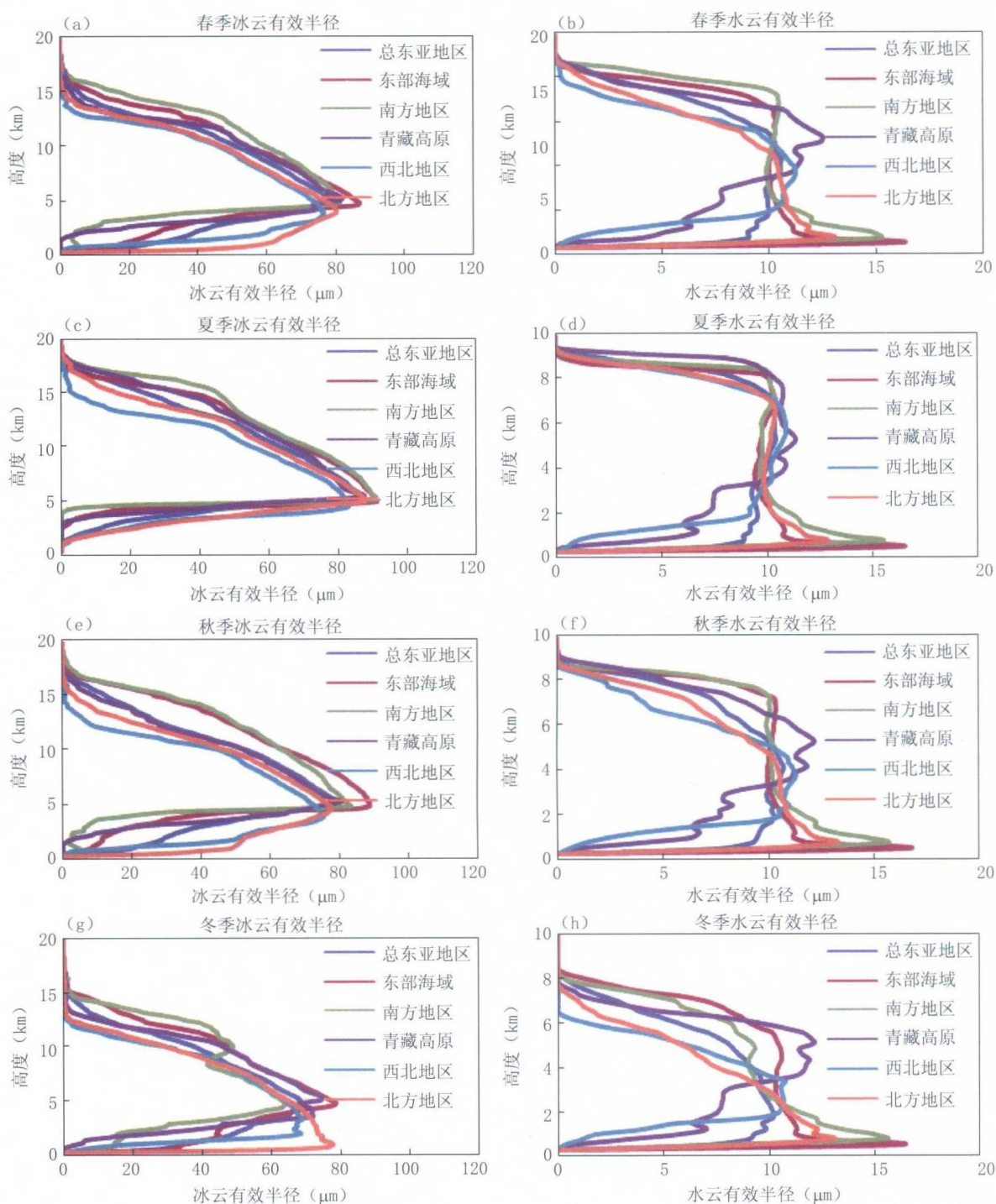


图 2.41 2007—2010 年不同区域内冰云有效半径(左)、水云有效半径(右)

垂直分布的季节变化

(a、c、e、g 分别表示冰云有效半径在春、夏、秋、冬季的垂直分布，

b、d、f、h 分别表示水云有效半径在春、夏、秋、冬季的垂直分布，单位： μm)

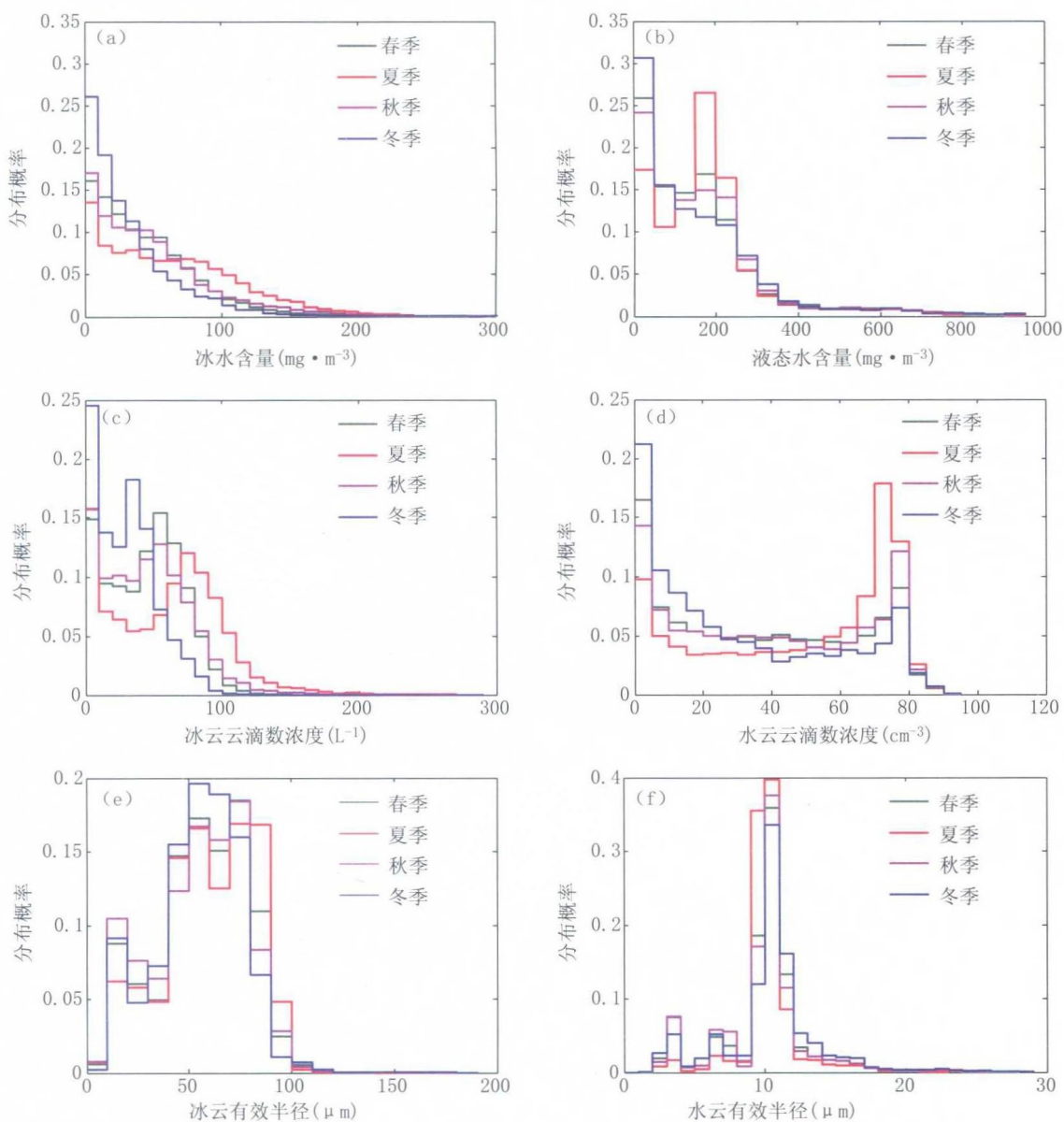


图 2.42 2007—2010 年东亚地区云微物理的 PDF 分布

(a、b 分别表示冰水含量、液态水含量的 PDF 分布；c、d 分别表示冰云云滴数浓度、水云云滴数浓度的 PDF 分布；e、f 分别表示冰云有效半径、水云有效半径的 PDF 分布)

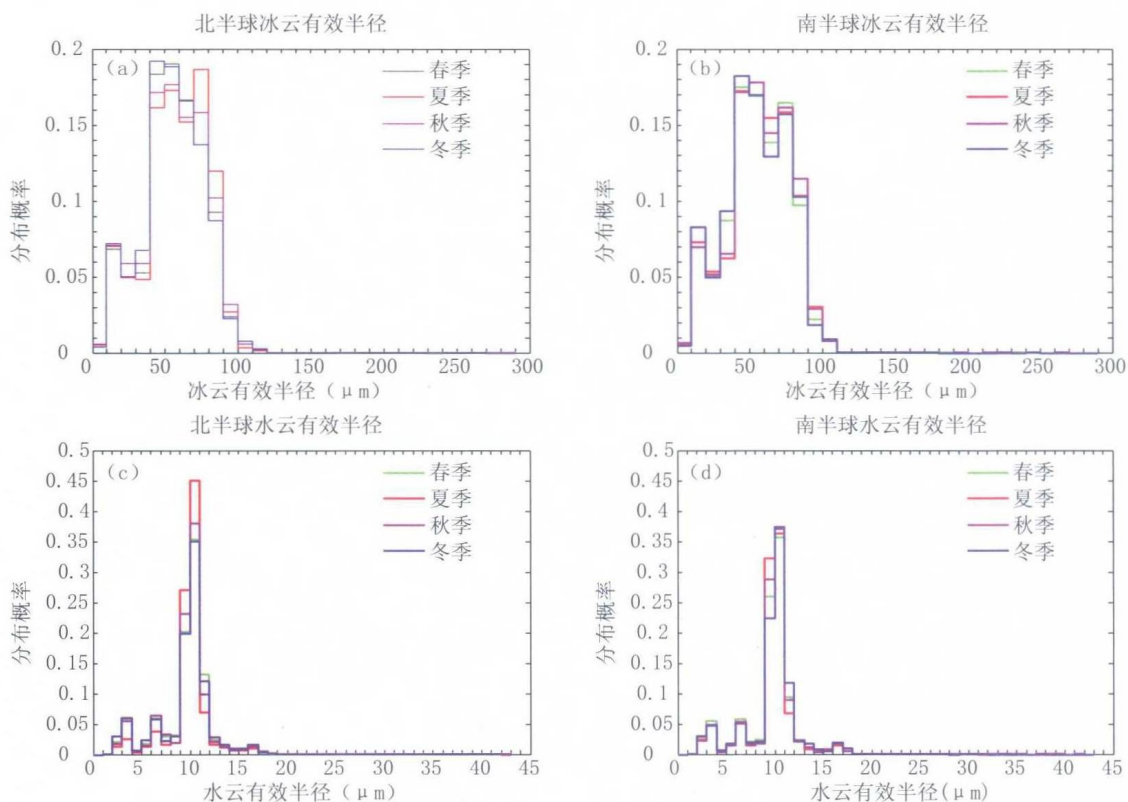
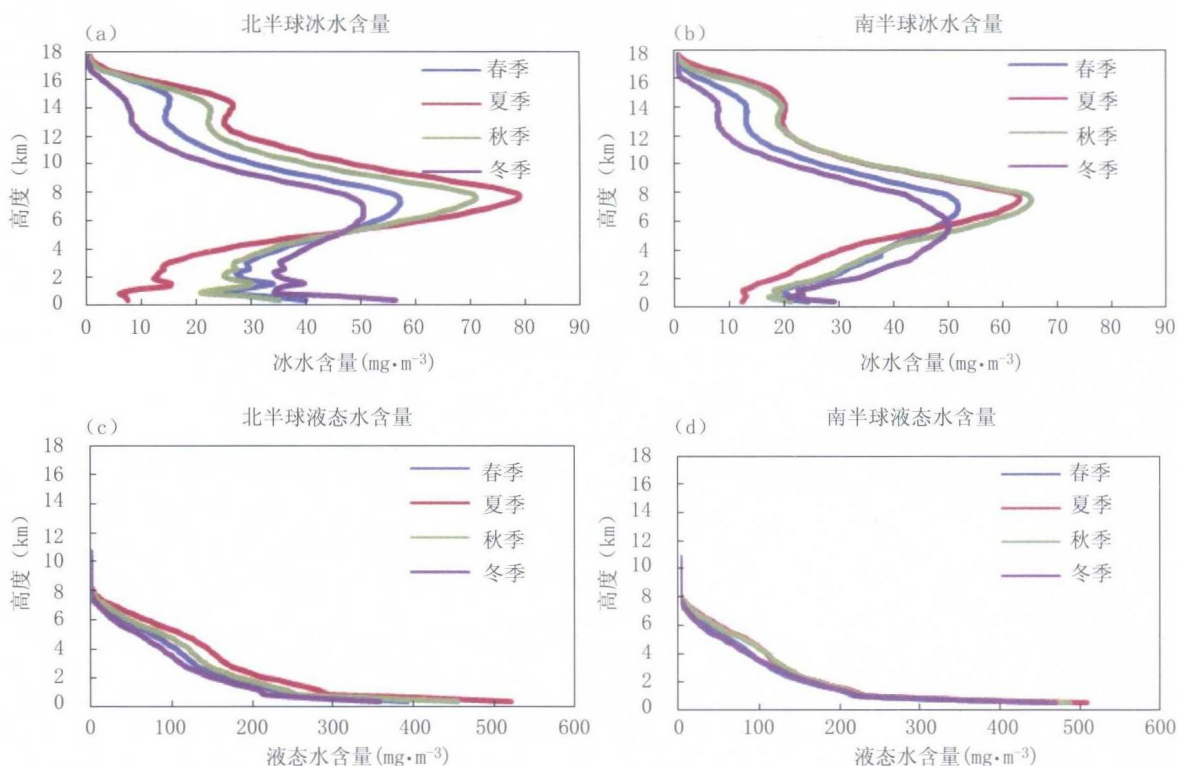


图 2.50 2007—2010 年南北半球冰(水)云有效半径的 PDF 分布的季节变化

(a、b、c、d 分别代表北半球冰云有效半径、南半球冰云有效半径、
北半球水云有效半径和南半球水云有效半径,单位: μm)



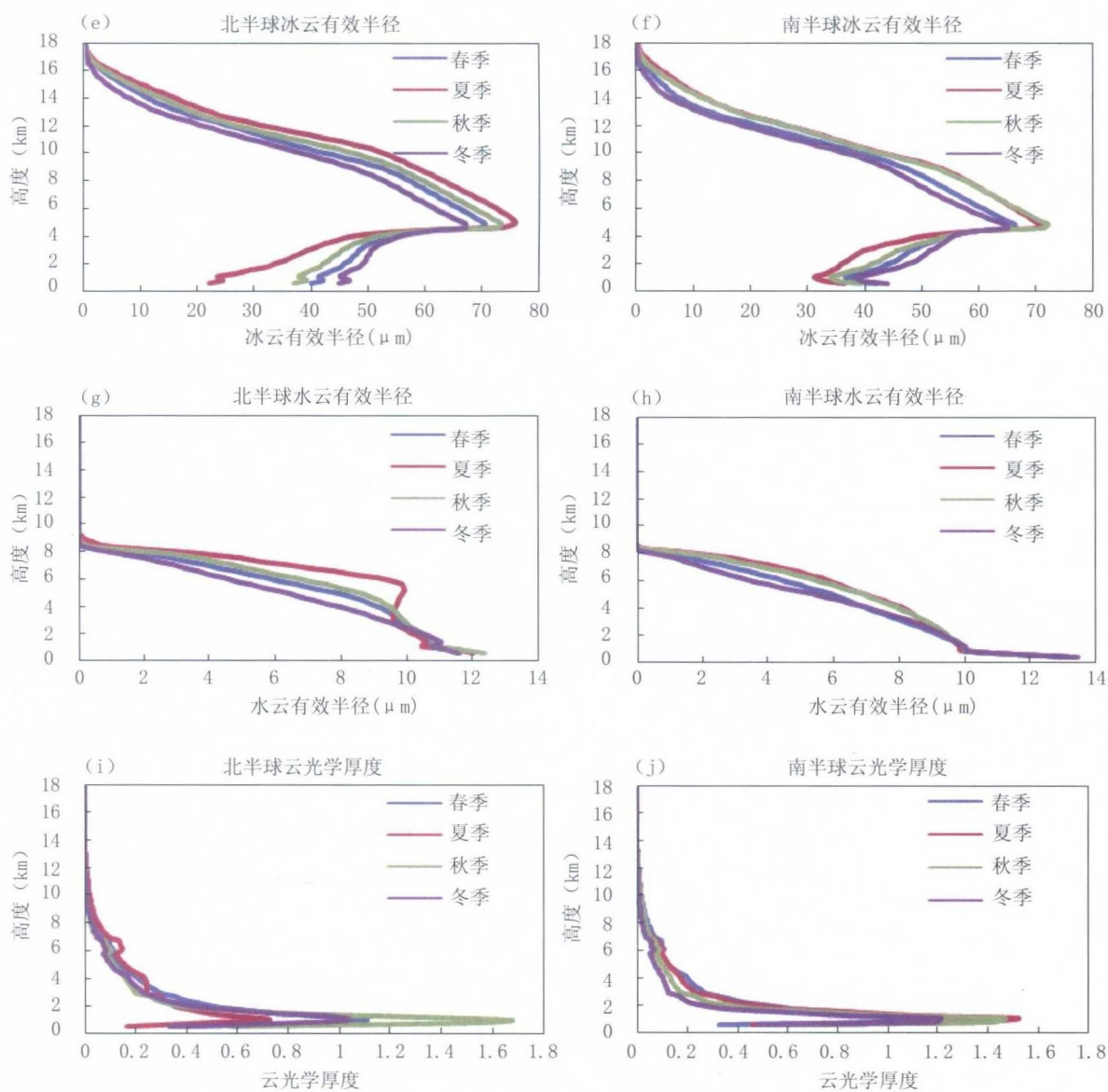


图 2.52 2007—2010 年南北半球各云微物理量垂直分布的季节变化
(a、c、e、g、i 分别表示北半球冰水含量、液态水含量、冰云有效半径、水云有效半径、云光学厚度垂直分布的季节变化, b、d、f、h、j 分别表示南半球上述物理量垂直分布的季节变化)

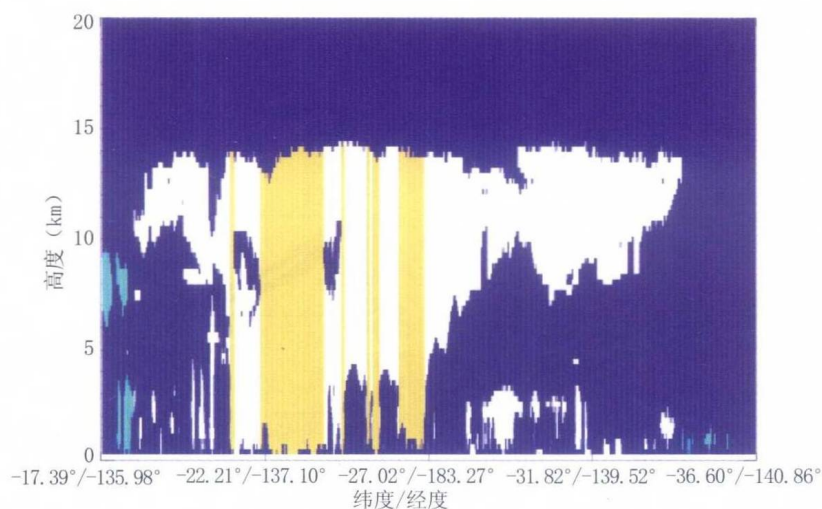


图 2.70 2007—2010 年深厚云系统个例

[白色和黄色格点组成的部分为深厚云系统
(黄色为深厚云核),蓝色为晴空格点,而绿色表示其他云格点]

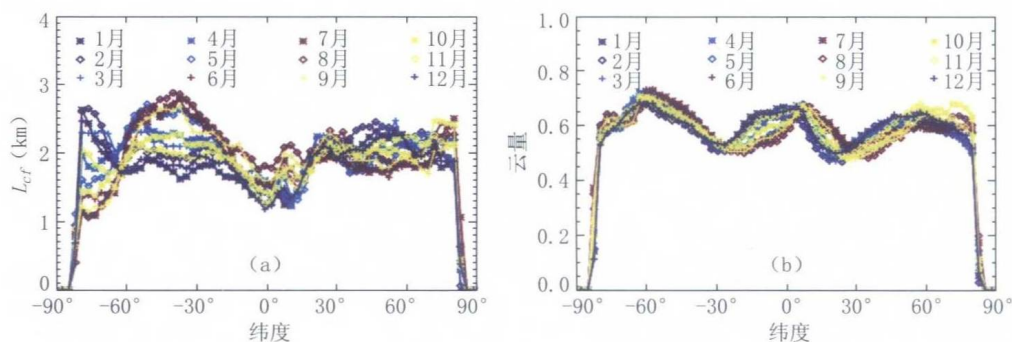
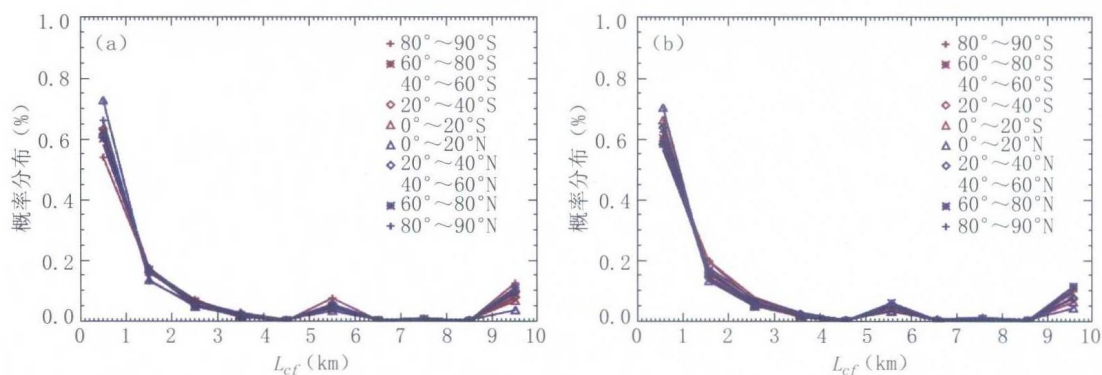


图 5.12 L_{cf}^* (a)和云量(b)在 12 个月份的纬向分布



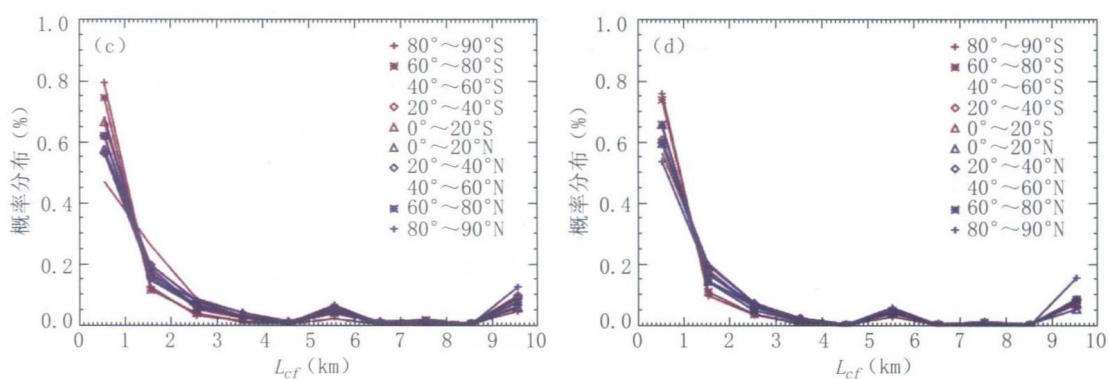


图 5.13 L_{cf}^* 的概率分布
(a)1月;(b)4月;(c)7月;(d)10月

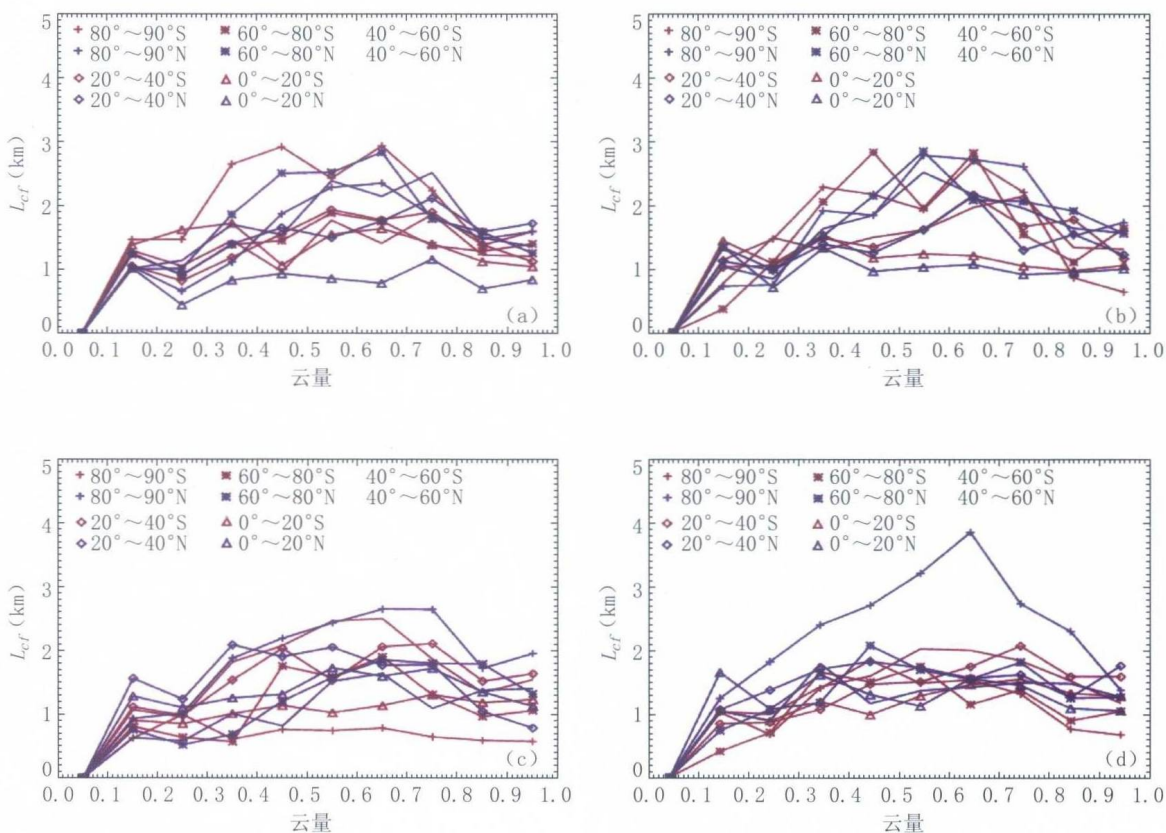


图 5.14 云量与 L_{cf}^* 之间的关系
(a)1月;(b)4月;(c)7月;(d)10月

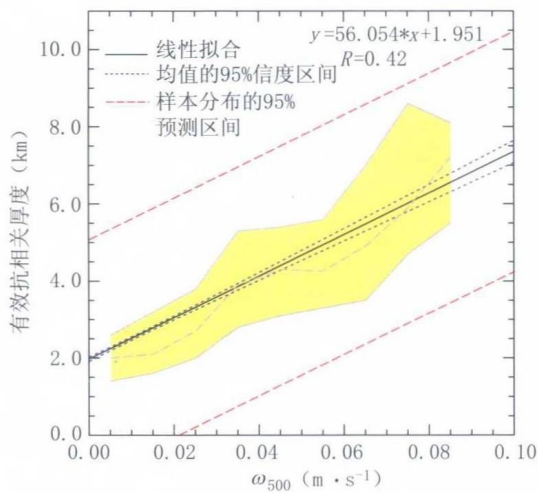


图 5.25 热带地区(30°S~30°N)500 hPa 上升区域垂直速度与有效抗
相关厚度 L_{cf}^* 之间的线性关系

[黑色实线为线性拟合线,并给出了拟合公式,蓝色虚线和红色虚线分别为均值的 95%
信度区间和样本分布的 95%预测区间,黄色区域表示用于拟合的样本
分布的中值(灰色虚线)和四分位距(interquartile range)]

021	.....	中国的气候系统及其变化 第 1 章
051	.....	中国的气候系统及其变化 第 1 章
831	.....	中国的气候系统及其变化 第 1 章
831	.....	中国的气候系统及其变化 第 1 章
831	.....	中国的气候系统及其变化 第 1 章
831	.....	中国的气候系统及其变化 第 1 章

目 录

前言	.....	中国的气候系统及其变化 第 1 章
第 1 章 绪论	.....	1
1.1 云在气候系统中的作用	.....	1
1.2 中国地面太阳辐射的变化及归因	.....	2
1.3 云的垂直重叠特征	.....	4
1.4 不同云-辐射方案对气候模拟的影响	.....	5
参考文献	.....	6
第 2 章 东亚地区和全球云宏微观物理及光学特征量的变化规律	.....	10
2.1 资料和方法	.....	10
2.2 云量和云顶高度的分布与变化	.....	17
2.3 东亚地区和全球云光学厚度的分布与变化	.....	37
2.4 东亚地区和全球云物理量的分布	.....	47
2.5 干旱区和湿润区的云物理量分布特征	.....	68
2.6 卫星云观测与 BCC_AGCM2.0 模式模拟的比较	.....	77
2.7 全球深厚云系统及其时空变化特征	.....	82
参考文献	.....	91
第 3 章 中国地区地面太阳辐射的时空变化及归因	.....	97
3.1 资料和方法	.....	97
3.2 地面太阳辐射的年平均分布特征	.....	101
3.3 地面太阳辐射的季节平均分布特征	.....	104
3.4 地面太阳辐射的长期变化趋势	.....	109
3.5 地面太阳总辐射长期变化趋势的空间分布	.....	112
3.6 地面太阳辐射变化对气温的影响	.....	115
3.7 影响地面太阳辐射及其谱分布的因子分析	.....	126
3.8 不同污染条件下气溶胶对短波辐射通量影响的模拟研究	.....	133
附图	.....	142
参考文献	.....	145

大气污染一直是人们关注的热点。全球干旱及半干旱区的面积约占陆地总面积的 30%，我国干旱面积约占 47%，高于全球的比例，主要位于西北地区，反映了当地水文条件的

第 4 章 中国不同地区地面太阳辐射变化的归因	150
4.1 华北地区地面太阳辐射变化原因分析	150
4.2 华东地区地面太阳辐射变化原因及其与华北地区的对比分析	158
4.3 东北地区地面太阳辐射变化及原因分析	163
参考文献	168
第 5 章 全球云辐射的特征和变化规律	169
5.1 Räisänen 随机云生成器介绍	169
5.2 全球云的垂直重叠特性	172
5.3 利用 NICAM 全球云分辨模式对云重叠结构的研究	190
参考文献	201
第 6 章 气候模式次网格云-辐射计算方案	204
6.1 McICA 云-辐射方案介绍	204
6.2 McICA 随机误差对气候模拟的影响评估	206
6.3 辐射收支对次网格云结构参数化的敏感性	220
6.4 基于卫星观测的云重叠参数改进	235
参考文献	242
第 7 章 云-辐射方案对气候模拟的影响	246
7.1 两种云-辐射方案对比	246
7.2 新方案和原方案的诊断比较分析	248
7.3 两种辐射方案模拟的气候场的比较	252
参考文献	266