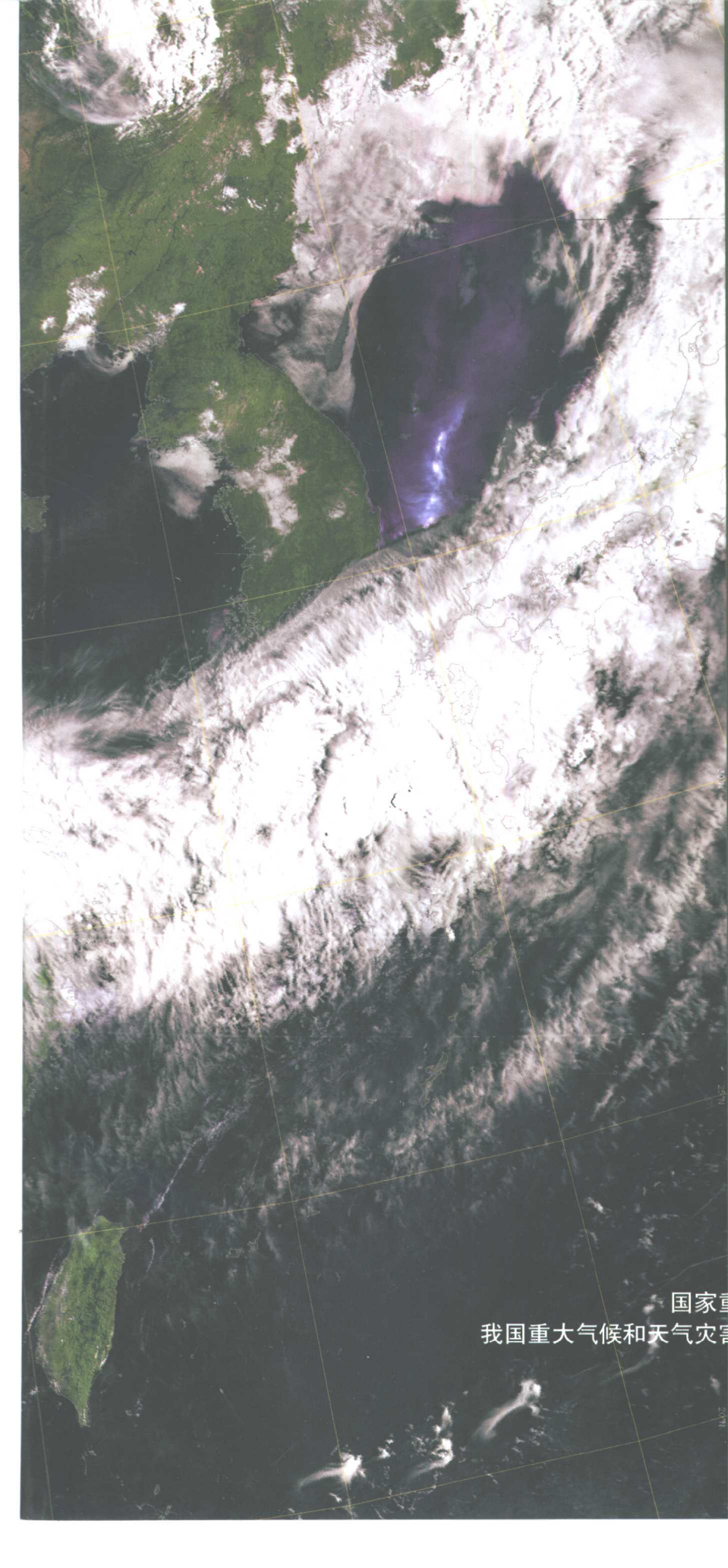


A satellite image of a tropical storm system over the South China Sea. The storm features a prominent eye and spiral cloud bands. The surrounding landmasses, including parts of Southeast Asia and the Philippines, are visible in green and brown. The ocean is dark blue.

1998

夏季中国暴雨的形成机理与预报研究

陶诗言 倪允琪 赵思雄 陈受钧 王建捷 等著

国家重点基础研究发展规划项目
我国重大气候和天气灾害形成机理与预测理论研究
(G1998040900 第二部分)

气象出版社

国家重点基础研究发展规划项目
我国重大气候和天气灾害形成机理与预测理论研究
(G1998040900 第二部分)

1998 年夏季中国暴雨的形成 机理与预报研究

陶诗言 倪允琪 赵思雄 陈受钧 王建捷 等著

气象出版社

内容简介

1998年6~8月珠江、闽江、长江以及嫩江、松花江同时出现了严重的暴雨—洪涝,这是有气象记录以来首次所见。长江流域出现了“二度”梅雨,两段梅雨期暴雨频降,特别是第二段梅雨与长江上游多雨时段重合,造成20世纪自1954年以来的第一次全流域性特大洪水。本书是对1998年夏季中国暴雨的形成机理和预报研究的综合性报告,对1998年洪涝的灾情和降水情况、大暴雨的大尺度大气环流特征和副热带高压异常变化机理、暴雨—洪涝的天气尺度系统的活动、梅雨期中 β 尺度对流系统的发生发展过程和暴雨的成因等作了初步分析。本书可供气象、水文部门的研究和业务人员阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

1998年夏季中国暴雨的形成机理与预报研究、陶诗言等著. —北京:气象出版社,2001.10

ISBN 7-5029-3092-2

I. 1… II. 陶… III. 暴雨—研究—中国—1998 IV.P426.62

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第070607号

1998年夏季中国暴雨的形成 机理与预报研究

陶诗言 倪允琪 赵思雄 陈受钧 王建捷 等著

责任编辑:俞卫平 张婉佩 终审:周诗健

封面设计:蓝色航线 责任校对:王红

气象出版社 出版

(北京中关村南大街46号 邮编:100081)

北京市兴怀印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

2001年11月第一版 2001年11月第一次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:12 字数:300千字

印数1~1000

ISBN 7-5029-3092-2/P·1090

定价:25.00元

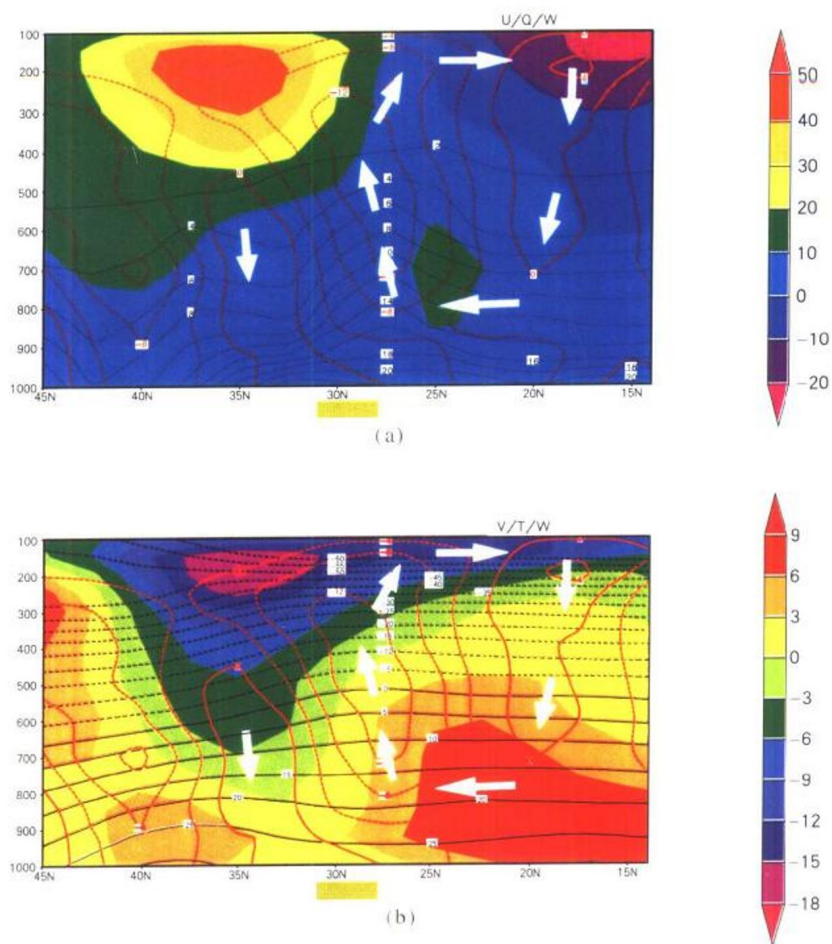


图3.4.6 1998年6月16~17日平均的(a)东西风(彩色区域, m/s)、比湿(蓝线, g/kg)和垂直速度(红线, 10^{-4} hPa/s)、(b)南北风(彩色区域, m/s)、温度(蓝线, $^{\circ}$ C)和垂直速度(红线, 10^{-4} hPa/s)沿 116° E的经向垂直分布(坐标下部棕色色块代表梅雨锋区位置)

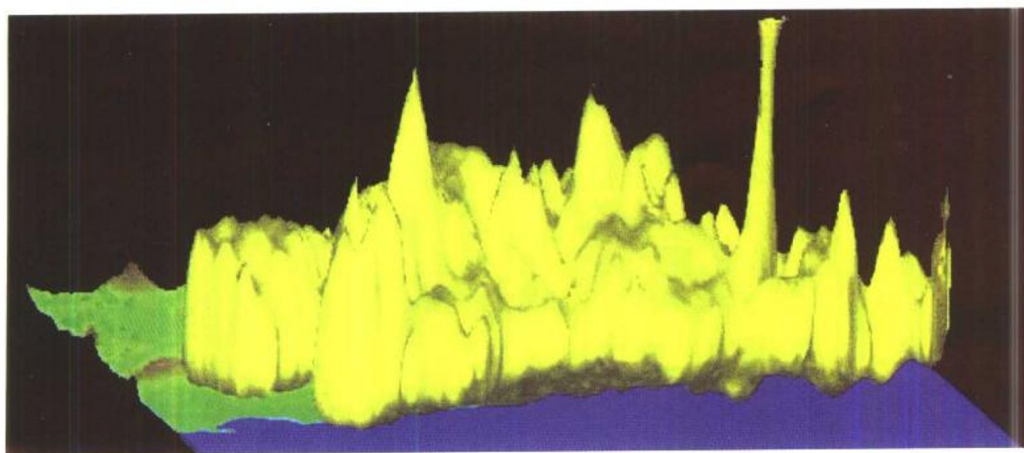


图3.4.7 1998年夏季强降水时期的云(水含量)特征
(a) 1998年6月9日10:40时汕头雷达观测结果

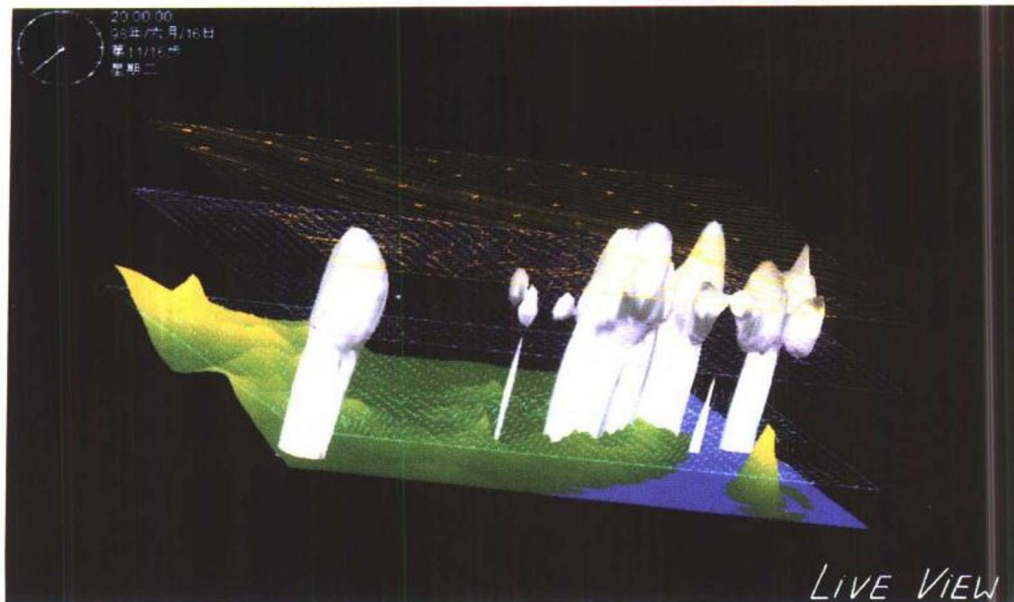


图 3.4.7 1998 年夏季强降水时期的云（水含量）特征
(b) 1998 年 6 月 17 日 02:00 时 MM5 模拟结果

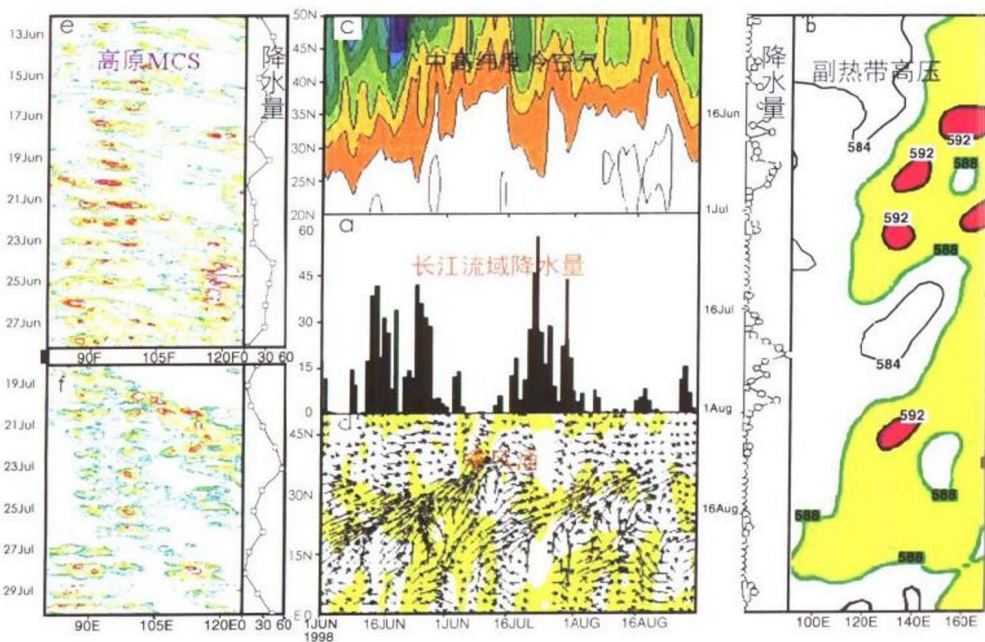


图 3.8.1 长江流域 1998 年持续性暴雨的天气学模型

其中: 方框 a 是长江流域逐日降水量; b 是沿 30°N 的 500hPa 高度和同期长江流域降水量 (空心圆连线); c 为沿 $100^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均的 500hPa 高度; d 是沿 $100^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均的大气整层水汽输送通量矢量 (箭头) 和 TBB (绿色); e、f 分别为二段梅雨期沿 30°N 的 TBB 和同期长江流域的降水量 (空心圆连线)

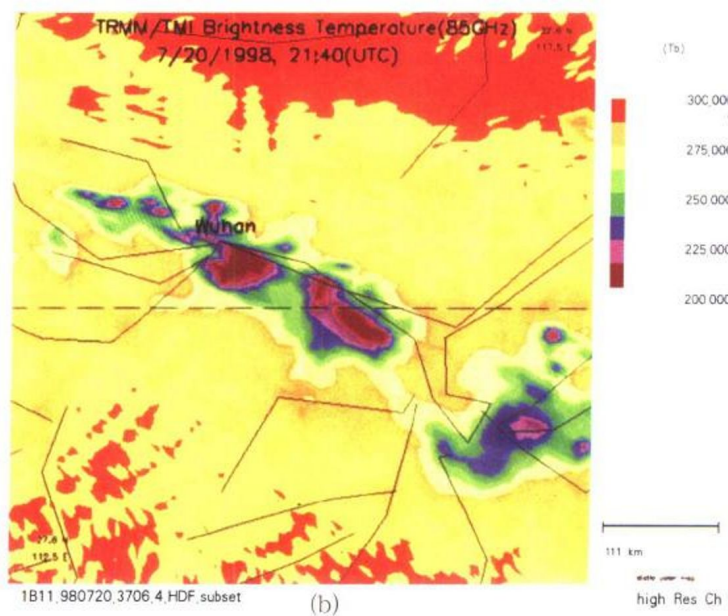
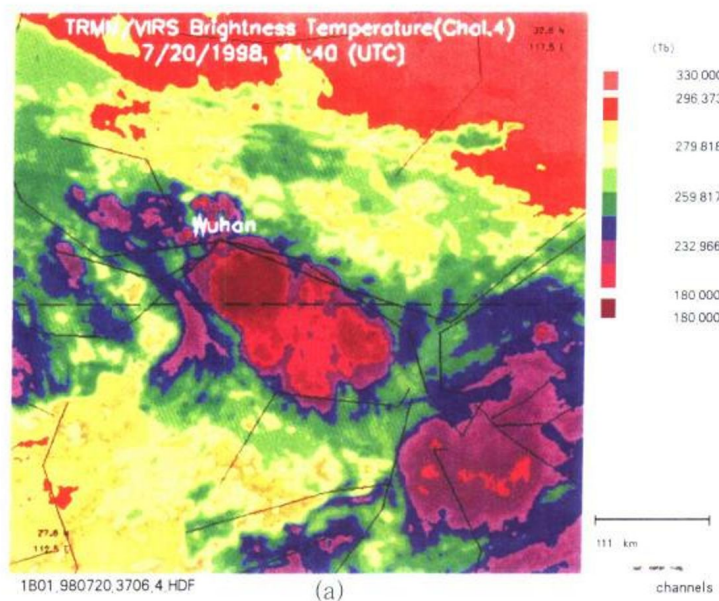


图4.3.1 北京时1998年7月21日05:40时刻TRMM亮温分布图
(a) VIRS 4通道红外通道 (b) TMI 85 GHz 垂直极化通道

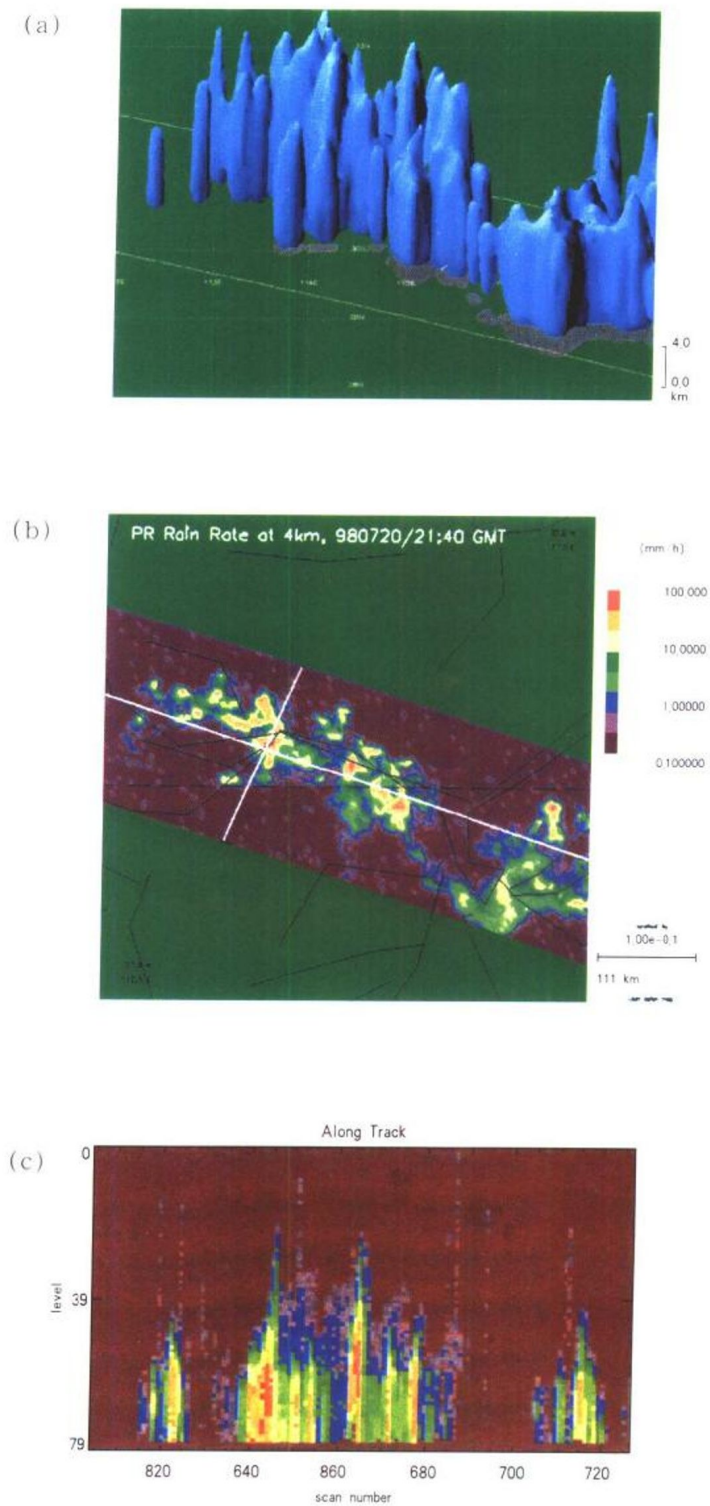


图4.3.2 TRMM 雷达反演的与图4.3.1 同时的降水场

(a) 三维立体图，其中降水阈值为1.0mm/h，视角为60°，中心点位置为30.1°N，115°E

(b) 4km 高度面上的降水强场 (c) 沿卫星轨道降水场的剖面图

序 言

1998 年夏季长江流域持续强暴雨造成长江流域八次洪峰, 给我国国民经济和人民生命财产带来巨大损失, 引起党中央和各级政府高度关注、采取了一系列抗灾、防灾的有效措施, 取得抗洪的全面胜利。造成这次长江流域持续洪峰的主要原因是由于多发性、突发性的梅雨锋中尺度暴雨系统持续活跃在长江流域, 因此梅雨锋中尺度暴雨系统成为我国汛期的重要天气灾害。但是, 目前我们对这种不同尺度相互作用而产生的灾害性天气的预测还很困难, 为了进一步研究梅雨锋中尺度暴雨的形成机理, 提高暴雨预报能力, 1999 年在国家科技部支持下, 由中国气象科学研究院牵头, 实施了我国有史以来最大规模的暴雨研究计划—国家重点基础研究发展规划项目“我国重大天气灾害的形成机理和预测理论研究”。

近两年来, 在国家科技部的领导和中国气象局的大力支持下, 在项目全体研究人员和管理人员的努力下, 项目紧紧抓住我国梅雨锋暴雨形成机理及其预报理论这一基本科学问题, 紧紧围绕 1998 年夏季长江流域洪涝成因和引起洪涝的梅雨锋中尺度暴雨系统及其大尺度环流异常背景的物理模型开展大量研究工作, 近两年来的研究工作取得一系列具有创新水平的研究成果, 基本弄清了 1998 年长江流域持续强降水的成因、机理并给出了清晰的物理模型。项目专家组为了及时反映项目的研究成果, 组织了本项目具有很高学术造诣的老专家陶诗言院士、周秀骥院士、赵思雄和陈受钧两位教授和一些很有潜力的年青学者凝炼了本项目有关'98 暴雨的研究成果, 仅用了短短两个月时间就完成了这本专著。为此, 我代表项目专家组向为本书的完成作出贡献的全体科学家和编辑人员表示万分的谢意, 也向为本项目研究提供资料而付出辛勤劳动的全体气象工作者表示敬意。我衷心希望本书不仅仅反映中国气象学家在'98 暴雨及其成因研究的最新成果, 同时为中国和其他国家研究暴雨的同行提供一本有价值的参考专著。我作为首席科学家清楚知道由于时间紧迫, 2001~2002 年梅雨锋中尺度暴雨系统的野外科学试验在本专著完成前尚未开展, 因此, 本书在中尺度暴雨研究和成果方面还存在一定的局限性, 我希望通过 2001~2002 年野外科学试验, 进一步获取中尺度暴雨的三维结构资料, 能在现有研究基础上做出更具创新意义的研究成果, 推动中国的中尺度暴雨研究的发展, 赶上和超过先进国家的研究水平, 真正为国家减灾、防灾做出我们应有的贡献。

最后, 我再次为本书作出重要贡献的陶诗言院士、周秀骥院士和其他科学家致意。并借此机会向始终全力支持我们研究工作的国家科技部和中国气象局领导和同志们表示衷心感谢。

国家重点基础研究发展规划项目
《我国重大天气灾害形成机理和预测理论研究》

首席科学家 倪允琪

2001 年 2 月 12 日

前 言

1998 年 6~8 月珠江、闽江、长江以及嫩江、松花江同时出现了严重的洪涝灾害。6 月中下旬华南普降持续性暴雨，珠江流域的西江和闽江出现了百年一遇的洪水。6 月中旬长江流域梅雨期开始。梅雨期分成两个时段，第一段梅雨出现在 6 月 12~28 日，第二段梅雨出现在 7 月 21~31 日，中间有 20 天的中断。两段梅雨期暴雨频降。特别是由于第二段梅雨与长江上游多雨时段重合，并且在 8 月长江梅雨期结束后，长江上游不断有洪水下泄，造成 20 世纪自 1954 年以来的一次全流域性的大洪水。1998 年 6~8 月嫩江、松花江流域降水在 400mm 以上，有些地区 6~8 月降水量超过了全年平均降水量。频繁的暴雨使嫩江、松花江水位猛涨，先后出现了四次洪峰，遭受了一百多年来未见过的特大洪水。据统计，全国有 29 个省、自治区、直辖市遭受了不同程度的洪涝灾害，有 36.2 万名解放军和武警部队官兵参加了抗洪抢险。受害面积达 2578 万公顷，成灾面积 1585 万公顷，受灾人口有 2.3 亿，直接经济损失达 2480 亿元。

1998 年南北四条大江同时出现暴雨—洪涝，这是在有气象记录以来第一次见到的。由于洪涝灾害范围广，损失严重，决策部门和全国公众都关注这场洪涝的形成机理与预测的可能性问题。国家科技部决定在国家重点基础研究计划项目中，设立了“我国重大气候和天气灾害形成机理与预测理论研究”项目。这个项目分成我国重大气候灾害形成机理与预测理论研究（G19980903）和我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究（G1998040908）两部分。科技部要求项目第二部分在两年内对 1998 年这场全国洪涝的成因和预测的可能性完成一本报告。“1998 年夏季中国暴雨的成因、机理和预报的研究”一书，就是项目第二部分向科技部的报告。

全书分成五章：第一章对 1998 年洪涝的灾情、降水情况和洪水的水位情况作概括的叙述。

第二章讨论和分析了 1998 年夏季大暴雨的大尺度大气环流特征。首先，简述了与 1998 年夏季洪涝有关的气候背景以及南北几大江河流域多雨期的大气环流特征；然后，着重分析西太平洋副热带高压的变异特征，尤其是与 7 月中下旬长江流域出现二度梅雨现象相联系的副高脊突然南撤并偏南持续维持的特征和机理；最后，本章讨论了 1998 年夏汛期中高纬阻塞高压活动与变异特征。

第三章分析 1998 年暴雨—洪涝的天气尺度系统的活动。本章概括分析东亚型阻塞高压后侧一次次低气压系统被切断和停滞的过程；分析梅雨锋的结构和维持的机理，强调梅雨锋的热力学和动力学结构与一般的锋面结构的不同；分析两段梅雨期来自南海的季风涌活动、梅雨锋的进退过程，以及来自青藏高原东侧的中 α 对流系统对梅雨锋暴雨的作用；概括出引起持续性梅雨锋暴雨的天气学模型。本章还分析了 1998 年 8 月长江上游的降水系统。1998 年梅雨期在 7 月底结束，而长江洪涝灾害最严重的阶段在 8 月上、中旬，这是由于在 8 月四川多暴雨，以致引起长江中游在 8 月出现 5 次洪峰。

第四章分析梅雨期中 β 尺度*对流系统的发生、发展过程,以及用 MM5、ARPS 中尺度模式模拟 6 月 16~17 日江西暴雨、7 月 21~22 日武汉、黄石突发性暴雨的结果。模拟是比较成功的。梅雨锋降水包含有中 α 尺度降水系统、中 β 尺度降水系统、中 γ 尺度降水系统。1998 年 7 月 21 日 06 时武汉突发性暴雨期间,热带测雨卫星 (TRMM) 正好通过武汉上空,卫星雷达观测到梅雨锋上的中 β 和中 γ 尺度的云系,首次揭示梅雨锋云系的结构。

第五章是全书的总结。

本书的撰写由项目第一课题负责,第二、第三课题协助完成。编写组人员:

组 长:陶诗言

副组长:周秀骥、赵思雄

成 员:陈受钧、王建捷、程明虎

各章撰写人:

前 言 负责人:陶诗言

第一章 负责人:张顺利 参加人:毛恒青

第二章 负责人:庄世宇 参加人:张顺利、毛恒青

第三章 负责人:张顺利 参加人:王建捷

第四章 负责人:贝耐芳 参加人:程明虎、王建捷、张小玲、齐艳军

第五章 负责人:陶诗言

全书由陶诗言、陈受钧统一笔调,进行修改,最后由陶诗言定稿。

在未来 3 年本项目将作更深入研究。本书只是前两年研究的初步结果,书中有些论点可能有进一步探讨之处,希望在本项目结束后,对本书部分内容作修改。

陶诗言

2001 年 1 月 15 日

* 按全国科学技术名词审定委员会公布的《大气科学名词》(1996), meso- α scale, meso- β scale, meso- γ scale 分别定名为 α 中尺度, β 中尺度, γ 中尺度, 本书中仍保持原名称, 未作变动。——责编

目 录

序言

前言

第一章 雨情、水情和灾情	1
§ 1.1 雨情分析	1
§ 1.2 水情分析	7
§ 1.3 灾害分析	10
第二章 1998 年大暴雨的大尺度环流特征	12
§ 2.1 气候背景特征	12
§ 2.2 1998 年嫩江、松花江多雨期大尺度环流特征	14
§ 2.3 1998 年江淮流域梅雨期的环流特征	16
§ 2.4 1998 年夏季西太平洋副热带高压活动的异常特征及机理	19
§ 2.5 中高纬阻塞高压活动的特征与演变	31
第三章 天气尺度系统	43
§ 3.1 1998 年华南前汛期暴雨	43
§ 3.2 1998 年第一阶段梅雨时期的天气尺度系统	44
§ 3.3 1998 年第二阶段梅雨时期的天气尺度系统	47
§ 3.4 1998 年梅雨锋结构和梅雨锋的形成与维持	49
§ 3.5 1998 年嫩江、松花江洪水期间的天气尺度系统	57
§ 3.6 1998 年 8 月长江上游的降水系统	61
§ 3.7 青藏高原东移系统的影响	64
§ 3.8 讨论	67
第四章 1998 年长江流域梅雨期中 β 尺度系统分析	74
§ 4.1 1998 年 7 月“二度梅”期间低涡切变线系统的分析	74
§ 4.2 7 月 21~23 日“二度梅”期间在武汉、黄石出现突发性大暴雨的中尺度系统分析	93
§ 4.3 热带测雨卫星 (TRMM) 资料揭示的武汉突发性暴雨	100
§ 4.4 中尺度系统的模拟研究	101
§ 4.5 中尺度系统的水汽、涡度收支分析	137
§ 4.6 梅雨锋中尺度系统的结构特征、物理过程	144
§ 4.7 结论与讨论	176

第五章 1998 年夏季中国暴雨-洪涝的特征概括	180
§ 5.1 气候和大尺度环流的背景	180
§ 5.2 天气尺度系统对持续性暴雨的作用	181
§ 5.3 梅雨期中 β 尺度系统的分析	182
§ 5.4 结论	183

第一章 雨情、水情和灾情

§ 1.1 雨情分析

1998 年夏季我国从南到北发生了罕见的特大洪涝灾害, 珠江、闽江、长江、嫩江等出现了不同程度的暴雨洪水。1998 年洪水涉及范围广, 洪水量级大, 洪峰水位高, 属历史少见。

自 1997 年 11 月以来, 我国南方大部分地区降水偏多, 湘江、赣江、闽江和广东北江等干流于 1998 年 3 月上旬相继发生洪水。进入 6 月中旬以后, 华南及长江中下游出现了持续性强降水。6 月中、下旬华南普降暴雨或大暴雨, 强降水造成江河水位猛涨, 珠江流域的西江、福建的闽江等地区发生了百年一遇的特大洪水。

6~8 月长江流域大部地区频降大雨、暴雨、大暴雨, 长江中上游出现了 8 次洪峰, 引发了 1954 年以来的又一次全流域的大洪水。1998 年夏季嫩江、松花江流域降水较常年同期偏多 2~9 成, 部分地区偏多 1 倍以上, 有些地区 6~8 月的降水量就超过了全年的降水量。

1998 年夏季松花江、嫩江流域持续的强降水使嫩江流域、松花江干流水位猛涨, 出现了 4 次洪峰, 遭受了超历史记录的特大洪水袭击。

1.1.1 1997 年冬季至 1998 年春季气候特征

1997 年 5 月至 1998 年 6 月出现了 20 世纪以来最强的一次厄尔尼诺事件, 1997 年 10 月厄尔尼诺事件发展到极强盛阶段。研究表明(陶诗言等, 1998): 受强 ENSO 循环的影响, 1997/1998 年冬季东亚大槽势力比常年偏弱, 寒潮活动不活跃, 东亚冬季风偏弱; 另外, 冬季南支西风势力强, 西风带中瞬变扰动活跃, 造成长江以南的持续性降水及青藏高原的强降雪。

1997 年 11 月到 1998 年 3 月我国淮河以南大部地区降水在 400mm 以上, 强降水主要出现在江西中北部、浙江西部、福建西部、湖南东北部及安徽西南部, 较常年降水偏多 100%~150%。其中, 江西省的南昌、贵溪、上饶、宜春降水量为 1000mm 以上, 是 40 多年来同期最大降水。4 月、5 月降水主要集中在江淮流域, 4~5 月合肥、南京降水量分别为 351mm、244mm。

冬春持续性降水使部分江河水位超过警戒水位, 出现罕见的冬汛, 闽江 2 月发生了历史同期最大洪水; 湘江、赣江、闽江、北江等干流 3 月上中旬发生洪水, 汉口水文站 3 月 16 日水位达到 21.33m, 为有记录以来同期最高值。这几条江河的春汛比常年提前一个月左右。江南持续性的阴雨天气使部分地区农田发生渍涝。Palmer 干旱指数(图 1.1.1)表明, 1997 年 11 月至 1998 年 5 月长江中下游到华南为中等或严重湿润区, 极端湿润中心在湘江至赣江一带。梅雨开始前江南土壤含水量已接近饱和, 江河和水库等的水位也很高, 这对 1998 年夏季造成洪涝灾害有以下三方面的影响: (1) 由于土壤和

江河已不能再容纳 6、7 月梅雨期多次强降水，必然造成大量的地表强径流，引起江河泛滥；（2）暴雨区蒸发量加大，内循环加大，致使出现持续强降水；（3）由于江南连续 9 个月的多雨，长江、鄱阳湖、洞庭湖等堤坝长期受洪水浸泡，土壤变得稀松，易出现渗漏、滑坡和溃口。

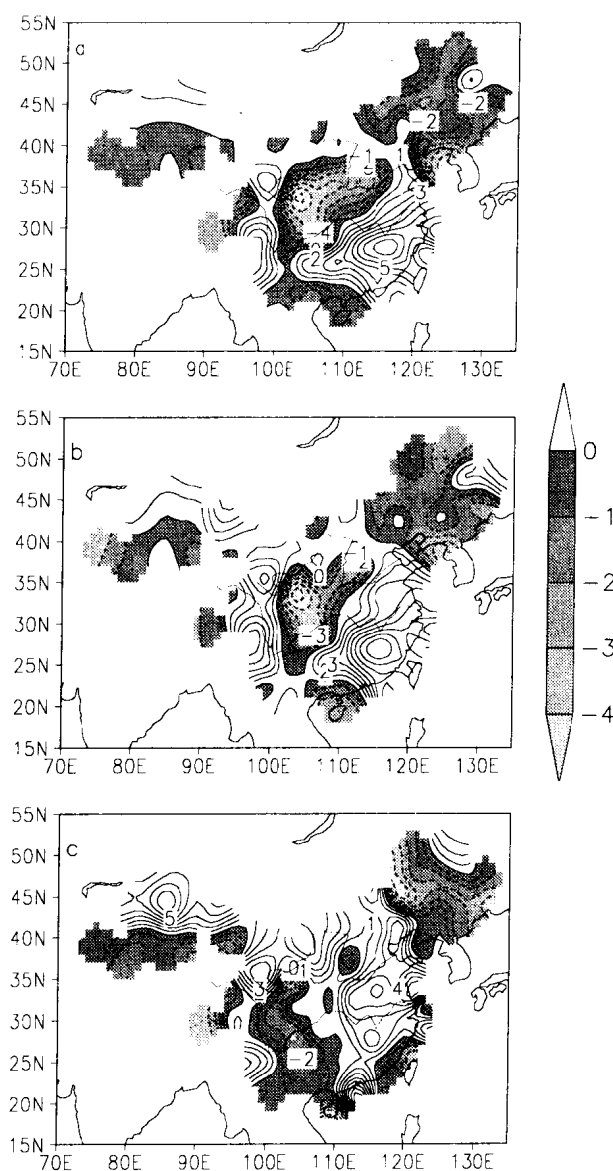


图 1.1.1 1998 年 Palmer 干旱指数

(a) 1 月 (b) 3 月 (c) 5 月

受南支西风强瞬变扰动影响，1997/1998 年冬季西藏大部 and 青海南部连降大到暴雪，西藏阿里、日喀则地区、青海玉树、果洛地区遭受了历史上罕见的严重雪灾。其中 1997

年 12 月, 聂拉木、那曲、普兰的积雪分别达到 80cm、50cm、30cm。1998 年 3 月西藏再次发生雪灾, 90% 的牧区草场被雪覆盖, 阿里地区积雪超过 40cm, 到 1998 年 4 月青藏高原积雪依然明显偏多。青藏高原积雪一方面改变了下垫面的反照率, 使高原接受到的太阳辐射减少; 另一方面, 通过融化雪的过程改变地表感热、潜热的分配比例, 使得春夏季青藏高原与其南面海洋之间的海陆热力对比减小, 造成东亚夏季风比正常年份偏弱。

1.1.2 1998 年夏季降水特征

初夏到盛夏, 东亚的雨带呈阶段性地从华南向华北推进。6 月上旬东亚地区副热带高压脊线位于 15°N 左右, 我国主要雨带在华南至江南一带; 6 月中旬到 7 月上旬副热带高压脊线北跳到 20°N , 长江流域进入梅雨期降水; 7 月中上旬以后, 副热带高压脊线北跳越过 25°N , 长江流域受副高控制, 雨季中断, 主要降水带先后到达黄淮流域、华北、东北地区。

静止气象卫星 (GMS) 红外通道探测的黑体亮温 (TBB) 资料能很好地表示中低纬度地区云系的分布特征及其对流强度, 表征雨带范围。图 1.1.2 是 1998 年 6~8 月逐旬的小于 -10°C 的 TBB (图中阴影, TBB 资料的范围在 $80^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$) 和 500hPa 高度场。1998 年 6 月上旬西北太平洋副热带高压主体位于 165°E , 向西伸展到南海、中南半岛, 降水主要在日本南部到我国台湾、华南一带。6 月中、下旬西太平洋副热带高压北移到 20°N , 强降雨带在华南到长江以南。7 月上旬西太平洋副热带高压继续北抬, 脊线位于 28°N , 我国华南、长江流域受副高控制, 降水中断。降水出现在华北。7 月中旬副高开始南退。7 月下旬副高继续东撤、南退, 我国长江以南又出现了梅雨锋雨带。8 月副热带高压再次北移到 25°N 以北, 并向西伸展到 110°E 以西, 长江上游出现大片的降水云系。

1998 年夏季除我国西北地区东部、华北、西藏大部及华南部分地区降水偏少外, 我国大部地区降水偏多, 长江、嫩江、珠江流域为降水量正距平中心 (图 1.1.3b)。图 1.1.3a 是 1998 年 6~8 月中国 160 个站的降水量图。珠江流域 1998 年夏季降水量在 700~800mm, 广西东北部降水量超过 1000mm, 比常年平均降水量偏多约 100% (图 1.1.3b)。由珠江流域 13 个站 (厦门、梅县、汕头、韶关、广州、湛江、海口、桂林、柳州、梧州、南宁、北海、百色) 平均的逐日降水量 (图 1.1.4) 可以看出, 华南 6 月初进入前汛期出现强降水, 此后降水一直持续到 7 月中旬, 强降水主要集中在 6 月 16~29 日。受 1998 年初夏华南持续性大暴雨的影响, 西江中下游、珠江、闽江等在 1998 年 6 月发生了百年一遇的特大洪水。

1998 年夏季长江流域降水量超过 500mm, 其中, 鄱阳湖、赣江降水量在 1000mm 以上 (图 1.1.3a), 降水量距平超过 100% (图 1.1.3b)。图 1.1.5 是 1998 年 6~8 月长江流域 16 个站 (武汉、黄石、英山、桑植、常德、芷江、长沙、南昌、修水、景德镇、庐山、贵溪、玉山、南城、宜春、岳阳) 平均的逐日降水量, 长江流域的降水主要集中在 6 月 12~28 日和 7 月 21~31 日。6 月 29 日~7 月 20 日长江流域降水稀少, 梅雨中断。8 月长江上游的四川、重庆等地降水频繁, 降水量较常年同期偏多 50%~100%, 局部地区偏多 200%。持续的强降水使得长江干、支流和沿江湖泊水位猛涨, 引发了自 1954 年以来长江又一次全流域的特大洪水。

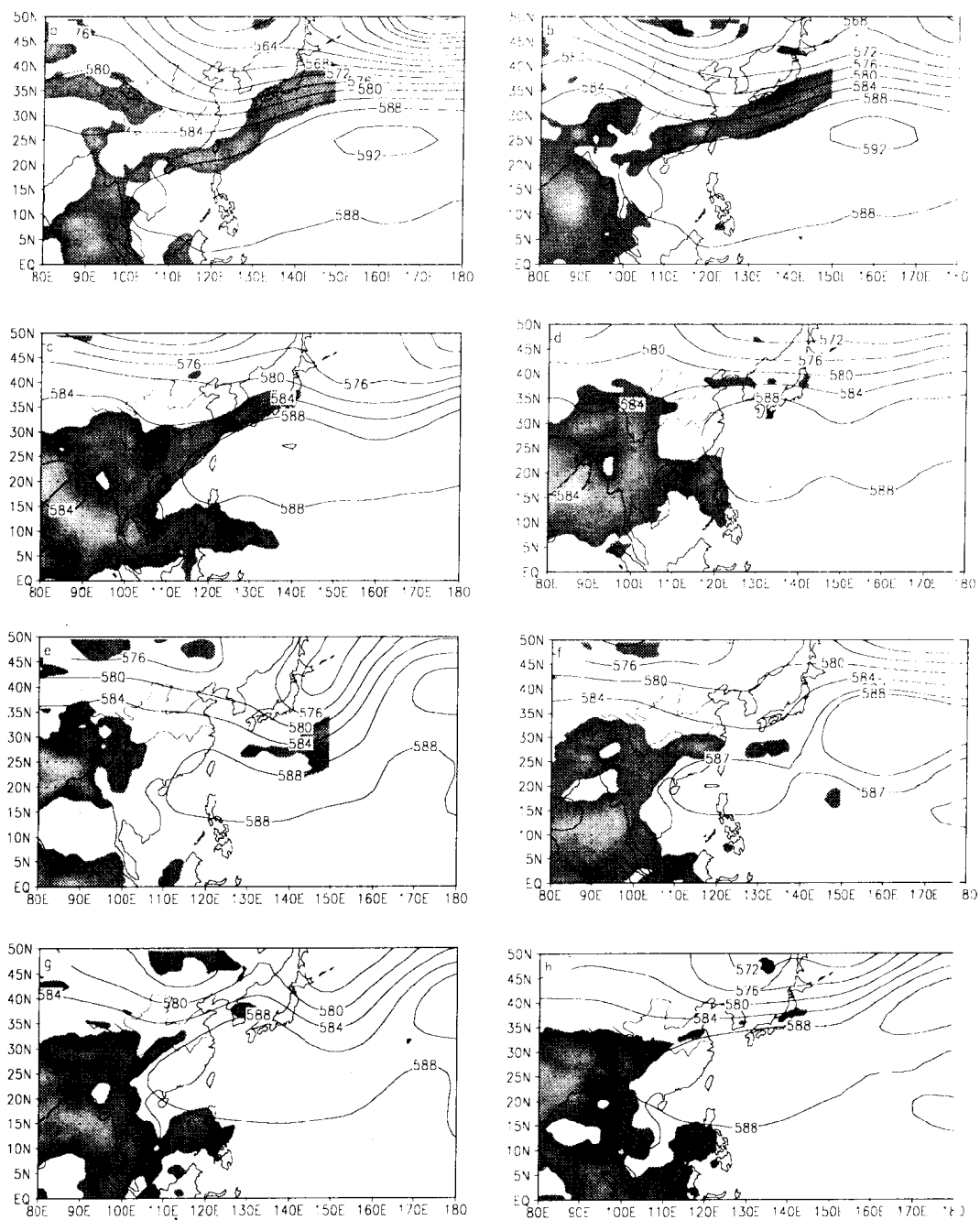
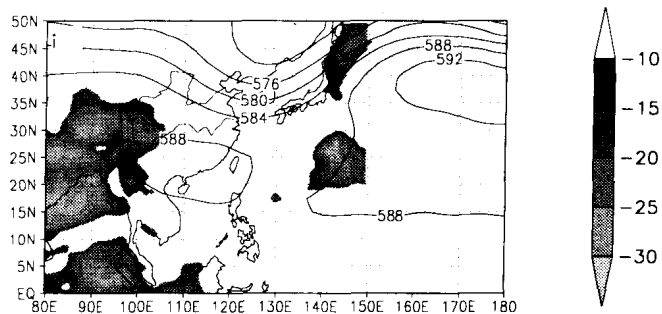


图 1.1.2 1998 年 500hPa 高度 (实线, 单位: dagpm) 和小于 -10°C 的 TBB (阴影, 单位: $^{\circ}\text{C}$)
 (a) 6 月上旬 (b) 6 月中旬 (c) 6 月下旬 (d) 7 月上旬 (e) 7 月中旬 (f) 7 月下旬
 (g) 8 月上旬 (h) 8 月中旬 (i) 8 月下旬



续图 1.1.2

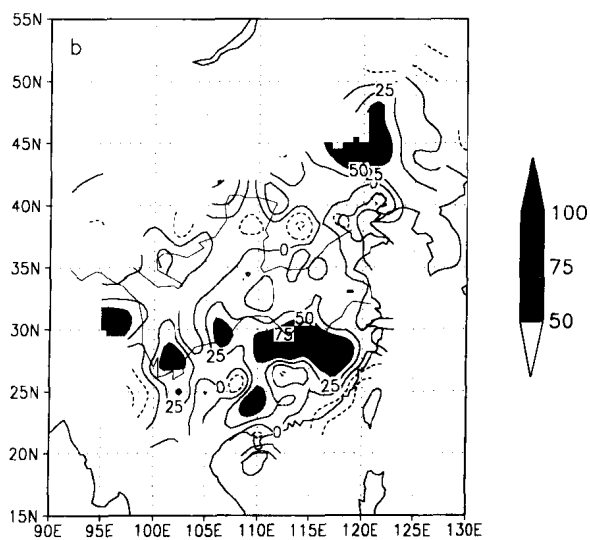
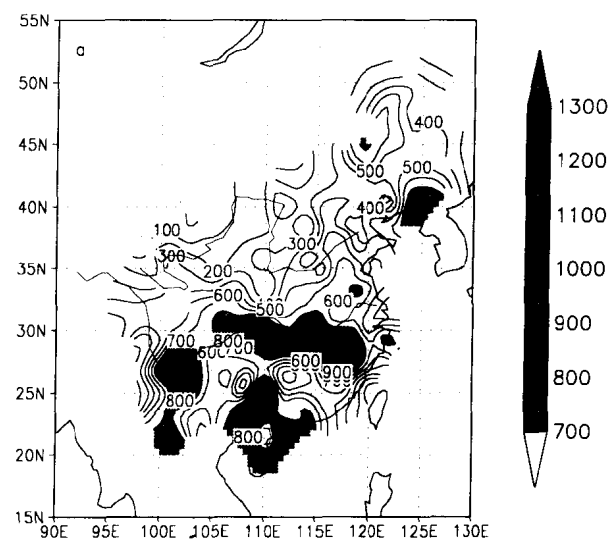


图 1.1.3 1998 年 6~8 月 (a) 降水量 (单位: mm) 和 (b) 降水距平百分率 (单位: %)