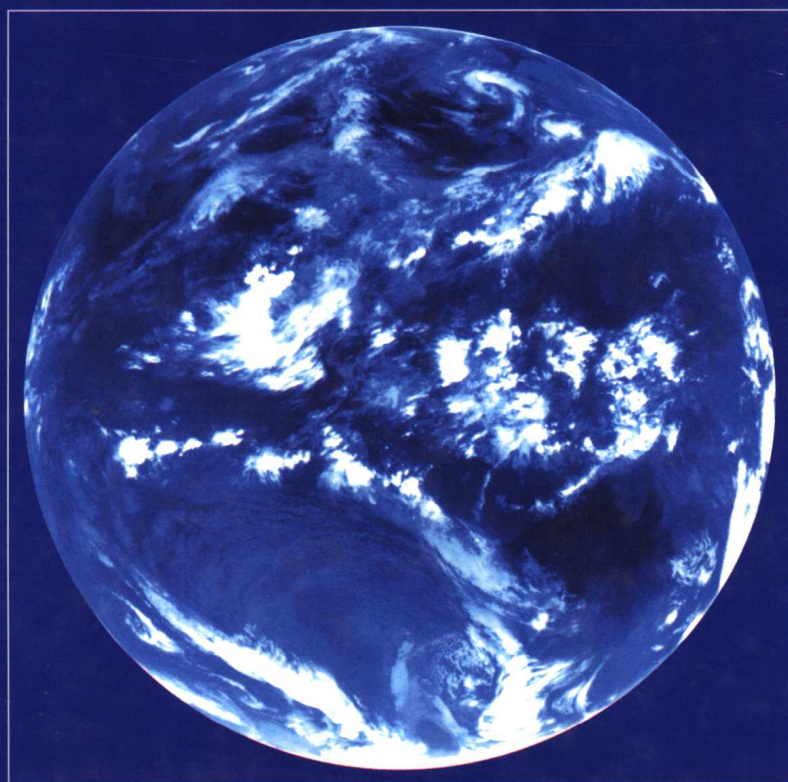


卫星与雷达图象

在天气预报中的应用

〔英〕 M.J. 巴德 G.S. 福布斯 J.R. 格兰特 编
R.B.E. 理利 A.J. 沃特斯



科学出版社

封面照片：风云二号静止气象卫星红外云图 1998年6月10日10:00（北京时）

责任编辑：彭胜潮 杨玉华

封面设计：黄华斌 杨玉华

(P-1079.0101)

ISBN 7-03-007004-6



9 787030 070043 >

ISBN 7-03-007004-6/P · 1079

定 价： 100.00 元

卫星与雷达图象 在天气预报中的应用

[英] M. J. 巴德 G. S. 福布斯 J. R. 格兰特 编
R. B. E. 理利 A. J. 沃特斯

卢乃锰 冉茂农 刘 健 邱 红 译
谷松岩 郭陆军 郭 炜

许健民 方宗义 校译

科 学 出 版 社

1 9 9 8

图字: 01—98—2030

内 容 简 介

本书是一本卫星图象判读解译方面的最新专著,由欧洲和北美有丰富实践经验的几十位专家集体写成,专述卫星与雷达图象在中纬度天气分析和预报中的应用。

全书共分八章。前三章简述卫星和雷达图象的获取以及对云的识别,后五章详细描述中纬度地区观测到的天气系统和天气现象,如:锋和低压、陆地和海洋上不同尺度的对流、雾、低云等。书后附有词汇表,对与图象判读有关的术语作了解释。

本书可作为天气预报人员的工作指南和气象院校师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

卫星与雷达图象在天气预报中的应用/(英)巴德等编;许健民等译校
—北京:科学出版社,1998.10

书名原文:Images in Weather Forecasting—A Practical Guide
for Interpreting Satellite and Radar Imagery

ISBN 7-03-007004-6

I. 卫… I. ①巴…②许… III. ①卫星—天气图—判读②雷达—
天气图—判读 IV. P455

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 27793 号

The Press Syndicate of the University of Cambridge

©British Crown Copyright(1995)

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1998 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1998 年 10 月第一次印刷 印张: 26 插页: 16

印数: 1~2500

字数: 617 000

定价: 100.00 元

中译本序

中国气象局国家卫星气象中心近年来翻译出版了一系列关于卫星气象基本原理、技术和应用方面的优秀著作。其中前四本已经由气象出版社出版,它们分别是:

《气象卫星——系统、资料及其在环境中的应用》;

《水汽图象在天气分析和天气预报中的解译与应用》;

《遥感的物理学和技术概论》;

《卫星观测的热带云和云系》。

《卫星与雷达图象在天气预报中的应用》是第五本,由国家卫星气象中心的人员翻译,科学出版社出版。

本书是《卫星观测的热带云和云系》一书的姐妹篇,专述卫星与雷达图象在中纬度天气分析和预报中的应用,由欧洲和北美有丰富实践经验的几十位专家集体写成。构成本书的素材均经过作者的精心筛选。本书通过实例向读者展示由卫星和雷达图象观测到的中纬度各种尺度天气系统的三度空间结构和发生发展的物理过程。

本书的翻译工作由七位同事完成(译者姓名按姓氏笔画排列),目录、引言、缩略语:郭陆军;第一、二、七章:谷松岩;第三章:冉茂农;第四章:刘健;第五章的第 5.1~5.2 节和第八章:邱红;第五章的第 5.3~5.6 节:郭炜;第六章:卢乃锰。许健民和方宗义对全书做了审校。国家卫星气象中心杨玉华对文字、图表及其编排作了认真细致的工作。由于大家的共同努力,使本书能顺利与读者见面,在此我们感谢所有为本书的出版做了工作的同事们。

卫星图象的判读解译是气象卫星应用的重要组成部分。它与气象卫星数字产品在数值天气预报的应用一起,构成了气象卫星应用的基石。由于种种原因,这一门学科在我国发展还不够快。实际上在卫星与雷达图象中包含有许多关于天气系统发生发展物理过程的信息,对卫星图象的熟练判读和正确解译是当代天气预报人员必须具备的基本功。这就是为什么我们要把 90 年代国外在这一学科领域出现的新著作一一介绍给我国的天气预报工作人员。

我们相信,这一系列优秀著作在我国翻译出版,必将为卫星气象基本知识在我国天气预报人员中的普及作出贡献。

许健民 方宗义

1998 年 8 月 20 日

序 言

电子计算机、高速通信和卫星技术已经使天气预报准确度得到了明显的提高,然而各项技术实际所发挥作用的程度又各不相同。就拿气象卫星图象来说,虽然使用它的必要性目前已毫无疑问,但是在最大限度地发挥它的作用方面,进展却缓慢到了令人失望的程度。此中的原因是值得我们思考的。其中最明显的一个原因就是如何在利用卫星资料的研究和开发方面,其投资与卫星硬件的投资相比极其微小。其次,在研究界与业务界之间缺乏互相沟通,而且双方又都没有付出足够的努力来建立这样一种沟通的渠道。第三个原因是在了解相关的大气过程时,需要将其他信息与卫星图象放在一起进行诊断,而气象人员在资料综合和解释技术方面又没有受到足够的培训。目前对气象人员的培训主要集中在对数据的分析技术上,而预报员在工作站上的实践是更概念化的综合技术,数据分析与综合分析的隔离,使上述问题变得更加复杂了。正是基于以上情况,我们开始考虑编写这本指南。

当这项工作在 1987 年开始时,我并没有充分意识到它的难度。这本新指南的水平若要超过已有的手册,它必须提供各种分析产品,而这些产品的表达方式必须能够方便地与图象进行比较,所形成的综合结果要使读者能看到分析的过程,并可将其与概念模式相联系。书中所选择的图象实例,必须能够向读者传递毫不含糊的信息。此外,编辑人员还必须对所提供的素材进行精心的选择,以避免书中的内容太庞杂或者篇幅太长。我们遇到的另一个问题,是由于在不同的国家,工作是分别进行的,这就使得在这些国家里形成了自己的技术术语和概念结构体系。为了解决好这个问题,在工作一开始时我们即来自不同国家和有各种背景的作者召集到了一起。这显然给我们的编辑工作增加了复杂性,但它也使技术术语和概念结构在很大程度上得到了统一。

最重要的是,通过编辑人员的努力,预报人员要能够读懂这本指南。无论指南的撰稿者如何认为某些新方法有价值,但如果预报人员不接受这些方法,它们就毫无意义。因此,编辑在决定材料的取舍方面,特别是在选择新研究成果方面,要做出艰难的决断。为了做出正确的决断,编辑听取了包括气象业务预报员在内各方面人员的大量评论意见。最后,指南中编入了很多新的工作成果,但同时我们也认为,有些有应用活力的新方法应待业务运行的结果被证实以后再推广。

本书的内容涉及对卫星和地基雷达图象的判读,因为它们的判读方法非常接近。此指南主要是供全球范围的天气预报人员(包括正在培训之中的预报人员),以及其他在工作中需要使用卫星和雷达图象的气象工作者使用。我相信,这本投入了很大精力撰写的指南一定能够达到预期的目的,并将在未来的很长一段时间里能对读者有所帮助。

英国瑞汀大学
中尺度气象联合中心主任
基思·布朗宁

致 谢

在本书的编辑出版过程中,许多单位和个人做了工作,特在此向这些单位和个人表示谢意。

主要赞助单位有欧洲气象卫星组织、美国海洋大气管理局,还有世界气象组织。

所有的作者与撰稿者(见撰稿人名单)。

欧洲卫星业务中心和德国气象局为本书、特别是第四章和第五章提供了很多经过重新投影处理的 Meteosat 卫星图象。

敦提大学为本书各章提供了 NOAA 卫星图象。

其他为本书提供本单位或其他来源图象的合作者。

1989 年英国瑞汀大学国际图象判读研讨会各工作组的主席:

第一、二章 P. G. 威克姆(已退休),英国气象局;

第三、四和第五章 R. M. 莫里斯(已去世),英国气象局;

第六章 J. F. W. 珀德姆,美国科罗拉多州立大学;

第七、八章 J. J. 格卡,美国国家天气局。

审阅者和研讨会与会者:

R. J. 艾伦姆	R. K. 安德森	R. M. 布莱科尔	G. 布里奇
C. A. 布里梅库姆	E. 布罗塔克	J. J. 卡赫	F. 卡尔
C. G. 科利尔	J. B. 坎宁	C. A. 多斯威尔三世	B. A. 霍尔
M. E. 哈德曼	R. N. 哈迪	T. D. 休森	A. 希斯科特
D. 凯泽	D. R. 金德雷德	M. 库兹	E. 麦卡勒姆
J. B. 麦金尼格尔	G. A. 蒙克	R. M. 莫里斯	L. 尼尔
M. C. 尼科尔	V. J. 奥利弗	G. 皮尔桑	J. F. W. 珀德姆
D. 拉特克利夫	P. R. S. 索尔特	R. S. 斯科勒	G. 斯托盖逊斯
C. 沃什	J. F. 威沃尔	M. T. 扬	M. V. 扬

图例由 P. J. 林登加工处理。

专用词汇和缩略语由 P. G. 威克姆汇编。

R. A. 博斯沃思、L. H. G. 罗利、J. A. 沃尔顿提供了其他帮助。

编辑的话

编写本指南的目的是向气象院校的学生和气象业务预报人员介绍用卫星和雷达图象判读中纬度天气系统的新技术。

最早提出编写这样一本指南的想法是 1987 年在英国气象局召开的一次“卫星和雷达图象判读国际研讨会”。此后,在 1989 年于同一地点召开的另一次研讨会上,作者和气象预报人员对指南的草稿进行了讨论。

由于本书的素材是由北美和欧洲的专家提供的,因此本书的内容非常偏向于北半球的天气系统。此外,书中的内容均经过气象院校教师、气象局培训机构人员和业务预报员的审阅。

书中采用了大量的实例。实例中的各种图象均可与概念模式和天气图相配。这种以图象为线索,以写实方式编写的指南,使得用户可以尽可能容易地用图象对天气型进行识别和判读。书中对卫星和雷达图象上所观测到的各种天气型的解释都依据基本气流的三度空间结构。然而受空气湿度和气流上升速率等因素的影响,气流结构也有差异。另外,地形的影响也是很重要的。为此,书中给出了能表示基本气流结构变化的一些实例。但很明显,书中只能提供很小一部分区域变化的例子。

编写本书过程中遇到的另一个问题就是确定对每种天气型进行物理和动力学解释的程度。如果在书里对如此广泛的天气系统做很多复杂和详细的解释,必将会使本书过于冗长。但如果将本书写成一种只有答案和结论的小册子,则也不能够达到我们为培训气象工作者和预报员提供一本方便手册的预期目的。经过考虑,我们假定本书的读者已经受过基本的物理和动力气象学培训,因此我们决定只在适当的地方,对极有影响的概念模式,向读者提供简要的解释。

本书由引言、八章、词汇表和索引等几个部分组成。引言和前三章主要讲述图象在气象业务工作中所起的重要作用,怎样获取图象以及通常所观测到的图型如何与常规分析和概念模式相联系等。其余五章则对中纬度地区观测到的一些天气现象做了更详细的描述,如锋和低压、陆地和海洋上不同尺度的对流(包括强风暴)、雾、低云以及地形影响等。在这一部分中,也包括了对极地天气现象的描述。在词汇表中,对术语、特别是与图象判读有关的术语做了解释。

由于不同的天气现象需要不同的处理方法,以及所用的素材来自不同的单位等因素,本书主体的原稿不可避免地在表达方式上有所差异。虽然编者做了努力使书中的表达方式一致起来,但在章节之间仍存在着一些风格上的差异。不过相信它不会给读者带来不便。原稿在某些章节之间有着内容上的重叠。为了尽量减少这些重叠,编者已作出努力,对一部分原稿做了重新安排和压缩。在 1989 年的研讨会后,一些材料又做了更新,并增加了新的实例。

将极轨卫星的图象与基本天气观测时间的分析相对照,是很便利的,因此尽可能使所

取图象与天气图之间的时间差减小。另外,也可以直接使用数值预报模式的输出,但在某些情况下这可能会和实际分析的结果不同。由于选择例子进行分析主要是为了表达要点,因而存在小的时间差不会对提供指导造成影响。

在将锋面分析应用于解译某些天气现象方面,可能仍存在着不同意见。的确,解决问题的不同办法也可以被认为都是正确的!对此,在书中我们尽可能关注到。

编者在此特地向以下作者表示感谢,他们为本书作出了特别大的贡献:P. G. 威克姆(第一和第二章)、R. K. 安德森(第三章)、M. 库兹(第四章)、M. V. 扬(第五章)、J. F. W. 珀德姆(第六章)和 J. J. 格卡(第七章)。编者在此还要感谢 P. J. 林登,他为本书加工了很多图表。

撰 稿 者

本书各章撰稿人名单如下:

引言——天气预报中使用的图象	P. G. 威克姆 A. 伍德罗夫	英国气象局 英国气象局
第一章 卫星图象	R. 布朗 R. S. 斯科瑞 P. G. 威克姆	英国气象局 英国伦敦大学皇家学院 英国气象局
第二章 雷达图象	G. L. 奥斯汀 P. G. 威克姆 D. 佐尼克	新西兰奥克兰大学 英国气象局 美国国家强风暴实验室
第三章 天气尺度的云和水汽分布	R. K. 安德森 M. J. 巴德 T. N. 卡尔森 J. R. 格兰特 K. B. 卡特萨罗斯 R. B. 韦尔登	美国 NOAA/NESDIS 英国气象局 美国宾夕法尼亚州立大学 英国气象局 美国西雅图华盛顿大学 美国 NOAA/NESDIS
第四章 锋和波动	J. R. 格兰特 M. 库兹 G. A. 蒙克 V. 兹瓦孜·迈斯	英国气象局 德国气象局 英国气象局 奥地利气象局
第五章 中纬度低压	R. A. 博斯沃思 G. S. 福布斯 R. J. 格雷厄姆 J. R. 格兰特 M. 库兹 L. 尼尔 V. 皮切尔 E. A. 拉斯马森 M. V. 扬	英国气象局 美国宾夕法尼亚州立大学 英国气象局 英国气象局 德国气象局 加拿大太平洋天气中心 法国气象局 丹麦哥本哈根大学 英国气象局

第六章 对流云型

E. M. 艾吉	美国西拉斐特珀迪大学
G. S. 福布斯	美国宾夕法尼亚州立大学
B. A. 霍尔	英国气象局
R. B. E. 理利	英国气象局
E. 麦卡勒姆	英国气象局
G. A. 蒙克	英国气象局
D. 帕森	美国国家大气研究中心
V. 皮切尔	法国气象局
J. F. W. 珀德姆	美国科罗拉多州立大学
R. 斯科菲尔德	美国 NOAA/NESDIS
A. J. 沃特斯	英国气象局

第七章 雾和低云

R. J. 阿伦姆	英国气象局
G. 霍平	英国气象局
J. J. 格卡	美国国家天气局
W. T. 罗奇	英国气象局
P. G. 威克姆	英国气象局

第八章 山地和极区现象

R. K. 安德森	美国 NOAA/NESDIS
G. 埃尔罗德	美国 NOAA/NESDIS
H. P. 罗斯利	瑞士气象局
R. S. 斯科瑞	英国伦敦大学皇家学院
J. 特纳	英国南极考察站
M. 罗	英国南极考察站

章节概要

第一章 卫星图象

本章对包括卫星、轨道、传感器和数据分发格式等在内的整个气象卫星系统作了评述,讨论了遥感原理和如何判读业务卫星不同通道的图象等问题。本章还包括了对地表与云的识别,以便为后面章节中天气尺度和中尺度系统的解译打下基础。

第二章 雷达图象

本章叙述了天气雷达系统及其显示方法,讨论了雷达遥感的基本原理、判读中遇到的问题,以及锋面和对流风暴系统的常见图型等。

第三章 天气尺度的云和水汽分布

本章描述了天气尺度云和水汽系统的形成,以及如何利用它们的边界来诊断大气中的物理和动力过程。

将云型与基本气流之间联系起来的基本概念是涡度和变形场、等熵气流(输送带)和相对运动。本章第一节讨论了这些内容。

文中对大尺度卷云和水汽型的形状与边缘特性作了描述,并解释了它们与急流、湍流、高空高度场及厚度场特征之间的关系。

同样,积状云型之间的不同也与它们和热成风槽、高空短波槽或急流所处的相对位置有关。

文中以图示方式给出了在斜压系统发展过程中的不同阶段,典型云系的形成过程,讲解了如气压中心和急流轴等地面和高空环流特征如何与这些云系有关。所讨论的云系是叶状云、逗点状云和涡旋云的形成过程。

第三章中所讲述的基本云系还有很多种变化,其细节将在第四章和第五章中介绍。

第四章 锋和波动

本章讨论了图象中的锋面云型与天气尺度分析,描述基本气流的概念模式和降水分布之间的关系。

通过稳定波和不稳定波理论讨论了锋面云带上的突起。同时,还根据云突起的特征及其环境流场的动力学讨论了它的发展或不发展形势。

第五章 中纬度低压

本章列举了卫星图象上所见气旋生成可能会发生的各种各样云的形式,指示气旋生成正在发生的典型云标志。

斜压不稳定理论表明,气旋生成通常始于急流中的一些小扰动,由未受扰动的锋演变成锋面波,最后发展为成熟低压。虽然有时在卫星图象上也能够观察到这种演变过程,我们强调指出,在检测到锋面波之前,往往会首先认出短波“触发”特征,这种短波“触发”特征一般由穿越长波高空槽和脊的短波槽或急流构成。

气旋生成通常只出现在触发特征很强,斜压性足够大,并且短波触发特征与锋面云带

很近的情况下。这条锋面云带,也许已经沿着长波型准静止地维持了一天或更长时间。在前六种高空流型中可能会出现这种相互作用,而第七种气旋生成却是产生于和锋面云带不相关的冷空气中。

文中所述的气旋生成分类引自扬(1993)的论文,他是根据麦克伦南和尼尔(1988)、韦尔登(1975)的研究工作(细节可参看第五章)写的。在系统显著加深之前的早期,正在迅速加强的中期以及加深基本完成的成熟期3个阶段中,每一阶段的气流结构都与云系之间有关系。云系发展程度的不同,取决于下列因素的不同:

- 短波触发的强度;
- 高空气流型;
- 斜压带的特征;
- 空气的不稳定性和湿度。

当一个消亡中的热带风暴变成斜压低压时,会出现一个独特的云演变过程。在它与中纬度斜压带结合时,注意跟踪残留的强风中心是重要的。

除成熟阶段和低压填塞阶段外,文中还给出了未完成整个生命史的系统的例子。此外,在本章的最后一部分还介绍了高纬度无冰洋面上较小尺度极地低压的发展情况。

第六章 对流云型

本章介绍了大陆和海洋上各种尺度的对流系统,对卫星和雷达图象中对流系统的表现作了讨论,并指出了它们与有关地面天气型的关系。

在海洋上的极区空气中发展起来的对流造成了某些与气团特性(如不稳定性)有关的典型云型。在海岸带附近,这些云型可发生很大的变化。在大陆上,对流常随地形形成或改变。在本章中,对那些常常与某些地形特征相关的对流型作了讨论。

大的雷暴常常在陆地上生成,尤其是夏天在大陆腹地。在天气尺度强迫作用很弱时,对流的组织化很大程度上取决于风暴外流与环境环流之间的相互作用。而当天气尺度强迫作用强时,可能会形成多种类型的对流系统。这些对流系统的形状可从准线形到准圆形,直径一般在100~400km之间,持续时间在几个小时到一天。在系统很强时,某些风暴会产生大雨等天气,并伴有冰雹、大风、雷击和陆龙卷。文中讨论了这些系统的发展过程与天气形势和风切变的关系。

第七章 雾和低云

本章描述了雾(辐射雾和海雾)和低的层云在卫星图象上的特征,介绍了使用某些通道的图象和增强红外图象分析雾和层云的优点。文中还对图象上所显示的雾和低云的形成、运动和消散等作了讨论,并提供了预报指导。

本章最后一节讨论了层积云,描述了如何从图象上检测层积云、它们的物理环境、持续时间和运动,并且根据云顶温度对降水指数和积冰风险进行推断。

第八章 山地和极区现象

本章分为三个主要部分。第一部分描述了背风波和地形卷云在卫星图象上的特征,给出了这些天气现象的简单物理解释,指出如何根据云型推断涡流区。第二部分介绍了与焚风相关的云型。第三部分介绍了极区观测到的云,它给出了区分云与海冰的指导以及部分地形现象和涡旋的范例。

目 录

中译本序	(i)
序 言	(iii)
致 谢	(iv)
编辑的话	(v)
撰稿者	(vii)
章节概要	(ix)
引 言——天气预报中使用的图象	(1)
1. 概 论	(1)
2. 主观天气分析	(1)
2.1 天气尺度分析	(1)
2.2 中尺度分析	(1)
3. 数值模式分析	(1)
3.1 人工干预作用	(1)
3.2 中尺度模式的资料同化	(2)
4. 图象与天气	(2)
4.1 卫星图象	(2)
4.2 雷达图象	(3)
5. 图象在预报过程中的应用	(3)
5.1 动画的应用	(3)
5.2 人机交互现时预报系统	(5)
5.3 数值预报性能的监视	(5)
第一章 卫星图象	(6)
1.1 基本原理	(6)
1.1.1 卫星遥感的基本概念	(6)
1.1.1.1 物理原理	(6)
1.1.1.2 卫星图象	(7)
1.1.2 气象卫星的种类	(8)
1.1.2.1 极轨卫星	(8)
1.1.2.2 静止卫星	(9)
1.1.3 卫星特点	(10)
1.1.4 卫星图象的分发	(11)
1.1.4.1 数字传输和模拟传输	(11)

1.1.4.2	极轨卫星和静止卫星的资料	(11)
1.1.5	可见光图象的基本解译	(12)
1.1.5.1	总 则	(12)
1.1.5.2	可见光图象解译过程中存在的问题	(13)
1.1.6	红外(IR)图象的基本解译	(14)
1.1.6.1	总 则	(14)
1.1.6.2	红外(IR)图象解译中存在的问题	(15)
1.1.7	水汽(WV)图象的基本解译	(16)
1.1.7.1	基本原理	(16)
1.1.7.2	水汽(WV)图象的解译	(17)
1.1.8	3.7 μm (通道 3)图象的基本解译	(17)
1.1.8.1	总 则	(17)
1.1.8.2	夜间 3.7 μm 通道图象的解译	(18)
1.1.8.3	3.7 μm 和红外(IR)资料相结合,应用于雾的判识	(18)
1.1.8.4	白天 3.7 μm 图象的解译	(18)
1.2	简单识别	(19)
1.2.1	介 绍	(19)
1.2.2	云的类别	(21)
1.2.2.1	对流云	(21)
1.2.2.2	锋面云	(23)
1.2.2.3	层云和雾	(24)
1.2.2.4	反气旋层积云	(25)
1.2.3	云 型	(27)
1.2.3.1	线状云型	(27)
1.2.3.2	涡 旋	(32)
1.2.3.3	细胞云	(34)
1.2.3.4	云 簇	(35)
1.2.4	地 表	(37)
1.2.4.1	陆表特征	(37)
1.2.4.2	海表特征	(38)
1.2.5	大气污染	(40)
1.2.5.1	尘和霾	(40)
1.2.5.2	飞机凝结尾迹(凝结尾流)	(40)
1.2.5.3	船 迹	(41)
第二章	雷达图象	(43)
2.1	基本原理	(43)
2.1.1	雷达——降水的基本关系	(43)
2.1.2	雷达资料的显示	(44)
2.1.2.1	平面位置显示(PPI)	(44)

2.1.2.2	等高平面位置显示(CAPPI).....	(44)
2.1.2.3	距离-高度显示(RHI)	(45)
2.1.3	雷达图象解译中存在的问题.....	(46)
2.1.3.1	虚假回波.....	(46)
2.1.3.2	异常传播.....	(46)
2.1.3.3	二次雷达回波.....	(47)
2.1.3.4	山丘对降水的屏蔽.....	(49)
2.1.3.5	雷达波束下面降水的增强和蒸发.....	(49)
2.1.3.6	滴谱的影响.....	(50)
2.1.3.7	雪和冰:亮带	(50)
2.1.3.8	晴空回波.....	(50)
2.1.4	用雨量计资料调整雷达的降水估计值.....	(50)
2.1.5	多普勒雷达.....	(51)
2.1.5.1	基本原理.....	(51)
2.1.5.2	多普勒雷达在天气预报中的应用.....	(51)
2.1.5.3	多普勒 PPI 图象的解译	(52)
2.2	简单识别.....	(53)
2.2.1	引 言.....	(53)
2.2.2	层云降水.....	(53)
2.2.2.1	暖锋雨带.....	(53)
2.2.2.2	暖区雨带.....	(54)
2.2.2.3	冷锋雨带.....	(55)
2.2.3	对流云降水.....	(56)
2.2.3.1	零散阵雨.....	(56)
2.2.3.2	阵雨线.....	(57)
2.2.3.3	雷 暴.....	(57)
2.2.4	强风暴.....	(58)
2.2.4.1	飑线和雷暴.....	(58)
2.2.4.2	旋转雷暴和龙卷.....	(59)
第三章	天气尺度的云和水汽分布	(60)
3.1	引 言.....	(60)
3.1.1	概 述.....	(60)
3.1.1.1	卫星图片分析思路.....	(60)
3.1.1.2	物理和动力过程.....	(60)
3.1.1.3	卫星和雷达图片解译.....	(64)
3.1.2	运动学.....	(65)
3.1.2.1	相对运动.....	(65)
3.1.2.2	变形带.....	(67)
3.1.2.3	涡度与涡度平流.....	(69)

3.1.3	与锋面和波动有关的输送带	(70)
3.1.3.1	输送带概念模式介绍	(70)
3.1.3.2	暖输送带(WCB)	(71)
3.1.3.3	冷输送带(CCB)	(74)
3.1.3.4	干气流	(76)
3.2	卷云和水汽大尺度分布的分析	(77)
3.2.1	概 况	(77)
3.2.2	卷云带	(77)
3.2.2.1	确定极地急流位置	(78)
3.2.2.2	确定副热带急流位置	(80)
3.2.2.3	确定与急流相伴的湍流位置	(80)
3.2.3	卷云盾	(82)
3.2.3.1	确定温度脊和高空脊的位置	(82)
3.2.3.2	确定温度梯度的位置	(83)
3.2.3.3	确定湍流位置	(83)
3.2.4	变形带中的卷云和水汽	(84)
3.2.4.1	确定高空反气旋的位置	(84)
3.2.4.2	确定变形带中湍流的位置	(85)
3.3	积状云型的解译	(88)
3.3.1	概 况	(88)
3.3.2	确定温度槽的位置	(88)
3.3.3	确定高空短波槽的位置	(91)
3.3.4	确定急流轴的位置	(91)
3.3.5	确定地面高压脊	(92)
3.4	与斜压槽有关的特征解释	(93)
3.4.1	概 况	(93)
3.4.2	叶状云	(93)
3.4.2.1	叶状云的特征	(93)
3.4.2.2	与分析的关系	(93)
3.4.2.3	叶状云的变化	(95)
3.4.2.4	叶状云型向逗点状云型的转变	(98)
3.4.3	逗点云	(100)
3.4.3.1	特征表现	(100)
3.4.3.2	锋带中的逗点云	(100)
3.4.3.3	冷空气中的逗点云	(102)
3.4.3.4	逗点云和湍流	(102)
3.4.4	涡旋	(103)
3.4.4.1	形状特征	(103)
3.4.4.2	与分析的关系	(104)