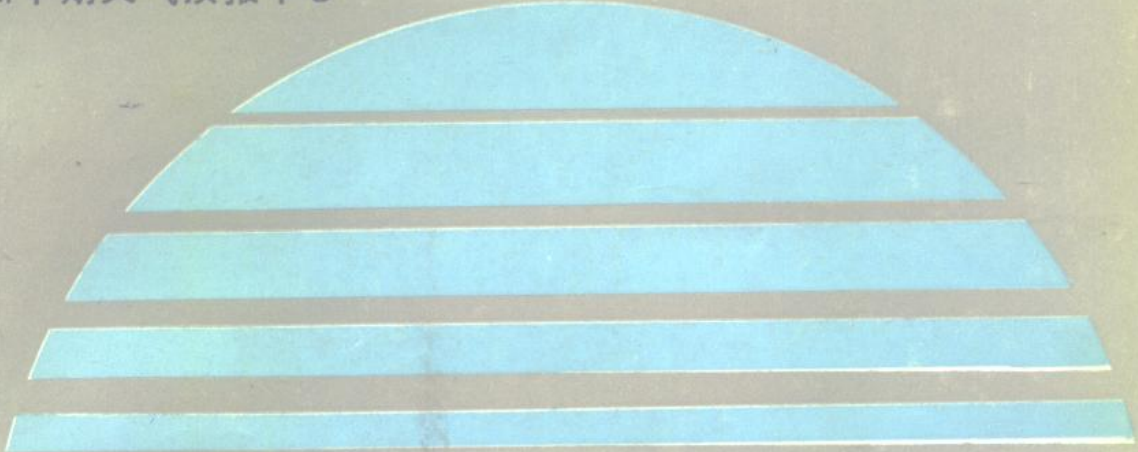
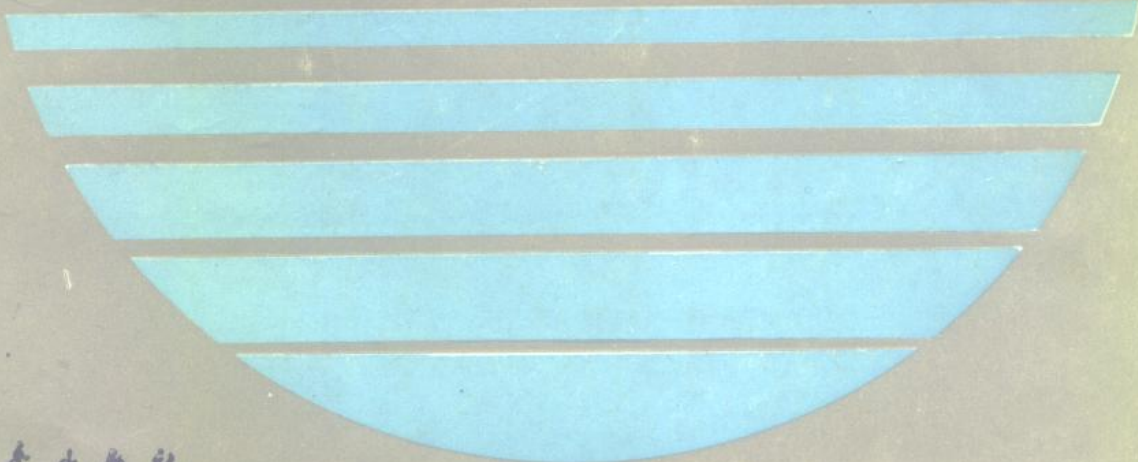




欧洲中期天气预报中心



中期天气预报科学基础



气象出版社



1456.2
74

中期天气预报科学基础

欧洲中期天气预报中心编

章基嘉 陈久康 译
彭永清 沈桐立
顾钧禧 校

气象出版社

内 容 提 要

本书是根据欧洲中期天气预报中心举办的“中期天气预报理论基础”研究班的讲义翻译而成。

全书共有十一章,基本上包括了中期天气数值预报基础理论的各个方面,内容十分丰富,对主要理论和实际问题的阐述都甚详尽。本书第一个重点是关于资料问题,在第一章叙述了气象资料的观测、收集、分析和资料处理;第二章中着重研究了资料的四维同化方法。第二个重点是关于大气动能产生及能量消耗问题,书中分别在第三章大尺度加热和大气波动,第四章地面摩擦效应和天气尺度波动的能量学,以及第五章次网格过程参数化的一般问题等三章中进行讨论。第六章讨论了大气可预报性及其随机-动力处理,第七章则是介绍中期天气预报的统计-动力模式。本书的另一个重点是在第八章中深入地研究了次网格尺度过程的效应。而有关中期数值预报的实际业务,在第九、十和十一章中分别作了介绍,这就是英国气象局大气环流模式、西德研究小组对模拟和设计大气环流模式的设想,以及欧洲中期天气预报中心的预报系统等。

本书可供我国气象科技人员和高等院校气象专业师生,以及地球流体力学方面的研究人员参考。

SCIENTIFIC FOUNDATION OF MEDIUM RANGE WEATHER FORECASTS

EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM RANGE WEATHER FORECASTS

(ECMWF)

1975

* * *

中期天气预报科学基础

欧洲中期天气预报中心编

章基嘉 陈久康 译
彭永清 沈桐立

顾钧禧 校

责任编辑 康文骥

* * *

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

江苏省常熟市文化印刷厂排版 香河埭口印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

* * *

开本: 787×1092 1/16 印张: 21.75 字数: 552 千字

1987年11月第一版 1987年11月第一次印刷

印数: 1—2,000 定价: 4.90元

ISBN 7-5029-0035-7/P·0023

译 者 的 话

在总结我国三十多年来气象科学研究和业务预报经验的基础上, 现今提出了以数值预报为基础的方针, 随着气象事业的发展以及国民经济建设和国防事业的需要, 中期数值预报的开展已是一项紧迫的任务。

在国外, 经过对几个中期数值预报模式的鉴定, 业已表明, 中期预报模式在预报大尺度的天气形势变化方面以及气旋路径预报方面是成熟的。欧洲中期天气预报中心在这方面的努力产生了积极的影响。

我国在中期数值预报方面也早已开展了研究工作, 1980年出版的《第二次全国数值天气预报会议论文集》上发表的十数篇论文表明了我们在理论研究方面的进展; 但在实际业务预报方面, 我们还需要作大量的准备工作。为了有助于这方面情况的交流, 也为了有所借鉴, 译者愿意将《中期天气预报科学基础》这本书推荐给大家。

本书是根据欧洲中期天气预报中心为其各成员国培训专业人员举办的“中期天气预报理论基础”研究班的讲义翻译而成。

全书共分十一章, 基本上包括了中期天气数值预报基础理论的各个方面, 内容十分丰富, 对主要理论和实际问题的阐述都甚详尽, 可供我国气象科技人员和高等院校气象专业师生, 以及地球流体力学方面的研究人员参考之用。

我们知道, 对任何数值天气预报来说, 一个完全确定的初始状态是十分重要的, 因此, 对空间和地面上不同种类观测资料的最佳运用是主要问题。本书第一章(P. Morel 撰)叙述了资料的观测、收集、分析和同化等问题。第二章(L. Bengtsson 撰)着重研究了资料的四维同化方法。由于在各种条件下, 许多重要的大气扰动典型的生命周期短于一个星期, 因此, 中期天气预报的大气模式必须能以逼真的方式描写新扰动的生成和旧扰动的衰减消失, 亦即模式要能描写大气中动能的产生和能量的耗散。所以, 本书在第三章(A. Wiin-Nielsen 撰)中讨论了大尺度加热场和大气波动的关系, 第四章(G. Fischer 撰)研究了地面摩擦效应和天气尺度波动的能量学, 以及第五章(H. Fortak 撰)阐述了次网格过程参数化的一般问题。除上述外, 中期数值预报还涉及到对初始状态不确定性的处理和对模式中所包括的物理过程的描述问题。因此, 本书在第六章(A. Wiin-Nielsen 撰)专门讨论了大气可预报性及其随机-动力处理; 第七章(C. Leith 撰)介绍了中期天气预报的统计-动力模式; 第八章(K. Miyakoda 撰)则深入地研究了次网格尺度过程的效应, 包括辐射、地表热量平衡、拖曳作用和近地层热量输送、行星边界层和自由大气的垂直混合、干湿对流调整, 以及侧向混合等, 并对行星边界层过程参数化、积云对流参数化进行了改进。在具体的中期数值预报业务方面, 本书在第九章(A. Gilchrist 撰)介绍了英国气象局大气环流模式; 第十章(H. Fortak 撰)介绍了西德研究小组对模拟和设计大气环流模式的设想; 第十一章(L. Bengtsson 撰)介绍了欧洲中期天气预报中心的预报系统, 广泛地涉及到积分区域、水平和垂直分辨率、全球数值积分、有限差分的一般特性及计算问题, 以及预报的发布等等。

全书分别由章基嘉(根据原著第三章, 第八章前六节)、彭永清(根据第七章, 第八章后六节)、陈久康(根据第六、九、十、十一章)、沈桐立(根据序言、第一、二、四、五章)共同译出; 此外,

周顺泰参加了第三章的初稿整理。

原书本为讲义,系按专题分立,各专题之间并无必然连系。但为明确起见,我们按原书的专题排列顺序编为十一章,而第四章有 *A*、*B* 两个分章。每一章又有若干节。原书第三章开头有段序言,为统一起见予以删去。其次,各章中的公式原书未作统一编排,翻译过程中已作了调整,按公式在每章中出现的先后次序用自然数编号。原书图表编号本来也是各自一套,现均按各章图例出现的先后次序编号。表格编号亦然。此外,原书参考文献置放处也不一致,有的放在各节之末,有的放在各章之后,现均统一列于各章之后。

原书在序言后、正文前列有撰写人员名单和参加研究班学员名单,因撰写人已在上面列述,不必重复,而学员名单从略。此外,文中尚有一些明显的笔误和打印失误,有的图、表、公式编号缺漏,这些都已更正或补齐,不另说明。

本书承顾钧禧教授细心审校,朱云同志绘制全部插图,特此致谢。由于我们翻译水平有限,译文欠妥和错误之处在所难免,热忱欢迎读者批评指正。

译 者 1984.3.

序 言*

ECMWF (欧洲中期天气预报中心) 在 1975 年 9 月上半月, 举办了一期“中期天气预报理论基础”课题研究班。

本书就是该研究班的讲义。

ECMWF 的主要目标是, 从事研究制作一周或一周以上天气预报的业务方法, 并在每天业务工作中做出此项预报。ECMWF 的另一个目标是, 协助成员国的气象局预先培养一批数值天气预报方面的科学工作者。第一期研究班就是为了各成员国而安排的, 这也是欧洲中期天气预报中心为了实现上述两个目标而着手的起点。

大气的数值预报一般是从已知的初始状态出发, 加上适当的边界条件, 用数值方法对大气模式的方程组进行积分。应用这种方法制作 1—3 天的预报已有二十年历史了。而制作中期预报(一周或一周以上)的方法则是简单地将数值积分延伸到所需要的时间。由于已知在各种天气条件下许多重要的大气扰动典型的生命史短于一周, 因此用于中期天气预报的大气模式必须具有以逼真的方式描写新扰动生成和旧扰动消失的能力。因此, 也就要求中期预报模式能逼真地描述大气中能量产生和耗散过程。本书对大气的可预报性将有详细的描述。最新研究指出, 如果以全球的 RMS(均方根)误差作为可预报性的量度时, 那么十天预报几乎没有可能。主要理由是现有大气模式具有很大的初始误差增长率, 主要地限制了运动的瞬变部分。另一方面, 经过对少数几个现有的中期天气预报模式进行慎审的鉴定, 看来这些模式在预报大尺度准静止的天气形势的变化方面, 以及在气旋路径的预报方面是成熟的, 而就实际业务效果来说, 是有价值的。

一个完全确定的初始状态对任何数值预报来说当然是重要的。因此, 对大气中和地面上不同种类观测资料的最佳运用是本研究班的主要课题。法国巴黎气象研究所 P. Morel 教授为研究班编写的讲义包括了资料的观测、收集、分析及同化等问题。

另一个主要课题是对现有的模式、数值方法、物理过程以及模式在不同时间区间上预报效能的描述。这方面的讲义是由 NOAA (美国国家海洋大气局) 和普林斯顿大学地球物理流体动力学实验室 K. Miyakoda 博士编写的。

其它解决中期预报问题的途径, 包括人们所关心的初始状态不确定性的处理, 和对模式中所包括的物理过程的描述。由此, 就导致了对随机过程、统计力学以及统计与动力相结合的方法的研究。这方面的内容是由美国博尔德国家大气研究中心 C. Leith 博士加以论述的。

本书其它部分, 分别由德国汉堡大学 G. Fischer 教授、西德柏林大学 H. Fortak 教授、英国气象局 A. Gilchrist 先生、ECMWF 的 A. Wiin-Nielsen 教授和 L. Bengtsson 博士撰写。

* 本序言略有删节——译者注

目 录

译者的话

序言

第一章 中期天气预报的资料问题	1
§ 1.1 WWW (世界天气监视网)的地面及高空测站网	1
§ 1.2 从空间进行对云和地面的观测	8
§ 1.3 从空间观测空气温度和湿度(一):反演问题	10
§ 1.4 从空间观测空气温度和湿度(二):仪器问题	15
§ 1.5 由示踪云测定风(一)	19
§ 1.6 由示踪云测定风(二)	22
§ 1.7 气象场的时空结构和客观分析	26
§ 1.8 大尺度气流对扰动的动力学响应	31
§ 1.9 气象资料的同化(一):单一时-层方法	35
§ 1.10 气象资料的同化(二):四维同化方法	37
参考文献	41
第二章 资料四维同化中的问题	43
§ 2.1 引言	43
§ 2.2 历史背景与评论	44
§ 2.3 观测资料的局限性	44
§ 2.4 用简单插入方法的资料同化	48
§ 2.5 间歇过程的资料同化	48
§ 2.6 连续过程的资料同化	51
参考文献	52
第三章 大尺度加热和大气波动	53
§ 3.1 引言	53
§ 3.2 扰动分析	53
§ 3.3 $\sigma = \text{常数}$ 的解	55
§ 3.4 常数递减率的情形	58
§ 3.5 波动能量	60
§ 3.6 非静止基本气流上的牛顿加热	65
§ 3.7 一些倾向的计算	68
§ 3.8 结语	75
参考文献	75
第四章 A 天气尺度数值模式中地面摩擦的作用	76
§ 4A.1 引言	76

§ 4A.2 数值模式	76
§ 4A.3 初始条件	77
§ 4A.4 边界层的参数化	78
§ 4A.5 地面摩擦的有限差分表示法	78
§ 4A.6 τ_0 的计算	79
§ 4A.7 气压场的预报	80
§ 4A.8 锋的形成	81
§ 4A.9 锋生函数	84
参考文献	87
第四章 B 天气尺度波动能量学的数值研究	90
§ 4B.1 引言	90
§ 4B.2 能量收支	90
§ 4B.3 初始条件	91
§ 4B.4 一些结果	91
§ 4B.5 β^* 的影响	93
参考文献	96
第五章 次网格过程参数化的一般问题	98
参考文献	101
第六章 可预报性与用低阶系统描述的气候变化	102
§ 6.1 引言	102
§ 6.2 低阶平流方程的举例	103
§ 6.3 具有强迫和耗散作用的低阶系统	107
§ 6.4 某些数值例子	112
§ 6.5 随机动力处理	115
§ 6.6 随机-动力模式的能量学特征	119
§ 6.7 结论	121
附录	121
参考文献	123
第七章 统计学与中期天气预报的统计-动力模式	124
§ 7.0 引言	124
§ 7.1 概率与统计学	124
§ 7.2 动力学相空间	129
§ 7.3 随机-动力预报	132
§ 7.4 可预报性理论研究	137
§ 7.5 蒙特-卡洛方法的预报	139
§ 7.6 回归预报	145
§ 7.7 观测数据的统计学同化	149
§ 7.8 中期预报的一些关键性问题	153
参考文献	156

第八章 天气预报和次网格尺度过程的效应	160
§ 8.1 概述	160
§ 8.2 短期预报的发展	164
§ 8.3 改进短期预报的可能性	169
§ 8.4 中期预报	176
§ 8.5 大气中的能源和能汇	200
§ 8.6 模式中次网格尺度物理过程	205
§ 8.7 次网格尺度过程对大气环流的影响	212
§ 8.8 降水和降雪分布的模拟	222
§ 8.9 可能改进中期预报的因素	229
§ 8.10 PBL(行星边界层)过程参数化的改进	258
§ 8.11 积云对流参数化的改进	270
§ 8.12 参数化改进方案的对比试验	278
参考文献	281
第九章 英国气象局大气环流模式	288
§ 9.1 引言	288
§ 9.2 有限差分公式	289
§ 9.3 水平网格	293
§ 9.4 十一层模式的中期预报试验结果	297
§ 9.5 与地面相互作用对天气发展的影响	310
§ 9.6 五层模式的试验	314
参考文献	319
第十章 SPAAZ (大气环流模拟计划)西德研究组的设想和某些具体结果.....	320
§ 10.1 引言	320
§ 10.2 SPAAZ 研究组的活动.....	320
§ 10.3 一些具体结果	321
第十一章 ECMWF 的一种预报系统的设计	324
§ 11.1 引言	324
§ 11.2 积分区域	325
§ 11.3 水平和垂直分辨率	326
§ 11.4 全球数值积分	328
§ 11.5 有限差分公式的一般特性	331
§ 11.6 参数化问题	331
§ 11.7 计算问题	333
§ 11.8 预报产品的传递	335
参考文献	338
缩写词索引	333

第一章 中期天气预报的资料问题

§ 1.1 WWW(世界天气监视网)

的地面及高空测站网

由于参加这个讲座的人,很多是从事实工作的气象学家,因此由作者来描述地面和高空台站构成的世界天气监视网的全球观测系统,有点班门弄斧。作者将试图非常简要地介绍在世界气象组织出版的刊物中详尽描述过的这个杰出观测系统的一般方案及其实施情况,还将详细地讨论气象测量中某些可能较少为人们所了解的、但却是基本的特征。

首先,我们应当提出一个对所有实验性科学都是非常基本的问题:我们要观测的是什么?它的空间及时间特征尺度怎样?以及测量它需要达到怎样的精度?事实上,在最近几年以前一直就没有考虑过采用笛卡尔坐标的方法。对于如此复杂的大气过程,而我们的观测值竟如此稀少,气象学家只好恳求建立更多的气象台站和取得更多的气象资料。然而,在某种程度上,执行世界天气监视网的现行计划正反映出这种普遍心情。就象人们所预期的那样,建立尽可能多的新台站以及传递尽可能多的气象情报,从而完全保持现有观测网是长远的需要。这样做是正确的吗?它与达到“完全”覆盖行星大气的程度差多远呢?就这点来说,可以通过对全球大气的运动学研究加以阐明,例如用风神(EOLE)卫星拍摄的南半球大约200百帕上气流的短系列影片说明的那样和用自由漂浮于平流层低层近200个定高气球的轨迹显示的那样。要注意有意义的大气运动特点有:(a)重要天气系统演变的时间尺度约为1到2天,而最多不超过一个星期;(b)这些天气系统的空间尺度,其特征长度很少超过1000公里。于是我们能从这个简短的概括及已知的大气动力学的许多研究成果作出推断:对于行星大气运动的特征状态和有意义的大气环流型式来说,它要求全球观测密度,其样本的时间间隔为0.5到1天,而样本的空间间隔为500—700公里。现在的地面及高空测站网对所论及的要求来说情况又是怎样呢?

1.1.1 全球台站分布及取样的测站密度

图1.1是一张北半球温带地区高空测站图。由图可见高空测站在北半球大陆地区确实有相当合适的密度。在中国范围内的空白并不反映中国气象台站网的情况,而仅反映在绘制这张图的时候,中国不是世界气象组织的成员这一事实。还请注意,尽管很多国际组织努力在北大西洋和北太平洋保持一定数量的气象观测船,但在大洋地区的高空测站及为数较少的地面测站,它们离合适的分布密度还相差很远。至于在南半球,人们由地理分布特点就能够推测到:若要达到令人满意的程度那就差得更远了(图1.2)。

世界天气监视网的地面基本观测系统最显著的特点是:既没有提供一个均匀覆盖行星大气的全球测站网;也没有提供任何重要的机会使上述测站网得到进一步改善。在合理的经济范围内解决扩大地面基本观测的范围,这个问题是太艰巨了。于是现今全球观测系统的另一

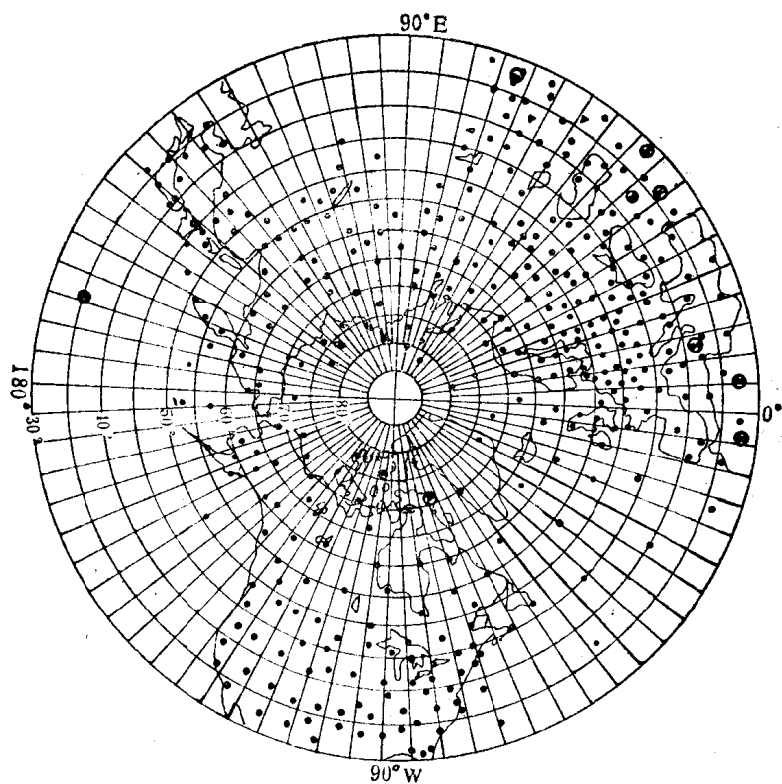


图 1.1 WWW 在北半球的高空气象观测站
限于热带以外地区

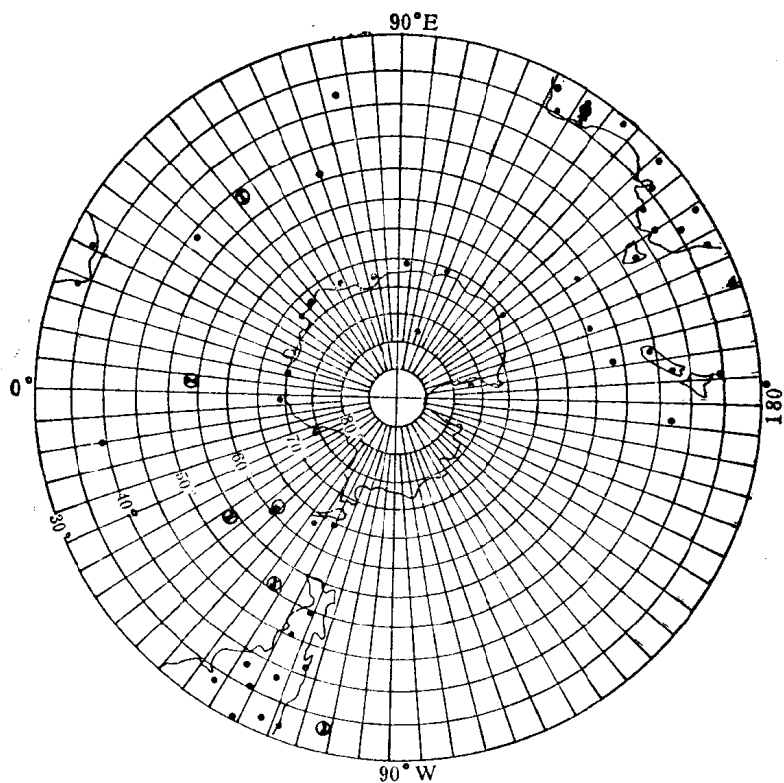


图 1.2 WWW 在南半球的高空气象站网

个特点是它处于这样两个时期之间的过渡阶段,即从一个单纯由地面在 00 和 12 GMT (格林尼治平均时)获得的天气观测资料系统,向另一个增加了大量非标准、非天气定时的由气象卫星得到的遥测资料的混合系统过渡。

1.1.2 通讯及其时效

西欧的气象工作者一般都十分熟悉现代通讯技术,他们通过国家和区域中心或通讯枢纽把他们的资料接收和收集系统变得具有如此高的效率和可靠性,以致他们不必把区域预报中使用的观测记录只有 2 到 4 小时的时限放在心上。尽管遍及全世界的通讯设备条件有巨大的差异,但他们与来自工业国的专家一起把同样的想法应用到全球资料的收集方面去。综合性的 WWW 全球远距离通讯系统(图 1.3)确实是强有力的和不断加以改进的网络系统,但是,如果期望它能象书本上规定那样始终不断地运行,那将是一种误解。华盛顿世界气象中心应 GARP(全球大气研究计划)联合组织委员会的要求而编纂的最新统计结果指出,非洲的 30 个热带测站,在其报告最多的时间(1200 GMT)里,500 百帕观测记录只有计划的 33% 以下,而 200 百帕观测记录只有计划的 25% 以下能被及时纳入全球分析之中。

工作中遇到一个更为困难的问题是对从几千艘经过挑选的商船或“顺便船”收集来的海上观测资料的处理问题。这些气象观测记录一般说来质量很高,但它们大多数在由船舶发往沿岸无线电台的传输(在自愿的基础上)过程中被丢失,而且又不能在气象通讯线路中发现它们。对海上运输的统计结果指出,北半球海洋所有 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 的面积上,在任何时间里至少有一艘商船。因此,如果所有这些船只测到的气压能够及时传递,那么每天都能收集到一个完整的、分布密度均匀的、确定的气压场资料。上述范围内的情报就是由于我们目前缺乏合适的通讯线路而丢失了。于是,我们可以得出进一步的结论:我们确实需要一个迅速收集世界范围资料的系统,这个系统显然应建立在适当的(专用的)太空中继站上。令人高兴的是,在不远的将来可以看到至少有两个这样的系统将要实现(一个是环绕赤道的四个地球静止卫星上的资料收集系统;另一个是装在 TIROS-N(泰罗斯卫星-N)业务卫星系列上的 ARGOS(全球自动观测中继系统)的资料收集和定位系统。

1.1.3 准确度(accuracy)和代表性

关于气压的测量,在 Torricelli 作出基本发现之后,自然科学家和其后的气象学家都使这种测量不断地得到完善。于是现行的地面气压报告的误差已在 0.1 百帕以下,这说明它已具有日常环境测量报告的理想精度(相对误差为 10^{-4})。因此,在若干情况下,这个近似的精度(precision)无论如何应该是够格的。与障碍物引起的气流扰动相伴随的动力作用在建筑结构合理的陆地测站上通常是忽略不计的,但无论如何在海岛或船舶上是不可忽略的。不同的订正动压力效应的作法,使近年来参加 GATE(全球大气研究计划大西洋热带试验)的苏联和美国研究船只之间出现了 0.3 百帕的差异。在赤道地区出现了另一个困难,即气压观测受到值得重视的半日气压振荡支配(此气压振荡是与大气潮汐相联系的)。这类气压波(在印度洋为 ± 2 百帕)是一种太阳加热效应,因此与地方太阳时同步。可是,气压报告时间是与世界时同步的,于是得到了一个气压波的瞬时图象,它能掩盖掉较弱天气系统的气压梯度。这个困难只要适当地应用抽样理论显然就能消除,但目前还没有这么做。

早在三十年代,完善的无线电探空仪为气象学家提供了分析大气的热力层结最强有力的工具。利用在非常灵敏的热敏电阻(温度取决于电阻)制造方面所取得的进展,生产了既很结

图 1.3 WWW 的全球通讯系统图

图中资料使用的名称和说明, 不意味世界气象组织秘书处对所涉及的任何国家、地区或它的管理机构
合法地位以及所涉及的国界划分表示任何看法。图中数字代表的地名为: 1 墨西哥城; 2 危地马拉
(拉奥罗拉); 3 伯利兹; 4 萨尔瓦多(伊洛潘戈); 5 特古西加尔巴(汤康汀); 6 马那瓜(拉斯梅塞
德斯); 7 圣约瑟(埃斯科科); 8 巴拿马; 9 乔治敦; 10 帕拉马里博; 11 卡宴; 12 波哥大;
13 基多; 14 利马; 15 亚松森; 16 拉巴斯; 17 圣地亚哥; 18 帕皮提; 19 斯坦利港; 20 拿
骚; 21 百慕大; 22 大开曼(岛); 23 金斯敦; 24 哈瓦那; 25 圣胡安; 26 圣多明各; 27 太子
港; 28 圣马丁(岛); 29 库拉索; 30 圣基; 31 安提瓜(岛); 32 瓜德罗普(岛); 33 多米尼加
(岛); 34 马提尼克(岛); 35 圣卢西亚(岛); 36 圣文森特(岛); 37 巴巴多斯; 38 格林纳达
(岛); 39 西班牙港; 40 蒙特维的亚; 41 阿雷格里港; 42 都柏林; 43 德·比尔特; 44 布鲁塞
尔; 45 圣马利亚; 46 马德里; 47 苏黎世; 48 马耳他; 49 里斯本; 50 努瓦迪布; 51 努瓦
克肖特; 52 里奥德奥罗; 53 班珠尔; 54 比绍; 55 科纳克里; 56 弗里敦; 57 蒙罗维亚; 58
萨尔岛; 59 加那利群岛; 60 阿比让; 61 巴马科; 62 尼亚美; 63 瓦加杜古; 64 洛美; 65 科
托努; 66 檀香山; 67 雷克雅未克; 68 昂马赫沙利克; 69 奥斯特陆; 70 哥本哈根; 71 赫尔辛
基; 72 波茨坦; 73 贝特·达干; 74 的黎波里; 75 阿克拉; 76 阿森松岛; 77 圣赫勒拿岛;
78 马拉博; 79 杜阿拉; 80 布拉柴维尔; 81 利伯维尔; 82 圣多美; 83 班吉; 84 金沙萨; 85
恩贾梅纳; 86 加贝内斯; 87 罗安达; 88 曼齐尼; 89 马塞卢; 90 洛伦索-马贵斯; 91 布
兰太尔; 92 卢萨卡; 93 索尔兹伯里; 94 乌兰巴托; 95 华沙; 96 布达佩斯; 97 布加勒斯特;
98 贝尔格莱德; 99 地拉那; 100 雅典; 101 安卡拉; 102 贝鲁特; 103 汉城; 104 尼科西亚;
105 安曼; 106 大马士革; 107 马尼拉; 108 金边; 109 万象; 110 西贡(胡志明市); 111 香
港; 112 澳门; 113 仰光; 114 喀布尔; 115 楠迪; 116 维拉港(新赫布里底群岛); 117 新加
坡; 118 努美阿; 119 吉隆坡; 120 雅加达; 121 包考; 122 科伦坡; 123 加德满都; 124 卡
拉奇; 125 达卡; 126 巴格达; 127 萨那; 128 亚丁; 129 喀土穆; 130 吉达; 131 巴林(岛);
132 科威特; 133 基加利; 134 布琼布拉; 135 坎帕拉; 136 亚的斯亚贝巴; 137 吉布提; 138
摩加迪沙; 139 内罗毕国家气象中心; 140 圣但尼(留尼汪); 141 维多利亚(塞舌尔群岛); 142 塔
那那利佛; 143 路易港(毛里求斯); 144 蒙巴萨; 145 达累斯萨拉姆; 146 莫罗尼(科摩罗群岛);
147 克尔盖伦群岛; 148 新阿姆斯特丹。

实又很精确的探空仪装置,并且在最不利的天气条件下也把它用于日常业务,而在对流层和平流层低层都已证明它能达到 0.5°C 的精度要求。但是,若期望在探空仪上升到较高的层次时也具有这样的性能,那就太天真了。一旦当环境气压减小到 30—50 百帕以下,而分子平均自由程增加到与感应元件直径的比值显著地接近 1 时,气流冷却能力就急剧减少,而太阳加热的相对重要性则相应地增加。据了解,由不同厂商生产的无线电探空仪的相互比较表明,在平流层上部的差异有 3°C 那么大(而火箭探测的结果更差)。

最后,高空风的观测是最困难的,很少能有从地面进行有效测量的方法。首先,人们不能对较低层次测风资料寄予太多的信任,因为风在行星边界层中的结构经常受到相当大的日变化的影响,而这种日变化对考虑局地天气很有意义,但对考虑行星尺度天气却没有什么意义。我们也不能过分相信较高层测风资料,因为在非常低的仰角下,由于跟踪偏差会造成在极大风速报告中出现系统性的误差。例如把由“风神”卫星遥测记录编纂的南半球定高气球移行速度资料中,有关 200 百帕风速统计值与常规的无线电测风或雷达测风资料加以比较,便会看出这一点。图 1.4 所示为一典型的雷达风速廓线与相应的导航探测仪(奥米加远程导航探测仪)资

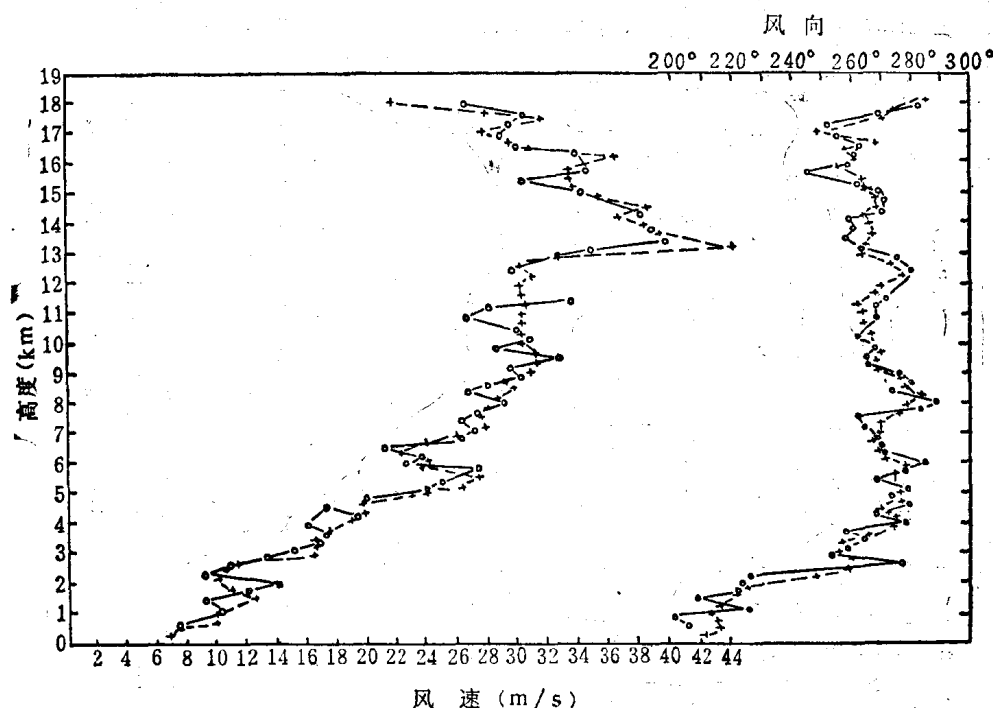


图 1.4 一次标准的无线电探空仪探测的雷达追踪记录与奥米加甚低频信号机导航观测记录的比较

虚线为雷达测风一分钟平均值; 实线为奥米加测风一分钟平均值。

料相互比较。由两个廓线的扇形外貌可见,气流具有明显的分层特征,且有显著的测量误差,其量级为 1—2 米/秒。由美国空军进行的高精度雷达跟踪试验,曾致力于把真正的大气风场结构引起的气球运动与由于空气动力学效应而引起的气球运动区别开来(如图 1.5 所示),在图中这些气球的轨迹显示了明显的纽结状态,从而表明气球上升期间运动存在着半周期性。这种因空气动力学效应引起的运动,最终将为采用特殊的极其粗糙的圆形气球(或棘面气球)来消除,从而使气球的风速读数接近最大的精度极限。目前的结果是在对流层中由于大气湍流将使任何瞬时风的测量误差在 ± 2 至 3 米/秒之间;而平流层中持久的垂直切变造成的局地偏差在 500 米厚的气层内有 ± 5 米/秒那么大。

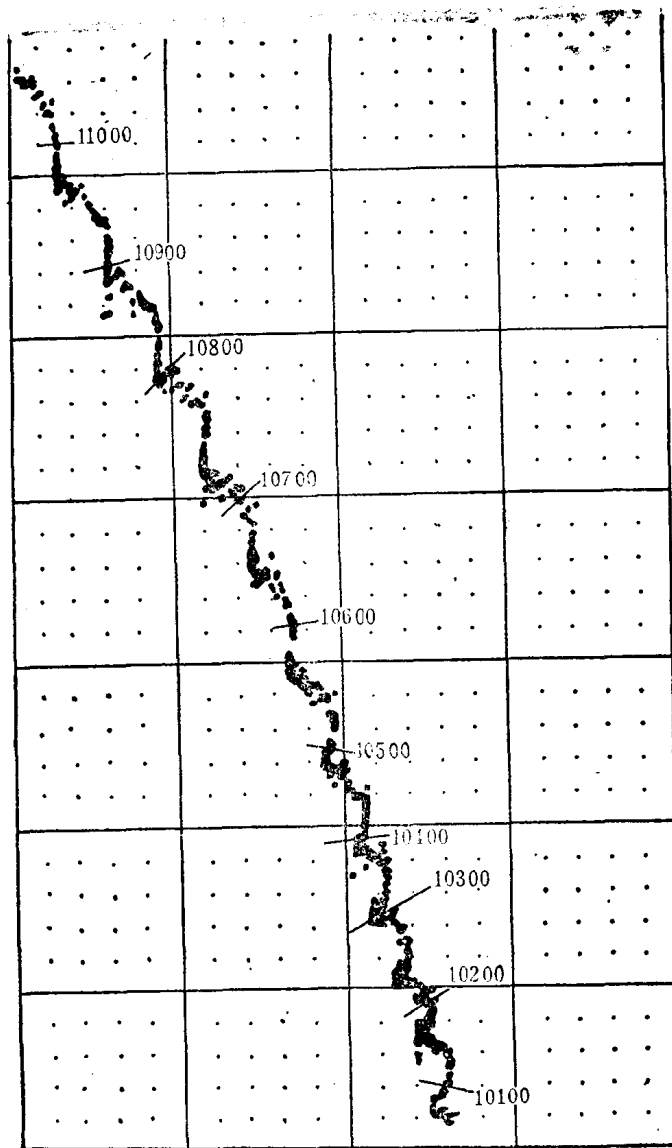


图 1.5 高精度雷达测定的探空气球的轨迹

1.1.4 资料处理的水平

由于 WWW 的全球观测网正朝向一个综合各种直接和间接(遥控)观测大气过程的完整系统发展,因此必须不断地改进我们对不同阶段的资料加工所定义的术语。从空间遥感技术远景来看,下列词汇大部分将得到发展,原则上它们也适用于任何测量。

现在,我们把用仪器测量的主要物理量经过校准后的读数称为 I 级水平资料(例如,宇宙飞行器上的辐射计测量到的辐射通量),在考虑到仪器的所有性能,例如观察的视野、频谱的带宽、探测器的校准以及遥测装置的编码之后,它按通用的物理单位来表示(如辐射通量用瓦/米²表示)。上述的资料本身是有效的测量数据,但未必与某一特定的气象参数相对应。

然而,人们有可能在数学分析及(或)统计性(经验性)考虑的基础上,由 I 级水平的资料去“推断”出重要的气象参数,例如低层大气的水汽含量或温度廓线的估计值。因此,通过这种处理将得出一个气象参量的估计量,它与原始观测的具体位置 (x, y, z) 和时间 t 有关。这样的

估计量就是通常所说的 II 级水平资料。

最后,可适当地把在一个周期时间内(12 或 24 小时)所收集到的全部有效气象参数值汇编到某个单一的天气观测时间的一张全球大气相容的图上,作为预报大气未来变化所必需的初始值。这种以时空内插为基础的处理或者是按资料最佳静力和动力一致性的更精巧的技术,被称为资料分析。这个产品是 III 级水平资料,它是动力学基本变量的相互协调一致的完整集合,此集与某单一图次及标准网格坐标或任何类似的表示气象场的方法有关。

这节内容的目的在于研究气象资料加工的两个具体步骤:(I)如何从未处理(I 级水平)的物理测量值来推断 II 级水平的气象资料;(2)如何分析在时间上和空间上是随机分布的各个气象要素的一批观测值,用以得出一致性的 III 级水平的气象要素场来。

§ 1.2 从空间进行对云和地面的观测

1975 年是第一个气象卫星——泰罗斯 1 号卫星发射的 15 周年,它展现了地球表面和天气系统的第一批电视图象。泰罗斯 1 号卫星发射后几天之内,气象工作者在业务上就定性地应用这些未经加工的资料来改进天气图和云层的分析。第二年,为了利用这些从空间得到的图象,各种类型的电视和甚高分辨扫描辐射仪随着日趋完善的技术而得到了发展。

最初的经验分析已能从图片上辨认出重要的云型,而且把它们与锋、热带扰动及明显地还与飓风等天气系统的发展联系起来。尽管如此,当作者发现这些从空间得到的定性云图的主观分析已经完善得具有如下事实所表明的那样很高的精确度和可靠程度,仍然感到吃惊:一般来说,海洋区域地面气压值和其上空 300 百帕位势值的“虚假性”资料,按惯例是由有经验的人员分析出来的,而后它们被送入计算机却能得出显然良好的结果。以致在事实上即使改用遥感所得先由客观分析决定的温度廓线[即 VTPR(温度垂直廓线辐射仪)所得的资料]去替代这些“虚假性资料”的话,简直没有什么改进。

从极轨卫星(太阳同步卫星)和地球静止卫星得到的定性图象资料已经为监视局地天气和制作短期天气预报而直接加以利用。卫星图片的接收和分析在气象部门现在几乎已成为象读气压表那样的典型工作。根据 APT(自动图象传送)方案,实时发送图象资料为遍及全世界的成百个业务站所接收。但是,有关卫星资料利用方面的问题与这个研究班的主要课题,也就是与行星大气气流的延伸预报问题无关,不必赘述。

1.2.1 海面温度

首先试图从空间图象导出定量测定的要素是由红外图象来确定的海面温度。它是由安装在雨云 2 号(Nimbus-2)上的(HRIR)(高分辨红外辐射仪)在夜间从 3.4 到 4.2 微米的光谱窗获得的。对大多数海洋学的领域来说,其精确度是相当勉强的,但其值($\pm 3^{\circ}\text{C}$)还足以用来划定远离哈特勒斯角的墨西哥湾流的边界。第一流的技术成果以及资料处理的精密程度,在为了补偿由于空气和水汽对辐射的吸收、仪器的噪音、卫星视野内云的污染所造成的影响,以及为了使从空间平台和船舶测量之间所引起的 RMS 误差减小到 1°C 以下,已成为必需的(Shenk and Salomonson, 1972; Prabhakara, 1974)。

灵敏度更高的红外探测仪和甚高分辨热线红外图象[VHRR(甚高分辨辐射仪)]在研究上的进展以及有关大气水汽含量遥测估计方法的改进,将为消除海面温度遥测的两个主要误