

热带气旋全球观

陈联寿等 译

气象出版社

热带气旋全球观

A Global View of Tropical Cyclones

Russell L. Elsberry (主编)

William M. Frank

Greg J. Holland

Jerry D. Jarrell

Robert L. Southern

陈联寿 董克勤 金汉良 译
包澄澜 秦曾灏

气象出版社

(京)新登字046号

内 容 提 要

本书是根据第一次国际热带气旋科学研讨会提交的论文按专题编写,并由我国与会的著名热带气旋专家翻译而成。全书系统严谨,重点突出,实用性强,内容包括热带气旋的观测和分析;成熟热带气旋的结构及其变化;热带气旋的形成、运动;它的影响及其警报防灾系统。可以不夸张地说,该书是集当今各国热带气旋领域,在理论认识、业务预报和综合防御方面之大成,集中反映了当前世界有关热带气旋的科研成果。因而它既是一本热带气旋预报的工具书,也是一本可供科研和大专院校教学的参考读物。

热带气旋全球观

A Global View of Tropical Cyclones

Russell L. Elsberry 主编

董克勤 金汉良 译
陈联寿 包澄澜 秦曾灏

责任编辑:成秀虎 终审:纪乃晋

封面设计:严瑜仲 责任技编:都平 责任校对:白璐

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

中国科学院印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

*

开本:850×1168 1/32 印张:11 字数:277千字

1994年6月第一版 1994年6月第一次印刷

印数:1—900 定价:11.70元

ISBN 7-5029-1556-7/P·0647

译 序

热带气旋居于当今危害全球十大自然灾害*之首。在 1947—1980 的 34 年间造成的死亡人数近 50 万人。根据最近的统计,热带洋面上平均每年约有 80 个气旋发生,50 多个国家,约 5 亿多人口受到不同程度的影响,其所经之处挟带的风、雨、潮等灾害,远非其他天气系统所可比。发生在西北太平洋和南中国海的热带气旋,全年各季都有出现,约占全球的 1/3,孟加拉湾一带则是世界上受热带气旋影响频繁和最严重地区之一。为此,世界气象组织的 28 个国家的 83 位专家聚集在东南亚的泰国曼谷举行规模宏大的国际热带气旋专题讨论会,是有重要意义和深远影响的。

根据与会各国代表提供的论文,经有关专家们分工合作,三易其稿,才编写出这样一本取材新颖、实用性强、高质量、高水平的《热带气旋全球观》,确实难能可贵。为使国内广大气象工作者对本书内容有较深刻了解和便于学习参考应用,我们特组织这次与会的我国专家陈联寿、董克勤、金汉良、包澄澜、秦曾灏通过集资方式对全书进行翻译出版,综观全书其特点如下:

一、系统严谨。全书共分探测和分析、结构与强度、形成、运动、影响、警报及防灾系统等 6 章 45 节,凡涉及热带气旋的基础理论、实验观测、天气气候分析、业务流程和预报、气旋灾害和预警服务系统,莫不俱备,是国内外迄今内容丰实、章节系统、取材得体的一本热带气旋专著。

二、重点突出。热带气旋的登陆点及其所挟带的风、雨、潮灾

* 十大自然灾害是:

1) 热带气旋; 2) 地震; 3) 洪涝; 4) 雪暴; 5) 雷暴与龙卷风; 6) 火山爆发; 7) 热浪; 8) 雪崩; 9) 滑坡; 10) 潮汐及海啸。

害,集中到一点是路径预报正确与否,这可以说是整个台风预报的基础。本书第四章以较多篇幅对此作了较详细而全面的论述。目前热带气旋的路径预报,建立在简单的气候工具和复杂的统计学和动力学模式指导的基础上,然而他们的指导产品常有不一致之处。为避免龃龉和进一步发挥其作用,在本章另立一节“预报检验”,提供对各种方法的比较判别,这是非常必要和重要的。

另外,突出了热带气旋的探测,在第一章中集地面、高空、飞机、雷达、卫星等多种新型探测工具为一体,对台风进行实验的综合观测分析,其目的在于揭露热带气旋的新事实、新现象,这对其结构或机理的进一步了解和提高预报准确率是很有帮助的。

三、便于预警。在“国际减轻自然灾害十年”活动中,唤醒全球公众高度认识热带气旋的危害和采取行之有效的预防措施是非常重要的。过去一般同类书籍,在热带气旋知识的普及宣传方面,谈得很少,对如何建立高效的预警系统更很少涉及,而本书则重点地予以阐述,可以说是其一大特点。

四、实用性强。书中的主要章节内容,都是与会专家论文中归纳提炼出来的精髓,诸如气旋结构、预报、风、雨、潮影响以及灾害防御等,可以说是集当今各国对热带气旋,在理论认识,业务预报经验和综合防御等方面之大成。

如上所述,这是一本热带气旋的最新专著,它集中反映了当前世界有关热带气旋的科研成果,既是一本热带气旋预报的工具书,也是一本可供科研和大专院校教学的参考读物。

束家鑫 1993.8.10

序

第二次国际热带气旋科学研讨会 (IWTC) 在泰国首都曼谷召开。这次盛会聚集了世界 28 个国家的 83 位热带气旋预报、研究和警报对策专家。会议是在世界气象组织 (WMO) 主持下召开的, 并与联合国发展总署 (UNDP) 和美国国务院海外灾害援助办公室 (OFDA) 联合举办。这次会议由一个国际组织委员会来进行组织和实施, 这个国际组委会的组成如下: W. M. Gray (美国、主席), C. P. Arafiles (菲律宾), 陈联寿(中国), G. Holland (澳大利亚), T. Kitade (日本) 和 N. Suzuki (世界气象组织秘书处)。泰国气象局担任这次会议的东道主。

这次会议确实是一次来自所有那些受热带气旋影响国家各种不同类型专家的首次全球性聚会。大约有一半与会者系预报警报专家, 另一半系研究专家。与会者名单可见世界气象组织 IWTC 汇编 (WMO/TD-NO. 83, WMO, Geneva, 1986)。

这次研讨会的主要目标在于: 1) 从全球观点来考察热带气旋研究的现况以及预报和研究的动向; 2) 对上述方面写出报告并对不同地区按其不同需要所要开展的研究提出建议; 3) 增进热带气旋专家之间、尤其是研究、预报和警报领域之间的合作。

召开这次研讨会也是为了满足更好地组织有关热带气旋观测、预报、研究和警报对策等多种全球活动的需要。由于正在形成的各种专业在这一领域中的发展、新技术的引用、正在形成的热带气旋的最新研究以及不同国家对热带气旋对策上的改变, 从而使得全球热带气旋领域内的活动专业性越来越强。可以说没有一个人可以成为热带气旋观测-预报-研究-警报所有专业的专家。更为甚者, 对于减轻热带气旋的灾害和生命损失, 尤为紧迫的是要建立

或改善热带气旋各专业领域之间进行技术交流和协调的途径。

这次研讨会是这样组织的,设立了 9 个专题领域,每一个专题又分为 4—6 个子专题,并建立了相应的专业工作组,每个工作组由一名报告员担任组长。

会议的主席报告和报告员报告由世界气象组织秘书处按世界气象组织热带气象计划的报告序列出了三厚本预印本,仅分发给会议的参加者。这套预印本厚达一千多页,作为一般性的基础供研讨会讨论。这三本预印本虽然准备仓促,未经编辑,但还是提供了有关热带气旋的基本素材。所遗憾的是因为太厚,未能重印和广泛散发。为了世界气象组织将来要采取的措施和研究工作的需要,编委会在研讨会之后留在曼谷,对研讨会提出的一系列建议作了总结。这本概括了研讨会详尽内容的“汇编”(上面已作说明),目前还可向世界气象组织要到。

这套研讨会的“汇编”不可能给出热带气旋科研、预报和警报深刻而又全面的材料,这些专题尚需广泛的阐述和讨论。因此,这就十分需要一本较为固定的文本来论述有关热带气旋学术和技术的现状。研讨会的与会者一致提议要出版一本书来概括热带气旋研究、预报和警报对策的现状,可以取材于会上讨论过的内容和其他目前可以用到的资料。这样的一本书,将可提供有关热带气旋现状较为完整和永久的记录,这是其他研讨会报告所难以比拟的。这次研讨会指定 Russell Elsberry 为该书的主编。

为了尽可能采用有效途径来最佳地完成这样一本书的编写,建议在与会者中产生一个小小的自愿写作组来承担编写任务。这个由 Elsberry 组建的编写组由他本人以及 William Frank, Greg Holland, Jerry Jarrell, Robert Southern 等人组成。他们每个人除了本职工作外化了大量时间来准备本书的材料。我们对编写组为本书所作出的努力深表感谢和赞赏。我们尤其注意到了 Russell Elsberry 对各章节的协调和全书完成所作出的杰出工作。

我们非常感谢美国海军科研司海洋天气处及其处长 Robert Abbey 为芝加哥大学出版社出版本书所提供的经费。本书将寄发给这次研讨会的与会者和全球其他的热带气旋预报人员和研究人员。

William M. Gray
国际热带气旋科学讨论会主席

前 言

我接受委托,担任国际热带气旋科学研讨会 (IWTC) 论文汇集的主编,并征求自愿者来参加这项工作。可能由于写作班子的组成仓促,且任务还不十分明确,从而使研讨会的一些与会者未能自愿加入。

先要说明的是, IWTC 中的 9 个基本领域在此简缩为 6 章。本想分别由 6 个人来担任编著或作者,但因无人主动承担分析这一章,于是我又承担了这一章的任务。

每一章的初稿均曾寄给所有的报告员(见每章开头的名单)征求修改意见,因为他们为 IWTC 的预印本提供过材料。全书草稿采用了报告员和他章作者的意见。W.M. Gray、Y. Kurihara 和 R.Merrill 承担了全书初稿的复审工作,复审后形成了最后文本。

我要特别感谢美国海军研究司海洋气象处的 Robert F.Abbey 博士,他为本书的出版安排了经费。还要感谢所有的报告员、编写者和审校者为本书出版所作出的努力。同时也向海军研究生院的 Penny Jones 致谢,她专门为本书打字。

Russell L. Elsberry

目 录

译序

序言

前言

第一章 热带气旋的观测和分析	(1)
§ 1.1 引言	(1)
§ 1.2 常规资料	(4)
§ 1.3 飞机侦察	(7)
§ 1.4 雷达观测	(8)
§ 1.5 卫星观测	(11)
§ 1.6 分析的目的和原则	(15)
§ 1.7 探空资料的合成分析	(18)
§ 1.8 小结	(21)
参考文献	(21)
第二章 成熟热带气旋的结构及其变化	(24)
§ 2.1 引言	(24)
§ 2.2 基本定义和动力学	(27)
§ 2.3 成熟热带气旋核心区的结构	(40)
§ 2.4 核心区以外的结构	(52)
§ 2.5 边界层的结构和维持	(60)
§ 2.6 雨带动力学	(70)
§ 2.7 流出层动力学	(75)
§ 2.8 结构变化	(78)
参考文献	(95)
第三章 热带气旋的形成	(107)
§ 3.1 引言	(107)
§ 3.2 气候特征	(107)
§ 3.3 大尺度环境场	(139)

§ 3.4 重要的物理概念和过程	(146)
§ 3.5 业务预报	(156)
参考文献	(159)
第四章 热带气旋的运动	(165)
§ 4.1 气候路径的背景	(165)
§ 4.2 热带气旋路径的地区性特征	(176)
§ 4.3 理论	(178)
§ 4.4 环境引导	(184)
§ 4.5 热带气旋的定位	(195)
§ 4.6 简便的路径预报技术	(200)
§ 4.7 路径预报的统计模式	(203)
§ 4.8 动力的路径预报模式	(213)
§ 4.9 动力模式的发展	(221)
§ 4.10 预报评分	(224)
参考文献	(234)
第五章 热带气旋的影响	(243)
§ 5.1 引言	(243)
§ 5.2 大风	(244)
§ 5.3 龙卷	(248)
§ 5.4 降雨和洪涝	(250)
§ 5.5 风暴潮	(254)
§ 5.6 热带气旋的经济影响	(264)
参考文献	(268)
第六章 热带气旋警报和防灾系统	(271)
§ 6.1 引言	(271)
§ 6.2 热带气旋的登陆预报问题	(275)
§ 6.3 热带气旋或然率预报的应用	(278)
§ 6.4 有效的热带气旋警报	(284)
§ 6.5 热带气旋防灾计划中气象工作者的作用	(300)
§ 6.6 减轻热带气旋影响的长期措施	(314)
§ 6.7 改进热带气旋警报响应系统的前景	(327)
§ 6.8 信息来源	(330)
参考文献	(337)

第一章 热带气旋的观测和分析*

Russell L. Elsberry 编著 金汉良译

§ 1.1 引言

本章目的是记述可用于热带气旋分析和预告的观测资料来源。不打算广泛地讨论各种资源。然而,要了解热带气旋分析和预告问题,就需要知道这些资料来源的可用性和分布情形。尽管一些新的卫星观测资料已经可以使用,但其它资料来源,如无线电探空测风资料在热带地区却已普遍减少。资料数量在各热带气旋海域之间是不同的,并且在一个区域内随时间也是不同的。

原则上,热带气象学家不但要有全部大气基本变量(水平和铅直速度,温度,地面气压,位势高度和水汽)的资料,还要有海面温度的观测资料。涉及全球大气预告模式中地面作用项的附加变量(例如,植被种类和范围,土壤种类,土壤湿度等)这里未予考虑在内。与中纬度重点放在位势高度场分析相反,热带的重点则放在风场分析上。虽然热带地区大尺度环流是近于无辐散的(从而只要用旋转风分量即可表示得很好),但热带地区产生天气的环流却有很大的散度。观测和分析风的辐散分量的必要性,使得热带分析比中纬度分析更加困难。热带地区风场和质量场之间存在着相当弱的平衡。例如,作为中纬度分析的一项基础的地转约束,不适用于热带大部分地区。热带的水平气压梯度常常很小,以致由无线电探空测风仪给出的位势高度观测值中的误差可以完全遮蔽有

* 本章部分内容根据 R. Sheets, G. Love, V. Dvorak, P. Black, J. McBride, G. Holland 和 W. Frank 等为国际热带气旋科学研讨会 (IWTC) 所准备的材料。

用的信号。

热带地区辐散运动的大部分能量来自潜热释放。因而，水汽场的观测在热带要比在中纬度重要得多。热带环流的数值预告模式一定要用三维水汽场作初始化，并一定要计及大气的水汽源(蒸发)和汇(降水)。来自海洋的蒸发则为海面温度的强函数。

观测问题中有一个起作用的因素，即热带气旋包含有好几种重要的水平尺度。成熟热带气旋¹⁾的内核在几十公里范围内可有

表 1.1 观测成熟热带气旋的结构和环境所需的资料规格与资料来源的可用性 (各系统的讨论见正文)

半径区域	中心内核	≈100km 外核	≈500km 大尺度环境
所需分辨率	5km	20—50km	100—150km
地面资料	无	很少	许多(有空隙)
漂流浮标站	可能,但无可用的		
无线电探空测风	只在眼中有	很少	很少(已减少,有空隙)
飞机报告	无	很少	很少(高空,有空隙)
侦察报告	许多	很少	无
雷达			
——常规	近陆可满足要求		—
——多普勒测风	(未来)潜力很大		—
卫星			
——可见光/红外测风	无	很少	很少(有空隙)
——6.7μm测风	无	很少	很少
红外 (T,q)	无	很少	许多(准确)
微波 (T)	将来	将来	许多(高分辨)
铅直大气探测器 (VAS) (T,q)	无	很少	许多(准确)

1) 本书中所用的定义如下:

热带扰动: 具有无锋面移动特征,直径为 200—600km 的有组织对流区。

热带低压: 具有一定范围的闭合地面环流和最大持续风速(一分钟以上平均值)小于 17ms^{-1} ($34\text{n mile} \cdot \text{h}^{-1}$) 的一个弱热带气旋。

热带风暴: 具有闭合等压线和最大持续风速在 17 到 32ms^{-1} (34 到 $63\text{n mile} \cdot \text{h}^{-1}$), 包括 17 到 32ms^{-1} 的热带气旋。

台风或飓风: 最大持续风速在 33ms^{-1} ($64\text{n mile} \cdot \text{h}^{-1}$) 以上的热带气旋。

很大的梯度,而外围环流则可延伸到 2000km 半径处(热带气旋的结构将在第二章中予以讨论)。如表 1.1 第一行所示,热带气旋中心附近就需要水平分辨率 5km 左右的资料。内核区外面,20—50 km 的分辨率或许是恰当的。最后,热带气旋的大尺度环境可用 100—150km 的网格分辨之。

虽然热带气旋的内核常是近于对称的,但许多气旋中的风场、水汽场和对流却可以有明显的不对称性。当热带气旋移到具有强铅直切变的环境,如转向到中纬度西风带时,就会出现最显著的不对称性。但是,完全不对称的对流照样可以出现,尽管气旋仍在热带地区。由于用一个简单的对称模式不能很好地表达这些热带气旋,因此常规的台站网一定要补充诸如飞机侦察那样的特殊观测,才有可能作出准确的分析。

本章第一部分谈到表 1.1 左列所举出的一些观测系统满足资料要求的能力。在简短评述用于热带气旋分析和预告的常规的地面和高空资料来源之后,将叙述飞机侦察,雷达和卫星等资料来源。假如这些资料在业务分析和预报中是有用的,那么各预报中心必须按时传送和接收之(图 1.1)。

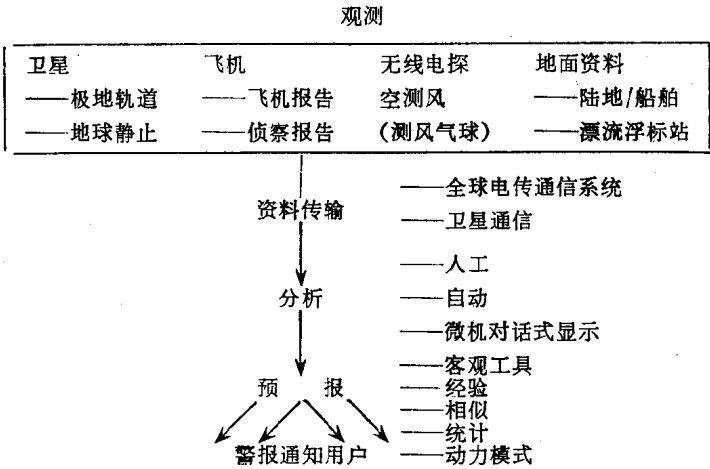


图 1.1 整个热带气旋观测-分析-预报系统示意图

热带气旋预报员的任务是综合各种来源的信息去制作分析和预报。§ 1.6 将介绍热带分析的目的和原则。和中纬度气旋的情形不一样,没有专门为热带气旋设计的客观分析和资料同化方案。因而在各个热带气旋中心配备了手工加自动分析。

本章的最后一个主题是用合成的探空测风分析来研究热带气旋。这种分析技术是一种有用的工具,以增进我们对热带气旋环流,能量学和运动的了解。例如,Gray (1983)主编的一长套出版物中叙述了根据合成方法得到的科罗拉多州立大学的许多研究成果。

§ 1.2 常规资料

1.2.1 地面

地面记录是热带观测系统的一个重要组成部分。因为热带气旋有很大一片区域在海洋上,故岛屿站和船舶记录在估计气旋周围破坏性风的范围时是必不可少的。一般情况下,这些地面记录每三小时分析一次(参看 § 1.6)。

图 1.2 给出 1979 年全球大气研究计划第一期全球试验(FGGE)期间具有代表性的某一天天气报告的利用率。热带地区的覆盖范围比北半球 30°N 和 60°N 之间的要稀疏些,但比南半球 30°S 以南的要稠密些。地面报告不能很好地分辨热带内陆,但这一点对热带气旋短期预告而言还不是那么重要。

船舶观测(包括海面温度和海浪)在许多预报场合仍是关键性的。气象卫星出现以后,改进了热带气旋探测和警报系统,结果,船舶都避开了风暴。因而,在热带气旋区域内很少能接收到船舶记录。特别是,这一点阻碍了预告地面风和浪高的努力。

FGGE 期间,南半球海洋有相当数量的漂流浮标站可用(图 1.2)。较少浮标站放置在一般是热带气旋形成的近赤道海域。欧洲中期天气预报中心(ECMWF)新近的资料覆盖图表明,全球漂流的或固定的浮标站报告不足 100 个。Black 等(1985)在飓风 Josephine

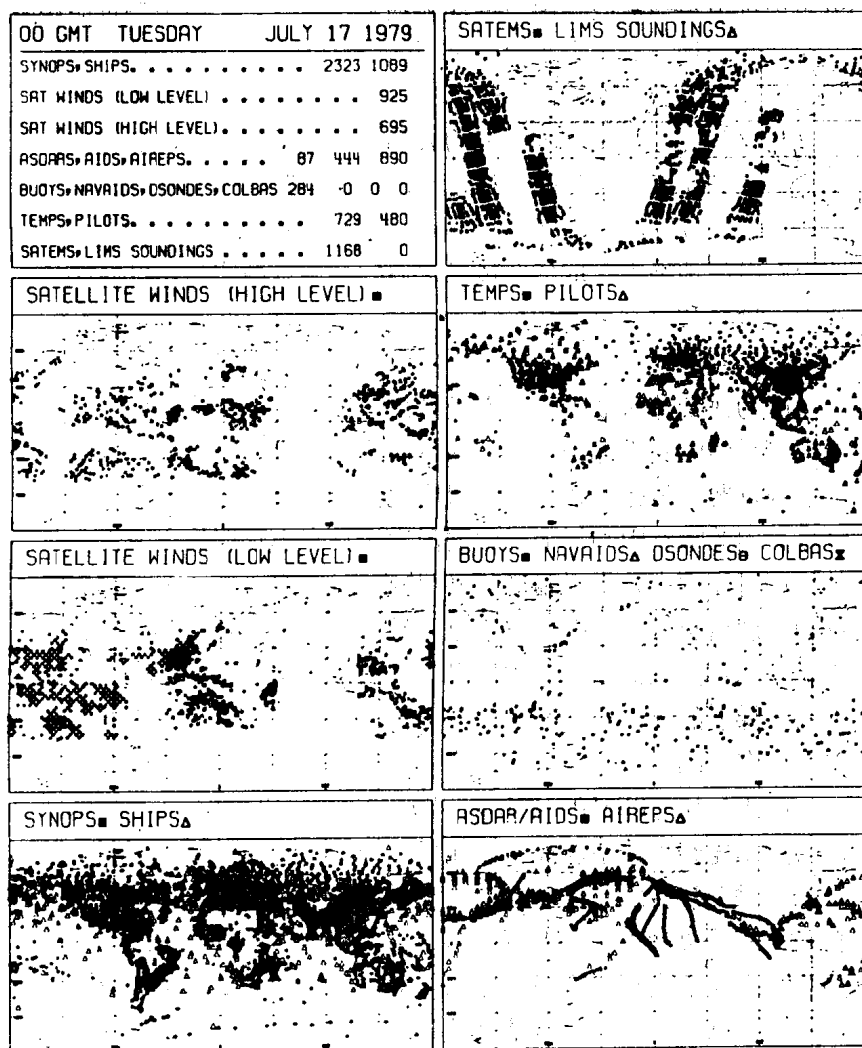


图 1.2 FGGE 期间 1979 年 7 月 17 日欧洲中期天气预报中心的资料覆盖图 (Bjorkeim 等, 1981)

的前面部署了三个漂流浮标站。这些浮标站在整个飓风移行期间报告了地面气压, 1m 高处的风速和几个深度处的海温。因此, 有

可能通过卫星通信线路由漂流浮标站发送资料,以增添热带海洋上的地面报告。在澳大利亚和美国,装置在礁石、小岛、钻井机和无掩蔽的近海地点处的自动气象站正在按时提供地面观测记录。

热带气旋在沿海地区造成的大部分灾害是由风暴潮引起的。正如将在第5章中所说的那样,很少有风暴潮高度的实时报告。当然,在风暴以后勘查时一定可以得到大量有关风暴潮高度的信息。缺少有组织地努力获取每个风暴之后的综合风暴潮信息,已妨碍了致力于检验和改进风暴潮模式。

1.2.2 高空

因为热带地区最重要的变量是风速风向,故无线电探空测风是观测系统的关键部分。又因热带潜热释放的作用,所以水汽观测也很重要。但是,探空仪的湿度观测只能代表测站周围的较小区域,因为晴空中和对流云中的湿度场具有小尺度的可变性。热带低层对流层中,水平温度(和位势高度)梯度很小。在已有探空仪的精度情况下,根据由它给出的对流层低层温度(和位势高度)梯度,不可能推演出很多的信息。在热带或副热带高空存在有较大温度梯度的地方(例如,在冷低压区),探空仪温度观测的精度足以作出有用的分析。

图1.2中(TEMPS/PILOTS¹⁾)说明在FGGE这一特殊观测时期由无线电探空测风仪和测风气球给出的资料覆盖范围。如上所述,探空的数目在七十年代已经减少。新近ECMWF关于资料利用率的总计表明自FGGE以来又有进一步减少。至关重要的几种减少包括去掉了许多海洋天气观测船和中断了大西洋海区为保障火箭从佛罗里达州卡纳维拉尔角发射的几个天气报告站。同时,前在西北太平洋出现热带气旋期间每6小时有一次探空,现在许多台站却一天只报告一次。对于许多小国家的气象服务而言,购买无线电探空测风仪那样的消耗品是预算中一笔不小的开支。

1) TEMPS: 陆地测站高空压、温、湿、风报告;

PILOTS: 陆地测站高空风报告——译者注。