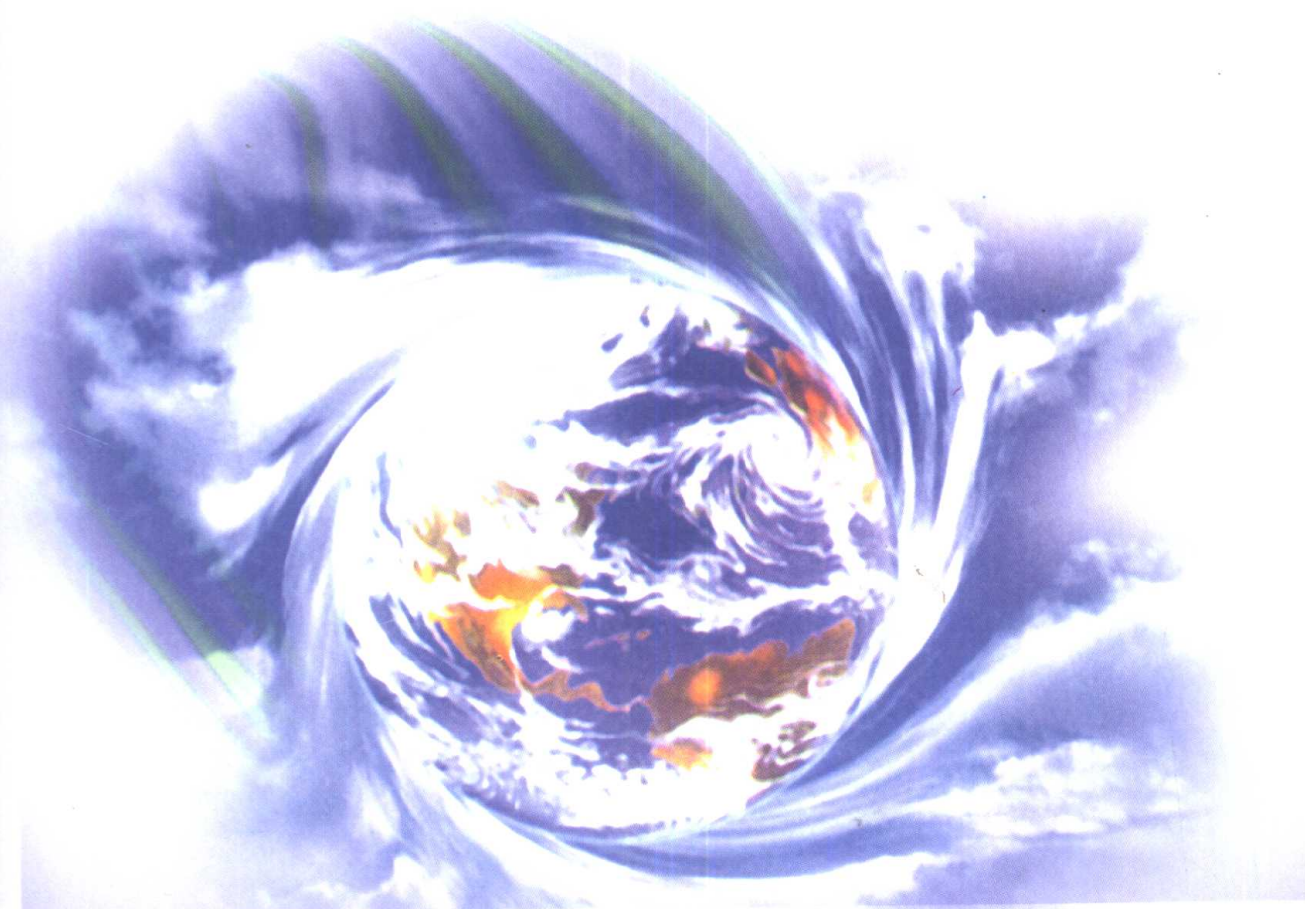


国外

主 编

彭治班 刘健文 郭 虎 孔燕燕 吴宝俊

强对流天气的 应用研究



GUOWAI QIANGDUILIU TIANQI DE YINGYONG YANJIU

—— 气象出版社 ——

国外强对流天气 的应用研究

彭治班 刘健文 郭 虎

孔燕燕

吴宝俊

主编

气象出版社

内 容 简 介

本书介绍了近年国外在强对流天气应用研究方面引入的一些新概念、新大气热力学变量、新概念模型、新分析预报参数、新预报方法(含数值预报产品释用新方法)以及利用探测手段、数值模拟与资料统计揭示的一些新事实。

本书为从事强对流天气监测、预报、服务人员与从事人工影响天气(如:防雹消雹)人员提供一些新思路、新方法;为强对流天气研究人员以及高校有关专业师生提供一些新的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

国外强对流天气的应用研究/彭治班等主编. —北京:气象出版社, 2001. 8

ISBN 7-5029-3182-1

I. 国... II. 彭... III. 垂直运动—气流(气象)—应用—研究 IV. P425. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 037705 号

国外强对流天气的应用研究

彭治班 刘健文 郭 虎 孔燕燕 吴宝俊 主编

责任编辑:宋 钢 王元庆 终审:汪勤模

封面设计:彭小秋 责任技编:刘祥玉 责任校对:李 军

气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编 100081)

* * * * *

北京市白河印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:26.625 字数:681 千字

2001 年 8 月第一版 2001 年 8 月第一次印刷

印数:1~1400

ISBN 7-5029-3182-1/P·1125

定价:60.00 元

国外强对流天气的应用研究

编 委 会

主 编： 彭治班 刘健文 郭 虎 孔燕燕 吴宝俊

副主编： 赵秀英 廖晓农 （以下按姓氏笔划排序）

任荣彩 何财福 贺业坤 姚秀萍 雷振发

编 委： （按姓氏笔划排序）

于玉斌 王荣华 刘玉玲 许爱华 朱平盛

李 柏 李耀东 沈建国 杨晓霞 时少英

张爱华 周小刚 段 旭

序

中尺度气象学一直是大气科学中的前沿学科。近 20 年来,特别是最近 10 年,中尺度气象学的进展很快。在 20 世纪 80 年代后期出版的由 Peter Lee 主编的《中尺度气象学手册》,Cotton 和 Anthes 合著的《风暴和云动力学》以及 1994 年 Emanuel 所著的《大气中的对流》三本名著,系统地总结了 20 世纪 90 年代以前中尺度气象学的进展情况。

20 世纪 90 年代由于计算机技术和遥感技术的迅速发展,国外强对流天气的预报和警报基本上实现了计算机处理,分析、预报产品的种数不断增加。例如,热力学图解、深对流厚度、对流有效位能(CAPE)、 Q 矢量以及对流风暴的相对螺旋度等诊断信息,都可以由计算机分析得出。由逐时数值预报模式得出的各种信息(如预报地点的探空曲线)都能迅速供预报员释用。强对流天气的预报、警报准确度也比 70、80 年代大大提高。1999 年美国气象学会出版的 Weather and Forecasting 学报第 14 卷第 4 期上有 10 篇文章介绍了美国强对流天气预报的新近进展。

在中尺度气象学方面也有不少新的进展。例如,强雷暴中低层中(尺度)气旋的发展和维持有了新的概念模型;引进了一个新的大气热力学变量:密度温度(T_ρ);由对流有效位能(CAPE)概念推广出归一化对流有效位能(NCAPE)和下沉对流有效位能(DCAPE)等概念;定义了涡生参数(VGP)、风指数(WINDEX)、干侵入(dry intrusion)、微(小)型超级单体(miniature supercell)对流风暴、高空(架)雷暴(elevated thunderstorm)以及对流触发函数(convective trigger function)等新概念。

彭治班、刘健文、郭虎、孔燕燕、吴宝俊等从事中尺度气象学研究和实际从事强对流天气预报的气象专家在检索、查阅 20 世纪 90 年代以来有关中尺度气象学文献的基础上,将其中对我国有参考价值的内容汇编成 67 篇文章,内容包括美国强风暴预报中心的预报、警报业务的新进展、中层气象条件与强对流天气发生发展的关系、深对流和长寿命强对流的关系、条件性对称不稳定、CAPE 与 CIN、干侵入与对流下沉运动、天气雷达的应用、螺旋度、粗理查逊数和粗理查逊数切变、雷暴谱、资料及其处理方法、强对流天气的预报流程和预报方法、中尺度数值预报产品的释用、雷暴大风以及有关大冰雹的分析预报问题。他们将这 67 篇文章编成《国外强对流天气的应用研究》一书,并由气象出版社出版,以供我国从事强对流天气研究和强对流天气分析预报的人员参考。

我曾浏览了本书的初稿,从中得益不少,觉得本书所介绍的内容对我国从事强对流天气研究和预报的人员提供了不少新的思路和方法。我预计本书出版后将受到我国从事中尺度气象学工作的读者们的欢迎,有助于我国强对流天气分析预报水平的提高。

陶诗言

2001 年 4 月

前 言

强对流天气的分析和预报历来是气象业务工作的难点。“九五”期间,地方和军队气象部门先后开展了“冰雹落区预报逐级指导技术研究”、“内蒙古防雹减灾新技术和冰雹专项预报研究”和“区域强对流天气数值分析预报系统”等课题研究。在此过程中,为了深入了解国外强对流天气研究和应用的最新进展,各课题组检索、查阅和翻译了大量有关文献,汇集成内部参考材料,并提供给感兴趣者。以此为基础,我们进行了进一步加工,并结合对强对流天气应用研究的认识,编成了本书。

全书选入 67 篇文章,主要内容包括分析预报基础与预报方法两大部分,主要涉及以下几个方面的新内容:

新近引入的大气热力学变量,例如密度温度 (T_ρ);

新近引入的概念模型,例如低层中气旋发展维持的简单概念模型;

新近引入的一些概念,例如干侵入 (dry intrusion)、微(小)型超级单体 (miniature supercell)、高空(架)雷暴 (elevated thunderstorm) 和对流触发函数 (convective trigger function) 等;

新近引入用于分析预报强对流天气的参数,例如归一化对流有效位能 (NCAPE)、下沉对流有效位能 (DCAPE)、涡生参数 (VGP) 和风指数 (WINDEX) 等;

近年利用观测(探测)手段、数值模拟与资料统计揭示出的一些新事实;

近年新提出或进一步完善的预报方法,例如决策树方法和逐时模式生成探空方法等。

本书介绍的上述内容,可以为从事强对流天气监测、分析、预报和服务人员提供一些新思路、新方法,为强对流天气应用研究人员提供一些新的参考资料。

本书的编者分别来自 24 个单位,从事的工作及视野有些差异,故对材料的取舍及列出文献的多寡有些不同。容许这种不同,也许能够照顾到不同的需求。

Doswell 等认为龙卷“预报”过程包括两部分:(1)对风暴环境中龙卷潜势的预测;(2)一旦风暴发展时对龙卷风暴的识别。这种将“预报”划分为预报过程与观测识别过程的思路,同样适用于雷暴大风和降雹等其他强对流天气的预报。在本书中,将包括潜势预测和观测识别两种过程的“预报”称为广义预报;将仅包括潜势预测者称为狭义预报,即平常所说的预报。编入本书的大多数文章仅仅考虑狭义预报,即仅仅把着眼点放在强局地风暴与其环境的关系上,不考虑观测识别部分。美国原强局地风暴室(SELS)采用的预报(狭义)过程是:风暴参数估计、风暴天气型识别和风暴气候(学)特征统计。本书反复介绍了这种观点。

雷暴等强对流天气预报的主要困难是:评估在给定天气形势下可能发展出的雷暴强度以及与雷暴关联的强天气类型。对于这个困难,常见的解决办法有:(1)在制作出雷暴有无预报的基础上,再区分强雷暴与非强雷暴;(2)从选样本到统计气候规律、归纳天气型和确定参数阈值,都着眼于强雷暴等强天气事件。

考虑到目前尚很难判明上述两种解决办法哪一种更好,故本书对两种处理办法的文章都选入了几篇。

本书的编写和出版得到了中国气象局科教司章国材司长、预测减灾司天气处田翠英处长与中国气象科学研究院张纪淮研究员等课题负责人的指导和大力支持。胡圣昌、吴正华、闫之辉研究员,江剑民、游性恬教授,周小刚副教授,李晓东编审,黄丽荣、朱立亚副编审等审校了大部分候选材料或书稿,并提出了许多宝贵意见。

承蒙陶诗言院士对此项工作的关心、支持和鼓励,并为本书作序,对此我们谨表谢忱。

本书的取材、编排方式和内容肯定有许多可商榷之处,疏漏之处也在所难免。衷心希望读者对本书批评指正。

编 者

2001年3月

目 录

序
前言

第一部分 分析预报基础

美国风暴预报中心的一些情况

美国 SELS 近 25 年强局地风暴预报的进展·····	彭治班、王荣华、刘健文、吴宝俊(3)
美国国家天气局风暴预报中心业务概述·····	王荣华、彭治班、刘健文、吴宝俊(11)

中层气象条件与强对流的关系

中层干燥度对超级单体雷暴形态和演变的影响 I : 模拟结果 ·····	段 旭、赵秀英、郭 虎、吴宝俊(18)
中层干燥度对超级单体雷暴形态和演变的影响 II : 轨迹分析和敏感性试验 ·····	赵秀英、段 旭、孟遂珍、孔燕燕(28)
中层风在低层中气旋维持与演变中的作用 ·····	赵秀英、何财福、许爱华、吴宝俊(35)
低层中气旋生成与龙卷中气旋环境场预报·····	许 彬、彭治班、何财福、张纪淮(44)

深对流与长寿对流

深对流的诊断和预报·····	刘健文、彭治班、时少英、孔燕燕(50)
Misumi 等对长寿对流单体形成过程的模拟结果 ·····	彭治班、李耀东、沈建国、李 柏(58)
对流有效位能和热带深对流的关系·····	邵明轩、邓长菊、徐 芳、吴宝俊(69)
粗理查逊数切变等参数与长寿弓状回波的关系 ·····	任荣彩、田利庆、周小刚、吴宝俊(74)

条件性对称不稳定

离心不稳定与离心对流·····	彭治班、姚秀萍、沈建国、吴宝俊(79)
EPV 平面图制作方法及应用示例 ·····	焦热光、郭 虎、孔燕燕、吴宝俊(84)

CAPE 与 CIN

与 CAPE 计算有关的几个问题 ·····	孙继松、赵秀英、李晓艳、吴宝俊(89)
虚温订正对 CAPE 计算的影响 ·····	廖晓农、李晓艳、赵秀英、吴宝俊(96)
相当位温的一种计算方法 ·····	郭 虎、朱平盛、彭治班、时少英(103)
NCAPE —— 归一化对流有效位能 ·····	彭治班、周小刚、孟遂珍、吴宝俊(111)
关于 CIN 的一次观测分析与数值模拟·····	李一平、赵秀英、孔燕燕、吴学宏(116)
作为热机的自然对流: CAPE 理论 ·····	彭治班、李晓东、刘健文、吴宝俊(123)

密度温度及其应用示例 彭治班、周小刚、吴宝俊、游性恬(136)

干侵入与对流下沉运动

干侵入在温带气旋发展中的作用 姚秀萍、于玉斌、杨耀芳(141)

干侵入在快速发展气旋中的作用 于玉斌、那济海、姚秀萍(146)

冷锋及其降水结构的演变特征 孙 军、姚秀萍、于玉斌(151)

对流层顶折叠结构及演变的数值模拟 薛春芳、姚秀萍、于玉斌、杜继稳(155)

中气旋内干侵入的重要性 于玉斌、姚秀萍、王荣华、杨耀芳(160)

锋面气旋的中尺度结构和演变 于玉斌、徐怀刚、姚秀萍(164)

对流下沉运动与下沉对流有效位能(DCAPE)
..... 李耀东、赵秀英、吴宝俊、张方友(170)

暴雨洪发展中下曳气流作用的数值模拟 姚秀萍、于玉斌、李 柏(176)

天气雷达

WSR-88D 对美国强风暴监测及预警的改进 赵秀英、任荣彩、徐宝新、吴宝俊(181)

冰雹生成区探测算法介绍 许爱华、潘进军、罗伯良、吴宝俊(186)

伴随方法在反演多普勒雷达资料中的应用 徐双柱、赵秀英、杨宏青、邓秋华(191)

八种防雹播撒标准的对比研究 张爱华、杨晓霞、柳 林、孔燕燕(198)

螺旋度、粗理查逊数与粗理查逊切变

与SRH计算有关的几个问题 孔燕燕、赵秀英、段 丽、李 平(202)

风暴前SRH的一种演变特点 刘正奇、时少英、李 津、徐玉强(207)

螺旋度与温度平流的关系 苏立娟、时少英、孙景兰、张 方(211)

BRNSHR在分辨龙卷、非龙卷超单中的应用
..... 任荣彩、田利庆、周小刚、吴宝俊(214)

介绍一个简化的粗理查逊数(SBRN) 贺业坤、张爱华、朱平盛、杨晓霞(221)

BRNSHR辨识强对流风暴类型的能力 孔燕燕、时少英、彭治班、吴宝俊(225)

雷暴谱

超级单体谱及其在业务预报中的应用 周小刚、刘玉玲、刘健文、赵秀英(232)

冷区高架强雷暴分析的初步结果 李一平、赵秀英、刘素芳、杨晓霞(241)

一次微型超单的数值模拟研究 段 丽、彭治班、冯桂力、吴宝俊(246)

瑞士中部的左移强雹暴 廖晓农、杨 洁、刘新元、李 君(251)

资料及其处理方法

介绍邻(临)近探空的两种选取方法 朱平盛、田宜泉、周小刚、贺 哲(255)

探空资料导出之参数的一些气候学特征 赵秀英、周小刚、夏福华、柳 林(261)

雹情资料收集、统计分析方法举例 雷振发、赵秀英、杨继昌、张连强(272)

龙卷环境中SRW的一些统计特征 郭 虎、廖晓农、赵秀英、吴宝俊(275)

第二部分 预报方法

预报流程及预报方法

决策树与数值预报产品结合制作雷暴预报	廖晓农、郭 虎、时少英、吴宝俊(285)
预报雷暴需要考虑的几个问题	郭 虎、时少英、赵秀英、孔燕燕(294)
NSSFC 的强局地风暴预报方法	刘健文、赵秀英、郭 虎、孔燕燕(306)
用回归方程预报雷暴强度方法举例	石增云、廖晓农、相秀珍、王荣华(316)
龙卷强度的一种统计预报方法	杨晓霞、张爱华、赵秀英、程玉芹(321)
瑞士新雷暴预报指数介绍	廖晓农、邓长菊、柳 林、卢兆民(326)
流泄气流与瑞士山脉附近强风暴关系的分析	任荣彩、徐宝新、孟遂珍、姜冬梅(330)
风暴强度指数(SSI)	赵秀英、田宜泉、吴宝俊、徐玉强(335)
介绍一个新引入的对流触发函数	田利庆、任荣彩、李晓东、赵秀英(340)

数值预报产品释用方法

中尺度模式输出参数在分辨龙卷与非龙卷雷暴中的应用	任荣彩、田利庆、彭治班、柳 林(345)
用逐时模式生成探空预报对流天气的尝试	郭 虎、时少英、彭治班、崔春光(348)
逐时模式生成探空在湍流预报中的试验情况	时少英、郭 虎、李 津、李秀连(354)
逐时模式生成探空在大雾等预报中的应用	时少英、徐玉强、陈书玲、乔旭霞(358)
加拿大气象中心强天气预报指导产品	徐玉强、郝学军、彭治班、李秀连(364)

雷暴大风

WINDEX —— 预报下击暴流潜势的一个新指数	胡 欣、赵秀英、朱立亚、吴宝俊(370)
NSSFC 的雷暴大风预报方法	刘健文、彭治班、郭 虎、孔燕燕(378)
日本下击暴流气候学研究简介	魏玉蓉、郝 璐、孔燕燕、赵秀英(383)
一次强微下击暴流的无人探测飞机观测	段 旭、赵秀英、周小刚、张连强(388)

对大雹事件的一些研究

美国大雹事件的时空分布特征	刘玉玲、赵秀英、孔燕燕、张方友(392)
美国大雹事件的天气型和环境条件	刘玉玲、孟遂珍、赵秀英、孔燕燕(395)
中欧地区降雹临近预报方法	刘子英、张少文、孔燕燕、徐玉强(403)
与冰雹形成有关的中气旋的若干特征	刘健文、王洪芳、孔燕燕、吴宝俊(408)

第一部分

分析预报基础

美国 SELS 近 25 年强局地 风暴预报的进展

彭治班¹ 王荣华² 刘健文² 吴宝俊¹

1 (中国气象科学研究院, 北京 100081)

2 (空军航空气象研究所, 北京 100085)

摘 要: 最近(1999 年)Ostby 撰文介绍了强局地风暴室(SELS)近 25 年来在气象诊断及预报方法、日常业务程序以及计算机系统方面发生的巨大变化。本文对 Ostby 的文章进行了介绍。

关键词: 强局地风暴 预报方法 计算机 业务程序

1 引 言

强局地风暴室(SELS)1954 年初建于密苏里州堪萨斯城,负责制作美国大陆 48 个州的强局地风暴预报。1995 年成为风暴预报中心(SPC)的一部分,仍设在堪萨斯城,直到 1997 年搬到俄克拉何马州的诺曼。在堪萨斯的 43 年间,在预报产品、计算机系统及人员方面发生了巨大变化。最近,Ostby(下称 O99)^[1]回顾了从 20 世纪 70 年代到 90 年代,SELS 强局地风暴预报应用的工具、预报方法、预报准确率等方面的进展。

SELS 的主要任务是,当预报员认为在某一特定地理区域(一般是 65000km²)可能出现强对流时,发布龙卷或强雷暴监测。这些监测通常在发布后 1 小时左右生效,并集中在监测未来头 2~7 小时时段内的形势发展。监测过程对支持国家天气局(NWS)强天气警报计划起了重要作用。

作为监测过程的一部分,强对流预报的第一步,定期发布未来 24~48 小时的对流展望。展望的目的是划出可能发生强对流而需要进一步监测的区域。早期,在 2 月 1 日~9 月 1 日每天仅有 2 次例行展望,1930UTC 进行一次订正。80 年代初到 90 年代初,随着计算能力的加强,增加了对流展望发布的次数并增添了新的预报产品。

这些年来,SELS 内部分工发生了几次变化。但每一班基本上由一个领班预报员和两个助理预报员组成。领班预报员主要负责确定是否可能出现强对流,并在需要时发布强天气监测,还负责全班的管理工作。助理预报员主要负责处理大部分对流展望及发布监测报告的记录和档案等办公室工作。1988 年增添了一名中尺度气象学家,其主要任务是向用户提供对流活动可能发生的信息和指出哪里是需要加强监测的“热点”。

2 计算机的应用

2.1 计算机系统

20 世纪 70 年代初 NSSFC 的主要计算机系统是一台 CDC3100。它是 SELS 所有的计算机

业务的支柱(也为 NSSFC 其他单位及有关组织服务)。

1978 年此系统最终由一台 DGs/230 替代,它作为自动化外场业务服务(AFOS)系统的一部分,从 AFOS 获得资料。CRT 变成主要的输入/输出装置,代替了卡片和纸带阅读机。DGs/230 的安装缓和了 CDC3100 接近饱和的状态。由于监测传输过程中不再需要穿孔纸带,业务活动也有些改进。但是暂时还要手工记录报告、翻阅查找地理位置表等耗时的工序。

80 年代初,NWS 的 AFOS 以更便捷的方式向 SELS 预报员提供气象资料,但还缺少交互能力。尽管当时某些卫星、雷达和传统资料能更及时地传送到 SELS 预报员手中,但是还没有办法将各种来源的资料结合或叠加到一起。这个问题最终已通过交互计算机技术解决。

2.2 计算机交互技术

1978 年,随着远程联接人-机交互数据存取系统(McIDAS)的安装,NSSFC 有了第一台交互式计算机装置。由于此系统能迅速获取卫星信息并实时进行资料分析和相互比较,所以非常适用于强天气预报。1980 年 3 月,在堪萨斯城设了一个远程终端,通过 9600 波特电话与 SSEC McIDAS^[2]连接。随后,在 1982 年建立了一个独立的风暴信息集中系统(CSIS)。这个系统的硬件包括:一套地球静止业务环境卫星(GOES)接收天线系统、3 台 Harris/6 计算机、3 个交互终端、一个 FAA“604”观测资料输入设备、2 部接收天气雷达资料的自动转换器,和一个 NSSFC MV 计算机系统界面。这个系统的安装使用,代表着对不同来源的实时资料的处理、分析、相互比较、显示系统开发的巨大进展。还提出了用键击(Keystroke)或鼠标操纵绘制监测边界,并显示在选定的地理背景(如卫星图像或雷达拼图)上。

NSSFC 交互计算机处理能力的另一项提高是大气探测(VAS)资料利用中心(VDUC)1991 年完成的可见光和红外自旋扫描辐射仪(VISSR)。该中心利用一套 IBM 计算机系统替代了前述的 CSIS 的许多功能^[3]。SELS 预报员现在可以实时地将卫星、雷达及常规资料合成、显示在同一个计算机屏幕上^[4]。由于 VDOC 处理能力强,可提供大量中尺度的物理量场和参数^[5]。像 CAPE 及风切变^①-浮力能等一些重要的参数^[6],相互作用的斜交 $T-\log p$ 图分析^[7],还有改进的可视化(Visualization)技术^[8]都能运用。另外,已经获取的新资料集包括:廓线仪^[9]、闪电探测网观测资料^[10]及为业务使用的合成雷达资料。预报员可利用这些资料修正探测资料,以说明风暴环境中预期的时空变化原因。

对于各个对流参数,不仅可以用初始分析资料很容易地计算出,还可以使用各种预报时效的预报模式输出资料计算出,使它们成为更有力的工具。接收快速、应答及时、可视化程度高和诊断程序先进,为 SELS 预报员提供了做出及时而准确的强天气监测所需的条件和机会。

1995 年初在 NSSFC 又安装了一套计算机系统,这套计算机系统装有 NCEP 先进的天气交互处理系统(N-AWIPS)^[12],增加了实时模式资料部分,具有 VDOC 的某些能力。虽然当时(1998 年)该系统主要用于天气尺度预报,但是,计划要求将来升级,更多地应用到中尺度预报中^[13]。

3 气象学方面的进步

SELS 在预报强对流的方法方面有两个主要的改进。其一是,从主要依靠经验方法转移到把重点放在物理过程方面。其二是,认识到预报的改进需要着重于中尺度过程的作用以及如何应用这些知识。

① 该文中的“风切变”均指“垂直风切变”

另一个重要进步是注意到急流对强对流发展的作用。Beebe 和 Bates^[14]假定,伴随有相交的急流叠加的散度场可能与释放位势不稳定能量所必需的上升运动有关。Uccellini 和 Johnson^[15]还研究用水平非地转分量的大小来估算与急流有关的垂直运动。准地转 Q 矢量分析^[16]应用到原始资料和预报模式输出资料,以更好地研究和显示这些作用^[17]。Hales 等^[18]计算了准地转 Q 矢量,并全面考察了急流环流,评估了 1994 年 3 月 27 日龙卷爆发的高层动力学作用。

随着计算机处理能力的提高,现在有可能将中尺度研究中的各种发现和强对流天气的概念模型用于改进监测警报方法。值得注意的是,近年来已经清楚地认识到超级单体(以长寿中气旋为特征)的重要性^[19]。在美国,强对流的预报实际上是大量的超级单体(其中包括频繁引发灾难的强龙卷)的预报^[20]。NSSF 整编的资料显示,1980~1991 年,龙卷灾害 614 次,其中 93% 是 F2~F5 级龙卷造成的^[21]。Hales^[22]指出,1952~1995 年,F3~F5 级龙卷(称为强龙卷)虽然只占美国所有龙卷的 7%,但是所造成的损失却占有龙卷灾害的 90% 左右。

近年来,强对流预报较有希望的方法之一,是用粗理查逊数(BRN)来描述风暴类型与垂直风切变、浮力之间的关系^[23]。粗理查逊数就是使用稳定度、垂直风切变与中气旋生和龙卷生有关的参数的一种组合。对一系列风暴的模拟结果和 BRN 计算结果显示,当 $BRN > 30$ 时,多单体易发展;当 BRN 为 10~40 时,超级单体易发展。

高空风分析图是估算风切变时的一个重要工具。有人指出,在超级单体发展时,经常观测到强垂直风切变^[24]。许多研究使用垂直切变和稳定度的各种组合,如风暴相对螺旋度(SRH)^①与 $CAPE$ 、 BRN 以及能量-螺旋度指数(EHI)等一些较常见的参数^[6,25~29]。近年来,SELS 业务预报中引入了这些参数的变种,并取得了应用的成功^[29]。但是,因为龙卷的环境变化范围从高能-低切变到低能-高切变^[28,29],因而,分辨龙卷和非龙卷超级单体还存在一定的难度。

近年来,主要的重点是发展概念模型和数值模拟,以解决区别龙卷雷暴和非龙卷雷暴环境的不确定性^[28,30,31]。应用这些概念模型对有名的强天气进行了详细的个例研究,其中包括 1990 年 8 月 28 日 Plainfield 龙卷^[32],1992 年 11 月 21~22 日的强天气^[33]和 1994 年 3 月 27 日的龙卷^[18]。

Johns 和 Hart^[34]注意到了辨别产生龙卷的和产生强雷暴的预报问题(例如,弓状回波等)。由于这涉及到做出是发布龙卷监测还是强雷暴监测的决策过程,因而在业务上很重要。如 Johns 提出的^[35],在美国由弓状回波诱发的下击暴流,造成大量人员伤亡和灾害,是非龙卷对流所致。这些弓状回波事件经常与大范围的风灾有关。Stensrud 等^[31]对 9 个强天气事件进行中尺度模式运算,用 $CAPE$, SRH , BRN 评价模式区分龙卷事件与非龙卷事件(弓状回波或直线传播的风灾)的能力,得到了令人鼓舞的结果。Brooks 和 Doswell^[28]使用邻(临)近的探空资料,研究了龙卷超级单体与非龙卷超级单体中气旋的环境。

Thompson^[36]沿 Davies-Jones 和 Brooks^[37]的方向,着重研究了持续低层中气旋(具有龙卷超级单体)的概念模型,并应用到业务使用的 η 模式资料中。虽然模式的水平分辨率只有 80km^[38],而且采用的常规等压面资料估计风暴相对风,但其结果还是令人满意的。Thompson^[36]还提出了怎样才能在业务环境中使用此技术。

① Markowski 与 Straka(1998,下称 MS98)认为:在 SRH 这个词中加入“环境”一词后,使得 SRH 的定义显得模棱两可。因此,MS98 采用风暴相对螺旋度(SRH)这个术语,而不采用“风暴环境相对螺旋度。”详见 Markowski, P. M., and J. M. Straka, 1998: Variability of Storm-Relative Helicity during VORTEX, Mon. Wea. Rev., 126:2959~2971.

4 日常业务程序的改进

4.1 气象诊断

用 20 世纪 90 年代的标准来看,70 年代初期 SELS 预报员得到的气象信息是相当原始和贫乏的。

90 年代已大大改变。强天气预报员可以用交互计算机进行适当地处理,从无数的产品中选其所需。在日常工作中可以快速得到卫星图像和雷达拼图显示,并进行叠加和比较。另外,从计算机屏幕上显示各种产品(诸如,抬升指数、水汽通量辐合、数值模式输出产品及各种垂直风切变/稳定度估算),可以快速地想像和了解强对流发展的重要物理过程。计算机分析得出如斜交 $T - \log p$ 等热力图解,及 $CAPE$ 、风暴相对螺旋度等大量信息。

SELS 预报员可使用主用户处理器直通电话,得到美国各地的所有 WSR-88D 的资料。WSR-88D 的另一种非常有用的工具是速度-方位角显示系统(VAD)演算风廓线^[39]。例如,应用时间上最临近的 VAD 廓线,预报员可以很容易地估算出近实时的 SRH ,用来评价超级单体的潜势。

许多文案工作的技术进步和自动化,使 SELS 预报员将精力集中于预报过程,也为增加更多的预报产品(包括给 NWS 外场办公室和其他用户更详细的指导信息)创造了条件。对流展望从 20 世纪 70 年代的每天发两次,增加到 90 年代的每天发 4 次并视需要进行订正。另外,从 1986 年起增加第二天的展望和中尺度讨论产品。值得注意的是,90 年代与 70 年代的对流展望的气象内容的变化。对用户来说,90 年代的展望传达了更多更有用的天气尺度和中尺度信息。因而,由于能提供一套预报产品,使用户更了解强天气潜势及得出预报的依据,而获得了巨大的效益。此过程中也促进了 NWS 外场办公室之间的预报协作。

4.2 监测制作和分发

20 世纪 70 年代,当 SELS 预报员确定了可能出现强局地风暴以后,要在地图上绘出监测区的轮廓,并用文字打印出,最后再分发出去。

90 年代大有改变。现在(指 1999 年)在计算机屏幕上,简单地用鼠标即可划出监测区。通过多次操作,仔细推敲,重构监测边界,得到一组新的描述参数(即用城市名字及其经纬度表示的监测终点的位置)。预报员对监测位置满意了,就自动将参数输送到 PC 机上,通过驱动 PC 程序菜单分发监测内容,提供必要的信息。

4.3 资料的归档

归档的资料主要有两类:监测的信息和强天气事件。到 20 世纪 90 年代,前者已完全自动化了,而强天气事件记录实现了半自动化。由当地工作人员做的 NWS 当地风暴报告(LSR),由计算机自动汇编归档。以前由人工制作的日志及强天气活动图,90 年代都由计算机制作。

5 预报的改进

5.1 探索性研究

这些年来,由于技术的进步,SELS 预报员对天气尺度和中尺度天气的认识都有很大的进步,熟练的强风暴预报员获得了不可估量的丰富经验^[4]。另外,由于工作效率提高,有更多的时间进行强局地天气预报问题的研究。研究内容是多种多样的,主要内容有两个。其一是进一步研究与强天气预报有关的中尺度过程;其二,研究改进南部平原(那里有许多成熟的强天气预报技术)以外地区的预报^[40]。例如,南部平原上各种龙卷爆发或特强风暴事件的个例研

究^[41~44,18]。研究的热点是与热带气旋有关的龙卷^[45~47]、西北气流和 Derechos^[48~50]、弓状回波^[35]、冬季龙卷^[51]、冷区高架强雷暴^[52]、风暴相对螺旋度^[53,36]及与边界层有关的龙卷^[54]。改进强天气研究和预报所涉及的地域包括洛杉矶盆地^[55]、北达科他^[56]、西北部^[57]、东南部^[58]、东北部^[59]。

5.2 监测概率

对 SELS 发布的强天气监测进行统计检验显示,1973~1996 年预报准确率有很大的提高。图 1 给出了 1973~1996 年预报准确率(COR)和检测概率(POD)。如果在监测有效时间内出现一个或几个龙卷或强雷暴,则认为强天气监测是正确的。如图 1 所示,1973 到 1996 年,强天气监测准确率从 63%提高到 90%。POD 是发生在有效监测时间内的强天气事件的百分率。由图 1 可见,1973 年发生在有效监测时间内的强天气事件只占有所有强天气事件的 30%,而到 1996 年,POD 提高了一倍多,发生在监测有效期内的强天气事件为 66%。

强局地风暴对人们生命和财产有很大威胁,根据 Fujita 分级^[60],“强”龙卷是 F2 到 F5 级,造成每年灾害最大,死亡最多的都是由龙卷造成的。因此,及时地监测“强”龙卷是相当重要的。图 2 给出了 1978~1996 年发生在龙卷监测、强雷暴监测及所有监测期内的 F2~F5 级龙卷百分比。图 2 揭示出在 1978 年出现在有效监测期内的 F2~F5 级龙卷仅占 42%。到 1995 年上升到 95%。图 2 还显示出相当多的预报员有能力区别出龙卷的和强雷暴的形势。例如,1996 年,龙卷监测期间有 72%的“重大”龙卷发生,而在强雷暴监测期间仅有 13%的 F2~F5 级龙卷发生。

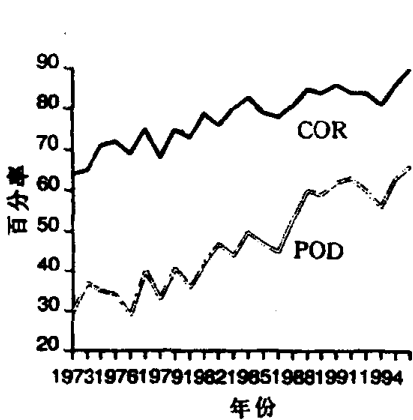


图 1 1973~1996 年 SELS 强天气监测检验结果
上面的曲线表示准确率(%,COR),
下面的曲线表示检测概率(POD)

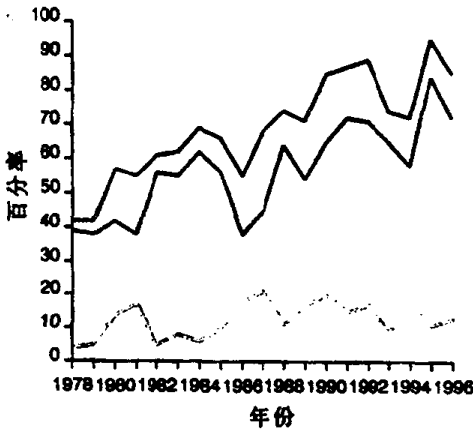


图 2 1978~1996 年 SELS 强天气监测期间出现 F2~F5 级龙卷的百分率
图中曲线由下向上分别为强雷暴监测期间、龙卷监测期间、强雷暴和龙卷监测期间出现 F2~F5 级龙卷的百分率

6 小 结

美国近二十多年,龙卷和强雷暴预报和监测方面取得了巨大进展。预报方法从以经验预报方法为主到主要以物理因子为基础,随着交互计算机处理能力的出现,预报员评估强对流天气出现可能性的准确率有很大的提高。办公室自动化的发展,使预报员有更多的时间考虑预报,还可以花更多的时间投入有关的研究计划,从深刻理解中尺度过程的显著进展中吸取裨益,使