

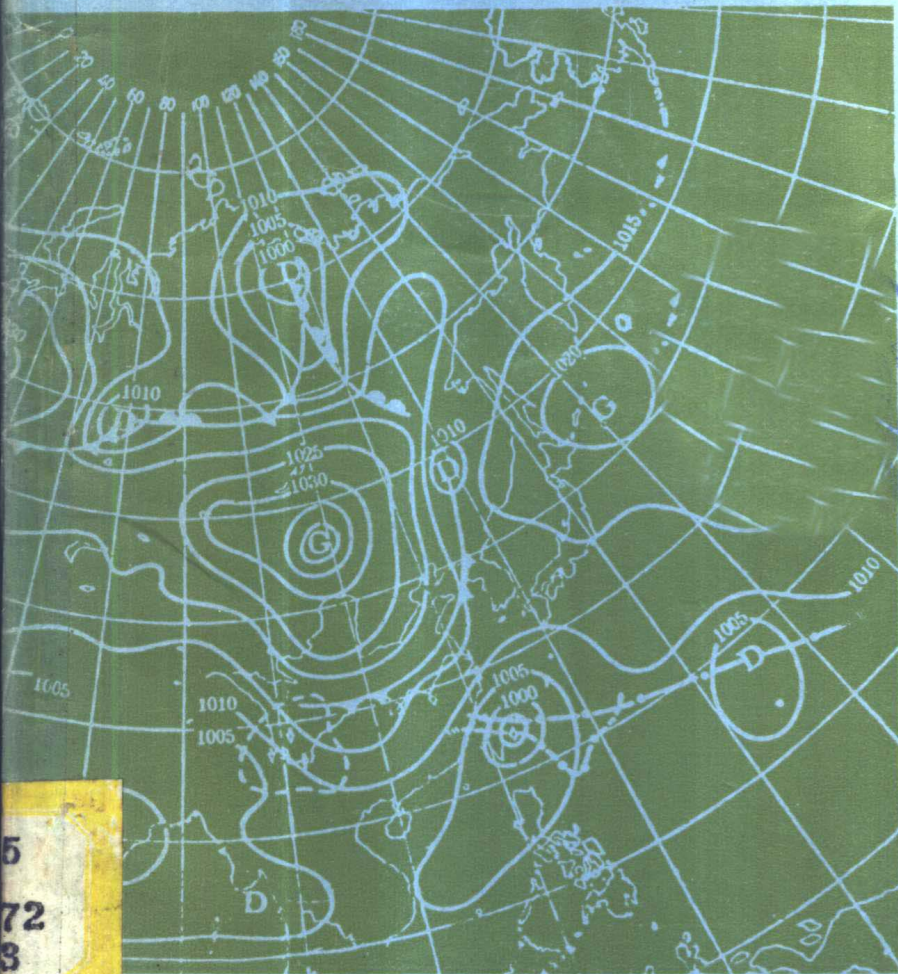
797515

3275

23872

1983

台風会议文集



1983

5
72
3

797515

3275

23872

1983

台风会议文集

(1983)

上海科学技术出版社

.....
gur
r the
heng
thod
ngq
ack
.....
uar
r the
ocht
a Se
juar
nhu
lysi
shen
.....
gyur
.....
Ping
roon
hang
t.....
nexi
a Se
oggu
.....
g We
eavy
.....
ngxi
zho
lifang
rular
id th
.....
iula
in th
igan

台风会议文集

(1983)

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 20 字数 479,000

1986 年 10 月第 1 版 1986 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—1,000

统一书号: 13119·1361 定价: 4.50 元

前 言

全国台风学术交流会于1983年10月22~27日在安徽省黄山召开。会议的主要任务是讨论“六五”计划期间五个重点课题研究计划的执行及落实情况,并着重对1981年以来全国台风协作的研究成果进行学术交流。早在会前的7月底,技术组就对来稿进行评审,编辑了《1983年台风会议文摘预印本》。会议共收到论文139篇,选择了有代表性的89篇在会上进行了交流,最后精选了40篇汇编成这本文集。

和过去相比,这次论文的内容更加广泛全面,丰富多采,某些薄弱环节有所加强,水平也较过去为高。具体表现在:(1)天气动力学分析、数值预报、数值模拟等方面的文章大幅度增加。这表明我国的台风基础理论研究正在迎头赶上。(2)台风暴潮的研究,开始受到重视,研究的海域范围以长江口为中心,北起山东半岛,南到台湾海峡,进展较快。(3)台风路径客观预报方法在原来的基础上,作了扬长避短的改进。开展了复合统计模式的试验研究,建立了西北太平洋的气候持续方法,预报趋势日趋稳定,预报水平也有所提高。(4)疑难台风路径,由于集中力量对双台风和近海路径突变的台风进行了研究,发现了一些新事实,得出了不少可供预报参考的诊断条件。(5)台风发生发展,过去以天气学分析为主,现在朝着天气与动力学相结合的方向发展,同时也在客观预报方法上作试探性的研究。(6)台风暴雨一直是台风预报上的难点,近年的工作已向客观化、物理化方面迈进了一大步。(7)卫星云图在台风定位、发生发展、暴雨等诊断方面的应用研究更加广泛和深入。(8)另外,许多基层台站和科研部门提供了相当数量和行之有效的诊断与预报工具,在服务上取得了一定的经济效益和社会效益。这一切都标志着我国台风科研工作进入了一个新阶段,台风科研工作正在蓬勃地向前发展。

大气科学和物理学一样,具有实验科学、理论科学和应用科学的三重属性。它们是互相关连,互相依存和互相促进的。在我们这次论文中充分显示了这一点。从七十年代初的十多年来,我国台风科研和业务工作者在党的领导下,采用协作的方式,彼此取长补短,相互学习,相互支持,携手合作,并肩前进,取得一些成果。我们这本文集可以说是多年科研协作的宝贵记录之一,它不仅为“六五”台风研究计划的执行提供了丰富经验,也将为“七五”计划的拟定提供有益的线索。

全国台风科研协作技术组

目 录

一九八三年全国台风学术交流会议技术总结	全国台风科研协作技术组	(1)
一种台风生成的数值模拟研究	李崇银	(5)
惯性稳定度、层结稳定度对台风发展的影响	刘式适 倪秉健	(13)
8211 台风的诊断分析	肖文俊 杨大升 谢安 黄建平	(23)
南海台风的结构及其与西太平洋台风的比较	梁必骥 邹美恩 李少群	(39)
对 1981 年台风形成发展与赤道西风关系的初步分析	李曾中	(49)
7908 号台风发展过程中高低空急流作用的分析	王荣跃 沈家宜	(62)
近三十年台风发生发展的气候分析	王雷 李志红	(70)
折向参数变化与台风流出层不对称流场的关系	茅德健	(78)
西北太平洋 MAM ₈₁ 台风模式的业务预报试验	王继志	(84)
台风中螺旋云带数值模拟的初步结果	张铭 曾庆存	(92)
台风爆发性发展的数值模拟实验	张铭 曾庆存	(101)
8211 号台风路径的数值预报和数值试验	王达文 胡国庆 周晓珊	(107)
数值预报台风中心客观定位方法的探讨	王达文 王述舜 杨家全	(114)
一种台风路径数值预报方法的试验	邬宗汉 刘孝麟 朱云桂 王彰贵	(120)
台风路径套网格模式的变更方案及其在一九八二年台风业务试验期的 应用	丁荣富 朱永祺	(126)
对双台风移动的因子分析和统计预报方法	邱君瑞 金结莲 王道钰	(130)
复数逐步回归与台风路径预报	尹宏 贾朋群	(135)
西北太平洋台风路径统计预报 83 年改进方案	金一鸣 蔡金祥 刘宁生	(143)
用完全预报法作台风影响的中期预告	俞炳启	(153)
模糊数学在台风路径预报中的应用及其与回归方法的比较	潘小凡 王炳泉	(157)
台风路径预报的一种复合统计模式	丁长根 沈玉清 栾宝储	(161)
预报南海热带气旋的综合客观方案	谢玲娟	(170)
用距平曲线图作台风暴雨预报	李汉惠	(178)
登陆台风结构不对称性和台风路径——分析 7504 号台风及其路径	滕星林 张学圣	(181)
我国近海台风移向明显西折的初步分析	阮均石 王庆云	(189)
西太平洋双台风的互旋作用	唐东昇 朱平	(197)
东海近海台风后期路径趋势的分析和诊断	束家鑫 徐叔章	(205)
f 效应和赤道高压对台风移动的影响	钮学新	(213)
过渡季节冷空气和南海台风路径	吴兴国	(219)
台风外围低空急流成因的研究	陈士仁 章玮	(224)
台风倒槽暴雨过程的压能、湿焔场分析	励申申 寿绍文 赵景霞	(232)

影响徐州地区的台风路径和台风降水的初步判断	张成源	蔡惠芳	(240)		
台风倒槽暴雨的综合分析	李玉兰		(246)		
中空强风轴和台风倒槽内诱生低压关系的探讨	唐章敏	金秀兰	(253)		
台风环流中几种动力类型的暴雨分析和预报	朱良富	杨志刚	(264)		
能量锋生及台风倒槽前部暴雨	谢重阳		(273)		
长江三角洲地区台风倒槽暴雨的诊断分析	汪尧昌	林友玲	陆亚龙	金结莲	(278)
江浙沿海台风暴潮的数值模拟	陈长胜	秦曾灏		(285)	
上海吴淞口台风增水的分析和预报	周正强		(296)		
应用卫星云图进行台风定位	姚祖庆	朱翠英	赖振成	(304)	

一九八三年全国台风学术交流 会议技术总结

全国台风科研协作技术组*

1983年全国台风学术交流会议于10月22日至27日在黄山召开。这次会议共收到研究论文139篇。这次学术报告内容丰富、水平较高。反映了近年来在台风研究中不仅做了很多有应用价值的工作,也做了不少探讨基础理论方面的工作,出现了应用研究和理论研究并重的局面。

为开阔科研思路,了解台风及其它有关课题在国内外新的进展与动态,会上共有9篇专题邀请报告,陶诗言、黄士松分别报告了五年来我国季风研究的进展以及低纬环流的中期变化与台风活动的关系。他们指出,季风的强弱(关系到ITCZ的强弱)和副高的中期变化对台风中期活动规律的研究与预报甚为重要。东亚季风以及索马里急流的中期振荡有可能成为预告台风中期活动的着眼点。金汉良介绍了国外新近总结的飓风三维结构,并概述了飓风数值模拟的进展状况。杨大升、陈秋士、李崇银和许健民等分别介绍和评述了积云对流质量通量的计算方法,凝结加热计算方法的发展历史,CISK理论的发展和应用,以及台风中的角动量流对风暴初期发展的重要性。包澄澜报告了使用卫星云图、高空风资料作台风路径预报的经验。费亮介绍了热带气旋的监测系统和各种定位方法(飞机、雷达、卫星等)的误差情况。这些报告受到了与会者的欢迎。

过去两年内,台风科研工作取得了可喜的进展。沿海气象台站和有关院校、科研部门参照“六五”期间台风科研规划的课题作了许多应用性和理论性的工作。现根据这次会议上提出的报告,概括地分述如下:

一、疑难台风路径的研究

不少论文继续对为数不多,预报困难的台风路径作了较深入的研究,为预报提供参考性的诊断条件。阮均石、唐东昇等分析了西太平洋双台风的互旋作用,得出互旋角大小与两台风间距有关。滕星林、张学圣通过对7504号台风的研究,认为该台风在江西境内打转是由台风结构的不对称性引起的。钮学新讨论了赤道高压和折向参数效应(台风南北两侧的纬度差)对台风非正常移动所起的作用。刘伯汉认为,南海疑难台风路径多出现在两支气流交汇或气流有辐散辐合的地带。韦有暹等对疑难台风作了气候统计分析。束家鑫、吴中海注意到,当环境形势与气候平均形势出现较大差异(主要是副高形势的差异)时可能出现路径异常,而环境流场出现短期变动时就会造成路径的局部特殊性。

* 执笔人王志烈、金汉良。

二、台风的发生发展

近年来我国台风发生发展的分析研究和理论研究都取得了一定的成果。刘式适等讨论了台风发展的热力学和动力学条件,指出流场的惯性稳定度和位温场的层结稳定度共同影响着台风的发展或衰减。刘月贞、丁一汇等提出,台风迅速发展的重要条件是高空强加热中心的形成,它的形成是大尺度和积云对流凝结加热两者共同作用的结果。林有任等证实近海台风半径小于台风域的特征水平尺度时,高度场向热成风场适应的过程可以影响台风的发展,并指出台风及其邻域内的热成风涡度平衡值的分布,对未来24小时内台风的发展趋势具有预示意义。王佑之等充分利用非常规资料分析了1981年南海热带低压的发展,指出热带对流圈高空槽西侧的冷涡对南海台风生成有密切关系。但它的具体作用尚待进一步研究。梁必骥等则指出,发展的南海热带低压有一深厚的正涡度累积层,散度场有明显的东西不对称性;而不发展的低压相反。吴志伟讨论了东海近海台风发生发展独特的气候背景,并注意到距离大陆远近的不同海域对台风发生发展的影响存在着显著的区别。汪尧昌通过对8010号台风的分析,认为太平洋副高西部边缘的扰动(副热带云团)在中纬度西风槽东移作用下也能发展成台风。许健民等注意到台风外流层200毫巴上的环流特征对台风的发生发展有很大影响的事实,试用统计预报方法将200毫巴环流的一些特征量作为因子,对未来12和24小时台风强度变化作出预报。

三、台风暴雨和风暴潮的研究

这段时期,台风暴雨研究的重点是华东北部台风倒槽暴雨。唐章敏等揭示了对流层中部一支南到西南风的强风轴对倒槽内诱生低压的发展和移动起着制约作用,并归纳出诱生低压的短期预报流程。他们还分析了中纬度中层低涡与台风共同作用所造成的暴雨过程。李玉兰指出,台风登陆后内部结构的不对称性是台风倒槽形成的初始条件,台风东侧东南气流的向西传播和加强则与倒槽的形成有着密切关系。励申申、寿绍文等对倒槽暴雨过程的压能、湿焔场等作了分析,得出850毫巴上的强湿焔平流区与倒槽暴雨区有很好的对应关系。汪尧昌、林友玲等研究了长江三角洲地区的倒槽暴雨,得出可供业务预报参考的判据。朱良富、杨志刚应用热成风调整原理,对影响山东的暴雨系统进行了分析,发现热成风急流和低空急流的配置与暴雨落区有较好的关系。此外,赵亚民讨论了台风环境云场中的尾随云系所引起的台风域外的暴雨情况。陈士仁等讨论了台风外围低空急流的成因,认为变高梯度、动能位能之间的转换以及风场铅直切变对该急流的形成和维持起着重要作用。

台风风暴潮问题也受到了重视。研究的地域范围以长江口为中心,北起山东半岛,南到台湾海峡的黄海和东海海域。秦曾灏等从二维控制方程组出发数值模拟了三类不同路径的台风风暴潮,并对台风风暴潮过程作了动力学成因分析。吴辉碇等对8114号台风系统引起的黄、东海广阔海域的风暴潮作了初步的数值模拟试验。刘科成、周正强、林勋励等对上海港、长江口区的台风风暴潮作了统计分析,探讨了形成机制,建立了统计预报关系式。

四、台风路径的客观预报方法

十多年来我国台风路径的客观预报方法研究已有较好的基础。根据这次提供的研究报告来看,近二年不仅对原有方法作了不同程度的改进,还出现了由几个子方法集成的综合统计模式和引进了新的数学模型的统计方案。如丁长根、沈玉清和栾宝储等建立了一个类似于 NHC-73 的复合统计模式,经二年业务使用确有较好的预报效果。继浙江省气象研究所研制的小区域气候持续性模式之后,吴中海、吴天泉和李多武等研制成了西北太平洋区域台风路径的气候持续性模式,也已投入业务试报。金一鸣等对原有台风路径统计预报方案作了预报量和预报因子的双重筛选、初值订正、结果订正等方面的修改,使预报精度有了提高。尹宏试用复随机变量的逐步筛选回归方法进行台风路径预告。王继志将台风移行视为二维概率运动的马尔柯夫过程,每作一步 12 小时预报更新一次预报的起始资料和求解新的转移相似概率。许多单位结合各自实践经验设计了多种形式的从属函数,通过模糊矢量的数学运算试作路径趋势预报。如前所述,台风强度变化的统计回归预报方程已有试用。邱君瑞等还初步研制出一个预报双台风移动路径的客观统计模式。

在数值预报试验方面,朱永禔等提出一个台风路径预报的套网格模式的变更方案,用前一时次粗网格的三层初始方程模式的结果,经适当订正后提供细网格区域的边界值,但目前这种异模式套网格方案的预报效果不够稳定,有待改进。邬宗汉、刘孝麟等设计了一个四重套网格的模式,较好地建立了地方台站数值预报台风路径的一个方案。王达文等利用辽宁的正压数值预告模式进行试验,证实当西风带高压与副高合并时,北上台风才有可能西折影响辽宁。黄成昌等建立了低纬台风路径正压原始方程业务数值预报模式,在业务预报中已使用了二年。上海五层原始方程模式已经进行了为期一年每周二次的台风路径预报的准业务试验。

五、台风数值模拟

我国台风动力学研究的基础不弱;但台风数值模拟,由于受计算条件等方面的限制,工作开展得较迟。在本届会议上,陈秋士等报告了一个较先进的轴对称模式,讨论在大尺度运动影响下所产生的非热成风的启动条件,对台风形成和发展的影响,并试图详细说明重力惯性波的不稳定在台风形成中的作用。李崇银进一步探讨了 CISK 机制。他的理论研究结果表明,积云动量混合作用与 Ekman 抽吸作用是相互促进的,前者可能比后者更为重要。他又用五层轴对称模式研究了二者的共同作用。试验表明,同时引入上两种物理过程所得到的台风,要比只考虑任一种作用所得到的台风更逼近于真实情形,特别是垂直结构。张铭和曾庆存将水汽累积效应参数化,然后用一静力平衡五层轴对称模式来模拟热带低压的发展。他们又用一静力平衡五层准谱模式模拟了台风螺旋云带(以铅直速度的非对称部分表示),初步结果表明,螺旋带上的扰动与典型的重力惯性波有差别,认为是涡旋和波动相互作用的产物。

六、其它

由于各级气象台站业务预报的需要,台风路径的各种经验预报、合成对比分析、气候统

计分析等仍占相当数量,也取得不少成果。气象卫星云图进一步得到广泛运用,内容涉台及风发生发展、台风天气、台风移动和定位等各个方面。限于篇幅,上述这些内容不再一一叙述。

综观这次学术讨论会的活动情况,不难看出,台风科研工作正在蓬勃地向前发展。为使今后台风科研协作取得更大成果,我们建议:(1)继续加强台风动力学和数值预报的研究工作,加强动力学研究和天气学研究的结合,加强基础理论和应用研究的结合。重点研制适用于低纬台风路径预报的模式。(2)统计和统计动力预报方法当前主要问题是模式多,但误差水平比较接近,各个方法本身又时好时差,使预报员参考时产生一定困难,因此今后要注意在目前达到的水平基础上提高,进一步结合实际经验,利用模式输出结果和吸收合适的新数学模型,研制出水平较高的综合模式。(3)疑难台风研究希望各方面通力协作,坚持下去,深入研究引起台风路径突变的物理过程,搞出一批具有先进水平的成果,切实改进这类台风预报的精度。

一种台风生成的数值模拟研究

李 崇 银

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

在一个二维轴对称原始方程模式中,同时考虑 Ekman 抽吸和积云动量铅直输送两种物理过程,模拟了台风的生成和发展过程。数值模拟的结果表明,在模式中同时引入上述两种物理过程,无论“模式台风”的形成还是其结构都要比单独考虑 Ekman 抽吸或积云动量输送作用的结果更接近实际台风。因此,积云动量输送和 Ekman 抽吸通过 CISK 机制对于台风的发生发展起着极为重要的作用。

一、引 言

Charney 等提出的第二类条件不稳定(CISK)概念^[1],较好地从理论上解释了由热带扰动发展为深厚涡旋——台风的动力学机理。CISK 理论考虑了积云对流与天气尺度扰动间的相互促进过程,而系统发展所需要的湿空气则由边界层的摩擦辐合(即 Ekman 抽吸作用)获得,因此,可将其称之为 Ekman-CISK。基于上述理论结果,人们又用数学模式对台风的发生发展进行了数值模拟研究^[2~4],成功地模拟出了台风的发生发展过程和台风的主要结构特征。

近年来的卫星云图分析发现,一些台风也可以由热带云团发展而成^[5],台风辐合气流场的计算又表明,边界层的潮湿空气辐合量并不占绝对优势,900 毫巴层以上的空气辐合量仍有相当大的份量^[6]。因此,除了 Charney 等已注意到的 Ekman 抽吸外,可能还有别的机制促使台风的发生发展。Mak 将积云摩擦(积云动量输送)引入一个简单的理论模式^[7],由于积云动量输送作用,可以在对流层上层引起一个气旋性摩擦矩而在下层引起一个反气旋性摩擦矩,从而低层产生流入气流,高层产生流出气流,即形成垂直二级环流。也就是说,积云动量输送作用同 Ekman 抽吸一样,可以促成积云对流和天气尺度低压扰动间的相互促进的正反馈过程,产生第二类条件不稳定,使台风得以发生发展。

在一个轴对称的原始方程台风模式中,我们单独考虑积云动量输送作用而不计及 Ekman 抽吸,对台风的发生发展进行了数值模拟研究^[8]。数值计算的结果表明,同 Ekman 抽吸作用一样,积云对流加热和积云动量输送使一个弱的低压扰动发展成为台风,而且模式台风的结构比考虑 Ekman 抽吸时更接近实际。但是,模式台风的海平面中心气压偏高,同实际台风有相当差异。

本文将用[8]的同样模式,同时引入积云动量输送和 Ekman 抽吸作用,从一个弱地面低压扰动开始,对台风的发生发展进行数值模拟研究。

二、数学模型

考虑到热带大气中深厚活动性积云的特征, Schneider 和 Lindzen^[3] 假定: 活跃积云在整个环境中只占很小面积, 从而可以把云和环境分别处理; 同时, 云内垂直速度很大, 云中空气在上升过程中将来不及改变自己的速度, 这样可以把云中空气的速度 (V_0) 视为常数。他们用积云摩擦描写积云动量输送作用, 即

$$F_0 = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} [M(\mathbf{V} - \mathbf{V}_0)] \quad (1)$$

其中 M 为积云垂直质量通量, \mathbf{V} 为环境风速, ρ 是大气密度。

在静力平衡下, 柱坐标 (r, θ, ζ, t) 中的轴对称原始方程组为:

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \dot{\zeta} \frac{\partial v_r}{\partial \zeta} = v_\theta \left(f + \frac{v_\theta}{r} \right) - \frac{\partial \phi}{\partial r} - H \frac{\partial P}{\partial r} + D_r + F_{or} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \dot{\zeta} \frac{\partial v_\theta}{\partial \zeta} = -v_r \left(f + \frac{v_\theta}{r} \right) + D_\theta + F_{o\theta} \quad (3)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + v_r \frac{\partial H}{\partial r} + \dot{\zeta} \frac{\partial H}{\partial \zeta} = \kappa H \left(\frac{\dot{\zeta}}{\zeta} + \dot{P} \right) + Q + D_H \quad (4)$$

$$\dot{P} \equiv \frac{dP}{dt} = \frac{\partial P}{\partial t} + v_r \frac{\partial P}{\partial r} = - \left(\frac{\partial r}{r} v_r + \frac{\partial \zeta}{\partial t} \right) \quad (5)$$

$$H \equiv RT = -\zeta \frac{\partial \phi}{\partial \zeta} \quad (6)$$

这里 v_r, v_θ 分别是径向和切向风速; $\dot{\zeta} \equiv \frac{d\zeta}{dt}$ 为垂直速度; $\zeta = P/P_0$, 其中 P 为气压, P_0 为地面气压, $P = \ln P_0$; T 为气温; R 为气体常数, $\kappa = R/C_p$; Q 是对流凝结加热项; F_{or} 和 $F_{o\theta}$ 是积云摩擦引起的动量交换, 可按(1)式写出。 D_r 和 D_θ 为湍流摩擦项, D_H 为湍流热交换项, 分别由下式表示:

$$D_r = K_H \left(\nabla_2^2 v_r - \frac{1}{r^2} v_r \right) + K_\zeta \frac{\partial^2 v_r}{\partial \zeta^2} \quad (7)$$

$$D_\theta = K_H \left(\nabla_2^2 v_\theta - \frac{1}{r^2} v_\theta \right) + K_\zeta \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \zeta^2} \quad (8)$$

$$D_H = K_H \nabla_2^2 H + K_\zeta \frac{\partial^2 H}{\partial \zeta^2} \quad (9)$$

其中 K_H 和 K_ζ 分别是水平扩散和垂直扩散系数,

$$\nabla_2^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}$$

在 Charney 等的研究中, 对流凝结加热采用参数化的办法, 假定其与潮湿空气的辐合量成正比。因此, 在考虑 Ekman 抽吸作用时, 可以用边界层顶的垂直速度参数化表示之。本文因同时考虑了积云动量输送和 Ekman 抽吸两种物理过程, 对流凝结加热也可以分写成两部分, 即

$$Q = \alpha Q_{01} \eta(P) M_* \dot{\zeta}_* + \beta Q_{02} \eta(P) \dot{\zeta}_E \quad (10)$$

上式右端第一项表示由于积云动量输送作用引起的次级环流所产生的对流凝结加热; 第二

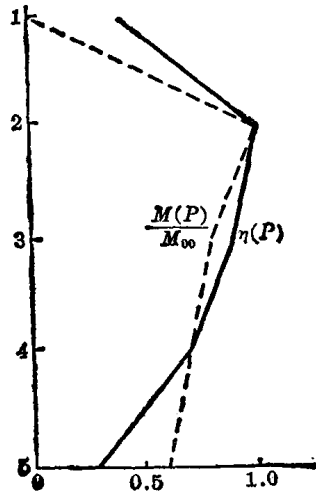


图1 积云质量通量 $M(p)$ 和加热函数 $\eta(p)$ 的参考曲线

项则是由于 Ekman 抽吸作用引起的次级环流所产生的对流凝结加热。(10)式中 α 和 β 分别为两个调整参数, 不同的 α 和 β 可反映不同强度的加热; Q_{01} 和 Q_{02} 分别为比例系数; M_* 和 ξ_* 为某参考层的积云质量通量和涡度, ξ_E 是 Ekman 层顶的涡度; $\eta(p)$ 是对流凝结加热分布函数。根据 Mak 的研究, 在 CISK 机制中用涡度参数化表示对流凝结加热比用垂直速度参数化表示更为合理^[10], 因此, 在 (10) 式中我们采用了涡度量表示对流凝结加热。

根据资料分析结果, 我们取积云垂直质量通量 $M(p)$ 和凝结加热分布函数 $\eta(p)$, 如图 1 所示, 它们代表了台风中深厚积云的一般特征。同时, 参照文献[10], 取 $M_{\infty}=5$ 毫巴/小时。

三、计算格式

本文所用计算格式同文献[8]完全一致, 其特点可简述如下:

在垂直方向按 ζ 作等距划分, $\Delta\zeta=0.2$, $\zeta=0.1, 0.3, 0.5, 0.7$ 和 0.9 分别对应于层数 $L=1, 2, 3, 4$ 和 5 , 变量 v_r, v_θ 和 H 定义在上述各层上, 而 ϕ 和 $\dot{\zeta}$ 则定义在上述各层之间 (如图 2)。沿径向取等距格点 (即 $j=0, 1, 2, \dots, 20$, 共 21 个格点), 格距 $\delta=50$ 千米。

为节省计算时间, 本文采用分解算法, 将适应过程和平流过程分别进行计算。适应过程的计算中, 时间步长取为 120 秒; 每算三步适应过程后, 再算一步平流过程, 平流过程的时间步长取为 360 秒。

关于边界条件, 在内边界处, 有 $v_r=v_\theta=0, \frac{\partial H}{\partial r}=0$; 在外边界处为绝热刚壁边界。在模式上边界有 $\dot{\zeta}=0$, 而在下边界上考虑了海面拖曳和感热输送。

初始条件可以任意给出, 本文将初始温度场取为气候平均值, 即 $T_1=-77.9^\circ\text{C}$, $T_2=-35.0^\circ\text{C}$, $T_3=-5.4^\circ\text{C}$, $T_4=9.9^\circ\text{C}$, $T_5=21.8^\circ\text{C}$, 海面温度 $T_s=28.0^\circ\text{C}$ 。假定海平面上初始气压场为一弱低压, 中心气压为 1005 毫巴, 与此气压场相适应, 初始风场为一气旋性环流, 最大切向风速在距中心约 300 千米处, 为 11.5 米/秒, 但初始径向风速为零。

在对流凝结加热 Q 的计算中取模式第 4 层为参考层, 即用第 4 层的积云质量通量 M_4 代替 M_* , 用第 4 层涡度 ξ_4 代替 ξ_* , 而假定模式第 5 层为 Ekman 层顶和积云底, 因此有 $V_5=V_0, \xi_5=\xi_E$ 。

另外, 在计算中我们取 $f=5 \times 10^{-5}$ 秒⁻¹, $C_D=1.2 \times 10^{-3}$, $K_H=10^3$ 米²·秒⁻¹, $K_C=10^{-9}$ 秒⁻¹, $p_s=1013$ 毫巴, $\rho_s=1.29 \times 10^{-3}$ 克·厘米⁻³。

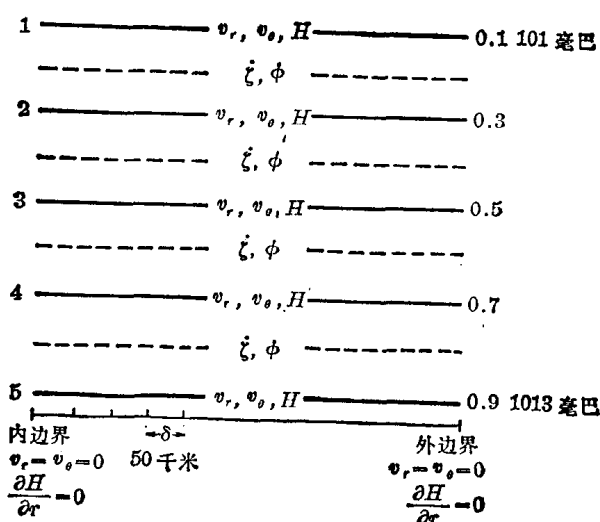


图 2 计算网格型式

四、数值模拟结果

由初始场开始,随着计算时间的延长,模式台风低压有明显的发展,地面中心气压明显下降,中心外围切向风速逐渐加强,42小时以后已超过50米/秒,而且低压中心逐渐变暖,

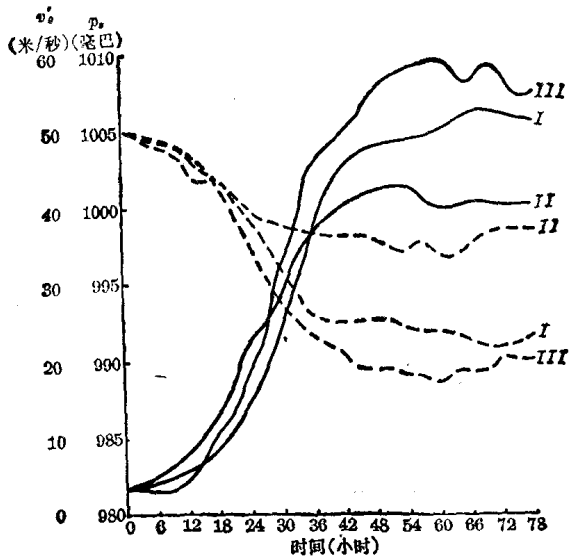


图3 模式台风低压的地面中心气压和中心外围切向风速随时间的变化

出现暖心结构,……。即通过对流凝结加热的反馈,使台风低压逐渐发展而成台风涡旋。

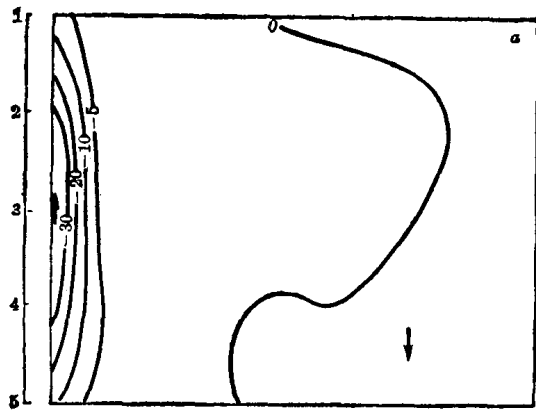
图3给出了模式台风低压的地面中心气压(虚线)和中心外围切向风速(实线)随时间的变化。其中曲线I表示仅考虑Ekman抽吸作用的结果;曲线II是单独考虑积云动量输送作用的结果;曲线III是同时考虑Ekman抽吸和积云动量输送的结果。在各种计算中,最大对流凝结加热率约为每日 20°C ,当同时考虑Ekman抽吸和积云动量输送时,其加热参数调整得使加热率同单独考虑各因子时基本一致,但由于台风低压发展过程中是一种正反馈,实际加热并不完全相等。图3表明,

当同时引入Ekman抽吸和积云动量输送作用时,台风低压发展最迅速、最强。而仅考虑积云动量输送时,地面中心气压降低不够。

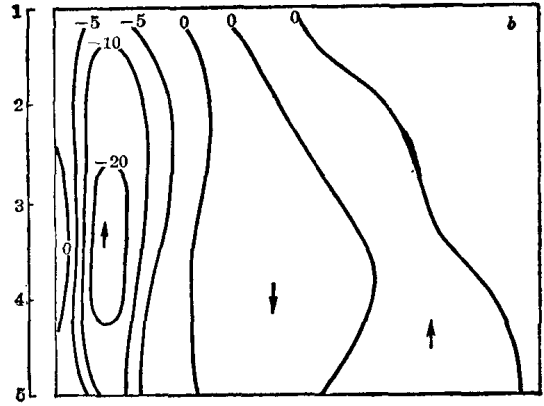
图4a, b, c分别给出了不同情况下,在48小时模式台风的垂直速度剖面。比较后可以发现,当仅有Ekman抽吸时,最大垂直速度在模式台风中心,反映不出眼区的特征,同实际台风结构有一定差异;当考虑积云动量输送,或者同时考虑Ekman抽吸和积云动量输送后,模式台风的最大垂直速度出现在约距中心50千米附近,中心处只有弱上升运动或弱下沉运动,表现出了台风眼的特征。因此,可以认为积云动量输送作用在台风形成中对其结构有极为重要的影响。

模式台风48小时切向风速剖面如图5所示。对流层中下层是强的气旋性环流,最大切向风速位于距中心50千米左右的地区;对流层上层存在一反气旋环流。还有一点值得指出,当仅有Ekman抽吸时,切向风速随高度的减小比较快,而引入积云动量输送作用后,切向风速随高度减小较缓慢一些,更接近实际台风的情况。

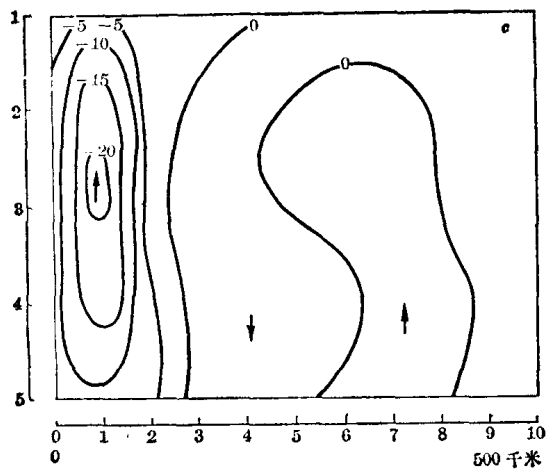
模式台风的径向风速剖面(图6)表明,对流层低层有较强的流入气流,最大的向中心辐合出现在距中心200千米范围以内。对流层中上层是一流出气流层,最大流出在距中心50~100千米的对流层上层。另外,在对流层中层还存在一弱的流入气流层。无论是否考虑Ekman抽吸作用均能导致对流层低层出现较强的辐合气流。显然,这种低层的气流辐合对于台风的发生发展有重要的作用,难怪一些台风形成理论的早期研究者直到现在还一直强调边界层气流辐合的重要性^[11~12]。图6中对流层中层的流入气流更反映了积云动量输送的作用。



(a) 仅考虑 Ekman 抽吸
横坐标同(c)



(b) 仅考虑积云动量输送
横坐标同(c)



(c) 同时考虑 Ekman 抽吸和积云动量输送

图 4 模式台风(48 小时)的垂直速度剖面

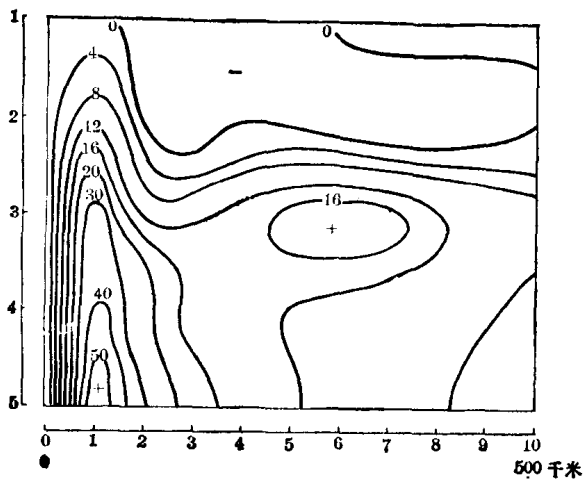


图 5 模式台风(48 小时)切向风速剖面

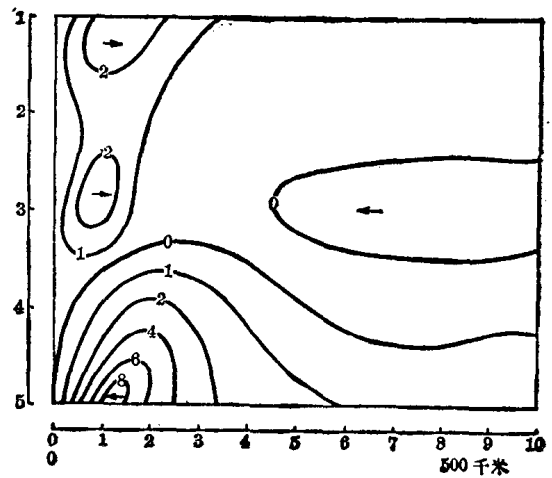


图 6 模式台风(48 小时)径向风速剖面

大家知道,暖心结构是台风的最重要特征之一,也是数值模拟成功与否的标志之一。图

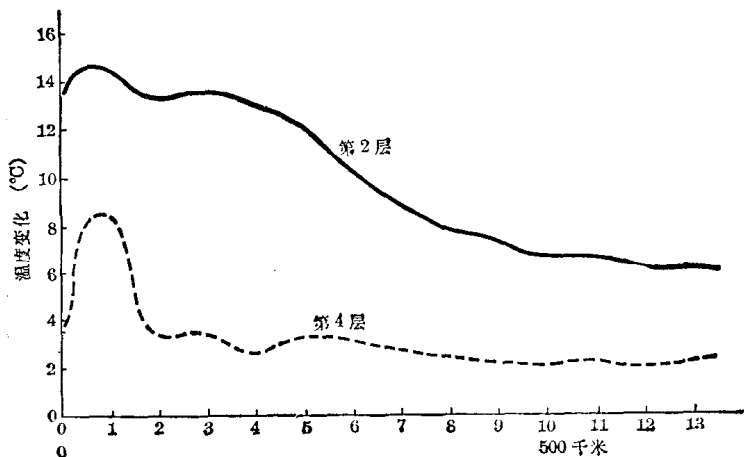


图7 模式台风(48小时)增温剖面

7是模式台风48小时温度变化的剖面图,其中实线表示第2层的情况,虚线表示第4层的情况。两个特点在图7中表现得很清楚,其一是中心附近温度增加最强,即最大加热在模式台风中心及附近;其二是上层加热比下层更强,反映了积云对流加热的特点。图7中表现的两个主要特点同实际台风的热力学结构特征很类似。

图8a是模式台风低压第5层切向风速的径向分布随时间的演变情况。很明显,随着低压的发展,切向最大风速愈来愈大;最大切向风速的位置逐渐向中心附近收缩;切向风速的变化主要发生在距中心250千米范围之内。模式台风发展

图8a是模式台风低压第

5层切向风速的径向分布随时间

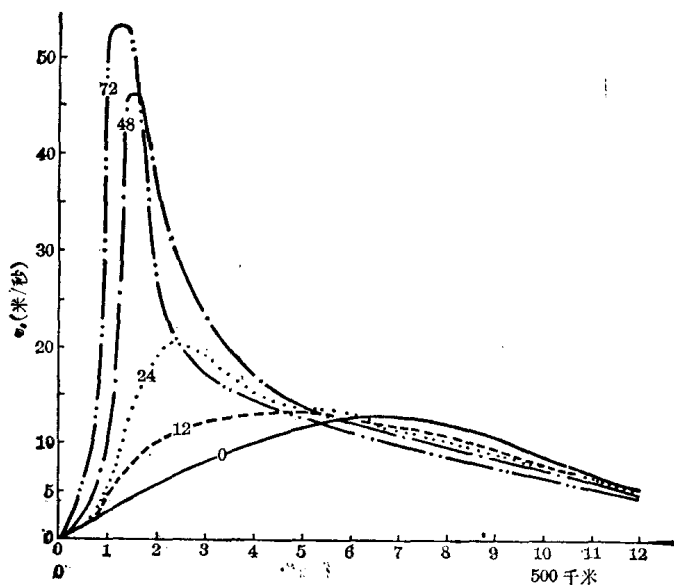


图8a 模式台风第5层切向风速的径向分布随时间的演变

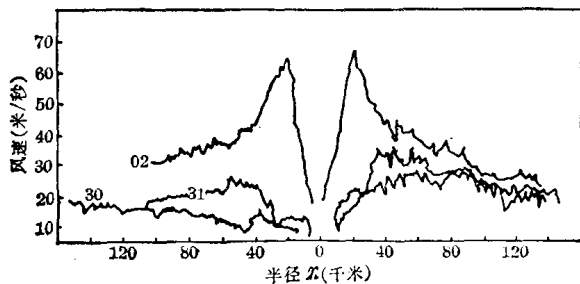


图8b Anita 台风在1977年8月30,31日和9月2日的风速剖面

过程中的上述特征同实际台风的发展过程相当一致。这一结论是与图 8b 中给出的 1977 年 8 月 30 日~9 月 2 日 Anita 台风的风速变化情况^[13]相比较后得到。显然,台风发展过程中其动能有一个组织和集中的过程。这种动能的组织 and 集中,一方面依赖于环境流场的作用,而更多地决定于台风低压系统自身的反馈过程。环流加强主要发生在距中心 750 千米范围内,表明台风低压发展主要依靠积云对流加热,即主要通过 CISK 机制的作用。

五、讨论和结语

当我们在模式中仅仅考虑 Ekman 抽吸时,所得到的模式台风的结构与实际台风有一定差异,特别是眼区不清楚。如果在模式中仅仅考虑积云动量输送作用,所得模式台风的结构虽更接近实际台风,但地面中心气压太高^[8],也同实际台风有差异。本文同时将 Ekman 抽吸和积云动量输送作用引入模式,所得模式台风的地面中心气压以及模式台风结构都比较接近实际台风。因此可以初步认为,积云动量输送作用和 Ekman 抽吸都是台风发生发展中的重要物理过程,台风研究中需要同时考虑它们的影响。

积云动量输送作用和 Ekman 抽吸都可以导致次级环流的形成,从而促使对流发展,产生对流凝结加热,并对低压环流的发展产生反馈。一个自然的问题是那种作用更为重要呢?我们通过调整加热参数对其进行了试验研究,考虑到台风结构的突出特征,积云动量输送作用似乎更为重要一些。在实际大气中台风形成的具体环境条件并不完全一样,因此,上述两种物理过程的重要性也就可能没有固定的标准。一般来讲,在初始阶段可能 Ekman 抽吸作用比较突出,在其后的阶段,积云动量输送作用可能更重要。

对于台风的生成,由单个积云活动发展成有组织的系统性积云对流是极为重要的,本文用简单的对流参数化方法描写加热,设法模拟出上述过程。但是,模式台风动能(切向风速)的集中现象不仅反映了对流凝结加热与低压涡旋间的相互反馈,而且也从一个侧面反映了向有组织的系统性积云对流发展的过程。

对于台风的发生发展,对流层低层的暖湿空气辐合是很重要的,但它不仅受边界层摩擦的强迫,而且也受到积云摩擦(积云动量输送)的驱动。

张铭同志在模式计算方面提供了帮助,特表谢意。

参 考 文 献

- [1] Charney, J. G., and A. Eliassen, On the growth of the hurricane depression, *J. Atmos. Sci.* vol. 21, pp. 68~75, 1964.
- [2] Ooyama, K., Numerical simulation of the life cycle of tropical cyclones, *J. Atmos. Sci.*, vol. 26, pp. 3~40, 1969.
- [3] Rosenthal, S. L., A circularly symmetric primitive equation model of tropical cyclone development containing an explicit water vapor cycle, *Mon. Wea. Rev.*, vol. 98, pp. 463~653, 1970.
- [4] ———, Numerical simulation of tropical cyclone development with latent release by the resolvable scales, I: model description and preliminary results, *J. Atmos. Sci.*, vol. 35, pp. 258~271, 1978.
- [5] 陈隆勋等,西太平洋赤道辐合带中台风发生发展的初步分析,中国科学院大气物理所集刊,第 2 号,科学出版社,1974 年。
- [6] Gray, W. M., Hurricanes/ their formation, structure and likely role in the tropical circulation, *Quart. J.*