

台风论文集

(三)

全国台风科研协作技术组



海洋出版社

台风译文集

(三)

全国台风科研协作技术组

海洋出版社

1988年·北京

内 容 简 介

《台风译文集》第一、第二集已先后出版，本书为第三集，它收集了1980年以来国外有关台风发生、发展、路径、结构、探测、基础理论和台风降水等方面的研究成果，共28篇，其中包括1984年美国15届飓风和热带气象学会议上的部分论文。本文集可供气象、海洋工作者和预报人员参考。

责任编辑 张宝珍

台 风 译 文 集

(三)

全国台风科研协作技术组

海洋出版社出版 (北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 国防科工委印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 21.25 字数: 470千字

1988年5月第一版

1988年5月第一次印刷

印数: 600

ISBN 7-5027-0169-9/P·26

统一书号: 13193·0903

¥: 7.50元

前 言

为配合台风科研和业务工作的开展，全国台风科研协作技术组已先后于1978年、1981年出版了《台风译文集》第一集和第二集。在1984年4月在宁波市召开的全国台风科研协作技术组会议上，对台风译文集的出版工作作了研究，决定于1984年组织编译《台风译文集》第三集。

这次译文集由全国台风科研协作技术组和上海台风研究所共同负责组织，全部译文由上海台风研究所翻译审定，但因译校、汇编时间仓促，水平有限，错误和不妥之处在所难免，谨请读者批评指正。

编 者

一九八五年一月

目 录

两种热带气旋业务动力模式性能的比较·····	(1)
用天气强制力的经验正交函数表达法作统计-气候学的热带气旋路径预报·····	(9)
从环境交互作用附加 β 效应对热带气旋运动的研究·····	(21)
卫星观测到的高层水汽型与热带气旋移动之间的关系·····	(36)
利用对流层高层风场预报热带气旋北移的加速·····	(44)
近年来澳大利亚在热带气旋移动统计预报方面的发展·····	(53)
热带气旋预报误差和多模态二维正态分布·····	(60)
用移动嵌套细网格模式模拟热带气旋登陆·····	(73)
台风温带气旋化过程中移速的变化·····	(86)
台风三维模式的路径预报·····	(102)
1979年飓风 Frederic 登陆时用数字化雷达测得的降雨型·····	(116)
应用地球静止卫星资料估计热带气旋降水量方法的业务初试结果·····	(128)
海面温度和陆地对热带气旋中心气压变化的影响·····	(142)
一个估计热带气旋强度的卫星体视方法·····	(152)
热带风暴发生的数值模拟·····	(165)
关于环境场对热带风暴发生的作用的数值研究·····	(189)
热带气旋的发生和发展·····	(210)
惯性稳定度与热带气旋的发展·····	(222)
热带气旋中角动量的输送·····	(236)
热带气旋理论和模拟在概念上的发展·····	(251)
卫星测定成熟台风黑体温度区域分布和眼径的日变化·····	(261)
热带气旋眼及眼壁能量收支的数值模拟·····	(274)
同心眼壁第二个风速极大值及飓风涡旋的演变·····	(279)
台风强度与半径 $1-3^\circ$ 外围环流的关系——根据侦察飞机的探测·····	(296)
在加强的热带气旋中决定径向气流和眼形成的一些因素·····	(301)
使用诺阿卫星的微波探测资料监视热带气旋·····	(311)
大西洋热带和副热带气旋的卫星云图分型分析——迈阿密几年分析回顾·····	(319)
西北太平洋台风出现频率的地理分布和它的长期变化·····	(328)

两种热带气旋业务动力模式性能的比较

M.Fiorino E.J.Harrison Jr D.G.Marks

一、引言

美国有两个较大的热带气旋预报机构：迈阿密的国家飓风中心 (NHC) 和西太平洋关岛联合台风警报中心 (JTWC)。这些年来，各个机构已经研制了一批客观预报方法，从纯统计到最近研制的动力学原始方程模式，后者有国家飓风中心使用的移动性细网格模式(MFM)和联合台风警报中心使用的海军热带气旋套网格模式 (NTCM)。然而这两个模式具有本质上的差异。MFM在垂直方向有更好的分辨率，包括积云对流的参数化，行星边界层和地形。另一方面，NTCM只有三层，它利用了一个简单的解析增热方案，并且假定地球的表面是平坦和光滑的。海军模式的唯一的特征是一种完全二重相套，移动细网格的相互作用。这个细网格仅仅在风暴环流附近提供了高的分辨率。通过对照，MFM的边界条件可由国家气象中心全球谱模式的历史资料序列来确定。

本文对七个飓风40次路径检验了两个模式的预报性能特征。表1给出了这种检验的一般叙述。在MFM基本资料的可靠性基础上，NMC选择了这些在1979—1980年期间的几个风暴。在一组试验中，模式用他们各自的基本资料进行初值化——这样的业务比较是有效的。然后，用NMC全球分析的共同基本资料积分两个模式作直接比较。此外，为了比较起见，还包括了国家飓风中心的官方预报和称作Cliper的气候持续性方法 (Neumann, 1972)。

表1 40个检验个例的概要

热带气旋	初始位置的日期和时间 (世界时)	初始位置的 纬度/经度	初始强度 (m/s)	预报期间的实际路径
Ella	1978年8月31日12时	28.8/67.6	36	NW, 然后转向
Ella	1978年9月1日00时	29.6/70.0	46	NW, 然后转向
Ella	1978年9月1日12时	30.7/71.8	57	NW, 然后转向加速
Ella	1978年9月2日00时	31.2/72.7	54	NW, 然后转向加速
Ella	1978年9月2日12时	31.6/73.3	41	加速移向东北
David	1979年8月30日00时	15.6/62.8	67	在伊斯帕尼奥拉上空向西北西移动
David	1979年8月30日12时	16.3/65.2	76	在伊斯帕尼奥拉上空向西北西移动
David	1979年8月31日00时	16.8/67.3	76	WNW, 然后西北
David	1979年8月31日12时	17.2/69.1	76	NW, 向佛罗里达南部
David	1979年9月1日00时	18.8/70.4	67	NW, 然后逐渐转向
David	1979年9月1日12时	19.7/73.7	33	逐渐转向进入美国的东南部
David	1979年9月2日00时	21.3/75.2	33	逐渐转向进入美国的东南部
David	1979年9月2日12时	23.0/76.3	36	逐渐转向进入美国的东南部
David	1979年9月3日00时	24.6/78.3	41	逐渐转向进入美国的东南部
David	1979年9月3日12时	26.3/79.6	44	向北, 进入美国东南部
David	1979年9月4日00时	28.0/80.5	44	向北, 进入美国东南部

续表

热带气旋	初始位置的日期和时间 (世界时)	初始位置的 纬度/经度	初始强度 (m/s)	预报期间的实际路径
Frederick	1979年9月9日12时	21.9/82.0	23	缓慢地向西北西移动进入墨西哥湾
Frederick	1979年9月10日00时	22.4/83.0	28	缓慢地向西北西移动进入墨西哥湾
Frederick	1979年9月10日12时	22.8/83.6	33	NNW, 进入莫比尔
Frederick	1979年9月11日00时	23.3/84.0	39	NNW, 进入莫比尔
Frederick	1979年9月11日12时	24.4/84.8	44	NNW, 进入莫比尔
Frederick	1979年9月12日00时	25.7/85.5	54	NNW, 进入莫比尔
Frederick	1979年9月12日12时	27.4/87.0	59	NNW, 进入莫比尔
Henri	1979年9月17日12时	20.4/94.3	39	WNW, 然后顺时针打转
Henri	1979年9月18日12时	21.2/95.7	26	顺时针打转
Allen	1980年8月5日12时	15.9/70.5	80	WNW, 进入墨西哥湾
Allen	1980年8月6日00时	17.8/73.8	72	WNW, 进入墨西哥湾
Allen	1980年8月6日12时	19.2/78.0	59	WNW, 进入墨西哥湾
Allen	1980年8月7日00时	20.1/81.9	69	WNW, 进入得克萨斯州
Allen	1980年8月7日12时	21.0/84.8	80	WNW, 进入得克萨斯州
Allen	1980年8月8日00时	22.2/87.9	80	WNW, 进入得克萨斯州
Allen	1980年8月8日12时	23.4/90.5	59	WNW, 进入得克萨斯州
Allen	1980年8月9日00时	24.5/93.0	76	WNW, 进入得克萨斯州
Allen	1980年8月9日12时	25.2/95.4	72	WNW, 进入得克萨斯州
Hermine	1980年9月23日00时	18.8/90.2	26	W, 然后左转进入墨西哥南部
Hermine	1980年9月23日12时	19.3/92.6	26	W, 然后左转进入墨西哥南部
Hermine	1980年9月24日00时	19.2/93.8	31	WSW, 进入墨西哥南部
Jeanne	1980年11月10日12时	22.5/85.5	26	NNW, 左转缓慢西行
Jeanne	1980年11月11日12时	24.1/87.0	33	W, 在海洋上消散
Jeanne	1980年11月12日12时	23.8/89.0	33	W, 在海洋上消散

二、模式的简要评论

根据独立研究计划得到热带气旋套网格模式(NTCM)和移动性细网格模式(MFM),这两个结果起因于独立的研究计划。热带气旋套网格模式最初是由Harrison(1973)提出的。当时不是作为一个业务模式而是作为通过内部边界具有相互作用的一种概念性示范。热带气旋套网格模式一方面是要保持客观化,另一方面是要保持尽可能的简单。例如气压坐标只用了三个垂直层次,而气旋中心附近的增加热是用解析的方法表示的。并且不考虑其他的次网格尺度现象。移动性细网格模式最初是为了改进与飓风登陆有关的降水预报的迫切需要而研制出来的。正如引言中提到的,移动性细网格模式包含着明确的物理过程的配置、地形和详细的垂直分辨。因此,该模式从一开始就打算用于预报中尺度现象,包括热带气旋移动的业务模式。

这两个模式在运算的设计和方法上是很不一样的。它们共同的一个重要特征是体现了中尺度和天气尺度之间准水平的相互作用。我们将证明,尽管在模式的其他方面有基本差异,但是两个模式导致相似的热带气旋路径预报这是唯一共同的。

在表2中我们已经归纳了每一个模式的一些重要的特征。关于两种模式的细节,在不少文章中可以见到[例如Hovermale和Livezey(1977),Harrison(1973、1981)],这里不再重述。

表2 MFM和NTCM的比较

特 征	模 式	
	MFM	NTCM
格点设计	经纬网格 $\Delta x \approx 60 \text{ km}$	粗网格 $\Delta x = 205 \text{ km}$ 细网格 $\Delta x = 41 \text{ km}$
区域大小 (近似值)	$3000 \text{ km} \times 3000 \text{ km}$	粗网格 = $6400 \text{ km} \times 4700 \text{ km}$ 细网格 = $1200 \text{ km} \times 1200 \text{ km}$
计算机设备条件 (48小时预报)	90分钟: IBM360/195	14分钟: CYBER175*
数值计算	空间非交错蛙跳 (气压梯度力平均)时间差分	空间非交错 蛙跳时间差分
边界条件	根据独立预报外部确定	粗网格自由滑动循环通道 细网格相互确定交界面
物理过程	显式水汽处理 kuo积云参数化 边界层内服从Bulk气体动力学	分析增热函数以涡旋为中心 在空间和时间上分布不变
初 值 化	3D涡旋自旋上升迭加在全球初始场上	3D虚设涡旋, 然后非线性辐散平衡方程
跟踪方法	全部网格随涡旋移动	细网格随涡旋移动

* IBM360/195比CYBER175快20—30%。

三、结 果

下列各表列出了官方预报, 两种模式和作为基准的Cliper客观预报方法的性能要点的比较, 文中还给出了路径的图解。

NHC——国家飓风中心官方预报;

MFM——用NMC业务分析初值化的NMC的移动性细网格模式;

Cliper——国家飓风中心使用的气候持续性客观预报方法;

NTCM(FNOC)——用舰队数值海洋中心业务热带全球谱分析初值化的热带气旋套网格模式;

NTCM(NMC)——与MFM一样用国家气象中心业务分析初值化的热带气旋套网格模式。

表3中首先比较了由国家飓风中心和气象中心提供的40个个例。然而在每一项中每一个时间间隔内的个例数目是不一致的。因为舰队数值海洋中心的资料或者是气象中心的资料不是时时可得到的。在这些比较中使用的是预报误差的中值而不是平均预报误差。因为一、二个大的误差会严重地损害少数非正态分布资料组的平均值。在我们的资料中, 缺乏正态分布的主要原因是, 接近零附近的低值一侧的误差是受约束的, 而在高值一侧却不受约束。因此对于具有这种性质的比较少的资料组, 预报误差中值可望更具有代表性。

几点关于表3中的(及以后要讨论的)结果, 应强调如下:

1) 这些误差不代表国家飓风中心或其他模式的综合能力。例如Neumann和Pelissier(1981)曾经报告了国家飓风中心在1973—1979年7年时间的24小时、48小时和72小时的平均预报误差分别是204km、452km和670km, 而在另一方面, 热带气旋套网格模式的性能, 对于太平洋220次台风个例的24小时、48小时和72小时的平均预报误差分别是215km, 396km和598km。

2) 个例数目随时间增长而减少是热带气旋预报的特点。对于在预报期间消散的风暴、

变成温带气旋的或者是登陆风暴的预报不能作检验。

3) 在Cliper和动力学模式之间的预报技能上, 注意在36小时以前越过基准线的点是很重要的 (见Neamann和Pelissier 1981)。在实时的预报方法中, 着重指出数值模式最重要的贡献将被认为是对72小时预报的改进。

表3 矢量误差的中值(km), 圆括弧中是个例数

	预报间隔(小时)		
	24	48	72
NHC	137 (40)	333 (29)	537 (18)
CLIPER	154 (40)	315 (29)	511 (18)
MFM	144 (39)	204 (24)	N/A
NICM (FNOC)	135 (35)	207 (21)	304 (13)
NTCM (NMC)	193 (34)	315 (23)	415 (12)

4) 热带气旋套网格模式的业务使用规则, (i) 35°N以北的位置不作检验。(ii) 在有大陆气团生成的大陆上没有深入内陆185km以上的热带气旋位置。(iii) 没有第二次以后的登陆位置, 不管距内陆的距离如何。制定这些业务上规则的主要原因是由于在该模式中, 缺乏物理过程和地形, 还因为它仅仅是三层模式, 所以该模式不能模拟热带风暴向温带气旋的转换。

表4 垂直角度误差的大小(km), 圆括弧中是个例数

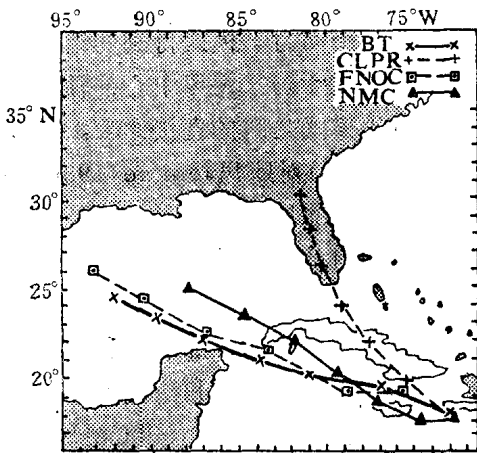
	预报间隔(小时)		
	24	48	72
NHC	72 (40)	154 (29)	256 (18)
CLIPER	115 (40)	222 (29)	348 (18)
MFM	93 (39)	119 (24)	N/A
NICM(FNOC)	111 (35)	156 (21)	180 (13)
NTCM(NMC)	89 (34)	189 (23)	181 (12)

在热带气旋套网格模式中用舰队数值海洋中心资料初值化和用国家气象中心资料初值化二者之间的误差统计的主要差异是由沿着路径的速度误差所引起的。这些差异看来不象是依赖于风暴的纬度和强度, 因此似乎是由于数值方面或者很可能是由于初始资料的结果。国家气象中心资料和相应的舰队数值海洋中心分析之间差异, 最大的是在较低的层次(1000—850 hPa) (纬向风的振幅特征在国家气象中心的资料中通常是比较小)。而天气尺度形势的位相排列是好的。这些振幅的差异与国家气象中心所采用的初值化过程而得到较光滑的初始场有关。另外, 由于舰队数值海洋中心的热带分析是一种观测资料、气候资料和持续性的资料的混合物, 因此在资料稀疏的地区, 基本气流中存在着显著的气候成分。而在另一方面, 国家气象中心的热带分析没有明显的包含着气候学。尽管有这些差异, 当企图在得出关于这些分析如何影响路径预报时, 必须非常小心。这是因为在大尺度气流和嵌进在气流中的中尺度涡旋之间没有一一对应的关系。

表 5 沿着路径的速度误差的偏斜(km), 圆弧中是个例数

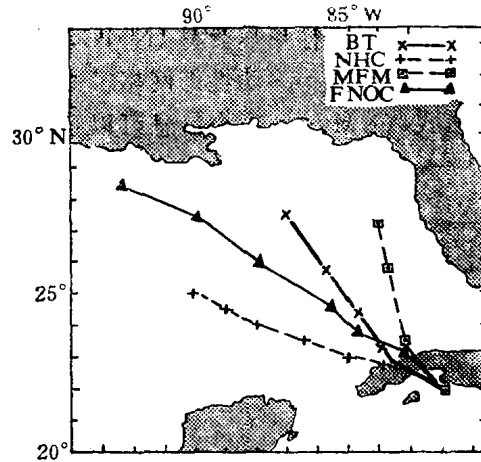
	预报间隔(小时)		
	24	48	72
NHC	+9 (40)	-17(29)	-83(18)
CLIPER	-48(40)	-117(29)	-324(18)
MFM	-74(39)	-74(24)	N/A
NTCM(FNOC)	-11(35)	-59(21)	+130(13)
NTCM(NMC)	-157(34)	-189(23)	-191(12)

路径预报性能的另外的估量是垂直角度误差和沿着路径的速度偏斜。在表 4 和表 5 中对于非均一样本的归纳了这些信息。垂直角度误差定义为预报位置垂直于初始位置和检验位置之间连线的距离。因此垂直角度误差是路径预报能力的一个正确的估量。另一方面, 沿着路径的速度预报技能用偏斜表示是优于用数量大小表示。这个数值是估量沿路径的速度预报的一致性, 而不是它自己的实际误差。因为它不是一个随机误差, 所以这样一个偏斜可以用统计的或者主观的方法作校正。在表 4 的垂直角度误差的统计中, 由于偏斜的贡献小并显示出极少的一致性, 即使对于个别的预报方法。对于Cliper方法是例外, 其过分倾向于预报转向。示在图 1, 值得注意的是, 当数值模式预报的垂直角度误差是小的时候, 则热带气旋套网格模式 (FNOC) 的所有的速度误差是正值, 而对于热带气旋套网格模式 (NMC) 却是负值。在这种情况下, Cliper方法预报是过分转向的。



1980年8月6日0000GMT

图 1 飓风Allen (1980年8月)的最佳路径 (BT)与Cliper (CLPR), NTCM (FNOC)和NTCM (NMC)的比较, 每个符号表示12小时增量



1979年9月9日1200GMT

图 2 飓风Frederick (1979年9月)的最佳路径 (BT)与NHC, MFM (仅48小时)和NTCM (FNOC)的比较

表 4 的检验证明, 在24小时以后动力学模式提供的路径预报是优于Cliper或NHC。而另一方面, 表 5 显示了在沿路径的速度预报上(同步), NHC是优于动力学模式。关于这些动力学模式的各种比较, 允许预报员在使用各种不同的预报方法时作出最佳的选择。例如, 在大多数情况下, 什么地点将受到热带气旋的袭击要比什么时间受到袭击更为关键。这就是说, 只有当一个地点受袭击时特别是对于固定的设施, 时间的预报是重要的。而这个论点对于海洋上

的船舶也许是不适用的，我们感到正确的路径预报确实是数值模式的重要贡献。图2表明了这一点。值得指出的是国家飓风中心的路径显著的偏向右边，而移动性细网格模式和热带气旋套网格模式更加正确地描绘了实际路径。但是，国家飓风中心对速度的预报则比较精确的。当用适当的模拟或者其他一些客观预报方法，可以得到沿路径的速度。估计时则利用模式的输出就能够做路径预报。

上述的讨论是基于非均一样本。为了完善这个研究，我们检验了各种各样的个例（均一的）样本。遗憾的是移动性细网格模式仅仅延伸到48小时，且由于操作上的限制有时还延伸不到48小时。因此，在这些模式的比较中存在着两个比较重要的问题：

1. 只有移动性细网格模式可以假定有超过48小时的预报性能。
2. 少量个例的比较所得到的结果只是一个说明性的结果，而不是结论性的结果。

表6 NHC、Cliper、MFM (NMC资料) 和NTCM (NMC资料)
预报误差中值(km)，圆括弧内是个例数

	预报间隔(小时)	
	24	48
NHC	150 (32)	274 (16)
CLIPER	159 (32)	350 (16)
MFM	148 (32)	172 (16)
NTCM(NMC)	193 (32)	332 (16)

表6给出了用同样基本资料(NMC分析)初值化的各个动力学模式得到的结果。对于这些个例的48小时预报，移动性细网格模式(MFM)明显的优于国家飓风中心的预报和热带气旋套网格模式(NMC)。这个信息可以看作是两种动力学模式之间的直接比较。图3是移动性细网格模式(MFM)对飓风Jeanne(1980年11月)的路径所作出的订正预报的一个例子。这个例子说明了两种模式之间可能有的显著差异，甚至在使用同样精确的资料进行初值化的时候。实际上，如果增热率或者初始涡旋的大小是变化的，那么在移动性细网格模式(MFM)中，将会出现路径和速度上巨大的差异。另一方面，热带气旋套网格模式(NTCM)对于增热率或者涡旋大小却很少有敏感性。两个模式总的性能已通过大量的试验和误差检验作了优化。

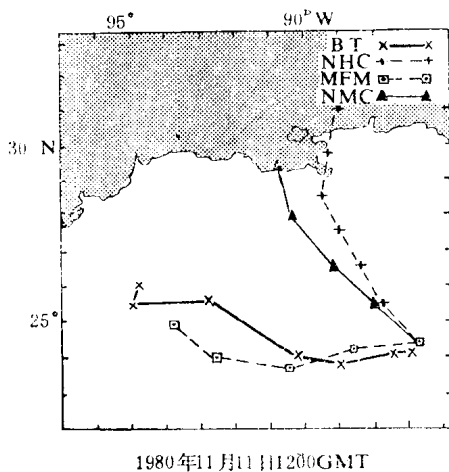


图3 飓风 Jeanne (1980年11月) 的最佳路径(BT)与NHC、MFM 和NTCM (NMC) 的比较

然而，在表7中，我们可以看到，移动性细网格模式(MFM)和热带气旋套网格模式(NTCM)，当用它们自己的业务基本资料初值化时具有同等的技能。这种相同的结果，早在非均一资料中已被指出过。表8中进一步强调了热带气旋套网格模式(NTCM)对初始资料的明显的敏感性。该模式(NTCM)的性能当用舰队数值海洋中心(FNOC)资料初值化时比用国家气象中心(NMC)资料初值化时有了明显的改进。这不应曲解为一种分析上的相对优点的陈述，而宁可说是着重于分析及其与预

报有关的一些模式共同发展的需要。例如，在西太平洋，热带气旋套网格模式(NTCM)使用了舰队数值海洋中心(FNOC)的资料已经调整到最好的性能。为了在两个分析之间做更有意义的比较，还需要使用国家气象中心的大西洋资料做这样的调整。我们必须记住，在资料的同化、分析、初值化、预报系统中的任何模式只是实现了一部分，我们必须把这个系统看作一个整体。

表7 MFM (NMC资料) 和NTCM (FNOC 资料) 的矢量误差中值，圆括弧内是个例数目

	预 报 间 隔 (小 时)	
	24	48
MFM	143 (34)	194 (16)
NTCM(FNOC)	133 (34)	176 (16)

四、小 结

我们已经检验了两个主要热带气旋业务动力模式的性能。关于热带气旋路径预报的几个重要的结论可以从海军和美国海洋大气局的合作检验中得到暗示。这些结论包括：

1. 为了改进热带气旋路径预报，尤其是对于较长时效(36—72小时)的预报。动力学模式表现出很大的潜力。这是与Neumann和Pelissier(1981)以及Bell(1979)的推测是一致的。

2. 国家气象中心的分析和移动性细网格预报系统，虽然相当复杂且代价昂贵，但是在一个近似相当的技巧水平上，可以当作不大复杂的海军分析模式系统使用。目前国家气象中心由于计算机条件的限制，移动性细网格模式不作48小时以上的预报，只有在确实是最有威胁的情况下才作48小时以上的预报。在另一方面，热带气旋套网格模式对于北半球的台风预报，现在的日常工作是一天两次延伸到72小时，现行的计划是当计算机能力增大成为现实时，对于在联合台风警报中心(JTWC)负责地区的所有热带气旋，用NTCM的模式，将进行每天四次预报。

3. 这些动力学模式的最大好处，在于它们有能力订正热带气旋移动路径的预报。这种路径基本上是中尺度热带气旋环流与大尺度环流气流之间在水平方面相互作用的函数。通过套网格系统二重相套的相互作用，海军模式在靠近涡旋处提供良好的相对细网格，而在其他地方仅描写了大尺度运动。在另一方面，移动性细网格模式能够在整个区域上用相当小的尺度的分辨率去分辨这些水平方向的相互作用。这个模式还包括了一个对降水预报所需要的动力学过程和物理过程的完整谱。但是其增加了复杂性及其运算时间的耗费，而对于热带气旋路径预报仅可能得到一点点改进。

表8 NTCM (NMC资料) 和NTCM (FNOC资料) 预报误差中值。圆括弧中是个例数目

	预 报 间 隔 (小 时)		
	24	48	72
NTCM(NMC)	198 (30)	322 (17)	415 (10)
NTCM(FNOC)	180 (30)	239 (17)	309 (10)

4. 在这个比较中的少量个例，我们要用怀疑的态度来观察这些结果。但是，在大量的太平洋资料的样本中（220次台风个例），热带气旋套网格模式(NTCM)与官方预报相比较的相对性能与表2所显示的大西洋的情况几乎是相等的。热带气旋套网格模式(NTCM)的更加完整的检验，在Harrison和Fiorino (1982)发表的论文中已经被报道，这个报告有力地说明了动力学模式具有改进热带气旋路径预报的潜力。

译自 *Monthly Weather Review*. Vol.110, No.7, 1982. 金一鸣

祝启桓 校

用天气强制力的经验正交函数表达法作统计-气候学的热带气旋路径预报

A. R. Shuffer R. L. Elsberry

一、引 言

多年来,为了预报热带气旋路径,许多统计-气候方法应运而生(参看Neumann和Pelissier的评论,1981)。最初的方法(例如Riehl等,1956)是利用位势值的经向和纬向差来估计风暴的引导分量。风暴的前期移动一般也是这些统计方法的预报因子。例如Leftwich和Neumann(1977)的东北太平洋气候持续性模式就是仅仅用过去24小时内的风暴移动来估计未来位移的。

另一个路径的统计预报方法是直接利用热带气旋环境中的天气学场来进行的。图1是为此而设计的一个典型网格图(Neumann,1979)。为了使风暴中心总是落在固定格点上,在每一个预报时期内,网格都要重新布局,通过适当的分析,海平面气压值或上层的位势高度值就可从每一个格点上求取。这些格点值作为潜在预报因子而计入风暴经向和纬向位移的回归方程中(如Veigas等,1959;Miller等,1968)。虽然这种方法几乎汇集了影响风暴移动的天气强制力,但要从物理上解释单个格点值对预报的作用还是困难的。

至于实际值,不论所作分析是主观的还是客观的,在纪录稀少的热带地区都可能是相当不可靠的。Neumann和Pelissier(1981)把统计技术能力的某些退化归咎于用以提供该格点值的客观分析的技术的变化。

把天气尺度资料用到统计预报方法中去,不仅仅局限于预报时刻的分析上。Neumann和Lawrence(1975)已把网格点上的数值预报的位势值作为潜在的预报因子。这种方法(NHC 73)一直是太平洋地区的最好方法之一(Neumann和Pelissier,1981),近来,动力模式已作出一些与之媲美的预报(Elsberry,1979),这些数值模式明确地考虑了热带气旋和环境场之间的相互作用。最近,已使用套网格模式来改进风暴中心附近的预报结果。但这些动力模式比统计方案要复杂和费事。

某些相似预报方案也考虑了天气学场。Jarrell和Somervell(1970)用副高脊的纬度和中纬度槽的经度作为相似因子来选择潜在的相似样本。这个方法和上面讨论过的其他方法,

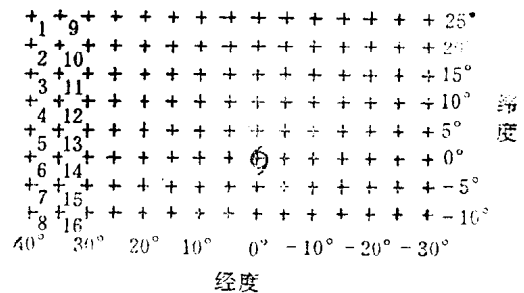


图1 用在统计-气候路径预报上的格点布局(Neumann 1979),在500 hPa上选取和风暴中心有关的D值,该中心总是固定在网格70上。经、纬度间隔为5°

由于所要求的资料量（格点数）太多，因而天气学场的反映仍是不全面的。于是，有人把格点数减少到经过选择的少数格点，或者仅将场的特征——如高压脊的纬度等反映出来。将整个天气尺度场表示出来的这一愿望已被 Chan 等的最新工作所实现。他们认为热带气旋移动方向的重大变化可从24—36小时前的环境流场得到征兆。

这项研究有双重目的。首先，我们要证明：经验正交函数（EOF）可以在一个中心位于热带气旋的网格上表示出天气学流场。且这种 EOF 方法使得表示天气学强制力所需要的贮存量减少了一个量级。第二，我们把从 EOF 分析得到的系数作为天气学强制力的预报因子收集到统计-气候路径预报方案中。这些系数表示了包围热带气旋的整个环境流场。当把它们与描述风暴前期移动的预报因子相结合时，EOF 统计-气候技术就有希望成为一个简单、方便而有效的路径预报方法。

这项工作最初是在 Woodcock (1980) 的研究结果推动下开始的，他证明了对不同的天气形势单独导出的成套回归方程组在预报上要比对天气形势不加区别而导出的单一方程组好。因为热带风暴的移动和环境的天气学强制力的关系是如此密切，可以想象，不同类型路径的预报回归方程组理应从不同天气形势下导出。在一次尝试中，Brown (1981) 用了一张天气图，把天气尺度流场的特征近似地描绘在图 1 所示的网格上。他引进了 EOF 分析，用以确定相似的天气图型。他还能证明官方路径预报误差随天气图类型不同而不同。但是，他这种根据 EOF 系数中的相似性而使用相似型的路径预报方法并没有对每一种图型都取得同样好的效果。

本文首先描述环境流场和 EOF 的表示法。然后阐述不同类型的风暴路径和 EOF 系数之间的关系。这个关系在路径预报的回归分析部分还要被进一步阐述。最后将介绍这种简单的路径预报方法取所得的一些结果。

二、环境场

几乎所有先前的 EOF 分析应用都是取固定地理位置的网格点。而在本例中，我们要在一个随风暴移动的网格上（图 1）表示出环境流场。由舰队数值海洋中心（FNOC）档案馆里得到的间隔 12 小时的北半球 500 hPa 高度分析是很有用的。这些高度减去标准大气高度即可转化成 D 值（偏差值）。对 700 和 800 hPa 的高度也作了分析，结果类似，不再赘述。可以预期一个深厚层次的平均高度将会产生比一个单层更稳定的结果。为了从 FNOC 63×63 的半球分析中求出图 1 的格点值，采取了贝塞尔线性内插法。

热带气旋样本的选取有几个标准。气旋的位置仅限定在 $10-25^{\circ}\text{N}$ 及经度 180° 以西。南部边界要保证格点不延伸到南半球。北部边界要尽可能减少畸变，该畸变是在风暴所在的大范围区域里，在一个经纬度网格上组合而产生的。热带气旋必须至少有热带风暴的强度和至少有 36 小时的生命史。对同一风暴的后继预报之间，要求至少间隔 36 小时，以保证预报形势的独立性。所有 504 个个例都满足上面的选择标准，并取自 1967—1976 年。因为那个时期的 FNOC 位势场分析较好。每个风暴前 36 小时的警报位置和强度取自于联合台风警报中心（JTWC）的年度台风报告。对一个从事业务工作的预报员来说，这些警报位置是有用的信息。然而，要将风暴移动的预报和由事后分析所得的最佳路径位置作比较。最大预报间隔是 84 小时，以便在预报时间之后再留出了 3—4 小时。这对于接收和分析高层资料，并发布至少

有72小时实际时效的预报来说是不必要的。504个个例中只有185个具有预报时刻前36小时和后84小时的完整历史资料。

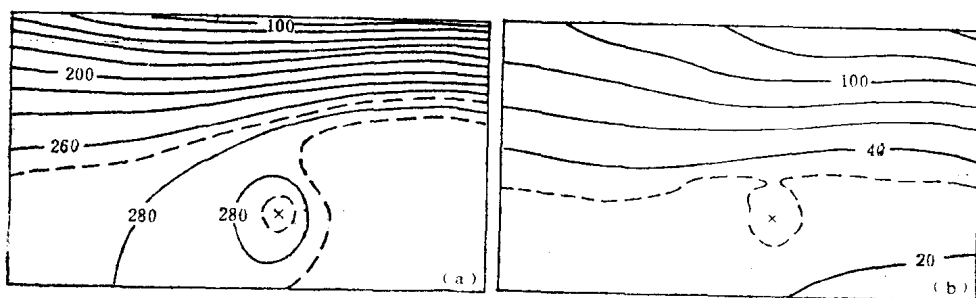


图2 (a)图1网格上的500hPa平均D值(m)场
(b)500hPa D值(m)的标准差等值线间隔20m, 热带气旋附近为10m(虚线)

图2(a)给出了用所有504个个例制作的500hPa D值场。正如所预期的那样,在热带地区所有D值均为正。主要特征是热带气旋所在地区为低值,而在其以北有强的高度梯度,这和中纬度的西风带有关。在700和850hPa上(图略),热带气旋环流表现更强,而中纬度梯度却减弱了D值相对于图2(a)平均值的标准差[见图2(b)]。在热带气旋所在地区出现了次大值。然而图2(b)的基本特征是从热带地区直到网格的北部边界D值扰动增加到了7倍。这些平均值和标准差是用来在EOF分析之前将D值场规格化的。经过规格化后,504个值的主要部分在每一个格点上将会有相同的方差。这样,每一格点在EOF分析的作用将是一样的。若不经规格化,则与中纬度格点有关的较大方差将对分析起支配作用。

三、经验正交函数分析

“经验正交函数”这一术语是由Lorenz(1956)引入并把它第一次应用到大气科学上的。从此,EOF分析作为一个使用最少的正交分量来说明地球物理场方差的工具而被广泛应用。例如,Rinne和Karhila(1979)曾阐明EOF分析能有效地表示整个半球上的行星和天气尺度特征。

这里所介绍的EOF分析技巧是仿照Kutzbach(1967)所作的一项巧妙处理而来的。由标准化后的D值构成矩阵A。A的每一列由一特定个例的M(=120)个格点的观测值组成。A的每一行由一格点的N(=504)个连续观测值构成。EOF分析的目的是为了确定一个M维的向量e。它是所有N个观测向量的最佳代表。也就是,我们要在 $e'e=1$ 的约束条件下将

$$(e'A)N^{-1}/e'e \quad (1)$$

取极大。值得注意的是向量e是由一组特定的观测值来定义的。在M维的一般情形下,我们要使每一维中的说明方差达到极大。

经验正交函数是作为特征向量用相关矩阵来计算的。这种相关矩阵包含了图1网格上504个D值场之间的空间关系。每一个特征向量表示了这组观测值的一个特定的空间流型。这些被限定为正交的函数可用来表示这些场。例如,第n个个例在A矩阵中可表示为:

$$\mathbf{a}_n = \sum_{i=1}^M c_{in} \mathbf{e}_i, \quad n=1, 2, \dots, N \quad (2)$$

它是正交系数 (c_{in}) 和特征向量的线性组合。

前 K 个特征向量 ($K \ll M$) 通常代表了 \mathbf{a}_n 中全部方差的大部分。这样, 第 n 个个例可近似写成

$$\mathbf{a}_n = \sum_{i=1}^K c_{in} \mathbf{e}_i, \quad n=1, 2, \dots, N \quad (3)$$

在本次研究中, 500hPa D 值场的特征值列于表 1。从被说明的方差百分数中可见, 第一个特征向量表示该方差的 33%。第二个特征向量又增加了 18%。如公式 (2) 所示, 120 个特征向量则能将场完全表示出来。

表 1 特征值及 500hPa 上, 正规化 D 值说明方差的累计百分数

	特征值	说明方差
1	39.86	33
2	21.60	51
3	9.29	59
4	7.43	65
5	6.08	70
6	5.29	75
7	4.00	78
8	3.13	81
9	2.49	83
10	2.11	85
...		
15	1.03	9.1
...		
20	0.58	94
...		
40	0.11	98
...		
60	0.04	99
...		
120	0.00	100

已有好几种方法可用以确定需要保留的特征向量的最佳数目 (K) (如 Cattell, 1958; Morrison, 1967; Preisendorfer 和 Barhett, 1977)。Rinne 和 Karhila (1979) 使用了对数特征值图解法, 该方法导致他们保留较多数目的特征值。Richman (1981) 分析了这一问题, 为了改进场的表示所作的分量旋转的使用情况。这里, 我们采用了 Preisendorfer 和 Barhett (1977) 的 Monte Carlo 选择方法。

应用规格化随机资料中的 100 个模拟样本 (平均值是零, 标准差是 1), 用 120×504 阶矩阵来计算 Monte Carlo 特征值。图 3 把从观测资料里得到的特征值和随机的 Monte Carlo 特征值作了比较。图中没有给出模拟特征值的标准差, 因为这些偏差比较小。9、10 和 11 型的标准差仅是 0.023。在那些物理特征值和模拟特征值偏离大于两个标准差的类型中, 该场