

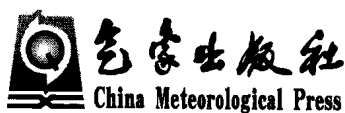
天气预报技术文集 (2010)

中国气象局预报与网络司 编

天气预报技术文集

(2010)

中国气象局预报与网络司 编



内容简介

本书是从 2010 年全国重大天气过程总结和预报经验交流会上的文章中精选而成,分为四个部分:第一部分 热带气旋,暴雨;第二部分 强对流;第三部分 预报技术;第四部分 其他灾害性天气。

本书可供全国气象、水文、航空气象等部门从事天气预报的业务、科研人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

天气预报技术文集. 2010/中国气象局预报与网络司编.

北京:气象出版社, 2011. 3

ISBN 978-7-5029-5171-9

I. ①天… II. ①中… III. ①天气预报-文集 IV. ①P45-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 024966 号

出版发行:气象出版社

地址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总编室:010-68407112

网址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:张锐锐 李太宇

封面设计:王伟

责任校对:永通

印刷:北京奥鑫印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

字数:647 千字

版次:2011 年 3 月第 1 版

定价:70.00 元

邮政编码:100081

发行部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终审:汪勤模

责任技编:吴庭芳

印张:25.25

印数:1~800 册

印次:2011 年 3 月第 1 次印刷

编者的话

2010年4月,中国气象局预报与网络司和国家气象中心在山东济南共同组织召开了“2010年全国重大天气过程总结和预报经济交流会。”。

此次会议召开前,我们先组织各基层单位对拟报送的文章进行了严格筛选,其后才收到了来自各省(区、市)气象局、民航等气象部门40余家单位推荐的168篇论文和技术报告。经专家评审,最终从其中筛选了90篇文章与会交流。其内容涵盖了热带气旋、暴雨、强对流、预报技术和其他灾害天气等方面的文章。会后经过与会专家的认真审定,又从中选取了68篇文章汇编成此本文集。

由于水平有限,加之时间紧迫,难免有疏漏之处,请读者指正并提出宝贵意见。

编者

2010年6月

目 录

编者的话

第一部分 热带气旋、暴雨

0903 台风(Linfa)的风结构分析及其在预报服务中的应用

..... 张加春 陈州川 饶灶鑫 等(1)

2009 年热带气旋“莫拉克”异常路径及其对海峡两岸影响 刘爱鸣 高 珊(6)

0907 号热带风暴“天鹅”异常特殊路径分析 王远超 黎 玲 陈明璐(12)

2008 年苏皖特大暴雨过程机理研究及预报技术分析 尹东屏 吴海英 张 备 等(16)

2009 年 6 月 28—30 日湖北区域性大暴雨诊断分析 王海燕 张 文 王 珏 等(24)

20090702 湖南湘中特大暴雨成因分析 邓见英 刘志雄 王 萍 等(31)

“0704”桂西南局部大暴雨过程成因分析 农 钢 周云霞 苏 彦(36)

甘肃陇东异常偏早暴雨个例分析 王位泰 徐启运 张天锋 等(40)

2009 年 7 月山西北中部一次区域性暴雨过程诊断分析 薄燕青 苗爱梅(45)

黑龙江省 6 月罕见的区域性暴雨天气过程分析 吴 英 张 杰 闫中帅(50)

鄂州 2009 年 6 月 8—9 日暴雨过程诊断分析 张火平 吴 涛(54)

鲁西北春季大暴雨机制研究 孙兴池 高慧君 李 静 等(60)

山东一次春季大暴雨过程的诊断分析 侯淑梅 孙忠欣 张 立(67)

“09.7”四川攀西暴雨的 MCS 特征及其成因分析 肖递祥 毛家勋 李 庆 等(75)

“5·23”广东特大暴雨过程特点及数值诊断分析 陈炳洪 林良勋 吴乃庚(82)

大连地区春季暴雨的大尺度环流特征 梁 军 李 英 蒋晓薇 等(90)

青海省东北部短时大到暴雨中尺度分析 海显莲 王志远 巨克英 等(98)

2005—2009 年中国 MCC 致洪暴雨的研究 井 喜 李社宏 屠妮妮 等(103)

四川“8.29”暴雨天气过程动力条件分析 邹琪美 林绍文 刘泽平(111)

2009 年晚春历史罕见暴雨与盛夏季节暴雨对比分析 张国华 段宇辉(119)

长沙市近 60 a 暴雨变化特征及灾害年景评估 陈 勇 凡安清 尹 娟 等(124)

一次区域性西南低涡大暴雨中尺度及物理过程诊断分析 李 强 刘 德 王 中 等(125)

2009 年江淮流域一次大暴雨天气过程分析 刘鑫华 张小玲(126)

0907 号热带风暴“天鹅”暴雨数值模拟研究 陈训来 陈元昭 张 蕾 等(127)

“8.29”川南大暴雨天气过程分析 王晓娟 陈三春(128)

第二部分 强对流

利用加密探测资料解析 20090603 商丘强飑线形成机理和可预警性

.....	牛淑贞	张一平	席世平等	(129)
2009.7.20 平泉龙卷雷达回波分析	李廷江	王宏	杨梅等	(141)
多单体风暴引发的严重风切变分析	李秀连	纪鹏飞	王科等	(150)
东北冷涡形势下的两次飑线分析与短时临近预报	陈邦怀	韩枫	吴飞乐等	(157)
T213、T639 数值产品在河南省雷电潜势预报中的释用 ..	王新敏	张霞	徐文明等	(163)
6 例龙卷天气的环境条件和涡旋特征研究	刘娟	朱君鉴	姚叶青等	(171)
晴空回波对强对流天气预警效果分析及应用	王丽荣	卞韬	苏运涛等	(182)
2009 年 5 月 9—10 日华北南部强降水天气分析	杨晓霞	周庆亮	郑永光等	(192)
江西初冬和春季强对流天气对比分析			陈云辉	(198)
“SWAN”产品在 2009 年影响广西强对流天气预报中的应用和初步检验				
.....	李向红	黄明策	曾小团等	(204)
雷达静锥区对强对流天气预报的影响	孙建印	侯宜广	贾红等	(213)
贵州 2009 年 2 月 26 日静止锋锋后冰雹天气过程成因分析				
.....	杨秀庄	汪超	彭芳	(214)
“090412”桂西北冰雹超级单体风暴过程分析	农孟松	祁丽燕	黄海洪等	(215)
黄土高原一次强对流天气过程数值诊断分析	郭大梅	杨文峰	杨帅等	(216)

第三部分 预报技术

低频天气图方法在辽宁延伸期降水过程预报中的应用 ..	王瀛	陈艳秋	袁子鹏等	(217)
多模式变权集成方法在吉林省短期要素预报中的试用			张智勇	(223)
用图像挖掘规则技术对冰雹回波识别	贾惠珍	路志英	王蕾等	(228)
风云 3 号卫星资料在暴雨预报中的应用	徐双柱	吴涛	张萍萍	(235)
基于贝叶斯方法的四川暴雨集合概率预报产品释用	陈朝平	冯汉中	陈静	(244)
基于非线性回归的雷电临近预报方法研究	姚叶青	袁松	郝莹	(253)
14 时地面资料修正 08 时探空在对流天气预报中的应用		盛志军	郭艳	(260)
北京奥运期间多模式降水检验	尤凤春	魏东	王雨	(265)
江苏省数值模式实时检验分析系统	张冰	魏建苏	曾明剑	(273)

第四部分 其他灾害性天气

2008 年梅雨异常大尺度环流成因分析	牛若芸	金荣花	(274)
一次高原低涡东移引发四川盆地强降水的湿螺旋度分析			
.....	黄楚惠	李国平	牛金龙 等(284)
WRF 模式对东北冷涡降水的预报能力检验	陈长胜	张智勇	丑士连 等(292)
2009 年吉林省伏旱灾害成因分析	杨雪艳	杨秀峰	杨光武(300)

一次降水过程的短时预报 郭 虎 王 令 时少英 等(306)

2009 年盛夏连阴雨太湖流域首场暴雨分析 陈永林 韩 昌(315)

091101 北京初冬大雪成因的动力诊断 段 丽 张琳娜 王国荣(320)

2009 年山西一次特大暴雪过程的流型配置及物理量诊断分析
..... 苗爱梅 贾利冬 李智才(328)

一次 β 中尺度暴风雪的成因及动力热力结构 易笑园 朱磊磊 孙晓磊 等(339)

一次华北回流型暴雪天气水汽、能量输送特点与预报偏差分析
..... 余文韬 孙晓磊 朱磊磊 等(346)

一场特大范围灾害性暴雪成因和预报难点分析..... 李玉香 孙凯军 王松华(352)

“4.29”西北强沙尘暴数值模拟及螺旋度分析 许东蓓 任余龙 李文莉 等(358)

乌鲁木齐国际机场 2009 年秋冬初雾天气过程分析 王风谦(369)

2009 年入秋首次寒潮天气过程分析 崔 绚 鲍媛媛 张金艳 等(376)

天津地区两次寒潮过程的对比分析..... 何群英 王亚男(384)

一次冬季罕见南支槽大风天气预报分析..... 吴星霖 罗 松 刘少荣(391)

鲁北沿海春季东北大风分析 王凤娇 赵 坤 葛 翔 等(392)

2009 年内蒙古河套地区久旱转雨诊断分析 宋桂英 韩经纬 王德民 等(393)

从“090416”雷暴过程探讨如何提高专业雷电预警服务 ... 王智刚 胡 燕 刘越屿 等(394)

隆冬季节罕见的雾伴小雨转雨夹雪转雪天气过程及可预报性分析
..... 乌 兰 银 笛 李一平等(395)

第一部分 热带气旋、暴雨

0903 台风(Linfa)的风结构分析及其在预报服务中的应用

张加春 陈州川 饶灶鑫 陈 煜 施曼华

(福建省泉州市气象局,泉州 362000)

1 引言

大规模建设的地面自动气象站,有助于对台风内部结构的认识,如刘晓波^[1]等利用上海地区地面自动气象站等资料对 0716 号台风“罗莎”影响上海期间的大风天气进行有意义的分析。但台风在海上时,实测的气象要素较为缺乏,这就造成了对于台风内部强度判断上的偏差,如:0903 号热带风暴(以下以台风称之)登陆晋江东石镇时的强度被定义为 $TS(23\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, 985\text{ hPa})$,对外预报服务的量级最大为阵风 10 级,然泉州沿海各地许多养殖设施却惨遭灭顶之灾,可以想见所预报风力与实际风力的差异,同时也可判定自动站实测风力的可信度还是比较高的。因此,对于台风内部风结构亟须作进一步的探究,如对于台风近中心最大风速、7 级和 10 级风圈半径大小、最大风速半径、台风大风区分布等的研究。近几年来,气象自动站实时监测网络的完善,为分析研究台风内部风圈结构提供较好条件。

0903 号台风 21 日 20 时许登陆福建晋江后沿着海岸线北上,直至 22 日 16 时在宁德近海北上离闽,历经 21 h,这样,可以获得 21 个时次的从粤东—浙南(大部分为福建)约 46 个沿海自动站的逐时台风观测实况资料。本文就此分析 0903 台风(Linfa)的风圈结构状况,以期清晰认识台风内部风圈结构,为做好台风预报服务提供有益帮助。

2 资料的分析处理

本文采用气象卫星综合应用业务系统下发的全国区域自动站逐时观测实况^[2],资料内容有:整点时刻的 2 min、10 min 平均风速;各时次内的 10 min 最大风速和极大风速。

目前,国内对于台风近中心最大风速、7 级和 10 级风圈半径所采用的风速均是 2 min 平均风速,但各整点时刻的 2 min 平均风速并不能代表各时次内的最大 2 min 平均风速状况,因此,选取各时次内的极大风速,根据极大风速与 2 min 平均风速的对应关系,求得各时次内的最大 2 min 平均风速。

2 min 平均风速 Y 与瞬时风速 X 的关系^[3]: $Y=0.79X-0.45$,现选取台风在福建境内时各沿海测站的样本资料,样本时间为 6 月 21 日 20 时(登陆时)至 6 月 22 日 11 时(从罗源出

海)共 16 个时次样本,内容为各时次的台风中心强度、最大的 2 min 平均风速出现测站、该测站与台风的距离等,列于表 1 中。

表 1 台风近中心最大风速与实测最大 2 min 平均风速表

时间	台风近中心 风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	地名	2 min 平均风速最大测站情况			实测最大风速与
			测点与台风相 对距离 $R(\text{km})$	2 min 最大平均(极大)		台风近中心风速
				风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	风向	相对偏差($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
21 日 19 时	23	海仓	44	25.7 (33.1)	N	2.7
21 日 20 时	23	围头	-12	29.3 (37.7)	SE	6.3
21 日 21 时	23	围头	-21	29.5(37.9)	SE	6.5
21 日 22 时	23	围头	-21	25.6 (33.0)	SSE	2.6
21 日 23 时	23	锦尚镇	25	21.9 (28.3)	S	-1.1
22 日 0 时	23	围头	-31	28.3 (36.4)	SSW	5.3
22 日 1 时	23	大屿岛	30	25.5 (32.8)	S	2.5
22 日 2 时	23	大屿岛	-17	22.7 (29.3)	S	-0.3
22 日 3 时	23	湄洲	-28	22.5 (29.0)	SSW	-0.5
22 日 4 时	23	南日	-54	25.2 (32.5)	SSW	2.2
22 日 5 时	23	秀屿石城	-39	24.6 (31.7)	SSW	1.6
22 日 6 时	23	南日	-41	24.8 (31.9)	SW	1.8
22 日 7 时	23	秀屿石城	-50	23.3 (30.0)	SSW	0.3
22 日 8 时	23	秀屿石城	-72	19.1 (24.7)	SW	-3.9
22 日 9 时	23	平潭北厝	-83	20.3 (26.3)	WSW	-2.7
22 日 10 时	20	荔城北高	-122	19.5 (25.3)	SW	-0.5
22 日 11 时	20	平潭北厝	-119	18.1 (23.5)	SW	4.0
绝对平均距离			47	23.9(30.8)	绝对偏差	2.5

注:表中测点与台风相对距离之负值表示测站纬度低于台风中心。

3 台风内部风结构分析

3.1 最大风速区

3.1.1 台风近中心最大风速与实测最大风速

分析 6 月 21 日 20 时(台风登陆)—6 月 22 日 11 时(从罗源出海)的 16 个时次样本资料所得(参见表 1),实测 2 min 最大平均风速介于 $18.1 \sim 29.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 即 8~11 级之间,平均值为 $24.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (9 级),台风近中心最大风速与实测 2 min 最大风速绝对偏差平均值为 $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,相当于一个风力量级,即台风近中心最大风速比实测 2 min 最大风速小一个风力量级,最大偏差达 $6.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,约差 2 级;实测平均瞬间极大风速 $30.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (相当于 11 级),最大为 13 级,而对外预报服务的量级最大为阵风 10 级,平均偏小 1 级,最大偏小达 3 级。

台风近中心最大风速大小确定上的偏小影响到对外预报服务量级,因此,对于台风近中心最大风速的确定尚需改进,如:利用沿海自动站资料,对登陆台风中心进行订正,以不断改进台风中心的定强模式,提高预报服务的精确度。

3.1.2 实测最大风速的变化

将台风在晋江登陆—罗源出海的 16 个时次逐时最大风速绘制成图 1,可以看出,从台风登陆晋江直到从罗源出海期间,台风沿着福建海岸线北上,在此阶段,实测 2 min 最大平均风速总体呈减弱趋势。登陆后实测 2 min 最大平均风速随时间的变化模式为: $V=-0.5764 t+27.998$,两者的相关系数 $r=0.78$,大于 $r_{0.05}=0.51$,可以认为台风登陆后实测 2 min 最大平均风速与时间是相关的,即随时间增长而减弱,该实测 2 min 最大平均风速随时间的变化关系对于风力预报具有一定的参考意义。

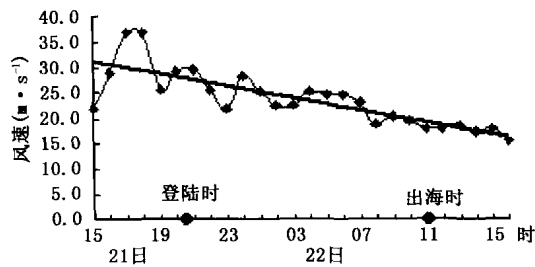


图 1 各时次 2 min 最大实测风速变化图

3.1.3 登陆后的台风强度与最大风速半径 R 关系

各时次 2 min 平均风速的最大测站与台风中心的距离介于 12~122 km 之间,平均距离为 47 km,即台风最大风速半径 R 为 47 km。在台风登陆初期,最大的 2 min 平均风速出现在台风中心附近,即 6 月 21 日 20 时—22 日的 3 个时次,最大的 2 min 平均风速出现在离台风中心 30 km 范围内,此后距离逐渐增大(图 2)。

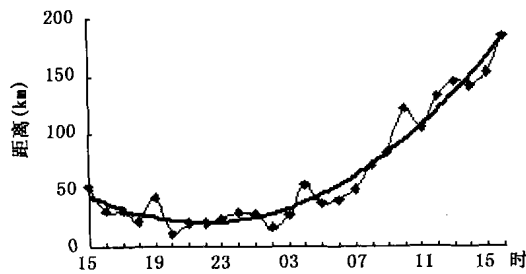


图 2 各时次实测 2 min 最大风速测站与台风中心的距离

胡邦辉等学者分析认为:台风衰减期最大风速的衰减使半径有一个迅速增加的过程^[4]。分析本例台风实况资料显示,台风登陆后至出海的过程中,实测最大风速逐渐减弱,实测 2 min 平均风速最大的测站与台风中心的距离则逐渐扩大,即台风近中心最大风速区离台风中心越来越远,这样,台风在减弱过程中,需注意台风外围的大风区而不只仅仅关注台风中心附近的风力情况。

台风中心气压回升、台风的最大风速半径加大的这一事实也与 Graham&Nunn(1959)所建议的经验公式计算最大风速半径 R (km)相一致,经验公式如下:

$$R = 28.52 \tanh[0.0837(\varphi - 28)] + 12.22 / \exp[(1013.2 - p_0) / 33.86] + 0.2V_c + 37.22$$

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

其中; φ : 台风中心纬度(度); V_c : 台风中心移动速度($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$); p_0 : 台风中心气压(hPa)。

由上述经验式推得结果知,中心气压 p_0 越高,即台风强度减弱,则最大风速半径 R 越大。因此,对于临登陆及登陆后海岸线行走的减弱台风,应警惕最大风速区扩大的问题,即最大风速区可能出现在离台风较远的地方而不是在台风中心附近。

3.1.4 最大风速区分布

一般情况下台风移向的右侧的风力较大^[5]。本次台风的最大风速区主要集中在台风移向的右下方即台风的第4象限(图3),台风移向右侧上方则非最大风速区,由此导致对于台风强风的怀疑而丧失应有警惕;另外,传统观念认为台风登陆后,其强度将大大减弱,台风大风不再会出现或将大大减弱,但本次台风的强风速区一直出现在台风移向的右下方即台风的第4象限,也即强风速区出现在台风登陆后。因此,应警惕台风登陆后西南大风的影响,不可忽略这种西南大风的潜在威胁。

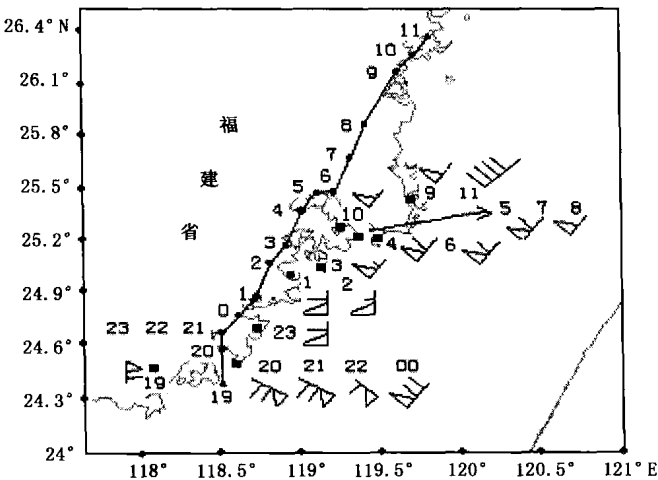


图3 最大风速测站与0903台风路径

(备注:图中19~23为6月21日各时次,00~11为22日各时次)

本次台风最大风速所对应的风向主要以SW为主,东南风频率较少,西南大风持续时间也长,如围头测站从21日6时开始出现8级以上瞬间大风直到22日13时止,长达33h,持续的强劲西南大风卷起的巨浪是造成正对的海岸设施严重受损的主因。另外,即使在台风经过前后,最大风速区一直未在长乐—罗源一带大片区域出现,此现象值得探究,该片海区的地形内凹,并不似其他最大风速区突兀于海峡,可能是原因之一。

3.1.5 台风最大风速区关键测站

在福建的几个测站点,因其独特的地理位置而成为台风最大风速区的常客,如,本次台风过境期间,镇海角、围头、大屿岛、湄洲、南日、秀屿石城、平潭、荔城北高、台山等地持续出现大风,因此应重点加强对其的维护。

3.2 7 级风圈半径

实测 2 min 平均风力 7 级的确定方法:在台风环流内,实测 2 min 平均风力达 7 级的离台风中心最远端的测站,其与台风中心的距离定义为实测 2 min 平均风力 7 级风圈半径,如下表所示:

表 2 21 日 20 时—22 日 11 时各时次实测 2 min 平均 7 级风圈半径(单位: km)

时次	20	21	22	23	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
半径	160	206	167	175	152	155	257	248	257	271	316	278	228	268	284	299

实测 2 min 平均 7 级风圈半径为 233 km,比 260 km 台风 7 级风圈半径小了 14%,特别是在台风登陆后的前几个时次,实测 2 min 平均 7 级风圈半径小于 200 km,反映了台风 7 级风圈半径往往比实际偏大的事实,即实际大风的出现时间较迟,以至于被误会没有大风,因此,也有必要对于台风 7 级风圈半径进行必要的定强修正。

资料显示,实测风速曾出现 10 级以上大风,而所确定的台风强度并无 10 级风圈半径,这也是量级定位不足的表现。

4 结 论

综合以上分析,本次台风风结构所给予的预报服务有如下提示:

(1)沿着海岸线北上的台风,采用沿海自动站逐时实况资料近似反映台风的实际内部原始状况,其可靠性强。

(2)台风近中心最大风速往往比实际偏小,此影响到对外预报服务量级;台风 7 级风圈半径则往往比实际偏大,即实际大风的出现时间较迟,易被误会没有大风,因此,台风强度的定强模式尚需改进。

(3)一般情况下台风移向右侧的风力较大,当台风移向右侧上方无出现最大风速区时,则应警惕台风移向右侧下方可能存在着最大风速区;不能简单认为台风登陆后,其强度将大大减弱,台风大风不再会出现。总之,应警惕台风后部西南大风的影响。

(4)最大 2 min 平均风速区与台风中心的距离介于 12~122 km 之间,平均距离为 47 km,即台风最大风速半径 R 为 47 km。

(5)台风沿着福建海岸线北上的过程中,实测 2 min 最大平均风速总体呈减弱趋势;但最大平均风速区与台风中心的距离(台风最大风速半径 R)则逐渐扩大,即台风近中心最大风速区离台风中心越来越远,这样,台风在减弱过程中(风速减弱、气压回升),需注意台风外围的大风区而不只仅仅关注台风中心附近的风力情况。

参 考 文 献

[1] 刘晓波,邹兰军,夏立. 2008. 台风罗莎引发上海暴雨大风的特点及成因[J]. 气象, (12):72-78.
[2] 张加春,陈煜,谢启杰等. 2007. 在 Web 中自动绘制台风实时路径图[J]. 气象科技, (4):607-609.
[3] 谭冠日,严济远,朱瑞兆. 1985. 应用气候[M]. 上海:上海科学技术出版社.
[4] 胡邦辉,谭言科,王举. 2004. 热带气旋海面最大风速半径的计算[J]. 应用气象学报, 15(4):427-435.
[5] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文等. 2007. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社.

2009 年热带气旋“莫拉克”异常路径及其对海峡两岸影响

刘爱鸣 高 珊

(福建省气象台,福州 350001)

摘 要

2009 年 8 号热带气旋“莫拉克”前期向偏西方向移动,而国内外各家预报的路径比实况偏北,误差大;“莫拉克”在登陆台湾岛前后和台湾海峡期间移动异常缓慢,造成台湾、福建和浙江持续强降水,特别是引发台湾巨灾,为历史罕见。应用常规资料,结合雷达、云图和其他观测资料,分析“莫拉克”异常路径及其对海峡两岸影响,结果表明:(1)500 hPa 欧亚中高纬度为两槽一脊的形势和东北区域大范围的正变高使副热带高压加强西伸,以及“艾涛”前身低压阻挡了副热带高压南落的共同作用,使得“莫拉克”前期向偏西方向移动。(2)高空冷涡提供了有利于热带低压维持和发展的动力条件,热带低压的维持又对“莫拉克”的移动造成影响。(3)冷空气持续南下造成副热带高压减弱,并且在“莫拉克”北侧形成稳定低能区;高空冷涡引起“莫拉克”北侧中高层高度下降和东风引导气流减弱;弱环流和多热带气旋的环境下,“天鹅”和“艾涛”对“莫拉克”的反方向的作用力等因素的综合作用,是“莫拉克”在海峡移速异常缓慢的原因。

关键词:热带气旋 异常路径 冷空气 高空冷涡

引言

热带气旋(简称 TC,下同)路径预报的准确性直接影响到 TC 登陆地点、时间及 TC 带来的风雨影响区域、时间的预报,关系到政府部门防御 TC 的部署。虽然国内外气象学者对 TC 路径进行了深入的研究^[1~4],取得了不少成果,但影响 TC 路径的因素很多,环境场、TC 结构、TC 与周围系统的相互作用等都会影响到 TC 的移动路径,目前实际业务中,对异常路径 TC 的预报准确率仍然不够理想。

2009 年 8 号热带气旋“莫拉克”移动路径复杂,前期向偏西方向移动,后期转向偏北方向移动;靠近台湾岛时移速明显减慢;在台湾海峡期间,移速更是异常偏慢,登陆台湾岛后再次登陆福建的时间长达 41 h。移速异常缓慢造成对其再次登陆福建时间和福建暴雨开始时间的预报偏早;同时由于“莫拉克”在台湾岛和台湾海峡滞留时间长,造成强降水持续时间长,累计雨量大。台湾、福建和浙江均出现了创历史极值的雨量,特别是台湾南部连日大暴雨到特大暴雨,阿里山过程雨量达 3059.5 mm,引发台湾巨大灾害。如此罕见路径,数值预报难以做出准确预报。应用常规资料,结合雷达、云图和其他观测资料,从周围系统和上下层系统的相互作用对“莫拉克”前期向偏西方向移动和后期移速异常偏慢原因进行分析,以期今后的 TC 路径业务预报提供一定的帮助。

1 稳定西行成因分析

1.1 环流背景分析

8月4日“莫拉克”生成时,500 hPa 欧亚中高纬度为两槽一脊,西槽位于乌拉尔山,东槽位于华北北部到朝鲜东部,脊位于贝加尔湖西部,副高在 140°E 以东;0807 号热带风暴“天鹅”位于深圳偏南方约 200 km 的海面上(图 1a)。副高偏东,中高纬度多低槽东移,以及“天鹅”对“莫拉克”的互旋作用,似乎都有利于“莫拉克”向西北方向移动。但仔细分析发现,东槽后部有大片正变高,中心达 $+8\text{ dagpm}$,东槽将很快东移减弱,其后贝加尔湖的高压脊东移,有利于副高加强西伸。5 日我国华东、华中区域受高压脊控制,该区域正变高明显,随后高压脊和西伸加强的副高环流将打通,6 日副高明显加强西升,西脊点达 122°E ,并与大陆高压脊叠加,在华东北部形成高压坝,从 4 日到 6 日,东北及其以北区域一直维持着大范围的正变高(图 1b)。7 日东北及其以北区域转为负变高,7 日 20 时副高开始减弱,8 日西脊点退到 130°E ,且中心南落。综上环流形势分析表明,500 hPa 欧亚中高纬度为两槽一脊的形势和东北区域大范围的正变高有利于副热带高压加强西伸,且 7 日前“莫拉克”与“天鹅”的距离在 1800 km 以上,“莫拉克”主要受加强西伸副高南侧的偏东气流引导向偏西方向移动。

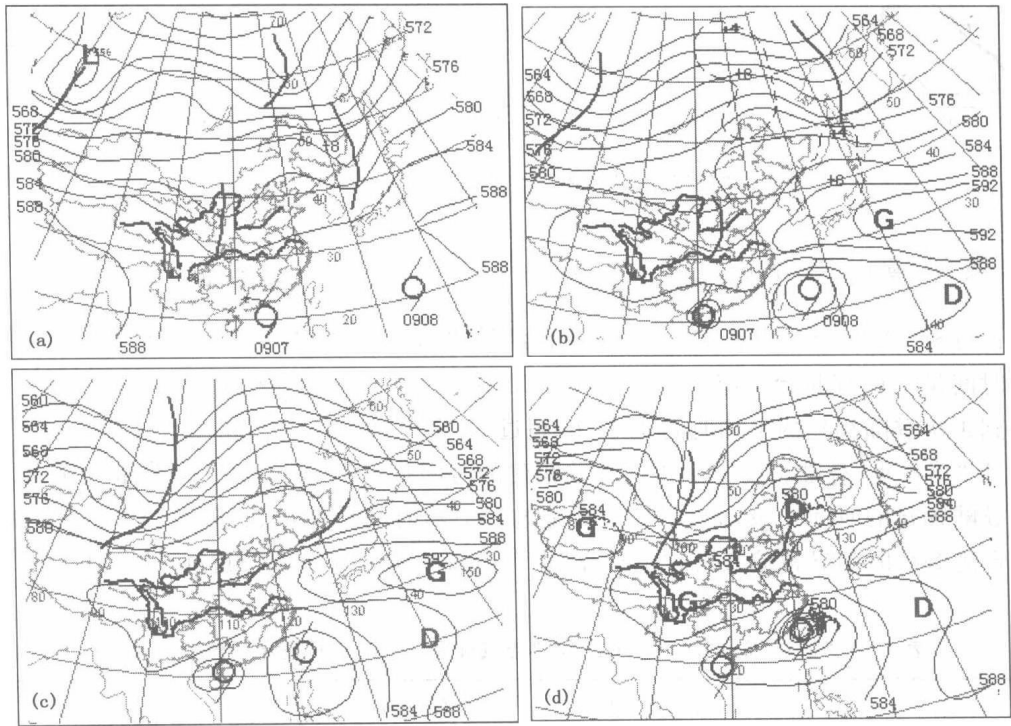


图 1 2009 年 8 月 4 日(a)、6 日(b)、7 日(c)、8 日(d)500 hPa 天气形势

1.2 热带云团的影响分析

在“莫拉克”生成时,在其东南面约 1900 km 处有一热带低压,在副高南侧向西北方向移动,与“莫拉克”之间的距离逐渐缩小,6—7 日距离在 1500~1800 km(图 2)。这个热带低压的存在,一方面通过双 TC 的互旋作用对其西面的“莫拉克”的移动产生了向左的作用力,抵消了

“天鹅”对“莫拉克”向右的作用力；更主要的是阻挡了副热带高压的南落。在本次过程的预报中,低估了这个热带低压的作用,一直认为西太平洋副热带高压的西脊点较偏东,当“莫拉克”移到副高的西南侧时,副高主体将南落,TC 路径的偏北分量将加大。但由于副高南面这一低压的存在,使得副高主体和“莫拉克”东侧 588 线不易南落,副高脊线始终维持东西向,“莫拉克”中心与副高脊线的距离最少也在 7 个纬距以上,“莫拉克”一直位于脊线南侧的东风带气流下西行。这一热带低压的存在所构成的特定的东风带的环流背景场,对“莫拉克”西行起了重要的作用。上海台风研究所李青青利用 WRF 模式做“莫拉克”东南面的热带低压发展与不发展的对比试验(不同积云参数化方案)也表明了这一点(图略),热带低压未发展,“莫拉克”出现向西北甚至偏北方向移动的路径;热带低压过强发展,则“莫拉克”出现向偏西甚至西偏南方向移动的路径,可见,热带低压对“莫拉克”路径起到关键作用。

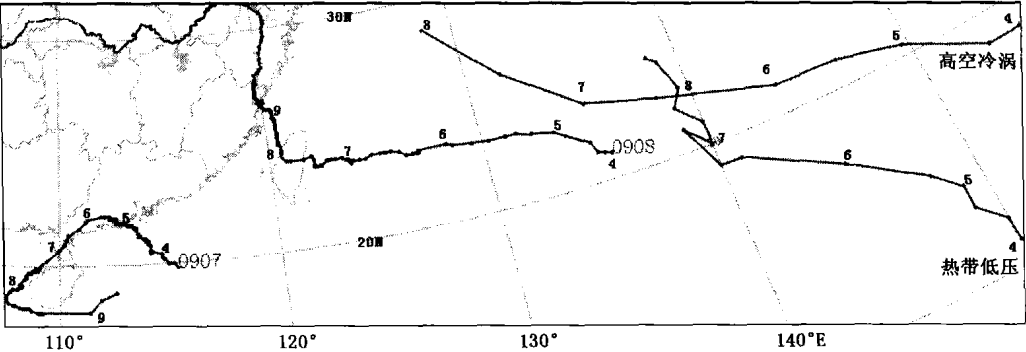


图 2 “莫拉克”、“天鹅”、热带低压、高空冷涡实况路径

2 移速缓慢成因分析

统计分析 1949—2009 年 61 a 里,登陆台湾后再次登陆福建的热带气旋共 68 个,其中过岛平均时间是 6 h;穿越台湾海峡平均时间是 11 h,超过 24 h 的仅 2 例:5627 和 0908TC;登陆台湾岛到再次登陆福建的平均时间是 17 h,超过 30 个 h 的仅 3 例:5627、8921 和 0908TC。由表 1 可见“莫拉克”登陆台湾岛到再次登陆福建的时间打破 1949—2009 年热带气旋登陆台湾到再次登陆福建的时间纪录,8921TC 主要是过台湾岛时间异常偏长;5627TC 和“莫拉克”主要是在台湾海峡时间异常偏长,而“莫拉克”在台湾海峡时间异常偏长超过 5627TC 近 10 h,历史罕见。

表 1 “莫拉克”和 8921 号,5627 号热带气旋登陆台湾岛再登录福建时间比较

	过台湾岛时间	在台湾海峡时间	登岛到再次登闽时间
平均时间	6.3 h	11.0 h	17.3 h
最快时间	1 h(8015)	4 h(7811)	8.5 h(7811)
最慢时间	27 h(8921)	28 h(5627)	41 h(0908)
0908(莫拉克)	6 h	35 h	41 h
8921	27 h	13 h	40 h
5627	6 h	24.5 h	30.5 h

2.1 环境引导气流变化分析

分析“莫拉克”移动速度在 7 日后开始减慢的原因,发现其与环境引导气流的减弱有关。从副热带高压的演变可以看到,7 日副热带高压开始减弱东退,偏东风引导气流明显减弱;特别是 8 日副热带高压明显减弱东退,台风进入鞍形场;8 日后期,随着“艾涛”前身低压的北上,副热带高压明显南落,在台风东南侧出现一高中心。随着西太平洋副热带高压的东退南落以及“莫拉克”移近来自南海的西南气流,“莫拉克”的偏南引导气流加大,出现向北的移动分量。总体上 7 日后期到 9 日,“莫拉克”所处的环境引导气流弱,使其移速减慢,甚至出现停滞不前。

2.2 多热带气旋相互作用

由图 1 可见,7 日后期起,随着“莫拉克”的西行,与“天鹅”的距离逐渐减小,因此,存在发生腾原效应的可能,“天鹅”向西偏南方向移动,“莫拉克”偏北分量加大。同时“莫拉克”东面的热带低压受海上副高西南侧强的东南引导气流,比较稳定快速地向西北方向移动,在 8 日后期已从“莫拉克”的东南方移到了东偏北方,9 日发展成 0909 号“艾涛”,其对“莫拉克”向南的作用力变得更加明显。在弱环境流场下,“天鹅”和“艾涛”对“莫拉克”的反方向的作用力,使“莫拉克”处于相对静止状态,移速异常缓慢。

2.3 高空冷涡的作用

200 hPa 流场分析表明,8 月 4 日“莫拉克”生成时,在其东部 2000 km 处有一高空冷涡向偏西方向移动。在卫星云图上可以看到(图 4 上),冷涡中心附近云量很少,冷涡以南有大范围的对流云团,其北界到西界呈螺旋状卷向冷涡中心。7 日 20 时冷涡从南大东岛(47945)站北侧经过,由图 3 可见,7 日 20 时该站 300 hPa 以上高度明显下降,200 hPa 下降最大;同时 500 hPa 以上风场从东风转为西南风,200 hPa 西南风最大。该冷涡仅出现在 500 hPa 高度以上,发展最深的层次是 200 hPa,它对“莫拉克”路径起到一个间接的、但却是重要的影响。

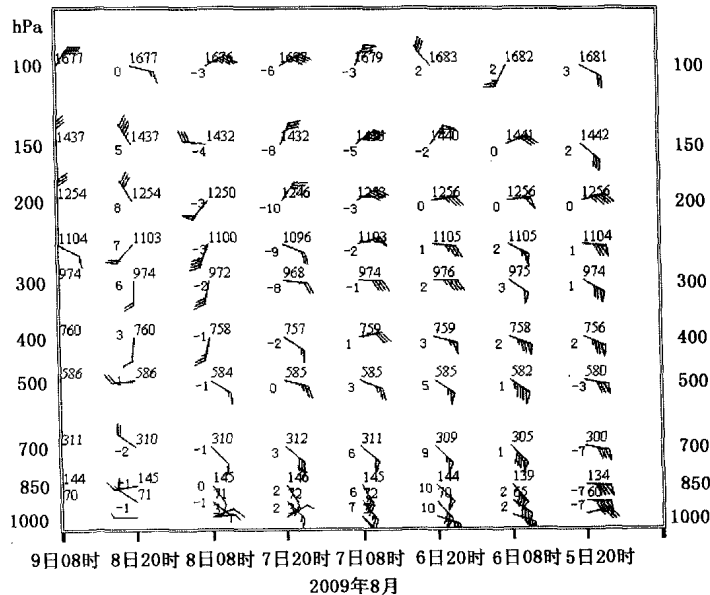


图 3 南大东岛(47945)2009 年 8 月 5—9 日探空时间

(1)高空冷涡提供了有利于“艾涛”发展的背景条件。

由图 4(下)可见,高空冷涡西侧有一支强的偏北气流正好叠加在低层低压(“艾涛”前身)上,有 $\geq 16 \times 10^{-3}$ 强的辐散区,高空强辐散抽吸作用,有利与低层低压的发展。同时冷涡云型的特征是:冷涡中心附近是少云区,南侧是大范围对流云带。冷涡中心附近的少云区,在对流层里是干和冷的,它对应着天气尺度的下沉运动;冷涡外围的对流云带是一湿区,对应着天气尺度的上升运动。这种互为补偿的上升和下沉运动,也是低层扰动能够存在和发展所必需的。冷涡的特定结构,为“艾涛”初期(热带低压阶段)发展提供了一种有利背景条件。而这一热带低压的维持和发展,对“莫拉克”的前期西行和后期缓慢移动都造成了很大影响。

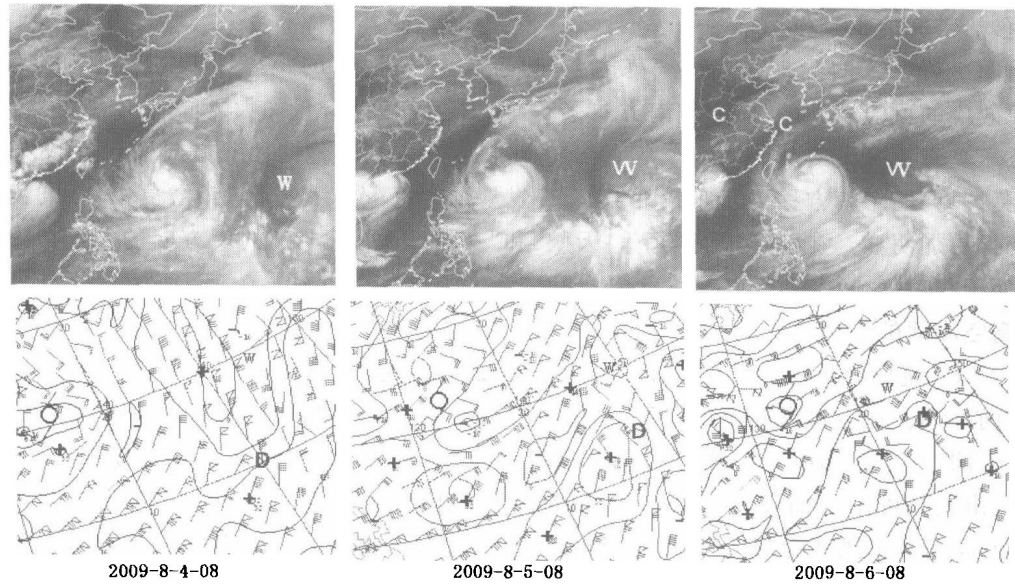


图 4 2009 年 8 月 4—6 日 200 hPa 风场和散度场 $\times 10^{-3}$ 及相应时间的水汽图
(W 高空冷涡, D 热带低压)

(2)高空冷涡造成“莫拉克”上空高空流场变化

5—6 日,“莫拉克”北侧中高层为东西向高压带,其南侧的东风带延伸到 120°E 附近,在深厚的偏东气流引导下,“莫拉克”以 $20\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度稳定西行。随着高空冷涡向西北移动进入日本岛南部洋面,“莫拉克”北侧中高层高度下降,东风减弱,特别是 8 日开始,500 hPa 以上高度均转为南风(图 3)。高空冷涡造成“莫拉克”上空高空流场发生变化,中高层平均引导气流的东风强度减弱并转为南风,导致“莫拉克”移速减慢并转向偏北方向移动。

2.4 冷空气的影响

受 $40^{\circ}\text{—}45^{\circ}\text{N}$ 的锋区上的冷空气持续从沿海南下影响,原来“莫拉克”北侧的东西向高压带断裂,8 日,“莫拉克”处在东西两个高压之间,引导气流很弱,“莫拉克”主要受其东南方发展并向北扩展的高压引导,缓慢向偏北方向移动。

同时,由于冷空气从沿海南下,“莫拉克”北侧受干冷气团控制,为低能区,不利于其北上^[5]。850 hPa 温度场分析表明(图略),与 500 hPa 沿海槽相对应,长江口以北的华东沿海为冷温槽控制,8 日到 9 日,在“莫拉克”沿海峡北上期间, 17°C 的冷中心往南掉。分析 K 指数和 θ_e 场表明,8 日到 9 日,低值区从长江口往南伸到福建北部。“莫拉克”7 日夜间登陆台湾岛后,主要转受其东南方高压引导,向偏北方向移动,但其北侧的低能、稳定区又阻挡了他的北上,导