

田刚,袁杰,罗剑琴,等.MM5 模式在三峡工程大风预报中的应用及检验分析[J].暴雨灾害,2009,28(2):168-172.

# MM5 模式在三峡工程大风预报中的应用及检验分析

田 刚<sup>1</sup>,袁 杰<sup>2</sup>,罗剑琴<sup>1</sup>,陈良华<sup>2</sup>,李 波<sup>2</sup>

(1.湖北省宜昌市气象局,宜昌 443000;2.三峡梯调通信中心,宜昌 443133)

**摘 要:**利用基于 MM5 中尺度模式的短时预警系统的逐小时风向风速预报产品和三峡工程周边自动气象站逐小时观测资料,对 2007 年 1 月至 2008 年 5 月三峡坝区发生的大风天气进行预报检验分析。结果表明,中尺度模式对雷雨大风基本无预报能力,但对晴空系统性大风有很强的预报能力,模式可以对晴空系统性大风的出现时间、强度变化趋势和风向提供较准确的预报,对晴空系统性大风的结束时间也有一定的预报能力。宜昌市气象局利用基于中尺度模式的短时预警系统预报晴空系统性大风,用多普勒雷达对雷雨大风进行临近监测,近年来在三峡工程气象保障服务中取得了良好的服务效果。  
**关键词:**中尺度模式;三峡工程;大风预报检验

中图分类号:P457.5 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2009)02-0168-05

## 1 引言

自三峡工程开建以来,三峡工程屡遭大风袭击并造成重大损失。工程建设期坝区工地曾因 10 级以上狂风造成门机相撞和门吊倒塌的严重事故。而随着工程建设的逐渐完工,特别是永久船闸完建投入使用以来,频繁出现的大风屡屡造成船闸封航,严重阻碍了长江黄金水道通航。据统计,2007 年受恶劣天气影响三峡船闸累计停航 84.8 h,因为大风影响停航时间长达 49.5 h,最长一次阻航时间近 16 h。2008 年仅 1—4 月,大风导致船闸停航达 27.3 h,可见大风天气对三峡工程的影响是不可忽视的。三峡坝区处于山区河谷地带,复杂地形为大风预报预警增加了很大的难度,因此开展三峡坝区大风精细化预警研究和系统建设,对研究山区大风预报和保障三峡工程建设和船闸安全运行调度具有及其重要的意义。

近年来,国内外许多气象工作者已利用中尺度模式开展了大风过程的预报研究<sup>[1-5]</sup>,但用数值模式建立大风短时预警系统的研究尚不多见。自 2006 年起,宜昌市气象局为了满足三峡、清江等大型水利枢纽工程的应急气象保障服务需求,不断完善精细化预报业务,利用高性能并行机群和 MM5 中尺度数值模式,建立了三峡-葛洲坝灾害性天气短时预警系统<sup>[6]</sup>,并投入业务化运行。本文即利用该系统对 2007 年 1 月至 2008 年 5 月三峡坝区发生的大风天气进行预报检验分析,以便今后更好地在重点工程中利用中尺度模式来解决精细化气象预报服务的问题,避免因大风而造成损失。

## 2 资料说明

### 2.1 观测资料来源

本文主要以坛子岭气象站的风资料作为观测资料。坛子岭气象站位于三峡大坝坝址坛子岭公园内,在已完建的三峡永久船闸和在建的升船机之间,对坝区通航调度和在建工程敏感性而言其代表性好,在一般情况下,该站的风速最大,可以反映坝区实际的风力特征。但在有的情况下,大坝附近江面大风对通航安全也有较大影响,当坛子岭气象站无大风记录而出现封航记录的个例时,则利用坝区周边其它气象站观测资料作为补充。选取 2007 年 1 月 1 日至 2008 年 5 月 31 日逐小时观测资料。

### 2.2 预报资料来源

中尺度数值模式预报资料使用三峡-葛洲坝灾害性天气短时预警系统的逐小时风向风速预报产品资料。模式计算初始资料为前一日 20 时 NCEP 预报场资料,预报产品资料为当日 08 时至第二日 08 时的逐小时预报数据资料。

### 2.3 大风定义

按照工程施工和通航调度规程,极大风速 $\geq 10.8$  m/s 即要做好停工和封航准备,因此文中大风定义为:1 日中(08—08 时)逐时观测资料中极大风速 $\geq 10.8$  m/s,定义为一个大风日或大风过程。

## 3 三峡坝区大风类型及预报预警现状

为了分析瞬时大风和持续性大风对三峡过程的不

收稿日期:2008-08-03;定稿日期:2009-01-28

基金项目:中国长江电力股份公司科研项目(240602002)资助

作者简介:田刚,男,1976 年生,高级工程师,主要从事天气预报工作。Email: yctg@163.com

同影响,本文使用最大风速表征大风的持续性强度,用极大风速表征大风的瞬时强度。文中最大风速指给定时段内的 10 分钟平均风速的最大值,极大风速指给定时段内的瞬时风速的最大值。当统计大风过程时,时段为当日 08 时至次日 08 时;统计大风日变化时,时效为逐小时。

依据宜昌多普勒雷达的探测能力,统计分析历年三峡坝区产生的大风过程,可将坝区大风分为两种类型:一种是大风发生时雷达回波监测无明显降水系统活动,大风发生前后 6 h 内坝区无降水,通常表现为从低层到高层坝区周边受一致的西北气流控制,包括冷锋大风、动量下传以及因地形和热力作用产生的山谷风,统称为晴空系统性大风(以下简称晴空大风),此类大风极大风速一般在 13~20 m/s 左右,风速大于 20 m/s 的较为少见,但最大风速常大于 10.8 m/s,由于大风持续时间长,对航运调度的影响较大,此类大风在 11 月至次年 5 月早、中、晚各时段均可能出现;另一种为雷雨大风,其发生时从雷达上可以清楚监测到有回波活动,此类大风极大风速经常超过 20 m/s,但最大风速大于 10.8m/s 的过程较少,由于大风持续时间相对较短,对航运调度影响较小,主要出现在 5—10 月的午后到夜间。2007 年 1 月至 2008 年 5 月造成三峡船闸封航 30 分钟以上的大风过程均为晴空大风。

统计三峡坝区历年极大风速大于 10.8 m/s 的大风过程,结果表明:三峡坝区两类大风中晴空大风约占 45%,雷雨大风约占 55%;而 2005 年至 2007 年最大风速大于 10.8 m/s 的大风过程,晴空大风却占坝区大风 75%以上。值得注意的是,三峡坝区虽然极大风速 $\geq 17.0$  m/s 的大风过程较多,但极大风速并不能反映风灾的损害程度,如 2008 年 7 月 17 日三峡坝区出现雷雨大风天气,日极大风速达到 30.1 m/s,但日最大风速只有 10.4 m/s,未对工程施工和船闸通航带来的影响。因此相对于持续时间较短的雷雨大风而言,持续时间长的晴空大风给三峡工程带来的影响更为频繁和显著。

自 2001 年宜昌多普勒雷达投入使用以来,三峡坝区雷雨大风的短时监测预警能力大大提高。而 2006 年以前,雷达还无法监测到的晴空大风却一直是困扰坝区气象服务的一大难题。2007 年,基于中尺度模式的灾害性天气短时预警系统投入使用,较成功的研究了晴空大风预报预警方法。目前利用多普勒雷达对雷雨大风进行临近预警,同时使用中尺度模式的结果发布晴空大风的预报,对三峡工程大风的预警服务取得了突出的进展。

## 4 基于中尺度模式的短时预警系统预报三峡坝区大风效果检验

### 4.1 短时预警系统简介

宜昌市气象局 2006 年建立的灾害性天气短时预警系统是基于本地化的 MM5 中尺度数值模式,以 NCEP 资料为初始场,以 64 位并行机群为计算平台,结合动态网页信息发布方式,实现了 24 h 内可能出现的灾害性天气预警信息和 48 h 内逐小时风向风速、气温、降水量等要素高时空分辨率预报产品的直观输出。

MM5 模式中心位于 30.7°N、111.3°E,采用两层嵌套:粗网格水平分辨率 33 km,格点数 81×81,细网格水平分辨率 11 km,格点数 109×109,垂直方向为 23 层,采用不等格距。初值采用 NCEP 1°×1°格点资料作为背景场,初始时刻为前一日 20 时,预报时段为 60 h。模式使用如下参数化方案:

土壤温度方案:5 层土壤模式(5-layer soil model);辐射方案:云辐射方案(cloud);行星边界层:MRF 方案;水汽方案:混合相方案(mix phase);积云参数化方案:Kuo 和 Grell 方案。

灾害性天气短时预警系统实际使用预报时段为当日 08 时至下一日 08 时 24 h 的资料,每天早上 7:30 左右,即可查询当日 08 时至下一日 08 时强对流、高、低温、强降水以及大风是否达到预警标准。因所采用的两种积云参数化方案对风的预报基本相近,本文主要利用该预警系统 Kuo 方案的逐小时风向风速预报资料进行三峡坝区大风预报效果研究。

### 4.2 不同类型大风一般性预报效果检验

由于模式预报输出的逐时地面风向风速结果为整点时刻的 10 分钟平均风速( $V_{F_{ori}}$ ),应用实践表明,其输出值与该整点时段内预报的最大风速( $V_{F_{max}}$ )原则上可按以下公式进行计算:

$$V_{F_{max}}=V_{F_{ori}}\times 1.5 \quad (1)$$

即系统输出风速 $\geq 7.2$  m/s,即可认为该时段内最大风速可达 10.8 m/s。由于在三峡气象服务中要求极大风速达到 6 级即要发布警报,考虑到极大风速的瞬时性,因此本文统计中分别按照专项服务需求和行业标准对模式预报效果进行 TS 评分检验,对 1 日中(08—08 时)极大风速和最大风速 $\geq 10.8$  m/s 的两类大风过程同时进行检验,数值预报结果均以 7.2 m/s 为大风临界值。

表 1 给出 2007 年 1 月 1 日至 2008 年 5 月 31 日中尺度模式对坝区大风过程的预报评价结果,由表可见,中尺度模式对晴空大风和雷雨大风的预报能力区别明显。对于极大风速 $\geq 10.8$  m/s 的预报,中尺度模式

对晴空大风预报正确率 80.8%,空报率 16.0%,漏报率为 4.5%;而对最大风速  $\geq 10.8$  m/s 的预报,晴空大风预报正确率为 64.0%,空报率 36.0%,漏报率为 5.9%;其中晴空大风唯一的一次漏报是离坝较远三峡通航管理局测站风速刚刚达到大风标准,大坝附近所有各类气象站极大风速均未超过 9 m/s,对船闸而言属可封航可不封航范围,因而中尺度模式可视为对晴空大风无漏报。可见,MM5 中尺度模式对晴空系统性大风预报能力较突出,准确率高,空报少,无漏报,对于坝区气象服务要求的极大风速  $\geq 10.8$  m/s 大风预警而言,模式输出结果可直接应用于坝区晴空大风预警服务。

表 1 2007 年 1 月 1 日至 2008 年 5 月 31 日三峡坝区大风预报过程检验

检验情况	极大风速 $\geq 10.8$ m/s		最大风速 $\geq 10.8$ m/s	
	晴空大风	雷雨大风	晴空大风	雷雨大风
正确/次	21(17)	2	16	0
空报/次	4	5	9	5
漏报/次	1(0)	14	1(0)	2

注:当有()时表示坛子岭风速未达标准但对通航或施工有影响的大风日,(0)内容表示坛子岭实况

从表 1 还可看出,MM5 模式对极大风速  $\geq 10.8$  m/s 的雷雨大风预报正确率仅为 13.6%,空报率达 71.4%,漏报率为 87.5%。对最大风速  $\geq 10.8$  m/s 的雷雨大风预

表 2 模式预报最大风速起止时间与实况极大风速和最大风速以及船闸封航起止时间

过程时间 (年-月-日)	预报风速 $V_{F_{oi}}$	实况最大风速	实况极大风速	船闸封航时段 (月-日 T 时:分)
	$\geq 7.2$ m/s 时段 (月-日 T 时:分)	$\geq 10.8$ m/s 时段 (月-日 T 时:分)	$\geq 10.8$ m/s 时段 (月-日 T 时:分)	
2007-05-03	05-03T03:00-07:00	05-03T15:47-16:31	05-03T15:40-17:01	05-03T15:30-20:40
2007-05-04	05-04T08:00-09:00	05-04T10:59-14:06	05-04T09:00-18:28	05-04T04:50-09:45
	05-05T04:00-08:00	05-05T10:59-11:27	05-05T10:05-14:05	
2007-05-15	05-15T22:00-16T04:00	05-15T22:52-16T12:10	05-15T20:37-16T16:11	05-15T19:50-16T11:25
2007-05-17	05-17T01:00-13:00	05-17T00:59-18:56	05-16T21:13-18T04:12	05-17T02:50-11:50
2008-02-22	02-22T01:00-10:00	02-22T03:34-11:03	02-22T02:54-13:06	02-22T02:32-11:55
2008-02-29	02-29T08:00-14:00	02-29T10:50-11:26	02-29T09:43-14:24	02-29T10:37-14:30
2008-03-26	03-26T08:00-16:00	03-26T10:16-15:04	03-26T09:51-16:01	03-26T10:30-14:30

注:实况极大、最大风速起止时段为小时观测数据时间段,实际维持时间略长于表中所示时间

统计还发现,当模式连续 5 h 预报有大风时,坛子岭实况观测均出现大风。实况极大风速和最大风速  $\geq 10.8$  m/s 的开始时间与封航开始时间基本满足以下关系:极大风速  $\geq 10.8$  m/s 开始时间早于封航开始时间,封航的开始时间早于最大风速  $\geq 10.8$  m/s 开始时间。由此可以看出:中尺度模式对晴天大风的预报基本上可以满足在预警中的应用要求。

4.4 晴空大风强度预报误差检验

将模式预报风速按公式(1)换算成最大风速,对坝区发生的大风过程以及空漏报过程计算预报与实况风速误差。表 3 给出了 2007 年 1 月 1 日至 2008 年

报正确率 0,空报率 100%,漏报率为 100%。可见,中尺度模式对雷雨短时大风基本无预报能力。雷雨大风的预警问题应以多普勒雷达监测给予补充。

4.3 晴空大风时段预报误差检验

2007 年 1 月至 2008 年 5 月造成三峡船闸封航 1 h 以上的大风过程共 10 次,其中 7 次坛子岭出现大风记录。表 2 列出这 7 次过程模式预报  $\geq 7.2$  m/s 持续时间、实况观测最大风速和极大风速  $\geq 10.8$  m/s 持续时间以及船闸封航时段。其中预报时段以 08—08 时为主,若观测记录第二日 08 时仍有大风,预报对比时刻相应延长,观测时间为整点时刻内最大风速和极大风速的出现时刻,实际  $\geq 10.8$  m/s 持续时间要略长于表中所示时间。

比较实况和中尺度模式预报的最大风速出现结束时间以及船闸封航开始结束时间(表 2),可以看到大风出现时间与预报出现时间误差除 5 月 3 日为 11~12 h,5 月 17 日为 4~5 h 外,其它 5 次过程基本都在 0~3 h,说明数值预报对大风的出现时间预报能力较强。而船闸封航开始时间与极大风速联系较大,这与通航调度规程要求的 6 级以上大风封航基本一致。模式对大风结束时间也有一定的预报能力,但总体比大风出现时间预报效果略差。

表 3 2007 年 1 月 1 日至 2008 年 5 月 31 日预报与实况最大、极大风速误差情况。

误差	极大风速	最大风速 $\geq 10.8$ m/s
平均绝对误差(m/s)	4.3	4.3
最大绝对误差(m/s)	9.2	9.6
偏大平均(m/s)	4.0	4.9
偏小平均(m/s)	-4.5	-2.2

由表 3 可知,晴空大风预报最大风速与实况极大风速绝对误差最大为 9.2 m/s(2008 年 4 月 24 日),偏大平均值为 4.0 m/s,偏小平均值为 -4.5 m/s,平均绝

对误差亦为 4.3 m/s;与实况最大风速绝对误差最大为 9.6 m/s(2007 年 12 月 19 日,当日为空报),偏大平均值为 4.9 m/s,偏小平均值为 -2.2 m/s,平均绝对误差为 4.3 m/s。由此可见,对于实况最大风速预报情况来看,重点需要注意预报偏大情况,即空报情况。

考虑到三峡坝区处于山区河谷地带,大风预报难度极大。从比较大风正确预报个例来看,预报与实况的变化趋势吻合较好。为比较预报与实况的趋势拟合效果,本文中所有时间序列图均延伸到 2 d 的预报即进行 48 h 预报与实况的比较。图 1 为 2008 年 4 月 23 日 20 时对 4 月 24 日 09 时至 25 日 08 时的大风预报(图中时间进行了 24 h 延伸),预报换算最大风速峰值为 13.6 m/s,预报出现时间在 25 日 07—08 时之间,实况日最大风速为 17.0 m/s,出现在 25 日 7 时 34 分,实况日极大风速 22.8 m/s,出现在 25 日 05 时 51 分,

该大风日个例为预报风速与实况极大风速 24 h 预报强度误差最大个例,数值模式能准确预报出了 25 日 01—02 时坝区风速的骤然增强和 25 日 14—15 时的风速减弱,趋势拟合良好;图 2 为 2008 年 2 月 28 日 20 时对 2 月 29 日 09 时至 3 月 1 日 08 时的大风预报,预报换算最大风速峰值为 17.0 m/s,预报出现时间在 29 日 08—09 时,实况日最大风速 11.0 m/s,实况日极大风速 14.6 m/s,均出现在 29 日 10 时 50 分,为预报风速与实况最大风速 24 h 预报误差最大个例,数值模式也能准确预报出了 29 日 16 时前的三峡大风减弱过程,趋势拟合效果较好。由此可见,即使预报风速与极大风速、最大风速误差最大的个例,实况与模式预报的大风强度变化趋势也是相当一致的,因此三峡—葛洲坝灾害性天气短时预警系统可根据模式预报结果发布和解除大风警报。

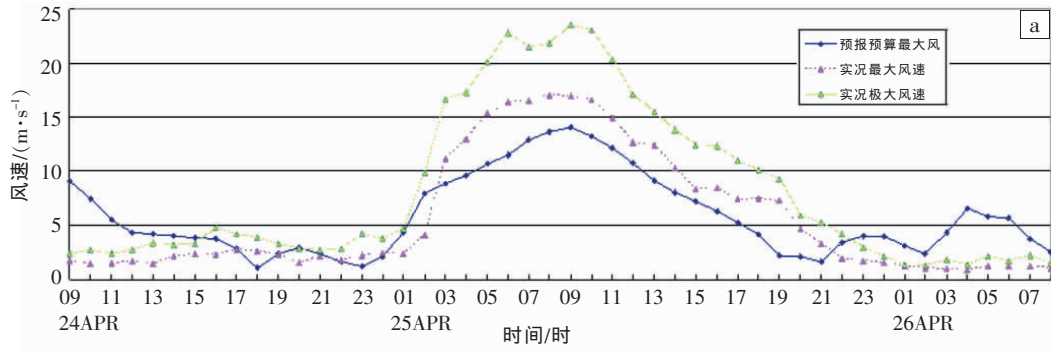


图 1 2008 年 4 月 24 日 09 时至 26 日 08 时预报与实况最大、极大风速时间序列图

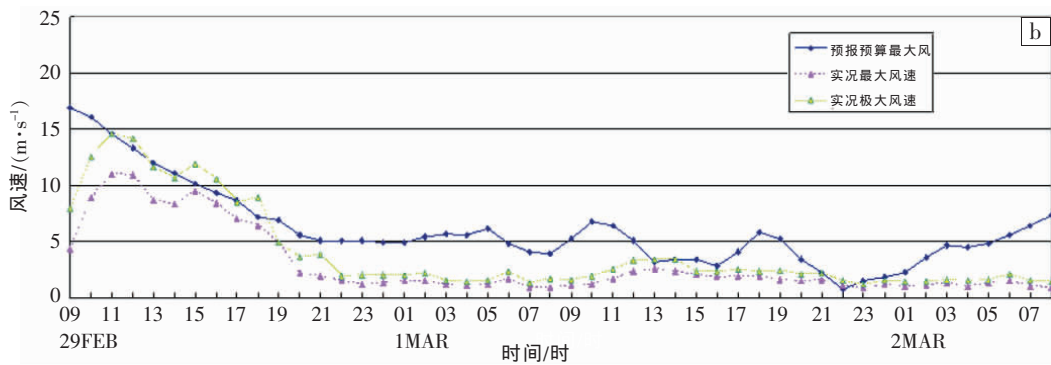


图 2 2008 年 2 月 29 日 09 时至 3 月 2 日 08 时预报与实况最大、极大风速时间序列图

在实际业务工作中考虑到模式对晴空大风的漏报率基本为 0,总结模式对大风预报的时段误差和强度误差,基本可形成以下晴空大风预警发布规律:当模式未预报有大风时,可以不考虑有晴空大风发生的可能;当模式预报到可能出现晴空大风时,在模式预报大风出现时刻前 4 h 就应密切监视极大风速变化情况,若出现极大风速明显增加,即可立即发布大风警报。由于模式预报大风结束时间一般要早于极大风速最后出现时间和封航结束时间,只需在模式预报大风结束时段后观察极大风速衰减情况即可适时发布警报解除信息。

2007 年 1 月至 2008 年 5 月,虽然三峡坝区晴空大风多发,但宜昌市气象局依托基于本地化的 MM5 模式的灾害性天气短时预警报系统,采用如上方式基本实现了三峡坝区晴空大风过程的准确及时预警。

值得注意的是 4 次空报过程天气形势均为地面冷锋过境的情况下出现的,虽然实况为东部平原地区大范围出现大风,但由于山脉阻挡影响,三峡本站未出现大风,此类大风一般出现在 12 月至次年 2 月。后期应加强对此类大风的消空条件研究。

#### 4.5 晴空大风风向预报误差检验

考虑到山区风向瞬时变化大,对于山区瞬时风向

风速预报没有意义,因而使用逐时刻的实况最大风速风向与模式预报风向进行比较。若两者风向交角相差在 $\pm 45^\circ$ 以内,即认为预报正确,记为 1;若两者风向交角相差 $\pm 45^\circ$ 以上,即认为预报错误,记为-1。统计各次大风过程的风向预报与实况误差时发现:当实况极大风速为 4 级以上( $\geq 8.0$  m/s)时,风向预报与实况基本一致;但实况风速小于 4 级时,风向预报与实况误差较大。即使比较文中所提的风速预报误差最大的两例过程,上述结论依然成立。如 2008 年 4 月 24 日 08 时至 26 日 08 时,模式预报 25 日 01—14 时坝区风速将超过 4 级(见图 1),本时段内风向的预报完全正确(图略),图 2 中 2008 年 2 月 29 日 09 时至 3 月 2 日 08 时风速超过 4 级时段是 29 日 08—17 时,风向的预报也是准确的(图略)。

由于日常气象预报和三峡工程服务关注的是大风条件下的风向对船只航行的安全影响,因此使用模式预报风向结果开展风向预报也是完全可行的。

## 5 结论与讨论

(1)中尺度模式对雷雨大风基本无预报能力,但对晴空系统性大风预报能力较为突出,空报少,无漏报,准确率较高。虽然三峡坝区处于神龙架南坡,相对其它山区模式地形参数基本可以分辨,但是为了使得模式分辨率需反映三峡坝区地形特征,该模式也进行了多次调整才得到了较满意的预报结果,因此中尺度模式大风预报对于平原、丘陵等地形起伏较小的

地区应该更加适用。随着物理过程、计算方法和模式分辨率的不断改进和提高,可以预见,高分辨率模式未来可以解决各种不同地形条件下晴空大风预报问题。但雷雨大风的预报,仅仅使用中尺度模式还难以解决,目前仍需利用多普勒雷达对雷雨大风进行临近预警。

(2)中尺度模式对晴空系统性大风强度变化趋势可以提供较准确的预报。对晴空大风的出现时间、结束时间均有一定的预报能力,其中大风出现时间预报能力强于结束时间预报能力。因而可以将模式预报结果应用于大风的短时预警报。

(3)中尺度模式对大风出现时风向预报能力较强,实况出现 4 级以上风速时,风向预报与实况基本一致,因此可以将模式预报结果直接应用坝区风向预报。

### 参考文献:

- [1] 梁爱民,张庆红,申红喜,等. 北京地区雷暴大风预报研究[J]. 气象, 2006,32(11):73-80.
- [2] 宗永超. 太原发射场区大风天气的时空分布和环流模式分析[J]. 导弹实验技术,2006,2:55-57.
- [3] 尹忠海,刘应军,黎祖贤,等. 湘中“6.26”雷雨大风过程的多普勒雷达产品分析[J]. 暴雨灾害,2007,26(4):319-322.
- [4] 沈如松,龙宝森,王钟摆. 一个预报福建省北部地区台风大风的回归模式[J]. 海洋学报,1997,19(2):32-37.
- [5] 李正明,杨先荣,王劲松. 春季大风沙尘天气的气候特征及预报系统[J]. 中国沙漠,2007,27(4):663-667.
- [6] 田刚,王建国,王权民. 基于中尺度数值模式的灾害性天气短时预警报系统设计[C]//第 34 届长江上游汛期气象协作区研讨会,巢湖,2008.

## Application of Mesoscale Model to Strong Wind Forecast in Three Gorges Project Area

TIAN Gang<sup>1</sup>, YUAN Jie<sup>2</sup>, LUO Jian-qin<sup>1</sup>, CHEN Liang-hua<sup>2</sup>, LI Bo<sup>2</sup>

(1. Yichang Meteorological Bureau of Hubei Province, Yichang 443000;

2. Three Gorges dispatching center, Yichang 443133)

**Abstract:** Using the hourly wind speed and direction forecast products of the Short-term forecast system on the MM5 and the hourly surface wind data from the automatic weather stations in Three Gorges Project area from January 2007 to May 2008, strong wind forecast by MM5 is verified. The results indicate that MM5 has effect on predicting the strong clear-air turbulence, but no effect on predicting the thunder storm. The beginning and ending time, strength variation tendency and wind direction of the strong clear-air turbulence can be forecasted well by mesoscale model. The problem of strong wind forecast in Three Gorge Project area has been solved by using the Doppler weather radar and the early warning system based on MM5 developed by Yichang Meteorological Bureau.

**Key words:** Mesoscale Model; Three Gorges Project; Strong Wind prediction verification