

# 利用MM5V3模式模拟大气波导产生的准确率分析

韩杰, 张玉生, 康士峰, 赵振维, 张守宝

(中国电波传播研究所青岛分所, 山东 青岛 266107)

**摘 要:** 基于MM5V3中尺度天气预报模式建立了低空大气波导模拟平台, 利用FNL再分析数据与GTS数据对东海海区大气波导分布进行了七个月的模拟。通过那霸、石垣和南大东岛3个站点的实测结果与模拟结果的比较, 计算了波导发生的模拟准确率, 统计分析了波导随时间的变化。结果表明, MM5V3模式能够较好的模拟出大气波导的产生和变化, 尤其是模拟范围广、强度大的波导效果更好。

**关键词:** 大气波导; 数值模拟; MM5V3模式; 准确率

**中图分类号:** TNO11.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-0239(2012)02-0068-05

## 1 引言

大气波导是影响电波传播的一种反常大气环境。大气波导的存在会导致超视距现象和雷达盲区的出现, 对雷达、通信等电子信息系统性能产生重要的影响。因此大气波导的研究得到了广泛的关注。

利用数值天气预报模式进行低空大气波导模拟研究是近年来大气波导研究领域的一个热点。国内外多所院校和科研机构都开展了此方面的研究<sup>[1-4]</sup>。2003年, Matthew Evan Kucas利用MM5V3模式对复杂地形下的波导演变进行了预报研究。2005年, Mr.Zhu等利用MM5V3模式对波斯湾地区各个季节的大气波导出现规律及特点进行了分析。2007年, 解放军理工大学胡晓华利用ARPS模式对典型天气系统影响下的大气波导变化过程进行了模拟研究。2009年中国科学院海洋研究所成印河对影响MM5V3模式模拟大气波导准确率的因素进行了分析, 并对一次波导过程进行了模拟研究。以上研究偏重于利用数值天气预报模式进行波导个例的过程演变模拟或者特定区域波导分

布的统计, 而忽略了对模式本身模拟实际大气环境参数能力的评估和评价。

本文在前人研究的基础上, 基于MM5V3中尺度天气预报模式搭建了可以用来进行波导模拟的运行平台, 并对东部海域进行了大约七个月的大气波导模拟。选取那霸、石垣和南大东岛的实测探空数据与模拟结果进行对比, 得出3个站点的波导发生准确率。结果显示, MM5V3模式对大气波导现象的发生有很好的模拟能力, 但是模拟的波导参数与实测波导参数在数值上有一定的偏差, 需要进一步的研究。

## 2 模拟平台的建立

MM5V3中尺度模式是美国PSU(宾夕法尼亚州立大学)和NCAR(美国国家大气研究中心)从二十世纪80年代以来共同开发的第5代区域中尺度数值模式<sup>[5]</sup>。主要有8个程序模块组成, 分别是: TERRAIN模块、REGRID模块、Little\_r模块、INTERPF模块、MM5模块、INTERPB模块、NESTDOWN模块和GRAPH或RIP模块。低空大气波导模拟平台在此模式基础上搭建, 并结合

收稿日期: 2011-05-11

基金项目: 面上国家自然科学基金: 海上蒸发波导的机理和预测研究(41175012)

作者简介: 韩杰(1981-), 男, 工程师, 主要从事海杂波反演大气环境折射率剖面、大气波导短期模拟与预报等方面的研究。

E-mail: hanjie2029@126.com

fortran 语言和 shell 语言, 实现了波导模拟、波导参数自动输出等功能, 详细流程图见图 1。

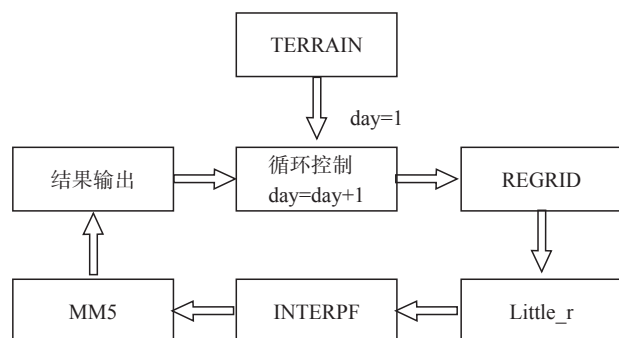


图 1 波导模拟平台流程图

利用MM5V3模式进行波导模拟的准确率与选择的参数方案有很大的关系, 本文采取的主要参数如表 1:

表 1 MM5V3 模式主要参数设置方案

MM5V3 参数	设置方案
格点数	35*41
区域中心	34°N, 126°E
格点距	60 km
地形分辨率	30 分
$\sigma$ 层数	44
积分步长	120 s
积云方案	Anthes-Kuo 方案
边界层方案	MRF 方案
水汽方案	简单冰方案
辐射方案	RRTM 方案
侧边界条件	松弛边界条件
嵌套方案	单层嵌套

### 3 数据及其处理

MM5V3 模式初始背景场数据采用基于 NCEP 的 FNL 再分析数据, 并将全球交换的 GTS 数据(含探空和地面观测数据)进行客观分析, 应用到初始场中, 构造较准确的初始场, 从而能得到较准确的数值模拟结果。

客观分析采用 Cressman 逐步订正法<sup>[6]</sup>:

$$\Delta Z_s = Z_s^{ab} - Z_s^G \quad (1)$$

式中  $\Delta Z_s$ 、 $Z_s^{ab}$ 、 $Z_s^G$  分别为测站的订正值(观测增量)、测站观测值、测站的预备场值。对某一格点  $k$  来说, 订正值由其周围测站的订正值作加权平均得到, 即:

$$\Delta Z_k = \sum_{s=1}^N \omega_s \Delta Z_s / \sum_{s=1}^N \omega_s \quad (2)$$

式(2)中  $N$  为测站总数,  $\omega_s$  是权重因子, 经过  $G$  次订正后格点值为:

$$Z_k^{G+1} = Z_{sk}^G + \Delta Z_k \quad (3)$$

权重因子  $\omega_s$  与测站到格点距离有关, 采用 Cressman 使用的权重系数得到:

$$\begin{cases} \omega_s = \frac{R^2 - r_s^2}{R^2 + r_s^2} & r_s < R \\ \omega_s = 0 & r_s \geq R \end{cases} \quad (4)$$

$R$  为扫描半径。

实测探空数据来源于 <http://weather.uwyo.edu/> 网站。从数据中提取出压强、湿度、温度以及站点海拔高度、站经度和站纬度, 计算出大气波导参数。

### 4 波导发生准确率统计方法

波导模拟准确率的统计方法采用特定站点大气波导出现与否与该站点实测探空数据大气波导出现与否相比较的方式。

设实测探空样本中有  $N$  次波导出现, 而相应的时间点上模拟结果有  $M$  次波导出现, 则波导模拟的准确率计算公式为:

$$\text{波导模拟准确率} = M/N \times 100 \% \quad (5)$$

选用 3 个探空站点进行模拟统计, 分别是: 那霸站、石垣站、南大东岛站。这 3 个站点代表了台湾东北向、日本以南的海域。3 个站点的具体位置见图 2。

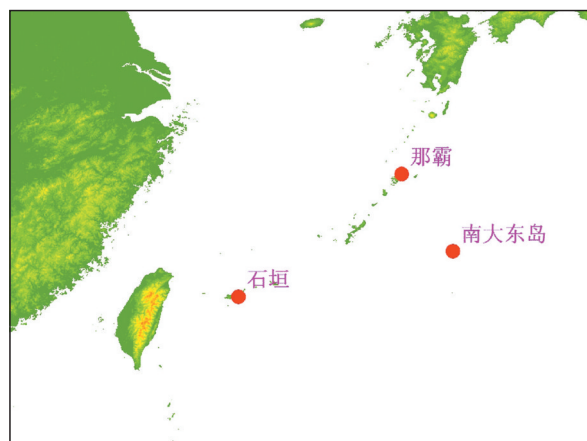


图 2 那霸站、石垣站和南大东岛站具体位置图

## 5 模式结果与分析

根据(5)式的计算方法,得出的三个站点波导发生的准确率结果见表2。

表2 三个站点模拟准确率统计表

站名	样本总数	N	M	模拟准确率/%
那霸	430	100	77	77.0
石垣	431	60	46	76.7
南大东岛	432	126	84	66.7

为了更直观的反映探空结果与模拟结果的波导发生变化趋势,以波导参数之一的波导强度为

例,对3个站点的探空数据和模拟结果进行对比(见图3)。

由图3可以看出:

(1) MM5V3模式对3个站点的大气波导的发生有较好的模拟,结果很好的反映出了波导发生的变化趋势。但是模拟出的波导强度与实测波导强度有比较大的误差,整体上模拟波导强度要比实测波导强度偏小;

(2) MM5V3模式模拟范围广、强度大的波导形势时,如那霸站 $x=50$ 、250、350左右处,模拟结果与实测结果的一致性明显优于其他点。相反,模拟范围小、强度弱的波导形势时,如那霸

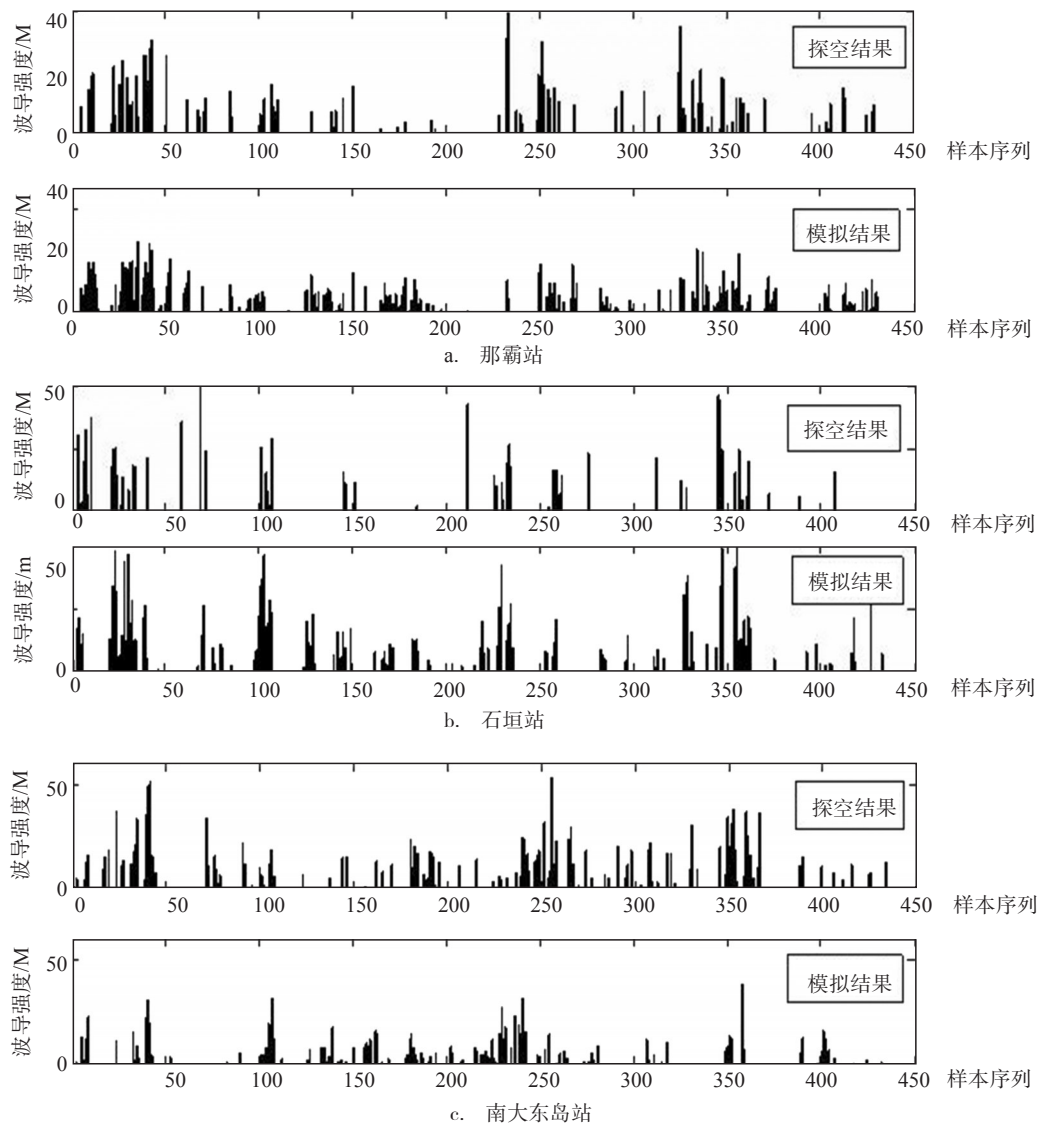


图3 探空波导强度与模拟波导强度对比图

站  $x=150-200$  点之间的区域, 模拟结果与实测结果一致性要差。

从以上分析可以看出, MM5V3 中尺度天气预报模式模拟由大范围的天气形势引发的波导有很好的模拟结果, 但对于由突发或者小范围天气形势引发的波导模拟结果较差。

表4 3个站点波导强度平均误差与均方根误差表(M)

站名	平均误差	均方根误差
那霸	10.8	7.5
石垣	11.5	0.4
南大东岛	14.3	6.0

表4为三个站点的波导强度的均值与均方根误差, 引起平均误差和均方根误差比较大的主要原因有:

(1) MM5V3 模式作为一种中尺度数值模式, 其中的插值、积分等运算方式导致模拟的大气温度、湿度结果出现误差, 最终引起波导实测数据与模拟结果出现偏差;

(2) MM5V3 模式中所利用的背景场 NCEP 数据分辨率为  $1^\circ \times 1^\circ$ , 时间间隔为 6 h, 空间分辨率比较低, 时间跨度比较大, 导致了对强度弱持续时间短的波导模拟不够理想。

## 6 展望

利用数值天气预报模式进行数值模拟的准确程度主要依赖于能够描述天气过程的精确模式和能够反映初始时刻准确描述大气状态的初始场。数值模式日趋完善, 因此模式初始场的精度就成了模拟的关键问题。当前常规观测资料由于分辨率、观测不均匀等原因无法获得精确的初始场。随着卫星、雷达技术的发展, 各种覆盖范围广, 时空密度大的非常规资料迅速增多, 利用各种不同精度的非常规资料产生尽可能精确的数值模式初始场成为可能。同化是将观测数据应用到初始场中的主要方法, 目前国际上用的比较多的资料同化方法是变分方法和集合 kalman 滤波方法。文献<sup>[7]</sup>将 kalman 滤波方法应用到数据同化当中, 得出了比其他同化方法更好的结果。文献<sup>[8-9]</sup>将多普勒雷达资料同化到利用数值模式模拟降雨的研究当中, 取得了更为准确的模拟结果。

目前, 利用 kalman 滤波方法将非常规探空资

料同化到数值天气预报的初始场中, 提高初始场的精度, 进而提高模拟大气波导产生与变化的准确率, 减小模拟波导参数的误差, 是今后在这一领域的主要研究方向。

## 7 讨论

基于 MM5V3 中尺度天气预报模式建立了低空大气波导模拟平台, 并对东海海域进行了7个月的数值模拟, 通过对那霸、石垣和南大东岛的大气波导实测数据和模拟结果进行对比, 得出了此3个站点的模拟准确率分别是 77%、76.7% 和 66.7%。通过对结果的分析可以看出, MM5V3 模式可以很好的定性模拟出大气波导的出现与变化, 尤其是对实际中范围广, 强度大的波导模拟尤其准确。但是由于初始场的精度等问题, 导致了模拟出的波导强度与实测强度差别较大, 采取 kalman 滤波等同化方法同化高精度的非常规探测资料是今后解决这一问题的重要途径。

## 参考文献:

- [1] Matthew E K. Forecasting the nighttime evolution of radio wave ducting in complex terrain using the MM5 numerical weather model: a thesis in meteorology[D]. Pennsylvania State University, 2003.
- [2] Zhu M, Atkinson B W. Simulated climatology of atmospheric ducts over the Persian gulf[J]. Boundary-Layer Meteorology, 2005, 115(3): 433-452.
- [3] 胡晓华. 典型天气系统影响下的大气波导过程分析及数值模拟[D]. 中国人民解放军理工大学博士论文, 2007.
- [4] 成印河. 海上低空大气波导的遥感反演及数值模拟研究[D]. 中国科学院海洋研究所博士论文, 2009.
- [5] 张金善, 钟中, 黄瑾. 中尺度大气模式 MM5 简介[J]. 海洋预报, 2005, 22(1): 31-40.
- [6] 肖子牛, 张万成, 段玮, 等. 中尺度数值模式在低纬高原地区的应用研究[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 102-110.
- [7] 张红华, 沈桐立, 王桂臣, 等. 集合 kalman 滤波同化理论及其数值试验[J]. 高原气象, 2008, 27(3): 619-627.
- [8] 潘敖大, 王桂臣, 张红华, 等. 多普勒雷达资料对暴雨定量预报的同化对比试验[J]. 气象科学, 2009, 29(6): 755-760.
- [9] 王庆华, 张京英, 吴君, 等. 多普勒雷达资料在 MM5 模式中的应用[J]. 气象科学, 2009, 29(1): 102-105.

## Accuracy analysis of atmospheric duct simulation with the MM5V3 model

HAN Jie, ZHANG Yu-sheng, KANG Shi-feng, ZHAO Zhen-wei, ZHANG Shou-bao

*(China Research Institute of Radiowave Propagation Qingdao Branch, Qingdao Shandong 266107 China)*

**Abstract:** A platform of simulating atmospheric ducts is established with meso-scale weather forecasting model MM5V3. The distribution of atmospheric ducts over the East China Sea is simulated for 7 months by using FNL reanalysis data and GTS data. The accuracy ratio is calculated by comparing the modeling results with the observations in NAZE, ROIG and ROMD. It's shown that MM5V3 could successfully reproduce the formation and movement of atmospheric duct, especially for those with larger range and high intensity.

**Key words:** atmospheric duct; numerical simulation; MM5V3 model; accuracy ratio