

中尺度数值模式 MM5V2 评介^①马 艳¹ 张庆华²

(1 海洋环境科学和数值模拟国家海洋局重点实验室, 青岛 266003)

(2 国家海洋局第一海洋研究所)

提 要

由于中尺度数值模式 MM5V2 本身的进步和目前能提供给中尺度数值模式的资料越来越多, 使中尺度数值模式系统在灾害性天气的预报方面成为一个重要的手段。从 MM5V2 的两大部分, 模式初始化和预报模式出发, 全面分析和总结中尺度数值模式的特点, 并对中尺度数值模式未来发展做一些有益的探讨。

关键词: 中尺度数值模式 MM5V2 初始化 预报

引 言

成功地预报灾害性天气以及由其所带来的沿海强风暴和海上巨浪会极大地减少人民生命和财产的损失, 中尺度数值模式系统因为其本身的特点在灾害性天气的预报方面成为一个重要的手段。中尺度模式预报的准确度取决于模式本身的进步和提供给中尺度模式的资料能否满足模式需要。而中尺度数值模式 MM5V2 正在此方面占有一定的优势地位^[1,2]。

MM5V2 是 MM5 的第二版本, 其模式模拟系统主要分为两大部分: 模式初始化和预报模式, 这其中又包括了 6 个方面 (见图 1), 我们将按照以下几个部分进行描述。

1 MM5V2 模式初始化

模式初始化, 即模式的预处理系统主要包括 Terrain, Datagrid, Rawins, 和 Interp4 个部分, 它们主要是通过从所选定的某一分析场进行插值客观分析到模式格点上的三维场来获得初始和边界条件。下面我们将详细介绍这 4 个部分的作用。

1.1 模式地形处理系统 (Terrain)

地形处理系统的目的就是规则的经纬度间隔的地形高度和地表特征资料源中获得

中尺度网格点上的资料。

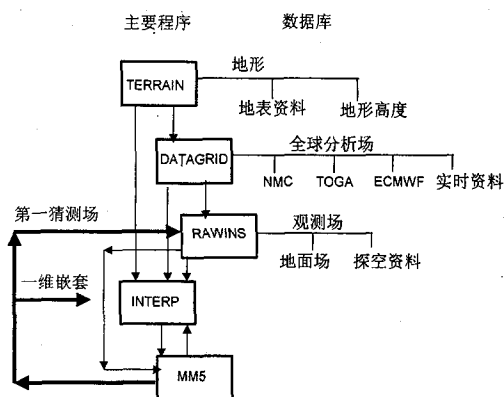


图 1 中尺度数值模式 (MM5V2) 流程框图

1.2 Datagrid 和 Rawins

Datagrid 和 Rawins 作为模式系统的两个辅助程序, 构造预报模式所需要的气象资料, Datagrid 利用历史资料或者实时预报场, 通过水平插值, 把大尺度分析场插值到更细的中尺度网格上, 将能用到的气象资料转化为中尺度模式的输入。在 Datagrid 中进行的插值分析与基本场相比较, 没有包含更小尺度的气象信息。可是, 探空观测很可能包含

① 本文得到国家自然科学基金项目 (49906002) 和海洋局青年基金项目 99304 资助。

了中尺度信息, 这些中尺度信息在进行分辨率分析时被滤掉了。因此 Rawins 通过利用探空观测场来加强分析插值分析场, 使得插值结果趋近真实的地面和高空观测结果。这样从 Rawins 获得的中尺度分析场, 与以前的全球或者半球分析相比, 在较小尺度上拥有更多的信息。Rawins 可以为预报模式提供四维资料同化中的地面分析场。

1.3 Interp

虽然预报模式用 σ 作为其垂直坐标, Datagrid 和 Rawins 却把气压做为它们的垂直坐标, 并且用相对湿度作为水汽变量, 而在预报模式中使用的却是比湿。在 interp 中, 把气压层的资料插到 σ 层上, 同时将相对湿度转换为比湿。同样此系统也可作为模式的后处理系统, 即模式模拟结果由 σ 面内插到等压面上, 并计算有关诊断系数。

2 模式主体: 预报模式 MM5V2

MM5V2 以原始流体力学基本方程组通量形式表示^[1]。模式系统的垂直坐标(地形追随坐标)如图 2 所示。用无量纲量 σ 来定义模式层: $\sigma = (p - p_t)/(p_s - p_t)$, p 是气压, p_t 是模式最高层气压, p_s 是表层气压。

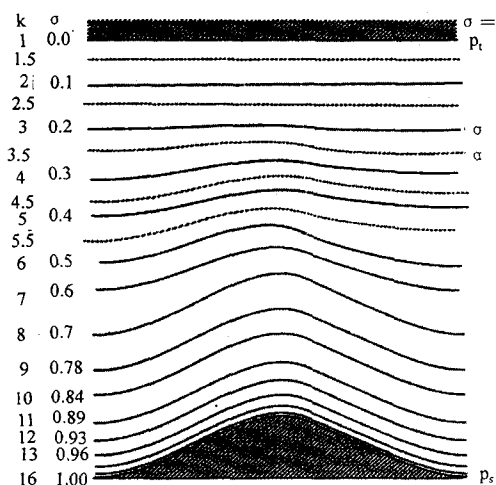


图2 MM5V2 垂直结构示意图

虚线是半 σ 层, 实线是 σ 层

模式区域的水平网格是: “Arakawa B 网格”, 水平风分量 u, v 定义在 $\cdot$ 点上, 而变量

T, q (在 Datagrid, rawins 中的 RH) 等定义在 x 点上, 如图 3 所示。

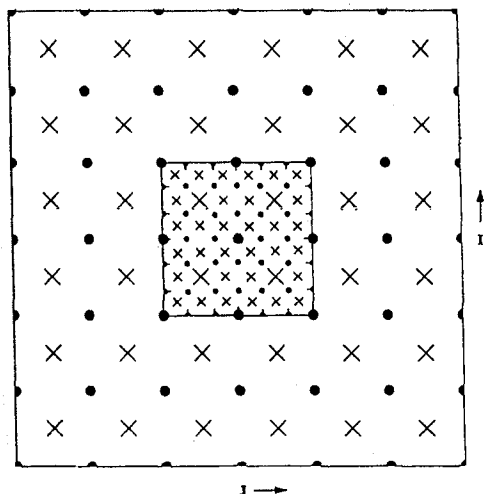


图3 模式水平网格分布图

中间网格是粗细网格比率为 3:1 的嵌套细网格区

①空间有限差分: 除降水采用一阶向前差分外, 其余各项采用二阶中央有限差分方案。

②时间有限差分: 对 MM5V2 基本方程采用了二阶蛙跃时间差分方案, 考虑某些项的稳定性, 对一些项采用时间分裂方案, 诸如对声波这样快变项采用短时步, 对较慢的重力波采用较长时步。

③在物理过程的处理上, 设计了可供选择的多个方案, 如积云对流参数化方案中, 设计以下几种方案可供比较: Anthes-Kuo 型、Grell 型、Arakawa-Schabert 型、Fritsch Chappen 型、Kain-Fritsch 型和 Betts-Miller 型; 在行星边界层参数化方案中有以下两种比较常用的方案: 总体边界层方案和高分辨率行星边界层方案。

另外, 在物理过程的设计中, 还分别讨论了显示水汽参数化方案、辐射方案和地面温度方案等。

3 MM5V2 的四维资料同化系统

分析和同化是指接收所有可用的资料, 并把它转换为一种适于模式积分的形式。资料可以从各种来源和多种仪器获得。为了使模式初始积分时的噪音降到最低, 所有这些

资料必须综合在一起,形成一个不同大气场之间相互平衡而且内部协调一致的初始分析场^[3]。

同化可通过许多不同的方法进行,这是目前数学研究方面的一个尖端课题。目前,模式采用“连续”或者“间断”方式对资料进行同化。在连续同化中,随着模式向前积分,在积分到达或邻近时间的观测资料以较小的增量输入到模式中。连续动力同化方法最近几年在区域尺度被广泛地应用。间断同化是指在特定时间内,通常为每6小时使模式停止积分,把新的资料和分析结果引进模式,然后再进行积分。间断同化方法对静力客观分析采用模型积分作为第一猜测场,伴随客观分析的是模式积分,然后重复这些过程。

$$\frac{\partial p^* \alpha}{\partial t} = F(\alpha, x, t) + G_\alpha \omega_\alpha(x, t) \epsilon_\alpha(x) p^* (\hat{\alpha}_0 - \alpha) + G_p \omega_p \cdot \epsilon_p \cdot (x) \alpha (\hat{p}_0^* - p^*) \quad (1)$$

式(1)中第2和第3项是对 α 和 p^* 的逼近项,形式比较相似,由于预报方程以通量形式出现,当考虑流体静力时,公式(1)中出现了第3项,当为非流体静力情况时,这一项为零,因为 $p^* = \text{常数}$ 。逼近因子 G_α 决定与 F 项中与所有其它模式过程相关项的振幅大小,它的空间和时间变化绝大部分由四维权重函数 ω 决定。四维权重函数 $\omega = W_{xy} W_z W_t$,分析质量因子 ϵ 在0到1之间变化, $\hat{\alpha}_0$ 是 α 估计的观测值分析到格点的大小。

3.2 观测逼近

有时分析逼近并不是很实用的,例如对高分辨率或者非天气尺度资料,观测逼近就是一个有用的选择。这个方法也使用了松弛项,但是方法类似于客观分析方法,在那里,松弛项是基于观测站的模式错误之上。松弛就是减少错误。每个观测值都有一个影响半径,一个时间窗和一个松弛时间尺度去决定在哪里、什么时候和它影响模式结果多少。典型的模式格点可能在几个观测值的影响半径之内,并且它们的贡献按照距离的权重而异。进行观测逼近,要求一个具有一定格式的每个观测值按照时间列出它的三维变化的观测输入文件,这些需要使用者自己去创建。

四维资料同化是一种吸收观测资料时运行一个全物理模型的方法,观测值使模式结果逼近真实情况,并且弥补了初始分析和模式物理过程的不足、错误和遗漏。MM5采用连续同化,并以Newtonian松弛或者逼近技术来进行。在模式中有两种逼近方法,可以单独使用,也可以同时启动^[4~6]。

3.1 分析逼近

风、温、水汽作为Newtonian松弛项加在相应的预报方程上,这些项使模式值向给定的分析结果逼近。通过在资料同化区间获得模式格点上的分析场。模式在时间上对分析场进行线性插值,使得变量趋于实际量。对于任一量的分析逼近可写成以下形式:

观测逼近的形式相似于公式(1),表示

$$\text{为: } \frac{\partial p^* \alpha}{\partial t} = F(\alpha, x, t) + G_p p^* \frac{\sum_{i=1}^N \omega_i^2(x, t) r_i (\alpha_0 - \hat{\alpha})_i}{\sum_{i=1}^N \omega_i(x, t)} \quad (2)$$

公式(2)的下标 i 表示一系列给定格点的预定半径内的观测值中的第 i 个观测点, α_0 是 α 的观测值,四维权重函数 ω_i 在一给定的时间步长,从一个给定的格点表征第 i 个观测点的空间和时间差异,表示为:

$$\omega(x, t) = \omega_{xy} \omega_z \omega_t,$$

其中 ω_{xy} 是水平权重函数,是一个Cressman类型的空间权重函数,定义为:

$$\omega_{xy} = \frac{R^2 - D^2}{R^2 + D^2} \quad 0 \leq D \leq R$$

$$\omega_{xy} = 0 \quad D > R$$

这里 R 是影响半径, D 是第 i 观测点到格点的距离。垂直权重函数 ω_z 同样也是距离的函数,表示为:

$$\omega_z = 1 - \frac{|\sigma_{obs} - \sigma|}{R_\sigma} \quad |\sigma_{obs} - \sigma| \leq R_\sigma$$

$$\omega_z = 0 \quad |\sigma_{obs} - \sigma| > R_\sigma$$

其中 R_σ 是垂直影响半径, σ_{obs} 是第 i 个观测点

的垂直位置,对于时间权重 ω_i ,它表示为:

$$\omega_i = 1 \quad |t - t_0| < \tau/2$$

$$\omega_i = \frac{\tau - (t - t_0)}{\tau/2} \quad \tau/2 \leq |t - t_0| \leq \tau$$

t 是模式相对时间, t_0 是第 i 个观测点的模式相对时间, τ 是一个观测值将影响模式模拟的预先确定的时间窗的半个周期。

有效的四维资料同化使得模式启动强迫项,使得它趋向于观测或分析值,这种方法有利之处就是经过一段时间的逼近,模式仍保持动力平衡条件,能够在时间间隔上一定程度地满足所有的资料。因为在一定时间范围内增加了资料,有效地提高资料分辨率。因此,从前面的叙述中,我们可以知道四维资料同化(FDDA)有三种基本用途:

①动力初始化:在预报时间前,有额外的观测资料和分析场,应用前面叙述的方法进行资料同化,当预报开始时,逼近项关闭,这种做法对标准静力初始化有两个有利的方

面:a.在预报时间之前能够使用非天气尺度的资料,并且在预报开始时间通常能够包含更多的观测信息;b.由于初始模式条件有较好的平衡性,在预报开始具有一个递减的增长或者振荡影响。

②动力分析:动力分析的目的在于产生一个四维的一致分析,它考虑了由模式和由逼近所获得的观测值引起的动力平衡,除此之外,动力分析和动力初始化都是相同的。动力分析可用于初始化高分辨率的模拟,或者用于运动学的研究,诸如化学物质输运和轨迹运动。

③边界条件:通过在粗网格和细网格的嵌套区域使用资料同化,与分析的标准线性插值相对照,细网格区域具有高级的边界条件,这是因为边界上的各变量具有一个比较高的时间分辨率。

(下转封二)

(上接第 55 页)

四维资料同化前两种用法的存在依赖于资料是格点分布还是单个的观测值。格点资料在模式格点表示为分析场的格式,在一给定时间内,被用于一个点一个点的逼近模式值。这对较大尺度通常是最有用的。对较大尺度,一个分析场能够吸收进入其中的观测值之间所准确表征的大气特性。对较小尺度,非天气尺度资料或者特殊平台,在那里全面充分的分析不能进行,因此单个的观测值就被用于逼近模式值。这里每一个观测值被给定了一个时间范围(时间窗)和一个能够影响模式格点的影响半径,在格点上的观测场的权重依赖于它距离观测站的空间和时间距离,在一给定时间范围内,一些观测值可能只影响一个格点。

4 讨论

至此,我们全面讨论了中尺度数值模式 MM5V2 的初始化和模式主体部分,对其有了一个总体的了解。针对 MM5V2 的特点,MM5V2 可以被应用于强对流天气和季风等天气现象的研究当中。中尺度数值模式具有其优越的一面,但是由于区域性以及计算精度等原因的影响,任何一个数值模式都不可能完全模拟出大气的物理学和动力学问题。因此,我们认为,为进一步提高数值模式的模拟预报结果,目前可从以下两个方面进行:

①初始资料问题。现有观测资料密度,尤其是高空资料密度影响了中尺度数值模式的预报效果。因此,在现代科技高速发展的今天,利用

各种手段的卫星探测技术所获得的分辨率高、时间间隔短的非常规气象观测资料,通过四维资料同化方法解决限制中尺度数值模式预报效果的最大和最困难的初始资料问题。

②非绝热作用和次网格尺度参数化问题。提高模式空间分辨率,改进一些次网格尺度参数化过程。

③改进和优化资料同化方法,最有效地利用各种资料。

参考文献

- 1* Georgy A. Grell et al. A description of the fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale model (MM5V2), NCAR/TN-398+STR. NCAR TECHNICAL NOTE 1995.
- 2 程麟生. 中尺度大气数值模式和模拟. 北京:气象出版社, 1994:452~518.
- 3 袁国庆等译. 全球热带气旋预报指南. 北京:气象出版社, 1995:168~172.
- 4 David R. Stauffer and Nelson L. Seaman. Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model. Part I: Experiments with synoptic-scale data. Mon. Wea. Rev., 1990, 118:1250~1277.
- 5 David R. Stauffer and Nelson L. Seaman. Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model. Part II Effects of data assimilation within the planetary boundary layer. Mon. Wea. Rev., 1990, 119:734~754.
- 6 Wang, W., and T. T. Warner. Use of four-dimensional data assimilation by Newtonian relaxation and latent heat forcing to improve a mesoscale-model precipitation forecast: A case study. Mon. Wea. Rev., 1988, 116:2953~2613.

Introduction of the Mesoscale Numerical Model MM5V2

Ma Yan Zhang Qinghua

(Key Lab of Marine Science and Numerical Modeling, SOA, Qingdao, 266003)

(First Institute of Oceanography, SOA)

Abstract

Since mesoscale numerical model MM5V2 is on the upgrade and more and more data provided for mesoscale numerical model, the system of mesoscale numerical model becomes a major means in forecasting disaster weather. The characteristics of MM5V2—model initiation and model forecast, were summarize, and some meaningful study results for the development of mesoscale numerical model were presented.

Key Words: mesoscale numerical model model initiation forecast