

华中区域暴雨数值预报准业务系统

胡伯威执笔*

一、引言

武汉(华中)区域气象中心在天气预报业务方面重点承担暴雨的指导预报。作为区域中心预报业务技术建设的一个重要内容,武汉暴雨研究所从1985年开始,采用中国科学院大气物理研究所的五层原始方程细网格降水预报模式。用了三年时间,以华中区域暴雨短期预报为目标,对该模式进行了79例的大批量预报性能试验。在这过程中,根据区域中心近期各方面的现实条件以及针对这个模式的特点逐步进行了资料预处理、客观分析、高原地形处理、积云对流参数化、预报产品图象输出等一系列技术配套,形成第一阶段华中暴雨数值预报准业务系统(下文简称CRONWS-1)(Central China Regional Operational Numerical Weather forecasting System),并于1987年汛期投入实际预报。除提供雨量预报图,参加武汉中心气象台预报会商外,还分别以语言广播和电报方式向华中五省和两个重点地区发布了几项预报产品。预报效果很好。按武汉中心气象台传统的分区预报评分方法,湖北省在这段时间出现区域性暴雨15区次。数值预报(0—24小时预报)报对6区次,准确率40%。显著高于同时期区域中心气象台和各地区台的暴雨预报评分。按美国使用的降水落区预报 TS 评分法,0—24小时 $>25\text{ mm/日}$ 降水预报 $TS=30\%$, $>50\text{ mm/日}$ 降水预报 $TS=23.4\%$ (涉及以上评分的统计数据均经过省气象局业务处、科教处和中心气象台联合审核组核实)。由于只有一个雨季的结果并由于评分定义域的特殊性,虽然不能与国外预报准确率作严格比较,但仅就这个数字而言

显著高于近期美国降水预报 TS 值。

第一阶段系统的目标是在近期本单位尚不具备大型计算机,以及业务上暂时无法实现与国家气象中心半球数值预报模式嵌套,并且只能以有限的常规实时气象电报为资料来源等条件下,在“七五”期间初步实现华中区域业务暴雨数值预报。

本文对这个系统作扼要的介绍和分析。

二、数值预报模式特点

CRONWS-1以中国科学院大气物理研究所(IAP)五层原始方程细网格降水数值预报模式为基础。该模式在有关文献中^[1,2]已有较详细的介绍。这里只针对CRONWS-1的要求举出以下特点:

1. 它在不使结构更复杂的前提下具有专门针对强降水预报的一些重要特色。首先,这个模式能够容纳相互独立的实测风场和位势高度场初值。因此能够在初值中保留对强降水的发生和发展十分重要的初始地转偏差风。包括与真实的非地转散度风相联系空气质量辐合和水汽通量辐合,以及与次天气尺度扰动发展有密切关系的非地转动力因素。特别是由于强降水系统的发展常属于与一些非线性反馈过程(例如凝结潜热的反馈等)有关的不稳定发展。初始动向的差异可能使发展进入不同的歧路。初值中尽量保留实测信息是很重要的。

其次,为避免湿度初值的失真而导致水汽通量辐合和凝结过程的失真,尽量保留原始温度值。模式中对静力方程取一次时间导

* 参加本项工作的有匡本贺、俞康庆、张宝严、谢齐强、赵昭妍、刘苏红、龚贤创、王志斌、刘长海等。IAP模式主要作者周晓平、赵思雄始终给予热情的指导。

数,即 $-\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \phi}{\partial \sigma} = -\frac{R}{\sigma} \frac{\partial T}{\partial t}$ 。这样在初值中

温度场和位势高度场也是互相独立的。虽然探空资料中位势高度本来是由静力关系求得的,但若在五层模式中再次使用静力方程给温度赋值,则由于层距过大,原始温度值与静力的层均温度之间可能出现显著的截断差,温度与露点来源不同可导致湿度计算的误差。

2. 为克服上述初值不平衡可能带来的计算不稳定,采取了时间积分中周期地使用欧拉后差并采用交替倾向光滑。倾向光滑保持了计算稳定又不会使初值信息随着时间而衰减,这也有助于满足短期强降水预报中珍惜初值的要求。

针对强降水预报,更具体说,针对江淮流域梅雨季节的强降水短期预报来说,上述优点在一定程度上弥补了由于模式结构简单而带来的一些不足之处。

3. 这是一个铅直分辨率较低的五层模式,一般认为它对中尺度强天气十分重要的边界层过程无法精细地描述。但江淮流域梅雨季节的降水一般为对流云与层状云的混合型降水,暖区中孤立的中小尺度对流系统降水则较少。即虽有对流,但网格尺度(本模式100 km 格距所足以描述的次天气尺度)的辐合上升是起决定作用的。此外,我国梅雨系统降水所依赖的水汽输送和水汽通量辐合的主要层次不是在贴地层,而是大约在1000 m 高度附近。与五层模式使用的常规探空资料的标准层850 hPa 很接近。在一定程度上忽略更详细的边界层热力过程和边界层风场不致给降水预报带来严重的影响(试验表明对于预报某些局地强对流降水则能力比较差,这一方面也是由于模式水平分辨率的限制)。

4. IAP 有限区域模式目前采取的定义域为 $3000 \times 2400 \text{ km}^2$,在未与大范围粗网格模式嵌套的情况下,一般采用最简单的常值边界条件。预报降水场在模式外围区域出现较明显的二倍格距波形式的虚假降水区。但

由于梅雨季节高空急流强风速带一般停滞在 40°N 附近,接近并大致平行于模式定义域的北边界。特别是在入流边界(即模式西边界——青藏高原东部),对流层中、低层风场一般很弱。这在一定程度上限制了边界反射噪音(二倍格距波)的发展及其向预报关心区域(华中区域及其附近)的传播。模式采用的倾向光滑也能有效地抑制这类噪音。

试验了两种辐射边界条件。结果虽然很好地抑制了外圈区域的二倍格距波,但内圈区域的降水预报与采用固定边界条件的结果没有明显出入。这一方面证实二倍格距波的主要来源确实是边界反射,但同时也表明在这个模式中,边界反射对预报关心区域尚无明影响。在初步的业务预报系统中可暂时不与大范围模式嵌套而作出有效的华中区域暴雨短期预报。

三、原始资料预处理系统

五层模式使用国内、外115个固定测站的地面及850、700、500和200 hPa五个标准层的实时常规气象资料(各五个要素),海洋上资料空缺处设一人造站点。由于只涉及数量相对少的实时常规气象电报资源,整个资料预处理可以较方便地在PDP-11/44计算机上完成。它与区域气象通讯枢纽的MSS气象电报交换系统共同运行在一台计算机上。共享气象电报资源和CPU资源。数值预报资料预处理系统作为后台作业,其运行不影响前台实时通信业务系统的正常运行。这样便提高了PDP-11/44计算机CPU和主存的利用率。

预处理方案分为气象电报自动处理和交错两个主要部分。前者^[3]充分利用了MSS气象电报交换系统(前台工作系统)所具有的电报接收、编辑功能。它自动完成数值预报所需全部原始数据的预处理和加工工作。包括国内、国际气象探空(US)气象地面(SM)电报的选站、编辑、选层、挑选、装拼和一般语法检查。并以菜单的形式列出资料硬拷贝输

出方式,供灵活挑选。操作人员可在终端上随意调出原始资料(打印或屏幕显示)进行查阅和修改。这样,在目前所用资料内容还不特别庞杂的情况下,便可采用人机对话的方式分担智能程度高的非常规错情的判断、纠正,大大地简化抗错程序。

抗错在上述整理后的、按测站顺序排列的数据组上进行。首先用人工对个别极不规则的资料进行判断和规范化处理。这一步的纠错量约占全部数据的 $2-4/1000$ 。然后由程序控制进行极值范围限制和水平检查、纠正。

以上全部预处理工作(包括人机对话)可在 15 分钟内完成。最后记入磁带,送往附近单位的 M-240 机。通过一个专门的软件接口进行带码转换,继而完成客观分析和预报计算。

四、客观分析和高原“地下”

格点赋值方案

经过大量试验,CRONWS-1 采用不需任何历史资料和预备场的三点平面拟合方法(有限元法)或加权平均方法作客观分析,都能取得较好的效果^[4]。

三点法采用固定测站和固定三点组合。经过历年资料情况分析,对使用资料站点进行精心挑选和组合,使得用报质量相对稳定,减少抗错的负担。恰当的组合保证了插值的合理。

采用加权平均法时,适当调整权重系数,或采取两次插值,可使重要的风速极值(特别是在低空急流附近)不致被过分抹平。

目前以三点法为主,在当日缺报的固定站点,用加权平均法插补。

由于五层模式铅直分辨率较粗,放进青藏高原地形之后,气压梯度力的截断误差较严重,不容易解决。另一方面,由于模式定义域中只包进青藏高原面积的三分之一左右。这一部分又都处于模式侧边界反射噪音影响范围之内,严格的地形处理意义不大。因此

在业务模式中没有加入刚体地形,而采取在模式大气初值场中用一堆稳定、平衡的静止空气堆来模拟高原地形对气流的机械强迫^[5]。因为模式中是用连续方程决定铅直运动场,所以在高原“地下”为静风的条件下,计算得到的高原界面上的铅直运动与地形强迫铅直运动是一致的。至于强迫绕流则已更直接地反映在高原邻近的实测风场初值中。

高原“地下”格点上的气压场(位势高度场)和温度场则以高原周界附近格点的气压和温度为边值(周界格点值用专门的插值方案,由高原附近站点实测资料求取),通过解拉普拉斯方程 $\nabla^2\phi=0$, $\nabla^2T=0$ 来赋值。由于其中给定风速一致为零,一般的平衡方程恰恰退化为 $\nabla^2\phi=0$ 。即由此给出的高原地下初值是平衡的(散度和散度倾向均为零)。此外,以 $\nabla^2T=0$ 与 $\nabla^2\phi=0$ 相匹配,则只要边值是准静力的,高原“地下”温、压场也是准静力的(这个做法成功地避免了直接用静力公式向“地下”延拓温度值可能造成的严重截断误差。这种截断误差往往使延拓的近地面气温达到 50°C 以上)。

高原“地下”湿度场则只须赋于足够大的 $T-T_s$ 值,使虚拟静止空气堆充分干燥和条件稳定。

五、积云对流参数化方案

CRONWS-1 中初步设计和试验了一种动力-统计的积云对流参数化方案^[6]。其基本框架是郭晓岚(1965)方案。即以气柱总水汽通量辐合为主要控制参数。试验表明这种类型的参数化方案用于 IAP 模式对预报梅雨季节降水是比较合适的。其原因可能与本文第二节讨论的 IAP 模式的特点有关。预报的降水落区与 IAP 模式中单纯模拟大尺度抬升凝结降水的结果基本一致,都具有较好的降水区预报能力。但加入对流参数化方案以后提高了预报的降水强度,更接近实况。

郭氏方案描述对流降水的物理过程比较

粗糙。本身是半经验性的。因此在其基本框架的基础上结合区域和季节特点作经验性的修正、充实是必要和可行的。

我们运用区域历史暴雨个例的资料,吸取了近年用物理量场预报暴雨落区的经验。用统计方法选取适当的物理量作为郭氏方案中的附加控制参数。因此称为动力-统计的参数化方案。初步试验结果比原方案效果有所改进。

六、预报产品图象输出

利用M-240机绘图终端,按需要改进了现有的绘图软件包。能按预报人员所需精度打印网格点上各种要素、物理量数值,按所需间隔绘制各种等值线,同时绘出经纬线、省界、主要河流和重要站点。保留格点值输出方式是为有关台站应用MOS预报配套提供资料。

七、结 语

综上所述,初步的华中区域暴雨数值预报业务系统根据本区域现有客观条件,针对具体的业务目标以及季节和天气气候自然区特点,在各子系统上均采用了简单、易行、合

适的技术。主要致力于在各技术环节的匹配适应上达到现有条件下的优化。要做到这一点,除了最初的设计思想明确以外,主要是通过大批量的试验,进行选择调整和改进。

当然,在囿于客观条件不得不将就简易的前提下追求完善是有限度的。数值天气预报的根本优势在于对大气演变过程能进行尽可能科学、逼真的模拟。随着今后各方面条件的改善,区域暴雨数值预报模式重点要在描述与强降水的发生、发展有密切关系的那些大气过程方面,继续充实、完善。同时相应地提高各环节的配套技术。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院大气物理所六室, 细网格天气数值模式的说明(油印本)。
- [2] 赵思雄等, 中尺度低压系统形成和维持的数值实验。大气科学, 第6卷, 第2期。
- [3] 龚贤创等, 数值预报原始资料预处理系统气象电报自动处理部分, 江淮流域暴雨数值预报模式研究专辑(二)。
- [4] 匡本贺、张宝严, 两种客观分析方法的对比实验, 江淮流域暴雨数值预报模式研究专辑(一)。
- [5] 胡伯威等, 数值预报模式中的“软高原”模型。江淮流域暴雨数值预报模式研究专辑(二), 《热带气象》即将发表。
- [6] 俞康庆等, 一个动力-统计的积云对流参数化方案, 江淮流域暴雨数值预报模式研究专辑(一)。