

西北重要天气成因及数值预报技术研究成果综述

陈晓光^{1*} 李耀辉² 张 华^{2*}

(1 甘肃省气象局, 兰州 720020; 2 兰州干旱气象研究所, 兰州 720020)

提 要

本文摘要介绍了西北地区重要天气成因及数值预报方法和技术等方面研究的主要成果, 内容包括数值预报释用技术研究与应用、西北灾害性天气成因的诊断及模拟研究以及区域中尺度数值预报模式的开发与业务应用等。

关键词: 西北地区 重要天气 数值预报 研究综述

1 引言

为了加强对区域气象业务的协调能力, 提高对区域天气预报的指导水平, 作为兰州区域气象中心的甘肃省气象局于 1998 年设立了“兰州区域气象中心数值预报系统业务化及产品释用”课题。在随后的 3 年多时间里, 拨专款组织专人进行西北地区灾害性天气的成因机理研究, 开展面向西北区域的数值预报新技术、新方法的研制, 以进一步加深对沙尘暴等西北重要天气的认识, 明显提高对小概率灾害性天气的预报能力和一般性天气的客观、定量预报水平。这项工作还得到了中国气象局 1999 年青年气象科技基金项目“西北地区灾害性天气机理及中尺度数值模拟”和甘肃省气象局 1997 年 97-01 课题“中尺度数值模式的引进、开发及对西北灾害性天气数值试验和机理研究”的共同资助。经过几年的努力, 研究结果不但达到了预期目的, 还在许多方面取得了突破。本文用以下篇幅就其主要创新性成果加以概括。

2 数值预报产品释用技术研究及其业务应用

2.1 成果概述

未来天气预报的技术路线就是以数值预报产品为基础, 综合运用各种气象信息和各种预报技术来进行集成预报。数值天气预报产品的解释应用是整个数值天气预报新体系中的一个不可缺少的组成部分, 是实现天气预报向“定时、定点、定量”及新的业务预报流程转换的重要方面。

为了充分利用丰富的数值预报产品, 提高甘肃省数值预报产品释用的水平, 结合“兰州区域气象中心数值预报系统业务化及产品释用”课题开展了数值预报释用技术的研究, 在此基础上研制出了甘肃省常规天气要素逐日滚动预报系统。系统利用国家气象中心 T106 和 HLAFS 数值预报模式的丰富产品以及实况观测资料, 建立了甘肃省 80 个县站的春季(3~5 月)夏季(6~8 月)秋季(9~10 月)和冬季(11~2 月)四个季节的最高温度、最低温度、风速、风向、降水概率、日均总云量等 7 个天气要素的 MOS 预报方法, 时效为 024、048、072、096、120h, 于 2000 年 4 月投入业务运行, 效果良好。

陈晓光, 现在宁夏回族自治区气象局; 张华, 现在中国气象科学研究院数值预报研究中心。

2.2 主要进展

(1)研制了一套完整的、规范化的 MOS 预报制作方法。以此为基础建立的 MOS 等数值产品释用系统 填补了甘肃省极端温度、降水、风向、风速、云量等常规天气要素客观、定量预报的空白，丰富了预报内容。

(2)将 24~48 h 的主观预报延长至 120 h 的客观定量预报。实践证明，72~120 h 的预报结果是较为可靠的，其预报效果是预报员的主观预报所无法比拟的，从而有效地延长了逐日预报的预报时效。

(3)该项研究的区域主要包括甘肃省 13 个地、州、市气象局的 80 个气象站，其中既有年降水量不足 40 mm 的干旱区，也有年降水量达到 800 mm 的半湿润区，天气要素的空间差异和年际变化都非常大。整套系统有望在整个西北区推广。由于我们在 MOS 方法研究中充分考虑了西北复杂的地形条件和每个气象站的天气气候特点，所以该系统有望在西北地区或更大范围推广，建立面向西北各气象站的多要素客观定量 MOS 预报系统。

(4)课题首次将变分技术应用于统计预报方法中，并以兰州地区 1999 年 9~11 月 MOS 最高温度预报为例进行了试验。结果表明，经过最新大气实况观测资料修正的 MOS 方程可以改善其预报效果，其改善程度与方程本身的预报水平有关。并发现用这一新方法对 MOS 方程的优化水平是稳定的。

3 区域中尺度数值预报模式开发及应用研究

3.1 成果概述

自 1993 年以来，兰州区域气象中心就开发了细网格有限区域数值预报模式 YH 模式并投入业务运行，经过多年来的试用表明，该模式能较好地预报西北地区未来 24~48 h 的降水 降水落区预报与实况较为吻合，对重点预报区域的短期天气预报取得了良好的效果。但模式分辨率对于局地天气预报还显粗略，不能了解到更细的大气物理结构，因此其预报结果仍不能满足需要。近年来，由于经济的快速发展，对灾害性天气预报的准确性提出了更高、更细的要求。随着数值天气预报技术的发展完善以及计算机性能的提高，在技术上和计算机能力上以使开发高分辨率中尺度数值预报模式成为可能。在这一背景下，甘肃省气象局作为兰州区域气象中心所在地，于 1998 年在西北地区率先开展更适合西北复杂下垫面条件及其天气特点、更为先进的新型数值预报业务模式的开发工作。

这项工作以 MM5 中尺度数值预报模式作为开发对象，首先对模式的结构、各个模块的功能、运行方式及语言环境、资料接口和结果输出形式等进行了全面熟悉和掌握，然后在 ALPHA 和 Sgi 工作站上先后对模式进行了调试，并根据资料状况、计算机条件、复杂地形加以改进和开发。为了测试模式性能，研究灾害性的形成机理，使模式适应西北地区的气候特点，对沙尘暴和暴雨等不同性质的天气过程进行了数值模拟和敏感性试验研究。在这些工作基础上，建立了以 MICAPS 为平台、以非静力 MM5 模式为动力框架的兰州区域气象中心新型中尺度数值预报业务系统。

3.2 主要进展

(1)整体引进了中尺度非静力数值模式 MM5 并加以开发，建立了兰州区域气象中心新型数值预报业务系统，实现了面向西北区域降水、环流形势的短期预报以及甘肃省 80 个气象站降水量的定点、定量、客观预报。系统采用两重嵌套（外层格距 60 km 内层格距 20 km）每 3 h 输出一次预报结果。系统运行无需人工干预，实现了从资料获取、预处理、模式运行、图形图像

输出、评分检验等过程的自动化，并具备后台磁盘维护和运行监测、纠错等功能。通过实际预报及暴雨典型个例的数值模拟表明，该系统不仅对区域性暴雨过程而且对局地性暴雨过程都有一定的预报能力。系统还较成功地预报出了造成沙尘暴天气的中尺度影响系统。对暴雨、沙尘暴等西北重要天气的预报方面具有重要的指导作用。这项工作在西北地区属领先地位，在国内气象部门也不多见。丰富了区域中心的预报产品，提高了区域中心的预报指导能力。

(2)利用 MM5 模式，对沙尘暴、暴雨等西北地区灾害性的形成、发展和演变进行了细致的数值模拟和敏感性试验，发现了一些十分有意义的现象，如在西北暴雨的发生发展中，在没有凝结潜热释放参与的情况下，低层中尺度低压和环流的发展将受到抑制，偏南暖湿气流减弱，暴雨区将会消失；初始场中不同区域水汽条件的变化对不同区域暴雨的影响是不同的，而且，其敏感性较强；在没有地面水汽和感热垂直输送的情况下，模式预报出的降水强度远远小于实际值且不能预报出暴雨中心等。对于沙尘暴而言，沙尘暴爆发前 3 h 河西走廊出现西北大风，并有大风向这一地区的明显辐合；分析每 3 h 输出一次的地面风场、垂直速度、相对湿度、地面温度等要素的变化，就可以初步判断沙尘暴的爆发时间、持续过程；沙尘暴发生在地面处于干暖状态的地区；位涡的水平分布特征对沙尘暴的出现时间和落区有一定的指示意义，强沙尘暴产生在对流层高层等位涡线密集带的下方，高层大值位涡的下传是沙尘暴爆发的关键，对沙尘暴的爆发起到了主导作用；螺旋度正值的演变与沙尘暴的出现有一定的对应关系。这对西北灾害性天气的认识及其准确预报都具有重要意义。

4 西北地区重要天气成因及其落区预报研究

4.1 成果概述

西北地区受青藏高原大地形的影响，天气气候具有显著的地方性。灾害性天气种类繁多，大风沙尘暴、暴雨、冰雹、暴风雪等灾害性天气时有发生。尤其近年来，春季的沙尘暴、夏季的暴雨发生频繁。继 1993 年“5.5 黑风”之后，1994 年 4 月 5~10 日西北区又出现大面积沙尘暴天气，1995~1996 年也都有沙尘暴发生。暴雨也是如此，“96.7”、“97.9”大暴雨等都给工农业生产带来了灾害，造成巨大损失。因此，充分利用各种资料、信息深入研究西北地区沙尘暴、暴雨等重要天气成因，提高对这些天气过程的认识和预报监测能力，进一步加强西北区域内重要天气的指导预报水平，对于为当地政府决策服务，防灾减灾具有明显的现实意义。

这项工作充分利用数值预报产品、卫星云图以及常规气象资料较深入地分析了沙尘暴、暴雨气候特点、形成条件；研究了沙尘暴、暴雨发生的天气尺度、中尺度天气系统的特征和云图特征，对沙尘暴进行了客观分类，归纳沙尘暴天气概念模型；通过大量个例诊断分析，深入研究了沙尘暴、暴雨形成的热力、动力机制及其落区，提出了预报着眼点。在研究分析基础上，建立了沙尘暴短期预报系统，并于 1999~2000 年进行了业务试用，取得了较为理想的业务效果。该工作为今后我国北方地区沙尘暴、暴雨研究以及建立沙尘暴预警综合服务系统奠定了基础。

4.2 主要进展

通过对发生在不同背景下典型个例的 Q 矢量、湿位涡、螺旋度以及锋生函数等物理量诊断分析，提出了对暴雨、沙尘暴预报具有重要参考价值的结论。

4.2.1 沙尘暴研究方面

(1) 沙尘暴发生时，对流层中上部有一支强西风带，沙尘暴区位于高空急流轴右侧。

(2) 沙尘暴区上空存在一大型次级热力环流，它是引发沙尘暴发生的动力、热力机制，起到高层动量下传和加强低层锋区的作用。

(3) 沙尘暴区位于 500 hPa 正涡度区下风方的正涡度平流中心附近。

(4) 沙尘暴产生在上升运动区和层结不稳定区，沙尘暴发生后，大气层结趋于稳定，沙尘暴转为浮尘天气并维持；沙尘暴发生前期，西北区增温显著。

(5) 影响沙尘暴的地面天气系统多为地面冷锋，锋前后具有强的气压梯度，变压梯度和温度梯度；高空锋区的加强，蒙古气旋发展，和南疆热低压发展利于沙尘暴发生。

(6) 沙尘暴具有强的日变化，多发生在热力不稳定的午后到前半夜；近年来西北沙尘暴发生频率有上升趋势。

(7) 影响西北沙尘暴的冷空气可分为西北、北方、西方三条路经，气象卫星遥感监测更为直观清晰。

4.2.2 暴雨研究方面

(1) 暴雨发生在高空急流右侧，低空急流左前方，上升运动区和对流不稳定区域。

(2) 低空急流为暴雨输送水汽、能量和动量，500 hPa 冷空气入侵与低层暖湿空气，上下层不同平流触发不稳定能量释放产生暴雨。

(3) 湿位涡和 Q 矢量与暴雨发展有较好的制约关系，暴雨出现在对流层中、下部 $MPV < 0$ 和低层 $MPV > 0$ 的围区内，暴雨中心与 Q 矢量散度辐合中心相对应。

(4) 锋生函数对系统发展有指示性，副热带高压边缘风场辐合线和低涡附近易激发中尺度对流和强上升运动。

(5) 500 hPa 高原低值系统和 700 hPa 切变是影响西北地区大暴雨的重要天气系统，暴雨一般出现在 500 hPa 低槽(低涡东侧(前部))，700 hPa 切变线南侧。

(6) 暴雨与上升运动正涡度、正 Q 矢量涡度和散度辐合区相对应。

(7) 水汽输送有时表现为东西两支输送带的汇合，形成深厚湿层，利于暴雨产生。

■ 成果应用

开展西北重要天气成因及数值预报技术研究这项工作的目的就是要进一步弄清沙尘暴、暴雨等西北地区重要天气的形成机理，开发、研制适合西北气候特点、复杂地形的天气预报新技术、新方法并加以业务应用，最终提高预报准确率。因此，其主要成果可以直接应用于天气预报业务的第一线。我们采用研究与试验并举、开发与应用紧密结合的思路，边研究边实践。一旦有新技术开发出来，便组织全省各地、州(市)预报员骨干进行学习推广，并在应用过程中不断改进。

年间先后举办了 3 次全省范围的数值预报产品释用学习班，共有 35 人次参加了学习培训，并将学习内容及时运用到当地的天气预报业务中，既发挥了省局的帮带作用，培养了人才，提高了基层预报人员的业务技能，又提高了台站预报服务水平，效益十分明显。目前，由我们开发的数值预报产品已经成为兰州中心气象台和甘肃省各地市(州)气象局、全省一个气象站的主要预报工具。

6 结语

(1) 结合科研项目，开展西北地区灾害性天气的形成机理以及数值天气预报新技术的研究，不仅具有较高的学术价值而且具有很强的实用性，同时完全符合《全国气象事业“十五”计划》的精神。这项工作填补了我国西北天气预报业务建设中的一块空白。

(2) 西北地区天气复杂，通过研究，得到了一些有意义的结论，同时开拓了思路，加深了认识；探索出了一条利用各种气象信息和技术手段对小概率天气事件进行较为成功预报的新路

子。

(3)这项工作虽然依托科研项目来开展，但面向第一线气象业务工作，以研制预报新技术、新方法，提高预报准确率为最终目的。取得的绝大部分研究成果都应用于日常的天气预报业务，起到了很好的指导作用，效益十分明显。无疑是气象科研和业务相结合的较成功范例。

(4)通过我们的努力，虽然取得了一些突破性进展，但是西北地区的天气特点是极其复杂的，其形成、发展的因素多种多样。而且我们的工作尚有许多不足之处，如对西北雹暴、暴雪等的研究还显不够，对中尺度数值模式中青藏高原积云对流、地表辐射等物理过程参数化等方面的改进还要加强。因此要彻底弄清西北地区灾害性天气原因，使预报水平大幅度提高，还需进行大量、不懈的工作。这也是我们今后要努力的方向。

Review of Studies on Causes for the Primary Weather in Northwest China and the Numerical Prediction Technique

CHEN Xiaoguang¹, LI Yaohui² and ZHANG Hua²

(1 Gansu Meteorological Bureau, Lanzhou 730020; 2 Lanzhou Arid Meteorological Institute, Lanzhou 730020)

Abstract

The chief achievements of the study on the important weather forming cause in Northwest China and its numerical forecasting technique are compendiously intruded in this paper, which include interpretation of the numerical forecasting products, formation cause of the influential weather in Northwest China and the development and operational application of regional mesoscale numerical model.

Key words: Northwest China, Primary weather, Numerical forecast, Review

子。

(3)这项工作虽然依托科研项目来开展，但面向第一线气象业务工作，以研制预报新技术、新方法，提高预报准确率为最终目的。取得的绝大部分研究成果都应用于日常的天气预报业务，起到了很好的指导作用，效益十分明显。无疑是气象科研和业务相结合的较成功范例。

(4)通过我们的努力，虽然取得了一些突破性进展，但是西北地区的天气特点是极其复杂的，其形成、发展的因素多种多样。而且我们的工作尚有许多不足之处，如对西北雹暴、暴雪等的研究还显不够，对中尺度数值模式中青藏高原积云对流、地表辐射等物理过程参数化等方面的改进还要加强。因此要彻底弄清西北地区灾害性天气原因，使预报水平大幅度提高，还需进行大量、不懈的工作。这也是我们今后要努力的方向。

Review of Studies on Causes for the Primary Weather in Northwest China and the Numerical Prediction Technique

CHEN Xiaoguang¹, LI Yaohui² and ZHANG Hua²

(1 Gansu Meteorological Bureau, Lanzhou 730020; 2 Lanzhou Arid Meteorological Institute, Lanzhou 730020)

Abstract

The chief achievements of the study on the important weather forming cause in Northwest China and its numerical forecasting technique are compendiously intruded in this paper, which include interpretation of the numerical forecasting products, formation cause of the influential weather in Northwest China and the development and operational application of regional mesoscale numerical model.

Key words: Northwest China, Primary weather, Numerical forecast, Review

2.1 在中尺度网格上产生地形高度 (terrain height)

应用滑动抛物线内插法或 Cressman 分析法可以将地形高度值插值到中尺度网格点上。下面说明 TERRAIN 模块是如何用这两种方法在中尺度网格上产生地形高度的。

2.1.1 滑动抛物线内插法

通过对原始数据进行二维 16 点滑动抛物线拟合而得到中尺度网格点上的地形高度。原始数据是定义在具有规则间隔的经纬度网格点上的。当 TERRAIN 程序读原始数据时,先找出数据范围内的最小纬度和经度 (Φ_{gmin} 和 λ_{gmin})。中尺度网格点上的地形高度由二维数组 ht 来表示, Φ_{gmin} 和 λ_{gmin} 是 ht 的第一点 (1,1) 任一纬、经度换算成格点 I, J 由下式定义:

$$I = \frac{(\Phi - \Phi_{gmin})}{reso} + 1$$

$$J = \frac{(\lambda - \lambda_{gmin})}{reso} + 1$$

式中 Φ, λ 分别是原始地形数据的纬度和经度 $reso$ 是以度为单位的分辨率。

通过子程序 RDLDT, CRTER, INTERP 和函数 BINT, ONED, 用内插方法来产生地形高度场。

2.1.2 Cressman 分析法

Cressman 分析法要求计算要在中尺度网格上进行,它利用原始地形数据 (Φ, λ) 作为观测值,首先将原数据的纬度和经度 (Φ 和 λ) 转换成中尺度网格的坐标 (I_{obs} 和 J_{obs})。然后利用用户指定的影响半径 R 对标准 Cressman 权重系数仅进行一次扫描。权重系数为:

$$W_s = \begin{cases} (R^2 - r_s^2)/(R^2 + r_s^2), & r_s \leq R \\ 0, & r_s > R \end{cases}$$

式中 $r_s^2 = (I - (I_{obs}))^2 + (J - (J_{obs}))^2$, R 的单位是网格距。

中尺度网格上的地形高度定义为:

$$HT(I, J) = \frac{\sum_{s=1}^{SN} W_s \times ht_s}{\sum_{s=1}^{SN} W_s}$$

式中 ht_s 是“观测”高度, SN 代表“总站数”(在影响区域内其 W_s 为正)。

当用 Cressman 分析法来产生地形高度文件时,用户必须定义合适的地形分辨率和影响半径以得到最好的结果,如果用户使用了低分辨率的数据和小的影响半径,在格点的影响范围内就没有可用的观测数据,程序就会停止运行。如果数据分辨率过高或影响半径过大,最后得到的地形高度场就会太平滑不能用。子程序 RDLDT, CRTER, XYORSLL 和 ANAL2 用来

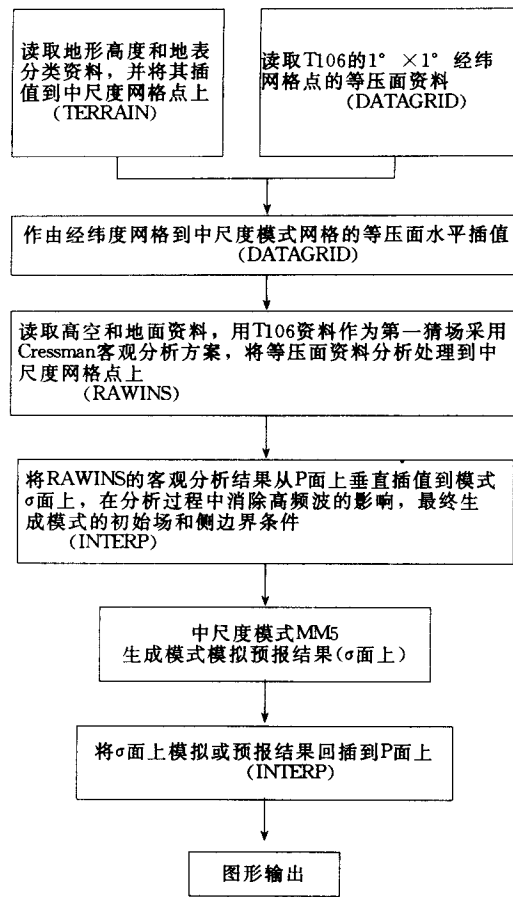


图1 MM5模式结构框图

做 Cressman 分析。

2.2 在中尺度网格上产生地表分类资料

源 landuse 资料有 13 种类型，且每一种类型是由百分率来表示的。但 MM5 模式要求定义在一个网格点上的仅是一种 landuse 的类型 (即从 1~13 中的任一种)，因此，下面叙述如何在一个网格点上确定其 landuse 的类型。

(1) 获取 13 种 landuse 资料中每一种类型的百分率 $x \ln(id)$ ($id = 1, 2, \dots, 13$) 在网格点 I, J) 上对源 landuse 资料作滑动抛物线内插。

(2) 从 13 个百分率的值中确定出最大的百分率，即：

$$x \ln(id_{\max}) = \begin{cases} \text{MAX} (x \ln(1), \dots, x \ln(7), \dots, x \ln(13)) & x \ln(7) \geq 50 \\ \text{MAX}(x \ln(1), \dots, x \ln(6), x \ln(8), \dots, x \ln(13)) & x \ln(7) < 50 \end{cases}$$

(3) 在点 I, J) 上的 landuse 种类即是具有最大百分率的 landuse 种类，即 $\ln d(I, J) = id_{\max}$ 。

由子程序 RDL DTR, CRLND, FUDGER 和函数 BINT, ONED 来产生 landuse 场。

3 操作使用

MM5 模式是在 UNIX 操作系统下运行的一个大型模块化程序，TERRAIN 模块作为 MM5 模式的其中一个部分，除可以在 Cray 巨型机上运行外，还可以分别在 SUN, SGI, ALPHA, IBM, HP 等工作站上运行。为便于系统的维护和管理，采用程序维护工具 make 进行编译、链接、清理等工作，并通过文件“Makefile”来发生作用。在每一次编译中，对于此前未作修改的程序，它将不再进行编译，而只编译那些作过修改的程序，这样对于包含诸多源程序的模式来说，就能节省对逐个程序进行重新编译的时间。对于程序的执行，UNIX 系统采用工作平台的形式，即执行“*.deck”命令，其中“*”指所选择的模块 (如 TERRAIN, DATAGRID, RAWINS, INTERP, MM5 模块) 在 deck 文件中，通过修改参数来达到研究的目的。

3.1 安装

基于 ALPHA 工作站的五个接点机，选择接点机 1 在其上建立 terrn 目录，将压缩文件 new-terrain_ws.tar 放在该目录中，通过命令“tar -xf new-terrain_ws.tar”将压缩文件解压，在解压的同时，terrn 目录下会自动建立子目录 src 和 Data。src 目录中存放了所有源程序 (*.F)；在 Data 中，存放了所有不同分辨率的地形和地表分类资料，这是由压缩文件 TERLN_IEEE_TAR 通过命令“tar -xf TERLN_IEEE_TAR”解压而得到的。

3.2 主要子程序介绍

LATLON：计算中尺度网格点的经度和纬度。

MXMNLL 确定数据的搜索范围。

RDL DTR：读取源地形高度资料和地表分类资料。

CRTER 产生中尺度网格点上地形高度场。当插值方法采用滑动抛物线内插时，将调用程序 INTERP 当采用 Cressman 分析法时，将调用程序 XYOBSLL 和 ANAL2。

CRLND：产生中尺度网格点上地表分类资料场。

模块的流程如图 2 所示。

3.3 模块的输入、输出及控制参数

该模块提供不同分辨率的地形高度资料 (1deg, 30min, 10min, 5min 和 30sec) 及地表分类

资料(1deg,30min 和 10min) 见表 1、表 2

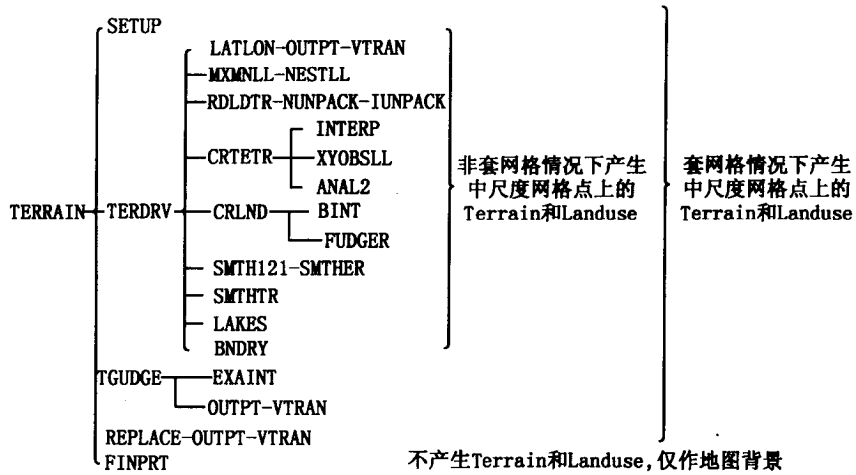


图 2 Terrain 模块的流程

表 1 地形高度资料

分辨率	数据来源	范围	大小
1deg (111.0km)	PSU/NCAR	全球	180×360
30min (55.0km)	PSU/NCAR	全球	360×720
10min (18.5km)	Geophysical Dtat Center	全球	1080×2160
5min (9.25km)	Geophysical Data Center	全球	2161×4320
30sec (0.925km)	Defence Mapping Agency	51N,23N 130W,60W	3361×8401

表 2 地表分类资料

分辨率	数据来源	范围	大小
1deg (111.0km)	PSU/NCAR	全球	180×360×13
30min (55.0km)	PSU/NCAR	全球	360×720×13
10min (18.5km)	PSU/NCAR	全球	1080×2160×13

在目录 terrn/Data 下,包含前述的 5 种类型的 terrain 资料和 3 种类型的 landuse 资料 共 8 个资料文件。模块的输入文件是人为选择的某一分辨率的地形高度和地表分类资料,从目录 terrn/Data 下可以看到,两种资料是分别放在两个文件中的;输出文件是已经插值到所研究区域的中尺度正方形网格区域上的地形高度和地表分类资料,此时两种资料是放在同一个输出文件中的 这一文件将是 DATAGRID 模块的其中一个输入文件。

考虑到模式可以在好几种工作站下运行,所以运行模块前首先要选择适当的机型,由于模块在 ALPHA 机上运行,因而必须在 configure.make 中将参数 RUNTIME_SYSTEM 设置为“DEC_ALPHA”。当选定某一分辨率的 terrain 和 landuse 资料后 要将其特殊的 IEEE 格式转

换成 ALPHA 机能接受的格式，这需在 `configure.make` 中将参数 `FCFLAGS` 设置成“`I$(LIBINCLUDE)-Convert big_endian`”。另外，原模块利用 Ncar 绘图软件包，一方面根据对参数的选择来作地图背景图，另一方面将所取出的已插值到中尺度网格区域的地形资料作图以分析其正确性，但在调试程序的 ALPHA 机上并未装 Ncar 绘图软件，而对地图背景和所取 terrain 资料作图都是在 586 微机上完成的，因此，在 `configure.make` 中，参数 `LOCAL-LIBRARIES` 的设置，要由原来的“`LOCAL-LIBRARIES=-L/usr/local/ncarg/lib -L/usr/local/lib -lncarg -lncarg_gks -lncarg_c -lx11 -lm`”改为“`LOCAL-LIBRARIES=`”。与此相对应，在所有源程序中，要将调用 Ncar 绘图程序的语句全部注释。

模块的参数选择在 `terrain.deck` 中完成，可供选择的参数及其说明列在表 3。

表 3 `terrain.deck` 中的参数及其说明

参数	说明
PHIC	模式中心点的纬度（南纬为负）
XLONC	模式中心点的经度（西经为负）
IEXP	逻辑变量 选.T. 要求扩展网格 选.F. 不要扩展网格
AEXP	当 IEXP 选.T. 时 选择要扩展网格的范围 单位为 km
IPROJ	选择地图投影方式，LAMCON（兰勃托保角投影）或 POLSTR 极射赤面投影 或 MERCAT(麦卡托地图投影)
MAXNES	区域总数，即只有粗网格区域时为 1 若有套网格区域 则 ≥ 2
NESTIX,NESTJX	分别为区域的 I 方向和 J 方向的格点数
DIS	格距 单位为 km
MTHRD	母区域数，粗网格区域为 1 嵌套一层为 2 再嵌套一层为 3 依此类推
NESTI,NESTJ	区域左下角的坐标位置
RID	影响半径
NTYPE	对 terrain 和 landuse 的分辨率的选择 1: 1deg 的 terrain 和 landuse 2: 30min 的 terrain 和 landuse 3: 10min 的 terrain 和 landuse 4: 5min 的 terrain 和 10min 的 landuse 5: 30sec 的 terrain 和 10min 的 landuse
IFTER	.T. 绘地形图 .F. 仅绘区域地图背景
DATASW	.T. 由用户确定资料分辨率 .F. 由程序自动选择资料分辨率
IFANAL	.T. Cressman 分析法 .F. 滑动抛物线内插
IPRNTD	.T. 在中尺度网格上打印经纬线
IPRTHT	.T. 在中尺度网格上打印地形高度
IPRTL	在中尺度网格上打印地表分类参数
FIN	等值线间隔
NSTTYP	单向嵌套为 1 双向嵌套时为 2
IIMX, JJMX	分别为区域的 I, J 方向最大格点数，要求大于使用的实际格点数
ITRH, JTRH	与地形分辨率有关的所取地形数据在 I, J 方向的最大格点数，一般取为 270, 450, 若地形分辨率为 10min，则南北方向范围为 45deg，东西方向范围为 75deg 其余分辨率的地形类推

对源程序的修改，主要在输出程序 `terdrv.F` 中改动，原程序只有无格式的 terrain 和 landuse 资料输出文件（即 `TER.DOMAIN01`），而现在，在不改变无格式的输出文件的情况下，同时输出一份有格式的 terrain 和 landuse 文件（命名为 `miterlan.out`），以便送到微机下绘图检验所取资料的正确性。

3.4 运行

按照 3.3 中的叙述, 将 `configure.make` 中 `RUNTIME_SYSTEM`, `FCFLAGS`, `LOCAL-LIBRARIES3` 个参数设置完毕, 并在 `terrain.deck` 中选定研究所需要的参数, 然后修改程序 `terdrv.F`, 这时就可以运行模块了。模块的运行步骤比较简单, 作完上述修改后, 只需要两步就可以实现, 即在 `terr` 目录下先后键入命令 “`make`”、“`terrain.deck`”, 即可得到所研究中尺度网格区域上的地形高度和地表分类资料。

对于参数的不同选择, 将得到不同的地形高度和地表分类资料结果。下面给出两个实验加以说明。表 4 列出了 `terrain.deck` 中对于两个实验不同参数值的选择情况, 其余未列出的参数值, 二者的选择是一致的。

表 4 两个实验的参数值选择情况

	PHIC	XLONC	NESTIX	NEXTJX	DIS	NTYPE
实验一	35.0	105.0	40	60	100.0	1
实验二	36.5	105.0	80	100	10.0	4

图 3a 图 3b 分别给出了通过实验一和实验二插值后得到的中尺度网格区域上的地形高度等值线图 4 则是通过实验一得到的中尺度网格区域上的地表分类的情况。很明显, 图 3a 与图 3b 比较, 二者所包括的范围截然不同。前者包括了整个中国、朝鲜半岛、部分蒙古国、部分日本岛以及部分太平洋和印度洋洋面, 后者则主要以甘肃省为主, 还包括了陕西、宁夏、青海和四川的部分地区。这种差异是由于参数 `NESTIX`, `NESTJX` 和 `DIS` 的不同选择而造成的。从表 4 可以看到, 实验二的网格水平分辨率较之实验一要高, 因而在选择模块所提供的资料分辨率时 (见参数 `NTYPE`), 二者也是不同的, 其目的是为了得到较好的插值效果。网格水平分辨率高

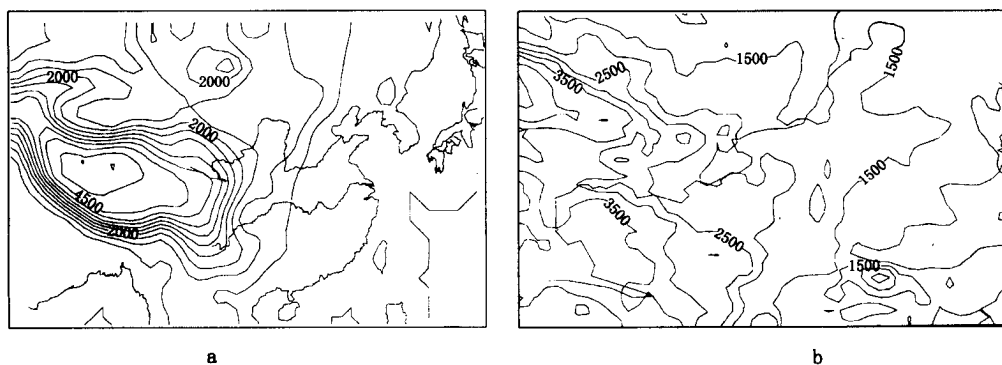


图 3 地形插值结果

时 所取资料的分辨率也应该高 这样的插值效果才好。从图 3a 和图 3b 分析其插值结果 可以看出, 两个实验都能反映所包括范围的地形状况, 图中东低西高的地貌特征一目了然。从图 3a 来看, 青藏高原的地形特征表现得很清楚, 而图 3b 中, 除能清楚地表明青藏高原本身的地形特征外, 对高原边坡地区较高的地势特征也能清晰地表现出来, 如高原东北侧的乌鞘岭在图中就能明显反映出来, 陕西境内的秦岭山脉也表现得很清楚。以上说明, 虽然不同分辨率的地形资料 and 不同分辨率的水平网格距的选取, 都能将地形特征表现出来, 但是分辨率的不同对地形局部细微特征的反映却是不同的。选取分辨率高的地形资料和水平网格距, 能更真实地反映出地形的特征, 而分辨率低的则对地形有了比较大的平滑, 不能细致反映出地形特征。而对于今后作中尺度灾害性天气的研究工作而言, 这种高分辨率地形资料和水平网格距的选取是适宜的, 它能逼真地反映出局部地区的地形特征, 对研究工作的实用性很有必要。

图 4 给出了实验一所研究范围内的地表分类值，各个值所代表的地表分类状况及其物理参数见表 5 从图中可以看到 选取的 landuse 资料真实地反映了地表状况，如图中从新疆到青海的沙漠区，内蒙古到蒙古的大片草地，东海、渤海、南海以及东太平洋，印度洋水域都能明确表示出来，这就为主模式 MM5 运行时有关物理参数化的计算提供了准确的数据。

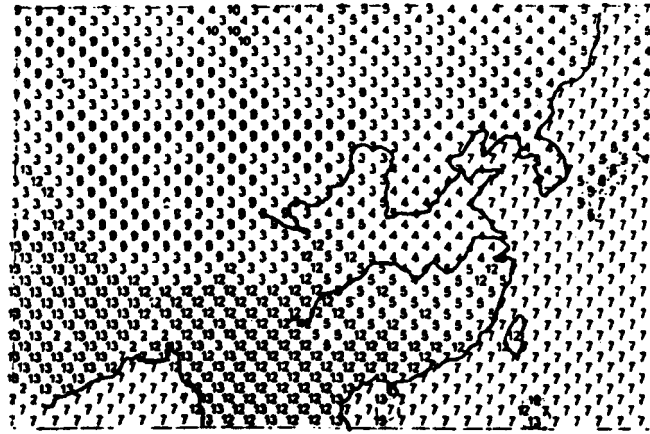


图 4 实验一的地表分类状况

表 5 地表分类以及夏季(4月 15 至 10月 15 日)和冬季(10月 15 至 4月 15 日)的物理参数

地表分类指数	地表分类	反照率(%)		水汽有效率(%)		比辐射率 (%在 9μm)		粗糙度长(cm)		热惯性 (cal · cm ² K ⁻¹ S ^{-1/2})	
		夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬
1	城市区	18	18	5	10	88	88	50	50	0.03	0.03
2	农作物区	17	23	30	60	92	92	15	5	0.04	0.04
3	大片草地	19	23	15	30	92	92	12	10	0.03	0.04
4	落叶林地	16	17	30	60	93	93	50	50	0.04	0.05
5	松柏林地	12	12	30	60	95	95	50	50	0.04	0.05
6	杂林湿地	14	14	36	70	95	95	40	40	0.05	0.06
7	水域	8	8	100	100	98	98	0.001	0.001	0.06	0.06
8	沼泽或湿地	14	14	50	75	95	95	20	20	0.06	0.06
9	沙漠区	25	25	2	5	85	85	10	10	0.02	0.02
10	苔原冻土区	15	70	50	90	92	92	10	10	0.05	0.05
11	永冻冰面	55	70	95	95	95	95	5	5	0.05	0.05
12	热带或副热带森林区	12	12	50	50	95	95	50	50	0.05	0.05
13	大草原	20	20	15	15	92	92	15	15	0.03	0.04

通过两个实验，可以看到对于模块所提供的不同分辨率的原始资料，要根据所研究问题的目的、范围和尺度大小来适当选取不同分辨率的资料，这样才能适应所研究问题的需要。

4 小结

TERRAIN 模块是 MM5 模式的基础，其主要作用是为模块 DATAGRID 提供已插值到中尺度网格区域上的地形高度资料和地表分类资料。该模块各项参数的选择将直接关系到以后模式运算的准确性，所以正确地选择该模块的各项参数是调试这一部分内容的关键所在，高分辨率地形高度资料和地表分类参数能反映真实地形特征，因而是今后作中尺度灾害性天气研究的基础。

参考文献

- [1] Georg A. Grell, Jimy Dudhia and David R. Stauffer. 1995. A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model(MM5). NCAR/NT-39+STR NCAR TECHNICAL NOTE

Introduction to the Fifth Generation PSU/NCAR Mesoscale Model(MM5), Part I: Terrain Height and Landuse Characteristics

WANG Jinsong, ZHANG Hua and LI Yaohui

(Lanzhou Arid Meteorological Institute, Lanzhou 730020)

Abstract

In this paper, an exhaustive introduction is made for the main function, structure and principle of TERRAIN module, and its installation and operation are illustrated. At the mean time, in order to understand the module deeply, the comparative analysis is done to the handling for the different resolution terrain height and landuse characteristics. It shows that the high resolution terrain height and landuse characteristics can more really reflect the real feature of underlying surface and it is one of the bases for mesoscale severe weather studies and numerical stimulation in the future.

Key words: terrain height, landuse characteristics, interpolation

第五代 PSU/NCAR 中尺度模式系统 (MM5) 介绍 II : 第一猜测场的形成 (DATAGRID 模块)

李耀辉 王劲松 张华

(兰州干旱气象研究所 兰州 730020)

提 要

本文对 DATAGRID 模块的主要功能、基本原理及其结构做了介绍,同时对模块的操作使用方法给予了说明。并对模块的主要控制参数进行了较为详尽的讨论,最后,举例说明了该模块中参数的正确选择对获取模式运行所需的网格点资料的重要性。

关键词:输入资料说明 控制参数 第一猜测场

1 引言

DATAGRID 模块主要有两方面的任务,其一是计算与地图坐标有关的参数,如科氏力、经纬度坐标、地图放大系数等;其二是为中尺度模式准备初始气象资料,包括处理粗分辨率气象分析场的历史资料或 ECMWF 预报场或实时预报场。如各个标准等压面层的高度 (H)、温度 (T)、东西风 (U)、南北风 (V)、水汽 (RH) 及地面气压、地面温度、海平面气压、海平面温度、雪盖资料等,这些资料可以取自欧洲中心的 ECMWF。如果某一时间的资料丢失,那么 DATAGRID 模块能够利用这一时间之前和之后的资料场,通过时间上的内插来获得丢失资料的这一时间的资料场。DATAGRID 模块将大尺度分析场水平插值到中尺度网格上,插值后所产生的网格点资料称为第一猜测场 (Firstguess Field)。

由于该模块是为美国的资料体系设计的,为了适应我国目前的资料环境,考虑模块与中国国家气象中心的 T106 全球谱模式分析预报产品联接,作者对模块的数据接口进行了改造。

2 原理

DATAGRID 模块将每一粗分辨率的气象场插值到中尺度网格点上时,所使用的插值方法是二维 16 点滑动抛物线拟合方法,如图 1,2 所示。此方法通过利用 4 个连续数据点 (如图中 A, B, C, D) 来实现内插。对一维内插而言,用两条抛物线拟合三个数据点 (A, B, C 图 1 中长虚线) 和 (B, C, D 图 1 中短虚线) 每一条抛物线上在点 ξ 的值得以确定,且两条抛物线之间平均权重的计算值作为在点 ξ 的插值。

二维内插的过程如图 2 所示,在点 (ξ, η) 计算插值,该点四周被 16 个数据点所包围。首先,沿线 $y = \eta$ 用一维内插来计算 A, B, C 和 D 点的值。然后,沿 $y = \eta$ 用 A, B, C 和 D 点的值通过内插来计算点 (ξ, η) 的值。如果先将值内插到 E, F, G 和 H 点,再从这些值来计算点 (ξ, η) 的值,结果也是一样的。当输入资料在边界附近,其周围的点少于 16 点时,插值方法会稍作改动。

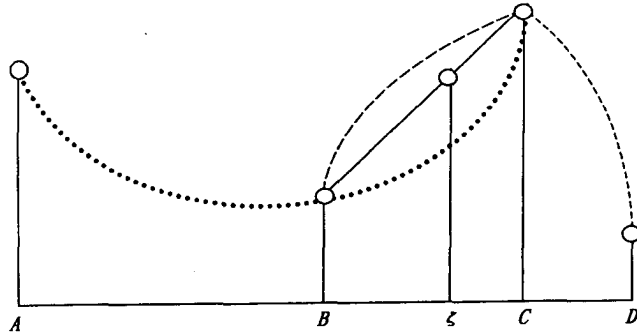


图 1 一维水平内插法

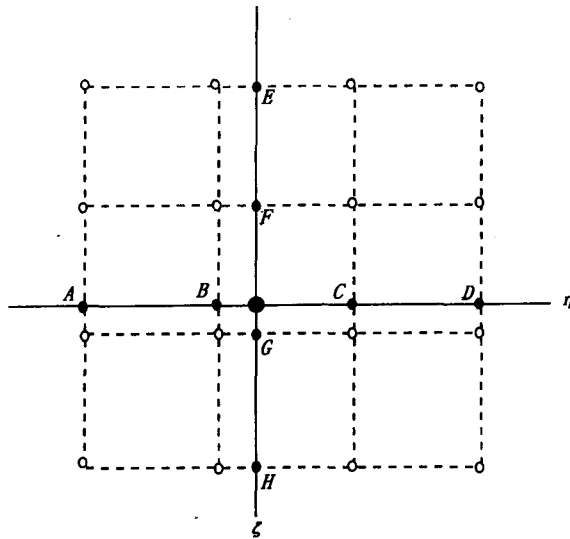


图 2 二维水平内插法

3 DATAGRID 在 ALPHA 工作站上的使用

3.1 安装 DATAGRID

DATAGRID 模块在 ALPHA 工作站上建立目录来进行调试工作。建目录 datagrid 并将压缩文件 datagrid_ws.tar 放在该目录中,通过命令“tar -xf datagrid_ws.tar”将文件解压,解压后,会自动建立子目录 src。在 src 中,存放了所有源程序 (*.F)。

3.2 主要子程序介绍

在介绍主要子程序前,需要作以下说明。由于原模块使用的资料来源与目前调试中使用的完全不同,因而二者在资料处理上的方法是不同的。原模块涉及的原始资料来源较多(如 NMC,ECMWF,TOGA 等),用户可以选择其中的一种作为初始资料,因而所调用的子程序也比较多。目前调试中只有 T106 一种资料可供选择,这样就使 DATAGRID 的资料获取过程大为简化,而对结果却没有任何影响。下面就一些主要的子程序和模块的结构作一简要介绍。

(1) 子程序

INIT: 初始化多种变量

HEDREC: 产生包含输入变量的数组, 这些数组将写到输出文件的头记录中去。

LBCLAT: 计算中尺度网格上每一点的经度、纬度、科氏参数和地图放大系数。

TOGA2DG : 作为驱动程序来调用其它的子程序, 完成数据的输入、插值和输出。

TOGA2XY : 计算每一个中尺度网格点在数据坐标系中的坐标值。

SORTTOGA: 从输入文件中获取资料分析场。

XYGRID: 将资料分析场内插到中尺度网格。

OUTTOGA: 将内插后的分析场写到输出文件。

(2) 模块的结构简图

模块的结构简图如下所示。

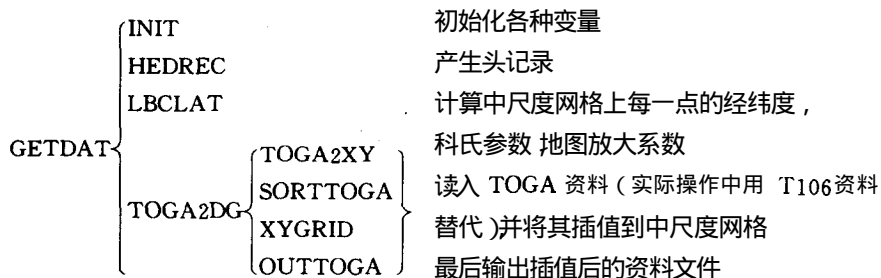


图 3 DATAGRID 模块结构简图

3.3 模块的输入资料说明及控制参数选择

3.3.1 模块的输入资料说明

原模块使用的初值场和侧边值的粗格点资料是由 NMC 的数据资料库提供的, 主要包括 NMC 全球分析场 $[2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (纬度 \times 经度, 下同)], ECMWF 北半球分析场 $(2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ})$, ECMWF 全球分析场 $(2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ})$ 和实时全球 NMC MRF 分析场 $(2.5^{\circ} \times 5.0^{\circ})$ 用户可以选择其中的一种资料进行 DATAGRID。这些资料是经过压缩后放在资料库中的, 在原 DATAGRID 模块中, 包含资料存放的路径, 并具有数据解压的功能, 因此可通过参数设置直接读入以上所提供的任一类数据, 并由相应的子程序来解码、数据格式转换等, 然后送入 DATAGRID。而现在移植过来的 MM5 模式并未包括上面的资料库, 因而原 DATAGRID 模块中, 资料存放的路径以及数据解压的功能, 对目前调试来说是不可用的, 必须加以改变。目前我们使用 T106 $(1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ})$ 资料作为初始场, 所以 DATAGRID 中与资料读入、归类等有关的子程序都要进行改动, 以实现 T106 与 DATAGRID 的完全接口。

3.2 中也已提到原模块所提供资料与当前调试中所使用资料不同的问题, 由于输入资料的不同, 故读取资料的程序也将不同。为了保持原程序的完整性和减小失误, 必须尽可能少地改动原程序, 从它的资料接口入手, 通过改变参数来控制输入资料的类型。具体做法是在原 DATAGRID 提供的可输入的几种资料类型中, 选择一种资料, 要求它的输入输出方式简单, 输入资料时需调用的子程序较少。经过对 DATAGRID 程序流程结构的仔细分析, 发现在原模块中选择 TOGA 资料作为输入资料的处理过程最简单, 调用的子程序最少。因此, 在 deck 文件中, 将代表资料类型的参数 IFIRST 选为 TOGA, 但这时代表输入文件名的参数 InAnly 要选为 T106 资料的名称 (因目前调试只使用 T106 资料作为输入资料), 这样, 实际上就已经用 T106 资料代替了 TOGA 资料来输入模式。然后将 toga2dg. F, sorttoga. F, rdtoga. F, toga2xy. F, outtoga. F 等有关 TOGA 资料输入/输出的子程序作相应修改, 使它们能够读入、处理和输

出 T106 资料。

3.3.2 控制参数选择

主要控制参数的选择在文件 `datagrid.deck` 中完成。如上所述,由于原程序可供选择的输入资料种类较多,且不同资料具有不同的分辨率和存放形式,因而为适应不同数据的输入,在参数选择上,原模块含有比较多的选择项,而目前仅使用 T106 资料,所以在参数选择上与原模块相比已大大简化了(如表 1 所示)。

表 1 DATAGRID 中参数及其说明

参 数	说 明
<code>\FILES</code>	输入资料的文件数目
<code>ISTRDAT</code>	输入资料的起始日期 (YYMMDDHH)
<code>ITIMINT</code>	相邻两次输入资料的时间间隔 (min)
<code>NUMDOM</code>	区域总数
<code>PTOP</code>	模式顶层的气压 (hPa)
<code>IMX,JMX</code>	分别为区域 I, J 方向的中尺度正方形网格点数
<code>KSV</code>	输入资料的垂直层数
<code>PHIC</code>	模式中心点纬度
<code>XLONC</code>	模式中心点经度
<code>DS</code>	格距,单位为 km
<code>IHEMIS</code>	计算区域所在半球 1 南半球,0 北半球 2 两个半球
<code>LONSTART</code>	所读资料的起始经度
<code>LATSTART</code>	所读资料的起始纬度

3.4 运行及结果说明

程序运行前,要将所需的输入资料(包括作为模式初值场和每隔 12 h 作为模式的侧边界的 T106 资料文件)拷入主目录 `datagrid` 中,在 `datagrid.deck` 中将控制参数选择完毕后,可直接在当前目录下编译、链接、执行程序,最后生成 `datagrid.out.1` 即形成了 RAWINS 模块的第一猜测场。具体执行的命令是 `make(回车)`、“`datagrid.deck(回车)`”。

模块运行后所得到的结果 `datagrid.out.1`,是正方形网格点区域上的输出文件,这一结果的范围与原始资料的范围有区别,确切地说,它只是截取了原始资料的一部分资料来插值到中尺度正方形网格点上。由于原始的 T106 资料是经纬网格点资料,在兰勃托地图投影下,其资料所在区域如图 4 中虚线经纬网格区域所示,而 DATAGRID 模块的计算区域是正方形网格区域如图 4 中实线区域 $ABCD$ 。计算区域的范围大小和位置,由控制参数 `IMX,JMX,PHIC,XLONC`(参数说明见表 1)的选择来确定,这些参数的正确选择是保证模块按要求取到资料,并保证程序正常运行的基础。如果程序在运行过程中出错,并给出“搜索不到资料”的信息,那么就表明在模块中对上述参数的选择不恰当,致使计算区域超出资料区域,模块不能进行正常的插值,这时可考虑通过以下两种方式来修正对参数的选择:(1)修改模式的中心点位置(`PHIC,XLONC`)即正方形网格区域的中心点。当该点过于靠近资料区域的东、南、西、北 4 个方向的任一方向时,那么正方形区域在该方向的边界就有可能超出资料所给区域的边界,这时模块就无法取到资料,于是就要求中心点必需要向与该方向相反的方向挪一定的距离,以使正方形网格区域包含在资料区域之内。但是,值得一提的是,一般来说,中心点的选择出错的可能性不大,原因是在运行模块前,资料区域的起始和结束的经纬度及其中心的位置,即资料的区域范围,对用户来说是已知的。那么用户在选择感兴趣的计算区域的中心点时,首先必须参考上述已知的资料范围,将中心点选在资料范围之内,并尽量远离资料区域的边界。所以,用户对