

## \* 成果与应用 \*

# 中期数值天气预报研究

大气物理研究所

“中期数值天气预报研究”是中国科学院大气物理研究所、国家气象局国家气象中心、广州热带气象研究所共同承担的国家“七五”重点科技攻关课题,该课题的目标是在我国建立五天以上的中期数值天气预报业务系统。我国地域辽阔,自然条件复杂,气象灾害频繁。这一课题的完成,可延长天气预报时效,直接为国民经济建设服务,特别可为防御气象灾害赢得时间,以减少损失,并为合理安排农业、水利、交通等生产活动,充分利用气象资源,提供科学根据。

大气所承担了该课题中 11 个专题的研究,包括了中期数值天气预报的资料分析,初始化,预报模式的设计原理,动力学框架及其计算方法,非绝热物理过程以及预报结果诊断等各个方面,涉及大气动力学、大气物理学、计算方法、统计数学等多个学科分支。

中期数值天气预报系统是一个十分复杂、涉及多学科分支的系统工程。在众多子系统中,四维同化分析和预报模式居于核心位置,它们在预报的质量上起主要作用,集中代表着预报系统的水平。国际上的数值天气预报业务,经历了 25 年才由短期(48 小时)发展到五天以上的中期预报。其技术关键和难度在于:

- (1) 中期数值预报积分时间长,要求有稳定性和精确度更高的模式动力学框架;
- (2) 主要预报对象是行星尺度天气系统,要求模式更好地刻划大尺度运动的动力和热力强迫,尤其是山脉影响和大气中十分复杂的非绝热物理过程;
- (3) 要收集和分析全球实时气象资料,在同化分析和预报模式中必须刻划不同地区,高中低不同纬度带的大气环流特征及其相互作用。

研究我国的中期数值天气预报,还必须考虑我国的具体条件:复杂的地形,跨越高中低三个纬度带的地理条件和特殊的天气预报对象;在设计具体计算方案时,我们的计算能力。据此,在研究工作中我们瞄准国际上有关领域的最新进展,并结合我国的具体条件,力求在若干关键问题上提出新的思路,设计新的方法,从而取得了以下几个方面的突破性成果。

### (一) 在预报模式方面

地球表面起伏,特别是青藏高原对天气气候有重大影响,如何在预报模式中考虑山脉的作用一直是数值预报研究关注的问题。目前世界上广泛采用的谱模式计算方案,在地形处理上存在 Gibbs 误差、负地形高度等缺陷,20 年来没有实质性进展。本项研究首次在谱模式中引入气压函数的参考大气,构成新的谱模式动力学框架,并解决了在半隐式场合的计算稳定性。这个新方案有效地克服了上述缺陷,并开辟了一条在谱模式中减少截谱误差的新途径。

同国际上著名的“欧洲中期天气预报中心”(ECMWF)业务谱模式比较,经过严格检验,肯定了本方案的优越性。它已相继为 ECMWF、澳大利亚气象局、德国汉堡大学、美国国家气象中心(NMC)所引用。

构造完全平方守恒差分格式,是保持微分方程物理性质,克服非线性不稳定、保证模式长时间积分稳定、合理的有效途径。国外广泛应用的瞬时守恒格式,由于时间截断误差,长期积分不能保持守恒性,而全隐式格式则计算量大,不便实用。本研究采用加耗散的方式,先后构造了显式和半隐式完全平方守恒格式,计算稳定、省时,同国内外已有的瞬时平方守恒或隐式完全平方守恒格式相比,都是一个突破。

非绝热物理过程是预报模式的重要组成部分,对于五天以上的中期预报尤为重要。本研究建立了一个同上述谱模式框架配套的物理过程方案,全面地包含了辐射、湿热力学过程、边界层湍流输送及下垫面作用等复杂过程。这套方案的总体效果,同绝热模式相比,平均预报时效延长了一天半,尤其是显著提高了行星尺度波的预报效果(相关系数提高 0.18)。在 T42L9(水平分辨率约为 300 公里,垂直方向取 9 层)谱模式实例预报试验中,第五天预报 500hPa 高度倾向相关超过 0.7,同国际上技术先进国家类似分辨率模式的水平相当。

## (二) 在气象资料的同化分析方面

研究发展的三维多元“盒式”最优插值方案,实现了多要素、三维格点成组分析,同通行的同类方案相比,分析场在垂直和水平方向有较好的协调性。特别是,首次提出适于热带地区的初估场误差相关函数和分析方法,改善了国际上通行的分析方法(包括著名的 ECMWF 方案)用于热带地区分析的严重缺陷(有重要天气意义的辐散风分量大为削弱,且多变量分析退化为单变量分析等),在热带分析这个公认为重要而困难的问题上取得了进展。

## (三) 在分析-预报系统的诊断方面

检验分析、预报效果和揭示预报成败的原因,是分析-预报系统不可缺少的一个环节。传统的统计评分难于解决这个问题。本项目以原始方程系统中加速定理为依据提出的新的动力诊断方案,其理论基础是创新的,所形成的诊断方案可以给出各个动力热力强迫因子对西风加速的作用,从一个角度清楚揭示预报模式的优点和缺陷,这在国内外是少见的。

综上所述,本项目围绕中期数值天气预报系统的核心部分——气象资料的同化分析和预报模式取得了多项研究成果。设计的理论基础和技术方案是先进的,有特色的,在几个关键技术问题上有所创新,尤其是在国际同类系统普遍存在且长期没有解决的几个难点上有所突破。

本研究作为国家“七五”科技攻关课题的一部分,其主要成果已交付课题主管部门和使用单位——国家气象中心,部分成果则在广州中心气象台应用,根据该气象台一年多的预报实践证明,采用这些成果形成的方案使用效果比旧方案有明显的改进。

中期数值天气预报是反映一个国家大气科学和技术水平的一个重要标志。这项课题的完成,已使我国跻身于世界上为数不多、能制作出中期数值天气预报的国家的行列,显示了我国大气科学和气象业务的先进水平。