

# 加拿大数值天气预报考察报告

郭肖容 陈德辉

(国家气象中心,北京 100081)

按照中加气象合作第四次工作组会议确定的计划,笔者受加拿大气象中心(CMC)邀请于1994年9月12—22日访问了加拿大,就加拿大数值预报发展进行了考察。在加期间主要访问了数值预报业务、开发、研究各有关部门,听取了介绍并展开讨论。由于安排访问的内容均为我们所熟悉和感兴趣之专业,因此讨论十分投机并有一定深度。

除加拿大气象中心外,还参观了多伦多气象台,魁北克气象台及 McGill 大学大气科学系。在 CMC 停留期间郭肖容与陈德辉还分别作了题为“The Limited Area Analysis and Forecast System and It's Operational Application”和“A Simple Prognostic Closure Assumption to Deep Convective Parameterization”的学术报告。

由于时间短促,所了解的情况十分有限。下面仅就所了解的近年来加拿大数值预报的发展情况及一些感受和体会概要总结如下。

## 1 近年来加拿大数值天气预报发展迅速

### 1.1 加拿大数值天气预报业务系统更新快,预报水平提高明显

加拿大是数值天气预报研究和业务化起步较早且具有特色的国家之一。进入八十年代后,世界上数值预报水平的竞争在某种意义上讲也是计算机的竞争,是人才、国力的竞争。1976年加拿大便运行了菱形截断20个波的半球谱模式。是当时世界上运行谱模式最早的国家。但是,自从1983年欧洲中期数值天气预报中心(ECMWF)将全球谱模式

表1 CMC 谱模式进展情况

	CMC	ECMWF global	NMC global
1976	HEM R20L5		
1977	R29L5		
1978	R29L10		
1980			R30L13
1983		T63L16	R40L13
1984	T59L15		
1985		T106L16	
1986		T106L19	R40L19
1987			T80L19
1991	global Semi Lag T79L21(March)	Semi Lag T213L31(Sept)	T126L19
1993	T119L21		T126L29

T63L16 投入业务运行后,由于它有欧共体国家人力、财力的支持,计算机及相应的模式不断升级而将其它国家远远抛在了后面。加拿大的半球谱模式(1984年曾升级为半球三角截断59个波)一直持续到1991年,也就是引进了巨型机 CRAY XMP-416 一年后才开始运行了全球谱模式 T79L21,而差不多同时 ECMWF 则已经将模式升级为 T213L31,美国国家气象中心(NMC)同年也将模式升级为 T126L19。自此,亦即进入九十年代后,加拿大业务数值预报发展的步伐明显加快。只隔两年,CMC 又在新装备的巨型机 NEC SX-3/44 的基础上将全球模式升级为 T119L21(表1)。应该说目前 CMC 与 ECMWF 的差距在缩小,与美国 NMC 的水平接近。相应的区域变网格有限元模式(RFE)的中间窗口区的水平分辨率提高为

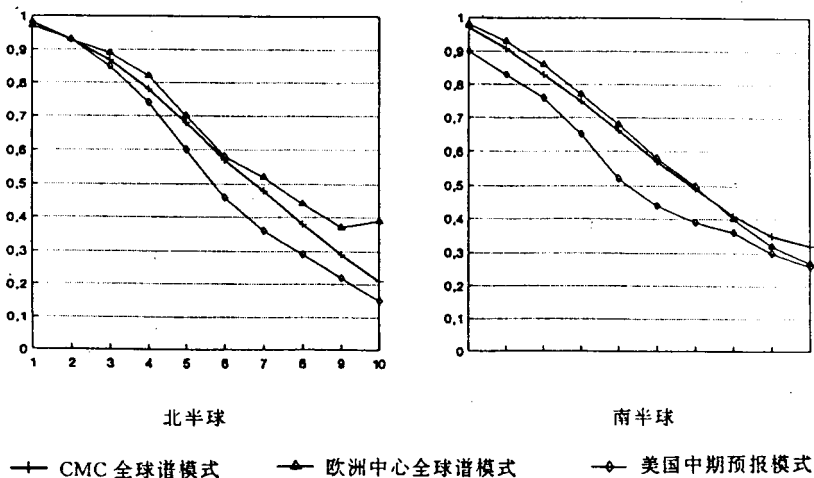


图1 1994年7月CMC全球谱模式预报评价

50公里,取代了自1986年便投入业务运行的100公里网格的RFE。随着模式水平的提高,预报质量也取得了明显的改进效果。以1994年7月为例,CMC的北半球10天预报虽仍低于ECMWF,但却明显优于美国NMC,可用预报即使在夏季也可接近6天。而南半球预报水平则与ECMWF十分接近,七天以上的预报甚至优于ECMWF(图1)。

## 1.2 加拿大的数值预报研究的各方面已处于国际前沿

变网格模式是解决侧边界问题,实现高分辨率区域预报的有效途径,近年来引起越来越多的气象学者的重视。加拿大是世界上第一个设计出变网格模式,并将其用于业务的国家(1986年4月)。近年来CMC又发展了一个变网格半拉格朗日全球模式(Variable-Resolution Semi-Lagrangian Global Model)(见本刊1994年第2期3页的图2)。它采取变极点转换坐标,将高分辨率等经纬度网格区域(位于变极坐标中的近赤道地区)覆盖了北美地区。并在此基础上形成了既可用于同化分析,又可用于等网格距全球中期预报以及变网格高分辨率区域预报的一体化(Unified)模式系统。预计本世纪末加拿大环境局的计算机能力还可能提高100倍。届时区

域及全球模式的水平分辨率可以分别增加到20公里及50公里,垂直层次可增加到50层。

研究完成了一个中尺度可压缩公用模式(Meso-Scale Compressive Community Model)。加拿大环境局的数值预报研究室(RPN)最近研究发展了一个中尺度全弹性非静力区域模式(MC2)。由于它采用了半拉格朗日半隐式差分,解决了非静力模式中快波积分计算量过大的耗费问题并得到精确的预报。MC2引进了目前CMC业务模式RFE的全套物理过程:模式设计灵活性强,可与任何一个大尺度模式嵌套,可方便地更换物理过程方案。其分辨率可由几公里到几百公里。目前MC2采取10公里,61×61公里网格范围,25层的版本已在工作站HP9000/755 4R上实时运行了六个月。每天运行一次进行18小时预报。结果表明,它对山地河谷中尺度天气系统表现出极强的预报效果。今天MC2已发展成为一个适用性极强,对各种尺度天气现象作出出色模拟的公用模式。世界上已有很多单位开始使用。RPN可向任何单位提供与MC2有关的三份材料:模式说明,程序使用手册及RPN的物理过程说明。此外,使用集合预报方法的动力延伸预报已投入业务使

表 2 CMC 非常规气象要素客观分析

要素场	分析格点	方法	初估场	分析周期	资料来源
地面气温	1°×1°全球	最优插值	地面气温的谱模式预报	6小时	地面报、船舶、浮标、漂移浮标
海面温度距平	0.9°×0.9°全球	最优插值	前一次分析	24小时	船舶、浮标、漂移浮标
雪深	0.9°×0.9°全球	最优插值	前一次分析及气候值	12小时	地面报
冰覆盖	a)0.9°×0.9°全球 b)区域有限元格点	与气候值平均		24小时	特殊微波遥感资料 SSM-I
深层土壤温度	1°×1°全球	由气候值及地面气温分析导出(滑动平均)		6小时	无观测资料
反照率	a)0.9°×0.9°全球 b)区域有限元格点	由反照率气候值、植被类型、雪深及冰覆盖分析导出		12小时	无观测资料

用。每周一次,作 15 天预报。变分分析已开发完成。目前正进行四维变分同化的研究,预计不久的将来也将付诸业务使用。

### 1.3 加拿大数值预报始终能发挥自我优势 保持自身的特色

加拿大在数值预报领域里的模式设计,数值方法方面的优势是世界闻名的。这与加拿大数值预报元老,几十年来的学术带头人 Andre Robert 的专长和努力是分不开的。由他带领的具有较强数学基础的气象学者多年来在谱方法,半拉格朗日半隐式差分方法,有限元法,变网格模式及非静力模式的设计方面不仅走在国际前列,而且也是卓有成效的。其中半拉格朗日半隐式积分,变网格模式则是最早用于业务的。加拿大学者始终保持这些优势并不断发挥。加拿大所有模式动力框架均为自己设计和研制的。今天又完成了与英国(UKMO)的中尺度非静力模式及美国 Penn State/NCAR 的 MM5 相比毫不逊色的中尺度可压缩模式。至于模式物理过程等方面则较多的是吸收国际上的最新研究成果,似乎没有太多的自身特点。

加拿大在资料分析同化方面,部分地已有跃居前列的趋势。CMC 业务用客观分析与所有先进的气象中心一样,都使用了三维多元最优插值方法。但客观分析产品在业务预报工作中的应用方面 CMC 则显得格外成功。目前加拿大是唯一将地面客观分析代替

手工分析的少数几个国家之一。这主要是因为他们在地面分析中有效合理地考虑了地面风场及通过人工干预(由具有丰富经验的预报员)对所有剔除的资料认真分析并补充人造资料进行再分析。从而使地面客观分析具有较高质量并已被预报员接受。此外,CMC 除了常规气象变量的客观分析外,同时也进行了一些非常规但却对数值预报十分重要的气象要素如地面气温、海面温度距平、雪深、冰覆盖、深层土壤温度及反照率的客观分析(表 2)。

### 1.4 值得借鉴的加拿大气象中心的几个技术环节

CMC 业务数值预报系统中除去用作中期预报的全球谱模式和用作短期预报的变网格有限元模式外,还有负责对大气污染物的大尺度移动、扩散进行指导的专用模式,即 Canadian Emergency Response Model(CAN-DERM)。它是由一个简单的三维路径模式和一个三维欧拉传输-沉降-消散模式构成。

CMC 发展了一个气象公报(文字)形成的交互系统,即 Interactive System for Composition of Meteorological Forecasts(SCRIB-E)。它是将从数值产品及最新气象资料的收集到站点气象要素预报的集合到文字公报形成的自动化、规范化的软件系统。是业务服务中的有效工具。

魁北克省气象台的有偿预报服务。魁北

克气象台与电讯部门联合形成了天气预报电话服务系统。预报内容每小时更新一次。电话录音回答每次 0.25 加元, 而人回答则 1.75 加元。自 1994 年初开始执行, 估计今年所得费用可占总经费的 5%。计划未来可达到总经费的 15%。此外也向私人电视台提供有偿预报服务。

美国商用飞机气象观测资料(ACARS)明年将投入使用。这是美国投入大量资金实现的一项探测计划。可获得大量不同时刻不同层次的较高质量的探测资料, 信息量十分巨大。加拿大分析同化中引进 ACARS 的试验已经完成, 明年将正式投入业务使用。

## 2 感受与体会

(1) 加拿大数值预报包括业务、开发及研究三个方面。层次清楚, 分工明确又结合紧密, 这是其发展迅速的重要原因之一。CMC 只负责数值预报的业务与开发。而数值预报的研究工作是由加拿大环境局的数值预报研究室进行。RPN 所属总部在多伦多, 但它大都设置在蒙特利尔 CMC 的大楼中。它开展的工作与 CMC 的业务、开发部分紧密联系, “开发”的主要任务是业务方案的改进及在已有业务方案基础上的升级试验研究工作, 如全球谱模式、变网格有限元高分辨率版本, 新物理过程的引入, 新的非常规气象资料的使用等都由发展处进行。而新模式设计、新方案新技术的研究如中尺度非静力模式 MC2, 变分同化等则都由 RPN 进行。今天正在业务运行的 RFE 最初也是由 RPN 完成后转化为业务的。RPN 的研究目的十分明确, 最终要付

诸业务使用不断提高数值预报水平。在研究过程中, 就立足于已有业务环节, 因此十分便于转化为业务。多年的工作证实, RPN 的研究工作从无半途而废、不了了之、为研究而研究的现象。

(2) CMC 十分重视资料和分析等基础性工作。资料监控遍及 CMC 各个业务、开发环节, 给人留下了深刻印象。资料是气象之食粮, 初值是数值预报的基础和前提。CMC 的资料监控可提供任一时刻各种类型资料各个地区资料到达情况及资料剔除情况。这种监控在 CMC 各个终端均可显示, 作到数值预报各环节有关人员均可了解业务情况, 做到心中有数, 遇有资料不正常情况则可采取必要措施, 避免了工作中的盲目性(有了周密完善的监控, 就绝不会出现大范围资料缺报便进行预报而无人知晓的现象)。再如 CMC 分析要素之全也是世界上少有的。前面提到的某些非常规要素如地面气温、冰覆盖等的分析, ECMWF 是直接使用 NMC 的分析值, 但 CMC 考虑到它们对模式物理过程的重要性, 尽管加拿大与美国有密切的气象联系与合作关系, 但仍然是自己进行开发研究, 并付诸业务实施。

(3) CMC 有较好的业务管理, 避免了重复性开发, 提高了工作效率。类似工作站、图形软件等数值预报支持系统均由精干的少数计算机专业人员开发, 所完成项目及补充功能及时编出使用手册, 程序进入公用库, 供 CMC 各环节使用。