

长江中下游春季连阴雨连晴 天气业务预报系统

缪国华*

(苏州市气象局)

提 要

本文是长江中下游地区春季连阴雨连晴天气研究课题的子课题之一，是将该课题的科研成果用于实际预报的业务预报系统。本系统可供长江中下游地区有关省、地（市）气象台业务预报中使用。

一、引言

长江中下游春季连阴雨和连晴天气的预报，对于该地区工农业生产及国民经济建设有着重大的意义。研制一个实用的业务化软件系统，供实际业务使用，以提高春季连阴雨连晴天气预报的质量是十分必要的。国家气象局于1988年下达了长江中下游地区春季连阴雨连晴天气研究的课题，苏州市气象局和湖南省气象台接受了研制该软件系统的任务。

国内气象部门在近几年的微机应用技术开发中，研制了不少各种类型的统计预报系统和专家系统，但将统计预报与专家系统有机结合的业务化中期预报决策系统还不普遍。经过两年的工作，我们在这方面做了一些有益的尝试。本文就该系统的结构、功能、初步试用情况及存在问题作一介绍。

二、系统结构及特点

本系统由输入部分，计算、推理、综合决策部分，知识库及服务程序和输出部分构

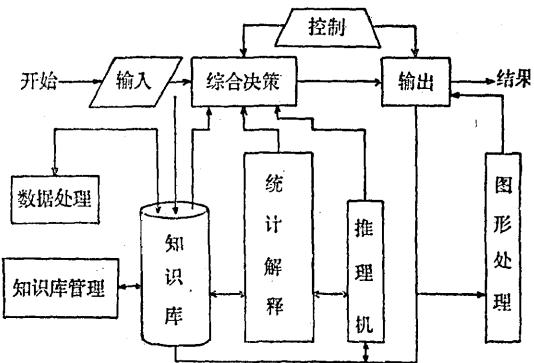


图1 系统总体结构框图

成。输入部分包括数字化仪、有线报路接口和全屏幕编辑软件；计算、推理、综合决策部分包括数值计算和非数值计算推理，以及综合决策模块；输出部分寓于计算、推理、综合决策等部件之中；知识库包括数据库、图形库、预报方程库、组合因子库和专家经验库（规则库）等内容。系统总体结构框图见图1。

本系统为面向业务应用的预报软件系统，其特点主要表现在以下3个方面。

1. 可靠性和实用性

系统设计考虑了3种资料输入方式，以

*参加本系统研制的还有苏州市气象局范泽界、杨金彪、崔铁良、张雪平、蔡振新、席林华、王国兰、任健，湖南省气象台丁岳强、刘瑞琪、杨贵勋、朱金元、程庚福等。

有线报路为主，其它两种输入方式除了本身用途外，也可作为系统资料输入备份工具，提高了系统的可靠性。整个系统是积木式的，既可扩充，也可以任意压缩、删减非必要的子模块，而不影响系统正常运行；也不会因某一子模块操作失误而使整个系统无法运行。另外，本系统软件还可用于其它气象要素的预报。

2. 合理性

本系统在PC/XT及其兼容机上实现，有线报路硬件接口造价不到200元，具有同时可收发报的功能。配以发报软件，可发各种业务电报；配以打印机填图软件，可打印输出高空、地面天气图；数字化仪可将雷达素描图输入微机，开展对重点专业用户的文字、图像服务；系统接收和管理的数据，可用于各种指导预报系统，也可用于图形客观分析、显示系统，进而逐步实现地（市）气象台值班室的改造。

3. 先进性

本系统尽可能应用了目前国内较先进的软、硬件技术，以及优秀的系统设计思想。本系统的先进性主要体现在它的整体结构和功能上。

三、数值计算子系统

数值计算子系统由数据输入、自动建模、预报制作等部件构成。

1. 数据输入

作为计算机的一种输入手段，利用数字化仪并配上一定的软件，就可以实现图形输入及气象传真图上格点资料的自动输入。本系统利用SUPER (A3) 图形数字化仪，开发了一套软件，实现了上述图形和资料的输入。

有线报路输入接口是系统的主要数据输入口，它由接口硬件和软件两部分组成。大量实况资料和MOS格点报资料，通过该接口以75波特速率输入用户微机 (PC/XT)。

软件部分对接收的数据进行预处理，并实现了前后台操作的功能，充分发挥了微机的潜力。为节约外存，对分类整理好的数据进行压缩存储(压缩后，外存约占原外存的1/4)，使用时再还原成原始数据。

除上述两种输入方式外，本系统还有全屏幕编辑的输入方式，主要用来输入非数据形式的文字资料，如经验规则、预报方程、因子组合形式等。全屏幕编辑软件，可用各种商品化软件，如WORDSTAR，PE等，也可用本系统的全屏幕编辑软件。

本系统的数据库主要保存了经压缩后的高空、地面实况资料，ECMWF提供的200、850hPa热带风场资料，500hPa北半球高度场资料等。

2. 自动建模

自动建模子模块由数据预处理程序、因子分析程序和统计回归程序构成。它利用数据库中的格点资料，用4种因子分析方法，5种统计回归模型，对3个时次(72、96、120小时)和多个预报对象(有无连阴雨、 $\geq 0.1\text{mm}$ 降水、日平均气温距平等)，自动建立统计预报方程，生成预报方程库及对应的样本库。库中一个完整的方程包括以下各项：①因子分析方法，②统计模型，③预报时效，④预报对象，⑤建立日期，⑥因子数，⑦临界值，⑧系数，⑨因子。样本库中的每一组样本，与方程库中方程一一对应。

(1) 数据预处理程序

不同用户的地理位置不同，他们对预报对象、预报因子选取均有不同的要求，资料样本的起迄时间也不同。因此，本系统数据预处理程序具有较大灵活性。

(2) 因子分析程序

用4种因子分析方法计算出各预报对象、各时次和各因子的相关系数，用自动计算和人工挑选相结合的方法，对各方法均选出若干因子，传给统计回归程序。

(3) 统计回归程序

用5种回归方法求得回归方程，并计算临界值、准确率和CSI值，按上述格式存入方程库，并将其历史拟合样本存入样本库。准确率和CSI值用来标志方程质量，以决定该方程的取舍。

为了继承多年来的预报经验，本系统特意增加了经验预报方程库。经验预报方程库管理子模块可以对经验预报方程进行追加、删除和修改、更新、输出等操作。

3. 预报制作子模块

这是本模块中的日常应用部分，它可自动读取输入口接收的最新数据，利用两个方程库中的方程，分别作出各时次、各预报对象的预报，并运用贝叶斯决策，对预报结果进行初步综合，为综合决策提供重要依据。

四、非数值计算推理子系统

本子系统充分利用TURBO-PROLOG语言的特性，设计了简明的菜单功能，采用模块等技术。用户可按本系统确定的知识表达形式编写知识，用已制定的推理预报机，运用知识进行预报决策，达到使中期天气预报客观、定量和综合集成的目的。本子系统包括4个功能模块和4个数据库，其框图见图2。

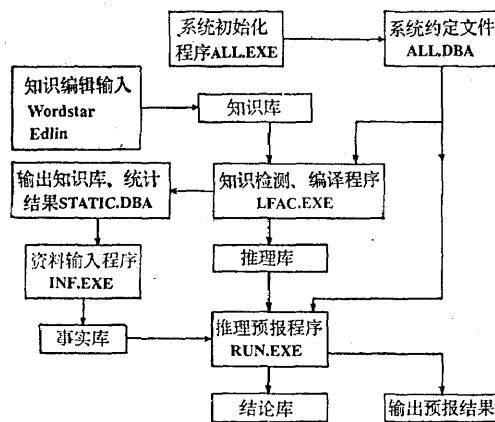


图2 系统推理子系统框图

1. 本子系统功能模块

(1) 系统初始化程序 ALL·EXE。

由用户自定义系统运行的基本参数，增加了系统的灵活性和可用性。

(2) 知识检测、编译程序 LFAC·EXE。扫描编译知识库，检查知识库的知识表达的语法错误和知识库的和谐性，将知识库编译成无错误，便于存储、推理的推理库。

(3) 因子输入程序 INF·EXE。根据知识检测、编译程序输出的统计结果，规定输入因子顺序，按一定格式输入因子后，建立因子文件。

(4) 推理预报程序 RUN·EXE。根据推理库和用户所提供的数据进行推理预报，并可查阅/删除/打印某天或全部预报结果。

2. 推理机制与预报决策

推理预报程序是基于编译后的推理库进行的。运用PROLOG语言强有力的匹配、合一、递归、回溯等功能，实现事实匹配、变量约束，进行逻辑运算和算术运算，作出预报决策。推理分正向推理和反向推理两种。

本系统知识库中知识的表达形式，是通用的中缀布尔/算术表达式。知识检测、编译程序应用堆栈技术。中缀表达式中操作数放置运算符之前，并加上适当的匹配方向控制符等技术，对其编译后，形成无错误的准后缀布尔/算术表达式。知识库中每条知识都有与此对应的准后缀布尔/算术表达式，它们就组成了推理库。推理库没有加大原知识库存储规模。

对每条知识的推理，可以看作主要是对推理库中与之对应的准后缀布尔/算术表达式的求值和相应的可信度运算。由于对该表达式求值时不需检测错误，并且一旦遇到运算符时，所要作运算的操作数在之前均已求出，所以推理机能快速、准确地实现对该表达式的求值，提高推理速度。

该系统对推理结果设有3种决策方案：最大可信度决策、投票决策和动态决策。用

户可根据历史检验情况选择最优结果。

3. 知识库知识表达形式

本系统采用便于书写和阅读的中缀布尔/算术表达式表达知识。中期预报知识都可分解为事实（预报因子）、关系词（事实之间的关系）、结论、可信度及说明等基本元素，因此都可表达为下面的基本形式：

rule (Nu, "Res1", "Res2", Cf,
"Condition")

其中，rule：规则固定标识符，必须小写；Nu：规则编号，正整数，同一规则库中不能重号；Res1：规则结论，由引号内的任意字符组成数条规则可具有同一结论，中间规则只能为空符（“ ”）；Res2：结论说明，规则的进一步说明，为引号内的任意字符；Cf：可信度，实数，取值范围为[0,1]；Condition：为规则前提，由引号内的中缀布尔/算术表达式，Condition部分是知识表达的关键，其结构是一个算术、布尔函数及自定义的特殊函数混合运算的中缀表达式。语法图如图3。

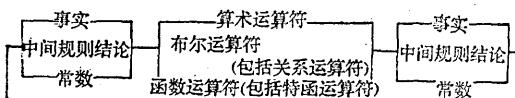


图 3

这里自定义的特殊函数设计，是为了便于概括、精炼表达中期预报知识，如特殊函数：COMP3 (C1, V1, [C2, V2], N, Var2, Var2, ..., Varm)，其中 Vari ($i=1,2,3,\dots,n$) 为算术表达式，函数意义为：在Var1到Varm这m个变量中至少有n个满足Vari C1 V1同时[Cari C2 V2]，其结果为逻辑值。

五、综合决策

本模块的功能是将统计预报结果和专家经验预报意见进行综合决策。统计方程的决策是根据贝叶斯准则进行的。比如，有m个预报72小时应有无连阴雨过程的统计方程，则预报有连阴雨的条件概率用以下算式迭代

求得：

$$\begin{aligned} P_{(1)} &= P(E/Y_1) = \\ &\frac{P(E) \times P(Y_1/E)}{P(E) \times P(Y_1/E) + P(\bar{E}) \times P(Y_1/\bar{E})} \\ P_{(2)} &= P(E/Y_1, Y_2) = \\ &\frac{P_{(1)} \times P(Y_2/E, Y_1)}{[P_{(1)} \times P(Y_2/E, Y_1) + (1 - P_{(1)}) \times P(Y_2/\bar{E}, Y_1)]^{-1}} \\ &\dots\dots \\ P_{(m)} &= P(E/Y_1, \dots, Y_m) = \\ &\frac{[P_{(m-1)} \times P(Y_m/E, Y_1, \dots, Y_{m-1})]}{[P_{(m-1)} \times P(Y_m/E, Y_1, \dots, Y_{m-1}) + (1 - P_{(m-1)}) \times P(Y_m/\bar{E}, Y_1, \dots, Y_{m-1})]^{-1}} \end{aligned}$$

其中 $P(E)$ 和 $P(\bar{E})$ 分别为预报对象出现和不出现的气候概率， $P(Y_m/E, Y_1, \dots, Y_{m-1})$ 和 $P(\bar{Y}_m/E, Y_1, \dots, Y_{m-1})$ 为拟然函数，由样本库资料求得。同样可求得各预报对象各时次的统计综合结论。

经验预报方程（包括PPM，MOS方程）的预报意见E11, E10及其与临界值的差值YC1, YC0和专家系统推理得到的预报结论E21, E20及其可信度CF1, CF0分别输入综合决策模块，使用MYCIN不精确推理决策方法，将各种预报意见有机结合起来，最后输出综合预报结论和各种方法的预报意见。同时将它们存入预报结论库，实况出现后进行评价，并将评价结果反馈指导下次综合决策。

六、结语

本系统于1989—1990年3—5月分别在苏州市、嘉兴市气象台和江苏省气象台投入业务试用，每天下午发布3个时次(72, 96, 120小时)的预报，并通过高频及传真发片传给苏州市各县站和嘉兴市气象台。试用的方程是用ECMWF的地面及500hPa格点资料所建的MOS方程。试用表明，这些方程对连阴雨的预报能力优于连晴天气的预报；短时效优于长时效的；3月的预报效果优于4、5月。

(下转第13页)

(上接38页)

1989年3月30—4月3日，4月11—14日，4月21—24日的连阴雨；3、4月的连晴过程（嘉兴的方程）都准确报出来了。对合理安排春季农业生产，特别是对防治三麦赤霉病，起到了决策参谋作用。

本系统的不足之处是：预报时效仍偏短，经验规则的整理还不够客观，给综合决策带来困难和误差；系统的功能还有待进一步扩展，有些模块尚需进一步优化。

本系统的设计和研制，是在朱盛明研究员指导下进行的。