

国外人工智能技术在天气预报中的应用综述

曾晓梅

(中国气象科学研究院气象科技信息中心,北京 100081)

摘要 文章介绍本世纪 80 年代以来国外人工智能技术在天气预报领域的研究与应用历史、现状及其效果评价。

关键词 人工智能 神经网络 专家系统 天气预报

引言

人工智能技术用于气象领域始于本世纪

80 年代中期,比医学、地质晚了 10 年。有人认为这是由于大气科学本身的知识表达过于复杂所造成,也有人认为没有明显原因,但人

们一致认为大气科学是一门非常适合应用人工智能技术的学科。本世纪 80 年代末到 90 年代初,气象界掀起了一场应用人工智能技术解决各种气象问题的热潮。人们将人工智能技术应用于资料同化、资料解释、预报制作、预报质量保证、数据库开发、资源计划、决策支持、混合数据处理以及影响评价等各个领域。在这一时期中,人工智能技术在气象上的应用集中在天气预报方面,最引人注目的是专家系统在天气预报中的应用。到 90 年代中期,关于人工智能技术在气象领域中的应用报道相对少一些。但从 1997 年开始,这方面的报道又开始增加。从 1998 年 1 月在美国亚利桑那州凤凰城召开的美国气象学会第一次人工智能会议的报道来看,人工智能技术在气象领域中的应用范围显著扩大,重点从专家系统转向人工神经网络。

天气预报过程是一个不同性质和种类的观测与模拟数据源的交汇点,是一种涉及符号与数据信息、要求具有不同程度的可获得性、可靠性、重要性和满意度的符号决策过程。人工智能技术由于下列原因尤其适用于天气预报^[1~3]:

(1)天气预报需要大量的、多种多样的资料。大量数据虽然增加了预报员可以利用的预报信息,但同时也减小了不同预报员之间的一致性,并且还可能会导致预报员错误地使用信息,在预报过程中预报员常常会顾此失彼。人工智能技术具有较强的综合能力,能帮助预报员保持资料流畅通,能协调整理好资料并以适当的方式与顺序提交预报员使用,还能连续地监视预报参数以及提醒预报员变换与更新资料。

(2)现有资料的时间与空间密度均显不够,时间性与质量也不符合要求,并且目前的概念模式对天气现象,尤其是对灾害性天气的科学了解还不够完善,人工智能技术具有应用模糊逻辑,根据不完全不确定信息进行推断的能力。

(3)目前由于资料与预报方法的局限性,

不同预报员往往会得出不同的结果。基于专家知识群体建立起来的人工智能系统可以集思广益、博采众长,是促进天气预报客观化、系统化的有效途径。

(4)人工智能技术主要涉及符号处理,可以利用统计与数值模式中无法利用的抽象预报知识。人工智能技术与数值方程结合起来可以建立一个高效能符号-数值耦合系统。这种耦合系统能够解决一些一般方法难以解决的问题。

(5)一些专门知识、经验往往掌握在少数专家手中,难以广泛利用,人工智能技术便于积累和总结经验,便于这些知识的继承。

(6)人工智能技术有明显的灵活性和实用性。

1 发展历史

最早将人工智能技术用于天气预报的报道出现在 1984 年,报道了两个灾害性雷暴预报系统。一个是 NOAA 国家天气局的 Steven Zubrick 研制的 WILLARD^[4],其预报对象是美国中部的灾害性雷暴,其预报类似美国国家强风暴预报中心每天发布的“对流展望”。WILLARD 由 30 个模块组成,每个模块含一条规则,系统能自动生成新的预报规则。系统易于理解,便于更改。该系统已经过初步测试,不同天气状况下预报效果不同。对强斜压引起的雷暴,WILLARD 的临界成功指数(CSI)与国家强风暴中心的预报差不多;在弱斜压条件下 WILLARD 的 CSI 略差。另一个是由 Elio 和 Strong 设计的加拿大环境局的 SWIFT (Severe Weather Intelligent Forecast Terminal)系统^[5],它制作的 0~8 h 预报使用启发性规则以及人工智能技术来提高数值模式的效果(解释非书面分类观测报告以及更详细地解释数值模式预报)。初步鉴定表明使用 SWIFT 能降低错报率。

加拿大阿尔伯塔大学的 Renee Elio 与 Johannes Haan 设计的 METEOR^[6]也是人工智能技术在天气预报方面的初步尝试。该

系统将统计方法与人工智能方法结合起来预报阿尔伯特塔地区的冰雹。METEOR 的因子取自一统计冰雹模式、数值预报产品及地面航空报告。知识库的知识来自阿尔伯特塔一位有 20 多年预报经历的预报专家。系统可以接受图表形式的模式输出结果,并能理解地面航空报告上特殊的缩略形式和数字字母混合编制的符号。该系统是非对话形式的,做一次预报需 50 min,结果以图表形式输出,并附有书面解释。METEOR 的工作是开拓性的。

到 1989 年已有许多人工智能预报系统见诸报端,例如仅灾害性天气预报系统就有 KASSP、GORAD、CONVEK、OCI、WILLARD 等^[7]。加拿大大气环境局与数字装备公司联合研制的 KASSP 是一个常规天气预报专家系统,所有知识按规则编码,用 OP-5 写成,向前链联,要求输入数值预报结果及有关的预报员分析结果。预报员在计算机屏幕上确定分析天气特征的预报位置。NOAA 国家环境卫星数据与信息处的 John Weaver 等研制的 CONVEK 是一个基于规则的专家系统,与 KASSP 相反向后链联,使用由一探测分析数据包提供的数据,包括探测数据、估计数据、中尺度网数据以及模式结果,系统要求预报员确定最高温度、露点、稳定度及湿度,输出结果不需解释,对特定地区发布概率预报。NOAA 区域观测和预报系统计划的 Robert Shaw 等研制的 OCI 是一个线性模式与一专家系统组成的混合系统,先将一组灾害天气潜预报因子汇编起来,由于资料不足,潜预报因子大多不能得出有效的回归方程,所以对预报因子进行主观加权,建立起线性模式,再加入启发式规则来了解与确定各变量间的关系。系统使用温、压、湿、风的实测值与套网格模式预报值,结果给出三个高原区三种天气类型的分类和概率预报。有人对这些系统的预报技术进行过鉴定,结果是令人满意的。

这一时期有影响的天气预报系统还有麻省理工学院林肯试验室的 Steven Campbell

与 Stephen Olson (1987)^[8]设计的 WX1,其目的是识别低空风切变,即微下击暴流与阵风锋。WX1 利用人工智能与计算机图像处理技术来模拟气象雷达专家进行符号推理和图像处理过程。系统输入多普勒雷达资料,以图表形式给出结果。程序用 LISP 写成。系统具有多种情报源,多条推理线,应用一套识别风切变的启发性规则对从雷达资料中提取出来的特征进行符号推断。系统已经用 NCAR 和国家强风暴试验室提供的雷达资料进行了验证,初步评估表明系统有能力预报微下击暴流和阵风锋。在 WX1 的基础上,他们后来又研制了 WX2,安装在机场上用来监测阵风锋。WX2 用数值取代了 WX1 的许多符号功能,WX2 的结果发布系统比 WX1 速度快而且更稳定。

NOAA 环境研究院的 Raymond Brady 与 Frank Merrem (1988)研制的 HAIL^[9]专门预报雷暴产生冰雹的可能性。这是一个基本知识的小型专家系统。HAIL 可以利用“示范区观测和预报服务处(PROFS)”提供的图表资料,通过人工进行图像识别。系统先要就雷暴产生冰雹的可能性向用户提出一些问题,用户也可以反问并且能得到冰雹强度方面的解释。这一系统已经过评价,结果是令人满意的。

美国麻省空军地球物理实验室的 Rosemary Dyer (1988)设计的 ZEUS^[10]预报大西洋海岸三个地方的雾。这是一个简单的基于规则的系统,利用各地预报员的经验法则,书面规则和预报员工作单以及基本气象知识。系统也曾用于其他地方,结果表明适应性很好,可以方便地应用于大西洋沿岸各地,但在较远的地方预报平流雾时需要更改知识表示方式。Rosemary 认为全套搬用一个雾预报系统是可行的。

美国加州海军环境研究院的 James Peak 和 Paul Tag (1989)^[11]设计的 AESOP 专门用来在船上预报海上能见度。这是一个基于规则的专家系统,有 232 条规则,可做 0

~1 h 和 1~6 h 的预报。AESOP 已经过 83 次测试,总准确率达 75%。若将“晴”与“霾”合为“无雾”,只报“有雾”或“无雾”,则准确率为 80%。试验结果表明系统有能力在极其困难的条件下做出满意的预报。

法国海洋气象中心(1988)研制成一个称为“4F”的海雾预报专家系统^[12]。该系统使用全球通信系统提供的“SHIP”资料和欧洲里丁中心绘制的分析图作 24 h 以内的海雾预报。系统采用 Framentec 公司出售的 MI 推理机,实行后向循环推理与纵向推理,使用产生式规则,并用确定性系数来评价这些规则。该系统已通过鉴定,结果表明该系统能预报出在扰动暖区内移动的所有平流雾,预报准确数约占各类雾总数的 83%。该系统已于 1987 年夏季在 BrestA-Guipavas 气象站投入使用,但只限于帮助预报员确定可能出现雾的区域。若使用更先进的计算机,系统将能作出更准确的预报。

英国气象局的 B. Conway(1989)^[13]研制了一个用于短期雷暴预报的专家系统,在英国中央预报台的许多资料都不是地方预报员能够得到的,而中央台的预报员又没有精力去做详细的地方预报,他们指望该自动系统能解决这个问题。英国气象局的 G. Sutton(1989)^[14]也研制了一个将可见光、红外卫星图像、雷达图像以及数值预报融合在一起的制作雷暴位置与强度的高分辨率综合预报系统。系统用人工神经网络技术来区分锋面雷暴和对流风暴,对目前的简单系统提供辅助。

NOAA 预报系统实验室的 Anthony Rockword(1991)等^[15]设计了一个专门预报下坡风暴的专家系统。系统由博尔德(1986)和柯林斯堡(1990)两部分组成,预报时效达 36 h,输入嵌套网格模式预报结果。该系统可安装在个人计算机里,使用方便,无需昂贵的计算机设备。这一系统已于 1990 年 11 月安装在丹佛天气预报办公室中,从此投入业务使用,实践证明系统很稳定。

美国陆军大气科学试验室 Jeffrey Pass-

ner 等(1991)的 TIPS(雷暴智能预报系统)^[16]预报降水与雷暴,系统的最初目的是产生一套各地通用的预报雷暴与灾害性天气的准则,设计中力求尽可能简单与一般化。TIPS 使用“C”语言,系统规则根据一些常见稳定度指数与 Miller(1967)的灾害性天气规则由人工生成。系统已于 1990 年进行检验,结果表明预报雷暴比预报灾害性天气成功率要高。1993 年 Passner 等又研制了 IMETS 综合气象系统^[17]。IMETS 是若干使用规则的专家系统组合。它能帮助“非专家”利用由专家们设计的计算机产品,对结冰、湍流、云、雷暴概率、雾和地面能见度等气象变量进行预报。这个系统被空军预报员用于军事行动保障。

2 现状

目前的人工智能系统只有少数已投入业务使用,多数还处于研制、测试与评价阶段。已报道的系统一般都是为特定目的、特定用户而专门设计的,各有其特点。下面介绍目前美国和加拿大气象业务中人工智能技术的开发和使用情况^[18]。

美国联邦航空管理局开发的 ITWS(Integrated Terminal Weather System)由几个对流天气预报系统组成,是一个自动预报系统,目前正处于开发与测试阶段(1993)。其中包括微下击暴流风切变预报系统 MIGFA 和自动雷暴现时预报系统。前者是一个利用数据层机器智能、包括模糊逻辑的自动微下击暴流风切变预报系统(Delanoy,1993)后者是一个基于规则的自动雷暴现时预报系统,系统中加入了模糊逻辑(Henry 和 Wilson,1995)。

美国海军为专业或非专业预报员开发了一系列要素预报系统,除了海雾预报系统 AESOP(1989)之外,还有清洁大气浑浊度预报系统 ExperCAT(1991)和一个地中海强风模糊预报系统(1996)。它们都利用神经网络技术的自动归纳特征。

美国空军开发的系统包括一个基于知识

的旨在解决单站气象预报问题的区域天气预报专家系统 ITASCA (Jasperson, 1996) 以及为肯尼迪航天中心设计的一个预报闪电的基于人工神经网络利用地面和 NEXTRAD 资料的系统 (Frankel 等, 1996)。

美国陆军有几个专家系统已投入业务使用: IMETS (Integrated Meteorological System (1993) 是一个车载式天气资料自动接受、处理和分发系统; TIPS (Thunderstorm Prediction Expert System, 1993) 是向前链联的雷暴预报专家系统; BFM (Evaluating Battlescale Freecasting Model, 1995) 是一个预报军事行动中天气影响的专家系统。

在美国国家天气局只有为数不多的几个人工智能系统投入使用, 但正在开发的系统很多。(1) Hall (1996) 开发了 4 个人工神经网络系统来确定降水径流、制作河流预报以及发布洪水警报与监测报告。(2) Marzban Stumpf (1996) 设计了一个以多普勒雷达为基础的人工神经网络龙卷风预报系统。该系统的结果用作龙卷风业务预报的辅助工具。(3) Gillispie (1994; 1996) 研制了一系列人工神经网络系统, 用来预报降水、河流水位和流量, 其中 QBF (定量降水预报) 网络已经投入业务使用。他还在研究中尺度 QBF 模式、洪水模式、降水-河流水位综合模式以及最高最低温度预报模式方面的人工神经网络。(4) McCann (1992) 开发了一个短期强雷暴神经网络预报系统。该系统已经投入业务使用。他还开发了一个诊断飞机结冰的神经网络系统。(5) Linder 和 Krein (1993) 开发了一个强降水神经网络预报系统。他们目前正在研究预报中尺度对流系统(云)降水的神经网络。(6) Brader 等 (1996) 在研制一个半客观逐时扩散预报专家系统。(7) Gilkey 等 (1996) 研制了一个 24 h 温度、云和降水预报专家系统, 这个系统的目的是运用气象基本原理来证明一些概念。(8) Christopherson 等 (1996) 开发了一系列预报闪电的神经网络和专家系统, 结合闪电资料和数值预报来预报闪电。

(9) Hess (1993) 在阿拉斯加使用一个后向传播的神经网络进行最高最低温度的统计预报, 该网络 1993 年用于业务。(10) Gilkey (1996) 研制了一个以卫星资料为基础的估计降水的神经网络, 该系统使用神经网络作为计算器和云分类器来进行定量降水估计。

在美国国家天气局人工智能系统没有得到广泛应用有下列几个方面的原因: (1) 没有专门的国家级的计划来将人工智能技术引入预报过程。(2) 预报部门缺乏独立的计算机环境。应用人工智能技术需要有动态和灵活的进入各种复合、大规模非静态集成数据库的途径, 而预报室的装备往往跟不上, 并且预报员很少做系统编程工作或在人工智能技术方面受过专门训练。(3) 人工智能从本质上讲是一种工程开发而不是科学研究, 气象学家是做研究的, 一般不愿接受, 甚至对搞工程设计反感。(4) 人工智能常常是非线性的, 而且以有关问题的物理模式为基础, 这有碍于人工智能技术在气象领域的应用, 因为气象学家想要大气模拟的数值解。(5) 人工智能是一种内容广泛而多用途的技术, 目前气象领域中的应用都是范围较窄的问题, 为了某种功能进行局部改变就必须使整个开发工作全盘重做, 还可能要从本质上改变系统设计。(6) 在气象学的气象学研究项目和政府的实验室以及培训中心开发、讲授和使用人工智能技术之前, 人们一般不愿意接受。

目前, 加拿大环境局正在开发以及几个预报中心的预报业务中正在使用的人工智能预报系统如下(不完全统计):

- FPA (Forecast Production Asistant), 是一种高级交互式处理系统, 利用专家系统、自然语言处理和机器智能技术来支持决策和预报制作。FPA 以图形天气预报为基础。其中最基本的假设为预报员可以通过人工图形识别技术、判断和决策技术发挥作用。第二个假设是针对不同用户类型的预报服务在预报工作中占据相当大的比例, 这项工作可以实现自动化。FPA 利

用人工智能技术来支持这些假设。预报员利用专家系统作为决策辅助工具,或直接制作预报。制作预报时直接使用自然语言(Paterson 等,1993)。

- KASSP, 预报雷暴与灾害性天气的专家系统(Paterson 等,1993);
- SIXES, 预报山谷风与温度的专家系统(Paterson 等,1993);
- LAKE EFFECT WINDS, 预报风对五大湖影响的专家系统(Paterson 等,1993);
- STRATUS, 预报低云量的基于知识的专家系统(Paterson 等,1993);
- FOG, 预报雾的双语(法语与英语)报告生成系统,能直接通过 FPA 根据天气图制作常规和特种天气预报,其中包括一个专家系统和一个自然语言处理系统(Goldberg 等,1994);
- SCRIBE, 交互式综合预报系统,利用 NWP 模式输出的客观天气要素矩阵与统计产品,用法语和英语给出预报结果,包括一个基于规则的系统来生成区域矩阵和一个基于知识的系统来为预报文本生成器生成概念(天气事件)(Verret 等,1995);
- AVIPADS, 能够接受书面文本输入和利用语音生成软件产生语音产品的智能系统(Frankel 等,1995);
- FUZZY EXPERT SYSTEM, 预报辐射雾的专家系统,它反映了模糊集理论在业务气象领域的发展与应用情况,其结果给出成雾概率(Murtha,1995)。

3 验证与评价

人工智能技术在气象上的应用是气象领域中的一项新技术,各国在这方面存在着水平、质量和数量上的甚大差距;而且气象领域中的人工智能系统各式各样,对象和范围各不相同,它们是为不同的目的而设计的,所以评价与验证方法也各式各样。有的评价内部结构,有的评价输出结果,还有人提出用系统

的准确性、可靠性或受欢迎性来进行评价。目前还没有统一的评价验证准则,人们使用的许多评价验证方法都不能使人满意,但人们一致认为人工智能应用评价在人工智能应用中意义重大。现有的人工智能系统中,只有近 10%~20% 的系统经过实地验证。原因是在正式的业务环境中检验人工智能系统的效果存在许多困难,验证工作会还干扰正常业务,另设一预报系统需大量的人力物力。

马萨诸塞州 Analytic Science Corporation 公司的 Gray Rasmussen 等^[19]早在 1985~1988 年就进行了一次称作“SEACAST”的研究计划,目的是调查人工智能技术应用于航空母舰上短期天气预报业务的潜力。计划分为三个阶段,第一阶段是用一基于知识的专家系统帮助航空母舰的预报员制作天气简报,第二阶段调查用一智能交互图像解译系统帮助预报员从多谱段卫星图像资料中抽取重要天气特征的可行性。第三阶段制作影响舰载飞机起降的天气特征的短期预报。研究结果表明假如人工智能技术使用得当,可以大大增强航空母舰上气象预报员提供准确及时天气预报的能力。存在的问题包括专家现时预报知识的获取、专家系统的用户接口设计、依赖人机对话的系统接口不符合要求等等。

1989 年夏天,NOAA 预报系统实验室组织了一些预报灾害性对流天气的人工智能系统进行了一次评价,称为“Shoutout-89”^[7],地点是科罗拉多东北部。在试验中由参加系统制作 0~9 小时的非重要天气、重要天气和灾害性天气的出现概率预报。丹佛天气预报办公室的验证协调人负责收集附近观测网的实测资料。“Shoutout-89”的目的是:为人工智能系统的设计者提供反馈信息,检测现有系统是否能在准业务环境下稳定运行,评价当时人工智能系统的技术水平,了解人工智能系统的发展前景。参加系统有 KASSP、GORAD、CONVEX、ALPS、OCI 及 WILLARD。试验的技术评分结果令人满意,

有些系统与持续性预报差不多,有些优于持续性预报。系统的技术评分不高:一是因为任务本身很艰巨,二是因为系统本身的局限性。试验表明,在资料丰富和网络化环境中这些人工智能系统能运行得很好,而且每个系统都有很大的发展余地。由于试验的成功,所以于1991年决定进行“Shoutout-91”,在相同地点,对相同预报问题进行试验。

“Shoutout-91”^[5]中将人工智能系统与人工预报进行了比较。结果是人工预报(实际上是集合预报)在预报局地天气时优于人工智能系统。但在偏僻地区人工智能方法比人工预报具有许多优势。显然,预报雷暴是一件非常复杂的事情,在人工智能系统正式投入使用之前许多方面还必须进行改进。

最近 Guy Seely 等(1998)^[20]利用 AFC-CC(美国空军战争气候中心)的历史气候资料评价了单站天气预报专家系统 ITASCA。他们用历史资料输入 ITASCA,将得出的预报结果与实测资料进行了比较。结果还表明,在输入的资料完全并且准确的情况下,系统在各种地理位置的地方预报效果都还可以。试验还表明,使用专家系统技术能够更有效地制作天气预报,输入资料的质量对预报结果的影响很大。ITASCA 确认伪数据与不完全数据的能力还有待改进。

4 结束语

目前人们一致认为,人工智能在大气科学中的应用具有广阔的前景。人工智能技术在气象上的应用无疑会带来气象数据通讯、常规气象资料处理和气象信息显示等方面的变革性技术进步,将在气象业务各个方面的现代化进程中发挥重要作用。90年代人工智能技术发展的重点是:①用统一方式表示知识,以便将许多专家的知识结合起来;②建立能够从错误与失败中吸取经验教训的系统;③建立分类协作系统;④将人工智能技术投入业务。有人预计将出现独立的能与用户以更复杂的方式对话的系统,用户可在适当地

方进行控制,获取知识的许多工作可由自动学习系统来完成。人工智能技术在天气预报业务中的应用将大大改进数据分析处理及图像识别的能力,提高数值预报效率,从而提高天气预报水平,并且降低对计算机性能的要求,从而降低费用。今后将发展可以利用不同数据集与计算机的天气预报系统,因此预报员的天气知识将是深层知识,而不仅是天气经验。此外,人工智能技术还将应用于预报产品格式化及其分发,预报参数监视,资料误差诊断,气象灾情预测,特别项目预报服务等。人工智能技术将会成为预报系统中必不可少的一部分,而不仅仅是一个辅助工具。

参考文献

- 1 Moninger W et al. Summary of the first conference on the artificial intelligence research in environmental science (AIRIES). *Bulletin of American Meteorological Society*, 1987, 68(7):793-800
- 2 Dyer R, Moninger W. Summary report on the second workshop on artificial intelligence research in the environmental science (AIRIESA-87). *Bulletin of American Meteorological Society*, 1988, 69(5):508-514
- 3 Moninger W. Summary report on the third workshop on artificial intelligence research in environmental science (AIRIES-89). *Bulletin of American Meteorological Society*, 1990, 71(5):672-679
- 4 Zubrick S, Riese C. An expert system to aid in severe thunderstorm forecasting. *Proceedings of the 14th Conference on Severe Local Storms*, 1985:117-122
- 5 Frankel D S, Draper J S et al. Artificial intelligend needs workshop 4-5 November 1993, Boston, Massachusetts. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1995, 76(5):782-738
- 6 Elio R et al. METEOR: An artificial intelligence system for convective storm forecasting. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1987, 4:19-28
- 7 Moninger W. The artificial intelligence shootout: a comparison of severe storm forecasting systems. *Proceedings of the 16th Conference on Severe Local Storms*, 1990:1-6
- 8 Campbell S, Olson S. Recognizing low-altitude wind shear hazards from Doppler weather radar: an artificial intelligence approach. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1987, 4(5): 5-17

- 9 Merrem F, Brady R. Test and evaluation of a knowledge-based system for determining thunderstorm severity. Preprints, The Fourth Inter. Conf. Inter Inform Proce Syst for Met, Oce and Hydr, 1988, 259—261
- 10 Dyer R. The adaptability of expert systems in meteorology. Preprints, The Fourth Inter Conf Inter Inform Proce Syst for Met Oce and Hydr, 1991, 257—258
- 11 Peak J, Tag P. An expert system approach for prediction of maritime visibility observation. Monthly Weather Review, December 1989, 117: 2641—2653
- 12 Tremant M, Roland J L. 法国制成海雾预报专家系统. 气象科技, 1989(6):39—41
- 13 Sutton G. Automating precipitation nowcast based on satellite and radar imagery combined with numerical model products. Weather Radar Networking Seminar on COST Project 73, 1990, 364—373
- 14 Conway B. Expert systems and weather forecasting. Meteor Magazin, 189, 118: 23—30
- 15 Rockwood A et al. An expert system for the prediction of down-slope windstorms in Northern Colorado. Preprints, The 8th Inter. Conf. Inter Infor Proce Systems for Met Oce and Hydr, 210—211, 1991
- 16 Passner J et al. Artificial intelligence techniques to forecast significant convective events. Preprints, The 8th Inter Conf Inter Inform Proce Syst for Met Oce and Hydr, 1991, 176—179
- 17 Passner E J. The use of Empirical rules on IMETS. First Conference on Artificial Intelligence. Amer Meteor Soc, 1998, 75—76
- 18 Christophenson D. Artificial intelligence in the weather forecast office, one forecaster's view. First Conference on Artificial Intelligence. Amer Meteor Soc, 1998, 136—143
- 19 Rasmussen G et al. SEACAST: AI help for carrier meteorologists, project overview and briefing assistance expert system. The 8th Inter. Conf. Inter Infor Proce Systems for Met Oce and Hydr, 1991, 279—285
- 20 Seeley G P, Setayesh A et al. Verification of the ITASCA expert system. First Conference on Artificial Intelligence. Amer Meteor. Soc., 1998, 77—79