

# 20世纪80年代人工智能在天气预报中的应用

## 气象史料挖掘与研究工程项目组<sup>①</sup>

气象预报专家系统对灾害性天气预报的准确率普遍已达到当时值班预报员水平，少数省已接近优秀预报员水平，有些省还开展了落区和强度预报的工作，取得了比较明显的效果。

2016年3月9—15日，围棋世界冠军李世石与AlphaGo进行五番棋大战，结果AlphaGo以四比一取得完胜，举世哗然。与此同时，“人工智能”一词也再次风靡全球。人工智能（Artificial Intelligence, AI）最初是在1956年提出的。从那以后，研究者们发展了众多理论和原理，人工智能的概念也随之扩展。它是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器，该领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。

可见，专家系统（Expert System）也属于人工智能的一个分支。

20世纪80年代中后期，随着计算机技术在我国气象行业的应用，气象预报专家系统在我国气象业务中也曾经流行一时，成为当时预报工作一道靓丽的风景线。

专家系统又称为基于知识的推理系统，是一个以知识为基础的计算机系统，其特点在于把人类专家在解决问题过程中使用的知识和经验分成事实与规则，以适当的形式存入计算机中，建立知识库，采用合适的控制系统和推理规则，按输入的原始数据进行推理、演绎，做出判断和决策，可起到人类专家的作用。气象预报专家系统就是把预报员成功的预报经验和计算机技术相结合的一种预报方法。它具有各种类型的预报知识（经验），可利用多种气象资料，增加了预报的客观性，为提高灾害性天气预报准确率，充分利用优秀预报员的经验和培养新预报员开辟了一条新的有效途径。

20世纪70年代末，中国科学院大气物理研究所的李吉顺等和吉林大学计算机系的刘力夫等合作研制出一个暴雨预报人工智能系统——“北京暴雨短期预报

专家系统”。他们利用联想式汉卡Lotus1-2-3在IBM PC/XT微机上完成了短时预报的专家知识库，进而构造了这个专家系统。它是国内首次运用人工智能建立预报专家系统。1984年在北方暴雨协作区的会议上对该系统做了演示和介绍，引起了大家的关注。

与其他预报方法比较，它具有如下特点：1）可以综合多个预报员的经验，避免个别经验的局限性；2）利用计算机能快速、准确地检索出与预报对象相似的天气过程；3）可容纳所有对预报有用的理论及新增加的探测资料；4）不排斥任何预报方法，相反，每一种预报方法都可为它增加新的内容。

此后，参加北方暴雨协作研究的北方各省（区、市）都很快归纳了自身的预报经验，制作具有本地区特点的预报知识库，建立了各自的“暴雨短期预报专家系统”<sup>②</sup>。

同时1984年王耀生等也设计了“长江中下游地区暴雨预报专家系统”。

此外，江苏、广西、四川等省级气象局也相继积极研发适合本地区需求的各类预报专家系统。其中以江苏最为突出。

1981—1984年，江苏省气象局针对影响江苏的重要天气或天气系统，以预报经验为线索，应用天气学、动力气象学原理进行分型，全面系统地总结江淮气旋、西太平洋副热带高压、暴雨、台风、强对流天气、寒潮和连阴雨天气预报经验。1984年6—7月，省气象台决定在充分运用老预报员经验的基础上建立“天气预报专家系统”（链接）。开始研制的专家系统由“江淮气旋预报系统”“梅汛期暴雨短期预报系统”“台风预报系统”3个专家系统组成，先后在1984年11月至1985年6月投入业务应用。时任国家气象局副局长章基嘉了解到江苏省气象局研制的天气预报专家系统后，特意到江苏省气象台调研并对这一工

<sup>①</sup> 陈云峰执笔。

<sup>②</sup> [http://www.iap.cas.cn/qt/zthd/qxsh/201402/t20140218\\_4033391.html](http://www.iap.cas.cn/qt/zthd/qxsh/201402/t20140218_4033391.html)。

作给予了高度重视和赞扬，章基嘉亲自撰写了《注意开展气象专家系统的开发工作》的公开信，刊登于《中国气象》杂志1985年第9期上，向全国气象部门推荐江苏的做法。公开信发表以后，20多个省（区、市）的兄弟单位都到江苏省气象台参观、交流<sup>①</sup>。

随后，江苏省气象台研制的“天气预报专家系统”在南京通过了省级科技成果鉴定。“天气预报专家系统”课题组在会上详细报告了该系统的研制情况和实际应用情况，并在会上做了功能演示和质询，并介绍了1985年4—10月使用上述三个专家系统进行预报服务的成果和社会经济效益。与会专家一致认为，江苏省气象台研制的“天气预报专家系统”，经过1985年实际业务应用，表现出其预报能力和预报质量都优于主观经验预报，是国内第一个投入业务应用的“天气预报专家系统”，在全国省级气象业务系统中处于领先地位，具有推广和应用价值。专家们还指出，该系统的研制和投入业务使用标志着经验预报向系统化、条理化的方向发展，并逐步与客观、定量的方法相结合，是我国天气预报实现客观化、定量化的重要途径之一。预报员具有丰富的预报经验，是我国天气预报工作的一大优势。将丰富的预报经验加以深化，并与先进的计算机技术相结合，可以避免国外忽视预报员经验所走的弯路。

1985年12月6—10日，“人工智能-气象专家系统技术交流及科研协作会”在北京召开。在此次会上正式成立了气象预报专家系统协作组。全国10个省（区、市）和一些协作单位共20多人参加了会议。章基嘉副局长到会做了讲话。他强调：“数值预报是发展方向，一定要搞。目前世界各国都在深入地进一步改进数值预报模式，如果我们看不清这个潮流，差距会越来越来。但是，我们学习外国人的经验要根据国情，要有中国特色的预报方法。我国有一大批经验丰富的预报员，对他们的宝贵经验要珍惜，要总结继承，要推广，千万不能丢。在预报方法上要多样化，不能强求一致。”

会上北京工学院（现北京理工大学）人工智能所王遇科介绍了人工智能的发展趋势、气象专家系统的现状和前景，以及近代科学向综合发展的趋势。卫星气象中心王耀生详细讲解了气象专家系统的意义及知识库的整理方法。北京工学院人工智能所李红平同志也就知识库整理工作中出现的一些问题做了讲解。各省（区、市）代表做了本地区气象专家系统进展情况的汇报。卫星气象中心在会上做了暴雨预报专家系统

的演示。

这次会议之后气象专家系统的研制工作在全国大规模开展起来。王耀生和李红平也应邀到各地指导研发工作。一些地区气象台甚至县气象站也开始研发专家预报系统。如江苏的盐城、苏州、徐州和淮阴等市局研制了冰雹、连阴雨、汛期暴雨和洪泽湖大风等预报专家系统。

其中苏州市气象局的探索则更进了一步。在当时预报业务技术方面，天气图方法、数值预报方法和统计方法是三种基本方法。在此基础上通过计算机应用开发而发展起来的天气预报专家系统和模式输出产品应用（MOS）使天气预报向客观、量化迈进了一大步。许多人认为，这两种客观预报方法中，前者是处理经验型的知识，后者是处理数值型的数据，二者结合比较困难。自1985年起，苏州市气象局开始从事这方面的探索。经过对MOS预报以及气象预报专家系统的探索和研究，通过一段时间的实践，在实施天气预报客观定量业务化系统时，形成了如下方案：使用在MOS试验中各种成功的方法构成业务值班系统，由它来发布每天常规的短期客观预报和定期的中期客观预报。使用包含着丰富专家知识的各种重大灾害性天气（如台风、寒潮、暴雨等）预报专家系统，构成重要天气的决策系统。决策系统的启用，根据值班系统的建议，也可以由值班员决定，由此决策日常预报业务。同时，在多年MOS预报试验研究的基础上，他们成功开发了“中期天气客观预报系统”。在这个系统中，大量地使用了专家系统的常用设计思路和技术，如推理、解释、信息反馈自适应等。使一个单纯的统计解释系统具备了一定的智能，从而使系统的实用性和灵活性大大增强。

1986年5月，作为率先引入专家系统的北方暴雨研究协作组在山东省泰安市召开“北方暴雨预报专家系统研讨会”，继续推动暴雨预报专家系统的研发工作。课题组的九省（市）代表在会上分别介绍了自己的专家系统，并在IBM-PC/XT微机上操作演示。山东、内蒙古、宁夏、新疆等省（区、市）的专家系统也在会上进行了交流，其中中科院大气物理研究所的“天气预报专家系统中知识表示方法的探讨”一文，受到普遍关注。1986年完成“暴雨专家系统”的北方省（区、市）有14个之多。

由卫星气象中心、北京工业学院人工智能所、中央气象台以及21个省（区、市）气象台组成的气象预报专家系统（简称专家系统）协作组，在成立一周年

<sup>①</sup> 周曾奎口述访谈。

之际，于1986年10月在成都也召开了协作交流会，总结1986年的研制和试报情况，并讨论了今后研制的方向。

在这次会议上重点检验各省运用预报专家系统所取得的成效。根据会议收到的18篇论文，对各个省（区、市）统计结果表明：对短期暴雨（大雪）过程有无的预报，11个省（区、市）平均CSI为61.4%，普遍达到或高于值班预报员水平。其中，如四川省气象台：1986年5、6、9月，专家系统预报11次区域性暴雨，9次准确。安徽省气象台：1986年6—7月，出现区域性暴雨22次，专家系统报出18次。江西省气象台：1986年有5次重要暴雨过程，专家系统全部准确报出。

大家认为，通过一年的实践，人工智能气象预报专家系统确实有继承老预报员预报经验和发展客观定量方法的承上启下的作用，具有实用性。是提高我国灾害性天气预报水平的有效途径之一。它发挥了我国预报员有丰富预报经验的优势，在天气预报学科上开创了我国自己的道路，可解决预报业务中对灾害性天气预报缺少客观方法的实际问题。

除了暴雨预报专家系统取得明显成效外，江苏省气象局的江淮气旋预报专家系统也在业务运用中正式作为江苏省气象台对外发布气旋预报的客观指导预报依据。1985年4—6月（入梅前）共有11次江淮气旋过程，专家系统预报气旋的准确率为10/11，实际预报时效18~42 h。气旋暴雨预报准确率为6/10，气旋暴雨落区预报准确率为5/10。1986年4月的5次气旋过程都预先报出，时效12~36 h。专家系统预报江淮气旋的能力与日本传真图FSAS 24 h地面预报相比较，1985年4—6月，日本的FSAS准确率为8/11，漏报3次，在报出来的8次中有4次气旋迟报，比实际气旋出现的实况晚24~30 h。1986年4月，日本的FSAS准确率是5/7，空报2次，在报出来的5次中有2次气旋迟报，比实际气旋出现的实况晚24~36 h。从两者比较中可看到，专家系统对江淮气旋发生的预报能力达到了一定的水平，超过了一般经验预报水平，对日本传真图FSAS数值预告产品中江淮气旋系统的预报起到修正的作用。

同时，为准确及时地预报寒潮天气，江苏省气象局于1986年2—3月，在IBM PC/XT微机上又建立了“江苏省寒潮预报专家系统”“冰雹预报”2个专家系统。到1987年底，全省已建立预报专家系统21个，并设计通用框架，在全国处于前列。江苏省气象局在专家系统研发方面全面开花，成果丰硕。有20多个省（区、市）气象部门派人来江苏交流，还应其他

省（区、市）气象台要求于1986年4月在南京举办了“专家系统”的讲习研讨会。与会者来自全国15个省（区、市）气象台，共44人<sup>①</sup>。随后，“专家系统”的研制和交流活动十分活跃，一度成为培训热点。各地把结合本地天气特点的各种天气预报专家系统通过培训方式向外推广，使之投入业务应用。

当时，在人工智能天气预报专家系统方面，美国也进行了初步探讨，但在技术水平、应用广度以及所取得的业务、经济效益等方面我国都处于世界领先地位。国家气象局还到江苏拍摄专家预报系统的电视专题片送往世界气象组织。

为了进一步推动这一技术的发展，1987年10月，在安徽省召开了“全国天气预报专家系统技术经验交流会”。会议收到技术材料和经验总结等共149份，其中大多数是暴雨、冰雹、大风、台风、寒潮等灾害性天气预报专家系统。章基嘉再次到会做了“积极开发应用天气预报专家系统”的讲话，全面总结了近5年来我国在天气预报工作中开发应用专家系统的经验和取得的成绩。并指出专家系统为继承和发扬我国预报员丰富的预报经验，实现预报业务现代化起着积极作用，同时还指出，对专家系统应该用其所长、避其所短。不要一哄而起、一哄而散，一定要坚持不懈，不断改进、提高，使其成为业务预报中的当家工具之一，并努力发展成为具有中国特色的一种主要预报方法。

1988年1月21—28日，气象预报专家系统第五次协作会议在南宁召开。会上，王耀生代表协作组做了工作小结，指出经过3年协作，已在气象部门广泛普及并取得了明显的经济效益和社会效益，得到气象界和人工智能界的认可，在世界上处于领先水平。但是，目前气象预报专家系统研制和业务应用只是一个良好的开端，今后将进入攻关阶段，要扩大知识面的收集利用，提高自动化程度和机器的学习能力，为预报专家系统业务化打下良好的基础。各省（区、市）代表交流了一年来气象预报专家系统试用情况，认为预报专家系统在预报准确率上，尤其是对暴雨预报，和过去相比有一定程度的提高，受到当地政府、防汛部门以及值班预报员的欢迎。经研究讨论，确定1989年协作组的工作重点是气象预报专家系统业务化及知识库的优化，并重新签定了3年协作协议书。

自1983年开始在天气预报领域引入专家系统以来至1989年，短短五年多的时间内已在全国气象台普及，大陆除西藏、海南外，都已建立了各种类型的气象预报专家系统，内容扩展到暴雨、大雪、大风、冰

<sup>①</sup> 周曾奎口述访谈。

链接：“天气预报专家系统”的组成

“天气预报专家系统”在总体结构上，一般都有6个子系统。1) 学习系统。主要用来获取新的知识，补充、修订原有知识，使其逐步完善。2) 知识库。主要用来分析、判别预报依据，控制推理决策系统。知识是专家系统的核心，是其预报效果好坏的关键。一般程序的好坏主要关系着工作时效，而知识的深度、广度则关系着预报质量。3) 数据库。记录和保存天气预报信息的系统。主要贮存的有逐日天气预报特征参数、天气实况，预报结果等。有的采用反映天气形势或天气过程特点的特征参数方法建立了历史个例库、天气档案库，有的还存有相应的初始场天气形势图等。4) 推理系统。根据知识进行逻辑判断的程序系统。在推理的方向上，大多数采用双向推理。对预报结果，有精确解和非精确解两种。前者得出的是“是”或“非”，后者得出的结论是可信度，这两种方法各有所长。精确解选用的判别条件值域一般较窄，容易出现空报、漏报现象。非精确解选用的判别条件值域一般较宽，保险系数较大，可以减少空、漏报现象，但是往往需要进行再判断，才能得出结论，然而这却有利于发挥预报人员的主观能动性。5) 输出解释系统。显示，打印出预报结果和预报理由，并能回答用户提出的问题，从而增强了专家系统的透明性。6) 预报信息采集系统。从常规的实时天气报文中自动采集预报信息（特征参数），识别高压、低压、低压槽、高压脊、切变线等天气图形的系统。

雹、连阴雨、寒潮等方面，并已向地市、县级气象台站推广，地区台的普及率已达50%左右。

气象预报专家系统对灾害性天气预报的准确率普遍已达到当时值班预报员水平，少数省已接近优秀预报员水平，有些省还开展了落区和强度预报的工作，取得了比较明显的效果。其中比较突出的是在暴雨预报方面，如四川1986—1988年3年预报有暴雨的准确率79.6%、无暴雨的94.4%、大暴雨的71.9%，而且一般先于日常值班的预报。对一些重大灾害性天气的预报都比较成功，如1986年5月19日重庆市各区县的暴雨，1987年7月8—10日和17—21日川西特大暴雨，1988年7月1—2日、23—24日及8月25日的大范围大暴雨等。广西气象台1986、1987年两年预报较成功，1988年遇到了严重干旱、天气异常的情况，大范围暴雨日数和雨量只有常年平均的四至六成，但是暴雨预报专家系统的预报准确率仍然比较高，5—6月预报了4次大于10个站的暴雨过程，报对了3次，另一次预报大于10个站，实况出现了6个站的暴雨，没有漏报。安徽省气象台1986、1987年6—7月的暴雨预报准确率为74%以上，已接近本省优秀预报员水平。内蒙古、山东等气象台的暴雨预报准确率也在70%以上，山东省气象台还通过泰山气象传真广播，向全省发布24 h暴雨预报图。内蒙古、广西还将暴雨预报专家系统与其他预报方法按同一评分标准进行比较，结果表明，它对灾害性天气的预报能力优于其他方法。

1990年，气象预报专家系统还走出了国门。由辽宁省气象局副局长宋达人（团长）、沈阳中心气象台

副台长张廷治、吉林省气象台高级工程师王侠飞和江苏省气象台预报员耿慧组成的中国气象专家系统代表团于1990年10月19日至11月2日赴朝鲜人民民主共和国水文气象局讲学，系统地讲授了气象预报专家系统的基本知识、知识库、推理机、数据库，学习和解释部分，系统的建造和程序设计等方面的内容。

#### 深入阅读

- 邓子风, 1986. 人工智能——气象专家系统技术交流及科研协作会议简介. 新疆气象, (2): 65-66.
- 江苏寒潮课题组, 1987. 江苏寒潮预报专家系统. 气象, (4): 31-35.
- 江苏省JCFES课题组, 1986. 江淮气旋预报专家系统. 气象, 12(11): 11-13.
- 李吉顺, 李鸿洲, 蔡晓虹, 等, 1985. 北京地区暴雨短期预报专家系统. 气象, 11(7): 10-13.
- 汪之义, 1987. 部分省(区)气象预报专家系统1968年业务试报简况. 气象, 13(1): 60.
- 王耀生, 1989. 气象预报专家系统在开拓中前进. 中国气象报, 1989-04-15(3).
- 王耀生, 1994. 人工智能、模式识别在气象领域应用现状与展望. 气象, 20(6): 9-14.
- 游景炎, 1986. 北方暴雨预报专家系统研讨会在泰安召开. 气象, 12(8): 38.
- 张宝元, 1988. 我国天气预报专家系统的现状及其展望. 气象, 14(5): 31-34.
- 周曾奎, 1986. 江苏省“天气预报专家系统”通过鉴定. 气象, 12(3): 19.
- 周山松, 1987. 气象专家系统的现状、问题和展望. 气象, 13(2): 41-43.
- 朱定真, 1986. 专家系统浅谈. 广西气象, (4): 22-25.

(执笔人单位: 中国气象局气象宣传与科普中心)