

人工智能气象融合应用技术培训需求分析与思考

■ 薛建军 郭彩丽 武欣蕊 原藏程林 钟琦 江开军

通过对人工智能气象应用教育培训态势、技术培训需求调研分析,结合干部学院近年来工作实践,从强化培训班次体系建设、优化核心课程设计、丰富培训资源以及加快高水平师资和教研基础设施建设四方面提出加强人工智能气象融合应用技术培训的思考与建议,为持续推进人工智能气象应用培训体系建设提供参考。

中图分类号: P4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2025.01.010

人工智能始于20世纪50年代。1950年艾伦·图灵(Alan Turing)提出的“图灵测试”是评估机器是否具备“智能”的基本方法。1956年,约翰·麦卡锡(John McCarthy)等科学家在美国达特茅斯会议上正式提出“人工智能(Artificial Intelligence, AI)”概念,自此一个新的研究领域正式诞生。20世纪80年代以来,人工智能技术就已在气象领域进行了较多的探索性应用研究与实践,从气象资料的处理分析到预报产品的制作都有涉及。由于地球系统拥有大量可使用的观测和模式模拟数据,使得以“数据驱动”为核心的人工智能技术应用于大气、海洋及其耦合系统的预测具有天然优势,人工智能助力科学探索的新范式(AI for Science)显现出巨大的技术优势。近年来,随着机器学习和深度学习的兴起,人工智能技术方法在气象领域受到了前所未有的重视,美国、欧盟、中国等国家或地区的一批重要气象机构纷纷出台战略规划、计划,不断强化人工智能技术在气象业务和研发中的布局。利用人工智能技术改进天气预报和气候预测取得了显著进展。

1 调研方式

1) 前沿动态调研。跟踪梳理主要气象机构、高校和商业机构在人工智能气象领域开展的教育培训情况,梳理分析国内外人工智能气象应用教育培训整体态势。

2) 培训班调研。用好学员资源,调研人工智能技术专题培训班等新技术培训班型,通过“两个带来”及培训研讨、总结等,收集、整理来自业务一线参训学员及送培单位的需求建议。

3) 问卷调查。在前两项调查的基础上,结合关切

问题设计调查问卷对人工智能气象融合应用技术培训需求与建议,开展更为广泛、客观的调查。

2 现状分析

2.1 人工智能气象应用教育培训态势

主流气象机构高度重视人工智能气象应用技术,竞相将其纳入气象科技创新与人才培养的重要竞争领域。欧洲中期天气预报中心(ECMWF)在前期举办人工智能相关主题讲座的基础上,于2022年5月举办了“基于天气预报的机器学习(Machine Learning, ML)培训班”,并在2023年推出了“ECMWF天气与气候领域机器学习慕课”进一步强化了人工智能在数值天气预报和气候预测应用的技术培训。此外,ECMWF还联合欧洲航天局(ESA)举办了系列专题技术研讨会。2019年以来,美国国家海洋与海洋局(NOAA)也瞄准人工智能在气象领域应用,组织了一系列的技术研讨会,持续深入研讨交流利用人工智能技术提升数值天气预报准确率,提升卫星资料处理和利用效率,完善地球系统观测等问题。世界气象组织(WMO)2021—2023年5次举办讲习班,培训内容涵盖了基于人工智能的自然灾害数据监测与应用、气象灾害与洪水建模等。中国气象局自2020年以来开始举办气象部门人工智能技术应用培训班,不断强化人工智能气象应用技术培训。

高校紧跟前沿,加快人工智能新课程及专业开设。国际上,雷丁大学、哈佛大学、斯坦福大学、夏威夷大学等开设了大气科学及相关专业的高校,聚焦理论技术及行业应用推出面向公众的人工智能线上课程。雷丁大学还面向STEM学科背景的学生开设“气候变化与人工智能”硕士课程,由跨学科的多个学院

收稿日期: 2024年1月2日; 修回日期: 2024年6月6日

第一作者: 薛建军(1986—), Email: xuejianjun@cma.gov.cn

通信作者: 郭彩丽(1967—), Email: guocl@cma.gov.cn

资助信息: 中国气象局气象干部培训学院科研项目(2023CMATCZDIAN07); 中国气象局青年创新团队(CMA2023QN10)

联合讲授。国内，通过高校学历教育，正在不断强化人工智能的基础研究、学科发展和人才培养。其中，30多所高校新设人工智能（080717T）本科专业，提出“人工智能+X”学科培养的创新模式，注重夯实人工智能专业学生与相关交叉学科的理论基础和实践。例如，清华大学人工智能专业本科的主修课程共49学分，其中人工智能交叉项目（AI+X）课程占6学分，人工智能研究实践占9学分。南京信息工程大学作为以大气科学为特色的重点高校，培养适用于智慧气象、气象大数据分析与实践的人工智能专业本科生。南京大学设置了“人工智能通识核心课程体系”，自2024年9月起面向全体新生开设人工智能通识课程。

商业培训机构积极提供气象人工智能应用技能性、普及性培训，以满足不同人群的学习需求。例如英国Future Learn慕课平台联合欧洲气象卫星开发组织（EUMETSAT）推出了“人工智能和机器学习在地球监测中的应用”气象人工智能入门级科普课程。国内一些学会、协会机构和商业公司也结合气象应用案例开发了“案例探究”“项目实战”等付费培训项目。

2.2 人工智能气象应用技术培训班学员培训需求

2020年以来，气象部门立足实际需求连续举办了多期人工智能技术应用培训班，参训学员主要为各（区、市）气象局、中国气象局直属单位从事智能预报系统开发的专业技术人员，大部分学员有一定的人工智能气象应用经验或者岗位需求。

整体上，学员对当前“基础知识技能+实习实训+前沿讲座交流”的教学内容设计和两周层层递进，逐步深入的课程结构比较满意，普遍认可当前课程内容，认为教学安排合理和实用。但在具体培训需求及课程内容侧重点等方面有所差异，具体见表1所示。

通过对学员学历、岗位背景及培训期间的表现和意见建议反馈进一步分析，发现以下特征：

表1 培训需求分类汇总

大类	细类	备注
基础类	Python编程基础及环境搭建	编程基础技能，开发工具
	人工智能基础平台搭建	软硬件环境
	人工智能基础	基础概念、知识框架等
进阶类	算法、模型原理介绍	主要优缺点、适用范围
	算法、模型具体领域的应用 气象教学个例、案例	全流程的应用示范
前沿应用类	人工智能数据集的制作	气象应用专用数据集
	人工智能业务平台建设	系统平台集成应用
	算法、模型的实际应用	本地化应用
	算法、模型的适应性改造	物理约束，可解释性等
	学科前沿动态	发展态势，对业务布局、技术革新、预报员转型等的影响

1) 人工智能气象应用复合型人才缺口较大。全部学员反映当前业务科研工作中对人工智能技术的应用需求较大，国、省两级业务单位也全部开展了相关技术研发或应用工作，对“气象+人工智能”复合型专业人才需求迫切。

2) 参训学员学历高、专业杂。参训学员80%以上具有硕士研究生以上学历，但专业分布占比从高到低依次分布在大气科学、计算机、通信电子、数学物理等多个学科领域。

3) 岗位需求多。参训学员岗位涵盖预报、预测、服务、科学研究和技术研发等，实际工作中对人工智能技术应用需求和应用深度各有侧重。整体上对基础类、进阶类和前沿应用类（见表1）培训的需求约为3:5:2。

4) 基础参差不齐。综合课堂表现及学员总结，处于入门水平的学员和有一定技术储备的各约占40%，零基础及能熟练运用的分别各有10%左右。此外，上述分类呈现出较强的区域差异，从分组研讨的情况看，国家级单位学员基础较好，其次是华东、华南区域，西北、西南地区学员基础相对薄弱。

5) 学习途径有限。在学员的反馈中，超过90%的学员希望后续能继续参加此类技术培训；约有50%的学员表示获取人工智能气象应用交叉领域知识技能的途径极为有限，主要通过自主学习钻研及有限的内部交流。

2.3 人工智能气象应用问卷调查

在以上分析调查的基础上进一步设计了人工智能气象应用调查问卷，采用不具名调查的方式进行了问卷调查。此次回收有效问卷164份，调查对象覆盖了全国各省（区、市），80%以上的调查对象具备硕士及以上学历，主要从事预报预测（37%）、气象服务（27%）和技术开发（19%），其中来自省级单位的占比超过68%。

1) 各研发技术队伍尚处于起步阶段。尽管有超过54%的调查对象从事现岗位的年限超过了5 a，但从事人工智能气象应用的仅为少数（占比不足5%），大部分处于刚刚接触此类工作的阶段（不足1 a的占比为64%）。其中60%的调查对象也自评目前仅处于“了解”水平阶段。超过62%的人员属于“兼职人员凭兴趣学习”，35%左右人员反馈本单位有专门的技术团队、专职人员或岗位。

2) 规划、政策文件宣传有待加强。调查显示接近80%的调查对象对国内外人工智能发展趋势及政策规划仅“了解一点”。在了解中国气象局人工智能有关政策文件及技术需求方面，32%的调查对象表示“不

清楚”，60%的调查对象表示“了解一点”。与此同时，当问及本单位（省局）是否出台了人工智能有关政策文件或者技术需求清单时，53%的调查对象表示“不清楚”。

3) 技术需求显著。超过45%的调查对象认为本人/所在单位在业务科研工作中“亟需”人工智能相关技术，超过20%左右的调查对象还认为“非常亟需”甚至期待相关技术带来“技术突破”。超过60%的调查对象反馈有专项经费、项目支持或向其倾斜。

4) 距离业务应用尚有距离。从反馈的本人/所在单位人工智能气象应用的现状看，有处于业务试用和业务应用阶段成果的仅占20%，另有60%处于个人科研或者技术研发阶段。

5) 技术培训意愿强烈。在当前获取人工智能气象应用相关知识和技能的主要途径中，部门内外技术培训的占比最低，超过85%的调查对象表示愿意参加技术培训，其中17%的调查对象表示“非常迫切”。在制约学习或从事人工智能气象应用相关技术的主要原因中，65%的调查对象认为是“入门门槛太高，缺乏相关技术培训”。另外，超过80%的调查对象认为“缺少专业的人才队伍”是制约本单位人工智能气象研发或业务应用的主要问题。

6) 培训需求更加关注基础原理、模型和数据。调查显示当前比较关注人工智能与精细化的数值预报产品智能订正、在强对流短时临近预报的应用、卫星资料处理应用等领域应用的技术培训，但主要需求集中在基础原理方法巩固、常见算法模型实践和有关数据集制作等方面。

3 思考与建议

3.1 做好顶层设计，加快人工智能气象应用技术培训班次体系建设

当前阶段应以人工智能气象应用人才缺口为重点，加快人工智能技术基础培训班型和面向特定领域（如天气预报、气候预测、卫星/雷达资料处理、气象服务）专题培训的设计开发。在确保培训对象及其需求的准确定位基础之上，扩大对人工智能气象应用重点领域的业务人员和岗位的覆盖度。

3.2 在“融”字上下功夫，持续优化核心课程设计开发

按照“基础知识技能+实习实训+前沿讲座交流”课程设计的总体框架，不断在“融”字上下功夫。一是课程内容要突出人工智能和气象应用的“融”。要结合大气科学规律、技术研发难点，紧扣气象业务需求、人工智能技术方法的特征，设计开发课程，将

人工智能技术“融”入气象应用的方方面面。二是要做好核心课程模块与上下游、左右岸的“融”。设计“组件式”课程模块，一方面可根据具体的人工智能气象应用技术培训班型，灵活“插拔”核心课程模块，以取得最优组合。另一方面还可兼顾技术、管理等不同培训需求特征，快速融入人工智能的教学内容。三是强化不同理念和观点的“融”。技术变革往往会引发人们的不同反应，人工智能与气象的融合应用也不可避免地引发了大量的讨论。要重视培训对象人工智能“意识”“理念”的养成，以理念革新带动技术创新。在培训中注意做好有关内容的科学解释，讲清楚前沿发展态势、潜在突破以及当前阶段技术研发与应用、人员素质等方面的差距和不足，增进对人工智能气象应用的认识与理解。

3.3 优势互补，丰富和完善人工智能气象应用技术培训资源建设

一是充分发挥和挖掘参训学员的优势资源，持续用好“两阶式两个带来”研讨，及时跟进、了解参训学员、送培单位在人工智能气象应用领域的最新成效及面临的突出问题，持续对这些进展、问题进行梳理总结，选取典型案例进课堂、进教材、进培训。二是遴选一批人工智能气象应用典型单位，通过核心课程共同开发、实习实训教学点共同建设和数据、算力、业务平台共享使用等不断丰富和完善人工智能气象应用技术培训资源。

3.4 强化资源统筹，加快人工智能技术培训高水平师资和教研基础设施建设

高水平师资和教研基础设施建设是推进人工智能气象融合应用技术培训的重要抓手。一是不断提升专兼职教师队伍的能力和水平。二是加快人工智能教研基础设施更新迭代。实现高质量的培训，除了优质的师资，还需要与之协调、匹配的基础环境做支撑和保障。立足培训需求，持续做好已有资源的利用和改造，开发满足人工智能基础培训的技术平台，为培训实习实训提供基本的“算力”“数据”等技术支撑。

深入阅读

- 尼克, 2021. 人工智能简史 (2版) [M]. 北京: 人民邮电出版社.
- 气象史料挖掘与研究工程项目组, 2018. 20世纪80年代人工智能在天气预报中的应用[J]. 气象科技进展, 8(3): 88-91.
- Russell S, Norvig P, 2022. 人工智能: 现代方法 (4版) [M]. 张博雅, 陈坤, 田超, 等译. 北京: 人民邮电出版社.
- 孙健, 曹卓, 李恒, 等, 2021. 人工智能技术在数值天气预报中的应用[J]. 应用气象学报, 32(1): 1-11.
- 唐伟, 周勇, 董昊, 等, 2019. 我国气象领域应用人工智能技术的现状和国际对比[J]. 气象科技进展, 9(5): 55-56, 62.

深入阅读

- 吴楠, 2024. 南京大学发布人工智能通识核心课方案[EB/OL]. (2024-03-07)[2024-04-01]. <https://www.nju.edu.cn/info/1056/357721.htm>.
- 许小峰, 2018. 从物理模型到智能分析——降低天气预报不确定性的新探索[J]. 气象, 44(3): 341-350.
- 中国气象局, 2023. 人工智能气象应用工作方案(2023—2030年)[EB/OL]. (2023-07-28)[2024-01-02]. https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/202307/t20230728_5677975.html.
- 中华人民共和国教育部, 2019. 教育部关于公布2018年度普通高等学校本科专业备案和审批结果的通知[R]. 北京: 教育部.
- Bi K F, Xie L X, Zhang H H, et al, 2023. Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks[J]. Nature, 619(7970): 533-538.
- Bouallège Z B, Clare M C A, Magnusson L, et al, 2024. The rise of data-driven weather forecasting: A first statistical assessment of machine learning-based weather forecasts in an operational-like context[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 105(6): E864-E883.
- Boukabara S A, Krasnopolsky V, Penny S G, et al, 2021. Outlook for exploiting artificial intelligence in the earth and environmental sciences[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 102(5): E1016-E1032.
- Charlton-Perez A J, Dacre H F, Driscoll S, et al, 2024. Do AI models produce better weather forecasts than physics-based models? A quantitative evaluation case study of Storm Ciarán[J]. npj Climate and Atmospheric Science, 7(1): 93.
- Chen L, Zhong X H, Zhang F, et al, 2023. FuXi: A cascade machine learning forecasting system for 15-day global weather forecast. npj Climate and Atmospheric Science, 6: 190.
- ECMWF, 2024. Training course: Machine learning for weather prediction[EB/OL]. (2024-03-02)[2024-04-01]. <https://events.ecmwf.int/event/377/>.
- ECMWF, 2023. MOOC machine learning in weather & climate[EB/OL]. (2023-09-01)[2024-01-02]. <https://lms.ecmwf.int/pages/index.html>.
- ECMWF, 2021. Machine learning at ECMWF: A roadmap for the next 10 years[R]. Shinfield Park: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.
- EUMETSAT, 2021. Artificial intelligence (AI) for earth monitoring[EB/OL]. (2021-10-22)[2024-01-02]. <https://www.futurelearn.com/courses/artificial-intelligence-for-earth-monitoring>.
- Irrgang C, Boers N, Sonnewald M, et al, 2021. Towards neural Earth system modelling by integrating artificial intelligence in Earth system science[J]. Nature Machine Intelligence, 3(8): 667-674.
- NOAA, 2019. 1st workshop on leveraging AI in the exploitation of satellite earth observations & numerical weather prediction[EB/OL]. (2019-04-23)[2024-01-02]. https://www.star.nesdis.noaa.gov/star/meeting_2019AIWorkshop.php.
- NOAA, 2022. 4th NOAA workshop on leveraging artificial intelligence in environmental sciences[EB/OL]. (2022-09-06)[2024-01-02]. <https://www.noaa.gov/ai/events/4th-noaa-ai-workshop>.
- NOAA, 2021. NOAA artificial Intelligence Strategic Plan 2021—2025. [EB/OL]. (2021-01-01)[2024-01-02]. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/56881>.
- Reichstein M, Camps-Valls G, Stevens B, et al, 2019. Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science[J]. Nature, 566(7743): 195-204.
- Schneider T, Behera S, Boccaletti G, et al, 2023. Harnessing AI and computing to advance climate modelling and prediction[J]. Nature Climate Change, 13(9): 887-889.
- Sun Z H, Sandoval L, Crystal-Ornelas R, et al, 2022. A review of earth artificial intelligence[J]. Computers & Geosciences, 159: 105034.
- WMO, 2021. Future of weather and climate forecasting[R]. Geneva: WMO.

(作者单位: 中国气象局气象干部培训学院)
(编辑: 卢冰)

(上接74页)

深入阅读

- 中国气象局, 科学技术部, 中国科学院, 2022. 中国气象科技发展规划(2021—2035年).[EB/OL]. (2022-02-28)[2023-04-10]. http://sc.cma.gov.cn/zfxxgk/fdzdgnr/ghjh_85551/202203/t20220303_4555674.html.
- 中国气象局科技与气候变化司, 2022. 业务能力提升关键科技问题清单[EB/OL]. (2022-03-28)[2023-04-10]. https://www.cma.gov.cn/zfxxgk/gknr/wjgk/qtwj/202203/t20220328_4671396.html.
- 周康辉, 郑永光, 韩雷, 等, 2021. 机器学习在强对流监测预报中的应用进展[J]. 气象, 47(3): 274-289.
- Boukabara S A, Krasnopolsky V, Penny S G, et al, 2021. Outlook for exploiting artificial intelligence in the earth and environmental sciences[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 102(5): E1016-E1032.
- Irrgang C, Boers N, Sonnewald M, et al, 2021. Towards neural Earth system modelling by integrating artificial intelligence in Earth system science[J]. Nature Machine Intelligence, 3(8): 667-674.
- JMA, 2018. JMA's NWP strategic plan toward 2030[EB/OL]. [2023-04-10]. https://www.jma.go.jp/jma/en/Publications/JMA_NWP_Strategic_Plan_Toward_2030.pdf.
- NOAA, 2021. NOAA Artificial Intelligence Strategic Plan 2021—2015[EB/OL]. [2023-04-10]. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/56881>.
- Reichstein M, Camps-Valls G, Stevens B, et al, 2019. Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science[J]. Nature, 566(7743): 195-204.
- Xiong A Y, Liu N, Liu Y J, et al, 2022. QpefBD: a benchmark dataset applied to machine learning for minute-scale quantitative precipitation estimation and forecasting[J]. Journal of Meteorological Research, 36(1): 93-106.

(作者单位: 中国气象局气象干部培训学院)
(编辑: 卢冰)