



焦李成，欧洲科学院外籍院士，IEEE Fellow。现任西安电子科技大学华山杰出教授、人工智能研究院院长、智能感知与图像理解教育部重点实验室主任、教育部科技委学部委员、国家级领军人才首批入选者、“一带一路”人工智能创新联盟理事长，陕西省人工智能产业技术创新战略联盟理事长，中国人工智能学会六、七届副理事长，IEEE/IET/CAAI/CAA/CIE/CCF Fellow，连续十一年入选爱思唯尔高被引学者榜单。主要研究方向为智能感知与图像理解、深度学习与类脑计算、进化优化与遥感解译。曾获国家自然科学奖二等奖、吴文俊人工智能杰出贡献奖、“求是人工智能科教奖”杰出贡献奖、全国模范教师称号、省部级一等奖以上科技奖励十余项。

## 诺奖启示下的下一代遥感解译

焦李成

2024年，瑞典皇家科学院将诺贝尔物理学奖与化学奖同时授予人工智能(Artificial Intelligence, AI)领域的学者，这一决定所传递的不仅是对人工智能神经网络原理与深度学习技术的认可，更明确释放出全球科技界的共识：人工智能已从通用计算工具跃升为探索自然规律、驱动科学认知、重塑研究范式的关键引擎。

诺奖的意义不仅在于致敬历史，更在于洞察未来。此次授奖揭示了人工智能正逐步取代传统的分析逻辑与建模方式，构建起以数据驱动、知识提取与智能演化为核心的新型科学范式。同时亦诠释自然科学，特别是物理学对于人工智能技术发展带来的机遇，Hopfield和Hinton教授将统计物理的概念与方法应用于神经网络的结构设计和优化上，取得了显著成效。因此，人工智能与科学研究的融合已成为当代科技发展的核心驱动力。AI通过高效数据处理、模式识别和预测建模，显著加速了科学发现进程；而科学研究的复杂需求也反向推动AI算法革新。这种双向赋能正重塑从基础理论到应用技术的全链条创新范式。

遥感(Remote Sensing, RS)科学，作为观测地球、理解环境与洞察人类活动的重要学科，正站在这一范式革命的前沿交汇点。遥感技术长期依赖成像系统、地物光谱特征与基于规则的解译方法。随着卫星网络、无人机平台与传感器体系的持续演进，遥感数据呈现出多源异构、多尺度、全天候、高频率等特征，极大地拓展了对地观测的广度与深度。然而，数据能力的跃升也带来了前所未有的处理复杂度，传统依赖人工判读与规则驱动的解译模式，已难以满足现代化治理对“全域感知、全时响应、全景认知”的迫切需求。

在此背景下，人工智能与遥感的深度融合范式，正加速成为对地观测体系重构的关键路径。下一代遥感系统不再是简单的数据采集平台，而将演化为具备理解、推理与生成能力的智能体，或具身智能系统，能够实现从图像到视频，从数据到知识、从反射到散射、从变化到决策的协同学习建模。这一过程不仅依赖于大模型的表达能力、跨模态建模与时间序列理解能力，更需要遥感物理模型、地球系统机理与政策场景的深度注入。

尤其值得强调的是，遥感所面对的地球系统本质上是高度复杂、强耦合、动态演化的对象。单纯依靠“从数据中学习”不足以构建可信认知，必须在“科学规律中建模”。这正体现出目前广泛倡导的“双向赋能”路径——“AI for Science”推动科学研究方法的重构，“Science for AI”则通过物理机制、领域知识与专家规则反哺AI系统的可信性与适应性。只有实现数据驱动与机理驱动的深度耦合，才能构建具有表达力、解释力与泛化力的“地球表征空间”，真正支撑对复杂地表过程的精准认知与科学决策。为了减小AI，尤其是大模型的应用带来的安全风险，可以分别从政策法规制定、前沿技术探索、创新能力提升等方面展开工作，具体对策建议包括积极制定并实施AI伦理原则与框架，加强可信数字内容体系建设，加强隐私保护的模型推理研究，增加AI在网络攻防领域中的角色，建立大模型安全理论体系，以及构建AI安全测评体系。

然而，AI for RS与RS for AI的融合并非一蹴而就，从感知走向认知，从模型走向系统，遥感智能化仍面临诸多挑战。实现这一跃迁，亟需从源头开展基础性创新。这包括：在科学建模层面，深入推进生物启发机制、类脑学习理论、物理约束表达与数学建模等研究；在算法体系层面，探索多尺度表征学习、大模型的通用逼近理论、感知-认知-记忆一体化建模机制，以及生成式学习的可靠性与小样本适应性问题；在系统架构层面，加快构建安全可信、绿色高效、可解释的大模型基础架构，优化“大、中、小”模型协同学习与决策机制，解决多源异构、非结构化数据在开放环境下的泛化能力与部署效率问题。这一系列任务的协同推进，将有助于打造具备自主性、通用性、可持续性的全栈式遥感智能生态系统，不仅关乎遥感技术自身的转型，更将深度赋能自然资源治理、生态环境保护、灾害防控预警等国家重大战略任务，在数字中国、科技强国、生态文明与人民健康等领域发挥系统性支撑作用。

面对挑战，更应坚定方向。人工智能与遥感科学的深度耦合，正在推动遥感科学从“被动感知”迈向“主动理解”，从“图像解译”迈向“知识生成”，从“单点观测”迈向“系统响应”。在新一轮科技革命与产业变革的交汇点上，建设下一代智能遥感体系，将成为推动科技强国建设的关键抓手，也将构成中国式现代化在科技维度上的战略支撑。