

AI赋能LAMOST:从千万光谱中揭秘宇宙奥秘

张彦霞 赵永恒 罗阿理 孔啸

(中国科学院国家天文台 100101)

在探索宇宙的征程中,中国自主研制的LAMOST望远镜就像一只“星海巨眼”,每天都能捕捉上万颗恒星的光谱信息。而人工智能(AI)则如同一位不知疲倦的“超级助手”,正在帮助天文学家破解这些来自宇宙的“光之密码”。本文将带您了解:(1) LAMOST这架“光谱之王”的独特本领;(2) AI如何像“星际侦探”一样快速分类天体和识别特殊天体;(3) 这对黄金搭档正在如何改变天文学研究的方式。通过生动的案例,我们将看到AI不仅让天文学家“看得更远”,还能帮助他们“想得更深”,开启人类认识宇宙的新篇章。

一、LAMOST 望远镜概述

LAMOST(大天区面积多目标光纤光谱天文望

远镜, Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope)^[1], 又称郭守敬望远镜, 隶属中国科学院国家天文台, 位于河北省的兴隆观测站, 发展历程如图1, 于2008年建成, 2012年正式巡天。在这张晨曦微光中的照片里(如图2), 刚刚结束整夜观测的LAMOST望远镜静静矗立。它的圆顶在晨雾中若隐若现, 仿佛一位完成星际巡礼的“宇宙侦探”, 正在整理一夜的收获。它是我国自主研制的主动反射施密特望远镜, 是世界上口径最大的大视场望远镜之一。它创造性地应用主动光学技术, 突破了望远镜大口径与大视场难以兼得的瓶颈。通过拼接与变形的技术, LAMOST能够同时观测多达4000颗天体, 大大提高了观测效率和精度。该项目为大规模的天文巡天提供了巨大的数据支持, 有助

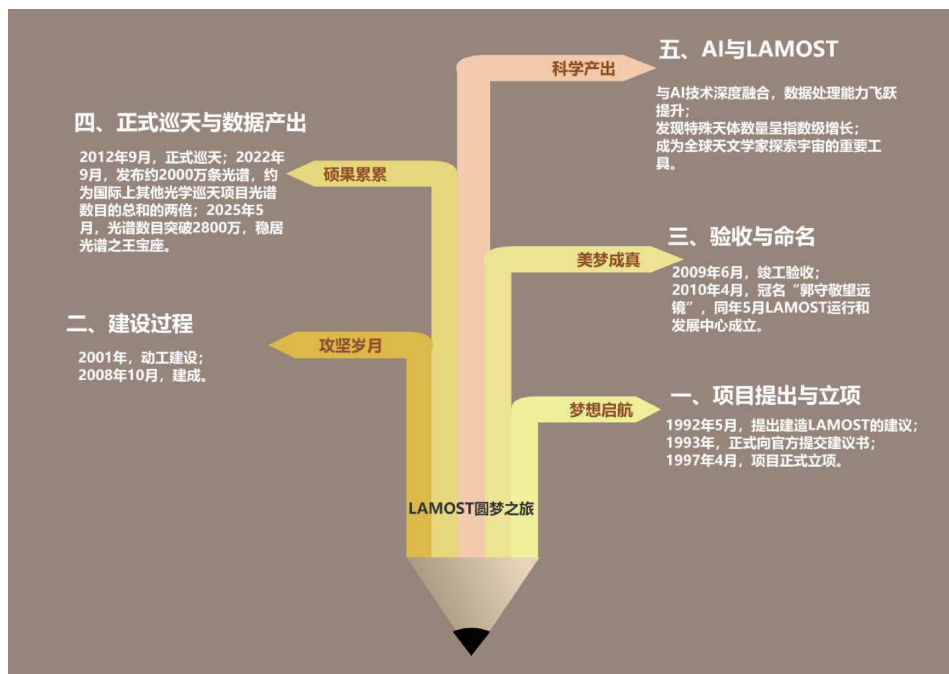


图1 LAMOST望远镜的发展历程



图2 LAMOST望远镜的晨曦景象

于推进宇宙学、星系形成、恒星演化等领域的研究。

其主要特点和技术亮点：

大规模光谱巡天：LAMOST的设计旨在实现快速且大范围的天体光谱观测，特别适用于对大规模的恒星和星系的物理属性进行系统性研究。

多光纤光谱仪：LAMOST拥有一个多光纤光谱系统，每次观测能够同时测量多达4000颗天体的光谱数据，这使得它在短时间内可以获得大量天文数据。

低分辨率和中分辨率模式：LAMOST具有低分辨率和中分辨率两种光谱观测模式，可以根据不同的科学需求选择合适的分辨率。

宽观测区域：LAMOST可以覆盖北部天球的大部分区域，特别适合进行大范围的星系、恒星分布以及宇宙大尺度结构的观测。

二、LAMOST巡天策略与数据产出

光谱波长覆盖范围：370~900 纳米(光学波段)。

观测模式：

低分辨率巡天(LRS： $R \approx 1800$)：主巡天，用于恒星、星系、类星体普查；

中分辨率巡天(MRS： $R \approx 7500$)：2018年启动，侧重恒星化学丰度与动力学。

观测目标：

银河系恒星(尤其是冷星、贫金属星)、星系、类星体。

数据规模(截至2025年)：

发布光谱数：超2800万条(全球最大恒星光谱库)；

目标亮度范围： $V \sim 14-18$ 等。

DR12的巡天数据在天区的覆盖如图3所示。不同次巡天数据释放的中、低分辨率巡天的光谱数目如图4所示。

三、LAMOST相关科学

天体的光谱就像人的指纹一样，每个天体的光谱特征都是独特的。不同类型的天体(如恒星、星

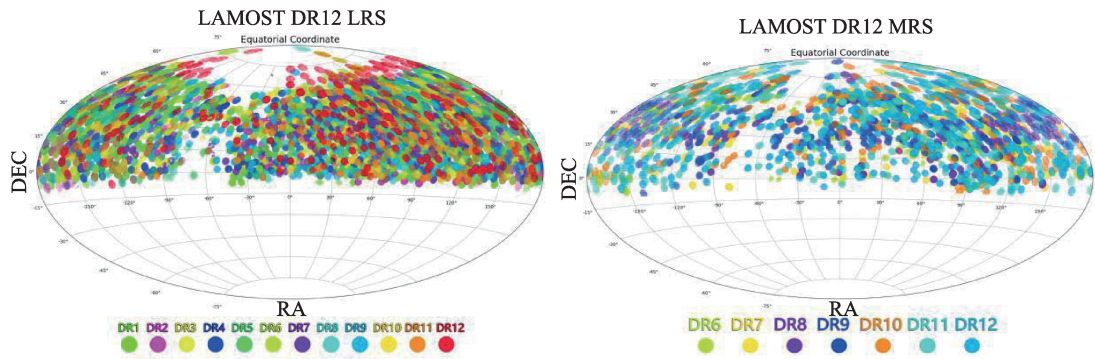


图3 LAMOST DR12巡天数据的天球覆盖(以赤道坐标,左图是低分辨巡天;右图是中分辨巡天)

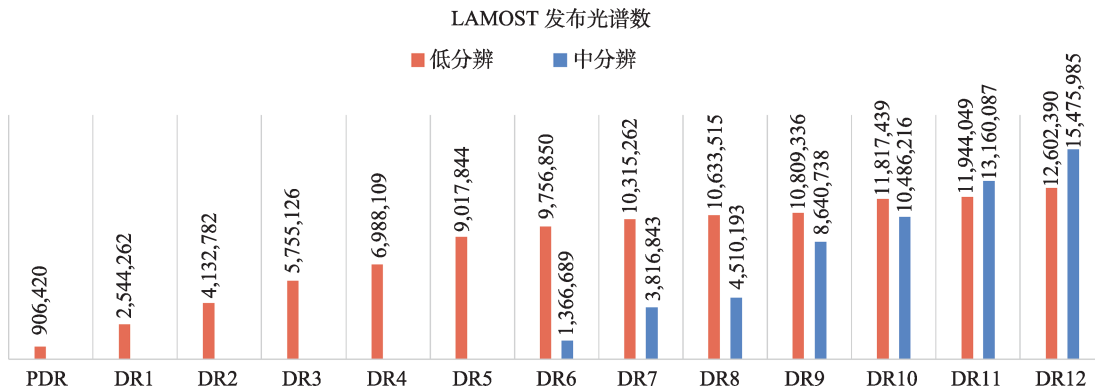


图4 不同次巡天数据释放的光谱数目

系、类星体等)拥有不同的光谱,这些光谱包含了关于它们化学成分、温度、速度等的信息,就像每个人的指纹是独一无二的。天文学家通过分析光谱来识别天体的类型、特性以及它们与我们之间的距离,帮助我们确认天体的身份(比如确认是否为某种类型的恒星)。此外,光谱还提供了关于天体的详细物理信息。不同天体的光谱特征见图5和图6。图5展示了不同光谱型的恒星和特殊恒星的光谱;图6展示了不同类型的星系和类星体的光谱。

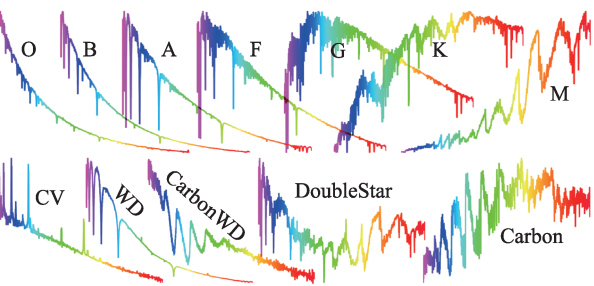


图5 不同光谱型的恒星和特殊恒星的光谱

LAMOST为银河系及其他星系提供了丰富的光谱数据,基于这些数据可以开展许多潜在的科学研究,进一步扩展天文学的研究领域。以下是一些研究方向:

1. 银河系和星系演化

银河系的化学演化与星系合并:通过分析不同区域的恒星光谱数据,研究不同金属丰度、元素分

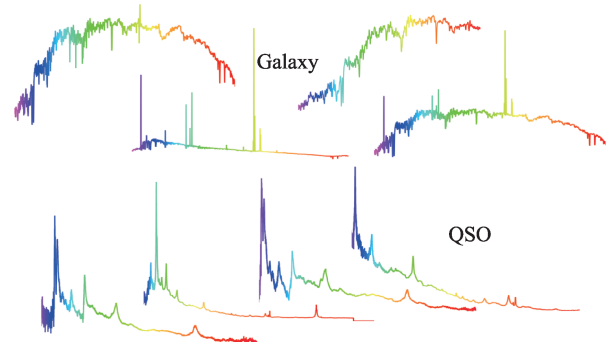


图6 不同类型的星系和类星体的光谱

布等,进而揭示银河系的化学演化过程,以及星系并合如何影响星系的结构和组成。例如,在观测银河系结构方面,LAMOST望远镜通过其强大的观测能力,揭示了千万颗恒星的形成历史与演化轨迹,显现出宇宙的多样性和复杂性。这些观测数据为科学家提供了宝贵的资料,帮助他们更深入地理解银河系的结构和演化。

星际介质与恒星的相互作用:通过LAMOST的光谱数据,研究星际介质(如气体云、星际尘埃)与恒星形成的关系,探索恒星的诞生、演化以及死后的过程。

2. 星际化学与元素丰度

恒星群体中的元素丰度分布:基于LAMOST数据,可以研究银河系不同恒星群体中的元素丰度分布,这对于理解银河系的化学演化非常重要,尤其是在不同年龄和不同类型的恒星之间,元素丰度的差异可以反映出恒星的形成历史以及星系化学演化的进程。

贫金属星和早期宇宙的研究:探测贫金属的恒星,尤其是来自早期宇宙的恒星,帮助我们了解宇宙早期的化学组成,进而揭示星际物质的形成和星系的演化历史。例如:发现大量贫金属星(如 $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.0$),有助于揭示早期宇宙化学演化。

3. 暗物质与暗能量的研究

通过恒星运动研究银河系的暗物质分布:结合LAMOST的径向速度数据和其他观测数据,研究银河系及星系群体的动力学行为,从而推测暗物质的分布和密度,进一步揭示暗物质的性质。

星系团的动力学分析:通过对星系团的光谱观测,研究星系团的运动特征和物质分布,探讨暗能量对星系团的演化影响。

4. 河外星系和类星体研究

类星体与活动星系核的深入研究:LAMOST的光谱数据可以帮助我们深入研究类星体和活动星

系核(AGN)的物理特性,例如它们的能量输出、吸积盘性质、黑洞质量等。

跨星系研究:利用LAMOST对河外星系的观测数据,研究它们的化学成分、恒星形成历史和星系的动态演化,特别是在星系相互作用和并合过程中如何改变星系的物理特性。

5. 行星和行星系统的研究

LAMOST可以帮助研究系外行星的宿主恒星,推测行星的存在与性质,探测行星候选体的辐射和光谱特征,研究这些行星的环境条件以及它们是否适宜生命存在。结合天体物理模型,进而深入理解系外行星的形成、演化及其与宿主恒星的关系。

6. 星际介质与气体云

星际气体的分布和演化:利用LAMOST的光谱数据研究银河系内不同区域的气体云分布、密度、温度等特征,从而深入了解星际介质的演化和星际物质对恒星诞生的影响。

分子云的性质研究:结合高分辨率的光谱数据,研究分子云中的化学反应、温度、密度以及分子组成,探索它们在恒星形成中的作用。

7. 超新星与爆炸性天体

超新星的多波段光谱研究:超新星的光谱观测能够揭示其爆发机制、演化过程及宿主星系的环境。通过LAMOST的低分辨率光谱数据,研究人员可以深入探讨不同类型超新星的演化轨迹、爆发机制及其产物,尤其是关于中子星和黑洞形成的相关理论。LAMOST的光谱数据不仅有助于研究超新星的化学组成和红移,还在追踪超新星的早期阶段及分析其爆发后的光谱特征方面展现出独特的优势。此外,LAMOST的高效光谱巡天使其成为研究超新星光谱特征、宿主星系及不同类型超新星的重要工具,进一步推动了对超新星演化、爆发机制及其环境的深入理解。

伽马射线暴的研究:结合多个天文台的数据,

LAMOST的光谱数据可以通过研究伽马射线暴的宿主星系、红移以及其他光谱特征来加深对伽马射线暴的理解。

8. 人工智能与大数据分析

机器学习与自动化分类:随着数据量的增加,LAMOST数据的分析越来越依赖人工智能(AI)技术,如深度学习和自动化分类方法。通过AI技术可以更有效地从庞大的数据集中提取有用信息,自动识别新的天体类型,提升光谱数据处理效率。

大数据分析 with 模拟:结合天文观测与计算模拟,可以建立更精确的天体物理模型,利用LAMOST数据与其他天文台数据融合,开展更大范围的天文数据分析。

9. 多波段天文观测联合研究

与其他天文台的数据结合:将LAMOST的光谱数据与其他波段(如红外、射电、X射线等)的观测数据融合,进行联合分析,可以提供更全面的天文现象研究结果。特别是在黑洞、类星体、超新星等天体的研究中,跨波段的联合研究具有重要意义。

四、人工智能

人工智能^[2]是指由计算机系统或机器模拟、延伸和扩展人类智能的技术与科学。人工智能的发展历程如图7所示。其核心目标是使机器能够执行通常需要人类智能的任务,如学习、推理、问题解决、感知、语言理解和决策。按能力划分为弱人工智能、强人工智能、超级人工智能。弱人工智能通常专注于解决单一任务或处理有限范围的问题。例如,语音识别、图像识别、推荐系统等,像Siri、Alexa、Google Assistant、ChatGPT等,它们能够理解用户的语音指令并完成特定任务(如查询天气、设置提醒等),但它们并没有自主思考能力。强人工智能具备人类水平的通用智能,具备自我意识、情感、主观体验等,可自主进行决策和学习,适应新任务(尚未实现)。超级人工智能超越人类智能,能自我改进(属于科幻范畴)。

人工智能(Artificial Intelligence, AI)已渗透到各行各业(如金融、健康、安全、科学、交通、农业、家居、教育、能源与环保、智能制造),从日常生活到尖端科研,其应用场景不断扩展。其核心逻辑是“数

人工智能发展历程



图7 人工智能发展历程

据驱动+任务自动化”。关键在于如何让AI增强人类能力,而非替代人类价值。AI正在重塑所有行业,其核心价值是提升效率与解锁新可能性。未来十年,AI将更深度融入基础设施,AI将更聚焦细分场景落地,而通用人工智能(Artificial General Intelligence, AGI)仍面临技术鸿沟。

机器学习(Machine Learning, ML)是人工智能的一个子领域,是通过数据和算法使计算机系统能够自动学习和改善性能,而无需明确编程或手动指令。换句话说,机器学习使计算机系统能够从经验中学习,并在处理新的、未知的数据时做出预测或决策。

深度学习(Deep Learning, DL)是机器学习的一个子领域,其核心是通过模仿人脑神经元结构的深层神经网络(Deep Neural Networks, DNNs),从大量数据中自动学习多层次的特征表示,最终完成分类、预测、生成等任务。

人工智能、机器学习、深度学习之间的对比如表1和表2。没有机器学习,现代AI无法实现;没有深度学习,许多ML任务难以突破。AI是终极目标,ML是实现AI的主要路径,DL是ML的高效工具。当今AI的突破(如大语言模型)主要依赖机器学习,尤其是深度学习。选择技术时:数据量小、需解释性 → 传统ML(如随机森林);数据量大、复杂模式 → 深度学习(如 Convolutional Neural Network, CNN);非数据问题 → 规则AI(如工业机器人编程)。

五、人工智能与LAMOST

人工智能的融入,进一步提升了LAMOST的观测和数据处理能力。机器学习和深度学习等技术在望远镜观测目标的选取、望远镜运行与监测、数据的处理、分析与挖掘过程中发挥着关键作用。以下是人工智能在LAMOST天文学研究中的几个主要促进作用:

1. 大数据处理与分析

人工智能算法能够高效处理LAMOST产生的大量数据。例如,LAMOST每晚会产生数千万条光谱数据,通过人工智能算法,科学家能够快速识别和分析这些数据,从中提取出关键信息。这不仅提高了数据处理的效率,还使得科学家能够更快速地发现新的天文现象。

自动化数据处理:人工智能可以自动化处理数据,提取有用信息,消除噪声,减少人工干预,提高效率。

模式识别与异常检测:通过训练模型,人工智能能够识别潜在的科学现象,如突发事件、异常光谱或天体行为,从海量数据中发现重要信号。

2. 光谱分析与天体分类

自动化光谱分类:天文数据中的光谱分类任务复杂且繁琐。人工智能可以通过训练深度学习模

表1 人工智能、机器学习、深度学习对比

维度	人工智能(AI)	机器学习(ML)	深度学习(DL)
定义	广义的智能模拟	数据驱动的模式训练方法	基于多层神经网络的机器学习技术
依赖技术	规则、ML、知识表示等	统计学习、算法优化	神经网络(CNN/RNN/Transformer)
数据需求	可基于规则(无需数据)	需标注/未标注数据	需大量数据(百万级样本)
典型应用	机器人、通用问题求解	房价预测、垃圾邮件分类	图像识别、自然语言处理
代表方法	专家系统、A*搜索	决策树、支持向量机、随机森林	ResNet、BERT、Stable Diffusion

表2 传统机器学习与深度学习对比

场景	传统机器学习	深度学习
小数据集	√ 表现更好(如支持向量机)	× 易过拟合
图像/语音处理	× 特征提取困难	√ 自动学习特征
可解释性	√ 决策树、逻辑回归透明	× 黑箱模型

型,快速、准确地对恒星、星系、类星体等天体进行分类。机器学习算法(如支持向量机、随机森林、神经网络等)已被广泛用于光谱数据的自动分类。

参数测量:AI模型能够从光谱数据中自动提取恒星和其他天体的物理参数,如有效温度、金属丰度、表面重力等,并给出准确的估计,大大减少了人工测量的时间。

3. 天文图像处理

AI特别擅长在图像处理中去噪和增强图像质量。通过卷积神经网络(CNN),AI可以去除天文图像中的噪声,使得微弱天体信号更加明显。

4. 异常检测与新天体发现

异常事件的自动检测:AI能帮助发现异常天体或事件,比如快速变化的天体等。通过对光变曲线、光谱数据的实时分析,AI可以在数千个天体中快速识别出那些不同寻常的事件。

新天体的发现:AI通过不断分析现有数据集,可以帮助天文学家发现新的天体类别或新的天体。例如,AI在处理天文数据时发现了以前没有注意到的天体,如某些特殊类型的恒星或不规则的星系等。

5. 天文观测优化与自动化

观测调度与资源优化:人工智能不仅能帮助科学家优化LAMOST的观测策略,还能根据实时数据和天气条件动态调整观测目标。通过大数据和大模型,科学家可以预测哪些天区或天体更可能产生有趣的天文现象,从而调整观测计划。这种智能化的策略提高了观测针对性,使科学家更高效地利用望远镜的观测时间。机器学习算法还能帮助选择最有可能获得重要成果的天体,提高观测效率。

自动化观测与实时分析:AI技术可以用于自动化天文观测,实时分析观测数据,帮助天文台做出快速反应。这样一来,天文台可以在出现突发天文事件时(如超新星爆发、类星体活动等)立即进行进一步观测和分析。

协同观测:人工智能有助于多台望远镜能够协

同观测极端天文现象。例如,当LAMOST检测到某个天区出现有趣的天文现象时,它可以迅速与其他望远镜进行协同观测,从而获取更全面的数据。这种协同观测的方式大大提高了天文学研究的深度和广度。

6. 天文学理论模型的改进与验证

天文数据与理论模型的结合:AI可以帮助科学家更好地理解天文学理论模型,利用AI进行模型验证和改进。机器学习能够在模型与数据之间架起桥梁,优化现有的天体物理学模型,提高它们对实际观测数据的适应性。

数据驱动的模型发现:AI技术还可以在没有任何物理模型的情况下,通过数据驱动的方法揭示宇宙中的规律。例如,使用深度学习算法对大量的天文数据进行分析,可以发现新的物理现象或规律。

7. 辅助天文合作与科研交流

数据共享与科研协作:AI技术能够帮助建立更高效的科学合作平台,促进全球天文学家的数据共享和合作研究。通过AI数据分析工具,可以使得不同天文台的数据资源更加兼容,并加速国际合作。

天文学科普与教育:AI可以被用于天文学科普和教育,通过虚拟天文探索平台帮助公众、学生等更好地理解天文学原理,如SpecZoo专家识谱平台^[3]。基于AI的天文模拟软件可以让学生和公众深入了解天体的演化过程、天文现象等。

六、结论和展望

LAMOST望远镜,作为全球领先的大规模光谱巡天设施,通过其独特的主动光学技术和多目标光纤光谱系统,已经发布超过2800万条光谱数据,成为天文学研究的重要数据来源。随着人工智能技术,特别是机器学习和深度学习的深度融入,LAMOST的数据处理效率和科学发现能力得到了显著提升,例如:AI技术实现了光谱分类、参数测量和异常检测的自动化,极大地解决了海量数据人工

处理的瓶颈。通过算法优化,数据处理不仅更加高效,还能确保精确性,为后续的科学研究提供坚实的数据基础。通过模式识别与异常检测,AI在海量光谱数据中识别出了特殊恒星、快速变源等新天体。这些发现不断拓展着人类对宇宙的认知边界,为天文学研究带来新的研究方向和突破。AI优化了LAMOST的观测策略,促进了多望远镜之间的协同观测。同时,AI技术助力理论模型与观测数据的融合验证,提升了天文学研究的全面性和精准性。

“AI+天文”的结合不仅加速了传统天文学研究的流程,还为天文学开辟了数据驱动的新路径,推动了科学发现的边界。未来,LAMOST与AI的结合将进一步推动技术融合创新。结合大语言模型(LLMs)和多模态AI,LAMOST将能够提升光谱、图像和时序数据的联合分析能力,实现更复杂的天文现象解析。此外,发展可解释AI(XAI)将增强模型对天体物理规律的揭示能力,减少传统“黑箱”模型的局限性,使研究者能够更好地理解AI算法的工作原理和结果。

借助AI,LAMOST将能够深入挖掘数据中的微弱信号,探索诸如暗物质分布、系外行星大气成

分等尚未解开的科学谜题。同时,实时AI分析将帮助捕捉超新星、引力波电磁对应体等暂现现象,推动时域天文学的发展,开辟新的研究领域。LAMOST还将建设全球天文AI开放平台,推动数据共享和算法协作,降低全球天文学研究的门槛,促进科研力量的集结与合作。通过公众科学(Citizen Science)项目,利用AI工具让公众参与天体分类与异常筛查,增强天文学研究的社会参与度与普及度。随着AI技术的不断进步,如何有效应对海量数据的处理、模型的可解释性以及跨学科协同的挑战将成为未来发展的重点。对AI模型进行持续优化与验证,确保其在天文领域的有效性与可信度,将是LAMOST未来研究的关键任务之一。

总结来说,LAMOST与AI的深度结合不仅加速了传统天文学研究的步伐,更推动了天文学研究的模式创新,为未来的科学突破和天文学的前沿探索提供了广阔的空间。

参考文献

- [1] <https://www.lamost.org/>
- [2] <https://baike.baidu.com/item/%E4%BA%BA%E5%B7%A5%E6%99%BA%E8%83%BD/9180>
- [3] <http://www.speczoo.cn/>

科苑快讯

会呼吸的晶体将彻底改变清洁能源

韩国釜山国立大学(Pusan National University)物理系和日本北海道大学电子科学研究所(Research Institute for Electronic Science at Hokkaido University)的科学家合作发现了一种全新的可“呼吸”晶体,它能够在相对较低的温度下反复吸入和释放氧气。这种不寻常的特性将使清洁能源系统的发展取得重大进步,包括燃料电池、调节热量的智能窗户和新一代保暖装备。

该材料是一种由镧、铁、钴制成的金属氧化物,因为经过特殊设计,所以在简单的其他环境中加热时会

释放氧气,然后再把氧气吸回来而不分解。这一过程可循环重复多次,研究结果已发表在《自然通讯》(Nature Communications)。

此前能够实现氧气控制的材料大都过于脆弱,或者仅适用于高温的极端条件下,而该材料可在较温和的条件下工作并保持稳定。研究人员说,这是实现智能材料的重要一步,潜在的应用范围可以从清洁能源到电子产品,甚至是环保建筑材料。

(高凌云编译自2025年8月24日SciTechDaily网站)