

# AI赋能 LAMOST: 开启天文学研究的新时代

张彦霞 赵永恒 罗阿理 孔 啸

(中国科学院国家天文台 100101)

人工智能(AI)技术与LAMOST(大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜)的深度融合,正在引领天文学研究范式的革命性变革。随着技术的不断进步,LAMOST利用AI提高了天文数据的处理效率,尤其在银河系结构、恒星物理参数测量、特殊天体发现等方面取得了显著成果。AI方法如深度学习、生成对抗网络(GAN)和主动学习等被应用于光谱数据分析、星体分类和物理参数测量,帮助天文学家发现新的天体如白矮星、碳星、极端贫金属星等。此外,天文学与AI的结合推动了天文学研究的范式转变,使得数据驱动的和虚拟观测成为可能。尽管面临数据质量、标注问题和计算资源挑战,AI与LAMOST的深度协同不仅大幅提升了传统天文研究的效率,更开辟了数据驱动的宇宙探索新途径。这一融合标志着天文学研究正在迈入智能化、精准化的新时代,为揭示宇宙奥秘提供了前所未有的研究工具和科学视角。

## 一、人工智能与 LAMOST 的协同成果

人工智能的应用极大地促进了天文学研究的进展,尤其是在数据处理、自动化分析、新天体发现、天文图像处理 and 观测优化等方面。通过AI的帮助,天文学家能够从海量数据中提取出更有价值的信息,发现新的天体和现象,并且加速对宇宙的理解。随着AI技术的不断进步,天文学研究将变得更加高效和精准,未来在这方面的突破有望带来更多革命性的发现。

以下是一些基于LAMOST数据的具体成果:

**银河系结构研究:**通过LAMOST数据和AI算

法,科学家对银河系恒星种群分类,以揭示不同星群的物理特征;研究银河系的结构,特别是在不同区域的恒星运动和金属丰度的变化。

**恒星年龄估计:**AI技术使得科学家能够精确估计上百万颗恒星的年龄,为理解恒星的形成和演化提供了重要数据。

**系外行星发现:**利用LAMOST和AI算法,科学家有助于发现新的系外行星,这些行星的发现对于理解行星系统的形成和演化具有重要意义。

**古银盘发现:**基于LAMOST和欧空局GAIA卫星的观测数据,科学家们揭示了银河系银盘中最古老的组成成分,这些成分约在135亿年前形成。这一发现为深入探索星系及宇宙早期的起源和演化提供了新视角,同时也为解析银河系早期结构和演化历程提供了宝贵的线索。

**特殊天体发现:**在AI的帮助下,发现了白矮星(如磁白矮星、DA/DB/DZ型白矮星)、碳星、年轻恒星体、极端贫金属星、共生星、变星(如激变变星、脉动变星、耀发星)、双星(如白矮星-主序星双星、共有包层双星、光谱双星)、恒星晕与星流、发射线星(如Be星、沃尔夫-拉叶星)、高速星、化学丰度特殊的恒星(如富锂巨星、碳氮氧异常星、钡铀异常恒星)、弥漫星际带(DIBs)载体、HII区、星系对、E+A星系、类星体、豌豆星系、移动星群、黑洞候选体等等。

关于一些具体的人工智能方法在LAMOST相关科学中的应用,请参看表1。

## 二、人工智能推动天文学研究范式转变

人工智能与LAMOST的结合,不仅提升了天

表 1 人工智能方法在 LAMOST 中的应用事例

研究课题	AI 方法
银河系结构	高斯混合模型 <sup>[1]</sup> 、深度学习(Siamese neural networks 结合 K 均值聚类) <sup>[2]</sup> 、HDBSCAN <sup>[14]</sup>
恒星物理参数测量	CNN <sup>[3,28]</sup> 、Stellar Label Machine <sup>[4]</sup> 、模板匹配 <sup>[7]</sup> 、Gradient Boosting Decision Tree <sup>[13]</sup> 、RRNet <sup>[18]</sup> 、神经网络 <sup>[20]</sup> 、StarGRUNet <sup>[21]</sup> 、Cycle-StarNet <sup>[22]</sup> 、贝叶斯方法 <sup>[23]</sup> 、贝叶斯线性回归、梯度提升决策、多层感知机、多元线性回归和支持向量机回归 <sup>[29]</sup> 、XGBoost <sup>[31]</sup> 、模糊聚类分析结合神经网络(FCA-ANN) <sup>[32]</sup> 、CatBoost <sup>[37]</sup> 、SPCANet <sup>[40]</sup> 、核主成分分析 <sup>[43]</sup>
特殊天体发现	主动学习结合深度学习 <sup>[5]</sup> 、CNN <sup>[6]</sup> 、半监督机器学习 <sup>[8]</sup> 、集成回归模型 <sup>[11]</sup> 、XGBoost、LightGBM 和 Decision Tree <sup>[17]</sup> 、小波方法和蒙特卡罗模拟 <sup>[33]</sup> 、BaggingTopPush 和随机森林 <sup>[42]</sup>
恒星磁活动	变分自编码(variational autoencoder, VAE) <sup>[30]</sup>
恒星光谱模板库的创建	生成对抗网络(generative adversarial networks, GAN) <sup>[10]</sup>
离群分析	局部离群因子(Local Outlier Factor, LOF) <sup>[35]</sup>
关联分析	关联分析 <sup>[9]</sup>
分类分析	multiscale partial convolution net (MSPC-Net) <sup>[12]</sup> 、XGBoost <sup>[19]</sup> 、多模态深度学习 <sup>[25]</sup> 、多层感知机、支持向量机、K 近邻和随机森林 <sup>[26]</sup> 、各种分类方法(如模板匹配、支持向量机、K 近邻、基于决策树的分类方法、基于神经网络的分类方法、基于集成学习的分类方法、逻辑回归、偏最小二乘方法、高斯朴素贝叶斯方法、基于排序的分类方法) <sup>[36]</sup> 、CNN <sup>[41]</sup>
聚类分析	密度聚类 <sup>[24]</sup> 、各种以分隔、密度、模型、网格、模糊理论为基础的聚类方法和分层聚类方法 <sup>[27]</sup> 、K 均值 <sup>[39]</sup>
望远镜控制	Long Short-term Memory (LSTM) Deep Neural Network <sup>[15]</sup> 、CNN 和随机森林 <sup>[16,38]</sup> 、CNN <sup>[34]</sup>

文学研究的效率,还推动了科学研究的范式转变。

**智能化的天文数据处理革命:**人工智能技术正在彻底改变 LAMOST 望远镜的数据处理范式。通过深度学习、机器学习等先进算法,我们实现了海量天文光谱数据的自动化处理与智能分析。这一技术突破不仅将数据处理效率提升数个数量级,更重要的是赋予科研人员强大的数据挖掘能力——能够自动识别特殊天体、发现稀有光谱特征、揭示隐藏的天文规律。这种智能化的数据处理流程正在显著缩短从观测到发现的周期,以前所未有的速度推动着天文学研究的突破性进展。

**海量多源、多波段、时域数据有效融合:**由于数据的海量性、多波段性、时序性以及来源的多样性、尺度的差异性和时空分辨率的差异,如何有效地融合这些数据以进行分析和决策,成为一个极具挑战性的问题。数据融合面临的主要困难包括数据的异质性、时空对齐问题、计算复杂性、噪声和不确定性等。为应对这些挑战,可以通过整合自适应预处理与时空重采样技术、基于深度学习的特征提取与跨模态融合方法、集成不确定性建模的鲁棒性融合框架,以及高性能计算加速的大规模数据处理流程等多技术协同优化策略,显著提升多源、多波段、时域数据的融合精度与计算效率,为天文大数据智能

分析与决策提供可靠的技术支撑。

**智能化的观测决策优化:**基于人工智能的决策支持系统正在革新 LAMOST 望远镜的观测策略制定流程。通过深度强化学习和多目标优化算法,系统能够实时分析天体的物理特征、环境条件和科学目标,智能生成最优观测方案。这种智能决策机制不仅能动态调整曝光时间、光谱分辨率等关键参数,还能根据天气变化、设备状态等实时数据做出自适应优化,使观测效率提升 40% 以上。更重要的是,该系统通过持续学习历史观测数据,不断优化决策模型,推动望远镜观测效能实现持续进化,为重大天文发现创造更多可能性。

**跨领域、跨界合作研究:**人工智能技术与 LAMOST 望远镜的深度结合正在重塑天文研究的范式,并持续推动多学科交叉创新生态的形成。这一融合进程主要体现在两个关键维度:一是在学术研究层面,人工智能算法作为关键使能技术,架起天文学与计算机科学、统计学、信息学、物理学等学科的知识桥梁,通过深度学习、知识图谱等创新方法,显著提升海量光谱数据的挖掘效率,有效推动跨学科协同创新;二是在产学研合作层面,面对天文大数据处理对高性能计算、海量存储和先进算法的迫切需求,天文机构与科技企业正在建立更加紧

密的合作伙伴关系,这种跨界合作不仅有效解决了天文研究的计算瓶颈,同时也为人工智能技术的创新应用提供了重要的实践场景,实现了基础研究与应用创新的双向赋能。这种跨学科、跨行业的深度融合正持续催生创新势能,驱动天文研究范式向智能化、精准化方向纵深演进,从根本上拓展人类认知宇宙的疆界。

### 三、人工智能面临的挑战

**数据规模与复杂性:**(1) 海量数据处理:现代巡天项目(如LSST)每天产生TB级数据,传统AI方法难以高效处理。(2) 多维数据整合:天文数据通常包含光谱、时域、空间位置等多维信息,AI需发展更强大的特征提取与降维技术。(3) 异构数据融合:不同波段(光学、射电、X射线)的数据融合和统一可视化仍存在技术瓶颈。

**标准化与通用性:**(1) 数据格式差异:不同天文台的数据标准不一,AI模型难以泛化到多种观测设备。(2) 跨平台兼容性:天文可视化工具(如Glue、WorldWide Telescope)与AI框架(如PyTorch、TensorFlow)的集成仍不完善。

**实时性与交互性:**(1) 动态数据流处理:暂现天体(如超新星、快速射电暴)的实时监测要求AI可视化系统具备低延迟分析能力。(2) 用户交互优化:科学家的探索性分析需要灵活的交互式可视化工具,而当前AI模型多为静态输出,难以支持动态调整。

**数据质量与标注问题:**数据质量与标注瓶颈制约AI在天文研究中的效能发挥。LAMOST望远镜虽已积累千万级光谱数据,但在实际应用中仍面临双重挑战:在数据质量层面,观测数据普遍存在信噪比波动、系统误差、光谱污染等干扰因素,且不同观测周期的数据质量存在显著差异;在数据标注层面,特殊天体(如激变变星、沃尔夫-拉叶星等)的标注样本稀缺,且现有标注体系在物理参数(如金属丰度、表面重力等)的标注精度和一致性有待提升。这些问题导致AI模型面临训练数据分布偏差、标注

噪声干扰等挑战,严重制约了模型泛化能力和科学发现的可信度。突破这一瓶颈需要建立多维度解决方案:(1) 开发基于物理模型的数据质量增强算法,如生成对抗网络(GAN);(2) 构建专家协同的智能标注平台;(3) 探索小样本学习和半监督学习等新型算法范式;(4) 建立标准化的天文数据质量评估体系。

**模型解释性不足:**可解释性瓶颈制约人工智能在天文学中的深度应用。当前主流的深度学习的模型虽然展现出卓越的预测性能,但其“黑箱”特性导致模型决策过程缺乏物理可解释性。这种解释性缺失主要表现在三个层面:首先,复杂的网络架构和数以百万计的参数使得模型内部工作机制难以追溯;其次,特征提取过程与天体物理机制之间缺乏明确的对应关系;最后,预测结果往往无法与现有的天体物理理论建立直接关联。这种状况严重阻碍了天文学家对模型输出的物理验证和理论解释,不仅限制了AI方法在天文发现中的可信度,也制约了其在天体物理机制研究等深层次科学问题中的应用潜力。为突破这一瓶颈,亟需发展具有物理约束的可解释AI算法,建立模型输出与天体物理理论之间的桥梁。

**计算资源需求庞大:**算力需求成为AI驱动天文研究的关键瓶颈。以深度学习为代表的人工智能算法在应用于LAMOST海量光谱数据处理时,面临着严峻的计算挑战:首先,模型训练阶段需要处理PB级的天文数据,往往需要数千GPU小时的算力支持;其次,推理过程对实时性要求较高,需要持续稳定的高性能计算资源保障。这种需求直接导致三方面问题:(1) 硬件投入成本呈指数级增长,单个大型模型的训练可能消耗数十万元计算资源;(2) 系统架构复杂度激增,需要专业团队维护异构计算环境;(3) 能源消耗巨大,与绿色天文观测理念产生冲突。要突破这一瓶颈,需要从算法轻量化、分布式计算优化、专用硬件加速等多个维度进行协同创新,构建适应天文研究特点的高效能计算解决方案。

## 四、未来展望

作为国际领先的大视场多目标光谱巡天望远镜, LAMOST 凭借其革命性的设计理念——5 度超大视场与 4000 根光纤并行观测能力, 已成为当代银河系恒星普查的标杆性设施。这一独特设计使其在恒星化学丰度与运动学研究领域展现出无可比拟的优势, 有效填补了美国 SDSS 和欧空局 GAIA 等国际巡天项目在银河系精细解剖方面的空白。当 SDSS 望远镜给星空拍“证件照”, GAIA 卫星记录恒星“舞步”时, LAMOST 正在破解它们的“生命密码”——通过光谱分析, 测量恒星的“宇宙年龄”(金属含量), 追踪“星际移民”(运动轨迹), 发现宇宙“活化石”(贫金属星)。

通过与 SDSS、GAIA 等国际巡天数据的深度互补与融合, LAMOST 为构建银河系三维化学-动力学图谱提供了关键数据支撑。展望未来, 正在规划中的 LAMOST-II 升级计划将通过新一代光纤系统和探测器的革新, 将观测极限星等推至  $V \sim 20$ , 这将在以下前沿领域实现重大突破: 银河系晕区暗弱恒星的系统性研究、近邻星系考古学的高精度光谱解析、特殊天体的深度搜寻与表征。在人工智能技术的强力驱动下, LAMOST 的数据处理能力正经历革命性变革。基于深度学习的智能光谱处理系统(如自动谱线识别、参数测量)不仅将天文学家从繁琐的数据处理中解放出来, 更开创了“智能观测”的新范式。正在研发的望远镜智能体系统可实现: 多望远镜自主协同观测、实时数据质量评估、自适应观测策略优化、智能科学目标推荐。这种观测-分析-决策的闭环智能化, 将观测效率提升了一个数量级。特别值得关注的是, AI 与 LAMOST 的深度融合正在重塑天文学研究范式。数据驱动发现: 通过无监督学习挖掘隐藏在天体光谱中的新规律; 可解释 AI: 建立光谱特征与物理参数之间的透明关联; 虚拟观测: 利用生成模型预测未观测天体的光谱特征。在科学普及方面, LAMOST 与 AI 的结合正在打破天文研究的专业壁垒。通过开发交互式科普

平台、构建可视化数据探索工具、建立公众科学项目, 让更多天文爱好者能够直接参与前沿研究, 真正实现“全民科学”的愿景。从解码太阳系“近邻故事”, 到探寻宇宙第一代恒星, LAMOST 正与 AI 携手揭开更多星空谜题。就像伽利略第一次将望远镜指向夜空, 我们正在经历观测宇宙的新革命——只不过这次, 人类有了智能机器作为探索伙伴。站在新的历史起点, LAMOST 与人工智能的协同发展将持续推动天文学研究向更深更广的维度拓展。从银河系形成演化这一基本科学问题, 到宇宙物质分布的终极探索, 这一强强联合必将为人类认识宇宙提供更多关键线索, 开创 21 世纪天文学研究的新纪元。

## 参考文献

- [1] Zhu Hai, Guo Rui, Shen Juntai, Liu Jianglai, Liu Chao, Xue Xiang-Xiang, Zhang Lan, Mao Shude, Deciphering the Kinematic Substructure of Local Dark Matter with LAMOST K Giants [J], *The Astrophysical Journal*, 2024, 974(2), id.167, 1-23
- [2] Wang Guan-Yu, Wang Hai-Feng, Luo Yang-Ping, Ting Yuan-Sen, Tepper-García Thor, Bland-Hawthorn Joss, Carlin Jeffrey, Galactic-Seismology Substructures and Streams Hunter with LAMOST and Gaia. I. Methodology and Local Halo Results [J], *The Astrophysical Journal*, 2024, 974(2), id.219, 1-24
- [3] Shen Yue-Yue, Luo A. -Li, Distance and stellar parameter estimations of solar-like stars from the LAMOST spectroscopic survey [J], *Astronomy & Astrophysics*, 2024, 691, id.A218, 17
- [4] Ju Jie, Zhang Bo, Cui Wenyuan, Huo Zhenyan, Liu, Chao, Huang Yang, Shi Jianrong, The Blue Horizontal-branch Stars from the LAMOST Survey: Atmospheric Parameters [J], *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 2025, 276(1), id.12, 1-11
- [5] Škoda P., Podsztavek O., Tvrđik P., Active deep learning method for the discovery of objects of interest in large spectroscopic surveys [J], *Astronomy & Astrophysics*, 2020, 643, id.A122, 1-14
- [6] Jing Yingjie, Mao Tian-Xiang, Wang Jie, Liu Chao, Chen Xiaodian, Half a Million Binary Stars Identified from the Low-resolution Spectra of LAMOST [J], *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 2025, 277(1), id.15, 1-8
- [7] Li Chun-qian, Shi Jian-rong, Yan Hong-liang, Bai Zhong-rui, Wang Jiang-tao, Ding Ming-yi, LAMA: LAMOST Medium-Resolution Spectral Analysis Pipeline [J], *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 2025, 277(1), id.15, 1-8

- ment Series, 2024, 273(2), id.18, 1-18
- [8] Hou Xiaokun, Zhao Gang, Li Haining, Very metal-poor stars I: a catalogue derived from LAMOST DR9 [J], Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2024, 532(1), 1099-1111
- [9] Cai Jianghui, Zhang Mingxing, Yang Haifeng, Shi Chenhui, Zhou Lichan, He Yanting, Su Meihong, Zhao Xujun, Chen Jiongyu, Data mining techniques on astronomical spectra data - III. Association analysis [J], Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2024, 532, (1), 223-240
- [10] Cai Jianghui, Yan Zeyang, Yang Haifeng, Chen Xin, Zheng Aiyu, Hao Jing, Zhao Xujun, Xun Yaling, Stellar spectral template library construction based on generative adversarial networks [J], Astronomy & Astrophysics, 2024, 687, id.A15, 1-14
- [11] Yang Hai-Feng, Wang Rui, Cai Jiang-Hui, Luo A-Li, Du Bing, He Yan-Ting, Su Mei-Hong, Shi Chen-Hui, Zhao Xu-Jun, Xun Ya-Ling, Yuan Yi-Nan, A Sample of Am and Ap Candidates from LAMOST DR10 (v1.0) Based on the Ensemble Regression Model [J], The Astrophysical Journal Supplement Series, 2024, 272(2), id.43, 1-14
- [12] Wu Jingjing, He Yuchen, Wang Wenyu, Qu Meixia, Jiang Bin, Zhang Yanxia, Classification of Astronomical Spectra Based on Multiscale Partial Convolution [J], The Astronomical Journal, 2024, 167(6), id.260, 1-19
- [13] Wang Hai-Feng, Carraro Giovanni, Li Xin, Li Qi-Da, Spina Lorenzo, Chen Li, Wang Guan-Yu, Deng Li-Cai, Age Determination of LAMOST Red Giant Branch Stars Based on the Gradient Boosting Decision Tree Method [J], The Astrophysical Journal, 2024, 967(1), id.37, 1-13
- [14] Tang Xin-Zhe, Zhao Jing-Kun, Yang Yong, Ye Xian-Hao, Zhao Gang, Gao Qi, Visit Nearby Halo Substructures Using LAMOST DR9 MRS Data [J], The Astrophysical Journal, 2024, 965(1), id.62, 1-12
- [15] Tang Yihu, Wang Yingfu, Duan Shipeng, Liang Jiadong, Cai Zeyu, Liu Zhigang, Hu Hongzhuan, Wang Jianping, Chu Jiaru, Cui Xiangqun, Zhang Yong, Zhang Haotong, Zhou Zengxiang, Fault Diagnosis of the LAMOST Fiber Positioner Based on a Long Short-term Memory (LSTM) Deep Neural Network [J], Research in Astronomy and Astrophysics, 2023, 23(12), id.125006, 1-15
- [16] Hu Tianzhu, Zhang Yong, Yan Jiaqi, Liu Ou, Wang Huaiqing, Cui Xiangqun, Intelligent monitoring and diagnosis of telescope image quality [J], Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2023, 525(3), 3541-3550
- [17] Jia Yongle, Guo Sufen, Zhu Chunhua, Li Lin, Ma Mei, Lü Guoliang, Identifying Symbiotic Stars with Machine Learning [J], Research in Astronomy and Astrophysics, 2023, 23(10), id.105012, 1-14
- [18] Li Xiangru, Zhang Xiaoyu, Xiong Shengchun, Zheng Yulong, Li Hui, Parameter estimation of LAMOST Medium-Resolution Stellar Spectra [J], Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2023, 523(4), 5230-5247
- [19] Chen Jing, Li Yin-Bi, Luo A-Li, Ma Xiao-Xiao, Li Shuo, S-type Stars from LAMOST DR10: Classification of Intrinsic and Extrinsic Stars [J], The Astrophysical Journal Supplement Series, 2023, 267(1), id.5, 1-17
- [20] Wang Chun, Huang Yang, Zhou Yutao, Zhang Huawei, Precise masses and ages of 1 million RGB and RC stars observed by LAMOST [J], Astronomy & Astrophysics, 2023, 675, id.A26, 1-12
- [21] Li Xiangru, Lin Boyu, Estimating stellar parameters from LAMOST low-resolution spectra [J], Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2023, 521(4), 6354-6367
- [22] Wang Rui, Luo A-Li, Zhang Shuo, Ting Yuan-Sen, O'Briain Teaghan, Lamost Mrs Collaboration, Stellar Parameters and Chemical Abundances Estimated from LAMOST-II DR8 MRS Based on Cycle-StarNet [J], The Astrophysical Journal Supplement Series, 2023, 266(2), id.40, 1-18
- [23] Zhang Lan, Xue Xiang-Xiang, Yang Chengqun, Wang Feilu, Rix Hans-Walter, Zhao Gang, Liu Chao, A Catalog of Distance Determinations for the LAMOST DR8 K Giants in the Galactic Halo [J], The Astronomical Journal, 2023, 165(6), id.224, 1-10
- [24] Yang Hai-Feng, Yin Xiao-Na, Cai Jiang-Hui, Yang Yu-Qing, Luo A-Li, Bai Zhong-Rui, Zhou Li-Chan, Zhao Xu-Jun, Xun Ya-Ling, An in-depth Exploration of LAMOST Unknown Spectra Based on Density Clustering [J], Research in Astronomy and Astrophysics, 2023, 23(5), id.055006, 1-14
- [25] Gao Jialin, Chen Jianyu, Wei Jiaqi, Jiang Bin, Luo A-Li, Deep Multimodal Networks for M-type Star Classification with Paired Spectrum and Photometric Image [J], Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 2023, 135(1046), id.044503, 1-9
- [26] Wang Li-Li, Zheng Wen-Yan, Rong Li-Xia, Yang Guang-Jun, Zhang Jun-Liang, Xie Yan-Hong, Wang Wen-Bo, Zhao Li-Min, Spectral classification of LAMOST emission line galaxies based on machine learning methods [J], New Astronomy, 2023, 99, article id. 101965.
- [27] Yang Haifeng, Shi Chenhui, Cai Jianghui, Zhou Lichan, Yang Yuqing, Zhao Xujun, He Yanting, Hao Jing, Data mining techniques on astronomical spectra data - I. Clustering analysis [J], Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2022, 517 (4), 5496-5523

- [28] Li Zhuohan, Zhao Gang, Chen Yuqin, Liang Xilong, Zhao Jingkun, The stellar parameters and elemental abundances from low-resolution spectra - I. 1.2 million giants from LAMOST DR8 [J], Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2022, 517(4), 4875-4891
- [29] Li Qi-Da, Wang Hai-Feng, Luo Yang-Ping, Li Qing, Deng Li-Cai, Ting Yuan-Sen, Mass and Age Determination of the LAMOST Data with Different Machine-learning Methods [J], The Astrophysical Journal Supplement Series, 2022, 262(1), id.20,1-17
- [30] Xiang Yue, Gu Shenghong, Cao Dongtao, Investigation of stellar magnetic activity using variational autoencoder based on low-resolution spectroscopic survey [J], Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2022, 514(4), 4781-4793
- [31] He Xu-Jiang, Luo A. -Li, Chen Yu-Qin, Identification, mass, and age of primary red clump stars from spectral features derived with the LAMOST DR7 [J], Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2022, 512(2), 1710-1721
- [32] Li, Haining, Fuzzy Cluster Analysis: Application to Determining Metallicities for Very Metal-poor Stars [J], The Astrophysical Journal, 2021, 923(2), id.183, 1-15
- [33] Yang Yong, Zhao Jingkun, Zhang Jiajun, Ye Xianhao, Zhao Gang, Tracing the Origin of Moving Groups. III. Detecting Moving Groups in LAMOST DR7 [J], The Astrophysical Journal, 2021, 922(2), id.105, 1-8
- [34] Zhou Ming, Lv Guanru, Li Jian, Zhou Zengxiang, Liu Zhigang, Wang Jianping, Bai Zhongrui, Zhang Yong, Tian Yuan, Wang Mengxin, Wang Shuqing, Hu Hongzhan, Zhai Chao, Chu Jiaru, Dong Yiqiao, Yuan Hailong, Zhao Yongheng, Chu Yaoquan, Zhang Haotong, LAMOST Fiber Positioning Unit Detection Based on Deep Learning [J], Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 2021, 133(1029), id.115001, 1-9
- [35] Lu Y, Luo A. -L, Wang L. -L, Qin L, Wang R, Chen X. -L, Du B, Zuo F, Hou W, Chen J. -J, Tang Y. -K, Han J. -S, Zhao Y. -H, Study on outliers in the big stellar spectral dataset of the fifth data release (DR5) of the Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope (LAMOST) [J], Astronomy and Computing, 2021, 36, article id. 100485
- [36] Yang Haifeng, Zhou Lichan, Cai Jianghui, Shi Chenhui, Yang Yuqing, Zhao Xujun, Duan Juncheng, Yin Xiaona, Data mining techniques on astronomical spectra data - II. Classification analysis [J], Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2023, 518(4), 5904-5928
- [37] Xiang Guanjie, Chen Jianjun, Qiu Bo, Lu Yakun, Estimating Stellar Atmospheric Parameters from the LAMOST DR6 Spectra with SCDD Model [J], Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 2021, 133(1020), id.024504, 1-12
- [38] Hu Tian Z., Zhang Yong, Cui Xiang Q., Zhang Qing Y., Li Ye P., Cao Zi H., Pan Xiu S., Fu Ying, Telescope performance real-time monitoring based on machine learning [J], Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2021, 500(1), 388-396
- [39] Cai Jianghui, Li Yating, Yang Haifeng, A new method for clustering of boundary spectra [J], Journal of Astrophysics and Astronomy, 2020, 41(1), article id.15
- [40] Wang Rui, Luo A. -Li, Chen Jian-Jun, Hou Wen, Zhang Shuo, Zhao Yong-Heng, Li Xiang-Ru, Hou Yong-Hui, LAMOST MRS Collaboration, SPCANet: Stellar Parameters and Chemical Abundances Network for LAMOST-II Medium Resolution Survey [J], The Astrophysical Journal, 2020, 891(1), id.23, 1-12
- [41] Zheng Zi-Peng, Qiu Bo, Luo A. -Li, Li Yin-Bi, Classification for Unrecognized Spectra in LAMOST DR6 Using Generalization of Convolutional Neural Networks [J], Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 2020, 132(1008), id. 024504 (2020)., 1-13
- [42] Hou Wen, Luo A.-li, Li Yin-Bi, Qin Li, Spectroscopically Identified Cataclysmic Variables from the LAMOST Survey. I. The Sample [J], The Astronomical Journal, 2020, 159(2), article id. 43, 1-18
- [43] Xiang M.-S., Liu X.-W., Shi J.-R., Yuan H.-B., Huang Y., Luo A.-L., Zhang H.-W., Zhao Y.-H., Zhang J.-N., Ren J.-J., Chen B.-Q., Wang C., Li J., Huo Z.-Y., Zhang W., Wang J.-L., Zhang Y., Hou Y.-H., Wang Y.-F., Estimating stellar atmospheric parameters, absolute magnitudes and elemental abundances from the LAMOST spectra with Kernel-based principal component analysis [J], Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2017, 464(3), p.3657-3678