

LAMOST 光谱巡天简介

王 丹 张 勇

(中国科学院国家天文台光学天文重点实验室 100101)

大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜(the Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope, 简称 LAMOST), 被冠名为郭守敬望远镜, 是中国首个天文重大科技基础设施。LAMOST 是我国天文学家自主研制的、同时兼具大口径和大视场的巡天望远镜, 由中国科学院国家天文台负责运行和管理, 目前位于国家天文台兴隆观测基地。LAMOST 于 2011 年正式投入观测运行。作为一架巡天型光学望远镜, LAMOST 所观测的目标主要是宇宙中的各类天体的光谱。得益于其世界领先的光谱获取能力, LAMOST 已发布了超过 2500 万条天体光谱, 构建了目前人类最大的天文光谱数据库。LAMOST 大规模高性能巡天数据推动天文基础研究在众多个科学领域取得重要进展, 特别是它改变了人类对于银河系以及其中各类天体的认知, 助力中国天文在银河系研究领域处于世界领跑地位。本文将介绍 LAMOST 的特征、观测与数据和科学产出, 揭示 LAMOST 数据如何帮助我们更好的了解宇宙。

一、郭守敬望远镜(LAMOST)简介

天文学是一门建立在观测之上的科学。约 400 年前, 著名意大利天文学家伽利略, 首次使用望远镜观察夜空, 这一伟大创举将天文学的研究从人眼观看进入了以工具观测为主要手段的阶段。最初, 天文观测主要集中于特定的天体或小区域。随着望远镜技术的进步和人类探索宇宙的持久热情, 天文学家们开始采用一种新的观测方式, 他们不再仅关注特定区域, 而是追求观测覆盖整个或大部分的夜空, 对所有天体进行全面的普查。这种更广泛的

观测方式叫作巡天。

21 世纪以来, 天文观测进入光谱巡天时代。区别于测光巡天的“拍照片”模式, 光谱巡天通过分光仪器, 将天体的光信号转成光谱, 让天文学家能够额外获得天体的能量分布、物质组成、径向速度等信息, 极大地扩展了人类理解天体的信息维度。巡天对望远镜最核心的要求是需要具备大视场和大口径, 也就是既要“看得远”又要“看得广”。

LAMOST 是一架专门为大规模光谱巡天所设计的颠覆性的望远镜(如图 1 所示)^[1], 其设计理念源自 20 世纪 90 年代王绶琯院士和苏定强院士等提出的创新构想。这台望远镜采用了世界上独一无二的主动式反射施密特光学系统, 其施密特改正镜(副镜)兼跟踪反射镜能够连续改变镜面的形状, 形成连续变化的反射式施密特系统, 这一功能由主动光学技术实时控制, 解决了以往巡天望远镜“大口径”与“大视场”不可兼得的问题。

LAMOST 项目立项之前, 人类观测到的天体数目虽达到上百亿, 但进行过光谱观测的天体仅占总数的万分之一。20 世纪 90 年代, 我国为促进天文学研究的发展, 重振天文学的辉煌, 向全国天文界征集未来重大天文观测设备的建设方案。天文学家瞄准了大规模光谱巡天的科学目标, 最终 LAMOST 以其独特的优势和创新的理念从众多项目中脱颖而出, 正式立项为国家重大科学工程。为了抢占科学先机, 天文学家选择了兴隆观测站作为台址建设 LAMOST。

LAMOST 由三个核心部件组成(如图 2 所示): 主动非球面施密特改正镜(Ma)、球面主镜(Mb)以及两者之间的焦面系统。施密特改正镜 Ma 可以跟踪

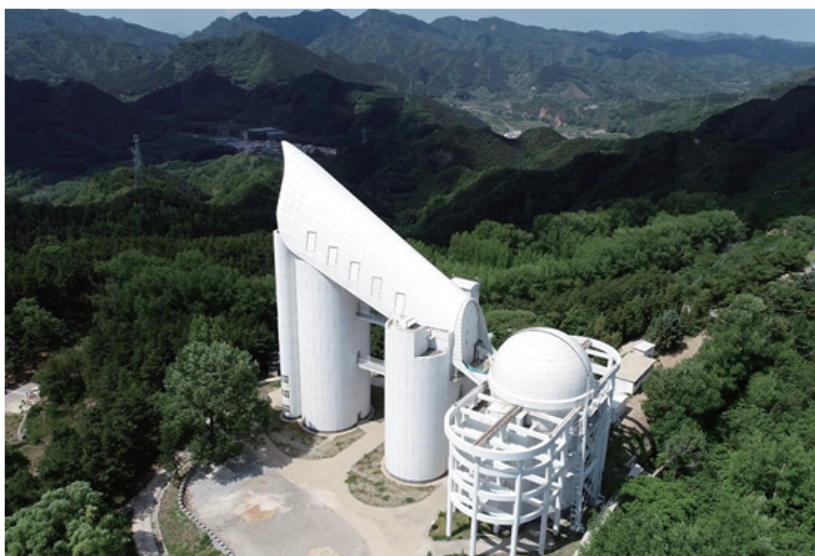


图1 LAMOST鸟瞰图

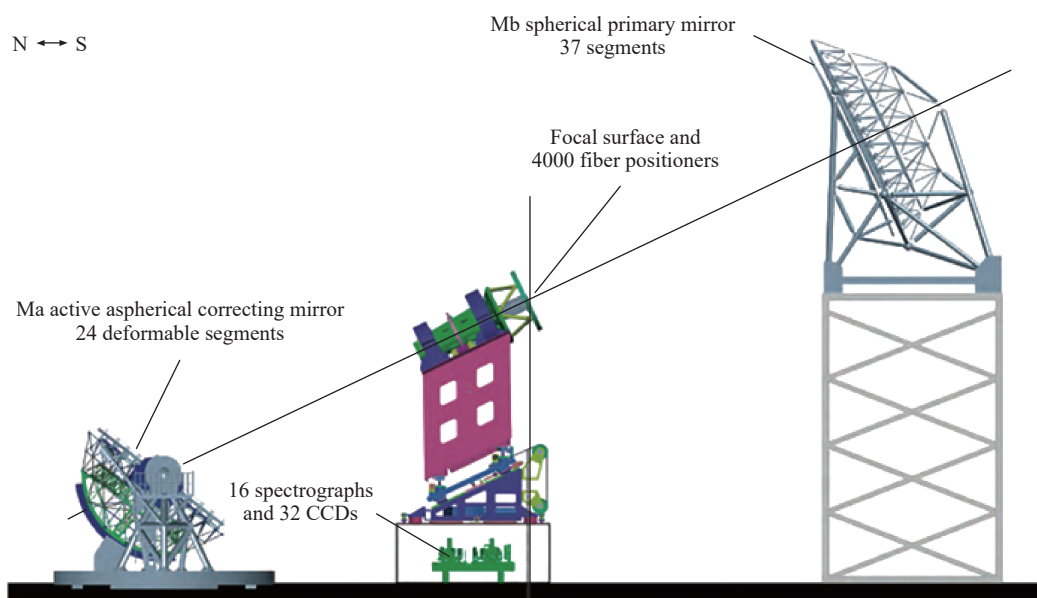


图2 LAMOST结构图

天体的运动,将天体的光反射到固定在地基上的球面主镜Mb,再经主镜反射后成像在焦面上。这里的施密特改正镜Ma和球面主镜Mb分别由24块对角径1.1米的可变形的六角形平面子镜和37块对角径1.1米的不可变形的六角形球面子镜拼接而成。LAMOST的有效口径在3.6米至4.9米之间变化,视场(FOV)达5°,一次观测可以覆盖天空中约20平方度的天区面积。其焦面配有4000根光纤和光纤定

位单元,光纤末端连接到16台光谱仪,最多可以同时记录4000个天体的光谱,遥遥领先于当时国际上其他同类望远镜。

LAMOST作为研究重大天体物理问题的大口径光谱巡天设备,其背后离不开大量关键技术的创新,这包括大口径拼接镜面技术、改正镜兼跟踪反射镜技术、分小区并行可控的大规模光纤定位技术、海量数据处理技术等。其中这两块大口径拼接

镜面创新地采用了组合薄镜面主动光学和拼接镜面主动光学技术,可以在观测过程中主动实时调节镜面的形状和位置,保证光学系统的高精度和高稳定性,获得任何常规光学系统不可能实现的性能。分小区并行可控的大规模光纤定位技术则是一种我国原创的国际领先的技术,它可以同时精确定位4000个观测目标,极大地提高了观测效率。将如此多高难度技术问题逐一攻克,并保持独立自主,其难度在国际上都是极其罕见的。在天文实测两大门类——“精测”和“普测”中,LAMOST通过一系列自主创新技术,在“普测”领域站在了国际前列。LAMOST开创了大规模光谱巡天之路,目前国内外数十台望远镜借鉴大规模光谱巡天思想,已经或计划开展巡天工作。LAMOST的成功研制攻克了机械制造、精密控制、自动化跟踪以及大规模数据分析等方面的一系列关键技术难题,这些技术成果不仅应用于天文学研究,也辐射到了多个交叉学科和技术产业,极大地推动了中国光学天文研究的整体实力和发展水平。为中国建造更大口径天文光学红外望远镜打下坚实的技术基础、积累了宝贵的技术力量、人才队伍和运行管理经验。

二、LAMOST的观测与数据

LAMOST的巡天观测目标和观测策略由科学

委员会讨论制定,该委员会由来自中国光学天文各领域的专家组成,以确保LAMOST巡天涵盖尽可能多的感兴趣的科学。

LAMOST于2011年开始巡天观测,其中2011~2012年为测试观测,2012年后,每5年进行一期巡天,至今已经完成了I和II两期巡天,2023年9月起开始III期巡天。在图3中,我们展示了LAMOST巡天覆盖的所有天区,由于LAMOST建设于北半球,因此仅能覆盖北半球的天空。LAMOST I、II期巡天的参数对比如表1。LAMOST II期分辨率的提高能够从更多的细节上反映天体的物理性质,特别是对于其元素丰度、径向速度、恒星活性等方面。此外,中分辨率的加入还使得II期巡天能够测量一部分物理性质随时间有显著变化的天体。LAMOST的I期和II期巡天的主要策略是尽可能全面地覆盖可观测天空,而III期巡天则主要是时域巡天和高价值目标巡天。在III期巡天中,时域巡天覆盖了中低两种色散模式,且观测所覆盖的时间间隔灵活性更高,间隔更均匀,为双星演化、系外行星、致密天体、恒星活动等研究提供了空前规模的光谱数据^[2]。

由于一次性能观测多达4000个天体,LAMOST凭借独一无二的光谱获取效率成为了迄今为止发布光谱数量最多的望远镜。2015年,LAMOST所获取的数据就已经成为了世界第一,这一

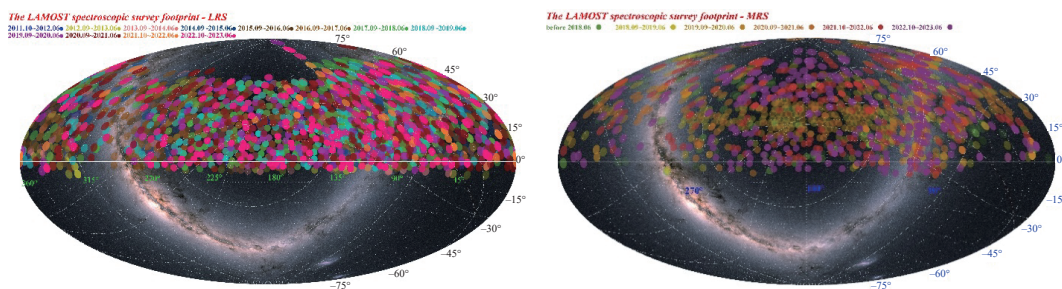


图3 LAMOST DR11低、中分辨率巡天天区覆盖图

表1 LAMOST I、II期光谱巡天参数对比

巡天模式	光谱分辨率	光谱波长覆盖范围	星等范围	巡天时间
低分辨率光谱巡天	$R \sim 1,800$	3700 Å ~ 9000 Å	$9.0 \leq r \leq 17.5$	2011年9月至今
中分辨率光谱巡天	$R \sim 7,500$	蓝端: 4950 Å ~ 5350 Å 红端: 6300 Å ~ 6800 Å	$9.0 \leq g \leq 15.0$	2017年9月至今

数字还在以每年约180万的速度增长,目前它的光谱数量是世界上其他巡天项目发布光谱总和的2倍。截至2024年3月,LAMOST发布了超过2500万条天体光谱供天文学家使用。这些数据极大地推动了天文学多个前沿领域研究,尤其是在恒星物理和银河系科学方面取得了显著成就。

三、LAMOST的科学产出分析

在过去的十余年中,天文学领域见证了一系列重大科学突破^[1]。LAMOST在其中发挥了至关重要的作用。这主要得益于LAMOST提供了以前无法想象的海量光谱数据,为天体物理学家重新认识银河系打开新视角。LAMOST项目的科学目标主要是银河系结构与形成演化的研究、恒星物理的探究、致密天体以及稀有天体的搜寻研究、星系和类星体的研究等,天文学家利用LAMOST数据已经并正在这些前沿领域取得一系列创新性和突破性的研究成果。截至2023年底,在LAMOST的观测数据帮助下,天文学家发表了超过1500篇论文,其内容涉及系外行星、恒星、致密天体(黑洞、中子星、白矮星)、银河系、河外星系、类星体等天体,引用次数超过16000次。2021年以来,LAMOST年发表论文数超过200余篇,在全球最大的10架正在运行的地面光学望远镜科学产出中排名第三,仅次于欧洲南方天文台的甚大望远镜(由4台8.2米口径的望远镜组成)和美国凯克望远镜(由2台10米口径的望远镜组成)。LAMOST数据也受到了国际天文学界的广泛关注,超过40%的LAMOST科学论文由海外研究团队发表。

四、总结

LAMOST的独特之处不仅在于其技术创新,还在于实现了天区覆盖、巡天体积、采样密度及统计

完备性等方面的重大突破,填补了中国大型天文基础数据的空白,为国际天文学开展银河系研究提供了前所未有的、具有传承价值的数据库资源。这些数据不仅推动了对银河系的深入研究,还为多种天体物理现象的探索提供了关键线索,包括恒星的形成、演化和宇宙距离尺度的测量。LAMOST的成果在多个层面展现了其对现代天文学的贡献,这些贡献既包括大型光谱巡天望远镜的建造技术,又包括海量天文数据的观测与处理,当然更主要的是它提高了我们对宇宙中各类天体结构和历史的理解。LAMOST望远镜和它十余年的巡天已经成为当代天文学中的一个重要里程碑。

参考文献

- [1] Cui X Q, Zhao Y H, Chu Y Q, et al. The Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope (LAMOST). *Res Astron Astrophys*, 2012, 12: 1197-1242.
- [2] Luo A L, Zhao Y H, Zhao G, et al. The first data release (DR1) of the LAMOST regular survey. *Res Astron Astrophys*, 2015, 15: 1095-1124.
- [3] Yan H L, Li H N, Wang S, et al. Overview of the LAMOST survey in the first decade. *The Innovation*, 2022, 3:100224.

