

# 天体光谱获取率最高的望远镜——LAMOST

赵永恒

现代天文学所研究的对象,即各种各样的天体,几乎都是“看得见而摸不着”的。于是,1825年法国哲学家孔德在他的《实证哲学讲义》中断言“恒星的化学组成是人类绝不能得到的知识”,以此来说明人类认识的局限性。然而,孔德的预言被30年之后的天体光谱术打破了,方法就是将天体的光通过天文望远镜和光谱仪分解成光谱,再分析研究光谱照片。利用天体光谱不但能够确定天体化学组成,而且还能确定其温度、压力、密度、磁场和运动速度等物理条件。

150年来,天文学家为观测各种天体光谱而建造各式各样的望远镜和光谱仪,使人类对天体化学组成和物理本质的认识突飞猛进。迄今为止,光谱分析也是目前天文学研究中最成熟的工具之一。在认识天体性质和行为方面,光学波段光谱的物理信息含量最大、积累最多,运用也最成熟。但是,迄今由“成像巡天”记录下来的数以百亿计的天文目标中,除很小一部分(约 $1/10^4$ )经过光谱测量外,其他急需进行此类观测以确定其物理性质。

解决光谱测量效率低的问题,首先需要同时测量多个天文目标光谱的技术。多目标光纤光谱技术蓬勃发展于20世纪80年代,到本世纪初已趋成熟并开始广泛用于天文观测。目前国际上最先进的技术能用400~600根光纤将视场中400~600个目标的光引入光谱仪同时测量,应当说这是近百年来天文技术的一大进步。英澳天文台的2dF计划使用的是澳大利亚英澳天文台(AAO)的3.9米英澳望远镜(AAT),其视场为 $2^\circ$ ,有400根光纤,该计划于1997年开始试观测、2002年完成观测任务,其星系红移巡天(2dFGRS)项目获得了22万条星系光谱、其类星体巡天(2QZ)项目获得了2.3万条类星体光谱,数据已于2002年底全部释放。美国的Sloan数字化巡天(SDSS)计划利用设在美国Apache Point天文台(APO)的2.5米望远镜,其视场为 $3^\circ$ ,有640根光纤,该计划于1999年开始试观测、2005年完成第一期观测,目前正在进行第二期观测。第一期目



标集中在星系和宇宙学观测,共获得67.5万个星系、9万个类星体和1.85万个恒星的光谱。第二期SDSS巡天除继续完成一期未观测的天区外,还扩展到恒星和银河系结构(SEGUE)和超新星巡天,SEGUE计划对3500平方度进行测光观测,并对24万个恒星进行光谱观测,其巡天已于2005年开始,计划于2008年完成。

天文学的发展越来越清楚地表明,天体物理和宇宙学中的很多重大

基本问题(例如宇宙的结构、星系的形成和演化,银河系结构的形成和演化等等)都涉及非常复杂的物理过程和多方面影响,因此研究这些物理问题必然依赖于大量样本的统计性质。换句话说“重大课题”往往是“宏大课题”,只有获得足够大的样品,才可能从观测资料出发确定是哪些物理过程决定了宇宙中各类天体的性质,并从中找出决定宇宙或我们银河系主要特征的某些关键物理过程。另一方面,技术进步以相对一致的方法使合理时间范围内获得数百万乃至数千万样品的光谱成为可能,大样本天文学已经越来越成为目前天文学发展的一个重要方向。

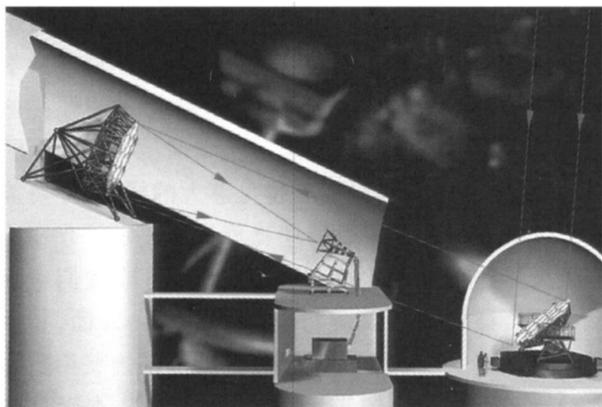
事实表明,21世纪初大视场多目标光谱观测将会达到一个极大飞跃,世界各国天文学家都在向着这个方向积极努力。这对中国天文学来说是一个重大的机遇和挑战。本文介绍的就是世界上天体光谱获取率最高的望远镜——LAMOST。

## LAMOST的原理和特点

LAMOST的全称是“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),其任务就是对天体光谱的“普遍巡天”,即对天体进行“人口普查”。目前,国际天文界已经掌握的天体光谱只占已观测到天体的 $1/10^4$ 左右。LAMOST在北天视场内会对1000万个天体进行光谱测量,将在国际天文学界处于领先地位。美国SDSS是目前国际上光谱观测最大的天文望远镜,但其光谱测量目标仅为LAMOST的 $1/10$ ,LAMOST将成为世界上天体光谱获

取率最高的天文望远镜。

LAMOST 是一架横卧于南北方向的中星仪式反射施密特望远镜(如图),两面镜子的大小分别为 5 米和 6 米,焦距长 20 米,视场  $5^\circ$ ,可同时观测 4000 个天体,在 1.5 小时曝光时间内可得到暗达 20.5 等的天体光谱。球面主镜和光谱仪均固定,所有镜面(包括球面主镜和非球面反射镜)均化整为零(即多镜拼装)。系统主要活动部分为反射镜,球面主镜由 37 块子镜组成、非球面反射镜由 24 块子镜组成。这些设计跨越式提高了大规模光谱测量天文望远镜能的能力,LAMOST 的光谱观测能力是国际上同类项目(2dF、SDSS)的 6~10 倍。结合 LAMOST 拟建台址的天文气候质量计算,约 5 年内,它将在 2.4 万平方度的天区上观测到 1000 万数量级的天体,比 SDSS 提高了一个数量级。



LAMOST 示意图

LAMOST 能突破 2dF 和 SDSS 的观测数量和速度的一个重要原因就是应用了主动光学。主动光学技术成熟于 20 世纪 80 年代,应用主动光学技术的望远镜能够及时调整镜面以减小或抵消因温度变化和重力等因素引起的望远镜成像问题。在 LAMOST 项目上,主动光学主要用于 5 米口径的反射改正镜,主动改正镜能够跟踪特定天体,在观测过程中不断改正以获得较好星像。因此 LAMOST 的特点在于口径与视场的结合——大口径兼备大视场,大视场相当于照相机的广角镜头。国际已有的 8 米、10 米口径光学望远镜,其视场只有十几到几十角分,而  $5^\circ$  的视场在国际上也有,但到目前为止其口径最大也只有 1 米多。

LAMOST 的另一个特点就是“多目标”。LAMOST 将在 1.75 米焦面上放置 4000 根光纤。与国际现有的多目标、多光纤望远镜(如 400 光纤的

2dF、640 光纤的 SDSS)相比,LAMOST 的 4000 根光纤并行可控。SDSS 是那种要事先根据观测对象的位置在铝片上打孔,再用人工插入光纤的半自动化望远镜,观测不同天区时若需相应调整还要重新更换铝板、再次插入光纤。LAMOST 的 4000 根光纤由计算机控制,可以做出任何调整甚至能在观测时对个别光纤做出微调。

### LAMOST 的建设情况

LAMOST 项目由中国科学院院士王绶绯、苏定强等人提出,1996 年列为国家重大科学工程项目、1997 年正式立项,望远镜位于河北省兴隆县境内的国家天文台兴隆观测站。自 2001 年项目开工以来,经过项目全体建设人员的艰苦努力,完成了主动光学和光纤定位两大关键技术的攻关任务,从 2005 年初转到全面加工制造的阶段,2005 年 9 月开始进入安装调试阶段,在 2007 年初开始安装光学镜面,整个项目进入光机电联调阶段。

2007 年 6 月,LAMOST 小系统(相当于 2 米有效口径的 LAMOST)出光并开始产生观测数据。LAMOST 的“小系统”包括相当于 3 米口径镜面、250 根光纤和 1 台光谱仪以及完整的机架、跟踪和控制系统,小系统的研制成功是项目建设中的一个重要里程碑,标志着项目建设的关键技术难点已全部攻克;尤其是国际领先的薄镜面及拼接镜面主动光学技术和并行可控式光纤两项新技术的成功,为项目建设的全面成功铺平了道路。2007 年 6 月 29 日“LAMOST 小系统验收会”在北京召开,验收专家组一致认为:“LAMOST 小系统的光学质量完全达到了指标要求——星像的 80% 光能量集中在 2 角秒直径的圆内, $3^\circ$  视场内具有良好星像;小系统的多目标光纤光谱系统基本达到预定目标,系统工作正常;望远镜、光纤、光谱仪和 CCD 相机所组成的观测系统集成情况良好;LAMOST 小系统的任务已经完成。LAMOST 小系统的研制成功证明项目总体方案是正确的,技术和工艺是可行的。更重要的是提高了组织管理水平、培养了人才、积累了宝贵经验,为下一步 LAMOST 系统的完全建成打下了坚实基础。”

到 2008 年秋,LAMOST 项目将在目前小系统基础上将两块大镜面的子镜数扩展至 24 和 37 块,将光纤数增加至 4000 根,将光谱仪数量扩展至 16 台,从而全面建成该项目。LAMOST 建成后将成为

我国最大的光学望远镜(主镜口径等效圆直径为6米),将成为国际上最大口径的大视场望远镜和国际上规模最大的光谱巡天望远镜。

### LAMOST 的科学目标

LAMOST 有三大核心研究课题:研究宇宙和星系,星系红移巡天,通过获取的数据进一步研究星系的物理特性。星系物理是目前国际天文界相当热门的话题,宇宙的诞生、星系的形成以及恒星和银河系结构等前沿问题都建立在星系物理研究的基础之上。

研究宇宙大尺度结构依赖于星系红移巡天的工作:获取星系的光谱就能得到星系的红移,然后推知其距离,进而得到三维分布,从而了解整个宇宙的空间结构,以及研究包括星系形成、演化在内的宇宙大尺度结构和星系物理。这是环环相扣的,而获取星系光谱则是最基础的一环。

LAMOST 的目标是观测 1000 万个星系、100 万个类星体、外加 1000 万颗恒星的光谱,由于要比 SDSS 计划所观测的星系和类星体数目多 10 倍,因此可以预计 LAMOST 将以更高精度的方式确定宇宙组成和结构,从而使人类对暗能量和暗物质有更加深刻的认识。

第二个核心课题就是研究恒星和银河系的结构特征。主要瞄准更暗的恒星、观测更多的目标,深入了解银河系更远处恒星的分布和运动情况,从而认识银河系结构。因为 LAMOST 能够做大量恒星的样本,所以可尽量选取更多、更暗的星进行大范围研究。恒星是众多星系的重要组成部分,天文学家通过一颗恒星的光谱就可分析出其密度、温度等物理条件以及其元素构成、含量等化学组成,还可测量出其运动速度和运行轨迹等。研究了不同种类恒星的分布,可以进一步了解清楚银河系结构和形成。

LAMOST 的第三个核心课题是“多波段证认”,天文学界的惯例是在其他波段(比如射电、红外、X 射线、 $\gamma$  射线)发现的天体要拿到光谱中分析。因为光谱理论充分、经验多,因此其他手段搜集到的有关天体资料最终还是要通过光谱来确认。作为光谱获取率最高的天文望远镜, LAMOST 对光学天文学的意义不言而喻。而多波段证认本身也是 LAMOST 的三大课题之一,通过与其他波段巡天望远镜(如 X 射线望远镜)相结合,它对许多天文学前沿问题的解决都能起到相当大的作用。

总之, LAMOST 项目是一架我国自主创新设

计、技术挑战非常大的大型光学望远镜,多项技术处于国际前沿,是有望获得世界瞩目科学成就的重大科学工程。LAMOST 开创了一种新的望远镜类型(大视场兼大口径望远镜),打破了大视场望远镜不能兼有大口径的瓶颈,被国际上誉为“建造地面高效率大口径望远镜的最好方案”。LAMOST 创造了几个世界第一:首次在一块大镜面上同时应用薄镜面(可变形镜面)和拼接镜面主动光学技术,首次实现六角形的主动可变形镜面,首次在一个光学系统中同时采用两块大口径拼接镜面,首次应用 4000 根光纤定位技术(目前国际同类设备仅有 640 根光纤)。LAMOST 建成后将成为我国最大的光学望远镜(主镜口径等效圆直径为 6 米)、国际上最大的大视场望远镜,使人类观测天体光谱的数目提高一个数量级(至千万量级),我国在大视场多目标光纤光谱观测方面也将处于国际领先地位。

LAMOST 将对人类认识宇宙起源、星系形成与演化、银河系结构、恒星演化等诸多研究领域做出重大贡献,在建设过程中发展起来的新技术也大大推动了我国在光学仪器制造、精密机械、电子技术、海量数据处理等技术科学领域的发展,并为我国正在预研的下一代 30~100 米极大光学/红外望远镜以及科研、生产和国防建设的发展提供了可靠技术储备。诚如 2007 年 3 月欧洲南方天文台 42 米极大光学红外望远镜的项目科学家和项目经理在国家天文台兴隆观测基地参观 LAMOST 后所说的那样:“中国已完全有跑力独立研制极大望远镜”。

(北京市中国科学院国家天文台 100012)

### 作者简介

赵永恒, 1964 年出生于河北省张北县。1990 年于南京大学天文系获博士学位,曾先后在意大利 Arcetri 天文台、香港大学、德国马普学会地外物理所进行合作研究。现任中国科学院国家天文台研究员、博士生导师,国家重大科学工程 LAMOST 项目总经理,中国天文学会常务理事,北京天文学会理事长。



### 更正

2007 年第 4 期 13 页右栏第 16 行的“ $\mu_0 \gg \mu$ ”应为“ $\mu_0 \ll \mu$ ”,特此更正,并向读者致歉。