

# 中国天文科学 大型装置的研制与应用(二)

## ——大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜(LAMOST)\*

中国科学院国家天文台      中国科学院基础研究所

(北京 100012)

(北京 100864)

关键词 天文科学,大型装置,中国

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对不能得到的知识。”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,再把这光谱拍照进行分析研究。

利用天体的光谱,不但能够确定天体的化学组成,而且可以确定天体的温度、压力、密度、磁场和运动速度等物理条件。

150年以来,天文学家们建造各式各样的望远镜和光谱仪来观测各种天体的光谱,使得人类对天体的化学组成和物理本质的认识有了突飞猛进的提高。迄今为止,光谱分析也是目前天文学研究中最为成熟的工具之一。

对于天体性质和行为的认识,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体目标中,只有很小一部分进行过光谱测量。因此急需对这些天体进行光谱观测,以确定其物理性质。

解决光谱测量的低效率,首先需要能够同时测量多个天体目标光谱的技术。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应用于天文观测上。目前国际上最先进的技术是能够用数百根光纤将视场中数百个天体的光引入光谱仪同时进行测量。应当说,这是近百年来天文技术的一大进步。例如,(1)英澳天文台(AAO)的2dF项目。该项目利用澳大利亚的3.9m英澳望远镜(AAT,视场为2度,400根光纤),于1997年开始试观测,2002年完成观测任务。其星系红移巡天(2dFGRS)获得了220 000条星系的光谱,类星体巡天(2QZ)获得了23 000条类星体的光谱。数据已于2002年底全部释放。(2)美国的Sloan数字化巡天(SDSS)项目。利用Apache Point天文台的2.5m望远镜(APO,视场为3度,640根光纤),于1999年开始试观测,2005年完成了第一期观测。第一期的目标集中在星系和宇宙学的观测上,共675 000个星系、90 000个类星体和18 500个恒星的光谱。之后开始第二期观测,除了

\* 本文由国家天文台 LAMOST 项目工程指挥部总经理赵永恒(E-mail:yzhao@lamost.org),基础科学局彭子龙共同组织撰写  
收稿日期:2009年5月12日



中国科学院

继续完成一期未观测的天区外,还将巡天扩展到了恒星和银河系结构(SEGUE)以及超新星。SEGUE 计对 3 500 平方度进行测光观测,并对 240 000 个恒星进行了光谱观测。

天文学的发展越来越清楚地表明,对于天体物理和宇宙学中的很多重大基本问题(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)都涉及到非常复杂的物理过程,因此对这些物理问题的研究,必然依赖于大量样本的统计。换句话说“重大课题”往往成为“宏大课题”,只有获得足够的样品,才有可能从观测的资料出发,确定是哪些物理过程决定了宇宙中各类天体的性质,并从中寻找出某些决定宇宙或者银河系主要特征的关键物理过程。另一方面,在技术进步的推动下,以相对一致的方法在合理的时间内获得数百万乃至数千万样品的光谱已成为可能。大样本天文学已成为目前天文学发展的一个重要方向。

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

## 1 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),位于河北省兴隆县境内的国家天文台兴隆观测站,其任务就是对天体光谱的“普遍巡天”(天体的“户口普查”)。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万分之一左右。LAMOST 在北天视场内将对 1 000 万个天体进行光谱测量,将成为世界上天体光谱获取率最高的天

文望远镜,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量最大的天文望远镜,但其光谱测量目标仅为 LAMOST 的 1/10。

LAMOST 是一架横卧于南北方向的中星仪式反射施密特望远镜。两面镜子的大小分别为 5m 和 6m,焦距 20m,视场 5 度,共计 4 000 根光纤,可同时观测 4 000 个天体,在 1.5 小时的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为固定,所有镜面(包括球面主镜和非球面反射镜)均是化整为零,即多镜拼装,系统主要活动的部分为反射镜,球面主镜由 37 块子镜组成,非球面反射镜由 24 块子镜组成。这些设计是对大规模测量光谱的天文望远镜能力的跨越式推进。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 万多平方度的天区上观测到 1 000 万数量级的天体,比 SDSS 提高了一个数量级。

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技术。该技术成熟于上世纪 80 年代,能使望远镜及时调整镜面状况,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,主动光学技术主要应用在 5m 口径的反射改正镜上,使之能在观测过程中不断改正,跟踪特定天体并获得好的星像。

LAMOST 的一个特点是口径与视场的结合——大口径兼备大视场。大视场相当于照相机的广角镜头。国际上已有 8m、10m 口径的光学望远镜,但它们的视场只有十几到几十角分;而 5 度的视场在国际上也有,但到目前为止其口径最大也只有 1m 多。

LAMOST 的另一个特点就是“多目

标”。LAMOST 将在 1.75m 的焦面上共放置 4 000 根光纤。与国际上现有的多目标、多光纤望远镜如 400 光纤的 2dF、640 光纤的 SDSS 相比,LAMOST 的 4 000 光纤不但更多而且并行可控。SDSS 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,属于半自动化的望远镜。观测不同的天区时,如果要进行相应的调整,还要重新更换铝板。LAMOST 的 4 000 根光纤均由计算机控制,可实现任何的调整——甚至想在观测时对个别光纤做出微调。

## 2 LAMOST 的建设情况

LAMOST 项目由中科院院士王绶琯、苏定强等人于 1994 年提出,1996 年列为国家重大科学工程项目,1997 年正式立项。

LAMOST 项目自原国家计委 1997 年 8 月批复项目可行性报告和 2001 年 8 月批复开工报告以来,经全体建设人员的艰苦努力,2002 年 12 月主动光学闭环控制试验在南京天光所成功完成;2003 年 7 月 19 单元光纤定位方案试验分别在科大、长光所成功完成;2004 年 7 月主动光学开环控制试验在南京天光所成功完成;2004 年 12 月 1m 口径主动光学反射施密特实验望远镜“小 LAMOST”结题;2005 年 4 月低分辨率光谱仪样机在南京天光所完成;2005 年 12 月 MA 机架、球面主镜 MB 桁架、焦面机架研制成功并在兴隆安装;2006 年 4 月首批 3 块 MB 子镜在南京天光所预拼接成功;2006 年 11 月 40 块 MB 子镜在 LZOS 磨制完成并通过验收;2006 年 12 月 30 块 1.1m 六角形超薄 MA 子镜在南京天光所磨制完成并通过验收;2007 年 2 月 MA、MB 子镜开始在兴隆观测站安装;2007 年 2 月地平式机架及焦面机构的机电联调在兴隆成功;2007 年 5 月 2m/3m 口径、250 光纤、1 台光谱仪和 2 台 CCD 相机的“小系统”在兴隆获得

首条天体光谱及随后获得 100—200 条光谱,表明已掌握了 LAMOST 的全部关键技术;2008 年 6 月 37 块 1.1m 的六角形子镜拼接成的球面主镜 MB 安装完成,24 块 1.1m 的六角形子镜拼接成的反射施密特改正镜 MA 安装完成;2008 年 8 月 4 000 光纤定位单元研制成功并安装到位,16 台多目标光纤光谱仪和 32 台 CCD 相机研制成功并安装到位;2008 年 9 月开始总调试并试出光谱,2008 年 10 月总调试中一次观测最多获得 3 000 余条光谱。

LAMOST 创造性地应用主动光学技术实现了传统方法不能得到的主动反射施密特望远镜光学系统,从而突破了大视场望远镜不能兼有大口径的瓶颈;其主镜为  $6.67 \times 6.05 \text{m}^2$ ,反射镜为  $5.72 \times 4.40 \text{m}^2$ ,成为世界上大视场兼大口径的光学望远镜之最(视场 5 度,通光口径 3.6—4.9m);同时也突破了科学上天体光谱观测的瓶颈,实现了大规模光谱观测的开拓;在 1.75m 的大焦面上放置了 4 000 根光纤,可同时获得最多 4 000 个天体的光谱,成为世界上光谱获取率最高、最有威力的光谱巡天望远镜,为大视场、大样本的天文学研究提供了有力工具。

## 3 LAMOST 的科学目标

LAMOST 有 3 大核心研究课题。第一是研究宇宙和星系,开展星系红移巡天,并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对星系物理的研究基础之上。

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,有了红移就可知道它的距离,有了距离就有了三维分布,这样就可了解整个宇宙空间的结构,同时可研究包括星系形成、



中国科学院

演化在内的宇宙大尺度结构和星系物理。这是一个环环相扣的过程,而获取大样本的星系光谱则是基石。

LAMOST 的目标是观测 1 000 万个星系、100 万个类星体、1 000 万颗恒星的光谱。LAMOST 建成后,由于要比 SDSS 计划所观测的星系和类星体的数目多 10 倍,可以预计 LAMOST 将会以更高的精度来确定宇宙的组成和结构,也有可能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,观测数目更多一些,这样就可以更多地了解银河系更远处的恒星的分布和运动情况,弄清银河系结构。因为 LAMOST 能够做大量恒星的样本,所以可尽量选更多、更暗的星来做大范围的研究。

恒星是众多星系的重要组成部分。通过一颗恒星的光谱,天文学家可以分析出其密度、温度、元素构成和含量等物理、化学参数,还可以测量出其运动速度和运行轨迹等。从不同种类的恒星的分布出发,可研究银河系的结构和形成。

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(如射电、红外、X 射线、 $\gamma$  射线)发现的天体要在光谱中分析确认。因为光谱分析的理论更充分,发展更成熟,经验也更多。通过与其他波段巡天望远镜(X 射线望远镜)相结合, LAMOST 在天文学的许多前沿问题研究上都能发挥极大的作用。

总之, LAMOST 是一架我国自主创新

设计的、极具挑战性的大型光学望远镜,它的多项创新技术属于国际先进,有望获得世界瞩目的科学成就。

2009 年 4 月 30 日中科院组织专家对 LAMOST 项目进行了工艺鉴定验收。专家组认为,作为目前国际上口径最大的大视场望远镜,以及国际上光谱获取率最高的望远镜, LAMOST 突破了国际上望远镜大口径与大视场不能兼得的瓶颈。LAMOST 研制规模和技术难度与 8—10m 望远镜相当,并有多项技术创新:(1) 创造性地应用主动光学,实现常规方法不能实现的镜面形状可不断变化的光学系统;(2) 在国际上首次在一块大镜面上同时应用薄变形镜面和拼接镜面主动光学技术,并首次在一架望远镜中实现两块大拼接镜面;(3) 实现 4 000 根光纤在焦面上的精确定位,使国际上现有望远镜的光纤数提高一个数量级。LAMOST 的研制成功,使我国望远镜研制技术达到国际前沿水平,为我国极大望远镜研制奠定了坚实的基础。正如 LAMOST 在 2005 年 6 月的国际评估报告所指出的那样:“LAMOST 将会是一个适合于研究广泛领域中重大天体物理问题的世界级巡天设备。鉴于其集光面积和光纤数目, LAMOST 潜在的功能将比 SDSS 数字巡天和 2dF 高出 10—15 倍。如果能达到这样高的指标,它将是一个巨大的飞跃,并打开了一个广阔的‘探索空间’。”“LAMOST 将会有非常好的科学产出。该望远镜一定能够在河外天文学与银河系天文学方面产生世界级的研究成果。”

(相关图片请见封二、封三)