



郭守敬望远镜

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，再将光谱拍照下来进行分析研究。

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21世纪初已趋成熟并开始广泛应用于天文观测上。在LAMOST之前，国际上最先进的技术是用数百根光纤将视场中数百个天体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。例如，英澳天文台（AAO）的2dF项目。该项目利用在澳大利亚的3.9米英澳望远镜（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



● LAMOST-360度全景



● 2010年4月17日，刘延东视察LAMOST与中科院、科技部、天文台相关领导合影

(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。美国的Sloan数字化巡天 (SDSS) 项目利用Apache Point天文台的2.5米望远镜 (APO、视场为3度、640根光纤)，于1999年开始试观测，2005年完成第一期观测。第一期目标集中在星系和宇宙学的观测上，共获得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，除了继续完成一期未观测的天区外，将巡天扩展到了恒星和银河系结构 (SEGUE) 以及超新星巡天，SEGUE计划对3 500平方度进行测光观测，并对240 000个恒星进行光谱观测。

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”，只有获得足够大的样品，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了宇宙或者我们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。当前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，大视场多目标光谱观测将会达到一个极大飞跃，全世界各国天文学家都在向该方向积极努力。这对中国天文学来说是一个重大的机遇和挑战，即建造世界上天体光谱获取率最高的望远镜LAMOST。

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)，现更名为“郭守敬望远镜”，是中国天文学家创新设计的新型的世界上口径最大的大视场望远镜，现又冠名为郭守敬望远镜。它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最大的天文望远镜，但其光谱测量目标仅为LAMOST的十分之一。

LAMOST是一架横卧于南北方向的中星仪式主动反射施密特望远镜。其两块大镜子(球面主镜和非球面反射改正镜)的最大尺寸分别为6.67米和5.72米，平均通光孔径为4.3米，焦距20米，视场5度，4 000根光纤，16台光纤光谱仪以及32台4Kx4K的CCD相机，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。其球面主镜和焦面均为固定，仅用非球面反射改正镜的地平式机架跟踪天体。两块大镜子均采用了拼接镜面：

球面主镜由37块1.1米对角线长的六角形子镜组成，非球面反射改正镜由24块1.1米对角线长的六角形子镜组成。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关键就是创新地采用主动光学技术获得传统光学不可能实现的光学系统，即在观测过程中不断变化的一系列大口径反射施密特光学系统，从而突破大视场与大口径不能兼备的瓶颈。

主动光学技术发展于20世纪80年代。用主动光学能实时高精度控制望远镜光学镜面的曲面形状(薄变形镜面主动光学)，或者控制很多块子镜拼接成一块镜面(拼接镜面主动光学)，以校正因温度变化和重力等因素引起的望远镜成像质量误差。在LAMOST项目上，创新地发展了主动光学技术，将薄变形镜面主动光学和拼接镜面主动光学技术同时用在5.7米×4.4米口径的非球面反射改正镜上，使之在观测过程中24块子镜能根据要求不断变化镜面的曲面形状，同时又精确地拼接成一块镜

建设情况

面，又能跟踪特定天体并获得好的星像。LAMOST是世界上第一架也是目前唯一的一架有两块大拼接镜面的望远镜。LAMOST发展的这些主动光学技术使我国具有了建造30—50米口径极大光学望远镜的能力，并也将使其具有中国创新的特色。

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。国际上已有的8米、10米口径的光学望远镜，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是一米多。

LAMOST的另一个特点就是“多目标”。LAMOST在1.75米的焦面上可放置4 000根（甚至更多的）光纤。与国际上现有的多目标、多光纤望远镜如400根光纤的2dF、640根光纤的SDSS相比，LAMOST的4 000光纤不但更多而且创新提出了分小区并行可控的光纤定位技术。SDSS要事先根据观测对象的位置在铝板上打孔，再用人工插入光纤，属于半自动化。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。观测前可在很短的时间内将光纤移动到要求的位置，甚至可在观测中根据需要精确微调。

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；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；2004年12月1米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1.1米六角形超薄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根光纤、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，表明已掌握并走通了LAMOST的全部关键技术；2008年

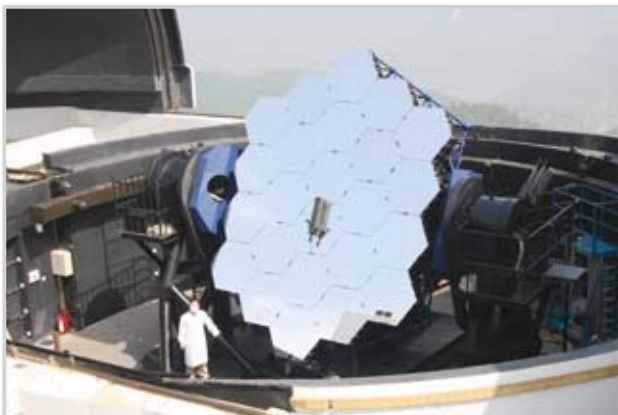


● Mb和焦面

6月37块1.1米的六角形子镜拼接成的球面主镜MB安装完成，24块1.1米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多条光谱。

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 $\Phi 1.75 \text{m}$ 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。



● Ma



● Mb

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

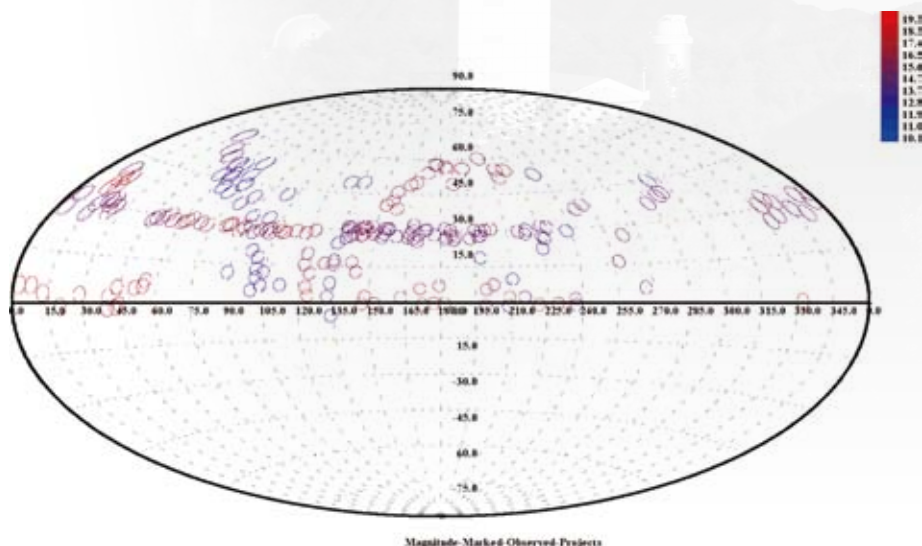
第二个核心课题就是研究恒星和银河系的结构特征。主要瞄准更暗的恒星，观测数目更多一些，这样就可以更多地了解银河系更远处的恒星的分布和运动情况，弄清银河系结构。因为LAMOST能够做大量恒星的样本，所以可以尽量选更多、更暗的星来做大范围的研究。

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。

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、 γ 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LAMOST是目前国际上口径最大的大视场望远镜，也是国际上光谱获取率最高的望远镜，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—10米望远镜相当，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



● LAMOST先导巡天天区覆盖图

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。

2009年6月4日，LAMOST项目通过国家发展和改革委员会组织的国家验收，之后进入试观测阶段。经过两年的工程调试和试观测，在国内各相关单位的共同努力下，光纤定位调试工作取得了突破性的进展，4 000根光纤中90%的定位精度在1角秒之内。经过精密调试，提高了光谱仪的稳定性；对光谱仪部分光学元件重新镀膜，使光谱仪的整体效率得到显著提高；根据科学巡天需求，为16台光谱仪安装了2/3定宽狭缝，使得光谱分辨本领从项目建议书中的 $R=500$ 提升至 $R=1800$ （安装狭缝后的LAMOST极限星等为 $B=19.5$ 等）。通过将全部Ma子镜重新镀膜，保证了望远镜的光学效率。两年来，LAMOST软件系统也经历了多次测试和评估，特别是2010年12月成功召开的“LAMOST软

件国际评估会”，评估专家一致认为从观测计划、观测控制和数据处理等方面LAMOST软件系统能够满足光谱巡天的需要。同时，郭守敬望远镜运行和发展中心逐步完善了组织架构，规范了LAMOST运行机制和各项规章制度，为LAMOST光谱巡天做好了准备工作。

根据科学委员会确定的LAMOST光谱巡天的第一阶段——先导巡天的天区和科学目标，LAMOST先导巡天工作于2011年10月24日正式启动，并于一月之后的11月24日对外发布先导巡天观测数据。截至2012年6月24日先导巡天结束，已观测401个天区（见先导巡天天区覆盖图），发布光谱数据48万余条。对于低信噪比数据，通过合并像素的方法将分辨率降低到立项指标（ $R=500$ ），又发布16万条光谱。先导巡天累计释放64万光谱，充分验证了LAMOST是世界上光谱获取率最高的望远镜（LAMOST与其他光谱巡天项目的对比见表1）。

目前，有25家科研单位利用LAMOST先导巡天数据开展研究工作。先导巡天期间共发表SCI论文15篇，其中10篇已经接收，5篇正在审稿中。

● LAMOST验收全景图



表1 LAMOST与其它光谱巡天项目的对比:

光谱巡天项目	巡天时间	获得光谱数
英澳天文台2dF项目	1997年-2002年	25万
英澳天文台6dF项目	2001年-2006年	12万
多国合作项目RAVE	2006年-2012年	50万
美国SDSS项目	I期: 2000年-2005年 II期: 2005年-2008年	127万
	III期: 2008年-2014年	200万 (DR8)
LAMOST先导巡天	2011年10月-2012年6月	48万+16万

在先导巡天之后，LAMOST于2012年10月正式开始光谱巡天观测。光谱巡天所获得的大量光谱资料将对国内外天文学界公开，将会极大地推动天文学各个领域研究工作的蓬勃发展。正如2005年6月LAMOST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到15倍。如果能达到了这样高的指标，它将是一个巨大的飞越，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。它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”。