

DOI: 10.3724/SP.J.1224.2016.00107

“中国近现代工程史专题研究”专栏

LAMOST 工程的立项、建设与运行

李俊峰, 王大洲

(中国科学院大学人文学院 北京 100049)

摘要: 本文梳理了我国在“九五”计划中实施的大型科学工程 LAMOST 巡天望远镜从概念设计到工程的立项审批和施工建设, 直至最终完成的整个历史发展脉络, 回顾了工程在演化过程中经历的困难以及取得的令人瞩目的成绩。据此, 本文分析了大科学工程的特点, 提出, 大科学工程是基于科学又为了科学的工程、大科学工程是基于研究的创新性工程、大科学工程是资产专用性奇高的工程、大科学工程是以科学家为核心力量的工程、大科学工程是扎根于国际合作的工程。

关键词: 大科学工程; 工程史; LAMOST

中图分类号: T09

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2016)01-0107-16

1 引言

改革开放以来, 大型科学基础设施的建设逐步成为我国科技创新的重点领域之一。这类设施的建设常被称为“大科学工程”。诸如北京正负电子对撞机、上海光源、LAMOST 巡天望远镜等, 都是突出例子。对于大科学工程与一般大型工程项目的差异, 王大明认为主要有三个方面, 即较高的原创性、较大的风险性和工程的组织管理方式及人员组成的差异^[1]。尚智丛从科技政策角度强调了大科学工程与国家目标的密切联系^[2]。唐素琴、李志红对我国大科学工程的预制研究过程进行了专门研究^[3]。赵文彦等对我国大科学工程的外协和非标设备加工的特点和面临的问题进行了分析^{[4][5]}。这些讨论都很有启发性, 本文希望通过梳理 LAMOST 发展历史的梳理, 来展开进一步探讨。

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), 是我国科学家自主设计、自主建造的大型光谱巡天望远镜, 其主要目标是大规模光谱和大规模成像测量, 相当于对天体光谱进行大规模的“人口普查”^[6]。国际天文界迄今掌握的天体光谱只占已观测到天体的万分之一左右, 而 LAMOST 在北天视场内可以对 1000 万个天体进行光谱测量, 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。LAMOST 的最初方案由中国科学院院士王绶琯和苏定强牵头于 20 世纪 90 年代初正式提出。经过反复论证, 于 1996 年被列为国家“九五”重大基础科学建设项目, 总投资 2.35 亿元。经过 4 年技术攻关, 工程于 2001 年正式开工建设。又经过 7 年奋战, 于 2008 年 10 月落成。本文依据 LAMOST 工程档案和有关科学家的回顾, 对 LAMOST 的建设历程进行梳理和总结, 进而探讨大科学工程的一般特征。

收稿日期: 2015-10-10; 修回日期: 2015-12-03

基金项目: 中国科学院规划与战略研究项目“中国近现代工程史研究”

作者简介: 李俊峰(1983-), 男, 科技哲学博士研究生, 研究方向为工程史与工程哲学。E-mail: fufen9000@163.com

王大洲(1967-), 男, 哲学博士, 教授, 研究方向为工程史与工程哲学。E-mail: dzwang@ucas.ac.cn

2 LAMOST 的立项

2.1 LAMOST 的诞生背景及设计思想

2.1.1 诞生背景

随着 1978 年 3 月全国科学大会在北京召开, 我国的科技事业开始全面复苏, 天文学界也借此进行了重建。到 20 世纪 80 年代中期, “五台四校一厂”的学科基地已经立稳脚跟^[7], 借助改革开放以来的有利条件, 我国天文学界与国际天文学界的联系也日渐密切。鉴于国际上天文设备巨型化发展趋势, 我国天文学家也积极谋划下一代大型天文仪器的发展之路。

经过多年摸索, 到 20 世纪 80 年代末, 在成功研制了 2.16 米望远镜之后, 我国天文学家便把目标定在配置多根光学纤维的“大天区面积大规模光谱”仪器的开拓上。当时, 国际上各个电磁波段最重要的天文设备均属规模大幅度超过原有同类设备的扩展型设备, 均可对一些特殊天体进行深入观测。然而, 由于天文光谱测量技术的效率一直难以提高, 天文光谱测量已成为天文学学科发展的瓶颈^[7]。天文光谱测量效率低的一个重要原因, 就在于一个望远镜同一时间只能观测一个天体的光谱, 不能像成像观测那样, 一张照片可以同时记录下成千上万的目标。虽然大型光学望远镜会越来越多, 但无助于在大天区范围获得大规模光谱。这就需要能够同时测量多个天文目标光谱的技术。为此, 美、英等国的天文观测机构率先开展试验, 用多根光纤将望远镜视场上多个天体的像, 引到同一个光谱仪同时进行观测。这项技术到 20 世纪 80 年代中期就已经成型, 可望改变长期以来光谱仪只能接受视场上一个天体的低效率状态。而要做到这一点, 还必须同时克服另一道难关, 就是望远镜的性能必须满足既深

又广的观测要求。在望远镜设计中, 如何做到大口径和大视场两者兼备, 一直是多年来天文光学研究中未能解决的难题^[8]。到 20 世纪 90 年代初, 英国科学家率先在英澳望远镜(AAT)上做到了使 3.9m 口径的望远镜得到 3 平方度的视场(普通的“4m 级”望远镜的视场不及 1 平方度), 并配上了含 400 根光纤的光谱仪。而此时, 美国普林斯顿大学等四单位和日本国家天文台等两单位正在合作筹备“SDSS”计划。这是一个 2.5m 口径的望远镜, 视场比 AAT 大一倍, 达 7 平方度, 可同时测量由光纤引出的 600 个天体的光谱。因此, SDSS 之后的大规模天体光谱测量, 首先必须做到测量深度超过 SDSS, 才会有实质意义。

2.1.2 设计思想

我国天文学界在大规模天体光谱测量方向上的最早方案, 是由陈建生院士提出来的。在“中国施密特望远镜的设计和‘8 米级后随’光谱望远镜的探讨”一文中, 他设想该望远镜的施密特口径为 1.5m, 制成后其“巡天”和大规模“选样”功能在北半球将独一无二。不过, 这个方案仍存在施密特望远镜的口径难以做大的缺点, 对稍微暗一点的天体根本测不出光谱; 同时由于光纤数量不多, 也难以应付多样本的情况^[5]。

于是, 问题还是转到了“如何把施密特望远镜做大?”这个老难题。当时, 中科院数学学部和中国天文学会联合举办过许多次全国规模的讨论会、方案论证会、答辩会, 针对中国下一代主力天文项目的遴选进行讨论和评议, “攻防”之间三易蓝图。最终, LAMOST 被列为四个备选项目之一。王绶琯院士在其回忆性的文章中谈到了这段事关 LAMOST 命运的重要经历:

最初几经曲折, 就决定把立足点放在施密特望远镜的研究上。于是立即遭遇“施密特望远镜

“五台”分别是北京天文台、紫金山天文台、上海天文台、云南天文台和陕西天文台; “四校”指南京大学、北京大学、北京师范大学、中国科学技术大学; “一厂”指南京天文仪器厂。

中国科学院国家天文台. 大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜(LAMOST)项目可行性研究报告. 1997.

做不大”的老问题。由于问题出在折射改正镜, 很自然地就想到了改用反射改正镜……反射施密特望远镜可以做大, 大到和最大的反射望远镜相当。但它另有困难: 适用的大口径反射施密特望远镜的镜筒很长, 长到无法安装到机械跟踪装置上。于是, 为了避免这种困难, 最终想到了“卧式子午仪”装置。……采用了卧式便可以把望远镜的所有组成部分——主镜、反射镜、焦面设置和光谱仪都固定在地面上, 从而允许把“镜筒”做到很长……采用了子午仪装置, 就可以利用光路上增设一个反射面的办法使望远镜得以横下来放, 也就是成了“卧式”。……付出的代价则是观测变成“被动”, 观测的自由度受到了限制! 不过这个代价是值得的。因为当代天文实测向着“多目标—巨样本—海量信息”发展的势头有增无已, “子午观测”始终都会是最佳选择。……当时的困难中真正严重的是如何在光路上安置为了采用卧式而增加的反射镜。……苏定强非常巧妙地把这个反射镜和施密特反射改正镜合二为一, 创造了现在大家已经熟悉的“反射主动光学改正镜。是这“画龙点睛”的一笔, 使 LAMOST 最终成型^[8]。

从陈建生院士主持的“150/220 厘米中国施密特望远镜”的论证, 到苏定强院士设计的“子午装置——焦面跟踪”的施密特望远镜, 再到 LAMOST 方案形成时苏定强院士“主动反射板”构想, 到 1994 年, 终于把方案定型在大视场兼备大口径的主动反射施密特望远镜上^[7]。

1993 年, 苏定强致信其学生崔向群, 希望她能参与这个项目。当时, 崔向群正在欧洲南方天文台参加当时世界上最大的天文光学望远镜计划——

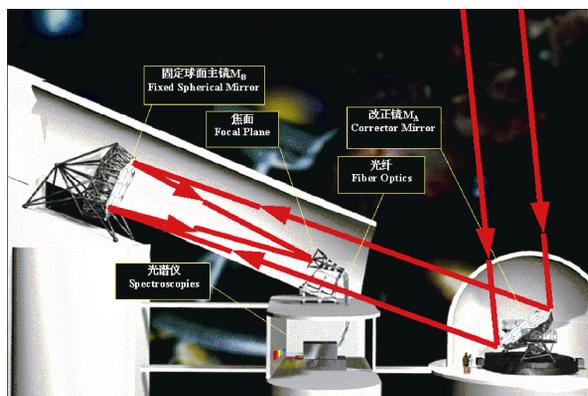


图 1 LAMOST 的结构

4 台口径 8 米望远镜合成口径 16 米望远镜——的研制工作。1994 年初, 崔向群回国^[9], 承担起 LAMOST 项目的立项和预研中的大量技术工作。

当年 7 月, 崔向群和我国另一位天文学家褚耀泉在英国的一次国际会议上报告了这个方案, 引起了强烈反响。LAMOST 前瞻性的设计思想和首创的工程实施方案得到了国际天文学界的赞许。然而, 随之而来的则是国内天文学界的广泛质疑。有人认为连外国科学家都研制不出来的东西, 我国科学家也很难取得成功^[9]。毕竟, LAMOST 在口径、视场和光纤数目三者的综合指标上超过了所有国际上当时已完成的或正在进行的大视场多目标光纤光谱巡天计划, 而且其核心技术——薄镜面拼接加变形的主动光学和 4000 根光纤定位技术——均属国际首创。

在随后的几年里, 通过我国科学家坚持不懈的研究和一次次严格的论证, 到 1996 年, 王绶琯、苏定强、褚耀泉、崔向群和王亚男五位科学家共同发表了“Special configuration of a very large Schmidt telescope for extensive astronomical spectroscopic observation”一文, 对 LAMOST 的设计方案进行了系统总结, 这篇文章也为 LAMOST 的最终设计和以后的建设奠定了重要的思想基础。

2.2 LAMOST 的立项过程

20 世纪 90 年代初, 我国提出采用国家出资的方式, 用 20 亿元人民币筹建一批大科学工程项目, 用以促进我国战略高技术的发展和基础科研水平的提高。最终, 在“九五”期间, 全国共有九项大科学工程入围(包括合肥同步辐射二期工程、兰州重离子加速器冷却储存环、中国地壳运动观测网络等), 这其中就包括天文学领域的新一代望远镜计划。

对于这个望远镜计划的选择和确定, 一方面是从我国天文学科长远发展的设想出发, 另一方面则与国家的大科学工程决策和投资水平相适应。当时, 由中国科学院数学学部和中国天文学

会出面, 向全国天文界征集下一阶段的天文重大观测设备建议。结果, 到 1992 年, 就提出了 12 项大型天文观测设备项目的建议书, 包括光学/红外、射电及高能各个天文观测波段, 也包括地面和空间设备。

此后, 经过天文界内部的“打擂”和筛选, 到 1993 年底的评审会议之后, 只剩下了四个备选项目, 分别是 LAMOST 项目、上海 60m 级射电望远镜、4m 普通光学望远镜、硬 X 射线调制望远镜。随后, 又经过一年的进一步讨论(当时的国家科委提供了 40 万元资金支持研讨过程), 到 1994 年底进行了第二次会议评审。最终, 天文界向国家科委提交了两个项目的计划: 一个是北京 4m 级光学望远镜计划, 另一个就是 LAMOST 计划。

由于国内大学和中国科学院的良好合作关系——中国科学院的天文观测设备历来对全国天文界免费开放, 也由于中国科学院在硬件和软件方面诸多有利条件以及在全国天文学界的声誉和影响力, 同时也因为作为项目建议者的研究集体主要来自中国科学院, 中国科学院自然而然地在 LAMOST 项目的立项、建设和运行中发挥立体作用。

之后, 国家各部委对 LAMOST 工程进行了大量立项评审工作。1995 年初, 国家科委组织对各学科领域的大科学工程建议项目进行评议, LAMOST 位居前列。6 月, 中国科学院成立了 LAMOST 项目委员会, 时任北京天文台(现国家天文台)台长李启斌担任项目总经理, 苏洪钧、褚耀泉、崔向群、赵永恒为委员会成员, 同时还聘请王绶琯、王大珩、雷天觉、苏定强和陈建生为委员会顾问, 项目委员会的工作重点是“组织

项目的可行性和部署关键技术的预研, 争取进入国家九五计划的立项”。7 月, 由中国科学院基础研究所主持, 召开了 LAMOST 专家评审会, 参加会议的有十几位专家, 还有中科院、原国家计委的有关领导及 LAMOST 项目代表。评议组认为, “鉴于 LAMOST 系统的创新性和独特性, 具有相当的技术难度, 经过分析并借鉴国际先进经验以及合作途径, 这些困难可以克服, 并且在技术上可行”^[5]。10 月, 中国科学院基础研究所、计划财务局在北京组织召开了 LAMOST 工程预研计划专家评审会。

1996 年 6 月, 当时的国家计委、国家科委组织两院院士对国家重大科学工程进行评审, LAMOST 位居前列。7 月, 国家科技领导小组决定启动国家重大科学工程计划, LAMOST 被列入首批启动项目。8 月, 由中国科学院向国家计委提出了《大天区面积多目标光纤光谱望远镜(LAMOST)项目建议书》, 建议尽快立项。12 月, 中国国际工程咨询公司向国家计委提交了《关于大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜工程项目建议书的评估报告》。

1997 年 4 月, 国家计委向中科院下达了《国家计委关于大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜国家大科学工程项目建议书的批复》, 原则同意由中科院承担建设该项目。7 月, 中国科学院向国家计委提出了《大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜(LAMOST)项目可行性研究报告》。8 月, 中国国际工程咨询公司向原国家计委递交了《关于大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜(LAMOST)项目可行性研究报告的评估报告》。不久, 该报告获国家计委批复, 投资 2.35 亿元, 周期为 7 年^[10]。

中国科学院国家天文台. 国家基础研究“十五”规划 基地建设子课题大科学工程调研材料, 1999 年 8 月 6 日.

2014 年 12 月 10 日于国家天文台对 LAMOST 运行与发展中心科学巡天部张昊彤的访谈。

中国科学院国家天文台. 国家基础研究“十五”规划 基地建设子课题大科学工程调研材料, 1999 年 8 月 6 日.

中国科学院国家天文台. 关于召开“大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜”预研研究评审会的报告, 1995 年 10 月.

对于项目工期和经费的估算方面, 以科学家为主体的项目委员会和以行政领导为主体的项目审批部门当时还存在着一些争议^[5]。在项目经费上, 采用投资封顶模式, 超支的部分由科学院自行填补。当时对不可预见费用的预留有些不足, 其数目只有可预见费用的十分之一, 低于国外同类工程不可预见费用应占可预见费用的 30%~40% 的标准, 而且对于材料和加工费用的上涨问题, 在项目的投资估算中也未能充分考虑。在项目工期上, 项目委员会认为, 考虑到项目的极度复杂性, 应当为项目预制研究阶段留有充裕时间, 工期定在 10 年左右比较合适。而国家相关审批部门认为 10 年期限过于漫长。最终双方达成了一个折衷方案, 项目工期定为 7 年。不过, 工期的确定还与另外一个因素有关。由于当时与 LAMOST 功能相近的美国“SDSS”望远镜项目也正在建设之中, 所以尽早完成 LAMOST 项目建设, 就有望在天体光谱观测竞争中占得先机。

2.3 预制研究过程

预制研究作为开工的前期准备工作, 是大科学工程建设的一个重要方面。LAMOST 预制研究计划涉及望远镜本体、焦面仪器、数据的采集和处理、科学目标的实现、观测环境和工程建筑等诸多方面, 而每一方面又包含很多种关键技术的预制研究工作。例如, 光学系统中估算不同条件下大气折射和大气色散对焦面像质的影响, 重力、温度对镜面支撑结构的影响, 望远镜的计算机控制系统和机械跟踪系统, 薄镜面加工技术, 光纤定位系统和 CCD 系统, 天体光谱的在线和离线处

理, 圆顶设计中改善观测室视宁度和减少光学系统振动的风洞试验等。

根据工程预研制计划, 从 1995 年 10 月开始, 预研重点是主动光学、薄镜面加工和光纤定位技术。到 1996 年 1 月底为第一阶段, 完成关键光学部件及其指标的优化; 到 1996 年 5 月底为第二阶段, 完成总体所要求的各项指标的预研究; 从 1996 年 6 月开始为第三阶段, 需要确定光学加工、主动光学和光纤定位等关键技术的方案, 并向有关单位预订光学材料。整个预研制经费为 915 万元。在这期间, LAMOST 工程委员会(LAMOST 工程指挥部的前身)还就如何进一步开展 LAMOST 科学目标的预研工作进行过专门讨论, 并提出了一些具体措施^[5]。

虽然 LAMOST 工程的预制研究计划安排周密, 但由于经费原因, 预制研究计划无法得到很好实施, 使得后来的建设阶段对工程工期和经费的控制出现了一定的困难。预研投入没有像后来的上海光源项目那样在立项前由国家专门立项并有独立经费支持^[3]。开始确定下来的 915 万预制研究经费并没有到位。在 1999 年的《LAMOST 工程项目进展汇报》中, 工程指挥部提到:“项目立项前没有投资, 就无法开展必要的关键技术试验; 而一旦立项, 所进行的关键技术试验又常招致责难……”。实际上, LAMOST 项目的预制研究是在可行性报告获得批复、项目经费到位并开始建设以后, 才开始进行的并常常受到经费问题的牵制。

3 LAMOST 的建设

LAMOST 的可行性报告得到批复后, 随即进

2015 年 3 月 19 日于国家天文台对 LAMOST 工程指挥部原总经理苏洪钧的访谈。

中国科学院国家天文台. 大天区面积多目标光纤光谱望远镜(LAMOST)项目建议书, 1996.

视宁度是用于描述天文观测目标受大气湍流影响而看起来变得模糊、闪烁的程度的物理量。

中国科学院国家天文台. 大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜工程预制研究计划, 1995 年 10 月.

中国科学院国家天文台. 大天区面积多目标光纤光谱望远镜(LAMOST)国家重大科学工程项目清查报告, 2003.

中国科学院国家天文台. LAMOST 工程项目进展汇报, 1999.

入项目建设阶段。1999年2月,完成了项目初步设计报告,随后,中国科学院受国家发展计划委员会委托批复了《LAMOST项目初步设计与概算》。到2001年8月,LAMOST项目开工报告获国家计委批准,项目进入正式施工阶段。

3.1 工程管理框架

早在1996年10月,中科院就向各天文台、中国科技大学、南京天仪中心下达了成立项目管理委员会、项目工程指挥部及项目科学技术委员会的决定。这项决定同时也勾画了对LAMOST进行组织实施的管理架构。其中:项目管理委员会作为项目的最高领导机构,其成员由中国科学院、国家计委、国家科委、北京市人民政府以及项目依托单位的相关负责人组成。项目管理委员会主要负责工程目标、人事安排等重大问题的决策以及各部门之间关系的协调,同时为工程的顺利进行提供条件保证并且监督工程的进展。

项目工程指挥部是该项目法人,负责对整个工程建设的管理。项目实行总经理负责制,总经理是工程项目的法人代表。项目工程指挥部负责对整个工程项目的目标、进度、资金和质量进行

控制;指挥部对项目管理委员会负责,并接受项目科技委员会的监督。工程指挥部下设科学部和工程部及台址与建设组,科学部与工程部下又分设了8个子系统。

项目科学技术委员会,是项目管理委员会的咨询机构,由相关领域的院士、专家组成。其主要职责是就项目建设的重大问题,特别是就科学目标和技术方案向项目管理委员会提出建议和审核意见,协助其对工程建设实施监督;同时作为工程指挥部的顾问机构,向工程指挥部提出建议,并对工程中非标设备的建设进行监理。科学技术委员会的成员还需根据项目的科学目标,提出各子系统的需求,审核工程建设各个阶段、工程各子系统的技术指标与科学需求的关系,保证项目科学目标的可实现性并处理与项目有关的天文学问题。

LAMOST工程的子系统的负责单位有三家,即北京天文台(后改组为国家天文台)、中国科学技术大学和南京天仪中心(后改组为南京天文光学技术研究所),这三家单位都属于中国科学院系统。在项目建设中,每个子系统对相关工作又进行了进一步的分包与合作(见图3)。

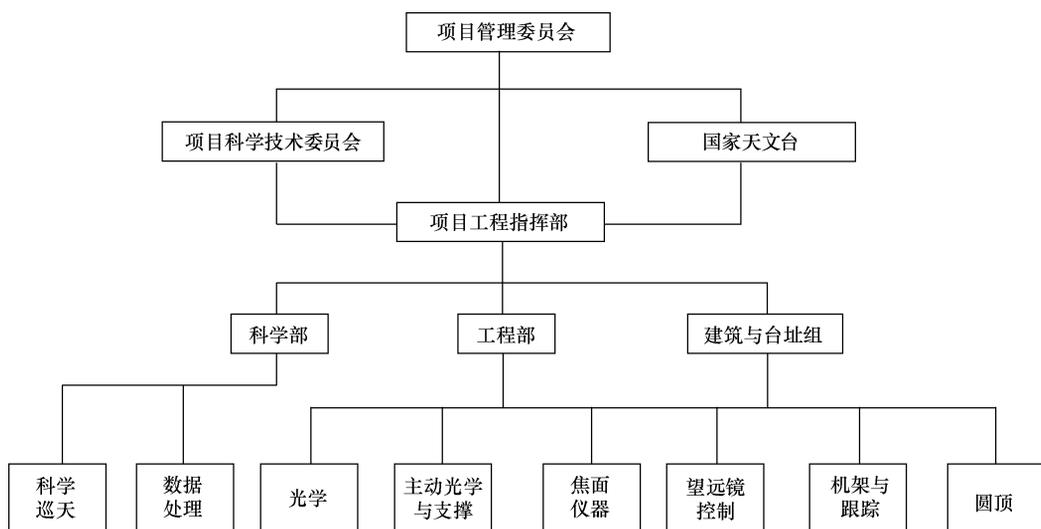


图2 LAMOST工程的管理架构(参照LAMOST可行性报告中图表绘制)

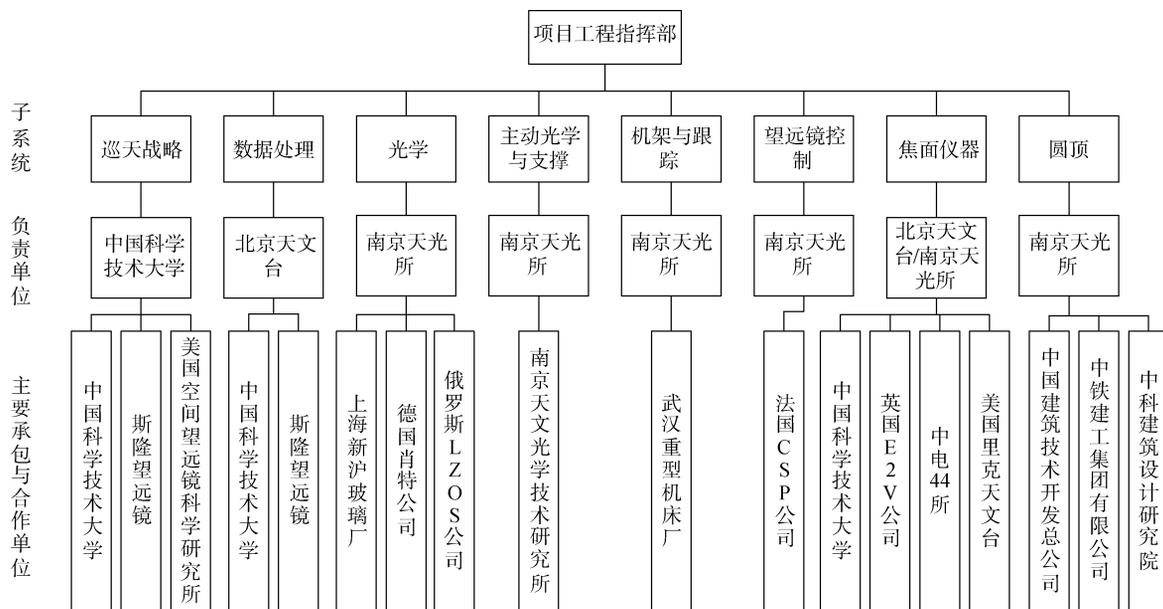


图3 LAMOST项目承包情况

3.2 关键器件的采购

在项目正式施工之前,很多项目采购的工作就已经开始了。随着项目建设的推进,LAMOST项目在原料和器件的采购上也出现了一些挫折。

3.2.1 微晶玻璃镜坯

关于 LAMOST 望远镜的光学镜面 Ma 和 Mb 的材料与加工问题,考虑到上海新沪玻璃厂曾在 20 世纪 70 年代成功地 2.16m 和 1.56m 望远镜研制过微晶玻璃,同时他们对 LAMOST 所用的微晶玻璃制造任务十分关注,希望能借此机会恢复生产微晶玻璃的能力,又考虑到新沪厂微晶玻璃的价格较低以及 LAMOST 经费很紧的现状,也为了振兴我国民族工业,LAMOST 工程指挥部组织有关专家,对新沪厂制造 LAMOST 所需微晶玻璃的可能性进行了评审,并征求了项目科技委员会的意见。经过中科院领导批准后,于 1998 年 9 月,与上海新沪玻璃厂签订了“LAMOST 工程微晶玻璃镜坯”订货合同。

虽然新沪玻璃厂相关负责人对任务的完成比较乐观,但是工程指挥部对新沪玻璃厂的工艺水平却并非十分有信心,一方面项目组专家对新沪厂新制造完成的镜坯进行了严格检测和审核,并送南京天仪中心镜面实验室进行试磨,以检验其均匀性;另一方面,项目组还一直与德国 SCHOTT 公司、美国 CORNING 公司和俄罗斯 LZOS 公司保持着联系,一旦新沪玻璃厂在质量或时间上不能满足要求,将考虑向国外订货。

经过一段时间考察,项目组发现新沪玻璃厂的工艺还是不够成熟,成品率较低。虽然总共有 61 块镜坯要加工,但由于热膨胀系数指标达不到 Mb 镜要求,因此只能把制成的镜坯用于 Ma 镜的磨制,最终只做出了 8 块。于是在 2000 年微晶玻璃材料专家咨询会上,鉴于上海新沪玻璃场的微晶玻璃材料达不到设计要求,指挥部遂取消了原定的部分合同(有关 Mb 镜的合同)。2001 年 6 月,指挥部与德国 Schott 公司签订了 40 块 Mb 镜

LAMOST 望远镜由两块大的拼接镜面组成,其中 Ma 是望远镜的反射改正镜,Mb 是望远镜的主镜。

中国科学院国家天文台. LAMOST 项目工程部工程进展汇报, 2000.

中国科学院国家天文台. LAMOST 项目工程部工程进展汇报, 2000.

坯的制造合同,到2003年完成,随后运抵俄罗斯进行磨制。由于新沪玻璃厂Ma镜坯的制造后来也出现了问题,2003年12月,指挥部与俄罗斯LZOS公司签订了Ma镜坯制造合同。到2004年底,俄罗斯LZOS公司完成了Ma镜坯的制造和40块Mb子镜的磨制,并于2005年初运抵南京^[5]。之后,南京天文光学技术研究所继续完成了所有Ma子镜的磨制。

3.2.2 CCD探测器

CCD探测器的工作在项目建设之初并未展开,一方面项目组期望采用最新的技术产品和电子元件,另一方面期待着CCD实验室的建成。虽然当时国家天文观测中心的探测器实验室在人员和设备上都有了较大提升,但仍然存在工程技术人员缺乏的问题。

在CCD芯片方面,由于我国当时没有能力自行研制,指挥部于2004年与英国E2V公司签订了制造合同。在CCD控制器和杜瓦的研制方面,指挥部分别与中国电子科技集团公司第四十四所和俄罗斯特殊天体物理台签订了CCD相机研制合同。2007年8月,在进行光谱仪的光机电联调时,由于CCD相机还没有到位,只能用替代的CCD进行测试,后来又与美国的Lick天文台签订了CCD相机的研制合同。之所以与多家公司签订CCD相机合同,是考虑到这样能够最大程度上保证工期不受外协方工作进度的影响。

中国电子科技集团公司第四十四所的CCD控制器研制过程也不是很顺利,在预定时间内,该所研制的CCD控制器噪声并没有达到预定指标。

为了不影响工期,指挥部只好提前对其进行验收,并拿到河北兴隆现场继续调试。最终,四十四所只完成了CCD杜瓦方面的研制,而俄罗斯特殊天体物理台由于拖延合同,其产品也未被采纳。而由我国与美国Lick天文台在20世纪90年代中期联合研制成功的CCD控制器最后在项目中得到了应用。从这部分工程建设的进展来看,我国CCD产业的整体水平还有待加强。

3.3 关键技术的突破

在关键技术研发方面,从工程可行性研究报告获得批复到2004年年底这段时间内,LAMOST的两项关键技术获得了突破。

3.3.1 主动光学技术

主动光学技术的难点在于构成两块镜面的子镜部分既要拼接又要变形(Ma镜需要子镜拼接和变形,Mb镜只需要对子镜进行拼接),使得LAMOST一方面能够获得较大的视场,另一方面又能够通过改正镜的形变来补偿地球大气层对观测对象发出光线的扰动。为验证和实现主动光学设计方案,项目组在南京建造了1:1(Ma子镜与Mb子镜的比例)室外主动光学实验装置,相当于1m口径的LAMOST,包括光机电各个系统,被称为“小LAMOST”。“小LAMOST”涵盖了主要关键技术和有关项目望远镜部分的许多工程技术内容,如直接与主动光学相关的镜面支撑、力促动器和视宁度改善,以及机架跟踪和圆顶围挡气流控制等重要内容。该实验1998年4月开题,随即向法国REOSC公司订购了两块子镜。实验装

电荷耦合元件(Charge-coupled Device)。

中国科学院国家天文台.LAMOST项目工程部工程进展汇报,2000。

中国科学院国家天文台.国家重点建设项目大天区多目标光谱天文望远镜2005年进展情况汇报。

实验室中装运、储藏液态气体所需要的真空保温容器,由英国科学家杜瓦于1906年发明。

中国科学院国家天文台.LAMOST简报,41-42期。

中国科学院国家天文台.LAMOST项目工程指挥部会议纪要,2006-2008。

中国科学院国家天文台.LAMOST项目工程指挥部会议纪要,2006-2008。

置于 2001 年 1 月出光, 并于 2002 年 12 月实现了闭环控制的主动光学技术。到 2004 年 12 月, 技术人员完成了全部主动光学技术试验, 实现开环控制的主动光学技术, 并通过验收^[5]。

从 2006 年到 2007 年, 项目组又分别进行了 Ma 子镜与 Mb 子镜比例为 0:3 的拼镜面实验和 4:9 的“小系统”实验, 这两个实验是“小 LAMOST”主动光学实验的进一步延伸。随着这些实验的成功, LAMOST 的 Ma 子镜与 Mb 子镜比例为 24:37 的架构也最终得以实现。

3.3.2 多光纤定位技术

多光纤定位技术是 LAMOST 项目的另一关键技术, 它要求把 4000 根光纤在较短时间内精确对准各自观测目标。为了解决这一难题, 项目组于 1996 年 3 月征集了 10 个光纤定位系统的方案。经过筛选, 到 1996 年 12 月, 工程指挥部组织中国科学技术大学、长春光机所和沈阳自动化所进行并行可控光纤定位原理试验, 由他们分别按照各自的方案制造了单个单元试验的样机。2000 年 10 月, 这三家单位各自完成了第一批样机。

2001 年 3 月, 工程指挥部又与这三家单位签订了光纤定位多单元试验合同, 由每家单位制造集成 19 个光纤单元的样机。2003 年 10 月, 中国科学技术大学精密机械系设计的 19 个单元样机顺利通过验收。经过对这三家单位的两次“摸底”, 由中国科学技术大学邢晓正教授提出的“并行可控式光纤定位”方案获得了项目组的认同, 最终被确定为 LAMOST 光纤定位的设计方案。

在此基础上, LAMOST 项目组于 2004 年落实了拥有 4000 根光纤的定位系统的研制方案, 完成了对中国科学技术大学光纤定位系统实施方案的评审, 并于 2005 年 1 月与之签订了加工合同。

之后, 根据工程指挥部的要求, 中国科学技术大学的小组先做 250 根光纤的定位系统, 用于 LAMOST “小系统”的调试, 之后又进一步完成了 4000 根光纤的定位系统。

3.4 建设时期的国际合作

在 LAMOST 建设过程中, 项目人员一直与美国的 SDSS 望远镜项目、英澳的 AAT 望远镜项目等保持着密切联系。2002 年, LAMOST 与 SDSS 项目的合作取得了突破性进展, 双方商定: LAMOST 项目派遣科学家参加 SDSS 项目工作, 取得大天区多目标光纤光谱观测和数据处理的经验; SDSS 项目向 LAMOST 提供测光数据, 供 LAMOST 项目作为输入星表使用; SDSS 项目愿意提供技术咨询意见, 帮助工程建设; 中美双方的科学家针对共同感兴趣的研究课题组成研究小组, 首先利用 SDSS 项目已获得的观测资料进行研究, 将来则利用 LAMOST 的观测资料来进行研究。

在对 LAMOST 工程建设进行的多次评估中, 工程指挥部也充分利用了国外的资源。例如, 2005 年 5 月底到 6 月初, LAMOST 国际评估委员会通过对项目进展的详细考察, 对项目进行了中期评估。评估会议组织者邀请了 9 位国际上知名的天文仪器专家和天文学家作为评委, 这其中包括美国帕洛马天文台前台长, 美国 Keck 天文台前台长, 美国叶凯士天文台前台长, 美国 SDSS 项目负责人以及澳大利亚 2dF 项目负责人等。在为期两天的评估会上, 这些专家与 LAMOST 项目人员针对工程建设中存在的问题进行了讨论。会后, 评委们还共同写出了一份评估委员会的意见上报中国科学院。报告认为, “LAMOST 独一无二地结合了为数众多的光纤、大视场以及大口径望远镜几个方面的优势, 从而一定能够在下个十年中

2014 年 12 月 10 日于国家天文台对 LAMOST 运行与发展中心科学巡天部张昊彤的访谈。

中国科学院国家天文台. LAMOST 简报, 43-45 期。

中国科学院国家天文台. 大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜 (LAMOST) 项目工艺部分小结报告, 2002.12.

中国科学院国家天文台. LAMOST 简报, 36 期。

的光谱巡天方面处于领先地位。”报告也对LAMOST项目组提出了中肯建议,“为了实现将来的进度要求,必须更加严格的管理和更加认真地控制经费。”

随后,国内外专家还在北京召开了“南极DOME C/A大视场巡天望远镜研讨会”,会上一些国外天文学家提议在南极建造一台大口径的LAMOST型望远镜。如此,国家天文台LAMOST望远镜与南极LAMOST一南一北,遥相呼应,可对整个天区进行完备的深度光谱观测。对于这样的建议,王绶琯院士后来认为,以国际合作方式建设一个以全天光谱巡天为任务的南方LAMOST是一个非常可取的方案。他还提议这个方案可由国际上五六个天文台合作,这样花费不大,也不必申请国家重点支持。而我国已有LAMOST建设经验,可以承担起新设备的制造^[11]。

3.5 LAMOST的调试安装及验收

在两大关键技术获得突破之后,LAMOST工程已经不存在技术障碍,因此其他方面的工作也开始全面铺开并且进展顺利。LAMOST项目在2005年秋开始进入安装调试阶段。到12月,项目人员在国家天文台兴隆观测站顺利完成了反射施密特改正镜(MA)机架、焦面机构和球面主镜(MB)桁架三大部套的安装。在这期间,项目组多次组织人员对运输线路、安装现场进行了实地考察,并根据运输线路和现场情况制订了运输、吊装方案,精心组织运输车辆、运输工具、起吊设备和起吊工具。各大部套都在南京天文学技术研究所内进行了初装和机电联调,并进行了现场安装模拟。

2007年2月,LAMOST首批1.1米六角形

Mb子镜在国家天文台兴隆观测站安装成功。由于在望远镜的结构中,Mb子镜的倾角朝下,因此在立项阶段,参加项目评审的专家就认为LAMOST主镜的安装难度很大。在时间紧迫的情况下,工程指挥部组织项目人员反复进行实战模拟,最终完成了安装。此后,项目进入光学装调阶段,主动光学部分的实验进度也不断加快。

2007年5月,正在调试中的LAMOST小系统,即Ma与Mb子镜比例为4:9的实验系统获得了首条天体光谱。之后随着调试的进展,小系统不断获得越来越多的天体光谱。LAMOST小系统的研制调试是整个项目非常重要的环节,小系统包括3米口径的镜面、250根光纤和一台光谱仪及其2台CCD相机以及完整的机架、跟踪和控制系统,相当于一个能够模拟LAMOST实现观测的最为简化的光学系统。小系统的研制成功是主动光学实验向系统级扩展的重要一步,这说明两大关键技术——薄镜面及拼接镜面的主动光学和并行可控式光纤定位技术——在扩大系统规模以后仍然十分有效。

随后,中科院基础局组织了国内天文、天文仪器、光学、精密机械、电子及管理科学等领域的专家,对LAMOST“小系统”进行了综合评估。测试专家组到国家天文台兴隆观测基地进行了两次现场测试和考察。在LAMOST小系统验收会上,验收专家组听取了LAMOST项目工程指挥部的研制报告、测试专家组的测试报告,审阅了相关技术资料,认为:“LAMOST小系统的光学质量完全达到了指标要求,……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;……同意通过验收。”

中国科学院国家天文台. LAMOST项目国际评估委员报告, 2005.6.

中国科学院国家天文台. LAMOST简报, 38-39期.

中国科学院国家天文台. LAMOST简报, 40-42期.

中国科学院国家天文台. LAMOST简报, 43-45期.

2008年6月,项目组在国家天文台兴隆观测站完成了LAMOST全部24块反射施密特改正镜(Ma)、37块球面主镜(Mb)的安装,并在现场进行最后阶段的装调。10月16日,作为世界上口径最大的大视场望远镜和光谱获取率最高的望远镜,LAMOST正式落成。2009年6月,LAMOST顺利通过国家发改委组织的竣工验收。验收专家认为,LAMOST全体人员全面优质完成了工程建设任务,其中望远镜光学像质、跟踪指向精度显著优于设计指标,表明LAMOST已具备甚至超过了预期能力,成为目前国际上口径最大的大视场望远镜和光谱获取率最高的望远镜^[10]。2010年4月17日,LAMOST被正式冠名为“郭守敬望远镜”。

4 LAMOST 的改造与运行成果

4.1 对装置的改造与优化

由于大科学装置的整体性能在各功能模块组装完成之后很难一次性达标,所以项目完工之后,还需要进行很多调试、改进和优化性能的工作。只有通过长达数年的试运行,装置才能达到预期水平。

2010年12月15日,郭守敬望远镜(LAMOST)运行和发展中心对LAMOST镀膜机进行了兴隆现场安装调试验收。到该年年底,技术维护与发展部光学维护小组完成了5块MA子镜的镀膜,使得镀膜后的镜面反射率达到92%,较镀膜前提高了约10%。2011年中,MA子镜的重新镀膜全部完成。2011年5月底,LAMOST光纤定位取得了突破性进展,总体精度已优于0.45角秒,其中90%的光纤定位精度在1角秒之内。

相应的改进工作包括:(1)采用照相法对光纤单元在焦面板上的坐标进行多次标定,改善了光纤单元的坐标精度。目前96%的光纤单元在焦面板上的定位精度优于50微米(相当于0.5角秒)

之内。这为光纤定位精度的提高提供了硬件上的保障。(2)对焦面比例尺进行实时改正,使得焦面坐标框架与天球在焦面上的投影坐标对准,并稳定在0.1角秒左右。(3)对光纤坐标框架进行调整,通过对同一观测目标分三次不同光纤走位(零位、径向和角向)来比较光效率的方法,消除了大气透明度变化和光纤之间效率差异的影响,更直观地判断与计算平移、旋转和焦面比例尺对光纤坐标框架的影响,同时更准确地计算每根光纤的定位误差,提供高阶坐标形变的改正。(4)对光纤坐标系进行精确测量,通过将4000根光纤分成160组,每组25个源分别给出不同坐标偏置,进行光纤定位误差测量。

2011年8月31日,郭守敬望远镜(LAMOST)科学委员会在对2009~2011年的试观测数据进行分析后,决定采用2/3狭缝开展LAMOST巡天计划。郭守敬望远镜运行和发展中心测定了1/2、2/3和狭缝全开情况下不同光谱仪、不同光纤的光谱分辨率。采用2/3狭缝不仅能够提高观测的通光效率,而且还可以将两个工作组的科学目标相结合进行观测,从而提高望远镜的使用效率。2011年夏,中心技术维护与发展部的技术人员对光谱仪狭缝进行了升级改造。经过精细设计、加工和现场装调,2011年8月完成了16台光谱仪定宽狭缝的安装和检测。2011年10月23日,LAMOST正式启动先导巡天,至2012年6月顺利完成。2012年9月底,LAMOST进入正式巡天阶段。2013年6月28日,LAMOST子镜镀膜设备及配套装置维修改造项目通过总验收^[10]。

4.2 主要运行成果

LAMOST建成以后,国家天文台成立了LAMOST运行和发展中心,下设各业务部门。同时,还成立了郭守敬望远镜(LAMOST)科学委员会,其主要职能是对LAMOST的科学目标、发

展方向提供科学咨询,制定 LAMOST 的观测和运行计划及重大合作计划,评议装置的运行和使用情况等。运行中心还设立 LAMOST 用户委员会,负责数据产品进行评价和推介。

LAMOST 的数据共享对于不同国别、不同级别的合作单位和个人有不同的方式。LAMOST 数据共享政策规定国内的科学家具有数据的优先使用权,每个季度望远镜所观测到的新数据都会适时地向国内天文界发布。国内有天文学科的研究单位直接具备参与单位资格,科学委员会中一般也会有参与单位的代表。一些国外合作单位对于 LAMOST 的建设和运行有很多贡献,他们同样可以获得即时发布的数据,也有权利申请独立的观测计划。对于国外的其他用户,如果愿意将其申请到的一部分科研经费投入到 LAMOST 的研究项目中,或者与国内外有资格直接参与的单位或个人合作,也可以获得相应项目观测数据的优先使用权。对于一般的国外用户,也有机会利用 LAMOST 数据进行自己的科学研究,因为相关数据在向国内开放一年半以后,将向全世界天文界发布。

2009 年 10 月至 12 月, LAMOST 利用暗夜和灰夜对天文学家提出的 14 个科学测试天区反复进行了测试观测,共观测和处理得到了超过 20 万条天体光谱。通过分析,发现了一批新天体,包括银河系中的贫金属星候选体、仙女星系中的行星状星云以及遥远宇宙中的类星体^[12]。

2010 年 6 月,北京大学天文学系的一个研究小组利用郭守敬望远镜科学试运行阶段测试数据,获得了一批科学成果,发表于《Research in Astronomy and Astrophysics》杂志上。其中一篇文章报道了在银河系的姊妹星系—仙女座大星云里新发现的数十个行星状星云,其中某些行星状星云距仙女座大星云中心距离达 40kpc (约 130400 光年),极有可能是仙女座大星云在其形成过程中吞噬、吸积卫星星系后残留的遗迹。另一篇文章报道了仙女座大星云临近天区内首次发现的十几

颗类星体。类星体作为宇宙中最明亮的“灯塔”,是研究沿其视线方向上分布的星际/星系际介质化学和动力学性质的极佳探针^[13]。

郭守敬望远镜 (LAMOST) 于 2010~2011 年期间开展了 M31/M33 及其临近区域的背景类星体搜寻工作。通过对 LAMOST 性能测试和先导巡天取得的数据进行研究分析,中心工作人员在 M31/M33 及其临近区域约 135 平方度天区内新发现 500 多颗背景类星体。这一重要发现使这一天区内类星体的数目有了显著增加——位于 M31 中心 2.5 度半径 (约 35 千秒差距) 内的类星体数目增加到 93 个,其中 73 个来自于 LAMOST 的发现;位于 M31 非常延展的外晕、巨流星以及周围复杂子结构区域新增数百个背景类星体,是将来测量 M31、M33 及其周围子结构微弱自行的理想坐标参考系;而在新发现的类星体样本中, i 星等亮于 17.0/17.5/18.0 等的类星体数目分别由原来的 21/42/64 增加到 26/62/139 个。这些低红移亮类星体是将来研究 M31/M33 及其周围子结构内星际介质和本星系群内星系际介质性质的极好样本。2013 年 4 月,有关学术论文被国际天文期刊《Astronomical Journal》发表^[14]。

2012 年,我国一研究小组利用 LAMOST 先导巡天期间的光谱数据,证认出 70 颗具有高信噪比光谱的 DA (富氢) 白矮星,其中 35 颗是迄今最新发现的 DA 白矮星。通过测量这些白矮星的有效温度、表面重力加速度、冷却年龄、质量和距离等参数,并对这些白矮星的运动学和质量统计进行分析,该小组再一次验证了 Wegg 等人提出的观点:质量大的热白矮星具有离银盘更近的趋势。该科研成果于 2013 年 6 月在 Astronomical Journal 上发表^[15]。

2012 年年底,任娟娟等人从 LAMOST 先导巡天光谱数据中搜寻出 28 颗白矮-主序双星,并选取其中 10 颗白矮-主序双星作为研究对象,测量了 DA 白矮星和 M 矮星的恒星大气参数、质量和半径,并测量了双星中白矮星成分的致冷年龄、

伴星的光谱型和视向速度。最终发现其中 2 颗具有强的共包层后双星候选体。2013 年 7 月, 这一成果在《Astronomical Journal》上发表^[16]。

2013 年 6 月 15 日, LAMOST 完成正式巡天第一年的观测任务。包括先导巡天和第一年正式巡天的光谱数据正式释放, 供国内用户和国外合作者使用。释放光谱数共计 220 万, 其中还包括 108 万颗恒星光谱参数星表, 是目前世界上最大的恒星光谱参数星表^[17]。

2013 年 11 月, 美国伦赛勒理工大学和国家天文台研究人员合作, 利用 LAMOST 先导巡天期间获取的约 400000 的大样本恒星进行分析研究, 发现银河系盘星的运动形式并非人们之前想象的, 只是简单的圆周运动。通过对 LAMOST 观测到的这些太阳领域银河系盘星的速度进行测量分析发现: 银盘上方的恒星正在远离银河系中心运动, 并伴随着沿盘向下运动的趋势; 而位于银盘中间下方的恒星则进行着相反方向的运动。该研究成果发表在国际天文期刊《Astrophysical Journal Letters》上^[18]。

2014 年初, 国家天文台衣振萍、罗阿理等人对 LAMOST 先导巡天中 58,360 条 M 型矮星光谱进行了基本参数测量, 包括光谱型、视向速度、重要分子带指数、金属丰度敏感指数 ζ 、 $H\alpha$ 等值宽度及强度、磁活动, 最终得到 LAMOST 先导巡天 M 型矮星光谱参数星表。他们利用 SDSS DR7 中的 70,841 条 M 型矮星光谱对现有的测量光谱型方法进行改进, 就原始方法中把晚型 M 矮星分早一个次型的情况做了很大改善, 分类标准差由 1.07 个子型误差降低到 0.67 个子型。经分析星表发现: LAMOST 先导巡天 M 型恒星中矮星光谱型占了很大比例, 且大多为早型矮星, 晚型矮星的数量相对较少。根据磁活动星筛选标准, 在 58,360 个 M 矮星中, 1971 个为 $H\alpha$ 磁活动星, 22,987 个为非 $H\alpha$ 磁活动星。他们还验证了 M 中晚型星有较高的磁活动比例。该项研究成果被《Astronomical Journal》发表^[19]。

2014 年 3 月, 北京大学黄祥、刘晓为等人基于哈勃望远镜 (HST) 拍摄的图像和紫外光谱及 LAMOST 拍摄的光学光谱, 发现了一个新的相距 4.7 kpc (光年) 的活动星系核对。该活动星系核对的发现为研究星系合并又增加了一颗样本, 也充分展示了 LAMOST 在寻找活动星系核对中的能力。此研究成果被《英国皇家天文学会月刊》(Monthly Notices of the Royal Astronomical Society) 发表^[20]。

5 关于大科学工程的几点认识

LAMOST 工程的探索和实践, 为我国大科学工程的立项、建设和国际合作提供了众多经验, 是我国大科学工程建造领域的一个典范。通过梳理 LAMOST 工程的立项、建设和运行, 可以引申出如下关于大科学工程特点的几点认识。

5.1 大科学工程是基于科学又为了科学的工程

LAMOST 的经验表明, 大科学工程与其他工程相比的一个突出特点在于, 它是基于科学又为了科学的工程。所谓为了科学, 是指大科学工程的建设主要服务于科学研究, 尤其是原创性科学研究, 为其提供强大的科研基础设施。所谓基于科学, 是指大科学工程要依托当前科学的最新进展, 进行科学论证、设备研制和功能改进, 因而大科学工程的建设过程, 本身就是一个科学研究乃至技术开发的过程。甚至可以说, 大科学工程是科学研究、技术开发和工程建设“三位一体”的特殊工程活动。在这里, 科学、技术和工程不再是分立的“三元”, 而成了融合性的协同创新过程。而这样一种工程, 从功能发挥的角度看, 也就成为了一种“科学生产力”, 而不仅仅是一般意义上的“直接生产力”。

5.2 大科学工程是基于研究的创新性工程

作为支撑原创性科学研究的重大基础设施, 大科学工程本身也必须在技术水平上有所超越,

因而创新性是大科学工程的应有之义。LAMOST的成功反映出我国老一辈天文学家的创新追求：一方面，LAMOST计划抓住了国际天文学界“大规模天文光谱测量”的宝贵机遇，提出并设计出一种“大口径与大视场兼备”的天文望远镜，打破了天文光谱测量的“瓶颈”；另一方面，我国天文学家在对英美多目标光纤光谱仪技术有所借鉴的基础上，提出了镜面拼接加变形和采用4000根光纤进行光谱观测的创新方案。LAMOST所确立的技术指标，在当时国际天文学界，是前所未有的，由此造就了LAMOST独一无二的地位。正因为大科学工程是创新性工程，面临着很强的不确定性，预制研究才关乎大科学工程的成败。LAMOST工程建设时期，我国在预制研究的实施方法上还处于探索阶段。LAMOST预制研究在项目立项前就开始着手进行，而且预研计划也制订得很周密。尽管由于各种原因，预研计划的实施并不顺利，但这并不否认预制研究发挥的关键作用。

5.3 大科学工程是资产专用性奇高的工程

大科学工程采用的关键设备，基本上都是专门的非标设备，其资产专用性程度特别高，需要在研究基础上定制完成。这就大大提高了大科学工程建设的成本，为之增加了很多变数和不确定性。因此，尽量建立和维持非标设备的多方供应源，就成为了一个重要策略。例如，在LAMOST建设过程中，由于微晶玻璃镜坯的订货厂商上海新沪玻璃厂最终未能按要求提供合格产品，项目指挥部不得不向国外供货商订货，这之所以可能，就在于已经提前有所准备，否则势必会因此耽误工期。在大科学工程建设中，由于存在着大量的非标设备的研制，又要满足技术的创新性、质量、工期和价格的要求，有些设备必须由建设单位的科研人员自行研制，而难以向外订出合同；同时，设备的安装与调试也主要由建设单位自行完成。

因此，这部分人员费用（包括工资、奖金、福利和社会保险等）也应该纳入工程预算，而不应自行补贴，这就必然会涉及所谓的“自营问题”——大科学工程项目中存在的向自行研究的人员支付费用的问题。对于一般项目而言，“自营”可能并不符合国家的基本建设项目管理的相关规定，但对于大科学工程而言，“自营”却是不可避免的。

5.4 大科学工程是以科学家为核心力量的工程

由于大科学工程是基于科学又为了科学的工程，因此，科学家必然在其中发挥至关重要的作用。他们通常既是大科学工程的倡导者，又是大科学工程建设的关键参与者，还是大科学工程的最主要用户。从这个意义上说，大科学工程建设是一种希普尔（von Hippel）所说的“用户创新”（user innovation）。就此而言，大科学工程的成败有赖于科学家在立项、建设和运行过程中的全面参与。为此，需要正确认识科学家的特殊作用，不能仅仅用论文产出对他们的成就进行评价。从1998年到2004年，是LAMOST项目组攻克关键技术的重要阶段，当时很多科研人员选择“下海”，LAMOST项目面临几乎无人可用的困境。为了解决人才稀缺问题，工程指挥部只好返聘一批老专家。项目总工程师崔向群对这段经历回忆到：“1998年到2004年是我们最困难的时期，技术攻关难题、人才青黄不接、机构调整带来的矛盾等一系列问题都集中在这个时期，当时我们心里的苦可想而知。……”^[8]可见科技人才问题的突出重要性。当然，科学家的特殊作用，也表现在他们作为“经理人员”的作用。科学家在LAMOST经理层也居于核心地位。在1997年工程指挥部扩大会议上，中国科学院的相关负责人特别指出，应当保证项目总经理的责、权、利，而其他项目

负责人应当能不折不扣地执行其决策。

5.5 大科学工程是扎根于国际合作的工程

大科学工程由于是基于科学又服务于科学的工程, 而科学是无国界的而且科学的评价标准在国际上只有一个, 因而, 大科学工程的立项、建设和运行都必须扎根于国际科学界并在国际学术交流中发挥关键作用。LAMOST 的建设首先是立足于与国际同类装置的竞争。由于 LAMOST 项目与功能相近的美国“SDSS”望远镜项目同期建设, 并且 SDSS 会先于 LAMOST 项目建成, 所以在更短时间内完成建设任务, 实现望远镜通光, 将会使 LAMOST 在科研竞争中处于有利地位。LAMOST 立项之初, 为了达到国际一流, 项目主要负责人从 1997 年开始就多次出国访问交流, 了解国外天文台在大样本巡天方面的进展。后来, 项目工程部还邀请了一些国外天文学界的知名专家来华, 就 LAMOST 相关科学与技术问题进行交流和研讨。在项目建设过程中, LAMOST 项目人员一直与功能相似的 SDSS 望远镜项目和 AAT 望远镜项目保持着密切联系。在对 LAMOST 建设进行的多次评估中, 我国天文界也充分利用了国外资源。在项目中期和建成后的国际评估中, 我国均邀请了国际上最知名的天文仪器专家和天文学家作为评委, 使得 LAMOST 成为了一个国际化程度很高的项目。国际合作与互通有无, 为 LAMOST 项目准确定位并高水准建设提供了重要支持。

参考文献

- [1] 王大明. 大科学工程: 在探索与造物之间——以中国 EAST 托卡马克核聚变装置的建造为例[J]. 工程研究, 2007(1): 196-209.
- [2] 尚智丛. 国家目标对大科学装置发展的影响——以美国康奈尔同步辐射光源为例[J]. 自然辩证法研究, 2010(12): 54-60.
- [3] 唐素琴, 李志红. 我国大科学工程预制研究的特点及几点思考[J]. 自然辩证法研究, 2008(1): 62-67.
- [4] 赵文彦, 丛治炳, 许平. 重视大型科研工程建设的管理——中国科学院专项加速器建设工程调查[J]. 科学学研究, 1984(3): 62-72.
- [5] 杜澄, 尚智丛等. 国家大科学工程研究[M]. 北京: 北京理工大学出版社. 2011.
- [6] 赵永恒, 彭子龙. 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[J]. 中国科学院院刊, 2009, 24(3): 317-320.
- [7] 王绶琯. 我国天文建设策略的探索——从 LAMOST 方案谈起[J]. 自然杂志, 1995, 17(4): 185-188.
- [8] 王绶琯. 今日 LAMOST 温故一定位——立新[J]. 中国国家天文, 2008(11): 14-21.
- [9] 为了成就扫描世界的中国巨眼——崔向群、褚耀泉谈国家重大科学工程 LAMOST 项目[J]. 发明与创新, 2009(10): 50-51.
- [10] LAMOST 项目进展 [EB/OL]. http://www.lssf.cas.cn/LAMOSTwyj/xmjz/index_2.html
- [11] 王绶琯. 为建议“4米南方 LAMOST”方案致崔向群等同志信[J]. 中国国家天文——王绶琯自选诗文集, 2007: 114.
- [12] 郭守敬望远镜(LAMOST)发现一批新天体[EB/OL]. (2010-9-26). http://www.lssf.cas.cn/zycg/201009/t20100926_2974199.html
- [13] 北大获得郭守敬望远镜(LAMOST)第一批科学成果[EB/OL]. (2010-6-23). http://www.lssf.cas.cn/ywdt/201009/t20100901_2937775.html
- [14] LAMOST 在 M31/M33 及其临近区域发现 500 颗类星体[EB/OL]. (2013-4-30). http://www.lssf.cas.cn/ywdt/201305/t20130515_3840332.html
- [15] LAMOST 发现 70 颗白矮星[EB/OL]. (2010-7-12). http://www.lssf.cas.cn/ywdt/201308/t20130815_3912780.html
- [16] LAMOST 捕获 28 颗白矮-主序双星[EB/OL]. (2013-7-20). http://www.lssf.cas.cn/ywdt/201308/t20130815_3912845.html
- [17] LAMOST 发布世界上最大的恒星光谱参数星表[EB/OL]. (2013-8-26). http://www.lssf.cas.cn/ywdt/201309/t20130922_3935741.html
- [18] 大量银河系盘星速度子结构的新发现[EB/OL]. (2013-

中国科学院国家天文台. LAMOST 项目工程指挥部会议纪要, 1997.

中国科学院国家天文台. 大天区面积多目标光纤光谱望远镜(LAMOST)项目建议书, 1996.

中国科学院国家天文台. LAMOST 简报, 1-12 期.

中国科学院国家天文台. LAMOST 简报, 36 期、50 期.

- 11-5). http://www.lssf.cas.cn/ywdt/201311/t20131105_3968092.html
- [19] LAMOST 获取先导巡天 M 型矮星参数星表[EB/OL]. (2014-2-14). http://www.lssf.cas.cn/zycg/201402/t20140214_4032645.html
- [20] LAMOST 和 HST 强联手: 新发现一颗活动星系核对 [EB/OL]. (2014-3-7). http://www.lssf.cas.cn/LAMOSTwyj/zycg/201403/t20140307_4047537.html

The Approval, Construction and Operation of LAMOST Project

Li junfeng, Wang dazhou

(School of Humanities and Social Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This paper sorts out the whole historical development sequence of LAMOST (The Large Area Multi-object Fiber Spectroscopic Telescope) from concept formation to project approval and construction, until the project was completed. It reviews the difficulties and remarkable progress of the project in its process of evolution. Accordingly, this paper analyzes the characteristics of the construction project of large scale research facility and presents that such a project is based on science and made for science, that it is research-based innovative project, that it is a kind of project whose assets specificity is extremely high, that its core strength comes from scientific communities, and that it is rooted in international cooperation.

Keywords: large scale research facility; history of engineering; LAMOST