



编者按：由王绶琯和苏定强两位著名天文学家、中科院院士牵头提出的“大天区面积多目标光纤光谱望远镜”（简称LAMOST）的设计方案，具有国际领先水平。目前，这一方案已得到中国天文界的赞扬和支持，同时也受到国际同行的好评和关注。此项目已获中国科学院批准，报送国家计委立项。

LAMOST，原名“大天区面积多目标光纤光谱望远镜”。有些长！依国际科学社会的习惯，可以用英译全名字头简写。1994年在“他”学名待定之际，中国科技大学周又元教授提出了这个既容易上口又留有可供意会的“字义空间”的“LAMOST”。

说起LAMOST，我总是会想起十来年前那次和天文同仁们夜航舟山。看着栏杆旁宁波的灯光渐渐隐去。我独自回味着当天下午参观天一阁时的心情。那时的中国知识分子原来有那么一股傻劲！天文学中呢？何尝没有。五四时期的那些天文拓荒者，不也是那股劲？……

苏定强、陈建生同志这时找到了我，他们两位现在都是中国科学院院士，那时同是属青年学者。他们好像也憋了一股劲。找我是为了讨论下一步的中国天文设备。当时2.16米望远镜即将竣工。转过身来，我们正面对着一个“极其困难、又是非常急迫的下一步”。我们的“浩劫”年月，正赶上国际上天文学在突飞猛进。现在放眼望去，学科发展和技术进步都已经“上满了发条”，世界“天文强国”纷纷投入到“设备竞赛”。当时议程中的哈勃空间望远镜、伽玛射线天文台、新一代的X、IR等等空间设施、10台左右的“8米级”新技术光学望远镜、各个波段的射电望远镜和干涉仪……，总起来投资不下六、七十亿美元。天文学正在调动千军万马向“全波段”进军！主要战场上，近从银河系、恒星和它们的行星系统，远到星系世界、宇宙结构和宇宙学领域，都摆出了百骑

## LAMOST 之旅

○ 王绶琯

争驰、“逐鹿中原”的架势。在这样的背景下，我们该怎么办？

我们当时的情况是：“十年一觉文革梦”醒来以后，头几批出国进修的天文骨干已经回来，他们把自己和自己周围青年人的研究接上了国际的轨。人才算是有了初步的储备。设备上，紫金山天文台、上海天文台、北京天文台分头在建的毫米波、厘米波、米波射电天文设施，将使我们初次能在不同波段进入到以往不能进入的宇宙射电实测；光学方面，2.16米望远镜从“大跃进”、“三年困难”、“十年文革”的坎坷曲折中挣扎出来，这时经过了整、修、补、改，终于活了下来，即将实现一代人拥有中国自己的中型望远镜的渴望。（这里我们不得不提起在逆境中始终不渝地支持我们的龚祖同先生，以及任劳任怨一干到底的几任后继者。凭着他们这一股“傻劲”，不但保全了如今人们称之为东亚最大的望远镜，还磨炼出了一批天文仪器人才，包括几位杰出人才。）

凭这些新起的天体物理人才和磨炼出来的天文仪器人才，我们是应当能够有所作为的。

“有所作为”就是学术上与世界争锋。我喜欢“逐鹿中原”的比喻。学术争锋就像是围猎，猎手们之间既合作又竞争。广阔猎场，除了要“逐”的“鹿”，还会有山鸡、狐、兔……，还常常会有意料不及的珍禽异兽。现在，“强国”的七、八支装备精良的猎队正陆续进入阵地，声势浩大。我们呢？装只是轻装，人多半新人，对比悬殊，参加进去后能不能找到自己的位置？

是的，我们不能跟人家拼经济力量、搞昂贵装备，我们又不愿意定格在人家的队伍后面跟着跑，收拾一些狐狸兔子而与“逐鹿”无缘。我们也做不到分管一方、打阵地战、浩浩荡荡、横扫一片。但是，是否可以设想：如果我们能够认准目标，然后探明方向找到一个有利的突破点，然后把虽然有限但是能够良好配合的力量集中起来向纵深挺进，我们是不是也有可能捷足先登，会走到别人的前面率先开辟出一块属于我们的“首猎”区？

“可能性”应当是肯定的。有史可鉴。远自《孙子

兵法),近及毛泽东军事思想。所谓“集中优势兵力打歼灭战”。天文学的一些历史事件也可作证。

在天文学科开拓上,认准目标、找到突破口,需要有天体物理学家的学术渗透力和预见性;针对突破点、研究出“挺进”的设施,需要有天文仪器专家的科学敏感性和技术创造力。两者应当像是一个人的两只手那样配合,使能在整个“探路”、“开路”的过程里,科学目标和技术方案之间不断地协调进退,不断地追求优化。

为此,熟悉仪器、尊重技术工作的天体物理专家,和熟悉学科、尊重研究要求的天文仪器专家的深层次学术配合,当是我们成功的关键。可幸的是,舟山夜航在我面前的恰是两位这样的专家。同仁们促膝谈谈想法在科学生涯中本属常事,但是这一次在我却是难忘的。原因是它推动了我从此把促进和维护这两类学科之间的这种合作视为振兴我国天文学的要务。它同时引发了我对学科建设策略问题的深思,意识到必须从思索升高到探索,把它作为一个研究课题来对待。此后的十年里,这种研究始终没有离开过手头(也算是一种“傻劲”吧!)。一些体会发表在1992和1995年《自然杂志》的五篇连载文章里(参见1992年第647、816、894页和1995年第185页)。第五篇说的是策略的实践,着重介绍了LAMOST方案及其形成。

舟山开会之后,开始了方案的探讨。前后十多年,经过了多次学术讨论,三易蓝图。到1994年才最后定型在LAMOST。

最先的方案是陈建生提出的。第一步的内容是“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”。施密特镜口径将为150厘米,居世界首位。采用与“UK施密特镜”相似的工作模式(除成像和光度学系统外,着重配备物端棱镜和光纤系统),制成后其“巡天”和大规模“选样”(如类星体的选样等功能,在北半球将是独一无二的。这个方案陈建生提出后得到了国家的支持(以及欧共体成员国的主要天文单位的支持)。他主持了总体设计,其中包含了对在我国观测条件下光纤光谱仪各项指标的计算。这个方案后来因故没有实施(但是我国的光学巡天工作则由于陈建生等对60/90厘米施密特望远镜的巧妙使用得到了重要的发展)。

“8米级后随光谱望远镜”最初受到了H·史密斯提出的PT-SST系统的启发。PT-SST是一个口径8米的球面望远镜,镜面由多个构形相同的小球面拼接而成,采用了“等高仪装置”,固定在一个倾斜角上的主镜可以通过镜座的转动来对准所需的“观测位

置”。天体在“过等高圈”时进入望远镜视场,在焦面上成像。探测天体时所需要的长时间曝光(几十分钟或更长)要求望远镜有相应的跟踪能力。为此用了精确移动焦面探测器的跟踪方法。对焦面成像中的球面像差的改正,PT-SST的方法是,在视场中每个待测目标的位置上放一个“改正透镜”,改正了像差又同时把收到的光由光纤引到一个光谱仪的狭缝上。狭缝上可以排列许多根光纤,因而可以同时测量视场上许多个天体的光谱。PT-SST在光纤光谱的测量上,可望达到与“8米级”新技术望远镜相近的能力。而它由于采取了“等高仪装置”(主镜只有一维旋转运动,而不是其他望远镜那样的二维旋转),造价较之新技术望远镜约低一个量级。

用类似于PT-SST这样的望远镜与我们自己的巡天工作相配合,由巡天资料选出的大批等待光谱测定的样本,可以较快较多地得到安排。当然,这种“后随”主要是随着“使用权”而来的使用上的配套,而不涉及更多的功能。但是,如果想到巡天资料的主要特点是覆盖广大的天区、记录到尽可能多的天体。结合巡天选出的样本(如星系、类星体、某个亮度限以内的各种目标,以及射电源, X源, IR源等等)都有着“大天区分布——多样本”的性质。而PT-SST也和其他的大型望远镜一样,视场比较小(难以覆盖大天区),光纤数量不多(难以应付“多样本”),实际上不能做到有效的“后随”观测。

针对这些问题,苏定强把设计目标转移到“大视场——多样本”上。PT-SST的光纤数量不多的一个主要原因是“改正透镜”的尺寸太大。而这种改正透镜的尺寸与望远镜的“焦比”的平方成反比。“焦比”是望远镜的焦距与口径之比。PT-SST的口径大达8米,需要有很长的焦距才能得到足够大的焦比。苏定强把口径降到4米(当时最大的光学望远镜为“4米级”)。下一阶段“8米级”新技术望远镜进入角色后,在大规模光谱观测这类课题上,“4米级”望远镜仍将起重要作用)。取焦距为16米,得到了焦比4。由此设计的改正透镜,直径为2厘米。在下面即将说到的视场上,可以安放600个这样的透镜(也就是引出600根光纤对600个天文目标同时进行光谱测定)。苏定强用“子午仪装置”代替了“等高仪装置”,在天体通过子午(即南北)方向时进行观测。这时天体的方位离地平最高,成像质量受地球大气的影响最小,运行的轨迹也最平坦,因此是最佳的选择。

这个方案中取消了镜筒。把望远镜圆顶在南北方向开的天窗的框子作为支撑焦面探测器系统的支架。为了扩大视场,主镜向东西方向扩伸。焦面探测

器相应地沿东西方向排列(见图1。图1是它倒下来放时的形状,结构原型没有变)。支架距主镜16米(焦距的长度)。

这种望远镜的功能与PT-SST的区别很大。设计上,它是我们向着解决天文望远镜设计上“大口径和大视场难以兼备”的难题迈出的第一步。

这个方案曾多次在国内外会议中讨论。对它的耽心主要有两点:一是科学目标上,它已经脱离了与“中国巡天”配合(“中国施密特望远镜”这时已经停止研制),那么,面向国际,这种4米口径、600根光纤的设备,制成后届时能有多大的竞争力?二是技术上的,它的焦面探测器系统,要带着许多光纤在远离主镜16米的支架上精确跟踪天体,它的机械难度如何能保证得到克服?

这一期间我们得到了美国SLOAN计划(简称SDSS)的报告。这是美国普林斯顿大学天文学系等四个单位(后来又加入了日本国家天文台等两个单位)合作的项目。望远镜是专门为了在大天区范围进行大量目标的测量而设计的,目的和我们完全一致。SDSS的口径2.5米,地平装置,视场约7平方度。焦面上引出660根光纤接到望远镜后端的两台光谱仪上。它的目标是在10000平方度的天区范围内测出 $10^6$ 个星系和 $10^5$ 个类星体的光谱。这种测量预计将在跨世纪时期完成。SDSS的重要性是明显的。仅举星系谱线红移一个例:到目前,光学巡天已经登记下来的天体数目约为 $10^9$ 。其中得到光谱测量(包括星系红移测量)的仅及 $10^5$ 。而几年前这 $10^5$ 左右的星系红移样本的测出,给宇宙结构研究、宇宙学研究带来的爆炸性冲击,人们至今记忆犹新。SDSS计划几年内将测到比这更多出10倍的天文光谱,涉及到更深得多的空间范围。这对当前的天文研究将要产生巨大影响应当说是毋庸置疑的。

SDSS计划的出现使我们必须重新检查自己的方案。结果认为:首先,以“大天区面积、大规模光谱测量”为突破口的抉择是可取的,而现在遇到了强大的对手;第二,我们的设备在SDSS完成观测之后才能制成,因此性能指标必须较大地超过SDSS(否则,可能难以确保学术效果)。为此,把望远镜口径取为4米以上(SDSS的为2.5米);第三,SDSS的观测计划将在跨世纪时完成。我们应当尽可能利用现有台址,以避免选址和建址所费的时间。这样的话,口径的优势将被台址的劣势所抵消。因此,在视场大小和光纤数量上建立优势是至关重要的。

现在我们可以把SDSS的性能作为参照,来考虑“大口径兼大视场望远镜”的设计。前面说到,在这个

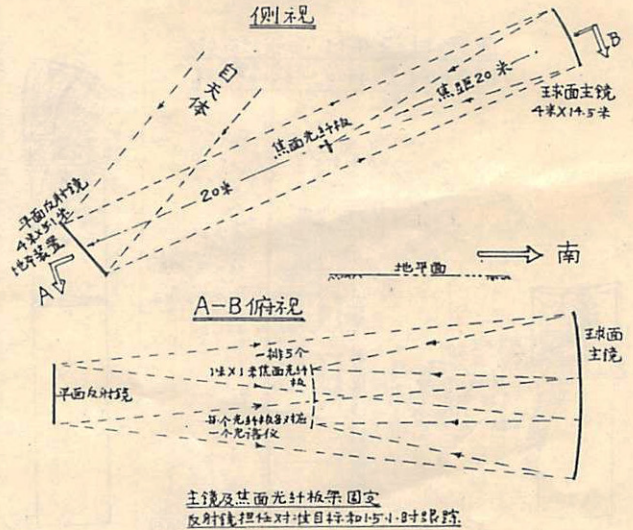


图1 第三方案结构示意图

问题上大的焦比是关键。为了使焦距能够做到比现有望远镜的长得多,我们把前面方案的子午仪系统倒下来放,加上一面反射镜,成为一种“卧式子午仪”。图1是这种结构的示意。图中的文字概略地说明了它的规格和工作方式。这样的卧式结构,球面主镜和焦面光纤板架分别固定在地面上,两者之间的距离,也就是焦距,可以很容易地做到设计所需的长度。这里定焦距为20米。对于4米望远镜,焦比为5,按设计可使改正透镜的尺寸降到1.3厘米。这种透镜安在图中所示的5个 $1 \times 1$ 平方米的光纤板上,总共可安4500个。光纤板覆盖的视场约 $5 \times 8$ 平方度。这样的视场和光纤数目(即透镜数目)都比SDSS的大得多。

由于光纤板架固定在地上。连接光纤另一端的光谱仪可以固定地安在附近。这使得我们可以很容易地设置一个光谱仪组,例如包括10台左右分辨率有高有低的各类光谱仪,以适应很大的光纤数目和不同的观测要求。这个很重要的特色也是SDSS所不具备的。

对准目标和跟踪(1.5小时)的任务由位于主镜球心处的反射镜来承担。反射镜安在一个“地平装置上”(参照图1)。

这个方案的缺点是不能用以进行成像观测。虽然这对当前的科学目标来说影响不大。但作为一种新型的天文设备,这种欠缺还是令人遗憾的(尽管它的巨大视场十分吸引人!)

LAMOST方案保留了“卧式子午仪”的结构,因而也保留了前一方案的优点。但是在光学上改用典型的“反射式施密特望远镜”设计,把位于主镜球心处的反射镜用作改正球面像差的“改正板”。根据苏

通光口径 4M 视场  $5^{\circ}2'$   
同时测量 4000 - 6000 光谱

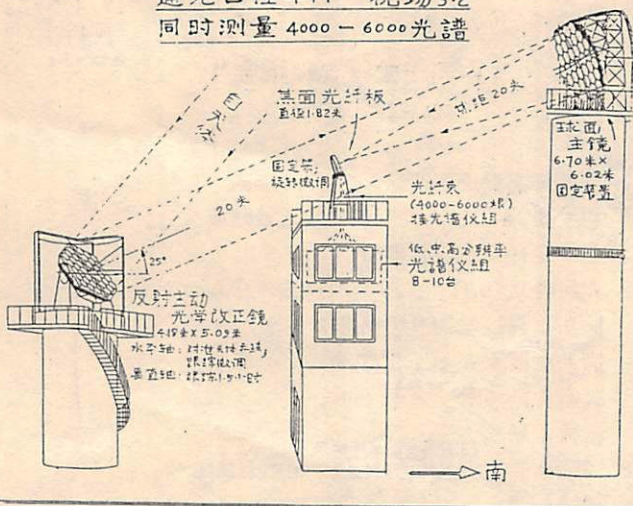


图 2 LAMOST 结构示意图

定强、王亚男的设计,焦距 20 米,焦比为 5,得到的视场约为 20 平方度。视场在焦面上的线尺度约 2.5 平方米,可以很充裕地安放 4000 到 6000 根光纤。这些规格较之 SDSS 有着很大的优势。但是,粗粗一看便可发现,这样的系统存在着一个严重的矛盾。即,球面像差的改正,要求改正板设计成所需的“非球面形状”。改正板相对于球面主镜的倾斜角度不同时,对这种“形状”的设计也不相同。但是,担任着这种改正板的反射镜,在执行它的对准和跟踪目标的任务中却必须随时改变它相对于主镜的倾斜角度。这就是说,要求反射镜这样地“一身二任”,本身是矛盾的。

苏定强等提出的“主动反射镜”方法解决了这个矛盾。他们把反射镜做成由多块薄镜面拼成、施加“主动光学”控制使整体镜面可以随时调整成所需的“非球面形状”。这样,反射镜在跟踪目标的过程中可以按预定程序同时改正球面像差。这个方法创造性地应用了主动光学技术。对于 LAMOST,是“画龙点睛”的一笔。

LAMOST 是一种新型望远镜,它的名称应当是“卧式子午装置主动改正板反射施密特望远镜”。它近期的首要任务是“大天区面积多目标光纤光谱”的开拓。开拓能力如果用“性能指标”来表达(定义:一个望远镜的这种性能指标为:对一批相同的天体作同样规格的光谱测量时,在一个规定的时间内它所能得到的光谱数量),取 SDSS 的性能指标为 1,则 LAMOST 的当为 19。

这种性能使 LAMOST 的初期工作,允许在大气条件仅为中等的台址上进行。这样可能会牺牲掉一半的性能指标,但换来的是建设时间的缩短。

LAMOST 观测的天区覆盖略大于 20000 平方

度,在现有台址上,取视宁度为  $2''$ ,天光为 21 等/平方角秒,每年“可用”观测时间为 2000 小时,当积分时间为 1.5 小时,谱分辨率为  $\Delta\lambda = 10$  埃时,用 4000 根光纤每年可以测到  $10^7$  天体光谱。留下“保险系数”,按实测能力的  $1/3$  设计,LAMOST 预定目标为每 3 年测量  $10^7$  个天体(包括  $10^6$  个类星体)的光谱。LAMOST 的光谱仪中,至少有一台是高分辨率(1 埃到 0.1 埃)的。可以设计预定每年测量多于  $10^5$  个高分辨率光谱。

总结一下 LAMOST 的性能,与当前世界上同一领域性能最高的 SDSS 相比,有:

天区覆盖: SDSS 10000 平方度	LAMOST 20000 平方度
望远镜口径: SDSS 2.5 米	LAMOST 4.0 米
望远镜视场: SDSS 7 平方度	LAMOST 21 平方度
光纤数: SDSS 660 根	LAMOST 4000~6000 根
每阶段获得光谱总数: SDSS $10^6$ 级	LAMOST $10^7$ 级

高分辨率光谱测量,是深入、精细研究天体的物理性质的重要手段。目前全世界所有“4 米级”望远镜如果全部用在这种测量上,则每年约可获得 50000 个天体的这种光谱。与此对比,LAMOST(每年可测多于  $10^5$  个)在这方面的作用也是不凡的。

如果在 LAMOST 焦面上配置 CCD 或照相底片,则它将是一个威力巨大的巡天望远镜。与现有基本巡天所用的 1.2 米施密特望远镜相比,聚光能力提高了一个量级。

还应当指出,LAMOST 的结构上,最大的主镜和最复杂的焦面系统都是固定的;主要的转动部分集中在反射面,但是它的结构轻,而且转动量比一般望远镜少得多;此外,球面主镜和反射镜都采用了小块拼接的方式。所有这些,都有助于使整个设备牢靠、简洁、易于制造,节省经费。估计 LAMOST 的造价为“千万美元级”,和一台普通的 4 米望远镜相当。

舟山夜航当时的两位青年首先推动起的方案探讨,到了 LAMOST 现在已告一段落。我自己自 50 年前决心“下”天文学之“海”,到迟暮还能经历这一段旅程,实是学海生涯中的一幸。虽然其间转口换航,多属常规,并没有什么乘风破浪之举,但回味起临近目的地的两年我有幸搭载的“小舟”中的“海上甘辛”,我非常感谢“机遇”赐给我的同舟人苏定强、王亚男、褚耀泉、崔向群。同舟共济的“同志感”似乎有回召学术青春之力。这时期引导这小舟进港和送上顺风 and 顺潮的同志不下三十人,包括陈建生、周又元、万籁、蒋世仰、苏洪钧等同志在资料、战略把关,直到具体问题的计算和设计的作用,都深深融在 LAMOST 方案之中成为不可分解的成分。