

LAMOST/GALAXY 计划:利用 LAMOST 研究银河系

胡景耀

(中国科学院国家天文台, 北京 100012)

摘要: 本文讨论了利用 LAMOST 作银河系研究的科学意义及可能性; 并提出具体实施 LAMOST/GALAXY 计划的初步方案。

关键词: 银河系; 光谱观测; LAMOST 计划

中图分类号: P 156 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7673 (2004) 03-0234-07

我们在这里提出 LAMOST/GALAXY 计划, 它将用 LAMOST 完成北天 $V \leq 16\text{mag}$ 的恒星的光谱分类, 视向速度和化学丰度的测定, 用来研究银河系。

银河系作为太阳系所在的星系, 如同太阳对于研究恒星是一个能仔细研究的样本一样, 对研究星系有着非常重要的意义。但它又有所不同, 我们处在银河系之中, 也带来了许多不便, 因为我们很难看到它的全貌。

为此, 天文学家就有志于全面地收集银河系的资料, 以便全面地了解银河系。在上世纪 20 年代 Kapteyn 就提出了一个银河系研究的选区计划。计划在全天选择几乎均匀的天区, 对其中的恒星作测光和光谱研究。但是这一计划遇到不少困难, 原因是当时要做测光和光谱研究几乎完全靠人工完成。另外, 从今天的角度来看即便完成, Kapteyn 选区计划要全面地了解银河系也远远不够。当然, 另外一个重要原因是, 天文学飞速的发展, 在上世纪中叶更多的天文学家的兴趣被吸引到对河外星系的研究。

到了上世纪末, 尤其是进入到本世纪, 情况又有所改变。人们对星系的形成愈来愈感兴趣, 而且发现了如 Sgr 矮星系被银河系吸积的证据^[1]使得对银河系形成演化有了进一步的认识。银盘而且有绕曲, 似乎意味着有临近星系引力作用的影响。这一切强烈地支持了星系形成的并合假设。更何况发现了暗物质, 以及核球中可能存在棒。所以对银河系的研究又成为了热点。

当然, 技术的进步使得我们可以比较容易地获得精确的多达 10^8 的测光资料 (例如 SLOAN 计划^[2]), HIPPARCOS 的成功, 引发了 ESA 的 GAIA 计划^[3], 它不仅能获得三维 (三维位置, 三维运动) 坐标, 还可以从它的宽波段和中带测光结果获取化学丰度, 光谱类型和在其途径中所遭受到的消光。GAIA 计划发射将不迟于 2012 年中, 需要工作 4 年, 所以它的结果将在约 2016 年后才能开始提供给天文界。在澳大利亚的 UK Schmidt,

显然难以继续作大规模的照相工作了。所以西方各国的一些天文学家联合提出了一个 RAVE (The Radial Velocity Experiment) 计划^[4]。计划用 UK Schmidt 加上光纤光谱仪在近红外 Ca II 三重线附近作光谱工作, 测量南天亮过 $V = 16\text{mag}$ 的 $\sim 2.5 \times 10^7$ 颗星的视向速度和化学丰度。计划到 2010 年完成, 显然是要抢在 GAIA 之前。当然, 这也是 GAIA 的一个很好的地面观测的预研究。RAVE 的目的是: (1) 在银晕、外核球和厚盘中搜寻化学丰度和运动特征一致的星流; (2) 对局域旋臂和内核球的动力学影响; (3) 银盘的椭圆率、绕曲和边缘下垂; (4) 银盘表面密度的测量; (5) 旋臂和星协的细致结构等。RAVE 计划并明确提出希望 LAMOST 作为北半球的合作伙伴共同完成全球的测量。

与 RAVE 平行的, AAT 在完成 2dF 计划后提出了 AAOmega 计划^[5]。它将利用 AAT 和 ~ 400 根光纤获得 $R = 2000 \sim 13000$ 的光谱, 对一些天区作铅笔束观测到 $V = 20\text{mag}$ 。它将与 RAVE 相辅相成获得银河系结构的重要信息。而 SLOAN 也提出了研究银河系的后续计划 SEGUE。

LAMOST 作为我国九五重大科学与工程按照现在工程指挥部确定的日程将在 2006 年完工。这样在我们几乎可与 RAVE 同步, 在 GAIA2012 年发射前完成北天亮过 $V = 16\text{mag}$ 恒星的 LAMOST/GALAXY 计划的观测。在文中, 第 1 部分我们介绍了 LAMOST/GALAXY 计划的内容和科学目标, 第 2 部分讨论了计划的可行性, 其中包括研究银河系所要求的测定视向速度和化学丰度的精度要求; 在 LAMOST 原有光谱仪的基础上增加中等色散光谱观测的可行性; 以及在 LAMOST 观测计划中, 在 4~5 年完成观测的可能性。在第 3 部分对 LAMOST 工程指挥部提出了实现 LAMOST/GALAXY 计划的具体建议。

1 LAMOST/GALAXY 计划的内容和科学目标

若 LAMOST/GALAXY 计划与 RAVE 顺利地合作完成对全天 $V \leq 16\text{mag}$ 的观测, 则可以完成对整个银河系的全面了解 (特别是对核球, 它主要应该在南半球完成)。当然, LAMOST/GALAXY 计划单独也可以完成大量的科学课题。

LAMOST/GALAXY 计划与 RAVE 有相同之处, 而不同的是除了在近红外 Ca II 三重线附近作 $R = 12000$ 的观测以求得视向速度和化学丰度以外, LAMOST 光谱仪的蓝臂同样具有 $R \sim 4000$ 的光谱观测结果。它可以很好地完成对 $V \leq 16\text{mag}$ 的所有恒星的 MK 分类。下面我们讨论 LAMOST/GALAXY 可独立完成的科学目标。

(1) 银河系整体结构研究^[6]

银河系由薄盘、厚盘、核球、银晕组成, 它还有旋臂结构、盘的绕曲、盘的不对称性等特征。在表 1 中我们列出了为求得上述结构和特征所需要达到的极限星等 V_1 为下限, V_2 为达到完备所要求的极限星等上限, 籍此来了解 LAMOST/GALAXY 计划在结构方面可做的工作。

表 1 银河系结构研究要求达到的极限星等

Table 1 The limited magnitudes requested for the study of the Galactic structure

对象(Target)	M _v	l (deg)	b (deg)	d (kpc)	A _v	V ₁ (mag)	V ₂ (mag)
核球(Bulge)		0	< 20	(在北半球几乎不可见)			
薄盘(Thin disk)							
gk	-1	180	< 15	8	1-5	14.5	18.5
绕曲(gM)	-1	全部 *	< 20	10	1-5	14.5	18.5
盘不对称(gM)	-1	全部 *	< 20	20	1-5	16.5	19.5
厚盘(Thick disk)							
Miras, gk	-1	180	< 30	20	2	17.5	
HB	+0.5	180	< 30	20	2	19	
银晕(Halo)							
gG	-1 >	全部 *	< 20	8	2	15.5	
HB	+0.5	全部 *	> 20	30	0	-	
旋臂(Spiral arm)							
造父变星	-4	全部 *	< 10	10	3-7	14	18
B-M 超巨星	-5	全部 *	< 10	10	3-7	13	17
英仙臂(B)	-2	140	< 10	2	2-6	11.5	15.5

* 指北半球可观测部分。

表中 M_v 为所利用恒星的绝对星等, d 为要了解结构所要求达到的距离, A_v 为在这一路径中所遇到的消光, V₁ 和 V₂ 为不同消光值所要求的极限星等。我们所设定的极限星等为 V = 16mag, 根据表 1 我们可以得出, 对于英仙臂利用 O, B 星我们可以完整地得到它们的结构, 包括下面还要提到的在臂内和臂间还可以研究星际尘埃的消光。而对于大多数项目我们只可能获得部分信息, 或者通过消光较小的区域才能达到所需的距离。

(2) 银盘中小尺度结构的研究

我们将在银盘中发现一批不同类型的小尺度结构, 如银河星团、星协、星流等。由于他们不仅在空间分布上有集聚, 特别是他们内动速度弥散很小, 一般只有几公里/秒。所以若视向速度的精度 $\leq 5\text{km/s}$, 则有可能发现它们。例如以鬼星团作为典型, 在英仙臂中我们就有可能发现数百个银河星团, 以及一批由 O, B 星组成的星协。用银河星团作探针来研究银河系^[3,6]。

此外, Eggen^[7]提出存在有一种“超团”, 它的成员没有引力束缚, 但它们有相似的

运动速度, 在银河系中比较分散, LAMOST/GALAXY 计划当然可以更好地讨论这种超团存在的可能。

在太阳系附近存在着一个年龄小过 6×10^7 年的恒星集合, 它构成一个带, 因为 Gould 发现大多数 OB 星在银河系处在一个带上, 被称为 Gould 带, 它的成员星现在也可以从 X-射线源证认得到^[8], 年青星大多是具有较强色球活动, 所以是 X-射线源。LAMOST/GALAXY 计划可以证认比 ROSAT 更深的 CHANDRA 和 XMM 得到的 X-射线源, 使得对 Gould 带的了解更深入。

(3) 化学丰度特殊恒星的研究^[9]

恒星化学丰度的确定是 LAMOST/GALAXY 计划的重要内容之一, 化学丰度决定了恒星形成的历史和起源。当然它又预期可以发现几百个 $[\text{Fe}/\text{H}] < -4$ 和几千个 $[\text{Fe}/\text{H}] < -3$ 的老年恒星。这些是银河系早期演化历史过程中的化石, 根据它们的空间分布和运动特性, 我们可以追溯银河系演化和化学元素演化的历史。

而 $[\text{Fe}/\alpha]$ 比例是与历史上 Ia 型超新星和 II 型超新星的分布有关。通过 $[\text{Fe}/\alpha]$ 不同恒星的分布我们是否可以追溯超新星爆发的历史和对银河系化学丰度演化的历史?

另外, 我们还可以讨论如化学丰度和运动速度之间的关系。

(4) 星际消光

我们可以根据 MK 分类得到的 OB 星的距离 (MK 分类和测光颜色可以求得 A_v , 从而可推出距离模数 $m - M$, 亦即距离) 和它们的 A_v 值, 画出 A_v 的空间分布。然而, 由于我们限制在 $V \leq 16\text{mag}$, 所以完备的结果只能是对英仙臂。而对较高的银纬恒星, 由于缺少 OB 星, 是否能从 AGB 星中求得, 尤其对高银纬我们有 SLOAN 的高精度的 5 色测光和 2MASS 的近红外测光, 有可能得到厚盘 ($b \leq 30^\circ$) 内的精确的星际尘埃的分布及消光值。

(5) 被吞噬的矮星系遗迹的搜索^[10]

Sgr 矮星系被吞噬的踪迹被发现引发人们寻找更多的矮星系被银河系吞噬的矮星系的遗迹。Sgr 矮星系被认为是在 125 亿年前落到银河系的, 在 Sgr 矮星系遗迹处绕银心的轨道周期的为 10 亿年, 所以它已经绕了 10-15 圈。目前它内部速度弥散是 12km/s 。所以我们要得到类似于 Sgr 矮星系遗迹的结果, 视向速度的精度希望小过 10km/s 。同样的化学丰度也是有助于决定被吞噬矮星系的遗迹。

(6) 恒星演化^[11]

在表 2 中给出不同质量-演化状态恒星的绝对星等和对于 $V \leq 16\text{mag}$ 可达到的空间 (假定 $A_v = 0$, 对于低银纬的 OB 星前面已讨论过)。

(7) 银河系形成和演化模型^[12]和星族合成^[13]

LAMOST/GALAXY 计划的观测结果将为银河系形成和演化的模型, 以及通过星族合成模型推算恒星形成历史过程提供有用资料。

表 2 不同类型的恒星的绝对星等和 LAMOST/GALAXY 计划可达到的空间

Table 2 The distances reached by the LAMOST/GALAXY project for different kinds of stars

恒星类型	绝对星等(mag)	$V \leq 16\text{mag}$ 可达到的距离(kpc)
AOV	+0.65	11.7
A5V	+1.95	6.5
FOV	+2.7	4.6
FSV	+3.5	3.2
GOV	+4.4	2.1
G5V	+5.1	1.5
KOV	+5.9	1.0
K5V	+7.35	0.54
MOV	+8.8	0.28
M5V	+12.3	0.055
G5 III	+0.9	10.5
KO III	+0.7	11.5
K5 III	-0.2	17.4
MO III	-0.4	19.1
M5 III	-0.3	18.2

2 实施 LAMOST/GALAXY 计划的可行性

我们从下面几个方面来讨论实施 LAMOST/GALAXY 计划是可行的。

(1) LAMOST/GALAXY 计划将不影响 LAMOST 对宇宙大尺度结构的研究。因为后者要观测较暗的天体,特别是在 SLOAN 对高银纬区 < 17.8 的星系已完成光谱观测。所以对天光较亮或视宁度不好时将无法工作,但是 LAMOST/GALAXY 计划观测的是 $V \leq 16\text{mag}$ 的恒星。据计算即使天光在每平方角秒为 $V = 18\text{mag}$, 光谱分辨率 ~ 10000 , 积分 20min 对 $V = 16\text{mag}$ 的星,其信噪比仍然可以超过 20 (参阅 LAMOST 可行性报告,见 www.lamost.bao.ac.cn/feasible.htm)。而兴隆站天光背景每平方角秒亮过 $V = 20\text{mag}$ 出现的几率占可观测时间的 56% (Liu, Y., et al. 2003)^[4]。根据 2.16m 望远镜从 1993 ~ 2003 年的统计,兴隆站每年光谱可观测夜平均超过 250 夜。所以每年至少有 125 夜可用于 LAMOST/GALAXY 计划的观测。

(2) 北天要做 LAMOST/GALAXY 计划观测的总星数约为 2.5×10^7 颗。我们假设对每一轮观测的积分时间为 20min (如上面所讨论的即使在最坏的观测条件下对 $V = 16\text{mag}$ 的恒星观测, 信噪比仍可达 20)。而包括更换观测对象所需时间假定为 10min, 平均每晚可观测的时间为 8h 的话, 那么我们平均每晚可作 16 轮观测。

在表 3 中我们列出了 $V = 16\text{mag}$ 的不同银纬的每平方度恒星星数^[15]。LAMOST 的视场为 20 平方度, 所以即使对于 $b = 90$ 处, 仍有足够的星可观测。但考虑到两星相距太近, 光纤工作的可靠性等因素, 我们假定 4000 根光纤可观测的效率为 90%, 即 3600 根。那么每年我们可完成的观测星数为:

$$16 \times 125 \times 3600 = 7.2 \times 10^6.$$

所以当 LAMOST 正常运行后 3.5 年内我们则可以完成 LAMOST/GALAXY 计划的观测。

表 3 不同银纬处 $V \leq 16\text{mag}$ 每平方度的星数

Table 3 The star number per square degree for the different Galactic latitudes with $V \leq 16\text{mag}$

b	0	5	10	20	30	60	90
N	3050	2880	2140	1227	750	287	222

(3) 根据 GAIA 对银河系研究的讨论^[3]对于视向速度, 化学丰度和有效温度的决定有如下要求: 视向速度为 $\pm 5\text{km/s}$, $[\text{Fe}/\text{H}]$ 和 $[\alpha/\text{H}]$ 0.2dex, T_{eff} 为 200K (或相当于 MK 光谱分类为 1dex)。这样的要求, 对光谱仪的分辨本领相应的应该为: 红区 (Ca II 红外三重线区) $R \sim 10000$, 蓝区 ($3700 \sim 4900 \text{\AA}$) ~ 4000 。

所以若 LAMOST 的光谱仪设计中将光栅转台改为可转动的, 在红臂加上一块 $3025.71/\text{mm}$ 的 VPH 光栅和在蓝臂加上一块 $15001/\text{mm}$ 的 VPH 光栅, 它的分辨本领将分别达到 6000 和 2000。若我们在光纤的出射端加上一块 $1/2$ 光纤直径的狭缝, 则光谱分辨本领可分别达到 4000 和 $12000^{[16]}$, 而光线只损失 $\sim 37\%$, 并不影响观测亮星的信噪比。

当然, 16 台光谱仪, 就要增加 32 块光栅的投资, 但这并不是一个大的投入。所以 LAMOST/GALAXY 计划应该认为是一个切实可行的计划。

3 对 LAMOST 工程指挥部的若干建议

(1) 国内同行对 LAMOST/GALAXY 计划从其科学意义及实施可能性作过多次讨论, 得出的结论是肯定的。所以建议 LAMOST 工程指挥部将这一计划作一正式的论证、启动。

(2) 国内从事银河系研究的人员其实不少, 但都分散在各单位没有组织起来, 所以建议 LAMOST 工程指挥部能将这一力量组织起来, 并在 LAMOST 正式可以观测以前, 在国内 2m 级望远镜作一定的试观测, 并且成立工作组对 LAMOST 资料处理如观测安排、自动分类、自动视向速度测定和自动化学丰度测定作试验。当然, 还应该输入星表、观测计划安排等方面的通盘考虑。

(3) 因为 GAIA 计划几乎全面的覆盖了 LAMOS/GALAXY 计划, 所以我们必须尽快开始, 例如应该在 GAIA 发射前完成观测, 并且至少部分数据发表得到某些初步的结果。

致谢: 本文主要是根据 LAMOST 在 2003 年 5 月在北京和 11 月在杭州召开的关于银河系研究的会议上有关人士的报告综合而成, 对所有参加这两次会议的人员在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Iabba R A et al. AJ., 1997, 113: 634.
- [2] [Http://www.sdss.org/](http://www.sdss.org/).
- [3] Perryman M A C, et al. AAp., 2001, 369: 339.
- [4] Steinmetz M. 2002, <http://www.aip.de/RAVE/rave.palt>.
- [5] [Http://www.ast.cam.ac.uk/AAO/loca/www/aaomega](http://www.ast.cam.ac.uk/AAO/loca/www/aaomega).
- [6] 侯金良, 陈力. LAMOST 银河系研究杭州讨论会 [R]. 2003.
- [7] Eggen O J. In Galactic and Solar System Optical Astrometry [M]. Cambridge Univ. Press, 1994, P191.
- [8] Poeppel W. Fundamentals of Cosmic Physics [J], 1997, 18: 1-271.
- [9] Ermakov S V., Zhao G. A Rep., 2002, 46: 874.
- [10] 姜碧涛. LAMOST 银河系研究杭州讨论会 [R]. 2003.
- [11] 杜翠花, 周旭. LAMOST 银河系研究杭州讨论会 [R]. 2003.
- [12] 束成钢. LAMOST 银河系研究杭州讨论会 [R]. 2003.
- [13] Han Z., et al. MNRAS., 2003, 336: 449.
- [14] Liu Y, et al. PASP., 2003, 115: 495.
- [15] Cox A N. Allen's. Astrophysical Quantities (4th Edition) [M]. 2000, Springer-Verlag.
- [16] 朱永田. LAMOST 银河系研究杭州讨论会 [R]. 2003.

LAMOST/GALAXY Project: Study of the Galaxy Using the LAMOST

HU Jing-yao

(National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The scientific importance and possibility for study of the Galactic structure using the LAMOST are discussed in this paper. The LAMOST/GALAXY project is practically proposed.

Key words: Galaxy; spectral observation; LAMOST project