

文章编号: 1000-8349(2010)04-404-11



基于郭守敬望远镜 (LAMOST) 试观 测数据新发现的贫金属星候选体

吴 悦^{1,2,3}, 罗阿理^{1,4}, 施建荣¹, 白仲瑞¹,
赵景昆^{1,5}, 韦 鹏^{4,1}, 赵永恒^{1,4}

(1. 中国科学院 光学天文重点实验室, 国家天文台, 北京 100012 2. 法国里昂第一大学 里昂天体物理中心, 里昂天文台, 法国 F-69561 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049 4. 山东大学, 威海 264209 5. 佛罗里达理工学院 物理与空间科学系, 美国 32901)

摘要: 贫金属星因其内在蕴涵着银河系早期化学元素形成和演化等信息, 所以他们对银河系及宇宙早期形成历史的研究具有重要意义。目前对贫金属星的搜寻与研究已成为天文学的一大国际研究热点。随着郭守敬望远镜 (LAMOST) 试运行的开展及数据的积累, 我国已具备自主开展此领域研究工作的有力观测设备及数据资源。通过采用有效的测量方法, 对郭守敬望远镜试观期获得的低分辨率 ($R \approx 2\ 000$) 恒星光谱数据进行恒星大气物理参数测量, 新发现了 8 颗 $[\text{Fe}/\text{H}] < -1.00$ dex 的贫金属星候选体, 其中 1 颗 $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.73$ dex 属于很贫的贫金属星 (VMP)。工作首次显示并证明了郭守敬望远镜能够有效地开展银河系内搜寻大量贫金属星的工作。

关 键 词: 恒星; 丰度 - 基本参数; 巡天观测

中图分类号: P141 **文献标识码:** A

1 引 言

贫金属星 (metal-poor or metal-deficient star) 在很大程度上保留了形成它们的原初气体云的化学组成信息, 因此他们为天文学家研究银河系及宇宙早期形成历史提供了有效的观测途径。贫金属星常常被称做第一代恒星的“化石”, 其蕴藏的化学丰度信息被认为是银

收稿日期: 2010-07-26 ; **修回日期:** 2010-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (10973021, 10778626, 11078019)

河系及宇宙早期化学形成和演化历史的“指纹”^[1]。贫金属星的研究对天体物理学的许多重要研究领域都具有重要的意义, 如计算宇宙年龄的下限, 估计宇宙大爆炸核合成过程中产生的 ${}^7\text{Li}$ 的量, 从研究元素丰度方面入手帮助我们进一步认识第一代超新星和星族 III 恒星起源等, 对贫金属星丰度分布函数的分析也为天文学家回溯 FMF(first mass function) 提供了有力的手段^[2]。

表 1 不同金属丰度恒星的命名分类^[2]

[Fe/H] /dex	命名	缩写
> +0.5	Super metal-rich	SMR
≈ 0.0	Solar	-
< -1.0	Metal-poor	MP
< -2.0	Very metal-poor	VMP
< -3.0	Extremely metal-poor	EMP
< -4.0	Ultra metal-poor	UMP
< -5.0	Hyper metal-poor	HMP
< -6.0	Mega metal-poor	MMP

为了更好地开展以上有关贫金属星的研究工作, 天文学家们急需扩大已知贫金属星的样本数量, 尤其是 $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.0$ dex 的贫金属星, 并尽可能地保证其能够更完备地覆盖不同的恒星光谱型和温度范围^[3]。贫金属星数量稀少且难于被探测到, 在银晕中, 大概每 1 000 颗星中有一颗的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 值小于 -2.0 dex, 每 10 000 颗星里有 1 颗的 $[\text{Fe}/\text{H}] < -3.0$ dex。表 1 列出了 Beers 和 Christlieb 在 2005 年综述^[2] 里对贫金属星分类作的定义。20 世纪 70 年代, Bond^[4] 首先开启了对大量贫金属星进行光谱观测的工作, 随后便陆续开展了很多以搜寻贫金属星为主要科学目标的大型巡天项目。

20 世纪 80 年代至今, 主要有两大著名的搜寻贫金属星的巡天项目, 分别是美国 Beers 和其同事开展的 HK 巡天^[5,6,8] 和德国 Christlieb 主要负责的 Hamburg/ESO 巡天^[1,12](HES)。两个项目都是基于施密特望远镜和物端棱镜照相底片的低分辨率大范围宽视场无缝光谱巡天。HES 巡天出现前, VMP 星的发现主要来自于 HK 巡天, 此巡天分别覆盖了北天和南天各 $2\,800\text{ deg}^2$ 和 $4\,100\text{ deg}^2$ 的面积。HK 巡天采用 Ca II H&K 的 15 nm 的波长范围来进行目视选择贫金属星候选体^[7,9]。由于目视选择存在样本偏差, 如可导致较冷的贫金属星的缺失等^[2], 为了克服此局限、充分利用数据资源, 结合 2MASS 巡天^[10] 得到的 JHK 颜色值, HK-II 巡天项目采用神经网络分类方法来搜寻贫金属星^[11], 有效地进一步扩大了 HK 巡天贫金属星候选体的搜寻产出率。

始于 1989 年的 HES 巡天项目, 最开始的目标是寻找亮的类星体, 后来发现其光谱的分辨率 ($R=400$) 足以用来探寻贫金属星^[13,14], 其 B 波段观测星等范围是 $10.0\sim 17.5$ mag (HK 的为 $11.0\sim 15.5$ mag), 观测覆盖了南天高银纬区 $8\,853\text{ deg}^2$ ^[15] 的面积。此项目首先依据 Ca II K 的强度和 $B-V$ 色指数来确定贫金属星候选体, 然后通过中分辨率 ($R\approx 2\,000$) 后续观测光谱进行验证, 具体验证办法是通过 Ca II K、 $H\delta$ 和测光数据来估算 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的值。因为 HES 比 HK 巡天深近 2 mag, 所以仅就两个项目重叠的观测天区来看, 在搜寻贫金属星效率上,

前者比后者提高了约 10 倍^[1]。HES 从其观测数据里选出了 10 000 多颗 VMP 候选体, 正陆续安排并进行后续观测及验证工作。

在过去的几十年里, HK 和 HES 两大巡天项目已在银晕中统共发现了几千颗 VMP 星和几百颗具有重要科学意义的 EMP 星^[1,2,15,16]。HES 巡天的突出贡献是找到了 3 颗迄今为止天文学家所探测到的最贫的贫金属星(已通过高分辨率谱证认): HE 1327-2326^[17,18] ($[\text{Fe}/\text{H}] = -5.4 \text{ dex}$), HE 0107-5240^[19,20] ($[\text{Fe}/\text{H}] = -5.3 \text{ dex}$) 和 HE 0557-4840^[21] ($[\text{Fe}/\text{H}] = -4.8 \text{ dex}$)。截止到目前为止, HK 巡天尚未通过高分辨率谱证认找到任何负于 -4.0 dex 的贫金属星, 这主要是因为: 一是其观测星等范围比 HES 亮; 二是其观测样本相比于 HES 而言, 包含了更多的内晕星。现在 HK 和 HES 巡天项目仍在继续其探测贫金属星候选体和后续中高分辨率光谱证认的工作。此外, SDSS/SEGUE^[47] 项目组也在积极开展搜寻贫金属星的工作, Beers 预计利用 SDSS 中分辨率恒星光谱数据, 最终可以发现 $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.0 \text{ dex}$ 的 VPM 星的数量 5 倍于 HK 和 HES 的总和, 即约有 25 000 颗^[15]。HK、HES 和 SDSS/SEGUE 大型巡天项目的实施有力地推动和加快了我们对贫金属星及银河系早期化学演化过程的研究步伐。

随着天文仪器设备和技术手段的快速发展, 通过对大规模巡天项目所观测到的恒星中低分辨率光谱数据进行测量, 得到其大致的化学元素丰度, 如 $[\text{Fe}/\text{H}]$, 再依据此测量结果进行贫金属星候选体的筛选, 选出后再进行高分辨率光谱后续证认观测, 是目前探索和发掘贫金属星的一种有效而流行的方式。除了已取得显著科研成果的 HK 和 HES 巡天外, 其他已开展或即将开展的大型巡天项目, 如 Spaghetti^[22], Grid Giant^[23], SSS^[24], RAVE^[26,27], GAIA^[28], SDSS/SEGUE-2^[29], HERMES^[30] 等也将为贫金属星的搜寻与研究提供大量的后备资源。

我国自主创新研制成功的大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜——郭守敬望远镜(LAMOST)¹⁾^[31-34], 已于 2009 年落成并开始试观测。结合当今天文巡天观测项目的研究现状, 充分发挥郭守敬望远镜自身特色, 努力提高该设备的科学产出是目前郭守敬望远镜科学巡天观测的重要任务。相比于其他国际上的大型巡天项目, 郭守敬望远镜设计独特, 其大口径、大视场、多光纤技术使其观测覆盖范围更广更深且观测数据量可显著提高。郭守敬望远镜中低分辨率 ($R=1\ 000$ 或 $2\ 000$) 光谱巡天包括银河系内和银河系外两大部分, 对于前者, 计划正式巡天开始的前 5 年内观测超过 200 万颗恒星, 通过测量, 我们可以获得它们的运动学、大气物理参量等特征参数。基于这些新观测的海量数据, 郭守敬望远镜势必会对银河系的形成、结构和演化等相关研究领域作出重要贡献, 其中一个重要的课题便是搜索极端贫金属星。郭守敬望远镜巡天将覆盖北银冠 $7\ 700$ 平方度和南银冠 $3\ 500$ 平方度的面积, 探测深度可达 $B=18.5$ 。郭守敬望远镜巡天观测光谱数据的质量与 HK 及 HES 巡天的中低分辨率后续观测谱相近, 它可以直接在巡天模式下搜寻贫金属星候选体, 考虑到其具备更深的观测深度和多光纤大样本获取的独特条件, 利用郭守敬望远镜搜寻贫金属星将成为当今最高效且最令人期待的大型贫金属星巡天项目, 它有望在短期内搜寻到目前已有数量 10 倍以上的贫金属星。随着试观测的进行和数据的积累, 我国现已具备自主开展搜索贫金属星研究工作的有力观测设备和初期数据资源。

1) <http://www.lamost.org/website/en/>

2 观测和数据处理

郭守敬望远镜试运行期间的主要任务包括: 对仪器设备的稳定、协调和可靠性的调试及对其可以实现的相关科学目标能力的检验。目前该望远镜仍处于调试阶段, 它在光纤获取效率及其定位、平场改正、减天光等方面还存在着一些问题, 所以虽然自试观测以来, 我们已经积累了不少恒星光谱数据, 但是有相当部分的数据质量不高, 如很多信噪比 (SNR) 值小于 10。本文工作所找到的 8 颗贫金属星候选体的光谱数据来源于 2010 年 2 月 13 日晚对 M67 天区做观测测试的数据结果。所选定的观测目标包括所有 R 波段星等亮于 16.5 mag 的恒星。 R 波段星等值来源于 UCAC3 星表^[35]。当晚观测分别进行了两次时长为 30 min 和 20 min 的曝光, 视宁度值在 $3.3''$ 左右。所选取的观测模式是分辨率 $R=2\,000$, 光谱数据由红、蓝两端光谱仪器分别同时获取, 其各自波长覆盖范围是 570~900 nm 和 370~590 nm。所选出 8 颗贫金属星候选体的赤经、赤纬、 R 波段星等值及所对应的光谱仪和光纤编号详见表 2。

表 2 8 颗新发现贫金属星候选体的观测信息及不同方法测得的 $[Fe/H]$ 和 RV 的参数值

No.	Sp	Fib	RA	DEC	R/mag	$[Fe/H]_{ULy}$	RV_{ULy}	$[Fe/H]_{NPR}$	RV_{NPR}	$[Fe/H]_{SSPP}$
						/dex	/km · s ⁻¹	/dex	/km · s ⁻¹	/dex
1	1	121	133.325 03	10.029 71	14.71	-1.28	400	-1.50	403	-
						(0.18)	(15)	(0.17)	(6)	-
2	1	137	132.933 14	10.097 73	14.65	-1.35	400	-1.10	406	-
						(0.21)	(14)	(0.13)	(17)	-
3	4	90	133.032 53	11.420 19	15.07	-1.10	138	-1.20	139	-0.84
						(0.19)	(10)	(0.08)	(7)	(0.04)
4	4	103	133.332 09	11.539 88	13.76	-1.47	190	-1.60	206	-1.51
						(0.10)	(6)	(0.12)	(6)	(0.26)
5	4	171	132.453 26	11.867 35	14.00	-1.04	148	-1.30	171	-1.23
						(0.18)	(16)	(0.14)	(8)	(0.21)
6	7	21	133.630 14	10.064 11	14.47	-1.82	252	-1.30	268	-1.87
						(0.22)	(21)	(0.04)	(10)	(0.28)
7	9	28	134.025 50	12.695 17	14.75	-2.73	216	-2.10	240	-2.85
						(0.12)	(27)	(0.12)	(12)	(0.41)
8	15	38	133.238 10	13.282 67	14.53	-1.09	138	-1.00	133	-0.89
						(0.15)	(12)	(0.16)	(11)	(0.13)

注: 第一列序号对应图 1 所示各光谱。“Sp”为光谱仪编号, “Fib”为光纤编号。每颗星的第一行为参数, 第二行“()”内数值为其上所对应参数的误差。

观测所获得的原始光谱数据统一经过郭守敬望远镜标准二维光谱处理程序^[36]进行前期处理, 主要包括本底扣除、去宇宙线、一维谱抽取、平场改正、波长定标、减天光、日心改正等一系列处理步骤。由于流量定标的处理结果尚不够稳定, 现阶段的光谱数据没有经过流量定标改正。因而, 红、蓝两端光谱数据还不能进行有效拼接。尽管如此, 针对搜寻贫金属星的

工作而言, 只用蓝端光谱仪观测得到的光谱数据已能够满足我们的需求, 因为此波长覆盖范围已包含我们所需要的主要化学元素特征信息。

3 测量方法和结果

经过以上处理, 对于抽取好的郭守敬望远镜观测得到的恒星一维谱光谱数据, 我们需要采用有效的测量方法来测量其 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 等大气物理参量。我们所选用的郭守敬望远镜观测的恒星光谱数据分辨率为 2 000, 为了尽可能确保 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的测量结果准确和可靠, 我们采用以下三种方法分别进行参数估计, 并比较测量结果。

3.1 ULySS 软件包

ULySS 软件包²⁾ [37] 是近期被开发出来的一套可对全谱进行非线性化参数匹配拟合的天文专用软件包。它可以实现对恒星大气物理参数 (有效温度 T_{eff} , 表面重力加速度 $\lg g$ 和化学元素丰度 $[\text{Fe}/\text{H}]$) 及视向速度 (RV) 的自动测量 [37–39]。ULySS 的工作基理是对观测谱和模板谱进行全谱匹配 χ^2 拟合, 寻找与实测谱最接近的模型谱从而获得所需物理参量, 其最近邻匹配拟合过程可用如下公式表示:

$$Obs(\lambda) = P_n(\lambda) \times [TGM(T_{\text{eff}}, \lg g, [\text{Fe}/\text{H}], \lambda) \otimes G(RV, \sigma)] .$$

$Obs(\lambda)$ 表示待测谱, $P_n(\lambda)$ 为 n 阶多项式, $G(RV, \sigma)$ 是一个以视向速度 (RV) 和速度弥散 (σ) 为参数的高斯函数。 $TGM(T_{\text{eff}}, \lg g, [\text{Fe}/\text{H}], \lambda)$ 是一个以 T_{eff} 、 $\lg g$ 、 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 和波长 λ 为参数的非线性化模型函数, 用于计算生成模板谱。此非线性化函数的构建是基于 ELODIE 实测恒星光谱库 ($R=10\ 000$) [40–42], 具体实现过程参见 [37, 38]。ULySS 测量恒星大气物理参数时, 每次迭代同时估计的参数包括: T_{eff} 、 $\lg g$ 、 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 、 RV 、 σ 和多项式 P_n 的系数, 拟合的最终目标是找到使 χ^2 值最小的解。此软件包的优点有: 一它是采用全谱拟合的方式, 非针对某些线做测量, 避免了仅选用个别特征谱线测量所带来的误差, 因为低分辨率光谱数据的精度有限, 这样做的误差比较大; 二是它可以同时估算所需物理参量, 避免了一些参数之间因存在固有物理联系而导致算法产生退化现象的问题, 如有效温度 T_{eff} 和 $[\text{Fe}/\text{H}]$; 三是软件包内嵌有一个多项式成分, 可专门应用于流量定标不准的矫正 (详见文献 [38] 中第 2.6 节内容和图 3)。

此软件方法已应用于测量 CFLIB 恒星光谱库 ($R=5\ 000$) [43], 通过与十几个其他高分辨率光谱传统物理方法测得的参数做比较, 对于 F、G 和 K 类恒星, ULySS 对 T_{eff} 、 $\lg g$ 和 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的测量误差精度分别为 43 K, 0.13 dex 和 0.05 dex, 且各参数测量值无明显系统偏差 [38]。此外, 经过大量检验, 文献 [39] 工作证明了 ULySS 可有效地应用于郭守敬望远镜巡天观测得到的低分辨率恒星光谱数据, 对 T_{eff} 、 $\lg g$ 和 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的测量精度分别可达到 173 K, 0.34 dex 和 0.16 dex。应用此方法测量我们的贫金属星候选体, 测得的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 和 RV 值及各自误差分别列于表 2 的第 7、8 两列。

2) ULySS 软件包免费下载网址 <http://ulyss.univ-lyon1.fr>

3.2 非参数回归模型法 -NPR

不同于 ULySS 软件包的与实测恒星光谱库产生的模型谱做模板匹配求参数, 文献 [45] 所采用的方法是与理论模型 (Kurucz NEWODF) [46] 生成的恒星模板谱网格做匹配, 寻找与实测谱最接近的模板谱, 从而获得所求物理量。模板谱的生成及其在参数空间分布的密度直接影响最终参数测量结果。文献 [45] 的方法的特点不同于一般的在模板谱网格空间上做线性插值, 而是在每次迭代时以更小的参数子空间做循环计算, 从而快速且有效地得到最终收敛解。该文章共展示了三种不同的具体算法, 本文采用其中的非参数回归模型算法 (Non-Parametric Regression method) [44], 应用此法对我们的数据进行测量, $[\text{Fe}/\text{H}]$ 和 RV 的测量结果及各自误差如表 2 第 9、10 列所示, 以下脚标 NPR 标注。此方法给出的视向速度是由待测谱与理论模型生成的模板谱进行交叉相关而得到的。对于我们的未做流量定标的样本数据, 在应用 NPR 方法做参数测量时, 待测谱和模板谱都事先做了伪连续谱的扣除, 即都已做了归一化处理。

3.3 SSPP 软件系统

美国斯隆数字巡天 SDSS³⁾ [25] 的 SEGUE (the Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration) [47] 子巡天计划专门有一套自动测量恒星大气物理参数 (T_{eff} 、 $\lg g$ 、 $[\text{Fe}/\text{H}]$) 的软件系统, 即 SSPP (SEGUE Stellar Parameter Pipeline) [48–51]。这套软件的输入信息是 SDSS 巡天所得到的恒星光谱和测光数据, 此系统集成了多种算法, 包括最近临、非线性回归、交叉相关、色指数与某些特征线间的关系等等, 综合考虑不同方法的特点和在不同信噪比条件下的测量精度, 每种方法只在一定参数空间范围内有效 [48], 该系统最终的参数输出结果是经过了其自带的一个决策树子模块后而给出的一个加权值。对于信噪比大于 50 的 SDSS 恒星光谱数据, 此软件对 T_{eff} 、 $\lg g$ 和 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 三个参数的测量精度分别为 157 K、0.29 dex 和 0.24 dex。大部分 SDSS 实测恒星光谱数据的信噪比值分布在 10~20 之间 [50], 随着信噪比值的降低, SSPP 的参数测量结果精度会显著下降 (详见文献 [48] 表 6 所示)。应用 SSPP 软件系统 (version 7.5) 对我们的数据进行测量, 得到的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 值列于表 2 第 11 列, 所对应的测量误差是 SSPP 内部多个方法所测结果的标准差。由于 SSPP 程序需要输入光谱数据的波长覆盖范围在 3 900~9 200 Å 区间, 我们的待测光谱里第 1 和第 2 条缺少红端光谱仪观测数据, 所以表 2 中没有给出这两颗星的 SSPP 测量结果。另外需要指出的是, SSPP 软件系统不能独立提供可靠的视向速度测量结果, 该参数需事先由 SDSS 标准光谱处理系统 [52] 提供, 所以在表 2 里我们只给出了以上两种方法所测的 RV 值。在没有 SDSS 标准光谱处理程序提供视向速度的条件下, SSPP 会调用其自嵌的一个粗略估算 RV 的子程序, 该程序可自动选取一些强吸收线, 从而利用它们的波长位移来大致估计 RV 值 (详见文献 [48]), 该文作者指出即便是在 RV 测量误差大于 $100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的情况下, SSPP 都可以给出可信的恒星大气物理参数测量结果, 其验证依据详见该文表 1。

3.4 测量结果

通过以上三种不同方法的测量, 从表 2 我们可以看出, 对于这 8 颗贫金属星候选体, $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的三组测量结果相互之间是比较一致的。ULySS 和 NPR 方法测量结果之间的平均偏

3) <http://www.sdss.org/>

差为 0.28 dex, ULySS 和 SSPP 之间的平均偏差是 0.14 dex, NPR 和 SSPP 之间的平均偏差是 0.33 dex。总体而言,这三组方法所测参数间的平均偏差与每个方法各自给出的误差值幅度相当。对于第 7 颗星,三个方法都能够得到小于 -2.00 dex 的测量结果。对于视向速度, ULySS 和 NPR 两个方法所测结果符合得较好,平均偏差为 $12 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

由于试观测阶段郭守敬望远镜得到的光谱数据信噪比不高、未经过流量改正处理,所以在应用 SSPP 测量其观测数据时,我们需要事先分别对其红、蓝两端光谱做简单的流量改正,之后再两者拼接起来^[39]。SSPP 软件系统是基于 SDSS 观测得到的测光和光谱数据而量身打造的,在望远镜设计和仪器设备等都不同的条件下,郭守敬望远镜和 SDSS 各自观测得到的光谱数据是有一定差别的。此外,通过跟 ULySS 结果做对比,SSPP 在一些特定的参数子空间内对 $\lg g$ 的估计值存在明显的系统偏差(见文献[39] 3.2.2 和 4.3 节讨论),所以目前直接采用 SSPP 测量郭守敬望远镜信噪比不高、经过简单流量改正而拼接后的实测谱,得到的测量结果精度不高。在应用 NPR 方法时,待测谱和模型谱事先都做了流量归一化处理,此步骤会在一定程度上降低该方法对 T_{eff} 和 $\lg g$ 的测量准确度。相比于 NPR 方法采用理论模型生成模板谱而言,基于 ELODIE 实测恒星光谱库而生成模板谱的 ULySS 方法更能代表实测恒星光谱数据的特征。考虑到前文内容已提及 ULySS 参数测量精度的统计结果^[38],又经过文献[39]的大量检验,ULySS 可以有效并可靠地应用于郭守敬望远镜巡天恒星光谱数据的测量,因此本文作者推荐选用 ULySS 的测量结果,此软件包测量得到的 T_{eff} 、 $\lg g$ 、 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 、 RV 值及各自误差均详细地列于表 3。

表 3 8 颗新发现贫金属星候选体的恒星基本大气物理参数

No.	T_{eff} /K	error /K	$\lg g$ / $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$	error / $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$	$[\text{Fe}/\text{H}]$ /dex	error /dex	RV / $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$	error / $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$
1	5 120	± 67	2.88	± 0.32	-1.28	± 0.18	400	± 15
2	4 453	± 65	1.07	± 0.29	-1.35	± 0.21	400	± 14
3	5 095	± 63	2.28	± 0.30	-1.10	± 0.19	138	± 10
4	5 060	± 36	2.50	± 0.18	-1.47	± 0.10	190	± 6
5	5 362	± 59	4.00	± 0.24	-1.04	± 0.18	148	± 16
6	5 118	± 79	2.55	± 0.39	-1.82	± 0.22	252	± 21
7	5 070	± 53	2.04	± 0.24	-2.73	± 0.12	216	± 27
8	5 206	± 58	3.34	± 0.26	-1.09	± 0.15	138	± 12

注:此表所列所有恒星大气物理参数及视向速度值均为 ULySS 软件包的测量结果。

这 8 颗挑选出来的由郭守敬望远镜观测得到的贫金属星候选体的光谱如图 1 所示,我们通过输入其对应的赤经、赤纬坐标信息到 CDS/SIMBAD⁴⁾ 上进行确认,证实这 8 颗星之前都没有光谱观测数据的记录。

4 总结和展望

本文工作从分析郭守敬望远镜试观测期间所得到的恒星光谱数据入手,采用三种不同的

4) <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

测量方法,对蓝端光谱仪观测得到的恒星光谱数据($R=2\ 000$)进行大气物理参数测量,发现了8颗 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 值低于 -1.00 dex的贫金属星候选体,其中含1颗VMP星。对这几颗候选体,我们计划申请并安排后续高分辨率谱的观测,进而做细致的测量,对它们进行最后的认证。

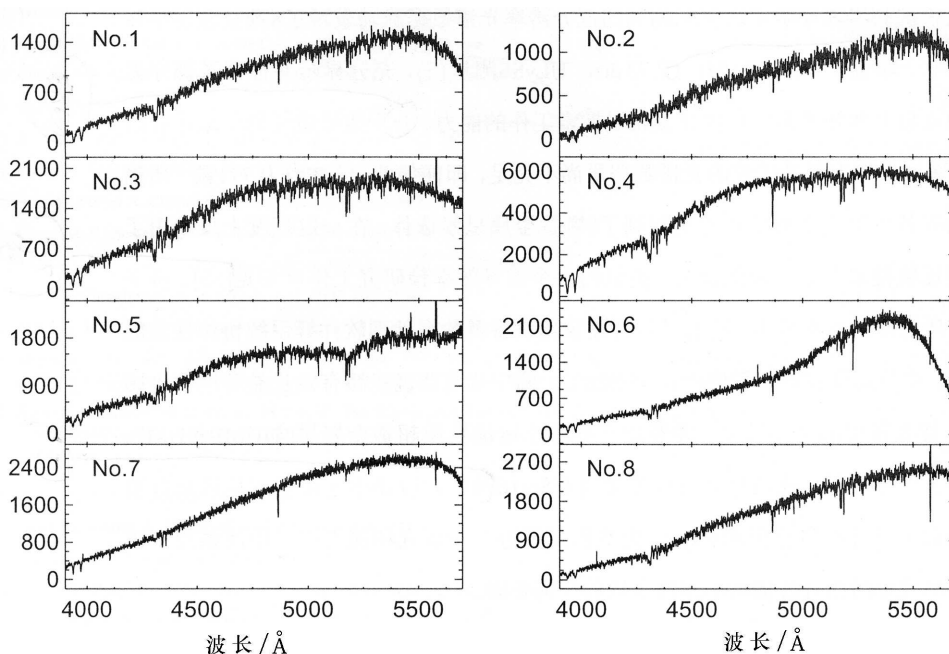


图1 郭守敬望远镜试观测期新发现的8颗贫金属星候选体的光谱图

光谱编号对应于表2第一列,光谱数据是蓝端光谱仪的观测数据,且未经过流量定标改正。

本文首次利用郭守敬望远镜观测到的低分辨率光谱数据成功发现了8颗贫金属星候选体,其中1颗属于VMP($[\text{Fe}/\text{H}]=-2.73$ dex, ULySS测量值),充分显示并证明了郭守敬望远镜独立自主地开展银河系内贫金属星搜索工作的能力。鉴于望远镜还处于试运行阶段,可挑选出来作为科学研究的光谱数据量尚不充足,即便如此,本工作从几百颗^[39]所筛选出来的有效恒星光谱数据样本里找到了8颗贫金属星候选体,在一定程度上反映出郭守敬望远镜搜索贫金属星的能力,类似的一个搜寻效率预研究工作可参见文献[53]。基于本文工作所发现的可喜成果,随着试运行期仪器设备及数据处理软件等系统协作性能的日臻完善,我们期待着银河系巡天正式启动后,郭守敬望远镜能够有效且显著地扩大国际上现有贫金属星的样本数量,并希望它能够幸运地发现超贫金属星(如UMP和HMP,对于挑出来的候选体,我们可通过世界上现有8~10 m级大口径望远镜获取后续高分辨率观测光谱来进行细致分析和认证),为我们开展进一步研究和深入探寻银河系及宇宙早期化学形成及演化过程提供丰富而宝贵的研究资源。

致谢 感谢审稿人提出的有价值的建议,使我们的文章内容更加全面,描述更为准确。郭守敬望远镜(大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜, LAMOST)是由国家发展和改革委员会资助,由中国科学院承建的国家大科学工程项目。郭守敬望远镜由中国科学院国家天文台负责运行和管理。感谢美国密歇根大学 Beers 博士分享给本文作者使用其 SSPP 软件程序(version 7.5)。

参考文献:

- [1] Christlieb N, Schörck T, Frebel A, et al. *A&A*, 2008, 484: 721
- [2] Beers T C, Christlieb N. *ARA&A*, 2005, 43: 531
- [3] Zhao G, Chen Y Q, Shi J R, et al. *ChJAA*, 2006, 6: 265
- [4] Bond H E. *ApJS*, 1970, 22: 117
- [5] Beers T C, Preston G W, Shectman S A. *AJ*, 1985, 90: 2089
- [6] Beers T C, Preston G W, Shectman S A. *AJ*, 1992, 103: 1987
- [7] Preston G, Shectman S Carnegie Institution of Washington Year Book, 76, Washington, DC: Carnegie Inst. Washington, 1977: 149
- [8] Beers T C. The Third Stromlo Symposium: The Galactic Halo. Gibson B K, Axelrod T S, Putman M E, eds. ASP Conference Series, 1999a, 165: 202
- [9] Beers T C, Rossi S, Norris J E, et al. *AJ*, 1999b, 117: 981
- [10] Skrutskie M F, Schneider S E, Stiening R, et al. The Impact of Large Scale Near-IR Sky Surveys, Garzón F, Epchtein N, Omont A, Burton W, Persi P, eds. Dordrecht: Kluwer Academic Publishing Company, 1997: 25
- [11] Rhee J. Automated selection of metal-poor stars in the GALaxy. PhD Thesis. Michigan: Michigan State University, 2000
- [12] Wisotzki L, Christlieb N, Bade N, et al. *A&A*, 2000, 358: 77
- [13] Christlieb N, Wisotzki L, Reimers D, et al. *A&A*, 2001a, 375: 366
- [14] Christlieb N, Green P J, Wisotzki L, et al. *A&A*, 2001b, 366: 898
- [15] Schörck T, Christlieb N, Cohen J G, et al. *A&A*, 2009, 507: 817
- [16] Komiya Y, Habe A, Suda T, et al. *ApJ*, 2010, 717: 542
- [17] Frebel A, Aoki W, Christlieb N, et al. *Nature*, 2005, 434: 871
- [18] Aoki W, Frebel A, Christlieb N, et al. *ApJ*, 2006, 639: 897
- [19] Christlieb N, Bessell M, Beers T C, et al. *Nature*, 2002, 419: 904
- [20] Bessell M, Christlieb N, Gustafsson B. *ApJ*, 2004, 612: L61
- [21] Norris J, Christlieb N, Korn A, et al. *ApJ*, 2007, 670: 774
- [22] Morrison H L, Mateo M, Olszewski E W, et al. *AJ*, 2000, 119: 2254
- [23] Majewski S R, Bahcall J N, Geisler D, et al. American Astronomical Society, 198th AAS Meeting, #62.13; Bulletin of the American Astronomical Society, 2001, 33: 879
- [24] Keller S C, Schmidt B P, Bessell M S, et al. Publications of the Astronomical Society of Australia, 2007, 24: 1
- [25] York D G, Adelman J, Anderson J E J, et al. *AJ*, 2000, 120: 1579
- [26] Steinmetz M, Zwitter T, Siebert A, et al. *AJ*, 2006, 132: 1645
- [27] Zwitter T, Siebert A, Munari U, et al. *AJ*, 2008, 136: 421
- [28] Perryman M A C, de Boer K S, Gilmore G, et al. *A&A*, 2001, 369: 339
- [29] Rockosi C, Beers T C, Majewski S, et al. Astro2010: The Astronomy and Astrophysics Decadal Survey, Science White Papers, 2009: no.14
- [30] Wylie-de Boer E, Freeman K. IAUS, 2010, 262: 448
- [31] Su D Q, Cui X Q, Wang Y N, et al. Advanced Technology Optical/IR Telescopes VI. Larry M S, ed. Proc. SPIE, 1998, 3352: 76
- [32] Xing X Z, Zhai C, Du H S, et al. Advanced Technology Optical/IR Telescopes VI. Larry M S, ed. Proc. SPIE, 1998, 3352: 839
- [33] Zhao Y H. Observatory Operations to Optimize Scientific Return II. Peter J Q, ed. Proc. SPIE, 2000, 4010: 290
- [34] Zhu Y T, Hu Z W, Zhang Q F, et al. Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy. McLean I S, Iye M, eds. Proc. SPIE, 2006, 6269: 20
- [35] Zacharias N, Finch C, Girard T, et al. *AJ*, 2010, 139: 2184

- [36] Luo A L, Zhang Y X, Zhao Y H. *Advanced Software, Control, and Communication Systems for Astronomy*. Lewis H, Raffi G, eds. Proc. SPIE, 2004, 5496: 756
- [37] Koleva M, Prugniel P, Bouchard A, et al. *A&A*, 2009, 501: 1269
- [38] Wu Y, Singh H P, Prugniel P, et al. 2010, arXiv:1009.1491
- [39] Wu Y, Luo A L, Li H N, et al. *RAA*, 2010, accepted
- [40] Prugniel P, Soubiran C. *A&A*, 2001, 369: 1048
- [41] Prugniel P, Soubiran C. 2004, arXiv: astro-ph/0409214
- [42] Prugniel P, Soubiran C, Koleva M, et al. 2007, arXiv: astro-ph/0703658
- [43] Valdes F, Gupta R, Rose J A, et al. *ApJS*, 2004, 152: 251
- [44] Zhang J N, Wu F C, Luo A L, et al. *ChA&A*, 2006, 30: 176
- [45] Luo A L, Wu Y, Zhao J K, et al. *Advanced Software and Control for Astronomy II*. Bridger A, Radziwill N M, eds. Proc. SPIE, 2008, 7019: 105
- [46] Castelli F, Kurucz R L. *Modelling of Stellar Atmospheres, Poster Contributions*. Proceedings of the 210th Symposium of IAU. Piskunov N, Weiss W W, Gray D F, eds. Sweden: Uppsala University, published on behalf of the IAU by the Astronomical Society of the Pacific, 2003: 20
- [47] Yanny B, Rockosi C, Newberg H J, et al. *AJ*, 2009, 137: 4377
- [48] Lee Y S, Beers T C, Sivarani I, et al. *AJ*, 2008, 2022
- [49] Lee Y S, Beers T C, Sivarani I, et al. *AJ*, 2008, 2050
- [50] Allende Prieto C, Sivarani T, Beers T C, et al. *AJ*, 2008, 136: 2070
- [51] Smolinski J P, Beers T C, Lee Y S, et al. 2010, arXiv:1008.1959
- [52] Stoughton C, Lupton R H, Bernardi M, et al. *AJ*, 2002, 123: 485
- [53] Li H N, Zhao G, Christlieb N, et al. *RAA*, 2010, 10: 753

New Metal-poor Star Candidates from Guo Shou-jing Telescope (LAMOST) Commissioning Observations

WU Yue^{1,2,3}, LUO A-li^{1,4}, SHI Jian-rong¹, BAI Zhong-rui¹,
ZHAO Jing-kun^{1,5}, WEI Peng^{4,1}, ZHAO Yong-heng^{1,4}

(1. Key Laboratory of Optical Astronomy, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100012, China; 2. Université de Lyon, Université Lyon 1, Villeurbanne, F-69622, France; CRAL, Observatoire de Lyon, CNRS UMR 5574, F-69561 Saint-Genis Laval, France; 3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Shijingshan District, Beijing, 100049, China; 4. Shandong University at Weihai, 180 Wenhua Road, Weihai, Shandong Province, 264209, China; 5. Florida Institute of Technology, physics and space science department, 32901, USA)

Abstract: Since metal-deficient stars preserve the chemical abundance formation and evolution information from the Galactic origin, they are regarded as fossils of the early generation of stars. Searching for them in large samples of stellar spectra is an important task related to stellar astrophysics. Guo Shou-jing Telescope (LAMOST), a 4-meter telescope with 4 000 fibers mounted on

the large focal plane, has been already executing its commissioning observation and accumulating its observing dataset. The telescope can acquire 4 000 spectra in a 5 degree field at each exposure, and there might be a lot of metal-poor stars (here after MPs) hidden in the flood of data.

To pick out MPs from LAMOST observations, the key process is to precisely measure the metallicity for each star. In the paper, three independent methods are applied to determine the metallicity of stars in an observation field of LAMOST, which were observed on Feb 13, 2010. The resolution of the spectra is $R \sim 2\,000$. All targets are selected from UCAC3 with R magnitude brighter than 16.5 mag. The integration time of this field is 30 min for one exposure and 20 min for another. Seeing is about 3.3 arcsecond in that observation night.

All raw data is reduced by standard LAMOST pipeline, including bias, flat, cosmic ray remove, sky subtraction, trace and extraction, and wavelength calibration etc. The observed spectrum of each target is assembled by two parts, blue range and red range, within 370–590 nm and 570–900 nm respectively. Lacking of flux standard stars in the observing plan, connection of the two parts of the individual spectrum is not smooth enough due to the approximate flux calibration. For the purpose on MPs searching, using the blue arm is enough, because most of the important abundance features are included in this wavelength range. Hence, in this work, we adopt this wavelength range for the metallicity measuring methods.

Three stellar atmospheric parameters measuring methods mentioned above are ULySS, Non-Parametric Regression (NPR), and SSPP. ULySS is a newly developed tool based on matching with the ELODIE stellar library, and NPR is a method based on interpolation in the spectra grid constructed by Kurucz NEWODF, while SSPP is the SDSS stellar parameter pipeline. Metallicities ($[\text{Fe}/\text{H}]$) and the radial velocities (RV, see Table 2) determined by the three methods are statistically consistent.

With the derived stellar atmospheric parameters, 8 MP candidates with $[\text{Fe}/\text{H}] < -1.00$ dex are found. Among them, there is one very metal-poor (VMP) candidate star with $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.73$ dex. Table 3 displays all the ULySS determined atmospheric parameters (effective temperature, surface gravity, $[\text{Fe}/\text{H}]$ and RV) for these MP candidates. The result of the 8 MPs is a prelude to the feasibility of LAMOST's capability on searching and enlarging the sample of metal-poor stars in the Milky Way. Besides of the 8 MPs, stars in this observing field could also be used for future calibrations of the LAMOST standard stellar parameter pipeline.

Key words: stars; abundances - fundamental parameters; survey observation