

恒星中Cu和Zn丰度

施建荣

中国科学院国家天文台

提 纲

➤ 研究基础及研究思路

➤ Cu和Zn的来源
观测结果
初步结果

➤ 讨论

研究基础

主要工作是恒星大气中一些重要元素的NLTE效应研究

已建立了Li、B、Na、Mg、Al、Si、K和Fe等元素的原子模型

与俄罗斯和国外其他合作者，我们还可以取得Ca、Ba和Eu等元素的原子模型

我们有用于计算粒子数布局、恒星大气模型和拟合恒星光谱的程序。

未来三年的研究思路

- 2010年 建立Cu原子模型，确定太阳和一批贫金属恒星中的Cu丰度
- 2011年 建立Zn原子模型，确定太阳和一批贫金属恒星中的Zn丰度
-
- 2012年 利用建立的已原子模型Na、Mg、Al、Si、Cu和Zn等原子模型，确定一批极端贫金属恒星中这些元素的丰度，以及一些重要的s和r过程元素的丰度

Cu和Zn的来源

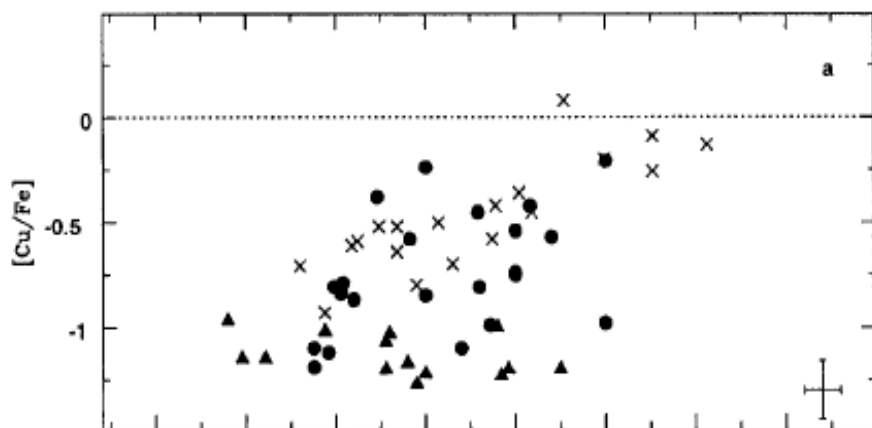
为何研究Cu和Zn

- Cu和Zn是重要的铁族元素，在贫金属恒星中，它们的行为与其它铁族元素不一样
- Cu和Zn在没有演化的不同金属丰度和星族的恒星中的丰度是不同的，到目前为止，Cu和Zn的天体起源是很热门的争论课题

Cu和Zn的来源(cont.)

为何要考虑NLTE？

- 一些元素受NLTE的影响很大，比如O, Na, Mg, Al, K等元素, Al在几点贫金属恒星中的NLTE效应可达0.8 dex
- 研究贫金属恒星中的Cu丰度时，发现了一个奇怪的现象：不同的谱线给出的丰度（ $[\text{Cu}/\text{Fe}]$ ）有很大的差别
(Bihain et al. 2004 由近紫外谱线得到的Cu 丰度要比用光学波段的谱线的低 0.37 dex



$[\text{Cu}/\text{Fe}]$ (5105和5782Å)

UV谱线 (3273.95 Å 实心三角形)

Cu和Zn的来源(cont.)

尽管做了很多努力, Cu和Zn的来源还是不很明确 (Bihain et al. 2004)

➤ Cu和Zn能在大质量恒星中合成 :在通过He燃烧时通过中子俘获形成; 此外Cu也可以在Ne燃烧爆炸时形成, 而 Zn在Si燃烧过程中形成 (Woosley & Weaver 1995)

➤ 少量的Cu和Zn也可以在中等质量恒星中通过s过程形成A (Gallino et al. 1998). Ia型超新星可能贡献一部分 Cu和Zn (Iwamoto et al. 1999).

➤ Cu和Zn也可能来自r过程 (Woosley & Weaver 1995; Umeda & Nomoto 2002).



目前为止, 我们还不是很清楚这些过程的相对贡献

Cu的观测结果

J. DISTERD ET AL. / *Astronomical Journal* 120 (2000) 2046-2070

2000

晕、厚、薄盘、核球星团恒星
中[Cu/Fe]丰度

➤ [Fe/H]<-1.8时, [Cu/Fe]=-0.65
± 0.15

➤ -1.5 <[Fe/H]<-1.0线性上升

➤ 盘星丰度恒星又出现一个平台

➤ 厚、薄盘恒星的丰度明显不同且有不同的演化趋势 (Reddy et al. 2003).

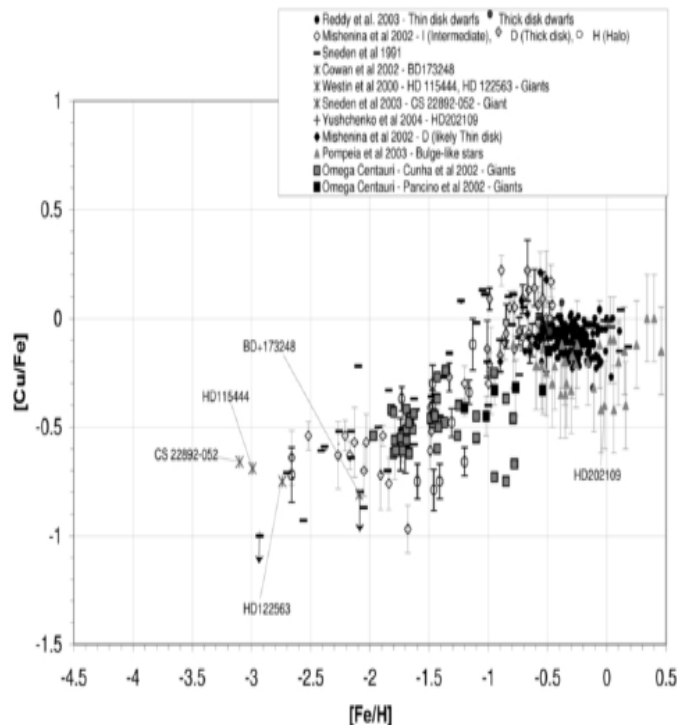
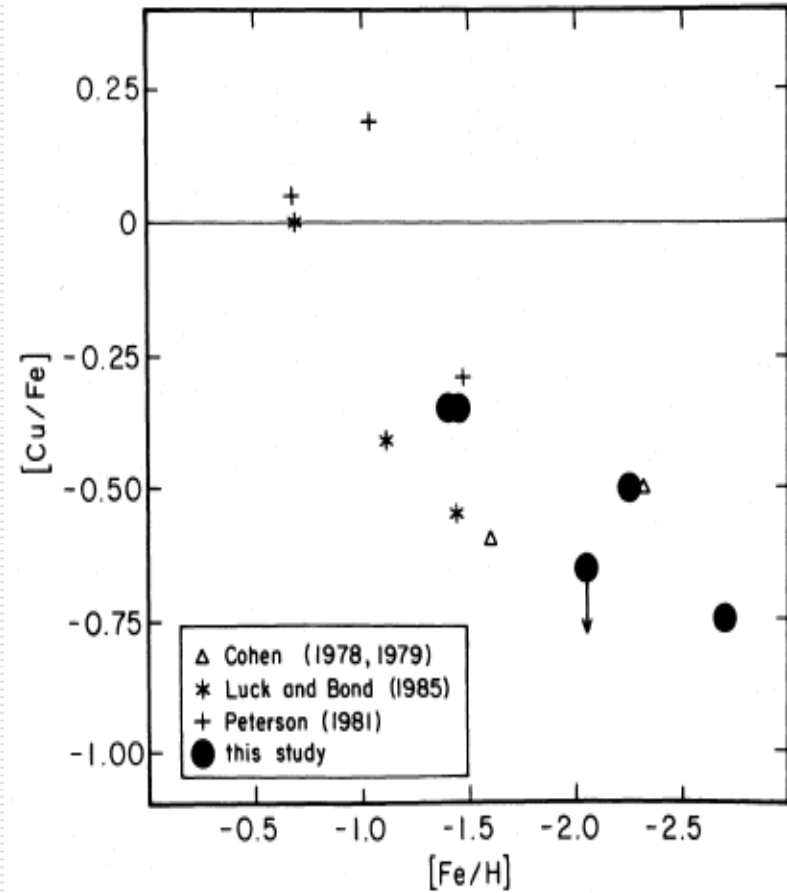


Figure 1. Spectroscopic observations of [Cu/Fe] vs [Fe/H] for field stars in the Galactic Halo, thick-disk, thin-disk, Bulge-like stars and Omega Cen.

Cu的来源(cont.)

Sneden & Crocker (1988) 认为Cu主要是由 secondary 过程产生 (one requiring iron seeds from previous stellar generations, giving rise to an enrichment proportional to the iron content)



Cu的来源(cont.)

Mishenina et al. (2002) 认为Cu

➤ 大质量恒星的primary贡献
~7.5%

➤ ~25%来自secondary
processes相同的恒星中 (slow
neutron captures, or the weak
s-process)

➤ 5%来自AGB星 (*s*-process
)

➤ 他们认为其它的62.5%)来自
目前还不清楚地过程，如Ia型
超新星中的核合成过程

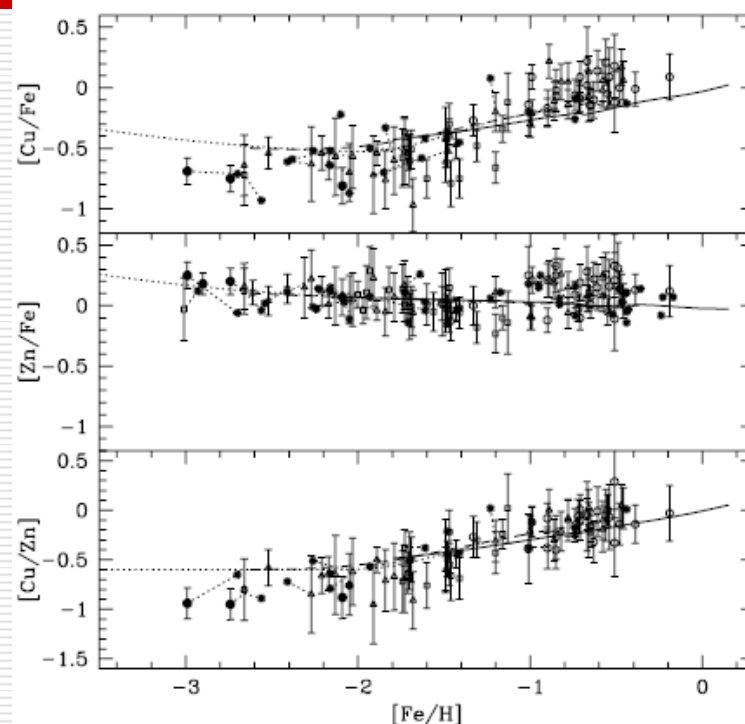


Fig. 13. Galactic evolution of $[\text{Cu}/\text{Fe}]$ (upper panel), $[\text{Zn}/\text{Fe}]$ (middle panel), $[\text{Cu}/\text{Zn}]$ (lower panel) according to the chemical evolution prescriptions described in the text (including primary processes from massive stars, secondary processes from SNI, *s*-processes from AGB stars, and SNIa contributions, in the relative fractions discussed in the text. Symbols are the same as in Fig. 8.

Cu的来源(cont.)

SN Ia对Cu的贡献相对比较晚，在附近的矮星系中的红巨星中发现 $[\text{Cu}/\text{Fe}]$ 也是低的

这是因为SN Ia贡献了大量的Fe。也可能是由于在SN Ia中Cu的产率可能依赖于金属丰度

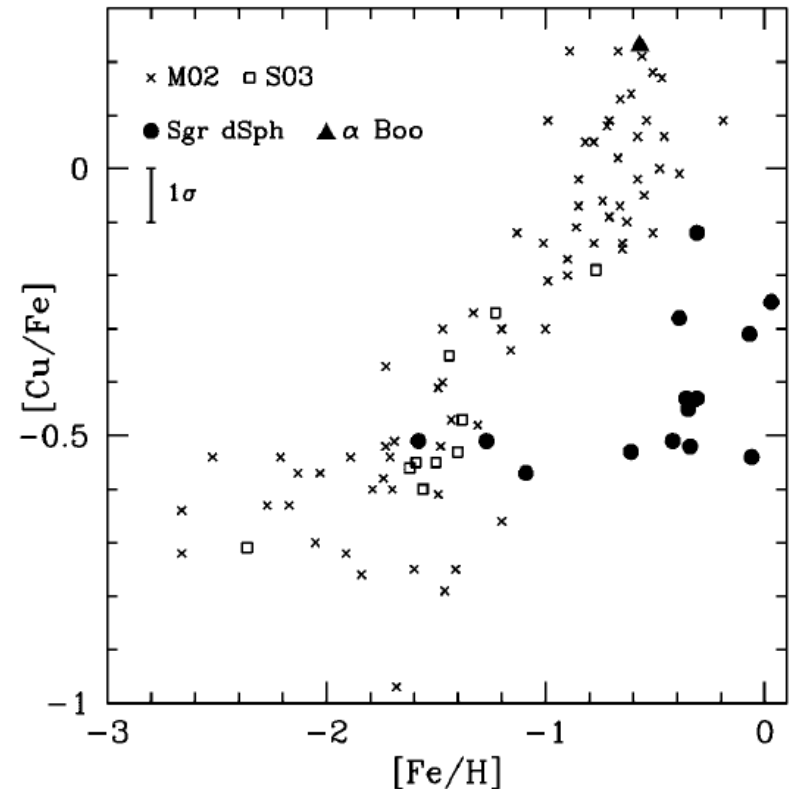


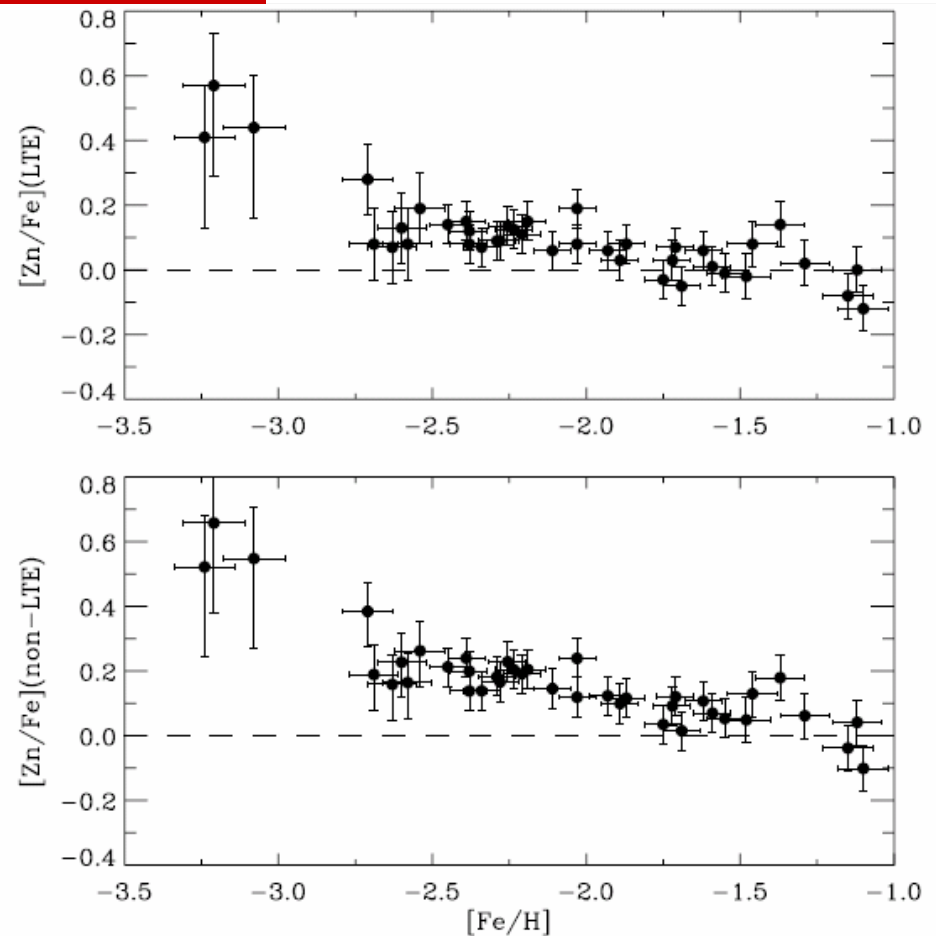
FIG. 1.— $[\text{Cu}/\text{Fe}]$ values for 14 Sgr dSph stars (filled circles), compared to the trend for Galactic disk and halo stars, as measured by Mishenina et al. (2002; “M02,” crosses) and 10 globular clusters (Simmerer et al. 2003; “S03,” open squares). The filled triangle is for Arcturus, as measured in this work.

Zn的观测结果

晕星中的[Zn/Fe]上图是
LTE下图是 non-LTE修
正后的结果

Takeda et al. (2005)

there can be little doubt
that Zn is indeed
overabundant with
respect to iron for very
metal-poor stars



Zn的来源

Mishenina et al. (2002) 认为 Zn

➤ 大质量恒星的primary贡献~30%

➤ AGB s-process 3%

➤ ~67% SN Ia

➤ r-process 贡献很少

➤ 解释 $[Zn/Fe] > +0.3$,

Nomoto et al. (2006)认为这是 $[Fe/H] < -3$ 的恒星是从大质量的星族 III hypernovae 的抛出物形成的

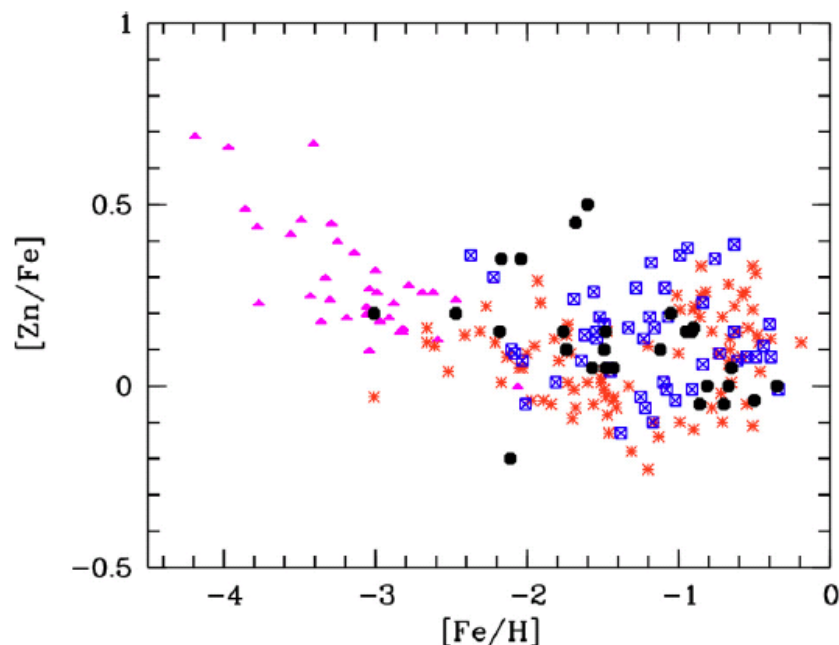


Fig. 7. $[Zn/Fe]$ ratios vs. $[Fe/H]$ from our measurements (*filled dots*), from Cayrel et al. (*filled triangles*), from Mishenina et al. (*asterisks*) and Gratton et al. (*crossed squares*). The $[Zn/Fe]$ values of Gratton et al. are decreased by 0.09 dex for normalization to meteoritic rather than to solar abundances.

Bihain et al. 2004

初步结果

- Fe原子模型，已经建立，文章初审意见
- Cu的原子模型，基本建立
确定了太阳和几个贫金属恒星中Cu丰度
NLTE效应~0.2 dex
- Zn的原子参数已经计算好

合作研究展望

- 贫金属恒星中 ^7Li 和 ^6Li 的丰度问题
- Cu的起源问题
- Zn的起源，特别是在极端贫金属恒星中 $[\text{Zn}/\text{Fe}]$ 过丰的问题



Thank You !

sjr@bao.ac.cn