

恒星中一些重要元素的丰度



施建荣

中国科学院国家天文台

提 纲



➤ 研究基础

➤ 研究内容

➤ 初步结果

➤ 合作基础

研究基础



主要工作：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，我们还取得了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。

有一批极端贫金属恒星和近邻恒星的光谱

未来三年的研究思路



- 建立Cu和Zn原子模型，确定太阳和一批贫金属恒星中的Cu和Zn元素丰度
-
- 利用已建立的原子模型，确定一批贫金属恒星中Li、Na、Mg、Al、Si、Cu和Zn等元素的丰度
- 确定一批极端贫金属恒星中一些重要的s和r过程元素的丰度
- 进一步研究这些元素的起源

Cu和Zn的来源



为何研究Cu和Zn

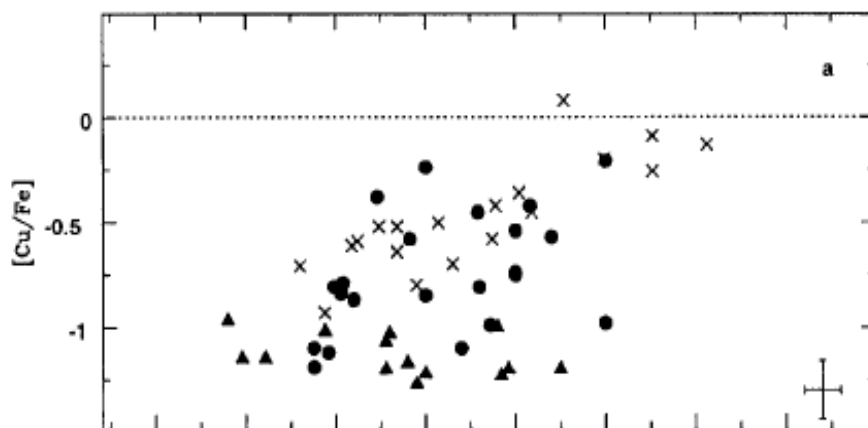
- Cu和Zn是重要的铁族元素，在贫金属恒星中，它们的行为与其它铁族元素不一样；Cu和Zn在不同金属丰度和星族的恒星中的丰度不同，到目前为止，Cu和Zn的天体起源是很热门的争论课题
- s过程元素的起源问题不是很确定，而r过程元素的起源地还不清楚(Ba, Eu等)

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, 如Al在高温贫金属恒星中的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（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 Bihain et al. 2004）



$[\text{Cu}/\text{Fe}]$ (5105和5782Å)

UV谱线 (3273.95 Å 实心三角形)

Cu和Zn的来源(cont.)



- **Cu和Zn能在大质量恒星中合成 :He燃烧时, 通过中子俘获形成; 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Cu和Zn也可以在中等质量恒星中通过s过程形成 (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, 还不清楚这些过程的相对贡献 (Bihain et al. 2004)

Cu的观测结果



恒星中[Cu/Fe]丰度

➤ [Fe/H]<-1.8时,

[Cu/Fe]=-0.65

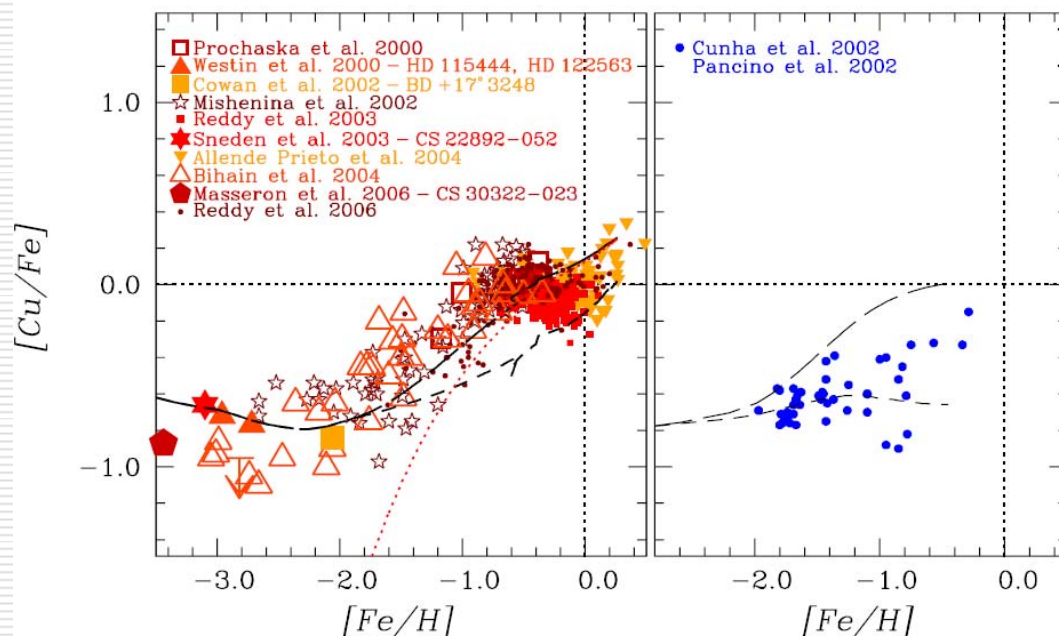
± 0.15

➤ -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).



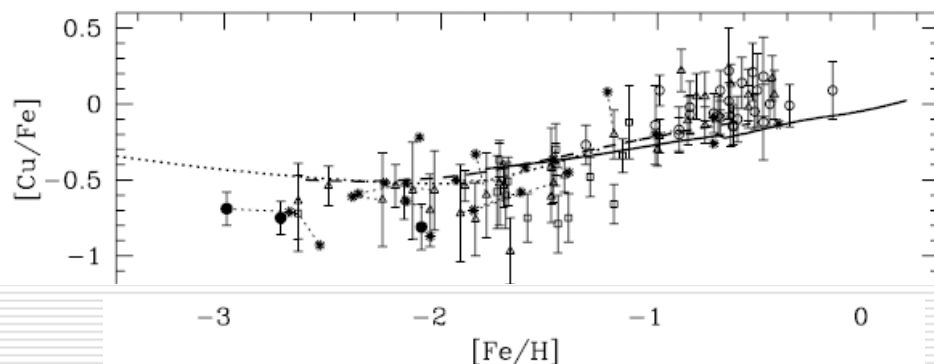
左图[Cu/Fe]在晕和盘星中的丰度；右图 [Cu/Fe]球状星团 ω Cen恒星中的丰度，以及与不同模型预言的结果比较

Cu的来源 (cont.)



Mishenina et al. (2002)

- 大质量恒星的primary贡献 ~7.5%
- ~25% secondary相同大质量恒星中 (slow neutron captures, or the weak *s*-process)
- 5% AGB星 (*s*过程)
- 其它的62.5% 目前还不清楚, 如Ia型超新星中的核合成过程



银河系中[Cu/Fe]演化趋势, 与化学演化模型的比较 (包括SN II中的primary和secondary过程, AGB中的s过程元素, SN Ia的贡献)

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

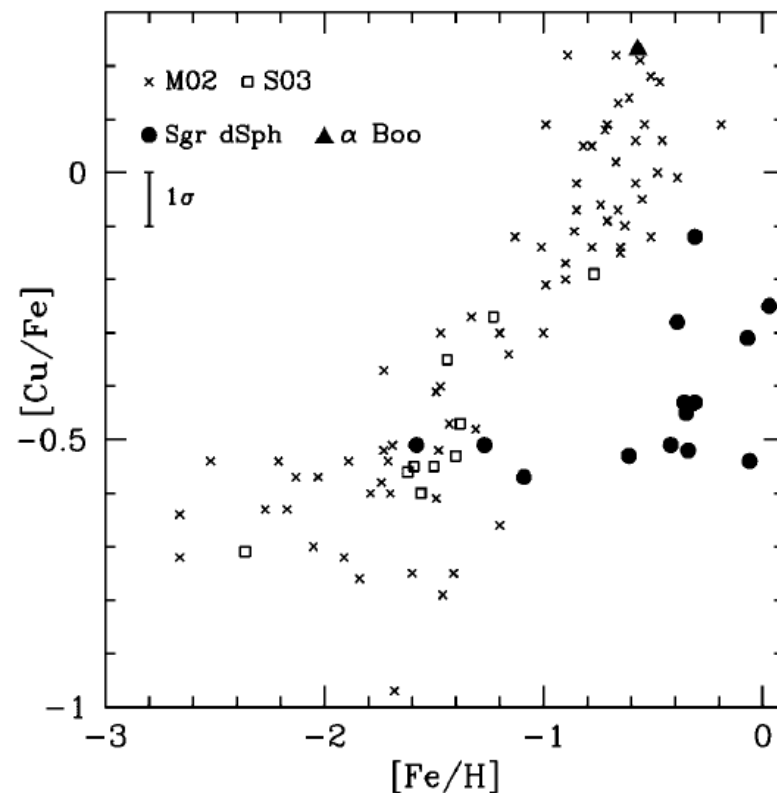


FIG. 1.— $[\text{Cu}/\text{Fe}]$ values for 14 Sgr dSph stars (filled circles), compared to the trend for Galactic disk and halo stars, as measured by Mishenina et al. (2002; “M02,” crosses) and 10 globular clusters (Simmerer et al. 2003; “S03,” open squares). The filled triangle is for Arcturus, as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

3D模型的最新结果



Bonifacio et al. (2010 *Astroph* 1009.1848:

由UV与光学波段谱线得到的丰Cu度有0.5 dex差别

在同一个星团中用不同谱线得到的丰度不一致，而且高温矮星的UV谱线受3D效应很大（0.8 dex）

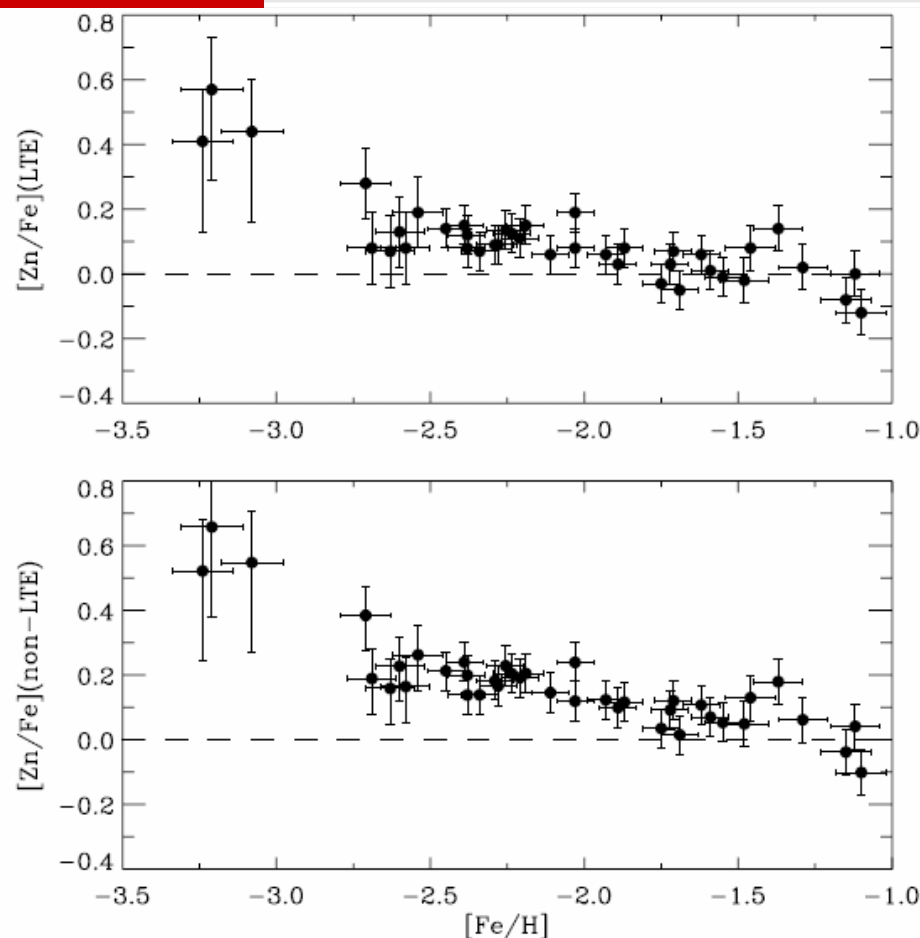
**认为用UV谱线确定丰度不可靠，必须考虑NLTE效应
要研究Cu的起源，需要可靠的谱线形成机制**

Zn的观测结果

晕星中的 $[Zn/Fe]$ 上图是
LTE下图是 NLTE修正
后的结果

Takeda et al. (2005)

观测表明：极端贫金属
恒星中Zn是过丰的



Zn的来源

Mishenina et al. (2002)

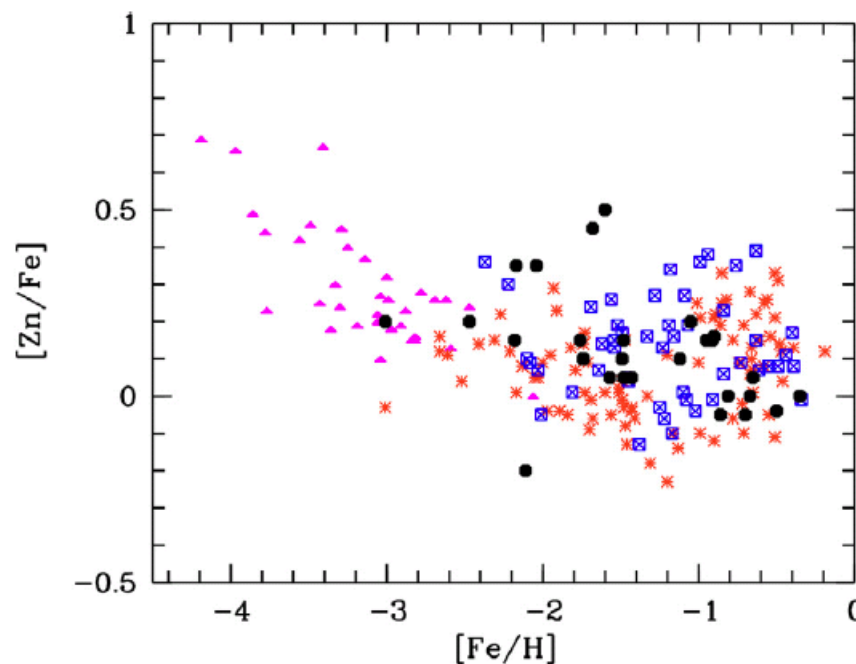
➤ 大质量恒星的primary贡献~30%

➤ AGB s-process 3%

➤ ~67% SN Ia

➤ *r*-process 贡献很少

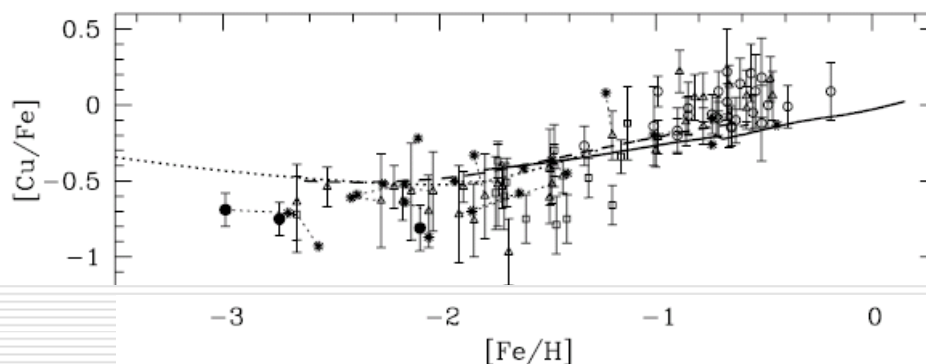
➤ 不能解释 $[Zn/Fe] > +0.3$,
Nomoto et al. (2006)认为这是 $[Fe/H] < -3$ 的恒星是从大质量的星族 III hypernovae 的抛出物形成的



银河系中恒星 $[Zn/Fe]$ 随 $[Fe/H]$ 的观测结果

Bihain et al. 2004

初步结果



基本建立Cu的原子模型

确定了太阳和30个贫金属恒星中Cu丰度
高温贫金属恒星Cu的NLTE效应 ~ 0.7 dex
初步结果符合上面的模型预言

初步结果 (cont.)



- Fe原子模型已经建立
- Zn的原子参数已经计算好

最近的工作

极端贫金属恒星中的Na、Mg、Al、Si、Ca等元素以及一些重要的r和s过程元素的丰度

确定一批贫金属恒星中Ba和Eu元素的丰度

（利用已建立的原子模型，已经从俄罗斯合作者获得）

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
- s和r过程元素的起源



Thank You !

sjr@bao.ac.cn