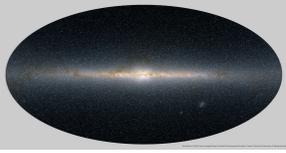


LAMOST主序拐点星样本：近百万颗 恒星的质量和年龄

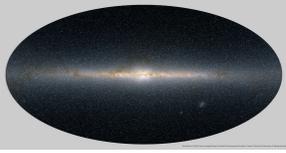
向茂盛

国家天文台，LAMOST冠名博士后



恒星年龄估计

- 银河系及其他（漩涡）星系正处于不断演化状态：恒星年龄估计对于理解星族和演化历史至关重要
- 恒星年龄难以准确估计
 - 缺乏标准时钟；依赖于恒星模型；需要精确的大气参数
- 测量恒星年龄的方法
 - 天然放射性元素丰度（U238， Th232）；恒星模型（星震学、等年龄线）；经验方法（旋转周期，活动性，CN丰度比等）；运动学年龄



恒星年龄估计

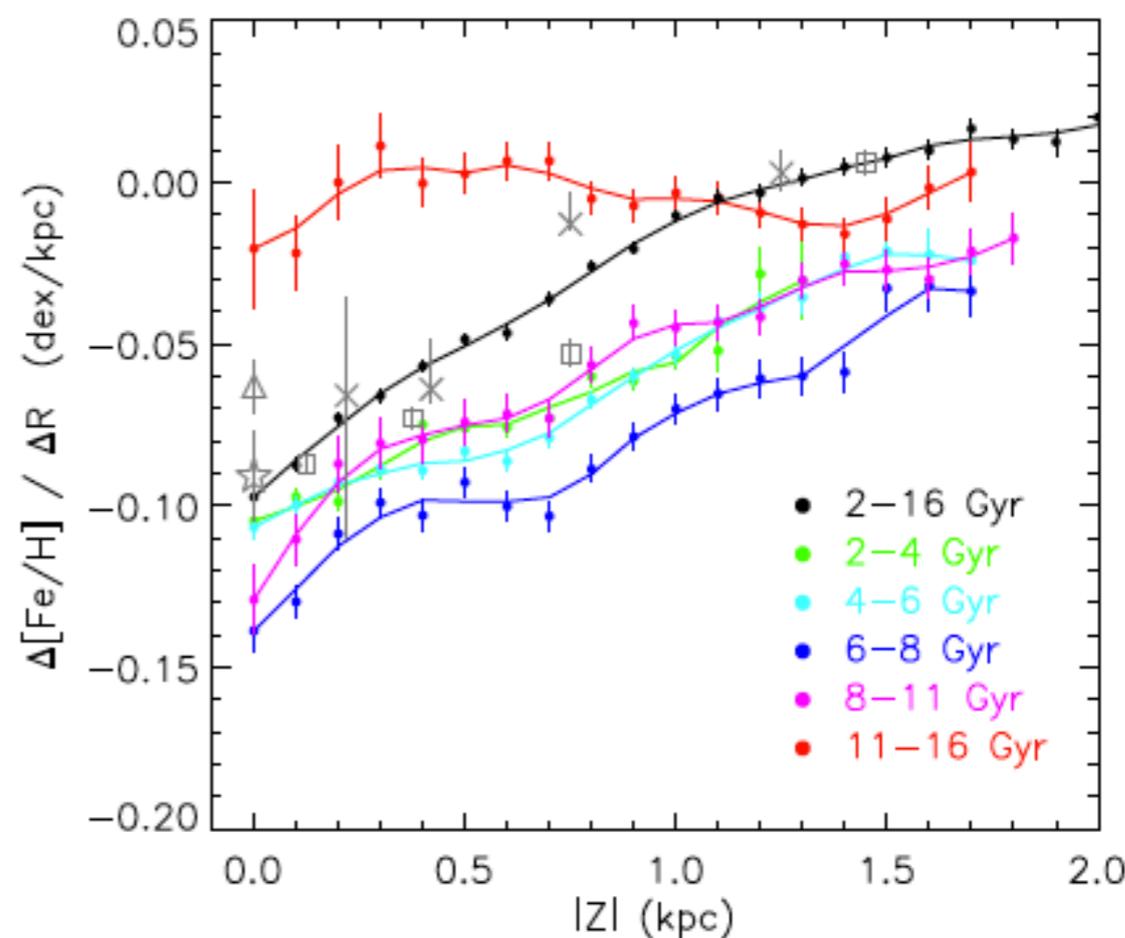
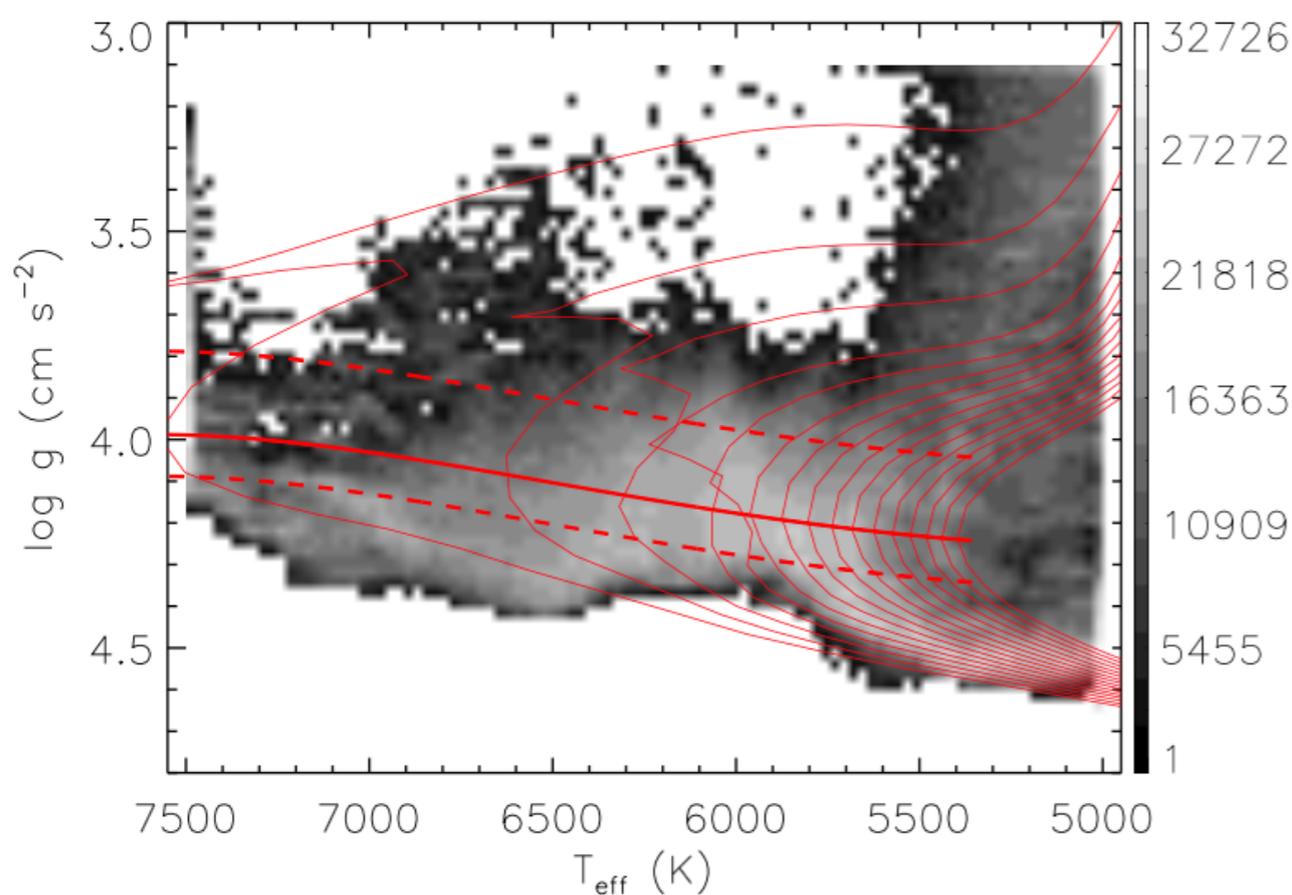
- 星震学能给出较精确的恒星年龄 (误差10-20%), 但是受制于小样本亮星
- 恒星演化轨迹 (等年龄线) 给出次精确但是大样本恒星的年龄
- **LAMOST以前, 大样本 (场) 恒星年龄的研究很少**
 - Edvardsson et al. (1993): 189颗F/G型星
 - Nordstrom et al. (2004): Geneva-Copenhagen巡天3000多颗F/G型星 (<200 pc)
 - Takeda et al. (2007): ~1000颗星
 - Haywood et al. (2013): ~1000颗星
 - Bergemann et al. (2014): Gaia-ESO巡天的140颗星



LAMOST主序拐点星样本

Xiang et al. (2015): 30万颗LAMOST拐点星的年龄 (误差30%)

Xiang+2015, RAA, 15, 1209

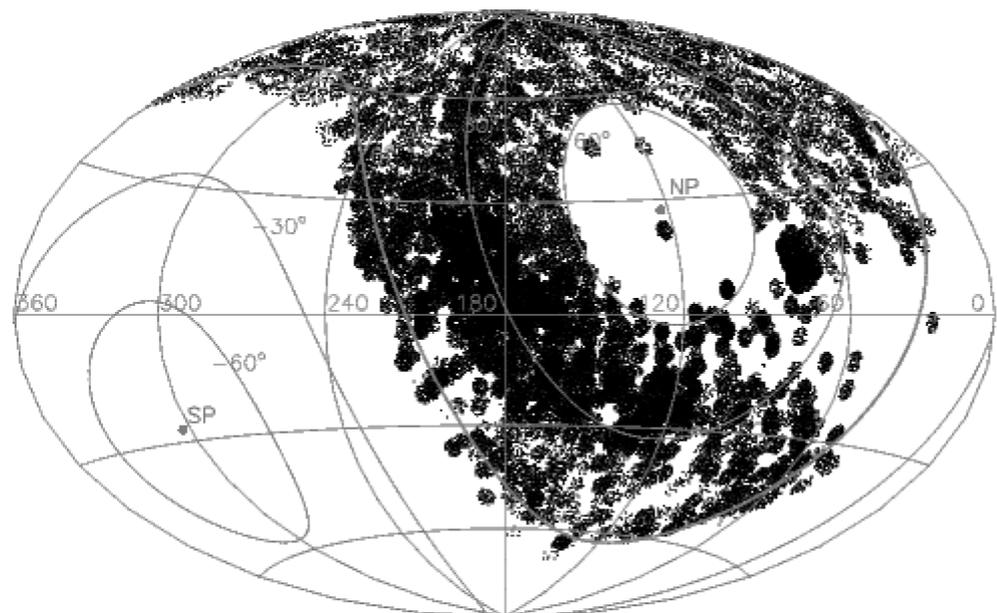


但参数(尤其是logg)误差大导致年龄估计可能存在系统差(e.g. Wu et al. 2017, RAA, 17, 5)

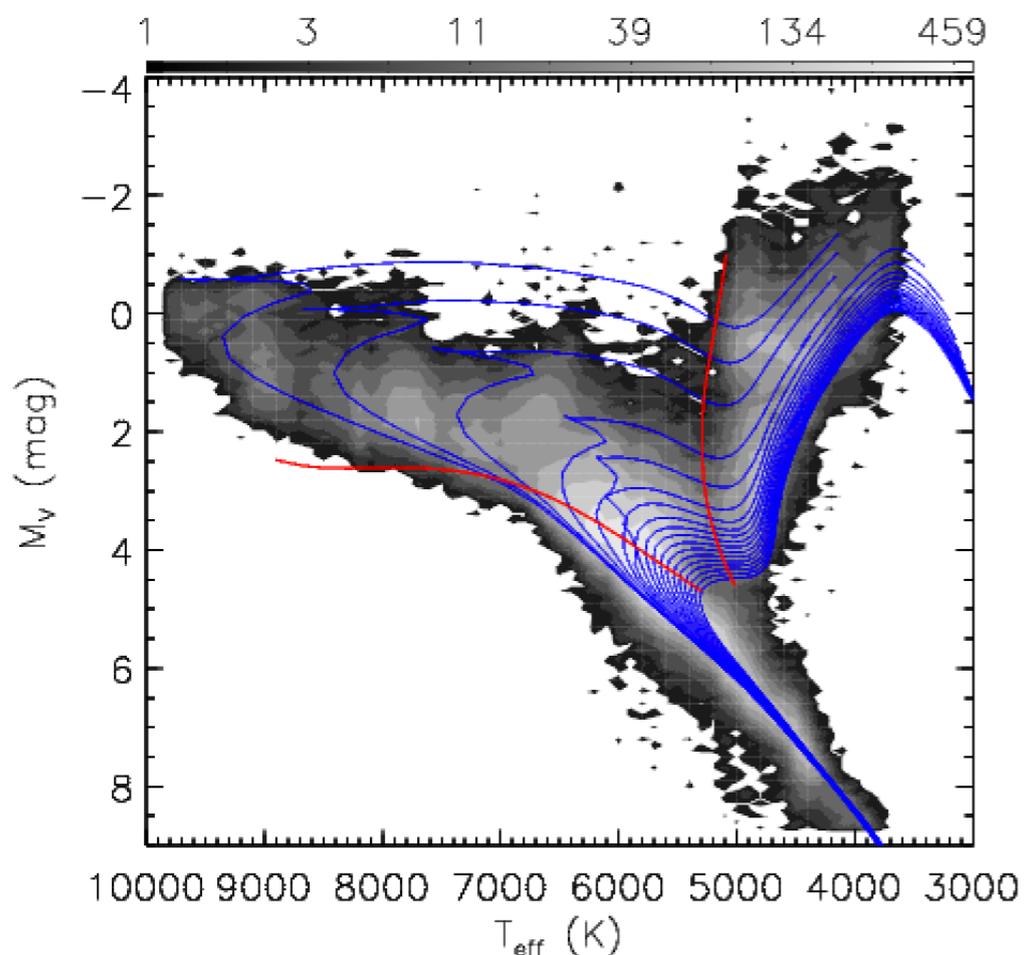


LAMOST DR4增值星表及主序拐点星样本

LAMOST DR4增值星表：
440万颗星，650万次测量



在 $T_{\text{eff}}-M_V$ 空间选取950,000颗拐点星
要求信噪比大于20 (其中60%的恒星光谱信
噪比大于50)

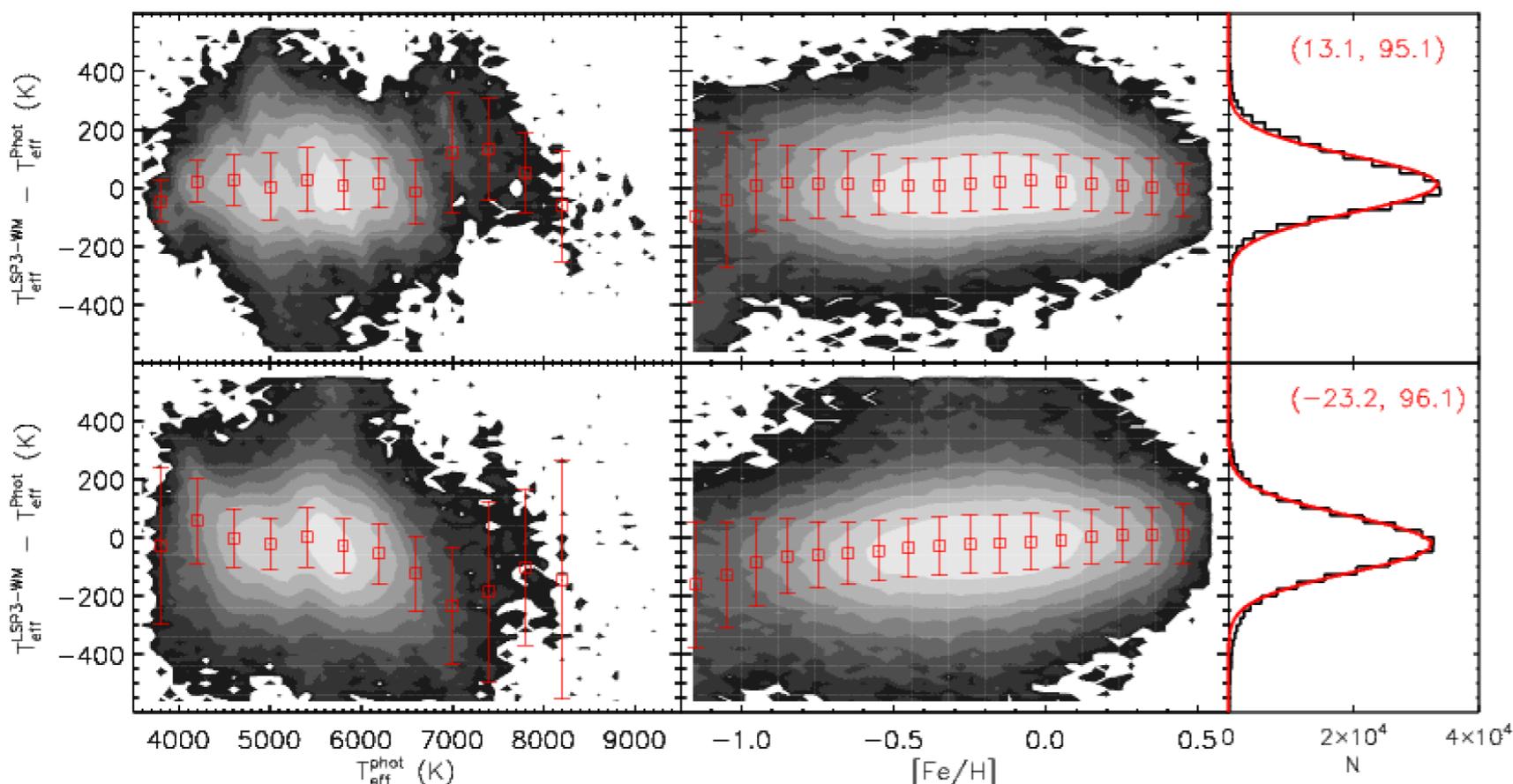


基于 T_{eff} , M_V , $[\text{Fe}/\text{H}]$, $[\alpha/\text{Fe}]$ 测量和恒星演化等
年龄线(YI), 利用贝叶斯方法测量年龄和质量

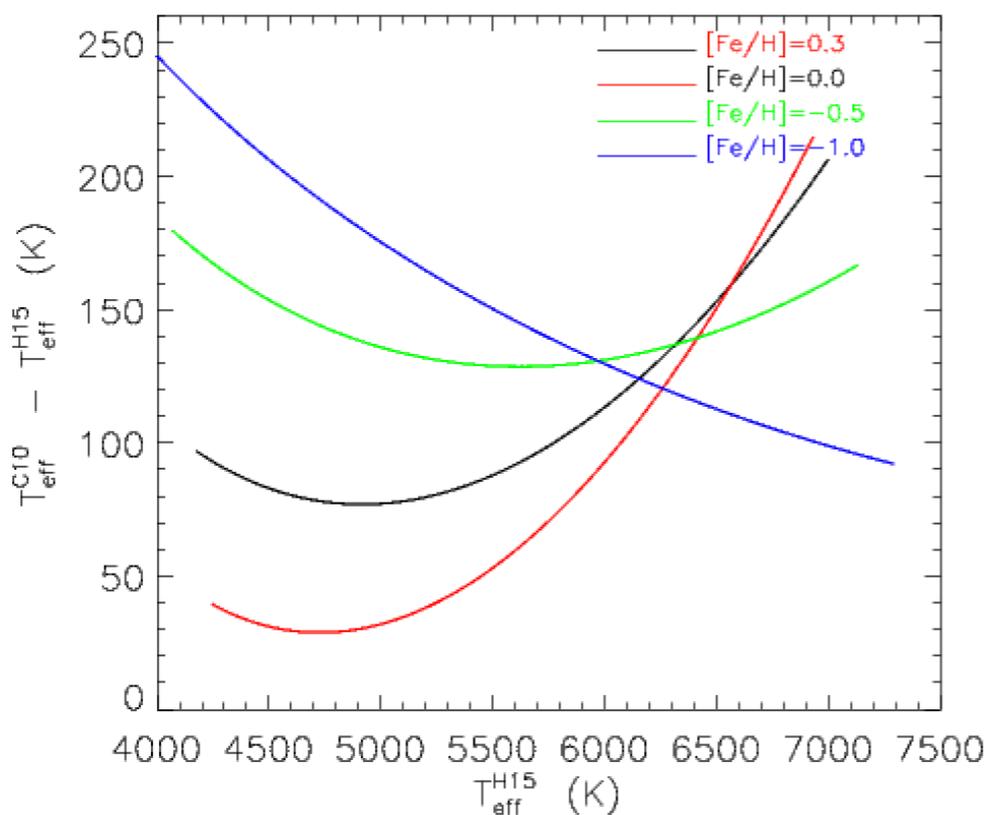


有效温度标度

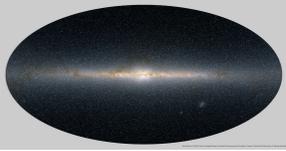
LSP3有效温度标度采用 Huang et al. (2015)根据恒星角半径和三角视差测量给出的经验颜色-丰度-有效温度关系



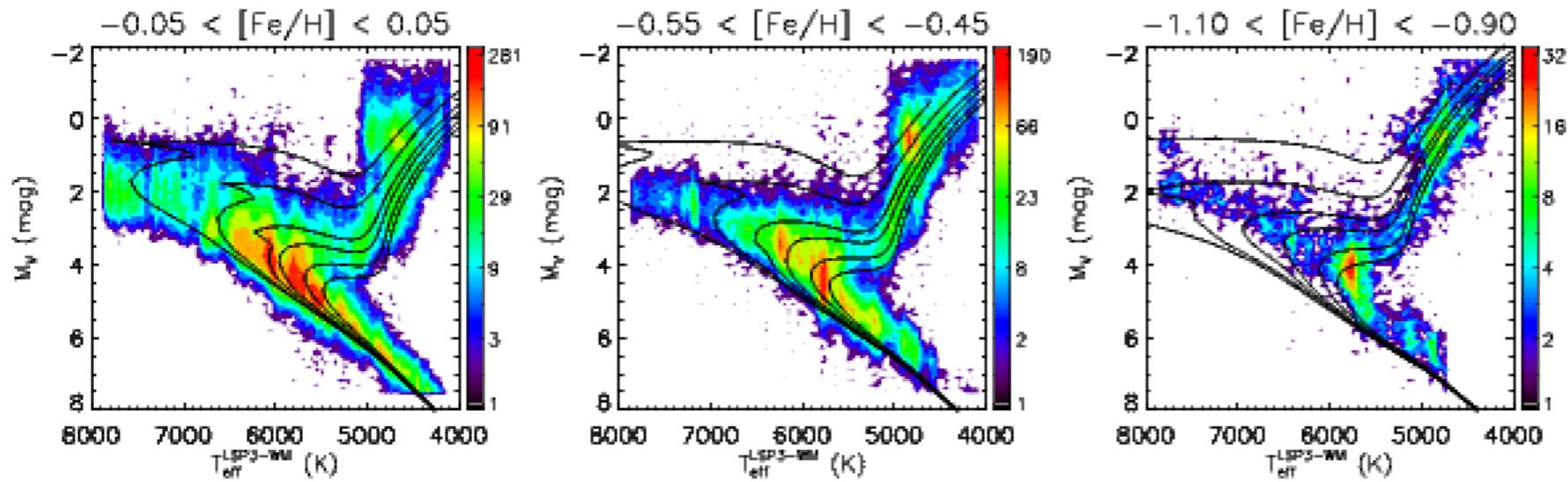
LSP3有效温度标度可能与ISOCHRONE温度标度（依赖于恒星大气模型）存在与金属丰度有关的系统差



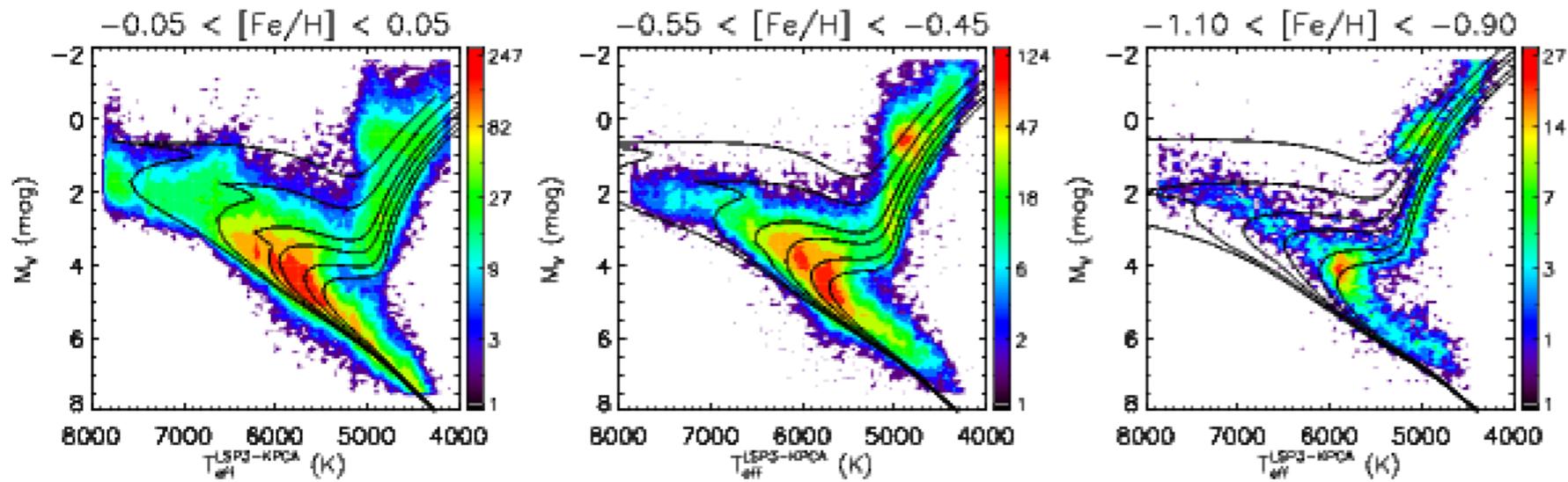
左图：Huang等人(2015)与Casagrande等人(2010)的颜色-丰度-有效温度关系差异



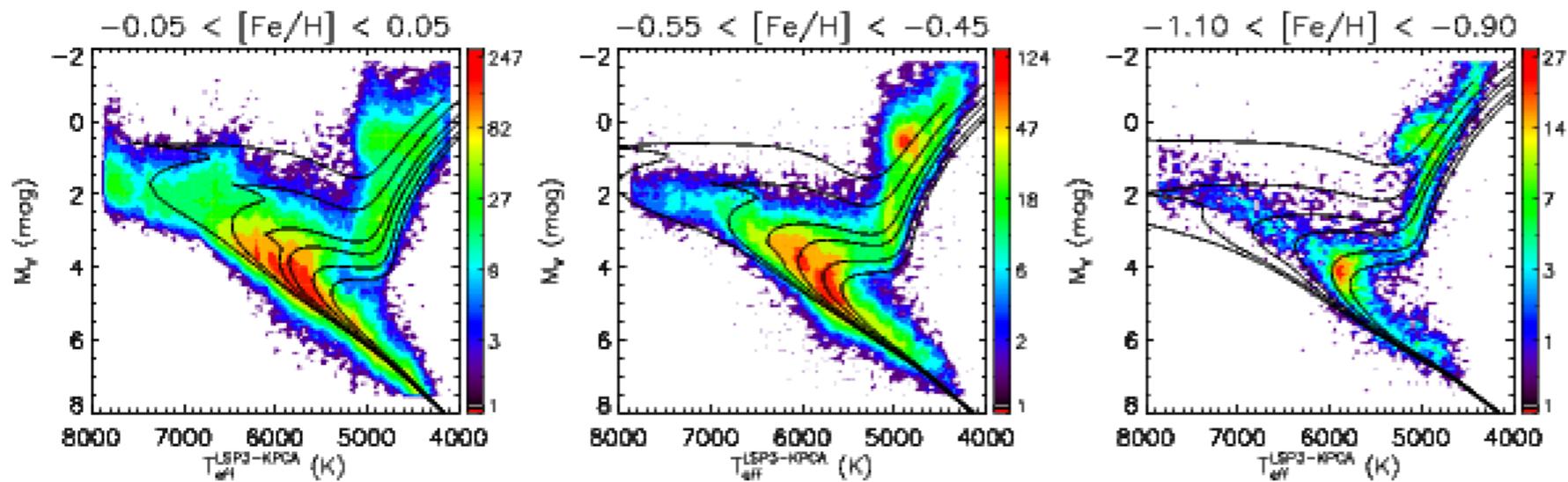
LAMOST DR4赫罗图



LSP3加权平均算法
给出的温度



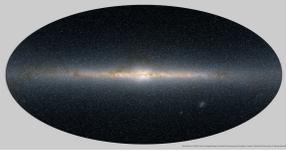
LSP3 KPCA算法
给出的温度



将isochrone的温度
标度定标到Huang等
人的经验温度标度



年龄和质量测量：贝叶斯方法

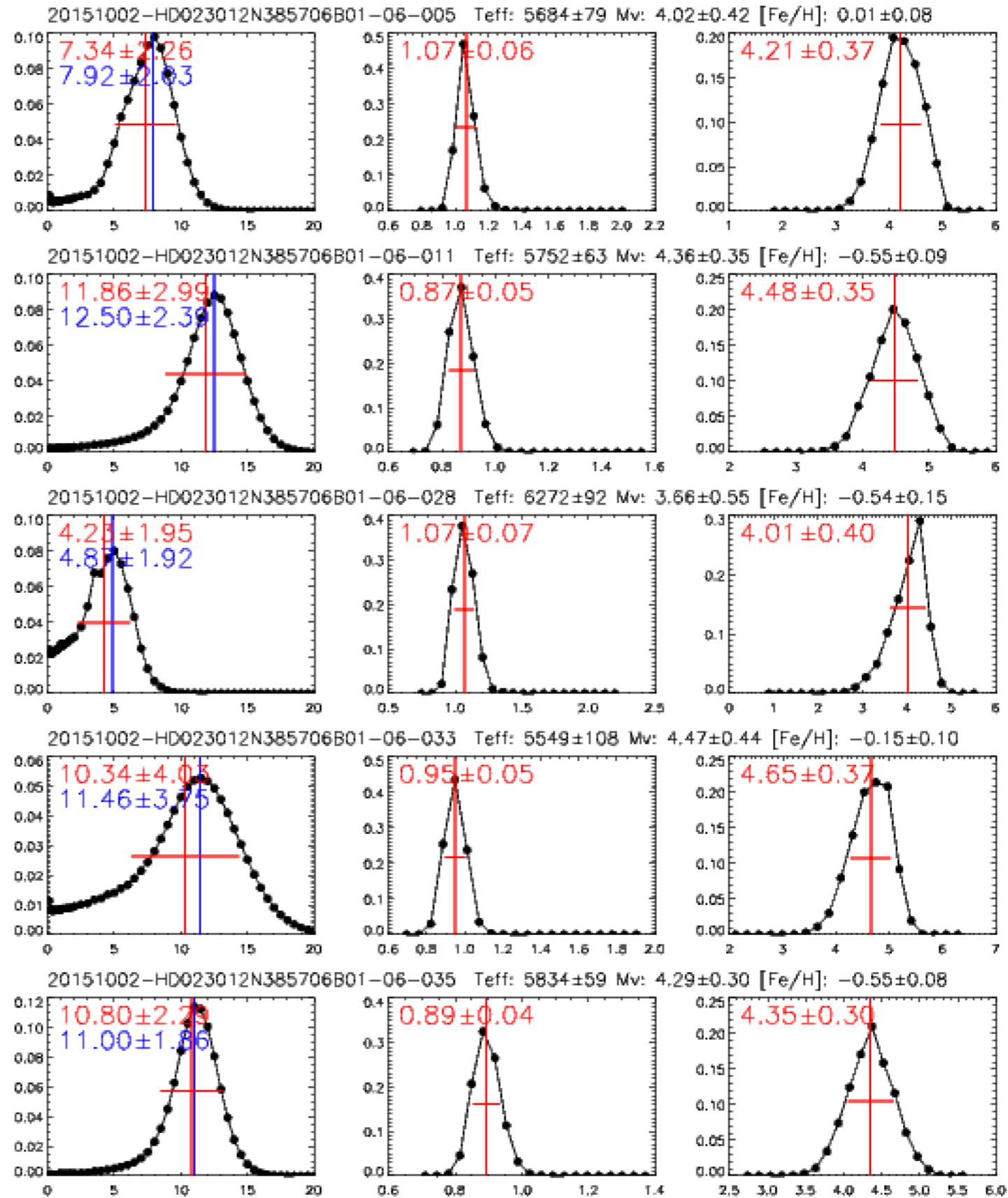
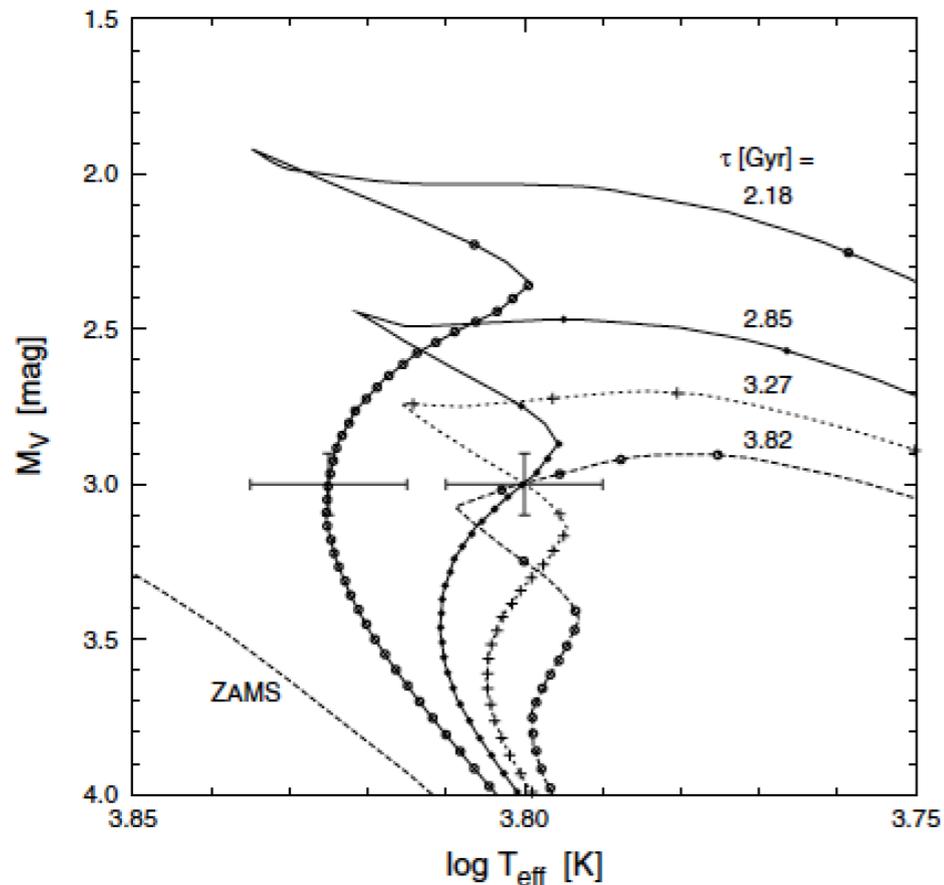


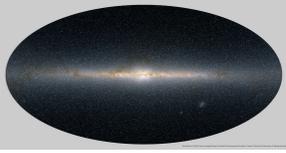
$$f(\tau, M, Z) = Af_0(\tau, M, Z)L(\tau, M, Z), \quad (3)$$

$$L(\tau, M, Z) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \times \exp\left(-\frac{\chi^2}{2}\right), \quad (4)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{O_i - P_i(\tau, M, Z)}{\sigma_i}\right)^2, \quad (5)$$

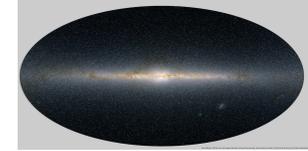
$$f_0(\tau, M, Z) = \psi(\tau)\phi(Z | \tau)\xi(m | Z, \tau). \quad (6)$$



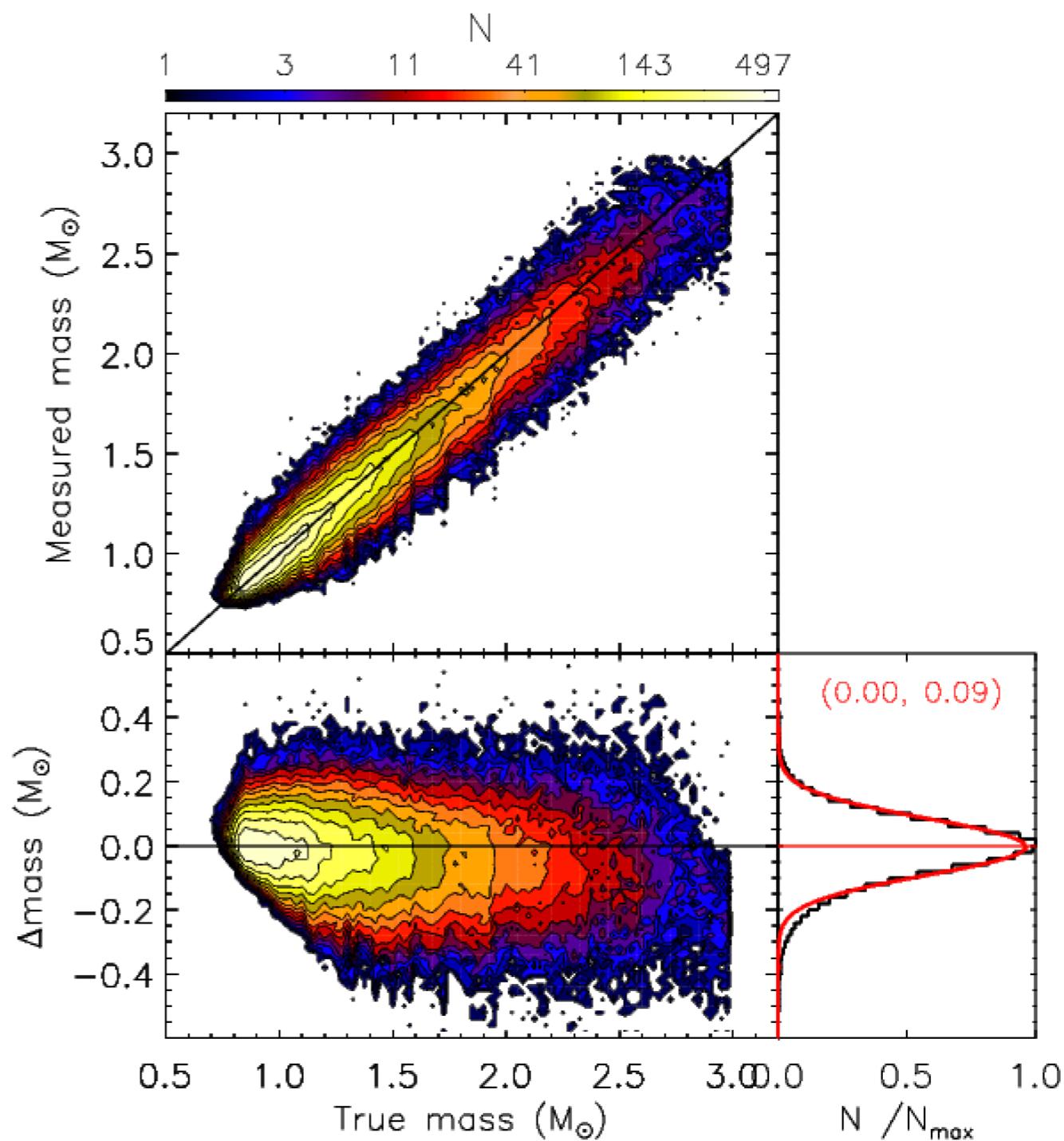
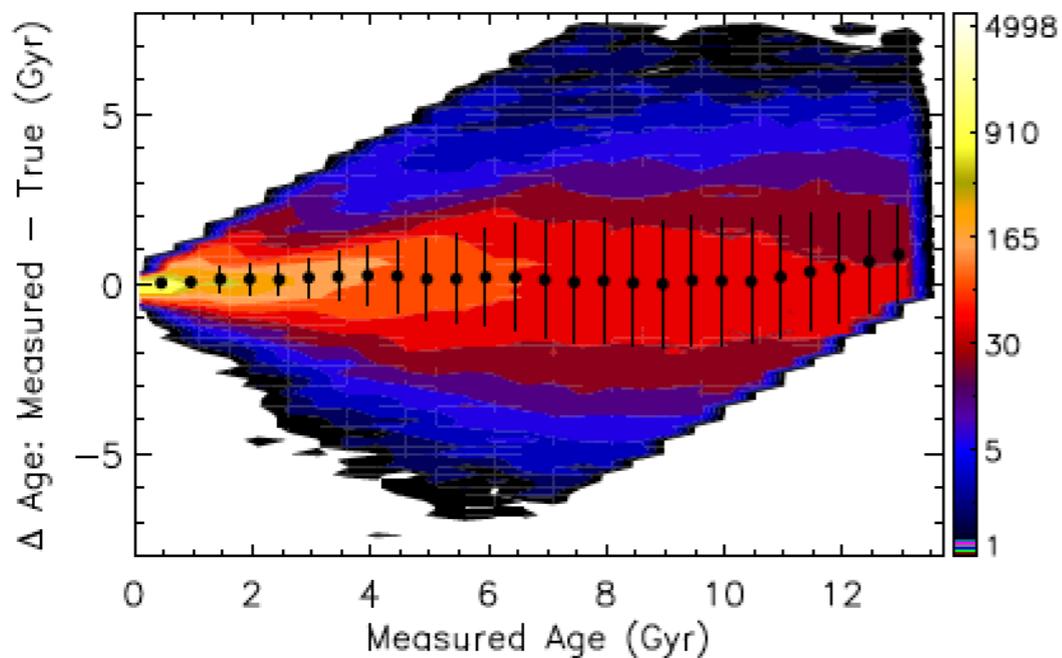
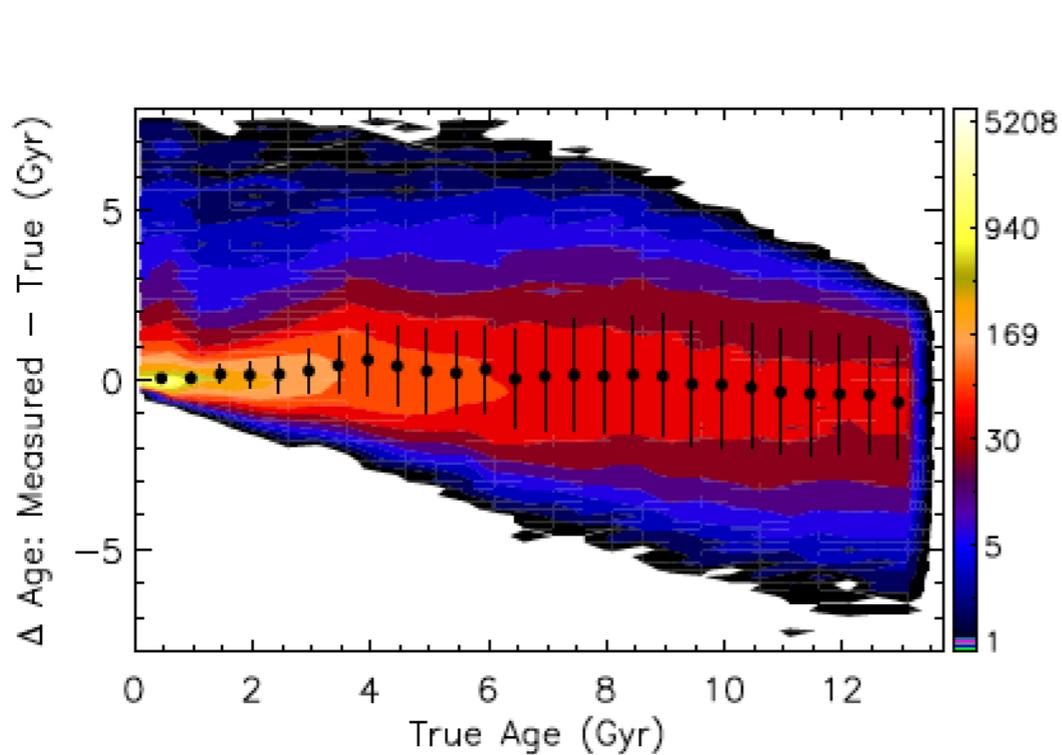


年龄和质量测量：结果检验

- 利用模拟数据检验
- 与星震学年龄和质量比较
- 与利用Gaia TGAS数据给出的年龄
- 利用疏散星团检验年龄测量
- 利用重复观测结果检验



利用模拟数据检验年龄和质量估计



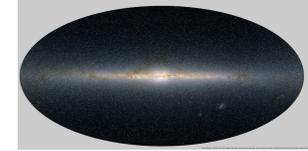
年龄系统差 < 10%，随机差 ~ 30%

质量误差（系统 + 随机） < 10%

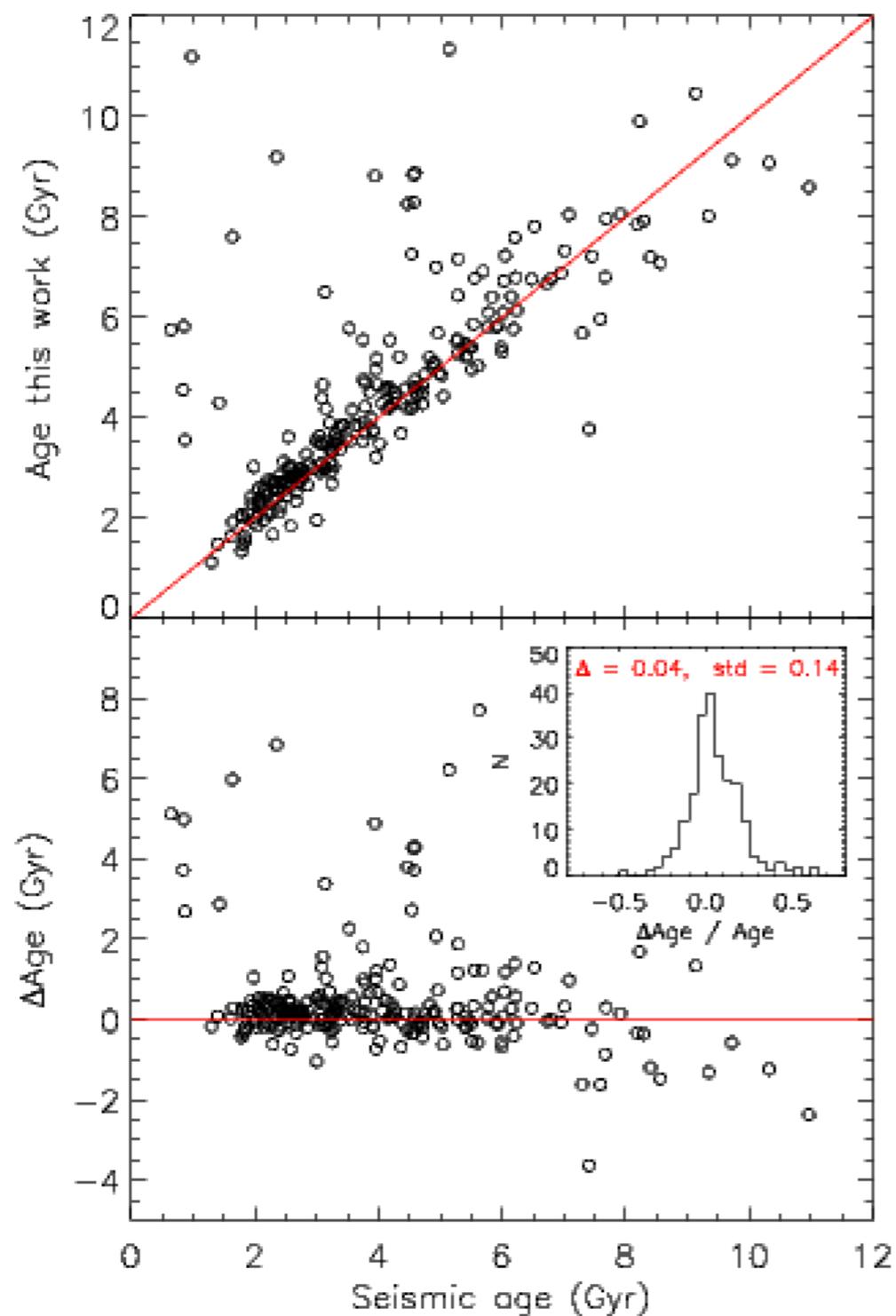
另，不同 isochrone 模型给出的结果存在 1 Gyr 左右的系统差 (e.g. Xiang et al. 2015)



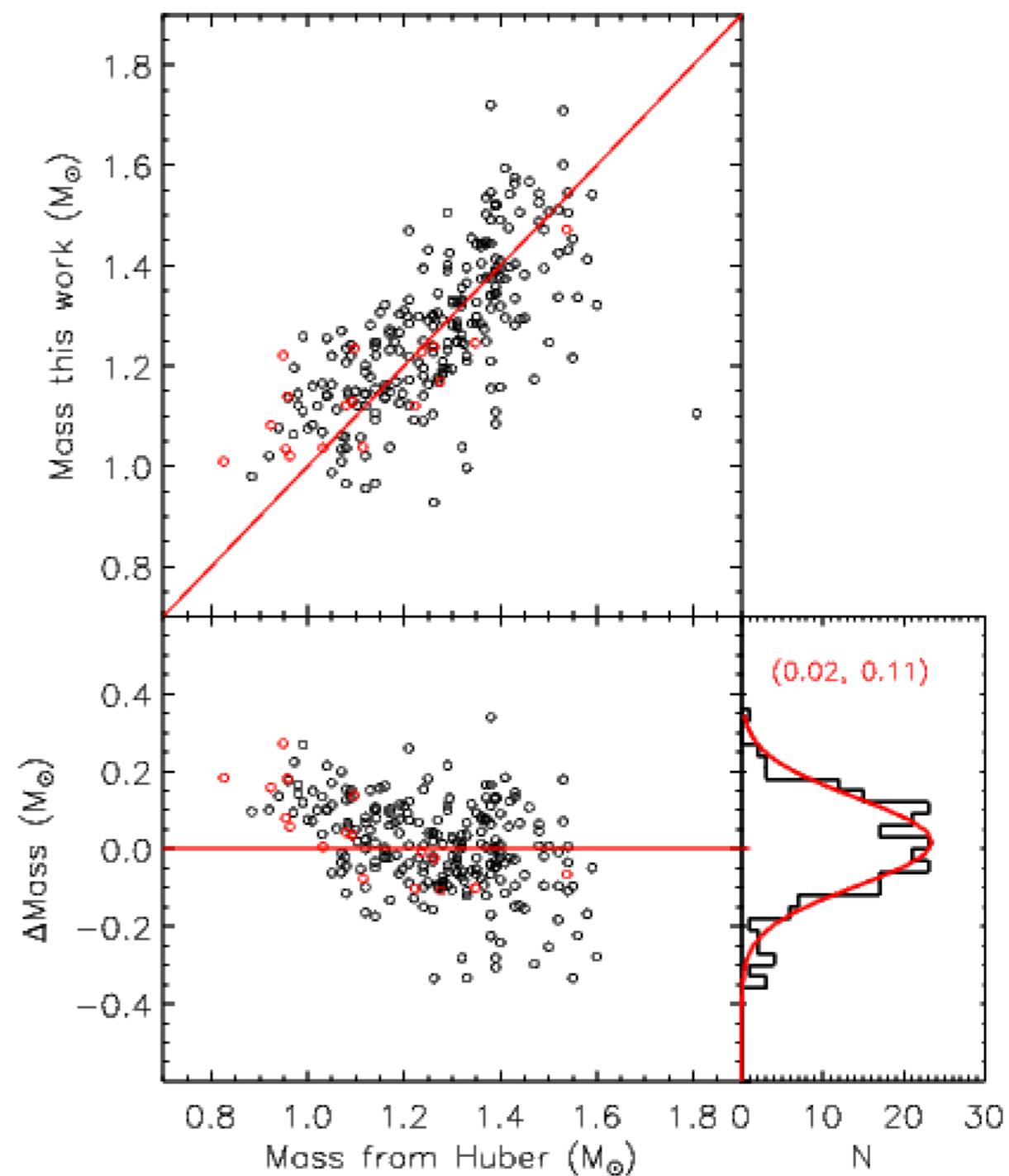
与星震学年龄和质量比较



与星震学年龄比较

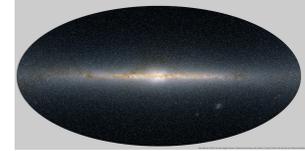


与星震学质量(Huber et al. 2014)比较

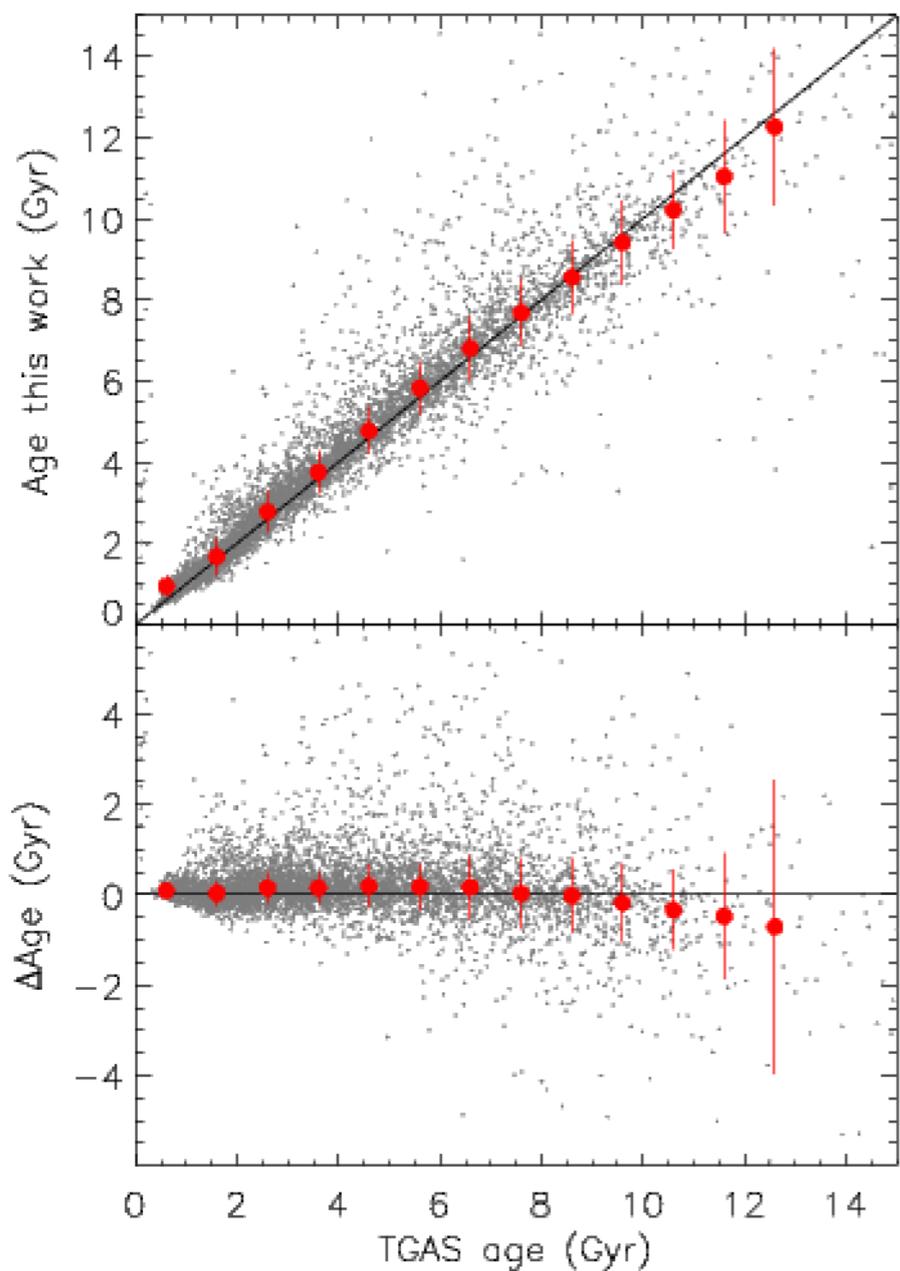




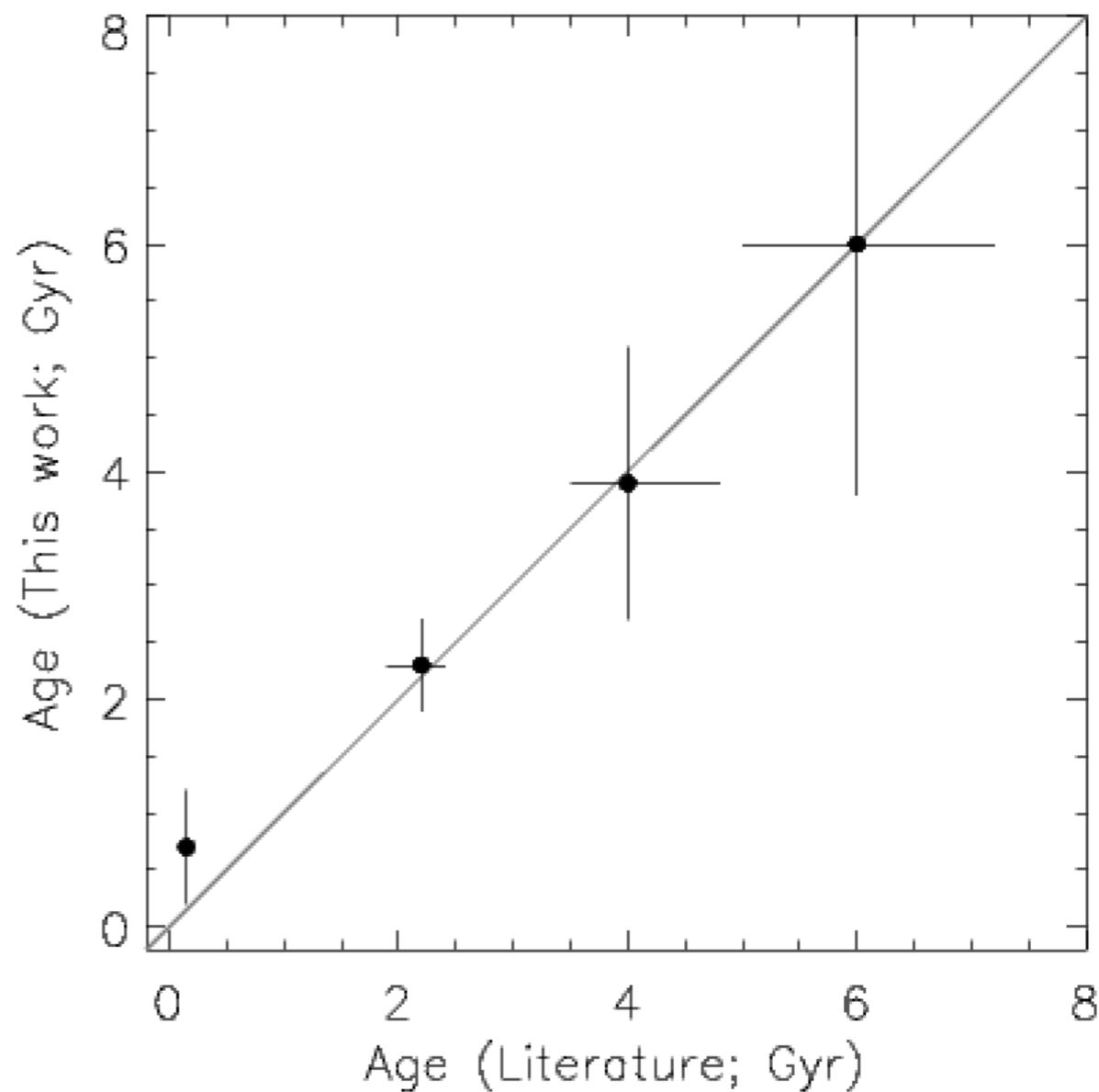
检验年龄估计

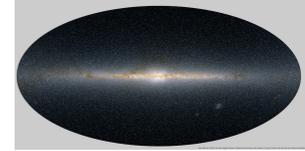


与利用TGAS parallax得出的年龄比较

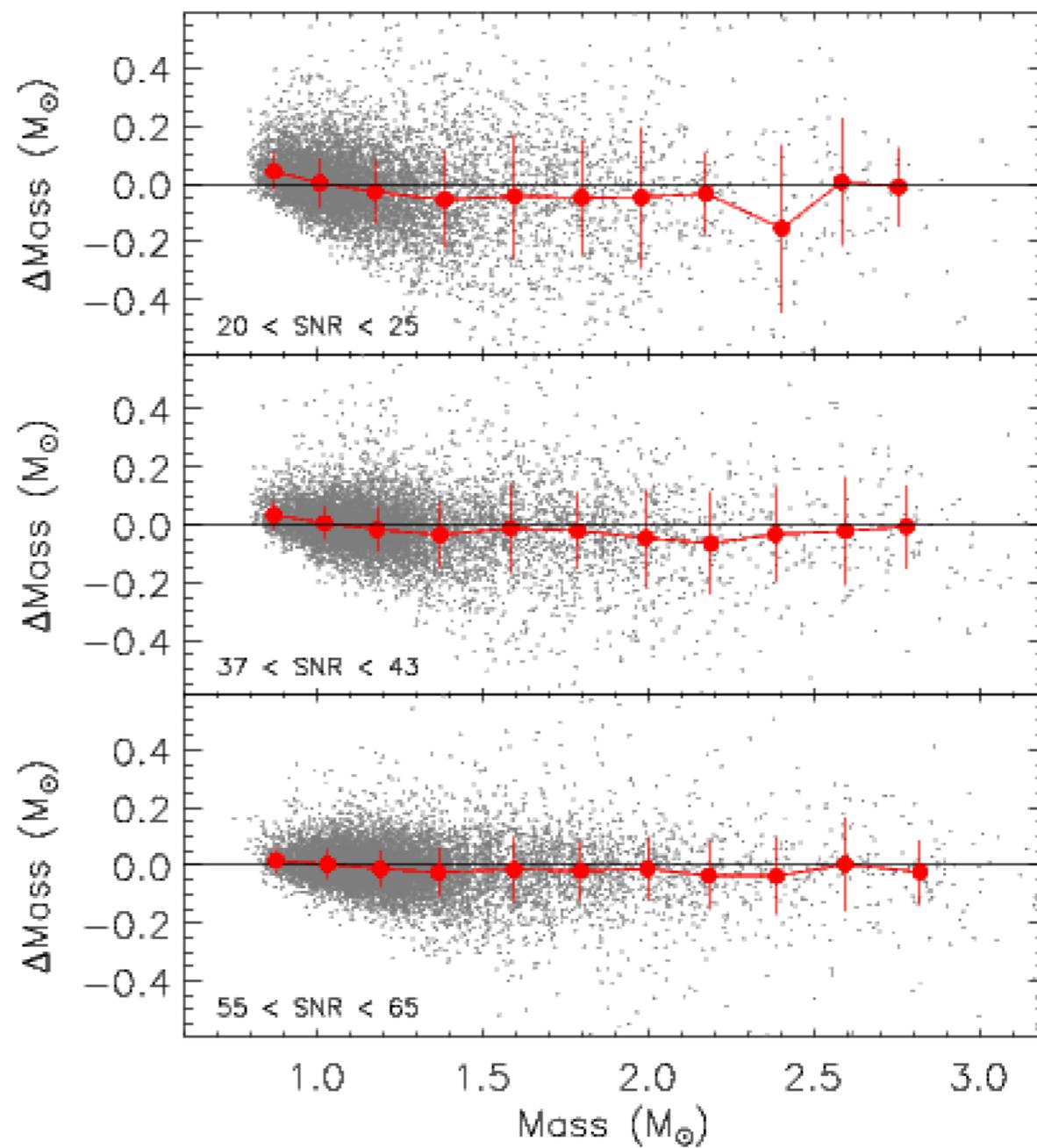
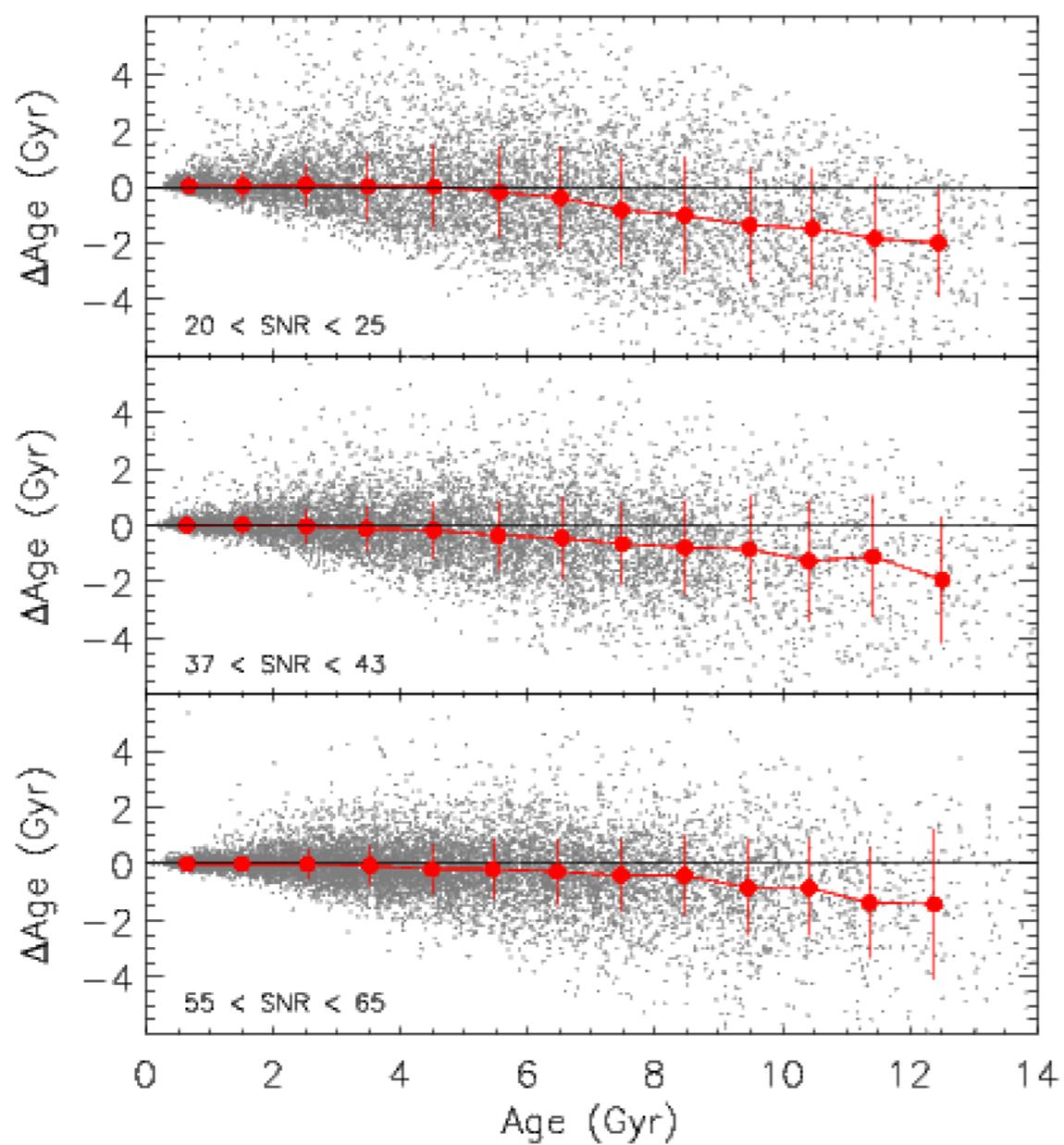


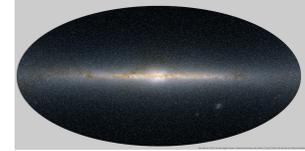
与文献给出的疏散星团年龄比较



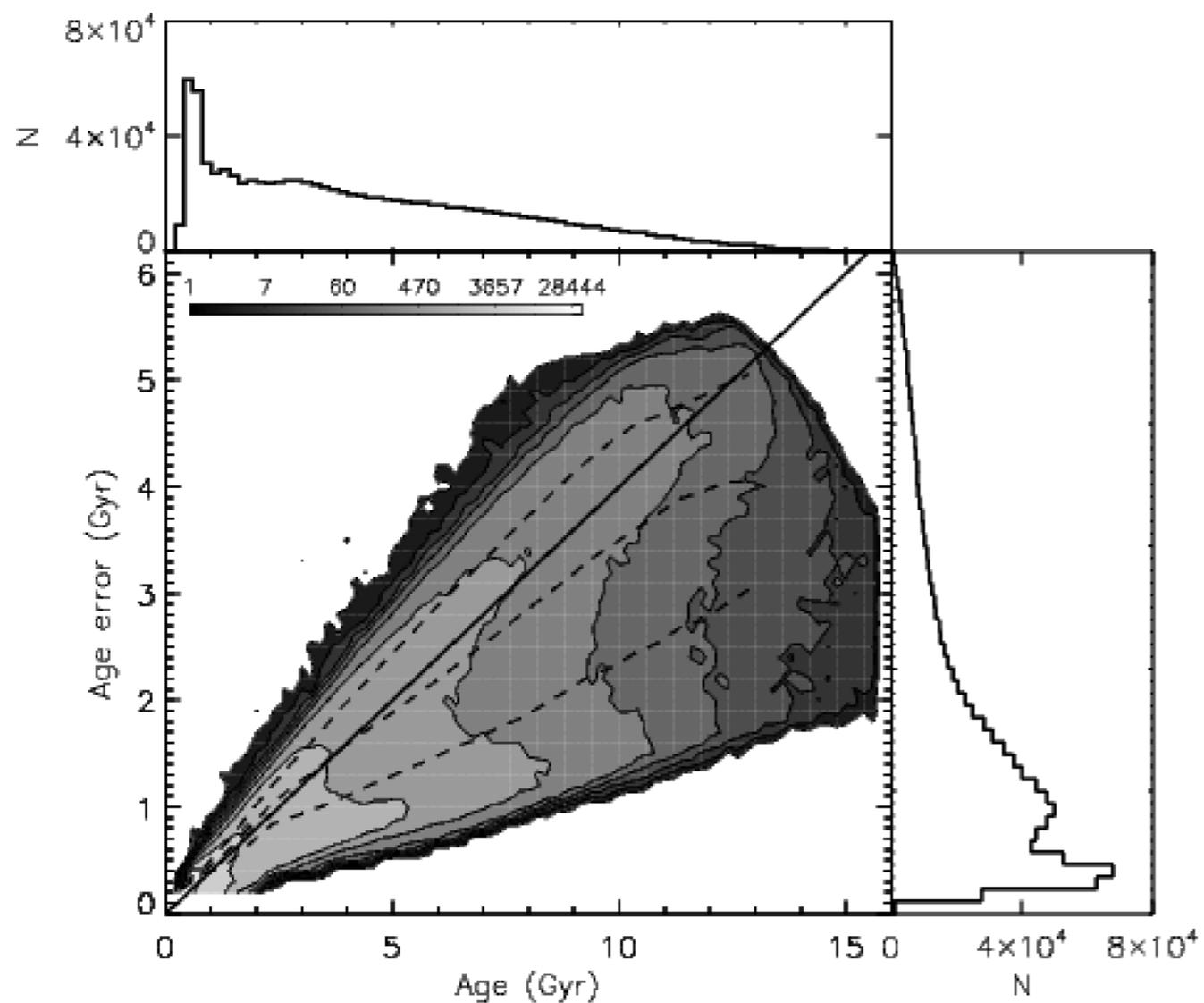


比较重复观测结果

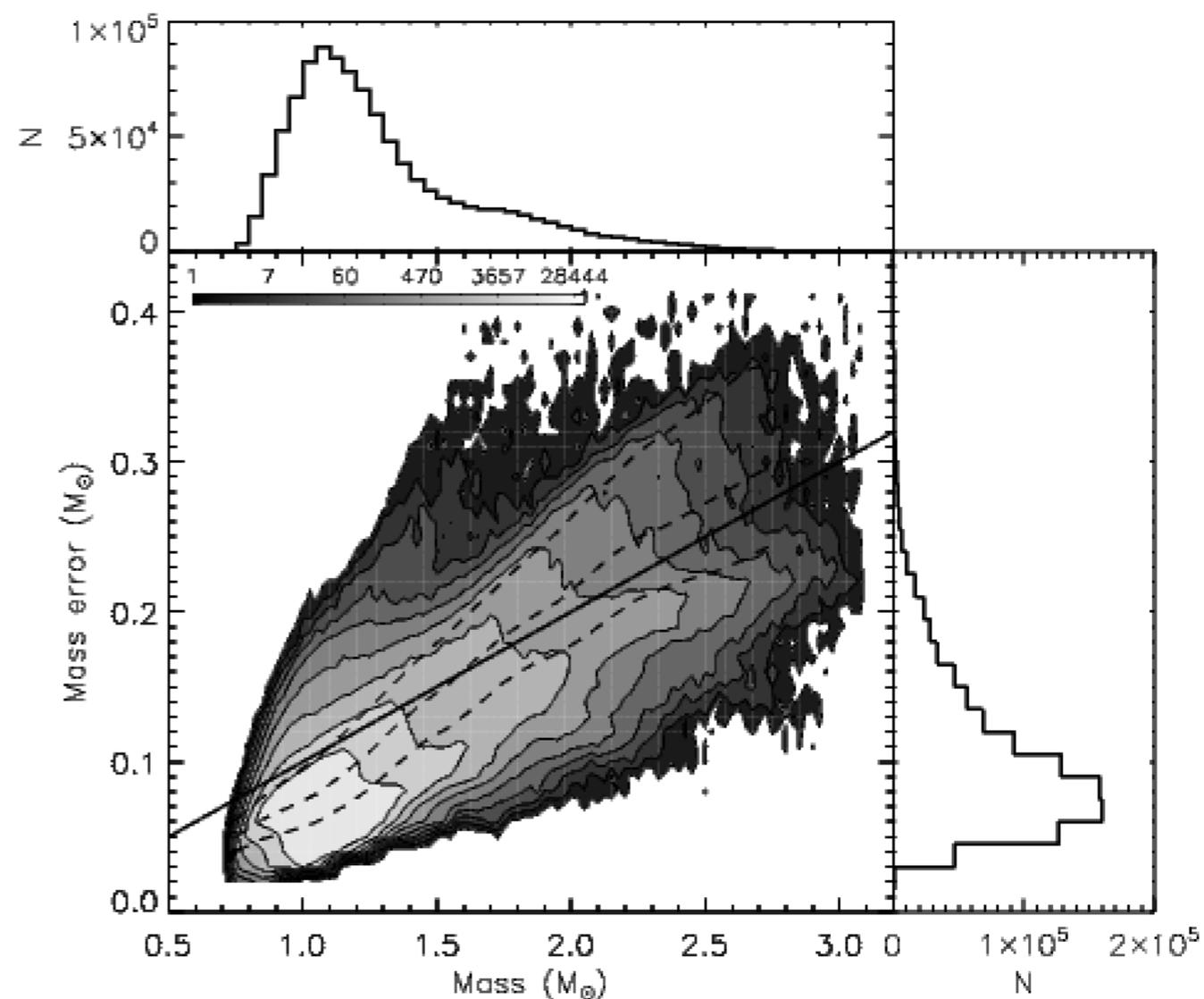




样本恒星的年龄和质量分布



样本年龄误差中值：30%

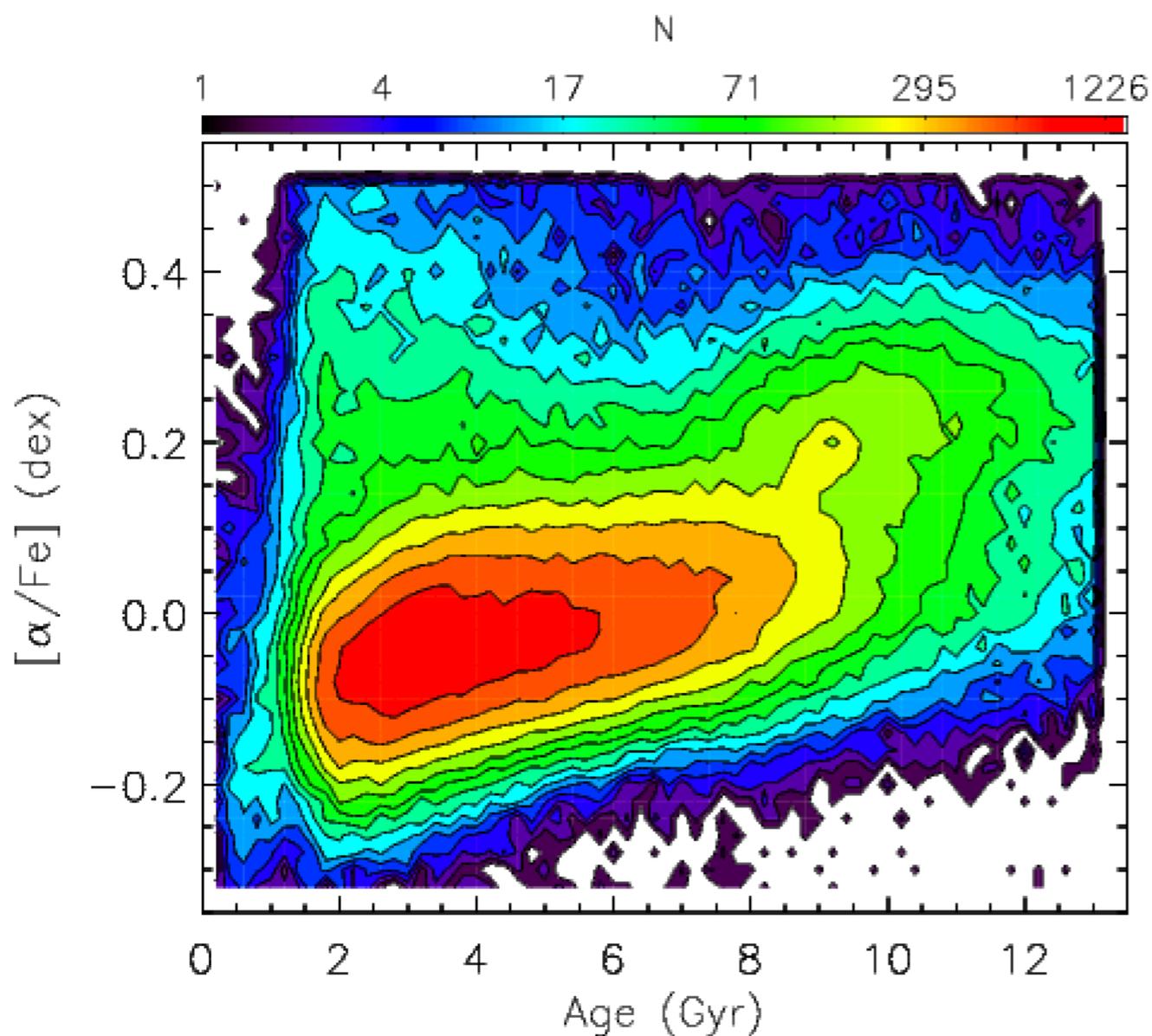


样本年龄中值：8%

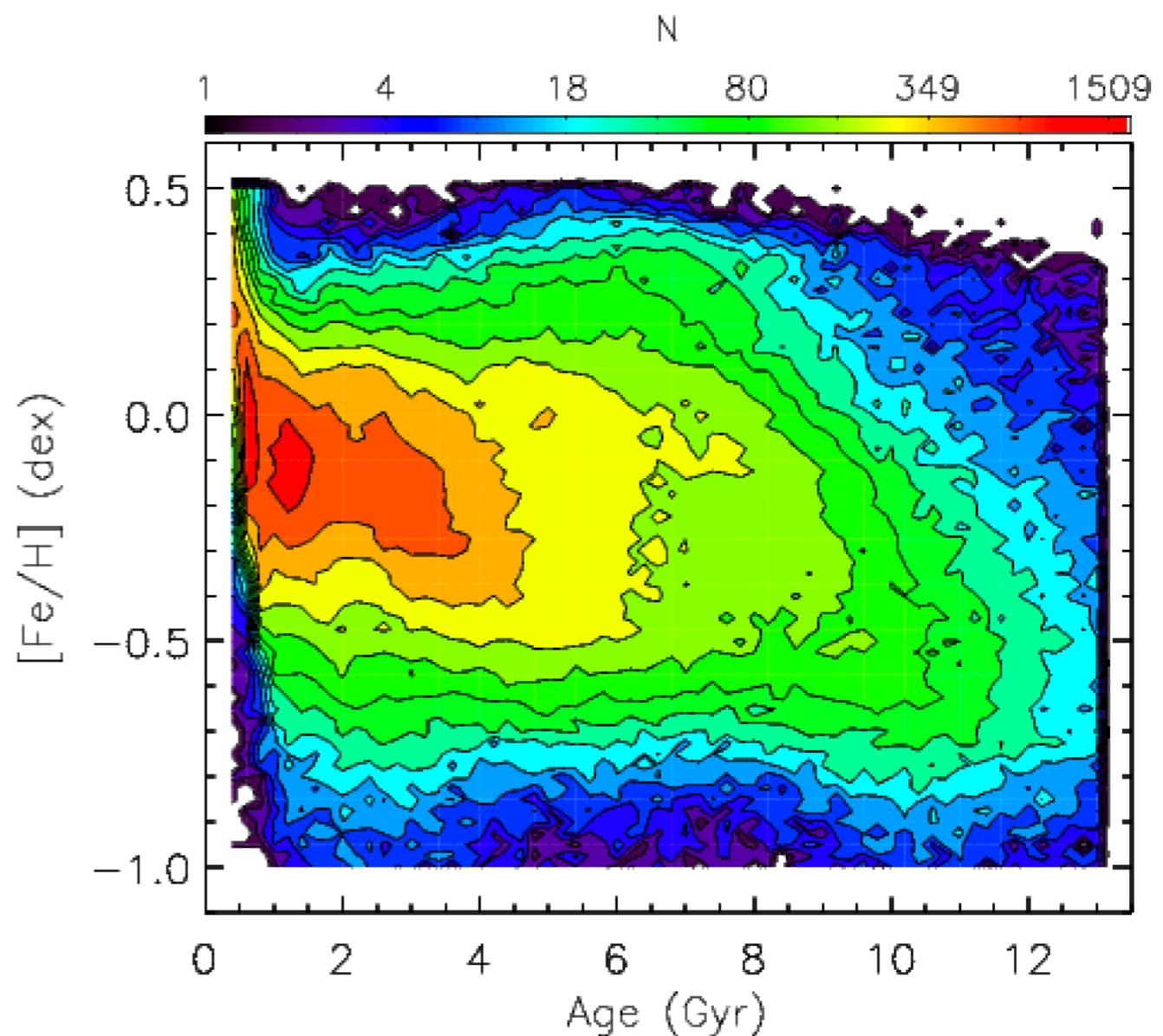
Xiang et al. to be submitted



年龄-金属丰度关系

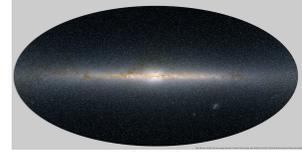


age- $[\alpha/\text{Fe}]$ 双序列：年老星 $[\alpha/\text{Fe}]$ 减丰快，8Gyr左右为特征时刻
年轻、高 $[\alpha/\text{Fe}]$ 星—双星污染（占总样本5%，占年轻恒星10-20%）

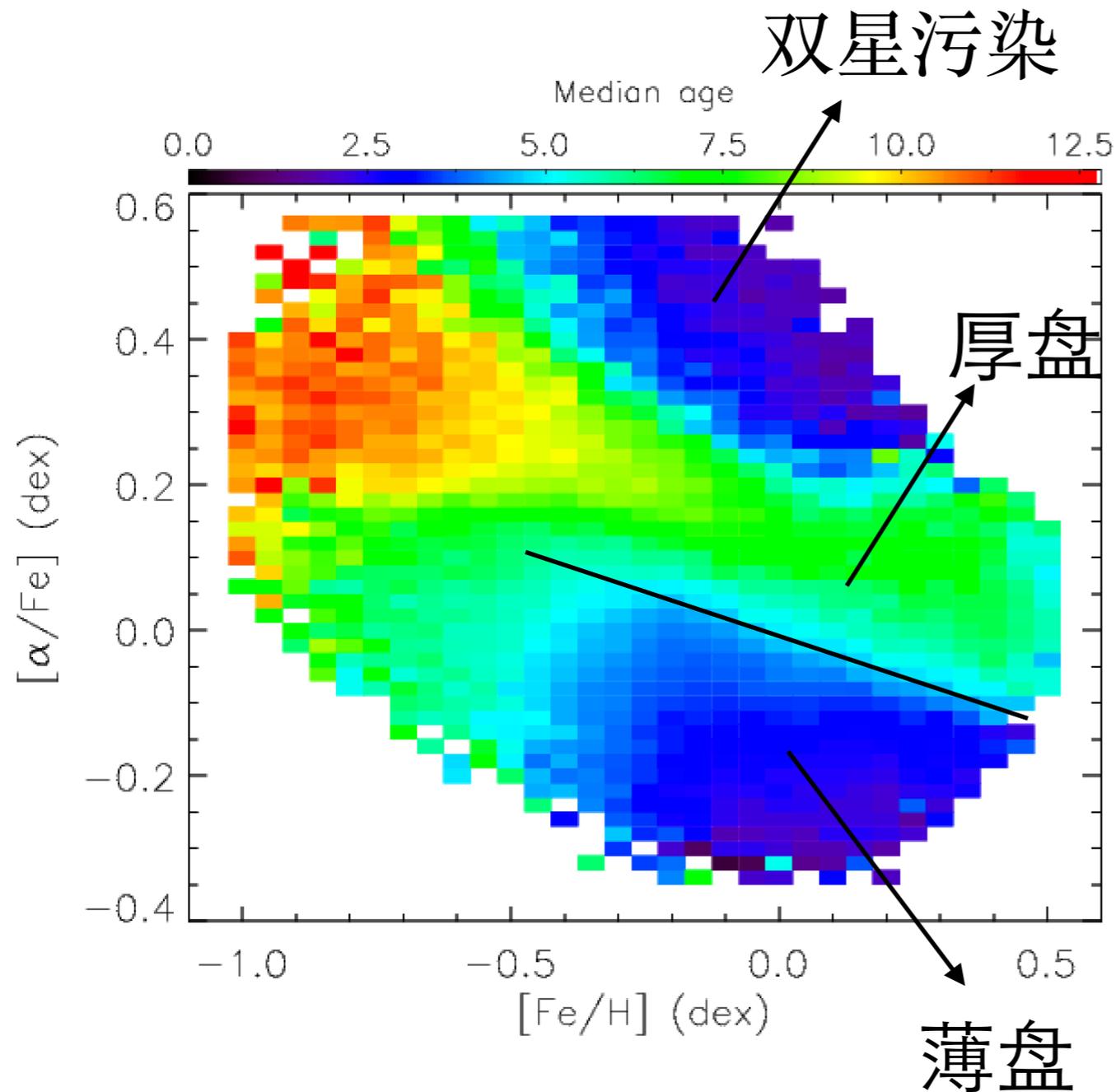


age- $[\text{Fe}/\text{H}]$ 双序列：缺年老、富金属星，8Gyr左右为特征时刻
年轻星存在年龄- $[\text{Fe}/\text{H}]$ 反相关

Xiang et al. to be submitted



年齡在 $[\alpha/\text{Fe}]$ 和 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 空间的分布



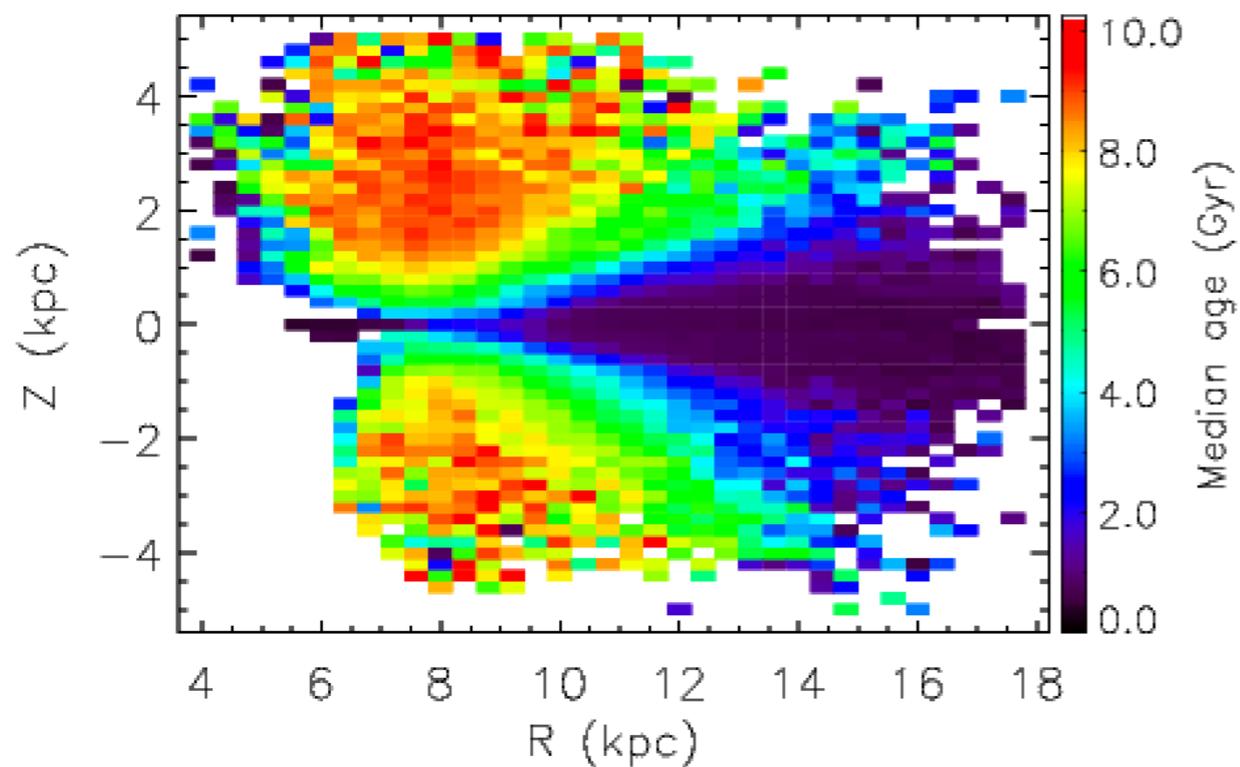
贫金属、高 $[\alpha/\text{Fe}]$ 星都年老

化学上的厚盘 / 薄盘序列年龄趋势显著不同

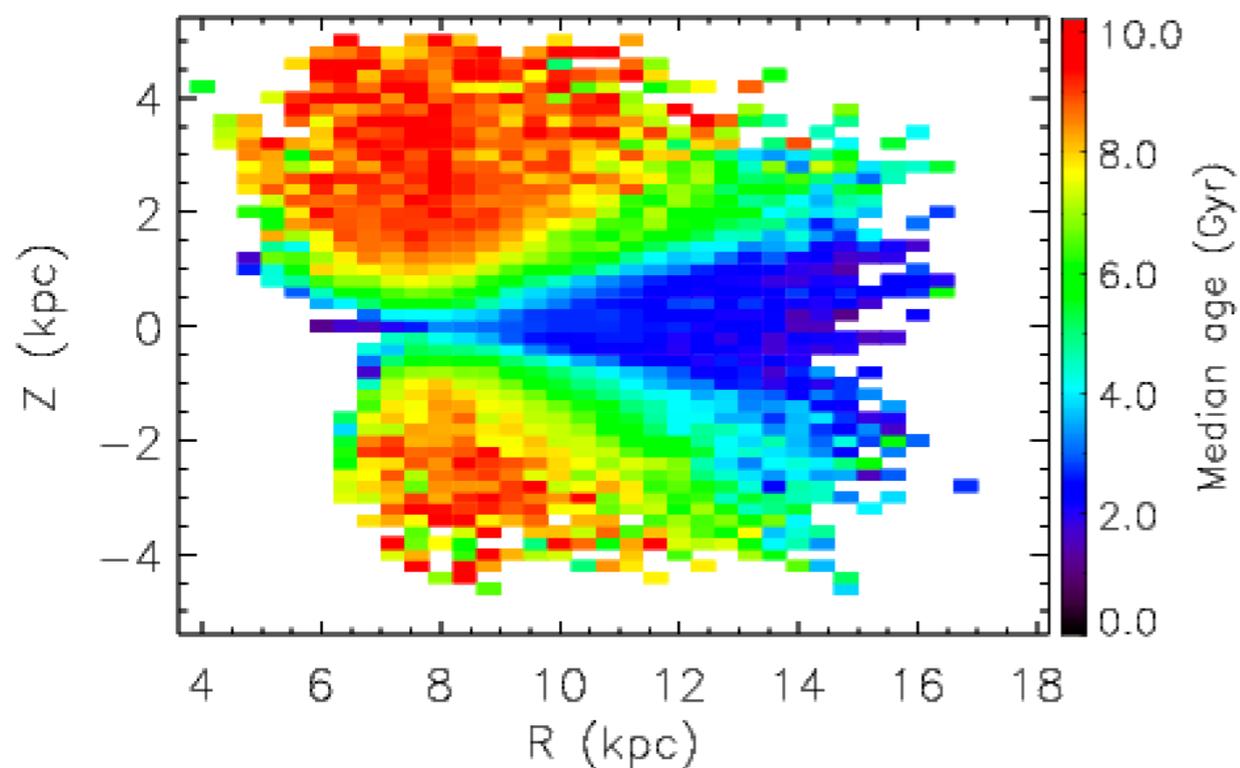
低 $[\alpha/\text{Fe}]$ 星年龄随丰度存在显著的负梯度



年龄的空间分布



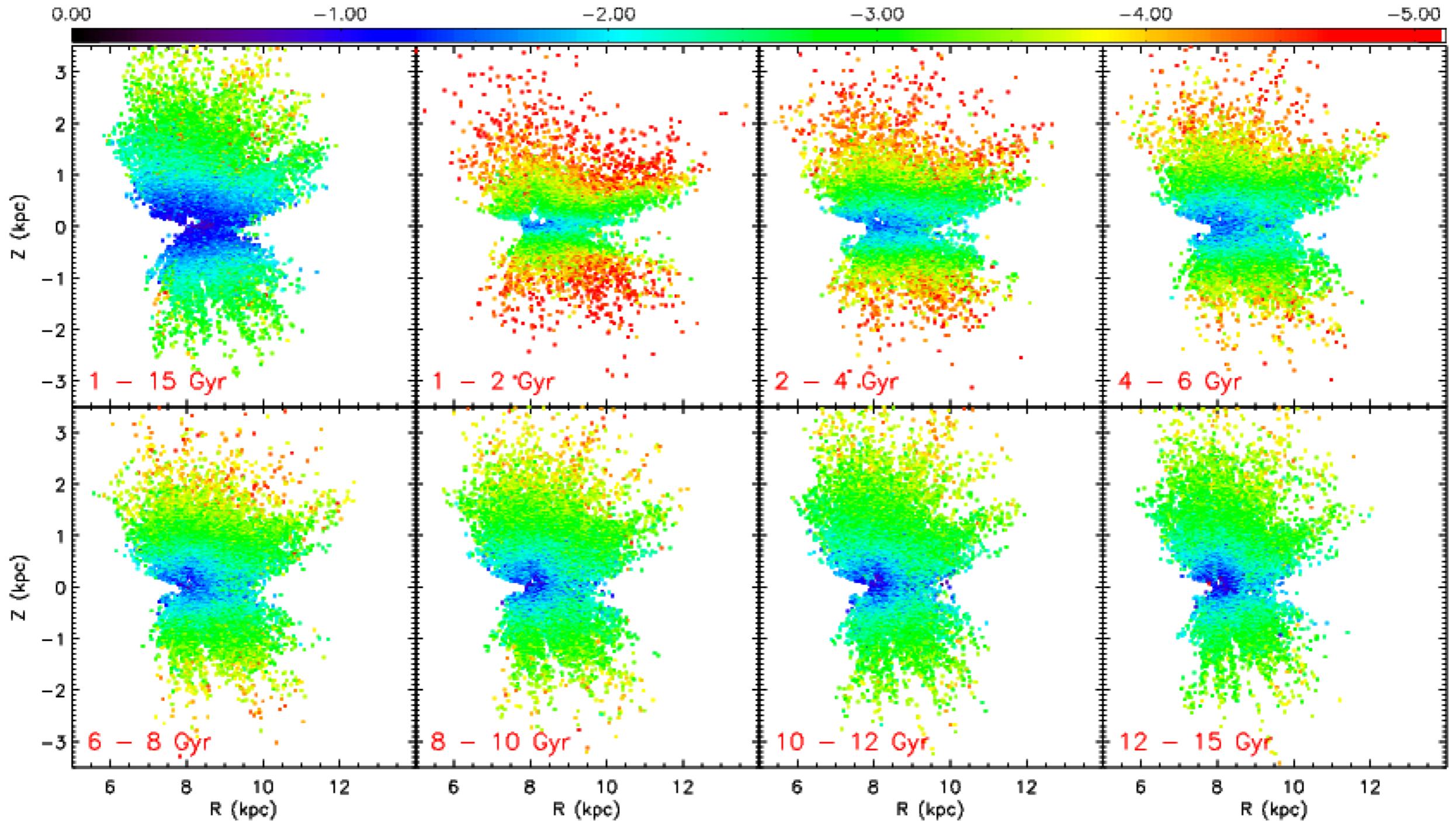
径向负梯度，垂向正梯度：
内盘先于外盘形成
厚盘先于薄盘形成



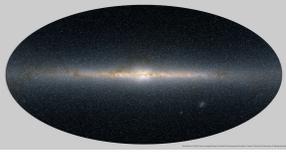
外盘“翘曲”



银盘结构随时间的演化

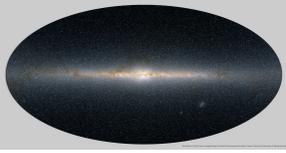


Xiang et al. in prep.



总结

- 构建了包含近百万颗星的主序拐点星样本，测量其年龄（误差30%）和质量（误差 $<0.1M_{\text{sun}}$ ）
- 探讨了age-[Fe/H]-[α /Fe]之间的关系
 - age-[α /Fe]双系列，8Gyr左右为特征时刻
 - age-[Fe/H]双系列，8Gyr左右为特征时刻
 - 年轻（薄盘）星存在年龄-[Fe/H]反相关
- 径向负梯度，垂向正梯度 – 内盘先于外盘形成，厚盘先于薄盘形成；外盘翘曲
- 银盘结构（标高标长）随年龄显著演化



总结

- 构建了包含近百万颗星的主序拐点星样本，测量其年龄（误差30%）和质量（误差 $<0.1M_{\text{sun}}$ ）
- 探讨了age-[Fe/H]-[α /Fe]之间的关系
 - age-[α /Fe]双系列，8Gyr左右为特征时刻
 - age-[Fe/H]双系列，8Gyr左右为特征时刻
 - 年轻（薄盘）星存在年龄-[Fe/H]反相关
- 径向负梯度，垂向正梯度 – 内盘先于外盘形成，厚盘先于薄盘形成；外盘翘曲
- 银盘结构（标高标长）随年龄显著演化

谢谢！