



中国科学院国家天文台
NATIONAL ASTRONOMICAL OBSERVATORIES, CAS



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

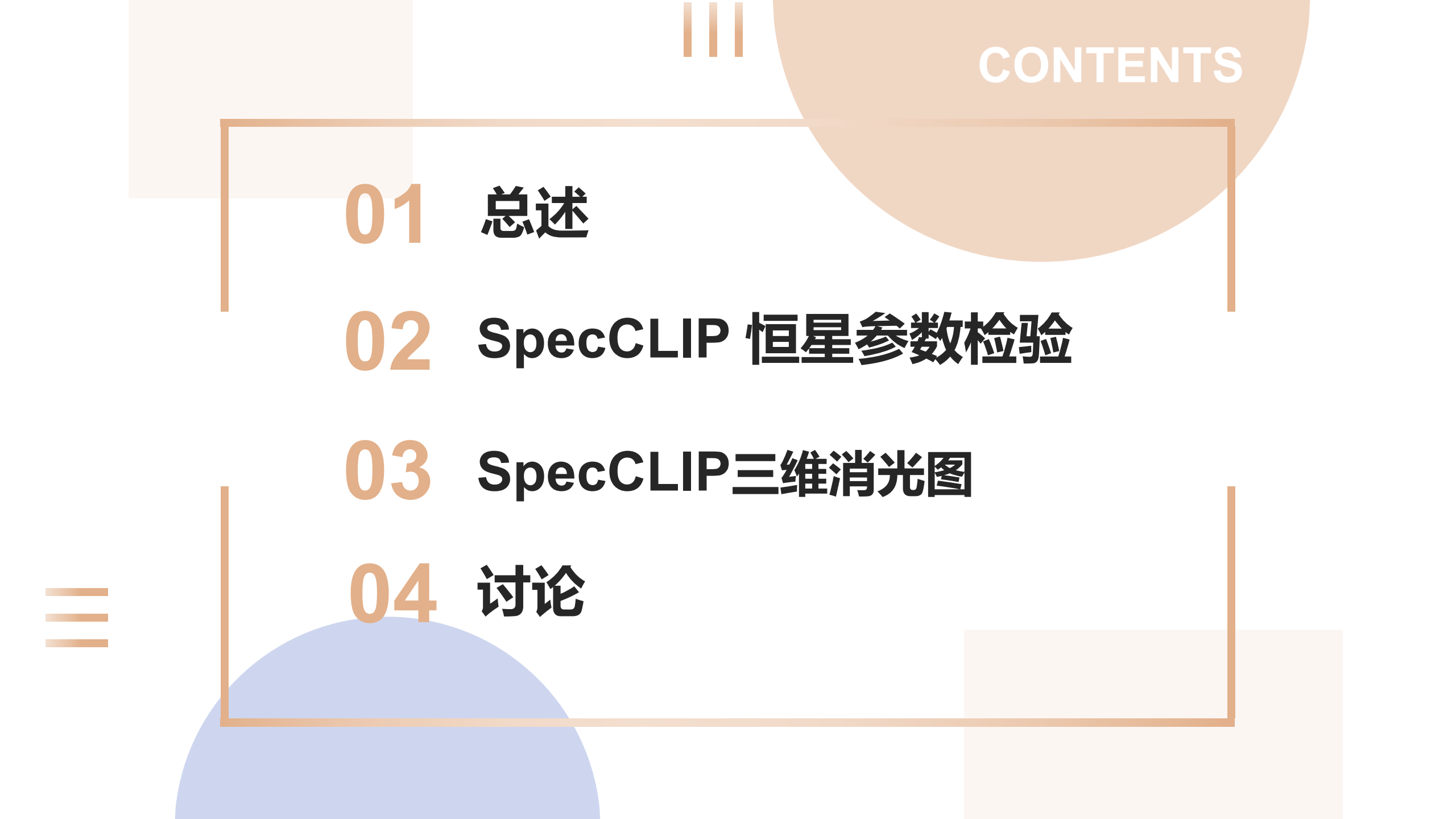
2026 “暗黑” 团组夏训营

SpecCLIP 参数星表检验与三维消光图构建

汇报人：张博闻

合作导师：黄样

2026.08.13



CONTENTS

01 总述

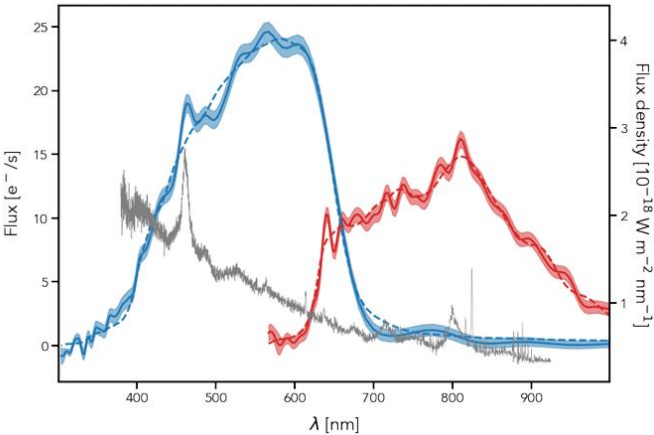
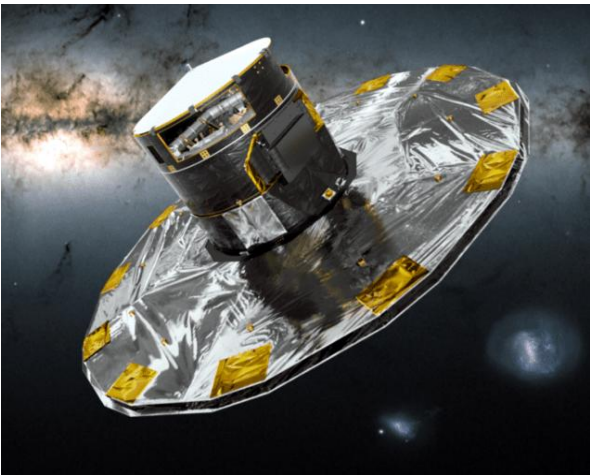
02 SpecCLIP 恒星参数检验

03 SpecCLIP三维消光图

04 讨论

Gaia XP: New Era of the Stellar Parameter Deriving

工作	星表主要内容	主要方法	核心方法大类
Rix 2022	~200万RGB [M/H]	XGBoost	基于已有算法的机器学习方法
Andrea 2023	~1.75亿恒星大气参数	XGBoost	
Khalatyan 2024	~2.17亿恒星大气参数和丰度	SHBoost	
Zhang 2023	~2.2亿恒星大气参数	数据驱动的经验正向神经网络模型	神经网络方法
Fallow 2024	~2.2亿恒星大气参数和丰度	判别式前馈神经网络	
Yang 2025	~2000万巨星[Fe/H]	UA-CSNet	
Leung 2024	~2.2亿恒星大气参数	基于Transformer的编码器-解码器模型	编解码器模型方法
Li 2024	~3700万恒星大气参数和丰度	结合高分光谱生成器的编码器-解码器模型	
Xylakis-Dornbusch 2024	~1.1亿恒星的[Fe/H]	基于光谱特定波段流量比的半经验方法	基于金属丰度-光谱流量关系的方法
Huang 2025	~1亿恒星的[Fe/H]	基于光谱卷积星等测光的Stellar Loci方法	



credit: De Angeli 2022

02

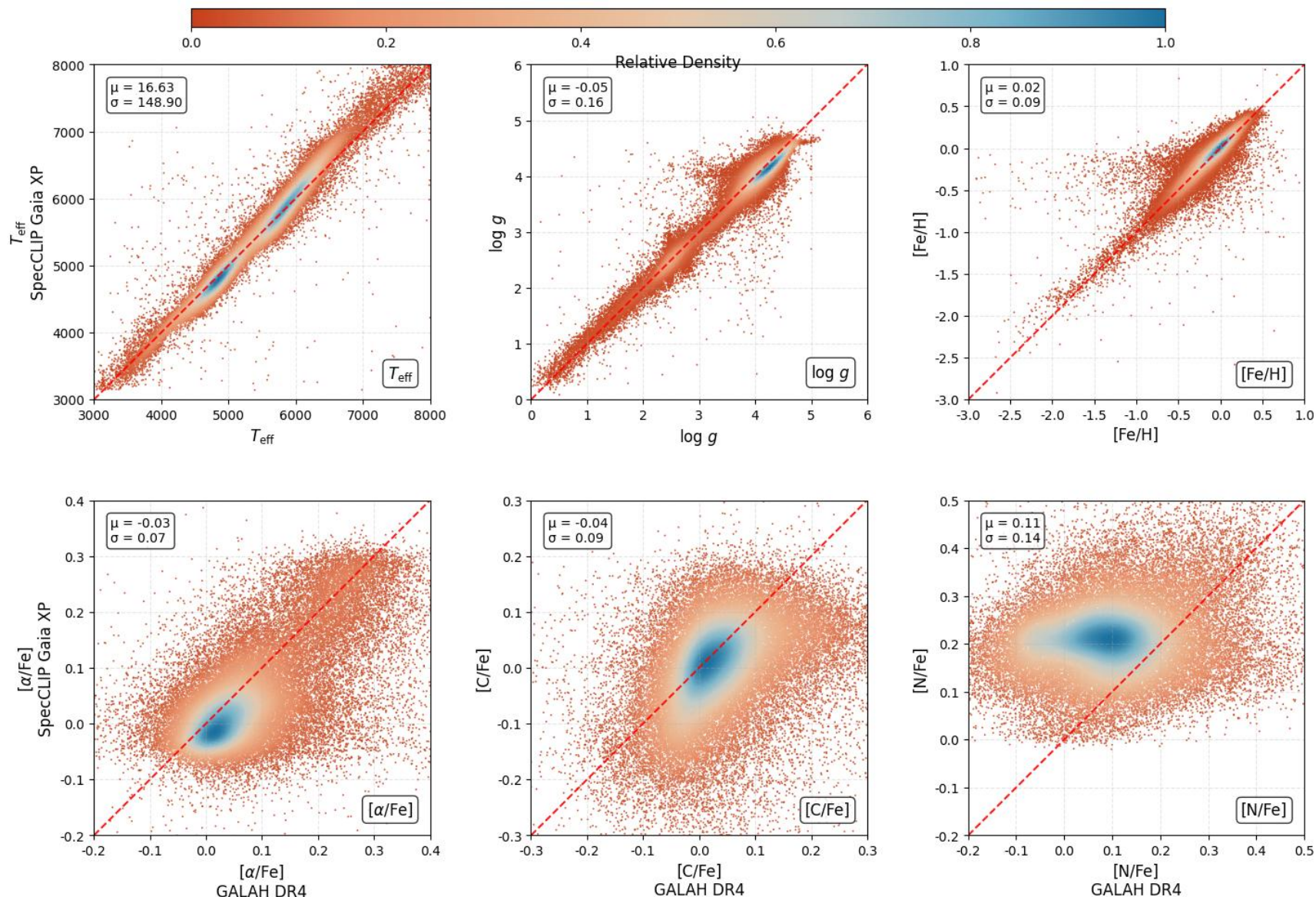
SpecCLIP的恒星参数检验



SpecCLIP提供的大气参数检验：

1. **可靠性检验：** 与高分辨率光谱进行比较、与贫金属星样本比较
 2. **相对于其他Gaia XP星表的优势：** 星团检验、远距离双星检验
 3. **数据不确定性的给出：** 如何给出数据的不确定性——基于星等和光谱信噪比
- 两组参数——基于Gaia XP和LAMOST 的数据，相似的检验思路**

SpecCLIP的恒星参数——[Fe/H]



GALAH筛选标准:

平均SNR > 20,

丰度flag = 0

SpecCLIP筛选标准:

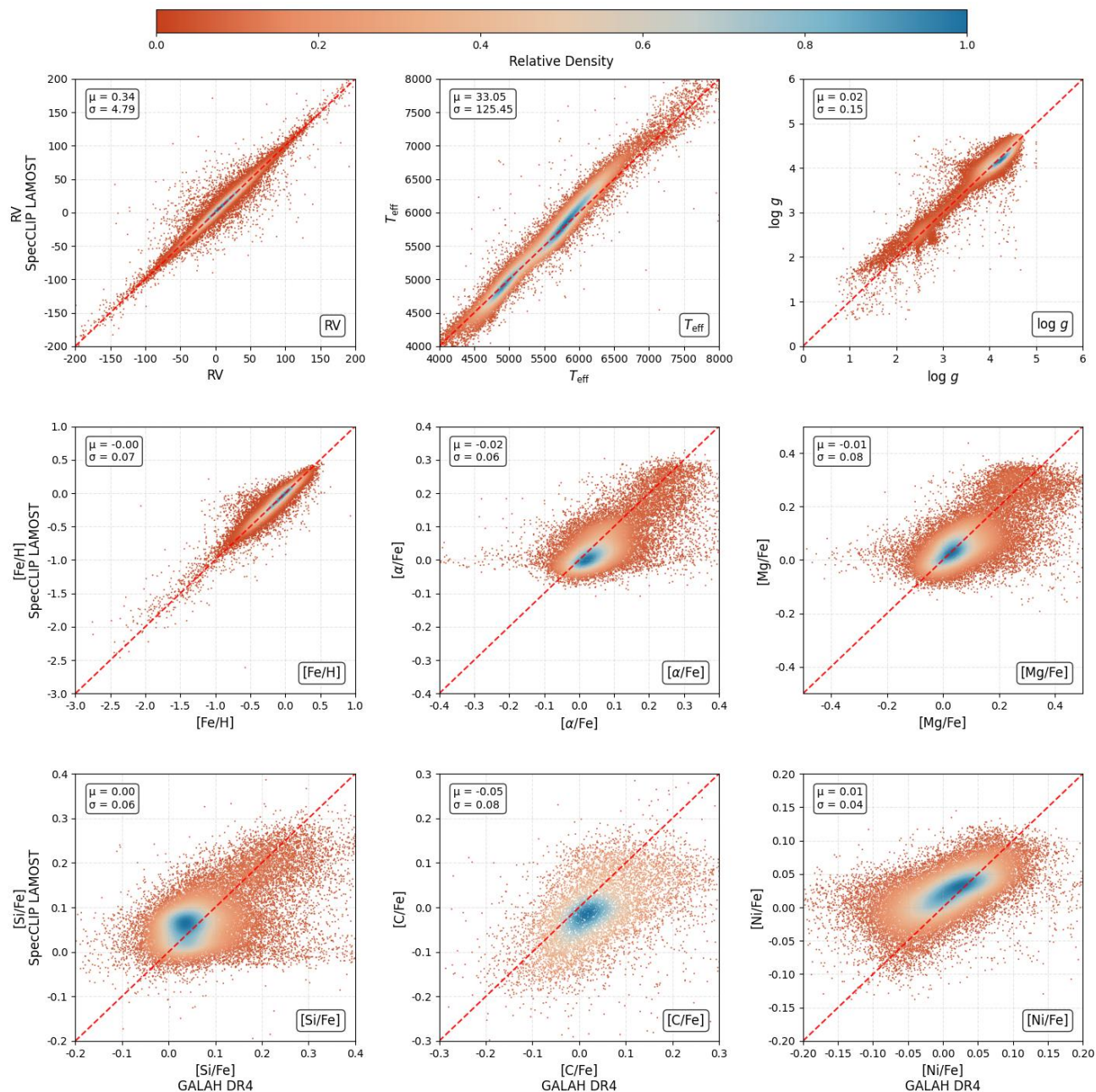
RUWE < 1.4,

FOE > 150

(FOE: flux over error)

$$\overline{\text{FOE}} = (\text{FOE}_{BP} \times 1.5 + \text{FOE}_{RP}) / 2$$

SpecCLIP的恒星参数检验——LAMOST



GALAH筛选标准:

平均SNR > 20,

丰度flag = 0

SpecCLIP LAMOST

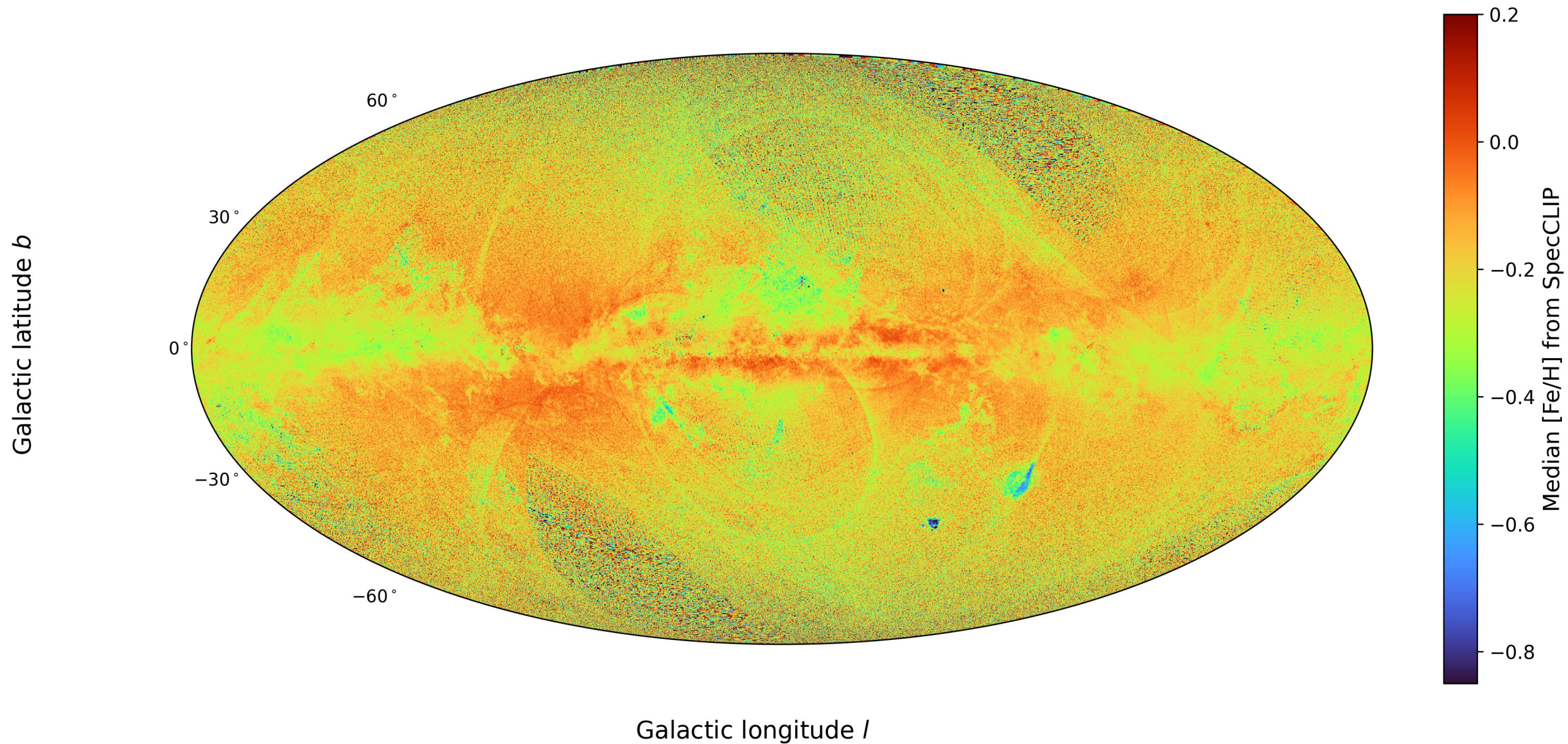
筛选标准:

SNR > 20,

RUWE < 1.4

SpecCLIP XP [Fe/H]全天图

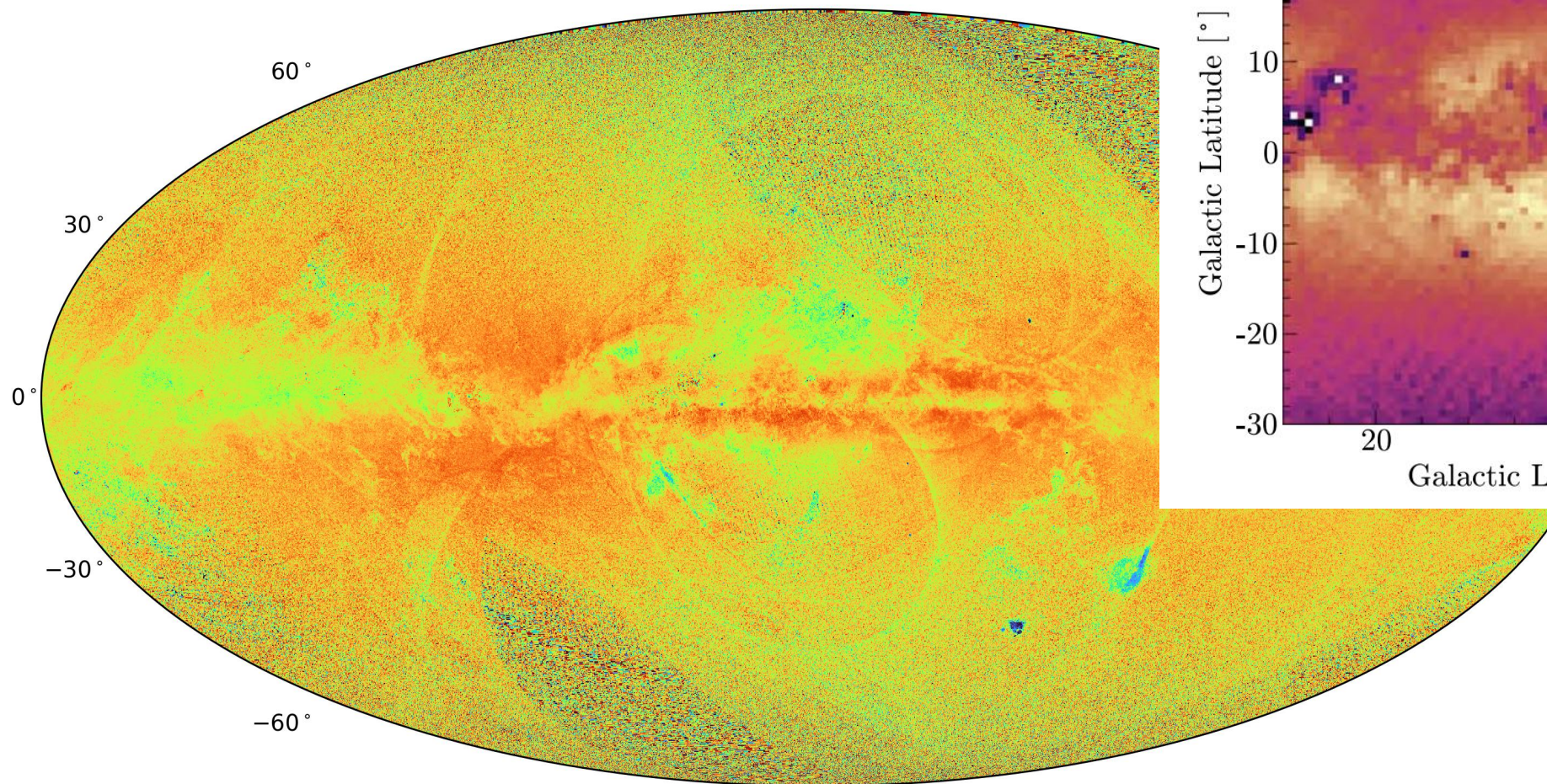
Metallicity Map from SpecCLIP



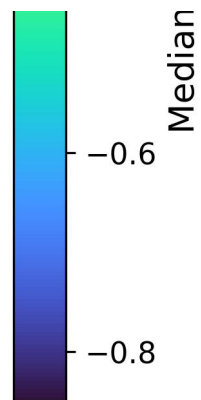
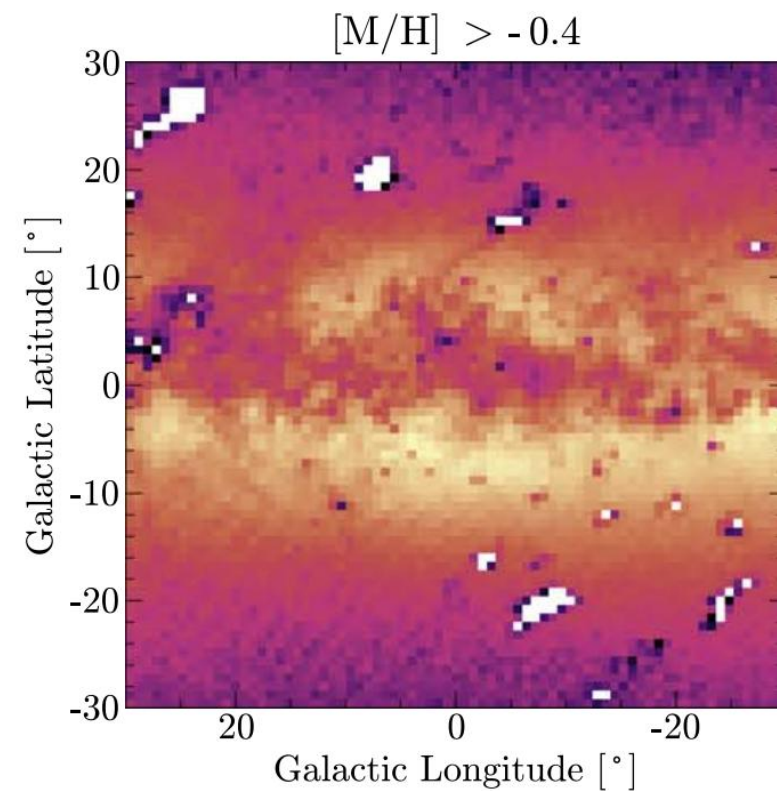
SpecCLIP XP [Fe/H]全天图

Metallicity Map from SpecCLIP

Galactic latitude b



Galactic longitude l



SpecCLIP的恒星参数——Giant [Fe/H]

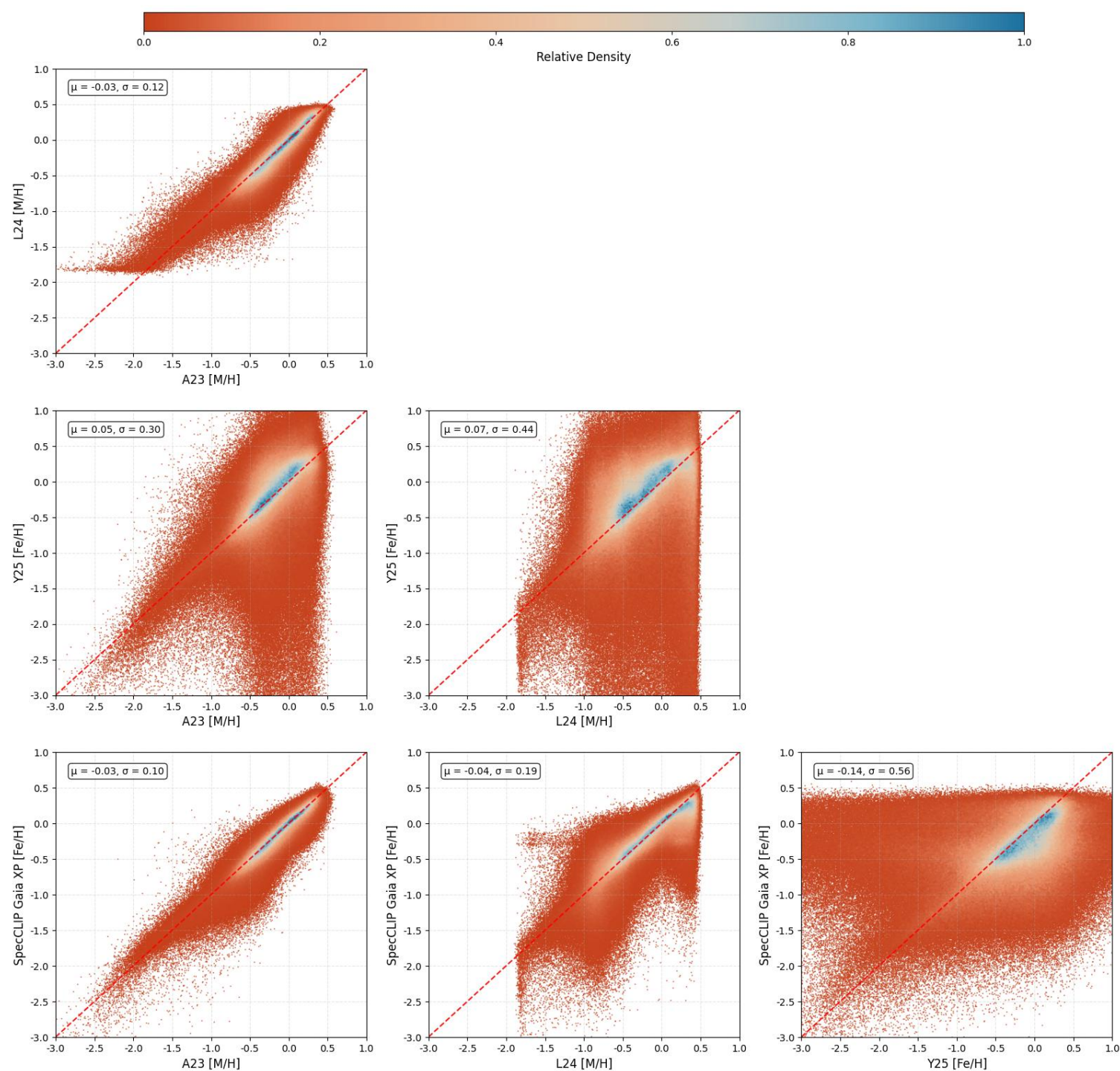
与三个巨星星表比较：

Andrae et.al (2023) (~1500万),

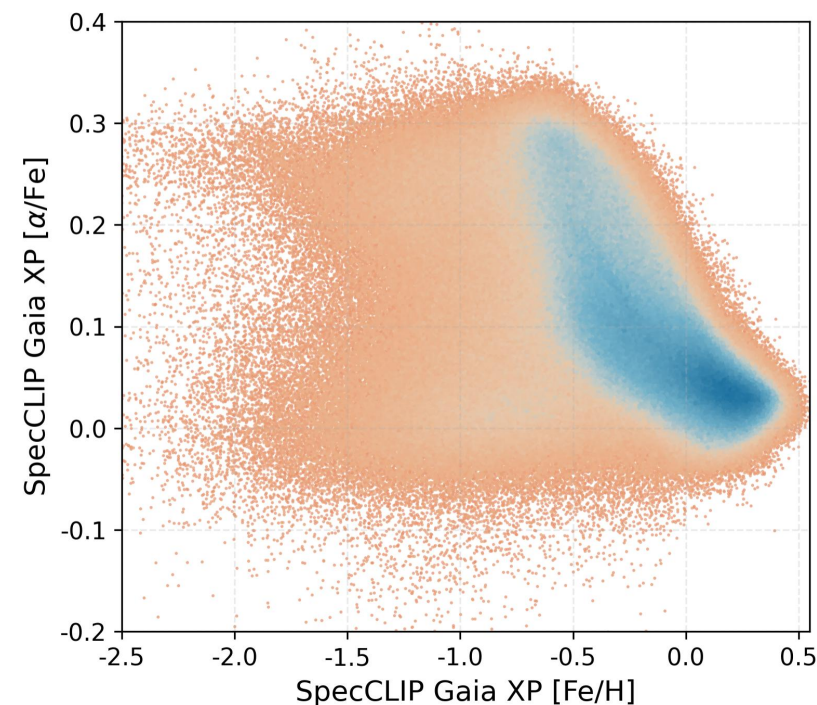
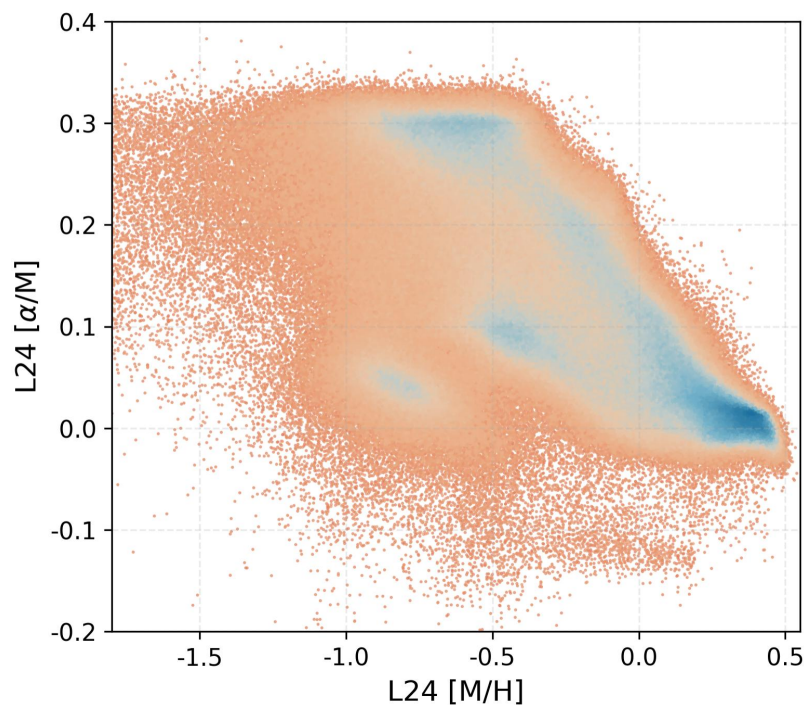
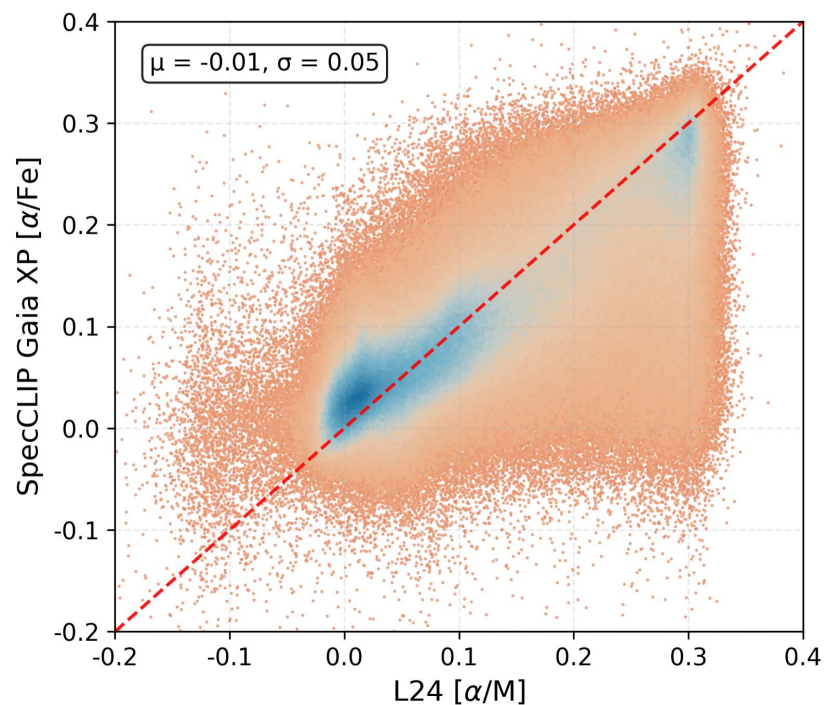
Li et.al (2024)(~3700万), Yang

et.al (2025)(~2400万)。

均选择RUWE<1.4, FOE>150



SpecCLIP的恒星参数检验——Knee



筛选标准: RUWE<1.4, FOE>150

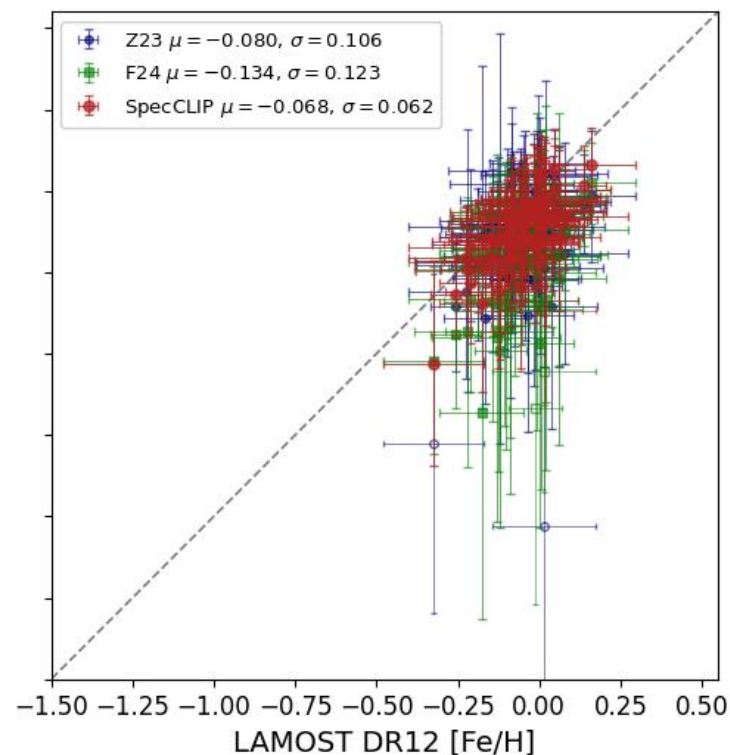
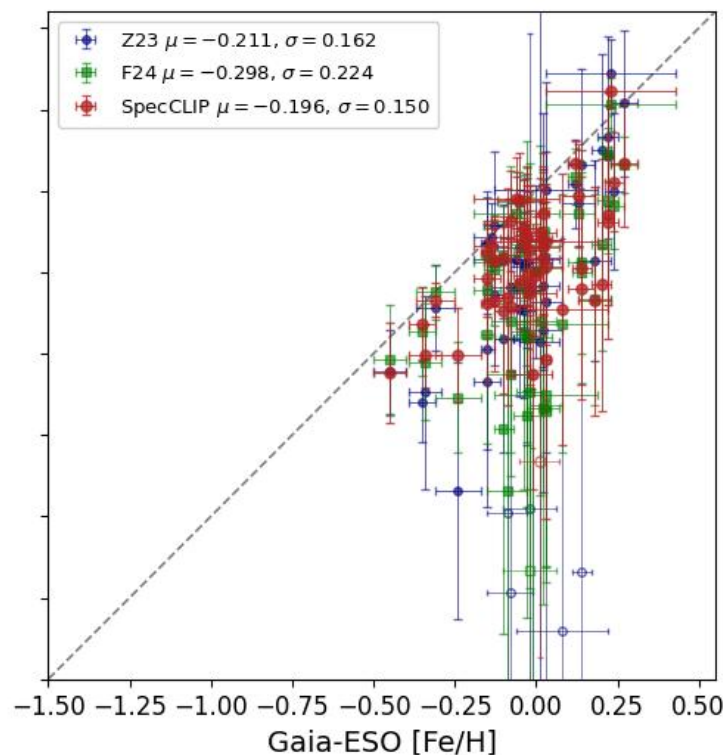
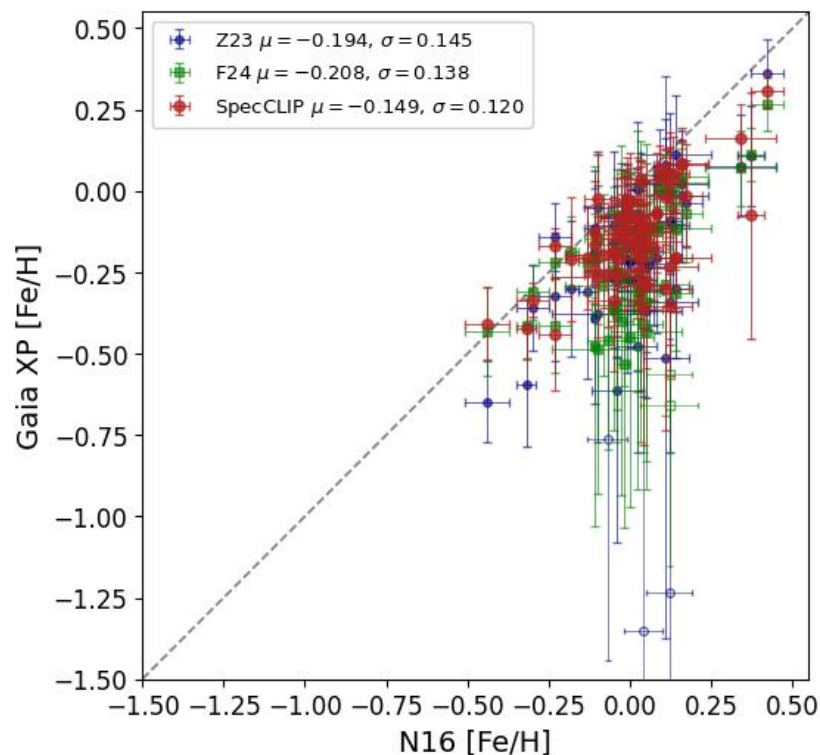
SpecCLIP的恒星参数优越性——星团检验

成员星筛选标准

- (1) 角距离小于潮汐半径
- (2) pmRA和pmDEC相对误差小于50%
- (3) 距离相对误差小于30%

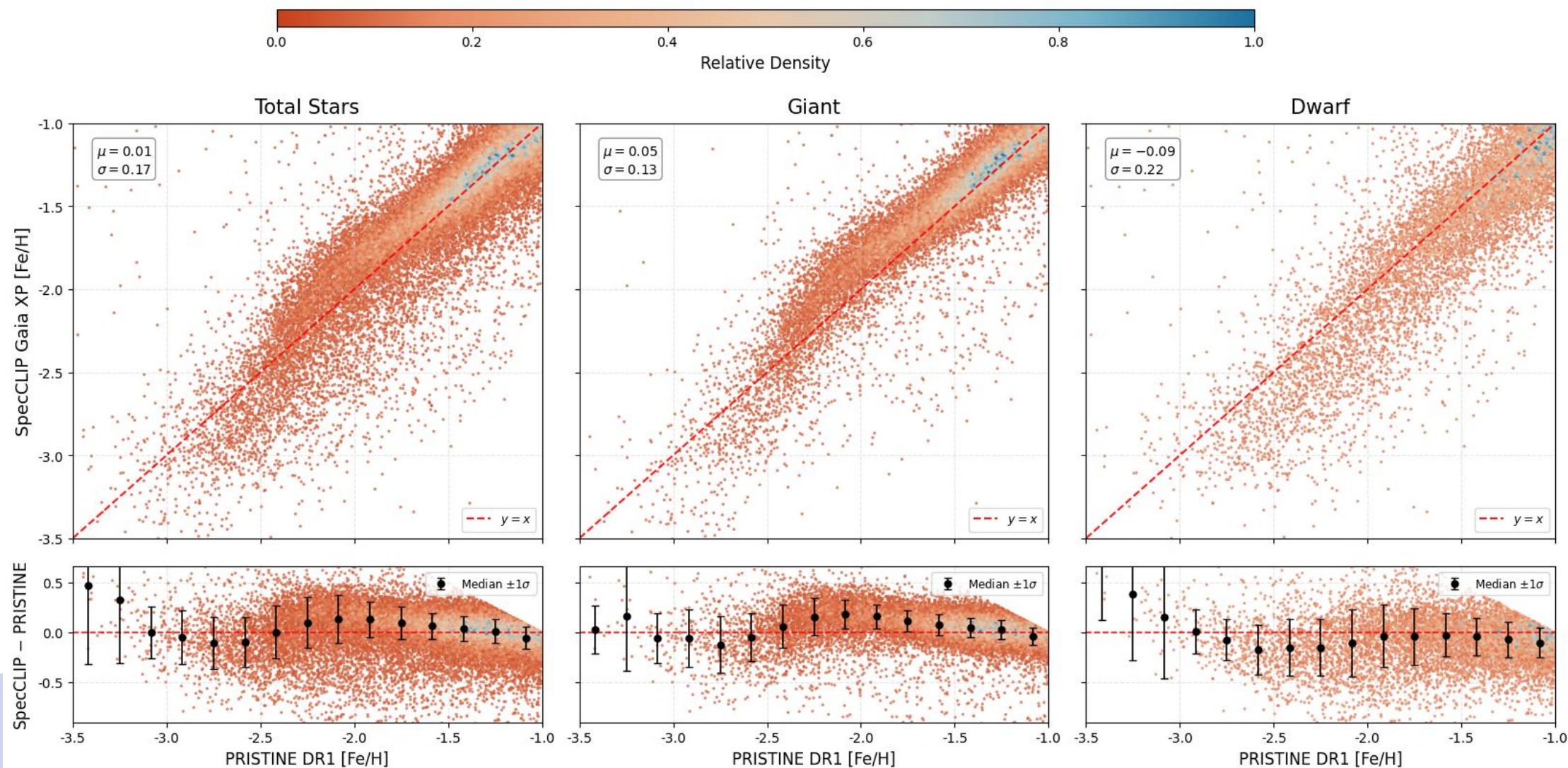
比较对象:

- (1) Netopil. et.al 2016-HRS
- (2) Gaia-ESO-HRS
- (3) LAMOST DR12-LRS



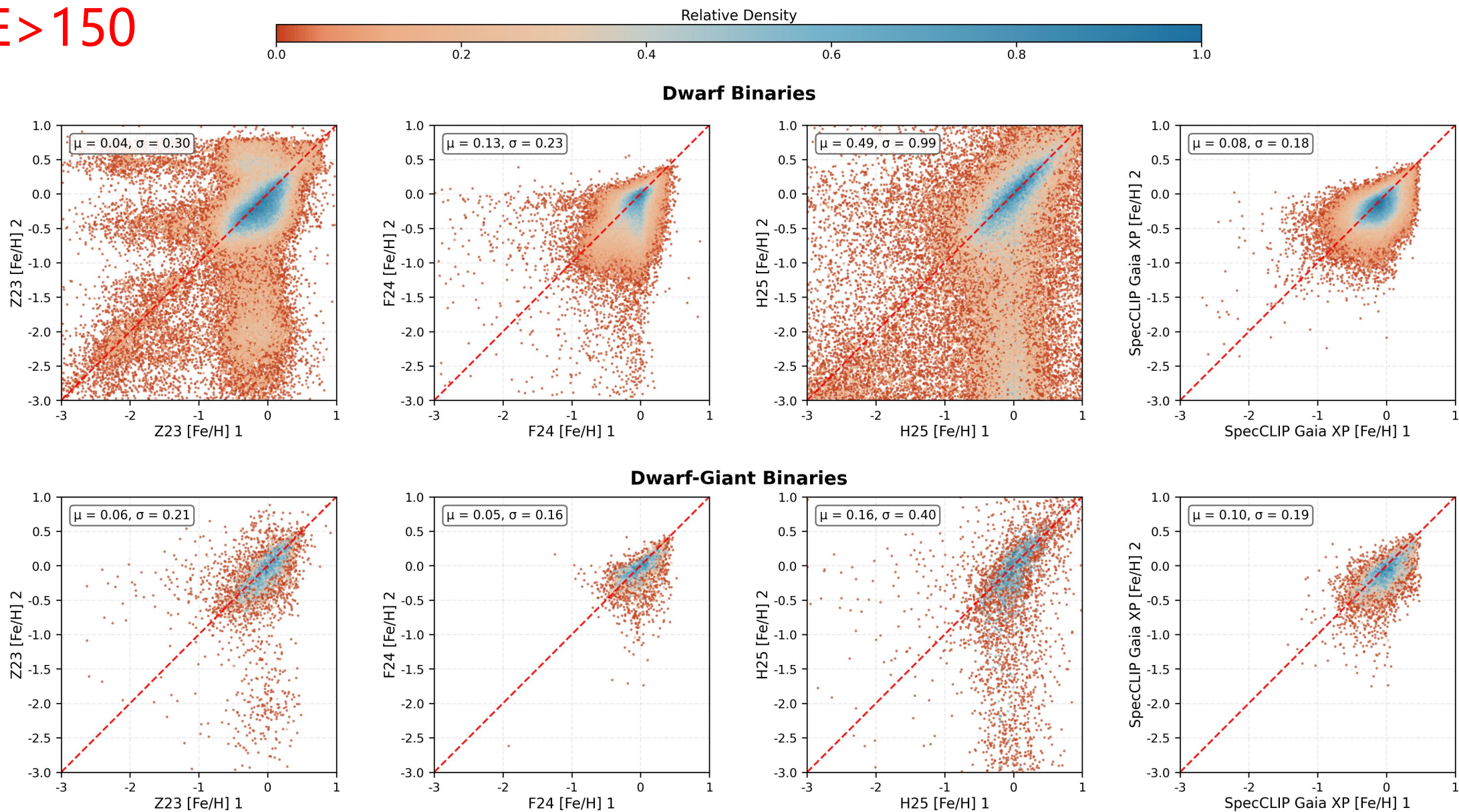
SpecCLIP的恒星参数优越性——贫金属星检验

筛选标准: $\text{RUWE} < 1.4$, $\text{FOE} > 1000$, 比较对象: PRISTINE DR1



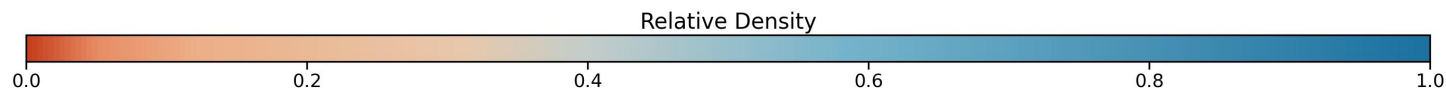
SpecCLIP的恒星参数优越性——宽距双星检验

FOE > 150

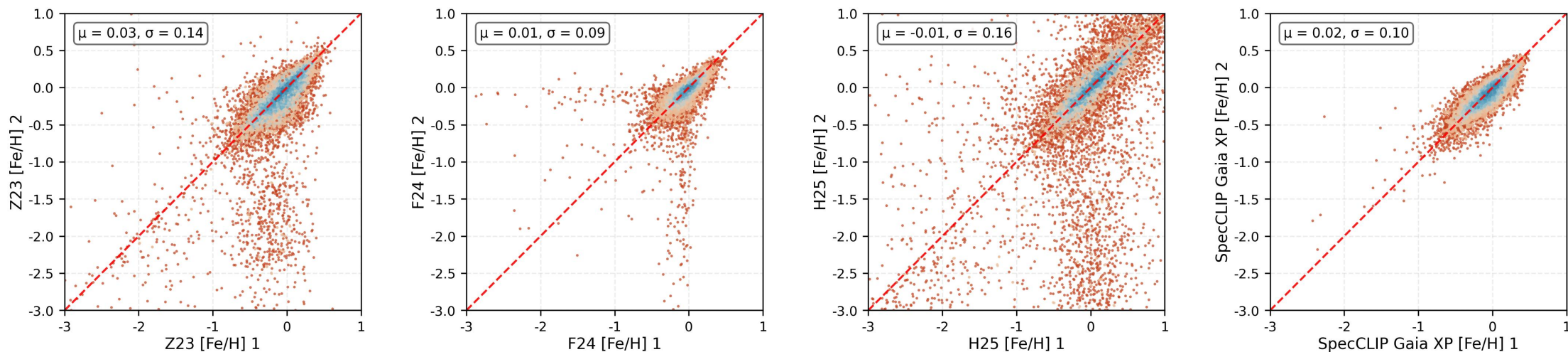


SpecCLIP的恒星参数优越性——宽距双星检验

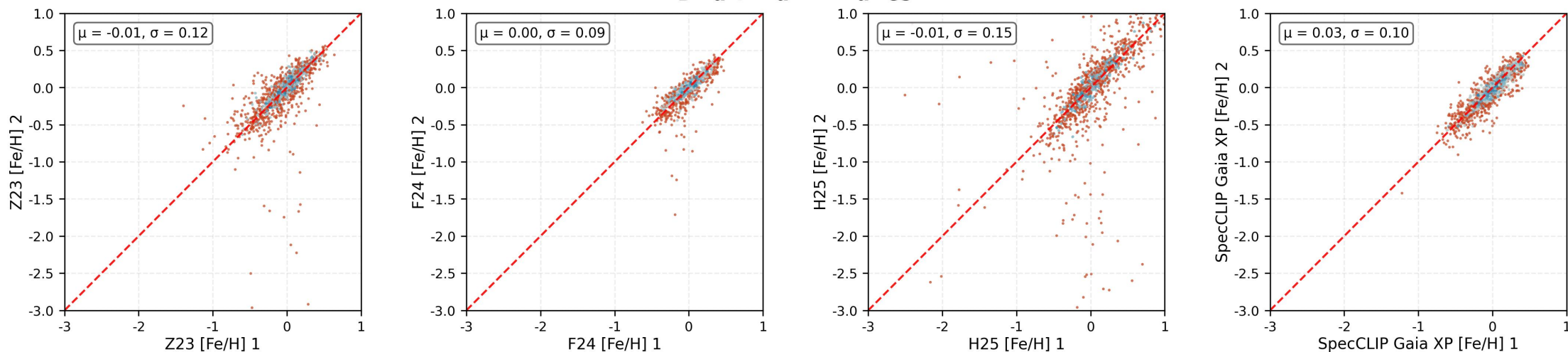
FOE > 1000



Dwarf Binaries



Dwarf-Giant Binaries

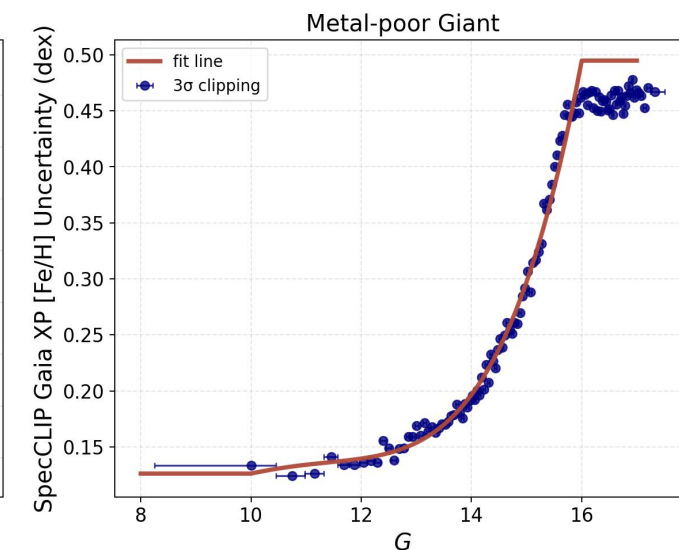
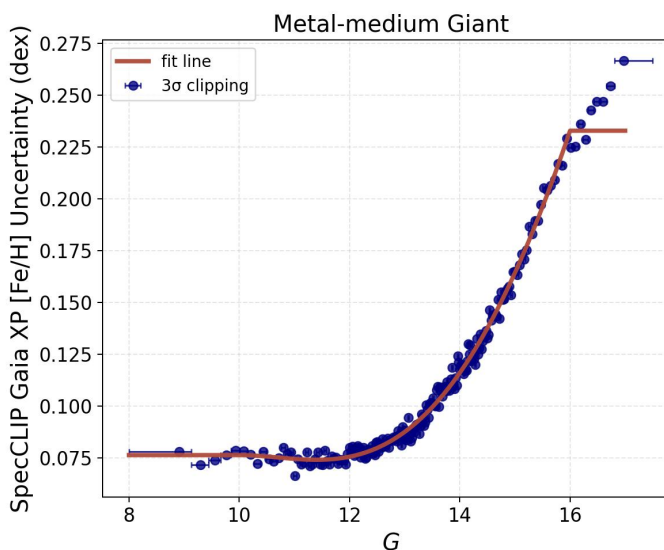
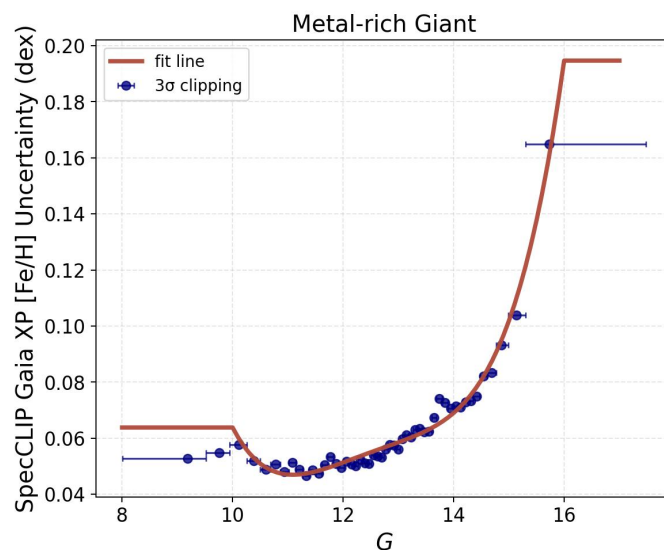
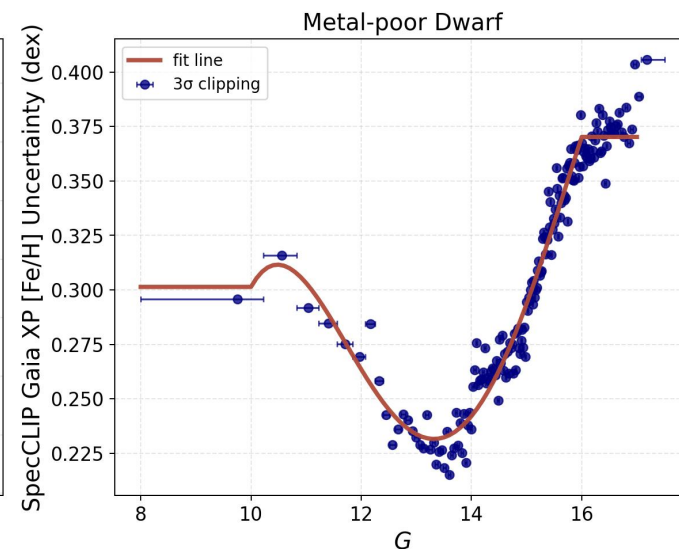
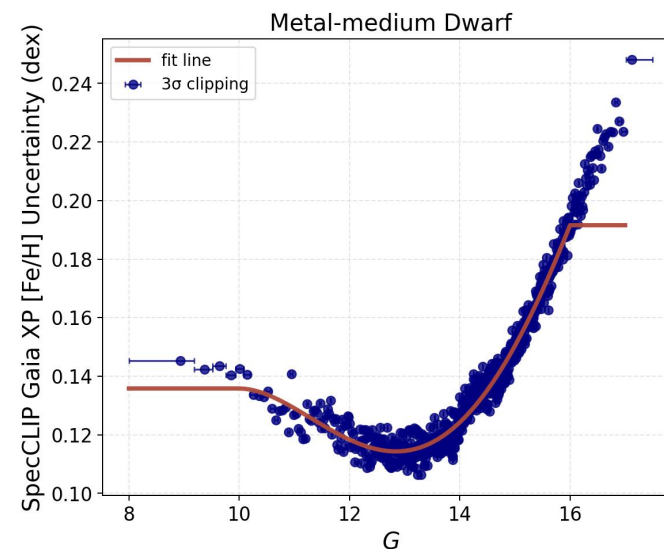
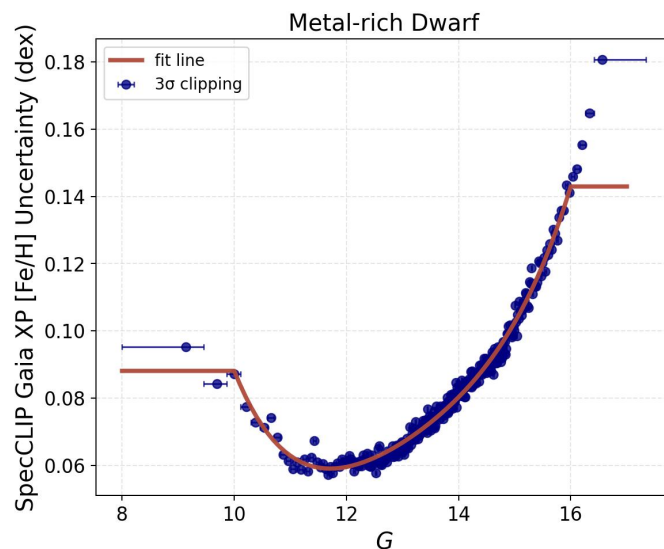


SpecCLIP的恒星参数不确定性

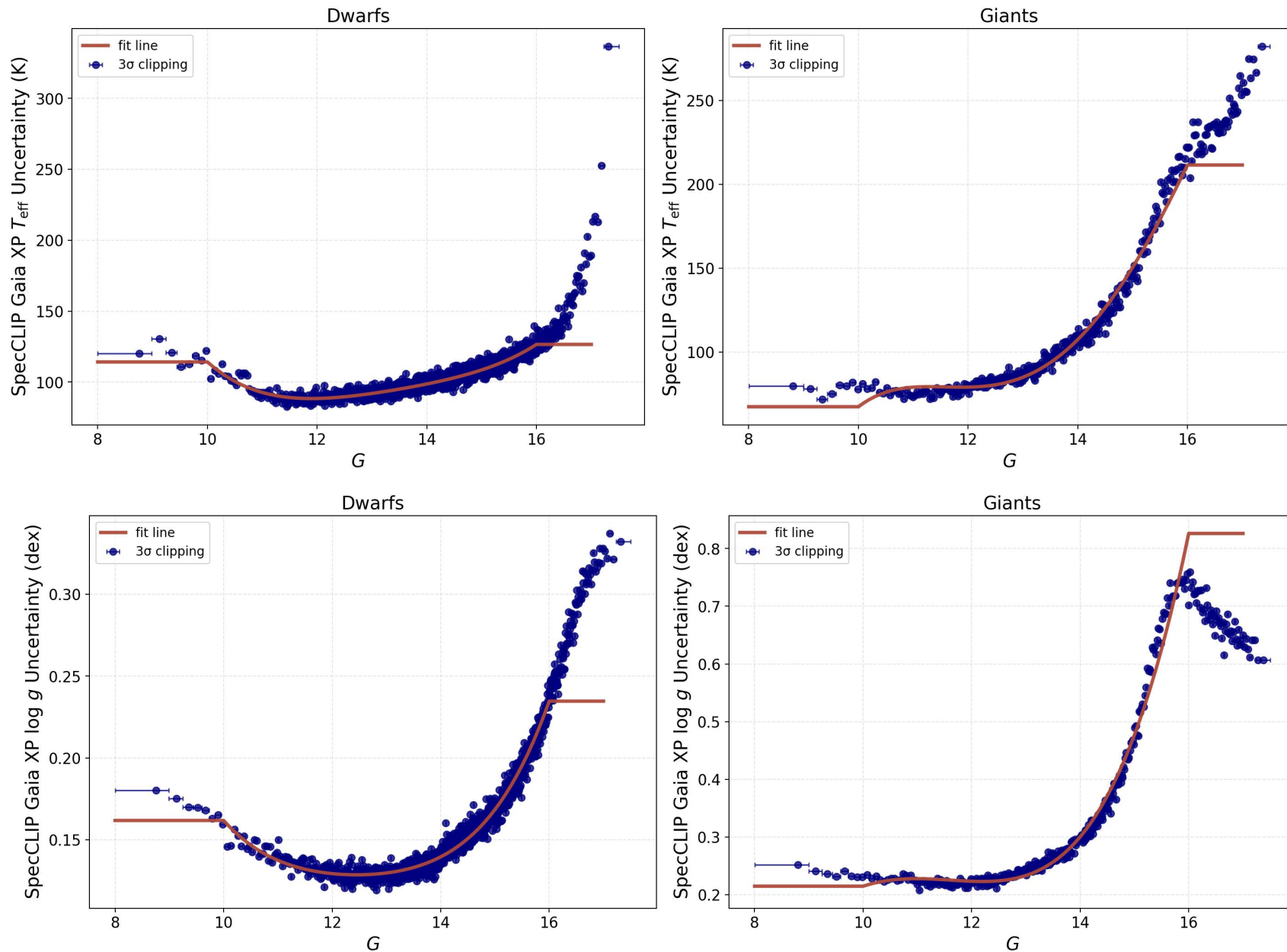


LAMOST筛选标准：
平均SNR_g > 20

计算时分星等bin，
扣除LAMOST本身的
uncertainty



SpecCLIP的恒星参数不确定性

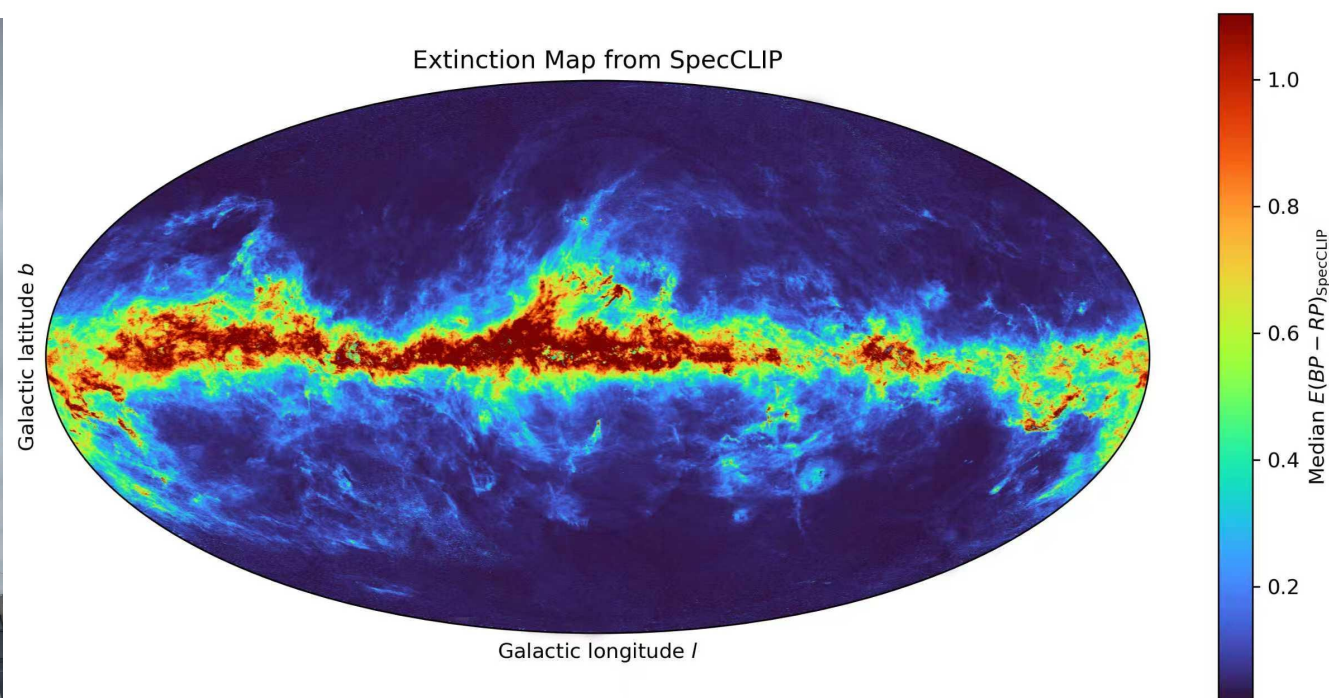




03

SpecCLIP三维消光图

为什么要获取消光图



雾失楼台，月迷津渡；
只在此山中，云深不知处；
白云回望合，青霭入看无……

为什么要获取消光图



恒星物理

明确恒星的本征颜色和绝对星等，对恒星的参数准确测量，进而研究恒星演化，以及基于恒星研究星系演化有着重要意义

星际介质

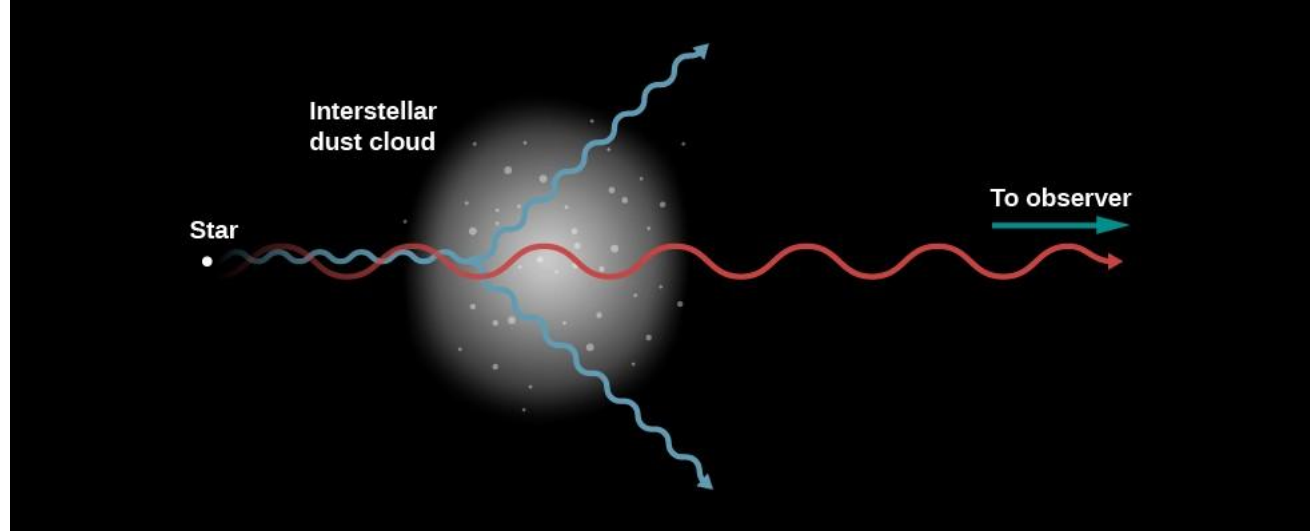
尘埃和气体是星际介质的重要组成成分，通过消光，可以刻画大尺度结构上星际介质的分布，对研究星际介质与恒星乃至整个星系的协同演化有着重要作用

星系结构和演化

明确星系不同位置的消光，对研究星系结构，明确演化历程有重要意义

星际消光的来源

星际消光的主要来源



星际尘埃和气体在紫外线（UV）、光学和近红外（NIR）中吸收和散射光，并在中远红外（分别为MIR和FIR）中再辐射这些光。

对消光探测的启示——探测波段和目标的选择



- (1) 直接探测星际尘埃和分子本身——使用MIR、FIR乃至射电波段
- (2) 探测被消光的恒星，作为“示踪天体”——使用NUV、可见光和NIR波段

星际消光的基本概念



本征颜色

A

恒星未经过消光的颜色，此处用 $(B-V)_0$ 代指
(B, V 可替换为其他颜色)

色余

B

恒星经过消光之后的颜色与本征颜色的差值，
如 $E(B-V) = (B-V) - (B-V)_0$

绝对消光

C

某一波段的消光值，可直接测量，也可用色余表示，如 $A_V = R_V \times E(B-V)$ ，其中， R_V 为相对消光系数

红化比（色余比）

D

两个不同颜色对应的色余的比值，对同一颗恒星的两个不同颜色，该比值一定。即知道一个颜色的色余之后，可以转化到其他颜色上。

消光图的基本分类和主要指标

基本分类

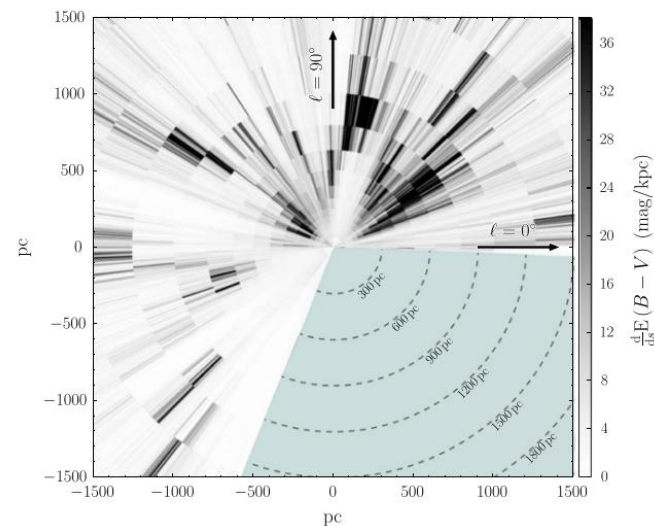
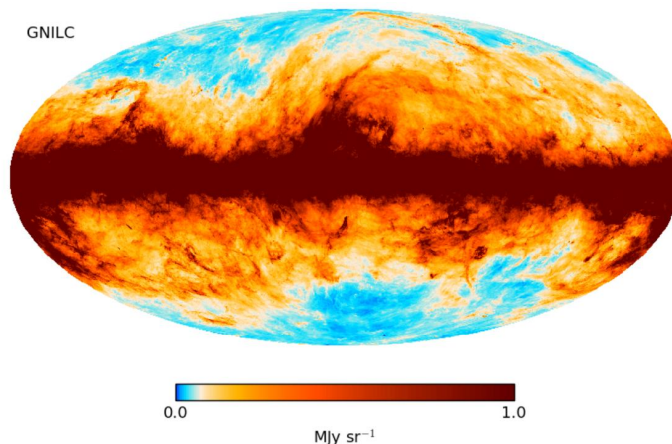


- (1) 二维消光图——不包含距离信息
- (2) 三维消光图——包含距离信息

主要指标



- (1) 覆盖天区范围
- (2) 分辨率：
沿视线方向（对三维消光图）——距离分辨率，和垂直视线方向——消光图网格的大小
- (3) 适用距离范围（对三维消光图）：
对于距离下限：是否给出了前景消光；



消光和消光规律

消光：对特定波段的吸收

消光规律：对不同波段的吸收整体趋势

$$A_{\lambda}=R_{\lambda} \times E(B-V)$$

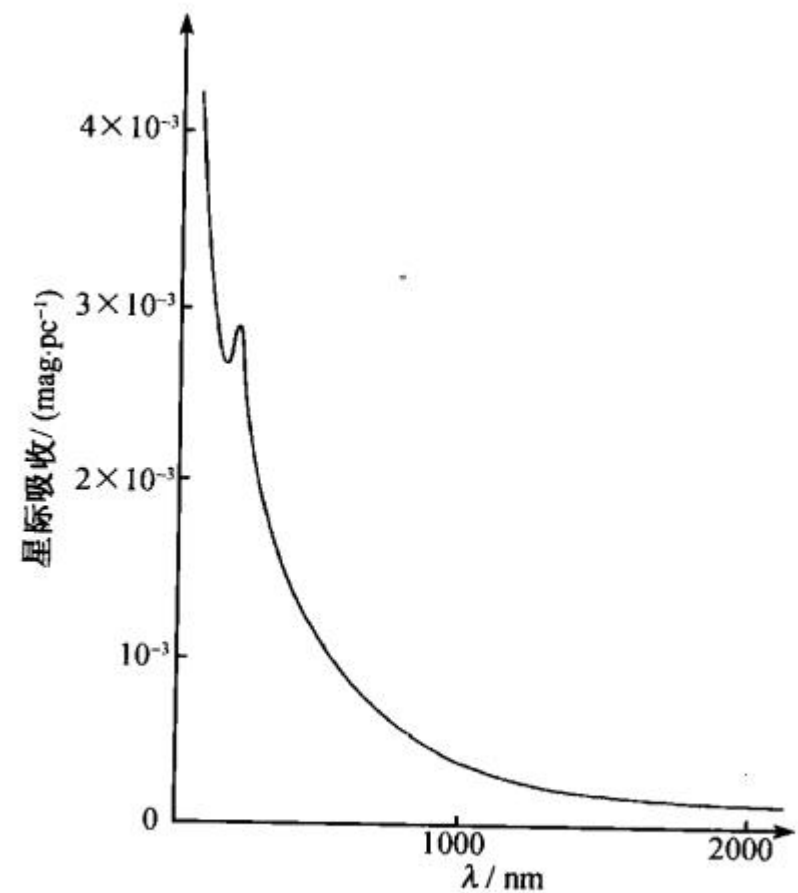


图 3.1.15 平均星际吸收

Bandpass	λ _{eff}	R _V				Bandpass	λ _{eff}	R _V			
		2.1	3.1	4.1	5.1			2.1	3.1	4.1	5.1
Landolt U	3508.2	5.614	4.334	3.773	3.460	WFPC2 F300W	3087.6	6.777	4.902	4.127	3.710
Landolt B	4329.0	4.355	3.626	3.290	3.096	WFPC2 F450W	4587.0	4.014	3.410	3.132	2.971
Landolt V	5421.7	2.953	2.742	2.645	2.589	WFPC2 F555W	5439.4	2.976	2.755	2.653	2.594
Landolt R	6427.8	2.124	2.169	2.189	2.201	WFPC2 F606W	5984.8	2.469	2.415	2.389	2.375
Landolt I	8048.4	1.410	1.505	1.548	1.573	WFPC2 F702W	6887.9	1.850	1.948	1.994	2.020
CTIO U	3733.9	5.170	4.107	3.628	3.355	WFPC2 F814W	7940.0	1.452	1.549	1.594	1.620

消光和消光规律

消光：对特定波段的吸收

消光规律：对不同波段的吸收整体趋势

参考网站：SVO Filter Profile Service (inta-csic.es)

<http://svo2.cab.inta-csic.es/theory/fps/>

Filter Description

Filter ID (?) : GAIA/GAIA0.Gbp
Description (?) : GAIA Gbp filter pre release
Phot.System (?) : GAIA
Detector Type (?) : Energy counter
Band Name (?) : -----
Obs. Facility (?) : GAIA
Instrument (?) : GAIA
Comments (?) : -----

Mathematical properties

Property	Calculated	Specified	Unit
λ_{ref} (?) :	5124.20	-----	(Angstrom)
λ_{mean} (?) :	5319.90	-----	(Angstrom)
λ_{cen} (?) :	5329.78	-----	(Angstrom)
λ_{eff} (?) :	5041.61	-----	(Angstrom)
λ_{peak} (?) :	6470.00	-----	(Angstrom)
λ_{pivot} (?) :	5124.20	-----	(Angstrom)
λ_{phot} (?) :	5156.24	-----	(Angstrom)
λ_{min} (?) :	3283.04	-----	(Angstrom)
λ_{max} (?) :	6713.57	-----	(Angstrom)
W_{eff} (?) :	2333.06	-----	(Angstrom)
FWHM (?) :	2529.83	-----	(Angstrom)
A_B/A_V (?) :	1.10	-----	()
F_{sun} (?) :	177.47	-----	(erg/cm2/s/A)

Calibration properties

Vega System

Property	Specified	Calculated	Unit
Zero Point (?) :	-----	4.10926e-9	(erg/cm2/s/A)
	-----	3599.12	(Jy)
ZP Type (?) :	Pogson		
PhotCal ID (?) :	GAIA/GAIA0.Gbp/Vega		

AB System

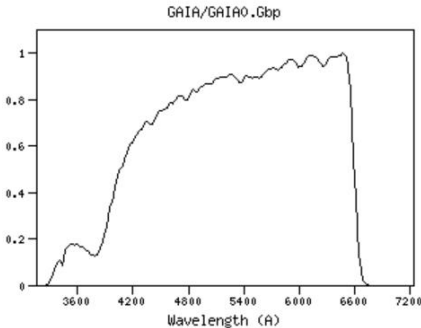
Property	Specified	Calculated	Unit
Zero Point (?) :	-----	4.14567e-9	(erg/cm2/s/A)
	-----	3631.00	(Jy)
ZP Type (?) :	Pogson		
PhotCal ID (?) :	GAIA/GAIA0.Gbp/AB		

ST System

Property	Specified	Calculated	Unit
Zero Point (?) :	-----	3.631e-9	(erg/cm2/s/A)
	-----	3180.23	(Jy)
ZP Type (?) :	Pogson		
PhotCal ID (?) :	GAIA/GAIA0.Gbp/ST		

$$A_{\lambda} = R_{\lambda} \times E(B-V)$$

Transmission



Data file: ascii, VOTable

Reference for filter response: Jordi et al. 2010, A&A 523,48

Transmission components: Filter + Instrumentid:GAIA/GAIA0.Gbp

数据预处理

一、与基于LAMOST DR13数据的Star-pair消光值进行了检验

star-pair参考数据集：肖凯师兄基于LAMOST DR10数据的star-pair消光数据集

筛选标准：

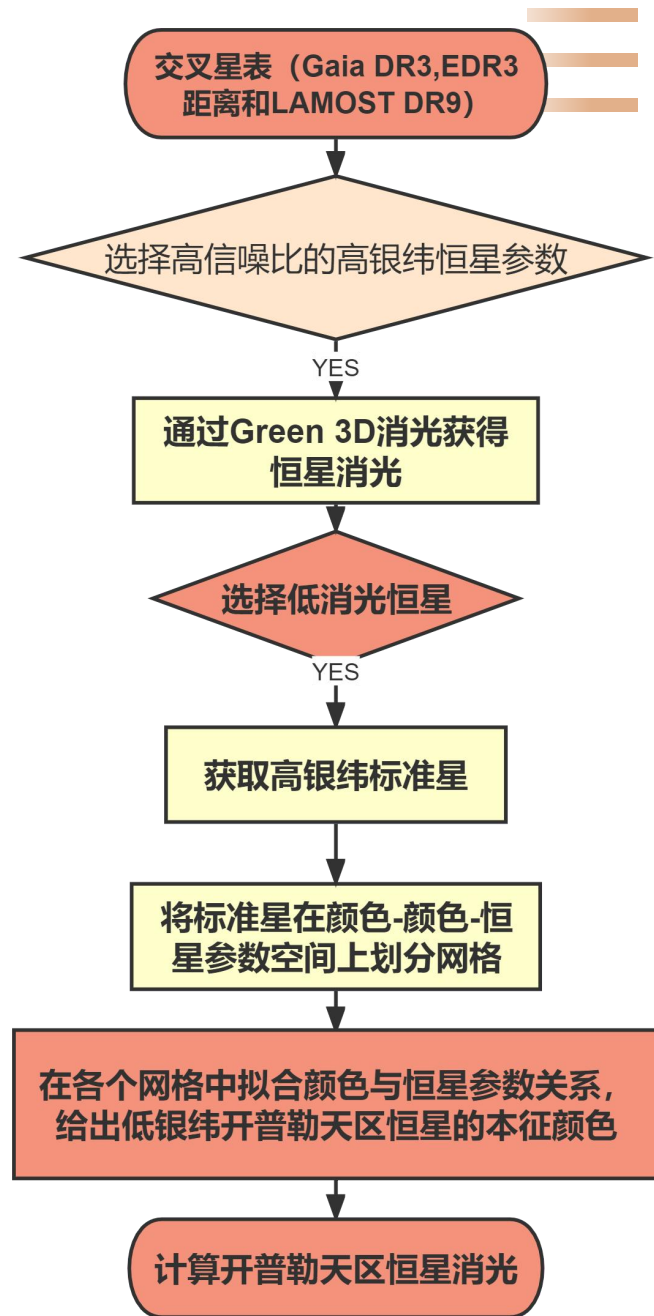
【1】 $\text{SNR}_g > 30$,

【2】 $1.0 + 0.015(BP-RP)^2 < \text{factor} < 1.3 + 0.06(BP-RP)^2$,

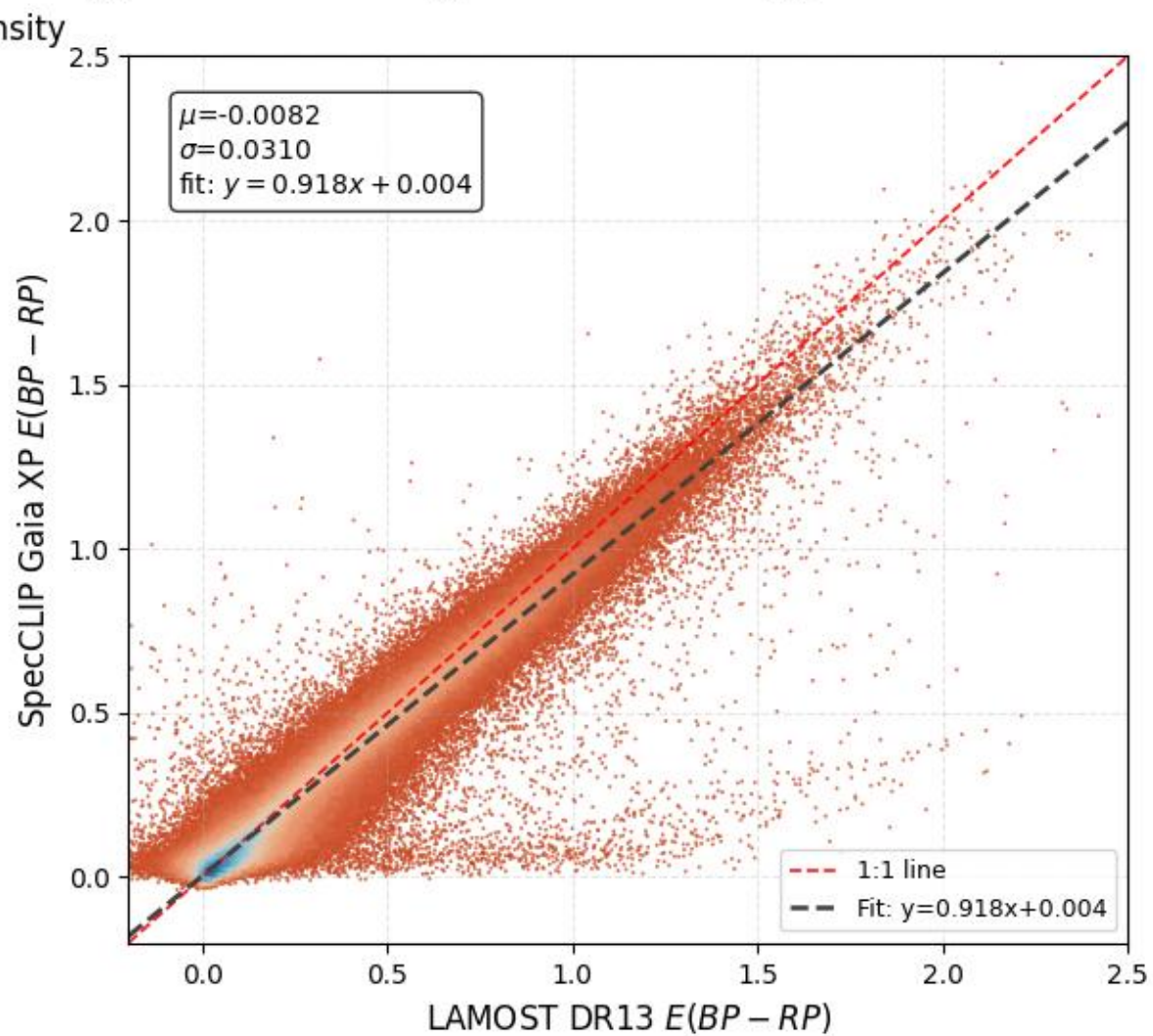
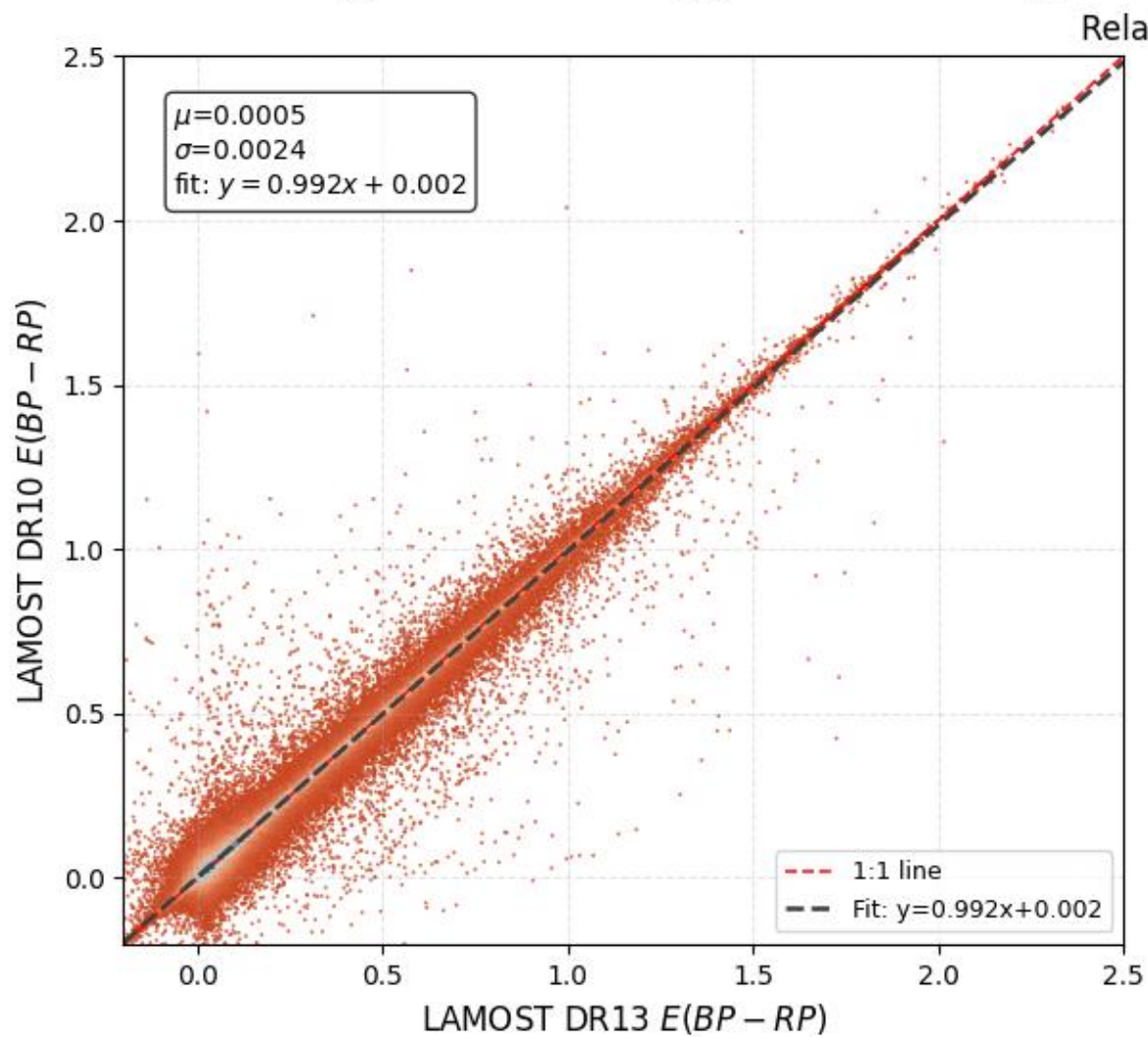
【3】 $E(BP-RP) < 0.05$, $|b| > 30$

共筛选出约~110,000颗源

三维网格大小： $\text{teff_bin} = 100$, $\text{feh_bin} = 0.1$, $\text{logg_bin} = 0.1$



数据预处理



二、RUWE筛选: $\text{RUWE} < 1.4$

三、FOE-距离误差联合权重:

【1】 FOE: 150-1000, 线性权重设置为1-10,

【2】 距离误差: d/σ_d 对5-50, 线性权重设置为1-10

【3】 联合权重公式:

$$w = w_{\text{flux}} w_{\text{dist}}^{0.3}$$

FOE具有更高级别权重

三维消光图的构建——模型

$$E(d) = F_0(d) + E_{\text{DIM}}(d) + \sum_{i=1}^{N_{\text{cloud}}} C_i(d)$$

$$F_0(d) = h_0 \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{d - d_0}{\sqrt{2}\sigma_0} \right) \right]$$

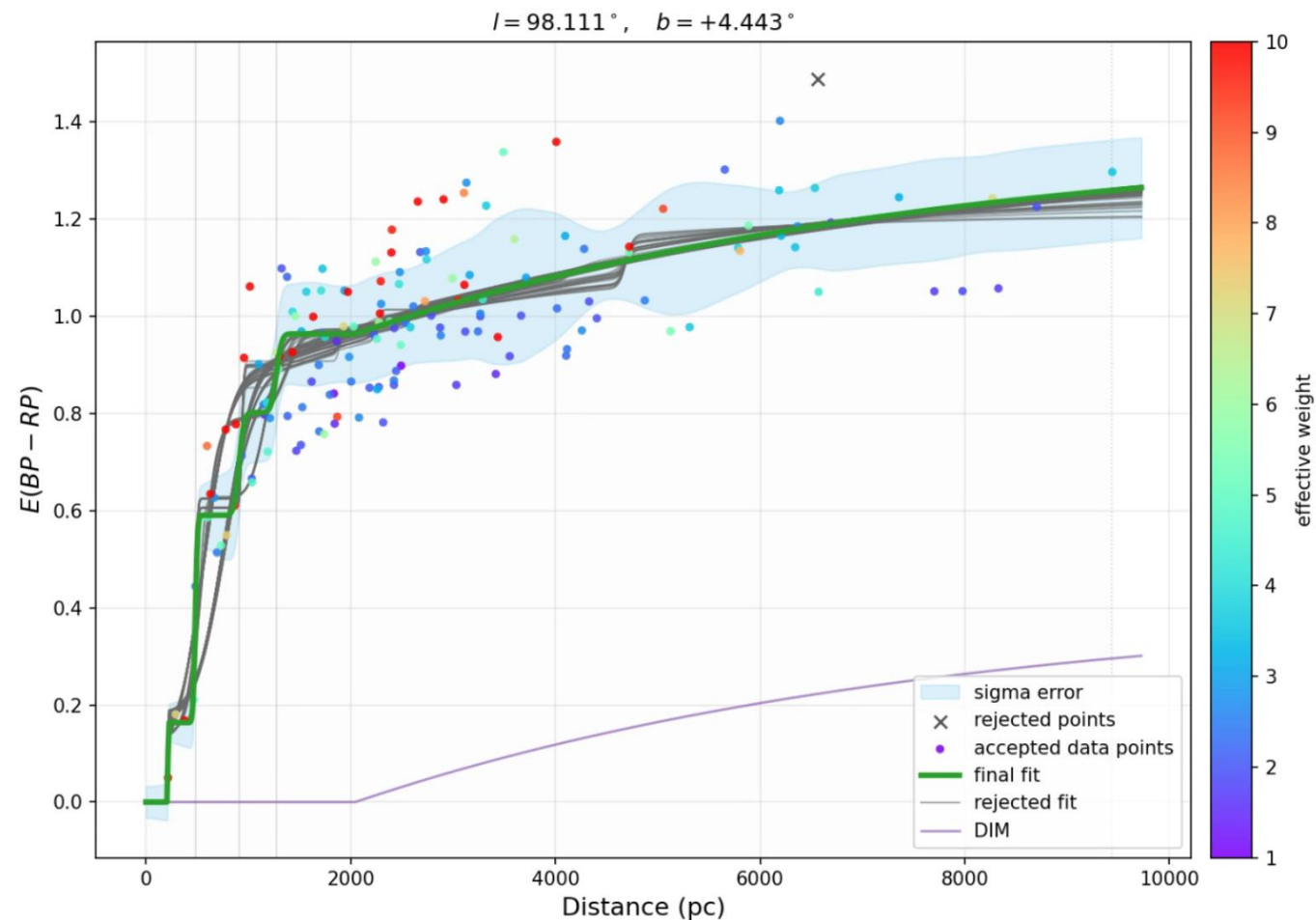
前景消光

$$E_{\text{DIM}}(d) = \begin{cases} 0, & d \leq d_{\text{DIM}}, \\ \rho_0 \frac{h_{\text{los}}}{1000} \left[1 - \exp \left(-\frac{d - d_{\text{DIM}}}{h_{\text{los}}} \right) \right], & d > d_{\text{DIM}}, \end{cases}$$

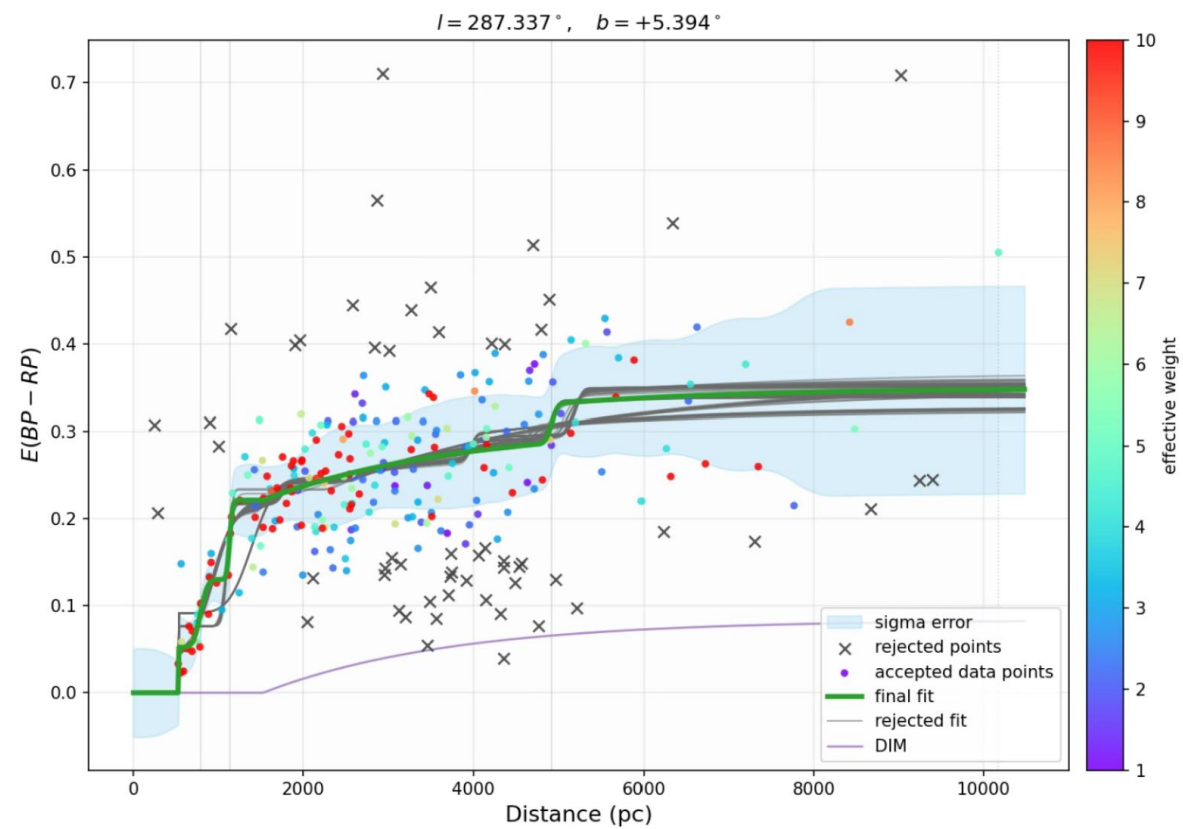
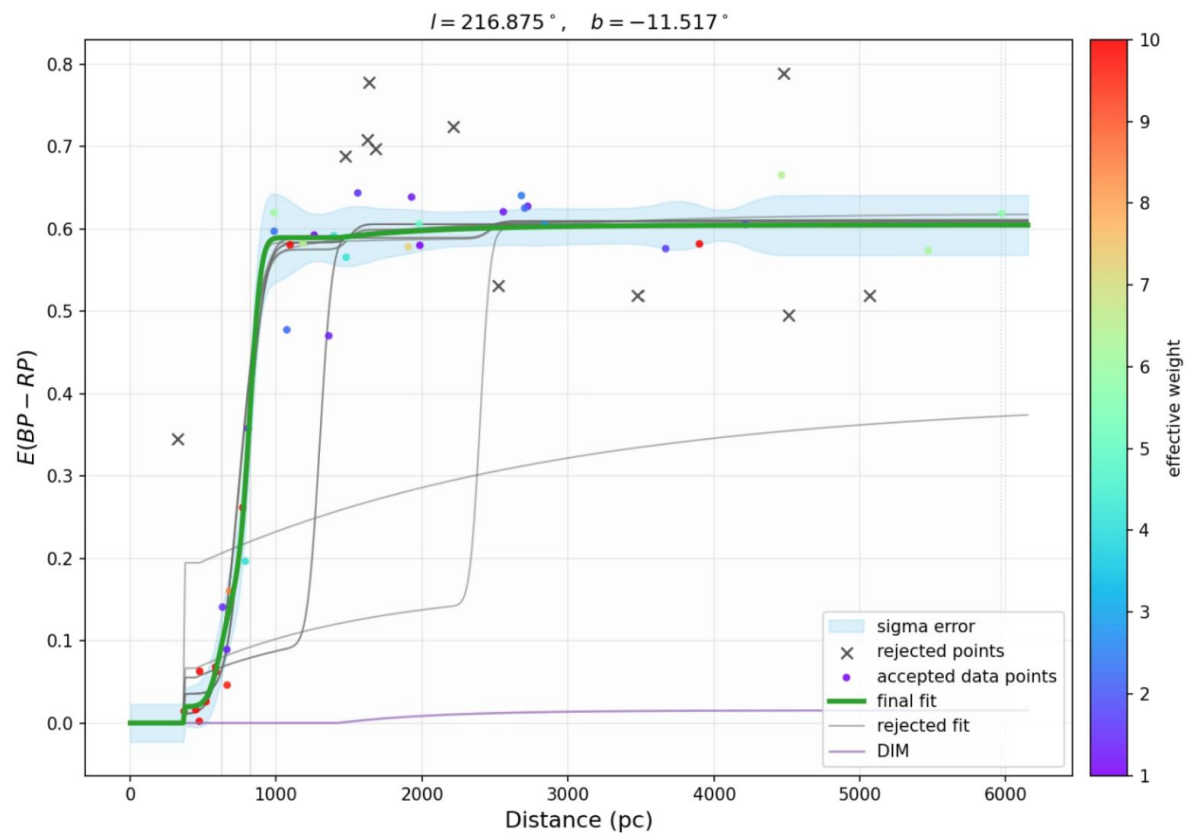
弥散消光

$$C_i(d) = h_i \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{d - c_i}{\sqrt{2}\sigma_i} \right) \right]$$

分子-尘埃云消光



三维消光图的构建——模型



三维消光图的构建——MAP方法



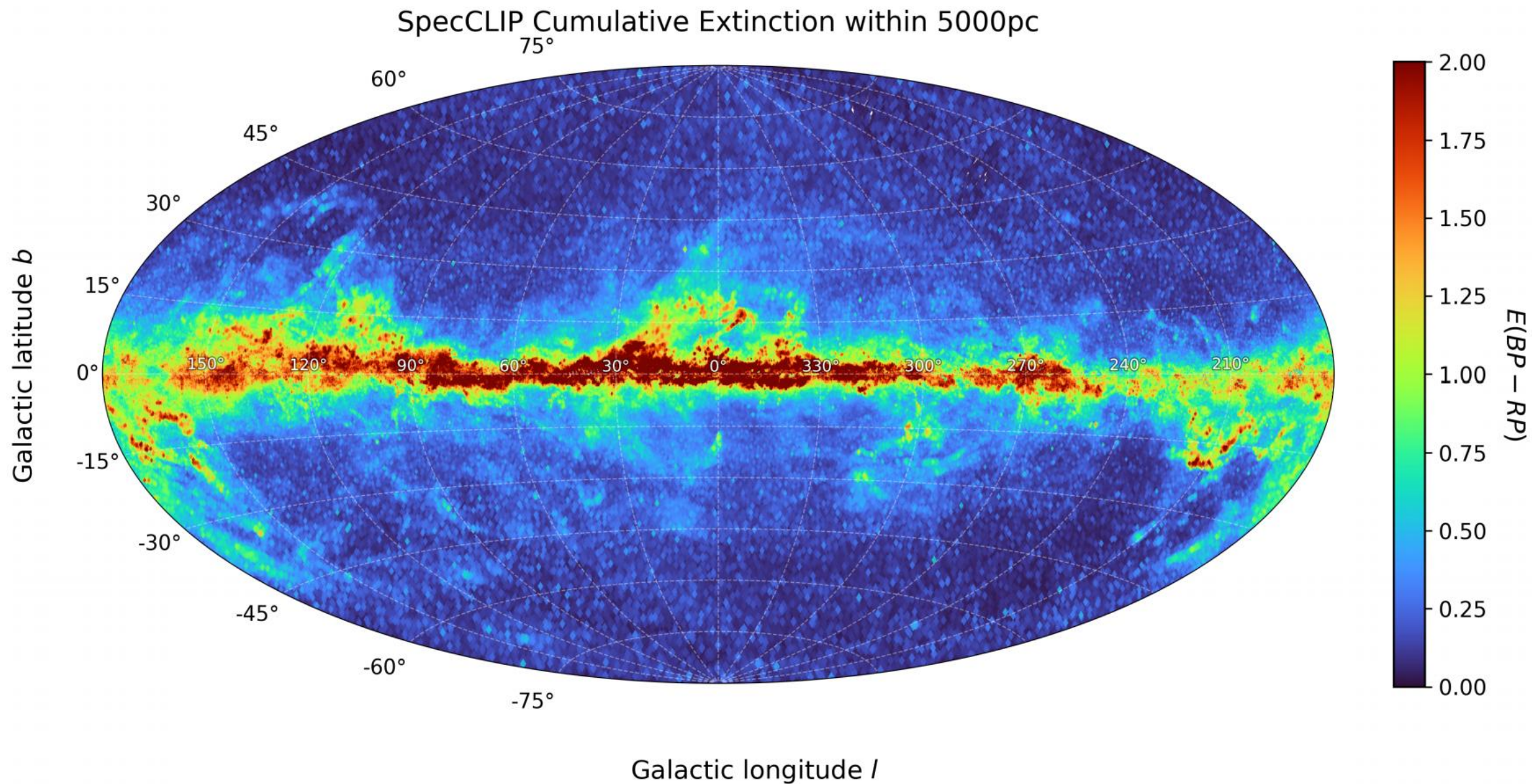
$$\mathcal{L}(\boldsymbol{\theta}) = \prod_j \frac{\Gamma[(\nu+1)/2]}{\Gamma(\nu/2)\sqrt{\nu\pi}\sigma_j} \left[1 + \frac{(E_j - E(d_j|\boldsymbol{\theta}))^2}{\nu\sigma_j^2} \right]^{-(\nu+1)/2} \quad \text{Student-}t \text{ 似然}$$

$$P(\boldsymbol{\theta}|D, M) \propto \mathcal{L}(D|\boldsymbol{\theta}, M)p(\boldsymbol{\theta}|M)$$

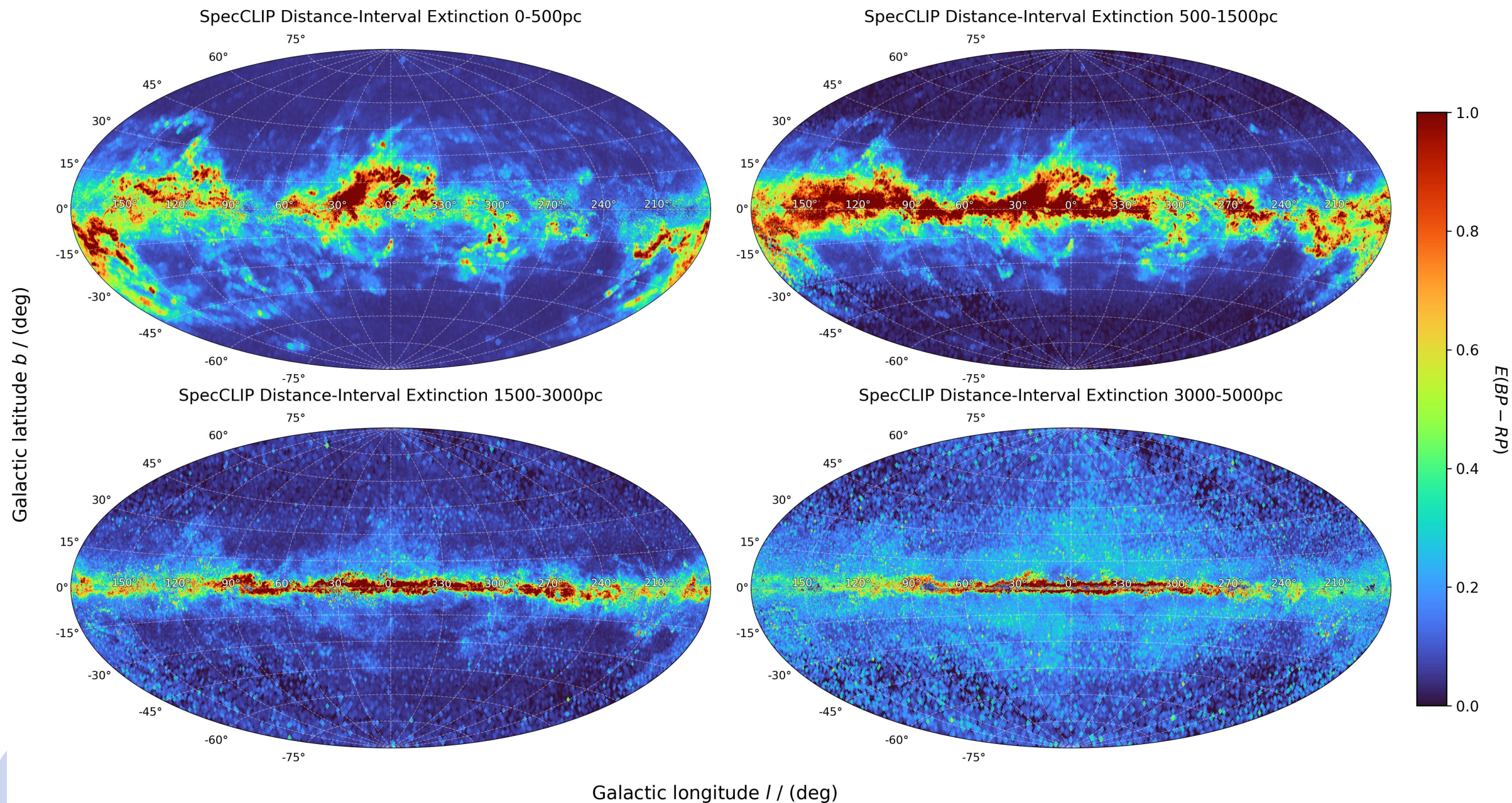
$$\log P_{\text{score}} = \log \mathcal{L} + \log p(\boldsymbol{\theta}) - \lambda_{\text{cloud}} N_{\text{cloud}} - \lambda_{\text{BIC}} N_{\text{par}} \ln N \quad \text{类BIC方法赋分}$$

尘埃云候选位置由消光曲线中的显著跃迁和连续上升结构自动识别，并在 Bayesian maximum-a-posteriori 框架下联合优化模型参数。拟合采用 Student- t likelihood 以降低异常点影响，同时引入模型复杂度惩罚以避免过拟合，最终选择数据支持下最简洁的尘埃结构作为每条视线的重建结果。局部消光不确定度则由恒星观测值相对于最佳拟合曲线的残差弥散进行经验估计。

三维消光图的比较

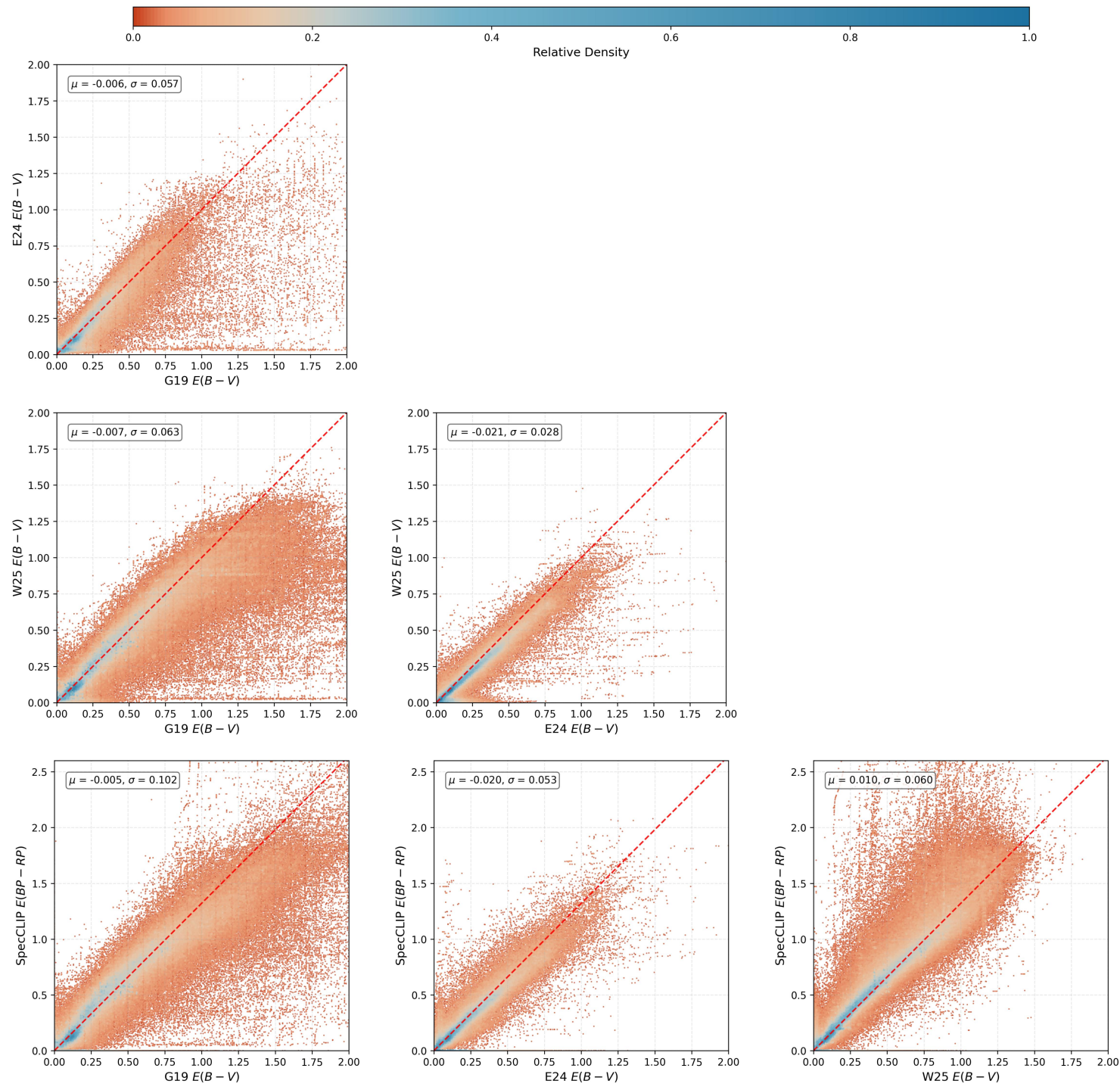
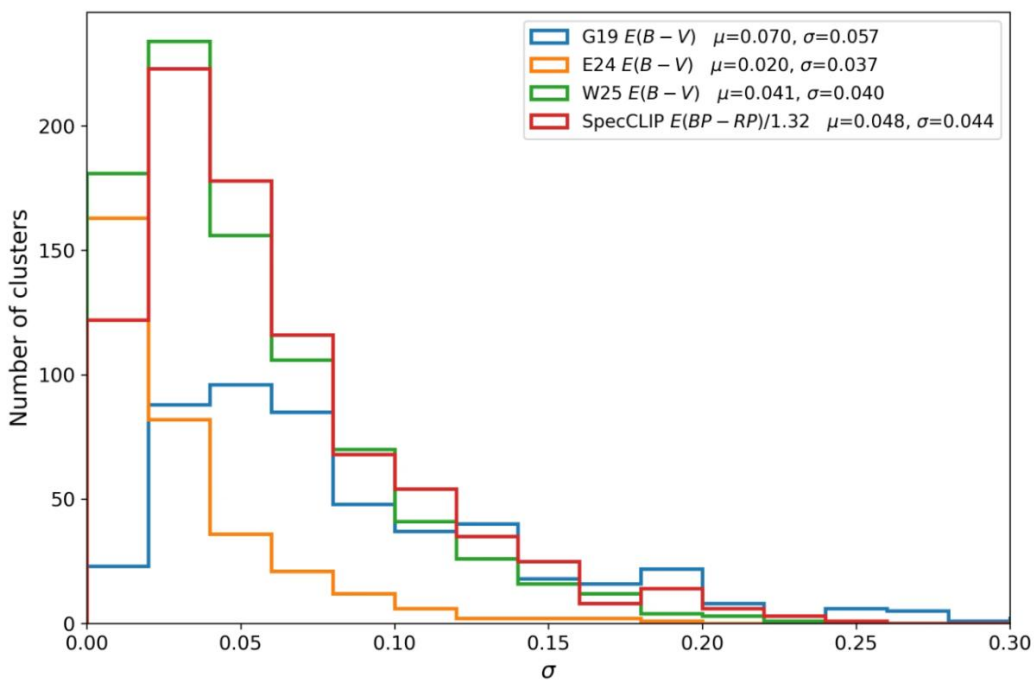


三维消光图的比较



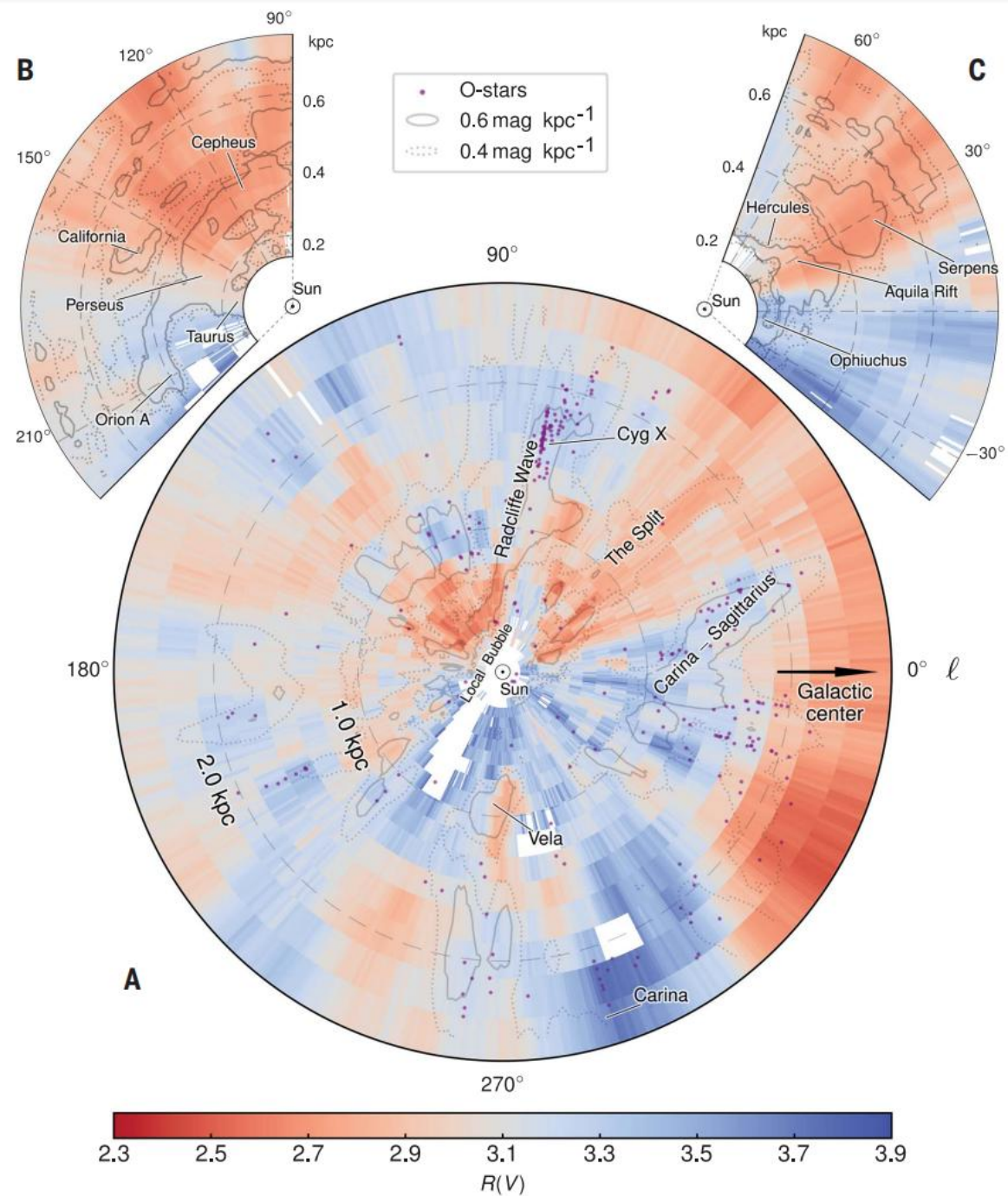
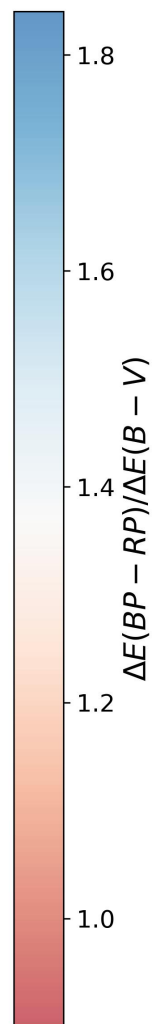
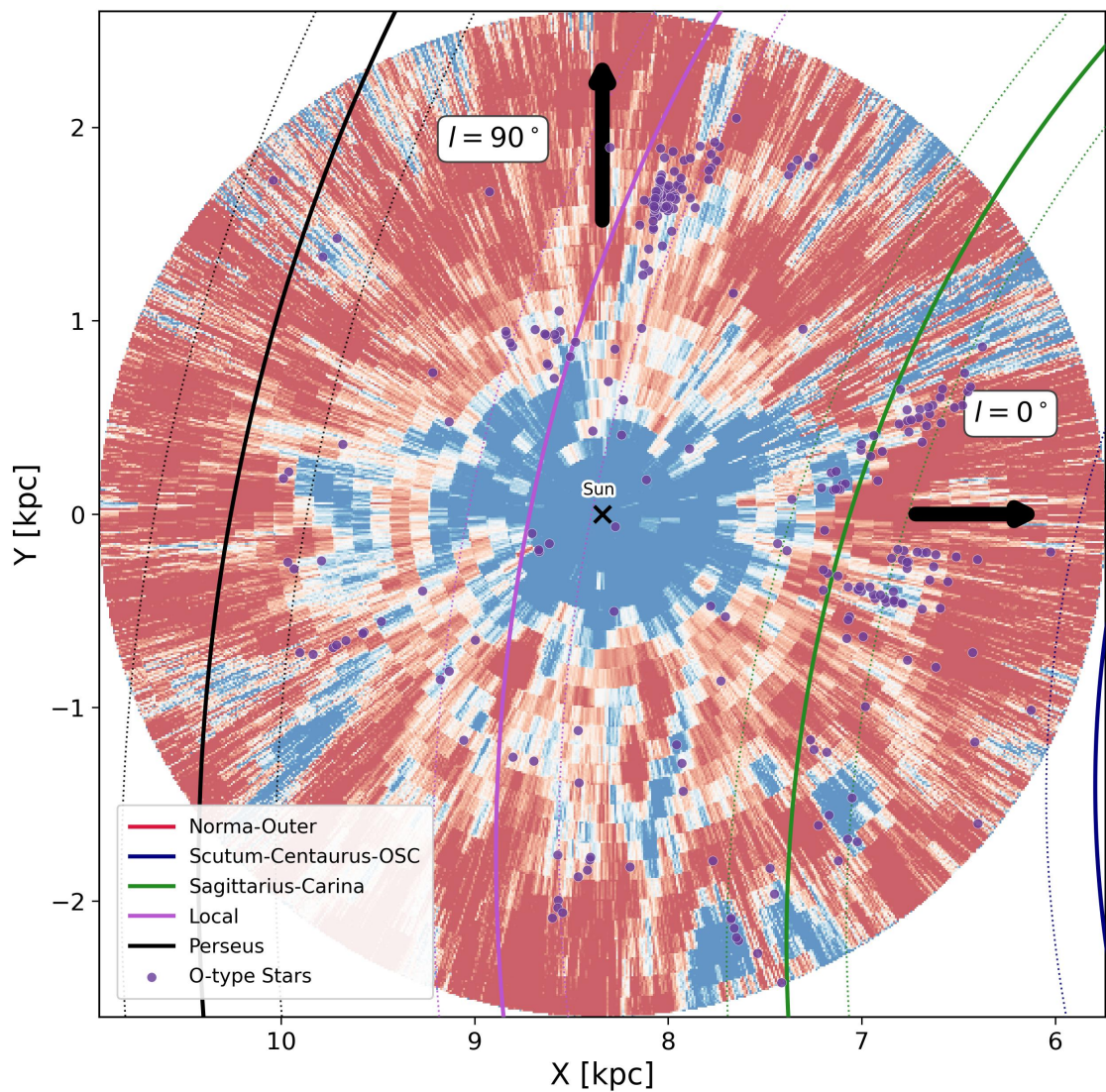
三维消光图的比较

星团成员星检验



三维消光图的比较

R_V -sensitive图



基于DR4的工作展望——消光



模型层面：

(1) **多波段色余**：目前只得到了 $E(BP-RP)$ ，因为训练标签相对单一，但是如果准备好 $E(B-V)$, $E(g-r)$ 等多波段色余，那么我们可以获得一个多波段、无需波段间转化（会引入额外误差）的三维消光图。

(2) **单色消光**：为了更进一步刻画消光图，有必要计算单色消光（Gaia已有 A_0 ）

后处理层面：

(3) **相对消光系数三维图**：在单色消光和多波段色余的基础上，我们可以获得不同波段的相对消光系数，获得其三维变化

(4) **三维重建**：现在是沿着LOS进行拟合，应更多的结合垂直视线方向的跨LOS分布关系

The background is a solid blue color. It features several large, thick, curved lines in a lighter blue or purple shade. One large arc starts from the left edge and curves upwards towards the top right. Another large arc starts from the top right and curves downwards towards the bottom right. There are also smaller, more horizontal curved lines near the bottom right corner.

THANK YOU