



报告题目：**变星哈勃常数**

报告人：**陈孝钿**（光学部冷湖基地）

主要合作者：**王舒、邓李才、张健星、周晓月、陈晓函、CSST团队等**

目录

一、研究背景

二、研究动机和计划

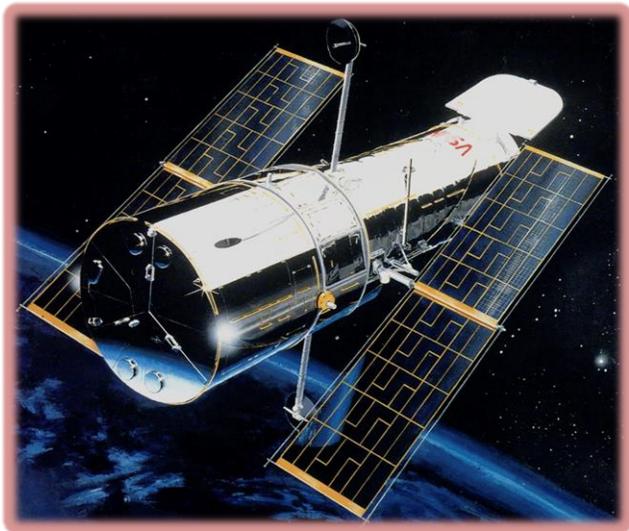
三、变星哈勃常数流程

四、多变星距离阶梯，多距离基石（突破1）

五、细致消光规律（突破2）

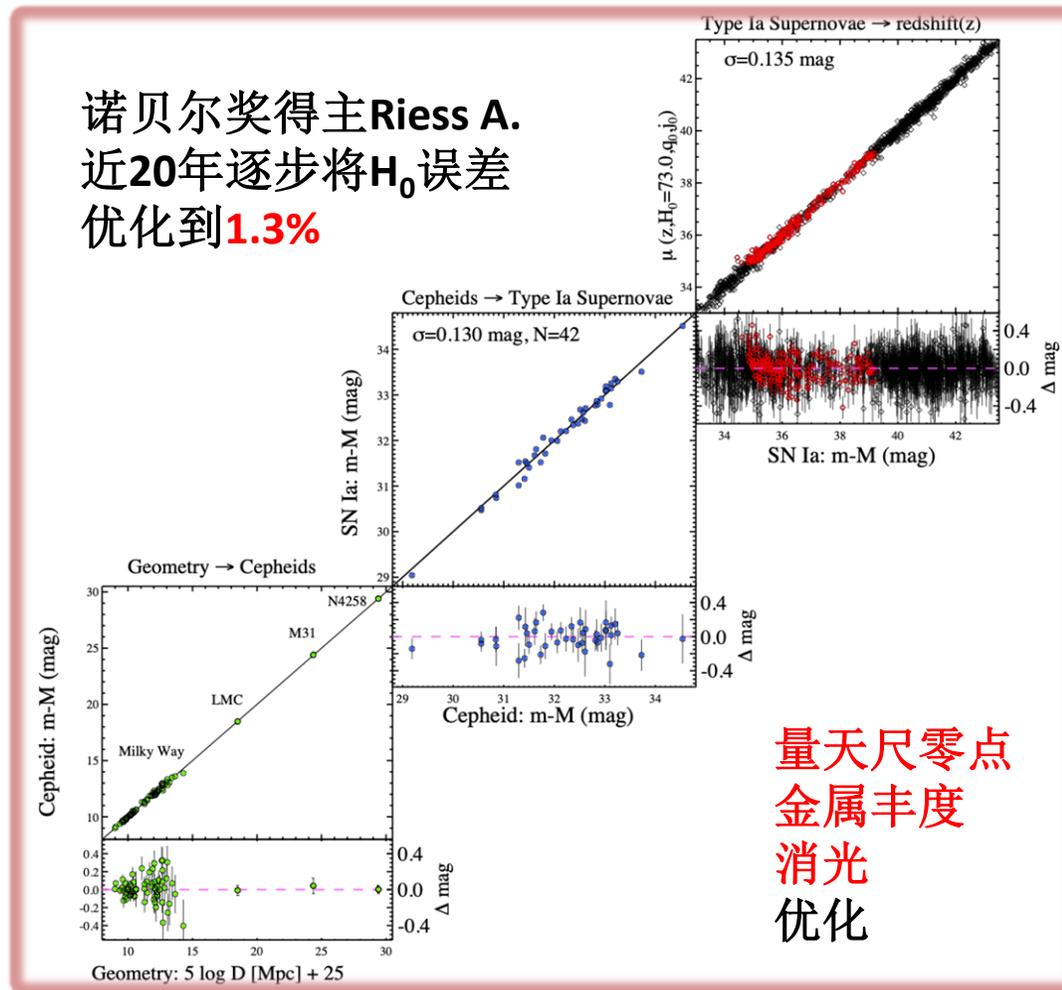
六、CSST时代展望

一、研究背景



2001年，哈勃重点
项目（10年）
 $H_0=71$ 误差~10%

Freedman W. et al. 2001



Riess A. et al. 2009, 2011, 2016, 2019, 2022

一、研究背景

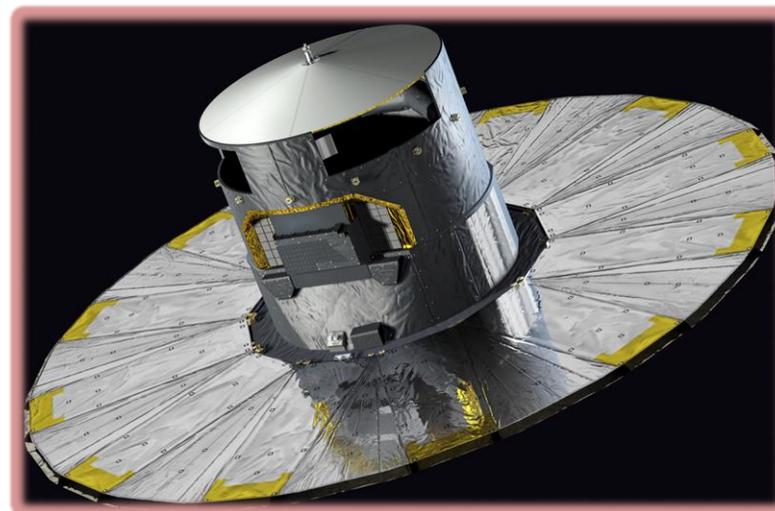
50 kpc



大麦哲伦云距离误差**1.1%**

Pietrzyński, G. et al. 2019

高精度天文距离

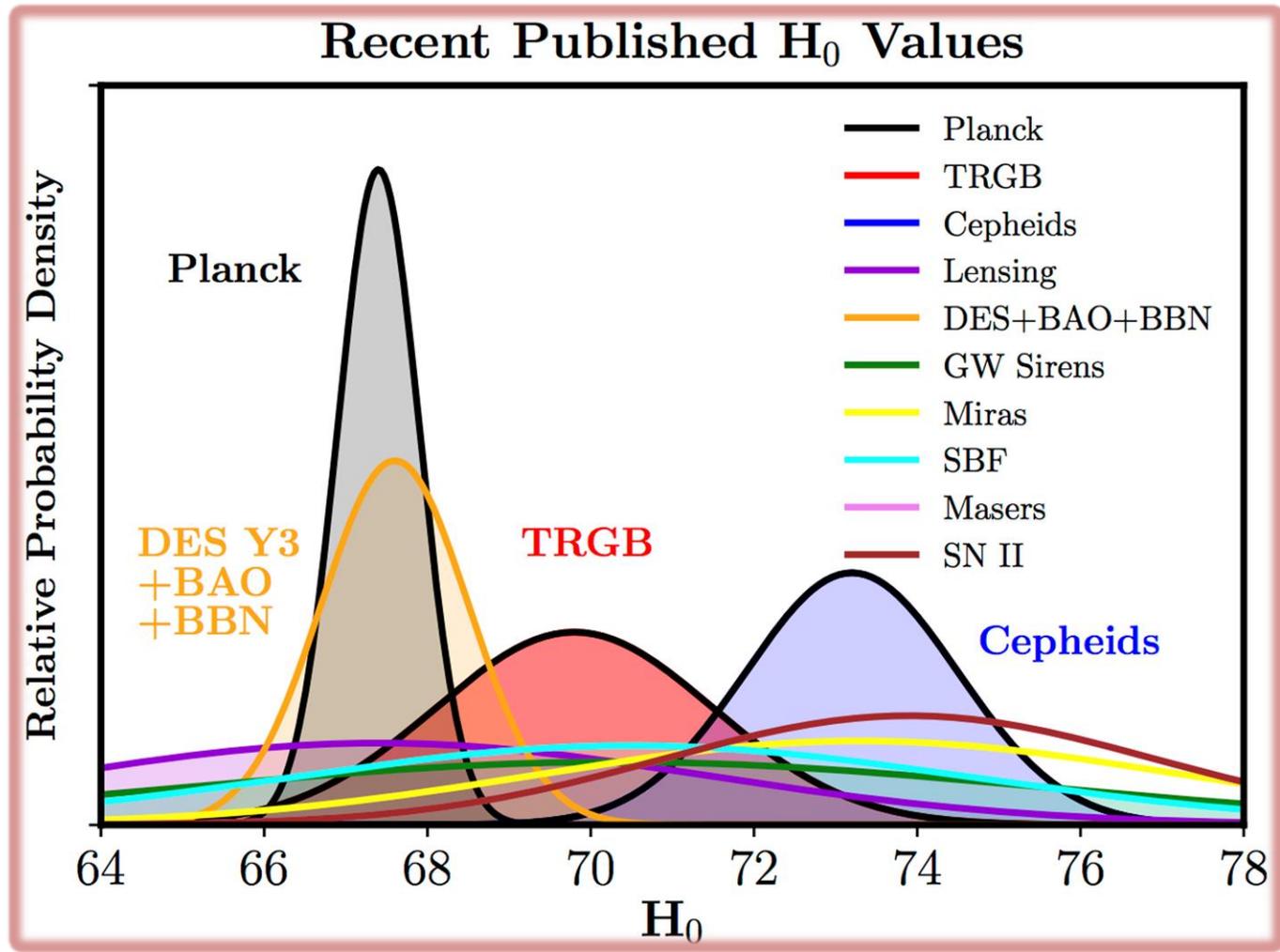


GAIA

1kpc内距离误差小于**1%**

Gaia Collaboration et al. 2022

一、研究背景



哈勃常数
危机?

一、研究背景

二、研究动机和计划

三、变星哈勃常数流程

四、多变星距离阶梯，多距离基石（突破1）

五、细致消光规律（突破2）

六、CSST时代展望

二、研究动机（近5年）

美国：哈勃太空望远镜逐渐退出舞台
韦伯太空望远镜耗时问题
下一代望远镜...

↑
竞争

中国：郭守敬望远镜获得千万光谱库
空间站巡天望远镜2023年底发射

硬件优势！！

Term	Description	This work		
		LMC	MW	4258
$\sigma_{\mu, \text{anchor}}$	Anchor distance	1.2	1.0 ^a	1.5 ^b
$\sigma_{PL, \text{anchor}}$	Mean of $P-L$ in anchor	0.4	...	1.0
$R\sigma_{\lambda, 1, 2}$	zeropoints, anchor-to-hosts	0.1	0.1 ^a	0.0
σ_Z	Cepheid metallicity, anchor-hosts	0.5	0.15	0.15
	subtotal per anchor	1.4	1.0	1.8
		}		
All Anchor subtotal	锚点距离		0.7	
σ_{PL}/\sqrt{n}	Mean of $P-L$ in SN Ia hosts		0.4	
σ_{SN}/\sqrt{n}	Mean of SN Ia calibrators (# SN)		SN Ia 光度 0.9 (42-46)	
σ_{m-z}	SN Ia $m-z$ relation		0.35	
σ_{PL}	$P-L$ slope, $\Delta \log P$, anchor-hosts		0.3	
	statistical error, σ_{H_0}		1.3	
	Analysis systematics ^c		0.3	
	Total uncertainty on σ_{H_0} [%]		1.35	

二、研究计划（近5年）

郭守敬望远镜

LAMOST



中国空间站巡天望远镜

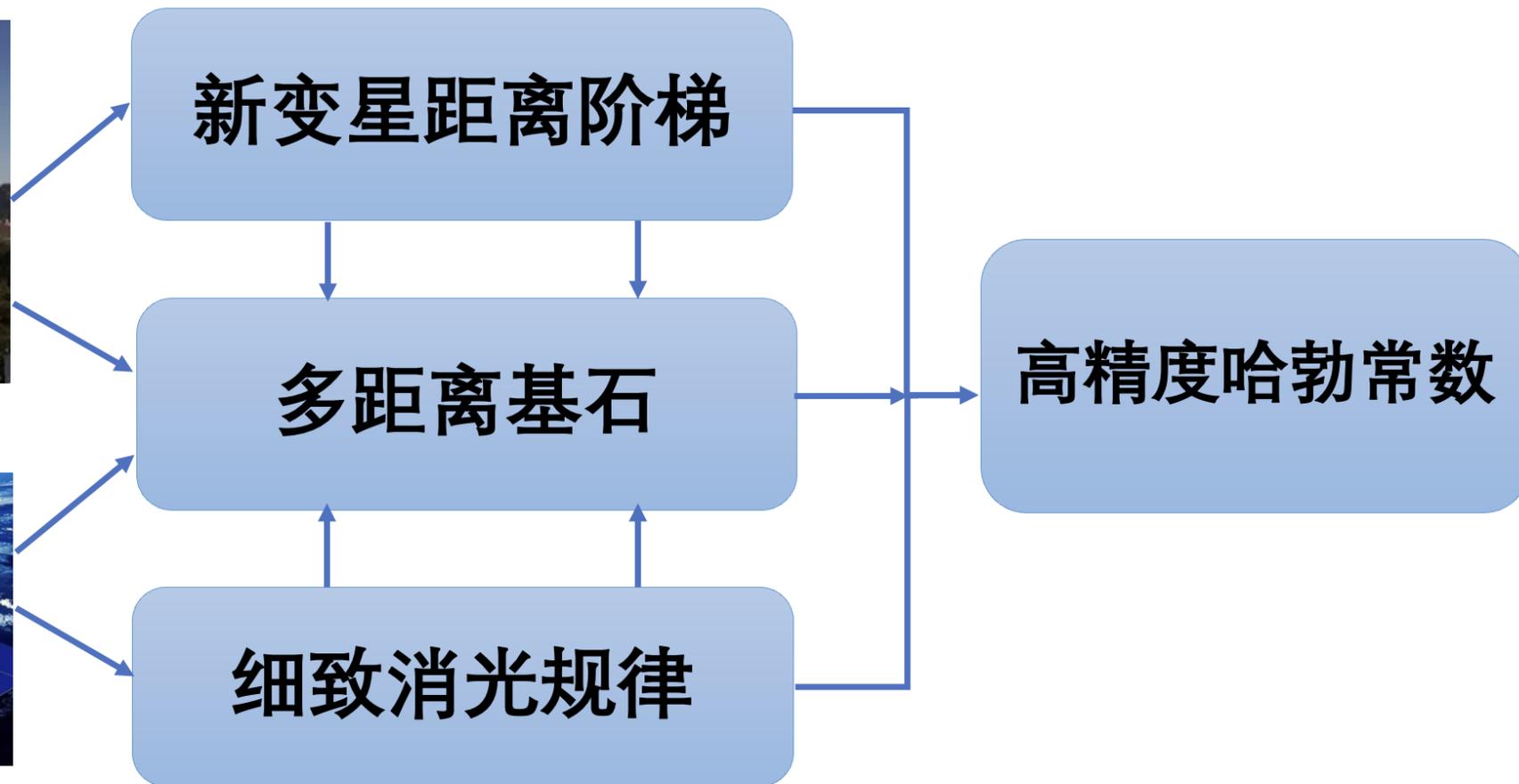
CSST

新变星距离阶梯

多距离基石

细致消光规律

高精度哈勃常数



一、研究背景

二、研究动机和计划

三、变星哈勃常数流程

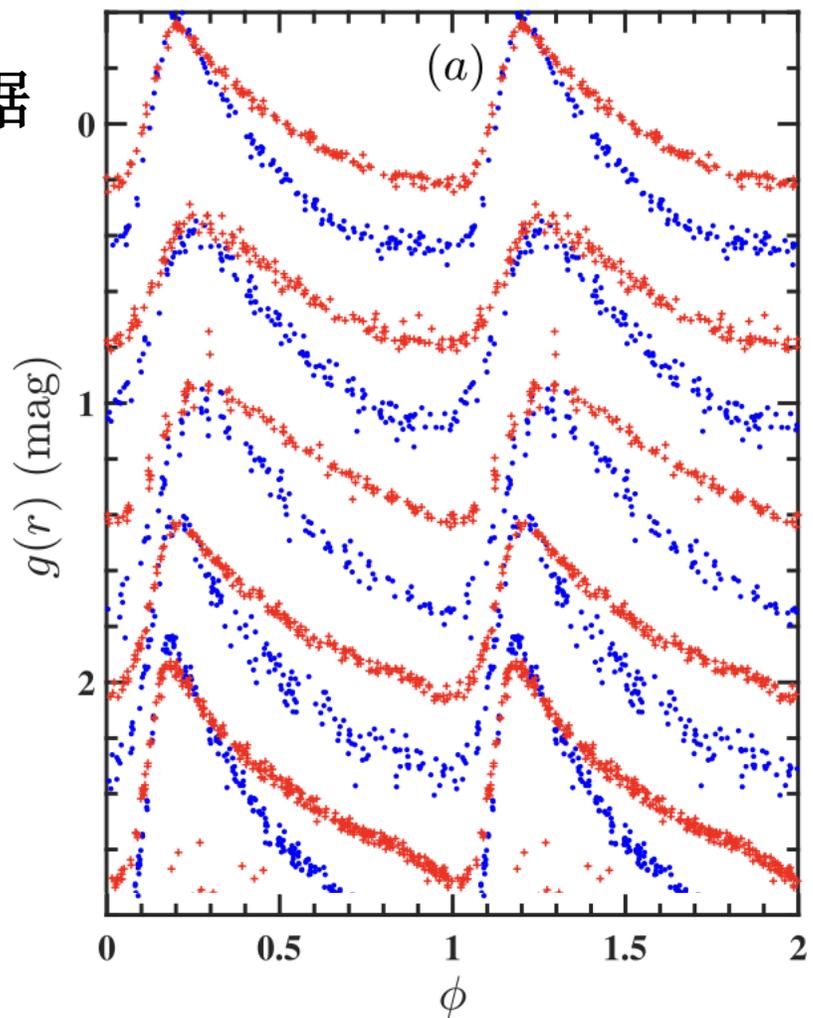
四、多变星距离阶梯，多距离基石（突破1）

五、细致消光规律（突破2）

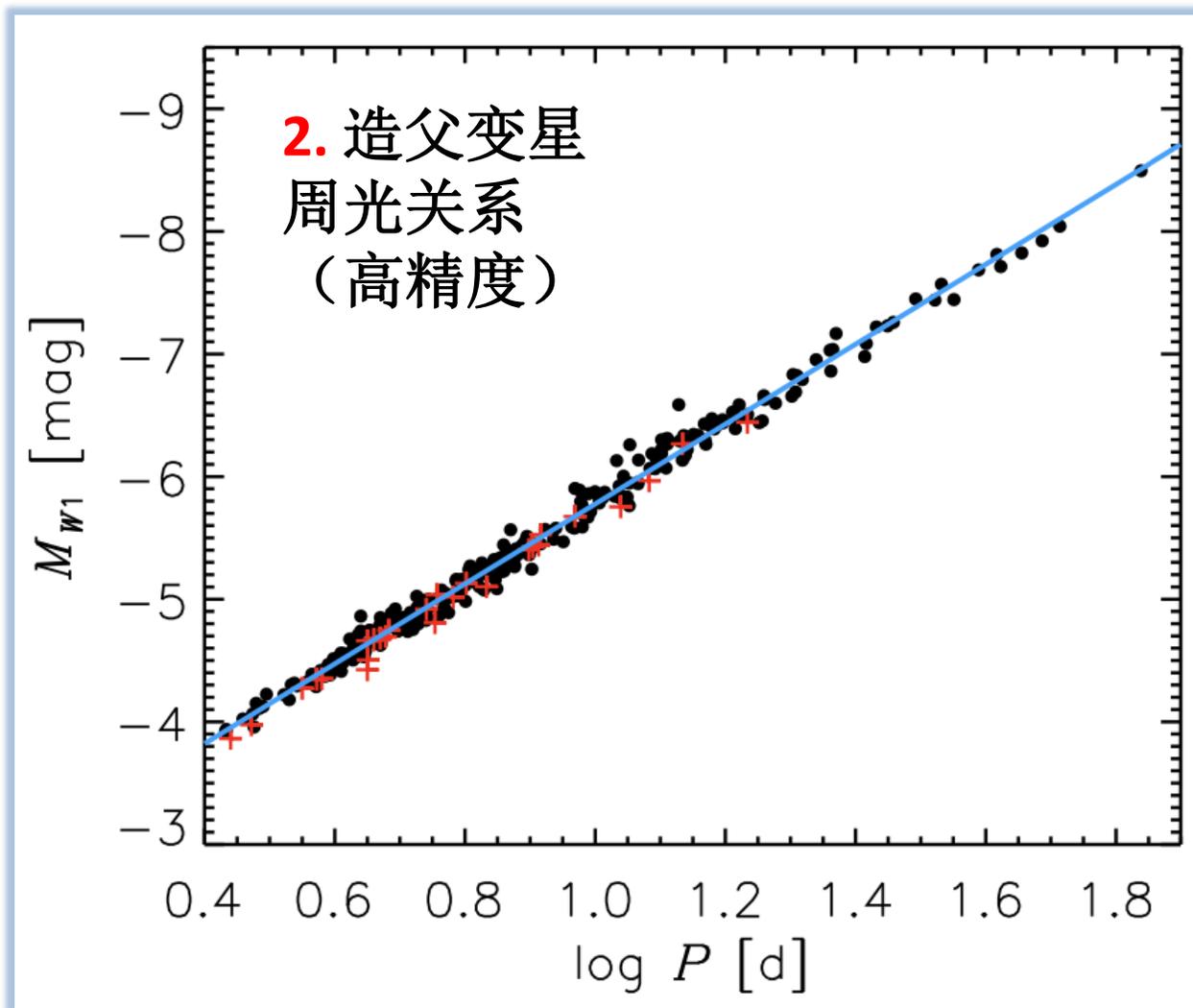
六、CSST时代展望

三、变星哈勃常数流程

1. 时域数据
搜寻
造父变星



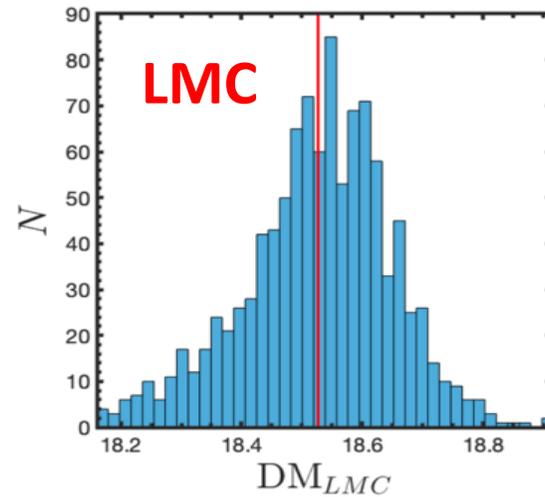
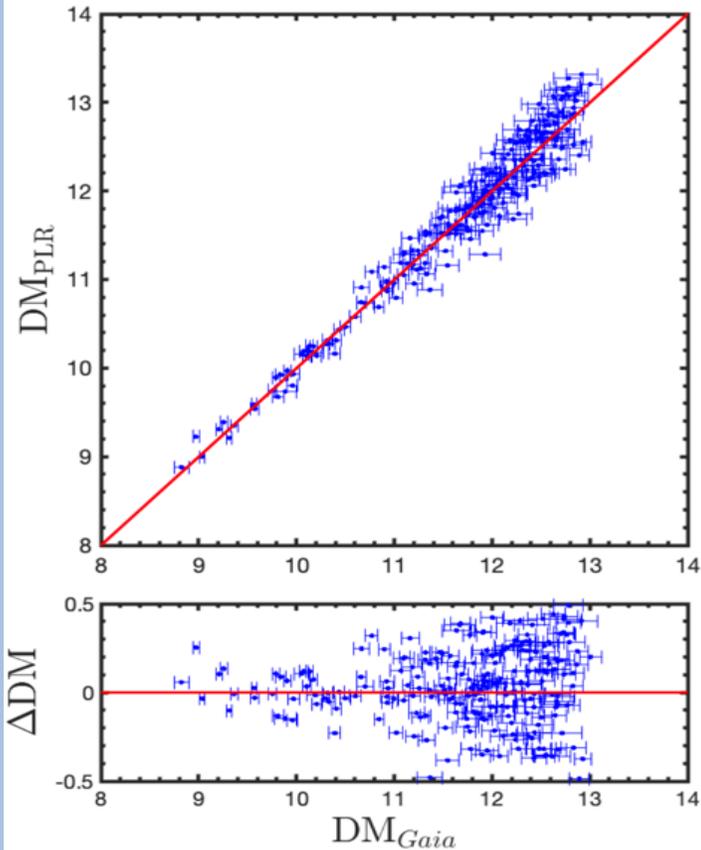
Chen et al. 2020



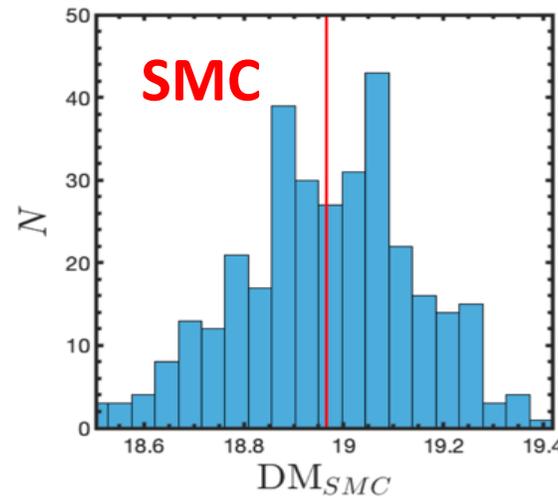
Wang et al. 2018

三、变星哈勃常数流程

3. 距离基石优化



18.534 ± 0.029
(1.3%)



18.973 ± 0.031
(1.4%)

4. 计算哈勃常数

$H_0 = 71.70 \pm 1.26$
km/s/Mpc (1.75%)

一、研究背景

二、研究动机和计划

三、变星哈勃常数流程

四、多变星距离阶梯，多距离基石（突破1）

五、细致消光规律（突破2）

六、CSST时代展望

四、新距离基石——双周期RR Lyrae

➤ 20星系/矮星系

<2%误差距离

➤ 检查/优化造父变星误差

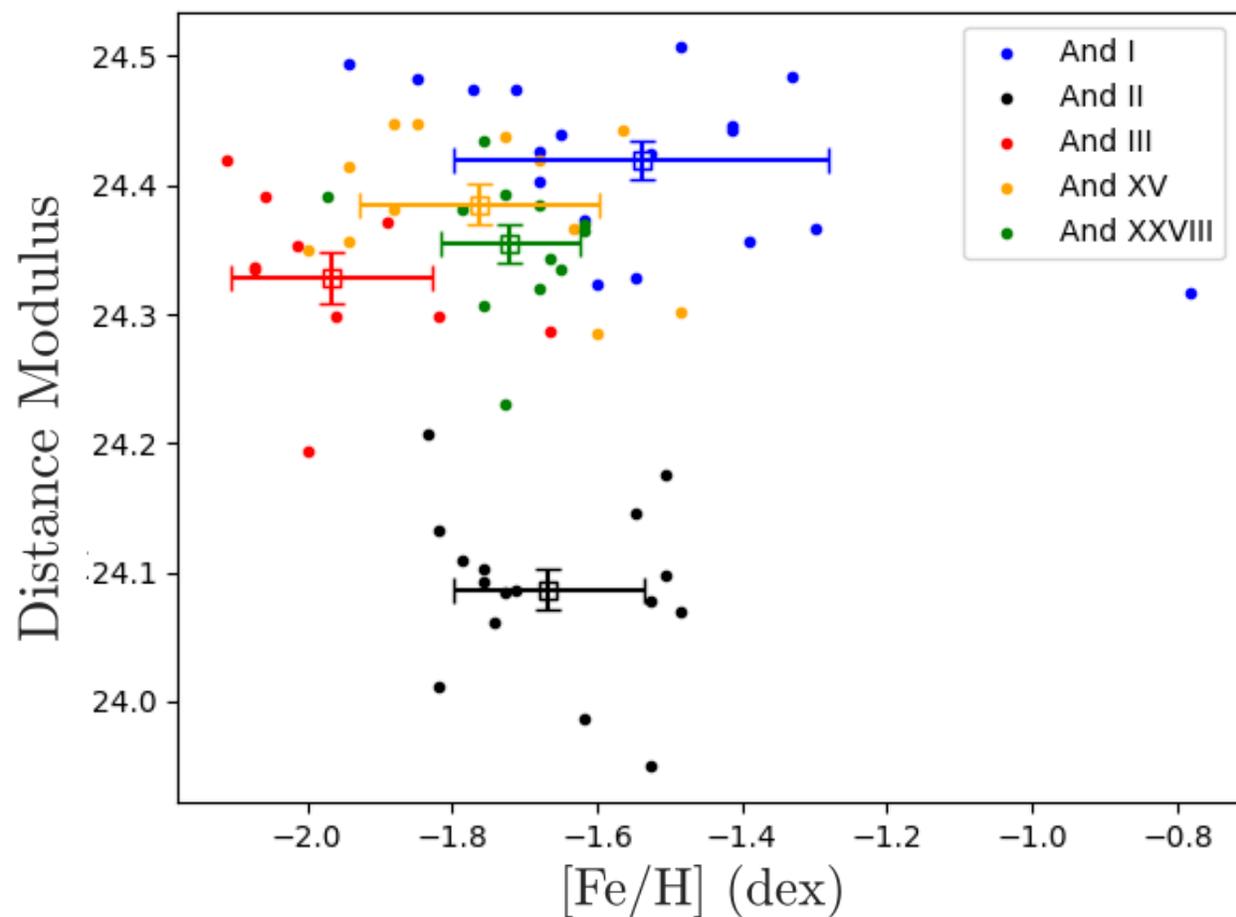
造父变星与双周期RR Lyrae
的SMC距离差**1.9% (3.5σ)**

独立距离基石

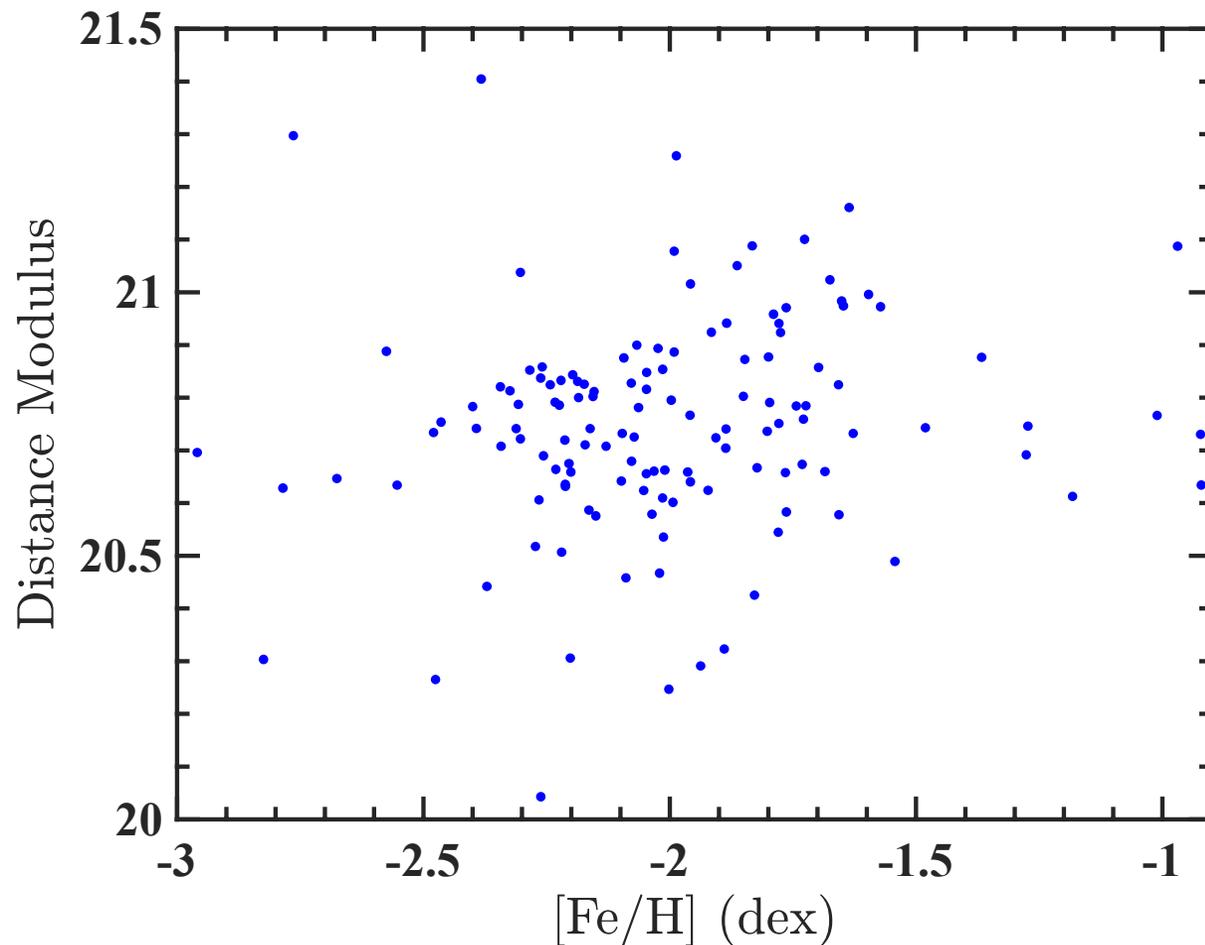
星系/矮星系	N_{RR}	N_{RRd}
Andromeda I	296	19
Andromeda II	251	16
Andromeda III	111	12
Andromeda XV	117	13
Andromeda XXVIII	85	15
Cetus	172	17
Draco	285	26
Tucana	358	60
Sculptor	530	32
Fornax	1986	130
Others (28)	2800	

四、新距离基石

M31矮星系，距离误差~1.2%



Fornax矮星系，距离误差1.2%



一、研究背景

二、研究动机和计划

三、变星哈勃常数流程

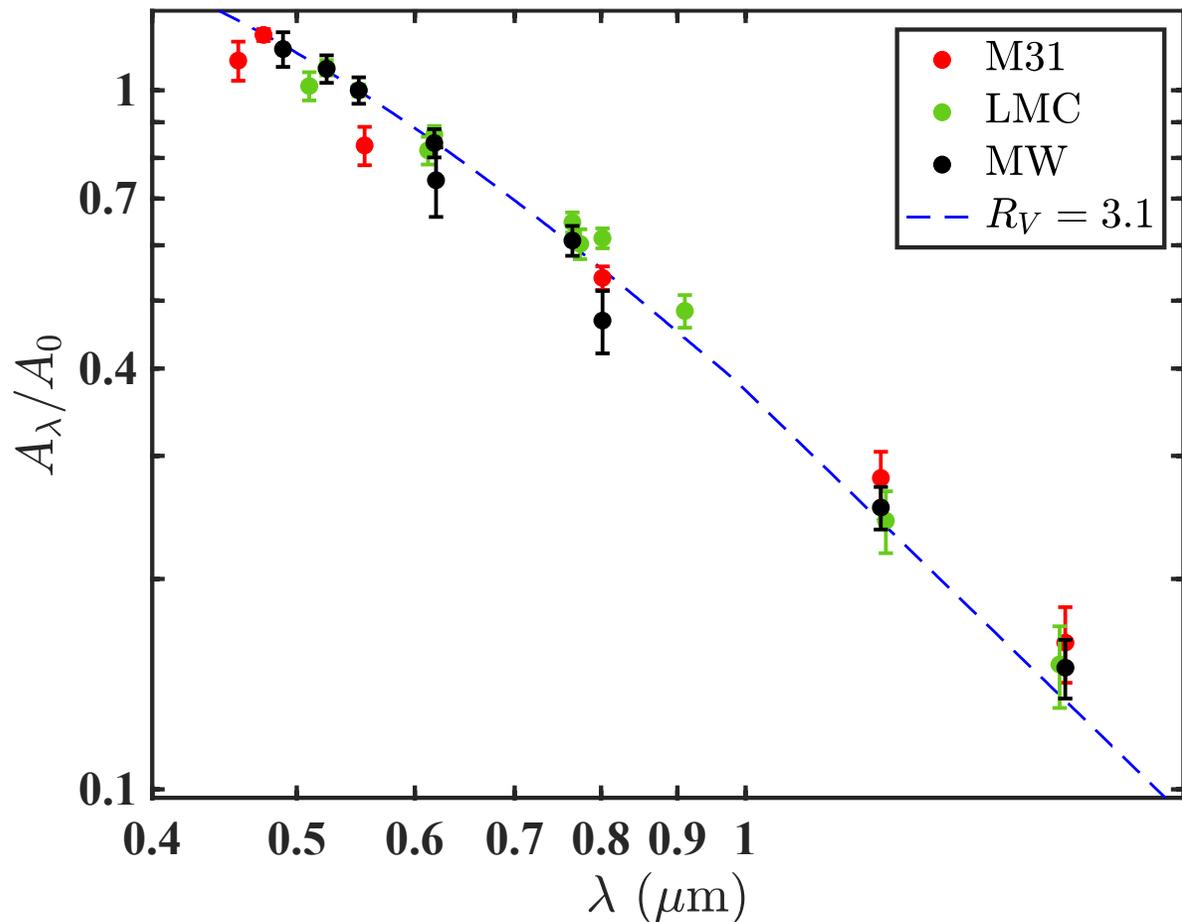
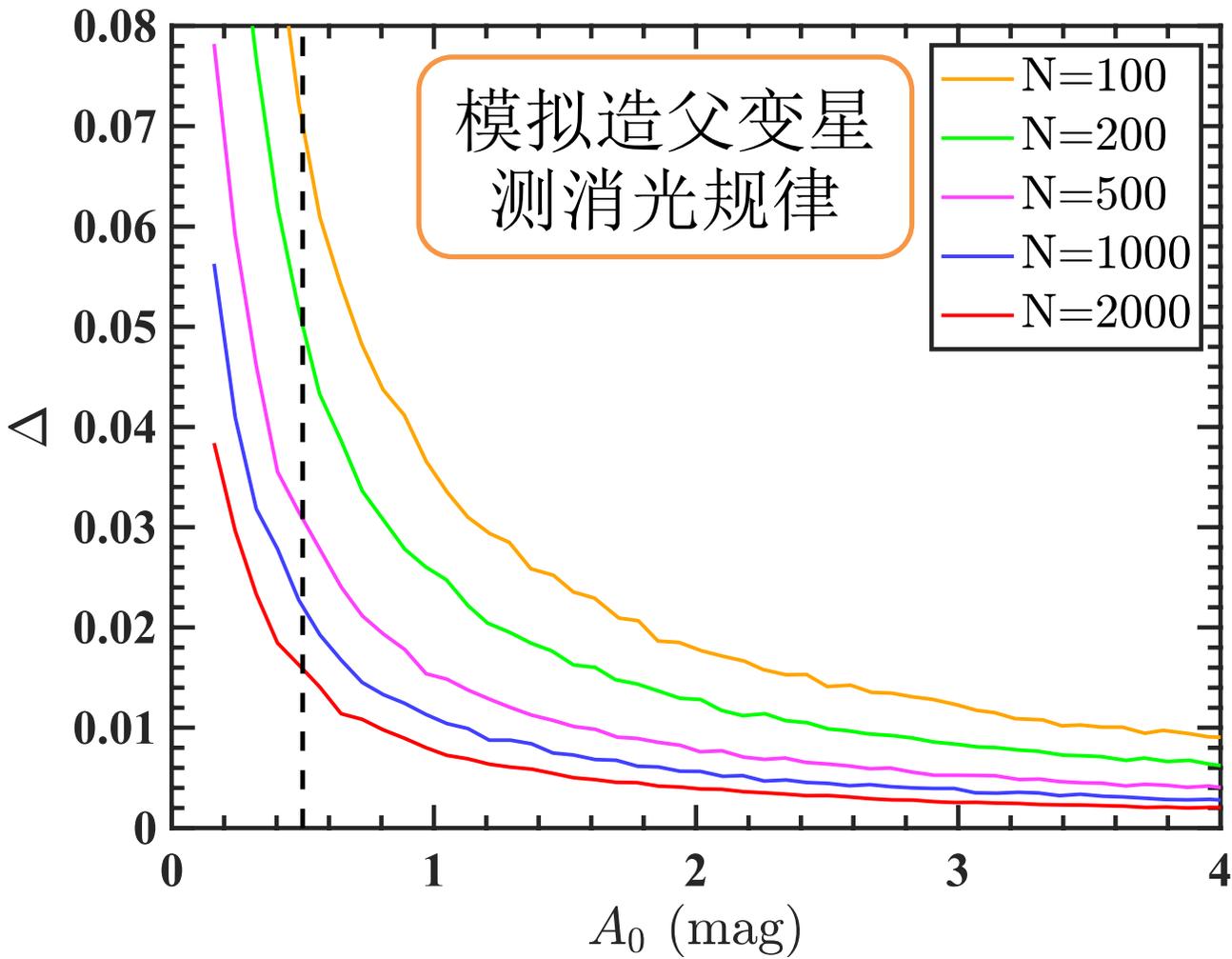
四、多变星距离阶梯，多距离基石（突破1）

五、细致消光规律（突破2）

六、CSST时代展望

五、细致消光规律——造父变星

➤ 单参量 R_V , $R_V = 2.5 \sim 3.3$



六、CSST时代展望

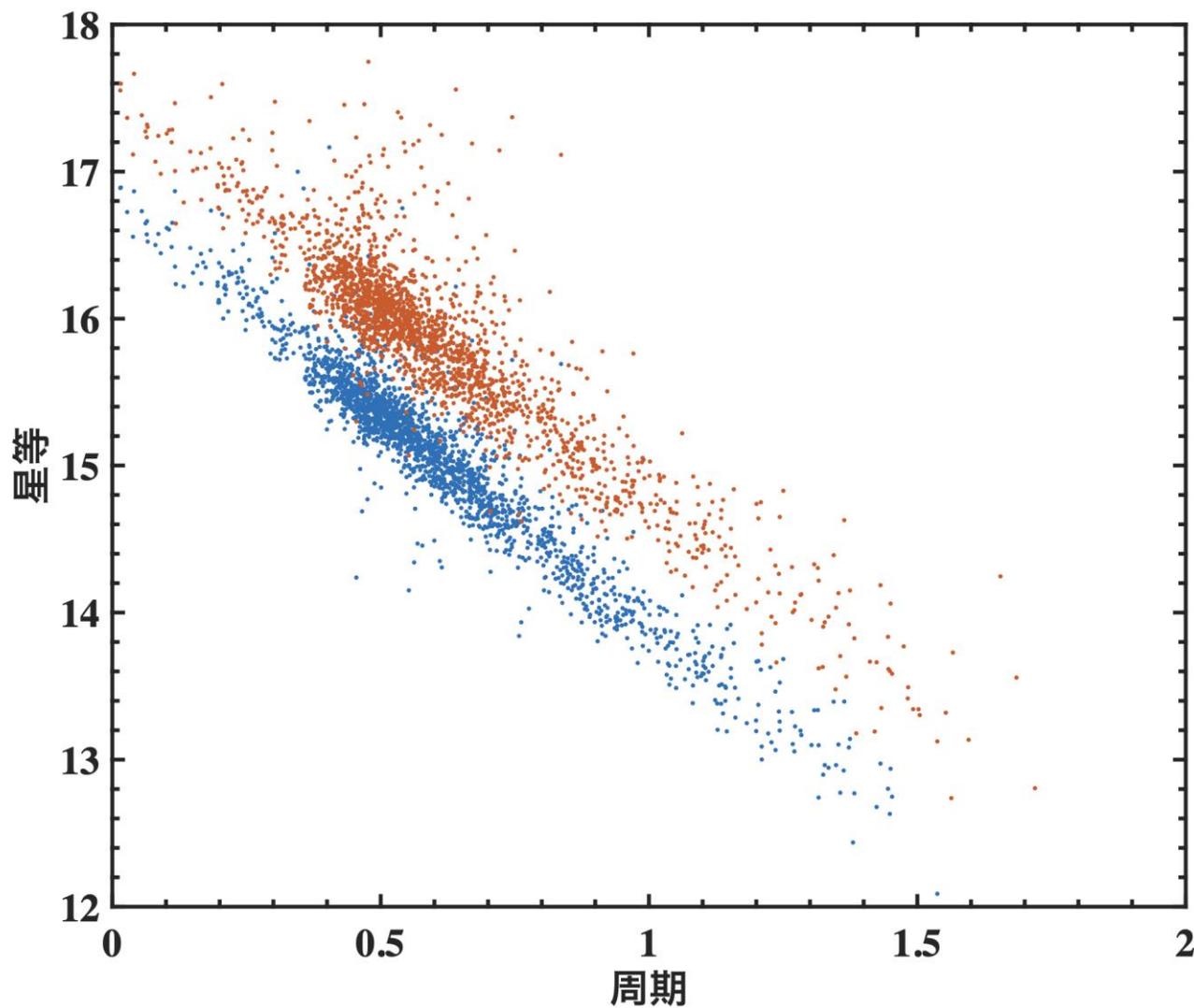
- ▶ **200个**星系超过**10万**颗造父变星，**40个**SN Ia星系
- ▶ **100个**星系/矮星系，超过**1万**颗双周期RR Lyrae
- ▶ 距离基石**7个**，距离误差**1%**
- ▶ **上百个**星系特有消光规律
- ▶ 误差**小于1%**哈勃常数（多距离阶梯相互较准）

感谢各位专家！



造父变星周光关系准确性

- 单颗造父变星距离误差
 - 3-5%
- 稳定的核燃烧，年龄差距小

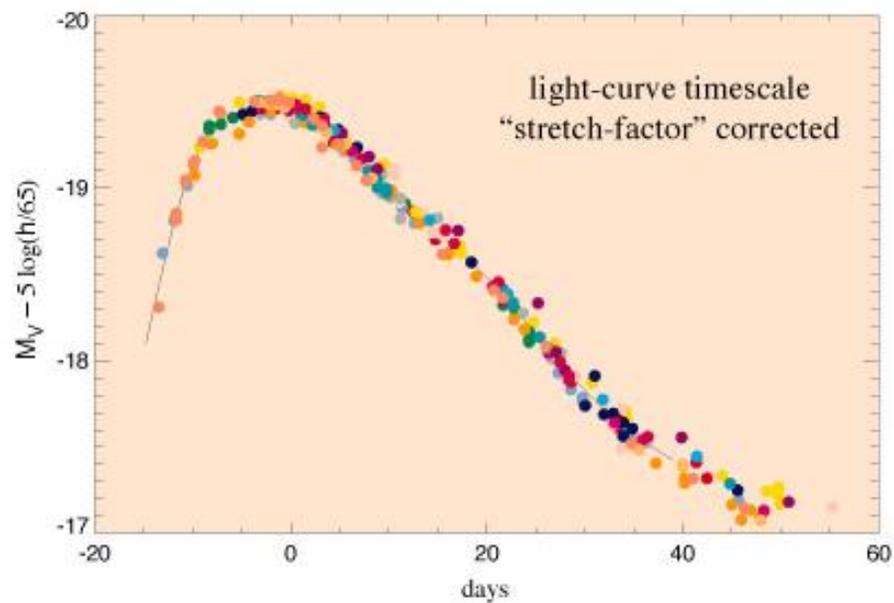
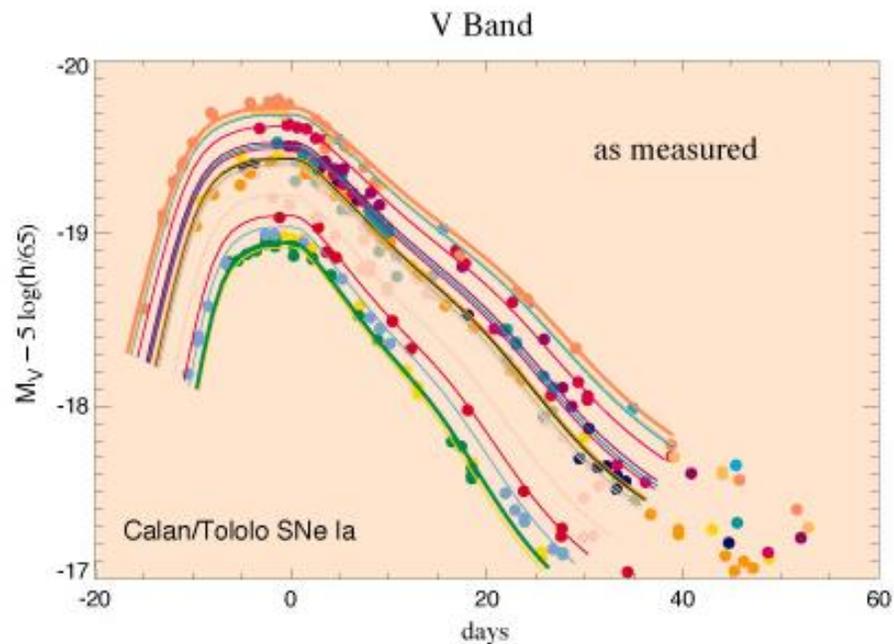


四种变星（标准烛光）的标准测量方法

- ▶ 造父变星已有标准测量距离的方法，如用到空间站望远镜需要重建，较容易完成。
 - 年龄和金属丰度测量有测量方法，需要标准化。
- ▶ 其他三类变星，测量距离方法已有，但离标准化需要突破一些难题，本项目将计划建立这个标准。
 - 年龄和金属丰度测量没有，从前期研究，我们认为本项目能建立某子类天琴座RR型星的金属丰度测量，能建立另外两种变星（相接食双星、盾牌座 δ 型星）的年龄测量方法。

Ia型超新星

- 白矮星吸积伴星质量，最终热爆燃
- V波段最亮绝对星等约为-19.4等
- 距离误差约为8%



搭建物理测距和几何测距之间的梯子

➤ 物理测距相比几何测距

- 缺点：假设稍多，系统误差不容易控制
- 优点：数目大，适用天体多，距离远几个量级，距离误差不随距离增加

➤ 如何搭建？

- 近处已知几何距离的某类距离示踪天体
- $m-M=5\log d-5+A$ 计算M
 - > 判断M不变或者与周期等其他量有很好（线性）相关关系
- 将M用于更远的同类天体，从而计算距离

恒星哈勃常数误差项

Term	Description	This work		
		LMC	MW	4258
$\sigma_{\mu, \text{anchor}}$	Anchor distance	1.2	1.0 ^a	1.5 ^b
$\sigma_{\text{PL}, \text{anchor}}$	Mean of $P-L$ in anchor	0.4	...	1.0
$R\sigma_{\lambda, 1, 2}$	zeropoints, anchor-to-hosts	0.1	0.1 ^a	0.0
σ_Z	Cepheid metallicity, anchor-hosts	0.5	0.15	0.15
	subtotal per anchor	1.4	1.0	1.8
All Anchor subtotal		0.7		
$\sigma_{\text{PL}}/\sqrt{n}$	Mean of $P-L$ in SN Ia hosts	0.4		
$\sigma_{\text{SN}}/\sqrt{n}$	Mean of SN Ia calibrators (# SN)	0.9 (42-46)		
σ_{m-z}	SN Ia $m-z$ relation	0.35		
σ_{PL}	$P-L$ slope, $\Delta \log P$, anchor-hosts	0.3		
statistical error, σ_{H_0}		1.3		
Analysis systematics ^c		0.3		
Total uncertainty on σ_{H_0} [%]		1.35		

- 1. 零点假设大麦哲伦云，Gaia 视差，NGC 4258 距离是完全独立的。人为偏好？（**多距离基石**）
- 2. 金属丰度和零点处理是假设独立，线性。未考虑交叉项，不同质量（4-20 太阳质量）受环境影响可能不同。（**光谱+变星大数据分析**）
- 3. 消光处理是假设单参量消光规律，参量范围较小。（**不同星系单独消光规律**）

统计误差和系统偏差

- 直尺测量长度
- 使用直尺，不同人不同次测量都会出现结果偏离，为**统计误差**，随测量次数 \sqrt{n} 减小
- 直尺制造中不够准确，每次测量会带有**系统偏差**
- 系统偏差的消除
 - 用软尺，塑料尺，钢尺分别去测，系统差为 $\frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2} + \frac{1}{\sigma_3^2}}}$ ，（大麦哲伦云距离+NGC4258距离+Gaia视差）

距离误差<1%!!!

光变与光变曲线

