

CSST科学运行需求 与观测策略研究

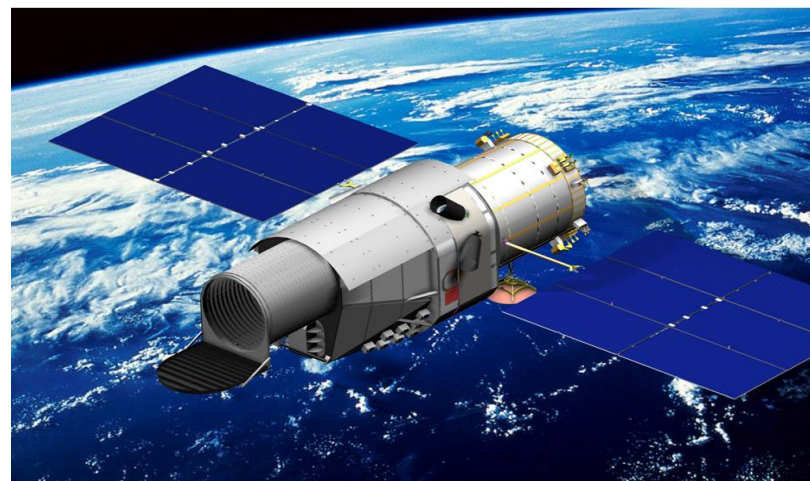
许优华 邵立 林镇辉 林琳 袁方婷 赵刚

CSST科学工作联合中心

2021-10-29

报告内容

- 概述
 - 科学需求
 - 运行编排
- 进展
 - 主巡天
 - 9平方度甚深场
 - 弱引力透镜、BAO、RSD
 - 核球区微引力透镜观测
 - 银河系、近邻星系
 - 太赫兹 (THz)
 - 积分视场光谱仪 (IFS)
 - 多通道成像仪 (MCI)
 - 系外行星成像星冕仪 (CPIC)
- 总结

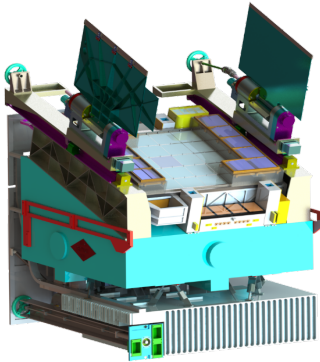


概述： 研究内容

- 科学运行需求分析
- 观测运行建模
- 科学效益评估
- 开展联合编排仿真与观测策略的优化

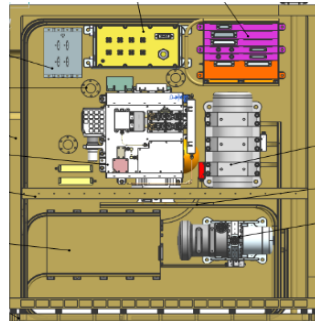
子课题		负责人
1	巡天模块	邵立（国台）
2	太赫兹模块（THz）	林镇辉（紫台）
3	多通道成像仪（MCI）	袁方婷（上海台）
4	积分视场光谱仪（IFS）	林琳（上海台）
5	星冕仪（CPIC）	赵刚（天光所）
6	联合运行编排仿真	许优华（国台）

概述：运行载荷



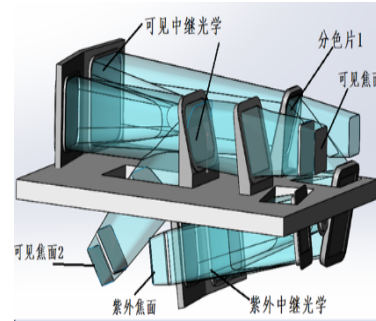
Survey Camera

- Cosmology
- AGNs
- Galaxies
- Milky Way
- Stellar science
- Solar system
- Astrometry



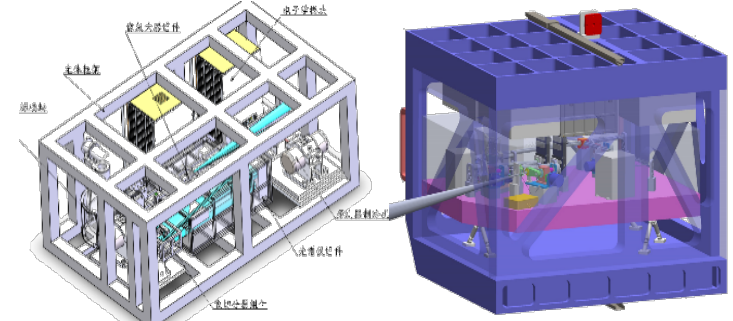
Terahertz Receiver (THz)

- 410~510GHz spectral line survey
- Carbon cycle (CI, 492GHz)



Multi-Channel Imager (MCI)

- SN Ia Cosmology & Highest-z SN
- Completeness of Galaxies used for WL, Clustering
- Galaxy & BH Co-Evolution



Integral Field Spectrograph (IFS)

- Super-massive black holes and its surroundings
- Star-formation of galaxies

Cool-Planet Imaging Coronagraph (CPIC)

- Mature planets around solar-type stars
- RV follow up & planet formation & evolution
- Physics of circumstellar disk

概述：观测需求

□ 宇宙学

- **弱引力透镜（范祖辉）**：第一年完成1000平方度所有颜色齐备并达到指标深度的测光巡天，1000平方度可以分为5个连续的200平方度天区
- **BAO，红移畸变**：早期完成1000平方度连续无缝光谱巡天，可以分为5个200平方度的天区，早期和既有光谱巡天BOSS，EBOSS，PFS，DESI有部分重合，两次观测的色散方向尽量不同
- **强引力透镜**：第一年完成100平方度到27等的深场巡天（所有波段颜色齐备，不需要连续），能够拍摄50个左右的强引力透镜星系团（列表由陕欢源，李楠提供），对10个左右最高信噪比的星系级别透镜进行总曝光时间10000s左右的深度曝光（MCI，列表由曹潇月提供），MCI超级深场对3个星系团测光曝光到30等（各波段，列表由陕欢源提供）

□ 星系和活动星系核

- **深场**：保障尽早完成400平方度测光+400平方度无缝光谱观测
- **甚深场**：建议增加一个到28等的10度测光+10度无缝光谱的甚深场巡天（江林华）

备注：主巡天科学需求的梳理结果由李然、邵立等整理提供，其中部分内容涉及MCI模块。

概述：观测需求

□ 恒星科学，银河系和近邻星系

- 核球：观测若干个有Gaia数据覆盖的银心窗口（刘超提供列表）
- 银盘：尽可能多的覆盖 $|b| < 30^\circ$ 区域
- M31和近邻星系列表：
 - 覆盖M31区域，包括所有的超高速气体云（列表由郑征提供）
 - 覆盖M33和M31-M33链接部分（李广伟，赵景昆）
 - LMC, SMC和连接部分（李广伟，赵景昆）
 - 部分近邻星系列表（范舟，蔡肇伟）
 - 近邻矮星系列表（朱琳）
- 定标需求（陈玉琴，罗阿里等）：覆盖APOGEE定标天区，JPlus-SPlus定标天区，PSF天区
- 银河系星团：球状星团（李程远），疏散星团（田浩）
- 河外可分辨星团：李程远提供列表，主要由MCI观测
- 超高速星：若干超高速星多次观测（李蛟）

概述：观测需求

□ 致密星

- 对若干天区重复观测，获得时序测光信息。多波段观测尽可能同时（MCI）。

□ 天测要求

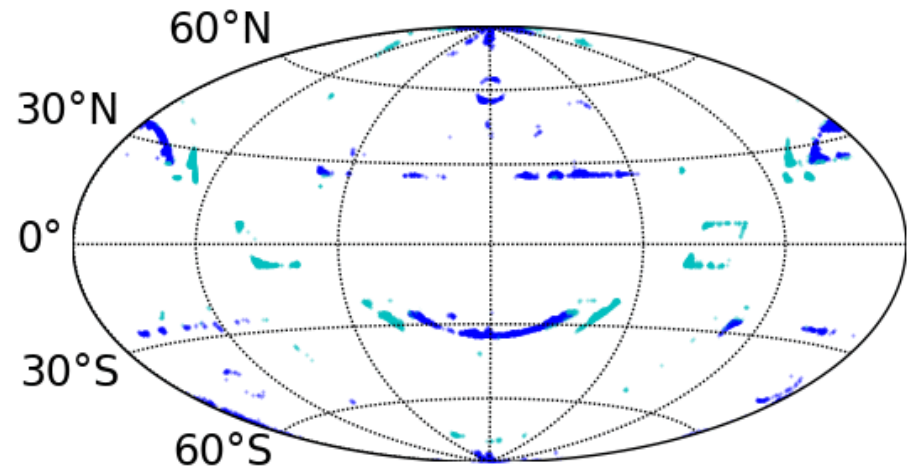
- 定标天区

□ 系外行星

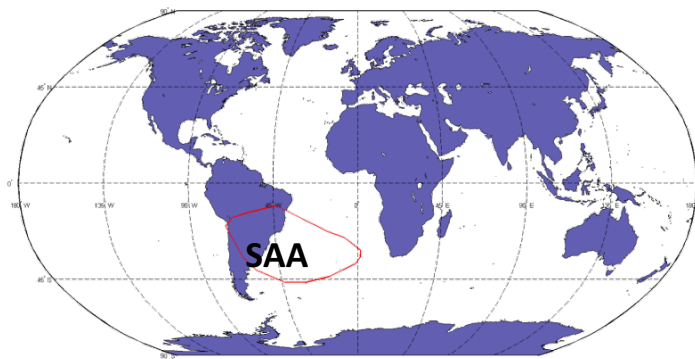
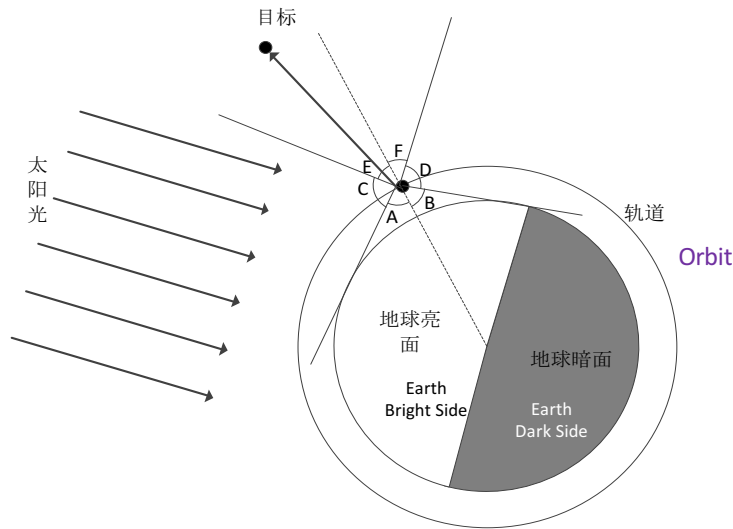
- 核球区域：多色成像模块，主要进行griyz宽波段的时序（相对）测光巡天，固定天区凝视（gazing） ~ 3.6 平方度采取来回扫描的模式，单次曝光 ~ 60 秒，每四次曝光组成一个cycle，两次曝光之间探测器的位置移动 0.2 度，每20分钟观测3个cycle；在每个轨道的核球窗口中（大多为20-40分钟左右）持续观测，连续观测约三个月。（注，要求的指向稳定度可能达不到， $1/7$ pixel）。
- 采取Gazing模式，轨道、指向等客观条件允许的情况下，尽可能保证观测的连续性。观测时间安排在巡天的前三年。在巡天开始阶段进行多波段观测，获得覆盖整个天区的颜色星等图、并为测量自行准备最初历元；另外建议利用核球天区较为密集星场，在各波段进行多次dither观测，生成在CCD位置上的PSF模型。

概述：运行编排

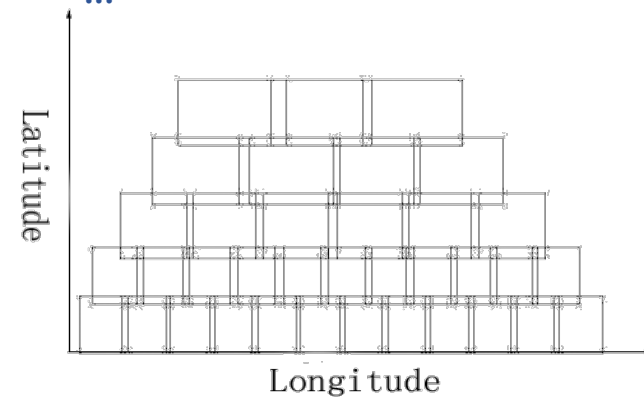
- ✓ 硬件约束
- ✓ 观测条件
- ✓ 目标选择
- ✓ 观测策略



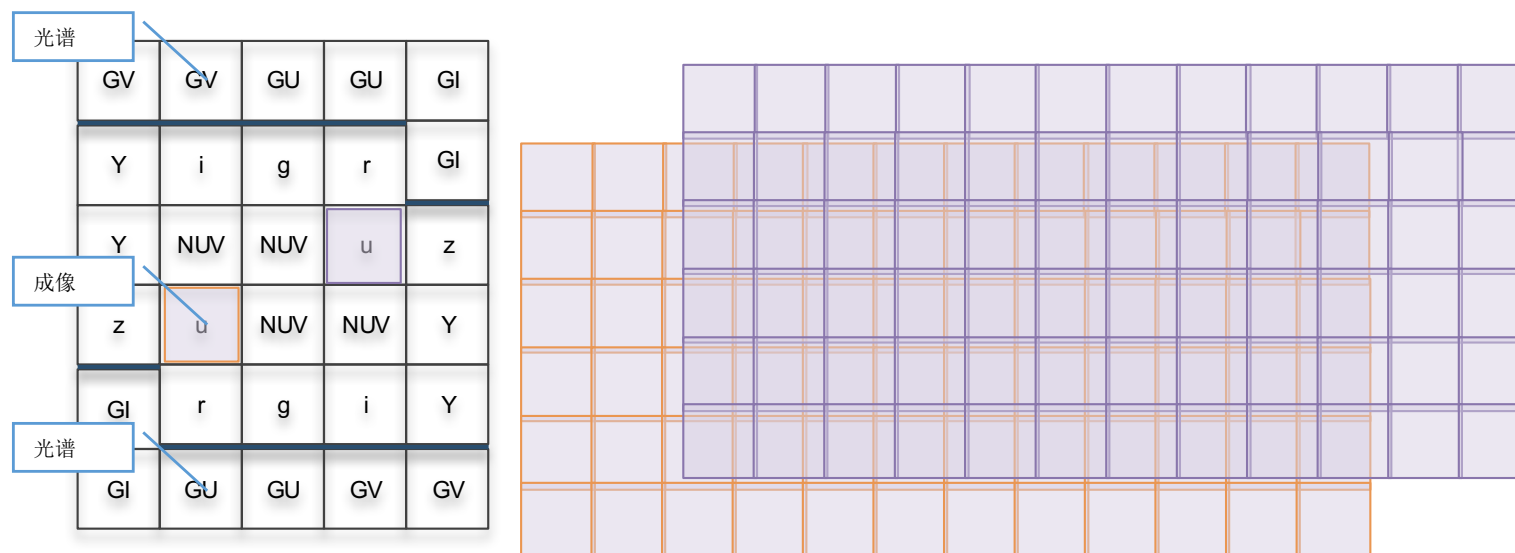
概述：运行编排约束条件



- 太阳规避角 $\geq 50^\circ$
- 月球规避角 $\geq 40^\circ$
- 地球规避角 $\geq 70^\circ/30^\circ$
- 视场拼接
- 能源平衡、CMG散热
- 望远镜机动与稳定时间
- SAA区域待机
- 定期补给、维护、轨控
- 切换中继卫星
- ...



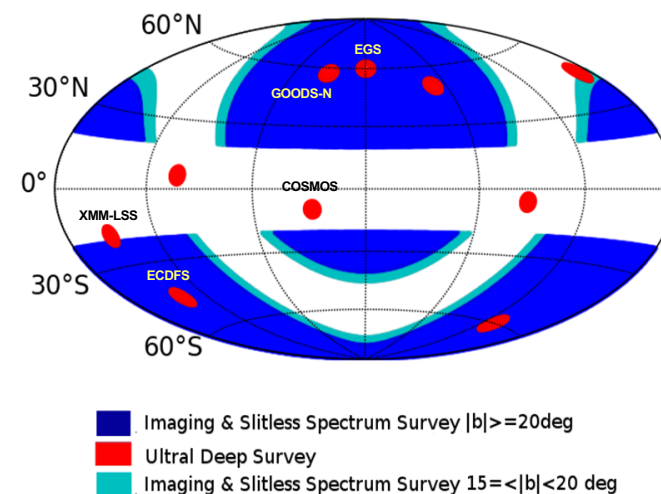
概述：主巡天天区覆盖示意图



- 视场拼接需要有重叠部分，暂定10"
- 同一波段的2个探测器分别覆盖待测天区一次，相当于同一天区拍摄两次
- NUV/GU/GV/GI波段布置4个探测器，相当于拍摄次数 $\times 4$

主巡天观测需求

- 17500Å° : 255-1000nm, ≥ 6 filters, $\text{avg} \geq 25.5^m$ (5σ , point source, AB mag)
- 17500Å° slitless spect: 255-1000nm, 3 bands, $R \geq 200$, $\text{avg} \geq 22 - 23^m$
- 400Å° deep imaging & spect: at least 1^m deeper than above
- Exposures: 2x150s for 17500Å° , 8x250s for 400Å°
- Low sky background / Zodiacal light
- # of exposure $\sim 700,000$



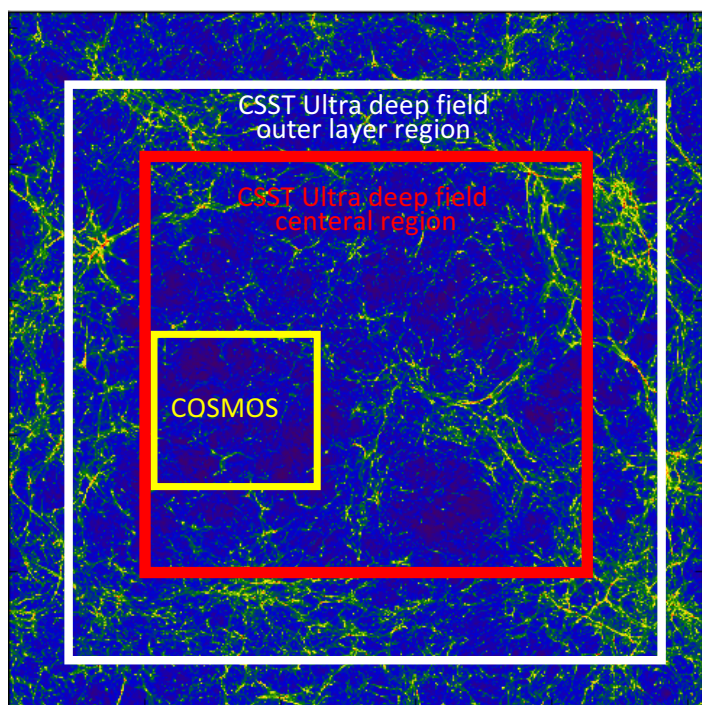
Ecliptic Coord.
Deep fields will be finalized later

观测时间初步分配		
Survey Camera	THz / MCI / IFS / CPIC	Others
70%	$\geq 20\%$	$\leq 10\%$

主巡天编排进展

- 9平方度甚深场（江林华）
- 弱引力透镜（WL）、BAO、RSD（范祖辉）
- 核球区微引力透镜观测（东苏勃）
- 银河系、近邻星系（刘超）

主巡天编排仿真：9平方度甚深场



(from 江林华)

□ 科学驱动：

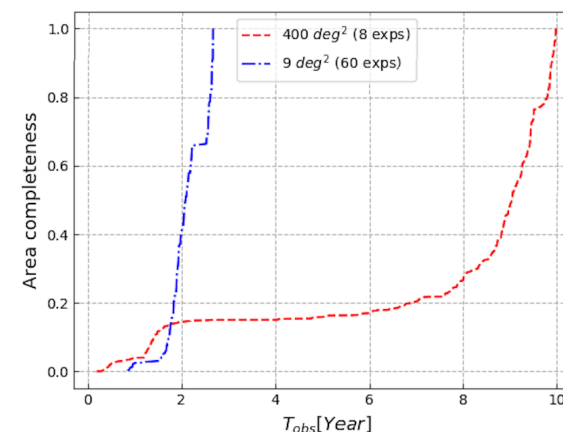
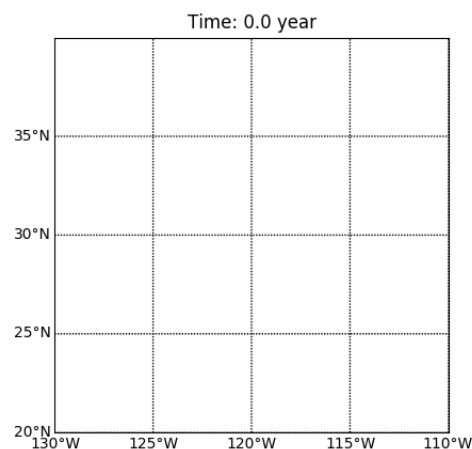
- ✓ 中高红移星系和AGN的大量科学
- ✓ 时域天文：SNe, TDEs, AGN Reverberation mapping
- ✓ 宇宙学、暗物质、暗能量

□ 天区选择：

- 放在某一深场中间：3x3共9.5平方度左右；周围伴随着一个10平方度的较浅的天区（平均浅0.5 mag）

□ 代价：

- 60次250s曝光，2.5年内完成，需要时间为55天（包括机动时间），对主巡天影响有限



主巡天编排仿真：9平方度甚深场

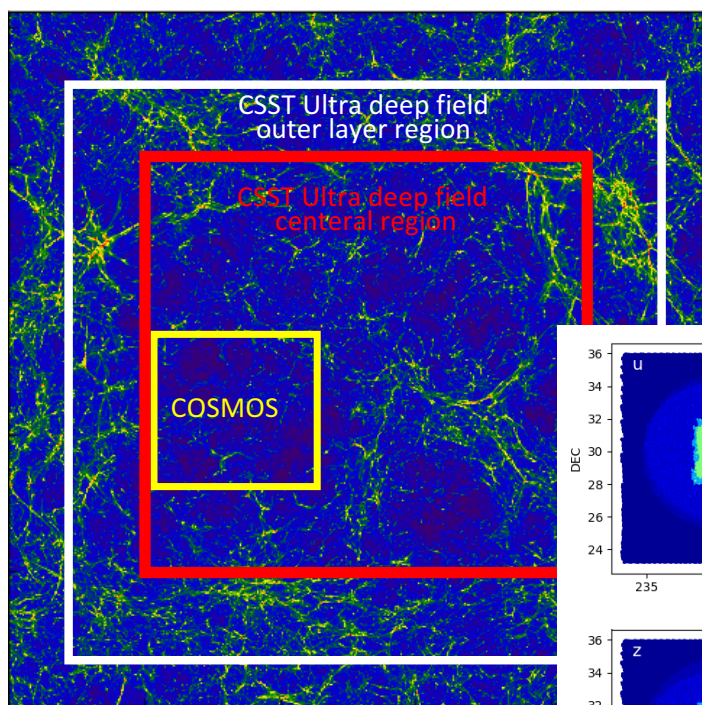
□ 科学驱动：

- ✓ 中高红移星系和AGN的大量科学
- ✓ 时域天文：SNe, TDEs, AGN Reverberation mapping
- ✓ 宇宙学、暗物质、暗能量

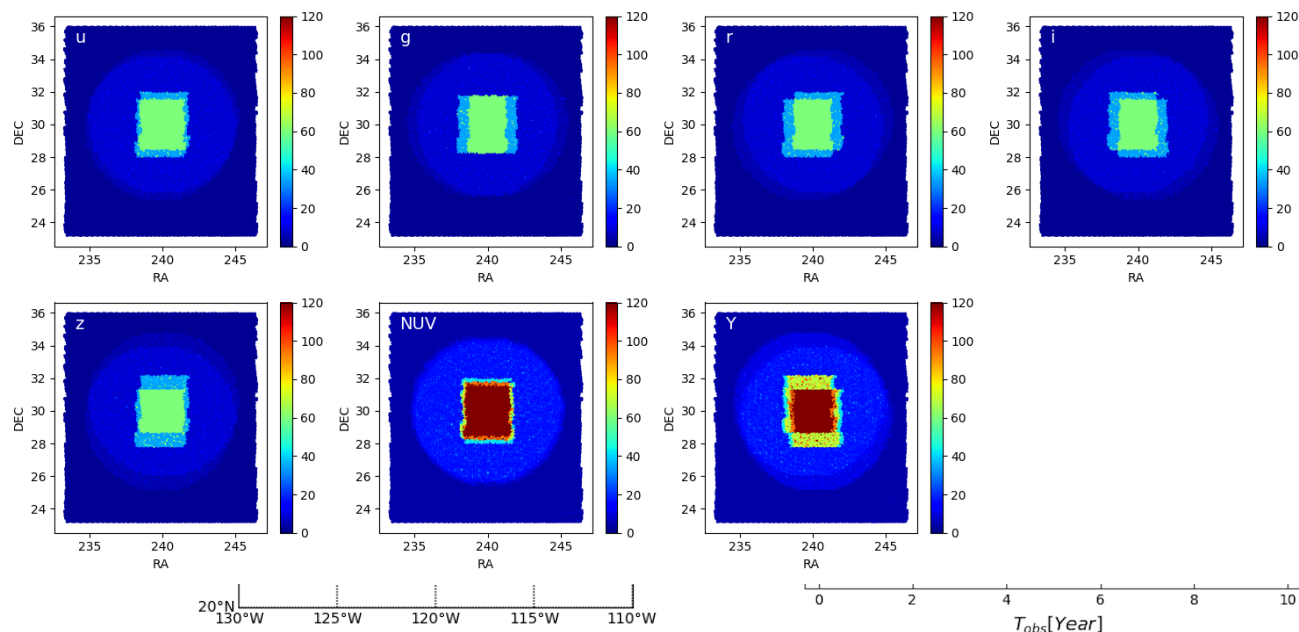
□ 天区选择：

- 放在某一深场中间：3x3共9.5平方度左右；周围伴随着一个10平方度的较浅的天区（平均浅0.5 mag）

□ 代价：



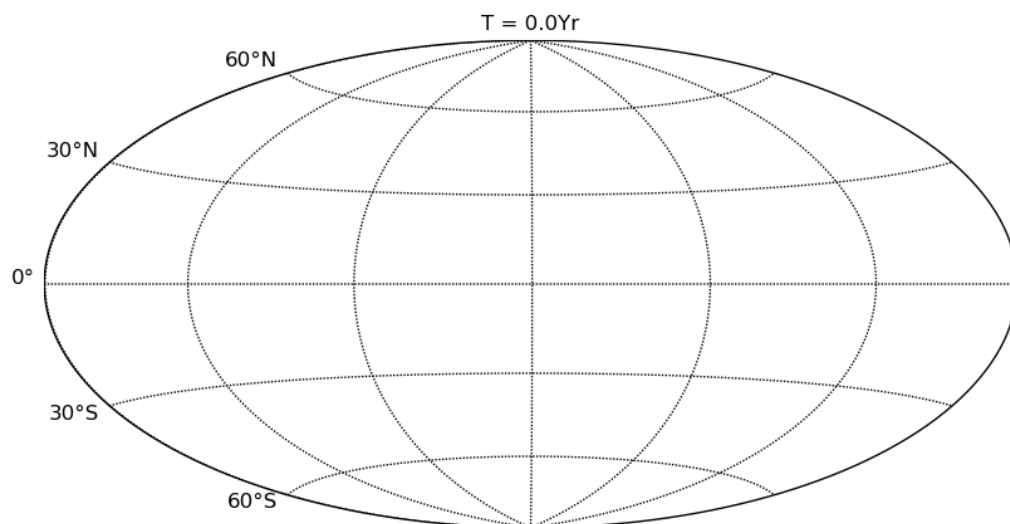
(from 江林华)



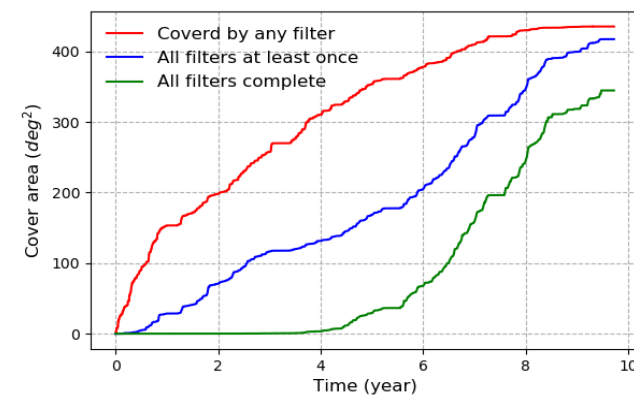
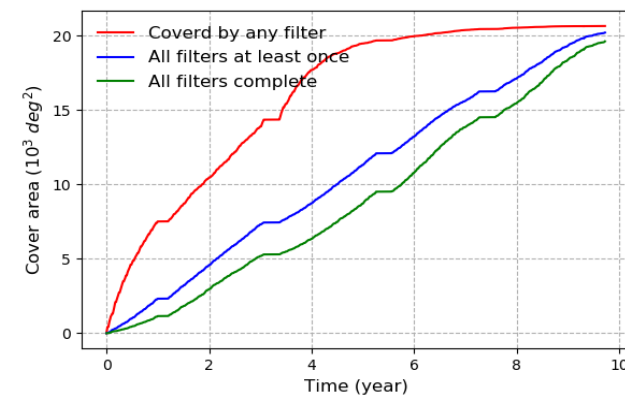
主巡天编排仿真：WL、BAO、RSD

□ 科学驱动：精确限制暗能量演化模型和其他重要宇宙学参数

□ 需尽早完成1000 (5x200) 平方度观测



早期2.5年编排结果

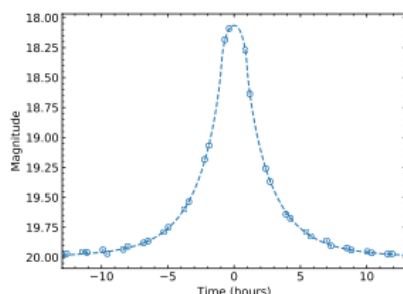


The input deep survey area is slightly reduced by hand; priority is also decreased

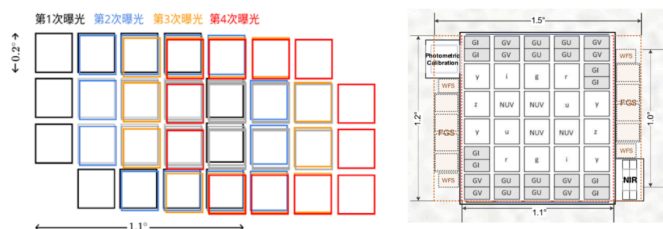
主巡天编排仿真：核球区微引力透镜观测

□科学驱动

- 地球质量的流浪行星和冷行星
- 银河系大尺度范围内大量凌星行星



示例图：预期CSST观测的
5个地球质量的流浪行星微引
力透镜事件模拟

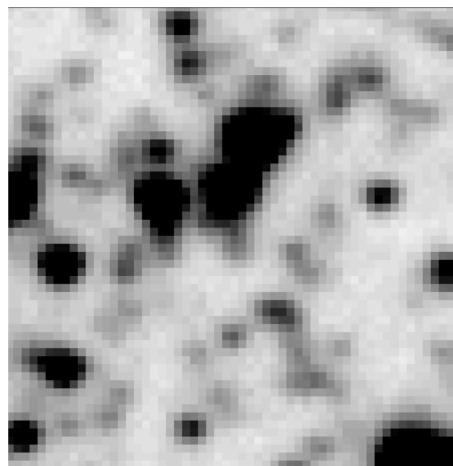


初步策略：观测cycle中4次曝光
(60s)的griyz，每20分钟3个cycle，
共约3.6平方度

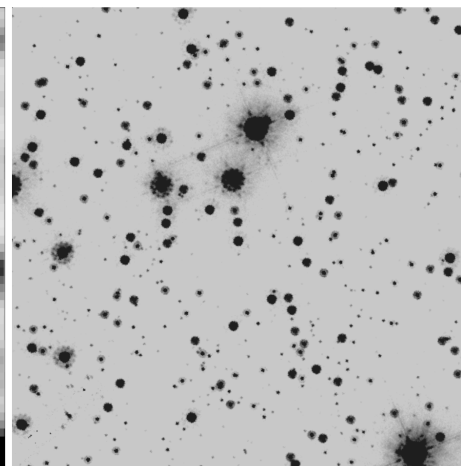
辅助：在项目开始、
中期和结束时双波段
全覆盖 - 200次曝光

在CSST的分辨率下，核球 *不是* “密集星场”！

地面



哈勃ACS

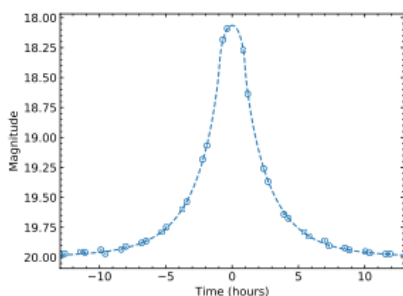


from东苏勃

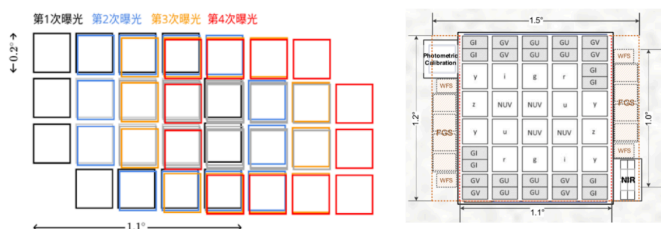
主巡天编排仿真：核球区微引力透镜观测

科学驱动

- 地球质量的流浪行星和冷行星
- 银河系大尺度范围内大量凌星行星

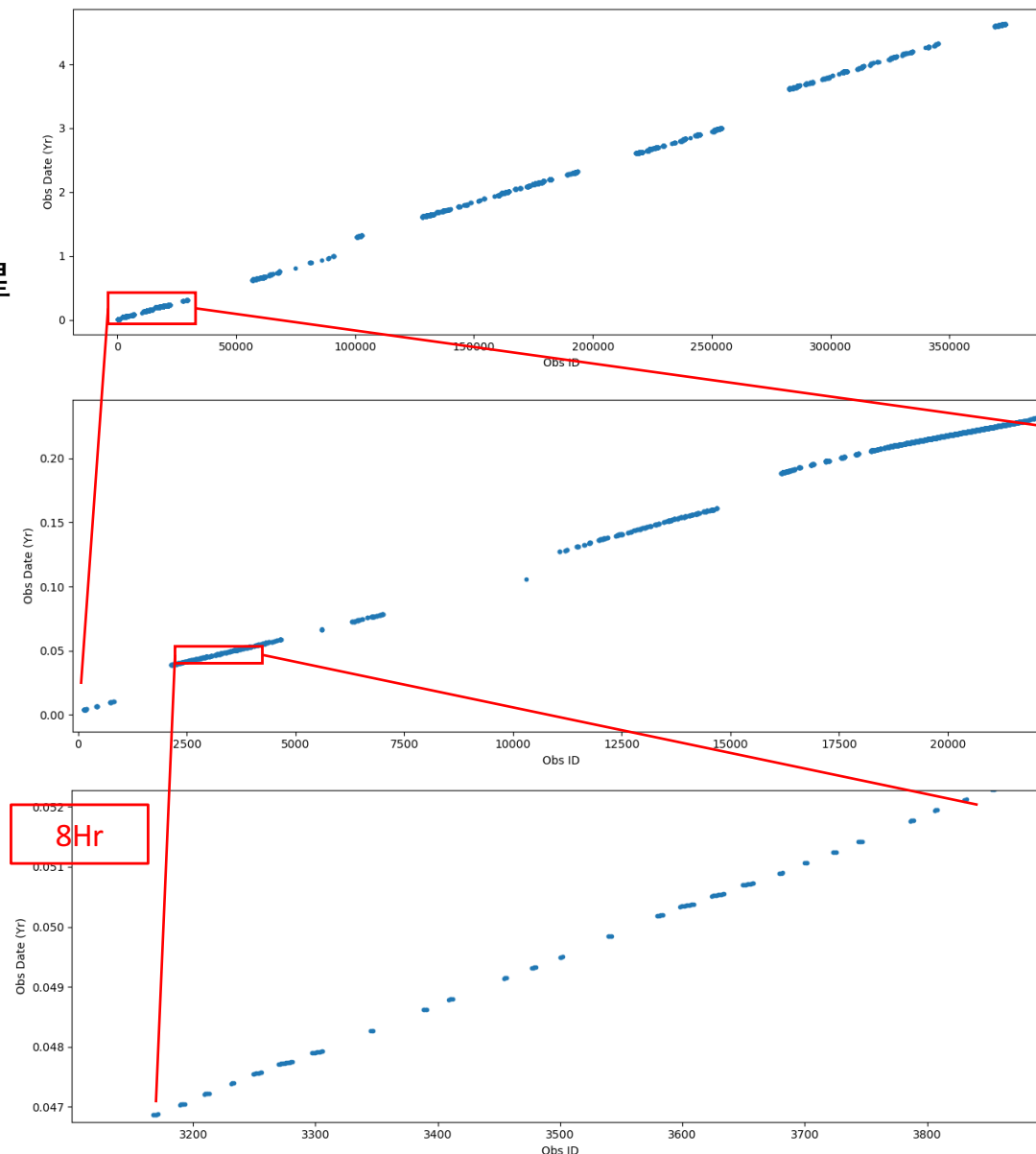


示例图：预期CSST观测的5个地球质量的流浪行星微引力透镜事件模拟

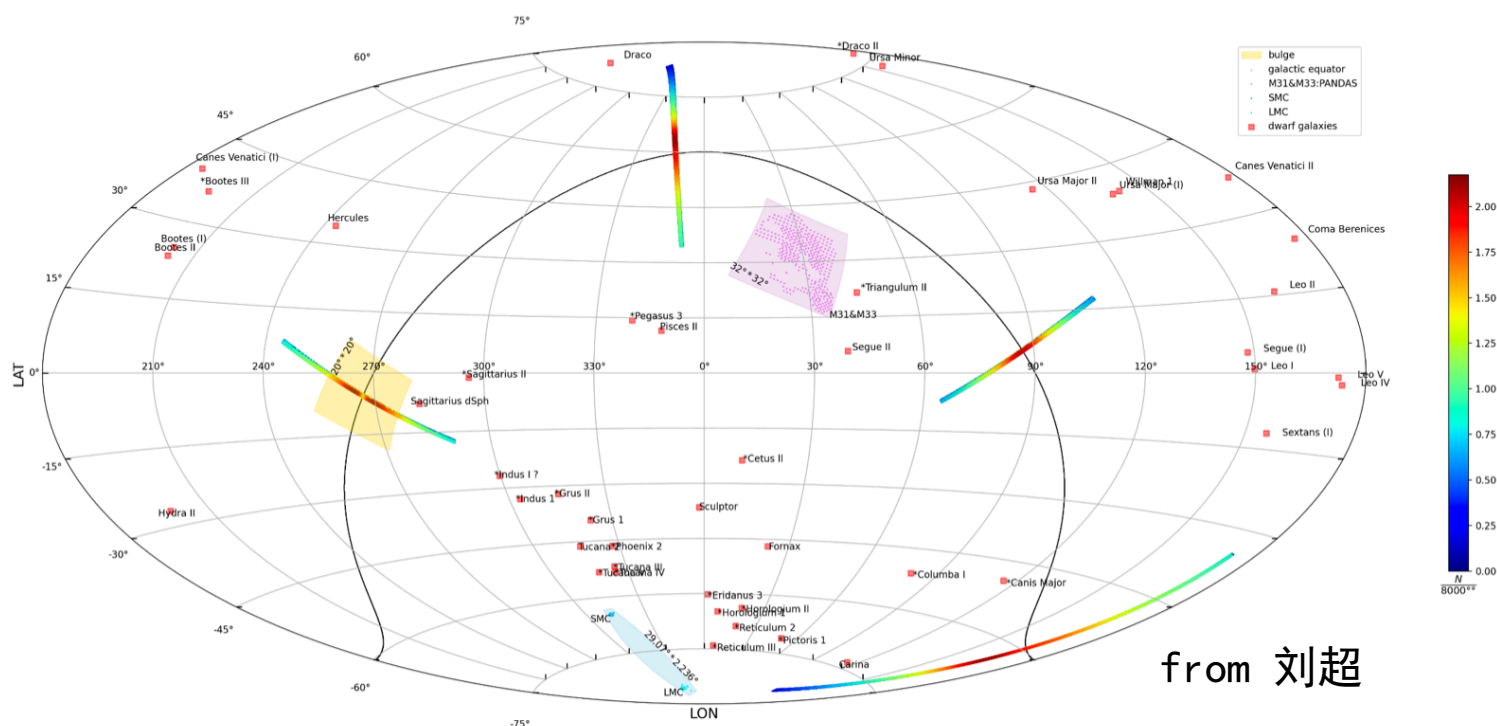


初步策略：观测cycle中4次曝光(60s)的griyz，每20分钟3个cycle，共约3.6平方度

辅助：在项目开始、中期和结束时双波段全覆盖 - 200次曝光



主巡天编排仿真：银河系、近邻星系



黄道坐标系

四个穿过银盘的条状区域， 1×50 度

核球区，400平方度中选择约50平方度合适铅笔束（10年>10次访问）

本星系群成员，每个 1×1 度（10年>5次访问）

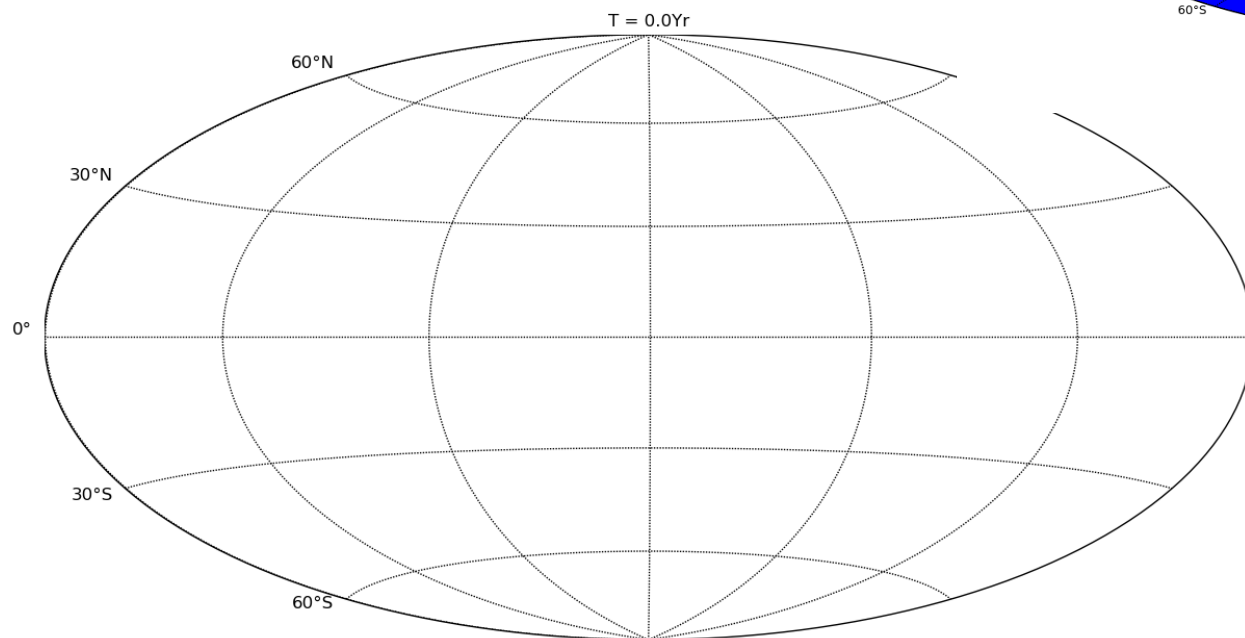
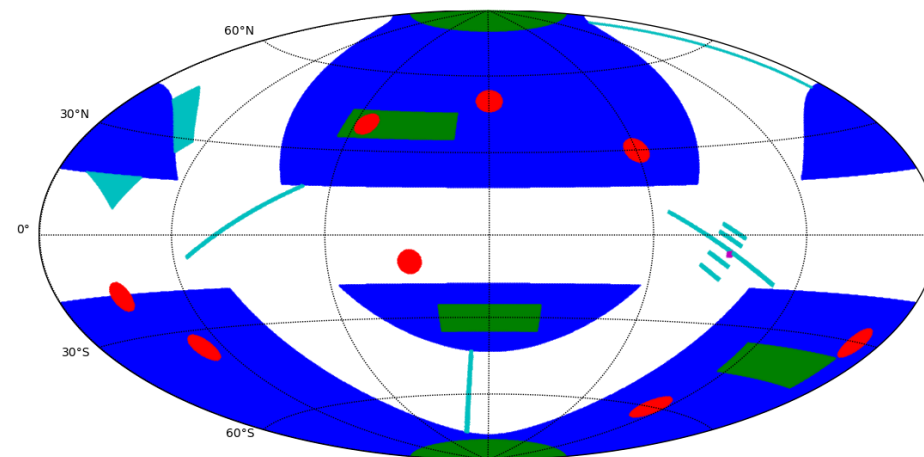
LMC/SMC区域，60平方度（10年>5次访问）

M31/M33区域，900平方度（10年>5次访问）

疏散星团（？）

主巡天编排仿真：银河系、近邻星系

- ✓ 穿过银盘的条状区域
- ✓ 核球区 (x10)
- ✓ LMC/SMC (x5, 与宽场重叠)
- ✓ M31/M33 (x5)



太赫兹模块 (THz)

(子课题负责人林镇辉)

目标源：87个

可观测时间段计算的约束条件 (待进一步确定)

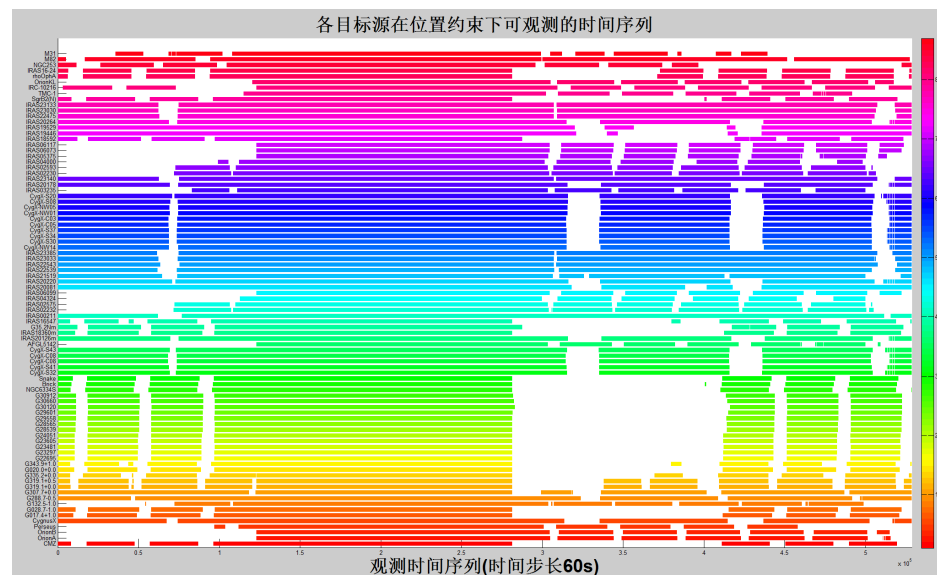
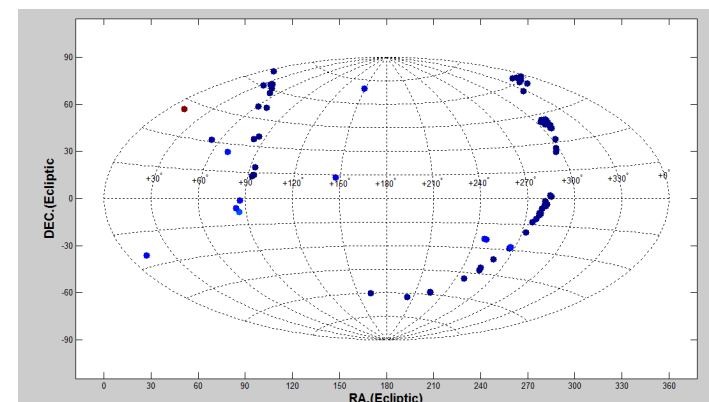
- 视轴与太阳夹角 $\geq 50^\circ$ ；视轴与月球夹角 $\geq 40^\circ$
- 望远镜视轴与地球亮边和暗边的夹角分别得小于 70° 和 30°
- 星下点是否在南大西洋异常区(SAA)
- 目标是否被地球遮挡；

已完成

基于遗传算法的太赫兹模块观测任务在多约束条件下
观测任务编排的理论建模

正在进行

开展基于遗传算法的观测任务编排仿真工作



连续可观测时间中位数：15-30分钟
可观测时间占总在轨时间：40%左右

积分视场光谱仪（IFS）

（子课题负责人林琳）

□ 对全天均匀分布的200个源测试一年内的观测编排，

统计时间利用率 (图a) 和样本完成度 (图b)

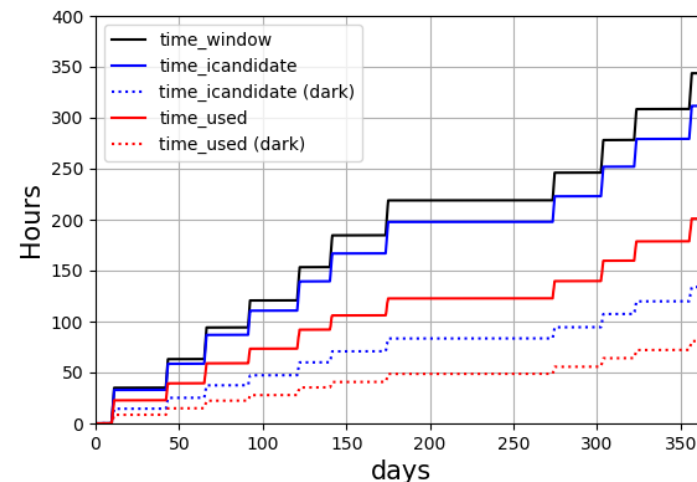
□ 按照地球亮暗边切分轨道数，在每轨时间范围内选择

可连续曝光时间 $>20\text{min}$ 的源进行观测 (图c)

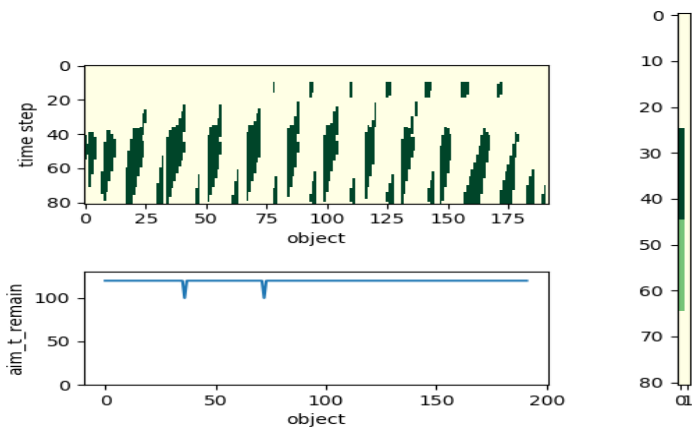
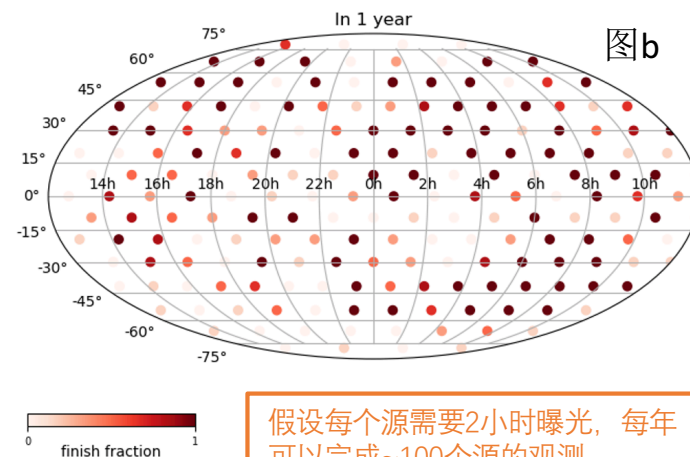
- 编排窗口为后端仪器总时间的1/4

- 假设每个源单次曝光时间为20min

图a



图b



图c

积分视场光谱仪（IFS）

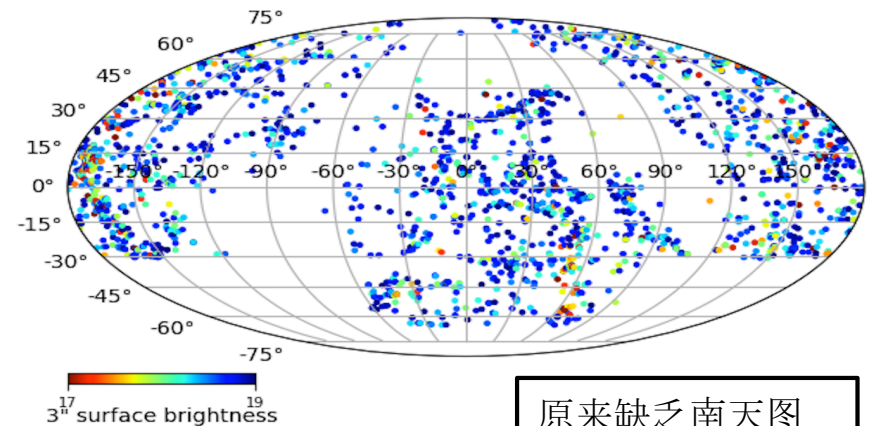
（子课题负责人林琳）

- 更新南天图像数据（JPEG, FITS）
- 增加skymapper数据，用于补充南纬<-30度天区的星系图像

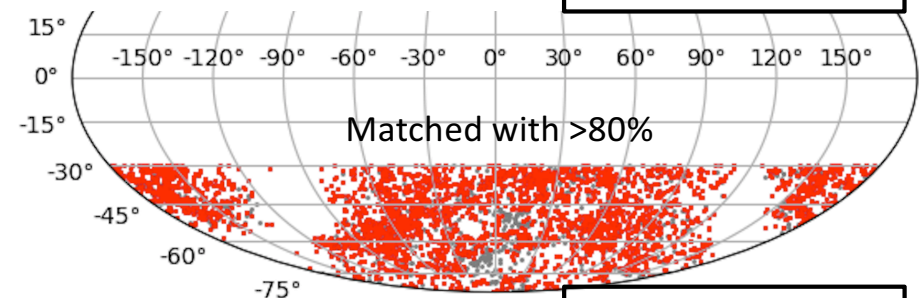
SkyMapper Main Survey

Most of SkyMapper's observing time is now dedicated to the *Main Survey*. This has an expected depth (in AB mags) for a signal-to-noise ratio of 5 in 2.5" seeing, of:

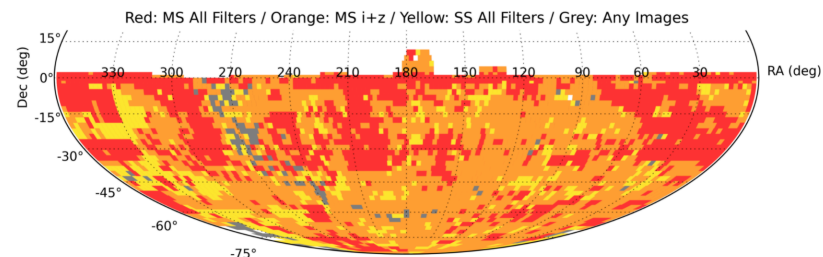
	u	v	g	r	i	z
Single epoch	19.5	19.5	21.0	21.0	20.0	19.0
Saturation	10.0	10.5	13.0	13.0	11.0	10.5
Exp. time (s)	100	100	100	100	100	100
Final depth	20.5	20.5	21.7	21.7	20.7	19.7



原来缺乏南天图像



更新后可匹配到>80%的数据



多通道成像仪 (MCI)

(子课题负责人袁方婷)

□ 观测需求

深场

-- 普通深场+星系团+银河系星团

共30个候选深场

阴影区+单次300秒连续曝光+每个深场46万秒观测

其他科学目标

1. 邻近星系
M31, M81, M87
PI: 李志远
每个18000秒观测

2. 超新星遗迹 (共12个)
PI: 周平
每个约3000秒时间

3. 特殊系等
M81
双A

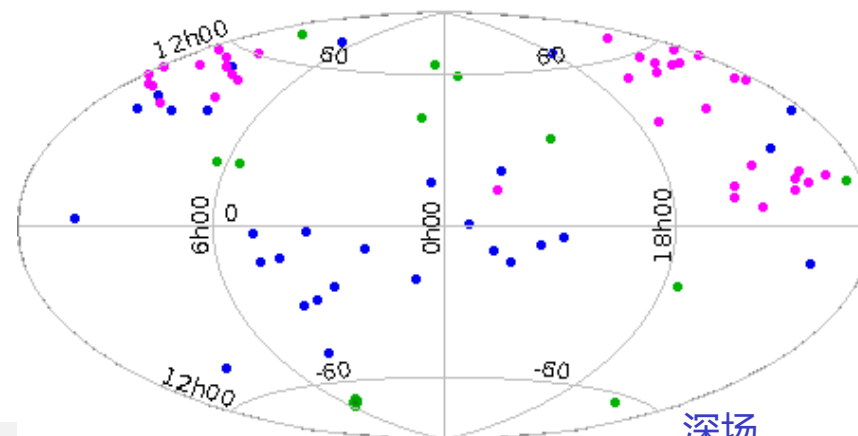
定标源

-- 主

共30

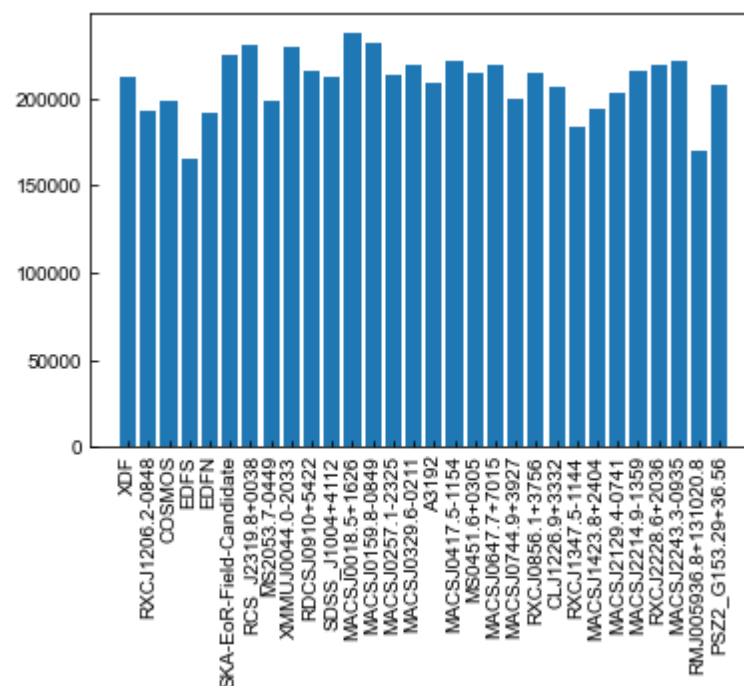
正在

每颗



目标源分布

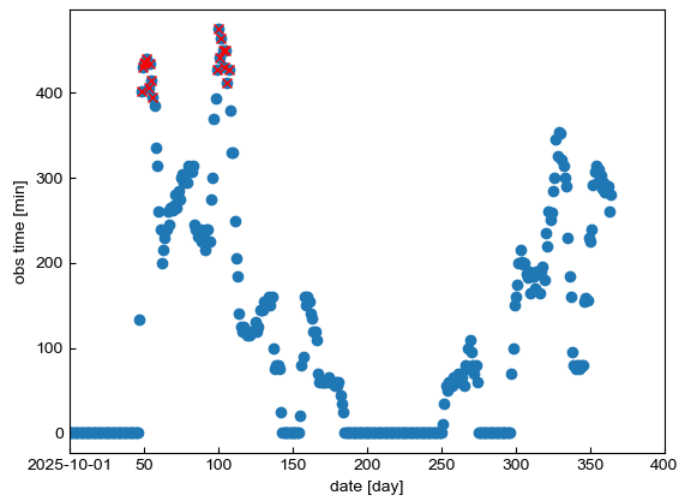
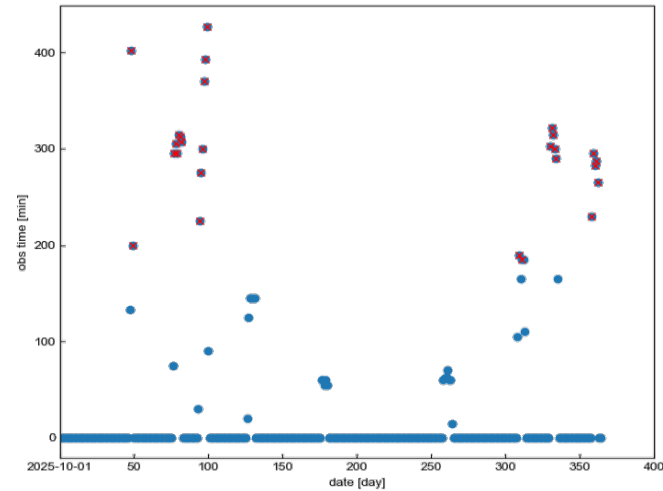
深场
定标星
目标



不同候选源 (深场) 可观测时长统计

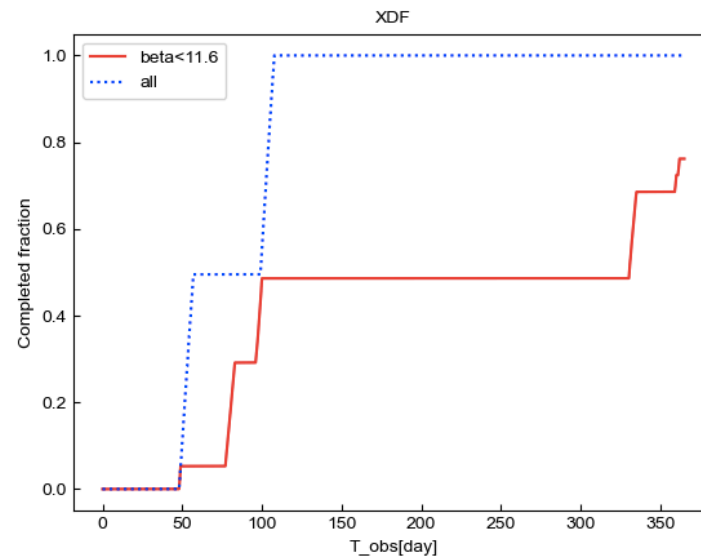
多通道成像仪（MCI）：XDF编排

（子课题负责人袁方婷）



策略比较

- 考虑beta角限制，开机6次，26天完成
- 不考虑beta角限制，开机2次，18天完成



76.2%

若考虑250s+50s读出时间, 有效
时长5/6, 总曝光时长约380ks

系外行星成像星冕仪（CPIC）

（子课题负责人赵刚）

□ 观测目标初选

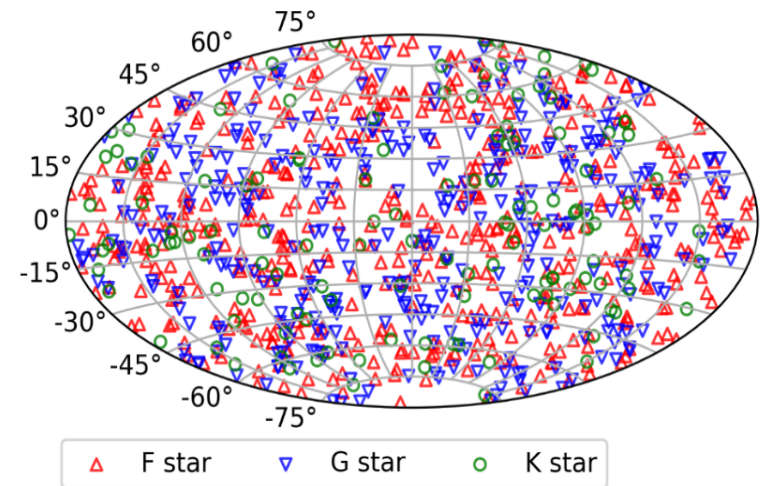
- 17个已被视向速度法确认的存在系外行星的恒星
- 978个待观测目标（较近目标）
- 26个待观测目标（较远目标）

□ 目标可观测时间计算

- ✓ Beta角小于11.6度
- ✓ 不被地球，太阳，月球遮挡
- ✓ 不在预定维护时间
- ✓ 不在SAA区域

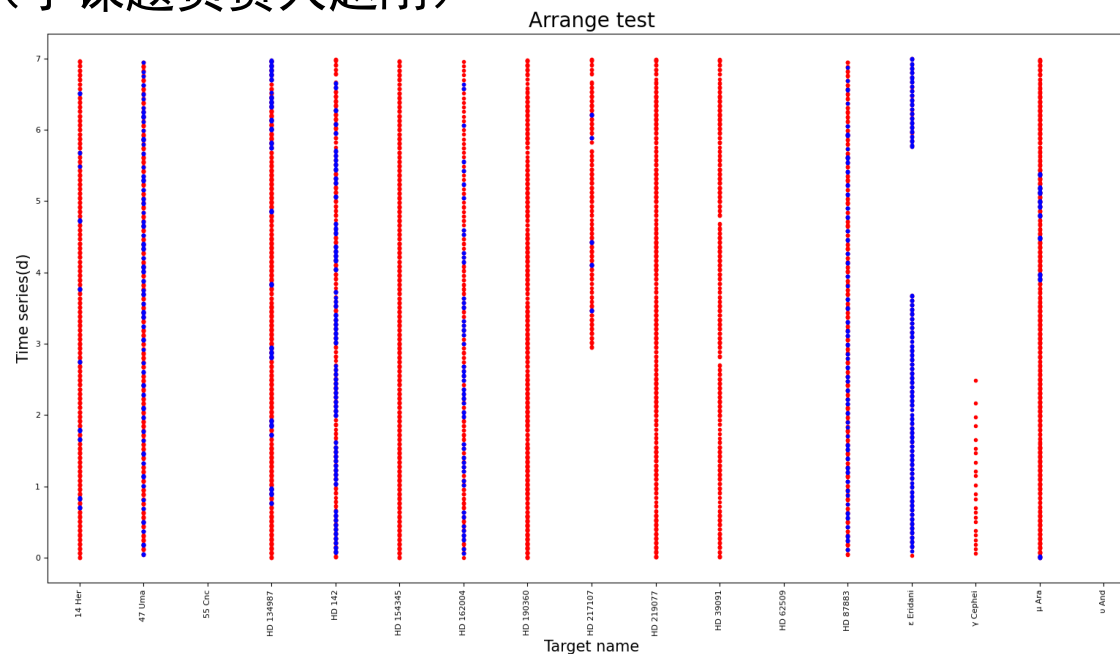
□ 编排采用动态规划算法。优化函数为一段时间拍摄的总价值，优化方向为总价值最高。下面是优化所采用的一些假设：

- ✓ 拍摄时间固定为1张300s
- ✓ 切换目标固定时间开销300s
- ✓ 目标的观测价值随着观测量的增加而减少



系外行星成像星冕仪（CPIC）

（子课题负责人赵刚）



□ 试编排覆盖的时间范围：2024年6月17日至6月23日，共7天

□ 一共编排了17个目标，其中第3，12，17目标不可观测。红色点代表目标可观测的时间，蓝色点代表编排后的观测目标。每个圆点代表5分钟的观测时间

□ 目前编排还处于很初步的阶段，所考虑的约束条件还不完整，后续继续完善限制条件，如能源限制，系外行星位置限制等

目标	时间(h)
14 Her	3.416667
47 Uma	15
55 Cnc	0
HD 134987	12.41667
HD 142	20.5
HD 154345	0
HD 162004	8.333333
HD 190360	0
HD 217107	1.75
HD 219077	0
HD 39091	0
HD 62509	0
HD 87883	11.75
eps Eridani	17.5
gamma Cephei	0
mu Ara	5.75
ups And	0

编排后的观测时间

总结

□主巡天

- 初步实现多科学目标的运行编排（有待进一步优化）

□太赫兹模块

- 观测源的选择 / 基于遗传算法的编排（进行中）

□积分视场光谱仪 / 多通道成像仪

- 观测源的选择 / 实现初步编排

□系外星系成像星冕仪

- 观测源的选择 / 基于动态规划算法实现小规模初步编排

谢谢大家！
欢迎提供建议！