

# FAST

## 运动控制原理与观测模式详解

FAST工程控制组

2020年07月





**1. 结构组成与运动特点**

2. 控制策略与技术指标

3. 观测模式



**1. 结构组成与运动特点**

2. 控制策略与技术指标

3. 观测模式

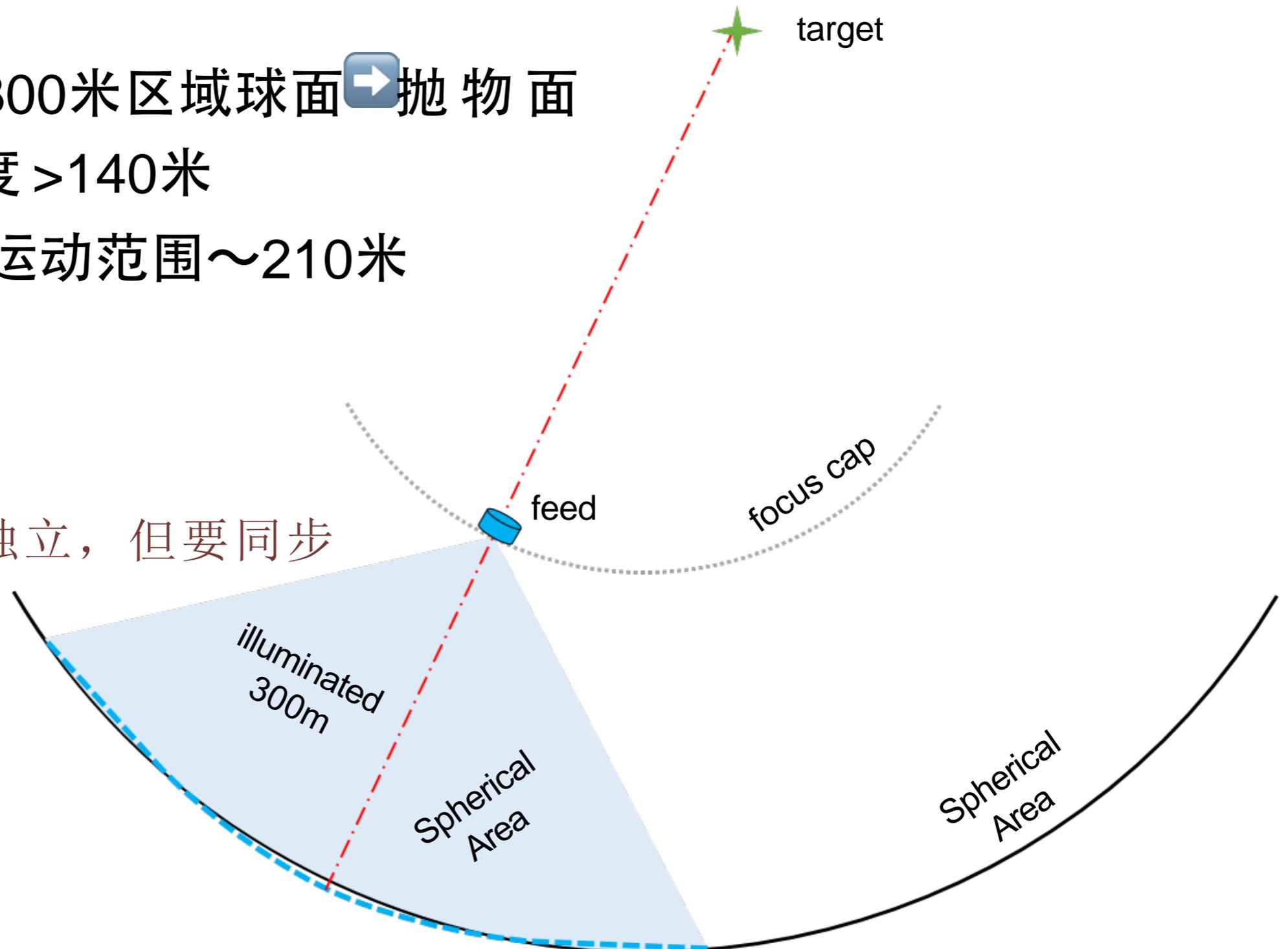
# FAST的新概念



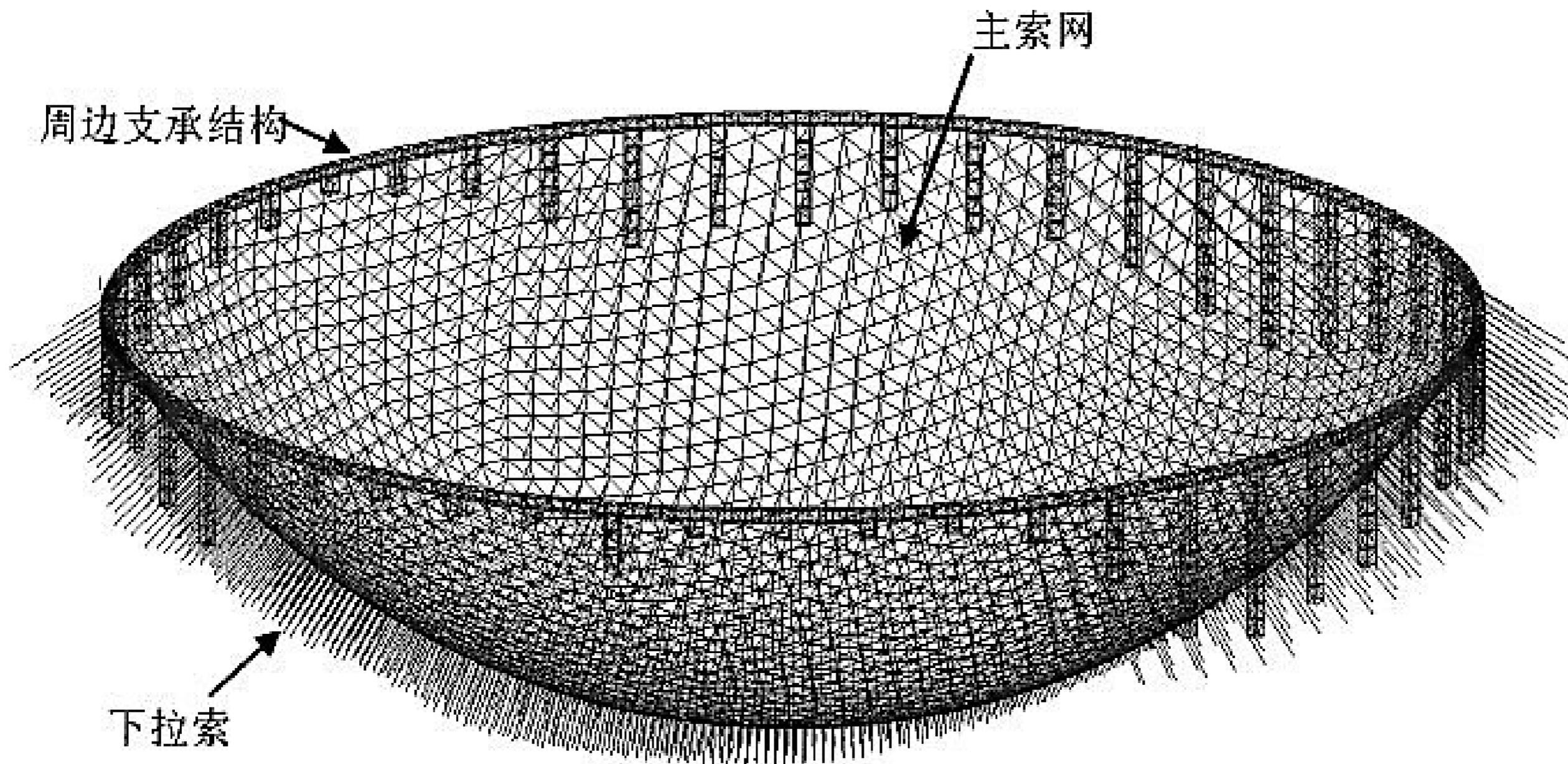
- 主动反射面：300米区域球面 → 抛物面
- 馈源舱：高度 >140米  
水平运动范围 ~210米

全都是软的！

反射面、馈源独立，但要同步

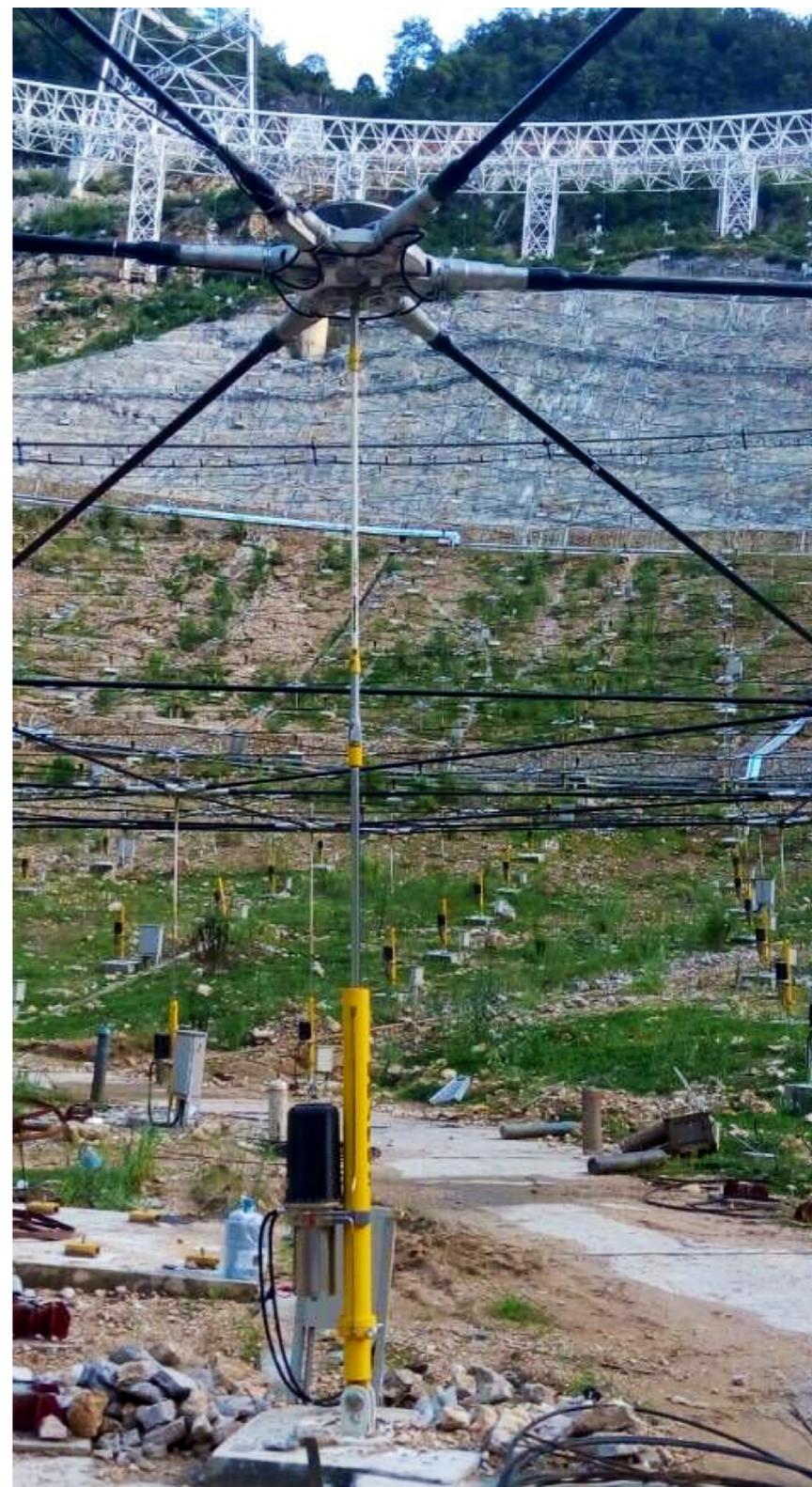
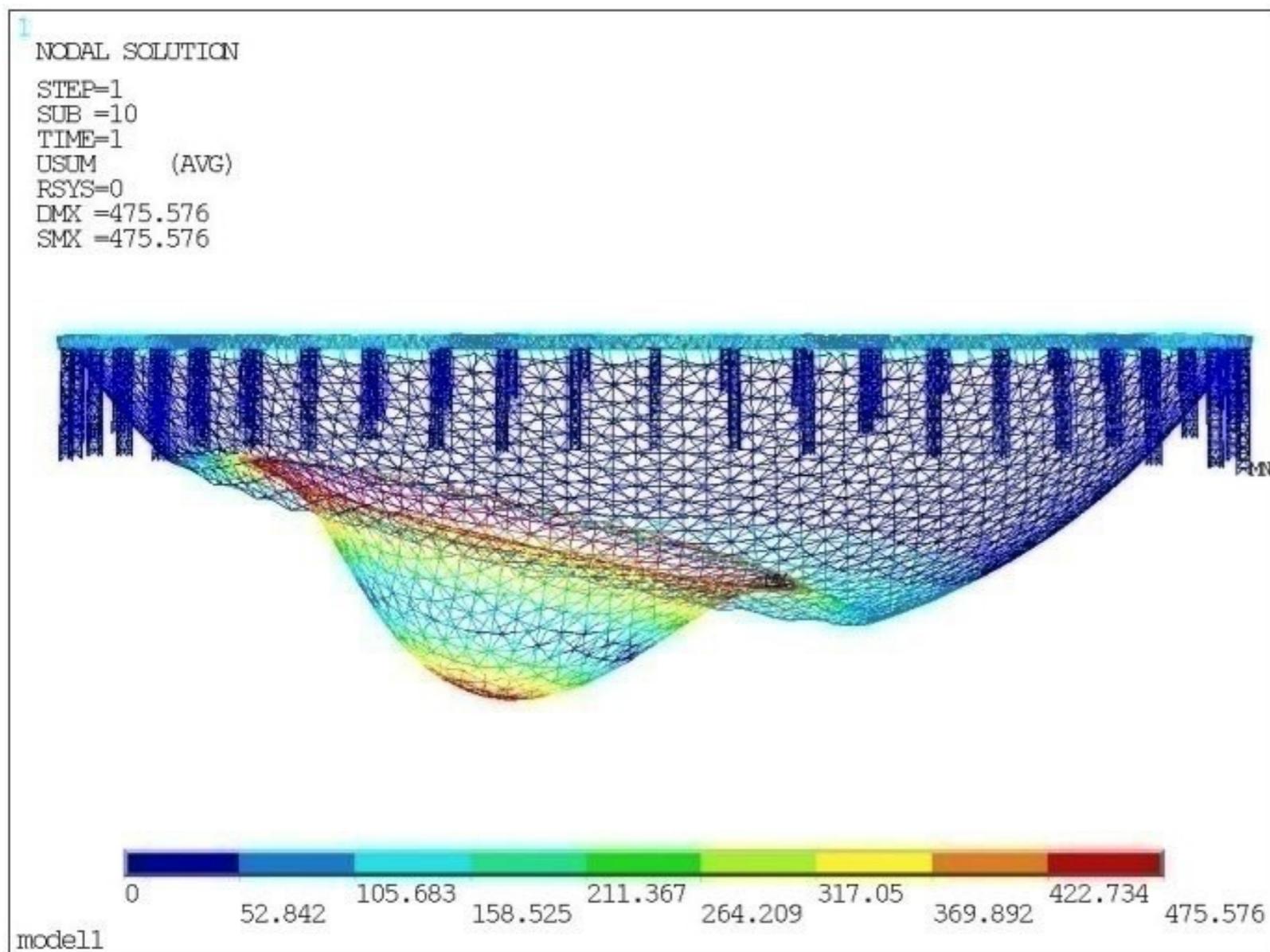


# 主动反射面



6670钢索+2225下拉索+4450面板

# 主动反射面



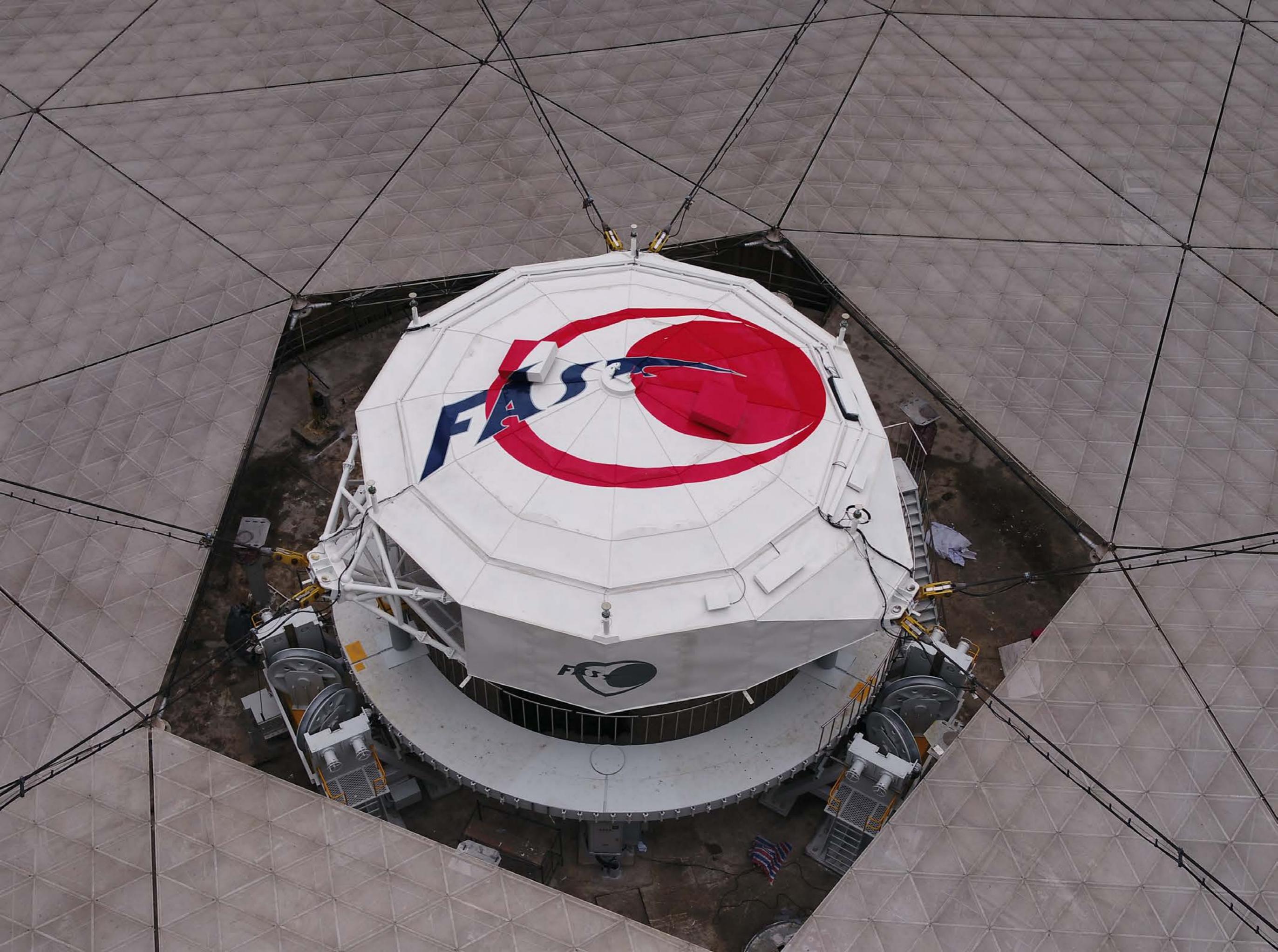
促动器行程、速度有限制

馈源支撑

支撑索

支撑塔





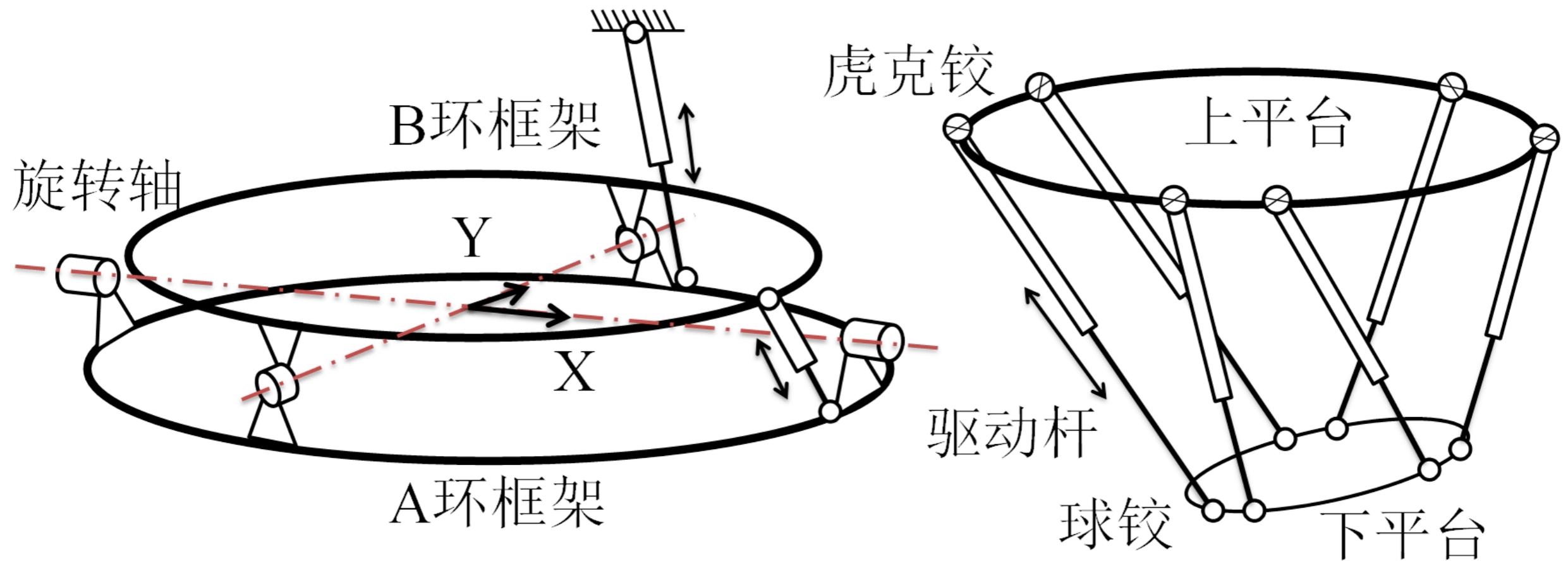
# 馈源支撑结构特点

- 馈源舱位姿调整机构包括AB轴指向机构和具备6自由度控制能力的Stewart平台



# 馈源支撑结构特点

- 馈源舱位姿调整机构包括AB轴指向机构和具备6自由度控制能力的Stewart平台



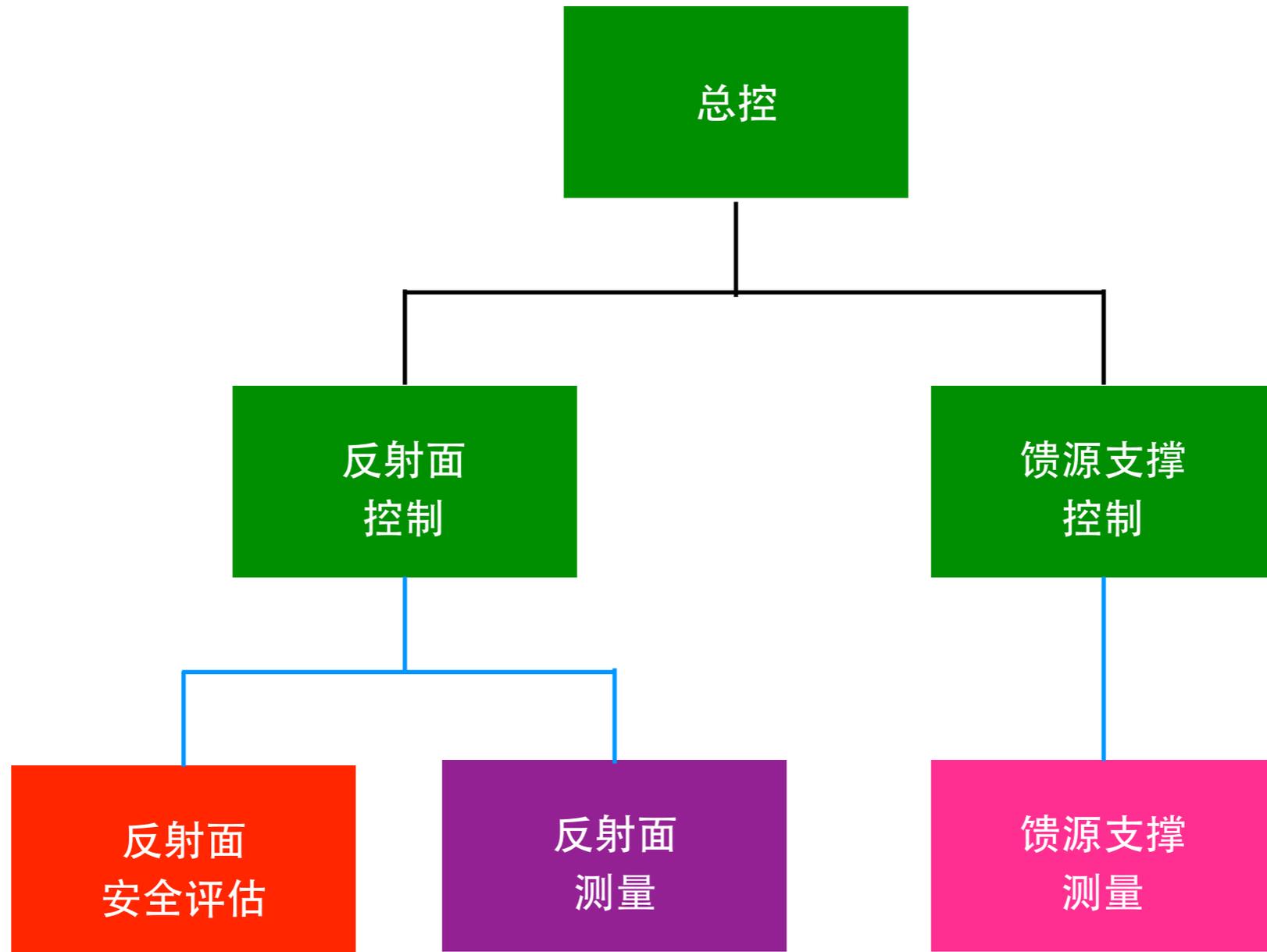


1. 结构组成与运动特点

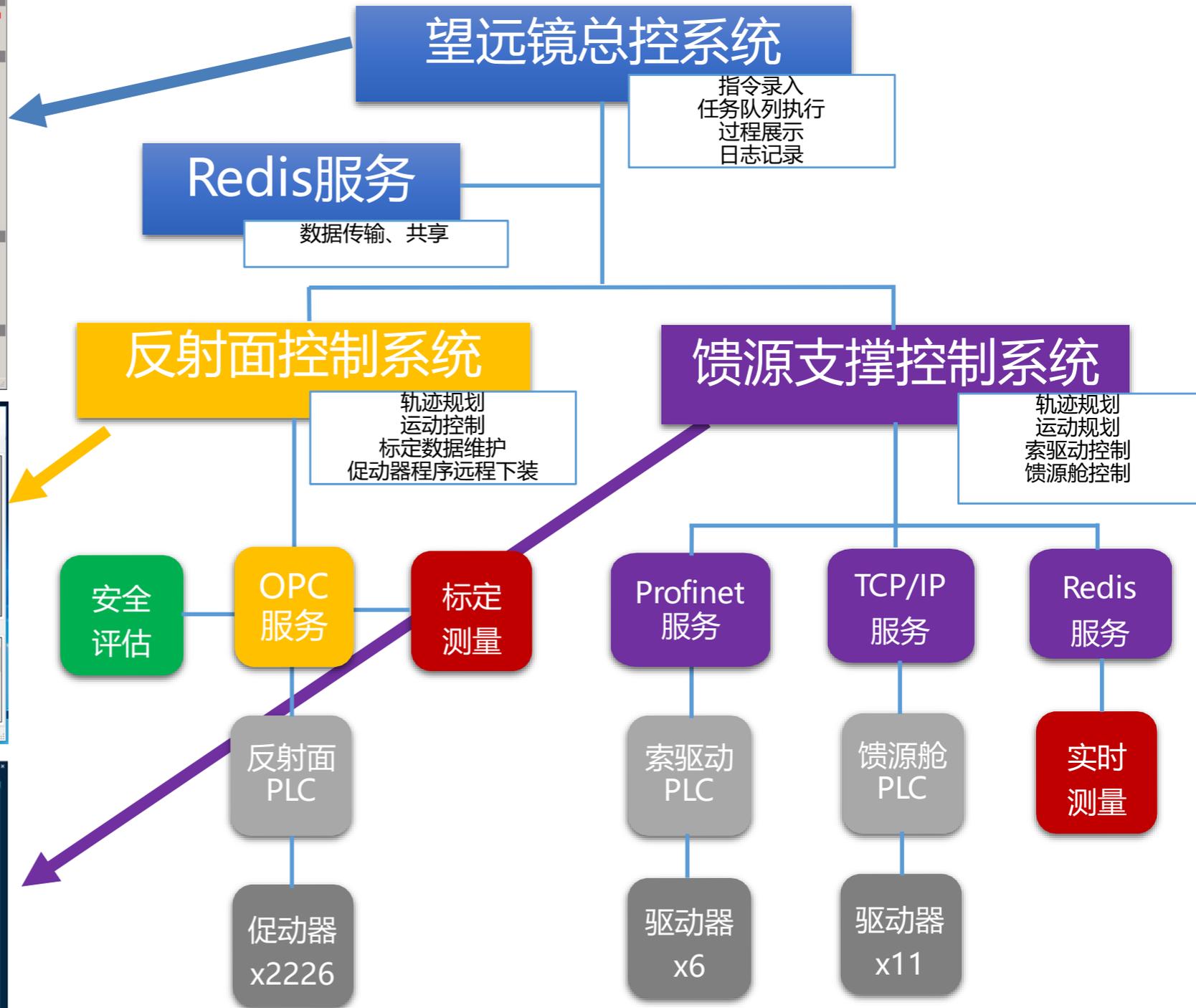
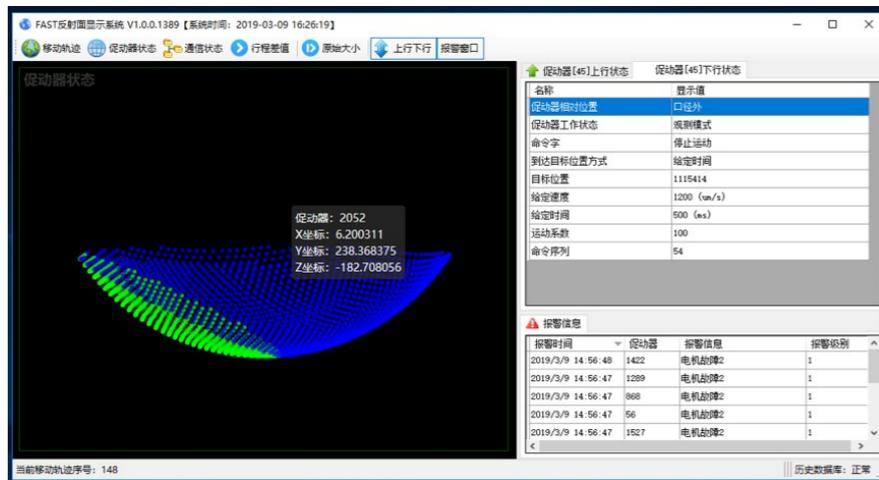
**2. 控制策略与技术指标**

3. 观测模式

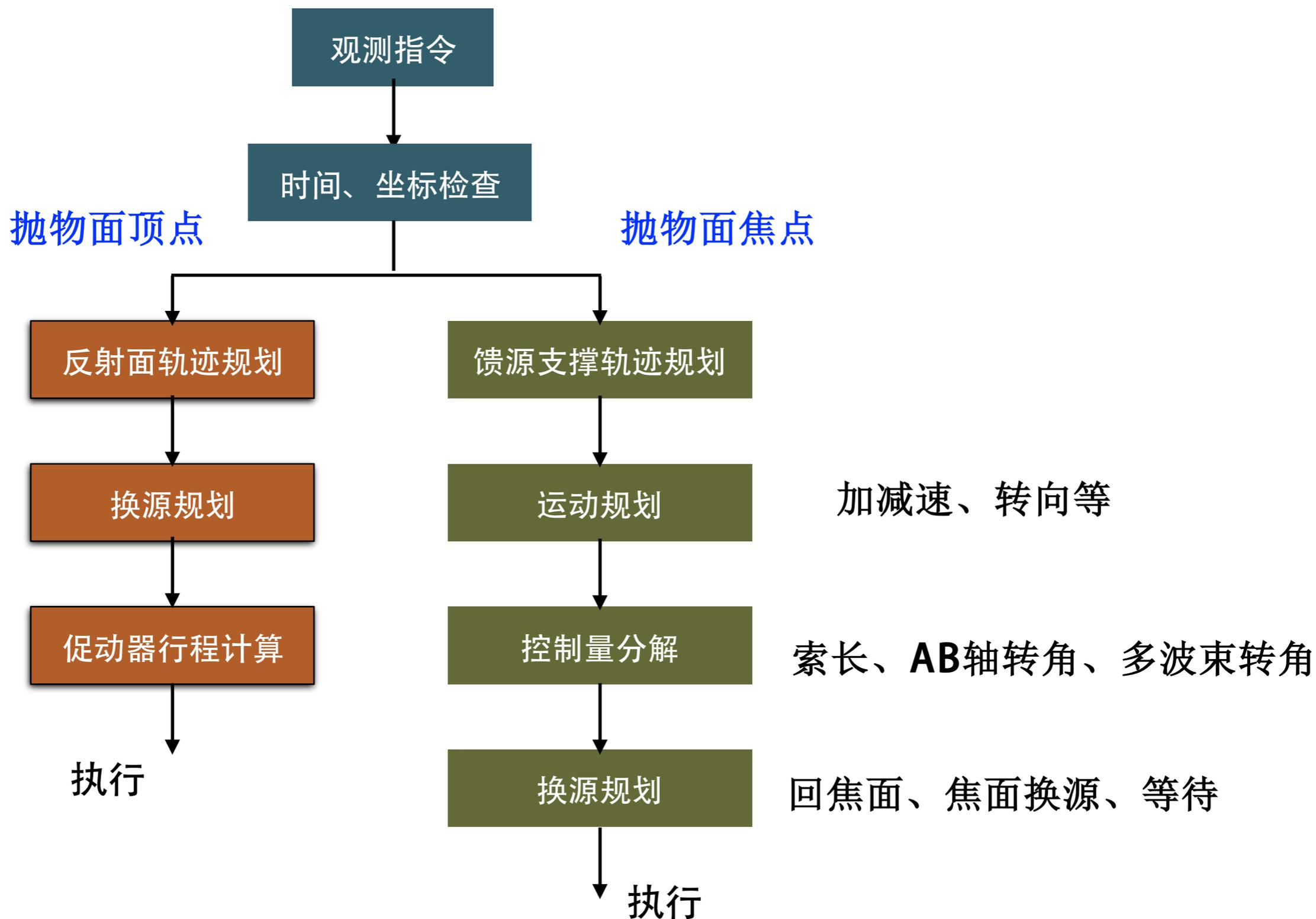
# 望远镜控制体系架构



# 望远镜控制系统硬件与软件



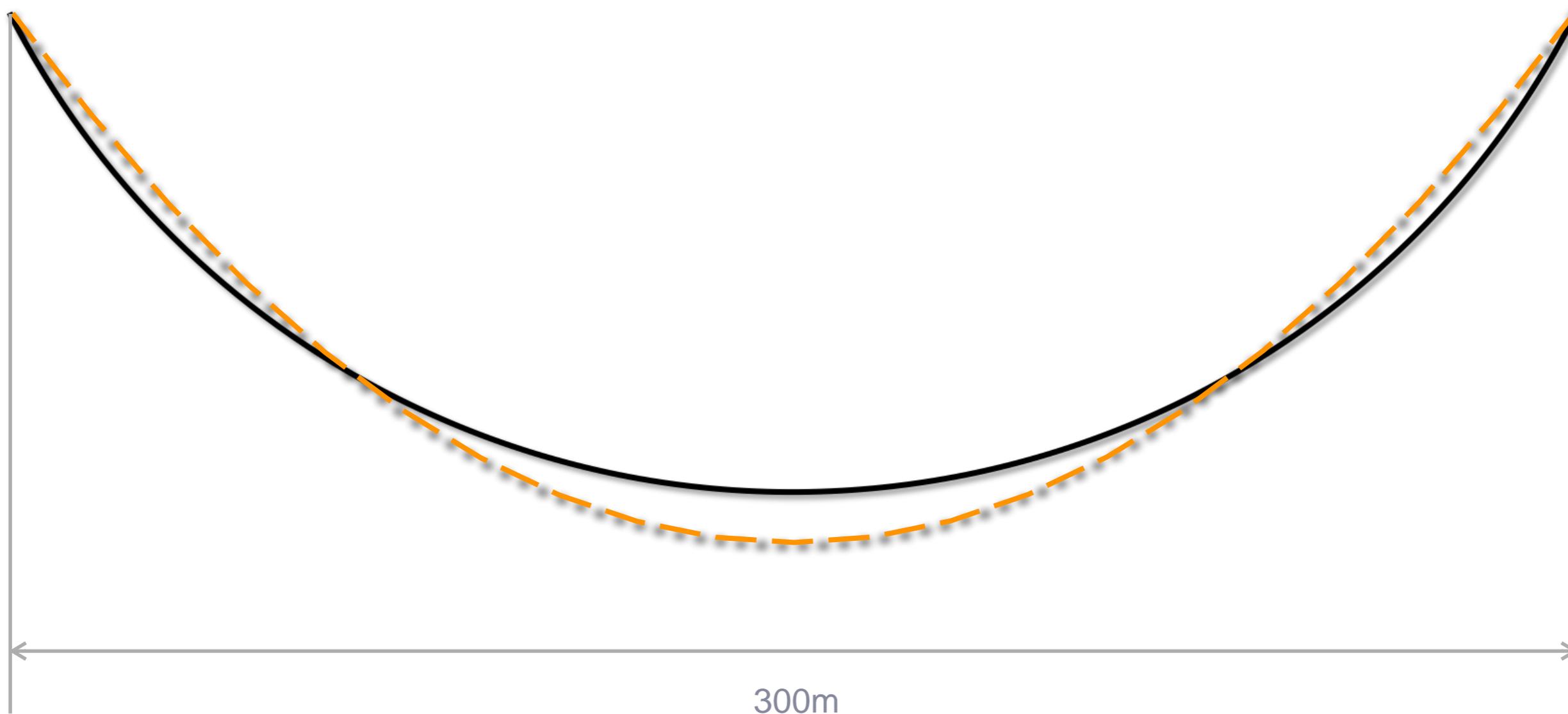
# 望远镜控制流程



# 主动反射面变型策略



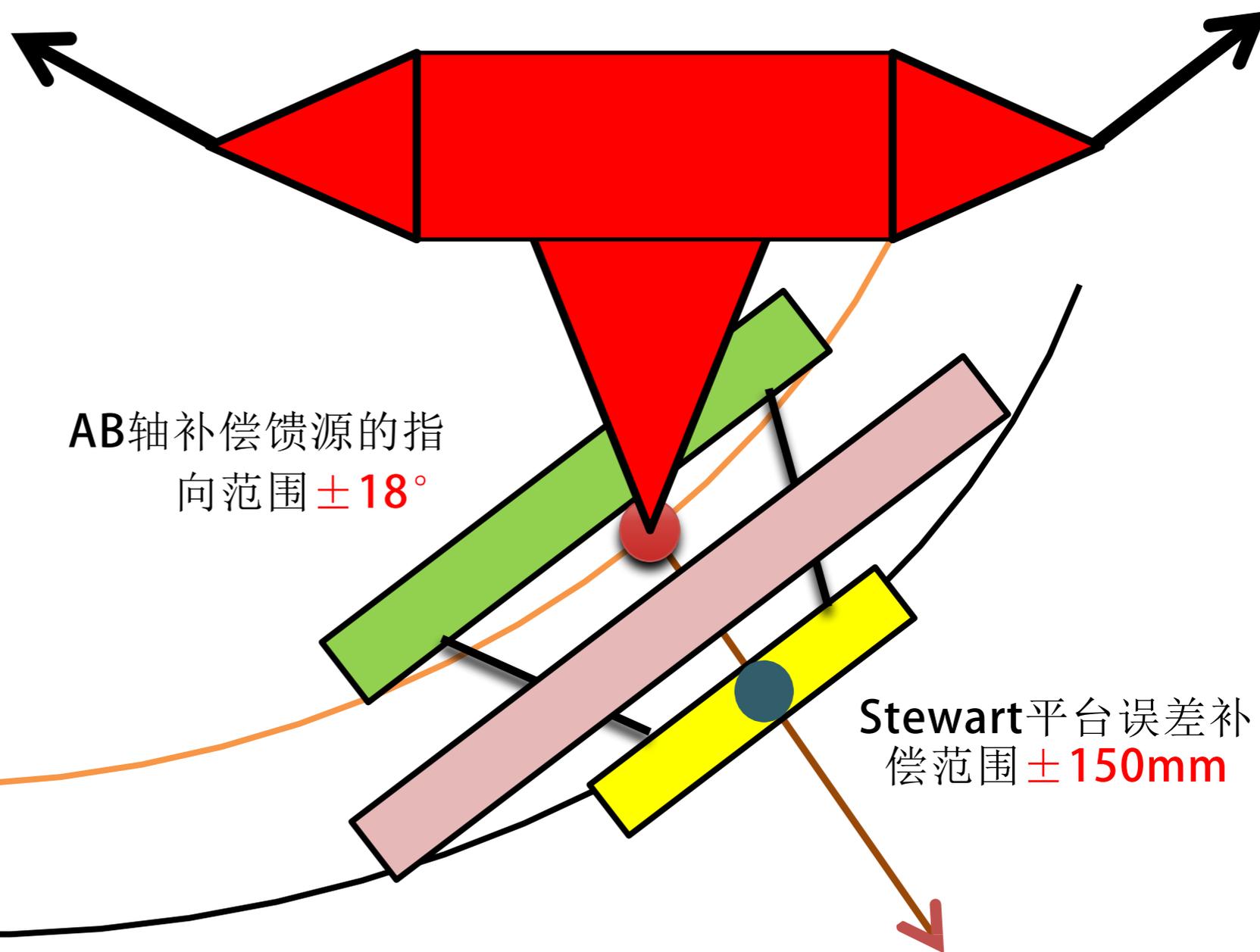
边缘重合



# 馈源支撑控制量分解



舱体处于索力最优姿态



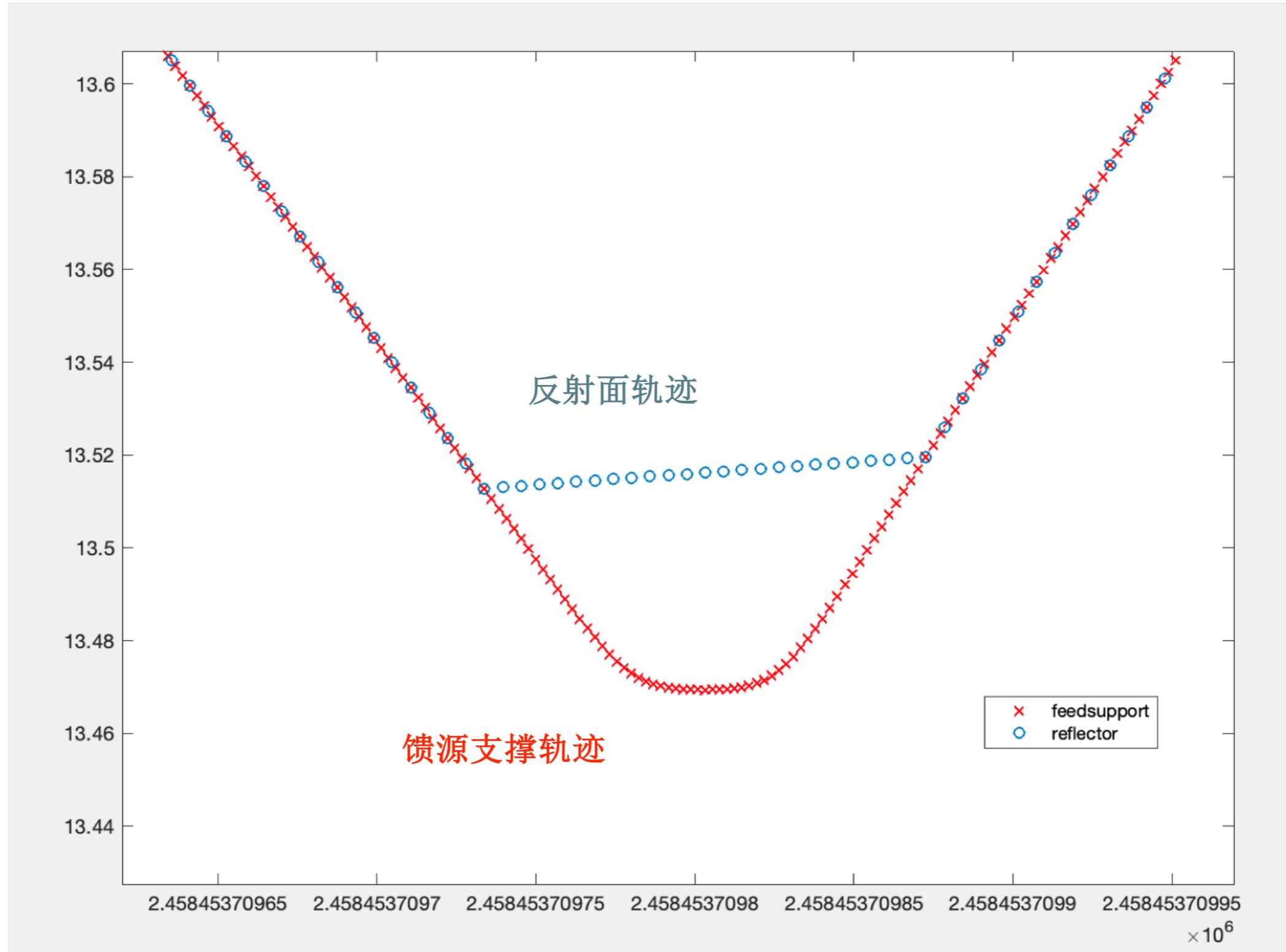
AB轴补偿馈源的指向范围  $\pm 18^\circ$

AB轴中心轨迹

Stewart平台误差补偿范围  $\pm 150\text{mm}$

焦点轨迹

# 反射面与馈源支撑—运动规划差异

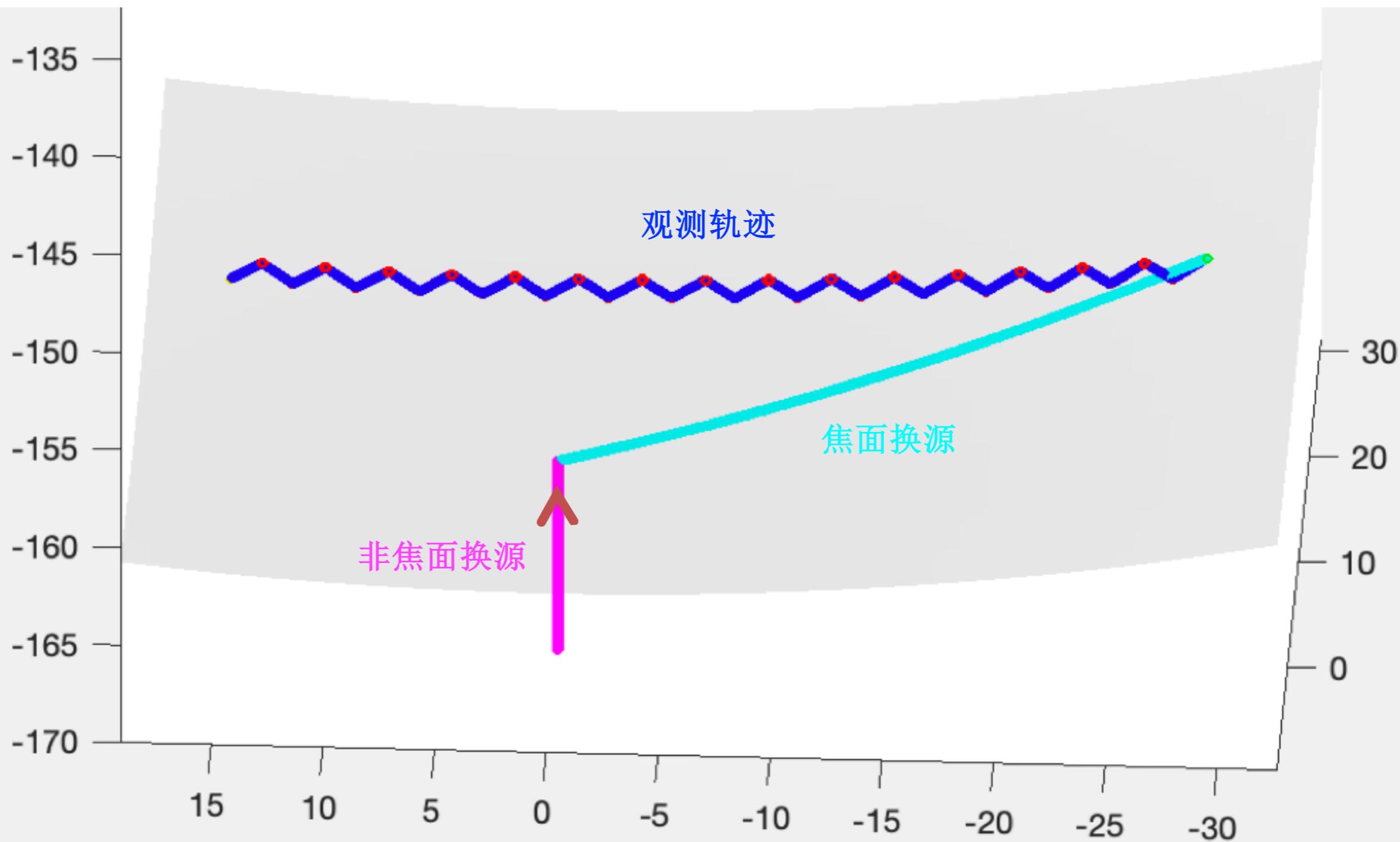




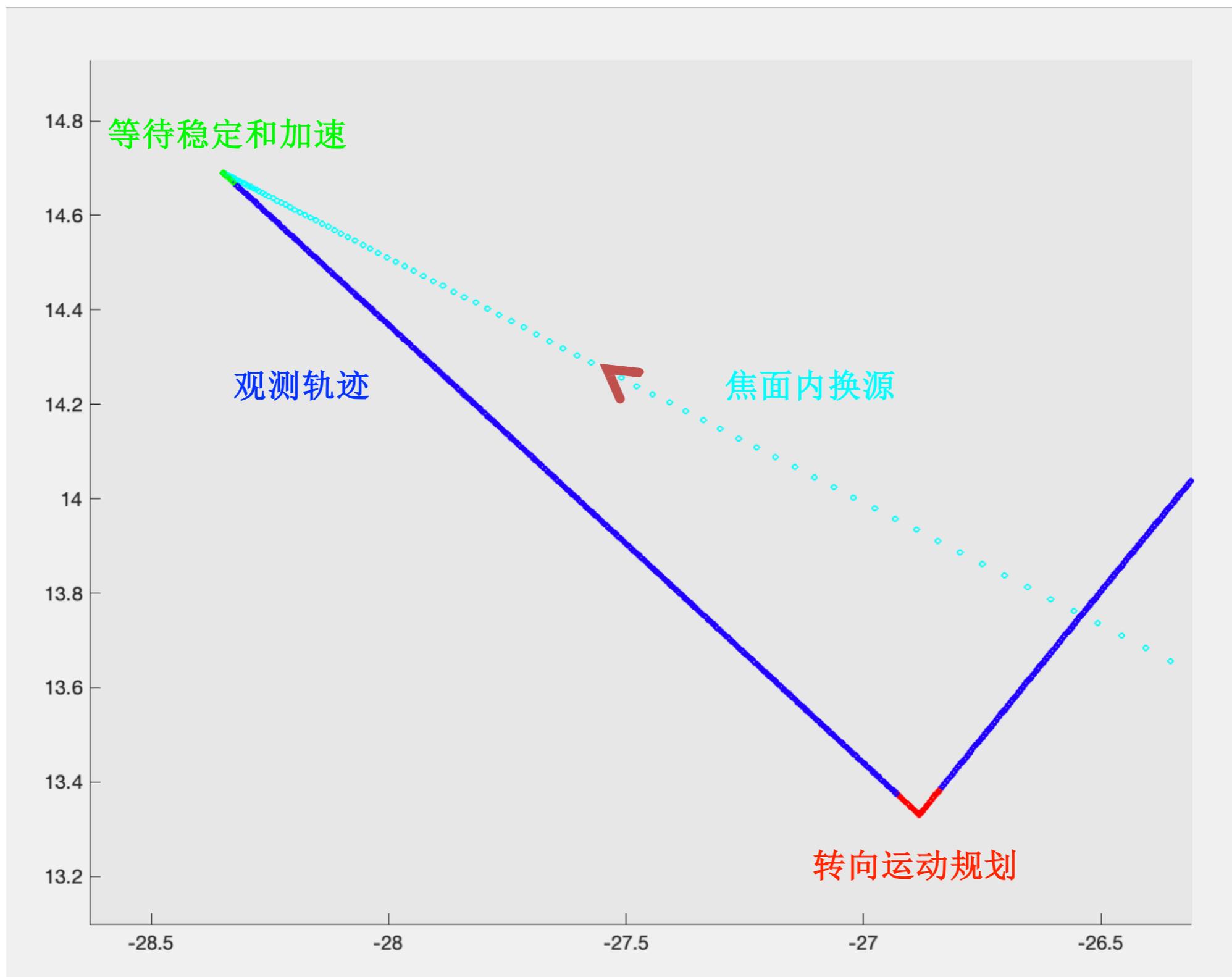
---

# 换源

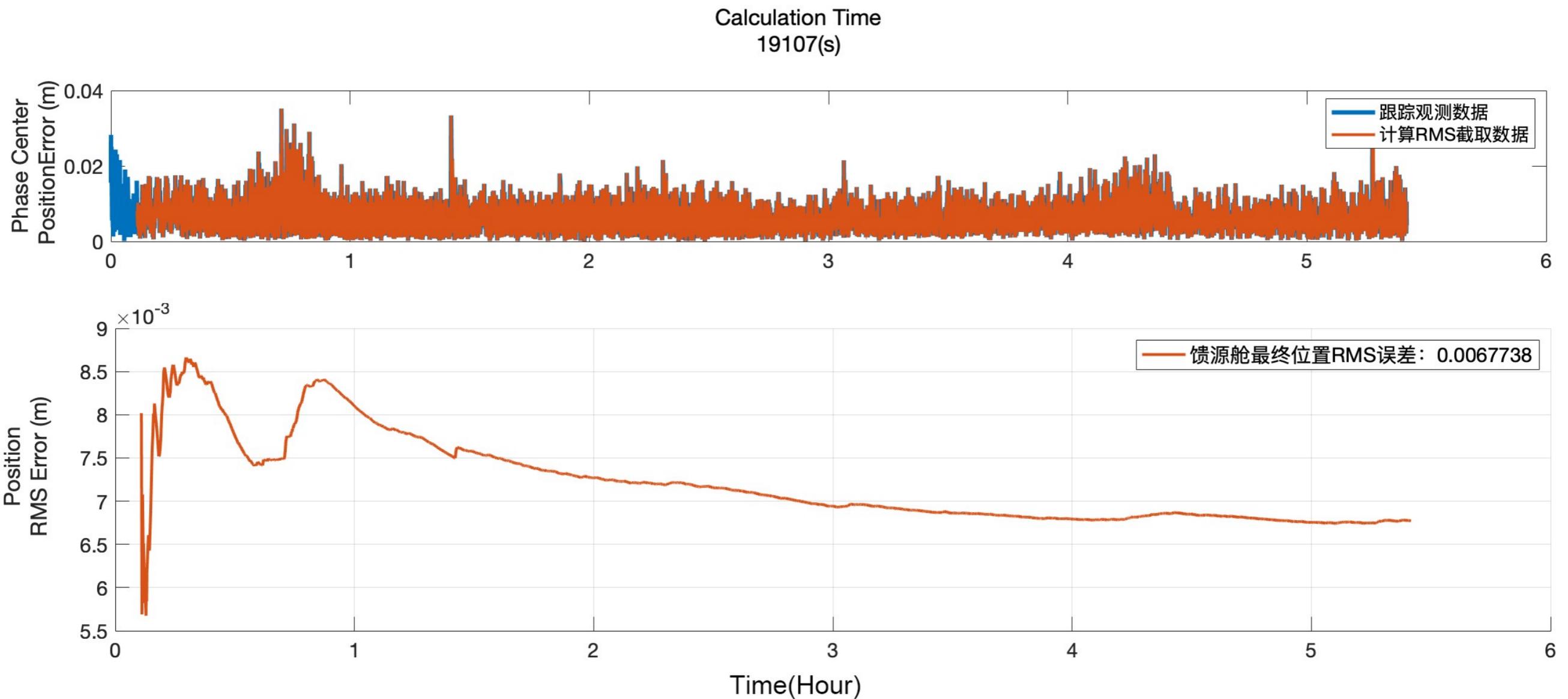
# 馈源支撑—换源策略



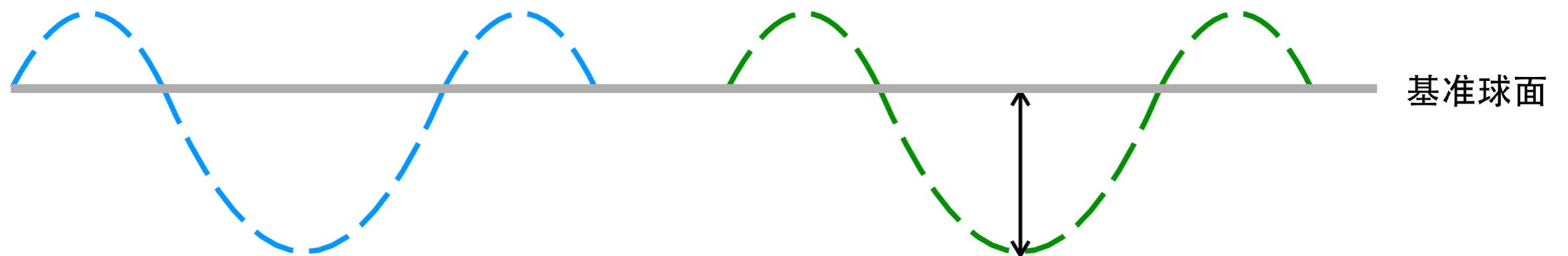
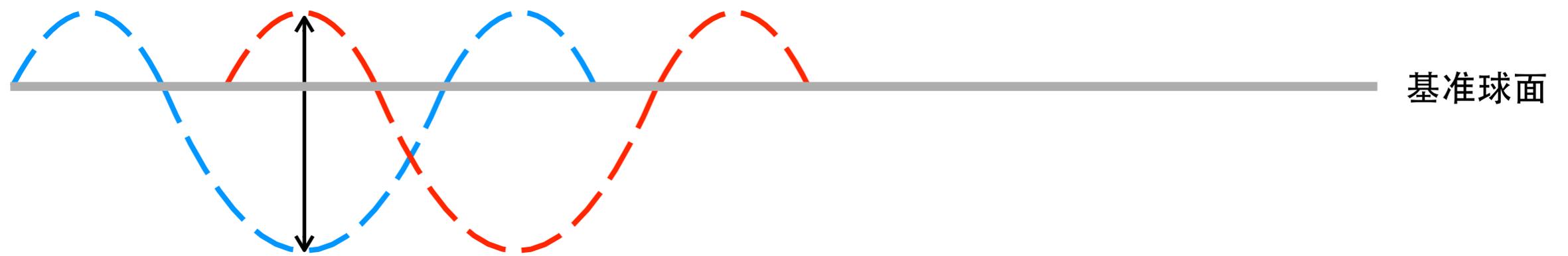
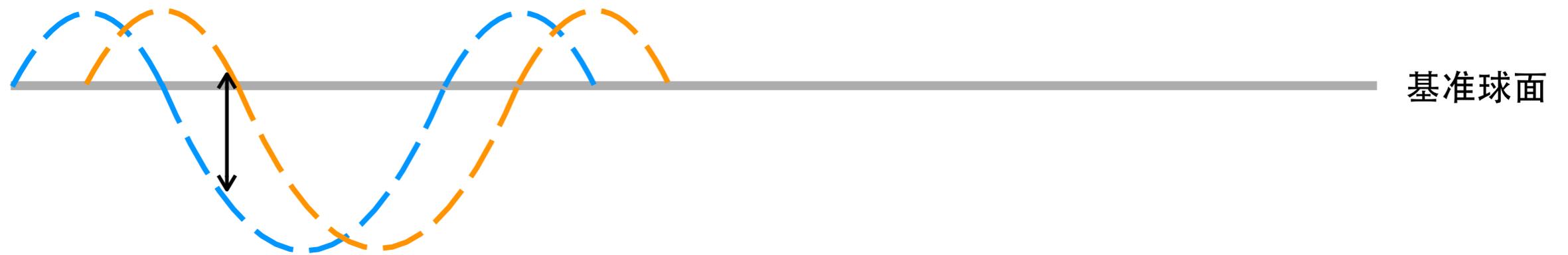
# 馈源支撑—换源策略



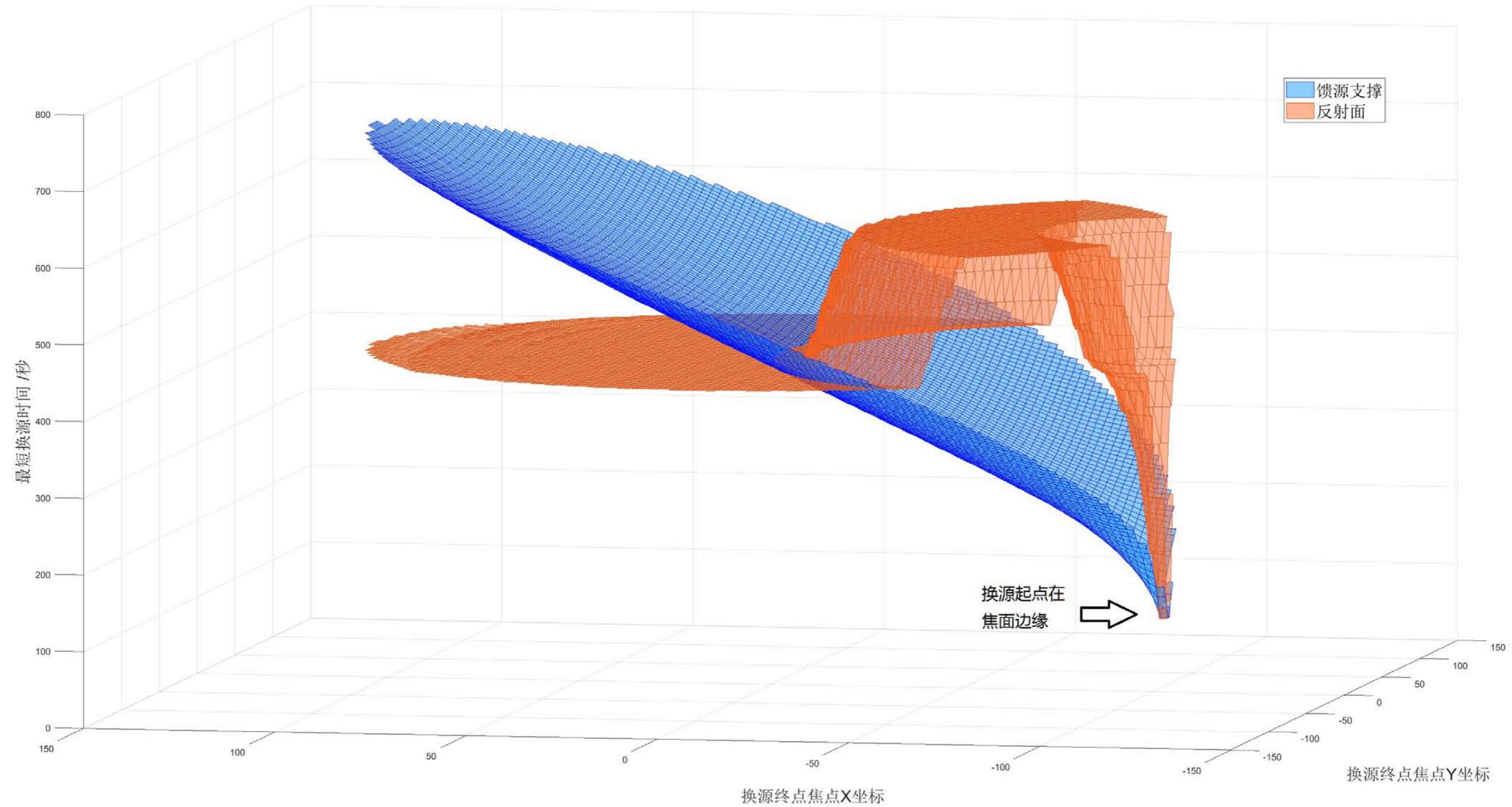
以跟踪观测为例，缩短换源时间的代价是开始跟踪阶段定位精度的降低！

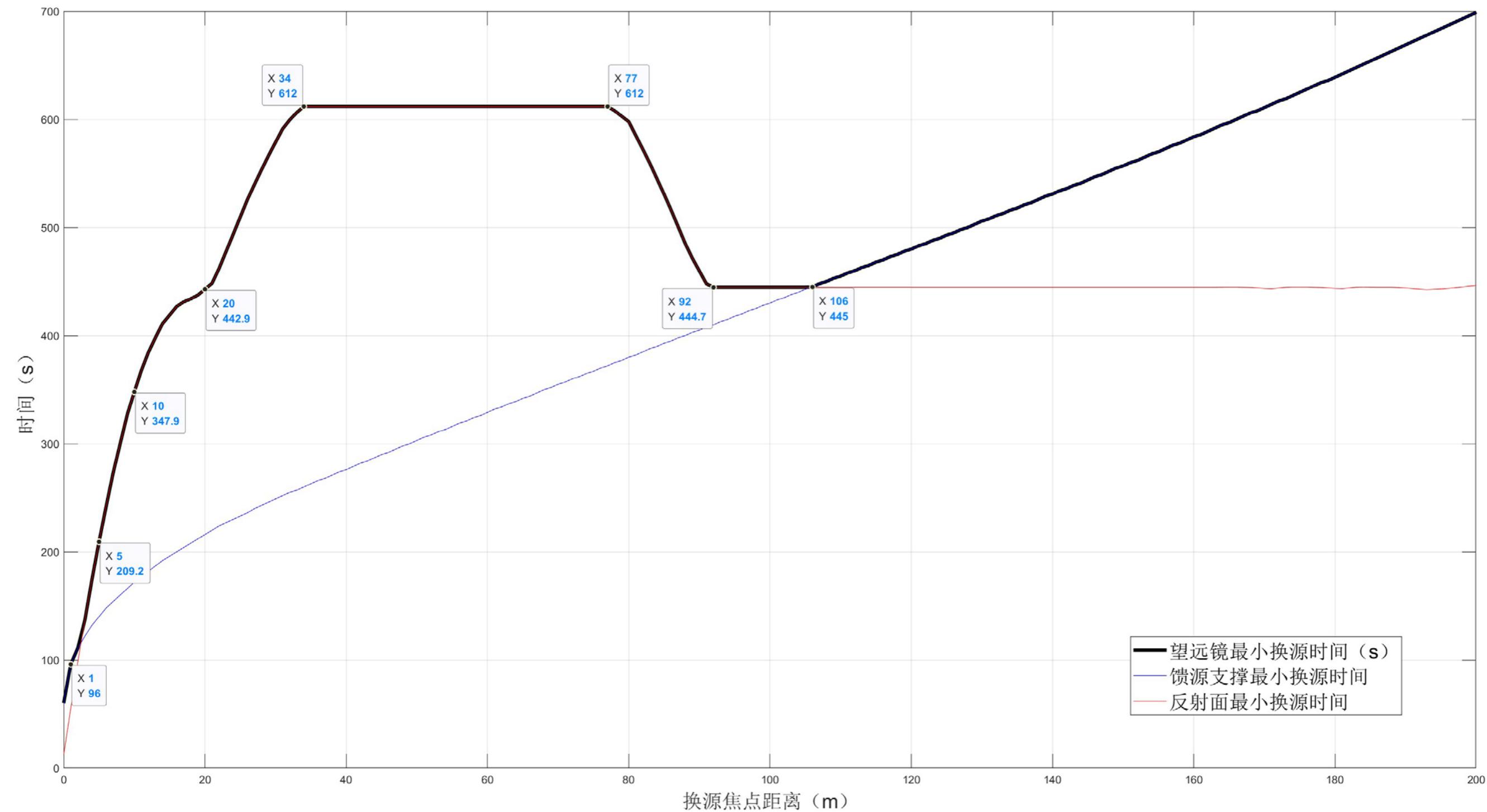


# 反射面促动器行程计算



# 最短换源时间统计，反射面与馈源支撑特点不同



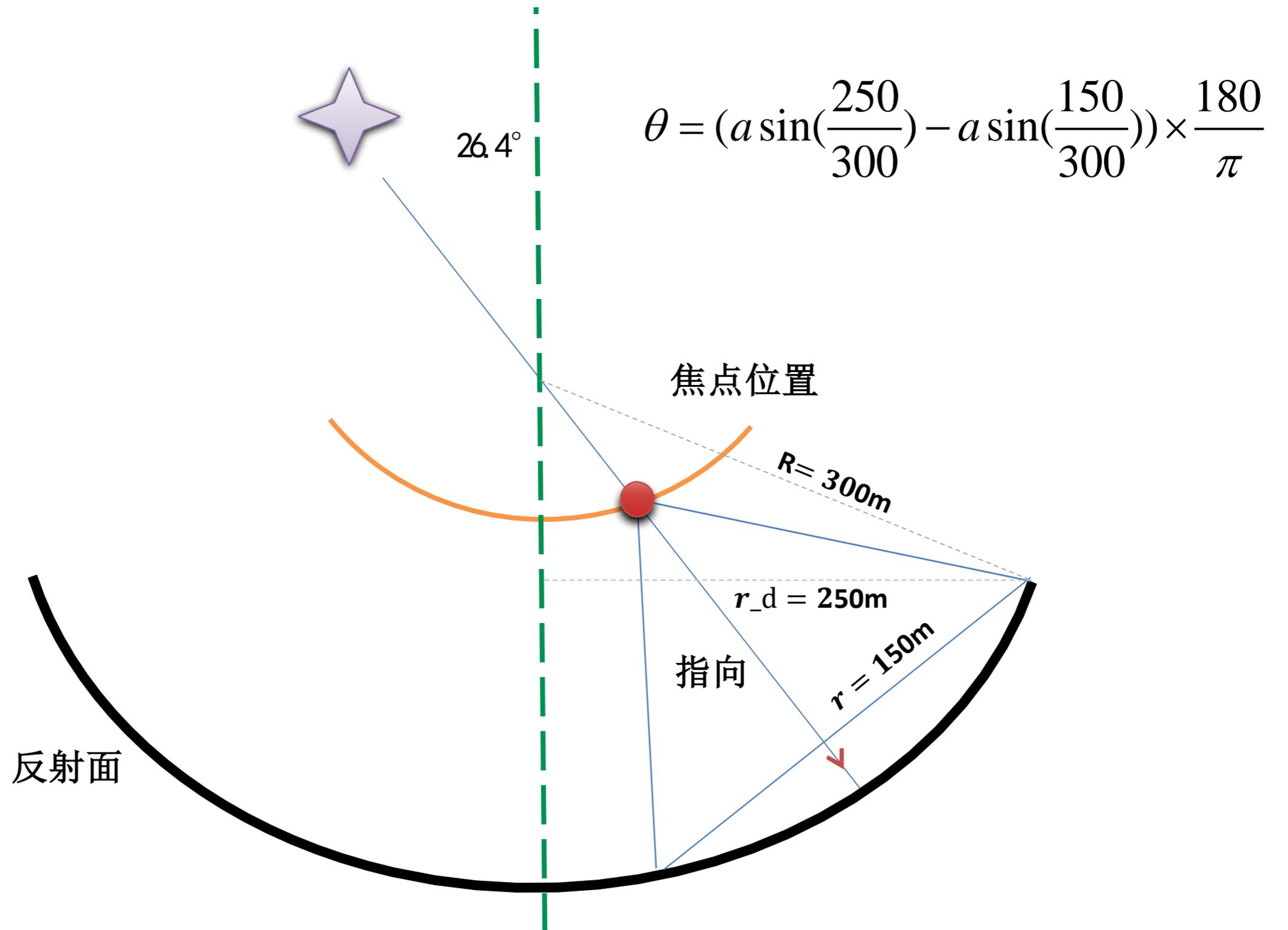




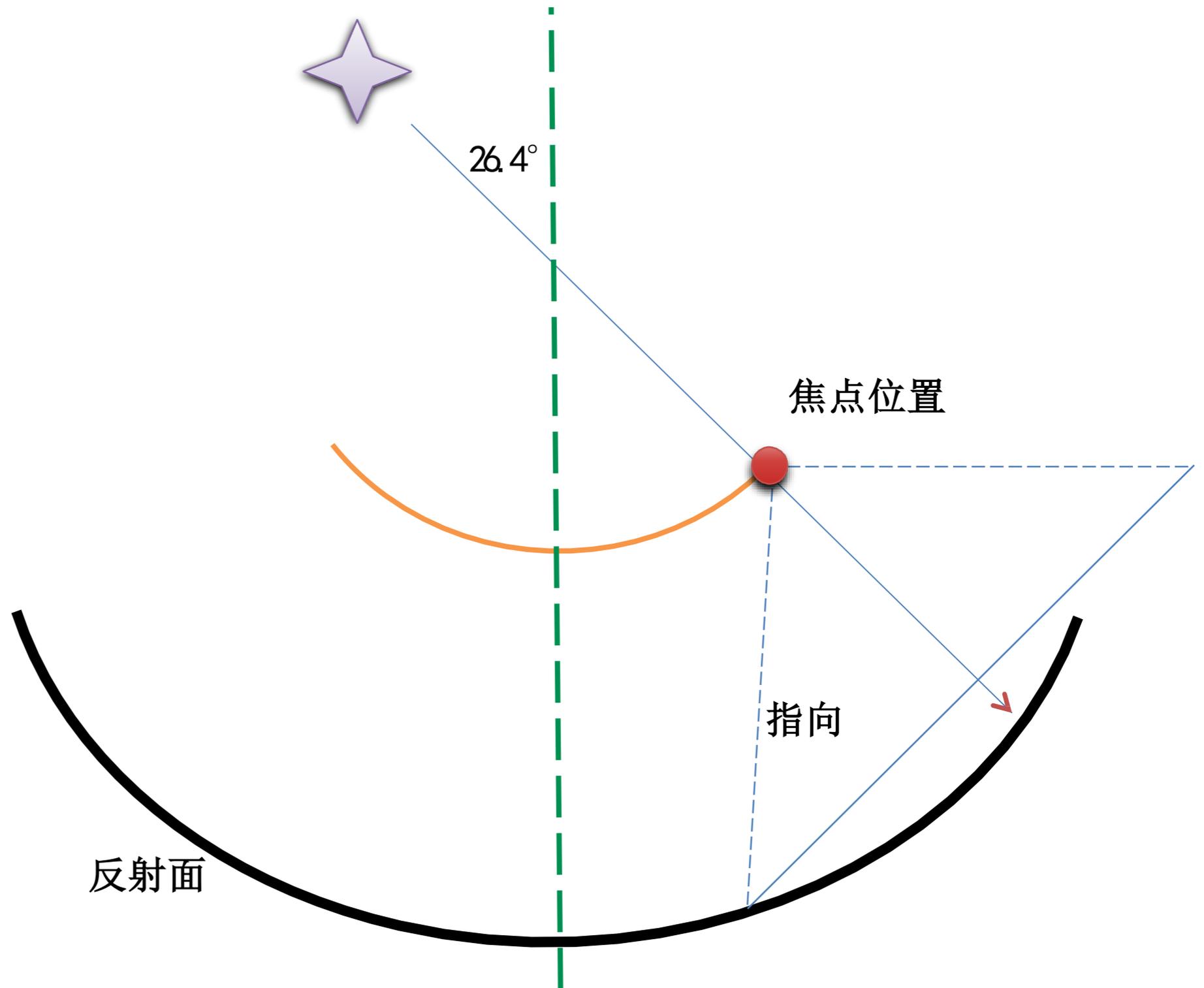
---

回照

# 馈源支撑—回照策略



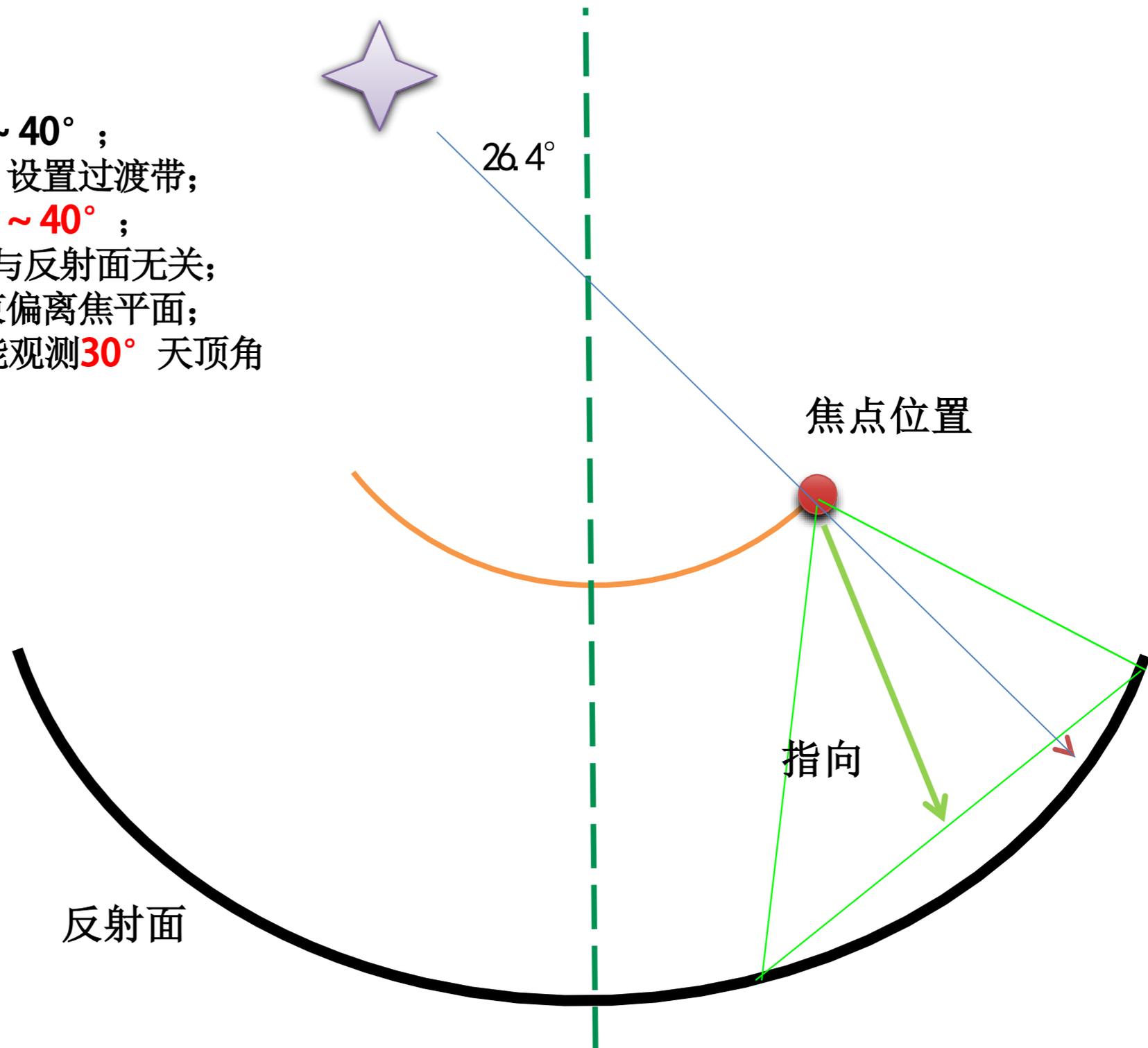
# 馈源支撑—回照策略



# 馈源支撑—回照策略



- 1.回照天顶角为 $26.4^\circ \sim 40^\circ$  ;
- 2.开始回照时产生速度冲击, 设置过渡带;
- 3.实际天顶角范围是 $25^\circ \sim 40^\circ$  ;
- 4.回照只是馈源支撑的行为, 与反射面无关;
- 5.回照造成多波束非中心波束偏离焦平面;
- 6.受AB轴机构限制, 不回照仅能观测 $30^\circ$  天顶角





# 目前的技术指标

---

- 变形抛物面口径 **300米**;
- 抛物面形状精度优于 **RMS 5毫米**;
- 最长换源时间 **12分钟**;
- 馈源相位中心控制精度优于 **RMS10毫米**;
- 望远镜指向精度优于 **16角秒** (平均**8角秒**) ;
- 最大观测天顶距 **40度**, 最长跟踪 **6小时**。



1. 结构组成与运动特点

2. 控制策略与技术指标

**3. 观测模式**



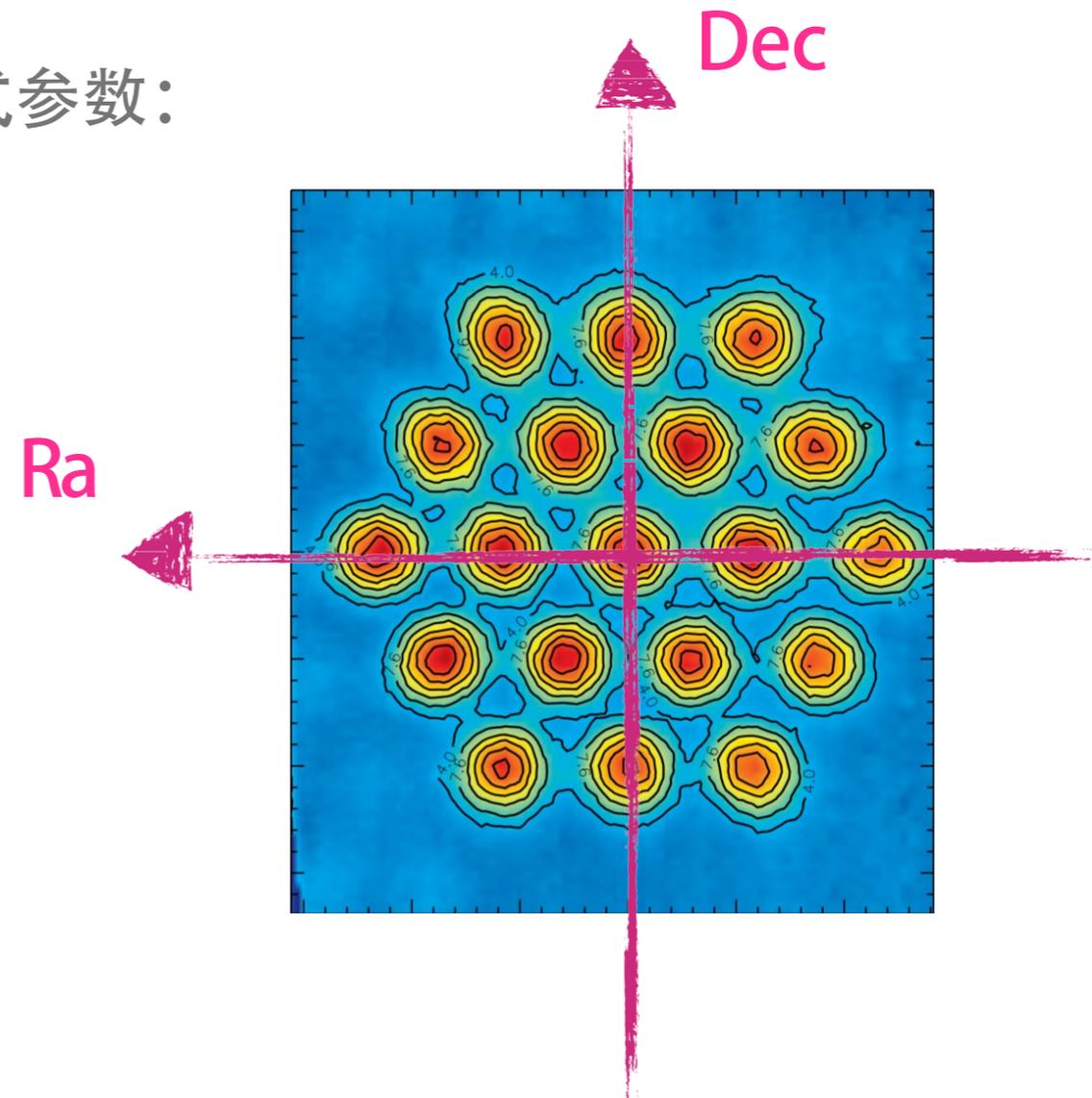
- Drift (静态扫描) : 望远镜保持静止;
- DriftWithAngle (带角度静态扫描) : 多波束专用, 可指定多波束转角; (注意回照区域非中心波束问题)
- Tracking (跟踪) : 望远镜跟踪; (多波束 注意回照区域非中心波束问题)
- TrackingWithAngle (带角度跟踪) : 多波束专用, 可指定多波束转角; (不回照, 天顶距<30度)
- BasketWeaving (编织扫描) : 望远镜在子午圈往复扫描;
- OnTheFlyMapping (运动中扫描) : 望远镜扫描指定矩形天区;
- MultiBeamOTF (19波束运动中扫描) : 多波束专用, 可指定多波束转角; (注意回照区域非中心波束问题)
- MultiBeamCalibration (19波束校准); (不回照, 天顶距<30度)
- SnapShot (快照) : 多波束专用, 银道面快速覆盖, 4次跟踪组成; (不回照, 天顶距<30度)
- OnOff: 谱线观测用, On和Off点跟踪的快速切换;
- 自定义: 人工编写任意焦点轨迹文件, 导入控制系统观测;

待续。。。。

# 观测模式-Drift和DriftWithAngle



- Drift模式参数：
  - 开始时间
  - 对准时间
  - ICRS赤经
  - ICRS赤纬
  - 持续时间
  - 接收机编号
  - 时间后移标签
- DriftWithAngle模式参数：
  - +多波束转角



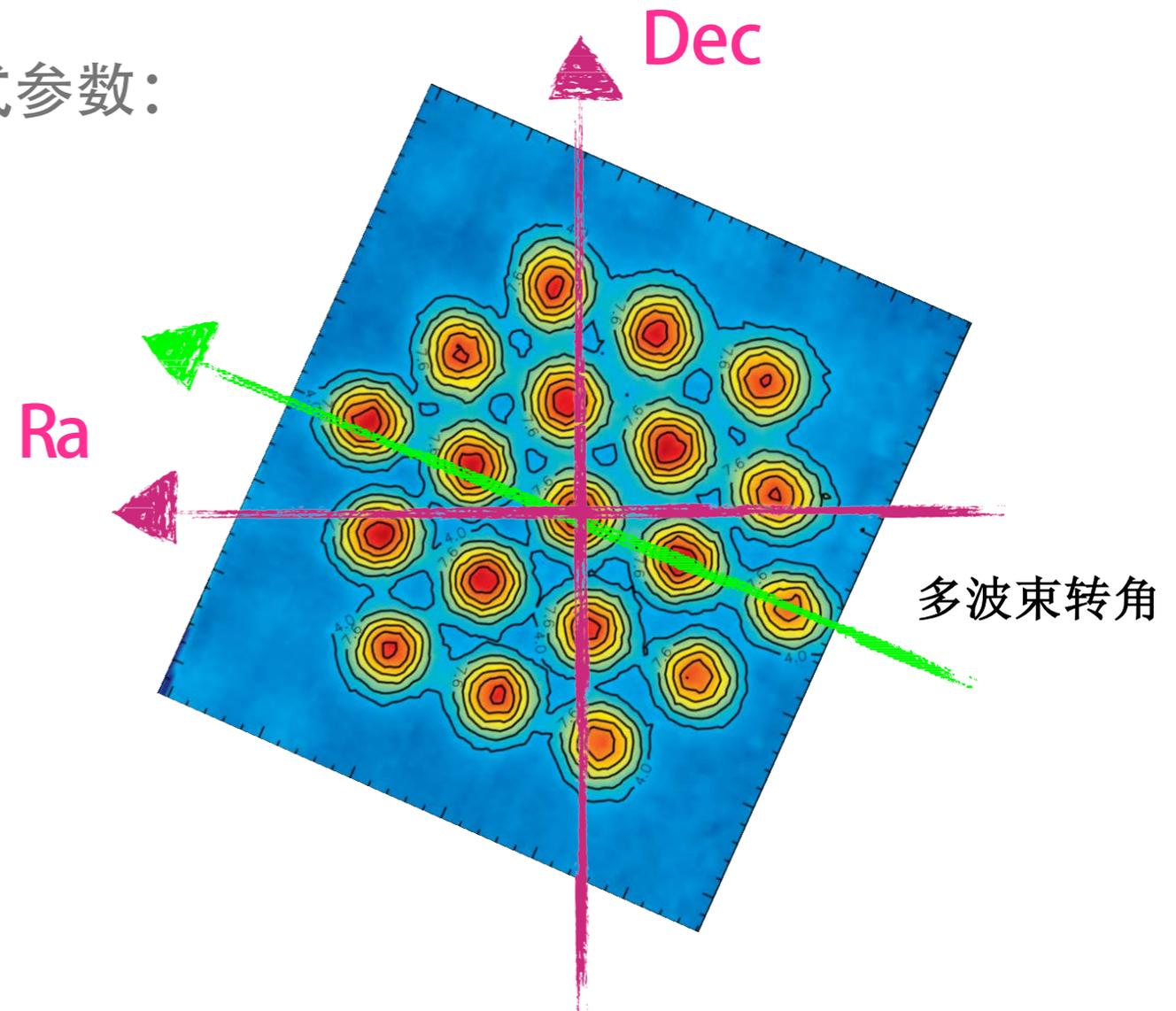
# 观测模式-Drift和DriftWithAngle



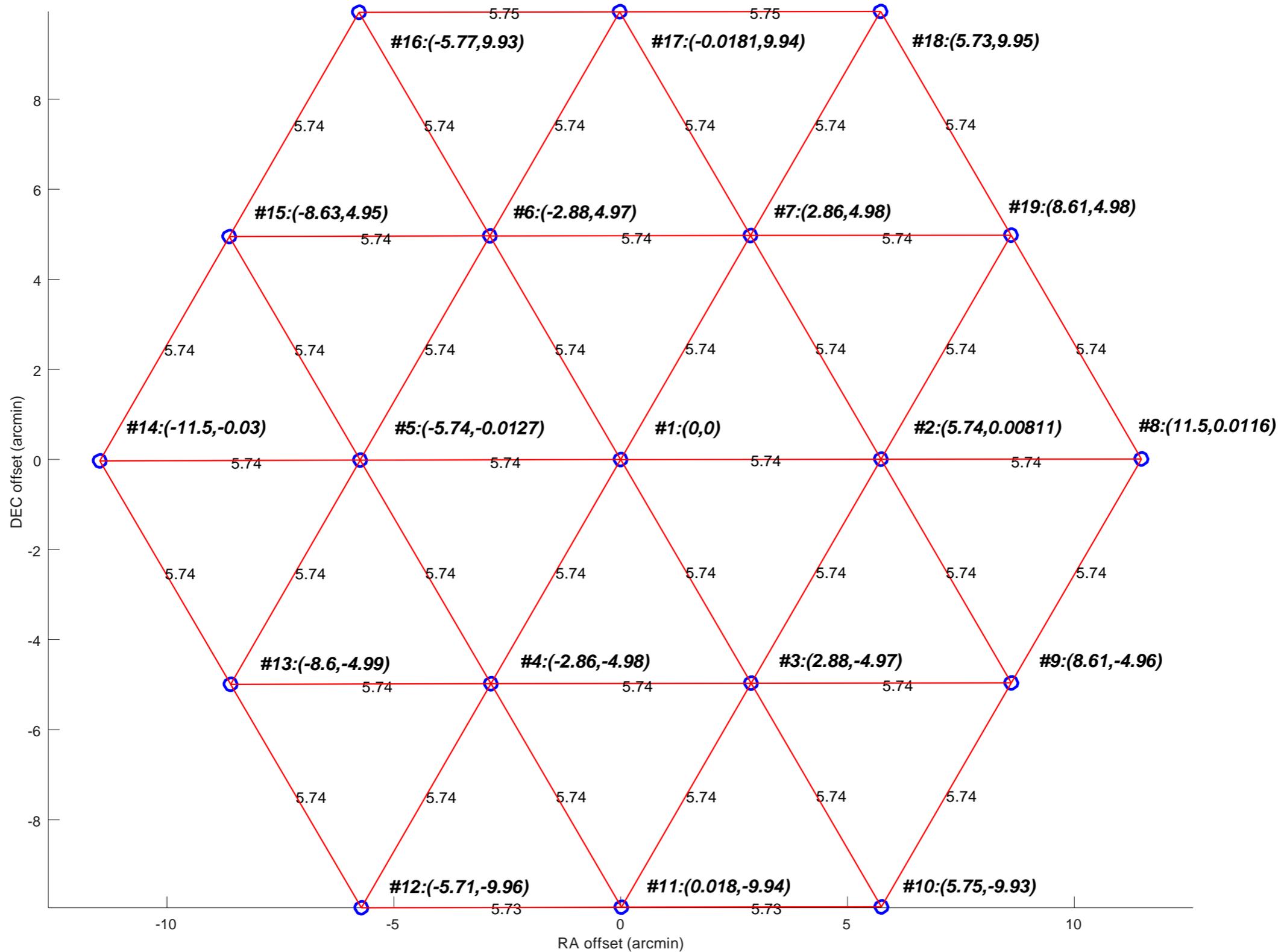
- Drift模式参数：
  - 开始时间
  - 对准时间
  - ICRS赤经
  - ICRS赤纬
  - 持续时间
  - 接收机编号
  - 时间后移标签
- DriftWithAngle模式参数：
  - +多波束转角

望远镜何时移动到指定位置

望远镜何时对准指定的Ra&Dec



# 19波束在天球上的相对位置 (赤纬0度)



# 观测模式-Tracking和SnapShot

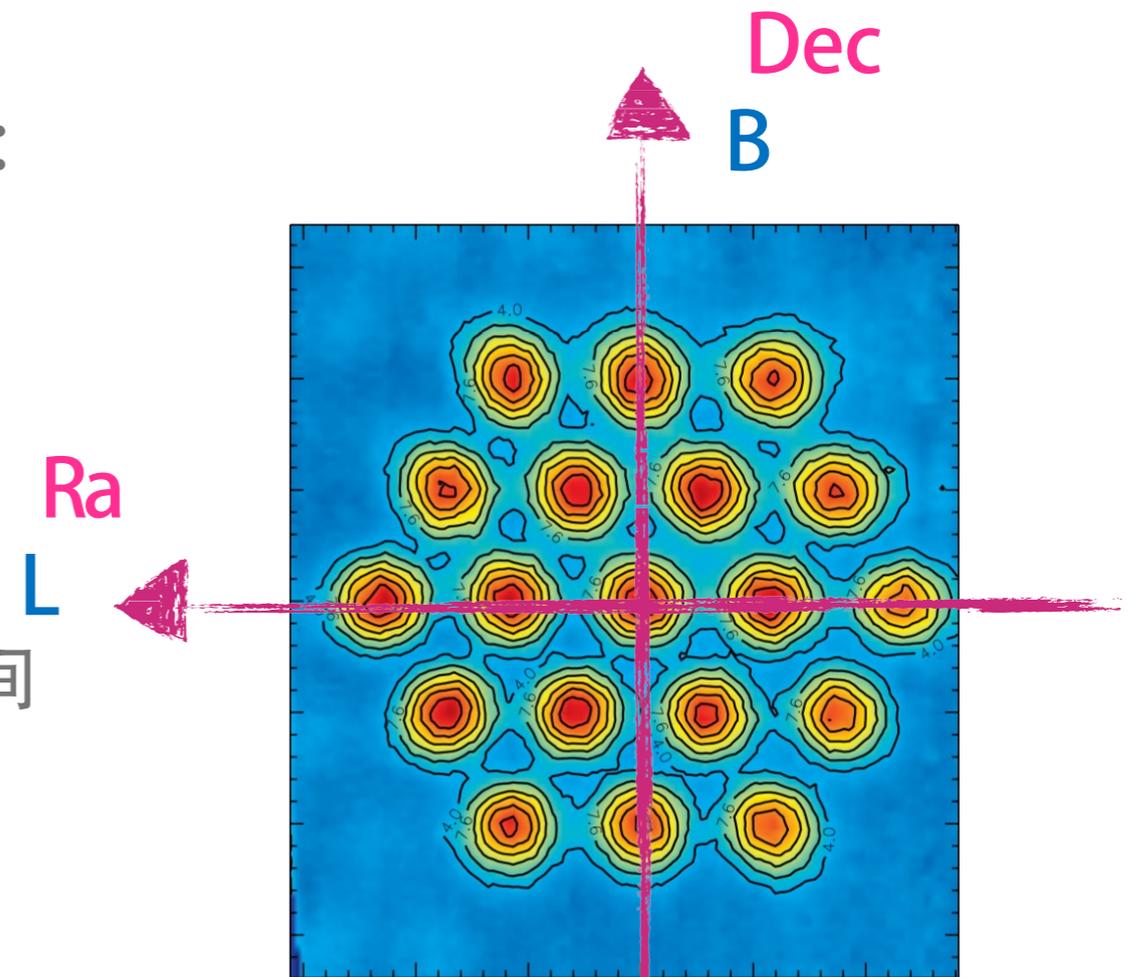


## Tracking模式参数: SnapShot模式参数:

- 开始时间
- ICRS赤经
- ICRS赤纬
- 持续时间
- 接收机编号
- 后移标签

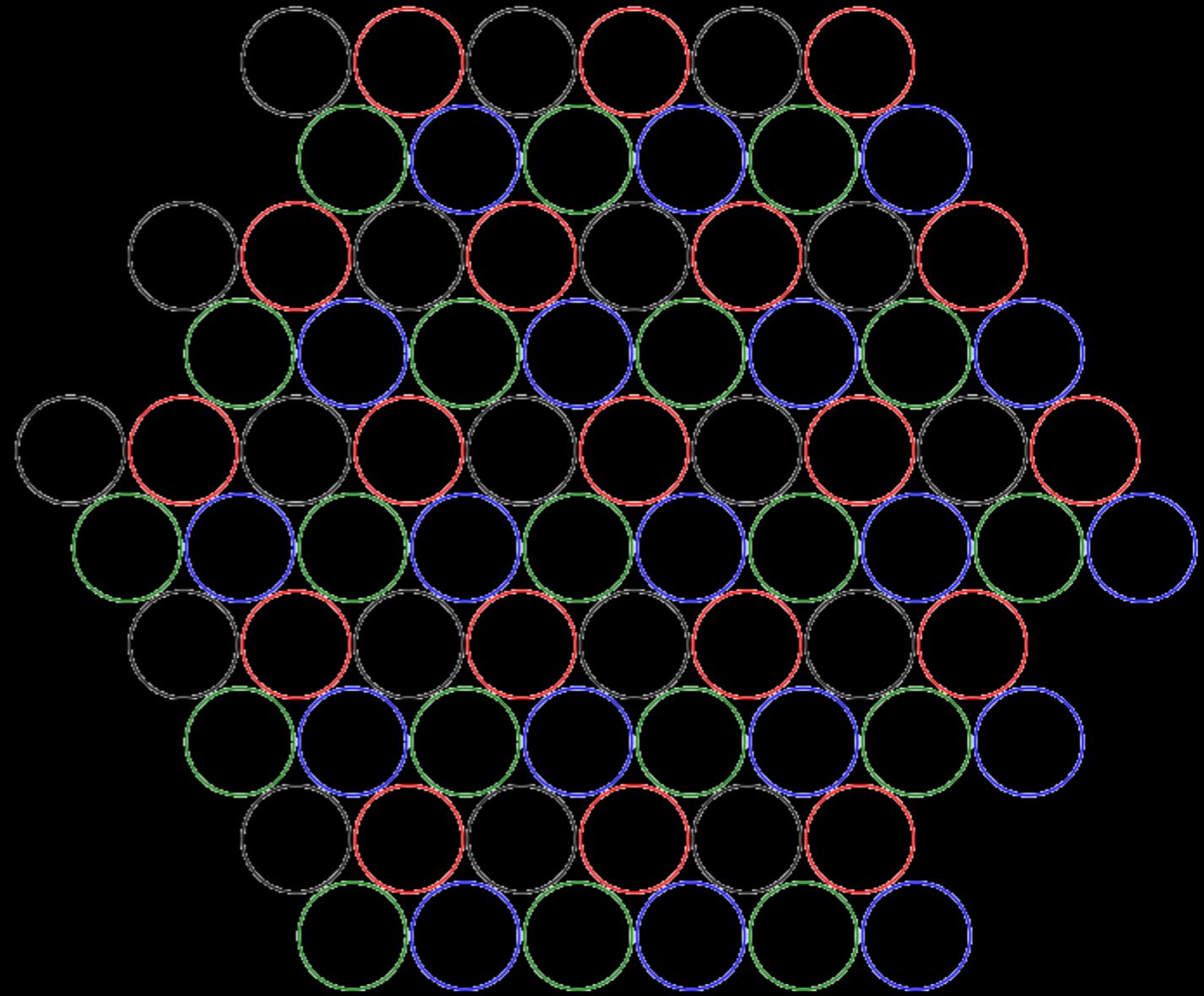
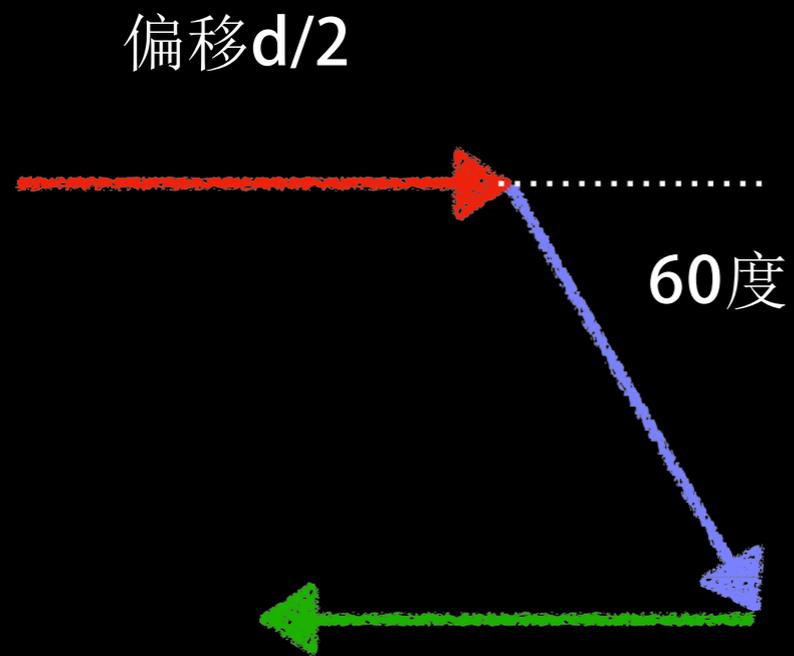
## TrackingWithAngle模式参数:

- +是否抵消像场旋转
- +多波束转角(度)



19波束平行银纬, 在高银纬区域, 多波束自动转 $\pm 60$ 度以防止角度超限

四次跟踪，三次移位：灰-红紫-绿，每次移位所需时间20s



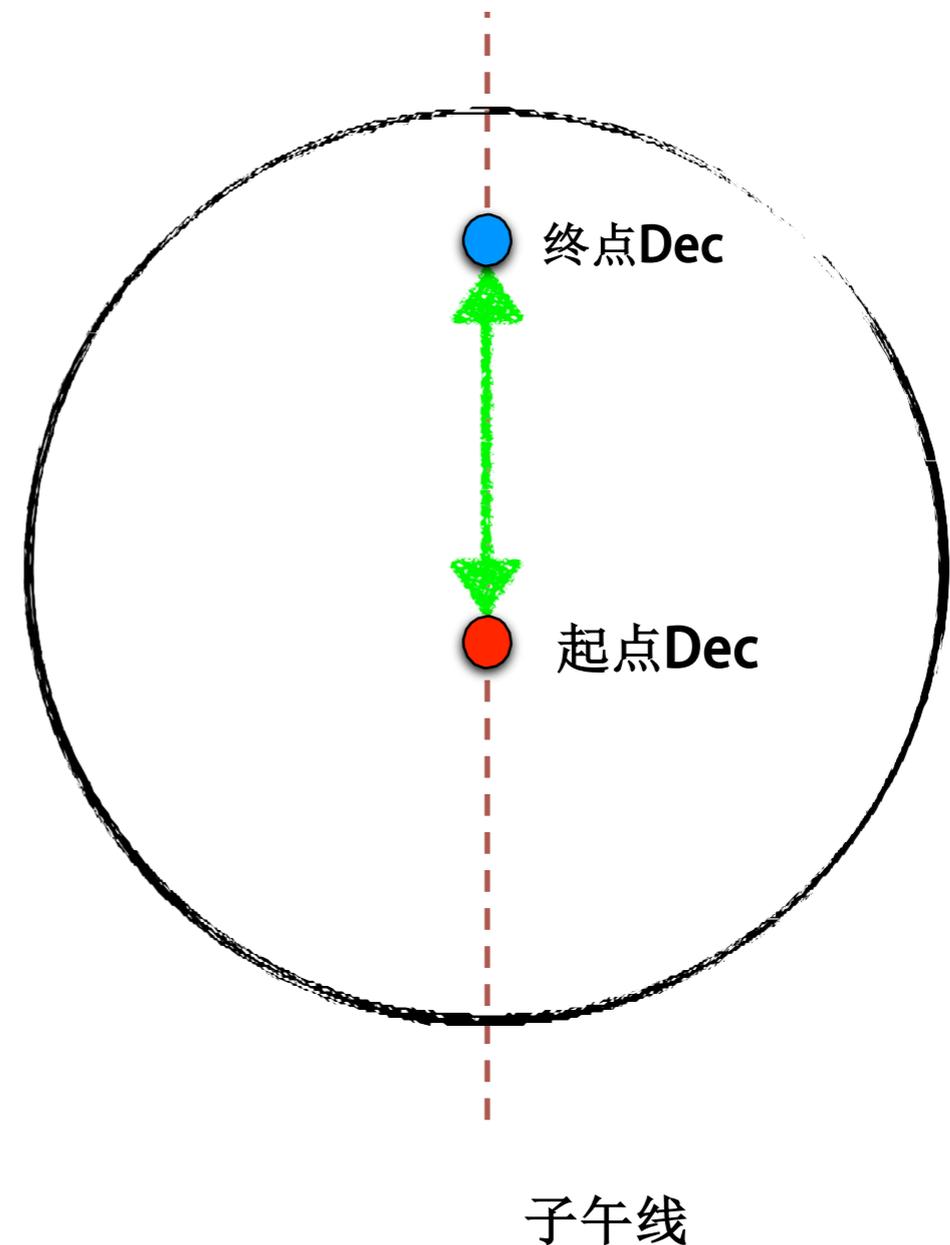
总观测时长 = 单次跟踪时间  $\times$  4 + 移位时间  $\times$  3

# 观测模式-BasketWeaving



- BasketWeaving模式参数:

- 开始时间
- 开始**观测赤纬**
- 结束**观测赤纬**
- 持续时间
- 扫描速度 **5~30 arcsec/s**
- 接收机编号
- 时间后移标签

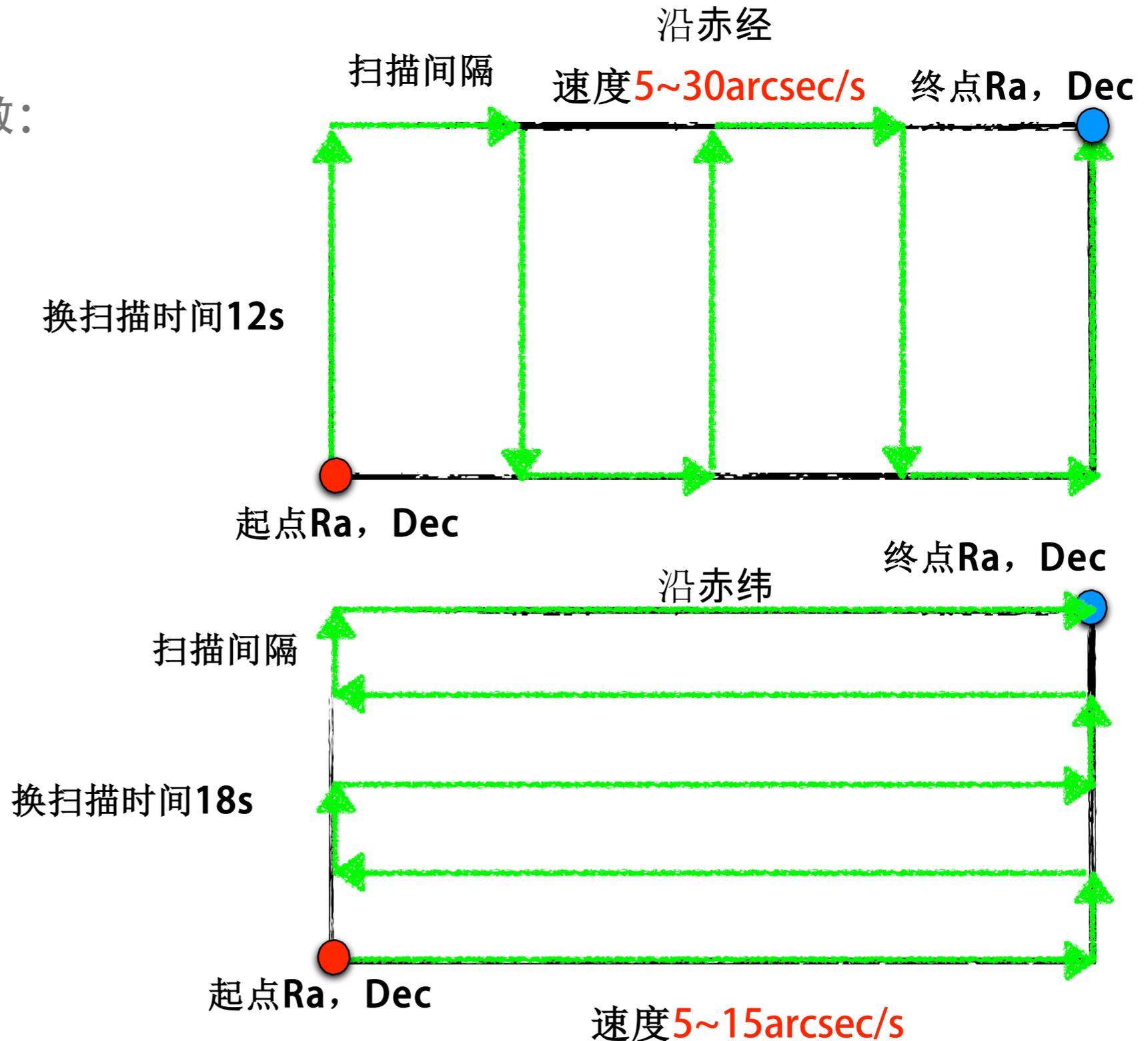


# 观测模式-OnTheFlyMapping



- OnTheFlyMapping模式参数:

- 开始时间
- 开始ICRS赤经
- 开始ICRS赤纬
- 结束ICRS赤经
- 结束ICRS赤纬
- 扫描速度
- 扫描间隔 (~1arcmin)
- 扫描方向
- 接收机编号
- 时间后移标签



# 观测模式-OnTheFlyMapping



## 运动中扫描观测时长计算：

沿赤经扫描=扫描时间+转向时间

=单条时间×扫描条数+单次转向时间×转向次数

$$= \frac{|\text{结束赤纬}-\text{开始赤纬}|}{\text{扫描速度}} \times \text{round}\left(\frac{|\text{结束赤经}-\text{开始赤经}|}{\text{扫描间隔}} + 1\right) + \text{单次转向时间} \times \text{round}\left(\frac{|\text{结束赤经}-\text{开始赤经}|}{\text{扫描间隔}}\right)$$

沿赤纬扫描=扫描时间+转向时间

=单条时间×扫描条数+单次转向时间×转向次数

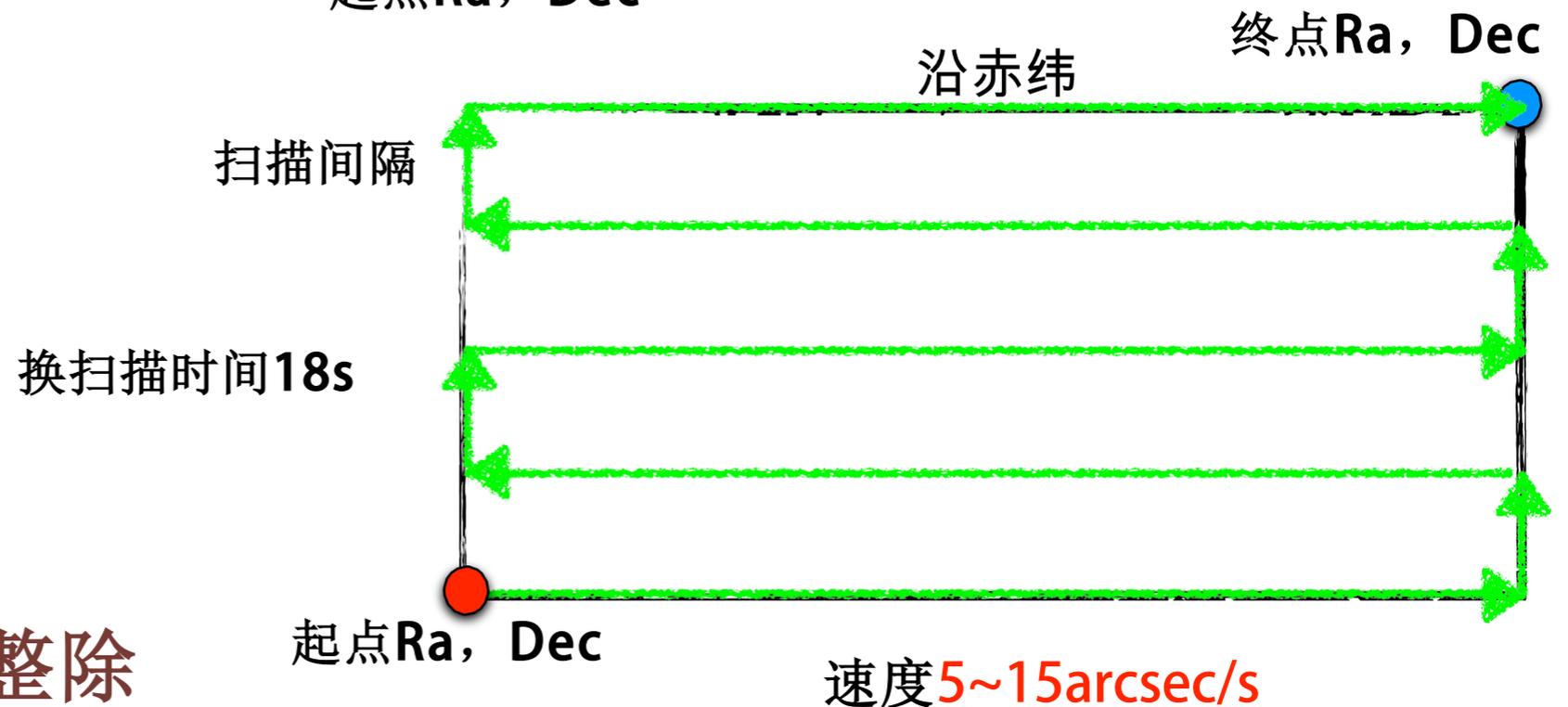
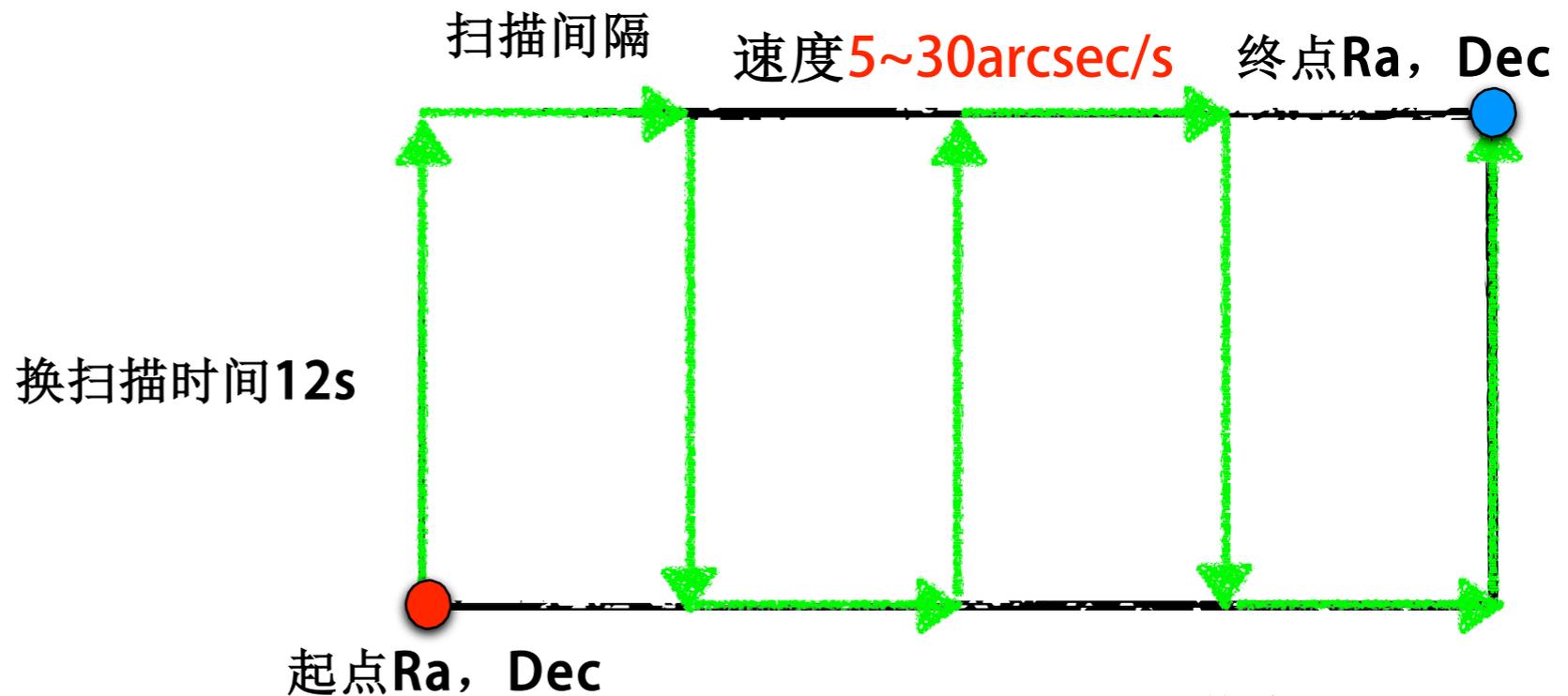
$$= \frac{|\text{结束赤经}-\text{开始赤经}|}{\text{扫描速度}} \times \text{round}\left(\frac{|\text{结束赤纬}-\text{开始赤纬}|}{\text{扫描间隔}} + 1\right) + \text{单次转向时间} \times \text{round}\left(\frac{|\text{结束赤纬}-\text{开始赤纬}|}{\text{扫描间隔}}\right)$$

# 观测模式-OnTheFlyMapping



- OnTheFlyMapping模式参数:

- 开始时间
- 开始ICRS赤经
- 开始ICRS赤纬
- 结束ICRS赤经
- 结束ICRS赤纬
- 扫描速度
- 扫描间隔 (~1arcmin)
- 扫描方向
- 接收机编号
- 时间后移标签



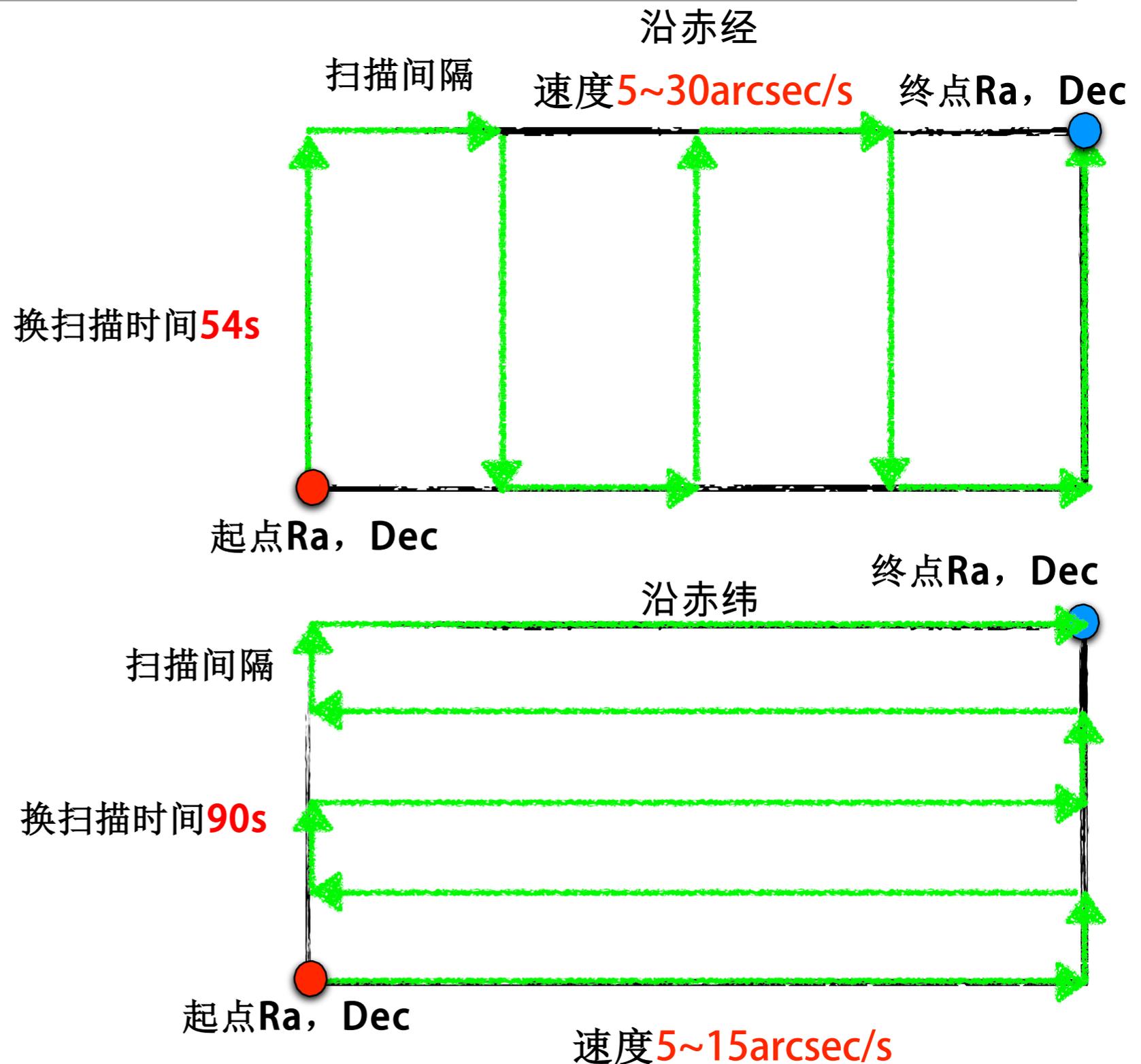
自动扩展天区能被间隔整除

# 观测模式-MultiBeamOTF



- MultiBeamOTF模式参数:

- 开始时间
- 开始ICRS赤经
- 开始ICRS赤纬
- 结束ICRS赤经
- 结束ICRS赤纬
- 扫描速度
- 扫描间隔 (~23arcmin)
- 扫描方向
- 多波束转角 (度)
- 接收机编号
- 时间后移标签



# 观测模式-MultiBeamOTF



## 19波束运动中扫描观测时长计算：

沿赤经扫描=扫描时间+转向时间

=单条时间×扫描条数+单次转向时间×转向次数

$$= \frac{|\text{结束赤纬}-\text{开始赤纬}|}{\text{扫描速度}} \times \text{round}\left(\frac{|\text{结束赤经}-\text{开始赤经}|}{\text{扫描间隔}}+1\right) + \text{单次转向时间} \times \text{round}\left(\frac{|\text{结束赤经}-\text{开始赤经}|}{\text{扫描间隔}}\right)$$

沿赤纬扫描=扫描时间+转向时间

=单条时间×扫描条数+单次转向时间×转向次数

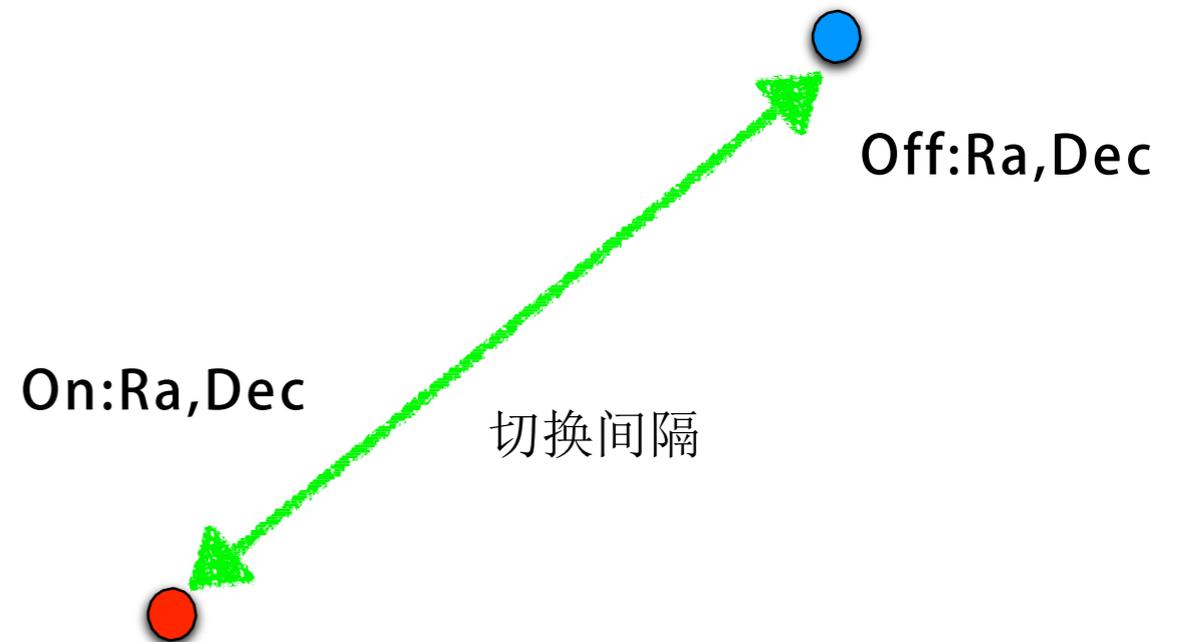
$$= \frac{|\text{结束赤经}-\text{开始赤经}|}{\text{扫描速度}} \times \text{round}\left(\frac{|\text{结束赤纬}-\text{开始赤纬}|}{\text{扫描间隔}}+1\right) + \text{单次转向时间} \times \text{round}\left(\frac{|\text{结束赤纬}-\text{开始赤纬}|}{\text{扫描间隔}}\right)$$

# 观测模式-OnOff



- OnOff模式参数:

- 开始时间
- On点ICRS赤经
- On点ICRS赤纬
- Off点ICRS赤经
- Off点ICRS赤纬
- 单次跟踪时间
- 循环次数
- 接收机编号
- 时间后移标签



- 1.间隔20arcmin内切换时间为30sec
- 2.间隔20arcmin~1degree内切换时间为60sec
- 3.间隔大于1度不执行

总观测时长 = (单次跟踪时间 × 2 + 切换时间 × 2) × 循环次数 - 切换时间

# 观测模式-MultiBeamCalibration



- MultiBeamCalibration模式参数：

- 开始时间
- ICRS赤经
- ICRS赤纬
- 单次跟踪持续时间
- 接收机编号
- 时间后移标签

顺序：**1-1-2-3...17-18-19**

**切换时间40s**

总观测时长 = (单次跟踪时间+切换时间) × 20 - 切换时间



# 观测模式-自定义

---

- 提供轨迹规划列表，望远镜按照列表执行

当前已开发提供：100ms的儒略日，地平坐标。自动转化控制系统执行文件的脚本。



## · 特别说明

- 1.除自定义模式外，所有观测模式均默认补偿像场旋转；**因此如果仅需波束和赤纬线保持平行的情况选用常规模式即可**
2. 需要与赤纬线保持某个固定的夹角时采用带角度观测模式；
3. 目前TrackingWithAngle（带角度跟踪）、SnapShot（快照）、MultiBeamCalibration（19波束校准）由于不回照，所以使用该模式时，观测天顶角不能超过30度。

# 指向文件介绍



• 文件名：源名+开始观测时间.xlsx

A		B		C	D	E	F
		整控-馈源舱数据表			测量数据表		
属性名称		备注			属性名称		备注
SysTime		控制系统时间			SysTime	控制系统时间	
TRP_PhaPos_X		理论相位中心X			KYCC_State	测量系统状态	
TRP_PhaPos_Y		理论相位中心Y			KYCC_Error	测量系统错误状态	
TRP_PhaPos_Z		理论相位中心Z			StarState	星型框架状态	
TRP_SwtDPose_Y		理论相位中心偏航角(欧拉角绕Z轴旋转)			StarTime	星型框架时间	
TRP_SwtDPose_P		理论相位中心俯仰角(欧拉角绕Y轴旋转)			ABPos_X	星型框架X	
TRP_SwtDPose_R		理论相位中心翻滚角(欧拉角绕X轴旋转)			ABPos_Y	星型框架Y	
SDP_PhaPos_X		实际相位中心X			ABPos_Z	星型框架Z	
SDP_PhaPos_Y		实际相位中心Y			StarPose_1	星型框架姿态矩阵(1, 1)	
SDP_PhaPos_Z		实际相位中心Z			StarPose_2	星型框架姿态矩阵(1, 2)	
SDP_SwtDPose_Y		实际相位中心偏航角(欧拉角绕Z轴旋转)			StarPose_3	星型框架姿态矩阵(1, 3)	
SDP_SwtDPose_P		实际相位中心俯仰角(欧拉角绕Y轴旋转)			StarPose_4	星型框架姿态矩阵(2, 1)	
SDP_SwtDPose_R		实际相位中心翻滚角(欧拉角绕X轴旋转)			StarPose_5	星型框架姿态矩阵(2, 2)	
TRP_AngleA		理论A轴转角			StarPose_6	星型框架姿态矩阵(2, 3)	
TRP_AngleB		理论B轴转角			StarPose_7	星型框架姿态矩阵(3, 1)	
SDP_AngleA		实际A轴转角			StarPose_8	星型框架姿态矩阵(3, 2)	
SDP_AngleB		实际B轴转角			StarPose_9	星型框架姿态矩阵(3, 3)	
TRP_AngleM		理论多波束转角			SwtDState	相位中心状态	
SDP_AngleM		实际多波束转角			SwtDTime	相位中心时间	
					SwtDPos_X	相位中心X	
					SwtDPos_Y	相位中心Y	
					SwtDPos_Z	相位中心Z	
					SwtDPose_1	相位中心姿态矩阵(1, 1)	
					SwtDPose_2	相位中心姿态矩阵(1, 2)	
					SwtDPose_3	相位中心姿态矩阵(1, 3)	
					SwtDPose_4	相位中心姿态矩阵(2, 1)	
					SwtDPose_5	相位中心姿态矩阵(2, 2)	
					SwtDPose_6	相位中心姿态矩阵(2, 3)	
					SwtDPose_7	相位中心姿态矩阵(3, 1)	
					SwtDPose_8	相位中心姿态矩阵(3, 2)	
					SwtDPose_9	相位中心姿态矩阵(3, 3)	

谢谢！

