



西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

# 航天器控制原理



冯冬竹

电话: 13389281325

邮箱: [dzhfeng@xidian.edu.cn](mailto:dzhfeng@xidian.edu.cn)

空间科学与技术学院 导航控制系



西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

# 目录

CONTENTS

01

绪论

02

航天器的轨道与轨道力学

03

航天器的姿态运动学和动力学

04

航天器姿态控制系统的组成与分类

05

航天器的被动姿态控制系统

06

航天器主动姿态稳定系统



# 航天器姿态控制系统的组成与分类

01

姿态敏感器

02

执行机构

03

控制器——星载控制计算机

04

姿态控制系统的任务与分类

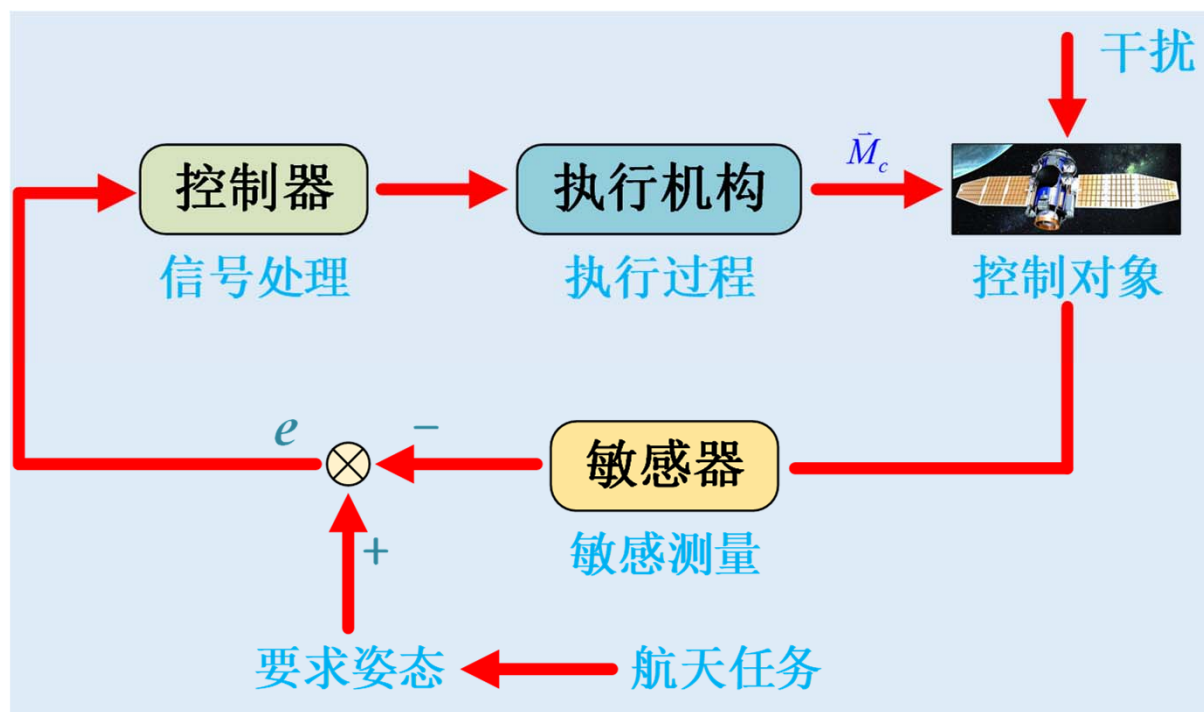


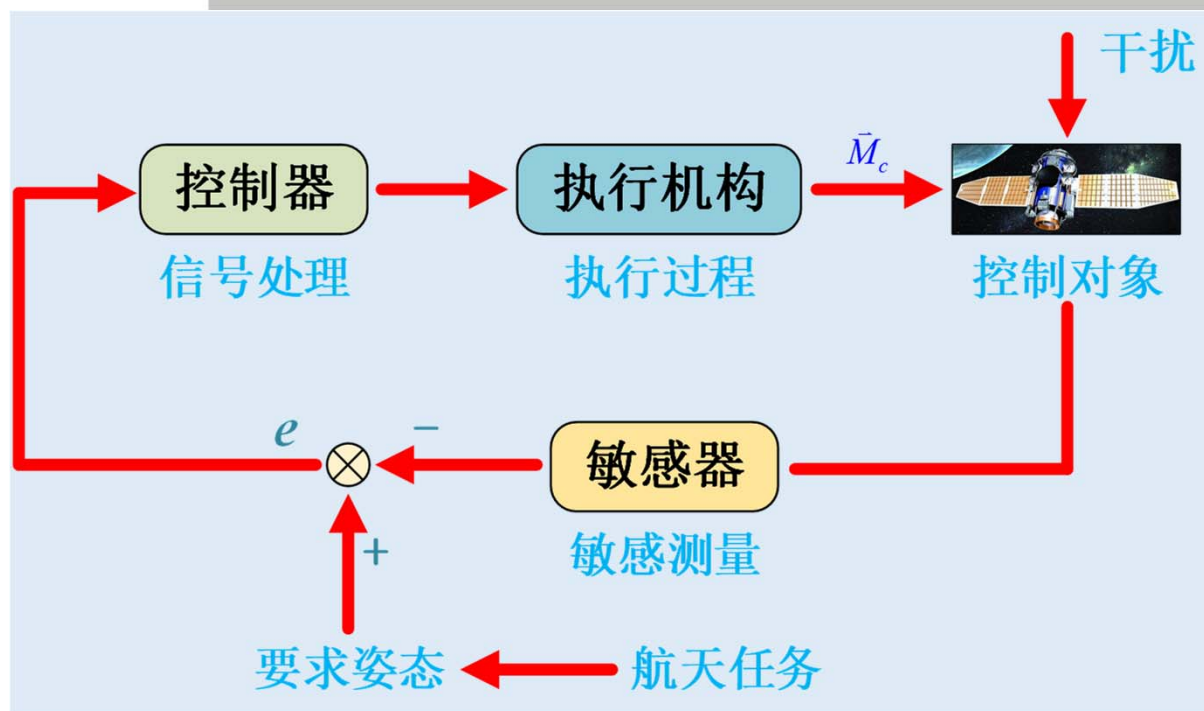
# 第一讲 · 姿态敏感器

- 01 太阳敏感器
- 02 红外地平仪
- 03 星敏感器
- 04 陀螺
- 05 加速度计
- 06 磁强计
- 07 射频敏感器
- 08 姿态敏感器小结



- 航天器在轨道上运动将受到各种力和力矩的作用。从刚体力学角度来说，力使航天器的轨道产生摄动，力矩使航天器姿态产生扰动。因此，航天器的控制可以分为轨道控制和姿态控制。





➤ 控制硬件：

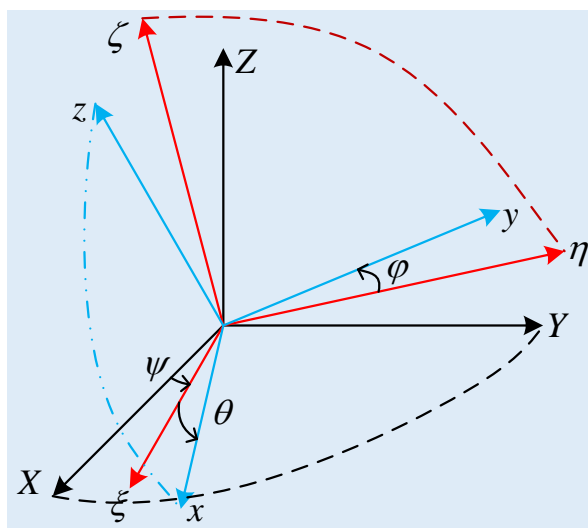
- 敏感器用来测量某些绝对的或相对的物理量
- 执行机构用来驱动动力装置产生控制信号所要求的运动
- 控制器负责信号处理

➤ 控制软件：

- 完成测量和控制任务所需的算法



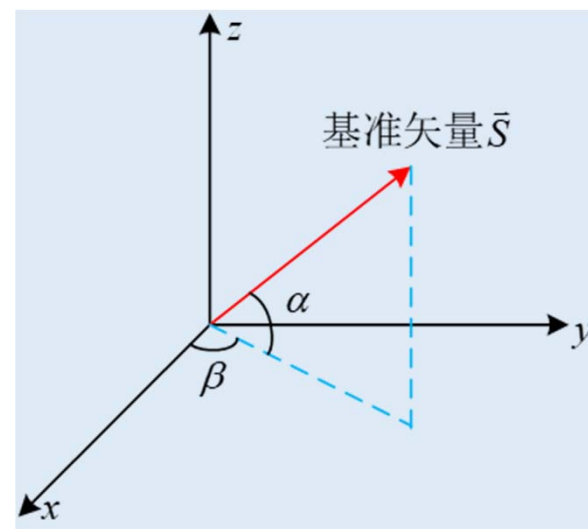
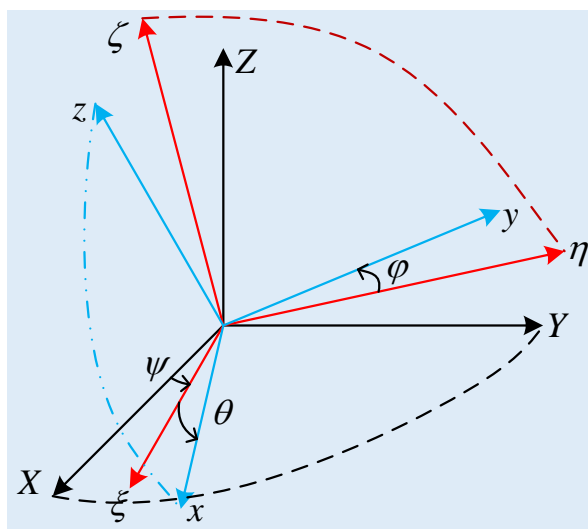
- 姿态就是航天器在空间的方位，而姿态敏感器用来测量航天器本体坐标系相对于某个基准坐标系的相对角位置和角速度，以确定航天器的姿态。







- 要完全确定一个航天器的姿态，需要3个轴的角度信息。由于从一个方位基准最多只能得到两个轴的角度信息，为此要确定航天器的三轴姿态至少要有两个方位基准。







- 姿态敏感器按不同的基准方位，可以分为：
- ① 以地球为基准方位：红外地平仪，地球反照敏感器
  - ② 以天体为基准方位：太阳敏感器，星敏感器
  - ③ 以惯性空间为基准方位：陀螺，加速度计
  - ④ 以地面站为基准方位：射频敏感器
  - ⑤ 其他：例如磁强计以地磁场为基准方位，陆标敏感器以地貌为基准方位



- 敏感器由测量变换器和信号处理线路两部分组成，姿态敏感器按不同方式的测量变换器，可以分为：
- ① 光学敏感器：太阳敏感器，红外地平仪，星敏感器，地球反照敏感器等
  - ② 惯性敏感器：陀螺，加速度计
  - ③ 无线电敏感器：射频敏感器
  - ④ 其他：磁强计

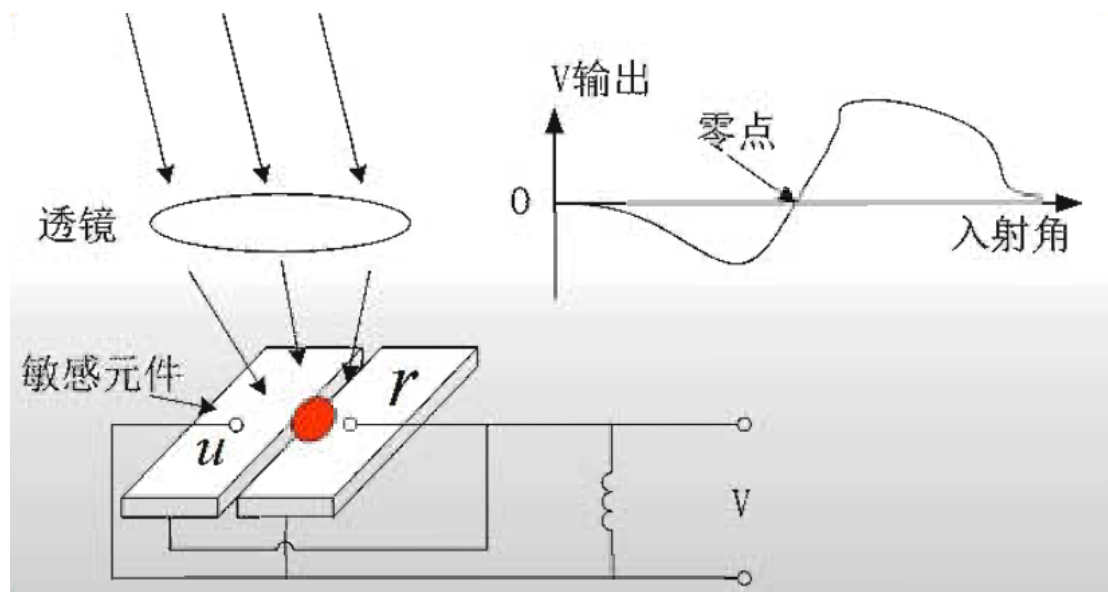


## 1、太阳敏感器

- 太阳敏感器是通过对太阳辐射的敏感来测量太阳视线与航天器某一体轴之间夹角的敏感器。
- 广泛的通用性：
  - 太阳近似看作是点光源
  - 太阳光源很强，使得敏感器结构简单，其功率要求也很小
  - 太阳敏感器的视场很大
- 基本类型：
  - 模拟式
  - 数字式
  - 太阳指示器

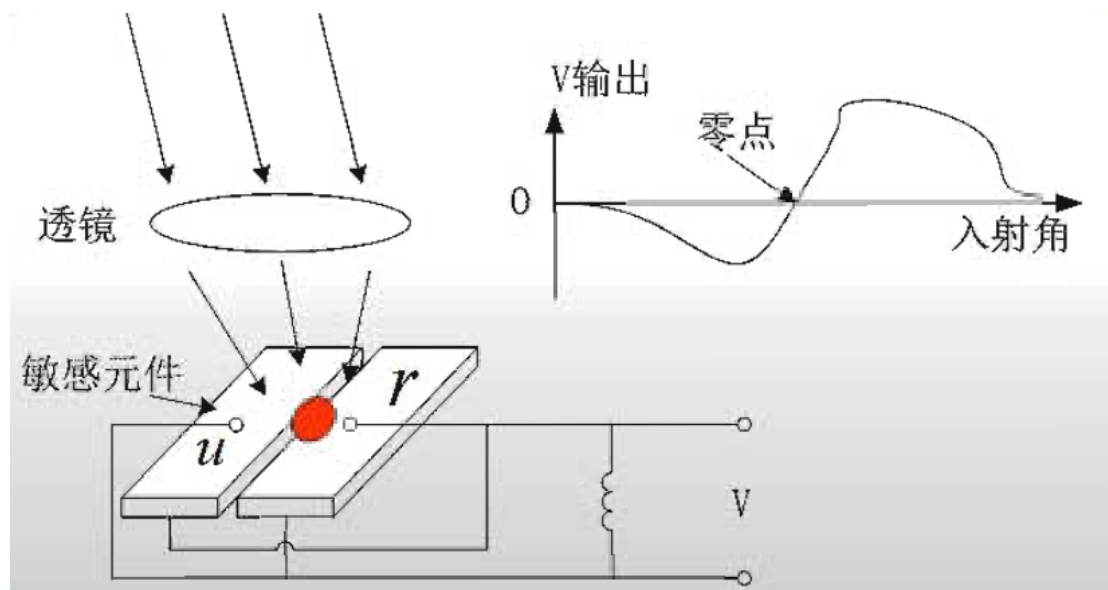


- 模拟式太阳敏感器的输出信号为模拟量，其大小和符号是太阳光入射角的连续函数。模拟式太阳敏感器通常又叫做**余弦检测器**，这是因为硅太阳电池输出电流与太阳光入射角成正弦规律变化。





- 只能测量航天器相对于太阳光线的一个姿态角，因此称为**单轴模拟式太阳敏感器**。





- **两轴模拟式太阳敏感器**：同时获得航天器相对于太阳光线的两个姿态角。





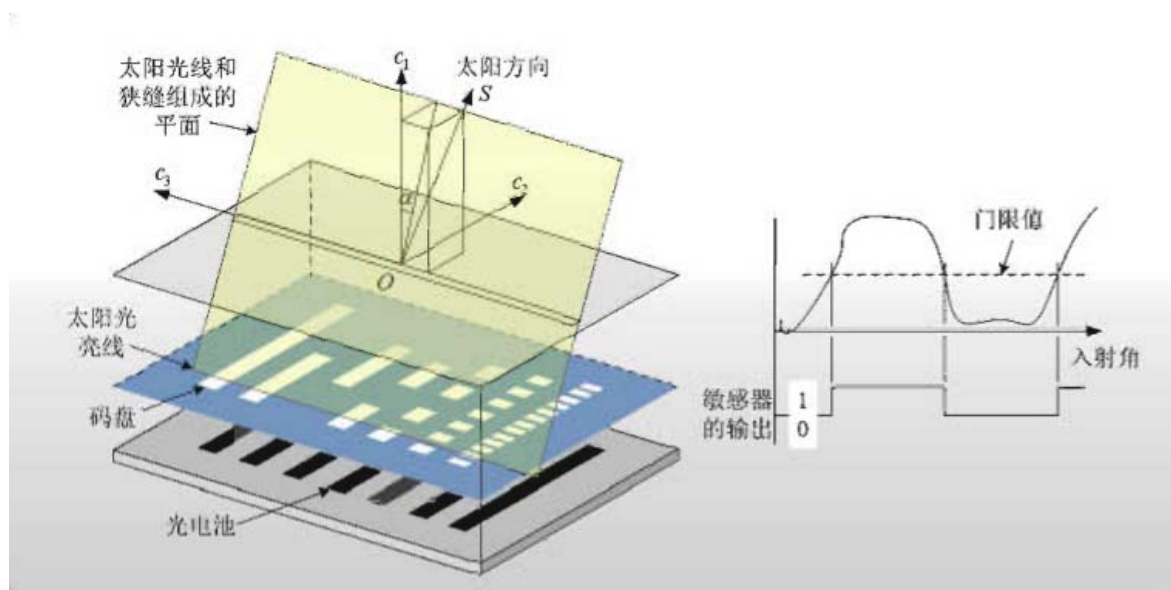
- 模拟式太阳敏感器的视场在几十度时，精度可达到  $0.5^\circ$
- 当视场很小，仅为  $1\sim 2^\circ$  时，精度可达到秒级





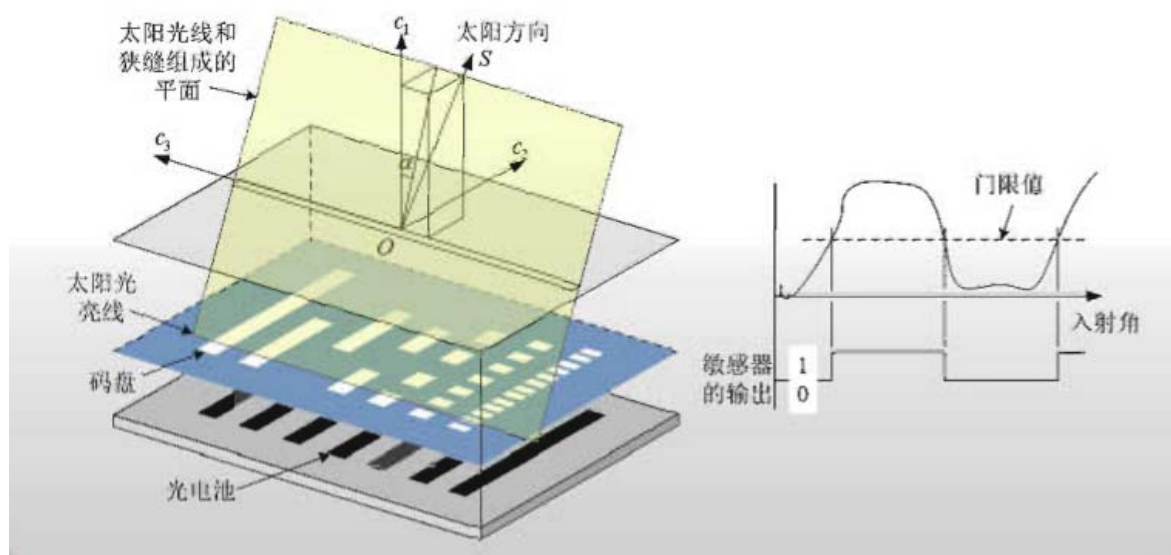


- 数字式太阳敏感器的输出信号是与太阳入射角相关的以编码形式出现的离散函数。在结构上，它主要由狭缝、码盘、光敏元件阵列、放大器和缓冲寄存器组成。



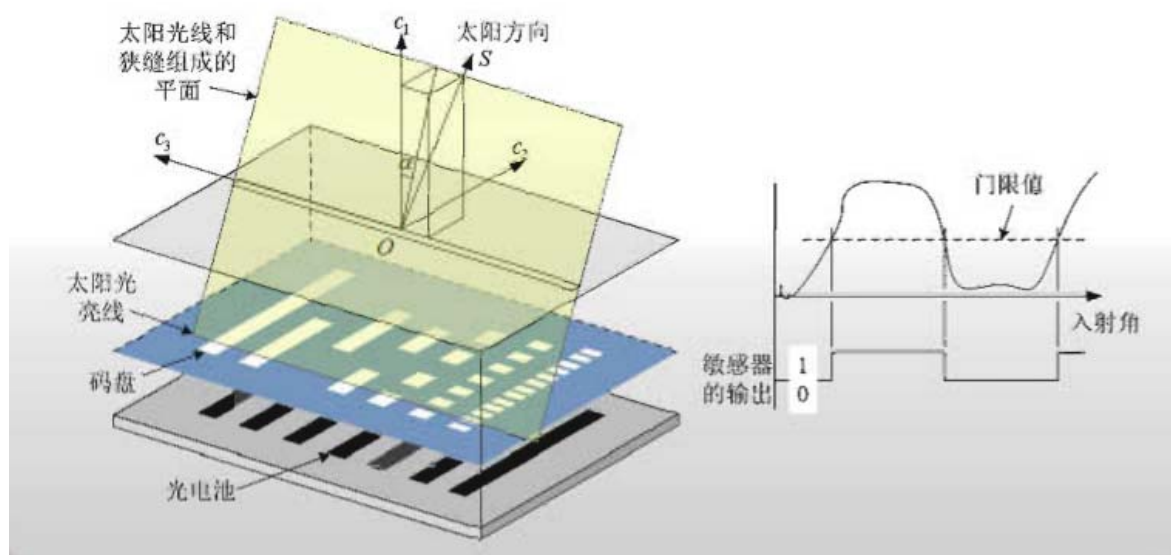


- 码盘上有符号位和编码位。符号位用于确定太阳位于敏感器基准面的哪一边，即确定太阳入射角的正负。编码位用于确定太阳光线偏离基准面的数字量，即确定太阳入射角的大小。
- 光敏元件阵列由一排相互平行且独立的光电池条组成，其数量决定了太阳敏感器输出编码的位数，在一定程度上影响到敏感器的分辨率。





- 只能测得太阳入射光线相对于敏感器基准面的一个角，所以称之为**单轴数字式太阳敏感器**。如果安装两个数字敏感器，令其基准面相互垂直，则可组成**两轴太阳敏感器**。其测量信息经过处理后，就可得到太阳入射光相对于基准坐标系的高低角和方位角。





- 太阳指示器也称为太阳出现探测器。
- 当太阳出现在敏感器视场内，并且信号超过门限值时，表示见到了太阳，输出为**1**；当信号低于门限值时，输出为**0**，表示没见到太阳。这种敏感器一般用来作保护器，例如保护红外地平仪免受太阳光的影响。



## ➤ 太阳敏感器的优点

- 信号源强
- 功耗低、质量轻
- 精度较高，约 $1'$

## ➤ 使用限制

- 有阴影区





- 小型化、高精度、全功能
- ✓ 双轴太阳敏感器
- 面阵CCD作探测器
- 110度视场内精度达到30"
- CCD不需要制冷，结构简单
- 不需要复杂的运算软件
- 处理电路简单，信噪比高



## ➤ 集成于单片的太阳敏感器

- 采用了CMOS工艺，功耗低
- 探测器用开关型光敏二极管，不用CCS，统一了工艺
- 图像中心单元采用专用集成电路，提高了适应性

## ➤ 性能方面

- 体积缩小了4/5~19/20
- 质量减小了1/2~14/15





- 俄罗斯地球物理协会
- ✓ **CCD太阳敏感器**
  - 视场:  $92^{\circ} \times 92^{\circ}$
  - 精度:  $0.003^{\circ}$
  - 功耗: 0.6W





➤ 日本Astro公司

- 视场:  $\pm 64^\circ \times \pm 60^\circ$
- 精度:  $(0 \sim \pm 32^\circ) 0.05^\circ$   
 $(\pm 32^\circ \sim \pm 64^\circ) 0.1^\circ$
- 功耗: 0.5W
- 寿命: 15年





- 美国GoodRich公司
- ✓ 狭缝式模拟太阳敏感器
- 视场:  $128^{\circ} \times 168^{\circ}$
- 精度: 优于  $0.3^{\circ}$
- 功耗: 0.3W
- 寿命: 15年





- 中国（以东3和东4平台为例）
  - ✓ 数字式太阳敏感器
  - ✓ 视场(fov):  $120^{\circ} \times 120^{\circ}$
  - 精度(fov内):  $\leq 0.05^{\circ} (3\sigma) (-32^{\circ} \leq \alpha \leq +32^{\circ})$   
 $\leq 0.1^{\circ} (3\sigma) (\text{others})$
  - 寿命: 15年



- 中国（以东3和东4平台为例）
  - ✓ 模拟式太阳敏感器
  - ✓ 视场(fov):  $90^\circ \times 90^\circ$
  - 精度(fov内):  $\leq \pm 1^\circ (|\alpha| \leq 4^\circ)$   
 $\leq \pm 2^\circ (4^\circ \leq |\alpha| \leq 20^\circ)$
  - 寿命: 10年



西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY



# THANKS



13389281325



dzhfeng@xidian.edu.cn

