

# 敏捷对地观测技术

中国科学院长春光电子产业园区（西区）研发大厦



王家骥

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所  
2015年1月11日

在航天光学遥感器\_ A和航天光学遥感器\_ B在轨飞行试验取得成功后，近十年来第四代的长光人带领全所职工，进一步地发扬长光精神，开始了新一轮的创业，正在开拓性地开展更大型、更精密，技术水平更高、难度更大的多项新航天光学遥感器技术领域的研究和开发工作。

现在长光所的航空航天遥感器研制基地，实验室规模更大，制造、试验和检测设备更加配套。

近十年来，长光所在航天光学遥感器领域，围绕以下五个方面的技术要求：

高空间分辨力；  
高光谱分辨力；  
高时间分辨力；  
高可靠性、长寿命；  
重量轻、体积小、功耗低。

进一步提升我所航天光学遥感器研发实力。

# 提高时间分辨力的技术途径：

- 1) 变轨 
- 2) 扩大视场、提高轨道高度，  
增大地面覆盖宽度 
- 3) 增加侧摆功能，增大每轨的  
地面可选择的摄像地区 
- 4) 实现敏捷对地观察 

### 3) 增加侧摆功能增大每轨可选择的摄像地区

表 2 在不同的侧摆角下，每月可对一个目标摄像的次数和可覆盖的地面宽度

(注：轨道倾角 42.75 度，轨道高度 400km)

可摄像的次数/月		太阳高角 (度)				可覆盖的地面宽度 (公里) (光学遥感器视场: 1.5 度)
		10°	20°	30°	40°	
侧摆角 (度)	±5°	2	1	1	0	70.01
	±10°	2	1	1	0	141.20
	±15°	3	2	2	0	214.85
	±25°	8	4	4	1	375.68
	±35°	11	7	5	2	569.25
	±45°	16	12	7	3	827.42

## 实现敏捷对地观察的几个关键技术：

- (1) 星载一体化设计技术；
- (2) 建立完善的敏捷对地观测数学模型；
- (3) 提高卫星的姿态控制能力和精度；
- (4) 相机具有实时、异速像移补偿和实时、异偏流角调整能力。

## (一) 星载一体化设计技术

### 星载一体化概念：

#### 结构一体化：

可提高系统结构强度、刚度、稳定性

#### 控管一体化；

简化结构、提高精度、反应灵敏、降低功耗；

#### 功能一体化；

相互协调，完成特殊的功能（六种摄像模式）。

### 也就是：

改相机和卫星为一体；

改相机和卫星统一指挥；

灵巧卫星×灵巧相机=实时机动。

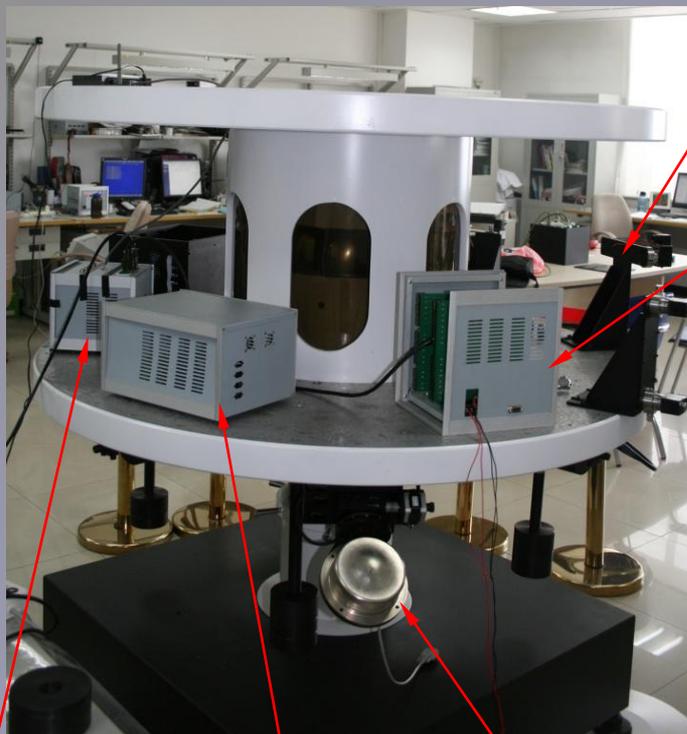
## 星载一体化设计实验室



## 星载一体化电子学调试实验室



# 姿态控制系统全物理三轴仿真平台



推力喷嘴

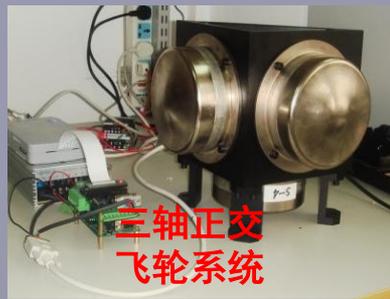
电源控制箱



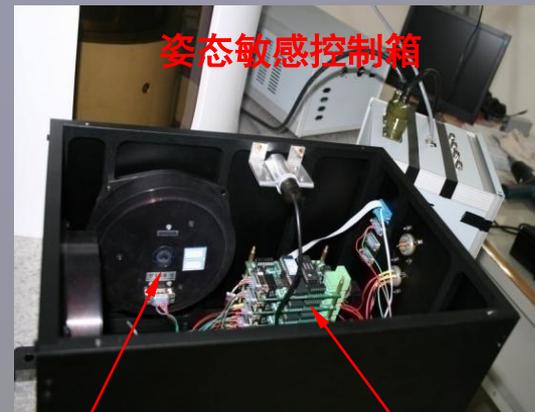
推力喷嘴



台上控制计算机



三轴正交  
飞轮系统



姿态敏感控制箱



台上供电电源

台上控制计算机

控制力矩陀螺  
驱动箱

控制力矩陀螺

光纤陀螺

台上CAN总线

## (二) 建立完善的敏捷对地观测数学模型

### 敏捷对地观测数学模型

- 1) 基础模块：  
最主要的是像移速度矢计算数学模型；
- 2) 地面规划模块  
最主要的是任务规划模型；
- 3) 在轨工作控制模块  
包括卫星姿控  
和相机像移速度矢补偿控制模型。

# (1) 像移速度矢计算数学模型 (共4版)

第1版 (用于SZ-5、SZ-6) :

用于星下点摄像。

第2版:

可分别用于左右摆、前后摆摄像;

不能对同时左右摆、前后摆的摄像;

必须对上行、下行、南纬、北纬, 分16种情况进行计算。

第3版 (用于JB-9首星) :

第2版中的16种情况得到统一;

并可就左右摆、前后摆同时偏转后进行摄像;

投影畸变和地球曲率畸变形成的偏流角进行单独计算。

第4版 (用于TG-1相机; JB-9, 02星, 03星; KZ-1, KZ-2星) :

16种情况得到统一;

投影畸变和地球曲率畸变形成的偏流角计算得到统一;

可用于敏捷对地观察的多种摄像模式。

# 像移速度矢计算数学模型的简要说明（共4版）

表1 计算像移速度矢量数学模型四个版本完善过程的简要说明

版本号	数学模型的完善过程	应用的局限性	载荷的应用情况
第一版	定义 18 个影响像移速度矢量的参数； 建立七个坐标系； 进行七个坐标系之间共 11 次齐次线性变换； 从物空间到像空间的位置场映射； 建立像面位置方程； 求解像面像移速度矢量；	只适用于同轴光学系统的星下点摄像；	2003 年，XX_5 星下点摄像； 2005 年，XX_6 星下点摄像；
第二版	定义 18 个影响像移速度矢量的参数； 建立七个坐标系； 引入光轴、视轴和光线的概念； 进行七个坐标系之间共 11 次齐次线性变换； 从物空间到像空间的位置场映射； 建立像面位置方程； 求解像面像移速度矢量； 引入并单独补充计算投影畸变和地球曲率半径畸变形成的偏流角；	可应用于离轴光学系统； 只分别适用于卫星侧摆或前后摆姿态下的摄像； 要区分左、右侧摆，南、北半球，上、下行的八种组合；前、后摆、南、北半球，上、下行的八种组合，共十六种情况进行计算； 由投影畸变和地球曲率半径畸变产生的畸变偏流角需单独补充计算；	..

<p>第三版</p>	<p>定义 18 个影响像移速度矢量的参数；          建立八个坐标系（引入过景点呈下垂线地平坐标系）；          引入光轴、视轴和光线的概念，并进行光线追迹；          进行八个坐标系之间共 15 次齐次线性变换；          从物空间到像空间的位置场映射；          建立像面位置方程；          求解像面像移速度矢量；          引入并单独计算投影畸变和地球曲率半径畸变形成的偏流角；</p>	<p>由于采用位置场的映射，和投影畸变、地球曲率半径畸变的单独计算，造成 18 个参数之间的相关项漏算，得到的像移速度矢量有理论误差，特别在大卫星姿态时，误差值会很大；</p>	<p>2009 年，XX_9 首星，最大侧摆角 40 度摄像（TDICCD 片与片之间有漏缝）。</p>
<p>第四版</p>	<p>定义 18 个影响像移速度矢量的参数；          建立八个坐标系（引入过景点呈下垂线地平坐标系）；          引入光轴、视轴和光线的概念，并进行光线追迹；          进行八个坐标系之间共 15 次齐次线性变换；          求解物空间速度矢量；          从物空间到像空间的速度场映射，得到像面像移速度矢量；</p>	<p>无应用的局限性。</p>	<p>1)2011 年和 2013 年，XX-9，02 星 XX-9，03 星，          最大侧摆角 40 度摄像；          2)2011 年，T_XX_1，          最大侧摆角：15 度摄像；          3)2013 年，K_XX_1，          最大侧摆角：45 度摄像；          4) 2014 年，K_XX_2，          最大侧摆角：45 度摄像；</p>

## (2) 地面任务规划模块规划数学模型

- a) 建立十个坐标系;
- b) 根据:  
相机摄像功能具备的能力、  
卫星的轨道参数、  
摄影的模式;
- c) 对已知的摄像地区进行三次任务规划,
- d) 规划出:  
卫星在轨的姿态控制参数、  
相机在轨的控制参数、  
以及所有的其它相关参数。

## 2) 地面规划的三次规划工作内容

表 3 地面规划的三次规划工作内容表

规划	摄像模式	规划前已知的参数	规划后得到的参数
第一次规划	沿轨纯侧推 扫摄像; 非沿轨倾斜 方向推扫摄 像;	轨道到地球质心的距离: $H_0$ ; 轨道倾角: $i_0$ ; 卫星第一降交点时刻: $t_{k0}$ ; 在降交点地球坐标系 $E$ 中给出的 第一降交点经度: $\alpha_0$ ; 在地理坐标系 $G_g$ 中给出的第一降交点经度: $\alpha_0^E$ 或 $\alpha_0^W$ ; 相机可以应用的最大侧摆角: $\varphi_{max}$ ; 相机可以应用的最大俯仰角: $\vartheta_{max}$ ; 景点在地球坐标系中的经度: $\alpha_g^E$ 或 $\alpha_g^W$ ; 景点在地球坐标系中的纬度: $\lambda_g^N$ 或 $\lambda_g^S$ ; 景点的地心距: $R_g$ ;	摄像点卫星运行的圈数: $n_{k1}$ ; 摄像点轨道的位置: 上行、下行, 南半球、北半球; 摄像点相对第一降交点的摄像时刻: $t_{k1}$ ; 摄像点轨道地球中心角: $\gamma_{01} = \Omega t_{k1}$ ; 摄像时星下点的经度: $\alpha_{k1}$ ; 摄像时星下点的纬度: $\lambda_{k1}$ ; 摄像时卫星的侧摆姿态角: $\varphi_1$ ; 摄像时星下点太阳天顶角: $E_k$ ; 摄像时景点的太阳天顶角: $E_g$ ; ↕

## 2) 地面规划的三次规划工作内容

<p>第一次规划</p>	<p>任意方向沿轨推扫摄像；对同一景区多幅拼接推扫摄像；对一个景区的凝视摄像；</p>	<p>第一次规划后得到的参数； 设定摄时需要的卫星俯仰姿态角：<math>\vartheta_2 \neq 0</math>；</p>	<p>摄像点卫星运行的圈数：<math>n_{k2}</math>； 摄像点轨道的象限位置：<math>m_{k2}</math>； 摄像点相对第一降交点的摄像时刻：<math>t_{k2}</math>； 摄像点轨道地球中心角：<math>\gamma_{02} = \Omega t_{k2}</math>； 摄像时星下点的经度：<math>\alpha_{k2}</math>； 摄像时星下点的纬度：<math>\lambda_{k2}</math>； 摄像时卫星的侧摆姿态角：<math>\varphi_2</math>；</p>
<p>第三次规划</p>	<p>对同一景区立体推扫摄像；</p>	<p>第二次规划后得到的参数；</p>	<p>规划出相对于卫星第一个降交点的摄像时刻：<math>t_{k3}</math>； 根据摄像时刻星下点位置所对应的偏航姿态调整角（原始偏流角）：<math>\beta_{sk2}</math>； 摄像时卫星的姿态角：<math>\varphi_3</math>、<math>\vartheta_3</math>； 其它摄像参数都不变，即：</p>

### (3) 几种由数学模型仿真的敏捷对地观测模式

1. 实现对同一目标多种倾斜角(大侧摆角、大前后摆角、大侧摆角大前后摆角)的全视角拍照功能,提高对目标的分辨能力;
2. 突破目前基于TDICCD的光学遥感载荷仅能沿卫星轨道方向推扫成像的限制,可沿各个感兴趣的方向进行推扫成像,对不沿轨道方向分布(海岸线、铁路、公路、城市群)的密集目标群侦察时可做到一次成像,提高侦察效率;
3. 对幅宽较宽的目标(大型城市、)实现同轨多次推扫后拼接成像,拓展载荷的单轨侦察范围。

# 模式一：大倾斜角和立体摄像

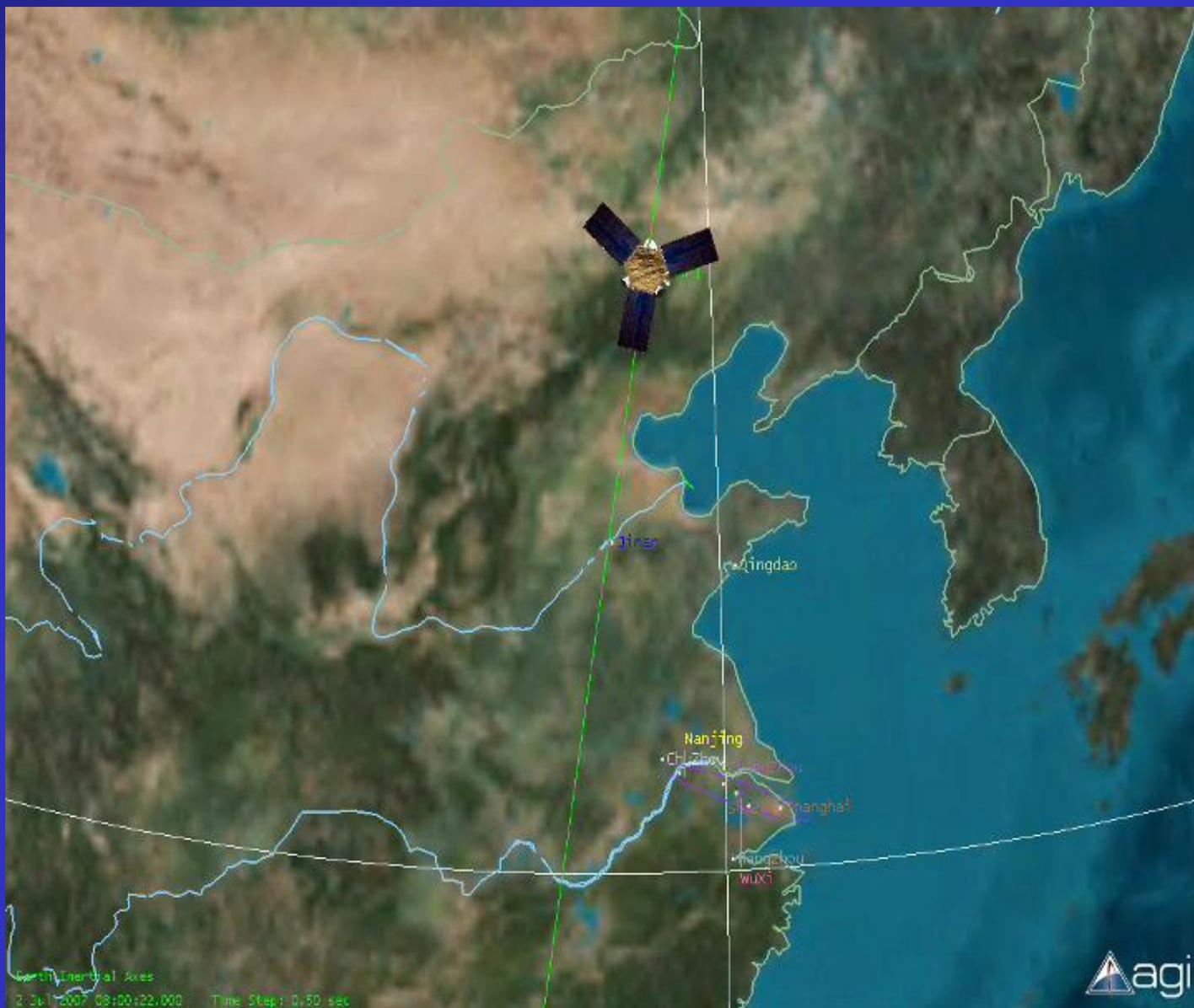
可进行大倾斜角(大侧摆角、大前后摆角、大侧摆角和大前后摆角合成)摄像;

可实现对同一目标的多方位和立体摄像,提高对目标的识别能力。

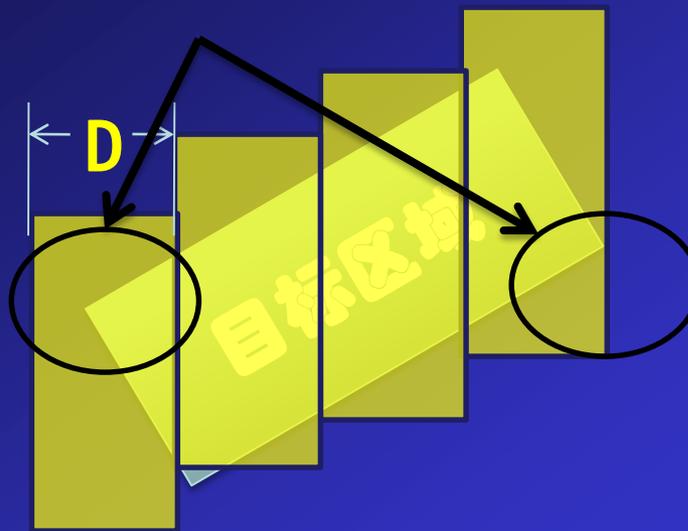


# 模式二：任意角推扫成像工作方式

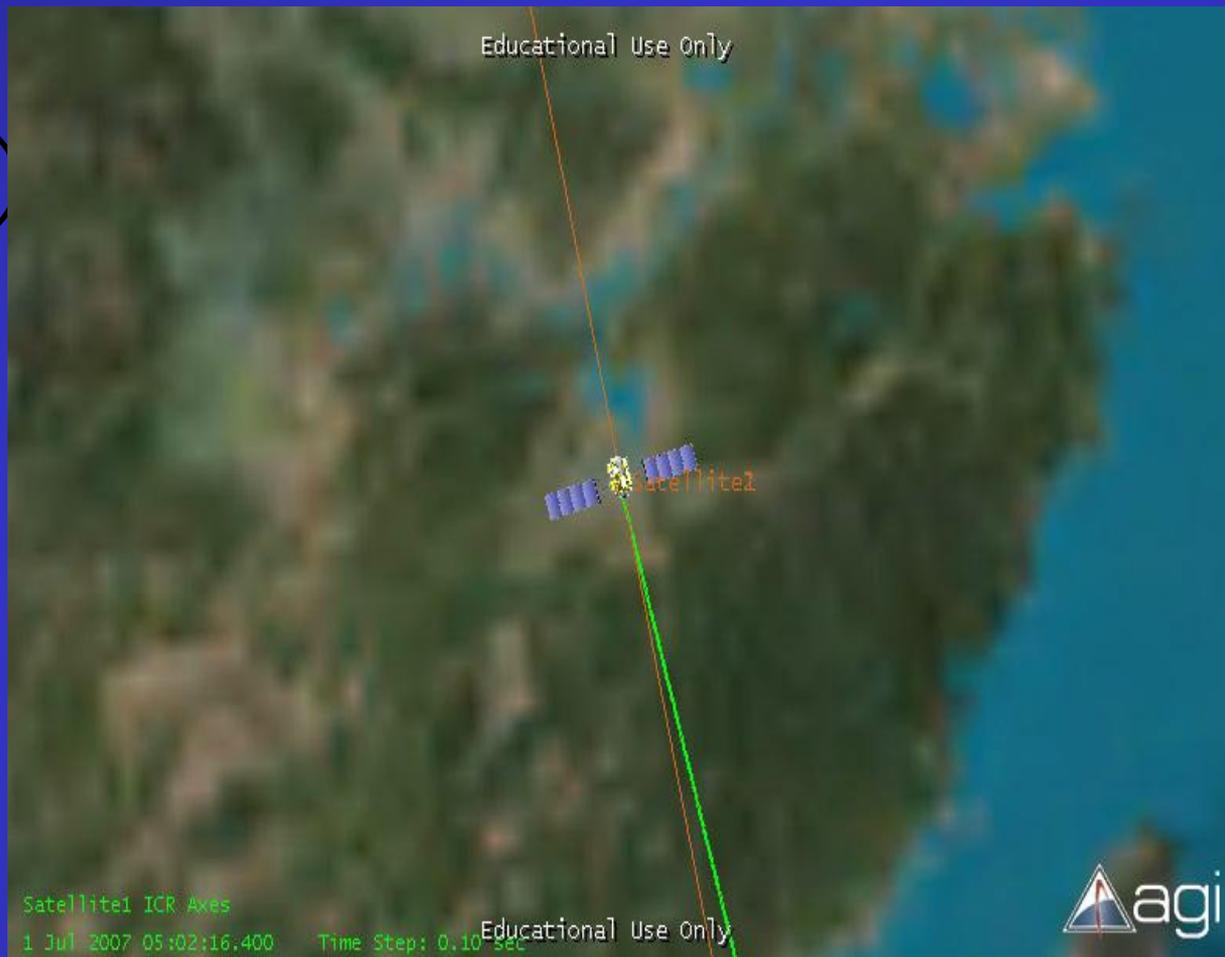
1. 根据轨道和要摄的地面景物在地面进行任务规划，计算出卫星的侧摆角、偏航角和偏航角速率；
2. 推扫过程中相机实时计算像移速度矢，由相机的偏流机构修正剩余偏流角。



# 模式三：宽幅目标拼接成像



拼接成像需卫星对同一目标区域进行反复推扫，目标边缘往往需在大俯仰角状态下拍照，这种模式对卫星平台的机动性要求是最高的。



对台湾北部区域拼接成像

# 模式四：凝视摄像（即视频）



谢谢!

© KAGAYA

2015 年 1月 11 日