

文章编号: 1672-8785(2012)05-0001-06

静止轨道高分辨率相机 Geo-Oculus 方案论证研究

林剑春^{1,2} 孙丽巍¹ 陈凡胜¹

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083 ;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: Geo-Oculus 是欧空局于 2008 年开展的一项详细论证工作, 它用于讨论在地球静止轨道上工作的对地观测卫星如何实现对全球环境与安全进行高空间分辨率和高时间分辨率监视的情况。Geo-Oculus 相机的主要任务是监视欧洲的灾害(水灾、山崩和暴风雨等)、火灾、海藻分布情况和水质, 它还具备对石油泄漏和海岸线上的腐蚀物和沉淀物转移的监视能力。Geo-Oculus 相机同时具有高空间分辨率和高时间分辨率的特点, 其工作波段覆盖紫外、可见、近红外、短波红外和远红外区域, 并可被细分为二十多个通道。该相机的可见光通道的地面分辨率可达到 21 m, 紫外通道的为 40 m, 而远红外通道的为 750 m。该相机方案论证从工作模式、波段、光学分辨率和焦平面选型等方面展开。这项论证工作是针对静止轨道高分辨率相机方案研究的一个很好的案例, 为下一步的详细设计和研制工作奠定了基础。

关键词: Geo-Oculus ; 地球同步静止轨道; 高分辨率相机

中图分类号: TP732.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.05.001

Research on Geo-Oculus — a Geostationary High Resolution Camera

LIN Jian-chun^{1,2}, SUN Li-wei¹, CHEN Fan-sheng¹

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Geo-Oculus is a study approached by European Space Agency in 2008 with the objective to enable observations of the global environment and security combining high resolution and real-time monitoring in geostationary orbit. Its main tasks are disaster monitoring (floods, large landslides and storms), fire monitoring, algal bloom detection and water quality monitoring. In addition, the Geo-Oculus also has the ability of collecting oil slick environmental information and monitoring erosion/sediment transport on the European shoreline. The Geo-Oculus has the capability of high resolution and real-time observing. It also offers the images in more than 20 spectral bands covering UV (resolution of 40m), VS (resolution of 21m), VNIR, MIR and TIR (resolution of 750m). The Geo-Oculus study is a significant pre-study of the high resolution and real-time monitoring geostationary satellite that will steadily establish the foundation of further detailed design and research.

Key words: Geo-Oculus; geostationary orbit; high resolution camera

收稿日期: 2012-03-27

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目 (O9KBD013G0)

作者简介: 林剑春 (1985-), 男, 福建莆田人, 博士研究生, 主要研究方向为空间光学遥感器的光机结构设计。

E-mail: Jackeelim@163.com

0 引言

地球同步静止轨道是指位于赤道上方 36000 km 处的圆轨道。在该轨道上运行的卫星相对于星下点是静止不动的, 因此适合用来对地面进行高时间分辨率的凝视观测。而随着光学遥感器技术的发展, 尤其是大口径主镜的制造工艺和面阵探测器规模的不断改进, 通过将大口径光学遥感仪器放置在地球同步静止轨道上来对地面进行高空间分辨率凝视观测已经成为地球空间遥感观测的一个重要发展方向。为此, 欧空局于 2008~2009 年组织了 Astrium 等单位对静止轨道高分辨相机进行了详细的方案论证^[1], 以便讨论在地球静止轨道上运行的对地观测卫星能否满足全球环境与安全监视的要求。本文通过整理和分析该论证方案的相关文献资料^[1-5], 希望能够为空间遥感器下一步的发展方向提供一些指导和参考。

1 应用需求及技术指标

Geo-Oculus 相机的任务目标综合考虑了用户需求、潜在应用以及相应的产品需求。作为一个高轨高分辨率相机, 其潜在的应用客户是环境与安全监测部门, 主要的应用需求是灾害监视(水灾、山崩和暴风雨等)、火情监视、赤潮探测与监视、水质监视、石油泄漏监视以及海岸线上的腐蚀物与沉淀物监视^[3]。

根据全球环境与安全监视的要求, 若要对上述目标的监视, 相机的空间分辨率需要达到 10 ~ 100 m, 并且需要具有可见光和红外等多个波段。而目前即使是第三代气象卫星, 其地面分辨率也只能达到 500 m, 还远不能满足要求, 这也进一步促进了 Geo-Oculus 相机的研制需求。在经过深入的论证后, 人们将 Geo-Oculus 的应用需求转化成了以下几个量化技术指标。

1.1 灾害监视

在较宽的可见光波段内提供发生水灾、山崩和暴风雨等灾害地区的分辨率为 10 ~ 20 m 的高分辨率图像。图像获取的时间延迟需要小于 1 h。

1.2 火情监视

可以在 10 min 内, 根据要求提供指定区域的火情监视图像, 即要求卫星具有很高的灵活性。

1.3 海洋应用

海洋应用主要是对赤潮的探测与监视以及对水质的监视。此外, 卫星还应具备一些拓展功能, 如石油泄漏的环境信息和海岸线上腐蚀物与沉淀物转移信息的获取。针对海洋表面的观察要求, 相机可提供信噪比高达 1500 的 100 ~ 1000 m 中分辨率多光谱数据。

根据空间分辨率及重返时间的要求, Oculus 相机的可见光全色通道图像的指标至少应为 150 km×150 km, 图像空间采样间距为 10 ~ 100 m, 其余各个通道的单景幅宽的指标为 100 km×100 km, 采样间距为 100 ~ 250 m。

2 系统成像方案

根据上述指标, Geo-Oculus 相机要实现高空间分辨率成像仍需解决大量技术难题, 比如需要具备大口径光学系统, 其主镜口径至少应为 1.5 m; 此外, 相机也应具备大动态范围的大规模探测器。下面从波段、视场、空间分辨率以及时间分辨率的系统集成高度上对相机的成像方案进行分析, 进而开展详细的相机结构等方案的设计工作。

2.1 波段选择

相机采用的波段覆盖了紫外-蓝光波段、可见光全色波段、红光-近红外波段、短波红外-中波红外波段以及长波红外波段。为了获得更多的图像信息, 除了全色波段之外, 还需要对其余四个谱段进行光谱细分, 如表 1 所示。

2.2 视场分配

针对提出的视场指标, 结合探测器水平以及光学系统设计提出了 Oculus 相机的设计方案。该方案所达到的视场幅宽优于所要求指标。在可见全色波段, 其单景幅宽为 157 km×157 km, 对应的视场角为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, 而其余波段的单景幅宽为 300 km×300 km, 对应的视场角为 $0.48^\circ \times 0.48^\circ$ 。表 2 列出了各波段所对应的视场大小。

表 1 Geo-Oculus 相机的细分谱段

通道	中心波长 /nm	波段宽度 /nm	焦平面	通道	中心波长 /nm	波段宽度 /nm	焦平面
UV1	318	10	紫外 – 蓝光	VNIR7	655	155	全 色
UV2	350	10		VNIR6	620	10	红 光 – 近 红 外
VNIR1	412	10		VNIR8a	665	10	
VNIR2	443	10		VNIR8b	665	10	
VNIR3	490	10		VNIR9	681	8	
VNIR4	510	10		VNIR10	709	10	
VNIR5	555	10		VNIR11	753	8	
SWIR	1375	50	短波 / 中波红外	VNIR12	779	15	
MWIRa	3700	390		VNIR13a	865	20	
MWIRb	3700	390		VNIR13b	865	20	
TIR1a	10850	900	远红外	VNIR14	885	10	
TIR1b	10850	900		VNIR15	900	10	
TIR2a/2b	12000	1000		VNIR16	1040	40	

表 2 Geo-Oculus 相机各波段的视场

名称	通道	通道数量	地面采样间距 (北纬 52.5°)	视场 /km
灾害 监视	全 色	1	21.0	157×157
	紫外 – 蓝光	4	40	300×300
	红光 – 近红外	8	40	
火情 监视	红光 – 近红外	2	40	
	短波 / 中波红外	2	300	300×300
	远红外	2	750	
海洋 应用	紫外 – 蓝光	7	80	
	红光 – 近红外	10	80	300×300
	短波 / 中波红外	2	300	
	远红外	2	750	

2.3 空间分辨率与时间分辨率的分配

从功能上来看, 该相机可以提供灾难监视、火情监视和海洋监视服务, 而这三类监视对空间分辨率和时间分辨率的需求不尽相同。其中, 灾难监视的重返周期约为 10 min, 空间采样分辨率为 10 m; 火情监视的重返周期为 10 min, 空间采样分辨率约为 200 m; 海洋监视的重返周期约为 60 min, 空间采样分辨率约为 50 m。图 1 所示为该相机在空间分辨率和时间分辨率上同其他卫星的对比情况^[4]。

需要说明的是, 图 1 中的空间采样分辨率是指探测器上单个像元所对应的目标空间尺寸, 它与相机的光学衍射极限的分辨率有所不同。光学衍射极限是指光学系统所能区分开的两个

同样能量点的空间张角, 而当空间采样分辨率尺寸小于光学衍射极限时, 即可实现对观测目标的细节信息尤其是高频次信息的探测, 有利于获得高质量的图像信息。以此相机为例, 其可见全色波段的光学衍射极限分辨率约为 17.5 m, 而以 10 k×10 k 的像面尺寸来计算, 可知其空间采样率约为 15 m, 因此可对目标的细节信息进行探测。

3 相机的详细设计方案

3.1 光学子系统

光学系统采用折反式离轴 Korsch 结构, 口径为 1.5 m, 其一次像面位于主镜中心的后方。

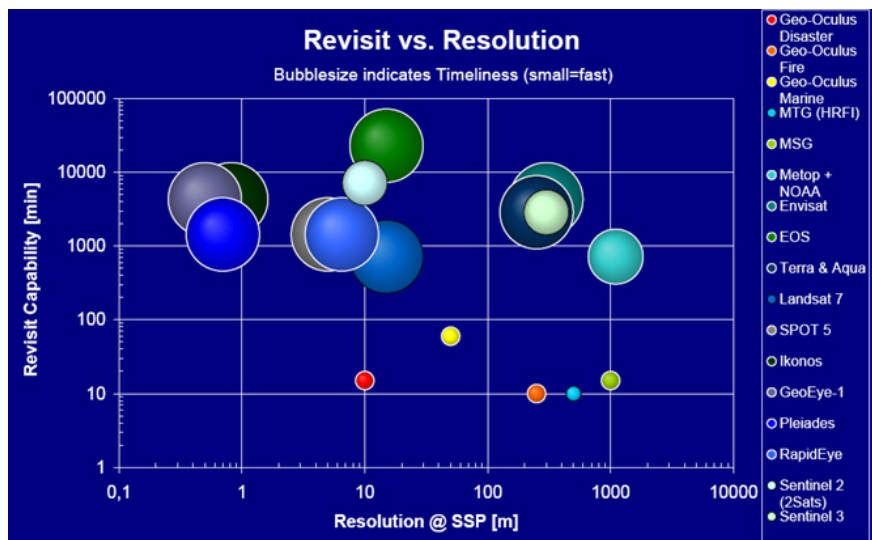


图 1 Geo-Oculus 卫星各通道的空间采样分辨率与时间分辨率的分配 [4]

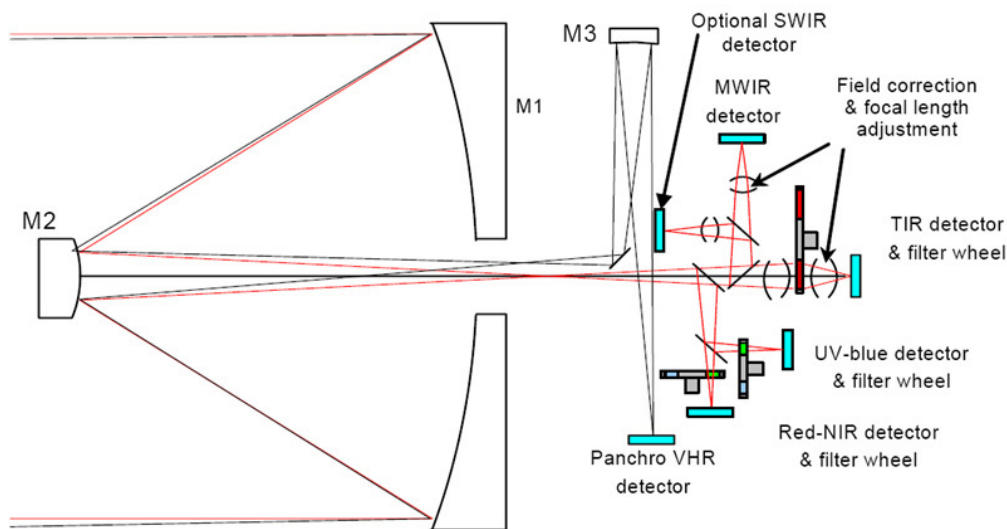


图 2 光路布局的示意图 [3]

通过在主反射镜背部一次像面之后的光路中增加分光镜，可以将可见全色通道与其他多谱段通道分离开来，如图 2 所示。

其中，可见和红外光路均可通过滤光轮切换获得多个细分谱段。根据各通道的视场分配以及光路分布可以推测出该相机采用了视场分离方案 (分为可见全色和多谱段两部分)。其中，可见全色的视场为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ，而多谱段的视场为 $0.48^\circ \times 0.48^\circ$ 。若考虑到可见全色视场与多谱段视场之间存在 0.01° 的夹角，则可推测相机的总视场约为 $0.74^\circ \times 0.48^\circ$ (见图 3)。

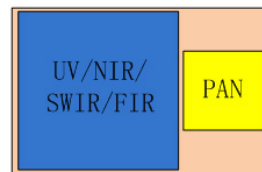


图 3 相机视场的示意图

图 3 中的左侧区域为多谱段区域，右侧区域为可见全色区域，外边框为相机的总视场大小。

3.2 结构子系统

相机在实现上述功能需求的同时，还需考虑与卫星的接口匹配以及与运载火箭的匹配。

因此, 相机在重量和尺寸上具有一定的约束条件。根据这些约束条件, 所设计的相机的各项指标如下:

- (1) 体积为 $3500\text{ mm} \times 2300\text{ mm} \times 2300\text{ mm}$;
- (2) 质量为 606 kg ;

- (3) 功耗为 508 W 。

根据光路布局, 采用主镜光轴对地的放置方式。次镜位于主镜光轴方向上, 与主镜的间隔约为 2 m 。图 4 为相机结构的示意图。

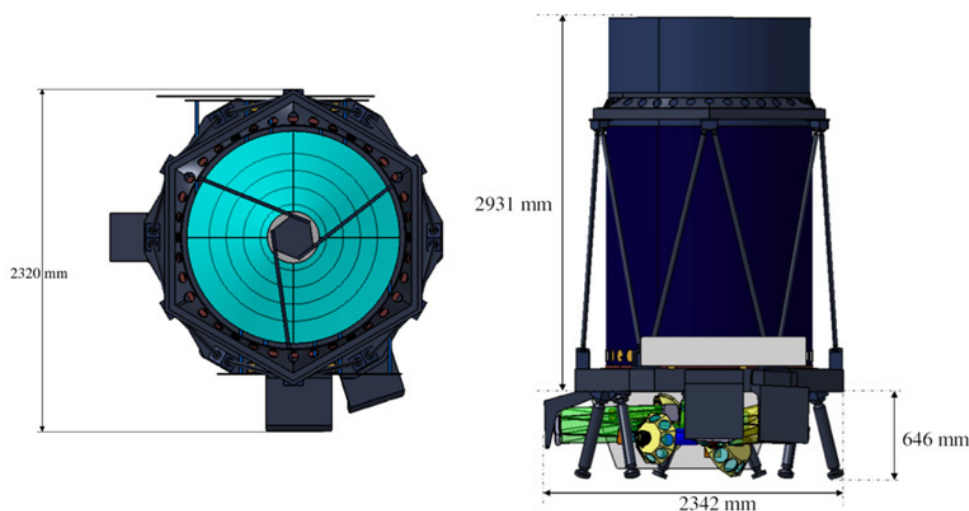


图 4 相机结构的示意图 [2]

3.3 热控子系统

望远镜主系统采用全 SiC 材料, 其 1.5 m 主镜通过铜焊工艺制造。该工艺已经在 Astrium 公司的 Aladin 和 Herschel 望远镜上得到了成功应用。SiC 具有高的热传导率。采用这种单一材料的望远镜系统可使其对热弹性不敏感, 而且还可使得温度梯度变化最小化。

主镜被安装在接触界面的顶端。主镜背部安装有所有的焦平面和后光路元件。次镜通过三角支撑架被安装在一个六角结构上。该支撑架上还安装有长 2.5 m 的遮光罩。这种布局对光路具有最小的遮挡, 使得主次镜的间距有很高的尺寸稳定性, 这也有助于改进望远镜的光学质量。望远镜通过六角架与平台相连。该结构允许望远镜与平台的机械及热条件解耦。

当太阳角度为 30° (午夜 $\pm 2\text{ h}$) 时, 太阳辐射对望远镜内部的影响, 特别是对主镜的影响, 主要是通过太阳规避来实现的。望远镜通过遮光罩隔绝太阳和冷空间的影响, 而焦平面及其拓展结构则通过多层绝缘垫实现热环境的隔离。

绝缘垫用于使载荷及平台实现热隔绝。而采用加热器及热控制器的主动式热控制方法和主次镜背部的辅冷屏一起被用来控制望远镜的温度。此外, 其他部件通过直接的传导来耦合。在白天时间 ($6 \sim 18\text{ h}$) 内, 当太阳的视角大于 90° 时, 辐射无法影响到遮光罩的内部, 系统的镜子温度很稳定。

对于系统的成像焦平面, 其热控制分区域进行。其中, 可见光探测器工作在 $20\text{ }^\circ\text{C}$, 采用被动制冷; 中波红外探测器工作在 130 K , 长波红外探测器工作在 50 K , 两者均采用主动式制冷。通常, 相机中可用一个足够大的辅冷屏来进行被动制冷, 但该相机的南北向太阳电池阵列设计使得这种辅冷屏无法放置。因此, 其可见近红外通道的被动制冷通过 0.06 m^2 大小的辅冷屏实现, 而中波及长波红外探测器则分别被放在一阶冷箱和二阶冷箱中通过机械制冷方式实现温控。

3.4 焦平面子系统

3.4.1 可见光探测器

Oculus 相机的可见光探测器是通过用 4 片 25 M 尺寸的 CMOS 进行拼接来实现 100 M 像素的大尺寸像面即 $10\text{ k}\times 10\text{ k}$ 规模的。该阵列探测器分 4 个区域进行独立操作(每个区域均有 16 个 20M pixels/s 的视频采集输出), 整个探测器阵列的读出时间小于 100 ms (约 78 ms)。

3.4.2 中波红外探测器

中短波红外探测器由放置在 CMOS 读出集成电路上的光电探测器阵列组成(选用碲镉汞探测器)。该探测器可以满足 $1.4\sim 3.7\text{ }\mu\text{m}$ 的探测波段要求。

中波红外探测器的规模为 $2\text{ k}\times 2\text{ k}$, 像元尺寸为 $15\text{ }\mu\text{m}$, 像面总尺寸为 $30\text{ mm}\times 30\text{ mm}$ (通过对 4 个 $1\text{ k}\times 1\text{ k}$ 探测器进行拼接得到)。与可见光探测器的情况类似, 对 4 个 1Mpix 的子单元进行读出。每个子单元通过 4 个视频接口以 10M pixels/s 的速率进行输出。因此, 探测器的读出时间为 25 ms, 其工作温度可根据现有的暗电流水平设置为 130 K。

3.4.3 长波红外探测器

长波红外波段采用的探测器是由量子阱红外光电探测器工艺制备的探测器, 其产品率、均匀性和时间稳定性均较好。相对而言, 碲镉汞工艺则会随着截止波长的增加而趋于复杂化。长波红外探测器的像元大小为 $25\text{ }\mu\text{m}$, 探测器规模为 $0.8\text{ k}\times 0.8\text{ k}$ (由两个 400×800 像素的子单元拼接实现)。每个子单元的数据通过两路 10M pixels/s 的视频读出线输出, 因此探测器的读出时间为 16 ms。为了避免受到过多暗电流的影响, 探测器所需的工作温度为 50 K。

4 总结

Geo-Oculus 相机的方案论证综合考虑了工作模式、波段选择、视场分配、空间分辨率与时间分辨率的分配、结构布局、热控以及焦平面选型等内容, 并且结合现有的加工制造工艺水平对未来的发展方向和可能实现的预期目标进行了合理评估, 最终提出了完整的相机论证方案, 这是针对在静止轨道上工作的高分辨相机展开的一个很完整的研究案例。该工作也为下一步的详细设计和研制工作奠定了基础。经过论证可知, 该 Geo-Oculus 相机可以用于监视欧洲的危害(水灾、山崩和暴风雨等)、火灾、海藻分布情况以及水质, 并可对石油泄漏和海岸线上的腐蚀物和沉淀物转移进行监视, 因而可满足对全球环境与安全进行高空间分辨率和高时间分辨率监视的要求。

参考文献

- [1] Ulrich Schull, Thiemo Knigge. Geo-Oculus: A Mission for Real-time Monitoring through High-resolution Imaging from Geostationary Orbit [C]. Darmstadt: EUMETAST, 2008.
- [2] Vaillon L, Schull U, Knigge T, et al. Geo-Oculus: High Resolution Multi-spectral Earth Imaging Mission from Geostationary Orbit [C]. Rhodes: ICSO, 2010.
- [3] Bézy Jean-Loup. Geo-Oculus [C]. Jeju Island: GEO, 2008.
- [4] Thiemo Knigge, Ulrich Schull, Uwe Schäfer. System Engineering Approach in Phase 0/A Studies Using the Example of Geo-Oculus [C]. Lausanne: SECESA, 2010.
- [5] GEO-Africa Workshop [C]. Geneva: GEO, 2010.

新闻动态 News

美国 Northrop Grumman 公司的红外对抗系统样机通过现场测试

据 www.laserfocusworld.com 网站报道, 美国 Northrop Grumman 公司日前表示, 其研制的红外对抗系统已经达到技术就绪 6 级水平(该

政府测量系统总共包括 9 级水平)。

这个红外对抗系统在美国各地接受了多次环境与现场测试, 并成功通过了一系列热量、冲击和振动试验以及相当于 2500 h 野外使用时间的其他野外试验。另外, 该红外对抗系统可以满足多个装载平台的所有性能要求, 包括 UH-60、C-17 和 C-130 飞机。

□ 岳桢千