

定量遥感有效载荷配置方法与发展

赵其昌^{1,2}, 郭玲玲², 杨春燕², 李叶飞², 汪少林²

(1.南京航空航天大学, 江苏南京 211106; 2.上海卫星工程研究所, 上海 201109)

摘要: 针对定量遥感这一广泛应用于气象、海洋与环境等领域卫星的遥感技术, 分析了各个领域的应用需求。为了解决如何根据定量遥感的应用需求, 快速配置有效载荷, 并合理设置有效载荷的探测谱段(频段)这一制约卫星发展的关键问题。提出了从探测目标着手的方法, 首先, 分析满足探测要素所需的谱段设置、指标要求和有效载荷配置类型, 得出了有效配置载荷的方法和思路; 其次, 以全球云探测为例, 验证本方法的合理性; 最后, 分析定量遥感有效载荷的发展重点和发展方向, 为气象、海洋与环境领域等定量遥感卫星的长期发展提供技术支撑。

关键词: 定量遥感; 载荷配置; 谱段设置; 卫星总体; 云遥感

中图分类号: TP 73 **文献标志码:** A

DOI: 10.19328/j.cnki.2096-8655.2022.06.015

Payload Allocation Method of Quantitative Remote Sensing and Its Development

ZHAO Qichang^{1,2}, GUO Lingling², YANG Chunyan², LI Yefei², WANG Shaolin²

(1.Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, Jiangsu, China;

2.Shanghai Institute of Satellite Engineering, Shanghai 201109, China)

Abstract: The application requirements of quantitative remote sensing in various fields such as meteorology, ocean, and environment are analyzed. In order to solve the key problem of how to quickly allocate the payload and reasonably set the detection spectrum (frequency band) of the payload according to the application requirements of quantitative remote sensing, this paper proposes a method starting from the detection target. First, the spectrum setting, index requirements, and payload allocation type required by the detection elements are analyzed. Then, the global cloud detection is taken as an example to verify the rationality of the proposed method. Finally, the development focus and direction of quantitative remote sensing payload are analyzed, which can provide technical support for the long-term development of quantitative remote sensing satellites in the fields such as meteorology, ocean, and environment.

Key words: quantitative remote sensing; payload allocation; band setting; satellite system; cloud remote sensing

0 引言

定量遥感是指从观测电磁波信号中定量提取物理参数的技术和方法研究, 区别于仅依靠经验判断的定性识别目标, 所谓的定量是以参数量的形式描述物体的物理属性, 包括物体的几何量(空间位置、范围与姿态)与物理量。有效载荷是指装载在卫星上直接实现卫星在轨运行特定任务的仪器、设备^[1-3], 卫星有效载荷配置是指根据卫星任务需求, 选择或设计满足用户功能要求和约束条件的有效载荷。通过合理的优化组合最大限度地满足用户

提出的性能指标集, 获得优化的产品配置方案, 满足各种工程技术约束条件和各项性能指标, 是卫星总体设计的关键内容^[4]。在基于卫星设计公用平台基础上^[5-6], 卫星有效载荷配置是设计系列新卫星的关键, 在缩短卫星设计周期、节约成本、提高卫星应用效能等方面有着重要作用。有效载荷配置的主要难点在于, 其既涉及数学上的组合最优化问题, 又涉及工程复杂性问题, 并要达到工程实用。

针对定量遥感卫星有效载荷配置方法理论研究, 目前还没有公开发表的文章, 这在一定程度上

收稿日期: 2021-03-17; 修回日期: 2021-06-01

基金项目: 上海市自然科学基金(18ZR1437200)

作者简介: 赵其昌(1984—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为遥感器总体设计与性能评价。

制约了定量遥感卫星的科学发展。为了解决这一科学难题,本文以相关卫星设计项目为工程应用背景,在上海市自然科学基金项目资助下,研究定量遥感有效载荷的配置方法,形成一套切实可行的方法体系。本文的主要工作为:根据探测要素分析和探测谱段的特性,提出了卫星有效载荷配置方法和配置思路,并以全球云探测为例,试验验证了定量遥感有效载荷配置的过程^[7-11]。本文的研究具有方法论意义和应用价值,可推广应用于航空航天领域的其他有效载荷配置论证中。

1 定量遥感有效载荷配置方法分析

1.1 探测需求分析

各领域对定量遥感卫星的需求越来越广泛,精度要求也越来越高。气象领域对总云量探测精度由 20% 提高到 15%,温度探测精度由 ± 2 K 提高到 ± 1 K,降水强度探测需求从无到有;海洋领域对海表

温度探测精度由 ± 1 K 提高到 ± 0.5 K,海面风速测量需求从无到有;陆地观测空间分辨率需求从 5 m 提高到 0.5 m,植被指数探测精度由 15% 提高到 10%;环境领域对污染气体探测和温室气体探测,空间天气领域对太阳射线、极光、磁场的探测需求都是从无到有。

要实现上述的探测需求,需配置相应类型的有效载荷。气象领域配置高分辨率光学成像载荷、高精度大气廓线探测载荷;海洋领域配置高精度红外探测载荷、高精度风场雷达;环境领域配置高光谱温室气体和污染监测载荷;空间天气领域配置新型空间天气监测载荷等。

1.2 探测要素与探测谱段设置分析

各应用领域通过观测具体的探测要素来实现具体的观测任务,所以,梳理探测要素是完成卫星观测任务和开展有效载荷谱段设置与有效载荷配置的关键环节。各领域的主要探测要素如图 1 所示。

遥感应用部门	国土资源部			环保部			海洋局			减灾委			林业局					测绘局				
	国土资源调查	国土资源监管	国土资源应急管理	生态环境	大气环境	水环境	海洋环境	海洋资源	海洋权益	海洋环境	海洋资源	海洋权益	森林资源监测	森林病虫害监测	森林火灾监测	荒漠化土地监测	湿地资源监测	立体测图	应急测绘	全球重力场测量	全球 DEM	控制网
观测要素	规划管理	●																				
	立体制图	▲																●	●		●	●
	建筑设施			●								●										
	土地资源	●	●					●									●				●	●
	灾害监测									●									●			
	矿产资源	●	●																			
	土地环境			●																		
	植被调查	●								●			●	●								
	地质灾害	●								●	●											
	农林作物			●																		
	生态信息			●						●												
观测要素	大气信息				●					●												
	气象信息									●												
	水域信息						●	●		●	●											
	温度信息			●						●	●											
	场信息	●					●															●
遥感应用部门	气象局				住建部		农业部				统计局				地震局				交通部			
	对流云识别	台风定位	灾害天气监测	热点地区气象监测	大气环境	城市定量遥感	城市规划管理	农作物遥感估产	农业资源遥感监测	农业灾害遥感监测	农业工程建设规划	农作物调查	投资项目监管	人口经济普查	农村土地抽样	绿色经济与碳汇	卫星红外遥感	雷达遥感	高光谱遥感	地震电磁研究	基础设施	交通环境保护
	规划管理						●						●									
	立体制图																					
	建筑设施					●															●	
	土地资源								●													
	灾害监测	●	●																			
	矿产资源																					
	土地环境								●													
	植被调查																				●	
	地质灾害																					
观测要素	农林作物							●				●										
	生态信息				●										●						●	
	大气信息	●	●		●																	
	气象信息	●	●		●																	
	水域信息	●	●		●																	
	温度信息	●	●		●												●					
	场信息																					

图 1 我国主要遥感应用部门探测要素

Fig. 1 Observation elements of the main remote sensing application departments in China

不同的探测要素具有不同的光谱辐射特性,利用不同要素对电磁波的反射、吸收、辐射特性,设置特定谱段达到解译相应目标的目的。具体方法为:根据探测要素特性,分析其对应的光谱、频谱特征,确定载荷的谱段设置、频点设置。

有效载荷谱段选择的依据是:

- 1) 根据实验室和野外测量的地物反射光谱特性和辐射光谱特性,优选区别它们的谱段组合。常用的方法是对大量地物光谱特性的测量结果,直观地进行比较分析,寻找光谱差异大的区域。如 0.4~0.5 μm 谱段可以很容易把雪和其他物体区分开,利用 0.5~0.6 μm 谱段可以把沙漠与桦树、黑土、水区分开,利用 0.8~0.9 μm 谱段可以把桦树与黑土、水区分开,然后用数理统计方法来优选遥感谱段^[12]。
- 2) 对所选谱段进行大气辐射传输效应分析,尽量减少大气对辐射的衰减,或者增设大气校正谱段用于遥感数据辐射校正。

3) 利用所选谱段对经验数据进行处理,得出探测精度与谱段设置的关系,优化谱段设置。

几类典型遥感载荷谱段设置及其主要应用见表 1~表 3。

表 1 陆地资源载荷典型谱段设置及其主要应用
Tab. 1 Typical spectral section settings of land resource load and their main applications

光谱范围/ μm	主要应用
0.45~0.52	研究水体;绘制沿岸水域图;地表和植被鉴别;落叶和针叶植物鉴别
0.52~0.60	测量正常植被的绿色反射比
0.63~0.69	鉴别植物种类和生长期
0.76~0.90	调查生物量;绘制水体略图;判别土壤含水量
1.55~1.75	测量植物湿度;鉴别云和雪;矿物识别
2.08~2.35	绘制水热图;区别岩石种类
10.40~12.50	测量作物热状态;反映地表或云顶热特性

表 2 气象载荷典型谱段设置及其主要应用
Tab. 2 Typical spectral section settings of meteorological load and their main applications

谱段设置		主要应用
波段范围/ μm	0.620~0.670	植被叶绿素吸收
	0.841~0.876	云和植被覆盖变换
	0.459~0.479	土壤植被差异
	0.545~0.565	绿色植被
	1.230~0~1.250	叶面/树冠差异
	1.628~1.652	雪/云差异
	2.105~2.155	陆地和云的性质
	0.405~0.420	叶绿素
	0.438~0.448	叶绿素
	0.483~0.493	叶绿素
	0.526~0.536	叶绿素
	0.546~0.556	沉淀物
	0.662~0.672	沉淀物,大气层
	0.673~0.683	叶绿素荧光
	0.743~0.753	气溶胶性质
	0.862~0.877	气溶胶/大气层性质
	0.890~0.920	云/大气层性质
	0.931~0.941	云/大气层性质
	0.915~0.965	云/大气层性质
	3.660~3.840	洋面温度
	3.929~3.989	森林火灾/火山
	3.929~3.989	云/地表温度
	4.020~4.080	云/地表温度
	4.433~4.498	对流层温度/云片

续表 2 气象载荷典型谱段设置及其主要应用

Continued tab. 2 Typical spectral section settings of meteorological load and their main applications

谱段设置		主要应用
	4.482~4.549	对流层温度/云片
	1.360~1.390	红外云探测
	6.535~6.895	对流层中层湿度
	7.175~7.475	对流层中层湿度
	8.400~8.700	表面温度
	9.580~9.880	臭氧总量
	10.780~11.280	云/表面温度
	11.770~12.270	云高和表面温度
	13.185~13.485	云高和云片
	13.485~13.785	云高和云片
	13.785~14.085	云高和云片
	14.085~14.385	云高和云片
	5 000~60 000	30~950 hPa 大气温度
中心频点/GHz	10.650	洋面强降水,陆表产品
	18.700	洋面降水,陆表产品
	23.800	洋面水汽总量
	36.500	降水,陆表产品
	89.000	洋面和陆地区域降水、降雪,陆表产品
	118.000	地表~900 hPa 温度
	183.000	450~800 hPa 大气水汽
	380.000	250~650 hPa 大气水汽
	424.000	6~600 hPa 大气温度

表 3 海洋水色载荷典型谱段设置及其主要应用

Tab. 3 Typical spectral band settings of ocean color load and their main applications

谱段设置		主要应用
光谱范围/ μm	0.402~0.422	黄色物质、水体污染
	0.433~0.453	叶绿素吸收
	0.480~0.500	叶绿素、海洋光学、海冰、污染、浅海地形
	0.510~0.530	叶绿素、水深、污染、低含量泥沙
	0.555~0.575	叶绿素、植被、低含量泥沙
	0.660~0.680	荧光峰、高含量泥沙、大气校正、污染、气溶胶
	0.745~0.785	高含量泥沙、大气校正、植被
	0.845~0.885	大气校正、水汽总量
	10.300~11.400	水温、测冰、地表温度、云顶温度
	11.400~12.500	水温、测冰、地表温度、云顶温度
中心频点/GHz	1.410	海水盐度

1.3 有效载荷配置分析

不同的探测谱段(频点)对应不同的有效载荷类型,有效载荷按照谱段划分可分为紫外探测类、光学成像类、红外探测类、辐射收支类、被动微波

类、主动微波类、全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)探测类等。各类载荷对应的光谱区域如图 2 所示,图中 $\lambda(A)$ 为波长。

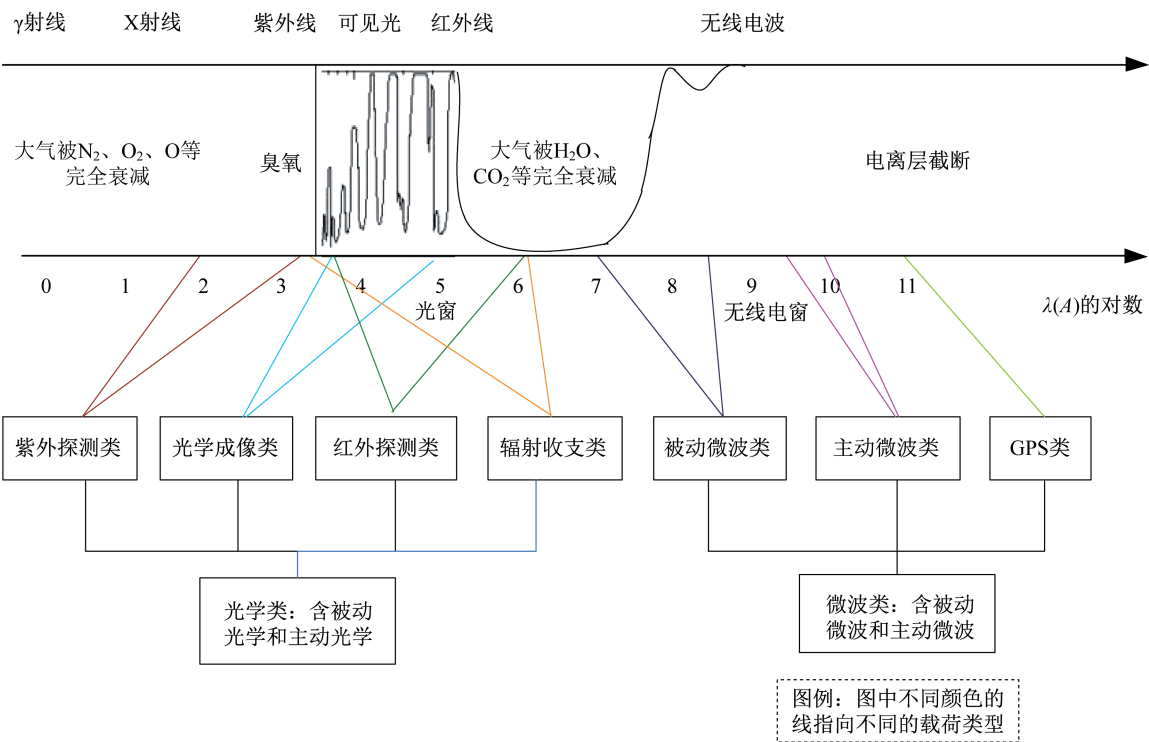


图 2 有效载荷类型及其对应的光谱区域

Fig. 2 Payload types and their corresponding spectral regions

根据不同的探测谱段(频点)需求可以确定有效载荷的配置类型,具体方法如下。

首先,可以设计多光谱或多频点的综合探测载荷,以单载荷实现多要素的探测功能;其次,若单载荷无法满足探测需求时要考虑多载荷互相补充实现全天时、全天候探测,需进行电磁兼容性分析,主、被动载荷光学串扰分析、杂散光分析等;再次,结合卫星平台特征,综合分析载荷重量、尺寸、构型、视场、活动部件振动之间的影响等;最后,单星无法实现全球探测和覆盖所有探测要素时,需要进行多星多载荷配置实现全球综合探测。

根据探测任务需求,结合各载荷的工作特点,确定多星的组网方式,包括多星运行轨道、姿态;根据具体探测任务所需探测时段、探测频次、气象条件确定多种载荷协同工作模式。定量遥感卫星有效载荷配置见表 4。

表 4 现有典型定量遥感卫星载荷配置

系列	卫星名称	主要探测仪器
气象卫星	风云三号	中分辨率光谱成像仪、微波温度计、微波湿度计、微波成像仪、红外高光谱大气探测仪、GPS-MET 掩星探测仪、紫外可见高光谱探测仪、风场散射计等 高光谱温室气体监测仪、地球辐射收支仪、空间环境仪器包等
	风云四号光学气象卫星	多通道扫描成像辐射计、干涉式大气垂直探测仪、闪电成像仪、空间环境监测仪
	云海一号	微光云图成像仪、红外扫描辐射计、全极化微波辐射计、空间粒子监测器
海洋卫星	海洋一号	海洋水色扫描仪、CCD 海岸带成像仪
	海洋二号	微波散射计、扫描微波辐射计
环境监测卫星	高分五号	可见短波红外高光谱相机、全谱段光谱成像仪、大气主要温室气体监测仪、大气痕量气体差分吸收光谱仪、大气气溶胶多角度偏振探测仪、大气环境红外甚高光谱分辨率探测仪
	环境一号 A/B 星	CCD 相机、超光谱成像仪、红外相机

1.4 试验验证

以全球云探测为目标,试验验证定量遥感有效载荷的配置方法^[13]。

1) 云探测需求

云在地气系统水分循环中起着重要作用,云的形成和演变是大气中错综复杂的物理过程的具体表现之一。不同尺度的天气预报对云探测要素需求见表 5。

表 5 不同尺度的天气预报对云探测要素需求

Tab. 5 Requirements of cloud detection elements for different scale weather forecasts

天气尺度	要素参数	水平分辨率/km		观测频次/h	精度
短期天气预报	云图	1~10		0.25~6.00	—
	云顶高	1~10		0.25~6.00	0.5~2.0 km
	云类	20~200		0.25~6.00	5~10 类
临近天气预报	云图	1~5		0.05~0.50	—
	云顶高	1~10		0.01~0.50	0.1~1.0 km
	云类	1~10		0.01~0.50	5~10 类
	云量	1~20		0.008 3~1	5%~20%
	云顶温度	1~10		0.01~0.5	0.5~0.2 K
全球数值天气预报	云图	1~50		0.5~6.0	—
	云顶高度	50~250		1~12	0.5~1.0 km
	云底高度	50~250		1~12	0.5~1.0 km
	云水廓线	50~250		1~12	5%~20%
	云冰廓线	50~250		1~12	10~20 g/m ²
	云量	50~250		1~12	5%~20%
区域数值天气预报	云图	1~50		0.25~6.00	—
	云水廓线	10~250		0.5~12.0	10~50 g/m ²
	云顶高度	10~250		0.5~12.0	0.5~1.0 km
	云底高度	10~250		0.5~12.0	0.5~1.0 km
	云冰廓线	10~250		0.5~12.0	5%~20%
	云量	10~250		0.5~12.0	5%~20%
气候研究	高云量	区域	5	日、旬、月	10%
		全球	100		
	总云量	区域	5	日、旬、月	10%
		全球	100		
	云顶温度	区域	5	日、旬、月	0.5 K
		全球	100		
	云顶高度	区域	5	日、旬、月	0.5 km
		全球	100		

从表中可以得出:

① 临近天气预报对观测频次要求最高,数值天气预报所需的参数最多,尤其对云水廓线精度要求高,气候研究需要长期、稳定的探测数据;

② 临近天气预报需求高轨探测和低轨组网探测,数值天气预报需要成像和探测载荷联合使用,气候研究必须发展高精度、稳定的遥感载荷和探测总量的地球辐射收支仪、臭氧探测仪等。

2) 云特性与云探测典型谱段

云是大气中水汽凝结或凝华的产物,由漂浮在空中的小水滴、过冷水滴、小冰晶组成。云的相变潜热过程影响大气动力场,是驱动全球大气环流的“引擎”,云不仅直接影响局地日照条件,而且某些类型的云在发展到一定程度还能够产生降水。云是气候系统中的重要成员,直接影响和参与地气系统的辐射过程、水循环过程,在全球能量收支和水资源分布中都扮演着非常重要的角色。用于云检测的主要波段^[14]见表 6。

表 6 云检测用的主要波段
Tab. 6 Main bands for cloud detection

主要波段		探测要素	实现方式
中心波长/ μm	0.46	云图	云、雪反射率高,植被、地面、海面反射率低
	0.60	云光学厚度	此波段云的反射辐射是云光学厚度的函数
	1.38	卷云	低层大气水对辐射强烈吸收,高云反射率大,主要监测卷云
	1.64	区分云和积雪	反射率不同
	2.13	检测冰云、水云和雪	反射率不同
	3.70	检测夜间层云和雾	与 11 μm 亮度温度差来识别
		云粒子尺度、云相态	此波段云的反射辐射主要受云粒子尺度和云相态的影响
	8.50	固态水,云相态	利用固态水辐射特性探测识别
	11.00	云顶高度、云顶温度	水云、裸地、植被在此谱段的辐射率比任何其他谱带更接近 1,可反演云顶高度;通过此波段辐射传输特性反演云顶温度
	13.90、15.00	薄卷云	利用高云和云上大气发出的辐射权重函数的不同可检测不同高度的云
中心频点/GHz	89、94	云中液态水	对应波长与云中水粒子尺度相当,反应敏感

3) 云探测载荷配置

云分布范围广、产品种类多、特性多样,要实现全球、全天时、全天候的云探测,采用单一的载荷配置很难完成,必须多载荷、多手段联合观测的方式

实现。具体方式有:① 光学载荷实现云图、云相态、云温度的高精度探测,见表 7;② 微波载荷实现云水含量、降水、冰云^[15]、温湿度廓线高精度探测,见表 8。

表 7 云探测光学载荷配置
Tab. 7 Optical load allocation for cloud detection

通道	谱段/ μm	主要功能	分辨率和精度	典型载荷
1	0.45~0.49	可见云图、水陆边界	250 m,信噪比 300 @ 100 %,定标精度 5%	中分辨光谱成像仪 可见红外多通道扫描辐射计
2	0.50~0.54	可见云图、彩图合成		
3	0.63~0.67	可见云图、地表		
4	0.85~0.89(P)*	卷云、云相态识别	250 m,信噪比 300 @ 100 %,定标精度 5%,偏振度 1%	多角度偏振成像仪
5	1.58~1.64	区分云和积雪	250 m,信噪比 300 @ 100 %,定标精度 5%	中分辨光谱成像仪 可见红外多通道扫描辐射计
6	2.10~2.35	检测冰云、水云和雪	250 m,信噪比 300 @ 100 %,定标精度 5%	
7	3.50~3.90	检测夜间层云和雾	250 m,灵敏度 ≤ 0.3 K,定标精度 1.0 K	
8	8.00~9.00	水汽总量	250 m,灵敏度 ≤ 0.2 K,定标精度 1.0 K	
9	10.30~11.30	云顶高度、云顶温度	250 m,灵敏度 ≤ 0.2 K,定标精度 1.0 K	
10	11.50~12.50			

注:P为偏振。

表 8 云探测微波载荷配置

Tab. 8 Microwave load allocation for cloud detection

通道	频点(极化)/GHz	功能	分辨率和精度	典型载荷
1	18.70 (V,H)	云水含量、降水探测	优于 100 km,灵敏度 1.5 K,定标精度 2.0 K	微波成像仪
2	23.80 (V,H)		优于 100 km,灵敏度 1.5 K,定标精度 2.0 K	
3	89.00(V,H)		优于 60 km,灵敏度 1.0 K,定标精度 2.0 K	
4	50.30	大气温度廓线探测	优于 80 km,灵敏度 0.4 K,定标精度 1.5 K	微波温度计
5	53.596±0.115			
6	54.94			
7	57.29			
8	150 (V,H)	水汽廓线探测	优于 80 km,灵敏度 0.2 K,标精度 1.5 K	微波湿度计
9	183.31±1			
10	183.31±3			
11	183.31±7			

4)云探测能力分析

所配置的云探测载荷形成的能力见表 9。可见,载荷探测能力基本覆盖了云探测要素,满足了各种尺度的云探测需求。

表 9 云观测形成的能力

Tab. 9 Ability of cloud observation formation

序号	云要素	形成的探测能力	备注
1	云顶高	★	天气预报
2	云顶温度	★	天气预报
3	云顶气压	★	天气预报
4	云底高	★	气候研究
5	云量	★	天气预报
6	云光学厚度	★	气候研究
7	云相态	★	气候研究
8	云粒子尺度	★	天气预报
9	云水路径	★	数值天气预报
10	云水廓线	★	数值天气预报
11	云冰廓线	★	数值天气预报
12	云频次	★	天气预报

5)云探测效能仿真分析

为了获取全球云分布,采用卫星组网、光学载荷和微波载荷联合探测的方式实现该目标。卫星星座由 12 颗小卫星组成,分 4 个轨道面运行,每个轨道面 3 颗星。

仿真分析的轨道信息和有效载荷几何观测信息见表 10。一个轨道面的卫星飞行示意如图 3 所示。

表 10 全球云探测仿真设置

Tab.10 Global cloud detection simulation settings

序号	项目	主要指标	
1	轨道	高度	600 km
2		类型	太阳同步轨道
3		分布	3 个轨道面均匀分布
4	载荷	光学成像仪	工作谱段:见表 7 水平分辨率:250 m 视场:±40°
5		微波探测仪	工作频率:见表 8 水平分辨率:20 km 视场:±40°

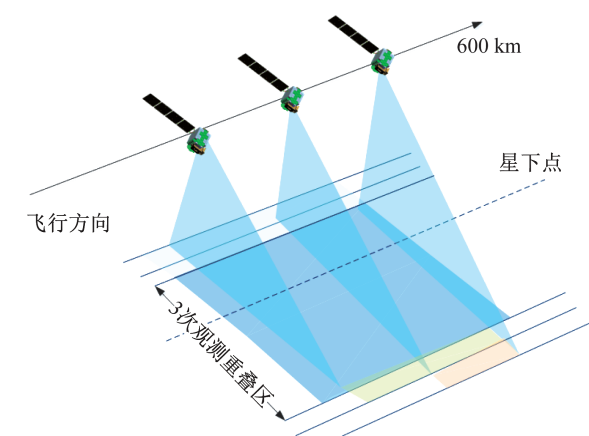


图 3 一个轨道面的卫星飞行示意图

Fig. 3 Satellite flight diagram of an orbital plane

全球云探测效能仿真分析结果如图 4 和图 5 所示。由以上仿真结果可知,通过 12 颗卫星组网,可实现全球范围 100 min 重访,3 h 可对全球 90% 的区域实现覆盖,满足 3 h 时间分辨率的全球云分布测量需求。

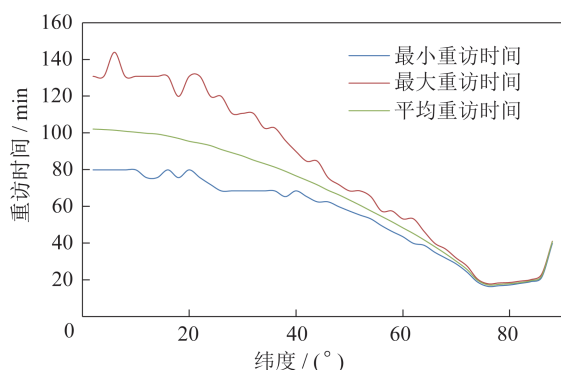


图4 区域重访时间分析结果

Fig. 4 Analysis results of regional revisit time

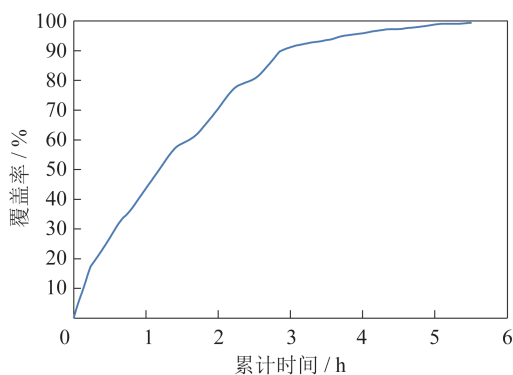


图5 全球覆盖时效分析结果

Fig. 5 Global coverage timeliness analysis results

综上所述,采用从全球云探测需求出发,开展云要素分析的方法,得出了云探测载荷配置类型和谱段;仿真分析了全球云探测的效能,满足了全球云探测的应用需求。说明本文提出的定量遥感有效载荷配置方法合理可行,可以作为开展卫星顶层设计的依据。

2 定量遥感载荷的发展重点和发展方向

随着定量遥感的应用领域、应用范围越来越广,以及工业技术的不断进步,各行业对定量遥感有效载荷的探测手段、通道数、空间分辨率、光谱分辨率、辐射分辨率、信息获取的维度等都提出了更高的要求,对有效载荷的配置类型和性能也提出了新的需求。根据应用需求的发展和定量遥感载荷的技术现状,未来定量遥感载荷发展的重点是:

1) 被动光学成像类

通道细分、分辨率提高、幅宽加大、灵敏度和定标精度提升等,适时发展红外快速成像、多角度成像等新型有效载荷。

2) 被动光学探测类

① 针对大气痕量气体的超光谱探测需求,需尽快发展大气可吸入颗粒物监测类有效载荷,并综合利用偏振探测、紫外临边探测、红外临边探测等多种新型光学有效手段提升对大气成分等气候敏感类要素的探测水平。

② 针对防灾减灾、环境、农业、林业、海洋、气象和资源等领域高光谱遥感的应用需求,开展静止轨道高光谱成像技术研究。

③ 被动光学探测领域应及早重视辐射基准绝对光谱辐射计有效载荷的论证和研制工作。

3) 激光雷达类

加快激光雷达技术研究,逐步实现云-气溶胶探测激光雷达、激光测风雷达和激光测温室气体雷达的研发和关键技术突破。

4) 被动微波类^[16]

实现高轨微波探测能力,并开展微波临边探测、掩星探测、微波海洋盐度探测类载荷的研究。

5) 主动微波类

发展静止轨道降水测量雷达、大气海洋一体化测量雷达、风场雷达、毫米波测云雷达等,主动微波载荷和主动光学手段相互协调相互补充发展,提高观测精度。

结合应用需求,根据定量遥感有效载荷发展的重点,定量遥感有效载荷的发展方向有:

1) 定量遥感将由单一手段向多手段联合工作方向发展,拓展多光谱+偏振+多角度+雷达等多手段联合高精度综合探测,为同一观测目标提供多源信息,大幅提升全天候、全天时观测能力;

2) 由单一谱段向多谱段方向发展,获取更窄带宽、更高光谱分辨率的探测信息,提高对目标的精细化观测,积极牵引新型载荷的研制。

3) 由低分辨率向“高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率、高辐射准确度”发展,满足高时效、高准确度、三维、量化等要求,提高目标特征识别、分类水平和量化反演精度,为灾害预报提供丰富、准确的信息源。

4) 探测方式向主动和被动相结合方向发展,以获取更精细、更丰富的定量信息。

5) 由单星观测向多星组网观测方向发展,形成全球高效综合观测能力,提高定量探测精度。

3 结束语

本文研究了定量遥感有效载荷配置方法和发展方向。主要研究成果体现在以下几个方面:

1) 提出了从探测需求提出到探测要素分析再到应用需求满足的定量遥感载荷配置方法,解决了该领域方法缺失的问题。从遥感应用的需求出发,结合目前的技术能力和发展趋势,实现定量遥感载荷配置,满足探测要素的探测是非常必要和有效的。

2) 以全球云探测为例,为满足该探测要素不同尺度和不同类型的需求,分析了云探测的谱段设置和载荷类型,给出了遥感载荷配置的原则,验证了本文提出的方法有效可行。

3) 结合应用需求,分析了定量遥感有效载荷的发展重点和发展方向,为定量遥感卫星的发展提供参考。我国定量遥感卫星的水平虽然取得了长足的进步,但距离国际先进水平还有差距,迫切需要综合考虑、统筹发展,补齐短板,从而实现效益最大化。

参考文献

- [1] 徐福祥,林华宝,候深渊.卫星工程概论[M].上海:上海科学技术出版社,1997:75-78.
- [2] 崔绍春.卫星有效载荷的地位和作用[J].航天返回与遥感,2003,24(1):61-65.
- [3] 寇艳玲.卫星设计的现状和发展趋势[J].空间电子技术,1998,11(3):55-58.
- [4] 王奕首.卫星有效载荷配置和布局设计方法[D].大连:大连理工大学,2008:20-28.
- [5] 安恒,杨生胜,薛玉雄,等.基于CE-1在轨数据的月球探测载荷配置需求分析[C]//中国宇航学会深空探测技术专业委员会第九届学术年会.杭州:中国宇航学会,2012:721-725.
- [6] 李晖,袁文兵,熊慕舟.EMOEA/D-DE算法在卫星有效载荷配置中的应用[J].计算机应用,2014,34(8):2424-2428.
- [7] 朱毅麟.微型航天器的公用平台和关键技术[J].中国空间科学技术,1997(2):25-32.
- [8] 朱毅麟.卫星平台的标准化[J].空间科学学报,2000(增刊1):116-126.
- [9] 李春来,刘建军,耿言,等.中国首次火星探测任务科学目标与有效载荷配置[J].深空探测学报,2018,5(5):408-409.
- [10] 祝周鹏.面向任务的卫星平台载荷配置与应急规划技术[D].长沙:国防科学技术大学,2013:19-24.
- [11] 贺泉,韩潮.基于蚁群算法的多任务导航星座载荷配置[J].北京航空航天大学学报,2007,33(10):1155-1157.
- [12] 陈世平.空间相机设计与试验[M].北京:宇航出版社,2003:35-38.
- [13] 林英豪.中国遥感对地观测系统(CNEOS)载荷优化配置研究:以地表反射率产品获取为例[D].开封:河南大学,2013.
- [14] 杨军.气象卫星及其应用[M].北京:气象出版社,2012:315-318.
- [15] 张欣,胡伟东,刘瑞婷,等.基于Cubesat平台的874 GHz冰云探测仪设计[J].上海航天(中英文),2018,35(2):144-150.
- [16] 姚崇斌,徐红新,赵锋,等.微波无源遥感有效载荷现状与发展[J].上海航天(中英文),2018,35(2):1-12.