

## 面向应用需求的遥感卫星载荷空间分辨率标准化研究

魏香琴<sup>1,2</sup>, 顾行发<sup>1,2\*</sup>, 余涛<sup>1,2</sup>, 孟庆岩<sup>1,2\*</sup>, 李斌<sup>1,2</sup>, 郭红<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院遥感应用研究所, 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101
2. 国家航天局航天遥感论证中心, 北京 100101

**摘要** 遥感应用需求是对地观测卫星载荷设计的出发点和落脚点, 载荷的通用化、标准化、系列化是未来载荷发展的必然趋势。在对遥感应用需求分析的基础上, 从应用部门关注的空间分辨率这一主要指标对遥感卫星载荷标准化进行了研究, 提出了我国对地观测卫星载荷的空间分辨率设计标准, 对促进遥感卫星载荷的大规模批量生产、节约设计成本具有重要意义。

**关键词** 遥感; 卫星; 应用需求; 空间分辨率; 标准化

**中图分类号**: S127 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2012)03-0781-05

### 引言

应用需求是遥感卫星载荷设计的出发点和落脚点。遥感应用需求分析是指从全面分析我国遥感应用发展现状, 以行业应用需求为牵引, 确定重点发展领域, 进而确定所需载荷的发展指标、完成空间数据接收、处理、应用等相关技术研发, 论证航天遥感应对此需求应采取的措施, 最终满足各层次应用需求的过程<sup>[1]</sup>。经过几十年的努力, 我国的遥感卫星载荷得到了长足的发展, 在民用方面已形成了气象卫星、海洋卫星、资源卫星和环境与灾害监测卫星四大系列, 在技术上取得了很大的进展, 能够提供多种空间分辨率的影像产品, 有千米、百米、十米、米以及亚米等级别, 形成系列<sup>[2]</sup>。

卫星遥感技术在国民经济建设中多个领域得到了广泛应用, 带动了相关行业的技术发展, 促进了系统的业务化运行, 取得了巨大的社会和经济效益<sup>[3]</sup>。目前, 我国国土资源、海洋、水文、农业、林业、城市、交通、地矿、油气、测绘制图、环境、减灾等领域部门长期以来从事航空、航天遥感数据的应用<sup>[4-7]</sup>。各遥感应用部门经过对地球观测卫星数据的长期应用实践, 应用水平逐步提高, 其应用方式从单一信息分析发展到多种信息综合, 从静态调查转变为动态监测和预报, 从定性分析提升到定量研究, 从一般性应用形成业务化运行。为此, 国家各行业部门对于继续发展我国的对地观测卫星提出了更迫切的需求, 对长期稳定的遥感数据源的提

供能力、多样化的载荷指标选择以及数据质量和稳定性的保障有了更高的要求。针对我国日益增长的遥感应用需求, 我国遥感卫星载荷指标的设计必须以应用需求为指导原则, 制定我国航天遥感载荷发展计划, 以保障我国基于自主信息源的卫星事业的可持续发展。

但是, 我国目前对地观测卫星的管理缺乏类似美国 NASA 这样的权威机构来引导有效载荷的研制与高新技术的研究, 在现有和未来卫星遥感方面没有形成整体和长远的规划。目前, 卫星计划一般由行业部门提出, 单独实施, 一星一议, 导致卫星设计和地面系统脱节, 地面系统与应用脱节, 没有天地一体化的框架, 致使现有卫星对地观测系统的卫星载荷在空间分辨率和光谱分辨率方面无章可循, 没有形成标准化的设计体系。

在载荷通用化、标准化、系列化的发展趋势下, 以应用需求为导向, 研究遥感卫星载荷空间分辨率标准化的可行性, 以满足国家安全、国民经济发展、科学技术进步和国际合作的需求, 完善国家对地观测系统, 提升多维、全方位的空间信息获取能力, 加快我国航天遥感从应用试验型向业务服务型的转变。本工作选择国家制图基本比例尺为载荷空间分辨率设计参考标准, 根据人眼的生理特点和图像混合像元的可识别能力, 提出了我国航天遥感卫星载荷基于国家制图基本比例尺的空间分辨率标准化设计方法, 为我国多空间尺度对地观测系统的标准化体系发展提供依据。

收稿日期: 2011-05-03, 修订日期: 2011-08-28

基金项目: 国家国防科技工业局民用专项项目, 国家自然科学基金项目(40971227)和科技部国际科技合作计划项目(2010DFA21880)资助

作者简介: 魏香琴, 女, 1982年生, 中国科学院遥感应用研究所研究实习员 e-mail: weixq@irsa.ac.cn

\* 通讯联系人 e-mail: xfgu@irsa.ac.cn

## 1 遥感应用需求分析

随着国民经济的发展和卫星遥感应用的深入,开展多种类型空间分辨率的遥感数据获取,有助于从多个空间尺度全方位的了解地球,获取全面的对地观测信息。中低空间分辨率的遥感数据对于减灾急需的重复观测周期从小时级到几天的宽覆盖和全天候成像需求提供保障。高空间分辨率的遥感数据(如像元尺寸 $<30\text{ m}$ )具有较高的应用价值,已广泛地应用到了多个基础性行业,如国土资源大调查和土地利用监测中广泛使用 $1\text{ m}$  全色, $2.5, 5, 10, 20, 30\text{ m}$ 等多光谱数据;测绘部门每年需要使用 $2\sim 10\text{ m}$ 的遥感数据更新 $1:5$ 万和 $1:10$ 万的地形图;农业部门采用 $4\sim 30\text{ m}$ 空间分辨率的多光谱数据进行作物种植面积和产量估算;林业部利用 $5, 10, 20, 30\text{ m}$ 的遥感数据,每五年进行一次全国范围的森林资源清查和荒漠化监测;城市建设部门利用空间分辨率小于 $1\text{ m}$ 的遥感数据进行高精度的城市地理空间基础与专题数据的采集与更新,服务于城市发展规划与管理。

遥感卫星体系建立在地球系统科学与航天技术基础之上,根据国家各部门的行业需求(表 1)不断调整。目前,国内部分行业部门在原有遥感应用的基础上,已经开始了业务化运行,对高质量、高稳定、长期观测的自主信息源提出了迫切需求。综合分析各行业部门的需求,可以发现如下共性需求。

(1)专题地图的制作。无论是国土资源调查、林业资源

调查,还是地形图绘制、农业估产等各行业应用,专题地图是各行业部门需要的基础图件,是开展更深层次研究的基础数据。因此,利用遥感影像制作规范化比例尺体系的专题地图是各行业部门有效开展业务工作、提高行业间紧密合作的基本共性需求。

(2)长期稳定的数据源保障。长期稳定的遥感数据获取是保证业务系统正常运转的所有遥感应用的基本需求。因此需要全面提升我国对地观测技术水平,和具有自主控制、长期稳定运行且功能完备的卫星遥感系统,形成由具有专业载荷与广泛应用的共性载荷组建成的空间信息获取体系,全面提供行业需求遥感数据获取保障。

(3)多高空间尺度数据需求。高、中、低空间分辨率的遥感影像可以从多个空间尺度获取对地观测信息,以支持全面、深入研究地球资源环境及其动态规律,进行科学预测、预报和预警。因此需要自主建立先进、合理的多尺度对地观测体系。

(4)大范围、全球数据获取需求。随着全球经济一体化发展进程的加快,不仅气象和海洋部门提出全球数据观测的需求,农业、环境和灾害监测等应用领域也提出全球范围的数据需求,以保障国家经济安全和重大决策的科学性。

因此,开展面向应用需求的卫星载荷空间分辨率标准化研究是发展推动我国遥感应用业务化和产业化、拓展我国卫星遥感信息应用范围和深度、提高我国遥感应用的质量和水平的迫切需求,对我国对地观测体系的建设和快速发展具有重要意义。

Table 1 Remote sensing application requirement analysis of main departments

领域	主要用途和需求
国土	全国的 $1:25$ 万和 $1:20$ 万区域地质调查、地质灾害监测与评估、土地资源调查; $1:5$ 万专题地质调查、地质灾害评估;每年一次的土地利用遥感监测;基础地学数据库建设、西部生态环境动态监测系统建设、省级国土资源遥感综合调查
林业	全球及区域森林资源调查、植被指数、荒漠化监测;省级、县级宏观调查管理规划,生态工程监测与评价;局部区域的具体研究和示范;森林火灾、灾害监测
水利	全国,尤其是重点地区的洪涝、旱情的监测;全国水土保持调查与监测,水土流失治理;保障大江、大河、大湖重要河段,大中城市及重点地区的防洪安全;农村水利建设;全国水资源的调查及合理利用;大江、大河、大湖的监测、治理
农业	全国范围内农情监测、作物面积变化、长势、旱情、产量、灾害(水、火、病虫害等)、草地生产力、草畜平衡、草地退化、精准农业、作物品质遥感、作物及其生长环境定量遥感、农业结构调整、全球农业遥感
测绘	$1:25$ 万地图的修测、 $1:5$ 万和 $1:2.5$ 万地形图测制以及国家基础数据库地理更新;小范围内大比例尺地形图和工程用图的测制
气象	天气预报;气候与气候变化监测;对臭氧、气溶胶、土壤温度和植被等环境参数的观测;大气三维结构探测,获取大气温度、湿度垂直分布,臭氧总含量;开展闪电成像观测,进行云图、天气图和气象资料的制作与分发
海洋	海洋环境与生态监测和预报;海洋资源调查与开发;海洋污染监视监测;海洋减灾防灾;国家海洋权益维护和海上执法;海洋军事斗争;全球变化
环境	我国大江、大河、大湖的水环境监测与治理;重点区域的生态环境监测与治理;重点区域的大气环境监测;全国范围的重大生态灾害和环境事故的监测
减灾	重点地区的森林火灾、洪涝、干旱、雪灾监测;地震预报和震后调查;地质灾害(滑坡、泥石流等),森林和农作物病虫害等自然灾害的监测、灾情详查与评估

## 2 基于国家制图基本比例尺的载荷空间分辨率标准化设计

### 2.1 空间分辨率

遥感影像的分辨率是指每个像元所代表的地面实际范围的大小,即扫描仪的瞬时视场,或地面物体所能分辨的最小单元。遥感影像的空间分辨率反映了图像记录空间信息的详细程度。遥感图像的空间分辨率一般有三种表示形式<sup>[8]</sup>:像元(Pixel)、线对数(Line Pairs)、视角角(IFOV)。这三种表

示方法意义相仿,只是考虑问题的角度不同,可以相互转换。遥感影像的空间分辨率一般从像元的角度给出其与地面范围大小相当的尺寸。

卫星载荷的瞬时视场角和卫星的轨道高度是影响遥感影像空间分辨率的主要因素。在卫星轨道高度一定的情况下,瞬时视场角是影响图像对地面物体的分辨能力的决定性因素。因此,载荷指标是遥感影像空间分辨率标准化的主要研究对象。卫星载荷指标设计的标准化对于促进遥感卫星载荷的大规模批量生产、节约成本具有重要意义。

## 2.2 国家制图基本比例尺

地图比例尺是指图上距离与实地距离之比,一般用 $1/M$ 表示,表示图上距离比实地距离缩小的程度<sup>[9]</sup>。根据地图的用途,所表示地区范围的大小、图幅的大小和表示内容的详略等不同情况,制图选用的比例尺有大有小。国家基本制图比例尺地图是指按照国家规定的测图技术规范,编图技术标准,图式和比例尺系统测量和编制的若干特定规格的比例尺的地图的系列。我国的国家基本比例尺地图的系列包括 $1:500$ , $1:1\,000$ , $1:2\,000$ , $1:5\,000$ , $1:1$ 万, $1:2.5$ 万, $1:5$ 万, $1:10$ 万, $1:25$ 万, $1:50$ 万, $1:100$ 万<sup>[10]</sup>。其中,大于 $1:25$ 万的为大比例尺地图,介于 $1:25$ 万至 $1:1$ 万之间的为中比例尺地图,小于 $1:1$ 万的为小比例尺地图。国家制图基本比例尺具有标准的空间尺度系列,而且是我国各行业制作专题图的标准比例尺,因此是对卫星载荷空间分辨率标准化研究的合适参考标准。

## 2.3 载荷空间分辨率与比例尺的关系

根据遥感影像空间分辨率确定专题制图的比例尺,是遥感应用的一个关键技术问题。对于特定空间分辨率的遥感影像,如果专题制图比例尺确定得过大,造成图像模糊不清,影响成图质量。反之,若专题制图比例尺太小,影像包含的信息反映不出来,造成信息损失和资源浪费。为解决遥感影像空间分辨率与专题制图比例尺的对应关系,很多专家学者开展了两者之间对应关系的研究<sup>[10-12]</sup>。研究地图比例尺与遥感空间分辨率的对应关系问题,首先需要了解人的视觉分辨率。人的视觉分辨率是指人眼明视距离(25cm)能分辨的空间两点之间的最短距离,各种资料对这个数值有不同的看

法<sup>[10]</sup>,本研究选择 $0.1\text{ mm}$ 作为人眼视觉分辨率进行基于国家制图基本比例尺的空间分辨率标准化设计。在遥感影像专题图制作中, $0.1\text{ mm}$ 的人眼视觉分辨率对应的实地水平距离称为制图比例尺的精度。

$$A = L/(1/M) \quad (1)$$

其中 $A$ 为专题图比例尺的精度, $1/M$ 为比例尺, $L$ 为人眼视觉分辨率。

为了使遥感影像在制图时能达到专题图比例尺的精度,遥感影像的空间分辨率应不大于地图比例尺的精度。

$$R \leq A \quad (2)$$

其中 $R$ 为遥感影像的空间分辨率, $A$ 为专题图比例尺的精度。

另外,遥感制图中最小地物尺寸是对遥感数据空间分辨率要求的另一个决定性作用的指标,最小地物是是地图呈现的地物的最小极限值。遥感图像的空间分辨率应小于最小地物的尺度,图像信息才能全部被人识别。但在实际制图过程中,最小地物尺寸大于地图比例尺的精度,比如第二次国土资源大调查过程中所有地类中最小的上图图斑面积为 $4\text{ mm}^2$ <sup>[13]</sup>。因此,在遥感影像空间分辨率不大于地图比例尺精度的情况下,最小地物尺寸的指标条件可以忽略。

在基于国家制图基本比例尺的空间分辨率标准化设计中,对于固定比例尺的专题地图来说,若选用的遥感影像空间分辨率过高则存在信息和数据的冗余,造成资源的浪费;若空间分辨率过低,则不适合进行该比例尺的专题制图,否则专题图成图质量低。遥感影像空间分辨率的选择也要考虑专题制图区域所包含的地物内容和纹理特征,如果制图内容是以大面积的流域、海域为主,可以选择空间分辨率较低的影像。

## 2.4 遥感卫星载荷空间分辨率标准化设计

基于国家制图基本比例尺的空间分辨率标准化设计过程中,选择遥感影像的空间分辨率等于地图比例尺的精度作为载荷空间分辨率设计的准则,因此得到对应于国家制图基本比例尺的卫星载荷空间分辨率标准化体系,包括 $100, 50, 25, 10, 5, 2.5, 1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05\text{ m}$ 等11个载荷空间分辨率等级(表2)。

Table 2 Standardization of payload spatial resolution based on national basic mapping scale

国家制图基本比例尺	专题图应用范围	载荷空间分辨率标准化体系/m
1:100万	大范围内宏观评价和研究地理信息,是国家各部门共同需要的基本地理信息的平台,可以作为各部门进行经济建设总体规划,经济布局、生产布局、国土资源开发利用的规划和管理用图或工作底图,也可作为国防建设用图	100
1:50万	较大范围内宏观评价和研究地理信息,是国家各部门共同需要的基本地理信息的平台,可以作为各部门进行经济建设总体规划,省域经济布局、生产布局、国土资源开发利用的规划和管理用图或工作底图,也可作为国防建设用图	50
1:25万	各部门在较大范围内作总体的区域规划、查勘计划、资源开发利用与自然地理调查,也可供国防建设使用	25
1:10万	一定范围内较详细的地理信息研究和评价,供国民经济各部门勘察、规划、设计、科学研究、教学等使用,也可用于军队现地勘察、训练、图上作业、编写兵要、国防工程的规划和设计等军事活动使用	10
1:5万	我国国民经济各部门和国防建设的基本用图。主要用于一定范围内较详细的地理信息研究和评价,供国民经济各部门勘察、规划、设计、科学研究、教学等使用;也可用于军队现地勘察、训练、图上作业、编写兵要、国防工程的规划和设计等军事活动使用	5

续表 2

1:2.5 万	较小范围内详细地理信息的研究和评价,城市、乡镇、农村、矿山建设的规划、设计,林斑调查,地籍调查,大比例尺的地质测量和普查,水电等工程的勘察、规划、设计,科学研究,国防建设的特殊需要	2.5
1:1 万	小范围内详细地理信息的研究和评价,城市、乡镇、农村、矿山建设的规划、设计,林斑调查,地籍调查,大比例尺的地质测量和普查,水电等工程的勘察、规划、设计,科学研究,国防建设的特殊需要	1
1:5 000	小范围内详细地理信息的研究和评价,可供各部门勘察、规划、设计,科研等使用	0.5
1:2 000	小范围内地理信息的精确研究和评价,可供勘察、规划、设计和施工等工作使用	0.2
1:1 000	小范围内地理信息的精确研究和评价,可供勘察、规划、设计和施工等工作使用	0.1
1:500	小范围内地理信息的精确研究和评价,可供勘察、规划、设计和施工等工作使用	0.05

考虑到气象和海洋领域对于全球多尺度数据获取及高时间分辨率的特殊需求,100 m 及更高空间分辨率的遥感数据难以满足需求,因此设计 250, 500, 1 000, 2 500 和 5 000 m 等五个空间分辨率加入载荷空间分辨率标准化体系,以满足多空间尺度对地观测信息的获取和各行业遥感应用的需求。最终形成了具有 16 个等级的载荷空间分辨率标准化体系。

### 3 结 论

通过综合分析各行业的遥感应用需求,对我国遥感卫星载荷空间分辨率进行标准化设计,有利于形成标准系列的高、中、低空间分辨率互补的对地观测系统,将能快速、及时地提供多种空间分辨率的对地观测数据,为我国空间技术的综合应用和产业化发展提供充足的空间信息源。而且,标准化的载荷空间分辨率设计对促进我国遥感卫星载荷的大规模批量生产、节约设计成本具有重要作用,促进形成空间应用产业,带动相关产业的发展,推动经济的可持续发展。

对我国遥感卫星载荷空间分辨率进行标准化设计,系统

化的获取多尺度、全方位对地观测信息,有利于开展全球性问题的研究,提高我国在国际交往中对全球环境变化、全球灾害、全球植被和全球农作物估产等问题的主动权和发言权,为我国外交、外援、外贸等工作,提供重要的信息支持。同时,在空间技术应用方面,加强对地观测信息领域的国际合作,不断提高我国空间信息应用的经济社会效益。

对我国遥感卫星载荷空间分辨率进行标准化设计,有利于提高社会和公众对地球系统的全面认识,评价、预测和改善人类生存环境,提高人类的安全感和幸福感,减少贫困,保护环境,实现我国社会经济可持续发展,建设我国小康社会,为保障国家安全做出切实的贡献。

综上所述,面向各行业遥感应用需求,对遥感卫星载荷空间分辨率标准化通过研究,形成了对应于国家制图基本比例尺的卫星载荷空间分辨率标准化体系,具体包括 5 000, 2 500, 1 000, 500, 250, 100, 50, 25, 10, 5, 2.5, 1, 0.5, 0.2, 0.1 和 0.05 m 等 16 个载荷空间分辨率等级,为我国多空间尺度对地观测系统的标准化体系发展和遥感卫星载荷空间分辨率设计提供了依据。

### References

- [1] GU Xing-fa, YU Tao, MENG Qing-yan, et al(顾行发, 余涛, 孟庆岩, 等). *Satellite & Network(卫星与网络)*, 2008, 4: 58.
- [2] WU Jia-li, YU Tao, GU Xing-fa, et al(武佳丽, 余涛, 顾行发, 等). *Remote Sensing Information(遥感信息)*, 2008, 6: 96.
- [3] GE Bang-jun, JIN Ying(葛榜军, 靳颖). *Satellite & Network(卫星与网络)*, 2009, 81: 32.
- [4] WANG Fu-tao, WANG Shi-xin, ZHOU Yi, et al(王福涛, 王世新, 周艺, 等). *Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析)*, 2011, 31(3): 577.
- [5] ZHANG Ji-xian, ZHANG Yong-hong. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2007, 62: 461.
- [6] Li Jing, Liu Qinhuo, Liu Qiang, et al. *Science in China Series E Engineering & Materials Science*, 2005, 48: 129.
- [7] Zhao Min, Zhou Guangsheng. *Forest Ecology and Management*, 2005, 207: 295.
- [8] ZHAO Ying-shi, et al(赵英时, 等). *The Principles and Methods for Analysis and Application of Remote Sensing(遥感应用分析原理与方法)*. Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2003.
- [9] PAN Jia-wen, ZHU De-hai, YAN Tai-lai, et al(潘家文, 朱德海, 严泰来, 等). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报)*, 2005, 21: 124.
- [10] GONG Ming-jie, ZHANG Ying, ZHANG Yun(龚明劼, 张鹰, 张芸). *Science of Surveying and Mapping(测绘科学)*, 2009, 34: 232.
- [11] LIU Shun-xi, YOU Shu-cheng, ZHANG Ding-xiang(刘顺喜, 尤淑撑, 张定祥). *Remote Sensing for Land and Resources(国土资源遥感)*, 2003, 58: 6.
- [12] YANG Qing-hua, QI Jian-wei, SUN Yong-jun(杨清华, 齐建伟, 孙永军). *Remote Sensing for Land and Resources(国土资源遥感)*, 2001, 50(4): 20.
- [13] Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China(中华人民共和国国土资源部). *Specification for the Second Land Investigation(第二次全国土地调查技术规程)*, 2007, TD/T1014—2007.

## Spatial Resolution Standardization of Payload on Board of Remote Sensing Satellite Based on Application Requirements

WEI Xiang-qin<sup>1, 2</sup>, GU Xing-fa<sup>1, 2\*</sup>, YU Tao<sup>1, 2</sup>, MENG Qing-yan<sup>1, 2\*</sup>, LI Bin<sup>1, 2</sup>, GUO Hong<sup>1, 2</sup>,

1. Jointly Sponsored by the Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences and Beijing Normal University, State Key Laboratory of Remote Sensing Science IRSA, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China
2. The Center for National Spaceborne Demonstration, Beijing 100101, China

**Abstract** Remote sensing application requirements are the starting point for design of payload on board earth observation satellite. The generalization, standardization and serialization of payload are the future development trend for payload design. In the present paper, based on the analysis of remote sensing application requirements, the spatial resolution standardization of satellite remote sensing payload, which is the main concerned indicator, was investigated. The design standards of national payload spatial resolution of earth observation satellite are presented, which are important to the promotion of satellite payload production and saving in design cost.

**Keywords** Remote sensing; Satellite; Application requirements; Spatial resolution; Standardization

(Received May 3, 2011; accepted Aug. 28, 2011)

\* Corresponding author