

面向应用的航天遥感科学论证研究

顾行发^{1,2}, 余涛^{1,2}, 高军¹, 田国良^{1,2}, 王春梅^{1,2}, 郑逢杰^{1,2}, 李娟^{1,2},
董文^{1,2}, 米晓飞^{1,2}, 胡新礼^{1,2}, 谢勇^{1,2}, 孟庆岩^{1,2}, 刘其悦^{1,2}, 杨健^{1,2},
卫征³, 张周威^{1,2}, 方莉^{1,2}, 林英豪^{1,2}, 高海亮^{1,2}, 赵利民^{1,2}, 郑利娟^{1,2},
刘苗^{1,2}, 李玲玲^{1,2}, 孙源^{1,2}, 程洋^{1,2}, 张雅洲^{1,2}, 黄祥志^{1,2}, 臧文乾^{1,2},
徐辉^{1,2}, 吴俟^{1,2}, 柳鹏^{1,2}, 刘东晖^{1,2}, 邓安健^{1,2}

1. 国家航天局航天遥感论证中心, 北京 100101;

2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101;

3. 国家航天局重大专项工程中心, 北京 100101

摘要: 为适应中国民用航天遥感从科学试验向业务服务模式转变, 更好地探索、了解与解决应用需求与航天遥感系统对接等方面遇到的技术问题, 促进航天遥感统筹协调可持续发展, 中国适时于2004年成立了国家航天局航天遥感论证中心。10余年来, 论证中心以航天遥感系统为研究对象, 系统开展了面向应用的航天遥感科学论证概念、理论方法、技术工程与应用研究。本文是论证中心团队长期从事航天遥感科学论证研究与实践的系统总结, 介绍了遥感论证初步认知、遥感论证关注问题、遥感论证理论体系与模型方法集、遥感论证能力建设及遥感论证实践等方面内容, 给出了遥感论证定义并详细分析了研究范围和内容, 提出了由知识维、进程维和逻辑维所组成的遥感论证作用域3维空间结构, 指出社会发展加快和信息化水平提高, 带动整个航天遥感数据信息链向更大规模、更短响应时间周期、更综合数据集成、更高数据质量、更加智能化方向发展, 航天遥感系统将进入新的“智慧遥感”发展阶段。得益于十余年来中国民用航天快速发展, 我们经历了风云三号新型载荷校飞、多角度多光谱偏振传感器论证、环境星应用工程论证等实践, 取得了多方面理论方法的突破, 并应用到2030民用航天发展规划、高分辨率对地观测系统、国家自然灾害空间信息基础设施、国家民用空间基础设施中长期发展、2030中国综合地球观测系统规划等论证当中。经过不断实践, 快速迭代, 形成了遥感论证理论体系及相应的十大模型方法, 包括遥感信息流模型、遥感信息特征模型、遥感信息应用模型、遥感信息量分析模型、遥感数据工程模型、航天遥感系统结构模型、航天遥感系统状态描述模型、航天遥感系统质量模型、航天遥感系统发展动力模型及能力体系模型。这些模型方法全面反映了航天遥感系统特征、结构、状态、发展动力、条件等, 可广泛用于对航天遥感系统进行顶层设计、规划、考察、分析、评价、预测, 并开展实践探索。

关键词: 航天遥感系统, 遥感论证, 信息流, 智慧遥感

中图分类号: TP701 **文献标志码:** A

引用格式: 顾行发, 余涛, 高军, 田国良, 王春梅, 郑逢杰, 李娟, 董文, 米晓飞, 胡新礼, 谢勇, 孟庆岩, 刘其悦, 杨健, 卫征, 张周威, 方莉, 林英豪, 高海亮, 赵利民, 郑利娟, 刘苗, 李玲玲, 孙源, 程洋, 张雅洲, 黄祥志, 臧文乾, 徐辉, 吴俟, 柳鹏, 刘东晖, 邓安健. 2016. 面向应用的航天遥感科学论证研究. 遥感学报, 20(5): 807–826

Gu X F, Yu T, Gao J, Tian G L, Wang C M, Zheng F J, Li J, Dong W, Mi X F, Hu X L, Xie Y, Meng Q Y, Liu Q Y, Yang J, Wei Z, Zhang Z W, Fang L, Lin Y H, Gao H L, Zhao L M, Zheng L J, Liu M, Li L L, Sun Y, Cheng Y, Zhang Y Z, Huang X Z, Zang W Q, Xu H, Wu Y, Liu P, Liu D H and Deng A J. 2016. Application-oriented scientific demonstration research for spaceborne remote sensing. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 807–826 [DOI:10.11834/jrs.20166209]

收稿日期: 2016-06-25; **修订日期:** 2016-07-10; **优先数字出版日期:** 2016-07-17

基金项目: 民用航天预研项目我国卫星遥感应用需求和载荷指标综合论证; 地球表层系统科学研究应用示范系统(一期)高分重大专项(编号: Y4D00100GF); 基础信息产品生产算法集成研究高分重大专项(编号: Y4D0100038); 中国科学院战略先导专项(编号: Y1Y02230XD)

第一作者简介: 顾行发(1962—)男, 研究员, 国际宇航科学院院士, 中国科学院遥感与数字地球研究所副所长, 兼任国家航天局航天遥感论证中心主任, 研究方向为量化遥感、光学卫星传感器定标、气溶胶遥感、对地观测系统论证等。E-mail: guxf@radi.ac.cn

1 前言

2000年以来,中国民用航天遥感逐步从科学试验型向业务服务型转型并快速发展,如何观察、理解、分析、预计、评估、推进与服务民用航天遥感的这一变化过程,如何分析有关航天遥感发展的规划、方案及所依据的理论、方法、方式与途径的科学性、合理性、可靠性,这一系列疑问逐步形成了一种清晰、具体的需求(顾行发等,2008,2016)。2004年国家航天局航天遥感论证中心(以下简称论证中心)成立,正逢中国民用航天遥感发展进入快车道,论证中心在规划设计中更加关注航天遥感需求牵引与技术推动的统筹、体系化发展途径、国际合作与产业发展模式、基础能力体系构建等,同时在遥感应用检验与评价方面也开展了很多试验验证性工作(顾行发等,2005,2013a,2015;梁洪有等,2007;孟庆岩等,2008)。这为航天遥感科学论证的有关理论、方法创造出更大规模、更大范围实践的机会,极大促进了对科学论证的认识。

2 基本概念的认识

2.1 论证

论证,是用一个或一些命题确定另一命题的思维过程,即有关“根、据、观点”的逻辑过程,论证普遍存在于人们的社会生活和生产活动中(孙万国等,2006)。

图尔敏论证模型(张晓娜,2013)按照不同命题在论证中的不同功能将其分为6种要素,分别是前提、保证、支援、限定、反驳和主张,图尔敏论证模型把论证解释为由被前提支持的主张、依赖于保证的推理组成,保证本身可能被支援所支撑。支持主张时往往会遇到一些限定,当然也有可能出现反驳性的因素。其中,保证、支援、限定、反驳共同形成了论证过程,而前提和主张则表明了论证的起点与终点。

论证的作用在于提供了一种问题探究时采用的“科学推导与演绎”方法,帮助我们发现哪些观点优于其他观点,评估不同观点的说服力如何,形成批判性的思维方式和怀疑精神。简单的说,即是需要对“说的对吗?”进行论证。另一方面,通过论证,我们提出理由和证据,以及阐明自己的观

点,对观点进行解释和辩护使得其他人接受某个观点,即是对“凭什么?”进行详细描述及回答。不仅对论点进行论证,而且对论证过程进行评价。

2.2 验证

验证是指针对某种关注对象的观点、主张或理论假设开展正确性或精准性证明的一系列活动(朱少均,2006)。验证伴随科技发展而发展,没有固定的单一模式。

验证作为一种现代科学研究范式,产生于培根的经验哲学和牛顿—伽利略的自然科学研究。验证可分为以数学为基础的理论验证,以物理等学科为基础的实验验证和以计算机科学为基础的计算机仿真验证。理论验证是建立在一系列假设、已被接受的定理以及用于分析、预测、解释关注对象的程序规则基础上,通过逻辑和数学等抽象推理与思辨辅助工具和表现方式开展的评判与证明。试验验证是建立在对现实条件主动控制基础上,通过试验工具和表现方式开展的评判与证明。计算机仿真验证是建立在关注对象及其所在环境与条件模型化基础上,按照系统工程方式构建并通过数值分析工具和表现方式开展的评判与证明。仿真检验具有更多系统工程的理念,不受时空限制,可以观察和研究正在发生或尚未发生的现象,以及在各种假想条件下,现象的发生和发展过程(邓仲华,2013)。

此外,真实世界是个开放、动态的系统,绝大多数事物现象间具有一定程度的相互关联性,难以用一种或几种确定性的因果关系去准确描述。图灵奖获得者、著名数据库专家Jim Gray博士提出了第四范式,将大数据从计算科学的第三范式中分离出来而作为独立的一种科研范式,即数据密集型科学,从汇集到的大数据中探索“不知道自己不知道”的现象和规律(Hey等,2012)。

事实上,钱学森针对“开放的复杂巨系统”这一新的科学领域构建了定性到定量综合集成研讨厅方法论。通过各类数据、知识物理载体的一体化贯通,形成一体化大数据聚集、综合方法聚集和数据密集计算,将针对某种关注对象的“不完整”信息尽量“完整化”,从而使不完全信息“病态”决策状态朝完全信息决策方向转化,提高分析、判断与决策的正确性。可以将这种看做一种以人为本的、集成多种手段和多源信息的“鸡尾酒勾兑”式的

系统科学综合法，是解决非常复杂情况下对因果关系放宽约束的探求，自然包括了“第四范式”科学研究方法，反映出钱学森教授的“大成→智慧”思想(钱学森和戴汝为，2006)。

验证不论采用何种方式，其本身不是所关注的对象，不具有完整的、系统的客体性，可对所关注对象在某种环境下、某种条件下、某个时间段、某个局部下无限接近实证结果，最终还是要通过实证来评判确定。

2.3 认证

认证指确认与认可，是一种支持与信用担保形式。由科技界专家或权威机构基于一系列原则、规范和技术对整个研究的正确性进行评判，对研究结果的预期应用是否可接受，及接受程度进行评判。

针对科研的认证，科学界通过科技文献的出版程序，由若干科学家在内容与形式上对科研成果进行审查，包括研究中问题的提出，研究规则、方法、流程的正确性，研究结果的逻辑性与正确性等。在此基础上，通过出版，在科学界进行大规模传播，从而获得更广泛的评价得到最终的确认与认同。针对工程性应用的认证，指定的权威机构详细考察研究成果所涉及的立题、设计、开发、调试、检测和运行维护等整个研发各个部分构成，在验证的基础上，最终认证结果是否可信及可信的程度，某一特定应用中是否可接受，以及最终决定是否可用于实际工程。

可以看出，认证是权威机构依据一定的程序、标准、规范等确认某个认证对象是否达到特定的质量指标，能否满足预期应用的要求。如果通过了认证，就意味着用户得到了一个关于其应用的质量和可信性的保证，用户就可能把结果用于支持关键的决策活动。

认证过程依赖于验证过程，整个过程是重复进行的，当在实践中出现问题或缺陷时，则应该检查并修正完善，然后验证修正后的结果，并予以再认证，直到通过最终实证的检验。

2.4 实证

实证即实际的证明，指研究者针对某种关注对象的观点、主张或理论假设而收集到相互有因果关系的直接观察资料，具有鲜明的直接经验

特征，是一种与纯粹的理性分析相对应的研究方法(朱少均，2006)。

实证是以“存在一个客观世界”的世界观为前提的，不断地通过研究，去接近这个客观世界。它所推崇的基本原则是结论的客观性和普遍性，强调知识必须建立在观察和经验事实上，通过经验观察和实验等手段来揭示一般结论，并且要求这种结论在同一条件下具有可证性。

科学研究没有机械的程序和万无一失的方法。一般地，现代科学研究包括经验科学和演绎科学两部分，经验科学是实证的科学，需要超出理论之外的、以对经验事实观察为必要条件的证明。演绎科学则是论证的科学，在理论内完成其证明。逻辑和数学无疑是经验科学的“辩证的辅助工具和表现方式”，经验科学虽然也包含着论证过程，但是归根到底最终决定其真理性的是实证。

2.5 科学论证

长期以来人们认为科学是一种被客观证实的知识。20世纪60年代，科恩提出了一种全新的观点，即科学是一种表明能被用来找到系统认识的方法，即科学作为知识体系包括了知识所运用的方法。

科学论证指一个可验证、认证并实证评价的、按照现代科学范式开展的论证过程与方法。科学论证的前提可以是对关注对象长期观察结果以及其抽象化模型，也可以是在对关注对象认知基础上的概念设计，真实反映关注对象的本质特征。科学论证的保证是建立在数学模型的基础上，通过理论研究、实验分析、仿真分析等技术手段，进行演绎并实现预期规律的验证。验证的结果通过科学界及权威机构的传播，不断地修正、限制成果，使其更加客观地反映关注对象的规律，最终得到明确的认证。如果说论证更多是以论的形式完成证的过程，则科学论证是现代科学范式下的“论+证”。

科学论证的本体认识是实践，通过建立在反映客观情况基础上的大胆假设和小心验证，客观反映了人的思维方式。科学论证的实践活动比较复杂，用途多种多样，如论证作为说服、作为探究、作为分歧的展开、作为解决分歧和达成一致的手段和方法等等。认识论学者把论证视为一种认知活动，人们的认知是一个从传统的序列化、

结构化理解到当代语用维度下的复杂呈现,然后又重回到结构化建构的过程,这是一个“肯定—否定—否定之否定”的过程。

科学论证是主体、客体与技术手段的统一。如果把针对某一领域系统的科学论证过程看做一定活动和功能结构的动态表现,那么论证活动的物质承担者(人)和关注对象(人认识和作用的对象)作为论证主体和客体构成了两极结构,共同确定科学论证的目的性、客观性与科学性(傅诗济,1994)。技术手段是科学论证过程和论点的主客观综合表现,要讲优劣,满足需要,力求有用、有效(效能、效率、效用、效益),凡对认识和改造世界更有用的技术才是好技术。科学论证要建立在现代科学技术体系的基础上,围绕科学技术的社会功能和价值展开。

从认知向技术实践的转化看,科学的真理性虽然不是技术有效性的充分条件或唯一决定因素,但却是现代技术及其有效性的不可缺少的条件和重要保证。因此,科学技术的客观真理性 and 逻辑性决定了科学论证要建立在实证基础上,系统性和开放性的过程决定了科学技术要经得起验证和通过认证。

有关对科学论证的认知表明,不仅要研究作为认识结果的知识,还要研究这种知识是如何获得的,认识结果是通过怎样的认识过程达到的。人、关注对象与技术手段是一个有机联系的整体,缺少任何一个要素,科学论证将不能成立。

2.6 面向应用的航天遥感科学论证

2.6.1 遥感论证定义

面向应用的航天遥感科学论证(简称遥感论证),指航天遥感系统中直接关联到信息流的应用活动的科学论证,是对不包括卫星制造与发射服务系统在内的航天遥感系统其他组成部分和相互间关系提出的各类观点与主张等,采用科学论证方法,即运用假设、概念化、推理、实验、分析、对比等方法做出判断、预测、验证和认证。

2.6.2 遥感论证范围分析

航天遥感信息流是地球信息传递与转换的活动过程,对航天遥感信息流的认知是遥感论证考察的根本问题。如图1所示,遥感数据信息流按照应用的需求进行观测目标数据的获取和信息转

化,在其他各类信息支持下,将状态知识转变为事态知识,上升到智慧层次以支撑决策,进而在目标区域采取行动、发挥作用,这是遥感信息流的一个完整过程。

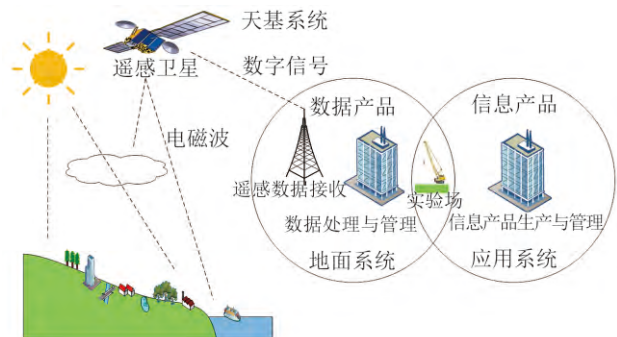


图1 地表信号到遥感数据到信息转换而形成的数据信息链路图

Fig. 1 Data and information link map from ground signal to remote sensing data to the information conversion

在这一过程中信息流不同阶段的内容、形式、状态各有特点。开展此类研究可以回答:航天遥感手段能直接、间接传递什么样的关注对象信息?采用什么样的时空与波谱采样规格能确保最有效、高效地承载关注对象信息?如何根据航天遥感信息特征属性科学划分产品类别和级别?针对具体应用需要提出怎样的要求?

航天遥感系统是一个不断发展、完善的工具系统,围绕遥感信息流获取、信息流流转、信息流应用存在着技术的设计、实现、评价、发展和转变(陈述彭,2007)。遥感技术流论证从技术进步的角度考察包括信息流获取、转换、评价与应用技术等。作为技术的有形化表现和载体,天基系统、地面系统、应用系统、地面应用制造与服务系统、软硬能力系统所构成的遥感物质基础随着认知不断深入,随着技术发展不断演进(田国良,1994,2003;武佳丽等,2008)。开展这些方面的研究可以回答:遥感卫星探测指标与卫星星群组织形式如何确定?地面与应用系统如何搭建?遥感信息如何被复原并被利用?技术系统的进化途径如何确定?如何进行有效的对技术发展进行分析、评价与预测?

从一个更大视野看,作为一个应用活动,遥感论证在考察航天遥感信息流、技术流与物质流的同时,还同步考察价值流的运转(图2)。遥感价值流论证从系统发展价值链角度更多考察人的需

求与价值，它涉及到需求的分析、投入产出分析、效能效益分析等，是整个系统之所以存在与发展的根本原因。开展这些方面的研究可以解答：技术推动与需求牵引的综合作用分析？航天遥感系统空间格局变化趋势？成本要求？投入产出效果如何？市场分析与预测？阶段发展特征、意图与战略分析？如何有效对应用活动、项目设立开展分析、评价与预测？

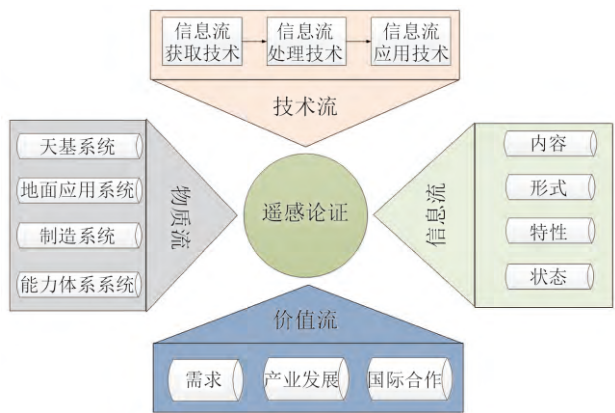


图 2 遥感论证的信息流、技术流、物质流和价值流
Fig. 2 The information flow, technology flow, material flow and value stream for remote sensing demonstration

信息流论证可有效提升人对遥感的认知，技术流与物质流论证对信息知识工具集和物理工具集的设计、制造、应用有直接的促进作用。价值流论证能促进人从全局认清应用活动的实质，提升应用的合理性与现实性评价。这4个方面的论证对综合提升人对航天遥感的本质及发展规律认

识，提升应用方法与实践水平与能力有十分重要的作用。

3 遥感论证关注的问题

航天遥感系统是复杂开放大系统，体系化发展是其快速发展的明显特点，航天遥感建立在空间、时间、光谱、辐射、观测状态的综合采样复合体上，无论是其空间结构，还是时间上的持续，都具有明显特点。

航天遥感系统的空间层次布局特征，即系统内部有层次关系，在它所从属的系统中有明确的位置与作用。主要是通过空间上的变化反映出来，包括具有实际意义的点、线、面，或者区域的空间位置、布局等来描述空间布局特点。航天遥感系统具有时间变化发展规律特征，任何事物的发展在时间序列上都会表现出某种规律。在国家政策导向和内部各系统相互作用的影响下，航天遥感系统朝着精度更高、速度更快、规模更大、稳定性更好、可靠性更高、经济更合理的可持续方向发展。

3.1 遥感论证内容

开展遥感论证有多种考察方式，对航天遥感系统的各组成进行研究，在此基础上对各组成部分的相互关系开展研究。基于航天遥感系统信息流、技术流、物质流和价值流的设定，遥感论证内容可按照航天遥感系统的认知、设计、制造、发展、能力建设分段进行考察(表1)。

表 1 遥感论证内容体系
Table 1 Content system of remote sensing demonstration

范围	要点	具体内容
遥感论证认知	以航天遥感系统为研究对象，提出遥感论证概念，以及航天遥感信息模型化、遥感数据工程理论	航天遥感科学论证概念的认知 航天遥感观测信息模型化分析 面向应用的航天遥感产品体系设计
系统设计论证	针对航天遥感信息数据产品的品种、规格、规模与时效性等属性指标，构建卫星星座和地面应用系统模型化理论	星群多星组网设计 遥感地面应用系统设计
系统制造质量与状态评价论证	围绕制造环节质量要求，构建应用技术研发过程质量保障与全链路数据处理技术质量保障体系设计	新型载荷应用技术方法、过程及关系 在轨数据、产品、服务质量评价体系以及卫星应用后评价
系统发展动力学论证	需求是大型技术系统发展的前提，针对市场需求，开展需求分析方法理论、产业发展与应用发展研究、国际合作体系与国际合作策略研究，也强调了软硬环境的重要性	需求提出到需求满足的闭环式分析理论方法 基于研讨厅方法的应用发展战略论证 国际合作模式、合作内容的分析
能力体系论证	重点针对建设体系组成及任务开展方式，研究能力体系和科研工程组织管理	能力体系建设和论证系统组成 经营方法+项目实施管理方法

认知论证体现了对信息流的理解；而设计、制造与能力系统建设论证，体现了对技术流与物质流的关键特点的表现；系统发展论证则对价值流有最直接的反映，通过这种考察方式开展论证能够更加直接地将认知论证成果综合应用在航天遥感系统研究中。

3.2 遥感论证的霍尔结构表示

遥感论证从关注对象的各个层面进行把握，对影响它的各种因素及其相互之间的关系，进行总体的、系统的分析研究，才能从整体上和变化中找到解决问题的方案。遥感论证涉及到从理论、方法、技术，到基础设施和应用实践等多个层级，通过若干层级上的论证积累，从需求提出到需求满足的全过程中，提升对航天遥感系统认知、设计、制造、发展、能力体系建设中的分析、评价与把握。这样，就形成了由知识维、进程维和逻辑维所组成的遥感论证作用域3维空间结构(图3)。

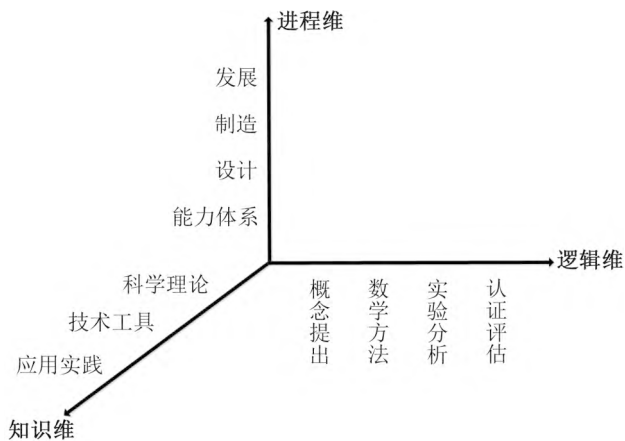


图3 遥感论证的3维结构

Fig. 3 Three-dimensional structure for remote sensing demonstration

(1)知识维。航天遥感应用全阶段技术分析体系是一个系统的、面向应用的、从科学、技术、应用等多角度实践的不断成熟化的技术流程，知识维是指在完成进程维、逻辑维时所需要的科学理论、技术工具、应用实践等知识和技能，它贯穿于“本体论—认识论—方法论—实践论”的始终，是理论知识到实际工作知识的有效过渡过程。

(2)进程维。进程维表示遥感论证从开始启动到最后完成的整个过程中按照时间序列划分的各

个阶段所需要开展的工作，分为系统能力体系、系统设计、系统制造、系统发展。系统能力体系阶段的论证，保障和提升系统的先进性、完备性、准确性、可行性等。

(3)逻辑维。遥感论证逻辑维是指在进程维的每一个阶段内所要开展的工作内容和应该遵循的思维程序，包括概念提出、数学方法、实验分析、认证评估。

3.3 航天遥感系统发展规律与趋势分析

航天遥感系统作为一种人造事物，伴随其认知、设计、建设、运行与发展，总是体现出并行于信息流的价值流、技术流、物质流的综合集成(李德仁和李清泉, 1998)。航天遥感信息流是对航天遥感信息生成、传递、接收、处理、分析的形象描述。

航天遥感系统作为一种人类认识世界、理解世界的技术工具，具有反映人的需求与关注对象特性的“二象性”特征。作为研究地理系统和社会系统的有力工具，随着研究对象的变化而呈现出不同的组织、结构与内容，具有无限的可变性，繁衍出愈发复杂而数量巨大的形态。

航天遥感系统朝着网络化、智能化、人性化的“智慧”方向进化。人作为技术工具的“造物主”，不仅创造并发展了它，而且使其成为人类社会的有效组成部分，促进了人的全面发展，使人向更加强大与自身解放方向发展。

在应用中通过认识世界和改造世界形成理论方法，并制造工具开展实践，从而进一步提升认识世界和改造世界的水平。互联网的出现极大地促进了航天遥感与人们生活中各个领域的融合，通过互联网航天遥感技术进入到了大众的生活中。利用互联网技术建立的航天遥感系统更能响应各种类型的应用需求、灵活完成应用任务，具有更大的灵活性与智能性。通过灵活性和智能化水平的提升，航天遥感系统将进入新的“智慧遥感”发展阶段。

4 遥感论证理论体系与模型方法集

以航天遥感系统为研究对象，系统性开展了面向应用的航天遥感科学论证理论方法研究，通

过实践对航天遥感信息流和数据流认知、系统基本要素、发展动力紧密相关因素的论证, 逐渐形成了一个遥感论证理论体系, 以及相应的模型方法集, 全面反映航天遥感系统结构、状态与发展状态, 用于对航天遥感系统进行考察、分析、评价、预测, 并开展实践探索。

4.1 航天遥感信息流模型

航天遥感信息流是一个地球信息传递与转换的活动过程。这个活动过程由关注对象信息起始, 经遥感观测信号、遥感数据、关注对象遥感信息, 再到关注对象信息形成一个闭环, 是一个完整的“信息—信号—数据—信息”的流, 即航天遥感信息流。在信息流模型构建中, 并行其上设置若干“节点”是基本方法。研究航天遥感关注对象的信息特点, 及关注对象信息转换为遥感信号是开展遥感论证的第一步工作, 设置“信号节点”与“数据节点”与之对应。对关注对象信号的理解体现了人对关注对象认知的程度, 认识的越深刻, 遥感发挥作用的程度越大。遥感数据是对可遥感化的信号的记录, 可被人通过不同处理方法来发现、识别、确认、理解与分析预测关注对象(顾行发等, 2016)。设置若干“信息节点”与从数据中获得的关注对象信息的程度对应。这样, 通过对一系列节点及相互关系的研究, 可有效了解信息流的状态与变化规律。数据节点的属性围绕更多保留关注对象信息进行设置, 而信息节点属性要能反映人对关注对象信息复原及掌握的需求。

从一个更大视野看, 航天遥感信息流按照应用的需求进行地物目标信息的获取, 向应用决策提供“实况景象与状态特征数据”服务, 在其他各类信息支持下, 将状态特征数据转变为事态知识支撑决策, 进而采取行动作用在关注对象上。这个流程可以循环顺沿下去, 即在新需求驱动下, 开展新一轮的遥感数据信息流过程。这其中所形成的遥感观测信号(signal)、遥感数据(data)、关注对象信息(information)、知识/决策智慧(knowledge/wisdom)、行动(action)再到遥感观测信号的循环相连的SDIKWa闭环, 是目前航天遥感应用的主要表现形式。航天遥感数据信息流作为一个更大信息链的有效组成, 其链连接应用需求与行动响应的关键作用如图4所示。

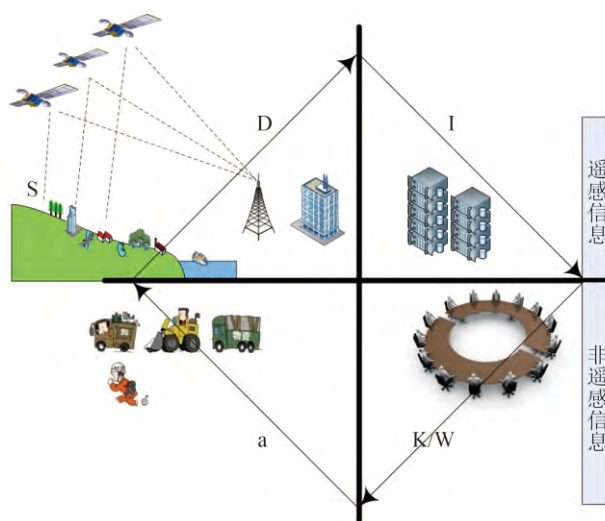


图4 SDIKWa闭环图

Fig. 4 The closed-loop chart of SDIKWa

不同的应用活动对整个SDIKWa闭环的滚动速度、节奏和规模要求是不一样的。随着社会发展不断加快, 信息化水平不断提高, SDIKWa闭环的转速与规模不断加大, 带动整个航天遥感数据信息链向更大规模数据流、更短响应时间周期、更综合数据集成、更高数据质量方向发展。在这种趋势下, 信息的种类、规格、精度、时效性、规模、稳定性、可靠性、经济合理性、灵活性/适应性等指标成为了信息流服务应用能力的重要评价要素。

4.2 航天遥感系统时空信息特征模型

航天遥感信息流的应用不仅有赖于其精度保证与提升, 而且对获取信息的品种、响应速度、规模等有明确要求。面对复杂且快速变化的自然世界, 航天遥感器通过向多星组网、多网协同方向发展, 实现多遥感器协同, 有效提高遥感观测次数, 提高数据获取频率, 更贴近观测目标变化的实际情况。同时, 通过多种类型遥感器对同一个目标做多侧面、多特性的观测, 加大对观测目标数据集获取的丰富性与完备性, 支持对关注对象认知能力的提升。以上这些新变化带来了遥感数据信息流“品种组成”、“速度”、“量”等指标提升的要求。

航天遥感信息是具有尺度效应的时空变化场, 各类观测目标具有不同的时空变化场特征, 通过对遥感器获取观测目标场特性的采样方法、理想条件下不同类型应用遥感信息量和遥感器的观测

误差及特性等分析,我们归纳出航天遥感信息的5个属性:品种、规格、规模、时效性和质量。

目标信息在空间范围上的可变性、时间上的可扩展性以及自身的特性决定了它具有品种和时效性属性;遥感目标参量大多是典型的区域化变量,选择合适的尺度取决于其空间和时间分辨率,即规格属性;了解目标信息的时空场分布特征是空间采样设计的研究基础,而空间采样决定了可获取信息的规模属性;根据规格构建表达观测对象所需的数据模型,而数据模型具有很强的尺度依赖性,具体表现为分辨率(规格)和精度。同时,在从目标信息到数据,从数据到数据处理的过程中,因客观目标自身存在的复杂性、不稳定性以及信息的不完备性,数据采集、处理、应用分析时产生的系统误差和随机误差等,也就是这些不确定性决定了信息的质量属性。5大属性的量化指标可用来开展航天遥感信息状态描述及模型构建分析研究,使定量分析、评价航天遥感系统成为可能。

4.3 航天遥感系统信息应用模型

航天遥感获取遥感信息是为了应用。目前有近百颗遥感卫星同时在轨对地观测,上百种应用在各行各业同步开展,航天遥感逐步进入新兴产业阶段。航天遥感系统信息概况起来有5个“4”,即4种功能、4类应用、4个层次应用、4种数据和4个发展阶段。

航天遥感信息有4种功能,即展示、发现/识别/确认、理解、预测/判断;航天遥感信息的4种功能形成了相对应的4类应用,即承载、变化检测/分类、物化特性和综合性应用;航天遥感应用从量化等级上可划分有定性、量化、定量、标准定量等4个层次;基于航天遥感信息流的分析,遥感应应用数据可分为原始数据、标准数据、信息数据、知识决策数据等4种数据;从发展阶段上划分,航天遥感应用的科研、技术、工程、业务服务等4个发展阶段。

其中,定量遥感指对观测对象有关数量、状态、变化等所涉及到的属性、成分、密度、浓度、质量、温度等物理化学与生物学等特性参量进行获取的遥感技术。标准定量遥感指通过标准化产品表现观测对象特性的定量遥感。

4.4 遥感信息量分析模型

随着遥感技术的不断发展,面向不同任务、不同目标的遥感影像分辨率等指标也不尽相同,也面临不确定性的度量问题。通常认为,遥感影像分辨率越高,信息量就越丰富,这是人们对于遥感影像空间分辨率与信息量关系的感性认识。为使遥感时空特性分析精细化、定量化,有必要对遥感影像信息量和空间分辨率进行定量研究。

当前,对遥感影像信息量的研究主要依据信息论、模糊数学和数字图像处理等理论基础,以信息熵为测度,分别噪声疑义度、相邻像元间的互信息量以及单像元的平均信息量,来表述和分析遥感影像信息量与空间分辨率的关系(顾行发, 2016)。

我们提出采用信息量量化值的信息量分析方法,面向应用任务,以目标为本进行建模计算,计算描述遥感影像信息量与空间分辨率的关系。假设一幅影像计算得到的信息熵为 H ,噪声疑义度为 H_0 ,相邻像元的互信息量 H_1 ,则单波段影像的总信息量为

$$H_f = (H - H_0 - H_1) \times m \times n \quad (1)$$

式中, $m \times n$ 为影像单个波段的像元个数。

因此,信息量与空间分辨率有密切关系,如图5所示。当遥感影像空间分辨率逐级增加时,同样大小的单位面积获取的信息量就越大,由信息量所得到的地物信息就越加丰富和细节化。

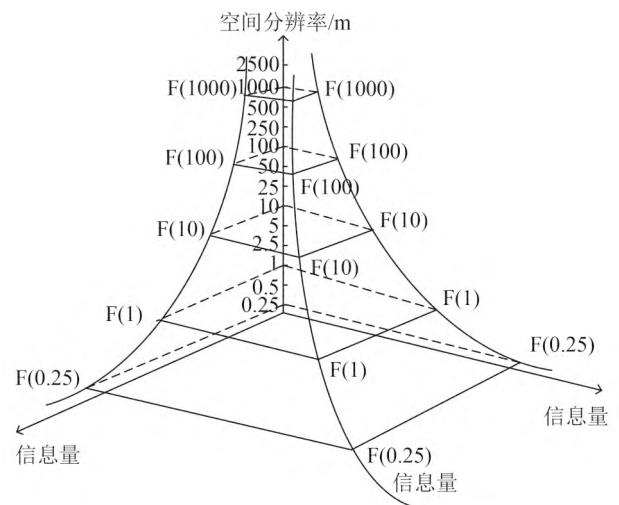


图5 信息量和空间分辨率的关系示意图

Fig. 5 Relationship between information volume and spatial resolution

另一方面,针对不同任务和不同要求时,如果采用不同的数据类型和技术手段,对最小信息量的要求也不一样。以秸秆焚烧遥感监测应用为例(图6),要从一幅1000 m分辨率的MODIS影像发现秸秆焚烧的地方,需要采用热红外通道最少需要1—2个像元,而可见光或近红外通道则很难探测到微弱的焚烧信息。在一幅30 m分辨率的HJ-1A可见光近红外影像上识别一处秸秆焚烧区域的痕迹需要超过10个像元,而分辨率较低的红外通道数据最少需要为1—2个像元。在一幅16 m分辨率的GF-1可见光近红外影像上要确认一处秸秆焚烧区域的面积、形状等需要最少20个像元。如果在一幅0.3 m分辨率的无人机可见光近红外影像上理解一处秸秆焚烧详情(如焚烧点位置、数量、焚烧源等信息)需要最少50个像元,且需结合具体特征和先验知识进行分析。

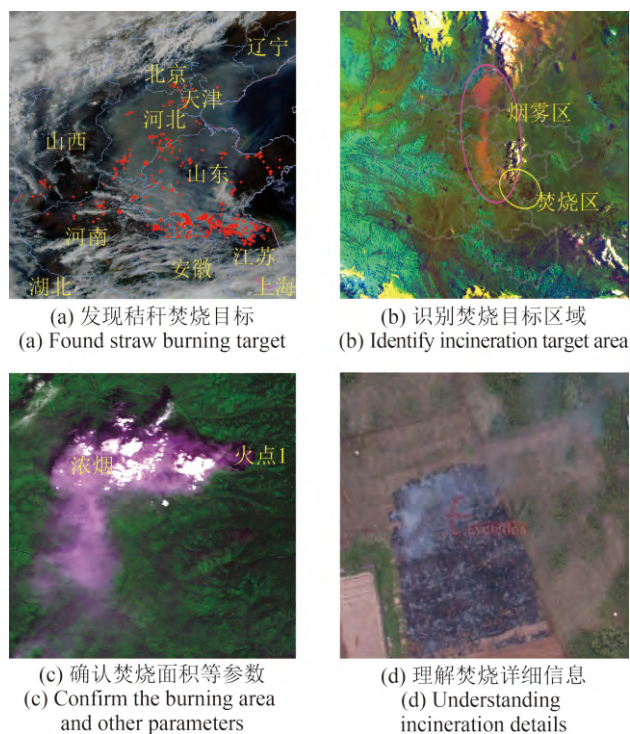


图6 目标分类4个层次的示意图

Fig. 6 Schematic diagram of four levels of target classification

从这个案例中可以看出,不同分辨率影像信息量的计算不是分辨率的线性关系,需要考虑辐射分辨率、成像环境要素等多种信息。不同的空间分辨率,它的光谱响应值并非与像元大小线性相关。由于辐射测量值随传感器分辨率变化的非线性,同一目标表现的特征在不同尺度的图像中不是平均或平分对应关系,会随着尺度的变化产

生差异。通过遥感信息熵的概念,可实现基于信息熵的遥感影像目标特征离散化和定量化分析,可以对以上的发现、识别、确认和理解过程给出更精确的量化参考。

4.5 航天遥感数据工程模型

在航天遥感领域,通常所说的数据是指能够在计算机中存储和处理的、具有时间、空间、光谱、辐射分辨率和一定形状的数字图像。随着中国航天遥感技术的发展,中国在轨运行卫星数量不断增加,源源不断的产生遥感数据。遥感数据是信息流的重要载体,通过数据处理可以将遥感数据转化为信息产品,向用户传输,进行共享和应用。而当数据量达到一定规模并将持续扩大时,引入工程思维对航天遥感数据进行科学管理与综合应用成为必然发展趋势。航天遥感数据工程立足遥感和对地观测领域,以航天遥感数据为研究对象,采用网络、计算机等工程技术方法设计、研发、生产遥感数据信息产品,将遥感数据信息产品在各行业领域的推广应用,即实现航天遥感数据的产品化与应用。

通过遥感数据产品化,可以有效地将信息特性与数据产品指标关联起来,将信息品种与数据产品的分级分类关联起来。同时,直接与计算机处理关联起来,提高处理的效率与效能。

数据产品是信息的有形化,继承了信息的5个属性。在研究产品的5个属性、航天遥感数据与信息的关系、数据的新型组织方式以及面向新发展趋势下的应用与服务等基础上,研究并提出了信息密度函数模型、“5层15级”数据标准化模型、面向云服务的SPID体系架构和面向互联网+共享的COGON(Cloud Over Grid On Net)设施结构。

(1)航天遥感信息数据产品分级与属性。围绕以信息流为核心的航天遥感应应用特征,以产品的应用方向和不同用户的产品应用需求为原则(王晋年等,2013),通过对地物目标的定位、定性和定量分析,按照数据级、影像级别、目标遥感特性级别、目标物理特性级别、专题信息级别等进行“自然等级”划分,同时兼顾数据应用和数据生产处理理论和技术方法,便于广大用户根据不同的应用需求选择合适的数据产品,易于理解与掌握。

(2)信息密度函数模型:该模型是表示信息在数据空间的分布,即数据转换为有效信息的概率函数分布。在某种类型应用,关注对象的空间信

息聚集在一个数据空间范围,超出这个范围则有效信息极速减小;而在另种类型应用中,关注对象的空间信息呈离散、异构性分布在一个较大数据空间范围。这些信息的复杂性分布决定了数据量,作为信息的载体,在实际应用中出现了“小数据”与“大数据”概念。例如“一个瓦片”应用与“一张图”应用等。

(3)“5层15级”空间数据标准化模型。5层15级遥感数据组织模型是一种十进制的数据组织模型。制定的遥感影像5层15级分层标准,从大的范围划分为1 m、10 m、100 m、1000 m、10000 m等5个层,小的范围内每一层通过乘以2和除以2形成3个级别,总级数为15级(顾行发等,2012,2013b;魏香琴等,2012)。每一层内的级别按照0.5:1:2的比例进行排列,上层的最后一级与下层的第一级之间的比例为2.5:1。

按此方式对遥感影像数据进行重采样成标准分辨率数据,并设计标准化数据结构进行数据组织。制定的数据组织标准与中国现有的基本地图比例尺较为一致,为航天遥感信息数据产品的标准化、定量化奠定基础。通过统一的层级化影像分辨率以及标准化的数据结构,将多源异构遥感影像数据标准化到统一的金字塔数据组织模型下,为多源异构遥感大数据实现分布式大数据组织、管理、检索、存储、传输、处理、可视化、分析、发布、安全等诸多环节提供了充分的实现基础。

(4)SPID“云一端”信息处理与服务架构模型。在空间数据标准组织结构下的互联网+天基信息应用的组织结构。其中,S:各专题应用即服务,P:平台即服务,I:基础设施即服务,D:基础数据即服务。利用一个SPID构架开展地面与应用平台统筹,开展全方位服务,即在统一基础设施(I)同构环境框架下,利用真实性检验场网和卫星遥感数据(D),基于标准的共享网络平台(P),开展千差万别、各具特点多个专题应用服务(S)。

(5)面向共享的COGON网络工程构架模型。为满足国家、区域、大众等多种类型的广泛应用的需,多层次网络化结构建设十分必要,设计的面向共享的COGON体系结构按照不同层次对计算能力需求及计算能力空间布局,有效地将数据网络、应用网络及云服务结构统筹起来的系统设施架构。COGON体系结构具有能够适应互联互通与不同规模有序计算的需求,在不同的应用层面建立相适应的共享结构等特点。

4.6 航天遥感系统结构模型

狭义讲,航天遥感系统是航天遥感数据生产者和信息流的载体与技术表现形式,具有信息系统特征,即由遥感卫星、接收天线、计算机及其他外围设备、计算机软件、信息资源等组成的、能进行遥感信息的收集、传递、存贮、加工、维护和使用的一体化系统。广义讲,是围绕这样一个系统的研究、研发、运行服务、发展能力体系、政策规章、标准规范、信息用户等活动直接相关的、具有不同分工的、由各个关联行业所组成的业态总称。

从狭义的航天遥感数据信息流角度分析,航天遥感系统可以分为完成遥感信息获取的天基系统、开展遥感数据获取与服务的地面系统,以及从数据到信息、到知识转化并服务应用的应用系统,形成一个“工”字形结构(图7)。各个系统之间以数据作为驱动,互相协助,有效组合构成了航天遥感系统的主要部分。航天遥感系统的3个组成部分又分别有不同的组成结构(图8)。

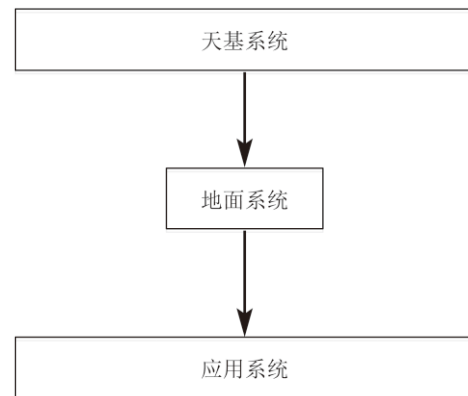


图7 航天遥感系统

Fig. 7 Spaceborne remote sensing systems

从更广义的系统运行发展角度看,航天遥感系统作为一个更大的体系性系统,不仅包括天基系统、地面系统、应用系统等系统运行功能,还包括系统制造与保障功能,即卫星制造与发射服务系统、地面应用制造与服务系统,战略决策、政策法规、标准规范等软环境条件,资源保障等硬环境条件等部分。在一些研究中还要包括火箭、发射场等硬支撑条件,广义的航天遥感系统构成如图9所示。这样,可以从更大范围研究考察航天遥感系统的设计、建设、运行与发展。

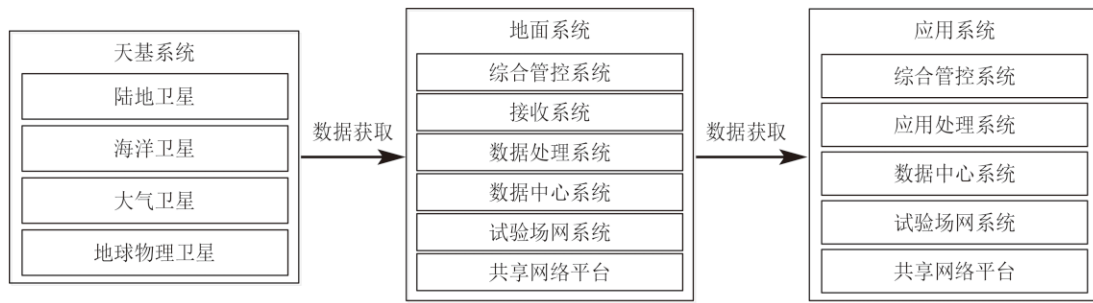


图8 狭义航天遥感系统组成

Fig. 8 Narrow composition of spaceborne remote sensing system

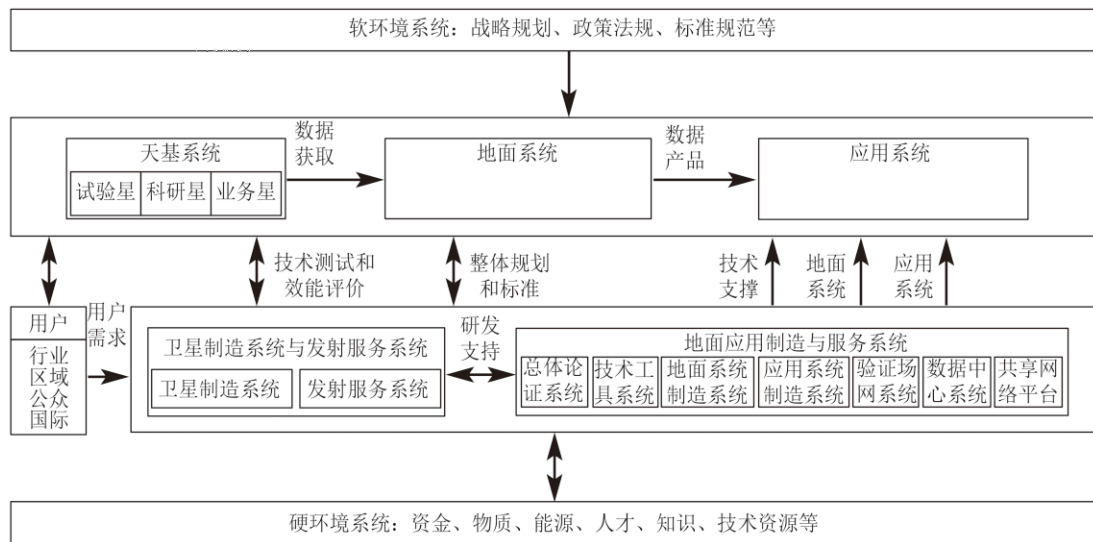


图9 广义航天遥感系统组成

Fig. 9 Broader composition of spaceborne remote sensing system

4.7 航天遥感系统状态描述模型

在遥感论证理论指导下，提出构建航天遥感系统状态描述模型，即标准载荷单位、标准时间轨道、标准数据单位、标准计算单位和标准算法单位模型，通过模型对数据获取标准载荷数量、产品处理速度、数据规格等做出明确要求。

标准载荷单位，可在一定工业能力下，将不同数据获取时间要求转变为对载荷数量的要求。标准时间轨道是按照卫星绕地球一周的时间确定的，如1.5 h轨道、3 h轨道、...、23 h轨道、24 h轨道、...、月球轨道等，可用来进行某种观测对象诸要素观测的卫星设计。标准计算单位是建立CPU+GPU标准计算单位的模拟硬件环境，实现系统标准结构设计，实现多星多数据、多种方法协同处理的规模与效率分析。标准数据单位是依据标准数据等级进行瓦片切分，每块瓦片对应一幅

1000×1000像素的图像。标准算法单位，即在标准产品分级下的算法逻辑环节，用于在标准计算单元与数据单元下的耗时。

利用卫星组网技术开展对地观测，合理配置载荷，能够优化卫星任务规划，同时最大限度的发挥遥感卫星的作用，这是卫星组网与载荷优化配置设计论证中的重要任务(陈琪锋和戴金海，2003；宋鹏涛等，2007)。在获取卫星数据论证中，提出构建标准载荷模型，进一步将不同的数据获取时间分辨率转变为对载荷数量的要求。在信息转换与服务论证中，通过建立标准计算模型、标准算法模型和标准数据模型，将产品时效性转换为处理速度要求。

基于该模型对航天系统和任务进行设计与分析论证，不仅可以在一定工业能力约束下进行设计，而且还可以通过仿真等手段验证分析方案的

可行性, 对其能否实现总体目标、满足约束条件等进行评估, 有效解决业务化应用需求与技术系统对接、系统科学可持续发展中遇到的问题。

4.8 航天遥感系统质量模型

航天遥感系统制造的核心是质量, 围绕信息流质量, 作为承载管道的技术系统质量有赖于生产过程与运行。通过产品质量要求确立的技术要求, 通过载荷研发过程的质量评价和遥感数据应用质量评价加以落实。遥感系统技术成熟度方法和应用质量评价综合打分法是在航天遥感系统质量模型运用的两种主要定性定量综合法。

新型载荷应用技术成熟度模型规范研发过程。新型载荷的数据处理与应用技术需要在一个较长时间段内通过研究不断提高、完善, 这些研究具有相类似的阶段特点, 对过程质量的管理是提升应用技术的关键。成熟度作为一种对于评价指标成熟、可用程度的评价标准, 对技术方案设计、算法研发、产业化发展评估等都起着重要作用。构建标准化的成熟度模型框架, 从多个方面对新型载荷应用技术进行综合评价并评价结果, 从而提供科学、客观的规划参考。在航天遥感系统质量模型构建中, 通过形成较完备的面向应用的遥感系统成熟化的技术流程, 完整、有序完成科学、技术、工程与应用各阶段研究, 最终促进形成能满足应用的遥感探测技术, 形成并促进其应用, 为从需求提出到满足需求的全阶段闭环方式的论证阶段转换提供科学依据。通过载荷技术成熟度与应用技术成熟度的综合应用, 可以对卫星研发过程进行量化评价, 促进从想法到应用的科学遴选机制的建立, 使中国遥感技术发展路径更加科学合理。

卫星应用质量检验指标体系及评分表对航天遥感系统保质保量的运行提供评价依据。卫星应用质量效能评价过程涵盖了从卫星传感器到卫星数据应用等各个环节。不同环节一般具有不同的技术成熟度。通过卫星在轨测试与定标、数据质量评价、产品真实性检验、用户体验与系统应用潜力评价等多种方法, 对卫星应用整体质量进行效能评价, 对涉及的各个环节过程进行综合打分法进行评价。综合打分法是在定量和定性分析的基础上, 根据分析对象的不同和处理环节的差异, 以打分、雷达图等方式做出的综合评价, 目

的都是为了构建卫星在轨遥感数据质量评价指标体系。

4.9 航天遥感系统发展动力模型

针对航天遥感系统发展动力, 构建了包含需求提出到需求满足、产业化发展体系与应用发展战略评价、国际合作评价为主的发展动力模型。

需求与市场是航天遥感系统存在与发展的基础。信息流需求的产品市场分析模型, 将用户需求、体系需求、效益需求统筹转换为产品需求, 通过市场分析, 关注需求提出到需求满足过程中的市场需求、服务能力需求、产品发展与技术进步需求。围绕客户最关心品种、性能、质量、时间、服务和成本需求, 协调使命任务、自身问题、市场需求, 应用需求、技术需求、系统需求、能力需求, 衍生出发展战略、方针与路线、政策、规划与计划、体系与系统需求。

遥感系统需求分析中, 以产品分析为核心, 在产品5个属性分析中, 落实到卫星系统和地面应用系统中。针对系统输入输出的投入产出, 开展效益分析、费用/效益分析、风险估计, 通过价值工程方法提升需求满足途径的可行性与现实性。同时, 要对软硬环境进行研究, 以充分反映和体现社会能力与愿望。

随着中国遥感卫星应用从试验应用型向业务服务型转变, 卫星遥感应用产业已经显示出勃勃生机。产业化已成为提高航天遥感的主要动力, 产业化发展体系与应用发展战略, 将围绕“应用效能评估”, 在定性定量方法的指导下, 提出了航天产业评价打分表体系, 构建了产业发展评价模型, 分析影响产业发展的因素, 建立产业发展体系, 并相应做出应用发展战略。

全球应用服务与合作策略论证是基于目前中国关于对地观测领域的国际合作的状况及相关的合作基础(王宝坤, 2008)。在定性定量综合方法的指导下, 将专家智慧、计算机高性能和各种数据信息有效结合, 开展合作战略模型化研究, 提出了航天遥感国际合作综合集成研讨厅方法, 清晰量化分析合作中的优势、劣势、机遇与挑战, 预设合作的可能性, 探索国际合作模式分析、国际合作内容分析等, 建立了一套科学合理的航天国际合作评价分析方法与指标体系。

4.10 航天遥感系统能力体系模型

围绕信息流发展的航天遥感系统能力分析,从广义的系统运行发展角度,总体论证、设计验证、制造、综合集成、业务化运行、效果评价与效能分析是航天遥感应用能力建设过程中的关键过程。地面应用系统建设与运行、论证系统开展研究依赖试验系统的支撑保障,试验场网、测试环境与仿真系统是核心技术条件。

良好的航天遥感系统科研工程组织管理体系是航天遥感应应用能力体系建设的重要组成部分(顾行发等,2005)。航天遥感系统一般具有科技探索与工程实施双重性,属于科研型工程项目,它是科研与工程相结合的产物。既具有科研项目的探索性,又具有一般工程的共性,必须组织多学科多行业协同攻关,科学家和工程师的作用都很重要。科研工程规模大、技术新、系统复杂、风险分布不均匀,其项目管理是一项具有挑战性的工作,其中的每个项目都是复杂的系统工程。而且科研工程涉及范围广、协调难度大、科学决策困难,任何一个环节工作不正常都将影响整个系统的工作。有别于传统的工程项目与科研项目,新技术方法与成熟技术方法在科研工程项目整个生命过程中的比例最为接近,这对科研与管理工作开展提出了新挑战,需要抓住关键,提升对“不知道”事物的把控研究能力,通过把控风险,得到最大收益。“创新与风险动态均衡科研工程管理法”,即“6BS”方法中,设立总体部和项目经理,开展项目下设置课题团设计,加强关键节点的冗余性,动态调整,降低风险,把握好时间管理、经费管理与科研、工程、应用的不同节奏。

5 遥感论证能力建设

遥感论证的技术支撑系统与设施建设包括航天遥感仿真分析系统和实验验证系统。

5.1 航天遥感仿真分析系统建设

航天遥感系统仿真是开展航天遥感战略级、系统级、分系统级甚至要素级研究的重要支撑手段之一。20世纪中期到90年代,国外遥感仿真经历了从物理仿真、图像到图像仿真至计算机仿真的转变,并诞生一系列成熟的仿真软件和工具,如STK、DirSig、Modtran、6S等,可以完成卫星轨道、遥感图像、辐射特性的模拟分析。

鉴于航天技术的敏感性与复杂性,中国很难在遥感仿真领域与国际先进国家开展深入合作。通过自主创新,论证中心顺应现阶段仿真研究从局部到整体、从应用需求出发、从顶层设计考虑的潮流趋势,比较国外类似系统的优点与不足,充分利用现代遥感与IT技术发展成果,自主研发了面向应用的航天遥感仿真技术体系。这个技术体系可以针对整个航天遥感系统进行分析,在航天遥感系统设计、运行、应用、评价等各阶段发挥作用,如对多星组网应用进行优化分析,对卫星获取的光学与合成孔径雷达遥感图像评价,对PB级数据处理规模的应用系统进行分析。

航天遥感系统应用仿真分析系统是对航天遥感系统进行模拟、测试、分析的系统,包括过境与覆盖仿真、成像仿真、应用系统仿真及专题应用仿真等4个组成部分。整个仿真分析系统可以对航天遥感系统技术集的精度、速度、稳定、可靠、经济、灵活性/适应性等进行定量分析与评价,有力支撑航天遥感科学论证工作的开展。

5.2 航天遥感实验验证系统建设

航天遥感试验场是实现卫星遥感器在轨辐射定标、遥感定量产品反演和遥感定量应用的前提和基础。随着卫星数量的增多和遥感应用的深入,开展航天遥感试验场建设,获取试验场地基础数据,构建满足不同需求的遥感试验场地模型,具有越来越重要的意义。

航天遥感试验场根据地物类型的不同,可分为辐射定标场和真实性检验场两大类。辐射定标场是利用大面积均匀稳定的沙漠、盐湖等做为试验区,利用地面测量数据和卫星影像数据,计算出待定标卫星的表观辐亮度,实现卫星传感器的高精度绝对辐射定标。真实性检验场是利用地面测量的遥感共性产品,如地表反射率、气溶胶光学厚度、水体温度等,对卫星图像反演的遥感共性产品进行验证和评价,确定其遥感共性产品反演的精度和可信度。

论证中心自2004年成立就针对国产陆地卫星开展遥感试验场建设。通过多年的场地考察与同步定标试验,最终确定以贡格尔草原作为可见近红外波段的辐射定标与真实性检验场、达里湖和岗更湖作为热红外通道的辐射定标与真实性检验场,苏尼特左旗和二连浩特作为备用的真实性检

验场地。此外,论证中心还和澳大利亚CSIRO(联邦科学与工业研究组织)合作,获取了澳大利亚Lake Frome, Lake Lefory等多个场地的地表和大气数据,在此基础上构建了各场地的辐射定标模型,实现了国产陆地卫星的高精度在轨定标和验证。

在高分专项的支持下,论证中心在国内开展真实性检验场站网的系统建设。真实性检验场站网系统主要依托现有观测站网建设,在全国范围内选择一定数量典型区域的观测场、站,天地一体化同步观测采集相关数据,实现产品与算法的质量与稳定度检验,支撑基于自主遥感数据的算法研发并对卫星应用效能进行评价。目前,论证中心已实现高分专项实验验证场网的先期建设,建成了北京综合实验场,广州真实性检验站,苏皖叶面积指数真实性检验点,杭州水表反射率真实性检验点和3个大气气溶胶光学厚度真实性检验站。未来,在空间基础设施的支持下,论证中心还将完成包含20余个站点的真实性检验网建设和多个遥感综合实验场建设,最终形成对6大类共性产品的真实性检验能力。

6 遥感论证实践

本文列举了航天遥感领域8个重大项目的论证实践,不同项目的论证重点各有侧重,其中风云三号(FY-3)新型载荷校飞重点关注遥感关键环节的论证,多角度多光谱偏振DPC传感器重点关注新型载荷应用产品体系方面的论证,环境一号星应用工程重点关注的是天地一体化和系统评估方面的论证,“2030民用航天发展战略”论证重点从体系化保障开展研究,高分辨率对地观测系统是围绕技术创新与产业驱动开展的论证,国家自然灾害空间信息基础设施是面向灾害事件驱动型的遥感应用服务保障的论证,国家民用空间基础设施中长期发展规划是面向长期业务服务的遥感系统论证,“2030中国GEOSS规划”是针对全球观测系统的论证。

6.1 FY-3新型载荷校飞论证

FY-3卫星是实现全球、全天候、3维、定量、多光谱遥感的中国第2代极轨气象卫星系列。FY-3各有效载荷遥感通道光谱覆盖了紫外、可见光、

近红外、红外和微波等多个谱段。FY-3产品生成系统使中国首次有能力获取全球范围大气、海洋、陆表地球物理参数,生成能够反映大气、云、地表及海表等特征的各种地球物理参数产品。

FY-3卫星上天前,论证中心开展了FY-3卫星有效载荷校飞必要性与可行性论证研究。通过开展航空校飞试验特点与作用研究,分析利益相关方目的要求,按照技术成熟度与工程任务要求,从信息流质量、经济性等多个角度评价卫星部分有效载荷校飞,预测校飞实验的效益产出。

在分析国内外遥感系统质量检测体系的基础上,运用了质量模型和应用技术成熟度模型,跟踪FY-3研发与应用各方面对校飞论证的发展过程,形成论证规范流程,从技术上对校飞可行性,包括FY-3部分有效载荷工程、技术、应用校飞的可行性分别进行分析研究,最终形成FY-3部分载荷校飞问题的咨询报告和后续工作建议。作为第三方,不仅成功协调各利益相关方,促进了FY-3校飞工作的顺利进行,而且初步在技术成熟度、系统多环节质量一体化综合评价等方面得到初步实践。

6.2 多角度多光谱偏振传感器科学论证

在中国民用卫星定量遥感中,大气校正、气溶胶和水汽状态获取具有十分重要的作用,而中国气溶胶精确探测相对落后,在中国气溶胶类型及形成机理、传输模式等方面从数据到分析都显薄弱。在“多角度多光谱偏振(DPC)遥感应用关键技术研究”项目研究中,通过机载多角度偏振成像仪、多角度偏振扫描仪和多角度红外相机研制,开展实验室和野外实验,获取和处理相关数据,基于较完备的面向应用的遥感系统成熟化的技术流程,完成星载多光谱偏振和多光谱红外传感器的工作模式、技术指标、数据处理和应用产品开发等各个方面的综合论证。

通过系统开展7次室内、外场、航空等不同规模的实验室和野外实验,不断提升了载荷处理技术成熟度。首先,在完成多角度偏振相机硬件系统后,在中国科学院安徽光精密机械研究所进行实验室辐射定标实验,确定系统对辐射量的响应关系及动态范围,给出定标曲线。为保证航飞实验的成功,确定偏振相机系统能完全按设计目标

功能运行，在安徽合肥科学岛上进行了楼顶试验和地面车载试验。为保证航飞试验顺利开展，到内蒙古野外的计划航飞地点进行野外勘察，了解下垫面覆盖类型和大气情况。在DPC软硬件系统完成研制基础上，在八达岭机场和山东日照进行航飞试验，获取偏振数据，验证研制的硬件系统和软件算法。为获取云偏振数据，对软硬件系统进行验证，并做进一步改进，于山东日照又一次航飞试验。为验证DPC成像功能，为数据预处理和大气参数反演产品化提供基础数据，开展野外场定标，提高定标精度，于广东中山市开展了以多角度偏振航空遥感为主，天空地一体化的综合遥感试验。同时，为获取红外相机野外场定标系数，验证红外航空数据预处理原型系统和地表参数反演算法，于山东东营开展多角度红外相机航飞试验。通过以上实验的不断推进，不仅对数据处理与应用技术进行了提升，而且对载荷发展标准化途径进行了有益的探索。

6.3 环境一号星应用工程论证

环境与灾害监测预报小卫星星座是中国乃至世界上第一个针对环境和灾害监测为应用目标的3星组网小卫星星座，具有中高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率、宽覆盖观测的特点，是名副其实的“小高分”系统。

项目开展过程中，最大程度团结中国科学家围绕自主卫星数据开展研究工作是工作核心，从而初步形成了科研工程组织管理体系。通过近百个课题的布局 and 有序实施，对认知性研究、技术型研究、应用工程性研究分别组团，按不同方式进行管理。通过实践，促进了“创新与风险动态均衡科研工程管理法”的建立。通过开展数据产品预处理关键技术和算法预研究，并基于技术成熟度、科研工程管理能力体系模型，对卫星上天前、在轨测试阶段、运行中、后评价关注重点与主要研究内容进行了研究。同时，以产品为核心的研发以及以产品5个属性为评价出发点，实践了航天遥感数据工程理论方法，对环境星应用系统和相应规范进行探讨，为环境星星座地一体化工程建设，以及卫星数据的综合应用奠定基础。

6.4 2030民用航天发展战略论证

“2030中国民用航天发展战略研究”是通过分析

中国航天在政治、经济、国防和科技等领域的重要地位与作用，总结中国航天发展取得的成就，归纳国外航天的发展现状与趋势(武佳丽等，2008)，分析中国航天面临的国内外形势与国内各领域的需求，研究中国航天发展存在的主要问题与差距，提出针对中国航天未来(到2030年)发展思路和近、中、远期发展目标的建议，为航天“十二五”规划及未来中长期科技规划的制订奠定研究基础。

其中的“卫星应用及产业化发展战略研究”主题论证中，调研了欧盟、美国、日本、俄罗斯、印度等国家在空间应用和地面站网及相关航天领域的战略研究进展，研究了国内空间应用和地面站网发展战略研究的现状，分析了测绘、气象、海洋、地震及林业等行业的长远战略规划的研究情况，初步构建了面向产品的需求研究思路和研究方法，并将战略研究涉及到的学科领域分为通信广播和数据传输、导航与定位、遥感与对地观测、空间环境应用、地面应用系统与地面站网、天地一体化发展等多个方面。在此基础上完成的《2030中国航天空间应用与地面站网发展战略研究》论证报告，充分体现了“需求提出到需求满足的全阶段航天遥感科学论证”、“全过程质量检验理论”。

“2030中国卫星应用及产业化发展战略研究”由分析卫星遥感需求入手，广泛征集各行业部门的需求建议，并从科学探索、行业部门和区域需求、产业化服务需求等几个层次开展需求分析，充分体现“需求提出”的重要性，并分析需求的阶段性和可扩展性，以科学实验型状态为起点，定义了科研技术阶段、工程阶段、业务阶段、产业阶段需求特点，进而确定了2015年、2020年、2025年、2030年各阶段发展愿景及面临的挑战。

“2030中国卫星应用及产业化发展战略研究”充分体现了“全过程质量检验理论”中的遥感系统研发全过程和运行全链路质量检验思想。按遥感系统研发全过程中卫星上天前、上天后、在轨运行3个阶段特点进行设计相关重大项目。同时，强化了研发全过程质量检验涵盖了从卫星传感器到卫星数据应用等各个环节的质量检验与控制。

6.5 高分辨率对地观测系统论证

2006年中国政府将高分辨率对地观测系统重

大专项(简称高分专项)列入《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006年—2020年)》，2009年实施方案经领导小组会议审议通过；2010年5月经国务院常务会议审议批准，高分专项全面启动实施。高分专项的主要使命是加快中国空间信息与应用技术发展，提升自主创新能力，建设高分辨率先进对地观测系统，形成稳定运行的产业链。

论证中心有幸参与专项应用系统论证与实施中，基于航天遥感信息流模型、标准化数据工程模型、系统结构模型、全过程质量检验模型、需求发展动力理论等航天遥感科学论证理论方法，分析了高分应用系统发展动力，以及支撑高分应用系统发展的能力体系建设，完成了专项论证研究，为高分专项建设实施奠定了较好工作基础。

在高分专项论证与实施过程中，将高分定义在中国从科学实验向业务服务转型中工程能力提升的关键手段与举措。注重产品标准设定，应用系统工程能力建设，关注数据进入各行业主营业务与关注自主科研与系统自主化率提升并举。通过顶层指导高分应用系统项目技术方案设计与成果集成，确保方案设计的系统性、前瞻性和可操作性。统一标准规范和考核指标体系，提供统一的、可扩展的应用系统项目框架。努力使应用范围从不到10个行业，拓展到20来个行业，从国家级到区域地方，发展县域遥感，从公益性拓展到产业与商业级，全面扩大中国遥感应用市场的长宽高，以及这个市场技术工具的自主化率。

6.6 国家自然灾害空间信息基础设施论证

“国家自然灾害空间信息基础设施专项”(简称“623”)是针对中国自然灾害频发，由航天等领域专家提出构建“天、空、地”一体化的自然灾害空间信息基础设施的设想。“623”涉及地球科学、信息科学、空间科学和认知科学等众多领域，需要专家群的多学科交叉、多领域集聚，深入研究地球物理化学信息探测、空间平台和载荷、数据处理和定标、信息集成和共享、各灾害领域的应用以及综合灾害管理等技术。经过多领域专家长期的研究、交流、协同攻关，研究了从数据获取到信息提取，再到知识转化的系统方法，对空间信息解决自然灾害的灾前预报、临灾预警、灾中应急和灾后评估的技术方法和系统构建问题有了更进一步的认识，并形成了自然灾害空间信息基础设施

的总体架构。同时，也丰富完善了对“SDIKWa”理论、航天遥感系统结构模型、航天信息与其他信息相融合的认知，深化了对第4范式、大数据的理解(图10)。

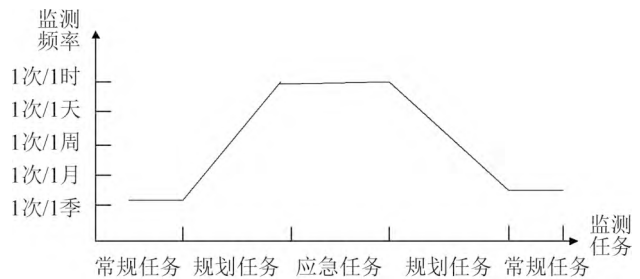


图 10 应急对信息获取的监测频率示意图

Fig. 10 Schematic diagram of monitoring frequency of emergency response to information acquisition

“623”主要由“天、空、地”立体数据获取系统、空间信息综合集成服务系统、部门(区域、行业)灾害空间信息应用系统3大部分组成，主要为灾害管理部门提供有力的决策信息支持，为社会应用提供灾害信息服务。“623”在成灾机理和模型算法研究及探测技术研制、软硬件、网络平台、云计算平台、通信链路、人才队伍建设的基础上，构建灾害监测卫星星座、区域灾害空基监测网、数据采集卫星星座与系统、应急通信系统、数据接收系统、数据处理与管理系统、共性技术及其产品服务系统、国家自然灾害空间信息资源共享网格以及10个行业灾害空间信息应用系统。

6.7 国家民用空间基础设施(简称空基)中长期发展论证

从某个角度看，高分是“小空基”，重在工程，关注系统建设与能力建设，为空基建设打下基础。空基则是立足自主创新已有优势，着眼满足中国经济领域发展业务性、产业性、商业性需求，注重体系发展，更具战略性、全局性和顶层性。论证中心参与了需求与应用论证工作，将遥感论证理论体系与方法充分应用在空基论证中，有效地支持了空基发展论证工作。

此次论证中，针对过去开展用户应用需求直接转化为卫星需求提交给卫星制造部门和地面系统制造部门的不足，对应用需求汇总流程进行了优化。首先把用户应用业务需求转化为对产品的

需求和处理的需求,再转化为对卫星的需求提交给卫星制造部门和地面系统制造部门,其中产品的需求包括具体产品的品种、规格、质量、规模和时效性5类指标。该应用需求汇总流程对用户的业务应用需求进行了详细的优化分解与统筹,有效的提高了卫星系统与地面系统对应用业务需求的满足度。

根据对多领域多层次的应用需求分析,大样本数下的共性特征与规律逐渐凸显。在统筹应用需求、体系需求与效益需求中,将载荷探测指标的需求按照固体、液体、气体、地球物理观测要素特性划分设计,首次采用遥感数据工程方法实现载荷空间分辨率的标准化,即全色、可见近红外、多光谱、超光谱、微波和SAR载荷均按照0.5 m、1 m、2.5 m、5 m、10 m、25 m、100 m、250 m、500 m、1000 m、2500 m、5000 m、10000 m等级进行安排。按照统筹设计的思想,优化配置载荷探测指标,实现陆地、海洋、大气类载荷能力兼顾,发挥最大效益。

其中,需求分析中对“民、商”卫星作了区分,数据、信息、知识均能采用货币交换的为商业卫星,数据很难形成货币交换,只有通过信息与知识服务才能体现价值的为公益性民用卫星。这样0.5 m、1 m等级数据是商业卫星主体,要通过商业规律运作加以促进。低于2.5 m且优于100 m的中等分辨率卫星主要针对陆表目标的发现、识别、确认、理解等方面的工作,可以将较高分辨率部分的卫星集中建立分类与变化检测应用为主的星座,将10 m、25 m、50 m等级的卫星建立以多光谱、高光谱为主的“新一代MODIS”,成为中分骨干星座。在组网观测中,先后卫星要相互照应,躲避云覆盖或聚焦兴趣目标重点观测,实现观测“智慧化”。对于低空间分辨率、高辐射精度要求的卫星,在静止轨道和晨昏轨道也要全面考虑,提升时间分辨率。

论证提出需合理利用轨道资源,建立若干卫星星座,采用静止轨道与极轨卫星联合组网方式综合观测。通过协调高轨与极轨载荷类型,提升若干品种数据中国区全覆盖的时间分辨率。形成合理、完善的高轨、极轨星座体系,高轨观测星座体系以陆地、海洋、大气环境和应急观测功能为主,实现对陆地、海洋、大气等要素的高分辨

率、精细化观测,成为持续、稳定业务应用数据提供的主体。

通过对应用需求的统筹分析论证,规划提出可统筹组合卫星资源,通过科学合理、按需服务的任务规划构建虚拟星座,最大化地满足各类用户的综合应用需求;并从资源环境和生态保护、防灾减灾与应急反应、社会管理与安全生产、新型城镇化与区域可持续发展、大众信息消费与产业化、全球观测与地球系统科学以及国际化应用与服务等7个方面推进综合应用示范。

空基的论证确保了中国各领域规模化应用国产卫星数据成为可能,同时也确立了中国在卫星体系结构和技术指标上终于走出跟踪模仿国外的阴影,走上自主创新之路。

6.8 2030中国GEOSS规划论证

在全球化时代,积极参与覆盖全球的地球观测能力建设是一个强国必须具备的条件,除直接服务于本国的经济、政治利益外,在涉及全人类共同关心的地球环境和可持续发展问题上更加需要掌控核心议题、占据道德和政治优势。中国正面临全球综合地球观测系统发展的重大战略机遇,充分利用地球观测组织GEO(Group on Earth Observation)这一全球平台在区域和全球层次上加速赶超世界先进国家。

建立与运行全球综合地球观测系统GEOSS(Global Earth Observation System of Systems)是地球观测组织2005年确立的目标。在2016年—2025年的新十年规划中,地球观测组织对GEOSS提出新的战略目标,即(1)在数据共享原则和数据管理原则方面有新的突破;(2)深化政策制定者对地球观测的科学认识,以共同应对全球和区域的挑战;(3)应用方面聚焦于与实现联合国可持续发展目标有关的防灾减灾、粮食安全及可持续农业、水资源管理、能源与自然资源管理、人类健康环境影响监测、生物多样性及生态系统保护、城镇发展,以及基础设施与交通管理等8个重点领域,向用户提供数据、信息和知识3大类产品和技术服务,这些应用也与中国空基发展相一致。GEOSS新10年的战略目标及其实现途径对于分析、验证中国全球综合地球观测系统战略目标具有重要的借鉴作用,对于空基的地球关怀及国际化应用与

服务部分有指导作用。

基于需求驱动理论、标准化数据工程方法、全过程质量检验、民用和商业统筹等航天遥感科学论证方法,对中国全球综合地球观测系统的宏观需求、总体框架、重点任务和政策环境等内容进行综合分析,论证形成中国全球综合地球观测系统的发展战略,明确中国GEOSS 2016年—2030年的战略目标为“面向中国全球发展战略需求,到2030年,实现全球综合观测的高动态、一致性、全链条能力建设。

2016年是GEO第2个十年执行计划实施的开局之年,也是GEO两个十年执行计划的过渡期,中国将抓住此次机遇,履行GEO联合主席国和执委会成员国的责任与义务,重点围绕中国“一带一路”战略,组织亚洲—大洋洲区域AO-GEOSS项目的逐步实施,服务GEOSS发展及中国全球发展战略。

7 结 语

本文是航天遥感论证中心团队长期从事航天遥感科学论证研究与实践的系统总结。主要以航天遥感系统为研究对象,旨在探索航天遥感科学论证的理论、方法与应用,系统化卫星遥感应用科学论证内容,重点考察了面向应用的航天遥感系统科学论证初步认知、遥感论证关注问题、遥感论证理论体系与模型方法集、遥感论证能力建设及遥感论证实践等5方面内容。

毫无疑问,本文提到的面向应用的航天遥感科学论证理论、方法与技术仅是在已有条件下部分实践检验基础上的积累,是在中国航天遥感转型中一定客观条件下形成的,还有大量的内容需要在今后的实践中加以验证。同时,论证有多种思路与方式,本文展现的研究成果仅是其中之一,一切有赖于通过实践的验证与判断。更重要地,鉴于中国航天遥感的快速发展,有关航天遥感科学论证的研究正蓬勃发展,需要吸引更多的专家和有志之士投入其中。条条大路通罗马,本文研究若能起到抛砖引玉的作用,作者将感到十分欣慰。

志 谢 作者衷心感谢陈述彭、孙家栋、王希季、王礼恒老院士,刘纪原、孙来燕、吴美蓉、罗格等老领导,田玉龙、李国平、熊攀、肖

晶、曾澜等专家长期悉心指导与支持。感谢这个创新的年代,论证中心全力支撑了国家项目的技术论证,国家需求也成就了论证中心。

参考文献(References)

- Chen Q F and Dai J H. 2003. Multidisciplinary design optimization of satellite constellation system. *Journal of Astronautics*, 24(5): 502–509, 533. (陈琪锋, 戴金海. 2003. 卫星星座系统多学科设计优化研究. *宇航学报*, 24(5): 502–509, 533) [DOI: 10.3321/j.issn:1000-1328.2003.05.013]
- Chen S P. 2007. *Geo-information Science and Digital Earth*. Higher Education Press. (陈述彭. 2007. *地球信息科学*. 高等教育出版社.)
- Deng Z H and Li Z F. 2013. Evolution of scientific research - the fourth paradigm of scientific research in large data Era. *Information and Documentation Services*, 34(4): 19–23 (邓仲华, 李志芳. 2013. 科学研究范式的演化——大数据时代的科学研究第四范式. *情报资料工作*, 34(4): 19–23)
- Fu S J. 1994. The objective relationship and the nature. *Modern philosophy*, (2): 80–82. (傅诗济. 1994. 对象性关系和人化自然. *现代哲学*, (2): 80–82.)
- Gu X F. 2015. Building the silk road information corridor by constructing xinjiang large data center. *China Development*, 15(6): 64–67. (顾行发. 2015. 建设新疆大数据中心打造“丝绸之路”信息走廊. *中国发展*, 15(6): 64–67) [DOI: 10.3969/j.issn.1671-2404.2015.06.012]
- Gu X F, Tian G L, Li X W and Guo J N. 2005. The quantification of remote sensing. *Science in China (Series E: Engineering & Materials Science)*, 48(supp.): 1–11. (顾行发, 田国良, 李小文, 郭建宁. 2005. 遥感信息的量化. *中国科学E辑: 信息科学*, 48(S1): 1–11) [DOI: 10.3969/j.issn.1674-7259.2005.z1.001]
- Gu X F, Yu T, et al. 2016. *The Theory, Method and Application for Applicative Aerospace Remote Sensing*. Beijing: The Science Publishing Company. (顾行发, 余涛, 等. 2016. *面向应用的航天遥感科学论证理论、方法与应用*. 北京: 科学出版社)
- Gu X F, Yu T, Huang X Z, Meng Q Y, Zhou K and Guo H. 2013a. A dual geographic latitude and longitude grid segmentation method: China, CN103413355A. 2013-11-27 (顾行发, 余涛, 黄祥志, 孟庆岩, 周珂, 郭红. 2013a. 一种双地理经纬网格切分方法: 中国, CN103413355A. 2013-11-27)
- Gu X F, Yu T, Huang X Z, Meng Q Y, Li J G and Gao H L. 2012. A remote sensing image data management system and method: China, CN102662610B. 2016-05-11. (顾行发, 余涛, 黄祥志, 孟庆岩, 李家国, 高海亮. 2012. 一种遥感影像数据管理系统及方法: 中国, CN102662610B. 2016-05-11)
- Gu X F, Yu T, Meng Q Y, Wei Z, Li X Y and Du Y M. 2008. Analysis

- on demand change and timeliness of civil aerospace remote sensing application in China Satellite & Network, (4): 58–60. (顾行发, 余涛, 孟庆岩, 卫征, 李小英, 杜永明. 2008. 中国民用航天遥感应用需求变化及时效性分析. 卫星与网络, (4): 58–60)
- Gu X F, Tian G L, Yu T, Li X Y, Gao H L and Xie Y. 2013b. The theory and method of radiometric calibration for space optical remote sensor. Beijing: The Science Publishing Company. (顾行发, 田国良, 余涛, 李小英, 高海亮, 谢勇. 2013b. 航天光学遥感器辐射定标原理与方法. 北京: 科学出版社)
- Hey T. 2012. The Fourth Paradigm Data Intensive Scientific Discovery//E-Science and Information Management. Springer Berlin Heidelberg: 1-1
- Li D R, Li D Q. 1998. The formation of geo-spatial information science. Advance in Earth Sciences, 13(4): 319–326. (李德仁, 李清泉. 1998. 论地球空间信息科学的形成. 地球科学进展, 13(4): 319–326) [DOI: 10.3321/j.issn:1001-8166.1998.04.001]
- Liang H Y, Gu X F, Yu T. 2007. The application and demand analysis of civil aerospace remote sensing in China's coal industry. Coal Science and Technology, (04): 104–107. (梁洪有, 顾行发, 余涛. 2007. 民用航天遥感在中国煤炭行业的应用与需求分析. 煤炭科学技术, (04): 104–107)
- Meng Q Y, Gu X F, Yu T and Jin F. 2008. Status, Issues and trend of remote sensing application of civilian satellites in China.//Conference of Association on Space Observation Technology Commission, Seismological Society of China & Academic conference proceedings. Beijing: Space Observation Technology Commission, Seismological Society of China (孟庆岩, 顾行发, 余涛, 荆凤. 2008. 中国民用卫星遥感应用现状、问题与趋势. 中国地震学会空间对地观测专业委员会成立大会暨学术研讨会论文集. 北京: 中国地震学会空间对地观测专业委员会)
- Qian X S, Dai R W. 2006. The great wisdom of space information. Complex Systems and Complexity Science (钱学森, 戴汝为. 2006. 论信息空间的大成智慧. 复杂系统与复杂性科学, 3(2): 94–94)
- Song P T, Ma D T, Li S F and Yang H T. 2007. Study on effectiveness evaluation index system of military communication constellation systems. Journal of information, 30(15): 43–45, 48 (宋鹏涛, 马东堂, 李树峰, 杨海涛. 2007. 军用卫星星座效能评估指标体系研究. 现代电子技术, 30(15): 43–45, 48) [DOI: 10.3969/j.issn.1004-373X.2007.15.014]
- Sun W G, Wang K and Cui D B. 2006. Position and function of the weapon and equipment military needs demonstration. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 20(6): 1–3 (孙万国, 王凯, 崔巍博. 2006. 武器装备军事需求论证的地位与作用. 装甲兵工程学院学报, 20(6): 1–3) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-1497.2006.06.001]
- Tian G L. 1994. The area of fundamental research of remote sensing and its importance for the development of remote sensing application. Remote Sensing of Environment China, 9(3): 168–176 (田国良. 1994. 遥感基础研究的范畴及其在遥感应用发展中的意义. 环境遥感, 9(3): 168–176) [DOI: 10.11834/jrs.1994023]
- Tian G L. 2003. Current situation, problems and suggestions of remote sensing application in China (Continued). Remote Sensing Information, (3): 3–7 (田国良. 2003. 中国遥感应用现状、问题与建议(续). 遥感信息, (3): 3–7) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-3177.2003.03.002]
- Wang B K. 2008. Some thought on international cooperation in civil space industries. Defence Science & Technology, (12): 51–53 (王宝坤. 2008. 中国航天国际合作的几点思考. 国防科技工业, (12): 51–53)
- Wang J N, Gu X F, Ming T and Zhou X. 2013. Classification and gradation rule for remote sensing satellite data products. Journal Of Remote Sensing, 17(3): 566–577 (王晋年, 顾行发, 明涛, 周翔. 2013. 遥感卫星数据产品分类分级规则研究. 遥感学报, 17(3): 566–577) [DOI: 10.11834/jrs.20131364]
- Wei X Q, Gu X F, Yu T, Meng Q Y, Li B and Guo H. 2012. Spatial resolution standardization of payload on board of remote sensing satellite based on application requirements. Spectroscopy and Spectral Analysis, 32(03): 781–785 (魏香琴, 顾行发, 余涛, 孟庆岩, 李斌, 郭红. 2012. 面向应用需求的遥感卫星载荷空间分辨率标准化研究. 光谱学与光谱分析, 32(3): 781–785) [DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2012)03-0781-05]
- Wu J L, Yu T, Gu X F, Wu S J, Lou L Z and Wang J G. 2008. Status and application trend of Chinese earth resources Satellites. Remote Sensing Information, 22(6): 96–101 (武佳丽, 余涛, 顾行发, 武尚君, 楼立志, 王剑庚. 2008. 中国资源卫星现状与应用趋势概述. 遥感信息, 22(6): 96–101) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-3177.2008.06.021]
- Zhang X N. 2013. The research on Toulmin's model of argument. Beijing: China University of Political Science and Law (张晓娜. 2013. 图尔敏论证模型研究. 北京: 中国政法大学)
- Zhu S J. 2006. Dialectics and methodology of science and technology. Beijing: People's Military Medical Press (朱少均. 2006. 科学技术辩证法与方法论. 北京: 人民军医出版社)

Application-oriented scientific demonstration research for spaceborne remote sensing

GU Xingfa^{1,2}, YU Tao^{1,2}, GAO Jun¹, TIAN Guoliang^{1,2}, WANG Chunmei^{1,2}, ZHENG Fengjie^{1,2}, LI Juan^{1,2},
DONG Wen^{1,2}, MI Xiaofei^{1,2}, HU Xinli^{1,2}, XIE Yong^{1,2}, MENG Qingyan^{1,2}, LIU Qiyue^{1,2}, YANG Jian^{1,2},
WEI Zheng³, ZHANG Zhouwei^{1,2}, FANG Li^{1,2}, LIN Yinghao^{1,2}, GAO Hailiang^{1,2}, ZHAO Limin^{1,2},
ZHENG Lijuan^{1,2}, LIU Miao^{1,2}, LI Lingling^{1,2}, SUN Yuan^{1,2}, CHENG Yang^{1,2}, ZHANG Yazhou^{1,2},
HUANG Xiangzhi^{1,2}, ZANG Wenqian^{1,2}, XU Hui^{1,2}, WU Yu^{1,2}, LIU Peng^{1,2}, LIU Donghui^{1,2}, DENG Anjian^{1,2}

1. Center for National Spaceborne Demonstration, Beijing 100101, China;

2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3. EOS engineering center, China National Space Administration, Beijing 100101, China

Abstract: In order to adapt to model change of the china civil spaceborne remote sensing from scientific experiments to the business service and promote the harmonious and sustainable development of the space remote sensing, the center for national spaceborne demonstration was timely established in 2004, to explore, understand and solve the technical problems in the application requirements and space remote sensing system docking. For more than ten years, the demonstration center took the space remote sensing system as the research object, and systematically carried out the application-oriented space remote sensing scientific demonstration concepts, theory methods, technology engineering and application research. This paper is a systemic summary of the Demonstration Center team in space remote sensing scientific demonstration research and practice for a long time, which mainly introduces the content of four aspects, i.e. the preliminary cognition of scientific demonstration, the issue concerned to remote sensing demonstration, the theoretical system and model method set of remote sensing demonstration, and remote sensing demonstration practice of the application-oriented space remote sensing system. In this paper, a scientific demonstration definition of application-oriented space remote sensing is given for the first time and the range and content of demonstration is also detailed analyzed, and a 3D spatial structure of remote sensing demonstration scope composed of knowledge dimension, process dimension and logic dimension is proposed synchronously. As the social development has increasingly accelerated and the informatization level has increasingly enhanced, the whole space remote sensing data information chain is driven to develop towards larger-scale data stream, shorter response time cycle, more comprehensive data integration and higher data quality, so that the space remote sensing system will step in a development phase of new "intelligent remote sensing". Owing to the rapid development of our civil space in the past ten years, we have the opportunity to participate in the FY-3 satellite flying evaluation, multi-angle polarization multispectral remote sensing sensor demonstration, and HJ satellite application engineering demonstration, and have made the breakthrough in various theory methods. These research results have been applied to several demonstrations, such as the 2030 civil space development planning, the high resolution earth observation system, the national natural disaster spatial information infrastructure, the medium and long-term development of national civil space infrastructure, the China earth observation system planning (2030) and so on. Meanwhile, the theory system of remote sensing demonstration has been established, which includes the information flow model, information feature model, information application model, information quantity analysis model, data engineering model, system structure model, system state magic model, system quality model, dynamic model of system development and system model of system capability. The theoretical system for remote sensing demonstration and corresponding model method set gradually formed through practice will comprehensively reflect the structure, state and development state of the space remote sensing system, and will be used for conducting investigation, analysis, evaluation, forecast, and carrying out practical exploration on the space remote sensing system.

Key words: space remote sensing system, remote sensing demonstration, information flow, intelligence remote sensing

Supported by China Civil Space Pre-Research Project: China Satellite Remote Sensing Application Needs and Comprehensive Demonstration of Satellite Payload Index; Application Demonstration System of The Earth Surface System Science Research of (No. Y4D00100GF); Integrated Research on The Based Information Product Algorithm of High-Resolution Major Special Projects (No. Y4D0100038); CAS Strategic Pilot Project (No. Y1Y02230XD)