

数字经济时代的中国卫星遥感产业转型思考

任伏虎¹, 李林^{1,2}, 董锦华¹

1. 上海临港北京大学国际科技创新中心 地球与空间技术研究院, 上海 201306;

2. 闽都创新实验室 时空大数据中心, 福州 350108

摘要: 现阶段中国卫星遥感仍面临“大事业、小产业”的发展困境。从用户需求的角度看, 存在“用不上、用不好、用不起”3大问题。对此需要从如下3个维度提出系统性解决方案: “商业模式”由“少量用户+低频高价”向“海量用户+高频低价”转变, “业务载体”打造开放式遥感数据汇聚与公众服务商业化平台, “技术设施”以通信卫星搭载遥感载荷的方式建设遥感全时全覆盖新型卫星系统。该方案的内在根本逻辑是遵循数字经济发展规律, 发挥数据要素的共享复用价值, 形成基于遥感大数据的平台共享经济; 而外部发展契机则在于低轨巨型通信卫星星座的出现, 为“跳出遥感做遥感”提供了关键性条件。设想的“通+感”新型卫星系统新增遥感载荷投资为数百亿, 仅国内市场的公众服务(C端用户为主)年营收就有望达到百亿量级, 能够快速实现投资盈利模型的闭环; 在公众用户拓展上卫星遥感能与卫星通信业务协同互补, 共同向十亿级别的大众通信用户渗透, 商业合作具有较强可行性; 未来在实现时空连续监测和遥感实时服务的基础上, 利用商业遥感公众服务平台载体, 卫星遥感的B端用户市场还有着巨大的价值创造空间。因此应当把握机遇, 做好顶层设计与全局资源统筹, 通过创新性的制度安排牵引中国卫星遥感产业转型发展。

关键词: 卫星遥感, 公众服务, 新型卫星系统, “通+感”卫星, 遥感产业化, 数字经济, 数据要素

中图分类号: P2

引用格式: 任伏虎, 李林, 董锦华. 2025. 数字经济时代的中国卫星遥感产业转型思考. 遥感学报, 29(6): 2276–2288

Ren F H, Li L and Dong J H. 2025. Thoughts on the transformation of China's satellite remote sensing industry in the digital economy Era. National Remote Sensing Bulletin, 29(6): 2276–2288[DOI: 10.11834/jrs.20254444]

1 引言

遥感作为人类感官的延伸, 为人类从遥远的距离观测自身所居住的地球空间提供了可能。自1970年发射第一颗人造卫星以来, 中国卫星遥感事业取得了显著的发展成果, 已经建立了完整的遥感技术与应用体系, 形成了气象、海洋、陆地资源、环境减灾等卫星系列和业务应用领域。卫星遥感数据已经成为国家和地方各类业务管理部门常态化应用的重要信息支撑(童庆禧, 2021)。

从发展模式看, 长期以来卫星遥感作为具有国家战略性的事业, 得到国家持续大量的投入。以高分辨率对地观测系统重大专项工程等为依托, 中国逐步实现了对美欧等领跑者的追赶式发展; 在产业化方面, 2014年11月国务院出台《关于创新重点领域投融资机制鼓励社会投资的指导意

见》, 以企业为主体、按市场化方式运作的卫星遥感产业化大幕正式拉开。——事实上, 早在2012年底国家发改委、财政部就将发展卫星遥感商业化应用列入卫星及应用产业发展专项内容, 明确提出“鼓励开展卫星遥感商业应用模式创新”。

截至目前, 中国卫星遥感产业获得长足发展, 基本形成了较为完整的产业链条; 特别是随着空天经济浪潮的兴起, 产业上游的卫星发射与运营正逐步由政府主导向商业化转变(崔少伟等, 2024)。但总体而言, 现阶段仍面临“大事业、小产业”的发展困境。遥感领域的很多专家学者和产业界人士也一直在探讨如何破解瓶颈制约、更好地实现卫星遥感产业高质量发展。

在商业化运营方面, 李德仁(2014)较早即提出, 中国高分辨率对地观测系统必须坚持国家投入与商业化运营相结合的发展模式, 通过市场

收稿日期: 2024-10-06; 预印本: 2025-04-25

第一作者简介: 任伏虎, 研究方向为遥感、地理信息系统与时空大数据技术。E-mail: Renfh@pku.edu.cn

调节来合理配置和优化利用资源才能真正建立运营服务的产业链。聂学峰等（2014）认为高分辨率遥感卫星的技术难度和商业化的巨大资金投入，需要政府出台保护国产化遥感数据先期运营的相关政策；除政府客户外要开发新的市场领域，和互联网公司合作形成完整的遥感产业链条。赵新等（2017）提出公众市场是遥感应用产业规模化发展的主战场，指出遥感公众市场应用缺乏媒介工具。

在产业发展路径方面，童庆禧（2023）提出要在数据共享技术、政策和理念等方面下功夫，将人工智能应用到遥感数据处理方面，大力发展国产遥感数据处理软件和算法模型。李德仁提出构建基于“对地观测脑”的“互联网+”天基信息服务系统，即构建60—100颗具有遥感、导航与通信功能的低轨卫星组成的天基网，与现有地面互联网整体集成（李德仁，2016；李德仁等，2017）；后又指导从珞珈卫星到“东方慧眼”OSE（Oriental Smart Eye）遥感星座的工程实践，提出分4步建设由数百颗卫星组成的低轨遥感卫星星座系统，为全球用户提供亚米级高精度智能实时服务（李德仁，2023；李德仁等，2024）。

在商业服务平台关键技术实现方面，任伏虎和王晋年（2012）提出了遥感云服务的技术体系及关键技术，通过遥感云服务平台汇聚来自不同服务商的遥感信息、应用软件和计算资源，为用户提供一体化按需应用服务。刘东升（2020）提出国产遥感软件PIE（Pixel Information Expert）的产品体系，并依托PIE-Cloud遥感云平台提供遥感云服务。钟若飞等（2022）提出基于变化信息的定向、定点地理实体数据的采集和更新思路，建立全球遥感实时监测与定点更新云平台，并提出建设“直播地球”系统的构想。李德仁等（2021）指出遥感技术从提供数据和信息向提供实时服务的转变趋势，并提出基于人工智能的遥感在轨处理技术理念。王密等（2023）提出建立遥感卫星星座与地面资源的“云一边一端”协同架构，强调卫星在轨（星上）处理能力，认为这是实现遥感实时服务的关键。

应当说卫星遥感产业的商业化运营特别是用户群体要由专业用户向公众（大众）用户拓展已经逐步成为行业共识，但是截至目前尚缺乏体系化、可落地的发展模式与关键路径设计。在以数据要素为核心的数字经济加速演进的时代背景下，

面对低轨巨型通信卫星星座建设的契机，本文以如何实现遥感公众服务产业化为切入点，提出“商业模式创新——遥感公共服务平台——新型卫星系统”的系统性创新解决方案，商业模式维度由“少量用户+低频高价”向“海量用户+高频低价”转变，业务载体维度打造开放式遥感数据汇聚与公众服务商业化平台，技术设施维度以通信卫星搭载遥感载荷的方式建设遥感全时全覆盖新型卫星系统。其内在根本逻辑是遵循数字经济发展规律，发挥数据要素的共享复用价值，形成基于遥感大数据的平台共享经济。特别的，和现有的智能遥感星座方案相比，本文所提出的“通（信）+（遥）感”卫星星座方案不论是在即时服务能力还是投资盈利闭环以及商业合作可行性等多个方面都是更具产业化优势的。

2 中国卫星遥感产业现状及问题

根据《中国地理信息产业发展报告2024》数据，截至2023年末，中国在轨卫星628颗，其中民用遥感卫星443颗，商业遥感卫星超过323颗。在技术层面，中国高分辨率卫星的最高空间分辨率达到0.3 m，高光谱卫星的光谱分辨率达到5—10 nm，接近国际最先进水平。历经多年发展，包括卫星制造发射、卫星运营、卫星数据应用等在内的卫星遥感产业链分工基本完整，卫星遥感已在自然资源调查监测、生态环境保护、城乡治理、农林植保等应用领域发挥重要作用。

但同时，中国卫星遥感产业仍面临行业产值规模偏小、公众服务市场未打开、供需结构性失衡等深层次问题：（1）遥感应用市场规模小产值低，行业投资盈利模式难以闭环。目前遥感卫星数量第一的长光卫星其遥感应用业务年营收不足6亿元（根据其2022年招股说明书及回复函），加上世纪空间、航天世景等有限几家拥有卫星的企业，推算中国商业遥感卫星的数据业务年营收总规模仅约二三十亿元，相较于三百颗卫星的至少150亿元初始投资成本和平均5—8年的卫星使用寿命，其投资盈利模型难言成立；（2）商业化应用业务高度依赖于有限的政府部门用户（和极少量的大型企业用户），且面临国家高分卫星数据免费使用、同一城市的政府部门对遥感数据统一采购再分发共享等不利冲击。另一方面，卫星遥感长期以来未能找到面向公众服务的合适产品及服

务形态, 行业规模天花板明显; (3) 现有市场格局下, 供需关系结构性失衡, 供给侧遥感数据产能过剩与需求侧“合适数据难找、影像难处理、应用成本高”并存, 技术产品趋同下行业内卷式竞争严重, 产业链各环节的企业盈利状况堪忧, 产业持续发展后劲不足。

对于现状产能过剩方面, 具体看一组数据。长光卫星现已拥有120多颗遥感卫星, 理论上每天可以拍摄800万 km^2 的高分辨率影像, 面积接近覆盖中国国土面积一次。世纪空间和北京航天世景信息技术有限公司的卫星数据采集能力也都在每天百万平方公里级别。按照市价每平方公里最低10元计算, 每年的产值应该在几百亿元; 即使按照每平方公里最低1元计算, 每年也应该有几十亿的产值。而目前从公开的数据来看, 这类公司的数据销售年产值基本上也就是几个亿, 远远低于潜在产能。

从用户需求的角度分析, 造成这样困境的原因主要在于:

(1) 现有数据服务方式不能满足信息获取即时性的需要(想用时“用不上”)。1颗亚米级分辨率遥感卫星的数据采集能力高达数十万平方公里/日, 但受制于中国卫星地面站数据接收能力(卫星过境的数据下发窗口时间仅约数分钟)和影像数据处理能力, 目前国内卫星遥感数据从卫星拍摄到加工成图, 应急响应场景下最短时间为数小时, 常规情形为45—90 d。从全球看, 利用高分辨率数据长年进行大区域(省、市域)短周期(月、周)重复观测目前很难实现。目前全球最大的遥感卫星星座是美国Planet公司Doves(“鸽群”)星座, 由约200颗3U小卫星组成, 因为是低成本卫星, 目前只能提供每天覆盖全球3—5 m的中分辨率遥感图片, 每平方公里数据售价1—2美元, 主要面向军事、农林、海洋、生态环境等专业市场。而且目前尚不支持对卫星的(近)实时指令任务调度, 任务均是提前较长时间预设, 对需求的响应度差。和空基无人机倾斜摄影、地面摄像头视频等方式比较, 卫星遥感服务的即时性灵活性劣势明显。

(2) 卫星遥感数据与技术资源分散, 处理专业度高, 对用户友好度差(“用不好”)。商业遥感卫星数据资源和技术资源分散在各个卫星企业和软件/数据服务企业。单家卫星企业的卫星数量

有限, 往往不能完全覆盖应用场景的全部数据需求; 而各家企业的卫星数据都是基于景的“图”, 拍摄的形状、大小不一, 各家数据处理系统、传输设备各异, 数据资源统一调用困难; 且卫星遥感数据处理流程复杂度高, 数据融合技术难度大, 非专业用户很难直接应用; 数据处理、算法研发、图像AI识别等技术优势企业日常缺少海量卫星数据的获取渠道, 技术难以与行业应用深度融合, 无法迭代优化发展。总体而言, 卫星遥感数据应用的用户友好度方便性差, 产业链缺乏面向用户的有效组织协同。

(3) 现有业务模式依赖于少量的政企用户, 多采用项目制, 单次定价高(“用不起”)。现有商业模式下卫星遥感用户主要是有限数量的政府部门和极少量大企业, 服务方式多采用一次性项目制, 这不但制约了遥感企业规模效能提升, 更为不利的是, 项目制下用户往往要求订制现势性强的“新鲜”数据, 而不愿使用已有存档数据, 这就造成最有可能形成规模复用效应的遥感存档数据难以进行二次开发利用。事实上造成“单次卫星遥感成像服务单个用户”, 成本居高不下。现有按次定价方式下, 其价格不仅对于个人用户难以承受, 就是对政企用户也显得畸高。而从行业角度, 越是用户数量少, 单个用户的价格越不能低, 价格高又进一步减少了潜在用户数, 行业发展陷入负循环怪圈。

3 问题的根源与现有智能遥感星座方案的不足

进一步剖析上述问题的根源所在。“用不上”(即时性不够)背后是两大核心问题——一是卫星数量不够, 不能形成时空连续监测; 二是传统的“卫星过境—地面站接收”数据传输方式制约了即时服务能力。“用不好”背后是产业链缺乏有效整合, 没有形成一个链接各方数据资源和技术能力的第三方平台, 也就不能面向用户提供一站式的综合解决方案。“用不起”背后则是商业化模式设计不合理, 未能形成“用户多—单价低—用户更多”的正向循环。

事实上, 这分别对应底层逻辑的3个维度: 商业模式须系统性重塑, 业务载体须打造公共服务平台, 技术设施须建设新型卫星系统。当然, 这三个维度是紧密联系不可分割的。多发卫星意味

着成本的巨额增加，如果没有理想的商业模式，没有超大数量的用户，就难以支撑巨额的投资成本；同样，没有明确的商业性业务载体，产业链整合就缺乏经济动力，只能流于空谈；而商业模式如没有适合的技术设施作为支撑，投入产出不成比例，也就只能是空中楼阁。

针对卫星遥感产业化困局问题，遥感领域内已进行了大量的理论探讨和实践探索。近年来最受关注且进入工程实践阶段的是智能遥感星座的解决方案，以“东方慧眼”、“吉林一号”等为代表。根据公开报道，“东方慧眼”遥感星座预计总投资约200亿元，由252颗卫星组成，包括100颗雷达卫星、144颗高分辨率光学卫星、4颗高光谱卫星、4颗热红外卫星。实验卫星已在轨成功验证了从用户任务请求到用户移动终端获取服务仅8分钟的遥感信息实时智能服务能力。为实现即时服务，其强调加强星上数据处理的能力建设（即人工智能“上天”），压缩遥感数据向地面的下传量。

以“东方慧眼”星座为代表的通导遥一体化卫星星座，体现了当前中国遥感卫星领域的最高专业水平，对于推动行业技术进步、满足专业用户需求乃至服务国家战略安全等都具有十分重要的意义，对于开展遥感卫星公众服务也具有积极的促进作用。然而专业遥感卫星星座数百亿巨额投资形成的技术能力及其服务成本，尚无法完全满足公众用户对遥感服务的实时性和经济性要求：在卫星通讯能力的加持下，遥感数据可通过通信卫星中继传输，但如果仍通过专业地面接收站进行接收和处理，处理瓶颈依然明显，难以支撑大众规模化服务；而智能主要体现在依靠增强星上数据处理能力来实现数据提取和压缩，旨在减少数据传输量提高服务即时性，但其星上系统综合代价过大，很难适应公众海量高频次遥感数据的多样化应用需求；并且百颗量级的卫星数量明显过少，不足以实现对全球任意区域的分钟级长时期时空连续监测。因此，在发展百颗数量级、单颗卫星综合成本数千万元的专业遥感卫星星座的同时，仍需考虑发展更大规模（万颗数量级）更低成本（单星新增成本数百万元）的大众化卫星星座。

总的说来，从遥感领域内部提出的解决方案更多的是注重技术创新、侧重于供给端遥感卫星

星座建设，需要从需求端更深入分析公众用户需求及其实现形式，开展产业全局层面的体系化设计。结合前面的分析，可以用一句话概括产业化困局的核心——卫星遥感的时空连续监测与即时服务能力建设所需要的巨额成本和既有商业模式下的产出回报有限之间存在巨大的落差。因此首当其冲的应当是商业模式的破局。只有在商业模式创新的基础上进行相应的技术方案设计，才有可能真正实现遥感用户的大众化规模化。

4 基于共享经济的商业模式破局

4.1 数据要素化与共享经济

数字经济时代数据成为核心生产要素。数据要素价值创造的核心要求是海量数据的社会性规模化复用。通俗地说，就是要数据从一处产生，在多处被利用。数据的复用度越高，数据的价值创造越大，数字经济越发达。对于卫星遥感产业，其数据的复用潜力巨大——我们都生活在同一个地球空间，卫星遥感的观测数据完全可以而且应该在各行业被大规模共享复用。

应当牢牢把握数据共享复用这一核心要义来重塑卫星遥感产业，变原有的“用户少一定价高一用户更少”负循环为“用户多一定价低一用户更多”正循环。从成本分摊的角度，需要尽可能扩大用户数量以摊薄数据获取成本费用；从价值创造的角度，需要尽可能扩大用户数量拓展更多应用场景以获得更大的数据价值收益。简而言之，就是要将目前面向低频高价的少量政企用户（主要为高层级政府部门）的市场模式，转变为主要面向高频低价的海量公众用户（To C、To B以及基层政府部门）的市场模式。

也只有从共享复用的角度出发，日积月累沉淀的遥感存档数据才能真正焕发出潜在价值——一方面避免了即时数据高昂的采集处理成本只能由当期有限用户承担，另一方面海量历史数据可支撑人工智能（AI）大模型等的价值挖掘，存量数据价值创造的长尾效应将会造就一座巨大的生生不息的数据“金矿”。

模式转变中的核心关键词是“低价格”。从根本上看，要实现大众应用的必备条件是低使用成本，只有低成本才能被大众接受用于日常生活，只有通过汇聚海量大众客户实现成本分摊才能为

产业带来更大发展空间。而支撑实现“低价格”的条件是：预期用户群体的急速扩充、数据资源的持续复用和初始投资成本的尽可能节省。

4.2 分层次的用户遥感需求

不同类型的用户群体具有不同的遥感应用需求。根据群体数量规模的大小逐一分析。

(1) C端用户。规模数量最大的C端用户到底需要什么样的遥感服务？从遥感的4大分辨率看，空间分辨率达到亚米级特别是0.5 m分辨率左右目前已经基本够用，但以周或更长时间为单位的时间分辨率却远远不够，门槛需求是分钟级响应，理想的情况是实时视频化。而光谱分辨率和辐射分辨率则几乎不被关注。可以将C端用户的卫星遥感需求简单理解为“太空快照”——即“看”和“发现”的需求，满足人对照片的要求即可，即时性是核心诉求。这就带来一个启发：主要面向C端用户的卫星遥感载荷完全可以更轻量简化，甚至可设想为将工业相机挂载到卫星上，以最大限度节省初始投资成本。

对于C端用户，“太空快照”的产品价值是什么？类似于地图查询的（近）实时影像服务——例如今日目的地人流车流情况、家乡老宅的当前状况、所订购农产品的生长情况等。如果收费足够便宜，特别是如能作为增值服务选项嵌入手机用户业务，不乏有一定比例用户愿意“尝鲜”。设想每年100—200元的会员订阅制基础收费，对应提供每天1张/全年累计300多张的任意地物（近）实时影像。按照全国14亿人的5%渗透率，用户数可达7000万，年收入约70—140亿元。

(2) B端用户。B端用户可简单划分为两种情形：一种是运输物流等侧重运动轨迹数据的客户，其至少需要按日响应的数据，空间分辨率要求亚米级及以下，不关注光谱分辨率和辐射分辨率，与个人用户的“照片”式需求有很大趋同性。同时，其关注区域或地点与自身业务情况密切相关，一定时间周期内的目标呈规律稳定性；另一种是农业林业等侧重确定区域长时间连续观测的客户，其时间间隔频率可接受周或旬，空间分辨率要求亚米级，对光谱分辨率、辐射分辨率有要求，并有对遥感影像解译等专业深度需求。

B端用户的遥感观测/监测需求在发展初期较难成规模，暂不单独考虑；但在发展到一定阶段

（遥感数据实现时空连续监测）后，B端用户需求将迎来爆炸式增长，相应的分析留待后文探讨。

(3) G端用户。G端用户也可简单划分为2种情形：一种是国家部委及省市政府部门等高层级政府部门用户（现有的遥感主力客群），要求广域覆盖和连续监测，除应急等情况外数据即时响应需求不高，数据更新频次按季即可满足需求，自然资源、水利、环保等部门对光谱分辨率、辐射分辨率有专业要求；另一种则是县区级基层政府部门用户，要求所管辖区域覆盖和连续监测，数据即时响应需求高，数据更新频次最好到周（甚至到日级别），自然资源、水利、环保等部门对光谱分辨率、辐射分辨率有专业要求。

对基层政府部门用户的需求付费形式同样主推会员订阅制。设想每年100—200万元的基础收费，对应提供每周1幅遥感影像及相关数据，按全国近3000多个县区行政单位，年收入可达30—60亿元。

4.3 低轨通信卫星星座建设带来的变革契机

以最有代表性的全球低轨巨型通信卫星星座——美国太空探索技术公司（SpaceX）的“星链”（Starlink）为例，其计划分3期建成，总规模接近4.2万颗卫星。截至2023年底，已有近6000颗卫星在轨运行。单颗卫星的制造及发射成本已降至100万美元以下。2023年底“星链”服务已进入全球60多个国家和地区，全球用户数量突破230万，已实现盈亏平衡。用户付费水平及速率方面，“星链”标准服务每月收费约120美元，实测多数地区速度达到70—220 Mbps。从商业化逻辑看，“星链”已完全实现模式闭环。

站在国际竞争的角度，太空轨道资源具有稀缺性和排他性。根据国际电信联盟（ITU）规定，卫星频率及轨道使用权采用“先登先占”规则。据估计，地球近地轨道总共可容纳约6万颗卫星。而“星链”星座已经占有超过十分之一，并仍在持续增加中。中国和欧洲、日韩等国家和地区也都相继提出了卫星通信网络建设计划，中国目前规划了3个万星星座，由央企中国卫星网络集团有限公司牵头的由1.3万颗卫星组成的星网星座（GW）、由地方国企上海垣信卫星科技有限公司牵头的由1.5万多颗卫星组成的千帆星座（G60）、由民企上海蓝箭鸿擎科技有限公司提出的由1万颗卫

星组成的鸿鹄3星座。其中，千帆星座已经开建，2024年8月发射了第一批18颗卫星，截至2025年1月已完成4批发射，组网卫星超过82颗。

随着低轨通信卫星星座商业模式创新、卫星轻小型化等相关技术进步以及大国博弈太空竞赛加速，长期以来的卫星遥感产业化困境有望被彻底打破。——但首先需要破除“通信卫星、遥感卫星”分列的传统认知壁垒。事实上，通信属于典型的C端需求，全球智能手机用户数高达43亿人（占全球人口的55%）。仅全球排名第一的中国移动一家运营商的用户数已突破10亿，2023年营业收入过万亿，净利润超过1300亿元。而根据美国北方天空研究所（NSR）报告，2022年全球卫星遥感数据市场总收入约44.38亿美元，其中原始数据（包含0级产品）约13.34亿美元（林仁红等，2022）。——从全球口径看，通信业务规模是遥感数据业务规模的200倍以上。

因此，卫星遥感走向公众服务的必然选择就是抓住全球通信卫星星座建设的契机主动向广大的通信用户群体渗透，将卫星遥感功能融入到通信卫星星座建设中，具体实现方式是在单颗通信卫星上增设轻量化遥感载荷，在此基础上再反过来推动卫星遥感产业变革。——“通信卫星+轻量化遥感载荷”方式的发展，完全可以借鉴“手机+摄像头”相对于专业单反相机的后来居上发展历程。

此外，再从成本投入的角度讨论。要满足遥感监测的实时化需求，需要遥感卫星星座全时覆盖全球。全时通信覆盖全球需要上万颗低轨通信卫星，假设遥感卫星也达到同等量级，按现有遥感卫星每颗千万级的成本，独立组建遥感卫星星座将是千亿级的天量投入。而通信卫星千亿级的投资成本（按1000万/颗×1万颗估算）理论上可通过大众通信服务（将卫星通信与地面网络融合）收回，在此基础上增加遥感载荷投资为百亿量级（按每颗卫星增加轻量化遥感载荷成本及分摊发射费用约数百万估算），即可实现全球全时覆盖。显然，直接在通信卫星上增加轻量化遥感载荷的方式无疑是更具成本优势的。

4.4 新商业模式与实现路径

（1）遥感新商业模式：低定价+海量用户+卫星连续“快照”。在此，提出卫星遥感产业的新商

业模式，即：以订阅制“低定价”为核心特征，以海量用户为基础，以卫星时空连续“快照”为主要数据形态；通过C端（及G端）业务收费覆盖卫星星座遥感载荷投资，形成商业闭环，实现卫星遥感数据时空连续覆盖；再通过数据的共享复用，赋能B端千行百业，获得长期持续收益。简言之，第一步依靠C端用户和G端基层用户“求生存”，第二步依靠B端用户“谋发展”。

从长期价值看，一旦上述“通+感”卫星巨型星座成为现实，那么困扰遥感行业多年的数据现势性、服务即时性等技术难题将迎刃而解，地球上空将多了一组由卫星星座组成的无时无处不在的“天空之眼”（“天眼”）。除了现有的遥感数据用途外，这可作为社会经济活动共同的时空记录存证，由于时空轨迹的客观性和大数据交叉验证难伪造特点，将产生海量的各行各业存证需求——类似于现有的城市视频监控数据，一旦发生交通事故或是治安事件，纷纷调取视频监控查找线索。同时，持续的遥感观测将为各行各业的大数据分析提供详尽的时空基础数据，便于从时空变动的角度分析地物发展变化情况、作物生长收获以及商品运输流通状况等，对具体行业领域的业务场景将发挥巨大的赋能价值。因此，预计B端业务的发展空间至少是百亿规模量级起步的。在服务及付费模式上可考虑“基础数据订阅+项目增值服务（数据、算法及算力结合）分成”方式。

另外，从卫星遥感反哺卫星通信业务的层面看，卫星通信业务流量多集中在地面蜂窝网络设施缺失的人口稀少地区，用户数量相对有限，单纯依靠此项业务收入摊销星座建设巨额成本压力大；而卫星遥感业务流量多集中在人口密集的城市地区，业务收入规模可达每年百亿量级，还可为通信卫星带来海量数据通讯流量业务，两者具有很强的业务协同互补性。因此，从商业合作的角度，将卫星遥感作为卫星通信业务的一项协同增值服务，不仅能够丰富服务内容、有助于用户拓展，更可带来每年真金白银百亿量级收入，对于卫星通信业务经营主体也将是极具吸引力的好提议。

（2）实现路径：遥感公众服务平台+新型卫星系统。在商业模式确立后，需要进行相应的业务载体（商业遥感公众服务平台）和技术设施（新型卫星系统）设计。本质上，这三者是对应前文

中提到的卫星遥感产业化3个难题,“用不起”问题通过新商业模式解决,“用不好”问题通过商业遥感公众服务平台解决,“用不上”问题则通过新型卫星系统解决(图1)。

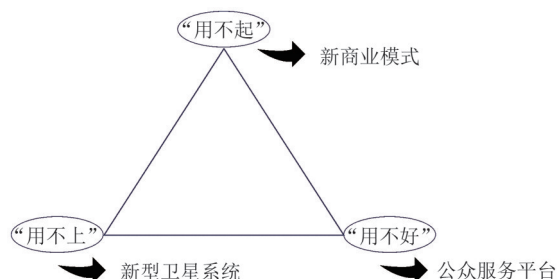


图1 卫星遥感产业转型3个关键维度

Fig. 1 Three key dimensions of satellite remote sensing industry transformation

要实现遥感服务大众化、提高遥感数据共享复用度的关键做法是打造一个创新的商业遥感公众服务平台载体,打通海量数据到海量需求间的通道。在供给端,通过平台整合数据、算力、算法和应用,通过产业链分工合作建立共享商业模式,提升数据和技术能力、降低业务成本;在需求端,通过平台建立共享型商业模式,持续拓展平台用户规模,扩展卫星遥感应用领域和创新大众应用消费方式。也正是有了这一新的专业化的商业实体存在,才有可能实现卫星遥感产业链的深度整合,避免现有的卫星运营企业或是数据应用企业违背产业分工规律试图一家实现全链条的弊病。

要实现卫星遥感时空连续监测甚至全球全时覆盖的必要设施基础是建设由“通+感”卫星构成的新型卫星系统。这一卫星系统由数千至上万颗地球低轨卫星组成,同一颗卫星同时具备通信和遥感功能;同时,要彻底改变传统的卫星遥感数据下传依赖地面站的做法,核心思路是复用卫星与地面海量移动终端的数据链路,打造卫星遥感数据下传的“毛细血管”,实现卫星遥感“即拍即传”。在机制设计上要从数据要素共享复用角度,在取得用户事先同意的前提下,创新激励用户将自身主动获取的遥感数据共享至公众服务平台,或者由平台设置遥感数据下传接收并分发的任务,由用户响应。

5 商业遥感公众服务平台设计

5.1 平台定位、服务模式与核心功能

平台定位为卫星遥感商业化一站式在线服务平台,其核心价值可概括为“遥感数据的资源平台、遥感服务的聚合平台、遥感生态的培育平台”,需要涵盖算力、算法和数据3要素,通过DaaS、SaaS、PaaS、IaaS等综合协同方式赋能千行百业和千家万户。可类比为卫星遥感领域的“天猫”平台。

平台自身不生产数据,也不直接针对最终用户提供解决方案,而是发挥“链接”职能,一侧聚合数据、技术、算力等服务商,另一侧聚合终端用户,以在线服务的方式实现供需对接和成果交付。和一般的以信息撮合为主的互联网平台不一样的是,由于遥感数据的专业度复杂度高,平台须从一开始就主动建立一套数据标准和数据接口规则,其核心技术原理是利用地球剖分网格技术的“时空融合”特性,打通遥感产业链数据,包括数据采集、加工、检索、分发、计算等。

具体而言,利用时空网格编码相关国家标准,建立基于网格的标准化数据服务框架,打破卫星遥感影像以“景”为单位的概念,全面兼容多源数据。除卫星影像数据外,其它空间地理数据也按时空网格编码分层次对应,方便数据统一接口处理。数据按照标准化接口引接到平台,再通过平台标准化接口能力、引擎等支撑对用户统一标准的数据服务、接口服务、应用服务。

平台技术功能方面,首先是实现平台引接的海量多源异构数据的统一组织、高效检索和可视化展示;其次是集成国内主要GIS软件厂商系统的数据服务与应用,并与互联网企业大数据平台以标准化接口对接;再是与第三方服务商合作提供便捷、高效在线应用,采用人工智能技术和海量算力支撑数据在线处理,实现即查即看即用和按需服务;最后是与第三方服务商合作,提供数据标注及数据分析模型服务,与用户业务深度融合构建遥感应用业务模型。

5.2 基于“可信数据空间”的数据要素流通

可信数据空间TDS(Trusted Data Space)是围

绕跨域跨主体数据流通需求，针对全社会数据流通基础设施建设所提出的综合性解决方案（李林等，2024）。就内涵而言，可信数据空间既是体系化的技术安排，涵盖数据使用控制、可信执行环境、可信传输、密码、身份认证等多种技术；也是分布式的数据基础设施，由多层次节点组成统一技术框架下的网络化平台；还是多元化的数据生态系统，由平台基本服务和数据服务商增值服务等组成多层次服务体系。

商业遥感公众服务平台要实现开放式数据资源和技术资源共享，保障各个资源提供方的数据/技术权益和商业收益，须遵循“可信数据空间”的思想和技术体系建设运行。数据提供方的“数据自主权”得到严格保护，所有原始数据都存储在数据提供方本地，数据对象遵从数联网技术规则进行封装并向平台发布数据标识及元数据，数据流通交易时平台提供数据提供方、数据需求方以及第三方服务商之间的使用控制、可信传输、可信存证等多重服务保障，确保数据要素流通“可用不可得，可控可计量”。

特别地，在线化服务是平台的关键性基本要求。从数据要素流通的角度，只有全过程在线化（不脱离中立性平台的控制范围），才能最大限度保护数据提供方的权益。当然，平台也无权读取流通中数据的具体内容。数据需求方在平台上在线调取受许可的数据和算法，使用平台合作提供的算力资源，得到所需要的数据分析成果。该成果经过一定的校核流程后可下载到本地使用——校核的目的是防止仅限本次许可使用的数据被擅自复制传播。

5.3 遥感数据处理与服务交互设计

遥感数据处理流程：从数据来源看，当前阶段仍是接入现有的国家机构卫星、商业卫星以及国内外各类开源数据。需要做出改变的是数据处理方式。不同于传统的以卫星（观测者）为中心的数据处理方式，将卫星的一次观测范围成像；而是以地面区域（被观测者）为中心进行数据处理，将某一层级网格对应的地面区域成像。这样就能方便地按网格进行数据局部灵活更新，同一网格可承载多颗卫星采集数据，从而保证服务平台能够动态提供（近）实时的全局数据，也就能

按照用户需求快速提供按网格或网格组合的高时效性数据及存档时序数据。

数据服务交互设计：在当前阶段，尚无法实现根据用户需求对卫星进行任务调度，因此服务平台应组织资源日常化自行维护全局（理想状态为全球）数据更新——即使未接到用户需求订单。公众用户可随时指定某一区域要求获取其最新数据，服务平台第一时间搜索到该区域的时间最接近数据进行即时推送——未必能100%符合用户时效需求。当然，除了时效性的需求外，数据的时间序列化、空间截面化等需求也是明确的，平台应组织资源进行海量存档数据的整理，为进一步的数据分析提供基础条件。

商业遥感公众服务平台继承了“遥感集市”/遥感云服务平台的基本思想，其创新之处在于：（1）不再强调所有的数据资源、算力资源等都由平台本身所拥有，平台更多的体现合作共建的“共享经济”特征，不与供给方直接竞争；（2）平台强调技术规则的统一性和服务的中立性，以用户数量和GMV（Gross Merchandise Volume 商品交易总额）为核心指标；（3）在初期缺乏交易量时，平台主动向遥感卫星企业支付数据接口维护费和数据使用保底费，以换取公众对卫星遥感数据使用的低价格门槛。

总的说来，在新型卫星系统尚未完全建成的条件限制下，通过商业遥感公众服务平台可解决用户“用不好”的问题，并通过制订较低门槛价格的方式解决用户“用不起”的问题（市场培育阶段平台可能面临先期亏损）。

6 “通+感”新型卫星系统建设

6.1 新型卫星系统：通信卫星星座+遥感载荷

所谓新型卫星系统，是指依托已规划的通信卫星星座，在每颗卫星上增设低成本遥感载荷来实现“通+感”一体化。因为相对于某一地面区域，任意时间低轨通信卫星星座中总有一颗或几颗卫星会存在于该区域上空（通信链路属于通视范围），因此相当于依靠多颗卫星“接力”的方式，直接规避了传统遥感卫星的单颗或多颗固定周期重访问题，实现对服务区域的时空连续监测。同时，从满足公众用户“照片”可视化的需求角

度, 绝大部分的遥感载荷性能参数可能只需要工业相机级别, 这就有利于载荷的轻量化。需要特别说明的是具备遥感功能的新型“通+感”卫星并不替代传统的专业化遥感“大卫星”。前者主要满足大众用户需求, 数量众多而遥感性能参数偏弱; 后者主要满足专业用户需求, 数量稀少而遥感性能参数强。双方是分工与合作关系。

当然, 虽然原理相通, 但“通+感”新型卫星系统绝非手机加相机这么简单。多功能合一的轻量化载荷、拍摄任务分发与控制、通信链路分配等均是困扰系统建设的重点问题, 而技术集成、数据融合亦是关键难点, 这些都可能导致系统建设成本的居高不下。目前北京大学遥感研究团队在新型传感器以及矢量遥感数据处理等方面取得突破(晏磊等, 2018), 实现多功能合一的轻量化遥感载荷与通信卫星技术集成、基于轻量载荷的遥感数据快速成像处理已成为可能, 为低成本建设“通+感”新型卫星系统提供了重要的技术支撑条件。

如下图2所示, 在数据“获取—传输—处理”流程上, 遵循“分布式‘快照’—实时下传—地面汇聚处理”的整体思路, 利用通信卫星可以直接通过地面小型天线连接用户手机的特点(现少

量手机已实现直连卫星), 由手机用户根据自身需要直接向经过所要拍摄区域的卫星发送拍摄指令(拍摄本地实时影像), 或经由所在地卫星中继指令(拍摄异地实时影像), 卫星拍摄影像后按指令通信相反的路径即时下传至手机用户处。同时, 在事先取得用户同意的前提下, 通过地面蜂窝网络将本次影像数据同步至地面统一的遥感数据云平台(作为商业遥感公共服务平台的一部分), 由云平台进行后续深度处理。这就实现“即拍即传即看”, 解决前文所提到的用户“急用时用不上”问题。

在技术实现上, 这就相当于将目前少量的卫星地面接收站扩展为海量的地面小型移动接收终端, 形成星地数据传输的海量“毛细血管”, 从而有效破除数据地面接收的瓶颈问题。同时, 在商业模式上, 实现了对真实需求的确认, 避免了现有模式需求不明但数据采集下传成本持续累积的弊病。此外, 通过众多用户实现了影像拍摄和数据下传的成本分摊, 存档数据用于更多用户的共享复用, 其收益还可通过公共服务平台以一定机制与前期成本分摊者进行分享, 形成了基于遥感数据的共享经济模式闭环。

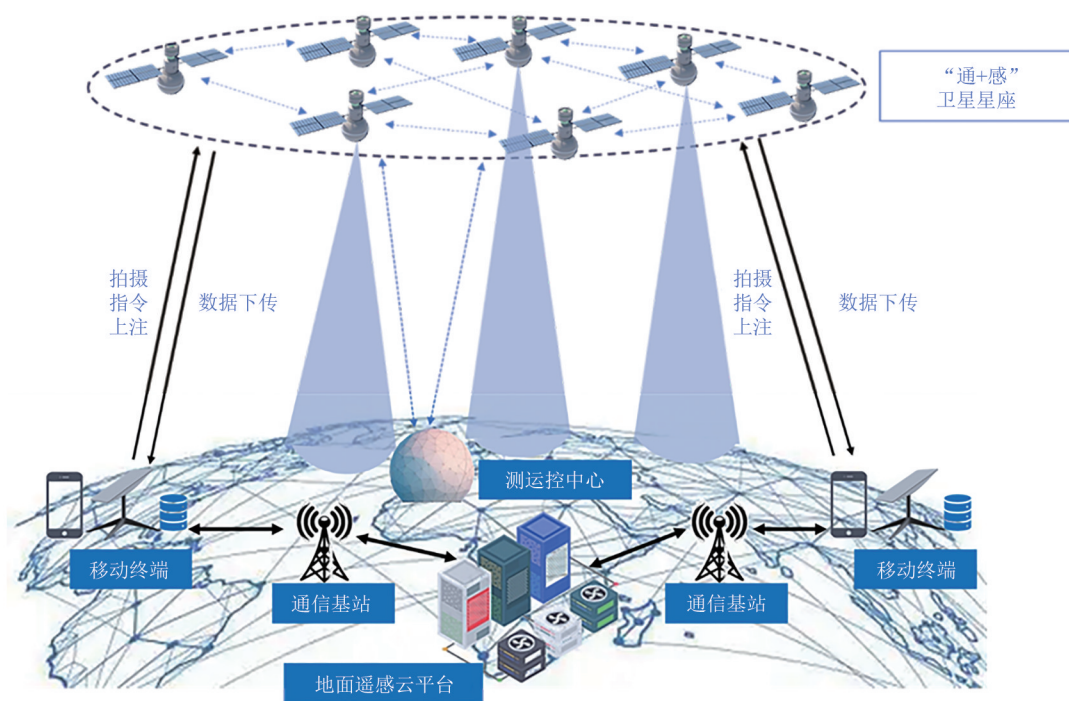


图2 新型卫星系统遥感数据“获取—传输—处理”流程

Fig. 2 The process of obtaining, transmitting, and processing remote sensing data for the Novel Satellite System

6.2 数据处理关键技术及与现有智能遥感星座方案的比较

在新型卫星系统里，地面的测运控中心负责星座整体运行控制，地面的遥感数据云平台负责卫星星座采集遥感数据的统一汇聚和处理；地面移动终端可直接向过顶卫星发出拍摄指令，默认情况下该卫星即时响应拍摄并下传数据至该地面用户，如不属于该卫星拍摄范围则向适合的卫星转递指令。当然，为保障卫星系统的安全运行和避免不必要资源开销，公众用户指令可仅限于拍摄“*Yes or No*”，不涉及卫星轨道和遥感载荷参数等的调整。

在设想的“手机用户随机发起需求——卫星即时拍摄响应”服务模式下，涉及海量卫星的拍摄、海量地面终端的接收以及海量用户的需求满足，从数据组织和任务组织的角度内在需要时空网格技术和人工智能技术的支撑：

(1) 时空网格技术以空间网格的相对稳定来应对对象事物的千变万化，为地球空间大数据组织提供了底层技术框架（李林 等，2021）。具体而言，事先将全球地表区域网格化，用户点选具体目标区域，生成网格编码（对应区域一般大于用

户目标区域，可保护用户关注隐私）。卫星按预设的面积规格（同样遵循网格规则）拍摄并下传用户，用户终端设备 APP 处理形成简化的照片式影像以供用户浏览，而包含更多信息的卫星原始数据则共享分发到地面遥感数据云平台以进行深度处理和分析。——云平台负责维持基于时空网格框架的全球遥感数据动态更新。

(2) 人工智能技术则为多时态同区域数据处理、目标识别解译、快速变化检测等遥感数据内容处理以及星上的拍摄任务统筹与调度等提供了高效的技术工具手段。手机用户以及其所关注目标区域在地理空间分布上是不均匀的，随着整体系统运行积累一定数据量后，可通过人工智能技术实现对用户及其所关注目标区域的较精准预测，实现趋同任务合并、最接近成果的智能推送等。考虑到同样计算任务在地面处理的综合成本远远低于星上处理，结合 AI 的海量遥感数据内容处理均不放在星上，而只有过顶卫星对用户指令的即时判别反馈需要放在星上解决。

基于通信卫星搭载低成本遥感载荷的“通+感”新型卫星系统与目前的智能遥感卫星星座（“通导遥一体化”）方案的对比如表1所示。

表1 新型卫星系统与现有智能遥感星座方案对比
Table 1 Comparison between the “Novel Satellite System” and the available “Intelligent Remote Sensing Satellite Constellation” Solutions

区别点	新型“通+感”卫星系统	现有智能遥感星座
卫星数量	数千至上万颗	百颗级
卫星功能	同一卫星具有“通信+遥感”功能	遥感卫星仅有遥感功能；数据通过通信卫星中继传输
时空连续覆盖能力	强	弱
单颗卫星遥感性能	非专业	专业级
星上遥感数据处理能力	弱化	强化（星基边缘云）
卫星拍摄任务调度能力	强化	不强调
数据“获取—传输—处理”主要流程	用户指令—卫星“快照”—实时下发（手机终端接收并简单处理）—地面云平台汇聚深度处理	用户指令—遥感卫星“拍照”—星上处理—通信卫星中继传输—地面手机端接收

此外，从体系性构建的角度，新型卫星系统建成后，将能够彻底解决用户（急用时）“用不上”的问题。前端加入新型卫星系统，后端辅以商业遥感公众服务平台，可构成对卫星遥感新商业模式的完整支撑。

7 讨 论

7.1 模式创新：以卫星遥感主动融入卫星通信为特点，以C端用户为突破口

卫星遥感传统商业模式可概括为“少量用户+

低频高价”，新型商业模式可概括为“海量用户+高频低价”。但如何才能真正实现这种转变呢？首先需要从思维认识上“跳出遥感做遥感”，积极把握低轨巨型通信卫星星座建设的重大发展契机，主动将遥感卫星化整为零作为遥感功能载荷加载到通信卫星上，并利用通信卫星与地面终端的通信链路解决传统卫星遥感数据无法即时下传问题。其次，新商业模式成立的一个关键支点是初期尽快获得千万量级的C端用户。要深入剖析C端用户的消费特征规律，其是可能为一些看似实用功能不强的服务买单的。特别是在实践中，要充分利用大众通信（手机）业务的庞大用户群体优势，将遥感作为通信业务的增值服务选项来提高用户渗透率。

7.2 以最经济方式实现遥感全局连续观测和(近)实时服务

首先，抓住低轨巨型通信卫星星座建设的契机，以尽可能少的新增投入增设遥感载荷，通过卫星星座实现对任意区域的连续观测，规避了依靠单一或少量卫星所不可避免的重访周期问题；其次，利用通信卫星与地面小型接收终端（或手机）的通信链路将遥感采集数据即拍即传，有效化解了现有遥感卫星地面接收窗口时间有限的顽疾；再次，尽可能不增加星上数据处理成本，充分利用地面计算资源，由地面通信网络将数据传输至数据服务平台处理，有效控制系统性整体成本；最后，利用时空网格技术优势，做好基于网格的遥感数据日常灵活更新维护和个性化按需分发，实现面向公众的遥感数据（近）实时服务。通过上述措施彻底解决传统遥感服务即时性不足的弊病。

7.3 遥感公众服务平台数据整合后增值服务潜力空间巨大

遥感公众服务平台汇聚以“通+感”新型卫星为主体、专业遥感卫星为补充的遥感大数据，基于时空网格技术进行数据资源整合，可形成全局性连续观测遥感数据“底板”（假定按分钟级的时间分辨率）——这将是前所未有的实时地球数字孪生影像！首先，可作为各行各业共同的时空记录存证，发展成为对卫星遥感的普遍性规模化新

需求。其次，可通过连续影像的数据针对各行各业时空活动进行深度知识挖掘，形成与业务深度融合的服务方案，其赋能千行百业的发展空间极其巨大。再次，针对当前数据要素流通的共性瓶颈问题，遥感公众服务平台可率先探索实现遥感大数据的共享复用，并基于此统一的时空数据“底板”承载组织各行业领域业务数据，助力推动全社会数据要素化发展进程。

8 结 语

数字经济时代数据作为生产要素越来越强调共享、流通与复用，卫星遥感数据具有地球空间这一时空最大“公约数”，应当发挥巨大的赋能价值。面对长期以来存在的中国卫星遥感产业化困局，以当前低轨巨型通信卫星星座建设为契机，本文提出在通信卫星上增设遥感载荷、形成“通+感”新型卫星系统的原创性设想，并提出打造商业遥感公众服务平台，实现“少量用户+低频高价”传统模式向“海量用户+高频低价”新型商业模式的转变。“商业模式”、“业务载体”、“技术设施”这三者构成了相对完整的系统性解决方案。其内在根本逻辑是遵循数字经济发展规律，发挥数据要素的共享复用价值，形成基于遥感大数据的平台共享经济。

特别地，从商业模式的可实现性看，传统模式下遥感卫星星座投资数十亿至数百亿元，年收入仅数亿元，商业投资回报率偏低，不具有可持续性；而本文设想的新型“通+感”卫星系统新增投资为数百亿，仅考虑国内市场，公众服务（C端用户为主）年营收就有望达到百亿量级，能够支撑初始一次性投资成本。且在实现时空连续监测和遥感实时服务的基础上，利用商业遥感公众服务平台载体，未来在B端用户市场还有着巨大的价值创造空间。总的说来，卫星遥感新商业模式具有较强的可实现性。

因此，应当把握机遇，做好顶层设计与全局资源统筹，在新一轮太空竞赛大国博弈中“跳出遥感做遥感”，通过创新性的制度安排牵引中国卫星遥感产业转型，实现产业高质量跨越式发展，并为中国卫星遥感产业出海参与全球竞争创造条件。

参考文献 (References)

- Cui S W, Zhang X L and Zhang Y K. 2024. Overview of the development of commercial remote sensing satellite industry at home and abroad. *Satellite Application*, (5): 33-38 (崔少伟, 张晓磊, 张宜坤. 2024. 国内外商业遥感卫星行业发展概述. *卫星应用*, (5): 33-38) [DOI: 10.3969/j.issn.1674-9030.2024.05.009]
- Li D R, Shen X, Ma H C and Zhang G. 2014. Commercial operation of China's high-resolution earth observation system is imperative. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 39(4): 386-389 (李德仁, 沈欣, 马洪超, 张过. 2014. 我国高分辨率对地观测系统的商业化运营势在必行. *武汉大学学报(信息科学版)*, 39(4): 386-389) [DOI: 10.13203/j.whugis.20140118]
- Li D R. 2016. The "Internet Plus" space-based information services. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 20(5): 708-715 (李德仁. 2016. 论“互联网+”天基信息服务. *遥感学报*, 20(5): 708-715) [DOI: 10.11834/jrs.20166224]
- Li D R, Wang M, Shen X and Dong Z P. 2017. From earth observation satellite to earth observation brain. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 42(2): 143-149 (李德仁, 王密, 沈欣, 董志鹏. 2017. 从对地观测卫星到对地观测脑. *武汉大学学报(信息科学版)*, 42(2): 143-149) [DOI: 10.13203/j.whugis.20160526]
- Li D R, Ding L and Shao Z F. 2021. Application-oriented real-time remote sensing service technology. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(1): 15-24 (李德仁, 丁霖, 邵振峰. 2021. 面向实时应用的遥感服务技术. *遥感学报*, 25(1): 15-24) [DOI: 10.11834/jrs.20210260]
- Li D R. 2023. From the Luojia series satellites to the oriental smart eye constellation. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 48(10): 1557-1565 (李德仁. 2023. 从珞珈系列卫星到东方慧眼星座. *武汉大学学报(信息科学版)*, 48(10): 1557-1565) [DOI: 10.13203/j.whugis.20230331]
- Li D R, Wang J Y and Wang M. 2024. Suggestions for the development of commercial remote sensing satellite systems in China. *Satellite Application*, (5): 6-10 (李德仁, 王珈樱, 王密. 2024. 中国商业遥感卫星系统发展建议. *卫星应用*, (5): 6-10) [DOI: 10.3969/j.issn.1674-9030.2024.05.003]
- Li L, Cheng C Q and Ren F H. 2021. Beidou Grid Code: CIM spatio-temporal grid framework for digital twin cities. *Information and Communications Technology and Policy*, (11): 1-5 (李林, 程承旗, 任伏虎. 2021. 北斗网格码: 数字孪生城市CIM时空网格框架. *信息通信技术与政策*, (11): 1-5) [DOI: 10.12267/j.issn.2096-5931.2021.11.001]
- Li L, Ren F H, Cai H Q, Dong J H and Ye Z S. 2024. Conception of new trusted data matrix system based on spatio-temporal coding and internet of data technology. *Information and Communications Technology and Policy*, 50(6): 89-96 (李林, 任伏虎, 蔡华谦, 董锦华, 叶自荣. 2024. 基于时空码和数联网技术的新型“可信数据空间”体系构想. *信息通信技术与政策*, 50(6): 89-96) [DOI: 10.12267/j.issn.2096-5931.2024.06.013]
- Lin R H, Liu B, Ding J and Zheng Y. 2022. Commercial satellite remote sensing data market and operation services. *Satellite Application*, (4): 45-49 (林仁红, 刘铂, 丁洁, 郑艺. 2022. 商业卫星遥感数据市场与运营服务. *卫星应用*, (4): 45-49) [DOI: 10.3969/j.issn.1674-9030.2022.04.013]
- Liu D S. 2020. PIE 6.0 remote sensing product system and application services. *Satellite Application*, (5): 15-21 (刘东升. 2020. PIE 6.0 遥感产品体系及应用服务. *卫星应用*, (5): 15-21) [DOI: 10.3969/j.issn.1674-9030.2020.05.007]
- Nie X F, Zhao F R, Liu D P, Weng X W and Wang J D. 2014. The current situation and development strategies of China's commercial satellite remote sensing industry. *Aerospace China*, (5): 20-23 (聂学峰, 赵锋锐, 刘大鹏, 翁浔玮, 王久东. 2014. 中国商业卫星遥感产业的现状及发展对策. *中国航天*, (5): 20-23) [DOI: 10.3969/j.issn.1674-098X.2014.20.010]
- Ren F H and Wang J N. 2012. Turning remote sensing to cloud services: technical research and experiment. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 16(6): 1331-1346 (任伏虎, 王晋年. 2012. 遥感云服务平台技术与实验. *遥感学报*, 16(6): 1331-1346) [DOI: 10.11834/jrs.20121180]
- Tong Q X. 2021. Going along with the progress of remote sensing: for the 25th anniversary of the renaming of the Journal of Remote Sensing. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 25(1): 1-14 (童庆禧. 2021. 与遥感发展同行——纪念《遥感学报》更名25周年. *遥感学报*, 25(1): 1-14) [DOI: 10.11834/jrs.20211031]
- Tong Q X. 2023. The current situation and improvement ideas of remote sensing technology and industrialization development in China. *Development Research*, 40(6): 1-5 (童庆禧. 2023. 中国遥感技术和产业化发展现状与提升思路. *发展研究*, 40(6): 1-5) [DOI: 10.3969/j.issn.1003-0670.2023.06.003]
- Wang M, Wu Q Y, Xiao J and Yang C. 2023. Key technologies on "Cloud-Edge-End" collaborative intelligent service of low-orbit giant constellation[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 48(8): 1256-1263. (王密, 仵倩玉, 肖晶, 杨晨. 2023. 低轨巨型星座遥感信息“云一边一端”智能服务关键技术. *武汉大学学报(信息科学版)*, 48(8): 1256-1263) [DOI: 10.13203/j.whugis.20220767]
- Yan L, Gu X F, Chu J H, You Z, Liu S Y, Motimor H and Chandrasekar V. 2018. quantitative remote sensing and new polarization remote sensing fields. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 22(6): 901-916 (晏磊, 顾行发, 褚君浩, 尤政, 刘世元, Motimor H, Chandrasekar V. 2018. 高分辨率定量遥感的偏振光效应与偏振遥感新领域. *遥感学报*, 22(6): 901-916) [DOI: 10.11834/jrs.20187380]
- Zhao X, Wang Z J, Qu H J, Sun Z. 2017. Exploration of several issues in the industrialization of remote sensing applications in China. *Satellite Application*, (10): 39-44 (赵新, 王战举, 屈鸿钧, 孙曌. 2017. 中国遥感应用产业化中的若干问题探讨. *卫星应用*, (10): 39-44) [DOI: 10.3969/j.issn.1674-9030.2017.10.008]
- Zhong R F, Li Q Y, Zhou C P, Li X J, Yang C K, Zhang S, Zhao K and

Du Y. 2022. Design and implementation of global remote sensing real-time monitoring and fixed-point update cloud platform. National Remote Sensing Bulletin, 26(2): 324-334 (钟若飞, 李清扬,

周春平, 李小娟, 杨灿坤, 张思, 赵可, 杜雨. 2022. 全球遥感实时监测与定点更新云平台设计与实现. 遥感学报, 26(2): 324-334 [DOI: 10.11834/jrs.20211326]

Thoughts on the transformation of China's satellite remote sensing industry in the digital economy Era

REN Fuhu¹, LI Lin^{1,2}, DONG Jinhua¹

1. Institute of Earth and Space Technology, Peking University International S.&T. Innovation Center at Lin-gang Special Area, Shanghai 201306, China;

2. Spatio-temporal Big Data Center, Mindu Innovation Laboratory, Fuzhou 350108, China

Abstract: China's satellite remote sensing industry is facing the developmental dilemma of being "well developed infrastructure but underdeveloped commercial sector". From the perspective of remote sensing user there are three major difficulties: "inaccessibility, complexity, and unaffordability". Dealing with these challenges, the authors propose a systematic solution in three aspects: transitioning the business model from "limited users + low-frequency high-cost" to "massive user base + high-frequency low-cost"; establishing an open remote sensing data aggregation and public service commercialization platform as the operational vehicle; and constructing a novel satellite system featuring continuous temporal-spatial coverage through integrating remote sensing payloads with communication satellites.

The fundamental logic underpinning this solution lies in aligning with digital economy principles by leveraging the shared reuse value of data elements to establish a platform-based sharing economy centered on remote sensing big data. The core requirement for value creation through data elements is the large-scale societal reuse of massive datasets. Simply put, this means enabling data generated at a single source to be utilized across multiple applications. The higher the degree of data reuse, the greater the value creation and the more advanced the digital economy becomes. The satellite remote sensing industry must be restructured fundamentally by focusing on data sharing and reuse, transforming the current market model that serves "low-frequency, high-price" institutional clients (primarily high-level government agencies) into one that primarily targets "high-frequency, low-price" mass users (C-end consumers, B-end enterprises, and grassroots government units).

Specifically, what remote sensing services do the massive C-end user base truly require? The answer can be summarized as "space snapshots" - essentially meeting basic visual observation and discovery needs with photographic quality, where real-time accessibility constitutes the core requirement. This insight suggests that remote sensing payloads targeting C-end users could adopt significantly simplified designs. One radical approach might involve mounting industrial-grade cameras on communication satellites to minimize initial investment costs.

Besides, the key to democratizing remote sensing services and enhancing data reuse lies in creating an innovative commercial public service platform for remote sensing. This platform would bridge massive data resources with massive demand. On the supply side, it would integrate data, computing power, algorithms, and applications through industrial chain collaboration, establishing shared business models to enhance technical capabilities while reducing operational costs. On the demand side, the platform would adopt sharing economy principles to continuously expand user bases, broaden application scenarios, and innovate consumer-oriented service models.

Externally, the emergence of mega low Earth orbit (LEO) communication satellite constellations provides crucial technical prerequisites for remote sensing outside of traditional remote sensing paradigms. The proposed novel satellite system of "Communication + Sensing" would require incremental investment of tens of billions in remote sensing payloads, while domestic public service markets (primarily targeting C-end users) could generate annual revenues reaching billions, enabling rapid investment return. Furthermore, the commercial remote sensing public service platform holds significant value creation potential for B-end markets through continuous monitoring and real-time picture shooting services. By generating unprecedented real-time digital twin imagery of Earth (assuming minute-level temporal resolution), it could not only serve as a universal spatiotemporal record for various industries but also enable deep knowledge mining through continuous image analysis, ultimately developing customized service solutions deeply integrated with sector-specific operational needs across all industries.

Therefore, strategic top-level planning and innovative institutional arrangements should be implemented to drive the transformation and upgrading of China's satellite remote sensing industry.

Key words: satellite remote sensing, public services, novel satellite system, "Communication + Sensing" satellite, remote sensing industrialization, digital economy, data elements