

中国遥感学科的形成过程、现状与挑战

吴立新¹, 龚健雅²

1. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410012;

2. 武汉大学 遥感信息工程学院, 武汉 430079

摘要: 结合始于1960年的国际遥感从早期探索、应用实验、广泛应用到全面繁荣的4个发展时期, 回顾了始于1970年的中国遥感科技从起步学习、跟进发展到做大做强阶段的主要事件和重要成就。基于国际遥感学科发展态势, 分析了中国遥感学科发展成效及遥感人才培养形势。回顾了自20世纪90年代以来, 中国三代学者持续努力申建遥感一级学科的奋斗历程, 并最终于2022年被国务院学位委员会批准为一级交叉学科。本文梳理了“遥感科学与技术”学科的内涵表述与二级学科设置建议的变化过程; 介绍了由国务院学位委员会测绘、遥感学科评议组讨论审定的遥感学科定义及其二级学科名称。重点介绍了目前“遥感科学与技术”一级学科博士点7个自主设置与5个审核批准的建设单位及其主体依托学科、参建融合学科, 及其拟建设的二级学科方向; 以及15个审核批准与2个自主设置的一级学科硕士点建设单位, 及其建设依托学科与交叉融合学科的基本情况。最后, 通过梳理国际遥感科技前沿动态与发展方向, 提出了中国遥感学科发展尤其是高层次遥感人才培养面临的交叉学科知识体系构建、课程体系设置与创新培养模式的挑战性问题, 并提出两点建议供参考。

关键词: 遥感, 发展, 交叉学科, 遥感科学与技术, 学科建设, 人才培养

中图分类号: P2

引用格式: 吴立新, 龚健雅. 2025. 中国遥感学科的形成过程、现状与挑战. 遥感学报, 29(6): 1314–1330

Wu L X and Gong J Y. 2025. The formation process and construction status of remote sensing discipline in China.

National Remote Sensing Bulletin, 29(6): 1314–1330 [DOI: 10.11834/jrs.20254375]

1 引言

1957年前苏联发射第一颗人造地球卫星, 开启了人类航天新纪元; 1960年美国发射第一颗电视与红外卫星 (TIROS-1), 拉开了人类航天遥感序幕。1962年, 美国密歇根大学召开国际环境科学遥感讨论会, 正式确立了学术名词 Remote Sensing, 标志着遥感新学科的萌芽。1972年6月, 瑞典斯德哥尔摩举行首届联合国人类环境大会, 发表了人类环境宣言 (又称斯德哥尔摩宣言); 次月, 美国首颗陆地观测遥感卫星 Landsat 成功发射入轨, 带动和促进了各类与遥感相关的学科专业与研究方向快速成长。1992年6月, 联合国在巴西里约热内卢召开规模空前的世界环境与发展大会, 通过了关于环境与发展《里约热内卢宣言》(又称《地球宪章》) 和《21世纪行动议程》;

154个国家签署了《气候变化框架公约》, 148个国家签署了《保护生物多样性公约》。2005年5月, 在人类越来越面临共同危机与挑战的情况下, 地球观测组织 GEO (Group on Earth Observations) 和全球地球观测综合系统 GEOS (Global Earth Observation System of Systems) 应运而生。时光荏苒60多年, 国际遥感经历了从探索到繁荣的快速发展。以上述里程碑事件为节点, 可将国际卫星遥感事业发展的历史进程划分为4个阶段, 即卫星遥感探索时期 (1960年—1971年)、卫星遥感实验时期 (1972年—1991年)、卫星遥感实用时期 (1992年—2004年) 和卫星遥感繁荣时期 (2005年迄今)。

1970年春天, 周恩来总理代表中共中央、国务院和中央军委亲自签发研制气象卫星的任务; 1971年中央军委正式批复组建卫星气象站 (即国

收稿日期: 2024-08-30; 预印本: 2025-03-14

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 41930108); 科技部战略性科技创新合作重点专项 (编号: 2023YFE0208000)

第一作者简介: 吴立新, 研究方向为地灾感知认知、遥感—岩石力学、亚热带遥感、三维地学建模、数字矿山及空间信息理论与应用研究。

E-mail: wulx66@csu.edu.cn

家卫星气象中心)。1975年秋天,原国防科工委副主任钱学森先生主持召开了第一次全国遥感规划筹备会(又称通县会议),历时两月制定了中国遥感技术发展规划草案;此后,中国遥感技术正式纳入到国家重点发展项目中(姜景山,2007),中国遥感开始起步。虽然中国遥感事业发展滞后于国际遥感事业至少10年,但近半个世纪以来,中国遥感在国际遥感蓬勃发展的大背景下,经过学习掌握、借鉴追赶与创新超越,遥感科技、学科建设与人才培养各方面成效显著。

2 国际遥感背景下中国遥感科技发展

在国家持续大力支持下,从“六五”计划

(1981年—1985年)开始卫星遥感即被列入国家重点科技攻关或重点研发项目,为各个时期的国民经济建设和社会发展做出了重要贡献。近半个世纪的持续发展,特别是进入21世纪以来,面向气象、资源、环境、灾害、国防、科研等重大需求,中国已初步建成气象、海洋、陆地、地球物理系列的多模式航天遥感对地观测体系,以及高低空协同、大小机联合的机动灵活的机载航空遥感观测体系,在气象预报、资源调查、环境监测、减灾应急、国防安全和社会经济可持续发展领域发挥了重要作用。比照国际卫星遥感的4个发展阶段,本文概述中国遥感的起步学习、跟进发展与做大做强过程如图1所示。

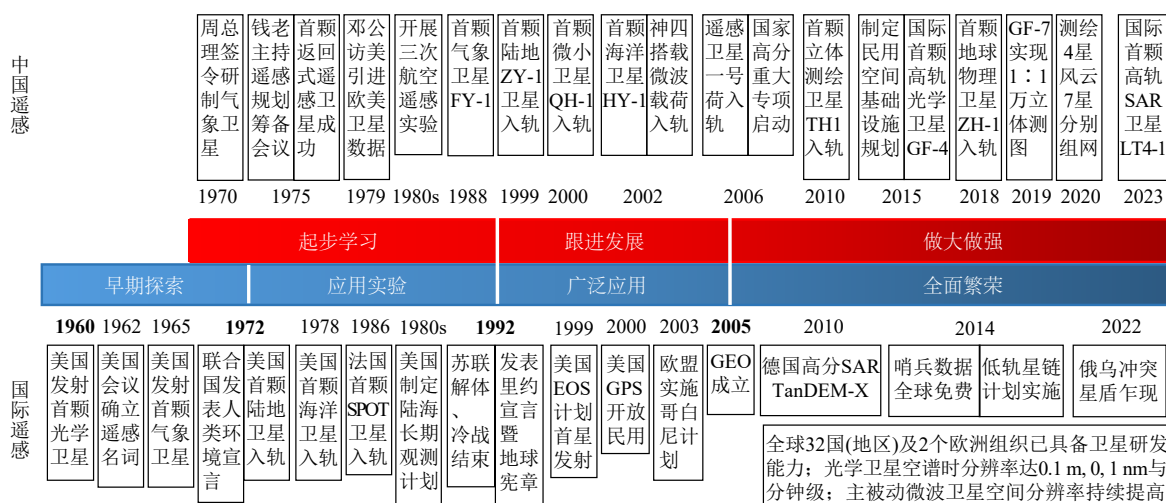


图1 国际遥感发展4阶段及中国遥感发展历程

Fig. 1 The development stages of international remote sensing and process of China remote sensing

2.1 国际卫星遥感应用实验期中国遥感起步学习(1972年—1991年)

20世纪60年代,美国军用卫星的空间分辨率已达3 m左右;70年代开始,美国制定了陆地与海洋长期观测计划,以此利用光学、近红外及多光谱遥感技术调查全球地质构造和矿产、农林、土地、渔业等自然资源,监测分析全球环境变化,辅助政府管理和决策。美国陆续发射的Landsat系列卫星为遥感技术在资源环境调查、气候变化研究等领域的实验应用奠定了坚实基础。卫星雷达技术也在航空雷达遥感的基础上逐渐发展起来,展现了其在资源调查、环境监测、测量绘图及形变监测方面的巨大潜力。但是,由于以苏美为首的东西方两大阵营长期冷战,导致国际遥感技术

整体发展及遥感数据普及应用受到限制。

中国从20世纪70年代开始进行航空遥感科学实验,并着手研制返回式遥感卫星、发展独立自主的遥感观测体系。1975年,中国第一颗携带光学相机的返回式遥感卫星(FSW-0)成功上天、绕行3天后成功返回;1977年,陈述彭先生受国家指派率团赴瑞典、英国考察,了解欧美国家在未发射本国卫星之前开展卫星遥感应用的情况;1979年,邓小平同志出访美国,主持签订了有关建设中国遥感卫星地面接收站的协议,拟引进美国Landsat TM和法国SPOT等国外卫星数据开展遥感应用。70年代末—80年代,中国科学院牵头组织开展了3次综合性航空遥感科学实验(即腾冲航空遥感试验、天津—渤海湾环境遥感试验和二滩

水能开发遥感试验), 不仅为推动中国遥感技术起步与发展积累了宝贵经验、为中国独立研制系统性传感器奠定了实验基础, 而且培养出大批遥感科技人才和应用专家(顾行发等, 2016)。期间, 中国自主研制了多种航空航天遥感载荷, 如1990年中科院上海技物所研制出的中国第一台机载高光谱成像仪(MAIS)。1988年, 中国发射了首颗气象卫星, 成功实现了大气、海洋遥感探测。截止80年代末、90年代初, 中国初步形成了气象、农林、水利、环境的卫星遥感监测应用能力。

2.2 国际卫星遥感广泛应用期中国遥感跟进发展(1992年—2004年)

1991年12月苏联解体; 冷战随之结束, 世界格局开始向多元化方向发展, 国际遥感迎来“迟到的春天”(王钦敏, 1995)。1996年, 美国总统克林顿宣布将GPS开放民用(2000年5月1日正式开放), 一定程度上促进了国际遥感步入广泛实用的发展时期。90年代末开始, 国际民用光学卫星分辨率迅速从10—30 m提升为1—3 m, 高光谱成像水平稳步提高, 雷达干涉测量技术(InSAR)快速发展。期间, 美国和欧盟主导了全球对地观测战略, 通过实施地球观测系统(EOS)、欧盟第七研究框架(FP7)和地平线2020计划, 形成了对陆表、大气和海洋的长期、综合性全球观测, 有效服务于社会经济建设与全球变化研究。2000年, 美国在其EOS计划基础上启动并实施“地球科学事业”计划, 揭开了21世纪空间对地观测与地球系统科学研究新篇章。2002年8月在南非约翰内斯堡召开的“可持续发展世界首脑会议”强调: 为实现联合国千年发展目标, 应对地球状况进行协调观测。2003年, 欧盟启动全球环境与安全监测计划(GMES, 后改称哥白尼计划), 旨在协调和集成卫星观测数据并免费提供, 为环境、灾害等决策提供服务; 6月, G8集团在法国召开的“八国集团首脑会议”, 确认地球观测为优先活动。2003年7月, 在美国华盛顿召开的“第一次地球观测部长级峰会”上, 通过了政治承诺声明, 旨在推动发展全面、协调和可持续发展的地球观测系统, 同时成立地球观测特设工作组(Ad Hoc GEO)。2004年1月, Nature杂志刊文介绍美国劳工部将遥感相关的空间技术与纳米技术、生物技术并列为21世纪最具发展前途和最有潜力的3大

高新技术。由此, 拉开了国际遥感繁荣发展序幕。

这一时期, 中国遥感实现了从起步学习、自主研制到稳步提升、跟进发展的关键性转变。1998年, 中国科学院上海技术物理研究所研制出实用型模块化成像光谱仪OMIS, 可获取128个通道的光谱图像数据; 1999年, 中巴联合研制的中国首颗民用国产陆地卫星(资源一号即CBERS-01)上天, 实现了中国传输型对地遥感卫星零的突破。2000年, 清华大学委托英国研制的“清华一号”微小卫星由俄罗斯发射入轨, 可用于灾害观测与教学科研; 2002年, 中国首颗海洋卫星上天; 神舟三号飞船装载了国内中科院上海技物所研制的第一台星载光谱成像仪, 空间分辨率为500 m, 光谱通道30个; 神舟四号多模态微波遥感系统成功入轨飞行, 实现了中国航天微波遥感零的突破。之后, 星载微波高度计、散射计、多谱段辐射计和成像雷达探测快速发展, 中国逐渐具备了星载全模态卫星遥感探测的能力(姜景山, 2007)。

2.3 国际卫星遥感全面繁荣期中国遥感做大做强(2005年—迄今)

2005年2月, 在比利时布鲁塞尔召开的“第三次地球观测部长级峰会”上, 通过了《GEOSS十年执行计划(2006—2015)》, 旨在建立一个综合、协调和可持续的全球地球综合观测系统; 并决定成立GEO, 负责该计划的组织实施, 为各国决策者提供从初始观测数据到专业应用产品的综合信息服务, 使全球农业、生物多样性、气候、灾害、生态系统、能源、卫生、水资源和天气等九大领域受益。2005年5月, 在日内瓦世界气象组织(WMO)总部召开了GEO第一次全会, 宣布GEO正式成立, 并选举产生12个执行委员会成员国和4个联合主席国(中国、美国、欧盟、南非)。目前, GEO大家庭已拥有116个联合国成员国和154个国际机构, 是地球观测领域规模最大的国际组织; 对地观测领域的国际合作、协作及融合不断加强, 形成了协作中竞争、竞争中协作的良好生态。

近年, 国际卫星遥感成像的谱段大幅扩展, 几乎全电磁波参量均可作为遥感信息载体, 且分辨率不断提升。目前, 空间分辨率可达0.1—0.2 m, 波谱分辨率可达0.1—0.2 nm, 时间分辨率可达分钟级; 初步实现了从紫外到微波、从被动

到主动、从宏观到微观的地球系统遥感观测与研究。随着卫星制造成本持续降低,以小卫星、临近空间飞行器作为平台的遥感技术正在成为空间探测的重要手段,以小卫星编队飞行技术为基础的“空间虚拟平台”、“虚拟探测技术”、“虚拟载荷”等空间探测新技术迅速发展(姜景山, 2007)。此外,欧美各国纷纷加强商用遥感战略,鼓励民间资本研制、发射和运营商业遥感卫星。目前,全球已有32个国家或地区以及两个欧洲联合机构具有研制、部署和运行对地观测卫星的能力。其中,北美和欧洲是卫星对地观测产业最为发达的地区,占据了大部分遥感数据市场,还将部署和发射上千颗商业遥感卫星。美国商业航天公司 Albedo Space 宣布将于2027年建成由24颗卫星组成的遥感星座,提供0.1 m分辨率的光学影像和4 m分辨率的红外热像,并具备在轨识别人脸的超精细能力。

中国遥感在这一时期实现了从努力追赶并跑到创新的重大转变。2005年,中国科学院上海技术物理研究所向马来西亚出口了机载成像光谱仪(OMIS-II),实现了中国机载遥感仪器出口零的突破。2006年,主要用于科学试验、国土资源普查、农作物估产和防灾减灾等领域的“遥感卫星一号”入轨;同年,中国制定了《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006—2020年)》,把高分辨率对地观测系统作为国家16个重大专项之一。2010年和2012年,中国首颗传输型立体测绘卫星(天绘一号)和首颗民用高分立体测绘卫星(资源三号)相继入轨运行。2013年开始,高分序列卫星相继发射,高分数据逐渐进入了各行业部门的主业务流程,切实提高了政府治理体系和治理能力与效率(顾行发等, 2016)。2015年发射的高分四号是世界首颗地球静止轨道光学遥感卫星,星下点可见光空间分辨率为50 m,可按多种模式快速应对中国及周边地区的观测任务。

2015年,中国制订了《国家民用空间基础设施中长期发展规划(2015—2025年)》,把遥感技术作为天地一体化工程的重要手段和支撑之一,明确提出要“进一步完善光学观测、微波观测、物理场探测手段,建设高分辨率光学、中分辨率光学和合成孔径雷达3个观测星座”,为实现全球化战略和“一带一路”战略提供信息获取保障。国内星载高光谱成像仪器迅速发展,开展了宽谱

宽幅关键技术攻关,解决了大相对口径超大焦面低畸变望远镜、光谱仪和大规模红外焦平面探测器等核心技术难题,研制了国际首台星载宽谱宽幅可见短波红外高光谱相机,应用于高分专项首颗高光谱卫星(GF-5)和资源探测业务卫星(ZY-02-D),性能走到了世界前列(刘银年, 2021)。2019年发射的高分七号卫星具备1:10000立体测图能力,达世界领先水平(曹海翊等, 2020;唐新明等, 2021)。2020年,4颗测绘卫星、7颗风云卫星分别实现组网运行,标志着中国已全面建成高分辨率对地观测系统,形成了全天候、全天时、全球覆盖的观测能力和稳定运行的遥感卫星系统与应用体系,可为资源环境、减灾应急和公共安全等重大领域提供持续服务和决策支撑。由此,中国遥感进入规模化、产业化和商业化发展的快车道,形成了独立研制、发射、运行多类型气象、海洋、陆地和地球物理卫星的能力。此外,在民间资本的参与下,中国商业卫星发展迅速,相继研制发射了吉林一号、北京二号(三号)和高景一号等商业遥感卫星星座,实现了亚米级地面分辨率成像。总之,中国已发展成为毋庸置疑的遥感大国,遥感强国实力正在逐步形成。国际遥感发展与繁荣背景下的中国遥感发展历程如图1所示。

在遥感科学层面,以李小文院士团队为代表的植被二向性反射建模、热红外遥感辐射方向性建模、遥感信息尺度效应研究取得重要进展(柳钦火等, 2019),定量遥感病态反演成效显著(梁顺林等, 2016),中国定量遥感已经处于世界前沿(梁顺林, 2021)。中国遥感真实性检验理论和方法历经遥感应用实验、定量遥感机理研究实验、以及真实性检验综合实验3个主要发展阶段,也已形成了从遥感观测到像元“真值”的遥感产品真实性检验系统性技术链条(闻建光等, 2023),遥感真实性检验站网技术体系建设也已在路上(高海亮等, 2023)。中国学者在热红外地表温度遥感反演方法研究取得系统性成果(李召良等, 2016),围绕雪水当量主被动微波遥感研究做了大量工作(施建成等, 2016),偏振光效应与偏振遥感日益重视(晏磊等, 2018);研究阐明了粗糙非均质表面的去极化散射现象(Yang等, 2021),植被定量遥感与陆地生态系统遥感监测研究成效显著(刘良云和宋博文, 2022)。此外,围绕地壳岩

石受力破裂过程中的红外、微波辐射增强现象开展了系统深入的基础实验与遥感物理研究（吴立新等，2018；Mao等，2022a），突破了经典遥感未顾及固态目标应力状态的局限。

在遥感探测方面，光学与雷达遥感、天空地海一体化、多模观测卫星组网、天空地海协同观测等进展迅速。雷达遥感经过单波段单极化、多波段多极化、极化与干涉模式，以及以双/多站或星座、高时序高分宽幅、三维成像为代表的新阶段的四阶段发展，展现了其在地球科学等领域的广泛应用潜力（郭华东和张露，2019）。中国海洋水色、海洋动力环境和海洋监视监测的海洋卫星系列建成，逐步形成了以自主卫星为主导的海洋空间监测网，在中国海洋资源与环境监测、海洋防灾减灾、海洋安全管理等方面发挥了重要作用（林明森等，2019）；中国空间微波遥感实现了从“追踪、跟跑”到“平跑”的历史进程（金亚秋，2020）；地球物理场卫星遥感成效喜人，中意合作研制并于2018年初发射了国内首颗地球电磁卫星（张衡1-01），观测构建了中国首套全球地磁场参考模型（申旭辉等，2023）；国产重力卫星研制及全球重力场模型构建也取得成效（周浩等，2022）。武汉大学“珞珈三号”01星实现通导遥一体化和人工智能与摄影测量的融合，长光卫星“吉林一号”系列获得灵巧视频卫星研制的突破（李劲东，2022）。2023年，中国发射了世界首颗高轨地球同步SAR卫星（陆探4-1星），主载荷为L-SAR，可服务于重大灾害应急监测。此外，无人机遥感在国防反恐与跨国应急救援、国土及海洋岛礁测绘应用、重大灾害应急观测等方面发挥了日益重要的作用，组网观测与敏捷协同成为重要方向（晏磊等，2019）；商业遥感卫星蓬勃发展，北京三号实现了0.5 m全色、2 m多光谱的超高分辨率光学遥感（童庆禧和卫征，2023），涪城一号实现了2.5 m SAR成像观测。预计未来5年内，中国在轨运行的商业卫星将超过1200颗，可望逐步实现中国自主遥感卫星对全球资源环境的卫星监测和对全球敏感区域与目标的连续监视。

在遥感信息获取与处理方面，中国遥感卫星地面站稳步建设，形成了以北京总部为中心，拥有密云、喀什、三亚、昆明、北极5个卫星接收站的体系架构，实时数据接收覆盖中国全部领土和亚洲70%陆地区域，初步具备全球遥感数据的快

速获取能力（李安等，2021）；面向遥感大数据快速处理、智能分析和深度挖掘的遥感云计算平台初现端倪，正在催生数据驱动的地学研究新范式（付东杰等，2021）。时空大数据与人工智能（龚健雅，2018）、模型与观测数据同化（李新等，2020）、多源遥感图像融合（李树涛等，2021）、高分影像智能处理（张继贤等，2021）、遥感大模型与智能分析（张良培等，2023）、遥感知识图谱创建及应用（张永军等，2023）等研究进展迅速，成为前沿热点。

中国遥感应用呈现百花齐放态势，利用遥感技术进行田野考古研究成果丰硕（聂跃平和杨林，2009），山地遥感研究十分活跃（李爱农等，2016），城市遥感迅猛发展（杜培军，2018）。基于国产海洋卫星系列，初步形成了优势互补的卫星海洋遥感业务化应用体系（蒋兴伟等，2019），促生了新一轮海洋涡旋遥感研究热潮（陈戈等，2021）；农业高光谱遥感研究快速发展（陈云浩等，2019；吴文斌等，2023），林业遥感形成了综合监测技术体系、构建了林业综合应用服务平台（李增元和陈尔学，2021）；基于多源遥感的复杂环境地灾早期识别技术逐渐形成（许强等，2019；吴立新等，2021；张勤等，2022），红外与微波遥感在震前地球多圈层扰动分析中发挥了重要作用（吴立新等，2022a；Qi等，2023）。随着全天候全天时微波遥感数据数量与质量提升，过去受多云多雨复杂影响的热带亚热带已成为遥感关注的新热点（林琿和张鸿生，2021；吴立新等，2022b）；生态环境遥感监测作为一种新质生产力，已成为生态环境保护 and 生态文明建设不可或缺的技术手段和重要支撑（吴季友，2024）。

中国遥感在国内高质量发展同时，也积极开拓国际市场、有效提升了全球服务能力和国际竞争力（郭仁忠等，2018）。为精细刻画“人类活动痕迹”和服务全球可持续发展目标（SDGs）的实现，研制发射了全球首颗可持续发展科学卫星—SDGSAT-1（Guo等，2023）。卫星遥感大数据与地理信息系统技术有机结合，并叠加蓬勃发展的云计算和人工智能技术，已在海外生态风险评价（王昌博等，2021）、国内外洪涝灾害即时信息服务（江威等，2021）及灾情演进监测分析方面（Jiao等，2024）取得实际成效。按照一星多用、多星组网、多网协同、数据集成的原则，中国正

在建设全球协同综合观测网和全球卫星数据接收网，将全面提升中国综合地球观测系统的全球观测数据质量、快速获取与处理能力和全球综合服务能力。未来将在国内及“一带一路”乃至全球环境生态监测（柳钦火等，2018）及重大自然灾害风险分析与应急观测中（Mao等，2022b；郭华东等，2023；Wu等，2023）发挥更大作用。

3 中国遥感学科发展历史

国际遥感经过60余年的快速发展，已在遥感平台、传感器和应用等方面均取得巨大进步：遥感平台从单一平台发展到天空地一体化综合平台，传感器从可见光发展到红外与微波，观测对象从静态发展到动态、观测范围从区域发展到全球、从地表发展到太空，遥感应用从气象发展到测绘、环境、减灾、农业、林业、资源、海洋等各行各业，军事应用则从遥感测绘、遥感侦察发展到目标监视乃至跟踪打击。就遥感学科体系而言，已然形成相对完整的基础理论、相对完善的技术体系和广泛深入的应用领域。

3.1 国际遥感学科发展脉络

19世纪30年代照相机的发明和飞机上天，促生了航空摄影测量学，为传统测绘带来一场新技术革命。20世纪60年代卫星上天，催生了卫星通讯与卫星遥感，给测绘学科带来了又一场新技术革命与挑战。过去60多年来，涵盖几何测量与物性反演的卫星遥感基础理论及实践应用迅猛发展，遥感逐步发展成为涵盖多种传感器（包括红外、可见光、多光谱、高光谱、雷达、激光和重力场、磁场等）的对地对天多模观测、定性定量分析反演的综合性、交叉性科学与技术，涉及遥感探测与成像机理、传感器与平台设计、几何与辐射定标处理、定性定量信息提取与应用的全链条，是一门跨物理、电子、地学、测绘、信息及空间科学等的新型学科门类。国内外众多著名大学均设置了遥感专业或建立了遥感研究机构，以便系统性开展遥感科学研究与培养了高层次人才。目前，国际上出版了几十本面向遥感科学与技术的期刊杂志；以遥感为主题的序列性国际会议有IEEE地学与遥感学会主导的IGARSS年会、国际光学与光子学会主导的SPIE年会、国际电磁学会主导的PIERS年会，以及国际摄影测量与遥感学会主导的

ISPRS大会及其相关委员会的系列学术会议等。1998年开始，汤森路透将遥感作为全球54个独立学科之一进行目录编排和索引；2017年世界大学排名中心（CWUR）和“软科”世界一流学科，均将遥感作为一级学科进行排名。以上表明，遥感已然成为一个蓬勃发展、繁荣兴旺和影响广泛的新型学科门类。

3.2 中国遥感学科发展成效

中国对遥感科学与技术人才培养十分重视。1975年北京大学成立遥感技术与应用培训基地（1983年成立北京大学遥感研究所）、1979年中国科学院建立遥感应用研究所；1989年和2002年，原武汉测绘科技大学和中国科学院遥感应用研究所分别成立了测绘遥感信息工程国家重点实验室、遥感科学国家重点实验室；后来，在天津、北京又相继成立了国家遥感应用工程技术研究中心（1997）和遥感卫星应用国家工程实验室（2008）。20世纪80年代以来，许多高校陆续组建或扩建了以“遥感”为关键词的学院、研究所、实验室或研究中心，并面向不同行业领域需求与学科发展方向而招收培养遥感相关的研究生。但是，从事遥感应用的测绘类硕士、博士生授予“摄影测量与遥感”工学学位，其合理性仅限于几何遥感；而从事定量遥感的地理类硕士、博士生则授予“地图学与地理信息系统”理学学位，不含“遥感”关键词，导致名不副实。

近年，中国不少大学的遥感学科与人才水平在多个世界排名中已处于国际前列。例如：在世界大学排名中心（CWUR）和上海软科（ARWU）全球学科排名榜中，武汉大学、北京师范大学、西安电子科技大学、国防科技大学的遥感学科已进入了国际排名前10，与美国马里兰大学帕克分校、加州理工等国际名校的遥感学科齐名，且武汉大学高居榜首，充分体现了中国在遥感领域的国际主导地位。基于文献计量的遥感学科发展趋势分析则表明：按第一作者所属国别统计，中国2014年度发表遥感相关的SCI文章首次超过美国而跃居全球第一，此后一直领先（黄铭瑞等，2023）。

3.3 遥感人才培养形势

在本科生培养方面，1978年开始，浙江大学

等相继开设了遥感地质本科课程；1984年，原武汉测绘学院将航空摄影测量专业改造为摄影测量与遥感专业。2001年，合并组建的武汉大学开设了全国第一个遥感科学与技术本科专业；之后，全国有80多所大学陆续开设了该专业。

在研究生培养方面，目前已有50多所大学和研究机构在测绘科学与技术一级学科所属摄影测量与遥感二级学科、地理学一级学科所属地图学与地理信息系统二级学科，以及国防、电子、气象、海洋、土木、地质、石油等一级学科目录下自主设立遥感相关的二级学科，培养了大批遥感人才。曾经自主设立的遥感相关二级学科有：遥感物理及应用（0702Z1）、遥感技术与应用（0705Z1）、地理环境遥感（0705Z2）、大气遥感与大气探测（0706Z3）、遥感与地理信息系统（0709Z6）、遥感信息科学与技术（0810J5）、资源与环境遥感（0818Z2）、资源环境与遥感信息（0903Z1）等。此外，长春地质学院（现吉林大学）、成都地质学院（现成都理工大学）分别于1982年、1986年开设遥感地质学硕士培养方向，面向地质领域的遥感技术重大需求开展人才培养；中国矿业大学（北京）自1999年起在测绘学科下设置遥感—岩石力学硕士、博士培养方向，东北大学自2006年起分别在矿业工程与测绘学科下设置遥感—岩石力学方向博士、硕士培养方向。目前，中国遥感人才培养的主要单位包括4大类：（1）依托测绘学科：如武汉大学、中南大学、解放军信息工程大学、同济大学、中国矿业大学、中国矿业大学（北京）、中国地质大学（武汉）、长安大学、西南交通大学等；（2）依托地理学科：如北京师范大学、北京大学、南京大学、中山大学等；（3）依托电子学科：如国防科技大学、北京航空航天大学、西安电子科技大学、电子科技大学等；（4）依托行业优势学科：如南京信息工程大学、中国海洋大学、中国石油大学（华东）、清华大学、吉林大学、浙江大学、中国农业大学、北京林业大学、成都理工大学等。尽管如此，在高层次遥感人才培养规模方面，依然缺口巨大。

4 学科发展新机遇

随着遥感仪器、遥感平台、遥感信息处理与综合应用技术的不断发展，遥感科学与技术从遥

感物理实验、探测器研制、卫星载荷设计、信息获取传输到快速分析处理与综合应用服务的完整链条与技术体系日趋成熟。天、空、地、海、矿井立体协同的综合遥感已经成为资源环境监测、防灾减灾备灾、国防与国土安全及可持续发展评估的重要支撑技术与数据保障，逐渐形成了多领域交叉的遥感应用学科。中国遥感科学与技术发展的重要性与战略地位日益凸显。

4.1 设立一级交叉学科

早在20世纪90年代，中国老一辈科学家就已意识到遥感学科繁荣发展的必然性，认为遥感“是技术科学与地球科学、生态环境科学相结合的交叉学科”（童庆禧，1990）。但是，在中国《授予博士、硕士学位的学科、专业目录》中，仅在工学类“测绘科学与技术”一级学科下设含“遥感”的摄影测量与遥感二级学科，非常不利于遥感学科的发展和遥感高级人才培养。2001年4月，王之卓、陈述彭、姜景山、李德仁、童庆禧等14位院士根据国务院学位委员会“关于调整现行学科专业目录的有关工作”精神，联合上书国务院学位委员会，建议设立“遥感科学与技术”一级学科。2003年10月，武汉大学受国务院学位委员会委托，在武汉组织召开了关于增设“遥感科学与技术”一级学科的专家论证会，吴佑寿院士、李小文院士分别任专家组正、副组长。上述院士、专家的努力筑起了中国遥感学科建设之梦，并鼓舞着后续申建历程。2009年，利用国务院学位委员会、教育部《学科目录》再次修订时机，北京大学、武汉大学、中南大学、北京航空航天大学等牵头提出了设立“遥感与地球探测”一级学科的动议，并在上海交大召开了论证会；但最后还是因意见不统一而未能如愿。

近年，中国遥感快速发展，在国际遥感队列中已从跟跑发展到并跑乃至部分领跑，已然形成系统性应用技术和完整的学科体系，设立遥感一级学科的条件更加成熟，需求更加迫切。2017年10月，由国务院学位委员会“第七届测绘学科评议组”牵头，结合国务院学位委员会“关于调整现行学科专业目录的有关意见”精神，在北京组织以徐冠华院士、李德仁院士为组长的一批知名专家，开展了增设工科类“遥感科学与技术”一级学科的论证工作。之后，由李德仁院士牵头，

向国务院学位委员会提交了“关于增设遥感科学与技术一级学科的报告”。2021年，国务院学位委员会启动了新一轮学科目录调整论证工作；4月，武汉大学与中国遥感应用协会联合，在武汉组织了“遥感科学与技术”一级学科设立的专家研讨会；7月，由国务院学位委员会“第八届测绘学科评议组”牵头，在武汉大学组织召开了新增“遥感科学与技术”一级学科的论证报告评审会，详细讨论了学科内容、二级学科设置和人才培养问题；8月，龚健雅院士在网上参加了由教育部组织的关于增列遥感交叉学科的答辩，赢得与会专家、领导的支持。

经三代遥感人、数十年不懈努力，终于在2022年得到国务院学位委员会、教育部正式批准，设立了“遥感科学与技术”一级学科，列入新增的交叉学科门类，成为9个交叉一级学科之一（代码1404），可授予理学、工学学位。9月14日，教育部网站发布《研究生教育学科专业目录（2022年）》，自2023年起实施。这是中国遥感的又一个重大的里程碑事件，必将引领和加快遥感科学与技术体系的建设与完善，促进多学科交叉融合，利于中国遥感更好、更快、更强发展，有望成为中国领跑世界的新兴学科。

为规范和引导“遥感科学与技术”健康发展，国务院学位委员会在原“第八届测绘学科评议组”的基础上扩容，增加4名遥感专家为新成员，组建了首届“测绘、遥感学科”评议组。在评议

组全体成员的共同努力下，经多轮讨论并最终达成共识，明确了遥感学科定义、确定了二级学科名称，并制定学科简介及研究生培养基本要求，确定学科英文名称为 Remote Sensing Science and Technology，于2023年12月成文并提交国务院学位委员会办公室。后经教育部学位办补充，最终形成了《“遥感科学与技术”一级学科简介及博士、硕士学位基本要求》的正式文件。

总结遥感一级学科申建历程中的重要活动，我们重点对“遥感科学与技术”学科内涵、二级学科设置与名称以及关联学科描述的主要变化进行了梳理，详见表1。可见，在这一申建过程中，大家对“遥感科学与技术”学科内涵的理解日益清晰而完整，主要包括4个方面：（1）遥感信息从经典的电磁波扩展到了其他物理场（波），如重力场、电场、磁场、声波等；（2）遥感目标从地球目标（陆地、大气、海洋）扩展到了物理世界的一切目标，包括地外目标、地内目标、水下目标以及生物体；（3）遥感参量包括目标特性、环境参数及其变化，不再严格区分几何参量与物理参量，淡化了几何遥感与物理遥感的界线，自然联通了摄影测量、几何遥感与定量遥感；（4）应用领域从以地球应用为主题向深地深海深空探测延伸。应该说，相对于过去的经典遥感，如今的广义遥感涵盖了更为广阔的科学内涵与技术要素，遥感发挥作用的舞台更为阔达。

表1 “遥感科学与技术”一级学科申建历程

Table 1 Process of application for constructing the first-level discipline Remote Sensing Science & Technology				
阶段	内涵/定义	二级学科	相关联学科	备注
初期谋划： (1) 2001年4月上书； (2) 2003年10月论证	一种快速获取地球空间信息的技术和手段	遥感科学 遥感技术 遥感信息工程 (空间信息系统) 遥感应用	物理学、天文学、地理学、大气科学、海洋科学、地球物理学、地质学、生物学、生态学、电子科学与技术、信息与通信工程、控制科学与工程、计算机科学与技术、城市规划与设计、土木工程、水利工程、测绘科学与技术、地质资源与地质工程、航空宇航科学与技术、农业工程、林业工程、环境科学与工程、资源科学与工程、农业资源利用、水土保持与荒漠化防治	限于电磁波 限于地球目标
集中发力	2017年10月论证	遥感科学 遥感技术 遥感应用	空间科学(航空航天)、信息科学(电子信息及计算机等)和地球科学(地理学、地质学、大气科学、海洋科学以及测绘科学与技术)	限于地球目标
	2021年4月研讨	遥感传感器 几何遥感 物理遥感 遥感信息工程	电子科学与技术、测绘科学与技术、地理学等	强调为交叉学科，但仍限于电磁波与地球目标

续表				
阶段	内涵/定义	二级学科	相关学科	备注
2021年7月论证	以非接触的方式通过电磁波探测地球目标属性、环境参数及变化规律的一门交叉学科	遥感探测 几何遥感 物理遥感 遥感应用	电子科学与技术、测绘科学与技术、地理学,以及气象、海洋、资源、农业、林业、环保、水利、城市、交通、减灾以及国家安全等	强调为交叉学科,但仍限于电磁波与地球目标
2021年8月答辩	利用各种电磁波等成像与非成像传感器对物理世界的自然空间物体、过程和人类社会活动进行感知和认知	遥感物理学 遥感探测 遥感信息工程 遥感应用	电子科学与技术、测绘科学与技术、地理学,以及光学工程、气象、海洋、资源、农业、林业、环保、水利、城市、交通、减灾以及国家安全等	强调为交叉学科,虽仍限于电磁波,但已扩展为空间物体
2022年9月发布	交叉学科(14) 1404 遥感科学与技术(可授理学、工学学位)			成为首批9门交叉学科之一
获批建设	2023年12月学科简介成文	通过电磁波及其他物理场(波)以非接触的方式探测目标特性、环境参数及变化规律的一门交叉学科	遥感科学 遥感探测技术 遥感信息工程 遥感应用技术	测绘科学与技术、地理学、信息与通信工程、电子科学与技术、计算机科学与技术、地球物理学、智能科学与技术、海洋科学、环境科学、林学、作物学、园艺学、农业资源与环境、植物保护、畜牧学、兽医学、水产、草学、水土保持与荒漠化治理以及大气科学等

4.2 建设遥感交叉学科

2018年,国务院学位委员会启动高等学校学位授权自主审核工作,武汉大学率先设立“遥感科学与技术”博士学位授权点,开始招收和培养“遥感科学与技术”硕士、博士研究生。2022年,国务院学位委员会、教育部印发通知,新设置“交叉学科”门类(代码14),成为中国第14个学科门类,与哲学、理学、工学等传统学科门类比肩。2023开始,一批有新增学位自主审核权的单位通过专家论证并报送国务院学位委员会办公室备案,陆续自主设立了“遥感科学与技术”交叉学科,包括北京师范大学、北京大学、中山大学、中国科学院大学、中南大学和华东师范大学。2024年,经各省(市、区)及军队学位主管部门

推荐,全国共有12所高校向国务院学位委员会提出申请,经函评打分与会评投票,5所高校获得“遥感科学与技术”一级交叉学科点建设授权,包括电子科技大学、西安电子科技大学、战略支援部队信息工程大学、南京信息工程大学和中国石油大学(华东)。由表2可见,目前“遥感科学与技术”一级交叉学科博士点建设依托的一级学科主要为工学的测绘科学与技术、信息与通信工程、地质资源与地质工程,以及理学的地理学、地球物理学、大气科学、海洋科学,参建融合的学科则比较宽泛,涉及理学、工学、军事学3大门类的20多个一级学科博(硕)士点和专业博(硕)士点,以及部分自设二级学科博士点,充分体现了交叉学科的学科交叉特性。

表2 “遥感科学与技术”一级学科博士点建设信息

Table 2 Information on the construction of Remote Sensing Science & Technology discipline with Ph.D degree				
类型	建设单位	主体依托学科	参建融合学科	二级学科/方向
自主设立	武汉大学	测绘科学与技术	资源与环境、电子科学与技术、计算机科学与技术、光学工程	遥感科学、遥感探测技术、遥感信息工程、遥感应用技术
	北京大学	测绘科学与技术	地理学、物理学、地球物理学、地质学、计算机科学与技术、智能科学与技术	遥感科学、地球空间信息学
	北京师范大学	地理学	物理学、智能科学与技术、环境科学与技术	遥感科学、遥感技术、遥感应用
	中山大学	地图学与地理信息系统(博二)、信息与通信工程、资源与环境(专博)	测绘科学与技术(硕)、土木水利(专硕)	遥感科学、遥感技术、遥感应用
	中南大学	测绘科学与技术	物理学、土木工程、交通运输工程、机械工程、资源与环境(专博)	遥感科学、遥感探测技术、遥感信息工程、遥感应用技术
	中国科学院大学	地理学	摄影测量与遥感、信号与信息处理、资源环境与遥感信息、大数据技术与工程(专博)	遥感科学、遥感技术、数字地球
	华东师范大学	地理学	计算机科学与技术、软件工程、电子科学与技术、资源与环境(专博)	遥感科学、遥感信息工程、时空智能技术及应用

续表				
类型	建设单位	主体依托学科	参建融合学科	二级学科/方向
申报 审核 通过	电子科技大学	信息与通信工程、遥感信息科学与技术(自设二级)、测绘科学与技术(硕)	电子科学与技术、计算机科学与技术、光学工程、电子信息	遥感科学、遥感探测技术、遥感信息工程、遥感应用技术
	西安电子科技大学	信息与通信工程	电子科学与技术、计算机科学与技术、光学工程、物理学	遥感科学、遥感探测技术、遥感信息处理
	战略支援部队信息工程大学	测绘科学与技术	信息与通信工程、计算机科学与技术、软件工程、地理学、数学(硕)、电子科学与技术(硕)、控制科学与工程(硕)、资源与环境(专硕)、电子信息(专硕)、军队指挥学	遥感科学、遥感探测技术、遥感信息工程、战场环境遥感应用技术
	南京信息工程大学	大气科学、遥感信息科学与技术(自设二级)	环境科学与工程、信息与通信工程、测绘科学与技术(硕)、地理学(硕)、资源与环境(专硕)	遥感科学、遥感探测技术、大气遥感应用技术
	中国石油大学(华东)	测绘科学与技术(硕)、地质资源与地质工程、信息与通信工程(硕)、测绘工程(专博)、电子信息(专硕)	地球物理学、计算机科学与技术(硕)、海洋科学(硕);海洋资源与信息工程(自设二级)、计算机技术与资源信息工程(自设二级)	遥感科学、遥感探测技术、遥感信息工程、海洋油气遥感应用

在硕士点建设方面，15家单位经申报审核，获得了“遥感科学与技术”一级学科硕士点授予权，分别是中国航天科技集团公司第五研究院、河北地质大学、北华航天工业学院、内蒙古工业大学、大连海事大学、江苏科技大学、江苏海洋大学、自然资源部第二海洋研究所、安徽大学、东华理工大学、华北水利水电大学、中南林业科技大学、云南大学、西安科技大学、长安大学。上述建设单位涉及11个省（市、自治区），包括北京、河北、内蒙古自治区、辽宁、江苏、浙江、安徽、江西、河南、云南和陕西。这些“遥感科学与技术”一级交叉学科硕士点建设单位，一般依托已有的工学一级学科博士点（如测绘科学与技术、计算机科学与技术、电子科学与技术、航空宇航科学与技术、地质资源与地质工程、水利工程）或理学一级学科博士点（如地理学、生态学），也有依托已有的工学一级学科硕士点（如信息与通信工程、光学工程、电子信息）和理学一级学科硕士点（如地理学、生态学）的交叉融合；专业硕士点（资源与环境、农业）的参与程度也较高，充分体现了学科交叉特性。此外，中国海洋大学、中国农业大学也经专家论证、自主审核通过，开始了“遥感科学与技术”一级学科硕士点建设工作。截至2024年底，全国已经和正在建设的“遥感科学与技术”一级学科博士点12个、硕士点17个，总计学科点数为29，呈爆发之势。

5 学科发展挑战与建议

5.1 遥感科技前沿与方向

分析国际遥感发展前沿动态可知，大气遥感已向太赫兹（胡伟东 等，2017）及激光远程探测与高光谱激光雷达方向发展（刘东 等，2020；张海粟 等，2022）、中低层臭氧的探测与反演能力持续提升（Chi 等，2023），海洋遥感卫星正向多载荷、高分辨率、全覆盖方向发展（汪文杰 等，2020），陆地遥感的空间、时间及光谱分辨率持续提升（李劲东，2022），地球/空间物理遥感卫星探测参数及模式更加多样化（申旭辉 等，2023；冉将军 等，2023）。高光谱/多光谱超分辨率融合研究成为热点（张兵 等，2023）、静止卫星高分辨率光学成像遥感初出现端倪（苏云 等，2023），量子成像与遥感信息量子态表达方兴未艾（毕思文 等，2019），月基对地观测可望从地球系统外部来观测地球系统本身的演化过程、研究地球系统与外部的相互作用和影响（郭华东 等，2022），极地空天基多模式遥感立体观测体系建设已在路上（程晓 等，2023）。当前国际领先的遥感成像卫星具有多种高分辨率成像模式，光学分辨率达0.1 m，红外分辨率1.0 m，SAR分辨率达0.3 m，光谱分辨率达到纳米级（李劲东，2022）。遥感卫星系统正向智能化、网络化的遥感星座时代迈进，星上智能处理模式、星上自主任务规划、星地一体智能任务管理和分布式智能协调模式，是未来面临的主

要挑战(康利鸿等, 2024); 面向重大灾害与复杂环境, 及时有效的卫星观测必然有赖于科学合理的多模多星协同规划(Niu等, 2018; 石鑫等, 2024)。此外, 大众化无人机“遥感+”应用发展迅猛(廖小罕等, 2019), 遥感测绘小卫星势头良好(胡芬和高小明, 2019); 商业遥感卫星行业发展已步入“黄金发展期”, 小型化、组网化、批量化、规模化、智能化、大众化遥感成为趋势。结合人工智能的“遥感+”和“+遥感”将成为新的遥感技术发展模式(崔少伟等, 2024), 商业遥感产业生态正在加速形成(李德仁等, 2024)。

构建全面、精细、可靠、即时的自然资源遥感调查监测与管控体系, 对实现自然资源即时智能感知与管控能力的跨越式发展具有重要意义(李英成等, 2022)。由自然和人为因素引起的各类地表异常(如自然灾害、环境污染、生态破坏、安全事故、违规开发等)具有突发性、多样性、随机性和复杂性, 导致传统的卫星遥感探测时效严重滞后于地表异常预警和应急处置的实际需要, 地表异常实时化、智能化遥感探测已成为中国新时代社会与经济高质量发展的重大战略需求, 也是当前遥感科学发展面临的重大挑战(王桥, 2022)。随着星上数据处理能力的显著增强, 地表异常即时感知服务将成为现实。通导遥一体化空天信息实时智能服务系统(李德仁和沈欣, 2020)与通导遥一体化智能遥感卫星的设计(李德仁等, 2022)、深远海目标和环境的遥测和感知服务(刘经南等, 2022)、支撑综合PNT的量子感知原理与环境智能感知技术(杨元喜等, 2023), 以及星上在轨处理、星地互馈机器学习等, 不仅是突破地表异常遥感探测“看不到、看不清、看不快”技术瓶颈的关键(王桥, 2022), 也将是未来遥感竞争白热化的焦点。

联合国可持续发展2030发展目标以及“一带一路”共商共建共享共用和平发展战略带动下, 中国遥感卫星数据升级、产品开放及走出国门服务全球, 是大势所趋, 也是科学与技术持续发展的重要牵引、内生驱动和目标导向。值得密切关注的是: 美国SpaceX的“星链计划”要在2027年前将4.2万颗“通信卫星”送入低轨, 它将占用地球低轨卫星容量的70%; 俄乌冲突时“星链”驰援乌克兰(满莉等, 2022), 近期又悄然显现通讯“星链”向遥感“星盾”的转变迹象(田丰,

2023)。目前各国申报的低轨卫星数量已超7万颗, 其中包括中国GW星座计划1.3万颗, 蓝箭鸿擎科技G60星链项目1.4万颗。地球外部空间资源有限, 国际电信联盟(ITU)奉行的基本原则是“先登先占、先占永得”; 因此, 低轨卫星轨道抢占和卫星遥感争霸将成必然。站在人类文明视角和基于人类整体利益, 切实构建服务于全人类的GEOSS, 利用遥感大数据、分析大模型和人工智能算法, 无差别、准确、高效、及时地为地球村民提供或推送即时信息服务(彭染姝等, 2024), 应是共同心愿与未来正途。

5.2 遥感学科挑战与建议

学科发展以人才培养为目标、以科学研究为基础、以国家需求为牵引。高水平的人才培养必须面向国际科技前沿, 依靠高水平的科学研究来承载。熊巨华等(2023)分析了2013年—2022年遥感科学领域国家自然科学基金项目的申请与资助情况, 期间遥感科学领域的基金项目申请数持续升高, 获资助项目的研究热点主要聚焦于高光谱遥感、多光谱遥感、热红外遥感和可见光—近红外遥感4大前沿领域。十年来, 遥感相关的基金项目申请代码不断优化(经历了4个版本), 对学科发展起到了良好的带动与促进作用。在遥感内涵不断拓宽、遥感学科快速建设与中国遥感事业创新发展的大背景下, 基金项目申请代码还可持续调整和优化; 建议将遥感科学单独设置为与其他地球科学分支并列的一级学科代码, 而不是包含在地理科学(D01)的框架内(D0113), 以便更好地适应了中国遥感科学与技术的未来发展。

由于遥感学科的交叉特性, 其知识体系结构庞大。如何构建清晰、完整的遥感学科知识体系是人才培养面临的重大挑战。高层次、领军型、综合型遥感人才, 应当具备遥感物理、探测技术、智能处理与综合应用等多方面的专业知识。如何解决“中国遥感人才队伍建设亟需优化”的问题(童庆禧, 2023), 是遥感科学与技术一级交叉学科人才培养即将面临的重大挑战。2024年10月, 中国科学院、国家航天局、中国载人航天工程办公室联合发布了《国家空间科学发展中期规划(2024—2050年)》, 按3个递进阶段(2024—2027、2028—2035、2036—2050)、分5个优先主题(极端宇宙、时空涟漪、日地全景、宜居行星、太

空格物)有序推进,旨在“梯次布局和论证实施……打造空间科学高水平人才队伍,不断取得具有重大国际影响力的标志性原创成果……成为空间科学强国”;其中的规划内容与长远目标,既是遥感科学拓宽发展的难得机遇、也是遥感技术颠覆创新的巨大挑战。

面向未来,遥感学科发展与人才培养务必面向从遥感科学基础实验、传感器创新设计、卫星载荷研制、信号定标检验、信息智能处理、高端产品研发、共性应用开发至到行业典型应用全链条的多层次、多方位需求。在遥感人才培养过程中如何宽口径、厚基础、强能力、通链条,需要政产学研用不同领域的专家共同探讨,力争在遥感科学与技术人才知识结构、培养模式和课程体系乃至学制方面进行合理规划与创新设计。由于遥感学科知识体系庞大、学科点建设单位各有特色和优势、承建参建的师资队伍专业背景各不相同,难免知识结构及培养目标互有差别,课程体系、培养模式难以统一。因而建议:(1)二级学科突出特色:各学科点建设单位围绕遥感科学与技术交叉学科的内涵,可选择遥感科学、遥感探测技术、遥感信息工程和遥感应用技术4个二级学科中的两个及以上进行具体建设,并可结合本单位的科技优势、行业特点和应用领域,在描述其二级学科内涵时选择某些限定条件和修饰词语来突出特色,以此实现遥感学科多样化发展与错位竞争;(2)培养计划实事求是:各学科点建设单位在制定培养计划与课程体系时,虽可参考“测绘、遥感学科评议组”制定的总体方案进行选择与调整,但务必结合自身特色、生源结构与培养目标,实事求是地在评议组建议的6门核心课程之处,增补若干交叉、特色课程,确保遥感交叉学科人才培养的厚基础、宽口径、强能力要求,并在研究生培养模式与学位衔接方式等方面努力创新,以满足国家对高层次遥感人才知识及能力的总体要求。

参考文献(References)

- Bi S W, Jaffrè H and Roychoudhuri C S. 2019. Quantum remote sensing: review and perspective. *Journal of Global Change Data and Discovery*, 3(4): 317-325 (毕思文, Jaffrè H and Roychoudhuri C S. 2019. 量子遥感发展新态势:世界首次量子遥感国际会议评述. *全球变化数据学报*, 3(4): 317-325) [DOI: 10.3974/geodp.2019.04.02]
- Cao H Y, Zhang X W, Zhao C G, Xu C, Mo F and Dai J. 2020. System design and key technologies of the GF-7 satellite. *Chinese Space Science and Technology*, 40(5): 1-9 (曹海翔, 张新伟, 赵晨光, 徐驰, 莫凡, 戴君. 2020. 高分七号卫星总体设计与技术创新. *中国空间科学技术*, 40(5): 1-9) [DOI: 10.16708/j.cnki.1000-758X.2020.0052]
- Chen G, Yang J, Tian F L, Chen S G, Zhao C F, Tang J W, Liu Y J, Wang Y N, Yuan Z H, He Q and Cao C C. 2021. Remote sensing of oceanic eddies: progresses and challenges. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(1): 302-322 (陈戈, 杨杰, 田丰林, 陈树果, 赵朝方, 唐军武, 刘颖洁, 王祎诺, 苑忠浩, 何迺, 曹川川. 2021. 海洋涡旋遥感: 进展与挑战. *遥感学报*, 25(1): 302-322) [DOI: 10.11834/jrs.20210400]
- Chen Y H, Wang S J, Zhao Y F and Wang M G. 2019. Progress and development trend of agricultural hyperspectral remote sensing research. *Geography and Geo-Information Science*, 35(5): 1-8 (陈云浩, 王思佳, 赵逸飞, 王明国. 2019. 农业高光谱遥感研究进展及发展趋势. *地理与地理信息科学*, 35(5): 1-8) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-0504.2019.05.001]
- Cheng X, Chen Z Q, Hui F M, Li T, Zhao X, Zheng L and Zhou J L. 2022. Status and outlook of China's space-based and airborne remote sensing systems for Polar Regions. *Science and Technology Foresight*, 1(2): 183-197 (程晓, 陈卓奇, 惠凤鸣, 李腾, 赵羲, 郑雷, 周娟伶. 2022. 中国极地空天基遥感观测现状与展望. *前瞻科技*, 1(2): 183-197) [DOI: 10.3981/j.issn.2097-0781.2022.02.014]
- Chi Y L and Zhao C F. 2023. Progress and challenges of ozone satellite remote sensing inversion. *Acta Optica Sinica*, 43(18): 1899905 (迟雨蕾, 赵传峰. 2023. 臭氧卫星遥感反演进展及挑战. *光学学报*, 43(18): 1899905) [DOI: 10.3788/AOS230583]
- Cui S W, Zhang X L and Zhang Y K. 2024. Overview of the development of global and domestic commercial remote sensing satellites. *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]
- Du P J. 2018. Progress and trends of urban remote sensing: reading guidance for the special column on urban remote sensing. *Geography and Geo-Information Science*, 34(3): 1-4 (杜培军. 2018. 城市遥感的研究动态与发展趋势——“城市遥感”专栏导读. *地理与地理信息科学*, 34(3): 1-4) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-0504.2018.03.001]
- Fu D J, Xiao H, Su F Z, Zhou C H, Dong J W, Zeng Y L, Yan K, Li S W, Wu J, Wu W Z and Yan F Q. 2021. Remote sensing cloud computing platform development and Earth science application. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(1): 220-230 (付东杰, 肖寒, 苏奋振, 周成虎, 董金玮, 曾也鲁, 闫凯, 李世卫, 吴进, 吴文周, 颜凤芹. 2021. 遥感云计算平台发展及地球科学应用. *遥感学报*, 25(1): 220-230) [DOI: 10.11834/jrs.20210447]
- Gao H L, Gu X F, Zhou X, Yu T and Wang Y X. 2023. Analysis of the development trend of Chinese remote sensing validation sites and infrastructure construction. *National Remote Sensing Bulletin*, 27(5): 1088-1098 (高海亮, 顾行发, 周翔, 余涛, 王艺学. 2023. 中国遥感真实性检验基础设施建设发展态势分析. *遥感学报*,

- 27(5): 1088-1098 [DOI: 10.11834/jrs.20231694]
- Gong J Y. 2018. Chances and challenges for development of surveying and remote Sensing in the age of artificial intelligence. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 43(12): 1788-1796 (龚健雅. 2018. 人工智能时代测绘遥感技术的发展机遇与挑战. 武汉大学学报(信息科学版), 43(12): 1788-1796) [DOI: 10.13203/j.whugis.20180082]
- Gu X F, Yu T, Tian G L, Zhou S Y, Wei C J, Li J, Yu Q, Liu D H, Wei Z, Meng Q Y, Xu H, Guo H, Zhou X, Wang C, M, Zang W Q, Huang X Z, Gao H L, Zheng F J, Liu M, Wang D, Zhao Y M, Wei X Q, Sun Y, Li B, Liao J and Ren X Y, 2016. Up to the higher altitude—the new “three campaigns” for the development of China spaceborne remote sensing application. *Journal of Remote Sensing*, 20(5):781-793 (顾行发,余涛,田国良,周上益,魏成阶,李娟,余琦,刘东晖,卫征,孟庆岩,徐辉,郭红,周翔,王春梅,臧文乾,黄祥志,高海亮,郑逢杰,刘苗,王栋,赵亚萌,魏香琴,孙源,李斌,廖戡,任芯雨. 2016. 40年的跨越—中国航天遥感蓬勃发展中的“三大战役”. 遥感学报, 20(5):781-793) [DOI: 1007-4619(2016)05-0781-13]
- Guo H D, Chen F, Han Q L and Liu J. 2023. Ten-year review and outlook for international science program—Integrated Research on Disaster Risk (IRDR). *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 38(10): 1510-1520 (郭华东, 陈方, 韩群力, 刘洁. 2023. 国际大科学计划灾害风险综合研究十年回顾与展望. 中国科学院院刊, 38(10): 1510-1520) [DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230625001]
- Guo H D, Ding Y X and Liu G. 2022. Research status and prospect of moon-based earth observation: a review. *Journal of Deep Space Exploration*, 9(3): 250-260 (郭华东, 丁翼星, 刘广. 2022. 月基对地观测研究现状与展望. 深空探测学报(中英文), 9(3): 250-260) [DOI: 10.15982/j.issn.2096-9287.2022.20210080]
- Guo H D, Dou C Y, Chen H Y, Liu J B, Fu B H, Li X M, Zou Z M and Liang D. 2023. SDGSAT-1: the world's first scientific satellite for sustainable development goals. *Science Bulletin*, 68(1): 34-38 [DOI: 10.1016/j.scib.2022.12.014]
- Guo H D and Zhang L. 2019. 60 years of radar remote sensing: four-stage development. *Journal of Remote Sensing*, 23(6): 1023-1035 (郭华东, 张露. 2019. 雷达遥感六十年: 四个阶段的发展. 遥感学报, 23(6): 1023-1035) [DOI: 10.11834/jrs.20199398]
- Guo R Z, Hu F and Tang X M. 2018. Research on internationalization development strategy of high resolution satellite remote sensing industry. *China Soft Science*, (11): 1-9 (郭仁忠, 胡芬, 唐新明. 2018. 高分辨率卫星遥感产业国际化发展思路研究. 中国软科学, (11): 1-9) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-9753.2018.11.001]
- Huang M R, Jian HD, Xu C, Hao J S, Yan J, Liu L Y, Fan X T, Guo H D. 2023. Bibliometrics spatial-temporal evolution analysis of the development of remote sensing. *National Remote Sensing Bulletin*. 11: 2449-2466 (黄铭瑞, 简洪登, 徐琛, 郝俊生, 闫珺, 刘良云, 范湘涛, 郭华东. 2023. 基于文献计量的遥感学科发展趋势分析. 遥感学报, 11: 2449-2466) [DOI: 1007-4619(2023)11-2449-18]
- Hu F and Gao X M. 2019. Development trend analysis of remote sensing small satellite for surveying and mapping application. *Science of Surveying and Mapping*, 44(1): 132-138, 150 (胡芬, 高小明. 2019. 面向测绘应用的遥感小卫星发展趋势分析. 测绘科学, 44(1): 132-138, 150) [DOI: 10.16251/j.cnki.1009-2307.2019.01.023]
- Hu W D, Ji J J, Liu R T, Wang W Q, Leo P Ligtgart. 2017. Terahertz atmosphere remote sensing, 10(5): 656-665. (胡伟东, 季金佳, 刘瑞婷, 王雯琦, Leo P Ligtgart. 2017. 太赫兹大气遥感技术. 中国光学, 10(5): 656-665) [Doi: 2095-1531(2017) 05-0656-10]
- Jiang J S. 2007. New step and a new mission of China microwave remote sensing development. *Remote Sensing Technology and Application*, 22(2): 123-128 (姜景山. 2007. 中国微波遥感发展的新阶段与新任务. 遥感技术与应用, 22(2): 123-128) [DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2007.2.123]
- Jiang X W, He X Q, Lin M S, Gong F, Ye X M and Pan D L. 2019. Progresses on ocean satellite remote sensing application in China. *Haiyang Xuebao*, 41(10): 113-124 (蒋兴伟, 何贤强, 林明森, 龚芳, 叶小敏, 潘德炉. 2019. 中国海洋卫星遥感应用进展. 海洋学报, 41(10): 113-124) [DOI: 10.3969/j.issn.0253-4193.2019.10.008]
- Jiang W, Li X T, Lyu J, Zuo H Q, Yang K, Yin J M, He G J, PANG Z G. 2021. Flood disaster real-time remote sensing service framework and practice, *Satellite applications*, 2: 54-58 (江威, 李小涛, 吕娟, 左惠强, 杨昆, 尹建明, 何国金, 庞治国. 2021. 洪涝灾害遥感即时服务框架与实践. 卫星应用, 2: 54-58)
- Jiao Z J, Zhang Z M and Wu L X. 2024. SAR-based dynamic information retrieving of the Beijing-Tianjin-Hebei flood-inundation happened in July 2023, North China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1): 2366361 [DOI: 10.1080/19475705.2024.2366361]
- Jin Y Q. 2020. Microwave remote sensing and its development in China. *Journal of Microwaves*, 36(1): 1-6 (金亚秋. 2020. 微波遥感及其在中国的发展. 微波学报, 36(1): 1-6) [DOI: 10.14183/j.cnki.1005-6122.202001001]
- Kang L H, Tian J and Jiang B T. 2024. Challenges and research on remote sensing satellite application technology in the Giant Constellation Era. *National Remote Sensing Bulletin*, 28(7): 1658-1666 (康利鸿, 田菁, 江碧涛. 2024. 巨星座时代遥感卫星应用技术挑战与思考. 遥感学报, 28(7): 1658-1666) [DOI: 10.11834/jrs.20233248]
- Li A, Huang P, Shi L, He G J, Feng X X, Wu Y W, Zhang Q, Ma G B, Feng K, Yang J and Li J S. 2021. Update of remote sensing satellite ground system of China remote sensing satellite ground station. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(1): 251-26 (李安, 黄鹏, 石璐, 何国金, 冯旭祥, 吴业炜, 张箐, 马广彬, 冯柯, 杨进, 李景山. 2021. 中国遥感卫星地面站卫星地面系统的发展. 遥感学报, 25(1): 251-266) [DOI: 10.11834/jrs.20210457]
- Li A N, Bian J H, Zhang Z J, Zhao W and Yin G F. 2016. Progresses, opportunities, and challenges of mountain remote sensing research. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 20(5): 1199-1215 (李爱农, 边金虎, 张正健, 赵伟, 尹高飞. 2016. 山地遥感主要研究进展. 发展机遇与挑战. 遥感学报, 20(5): 1199-1215) [DOI: 10.11834/jrs.20166227]
- Li D R and Shen X. 2020. Research on the development strategy of real-time and intelligent space-based information service system in China. *Strategic Study of CAE*, 22(2): 138-143 (李德仁, 沈欣. 2020. 中国天基信息实时智能服务系统发展战略研究. 中国工程科学, 22(2): 138-143) [DOI: 10.15302/J-SSCAE-2020.02.017]
- Li D R, Wang J Y and Wang M. 2024. Recommendations for the development of China's commercial remote sensing satellite system.

- 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 D R, Wang M and Yang F. 2022. A new generation of intelligent mapping and remote sensing scientific test satellite LuoJia-3 01. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 51(6): 789-796 (李德仁, 王密, 杨芳. 2022. 新一代智能测绘遥感科学试验卫星珞珈三号 01 星. 测绘学报, 51(6): 789-796) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2022.20220184]
- Li J D. 2022. Advances in high-resolution Earth observation satellite remote sensing technologies in China. *Science and Technology Foresight*, 1(1): 112-125 (李劲东. 2022. 中国高分辨率对地观测卫星遥感技术进展. 前瞻科技, 1(1): 112-125) [DOI: 10.3981/j.issn.2097-0781.2022.01.010]
- Li S T, Li C Y and Kang X D. 2021. Development status and future prospects of multi-source remote sensing image fusion. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(1): 148-166 (李树涛, 李聪好, 康旭东. 2021. 多源遥感图像融合发展现状与未来展望. 遥感学报, 25(1): 148-166) [DOI: 10.11834/jrs.20210259]
- Li X, Liu F and Fang M. 2020. Harmonizing models and observations: data assimilation in Earth System Science. *Science China Earth Sciences*, 63(8): 1059-1068 (李新, 刘丰, 方苗. 2020. 模型与观测的和弦: 地球系统科学中的数据同化. 中国科学: 地球科学, 50(9): 1185-1194) [DOI: 10.1007/s11430-019-9620-x]
- Li Y C, Xue Y L, Wang G L, Wang T, Li C K. 2022. Research on Real-time Remote Sensing Monitoring Technology System of Natural Resources. *Geomatics World*, 29(5): 101-105 (李英成, 薛艳丽, 王广亮, 王涛, 李昌柯. 2022. 自然资源即时遥感监测技术体系研究. 地理信息世界, 29(5): 101-105)
- Li Z L, Duan S B, Tang B H, Wu H, Ren H Z, Yan G J, Tang R L and Leng P. 2016. Review of methods for land surface temperature derived from thermal infrared remotely sensed data. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 20(5): 899-920 (李召良, 段四波, 唐伯惠, 吴骅, 任华忠, 阎广建, 唐荣林, 冷佩. 2016. 热红外地表温度遥感反演方法研究进展. 遥感学报, 20(5): 899-920) [DOI: 10.11834/jrs.20166192]
- Li Z Y and Chen E X. 2021. Development course of forestry remote sensing in China. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(1): 292-301 (李增元, 陈尔学. 2021. 中国林业遥感发展历程. 遥感学报, 25(1): 292-301) [DOI: 10.11834/jrs.20211016]
- Liang S L. 2021. Some thoughts on the development of quantitative remote sensing in China. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(9): 1889-1895 (梁顺林. 2021. 中国定量遥感发展的一些思考. 遥感学报, 25(9): 1889-1895) [DOI: 10.11834/jrs.20211516]
- Liang S L, Cheng J, Jia K, Jiang B, Liu Q, Liu S H, Xiao Z Q, Xie X H, Yao Y J, Yuan W P, Zhang X T and Zhao X. 2016. Recent progress in land surface quantitative remote sensing. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 20(5): 875-898 (梁顺林, 程洁, 贾坤, 江波, 刘强, 刘素红, 肖志强, 谢先红, 姚云军, 袁文平, 张晓通, 赵祥. 2016. 陆表定量遥感反演方法的发展新动态. 遥感学报, 20(5): 875-898) [DOI: 10.11834/jrs.20166258]
- Liao X H, Xiao Q and Zhang H. 2019. UAV remote sensing: popularization and expand application development trend. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 23(6): 1046-1052 (廖小罕, 肖青, 张颖. 2019. 无人机遥感: 大众化与拓展应用发展趋势. 遥感学报, 23(6): 1046-1052) [DOI: 10.11834/jrs.20199422]
- Lin H and Zhang H S. 2021. Tropical and subtropical remote sensing: needs, challenges, and opportunities. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(1): 276-291 (林珏, 张鸿生. 2021. 热带与亚热带遥感: 需求、挑战与机遇. 遥感学报, 25(1): 276-291) [DOI: 10.11834/jrs.20210237]
- Lin M S, He X Q, Jia Y J, Bai Y, Ye X M and Gong F. 2019. Advances in marine satellite remote sensing technology in China. *Haiyang Xuebao*, 41(10): 99-112 (林明森, 何贤强, 贾永君, 白雁, 叶小敏, 龚芳. 2019. 中国海洋卫星遥感技术进展. 海洋学报, 41(10): 99-112) [DOI: 10.3969/j.issn.0253-4193.2019.10.007]
- Liu D, Zhou Y D, Zhu X L, Chen Y, Xu P T, Liu C, Wang N C and Shen X. 2020. Investigation on discrimination characteristics of atmospheric and oceanic high-spectral-resolution Lidar. *Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 15(1): 48-54 (刘东, 周雨迪, 朱小磊, 陈扬, 徐沛拓, 刘崇, 王南朝, 沈雪. 2020. 大气海洋高光谱分辨率激光雷达鉴频特性研究. 大气与环境光学报, 15(1): 48-54) [DOI: 10.3969/j.issn.1673-6141.2020.01.005]
- Liu J N, Zhao J H and Ma J Y. 2022. Concept of constructing the underwater PNT network with the abilities of communication, navigation and remote sensing in the deep sea. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 47(10): 1523-1534 (刘经南, 赵建虎, 马金叶. 2022. 通导遥一体化深远海 PNT 基准及服务网络构想. 武汉大学学报(信息科学版), 47(10): 1523-1534) [DOI: 10.13203/j.whugis.20220625]
- Liu L Y and Song B W. 2022. Calculating the carbon sequestration rate of terrestrial ecosystems: methods, progress and challenges. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 45(3): 321-331 (刘良云, 宋博文. 2022. 陆地生态系统固碳速率立体监测方法: 进展与挑战. 大气科学学报, 45(3): 321-331) [DOI: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20220303002]
- Liu Q H, Wu J J, Li L, Yu L, Li J, Xin X Z, Jia L, Zhong B, Niu Z, Xu X L, Meng Q Y, Zhao J, Zhang H L, Hu G C and Zheng C L. 2018. Ecological environment monitoring for sustainable development goals in the Belt and Road region. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 22(4): 686-708 (柳钦火, 吴俊君, 李丽, 俞乐, 李静, 辛晓洲, 贾立, 仲波, 牛铮, 徐新良, 孟庆岩, 赵静, 张海龙, 胡光成, 郑超磊. 2018. “一带一路”区域可持续发展生态环境遥感监测. 遥感学报, 22(4): 686-708) [DOI: 10.11834/jrs.20187264]
- Liu Q H, Yan G J, Jiao Z T, Xiao Q, Wen J G, Liang S L and Wang J D. 2019. Geometric-optical remote sensing modeling to quantitative remote sensing theory and methodology development: in memory of academician Li Xiaowen. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 23(1): 1-10 (柳钦火, 阎广建, 焦子锦, 肖青, 闻建光, 梁顺林, 王锦地. 2019. 发展几何光学遥感建模理论, 推动定量遥感科学前行——深切缅怀李小文院士. 遥感学报, 23(1): 1-10) [DOI: 10.11834/jrs.20198077]
- Liu Y N. 2021. Development of hyperspectral imaging remote sensing technology. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(1): 439-459 (刘银年. 2021. 高光谱成像遥感载荷技术的现状与发展. 遥感学报, 25(1): 439-459) [DOI: 10.11834/jrs.20210283]

- Man L, Chang Z and Liu Q. 2022. Starlink's impact on the Ukrainian battlefield: implications for global transparency and limited space warfare. *Space International*, (5): 32-34 (满莉, 常壮, 刘强. 2022. 星链驰援乌克兰战场: 透明世界与有限太空战. *国际太空*, (5): 32-34) [DOI: 10.3969/j.issn.1009-2366.2022.05.008]
- Mao W F, Wu L X, Liu S J, Xu Z Y, Huang J W and Gao X. 2022a. Laboratory microwave (C-Band) response of compressive stress with partially saturated sandstone. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60: 4512012 [DOI: 10.1109/TGRS.2022.3204002]
- Mao W F, Wu L X, Singh R P, Qi Y, Xie B S, Liu Y J, Ding Y F, Zhou Z L and Li J. 2022b. Progressive destabilization and triggering mechanism analysis using multiple data for Chamoli rockslide of 7 February 2021. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1): 35-53 [DOI: 10.1080/19475705.2021.2013960]
- Nie Y P and Yang L. 2009. Applications and development of archaeological remote sensing technology in China. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 13(5): 940-962 (聂跃平, 杨林. 2009. 中国遥感技术在考古中的应用与发展. *遥感学报*, 13(5): 940-962) [DOI: 10.11834/jrs.20090514]
- Niu X N, Tang H and Wu L X. 2018. Satellite scheduling of large areal tasks for rapid response to natural disaster using a multi-objective genetic algorithm. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28: 813-825 [DOI: 10.1016/j.ijdrr.2018.02.013]
- Peng R S, Chen S and Chen Y. 2024. Improved real-time intelligent recommendation method of remote sensing information in deep cross network. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 53(3): 537-547 (彭染姝, 陈实, 陈宇. 2024. 改进深度交叉网络的遥感信息即时智能推荐方法. *测绘学报*, 53(3): 537-547) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2024.20230065]
- Qi Y, Wu L X, Mao W F, Ding Y F, Liu Y J and Wang X. 2023. Characteristic background of microwave brightness temperature (MBT) and optimal microwave channels for searching seismic MBT anomaly in and around the Qinghai-Tibet Plateau. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61: 4504918 [DOI: 10.1109/TGRS.2023.3299643]
- Ran J J, Yan Z W, Wu Y L, Zhong M, Xiao Y, Lou L Z and Wang C Q. 2023. Research status and future perspectives in next generation gravity mission. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 48(6): 841-857 (冉将军, 闫政文, 吴云龙, 钟敏, 肖云, 楼立志, 王长青. 2023. 下一代重力卫星任务研究概述与未来展望. *武汉大学学报(信息科学版)*, 48(6): 841-857) [DOI: 10.13203/j.whugis.20220629]
- Shen X H, Yuan S G and ZeR Z M. 2023. Expanding global geophysical field and space environment perception modeling capabilities: the fifth anniversary of the Zhangheng-1 satellite in orbit. *Space International*, (3): 31-37 (申旭辉, 袁仕耿, 泽仁志玛. 2023. 拓展全球地球物理场和空间环境感知建模能力: 张衡一号卫星在轨运行五周年. *国际太空*, (3): 31-37) [DOI: 10.3969/j.issn.1009-2366.2023.03.008]
- Shi J C, Xiong C and Jiang L M. 2016. Review of snow water equivalent microwave remote sensing. *Science China Earth Sciences*, 59(4): 731-745 (施建成, 熊川, 蒋玲梅. 2016. 雪水当量主动微波遥感研究进展. *中国科学: 地球科学*, 46(4): 529-543) [DOI: 10.1007/s11430-015-5225-0]
- Shi X, Xing M D, Zhang J S, Liu H T and Wang H X. 2024. SAR multi-satellite collaborative complex area observation planning based on improved genetic algorithm. *National Remote Sensing Bulletin*, 28(7): 1822-1834 (石鑫, 邢孟道, 张金松, 刘会涛, 王虹现. 2024. 基于改进遗传算法的SAR多星协同复杂区域观测规划. *遥感学报*, 28(7): 1822-1834) [DOI: 10.11834/jrs.20243258]
- Su Y, G J J, Wang Y C, Wang L R, Wang Y, Zheng Z X and Shao X P. 2023. Research progress on high-resolution imaging system for optical remote sensing in aerospace. *Chinese Optics*, 16(2): 258-282 (苏云, 葛婧菁, 王业超, 王乐然, 王钰, 郑子熙, 邵晓鹏. 2023. 航天高分辨率对地光学遥感载荷研究进展. *中国光学*, 16(2): 258-282) [DOI: 10.37188/CO.2022-0085]
- Tang X M, Liu C R, Zhang H, Wang X, Li G Y, Mo F and Li F X. 2021. GF-7 Satellite stereo images block adjustment assisted with laser altimetry data. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 46(10): 1423-1430 (唐新明, 刘昌儒, 张恒, 王霞, 李国元, 莫凡, 李丰翔. 2021. 高分七号卫星立体影像与激光测高数据联合区域网平差. *武汉大学学报(信息科学版)*, 46(10): 1423-1430) [DOI: 10.13203/j.whugis.20210417]
- Tian F. 2023. "Star Shield": civilian "Starlink" turned to join the army?. *Space Exploration*, (2): 42-48 (田丰. 2023. "星盾": 民用"星链"转身投军?. *太空探索*, (2): 42-48)
- Tong Q X. 1990. The development process and achievements of remote sensing science and technology in our institute. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2: 137-141 (童庆禧. 1990. 我院遥感科学技术的发展历程及其成就. *中国科学院院刊*, 2: 137-141) [DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.1990.02.009]
- Tong Q X. 2023. Current situation and improvement of remote sensing technology and industrialization 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]
- Tong Q X and Wei Z. 2023. Enlightenment of Beijing series remote sensing satellites for development of China's space and remote sensing industry. *Spacecraft Engineering*, 32(3): 1-6 (童庆禧, 卫征. 2023. 北京系列遥感卫星及其对中国航天和遥感事业发展的启示. *航天器工程*, 32(3): 1-6) [DOI: 10.3969/j.issn.1673-8748.2023.03.001]
- Wang C B, Li A N, Zhang X R, Nan X, Bian J H, Muhammad Kamran. 2021. Comprehensive Assessment of Ecological Risk in Multi-scenarios of China-Pakistan Economic Corridor based on RS and GIS]. *Remote Sensing Technology and Application*, 36(1): 65-78 (王昌博, 李爱农, 张晓荣, 南希, 边金虎, Muhammad Kamran. 2021. 基于遥感和GIS的中巴经济走廊多发展情景生态风险综合评价[J]. *遥感技术与应用*, 36(1): 65-78) [doi: 10.11873/j.issn.1004-0323.2021.1.0065]
- Wang Q. 2022. Research Framework of Remote Sensing Monitoring and Real-Time Diagnosis of Earth Surface Anomalies. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 51(7): 1141-1152 (王桥. 地表异常遥感探测与即时诊断方法研究框架. *测绘学报*, 51(7): 1141-1152) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2022.20220124]

- Wang Q M. 1995. Development and application of satellite remote sensing technology. *Remote Sensing Information*, (4): 2-6 (王钦敏. 1995. 卫星遥感技术发展和应用动态. *遥感信息*, (4): 2-6)
- Wang W J, Jia D N, Xu J L, Chu H K and Dong X R. 2020. Review of the development of global marine remote sensing satellite. *Bulletin of Surveying and Mapping*, (5): 1-6 (汪文杰, 贾东宁, 许佳立, 褚宏奎, 董晓睿. 2020. 全球海洋遥感卫星发展综述. *测绘通报*, (5): 1-6) [DOI: 10.13474/j.cnki.11-2246.2020.0134]
- Wen J G, Liu Q H, Li Z Y, Li X, Liu S M, Xiao Q, Gao Z H, Ma M G, Che T, Liu L Y, Fang H L, Yan G J, Ge Y, Chen E X, Zhang Y, Ma L L, Wu X D and Chen X. 2023. A review of the development of remote sensing field experiments and product validation in China. *National Remote Sensing Bulletin*, 27(3): 573-583 (闻建光, 柳钦火, 李增元, 李新, 刘绍民, 肖青, 高志海, 马明国, 车涛, 刘良云, 方红亮, 阎广建, 葛咏, 陈尔学, 张勇, 马灵玲, 吴小丹, 陈曦. 2023. 中国遥感实验与真实性检验的发展思考. *遥感学报*, 27(3): 573-583) [DOI: 10.11834/jrs.20232673]
- Wu J Y. 2024. Development ideas and measures for remote sensing monitoring of ecological environment in the new era. *Environment and Sustainable Development*, 49(3): 21-26 (吴季友. 2024. 新时期生态环境遥感监测发展思路与举措. *环境与可持续发展*, 49(3): 21-26) [DOI: 10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202403021]
- Wu L X, Li J, Miao Z L, Wang W, Chen B Y, Li Z W, Dai W J and Xu W B. 2021. Pattern and directions of spaceborne-airborne-ground collaborated intelligent monitoring on the geo-hazards developing environment and disasters in glacial basin. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 50(8): 1109-1121 (吴立新, 李佳, 苗则朗, 王威, 陈必焰, 李志伟, 戴吾蛟, 许文斌. 2021. 冰川流域孕灾环境及灾害的天空地协同智能监测模式与方向. *测绘学报*, 50(8): 1109-1121) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2021.20210107]
- Wu L X, Mao W F, Liu S J, Xu Z Y, Li Z W, Qi Y and Miao Z L. 2018. Mechanisms of altering infrared-microwave radiation from stressed rock and key issues on crust stress remote sensing. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 22(S1): 146-161 (吴立新, 毛文飞, 刘善军, 徐忠印, 李志伟, 齐源, 苗则朗. 2018. 岩石受力红外与微波辐射变化机理及地应力遥感关键问题. *遥感学报*, 22(S1): 146-161) [DOI: 10.11834/jrs.20187256]
- Wu L X, Qi Y, Mao W F, Liu S J, Ding Y F, Jing F and Shen X H. 2022a. Progresses and possible frontiers in the study on seismic applications of multi frequency and multi-polarization passive microwave remote sensing. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 51(7): 1356-1371 (吴立新, 齐源, 毛文飞, 刘善军, 丁逸凡, 荆凤, 申旭辉. 2022a. 多波段多极化被动微波遥感地震应用研究进展与前沿方向探索. *测绘学报*, 51(7): 1356-1371) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2022.20220131]
- Wu L X, Qi Y, Mao W F, Lu J C, Ding Y F, Peng B Q and Xie B S. 2023. Scrutinizing and rooting the multiple anomalies of Nepal earthquake sequence in 2015 with the deviation - time - space criterion and homologous lithosphere - coversphere - atmosphere - ionosphere coupling physics. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(1): 231-249 [DOI: 10.5194/nhess-23-231-2023]
- Wu L X, Sun G Y, Miao Z L, Zhang A Z, Feng H H, Hu J, Yang Z F, Wang W, Chen B Y and Tang Y Q. 2022b. On subtropical remote sensing in China: research status, key tasks and innovative development approaches. *National Remote Sensing Bulletin*, 26(8): 1483-1503 (吴立新, 孙根云, 苗则朗, 张爱竹, 冯微微, 胡俊, 杨泽发, 王威, 陈必焰, 汤玉奇. 2022b. 浅论中国亚热带遥感现状、任务与创新途径. *遥感学报*, 26(8): 1483-1503) [DOI: 10.11834/jrs.20222173]
- Wu W B, Yu Q Y, Duan S B, Zha Y, Pei Z Y, Li F, Huang J X, Yang G J and Zhang S M. 2023. Construction and development of Agricultural Remote Sensing Discipline Cluster. *China Agricultural Information*, 35(6): 1-8 (吴文斌, 余强毅, 段四波, 查燕, 裴志远, 李飞, 黄健熙, 杨贵军, 张胜茂. 2023. 农业遥感学科群发展及展望. *中国农业信息*, 35(6): 1-8) [DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20230601]
- Xiong J H, Wu H, Gao Y, Cai S, Liang D and Yu W P. 2023. Ten years of remote sensing science: NSFC program fundings, progress and challenges. *National Remote Sensing Bulletin*, 27(4): 821-830 (熊巨华, 吴浩, 高阳, 蔡顺, 梁丹, 于文凭. 2023. 遥感科学十年: 自然科学基金项目申请资助、研究成果与发展挑战. *遥感学报*, 27(4): 821-830) [DOI: 10.11834/jrs.20232644]
- Xu Q, Dong X J and Li W L. 2019. Integrated space-air-ground early detection, monitoring and warning system for potential catastrophic geohazards. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 44(7): 957-966 (许强, 董秀军, 李为乐. 2019. 基于天—空—地一体化的重大地质灾害隐患早期识别与监测预警. *武汉大学学报(信息科学版)*, 44(7): 957-966) [DOI: 10.13203/j.whugis.20190088]
- Yan L, Liao X H, Zhou C H, Fan B K, Gong J Y, Cui P, Zheng Y Q and Tan X. 2019. The impact of UAV remote sensing technology on the industrial development of China: a review. *Journal of Geo-Information Science*, 21(4): 475-495 (晏磊, 廖小罕, 周成虎, 樊邦奎, 龚健雅, 崔鹏, 郑玉权, 谭翔. 2019. 中国无人机遥感技术突破与产业发展综述. *地球信息科学学报*, 21(4): 475-495) [DOI: 10.12082/dqxxkx.2019.180589]
- Yan L, Gu X F, Chu J H, You Z, Liu S Y, Motimor H and Chandrasekar V. 2018. Optical polarized effects for high-resolution 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]
- Yang Y, Chen K S, Yang X F, Li Z L and Zeng J Y. 2021. Depolarized scattering of rough surface with dielectric inhomogeneity and spatial anisotropy. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(1): 47-59 [DOI: 10.1109/TGRS.2020.2999543]
- Yang Y X, Ren X, Jia X L and Sun B J. 2023. Development trends of the national secure PNT system based on BDS. *Science China Earth Sciences*, 66(5): 929-938 (杨元喜, 任夏, 贾小林, 孙碧娟. 2023. 以北斗系统为核心的国家安全PNT体系发展趋势. *中国科学: 地球科学*, 53(5): 917-927) [DOI: 10.1007/s11430-022-1069-7]
- Zhang B, Gao L R, Li J X, Hong D F and Zheng K. 2023. Advances and prospects in hyperspectral and multispectral remote sensing image super-resolution fusion. *Acta Geodaetica et Cartographica*

- Sinica, 52(7): 1074-1089 (张兵, 高连如, 李嘉鑫, 洪丹枫, 郑珂. 2023. 高/多光谱遥感图像超分辨率融合研究进展与展望. 测绘学报, 52(7): 1074-1089) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2023.20220499]
- Zhang H L, Qiao L L and Cheng Y. 2022. Air-lasing high-resolution spectroscopy for atmospheric remote sensing. *Acta Physica Sinica*, 71(23): 233401 (张海粟, 乔玲玲, 程亚. 2022. 空气激光: 面向大气遥感的高分辨光谱技术. 物理学报, 71(23): 233401) [DOI: 10.7498/aps.71.20221913]
- Zhang J X, Gu H Y, Yang Y, Zhang H and Li H T. 2021. Research progress and trend of high-resolution remote sensing imagery intelligent interpretation. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(11): 2198-2210 (张继贤, 顾海燕, 杨懿, 张鹤, 李海涛. 2021. 高分辨率遥感影像智能解译研究进展与趋势. 遥感学报, 25(11): 2198-2210) [DOI: 10.11834/jrs.20210382]
- Zhang L P, Zhang L F and Yuan Q Q. 2023. Large remote sensing model: progress and prospects. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 48(10): 1574-1581 (张良培, 张乐飞, 袁强强. 2023. 遥感大模型: 进展与前瞻. 武汉大学学报(信息科学版), 48(10): 1574-1581) [DOI: 10.13203/j.whugis.20230341]
- Zhang Q, Zhao C Y and Chen X R. 2022. Technical progress and development trend of geological hazards early identification with multi-source remote sensing. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 51(6): 885-896 (张勤, 赵超英, 陈雪蓉. 2022. 多源遥感地质灾害早期识别技术进展与发展趋势. 测绘学报, 51(6): 885-896) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2022.20220132]
- Zhang Y J, Wang F, Li Y S, Ouyang S, Wei D, Liu X J, Kong D Y, Chen R X and Zhang B. 2023. Remote sensing knowledge graph construction and its application in typical scenarios. *National Remote Sensing Bulletin*, 27(2): 249-266 (张永军, 王飞, 李彦胜, 欧阳松, 魏东, 刘晓建, 孔德宇, 陈瑞贤, 张斌. 2023. 遥感知图谱创建及其典型场景应用技术. 遥感学报, 27(2): 249-266) [DOI: 10.11834/jrs.20210469]
- Zhou H, Luo Z C and Zhou Z B. 2022. Earth's gravity field determination based on Tianqin-1 observations. *Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 50(9): 117-125 (周浩, 罗志才, 周泽兵. 2022. 基于天琴一号观测数据反演地球重力场模型. 华中科技大学学报(自然科学版), 50(9): 117-125) [DOI: 10.13245/j.hust.220917]

The formation process, construction status and challenging issues of remote sensing discipline in China

WU Lixin¹, GONG Jianya²

1. School of Geoscience and Infor-physics, Central South University, Changsha 410012, China;

2. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: Referring to the four-stages development of international remote sensing since 1960, which are defined as early explorations, application experiments, broad application, and comprehensive prosperity, we retrospected the chief events and important achievements in the history of remote sensing developing in China since 1970, which is coined as three periods as start learning, follow-up advancing, and making large-and-strong, respectively. The main gains from the past development of remote sensing discipline and the current situation of remote sensing talent cultivation in China are analyzed in this paper, based on the international developments in remote sensing science and technology. The continuous struggling of three generations of remote sensing scientists applying to the Academic Degrees Committee of the State Council for the construction of the first-level Remote Sensing discipline was summarized in brief, and the change of discipline connotation of Remote Sensing Science and Technology as well as its sub-disciplines changing was also elaborated. The Remote Sensing Science and Technology is finally approved by the Academic Degrees Committee of the State Council in 2022 as an interdisciplinary coded as 1404. According to the work of the Geomatics and Remote Sensing Disciplines Appraisal Group of the Academic Degrees Committee of the State Council, the connotation of Remote Sensing Science and Technology is described as detecting target properties, environmental parameters and their variation laws with non-contact manners by using of electromagnetics and other physical field or wave; its sub-disciplines include Remote Sensing Science (140401), Remote Detecting Technology (140402), Remote Sensing Infor-Engineering (140403), and Remote Sensing Application Technology (140404). We introduced in this paper the present situation for the interdisciplinary of Remote Sensing Science and Technology construction with Ph.D degree, including 7 self-set and 5 verify-approved, such as the main supporting discipline, the participating disciplines and the selected sub-disciplines. The construction institutions, supporting discipline and participating disciplines of 15 verification-approved and 2 self-set interdisciplinary Remote Sensing Science and Technology with master degree are also introduced. By sorting the frontier dynamics and developing directions of international remote sensing, the challenging issues on China remote sensing development in the future are presented, especially the knowledge structure building, curriculum system setting and cultivation mode innovation for high-level talents specialized in remote sensing science and technology. Furthermore, two suggestions are presented for reference, based on the large knowledge structure and verified conditions of the interdisciplinary construction institutions, in selecting and defining the sub-disciplines to be constructed and in designing the cultivation plan and curriculum system.

Key words: remote sensing, development, interdisciplinary, Remote Sensing Science and Technology, discipline construction, talent cultivation

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41930108)