



中国科协学科发展研究系列报告
中国科学技术协会／主编

2016—2017

测绘科学技术 学科发展报告

中国测绘地理信息学会 | 编著

REPORT ON ADVANCES IN
SCIENCE AND TECHNOLOGY OF SURVEYING AND MAPPING



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



中国科协学科发展研究系列报告
中国科学技术协会 主编



2016—2017

测绘科学技术 学科发展报告

中国测绘地理信息学会 | 编著

REPORT ON ADVANCES IN
SCIENCE AND TECHNOLOGY OF SURVEYING AND MAPPING

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

2016—2017 测绘科学技术学科发展报告 / 中国科学技术
协会主编; 中国测绘地理信息学会编著. —北京: 中国科学
技术出版社, 2018.3

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-7941-3

I. ① 2… II. ① 中… ② 中… III. ① 测绘学—学科发展—研
究报告—中国—2016—2017 IV. ① P2-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 044695 号

策划编辑	吕建华 许 慧
责任编辑	李双北
装帧设计	中文天地
责任校对	杨京华
责任印制	马宇晨

出 版	中国科学技术出版社
发 行	中国科学技术出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编	100081
发行电话	010-62173865
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	325千字
印 张	15
版 次	2018年3月第1版
印 次	2018年3月第1次印刷
印 刷	北京盛通印刷股份有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-7941-3 / P · 196
定 价	80.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)



2016—2017

测绘科学技术 学科发展报告

首席科学家 宁津生

顾问组成员 陈俊勇 高俊 李德仁 杨元喜 刘先林
刘经南 王家耀 张祖勋

专 家 组

组 长 宁津生 李维森

成 员 (按姓氏笔画排序)

丁晓利	马跃	王权	王伟	王密
王长进	王正涛	王东华	王发良	王昌翰
王厚之	王瑞幺	文汉江	方剑强	方爱平
甘卫军	龙毅	申家双	付子傲	白贵霞
成英燕	朱庆	朱建军	刘纪平	刘若梅
齐维君	关永贤	汤富平	许才军	孙群
孙中苗	阳凡林	杜明义	杜培军	杜清运
李松	李力勳	李广云	李广泳	李宗春

李家艺	杨 敏	杨 鲲	杨必胜	杨志强
来丽芳	吴 升	吴晓平	吴海玲	余 峰
邹进贵	汪云甲	张 力	张 锐	张凤录
张书毕	张立华	张胜良	张新长	陆 毅
陈品祥	林 鸿	欧阳永忠	易致礼	周 旭
周 熠	周丰年	赵建虎	胡 珂	胡 莘
胡伍生	姚宜斌	骆光飞	袁运斌	贾广军
贾云鹏	党亚民	秘金钟	徐亚明	徐根才
郭志勇	郭春喜	陶 舒	桑 金	黄 昕
黄声享	龚健雅	隋立春	葛忠孝	蒋 晨
焦文海	翟 亮	暴景阳	潘 励	

学术秘书 苏文英



党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央把科技创新摆在国家发展全局的核心位置，高度重视科技事业发展，我国科技事业取得举世瞩目的成就，科技创新水平加速迈向国际第一方阵。我国科技创新正在由跟跑为主转向更多领域并跑、领跑，成为全球瞩目的创新创业热土，新时代新征程对科技创新的战略需求前所未有。掌握学科发展态势和规律，明确学科发展的重点领域和方向，进一步优化科技资源配置，培育具有竞争新优势的战略支点和突破口，筹划学科布局，对我国创新体系建设具有重要意义。

2016年，中国科协组织了化学、昆虫学、心理学等30个全国学会，分别就其学科或领域的发展现状、国内外发展趋势、最新动态等进行了系统梳理，编写了30卷《学科发展报告（2016—2017）》，以及1卷《学科发展报告综合卷（2016—2017）》。从本次出版的学科发展报告可以看出，近两年来我国学科发展取得了长足的进步：我国在量子通信、天文学、超级计算机等领域处于并跑甚至领跑态势，生命科学、脑科学、物理学、数学、先进核能等诸多学科领域研究取得了丰硕成果，面向深海、深地、深空、深蓝领域的重大研究以“顶天立地”之态服务国家重大需求，医学、农业、计算机、电子信息、材料等诸多学科领域也取得长足的进步。

在这些喜人成绩的背后，仍然存在一些制约科技发展的问題，如学科发展前瞻性不强，学科在区域、机构、学科之间发展不平衡，学科平台建设重复、缺少统筹规划与监管，科技创新仍然面临体制机制障碍，学术和人才评价体系不够完善等。因此，迫切需要破除体制机制障碍、突出重大需求和问题导向、完善学科发展布局、加强人才队伍建设，以推动学科持续良性发展。

近年来，中国科协组织所属全国学会发挥各自优势，聚集全国高质量学术资源和优秀人才队伍，持续开展学科发展研究。从2006年开始，通过每两年对不同的学科（领域）分批次地开展学科发展研究，形成了具有重要学术价值和持久学术影响力的《中国科协学科发展研究系列报告》。截至2015年，中国科协已经先后组织110个全国学会，开展了220次学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告220卷，有600余位中国科学院和中国工程院院士、约2万位专家学者参与学科发展研讨，8000余位专家执笔撰写学科发展报告，通过对学科整体发展态势、学术影响、国际合作、人才队伍建设、成果与动态等方面最新进展的梳理和分析，以及子学科领域国内外研究进展、子学科发展趋势与展望等的综述，提出了学科发展趋势和发展策略。因涉及学科众多、内容丰富、信息权威，不仅吸引了国内外科学界的广泛关注，更得到了国家有关决策部门的高度重视，为国家规划科技创新战略布局、制定学科发展路线图提供了重要参考。

十余年来，中国科协学科发展研究及发布已形成规模和特色，逐步形成了稳定的研究、编撰和服务管理团队。2016—2017学科发展报告凝聚了2000位专家的潜心研究成果。在此我衷心感谢各相关学会的大力支持！衷心感谢各学科专家的积极参与！衷心感谢编写组、出版社、秘书处等全体人员的努力与付出！同时希望中国科协及其所属全国学会进一步加强学科发展研究，建立我国学科发展研究支撑体系，为我国科技创新提供有效的决策依据与智力支持！

当今全球科技环境正处于发展、变革和调整的关键时期，科学技术事业从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会使命，科学家也从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会责任。我们要准确把握世界科技发展新趋势，树立创新自信，把握世界新一轮科技革命和产业变革大势，深入实施创新驱动发展战略，不断增强经济创新力和竞争力，加快建设创新型国家，为实现中华民族伟大复兴的中国梦提供强有力的科技支撑，为建成全面小康社会和创新型国家做出更大的贡献，交出一份无愧于新时代新使命、无愧于党和广大科技工作者的合格答卷！



2018年3月



从 2006 年开始，由中国测绘地理信息学会负责编写的《测绘科学技术学科发展报告》，已编辑出版了五部。十多年来，它已经成为广大测绘科技工作者掌握测绘发展动态、判断未来发展趋势的风向标，也是国家政府有关职能部门了解测绘事业发展和我国地理国情从而进行科学决策的参考，同时也是国内外各界了解中国测绘发展的重要窗口。

2016 年 5 月，习近平总书记在全国科技创新大会、两院院士大会、中国科协第九次全国代表大会上发表重要讲话，强调实现“两个一百年”的奋斗目标。实现中华民族伟大复兴的中国梦，必须坚持走中国特色社会主义自主创新道路，面向世界科技前沿，面向经济主战场，面向国家重大需求，加快各领域科技创新，掌握全球科技竞争先机。这些讲话为我们推进测绘科学技术的发展指明了方向，提供了强大的精神动力。

科技创新是驱动测绘与地理信息事业发展的不竭动力。测绘学科是以全球导航定位技术、遥感技术、地理信息系统技术“3S”技术为核心的高新技术，它融合了信息科学、空间科学、高性能计算和网络通信等领域的先进技术，已发展为测绘与地理信息学科，储备了源源不断的新动力，正成为大众创业、万众创新的重要技术支撑。测绘地理信息科技水平在很大程度上体现了国家高新技术水平与综合国力。

近几年，特别是 2016—2017 年，测绘与地理信息相关学科发展迅猛，这种跨越式的发展形成了一批重要的创新成果，标志着信息化测绘技术体系的初步形成（基本建成）。资源三号 01、02 星的成功发射，开启了我国自主航天测绘的新时代；北斗卫星导航定位芯片的成功研制，结束了我国高精度卫星导航定位产品“有机无芯”的历史；北斗导航卫星建立的星间链路，标志着我国掌握了全球导航卫星星座自主运行核心技术；国内首套机载雷达测图系统，达到国际先进水平；自主研发了大规模集群化遥感数据处理系统，生产效率提高五至十倍；基础地理信息大范围快速更新技术实现突破，首

次完成了全国范围 1:5 万基础地理信息数据库年度更新;在国际上率先开展了地理国情普查与监测,成功打造了自主知识产权的国家地理信息公共服务平台;数字城市地理空间框架向智慧城市时空信息云平台升级;自主研发了航空数码相机、倾斜相机、无人飞行器航摄系统、应急监测系统、移动测量系统等一大批技术装备,实现了基于中央处理器、操作系统、数据库的新一代地理信息平台软件的全面国产化等。我国测绘与地理信息学科发展正进入全面构建智慧中国的关键期、测绘产品服务需求的旺盛期、地理信息产业发展的机遇期、加快建设测绘强国的攻坚期,其内涵已从传统数据生产转型到新兴测绘与地理信息服务。

《2016—2017 测绘科学技术学科发展报告》在本学科发展基础上,总结和回顾了两年学科发展所取得的重要成就,特别是对测绘与地理信息行业的战略地位及其转型升级发展,若干关键技术进展与应用的新观点、新理论、新方法、新技术、新成果进行了评述。本报告坚持专家立场和学术视角,全面展示了测绘学科发展的亮点,深入分析了发展难点,预测了发展趋势并对存在的突出问题进行了客观总结,并提出了破解之道。

本报告沿袭了以往的架构,总体上分为两大部分:第一部分是综合报告,主要从测绘与地理信息技术的最新研究进展、社会应用与服务、发展趋势及展望等几个方面进行论述,由首席科学家宁津生院士牵头组织编写;第二部分是专题报告,由九个专题研究组成,分别论述了测绘学科的九个分支学科在近两年的发展现状和趋势。各专题报告分别由中国测绘地理信息学会大地测量与导航专业委员会、摄影测量与遥感专业委员会、地图学与 GIS 专业委员会、工程测量分会、矿山测量专业委员会、地籍与房产测绘专业委员会、海洋测绘专业委员会、地理国情监测工作委员会、测绘仪器装备专业委员会等组织编写。无论是综合报告还是专题报告,均组织精干的团队撰写,团队成员来自我国测绘界相关高校、科研院所和企事业单位与政府职能部门工作的专家,他们以科技创新思维为基础,以年度实际完成的重大科技成果为依据,总结测绘整体与各个分支学科发展的基本情况。报告撰写团队充分把握国家重大科技成果的进展和突破,客观反映学科发展中具有影响作用的新增长点,展示学科进展的阶段性动态趋势,提供国内外科技进展方面的文献资料,努力为基础研究提供参考,为应用研究提供支撑,促进学科交叉融合,努力服务于国家战略和民生、社会需求。学科发展是科技进步的重要基础,是国家科技竞争力的重要体现。我们衷心希望本报告能够为广大测绘科技工作者创新驱动发展服务,为测绘科技进步服务,为政府决策提供参考与服务,为社会各界了解认识测绘和地理信息事业发挥应有的作用。

本报告凝聚了众多测绘学科权威专家的智慧,在此向他们表示诚挚的敬意和衷心的感谢!

中国测绘地理信息学会

2017 年 12 月 20 日



序 / 韩启德

前言 / 中国测绘地理信息学会

综合报告

测绘科学技术学科发展报告 / 003

一、引言 / 003

二、近年的最新研究进展 / 005

三、社会应用与服务 / 019

四、发展趋势及展望 / 026

参考文献 / 038

专题报告

大地测量与导航专业发展研究 / 047

摄影测量与遥感专业发展研究 / 071

地图学与地理信息系统专业发展研究 / 089

工程测量专业发展研究 / 111

矿山测量专业发展研究 / 136

地籍与房产测绘专业发展研究 / 148

海洋测绘专业发展研究 / 158

地理国情监测专业发展研究 / 176

测绘仪器装备专业发展研究 / 191

ABSTRACTS

Comprehensive Report

Surveying and Mapping Development Report / 213

Reports on Special Topics

Advances in Geodesy and Navigation / 217

Advances in Photogrammetry and Remote Sensing / 218

Advances in Cartography and Geographic Information Speciality / 220

Advances in Engineering Surveying / 221

Advances in Mine Surveying / 222

Advances in Cadastral and Real Estate Surveying and Mapping / 224

Advances in Marine Surveying and Mapping / 225

Advances in National Geographic Conditions Monitoring / 226

Advances in Surveying and Mapping Instrument and Equipment / 228

索引 / 229



综合报告

测绘科学技术学科发展报告

一、引言

世界经济格局和产业结构的深度调整,使得科技对经济社会可持续发展的支撑作用日益明显。科技创新已经成为全球经济社会发展的主要推动力,发达国家纷纷加大科技投入,通过科技创新驱动发展确保其在科技领域的领先地位。科技创新链条更加灵巧,技术更新和成果转化更加快捷,产业更新换代不断加快。测绘与地理信息科技融合了信息科学、空间科学、高性能计算和网络通信等领域先进技术,是以全球导航定位技术、遥感技术、地理信息系统技术(“3S”技术)为核心的高新技术,在很大程度上体现了国家高新技术水平与综合国力。

伴随着大数据、云计算、物联网、智能机器人等新技术的快速发展,测绘与地理信息科技的发展也储备了源源不断的新动力,与新技术融合,成为大众创业、万众创新的重要领域,2016—2017年,测绘与地理信息相关学科发展迅猛。国际上,GPS、北斗(BDS)、格洛纳斯(GLONASS)和伽利略(Galileo)等全球卫星导航定位系统(GNSS)都在加快建设和完善进程,区域卫星导航定位系统建设加速推进,GNSS数据处理由离线向在线转变。室内外无缝导航定位技术发展迅速,形成了无线局域网(WiFi)、超声波、射频识别(RFID)、蓝牙等多手段互为补充的室内导航定位技术体系。全球大地测量观测系统(GGOS)正致力于整合各类大地测量数据,形成一致、可靠的大地测量数据产品。卫星影像正在向高时空分辨率、高光谱分辨率方向发展,WorldView-3卫星0.31m分辨率是目前全球民用遥感卫星的最高水平。航空摄影测量成为三维精细建模主要手段,多角度倾斜航空系统逐渐成为城市精细三维建模的重要数据采集装备。多时相合成孔径雷达

(SAR)干涉测量、极化干涉测量和 SAR 层析建模技术是近年来的研究热点。机载激光雷达 (LiDAR) 技术已成为复杂地形测量和三维建模的重要手段。地面移动激光扫描系统可以快速获取目标三维和属性信息。基于多源传感器的数据融合与反演服务成为遥感技术应用新趋势。地图制图更加注重产品的三维表达以及属性信息的精细化, 产品内容和产品形式向社会化、三维化、动态化、泛在化和智能化发展。随着移动互联网、大数据、云计算技术的发展, 基于云架构的地理信息数据网络化采集、自动化成图、智能化分析与泛在化服务正在成为热点。地理国情监测领域中战略规划、土地覆盖和土地利用、国土疆域、自然灾害等方面开展了大量工作, 地理国情监测数据获取技术比较成熟、获取手段多样, 涵盖了航天、航空、低空、地面等多个层面和光学、雷达、LiDAR 等多种方式, 能及时获取不同空间、时间、光谱分辨率的地理国情监测遥感影像数据和地面调查数据, 为地理国情监测提供丰富的数据源。与此同时, 我国测绘与地理信息科技也得到了跨越式发展, 形成了一批重要创新成果, 信息化测绘技术体系基本建成。资源三号 01、02 星成功发射, 开启了我国自主航天测绘的新时代。成功研制了北斗卫星导航定位芯片, 结束了我国高精度卫星导航定位产品“有机无芯”的历史。北斗导航卫星建立了星间链路, 标志着我国掌握了全球导航卫星星座自主运行核心技术。研制了国内首套机载雷达测图系统, 达到国际先进水平。自主研发了大规模集群化遥感数据处理系统, 生产效率提高 5 ~ 10 倍。基础地理信息大范围快速更新技术实现突破, 首次完成了全国范围 1:5 万基础地理信息数据库年度更新。在国际上率先开展了地理国情普查与监测, 成功打造了自主知识产权的国家地理信息公共服务平台, 数字城市地理空间框架向智慧城市时空信息云平台升级。自主研发了航空数码相机、倾斜相机、无人飞行器航摄系统、应急监测系统、移动测量系统等一大批技术装备, 实现了基于中央处理器、操作系统、数据库的新一代地理信息平台软件的全国产化, 部分性能指标优于国外同类产品。

党的十八大报告提出实施创新驱动发展战略, 科技是驱动测绘与地理信息事业的不竭动力。当今中国测绘与地理信息科技取得长足进步, 我国测绘与地理信息学科发展正进入全面构建智慧中国的关键期、测绘产品服务需求的旺盛期、地理信息产业发展的机遇期、加快建设测绘强国的攻坚期, 其内涵已从传统测绘技术条件下的数据生产型测绘转型升级到信息服务型测绘与地理信息。本报告对近年来, 主要是 2016—2017 年测绘与地理信息行业的战略地位及其转型升级发展进行评述和归纳, 回顾、总结和科学评价我国测绘与地理信息学科转型升级的新观点、新理论、新方法、新技术、新成果, 主要从当前测绘与地理信息的科技手段与应用已从传统的测量制图转变为包含“3S”技术、信息与网络、通信等多种手段的地理空间信息科学, 近年来更与移动互联网、云计算、大数据物联网、人工智能等高新技术紧密融合的多学科专业的发展历程详细论述其转型升级发展现状, 凝练若干关键技术进展, 并简要介绍本学科在学术建制、人才培养、研究平台、重要研究团队等方面取得的进展。结合本学科有关国际重大研究计划和重大研究

项目,分析比较国际上本学科最新研究热点、前沿和趋势,评析本学科国内外的发展动态,根据2016—2017年测绘与地理信息学科发展现状,对比国内与国际测绘与地理信息学科技术发展差距,分析我国测绘与地理信息学科未来5年发展战略和重点发展方向,提出相关发展趋势和发展策略。

二、近年的最新研究进展

(一) 大地测量与导航

大地测量与导航作为前沿性、创新性、引领性极强的战略科技领域,在国家创新驱动发展的进程中发挥着越来越重要的作用。大地测量利用各种大地测量手段获取地球空间信息和重力场信息,监测和研究地壳运动与形变、地质环境变化、地震火山灾害等现象和规律以及相关的地球动力学过程和机制,在合理利用空间资源、社会经济发展战略布局、防灾减灾等方面发挥着重要作用。随着卫星导航定位技术的迅猛发展,尤其我国北斗导航系统的广泛应用,推动了我国大地测量与导航领域的快速发展。

1. 北斗全球卫星导航系统

近两年,北斗系统在不断完善改进自身卫星性能外,着力发展北斗系统的地面基准站布网、地面数据处理中心等相关建设,推广北斗系统创新应用,并与多个国家开展卫星导航领域的国际合作。同时,继续建设北斗全球系统,2015年开始实施北斗全球系统的组网任务,到2016年3月底,北斗全球卫星导航系统已成功发射22颗在轨卫星。

我国持续深入开展BDS/GNSS精密定轨定位与数据处理及应用的理论、算法、模型、软件与服务系统等研究,构建了具有国际先进水平的卫星导航定位与定轨科技创新研究平台,针对现代时空基准建立与维持、卫星导航精密定位与定轨以及卫星导航定位综合应用服务等方面的瓶颈难题开展了一系列攻关研究,形成了GNSS统一模型、统一无缝高精度实时定位的整体性理论框架,全国CORS网研究和建设逐步深化,目前已经全部建成的360个CORS站都具备北斗信号接收和数据产生的能力,可以实时接收数据流,并初步建成了国家广域差分服务系统,日常化生成实时精密轨道、钟差、电离层等产品,通过网络播发给广大用户使用。同时,相关兼容北斗的GNSS广域差分和精密单点定位(PPP)的手持终端已经研发成功,正逐步推广使用。国内各省也开展了相应的北斗CORS站的更新升级工作,正在部署和实现全国各省兼容北斗的局域差分服务系统和兼容北斗的网络RTK服务系统,开展分米级和厘米级高精度位置服务。

在导航与位置服务技术方面,我国在广域实时精密定位技术与示范系统、大型建筑物复杂环境室内定位关键技术等方面取得了重大突破,分别实现了全国范围室外优于1m,室内优于3m的定位精度,并成功开展了应用示范。国内的协同精密定位平台正在积极构

建,“羲和计划”正在开展,以北斗/GNSS、移动通信、互联网和卫星通信系统为基础,融合广域实时精密定位和室内定位等技术,实现了室内外协实时精密定位,开创了覆盖我国的国家室内外协实时精密定位系统的先河。

2. 大地基准与参考框架维护

国家现代测绘基准体系基础设施建设自2012年6月启动以来,五个单项工程(国家GNSS连续运行基准站网建设、国家GNSS大地控制网建设、国家高程控制网建设、国家重力基准点和国家测绘基准数据系统建设)通过新建、改建和利用的方式,建立了地基稳定、分布合理、利于长期保存的测绘基础设施。2014年,已完成1135个GNSS大地控制点的观测、32745.1km一等水准观测、10585个水准点上重力观测和40点次绝对重力观测;同时,还组织汇交了全国31个省市自建基准站、基准工程站、927基准站、陆态网络基准站的观测数据,并进行了全国联合网解算和整体平差,获取了全国统一空间基准下的高精度、地心坐标成果,解决了各省级基准站网坐标框架不统一和导航定位基准不一致的问题。利用410个国家基准站 CORS(150个含北斗)开展了410个国家基准框架维护和兼容北斗的国家基准站数据分析及监测评估,常态化生成国家基准框架服务类产品和北斗基准系列产品(卫星轨道和钟差、地球自转参数、电离层、对流层等基准产品)。我国现代大地测量基准体系已逐渐具备高精度、涵盖全部陆海国土、三维、动态的能力,即将建立成平面基准和垂直基准一体的高精度、三维、动态的现代大地基准体系。

2000国家大地坐标系下的国家级测绘成果已于2013年对外发布使用。2013—2014年,在CPM-CGCS2000 20个Ⅱ级块体模型及中国地壳运动观测网1025个站点速度的基础上,综合采用反距离加权法、欧拉矢量法、块体欧拉矢量法、有限元插值法、最小二乘配置法建立了全面、精确、稳定可靠的中国大陆 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 格网速度场模型,用格网速度场模型计算网络工程1025个站点速度,并求出差值,建立了中国大陆分布均匀的速度场模型。在此格网速度场数值模型基础上,对已有的SuperCoord1.0软件进行升级,按行政区划将格网速度场模型嵌入到软件中,已免费下发到22个省(市)、自治区用于GNSS坐标成果的转换。目前,2000国家大地坐标系在国土资源部等17家部委得到了推广应用,截至2016年,7个部委直接使用测绘部门提供的CGCS2000数据库,中国地调局已先行于2015年启动馆藏地质资料的转换工作,于2017年完成所属全部资料的转换工作;另外,有国家海洋局等6个行业部门需要测绘部门提供支持完成后续转换任务。针对各部门CGCS2000应用中转换不规范情况,现已完成了《CH/T 2014—2016大地测量控制点坐标转换技术规范》行业标准,并于2017年3月16日由国家测绘地理信息局正式发布启用,用于规范各类控制点包括GNSS点向2000国家大地控制点转换方法和技术要求。

空天一体化基准相关方面的研究进一步加强。实现空天一体化基准的关键在于确定高精度的EOP,即确定不同参考系之间的联系参数,涉及的主要技术手段包括甚长基线干涉测量(VLBI)、卫星激光测距(SLR)和全球卫星导航定位(GNSS)等。VLBI技术能够