

四、主要科技创新

1. 主要科技创新（限 5 页）

（1）立项背景

我国大陆海岸线长约 19058km，岛礁岸线长约 16775km，海岸带与岛礁周边海域面积超过 50 万 km²。陆海过渡带面积广大，存在水深浅、暗礁密布、潮差大、海洋环境复杂的特点，该区域三维空间信息数据获取一直是国内外测绘领域的一个难点。首先，陆海过渡带区域在垂直方向存在国家 1985 高程基准和理论深度基准，多基准并存导致了该区域地形数据和水深数据须单独采集或处理，另外传统离散深度基准存在最低潮意义不一致、空间分布不连续的问题。其次，传统测绘方法分水上和水下工程分别实施：水上一般采用全站仪加网络 RTK 人工跑点、机载激光扫描等方式；水下多采用单波束、多波束测深仪等方式，施测过程空间和时间上错位，工程量大，效率低，复杂地形区域存在难测、漏测的区域。迄今为止，包括浅海、粉砂淤泥质岸滩、基岩岸滩、砂质岸滩等在内的大片陆海过渡带区域仍是国内外测绘领域的难题，随着海洋经济的发展、陆海过渡带的活动急剧增加，对其进行高精度、全覆盖的测量需求愈加迫切。

针对陆海过渡带复杂海域高精度、全覆盖地形测量的技术难题，在测绘公益性行业科研专项、山东省测绘基准体系优化升级工程、山东省“十二五”潮间带 1:10000 地形测量、山东省“十三五”省级基础地理信息数据库更新工程潮间带及近海地形测量(2016-2017 年度)等多个项目资助下，形成了陆海过渡带关键技术科技攻关团队，历经多年研究和技术积累，完成了山东省垂直基准的陆海一体化和无缝化建设及陆海过渡带一体化测量关键技术的研究，实现了几何测深与声光等传感器水上水下测量一体化集成、多地形载体定制、多传感器空间检校等多项关键技术，研发了多源数据处理与成图系统在内的系列软件，形成了陆海过渡带一体化测量技术体系，为填补复杂海陆过渡带区域基础地理信息数据获取，促进沿海各市对海岸带区域的有效管理、使用与保护，丰富基础测绘单位陆海过渡区域测绘成果等方面发挥了关键技术支撑作用，取得了重大社会效益和显著经济效益，推动了我国陆海过渡带高精度全覆盖地形测量关键技术的突破性进步。

（2）技术创新内容

创新点 1：通过构建向海洋延伸的似大地水准面模型和基于潮汐模型的无缝高精度高程/深度基准转换模型，完成了山东省沿海垂直基准的陆海一体化和无缝化建设，解决了传统离散深度基准最低潮意义不一致、空间分布不连续且分辨率低下的问题。

所属学科分类名称：测绘科学与技术

代表性论文：1)《山东省陆海无缝垂直基准的初步实现及其应用》[附件 28]；
2)《同步验潮法在刘公岛跨海高程传递中的应用》[附件 29]。

项目在构建山东省似大地水准面的过程中加入了海洋重力数据、海洋数字高程模型、海岛 GNSS/水准成果，实现了似大地水准面模型向海延伸，通过构建区域精密潮汐模型，

建立了高精度、高分辨率的山东省高程/深度基准转换模型，解决了传统离散深度基准最低潮意义不一致、空间分布不连续的问题，完成了山东省陆海过渡带区域垂直基准的陆海一体化和无缝化建设，实现了同一区域空间数据（垂直方向）一次采集，产出基于多层级垂直基准面的多种产品，不但提高了数据采集效率，而且丰富了测绘成果。为陆海过渡带三维信息一体化获取及历史地形（水深）数据向水深（地形）数据的转换提供了测绘基准支撑。

创新点 2：针对陆海过渡带复杂环境的不同需求，自主研发了水陆两栖、通过性强、安全性高，适应沙滩、泥滩、砾石等多种类型滩涂的移动测量定制载体，优化了异构多源传感器空间配置，实现了多传感器多平台的一体化集成，填补了陆海过渡带困难区域一体化测量设备的空白。

所属学科分类名称：测绘科学与技术、自然资源调查与利用科学技术

授权发明专利：船载水岸线水上水下一体化测量系统集成方法[附件 3][专利授权号：ZL201510817851.X]。

实用新型专利：船载水上水下一体化测量系统的平台装置[未列入附件][专利授权号：ZL201821354009.2]。

代表性论文：《Shipborne Over- and Under-Water Integrated Mobile Mapping System and Its Seamless Integration of Point Clouds》[附件 26]。

陆海过渡带地形测量是国内外测绘领域的一个难题，迄今为止，还没有一种能够完成水上水下一体化数据采集和潮间带复杂地形区域数据采集的测绘设备。为此，作为对船单一载体的通达性有益补充，该项目调研定制了推进动力强，大跨度、无大轴或者宽轮胎、多轮胎、履带式的多种载体，同时调配搭载传感器的位置及整体配重，通过一体化集成，设计安全气囊，合理布设悬挂浮筒，使载体具备自救能力。研制了搭载多源异构传感器的多平台多载体的陆海过渡带一体化测量设备，能够满足近海、潮间带复杂区域的高精度、全覆盖的测量需求。发明了多源异构传感器的一体化集成方法，实现了多源异构传感器一体化数据采集和监控。

创新点 3：提出了严密的基于广义特征约束的多传感器整体空间关系非线性标定模型，解决了多源数据获取的空间一致性问题；提出了近水面边界自适应约束的等效声速改正模型，提升了水上水下多源数据的利用率，解决了水界面上下点云无缝整合的问题。

所属学科分类名称：测绘科学与技术、自然资源调查与利用科学技术

授权发明专利：1) 一种船载水上水下一体化测量系统野外实时校准方法[附件 1][专利授权号：ZL201510822825.6]；2) 一种在水池内进行的船载一体化测量系统精密检校方法[附件 2][专利授权号：ZL201510809463.7]；3) 一种多波束位置伺服控制方法[附件 24][专利授权号：ZL201510788952.9]。

软件著作权：1) 移动测量系统多传感器空间参数标定软件[未列入附件][软著登记号：2016SR385478]。

代表性论文：1)《Calibration method of rotation and displacement systematic errors for ship-borne mobile surveying systems》[附件 27]；2)《一种顾及水下地形特点的多波束点云去噪算法》[未列入附件]；

建立了非线性特征约束的整体严密平差模型，解算各个传感器同惯导之间的视准轴误差参数，使得各个传感器数据最优融合，解决激光扫描仪、拖曳系统、惯导平台和多波束测深仪等声、光传感器测量数据坐标系一致性问题，实现几何测深与声光传感器在空间覆盖度上的互补。

创新点 4、开发了异构多源传感器一体化采集、监控软件，数据融合、去噪匹配软件，一体化成图与应用等系列软件，形成了陆海过渡带一体化测量技术体系，显著提高了我国陆海过渡带区域地形测量技术水平。

所属学科分类名称：测绘科学与技术、自然资源调查与利用科学技术

实用新型专利：车载水上水下一体化测图系统的平台装置附件[附件 25][专利授权号：ZL201520937739.5]。

软件著作权：1) 潮间带等高线生成系统附件[附件 30][软著登记号：2019SR0171820]；2) 潮间带一体化测图软件附件[未列入附件][软著登记号：2019SR0019292]。

代表性论文：1)《基准站观测数据加密方法及其在差分 GNSS 后处理中的应用》[未列入附件]；2)《多遮挡环境下 BDS_GPS 组合动态差分处理算法及性能分析》[未列入附件]；3)《信噪比的 GNSS 宽巷模糊度单历元固定算法》[未列入附件]；4)《不同惯导系统零速检测算法的性能分析》[未列入附件]；5)《车载激光点云与序列化全景影像融合方法》[未列入附件]。

数据采集和监控软件基于分布式插件技术，架构灵活、可扩展性强的一体化集成框架，实现了异构多源传感器连接、控制及状态显示、工程管理等功能，具有集成度高、界面简洁直观、操作快捷易用等特点；数据处理软件基于插件技术，采用模块化分层架构，实现多源异构数据融合解析、滤波编辑、数据导出及工程管理等功能，基于 GPU/CPU 加速的强大三维引擎，支持大规模点云数据的快速浏览、显示和编辑。具有界面简洁直观、操作方便快捷、易学易用等特点；成图软件数据管理规范，元数据维护灵活，一次配置可多次使用，能够实现测图成果快速入库，同时支持基于多源 Lidar 数据的 DEM、等高线的自动生成等特色功能。系列软件加快了我国大比例尺潮间带地形基础数据更新进程。实现了规模化应用，经济效益巨大，社会效益显著。

(3) 与当前国内外同类技术的主要参数、效益、市场竞争力的比较

① 国内外同类技术的主要参数比较

国家一级科技查新机构对该项目 4 大创新点进行了国内外查新，证实了其在国内外该学科领域总体上具有首创性，具体比对如下：

对比内容	该项目关键技术	国内外同类技术的对比
山东省沿海垂直基准的陆海一体化和无缝化建设	通过向海洋延伸的似大地水准面模型和基于潮汐模型的无缝高精度高程/深度基准转换模型在沿海区域叠加，实现了山东省沿海垂直基准的陆海一体化和无缝化。	山东省高程/深度基准转换模型为国内首个省级该类模型，精度国内最高（验收意见）。未见在沿海区域完成了大地基准（垂直方向）、高程基准、深度基准的融合工作。
全地形，水上水下一体化采集系统	创立了基于船载、高悬置稻田车、水陆两栖全地形八轮车等海陆多平台、多载体，一体化集成的浅海、潮间带陆海一体化测量技术系统。	国内外主要以单一手段、单一载体对陆海过渡带区域进行测量，缺少多手段、多平台、全地形一体化集成的测量系统。
多源异构传感器一体化标定和坐标一致性技术	提出了严密的基于广义特征约束的多传感器整体空间关系非线性标定模型；提出了近水面边界自适应约束的等效声速改正模型。	缺乏多传感器空间关系一体化精密检校技术；未见基于水面边界的自适应约束的等效声速改正模型。
多源数据一体化采集、监控、融合处理与成图技术	研发了基于激光、测深、拖曳、组合导航等多源异构数据的一体化采集、监控、融合处理方法和软件。	缺乏多传感器一体化采集和监控软件和多源数据一体化融合处理与综合成图系统。

② 综合效益和市场竞争能力分析

项目成果为陆海过渡带复杂地形水上水下一体化、无缝衔接提供了核心技术体系。项目完成了山东省垂直基准的陆海一体化和无缝化建设，实现了陆海过渡带区域地形数据、水深数据同步生产，创建了多源异构数据一体化集成方法及数据处理成图体系，实现陆海过渡带 DEM 成果数据的快速制作，显著提高了我国地形测量技术水平，已成为多个国家级测绘专项（国家科技支撑计划、测绘公益性行业科研专项）、山东省测绘基准体系优化升级工程、山东省“十三五”省级基础地理信息数据库更新工程潮间带及近海地形测量（2016-2017 年度）和海洋工程单位陆海过渡带地形测量（汕头南澳岛、莱州湾测区、蓬莱-威海测区、日照测区）的重要科技支撑，培养了一批专业人才。

研发的潮间带等高线生成系统（2019SR0171820），具有潮间带三维数据浏览与管理，实现了潮间带三维点云可视化渲染、抽稀分块、点云分类编辑与分类渲染、生成 DEM、自动创建等高线、等高线编辑与平滑处理等功能，并支持不同格式的等高线输出，可方便快

捷的实现潮间带等高线生成。研发的潮间带一体化测图软件（2019SR0019292），功能强大，具有点云工程管理、可视化、编辑和特征提取等功能，可实现从点云数据中进行特征点、线、面数据的提取，支持多种格式的输入和输出。基于严密的广义特征约束的多传感器整体空间关系非线性标定模型，研发的移动测量系统多传感器空间参数标定软件（2016SR385478），解决了多源数据获取的空间一致性问题。随着国家“坚持陆海统筹，加快建设海洋强国”战略的实施，项目成果对我国海洋经济建设将发挥重要作用，市场前景广阔。

2. 科技局限性（限 1 页）

（1）系统易用性与自动化程度待提高。结合陆海过渡带测绘实际生产经验，在系统操作、数据解析自动化、工程管理等方面仍需在自动化、易用性方面进一步提升。

（2）多源数据处理效率有待提升。陆海过渡带一体化测量系统包含多种传感器，工作过程中，各传感器不间断获取海量数据，海量的采集数据如不进行优化处理将直接制约着后续数据处理与成图效率，目前在这一方面仍需加大研究，以提高测量数据处理效率与成图速度。