一、项目名称

陆海过渡带三维信息一体化获取关键技术研究与应用示范

二、提名者及提名意见

**提名者：**山东科技大学

**提名意见：**该项目针对包括近岸、潮间带等复杂陆海过渡带区域地形测量的重大技术难题，完成了山东省垂直基准的陆海一体化和无缝化建设，研发了基于无人机载、船载、高悬挂浅滩车、八轮车等海陆空平台的高精度、无缝陆海一体化测量系统。该项目构建了多传感器水上水下一体化测量体系，实现了陆海过渡带地形测量无缝衔接；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；研发了数据采集、处理、一体化成图系列软件，推动了大比例尺陆海过渡带地形基础数据更新技术的发展。项目成果已经在国家多个重大测绘专项，以及测绘、水文、勘察、海洋等单位进行了推广应用，近三年直接经济效益达3000多万，社会效益显著。项目成果填补了陆海过渡带复杂区域一体化三维数据获取技术的空白，总体达到国际先进水平，具有重要的推广应用价值。

我单位认真审阅了该项目推荐书及其附件材料，确认真实有效，相关栏目符合填写要求。对照山东省科技进步奖申报和推荐基本条件，同意推荐申报山东省科技进步二等奖。

三、项目简介

复杂陆海过渡带区域测绘基准建设及地形测量一直是国内外测绘领域的一个难点。随着海洋经济的发展，对陆海过渡带在统一测绘基准下进行高精度、全覆盖地形测量需求愈加迫切，传统陆海过渡带地形测量中陆海测绘基准不统一、测量方法效率低、成本高、风险大，尺度小、精度低、海陆交界处常存在较大测量缝隙。针对上述难题，在获得多个国家级和省部级项目资助下，完成了山东省垂直基准的陆海一体化和无缝化建设，攻克了陆海过渡带地形测量多地形载体、多传感器集成、高精度、全覆盖等多个技术难题，研发了数据采集、处理、一体化成图系列软件，形成了一套高效率、高精度、陆海无缝的一体化测量系统。

主要技术创新点包括：

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、空间分布不连续的问题，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，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。

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测量设备的空白。研发的陆海过渡带硬件集成系统，在国际上首次实现了真正意义上的多传感器水上水下一体化测量，结合传感器测量特点以及潮间带地形特点对载体进行优化定制，可满足多载体多平台多复杂场景的数据采集。

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拼接的问题。通过特征约束的非线性整体严密平差模型，解算各个传感器相对于惯导之间的视准轴误差参数，实现了几何测深与声光传感器在空间覆盖度上的互补；通过各声速站测量的声速剖面，建立测区三维动态声速场模型，在此基础上，提出了一种自适应常梯度等效声速模型实现了声波束的准确归位，解决了水上水下点云无缝拼接的问题。

4、开发了支持多载体、多平台的异构多源传感器一体化采集、监控软件，开发了支持多源数据融合、去噪匹配、可视化渲染及浏览，地形要素快速绘制与编辑的软件，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。

项目获得中国授权发明专利8项、实用新型专利软2项，软件著作权3项，已发表论文10余篇，其中SCI/EI检索3篇。

项目成果总体达到国际先进水平。项目成果市场需求巨大，已经在国家多个重大测绘专项，以及测绘、水文、勘察、海洋等单位进行了推广应用，近三年直接经济效益达3000多万，社会效益显著，有重要的推广应用价值。

四、客观评价

一、专家评价

（1）“山东省测绘基准体系优化升级工程”验收意见

采用的技术先进、方法科学,在省级测绘基准优化升级、多基准一体化、陆海基准统一等方面实现了突破和创新,重力似大地水准面精度达到士3.1厘米,似大地水准面外检精度达到±2.0厘米,显著提升了山东省测绘基准体系的服务能力，在省级测绘基准建设中居国内领先。（验收专家组组长：宁津生）

（2）“山东省沿海高程/深度基准转换模型构建”验收意见

项目为国内首个完整构建省级高程/深度基准转换模型，模型精度和分辨率国内最高，满足省级基础测绘海洋测绘项目要求。专家组该项目在省级测绘基准建设中居国内领先。（验收专家组组长：宁津生）

（3）“船载多传感器水上水下一体化测量系统”科技成果鉴定

该测量系统具有水上水下地理信息采集与处理功能，解决了海岸带、海岛礁、内河航道及水中构筑物等的水上水下一体化测量问题，实现了多传感器的空间精确配准，解决了多传感器数据融合时间一致性问题，解决了水界面上下点云无缝拼接、多传感器坐标系精确校准及多波束低掠射测量等关键技术问题，满足水上、水下1:2000测图精度要求。

鉴定委员会一致认为：该测量系统设计合理、技术先进，在水上水下一体化测量方面取得了重要成果，可显著提高海岸带、海岛礁、内河航道及水中构筑物等的测量质量和工作效率，具有广阔应用前景。研究成果达到国际先进水平，其中在船载多传感器精确校准、多波束低掠射测量点云处理方面达到国际领先水平。（鉴定委员会主任：陈俊勇）

（4）“潮间带陆海一体化测量系统”科技成果鉴定

该成果在复杂地形移动测量载体的定制化、陆海一体化测量系统的海洋环境适应性、陆海一体化测量同构/异构数据的优化融合及潮间带多源融合数据的成果表达等关键技术方面实现了突破，填补了潮间带困难区域测量的一体化系统空白，解决了较大尺度潮间带陆海一体化测量的技术瓶颈，形成了潮间带一体化测量作业的技术体系，实现了平面点位精度优于10cm，高程精度优于10cm，能够满足1∶2000潮间带地形测量要求。

鉴定委员会一致认为，该科技成果可显著提高潮间带一体化测绘的测量质量和工作效率，具有广阔应用前景，在技术上整体达到了国内领先、国际先进水平。（鉴定委员会主任：刘经南）

二、科技成果测试

（1）“潮间带陆海一体化测量系统”科技成果测试报告

山东省软件评测中心对“潮间带陆海一体化测量系统”软件项目，根据所提供的项目技术报告，依据约定的测试标准和方法及相关的国家标准，从用户文档、功能性、可靠性、易用性四个方面进行了科技成果测试。经测试表明：VSursAcquire实现了异构多源传感器控制、数据获取、状态显示，为潮间带陆海一体化测量数据获取提供技术支持；VSursProcess实现潮间带陆海一体化测量数据预处理及大规模点云数据可视化直观展示；VsurMAP成图子系统实现了基础地理信息数据库图形要素测图成果快速入库，有助于提高潮间带陆海一体测量数据成图工作效率。软件用户文档、功能性、可靠性、易用性与国家标准GB/T 25000.51-2016中对用户文档要求及软件质量要求相符。该软件的开发已达到预定目标，能够在潮间带陆海一体化测量工作中使用。评测结果：通过（山东省软件评测中心）

（2）“船载多传感器水上水下一体化测量系统”科技成果测试报告

受山东科技大学的委托，山东省软件评测中心对“船载多传感器水上水下一体化测量系统（含数据来集和数据处理软件）”软件项目，根据所提供的项目技术报告和测试大纲等文件约定的测试标准和方法及相关的国家标准，从用户文档、功能性、可靠性、易用性四个方面进行了科技成果测试。经测试表明：软件基于C/S架构，采用多传感器时间同步技术、基于非线性特征约束的多传感器空间关系精确标定技术、大规模激光及多波束点云数据处理及无缝融合技术、水上水下一体化成图技术等技术，主要提供主页面展示、传感器设置、数据采集、数据处理等功能，实现在传感器协同信息采集、融合、处理、展示，为海岛礁测绘工作及海岛礁地理环境监测与评估等提供技术保障。其用户文档、功能性、可靠性、易用性与国家标准GB/T 25000.51-20l0中对用户文档要求及软件质量要求相符，能够在水上水下一体化测量工作中使用。评测结果：通过（山东省软件评测中心）

三、科技查新评价

（1）“船载多传感器水岸线上下一体化测量系统”科技查新报告

本项目研究内容与方向包括：1、采用多传感器一体化检校技术，建立非线性特征约束的空间标定整体严密平差模型，解决了激光扫描仪、惯导平台和多波束测深仪的坐标系统一的问题。2、构建自适应三层常梯度等效声速模型，以激光扫描点云为边界约束，解决了水岸线上 下点云无缝拼接的问题；3、通过硬件集成、时间同步、空间校准、数据组织、误差处理等关键技术，实现了船载多传感器水岸线上下体化测量，首次给出了完整的解决方案。在检索范围内，国内外未见与本查新课题拟研究内容相同的文献报道。（教育部科技查新工作部）

（2）“潮间带陆海一体化测量系统关键技术研究”科技查新报告

在国内外公开发表的中文文献中，除本课题委托单位前期发表的期刊文献与专利技术外，已见潮间带水下地形测量、传感器集成技术与数据融合以及浅滩水下复杂地形的测量的文献报道，未见与本课题采用定制化移动载体实现水深测量的过渡等功能相同的文献报道；未见与本课题采用的多传感器配置、空间关系及信息互补方面的等方面的一体化集成技术及其空间关系精密检校模型构建相同的文献报道；未见与本课题采用的较大尺度浅滩陆海一体化测量技术相同的文献报道。（教育部科技查新工作部）

（3）“山东省陆海统一现代化测绘基准体系建设研究”科技查新报告

在山东省建立向海延伸的高精度的似大地水准面模型，利用高精度潮汐模型完成了高程/深度基准转换模型，其精度优于10cm；在沿海地区叠加了似大地水准面模型和高程/深度基准转换模型，完成了在沿海地区大地基准、高程基准、水深基准的融合工作。

五、应用情况

项目成果—船载多传感器水上水下一体化测量系统及潮间带陆海一体化测量系统，均具有集成度高、获取数据精度高、数据采集效率快、设备操作简易等特点，实现了多类型复杂陆海过渡带区域水上水下三维信息的快速、精准获取，项目研究成果填补了陆海过渡带一体化测量体系方面的国内空白，部分指标达到国际先进水平。各应用单位采用船载多传感器水上水下一体化测量系统，解决了不易登陆的海岛礁及周边区域地形和属性信息的快速提取测量问题，通过在马河水库、千岛湖、东海大桥、三峡、册子岛等区域水上水下地形数据获取的实际应用，取得了良好的经济与社会效益；采用潮间带陆海一体化测量系统替代陆海过渡带区域常规测绘手段，在山东省“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项目日照、威海和烟台测区中完成了工程示范应用，结果表明，与常规测绘手段相比，外业作业时间减至1/3；采用研发的多源数据融合处理软件、潮间带地形测量成果成图应用软件，内业时间缩短至2/3，总体工作效率提升约1倍，取得了巨大的经济效益。此外，项目成果可进一步推广应用于内河航道、水库、湖泊等水岸线复杂地区的地理信息获取，对促进国内潮间带地形测量技术发展具有很高的引领作用。

六、主要知识产权和标准规范等目录

主要知识产权证明目：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权名称 | 知识产权类别 | 发明人 |
| 1 | 一种船载水上水下一体化测量系统野外实时校准方法 | 授权发明专利 | 卢秀山，冯成凯，石波，阳凡林;景冬;马跃;刘振;李耀宗 |
| 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 | 授权发明专利 | 石波，刘云鹏，马跃，张从跃，阳凡林，景冬，卢秀山，刘振 |
| 3 | 船载水岸线水上水下一体化测量系统集成方法 | 授权发明专利 | 卢秀山，石波，景冬，马跃，刘振，王明伟 |
| 4 | 一种多波束位置伺服控制方法 | 授权发明专利 | 卢秀山，石波，马跃，景冬，刘振 |
| 5 | 船载水上水下一体化测图系统的平台装置 | 授权发明专利 | 卢秀山，刘振，石波，景冬，马跃 |
| 6 | Shipborne Over- and Under-Water Integrated Mobile Mapping System and Its Seamless Integration of Point Clouds | 论文  （Marine Geodesy） | 石波；卢秀山；阳凡林；章传银；吕彦全；程敏 |
| 7 | Calibration method of rotation and displacement systematic errors for ship-borne mobile surveying systems | 论文  （Survey Review） | 卢秀山；冯成凯；马跃；阳凡林；石波；宿殿鹏 |
| 8 | 山东省陆海无缝垂直基准的初步实现及其应用 | 论文  （测绘通报） | 丁仕军，陈建忠 |
| 9 | 同步验潮法在刘公岛跨海高程传递中的应用 | 论文  （海洋测绘） | 丁仕军，李亚虎，赵中飞，王观鹏 |
| 10 | 潮间带等高线生成系统 | 软件著作权 | 青岛秀山有限公司 |

七、主要完成人情况

**卢秀山：**项目负责人，提出船载水上水下一体化系统总体目标和研究方向，把控项目整个过程。组织项目总体技术路线设计、技术研发、软件开发、成果推广应用。负责潮间带一体化测量系统详细设计、技术路线设计等相关工作。

**张立国：**项目负责人，提出项目总体目标和总体研究方向，把控项目建设整个过程。组织项目总体技术路线设计和成果推广应用，提出了沿海垂直基准建设及陆海数据融合的总体思路，在潮间带一体化测量系统研究中做出创造性贡献。参与了潮间带一体化测量系统详细设计编写、多源数据融合技术路线设计等工作。

**魏国忠：**参与项目关键技术研究工作，负责了山东省似大地水准面模型构建，参与了陆海一体化测量系统的海洋环境适应性研究，其中包括系统机械结构设计及设备集成海洋环境适应性研究、载体车桥及传动机构海洋环境适应性研究和基于异构传感器的优化组合与空间关系配置研究，提高了载体的海洋适应性和传感器空间关系配置的科学性。

**石波：**为项目主要完成人，负责并完成了陆海过渡带地形一体化测量技术研发，优化了异构多源传感器空间配置，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，实现了多传感器一体化集成及空间关系精密标定，解决了系统工作过程中定位定姿及点云无缝对接等问题。

**钟全宝：**项目主要技术人员，负责了潮间带一体化测量系统载体的设计及改装，组织并完成了高程/深度基准转换模型构建，参与了复杂地形移动测量载体的定制化与海洋环境适应性研究工作，研制了一款水陆两栖、通过性强、安全可靠的具有普遍适应性的潮间带作业载体，建立了载体稳定性测量评估体系。

**祝明然：**项目主要技术人员，参与了山东省似大地水准面模型构建及拖曳测量系统的研发，为山东省沿海测绘基准统一及陆海过渡带一体化测量设备研发打下了基础。参与并完成了多传感器集成及数据融合工作，并给出了完整的解决方案，解决了系统在陆地、沙滩、礁石、浅水等典型潮间带区域水上水下点云无缝整合的问题。

**李国玉：**参与潮间带陆海一体化系统的方案设计、系统设计与集成、系统精度评定及应用示范，研发了适应沙滩、泥滩、砾石等多种类型滩涂的移动测量载体，集成了激光扫描仪、单波束测深仪、组合定位定姿及拖曳测量等多种传感器，研发了配套的多传感器数据采集、处理及成图软件，形成了潮间带陆海一体化测量系统。

**刘强：**参与项目关键技术研究工作，参与并完成了潮间带陆海一体化测量系统检校技术研究，其中包括多传感器空间位置的精确标定技术方法和多传感器内部时间的同步方法，保证了陆海过渡带一体化测量系统的成果精度。参与了陆海一体化测量系统的系统软件研发与成果处理，对软件进行了作业流程优化，提高了数据成果出图效率。

**丁仕军：**参与项目关键技术研究工作。参与并完成了山东省似大地水准面模型和沿海高程/深度基准转换模型的构建；参与了激光扫描点云为边界约束的自适应常梯度等效声速模型的研究工作；参与了软件设计，实现了软硬件协同作业，保障了软件的可扩展性、易用性、开放性；参与了潮间带陆海一体化系统多源数据融合、系统精度评定，编写检校相关软件。

八、主要完成单位及创新推广贡献

（1）山东科技大学

山东科技大学作为第一完成单位，负责总体技术方案制定、技术内容分析、可行性研究、技术路线确定，技术优化和产品定型等。针对陆海过渡带一体化测量要求，与山东省国土测绘院、青岛秀山移动测量有限公司，组建了技术研发团队，联合研发了船载水上水下一体化测量系统、潮间带陆海一体化测量设备等，组织载体设备改造，实现了多传感器一体化集成与水上水下测量数据无缝衔接，显著提高了我国陆海过渡带区域地形测量技术水平。建立了特征约束的多传感器空间关系非线性整体严密检校平差模型，解决了陆海过渡带复杂地形多源空间信息获取的一致性问题。构建了激光扫描点云为边界约束的自适应常梯度等效声速模型，提升了数据质量、利用率，解决了水上水下数据无缝拼接问题。填补了陆海过渡带困难区域一体化测量设备的空白，开发了数据采集、处理、成图与应用系列软件，推动了大比例尺陆海过渡带基础测绘成果数据更新。为陆海过渡带一体化系统装备研发与推广应用奠定了基础，技术成果已经在多家甲级测绘单位进行推广应用，产生了巨大的社会经济效益。

（2）山东省国土测绘院

山东省国土测绘院作为第二完成单位，负责总体技术方案制定、可行性研究、系统指标确定、多传感器一体化集成等。在山东省“十二五”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项目实施过程中发现常规测量手段工作效率低，成本高、危险系数高等问题，迫切需要一款能快速、准确获取陆海过渡带困难区域地形数据的一体化测量系统，基于实际需要，与山东科技大学、青岛秀山移动测量有限公司展开合作，组建了技术研发团队，构建了向海延伸的山东省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建设，联合研发了船载水上水下一体化测量系统、潮间带陆海一体化测量设备等，组织载体设备改造，实现了多传感器一体化集成与水上水下测量数据无缝衔接，显著提高了我国陆海过渡带区域地形测量技术水平。完成了一体化测量系统多传感器一体化集成和性能评估，开发了数据采集、处理、成图与应用系列软件，提高了内外业工作效率，促进了陆海过渡带一体化系统装备研发与推广应用，在山东省“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项目日照、威海和烟台测区中完成了工程示范应用，实现了技术成果的转化应用，产生了巨大的社会经济效益，为山东省“十三五”省级基础地理信息数据库更新工程中潮间带及近海地形测量项目的顺利完成打下来坚实的基础。

（3）青岛秀山移动测量有限公司

青岛秀山移动测量有限公司作为项目第三完成单位，主要负责相应技术成果转换、多传感器数据集成、软件研发等，青岛秀山移动测量有限公司协助山东科技大学研发了船载水上水下一体化测量系统、潮间带陆海一体化测量设备，解决了陆海过渡带一体化测量设备问题，同时协助山东科技大学研发了对应数据采集、数据融合处理、数据成果出图等软件，提高了生产作业效率，降低了作业风险，大大解决了省财政资金，系统与应用软件在多家单位进行了应用推广，并取得了很好的社会和经济效益。

九、完成人合作关系说明

1、第一完成人卢秀山是本项目山东科技大学负责人，第二完成人张立国是本项目山东省国土测绘院负责人，第七完成人李国玉是本项目青岛秀山移动测量有限公司负责人。

2、山东科技大学和山东省国土测绘院，双方单位联合联合签订战略合作协议，在陆海过渡带三维信息获取方面的人才培养和科学研究上进行了深入合作，体现在山东省“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项目。目前，卢秀山为山东省国土测绘院刘先林院士工作站工作团队负责人，石波为山东省国土测绘院刘先林院士工作站办公室主任。

3、本项目第一完成人卢秀山，第三完成人石波均作为山东科技大学移动测量团队的主要成员，他们的研究成果已通过青岛秀山移动测量有限公司进行相应的成果转化，在卢秀山领导下共同完成授权发明专利多项、发表论文多篇，取得软件著作权多项，卢秀山、石波等承担或参与的国家级和省部级项目中，青岛秀山移动测量有限公司多次作为协作单位参与项目合作。

4、青岛秀山移动测量有限公司参与的国家重点研发计划，课题《灾害现场信息空地一体化获取技术研究与集成应用示范》的子课题《LiDAR、声呐一体化传感器》项目负责人为李国玉，其中负责船载水上下一体化系统的设计、研发、集成及应用示范等工作，解决本项目中多传感器同步及控制问题，实现了多传感器在同一POS单元支持下，快速获取水上下无缝、坐标一致的三维数据，在本项目第一完成人卢秀山指导下完成一体化设备集成、载体设备改造等任务，联合发表专利多项。

5、卢秀山等是山东科技大学测绘科学与工程学院职工，在本项目第一完成人卢秀山领导下共同完成授权发明专利多项、发表论文多篇。

6、张立国等是山东省国土测绘院职工。在本项目第二完成人张立国领导下共同获得完成山东省垂直基准建设和潮间带陆海一体化测量系统关键技术研究，为本项目提供重要技术支撑。

1. 年- 年卢秀山与张立国共同合作，其中卢秀山提出船载水上水下一体化系统总体目标和研究方向；张立国提出了沿海垂直基准建设及陆海数据融合的总体思路；

张立国提出了沿海垂直基准建设及陆海数据融合的总体思路；

石波负责并完成了陆海过渡带地形一体化测量技术研发，

李国玉集成多种传感器，研发了陆海一体化的移动测量载体，并研发了配套的多传感器数据采集、处理及成图软件，形成了潮间带陆海一体化测量系统。

魏国忠负责沿海垂直基准的建设，参与了陆海一体化测量系统的海洋环境适应性研究

钟全宝负责潮间带一体化测量系统载体的设计及改装，组织并完成了高程/深度基准转换模型构建。参与了复杂地形移动测量载体的定制化与海洋环境适应性研究工作。

祝明然负责了山东省似大地水准面模型构建及拖曳测量系统的研发，

参与并完成了多传感器集成及数据融合工作，

刘强参与并完成了潮间带陆海一体化测量系统检校技术研究，

**丁仕军**参与并完成了山东省似大地水准面模型和沿海高程/深度基准转换模型的构建；

参与了激光扫描点云为边界约束的自适应常梯度等效声速模型的研究工作；

参与了软件设计，

参与了潮间带陆海一体化系统多源数据融合、系统精度评定，编写检校相关软件。

张立国

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。

张立国、魏国忠、钟全宝、祝明然与丁仕军等组成山东省垂直基准的陆海一体化和无缝化项目组，负责陆海过渡带 问题。其中：张立国负责沿海垂直基准建设的总体方向把握；魏国忠负责了山东省似大地水准面模型构建，钟全宝组织并完成了高程/深度基准转换模型构建，祝明然与丁仕军参与了山东省似大地水准面模型及高程/深度基准转换模型构建，完成了山东省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。