

成果 登记	登记号	
	批准日期	

科学技术成果鉴定证书

测科鉴字[2015]第01号

成果名称：船载多传感器水上水下一体化测量系统

完成单位：山东科技大学

中国测绘科学研究院

青岛秀山移动测量有限公司

国家测绘地理信息局第七地形测量队

鉴定形式：会议鉴定

组织鉴定单位：国家测绘地理信息局

鉴定日期：2015年6月3日

鉴定批准日期：2015年6月3日

国家科学技术委员会

一九九四年制

简要技术说明及主要技术性能指标

1. 任务来源

- (1) 船载多传感器岛礁综合测量技术, 国家科技支撑计划项目子课题 (2012BAB16B01-01), 2012.01-2015.12。
- (2) 多波束水深和图像数据精细处理方法研究, 国家自然科学基金课题 (40876051), 2009.01-2011.12。
- (3) 移动测量多传感器集成检校关键技术研究, 青岛秀山移动测量有限公司自主项目, 2014.01-2014.12。
- (4) 便携式船载水上水下一体化扫描系统研发, 青岛市黄岛区科学技术局 2014 年海洋科技专项, 2014.10-2016.12。

2. 应用领域和技术原理

本项目属海洋测绘领域。我国海岛礁众多, 多为无人海岛、暗礁、暗沙或礁盘, 在实际的海岛(礁)测绘中, 登岛困难、岛上作业条件差; 我国海岸线和内河航道里程长, 海岸带测绘任务重。由于海岸线区域滩涂、礁石遍布, 水下行船困难, 滩涂地带淤泥区多, 水上人工跑滩非常困难, 因此, 海岛礁周边及海岸带区域地理信息获取的劳动强度大, 且在陆海交接处留有较大的空白地带。为满足我国海岛礁地形地貌无缝测量要求, 解决不易不宜到达岛礁地形测量、海岸带和滩涂地形测量问题, 提升我国海岛礁、海岸和滩涂地形测量技术水平和效率, 迫切需要研究多传感器集成的船载一体化移动测量技术, 提供一套完整的解决方案。

该系统以船为载体, 集成了激光扫描仪、多波束测深仪、卫星定位接收机、惯性测量装置等先进传感器, 通过多传感器采集监控端及核心控制器有机协调各传感器的时间同步、运行响应、数据传输与存储, 构成三维空间测量系统, 主要关键技术包括高精度的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以及水上水下一体化成图技术等。

3. 性能指标

(1) 水上部分

点云位置精度符合《工程测量规范》(GB/T 50026-2007) 1:2000 测图要求。

(2) 水下部分

点云位置精度符合《水运工程测量规范》(JTS 131-2012) 1:2000 测图要求。

(3) 水上水下点云融合

水上水下点云在垂直方向上的缝隙宽度 ≤ 0.3 米。

(4) 测试精度

水上点云重复测量精度优于 5cm@50m;

水下点云重复测量精度优于 20cm@50m;

水上水下点云水平方向一致性优于 20cm@50m;

水上水下点云垂直方向缝隙宽度小于 30cm@50m。

4. 成果的创造性、先进性

(1) 研发成型 VSurs-W 型硬件集成系统及 SODA 软件系统, 在国际上首次实现了船载多传感器水上水下一体化无缝测量, 并给出了完整的工程解决方案。

(2) 采用多传感器一体化检校技术, 提出基于非线性特征约束的空间标定整体严密平差模型, 实现了激光扫描仪、惯导平台和多波束测深仪的坐标系统的一致性技术难题, 使得水上激光点云与水下多波束点云的内符合精度优于 10cm。

(3) 构建浅水自适应常梯度等效声速模型, 并以公共目标激光扫描特征点为边界约束, 获得了水下多波束掠射角 30 度范围内的点云数据, 解决了水上水下点云无缝拼接的国际性难题, 拼接后垂直方向上的缝隙宽度 ≤ 0.3 米。

5. 与国外同类技术比较

船载水上水下一体化系统并不仅是以多波束与激光扫描系统同步采集数据为目的, 或者仅是共用一个惯导来节省系统成本, 而是需要获得高质量陆海无缝的水上水下一体化数据, 实现陆海无缝成图。目前国际上尚未出现完全意义上的船载水上水下一体化测量系统, 通常只是实现了激光扫描系统和多波束测深系统的数据同步采集, 有的共用一套惯导; 有点分开测量, 采用两套惯导, 这对一体化测量的概念来说偏离较远。国外主要类似的系统有英国的 DynaScan、瑞士 HDS6000/6100、奥地利 RIEGL V 系列等, 它们采用了一套惯导, 但水下多波束部分和水上激光扫描部分没有实现真正意义上的固联, 如 DynaScan 系统, 其扫描仪架设在船的上部, 多波束在船首或船尾安装, 虽然整个系统使用一套组合导航系统, 但扫描仪中心、多波束中心相对于惯导中心的杆臂向量大, 很难达到系统整体精确检校的效果, 增加了三个方向安装角残差的影响, 无法解决水上水下坐标系统精确统一。QINSy 软件支持同步采集激光扫描和多波束测量数据, 价格较昂贵, 仅支持实时姿态和位置数据, 不利于通过后处理获得更高质量的水上水下一体化测量数据。国内中海达公司刚推出的类似的系统, 当前仍采用两套惯导系统, 实际上多波束和激光扫描系统是自成一体、独立式采集数据。

表 1 一体化测量系统与国内外同类系统对比

序号	系统名称	产地	厂家	采集软件, 是否自主研发	惯导数量	一体化检校	无缝测量
1	DynaScan	英国	MDL	QINSy, 否	1	否	否
2	HDS6000/6100	瑞士	Leica	未知	1	否	否
3	RIEGL V 系列	奥地利	RIEGL	QINSy, 否	1	否	否
4	iAqua 系统	中国	中海达	水上: 自研 水下: PDS2000, 否	2	否	否
5	V-SursW	中国	山科大	SODA, 是	1	是	是

项目所研制的水上水下一体化测量系统通过特殊的机械设计方案有效地解决了水上水下传感器之间的刚性连接问题,通过采集平台设计和独有的数据处理算法,实现了近水面声波束的测量与利用,达到了水上水下无缝覆盖;利用室内标定场和野外标定场的观测数据,通过建立非线性特征约束的空间标定整体严密平差模型,解决了高精度的水上水下一体化检校问题;研制了功能完整的一体化采集软件,从硬件系统集成、到软件研发、再到一体化的工程解决方案,在国内首次实现了船载水上水下一体化无缝测量。

1. 作用意义

海岛(礁)在维护国家主权和海洋权益中的地位极为重要。我国主张管辖的海域相当大一部分是以海岛(礁)为基点来确定的。国际海洋法及海域划界实践表明,除非相邻国家之间另有协议,在划中间线时所有海岛(礁)应予以考虑。精确的海岛(礁)位置及地理信息对国防建设起着举足轻重的作用,对海上军事行动决策、武器装备作战运用等具有重要影响,是保障国家制海权所必需的基础信息,是提高海防现代化水平的重要保证。

海岸带是临海国家宝贵的国土资源,亦是海洋开发、经济发展的基地,是人类活动最频繁的区域。我国海岸线漫长,海岸带资源丰富,约一半的人口居住在海岸带地区,国民生产总值相当大一部分由这里产生。开发利用海岸带资源是发展海洋事业的重要组成部分。不管是海洋开发还是海洋管理问题,海岸带地形和资源、属性信息都是必需的海洋基础测绘数据。

水运具有成本低、耗能少、投资省、少占或不占农田等优点,对我国经济发展有巨大的贡献。内河航道与公路、铁路相比,其建设费用低,为了保障航道畅通,需要修筑航道工程、建设航标设施等水上构筑物,及时、准确获取其基础地理信息是电子航道图工程、数字航道工程、智能航运工程等方面重要的基础资料。

海岛礁、大陆沿线海岸带、内河航道的水岸线及构筑物水上水下区域或目标的地理信息获取,多年来一直是测绘难点,任务量大、测量条件恶劣。当前主要使用船载单波束回声测深仪进行水下浅滩测量,采用人工跑滩、航空摄影以及卫星遥感等技术手段进行水上部分地形测量。由于人工跑滩效率低下,船载单波束回声测深仪无法测量水上部分,航空摄影以及卫星遥感仅能直接测量水上部分、且起飞时间难以自行控制,目前尚缺乏一种高效的、能同时解决水上水下带状区域或目标物地理信息获取的技术手段。因此,研究海岸带、岛礁及水上构筑物等水陆结合部等困难地带的快速高效一体化测图技术,具有重要的作用和意义。

船载多传感器水上水下一体化测量系统集成激光扫描仪、多波束测深仪、姿态及位置等多传感器技术,实现船载多传感器信息的协同采集,完成海岸带、海岛礁及周边区域、航道及水上构筑物的水上水下基础地理信息的快速提取,在海岸带测量、海岛礁测绘、航道测量和海洋工程测量中有巨大的应用价值。

2. 推广应用的范围、条件和前景以及存在的问题和改进意见

我国岛屿众多,500m²以上的就有7000多个,总面积8万多平方公里,约占我国陆地国土总面积的0.8%,精确的海岛礁基础地理空间信息是海岛海洋管理、经济开发、海防安全的重要依据。

我国的东南两面为海洋所环抱,大陆海岸线绵亘南北,北起辽宁省的鸭绿江口,南至广西壮族自治区的北仑河口,长达18000多公里,是世界上海岸线最长的国家之一;我国沿海地区有9省2市,总人口达4亿多,平均每平方公里386人,远远超过全国人口的平均密度;我国沿海地区理论基准面以上的海涂约3000万亩,15米水深以内的浅海面积约18000万亩,海岸带是临海国家宝贵的国土资源,亦是海洋开发、经济发展的基地,是人类活动最频繁的区域。准确、现势的海岸带基础地理信息是沿海省份海洋经济开发、地理国情监测的重要基础数据。

我国内河航道里程长,水运具有成本低、耗能少、投资省、少占或不占农田等优点,对我国经济发展有巨大的贡献。全国内河航道通航里程达12万公里以上,内河典型代表是长江,它是我国唯一横贯东、中、西部地区的水路交通大动脉,在全国综合交通运输网中占有十分重要的位置,素有“黄金水道”之称,2014年长江干线完成货物通过量20.6亿吨,同比增长7.3%,再创历史新高。这也是自2005年长江年货物通过量首次跃居世界内河榜首后,连续10年夺得世界内河第一。长江经济带已发展成为我国综合实力最强、战略支撑作用最大的区域之一。近年来,国家对长江经济带建设日益重视。2014年9月,国务院印发《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》,提出从航道功能升级、综合交通、产业转型、新型城镇化、对

外开放、生态廊道和协调机制等七个方面建设长江经济带。长江经济带正在加速对接“一带一路”，为“一带一路”起到重要助推作用。长江航道测绘是长江航运发展的重要保障之一，近 10 年来，测量任务增加率年均超过 10%，预测到 2020 年将达到 10.31 万换算平方千米。

海洋经济建设、海防建设和内河航运的发展，首先需要进行海岸带、海岛礁和航道测量，然而海岸带、航道、浅滩及岛礁等水陆结合部等，一直是海洋测绘面对的困难地带和经常性工作。攻克相关的瓶颈问题，形成快速高效一体化测图技术，定期在不同区域进行不同基本比例尺的地形专项测绘，是一项长期、繁重而必须的工作。

项目成果可用于海岛礁、海岸带、内河航道及湖泊等水岸线复杂地区的地理信息获取，解决登岛、登岸和行船测量的困难问题，实现陆海基础地理信息无缝拼接，将在海岛礁测绘二期工程、数字三沙基础地理框架建设、海岸带地形测绘等国家专项工程和江河湖泊测量中发挥重要作用，有效提升我国海岛礁、海岸带、内河航道和滩涂地形测量技术水平和效率，在测绘、海洋、海事、水运等部门具有较大的推广应用价值，应用前景广阔，经济效益巨大，社会效益显著。

项目成果在理论研究、硬件集成、算法设计、软件研发等方面上做了大量工作，形成了软硬件成套系统，通过在西沙群岛、千岛湖、胶州湾和海南岛的大量实验验证，效果显著，已达到实际应用水平，具备大量推广应用的条件。希望项目成果的应用能获得上级有关部门进一步支持，尽早为我国海岛礁、海岸带、内河航道等方面的水上水下一体化快速测量提供技术和装备支撑。

主要技术文件目录及来源

- 鉴定材料 1、 工作报告
- 鉴定材料 2、 技术报告
- 鉴定材料 3、 测试报告
- 鉴定材料 4、 用户报告
- 鉴定材料 5、 查新报告
- 鉴定材料 6、 经济效益分析报告
- 鉴定材料 7、 科技成果测评报告

船载多传感器水上水下一体化测量系统 测试意见

2015年5月19日,国家测绘地理信息局科技与国际合作司在青岛组织专家(名单附后),按照“船载多传感器水上水下一体化测量系统测试大纲”,对山东科技大学、中国测绘科学研究院、青岛秀山移动测量有限公司及国家测绘地理信息局第七地形测量队等单位联合研制的“船载多传感器水上水下一体化测量系统”的主要性能指标进行了海上和室内测试,形成测试意见如下:

一、系统集成了激光扫描仪、多波束测深仪、IMU和GNSS等设备,具有水上目标物和水下地形数据一体化同步采集功能。

二、系统各传感器间时间同步精度优于0.3ms,保障了水上水下点云数据的位置精度。

三、测试结果表明,激光点云平面点位精度优于10cm、高程点位精度优于10cm,水深点平面精度优于20cm、深度精度优于20cm,满足水上、水下1:2000测图精度要求。

四、软件具有对原始数据采集、解析、质量控制及数据预处理功能。

测试组专家一致认为,“船载多传感器水上水下一体化测量系统”配置合理、性能稳定、集成度高,主要技术指标符合设计要求。

测试组组长:



2015年5月19日

鉴 定 意 见

船载多传感器水上水下一体化测量系统

科技成果鉴定意见

2015年6月3日,国家测绘地理信息局在青岛主持召开了“船载多传感器水上水下一体化测量系统”(以下简称测量系统)科技成果鉴定会。鉴定委员会(名单附后)审查了相关材料,听取了工作报告、技术报告、测试报告、用户报告和查新报告,现场观看了测量系统,经质疑和讨论,形成鉴定意见如下:

1. 成果资料完整,符合鉴定要求。

2. 该测量系统集成了激光扫描仪、多波束测深仪、惯性测量装置、GNSS接收机等多种传感器,自主开发了与该测量系统配套的SODA软件系统,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。

3. 该测量系统建立了传感器综合空间标定模型,实现了多传感器的空间精确配准;研发了同步精度优于0.3ms的硬件时间控制器,解决了多传感器数据融合时间一致性问题;构建了自适应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。

4. 该测量系统提供的激光点云数据,平面点位精度优于10cm,高程精度优于10cm;多波束点云数据平面点位精度优于20cm,深度测量精度符合国际和国家标准,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。

建议对测量系统的数据采集和处理软件进一步优化。

鉴定委员会主任:

陈俊勇

2015年6月3日



主 持 鉴 定 单 位 意 见

主管领导签字：_____（盖章）
_____年_____月_____日

组 织 鉴 定 单 位 意 见

同意鉴定意见

主管领导签字：_____（盖章）
_____年_____月_____日



科技成果完成单位情况

序号	完成单位名称	邮政编码	所在省市代码	详细通信地址	隶属省部	隶属单位
1	山东科技大学	2 266590	37	青岛经济技术开发区前湾港路 579 号	山东省	山东省教育厅
2	中国测绘科学研究院	1 100830	11	北京市海淀区莲花池西路 28 号	国家测绘地理信息局	国家测绘地理信息局
3	青岛秀山移动测量有限公司	4 266590	37	青岛经济技术开发区前湾港路 579 号山东科技大学国家大学科技园	山东省	
4	国家测绘地理信息局第七地形测量队	5 570203	46	海口市白龙南路 53 号	国家测绘地理信息局	国家测绘地理信息局

注：1.完成单位序号超过 8 个可加附页，其顺序必须与鉴定证书封面上的顺序完全一致。

2.完成单位名称必须填写全称，不得简化，与单位公章完全一致，并填入完成和名称的第一栏中。其下属机构名称则填入第二栏中。

3.所在省市代码由组织鉴定单位按省、自治区、直辖市和国务院部门及其他机构名称代码填写。

4.详细通信地址要写明省（自治区、直辖市）、市（地区）、县（区）、街道和门牌号码。

5.隶属省部是指本单位和行政关系隶属于哪一个省、自治区、直辖市或国务院部门主管。并将其名称填入表中。如果本单位有地方/部门双重隶属关系，请按主要的隶属关系填写。

6.单位属性是指本单位在 1.独立科研机构 2.大专院校 3.工矿企业 4.集体或个体企业 5.其他五类性质中属于那一类，并在栏中选项 1.2.3.4.5 即可。

主要研制人员名单

序号	姓名	性别	出生年月	技术职称	文化程度 (学位)	工作单位	对成果创造性 贡献
1	卢秀山	男	1961.07	教授	博士	山东科技大学	系统基础理论研究 with 总体方案设计
2	党亚民	男	1965.02	研究员	博士	中国测绘科学研究院	GNSS 定位技术研究
3	阳凡林	男	1974.07	教授	博士	山东科技大学	系统技术模型研究与技术设计
4	胡兴树	男	1965.07	高级工程师	博士	国家测绘地理信息局 第七地形测量队	实验测试与数据分析
5	石波	男	1979.03	副教授	博士	山东科技大学	系统集成与空间关系精标定
6	章传银	男	1968.12	研究员	博士	中国测绘科学研究院	海上光电测量技术研究
7	马跃	男	1986.01	讲师	博士	山东科技大学	点云数据处理程序开发与数据处理
8	景冬	男	1982.11	讲师	博士	山东科技大学	检校标定技术研究 with 测试
9	刘振	男	1981.08	讲师	博士	山东科技大学	多波束数据处理程序开发与实验测试
10	李国玉	男	1984.10	工程师	硕士	青岛秀山移动测量有限公司	系统同步控制技术开发与测试
11	谷守周	男	1984.03	助理研究员	硕士	中国测绘科学研究院	GPS 数据处理与测试
12	王冬	男	1979.04	副教授	博士	山东科技大学	实验测试与设备检校
13	秘金钟	男	1975.10	研究员	博士	中国测绘科学研究院	组合导航理论研究
14	宿殿鹏	男	1988.09	硕士生	学士	山东科技大学	扫描仪数据采集及分析
15	冯成凯	男	1989.06	硕士生	学士	山东科技大学	多波束与导航数据采集及分析

鉴定委员会名单

序号	鉴定会职务	姓名	工作单位	所学专业	现从事专业	职务/职称	签名
1	主任委员	陈俊勇	国家测绘地理信息局	大地测量	大地测量	院士	陈俊勇
2	委员	侍茂崇	中国海洋大学	物理海洋	物理海洋	教授	侍茂崇
3	委员	刘保华	国家深海基地管理中心	海洋地球物理	海洋地球物理	研究员	刘保华
4	委员	彭震中	中国测绘地理信息学会	摄影测量与遥感	摄影测量与遥感	高工	彭震中
5	委员	周德军	中国测绘宣传中心	地貌学	测绘学	高工	周德军
6	委员	张铁军	天津水运工程科学研究院	大地测量	海洋测量	教高	张铁军
7	委员	欧阳永忠	海军海洋测绘研究所	海洋测量	海洋测量	高工	欧阳永忠
8	委员	曲伟刚	山东省测绘地理信息局	工程测量	测绘学	高工	曲伟刚
9	委员	张汉德	中国海监北海航空支队	摄影测量与遥感	海洋航空遥感应用	教高	张汉德
10	委员	张志华	青岛市勘察测绘研究院	摄影测量与遥感	摄影测量与遥感	研究员	张志华
11	委员	周兴华	国家海洋局第一海洋研究所	大地测量学	海洋测量	研究员	周兴华

科技成果登记表

成果名称		船载多传感器水上水下一体化测量系统					
研究起始时间		2009.01.01		研究终止时间		2015.03.31	
成果 第一 完成 单位	单位名称	山东科技大学					
	隶属省部	代码	37	名称	山东省		
	所在地区	代码	02	名称	青岛市	单位属性(2)	大专院校
	联系人	卢秀山					
	邮政编码	266590		联系电话	0532-80698686		
	通信地址	青岛经济技术开发区前湾港路 579 号					
鉴定日期		2015.06.03		鉴定批准日期			
组织鉴定单位名称		国家测绘地理信息局					
成果有无密级		(0)	0-无 1-有	密级	()	1-秘密 2-机密 3-绝密	
成果水平		()	1-国际领先 2-国际先进 3-国内领先 4-国内先进				
任务来源		(1,3)	1-国家计划 2-省部计划 3-计划外				
应用行业大类		(3)	01-农、林、牧、渔、水利 02-工业 03-地质普查和勘探业 04-建筑业 05-交通运输、邮电通讯业 06-商业、饮食、物资供销和仓储业 07-房地产、公用事业居民和咨询服务业 08-卫生、体育、社会、福利业 09-教育、文化、艺术、广播和电视业 10-科学研究和综合技术服务业 11-金融、保险业 12-其他行业				
应用情况		(1)	1-已应用 未应用原因 A-无接产单位 B-缺乏资金 C-技术不配套 D 工业实验前成果 E-其它				
转让范围		()	1-允许出口 2-限国内转让 3-不转让				
科研投资(万元)				应用投资(万元)			
国家投资				国家投资			
地方、部门投资				地方、部门投资			
其他单位投资				其他单位投资			
合计				合计			
本年度经济效益(万元或万美元)							
新增产值		新增利税		其中创收	外汇		