2020年度青岛市科学技术进步奖推荐公示材料

# 一、项目名称

海洋超高分辨率地震探测技术及其在重大工程中的应用

# 二、推荐单位

自然资源部第一海洋研究所

# 三、推荐意见

本项目依托多项国家重点项目和工程，历经近20年攻关，研制我国首套海洋超高分辨率多道地震探测系统，并形成系列化产品，极大提高了海床浅部地层的成像能力。该技术成果在青岛跨海大桥、胶州湾海底隧道（一隧、二隧）、我国十余个沿海核电厂址海域勘察、海域新资源勘查、海洋灾害地质勘察等项目中得到广泛应用，产生了显著的社会效益。我单位认真审阅了“海洋超高分辨率地震探测技术及其在重大工程中的应用”项目推荐材料，审查了完成人资格，确认材料真实有效，相关栏目填报符合要求。按要求，我单位和项目主要完成人所在单位都已对该项目的拟推荐情况进行了公示，目前无异议。推荐该项目为青岛市科技进步奖一等奖。

# 四、项目简介

本项目依托多项国家重点项目，历经近20年攻关，突破了高宽频等离子体震源、高密度多道数字缆、高分辨率地震资料特殊处理等关键技术，研制出我国首套海洋超高分辨率地震探测系统，极大提高了海床浅部地层的成像能力。主要创新成果如下：（1）创制出高宽频等离子体震源，攻克了震源激发间隔长、子波主频低等技术瓶颈。（2）研发了高密度多道数字缆，解决了时间上、空间上采样率低等技术难题。（3）创建了针对超高分辨率地震资料的信噪分离和成像新技术。项目成果在胶州湾大桥、胶州湾海底隧道等工程以及青岛市活动断层探测与地震危险性评价项目中得到广泛应用，查清了桥隧通道区内精细的地层结构、基岩顶面埋深以及存在的断层构造，厘定了沧口断裂在胶州湾的展布、产状和性质。项目成果还为石岛核电、苍南核电、港珠澳大桥等沿海十几个重大海洋工程项目的地震安全评估提供了可靠的地质依据。超高分辨率多道地震探测该技术方法写入国家标准，引领海洋工程勘察技术的变革升级产生了显著的社会效益。项目获国内外授权发明专利15项，实用新型专利21项，软件著作权11项，发表论文92篇，出版专著2部；项目成果实现了核心技术—成套装备—工程应用—产业化的全链条创新，引领了超高分辨率地震探测技术的发展，专家鉴定认为项目“整体上达到了国际先进水平，脉冲等离子体震源的主要技术指标达到国际领先水平”。

# 五、客观评价

（1）中交公路规划设计院给出的评价为：我单位承担的“港珠澳大桥工程可行性研究”、“青岛海湾大桥(北桥位)初步设计阶段工程地质勘察”中,使用了项目研发的“宽频大能量等离子体震源”、“小道距多道数字地震拖缆”等技术成果。获得的多道地震剖面清晰可靠,解决了港珠澳大桥、青岛海湾大桥路由基岩埋深、断裂位置、浅层气分布等重要工程地质问题,为大桥的可行性研究和工程设计提供了不可或缺的基础性数据和资料。

（2）青岛工程咨询院给出的评价为：“青岛胶州湾湾口海底隧道工程”和“青岛胶州湾湾口海底隧道地质F3断裂物探”工作中使用了项目研发的本项目研发的“宽高频大能量等离子体震源”、“高密度小道距高分辨率数字地震拖缆与采集系统”和“高分辨率地震资料后处理软件系统”等海洋超高分辦率多道地震探测设备成果,在胶州湾湾口海域开展了调査工作。获得的地震数据具有较高的信噪比,处理后剖面清晰、分辦率高,阐明了隧道路由工程地质情况和F3断裂的特征,为隧道工程可行性阶段提供了重要的基础资料。

（3）青岛国信建设投资有限公司给出的评价为：“青岛第二条海底隧道预可研阶段地质勘察”工作中使用了项目研发的海底浅层高分辨率多道地震探测设备成果,在胶州湾海域开展了调査工作。外业中设备工作稳定,获得的地震数据具有较高的信噪比,处理后剖面清晰、分辨率高,查明了第四系厚度、基岩面起伏情况和断裂构造的分布情况,取得良好的应用效果。

（4）青岛市应急管理局给出的评价为：在我单位承担的“青岛市活动断层探测与地震危险性评价”工作中,使用了项目研发的海洋超高分辦率多道地震探测设备成果,在胶州湾海域开展了高精度地震调査工作。获得的地震数据具有较高的信噪比,处理后的地震剖面具有很高的分辦率,查明了沧口、青岛山、劈石口等断裂在海域的位置、规模产状等性质；后期的钻探资料验证了物探的结果。

（5）青岛海洋地质研究所给出的评价为：本项目研发的“宽频大能量等离子体震源”、“小道距高分辨率数字地震拖缆”等技术成果，在我单位主持的国家重大专项“天然气水合物勘查与试采”中得到应用，在我国敏感海域获得了4万多公里的海底浅层高分辨率多道地震剖面，填补了我国在该海域高分辨率多道地震调查的空白，为我国新资源勘探开发做出了较大的贡献。

# 六、应用情况

基于技术成果研制的海洋超高分辨率多道地震探测技术装备实现了产业化（附件23～25），探测技术在青岛胶州湾大桥工程、胶州湾海底隧道工程（一隧和二隧）以及青岛城市海域活断层探测中得到广泛应用，揭示了桥/隧通道路由海域地层的松散沉积物和强风化带厚度，明确了基岩面埋深，厘定了沧口断裂在海域的位置、展布和产状，为胶州湾跨海桥隧工程建设提供了可靠的数据和地质依据，取得的勘察成果得到了业界的充分肯定。此外，核心技术成果还在我国滨海核电厂址地震安全性评价、海域新资源勘查、海洋地质调查、南北极科学考察得到广泛应用。

# 七、主要知识产权和标准规范等目录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家 | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 | 有效状态 |
| 发明专利 | 多震源多拖缆触发时序控制系统及方法 | 1.中国 | ZL201410286261.4 | 2017.12.12 | 2734602 | 自然资源部第一海洋研究所，国家深海基地管理中心 | 刘保华， 裴彦良，刘晨光，李西双，孙蕾 | 有效 |
| 发明专利 | 高压低波阻抗同轴水电缆 | 1.中国 | ZL201110039090.1 | 2012.07.04 | 995164 | 自然资源部第一海洋研究所，浙江大学，山东拓普液压气动有限公司 | 裴彦良，刘保华，季念迎，闫克平，等 | 有效 |
| 发明专利 | 一种深拖分置式脉冲等离子体震源系统 | 1.中国 | ZL201110025495.X | 2013.06.05 | 1207136 | 浙江大学 | 黄逸凡，闫克平，裴彦良，王揆洋，刘保华 | 有效 |
| 发明专利 | Multi-electrode emitting array of bipolar pulse discharge | 3.欧洲 | WO 2014/094512 | 2017.01.11 | EP 2804018B1 | 浙江大学 | 黄逸凡，闫克平，刘振 | 有效 |
| 发明专利 | 智能控制复合相干电火花震源装置 | 1.中国 | ZL200410075513.5 | 2009年10月14日 | 557803 | 自然资源部第一海洋研究所 | 裴彦良，刘保华，刘晨光，王揆洋，李西双 | 无效 |
| 实用新型专利 | 一种基于水下移动平台的地震勘探系统 | 1.中国 | ZL201721865398.0 | 2018年9月21日 | 7872565 | 自然资源部第一海洋研究所，国家深海基地管理中心 | 华清峰，刘保华，景春雷，解秋红，于凯本，裴彦良 | 有效专利 |
| 计算机软件著作权 | 多通道声波信号处理软件 | 1.中国 | 2017SR033857 | 2017年2月7日 | 1619141  | 自然资源部第一海洋研究所 | 华清峰，李官保，裴彦良，刘晨光 | 有效 |
| 论文 | 海洋高分辨率多道数字地震拖缆技术研究与应用 | 1.中国 |  | 2013.12 | 地球物理学进展 | 自然资源部第一海洋研究所 | 裴彦良，刘保华，连艳红，刘晨光，解秋红 | 有效 |
| 论文 | 青岛胶州湾海底跨海通道及前海沿线地下道路工程 | 1.中国 |  | 2020.6 | 隧道建设（中英文） | 青岛国信建设投资有限公司 | 曲立清，李翔，代镇洋 | 有效 |
| 论文 | 青岛沧口断裂的地质构造特征与第四纪活动性研究 | 1.中国 |  | 2007.2 | 震灾防御技术 | 青岛市应急管理局 | 郭玉贵，邓志辉，尤惠川，黄永华，刘保华，等  | 有效 |

# 八、主要完成人情况

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 排名 | 行政职务 | 技术职称 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目贡献 |
| 刘保华 | 1 | 无 | 研究员 | 国家深海基地管理中心 | 自然资源部第一海洋研究所 | 在本项目中负责技术总体设计，项目实施的管理和协调。作为第一发明人创造性地提出了多源多缆采集控制方法并获得发明专利授权，对应主要科技创新中第2个创新点。作为共同发明人获得发明专利5项，实用新型专利8项，对应第1个和2个创新点；发表研究论文20余篇，对应第3个创新点。培养硕士、博士研究生多名。积极推动项目成果的应用和产业化，使其在青岛胶州湾大桥、胶州湾跨海隧道、港珠澳跨海大桥以及等十余个滨海核电厂址勘察项目中得到应用，为海洋超高分辨率地震探测技术的推广和应用，做出了杰出的贡献。 |
| 裴彦良 | 2 | 无 | 高级工程师 | 自然资源部第一海洋研究所 | 自然资源部第一海洋研究所 | 本人参与了“2001AA602025”和“2006AA09A108”两个863课题的研究工作。在项目研发过程中，创造性的提出了变能量电火花震源技术，对应主要科技创新中第1个创新点；作为第一发明人或共同发明人获得发明专利授权8项，实用新型专利11项，对应主要科技创新中第一个和第2个创新点；以第一作者在高技术通讯等刊物发表等离子体震源技术、高分辨率小道距地震拖缆技术等研究论文8篇。 |
| 刘晨光 | 3 | 无 | 高级工程师 | 自然资源部第一海洋研究所 | 自然资源部第一海洋研究所 | 本人是项目涉及863课题“2001AA602025”和“2006AA09A108”的主要参与者，从事超高分辨率多道地震探测技术方法研究，作为共同发明人获得发明专利授权3项，实用新型专利6项，发表相关研究论文多篇，分别对应主要科技创新中第1和第3个创新点。作为主要人员参与青岛胶州湾大桥、胶州湾海底隧道、港珠澳大桥以及多个滨海核电厂址等重大工程项目勘察工作，在海洋超高分辨率多道地震探测技术的推广应用中做出重要贡献。 |
| 李西双 | 4 | 无 | 副研究员 | 自然资源部第一海洋研究所 | 自然资源部第一海洋研究所 | 本人参与了项目涉及的两个863课题（编号“2001AA602025”和“2006AA09A108”）的研究工作。参与了变能量电火花震源技术的研发，作为共同发明人获得发明专利授权1项，对应主要科技创新中第1个创新点；参与多震源多拖缆触发时序控制系统及方法的研究，作为共同发明人获得发明专利授权1项，对应主要科技创新中第2个创新点；在技术成果应用方面，先后主持了多个核电厂址、跨海通道以及深水油气田海域超高分辨率多道地震探测与应用项目，作为第一作者或共同作者在Continental Shelf Research等刊物发表了20余篇相关研究论文。 |
| 曲立清 | 5 | 董事长 | 研究员 | 青岛国信建设投资有限公司 | 青岛国信建设投资有限公司 | 本人参与了海洋超高分辨率设备的海试验证和工程应用工作，针对胶州湾复杂的地质环境条件，提出了对项目研制设备预设参数的总体建议，优化了设备技术路线和指标，推进了高密度小道距多道数字缆的研制、海试和应用，对应主要科技创新中第2个创新点。成功组织了海洋超高分辨率设备在胶州湾海底隧道工程地质物理探测中应用实施，获得了高质量的超高分辨率地震剖面，识别出横切隧址通道的F3断层并确定了该断层的产状和性质，为胶州湾海底隧道的安全施工提供了关键的数据，并发表相关研究论文多篇。 |
| 郭玉贵 | 6 | 二级巡视员 | 研究员 | 青岛市应急管理局 | 青岛市应急管理局 | 作为“青岛市活断层探测与地震危险性评价”项目的负责人兼技术负责人，为开展胶州湾海域断层探测，设立“海域控制性浅层地震勘探”专题，会同原国家海洋局第一海洋研究所，利用新研发的高密度小道距多道数字缆和多道地震采集仪完成了海域断层多道地震控制性探测和详细探测，对应主要科技创新中第2个创新点；进而，通过布设跨断层钻孔联合剖面施工取样、测年及沉积环境分析、岩性地层对比，验证解释了胶州湾海域多道地震揭示的断层构造特征，通过与陆地断层地质填图、探槽调查、地球物理与地球化学探测等结果进行综合分析，确定了海域断层的发育特征、规模、产状及构造活动性，并发表相关研究论文多篇。 |
| 华清峰 | 7 | 无 | 工程师 | 自然资源部第一海洋研究所 | 自然资源部第一海洋研究所 | 本人参与了项目涉及863课题“2006AA09A108”，开发了便携型海洋地震勘探系统原型、编写了多通道地震数据处理软件，作为第一完成人获得实用新型专利授权3项、软件著作权2项，分别对应主要科技创新中第2和第3个创新点。作为主要人员参与了胶州湾海底隧道等多个跨海通道重大工程调查、华能石岛湾核电厂等多个滨海核电厂址勘察工作，在海洋超高分辨率多道地震探测技术的推广应用中做出重要贡献。 |
| 闫克平 | 8 | 无 | 教授 | 浙江大学 | 浙江大学 | 在本项目中本人主要负责等离子体震源相关的基础实验研究、理论分析及其技术产品研制，提出了等离子体震源设计原理，指导完成了等离子震源装备的研发和应用，对应创新点1。早在2004年作为第一作者第一次报道了全固体开关等离子体震源的研制，发表论文13篇，作为第一发明人和共同发明人，获得授权欧盟专利1项，国家发明专利10项，另外在推广等离子体震源在环境保护、国防水声探测及水声对抗方面的应用做出了重要成绩。 |
| 连艳红 | 9 | 副总经理 | 高级工程师 | 西安虹陆洋机电设备有限公司 | 西安虹陆洋机电设备有限公司 | 本人在本项目中承担了高密度小道距多道数字缆与记录系统的研制工作，对应主要科技创新中第2个创新点。项目实施过程中大胆开发先进数传、采集、记录的技术，将网络、低压差分LVDS、长距离等多种数传技术、多任务多线程协调工作、32位高精度采集技术、低功耗微型结构设计等应用于项目设计并实施过程中，取得良好的技术成果。本人获相关发明专利1项、实用新型专利10项、软件著作登记9项、发表相关文章多篇，创造了可观的经济效益。 |
| 王揆洋（已去世） | 10 | 无 | 研究员 | 自然资源部第一海洋研究所 | 自然资源部第一海洋研究所 | 在本项目中担任“近海工程高分辨率多道浅地层探测技术（2001AA602250）”课题和“深水高分辨率浅地层探测技术（2006AA09A108）”课题技术负责人，负责课题的组织、实施、管理和协调，完成课题成果的集成和海试，参加了多个应用课题的实施。获得发明专利3项，实用新型专利3项，对应主要技术发明中第1、第2个发明点；出版《海洋浅地层高分辨率多道地震勘探技术与应用》专著一部，发表相关研究论文多篇。 |
| 刘振 | 11 | 副所长 | 副教授 | 浙江大学 | 浙江大学 | 在本项目中，负责脉冲等离子体震源关键设备开发和基础研究，对应科技创新点中第1个创新点。具体贡献为开发了快速超高能量脉冲源，充电速度达40kJ/s，远高于同类电火花震源的12kJ/s的速度；指导了对海水中脉冲放电产生的气泡电声转换过程的深入研究，掌握了电声转换规律，提出了提高电声转换效率的方法，在此基础上开发成功50kJ双极性协同发射阵，实现声源级大幅度提高，获得欧盟专利授权1项，中国发明专利授权2项。以通讯作者或共同作者发表论文13篇，指导等离子体震源相关领域硕士研究生多名。 |
| 黄逸凡 | 12 | 无 | 研究员 | 浙江大学 | 中国科学院深圳先进技术研究院 | 在本项目中负责脉冲等离子体震源的基础研究和应用，对应主要科技创新中第1个创新点，具体贡献是对液相等离子体的发生及其伴随的气泡热力学、动力学和声辐射过程进行了深入研究，以第一作者发表相关研究论文多篇并获得“PHYSICS TODAY”公开报道；作为第一发明人获得欧盟专利授权1项，获得国家发明专利授权6项。积极推动等离子体震源的应用和产业化，成功应用于南北极科考、东海南海调查、水声对抗、远程探测以及水声学调查。 |
| 李官保 | 13 | 无 | 高级工程师 | 自然资源部第一海洋研究所 | 自然资源部第一海洋研究所 | 本人参与了项目涉及863课题“2006AA09A108”研究工作，开发了多通道地震数据处理软件，作为共同著作权人获软件著作权1项，对应主要科技创新中第3个创新点。本人参与了项目涉及的技术成果的应用，作为技术骨干先后完成了青岛胶州湾大桥初设工程物理勘查、青岛胶州湾湾口隧道工程物探勘查、港珠澳大桥桥址工程地质勘查以及多个核电厂址勘查等项目，在《地球科学》等刊物发表多篇相关论文。 |
| 解秋红 | 14 | 无 | 高级工程师 | 自然资源部第一海洋研究所 | 自然资源部第一海洋研究所 | 本人参与了项目涉及863课题“2006AA09A108”研究工作，共同完成了海洋高分辨率多道数字地震拖缆的技术设计和研制工作，作为共同发明人获得实用新型专利授权2项，作为第一作者或共同作者发表相关研究论文多篇。在技术成果应用方面，先后参加了多个核电厂址、跨海通道以及深水油气田海域超高分辨率多道地震探测与应用项目。 |
| 孙蕾 | 15 | 无 | 工程师 | 自然资源部第一海洋研究所 | 自然资源部第一海洋研究所 | 本人参与了项目涉及863课题“2006AA09A108”研究工作，共同完成了多震源多拖缆触发时序的控制方法的技术设计和开发工作，作为共同发明人获得发明专利授权1项，实用新型专利授权3项。参与青岛胶州湾大桥初设工程物理勘查、青岛胶州湾湾口隧道工程物探勘查、港珠澳大桥桥址工程地质勘查以及多个核电厂址勘查等项目，主要负责技术沟通、协调和文档的汇编整理工作。 |

# 九、主要完成单位及创新推广贡献

1.自然资源部第一海洋研究所

完成单位原国家海洋局第一海洋研究所，于2019年1月更名为自然资源部第一海洋研究所。本项目总体负责单位，负责项目的组织实施、关键技术攻关和探测应用，成果攻克了常规地震探测垂向分辨率不足的技术难题，是海洋超高分辨率地震探测技术研究的主导单位、海洋超高分辨率地震探测技术应用推广的主要完成单位，本项目创新点2和创新点3的主要完成单位。本单位开展了近海工程高分辨率多道浅地层探测技术研究，发明了智能控制变能量组合电火花震源技术，研制了近海工程高分辨率多道浅地层探测系统，成功应用于广东、福建、山东、海南、辽宁等地十余个滨海核电厂址海域勘察，以及港珠澳大桥和青岛海湾大桥路由调查，技术方法写入国家标准，引领了海洋工程勘察技术的变革升级。开展了深水高分辨率浅地层探测技术研究，发明了多震源多拖缆采集控制技术，原创性开发了混合协议实时传输方法，研制了深水高分辨率浅地层探测系统设备，成功应用于海域天然气水合物探测、南海荔湾3-1深水气田不良地质灾害风险评价、南北极科学考察等方面。为海洋超高分辨率多道地震探测设备的研制、推广和应用做出了重要贡献。本单位获得国家发明专利授权5项，实用新型专利12项，软件著作权4项，发表文章44篇，出版专著1部。

2.浙江大学

本项目的合作单位，合作完成了十五863计划课题“近海工程高分辨率多道浅地层探测技术”和十一五863计划课题“深水高分辨率浅地层探测技术”课题的申请、立项、实施和验收工作，主要负责等离子体震源技术相关的工作，是本项目创新点1的主要完成单位。本单位主导研发了宽高频大能量等离子体震源系列设备。在国际上首次揭示了电-气泡-声能量转换过程的物理机制，建立了声源子波幅频特性的定量预测模型；突破了恒功率大电容充电、防强电流震荡放电、双极性协同多电极发射等技术难点，成功研制了穿透深度大、主频高、频带宽、激发间隔短的宽频大能量等离子体震源；掌握了发射能量覆盖50J～50kJ的脉冲等离子体震源的多项核心技术，研制了目前世界上最大发射能量的震源系统，成果达到国际领先水平。本单位积极推动等离子体震源的应用、产业化和装备化，填补了国内技术空白，相关技术还在环境保护领域取得了良好的应用，取得了较好的社会和经济效益。本单位等离子体震源相关成果发表研究论文42篇，出版专著1部；获国家发明专利授权9项，欧盟专利授权1项。

3.青岛国信建设投资有限公司

项目合作单位原青岛国信置业有限公司，2019年3月更名为青岛国信建设投资有限公司。在本项目中负责海洋超高分辨率地震探测设备的海试验证和工程应用工作，针对青岛桥隧工程路由海域复杂的地质环境条件，对项目研制设备预设参数进行了总体建议，优化指定设备技术路线和指标，推进高密度小道距多道数字缆的研制、海试与应用。在本单位负责的青岛海底隧道工程中应用项目设备成果，获得了超高分辨率地震剖面，识别出横切隧址通道的F3断层并确定了该断层的产状和性质，进一步的钻孔验证了该断层的存在；为胶州湾海底隧道的安全施工提供了关键的数据。基于地震剖面得到了隧址区强风化带的厚度及其变化趋势，为海底隧道的选址和深度的设计提供了关键的参考。

4.青岛市应急管理局

项目合作单位原青岛市地震局，于2019年1月并入青岛市应急管理局。作为“青岛市活断层探测与地震危险性评价”项目的承担者和主要完成单位，于2001年9月至2007年12月期间先后协同自然资源部第一海洋研究所（原国家海洋局第一海洋研究所）等单位，为开展胶州湾海域断层探测，先后完成了如下工作：（1）设立“海域控制性浅层地震勘探”专题，利用新研发的高密度小道距多道数字缆，以及多缆多道地震采集仪完成了海域断层多道地震初步勘测和高精度详细探测，获得了具有较高信噪比的地震数据,处理后的地震剖面具有很高的分辦率,初步查明了沧口、青岛山、劈石口等断裂在海域的位置、规模产状等性质。（2）进而，通过布设跨断层钻孔联合剖面进行钻探施工、取样、测年及沉积环境分析、岩性地层对比，进一步解释确定了胶州湾海域多道地震揭示的断层构造特征。（3）通过与陆地区域断层地质构造填图、探槽调查、地球物理与地球化学探测等专题研究结果进行综合对比分析，确定了海域断层的发育特征、规模、产状及构造活动性。（4）积极推进该项目成果及技术在抗震设防、城市规划与建设、科学研究等方面的应用。

5. 西安虹陆洋机电设备有限公司

西安虹陆洋机电设备有限公司是本项目合作单位，合作完成了863计划“深水高分辨率浅地层探测技术”课题的申请、立项、实施和验收工作，主要负责小道距地震拖缆、数据采集控制系统等研制，完成了480道3.125米道间距拖缆成阵。同时，本单位是高密度小道距多道数字缆和采集系统的产业化推广单位。具体贡献对应本项目创新点2，主要包括： （1）开发了探测精度高、分辨能力强的海洋地震拖缆成阵技术。针对目前海洋地震拖缆存在道间距大，分辨能力低，不利于海底浅层地震勘探等问题，创新性研发了作业方式灵活、机动能力强的小道距高分辨率海洋地震勘探多道数字拖缆，研制出超小型数字包，实现了海量地震数据的高速可靠传输，打破了相关技术领域国外对我国的出口限制。（2）研发了满足高效作业需求的多道地震数据记录系统。突破了多路多核处理技术和实时存储技术，研发出与多道数字地震采集拖缆相适应的分布式地震数据中央记录系统，提高了系统带道能力和带缆能力。（3）积极推广项目成果的产品化和产业化。本公司获得了相关发明专利1项，实用新型专利6项，软件著作权8项。

# 十、完成人合作关系说明

刘保华最早关注到“海洋超高分辨率地震探测技术”国内外发展趋势及国家需求，并在“十五”和“十一五”期间构思、设计和推动了本项目多个课题的立项工作。在项目执行过程中，本人与课题组成员合作，开展了关键技术的攻关，共同获得国家发明专利授权5项，实用新型专利8项，软件著作权1项，发表论文20余篇。主持青岛胶州湾大桥、胶州湾海底隧道、港珠澳大桥以及10余个核电厂址海域工程地质勘察项目，为海洋超高分辨率地震探测技术的推广和应用，做出了突出的贡献。

王揆洋（已去世）、裴彦良，刘晨光、李西双、李官保、华清峰、解秋红、孙蕾、闫克平、黄逸凡、刘振、连艳红等在“十五”和“十一五”期间承担了国家863计划近海工程高分辨率多道浅地层探测技术（2003AA602250）、深水高分辨率浅地层探测技术（2006AA09A108）、海洋工程地质环境探测技术集成（2004AA617020）等项目，对脉冲等离子体震源、小道距地震拖缆等技术开展了研究，取得了一系列关键技术的突破。

刘保华与王揆洋、曲立清、郭玉贵等合作，把本项目成果进行了推广应用，共同承担了 “青岛第二海底隧道工程可行性研究阶段工程地质勘察”、“青岛市活断层探测与地震危险性评价”等项目，获得了高分辨率多道地震调查资料，取得了良好的地质效果，为我国重大海洋工程地质安全保障提供了技术支撑。

本项目成果完成人之间有着长期合作关系，对项目成果从不同方面做出了重要的贡献。