

## “海马”根植强国梦 大洋深处显身手

■本报记者 李瑜

## 前言

“海马”号4500米作业级深海无人遥控潜水器(ROV)是国家“863”计划海洋技术领域“4500米级深海作业系统”重点项目的科研成果。2008年,受科技部委托,国土资源部为该项目的组织实施和上级主管单位,中国地质调查局广州海洋地质调查局作为“业主单位”组织实施。该项目的核心任务是自主研制我国急需的实用化深海探查装备,是我国深海潜航化深海潜水器研制的先行者,对实现我国在“十二五”期间形成4500米深海作业能力的“863”计划目标起着举足轻重的作用。

经过6年的艰苦努力,研究人员突破了深海无人遥控潜水器多项核心技术,成功研发我国迄今为止系统规模和下潜深度最大、国产化率最高的深海无人遥控潜水器(“海马”号),国产化率超过90%。2014年4月“海马”号3次下潜到南海中央海盆4502米的海底,圆满完成了预定的海底作业任务,通过了科技部验收。海试考核证明,“海马”号的可靠性、稳定性和适应性已经符合实用化海洋设备的要求,达到了国外同类ROV的技术水平。

海试验收后,项目组迅速完成了“海马”号由科研成果向深海实用化探查设备的快速转化,并在2015年3月的地勘应用中首战告捷,在南海北部陆坡西部首次发现了海底活动性冷泉(后被命名为“海马冷泉”),取得了国产化深海技术装备应用和地勘调查成果双丰收。“海马”号填补了我国深海探查作业手段的一项空白,大幅度提升了我国深海技术装备水平和作业能力,取得了一系列关键技术的重大突破,达到了国外同类遥控潜水器技术的水平,是我国在深海技术装备自主研发领域取得的一个具有里程碑意义的标志性成果。

由中国地质调查局广州海洋地质调查局牵头实施,联合上海交通大学、浙江大学、海洋化工研究院、同济大学和哈尔滨工程大学等单位组成的精英团队,是一个将“强国梦”根植于“海马”号的创新群体,在“海马”号研制应用的过程中,形成了一支多学科交叉、研发与作业应用融合的创新团队,团队在总体技术、机电、控制、材料、维护和应用等多学科领域得到了长足的进步,积累了丰富的经验,已经处于国内同行业的领先水平。

## 突破多项核心技术

深海潜水器装备技术水平在一定程度上标志着国家海洋资源勘探开发的科技水平,乃至海洋权益的维护能力。作为海洋探查和资源开发利用不可或缺的手段,同时也是制约“开拓深海和海洋”的瓶颈之一,发展该技术不仅对国民经济和社会发展以及国家军事安全有极为重大的意义,还将对未来深海打捞、救援、海洋旅游业、海洋空间利用等有着不可估量的价值和战略意义。但与世界先进国家相比,我国面向深海的装备技术水平还存在比较大的差距,且诸多关键技术为少数发达国家所垄断,严重制约了我国参与国际海洋竞争的能力和向更深更远的海洋进军的发展进程。为此,《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》在重点任务中提出“重点支持(远)海环境监测、资源勘查技术与装备、深海运载和作业技术与装备成果的应用”。

深海潜水器是当前海洋调查重要手段,分无人潜水器和载人潜水器两种类型,其中无人遥控潜水器在国际上有着最为广泛的产业化应用。为提升我国深海潜水技术与装备水平,摆脱深海装备受制于人的被动局面,科技部“863”计划于2008年底优先启动“4500米级深海作业系统”重点项目。该项目委托国土资源部组织实施,由中国地质调查局广州海洋地质调查局作为业主单位牵头,汇集了来自上海交通大学等大专院校和科研院所的近百名专业技术人员,共同组成优秀的协同创新研发团队进行联合攻关,主要任务就是研发实用化的作业型4500米无人遥控潜水器即“海马”号ROV(Remotely Operated Vehicle, 缩写ROV)。

深海无人遥控潜水器(ROV)为无人、有缆系统,它通过脐带缆与水面母船连接,由脐带缆传输能源和信息,母船上的操作人员通过观察海底实时影像和设备状况参数对ROV及其机械手进行遥控操纵。ROV主要应用于两大领域,一是海洋工程、救助、打捞和考古;二是海洋观测和科学考察方面的相关作业。

与载人潜水器相比,无人遥控潜水器具有无法替代的优势。一是适应性强,功能强大,几乎可以应用于所有海洋开发活动,受海况和海底环境影响小,推进系统和机械手功率大,覆盖海底作业链各个环节,在海洋地质调查中应用前景广阔,可大幅提升调查能力。

二是作业灵活,经济高效,可根据不同的海底作业任务进行功能扩展配置,收放便捷,不需要专门支持母船,占用甲板空间和作业人力等资源少,建造、运行和维护成本低。三是无载人风险,可在母船实时遥控操作,不需水面工作艇支持。四是能够长时间驻留海底,母船通过脐带缆提供电能,可无限时地执行高强度、复杂的海底定点作业任务。

4500米级深海作业系统项目的主要装备成果是“海马”号4500米无人



“海马”号ROV本体构成

遥控潜水器。经过6年的不懈努力,研发团队坚持潜心攻关、勇于探索、敢于创新,全面掌握了大深度无人遥控潜水器的设计和研制、系统集成和联调、深海无人遥控潜水器的控制和监测、远程高压电力的传输与分配、长距离信息传输、在线绝缘检测、大深度水下液压力源、推进与控制、大深度浮力材料制造、多功能作业机械手设计制造、大负荷升沉补偿和大深度潜水器考核试验等多项核心技术,实现了项目的总体目标,使“海马”号ROV整套装备的国产化率达到90%,为我国无人遥控潜水器的国产化和产业化奠定了坚实基础。

“海马”号ROV(本体)长4米、宽2.1米、高2.6米、重5吨,整个系统包括水面控制室、吊放回收系统、脐带缆、“海马”号ROV及其机械手和作业工具。“海马”号ROV由水下电力分配系统、水下控制系统、水下液压系统、水下推进系统、水下摄像系统、水下照明系统、水下探测系统和水下作业系统构成。

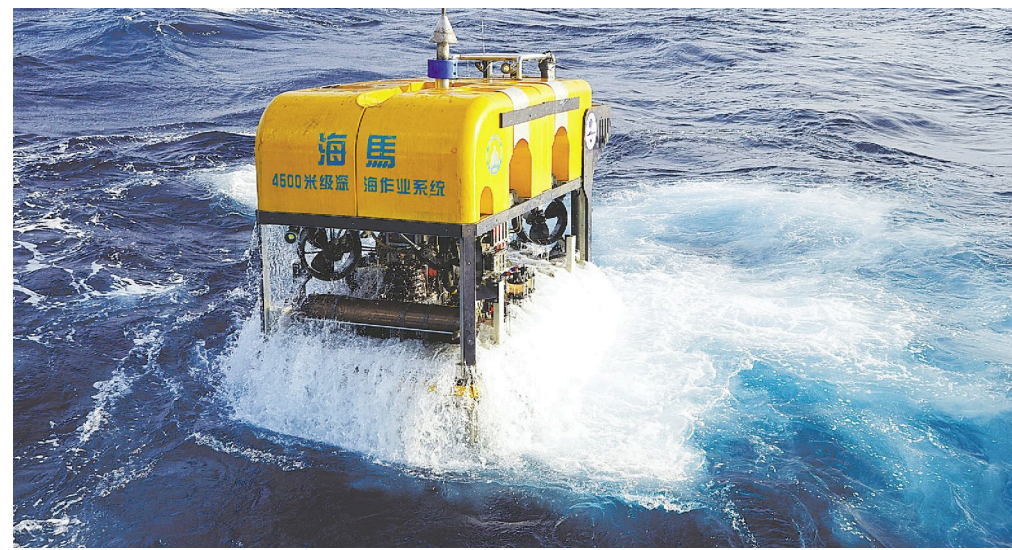
“海马”号装备有水下摄像/照相系统、声呐、作业工具、多功能机械手,并有可更换的、不同功能的水下作业底盘。“海马”号具备开展海底多角度摄像、机械手作业、声光电探测、海底原位实验等综合作业手段,可进行海底全覆盖测绘、沉积物与生物取样、物理海洋测量、现场地球化学分析,并具有海底观测网与仪器设备布设和回收、海底管线维护、深海打捞等扩展作业功能,可广泛应用于我国资源、环境、工程、救助、渔业、考古和国防等众多领域。

“海马”号是我国迄今为止系统规模和下潜深度最大、国产化率最高的4500米作业级深海无人潜水器系统,系统国产化率超过了科技部的指标要求,达到了90%,标志着我国已经全面掌握了大深度无人遥控潜水器的关键技术,改变了深海无人遥控潜水器依赖进口、受制于人的局面。

## 通过4500米海试验收

按照“863”计划海上试验的有关规定和要求,“海马”号在成果交付使用之前必须经过一系列严格的规范化海上试验。为此,依托中国地质调查局广州海洋地质调查局“海洋六号”调查船,于2014年2月20日至4月22日,“海马”号ROV在南海进行了三个航段由浅到深的海上试验。“海马”号共完成17次下潜,3次下潜到南海中央海盆4502米的海底进行作业试验,圆满完成了预定的海底作业任务,并成功实现与水升降装置的联合作业,通过了114项考核指标的现场考核,其中技术指标为91项。

2014年4月18日“海马”号在位于南海中央海盆4502米水深处(坐标位置:东经114度36分23秒,北纬13度13分01秒)的海域执行第16次下潜,在到达海底后按照水下定位给出的定位指示,依次进行了定向、定高、定深航行测试。通过声呐和水下摄像机寻找并靠近已布放于海底的升降装置后,“海马”号坐底。通过机械手穿插作业,“海马”号依次完成了海底热流探测、海



“海马”号4500米作业级深海无人遥控潜水器(ROV)

## 首次发现“海马冷泉”

“海马”号具有常规无人遥控潜水器的各项功能,能应用于海洋工程、海洋观测、科学考察等多个领域。在验收后的半年内,“海马”号团队完成了将科研成果快速转化为深海实用化探查设备的任务。根据南海水合物地勘探查的实际需要,增设了三视角高清摄像、专用作业工具、海水温度和甲烷含量测量等针对性配置。2015年3月“海马”号首次在南海北部陆坡西部投入地勘应用,探查和搜寻与海底“冷泉”活动和与水合物赋存相关的微地貌特征。

“海马”号首战告捷,在我国南海北部陆坡西部海底首次发现了双壳类生物群、甲烷生物化学礁、碳酸盐结壳、菌席和气体渗漏等活性“冷泉”标志(该“冷泉”被命名为“海马冷泉”),并获取了高清视频记录 and 实物样品,同时记录了海底低温异常和超高甲烷含量异常,这些成果都显示出该海域具有良好的天然气水合物赋存前景。

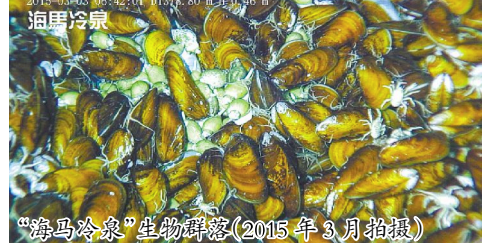
海底“冷泉”是指来自海底沉积层的气体,以喷涌或渗漏方式注入海洋中的一种地质现象,就像荒漠海底中的一片绿洲。冷泉区生物靠甲烷、硫化氢等还原性化学物质自养,是完全不依赖光合作用的另一套生命体系。海底“冷泉”研究在生命起源及极端环境生物群落、全球气候变化和天然气水合物等研究方面都具有十分重要的意义。

“海马冷泉”是在我国管辖海域内,第一个由国产深海高科技探查装备发现的海底活动性“冷泉”,是我国南海天然气水合物资源探查的一个重大突破性进展,同时也是开展地球生命起源和冷泉生态环境等前沿科学研究的突破口。2016年2月27日~3月23日,“海马”号再赴“海马冷泉”,执行以水合物资源详查和冷泉生态环境调查研究为目的的海底作业任务,来自国内多个单位的冷泉研究专家参加了这次调查,对“海马冷泉”的分布范围、地形地貌特征、发育历史、生物物种、碳酸盐岩和流体活动进行了探查,取得丰硕成果。

“海马”号在冷泉区地勘应用中总体运行状态良好,取得了国产化深海技术设备应用和地勘调查成果双丰收,为开展天然气水合物有利区详查、圈定勘探目标区、评价天然气水合物资源



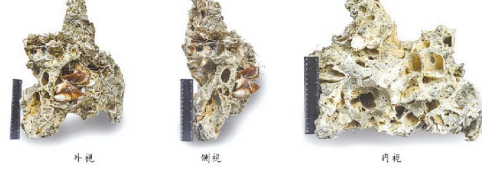
“海马冷泉”海底拍摄图像(2016年3月拍摄)



“海马冷泉”生物群落(2015年3月拍摄)



“海马冷泉”生物群落(2016年3月拍摄)



“海马冷泉”生物化学礁样品

源潜力提供了宝贵的调查资料,也为后续的天然水合物勘探奠定了坚实的基础。“海马”号在“冷泉”探查作业中的首战告捷,成为国产先进技术装备促进深海矿产资源探查研究的一个成功范例。

## 大洋矿产调查实现质的飞跃

2015年6月15日至18日,“海马”号在大洋第36航次应用中,通过高清视频观察、机械手作业和各种搭载传感器测量,圆满完成了在采薇海山区复杂陡坡的地形环境中的6个站位富钴结壳资源探查作业任务,拍摄和记录了近百分钟海底高清视频,利用机械手抓取了数十公斤壳类样品和钙质沉积物样品,获取了全程物理海洋测量数据和海底原位水样,首次对自主研制的小型钻机机和切割机进行了实际应用试验,达到了预期的科学目标。

海山结壳区的作业实践考验了“海马”号在复杂而危险的海山陡坡环境中的操控性能和作业的能力。“海马”号及其技术团队经受住了考验,在充满障碍物的海底艰难地选择着陆作业点,规避了各种危险因素,出色地完成了作业任务。

“海马”号在采薇海山的成功作业,是我国自1997年起,在开展了近20年海山区结壳资源调查工作中的一个质的飞跃,填补了我国在该领域技术手段的一项空白。

本次结壳海山区的作业实践不仅考验了“海马”号针对结壳资源探查任务的作业功能,而且考验了“海马”号的航行动力性能及其技术团队,在复杂而危险的海山陡坡环境中的操控和作业的能力。“海马”号及其技术团队经受住了考验,“海马”号以出色的表现圆满完成了任



“海马”号在海山结壳资源区进行钻机取样作业

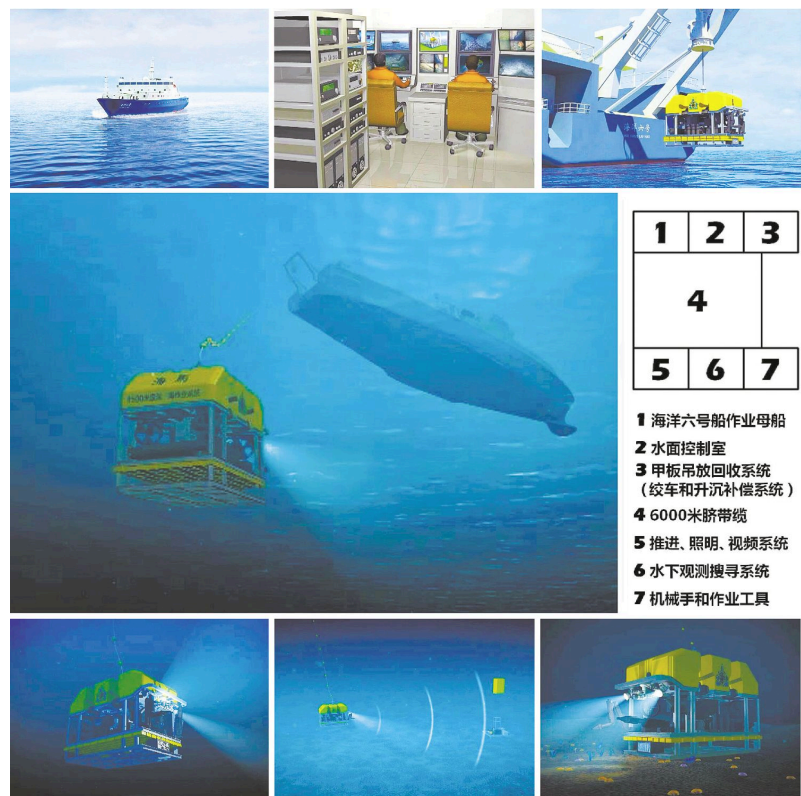
务。这也意味着“海马”号的应用环境已经由安全性较高的平坦泥质海底,拓展到危险性较高的复杂海山环境;由较为简单、无须考虑海底障碍物的定向/定高航行与任选着陆点进行定点的作业运行方式,改变为需要时刻注意规避危险因素并需要在险峻的海山地形中谨慎选择着陆作业点的运行方式。

“海马”号无人遥控潜水器(ROV)从科研成果到实用化深海探查装备的快速转化,是我国高科技科研成果在地勘投入实际应用并取得突破性成果的成功范例,以国产化装备完善了对天然气水合物资源进行探查作业的深海技术装备体系,填补了我国深海探查作业手段的一项空白,是一个质的飞跃。

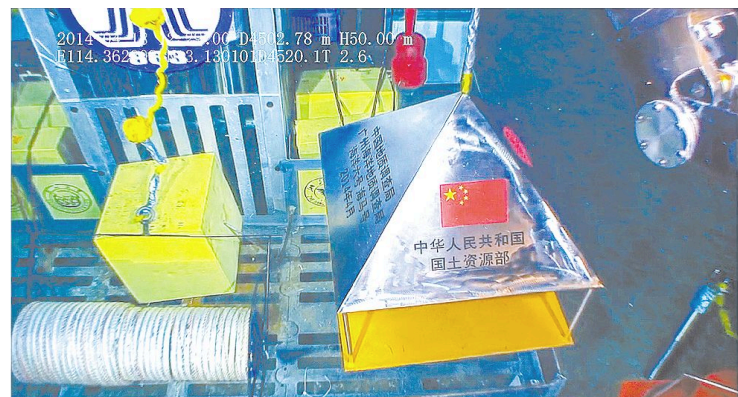
## 结语

“海马”号实现了从科研成果到实用化深海探查装备的快速转化,以国产化装备填补了我国深海探查作业手段的一项空白,使我国深海探查技术水平实现了一个质的飞跃,是我国高科技科研成果在地勘投入实际应用并取得突破性成果的成功范例。

“海马”号于2015年3月、6月和2016年3月先后三次执行了南海北部陆坡水合物资源调查、大洋第36航次水合物资源详查和冷泉生态环境调查工作,共计作业下潜24次,水下作业时间累积超过180小时。“海马”号分别在南海中央海盆、南海北部陆坡和西太平洋采薇海山结壳资源分布区进行了海底作业,布设了科技部、国土资源部等永久性标志物,这是中华人民共和国国产深海探查装备在深海海底留下的足迹,并将永远在大洋深处闪耀着中国智慧,彰显着中国力量。“海马”号将继续在深海潜行,奋战在我国海洋科学事业的征途上。



“海马”号ROV系统构成图



“海马”号ROV在南海中央海盆进行布放标志物等作业