

“蛟龙号”载人潜水器的研制及其对中国深海探索的推动

崔维成, 宋婷婷

上海深渊科学工程技术研究中心, 上海 201306

摘要 “蛟龙号”载人潜水器的成功研制使中国的载人深潜技术实现了跨越式发展, 进入了世界载人深潜“高技术俱乐部”。“蛟龙号”的应用使中国的深海科学研究也取得了高速的发展, 对促进中国深海高新技术产业形成和发展也具有重要的带动、辐射和示范作用。介绍了“蛟龙号”载人潜水器的研制情况以及它对海洋科技的推动作用, 展望了中国海洋领域的未来发展趋势。

关键词 载人潜水器; 蛟龙号; 深海技术; 深海科学

“蛟龙号”载人潜水器的成功研制使中国的载人深潜技术实现了跨越式发展, 挤进了国际深海载人“高技术俱乐部”。在“蛟龙号”之前, 只有美国、俄罗斯、法国、日本拥有 4500~6500 m 的作业型深海载人潜水器, 而当时中国载人深潜的技术水平只有 600 m。

人类认识海洋、开发海洋、保护海洋都要依靠最先进的科技装备。因此, 建设海洋强国的核心问题是发展海洋高技术。载人潜水器能够满足海底复杂地形下的精确定位、精细调查取样和近距离观察的要求, 对于完成中国的国际海底矿区的勘探任务和开展深海科学研究具有重要的现实需求。

“蛟龙号”是迄今为止中国自主设计集成研制的最复杂的海洋调查装备, 具有世界第一的下潜深

度, 且各项技术指标世界领先, 其海上试验的组织实施方法的探索也充满挑战。面对这些困难, 研发团队本着“严谨求实、团结协作、拼搏奉献、勇攀高峰”的中国载人深潜精神, 认真制定了海试大纲、实施方案、应急预案等, 取得了 7000 m 级海上试验的圆满成功, 科学技术部“863 计划”海洋技术领域办公室任命的海上试验现场验收专家组给出的验收结论是“与国际上其他大深度潜水器在其最大设计深度的海试相比, 此次海试在其试验的重复性和充分性方面已明显超越了前者。我们的证据表明, ‘蛟龙号’载人潜水器在其最大设计深度安全可靠, 并拥有投入应用所需要的实际作业能力。它不仅超越了国际上 3 人重载作业型潜水器的最大使用深度, 实现了它们所具备的功能, 而且在某些方面,

收稿日期: 2018-06-25; 修回日期: 2018-10-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(51439004; 51879157)

作者简介: 崔维成, 教授, 研究方向为深海探测技术, 电子信箱: wccui@shou.edu.cn

引用格式: 崔维成, 宋婷婷. “蛟龙号”载人潜水器的研制及其对中国深海探索的推动[J]. 科技导报, 2019, 37(16): 108-116; doi: 10.3981/j.

issn.1000-7857.2019.16.012

例如声学通信以及自动控制等方面拥有明显的优势”。

2013年—2018年,“蛟龙号”在中国南海、东太平洋、西北太平洋、西南印度洋、西北印度洋等开展了试验性应用,共计下潜101次,获得了大量的样品和数据,超过了之前20年的总和。“蛟龙号”载人潜水器的成功研制对促进中国深海高新技术产业形成和发展具有重要的带动、辐射和示范作用。载人潜水器也是现代深海科学、地球科学、生命科学研究的重要依托手段,“蛟龙”号的应用使中国的深海科学研究也得到了高速发展。本文简要介绍“蛟龙”号载人潜水器的研制情况及其对技术和科学的推动作用。最后,对中国海洋领域的未来发展趋势做一展望。

1 国内外载人潜水器的发展历程

国际载人潜水器的发展历程一般都会追溯到“潜水钟”。大约公元前4世纪,亚里斯多德(Aristotle)曾记载一种供潜水员采集海绵的小型“潜水钟”。该装置犹如倒置的茶杯,潜水员不必露出水面,只需将头伸到潜水钟内部即可换气^[1]。真正的技术突破是威廉·比勃(William Bieber)与奥梯斯·巴顿(Otis Barton)设计的“深水球”。1934年他们乘坐“深水球”到达934 m,看到深海鱼后,推翻了英国大生物学家福布斯的预言:“560 m的海面以下将没有生物”,由此引发了潜得更深的国际竞赛^[2]。但“深水球”还不是载人潜水器,它是用钢缆吊放下去的,无法在水中自主航行。随着下潜深度的增加,球的重量和吊索的自重越来越大,使吊索难于承受,因此,这种方式的潜深度一般不含超过3000 m。

最早出现的载人潜水器,是由瑞士物理学家奥古斯特·皮卡德(Auguste Piccard)设计和研制的。他采用深水球和浮力舱相结合的方式逐步进入深海。这种无航行和作业能力的潜水器的最杰出代表是美国的“的里雅斯特号”(Trieste)。1960年1月23日,由美国人唐·沃尔什和深潜器发明者的儿子雅克·皮卡德乘坐“的里雅斯特号”,在太平洋马

里亚纳海沟“挑战者深渊”下潜到深度为1.0916万m(海沟最深点为1.1034万m),夺得了下潜深度的冠军,创造了人类进入深海大洋的最深纪录^[3]。2010年,在人类进入深渊极限的50年后,美国进行了隆重的纪念活动,很多当事人撰写了回忆性文章,透露了当年先驱者们是如何在科学、技术和冒险精神的驱动下完成这一人类壮举的^[4]。

但采用这种技术路线的大深度载人潜水器,由于它有很大的浮力舱,又要在海上装载大量的汽油,所以建造与使用均不方便。庞大的身躯导致它很难搭载在任何一艘船上,只能始终半泡在水里,由船拖着前进,在汹涌的海面上受损几率非常高,而维修和维护也相当困难。巨大的吨位(“的里雅斯特号”重约150 t),也极大地限制了它在水面和水下的操纵性,与其说是载人潜水器,更不如说是“水下电梯”,活动范围非常有限。基于这些原因,此类深潜器在创造了人类深潜辉煌之后,并没有继续得以发展,人们将视线转向了更轻便的自由自航式潜水器。

如果把带浮力舱的深潜器作为第一代载人潜水器的话,那么从20世纪50年代末到60年代中期得到迅猛发展的自由自航式潜水器就可以作为第二代载人潜水器。现在所说的载人潜水器,一般均指第二代载人潜水器。自由自航是十分重要的发展,它不需要其他水面舰艇或其他潜器的帮助,便能够在水下自由地航行和运动,既可以自由地上浮、下潜,也可以前后左右地进行水平运动。第一艘自由自航式潜水器诞生在法国,由雅克·库斯托推动完成。库斯托的碟型潜水器在1959年正式下水,重量不到4 t,依靠艏部和艉部的水力喷射装置进行驱动,操作方便简单,与第一代的巨型气球相比,它更像一位潜水员。虽然这台潜水器的作业深度只有305 m,但开创了小型自由自航式潜水器的先河^[5]。

以“长尾鲨号”核潜艇为代表的一系列潜艇的失事,极大地刺激了多国政府和民众,使人们认识到,人类对于海洋了解还只是皮毛,于是深潜事业迎来了一个发展的爆发期。从20世纪60年代中期,载人潜水器的发展非常迅速,几乎以每年10艘

左右的速度增长。这一繁荣得益于一种新型的固体浮力材料的出现,它是将坚固的空心玻璃微珠嵌在坚硬的环氧树脂中制成,比重很小且可以耐压。这种浮力材料极大地减小了载人潜水器的体积和重量,使其布放和回收都更加方便,而且因安装了推进器而具备了水下自主航行的能力^[6]。

美国的“阿尔文号”(Alvin)是这类深海载人潜水器的典型代表,它于1964年建造,工作深度1829 m。1974年重建后,增加到4500 m。作为国际上使用率最高的载人潜水器,“阿尔文号”成绩斐然。例如1966年初,参与打捞了美国海军掉落在地中海的一颗氢弹;1977年,在加拉帕戈斯(Galapagos)断裂带近2500 m的深度,首次发现了海底热液和生物群落;1979年,在东太平洋洋中脊发现第一个高温黑烟囱;1985年,又首次发现了“泰坦尼克号”沉船等。迄今为止,约1.5万人参与了“阿尔文号”5000多次的下潜,为深海科学研究、考古等做出了卓越的贡献。当然,同类型潜水器还有法国于1985年研制的“鸚鵡螺号(Nautile)”^[7]、俄罗斯1987年与芬兰联合研制的“和平(MIR)1号”和“和平(MIR)2号”(Sagalevitch, 2009)、日本1989年研制的“深海6500号”^[8]。

中国载人潜水器的研制起步也不算太晚。

1971年3月,结合中国军方援潜救生的需要,有关部门就启动了国内首条载人潜水器的研制工作,因此该艇被命名为“7013深潜救生艇”(图1)。它是由上海交通大学、中国船舶重工集团公司第701研究所和武昌造船厂联合研制的,长15 m,重35 t,于1987年交付部队使用,1994—1996年进行了修理和现代化改装,加装了4自由度动力定位和集中控制与显示系统^[9]。从7103艇完善改装后的技术状态看,该艇的设计救生深度可以满足中国潜艇极限深度的救生要求,新加装的四自由度动力定位系统使该艇的操纵与控制系统的自动化程度大大提高。在海流小于1.5 m,水中能见度大于0.5 m,失事潜艇没有大的纵横倾情况下,7103艇可以进行对口营救。但由于7103艇是从20世纪70年代初开始研制的科研首艇,该艇在战术技术性能上存在许多“先天不足”,如侧推能力低、横倾能力严重不足、对口救生系统不完善、缺乏水中直观观察手段(没有大的观察窗)、可靠性差等,使该艇对实际使用条件有较多的限制。

“7103深潜救生艇”之后,中国又研制了一台移动式救生钟和两台“单人常压潜水装具”之类的援潜救生专用装备。看到国外多个国家在20世纪80年代研制大深度的载人潜水器,中国的科学家

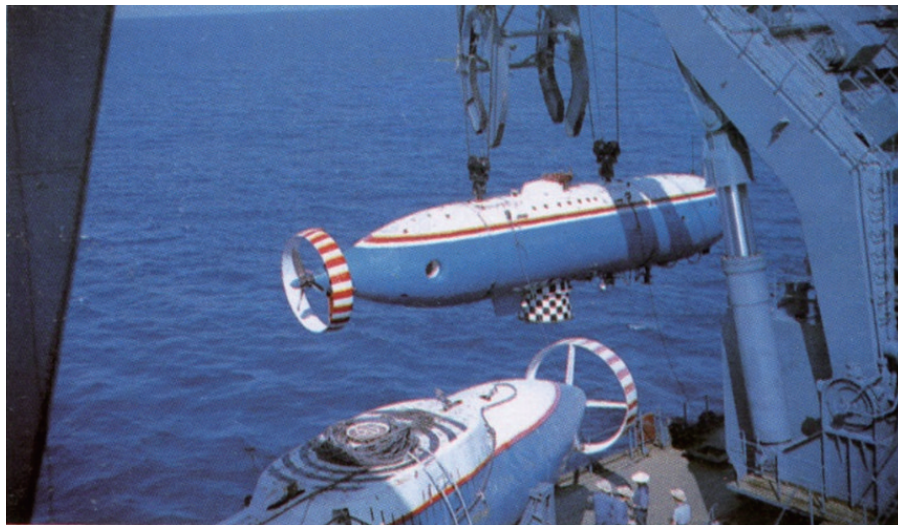


图1 中国研制的首艘载人潜水器“7013深潜救生艇”

Fig. 1 Deep submersible 7013, the first deep manned submersible developed in China

也开始把目光投向此领域。早在1992年,中国船舶科学研究中心的技术人员就向当时的国家科委提交了我国应开展大深度载人潜水器研制的建议书,国内多个部门和多个单位的专家经过10年时间坚持不懈的努力,终于在2002年获得中国科技部的批准,作为“十五”期间的“863”重大专项正式立项。又经过10年努力,突破了国外技术的层层封锁,终于成功研制了中国第一台大深度载人潜水器,“蛟龙号”(图2)。“蛟龙号”长8.4 m、高3.4 m、宽

3 m,载人舱用钛合金材料制成,空气中的质量约22 t;载人球壳内直径为2.1 m,可容纳3名乘员,通常为一名驾驶员和2名科学家。在2009—2012年的4年海试过程中,313个测试项目全部达到设计指标。2012年6月27日,“蛟龙号”创下7062 m的中国深度,同时也是国际同类作业型载人潜水器的深潜记录,这标志着中国成功地挤进了国际深海载人“高技术俱乐部”^[10]。

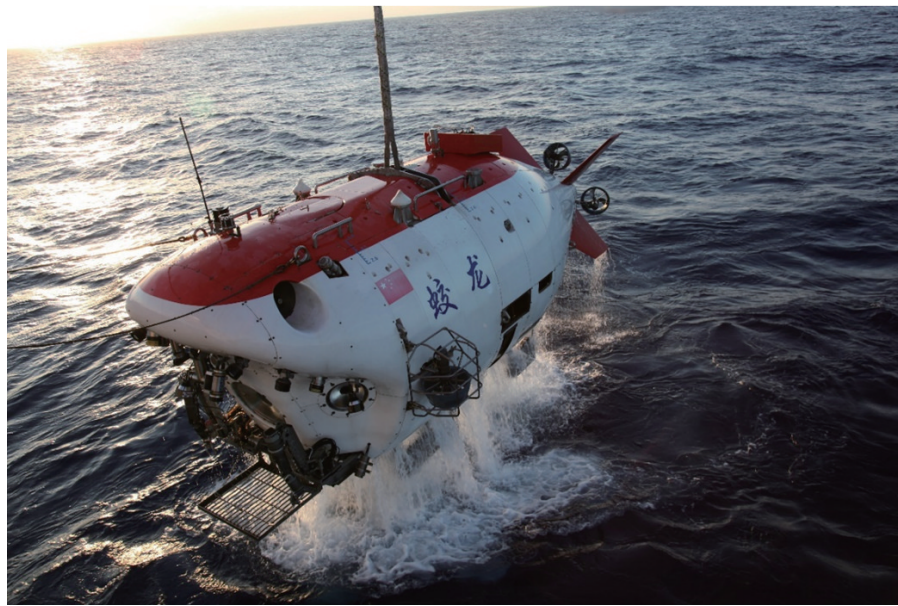


图2 “蛟龙号”载人潜水器

Fig. 2 “Jiaolong” deep manned submersible

从2013年起,“蛟龙号”进入试验性应用阶段,开始南征北战,在南中国海、东北太平洋多金属结核区、西北太平洋富钴结壳区、西南和西北印度洋热液硫化物区开展了下潜作业,充分发挥了其独特的技术优势^[11]。2017年,“蛟龙号”已经完成了长达5年的实验性应用任务,累计完成下潜101次,100%安全下潜。2018—2019年,“蛟龙号”将进行维护升级改造,未来,“蛟龙号”将完全进入业务化运行阶段,将更高频次、更长时间地潜入深海。而就在“蛟龙号”维护升级之际,中国研制的第二代国产化的作业型载人潜水器“深海勇士号”于2017年

10月完成设计深度的海上验收试验,从2018年正式交付使用(图3)。

2002年刚开始研制“蛟龙号”时,国内载人深潜技术薄弱,为此采取了“自行设计、自主集成、关键设备委托国外制造”的研制路线。而中国第2台大深度载人潜水器“深海勇士号”,则是在“蛟龙号”研制与应用的基础上,成功实现了潜水器核心关键部件的全部国产化。“深海勇士号”的国产化程度达到95%,是中国深潜技术发展的又一里程碑。目前,中国正在向研制万米级全海深的载人潜水器发起冲击,一旦研制成功,中国将成为无可争议的载



图3 4500 m级“深海勇士号”载人潜水器

Fig. 3 4500 m depth class “Shen Hai Yong Shi” deep manned submersible

人深潜技术强国。

迄今为止,国际上能够下潜到万米的载人潜水器已经建造了4艘,分别是美国海军的“的里雅斯特号”,法国海军的“阿基米德号”,电影导演卡梅隆出资建造的“深海挑战者号”,英国维珍航空公司理查德·布兰森出资建造的“深海飞行式挑战者号”。前2艘是20世纪50年代建造的第一代无航行能力的载人潜水器,“阿基米德号”因为种种原因没有下到挑战者深渊,而是下到日本海沟的最深处,其深度记录是9500 m。“深海挑战者号”于2012年3月26日下到了1.089万m的挑战者深渊。“深海飞行式挑战者号”2011年建造成功后,在海试过程中因为载人舱被大浪打坏,随后又重新建造了新的载人舱,但从2013年起,由于失去了理查德·布兰森的后续资金的支持,这个载人潜水器研制项目现在可以被宣判为失败。对于海洋科学家来说,这2类载人潜水器都没有多大用途,前者因为没有航行能力,下去一次呆在原地可能发现不了什么。而后一种单人式的,则要求科学家同时具有驾驶员的能力,需要很长时间的培训才能使用。因此,我们把能够在全海深开展海洋科学调查作业的载人潜水器定义为载人深渊器,它至少能搭载2人(即一名

驾驶员和一名科学家),具有巡航和悬停能力,具有几千次下潜“万米深渊”的寿命,能够搭载较多的科学仪器设备。

“载人深渊器”是目前海洋领域最有标志性且影响重大的高科技项目。国际上,正在开展设计或研制的载人深渊器有美国DOER公司的“深海研究”^[12],美国三叉戟公司的“三叉戟36000/3”,日本的“深海12000”。中国则在“蛟龙号”的基础上进一步奋起直追,目前有两台可以下潜到“万米深渊”的载人深渊器正在研制,分别是上海海洋大学的“彩虹鱼号”^[13]和中国船舶重工集团公司702研究所的全海深载人潜水器^[14]。

2 “蛟龙号”载人潜水器的研制过程及对中国海洋科技的推动作用

2.1 “蛟龙号”的研制过程及解决的主要技术困难

“蛟龙号”经过近10年时间的反复论证,又加上国际海底管理局在2000年前后提出对新资源的勘探申请必须要有载人潜水器的新规定出台的背景,为了满足中国寻找国际海底资源、赢得“蓝色圈地运动”的胜利,保卫中国海洋国土资源以及推动

中国前沿科学与高技术发展的需要,中国科技部在“十五”期间于2002年6月正式批复立项支持了“7000 m载人潜水器”项目,中国大洋矿产资源研究开发协会作为项目的大乙方和业主组织了国内外的大协作,中国船舶重工集团公司第702研究所承担了“7000 m载人潜水器总体及集成”子课题。

由于在此之前中国研制的载人潜水器的最大深度是百米级,再加上长期以来西方发达国家对中国实施的技术封锁,对于新组建的“蛟龙号”研制团队来说,上至总设计师下至设计师,没有人真正看见过大深度作业型载人潜水器。因此,研制过程中遇到的技术困难是非常多的。主要技术困难可以归纳为3个层次。

首先是如何进行总体设计?即潜水器究竟配备什么部件,这些部件是什么样子的,所有这些部件怎么布置才能变成一个功能协调的潜水器。当时浙江大学陈鹰刚从美国搭乘“阿尔文号”潜水器下潜回来,我们向他索要了他写的下潜日记,让所有的设计人员认真阅读,再邀请陈鹰和其他一些有过搭乘国外潜水器下潜经历的海洋科学家过来,给设计人员答疑,由此,完成了潜水器的方案设计。根据这个设计,我们加工了1:1的潜水器实物模型,再来确认总布置的合理性和安装操作的方便性。这样反复修改,终于完成了方案设计,再组织国内的同行专家进行评审,针对专家提出的意见再修改。

方案设计完成后,开始安排每个系统对关键技术进行攻关,加工样机进行原理性和可靠性的试验,再对设计性能进行不断优化,待所有的关键技术攻关完成了,邀请专家对初步设计进行评审。评审通过后,就开始寻找设备的制造厂家。

第2个层次的困难就是各设备如何进行设计和制造,如载人球、浮力块、推进器、高压海水泵、机械手、摄像机、照相机、水声通信机、成像声纳、多普勒流速计、避碰声纳、高度计、深度计、液压系统、水下电机等。有些在陆上是相当成熟的技术,如电机、泵、阀之类,到了水下要求体积小、质量轻、耐海水高压和抗海水腐蚀,就非常困难。对于载人舱,经过调研,当时中国没有加工制造能力,只能委托

俄罗斯加工制造。合同洽谈非常艰难。其他很多设备,如果全部国产化,时间周期和经费都不允许,委托国外厂家研制,从政策层面,这些设备都属于西方国家禁止技术出口的设备。我们只能突破技术封锁,通过出高价格,找到一些愿意帮助我们研制的小公司。这样做的技术风险实际上都是研制团队自己承担的。

第3个层次的困难就是如何进行总装集成及测试,尤其是海试带有一定的风险。而且海试过程中如果一旦出现潜水器沉在海底,中国当时是没有救援能力的。因此,“蛟龙号”是否应该进行海试就出现巨大争议,最后经过1年多时间的说服和准备,才争取到一个1000 m级海试的机会。在50 m海区,潜水器海试遭遇到极大困难,因为受到“莫拉克”台风颠簸的影响,部分试航员不敢下去,潜水器到达海面后发现所有的水面与水下通信系统都不工作。按照常规的故障流程,这是属于严重故障,应该把潜水器拉回车间返修,但如果这样做,争取的海试机会就会失去,今后更不可能再安排海试机会了,所以,整个团队咬紧牙关,只能在现场想办法解决。经过2个多月的拼搏,终于让潜水器下到了1109 m的深度,圆满完成了1000 m级海试合同所规定的任务。通过1000 m级海试发现了潜水器设计中还存在很多问题,海试回来后很多系统都作了重大的设计修改,很多不合适的器件都作了更换。在第2年的3000 m级海试初期,管路连接处在高压的泄漏几乎成了一个无法解决的“高血压”病,但经过团队的全方位反复排查,在最后2个潜次,潜水器达到了无故障运行的程度,又经过2年的技术改进和海上试验,“蛟龙号”的最大下潜深度达到了7062 m。

2.2 “蛟龙号”的技术成就

“蛟龙号”载人潜水器在研制初期,面临4大技术难题:(1) 超大潜深的全系统安全性设计与集成;(2) 高速率远程水声通信;(3) 复杂地形及流场环境下精准作业和控制;(4) 技术体系、测试体系、应用体系、潜航员培训体系的全方位建立。针对上述4大技术难点,该项目集中国内100家单位和国外25个公司的科研人员,协同攻关,攻克了4

大核心关键技术。

1) 突破了7000 m级超高水压下载人潜水器人员、结构和设备的安全性核心技术;创建了潜水器系统安全性设计技术体系;通过总体优化与集成创新,研制的“蛟龙号”创造了7062 m作业型载人潜水器最大潜深记录;作业能力覆盖99.8%的全球海洋面积。

2) 突破了制约深海信息传输的多径、频移和高噪声等技术难题,解决了复杂水声信道条件下大深度、远距离、高速率水声通信技术,首次研制出了可传输图像、数据、文字和语音等信息的水声通信系统。

3) 攻克了蛟龙号深海精准操控、精确定位与精细作业的“三精”关键技术,解决了深海复杂地形及流场环境下大型潜水器的控制与作业难题,其悬停作业功能为国际大深度载人潜水器首创。

4) 创建了中国载人潜水器陆上测试、海上试验等深潜作业、检测与应用体系,构建了全流程载人深潜作业规程,确保了150余次连续安全高效的下潜作业,实现了中国科学家进入深海科学考察的历史性突破。

2.3 “蛟龙号”载人潜水器对中国深海技术的推动作用

“蛟龙号”不仅直接突破了载人深潜技术,同时对深海技术领域的全面带动作用极大。载人潜水器是麻雀虽小,五脏俱全。“蛟龙号”的研制带动了国内深海装备领域新材料、新装备的应用发展。高强度钛合金、浮力材料、深水电机、水密接插件、高压海水泵、机械手、水下灯和摄像机等的国产化又为中国深海装备的研制提供了重要的技术支撑。在2002年在研国内的高强度钛合金制造能力时,完全没有制造“蛟龙号”载人舱的可能性,同时也没有验收载人舱所需要的高压筒,所以,只好委托俄罗斯某船厂制造并利用俄罗斯的超高压力筒进行打压验收。与此同时,中国科技部支持中国船舶重工集团有限公司725研究所和宝钛集团开展载人舱的800 MPa级高强度钛合金材料和制造工艺研究,支持中国船舶重工集团有限公司第702研究所

和中国科学院三亚深海科学与工程研究所建设超高压力筒,4500 m的“深海勇士号”载人舱就实现了国产化制造,而且现在1.1万m的载人舱也能在中国制造。其他如浮力材料、深水电机、水密接插件、高压海水泵、机械手、水下灯和摄像机等的国产化都是如此。在“蛟龙号”研制过程中,大约有60%的关键设备是委托国外制造,但到“蛟龙号”研制成功时,几乎所有设备的备品备件都可以用国产化的替代。2017年10月完成海试验收的“深海勇士号”载人潜水器的国产化率超过95%,现在正在研制的1.1万m全海深载人潜水器的国产化率也要求不得低于90%。这都是得益于“蛟龙号”项目的技术带动和辐射作用。

“蛟龙号”项目的技术推动作用的另一个成果就是培养出了一支掌握前沿深海技术、能打硬仗的人才队伍。“蛟龙号”研制初期,从退休返聘的总设计师到研制团队的骨干人员,没有人真正见过大深度载人潜水器,而且设计团队的主力都是本科刚毕业的学生。经过10年时间的磨练,这批人都已经成为了中国深海技术领域的领军人才。同时在社会界人士的大力支持下,“彩虹鱼挑战深渊极限”项目也取得了相当的进展,成为科技界新体制机制探索的一个抓手^[5]。

“蛟龙号”项目技术推动作用的第3个成果就是极大地鼓舞了中国走向深海大洋的信心。过去,在海洋领域也投入了一些载人/无人潜水器的研制项目,但由于种种原因,这些潜水器没有发挥实际的应用作用,这样,就使得很多人对进一步支持海洋高技术项目产生恐惧心理。因此,中国对海洋领域的科研投入比航空航天要少很多。但“蛟龙号”成功之后,国家对深海装备研究的投入加大很多,未来,在“十三五”末,中国将有数台万米级无人潜水器和载人潜水器研制成功,投入应用,成为海洋高技术强国。

2.4 “蛟龙号”载人潜水器对中国深海科学探索的推动作用

过去,中国的海洋科学家因为没有深海调查作业的手段,因此,中国的海洋科学研究远远落后于

国际先进水平。在国际公海资源的圈占过程中也处于很被动的地位。“蛟龙号”及同期的一系列深海潜水器如“海龙”和“海马”遥控潜水器、“潜龙”自治潜水器、“海燕”水下滑翔机等,使中国在大洋地球系统科学、深海极端生命科学和深海大洋环境科学等研究领域有了先进的装备,在过去的5年里有大量的科学论文发表,同时也为富钴结壳、多金属硫化物、多金属结核等深海矿产资源的勘查工作提供了重要的技术支撑。

“蛟龙号”载人潜水器可以完成如下作业任务:

(1) 对热液硫化物矿区进行精细调查和取样作业。(2) 对锰结核、钴结壳勘查进行精细勘察作业。(3) 对大洋进行精细微地貌调查作业。(4) 有效完成锰结核、沉积物、硫化物、深海浮游生物和微生物等定点取样。(5) 有效执行深海生物、海洋地质、海洋地球物理等科学考察的配套任务。(6) 深海生物基因资源调查。(7) 地球和人类生命起源科学研究。(8) 执行海底电缆和管道的检测,完成其它深海探询及打捞等各种高难度作业。(9) 大深度海底国防光缆铺设以及其他军事领域应用。

现代科学研究发现,深海区域科学对地球形成、人类起源有密切关系,深海区域同样对海洋物理、物理海洋、海洋化学、海洋微生物、生物基因的研究具有重要意义,利用载人潜水器可以开展这方面科学研究,将提升中国在这方面科学研究的水平,拓展海洋科学研究领域,并有助于中国科学家在地球形成、人类起源、深海生物基因等方面取得新进展,为人类认识地球、保护地球、和平利用地球等做出贡献。

3 中国海洋领域未来发展展望

“蛟龙号”的成功研制是中国海洋技术领域的一个里程碑式的事件,为中国科学家研究和揭示深海奥秘提供了必要的技术手段,促进了中国深海装备技术的跨越式发展,必将在中国深海勘探开发、海洋工程服务和海洋权益维护等诸多领域发挥重要作用,并全面带动国内深海装备产业技术的发展。到“十三五”末,中国在载人、无人潜水器技术

领域将进入国际领先,作为海洋资源勘探的潜水器的研制将不再成为重点。

随着陆地资源的日趋枯竭,人类即将迎来海洋资源开发利用的时代。因此,开发利用海洋资源的装备将是研究热点或重点。需要研究在海底建设可燃冰、钴结壳和锰结核的开采工厂或工作站、在海底建设观察宏生物行为的海底实验室等。海洋环境长期监测的海底观测网络已经在如火如荼地建设,再过5~10年,透明海洋将成为现实。把所有的海洋信息综合集成的“智慧海洋”工程也是一个发展方向。

参考文献(References)

- [1] Busby F. Manned submersibles[M]. Arlington, VA: Office of the Oceanographer of the Navy, 1976.
- [2] Beebe W. Half mile down[M]. London: John Lane, 1935.
- [3] Piccard J, Dietz R S. Seven miles down[M]. New York: G P Putnam, 1961.
- [4] Hardy K, Rosenthal, B J. Into the trench: Celebrating the golden anniversary of man's deepest dive[J]. Marine Technology Society Journal, 2009, 43(5).
- [5] Ballard R D, Hively W. The eternal darkness: A personal history of deep-sea exploration[M]. Princeton: Princeton University Press, 2017.
- [6] Kohnen W. Human exploration of the deep seas: Fifty years and the inspiration continues[J]. Marine Technology Society Journal, 2009, 43(5): 42-62.
- [7] Lévêque J P, Drogou J F. Operational overview of Nautilie Deep Submergence Vehicle since 2001[C]. Proceedings of Underwater Intervention Conference 2006. New Orleans, LA. Marine Technology Society, 2006.
- [8] Takagawa S. Advanced technology used in Shinkai 6500 and full ocean depth ROV Kaiko[J]. Marine Technology Society Journal, 1995, 29(3): 15-25.
- [9] 朱继懋. 潜水器设计[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1992.
- [10] Cui W C. Development of the Jiaolong Deep Manned Submersible[J]. Marine Technology Society Journal, 2013, 47(3): 37-54.
- [11] 刘保华, 丁忠军, 史先鹏, 等. 载人潜水器在深海科学考察中的应用研究进展[J]. 海洋学报, 2015, 37(10): 1-10.

- [12] Taylor L, Lawson T. Project deepsearch: An innovative solution for accessing the oceans[J]. Marine Technology Society Journal, 2009, 43(5): 169-177.
- [13] Cui W C, Hu Y, Guo W, et al. A preliminary design of a movable laboratory for hadal trenches[J]. Methods in Oceanography, 2014(9): 1-16.
- [14] 钱洪宝, 俞建成, 韩鹏, 等. 我国大型深潜装备研发管理存在的问题及对策思考[J]. 高技术通讯, 2016, 26(2): 200-206.
- [15] 崔维成. 我国载人深渊器的发展策略及当前进展[J]. 江苏科技大学学报, 2015, 29(1): 1-9.

Manned submersible "Jiaolong" and its promotion role on the deep-sea science and technology

CUI Weicheng, SONG Tingting

Shanghai Engineering Research Center of Hadal Science and Technology, Shanghai 201306, China

Abstract The successful development of "Jiaolong" is a phenomenal progress for China to become the top five countries in the world on the deep sea manned technology and related industries. The general outline and impacts of "Jiaolong", and the future of the ocean technology and researches are reviewed in this paper, including the main technology challenges, the technical achievements, the promotion role to the whole fields of deep sea science and technology.

Keywords manned submersible; Jiaolong; deep sea technology; deep sea science ●



(责任编辑 祝叶华)



“向阳红9号”吊放“蛟龙号”深潜器(图片来源: http://www.china.com.cn/node_7064072/content_23040994_8.htm)