

DOI: 10.3724/SP.J.1224.2016.00172

“走向蔚蓝——深潜、深钻、深网”专刊

深海载人潜水器的现状与展望

刘 峰

(中国大洋矿产资源研究开发协会 北京 100860)

摘 要: 深海载人潜水器不仅对科学界认知和研究海洋做出过杰出的贡献,而且在军事界也产生过轰动一时的影响。由于深海载人潜水器能够把科学家带入海底,最直接地对深海各种现象开展观察和研究,它们在深海环境研究、深海生物科学研究、以及新兴的深渊科学研究中发挥着越来越重要的作用。本文简要回顾了深海载人潜水器的发展历程,对国际上近年来仍然比较活跃的 10 余艘深海载人潜水器的技术性能和应用情况进行了分析对比,展望了深海载人潜水器的发展趋势。

关键词: 深海; 载人潜水器; 蛟龙号; 深渊科学

中图分类号: P71

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2016)02-0172-07

引言

深海载人潜水器不仅对科学界认知和研究海洋做出过杰出的贡献,而且在军事界也产生过轰动一时的影响。1977 年美国的“阿尔文”号深海载人潜水器在加拉帕戈斯(Galapagos)断裂带发现热液和其周围生活的深海生物群落,以及在 910 米深的海底搜寻到 1966 年美国空军遗失的氢弹就是典型的例证。深海载人潜水器已经成为科学家研究深海奥秘的利器,已经有几万名各国的科学家搭乘深海载人潜水器抵达海底,最直接地对深海各种现象开展观察和研究。随着深海技术的不断发展,深海载人潜水器正朝着耐压材料和能源新型化、观测设备高清化、作业功能多样化发展^[1]。

1 深海载人潜水器发展现状

载人潜水器(Manned Submersible)与潜艇

(Submarine)最主要的区别有三点。第一,载人潜水器需要水面船舶的支持,一般不适宜在水面长距离航行;第二,载人潜水器水下停留时间有限,水下作业时间一般被限制在十几小时以内;第三,载人潜水器乘员数量有限,一般只有几人,最多不超过十人。根据国际载人潜水器委员会统计^[2],2015 年较为活跃的载人潜水器共 46 艘,其中下潜深度超过 1000 米的共 10 艘(表 1),下潜深度 250~1000 米的 36 艘。从用途上看,主要包括科学研究、深海探险、观光旅游和军事应用等几大类。本文重点介绍用于科学研究的下潜深度超过 4500 米的深海载人潜水器。

载人潜水器的发展几乎与潜艇同步,最早可以追溯到 17 世纪。荷兰发明家科尼利斯·德雷贝尔于 1620~1624 年间用木材制成潜水器^[3],外面蒙了一层涂油的牛皮,用羊皮囊充当水舱。下潜

收稿日期: 2015-12-12; 修回日期: 2016-03-12

基金项目: 863 项目: 7000 米载人潜水器(2002AA401000), 载人潜水器 1000 米海上试验研究(2009AA093201), 载人潜水器关键技术改进与 3000 米海试研究(2010AA094001), “蛟龙号”载人潜水器技术改进及 5000-7000 米海上试验(2011AA09A101); 973 项目: 超深渊生物群落及其与关键环境要素互作机制研究(2015CB755900)

作者简介: 刘峰(1962-), 男, 研究生学历, 教授级高级工程师, 主要从事深海战略研究、深海项目管理、深海装备研发与应用等。E-mail: liufeng@comra.org

表 1 下潜深度超过 1000 米的深海载人潜水器^①

序号	名字	国家	工作深度 (m)	乘员	运营单位
1	DEEPSEA CHALLENGER	美国	11000	1	WHOI
2	JIAOLONG	中国	7000	3	NDSC
3	SHINKAI 6500	日本	6500	3	JAMSTEC
4	MIR1	俄罗斯	6000	3	PPSI
5	MIR2	俄罗斯	6000	3	PPSI
6	NAUTILE	法国	6000	3	IFREMER
7	ALVIN	美国	4500	3	WHOI
8	PISCES IV	美国	2000	3	HURL
9	PISCES V	美国	2000	3	HURL
10	ICTINEU 3	法国	1200	3	Ictineu Submarine S.A

时,羊皮囊内灌满水,上浮时,就把羊皮囊内的水挤出去;航行时,就用人力划动木桨。显然这样的潜水器离科学应用相差甚远。

1960 年 1 月 23 日下潜到马里亚纳海沟 10916 米深处的载人潜水器“曲斯特”号^[4],是现代深海载人潜水器的鼻祖,其排水量 50t,使用了 85 000L 汽油提供需要的浮力。“曲斯特”号长 18.14m,宽 3.51m,高 5.64m,载人球内径为 2.1m,可以容纳 2 人。由于其体积较大,建造和运输均不方便,无航行和作业能力,除了探险功能之外,在科学研究方面基本无法得到实际应用。

随着新材料的出现,深海载人潜水器不再利用汽油提供浮力,取而代之的是比重更小、且能够耐压的浮力材料。浮力材料使后来开发的深海载人潜水器的体积、重量都远小于“曲斯特”号,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。美国的“阿尔文(Alvin)”号是这类深海载人潜水器的典型代表,建造于 1964 年,工作深度为 1829m。1974 年重建后,“阿尔文(Alvin)”号工作深度达到 4500m。2014 年“阿尔文”度过了 50 岁生日。50 年来,作为国际上使用效率最高的深海载人潜水器,“阿

尔文”号进行过很多颇具影响的作业。如 1966 年初,“阿尔文”号和另一台遥控潜水器一起打捞起美国海军掉落在地中海的一颗氢弹;1977 年,“阿尔文”号在将近 2500m 深处的加拉帕戈斯(Galapagos)断裂带首次发现海底热液和其周围的生物群落。两年后,“阿尔文”号在东太平洋洋中脊发现第一个高温黑烟囱。20 世纪 80 年代,“阿尔文”号又成功地参与了对“泰坦尼克”号沉船的搜寻和考察。拍摄的电影《泰坦尼克》获得当时的最高票房。迄今,约 15000 人次参与了“阿尔文”号 5000 次的下潜,为深海科学研究、考古等应用做出卓越贡献。

2012 年“阿尔文”号又一次进行了大规模改造(图 1),新建造的载人球使用了钛合金材料,设计工作深度可达 6500 米,增加了载人球内径,改进了舱内的人机工程学设计,观察窗增加到 5 个,使前向观察无死角,有效载荷增加到 400 磅,海底作业时间增加,改进了照明和摄像系统,改成了光缆数据采集系统等,其他设备额定工作深度仍维持在 4500 米,待今后进一步升级。

2015 年 2 月国际载人潜水器委员会届会期间,设专题庆祝了日本深海载人潜水器“深海(SHINKAI) 6500”下水 25 周年^[5]。“深海 6500”

注: WHOI: Woods Hole Oceanographic Institution; NDSC: China National Deep Sea Center;

JAMSTEC: Japan Agency for Marine-Earth Science & Tech; PPSI: PP Shirshov Inst.of Oceanology, RAS;

IFREMER: Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer; HURL: Hawaii Undersea Research Lab

号建造于 1989 年, 空气中重 26 吨, 2004 年将银锌电池改换成维护需求少的锂离子电池后, 水下作业时间 8 小时。“深海 6500”号下潜的次数已经超过 1400 次, 主要研究内容包括^[6]: 探查地球内部运动, 如地震多发的板块俯冲区域和洋中脊的活动等; 研究海底生物群落, 对不依赖太阳能的化学合成生态系统开展大量研究, 以期揭示生命的起源与进化过程; 研究深海生物资源和基因资源, 以期解决人类未来发展可能面临的食物短缺问题; 研究并阐明深海热液和物质循环过程, 揭示气候变化、大潮的加剧和衰减。“深海 6500”号深海载人潜水器将同类潜水器 6527 米的最大下潜深度纪录保持了 23 年, 直到 2012 年被后来者——中国的“蛟龙”号打破。



图 1 改造后的“阿尔文”号载人潜水器

“蛟龙”号深海载人潜水器(图 2)是在国家 863 重大专项的支持下研发的。国家海洋局是项目的组织部门, 中国大洋协会作为业主具体组织实施。全国约 100 家单位直接或间接参与了项目的研发和海上试验。2012 年 6 月, “蛟龙”号在马里亚纳海沟海试过程最大下潜深度达到 7062 米^{[7][8][9]}, 创造了作业型深海载人潜水器的记录, 313 个测试项目全部达到设计指标。完成海试后, “蛟龙”号立即进入试验性应用阶段, 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和西南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。迄今, “蛟龙”号已经累计完成 100 次下潜。“蛟龙”号与其他同类作业型深海载人潜水器功能的对比见表 2。

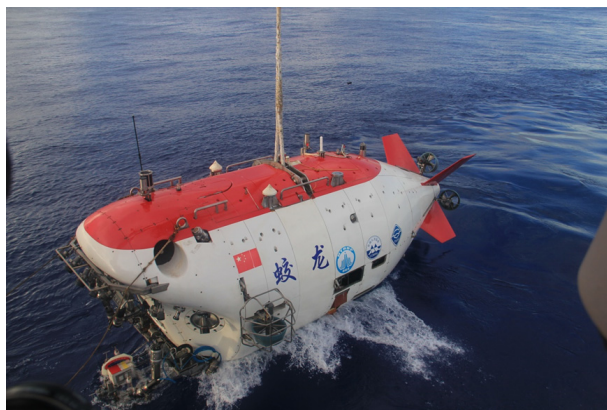


图 2 “蛟龙”号载人潜水器

在同类作业型深海载人潜水器中, 不得不提及俄罗斯的“和平(MIR)1”号和“和平(MIR)2”号, 它们由苏联和芬兰于 1987 年联合研制, 是仅有的两艘用马氏体镍钢制造载人球壳的潜水器。这两艘潜水器在太平洋、印度洋、大西洋和北极海底进行了上千次的科学考察, 包括对海底热液硫化物矿床、深海生物及浮游生物调查和取样, 大洋中脊水温场测量, 失事核潜艇“共青团员”号核辐射检测, 以及“泰坦尼克”号沉船的水下拍摄等。在 2007 年 8 月两艘深海载人潜水器联合完成的“北极-2007”海洋科学考察^[10], 使这两艘潜水器再次引起世人瞩目, 并由此正式引发了国际社会在北极的利益之争。

另外一艘同类深海载人潜水器是法国于 1985 年研制的“鹦鹉螺(Nautile)”号, 空气中重量为 18.5 吨。“鹦鹉螺”号迄今已下潜过 1000 余次, 下潜项目涵盖多金属结核、海沟、深海海底生态系统等。

美国著名导演詹姆斯·卡梅隆出资、澳大利亚工程师打造的“深海挑战者(Deepsea Challenger)”号(图 3)虽然不属于作业型深海载人潜水器, 但它采用的新技术却值得借鉴。“深海挑战者”号高 7.3 米, 重 12 吨, 球壳钢板的厚度为

表 2 几种作业型深海载人潜水器功能对比表

名字	蛟龙号	阿尔文号	深海 6500 号	和平 1、2 号	鹦鹉螺号
国家	中国	美国	日本	俄罗斯	法国
最大工作深度（米）	7000	4500	6500	6000	6000
长×宽×高（米）	8×3.9×3.4	7.1×2.6×3.7	9.5×2.7×3.7	7.8×3.6×3.0	8×2.7×3.5
空气中质量（吨）	22	17	25.8	18.6	19.3
科学家，潜航员	2,1	2,1	1,2	2,1	2,1
最大速度（节）	2.5	1.35	2.5	5	2.5
水下工作时间（小时）	12	4-5	4	10-15	4-5
耐压壳材料	钛合金	钛合金	钛合金	马氏体 Ni 钢 2.1	钛合金
内径（米）/壁厚（毫米）	2.1/77	2.0/-	2.0/73.5	-/-	2.1/-
能源	银锌电池 120 千瓦时	铅酸电池 37 千瓦时	银锌电池 86 千瓦时	镍镉电池 100 千瓦时	铅酸电池 38 千瓦时
运动性能	巡航、坐底、悬停	巡航、坐底	巡航、坐底	巡航、坐底	巡航、坐底
通信	水声通信 音字图像、9000 米	水声电话	水声通信 7000 米	水声电话	水声电话
调查、观察设备	机械手、CTD HDTV、照相机 成像声呐、BSSS 沉积物、结壳、 微生物、热液取样	机械手、CTD 夹持器 TV、照相机	机械手、CTD 夹持器、TV 照相机 图像声呐	机械手、CTD TV、照相机	机械手、CTD 夹持器、TV 照相机、沉积物、 水质、岩石取样器、 液压切割
安全措施	应急抛载（蓄电池、 机械手、水银、 采样篮）、应急电池 救捞浮子、冗余呼吸器		应急抛载 应急电池 救捞浮子 冗余呼吸器		
有效载荷（公斤）	220	180	150	290	200

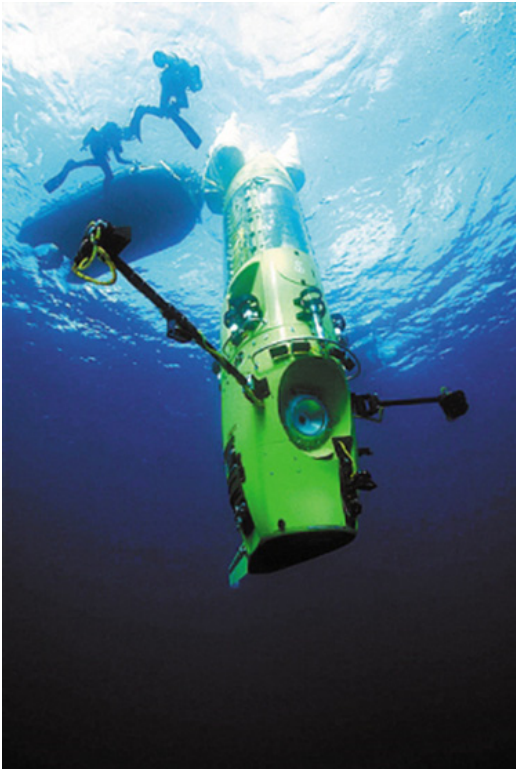


图 3 “深海挑战者”号载人潜水器

64 毫米，载人球直径只有 1.08 米，仅能容纳 1 人蜗居在舱内下潜。其下潜路线被设计成“直上直下”，即一头扎向海沟底部，然后垂直上升，下潜的速度可以达到每分钟 150 米，为其他深海载人潜水器的 3 倍以上，大大节约了上浮和下潜时间。该潜水器的另一特点是利用了卡梅隆导演的老本行，为潜水器安装了多个摄像头，可以全程 3D 摄像。2012 年 3 月卡梅隆自己驾驶“深海挑战者”号造访了 10898 米海底^[11]，下潜拍摄的影像后来被剪辑成电影《深海挑战》在世界各大影院上映。

2 深海载人潜水器发展趋势

随着材料技术、电子技术、水声通讯技术、摄像技术、自动控制技术和设计理念的发展和变革，深海载人潜水器的发展呈现出一些新特点，主要体现在以下各个方面。

2.1 全海深、快速下潜上浮和长时间作业设计理念

据《产经新闻》报道^[12], 日本教育部已经将新一代深海载人潜水器定位为优先发展的国家关键技术, 计划投资约 300 亿日元研制工作水深 12000 米的“深海 12000”深海载人潜水器, 预计 2023 年前后投入使用。据日本海洋研究开发机构 (JAMSTEC) 海洋工程中心主任矶崎芳男介绍, 新深海载人潜水器将“不仅可以下潜到世界最深的海洋, 而且具备更优的舱内居住性, 同时能够在海底逗留更长时间”。预计新潜水器的载人球壳内径会小于现在“深海 6500”的 2 米, 使之可以承受更高的水压。“深海 6500”内部非常狭小, 这也是每次下潜时间只能限制在 8 小时左右的原因。新潜水器有可能将载人球壳增加到两个, 一个为驾驶及观察用, 另一个为休息用, 把它们连在一起可大大改善舱内居住性, 从而可以使每次下潜时间延长至 24 小时以上。如果是短时间的潜航, 还可以利用休息用空间多搭载两名研究人员, 使潜水器的总搭载人数达到 5 人。新潜水器还将把潜航员由 2 人减为 1 人, 从而为科学家提供更多的下潜机会。

由格拉哈姆·霍克斯 (Graham Hawkes) 和他的霍克斯海洋技术公司 (Hawkes Ocean Technologies) 研制的“深海飞行挑战者 (DeepFlight Challenger)”深海载人潜水器^[13], 是一台全海深、单人深海探险潜水器。透明的半球由石英玻璃制成, 水下时间可达 24 小时, 海底航行速度 3 节, 下潜速度达每分钟 350 英尺 (106 米/分), 采用水下滑翔的原理, 用较少的动力实现较高速度航行。研究者曾计划在太平洋的马里亚纳海沟 (约 11000 米)、大西洋的波多黎各海沟 (约 8600 米)、印度洋的迪亚曼蒂纳海沟 (约 8050 米) 等 5 个世界著名海沟开展探险下潜, 但陆上压力筒打压测试发现其强度仅能供一次下潜, 更让他们措手不及的是著名导演卡梅隆抢先完成了挑战深渊的探险,

因此团队放弃了“深海飞行挑战者”5 次下潜探险计划。

目前有消息传出, 中国“十三五”期间也有研制全海深的深海载人潜水器计划, 但具体方案仍在讨论中。

2.2 新材料、新技术的广泛应用

据《产经新闻》报道, 日本研制的“深海 12000”的载人球壳将首次使用强化玻璃制造, 载人舱整体透明, 视野开阔, 因此可以大幅度提高其操作性和调查效率。同时, 新潜水器还将采用具有触感和温度测定功能的机械手, 采用超高精度照相机, 以及高性能燃料电池、低密度浮力材料等一大批新技术。

据国际载人潜水器委员会 2015 年年会透漏的消息, 碳纤维增强材料、陶瓷耐压材料、低密度玻璃微珠可加工浮力材料、全透明玻璃耐压球壳加工制造技术、360°全景高清照相及摄像技术、耐压锂电池技术、承压件应力预测技术等一大批新材料、新技术、新工艺将越来越多地用于深海载人潜水器的制造中。

2.3 深海作业工具模块化

深海载人潜水器的使命往往是多方面的, 任务不同, 面对的作业对象不同, 也就需要使用多样化的作业工具。由于每次下潜作业时间的限制, 深海载人潜水器不需要、也不应该配备所有的作业工具。针对特定的作业对象, 只需要携带特定的作业工具包就可以满足要求。因此在最初设计时就需要考虑多样化、模块化的作业工具的配备问题, 使它们动力接口一致, 安装接口统一。

2.4 与其他深海装备协调作业

深海载人潜水器有其独特的海底作业优势, 但并不能包揽一切海底作业。由于其每次下潜的作业时间有限, 航行速度有限, 因此载人潜水器在海底的活动范围非常有限。定点精细观察和取样、定点布放和回收海底设备等是其最大特点。

但在无法预判大致方位的情况下让深海载人潜水器作业，比如让其在浩瀚的印度洋搜寻失联的MH370 客机^[14]，那作业成功的概率将极低。水下自治机器人（Autonomous Underwater Vehicle，AUV）具有按照预先设定的路径、甚至自主规划路径进行近底航行照相、摄像和地形测量的功能，具有水下作业时间长、活动范围大的特点。而遥控水下机器人（Remote Operated Vehicle，ROV）可在水面母船上对其进行操控，由水面船只提供动力，活动范围不受能源限制，原则上讲可以不间断开展水下取样、照相、摄像等定点作业，但也有脐带缆发生缠绕的危险。如能将这三种设备相互配合、联合作业、发挥各自的优势，并充分发挥综合技术体系的作用，才能更加有效地提高海上作业的效率、保障海上作业的安全。如前例所述，若能利用 AUV、ROV 或其他手段初步判定 MH370 的位置后，再让深海载人潜水器发挥定点作业优势，将可能起到事半功倍的效果。

3 总结

现代深海载人潜水器已走过了 50 多年的发展历程。由于其独特的高精度定点精细作业优势，且科学家可以亲临现场观察，深海载人潜水器在深海资源调查、深海环境研究甚至军事等领域已经得到广泛的应用。随着新技术、新材料的发展，以及人们与日俱增的探索海洋深处奥秘的渴望，深海载人潜水器的发展已经进入一个崭新的阶

段。各种深海装备的相互配合、联合作业，已经成为人类高效、全面认知海洋的综合技术手段。

参考文献

- [1] 刘涛, 王璇, 王帅, 王磊. 深海载人潜水器发展现状及技术进展[J]. 中国造船, 2012, 53(3): 233-243.
- [2] <http://www.mtsmuv.org/#mts-muv-committee>, Active Manned Submersibles, Manned Underwater Vehicle Committee, Marine Technology Society.
- [3] R. 弗兰克·布什毕. 载人潜水器[M]. 海洋出版社, 1982.
- [4] Hardy K, Rosenthal B J. Special issue: celebrating the golden anniversary of man's deepestdive[J]. Marine Technology Society Journal, 2009, 43(5).
- [5] Proceedings[C]. 2015 MTS MUV SYMPOSIUM, 2015.02.10-02.12, New Orleans, LA USA.
- [6] <http://www.jamstec.go.jp/e/about/equipment/ships/shinkai6500.html>.
- [7] 刘峰, 崔维成, 李向阳. 中国首台深海载人潜水器——蛟龙号[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(12): 1617-1620.
- [8] 崔维成, 刘峰, 等. 蛟龙号载人潜水器的 5000 米级海上试验[J]. 中国造船, 2011, 52(3): 1-14.
- [9] 崔维成, 刘峰, 等. 蛟龙号载人潜水器的 7000 米级海上试验[J]. 船舶力学, 2012, 16(10): 1130-1143.
- [10] 新华社·俄国家杜马副主席等人潜至北冰洋洋底[N]. 2007.08.02.
http://news.xinhuanet.com/photo/2007-08/02/content_6466979.htm.
- [11] <http://education.nationalgeographic.com/deepsea-challenge/>
- [12] 伊藤壽一郎. 地球最深部の海底へ「しんかい12000」開発本格化、資源探査は激戦[N]. 産経新聞, 2014. 05.26.
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/DeepFlight_Challenger.
- [14] <http://www.malaysiaairlines.com/my/en/site/mh370.html>.

Technical Status and Development Trend of the Deep-sea Manned Submersible

Liu Feng

(China Ocean Mineral Resources R&D Association, Beijing 100860, China)

Abstract: Deep-sea manned submersible not only had made outstanding contributions to the deep-sea knowledge accumulation in marine science society, but also had very sensational influence in military affairs. Since the manned submersible is capable to bring scientists to the bottom of the sea, therefore various observations and studies can be carried out in-situ, which circumstance can hardly be simulated in a laboratory. The manned submersible have been playing an increasingly important role in deep sea environment research, deep sea biological research, deep sea resource study, as well as in the emerging field of hadal ecological study. This article briefly reviews the development of the world famous deep-sea manned submersibles. Then analysis and comparisons of their technical specifications, diving practice of the most active 10 submersibles in the world are described. Finally, development trend of deep-sea manned submersibles is prospected.

Keywords: deep-sea; manned submersibles; JIAOLONG; hadal science