

# 美国载人潜水器的应用和管理及其启示

史先鹏,刘保华

(国家深海基地管理中心 青岛 266237)

**摘要:**为促进我国载人深潜工作和载人潜水器的可持续发展,文章调研美国载人潜水器运营机构及其载人潜水器的应用和管理,重点介绍大学与国家海洋学实验室系统(UNOLS)发挥的重要作用,并提出启示。研究表明:美国载人潜水器运营机构主要包括伍兹霍尔海洋研究所(WHOI)、夏威夷水下研究实验室(HURL)和佛罗里达大西洋大学海港分校海洋研究所(HBOI),其中WHOI的载人潜水器升级最多和应用最广,而HBOI的载人潜水器下潜频次最高;WHOI的载人潜水器运营良好,而HURL和HBOI已不再运营,其中固定经费至关重要,技术和服务水平也是影响因素;科学家可通过UNOLS申请应用WHOI的载人潜水器开展下潜作业,操作过程严格、科学和有序,有利于装备资源的高效配置和使用;我国可借鉴相关业务经验,促进载人潜水器及其保障机制的标准化和规范化。

**关键词:**载人深潜;海洋装备;深远海;共享平台;运营经费

中图分类号:G311;P711

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2019)08-0067-05

## The Application and Management of Manned Submersibles in USA and Its Enlightenment

SHI Xianpeng, LIU Baohua

(National Deep Sea Center, Qingdao 266237, China)

**Abstract:** In order to promote the sustainable development of manned deep submergence work and manned submersible technology in China, the paper investigated the US agencies who operate and manage manned submersibles, and brought forward the enlightenment. The research showed that the operators of manned submersibles in the USA mainly include the Woods Hole Oceanographic Research Institute (WHOI), the Hawaii Underwater Research Laboratory (HURL), and the Harbor Branch Oceanography Institute (HBOI) of Florida Atlantic University, among which the manned submersible of WHOI had been most upgraded and widely used, while the manned submersible of HBOI has the highest dive frequency. Currently, the WHOI's manned submersible op-

收稿日期:2019-02-26;修订日期:2019-07-08

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(61603108);自然资源部项目“海洋战略规划制定与实施:深海重大战略问题研究”;国家科技部重点研发计划项目(2016YFC0300704);泰山学者工程专项经费项目(tspd20161007)。

作者简介:史先鹏,高级工程师,博士,研究方向为深海运载装备应用技术

erates well, while the manned submersibles of HURL and HBIO have been retired. It was found that the fixed funding for manned submersibles' sustainable application was essential, and the technical and service level was also an influencing factor. The scientists can apply for the application of WHOI's manned submersible through UNOLS, while the operation process is rigorous, scientific and orderly, which is conducive to the efficient allocation and use of equipment resources. China can learn from these relevant experience and promote the standardization of manned submersibles and their safeguard mechanisms.

**Key words:** Manned deep submergence, Marine equipment, Deep sea, Sharing platform, Operating funds

## 0 引言

在众多深海运载装备中,载人潜水器可搭载科学家到达海底,开展近距离观察、原位精准采样和精细化操作等活动,具有扰动小和噪音小等优势,已成为衡量国家海洋技术实力的重要标志<sup>[1-4]</sup>。载人潜水器包括大深度型和中浅深度型2种类型,美国、俄罗斯、日本和法国等国家已研制数台大深度型载人潜水器。目前全球可跟踪的载人潜水器有320台,其中有160台较活跃,被广泛应用于海洋科研、海洋工程、海底观光、商业开发和军事安全等领域<sup>[5]</sup>。

我国于2002年启动“蛟龙”号载人潜水器的自主设计和集成工作;在原国家海洋局的领导和中国大洋协会的组织实施下,7000米级“蛟龙”号载人潜水器于2009年研制成功,并于2012年在马里亚纳海沟完成海试,最大下潜深度达7062 m<sup>[6-8]</sup>;自2013年开始,国家深海基地管理中心组织“蛟龙”号载人潜水器的试验性应用航次,先后在我国南海、东太平洋多金属结核勘探区、西太平洋海山结壳勘探区、西南印度洋脊多金属硫化物勘探区、西北印度洋脊多金属硫化物调查区、西太平洋雅浦海沟区和西太平洋马里亚纳海沟区七大海区的深水区域开展100余次成功下潜,覆盖深海海沟、海盆和洋中脊等重点和典型区域,前所未有地获得对深海资源环境的新认识,开辟深海科学研究的新领域。此外,我国4500米级“深海勇士”号载人潜水器于2017年年底完成海试并投入应用,全海深载人潜水器也计划于2020年海试。

美国载人潜水器建造最早,运营也最成熟。本

研究通过对美国载人潜水器运营机构的系列调研,分析其载人潜水器的应用和管理以及UNOLS的作用,并提出启示。

## 1 美国载人潜水器运营机构

美国载人潜水器运营机构主要包括伍兹霍尔海洋研究所(WHOI)、夏威夷水下研究实验室(HURL)和佛罗里达大西洋大学海港分校海洋研究所(HBOD)。

WHOI属于私人非营利机构,拥有强大的载人潜水器技术支撑团队,其“Alvin”号载人潜水器已搭载约15000人次下潜,并于2018年11月完成第5000次下潜,应用领域十分广泛。“Alvin”号被多次升级改造,与1964年建造时相比,几乎所有部件都被更换。自2012年开始,WHOI将“Alvin”号升级为6500米级载人潜水器,其具有更大的载人舱,观察窗由3个增至5个,并配置更先进的灯光系统、摄像系统、浮力材料和操控系统等,这是有史以来“Alvin”号的最大升级。“Alvin”号将于2020年完成最终升级<sup>[8]</sup>,已有众多科学家排队等待其海试和业务化应用。

HURL成立于1980年,由美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的国家海底研究计划(NURP)资助,同时运营2000米级“Pisces IV”号和“Pisces V”号。2台载人潜水器均于1973年由加拿大温哥华混合动力公司建造,海试后即由加拿大渔业与海洋部应用,并由加拿大海洋科学中心运营,在大西洋、北冰洋和太平洋开展下潜作业;后因加拿大政府削减财政支持,“Pisces IV”号被停止应用,并与“Pisces V”号分别于1987年和2000年由HURL

收购。HURL 偏重于载人潜水器的应用,主要在夏威夷群岛附近开展海底生态环境调查,技术支持团队人员较少,对载人潜水器的升级改造也较小。由于 2012 年 NURP 停止对 HURL 等 6 个国家海底实验室的资助,HURL 自 2013 年由夏威夷大学资助并开展系列下潜作业;后因经费短缺,夏威夷大学于 2018 年宣布将停止载人潜水器的运营,HURL 面临解散,包括“Pisces IV”号和“Pisces V”号在内的相关装备将被停止应用。

HBOI 于 1970—2007 年属于私人非营利机构,2008 年至今隶属佛罗里达大西洋大学,但仅依托海军和相关科研项目获得少量资助。HBOI 偏重于载人潜水器的工程应用和科学研究,其载人潜水器均为浅深度型。同样因经费短缺,HBOI 于 2010 年出售载人潜水器的支持母船,并于 2011 年解散技术支持团队。目前其 300 米级“Johnson Sea-Link I”号和 914 米级“Johnson Sea-Link II”号均置于仓库,300 米级“Clelia”号因部件零散仅供参观和研究。

## 2 载人潜水器的应用和管理

### 2.1 业务机构

“Alvin”号载人潜水器的应用和管理主要依托于 WHOI 的国家深潜设施中心(NDSF)。NDSF 由美国政府资助成立,同时负责大深度型“Jason”号缆控水下机器人(ROV)、“Sentry”号自治水下机器人(AUV)和“Nereus”号混合型潜水器(HROV,2014 年在克马德克海沟 9 990 m 水深处丢失)的应用和管理。NDSF 负责“Alvin”号载人潜水器的海上作业、日常维护、大修和升级等具体工作,相关业务由 WHOI 和美国政府联合指导,并由大学与国家海洋学实验室系统(UNOLS)监督。

HURL 和 HBOI 均直接应用和管理其载人潜水器,其中 HURL 的相关业务由夏威夷大学和 NOAA 联合指导,HBOI 的相关业务由佛罗里达大西洋大学指导。

### 2.2 下潜作业

根据官方数据、可查的网络数据和各技术支持团队提供的数据,3 家运营机构的载人潜水器下潜情况如表 1 所示。

表 1 美国载人潜水器的下潜情况

机构	载人潜水器	下潜年份	总下潜次数/次	年均下潜次数/次
WHOI	Alvin	1964—2018	5 000	93
HURL	Pisces IV	1987—2017	915	31
	Pisces V	2000—2017	346	20
	Johnson-Sea-Link I	1971—2011	4 943	124
HBOI	Johnson-Sea-Link II	1975—2011	3 835	107
	Clelia	1971—2011	629	16

其中:HBOI 的载人潜水器下潜深度最小,且主要在近海作业、海上作业时间短和故障率低,下潜频次最高;WHOI 的载人潜水器在大修和升级期间无法应用,下潜频次较高;HURL 的载人潜水器下潜频次最低。

“Alvin”号载人潜水器主要应用于生命科学和地球科学的研究,其应用领域如表 2 所示。

表 2 “Alvin”号载人潜水器的应用领域

应用领域	下潜次数/次
海洋生物研究	1 776
海洋物理和地球物理研究	1 515
海洋化学和地球化学研究	629
海洋工程和海试	295
海底搜索和打捞	244
潜航员培训	140
潜航员认证	65

“Alvin”号载人潜水器主要在深远海开展下潜作业,作业海域范围较大,其科学研究应用潜次占全球所有载人潜水器的 50%。而 HURL 和 HBOI 的载人潜水器的应用领域和作业海域范围均较小。

### 2.3 经费来源

WHOI 的载人潜水器运营由海军提供长期资助,此外可获得国家自然科学基金会(NSF)、NOAA、大学和研究所的大量科研项目支持,经费充足。而 HURL 和 HBOI 的载人潜水器运营分别由 NOAA 和海军提供少量资助,此外可获得 NSF 和 NOAA 等的少量科研项目支持,经费不稳定且较缺乏。

海军每年投入大量的固定资金用于“Alvin”号载人潜水器的运营,即使潜水器停放在仓库,也可保障其技术支撑团队的基本工资和潜水器的日常维护,且对潜水器的大修和升级提供额外经费。NSF和NOAA的科研项目经费主要用于技术支撑团队除基本工资外的海上作业补贴和装备(船舶和潜水器)的应用,这些经费无须通过WHOI,而是由UNOLS统一管理,“Alvin”号载人潜水器是目前美国唯一纳入UNOLS管理的载人潜水器。此外,NDSF可获得私人、基金会和企业等非政府部门的捐赠支持,保障其灵活开展更多的创新工作。

### 3 在UNOLS申请应用载人潜水器

UNOLS是美国国家海洋装备的共享服务平台,“共享”是该平台的精髓,将科研项目、装备应用和经费预算有机联系起来。“Alvin”号载人潜水器及其支持母船等大型海洋装备都由UNOLS调度,而其他载人潜水器由于尚未纳入UNOLS,获得科研项目支持难免受限。

科学家可通过UNOLS申请应用载人潜水器开展下潜作业,整个过程以严格、科学和有序的评估机制进行控制和保障,载人潜水器、支持母船和技术支撑团队等的经费预算可在UNOLS中一目了然地体现。操作流程如图1所示。

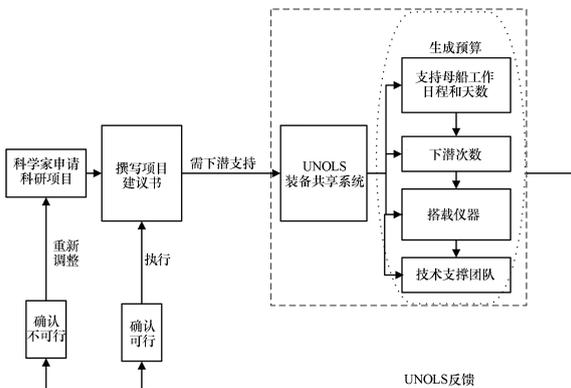


图1 科研项目的下潜作业申请

科学家可在UNOLS查看船舶等装备的各项信息,从而便捷和灵活地选择船舶、载人潜水器和搭载的仪器,相关费用标准清晰,有利于装备资源的高效配置和使用。UNOLS将科学家的选择结果反馈至项目承担机构,经确认或调整后执行,并统

一管理相关装备及其费用。

WHOI接到UNOLS的用船通知后,将相应船舶全年和近期的航次计划通过网站公开;近期航次计划包括出发和返航时间、出发和停靠港口、首席科学家、航次支撑项目、海上作业总天数以及可能的调整等;全年航次计划除此之外还包括下潜作业的资助机构。

WHOI的技术支撑团队会尽其所能为科学家提供下潜作业支持,并与科学家各司其职。科学家如随载人潜水器下潜,除水下电话外,不宜操作其他舱内设备。

### 4 启示

根据美国载人潜水器运营机构的发展状况,本研究主要获得6个启示。

(1)单纯依靠科研项目经费难以维持载人潜水器的运营,须确保固定经费投入。

(2)UNOLS是连接科学家、科研项目、船舶和载人潜水器等纽带的纽带,基于该平台形成的应用和管理机制是确保科研项目有效实施以及装备资源高效配置和使用的关键。

(3)WHOI的载人潜水器建造较早、下潜深度较大,在装备应用和人才培养等方面积累了丰富的经验,从而在同行竞争中保持领先优势,承担大部分科研项目的下潜作业,实现可持续发展。

(4)在经费充足的条件下,由于主要在近海作业、海上作业时间短和故障率低,浅深度型载人潜水器的下潜频次更高。

(5)阶段性地开展载人潜水器的升级改造有利于其保持良好状态。“Alvin”号载人潜水器每3~5年开展1次中修,每10年开展1次大修,并根据实际应用需求进行必要升级,保障其安全和高效应用以及技术领先。

(6)WHOI从技术指标、结构部件、仪器种类和航次计划等多方面,通过互联网全方位展现“Alvin”号载人潜水器及其技术支撑团队的能力,并为全球科学家提供开放式和人性化的服务。

我国载人深潜工作起步较晚,现有载人潜水器在深海资源勘探和生态环境调查等方面的支撑力度远远不足。随着我国对深海科学认知需求的扩

大,应促进载人潜水器及其保障机制的标准化和规范化;从载人潜水器的数量和下潜深度方面,应加强科学体系建设;从载人潜水器的应用和管理方面,应加强人才队伍建设。可借鉴 NSF 和 UNOLS 的经验,研究并实施适应我国国情的载人潜水器运行机制,树立国家投入和公益服务的理念,保障其可持续发展。

## 参考文献

- [1] FORNARI D J, BOWEN A D, FOSTER D B. Visualizing the deep sea[J]. *Oceans*, 1995, 38(1): 10-13.
- [2] SAGALEVICH A. 25th anniversary of the deep manned submersibles Mir-1 and Mir-2 [J]. *Oceanology*, 2012, 52(6): 817-830.
- [3] Committee on Future Needs in Deep Submersible Science. Future needs in deep submergence science-occupied and unoccupied vehicles in basic ocean research[M]. Washington D C: The National Academies Press, 2004.
- [4] 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(5): 1-10.
- [5] WILLIAM K. Manned underwater vehicles 2017-2018 global industry overview [J]. *Marine Technology Society Journal*, 2018, 52(5): 125-151.
- [6] CUI W C. Development of the JIAOLONG deep manned submersible[J]. *Marine Technology Society Journal*, 2013, 47(3): 37-54.
- [7] CUI W C, LIU F, HU Z, et al. 7 000 m sea trials test of the deep manned submersible JIAOLONG[J]. *Journal of Ship Mechanics*, 2012, 16(10): 1131-1143.
- [8] LIU F. JIAOLONG manned submersible: a decade's retrospect from 2002 to 2012 [J]. *Marine Technology Society Journal*, 2014, 48(3): 7-16.