深海潜水器谱系化框架探索研究

苏晓云[1,2,3]，曹俊[1,2,3]，胡中惠[1,2,3]，赵晓宇[1,2,3]，岳彭[4]

（1.中国船舶科学研究中心 无锡 214082；2.深海技术科学太湖实验室 无锡 214082；
3.深海载人装备全国重点实验室 无锡 214082；4.海军装备部驻无锡地区军事代表室 无锡 214151）

摘要：深海潜水器是我国走向深远海的重要装备，国家在“十三五”规划纲要中提出了蛟龙探海工程，这是国家对海洋事业的整体布局和规划。通过几十年的技术取得跨越性发展，研制出了“蛟龙”“潜龙”系列、“海龙”“海马”“海斗”“海燕”等不同类型和深度的深海系列装备，并逐渐向谱系化发展。未来将根据海洋科学研究、海洋资源开发利用、海洋权益维护的需求，研发出更多符合实际要求的深海装备。文章借鉴其他高科技领域，开展潜水器谱系化探索研究，构建谱系化框架。

关键词：深海；载人潜水器；无人潜水器

中图分类号：TP242；P7 **文献标志码**：A **文章编号**：1005－9857(2023)09－0008－05

Exploration and Research of Genealogical Framework of Deep-sea Submersible

SU Xiaoyun[1,2,3], CAO Jun[1,2,3], HU Zhonghui[1,2,3], ZHAO Xiaoyu[1,2,3], YUE Peng[4]

(1. China Ship Scientific Research Center, Wuxi 214082, China; 2. Taihu Laboratory of Deepsea Technological Science, Wuxi 214082, China; 3. State Key Laboratory of Deep-Sea Manned Vehicles, Wuxi 214082, China; 4. Military Representative Office of Naval Equipment Department in Wuxi Area, Wuxi 214151, China)

Abstract: Deep-sea submersible is an important equipment for China to explore the far-reaching sea, the “Jiaolong” sea exploration project was proposed in the “13th Five-Year Plan”, which is the overall layout and planning of the national marine cause. Through decades of technological leapfrog development, the “Jiao Long”, “Qian Long” series, “Hai Long”, “Hai Ma”, “Hai Dou”, “Hai Yan” and other deep-sea series equipment of different types and depths have been developed, and gradually developed to the lineage. In the future, according to the needs of marine scientific research, the development and utilization of marine resources, and the maintenance of marine rights and interests, more deep-sea equipment that meet the actual requirements will be developed. This paper draws lessons from other high-tech fields, carries out the exploration and research of submarine genealogy, and builds the genealogy framework.

Keywords: Deep-sea, Human occupied vehicles, Unmanned underwater vehicle

收稿日期：2023-07-05；**修订日期**：2023-07-27

作者简介：苏晓云，研究馆员，研究方向为档案管理、质量管理

通信作者：胡中惠，高级工程师，硕士研究生，研究方向为潜水器总体设计研究

0　引言

深海潜水器是我国走向深远海的重要装备，开展深海潜水器谱系化工程是“十三五”规划提出的重要目标，也是国家对深海装备体系的整体布局和规划。不同类型和深度的深海潜水器，经过技术的不断更新迭代，取得了跨越性的发展，不断刷新“中国深度”以及应用广度[1]。“蛟龙”号载人潜水器(HOV)、“深海勇士”号 HOV、“潜龙”系列自主水下无人航行器(AUV)、“探索”系列 AUV、“海龙”系列遥控型水下无人航行器(ROV)、“海马”号 ROV、“海燕”系列水下滑翔机(Glider)、“海翼”系列 Glider、“海斗”号自主/遥控无人航行器(ARV)、极地系列 ARV 等潜水器的成功研制和应用，以及全海深(11 000 m)HOV、ARV 等潜水器的研发，使得我国在构建具有自主知识产权的深海潜水器领域已经建成了完整的技术链条和应用体系。未来，根据海洋科学研究、海洋资源开发利用、海洋权益维护的需求，将开发出更多符合实际要求的深海装备。本文结合我国潜水器领域几十年的科研成果，开展谱系化的潜水器探索研究，构建谱系化框架方案。

1　谱系化定义

潜水器谱系是一种装备可持续发展的体系，是已有产品与未来发展需求等情况基本信息的集中体现。潜水器的谱系化，是将潜水器的主要参数、类型、基本结构等做出合理的安排和规划，是记载潜水器装备成熟度的重要表现形式。它是装备体系建设各项要素的基础和依据，是使潜水器装备系统的结构优化、功能最佳的标准化形式。

2　我国深海潜水器发展成果

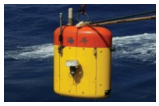
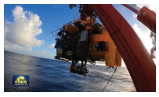
我国深海关键技术与装备取得全方位突破，成体系掌握深海能源、材料、结构、传感、控制、导航定位、通信、机械手、液压等核心关键技术，集成应用形成全谱系深海潜水器。“蛟龙”号完成升级改造，与“海龙”号、“潜龙”号形成“三龙”运载装备技术体系，具备深海活动综合支撑保障能力。“深海勇士”号国产化率超过 95%，与“海马”号、“潜龙二号”共同构建形成我国 4 500 m 级深海多功能作业能力。“海斗一号”全海深自治遥控潜水器最大下潜深度达到10 907 m，填补了我国万米级作业型无人潜水器空白；“海燕-X”深海滑翔机最大下潜深度达到 10 619 m，刷新了水下滑翔机的世界纪录；“奋斗者”号全海深载人潜水器创造了 10 909 m 这一中国载人深潜的里程碑纪录[2-6]。本文梳理选取具有代表性深海潜水器进行分析和研究，内容如表 1 所示。

表 1　国内潜水器主要成果

Table 1　List of major achievements of domestic submersibles

序号	名称	类型	设计深度/m	应用领域	图片
1	“蛟龙”号	HOV	7 000	资源勘探、科学考察	
2	“深海勇士”号	HOV	4 500	科学考察	
3	“奋斗者”号	HOV	11 000	深渊科考	
4	“海马”号	ROV	4 500	资源勘探	
5	“海龙”号	ROV	3 000	科学考察	
6	“海龙Ⅱ”号	ROV	3 500	科学考察	
7	“海龙Ⅲ”号	ROV	6 000	科学考察	
8	海龙 11000	ROV	11 000	科学考察	
9	深海科考型 ROV 系统	ROV	6 000	科学考察	
10	“潜龙一”号	AUV	6 000	资源勘探	
11	“潜龙二”号	AUV	4 500	资源勘探	

续表 1

序号	名称	类型	设计深度/m	应用领域	图片
12	“潜龙三”号	AUV	4 500	资源勘探	
13	探索 4500	AUV	4 500	海洋探测	
14	探索 1000	AUV	800	海洋探测	
15	北极 ARV	ARV	100	极地科考	
16	“海斗”号	ARV	11 000	深渊科考	
17	“海斗一”号	ARV	11 000	深渊科考	
18	“思源”号	ARV	11 000	深渊科考	
19	海翼 1000	Glider	1 000	海洋观测	
20	海翼 7000	Glider	7 000	海洋观测	
21	海燕 1500	Glider	1 500	海洋探测	
22	海燕-X	Glider	11 000	海洋探测	

从表 1 所列装备分析，目前国内在潜水器类型上已经全部覆盖，包括了载人和无人的各种潜水器、复合型的潜水器等均有研制产品或样机，在深度上也已经覆盖了全海深，但在应用维度上尚有欠缺，停留在海洋探测或科考，特别是具有专业特色的潜水器上还存在不足，如具有大观察视野的水下特种探索载人潜水器、救助打捞型潜水器等[7]。我国已研制的装备尚处于多产品开发阶段，系列化产品少，很多装备属于“独生子”，应用领域也比较单一，但也具备了一定的规模，形成了谱系化发展趋势，并走到了规划未来潜水器发展方向的十字路口[8]。

3 谱系化框架构建方法

发展成果是开展谱系化研究的基础，回顾潜水器的发展历程，深海装备行业由于技术难度比较大，还处于多产品开发的阶段，有了一个小的发展规模。但想要构建谱系化框架，潜水器的发展规模参考范围还是比较局限，不足以让我们站在一个制高点来规划行业发展方向，因此可以借鉴和引进其他行业成熟和先进的技术管理理念，如具有相似技术发展模式的航空、航天、动车、汽车是发展比较快的行业，这些行业生产都有一定的规模，且有一定的市场保有量，汽车行业发展更是日新月异。解读它们的发展历程，总结发展经验，吸收先进技术管理理念，能为潜水器谱系化框架研究带来启示。

以汽车行业发展为例[9-10]，它的发展模式可以说是我国科技发展的一个缩影。图 1 是解读汽车行业的发展过程，它们走过一个从优化到规划的过程。汽车发展是从单个产品设计，发展到平台设计，汽车行业在规模持续壮大的过程中，不断优化他们固有的平台，一些实力雄厚的大公司更是提出了架构的设计理念，从优化概念转向了规划概念，提出更有创新型设计理念，引领市场。

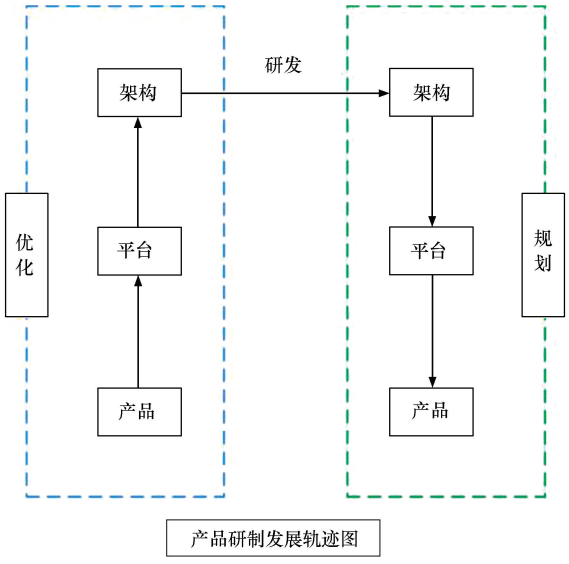


图 1 汽车行业发展过程

Fig.1 Automotive industry development process

产品的发展都具有相似性，深海潜水器发展也会遵循产品的发展规律。由图 1 可知，在构建潜水器谱系化框架，有两种方法可以选择，一种是由下而上（适应性）方法；另一种是自上而下（前瞻性）方法。

适应性：根据已有产品的种类，构建产品的家族，并随着新产品的开发，技术不断突破，扩展和优化而开展的方案，它的核心是以已研制的装备为基础，在现有基础上利用共有要素构建的新产品，适应现有产品的研制基础。

前瞻性：利用在应用领域的获得经验，及对未来需求和技术发展趋势预判而进行的设计方案，它的核心是融合了多种元素的长远发展计划，描绘产品的发展愿景，具有长远性。

4　深海潜水器谱系化框架方案

4.1　适应性方案

如上文所述，采用适应性方案是在现有基础上开展的规划工作，结合近几十年我国深海装备研究的成果，从现有已研制的装备中，寻找规律性的东西加以分析和研究，正如谱系化定义中所表述的是将潜水器的主要参数、类型、基本结构等做出合理的安排和规划，现将已有的装备加以总结和分析，并抽象表达成一个数学模型（图 2）。

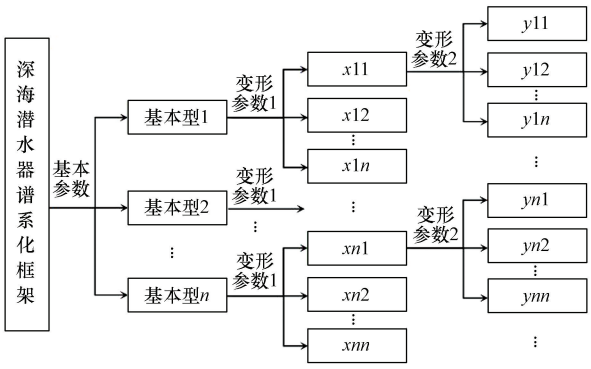


图 2　适应性框架方案

Fig.2　Adaptive framework program

基本参数：对于现在的深海潜水器而言，可以是载人或无人，也可以是有缆或无缆，根据规划目的设置作为基本参数。如果按载人或无人，清晰地给出载人潜水器和无人潜水器两大型，从而确立了两种不同种类深海潜水器装备。

变形参数：根据目前的深海潜水器，在载人领域可根据深度、作业领域、用途等方面考虑；在无人领域，下潜深度、有无动力、作业领域、用途等领域设置变形参数，有缆或无缆也可以作为变形参数。

4.2　前瞻性方案

首先要明确深海潜水器装备的中长期发展愿景和目标，其次要考虑技术、产业的成熟度以及装备的应用领域，最后兼顾当前的装备需求和未来技术的演进能力，来形成深海装备行业的顶层设计，这里可借鉴汽车行业的规划发展路径，引入架构概念[11]，并抽象表达成一个数学模型（图 3）。

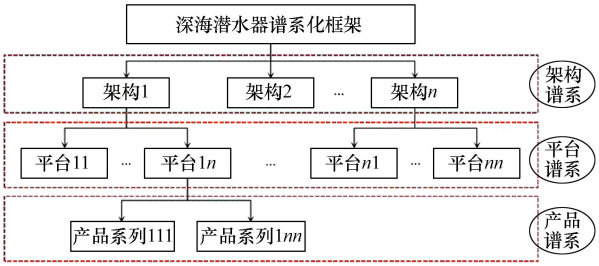


图 3　前瞻性框架方案

Fig.3　Forward-looking framework program

架构：设计理念相同，模块化集成，在研制过程中，具有相同的技术解决方案和工程实现手段，是一种更深层次的协同和提升，同架构的装备拥有相似的技术基因。以 ROV、AUV、ARV、Glider 为例理解，可以把 ROV、AUV、ARV、Glider 等同于无人潜水器不同的架构形式，更能直观地理解构架的概念。

平台：同一架构，可以衍生出不同平台的产品。来自同一平台的不同潜水器装备，具有相同的结构部件，是在相同标准的基础上设计的，可以生产不同形状和功能的装备，从而降低成本，缩短研制时间，可以共用大部分零件和制造工艺。在深海潜水器领域，由于存在水深压力，不同深度可作为设置平台的基础，以 ROV 为例，在 ROV 架构下，可以设置出如 1 000 米级平台、3 000 米级平台、6 000 米级平台等不同的级别的平台。

产品：同一品牌的产品，具有相同的功能和特点的一系列产品，不同的产品有不同的定位，为保证安全可靠性、操控性等不同需求，会在功能上有

不同的设计和考虑。例如,在同架构同平台研制的批量潜水器装备,即可视为同一品牌产品。

以上两种构建方案没有优劣之分,不管是采用什么方案,都要随形势而不断调整,动态适应形势的变化才能更好地推动深海潜水器装备向规划好的方向发展。尤其在当今日趋激励的综合国力竞争中,必须采取更积极有效的应对措施,研究和找准世界科技发展的背景和趋势,把需要与现实能力统筹考虑,长远目标与近期工作互相结合,不断创新,才能提出切合实际的深海潜水器谱系化发展方向。

5 结论

深海潜水器谱系化框架研究是我国深海装备体系建设的重要组成部分,它是一项系统性、基础性的工作,同时也是一项创新性和探索工作。它是深海潜水器发展规划的一种表现形式,是具有战略意义的指导性文件。它为深海潜水器可持续发展提供了方向,为未来装备规划提供了重要依据,对整个国家未来深海潜水器装备的发展具有十分重大的指导意义。

参考文献(References):

[1] 朱大奇,胡震.深海潜水器研究现状与展望[J].安徽师范大学学报(自然科学版),2018,41(3):205-216.
ZHU Daqi, HU Zhen.Research status and prospect of deep-sea submersible[J]. Journal of Anhui Normal University(Natural Science), 2018, 41(3): 205-216.

[2] 任玉刚,刘保华,丁忠军,等.载人潜水器发展现状及趋势[J].海洋技术学报,2018,37(2):114-122.
REN Yugang, LIU Baohua, DING Zhongjun, et al. Research on the current status and development trend of manned submersibles[J]. Journal of Ocean Technology, 2018, 37(2): 114-122.

[3] 封锡盛, 李一平, 徐会希, 等. 深海自主水下机器人发展及其在资源调查中的应用[J]. 中国有色金属学报, 2021, 31(10): 2746-2756.
FENG Xisheng, LI Yiping, XU Huixi, et al. Development of deep-sea autonomous underwater vehicle and its applications in resource survey [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021, 31(10): 2746-2756.

[4] 李一平,李硕,张艾群. 自主/遥控水下机器人研究现状[J].工程研究-跨学科视野中的工程,2016,8(2):217-221.
LI Yiping, LI Shuo, ZHANG Aiqun. Research status of autonomous & remotely operated vehicle[J]. Journal of Engineering Studies, 2016, 8(2): 217-221.

[5] 连琏,魏照宇,陶军,等. 无人遥控潜水器发展现状与展望[J].海洋工程装备与技术,2018,5(4):223-231.
LIAN Lian, WEI Zhaoyu, TAO Jun, et al. Development status and prospects of remotely operated vehicles[J]. Ocean Engineering Equipment and Technology, 2018, 5(4): 223-231.

[6] 沈新蕊,王延辉,杨绍琼,等. 水下滑翔机技术发展现状与展望[J]. 水下无人系统学报,2018,26(2):89-106.
SHEN Xinrui, WANG Yanhui, YANG Shaoqiong, et al. Development of underwater gliders: an overview and prospect [J]. Journal of Unmanned Undersea Systems, 2018, 26(2): 89-106.

[7] 曹俊, 胡震, 刘涛, 等. 深海潜水器装备体系现状及发展分析[J]. 中国造船, 2020,61(1):204-218.
CAO Jun, HU Zhen, LIU Tao, et al. Current situation and development of deep-sea submersible equipment[J]. Shipbuilding of China, 2020, 61(1): 204-218.

[8] 曲文新,曹俊,胡中惠,等.潜水器发展态势及谱系化研究[J].船舶工程,2022,40(11):19-30.
QU Wenxin, CAO Jun, HU Zhonghui, et al. Development and pedigree research of submersible equipment[J]. Ship Engineering, 2022, 40(11): 19-30.

[9] 金筱燕,徐乐天扬,彭世珍,等.产业结构视角下中国新能源汽车高质量发展路径[J].汽车与新动力,2023,6(2):1-4.
JIN Xiaoyan, XU Yuetianyang, PENG Shizhen. High quality development path of new energy vehicles in China from the perspective of industrial structure[J]. Automobile and New Powertrain, 2023, 6(2): 1-4.

[10] 胡振华,朱亚力.可持续发展背景下新能源汽车发展策略的演化博弈分析[J].工业技术经济, 2022,41(9):11-17.
HU Zhenhua, ZHU Yali. Evolutionary game analysis of new energy vehicle development strategy under the background of sustainable development [J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2022, 41(9): 11-17.

[11] 胡骁.大数据平台架构在汽车后市场的发展和应用[J].汽车与配件,2022(14):62-63.
HU Xiao. Development and application of big data platform architecture in the automotive aftermarket[J]. Automobile & Parts, 2022(14): 62-63.