

引用格式: 王璇, 胡震, 王帅, 等.我国潜水器发展和标准现状分析[J].标准科学, 2025(4):106–111.

WANG Xuan, HU Zhen, WANG Shuai, et al.Development of Submersible and Analysis of Its Standard [J]. Standard Science,2025 (4):106–111.

我国潜水器发展和标准现状分析

王璇^{1,2} 胡震^{1,2} 王帅^{*1,2} 杨申申^{1,2}

(1. 中国船舶科学研究中心, 深海载人装备全国重点实验室; 2. 深海技术科学太湖实验室)

摘要:【目的】分析潜水器装备及其标准现状,探讨了我国潜水器与其他国家的差距以及潜水器标准化面临的问题。【方法】通过梳理我国现有载人潜水器,无人潜水器设计深度、重量、尺寸、航速等基本信息,分析潜水器在基础、技术、应用方面的差距;通过对我国潜水器标准级别、标准内容、标准对象、标准适用阶段分析,得出我国标准现状。【结果】虽然潜水器标准体系已初步建立,部分标准启动前期研究,但我国潜水器领域标准仍存在标准覆盖范围窄、技术成果未及时向标准转化的问题。【结论】为提升我国潜水器市场竞争力和话语权,推动相关技术产业实现高质量发展,下一步需要辨析我国潜水器技术领域的区位优势,完善重点领域标准推进策略,为后续开展潜水器标准制度建设、人才培养和主导编制提供参考支持。

关键词: 潜水器; 现状; 标准

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674–5698.2025.04.013

Development of Submersible and Analysis of Its Standard

WANG Xuan^{1,2} HU Zhen^{1,2} WANG Shuai^{*1,2} YANG Shen-shen^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Deepsea Manned Vehicle, China Ship Scientific Research Center;
2. Taihu Laboratory of Deepsea Technological Science)

Abstract: [Objective] This paper analyzes the current status of submersible equipment and its standards, explores the gaps of submarines, and the problems faced by submersible standardization. [Methods] The study analyzes the gaps in the design depth, weight, size, speed, and other basic information of manned and unmanned submersibles in China, and examines the fundamental, technological, and applied aspects of submersibles. By analyzing the standard levels, content, objects, and applicable stages of submersible standards in China, the current status of standards in China is obtained. [Results] Although the submersible standards system has been initially established and some standards have started preliminary research, there are still problems in the field of submersible standards in China, such as the narrow coverage of standards and delayed transformation of technical achievements into standards. [Conclusion] In order to enhance the competitiveness of China's submersible market and promote the high-quality development of related technology industries, the next step is to analyze the geographical advantages of China's submersible technology field, improve the promotion strategy of key

基金项目: 本文受工信部高技术船舶科研项目“潜水器设计与试验重点标准研究”(项目编号: CY04N20)资助。

作者简介: 王璇, 硕士, 高级工程师, 研究方向为潜水器标准。

胡震, 硕士, 研究员, 研究方向为潜水器设计。

王帅, 通信作者, 硕士, 高级工程师, 研究方向为潜水器标准。

杨申申, 硕士, 研究员, 研究方向为潜水器设计。

field standards, and provide reference for the subsequent construction of submersible standards system, talent cultivation, and standards development.

Keywords: submersible, status, standards

0 引言

21世纪是海洋的世纪, 争夺世界海洋权益和深海资源是世界海洋强国与临海国家的一个重要战略行动。潜水器作为我国21世纪海洋高新技术发展和应用的重要装备之一, 具备运载各种专用设备及人员快速、精确并持续往返于各种深海环境, 开展科学考察、实地勘探和开发作业等综合任务的能力, 是贯彻实施习近平总书记“深海进入、深海探测、深海开发”行动的重大战略装备^[1]。作为海洋工程装备及高技术船舶的重要组成部分之一, 拥有自主核心技术的深海潜水器更是国家综合科技实力的象征。潜水器对促进制造业创新发展、核心装备技术突破、带动传统产业转型升级具有重大意义。

1 我国潜水器发展

1.1 潜水器概述

潜水器是海洋技术发展的前沿, 是海洋资源开发利用的重要技术手段。其中, 以“奋斗者”号、“海斗一号”“海燕—X”和“悟空”号为代表的潜水器完成了万米深潜^[2], 标志着我国具有了进入世界海洋最深处开展科学探索和研究的能力, 体现了我国在海洋高技术领域的综合实力^[3]。潜水器按照类别分为载人潜水器和无人潜水器。其中, 无人潜水器又分为自治潜水器、缆控潜水器, 其相关介绍如下^[4]。

(1) 载人潜水器(HOV)

载人潜水器可以携带海洋科学家进入海洋深处, 在海底现场直接观察、分析和评估, 还可操作机械手实现高效作业^[5]。由于具有有人驾驶、近距离直接观察与作业等特点, 载人潜水器作为国之重器, 已成为深海装备研究的热点之一^[6]。

(2) 缆控潜水器(ROV)

缆控潜水器可以由甲板控制人员通过遥控机械

手, 进行长时间、大功率的水下作业^[5]。缆控潜水器具有作业能力强、作业时间长、无人员风险的优点^[5], 可将人的眼睛和手“延伸”到潜水器所到之处, 实时传输信息, 可以长时间在水下定点作业^[7]。

(3) 自主潜水器(AUV)

自主潜水器可以水下预编程航行, 特别适用于区域性详细勘查^[5]。自主潜水器具有活动范围不受电缆限制、隐蔽性能好等优点, 可实施长距离、大范围的搜索和探测, 不受海面风浪的影响^[5]。

1.2 我国潜水器现状

近二十年来, 在国家“十五”至“十四五”规划支持下, 潜水器被列为重点的开发支持项目, 研究人员攻克了一系列的技术难题, 在潜水器的研发上也取得了一系列成果。这些阶段性成果, 使我国积累了丰富的经验, 培养了研发、应用队伍, 掌握了大深度潜水器关键技术, 具备了自主设计制造和应用的能力, 大大缩小了我国与海洋强国之间的差距。我国潜水器基本参数见表1。

1.3 我国潜水器发展分析

当前, 我国深海技术与装备迎来了历史上最好的发展机遇, 潜水器已被列入了多个国家计划。但是仍存在不足, 发展既面临机遇, 又面临挑战, 主要体现在“基础、技术、应用”3个方面。在基础方面, 相关的材料和工艺缺少工业基础; 在技术方面, 海洋仪器与设备基础薄弱, 关键装备技术亟待突破; 在应用方面, 科研成果没有投入实际应用中, 制约了技术的发展。

(1) 相关材料与工艺缺少工业基础

承受高压的耐压结构是潜水器装备核心。在国家计划的支持下, 深海金属耐压结构包括载人舱的设计与建造工艺已日趋成熟, 但非金属耐压结构, 包括结构建造、陶瓷材料、橡胶制品还需进一步开展工作。

(2) 相关技术与装备基础薄弱, 关键装备技

表1 国内潜水器主要参数

序号	名称	类型	设计深度/m	重量/kg	尺寸/(m×m×m) (长×宽×高)	航速/kn	图片
1	“蛟龙”号	HOV	7000	22,000	8.4×3.9×3.4	2.5	
2	“深海勇士”号	HOV	4500	20,000	8.0×3.0×3.5	2.5	
3	“奋斗者”号	HOV	11,000	36,000	10.2×3.2×4.4	2.5	
4	“海星6000”	ROV	6000	3500	2.9×2.1×2.6	2	
5	“海龙II号”	ROV	3500	3450	3.17×1.81×2.24	3	
6	“海龙III号”	ROV	6000	5000	3.2×1.9×2.1	3.2	
7	“海马号”	ROV	4500	4396	3.33.×1.8×2	2.5	
8	“潜龙一号”	AUV	6000	1500	4.6×φ0.8	2	
9	“潜龙二号”	AUV	4500	1500	3.5×1.5×1.5	2	
10	“潜龙三号”	AUV	4500	1500	3.5×1.5×1.5	3	
11	“探索4500”	AUV	4500	1500	3.5×1.5×1.5	2	
12	“探索1000”	AUV	800	1200	6.5×φ0.5	2~5	
13	“悟空”号	AUV	11,000	1300	2.02×1.25×2.76	/	

术急需突破

美国、日本、俄罗斯等海洋强国已建成相对完善的技术装备体系,专业性装备公司基本实现国际化。我国经过近20年的发展,关键技术包括水下电机、深海液压、浮力材料、作业机械手、水下定位系统已取得突破,还需进一步提高产品的可靠性、可维性和经济性。

(3) 海洋装备产业规模小,推广应用不够

我国潜水器装备缺乏市场化的公司参与,产品大多单件研制,未形成系列化的产业规模,还需进一步推广应用。

2 我国潜水器标准分析

随着各国潜水器研究力度的加大,潜水器在全生命周期过程中需要遵循的原则、规范和标准等的需求也越来越多。为推动整个潜水器产业的良好健康发展,固化科研成果,对潜水器标准体系及相关标准的制定提出迫切需求。在国家标准化管理委员会的领导和支持下,全国潜水器标准化技术委员会TC 306(以下简称“潜标委”)于2009年成立。潜标委自成立之日起,全力以赴,积极推进标准的制修订工作,取得了一系列显著成绩。

2.1 潜水器标准现状

标准是对重复性事物和概念所作的统一规定。它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础,经有关方面协商一致,由主管机构批准,以特定形式发布作为共同遵守的准则和依据^[8]。我国已发布的潜水器相关标准34项^[9-12],见表2。

表2 我国已发布潜水器相关标准

序号	标准号	标准名称
1	GB/T 13407—1992	潜水器与水下装置术语
2	GB/T 31910—2015	潜水器用钛合金板材
3	GB/T 35361—2017	潜水器钛合金对接焊缝超声波检测及质量分级
4	GB/T 35364—2017	潜水器用TA31合金锻件
5	GB/T 35365—2017	潜水器用钛合金焊丝
6	GB/T 35366—2017	载人潜水器实艇操纵性试验方法
7	GB/T 35367—2017	潜水器钛合金对接焊缝X射线检测及质量分级
8	GB/T 35368—2017	潜水器用Ti75合金棒材
9	GB/T 35370—2017	潜水呼吸器检测方法
10	GB/T 35371—2017	载人潜水器供氧及二氧化碳吸收设计要求
11	GB/T 37472—2019	潜水器母船升沉补偿系统通用要求
12	GB/T 40072—2021	潜水器金属框架强度试验方法
13	GB/T 40073—2021	潜水器金属耐压壳外压强度试验方法

- 14 GB/T 40074—2021 饱和潜水系统通用要求
- 15 GB/T 42051—2022 载人潜水器结构件检测维护要求
- 16 GB/T 42052—2022 载人潜水器作业工具技术规范
- 17 GB/T 42057—2022 潜水器及其承压设备压力试验方法
- 18 GB/T 42059—2022 水下滑翔器系统试验方法
- 19 GB/T 43120—2023 载人潜水器海上试验规程
- 20 CB/T 1184—2008 潜水器推进用交流电动机通用技术条件
- 21 CB/T 4191—2011 潜水器和水下装置耐压结构制造技术条件
- 22 CB/T 4192—2011 潜水器和水下装置耐压结构材料技术条件
- 23 CB/T 4193—2011 潜水装具用高压活塞空气压缩机
- 24 CB/T 4463—2016 深海潜水器用复合材料轻外壳规范
- 25 CB/T 4464—2016 潜水器操纵性水动力模型试验方法
- 26 CB/T 4465—2016 潜水器用锌银蓄电池组充电规程
- 27 HY/T 222—2017 载人潜水器潜航学员培训大纲
- 28 HY/T 223—2017 载人潜水器潜航学员选拔要求 医学部分
- 29 HY/T 225—2017 载人潜水器下潜作业规程
- 30 HY/T 226—2017 载人潜水器作业工具技术要求
- 31 HY/T 0339—2022 载人潜水器海洋调查技术指南
- 32 HY/T 0393—2023 载人潜水器结构部件检测与维护指南
- 33 JT/T 746—2024 遥控无人潜水器协同潜水作业要求
- 34 JT/T 1467—2023 载人潜水器舱室人机交互技术要求

2.2 潜水器标准分类

(1) 标准级别分析

目前潜水器标准按标准级别分为国家标准(GB)和行业标准(CB、HY、JT)。国家标准是对全国技术经济发展有重大意义而必须在全国范围内统一的标准,一般具有较强的基础性和通用性^[8]。行业标准是在全国某个行业内需要统一的技术要求,具有较强的专业性特征^[8]。由于潜水器作为综合性较强的行业,相关行业标准涉及船舶工业标准、海洋行业标准、交通行业标准。潜水器现有国家标准(GB)19项^[9],行业标准(CB、HY、JT)15项^[10-12],其统计示意图见图1。从数量上看,潜水器国家标准多于行业标准。究其原因,目前潜水器标准多由重大项目成果转化,具有引领行业发展、解决跨领域问

题的特点。随着潜水器技术发展,适用于潜水器行业的技术标准将逐渐增多,潜水器行业标准数量必将超过国家标准。

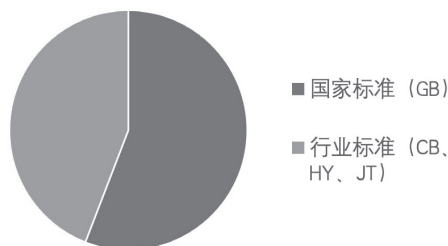


图1 潜水器现有标准级别统计示意图

(2) 标准内容分析

按照潜水器标准内容划分,潜水器标准主要由基础标准、产品标准、方法标准、管理标准、工程建设标准组成。潜水器国家标准(GB)、行业标准(CB、HY、JT)中,基础标准1项,产品标准16项,方法标准12项,管理标准5项,工程建设标准0项,其统计示意图见图2。从数量上看,产品标准最多,符合潜水器装备产品的特点;方法标准其次,与一般技术标准现状一致;工程建设标准最少,一定程度上反映了目前潜水器建造还未规范统一的现状。

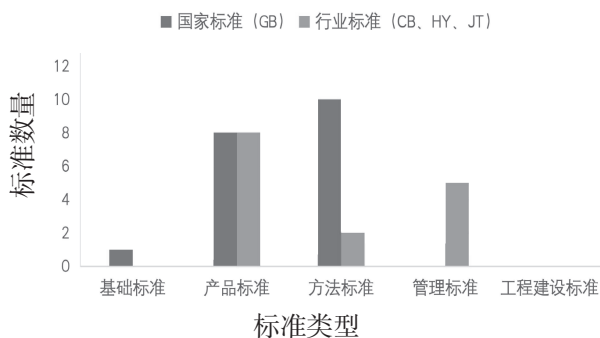


图2 潜水器现有标准类别统计示意图

(3) 标准对象分析

按照标准适用对象划分,潜水器标准可分为潜水器通用标准、载人潜水器标准、无人潜水器标准。潜水器国家标准(GB)、行业标准(CB、HY、JT)中,潜水器通用标准18项、载人潜水器标准14项,无人潜水器标准2项,其统计示意图见图3。从数量上看,潜水器通用标准最多,符合标准通用的特性;载人潜水器标准其次,离不开国家重大项目的支持;随着无人潜水器技术的发展和种类的增

多,无人潜水器标准的数量将增多。

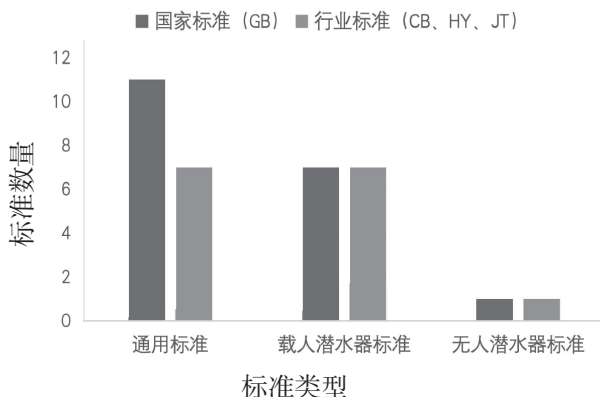


图3 潜水器现有标准适用对象统计示意图

(4) 标准适用阶段分析

按照标准适用潜水器生命周期阶段,潜水器标准可分为潜水器综合、潜水器设计、潜水器建造、潜水器试验、潜水器作业以及潜水器维护修理标准。潜水器国家标准(GB)、行业标准(CB、HY、JT)中,潜水器综合标准1项、潜水器设计标准16项,潜水器建造标准1项,潜水器试验标准9项,潜水器作业标准5项以及潜水器维护修理标准2项,其统计示意图见图4。从数量上看,潜水器设计标准最多,为潜水器设计过程规范化提供科学指导;潜水器建造、维护修理标准较少,后续随着装备规模化、体系化,该方面的标准数量将进一步增多。

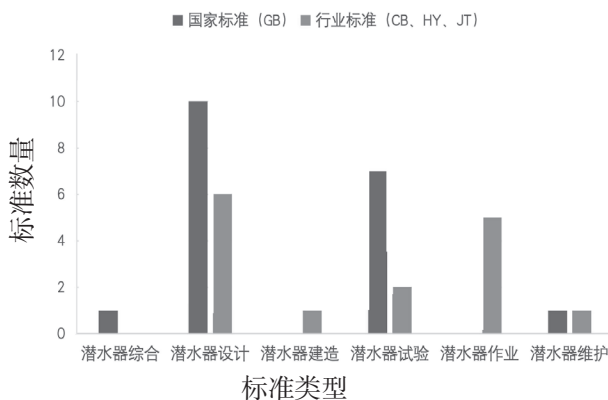


图4 潜水器现有标准适用阶段统计示意图

2.3 潜水器标准存在的问题

综上所述,虽然潜水器标准体系已初步建立,部分标准启动前期研究,也取得了一定成绩。但随着海洋开发、海洋经济、海洋维权、海洋保护已增强为国家意志,材料、加工制造、电子、控制、能

源、声学等技术领域的不断创新,我国潜水器领域标准仍存在下述问题。

(1) 标准覆盖范围窄

潜水器覆盖的标准范围较窄,多数领域和方向的标准仍处于空白状态。例如:潜水器结构计算、潜水器通用件设计、潜水器基础性能等领域;载人潜水器系统设计、关重件设计、舱室环境等领域;潜水器噪声测试、锂电池试验、海上试验等领域。每个领域又涉及多个专业,我国在潜水器建造特别是载人潜水器领域有一定技术突破,但在标准方面,我国现行有效的国家标准19项,行业标准13项,标准覆盖范围狭窄,无法满足潜水器产业对技术标准的迫切需要。

(2) 技术成果未及时向标准转化

近年来,我国潜水器发展取得明显成效:在深海载人潜水器系列,有工作深度为4500m的“深海勇士”号,工作深度为7000m的“蛟龙”号和工作深度可达万米的“奋斗者”号;在深海缆控潜水器系列(ROV系列),有工作深度为3500m的“海龙Ⅱ号”、工作深度为4500m的“海马”号、工作深度为6000m的“海龙Ⅲ号”;深海自治潜水器系列(AUV

系列),有工作深度为4500米的“潜龙三号”、工作深度为4500米的“潜龙二号”和工作深度为6000米的“潜龙一号”等。但目前我国潜水器设计、潜水器试验相关标准处于空白状态,多数领域和方向的技术成果未及时向标准转化。

3 结语

标准化是我国潜水器建设发展的重要技术政策,是潜水器设计、建造、使用和管理的重要基础和保障,是规范产品设计建造行为、固化成熟和先进技术、缩短建造周期、确保产品质量、控制建造成本、推广新技术应用以及提高技术和管理水平的重要手段,在加强行业管理、促进技术进步、规范市场行为等方面发挥着重要的规范、引导和保障作用。下一步,将通过辨析我国潜水器技术领域的区位优势,完善重点领域标准推进策略,为后续开展潜水器标准制度建设、人才培养和主导编制提供参考支持,从而提升我国潜水器在国际、国内市场竞争力和话语权,推动相关技术产业实现高质量发展。

参考文献

- [1] 王瑶,叶聪,冯光. 国际标准《潜水器耐压壳体 and 浮力材料静水压力试验方法》(ISO 21173:2019) 解读析[J]. 标准科学, 2023(S1): 89-93.
- [2] 叶聪. 深潜科技创新: 从点的突破到体系化能力建设[J]. 前瞻科技, 2022, 1(2): 5-8.
- [3] 朱继懋. 潜水器设计[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1992.
- [4] 中华人民共和国中央人民政府. 习近平致信祝贺“奋斗者”号全海深载人潜水器成功完成万米海试并胜利返航[EB/OL]. (2020-11-28)[2025-01-10]. https://www.gov.cn/xinwen/2020-11/28/content_5565563.htm.
- [5] 刘涛,王璇,王帅,等. 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.
- [6] 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.
- [7] 连琰,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.
- [8] 周志强. 标准化与广播电视标准化现状(上)[J]. 有线电视, 1996(6): 16-18.
- [9] 国家标准全文公开系统. 潜水器[EB/OL]. [2025-01-13]. https://openstd.samr.gov.cn/bz/gk/gb/std_list?p.pl=0&p.p90=circulation_date&p.p91=desc&p.p2=%E6%BD%9C%E6%B0%B4%E5%99%A8.
- [10] 工业和信息化部标准信息服务平台. 潜水器[EB/OL]. (2024-12-31). <https://std.miit.gov.cn/#/index>.
- [11] 自然资源标准信息服务平台. 潜水器[EB/OL]. [2025-01-13]. <http://www.nrsis.org.cn/portal/xxcx/std?pageNo=1&key=%E6%BD%9C%E6%B0%B4%E5%99%A8&pageSize=20&pageOrderBy=&pageOrderType=>.
- [12] 交通运输标准化信息系统. 潜水器[EB/OL]. [2025-01-13]. <https://jtst.mot.gov.cn/search/std?q=>.