



Budget and Management Inspiration for the Research and Development Expenses of the US Navy's Unmanned Underwater Vehicle

Zhang Pinghao*, Jiang Gang, Hu Yanhong

Naval Research Institute, Beijing, China

Email address:

85106639@qq.com (Zhang Pinghao)

*Corresponding author

To cite this article:

Zhang Pinghao, Jiang Gang, Hu Yanhong. (2023). Budget and Management Inspiration for the Research and Development Expenses of the US Navy's Unmanned Underwater Vehicle. *Science Innovation*, 11(6), 279-283. <https://doi.org/10.11648/j.si.20231106.19>

Received: November 7, 2023; Accepted: November 28, 2023; Published: November 29, 2023

Abstract: The US Navy has numerous models of underwater unmanned underwater vehicles, with significant research and development investment and flexible procurement forms. Analyzing the investment in research and development of underwater unmanned aerial vehicle equipment and key technologies by the US military in recent years is beneficial for interpreting the latest developments in the development of US military equipment, and for comparing and verifying the reliability of development trends with information obtained from multiple channels; On the other hand, it is conducive to determining the focus of the US Navy's military investment, providing a certain degree of support for the decision-making part to analyze and evaluate countermeasures. To this end, this article analyzes the development history, procurement organization form, project grading management, and specific procurement methods of the US Navy's underwater unmanned aerial vehicle equipment in the 2022 fiscal year, including seven types of small, medium, large, and extra large unmanned aerial vehicle equipment, as well as four key technologies such as autonomous command and control, payload, endurance, and platform, Exploring the inspiration for the investment and management of research fees for underwater unmanned underwater vehicles in our navy, and providing opinions and suggestions for the rationality analysis of investment volume and equipment research and development, procurement, and installation of such equipment.

Keywords: Unmanned Underwater Vehicle, Research and Development Expenses, Budget and Management

美海军水下无人潜航器研发费用预算与管理启示

张平豪*, 姜刚, 胡燕鸿

海军研究院, 北京, 中国

邮箱

85106639@qq.com (张平豪)

摘要: 美海军水下无人潜航器型号众多, 研发经费投入较大, 采办形式灵活。分析近年来美军在水下无人航行器装备和关键技术等方面研发经费投入情况, 一方面有利于解读美军装备发展最新动态, 并对多种渠道获取的信息相互对比验证判断发展动态是否可靠; 另一方面有利于判断美海军的军费投入重点, 为决策部分分析研判对策提供一定程度上的支撑。为此, 本文通过梳理美海军2022财年在小型、中型、大型及特大型等七型水下无人航行器装备, 以及自主性指挥和控制、有效载荷、续航能力、平台等四项关键技术方面的研发费用投入情况, 分析美海军水下无人装备的发展

脉络、采办组织形式、项目分级管理、具体采办方式，探讨对我海军水下无人潜航器科研费投入及管理的启示，为该装备的经费投向投量合理性分析以及装备研发采办列装提供意见建议。

关键词：水下无人潜航器，研发费用，预算与管理

1. 引言

水下无人潜航器是一种以潜艇或水面舰船为支援平台，能够在水下自主或遥控航行的新型装备。近年来，随着自主控制和推进动力技术的不断发展，水下无人潜航器的任务领域不断扩展，其作战效能和能力也得到不断加强。特别是美海军，凭借其国力和技术优势，发展了多种小型、中型、大型及特大型等水下无人潜航器，执行诸如枯燥、污染、危险等超出人体能力或者风险率较高的任务。分析近年来美军在水下无人航行器装备和关键技术等方面研发经费投入情况，一方面有利于解读美军装备发展最新动态，并对多种渠道获取的信息相互对比验证判断发展动态是否可靠；另一方面有利于判断美海军的军费投入重点，为决策部分分析研判对策提供一定程度上的支撑。为此，根据美国海军年度项目预算，截取2022财年研发费用，涉及七项型号四项关键技术共约3亿美元预算。

研究美海军水下无人潜航器研发费用投入与管理情况，有助于分析我海军该类装备的经费投向投量合理性，为该类装备研发采办列装提供意见建议。

2. 2022财年美海军水下无人潜航器研发预算情况

2.1. 七项型号

根据美海军2022财年研究、开发、测试与评估项目成本分析报告[1]，梳理PE0604028N、PE0604031N、PE0604536N、PE0604029N等项目预算，美海军水下无人潜航器投入型号主要有：小型的狮鱼（Lionfish）、远征水下系统（Expeditionary Underwater Systems），中型的改进型剃刀鲸（Razorback）、刀鱼（Knifefish）、美杜莎（Medusa），大型的黑鱼（Snakehead），特大型的虎鲸（Orca）等7型，研发费用投入约23000万美元，具体如表1所示。

表1 美海军2022财年水下无人潜航器研究、开发、测试与评估项目成本之型号。

金额单位：万美元

| 科目\型号 | 合计 | 狮鱼 | 远征水下系统 | 改进型剃刀鲸 | 刀鱼 | 美杜莎 | 黑鱼 | 虎鲸 |
|-------|-------|------|--------|--------|------|-----|------|------|
| 合计 | 23121 | 1588 | 1209 | 3392 | 2091 | 188 | 8806 | 5847 |
| 产品开发 | 14629 | 820 | 630 | 2750 | 1573 | 142 | 6950 | 1764 |
| 工程支持 | 2028 | 39 | 42 | 344 | 281 | 25 | 613 | 686 |
| 测试和评估 | 5674 | 690 | 527 | 220 | 153 | 0 | 959 | 3127 |
| 管理服务 | 789 | 40 | 10 | 79 | 85 | 21 | 284 | 271 |

(1)小型水下无人潜航器-“狮鱼”、“远征水下系统”
狮鱼主要用于情报侦察，甚至作为“自杀式无人艇”执行偷袭任务，可模块化配置载荷。2019年1月“狮鱼”项目作为中层采办项目，通过竞争性采购方式执行。2021年6月，在亨廷顿英格尔斯工业公司的“雷姆-300”型潜航器基础上研发的狮鱼原型机，通过美海军组织的阶段性试验与评估。2022年3月，美海军正式授予亨廷顿英格尔斯工业公司采购合同。2021财年预算约500万美元，2022财年增加至1600万美元左右。预算增加1100万美元主要用于解决因网络安全需求变化而增加的研发、测试与评估费用等。
远征水下系统为远征反水雷部队提供情报收集、水下施工、反水雷、水下无人爆炸物处理、未爆炸药定位和打捞等支持，是美海军部2018年3月颁布的无人系统战略路线图的重要组成。前期已投入15769万美元的研发费，2022财年预算1200万美元支撑MK18、“毒蛇鱼”等型号的探测、定位等先进技术研发，包括为水下无人潜航器更新软件自主架构、目标自动识别算法、电光传感器性能增强等。

(2)中型水下无人潜航器-“剃刀鲸”、“刀鱼”、“美杜莎”

初代剃刀鲸是美海军第一代中型水下无人潜航器，只能从干甲板掩蔽舱中发射和回收，使用价值低于预期。改进型剃刀鲸能够从鱼雷管发射和回收，将大幅减少运维人力成本。改进项目充分利用预研背景项目、早期型号干甲板发射和回收的经验等前期成果提高研发效率。2019年完成需求论证，2020年美海军发布信息征集书，2021年启动锂离子电池事故预防安全舱研发等关键技术竞争性采购工作，2022年初授予剃刀鲸改进型研发合同。2020财年预算约900万美元，2021财年增加至1400万美元，2022财年增加至3400万美元。相对于2021财年，2022财年预算增加2000万元主要用于研发鱼雷管发射和回收工程模型，以及由此产生的工程支持以管理服务的调整。
刀鱼用于探测、识别和分类不同深度的浮动或埋地水雷。2011年9月美海军选择通用动力先进信息系统公司作为主要承包商，2013年3月进入工程和制造开发阶段，2017年3月完成海上扫雷测试，同年10月完成出厂验收试验，2018年6月美海军完成海上验收试验，并在同月完成第一批海军操作员的初步培训。2019年8月美海军预算约4500万美元用于5个“刀鱼”系统的低速初始生产。2020财年预

算约2200万美元，2021财年削减至2100万美元，2022财年保持在2100万美元左右。相对于2021财年，2022财年在样机升级、初始运行试验与评估等方面增加预算，因样机合同完成在工程支持、管理服务等方面减少预算。

美杜莎采用REMUS无人潜航器总体设计，并融合直径483毫米的Mk13型鱼雷的设计特点，可以从潜艇鱼雷管发射，能处理重型有效载荷，射程远、有效载荷放置精度高，部署完有效载荷后就可以报废掉。2021财年，原型机完成搭载潜艇发射虚拟载荷试验。2022财年，美海军向工业界发布信息征集书，预算约200万美元用于启动快速采办，为2023财年战术系统研发竞争性采购合同提供支撑。持续到2025财年，“美杜莎”项目研发预算将共计约6200万美元。

(3)大型水下无人潜航器-“黑鱼”

黑鱼采用模块化、可重构、多任务的设计模式，可以在潜艇和水面舰艇部署，相对于中小型水下无人潜航器具备更强的续航、深潜和有效载荷能力，是目前美海军可由潜艇发射的最大无人潜航器。美海军作战部将“黑鱼”项目按分阶段加速采办程序研发，第一阶段首先设计、建造一艘潜航器样机，并通过试验释放风险；第二阶段通过竞争性采购，海军将第一阶段技术数据包分享给中标单位，并启动加速采购工作。

2020财年预算约6600万美元，2021财年削减至6200万美元，2022财年增加至8800万美元。相对于2021财年，2022财年基于样机试验开展方案设计、深化方案设计，为第二阶段采办提供技术支持，继续执行面向部队的验收试

验，以及支撑上述变化而产生的管理服务投入等，共增加约2600万美元。

(4)特大型水下无人潜航器-“虎鲸”

虎鲸从码头发射，主要用于布雷、反水雷、反潜作战、电子战、反舰作战、情报监视和侦察。2017年美国国防部确定特大型水下无人潜航器的设计概念，2019年确定由波音公司设计建造，2020年12月前交付第一艘，2022年年底前交付5艘，2024年再交付4艘。“虎鲸”计划在没有特大型无人潜航器可供借鉴的条件下，设计建造工作需要大量关键技术突破，再加上供应链的不顺畅，导致建造进度难以保证。

2020财年之前共预算约18000万美元，2020财年预算约16500万美元，2021财年削减至8900万美元，2022财年更进一步压缩至5800万美元。相对于2021财年，2022财年由于研制计划中主合同资金减少产品开发预算、阶段建造任务完成后减少技术支持预算，以及前两艘虎鲸建造完成减少管理服务预算等，共减少约5900万美元；同时，对于完成建造的潜航器，增加了测试、评估以及舰队培训等工作，增加约2800万美元。

2.2. 四项关键技术

根据美海军2022财年研究、开发、测试与评估项目成本分析报告[1]，梳理PE0604029N项目预算，美海军水下无人潜航器关键技术主要涉及：自主性、指挥和控制（autonomy, communications, command and control）、有效载荷（Payloads）、续航能力（Endurance）、平台（Platform）等四项，研发费用预算约6000万美元，具体如表2所示。

表2 美海军2022财年水下无人潜航器研究、开发、测试与评估项目成本之关键技术。

金额单位：万美元

| 科目 | 关键技术 | | | | |
|------|------|-----------|------|------|------|
| | 合计 | 自主性，指挥和控制 | 有效载荷 | 续航能力 | 平台 |
| 合计 | 5930 | 2629 | 722 | 1479 | 1100 |
| 产品开发 | 5641 | 2549 | 639 | 1394 | 1060 |
| 技术支持 | 117 | 40 | 24 | 53 | 0 |
| 管理服务 | 172 | 40 | 59 | 33 | 40 |

该四项关键技术预算，2021财年约4000万美元，2022财年增加至6000万美元左右。其中自主性、指挥和控制关键技术增加2000余万美元，用于相关通用接口标准及系统的开发，支撑软件跨领域应用，具体包括先进技术研究、原型机演示、交互操作的设计与开发等，实现系统通用性；支撑满足同时操纵多艘潜航器新技术的硬件研发及演示等。满足海军跨领域（水面和水下、航空和地面）作战需求。其他三项关键技术预算与上一年基本持平，不再赘述。

3. 美海军水下无人潜航器采办模式

3.1. 组织形式

与美海军行政管理体系基本并行的项目管理体系，一般采用四级组织形式[2]，即国防采办执行官—海军采办执行官-计划执行官-项目办主任：(1)国防采办执行官是美国

国防部装备采办工作的最高领导人，由负责采办、技术与后勤的副部长担任。(2)海军采办执行官是美国海军装备采办工作的最高领导人，由负责研究、发展与采办的助理海军部长担任。(3)计划执行官接受采办执行官和系统司令部双重领导，既向采办执行官汇报采办工作，又向系统司令部汇报装备使用保障工作；目前美海军共有13个计划执行办公室，分别下设若干项目办公室。(4)项目办主任制定项目采办工作计划，签订合同，参与项目阶段评审，组织质量管理和试验鉴定，提供技术保障等；美海军目前有80多个项目办公室，是装备项目管理的核心机构，发挥着重要的枢纽作用。

以“远征水下系统”为例，美海军部2018年3月颁布了无人系统战略路线图[3]，对远征水下系统提出能力建设要求。具体由助理海军部长作为海军采办执行官，负责制定海军装备研究、发展与采办的方针政策，编制装备采办规划计划和年度预算，协调采办计划，统一管理有关经费。

其下属的无人和小型战斗舰项目执行办公室的远征任务项目办公室负责具体采办工作, 包括: 从海上系统司令部获得工程技术、业务管理、人员和后勤等保障, 配合海军作战试验与鉴定部队进行作战试验与鉴定, 与作战部队共同协商确定武器装备的费用、进度、性能、技术风险, 配合海军费用分析中心、国防部长办公厅费用分析改进小组进行独立费用估算、委托监造官办公室管理造船合同, 接受国防合同审计的审计监督, 与承包商亨廷顿英格尔斯工业公司谈判并授予其合同等[4]。

目前美国造船能力主要集中在四大船厂[5]: 通用动力电船公司(主要建造核潜艇)、巴斯钢铁造船厂(主要建造导弹驱逐舰)、纽波特纽斯造船厂(主要建造核动力航母)、英格尔斯造船厂(主要建造两栖攻击舰)。从建造方来看, 狮鱼、远征水下系统由英格尔斯造船厂负责建造, 刀鱼由通用动力电船公司负责建造, 虎鲸由波音公司负责建造; 剃刀鲸改进型依然由英格尔斯造船厂负责。美杜莎和黑鱼仍在向工业界发布信息征集书阶段[6]。

3.2. 项目分级

美海军对采办项目, 根据重要程度、研发费用或者订货量分为I、IA、II、III、IVT、IVM、小型等七类, 实行国防部和海军分级审批和管理[7]。其中II类划分标准为研发试验鉴定支出超过2亿美元, 或采购总支出超过9.2亿美元; III类划分标准为研发试验鉴定支出超过7500万美元但小于2亿美元, 或采购总支出大于2.5亿美元但小于9.2亿美元[8]。里程碑节点决策人也有所区别, II类采办项目为负责研发与采办的海军部助理部长, 或负责研发与采办的海军部助理部长指定的个人; III类采办项目为项目执行官、直接报告项目主任、系统司令部司令, 或相应的项目执行官、直接报告项目主任或系统司令部司令指定的个人。

以刀鱼项目为例, 2019年8月签订第一笔合同时, 采办类型为三级(ACAT III)[9]。2021年5月升级为二级(ACAT II), 由非重大项目调整为重大系统项目。根据掌握资料, 刀鱼研发费用截至2022财年预算共投入约11885万美元, 低于2亿美元的II类项目最低研发标准。因此后续美海军将持续投入经费用于刀鱼项目的研发, 或者将进一步加大列装采购批次和数量[10]。

3.3. 采办方式

美海军项目采办充分发挥市场竞争优势, 根据项目的重要程度, 竞争性信息征集书的发布时机有所不同, 主要有“狮鱼”项目待完成样机竞争后再投入经费, 和“黑鱼”项目的先期投入研发费用两类[11]。

“狮鱼”项目通过国防创新部门发布原型机的竞争性采购公告, 根据原型机系统试验与评估结论授予相关生产合同[12]。类似的还有“刀鱼”项目, 前期由通用动力公司自筹经费, 完成样机的设计、建造, 并组织由美海军参与的海上验收试验, 待通过验收后才获得约4500万美元的采购合同[13]。“美杜莎”项目2022财年美海军预算约200万美元用于启动快速采办, 根据其部署完有效载荷后就可以报废的特点, 所需要的关键技术攻关和制造难度较低, 预计后续也将采用样机竞争采购[14]。

“黑鱼”项目由美海军投入约6200万美元, 先行设计建造一艘潜航器并完成部分试验用于释放风险, 通过竞争性采购方式, 将设计和制造合同授予获胜的工业部门[15]。关键技术攻关提前完成, 降低了竞争性采购的技术门槛, 使更多的造船厂能够完成建造, 有利于更加充分的竞争。

4. 启示

4.1. 建立统一的管理机构

美军装备管理体系与我军相差较大, 但具体到项目管理具有一定的借鉴之处。如远征水下系统项目, 管理机构为无人和小型战斗舰项目执行办公室的远征任务项目办公室, 其职能贯穿装备全寿期管理各阶段, 包括制定项目采办工作计划、开展合同签订前的资格审查、签订合同; 制定项目进度计划、参与项目阶段评审、监督合同与经费的执行情况; 组织质量管理和试验鉴定, 提供技术保障等。跨专业、跨部门, 有利于形成共同的标准需求, 高效推广和应用先进的通用技术和产品, 避免重复建设以及协调各部门意见造成的进度滞后。

4.2. 灵活的采办方式

美军装备采办分为计划项目和非计划项目, 其区别是看装备研制是否列入政府投资名录, 是否需要开发商自行投资开发。针对上述七型水下无人潜航器, 刀鱼项目通用动力自筹经费制造样机, 通过军方的验收后再获取订购合同, 这样就减少了先期研发的投入, 属于非计划项目; 另一种情况是黑鱼项目, 由军方投入资金研发样机, 再将该阶段的研究成果与后续型号研制阶段竞优获胜方共享, 这种方式在重要型号采办上有利于明确目标图像、主要战技指标, 避免研制工作的反复, 节省建造周期, 属于计划项目。两种采办方式根据型号特点灵活变化, 有利于提高经费使用效率和缩短研制周期。

4.3. 型号高低搭配能力互补

本文分析的对象为美海军关于水下无人潜航器2022财年研发费用预算情况, 已涉及特大型、大型、中型、小型等七型装备。根据已公布的资料, 美军已列装的水下无人潜航器还包括AUSS、NMRS、LMRS、海马、REMUS系列、金枪鱼系列多型号, 担负着情报、监视、侦察, 反潜, 反水雷, 载荷投送, 信息作战, 时敏打击等各种类型的作战任务。不难看出, 美军发展水下无人潜航器是向着高智能、多型号、系列化的方向发展, 避免大而全, 典型如美杜莎一次性布雷用水下无人航行器, 根据作战需求定制装备, 避免因一型多用而导致成本过高、建造周期过长。

4.4. 民用产品的改进列装

大多数中小型无人系统是厂商自行投资开发的非计划项目, 当达到一定技术成熟度后, 有些项目会过渡为正式采办项目。在此过程中, 美海军利用现有民用成熟技术或选用水下无人潜航器作为母型进行改装试验, 既满

足军事需求,又降低风险,缩短研发周期,降低研发费用。例如美杜莎项目,对于一次性使用的布雷用水下无人潜航器,在设计建造等方面要求较低,主要采用REMUS无人潜航器总体设计思路完成;狮鱼项目,美海军预计通过英格尔斯工业公司的“雷姆-300”小型潜航器的基础上做适应性改进。在现有民用型号基础上完成适应性改进后列装,将大幅压缩建造周期和建造成本。

参考文献

- [1] Department of Defense Fiscal Year (FY) 2022 President's Budget Submission [EB/OL], Approved for Public Release May 2021.
- [2] 代威, 张雯, 张沥, 等. 国外海洋无人航行器的发展现状及趋势 [J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39 (7): 33-35.
- [3] 钱东, 赵江, 杨芸. 军用UUV发展方向与趋势 (下) —美军用无人系统发展规划分析解读 [J]. 水下无人系统学报, 2017, 25 (2): 107-150.
- [4] 陈强, 张林根. 美国军用UUV现状及发展趋势分析 [J]. 舰船科学技术, 2010, 32 (7): 129-134.
- [5] 孙现有, 马琪. 美海军UUV使命任务必要性与技术可行性分析 [J]. 鱼雷技术, 2010 (6): 231-235.
- [6] 李波. 水下无人航行器发展研究 [D]. 西北工业大学, 2003 (03): 77-79.
- [7] 李书甫. 翻江倒海的水下"特工"--水下无人航行器 [J]. 舰载武器, 2003 (4): 57-60.
- [8] 张洪酥, 王涛, 苗建明. 水下无人航行器的研究现状与展望 [J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (02): 1-7+40.
- [9] 王松. 无人水下航行器在反水雷中的应用探讨 [J]. 数字海洋与水下攻防, 2022, 5 (03): 260-265.
- [10] 杨洋, 王征, 胡致远等. 无人水下航行器编队控制研究现状及技术综述 [J]. 舰船电子工程, 2022, 42 (02): 1-7+94.
- [11] 冯景祥, 姚尧, 潘峰等. 国外水下无人装备研究现状及发展趋势 [J]. 舰船科学技术, 2021, 43 (23): 1-8.
- [12] 刘洋, 陈练, 苏强等. 水下无人航行器装备技术发展与应用研究 [J]. 舰船科学技术, 2020, 42 (23): 1-7.
- [13] 孙祥仁, 曹建, 姜言清等. 潜空跨介质无人航行器发展现状与展望 [J]. 数字海洋与水下攻防, 2020, 3 (03): 178-187.
- [14] 刘晓伟, 马宇, 李筠等. 美国水下无人航行器发展及其对美军作战思想的影响 [J]. 飞航导弹, 2020 (06): 12-19.
- [15] 伍赛特. 自主航行器及其技术发展趋势研究 [J]. 机电信息, 2019 (30): 133-134.