



国防特色教材·船舶与海洋工程

潜水器设计原理

QIANSHUIQI SHEJI YUANLI

张铁栋 主编

HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

西北工业大学出版社



国防特色教材·船舶与海洋工程

潜水器设计原理

主 编 张铁栋
副主编 孙玉山 李 晔 杨卓懿
主 审 庞永杰

哈尔滨工程大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书系统地介绍了潜水器的设计技术。全书共9章,包括潜水器发展简史与分类、海洋基础知识、潜水器系统设计基础、潜水器方案设计、潜水器结构设计、潜水器的操纵与控制、潜水器水下导航系统设计、潜水器设备与系统设计、潜水器现代设计方法。

本书可以作为船舶与海洋工程专业本科生及研究生教材,也可供从事相关专业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

潜水器设计原理/张铁栋主编. —哈尔滨:哈尔滨
工程大学出版社,2010.10

ISBN 978-7-81133-891-1

I. ①潜… II. ①张… III. ①潜水器-设计-
IV. ①P754.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 195917 号

潜水器设计原理

张铁栋 主编

责任编辑 张彦 丁伟

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南岗区东大直街 124 号 发行部电话:0451-82519328 传真:0451-82519699

<http://press.hrbeu.edu.cn> E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

哈尔滨市石桥印务有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:18.75 字数:386千字

2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷 印数:1000册

ISBN 978-7-81133-891-1 定价:39.50元

前 言

随着科学技术的发展,人类已经进入到开发和利用海洋的时代。作为一种新型的水下作业工具,潜水器可以到达常规潜水技术不可能达到的深度,因此越来越多地被人类应用于海底探索及资源勘探方面。从20世纪70年代开始,潜水器进入了快速发展时期。载体设计材料、能源、导航通信等技术不断得以改进,使得潜水器在海洋研究、近海石油开发和矿物资源开采、打捞等方面获得广泛的应用。特别是无人智能水下机器人在大深度和危险的区域,发挥了巨大的优势,目前它已经成为水下观察和水下作业的最有效的手段,并且其在未来海洋战争中的作用也引起了世界各大国的重视。

潜水器设计是船舶与海洋工程专业领域的一门重要学科,主要研究潜水器的系统设计、结构设计、操纵性、控制、导航定位、重要系统设备设计等,是船舶与海洋工程专业的学生应该了解和掌握的专业知识。在学习时,可以参考潜艇研究的专门理论方法,如有关潜艇水下和水面状态下的浮性和稳性、水下快速性以及壳体强度等计算方法,同时也可参考在船舶工业中建立的基本理论、方法、标准,但必须要考虑到潜水器构造与用途的特点。学习潜水器设计有益于开拓船舶与海洋工程专业学生的知识面,增强他们对实际工作的适应能力。另外,本书也可为从事潜水器技术领域的研究工作者提供参考和启发,共同提高我国在潜水器技术领域的开发与应用能力。

本书首先介绍了潜水器发展历史与未来趋势,然后根据设计原理来编排内容,全面地阐述了潜水器载体结构、能源、操纵性、控制原理与应用、导航定位与通信等各方面的知识,详细地论述了潜水器的重要系统的功能原理、技术要求、发展趋势等。本书注重设计原理与工程经验、现代设计方法相结合,使读者能够全面了解潜水器技术领域的相关内容。本书第1章介绍了潜水器发展简史与分类;第2章介绍了海洋基础知识;第3章介绍了潜水器系统设计基础;第4章介绍了潜水器方案设计;第5章介绍了潜水器结构设计;第6章介绍了潜水器的操纵与控制;第7章介绍了潜水器水下导航系统设计;第8章介绍了潜水器设备与系统设计;第9章介绍了潜水器现代设计方法。

书中第1~5章由张铁栋编写,第6章由李晔编写,第7,8章由孙玉山编写,

第9章由杨卓懿编写。

本书的出版,首先要感谢哈尔滨工程大学水下智能机器人技术国防科技重点实验室的全体同仁,他们近20年来在潜水器领域所积累的工作经验为本书的编写提供了大量的材料。本书的初稿来源于庞永杰教授的讲义,在此表示衷心的感谢。特别感谢徐玉如院士给予的大力支持。在编写过程中还得到了曾文静、廖煜雷、曹建、庄佳园、马艳等研究生的帮助,在此一并表示感谢。

由于编者学识水平有限,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

编者
2010年8月

目 录

第 1 章 潜水器发展简史与分类	1
1.1 潜水器发展简史	1
1.2 潜水器的分类	7
1.3 潜水器概要	14
思考题	25
第 2 章 海洋基础知识	26
2.1 海洋自然环境概况	26
2.2 中国近海自然环境及水文状况	31
2.3 海洋的流体动力环境	33
2.4 海洋应用与开发	43
2.5 水下潜器在海洋开发中的应用	45
思考题	47
第 3 章 潜水器系统设计基础	48
3.1 设计时应考虑的因素	48
3.2 潜水器的设计方法	55
3.3 潜水器的设计程序	57
3.4 潜水器的质量特征	58
3.5 潜水器各部分相对比质量的确定	61
3.6 潜水器的浮力特征	75
3.7 潜水器常用材料选择	80
思考题	92
第 4 章 潜水器方案设计	93
4.1 艇型选择	93
4.2 能源与动力的选择	94
4.3 潜水器推进装置选择	104
4.4 总布置草图	112

4.5	排水量估算	115
4.6	潜水器的性能计算	117
4.7	最佳性能准则	126
	思考题	127
第 5 章	潜水器结构设计	128
5.1	耐压结构设计	128
5.2	轻外壳结构设计	149
5.3	机构防腐蚀设计	158
	思考题	161
第 6 章	潜水器的操纵与控制	162
6.1	潜水器操纵性分析	162
6.2	潜水器运动控制方法概要	173
	思考题	182
第 7 章	潜水器水下导航系统设计	183
7.1	潜水器导航传感器	184
7.2	船位推算导航	198
7.3	地球物理导航	201
7.4	潜水器组合导航及应用	206
	思考题	211
第 8 章	潜水器设备与系统设计	212
8.1	潜水器设备与系统设计的要求	212
8.2	压载与浮力调节系统	213
8.3	液压系统	216
8.4	水下机械手与作业工具	221
8.5	潜水器吊放回收系统	235
8.6	生命支持系统	249
	思考题	258
第 9 章	潜水器现代设计方法	259
9.1	绪论	259
9.2	计算机辅助潜水器设计	260

9.3 现代优化设计方法	272
9.4 其他现代设计方法	281
思考题	286
参考文献	287

第 1 章 潜水器发展简史与分类

潜水器(Underwater Vehicle)是人类设计制造的一种水下装置或水下航行器,人类能够乘坐这种装置或航行器,实现水下的考察和作业;或者令其按照人类的意愿,替代人类完成水下的观察、测量、取样和水下作业等。本章主要介绍潜水器的发展简史和潜水器的分类等基本知识。

1.1 潜水器发展简史

1.1.1 潜水器的早期发展史

人类很早以前就梦想着潜入海底,并不断有人进行着各种尝试。早在两千多年前,亚历山大大帝就曾坐在一个玻璃容器内下沉至海底,他上来后向人们描述了在水下的新奇见闻。

亚里士多德也曾记述过一种供采集海绵的潜水员使用的小型“潜水钟”,这些潜水员经常在 20~30 m 水深范围内进行采集活动。该潜水钟如倒置的茶杯,通过压载的石块把它们沉入海中。潜水钟内的空气由充满气体的皮气囊供给,而皮气囊则通过压载物沉入水下,从而潜水员不必露出水面,只需把头伸到潜水钟内部就可进行换气。

早期的潜水器只是用于换气和呼吸,真正有意义的潜水器的出现,应该从 16 世纪开始。传说意大利艺术大师兼发明家达·芬奇最早进行了关于潜艇的设计。而最早见于文字记载的潜艇研究者是意大利人伦纳德,他于公元 1500 年提出了“水下航行船体结构”的理论。1538 年,在西班牙泰加斯(Tagas)河的遗址发现过一个实用的潜水钟。1578 年,英国的威廉·伯恩出版了一本有关潜艇的著作——《发明》。1616 年,德国的费朗兹·开司勒(Franz Kessler)操作过一艘有机动能力的潜水钟,它无缆绳和水面联结,上浮控制依靠抛重,壳体为木质带平截头的圆锥体,外面包皮,并有两个像眼睛似的观察窗。操作者需穿着盔甲保护身体。1620 年,荷兰人科尼斯特·德雷布尔举行了潜艇展览,有关他制造的潜艇的资料没有流传下来,但据史料记载他确实举办了潜艇展览,据传其艇体为木框,外蒙涂油的牛皮,下潜深度为 3~5 m,可载 12 名艇员,以多根人力木桨来驱动,艇内设有羊皮囊作为压载水舱。人们公认他制造了人类历史上第一艘潜艇,因此,他被冠以“潜艇之父”的称号。

1707 年,英国发明家埃德蒙·哈利建造了一艘装有潜水员水下进出闸门的潜水钟。它的上部设置一个玻璃窗,使内部可采光。另外,它还有补充气体的设施和用脐带供气的简易头盔,潜水员戴上这种头盔后,只要他们的头部不低于潜水钟内的水面,便允许潜水员在潜水钟

附近活动。

18世纪70年代,美国独立战争时,耶鲁大学的毕业生戴维·布什内尔建造了一艘小型木质潜艇海龟号,如图1.1所示,它用人力螺旋桨推进,可以在水下航行30 min。在经历了几次失败后,终于炸毁一艘英国纵帆船,这是世界历史上第一次关于潜艇攻击的纪录。

1.1.2 潜水器的近代发展史

19世纪下半叶,潜水器进入了一个较快的发展时期。

1855年德国人倍逊(Benson)为了打捞维奇湾内的黄金,坐在一个和水面有通信设备联系的钢球内潜到了75 m(245 ft)的水深。

1861—1865年在美国南北战争中使用了戴维号潜艇。

1890年,由西蒙·莱克制造的阿尔戈纳特1号是一艘小型潜艇,用厚木板制成,用沥青水密,由一台汽油机提供动力,潜航时用一条通向水面并有浮力支持的软管作通气管,有压载水舱。此外,它还装有用动力驱动的滚轮和一个可以打开的底部舱口盖。当舱内压力与外界压力平衡后可以把舱口盖打开,让潜水员采集海底标本。

爱尔兰教师霍兰设计了一艘艇长为16 m的潜艇(如图1.2所示),可载5个艇员,配有1个鱼雷发射管和33 kW的汽油机,水面航速7 kn,水下用蓄电池作为动力,航速5 kn。1900年4月18日美国海军获得国会批准,以15万美元购买了这艘潜艇。它是编入美国海军的第一艘军事潜艇。

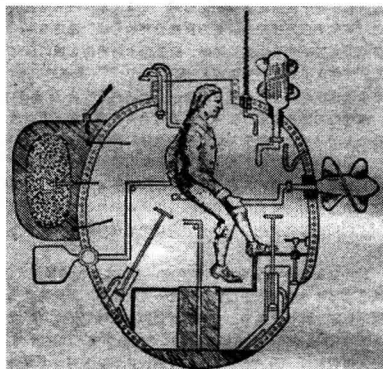


图 1.1 海龟号潜艇



图 1.2 “霍兰”号潜艇

据我国清代《益闻录》记载,天津机器制造局在1880年也制造了一艘潜艇。“式如橄榄,入水半浮水面,上有水标及吸气机,可于水底暗送水雷,置敌船之下,灵捷异常,颇为实用。”由此推测,我国在当时也是一个重视潜水器发展的国家。

1.1.3 潜水器的现代发展状况

在20世纪20~60年代期间,现代潜水器研制方向主要是向深度挑战。1934年,美国潜水器潜入914 m深度,开始了人类第一次对深海生物的观察活动。1960年,瑞士皮卡德父子设计的“的里雅斯特”号潜水器下潜到马里亚纳海沟10 916 m处,为人类征服海洋揭开了最壮丽的一幕。这段时期研制的潜水器一般仅用于水下观察,无运动、作业能力,发展也较为缓慢。

自20世纪60年代以来,以美国阿尔文号为代表的第二代潜水器得到快速发展。阿尔文号潜水器以铅酸电池为动力,下潜深度可达3 658 m。1966年,阿尔文号和其他潜水器配合,在西班牙海域成功打捞出—颗失落的氢弹,在当时产生了巨大影响。这段时期研制的潜水器一般都配有动力能源,并配置了水下TV、机械手等设备,不仅可用于水下观察,还可执行一些简单作业和海洋资源调查等任务。图1.3、图1.4分别为阿尔文号潜水器的检修场景和工作场景。

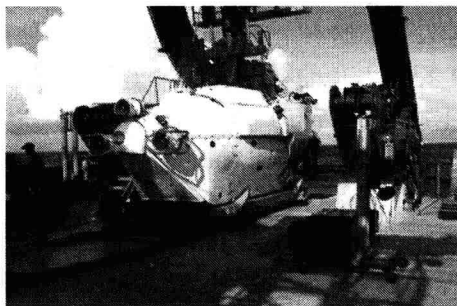


图 1.3 阿尔文号潜水器检修场景

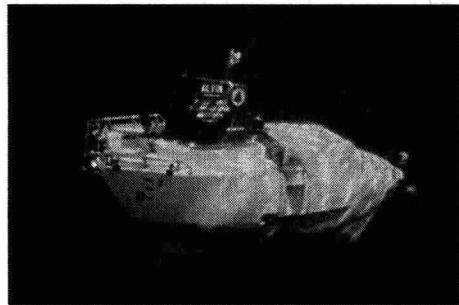


图 1.4 阿尔文号潜水器工作场景

1963年的美国长尾鲨号核潜艇失事事件和前苏联共青团号核潜艇失事事件,促使美、苏等国研究利用深水潜器营救遇难潜艇的问题。图1.5所示为深潜救生示意图。1970年,美国深潜救生艇DSRV(如图1.6所示)下水,最大下潜深度为1 069 m,一次可营救24名人员,并配有七自由度机械手。1979年,美、英联合进行DSRV救援演习并获得成功,完成了人类历史上第一次在水下由救生艇向另一潜艇进行人员干转移,同时,也把载人潜水器技术推向了高峰。

20世纪70年代中后期,受两次石油危机的影响,近海石油开采迅猛发展,新一代无人遥控潜水器ROV突出了其作业能力及商业应用价值,使潜水器技术发展达到了鼎盛时期。目

前,90% ROV 用于石油平台作业。

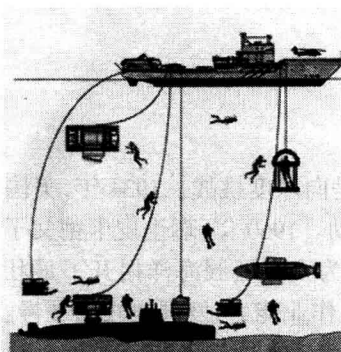


图 1.5 各种深潜救生示意图

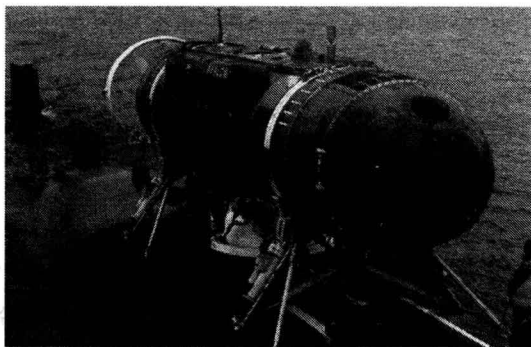


图 1.6 深潜救生艇(DSRV)

进入 20 世纪 80 年代末 90 年代初,由于大陆石油资源枯竭状况并不如最初估计的那样严重,海洋石油开采受成本、风险影响处于修整期。潜水器发展同样也处于停顿、甚至萎缩状态,连一些世界著名大公司(如 OSEL, AMETEK 等)都相继倒闭或被其他公司吞并。

20 世纪 90 年代以来,随着微电子、高速数字计算机、人工智能技术、小型导航技术、指挥与控制硬件等技术的发展,无人自主式潜水器得到快速发展。据不完全统计,各国研制与使用的无人自主式潜水器有 30 多艘,其中供工业使用的有 10 多艘,其他的均用于军事和科学研究。

日本东京大学和三井造船公司合作开发了可以下潜 4 000 m 的 r2D4 潜水器(如图 1.7 所示),并在 2006 年完成了海上试验。该潜水器主要用于海底探测,长 4.4 m,重约 1.6 t。该潜水



(a)



(b)

图 1.7 r2D4 号潜水器

(a)检修场景;(b)工作场景

器以锂电池为能源,可连续航行 60 km,其搭载的传感器能够准确感知周围环境,能自主地收集数据,主要用于探测海底火山、沉船、海底矿产资源和生物等。

英国南安普顿国家海洋地理中心于 1995 年开始开发 AUTOSUB 系列潜水器(如图 1.8 所示),该系列 AUV 主要用于海洋科学研究和军事应用。自从 AUTOSUB - II 在 2004 年的南极冰面下试验中丢失后,他们研制了潜深可达 1 500 m 的 AUTOSUB - III 型潜水器,并计划研制潜深 3 000 m 的 AUTOSUB - IV 型潜水器。到目前为止,AUTOSUB 潜水器已经在海洋中总共航行了 10 000 km,执行了多次科学考察任务。

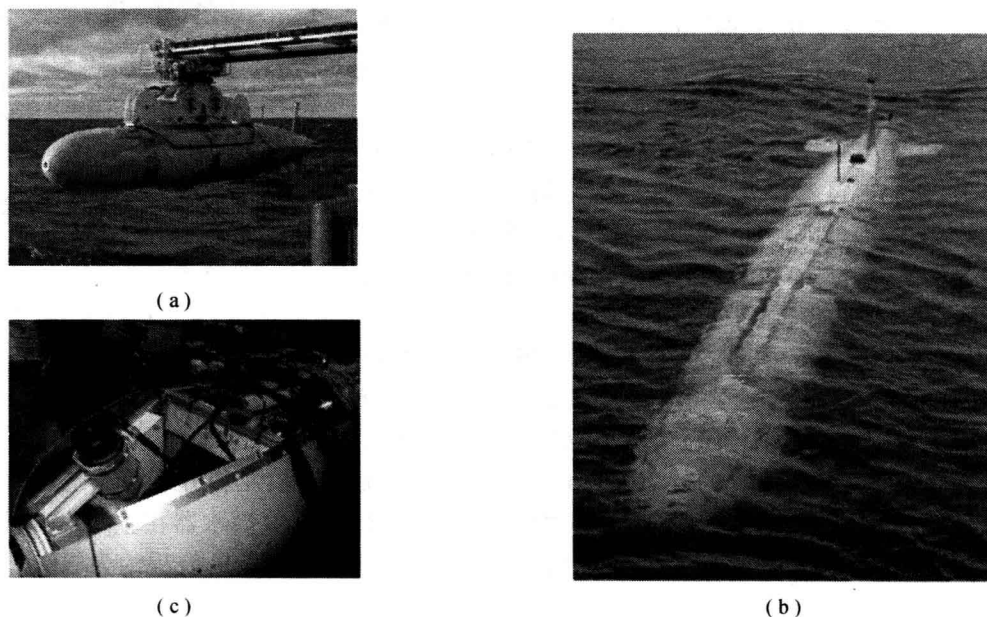


图 1.8 AUTOSUB 系列潜水器
(a)AUTOSUB - I ;(b)AUTOSUB - II ;(c)即将完工的 AUTOSUB - III

从 20 世纪 70 年代开始,我国较大规模地开展了潜水器研制工作,先后成功研制了以援潜救生为主的 7103 艇(有缆有人)、I 型救生钟(有缆有人)、QSZ 单人常压潜水器(有缆有人)、8A4 型潜水器(有缆无人)和军民两用的 HR - 01 潜水器、RECON IV 潜水器及 CR - 01A 6 000 m 潜水器(无人无缆)等,说明我国潜水器研制水平已达到国际先进水平行列。我国潜水器研制过程具有如下几个显著的阶段性特征。

在 20 世纪 70 年代,我国主要开展载人援潜救生潜水器的研制。典型代表是 I 型救生钟和 7103 艇。I 型救生钟是我国第一代潜水钟,它以湿救为主,兼顾干救,下潜深度 130 m,可一次救助艇员 6 ~ 8 人。在良好海况、且失事艇坐沉海底倾角不大时,可实现与失事艇救生平台

的对口干救。7103 深潜救生艇的下潜深度达 300 m,可一次救助 22 名艇员。7103 艇和失事艇对接成功后,可实现人员的干转移。它的研制成功,标志着我国援潜救生水平跃居世界先进水平行列。

20 世纪 80 年代中期,我国开始研制作业型载人潜水器,典型代表是 QSZ 单人常压潜水器,如图 1.9 所示。QSZ 内部保持常压,载员一名,工作深度 300 m。它带有中继站,巡航半径 50 m,潜水员操作机械夹持器,可以完成简单的水下作业任务。当深度超过 300 m 时,由于海水压力的存在,潜水员在作业中容易出现疲劳现象,因此该潜水器适合执行下潜深度不大、工作时间短的作业任务。

20 世纪 80 年代末,中国船舶工业总公司组织二所二校联合攻关,研制 8A4 型潜水器。其目标是研制一台以军用援潜救生为主,兼顾海洋油气开发,具有局部智能的无人遥控作业型潜水器。8A4 型潜水器的工作深度为 600 m,设有中继站,巡航半径为 150 m,配有五功能锚定手和六功能作业手,并配有六种作业工具支持。8A4 型潜水器在 1993 年通过海试,并成功地打开了模拟的失事潜艇花甲板,在当时的国内潜水器中作业能力最强。

从 20 世纪 90 年代至今,我国潜水器研制取得了一系列辉煌的成绩。

中国科学院沈阳自动化研究所与俄罗斯共同研制的 CR-01 潜水器在 1995 年和 1997 年两次完成了对东太平洋洋底的科学考察工作,调查了大洋底部的锰结核分布情况,获得了大量的洋底地形、地貌、地质数据。CR-01 潜水器与俄罗斯的 MT-88 潜水器在主尺度和外形上基本相近,续航力也相近,其最大速度为 1.2 m/s,水下工作时间为 6 h,航程约为 20 km,如图 1.10 所示。

哈尔滨工程大学水下智能机器人国防重点实验室自 20 世纪 90 年代开始先后研制了“智水”系列等自主式潜水器,在水下智能潜水器领域进行了一定规模的研究、试验和开发,做了卓有成效的工作,为紧跟世界先进水平、形成中国特色的水下智能潜水器技术奠定了基础。

上海交通大学在无人遥控潜水器方面开展了广泛研究,先后研制了海龙 I 号、海龙 II 号深海观测与取样型无人遥控潜水器,在我国深海 ROV 技术研究中写下了浓重的一笔。

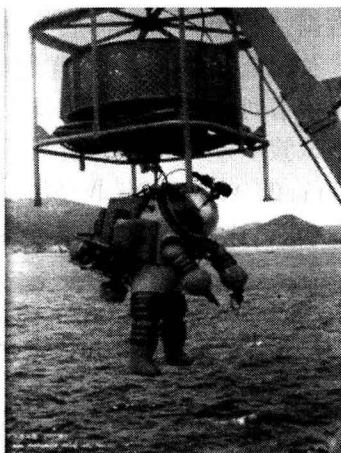


图 1.9 QSZ 单人常压潜水器

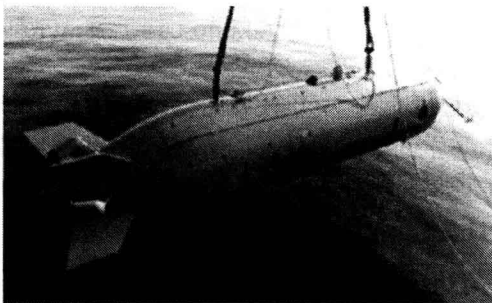


图 1.10 CR-01 潜水器

2007年,702研究所成功研制了7000 m载人潜水器。潜水器艇长8 m、高3.4 m、宽3 m,用特殊的钛合金材料制成,在7000 m的深海能承受710 t的重压,运用了当前世界上最先进的高新技术,实现了载体性能和作业要求的一体化。与世界上现有的载人深潜器相比,具有7000 m的最大工作深度和悬停定位能力,可到达世界99.8%的洋底,成为世界上下潜最深的载人潜水器。模型如图1.11所示。



图 1.11 7000 m 载人潜水器模型

1.2 潜水器的分类

潜水器种类各式各样,可依照控制方式、航行方式、结构型式等方面进行分类,下面分别加以介绍。

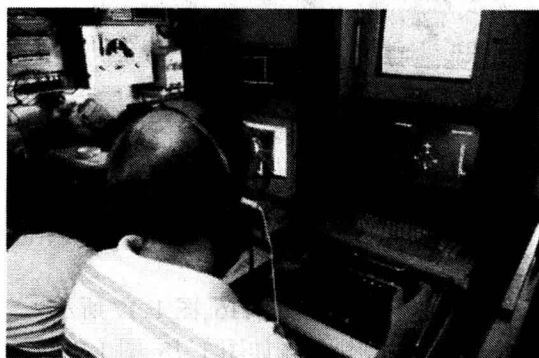
1. 按照控制方式分类

(1)遥控式潜水器(手操控制)(ROV, Remotely Operated Vehicle),其操控方式又可分为利用便携式操纵台控制和利用舱内主操纵台控制,如图1.12所示。

(2)无人无缆潜水器(半自主式或预编程控制)(UUV, Unmanned Underwater Vehicle),如图1.13所示。



(a)



(b)

图 1.12 ROV 控制方式

(a)便携式操纵台控制;(b)舱内主操纵台控制

(3)自主式或智能潜水器(全自主式或智能式控制)(AUV, Autonomous Underwater Vehicle), 如图 1.14 所示。

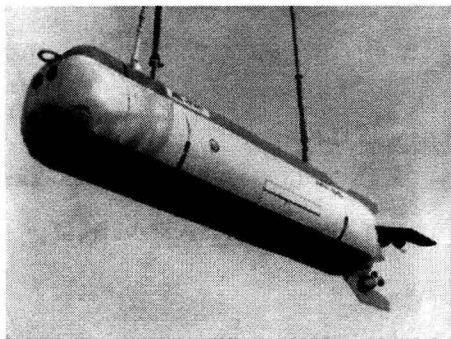


图 1.13 无人无缆潜水器

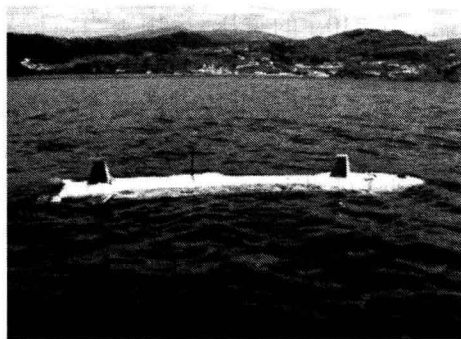


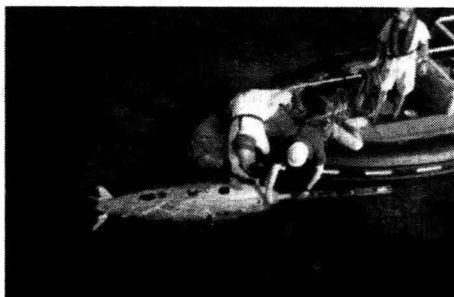
图 1.14 自主式或智能潜水器

2. 按照航行方式分类

(1)自由航行式潜水器,如图 1.15 所示。



(a)



(b)

图 1.15 自由航行式潜水器

(a)水下行进;(b)设备固定

(2)拖曳式潜水器,如图 1.16、图 1.17 所示。

(3)海底爬行式潜水器,如图 1.18、图 1.19 所示。

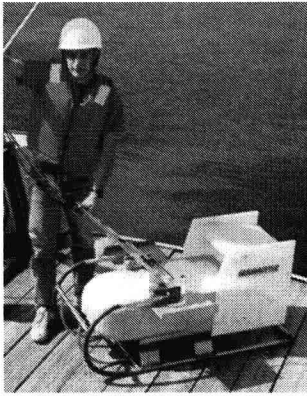


图 1.16 拖曳式潜水器

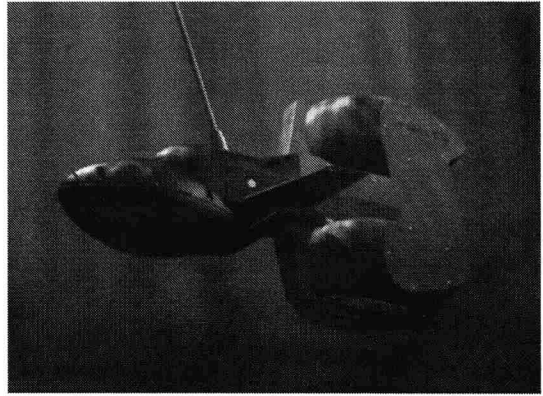


图 1.17 拖曳式潜水器



图 1.18 海底爬行式潜水器

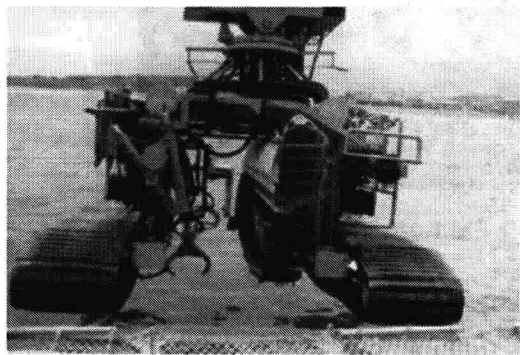


图 1.19 海底爬行式潜水器

3. 按照结构型式分类

- (1) 流线式潜水器, 优点是阻力小, 速度高, 如图 1.20 所示。
- (2) 开架式潜水器, 优点是设计、制造简单, 低速操纵性好, 如图 1.21 所示。

4. 按照推进形式分类

- (1) 滑翔式潜水器, 优点是能量消耗少, 如图 1.22、图 1.23 所示。