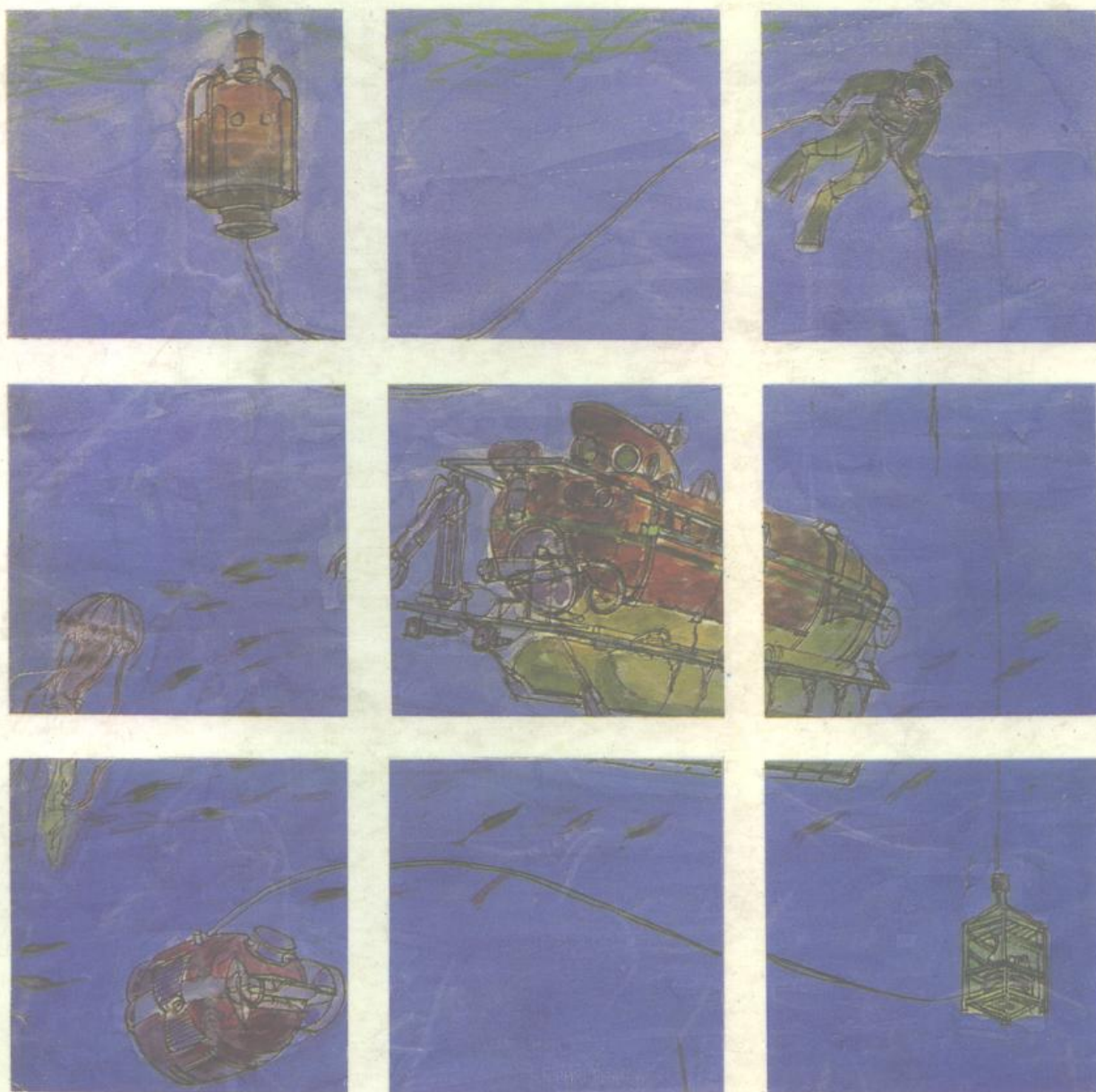


# 潜水器设计

朱继懋 主编



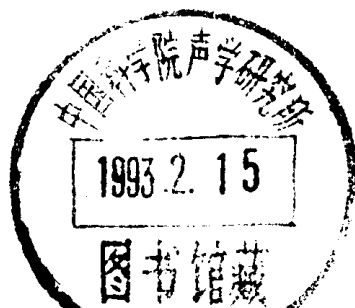
上海交通大学出版社

71.51  
209

DG61/21

# 潜 水 器 设 计

朱继懋 主编



上海交通大学出版社

1014791

(沪)新登字 205 号

### 内容提要

本书是作者汇集了近 40 年来国内外潜水器技术的发展成就,从设计角度加以分析,总结编著而成,其中亦包括作者多年来从事载人与无人潜水器研究、设计实践中的经验。

本书共分 13 章,系统地阐述了载人和无人潜水器(包括水下作业系统)的总体设计、结构设计、推进与操纵、导航、动力与能源、系统与设备、吊放回收等内容,并且还单独介绍了无人遥控潜水器和其他潜水装置。本书附录则列有到 80 年代末为止世界各类潜水器的综合情况一览表。

本书可供从事潜水器和水下工程设计、研究和使用部门的工程技术人员参考,亦可以作为高等院校船舶和海洋工程专业本科生和研究生的教材和教学参考书。

### 潜水器设计

出 版:上海交通大学出版社  
(淮海中路 1984 弄 19 号)  
发 行:新华书店上海发行所  
排 版:上海虹桥快速印刷有限公司  
印 刷:江苏太仓印刷厂  
开 本:787×1092(毫米)1/16  
印 张:25.75  
字 数:286000  
版 次:1992 年 4 月 第 1 版  
印 次:1992 年 5 月 第 1 次  
印 数:1—1480  
科 目:256—297  
ISBN7—313—00926—7/U·662  
定价:6.90 元

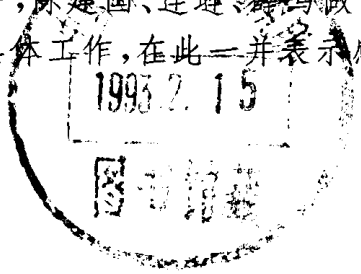
# 前 言

《潜水器设计》一书终于和读者见面了,这是一件值得庆幸的事。由于种种原因,本书出版拖了很长时间,而潜水器技术随着海洋开发的发展变化很快,每年都给它注入了许多新的内容。作者考虑到在我国出版这样一本专业性和技术性很强的书是很不容易的,所以力争跟踪目前世界在这一领域的最新发展。但是由于篇幅和时间上的限制不可能做到面面俱到。如最近国际上对海底石油管线和电话电缆的铺设和维修潜水器非常重视,已成为90年代潜水器技术发展的一个新动向,在本书中作了补充介绍。但是像国际上目前对“人力潜水器(Human-Powered Submersible)”非常有兴趣,考虑到我国的国情,我们就没有把这一内容补充进去。

我们编写这本书的目的,是企图把从60年代开始迅速发展起来的潜水器技术比较系统地,从理论高度来进行分析和讨论。因此本书适合于作为从事潜水器研究、设计人员的一本参考书,亦可以作为高等学校海洋工程、水下工程、船舶工程专业的一本教学参考书。

本书所以能出版,我们首先要感谢上海交通大学水下工程研究所的全体同仁。老一辈的教授杨仁杰老师、高志希老师、严似松老师都给予了热情的指导。黄根余副教授亦给予了帮助。施德培编写了第六章结构设计的第一稿。顾云冠完成了第六章结构设计,并编写了第十二章无人遥控潜水器的第一稿。黄秀章编写了第十一章吊放回收系统。徐德胜编写了第十章系统与设备设计以及第十三章其他潜水装置。陈建国编写了第二章海洋基础知识、第五章计算机辅助潜水器设计和第九章动力与能源。我本人编写了第一章潜水器的发展与分类、第三章潜水器设计基础、第四章方案设计、第七章推进与操纵、第八章导航,并改写了第十二章无人遥控潜水器。此外对全书进行了系统修改和最后定稿。

在最后定稿过程中,陈建国、连理、蒋鸣做了大量的工作。王玉娟、柳根权、沈强亦为本书做了很多具体工作,在此一并表示感谢。



朱继懋

1991年6月

1014791

# 绪 论

近 20 年来,由于海洋开发与军事上的需要,一种新型的水下运行器——潜水器(亦称可潜器或深潜器)发展很快。这类潜水器品种繁多,技术密集度高,是属于公认的高技术领域。不同的潜水器由于使命任务的区别,其差异是非常大的。最小的无人遥控潜水器只有几十 kg,载人潜水器小的也不足 1000kg,但是大的如“射水鱼”号潜水器,排水量达到 1800 多 t。从下潜深度来看,像全透明丙烯酸塑料制成的“能干”号载人潜水器只能下潜 9m;而“曲斯特”号和“阿基米德”号潜水器却能够下潜到世界海洋的最深处 10,913m。从潜水器使用的能源来看,像 NR-1 潜水器采用了昂贵的核动力,造价高达 1 亿美元,而“黑潮”号和“皮格”号则通过脐带由水面支持提供动力。从操纵控制角度来看,既有自身几乎没有机动能力、靠母船拖航的拖曳潜水器,也有全部可以集中控制并具有计算机显示系统的深潜救生艇(DSRV)。

我国由于海洋开发以及国防需要,从 70 年代初期即开始研究和发 展干转移型载人潜水器,70 年代末和 80 年代初又开始了无人遥控潜水器的设计研究工作。这类潜水器从设计方法到设计特征与一般潜艇有很大差异。本书是著者通过某些潜水器的设计实践,并收集了其他国家在设计研究潜水器方面的经验编著而成,可供从事潜水器设计的研究人员参考。

# 目 录

绪论 .....	1
<b>第一章 潜水器的发展与分类</b> .....	1
§ 1-1 发展概况 .....	1
§ 1-2 载人潜水器的发展 .....	2
§ 1-3 潜水器的分类与用途 .....	5
<b>第二章 海洋基础知识</b> .....	8
§ 2-1 海洋知识与海底资源 .....	8
§ 2-2 海洋起源与海底形态 .....	15
§ 2-3 海水的化学成分和物理性质 .....	19
§ 2-4 海洋光学 .....	29
§ 2-5 海洋声学 .....	34
§ 2-6 海流 .....	38
§ 2-7 海洋开发 .....	43
<b>第三章 潜水器设计基础</b> .....	46
§ 3-1 设计程序 .....	46
§ 3-2 潜水器的重量特征 .....	48
§ 3-3 潜水器的重量分析 .....	49
§ 3-4 潜水器各部分相对比重量的确定 .....	51
§ 3-5 潜水器的浮力特征 .....	67
<b>第四章 方案设计</b> .....	78
§ 4-1 排水量估算 .....	78
§ 4-2 艇型选择 .....	80
§ 4-3 耐压体材料的选择 .....	82
§ 4-4 能源与动力的选择 .....	86
§ 4-5 潜水器推进与操纵方式选择 .....	89
§ 4-6 总布置草图 .....	91
§ 4-7 有效马力计算 .....	93
§ 4-8 潜水器的重量、重心与浮力、浮心计算 .....	95
<b>第五章 计算机辅助潜水器设计</b> .....	101
§ 5-1 载人潜水器的重量容积分析与排水量计算 .....	101
§ 5-2 观察型无人潜水器概念设计 .....	108
§ 5-3 潜水器型线设计 .....	113
<b>第六章 结构设计</b> .....	122
§ 6-1 耐压结构设计 .....	122

§ 6-2	轻外壳设计	143
<b>第七章</b>	<b>推进与操纵</b>	<b>147</b>
§ 7-1	潜水器的各种推进装置	150
§ 7-2	潜水器的操纵与控制	161
<b>第八章</b>	<b>导航</b>	<b>176</b>
§ 8-1	航位推算法	176
§ 8-2	水声导航	179
§ 8-3	水声导航的理论基础	184
§ 8-4	潜水器的一些典型导航系统	188
§ 8-5	终端导航装备	195
<b>第九章</b>	<b>动力与能源</b>	<b>198</b>
§ 9-1	概述	198
§ 9-2	推进功率的确定	199
§ 9-3	电力	204
§ 9-4	电机	211
§ 9-5	电池组	213
§ 9-6	电力分配	218
<b>第十章</b>	<b>系统与设备设计</b>	<b>228</b>
§ 10-1	系统和设备设计基础	228
§ 10-2	液压系统	229
§ 10-3	高压空气系统	234
§ 10-4	压载系统	235
§ 10-5	液体与固体浮力材料系统	240
§ 10-6	浮力调节系统	243
§ 10-7	纵横倾调节系统	244
§ 10-8	调节索	249
§ 10-9	生命支持系统	250
§ 10-10	水下机械手	259
<b>第十一章</b>	<b>吊放回收系统</b>	<b>268</b>
§ 11-1	吊放回收系统概述	268
§ 11-2	典型的吊放回收系统	269
§ 11-3	典型的随动装置	272
§ 11-4	吊索动负荷的确定	276
§ 11-5	缓冲装置力对吊索动力负荷的影响	278
<b>第十二章</b>	<b>无人遥控潜水器</b>	<b>280</b>
§ 12-1	带缆自由航行遥控潜水器	281
§ 12-2	带缆自由航行遥控潜水器的设计特征	286
§ 12-3	拖曳式遥控潜水器	291
§ 12-4	海底爬行遥控潜水器	293

§ 12-5	依靠结构物遥控潜水器 .....	294
§ 12-6	无缆遥控潜水器 .....	295
§ 12-7	混合型遥控潜水器 .....	301
§ 12-8	管道综合检查系统 .....	301
§ 12-9	脐带电缆静力计算 .....	306
<b>第十三章</b>	<b>其他潜水装置</b> .....	<b>312</b>
§ 13-1	深潜系统 .....	312
§ 13-2	甲板加压舱 .....	321
§ 13-3	潜水钟 .....	327
§ 13-4	水下居住舱 .....	327
§ 13-5	水下焊接装配工作室 .....	333
§ 13-6	单人常压潜水器 .....	339
附录 A.	载人潜水器——常压无缆潜水器 .....	347
	——常压带缆潜水器 .....	356
	——闸式潜水器 .....	357
	——观察/操作型潜水钟 .....	361
	——常压潜水服 .....	363
附录 B.	无人带缆自由航行遥控潜水器 .....	364
附录 C.	拖曳式遥控潜水器——水中拖曳式潜水器 .....	382
	——海底、依靠结构物拖曳式潜水器 .....	385
附录 D.	海底爬行遥控潜水器 .....	387
附录 E.	依靠结构物遥控潜水器 .....	390
附录 F.	无缆遥控潜水器 .....	393
附录 G.	混合型遥控潜水器 .....	395
	主要参考文献 .....	398



# 第一章 潜水器的发展与分类

## § 1-1 发展概况

人类有记载的采用装备的潜水活动可以追溯到公元前四世纪。当时的亚历山大大帝(Alexander)用一个大的玻璃容器,内部用驴皮衬垫,外面装有铁架,下潜到了 200 肘(Cubits),相当于 23~30m(75~100ft)的水深,进行海底采集活动而闻名于世界。可是早期的潜水器不过像一只倒扣的茶杯,让潜水员可以在水下把头伸进里面去进行换气和呼吸而已。真正有意义的潜水器的出现,应该从 16 世纪开始算起。

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 年在英国人威廉·伯恩出版的书中,就有形形色色的真正能够潜入水中,并能自行推进的潜艇设计方案,有的还造出了模型。

1616 年德国人费朗兹·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。

1662 年科尼利厄斯·冯·德莱勃尔(Cornelius Van Drebbel,1572 年荷兰出生,1605 年移居英国)建造了一艘可潜器,由 12 个艇员划桨驱动,在划桨伸出处用皮套水密,舱内装有净化空气的“神秘物质”,它在泰晤士河 3.7~4.8m(12~15ft)的水深航行了几个小时。

1707 年英国发明家埃德蒙·哈利(Edmund Halley)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。哈利在 1688 年就开始从事应用空气潜水的研究,1691 年他发明用一对底部有带塞孔的铅封桶,以交替进水进气方法得到压缩空气来充满潜水钟进行潜水,他取得了专利,一直持续了近 100 年,直到 1788 年史曼顿(Smenton)首创用一种强力泵给潜水钟充气为止。

1775 年查尔斯·斯波尔丁(Chales Spalding)改进了哈利的潜水钟,发明了斯波尔丁钟(The Spalding Bell)。它有一个可在内部控制的,用滑轮车来调节放在海底压铁系统的升降装置,后来他丧生于他自己的一个潜水钟内。

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(David Bushnell)建造了一艘小型木质潜艇“海龟”号(Turtle)。它用人力螺旋桨推进,可以在水下航行 30 分钟。他在经历了几次失败后,终于炸毁了一艘英国纵帆船,这是世界历史上第一次潜艇攻击。

19 世纪初罗伯特·富尔顿(蒸汽机船的发明者)建造了两艘壳体为铜、肋板为铁做的潜艇“鲑鱼”号(NAOTILUS)和“哑子”号(MUTE)。但这两艘潜艇均未能投入实际使用。

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讯设备联系的钢球内潜到了 75m(245ft)的水深。

1861年至1865年,在美国南北战争中使用了“戴维”号(David)潜艇。

1864年2月17日傍晚,“亨利”号(Henry)潜艇第一次成功地击沉了一艘新的巡洋舰“休斯敦”号(Houston),但是由于“休斯敦”号的裂口把“亨利”号吸入,因此使“亨利”号内35人全部丧生。

关于第一艘“现代化”的潜水器,通常认为是1890年下水的,由西蒙·莱克制造的“阿尔戈纳特1”号(Argonaut The First)。它是一艘小型潜艇,看上去很笨拙,用厚木板制成,用沥青水密,由一台汽油机作为动力,潜航时用一条通向水面并有浮力支持的软管作通气管,有可以吹除的压载水舱。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。

真正第一艘现代潜艇是一个爱尔兰学校教师霍兰(Holland)设计的。这艘潜艇长16m,5个艇员,1个鱼雷发射管,45HP的汽油机,水面航速7kn,续航力达1,000n mile,水下用蓄电池作为动力,可以达到5kn的航速,续航力是50n mile。1900年4月18日美国海军以15万美元购买了这艘潜艇,并获得国会批准。它是编入美国海军的第一艘军事潜艇。

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,……中秋节下水试行,灵捷异常,颇为实用。”由此推测,我国在当时亦是一个重视潜水器发展的国家。

## § 1—2 载人潜水器的发展

由于对科学的好奇,1929年美国海洋科学家威廉·比勃(Beebe)与奥梯斯·巴顿(Barton)建造了第一个深潜球(Bathysphere)。它是一个铸钢的球(内径1.37m,4.5ft),壁厚32~38mm(1.25~1.5in),上面装有3个观察窗,它挂在22mm(7/8in)的钢缆前,在1934年8月下潜到了914m(3,000ft)的水深,这是第一次在深海环境中进行生物观察,亦是第一次有意义的潜水活动。

1948年巴顿又建造了一个相似的系缆球“海底观察者”号(Benthoscope)。在1950年下潜到了1,372m(4,500ft)的水深,打破了他1934年创造的下潜到914m(3,000ft)的记录。

在这同一时期,瑞士物理学家奥古斯特·毕卡第(Auguste·Piccard)开始从事深潜器的研究。他原来是研究宇宙线的,发展过同温层气球。由于他的研究经费是从比利时国家科学基金会(Belgian National Fund for Scientific Research, FNRS)得到的,所以他的气球用FNRS命名,在1932年他创造了16,276m(53,400ft)的高度记录。为了继续研究宇宙线,他决定要进行深海测量,因此发展了深潜船(Bathy Scaph)——FNRS-2。它是一艘真正的深潜器,它的设计基本和同温层气球的相同,是一个密封的金属载人球以及支持它重量的一个大浮力袋。在FNRS中,袋里充满了氢气,而在FNRS-2内充满了汽油,体积是36 m<sup>3</sup>(7900gal),总重量是9t,有两个操纵员,设计的最大下潜深度为5,200m,实际下潜到了3,000m。

FNRS-2的载人球是铸钢做的,内径为2m(6.5ft),厚度为89~152mm(3.5~6in)(较厚的部分是观察窗和出入窗口的加强部位)。深潜器下潜时由于压力的增加,会引起汽油的压缩,这就使排水体积减少而使潜水器下潜加快,为了补偿这损失需要泄放铁丸。FNRS-2在早期试验时,在一次恶劣海况下的水面拖航中被损坏。后来法国海军购买了它。利用FNRS-2的载人球,一些浮力舱和压载舱以及其控制原理,在造船厂进行了改建。新的浮力舱携带91m<sup>3</sup>(20,

000gal)的汽油,称为 FNRS-3。它在 1954 年一次潜水中下潜到了 4,050m(13,287ft)的深度。

正当 FNRS-3 建造时,毕卡第到了意大利,他申请资金建造了“曲斯特 I”号(Trieste the First)深潜器(Bathyscaph),它的载人球是在邓尼(Turni)锻造的,所以又称“邓尼球”。它的内径 2m(6.5ft),厚度为 89~152mm(3.5~6in)。它被认为可以在 6,096m(20,000ft)的水深工作。浮力舱比 FNRS-3 的要稍大一点,带 127m<sup>3</sup>(28,000gal)的汽油。在 1957 年被美国海军买去,更换“克虏伯”(Krupp)锻造的载人球,壁厚是 127~178mm(5~7in),因此增大了下潜深度。浮力舱尺寸也增加到了 155m<sup>3</sup>(34,200gal)。在 1960 年由英国人 D·华尔顿(Halton)和深潜器发明者的儿子丁·毕卡第乘坐下潜到了目前已知的海洋最深的海沟——太平洋的马里亚纳海沟,水深 10,913 m(35,800ft),这一深度也被称作为太平洋挑战者深度(Challenger Deep)。

“曲斯特”号每下降 914m(3,000ft),就需抛弃 1t 的压载铁,因此当下潜到 10,913m(35,800ft)时,总共已抛弃了 12t 的铁丸,所以在水面时就要有足够的浮力去支持这 12t 的可消耗压载。为了确保抛载的可靠,抛载是用磁阀控制的,如果动力失灵,磁场消失,所有铁丸都会自动抛出,甚至压载桶也能够通过磁性杠杆系统解脱。

“曲斯特 I”号在 1962 年到 1964 年冬天建造了新的浮力舱,使之适合在海上作长时间的较高速的拖航,新浮力舱容积为 205m<sup>3</sup>(45,00gal),和邓尼球组成了“曲斯特 II”号深潜器。1964 年夏天第二次投入了对失事潜艇“长尾鲨”号(Thresher)的失事原因调查,不仅拍了照,而且还一段“长尾鲨”号潜艇的破损海水管子带到水面,取得了很大成就。目前已退役,存放在美国海军博物馆内。

1958 年法国建造了一艘新的潜水器——“阿基米德”号(Archimede),在 1962 年它也下潜到了 9,543m(31,308ft)水深的、在日本外的“苦力莱”海沟(Kurile Trench)。

“阿基米德”号和“曲斯特 II”号是仅有的两艘深潜器(Bathyscaph)。由于它有很大的浮力舱,又要在海上装载大量的汽油,所以建造与使用均很不方便,而且它在水面和深水的操纵都很困难,活动范围亦非常有限。基于上述原因,此类深潜器发展不快,更多地是发展了自由自航式潜水器。

第一艘自由自航式潜水器名字叫潜碟(Diving Saucer),后改叫 SP-350,是在 1959 年下水的,可以下潜到 305m(1,000ft),重量不到 4t。它的诞生标志着新一代潜水器的发展。深潜器(Bathyscaph)的发展以及“长尾鲨”号核潜艇的失事,使我们把注意力集中到海洋,使人们认识到了,对于海洋我们人类了解得是多么肤浅。其次也使人类有了一个新的科学目标,知道了我们应该去做点什么。因此从 60 年代中期,载人潜水器的发展开始了其黄金时代。到 1960 年为止全世界载人潜水器总共不过 8 艘,而且基本上属于观察型的。但是到 60 年代中期,载人潜水器的发展非常迅速,差不多每年就增加 10 艘左右的潜水器,而且发表了数以百计的科学技术论文,以介绍载人潜水器在设计和结构材料方面的发展。

因此,如果把带浮力舱的深潜器作为第一代载人潜水器的话,那么从 20 世纪 50 年代末开始出现,到 60 年代中期得到迅猛发展的自由自航式潜水器可以作为第二代潜水器。此类潜水器的典型代表是美国的“阿尔文”号(Alvin)潜水器,建于 1964 年,最大下潜深度为 1,829m(6,000ft),排水量是 12t。1968 年在吊放时沉没,1969 年捞起,1973 年重建,此后其最大下潜深度增加到了 3,658m。

这种潜水器有动力,有耐压体与轻外壳两层壳,耐压体内可容纳操作人员和观察人员以及控制操作台,轻外壳内布置能源和动力设备等。潜水器有上浮、下潜系统和多个自由度的机动

能力。其最大下潜深度可达到 5,000~6,000m,基本上还是依靠耐压体或用一部分固体浮力材料来提供浮力。一般根据用途不同还装备有多种设备和装置,例如电视机、机械手等。此类潜水器用途十分广泛,不仅可以作为观察用,还可以进行一些简单的水下作业和执行海底资源调查任务等。

1968 年开始,以法国的“大陆架潜水员”(Shelf Diver)号和美国的“海狸”(Beaver)号为代表的潜水员水下出入型(Lock-in/Lock-out)潜水器得到发展,这种潜水器都包括一个可以调压的闸室,供潜水员在水下和环境均压后外出作业,以及返回时进行减压或保持压力。此类潜水器可以作为一个潜水员水下作业的基地,又可以与饱和潜水技术结合起来,所以有很广泛的应用。法国的深潜器 SM358 和 SM360 就属于此种潜水器,分别具有 200m 和 300 m 的潜水员水下出入艇工作的能力。

1970 年和 1971 年美国先后下水了两艘干转移型(Dry Transfer)的深潜救生艇(Deep Submerge Rescue Vessel, DSRV)。它的研制工作始于 1964 年,由于 1963 年核潜艇“长尾鲨”号失事,造成 129 人丧生的事故,这促使美国研究深水遇难潜艇艇员的营救问题。美国原有的救生装备只有工作深度为 270m 的“麦生坎”潜水钟,显然不能满足现代潜艇的保障要求。1964 年美国海军专门成立了“深海技术规划局”(Deep Submergence Systems Project Office),总共花费 2.2 亿美元的研制经费,发展了这个深潜救生系统。

1970 年下水的 DSRV I (Avalon)造价 0.41 亿美元,工作深度为 1,067m。1971 年下水的 DSRV II (Mystic)造价 0.23 亿美元,工作深度为 1,625m,排水量约为 35t,长度 15.2m,直径为 2.5m,最大航速 5kn,以银锌电池为能源,续航力(3kn)为 12h,操作人员 3 人,可以和失事潜艇在水下进行对接,每次援救人数为 24 名,救出一艘失事核潜艇全部艇员只需往返五次,设计要求在 17h 内救出全部人员,从接到呼救信号到 DSRV 开始营救工作需时 35~40h。

1979 年 5 月,美、英联合进行了“DSRV”深潜救生艇实施潜艇救生的演习。深潜救生艇(Avalon)号装载好生命支持物品后,由美国空军从圣地亚哥空运至格拉斯哥,然后陆运到法斯雷思的克莱德潜艇基地,在那里装在英国海军导弹核潜艇“反击”号上,共用时间 47h。此后,深潜救生艇被驮航到“失事”地点,对坐沉在阿蓝岛附近 120m 水深海底的“奥丁神”号执行水下对接救生。由于天气良好,海上运输采用水面航行方式,航速达 17kn。深潜救生艇离开母潜艇与回收是在水下约 70m 的深处进行的。五天中“Avalon”号进行了七次下潜作业,第一次完成了对接和转移人员任务。按计划,下潜作业对接和人员转移五次,其中四次获成功,失败的一次是因为下潜时能见度差而难以对接,不幸还将“奥丁神”号艇壳上的声纳撞坏。演习的结果表明:救生的关键在于潜艇母艇的良好准备以及调度速度,而失事潜艇的生命维持时间亦是一个不容忽视的因素。

这次演习成功,亦是人类历史上首次实现在水下由一艘潜艇向另一艘潜艇进行人员的干转移。

“DSRV”的操纵和电子设备较先进,它的推进和控制由尾部的螺旋桨和可以转动的导流罩以及四个导管推力器来实现,艇本身可以在两个自由度倾斜 45°,它拥有集中控制的计算机显示系统,可以把各种传感信息显示给驾驶员,亦可以把指令输经控制和推进系统。

“DSRV”可以用 ASR-21 双体母船运载,亦可以用潜艇作为母艇。第一批改装的潜艇母艇有“大比目鱼”号、“长须鲸”号和“玳瑁”号核潜艇。

“SM351”是由法国考曼克司(Comex)和瑞典考库姆船厂合作研制的,于 1977 年下水,1978

年交给瑞典皇家海军,定名为“URF”,艇长 13.5m、宽 4.3m、高 3.9m,排水量为 52t,艇员 5 人(操纵员 2 名,机械师 1 名,潜水员 2 名)。每次可营救 25 名失事艇艇员,最大下潜深度为 460m,救生和潜水员活动的最大深度为 300m。以铅酸电池作为能源,最大航速 3kn,最大侧向速度为 0.6kn,自持力 80h,能够造成纵倾 $\pm 30^\circ$ ,横倾 $\pm 45^\circ$ 。运载方式是水面或水下拖航,最大拖航速度(水面、水下)为 10kn。

由于瑞典皇家海军经费的关系,SM351 自 1978 年交给皇家海军后至今,潜水员加压出艇试验和对口救生试验尚未进行。

1975 年开始,由于海洋工程和近海石油开发的需要,无人遥控潜水器(Remotely Operated Vehicles,ROVs)得到了迅速发展。第一艘无人遥控潜水器在 1953 年就研制成功了,但是到 1974 年的近 20 年中仅增加了 19 艘,平均每半年增加 1 艘。而从 1975 年到 1979 年仅仅 4 年间就建成了总数达 139 艘带缆自航潜水器(不包括 120 艘以上海洋扫雷无人潜水器),目前已发展到 500 艘以上,其中 90%以上用于海洋石油开发。由于“无人遥控潜水器”具有结构简单、造价低廉、维修方便以及无人员生命危险等优点,所以从 1975 年以来发展尤为迅速。特别是在海洋开发领域大有取代“饱和潜水”作业系统之势。当然,由于海洋开发和水下作业的需要,单人潜水器,包括拟人和非拟人的常压潜水服亦得到了较大的发展。

### § 1—3 潜水器的分类和用途

随着海洋开发和军事需要的发展,水下系统的种类繁多,就潜水器而言,有固定式和移动式之分。

固定式潜水器是指潜水器在工作状态时,其相对于海底是固定的,如水下居住舱、水下实验室、水下作业基地以及潜水员水下休息和供应基地等。它们有的亦具有上浮、下潜的能力,亦能在海上拖航,但是它们在工作状态时是相对固定在海底的。一些大型的水下基地、水下建筑物、水下游乐场以及水下城市等水下系统通常不属于固定式潜水器,亦不在可潜器研究范围之内。

移动式潜水器通常又可分为无人和有人两大类。

无人潜水器,又称遥控潜水器,可以归纳为带缆自由航行、海底爬行、拖航和无缆四大类。其中以带缆自由航行式潜水器为最多。到 1985 年末,这类潜水器已有 740 艘(其中应用于工业的为 385 艘,用于军事目的的有 315 艘),海底爬行式为 70 艘,拖航式为 23 艘,无缆潜水器为 24 艘。

无人遥控潜水器的主要用户是海洋石油和天然气工业,其次是军事部门,还有是科学研究。所有带缆自航潜水器中有 90%以上是用于完成观察和视像摄影的记录工作,操作任务的比重逐步在提高。

海底爬行式潜水器主要用于完成海底推土、挖沟、检查以及海底的一些操作作业。

拖航潜水器用于军事目的的和科学研究的居多,主要用作观察识别定位、搜索、细致测绘、取水样、放射性测量等。在科学研究方面,主要用在地质、地球物理方面的研究以及大面积的搜索和水质分析、生物取样、地质取样,生物测定、锰结核的观察和研究。

无缆潜水器主要用于军事目的,完成海洋传导性、温度和压力剖面测绘。还有就是作一些尾流扰动测量、冰下声学剖面特性测绘工作等。在科学研究方面,主要用作活动的水声平台,亦

兼作水下程序控制系统的研究。目前在工业上还未看到无人无缆潜水器的应用价值。

载人潜水器可以分为系缆潜水器、浮力舱式深潜器和自由自航潜水器三种。

系缆载人潜水器又有深潜球、拖航潜水器和系缆自航潜水器之分。

深潜球和拖航潜水器本身没有动力,依靠拖带和吊放入海,进行水下观察及其他水下活动,而系缆自航潜水器本身可以自航,主要能源依靠脐带(或电缆)由水面支持船提供。如“黑潮 I”号和“皮格”号以及“OpSub”等潜水器均属此类。这类潜水器由于都有脐带或缆绳和水面母船相连,所以潜深不能很大,一般都小于300m。但是无人有缆潜水器除外,它目前可下潜到7,600m的深度。

浮力舱式深潜器是最早发展起来的潜水器,一般潜水深度可大于4,000m,最大可达11,000m,排水量达100t,小的耐压体直径为2m左右,其中有2~3人,再加以一个很大的提供浮力的浮力舱。由于耐压体厚度在相同材料的情况下和潜深成正比,当深度增大后,耐压体的厚度随之也增大,“曲斯特”号的“邓尼”球为90mm,“克虏伯”球为120mm,而“阿基米德”号的为150mm。耐压体的比重可以达到3.0,这样重的耐压体一般有一个很大的充满汽油、煤油或乙烷等轻液体的浮力舱,以提供正浮力。比较多的是用汽油,尽管在浅水中没有空气提供的浮力大,但在任何深度都给保留大部分浮力。石油碳氢化合物的密度可以低至660kg/m<sup>3</sup>,要比海水(1025kg/m<sup>3</sup>)小得多。

但是这种潜水器的操作非常复杂,如美国的“曲斯特 II”号的浮力舱内需携带205m<sup>3</sup>(45,000gal)的航空汽油(密度为760kg/m<sup>3</sup>),一般在海上(潜水器从母船上下水后)灌注,操作过程大约需要15~20h,回来后还要将汽油排干。充入氮气使箱内有一定的压力和防止油气燃烧。如此这般差不多要经过相同的时间,可以收回4.5~9.1m<sup>3</sup>(1,000~2,000gal)的汽油(损失了大部分)。所以ARD支持母船上需要携带1.364m<sup>3</sup>(300,000gal)左右的汽油。同时由于汽油比起海水更容易被压缩,所以在下潜过程中会不断损失一部分浮力,这样就要求操纵人员不时地抛弃一些铁丸压载以补偿这部分正浮力的损失。在上浮时,又要放掉一些汽油以控制上浮速度,因此这类潜水器目前已很少建造。

目前大多数载人潜水器属于自由自航式潜水器,它自带能源,在水面和水下有多个自由度的机动能力,主要依靠耐压体或部分固体材料提供浮力,最大下潜深度亦可达到5,000~6,000m,没有浮力舱或者是没有深潜器那么庞大的浮力舱,因此机动性较好,运载与操作也较为方便。根据自由自航潜水器使用任务的不同,它有:观察型、水下作业型、潜水员水下出入型以及干转移(水下对接)型等多种类型。它主要应用于海洋开发的勘探和测绘、施工期间的水下交通、基地人员的补给、水下系统装置的安装与检修等。在军事上,潜水器可以直接为海底军事基地、仓库建设服务,担负勘探、施工、人员输送以及设备的安装和维修等工作,还可以直接参与现代水雷战,完成潜艇救生和水下救捞等任务。

载人潜水器发展的鼎盛时期是在60年代,1966年美国在西班牙的Palamres失落了一颗氢弹,是由“阿尔文”号(Alvin)潜水器与CURV无人遥控潜水器配合,把它从856m的水深处打捞起来的。三艘“南鱼座”号(pisces)潜水器依靠潜水器上的举力为800kg的机械手,花费了一年时间把沉没于750m水深海底的120条鱼雷打捞上来。1968年10月潜水器“阿尔文”号从母船“鲁鲁”号(Lulu)上起吊时,不慎失事沉没,在1969年8月亦是由“阿鲁明纳”号(Aluminant)和打捞船“密执安”号相互配合,将“阿尔文”号从1,538m的水深处打捞起来。

潜水器“深探”号(Deep Quest)于1970年曾把坠落在太平洋1,037m水深的一架海军飞机

打捞上来。

美国深潜救生艇 DSRV 于 1979 年 5 月在 120m 水深和英国潜艇“奥丁神”号对接成功,并把“奥丁神”号上的全部艇员转移到另一艘潜艇上去,实现了人类历史上的第一次“内空”对接和人员转移。这两艘造价昂贵的潜水器把载人潜水器技术推向了顶峰。1983 年 8 月又一次重复了上述的试验,这些事例充分说明了载人潜水器的广泛用途。近年来尽管无人遥控潜水器发展很快,但是载人潜水器仍有其独特的用途,尤其是潜水员水下出入型和对接干转移型以及单人常压潜水器将是今后载人潜水器的主要发展方向。在这些领域载人潜水器的作用还很难为无人遥控潜水器所替代,因此估计在相当长的时期内,有人和无人潜水器技术将会共存,并相互渗透,共同发展。

## 第二章 海洋基础知识

### § 2—1 海洋知识与海底资源

地球上广大连续的水域,总称为海洋。海洋蕴藏着丰富的生物、矿产、化学和动力资源,是人类最后可资利用的领地之一。随着科学技术的发展,海洋已成为国际上重点研究的对象之一,它在政治、经济、军事的重要性也越来越明显。

#### 一、海洋基础知识

##### 1. 海陆分布概况

地球上的陆地和海洋总称为地球的表面。地球表面积约为  $510 \times 10^6 \text{km}^2$ ,其中海洋为  $361 \times 10^6 \text{km}^2$ ,约占地球总面积的 70.8%;陆地面积为  $149 \times 10^6 \text{km}^2$ ,约占地球总面积的 29.2%,海陆面积比为 2.5:1。虽然海洋面积占明显优势,但海洋只是地球表面的一层薄膜,它的平均厚度只是地球半径的  $1/1600$ ,体积约占地球体积的  $1/800$ 。

大洋和大陆在地球表面的分布是不均匀的,以赤道为标准,把地球分成南北两个半球,北半球中海洋面积约占 60.7%,陆地约占 39.3%;南半球中海洋面积约占 80.9%,而陆地仅占 19.1%。在南纬  $56^\circ \sim 65^\circ$  之间,完全没有陆地,各大洋连成一片,环绕着地球。如果以经度  $0^\circ$ 、北纬  $47^\circ$  的一点和经度  $180^\circ$ 、南纬  $47^\circ$  的一点为极点,把地球分为两个半球,则一个为集中了大部分陆地的陆半球,另一个为集中了大部分海洋的水半球(图 2-1)。即使这样划分,陆半球的海洋面积还是占 52.7%,陆地只占 47.3%;而水半球中海洋面积竟占 90.5%,陆地只占 9.5%。

海洋不仅面积超过陆地,而且其深度超过陆地的高度。海洋的平均深度达 3,795m,而陆地

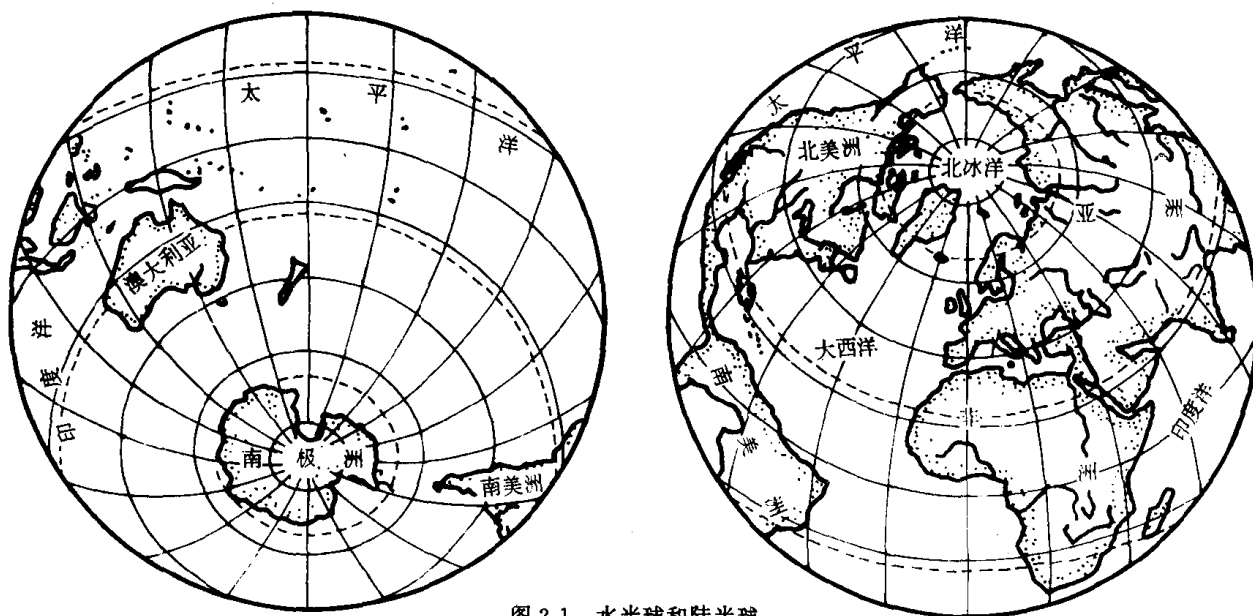


图 2-1 水半球和陆半球



的平均高度仅 875m。大多数海洋的深度超过 3,000m,占海洋总面积的 77.4%;大多数陆地的高度不到 1,000m,占陆地总面积的 72.4%。

海洋平均深度和陆地平均高度相差很大,但是,海洋深度和陆地高度的最大值却比较接近。世界上最深的马里亚纳海沟为 11,500m,最高的珠穆朗玛峰为 8,848m。图 2-2 是海陆起伏曲线,即陆高海深曲线。它表示地壳表面在各不同高度或深度上的面积分布情况。

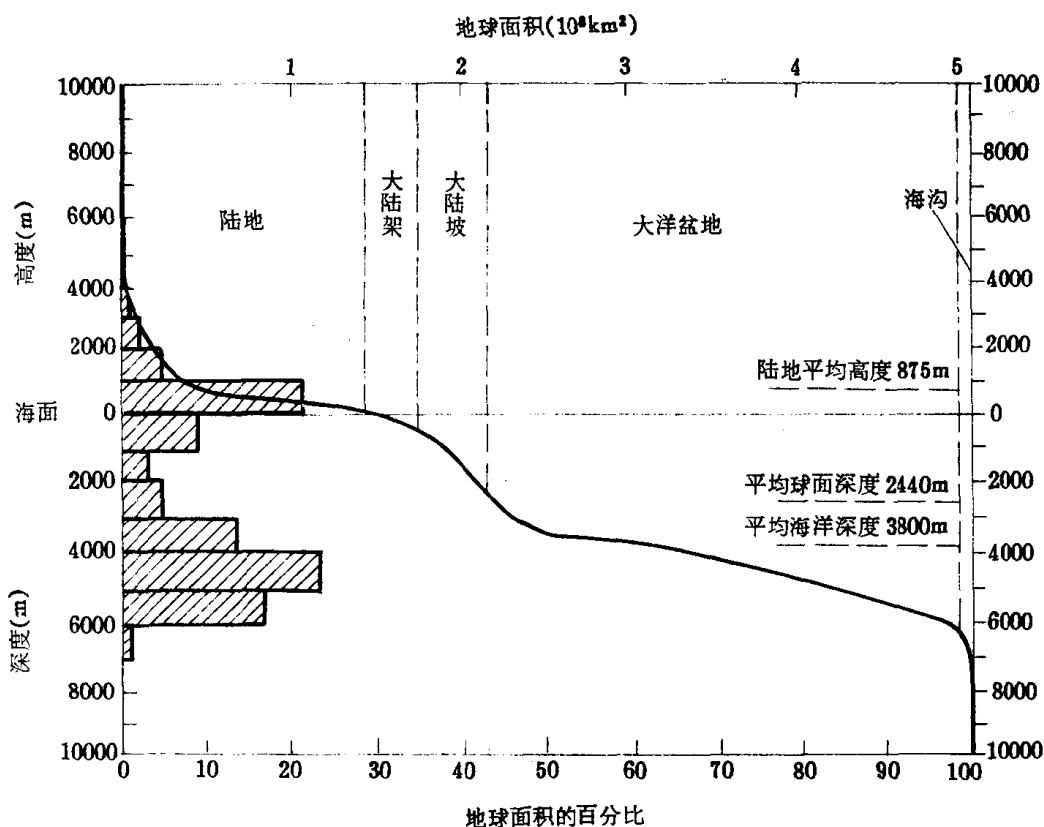


图 2-2 海陆起伏曲线

## 2. 海洋的分类

根据形态特征及水文特征的不同,可把世界的海洋分成主要的部分和附属的部分。主要部分为洋,附属部分为海、海湾和海峡。

### (1) 洋

大陆以外具有独立的海流、潮汐、温度、盐度、密度且不受大陆影响的辽阔的盐水水域,称为洋。洋约占整个海洋面积的 89%,深度一般在 2,000~3,000m 以上。根据岸线的轮廓、海底地形和水文特征划分的世界各大洋的面积、容积和平均深度见表 2-1。

表 2-1 各大洋的面积、容积和平均深度

名称	面积		容积		深度 (m)	
	数值( $10^3\text{km}^2$ )	百分比(%)	数值( $10^3\text{km}^3$ )	百分比(%)	平均	最大
世界洋	361,059	100	1,370,323	100	3,800	11,500
太平洋(包括附属海)	179,679	49.8	732,699	52.8	4,028	11,500
大西洋(包括附属海)	93,369	25.9	337,699	24.7	3,627	9,219
印度洋(包括附属海)	74,917	20.7	291,945	21.3	3,897	7,450
北冰洋(包括附属海)	13,100	3.6	16,980	1.2	1,296	5,220