



潜水手册

下卷
混合气潜水

国防工业出版社

潜水手册

下卷 混合气潜水

〔美〕 海军海上系统司令部 0994-LP-001-9020

杨德恭 沈荷华 吴绪清 彭润松 许锦棠 译
许锦棠 杨德恭 姚竞春 沈荷华 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本手册下卷概述了混合气潜水的发展史和混合气潜水理论,详细介绍了目前广泛应用的自携式水下呼吸器、水面供气式混合气潜水装具、氧气潜水装具以及先进的饱和潜水设备——深潜系统,并对采用这些装具或设备进行潜水的程序、减压方法及保障措施作了较完善的阐述。此外,本手册还附有潜水用气体标准、配气程序与分析方法以及气体安全使用规则等。手册中介绍的技术与方法,适用于海军潜水和民用(生产、航运和科研等)潜水。

本手册可供各种潜水人员、潜水指挥者和潜水医务工作者、潜水科技人员以及潜水培训人员参考使用。

U. S NAVY DIVING MANUAL
VOLUME 2 : MIXED-GAS DIVING
NAVSEA 0994-LP-001-9020
Navy Department Washington, D. C. 20362
JANUARY 1977

*

潜 水 手 册 下 卷 混 合 气 潜 水

【美】海军海上系统司令部 0994-LP-001-9020
杨德恭 沈荷华 吴绪清 彭润松 许锦棠 译
许锦棠 杨德恭 姚竞春 沈荷华 校

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营
国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 14¹/₂ 332千字
1985年7月第一版 1985年7月第一次印刷 印数: 0,001—1,760册
统一书号: 15034·2759 定价: 2.70元

译者的话

《潜水手册》(原版)自1916年第一版以来,其内容经过了多次修改。特别是近十年来,随着援潜救生、打捞沉船、海上援救、水下勘探、水下施工、水下爆破、海洋考察和开发海底石油等作业的广泛开展,使潜水技术和潜水医学日趋发展并不断完善。《潜水手册》比较全面而系统地反映了这一情况,其中介绍的潜水技术和方法,可以说是近代潜水工作的基本准则,在世界许多国家中也得到比较广泛的应用。

根据美国潜水人员的经验和建议,海军部重新修订了《潜水手册》,并将手册分为两卷。上卷:空气潜水(1975年出版);下卷:混合气潜水(1977年出版)。

本手册比较突出地介绍了近年来发展起来的新技术和新设备,如饱和潜水技术、深潜系统、采用混合气的饱和潜水和轻潜水设备、单管式自携式水下呼吸器调节器、热水加热服、氦气语音变频器、马克-1轻潜面罩和混合气水下呼吸器等;对以往确定的潜水程序和潜水技术,以及潜水作业计划的项目,进行了修订和补充;详细讨论了供气系统的特点和选择方法。对于各种减压表方面的内容,本手册也作了较大的修改。对于深潜水中的水下医学生理学问题,如肺型氧中毒、最低的吸入气温度和高压神经症候群等,本手册亦一一作了介绍。为了便于实施吸氧再加压治疗和鉴别减压病的症状和体征,手册中附有简要说明。

为了吸取外国的先进经验,更好地发展我国的潜水技术和潜水医学,我们翻译了《潜水手册》,供广大潜水人员、潜水指挥者和潜水医务工作者、潜水科技人员以及潜水培训人员结合我国具体情况参考使用。

在翻译过程中,海军医学研究所刘景昌、龚锦涵、高风、曾宪英等同志对全稿进行了审阅,同时得到了上海水产学院、708研究所、上海内燃机研究所、上海阀门研究所、上海体育学院、复旦大学、第二军医大学潜水生理教研室、海司防救部和大连水产公司等单位有关同志的大力帮助,在此表示感谢。

由于我们的翻译和技术水平有限,加之本手册涉及内容较广,虽经反复研讨修改,仍难免有许多不当和错误之处,衷心希望广大读者批评指正。

译者

目 录

第九章 混合气潜水理论

9.1 混合气潜水发展史	1
9.1.1 氧气潜水	1
9.1.2 非饱和混合气潜水	3
9.1.3 饱和潜水	6
9.1.4 饱和巡回潜水	9
9.2 混合气物理	9
9.2.1 波义耳定律	9
9.2.2 查理定律	11
9.2.3 理想气体方程	13
9.2.4 道尔顿定律	15
9.2.5 亨利定律	18
9.3 混合气潜水生理	18
9.3.1 通气、呼吸阻力和气体输送	18
9.3.2 氧中毒	19
9.3.3 氧气和其它气体在减压中的应用	22
9.3.4 体热散失和温度平衡	23
9.3.5 语音失真	24
9.3.6 其它生理问题	24
9.4 作业计划的制订	25
9.4.1 确定潜水目的	25
9.4.2 搜集和分析资料	26
9.4.3 确定工作任务	26
9.4.4 选择潜水技术	26
9.4.5 潜水小队的选择和调集	33
9.4.6 向潜水小队下达简令	34
9.4.7 进行最后准备和检查所有安全措施	35
9.5 供气	35
9.5.1 ASR潜艇救生船的氮-氧供气系统	36
9.6 高压易燃性	39
9.7 舱内气体污染	39

第十章 混合气水下呼吸器

10.1 工作原理	42
10.1.1 再循环和二氧化碳的去除	42
10.1.2 气体的补充、耗尽及监测	44

10.2	美海军混合气水下呼吸器	51
10.3	马克6-0型混合气水下呼吸器	52
10.3.1	呼吸回路	52
10.3.2	组件说明	53
10.3.3	潜水前的准备	55
10.3.4	潜水程序	57
10.3.5	潜水后的保养及故障排除	58
10.4	马克11-0型水下呼吸器及辅助器材	58
10.4.1	潜水员脐带	59
10.4.2	马克11-0型水下呼吸器	59
10.4.3	面罩	60
10.4.4	热防护	61
10.4.5	辅助器材	61

第十一章 水面供气式混合气潜水作业

11.1	潜水装具	62
11.1.1	混合气(氮-氧)重潜水装具	62
11.1.2	混合气轻潜水装具	67
11.1.3	混合气潜水的辅助器材	70
11.1.4	通信	73
11.2	混合气气源	75
11.3	潜水程序	75
11.3.1	氮-氧重潜水	76
11.3.2	氮-氧轻潜水	82
11.4	潜水后的程序与保养	84

第十二章 深潜系统

12.1	美海军深潜系统	86
12.2	深潜系统的应用	87
12.2.1	常压潜水	87
12.2.2	非饱和潜水	87
12.2.3	饱和潜水	87
12.2.4	其它用途	88
12.3	深潜系统的主要组成部分	88
12.3.1	人员转运舱	88
12.3.2	甲板减压舱	90
12.3.3	生命保障系统	91
12.3.4	控制台	92
12.3.5	人员转运舱的脐带	93
12.3.6	人员转运舱的操纵系统	93
12.3.7	水下呼吸器	95

12.4	深潜系统的作业	95
12.4.1	一般要求	95
12.4.2	常压潜水	96
12.4.3	非饱和潜水	97
12.4.4	饱和潜水	100
12.5	深潜系统的应急操作	100
12.5.1	一般准则	101
12.5.2	甲板减压舱紧急情况	101
12.5.3	人员转运舱紧急情况	102
12.6	450 救助潜水系统	105
12.6.1	人员转运舱	105
12.6.2	脐带缆和起吊索	109
12.6.3	甲板减压舱和过渡舱	109
12.6.4	控制台	111
12.6.5	生命保障系统	112
12.6.6	工作数据	112
12.7	马克 1 深潜系统	114
12.7.1	人员转运舱	114
12.7.2	升降-电源-通信缆和甲板绞车	119
12.7.3	甲板减压舱和过渡舱	120
12.7.4	控制台	121
12.7.5	生命保障舱	123
12.7.6	工作数据	123
12.8	马克 2 深潜系统	126
12.8.1	人员转运舱	129
12.8.2	升降-电源-通信缆和甲板绞车	132
12.8.3	甲板减压舱	133
12.8.4	主控制台	134
12.8.5	生命保障系统	135
12.8.6	工作数据	136

第十三章 氧气潜水作业

13.1	氧的深度-时间极限	140
13.1.1	正常氧极限	141
13.1.2	例外作业的极限	141
13.1.3	应急极限	141
13.2	闭式回路氧气自携式水下呼吸器	142
13.2.1	工作原理	143
13.2.2	主要部件	144
13.2.3	气瓶、气瓶阀和调节器	144
13.2.4	背托、背托罩和吸收罐	145
13.2.5	背心、呼吸袋和咬嘴	146

13.2.6 腰节阀	148
13.3 搬运和组装	149
13.3.1 部件的组装	149
13.4 潜水前装具的准备	150
13.4.1 氧气瓶充气	150
13.4.2 装填二氧化碳吸收罐	151
13.4.3 检查吸气阀和呼气阀	151
13.4.4 检查装具有无氧气泄漏	151
13.5 潜水前装具核对清单	152
13.6 潜水前的装具检查	152
13.7 着装	152
13.8 水面检查	155
13.9 水下操作程序	155
13.10 潜水后的操作程序	156
13.10.1 一般净化	156
13.10.2 润滑	157
13.10.3 全面检查	157
13.11 故障排除	157
13.11.1 装具漏气	157
13.11.2 呼吸器进水	158
13.11.3 调节器故障	158
13.12 装运和存放	158

第十四章 混合气减压

14.1 术语的定义	159
14.2 减压表的选择	159
14.3 总则	160
14.3.1 氧浓度	160
14.3.2 方案的选择	161
14.3.3 例外暴露	161
14.3.4 反复潜水	161
14.3.5 减压病	161
14.3.6 氮-氧潜水工作表	161
14.4 混合气自携式水下呼吸器潜水减压表	163
14.4.1 氮-氧自携式水下呼吸器潜水减压表	163
14.4.2 氮-氧自携式水下呼吸器潜水吸氧减压表	163
14.4.3 氮-氧自携式水下呼吸器潜水不减压极限表	166
14.4.4 氮-氧自携式水下呼吸器反复潜水残余氮气时间表	167
14.4.5 氮-氧自携式水下呼吸器潜水减压表	167
14.4.6 使用混合气自携式水下呼吸器时在紧急情况下省略了的减压	170
14.5 水面供气式氮-氧减压表	171

VIII

14.5.1	氧的限度	171
14.5.2	惰性气体分压	172
14.5.3	减压程序	173
14.5.4	应急减压程序	186
14.6	氮-氧饱和潜水	190
14.6.1	甲板减压舱或住舱的饱和深度	190
14.6.2	应急混合气	190
14.6.3	治疗用混合气	191
14.6.4	水下呼吸器的氧分压	191
14.6.5	吸入气温度的最低安全极限	191
14.6.6	防火	192
14.6.7	记录	192
14.6.8	甲板减压舱、住舱和人员转运舱的气体控制	193
14.6.9	到 22 英尺的初始加压	193
14.6.10	生命保障系统的检查	193
14.6.11	加压到饱和深度	193
14.6.12	巡回潜水极限	193
14.6.13	标准饱和减压	197
14.6.14	减压病的治疗	197

附 录

附录 A	潜水用气体：纯度标准和气瓶数据；混合程序和分析方法	202
附录 B	氧气净化系统	213
附录 C	气体的安全管理	213
附录 D	(本手册原已删去)	
附录 E	马克 6-0 型混合气自携式水下呼吸器	214
附录 F	(本手册原已删去)	
附录 G	马克 11-0 型混合气水下呼吸器 (本手册原已删去)	
附录 H	水面供气式混合气潜水作业——潜水前检查表	220

第九章 混合气潜水理论

混合气潜水，指采用除空气之外任何呼吸介质进行的潜水作业。这种呼吸介质可以由比例不同于大气的氮-氧组成，也可以由其它惰性气体与氧配制的混合气组成。呼吸气也可以为100%的氧，从技术上讲，这种气体并不是一种“混合的”气体，但是，为了安全使用，它要求具备类似的知识 and 训练。然而，混合气潜水作业并不排除使用空气，因为在混合气潜水的某个阶段可能使用空气。

一般来说，混合气潜水是一项复杂的工作。一次混合气潜水作业需要有周密的计划，使用特定而先进的装具，以及大量的水面保障人员和设备。由于混合气潜水的特性（常在大深度进行或工作很长的时间），它所造成的对潜水员的各种危险和对成功作业的种种障碍，均会大大增加。因此，对这种潜水不可掉以轻心。

《潜水手册》上卷全面地介绍了水面供气式空气潜水或以压缩空气为呼吸介质的自携式水下呼吸器潜水的理论和实践。任何参加混合气潜水学习的潜水员，必须首先获得空气潜水作业资格。而且，只有透彻地掌握上卷的内容，才能理解下卷介绍的内容。

本章介绍混合气潜水装具及技术的发展和应 用，并使潜水员了解在混合气潜水中所特有的水下物理和生理学的主要问题。此外，也将讨论制订混合气潜水作业计划时应考虑的一些因素。

9.1 混合气潜水发展史

9.1.1 氧气潜水

十九世纪中期研制的潜水装具，由于需要从水面供给空气，因而大大限制了潜水员的行动自由。早期由潜水员自携潜水用压缩空气的种种尝试，均因气泵和储存空气的容器不能达到足够的高压而告失败。

1876年，亨利·弗勒斯开始了一种使潜水员不依靠水面支援的氧气再呼吸装置的研究。弗勒斯的装置采用了一个水密橡胶面罩，该面罩借助呼吸软管与充入450磅/平方英寸压力氧气的铜制气瓶和一个呼吸袋相连。潜水员将吸入纯氧，他的呼出气要进入呼吸袋，在那里被吸引，使其流经浸过苛性钾溶液的绳线。这种化学物质吸收了二氧化碳，并使未被利用的部份氧气再循环至面罩。在这种装具的一些早期型式中，新鲜氧气的补充由潜水员通过一个手控阀来控制。

1879年，弗勒斯成功地试验了他的装具。最初，他在一个水池里停留了一小时左右；然后，他在18英尺的水下沿河底行走。在这次潜水中，好奇心越来越大的弗勒斯想要知道，如果他中断供氧将会出现什么情况。结果，他失去了知觉。当他被信号员拉至水面时，发生了肺气压伤。弗勒斯恢复健康后，没过几周就与奥古斯特斯·西伯潜水装具公司达成协议，将他的再循环设计提交成批生产。经过某些改进，并且增加了一个按需供气型调节器代替手控氧气阀后，弗勒斯的自携式水下呼吸器成了呼吸器、潜艇脱险装具

和作战游泳员呼吸器等一大“家族”的直接“祖先”。

在第二次世界大战期间，作战游泳员呼吸器得到了广泛的应用，尤其在英国、意大利和日本更为普遍。游泳员采用不同形式的攻击：一些人驾驶着潜水员制导的“战车”鱼雷；还有些人由袖珍潜艇运到作战地点，从艇上将炸药置于敌人船体的下面。当时，曾获得一些显著的成就，包括击沉了几艘战列舰、巡洋舰和许多商船。

1936年，意大利海军试验了一种“战车”鱼雷系统。在该系统中，驾驶潜水员采用了弗勒斯自携式水下呼吸器的后代，这就是“戴维斯肺”。它的最初设计是一种潜艇脱险装置，后来经英国专利占有者许可，在意大利进行制造。

1942年，英国开始了他们的使用戴维斯肺和潜水服的“战车”计划。经验迅速带来了变革。使用马克1“战车”服的游泳员很快发现，钢制氧气瓶对“战车”鱼雷的罗盘会产生不利的影晌。在英国，铝制钢瓶是一种不能获得的供应品。但是，德国的飞机却采用了铝制氧气瓶。飞机气瓶的大小几乎与马克1的气瓶相同。而且，从敌人丢下的炸弹中，很容易捞取足够数量的解决这一问题的气瓶。



图9-1 弗勒斯装具：最早的
氧气再循环呼吸器



图9-2 原始的戴维斯水下脱险装具，
包括一个呼吸袋，安全阀，二氧化碳吸
收罐，应急氧气气瓶，主要的氧气气瓶
和阀，呼吸袋充气用的单向阀和弹性软
管，以及引向咬嘴的波纹管

到了马克2和马克3潜水服，又作了另一些改变，包括改进了阀件、面窗设计和部件的布局。战后，马克3潜水服成为英国皇家海军标准的浅水潜水服。马克4潜水服一直用到战争结束，它与马克3有一个很大的差别。马克4可以由一个自携气瓶供氧，也可由“战车”鱼雷携带的一个较大的气瓶供氧。这样，使潜水员具有更大的耐力，而又保持了离开“战车”鱼雷独立活动的自由。

美国的作战游泳员在第二次世界大战中分为两类不同的大队。海军的各个海滨侦察队虽然有几种类型的呼吸器，但一般不使用任何呼吸器。美海军的另一些作战游泳员大队，在战略勤务处的领导下，探讨和应用了真正的自携式潜水员-潜水器作战的先进方法。他们使用了兰伯森博士发明的一种再呼吸器，即兰伯森氏两栖呼吸器(简称LARU)。这种呼吸器是一种闭式回路氧气自携式水下呼吸器，用于不允许暴露气泡的秘密行动中。目前，美海军作战游泳员采用的标准装具——埃默森-兰伯森氧气再呼吸器，就是从第二次世界大战中使用的兰伯森氏两栖呼吸器演变而来的。但是，在许多作业中，开式或半闭式装具往往很受欢迎，因为这类装具的工作深度较大，而氧中毒的可能性小。



图9-3 兰伯森氏两栖呼吸器

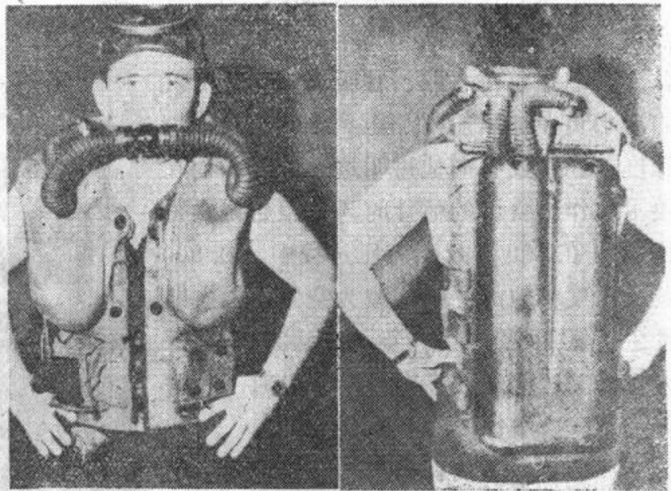


图9-4 埃默森-兰伯森氧气再呼吸器

弗勒斯不了解氧中毒问题，而且，在早期使用他的装具进行的一些浅水实验中显然并未发生这一问题。实际上，早在1878年以前，保罗·伯特（首次提出通过控制减压解决屈肢症问题的生理学家）就已经发现了氧中毒的危险。在实验室动物实验中，伯特证明，高压下呼吸氧气可能导致惊厥和死亡。1899年，另一名研究者发现，长时间呼吸氧气，即使所处压力不足以引起惊厥，也可能导致对肺的严重刺激。

这些实验的结果未能迅速而广泛地为人们所晓，而且在许多年中，潜水员并不知道氧中毒的危险。事实上，直到第二次世界大战头几年对大量作战游泳员进行训练的时候，这一问题的真正严重性才变得明显了。继一些氧中毒事故发生之后，英国人规定工作深度的极限为33英尺。近年来，这一极限已减少至25英尺。氧中毒问题将在9.3.2节更为详细地讨论。

9.1.2 非饱和混合气潜水

1915年，当美国F-4潜艇从304英尺深度被打捞出水的时候，即确立了空气潜水作业的实际限度。海军潜水员能够在那一深度工作，但十分少见。减压要求，加之氮麻醉的影响，使每次潜水的水底停留时间局限在10分钟左右。

几年之后，一位多产发明家——伊莱休·汤姆森认为，氮气可能是潜水员呼吸气中氮气的一种适宜的代用气。他估计，如果采用氮气，工作深度至少可增加50%。1919年，他建议美国矿务局研究这种可能性。汤姆森将他的建议递交了矿务局而不是海军部，因为矿务局实际上垄断了氮气在世界范围内的销售和分配。

1924年，矿务局和海军联合举行了一系列采用氮-氧混合气的实验。最初的工作是在宾夕法尼亚州匹兹堡的矿务局实验站进行的。1927年，海军将其实验潜水队承担的这一研究工作从匹兹堡转移到华盛顿，在那里继续开展这一研究。

最初的一些实验表明，呼吸氮-氧混合气对动物和人体没有损伤作用。所有潜水员呼吸氮-氧混合气时注意到的主要生理影响是：由于氮气导热系数大而引起的寒冷感觉增加和因这种气体的声学特性对人的语音产生的“杜纳德·达克”效应。

使用氮气可以增加潜水深度，这一优点很快得到了公认。1939年，在实验潜水队，一名穿重潜水服、呼吸氮-氧混合气的潜水员在加压舱内加压到500英尺模拟深度。当时，没有向他讲明这一深度。而在要求他作出自己的估计时，他报告说觉得好象是在100英尺。减压过程中，在300英尺深度将他的呼吸气改为空气，他立即发生了氮麻醉。1939年，在从243英尺深度打捞美国潜艇“斯奎卢斯”号时，才进行了第一次采用氮-氧的现场实验。

1940年，兰伯森提出，在自携式水下呼吸器中采用氮-氧或氮-氧混合气，可以限制氧中毒和屈肢症问题。这一提议促使他研制了混合气再呼吸器。美海军目前使用的马克6呼吸器，就是第二次世界大战后由这种呼吸器演变来的。

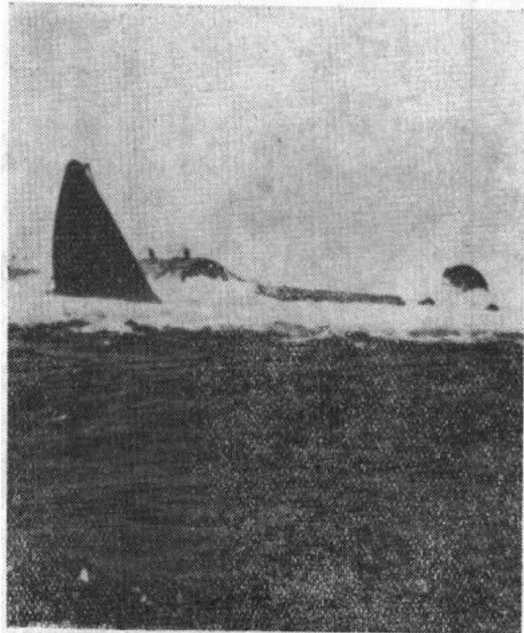


图9-5 “斯奎卢斯”号的打捞，美海军首次使用氮-氧的作业

在这一整个时期，美国海军是氮-氧潜水技术方面公认的世界前驱。但是，海军潜水员不是使用混合气作业或氮-氧作业的唯一潜水员。1937年，一位名叫马克斯·吉恩·诺尔的地方工程师，呼吸氮-氧混合气并使用自己设计的潜水服，在密执安湖到达420英尺。1946年，地方潜水员杰克·布朗（他设计了用其名字命名的轻潜水面罩）进行了一次550英尺深度的氮-氧模拟潜水。后来在1948年，英国海军的一名潜水员采用最初由美国提供的战争剩余的氮气，创造了540英尺深度的公海潜水纪录。

在不太容易得到氮气的其它国家，潜水员采用由其它气体组成的混合气进行了实验。最著名的例子是瑞典工程师阿默·泽特斯特罗姆采用氢-氧混合气进行的研究。众所周知，这种混合气具有爆炸性。但是，人们也知道，如果采用含氧不超过4%的混合气，氢气是不会爆炸的。在水面上，这种含氧比例不足以维持生命。但是，在100英尺水下，这一氧分压相当于水面含氧16%。泽特斯特罗姆创造了一个将空气转变为氢-氧而又不超过4%含氧极限的简便方法。在100英尺深度，他用96%氮-4%氧混合气取代其呼吸

的空气。然后，再以同样比例的氢-氧混合气取代氮-氧混合气。1945年，继下潜到363英尺水深的一些成功的实验潜水之后，泽特斯特罗姆到达了528英尺。不幸的是，由于其水面保障人员的误会，使他过快地返回水面。泽特斯特罗姆来不及充实自己的混合气，也不能合理地进行减压，结果由于上升的影响使他丧生。采用氢气作为呼吸气成份的实验一直零零散散地继续着，但是没有明显的结果。

后来，一位热衷于潜水的瑞士年轻人汉内斯·凯勒继续研究了泽特斯特罗姆的工作，并发展了他自己的呼吸混合气，即根据潜水深度的不同，这种混合气由几种不同比例的气体组成。1962年，由于美海军的部分支援，他在加利福尼亚海区达到了1000英尺多的公海深度。这一罕见的潜水也发生了事故，凯勒的同伴因减压病而死亡。

近年来，为了适应基本的工作要求和工作能力，美海军将混合气潜水大体上分为两个主要范畴：（1）不使用可加压的潜水钟到最大深度为300英尺的非饱和潜水；（2）执行深度更大或水底停留时间更长的各种任务的饱和潜水。这个300英尺的深度极限，主要不是根据装具和潜水员的限制制定的，而是根据下述基本假设而定，即凡是海军较大深度的潜水任务，必然是长时间的作业。这些任务的例子包括潜艇救生和打捞，海底立桩和施工，以及科学实验和考查。这类工作的特点是需要很长的水底停留时间。因此，采用饱和潜水技术能够更为有效地进行。

美海军对混合气潜水的两个主要贡献是：（1）研制了合适的潜水装具；（2）研制了标准的混合气潜水减压表。

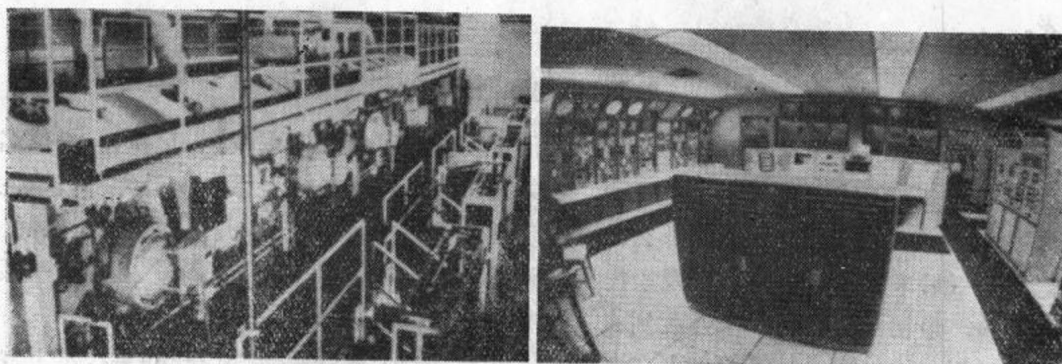


图9-6 美海军实验潜水队在佛罗里达州巴拿马城的海洋模拟设备

9.1.2.1 装具

海军的氮-氧潜水头盔一直是大多数混合气潜水的标准装具，仅在近几年中，才有人设计了最终将取代这种头盔的装具。氮-氧潜水头盔实际上就是经过改进的马克5重潜水头盔。它增加了一个装置，使呼吸混合气通过二氧化碳吸收器再循环，从而节省供气。由于这一特性，需要的气体量为采用开式回路装具进行同种潜水所需气量的1/5左右。但是，这种头盔重100多磅，使潜水员承受了一个十分笨重的负荷。这样就导致了几种既可用于水面供气式潜水作业又可用于自携式水下呼吸器潜水作业的新型混合气装具的研制。这些装具不仅增加了潜水员的工作效率，也扩大了潜水员可以圆满地完成作业的范围。具体装具包括：

1. 马克6半闭式混合气自携式水下呼吸器。这是美海军作战游泳员的标准装具，它

的最大使用深度为200英尺。根据水温和潜水员的活动，自持时间为30分钟~3小时。呼吸混合气既可用氮-氧也可用氮-氧，但是，从节省和潜水员的舒适方面考虑，后者更常用。然而，氮-氧混合气并不是压缩空气，为了避免缺氧，混合气中氧的百分比必须大于空气。

2. 马克8和马克9半闭式自携式水下呼吸器。主要用于饱和潜水，目前已被更为有效的装具取代。

3. 马克11半闭式自携式水下呼吸器。与饱和潜水的人员转运舱配套使用，潜水员通过一条提供呼吸气、热量和通信的生命保障脐带与人员转运舱连接。

4. 多用装具。目前正在研制中，包括各种可因工作要求而异的适宜组件。基本的潜水装具由一个轻的玻璃纤维头盔、一个颈箍和一件湿式或干式潜水服构成。这种设计将允许由水面供给空气，也可以增加一个带有净化器的背包，使混合气再次循环。这种装具命名为马克12装具，它将成为大多数深潜作业所选用的装具。

5. 辅助的保障设备。这是美海军一直致力于设计和发展的另一部分。这类设备包括潜水员用的各种潜水器（如小型深潜器和人员转运舱）和新型潜水钟。后者可使水面供气式混合气潜水员在水下环境中得以保护并获得休憩的场所。这种设备设计得可以提供热量、气体和通信，并可用于使用马克1潜水面罩的各种作业。

9.1.2.2 混合气潜水表

各种混合气潜水表最初是海军研制的。由于实验和经验，这些表经常改变。正是由于这些表的不断改进，因此，准备进行混合气潜水作业的潜水员必须持有最近版本的潜水表。

9.1.3 饱和潜水

在科学技术的强力推动下，1957年，人们首次提出了饱和潜水概念。当时，一位名叫乔治·弗·邦德的海军潜水军医推测，如果暴露时间相当长，机体组织最终将被惰性气体饱和。潜水员一旦被饱和，那么，进一步延长水底停留时间，也无须延长减压时间。邦德上校（后来成为司令官，以及康涅狄克州新伦敦潜艇医学中心指挥官）领导了一系列的实验，最初用动物，后来过渡到人。这些实验验证了这一理论。

1962年，埃·阿·林克的“人在海中I”方案（一个人呼吸氮-氧在200英尺水下停留24小时）和杰·伊·考斯脱上校的“大陆架I”方案（6人呼吸氮-氧在35英尺停留7天）的成功，首次使饱和潜水在公海上得到了实际证明。1964年，这些先驱者推进了潜水深度，增加了潜水时间。在这一年，林克和兰伯森进行了一次2人在430英尺停留2天的暴露；而在考斯脱的“大陆架II”实验中，7人小组在36和90英尺深度停留了30天，并且到更大深度进行了巡潜。

美海军在饱和潜水方面最著名的实验成就，是“海底实验室”方案。1964年，在邦德上校的领导下，进行了“海底实验室1号”实验，4名潜水员在平均深度为193英尺的水下共居住11天。第二年，实施了“海底实验室2号”实验。潜水员分为3个小组，每组10人。每组在205英尺深度的住舱里生活15天，其中一人停留了30天。后来又进行了一些实验，包括潜水员在38英尺深度生活2个月（“泰克蒂特I”实验，1969年由美海军、内政部以及全国航空和宇宙航行局联合发起）和在520英尺停留5天的实验（1970）。

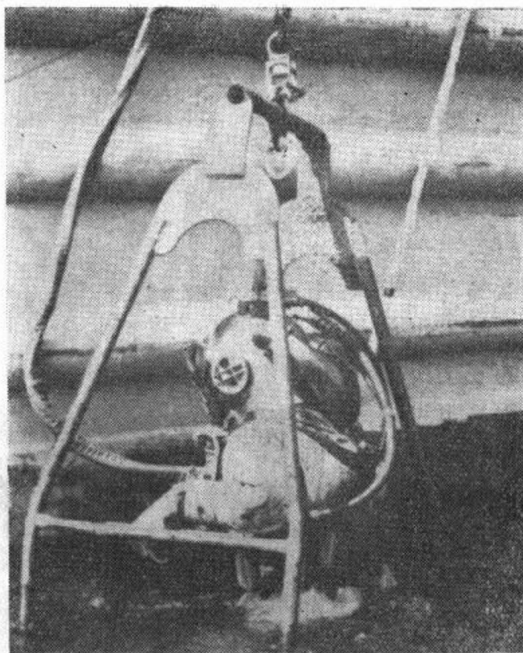


图9-7 配戴再循环头盔的潜水员在波托马克河中进行训练

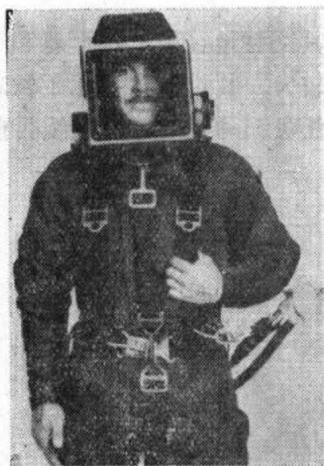


图9-8 马克12轻型硬头盔原型

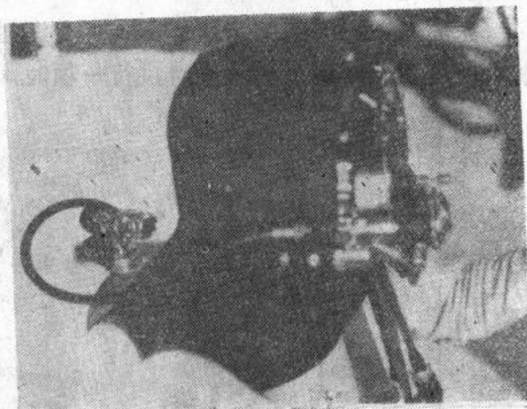


图9-9 配戴美海军马克1潜水面罩的潜水员

迄今进行的饱和潜水已采用了任何由几种呼吸介质组成的混合气，包括从采用空气进行浅深度的水中作业到呼吸氮-氧进行的2000英尺深水实验。采用各种呼吸气的详细资料将在第十四章介绍。

饱和潜水技术已经形成两个基本概念，第一，潜水员在整个潜水期间实际上居住在水下，由一个大的潜入水下的住舱提供保障。住舱设有使潜水员安全舒适的相应设备，并经操纵可与周围深度保持压力平衡。一般说来，住舱不是加压舱，因此，必须为作业结束的适宜减压作好一些准备工作。第二，潜水员乘人员转运舱定期地往返于水下作业地点和水面舱之间，在水面的舱内，他们仍然处于饱和条件之中。但是，比在水下住舱

内的居住条件要舒适得多，而且，危险更少。

由于采用了合适的设备，在最近几年中，已经出现了几种可用于饱和潜水和短期潜水的深潜系统。这类系统在非饱和潜水中的主要优点是，排除了长时间在水中减压的要求，因而增加了潜水员的舒适和安全。由于潜水系统的支持，进行作业的潜水员在他的附近有了一个干燥的安全所。在整个潜水期间，预备潜水员也可以一直在场，从舱内观察工作进展，必要时，可以提供援助。

对于海军来说，深潜系统非常适于舰队潜水的要求。深潜系统的设计适合空运和海运，也可以作为固定设备装载在特殊结构的船上。深潜系统使潜水作业更为安全、灵活，而且节省开支。

轻便型马克1深潜系统可以保障两个2人小组，使其交替地往来于水面舱和工作地点之间，完成一项14天的工作任务。马克2深潜系统比较大，其设计主要用于长时间的饱和潜水，可以保障两个4人小组执行一项时间更长的任务。马克2深潜系统目前正安

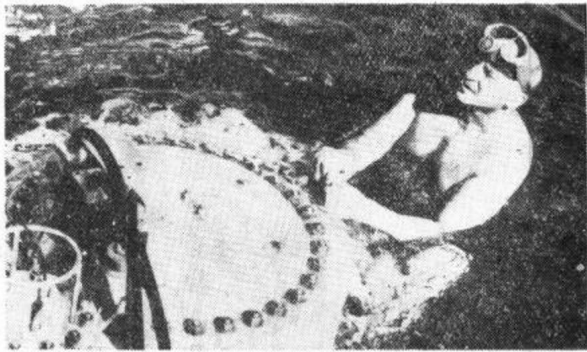


图9-10 埃·阿·林克的“人在海中”方案

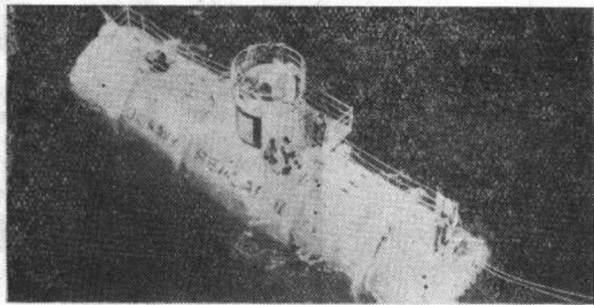


图9-11 美海军“海底实验室”的住舱

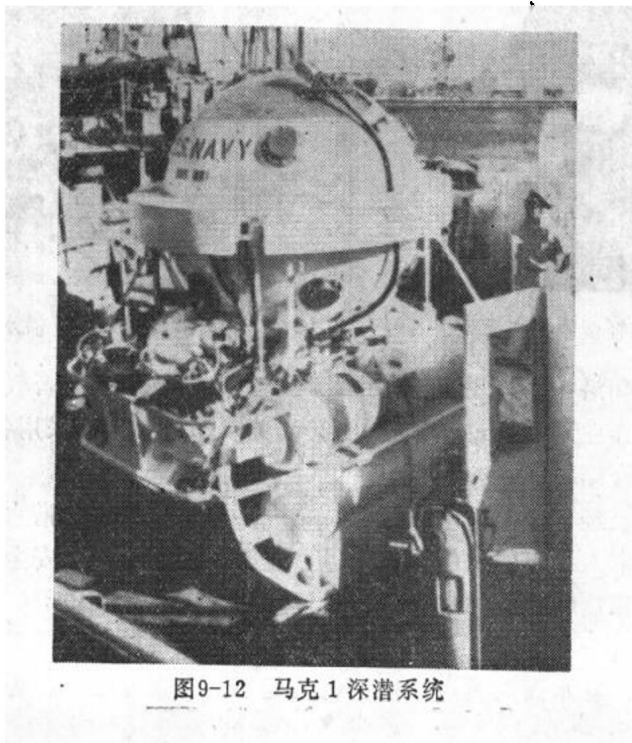


图9-12 马克1深潜系统