

水下医学

封根泉 孟繁荣 编著

国防工业出版社

水下医学

封根泉

编著

孟繁荣

国防工业出版社

内 容 简 介

水下医学包括潜水员和潜艇两方面的医学问题。本书第一部分论述了水下高压气体(高压氮、氧、氩等)、减压、低温等环境因素对人体的影响以及屏息潜水、水下安全、水下视觉、潜水手语等问题,并介绍了有关的防护措施。第二部分论述了潜艇的居住性以及潜艇内各种环境因素(污染、高温、噪声、辐射、缺氧等)对人体的影响及其安全防护途径。

本书可供潜水员、潜艇艇员、潜水安全人员、潜水医生以及潜艇设计人员和有关工程技术人员、专业师生参考。

水 下 医 学

封 根 泉
孟 繁 荣 编著

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

廊坊日报印刷厂印刷

*

787×1092¹/₁₆ 印张 20¹/₈ 465 千字

1981年11月第一版 1981年11月第一次印刷 印数: 0,001—1,400册

统一书号: 15034·2187 定价: 2.10元

编 者 的 话

水下（包括潜水作业和水下航行）事业是国民经济建设和国防建设中具有重要意义的方面之一。随着我国国民经济建设和国防建设的蓬勃发展，水下工作的需要也愈益增进。为了保证水下工作的安全和劳动效率，水下医学是一门很重要的科学。

本书的目的是介绍水下医学的国外研究概况及其主要成果，着重于它的近年进展，作为技术引进，供我国水下工作的参考。

本书除介绍水下各种特殊环境条件对人体的影响外，还着重介绍人体的能耐范围和防护方法，所以它不仅是潜水和潜艇的医药卫生工作人员、潜水员和潜艇人员以及大学有关专业师生的参考书，对于潜水装备和潜艇的工程技术人员来说也是一本有用的参考书。本书没有承袭水下医学的传统体系，可以说是对新体系发展的一个尝试，其中某些名词概念也引入了一些新的观点，可供讨论。

本书的编辑出版承蔡翹教授多次审阅、指正和修正，特此致谢。

由于作者所见有限，错误之处在所难免，请读者多加指正。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 引言	1
第二节 水下医学的目的任务和研究内容	2
第三节 水下医学与有关学科的关系	3
第四节 水下医学的研究装备	3
第五节 潜水装备	5
第六节 潜水员的选拔和训练	11
第七节 潜艇人员的选拔和训练	14

第一篇 潜水员的医学问题

第二章 氮高压综合症	18
第一节 引言	18
第二节 氮高压综合症的一般症状	20
第三节 高压氮气对神经系统功能的影响	22
第四节 高压氮气对呼吸和其它生理功能的影响	23
第五节 氮高压与其它环境因素的联合作用	26
第六节 氮高压综合症的病因和机理	26
第七节 氮高压综合症的防护方法	32
第八节 饱和潜水和巡回潜水	34
第三章 高压氦气和其它惰性气体的生理影响	37
第一节 引言	37
第二节 高压氦气的呼吸效应	38
第三节 高压氦气对神经系统功能的影响	40
第四节 高压氦气对人体热损失和语音品质的影响	42
第五节 高压氦气的其它生理影响	45
第六节 氦-氧饱和潜水的经验和前景	46
第七节 高压氦气影响的防护	47
第八节 其它惰性气体	48
第四章 氧中毒	51
第一节 引言	51
第二节 高压氧气对呼吸系统的影响	52
第三节 高压氧气对神经系统的影响	53
第四节 高压氧气对视、听觉的影响	54
第五节 高压氧气的其它生理影响	55
第六节 高压氧中毒的一般症状及其与氧分压的关系	56
第七节 氧中毒耐力和安全标准	60
第八节 亚高压氧气的生理影响	62
第九节 亚高压氧气的一般症状和安全限度	63

第十节 氧中毒的防护方法	64
第五章 减压病	65
第一节 引言	65
第二节 减压病的一般症状	66
第三节 减压病的生理影响	72
第四节 减压病的机理	74
第五节 体内气体饱和、脱饱和与气泡形成的规律	76
第六节 影响减压病的有关因素	81
第七节 减压表的设计	83
第八节 呼吸空气和氮-氧混合气体潜水减压表	87
第九节 呼吸氮-氧混合气体潜水减压表	103
第十节 利用减压和不减压时间图制订潜水计划	116
第十一节 减压病的加压治疗和辅助治疗	118
第十二节 减压病的其它防治途径	131
第六章 低温伤害	136
第一节 引言	136
第二节 低温耐力	137
第三节 低温的生理反应	142
第四节 低温对工作能力的影响	147
第五节 低温习服	148
第六节 低温防护	151
第七节 冻伤治疗	158
第七章 水下感知觉和潜水手语	159
第一节 水下视觉	159
第二节 水下听觉和味觉	162
第三节 水下空间定向	163
第四节 潜水手语	164
第八章 屏气潜水和潜水服的医学问题	166
第一节 屏气潜水	166
第二节 潜水服设计的几个医学问题	172
第九章 潜水事故与安全中的若干问题	177
第一节 潜水事故中的一些问题	177
第二节 水下挤压伤	178
第三节 放漂和爆炸伤	179
第四节 溺死	180
第五节 绞缠和呼吸气体障碍	182
第六节 水下生物伤	182
第七节 潜水安全注意事项	183

第二篇 潜艇的医学问题

第十章 潜艇的生命保障和紧急救生	186
第一节 引言	186

第二节	潜艇的空气调节	188
第三节	食物供应	192
第四节	供水问题	193
第五节	潜艇事故和水下救生	194
第六节	海上救生	196
第七节	救生包	198
第八节	人体生物钟和生活作息的有关问题	199
第十一章	潜艇舱内污染	203
第一节	引言	203
第二节	潜艇舱内大气污染的特点	204
第三节	潜艇舱内大气污染的常见成分及其生理效应和安全限度	204
第四节	来自人体的污染	212
第五节	影响人体污染的一些因素	218
第六节	二氧化碳中毒	219
第七节	一氧化碳中毒	226
第八节	细菌和尘土污染	233
第十二章	高温和舒适温度	234
第一节	舒适温度	234
第二节	允许温度	236
第三节	潜艇中的高温问题和高温指标	239
第四节	高温对体温和汗率的影响	241
第五节	高温对心血管、呼吸、代谢和其它影响	242
第六节	高温症	243
第七节	全身高温耐力	244
第八节	高温习服	251
第九节	高温防护方法	252
第十节	高温伤害的治疗	253
第十三章	缺氧	255
第一节	引言	255
第二节	氧气的摄入和运输	255
第三节	缺氧的主诉症状与动脉血氧饱和度的关系	256
第四节	缺氧的呼吸效应	257
第五节	缺氧对心血管系统的影响	258
第六节	缺氧条件下的物质代谢变化	259
第七节	缺氧对神经系统的影响	260
第八节	缺氧时的工作能力	260
第九节	缺氧耐力	262
第十节	缺氧习服和缺氧防护	263
第十四章	晕船病（航海运动病）	264
第一节	主要症状	264
第二节	发病机理	264
第三节	晕船病与摇摆的关系及其适应过程	265
第四节	防治方法	267

第十五章 噪声伤害和防护	270
第一节 引言	270
第二节 噪声的一般生理影响	272
第三节 噪声对言语通讯和工作效率的影响	274
第四节 连续噪声对听力的影响	276
第五节 间断噪声和脉冲噪声的听力伤害	284
第六节 噪声耐力和安全限度	287
第七节 噪声的防护方法	289
第十六章 辐射伤害	292
第一节 引言	292
第二节 辐射的相对生物效应	294
第三节 影响辐射生物效应的因素	295
第四节 辐射病的症状及其与辐射剂量的关系	298
第五节 放射性污染的人体内照射	304
第六节 辐射安全限度	306
第七节 辐射防护	309
第八节 辐射伤害的急救和治疗	310

第一章 绪 论

第一节 引 言

全世界的海洋面积为 36106 万平方公里, 占地球总面积的 71%, 比陆地大两倍多。海洋深度最浅的不到一米, 而最深的太平洋海底为 11022 米。海洋的平均深度约 4 千米左右, 但是面积很大的浅海深度只有几百米, 大陆架深度大部分在 150 米以内。全世界海洋的海水总容积达 13.7 亿立方公里, 它是一个立体活动空间, 所以海洋的实际活动范围比陆地地面大得多。

海洋具有丰富的资源, 它还远远没有被人充分开发利用。比如海洋每年可以提供海产一千多亿吨, 而实际采获量仅仅只有千分之一左右。容积接近 14 亿立方公里的海水, 其本身也是一项重要的资源, 海水不仅是食盐的主要来源, 而且还含有 60 多种元素, 包括镁、硫、钾、氯、钠、钙、锂、溴、碳等总量达 50 万亿吨以上。海水中还有不少稀有元素, 比如每升海水含铀 3.34 微克, 全部海水含铀量达 40 亿吨, 比陆地上的铀蕴藏量多 4 千倍。

海底矿藏则更是丰富, 仅就石油而言, 蕴藏量估计达 900 亿吨, 占全球总蕴藏量的三分之一。目前全世界海底石油钻井总数已有数千个, 每年海底石油、天然气的总产值达 40 亿美元以上。除了有丰富的石油资源外, 海底已发现大量金属矿源, 估计海底矿藏总量达几千亿吨、其中锰占半数左右。以大陆架地区而言, 已发现镍的蕴藏量达 164 亿吨, 铜 88 亿吨, 还有大量的锰矿。这些金属矿产和矿石开采量每年总值也达几亿美元。更不用说珊瑚、珍珠等珍贵海产的获取了。

近年各国海底军事活动也达到了频繁的程度, 除潜水艇外, 诸如海底导弹基地、海底仓库, 海底供应站, 海底军事哨, 声纳站以及海底军事据点和水下海港工程等等。不仅项目很多, 而且活动频繁。

以上这些材料充分说明, 海洋事业对于国民经济的发展和国防建设来说, 都具有极为重要的意义。

瑰丽富饶的海洋很早就吸引了人类的兴趣。潜水、游泳和渔业差不多有同样悠久的历史, 待至采珍珠事业发展以后, 潜水便已达到接近裸潜的最大深度, 不过早期历史上很少有确切的记载。就我国而言, 宫廷中珍珠出现很早, 但关于采珍珠工作的文字记载则主要在五代以后, 古书上称之为“没人”, 这就是中国古代对潜水员的一种称呼, 表明当时潜水事业已有相当的发展, 不过主要用于采获海底产物如珍珠珊瑚之类。到了明代初期以后, 潜水事业已相当发展, 然而仍只限于裸潜, 并且一般也只是为了采获海底产品之目的。在军事上, 我国古代海军——古书上称之为“水师”也有潜水活动, 深度较深、时间较长的潜水, 一般用管子通向水面进行呼吸, 深度也只限于裸潜的最大深度以内。

使用基本的水下装备——潜水钟和潜水衣进行水下作业的历史, 相对地说还并不很久。据国外文献记载, 公元前四百余年, 有人就曾使用一种古老的潜水钟作潜水作业, 但是这

只能认为不过是一种传奇而已。确切的历史记录最早的潜水钟出现于 1690 年, 潜水深度 18 米, 时间 90 分钟。最早的潜水服出现于 1715 年。但是经过不到 300 年的时间, 运用现代的潜水装具已可使潜水员下潜到达几百米深度进行水下作业, 人在深潜器内的下潜深度则已超过一万米了。在这个发展过程中, 具有突出意义的是本世纪四十年代以来的进展, 许多现代化的水下技术, 基本上都在这一阶段 (迄今不过四十年左右的时间) 发展和形成起来。这是与海洋事业和国防建设实践要求的迅速发展密切联系的, 同时也是与现代科学技术的高速发展紧密相关的。

对于水下医学一词来说可以有两种理解: 一种是单纯指人在水中工作的医学问题。从这一概念出发, 水下医学就仅仅包含潜水员在水下工作中的医学问题。另一种理解则是人利用潜水艇和潜水舱 (深潜器等等) 进行水下活动, 也包括在水下工作这一概念之中。采取这一概念, 那末水下医学不仅应当包括潜水员的医学问题, 还应当包括潜水艇和潜水舱的医学问题。本书采取后一概念, 这是因为在水下工作实践中潜水员与潜水舱、潜水艇的活动存在着密切的相互联系, 在很多场合, 很难截然划分。比如有的潜水舱 (潜水器) 的人员可以出舱在水下活动。潜水艇当它遇险救生时, 艇员也需要出艇逃生。而潜艇救生中潜水员与遇险艇员之间也需要进行必要的合作。有的潜水舱和深潜艇, 舱内气压与周围的水压相等, 它所遇到医学问题既涉及到潜水员所遇到的医学问题, 也涉及到潜水艇的密闭环境医学问题。而潜水员可能遇到的低温、氧中毒等问题, 在潜水艇内也可能遇到; 反过来潜水艇中可能遇到的缺氧、噪声、二氧化碳和一氧化碳中毒, 以及气体污染等问题, 潜水员有时也可能遇到。这些情况说明, 这两类医学问题在实践上是相互联系和交叉着的。把它们组合成一个完整体系, 从理论上和实践上说都比较合理, 目前国外水下医学书籍也是按照类似的原则安排其内容。

同时, 从水下工作的实践目的来说, 潜水员与潜水艇和潜水舱都是为了完成水下工作任务, 可以说它们都是人进行水下活动的一些不同方式, 都是水下工作的一些不同方面。从发展来看, 用受人控制的机器人和 “机器人” 替代人在水中的劳动, 乃是今后科学技术发展的前景。从这个意义上讲, 未来的水下作业可能更多地将是人在潜水艇和潜水舱内的操作和观察, 因此从发展来看, 水下医学的内容和重点也必将从潜水员的医学问题逐步更多地向潜水舱和潜水艇的医学问题过渡。从这个发展趋势来看, 这两类医学问题综合成一个完整的体系, 更有其实践上的必要性了。不过由于潜水员和潜水艇的医学问题在许多方面又有不同的特点, 所以本书分成一、二两篇分别叙述这两类医学问题。当然, 正如上面所说, 这两类医学问题决不是截然分割, 而是相互联系的, 所以本书的一、二两篇之分, 可以说仅仅只是为了叙述的方便, 决不能把它们孤立起来。

第二节 水下医学的目的任务和研究内容

水下医学是医学科学的一个特殊分支, 其任务是为了解决水下劳动中的医学问题, 目的是为了保证人在潜水条件下的安全、健康和工作效率。它的研究内容包括:

1. 水下活动各种特殊条件对人体的影响及其防护问题

这是水下医学最丰富的, 也是最主要的一个方面, 包括水下工作条件下的气压、气体成分、温度、辐射、噪声等等对人体的影响及其防护措施。本书将主要着重于这一领域中

几个重要问题的介绍。

2. 水下工作条件下常见病症的生理病理机制及其防护途径

水下常见病症包括减压病、晕船病等等,这类病症的防治是水下医学的一个重要方面。

3. 潜水员选拔训练中的医学问题

为了叙述的方便、本书对此将在本章中专列一节作一简略的概述,至于其详细内容则拟在各种潜水特殊条件对人体的影响和防护问题的有关章节中分别进行叙述。

4. 各种水下工作装备的有关医学问题

因为这一方面问题,尤其是有关潜水艇的仪表和操纵器设计中的医学生理学问题,主要属于人体工程学范畴。我们将在人体工程学的专著中另作详细的介绍。本书只准备就潜水服方面的几个主要医学问题作些简单介绍。

水下医学是为水下实践服务的一门医学科学,它对于保证水下工作条件下的人体安全具有重要的作用;它对于改善水下工作条件、保证人在水下工作条件下具有较好的工作效率也具有重要的意义。水下医学的研究成果直接服务于水下事业,它的实践意义是十分明确的。

水下医学工作人员应当经常深入实际,向水下工作人员了解水下工作中存在的问题,听取他们的要求和希望,总结他们的经验,与他们共同研究解决水下医学方面的主要困难和问题,克服水下工作中的困难和问题,不断提高水下工作的安全 and 质量。

第三节 水下医学与有关学科的关系

水下医学与潜水(水下)工程技术科学有着密切的关系,它们两者都是直接为水下工作实践服务的科学。不过后者主要着重于物的方面的研究,而前者主要着重于人体方面的研究。

水下医学与水下生理学具有更为密切相互联系,两者也有许多相互交叉和难于明确划分的地方,不过水下生理学主要着重于生理机制和生理基础的研究,而水下医学则着重于水下劳动中的临床病症及其防治。

水下医学是医学科学的一个分支。它主要研究水下条件下的一些特殊的医学问题,而普通医学则主要研究一般条件下的医学问题,因此,他们同是医学科学这一门总的学科的各个不同方面。水下医学与航空医学、空间医学、高山医学等等相似,都是军事医学的各个分支。它们各自阐明各种劳动和军事活动下的医学问题。

普通医学、劳动医学和医学科学的其他各个不同领域全面地总合在一起,就构成了医学科学完整的体系。所以水下医学的研究作为医学科学总的体系的一个不可分割的组成部分来说,具有它不可忽视的理论意义。

第四节 水下医学的研究装备

水下医学的研究装备大体上可以分成四大类:

第一类是一般医学生理学的研究装备。

这类研究装备包括各种医学生理学的测量仪器、生化和气体分析装备,药理和毒理分析装备,组织病理学观察装备,电生理仪器以及其他医学生理学研究装备,由于这些研究

装备已为一般医学生理学研究所常用，所以也就没有必要作过细的介绍。

第二类是水下遥测遥感装备。

这是为在水下测量各种生理参数用的装备。包括体温、脉率、血压、心电、脑电、皮电、肌电等遥测遥感装备。这类装备不仅是水下医学现场研究中十分有用的装备，而且也是对水下工作人员●（尤其是潜水员）进行生理遥测监护的必要装备。遗憾的是，目前为止这一方面的发展远远跟不上实践的需要，与航空宇航人员的生理遥测监护相比，也有较大的差距。所以是一个有待发展的领域。

第三类为水下环境条件的测量装备。

包括水下周围环境条件，潜水服内的环境条件，潜水艇和潜水舱内环境条件等的测量装备。环境条件包括：气压、气体成分、温度、湿度、污染、辐射、噪声、振动等等。这类装备并非水下医学研究直接使用的装备，但它们却是水下医学研究中不可缺少的辅助测量装备。这些装备的精度和质量对于水下医学研究的质量和精度产生极为重要的影响。

第四类为水下环境条件的模拟装备和特殊治疗装备。

这些装备乃是水下医学研究中最具有特殊性的装备。下面列举几种主要装备作些简略的介绍：

1. 高压舱和潜水模拟舱

这是一种模拟潜水高压环境的装备，它的舱内气压和气体成分可以随意调节，从1个大气压调节到几十乃至上百个大气压。舱内外安置有各种生命保障装备、模拟劳动和工作的装备，以及医学、生理学研究仪器。这种舱如果附带有一个水舱，那末就可以模拟在深水（高压的水下环境）中工作的条件。为了便于人员在实验中途的出入，它通常附带一个气闸（或减压舱），准备出入的人员可以在这个气闸（或减压舱）内进行加压（或减压），然后进入（或离开）高压舱。图1-1是高压舱的一个实例。

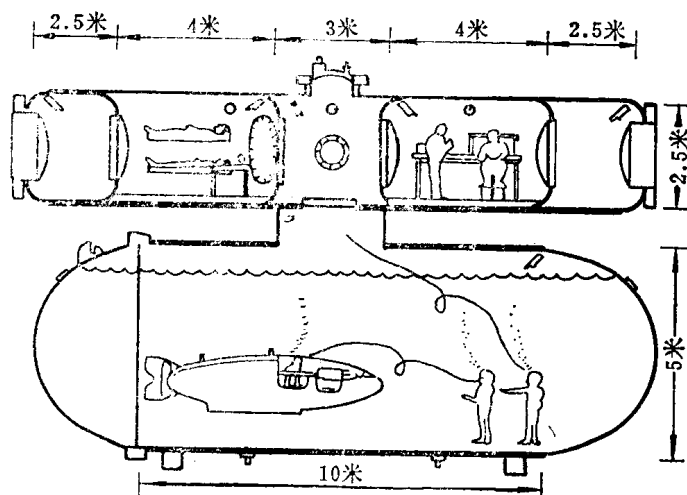


图1-1 高压舱示意图

上图为高压干舱，其右侧部分为操作室，左侧部分为休息舱。舱的两端各有一个小的空舱，即为人员出入用的气闸（或减压舱）。下图为一个高压水舱，用以模拟深水作业的环境条件，二名潜水员正在水下作实验。水中的“艇”乃是一个模拟的潜水器（或潜水舱）。

2. 高压治疗舱

其性质与高压舱相似，不过主要是为高压治疗之用，所以只有干舱没有水舱。结构一般比实验用高压舱简单些。图1-2是一个实例。

3. 潜艇模拟舱

这是一个模拟潜艇密闭环境的实验舱，舱内设备和环境相当于潜艇的工作舱（操作舱）和生活舱。用以试验人在这种环境中生活和工作的生理影响、污染以及生命保障等问题。

4. 潜艇脱险训练舱

● 包括潜水员和潜艇工作人员，下同。

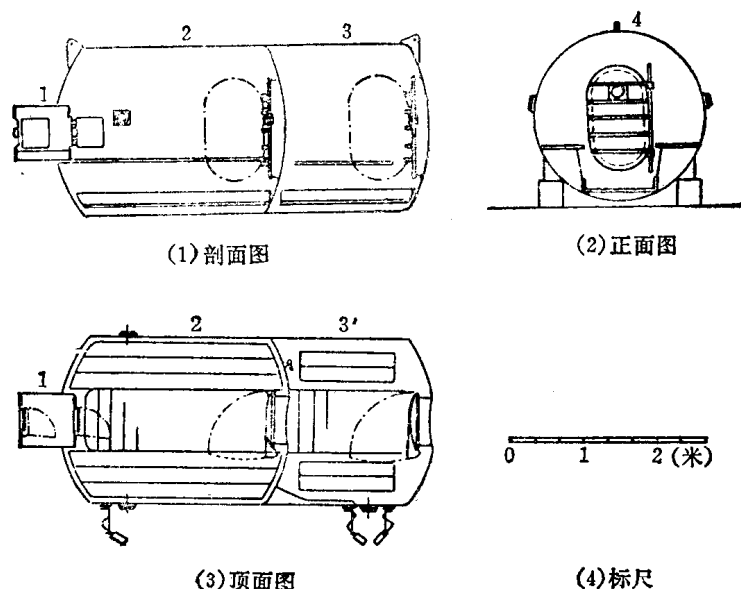


图1-2 高压治疗舱示意图

1—食物供应闸；2—主舱；3—副舱（作为人员出入加压或减压之用）；4—门。

这是一个模拟潜艇失事后，艇员从几十米深的水下，采用适当的防护装备（如潜艇救生服等），上浮出水逃生的装备。它既是一种研究装备，也是一种训练装备，可以用来训练潜艇人员脱险救生活活动。

5. 各种特殊环境条件的模拟舱

用来模拟水下各种特殊环境条件。如高温舱、低温舱、噪声室、辐射舱等等。其目的是研究这些环境条件对人体的影响及其防护方法。

第五节 潜水装备

最古老、最简单的潜水是不用任何装备的屏气潜水，这种潜水目前仍有使用，一般用于浅潜和短时间的潜水，如采获珍珠贝等。很多浅水渔民仍习用此法潜水。有的则戴上眼罩以有利于水下观察。这种潜水一般有效作业深度在 10 米上下，有的可达 30 米左右。时间一般只有 1~2 分钟或稍多一些。屏气潜水员一般使用过度换气一定时间之后，充分吸入气体，然后屏气下潜，以延长屏气时间。

近年有人利用吸入氧气来延长屏气时间，不过有时会导致原因不明的猝死，所以值得警惕。较深的屏气潜水最好使用安全带、鳍和一些简单的潜水装备。也有人为了延长水下时间，采用一根通气管，通出水面，用以直接呼吸水面的空气。也有人采用一个气囊，盛有空气或氧气，在水下供重复呼吸之用。所有这些不用供气装备的潜水通称为“裸潜”。“裸潜”方法简单，不用复杂的装备，机动性和隐蔽性好，所以在军事上十分有用。近年裸潜的世界纪录已达 78 米深，但一般很少超过 30 米。裸潜如果深度较深，时间较长，则不仅很难作到，而且很不安全。所以 10 米以下的潜水，以及较长时间的水下作业，一般都要采用专门的潜水装备。

潜水装备指的是为潜水目的而使用的各种专用装备，大体上可以分成三大类：即潜水员潜水用的装备，潜水艇或潜水舱。以及水下供应与救援装备。下面分别作些简单的介绍。

第一类是为潜水员潜水用的装备

这类装备主要有四个部分,即: 1. 潜水装具; 2. 水面(或水下)生命保障装备; 3. 回升或减压装备; 4. 其他辅助装备。兹分述如下:

1. 潜水装具

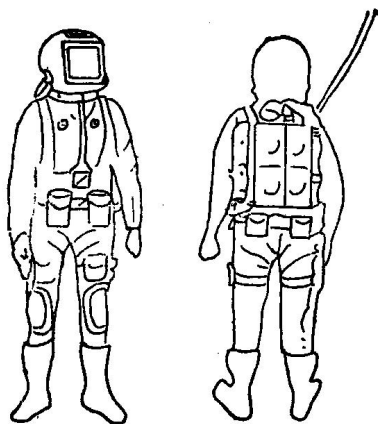


图1-3 潜水装具之一例



图1-4 深潜水装具(可以对抗高压)

这是为潜水员在水下工作时穿用的特制的防护装具。图 1-3、1-4 是二个实例。这种装具的主要部分是: (1) 头盔, 包括面罩或眼罩(见图 1-5); (2) 供气装备; (3) 潜泳和低温防护服。这些部分的主要结构可参考图 1-6。

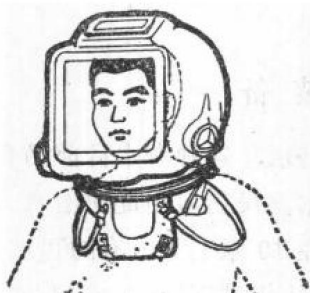


图1-5 潜水装具的头盔

此外还有下列主要附属装备: (1) 水下活动装具, 包括鳍、行动器等; (2) 水下通讯器材; (3) 加重和漂浮装备, 用以调节下沉和上浮, 图 1-6 中的胸甲内腔, 部分地起着这一作用; (4) 安全带; (5) 水下照明装备、深度计、罗盘和定向器、手表和多种用途的小刀等; (9) 工具, 包括水下加工、装配和焊接用具, 水下摄影, 水下探测等装备。

潜水装具的呼吸装备主要有三种类型:

(1) 水面供气系统

这是最早也是最常用的一种供气方式, 使用于头盔

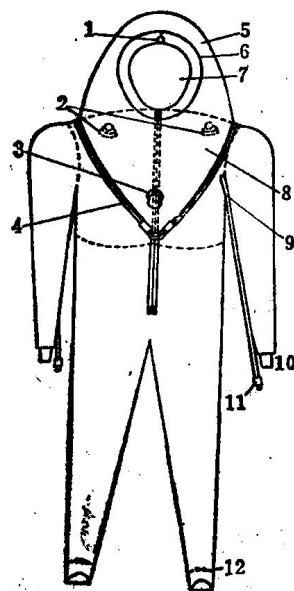


图1-6 潜水装具结构示意图

1—面帘(眼罩或面罩)的密封环扣; 2—供气管道阀门; 3—头盔释气阀; 4—头盔与衣服之间的密封环; 5—头盔; 6—面帘密封环; 7—面帘(面罩或眼罩); 8—胸甲(胸甲和漂浮器的内腔作漂浮调节之用, 容积不小于22升); 9—胸甲(漂浮器)内腔的充气管; 11—充气管阀门; 10、12—袖和膝部的弹性密封环。

用硬质材料制成的硬帽潜水装具中。这种供气方式最早是用人操作压缩空气机（气泵），压缩地面的空气，通过气管进入潜水员的硬质头盔之中，供潜水员呼吸之用，多余的气体和呼出的气体通过排气阀门直接排出于水中。近年则用电动的气泵压缩气瓶，或自动化的气体混合器和气体调节装备供气。这种供气方式比较安全可靠，但不方便，机动性差，限制了潜水员水下活动的区域，而且气体浪费也较多。

近年用潜水器或潜水舱下潜的潜水员，以及饱和潜水的潜水员，在水下出舱工作时，有的气体供应系由潜水舱用脐带式供气管对潜水员供气，其基本原则与水面供气相同，不过供气装备设于水下深潜器或潜水舱内而已。有的则是由水面供应（或生命保障）船通过气管向潜水舱供气，再由潜水舱通过脐带系统向出舱作业的潜水员供气。其供气的基本原则仍与水面相似。

（2）自携供气装备潜水装具

这种潜水装具附有氧气瓶或压缩空气瓶，在水下由潜水员自己调节供气，而不从水面供气。这种潜水装具一般不用硬质头盔，而是通过呼吸面罩呼吸。由于它不通过水面供气，所以在水下机动性强，活动水域宽，不需大量水面人员的照顾，这些优点在军事上都是十分重要的。不过因氧气瓶或压缩空气瓶的贮气量有限，自携供气装备的潜水时间一般只有几十分钟或1小时左右，不能太长。长时间水下作业，需要中途出水更换贮气瓶。同时它不如“硬帽潜水装具”安全，所以一般作业深度不宜超过30~40米，最深不超过60米，最好在10米深度上下使用最为方便，而且有效。图1-7是其一例。

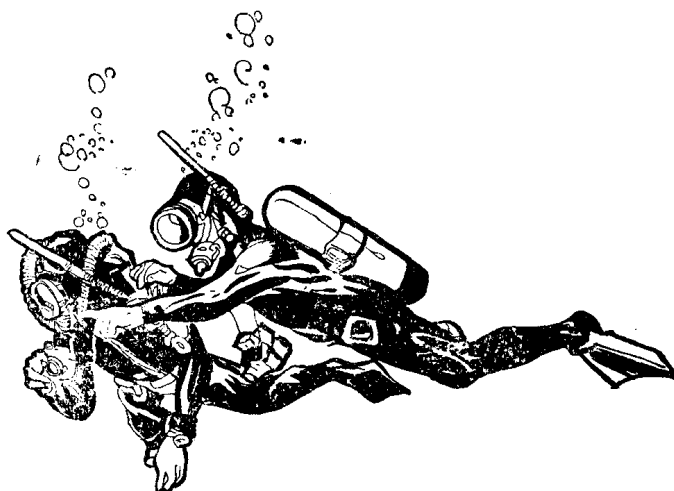


图1-7 自携供气装备潜水员

自携供气装备有三种供气方式：

（a）开环式

吸入气体由贮气瓶供给潜水员，呼出气体通过排气阀排于水中。这种方式比较简便，但用气量太大，缩短了潜水时间，经济上也不合算。

（b）闭环式（闭式回路）

基本原理是将人的呼出气体通过二氧化碳吸收器，将二氧化碳和水气吸收后，再重复供人使用。这样每次呼吸只需补充被人体吸收了的氧气，而无需将呼出气体全部排掉，大大节省了气体的利用率。闭环呼吸装备的优越性可以从下列简单的计算看出来：人每次呼吸，吸入空气中的氧气约占21%，实际被人体吸收的只有4~5%，大约16%的氧气又被呼出体外。如果开环呼吸，那末呼出气体中的这些氧气连同呼出的氮气一起被排入水中。采用闭环呼吸则不仅呼出气体中的16%的氧气又可重复被利用，而且呼出的氮气又可作为吸入气体重复使用，这样每次呼吸只需补充大约4~5%的氧气即敷使用，可以大大节

省贮气瓶的贮气要求，延长贮气的使用时间和水下作业时间。在水下压力较高的情况下，这一点表现得尤为突出。比如在 30 米深度的潜水中，压力达 4 个大气压，气体容积被压缩 4 倍，人每次呼吸消耗的氧气只占吸入气体容积的 1%，如果开环呼吸则 20% 左右的氧气被排入水中，浪费更大。闭环呼吸（闭式回路）一般只需贮存和供应纯氧（但人实际呼吸的气体中却包含不断被吸入和呼出的氮气，而非纯氧）。不过氧气阀门要调节合适，以免氧气中毒和氧气不足。闭环呼吸（闭式回路）还要注意二氧化碳吸收剂的效率可靠，并要防止污染。当二氧化碳吸收剂受潮或失效时，吸收能力就会大大降低，从而造成二氧化碳浓度过高，使潜水员中毒，则是很危险的。这一点需要切实注意，每次下水前务需进行认真的检验。近年为了提高闭环系统的供气效率，已经有了多种可以吸收二氧化碳释放（或再生）出氧气的物质来替代二氧化碳吸收剂，在潜水中应用已有多年。有人还主张用可以透过氧气，排出二氧化碳，而不透水的塑料膜制成的可供水下呼吸用的人工鳃，来实现水下的呼吸和气体供应，不过尚在研制中。

（c）半闭环系统（半闭式回路）

如果使用压缩空气进行闭环（闭式回路）呼吸，而不是供应纯氧，那末每次供气中有 79% 的氮气随同氧气一同进入吸入气体中，而人需要补充的仅仅是氧气，这就需要将多余的一部分氮气排出于水中，这种系统叫做半闭环（半闭式回路）系统。半闭环系统的用气量比闭环（闭式回路）系统稍多，但比较安全可靠。

（3）轻装潜水装具

这种潜水装具利用自携装备潜水装具的呼吸装备，不过气体由水面（或水下潜水舱）通过脐带系统供应。它的结构比硬帽潜水装具轻便，机动性好。一般还附有自携的供气装备，以便万一水面或水下（潜水舱）的脐带系统发生故障，供气不良时，可作紧急供气之用。这种系统也可以采用闭环和半闭环方式，以节省气体的供应。近年硬帽潜水装具的供气系统也有考虑改用半闭环方式以节省供气量者，这也许是今后的发展方向之一。

潜水装具头盔以外的部分，是为潜泳和低温防护之用的。潜水装具的这一部分主要有二种类型：一类叫做干式潜水服，其外层是用不透水的材料制成，袖口和膝部用密封环密封，外界水不能进入服内，所以潜水服内是干的衬衣。这种潜水服因为内部是干的，所以隔热性能较好，可以较好地对抗水下低温。但是长期的实践证明：这种衣服实际性能并不如设想的那样好。这是因为在水下工作时间较长之后，人体皮肤排出的水分会使内衣潮湿；再加上人在水下易于利尿，也会使干的内衣潮湿，从而失去了它的隔热性能。此外，干式潜水服必须使服内压力与周围水压相等，服内压力太低，会造成挤压伤害；服内压力太高则会造成所谓的“放漂现象”。所以对于长时间的深潜水作业来说，干式潜水服的实际使用效果并不如设想那样地理想。

这些实践经验就促使人们考虑采用另一类型的潜水服，亦即所谓的湿式潜水服。湿式潜水服的外层是用互不通气的气泡构成的泡沫塑料制成。此种潜水服袖和膝等处并不密封，所以水可以进入服内，但是由于衣服紧贴于身体，人体与衣服之间只有薄薄一层水，这层水虽然与外界水相通，但实际上与外界水的交流很少，所以很快可以被人体加热。用互不通气气泡的泡沫塑料制成的潜水衣外层，由于它的气泡互不通气，所以它可以保证一定的隔热性能，这种潜水服虽然看来隔热性能较差，但在长时间潜水中实际使用时，隔热性能

并不比干式潜水服差。它具有以下优点：

- (a) 质量柔软舒适；
- (b) 由于服内压力与周围水压自动平衡，所以不存在挤压伤害和放漂问题；
- (c) 衣服与人体间有一层薄薄的水，使用时感到比干式潜水服舒适；
- (d) 任何部位的撕裂对潜水安全和隔热性能影响都较小；
- (e) 隔热性能不受出汗和利尿的影响。

不过湿式潜水服也有不足之处：(a) 易碎；(b) 不能对抗污浊之水的侵蚀和污染；(c) 不能长期于深水中使用；(d) 水的压力对它的体积影响比硬帽潜水装具为大，因此在不同深度上浮力影响较大。

2. 水面（或水下由潜水舱供应）生活保障装备

其中最主要的是气体供应装备，古老的方式是用人力来压缩空气，供水下使用。人力气泵有用“手推轮子”式的，也有用手“来回压杆”式的，目前仍有使用。不过无论那一种人力气泵，在潜水深度较大时，耗费人力都很大。一个人下潜到几十米深，往往需要几个人压动气泵才能满足供气要求，而且费力很大。所以近年已改用电动的气泵和用压缩气瓶供气。为了使气体混合的比例和压力满足潜水的要求，近年还设计了自动调节气体成分和压力的供气装备，这就方便和安全多了。气体的供应一般通过脐带式的气管，通入潜水装具的头盔或呼吸器内。除了气体供应外，水面的生活保障装备还应包括对潜水员的生理遥测监护装备，水下电视监护装备（用以观察潜水员水下活动情况），水面对水下活动的通讯指挥，以及安全保障和医务保障的人员和装备。加压治疗舱就是这种必要的装备之一。为了潜水安全，这种装备是不可缺少的。水面的这些生活保障和安全保障装备一般是由水面的生活保障船（潜水安全保障船——潜水船）或潜水安全保障筏（潜水筏）运载和供应。

3. 下潜和回升（减压）装备

最常用的是潜水钟和吊篮或吊架。图 1-8 是吊架的一个实例。潜水员可在吊架上回升（减压），并在不同的深度上按照减压表的要求调节回升速度和分站停留适当的时间。潜水钟实际上是一个水中可升降的干舱，它的内部气压与外界水压相等，潜水员可在潜水钟内下潜或回升，所以它在某些场合下被称作“人员运输舱”。古老的潜水钟依靠下半部分进水来调节舱内气压，所以它的下半部分是有水的。现代的潜水钟则是一个干舱，为了长时间减压的需要，潜水钟内还可设有睡眠、休息和食物供应装备。

吊架和潜水钟都是水下减压装备，水下减压虽然设备比较简单，但是安全性总不如水面船上减压为好。当水下出现激流和鱼类袭击时，水下减压就有很多困难。所以近年人们已经设法改用水面船上减压的方法。具体作法是在船上设一个加压舱，叫做甲板加压舱。潜水员通过潜水钟（人员运输舱）在高压条件下（一般采用减压表第一站的压力）运出水面，将潜水钟的舱门与甲板加压舱的舱门相接，潜水员直接从潜水钟的高压环境进入甲板加压舱的高压环境中去（与潜水钟内的气压相等），然后在甲板加压舱内按减压表的要求进行减压。如果潜水深度不太深，则可采用潜水员直接从水下快速（7.5米/分）上浮出水的方

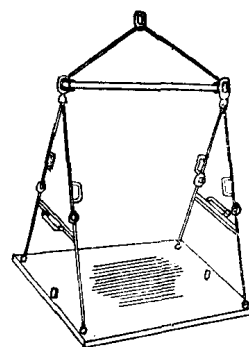


图1-8 潜水回升（减压）用的吊架