

人 在 水 下 生 活

〔苏〕 П. А. 波洛维科夫 著
B. П. 布洛夫科

张光第 余承安 译

林贺新 校

海 洋 出 版 社

1985 年 · 北京

内 容 简 介

人，能否长期在水中生活？本书作了肯定的回答。作者不仅详细描述了人们进行下潜的各种试验，而且介绍了水下生活和工作的技术保障，展望了未来的潜水技术。全书知识丰富，趣味盎然，对于具有中等文化程度的读者来说，确是一本难得的科普读物。

人 在 水 下 生 活

〔苏〕 П. А. 波洛维科夫 著
B. П. 布洛夫 科

张光第 余承安 译

林贺新 校

海 洋 出 版 社 出 版

（北京市复兴门外大街）

新华书店北京发行所发行

北京市朝阳区红霞印刷厂印刷

开本：787 × 1092 1/32 印张：8 $\frac{11}{16}$ 字数：210千字

1985年3月第一版

1985年3月第一次印刷

印数：1—8,000

统一书号：17193 · 0351

定价 9.90 元

目 录

绪 论 世界的海洋	(1)
第一章 在水下的人	(7)
潜水员怎样呼吸.....	(7)
在不同的介质中.....	(12)
三条途径.....	(17)
第二章 冲向深处	(20)
“大西洋”行动.....	(20)
局面打开了.....	(32)
第三章 在海里就象在家中一样	(35)
美国海军的“海洋实验室”.....	(37)
库斯托船长的水下居住点.....	(50)
“海中人”计划.....	(65)
第四章 第二个浪头	(76)
海底移民——业余爱好者.....	(76)
漏过的深度.....	(88)
水下宇宙实验室.....	(108)
第五章 大陆架的边界	(128)
“希拉伯—3”的失败.....	(128)
是 159 米!.....	(145)
第六章 什么是水下房屋?	(158)
略谈点技术.....	(158)
水下房屋和海洋.....	(159)

水下房屋的居住性·····	(172)
关于供给和储存,或提高自持力的途径·····	(181)
第七章 潜航员在水中工作 ·····	(186)
第八章 带“饱和”但是……没有水下房屋 ·····	(201)
甲板综合体的第二次新生·····	(202)
潜航员在潜艇上·····	(217)
第九章 水下之行始于陆上 ·····	(223)
从“移位零点”出发·····	(228)
必要的阶段·····	(232)
第十章 向绝对深度下潜 ·····	(240)
通向深处的阶梯·····	(242)
氮障? 没有!·····	(252)
是否能给氮找到替代物?·····	(266)
文献索引 ·····	(273)

绪 论

世界的海洋

在大海的波涛下隐藏着无数的财富。取之不尽用之不竭的海洋能够给人类提供在自然界中所需要的绝大部分资源：食物、金属矿石、化工原料和煤等能量资源。

毫无疑问，海洋的财富是极其丰富的，但也不是无限。开发处理不当时，海洋的一些非常宝贵的储藏能会很快地贫瘠，会首先导致海洋食物资源的枯竭。

自古以来，人类就在海里捕鱼、捞藻、猎取其它动物。把现在和古代作一比较，就会发现海洋作业的基本原则“狩猎”和“打捞”千年来是没有什么变化的。诚然，现代的海上作业人员和史前的祖先不同，他们的拖网渔船和渔轮上装备有现代化的导航和搜索设备，大的渔网和采捕机，大功率的绞车和冷藏装置。尽管今天捕渔量仍然在很大程度上取决于渔人的运气，但是捕渔和打捞其它水产品的规模是非常之大的，以致于当人们带掠夺性地对待大自然时，会给海洋生物界带来损害。这已经有很遗憾的先例，如有的海上作业给鲭鱼和鲱鱼、堪察加螃蟹和沙丁鱼、海蜇和贝类，以及其它许多有价值的水产资源带来很大破坏。

显然，时机已经成熟，世界上参与利用海洋资源的各国应派代表聚到一起，共同考虑：如何从实践中永远排除对海洋动植物的野蛮掠夺，如何安排保护即将绝种的鱼类等动

物，如何较快地增加最宝贵的海中“居住者”的数量。为此必需具备两个条件：满足所有国家要求，并且把事情摆在科学的基础上。根据新的要求，海洋生物学应该被提到较高的地位，并以研究海洋“居住者”生活的科学变为实际开发海洋动植物界的有效工具。

如能这样对待海洋，那必定给渔业带来裨益。人们如以爱护的态度对待海洋财富，海洋就能够给人们提供比现在所获得的要多1—2倍的东西。但是，有科学根据的和有监督的猎捕和捕捞不是唯一的，也不是最好的增加收获水产品的方法。过渡到固定的海洋经济方式才是从根本上解决问题的办法，这不是捕鱼，而是在水下“渔场”繁殖鱼；不是打捞螃蟹、螯虾和食用贝类，而是在水下养殖培养它们；不是采野生藻类（海带、海藻），而是在水下“种植”收割。未来的水产业应该是这样的。

海洋的矿物资源是丰富的。据一些学者的意见，在水下储藏约80%的石油和天然气。世界石油开采的六分之一是在沿海浅滩，主要是在墨西哥湾和波斯湾及里海。在日本海沿岸开采磁铁矿砂，每月开采几千吨高质量的铁矿砂。类似这样的磁铁矿也在阿拉斯加沿岸被发现，铬铁矿也在那里发现。在印度和巴西的沿岸发现了有色含钍和其它稀有元素的矿砂，在南非沿岸找到了金刚石。

矿物资源在人类文明存在的一段时间内是不能恢复的，因为从地质含义上讲，这段时间是很短的。在对待海底这种财富方面，显然，人们只应考虑如何尽快地并廉价地利用大自然的这些“礼物”，有效地和经济上有利地利用被海水淹没的地下资源。

现代的科学和技术能够充分地、全面地和合理地开发海洋资源。但是要完成这项宏伟的任务需要作很大的努力。需

要创造用于识破海洋的秘密和有效地开发海洋财富的新的技术设备和方法。

人们首先应该注意这样一些海域：当合理地使用自己的劳动和资金时，这些海域能够提供最大的经济效益。

海洋占地球表面的大部份，约 8 亿 6 千 1 百万平方公里（陆地占 1 亿 4 千 9 百万平方公里）。科学家把海底分成许多区域，直接与大陆衔接，好象是大陆延伸到水下的海底部分叫做大陆浅滩或者大陆架。自岸边延伸到约 200 米深度的大陆架区域，尽管只占 8 % 的海底表面，而在面积上仍不小于非洲。这里海底的坡度不大，平均约 1° 毗连大陆沿岸的大陆架分布很不平均。南北美洲的太平洋沿岸几乎没有大陆架，而北海、波罗的海和里海，波斯湾和墨西哥湾的大部分海底都是大陆架。大陆浅滩也占濒临亚洲东南部和澳大利亚北部相当大的一部分海面。

大陆架大部分布满粗糙的沉积物，这些沉积物是由河水带到海里或者是由于海岸被冲毁所形成的。大陆架是自然界独特的选矿场，几千年来，海浪破坏海岸，泥沙被涨落潮流带走，下沉海底，形成含有宝贵矿物的矿床（例如，上述的磁铁矿砂就是这样）。据推测，正因如此，大部分已知的矿物产地是在现代的或从前的大陆架区域。

在限定大陆架的界限之外，海底急剧下降，平均坡度 $5-7^\circ$ ，形成所谓大陆坡，大陆坡里好象是在海里升起的大陆底层。它约占海底面积的 20 %，它的下限延伸到 3—3.5 千米的深度。

所有其余的 70 % 以上的海底表面是深海，或叫海床。在深海的许多地方有山脉和高原，有时有相当大的高度差（可达几千米）。有的地方水下山峰冒出海面，形成孤岛和群岛。深海上面的水层厚度在 3 至 6 千米之间，平均是 5 千米。

在太平洋、大西洋和印度洋海底的外围，有许多狭长的海沟和凹地是海洋世界最深的地方。深水凹地的海底坡度非常大，而面积不超过海洋总面积的1.5%。

海底地形就是这样。从技术观点看，研究和开发数千米的深海，要比研究和开发海洋的“上层”复杂得多。国外科学界和经济界认为，为了获得大陆架区域和大陆坡上部的资源所必须的投资和劳动力耗费并不大，而且能很快地得到补偿。在最近几年和几十年内，看来这一较浅的海区将成为首先注意的目标。同时在世界海洋所有深度上的科学搜索工作，毫无疑问地将继续扩展。

经济使用大陆架资源的特点是：在绝大多数的情况下开采石油和捕鱼、挖掘矿石和捕捞藻类及水产品，都是在海面上进行。有效地使用深水和海底资源，仅仅是在有限的几十米的深度上。

众所周知，富有氧气和具有阳光照射着的海水最上层，存在大量的生物，在大陆浅滩区域生活着90%以上的海洋居住者。不久将来的水下“种植场”和“养殖场”，即将设置在沿岸防风暴的海湾内。在寻找适宜“耕种”的地带时，人们将逐渐过渡到开发辽阔的海底。随着时间的推移，大部份大陆架将变成水下的“田野”和“牧场”。水下“养殖者”和“水下耕种者”将不得不掌握潜水员的技能，因为海水深处将是他们经常的工作地点。

看来，水下的石油工作者和矿工们也都需要掌握潜水技能。现代的“水上城市”和巨大的浮动钻井平台允许工作深度不超过150与200米。开采埋藏在水下30与40米的矿石，暂时还较困难。要知道它与海洋生物界不同，海洋的地下资源往往隐藏在海底以下几百米的深处，今天人们要以很大的代

价才能得到海底石油，设置在海面上的笨重的石油钻井设备往往成为风暴和飓风的牺牲品，从而造成数十人的生命和数以百计的经济损失。

如果水下“耕种”暂时还属于遥远的未来，那么海底矿藏的研究人员现在已经同意把设备搬到海底，离汹涌的波涛和狂风远些，从而已经迈出最初的大胆的步伐。例如，著名的“壳牌”石油开发公司，在美国加利福尼亚海岸安装了水下百米深的钻井平台，因而证明了直接从海底开采石油和天然气是可能的。

新的方法带来了新问题。设备的安装和设备的调试、现场修理和事故排除、设备的更新和换装以及其它各种技术工作，在海面上是比较容易完成的。当在水下钻孔和使用水下钻井时，这些工作都变成了复杂的难题。“壳牌”公司的专家为了上述目的不仅使用了潜水员，而且还使用了遥控设备——水下机器人。

在国外已经研制了几十个水下机器人，并把它用于事故应急作业、救生作业和科学研究。这些机器人，在结构上和使用条件上存在很大差别，但在原理上却有许多类似的特点。它们都装有电视设备和机械“手”——操纵机，从岸上或者从水面保障船上用电缆供电。机器人的移动和机器人“手”的工作也都是遥控的。坐在操纵台前的操纵人员通过电视屏幕能看到机器人活动区域的一切，操纵员操纵手柄、踏板和转换开关，就能使机器人的“手”完成比较简单的操作，例如：转动阀轮、用扳手紧固螺纹接头、取回海底底质样品。

在现代科学技术水平条件下，“机械手”的能力比人手是大为逊色的。目前，借助“机械手”能使用正常工作的石油钻井设备，甚至进行小修。但是，完成过分复杂和非标准

的操作，例如：设备的安装、设备的调试，或排除复杂事故，机器人是无能为力的。

广泛流行这样的看法，当全面地研究和经济地开发大陆架时，非得有人在工作地点直接参加工作、非得有人的经验、非得有人迅速判断复杂情况和寻找非公式化的解决办法不可。一个老问题：是用人，还是用自动机呢？可能唯一的正确解答是既要用人，也要用自动机。只有当人和技术设备密切配合时，在海底的工作才会确实有效、富有成果和经济上有利。

这样，“在水下的人”——潜水员一定会对开发海洋深处的事业作出重大的贡献。人依据潜水医学和潜水生理学的最新成就，制造特殊的技术工具和装具，就能不断地扩大人力所能及的界限。世界上有许多国家在人处于大深度下长时间逗留方面进行了实验，实验的成绩使人确信，人类的确很快将成为大陆架的主人，然后，进一步成为大陆坡上部的主人。

第一章 在水下的人

有史以来，人就在空气中生活，人的机体如果不与周围环境相适应，是不能生存的。

人要呼吸。在每一次吸气时，人的肺就从空气中吸进一份生命所必需的氧气。而在每一次呼气时，人的机体就释放出多余的二氧化碳，还排出生命活动的其它大部份气体产物。生理学家把这种过程叫做外部气体交换。

潜水员在水下工作时也要呼吸。呼吸什么呢？当然是呼吸空气，说得准确些，就是呼吸混合气体，在混合气体中氧气是必不可少的。关于混合气体的成分和为什么需要用混合气体来代替空气，我们将在这一章中讨论。

潜水员怎样呼吸

水比空气稠密得多。水介质的压力超过大气压力许多倍。当下潜深度每增加10米时，压力就增加1公斤/厘米²。因此，敢于下潜到500米深的潜水员，将承受标准大气压50倍的压力。

如果肺里气体的压力和胸廓外部水的压力之间的压差，只不过是100—200毫米水柱时，则呼吸器官的肌肉经过几小时就疲倦了。当压差为0.2公斤/厘米²，或稍大一点时，还能吸几口气。如再进一步增加压差就会导致肺部组织损伤。因此为了人在水下呼吸要使用相当压到人体周围水压力的压缩空气或人造混合气体。

向潜水员提供呼吸用的气体，这一问题最简单的解决办

法是用所谓的“通气”装具。潜水员穿上牢固的不透水的潜水服，并与刚性的潜水帽水密联接，这样潜水员就与水完全隔绝了。新鲜的空气不断地从岸上或从保障船上沿软管压到潜水帽里，而多余的空气则与呼出的气体相混合排到水中。由此实现潜水服内的正常通气，排除二氧化碳气和其它呼吸产物，恢复正常的氧气供给。

通气装具被广泛地应用。在所有形式的潜水装具中它能最大程度地保证人在水下生活的正常条件。潜水员在这种装具里感到温暖、干燥，他的头在宽敞的潜水帽内，有足够的视野，由于空气是不断地从水面上供给的，所以呼吸时间的长短不受限制。潜水员在通气装具中能在水下停留数小时，能完成各种困难和复杂的工作。但是这种装具也有缺点。装具沉重，使潜水员在垂直方向上的移动失去了自由，他不能在水里游泳。由于压入和排出的气流不平衡，致使潜水服的容积经常改变。为了防止浮出水面，潜水员要负重和穿重鞋，以便能稳固地立足海底，并能沿海底走动。拖在潜水员后面的空气软管限制了潜水员的活动。而且，当潜水员沿海底走动时，不可避免地从海底搅起泥沙，从而影响能见度。

软管和信号电缆是潜水员经常操心的东西。堵塞或压住软管意味着断绝空气，软管或信号电缆弄乱在上浮时将会发生严重困难。有时潜水员割断卡住的软管被迫浮出水面，此时潜水员只能用在潜水服中剩余的空气。

通气装具最大的缺点是经济性太差，当把普通的空气供到潜水员的潜水服里时，问题还不大。但是在深度上必需改用人工混合呼吸气，在这种情况下，使潜水服通气既不方便又不经济。因而在深水下潜时应用改进的装具，这种装具的潜水帽里装备有再生大气成分的设备。沿软管压入的新鲜

混合气进入喷射器，潜水服内混合气借助喷射器被吸入通向再生盒的管道。碳酸气在那里和吸收剂起化学反应而被排除。在这样的装具中供给潜水员的气体消耗大约可以减少到原来的十分之一。

水下自由和轻松移动的要求，促使人们制造另一种型式的装具，即独立的装具。

水肺（水肺是一个水中呼吸器，包括潜水员背的气瓶及戴的面罩）的发明就有可能砍断联系保障船和潜水员的“脐带”。摆脱累赘的软管和笨重的潜水服，人就会感到自己象水中的鱼一样自由。简单的使用很可靠的水肺给千百万人开辟了通向水下世界的道路。

带水肺的潜水员能下潜几十米深，并且可以和穿通气装具的潜水员相媲美。为了呼吸所必需的空气，水肺潜水员自己背着气瓶。水肺的自动控制装置把压力为150—200公斤/厘米²的压缩空气降压到相当周围水的压力，并在吸气时供给潜水员必要数量的空气。

水肺属于独立的开式循环呼吸装具，因为呼气直接呼到水中，这时耗费掉许多未被利用的氧气。空气中含氧气21%，而血液中血红素平均只来得及“结合”这个量的1/5。当压力提高时，被吸入空气中的氧气量与深度成正比例增加，而被肌体吸收的氧气量仍和原来一样，因此没被利用的氧气消耗的百分比还要大大地增加。不参加气体交换的氮气，只不过是过通过肺从气瓶中压入到水中。因为肺的换气量在10米水深时增加一倍，而在20米深增加二倍等等。在苏联制造的水肺ABM-1M中，空气的储存量能保证在水面呼吸一小时，而在40米的深度上则只能保证呼吸6—8分钟（考虑了潜和上浮的时间）。

增加在深处逗留的时间的最简单的办法就是携带大量的空气贮备。这也就是增加气瓶的数量和容积,或者增加气瓶中空气的压力。但是,这时水肺变得过分笨重。于是出现了带软管装置的联合式装具,压缩成8—10个大气压的压缩空气从水面上的大容量的气瓶中沿软管直接进入穿在潜水员身上的水肺自动装置。在空气供给突然中断或软管弄乱的情况下,潜水员可把软管装置转换为用他自己背带的气瓶应急供气,能很容易地摘掉软管,并安全地浮出水面。但是这种办法还是应用软管,通气装具所固有的缺点和工作中的不便没有消除。潜水员失去了独立性——水肺最宝贵的性能。

最有前途的独立装具是闭式呼吸循环装具。在这种装具中,依靠混合气在肺——呼吸口袋系统中的不断循环,理论上能够百分之百地利用所有的氧气储备。潜水员所呼出的混合气体在进入口袋并从口袋回到肺里以前,通过带化学吸收剂的滤纸,该吸收剂即从混合气体中清除碳酸气。呼吸时氧气的消耗靠供氧装置从气瓶中补充,供氧装置自动地保证氧气流入呼吸口袋。

还在战争年代就曾制造了这类最初的不完善的氧气呼吸设备。在其中纯氧起混合呼吸气的作用。这些设备使用复杂,可靠性差,民间潜水员几乎都不使用它们。氧气呼吸设备允许潜水员长时间停留在水里,但允许的深度有限。用这种装具由于氧中毒,不可能长时间的下潜到超过15—20米的深度。

为了增加闭式循环呼吸装具的下潜深度,可以用其他的混合呼吸气代替纯氧(例如,一般的空气)。这就允许下潜到与用水肺时相同的深度。但是如果机体吸收混合气中氧气的速度(这一速度与许多因素有关,如身体的负荷,潜水员的心理

状态，周围介质的条件等等）超过氧气进入呼吸口袋的速度或者相反，则缺氧或氧中毒就不可避免。为了不发生这种现象，就必须经常地观察混合气中的氧气的分压，并且在偏离标准的情况下，调整氧气的供给速度。

带闭式呼吸循环和自动调节混合呼吸气成分的呼吸装具，是今天最有前途的装具。它具有最大可能的经济性，同时允许下潜到任何深度和允许在那里工作几小时。在这种设备的结构中包含有非常复杂的部件；根据不同的下潜深度自动地给出最佳的混合气成份的程序装置；混合气的氧气量传感器在广泛的范围内能可靠地工作；执行装置把混合气的成份保持在规定的量值上。在世界上有许多国家制造这种装具，首批装具不久前试验成功。

在六十年代，人们曾制造了较简单而又非常经济的设备，它们属于所谓半闭式循环呼吸的独立装具。这些设备的气瓶含有普通空气或者预先准备好的人造混合气体。人造混合气各成分的相对数量是根据预定的不同下潜深度而定的。通过自动调节器保证气瓶中的混合气不断地进入呼吸口袋。呼吸过程、混合气的循环和它的化学净化与闭式循环装具类似。只有一个重要区别，就是一部分混合气，在呼气时，或是不不断地、或是周期性地排到水中，与此同时气瓶中新鲜混合气不断的进入，这就可防止混合气中各成分的正确比例的失调。为了使系统有效地工作，这样的控制混合气成分的系统，只要在相同的时间间隔内把很少的混合气排到水中即可正常工作，与水肺相比排气少得多。半闭式循环设备的经济性约比开式循环呼吸装具经济性好10倍。混合气中的各种气体成份分别保存在各气瓶里，并且它们分别地输送到呼吸口袋，这就可以根据下潜深度调节混合气的成分。

这样,向潜水员提供呼吸气的问题,已经可以认为原则上是解决了。要解决这个问题是因为在任何甚至是最完善的呼吸设备的条件下,潜水员的能力终究也还是有限的。这是因为人的机体缺乏适应在水中生存的能力。

在不同的介质中

人们的研究已证明,当呼吸混合气时,人体的生物活性是随压力增加而变化的,并且实际上混合气中的每一成分都开始表现出新的、通常是有害于机体的性质。为潜水生理学作出巨大贡献的法国学者鲍里·伯尔写过“压力作用于活的机体,不是作为直接的物理因素,而是作为化学因素……。”

人的机体需要不断地补充氧气。如果吸入的混合气中氧气的分压下降到低于 0.16 公斤/厘米² (这相当于正常压力下16%的氧气),那么就将出现众所周知的缺氧现象。缺氧的特征是没有任何预先“警告”的症候,而是突然失去知觉,因此很危险。

氧分压的过分增加,对人健康的危害也不小。即使是完全健康的人,在正常的大气压力下呼吸纯氧,经过2—3昼夜也要出现肺水肿,而后引起严重炎症,这就是肺部氧中毒的表现。当压力增加时,这种现象出现的更快。高的氧分压也开始对神经系统发生影响。当压力为 $2-2.5$ 公斤/厘米²时 (相当处于10—15米水深),经过1.5—2小时,就可能出现痉挛、意识模糊和完全失去知觉。

氧中毒的程度既与下潜深度有关,也与潜水员在水下逗留的时间有关。例如,在20米深度上,当逗留10分钟时呼吸

纯氧是安全的，当逗留几小时后，死亡就不可避免。用实验方法测定出长时间逗留时的氧分压的最大允许值为0.6公斤/厘米²。这就意味着，随着深度的增加，吸入的混合气中含氧的百分比必须降低，从水面以上的20—60%降到百米水深时的2—6%，或当水深为200米时降到1—3%。混合气的其余部分为氧的稀释剂，这部份气体对人体不起有害作用。在地球表面的大气中，这样的“稀释剂”是氮，在正常的压力下，它对人体毫无影响。但是当潜水员使用压缩空气的装具下潜到40—60米深时，这时氮开始对人起一种在一系列征候上类似醉酒的作用，这种现象被称之为氮麻醉或者氮醉。在超过70—80米的深度时，氮麻醉实际上使潜水员丧失劳动能力。在这种情况下破坏了人的思维能力，对本人安全漠不关心，这毫无疑问对潜水员是一很大威胁，甚至可能导致潜水员死亡。

对氮麻醉作用的研究暂时还不够充分。人们认为，当分压为4.5—5公斤/厘米²时，溶解在机体组织中的、特别是溶解在骨髓含脂肪物质中的氮，开始对中枢神经系统起作用。某些研究人员倾向于否定氮麻醉的存在，而把深水麻醉解释成由于在高的压力下，过多地溶解在血液中的氧气和二氧化碳气的共同影响，以及在深处呼吸稠密和粘滞混合气的人的呼吸神经中枢受到破坏的缘故而造成的。但是关于在大的分压下氮毒性的看法，是得到大多数生理学家赞同的。

这样，呼吸压缩空气的潜水员，在接近100米的深度上，就要遇到特殊的障碍，潜水员要克服这个障碍就不能不冒生命危险。空气，没有它，人能在水面上生存是不可思议的，而在大深度上它却变成潜水员最凶恶的敌人。当压力增加到一定程度时，空气中的每一种成分都将成为能毒害人体的毒