

中国海洋学会推荐

人类未来的

水下生活

THE FUTURE OF HUMANS
LIVING UNDERWATER

[美] 埃里克·西德昊斯 著

刘保华 张同伟 王 露 韩薇薇 等译



海洋出版社

中国海洋学会推荐

人类未来的

水下生活

THE FUTURE OF HUMANS
LIVING UNDERWATER

[美] 埃里克·西德昊斯 著

刘保华 张同伟 王 露 韩薇薇 等译



海洋出版社

2016年·北京

图书在版编目(CIP)数据

人类未来的水下生活 / (美) 埃里克·西德昊斯
(Erik Seedhouse) 著; 刘保华等译. — 北京: 海洋出版社, 2016.8

书名原文: OCEAN OUTPOST: the future of humans
living underwater

ISBN 978-7-5027-9388-3

I. ①人… II. ①埃… ②刘… III. ①潜水 IV.
①P754.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第145958号

责任编辑: 苏 勤 唱学静
责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编: 100081

北京华正印刷有限公司印刷

2016年8月第1版 2016年8月北京第1次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1 / 16 印张: 11.5

字数: 200千字 定价: 48.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093

总编室: 62114335 编辑室: 62100038

海洋版图书印、装错误可随时退换

译者序

《人类未来的水下生活》是一本描绘人类探索地球上最后广袤的、尚未开发区域的水下路线图。它描述了在深海极端环境中生存或者死亡的关键因素。本书内容主要包括：①研究了个人如何自由潜水至200米，人类如何在超过700米海深去适应呼吸混合气体，以及技术如何创新以使人类进入难以忍受的领域；②研究了在深海极端环境中遇到的独特问题，如减压病，讨论了人体如何响应增加的压力，以及自适应机制失效时会发生什么；③为了实现人类水下生存的目标，研究了新技术如何发展，如新的载人潜水器/无人潜水器，先进的推进系统，水下救援系统，减压方法，以及革命性的生理干预策略；④描述了潜航员如何选拔和培训，以及一个典型的水下任务需要什么；⑤记载了潜水医学前沿。

本书作者埃里克·西德昊斯（Erik Seedhouse）是航空航天和高/低压研究领域的专家，特别是在空间生命科学和潜水生理学方面。本书自2011年出版以来，受到了全球潜水、深潜领域的一致好评。

本书第一篇由刘保华、张同伟翻译，第二篇由张同伟、王露翻译，第三篇由王露、韩薇薇翻译，第四篇由韩薇薇、王露翻译，附录部分由刘保华、张同伟翻译。最后，张同伟和王露对全书进行了统稿。韩薇薇对全书译稿进行了校对，使其行文更加流畅，可读性更强。此外，本书并未关注到我国“蛟龙”号载人潜水器。因此，译者在本书第二篇第4章增加了4.4节，用以简述“蛟龙”号载人潜水器，请读者参考。

译者还要感谢本书作者埃里克·西德昊斯对本书翻译和出版的支持。埃里克提供了书中所有附图的电子版图件。

译文虽然经反复校对和斟酌，书中不足和疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

译者

2016年3月于青岛

序 言

在当今这个时代，卫星图片甚至可以描绘出最偏远大陆块的惊人细节，但我们这个星球的绝大部分却被海洋所覆盖。这片浩瀚的海洋就像太空一样人迹罕至，人类几乎很少能到达水下几百米进行探险。每当大多数人认为太空是最后的边界时，我们应该提醒自己，就像机器人在火星表面爬行一样，地球上仍然存在大量尚未完成的探索，我们应该记住，地球的绝大部分都从未被人类亲眼看到过。

把光线投射到深海永恒的黑暗中，将是21世纪最伟大的科技成果之一。专家们说，生命源于海洋。很多人的度假方式表明，很少有活动能比重游我们水下的起源地更让人享受。无论是与海豚嬉戏，还是去骚扰被钛合金笼子防护的鲨鱼，亦或是透过观光潜水器舷窗去拍摄奇异的水生物种，人类对海面以下的东西具有一种天然的亲和力。尽管我们拥有在海底建立永久居所的技术已经超过50年了，但有史以来在地球上生活过的1000亿人中，没有一个曾经在水下长期生存过。

《人类未来的水下生活》这本书勾画出人类未来的水下世界，描述科学技术如何使人类适应长期的水下生活。本书还揭示了21世纪水下探险的先驱者和最终的定居者将会面临的挑战，不久将会证明这是人类历史上最伟大的冒险之一。

为了实现人类在水下永久生活的目标，需要发展大量的新技术，包括新型载人/无人潜水器、先进的推进系统、水下救援系统、减压方法，以及从液体通气到人工鳃的革命性生理干预策略。一些技术发展和医疗干预将需要在创新上取得巨大突破，而另一些可能是不折不扣的激进，看起来比科学更科幻。

《人类未来的水下生活》将逐步介绍技术如何演进，潜航员如何选拔和培训，以及一个典型的水下任务需要具备什么条件。书中还记载了水下技术的前沿，它们将最终把人类带入另一个我们曾经只能猜测的神秘世界之中。

这本书献给那些正在为推动人类在海洋深处建立一个永久性住所梦想的实现而接受危险和挑战的人们，以及支持他们的人。

致 谢

在完成本书的过程中，作者有幸得到了五位评阅人对本书内容给出的积极评价，以及施普林格（Springer-Praxis）出版社的克莱夫·霍伍德（Clive Horwood）和他的团队在这本书出版过程中给予的指导。作者衷心感谢那些允许在本书中大量使用其图片的人们，特别是常压潜水的杰夫·帕克（Jeff Parker），无限制自由潜水世界纪录保持者希尔伯特·尼特奇（Herbert Nitsch）、帕特里克·穆希姆（Patrick Musimu）和坦尼娅·斯特里特（Tanya Streeter），科学家罗伯特·费雷塔斯（Robert Freitas）博士、菲尔·努伊唐（Phil Nugten）博士、阿兰·博德纳（Alan Bodner）和埃里卡·莎戈塔依（Erika Shagatay），希迈珍水空间（SEAmagine·Hydro Space）公司总裁（CEO）威廉·库能（Will Kohnen），开放式呼吸器潜水世界纪录保持者马克·埃利亚特（Mark Ellayat）以及霍克斯（Hawkes）海洋技术公司。

作者也深深地感谢克里斯汀·克雷西（Christine Cressy）对细节的关注并且用极大的耐心促进了本书的出版，感谢吉姆·威尔基（Jim Wilkie）绘制了本书的封面，感谢斯图尔特·哈里森（Stenart Harrison）找出了本书几个参考文献的来源。

如果没有对我的两只猫贾斯帕（Jasper）和米妮·马赫（Mini Mach）的特别感谢，那么致谢将是不完整的，是它们给予了我无尽的消遣和娱乐。

关于作者

埃里克·西德昊斯（Erik Seedhouse）是一名志向像太空宇航员一样工作的航天科学家。在诺森比亚大学体育科学专业完成他的第一个学位后，作者加入了传说中的美军伞兵团第2营，这是世界上最精锐的空降团。在伞兵团期间，埃里克有6个月时间待在伯利兹。在那里他接受了丛林战术训练，并沿着伯利兹-瓜地马拉边界开展了多次边境巡逻。后来，在塞浦路斯阿卡马斯基地花了数月时间学习沙漠战争的复杂性。他在大力神C130飞机上完成了超过30次跳伞，在直升机上完成了超过200次速降，以及发射完成了大量反坦克武器，数量远远超过了他的记忆。

回到较为平凡的学术世界，作者开始攻读谢菲尔德大学医学科学专业硕士学位。他通过赢取100千米超远距离跑步比赛奖金来支持其硕士学位研究。在1992年获得100千米世界锦标赛排名第三和创造100千米北美赛区纪录后不久，作者转向超远距离铁人三项，先后在1995年和1996年赢得了世界耐力铁人三项锦标赛冠军。此外，他在1995年还获得了首届世界双人铁人三项锦标赛冠军以及世界最长铁人三项冠军——“臭名昭著”的德卡铁人三项，该项目要求参赛选手连续游泳38千米，骑行1800千米，以及跑步422千米。

在1996年再次回到学术界时，埃里克开始在德国航天局航天医学研究所攻读博士学位。在开展博士学位研究工作期间，他依然抽出时间赢得了夏威夷超人锦标赛和欧洲超人锦标赛冠军，也完成了穿越美国自行车赛。由于他在世界超远距离三项全能运动的成功，埃里克曾接受数十家杂志和电视台的采访。1997年，智族（Gentlemen's Quarterly, GQ）杂志提名他为“世界上适应力最强的人”。

1999年，埃里克决定找份真正的工作，他从专业三项全能选手退役，并开始在温哥华西蒙弗雷泽大学运动学院从事博士后研究。在西蒙弗雷泽大学，埃里克与表演型自由潜水者联合创建了西蒙弗雷泽自由潜水计划。2005年，埃里克曾担任拉斯维加斯比洛奇航天中心宇航员培训顾问，并撰写了一本航天

参与者培训手册——《太空旅行》。他是一位英国星际学会和航空航天医学协会会员，并在最近成为加拿大航天局宇航员招募活动的最后30名候选人之一。目前，埃里克是一名航天项目经理，其工作职责包括加拿大军队加速训练教官、载人离心机操作员和载人高压作业飞行指挥官。在业余时间，他还兼任载人航天顾问、铁人三项教练和作家，并计划通过一个私人航空公司去太空旅行。

除了铁人三项选手、跳伞运动员、飞行员和作家外，埃里克还是一个狂热的水肺（SCUBA-Self-Contained Underwater Breathing Apparatus）潜水员，并已在20多个国家完成了超过200次潜水。他最喜欢的潜水胜地是茉莉雅岛和塔斯马尼亚岛，最有兴趣的潜水电影包括《碧海蓝天》和挪威经典电影《深海突变》，最钟爱的水下科幻小说包括彼得·瓦茨的《海星》和艾伦·斯蒂尔的《海洋空间》。《人类未来的水下生活》是他完成的第六本书，写作之余，他更多时间会待在夏威夷大岛科纳和他在挪威桑纳菲尤尔的家中。目前，埃里克和他的妻子以及两只猫生活在加拿大尼亚加拉断崖。

目 录

第一篇 潜水

第1章 无限制自由潜水	003
1.1 你能潜多深	005
1.2 无限制潜水的危险	011
1.3 极限深度的追求	015
第2章 技术潜水与饱和潜水	019
2.1 技术潜水	019
2.2 极限潜水	025
2.3 呼吸器	028
2.4 饱和潜水	036

第二篇 载人潜水器和水下栖息地

第3章 常压潜水服	044
3.1 ADS2000常压潜水服	046
3.2 钢铁侠	050
3.3 常压潜水系统的未来	053
第4章 载人潜水器	056
4.1 “和平”号载人潜水器	057
4.2 “阿尔文”号载人潜水器 (Alvin)	059
4.3 “深海”号载人潜水器	064
4.4 “蛟龙”号载人潜水器	066
4.5 载人潜水器的未来	068
第5章 私人潜水器和水下飞行器	071
5.1 私人潜水器	072
5.2 液压潜水器	079
5.3 游戏的变化	088

第6章 海洋前哨.....	090
6.1 现代海底度假胜地.....	092
6.2 现代水下研究栖息地.....	094
6.3 未来的度假胜地和栖息地.....	101
6.4 海洋前哨.....	105
6.5 潜航员选拔.....	115

第三篇 海洋探索

第7章 深海采矿和能源开发.....	120
7.1 黑烟囱.....	120
7.2 石油.....	123
7.3 地热能.....	126
7.4 AUV.....	128
7.5 未来.....	131
第8章 海洋医药.....	133
8.1 凡尼克博士.....	134
8.2 海洋生物技术和生物医学中心.....	135
8.3 药品市场.....	136
8.4 珊瑚和骨移植.....	139
8.5 未来生物勘测.....	141

第四篇 海底医学革命

第9章 液体呼吸与人工鳃.....	144
9.1 为什么呼吸液体.....	145
9.2 人工鳃.....	148
第10章 成为水下人类.....	157
10.1 生物工程技术.....	158
10.2 机器血液.....	160
附 录.....	169
结束语.....	173



第一篇 潜水

1913年6月，意大利海军旗舰“罗马·玛格丽塔（Regina Margherita）”号停泊在爱琴海卡尔帕索斯岛的皮格迪亚湾内。在一场巨大的暴风雨中，舰上的锚断裂并丢失在77米深的大海。对于舰长来说，舰艇返回母港而没有下锚是一种耻辱，因此，他们进行了多次努力试图去打捞它。数天的打捞并没有取得进展，却导致一名潜水员死亡，意大利海军档案描述他的死因是眩晕。

无奈之下，舰长向一群潜水能力出众的希腊采海绵渔民寻求帮助，并为能够打捞船锚的潜水员提供丰厚的奖金。多名潜水员愿意提供帮助，其中一个名叫欧格斯（Yorgos）的身材弱小的渔民吹嘘他可以屏住呼吸7分钟，能够毫不费力地下潜并回收船锚。欧格斯身高1.75米、体重60千克，他看上去并不是那种呼吸一口气就能下潜到77米的潜水员，考虑到他体质虚弱，舰长起初相当怀疑，并要求舰上的医生对他进行医学检查。

检查结果完全没有让舰长信服，因为检查发现欧格斯患有肺气肿，即一种呼吸系统衰弱状态，由于他的静息心率和呼吸率都会升高，这种状态伴随的继发病并不能使他成为一名屏气潜水员。欧格斯的呼吸率为每分钟20~22次（一个正常人的呼吸率约为12次/分钟），心率在80~90次/分钟（正常心率70次/分钟）。然而，欧格斯似乎有一个优势，因为缺少一只耳膜使得他在潜水时无需用手来维持听力平衡。鉴于病情，医生建议欧格斯不应该潜水。然而，欧格斯并不想成为当前医学实践的对象，他选择忽略医生的建议并开始进行潜水训练。在4天的时间里，他总共做了21次潜水练习，深度介于

45~84米之间，这一表现震惊了医生。这些深度非常值得关注，因为库斯托（Cousteau）团队1960年宣布，根据他们的估计，55米深度是人类屏气潜水的绝对极限。

欧格斯3次下潜到77米深度，并成功地将绳子穿过船锚杆孔，帮助船员顺利打捞。需要指出的是，在潜水过程中，欧格斯既没有带呼吸面罩，也没有穿脚蹼。为了表彰他的功劳，当局奖励他5英镑并被允许使用炸药捕鱼——这种方法通常是意大利海军专用的。他还进入了屏气潜水的传奇史册，并成为众多刊物的主题，他的故事不断被后来屏气潜水运动员写的书籍所提及。

奇怪的是，每一次记述欧格斯的壮举都回避了一个明显的问题：他是如何做到的？答案可以从为他检查的医生的证词和陈述中找到，这些都被保存在位于罗马的意大利海军档案中。其原因在于一个被欧格斯采用的既简单同时又很巧妙的技术，他先将约45千克重的石头绑在脚踝上，然后头朝上开始垂直下降，这种重物使得他能以惊人的速度下降到海底。一旦达到那里，他可以简单地用刀子切断绳子，把绳子穿过锚杆孔，并允许水面船员将他拉回到海面。

今天，运动员仍然在实践一种由欧格斯创立的潜水技术。从学科上讲，它属于无限制潜水，这也是本书第一篇的主题。第1章首先阐述现代无限制自由潜水员面临的挑战，因为他们把目光投向了只呼吸一口气进行300米潜水的运动。第2章进行更深的冒险，主要通过探索饱和潜水技术和饱和潜水员的世界，确定在极端深度工作时那些决定潜水员生与死的因素。第1章评估了潜水员通过冒险进入以前从未触及的深度，以寻求扩大人类潜水范围所需的未来科学和技术。

第1章 无限制自由潜水

屏气潜水员的呼吸功能所面临的挑战是严峻的，人类身体在应对远远超出正常陆地生物所需压力时所展现出的能力是让人吃惊的。

——特殊环境研究和教育中心主任克拉斯·伦德格伦

一个女人处在深潜式松弛状态浮筒里，旁边是一个潜水浮筒。她穿着紧身潜水衣，右手腕和小腿上分别戴着一个潜水电脑（表）。她戴着形状怪异的硅胶泳镜，使她的眼睛发生了扭曲，看上去就像瞪大眼睛一样。在两米远的潜水平台旁边，五名支援潜水员一边踏水，一边观看她完成精心设计的呼吸仪式，同时紧紧抓住具有两个横杆的金属管。在浮筒以下几米，我们看到，金属管实际上是一个重力滑轨，它连接着一根伸向深蓝海水深处的绳索。

当开始进行一系列的最后呼吸时，她的眼睛仍然闭着，呼吸越来越快，她通过最后的几次深呼吸来消耗身体里的二氧化碳。此时，媒体船上的摄影师不断抓拍她的动作，只见女人向水面工作人员竖起大拇指，一捏鼻夹，吸入最后一大口空气，同时闭上眼睛，将膝盖缠绕在滑轨底杆上，释放制动装置，优雅地消失在茫茫大海。风和浪带来的刺耳声音突然停止了，取而代之的是潜水员的水中呼吸器调节阀所释放的空气冒泡声。当她在滑轨上以惊人的速度下降时，明亮的光束照亮了她，此时，滑轨就像挂在风中的丝带一样，而她1米长的碳纤维鳍就像昆虫的翅膀一样来回拍动，以越来越快的速度扎入不混溶的深渊。光线的衰减速度超过2米/秒，平台很快就从视线中消失了，两名安全潜水员从远处看过来，几秒钟内便到达了30米处的标记。4个大气压，在这个深度，压力可以把气球挤压到只有表面四分之一大小。周围一片寂静，除了附近海豚偶尔发出声音可以见证这梦幻般的水生人行为。

她的深度计度数是60米，7个大气压。周围的一切都是深蓝色的。她觉察到了其他两名安全潜水员，他们有一个聚光灯对准正在将铅垂线放入黑暗下方的水生人。潜水员看起来清晰锐利，但他们的颜色褪变成了蓝灰色，就像在一台坏的电视机上播放一部老旧黑白电影一样。她碰到了温跃层，海水温度骤降至7℃，她的嘴唇和面颊很快就麻木了。深蓝色褪变成了黑色，光点偶尔在她眼前闪过，是光气！这是深海，非常深。水生人就像人体鱼雷一样以惊人的速度接近下一个标记点，150米，这低于很多“二战”时期的潜艇耐压深度。170米，她已经能够感觉到呼吸系统应变，此时二氧化碳开始渗入她的肌肉和器官中，并从她的血液中分离到肺部。

她紧紧抓住滑轨，显然忘记了身体上发生的明显变化，看上去很安详。她的肺已经被压得像橘子一样大小，心脏几乎没有了跳动。在这些深度发生血液转移意味着，她的脾脏已经抽出了一团额外的血细胞，血管已经崩塌，并且血液被迫离开四肢进入肺部周围。从离开水面，时间已经过去了1分10秒。

180米。她正在经历着足以将人压扁的19个大气压，但是感觉却是令人感到莫名的欣慰。她非常镇静，继续保持下降，她缓慢心跳的旋律打破了周围的寂静。现在，她的潜水衣被压得像纸一样薄，耳膜上的压力让她感到轻微的疼痛，很快变得难以忍受，她觉得自己的耳朵快要炸了。

向下看，她觉察到两名安全潜水员照亮了一个小平台。她缓缓下降，直到滑轨最终碰到它的标记时才进行检查。如同“人在月球上”的时刻，她看到反射光在脚下闪烁，这是安全潜水员在照亮连接在基础框架上的数字深度计，它的红光在224米处闪烁，这个深度甚至超过核潜艇巡航深度70米。点头、拇指和食指触摸一切正常，她朝着安全潜水员微笑，然后伸手到背部拉紧绳索。当潜水衣内部的折叠汽缸迅速将压缩空气充进浮袋时，一阵强气流被释放出来，将她从一个水生哺乳动物变为头朝上的人体导弹。在她迅速靠近海面时，她的脸被气泡包围着，看上去很平静。黑色慢慢变成深蓝色，深蓝色逐渐变成之前浅水的浅灰色，最后，平台的轮廓映入眼帘。越来越快，她接近了表面的光线。她大脑中的特殊传感器检测到血液中由二氧化碳聚集产生的酸性成分和到她肺部驱散二氧化碳的信号。二氧化碳触发了她呼吸的欲望，而不是缺氧。

随着越来越接近水面，她感觉到胸腔内压力越来越大，几乎像一个充气的气球。她的身体告诉她，呼出！除去那些二氧化碳。呼出！20米。坚持，她告诉自己！同时，调动她所有的意志去抵抗胸腔内的膨胀感觉。不要惊慌！你以前来过这里。她能感觉到自己正在被鼓起的浮袋无情地推向水面。水面无法很快到达，伴随着她的心脏怦怦地跳动和耳朵被砰砰的响声包围着，她开始体验缺氧的痛苦。她的四肢逐渐开始燃烧，像牙医的电钻穿透麻醉牙体部分一样疼。缺氧带来的另一副产品是乳酸，它将痛苦提升到几乎无法忍受的程度。她不断使自己集中注意力来保持由于缺氧而不断萎缩的意识，随着她的肺在为冲破水面而尖叫着，她努力克服人类的本能去简单地呼吸。

她抬起头，专注于呼出空气。随着她接近水面，涌浪底部闪烁的光线变得更加清晰，浪峰看上去就像细胞状条纹。水面就在眼前，2名自由潜水员加入到她到达水面的最后旅程，一起踢动着她们优雅的长鳍。新的无限制潜水世界纪录保持者快速向上移动，推着她的头直立着就像海豹推着它的鼻子通过冰洞一样。最后，海水变得更加明亮，她在一片飞舞的气泡中冲出水面。在翻滚下来前，她水面以上的上半身就像一只浮出水面的海豚。在她看手表时，风浪突然拍打在她的脸上。此刻，显示时间过去了3分29秒。她感受到海面上爽朗的声音，深深地吸了一口气，然后，竖起大拇指并微笑着。

1.1 你能潜多深

你刚刚读到的是一个女自由潜水员在无限制自由潜水领域创造世界纪录的虚构报道（面板1.1）——坦尼娅·斯特里特刚刚创造的纪录（图1.1），她是一名开曼群岛土著人，于2002年潜至160米深。男性的世界纪录保持者是澳大利亚的希尔伯特·尼特奇，他于2007年潜至214米深。

斯特里特和尼特奇潜至的深度一直被认为是超人类的，直到最近才有所改变。在20世纪60年代末，潜水生理学家和医生都认为超过100米深度的巨大水压将会压碎人的胸腔。直到传奇自由潜水员杰克·马犹和其他先驱者扩展了人类深潜范围，并突破这一深度，科学家不得不重新评估他们的预测，发现深水压力导致身体以意想不到的方式进行回应。肺部压缩成橘子大小，流向四肢

的血液被重新流回核心器官，同时心脏速率减慢至每分钟少于10次。这一系列反应，包括哺乳动物潜水反射（MDR），一种被研究人员公认的作为我们起源于水上生物所保留的新陈代谢开关。自20世纪60年代后期，科学家研究、测试并探查了一些世界上最好的自由潜水员，他们不仅要揭示这一机制如何帮助自由潜水员执行这样的深海潜水，还要准确获悉什么样的身体能够达到。经过几十人次的自由潜水学习，科学家发现经过训练哺乳动物潜水反射响应可以被放大。然而，该研究并没有产生必要的数据来回答媒体、自由潜水员和潜水生理学家的问題。这些问題是自从自由潜水成为一种运动以来一直在问的：潜水员吸一口气能潜多深？要回答这个问題以及了解未来无限制自由潜水员面临的问題，我们必须转向一些世界领先的潜水科学家。

面板1.1 无限制自由潜水

无限制自由潜水是五种自由潜水深度科目之一：

1. 恒重式，潜水员沿着一条引导线下潜到深处。“恒重”是指潜水员不允许在潜水过程中丢弃配重。
2. 恒重赤脚式，除无脚蹼被允许外，遵循与恒重相同的原則。
3. 徒手自由式，是自由潜水员使用垂直引导线将他自己拉到深处并返回水面的一门科目。同样，潜水员不允许释放配重。
4. 变重式，是使用一个配重的滑轨来下降，自由潜水员返回水面主要利用脚蹼游泳或者沿着绳子往上拉。
5. 无限制式是自由潜水科目。只要引导线用于测量静距离，它就允许潜水员利用任何屏气潜水手段到一定深度，并返回水面。

无限制潜水研究

埃里卡·莎戈塔依博士是瑞士隆德大学的生理学家，近几年一直在深入研究自由潜水员的反应。作为一名动物生理学教授和活跃的潜水员，莎戈塔依博士也是一名自由潜水教练（图1.2）。当看到土著自由潜水员的表现远远好于当时医学文献的建议时，她开始对自由潜水生理学产生了兴趣。自1988年以来，她研究了几个潜水部落的生理学，主要包括日本海人部落、印度尼西亚西北部部落和巴夫部落。最近，她专注于研究竞技自由潜水员。