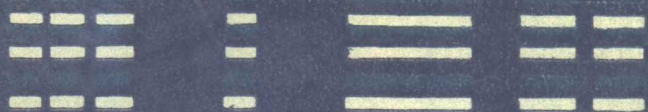


0441543

87.5242
H KM

水下工具



[美] D. J. 哈克曼 D. W. 考戴 著

1986.12.1.

藏书

海 洋 出 版 社

水下工具

[美] D. J. 哈克曼 著
D. W. 考戴

吴 晶 译

吴茱萸 校

海洋出版社

1986年·北京

内 容 提 要

本书是美国巴特勒纪念研究所哥伦布实验室多年来从事水下工具研究试验的总结。举凡当代开发海洋潜水作业中所使用的工具均包罗齐全,并且分别论述了其作业情况、优缺点和设计原则等。古语云“工欲善其事,必先利其器”,为了发展我国海洋水下工程事业,充分发挥潜水员的作用,改革和研制新型适用的水下工具已是刻不容缓的工作。因此本书可供设计、研制和使用水下工具的所有海洋科技人员、潜水员、潜水作业人员参考使用。

责任编辑:吴宜倜

责任校对:王淑香

水 下 工 具

[美] D. J. 哈克曼 著
D. W. 考戴

吴 晶 译

吴茱萸 校

海 洋 出 版 社 出 版 (北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 八九九二〇部队印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 6 1/4 字数: 130千字

1986年3月第一版 1986年3月第一次印刷

印数: 1700册

统一书号: 13193·0450 定价: 1.50元

前 言

人们依靠世界上的海洋取得食物、进行航运并从中获得自然资源，人们还要在海上从事各种安全防御活动。所有这些，都需要完成很多重要的水下工作。例如对船舶进行保养和修理，建造建筑物以防止海滨受侵蚀，回收或打捞沉没的物体，以及建造、检查和维护近海的建筑物和管线等。这些水下的大部分工作，人们已经掌握。目前水下作业中采取的方法和使用的设备，基本上都是和在陆地上完成相同的工作时一样。其结果是：迄今为止，绝大多数在水下使用的具有商业价值的工具，最初都是在干燥环境下使用的工具基础上稍作修改而设计成的。这些修改包括：加上涂脂保护层，使用环氧树脂封装，镀铬以防止腐蚀，或者是为了机械手能操作而加装特殊的把手等(Penzias and Goodman 1973)。

虽然很多标准工具稍加修改就可在水下使用，但是水中的环境总是使操作者的能力和工具的性能降低，甚至是象敲个钉子这样简单的事情，也会由于水下周围环境的影响而变得更困难。这是由于在水中能见度降低了，水对快速运动构成了阻力，水的粘滞性质减弱了锤子敲击时产生的作用力。这些因素都限制了潜水设备的使用，使工作时的活动范围受到局限，甚至使工件或潜水员失去控制。设计人员的任务就是提供一种能帮助操作者（无论是一名潜水员或是一个遥控机械手）的工具，使之能克服水下环境的各种限制。

到目前为止，基本上可以说设计人员在从事设计工作时已掌握了更完善、更先进的方法。例如，在水下作业中经常需要更换工具上的钻头，设计人员就在标准的钻卡头上镀铬以增加使用寿命，潜水员穿戴上潜水服和手套后，由于这些服装和用具都比较笨重，他的活动就大受约束。在能见度有限的环境中，要是让潜水员使用那种简单的将钻头紧在钻卡头上的钥匙来上钻头，就显得是太小又太不方便，设计人员就在钥匙上焊接一个6英寸(15厘米)长的把柄来解决这个问题(Kenney 1972)。这样改动后能把钻头上紧了，但并没有解决真正的问题——即找出一种在灵活性极差的环境下能够快速更换工具的方法。虽然主要是由于配备潜水器和潜水员所需的费用昂贵，但幸亏水下工具的设计人员也还是既有远见卓识又有所需的资金来确定一项计划的真实目的，并为了实现此目的而提供了专门的设备。

本书要说明的是，潜水系统必须是一整套性能极好的作业设备，它应具有必须具备的全套装置，能将潜水员或机械手送入特定的深度，能具备潜水员维持生命的各种条件，能保证潜水器应有的水底工作时间，并能将潜水员或潜水器带回水面。一套附带作业系统是潜水员或潜水器所使用的装置，它使操作者得以在水下从事工作并能扩大其工作能力。如果没有这样的作业系统，潜水员或潜水器将基本上只是一名观测员而已。

本书的写作就是针对这种作业系统的设计。书中涉及潜水系统的资料也只是限于和作业系统的设计直接有关的特性和能力方面。

作 者 原 序

本书是为使用、制造或设计水下工作系统的管理人员、工程师、科学家和潜水员而写的，也可供对此感兴趣的有关专业技术人员和学生阅读。书中提供的设计和基本资料都和水下作业系统直接有关，这些材料来源于报告、期刊和制造厂的产品目录，其中更重要的是摘自作者在水下作业系统的设计过程中努力研究的成果。这些成果在此之前尚未发表。书中的很多表格、图片都是直接从作者的工作记录中选取的。本书的重点是在每个主题的实际工程应用方面。书中涉及的基础理论方面的研究和探讨已由更专门的书籍、期刊和报告进行过阐述，本书亦参考引证了其中不少内容。

目 录

第一章 潜水员与机械手的特性	1
第一节 潜水员的能力和局限	1
1. 失重效果	1
2. 运动阻力	4
3. 能见度的限制	4
4. 水底工作的极限时间	5
5. 低水温	5
6. 潜水员工具的一般设计准则	5
第二节 机械手	7
1. 机械手的类型	9
2. 各类机械手的特性和局限	11
3. 几种常用的机械手	26
4. 水下机械手的特殊功能	28
5. 水下机械手的设计导则	28
第二章 水下工具	32
第一节 手工工具	37
第二节 动力工具	38
1. 用力可控制的工具	39
2. 机械切割工具	44
3. 机械清除工具	54
4. 焊接	58

1) 湿法焊接	85
2) 干法焊接	63
3) 实验方法	65
5. 热切割	68
1) 氧气-可燃气体切割	73
2) 氧气-电弧切割	75
3) 带保护的金属电弧切割	77
4) 试验技术	78
5) 爆炸切割	81
6. 配件	82
第三章 水下动力	91
第一节 压缩空气动力	91
第二节 液压力	94
第三节 电力	99
第四节 爆炸动力	105
第四章 水下工具设计依据	107
第一节 材料选择	107
1. 金属	107
2. 塑料与合成橡胶	112
3. 保护涂层	113
4. 阴极保护	115
第二节 压力补偿	118
第五章 零部件选择	123
第一节 液压部件	123
1. 直线操作机构	123
2. 液压马达	128
1) 齿轮马达	129

2) 活塞马达	131
3. 旋转操作机构	134
4. 液压阀门	135
1) 方向控制阀门	136
2) 伺服阀门	140
3) 压力控制阀门	141
4) 流量控制阀门	143
5) 阀门组	145
5. 流体导管	148
1) 硬管和管接头	149
2) 软管和管接头	153
第二节 密封垫圈	163
第三节 刀具	166
1. 刷子	168
2. 研磨轮和研磨盘	169
3. 金属切削工具	170
1) 钻头	171
2) 铣刀	174
3) 丝锥	176
第四节 扳手	177
第六章 水下作业系统的展望	179
第一节 潜水员用的工具	180
第二节 潜水器	180
第三节 动力	183
第四节 材料	183
参考文献	184
编者后记	189

第一章 潜水员与机械手的特性

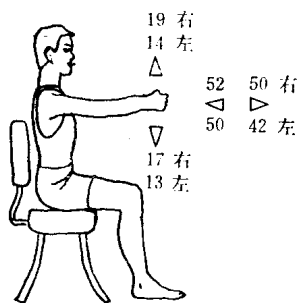
本章讨论与完成水下工作有直接关系的潜水员和机械手的特性，涉及的内容并不全面，但是力图提供足够的背景资料，以了解每一特性对作业系统设计的影响。其中潜水员特性方面的介绍稍简短一些，有关潜水员生理和心理方面更详细的讨论，可由下述著者写的一些书中了解到：J.B. MacLennis, S. Miles, C. J. Lambertsen 和 D. L. Beckman, 以及《美国海军潜水手册》。这里将更详细地介绍机械手的设计和工作的特性。

第一节 潜水员的能力与局限

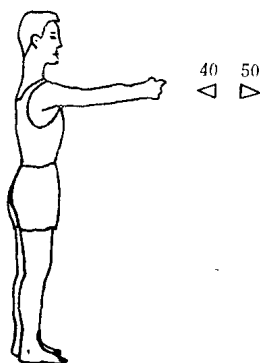
使用潜水员完成水下作业可以提供现场判断和意外情况的适应性，而这是其他办法所做不到的。特别是使用常规的手工水面工具来用于水下作业时更是如此。当然，潜水员在水中是处于接近失重的状态，活动困难，而且水中的能见度也往往受到限制，再加上常常碰到的低水温环境，这些都对潜水员产生了生理上和心理上的压力。设计工具的时候必须考虑到上述所有因素的影响。除此之外，在很多情况下，还必须顾及到潜水员在水底停留时间的限制。与地面上的工作比起来，在浅水区短时间的从事简单的水下工作，潜水员的体力只有少量下降，而更为急需的作业则能导致潜水员的工作能力大幅度的下降 (Hackman 1967)。

1. 失重效果

人体的密度与水接近一致，在潜水员通过肺部吸进气或呼出气的时候，一般来说，他的身体就会稍有一些浮力或者稍为下沉一些。当然，潜水设备的选择（包括呼吸器具和保



坐姿时的臂力



站姿时的臂力

图1-1 人的体力(磅力)

温设备)也同样影响潜水员的潜水深度。虽然潜水员具有控制他自己浮力的能力，可以在三维方向上活动，但是这种近乎失重的状态严重地限制了他完成某些作业的能力。潜水员的基本力量受潜水深度的影响不大，一个人站立或坐着时依靠背部的支撑可将大约50磅力(220牛顿)的重物推出或推入水中。图1-1表示出这种情况以及其他情况下的力的限度。

由作者进行的水下试验表明，不论潜水员是自由漂浮还是站在水底，他从事实作业或对动力工具施加反作用力的能力都会严重降低。试验还指出，潜水员站在贮水池的底

部，其推力仅为6或7磅(27或31牛顿)，而且这一力还须正对物体以免产生轻微的转动转矩。如果当潜水员用一只手握住偏心的把柄去转动手摇钻时(别的工具也是一样)，他

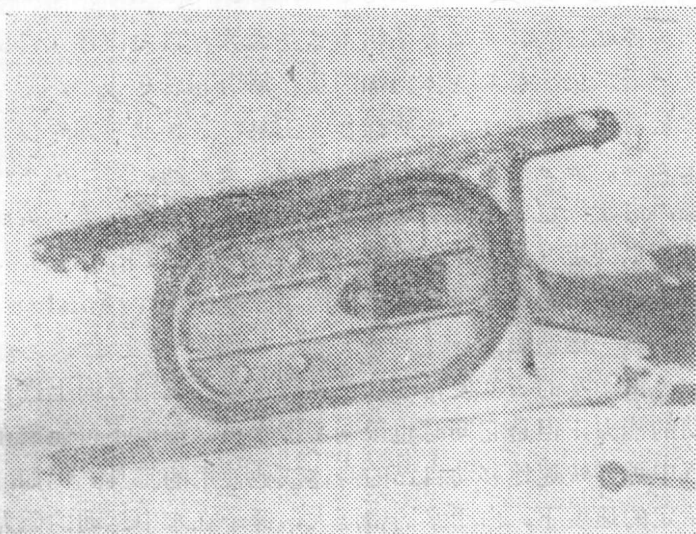


图1-2 可产生反作用力的水下钻机底部的吸盘

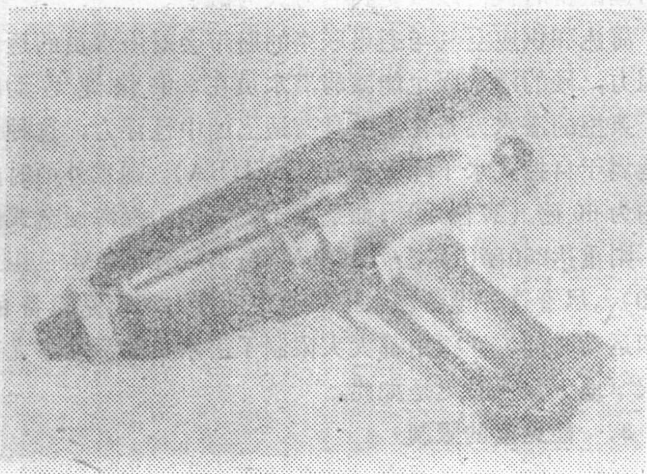


图1-3 典型的潜水员手握敲击工具

的身体就会旋转而离开钻机。这是因为，自由漂浮或自由站立的潜水员能够对物体施加的反作用力和转矩很小，所以无论是潜水员本人还是他所操作的工具，在作业时如果没有固定支撑，那么其工作能力必然受到严重限制。对于潜水员来说，由于失重而引起的这些限制，已经能通过对潜水员或工具加以固定（见图1-2）以及消除或减少反作用力的方法来解决，使用敲击式工具就可以满足上述要求（见图1-3）。

2. 运动阻力

由于水的密度使得潜水员具有可以在三维方向上进行活动的的能力，但是它同时也限制了潜水员，使他不可能象在空气中那样快速地移动自己的身体或他使用的工具。例如，在给定的速度下，由于水的密度大，锤子在水中运动的阻力比单纯在空气中大八百多倍。绪论中已经提到，水的粘滞性使得用锤敲击时被击区域受到的力大为减弱。

海流和供应空气与通讯联络的脐带会对潜水员的运动产生阻力，硬的潜水服也能减弱潜水员在水中快速运动的能力。典型的潜水设备在水中具有适当的中性浮力，这种设备如是属于自控式水下呼吸装置（SCUBA），则水外面时的重量约为60磅（27公斤），如是属于氮氧型、深海硬盔式的装置，则重达250磅（113公斤）（见Myers, Holm和McAllister 1969）。尽管这种设备在水中具有中性浮力，可是设备的体积和运动时的惯性作用都大大限制了潜水员的活动，尤其是在狭窄地区作业时更是如此。

3. 能见度的限制

在清水中，在光线充足的条件下，水的光学性质会使潜水员对所观察到的物体的大小、颜色和距离产生错觉，对于

这种特点，潜水员会很快地适应。然而，在水深增加或因悬浮微粒的影响使光线不足时，潜水员使用某些工具作业，就会大大降低工作能力；而由于同样原因，在危险区域工作时就会造成不安全的危险。此外，潜水员所戴的面罩或头盔也能大大限制他的视野。所有这些特性，在研制水下工具时都必须考虑进去，特别是研制那些需要在水下进行装配和需要读出刻度的工具时，更要加以注意。

4. 水底工作的极限时间

当作业水深超过30英尺（9米）或者在冷水中工作时，除非采用复杂而昂贵的潜水工具或使用能加热的潜水服，否则潜水员的水底停留时间就会受到严重限制。因此，在研制作业系统时，重要的是要使潜水员的工作要求和他可以利用的水底停留时间相一致。

5. 低水温

地球上海洋的温度范围是从28°F到86°F（-2℃到+30℃），潜水员通常工作的水温范围在41°F到59°F（5℃到15℃）（Myers, Holm, 和 McAllister 1969）。对作业系统的设计者来说，低水温是个严重问题，它除了有可能影响工具的使用以外，还会严重地限制潜水员的灵巧性和协调与判断能力。因此，在只要有可能的地方，所设计的水下工具应使潜水员戴着手套就能完成所有应做的工作。设计人员感到困难的是，如果某项工作要求潜水员用手灵巧地操作，需要对潜水员的手和手指采取有效的保温措施，这又会导致限制潜水员在水底的停留时间。

6. 潜水员工具的一般设计准则

为潜水员设计的工具体积应尽可能地小一些，以便于容

易握住并尽量减少海流的阻力。工具在水中应具有中性浮力，所以需要在工具中细致地安排配置漂浮材料。很多潜水员都已表示，尽管他们希望在水中使用的工具轻一些，但还是宁愿工具的重量在2到4磅（0.9到1.8公斤）之间，而不愿用那种只有中性浮力或有几磅正浮力的工具。潜水员虽然不希望所使用的工具上边连有脐带，可是如果必须装备的话，那么与工具相连接的那几英尺脐带应制成柔软的并具有中性浮力。对于带有脐带（可以供气、供热水和连接通信线路）的潜水员而言，特别重要的是所使用的工具应设计成许可单手操作和掌握，这样就可以使他腾出另一只手用来调整潜水服和脐带，潜水员就可以在海流中使其本身和所使用的工具保持稳定。还有，如果在海流中或能见度有限的条件下完成作业，那么除了需要潜水员正确地放置工具外，就不应再要求潜水员去做计量和读出刻度指示的工作。这是因为在浑浊的水中和强海流环境下会导致读数不准确。

为了尽可能提高潜水员的工作效率，应把他所使用的工具设计成带有开关和控制键型式的，而且这些部件的尺寸应尽可能大一些，以便潜水员带着手套就能操作。开关和控制键的位置应安排得当，不致于被意外地触动。工具把手的设计应能防止操作时打滑，应能使潜水员用最小的握力就能握紧工具。在设计零件时，如果设计成在大多数常规动力工具上所见到的那样的螺丝型卡头，就会降低潜水员的工作效率，因为当潜水员在插入或移动钻头、刀具及其他附件时使用这些设备是很困难的，有一种改进的设计，即使用方杆型附件，可以快速地、很容易地把附件在工具上插装或脱开（Hackman 1969）。

应该注意到，严格坚持这些设计准则中的某一项，就可能忽略了其他各项。例如，为了尽量减少工具在水中的重量，就需要增添漂浮材料，而这又会使体积增大。当发生这种抵触时，通常最优先的考虑是所设计的工具应易于单手操作和便于减轻工具在水中的重量。

第二节 机 械 手

机械手是这样一种装置，它能把工具或其他设备（如抓钳）放入适当的位置以便完成一项任务。通常把机械手视为潜水器上作业系统的核心，如果没有该装置，潜水器将只不过是一个观察站而已。目前已研制出一批特殊用途的机械手，它们能在比潜水员工作更深的水中作业，而且某些作业如使用机械手会比潜水员更方便些。

由原子能遥控操作手技术发展起来的水下机械手，只是在近来才成为具有标准规格的能在特殊条件下具有活动力的技术，目前一般用途的水下机械手都已具有商业使用价值。水下机械手可以安装在潜水器、钻具装置以及其他水下工作台上。根据Busby (1976) 的统计，80%的载人潜水器和50%的无人驾驶潜水器至少都装有一只机械手。许多潜水器还具有两只机械手。可以配属若干艘潜水器的美国海军工作系统成套设备(WSP) 上则装有三只机械手(Wernli 1979、1980; Wernli等人1978)。虽然说多数的水下遥控工作任务从理论上讲用一只机械手就可以完成，但是当作业时往往还是需要第二只或第三只机械手，这是为了用来帮助支撑固定

潜水器或物体。对于小型自由游动的运载工具来说，主要的问题是要保持有一个稳定的工作台。如果器具不是座落在海底上，又没有和工作物体坚固地束缚在一起，那么由机械手或由机械手握住的工具所施加的任何作用力或转矩都能够破坏该器具的稳定性；而当运载工具的作业发生变化和装载不均匀时，是不可能保持住器具本身平稳的。

有很多种类的水下工具都可用来扩大机械手的工作能力。一般来说，对于放置和工作物体有关的工具，需要有自由度最小为6度（六种独立的动作）的机械手。在海下运载工具上的机械手常常是安装在某一个位置上，它可以围绕着重支点做出一系列的弧形动作。到目前为止，在一般水下应用中所使用的典型的机械手，当完全伸出时，在其端点的任何方向上均具有约100磅力（445牛顿）的负载能力。绝大多数机械手的活动长度是4到6英尺（1.3到2米），很多是在某种程度上模仿人体手臂的动作。由于机械手的灵活性较差，经验表明，完成一项给定的工作，使用机械手比人用一只无助的手来操作所需要的时间更长。

机械手可以用手动操作（如在原子能工业中使用的主动/从动装置机械手），也可以由附属的电源或液压源来驱动。对于手动机械手来说，从动臂的位置通常是由机械联动装置来控制的，这样，它就能准确地跟随主动臂的位置而活动。简单的手动机械臂只在早期浅水载人潜水器上使用，但后来的潜水器就放弃不用了。这是一方面由于在载人舱室中可利用的空间有限，不便于操作手动机械臂；另一方面由于机械臂穿过船体处的防漏、防摩擦等问题不易解决的缘故。因此，本节中只考虑那些利用辅助动力来驱动的机械手。此外，目