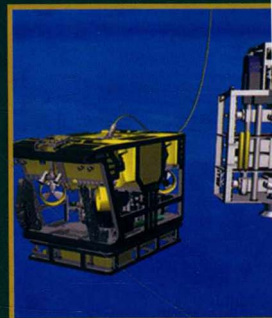


# ROV 技术手册

[美] 罗伯特·D. 克里斯特 (Robert D. Christ) 罗伯特·L. 威尔恩利 (Robert L. Wernli, Sr.) 著  
中国造船工程学会《船舶工程》编辑部 译

## 水下机器人使用指南



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



# ROV 技术手册

——水下机器人使用指南

[美] 罗伯特·D. 克里斯特(Robert D. Christ) 著  
罗伯特·L. 威尔恩利(Robert L. Wernli, Sr.)

中国造船工程学会《船舶工程》编辑部 译



上海交通大学出版社

## 内容提要

本书从行业与环境、无人遥控潜水器(ROV)技术的基础知识、载荷传感器、干预工具以及实际现场应用等五个方面对无人遥控潜水器技术进行全面的剖析。本书对于水下机器人的研究和应用具有重大指导意义。本书适用于从事海洋装备研究和设计的工程技术人员,对于从事海洋科学研究的科技工作者也有非常重要的参考作用。

## 图书在版编目(CIP)数据

ROV 技术手册:水下机器人使用指南/(美)罗伯特·D. 克里斯特(Robert D. Christ),(美)罗伯特·L. 威尔恩利(Robert L. Wernli)著;中国造船工程学会《船舶工程》编辑部译.

—上海:上海交通大学出版社,2018

ISBN 978-7-313-19766-5

I. ①R… II. ①罗…②罗…③中… III. ①水下作业机器人—技术手册

IV. ①TP242.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 160779 号

This edition of **The ROV Manual: A User Guide for Remotely Operated Vehicles** by **Robert Christ and Robert Wernli, Sr.** is published by arrangement with **ELSEVIER Ltd of The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK.**

本图书英文版由爱思唯尔出版。

上海市版权局著作权合同登记号:图字 09-2016-54 号

## ROV 技术手册

原 著: [美]罗伯特·D. 克里斯特, 罗伯特·L. 威尔恩利

翻 译: 中国造船工程学会《船舶工程》编辑部

出版发行: 上海交通大学出版社

地 址: 上海市番禺路 951 号

邮政编码: 200030

电 话: 021-64071208

出 版 人: 谈毅

印 制: 武汉精一佳印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 36.75

字 数: 670 千字

插 页: 10

版 次: 2018 年 8 月第 1 版

印 次: 2018 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-313-19766-5/TP

定 价: 400.00 元

出 品: 船海书局

网 址: [www.ship-press.com](http://www.ship-press.com)

告 读 者: 如发现本书有印装质量问题请与《船舶工程》编辑部联系调换。

服务热线: 021-64863385

版权所有 侵权必究

# **The ROV Manual**

## A User Guide for Remotely Operated Vehicles

Second Edition

**Robert D. Christ**  
**Robert L. Wernli, Sr.**



AMSTERDAM • BOSTON • HEIDELBERG • LONDON  
NEW YORK • OXFORD • PARIS • SAN DIEGO  
SAN FRANCISCO • SINGAPORE • SYDNEY • TOKYO

Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier



# 《ROV 技术手册》翻译出版委员会

(以下排名不分先后)

顾 问

顾心怿

主 任

桂文彬

副主任委员

张锦岚 胡 震 廖民生 王 宇 许人东 王孟军

委 员

万 磊 葛 彤 王亚鸿 高延滨 魏延辉 田宏伟

吕 骥 刘 震 刘 刚 何 飞 何 伟 李林烨

李明勇 李学海 李智刚 张定福 张峰云 张吉先

张志强 杜栓平 杨 刚 季建刚 周祖洋 姚 尧

姚震球 俞志刚 赵 旭 高建农 钱学林 程千流

蒋 鹏 潘晓平

翻译出版办公室

田立群 周海锋 施 璟 杨文英 方思敏 赵宝祥

李 慧 蒋明迪

翻译

赵 芳 司黎明 方思敏 施 璟

# 序 一

英文版《ROV 技术手册》来自国际知名的爱思唯尔出版集团。本书的作者 Robert Christ 和 Robert Wernli 先生在水下机器人及水下技术领域拥有超过 40 年的丰富经验,是业内非常著名的专家。该手册是水下专业领域的经典国际巨作,有着良好的美誉,在国际海事界影响深远。

《船舶工程》编辑部将其版权引进,译为中文,面向国内海洋工程技术领域推广传播。目前国内该领域尚无如此篇幅的巨作,该书内容对于水下机器人的研究者具有重大指导意义。

这是第二版的《ROV 技术手册》,在前一版基础上对内容进行了大幅度充实。本书分为逻辑严谨的 5 篇,包含行业与环境、无人遥控潜水器技术的基础知识、载荷传感器、干预工具以及实际现场应用。在本书最后一章,作者还对未来进行展望,并将重点放在水下机器人的领域。

常言道,书里每出现一个数学公式,这本书的读者就会减半。这本书的特色就是试图由概述引申至专门领域,同时由简入繁,以吸引更多广泛的读者群。部分章节侧重于理论(如第 14 章中基于数学的水下声学技术),而其他章节(如第 21 章和第 22 章的重点在于现场应用和程序)基本不涉及数学。一般的技术使用者可以跳过这些涉及数学计算的部分,另外一些具有学术背景或专门应用的使用者可以深入探索理论的技术层面。

第 1 章和第 2 章(第 1 篇)试图描绘行业和环境的全景,即无人遥控潜水器运用的领域和该项技术应用的环境。第 3 章至第 11 章(第 2 篇)深入探讨实际潜水器的各种细节。第 12 章至第 18 章(第 3 篇)扩展到有效载荷传感器的广泛主题。在潜水器的技术领域,“重要的不是潜水器,而是传感器和工具。”因此,该手册特别增加第 4 部分,即第 19 章至第 20 章,讨论无人遥控潜水器技术的机械手和工具方面的问题。第 21 章至 23 章(第 5 篇)侧重于实际应用和标准运行程序,此外作者在这部分描述了该项技术未来发展前景。

本手册的每篇面向不同的读者群。第 1 篇主要是针对商业领域,适用于项目经理对该项技术的使用。第 2 篇专门面向无人遥控潜水器的技术人员。第 3 篇面向项目经理,同时也是项目调查团队的兴趣所在,且有助于无人遥控潜水器的技术人员理解部署传感器技术。第 4 篇面向干预技术人员(包括项目经理、企业高管、监管官员以及无人遥控潜水器技术人员在内的使用者范围)。第 5 篇则包括实际应用的

考虑以及未来展望。

这是首次有如此规模的专业内容对无人遥控潜水器技术作出鞭辟入里的剖析。作者细致地描述了各个主题,并对每个领域进行了详尽的介绍。我们希望读者可以对行业的总体发展和先进技术有所了解,以此鼓励读者进一步探索感兴趣的特定领域。

欢迎来到无人遥控潜水器的精彩世界!

中国船舶重工集团公司第七一二研究所所长



2017年9月于上海

# 序 二

近年来,中国大力推进海洋强国战略,所谓“工欲善其事,必先利其器”,在深水海洋工程建设和运行过程中,无人遥控水下机器人(ROV)是不可或缺的作业工具。ROV 技术正成为我国海洋工作者越来越关注的课题。

大约 60 年前,世界上第一台真正意义上的 ROV-CURV 在美国问世,它在西班牙外海找到了一颗失落在海底的氢弹,在全世界引起了极大的轰动。1974 年以后,由于海洋油气业的迅速发展,无人遥控潜水器也得到了飞速发展。至 1981 年,无人遥控潜水器数量已发展到了 400 余艘,1988 年猛增到 958 艘。20 世纪 80 年代以来,中国也开展了水下机器人的研究和开发,中科院沈阳自动化研究所和上海交通大学合作研制出我国第一个无人有缆潜水器“海人 1 号”,并成功进行了水下实验。近 30 年来,我国的水下机器人研究有了飞速发展,2015 年 3 月 19 日,中国自主建造的首艘深水多功能工程船“海洋石油 286”进行深水设备测试,首次用水下机器人将五星红旗插入近 3000 米水深海底。

如今 ROV 产业蓬勃发展。全球超过 400 家厂商可以提供 ROV 的整机、零部件和作业服务,全世界共有 1000 多台工作级 ROV。中国造船工程学会《船舶工程》编辑部引进并翻译《ROV 技术手册》(第二版)可谓“正当其时”,当我看到该书时,惊喜和兴奋之情油然而生。

《ROV 技术手册》(第二版)针对利用观测级 ROV 技术进行测量、检查及研究和将其用于工业、商业、科学和娱乐任务进行水下部署提供了完整的培训和参考。第二版共有九个新章节,并且在第一版的基础上增加了不少关于中型 ROV、子系统和使能技术的内容,为广大用户如何将 ROV 技术在深海域应用中收益最大化提供了有用的建议。

书中充满了不少真知灼见,既能为学术作参考,又能为应用作指导。书中的很多表格、图纸和照片,非常清晰地阐释了理论概念。这本为海洋和海上工程师及 ROV 操作人员编写的手册同样适用于 ROV 设计人员和 ROV 客户方的项目经理。总而言之,对于已经进入或考虑进入 ROV 领域的人来说,它都是一本好书。

《ROV 技术手册》(第二版)中文版即将付梓,希望这本手册能让读者朋友们对



ROV 技术有更全面的了解,也祝愿我国 ROV 行业蓬勃发展!

中国船舶重工集团公司第七〇四研究所副所长

Handwritten signature in black ink, appearing to read '李健毅'.

2018 年 6 月于上海

# 前 言

2005年9月,新奥尔良地区被飓风摧残的视频在全球转播,人人惊恐。在新奥尔良苦苦挣扎于卡特里娜飓风之后的重建工作时,丽塔飓风紧随而来,北墨西哥湾沿岸居民和建于此处的油田设施遭到最后一击。最终,近200组石油和天然气生产设备沉入海底,而幸存的部分设备也遭到严重损坏。

深陷危机之中,我们试图赶在2006年4月的出版期限之前完成该手册的第一版。然而,在2006年1月1日那天,情况发生了变化:鲍勃·克里斯特当日接到电话,要求他立即动身去调查一艘油驳船撞上水下平台的事故,受撞击的水下平台属于200个未标明位置的水下平台中的一个。这一事故导致了72000桶燃油在海底泄漏,并急需进行平台损毁检查……针对停滞的潜水支持……(由于飓风导致的风力和水波压力给海洋带来重大影响)结构性维修……出版期限已过,而鲍勃依然在油田工作。威尔恩利此时正忙于咨询、海上检查支持以及第二本手册的出版。时间不等人,我们匆忙发布了该手册的第一版,尽管第一版并没有我们一开始设想的那么完整。

在本手册中(第二版),我们愈发接近一开始的目标——为广大读者提供无人遥控潜水器(ROV)技术的整体概览。感谢整个行业的领导和相关公司倾力帮助,使我们得以实现对行业现状的充分调研。我们非常感激在这一探索过程中提供帮助的人们,并在致谢部分列出了他们的名字。我们一开始对于这本手册的预想是关于无人遥控潜水器技术的基础知识入门,美国军队在其“Dash 10”系列文件中有类似的高级别技术手册,航空工业也拥有所谓的“杰普逊手册”(以最初撰写手册的公司名称命名)。我们希望通过这一版本的《无人遥控潜水器手册》实现我们的目标。

这本手册是活生生的实体。每本书自出版之日起便成为历史。因此,我们非常欢迎对此版本的各种意见。我们希望未来随着技术的进步,实现本手册的更新,并希望您的意见可以帮助我们编辑新版时进一步完善文本内容。这本手册的每一个主题都可以延伸为一整本书,所以,在编辑这本手册时我们费尽心思,试图以精炼简洁的方式(运用词条和文本标题)涵盖所有主题,同时保证读者能够掌握手册中的重点。虽然由于成书规模的限制,无法像我们渴望的那样,实现对大型工作级无人遥控潜水器、技术、传感器、工具、机械手及全面适用于系统的相关设备进行详细探讨,但我们仍希望这些文本可以激发读者的研究兴趣,进一步钻研相关技术、设备和系统。

围绕无人遥控潜水器技术的整体知识体系正在不断演化,随着机器人形态由太空至地面至海洋的全面应用,无人遥控潜水器(ROV)和水下自治航行器(AUV)之间的联系也越发紧密。海底油田坚持采用网络互联的路基模型,使得人类(通过远程遥控)得以接近环境恶劣的海底世界。寻找海底矿物资源的便捷方式已经形成并得到充分应用。研究前沿也已经从占地球表面 29% 的土地转向占地球表面 71% 的海洋,地球丰富的矿产资源掩藏在重重波涛之下,而开采海底资源的唯一办法就是使用机器人。这正是所有乐趣的开始!

鲍勃·克里斯特

SeaTrepid 公司

(美国)路易斯安那州卡温顿

[www.SeaTrepid.com](http://www.SeaTrepid.com)

罗伯特·威尔恩利

First Centurion Enterprises

(美国)加州圣地亚哥

[www.wernlibooks.com](http://www.wernlibooks.com)

# 目 录

## 第 1 篇 行业与环境

第 1 章 无人遥控潜水器行业 .....	3
1.1 无人遥控潜水器 .....	3
1.2 无人遥控潜水器的服务类型 .....	9
1.3 无人遥控潜水器经济学 .....	14
1.4 无人遥控潜水器的服务行业 .....	15
1.5 小结 .....	18
第 2 章 海洋环境 .....	19
2.1 物理海洋学 .....	19
2.2 化学海洋学 .....	21
2.3 海洋动力学 .....	38

## 第 2 篇 潜水器

第 3 章 设计理论与标准 .....	47
3.1 历史点滴 .....	47
3.2 从潜水器到无人遥控潜水器 .....	52
3.3 自治：“为何需要系缆？” .....	54
3.4 潜水器分类 .....	58
3.5 设计原理 .....	62
3.6 标准与规格 .....	75
第 4 章 潜水器控制与模拟 .....	80
4.1 潜水器控制 .....	81
4.2 模拟 .....	85
第 5 章 潜水器设计和稳性 .....	92
5.1 潜水器设计 .....	92

5.2 浮力与稳性 .....	99
<b>第 6 章 推进器</b> .....	104
6.1 推进和推力 .....	105
6.2 推进器和速度 .....	115
6.3 电力推进器与液压推进器 .....	116
<b>第 7 章 动力与遥控</b> .....	121
7.1 电气要考虑的问题 .....	121
7.2 控制系统 .....	133
<b>第 8 章 电缆与接插件</b> .....	138
8.1 引言 .....	138
8.2 定义 .....	139
8.3 应用与现场要求、编写规格说明书 .....	149
8.4 水下连接器设计 .....	150
8.5 COTS 水下连接器 .....	151
8.6 可靠性与质量控制 .....	158
8.7 现场维护 .....	158
8.8 水下电缆设计 .....	160
8.9 测试与故障排除 .....	179
8.10 现场提示 .....	182
8.11 小结 .....	183
参考文献 .....	183
<b>第 9 章 下水与回收系统(LARS)和系统管理系统(TMS)</b> .....	185
9.1 自由浮动潜水器部署技术 .....	185
9.2 基于系统管理系统(TMS)的潜水器部署技术 .....	189
9.3 水流与系统管理 .....	201
<b>第 10 章 视频</b> .....	208
10.1 发展历史 .....	208
10.2 工作原理 .....	210
10.3 数字视频 .....	226
10.4 视频捕捉 .....	228
10.5 视频压缩 .....	229
10.6 基于互联网协议的视频 .....	230
10.7 视频文件 .....	231
10.8 文件记录和处置 .....	233
10.9 水下光学和可视性 .....	233

<b>第 11 章 潜水器传感器和照明</b> .....	238
11.1 潜水器传感器 .....	238
11.2 潜水器照明 .....	242
<b>第 3 篇 有效载荷传感器</b>	
<b>第 12 章 传感器理论</b> .....	251
12.1 理论 .....	251
12.2 传感器的类别 .....	265
12.3 常见的无人遥控潜水器传感器 .....	274
12.4 关于未来 .....	276
<b>第 13 章 通信</b> .....	278
13.1 基础知识 .....	278
13.2 传输 .....	283
13.3 通信 .....	307
13.4 标准协议 .....	310
<b>第 14 章 水下声学</b> .....	315
14.1 引言 .....	315
14.2 声音传播 .....	317
14.3 换能器 .....	320
14.4 声学噪声 .....	325
<b>第 15 章 声呐</b> .....	330
15.1 声呐基础知识 .....	330
15.2 声呐类型和解释 .....	344
15.3 声呐技术 .....	354
15.4 声呐新兴技术 .....	358
<b>第 16 章 声波定位</b> .....	361
16.1 声波定位技术的发展 .....	361
16.2 定位的定义 .....	361
16.3 定位理论 .....	362
16.4 声波定位的基础 .....	362
16.5 声音传播、阈值和多路径 .....	366
16.6 定位技术的类型 .....	368
16.7 各种定位系统的优缺点 .....	375

16.8	声波定位的功能和限制 .....	376
16.9	作业注意事项 .....	377
16.10	位置参照 .....	379
16.11	关于声波定位系统使用的一般规则 .....	383
<b>第 17 章</b>	<b>导航传感器 .....</b>	<b>384</b>
17.1	有效载荷传感器与潜水器传感器 .....	384
17.2	陀螺仪 .....	385
17.3	加速度计 .....	392
17.4	惯性导航系统 .....	394
17.5	测深传感器 .....	396
17.6	电导率、温度、深度(CTD)传感器 .....	396
17.7	高度计 .....	398
17.8	多普勒速度计程仪 .....	398
17.9	倾斜仪 .....	399
17.10	长基线阵列 .....	400
17.11	超短基线阵列 .....	401
17.12	组合仪器 .....	401
<b>第 18 章</b>	<b>辅助传感器 .....</b>	<b>403</b>
18.1	非破坏性测试定义与传感器 .....	403
18.2	金属物检测 .....	406
18.3	浸水元件检测(FMD) .....	416
18.4	阴极电位传感器 .....	417
18.5	超声波金属厚度仪 .....	421

## 第 4 篇 机械手与工具作业

<b>第 19 章</b>	<b>机械手 .....</b>	<b>425</b>
19.1	背景 .....	425
19.2	机械手类型 .....	434
19.3	关节设计 .....	437
19.4	运动范围与工作空间 .....	438
19.5	控制器类型 .....	441
19.6	液压动力与电力 .....	443
19.7	海底接口标准 .....	444
<b>第 20 章</b>	<b>工具作业与传感器部署 .....</b>	<b>451</b>
20.1	机械手作业工具 .....	452

20.2	远程作业(无人遥控潜水器定位)工具与传感器 .....	459
20.3	小结 .....	466
<b>第5篇 现场作业</b>		
<b>第21章</b>	<b>潜水器的实际应用 .....</b>	<b>469</b>
21.1	爆炸物处置与扫雷 .....	469
21.2	商业、科学与考古作业 .....	476
21.3	公共安全潜水 .....	481
21.4	国土安全 .....	492
21.5	小结 .....	500
<b>第22章</b>	<b>重要注意事项 .....</b>	<b>501</b>
22.1	标准作业程序 .....	501
22.2	维护与故障排除 .....	522
22.3	综合事项 .....	532
<b>第23章</b>	<b>无人遥控潜水器技术前景 .....</b>	<b>537</b>
23.1	标准无人遥控潜水器 .....	539
23.2	光纤连接型无人遥控潜水器 .....	541
23.3	自治式无人遥控潜水器 .....	543
23.4	预言球 .....	550
23.5	底线 .....	553
<b>参考文献</b>	.....	<b>554</b>
<b>索引</b>	.....	<b>561</b>



# 第 1 篇

## 行业与环境