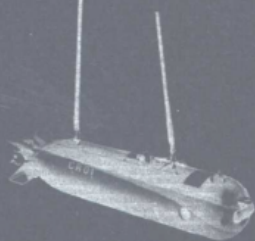


UNMANNED
UNDERWATER
VEHICLES®

水下机器人





数据加载失败，请稍后重试！

UNMANNED
UNDERWATER
VEHICLES ④

水下机器人

蒋新松 封锡盛 王棣棠 编著

辽宁科学技术出版社

· 沈阳 ·

图书在版编目(CIP)数据

水下机器人 / 蒋新松等编著. — 沈阳: 辽宁科学技术出版社,
2000.11

ISBN 7-5381-2712-7

I.水… II.蒋… III.水下作业机器人—研究 IV.TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 26562 号

出版者: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编: 110003)

出版人: 刘红

印刷者: 沈阳新华印刷厂

发行者: 各地新华书店

开本: 850mm×1168mm 1/32

字数: 304 千字

印张: 15.125

插页: 5

印数: 2000 册

出版时间: 2000 年 11 月第 1 版

印刷时间: 2000 年 11 月第 1 次印刷

责任编辑: 刘红 杨廷郊 宋纯智 刘绍山

封面设计: 杜江

插图: 杜荷

版式设计: 于浪

责任校对: 周文

定 价: 48.00 元

联系电话: 024-23284360

邮购咨询电话: 024-23284502

E-mail: lkzbb@mail.lnpgc.com.cn

http://www.lnkj.com.cn

内 容 提 要

本书是比较系统阐述水下机器人技术的一本专著，全书共两编十九章，包括水下机器人结构、能源与动力、密封技术、材料及液压系统、有缆水下机器人及无缆水下机器人控制、运动学、水动力特性、数学模型、导航系统、传感器等部分中的技术理论与工作实践。

本书可供研究、设计、建造与使用水下机器人的科技人员阅读，亦可供从事海洋工程、液压传动、自动控制等有关专业的工程技术人员和高校师生参考。

前 言

海洋这一广阔的水域，蕴藏着丰富的矿物资源、海洋生物资源和能源，是人类社会可持续发展的重要财富。研究和合理开发海洋，对人类的经济和社会发展具有重要的意义。

随着科学技术的发展，人类已经进入了开发和利用海洋的时代。在各种海洋技术中，作为用在一般潜水技术不可能到达的深度进行综合考察和研究并能完成多种作业的水下机器人，使海洋开发进入了新时代。

从 20 世纪 70 年代起，世界许多国家开始研制了多种不同结构和性能的水下机器人，现在已有几百种水下机器人作为商品出售，并在海洋开发中发挥着重要作用。70 年代末，我们的老所长、中国工程院院士蒋新松研究员，积极倡导，率先开始了机器人及相关技术的研究与实践。在他直接领导下，中国科学院沈阳自动化研究所与国内一些兄弟单位合作研制成功了“海人一号”第一台潜深 200 米有缆水下机器人样机。其后通过技术引进和国际合作，研制开发了 300 米有缆水下机器人、1 000 米和 6 000 米自治式无缆水下机器人，并已在海洋开发中得到应用。经过短短的十几年的努力，使我国的水下机器人技术达到了国际先进水平。

蒋新松先生生前继主编了《机器人学导论》后，想再主编《水下机器人》一书，力求结合我们十几年研制水下机器人的

1992 10

28

实践经验和体会，能够比较系统地介绍一下水下机器人的一些有关结构设计和控制方面的问题，并亲自拟定了写作提纲、内容框架，物色了与他一起撰稿的人选，还进行了一些相关的组织工作，使《水下机器人》一书的撰写工作进入了实际操作阶段。不幸的是，由于他突发心脏病而英年早逝，未能亲自完成主编这本书的全部工作。我们作为曾在他领导下从事水下机器人研制工作的科技人员，为了实现他的遗愿，完成了此书的编写工作，王棣棠编写了第一编，封锡盛编写了第二编。

上海交通大学黄根余教授和大连理工大学孟宪钦教授在百忙中审阅了全书，提出了许多宝贵的修改意见。孟宪钦教授还亲自改写了第二编第四章的内容。哈尔滨工程大学刘伯胜教授，中国科学院沈阳自动化研究所徐凤安研究员、张艾群研究员也审阅了本书的部分内容，梅家福高级工程师对第二编部分章节进行了仔细的校对。本书在编写过程中还得到了沈阳自动化研究所水下机器人研究室林扬副研究员，刘子俊副研究员，孙斌助理研究员，叶奇工程师，硕士研究生蔺鹏、王勇、路遥以及封志云等同志的帮助，在此一并表示感谢。特别应当指出的是，本书在编写过程中得到了辽宁科学技术出版社的鼎力相助，特别是社领导杨廷郊副总编、刘绍山编审为本书的出版付出了很多心血，在他们的指导和协助下终于完成了本书的编写工作，在此对他们的辛勤劳动表示深切的谢意。

由于作者的学识水平有限，错误和不当之处在所难免，欢迎批评指正。期望本书能对从事水下机器人研究开发工作的广大科研人员、研究生、相关院校的学生有所裨益。

封锡盛 王棣棠

1999年9月

序

联合国《21 世纪议程》指出：海洋是全球生命支持系统的一个基本组成部分，也是一种有助于实现可持续发展的宝贵财富。但是至今人类对占海洋面积很大比例的深海和洋底的了解还很少，因此在 21 世纪中全面深入认识海洋、开发利用海洋和保护海洋将具有重大战略意义。为了能达到上述目标就必须研究、开发各种高新技术，水下机器人就是其中一个重要的领域。20 世纪后半期是水下机器人诞生、发展和走向应用的时期，近 10 多年来由于先进材料、高效能源、计算机技术和信息技术的促进，各种水下机器人特别是大深度、长航程水下机器人技术得到了快速的发展。

我国从 1980 年起开始这个领域的研制工作，虽然起步较晚，但发展还是很迅速的，先后已研制成观察型、作业型、大深度拖曳型等多种缆控水下机器人和 1 000 米、6 000 米海底勘查型的深水自治水下机器人，取得了一批重要成果，受到了国际同行的瞩目。然而到目前为止所获得的成果多以单项型号的技术总结和论文形式发表，尚未见有一本专门论述当今水下机器人技术和其应用的著作问世。本书作者结合他们近 20 年来在研制缆控水下机器人和自治水下机器人所积累的丰富经验，以及在几个重要专题研究方面取得的大量第一手资料，编写《水下机器人》一书，无疑是我国在水下机器人技术领域的第一部专业著作。

本书详细地叙述了水下机器人的分类、应用和今后展望。并采用基本原理和实际研制经验相结合的方法，建立了水下机器人的设计要点和最佳性能准则；全面地阐明了构成水下机器人的载体、动力、控制、液压、作业、收放等基本系统和其组成部件；系统地阐述了水下机器人这个受控对象在运动学、流体动力学、推力、静力和电缆拖力等方面的性能及其所导致的空间运动的非线性、耦合性和时变性的特征；还着重论述了适用于水下机器人的各种控制原理、控制算法及其应用实例；特别是通过几种缆控水下机器人和自治水下机器人的研制总结，阐明了在航行控制、信息和信息交换、导航定位、预编程航线和专用语言等方面所获得的经验，这些对水下机器人控制技术的深化是具有重要意义的。

本书资料翔实、内容丰富、文字流畅，可读性和实用性都很强，可供从事水下机器人设计和研究工作者参考。我深信本书的出版将有助于推动我国水下机器人在开发、应用等方面的推广和提高，也有助于我国水下机器人技术领域研究的深入和发展。

中国船舶科学研究中心 徐芑南

1999年10月16日

作者简介



蒋新松

蒋新松研究员生前为中国工程院院士，曾任国家高技术发展计划（“863”计划）自动化领域首席科学家、中国科学院沈阳自动化研究所所长，上海交通大学、中国科学技术大学、西安交通大学等多所大学的兼职教授，还兼任中国自动化学会副理事长、人工智能学会副理事长、国际自动控制联合会制造专业委员会委员等社会职务。他1956年毕业于上海交通大学，先后在中国科学院自动化研究所（北京）和沈阳自动化研究所工作，长期奋斗在科学研究第一线。

70年代末，蒋新松在国内率先开始了机器人及相关技术的研究与实践。在他直接领导下，研制成了我国第一台示教再现机器人和第一台水下机器人，创建了我国的机器人示范工程，该工程已成为向国内外开放的中国科学院机器人学开放研究实验室和机器人技术工程研究中心。机器人产品已在国内外市场上销售和应用。

蒋新松克服许多困难，积极倡导，全身心地致力于我国机器人事业的创立与发展，他领导下的“863”计划智能机器人主题在理论研究、技术实践、产业开拓等方面都取得了重大进展。

“CR-01”6 000米自治水下机器人研制成功，标志着我国水下机器人的科技水平

水下机器人

在某些方面跃居世界领先水平，为祖国赢得了巨大荣誉。

他在国内外学术会议和学术刊物上发表了很多机器人方面的论文，培养了许多从事机器人学研究的人才。

1994年由他主编的《机器人学导论》获全国优秀科技图书奖和辽宁省科技进步奖。

他是全国“五一”劳动奖章获得者。

他于1997年由于突发心脏病而英年早逝。



封锡盛

1942年2月2日生，辽宁省海城市人。1965年毕业于哈尔滨工业大学工业电气化与自动化专业。现为中国工程院院士，任中国科学院沈阳自动化研究所水下机器人工程部主任，博士生导师。

他长期从事水下机器人研究，是我国第一台有缆水下机器人的总体负责人之一，我国第一台自治水下机器人“探索者”号总设计师，我国第一台“CR-01”6 000米自治水下机器人工程化的总设计师。

他多次主持了国家“863”计划的重大项目，获国家科技进步一等奖一项、国家科技进步二等奖一项、中国科学院和省部级科技进步二等级以上奖八项，两次受到国家科学技术委员会的表彰。

参与编写《机器人学导论》，先后在国际国内发表论文多篇。



王棣棠

1936年12月26日生，辽宁省海城市人。

1959年8月毕业于大连工学院机械制造专业。

先后在第一机械工业部机械科学研究院和中国科学院沈阳自动化研究所工作。曾任沈阳自动化研究所水下机器人研究与开发工程部副主任。先后作为课题负责人、总体组成员、专家组成员、副总工程师，参与“自动绘图机”、“SZJ-1”型示教再现机器人、“HR-01”水下机器人试验样机、RECON-IV-300-SIA中型水下机器人、“探索者号”1000米无缆水下机器人、“CR-01”6000米自治水下机器人等国家和科学院及“863”计划重大科研项目科研工作。获国家科技进步一等奖一项、二等奖一项，中国科学院科技进步特等奖一项、一等奖二项、二等奖二项。

参与编写《机器人学导论》，先后在国内外发表论文多篇，翻译出版《机器人技术》、《数字控制入门》、《控制用电机入门》。

目 录

前言	1
序	1
作者简介	1
第一编 水下机器人结构	1
第一章 水下机器人的开发和分类	3
第一节 海洋和海洋开发	3
一、海洋生物资源	3
二、海洋矿物资源	4
三、海洋能源	4
四、海洋热能	6
五、海洋空间	6
第二节 水下机器人的分类	12
第三节 水下机器人的现状和展望	17
一、水下通讯问题	18
二、能源问题	30
三、控制问题	30
第四节 水下机器人在海洋开发中的应用	32
第二章 水下机器人的结构	35
第一节 水下机器人的系统结构	35
第二节 水下机器人的总体布置	36
一、水下机器人形体的选择	37
二、推进器的数量和布置	38
三、机械手、电视和照明装置的布置	40

第三节	水下机器人设计要点	48
一、	母型设计法	49
二、	逐渐近似法	49
三、	方案法	50
四、	系统法	50
第四节	水下机器人各部分相对比重的分析与 确定	52
第五节	水下机器人重心与浮心计算	56
第六节	最佳性能准则	58
第三章	水下机器人能源与动力	60
第一节	水下机器人推进功率的确定	60
第二节	水下机器人动力源	61
一、	电力	61
二、	电池	66
三、	机械换能式热动力装置	72
四、	核动力装置	76
第三节	推进器	77
一、	电机推进器	82
二、	液压推进器	83
三、	喷水推进器	83
四、	磁流体推进器	83
第四章	水下机器人的密封技术	86
第一节	耐压结构的设计	86
一、	耐压壳体形状	86
二、	耐压壳体材料	88
三、	耐压壳体的计算	91
四、	耐压壳体的密封	101

第二节	贯穿件和窗口盖的设计	105
一、	开口补强	105
二、	观察窗	121
三、	水密接插件	131
第三节	动密封	139
一、	动密封原理	140
二、	动密封的结构	140
三、	滑动、旋转、内装、高背压式动密封的设计	144
四、	影响动密封寿命的因素	150
第五章	水下机器人常用材料与防腐	156
第一节	常用材料	156
一、	碳钢	156
二、	合金钢	157
三、	不锈钢	157
四、	铜合金	157
五、	铝合金	158
六、	钛及钛合金	158
七、	非金属材料	159
第二节	防腐蚀措施	160
一、	将被保护表面与侵蚀介质隔绝	160
二、	电化学保护	161
三、	减轻腐蚀的结构设计	162
第三节	浮力材料	167
第六章	水下机器人液压系统	170
第一节	液压系统的特点	170
第二节	液压系统的组成	172

第三节	液压推进系统	174
第四节	机械手液压系统	176
第五节	吊放系统的液压系统	177
第六节	液压系统的密封	182
第七章	水下机器人的作业系统	185
第一节	水下机械手	186
一、	水下机械手的结构	187
二、	水下机械手的控制	192
第二节	水下工具包	197
一、	救助、打捞专用工具	197
二、	水下清洗装置	198
三、	液压驱动专用工具组件	199
四、	牺牲阳极安装系统	200
第八章	水下机器人吊放回收系统	202
第一节	概述	202
第二节	几种典型的吊放回收系统	203
一、	起重吊杆	203
二、	A 型架	205
三、	滑道	206
四、	中央井	208
五、	下潜平台	210
第三节	吊索负荷的计算	213
一、	基本假设	213
二、	力学模型的建立	215
第四节	缓冲装置	218
第二编	水下机器人控制原理和方法	223
第一章	绪论	225

第一节	缆控水下机器人	226
第二节	无缆水下机器人	228
第三节	水下机器人的应用	231
第四节	水下机器人的现状和未来	232
第五节	我国的水下机器人研究开发 工作	235
第二章	水下机器人控制技术概况	238
第一节	ROV控制技术概况	238
第二节	AUV控制技术概述	241
第三章	水下机器人运动学基础	244
第一节	坐标系及坐标变换	244
一、	坐标系	244
二、	坐标转换	247
三、	变换矩阵的微分	248
四、	速度和加速度的坐标变换	248
第二节	水下机器人水平面和垂直面运动	249
一、	水平面运动	249
二、	垂直面运动	251
第三节	水下机器人在合力作用下的 空间运动表达式	252
第四章	水下机器人流体动力学基础	257
第一节	水动力的概念	257
一、	液体的特性	257
二、	液体的压力	258
三、	雷诺数	258
四、	物体在流体中的运动	258
第二节	水动力的计算	263