

水下微机器人的研究现状及分析

谭湘强, 杨宜民, 章云, 程良伦

(广东工业大学 自动化研究所, 广东 广州 510090)

摘 要: 近年来, 随着微电子机械系统(MEMS)的发展, 水下微机器人成为越来越受到关注的前沿研究课题之一. 本文综述了水下微机器人的研究现状, 讨论分析了水下微机器人的研究内容和相关技术问题.

关键词: 水下微机器人; MEMS; 现状; 分析

中图分类号: TP249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7162(2000)02-0020-04

人类从 20 年代开始现代水下机器人的研制, 在本世纪最近的 20 年来, 水下机器人得到了很大的发展, 开发出了一批能工作在各种不同深度、进行多种作业的机器人, 可用于石油开采、海底矿藏调查、救捞作业、管道敷铺和检查、海上养殖及江河水库的大坝检查等领域. 水下机器人可分为两大类: 一类是有缆水下机器人; 另一类是无缆水下机器人^[1].

近 10 年来硅制造工艺和集成度的迅速发展, 使得水下机器人的研究小型化、微型化成为可能. 它是基于水下机器人(大、中、小型)、微机械电子等技术的多学科交叉领域的研究课题, 其研究将在工业、医疗等领域有着广阔的应用前景.

1 水下微机器人研究现状

在工业和日常生活中, 有大量、无数的液体管道(输油管、水管), 特别是埋在地下小口径管道的数量更是众多, 分布的面更广, 它们的维护是一个需迫切解决的大问题. 因此, 人们已经开展了管内和管外机器人的研究. 但是, 这些管道机器人的体积较大, 动力源是电动机, 无法进入埋在地下小口径管道. 国外和国内现正在研制的管道机器人、微管道机器人的运动机理多是利用摩擦来进行的, 它有易损坏管道内壁等缺点. 另外, 由于管道内壁情况复杂, 机器人的运动也难以控制^[2-4].

人体内血液通过血管可以到达人体内部的任何地方. 现在世界上已研制出直径为 2 mm 的微型内视镜, 通过血管进行体内的一些局部治疗. 但是这种微型内视镜在血管中的运动是靠人手在体外施加推力来进行的, 这既会给患者带来很大的痛苦, 也对进行手术的医生的技术水平提出更高的要求, 从而人们设想通过血管机器人进行定点投药或作其它形式治疗.

基于以上存在的问题, 水下微机器人的研究将为液体微管道机器人提供一种更重要的形式, 同时使血管机器人成为可能. 下面, 介绍国外研究成功的几种水下微机器人.

日本 FUKUDA 等人研制的一种利用压电体(PZT)为致动器的双鳍鱼型水下微机器人^[5](图

收稿日期: 1999-12-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69885002)、广东省自然科学基金资助项目(980046)、国防科工委预研资助项目(98008).

作者简介: 谭湘强(1970-), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 机器人学、智能控制. All rights reserved. <http://www.>

1). 它的长度是 50 mm, 整个身体是放大机构, PZT 位移量的放大比率为 326 倍. 其推动力来自共振效应, 放大 PZT 位移量, 通过双鳍使该微机器人产生前后泳动.

日本 FUKUDA 等人研制的 2 自由度的水下微机器人^[6](图 2). 它的长度是 50 mm, 宽度是 19 mm, 整个身体是放大机构, PZT 位移量的放大比率为 250 倍. 该机器人具有两条腿, 并且每条腿上带有双鳍, 双鳍之间有一定的角度. 在一定的频率下, 每条腿能产生前后的运动. 机器人结合两条腿的运动, 能自动泳动并到达有效的目的地. 比如, 右腿向前运动的同时左腿向后运动, 该情况下其左转的曲率大于只有右腿向前运动的情况. 因此与图 1 比较, 提高了微机器人水下性能.

Guo 等人研究的应用 ICPF 高分子驱动器的水中微机器人^[7](图 3). 该研究的目的是开发具有柔软性、低电压驱动和体内安全的水中微机器人. 该文从仿生观点模仿鱼的游泳原理, 应用 ICPF 高分子驱动器, 试作了一种新型的水下机器人. 试作机形似小船, 长 40 mm, 宽 10 mm, 厚 2 mm. 具有一对驱动翼, 由脉冲电压驱动而产生推进力. 通过改变脉冲电压的频率(0.15 Hz), 测定了微机器人在水中的游泳特性. 实验结果表明, 提案的新型水中微机器人的构造合理, 改变脉冲电压的频率可控制水中游泳速度. 这一研究在工业和医疗领域中有广泛应用前景.

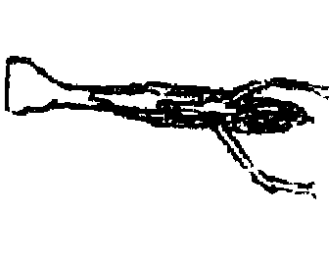


图 1 双鳍鱼型小下微机器人



图 2 2 自由度的水下微机器人

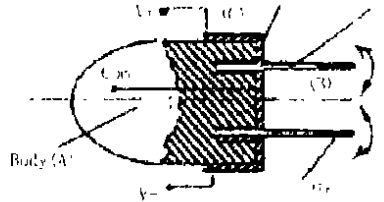


图 3 应用 ICFE 高分子驱动器的水中微机器人

2 水下机器人的主要研究内容

2.1 微机器人的运动机理

在液体中运动的装置可采用螺旋桨推进方式和泳动方式. 泳动方式有利于运动装置的小型化、微型化, 所以采用泳动方式. 这样, 在“微”的条件下的泳动微机器人运动机理的研究就是必要的了.

水下微机器人采用仿生型的一体化结构, 泳动的动力来自致动器在谐振状态下与液体的相互作用. 这样微机器人可以做得很小, 并且在液体中运动. 初步实验表明, 若致动器本身较柔软, 谐振频率较低, 则水下微机器人(4 mm × 4 mm × 4 mm) 能在水下泳动.

2.2 微流体力学

当微机器人的尺寸缩小到一定范围内, 许多物理现象和宏观世界相比有很大的差别. 力的尺寸效应和表面效应在微观领域可能起重要作用. 在微小尺寸领域, 与特征尺寸 L 的高次方成比例的惯性力、电磁力(L^3) 作用相对减小, 而与尺寸的低次方成比例的粘性力、弹性力(L^2)、表面张力(L^1)、静电力(L^0) 等的作用相对增大. 表面力与体积力相比成为起主导作用的力, 这也是 MEMS 中常以静电力、表面张力作为驱动力的原因. 与重力相比, 摩擦力的影响比普通机械要大. 因此, 要对微流体力学进行深入研究, 以建立水下微机器人的动力方程, 优化结构设计, 解决

其控制问题^[8].

2.3 试验新材料、建立水下微机器人的动力学方程及解决其控制问题

物体进入“微观范畴”,物体所受的诸多因素的作用已发生了变化,一些主要因素的作用变成不主要,而一些次要因素却起了主要作用.因此,综合考虑微机器人的材料、结构、形状进行研究,制作一些不同材料、不同结构、不同形状的水下机器人,进行实验、测试.最后,进行分析综合、修改并确认微流体力学中的一些主要规律及一些因素,建立机器人的动力学方程,最后找出水下微机器人的最佳结构和控制方案.

3 水下微机器人的相关技术问题

VR 技术在水下微机器人设计中的应用.借助 VR 技术实施微机器人的仿真,可完成的任务包括,微机器人水下环境的虚拟生成,水下微机器人部件和整体的生成,水下方式的模拟运行,并最终建立一个能够方便进行水下微机器人结构的设计、修改、验证及改进的虚拟环境.设计时考虑尺寸效应以及其他约束条件,从而获得水下微机器人的优化设计结果^[9].

水下微机器人微驱动问题.目前,水下微机器人的运动控制来源于对 SMA、GMA、PZT 等致动器施加外部电压而产生推进力,但体内存在泄露电流而引起水中安全性等问题,因此需要考虑选择新型的微驱动方法.

通信问题.微机器人在水下检测、维修作业时,需要与外界进行联系,将传感器采集到数据及有关水下环境的信息传递给控制器,并接受操作人员的命令,这种信息的传递采用电缆则面临着微机器人水下受到限制等诸多问题.若考虑采用无线通讯方式,则存在控制复杂以及微机器人结构设计难度加大等问题.因此,如何实现高效、准确的通讯是水下微机器人正常工作的必要条件^[10].

传感器问题.目前设计出的水下微机器人其加装传感器主要用于测量推动力等参数,以分析运动机理,其研究停留在实验化水平.因此,考虑需要研究适于水下的智能传感器,实现测量、处理、通信、控制一体化目标,以使水下微机器人早日达到实用化阶段.

4 结论

本文综述了水下微机器人的研究现状,讨论分析了水下微机器人的研究内容和相关技术问题.水下微机器人的研制、开发涉及的面广,不仅需要新概念、新理论,而且需要新材料、新工艺.相信随着 MEMS 的不断发展,必将促进水下微机器人的研究朝着更广、更深入的领域发展.

参考文献:

- [1] 蒋新松. 未来机器人技术的发展方向[J]. 机器人技术与应用, 1997, (2): 2-5.
- [2] Kawaguchi, Yoshida, Kunumatani, et al. Internal pipe inspection robot[M]. Prof. of 1995 IEEE Inter. Conf. on Robotics and Automation. New York, NY, USA: IEEE. 1995, 1: 857-862.
- [3] Takahashi, Hayashi, Iwatsuki, et al. The development of an in-pipe microrobot applying the motion of an earthworm [M]. Proc. of IEEE 5th Inter. Symp. on Micro Machine and Human Science(MHS' 94). New York, NY, USA: IEEE., 1994, 35-40.
- [4] Idogaki, Kanayama, Ohya, et al. Characteristics of piezoelectric locomotive mechanism for an in-pipe micro inspection machine[M]. Proc. of IEEE 6th Inter. Symp. on Micro Machine and Human Science(MHS' 95). New York, NY, USA: IEEE. 1995, 193-198.

- [5] Fukuda, Kawamoto, Arai, et al. Mechanism and swimming experiment of micro robot in water[M]. Proc. of 1994 IEEE Conf. on Robotics and Automation. San Diego, California, USA: IEEE. 1994, 1: 814-819.
- [6] Fukuda, Kawamoto, Arai, et al. Steering mechanism of underwater micro mobile robot[M]. Proc. of 1995 IEEE Conf. on Robotics and Automation. Nagoya, Japan: IEEE. 1995, 1: 363-368.
- [7] Guo Shuxiang, Fukuda, Kato, et al. Development of underwater microrobot using ICPF actuator[M]. Proc. of 1998 IEEE Conf. on Robotics and Automation. New York, NY, USA: IEEE. 1998, 2: 1829-1834.
- [8] 车录锋, 徐志农, 周晓军, 等. 微型机械设计中某些理论问题的探讨[J]. 工程设计, 1998, (2): 23-25.
- [9] 赵新, 卢桂章, 黄亚楼. 在 MEMS 中引入 VR 技术[J]. 功能材料和器件学报, 1996, 2(3) : 177-181.
- [10] 周晓, 张晓华, 邓宗全, 等. 管内作业机器人的发展与展望[J]. 机器人, 1998, (20)6: 47-478.

Study and Analysis on Current Situation of Underwater Microrobot

TAN Xiang-qiang, YANG Yi-min, ZHANG Yun, CHENG Liang-lun
(Automation Institute, GDUT, Guangzhou, 510090, China)

Abstract: With the development of MEMS, underwater microrobot becomes a subject to be increasing noticed. A brief overview of the current situation of underwater microrobot, the research content and relative technology problem are also discussed.

Key words: underwater microrobot; MEMS; current situation; analysis

(上接第 5 页)

Flow Stress Characteristics of the Plastic Deformation for Al-10Sn-4Si Alloy at High Temperature

YUAN Ge-cheng¹, YANG An-chen², ZHANG Xin-ming³

(1. Dept. of Material Science and Engineering; 2. Center of Experiment and Research, GDUT, Guangzhou 510090, China;
3. Dept. of Material Science and Engineering, CSUT, Changsha 410083, China)

Abstract: True stress-strain curves of plastic deformation for new Al-10Sn-4Si alloy have been tested by the isothermal compression process at high temperatures with Gleeble 1500 machine. The flow stress of the compression process for the alloy has been investigated in the temperature range of 100~400 °C and the strain rate range of 1.0~0.001 s⁻¹. The results show that the plastic deformation process of the alloy have steady state flow characteristics and the flow stress is sensitive to strain rate. The flow stress hardly varies in the period of steady state flow. The steady stress increased with increasing the strain rate and decreasing the temperature. The flow stress characteristics was closely related to dynamic recovery and recrystallization and sticky flow of local grain boundary. The plastic flow was a thermally activated process, which is governed by rate-controlling mechanism of dislocation. The steady flow stress equations were established by regression analysis.

Key words: Al-10Sn-4Si alloy; isothermal compression; plastic deformation; flow stress