

普通高等院校机电工程类规划教材

机械设计基础

唐林 编著

内容简介

普通高等院校机电工程类规划教材

机械设计基础

唐林 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书介绍了机械设计常用的基础知识,包括:机械设计知识在现代科技成果及各类产品中的应用;常用机构的类型、特点、功用及其在实践中的应用,满足预期运动和工作要求的各种类型机构设计的基本知识及其运动学和力学特性的分析方法;常用机械零件设计的基本知识及选用原则和方法。

本书适合作为高等工科大学近机械及非机械类各专业的机械设计基础、机械原理及机械零件课程的教材及参考读物,也可作为机械设计工程技术人员的技术参考读物。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 唐林编著. —北京:清华大学出版社, 2008.11

(普通高等院校机电工程类规划教材)

ISBN 978-7-302-18596-3

I. 机… II. 唐… III. 机械设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 145132 号

责任编辑:庄红权

责任校对:刘玉霞

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:北京市鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:21.25

字 数:512 千字

版 次:2008 年 11 月第 1 版

印 次:2008 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:34.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:028080-01

前 言

该教材是作者 15 年面向非机械类及近机械类各专业授课讲稿不断改进、完善后形成的,体系规范,思路简洁、清楚,案例丰富,结构严谨。与教材配套的教学课件,由作者本人根据讲授课程知识的教学思路及教学方法研制而成,符合教师授课需求,动画实例丰富。

由于非机械类及近机械类各专业学习机械设计知识的需求特点是:①掌握和了解机械设计的基础知识;②初步懂得如何运用机械设计基础知识分析机构及机械零件设计问题;③概括了解设计机械的思维方式和基本方法。因此,教材以及与其配套的教学课件中,在介绍机械设计基础知识的同时,比较注重知识点在设计实践中的作用及应用,并通过较多的实例帮助读者理解教材内容和知识,激发读者学习机械设计知识的兴趣(这对于非机械类及近机械类各专业学生学习机械设计知识非常重要),引导读者能够并且知道应该如何运用所学知识设计机构及机械零件、分析机构运动及力学特性等。

本教材有较强的通用性,适合于非机械类及近机械类各专业使用。作者曾面向选矿、有色金属、钢铁、环境工程、精细化工、金属热处理、检测、模具、计算机控制、环境建设、艺术工业造型、纺织等非机械及近机械类共 20 余届不同专业教授过“机械设计基础”、“机械原理与机械零件”课程。讲授的“机械设计基础”课程曾获得昆明理工大学青年教师课堂教学比赛一等奖,获云南省高等院校青年教师课堂教学比赛三等奖。研制的《机械设计基础教学课件》获全国第五届多媒体课件大赛高教组三等奖。

与教材配套的教学课件共含 11 章内容(含 CH00 引言),总容量约 480 MB,幻灯片总数约 1156 张,链接的动画文件数约 455 个。具有 5 个方面的特色:①体系规范,资料丰富,结构严谨。通过大量的图片及动画素材介绍了机械设计知识及其在现代科技成果中的应用,能够比较好地帮助学生广泛了解、深刻理解机械设计相关知识。使学生易于掌握课程学习内容,提高非机械类学生学习机械设计知识的兴趣。②教学课件是作者总结多年课堂教学经验研制而成,可以根据教学进程,适时、渐进地演示幻灯片内容,具备利用黑板教学的优点,教师可以根据课程讲解思路引导学生适时观看幻灯片内容,比较好地实现教学互动,适应教学实际需求。③人机界面简捷、大方、人性化,操作方便。④表现形式多样,综合使用文字、图片、动画、视频等演示形式。⑤界面布局合理,制作精细,色彩搭配简单、协调。

1990 年,作者最初讲授“机械设计基础”课程的过程中,选听了机原机零教研室几乎所有教师讲授的“机械设计基础”、“机械原理”和“机械设计”课程,如果这本教材能够得到学生、授课教师及相关读者的认可,与作者学习并吸取这些教师优秀的教学经验及教学方法密不可分。

为提高学生学习和应用知识的能力,培养学生利用课程知识进行产品设计的兴趣和创新设计的能力,每一章末的练习题中,都附有实践性练习题,其中包括按附录要求完成的设计实践练习题。通过设计实践帮助学生理解、掌握、运用甚至发展课程知识,对于调动学生

的学习智慧、培养创新型人才都非常有益。

作者衷心感谢清华大学出版社为此书出版付出辛勤劳动的所有同志；特别感谢责任编辑庄红权先生对此书进行了非常认真、细致的审核。同时向直接或者间接为教材撰写、为教学课件中所引素材作出贡献的各类人员表示诚挚的谢意！

书中难免存在错误及不足之处，希望读者提出宝贵意见。联系信箱：tljcyj@126.com

唐 林

2008年11月于上海

目 录

1 绪论	1
1.1 机械设计与现代科技产品	1
1.1.1 微型机械	1
1.1.2 仿生机构	4
1.2 机械设计基础课程的研究对象及内容	9
1.2.1 课程学习内容、特点及方法	9
1.2.2 机械的基本概念及特征	10
1.3 机械设计的基本要求和一般步骤	17
1.3.1 机械的基本要求	17
1.3.2 机械设计的程序步骤	19
习题	20
2 平面机构运动简图及其自由度	21
2.1 运动副及其分类	21
2.1.1 构件自由度	21
2.1.2 运动副及其类别	22
2.2 平面机构运动简图	24
2.2.1 机构的组成	24
2.2.2 机构运动简图	24
2.3 平面机构自由度	31
2.3.1 平面机构自由度的基本概念	31
2.3.2 平面机构有确定运动的条件	33
2.3.3 计算平面机构自由度的注意事项	35
习题	41
3 平面连杆机构	43
3.1 平面连杆机构的基本形式及特性	43
3.1.1 平面连杆机构概述	43
3.1.2 铰链四杆机构的基本形式及性质	46
3.2 平面连杆机构存在曲柄的条件	59
3.2.1 铰链四杆机构有一个曲柄的条件	60
3.2.2 铰链四杆机构形式判断	61
3.3 平面连杆机构的演化	63
3.3.1 曲柄滑块机构	63

3.3.2	导杆机构	67
3.3.3	偏心轮机构	68
3.3.4	四杆机构的组合	69
3.4	平面四杆机构设计	71
3.4.1	设计方法	71
3.4.2	常见的设计类型	72
	习题	77
4	凸轮机构及间歇运动机构	80
4.1	凸轮机构的应用及分类	80
4.1.1	凸轮机构的应用	80
4.1.2	凸轮机构的特点及适用场合	84
4.1.3	凸轮机构的组成	84
4.1.4	凸轮机构的类型	85
4.2	凸轮机构设计的基本任务及从动件常用运动规律	91
4.2.1	凸轮机构设计的基本任务	91
4.2.2	相关名词概念及运动分析基础知识	91
4.2.3	从动件常用运动规律	93
4.3	盘形凸轮轮廓曲线设计	103
4.3.1	凸轮轮廓线的设计方法及基本原理	103
4.3.2	对心直动从动件盘形凸轮设计	104
4.3.3	摆动从动件盘形凸轮轮廓设计	109
4.4	凸轮机构设计应注意的问题	110
4.4.1	凸轮机构压力角	110
4.4.2	凸轮基圆半径的确定	112
4.5	间歇运动机构简介	113
4.5.1	棘轮机构	114
4.5.2	槽轮机构	118
4.5.3	不完全齿轮机构	123
4.5.4	凸轮式间歇运动机构	125
	习题	126
5	螺纹连接和螺旋传动	129
5.1	螺纹的主要参数及常用类型	129
5.1.1	螺纹形成原理及螺纹类型	129
5.1.2	螺纹的主要参数	133
5.2	螺纹连接及螺纹连接件	134
5.2.1	螺纹连接的基本类型	134
5.2.2	螺纹连接配件	138

5.3 设计螺纹连接时应注意的问题	139
5.3.1 防松	139
5.3.2 提高螺纹连接承载能力的措施	142
5.4 螺旋传动	143
5.4.1 螺旋机构的类型及特点	143
5.4.2 螺旋机构的功能	146
习题	149
6 带传动	151
6.1 带传动的类型及应用	151
6.1.1 带传动的组成及类型	151
6.1.2 带传动的主要几何尺寸	155
6.1.3 带传动的特点、使用及维护	156
6.2 摩擦型带传动工作情况分析	159
6.2.1 带传动受力分析	159
6.2.2 带传动的打滑与弹性滑动	161
6.2.3 带传动的应力分析及失效形式	166
6.3 普通 V 带传动的设计计算	168
6.3.1 V 带的类型、结构及型号	168
6.3.2 V 带传动设计计算	171
6.4 V 带轮的材料及结构	180
6.4.1 带轮材料	180
6.4.2 带轮结构	180
习题	182
7 齿轮传动	185
7.1 齿轮传动的特点、类型及应用	185
7.1.1 齿轮传动的特点	185
7.1.2 齿轮传动的类型及应用	186
7.1.3 齿轮传动的基本要求	192
7.2 齿廓啮合基本定律及共轭齿廓	193
7.2.1 齿廓啮合基本定律	193
7.2.2 共轭齿廓	194
7.3 渐开线齿廓及其啮合特性	195
7.3.1 渐开线的形成及特性	195
7.3.2 渐开线齿廓符合齿廓啮合基本定律	196
7.3.3 渐开线齿轮的啮合特性	197
7.4 标准直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸	200
7.4.1 直齿圆柱齿轮各部分的名称及代号	200

7.4.2	直齿圆柱齿轮的基本参数	201
7.4.3	渐开线标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸	204
7.5	渐开线齿轮正确啮合及连续传动的条件	205
7.5.1	渐开线齿轮正确啮合的条件	205
7.5.2	渐开线齿轮连续传动的条件	207
7.6	渐开线齿轮的切齿原理	210
7.6.1	渐开线轮齿的加工方法	210
7.6.2	渐开线齿廓的根切现象	216
7.7	轮齿失效和齿轮材料	220
7.7.1	轮齿失效	220
7.7.2	齿轮材料	224
7.8	直齿圆柱齿轮的强度计算	226
7.8.1	轮齿的受力分析及计算载荷	226
7.8.2	齿根弯曲强度计算	228
7.8.3	齿面接触强度计算	232
7.8.4	齿轮传动设计准则	235
7.8.5	齿轮强度计算中的参数选择	236
7.8.6	齿轮传动设计的主要内容及步骤	238
7.9	斜齿圆柱齿轮传动	241
7.9.1	斜齿圆柱齿轮的齿廓曲面及啮合特点	241
7.9.2	斜齿圆柱齿轮传动的的基本参数及正确啮合条件	242
7.9.3	斜齿圆柱齿轮的当量齿轮	246
7.9.4	斜齿圆柱齿轮传动的受力分析	248
7.10	直齿圆锥齿轮传动	250
7.10.1	直齿圆锥齿轮的齿廓曲线及传动特点	250
7.10.2	直齿圆锥齿轮的基本参数及当量齿轮	252
7.10.3	直齿圆锥齿轮的受力分析	255
7.11	蜗杆传动	256
7.11.1	蜗杆传动机构的组成及特点	256
7.11.2	蜗杆传动的类型	257
7.11.3	普通蜗杆传动的基本参数及几何尺寸的计算与选择	259
7.11.4	蜗杆传动的正确啮合条件及齿面相对滑动	263
7.11.5	蜗杆传动的受力分析	264
	习题	266
8	轮系	271
8.1	轮系的功用及分类	271
8.1.1	轮系的功用	271
8.1.2	轮系的类型	276

8.2 定轴轮系的传动比计算	278
8.2.1 定轴轮系传动比值的计算	278
8.2.2 从动轮(末轮)转向的确定	279
8.2.3 定轴轮系传动比计算小结	282
8.3 周转轮系的传动比计算	282
8.3.1 周转轮系传动比计算的基本思路及转化轮系	282
8.3.2 周转轮系传动比的计算	284
8.4 复合轮系的传动比计算	287
习题	289
9 轴	291
9.1 轴的类型及材料	291
9.1.1 轴的类型	291
9.1.2 轴的材料	293
9.2 轴的结构设计	294
9.2.1 轴的结构形状要求及其组成	294
9.2.2 确定轴结构尺寸时应注意的事项	295
9.2.3 轴上零件的固定	297
9.2.4 轴结构的设计步骤	301
9.3 轴的设计计算	302
9.3.1 粗略的设计计算	302
9.3.2 精确的校核计算	303
习题	310
10 轴承	312
10.1 轴承的分类及功用	312
10.2 滚动轴承的类型、特点及代号	313
10.2.1 滚动轴承的基本结构、类型及特点	313
10.2.2 滚动轴承代号	315
10.3 滚动轴承的选用	321
10.3.1 各类滚动轴承的特点	321
10.3.2 滚动轴承的选用原则	322
习题	323
附录 A 产品设计文档	324
A1 提交三维软件建模	324
A2 提交实体模型	325
A3 提交设计图纸	326
参考文献	327

1 绪 论

课程学习目的与要求

◇ 掌握和了解机械设计的基础知识,包括:

(1) 常用机构的基本几何特性、运动特性和动力特性;

(2) 通用机械零件的工作原理、特点、应用及简单设计计算方法;

◇ 运用机械设计基础知识分析机构和机械零件的相关特性,了解常用机构和机械零件设计的思维方式和基本方法;

◇ 培养选择常用机构及机械零件的能力;

◇ 具备运用机械设计相关标准、规范、手册和图册等技术资料的能力;

◇ 为学习专业课程、发展新科学技术奠定机械设计工程技术的理论基础及基本知识。

本章学习要求

◇ 弄清概念: 机器、机构、构件、零件(通用零件、专用零件)。

1.1 机械设计与现代科技产品

在现代科学技术层出不穷的时代,虽然有许多先进的新型技术可以更好地实现甚至能够取代一些机械产品和零件的功能,但时至今日,从工业设备、农业机械、交通工具、游乐设施、电器产品到家庭日常生活品、孩童的玩具等许多产品,包括现代高科技产品,仍然离不开机械系统实现或辅助实现其功能。本节以目前处于现代科技产品研究和发​​展前沿的智能机械、微型机械以及仿生机械为代表的新型机械系统为例,了解机械系统、机械零件和机械设计在现代科技产品及其设计中的重要作用。

1.1.1 微型机械

随着现代科学技术的发展,微电子技术愈来愈广泛地渗透到机械工程各个领域,机械装置也在不断向微小型化发展,以适应生物、环境控制、医学、航空航天、数字通信、传感技术、灵巧武器等领域日益增长的需要。例如,微型机械在生物领域,可以实现细胞的分离与接合;在医疗领域,装有电子发射器、自动记录仪,甚至电脑以及其他工具的微型机械,可以进入人体的肠胃系统;在宇航领域,带有摄像装置的微型机器人可以在航天飞机和纳米卫星内部自动搜寻故障,等等。

微型机械(micro machinery)是集微型机构、微型驱动器、微型工作执行件、微能源、微型传感器,以及控制电路、信号处理装置、接口、通信等为一体,几何尺寸小于 1 mm^3 的微型机电一体化产品,也称微型机电系统(micro electro mechanical system, MEMS),通常用纳米、微米或毫米级单位进行度量,具有体积小、重量轻、能耗低、集成度高和智能化程度高

等特点。因此,微型机械和微型机械零件的结构、材料、制造方法及工作原理与传统机械和机械零件截然不同。^[1,2] $1\text{ nm}=10^{-3}\text{ }\mu\text{m}=10^{-6}\text{ mm}$, 约是 5 个原子排列在一起的长度,相当于一根普通头发丝直径的 6 万~7 万分之一。纳米科技是微型机械设计的基础之一,其最

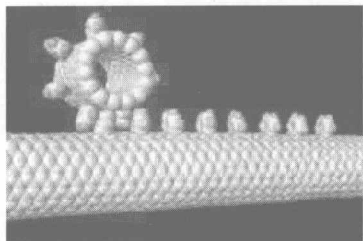
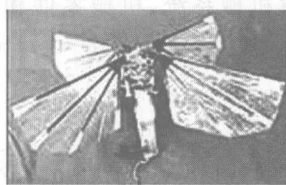


图 1.1 纳米齿轮

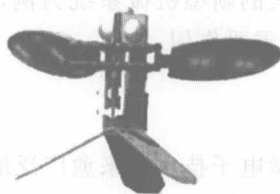
终目的是利用化学和生物技术,以原子、分子为基本单元,根据设计者的设计意愿,通过组装原子或分子,设计制造出各种纳米机器,例如纳米泵、纳米轴承、纳米齿轮(见图 1.1),以及用于分子装配的精密运动控制器等微型机械。^[3] 1982 年,科学家们发明了扫描隧道显微镜加工技术,这种技术能对单个原子进行加工,精度非常高。随着扫描隧道显微镜的发明,诞生了以 $0.1\sim 100\text{ nm}$ 长度为研究对象的前沿科学。2002 年 2 月,日本一位科学家

Morinobu Endo 教授领导的科技研究小组,利用扫描隧道显微镜加工技术,成功地研制出直径只有 $200\text{ }\mu\text{m}$ 的纳米齿轮,该齿轮具有良好的滑动特性和抗磨损性能与抗热性能。^[4] 利用扫描隧道显微镜加工技术还可以加工出纳米弹簧、纳米喷嘴、纳米轴承、微型传感器、微型执行机构等零部件和元器件,为实现分子机器奠定了一定基础。^[5]

微型机构及微型机械零件的研制工作始于 20 世纪 70 年代,由美国斯坦福大学开始研究。1987 年,美国投入大量经费资助微型机械开发,随后,斯坦福大学研制出直径为 $20\text{ }\mu\text{m}$, 长度为 $150\text{ }\mu\text{m}$ 的铰链连杆机构,以及 $210\text{ }\mu\text{m}\times 100\text{ }\mu\text{m}$ 的微型滑块。美国加州大学伯克利分校试制出直径为 $60\text{ }\mu\text{m}$ 的静电电机、直径为 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的旋转关节,以及齿轮驱动的滑块和灵敏弹簧。美国贝尔实验室也开发研制出直径 $400\text{ }\mu\text{m}$ 的齿轮机构。^[1,2] 美国一直非常重视将微型机械技术应用于军事领域。20 世纪 90 年代初,美国麻省理工学院人工智能实验室的布鲁克斯教授在学生的帮助下,研制出一批蚊型机器人(图 1.2(a)),可用于收集情报、进行窃听。图 1.2(b)及图 1.2(c)分别是与蚊型机器人功能类似的机械蝇和微型飞行器。这些微型机械飞行虫不会思考,只能在程序控制下动作。



(a)



(b)



(c)

图 1.2 微型机械飞行虫

(a) 蚊型机器人; (b) 机械蝇; (c) 微型飞行器

加拿大太空署于 2002 年 10 月发射了一颗只有手提箱大小、价值 630 万美元的微型人造卫星。通过微型人造卫星上的微型太空望远镜,有望观测到绕其他恒星公转的行星反射的光,其传回的数据将超过许多大型太空望远镜。^[6] 人造卫星五脏俱全,其中不乏机械系统(图 1.3)。

图 1.4 是中国科学院与中国科学技术大学的同行们研制的一种医用微型机器人,该机器人能够在人体血管中游动以清洁动脉,还能够将药物“运输”到人体内的患病部位。这种三角形的微型机器人长约 3 mm ,依靠外部磁场的作用在人体内运动。医生可以通过改变磁

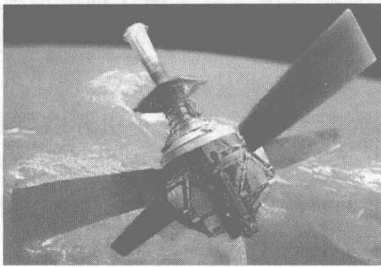


图 1.3 人造卫星

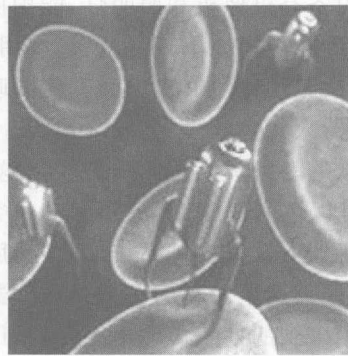
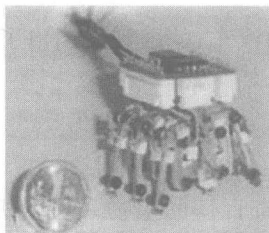


图 1.4 医用微型机器人

场的振动频率,控制机器人在人体内的移动速度。这项研究工作目前尚处于初级阶段。根据研究人员介绍,待技术成熟后,这种微型机器人的长度能减小至 1 mm。其理想目标是研制出长度仅为 0.1 mm 可以游走于人体血管内的微型机器人,当然实现理想目标尚需等到纳米技术领域取得新突破之后。^[7]图 1.5 是上海交通大学研制的一种呈正方形体、可在狭小空间内自由进出的六足记忆合金自主步行微型机器人,其外观如同一只小甲虫,外形尺寸为 25 mm×30 mm×30 mm(体长约为一枚硬币大小),重 20 g,步行速度 18 mm/min,有 12 个自由度,形状记忆合金^①与偏置弹簧组成驱动源,共有 12 个驱动源。能在管内实现上、下、左、右、前、后的全方位运动,并且可以通过直管、曲率半径较大的弯管,以及 L 形、T 形管道,今后有望钻入人体内一显身手。^[5,8]



(a)



(b)

图 1.5 六足微型机器人

随着太空科学技术的发展,世界上有越来越多的宇航员飞向太空,进入宇宙。这样,“太空医生”成为太空科学技术发展必须考虑的问题之一,以解决宇航员在太空生病的治疗问题。针对这一功能目标,美国内布拉斯加大学成功研制出一种能在太空为宇航员手术的微型机器人(图 1.6(a))。这种机器人体积小,长约 7 cm,直径不到 1 cm,头部装有滑轮,机

^① 形状记忆合金于 20 世纪 60 年代初期出现,由镍和钛组成(称为 NT 合金),具有记忆能力。预先将 NT 合金加工成某一形状,在 300~1000℃ 高温下热处理几分钟至半小时,NT 合金就会记忆其加工成的形状。在特定温度下,能将自身的塑性变形自动恢复成原始形状。除具有独特的形状记忆功能外,还具有耐磨损、抗腐蚀、高阻尼和超弹性等特点。形状记忆材料兼有传感和驱动双重功能,可以实现控制系统的微型化和智能化,如全息机器人、毫米级超微型机械手等。21 世纪将成为材料电子学的时代。采用形状记忆合金的机器人,其动作不受温度以外的任何环境条件影响,有望在反应堆、加速器、太空实验室等高科技领域大显身手。

器人体内备有摄像机和照明灯,能拍摄病人的身体状况,并传给地面医生。借助电脑遥控系统,在地面医生操纵下,能够灵活使用随身携带的医疗器械,为病人手术,轻松完成地面医生的各项“指定动作”,非常灵活。美国政府希望,宇航员能够尽快学会使用这种微型机器人,以使“机器人太空手术”成为现实。微型机器人的发明研制者——微创手术和计算机辅助手术领域的专家奥利尼科夫认为:这个“太空医生”还将取代开刀式手术。^[9]图 1.6(b)和 1.6(c)是以色列海法市 Technion 研究院莫舍·索哈姆博士领导的研究小组开发研制的脊椎援助机器人及其推进系统,脊椎援助机器人头部装有一台相机,拍摄脊椎患处的图片供医生查看,尾部两个游动的尾线是制动器。机器人靠脊椎处脊髓液的推动实现移动,并将移动过程中拍摄到的信息传输给医生,帮助医生进行脊椎手术。^[10]

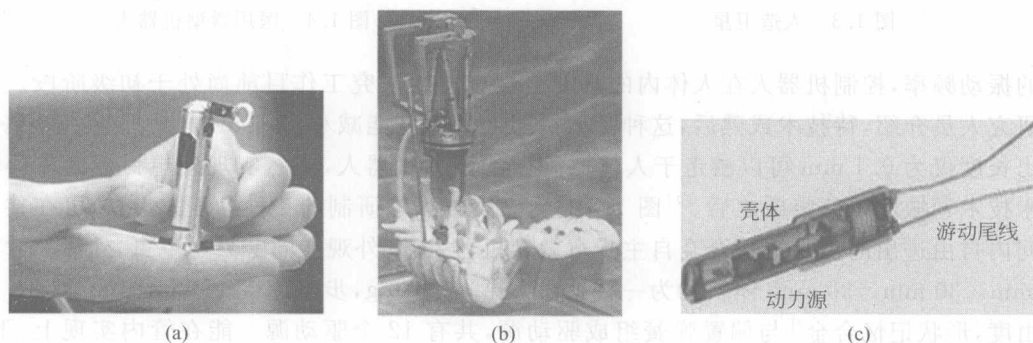


图 1.6 微型医疗机器人

(a) 太空医生; (b) 脊椎援助机器人; (c) 脊椎援助机器人推进系统

据报道,日本已经组装出一种只有米粒大小的汽车;德国则研制出了长 24 mm、高 8 mm、质量只有 400 mg 的微型直升机。^[11]

1.1.2 仿生机构

神奇的大自然经过几万年的演化,创造出千奇百怪的生物。仿生机构和仿生机器人是人们在仔细研究各种生物的系统结构、运动形式和控制方式的基础上,模仿生物特点研制而成的机构和机器人。仿生机构运用了生物的独特特性,可以模拟生物的运动特征,完成人难以或无法从事的工作。随着机构设计研究在生物学研究领域的不断渗透,仿生机构也在逐步地完善和发展。下面介绍一些仿生机构的研究成果。

1. 多自由度的机械假肢

意外事故和灾难可能会使得一些人永远失去自己身体中的一部分。但是,随着仿生机构研究的深入、仿人身肢体的出现,先进的科学技术已经有可能让假肢“智能”,使残疾人也能“活动自如”,以弥补一些人丧失肢体的终生遗憾。图 1.7(a)所示的肌电假肢(指)利用人体动作时,大脑向肌肉发出的生物电信号作为信号源,经过置放在相应肌肉上的两块电极,将信号传入肌电假肢(指)的控制线路中,再经过电子控制线路放大、滤波等一系列处理,驱动假肢(指)内的微型电机,带动假肢(指)动作,由此使得肌电假肢(指)的动作与人的思维基本一致。图 1.7(a)中左图是大臂三自由度肌电假肢,假肢的肘关节可以伸屈,腕关节可以旋转,手指可以张握。^[12]图 1.7(b)是意大利圣安娜高等学院的保罗·达里罗教授领导的生

物与医学机器人研究小组发明的由大脑控制的机械手,也称电脑手。这个电脑金属手融合了精密、复杂、灵活的机构和电脑系统,可以将假指佩戴者的大脑信号转变成动力,使用者控制假指动作时,可以感觉到假指的活动。除了可以使人体产生感觉外,电脑手的机构也有很多改进。例如,5个手指可以独立活动,机械手可以拿起细小的物体,而且可以控制力度,不会将细弱物体捏碎。^[13]图 1.7(c)中的仿生手臂与人的健康胸部肌肉相连接。大脑发出的信息通过手臂上的一个接收器传送至仿生手臂,就能使仿生手臂在数秒钟内执行相应动作。^[14]

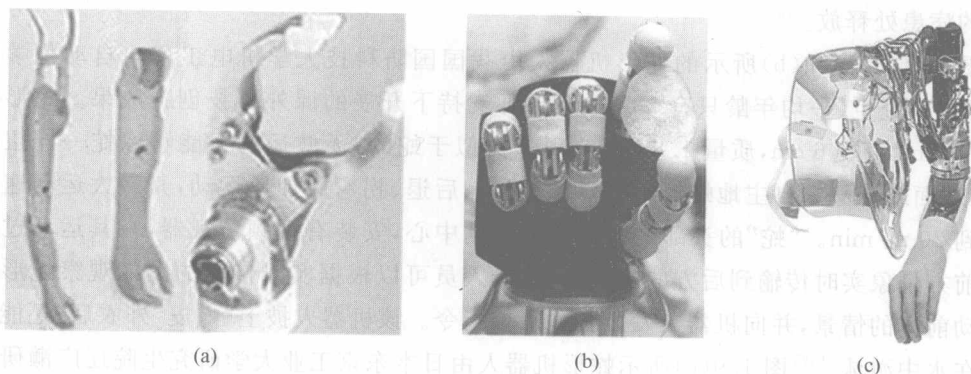


图 1.7 仿生肢体

(a) 肌电假肢(指); (b) 电脑手; (c) 仿生手臂

图 1.8(a)是 2005 年上海国际工业博览会中展出的会演奏竖琴的机器人。^[15]图 1.8(b)所示的吹笛机器人,完全模拟人的关节,通过 10 个金属手指灵活地按动笛子的发音孔,即可吹奏出美妙的曲调。^[8]

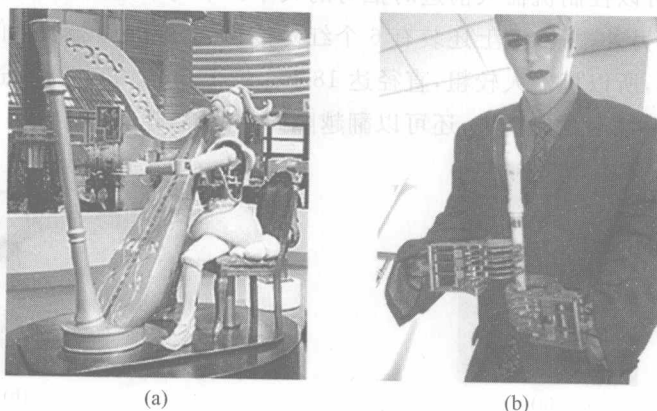


图 1.8 演奏乐器的机器人

(a) 演奏竖琴; (b) 吹笛

2. 探测管道故障的仿生机器人

管道机器人是一种在特殊场合下的行走机构。目前,对于管道机器人的类型、行走步态规划和控制技术均有比较深入的研究。

谷崎日本理化研究所和产业技术综合研究所的专家共同研制出了一种能像蛇一样游泳的机器人。这种机器人的身体由一种新型薄膜材料制成,长 14 cm,宽 1.2 cm,厚 200 μm。薄膜两面是能够进行离子交换的树脂,树脂表面镀有一层金箔。当薄膜两面镀有金箔的树脂成为电极并加上电压后,机器人所处液体环境中的离子或水分子会向电极的一面迁移,使薄膜弯曲。蛇形机器人身体的薄膜被分隔成 7 个区域,每个区域的电极分别在不同时间被施加电压,这样机器人就能像蛇一样在有液体的管道中蜿蜒游动,每秒可以游动约 4 mm。专家们计划对这种蛇形机器人进行微小型化处理,期望将来能在人体的血管内游动,将药物运送到人的病患处释放。^[16]

图 1.9 中(a)和(b)所示的蛇形机器人由我国国防科技大学机电工程与自动化学院的 5 名硕士研究生(平均年龄只有 23 岁)在导师支持下开展的课外科技创新成果。蛇形机器人长 1.2 m,直径 6 cm,质量 1.8 kg,实现了类似于蛇的“无肢运动”,能够像蛇一样扭动身躯,在地面或草丛中自主地蜿蜒运动,可以前进、后退、拐弯并加速运动,其最大运动速度可以达到 20 m/min。“蛇”的头部是机器人的控制中心,安装有视频监视器,在其运动过程中可将前方景象实时传输到后方的电脑中,科研人员可以根据实时传输的图像观察蛇形机器人运动前方的情景,并向机器人发出各种遥控指令。该机器人披上“蛇皮”外衣后,还能像蛇一样在水中游泳。^[17]图 1.9(c)所示蛇形机器人由日本东京工业大学研究生院辽广濑研究室与日本理工学振兴会开发研制。该机器人分为多节,每节都是在圆柱形物体上装 6 枚类似鱼鳍的配件,利用履带将各节连接在一起。尽管鱼鳍的顶端装有脚轮,但这种脚轮并不产生驱动力,而是通过蛇行或扭动身体来移动。这款蛇形机器人具有很强的防水性能,可以在水中通过身体蛇行,或螺旋运动向前移动,还可以上下楼梯。^[18]图 1.9(d)是德国国家信息技术研究中心研制的蛇形机器人,机器人上每一节周围都套着像手镯一样由电动机驱动的一组小轮子,这些轮子可以控制机器人前进时推力的大小。节与节之间用万向轴连接,由 3 个电动机控制其转动。另外,每一节上还装有 6 个红外传感器、微处理器和通信模块。由于每一节集成有较多功能,所以机器人较粗,直径达 18 cm,长 1.5 m。该机器人适应地形的能力比较强,不但可以在平地上蜿蜒前进,还可以翻越障碍、穿过管道。^[19]

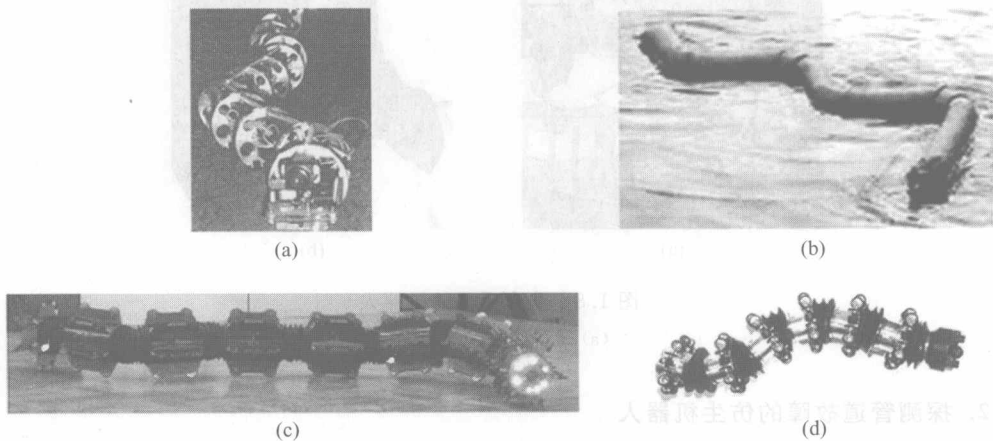


图 1.9 蛇形机器人

蛇形机器人在许多领域有着广泛的应用前景。例如,在有辐射、有粉尘、有毒或者战场环境中,执行侦察任务;在地震、塌方及火灾后的废墟中寻找伤员;在狭小和危险条件下探测和疏通管道,等等。

图 1.10 是日本三菱电机公司研制的蚂蚁形机器人,该机器人首尾长 5 mm,高 6.5 mm,宽 9 mm,小如蚂蚁,可以在狭窄的管道中移动。研究人员准备用这种机器人寻找电厂灼热管道中的裂缝。图 1.10 中所示的蚂蚁形机器人正在推开米粒前进。^[18]

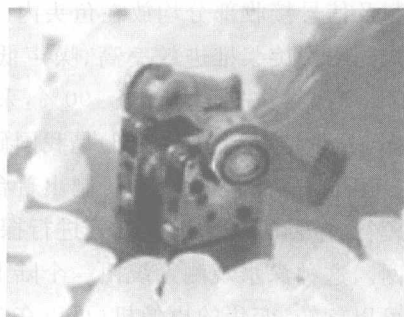


图 1.10 蚂蚁形机器人

3. 深水探测的鱼游机构

鱼类扭动身体能在水中悠闲游动,而人类制造的轮船则须依靠螺旋桨才能前进。海洋鱼类的推进方式具有效率高、噪声低、速度高、机动性强等优点,成为人们研制新型高速、低噪声、机动灵活柔体潜水器模仿的对象。近年来,西方发达国家,尤其是军界日益重视鱼游机构技术的研究。比较突出的研究成果有美国麻省理工学院的机器金枪鱼(图 1.11(a))和日本的鱼形机器人(图 1.11(b)),我国在机器鱼波动推进实验技术方面也形成了自己的特色(图 1.11(c)和图 1.11(d))。

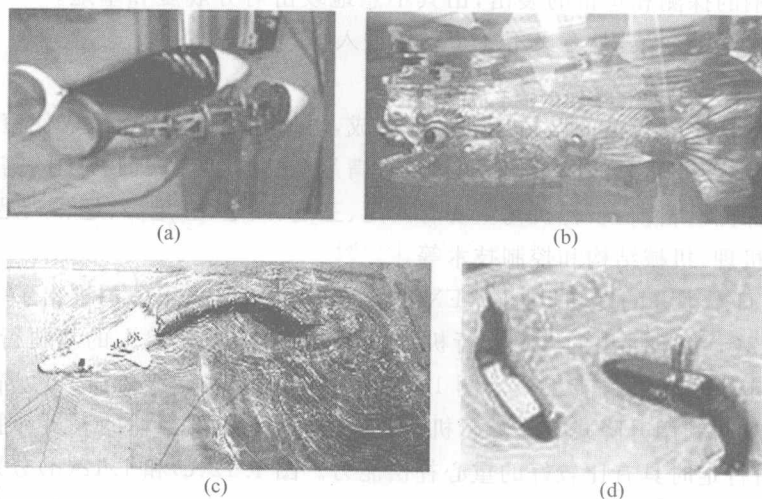


图 1.11 鱼游机构

图 1.11(a)是美国麻省理工学院模仿金枪鱼的特点研制而成的机器金枪鱼。它有一个柔韧的外壳,像鱼一样的骨架,由振动的金属箔驱动外壳的变形,模仿鱼摆动前进。研究人员希望将来的自主水下机器人能够利用这种高效的鱼类前进方式,深入海洋进行科学探索。^[19]有些科学家正在设计金枪鱼潜艇,其行驶速度可达 20 节(1 节=1 n mile/h),是名副其实的下水游动机器。它的灵活性远远高于现有的潜艇,几乎可以达到水下任何区域,由人遥控,可以轻而易举地进入海底深处的海沟和洞穴,悄悄地溜进敌方的港口,进行侦察而不被发觉。作为军用侦察和科学探索工具,其发展和应用的前景十分广阔。图 1.11(b)是日本三菱重工业公司研制的鱼形机器人,于 2005 年 6 月 9 日在日本爱知世界博览会机器人展览中展出。该款机器人长 1 m、质量 25 kg,可在水中自主游动。^[20]图 1.11(c)所示鱼形机器