



北京市科学技术委员会
科普专项资助

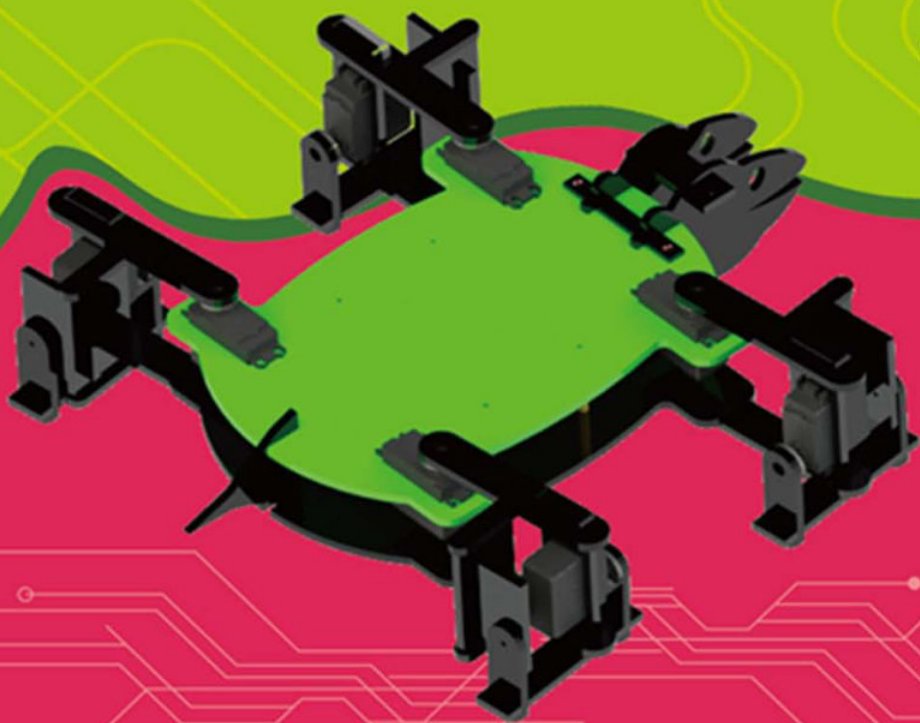
北京市科学技术委员会
科普专项经费资助



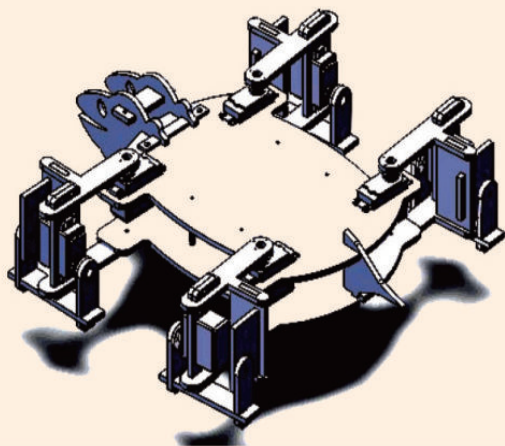
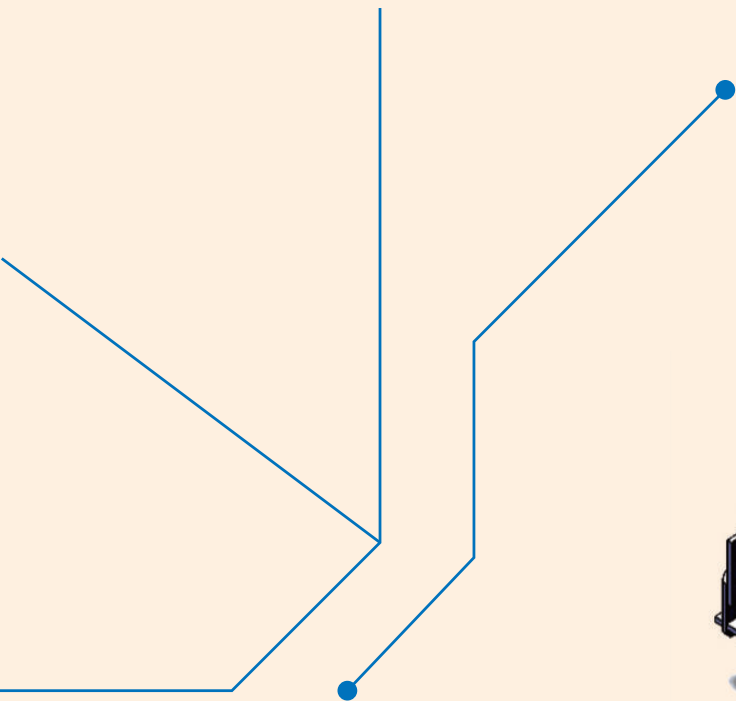
我的机器人创客教育系列

仿龟机器人的 设计与制作

罗庆生 罗 霄 李铭浩 编著



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



我的机器人创客教育系列

仿龟机器人的设计与制作

罗庆生 罗 霄 李铭浩 ● 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

仿龟机器人的设计与制作/罗庆生, 罗霄, 李铭浩编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2019. 7

(我的机器人创客教育系列)

ISBN 978 - 7 - 5682 - 7317 - 6

I. ①仿… II. ①罗… ②罗… ③李… III. ①仿生机器人 - 设计 - 青少年读物②仿生机器人 - 制作 - 青少年读物 IV. ①TP242 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 157196 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 14.5

字 数 / 280 千字

版 次 / 2019 年 7 月第 1 版 2019 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 59.00 元

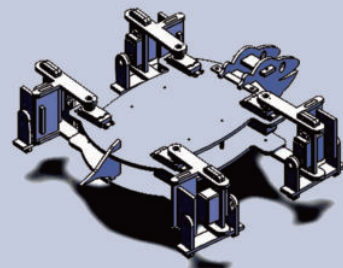
责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



序 言

青少年是祖国的未来，科学的希望。以我国广大青少年为对象，开展规范性、系统性、引领性、全局性的科技创新教育与实践活动，让广大青少年通过这些活动，将理论研究与实际应用结合，将动脑探索与动手实践结合，将课堂教学与社会体验结合，将知识传承与科技创新结合，使广大青少年能有效提升创新兴趣，熟悉创新方法，掌握创新技能，增长创新能力，成为我国新时代的科技创新后备人才，意义重大，影响深远。

在形形色色的青少年科技创新教育与实践活动中，机器人科普教育、科研探索、科技竞赛别具特色，作用显著。这是因为机器人是多学科、多专业、多技术的综合产物，融合了当今世界多种先进理念与高新技术。通过机器人科普教育、科研探索、科技竞赛，可以使广大青少年在机械技术、电子技术、计算机技术、传感器技术、智能决策技术、伺服控制技术等方面得到宝贵的学习与锻炼机会，能够有效加深青少年对科技创新的理解能力，并提高其实践水平，让他们尽早爱科学、爱创新。

了解机器人的基本概念，学习机器人的基本知识，掌握机器人的设计与制作技巧，提升机器人的展演水平与竞技能力，将使广大青少年走近我国科技创新的最前沿，激发青少年对于科技创新尤其是机器人创新的兴趣与爱好，挖掘青少年开展科技创新的潜力，夯实青少年成为创新型、复合型人才的理论与技术基础。

“我的机器人创客教育系列”丛书重点讲述了仿人、仿蛇、仿狗、仿鱼、

仿蛛、仿龟等六种机器人的设计与制作，之所以选择了这六种仿生机器人作为本套丛书的主题，是出于以下考虑：在仿生学一词频繁在科研领域亮相时，仿生机器人也逐步进入了人们的视野。由于当代机器人的应用领域已经从结构化环境下的定点作业，朝着航空航天、军事侦察、资源勘探、管线检测、防灾救险、疾病治疗等非结构化环境下的自主作业方向发展，原有的传统型机器人已不再能够满足人们在自身无法企及或难以掌控的未知环境中自主作业的要求，更加人性化和智能化的、具有一定自主能力、能够在非结构化的未知环境中作业的新型机器人已经被提上开发日程。为了使这一研制过程更为迅速、更为高效，人们将目光转向自然界的各种生物身上，力图通过有目的的学习和优化，将自然界生物特有的运动机理和行为方式，运用到新型仿生机器人的研发工作中去。

仿生机器人是一个庞大的机器人族群，从在空中自由飞翔的“蜂鸟机器人”和“蜻蜓机器人”，到在陆地恣意奔跑的“大狗机器人”和“猎豹机器人”，再到在水下尽情嬉戏的“企鹅机器人”和“金枪鱼机器人”；从肉眼几乎无法看清的“昆虫机器人”到可载人行走的“螳螂机器人”，现实世界中处处都可看见仿生机器人的身影，以往只有在科幻小说中出现的场景正在逐步与现实世界交汇。

仿生机器人的家族成员们拥有五花八门的外观形貌和千奇百怪的身体结构，它们通过不同的机械结构、步态规划、行动特点、反馈系统、控制方式和通信手段模拟着自然界中各种卓越的生物个体，同时又通过人类制造的计算机、传感器、控制器以及其他外部构件，诠释着自己来自实验室的特殊身份。如今，这支源于自然世界和科学世界混合编组的突击部队正信心满满，准备在人类生活中大显身手。

时至今日，仿生机器人已经成为家喻户晓的“大明星”，每一款造型新颖、构思巧妙、功能独特、性能卓异的仿生机器人自问世之时起都伴随着全世界的惊叹和掌声，仿生机器人技术的迅速发展对全球范围内的工业生产、太空探索、海洋研究，以及人类生活的方方面面产生越来越大的影响。在减轻人类劳动强度，提高工作效率，改变生产模式，把人从危险、恶劣、繁重、复杂的工作环境和作业任务中解放出来等方面，它们显示出极大的优越性。人们不再满足于在展示厅和实验室中看到机器人慢悠悠地来回走动，而是希望这些超能健儿们能够在更加复杂的环境中探索与工作。

北京理工大学特种机器人技术创新团队成立于2005年，是在罗庆生教授和韩宝玲教授带领下，长期不懈地走在特种机器人科技创新探索、科研任务攻关道路上，充满创新能量、奋斗不息的一支标兵团队。该创新团队的主要研究领域为光机电一体化特种机器人、工业机器人技术、机电伺服控制技

术、机电装置测试技术、传感探测技术和机电产品创新设计等。目前已研制出仿生六足爬行机器人、新型特种搜救机器人、多用途反恐防暴机器人、新型工业码垛机器人、新型轮腿式机器人、新型节肢机器人、新型工业焊接机械臂、陆空两栖作战任务组、外骨骼智能健身与康复机、“神行太保”多用途机器人、履带式壁面清洁机器人、小型仿人机器人、“仿豹”跑跳机器人、先进综合验证车、仿生乌贼飞行机器人、履带式变结构机器人、制导反狙击机器人、新型球笼飞行机器人等多种特种机器人。该团队在承研某部“十二五”重点项目——新型仿生液压四足机器人过程中，系统、全面、详尽、科学地开展了四足机器人结构设计技术研究、四足机器人动力驱动技术研究、四足机器人液压控制技术研究、四足机器人仿生步态技术研究、四足机器人传感探测技术研究、四足机器人系统控制技术研究、四足机器人器件集成技术研究、四足机器人操控装备技术研究，在有关液压四足机器人的仿生研究、机构设计、结构优化、机械加工、驱动传感、液压伺服、系统控制、人工智能、决策规划和模式识别等高精尖技术方面取得一系列创新与突破，从而为本套丛书的撰写提供了丰富的资料和坚实的基础。

本套丛书的主创人员在开发高性能、多用途仿生机器人方面具有丰富的研制经验和深厚的技术积累，由罗庆生、韩宝玲、罗霄撰写的专著《智能作战机器人》曾获“第五届中华优秀出版物奖图书奖”称号，这是我国出版物领域中的三大奖项之一，表明其在科技领域，尤其是在机器人领域中的实力与地位。

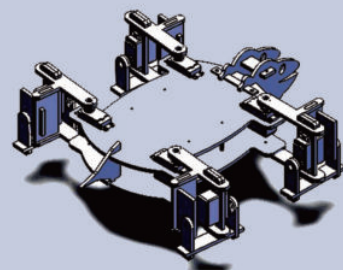
本丛书由罗庆生、罗霄担任主撰；蒋建锋、乔立军、王新达、陈禹含、郑凯林、李铭浩等人参与了本套丛书的研究与撰写工作，并担任各分册的主创人员。

在本套丛书的研究与写作过程中，得到了北京市教委、北京市科委等部门相关领导的极大关怀，得到了北京理工大学出版社的热情帮助，还得到了许多同仁的无私支持。值本书即将付印出版之际，谨向所有关心、帮助、支持过我们的领导、专家、同事、朋友表示衷心的感谢！

少年强则中国强，创新多则人才多。让机器人技术助圆我国广大青少年的“中国梦”！

作 者

2019年7月于北京



目 录

CONTENTS

第 1 章	从生物乌龟到仿龟机器人	1
1.1	走近乌龟，了解乌龟	1
1.2	乌龟特点多，奇怪容貌细细认	2
1.3	乌龟的生活习性	3
1.4	乌龟的主要器官	4
1.5	乌龟四只脚，不慌不忙稳稳走	5
1.5.1	乌龟的四肢	5
1.5.2	乌龟的爬行动作	5
1.5.3	乌龟爬行动作的启发	6
1.6	仿生学的启迪	7
1.6.1	生物形态与形态仿生	8
1.6.2	生物形态与工程结构	14
1.6.3	生物形态与运动机构	15
1.7	多姿多彩的仿生机器人	19
1.7.1	水下巡游机器人	19
1.7.2	地面机动机器人	20
1.7.3	空中飞行机器人	22
1.8	活灵活现的机器龟	23

第2章 仿龟机器人的组成 27

2.1 仿龟机器人的系统组成概述	27
2.2 仿龟机器人的能量源	28
2.2.1 电源系统的组成及工作原理	29
2.2.2 电源系统的主要作用	30
2.3 各式各样的电池	30
2.3.1 锂离子电池	30
2.3.2 锂聚合物电池	37
2.3.3 镍氢电池	41
2.4 让仿龟机器人善沟通	44
2.4.1 机器人通信系统简介	44
2.4.2 常用的机器人通信技术	47
2.5 让仿龟机器人动起来	65
2.5.1 直流电机	65
2.5.2 步进电机	72
2.5.3 伺服电机	78
2.5.4 舵机	83

第3章 仿龟机器人的设计要点 86

3.1 仿龟机器人的系统构想	86
3.2 仿龟机器人腿部自由度的确定	87
3.3 仿龟机器人腿部结构的设计	88
3.3.1 仿龟机器人腕关节组件的设计	89
3.3.2 仿龟机器人腿部组件的设计	102
3.3.3 仿龟机器人躯干上、下板的设计	112
3.3.4 连接铜柱的实体造型	117
3.3.5 乌龟尾巴的设计与造型	117
3.3.6 乌龟头部的设计与造型	118

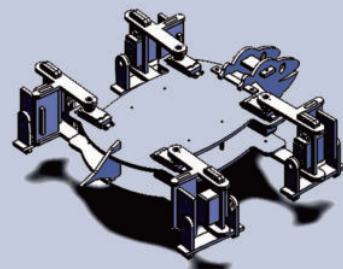
第4章 瞧瞧仿龟机器人的感官 120

4.1 眼睛虽小视力好	120
4.1.1 CCD 器件	123
4.1.2 CMOS 器件	123

4.1.3	CCD 与 CMOS 的比较	124
4.2	判断远近有准头	125
4.2.1	测距传感器的分类	125
4.2.2	测距传感器的工作原理	126
4.2.3	超声波传感器的使用	129
4.2.4	人体热释电传感器的使用	130
4.3	皮肤虽粗有感觉	132
4.3.1	触觉传感器的分类	132
4.3.2	触觉传感器的工作原理	133
第 5 章	一起来做可爱的仿龟机器人	137
5.1	仿龟机器人零件的加工	137
5.1.1	生成二维切割图纸	137
5.1.2	切割并加工零件	140
5.2	仿龟机器人单腿的组装	142
5.3	仿龟机器人整体的组装	145
第 6 章	让仿龟机器人会思考	147
6.1	仿龟机器人的大脑	147
6.1.1	仿龟机器人控制系统的基本组成	147
6.1.2	仿龟机器人控制系统的工作机理	148
6.1.3	仿龟机器人控制系统的主要作用	149
6.2	大脑的神经元——单片机	150
6.2.1	单片机的工作原理	150
6.2.2	单片机系统与计算机的区别	151
6.2.3	单片机的驱动外设	152
6.2.4	单片机的编程语言	152
6.3	大脑的左半球——DSP 控制技术	153
6.3.1	DSP 简介	153
6.3.2	DSP 的特点	154
6.3.3	DSP 的驱动外设	154
6.3.4	DSP 的编程语言	154
6.4	大脑的右半球——ARM 控制技术	156
6.4.1	ARM 简介	156

仿龟机器人的设计与制作

6.4.2	ARM 的特点	156
6.4.3	ARM 公司的驱动外设	157
6.4.4	ARM 的编程语言	157
6.5	仿龟机器人常用编程平台 Arduino	158
6.5.1	Arduino 简介	158
6.5.2	Arduino 引脚分配图简介	159
6.5.3	Arduino 开发环境的搭建	165
6.5.4	Arduino 语言简介	166
6.5.5	C/C++ 语言基础	168
6.5.6	Arduino 对舵机的控制	177
6.5.7	Arduino 对蓝牙模块通信的控制	178
6.5.8	图形化编程简介	183
6.6	调整姿态走一走	184
参考文献		206



第 1 章

从生物乌龟到仿龟机器人

1.1 走近乌龟，了解乌龟

要了解乌龟，请先从龟（乌龟的简称）字的起源开始。龟是象形字，像龟之形。在我国的甲骨文中，龟之头、脚以及龟壳之纹路具现，宛然如画，如图 1-1（1、2 部分）所示。由图可知，有正面的形象（1 部分），也有侧面的形象（2 部分）。《说文》占文中（4 部分）表现的是正面形象，《说文》小篆中（5 部分）及以后表现的都是侧面形象。“龟”是“龜”的简化字，但乌龟侧视之形仍然依稀可辨。可见“龟”字经过几千年的演变，笔势虽有不同，而形象依然存在。

“龟”是爬行纲龟科动物的统称。《说文》曰：“龟，旧也，外骨内肉者也。”《殷虚书契前编》曰：“丙午卜，其用龟？”龟在古代用于占卜，也用作货币，因以龟为占卜和货币之称。古代印纽多作龟形，因以龟为印章的代

称。古代碑座也常做成龟形，因此称为碑座。龟在中国传统文化中富有象征意义，大致可分为一褒一贬两个方面。一是龟的寿命很长，古人视为通神之灵物，常用于卜卦，因此赋予龟以吉祥、神圣的意义，如以“龟年鹤寿”形容人的长寿，以“龟龙”“龟象”比喻神灵；二是龟受到惊扰或遇到危险时常把头、脚、尾都缩进壳内，因以“缩头龟”“龟孙子”等为詈词，含有贬义色彩。俗体楷书“龟”基本承续了《说文》占文中（图1-1的4部分）的写法，将有错纹的甲背符号简化成了“田”，大大简化了“龟”的字形。

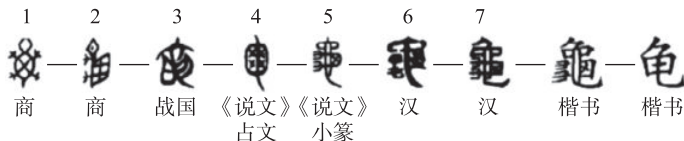


图1-1 龟的字源演变

1、2的来源见《甲骨文字典》第1434页；3的来源见《郭店》第182页；4、5的来源见《说文》第285页；6的来源见《马王堆》542页；7的来源见《甲金篆》第934页。

1.2 乌龟特点多，奇怪容貌细细认

乌龟（几种乌龟分别见图1-2、图1-3、图1-4和图1-5），在分类学上隶属于爬行纲、龟鳖目、龟科，是常见的一种爬行动物。它们是在经历了漫长的3亿年演化过程后幸存到现在的少数几种爬行动物分支之一（此外还有鳄、蜥蜴、蛇类及喙头蜥）。乌龟主要栖息于江河、湖泊、水库、池塘及其他水域^[1]。白天多穴居水中，夏日炎热时，便成群地寻找阴凉处。乌龟性情温和，相互间无咬斗；遇到天敌或受到惊吓时，便把头、四肢和尾缩入壳内。乌龟耐饥饿能力强，数月不食也不致饿死^[2]。乌龟在中国分布十分广泛，尤以长江中下游各省的数量较多。整体分布特点是从西向东、从北向南在种类和数量上逐渐增多。国外则主要分布于日本、巴西、韩国和朝鲜等国家。

乌龟的身体由壳和躯体两部分组成，其龟甲分为背甲和腹甲两部分，整体类似一个椭球形，腹甲以甲桥与背甲借韧带或骨缝相连。乌龟的头部可灵活转动，前端较扁，头顶前部平滑，略呈三角形；吻端向内侧下斜切；喙缘的角质鞘较薄弱；下颚左、右齿骨间的交角小于90°，颈部粗长，近圆筒形。



图 1-2 中华草龟



图 1-3 辐射龟



图 1-4 缅甸星龟



图 1-5 麝香龟

1.3 乌龟的生活习性

乌龟为变温动物，水温降到 10°C 以下时，乌龟就静卧水底淤泥或有覆盖物的松土中冬眠。冬眠期一般从 11 月到翌年 4 月初。当水温上升到 15°C 时，乌龟出穴活动；水温升到 $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ 后，乌龟就开始摄食。

乌龟生活地域广阔，具有水陆两栖性。

(1) 乌龟属于杂食性动物，其食谱中含有小鱼、虾、螺蛳、蚌、蚯蚓以及动物尸体及内脏、植物茎叶、瓜果皮、麦麸等^[3]。

(2) 乌龟的生长具有明显的阶段性，一是摄食阶段。乌龟一般 4 月下旬开始摄食，食量占其体重的 $2\% \sim 3\%$ ；6—8 月，乌龟摄食旺盛，食量占其体重的 $5\% \sim 6\%$ ；到了 10 月，乌龟的摄食量下降，食量占其体重的 $1\% \sim 2\%$ 。二是休眠阶段。从 11 月到翌年 4 月，气温在 10°C 以下时，乌龟进入冬眠；5 月到 10 月，当气温高于 35°C 时，乌龟的食欲开始减退，乌龟进入夏眠阶段（短时间的午休）。

(3) 乌龟喜欢集群穴居，具有明显的集群性。

(4) 乌龟与虾、蟹一样，在生长过程中也会脱壳^[4]。当乌龟接触被污染的水源，或是食用被污染的、有毒的食物时，乌龟就会发生脱壳。

(5) 乌龟的胚胎发育具有特色，卵产后约 30 h，壳上方如有一个白点，即为受精卵；产后 30 天，受精卵变成浅紫红色；70 天后，卵壳变黑。整个孵化需 80 ~ 90 天稚龟才能出壳。

(6) 乌龟的生长较为缓慢。在常规条件下，雌龟生长速度稍快，一龄龟体重 15 g，二龄龟 50 g，三龄龟 100 g，四龄龟 200 g，五龄龟约 250 g，六龄龟 400 g 左右^[5]。雄龟生长速度比雌龟要慢。

1.4 乌龟的主要器官

1. 乌龟的皮肤

乌龟的皮肤（除头部前端外）最大的特点就是粗糙，表皮均布满着细粒状或小块状的鳞片，有保护真皮、减少与外界的摩擦和减少体内水分蒸发的作用。

2. 乌龟的呼吸方式

乌龟颈部和四肢的伸缩运动可直接影响其腹腔的大小，从而影响了其肺部的扩大与缩小。乌龟呼吸时，先呼出气，然后吸入气，这种特殊的呼吸方式称为“咽气式”呼吸，又称为“龟吸”。乌龟的呼吸运动过程可从其后肢窝皮肤的收缩变化观察到。

3. 乌龟的嗅觉

乌龟头上生有两个鼻孔，但是只有一个鼻腔，鼻孔内骨块上均覆有上皮黏膜，有嗅觉功能。其中犁鼻器是乌龟的主要嗅觉器官^[6]。因此，乌龟在寻找食物或爬行时，总是将头颈伸得很长，以探索外部气味，再决定前进的方向。

4. 乌龟的视觉

乌龟的眼睛构造十分独特，其角膜凸圆，晶状体更圆，且睫状肌发达，可以调节晶状体的弧度来调整视距，因此，乌龟的视野一般都非常宽阔，但清晰度较差。所以，乌龟对运动物体比较灵敏，而对静止物体却反应迟钝。据英国动物学家试验，大多数乌龟能够像人类一样分辨颜色，尤其对红色和白色的反应较为灵敏。

5. 乌龟的听觉

乌龟的听觉器官只有耳和内耳，没有外耳，而且最外面是鼓膜。所以，乌

龟对空气传播的声音反应迟钝，却对地面传导的振动十分敏感。

1.5 乌龟四只脚，不慌不忙稳稳走

1.5.1 乌龟的四肢

乌龟的四肢粗短而扁平（见图 1-6），五趾型，位于体侧，能缩入壳内。后肢比前肢粗大。指趾间有蹼。前肢可分为臂、前臂、爪三个部分^[7]。乌龟的第 1~3 指、趾均具钩形利爪，凸出于膜外，第 4、5 指、趾爪不明显或退化，藏于指、趾中。乌龟四肢上附生鳞片，前肢第 5 指具爪，后肢除第 5 趾无爪外，其余均具爪^[8]。



图 1-6 乌龟的四肢

1.5.2 乌龟的爬行动作

乌龟四肢短小，身体靠近地面。爬行时，四肢前后交替运动，动作缓慢，头部左右摆动幅度较大，尾巴呈现波形曲线运动。换言之，就是乌龟的爬行（见图 1-7）与其他四蹄动物运动的方式一样，都是前、后脚岔开爬，左边前脚和右边后脚一起挪，右边前脚和左边后脚一起挪。



图 1-7 乌龟的爬行

乌龟的爬行动作分解情况如图 1-8 所示。乌龟的爬行速度虽然不是很快，但是身体却相对较稳。这也正是人们开发仿龟机器人的缘由所在。

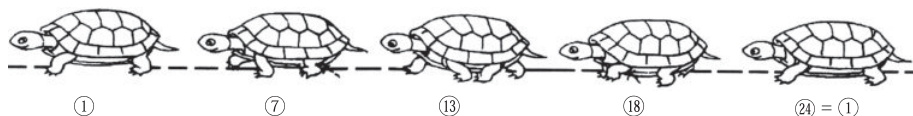


图 1-8 乌龟爬行动作分解图

1.5.3 乌龟爬行动作的启发

乌龟是爬行动物，也是长寿动物。受此启发，很长时间以来，人们就在探索爬行是否能够改善人体的健康状况。经过系统研究和深入探索，人们已经发现，仿照乌龟爬行具有以下好处。

(1) 爬行健身可将全身的重量分散到四肢，以减轻身体各部位，尤其是腰椎的负荷，故对防治腰椎部疾病、腰肌劳损以及多种颈、肩、脊柱病有一定的疗效^[9]。

(2) 人体直立时，心脏要推动血液循环，就要克服血液的重力影响。而且人在直立运动时，下肢是主要活动器官，血液会更更多地分配到下肢，心脏及其以上的器官供血减少。与此相比，爬行时由于心脏及其以上部位位置的降低，有利于全身血液加快循环，对防治心血管疾病有积极作用。

(3) 爬行时人的头部得以下垂，血流量增加，能有效改善大脑的血液循环。

(4) 爬行对全身其他一些系统也有好处。

爬行能使身体变得更强壮。因为这是全身性协调活动，全身的肌肉、韧带、骨骼甚至神经系统都要加入运动。

爬行可使骨骼受益，使骨骼变得更硬，可减少骨质疏松，同时使关节变得较为柔软。

爬行可使肌肉受益，使肌肉变得更有张力和弹性，也更为发达，收缩自如。

爬行是很好的有氧运动。当手臂向前伸展、横膈膜拉开的时候，人们会吸入大量氧气，当下肢向上移动时，横膈膜被压缩，促进肺部排出大量废气。

爬行促进呼吸功能。人体吸气、呼气的协调，要靠爬行时移动的方式来调节，爬得越快，所进行的深呼吸越多。

爬行可促进脑前庭的平衡系统。爬行时，特别是手足爬行时，需要脑前庭平衡系统的参与以维持身体的平衡，使其得到锻炼并加强。

实际上，爬行运动是一种水平运动，而水平运动是相对于垂直运动而言的。水平运动是指运动者在其运动过程中，其身体在与地面保持基本平行的状态下进行的各种运动。垂直运动是指运动者在其运动过程中其身体在与地面保

持垂直状态下而进行的各种运动，如走路、跑步、跳跃等，人们利用很多传统的健身器材所进行的运动，也都是垂直运动，如跑步机等。有研究表明，重力对体会产生一定的副作用，也就是说，人如果长期进行垂直运动，对身体的某些方面会有一些的不利影响。例如，有些人存在脊柱问题（颈椎和腰椎），存在器官下垂问题（包括胃、肾、子宫下垂等），都与重力的副作用有一定关系^[10]。

但是在水平运动下，重力对第三腰椎的压力最小，因而可以消除和减少重力对人体的副作用。人们如果长期进行爬行运动，可以缓解并改善脊椎受力等问题，是长期久坐的人士可以从事的一项非常好的运动。

1.6 仿生学的启迪

大自然是人类最好的老师，为人类的发明和创造提供了取之不尽、用之不竭的灵感与启迪。例如，人们观察蓝藻的光合作用发明了光解水的装置；人们模仿鲨鱼皮的外貌特征设计了新型泳衣，可将水对人体的阻力减少到最小；人们根据水母耳朵的结构制做出水母耳风暴预测仪，可对风暴提前做出准确的预报^[11]。

仿生学是一门既古老又年轻的学科。人类对仿生学的研究与实践可以追溯到远古时期使用的生活工具。例如，古代先民们通过观察水中自由自在、游来游去的鱼儿创造出了船舶；人们模仿鱼鳍制造出了桨橹。这些仿生学习的过程既是人类认识自然现象、掌握自然规律的过程，又是人类在学习自然、利用自然而不断发展、持续提升的过程。

仿生学（bionics）最早是在 1958 年由美国人斯蒂尔（Jack Ellwood Steele）采用拉丁语中的词汇“bios”（生命方式）和词尾“nic”（具有……性质的）组合而成^[12]。1960 年，在美国第一届仿生学会议上，“仿生学”一词被正式提出，从此仿生学在机械方面的应用就再未停止过，并融合发展成为仿生机械学。

仿生机械学是一门以力学和机械学作为基础，与生物学、工程学、电子技术、控制论等相关学科相互渗透、相互融合而形成的新兴学科，是一门涉及诸多研究领域的综合性学科。该学科包括对生物机制和生物现象进行力学研究，对生物体结构、形态、动作或者功能进行工程分析和仿生设计，以帮助人们制造出结构和性能更佳、质量和效率更高的智能机械装备。因此，其研究内容和应用范围非常广泛，并且主要集中在各种专用机械手和现代机器人领域^[13]。

仿生机械是通过研究和探讨生物机制，仿照生物外形、结构或者功能而