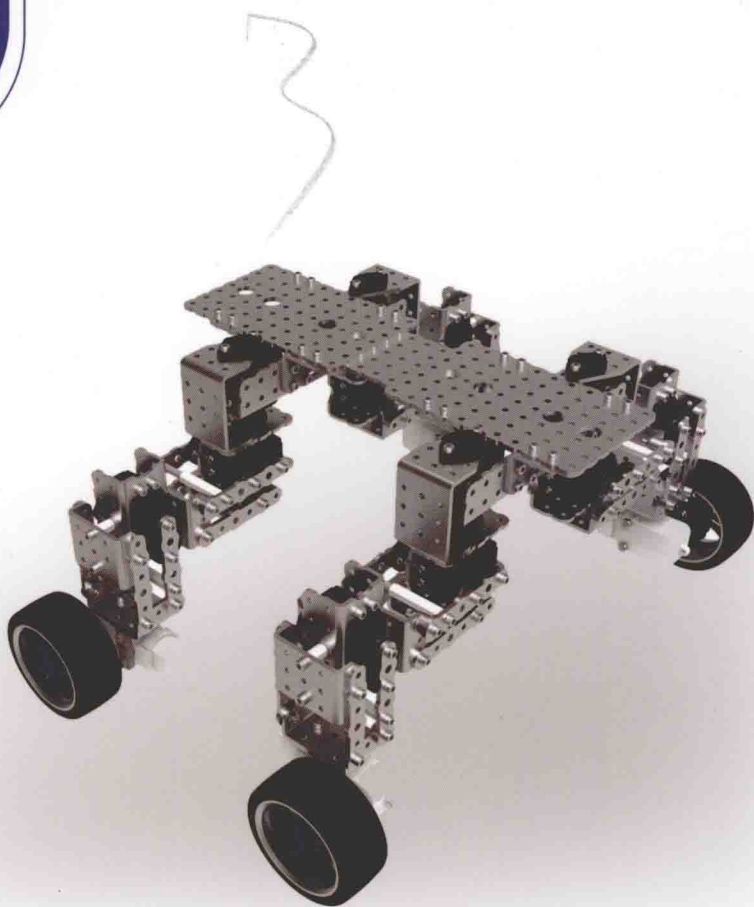


# 模块化机器人创新教学与实践

*Modular Robot Innovation Teaching and Practice*

——“探索者”模块化机器人平台系列

王滨生 刘 辉 刘佳男 郑世杰 毛文睿 编著 ■



哈尔滨工业大学出版社  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 模块化机器人创新教学与实践

——“探索者”模块化机器人平台系列

王滨生 刘 辉 刘佳男 郑世杰 毛文睿 编著

哈尔滨工业大学出版社

## 内 容 简 介

本书从机械机构基础开始,由电子、控制部分深入地介绍了模块化机器人的创新教学,对初学者和有一定基础的机器人技术学习者、开发者都有一定的帮助。书中使用大量的实验范例,逐步、清晰地介绍了如何利用机器人模块进行创新设计,如何为模块化机器人编程,进而实现想要的功能;并介绍了从机器人入门实验到机器人通信、运动控制等更加复杂、实用的功能,以及机器人的相关知识与竞赛活动方案等内容。

本书适合机器人相关专业的学生和爱好者使用,也可以供高等院校相关专业比赛参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

模块化机器人创新教学与实践:“探索者”模块化  
机器人平台系列 / 王滨生等编著. — 哈尔滨:哈尔滨  
工业大学出版社, 2016.9

ISBN 978-7-5603-6193-2

I. ①模… II. ①王… III. ①模块式机器人-教学研究-高等学校 IV. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 218141 号

策划编辑 王桂芝 张 荣

责任编辑 刘 瑶

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 13.5 字数 327 千字

版 次 2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-6193-2

定 价 28.00 元

---

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

# 前 言

创新是中华民族的固有气质，中华文明 5 000 多年生生不息，源于中国人民自强不息、敢于创新的禀性。李克强总理在国内大力推动全民创客运动浪潮，“大众创业、万众创新”成为当下时代主旋律。基于“大众创业、万众创新”创客运动所带来的全社会全经济结构的人才和项目创新改革，以及高校对“创新工程教育与实践”相关的指导教材需求，《创新教学与实践》系列教材应运而生。

本书的主要目的是为学生与爱好者普及“模块化机器人技术”，在机器人设计制作过程中，激发创新意识，培养创新思维。本书将机器人工程学分为机构设计、主控系统、编程环境、传感器及通信功能等章节，每章节均基于模块化机器人理念，设定循序渐进的机器人开发制作过程，读者可以更轻松快速地掌握典型机器人设计和开发的基本技能。

本书相关制作设备及零配件，均采用机器时代（北京）科技有限公司研制的“探索者”机械电子创新套件。机器时代定位于“让创新变得更简单”，将机械、电子、控制几方面高度凝练，融合当下数百种机构及机器人的设计原理，开发出基于模块化设计开发理念的“探索者”创新平台套件。“探索者”产品大幅降低了各类型机器人的制作难度，同时将工业的“示教编程”、图形化、C 语言编程方法推向机器人的民间应用，可以将传统机器人开发时间缩短到几个小时到几天的时间。通过这个套件，可以轻松基于模块化技术，实现搭建任意构型及功能的机器人原理样机，学生能系统、轻松地接受机器人工程应用创新实训，在学习理论工程学课程同时，更能锻炼解决实际问题中对知识的运用能力，从而达到培养更多的创新人才的教学目的，实现“让创新变得更简单”的教育理念。

由于作者水平有限，书中难免存在不足及疏漏之处，恳请读者给予指正。

编 者  
2016 年 7 月

# 目 录

第 1 章 导言	1
1.1 “中国制造 2025”的创新与人才问题	1
1.2 “大众创业、万众创新”全民创客运动浪潮	2
1.3 基于“中国制造 2025”的创新工程教育改革	2
第 2 章 机器人的零件	3
2.1 零件体系	3
2.1.1 创新的必备条件——零件的扩展性	3
2.1.2 连杆类零件	4
2.1.3 平板类零件	4
2.1.4 框架类零件	4
2.1.5 辅助类零件	4
2.1.6 空间关系	6
2.2 基本结构与几何造型	9
2.2.1 刚体结构	10
2.2.2 可动结构	10
2.2.3 实验 1：机构造型设计实验	11
2.3 构建机械原理模型	12
2.3.1 平面连杆机构	12
2.3.2 凸轮机构	13
2.3.3 齿轮机构	14
2.3.4 轮系机构	15
2.3.5 棘轮机构	16
2.3.6 实验 2：机械原理模型组装实验	17

<b>第3章 机器人的模块化设计</b> .....	19
3.1 机器人的功能模块.....	19
3.1.1 驱动轮模块.....	19
3.1.2 随动轮模块.....	20
3.1.3 履带模块.....	21
3.1.4 关节模块.....	22
3.1.5 机械手模块.....	23
3.1.6 其他功能模块.....	23
3.1.7 实验1: 功能模块组装实验.....	24
3.2 模块化设计的通用思路.....	25
3.2.1 整机的构成.....	25
3.2.2 机构库的管理.....	26
3.3 机器人模块化设计案例.....	28
3.3.1 底盘转向机构设计案例.....	28
3.3.2 收集装置设计案例.....	29
3.3.3 机械臂设计案例.....	30
3.3.4 仿生机器人设计案例.....	31
3.3.5 实验2: 模块化设计及CDIO教学实验.....	32
<b>第4章 机器人的主控和IDE</b> .....	34
4.1 ARM7 主控板.....	34
4.1.1 接口介绍.....	34
4.1.2 编程手柄.....	36
4.1.3 实验1: 安装ARM7主控板下载驱动.....	38
4.2 TKStudio.....	38
4.2.1 各功能函数.....	39
4.2.2 底层代码.....	41
4.2.3 实验2: 编写并烧录一个简单的ARM程序.....	43
4.3 Basra 主控板.....	49
4.3.1 Arduino 概述.....	49
4.3.2 接口介绍.....	49
4.3.3 扩展板系统.....	51
4.3.4 实验3: 安装Basra驱动.....	54
4.4 Click.....	56

4.5	Arduino	58
4.5.1	C 语言界面	58
4.5.2	图形化界面	59
4.5.3	常用图块与函数	60
4.5.4	实验 4: 编写并烧录一个简单的 Arduino 程序	61
4.6	示教编程	64
4.6.1	ARM7 实现	64
4.6.2	Basra 实现	65
4.6.3	Click 实现	67
4.6.4	实验 5: 用示教编程的方法编写程序	67
<b>第 5 章</b>	<b>机器人的执行器</b>	<b>68</b>
5.1	伺服电机	68
5.1.1	伺服电机概述	68
5.1.2	舵机的控制方法	69
5.1.3	舵机的工作原理	69
5.1.4	实验 1: 控制伺服电机	71
5.2	直流电机	72
5.2.1	直流电机概述	72
5.2.2	实验 2: 控制直流电机	74
5.3	其他执行器	76
5.3.1	6 V 大功率直流电机	77
5.3.2	12 V 大功率直流电机	77
5.3.3	无刷电机	78
5.3.4	步进电机	79
5.3.5	气动系统	80
<b>第 6 章</b>	<b>机器人的检测与交互</b>	<b>81</b>
6.1	数字量传感器	81
6.1.1	在 ARM7 上使用数字量传感器	84
6.1.2	实验 1: ARM 上的传感器信号接收实验	85
6.1.3	在 Basra/Click 上使用数字量传感器	86
6.1.4	实验 2: Basra/Click 上的传感器触发实验	87
6.2	模拟量传感器	87

6.2.1	模拟量传感器概述	87
6.2.2	模拟量传感器的编程	90
6.2.3	实验 3: 模拟量传感器的编程	91
6.3	传感器类模块	92
6.3.1	自平衡模块	92
6.3.2	摇杆模块	93
6.3.3	语音识别模块	93
6.3.4	HBR740 语音识别模块	94
6.3.5	摄像头	95
6.4	传感器的测值	95
6.4.1	Serial Monitor	95
6.4.2	模拟量传感器的监测	97
6.4.3	数字量传感器的监测	100
6.4.4	实验 4: Basra/Click 串口监控实验	101
6.4.5	实验 5: ARM7 串口监控实验	102
6.5	检测功能方案举例	103
6.5.1	开关功能	103
6.5.2	障碍识别功能	104
6.5.3	悬崖识别功能	104
6.5.4	搜索/跟随功能	104
6.5.5	循迹功能	104
6.5.6	姿态/体感/平衡功能	104
6.5.7	对话/语音命令功能	105
6.5.8	物体辨认功能	105
6.5.9	反馈功能	105
6.6	ARM7 的输出模块	105
6.6.1	语音模块	105
6.6.2	LED 模块	106
6.6.3	实验 6: ARM7 控制 LED 模块实验	106
6.7	Basra 的输出模块	108
6.7.1	实验 7: Basra 控制 LED 模块实验	108
6.7.2	实验 8: LED 点阵显示实验	109



6.7.3 实验 9: 贪食蛇游戏实验	113
6.7.4 实验 10: OLED 显示实验	116
<b>第 7 章 机器人的通信</b>	<b>119</b>
7.1 ARM7 的通信模块	119
7.1.1 红外接收头	119
7.1.2 蓝牙模块	120
7.2 Basra 的通信模块	120
7.2.1 蓝牙串口模块	120
7.2.2 NRF 无线串口模块	121
7.2.3 Wi-Fi 无线模块	122
7.2.4 ZigBee 模块	123
7.2.5 串口通信——强大的扩展技术	123
7.3 通信实验	124
7.3.1 实验 1: ARM7 蓝牙串口通信实验	124
7.3.2 实验 2: Basra 蓝牙串口通信实验	127
7.3.3 实验 3: NRF 无线遥控实验	130
<b>第 8 章 机器人经典编程框架</b>	<b>134</b>
8.1 编程的思想	134
8.2 条件判断	136
8.2.1 实验 1: ARM7 控制扫地机器人项目	136
8.2.2 实验 2: Basra 控制扫地机器人项目	139
8.3 for 循环	139
8.3.1 实验 3: ARM7 控制机械手爪缓慢抓取	139
8.3.2 实验 4: Basra 控制机械手爪缓慢抓取	141
8.4 有限状态机	141
8.4.1 状态表	142
8.4.2 二进制状态表	144
8.4.3 算法	144
8.4.4 策略表	145
8.4.5 实验 5: ARM7 控制三轮循迹小车	147
8.4.6 实验 6: Basra 控制双轮循迹小车	148

8.5 运动规划	149
8.5.1 实验 7: ARM7 控制机器人运动及步态规划实验	149
8.5.2 实验 8: Basra 控制 5 自由度蛇形机器人	161
8.5.3 实验 9: Basra 控制 6 自由度双足机器人	170
<b>第 9 章 机器人综合创新项目</b>	<b>177</b>
9.1 双轮自平衡车	177
9.1.1 双轮自平衡车的组装	177
9.1.2 参考代码	177
9.1.3 调试要点	178
9.2 5 自由度机械臂	179
9.2.1 5 自由度机械臂的组装	179
9.2.2 参考代码	179
9.2.3 调试要点	180
9.2.4 按颜色分拣工件	182
9.3 月球车模型	186
9.3.1 月球车模型的组装	187
9.3.2 手机端控制方法	187
9.3.3 参考代码	188
<b>第 10 章 开放性创新项目与活动</b>	<b>198</b>
10.1 机器人黑标竞速赛	199
10.2 机器人自主搬运比赛	199
10.3 机器人自主格斗赛	200
10.4 码垛机器人设计赛	200
10.5 全地形机器人设计赛	201
<b>附录</b>	<b>202</b>
附录 A ARM7 主控板端口列表	202
附录 B Basra Pin Mapping	204
附录 C Mehran Pin	205
<b>参考文献</b>	<b>206</b>

# 第1章 导 言

## 1.1 “中国制造 2025”的创新与人才问题

“制造业是国之根本”，是世界上所有强国所共同推崇的理念。

2015 年伊始，对于中国制造业而言，注定无法平静。在社会各界的高度聚焦下，国家对于中国制造业的关注与扶持也达到了前所未有的高度。2015 年 3 月 25 日，国务院总理李克强主持召开国务院常务会议，强调要部署加快推进实施“中国制造 2025”，实现当下中国制造业全面升级。此举意味着“中国制造 2025”将正式步入实施阶段。

随着市场需求的变化和制造业回流发达国家趋势的显现，我国制造业粗放式发展带来的产业竞争力后劲不足的弊端日益明显。而当下工业 4.0 时代，以机器人、智能制造为主的新型生产方式所带来的新兴科技产业，正成为未来工业及制造业争夺的下一个革命方向。

面对以信息网络技术创新引领的智能制造新趋势，我国当下制造业升级是必然的任务。传统制造业走向智能制造将推动生产制造模式变革，需通过智能制造积极面对市场挑战，因此如何实现传统制造业向智能制造转型升级就成为制造业必须考虑的问题。

从科技部 2014 年底发布的新兴科技产业孵化器发展数据（表 1.1）可以看到，近几年新兴科技企业项目孵化所带来的成果显著。其中，相较于对新兴产业的创投资金爆发式的增长规模及年转化产业成果数增长率，在创新产业就业人数及在孵企业增长数量上，却表现出明显的增长疲软状态。

在新兴产业发展及升级过程中，创新人才团队及创新项目严重阻碍了当下智能科技产业发展的步伐，这种创新人才缺乏所产生的产业发展困境，正是当下“中国制造 2025”实施过程中面临的重要困境之一。

表 1.1 科技部 2014 年底发布的新兴科技产业孵化器发展数据

年份	创业孵化器数	在孵企业数量	吸纳就业人数	吸引社会创投资金	年转化成果数
2010	800 万家	5.1 万家	105 万人	104 亿元	8.2 万元
2014	1 600 万家	8 万家	175 万人	3 500 亿元	30 万元
增长率	100%	56.9%	66.7%	3 265.4%	265.9%

## 1.2 “大众创业、万众创新”全民创客运动浪潮

面对当下国家经济下行压力、制造业所面临的升级困境以及发达国家新兴制造业的国际挑战，我国急需在实施一定的创新改革措施，全面覆盖经济产业上下游环境，突破当下人才及创新上的困境。

正是基于这种创新及人才改革，2014年，李克强总理基于国家层面的推动力，在国内大力推动全民创客运动浪潮，“大众创业、万众创新”成为当下的时代主旋律。

同时，“创新”一词成为国家领导人经济会谈上出现频率最高的词汇之一，2015年6月8日《国家发展改革委关于实施新兴产业重大工程包的通知》，将“产业创新能力工程”融入其中，正式推动全民创新。

而纵观“大众创业、万众创新”创客运动的背后，其辐射的是两方面内容：

(1)“大众创业”，关键词是“项目”，更多的创新项目孵化，打造充满可能的新经济引擎。

(2)“万众创新”，关键词是“人才”，更多的创新人才培养，是新经济引擎的能源。

大众创业需要万众创新的人才供给，而万众创新也需要大众创业的经济刺激，这两个环节环环相扣，相互影响、相互促进，这将是我国未来十年的重要经济发展策略。

基于“大众创业、万众创新”全民创客运动所带来的全社会、全经济结构的人才和项目创新改革，将会为“中国制造2025”中所极为欠缺和急需的“创新人才”及“创新项目”环节带来极大的助力。

## 1.3 基于“中国制造2025”的创新工程教育改革

从两创运动中所带来的创新人才需求和创新产业项目需求两方面思考，同时基于高校作为社会人才培养和输出中心的基本定位，高校在创客运动中应该担当的职责是工程创新人才的培育中心，是支持当下社会创新产业升级以及创新创业产业的创新人才能量供应中心。

国务院副总理刘延东在“深入推进高校创新创业教育改革座谈会”中强调，人是创新最关键的因素，创新驱动是人才驱动。要全面落实党中央、国务院决策部署，认真贯彻李克强总理重要批示精神，切实增强深入推进高校创新创业教育改革的责任感和紧迫感，全面提高人才培养质量，为促进“大众创业、万众创新”和建设创新型国家提供有力的人才支撑。

正是在当下国家产业发展规划背景下，传统高校工程教育已经难以满足创新人才政策的培养需求，而且在工业4.0时代下，如“创客Maker”“机器人”“模块化”“智能制造工厂”“智能硬件”“创新创业”“互联网信息化”“校企拟合”等新兴理念大量涌入高校工程教育改革当中。创新工程教育及创新人才培养，不再只是单一学科单一方向的教学改革，而是涵盖多方面多角度的综合应用型创新体系；不只是传统高校教学实践内容，还包含企业真实环境下的创新设计思维教育等，所以，如何落实在当下创新工程教育及在“中国制造2025”下，对创新应用型人才的培养，是当下高校工程教育改革的难题。

## 第2章 机器人的零件

机器人创新教学是高校创新实践训练的经典项目。而机器人创新制作需要合适的材料，严格来讲，任何材料都是可以用的，如自己加工的零件、焊接的电路，从网络上购买的开发板、五金零件、电子元件，甚至身边的废旧材料，拆卸的旧玩具、航模等都可以成为材料的来源。

然而从节省时间及统一教学平台的角度考虑，一套专业的模块化机器人教学组件是更好的选择。自从1998年著名积木厂商丹麦乐高公司推出Mindstorm机器人积木以来，机器人组件层出不穷。它们风格各异，难易不同，有些偏趣味，有些偏专业，有些偏表现效果，有些偏实际教学，用户可以根据自己的情况进行选择。本书在“探索者”模块化机器人平台（以下简称“探索者”平台）的基础上进行介绍。“探索者”平台拥有完善的教学体系和开放度极高的系统，其最大的特点是能够很好地兼容市面上常见的各种机械零件、电子部件以及目前世界上最通用的创客平台，可以做到学以致用、一通百通。

### 2.1 零件体系

#### 2.1.1 创新的必备条件——零件的扩展性

“探索者”平台的主要零件采用铝镁合金材质，零件上开有通孔，用不锈钢螺丝螺母组装，如图2.1所示。孔的作用是约束零件。常见零件的孔的直径有3 mm和4 mm，常见孔的中心距为10 mm。“探索者”平台的零件孔可看作几何中的“点”，是空间几何造型的基本单位。另外，还有提供特定机械运动的各种方孔、大方孔、长圆孔、大圆孔及异型孔等。

丰富的扩展孔是“探索者”平台中零件体系的一大特征，使整个零件体系具有极高的扩展性。

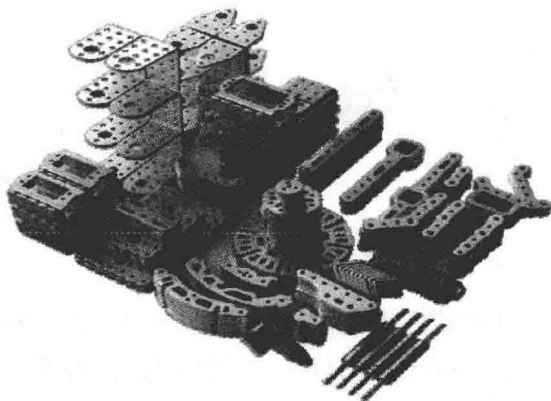


图 2.1 “探索者”平台的主要零件

### 2.1.2 连杆类零件

连杆类零件提供了“线”单位。连杆类零件（图 2.2）可用于组成平面连杆机构或空间连杆机构。杆与杆相连可以组成更长的杆，构成桁架。

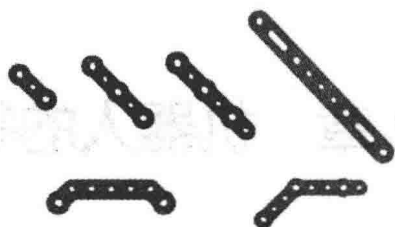


图 2.2 连杆类零件

### 2.1.3 平板类零件

平板类零件（图 2.3）适合作为“面”单位参与组装，包括底板、立板、背板、基座、台面及盘面等。同时，平板与平板之间的连接可以组成更大的“面”，或者不同层次的“面”。



图 2.3 平板类零件

### 2.1.4 框架类零件

框架类零件的参与，使线和面可以连接成“体”。框架类零件多用于转接，连接不同的“面”零件和“线零件”，组成框架、外壳等。框架零件本身是钣金折弯件，有一定的立体特性，甚至可以独立成“体”。框架类零件如图 2.4 所示。



图 2.4 框架类零件

### 2.1.5 辅助类零件

辅助类零件是通用性较弱，而专用性较强的零件。前面讲过的连杆、平面、框架类零件的通用性极强，可以执行“像素”式的组合，而辅助类零件的用途往往比较单一。它们虽然开有很多的扩展孔，在某些时候也可以用在其他地方，但是适用范围却小很多。它们的存在弥补了通用零件“泛而不精”的组装特性，可以大大降低某些机构的组装难度。从一定意义

上讲，只要通用型零件足够多，所有的结构都可以实现，只是大与小、多与少的区别。但是受制于成本和组装难度，我们无法使用“足够多”的零件去组装，所以需要一些特定用途的零件。

### 1. 常规传动零件

常规传动零件（图 2.5）以齿轮为代表，提供常见的传动机构的元件，它们基本没有通用性，但是某些特殊机构必须用到。

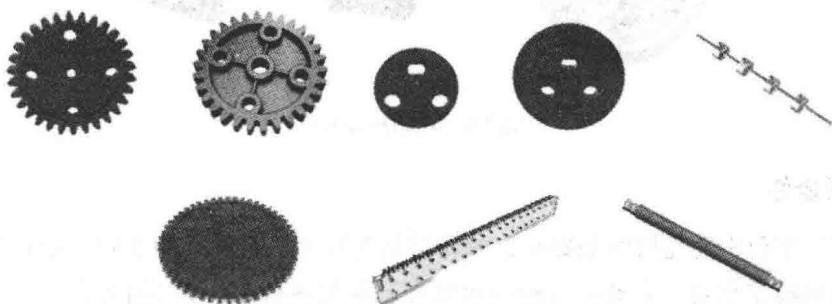


图 2.5 常规传动零件

### 2. 偏心轮连杆

偏心轮连杆（图 2.6）专门用于组合偏心轮，在实际组装中，连杆件组成的曲柄摇杆结构可以替代偏心轮，但是使用偏心轮可以避免死点问题。



图 2.6 偏心轮连杆

### 3. 电机相关零件

电机周边的辅助零件包括电机支架、输出头和“U”形支架等，如图 2.7 所示。

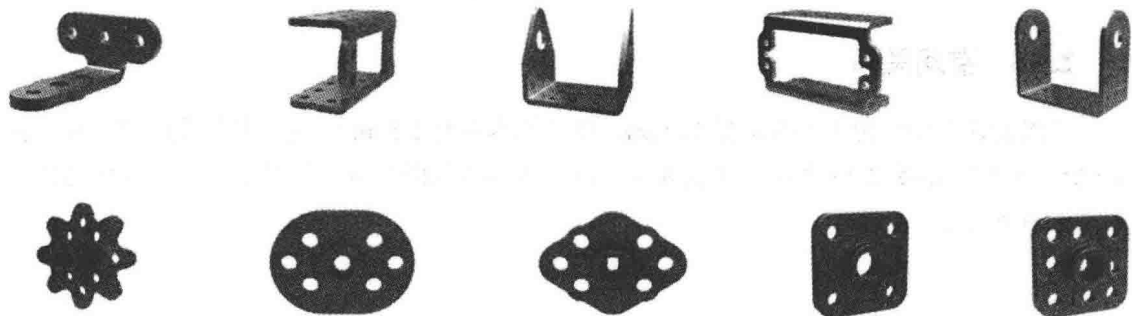


图 2.7 电机相关零件

#### 4. 轮胎相关零件

轮胎需要联轴器才能和电机的输出头相连。轮胎相关零件如图 2.8 所示。

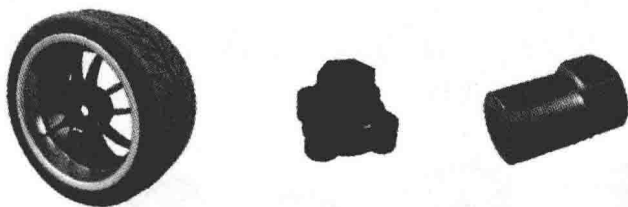


图 2.8 轮胎相关零件

#### 5. 标准五金件

“探索者”平台所用连接件如螺丝、螺母等均为标准五金件（图 2.9），而且与其他标准五金零件的兼容度非常高，在使用过程中可以自己购买各种 $\phi 3$ 接口的五金零件与它们相搭配。

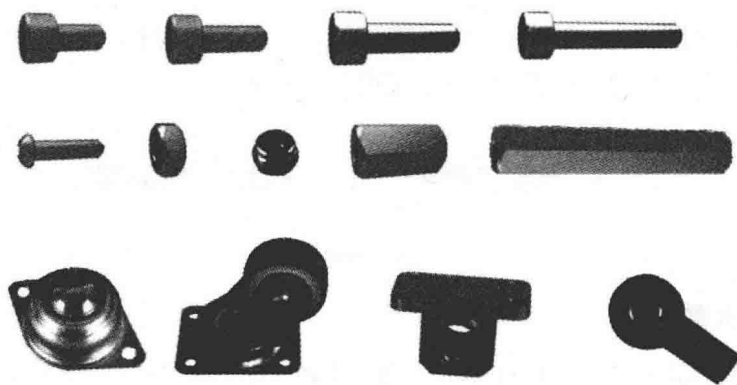


图 2.9 标准五金件

#### 2.1.6 空间关系

“探索者”平台的中心孔距是 10 mm，壁厚基本都是 2.5 mm，这个数据意味着“中心孔距=壁厚 $\times 4$ ”，如图 2.10 所示。也就是说，四个零件叠加的厚度正好等于两个孔的中心距，如图 2.11 所示。



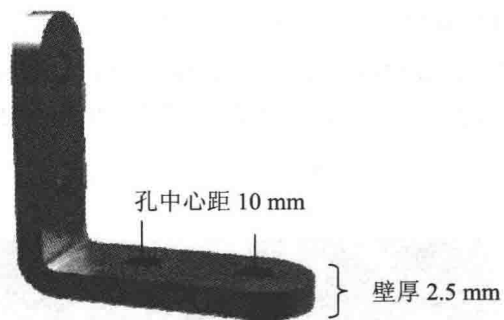


图 2.10 零件的壁厚与孔距

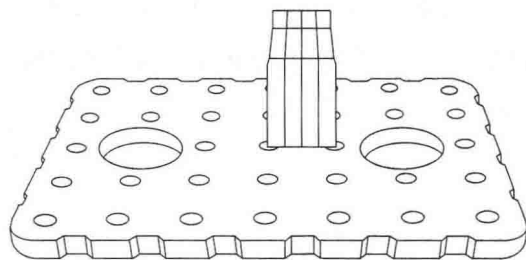


图 2.11 零件空间关系示意图

由此可以看出，“探索者”平台的最小组装单位是 2.5 mm，常用组装单位是 10 mm。在这个原则之下，不同类型零件的孔总是可以良好匹配。零件孔位置配合关系如图 2.12 所示。

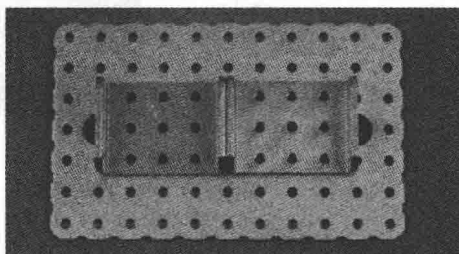


图 2.12 零件孔位置配合关系

齿轮等辅助性零件也遵循这个规律设计，如图 2.13 所示。

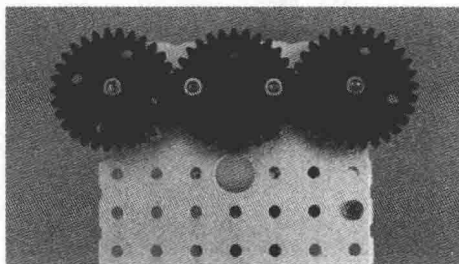


图 2.13 齿轮位置配合关系

对电机及其相关部件同样适用。电机位置配合关系如图 2.14 所示。

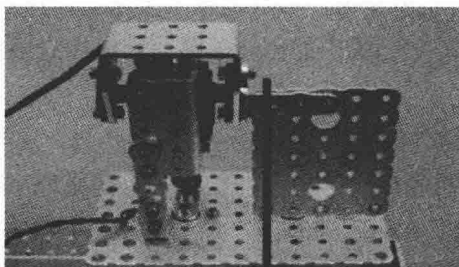


图 2.14 电机位置配合关系