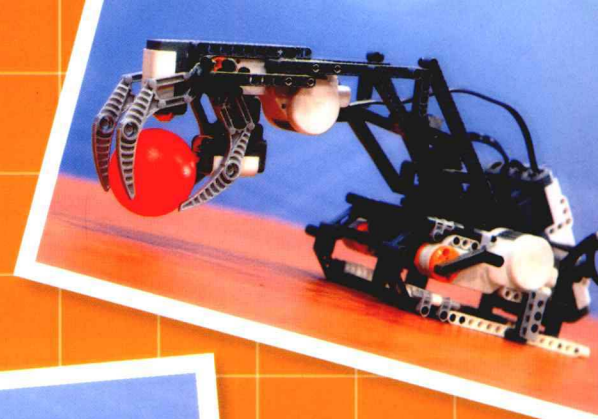


Carnegie Mellon 机器人学院
ROBOTC中文培训教材



青少年科技创新丛书

ROBOTC

与机器人程序设计

郑剑春 主编

清华大学出版社



青少年科技创新丛书

ROBOTC

与机器人程序设计

郑剑春 主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

被誉为机器人竞赛的首选编程语言 ROBOTC,由卡耐基梅隆大学机器人学院所开发。它采用标准 C 语言,拥有丰富的程序编写功能和独特创新的调试功能,支持 LEGO MINDSTORMS 和其他教育机器人。本书以 NXT 和 TETRIX 作为机器人平台,通过大量的实例,深入介绍了 ROBOTC 的编程和应用,最后介绍了机器人虚拟世界的使用。

作为国内首部正式出版的介绍 ROBOTC 的教材,本书可以让你以最轻松的方式,认识 C 这个普遍用于程序设计领域的重要语言。

本书可作为校内外的机器人课程教学或创新活动、广大机器人爱好者以及各种机器人比赛的学习用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

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

ROBOTC 与机器人程序设计/郑剑春主编. —北京:清华大学出版社,2013.4

(青少年科技创新丛书)

ISBN 978-7-302-30458-6

I. ①R… II. ①郑… III. ①机器人—程序设计 IV. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 250306 号

责任编辑:帅志清

封面设计:傅瑞学

责任校对:袁 芳

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084
邮 购:010-62786544

印 装 者:三河市李旗庄少明印装厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

版 次:2013 年 4 月第 1 版

印 数:1~4000

定 价:40.00 元

印 张:14.75

字 数:337 千字

印 次:2013 年 4 月第 1 次印刷

产品编号:049633-01

本书编委会

主 编 郑剑春

副主编 张荣庆 朱永生 薄希田 李梦军
白建林

编 委 杜 健 李庆余 李 毅 李友森
明子成 孙梅梅 向 金 杨 静
于 飞 于 啸 张家栋 张 珂
张学敏 张祖平 郑小康



序

中学生机器人课程在北京十二中已经开设了 6 年，作为一门科技创新的课程，我们希望这一课程可以为学生提供一个接触现代科技成果的空间，让学生在学习与活动中找到自己的爱好与兴趣，通过启发、尝试和学习让学生个人的潜能得到充分的发挥。

我们目前正处于国际交流与融合的环境中，科学技术的发展为我们提供了更多的机遇，也充满了挑战。古人有云：跂而望矣，不如登高之博见。在新课程的背景下，我们感到，学生的视野会决定他们未来的成就，而课程建设中更应该面向未来，面向世界。只有了解世界同行在科研与教学领域中的成就，并将其引入到我们的课程中来，我们所教的内容才能融入世界发展的潮流之中。让学生有机会接触世界上最好的教育资源，在课程与活动中培养他们汲取世界先进文化的胸怀与信心，培养他们具有国际视野，我们的未来才会充满希望。

《ROBOTC 与机器人程序设计》是继我校机器人教材《机器人结构与程序设计》、《LabVIEW 与机器人科技创新活动》后又一新作，也是在我校机器人选修课程的基础上整理而成。我们在教学中要求教师关注学生个性的发展，这一系列教材的出版，正是体现了教师为学生发展所做的努力。作者多年来致力于程序教学的实践与改革，教学中注重引入科技最新发展的成果，不同教材的选择也为学生提供了更多发展的空间，让他们学会判断、选择、寻找适合自己的学习方法和途径。

《ROBOTC 与机器人程序设计》一书的出版，是我校教师与中外同行共同努力的结果，本书出版正值卡耐基梅隆大学机器人学院创建 ROBOTC 中文官方网站 (chinarobotc.com)，并在中国成立“ROBOTC 中国培训中心”之时，我祝愿这一课程的开设能让中国学生更好地接触这一国际上先进的机器人软件，并提高国内机器人教育的水平。

北京市第十二中学校长



序 二

从教育到创新

我是一位终身教师，很荣幸为郑先生的《ROBOTC 与机器人程序设计》一书作序。我把成年生活投入在学习和教授学生如何使用科技。1970年，我开始从事教学，当时的计算机如房子般大，只有在大学的研究所里才能接触到它们。然而今天，我们很难想象，一个没有笔记本电脑、iPad、因特网、手机、Skype、即时信息和E-mail的世界会是什么样。工业界、政府和世界各地的人们，非常依赖GPS（全球定位系统）、个人计算机、因特网、通信网络和可编程嵌入式系统。而使这些成为现实核心技术的是计算机科学。在未来，计算机科学将会是所有创新科技的核心主体，它会使科学、技术、工程和数学等领域得到提升、发展，同时在所有的创新产业中，它也起着至关重要的作用。计算机科学是一种创新语言，所有的创新者都需要用运算的方式去思考。如果我们想要教导学生如何创新和具有全球竞争力，那么教他们计算机科学就是我们的使命。

1997年，我受邀参加了一场机器人竞赛，很快我就被吸引住了。机器人具有极大的挑战性，我和学生们致力用新思维和创新的系统去解决我们从未遇见的难题。在竞赛过程中，学生们学会了设计、团队精神、解决方案、项目管理、系统思维和基本的编程。我是在1970年学会的编程，但那时我主要负责数据库管理。现在看来，机器人编程对我而言显然更加有趣。

当我开始从事机器人工作时，这个产业还处于起步阶段。计算机处理器的体积大且价格贵，相对今天的标准，速度还非常慢。然而在短短的十年里，机器人技术出现了跨越式的技术革新，它带给新兴经济的巨大冲击，就如计算机在信息时代所造成的影响一样。机器人系统被广泛地应用在所有的领域，如运输、医疗、制造、能源、农业和银行系统。机器人无处不在，但我们并不称它为机器人，我们称它们为汽车、飞机、取款机、谷歌和手机，而这些系统都是被计算机编程所控制和管理的。

C语言被开发成为工具，用来控制计算机硬件和应用软件的运行。今天，C语言及其衍生品在全球范围内被广泛应用，它创造了数十亿美元的应用软件产业。一直以来，C语言都是被最广泛应用的编程语言，它影响着后来许多编程语言的发展。我们选择ROBOTC作为发展蓝图，是因为它拥有行业标准的IDE（Integrated Development Enviroment，集成开发环境）和世界一流的调试器，在这基础上学生能学到更扎实的编程技能。我非常感激郑先生能将ROBOTC介绍给中国的学生，感谢他为学生们所作的贡献。在www.chinarobotc.com上，大家能够获得更多的支持，在那里你会找到中文的技术支持和机器人社区的帮助。



机器人结合计算机科学正在形成新的基础能力，所有的学生都需要学习它。
ROBOTC 的设计宗旨，是使机器人的控制变得更容易和更加充满趣味。

世上无难事，只怕有心人！

卡耐基梅隆大学机器人学院院长

Robin Shoop



Preface

Educate to Innovate

I am a lifelong teacher and am honored to be asked by Mr. Zheng to write the preface of his Chinese language ROBOTC programming book. I've spent my adult life learning about and teaching students about how technology works. When I started teaching in the 1970's computers were the size of rooms and were only accessible in research labs in colleges. Today, it is hard to imagine a world without laptops, iPads, the internet, cell phones, Skype, instant messaging, and email. Industry, governments, and people everywhere depend on GPS, PCs, the internet, telecommunication networks, and programmable embedded systems. The root enabler of all of these technologies is computer science. Computer science will play a key role in nearly all future innovation, including advancements across all science, technology, engineering and mathematics fields. Computer science is language of innovation and all future innovators will need to be able to think algorithmically. If we want to teach students to innovate and to compete globally then it is imperative that we teach them about computer science.

In 1997 I was asked to participate in a robotics competition. I was soon hooked. Robotics was challenging. My students and I were working on problems that involved inventing new systems to solve problems that we didn't know existed. My students were learning about design, teamwork, problem solving, project management, systems thinking, and basic programming. I had learned to program in the 1970's, but at that time I was controlling data bases. Robot programming was much more fun.

When I began working on robots, the robotic industry was in its infancy. Computer processors were large, expensive, and relatively slow compared to today's standards. In the short span of ten years robotics has emerged into a transformative technology that will have the same impact on the emerging economy as the computer had on the information age. Robotic systems are used in all industry sectors; transportation, healthcare, manufacturing, energy, agriculture and banking. Robots are everywhere, but we don't always call them robots, we call them cars, airplanes, banking machines, Google, and cell phones. These systems are all controlled with computer programming.

The C-programming language was developed as a tool to control computer hardware and run application software. Today, C and its derivatives are used to develop billions of dollars of application software worldwide. C is the most widely used programming language



of all time and has influenced many later programming languages. We chose to develop around ROBOTC because it teaches students foundational programming skills using an industry standard IDE and world class debugger. I am very grateful to Mr. Zheng for his dedication to his students and for translating ROBOTC for Chinese students. You can find more support at www.chinarobotc.com where you will find Chinese language technical support and robotics community support.

Robotics and Computer Science form new basics that all students need to learn. ROBOTC is designed to make controlling robots both accessible and fun.

世上无难事，只怕有心人！

Director Carnegie Mellon Robotics Academy



前言

在知识经济已经到来的 21 世纪，创新被视为一个国家经济发展的核心竞争力。在我国，创新教育逐渐得到重视，青少年的创新教育更是被提到了前所未有的高度。

机器人是一个理想的创新教育工具，在课程中学生可以学到结构搭建和程序设计。近年来，国内对机器人教育的重视程度与日俱增。从小学到中学，从中学到大学，各种类型的竞赛可以说是非常丰富。竞赛有力地推动了机器人学习的风气。由学习到参与竞赛，再由竞赛到进一步地学习，似乎已步入良性的循环。本人参与指导竞赛多年，亲眼看到学生们在机器人竞赛的过程中所表现出来的团队合作、全力以赴的精神，为之动容。因为眼前的这一切，一般的教育是难以实现的，而这些能力对于孩子未来的发展、成长具有非常深远的影响。

机器人的设计和制作，需要结合计算机科学、机械、电子、工程和数学等不同领域的技术。所以，作为一位机器人教育的推动者，我深知优秀的机器人的软硬件教学环境对于开展机器人教育的重要性。LEGO MINDSTORMS 教育机器人由于其寓教于乐的积木式搭建、丰富的功能、扩展性能优越等特点而风靡全球。作为 NXT 机器人内集成的编程软件 NXT-G，其简单易用的开发环境让稍加训练的小学生们也可以轻松上手。有关这一图形化编程软件的使用，在我之前编写的《机器人结构与程序设计》（清华大学出版社出版）一书中有详细的叙述。

如果你已经使用过 NXT-G，那么我现在还要向你介绍一下 ROBOTC。ROBOTC 由卡耐基梅隆大学机器人学院(Carnegie Mellon University's Robotics Academy)所开发。它采用标准 C 语言，拥有丰富的程序编写功能和独特创新的调试功能，支持 LEGO MINDSTORMS 和其他教育机器人。作为开展机器人教育的优秀的机器人编程语言，ROBOTC 简单到初中生也能够应用，强大到能完全满足大学层次的工程教学的需求。ROBOTC 优秀的跨平台能力，让学生能面对不同的机器人平台，无须重新学习。ROBOTC 3.0 以上的版本更是增加了虚拟世界环境，让手边没有物理机器人的学习者也可以开展机器人的设计和编程。

ROBOTC 还有利于实现学习者编程学习的连续性。要知道，C 语言是我国绝大部分理工科大学编程学习的必修的入门语言，那么现在能用 ROBOTC “玩转”机器人的中学生，则先于他人接触到了只有在大学时代才能学习的技能。编程作为一种技能，在未来社会将被视为和“读写”一样的新能力。

ROBOTC 被誉为参与竞赛的首选机器人编程语言。ROBOTC 最大程度地降低了软件运行对计算机的要求，其程序占用空间小、程序效率高和执行速度快的优势是赢得机器人比赛的得力武器。2010 年，首次登陆中国的 FIRST 科技挑战赛(FTC)在上海举办，ROBOTC



为参赛要求的两种机器人编程语言之一。FTC (FIRST Tech Challenge) 是 FIRST 面向 14~18 岁中学生的国际性机器人比赛, 作为全球知名的机器人赛事, 它每年都会吸引超过 25 万名的中学生参加。

本书可以让读者以最轻松的方式, 认识 C 这个普遍用于程序设计领域的重要语言。本书以 NXT 和 TETRIX 作为机器人平台, 通过大量的实例深入介绍了 ROBOTC 的编程和应用, 可作为校内外学生的课程教学或创新活动、广大机器人爱好者以及各种机器人比赛的学习用书。

在本书的编写过程中, 得到了李梦军、张荣庆、张祖平、向金、于啸、李毅、郑小康、白建林、谢召民、杜健、李友森、明子成、杜春晓等人的大力帮助, 在本书出版之际, 向他们表示衷心的感谢。同时, 还参阅了大量的国内外相关资料和网络资源信息, 在此对相关信息的作者一并表示衷心的感谢。

由于本书所涉及的内容在国内尚属首次编写, 限于水平, 错误和不妥之处在所难免, 敬请业界同仁和广大读者批评指正。联系方式: 634580305@ qq.com。

编 者

2012 年 8 月





目 录

第 1 章 软硬件环境概述	1
1.1 LEGO MINDSTORMS NXT 介绍	1
1.2 NXT 规格与元件	2
1.2.1 NXT 控制器	2
1.2.2 NXT 直流电机	3
1.2.3 传感器	4
1.3 为什么选择 ROBOTC?	8
第 2 章 初识 ROBOTC	9
2.1 安装 ROBOTC	9
2.1.1 安装 NXT 驱动	9
2.1.2 安装 ROBOTC for MINDSTORMS	12
2.2 ROBOTC 编程环境	15
2.2.1 编程界面	15
2.2.2 菜单	16
2.2.3 常用工具栏	22
2.3 机器人初体验	23
2.3.1 将 NXT 连接到计算机	23
2.3.2 装载固件	24
2.3.3 机器人电机与传感器设置	25
第 3 章 机器人的控制与输出	27
3.1 为机器人编写程序	27
3.1.1 范例与程序格式	27
3.1.2 下载并运行程序	29
3.1.3 ROBOTC 的程序编译器	30
3.2 变量与函数	32
3.2.1 变量	32
3.2.2 函数	38



3.2.3 传感器与赋值输入	40
3.3 ROBOTC 输出指令	42
3.3.1 电机控制	42
3.3.2 屏幕显示	48
3.3.3 声音输出	52
第4章 ROBOTC 程序结构	55
4.1 顺序结构	55
4.2 循环结构	58
4.2.1 for 语句循环	58
4.2.2 while 语句循环	60
4.2.3 do 语句循环	68
4.3 选择结构	69
4.3.1 if 语句(条件语句)	69
4.3.2 switch 语句	90
第5章 自定义函数与多任务	104
5.1 自定义函数	104
5.2 全局变量	110
5.3 多任务	111
第6章 蓝牙通信	117
6.1 机器人连接与设置	118
6.1.1 在 PC 上连接蓝牙设备	118
6.1.2 在 NXT 与 NXT 之间建立蓝牙连接	122
6.2 蓝牙通信常用函数	125
6.3 蓝牙通信程序案例	127
第7章 数据采集	136
7.1 数据采集常用指令	136
7.2 数据采集实验	137
第8章 乐高 TETRIX 机器人介绍	141
8.1 对机器人的远程控制	142
8.1.1 安装遥控器	142
8.1.2 编写程序并操作	144
8.2 乐高 TETRIX 的设置	149
8.2.1 电机与传感器设置	149





8.2.2 使用双遥控器控制电机与伺服电机	155
8.2.3 程序案例	157
第 9 章 ROBOTC 的机器人虚拟世界	164
9.1 ROBOTC Virtual Worlds 的下载、安装和启动	164
9.1.1 下载与安装 ROBOTC Virtual Worlds-MINDSTORMS	164
9.1.2 为 RVW 软件加入许可证	165
9.2 虚拟世界的任务实例	167
附录一 搭建一个机器人	182
附录二 制作一个 TETRIS 机器人	193
参考文献	219
后记	220



第 1 章

软硬件环境概述

借用卡耐基梅隆大学机器人学院 Robin 教授关于机器人的一个说法：我们不能预测未来五年内热门的新技术是什么，但我们可以自信地预测，那一定是包含计算机程序设计、电子嵌入式系统、工程设计和数学的技术。如果你信这个说法，那么你就需要知道机器人学有能力教给你这些知识。而选择 ROBOTC 和 NXT 机器人的组合来实现这些技能的掌控则是你最明智的选择。

ROBOTC 是由卡耐基梅隆大学开发的 C 语言机器人开发环境，可控制多种机器人平台，目前包括 LEGO MINDSTORMS RCX、NXT 和 TETRIX 以及 VEX 机器人，ROBOTC 3.0 以上的版本还增加了虚拟世界，让手边没有机器人实物的朋友也可以学习和研究机器人的运动控制、传感器的使用等机器人控制程序的设计和调试。

本章首先介绍 LEGO MINDSTORMS NXT 机器人的结构件与主要部件的功能，然后说明选择 ROBOTC 软件进行机器人编程的缘由。

1.1 LEGO MINDSTORMS NXT 介绍

乐高(LEGO)是一家创立已逾半个世纪的丹麦拼砌玩具制造商，产品畅销全球 140 个国家 8000 万个家庭。LEGO MINDSTORMS Robotics Invention System(乐高头脑风暴机器人发明系统，RIS)，是由丹麦乐高集团和美国麻省理工学院的媒体实验室(Media Lab)进行的一项“可编程积木块(Programmable Brick)”的合作方案。该系统自 1998 年上市以来，受到世界各国教育及科研机构的广泛关注，MINDSTORMS 很快就被全球 25 000 个以上的机构采用。西欧与美国大多数中小学将其引入作为自主学习与创造力培养的重要手段；在中国，也已经由最先在北京、上海、广州和深圳部分中小学校，发展到现在包括西藏在内几乎所有省市的大中小学校将其用于教学、科研和竞赛。而诸如麻省理工、卡耐基梅隆大学、西点军校及美国太空总署、飞利浦设计等研究型大学与机构因其具有操作简单、附件众多、开发潜力巨大等优点，纷纷导入乐高头脑风暴机器人发明系统套件作为其重要的研究工具并获得了令人满意的效果。

LEGO 头脑风暴机器人是由可编程 Lego 积木块、电机、传感器及 Lego Technic(包括梁、轴、销和齿轮等)组成的套装统称。公司在 1998 年发布了第一代智慧型机器人 RCX。2006 年，LEGO 集团推出了新一代智慧型机器人套装：LEGO MINDSTORMS NXT。NXT 不仅外观比 RCX 亮丽很多，而且由于机器人的大脑——NXT 控制器采用了 32 位的 ARM 7 微处理器，在处理能力上有了质的飞跃，通过为 NXT 提供的多种传感器，让用



户把更多的智能化设想变成现实成为可能。传输方式上,NXT 具有一个 USB 接口和蓝牙通信功能,让机器人间通信和群体智能研究的爱好者亦有用武之地。编程开发环境方面,除了由 LEGO 集团、Tuffs 大学和 NI(美国国家仪器公司)联合开发的图形化编程软件 Robolab 外,还有 LEGO MINDSTORMS NXT 2. x 图形化开发环境,让世界各地众多几岁的孩子都能够独立编写程序设计智能机器人;而由卡耐基梅隆大学机器人学院开发的 ROBOTC,一个完全使用 C 语言进行程序设计的集成开发环境,则为初中及以上的孩子和计算机专业的人士学习和研究机器人设计提供了优秀的工具。当然,LEGO NXT 机器人的爱好者遍布世界各地、各个年龄层次和各种不同的领域,有很多热心的爱好者和看到无限商机的商家们为其开发了配套的开发环境,比如 Microsoft Robotics Studio(微软机器人工作室,支持 C#、VB 语言和微软可视化编程语言 VPL 编程)、LeJOS(Java for LEGO MINDSTORMS)及 Bricx Command Center(免费软件,使用类 C 语言 NBC 编程)等。

1.2 NXT 规格与元件

LEGO MINDSTORMS NXT 首次发布是 2006 年。于 2009 年 LEGO 发布了 NXT 2.0,尽管外观没有丝毫变化,但 NXT 控制器内部电路模块做了优化,控制器变得更稳定、可靠,还推出了颜色传感器。LEGO MINDSTORMS NXT 套装分为教育版(9797)和玩具版(早期的 8527 和配置了颜色传感器的替代版 8547)。

下面介绍 NXT 控制器、伺服电机、传感器等的结构和功能。

1.2.1 NXT 控制器

NXT 控制器是 LEGO MINDSTORMS NXT 机器人的大脑,是掌控 NXT 各种操作的核心部分。它通过蓝牙和各种传感器获得外部环境的各种信息,进行分析处理,发出指令以控制机器人的各种运动行为,如图 1-1 所示。

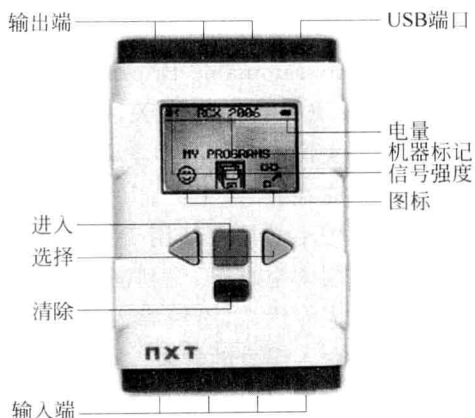


图 1-1 NXT 控制器

NXT 共有八个接口。

(1) 顶部的四个接口为三个输出接口(A、B 和 C)和一个 USB 接口。



(2) 底部的四个接口为输入接口(1、2、3 和 4)。输入接口用于连接除角度传感器之外的所有 NXT 传感器。

(3) 除了输入接口 4 采用 RS-485 通信接口外,其他 6 个端口都是采用 I²C 接口,确保了端口的通用性。输出接口可以连接 NXT 电机和适配器电线、原 RCX 电机或第三方输出设备等,USB 接口用于从计算机中下载程序。

注意: 传感器等输入设备(NXT 电机的角度传感器除外)都不能连接到输出端口,尽管连接线端口都是一样的,否则可能会烧坏传感器(因为输出端口的电流比较大)。

相较于 RCX,NXT 在硬件规格上有了大幅度的提升,详细比较见表 1-1。

表 1-1 NXT 与 RCX 控制器的比较

	NXT	RCX
处理器	一个 32 位 ARM 7 微控制器和一个 8 位协处理器	8 位 Hitachi H8 微控制器
I/O 端	4 个输入端、3 个输出端	3 个输入端、3 个输出端
连接线	6 芯传输,支持 I ² C 传输协议	2 芯传输,电线可连接
传输方式	USB 2.0/蓝牙	红外线传输
LCD 显示	64×100 像素图形	5 位数字
供电方式	6 节 5 号电池或可充电锂电池	6 节 5 号电池或外接电源

控制器从 8 位上升到 32 位,带来了处理能力的大幅提升,使得 NXT 可以实现以前 RCX 无法实现的功能,如图像处理、语音识别、蓝牙通信、多任务处理等。而其源代码的公开,可以让众多爱好者们尝试采用更多的语言进行控制。

1.2.2 NXT 直流电机

NXT 直流电机内置角度传感器,可以进行精确到 1°的转角检测。当机器人运行时,可用于测量机器人走过的路程。最大扭力矩为 50N·cm,转速为 170rpm。

乐高生产有多种电机,都是使用 9V 电压。NXT 直流电机是其中输出扭矩最大的一款,当然耗电量也是惊人的,如图 1-2 所示,NXT 直流电机也是唯一配置角度传感器的电机,通过角度传感器我们可以精确地监测电机转轴旋转的角度,借此就可计算出机器人行走的距离。

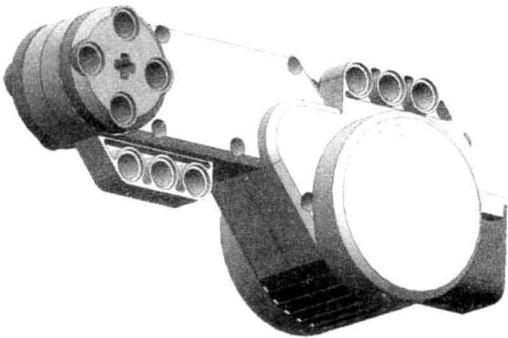


图 1-2 NXT 直流电机