

乐高

LEGO



程罡 程嘉名◎编著

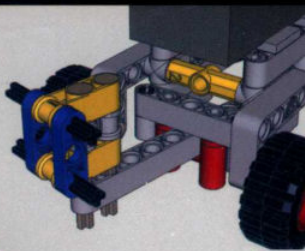
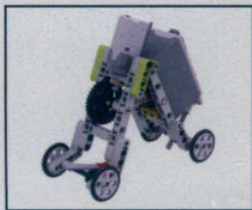
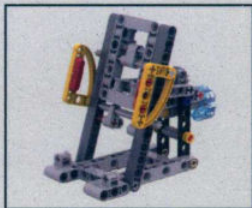
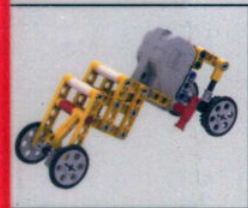
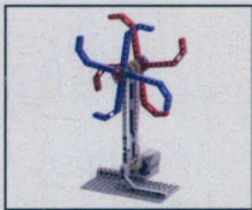
简单机械创意设计

**内容
丰富**

本书定位于乐高入门级培训和技术指导，涵盖动物、游乐机械、人形机器人、趣味玩具等诸多领域。

**视频
演示**

读者可扫描搭建步骤后面的二维码，在线观看成品视频演示。



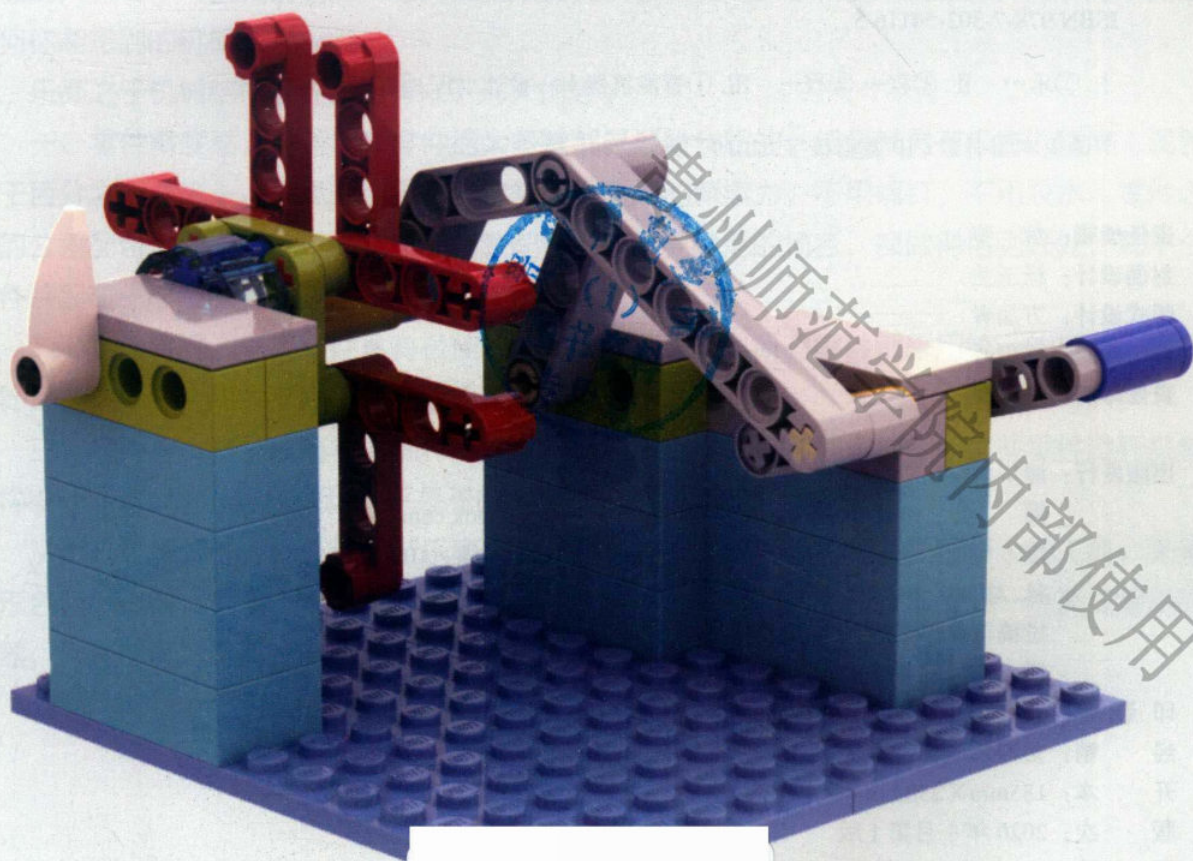
清华大学出版社



乐高 LEGO

程昱 程嘉名◎编著

简单机械创意设计



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书定位于乐高入门级培训和技术指导,讲解了5个大类20多件乐高MOC作品,内容涵盖动物、游乐机械、人形机器人、趣味玩具等诸多领域。本书案例丰富多彩、构思巧妙、引人入胜,达到国内同类图书的高水准。本书将看似复杂高深的机械原理用有趣的乐高案例进行展示,做完书中的20多个有趣的案例,读者能在不知不觉中就掌握一些简单的机械原理和设计、搭建技巧,熟悉了乐高零件的使用方法进而对乐高搭建产生浓厚的兴趣。

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

乐高简单机械创意设计 / 程罡, 程嘉名编著. —北京: 清华大学出版社, 2020
ISBN 978-7-302-54116-5

I. ①乐… II. ①程… ②程… III. ①智能机器人—设计 IV. ①TP242.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 247731 号

责任编辑: 魏 莹

封面设计: 杨玉兰

版式设计: 方加青

责任校对: 周剑云

责任印制: 刘海龙

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 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

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

印 装 者: 北京博海升彩色印刷有限公司

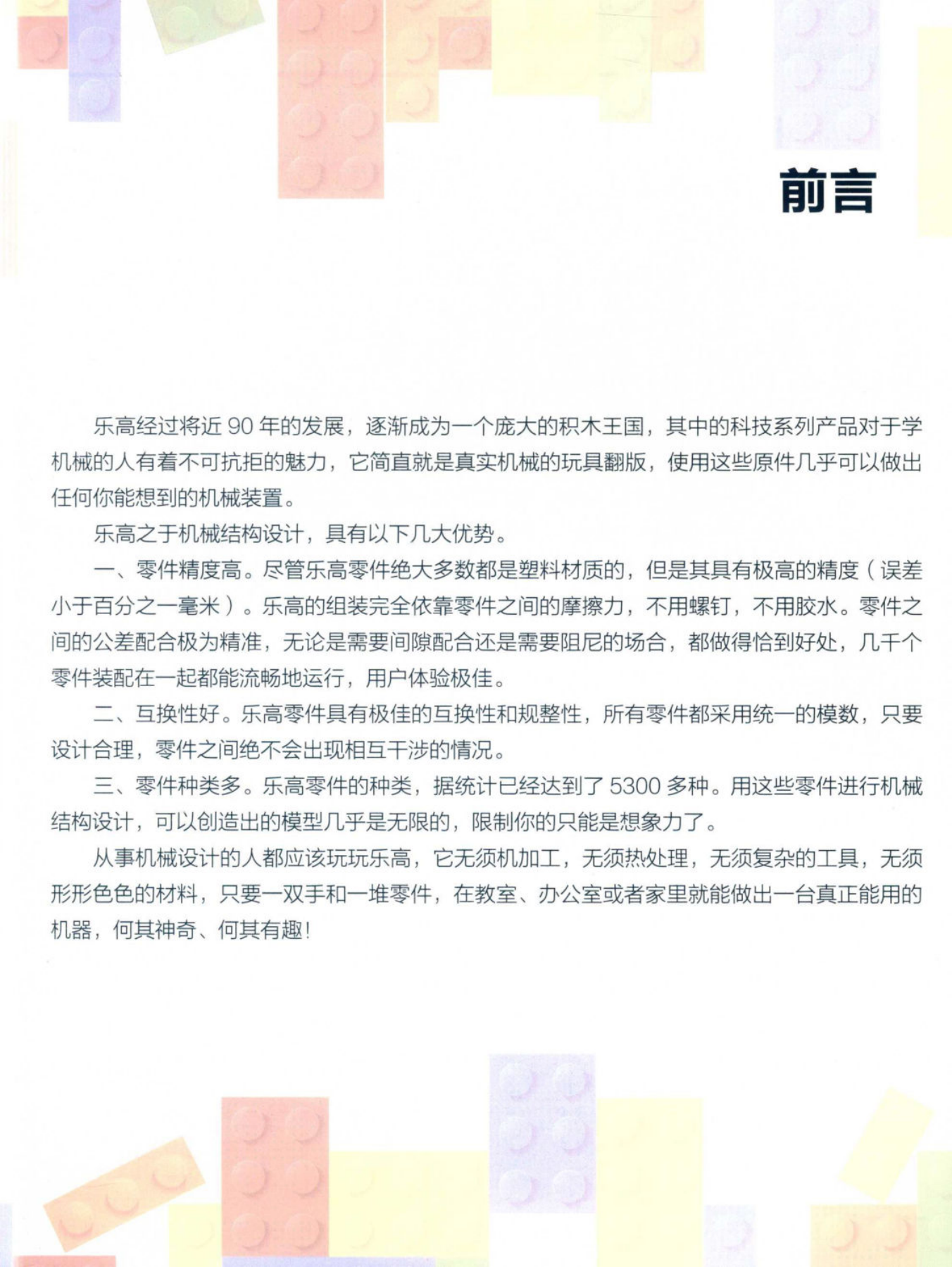
经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×230mm 印 张: 15 字 数: 167 千字

版 次: 2020 年 1 月第 1 版 印 次: 2020 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 79.00 元

产品编号: 081481-01



前言

乐高经过将近 90 年的发展，逐渐成为一个庞大的积木王国，其中的科技系列产品对于学机械的人有着不可抗拒的魅力，它简直就是真实机械的玩具翻版，使用这些原件几乎可以做出任何你能想到的机械装置。

乐高之于机械结构设计，具有以下几大优势。

一、零件精度高。尽管乐高零件绝大多数都是塑料材质的，但是其具有极高的精度（误差小于百分之一毫米）。乐高的组装完全依靠零件之间的摩擦力，不用螺钉，不用胶水。零件之间的公差配合极为精准，无论是需要间隙配合还是需要阻尼的场合，都做得恰到好处，几千个零件装配在一起都能流畅地运行，用户体验极佳。

二、互换性好。乐高零件具有极佳的互换性和规整性，所有零件都采用统一的模数，只要设计合理，零件之间绝不会出现相互干涉的情况。

三、零件种类多。乐高零件的种类，据统计已经达到了 5300 多种。用这些零件进行机械结构设计，可以创造出的模型几乎是无限的，限制你的只能是想象力了。

从事机械设计的人都应该玩玩乐高，它无须机加工，无须热处理，无须复杂的工具，无须形形色色的材料，只要一双手和一堆零件，在教室、办公室或者家里就能做出一台真正能用的机器，何其神奇、何其有趣！

喜欢动手的孩子也应该玩玩乐高，玩的过程中可以培养孩子多方面的能力，尤其是动手能力和创意能力，这在书本和课堂上很难学到。机械结构也是时下流行的机器人教育的重要组成部分。

本书尝试用乐高表现机械结构，从连杆到能执行一定任务的简单机器，案例的类型尽可能的丰富；从纸飞机发射器到机械钟，从折叠道闸到两足行走机器人，以期给读者带来更多的启发和参考。

在形式上，本书也与时俱进地尝试了“互联网+”的模式。纸质图书表现动态的机械结构具有天然的不足，因此在需要展示动态效果的环节，我们加上了手机扫描二维码在线观看的服务，使读者以最便捷的方式看到案例的动态视频，可对案例有更加全方位的了解。

为了更好地服务读者，我们还提供了网络技术支持平台，建立了微信公众号和微信群。书中案例我们都配有完整的搭建步骤图。由于篇幅所限，书中的步骤图跨度比较大，可能会造成部分读者搭建困难。在搭建中有需求的读者可以通过网络技术支持平台获取。在学习本书的过程中，读者如有任何技术问题或意见、建议也可以与我们联系。

微信公众号名称：小小工程师

微信群名称：《乐高简单机械创意设计》读者服务

本书在创作过程中，尽量秉持坚持原创精神，但是也不可避免地参考了国内外高手、大神的创意，条件所限无法一一告知，再次一并致歉并表示衷心感谢！

限于笔者的水平，本书错讹之处在所难免，欢迎广大读者不吝赐教，多多批评指正，笔者不胜感激。

编者

第 1 章 认识乐高 1

1.1 乐高科技和 MOC	1
1.1.1 乐高科技史话	1
1.1.2 MOC	2
1.2 乐高零件概述	3
1.2.1 从砖到科技梁	3
1.2.2 乐高中的销	4
1.2.3 轴类零件	5
1.2.4 齿轮	6
1.2.5 交叉块	7
1.3 有趣的乐高术语	7
1.4 乐高工具	9
1.4.1 拆卸工具	9
1.4.2 搭建软件	10

第 2 章 简单机械结构 13

2.1 十字沟槽机构	13
2.1.1 概述	13
2.1.2 动态效果	13
2.1.3 搭建指南	14
2.2 齿条往复机构	18
2.2.1 概述	18
2.2.2 动态效果	18

2.2.3 搭建指南	19
2.2.4 结构解析	23
2.3 虚拟轴连杆机构	23
2.3.1 概述	23
2.3.2 动态效果	23
2.3.3 搭建指南	24
2.4 齿轮连杆机构	27
2.4.1 概述	27
2.4.2 动态效果	27
2.4.3 搭建指南	28
2.5 直角传动机构	31
2.5.1 概述	31
2.5.2 动态效果	31
2.5.3 搭建指南	32
2.5.4 结构解析	35
2.6 偏心传动机构	35
2.6.1 概述	35
2.6.2 动态效果	35
2.6.3 搭建指南	36

第 3 章 马达和结构 40

3.1 纸飞机发射机	40
3.1.1 作品概述	40
3.1.2 动态效果	40

3.1.3 搭建指南	41	4.2 三片式旋转门	77
3.1.4 零件指南	45	4.2.1 作品概况	77
3.1.5 结构解析	45	4.2.2 动态效果	78
3.2 机械钟	46	4.2.3 搭建指南	78
3.2.1 作品概述	46	4.2.4 零件指南	87
3.2.2 动态效果	46	4.2.5 结构解析	88
3.2.3 搭建指南	47	4.3 简单两足行走机构	88
3.2.4 零件指南	51	4.3.1 作品概况	88
3.2.5 结构解析	52	4.3.2 动态效果	89
3.3 机器飞鸟	53	4.3.3 搭建指南	89
3.3.1 作品概述	53	4.3.4 零件指南	94
3.3.2 动态效果	54	4.3.5 结构解析	95
3.3.3 搭建指南	54	4.4 手动陀螺加速器	96
3.3.4 零件指南	59	4.4.1 作品概况	96
3.3.5 结构解析	60	4.4.2 动态效果	97
3.4 逆旋风车	61	4.4.3 搭建指南	97
3.4.1 作品概述	61	4.4.4 零件指南	102
3.4.2 动态效果	62	4.4.5 结构解析	102
3.4.3 搭建指南	62		
3.4.4 零件指南	67		
3.4.5 结构解析	68		
第 4 章 简单机械装置	69	第 5 章 实用机械装置	104
4.1 滑动式机械门	69	5.1 单杠机器人	104
4.1.1 作品概况	69	5.1.1 概述	104
4.1.2 动态效果	69	5.1.2 动态效果	104
4.1.3 搭建指南	71	5.1.3 搭建指南	105
4.1.4 零件指南	76	5.2 手机支架	111
4.1.5 结构解析	76	5.2.1 概述	111
		5.2.2 动态效果	112
		5.2.3 搭建指南	112
		5.3 变形折叠桌	118

5.3.1 概述	118	6.2.4 搭建指南	155
5.3.2 动态效果	118	6.2.5 结构解析	163
5.3.3 搭建指南	119	6.3 绘图车	163
5.4 折叠道闸	124	6.3.1 作品概况	163
5.4.1 作品概述	124	6.3.2 动态效果	164
5.4.2 动态效果	124	6.3.3 零件指南	164
5.4.3 搭建指南	125	6.3.4 搭建指南	166
5.5 发条流星锤	129	6.3.5 结构解析	171
5.5.1 作品概述	129	6.4 尺蠖车	172
5.5.2 动态效果	130	6.4.1 作品概况	172
5.5.3 搭建指南	130	6.4.2 动态效果	173
5.5.4 零件指南	136	6.4.3 零件指南	173
5.6 发条伸缩车	136	6.4.4 搭建指南	174
5.6.1 作品概况	136	6.4.5 原理解析	179
5.6.2 动态效果	137		
5.6.3 搭建指南	137		
		第7章 简单机器	181
第6章 动力车辆	145	7.1 花环绘图机	181
6.1 漂移车	145	7.1.1 作品概况	181
6.1.1 作品概况	145	7.1.2 动态效果	182
6.1.2 动态效果	145	7.1.3 搭建指南	183
6.1.3 零件指南	145	7.1.4 零件指南	189
6.1.4 搭建指南	147	7.1.5 结构解析	189
6.1.5 结构解析	152	7.2 两足机器人	190
6.1.6 工作原理	153	7.2.1 作品概况	190
6.2 扭扭车	154	7.2.2 动态效果	191
6.2.1 作品概况	154	7.2.3 搭建指南	192
6.2.2 动态效果	154	7.2.4 零件指南	197
6.2.3 零件指南	155	7.2.5 结构解析	198
		7.3 机器人推车	199

7.3.1 作品概况	199	7.4.2 动态效果	209
7.3.2 动态效果	200	7.4.3 搭建指南	210
7.3.3 搭建指南	200	7.4.4 零件指南	221
7.3.4 零件指南	207	7.4.5 结构解析	222
7.3.5 结构解析	208		
7.4 跑步机器人	209		
7.4.1 作品概况	209	零件总表	224

认识乐高

1.1 乐高科技和 MOC

本书所讲解的机械创意模型设计所采用的器材隶属于乐高科技类原件，因此，我们先从乐高科技元件的发展历程开始介绍。

1.1.1 乐高科技史话

乐高科技作为乐高中的一個门类，已经有超过 40 年的历史了。

1977 年，两位设计师 Jan Ryan 和 Eric Bach 为了让乐高经典积木有更强的可玩性，跳脱以往玩积木的思路，倾力打造了乐高机械组系列。无论是想像大人一样玩的小朋友，还是想像孩子一样玩的大人，都能从乐高机械组系列中收获满满的乐趣。图 1-1 所示为乐高科技 40 周年纪念海报。



图 1-1 乐高科技 40 周年纪念海报

当年还发布了两款乐高科技套装的开山之作

Technic Car Chasis (853) 和 Helicopter (852)，图 1-2 所示为乐高 853 包装盒。



图 1-2 乐高 853 包装盒

乐高由此开创了一个新的产品门类，并且不断发展壮大。早期的科技系列作品都是静态的，也就是不带有马达的。直到 1996 年，乐高发布了一款具有划时代意义的套装——太空穿梭机 (8480)，这款产品第一次使用了马达。从此，乐高科技系列进入了电动时代，图 1-3 所示为乐高太空穿梭机 8480 包装盒。



图 1-3 乐高太空穿梭机 8480

到了2007年，科技系列再次进化，推出了PF系统。PF是Power Function的缩写，包括各种马达、遥控器、遥控接收器和电池箱等。读者可以给作品装上灯光，还可以实现远程无线遥控，使模型的可玩性大幅度提高！

PF按照功能可分为三大类：电源、控制元件和马达。图1-4所示为两种PF遥控器和遥控接收器。

未来，乐高还会推出什么样的科技新元件？让我们一起拭目以待。



图 1-4 遥控器和遥控接收器

1.1.2 MOC

大多数乐高爱好者接触乐高都是购买官方发布的套装，按照图纸进行搭建。很多人玩乐高也就止步于此了。但是，有一部分爱好者发展到了一个更高的境界，这就是MOC。

MOC的全称是My Own Creation，直译过来就是“我自己创建”，即跳出官方套装（Set）的框架，完全依靠玩家自己的想象力去创造新的模型。

乐高官方几年前推出了一个名为LEGO Ideas的项目，旨在鼓励玩家发挥想象力创作新的套装，然后把自己的作品公布在LEGO Ideas上，接受来自全球玩家的投票，每年最受欢迎的几款作品可能会有机会成为下一年度的官方套装上市销售。

最早的我的世界21102、美剧迷超爱的生活大爆炸21302，以及最近备受摇滚乐迷关注的黄色潜水艇21306是ideas系列的代表产品，图1-5所示为黄色潜水艇21306。



图 1-5 黄色潜水艇（21306）

MOC虽然大部分不是出自专业乐高设计师之手（也有部分是乐高注册设计师的个人作品），但其中不乏一些与官方作品平分秋色甚至能够超越官方的大作。基本上高级乐高玩家都在MOC。

加拿大乐高玩家Jason Allemann的MOC作品Maze（立体迷宫），最终被开发

成乐高官方 ideas 套装 21305, 如图 1-6 所示。



图 1-6 Jason Allmann 和乐高迷宫 (21305)

自己的 MOC 作品最终能成为乐高官方套装, 这是每个乐高玩家的至高荣耀。

1.2 乐高零件概述

1.2.1 从砖到科技梁

乐高从创始至今已将近一个世纪, 其产品的门类逐渐从积木扩展到科技元件和机器人元件。

砖块是乐高中历史最为悠久的品种, 乐

高几乎已经成了积木的代名词。乐高砖块的最主要特征是长方体的砖块上有圆柱状的凸点。图 1-7 为适合学龄前儿童使用的乐高大颗粒积木。

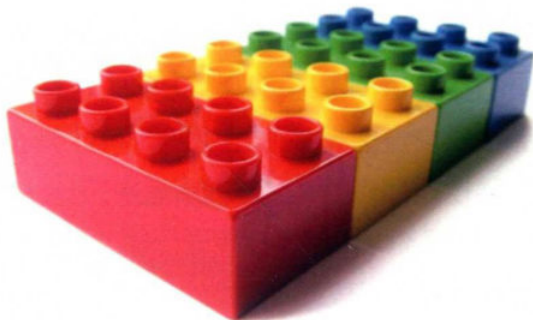


图 1-7 乐高大颗粒积木

随着时代的发展, 乐高逐渐发展, 出了科技系列元件。最早的形式是在砖块上做出圆孔, 这就是所谓的科技砖 (Technic Brick)。科技砖上的凸点并非实心圆柱, 而是空心圆柱, 其圆孔的位置一般是位于两个凸点之间, 如图 1-8 所示。



图 1-8 普通砖和科技砖

后来, 乐高又出现了科技梁 (Technic Beam), 这种零件好像是去掉了凸点、两端加了倒圆角的科技砖, 如图 1-9 所示。



图 1-9 3 孔科技梁和 3 孔科技砖

由于科技梁体积更小，外形更圆润，做出来的作品更加紧凑美观，因此它在科技类作品中被广泛运用。时至今日，科技梁已经成为科技作品设计的主流选择，如无特殊情况，一般都不再使用科技砖进行模型设计了。

与科技砖只有直线类型的零件情况不同，科技梁衍生出很多种形状——直角的、T字形的、弯曲的等，科技梁上除了有圆形的销孔外，有的还带有十字形的轴孔，如图 1-10 所示为部分乐高科技梁。

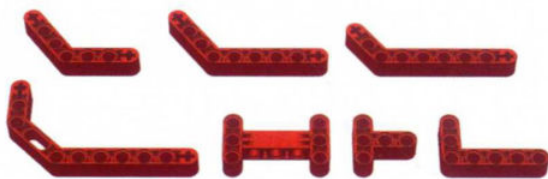


图 1-10 部分乐高科技梁

1.2.2 乐高中的销

科技梁作为模型最主要的框架构建元件，还需要各种连接元件，这就是轴销类零件。乐高中的销(Pin)种类繁多，有多种分类方法。如果按照长度(乐高单位)来划分，有 1.1/4、

1.1/2、1、2 和 3 单位等几种，如图 1-11 所示。

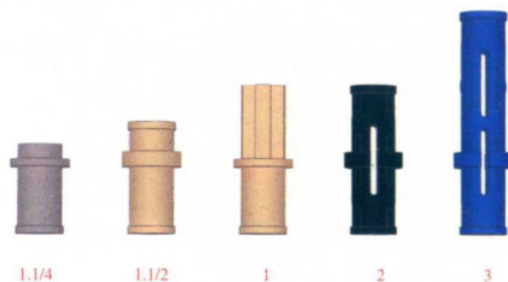


图 1-11 常见销的长度

相同规格的销还有光滑销和摩擦销之分。摩擦销上有用于增加摩擦力的小凸起，装配到销孔中形成过盈配合，因此摩擦销通常用于固定。光滑销一般用作转轴，通常二者不可混用。如图 1-12 所示为最常见的几种光滑销和摩擦销，读者选用时务必注意区分。



图 1-12 摩擦销和光滑销

图 1-12 中相同规格的两两种销，左侧的是摩擦销，右侧的是光滑销。

轴销，蓝色的是摩擦销，米色的是光滑销。2 单位销，黑色的摩擦销，浅灰色的是光滑销。3 单位销，蓝色的是摩擦销，米色的是光滑销。

3 单位销还有几个特殊的品种，如图 1-13 所示。



图 1-13 三种特殊 3 单位销

图 1-13 中的三种销，在特定场合非常有用。其中“轴孔 + 长销”零件也被称为“大头销”，由于一端有一个凸起的轴孔口，插拔方便，经常被用于两个元件的临时连接。

1.2.3 轴类零件

轴类零件的运用非常广泛，是科技零件中十分重要的类型。目前，轴的规格共有 18 种。长度从 2 个单位开始一直到 32 个单位。其中 12 个单位以下的标准轴，每个单位都有一种规格，12 个单位以上的有 16 和 32 两种规格，如图 1-14 所示。

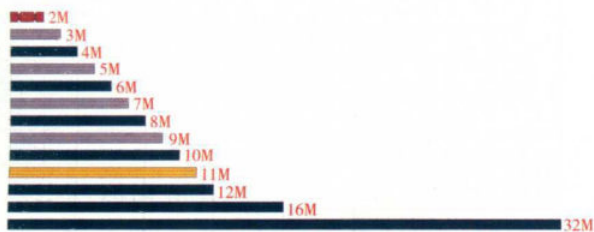


图 1-14 标准轴

为了便于区别，乐高的单数长度轴一般都是浅灰色的，偶数长度的轴一般都是黑色的。其中的 11 号轴比较少见，在设计 MOC 作品的时候尽量不要选用。

除了上述的标准轴，还有几种特殊形状的轴，如图 1-15 所示。

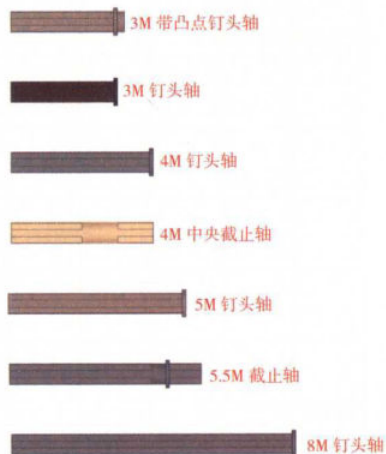


图 1-15 特殊规格的轴

上述几种轴虽然形状特殊，但是也很常用。因为带有钉头，安装在销孔中可以防止轴向的滑动，在特定的场合往往起到不可替代的作用。

轴的横断面都是十字形的，其主要功能是传动和固定。它的用途取决于轴和什么类型的零件连接。如果轴与带有十字孔的元件连接，用于固定。如果轴与销孔连接，轴就可以自由转动，用于传动。图 1-16 是本书中的一个案例，其中轴的运用起到至关重要的作用。

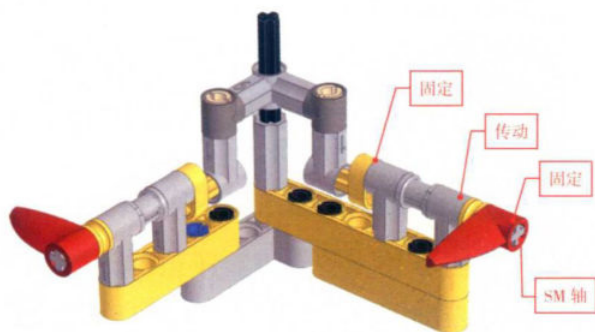


图 1-16 轴的运用

1.2.4 齿轮

对于机械结构设计，齿轮是极其重要的元件。齿轮几乎已经成了机械的代名词。

齿轮的主要作用有：

- 将动力源（马达、手摇、发条马达或者橡筋动力等）的动力传输给机械装置；
- 改变动力源输出的转速和方向；
- 改变动力源输出的扭矩。

齿轮传动具有传输稳定、扭矩大、灵活多变的特点。

乐高中所有马达输出的动力几乎都需要通过齿轮传递给机械装置，使之运行。齿轮系统有两种最基本的结构——加速和减速：

- 如果是小齿轮作为主动齿轮带动大齿轮，则为减速系统，转速降低，扭矩增大。
- 如果是大齿轮作为主动齿轮带动小齿轮，则为加速系统，转速提高，扭矩减小。

如图 1-17 所示为基本的加速和减速系统。

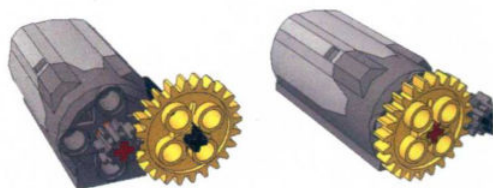


图 1-17 齿轮减速（左）和加速（右）系统

图 1-17 中所采用的齿轮是 8 齿和 24 齿。在减速机构中，减速的齿比为 3 : 1（24 除以 8），同时扭矩也增加 3 倍。加速系统中则相反，齿比为 1 : 3，扭矩减小到 1/3。

乐高中的常用齿轮如图 1-18 所示。

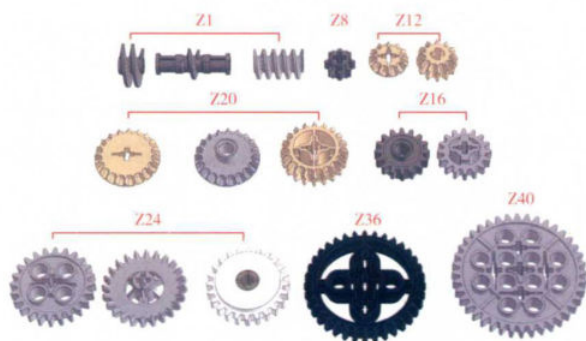


图 1-18 乐高中的常用齿轮

上图的齿轮中，比较特殊的是三种蜗杆，在齿轮系统中，蜗杆算作一个齿的齿轮。Z8、Z16、Z24 和 Z40 是直齿轮，只能用于平行轴之间的传动。Z12、Z20 和 Z36 是锥形齿轮或双面齿轮，这种齿轮既可以用于平行轴，也可以用于相互垂直轴之间的传动，如图 1-19 所示。

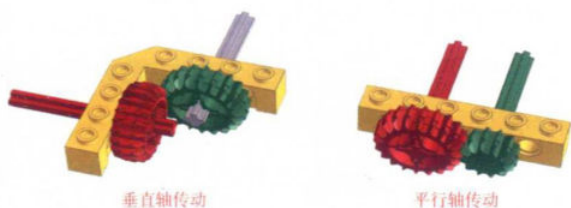


图 1-19 双面齿轮的两种用法

1.2.5 交叉块

交叉块是乐高科技零件中的一个大类，主要用于不同角度和方向的零件之间的连接。交叉块种类众多，形态各异。能否灵活、巧妙地使用交叉块，几乎成了区分玩家水平的一个标志。

交叉块虽然形态各异，但是有一个共同的特点：在同一个零件中既有销孔又有轴孔，而且大多数情况下轴孔和销孔在空间中还呈现交叉状态，这可能就是“交叉块”名称的来历。比较典型的零件如图 1-20 所示。

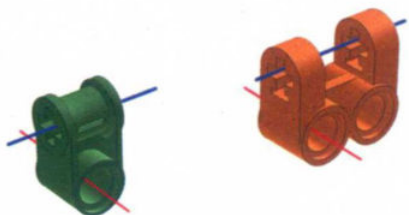


图 1-20 典型的交叉块

上图中的两个交叉块上都带有圆形的销孔和十字轴孔，两种孔在空间中形成交叉。

图 1-21 为爬楼梯机器人，其中大量使用了交叉块。如果没有交叉块，这个作品根本无法完成。图中标注的是交叉块的编号。

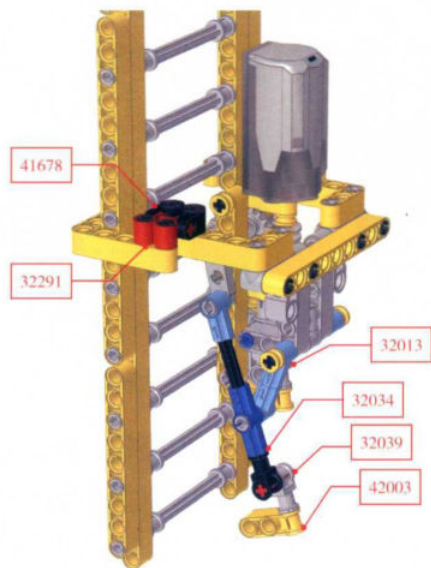


图 1-21 爬楼梯机器人中使用的交叉块

由于篇幅所限，本小节对于乐高零件的介绍较为简略，书中案例部分在“零件指南”中有详细的讲解，请读者留意。

1.3 有趣的乐高术语

常玩乐高的人可能都听说过一些乐高圈子的行话，下面总结了几个，看看大家知道是什么意思吗？

● 入坑

其实这个不用解释一般人也会懂，就是买了该系列产品并打算持续投入的意思。

乐高比较深的坑有：科技坑、街景坑、人仔坑、星战坑等。

● 人仔

人仔是对乐高产品中“小人”的统称，如图 1-22 所示。



图 1-22 乐高入仔

人仔并不局限于人类，诸如兽人、吸血鬼等鬼怪人仔都算入其中，如图 1-23 所示。但诸如熊、马、猫之类的动物，以及普通的机器人，不算在其中。



图 1-23 非人类人仔

● 肉

它是乐高迷对乐高积木颗粒的称呼，如果单个颗粒则称为“砖”，区别于人仔。

最常用法：一个套装白色颗粒数比较多，通常会被称为“白肉多”。

● 杀肉

所谓杀肉，其实是通过购买套装来补充或丰富自己零件库的行为。

通常作为套装出售的乐高零件要比单独购买更划算。这就好比买汽车一样，买整车的价格肯定比单独买零件价格低。

例如，科技系列中的白色零件是相对稀少的一种零件，如果某一款套装中包含了大量的白色零件，有的玩家往往会购买 3、5 套这款套装来储备自己的白色零件，这时候就会说通过购买 X 套装来“杀肉”。

● 肉桶

颗粒多且单价便宜的套装被称为“肉桶”。圈内比较著名的肉桶有科技系列的 42055(矿山挖掘机)和街景系列中的 10214(伦敦塔桥)等。图 1-24 所示为 10214 (伦敦塔桥)。



图 1-24 伦敦塔桥套装