

第三章 乐高马达

在机器人系统中，我们已经介绍了动力传输系统——结构是如何传递力的，接下来，我们要讨论动力源——马达，包括各种马达的安装固定，以及马达的使用技巧，如，怎么获得更大的动力输出？同时简单介绍怎样并联马达，如何控制其工作等内容。

本章包含的内容：

- ☒ 微马达、低速马达、高速马达
- ☒ 安装马达
- ☒ 马达导线连接
- ☒ 控制能量
- ☒ 连接马达

3.1 简介：

马达是机器人的主要动力源，它可以使机器人执行移动、载重，控制手臂，抓取物体，抽气等其它需要动力源的动作。马达有不同的种类，但都有一个共同点：将电能转换为机械能。在这一章，我们要讨论不同的乐高马达及其使用、安装、连接。

在讲解马达之前，我们先介绍一下有关电子学的理论。我们知道，电流分为直流电（DC）和交流电（AC）。家里使用的就是交流电，而电池是一种最常用的直流电源，所有乐高的电动组件包括马达都使用直流电源。

为了更好地理解什么是直流电，我们可以把它想象成从山上流下的一股泉水。流过导线的电流与之类似：当你将电池与灯或者马达连接时，电流的流动差不多像水流。我们知道电池有正负极，它表示电流的流动方向：从负极流向正极，就好像负极在山顶。在溪流中放一个水车就能把水的能量转化为机械能，同样，马达可以将电流转变成运动。假如改变水流的方向，水车会发生什么情况呢？它会改变旋转方向。直流马达也是如此。每一个马达都有两个接头，一个接到负极，另一个接到直流电源的正极。你可以想象的到电流从电池的负极流入马达，使马达运动，然后电流又流回到正极。如果将马达与电池之间的导线变换方向，马达的旋转方向也随之改变了。

那么，如何来描述在溪流中流过的水量呢？它由两个因素决定：水的流速，水流的宽度，两者对水车的工作状态都有影响。在电流里，流动的速度称为电压，它的宽度（强度）称为电流。它们的单位分别可以用伏特（V）和安培（A）来表达，还有比它小的单位：毫伏（mV）和毫安（mA）。这两者的乘积就称为功率，用瓦特（W）来衡量它的大小。

每个马达都有额定电压，当然，电压低于额定电压时马达也能工作，只是会转得慢一些；但如果超过额定电压，马达就有可能烧掉。

电流还有其它特性：电流的变化是根据马达的工作状态改变的：负载越高，电流就越

大。当马达与 RCX 连接使用时，如果有力阻碍它旋转，必须停止马达。因为马达会把电流不断的转变成能量来抵抗阻力，如果不成功，所有流过马达的电流就会转变成了热能而不是机械能，这对马达来说很危险。第二章讨论过的离合齿轮在这里就起作用了，它限制了最大的扭矩，防止马达卡住的这种情况发生。在以后的章节中你会知道 RCX 对保护马达也有积极的作用。

3.2 微型马达、低速马达、高速马达

每一个马达都含有一个或更多的铁心和磁铁，用来将电能转化为机械能，但你不需要知道这个转化的过程。作为一个搭建者，你所要记住的是每个马达都有一个输入能量的接头，一根输出轴，目前乐高套装提供了三种 9V 直流马达（如图 3.1）：高速马达（a）、低速马达（b）和微马达（c）。还有比较特殊的马达，如 train 马达、带有电池箱的马达和 Micro Scout 马达等，但这些马达不常用，通用性不如前三种好，因此在这里我们就不测试它们了，表 3.1 中总结了前三种马达的一些属性。

属性	高速马达	低速马达	微马达
最大电压	9VDC	9VDC	9VDC
最小电流（无负载）	100mA	10Ma	5mA
最大电流（stall）	450mA	250mA	90mA
最大速度（无负载）	4000rpm	300rpm	30rpm
在一般负载下的速度	2500rpm	200rpm	25rpm

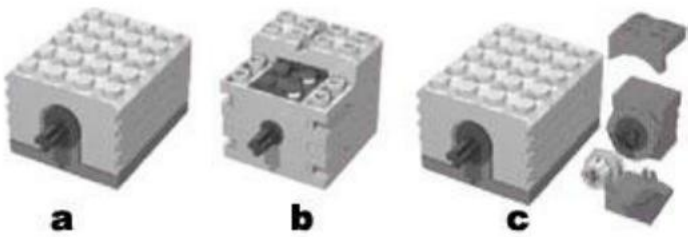


图 3.1 乐高马达

无传动链马达是乐高技术系列套装的标准马达，它的轴是内部马达轴的延长，因此我们称它为高速马达，它的转速非常高（转速可高达 4000rpm）。在大多数实际应用中，它都需要非常高的减速传动比，从而需要非常复杂的传动链，而且还会消耗大量的电流。

在本书中的例子中，没有涉及到高速马达的使用，你可以安全地使用它，不会损坏 RCX 且自身也不会损坏，唯一的缺点就是消耗电池。

本书中我们提到的马达一般为低速马达。它有一个内置多级减速传动链，无负载时的转速为 350rpm（一般负载的转速为 200/250rpm），它的特点是高效率、低能耗。它也用了复杂的传动链，在机器人挑战套装中有两个马达。

方法和技巧

如何解除微马达被卡住情况：

微马达是很容易卡住的，此时，你只需按下列步骤进行：

1. 尽快关掉马达，将马达与其它组件分离或关闭电源，否则将会永久性的损坏马达。
2. 把马达与它连接的齿轮、皮带等脱离以减小震动，在马达轴上留下小滑轮。
3. 用手指握住马达，轻轻转动滑轮，但转动方向必须与马达卡住时的转动方向一致，同时将滑轮拔出，当听到咔的一声，说明马达没有损坏。假如不知道马达卡住时的转动方向，两个方向都试一下。

这几个步骤通常很有效，如果不行，试着使用小电流脉冲朝两个方向驱动马达，同时执行第3步。

微马达也是一个带有传动链的马达。它的输出轴的转速大约是 30rpm，扭矩也相当低（小于 1Ncm），它的噪音比较大而且很容易卡死。你可能想知道为什么要使用这种马达，答案就在于它的名字：因为它的体积小，在有些情况下，马达的大小比所需的扭矩和速度有更多的限制。使用它时要使用一些特殊的支架和连接马达轴的小滑轮（如图 3.1c）

3.3 固定马达

乐高马达的宽度和长度都是 4 个乐高单位，马达的顶部形状是不规则的，低处的高度为 2.8 个乐高单位，高处的高度是 3.6 个乐高单位。马达的底部也是不规则的，因为它有一块 2×2 大小的凸起区域，因此直接将马达固定在规则表面上是不可能的，所以，固定马达需要一定的技巧。下面我们将介绍一些常见的技巧。

尽管它的形状不规则，但它与标准的积木块配合得很好。如图 3.2，使用两根梁以 4 个孔的间距可以将马达低处部分固定。在一个稳固的结构中，马达的固定是很重要的，否则当马达承受负载时结构就会散架。在图中你还可看到距离梁的底部是一个乐高单位，这样就可以与前一章讲过的齿轮（8 齿和 24 齿，16 齿和 16 齿）配合，在第二个例子（如图 3.3）也是一个坚固装置，这里延长了马达的输出轴以便于在上面固定一个蜗轮。这个装置适合低速高扭矩应用。

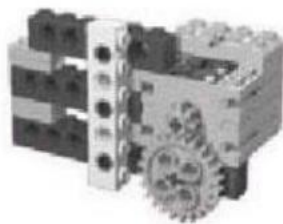


图 3.2 用梁固定马达

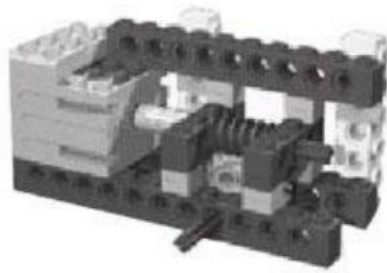


图 3.3 与涡轮连接的马达

注意：这几幅图片重点说明它们之间的关系和距离，因此，为了能看到内部结构，我们没有在两边固定马达，在实际的应用中，应该两边固定马达并调整将梁调整为合适的长度。

在乐高机器人挑战套装中有 8 块带有导轨的 1×2 板，是专门用于固定马达（如图 3.4）的。图 3.5 显示了固定马达的一个小巧且稳固的结构，更重要的是，此装置不需要拆散就能移除马达：移除马达后面的两块 2×6 板，不需要调整其余组件就可直接将马达拆下，用于其他模型的搭建。

马达是乐高组件中较贵的组件，因此，同时搭建多个机器人模型时，应该考虑重复利用马达。



图 3.4 带有导轨的 1×2 的板便于固定马达



图 3.5 可方便拆除马达的装置

注意：我们建议固定马达时要保证连接导线能自由移除，不要与马达一起固定，除非确定结构不会改变，且不需要其它长度的导线。

如图 3.6 是固定马达的最后一个例子，我们看到了如何使用两个滑轮与一根皮带解决了远距离传递动力的问题。马达没有用垂直梁来固定，因为轴上的扭矩不会很大（滑轮打滑可以限制扭矩），同时，皮带保证了马达不会从底座上掉下来。



图 3.6 皮带传动不需要固定结构

3.4 马达导线的连接

LEGO 马达的导线连接是很容易的。导线两端是 $2 \times 2 \times 2/3$ 的接线柱，与标准积木块连接一样容易，使用它不需要特殊的知识。本章曾介绍过，乐高马达是直流马达，因此它受接线柱极性的影响，也就是说，接线柱的极性决定了马达的正反转，但你不用担心这个，因为可以通过程序来控制它的转向，并且乐高接线头的设计很巧妙，它不仅能防止马达或电池短路，而且通过旋转接线头 180 度，可以改变它的极性。

有很多种方法不通过编程就能测试马达。具体如下：

RCX 微型电脑 按 RCX 微型电脑的 View 按钮，直到与马达相连的端口上出现小箭头，但不松开该按钮，同时按下 Prgm 或 Run，朝你期望的方向驱动马达。

软件 你可以上网找到并下载许多免费程序，通过 PC 机直接控制马达，一点鼠标就可以让马达运行。

外部电池箱 一些乐高套装里有 1 个电池箱（如图 3.7），使用这个电池箱，不需要 RCX 就可测试马达。



图 3.7 乐高电池箱

遥控器 机器人挑战套装中没有这个工具。它可以同时控制三个输出端口，在搭建过程中测试机器人是很有用的。

其它资源 乐高所有 9V 的电动部件都是互相兼容的，如果你有一个乐高的速度调节器，就能安全使用马达，不要使用与乐高不配套的电源，否则会损坏马达。



3.8 乐高遥控器

在某些情况下，你可以利用同一个端口控制多个马达，而且对 RCX 和马达是安全的，需要指出的是 RCX 在端口的反面有一个限流装置，它可以避免在卡住停转情况下强电流造成的损坏。当两个马达连接到同一端口时，它们平分了最大的有效电流，从而限制了马达的运行效率，但有时利用它来分担负载是很有效的。

还有一种避开限流电路来实现的方法：间接控制，不是通过 RCX 端口来控制马达，而是通过转动一个马达来打开一个开关，从而起到控制其它马达的作用。你只需一些额外的部件：一个极性开关和一个电池箱，如图 3.9。用乐高马达和滑轮驱动极性开关，使用皮带连接可以减少时间控制的限制，假如偶尔驱动马达时间过长，皮带打滑，马达就不会失速了。

极性开关具有三种状态：前进，停，倒退。其中一边控制马达运行，中间位置控制马达停止，另一边控制马达反转。这个装置只能控制两种状态（不要依靠定时将极性开关定位在中心位置），因此你必须选择一个开/关或前进/后退装置。

电池箱没有限流的特性，因此这个连接不能防止因过载引起的马达失速情况，从而会造成马达永久损坏。



图 3.9 间接控制马达

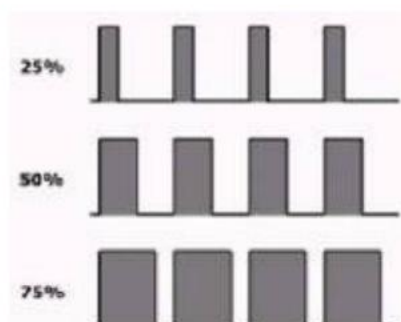
3.5 控制马达动力

我们知道程序能控制马达动力输出，事实上，某些特殊的指令还可以设置 0-7 的动力级范围（一些固件如 **legOS**，提供了 0-255 的动力级），但是，当你改变这些数值时，会发生什么情况呢，我们为什么要关心这些数据？

有两种方法可以控制马达的动力。乐高的齿轮组速度调节器通过电压控制动力：电压越高，动力越大。**RCX** 使用了另外的方法，称为脉冲宽度调制法（**PWM**）。

为了解释它的工作原理，假如你连续、快速地开关马达，马达产生的能量是由马达在一定时间间隔内马达打开的时间长度来决定的，慢速释放电流比快速（低负载）释放电流更有效。如果你在一秒内快速地开关马达 100 次，会看到马达正常的旋转；但在有负载的情况下，速度会减慢，是由于马达提供的动力降低了（如图 3.10）。

这个工作实际上都是 **RCX** 做的，它内部的马达控制器飞快地开关马达（每毫秒开 1 次开关），同时开和关之间改变了比例。在 0 能量级上，马达开占了周期的 1/8；在能量级 1 上，它占了 2/8，到能量级 7，马达就一直打开（8/8）。



3.10 能量级的脉冲宽度调制

我们为什么要关心这个技术问题呢？因为你实际控制的不是速度而是能量。乐高马达是非常有效的，当马达没有负载或只有少量负载时，降低能量级速度不会减少很多。在更大的负载下，你会看到能量级也会影响合成速度。

3.5.1 马达制动

必要时，可以通过控制马达的能量级来制动马达，RCX 具有一种电子制动器。我们通过实验来说明它的工作原理。实验需要 1 个马达、1 根导线、1 个 24 齿的齿轮。将这三个组件按图 3.11 所示装配。注意导线连接的方法：导线的一端接在另一端上。现在用手转动齿轮：齿轮平稳地转起来了，手停止转动后，它仍持续旋转了一会儿。

然后移掉导线，按图 3.12 所示连接：导线的两端同一方向连接到马达上，这样就使马达短路了。短路听起来比较可怕，但在这个例子中，只表示回路关闭，现在试着去转动齿轮，此时马达产生阻力，手一停转动，齿轮也停止转动。

为什么会发生这种情况呢？乐高马达不仅能把电能转换成运动，反之，它也能将运动转换成电能，因此可以当作发电机。在这个例子中，产生的电流流回到马达，产生阻力抵抗马达的运动，这个 RCX 实现制动马达的装置虽然简单但很有效：当你将他们设置成关闭，RCX 不仅将能量关闭，还可以短路端口，从而制动马达。



图 3.11 马达可以自由转动



图 3.12 电流制动装置

还有一种情况，称为 float 模式，RCX 只是断开与马达的连接，而没有产生任何制动。在这种情况下，能量源移除后，马达会继续旋转几秒钟。

方法与技巧

用马达当发电机

假如你不确信马达能否当作发电机的话，请做下面这个简单的实验。用 1 根导线将两个马达连接起来，在每个马达的轴上放 1 个 24 齿齿轮。用手拿住其中一个齿轮并转动它，同时观察另外一个马达。发生了什么情况？. 第一个马达将手的机械运动转变成了电流，从而使第二个马达也转动起来。

3.6 并接马达

前面讨论过把两个马达连接到同一端口。假如在一项任务中需要足够动力，那你就需要机械地并接马达，也就是说让多个马达共同控制某个机构，平分负载。理论上这个方法是有用的，但连接到 RCX 上的马达只能平分某个端口输出的最大电流，如图 3.13。两个马达共同带动 40 齿齿轮，这样会不会产生什么问题呢？不会，假如马达失速一小段时间，不会损坏马达。在 3.13 的应用中，你必须确信两马达的旋转方向一致。建议你在并接马达之前反复检查马达的连接和旋转方向，没有两个马达旋转的速度和输出的扭矩是一样的，但这样不会产生什么冲突。马达并不会知道还有一个马达正在与它操作同样的任务，它只是根据负载的反馈来调整速度。即使马达是不同类的，能量级、传动比也不一样也可以正常工作。

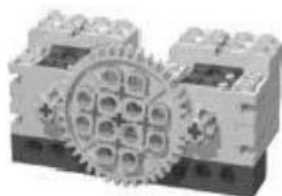


图 3.13 并接马达

如果你不确信这一点，认为一辆简单的小车能被一个单独的马达驱动，当路径变的陡峭时，

马达的负载就增加了，同时速度减慢。本来，马达调整自身来适应负载。同样的情况，两个马达一起工作时，平分负载并可以调整自身。

小结

乐高马达易用而且安全，但也要一点经验来避免马达的损坏。最重要的是不要让马达长时间失速，失速时要尽快关闭电源。从第二章中了解到离合齿轮可以避免这种情况发生。RCX 可以限制最大的电流防止马达的损坏。

用导线连接马达是很简单的，这个特殊的接头可以防止短路并且能改变它的旋转方向。与齿轮的固定一样，不同的固定选择是需要一定实践经验的，不要忘记用第一章讲过的用垂直梁来固定马达：如果装置不够稳固，它们产生的扭矩足以让它们散架！

并接马达是很有用的方法，尤其需要分担负载时。唯一要记住的是你必须在同一端口控制它们，这样可以避免两马达反向时发生的冲突。

总之，我们建议你随时测试模型，不要等到完成机器人时才发现马达装错了位置，或者不能正确传动，要在整个过程中随时调试，即使发现问题。