

圆梦小车第三代

—— 轮式驱动单元

在“[轮式驱动单元诞生记](#)”一文中，介绍了本设计的缘由、所期望达到的目标，并初步构想了一些应用方案。

本文将着重介绍“轮式驱动单元”的原理、性能以及使用方法，为用户选择提供必要的信息。

一、构成

“轮式驱动单元”是个新概念，但构思并非“发明创造”，它和一个成熟的产品十分相似，这就是模型中离不开的“舵机”。

车模、船模、航模都需要转向，为了方便、可靠地实现这一功能，一种接口简单，驱动方便的部件应运而生，这就是“舵机”，一个由大量相近需求催生的产品。

“舵机”由以下部分构成：

直流电机、减速机构、电机驱动电路、位置检测器件、闭环控制电路，以及方便的安装结构和灵活的力矩输出方式。

这样实现的舵机控制接口简单、统一，用三根线即可，除电源线外，只需一根控制线。控制信号简化为不需要驱动能力的 PWM 信号，极其容易产生。

目前智能小车在学习上应用十分广泛，但作为小车主要部件的电机、车轮安装及相应驱动电路实现却较为麻烦，成为学生们制作的主要障碍。

当然，如果从车模角度考虑，由于对性能的不同需求，可能难以统一。但作为控制对象的智能小车，需求相对一致：**控制方便、操控灵活即可。**

因为智能小车在学习过程中，“车”只是一个载体，不是重点，控制部分才是主要的学习内容。所以，选择智能小车作为学习平台的学生通常不愿在车体上耗费过多精力。

但按目前的实现方式，只有两种选择：

- 一、考虑车的性能，选择没有个性的成品车体；
- 二、考虑自身需求，耗时费力自制个性化的车体。

第一种方式常常由于受车体限制，控制部分难以安装；为迁就车体做出的小车不伦不类。我开始也想过这样实现，买了很多模型，但做出的东西看相太差，只得放弃，下决心自己开模，这才有了圆梦小车。

但学习的需求千变万化，圆梦小车同样满足不了所有的需求，只能说略有改善。

第二种方式可以根据自己的需求和控制器设计车体，做出的东西会比较协调、美观。

问题是此方式常常由于学生、学校的制作手段制约，性能得不到保证，导致控制意图无法实现，甚至根本完不成。

“轮式驱动单元”正是为解决此问题而设计。与“舵机”类似，也是由以下部分构成：

电机、减速机构、驱动电路、检测电路。

车轮也是小车制作过程中一大头痛问题，所以设计中将车轮也集成了。

因目的是学习，所以“轮式驱动单元”没有在内部构成闭环控制，而是将必要的检测信号调理后输出，控制系统（单片机）可直接使用，既顾及了使用的便利性，又不影响学习内涵。

“轮式驱动单元”针对智能小车的需求，设计了灵活的安装方式，使得小车的驱动形式可以有丰富的变化，这点在“[圆梦小车进化为变形金刚了](#)”一文中有详细描述。

这样构成的“轮式驱动单元”相当于目前小车的以下部分：

- 1) 直流减速电机
- 2) 带电流检测的 H 桥驱动电路
- 3) 车轮
- 4) 码盘及其信号采集电路
- 5) 安装结构件

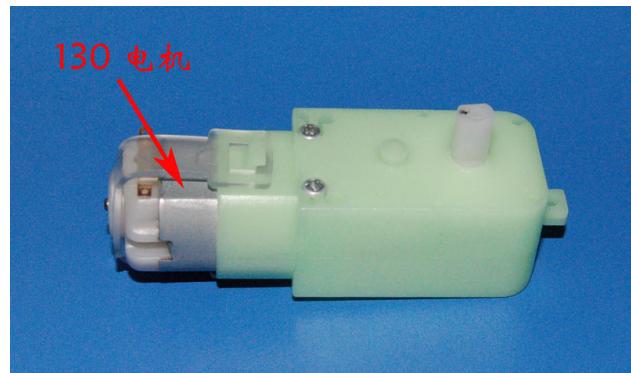
实际上，类似的产品已有，市场上的“连续转动舵机”就是，差别只是它只在舵机的基础上略作改动，以迎合小车驱动的需求，但由于未从设计上改变，难免有些“勉强”，而且基本上没有考虑安装和转动检测。

而本设计针对小车的各种需求，提供了目前小车上很少见到的、和“舵机”组合的安装机构，大大丰富了小车的驱动形式。

二、结构详述

设计时，吸取了圆梦小车的“教训”，不再自己设计、制作减速机构（由于太业余，无法保证性能），而是选择成熟的直流减速电机。

因是以学习为目的，车的性能不是主要追求，故选择了这款性价比较好的直流减速电机：



它配置的是最常用的 130 电机。此电机规格丰富，很容易找到满足自己需求的产品，用户可以方便的根据需要替换。

实在选择不到，还可以自己动手改制，四驱车玩具为此提供了丰富的资源。

而对应的减速机构，同样的外形中有五 六种减速比可供选择，配合电机的改变，用户可以方便的得到所需的速度和力矩。

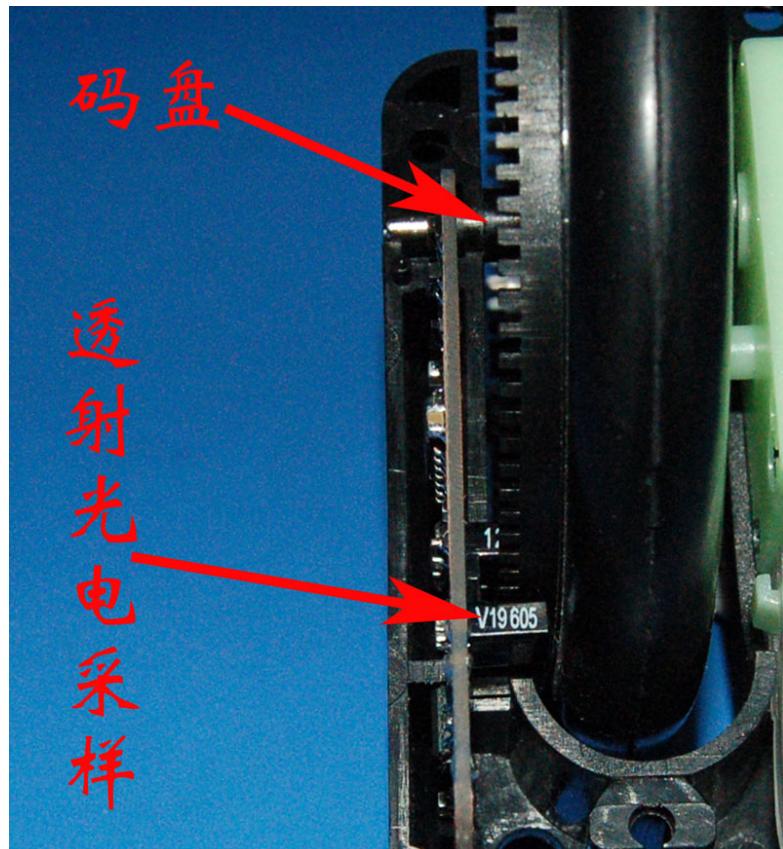
本设计中就提供了 2 种规格供用户选择：1: 48 和 1: 120。

但这种减速机构由于是非金属材料制作，其输出轴的钢性不如金属减速电机，如直接以悬臂方式安装车轮，随着载荷变化，轮轴会有些变形，导致在车轮上实现转动采样困难。

为弥补此缺陷，在结构上设计了第二支点，实现轮轴的两点支撑，大大改善了车轮的运转平稳性。



和圆梦小车一样，在车轮上设计了简易码盘，可以用遮断式光电采样器可靠地采集码盘信号：



设计齿数 100 个，采用正负沿采样，可得到 200 脉冲/圈，对应直径 80 mm 的车轮，相当于行走距离控制精度 1.256mm/脉冲。

安装结构上，首先为了兼容流行的差分驱动模式，设计了类似法兰边的结构：



上有 7 个安装孔，既作为壳体装配孔，又可作为驱动单元固定在底盘上的安装孔。



但结构上真正有新意的不是这个，而是后面所描述的。

为了让车轮既能行走，又能灵活转向，从而实现小车控制方式的多样性和运动方式的全向性，设计上做了如下努力：

首先，利用开模的优势将电机和车轮集成，构成了整体性较好的“轮式驱动单元”：

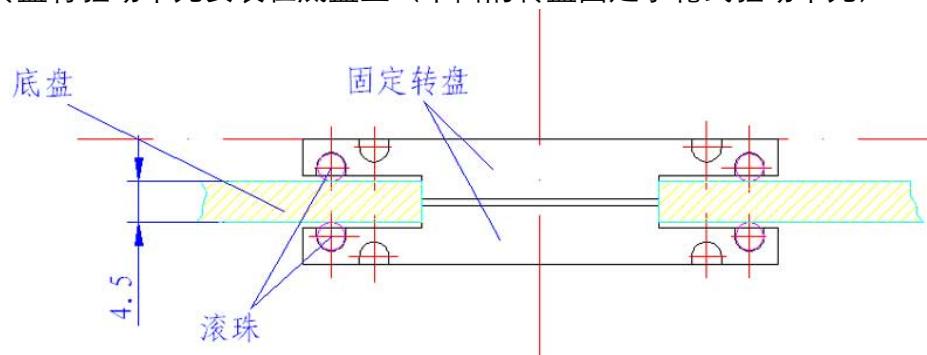


其次，设计了下图所示的转盘：



转盘上设计了方便的安装孔位，并设计了滚珠槽，可构成平面轴承，使得转向灵活，同时避免了晃动；加之模具保证了舵机轴和车轮着地点同心，大大减小了对舵机驱动力矩的要求。

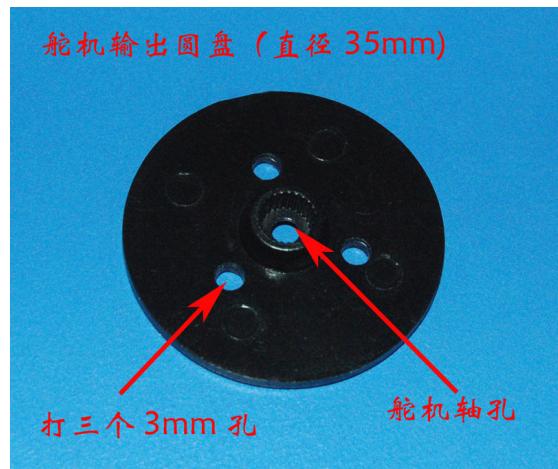
用两个转盘将驱动单元安装在底盘上（下面的转盘固定于轮式驱动单元）：



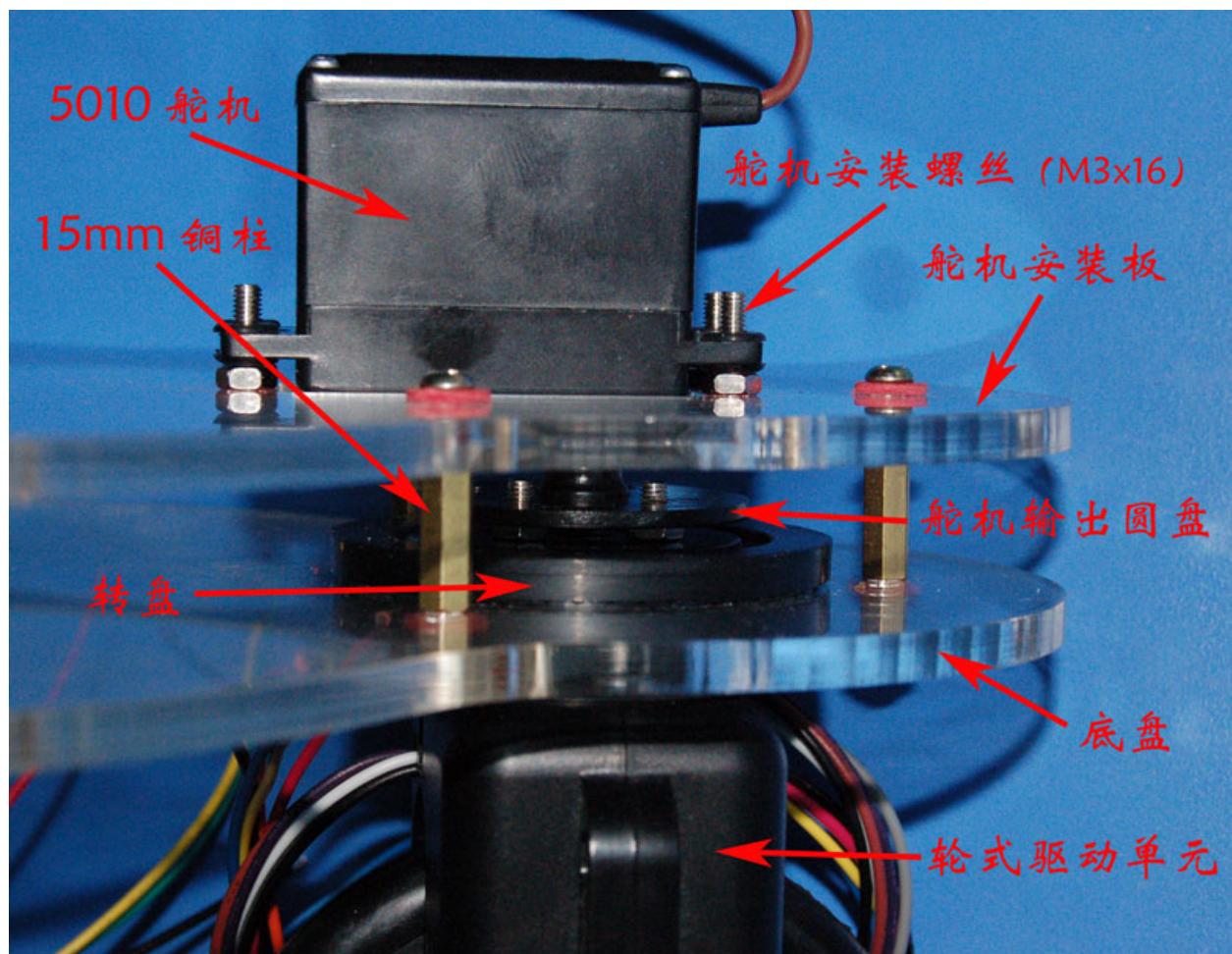
借用上转盘的安装孔，用 M3x8 螺丝形成与舵机相连的接口：



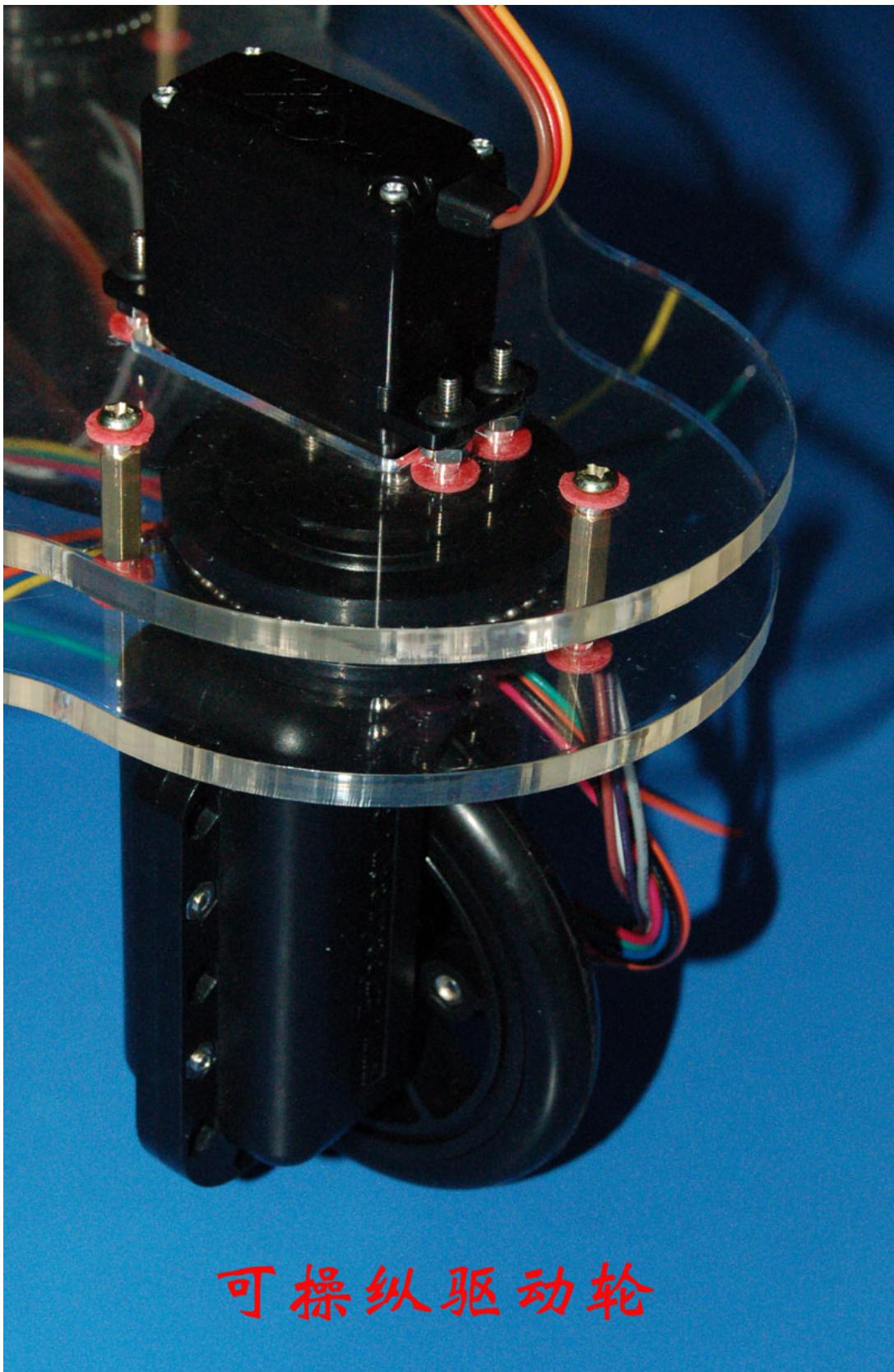
选择带有如下输出圆盘的舵机（如辉盛的 5010），按上图螺丝位置打三个直径 3mm 的孔：



舵机安装如下图所示：



至此，一个“可操纵驱动轮”完成了：



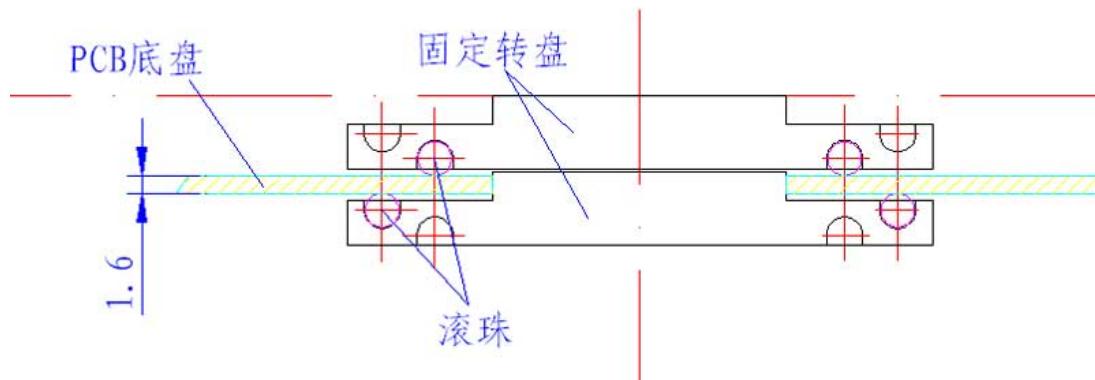
上述机构中，除舵机和底盘外，其它零件都将随“轮式驱动单元”配套提供。

之所以将“舵机”分开，是因为市场上种类很多，用户可以根据自己的需求和经济能力挑选。

而底盘是用户发挥的空间，也是“轮式驱动单元”的设计初衷，所以自然留给用户完成。

建议使用 4.5mm 厚的有机玻璃板，既有强度，又兼顾了美观，用雕刻机可方便做出。现在雕刻机十分普及，很多卖有机玻璃的店都配备。

除使用上图所推荐的 4.5mm 有机玻璃（当然也可以使用其它材质，如聚氯乙烯板，美观性差些，但便宜，强度好），也可以直接使用 1.6mm 的 PCB 构成底盘，只需将上面的转盘反过来安装即可：



这样可以将电路和底盘合一，对于那些无法找到合适材料的用户或许有些帮助。

三、 电路详述

上面机械结构只解决了安装问题，还不能方便的驱动之，使轮子动起来。

将驱动和检测电路配套后，“轮式驱动单元”才真正具有实用性、易用性。

我认为将驱动电路和电机集成在一起比单独设计更合理。

因为直流电机规格众多，不同电压和电流的组合变化无穷，很难设计出通用的驱动模块，不是大马拉小车，就是电机无法正常工作。

而针对特定的电机设计驱动就容易多了，在合理性、经济性和效率上都能达到较好的平衡。

同样，转动检测也和车轮和传动机构强相关，很难设计出通用、易安装的码盘检测装置。因此，高档的码盘检测通常和电机集成在一起。

所以，本设计将转动检测也集成在驱动单元内。

这种构思和目前软件设计中面向对象的设计理念类似，将属于同一对象的变量和方法汇总，封装成“类”，从而在使用、维护上都带来方便。

“轮式驱动单元”也相当于一个“类”，完成与车轮驱动行走相关的所有功能。

前面所介绍的只是这个“类”的结构部分。下面将逐一介绍这个“类”中的电路部分。

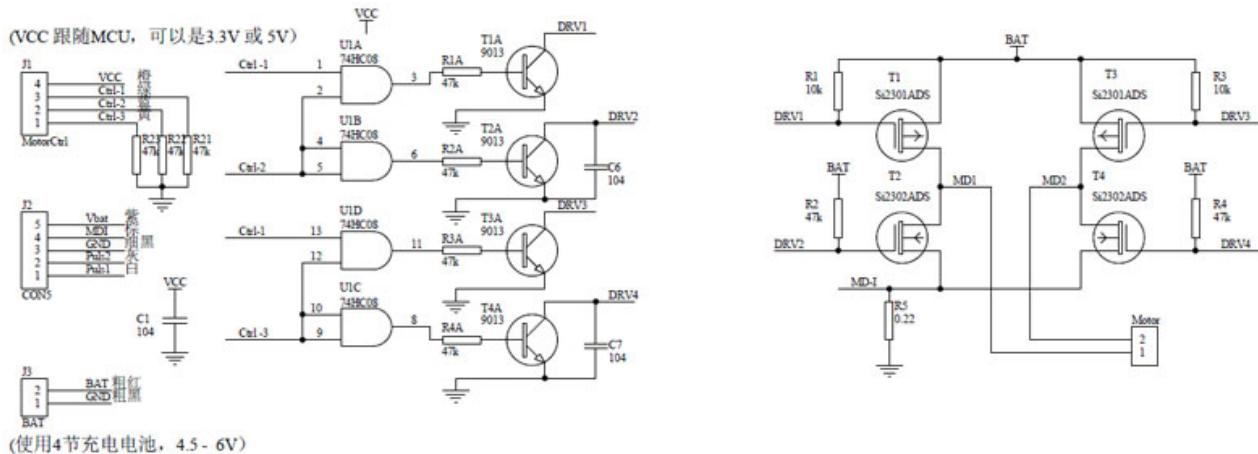
3.1 直流电机 H 桥驱动电路

经过圆梦小车的验证，第二代驱动电路效果不错，效率高、简单，驱动电流也达到了 2A，和 L298 相当，但损耗小了许多，所以不需要散热片，小小的 SOT23 封装即可应付。

除正、反转 PWM 控制外，还具有刹车和惰行模式，增加了控制的灵活性。

所以，本设计中还是采用同样电路，只是做了一些细节改进，以提高可靠性。

驱动电路如下：



供桥电压为 5V。这也是用 MOS 管带来的好处，因为桥臂压降小，所以用 4 节充电电池即可驱动，这样既便于充电，又减轻了小车的自重。

控制逻辑电路电压（橙色线）接控制单片机的工作电压，可选择 3.3V 或 5V。

电机控制信号共三根：

Ctrl1(绿色线)为 PWM 控制信号。

Ctrl2(蓝色线)和 Ctrl3(黄色线)组合，得到电机的四个工作状态：正转 反转 刹车 惰行。

控制逻辑如下：

Ctrl1	Ctrl2	Ctrl3	Drv1	Drv2	Drv3	Drv4	电机状态
X	0	0	0/截止	0/导通	0/截止	0/导通	刹车
PWM	1	0	PWM	1/截止	0/截止	0/导通	正转
PWM	0	1	0/截止	0/导通	PWM	1/截止	反转
0	1	1	0/截止	1/截止	0/截止	1/截止	滑行
1	1	1	1/导通	1/截止	1/导通	1/截止	刹车

3.2 电机电流、电压检测

一般驱动电路中，电流检测通常是为了保护，避免过流损坏器件。由于此处的驱动电路是根据电机参数设计的，所选电机的堵转电流约 1A，不可能损坏驱动电路。

那设计电流检测的目的是什么呢？

用意有二：

其一：电机电流随负载而变，检测电流的变化可以间接知道车轮的转动是否顺畅，在很多情况下可以作为小车“碰撞检测”。

这种检测有时比“轻触开关”构成的碰撞检测可靠，因为开关常常碰不到，而只要小车运动受到阻碍，电流一定有所反映。

其二：根据直流电机的等效模型：

$$E_b = R_a \cdot I_a + E_c \quad (1.10)$$

式中， E_b 为电源电压； E_c 为电动机的反电动势； R_a 为电枢电阻； I_a 为电枢电流。

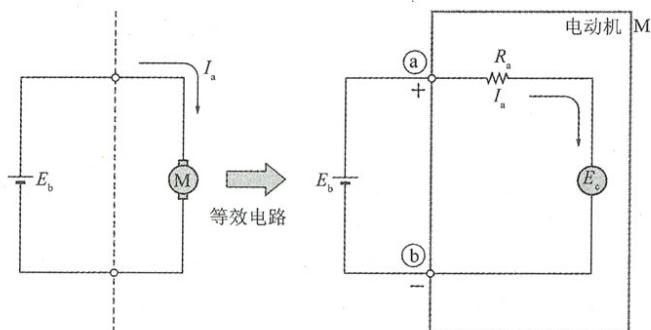


图 1.21 直流电动机的简化等效电路
(@和⑤为电动机的端子)

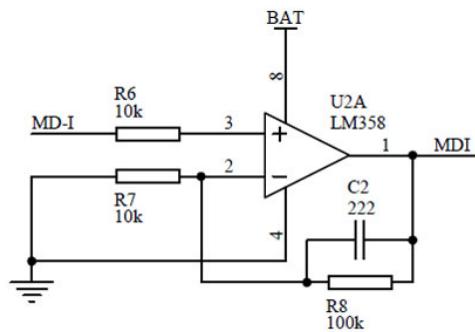
(摘自《直流电动机实际应用技巧》P19)

反电动势 E_c 正比于转速，则电机工作电流就反比于转速，通过测量电流，可以推算出转速和转矩，所以设计了电流检测。

为了增加准确性，配套设计了电压检测电路，因为电源内阻将导致实际的供电电压 E_b 变化（应该将测点设计在电机端子上，但由于正、反转需要两个测点，比较麻烦，所以放弃了，这里只是学习目的，不是做产品，能达到“写意”即可，不必为此耗费过多精力和资源）。

关于这部分原理，有兴趣者可以自己查阅《直流电动机实际应用技巧》一书，书中有比较详细的分析。

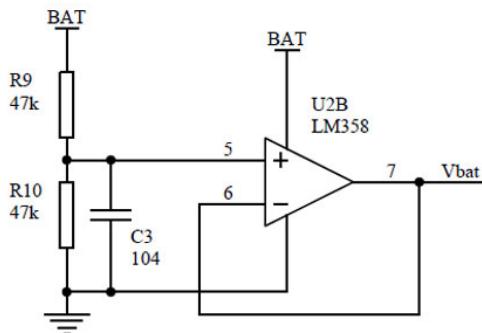
电流检测电路：



电流的取样电阻为 0.22 欧姆（见 H 桥驱动电路的 R5），按上图参数，放大倍数 11 倍，电机电流最大 1.1A 左右，所以实际的输出信号应在 0 – 2.66V，如使用 3.3V 供电的单片机，其 AD 输入范围为 0 - 3.3V，考虑电机的电流偏差和器件的偏差，留些余量。

电路中 C2 作用是减小电机电流波动的影响，是针对 125Hz 的 PWM 频率设计的，如提高 PWM 的频率，此参数应该相应修改。

电压检测电路：



电压采用简单的分压处理，设计了一个跟随器以减少 AD 输入阻抗对分压的影响。电池的电压应在 4.5 – 6V，分压后为 2.25 – 3V，符合 AD 输入 3.3V 的要求。

由于器件有偏差，如用户想尝试用电流检测转速，最好自己先通过测量，标定采样值和实际电流、电压的关系，之后再根据标定值编写计算程序。

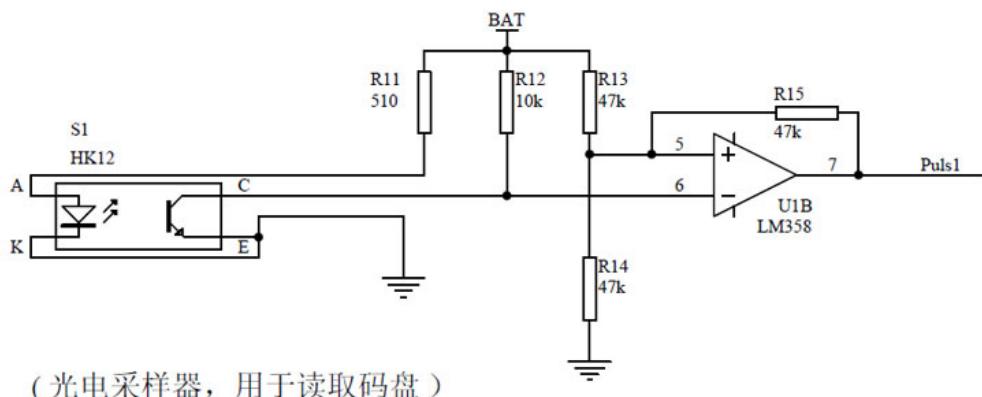
3.3 码盘采样电路

利用开模的优势，在车轮上设计了 100 个齿，可以用透射式光电采样器方便的得到脉冲信号，比反射式采样更加可靠。

但为了避免在变换状态时产生“毛刺”，还是利用运放设计了“施密特”电路，用回差消除之。

之所以用运放，而不是直接使用施密特触发器，是因为这样可以方便的改变回差大小。

码盘采样电路：



因为 LM358 是双运放，故设计的两路码盘采样，在 PCB 上错开布置，希望能得到相位相差 90 度的脉冲，一是可以增加精度，二是可以判断转动方向。

由于码盘齿只有 1mm 宽，采样器焊接要求很高，不适合于批量生产，故留给有此需求的客户自己“精雕细琢”吧！

关于码盘采样电路的分析，有兴趣者可以看看“[圆梦小车 StepByStep -4](#)”一文，此处就不再赘述了。

四、结语

“轮式驱动单元”介绍完了，有未尽之处将会随时补上。但愿能对大家学习单片机、嵌入式应用有所帮助。

最后，将“轮式驱动单元”的主要使用信息汇总如下：

连接线：

共 10 根，用杜邦插头引出， 长度约 30cm；可以方便的插入 2.54 间距的插针。

连接线分成 2 组：

一组为控制线，共 6 根，其中：

红色 —— 电机驱动 H 桥供桥电压 5V（正极），包括检测电路 LM358 的供电；

黑色 —— 电源地线；

橙色 —— H 桥驱动逻辑电路 74HC08 的供电电压（正极）；

绿色 —— 电机控制线 CTRL1，电机控制 PWM 信号；

蓝色 —— 电机控制线 CTRL2，电机运行状态控制，与 CTRL3 配合；

黄色 —— 电机控制线 CTRL3，电机运行状态控制，与 CTRL2 配合；

（虽然比 L298 多了一根控制线，但能实现刹车，还是值得的）

另一组为检测信号输出线，共 4 根，其中：

白色 —— 码盘采样脉冲输出线（另一路没有安装，留给用户自己根据需要处置）；

褐色 —— 电机电流检测信号输出线；

紫色 —— 电机工作电压检测信号输出线；

黑色 —— 信号地线，和电源地线内部相连，只是为了方便使用而增加。

电机参数：

额定电压 —— 4.5V

空载电流 —— 85 – 95 mA

空载转速 —— 9800 rpm +/- 10%

堵转电流 —— 1100mA

堵转力矩 —— 50g/cm (最大)

减速箱： 1: 48 或 1: 120，客户可根据需要选择。

结构参数

车轮直径 —— 80mm

垂直安装高度(舵机组合方式) —— 100mm

转盘直径 —— 52 mm

转盘转轴直径 —— 26 mm

舵机接口螺丝分布圆直径 —— 16 mm

配套滚珠直径 —— 3 mm

需要滚珠数量 —— 46 x 2 (一个转盘中需要 46 个)

码盘齿数 —— 100 个

码盘等效直径 —— 62.5 mm

外形尺寸 —— 约 105x 80 x 60 mm

重量 —— 约 130g

根据上述参数可以计算出：

运动速度：

选用 1: 48 减速箱 —— 约 850mm/s

选用 1: 120 减速箱 —— 约 340mm/s

最大力矩：

选用 1: 48 减速箱 —— 约 2.4kg/cm

选用 1: 120 减速箱 —— 约 6 kg/cm

上述计算值仅供参考。

最大载荷影响因素较多，未测试过，暂时无法提供，望谅解！

南京嵌入之梦工作室
2009 年 12 月 16 日

参考资料：

- 1、《直流电动机实际应用技巧》 科学出版社 ISBN7-03-017498-4