

## 圆梦小车“强身健体”啦！

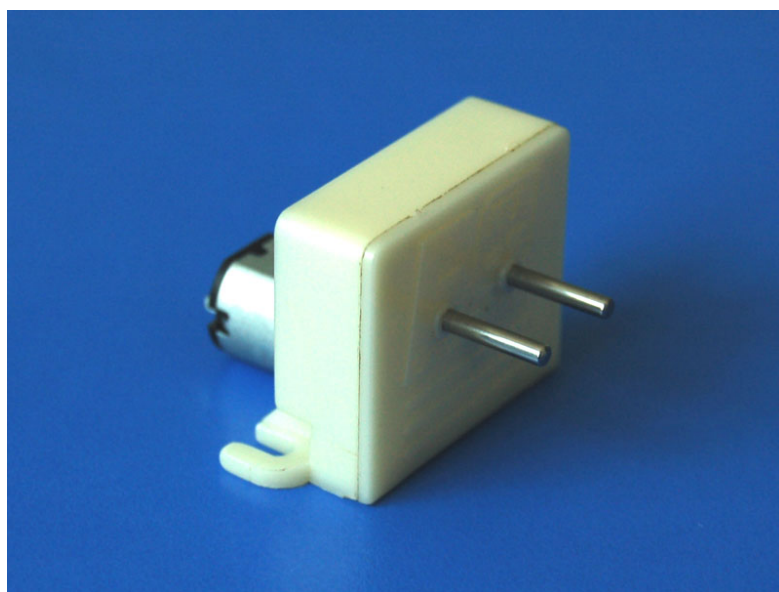
### —— 圆梦二代诞生记之结构篇

前面说过，由于本人的机械设计能力有限，导致圆梦小车问世时“腿脚”不好，力气小还“吃”得多。给不少用户带来了困扰，对此深表歉意！

为弥补此缺陷，我想过很多方法，可不是太不经济就是太费事，不便于使用者组装；我也知道应该设计一个齿轮减速箱，可按我这个批量，给钱人家也不愿意做；而且我还不太精通齿轮传动设计，想借用现成的玩具减速机构也未能如愿。

这样反复琢磨了快一年，功夫不负有心人，前段时间总算想出了恰当的设计方案并找到了合适的电机，在朋友的帮助下开始了实质性操作。

今天，这个小宝贝问世了！



别小看了它！大家可以想一下：只开一付模具要应付左、右两侧的车轮驱动，如何实现之？困难是期望的减速比在 12 左右，用一级减速尺寸太大，需要用二级减速！

### 减速箱设计的目标：

- 1) 将小电机的转速从 10000 转左右降低到 1000 转，这样配合原来的皮带减速可使小车的速度达到约 30 厘米/秒，对于小车的控制而言这是一个比较适中的速度。
- 2) 原来的皮带减速保留，一是可以减小齿轮箱的设计难度，二是皮带可起到限力矩的作用（打滑），同时还降低了装配要求。
- 3) 通过加大减速比从而降低对电机力矩的要求，可以选择电流较小的电机，增加能效比，提高电池使用时间；做小车是为了学习单片机，如果调试时不断被电池所困扰，岂不大煞风景？！
- 4) 如有可能，实现双速输出，因为我不清楚一级减速是否能驱动小车，如可以，客户又多了一种选择，增加了使用的灵活性。

### 看看是怎样实现的吧！

减速箱由以下零件组成：



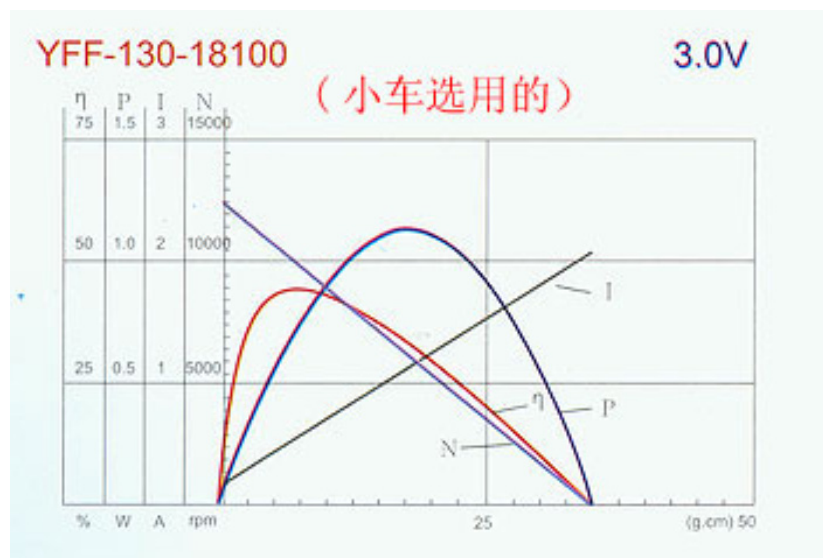
这一堆看似平常的东西组装后却可大大提高小车的“脚力”！牛顿确实伟大：P

有些朋友认为“前面小车的力气不够且耗电是由于皮带传动所致，用齿轮就好了”。

实际不然，其真正原因是减速比不够，导致小车所常用的速度不是电机的最佳工作点。读者可以计算一下：

原来小车的减速比是 1：8，小车的轮子周长约为 13.2cm。

按照一般控制水平，小车的速度应该在 10～50 厘米/秒较合适（小车不是为了竞速），按此推算，电机的转速应该在 364～1818 转/分，读者可对照下面的电机工作曲线分析一下，看如果按此转速电机工作状态如何？



原来所用 130 电机的工作曲线图

为了达到这个转速，只能给电机较低的能量，造成电机力矩不足，很容易卡住（即堵转），导致电流剧增！

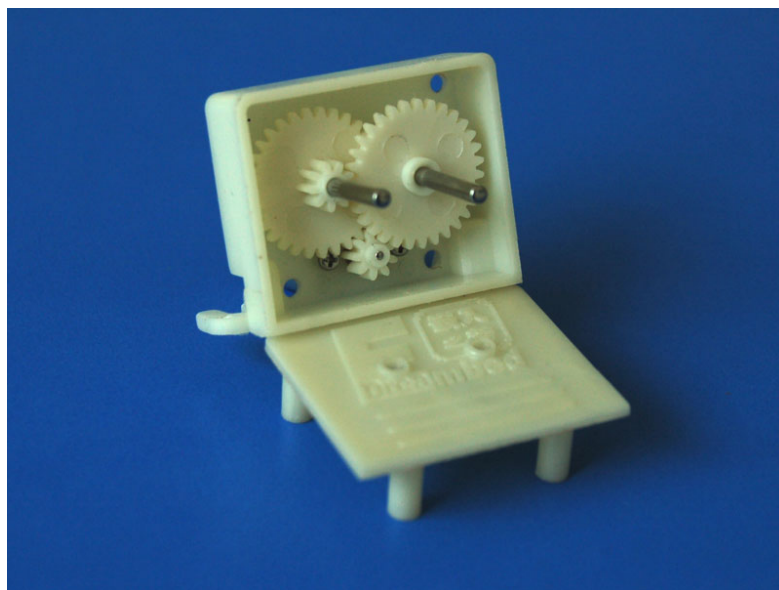
从图中可以看到，电机的最高效率转速为 9500 转/分，最大功率转速为 12000 转/分，为了让电机工作在最佳状态点附近，只有提高减速比，这才是症结所在，不是皮带传动的“罪过”！如果改用齿轮，但减速比仍为 1：8，估计不会改善。

一般小电机的最佳转速均在 10000 转/分以上，按上述合适速度的中间值计算，应该增加减速比 12 左右，使得总减速比达到约 1：100。

- 减速箱的第一个需求产生了：减速比 1：12！
- 减速箱的第二个需求：能装在小车目前电机的位置，扣除焊点高度，齿轮箱的高度不能大于 25mm，大概估算一下，一级减速尺寸肯定超出，需用二级。
- 第三个需求：同样也是尺寸问题，电机和齿轮箱合体后，要能安装在原电机位置，由于齿轮箱要占用空间，所以电机尺寸须小于原来的 130 电机。
- 第四个需求：源于成本考虑，要尽量少开模具，减速箱必须左、右通用。

确定需求固然重要，可实现需求也非易事，特别是对于我这个业余级设计者。

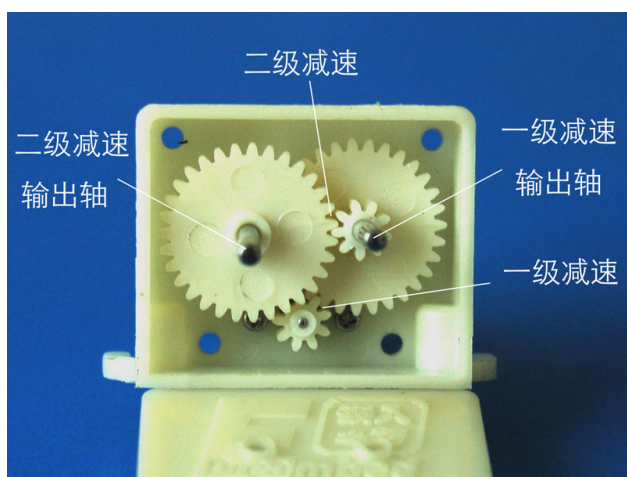
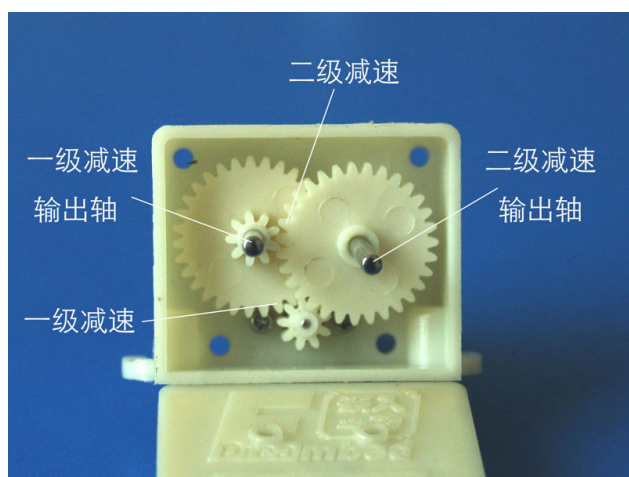
不过结果十分令人满意，我构思出了一个简单有效的结构，实现了上述所有需求，如下图所示：



减速机构由一个小齿轮、一个复合齿轮、一个大齿轮组成；小齿轮装在电机轴上，与复合齿轮的大齿轮啮合，构成第一级减速；复合齿轮的小齿轮与大齿轮啮合，构成第二级减速。

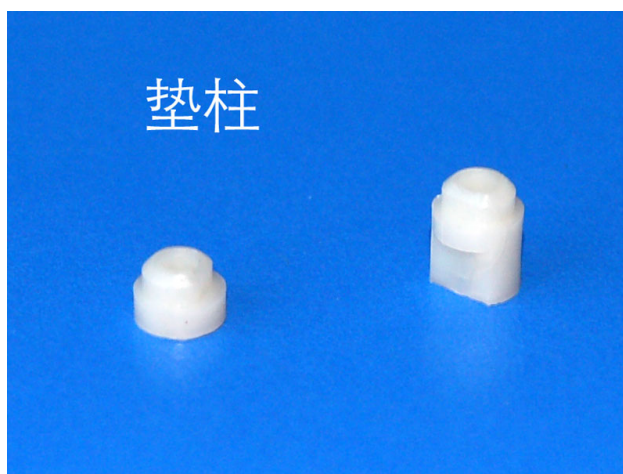
**注意：**复合齿轮的小齿轮和小齿轮一样，复合齿轮的大齿轮和大齿轮一样，这样两级减速的轴心距就相同了，可构成一个等边三角形，从而可以实现两级减速的交换，满足左、右驱动使用同一组零件的需求，只需在装配时略作改变即可。





图中，小齿轮为 9 齿，大齿轮为 31 齿，实际每级减速比为 3.44。

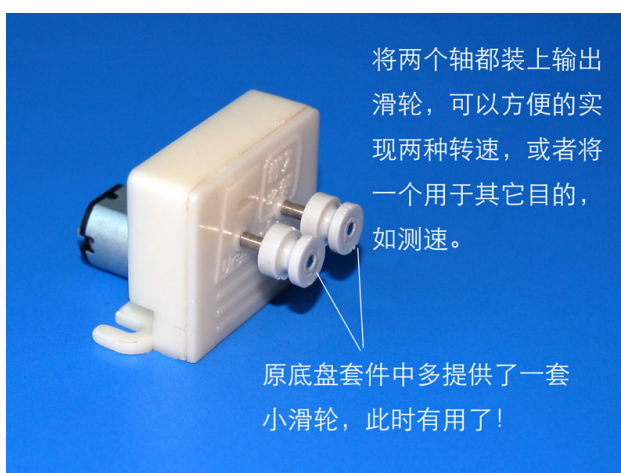
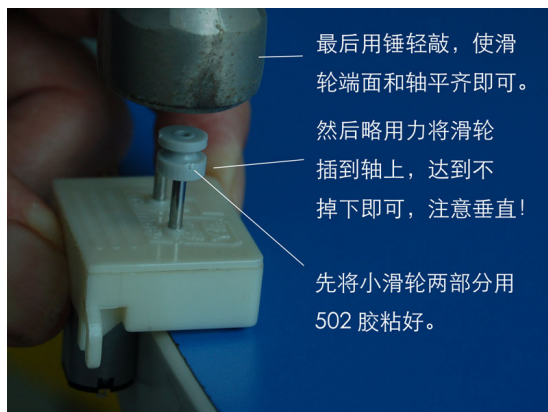
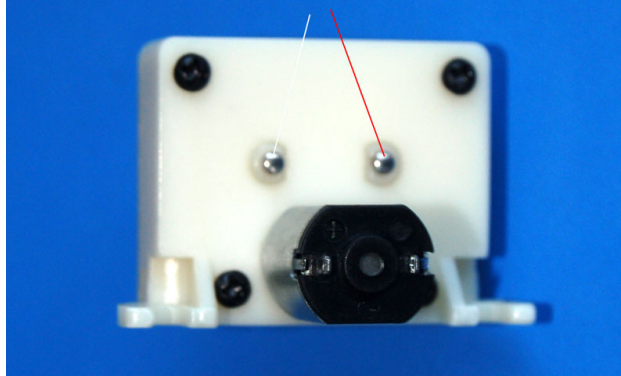
齿轮的径向平面上已解决了左、右使用同样零件的问题，轴向同样需要一些特殊的处理，因为复合齿轮和大齿轮的轴向尺寸不同，解决这个问题靠的是下面两个不起眼的小垫柱：



上述的等边三角形布置还带来了一个好处，就是可以将第一级减速输出，只需将轴加长即可（见上面的齿轮传动图），实现了双速输出的预期目标。

轴选择和 130 电机相同直径的，原来小车中的小滑轮可以继续使用。正好原来设计时为防止丢失多了一套，此时可一起装在减速箱上，作为“高速”输出，或用于其它目的。

减速箱后视（注意两个轴）



电机选择 N20 系列仪表电机，尺寸远小于原来的 130 电机。



电流也相应小了许多，堵转电流不到 800mA（详见下面的图表），虽说力矩也小（约为原来的 1/2），但由于减速比加大了 12 倍，所以最终的力矩仍将是原来的 3 倍左右，加上原来电机处于不佳工作状态的因素，实际增加的力矩还要大。

型 號 MODEL	電 壓 VOLTAGE		空 載 NO LOAD		最大效率下 AT MAX EFFICIENCY					制 動 STALL	
	工作範圍 OPERATING RANGE	額定電壓 NOMINAL	轉 速	電 流	轉 速	電 流	力 矩	功 率	效 率	力 矩	電 流
			SPEED	CURRENT	SPEED	CURRENT	TORQUE	OUTPUT	EFF	TORQUE	CURRENT
			rpm	A	rpm	A	g.cm	w	%	g.cm	A
YFF-130-2360	1.5~3.0V	3.0V	18000	0.32	14000	1.28	10.5	1.51	39.0	48	4.6
YFF-130-2270	1.5~3.0V	3.0V	15400	0.26	12000	1.03	9.2	1.12	39.1	42.0	3.87
YFF-130-18100	1.5~3.0V	3.0V	12000	0.16	9500	0.57	7.7	0.75	44%	37	2.10

原来使用的 130 电机的参数 (YFF-130-18100)

## FF-N20PA



输出功率：约0.05W-0.8W  
贵金属电刷马达

典型应用 / 视听设备：

- MD播放机、汽车CD机
- 便携式摄像机

精密仪器：

- 照相机

OUTPUT: APPROX 0.05W-0.8W  
Precious Metal-brush Motors

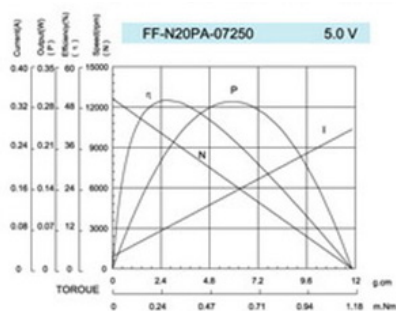
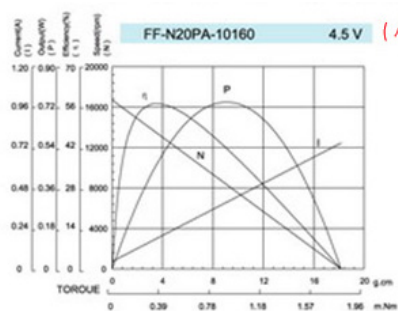
Typical Applications / Audio and Visual Equipments:

- MD Player / Car CD Player
- Camcorder

Precision Instruments:

- Camera





型 号  MODEL	电 压 VOLTAGE		无 负 荷 NO LOAD		最 大 效 率 点 AT MAXIMUM EFFICIENCY					堵 转 STALL		
	使用范围 OPERATING RANGE	额定值 NOMINAL	转 速 SPEED	电 流 CURRENT	转 速 SPEED	电 流 CURRENT	转 矩 TORQUE		功 率 OUTPUT	转 矩 TORQUE		电 流 CURRENT
			r/min	A	r/min	A	mN.m	g. cm	W	mN.m	g. cm	A
FF-N20PA-10145	2.0 ~ 6.0	3.0	12986	0.042	10176	0.152	0.22	2.2	0.24	1.02	10.4	0.551
FF-N20PA-12126	2.0 ~ 6.0	3.0	14404	0.043	11647	0.182	0.27	2.8	0.32	1.42	14.5	0.767
FF-N20PA-10160	2.0 ~ 5.0	4.5	16700	0.044	13438	0.181	0.35	3.6	0.47	1.78	18.2	0.747
FF-N20PA-07250	3.0 ~ 8.0	5.0	12629	0.024	9752	0.081	0.26	2.7	0.20	1.16	11.8	0.276

(小车所选择的)

Motor specification and shaft length can be tailor-made according to customer's requirements.

马达性能及转轴长短可按客户要求设定。

## 现在选用的 FF-N20PA 电机

从上表可以看出，原来使用的是玩具用电机，现在用的是仪表电机，在材料上有很大差别，对照一下：

参数	最大效率电流	最大效率转矩	堵转电流	堵转转矩
原 130 电机	0.57A	7.7g.cm	2.1A	37g.cm
现 N20 电机	0.181A	3.6g.cm	0.747A	18.2g.cm

上表中的参数因为工作电压不同，仅供参考，但从中可以得出，使用新电机后小车的工作电流将大大降低，因为上表中的 130 电机参数是在 3V 下的，小车工作电压为 5V，扣除 H 桥晶体管的压降，应该在 4 ~ 4.5V 之间，所以其实际电流将更大。使用新的电机后小车的效率和可靠性将大大提高（不过是以成本为代价的）。

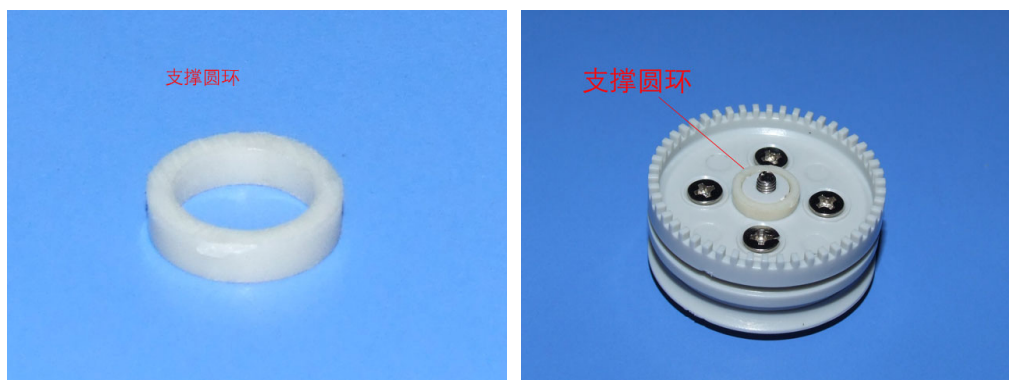
此外，还对小车的车轮部分做了一个顺带的改进：

装过小车的应该发现，车轮轴向似乎有些晃动，感觉不是太好，这是由于车轮的定位完全

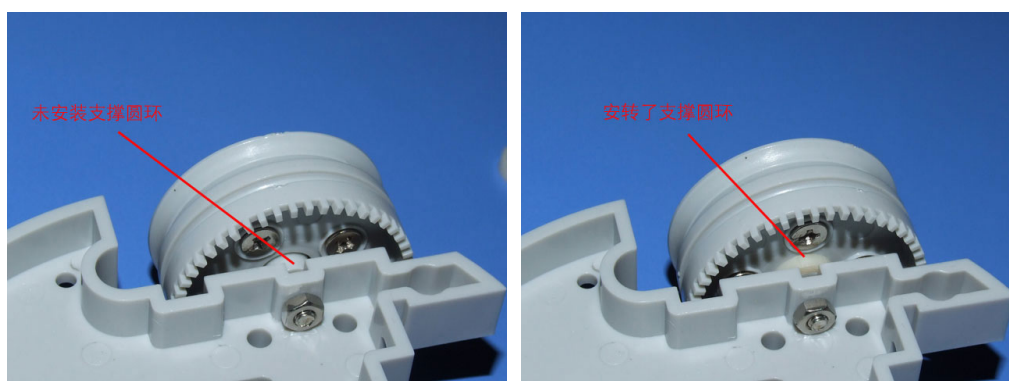


依赖滚珠轴承所致；为了减小摩擦力，滚珠轴承配合不可能太紧，而只有 10mm 直径的轴承微小晃动反映到 42mm 直径的车轮外圆就比较明显了。这也是本人设计水平业余的体现 ☹。

为了弥补之，在本次开模时顺带设计了一个“尼龙环”，设计安装在车轮与底盘之间，在车轮的内平面和底盘间增加轴向支撑，从而改善车轮的晃动。因为尼龙的摩擦较小，所以可留较小的间隙而不至于增加太大的摩擦力，否则效果就不明显。



支撑圆环及安装位置示意



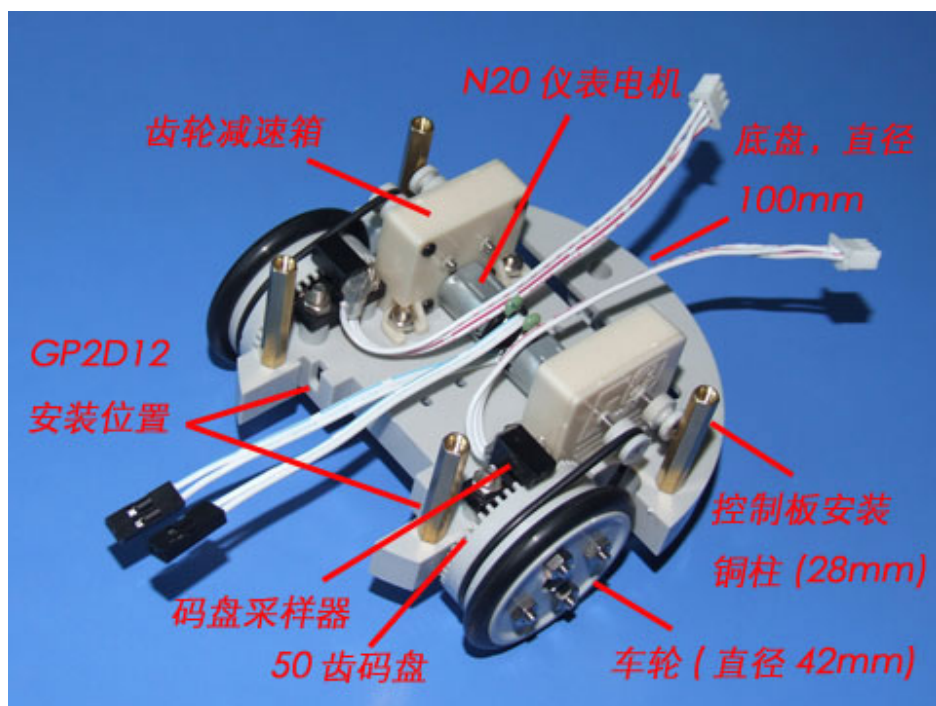
支撑圆环未安装（左）、安装（右）对比图

但这样给装配带来了难度，需要通过仔细磨薄“尼龙环”，或适当垫高“轮轴垫柱”以获得良好的效果，因为那个间隙是装配形成的，不太确定，很难通过模具保证。不过这本身就是锦上添花，DIY 的乐趣恰在于此。

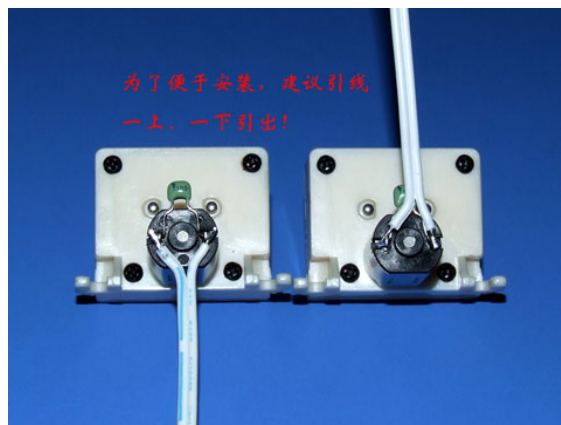
也不是所有的都需要，有些轴承的间隙很小，晃动不大，也就不必费此功夫了：P

至此，小车“强身健体”的细节已尽数道出，下面就要看效果了！

将装配好的减速机构和电机装上小车底盘，如下图所示：



装配好的底盘



焊接电机引出线示意

先是没有挂皮带，用 4.5V 直流电源直接驱动电机，看看齿轮减速部分消耗如何？不错！比电机的空载电流略大，小于 50mA 。

然后挂上皮带，同样使用 4.5V 直流电源驱动，带动车轮空转，顿感力矩比原来大了许多；电流略有增加，约 80mA，大概是由于皮带、齿轮轴、轮轴等摩擦所致。

然后接入控制电路，说实话，一开始还真让我紧张了一番，因为在程序未作改动的情况下，用新的电机居然驱动效果很差，PWM 值 120（满度 250）都走得勉强，需要在 200 以上才行。

问题出在哪里？我马上就想起了一直困扰我的一个问题：

PWM 方式控制直流电机，到底什么频率合适？如何确定？依据又是什么？

这在我写“寻迹小车 FollowMe”系列文章时就提出了，而且在那一版的程序中不但支持设置 PWM 值，还支持设置 PWM 频率，但后来在 130 电机上试验效果不明显，也就不了了之，没有深入去探讨。所以在圆梦小车程序中就去掉了改变 PWM 频率的功能，采用了固定的 7200Hz。

现在问题又暴露了，迫使我再次“研究”之！

结果很让我满意，既解决了问题，又帮我澄清了一些模糊的概念。程序改进后的小车可以在 PWM 值 50 时就启动，其力矩不弱于原来 PWM 值 150 的效果，而电流却小了许多。

因为这部分涉及的内容较多，我准备[另着笔墨细述之](#)，此处就不赘述。只是告诉大家，现在使用的 N20PA 电机所用的 PWM 频率为 125Hz，改后的效果明显。

测试中发现，原来为了达到 3A 的输出，按目前的电路参数，单侧 H 桥工作时约最大消耗约 100mA（读者可以计算一下基极电流），这是一个不小的消耗，相对于现在电机才 300mA 左右的工作电流，已属不能“容忍”，看来有必要改用 MOS 管驱动了。

目前可通过降低基极电流改善之，因为 N20 电机最大电流不超过 1A，按照放大倍数 100 估算，882、772 的基极电流为 10~15 mA 即可，可以将基极电阻从 100 欧改为 330 欧，或用 2 个 510 欧并联。

小车这次的“强身”效果不错，应该不会让喜爱“圆梦小车”的人有所缺憾了。

有了一付“好身板”，可以“大展拳脚”啦。我正在为其找些“事”做，以免其无施展空间。

下一步将为小车提高“智商”，让其从“孩子长大成人”，有更丰富的“记忆”、更强的“思维”，这样可以完成更“高级”的任务。让更多有志于嵌入式控制的大学生圆梦！

---

收笔于：2008 年 6 月 12 日

参考资料：

- 1、 [圆梦小车开始用的 F130 电机参数](#)
- 2、 [改进后圆梦小车用的 N20PA 电机参数](#)