

圆梦小车“强身健体”啦！

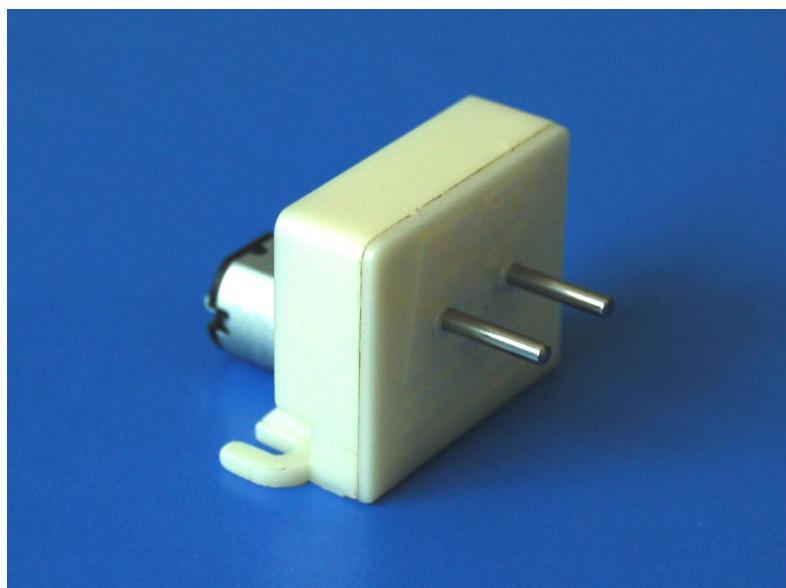
——圆梦二代诞生记之结构篇

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：



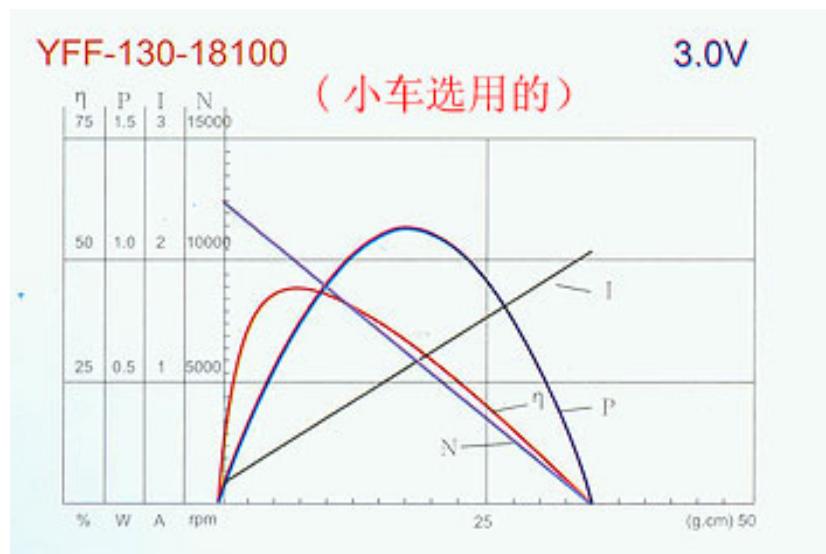
这一堆看似平常的东西组装后却可大大提高小车的“脚力”！牛顿确实伟大：P

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！

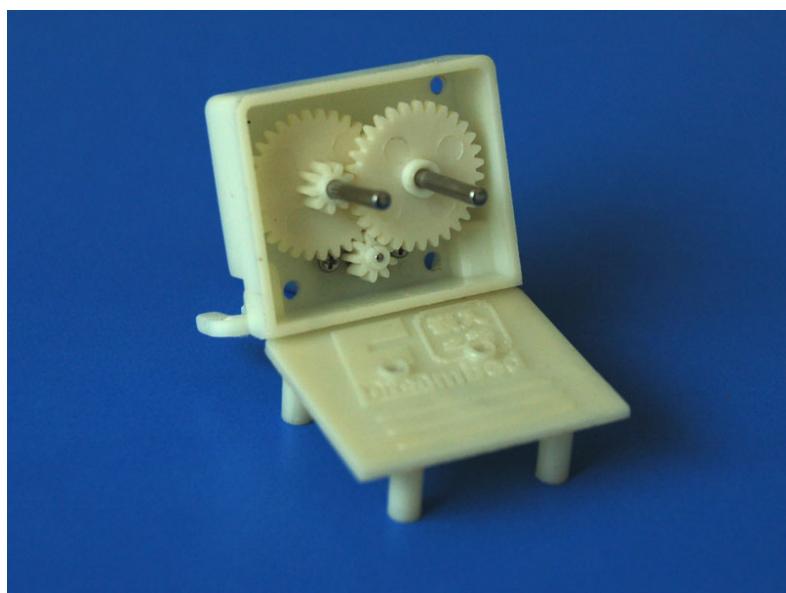
从图中可以看到，电机的最高效率转速为 9500 转/分，最大功率转速为 12000 转/分，为了让电机工作在最佳状态点附近，只有提高减速比，这才是症结所在，不是皮带传动的“罪过”！如果改用齿轮，但减速比仍为 1: 8，估计不会改善。

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。

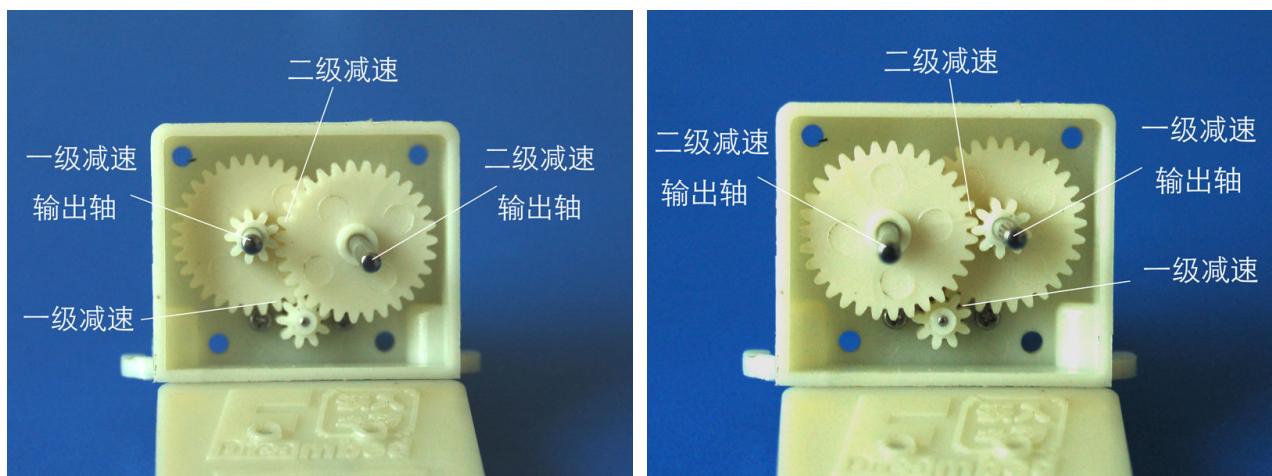
确定需求固然重要，可实现需求也非易事，特别是对于我这个业余级设计者。

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：



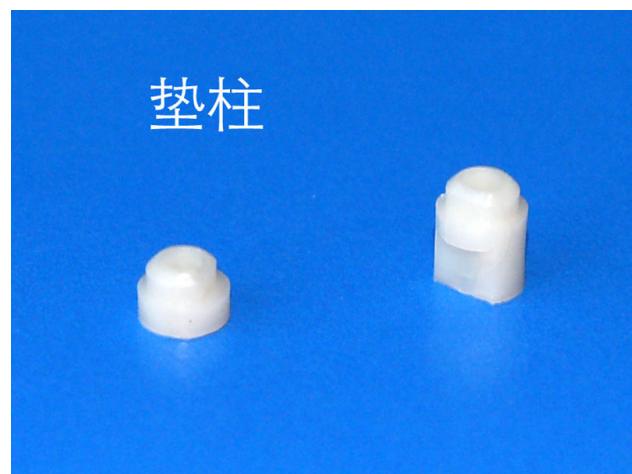
减速机构由一个小齿轮、一个复合齿轮、一个大齿轮组成；小齿轮装在电机轴上，与复合齿轮的大齿轮啮合，构成第一级减速；复合齿轮的小齿轮与大齿轮啮合，构成第二级减速。

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。



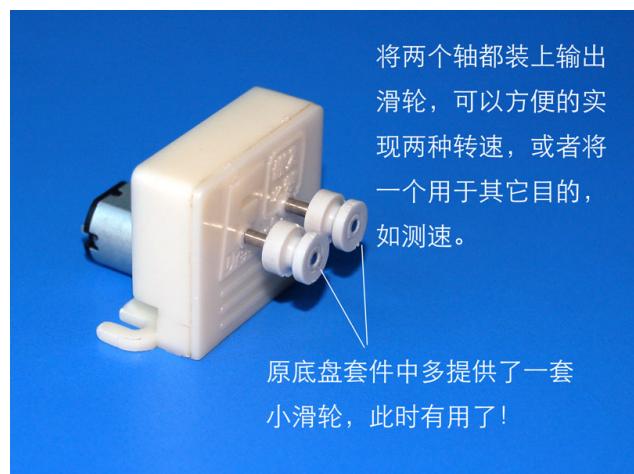
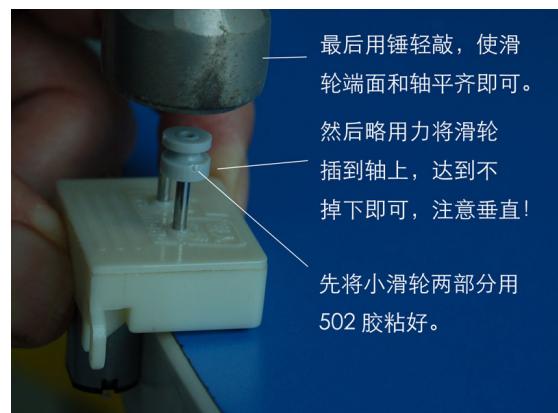
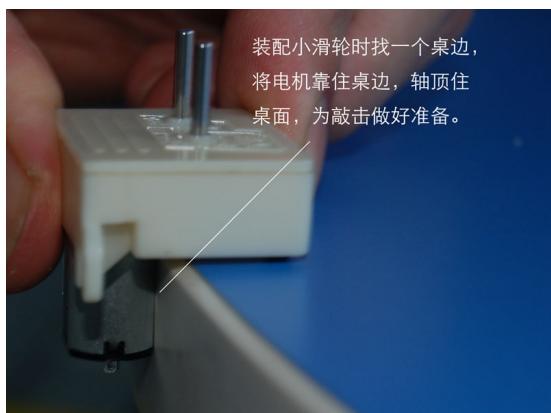
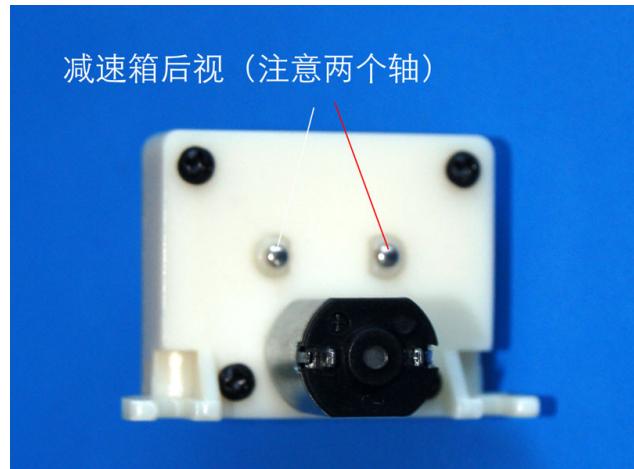
图中，小齿轮为 9 齿，大齿轮为 31 齿，实际每级减速比为 3.44。

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。



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 SPEED	電 流 CURRENT	轉 速 SPEED	電 流 CURRENT	力 矩 TORQUE	功 率 OUTPUT	效 率 EFF	力 矩 TORQUE	電 流 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 (YYF-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

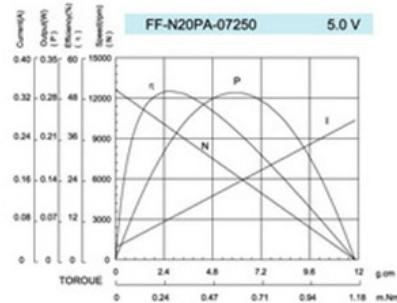
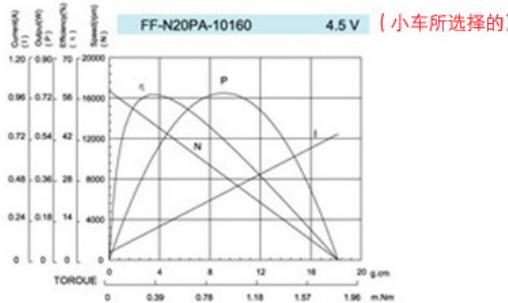
OUTPUT: APPROX 0.05W-0.8W
Precious Metal-brush Motors

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
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
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
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
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

(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需要设定。

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

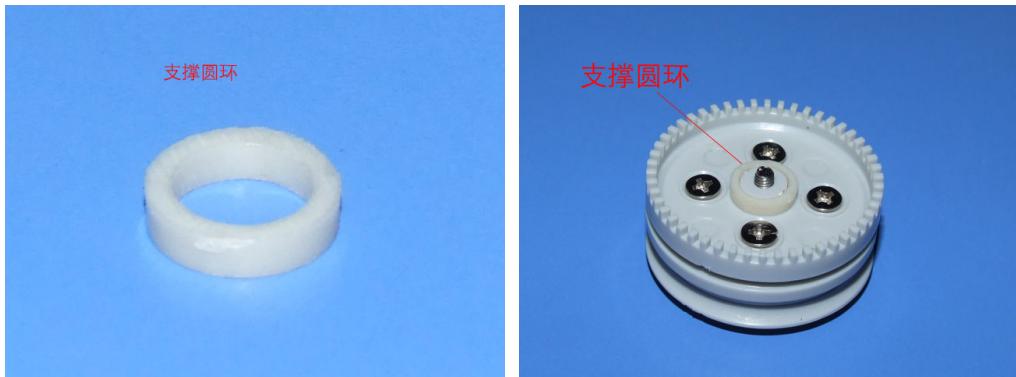
上表中的参数因为工作电压不同，仅供参考，但从中可以得出，使用新电机后小车的工作电流将大大降低，因为上表中的 130 电机参数是在 3V 下的，小车工作电压为 5V，扣除 H 桥晶体管的压降，应该在 4 ~ 4.5V 之间，所以其实际电流将更大。使用新的电机后小车的效率和可靠性将大大提高（不过是以成本为代价的）。

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



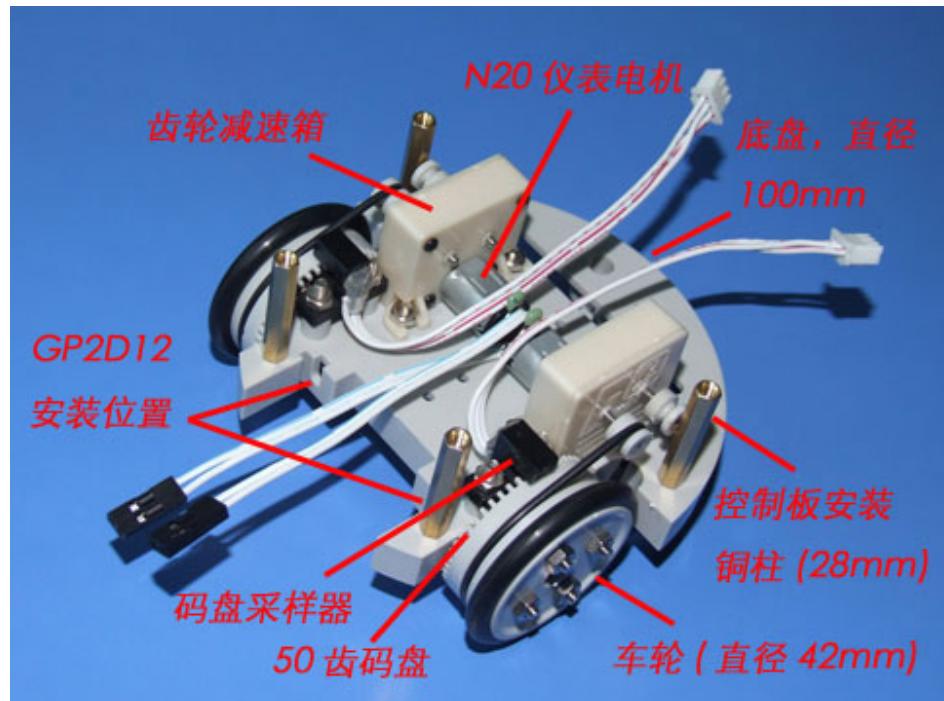
支撑圆环未安装（左）、安装（右）对比图

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。

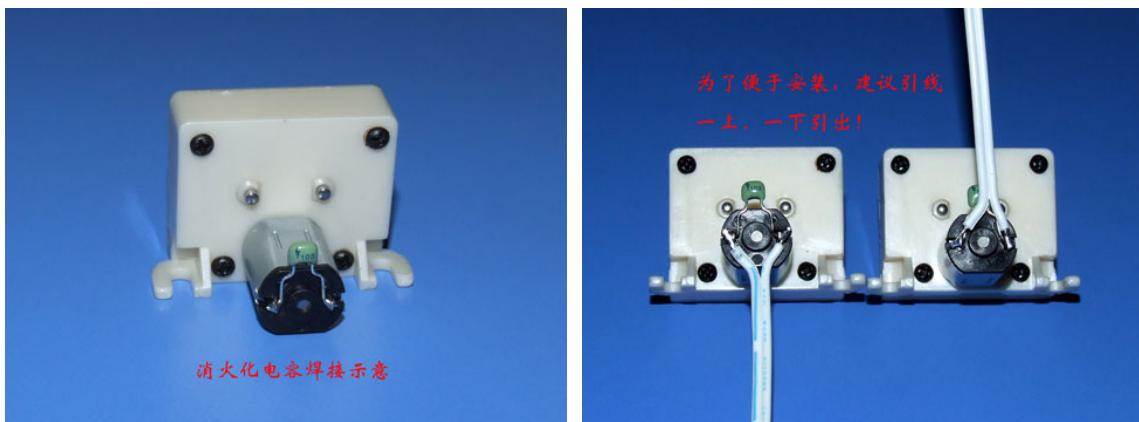
也不是所有的都需要，有些轴承的间隙很小，晃动不大，也就不必费此功夫了:P

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



先是是没有挂皮带，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](#)