

# 关于直流电机 H 桥驱动方案的选择

[提要] H 桥驱动是制作小车不可回避的一件事，可如何选择驱动电路却是值得探讨的，有双极性晶体管、有 MOS 管，还有集成电路 L298 等，这里略作分析，仅供参考。

## 一、背景

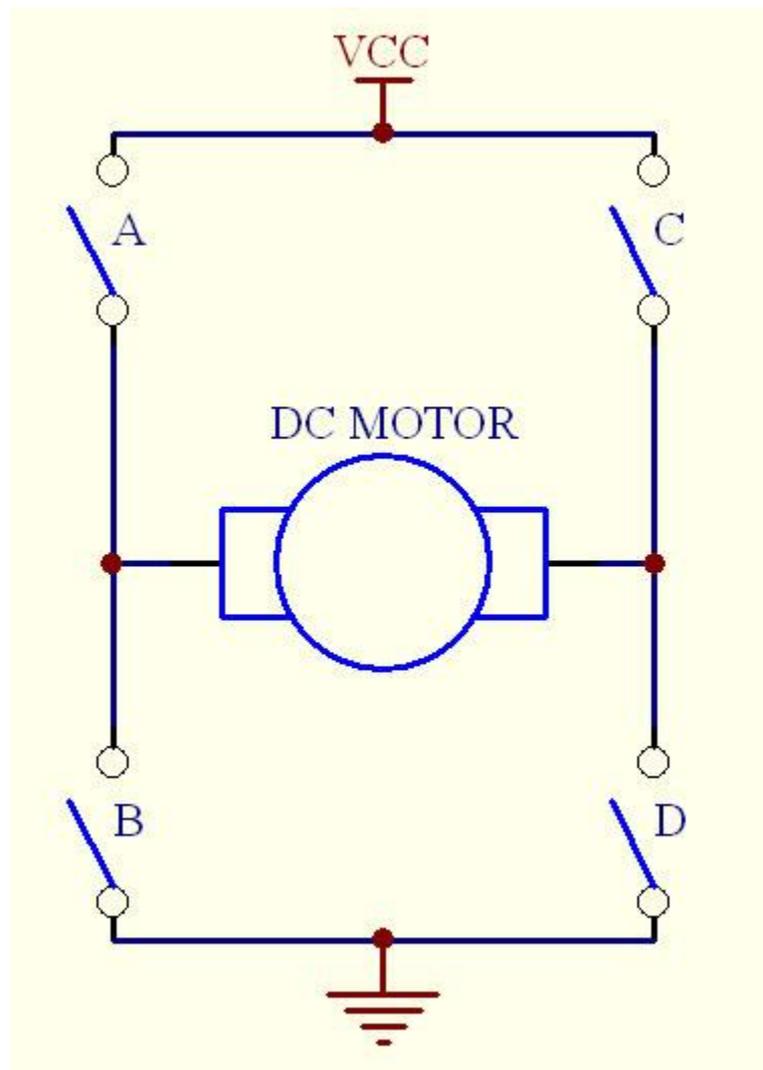
此问题一直想留给做小车的同学去研讨，期望他们在制作过程中能够悟出其中的道理。可无奈等至今日也未见一文半字：( 却接到了无数的质询：你为何要用分立元件构建 H 桥驱动？为何不选择 L298 集成电路桥？为何要使用 MOS 管？等等.....，逐个回复太累了，只好整理一下，汇总于此，供参考，有不妥之处望指正，更望能有人提出进一步的分析。

## 二、分析内容界定

本文只涉及有刷直流电机 H 桥驱动部分的电路，不讨论如何控制 H 桥？如何实现 PWM？以及如何实现过流保护等；而且主要讨论构成 H 桥 4 个桥臂对性能的影响。

## 三、H 桥原理简述

所谓 H 桥驱动电路是为了直流电机而设计的一种常见电路，它主要实现直流电机的正反向驱动，其典型电路形式如下：



从图中可以看出，其形状类似于字母“H”，而作为负载的直流电机是像“桥”一样架在上面的，所以称之为“H桥驱动”。4个开关所在位置就称为“桥臂”。

从电路中不难看出，假设开关 A、D 接通，电机为正向转动，则开关 B、C 接通时，直流电机将反向转动。从而实现了电机的正反向驱动。

借助这 4 个开关还可以产生电机的另外 2 个工作状态：

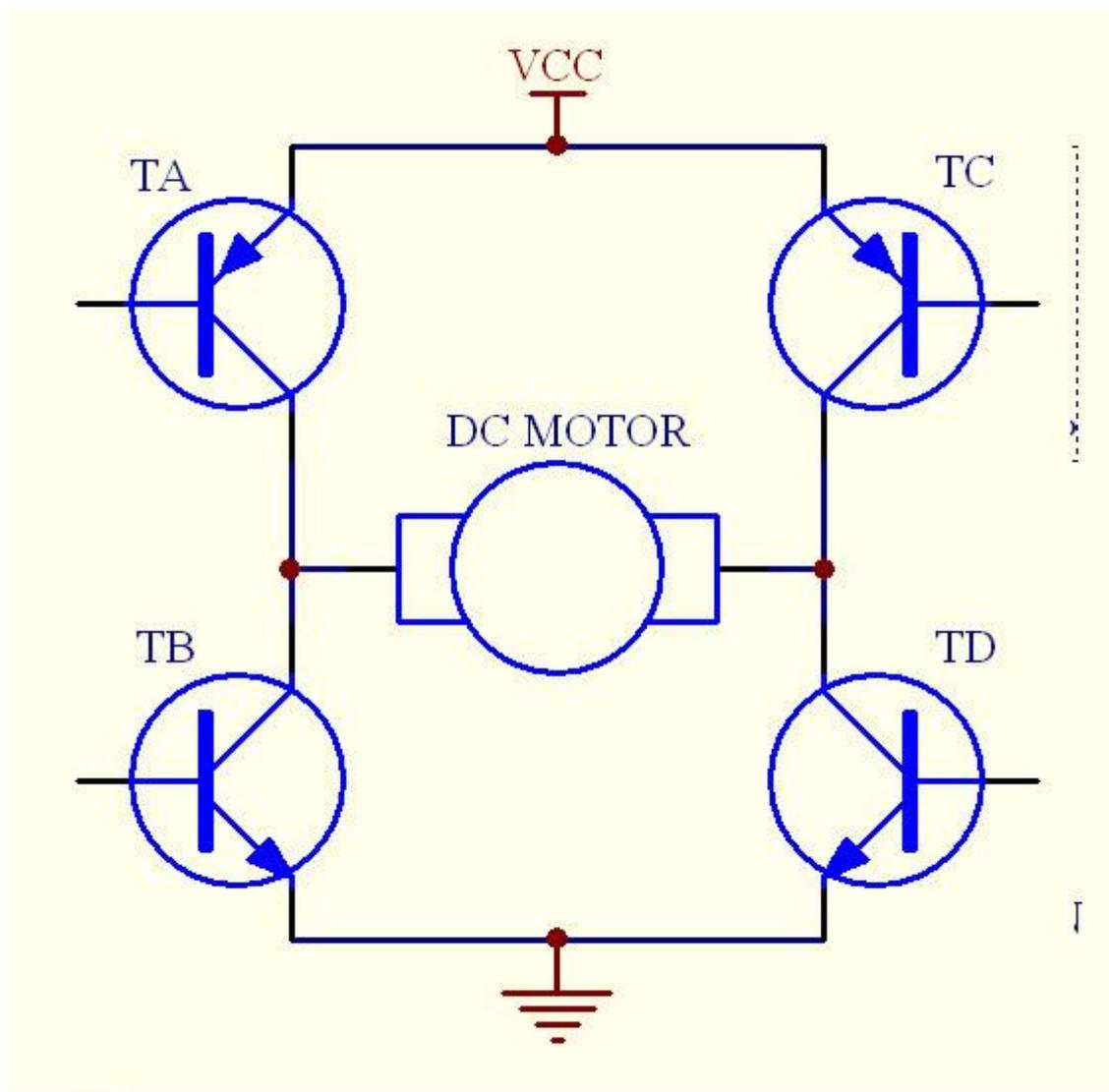
A) 刹车 —— 将 B、D 开关（或 A、C）接通，则电机惯性转动产生的电势将被短路，形成阻碍运动的反电势，形成“刹车”作用。

B) 惰行 —— 4 个开关全部断开，则电机惯性所产生的电势将无法形成电路，从而也就不会产生阻碍运动的反电势，电机将惯性转动较长时间。

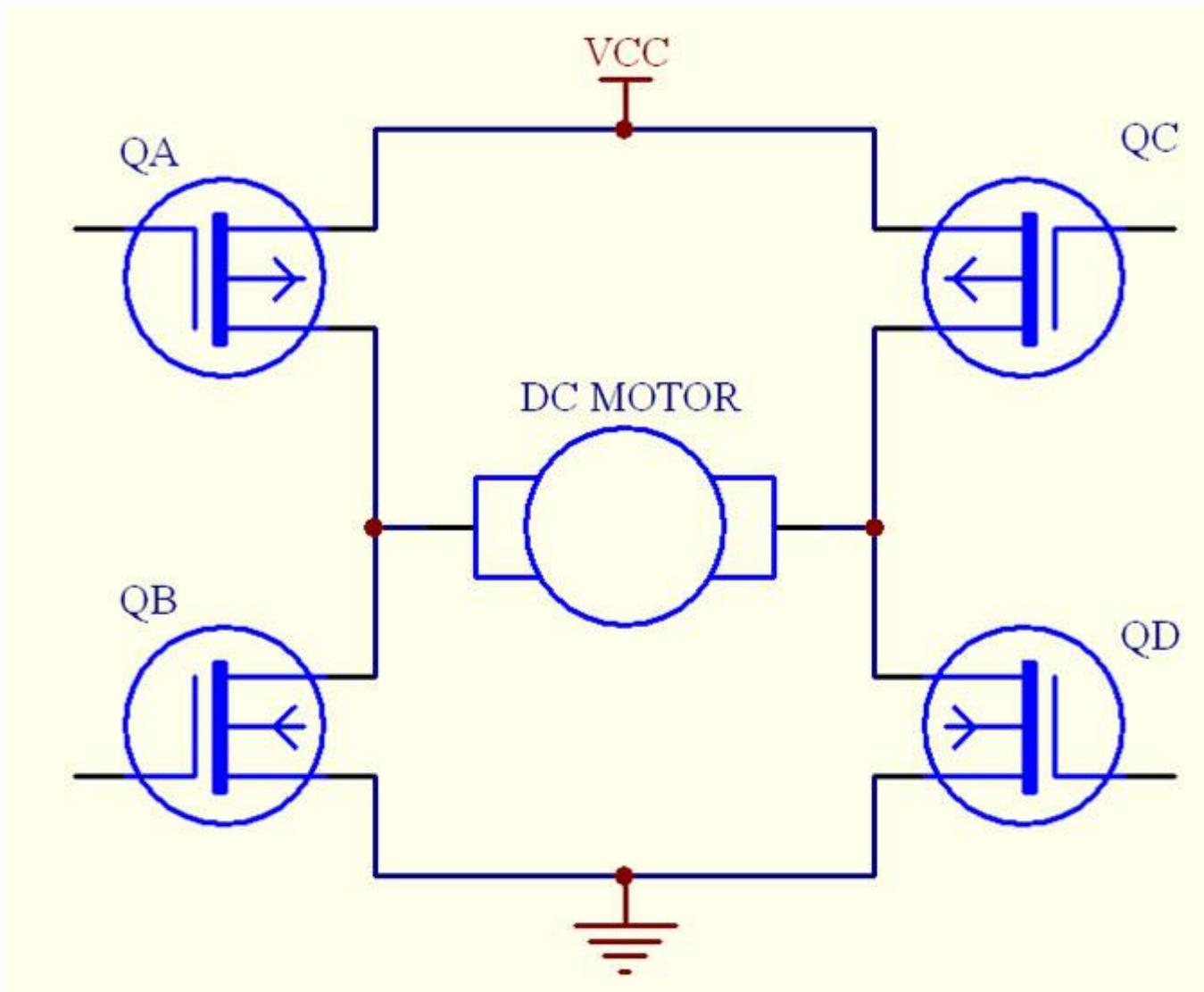
以上只是从原理上描述了 H 桥驱动，而实际应用中很少用开关构成桥臂，通常使用晶体管，因为控制更为方便，速度寿命都长于有接点的开关（继电器）。

细分下来，晶体管有双极性和 MOS 管之分，而集成电路只是将它们集成而已，其实质还是这两种晶体管，只是为了设计、使用方便、可靠而做成了一块电路。

双极性晶体管构成的 H 桥：



MOS 管构成的 H 桥：



以下就分析一下这些电路的性能差异。

#### 四、几种典型 H 桥驱动电路分析

分析之前，首先要确定 H 桥要关注那些性能：

A) 效率 —— 所谓驱动效率高，就是要将输入的能量尽量多的输出给负载，而驱动电路本身最好不消耗或少消耗能量，具体到 H 桥上，也就是 4 个桥臂在导通时最好没有压降，越小越好。

B) 安全性 —— 不能同侧桥臂同时导通；

C) 电压 —— 能够承受的驱动电压；

D) 电流 —— 能够通过驱动电流。

大致如此，仔细考量，指标 B) 似乎不是 H 桥本身的问题，而是控制部分要考虑的。

而后两个指标通过选择合适参数的器件就可以达到，只要不是那些特别大的负载需求，每种器件通常都能选择到。而且，小车应用中所能遇到的电流、电压更是有限。

只有指标 A) 是由不同器件的性能所决定的，而且是运行中最应该关注的指标，因为它直接影响了电机驱动的效率。

所以，经分析的重点放在效率上，也就是桥臂的压降上。

为了使分析简单，便于比较，将 H 桥的驱动电流定位在 2A 水平上，而电压在 5 - 12V 之间。

选择三个我所涉及到的器件：

A) 双极性晶体管 —— D772、D882

B) MOS 管 —— 2301、2302

C) 集成电路 H 桥 —— L298

D772 的压降指标如下：

Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = -2A, I_B = -0.2A$		
--------------------------------------	---------------	--------------------------	--	--

D882 的压降指标如下：

Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 2A, I_B = 0.2A$		
--------------------------------------	---------------	------------------------	--	--

2301 的压降指标如下：

Drain-Source On-Resistance <sup>a</sup>	$r_{DS(on)}$	$V_{GS} = -4.5V, I_D = -2.8A$	0.093
		$V_{GS} = -2.5V, I_D = -2.0A$	0.140

因为 MOS 管是以导通电阻来衡量的，需要换算一下，小车的控制电压是 4.5V，按上面的导通电阻计算，2A 的压降应该是： $2 * 0.093 = 0.186V$ ，最大是： $2 * 0.13 = 0.26V$ 。

2302 的压降指标如下：

Drain-Source On-Resistance <sup>a</sup>	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 4.5V, I_D = 3.6A$	0.045
		$V_{GS} = 2.5V, I_D = 3.1A$	0.070

同上换算一下，小车的控制电压是 4.5V（电池电压），按上面的导通电阻计算，2A 的压降应该是： $2 * 0.045 = 0.09V$ ，最大是： $2 * 0.06 = 0.12V$ 。

L298 的压降指标如下：

$V_{CEsat(H)}$	Source Saturation Voltage	$I_L = 1A$ $I_L = 2A$	0.95	1.35 2
$V_{CEsat(L)}$	Sink Saturation Voltage	$I_L = 1A$ (5) $I_L = 2A$ (5)	0.85	1.2 1.7
$V_{CEsat}$	Total Drop	$I_L = 1A$ (5) $I_L = 2A$ (5)	1.80	

表中第一行为上桥臂的压降，对应 D772、2301，第二行为下桥臂的压降，对应 D882、2302，第三行为两者之和。

对比一下不难看出，如果均以 2A 电流驱动计算，三种驱动自身所消耗的功率如下：

$$D772、D882 : (0.5+0.5) * 2 = 2 W$$

$$2301、2302 : (0.26+0.12) * 2 = 0.76 W$$

$$L298 : 4.9 * 2 = 9.8 W$$

如果以驱动一个 4.5V 、 2A 的直流电机为例：

$$\text{电机得到的功率是：} 4.5 * 2 = 9W ;$$

$$\text{用 D772、D882 则需要供电 } 5.5V , \text{效率为：} 9 / (5.5 * 2) = 81\% ;$$

$$\text{用 2301、2302 则需要供电 } 4.88V , \text{效率为：} 9 / (4.88 * 2) = 92\%$$

用 L298 则需要供电 9.4V ，效率为： $9 / (9.4 * 2) = 48\%$

结论不言自明了吧！

从这组数据还可以看出三者的散热需求及其外形差异的原因。

同时解释了圆梦小车开始使用 D772、D882 驱动时为何选用 3V 的 130 电机，因为小车是 4 节充电电池供电，只有 4.8 ~ 5V，H 桥压降 1V，所以只能使用 3V 的电机。

而改用 MOS 管驱动后，就选用了 4.5V 的 N20 电机，因为 MOS 管只带来了 0.4V 不到的压降。

而分析 L298 的压降你就会知道，如果你的电机需要 2A 左右的启动电流，那使用 5V 是根本无法工作的。

有一个同学托我代购了一片 L298，结果回去后说是电机只抖动不转，我问他使用几伏电压，他告诉我 5V：（我只好请他仔细阅读 L298 的资料。

实际上使用 L298 不只是驱动压降限制了电机的供电电压，它的控制电平要求也使得你几乎无法使用低于 6V 的工作电压，看如下信息：

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.
V <sub>S</sub>	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V <sub>IH</sub> +2.5	

表中  $V_s$  为电机驱动的供电电压（L298 分 2 路供电，一路是电机驱动的，就是 H 桥上的，一路是供给逻辑电路的）， $V_{iH}$  是指逻辑控制输入高电平。

此参数的含义是，电机驱动电压必须大于逻辑控制电平 2.5V，如果你的逻辑部分使用 5V 供电，那电机的供电电压至少 7.5V，否则将无法保证正常工作。除非你将逻辑控制电平降低。

很多同学用的都是 L298，建议你们仔细分析一下，看看自己的设计是否符合 L298 手册所规定的工作条件，也许很多现象都能自己解释了。

## 五、结语

制作小车只是一个过程，如果不能从过程中学到知识、锻炼技能，那即便小车做好了，也无价值。而阅读资料、看懂器件手册是一个工程技术人员最基本的素质。

有同学说，这些手册都是英文的：（可无奈啊！这些东西都是人家设计、制造的，等到你们进入社会后，让世界上一半以上的器件都源自中国，那也许你们的后代不会再有此困惑。

可目前，你们如果要从事此行，是无法回避阅读英文资料的！现在有金山词霸，应该方便多了 ^\_^

参考资料：

- 1、长江集团 D772 手册
- 2、长江集团 D882 手册
- 3、VISHAY 公司 Si2301ADS 手册
- 4、VISHAY 公司 Si2302ADS 手册
- 5、ST 公司 L 298 手册