

# 麦克纳姆轮控制原理

## 目录

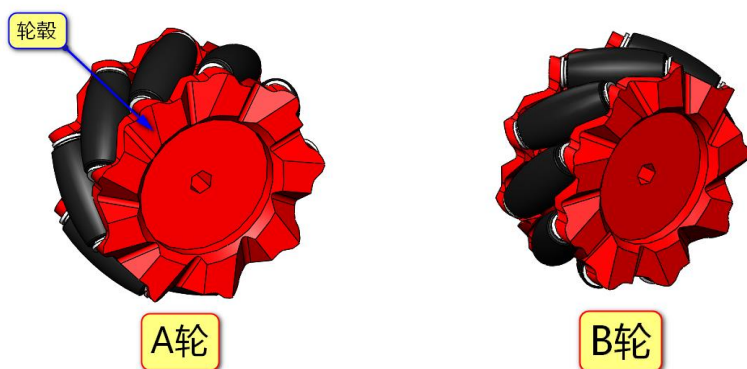
麦克纳姆轮控制原理.....	1
麦克纳姆轮介绍.....	2
麦克纳姆轮运动分析 .....	3
麦克纳姆轮安装组合及运动分析 .....	6
分析错误例子【AAAA】 .....	6
正确的麦轮分布应该是【ABBA】。 .....	8
麦克纳姆轮的安装位置.....	13
【太长不看】 .....	16

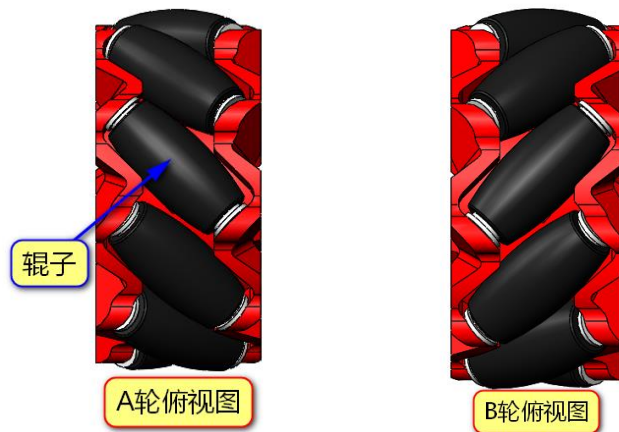
## 麦克纳姆轮介绍

在工业制造盛世年代,人们就感受到传统车辆的转向在一些特定的环境里面使用起来非常不方便,例如在航天航空领域的部件组装中,使用传统车辆运载拼装会消耗大量的人力、物力和时间。在精确到零点几毫米的情况下,对不准的话只能重新校正。对于高精尖的大型设备而言,效率高意味着可以甩开对手几条街。如果能找到一种让车辆不用转动车身就能任意角度平移、旋转,就能完美解决这个问题。

直到 1973 年,瑞典的麦克纳姆公司研发了一种比较实用的方案被广泛采纳,也就我们今天要介绍的麦克纳姆轮了。

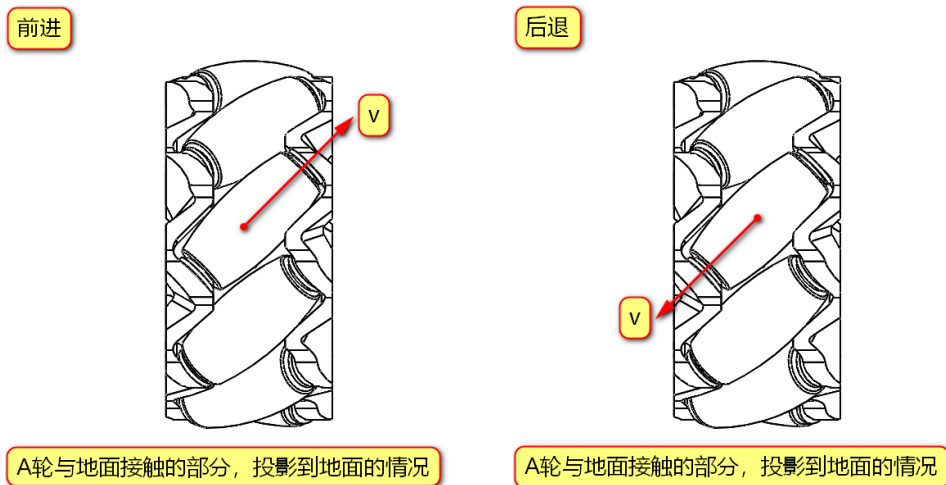
麦克纳姆轮(以下简称麦轮)是由轮毂和围绕轮毂的辊子组成的,辊子是一种没有动力的从动小滚轮,麦克纳姆轮辊子轴线和轮毂轴线夹角是 45 度,并且有互为镜像关系的 A、B 轮两种,或者会被称为左旋轮和右旋轮。这一般会在轮毂上面有标识 A 和 B、L 和 R。





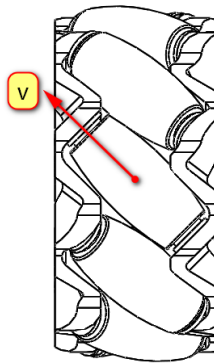
## 麦克纳姆轮运动分析

前面提到麦轮分 AB 两种，如果 A 轮向前运动时同时向右运动，即斜向右前方运动，那么相反，A 轮向后运动的同时会向左运动，即斜向左后方运动；相应 B 轮就可以斜向左前和右后方运动。



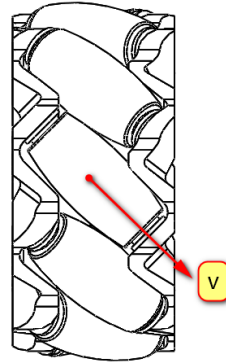
拿 A 轮来说，辊子移动方向上由于滚动从而无法提供前进的力，而在辊子轴线方向上辊子无法滚动并且与地面摩擦产生辊子轴向上的摩擦力，即斜向右前或左后方向，从而 A 轮的速度方向是斜向右前或左后；同理可分析 B 轮。

前进



B轮与地面接触的部分，投影到地面的情况

后退

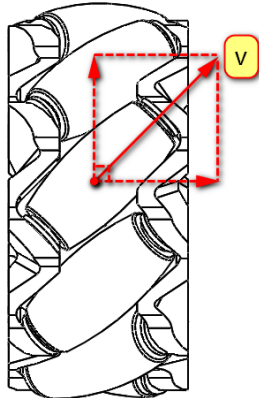


B轮与地面接触的部分，投影到地面的情况

根据我们高中学到的物理知识，我们知道速度是可以正交分解的，决定车体运动取决于四个麦轮的合速度方向。

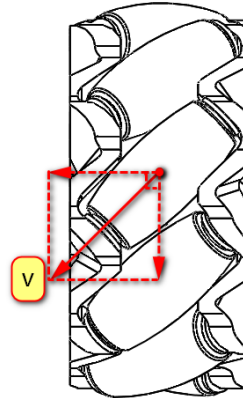
那么 A 轮就可以分解成轴向向右和垂直轴向向前的速度分量，或者说轴向向左和垂直轴向向后的速度分量。

前进



A轮与地面接触的部分，投影到地面的情况

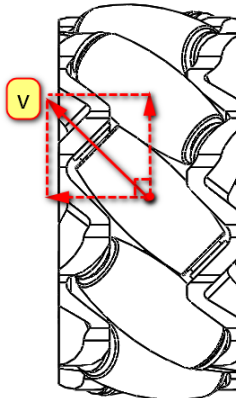
后退



A轮与地面接触的部分，投影到地面的情况

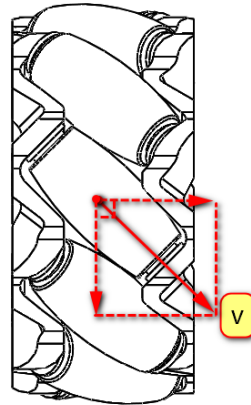
这样，B 轮的速度分量和 A 轮互为镜像关系了。

前进



B轮与地面接触的部分，投影到地面的情况

后退



B轮与地面接触的部分，投影到地面的情况

## 麦克纳姆轮安装组合及运动分析

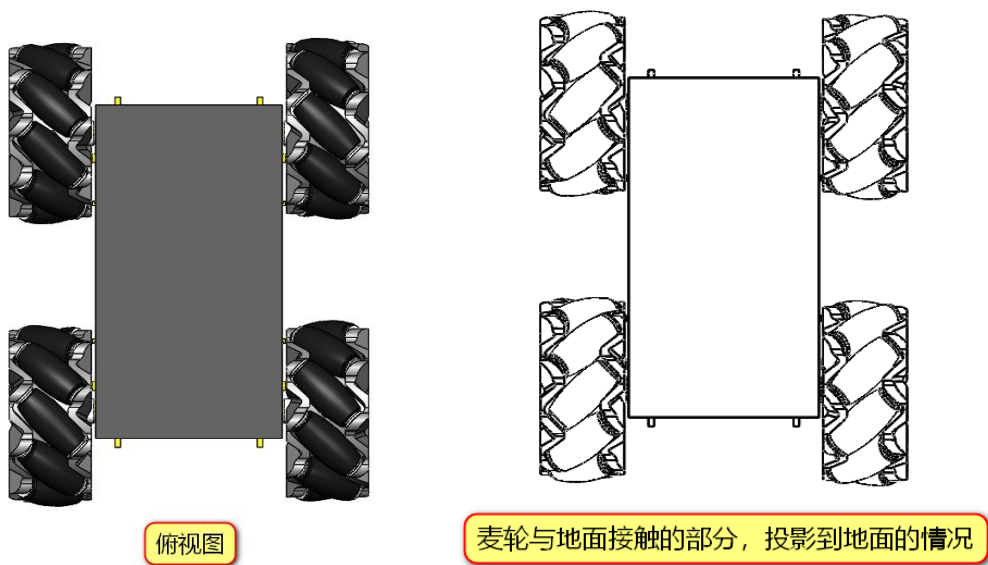
在知道 AB 轮的速度分量之后，我们就可以对四轮的麦克纳姆轮底盘进行排列组合了：

AAAA, BBBB, AABB.....

是不是所有的组合都能实现全方位的移动呢？并不是的。

下面我们就只举其中的一个错误例子和一个正确例子，其余的可以自行推理（其实是太多了）。

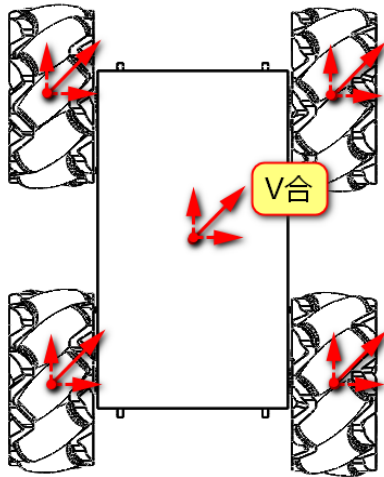
### 分析错误例子【AAAA】



这个一看就不靠谱，但是我们还是来分析一下，因为作为一个错误例子，非常容易分析清楚它到底错在哪里。前面我们讲过 A 轮的速度分量要么是前加右，要么是后加左。

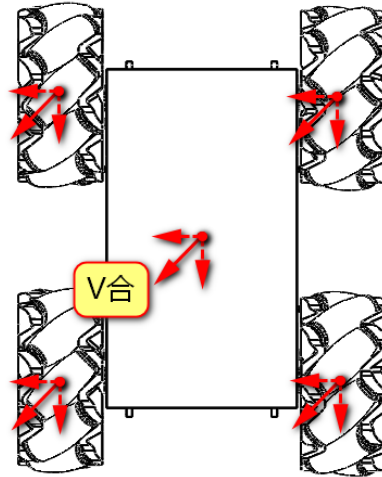
当四个轮子同时向前转动的时候，每个轮子都会有一个向左的速度分量，这样就会导致整个底盘前进的时候必然会同时向左运动；同理，后退的时候必然会向右运动，这样就没办法使用了，这个东西不受控制到处乱跑，这不是我们想要的全向移动。

前进



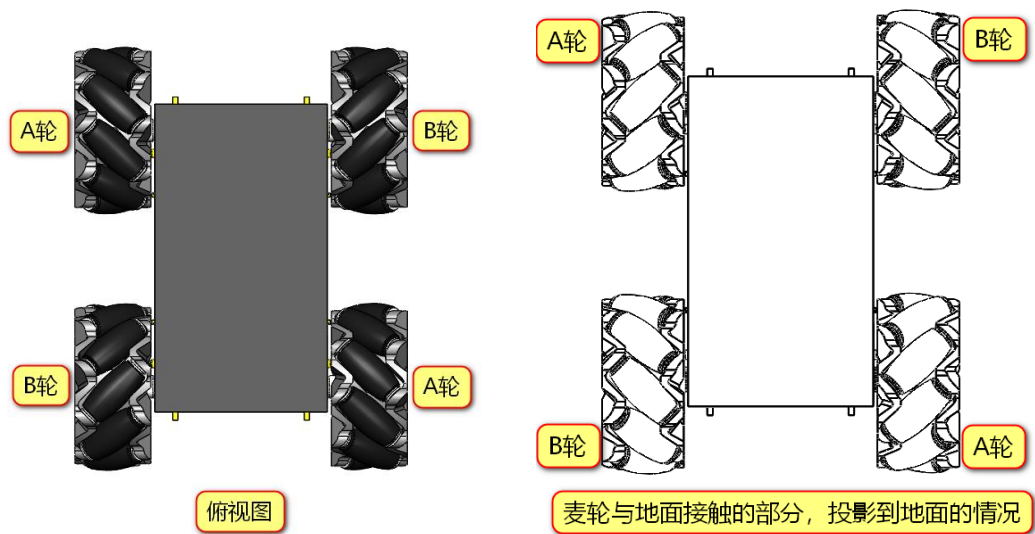
麦轮与地面接触的部分，投影到地面的情况

后退



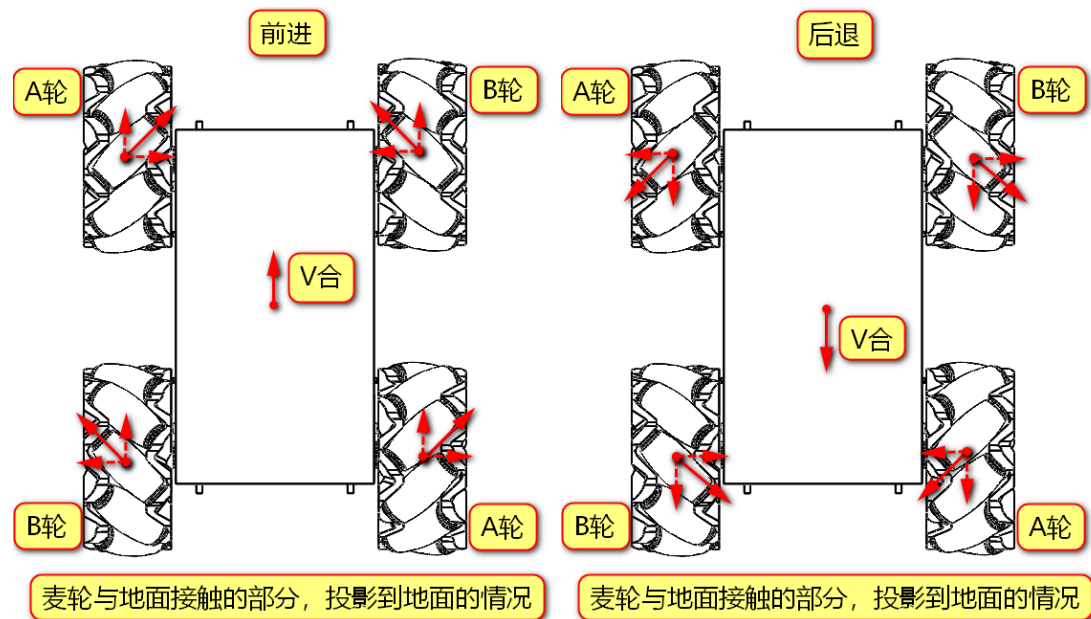
麦轮与地面接触的部分，投影到地面的情况

正确的麦轮分布应该是【ABBA】。



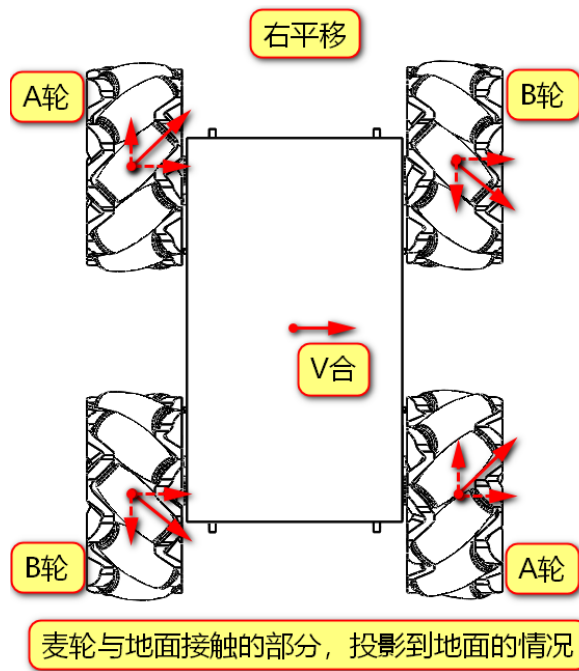
当四个轮子都向前转的时候，AB 轮可以相互抵消轴向速度，只剩下向前的速度，这样

底盘就是向前直行、不会跑偏，后退同理；

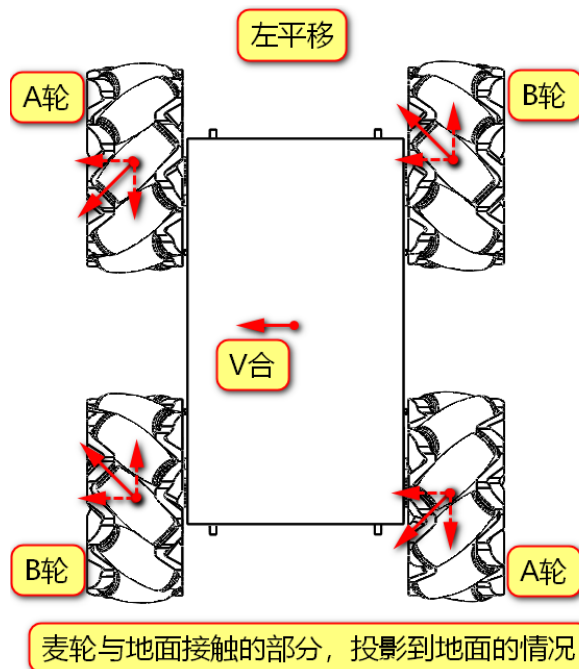




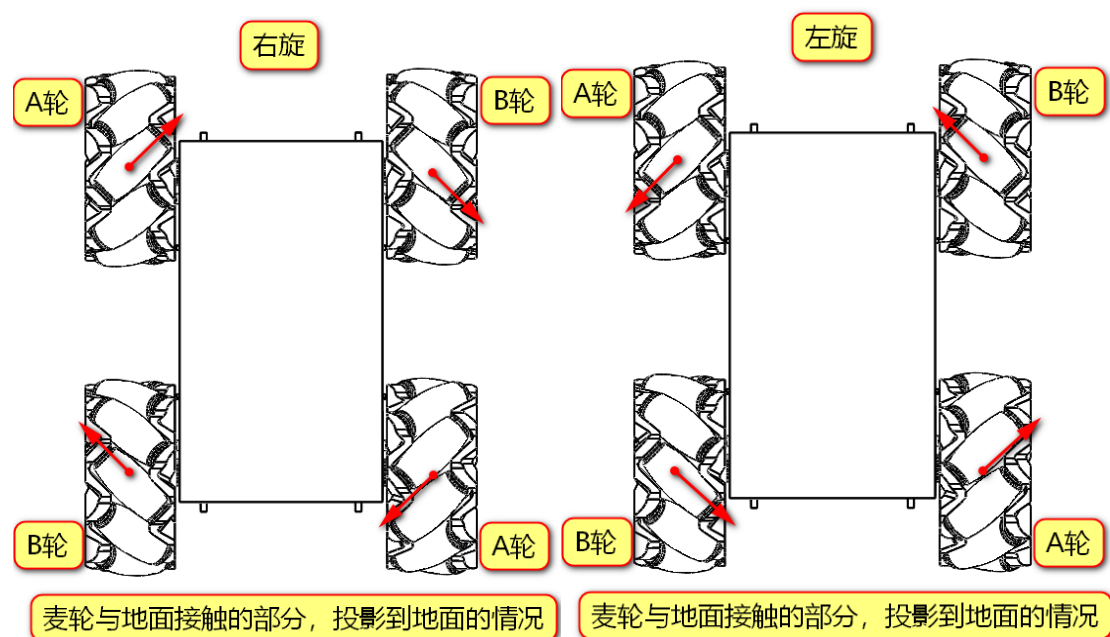
如果当 A 轮正转、B 轮反转的时候，向前向后的速度会抵消，仅剩下向右的速度，那么底盘就会向右平移；



相反，如果 A 轮反转，B 轮正转，就会向左平移；

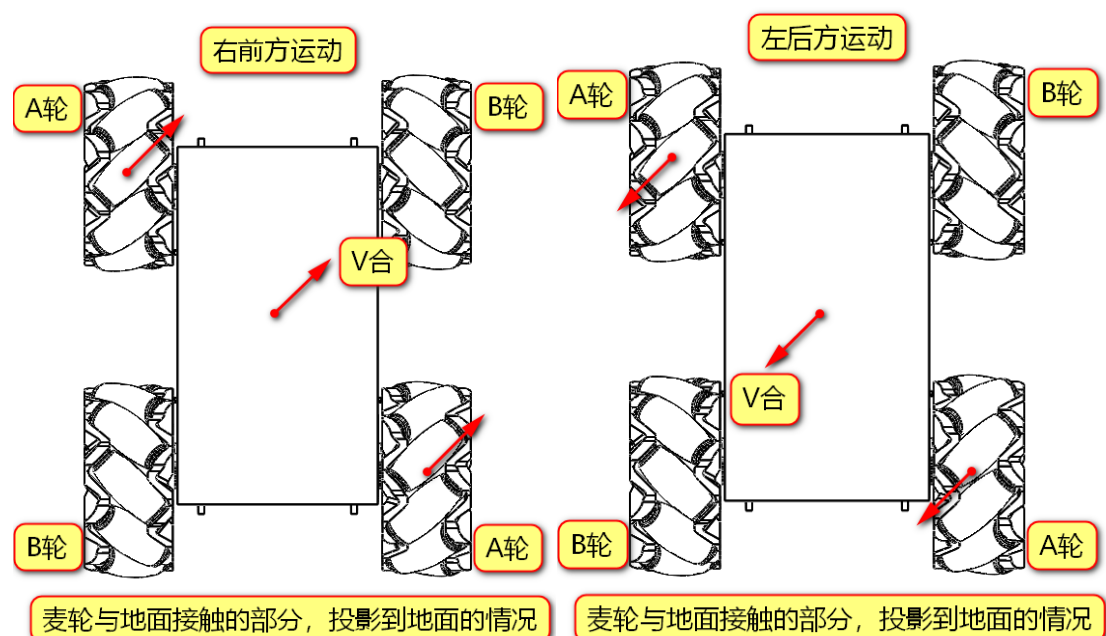


最后底盘左侧轮子正转、右侧轮子反转，就可以实现向右旋转；反之，底盘就会向左旋转了。



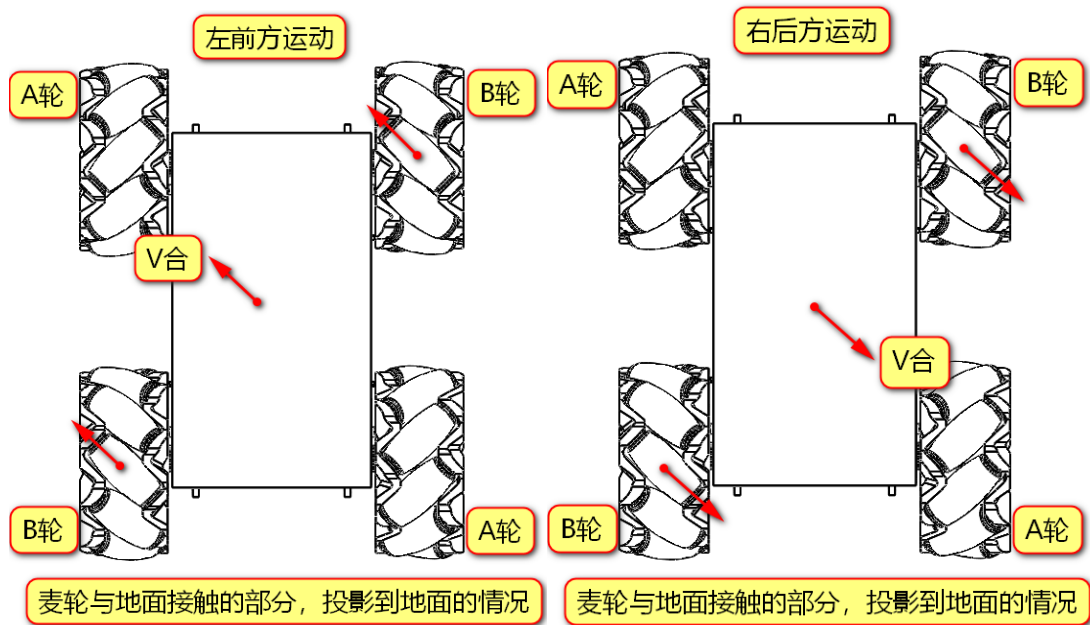
另外，当 A 轮正转、B 轮不动时，底盘会向右前方运动；

A 轮反转、B 轮不动时底盘向左后方运动。

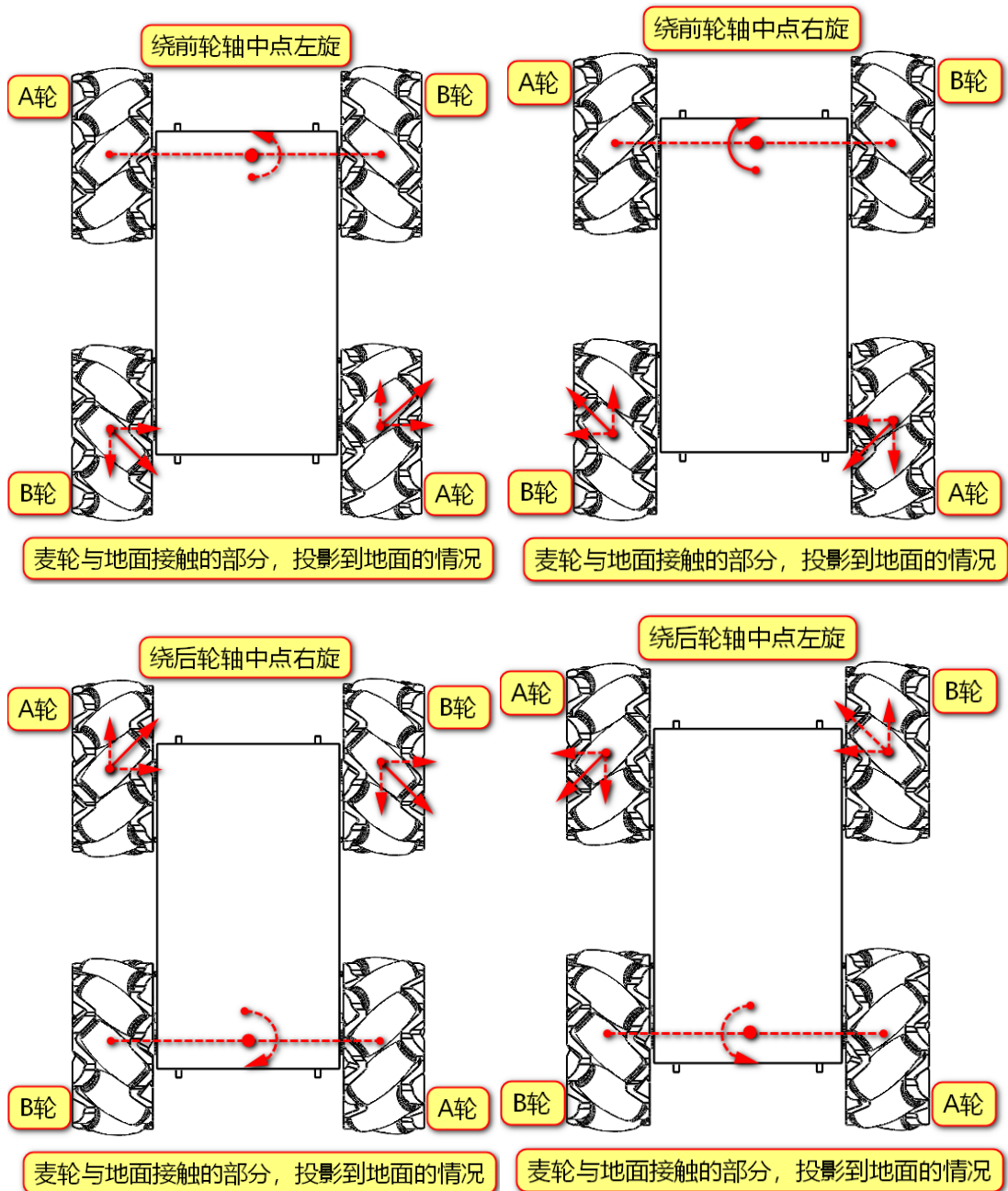


相应地，A 轮不动、B 轮正转，底盘向左前方运动；

A 轮不动、B 轮反转，底盘向右后方运动。



另外还有四种绕轴中点旋转的移动方式。



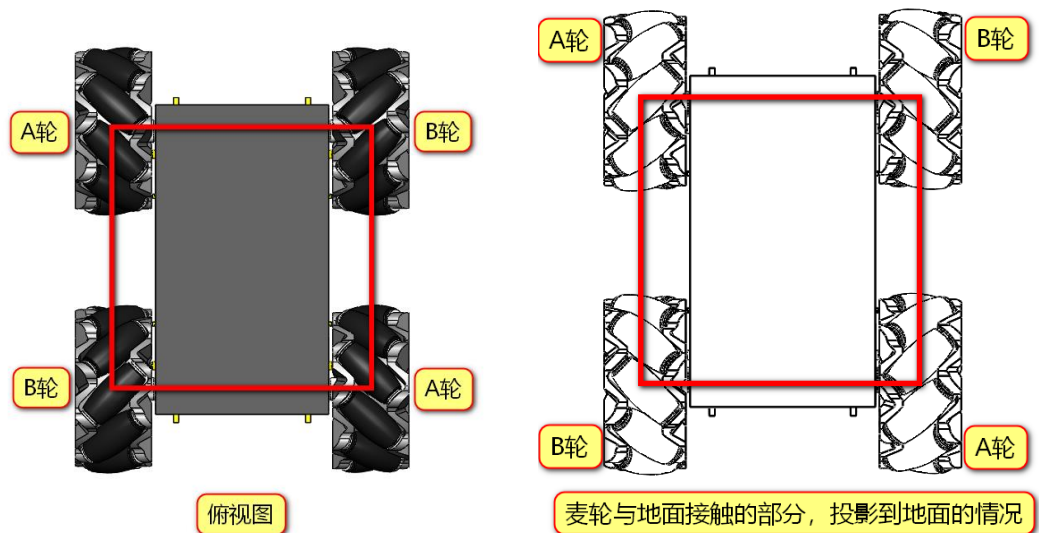
【思考】以上四种情况是不是与平移很相似，当不动的两个轮子像平移那样动起来，但是速度小于另外两个轮子的速度，麦轮底盘会怎么移动呢？

## 麦克纳姆轮的安装位置

前面我们讲解完了麦轮的安装组合，安装四个麦轮的位置还有讲究。

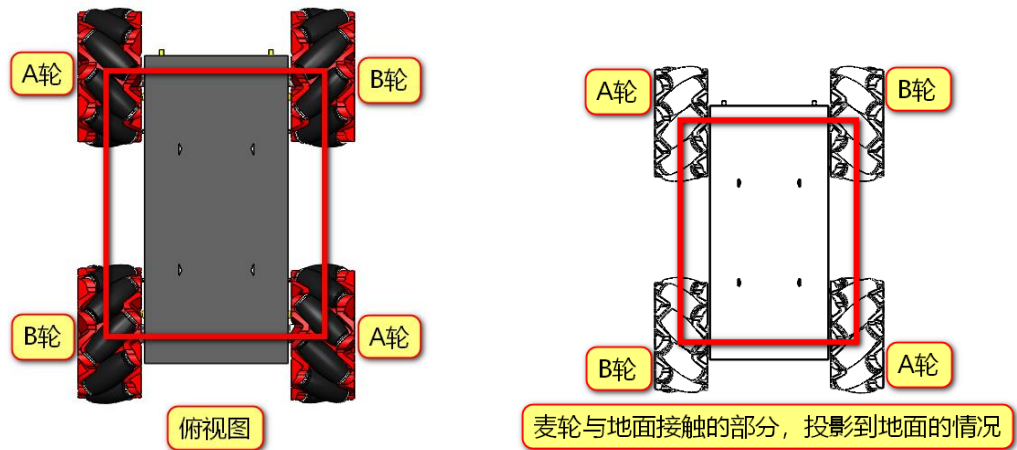
四个轮子与地面接触点所围成的形状主要为正方形和长方形。不排除有奇葩形状，但是这里只针对正方形和长方形分析。

正方形：四个轮子位于正方形的四个顶点，平移和旋转都没有任何问题。受限于机器人底盘的形状、尺寸等因素，这种安装方式虽然理想，但可遇而不可求。



我们使用的车底盘加装麦轮之后是经过精心设计的正方形，是最为理想的麦轮车底盘。

长方形：轮子转动可以产生 Yaw 轴转动力矩，而且转动力矩的力臂也比较长。是最常见的安装方式。



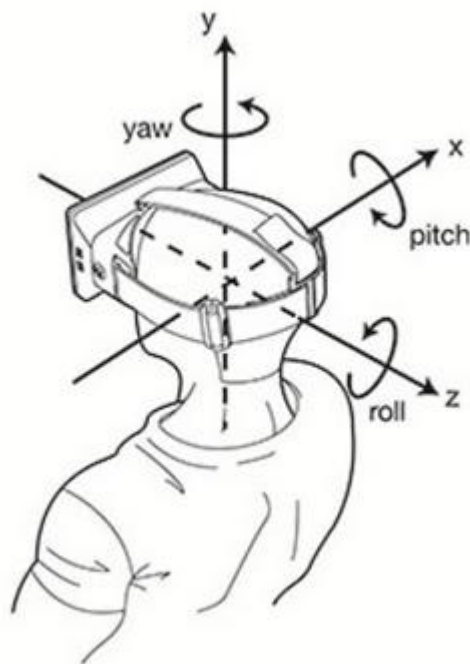
既然提到 Yaw，那就简单解释一下这是什么意思吧。

在 3D 系统中，假设视点为原点，则视点坐标系如下图所示。

pitch 是围绕 X 轴旋转，也叫俯仰角；

yaw 是围绕 Y 轴旋转，也叫偏航角；

roll 是围绕 Z 轴旋转，也叫翻滚角



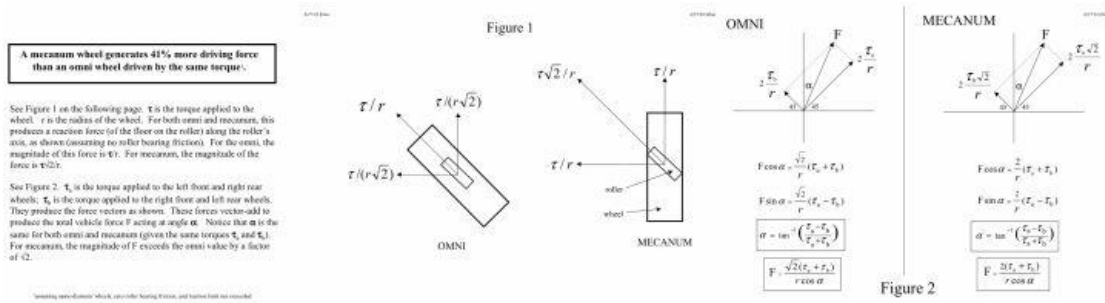


通过对比传统车辆，我们可以发现，普通车辆在移动的时候轮子都是向一个方向转，而使用麦轮的车子在做全向移动的时候，像以上分析的那样，每个麦轮的运动方向都不一样，所以麦轮想要做到真正的全向移动，每个麦轮都需要一个单独的电机来驱动，如此一来，就还需要一套控制系统来把握每个轮子的转向和转速。

实现全向移动一般会使用全向轮和麦克纳姆轮，以上我们主要介绍了麦轮的移动方式和安装组合。全向轮与麦轮在结构、力学特性、运动学特性上都有差异，其本质原因是轮毂轴与辊子转轴的角度不同。经过分析，二者的运动学和力学特性区别可以通过以下表格来体现。

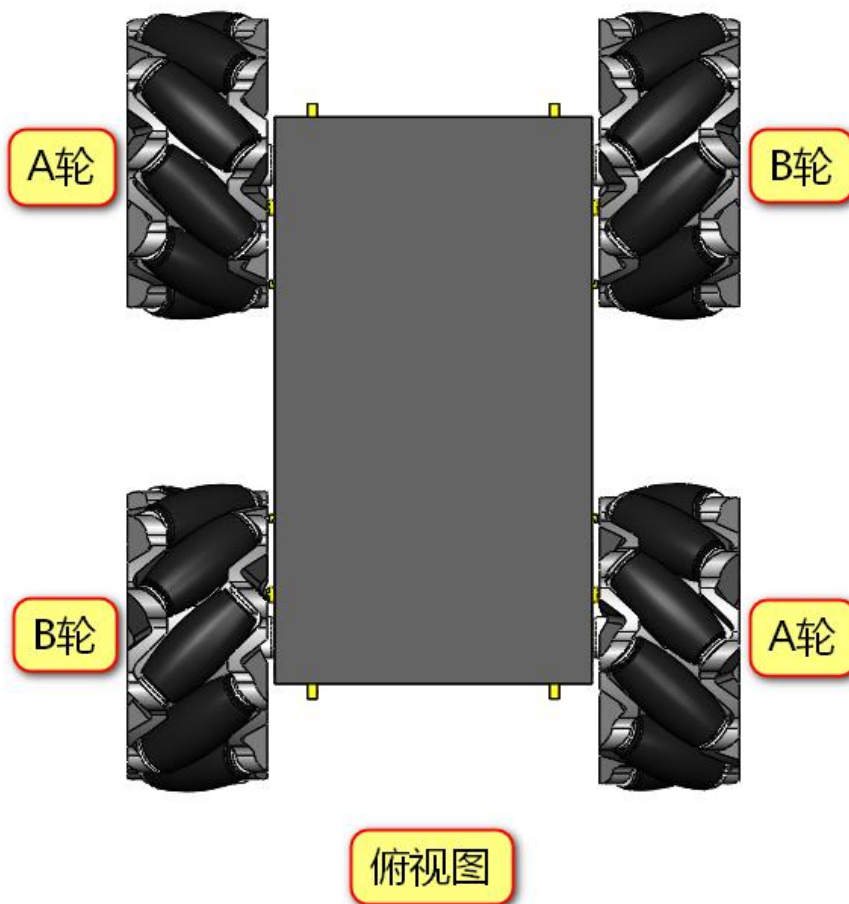
6/23/10 © Ether		Standard	Omni	Mecanum
kinematics	$V_f$	$\omega \cdot r$	$\omega \cdot r \cdot \sqrt{2}$	$\omega \cdot r$
	$V_r$	-	$\omega \cdot r \cdot \sqrt{2}$	$\omega \cdot r$
	$V_d$	-	$\omega \cdot r$	$\omega \cdot r / \sqrt{2}$
force	$F_f$	$4\tau / r$	$4\tau / (r\sqrt{2})$	$4\tau / r$
	$F_r$	-	$4\tau / (r\sqrt{2})$	$4\tau / r$
	$F_d$	-	$2\tau / r$	$2\tau\sqrt{2} / r$
<p>The three columns are for standard, omni, and mecanum 4-wheeled vehicles, respectively. The omni vehicle's wheels are mounted at 45 degrees. All wheels same diameter. The first three rows are vehicle velocity: forward, strafe, and diagonal, for a given wheel speed <math>\omega</math> (radians/sec)<sup>1</sup>. The second three rows are vehicle total pushing force: forward, strafe, and diagonal, for a given wheel torque <math>\tau</math><sup>1</sup>. These last three rows assume a) frictionless mecanum and omni roller bearings, and b) sufficient traction to support the floor reaction forces.</p> <p>Bottom line: for the same wheel speeds, omni vehicle goes 41% faster than mecanum; for the same wheel torque, mecanum vehicle has 41% more pushing force than omni<sup>2</sup></p>				

计算过程如下，供参考，学霸可根据公式验算：



【太长不看】

安装方法



运动方式：正确的麦轮分布应该是【ABBA】。