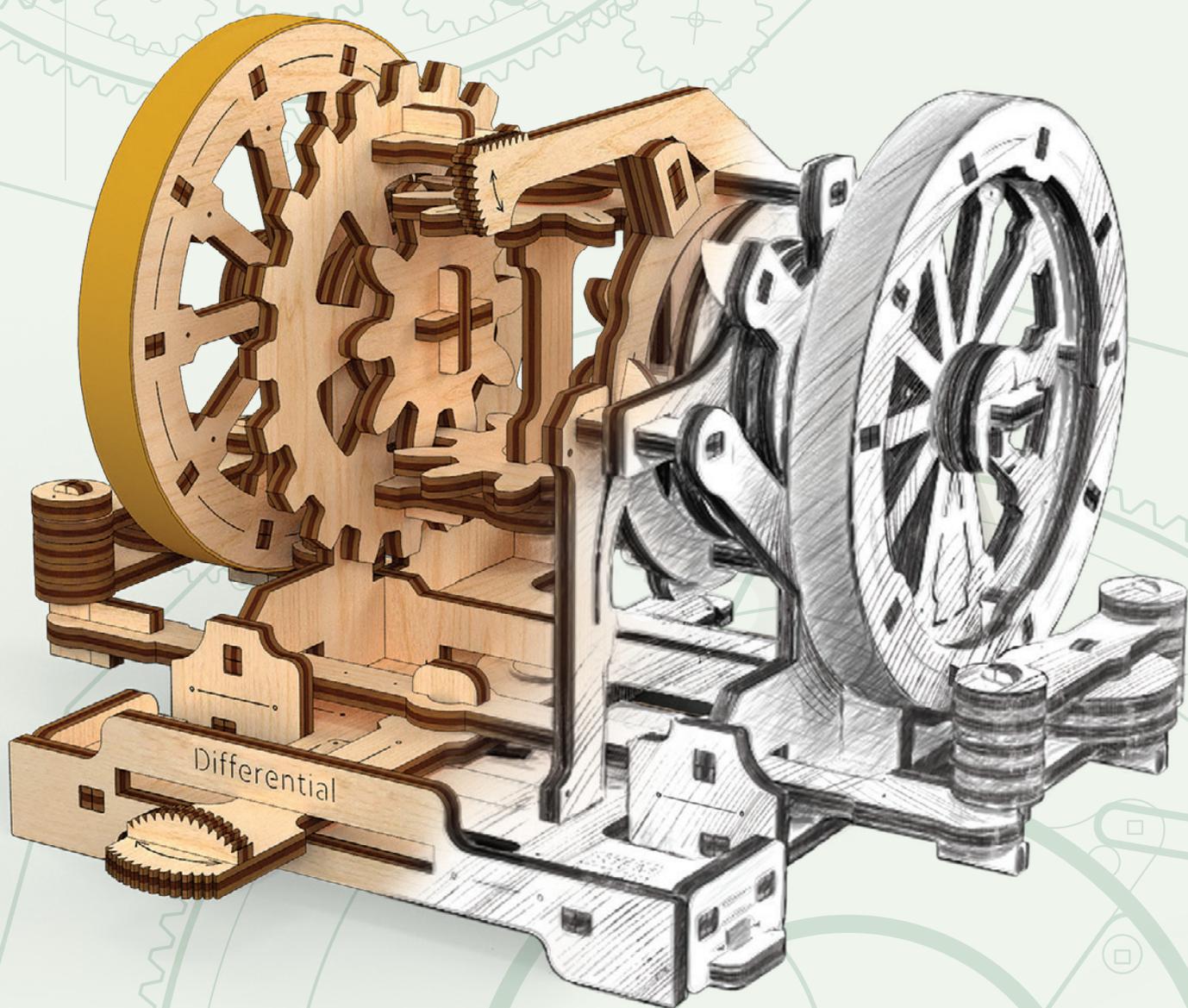


力学模型

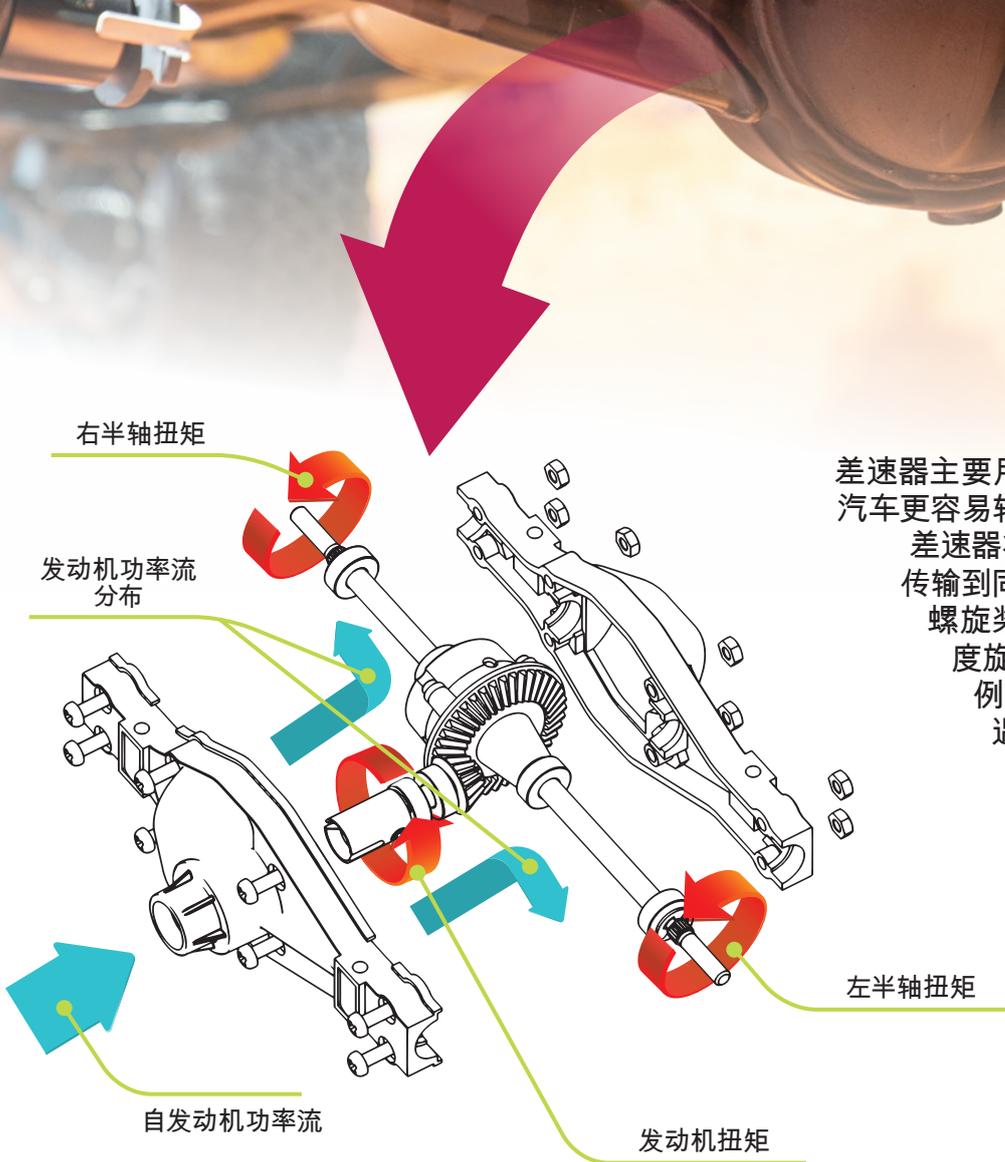
差速器



青年工程师手册

§1 引言

现代汽车由许多零件构成，有哪些细节值得注意。每个零件、每个细节都很重要。当然，一辆车如果没有发动机、车轮或油门，是开不走的。今天我们就来考察一个最基本的机械装置——差速器。该装置用来保持汽车稳定性，进而可以在路况条件下平稳快速行驶。



差速器主要用于汽车变速器*。其主要功能是使汽车更容易转向，并提高车辆的机动性。

差速器将发动机功率及扭矩**一分为二，并传输到同轴（以及其他车辆上使用的履带或螺旋桨）的车轮上。允许车轮以不同的速度旋转。如果某一车轮的道路牵引力差（例如，在光滑路面上转弯或行驶时）遭遇不良路况，可通过减少车轮打滑和轮胎磨损，使车辆更加稳定。

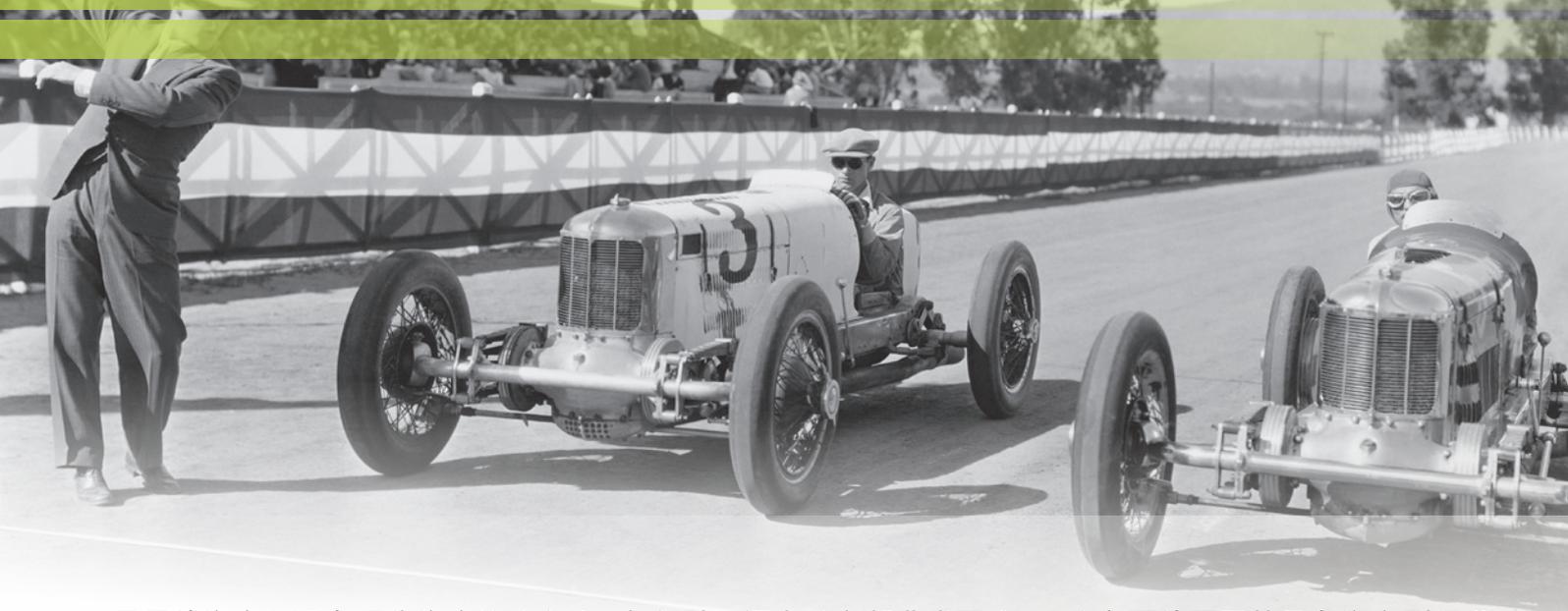
下面，请详细了解差速器的用途、发明者、发明时间、工作原理以及其当下工作原理和应用位置。

三维“差速器”模型将有助于在实践中了解机械装置的运行。亲手组装可以帮助你了解这一重要设备的所有秘密。

变速器（源自拉丁语 transmissiono）。这些汽车中的机械装置连接发动机和驱动轮。

*这时，扭矩是力对机械装置元件和零件的旋转效应。在国际单位制(SI)中，力矩(本例子中称为扭矩)以牛顿·米(N·m)为单位进行测量。

§2 历史参考



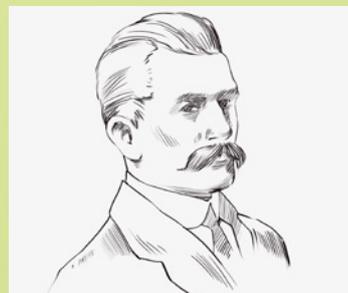
最早的汽车远没有现代汽车这么复杂。但驾驶一辆老爷车却非常困难。一个主要的原因就是在汽车刚问世时，司机们得面对车轮转弯打滑的问题。转弯时，车轮旋转速度不变，但重量分布会发生显著变化。转弯限速使得驾驶成了一项难以掌握的技能。差速器完美地解决了这一问题，使汽车驾驶更快、更安全。



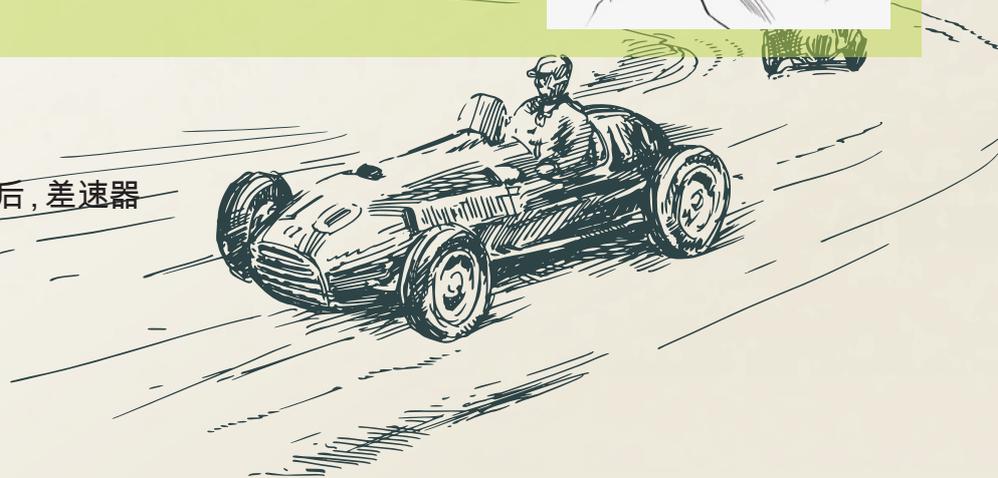
1825年，法国工程师Onesiphore Pecqueur发明了汽车差速器。该机械装置在坚硬干燥的路面上表现良好，但在结冰或路面湿滑时无效。该装置显然有待改进。



奥地利裔德国著名汽车工程师费迪南德·保时捷 (Ferdinand Porsche) 引进该机械装置，并对其进行了明显的升级。他用了整整三年的时间进行研究、测试和调整，最终研制出一款无齿轮差速器——第一款速敏型自动锁止式差速器。自从改进版的差速器被安装在了大众汽车 (Volkswagens)，它就成了现代汽车的标配。



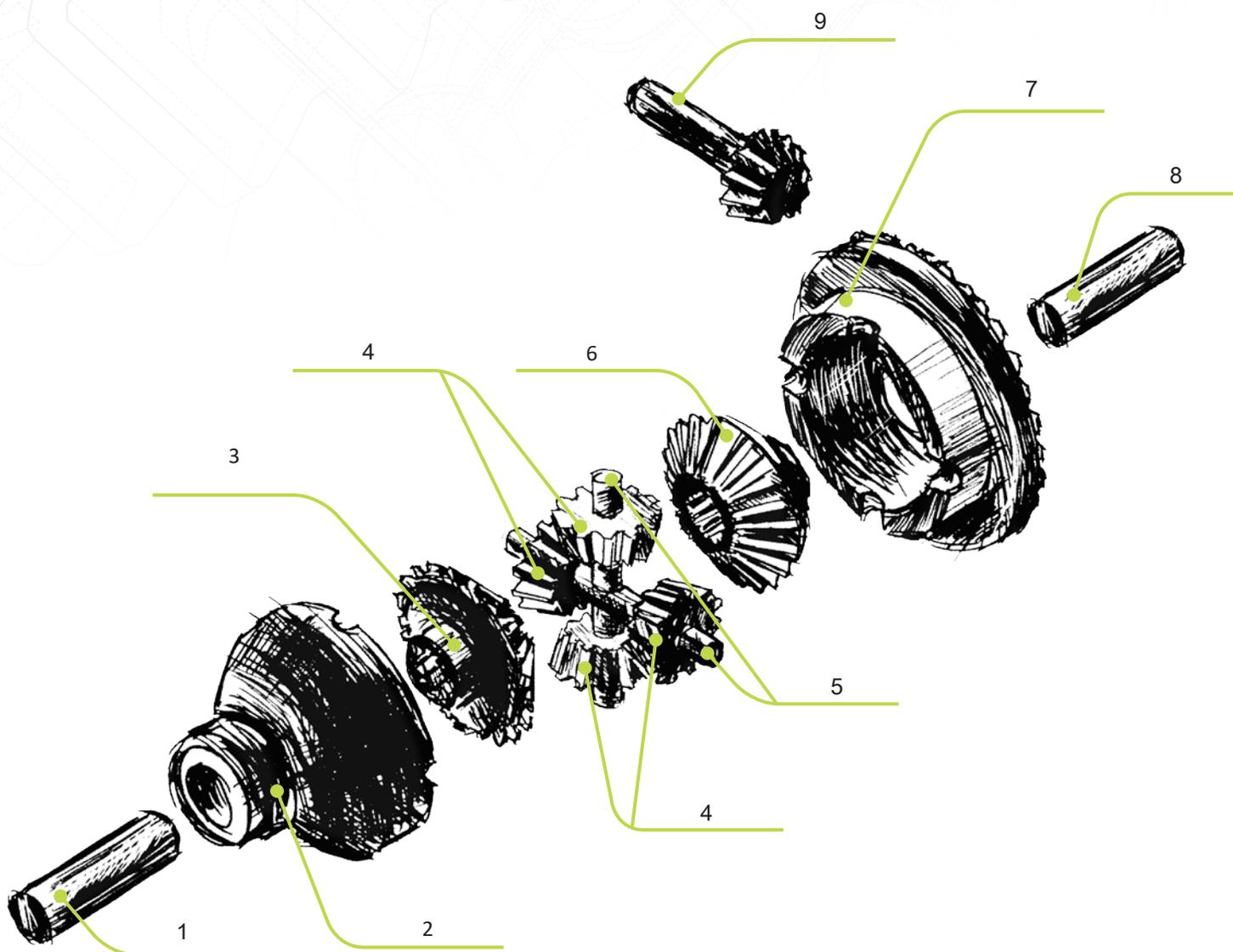
自大众汽车首次使用改进版差速器后，差速器成功跻身汽车工业，应用广泛。



§3

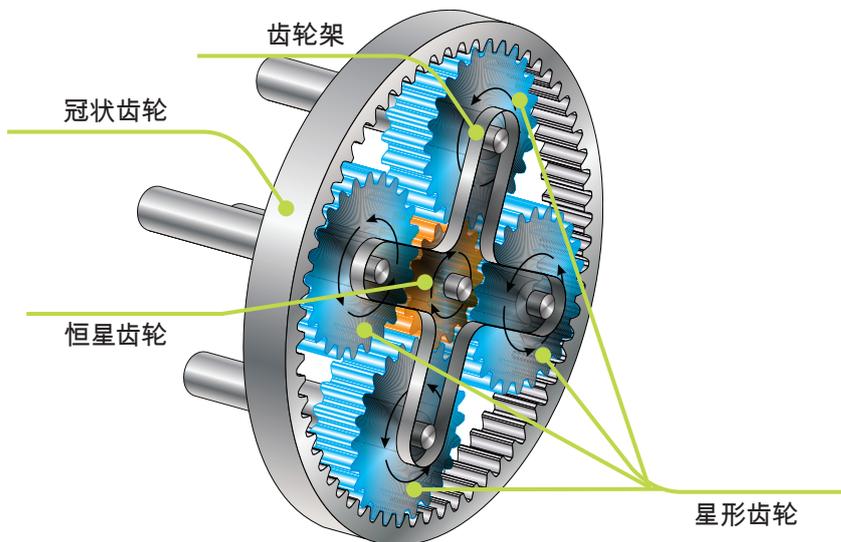
机械装置及其工作原理

差速器(源自拉丁语Differentia,即“差别”)是一种带轴齿轮装置。
观察对称斜齿轮差速器的组成元件。

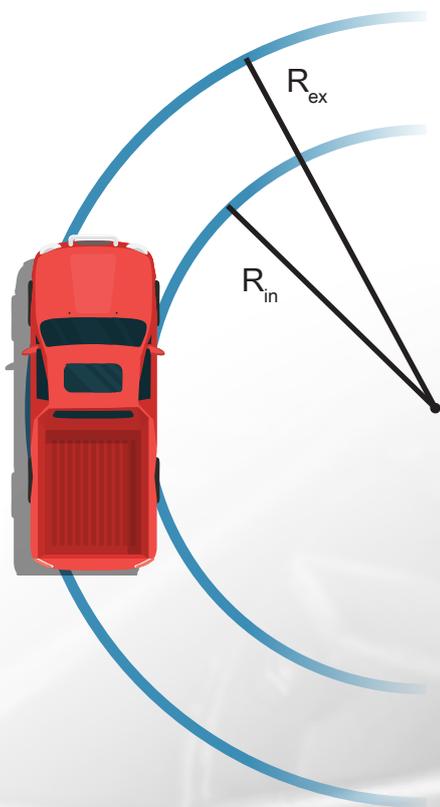


1. 左半轴; 2. 星形齿轮总成; 3. 轴端齿轮; 4. 星形齿轮; 5. 星形销; 6. 轴端齿轮; 7. 星形齿轮总成(冠状齿轮);
8. 右半轴; 9. 轴端从动齿轮;

行星齿轮是所有差速器的基本元件。它是一个机械式旋转运动齿轮。得益于设计特点,它能够沿同一旋转轴改变、累积和分配输入角速度*和/或星形齿轮的扭矩。它还包括冠状齿轮、托架和中央“恒星”齿轮。



因此,汽车差速器有三项主要功能:将发动机扭矩传输到驱动轮;确保单个车轮角速度;与轴驱动一起形成减速机构。



在崎岖路况转弯或行驶时,汽车驱动轮**行驶距离不同,如图所示(由于汽车轮距)。

左右轮转弯轨迹半径不同。

因此,如果两个车轮受发动机力/扭矩相等,则其转速也相等。此时,其中的一个车轮必然会打滑。然而,在两个车轮之间加上差速器,就可以分配发动机力矩,进而使车轮转速不同。

这样,车轮就会以所需速度单独运行。

*角速度属于矢量,它描述的是某实体相对于旋转中心的旋转速度及方向(本例中,用来描述机械装置和车轮)。角速度由希腊字母 ω 表示,以每秒弧度(转/秒)计量。接下来,我们需要仔细考察量的问题。

**驱动轮接收发动机传输出来的扭矩。后、轮都可以是驱动轮。四轮驱动车辆的四个车轮都是驱动轮。你一定看见过“4x4”的符号吧。

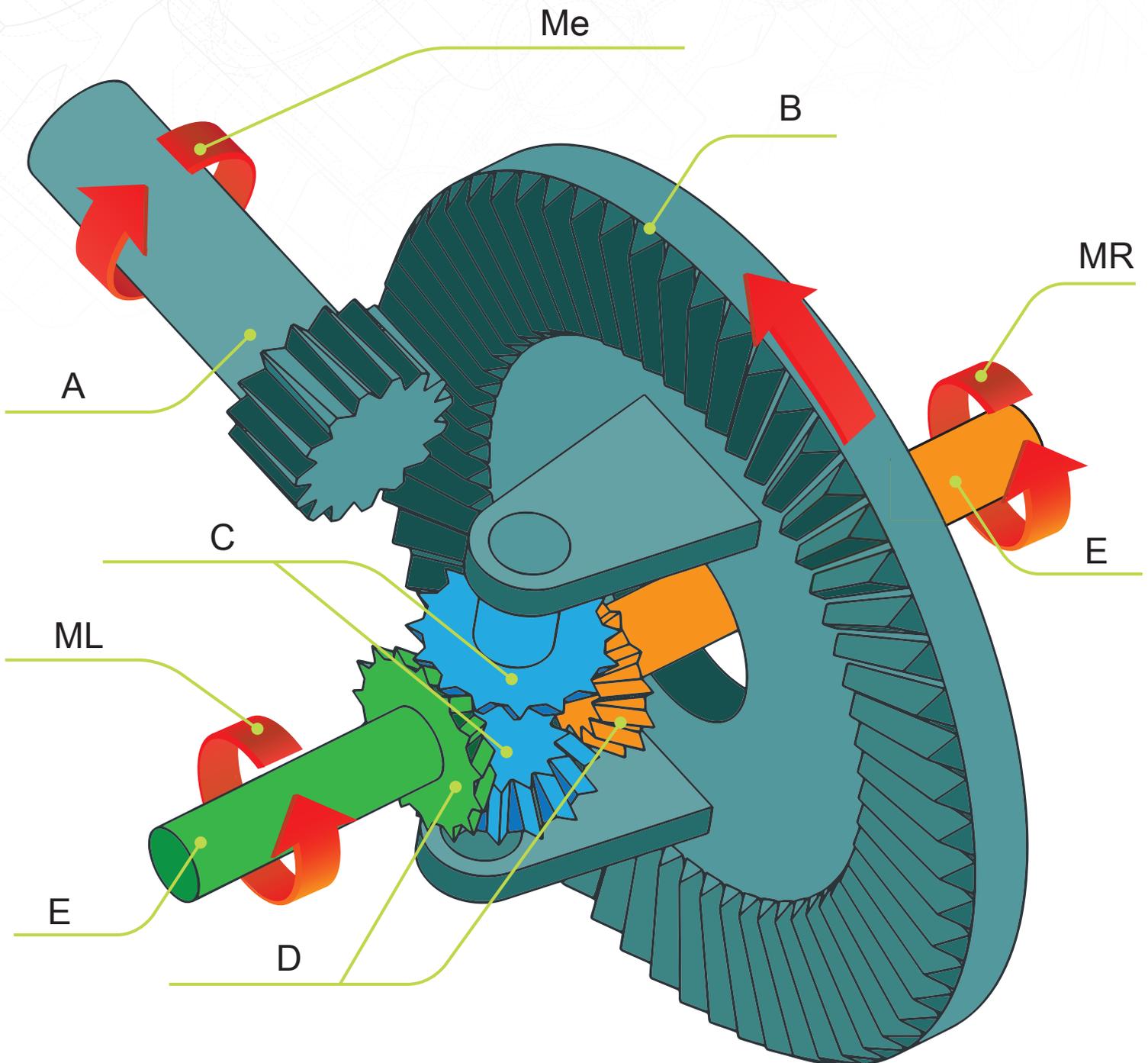
工作原理

发动机经斜齿轮(A)将扭矩(M_e)传输到差速器冠状齿轮(B)。

该差速器行星齿轮托架是旋转壳体形式的齿轮(齿圈)。

扭矩通过相互独立的星形齿轮(C)分配到左右组件(ML和MR)。允许各行星齿轮(D)和轮半轴(E)以不同的角速度旋转。

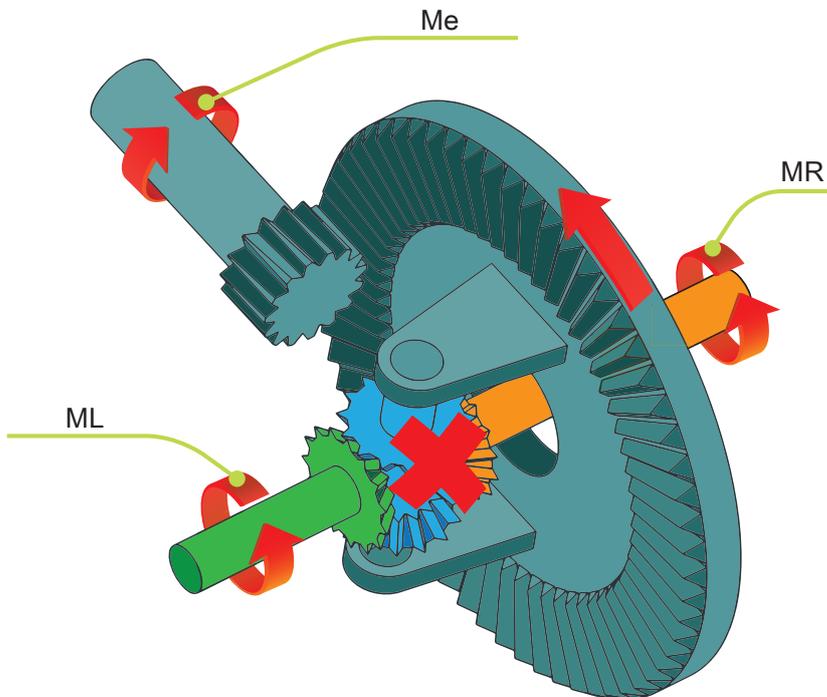
因此,如前所述,车轮沿其轨迹自由移动时,不会打滑。



再来考察一下差速器在汽车直线行驶和转弯时的工作原理。

当汽车直线行驶时,车轮的行驶距离相同。所以,左右车轮扭矩 M_L 和 M_R ,及其角速度 ω_L 和 ω_R 相等,即 $M_L=M_R$; $\omega_L=\omega_R$ 。

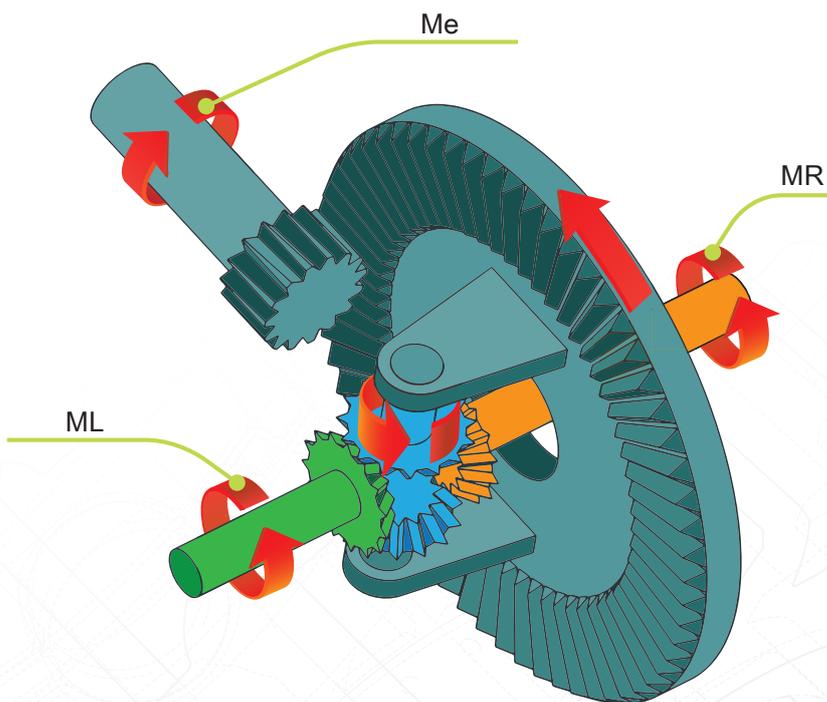
如图所示,此时,带有冠状齿轮和星形齿轮的差速器形成了一个整体(即星形齿轮不旋转,因为左右车轮转速相同)。



直行时的“差速器运行”

转弯时,情况完全不同。汽车车轮行驶距离不同(由于轮距不同)。所以,左右车轮扭矩 M_L 和 M_R ,及其角速度 ω_L 和 ω_R 不等。 $M_L \neq M_R$; $\omega_L \neq \omega_R$ 。

星形齿轮围绕恒星齿轮旋转,允许车轮以不同的速度旋转,从而在半轴之间分配扭矩。



转弯时的“差速器运行”



航天工业车辆(火星车和月球车)有多对车轮,这些车轮都属于驱动轮。这样可以提高车辆的机动性。

但是,要记住:只要汽车的驱动轮紧抓路面,差速器就运行良好,因为如果一个车轮在空中或冰面上失去附着力,就会转动起来,而其他车轮是静止不动的。为防止这种情况,工程师们研发了锁定差速器的设计方案。

差速器类型：

全手动锁定差速器。为了提高越野性能，必须采用确闭锁紧。司机可按要求按下按钮启动锁定。

**自锁定：**

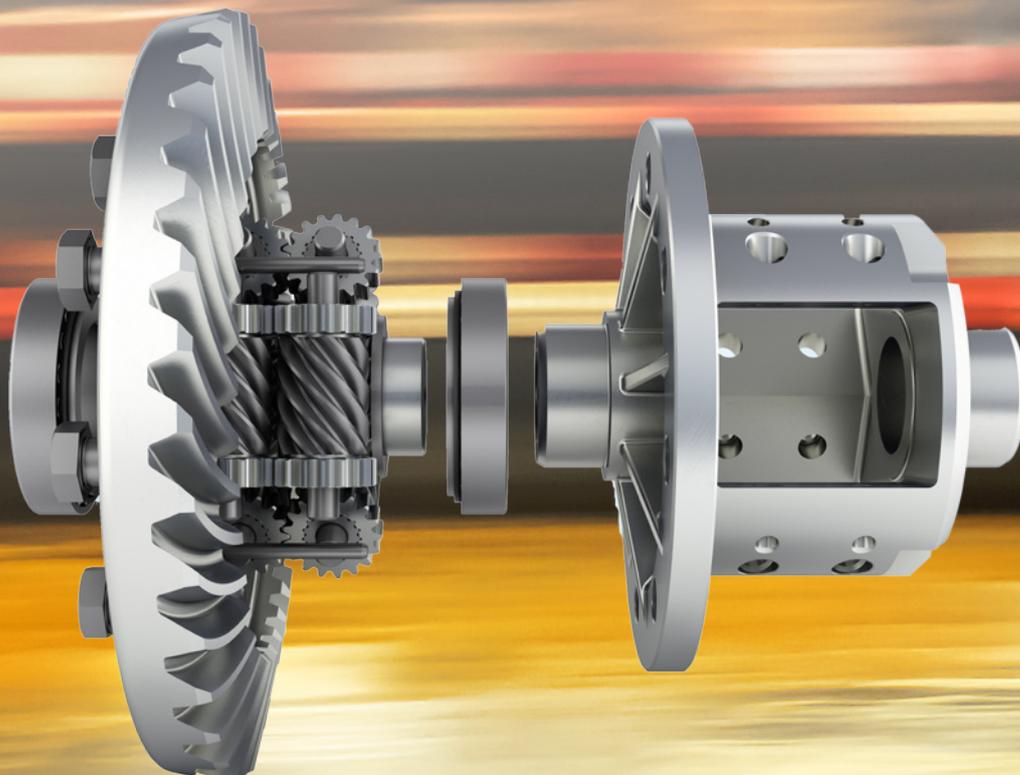
Viscodrive是一种多片式离合器，其传递力矩随驱动轴和从动轴之间速度差的增加而增大。作为差速器锁定机械装置用于简化的四轮驱动车。

这种类型的总成显著提高了车辆的操纵性。自锁定的基本原理：一定的驾驶条件有利于差速器的自动锁定。半轴上负载差显著增加时，机油压力泵启动。车辆打滑时，离合器片开始聚拢，车轮转速降低，车轮负载得以正确分配。

汽车自锁定差速器经过多项改进。

某些差速器的锁定不是由轴转速差（如在viscodrive中）造成的，而由轴扭矩平衡的变化造成的。一旦某轴力矩增加，蜗杆对就会卡住齿轮，从而锁定必要的差速器齿轮。

另外，当某个车轮落后时，左右两排星形齿轮与半轴的左右齿轮互锁，不同排的星形齿轮互锁。相关联的半轴齿轮起始转速比差速器主体转速慢，且半轴齿轮带动星形齿轮旋转，进而带动与其相连的星形齿轮旋转，而星形齿轮依次旋转其半轴齿轮，从而确保车辆转弯时车轮转速不同。



同时,某些类型的汽车完全可以不使用差速器。在车上装差速器就会增加汽车变速器负荷和轮胎磨损。有1~2个驱动轮的四轮汽车可以不装差速器。例如,小型赛或赛车的后轴设计就不包含差速器,因为这样适应低地表牵引力。



此外,轴间差速器可以按50:50、40:60等比例分配驱动桥之间的扭矩



铁路运输(电力和内燃机车、电力及地铁列车)中不使用差速器。在两轮拖拉机等人力节约设备以及电动推车(各车轮由单独的电机驱动)中,差速器可有可无。



§4

STEM

模型中的物理和力学解释

变速器是一种机械装置，可以将扭矩从源头传输到两个独立的驱动器上，从而使各驱动器的转速不同。

变速器具有以下特性：旋转功率(N)、扭矩(M)及角速度(ω)。

功率是一个标量值，在大多数情况下等于系统能量的转换、传输或消耗速率。功率也被描述为单位时间内的做功与时间的关系。

$$N = A/t$$

按国际单位制(SI)，功率的基本单位是瓦特(W)，以18世纪苏格兰发明家詹姆斯·瓦特(James Watt)的名字命名。

功率按以下公式计算：

$$N = F \cdot v \cdot \cos\alpha$$

在旋转运动中：

$$N = M \cdot \omega,$$

式中，

M——扭矩，

ω ——角速度。

扭矩也可称为“旋转功率”，单位为国际单位制N·m。扭矩有时被称为“力偶矩”。该术语最早见于阿基米德的著作中。如果施加在杠杆上的力的方向与杠杆垂直，则功率矩等于该功率的大小乘以到杠杆旋转线中心的距离。将这一原理用到发动机上，得出的就是曲轴旋转力。

例如，在距离旋转线中心2米的杠杆上施加3N的力所产生的扭矩与在距离旋转线中心3米的杠杆上施加1N的力所产生的的扭矩相同。点力矩可描述为矢量乘法：

$$\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}]$$

式中：

F是施加到点上的力，

r是点的矢量半径(如果旋转中心位于坐标原点处)。

角速度是指物体的角位置 (ω) 或方向随时间变化的速度, 由符号 ω 和公式: 表示

$$\omega = \frac{\varphi}{t}$$

每转一圈, $\Delta\varphi=2\pi$ 。

角速度与旋转周期和单位时间转数有关。它被作为:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{и} \quad \omega = 2\pi\nu$$

公制单位, 角速度: $[\omega]=\text{рад/с}$ 。

实际转弯半径不是常数; 完全稳定的牵引力是不存在的。如果车轮转速相同, 则车会在转向时打滑, 其内轨迹不同于外轨迹。这一差异表现为:

$$L_{in} = L_{ex} \cdot (1 - L \cdot \omega_z \cdot L_{ex})$$

其中:

L_{in} ——内轨迹, 米;

L_{ex} ——外轨迹, 米;

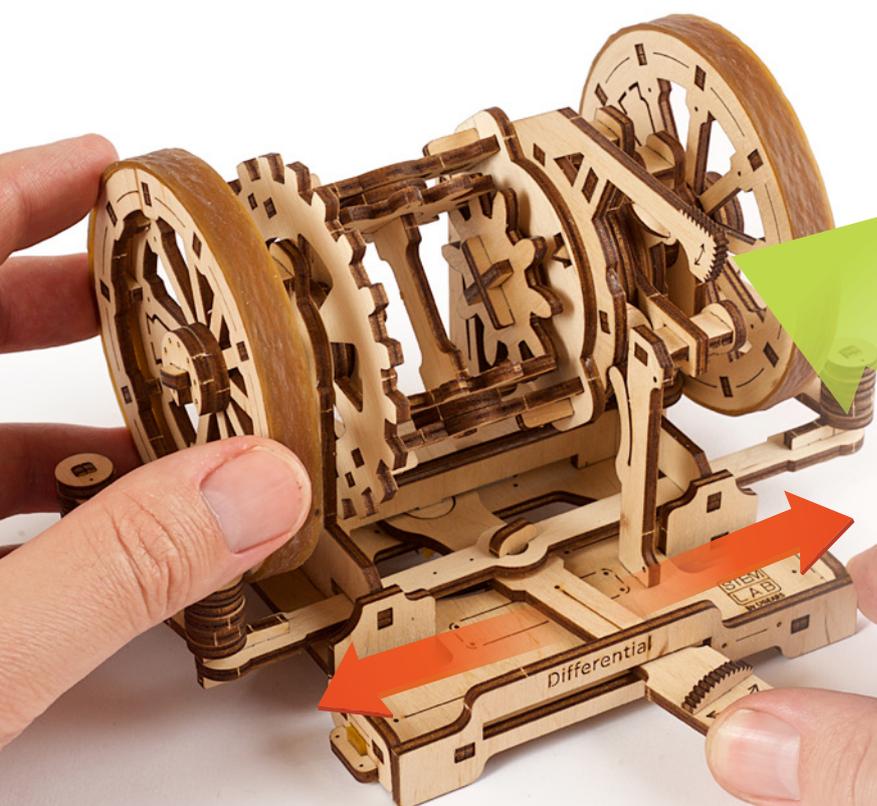
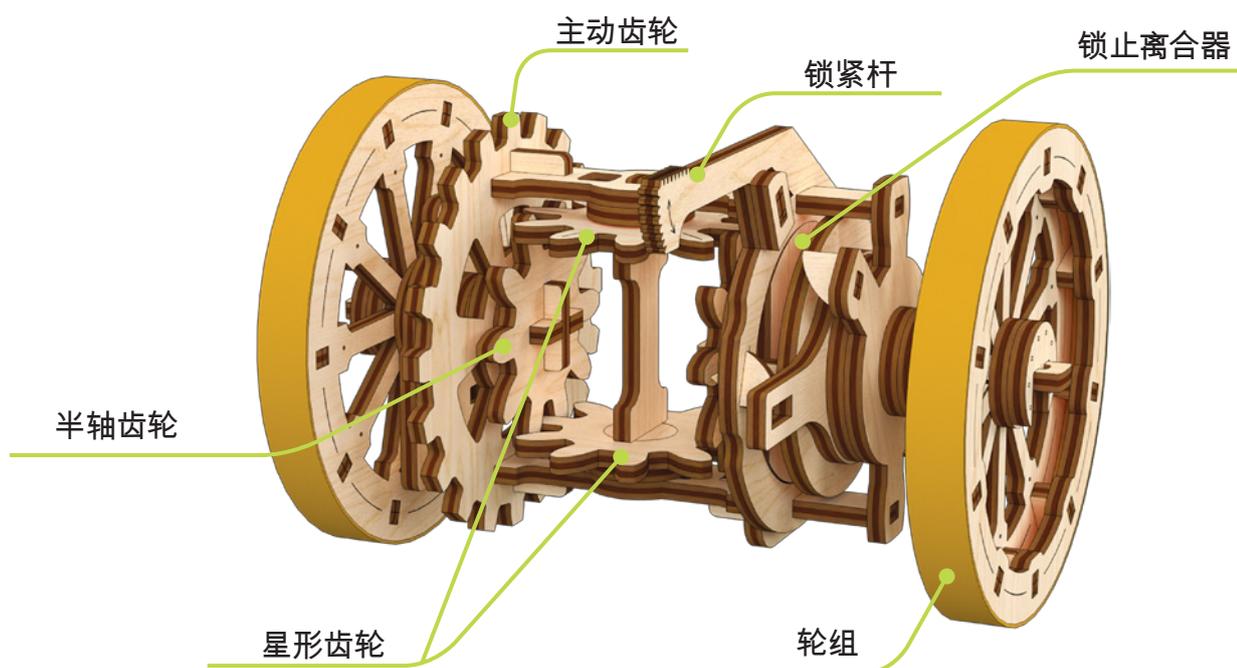
ω_z ——层位相关角速度, 转/秒 (rad/s);

L ——车轮间距, 米

§5 工艺设计及工作原理

差速器力学模型是一种教辅工具，可以通过实例来解释该装置的工作原理。它演示了行星齿轮将载荷从驱动轮分配到半轴中的过程。

我们来考察一下模型的组成部分：



冲力可以传输到其中一个车轮上，也可以被控制杆挡住。该模型全面地展示了汽车各车轮扭矩不同时怎样转弯。



控制杆处于锁定位置时，电机能量将均匀分配在各车轮上。

§6 拓展性实践任务

测量转速、角速度和线速度。

差速器：将发动机扭矩传输给车轮的机械装置，能避免车轮打滑，并辅助变速器工作。

目标：研究转速测量方法；根据差速器速度测量转速，开发逻辑四位、科学技能及空间思维

设备：差速器、秒表、尺子、记事本和钢笔。

实验的理论背景：

本任务旨在用不同的方法测量固定在差速器轴上的转盘的转速，测量结构取决于其移动的线速度。旋转运动以角旋转、旋转速度 ω 、角速度 β 和时间 t 为参数。物体绕轴旋转的各点都有相同的旋转速度 ω 。平均转速为：

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \quad (1)$$

角速度 β 通过单位时间内旋转速度 ω 的变化计算得出。因此，平均角速度公式如下：

$$\beta = \frac{\omega}{t} \quad (2)$$

实验准备：

组装差速器并将其放置在平面上。

实验流程：

任务1求角旋转。

1. 选择车轮边缘上的点。用铅笔做记号。
2. 在平坦的表面上滚动差速器，确定转完一周需要多少时间。
3. 使用公式(1)计算转速。旋转一周 $\Delta \varphi = 2\pi = 2 \cdot 180^\circ = 360^\circ$ 。
4. 以不同的速度转动差速器，重复试验。
5. 比较角旋转和线速度的值。

任务2.求旋转速度。

1. 数一数10秒内所标记的转数。
2. 使用以下公式计算转动频率：

$$v = \frac{N}{t}$$

3. 计算转速 $\omega = 2\pi v$ 。
4. 以不同的速度转动差速器，重复试验。
5. 比较数据。

任务3.求角速度。

1. 使用任务1和任务2(如需要，重复实验)中的数据和公式(2)计算角速度。
2. 比较差速器角速度与线速度的关系。

任务4.求线速度。

1. 用尺子测量车轮半径(车轮边缘标记与其中心点之间的距离)。
2. 使用任务1和任务2(如需要,重复实验)中的数据 and 公式 $v = R \cdot \omega$ 计算线速度。
3. 也可使用以下公式计算向心加速度: $a = \frac{v^2}{R}$ 。



实际转弯半径不是常数;完全稳定的牵引力是不存在的。这就是为什么如果车轮转速相同,车会在转向时打滑,且内轨迹不同于外轨迹。其比率可计算为:

$$L_{in} = L_{ex} \cdot (1 - L \cdot \omega_z \cdot L_{ex})$$

其中:

- L_{in} ——内轨迹,米;
- L_{ex} ——外轨迹,米;
- ω_z ——层位相关角速度,转/秒(rad/s);
- L ——车轮间距,米

任务5.计算卡车车轮转速差和车轮间距差。

假定:车辆内轨迹转弯半径为10米,外转弯半径为11.6米(由于车辆轮距为1.6米)。车轮直径为72厘米。

结论:

在差速器实验过程中,我们学会了测量线速度、转速和角速度。

我们发现:

- 转速取决于线速度。
- 线速度越高,转速就越高。
- 转速和角速度成正比。

考核作业

1. 因首次使用限滑差速器进行实验而闻名的的是：
 - a) 奥奈·基培克
 - b) 费迪南德·保时捷
 - c) 大众
2. 差速器为同轴车轮提供不同转速，以便：
 - a) 降速
 - b) 减少转弯时的打滑
 - c) 增加摩擦。
3. 改进后的差速器设计为：
 - a) 轮系
 - b) 行星齿轮
 - c) 自动变速器
4. 全轮驱动汽车应安装多少个差速器？
 - a) 两个
 - b) 三个
 - c) 六个
5. 什么是差速器？
 - a) 曲轴
 - b) 轴与齿轮
 - c) 驱动器
6. 转速与差速器的线速度有何关系？
 - a) 无关
 - b) 随线速度提高而提高
 - c) 随线速度提高而下降
7. 角速度与差速器的线速度有何关系？
 - a) 成反比
 - b) 成正比
 - c) 无关
8. 差速器的扭矩与驱动器和从动轴之间的速度差成正比，称之为：
 - a) Torsen
 - b) Visco drive
 - c) Quaife
9. 哪些物理单位是差速器的特征？
 - a) 重力、做功、时间
 - b) 旋转力、扭矩、角速度
 - c) 振荡频率、摩擦、线速度
10. 角速度的计量单位为：
 - a) 米/秒 (m/sec)
 - b) 转/秒 (rad/sec)
 - c) 米/转 (m/rad)

恭喜！你成功了！感谢你同我们一起完成了这次冒险。希望你在享受乐趣的同时，能从中学到一点东西！