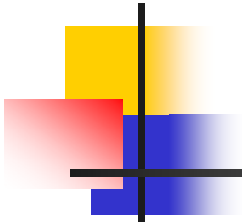


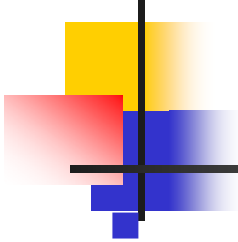
车辆防抱死制动系统





目录

1. 概述
2. ABS的理论基础
3. ABS的构造与工作原理
4. ABS的控制技术
5. 典型ABS举例



防抱死制动系统及其功能

简称：ABS (Antilock Braking System)

- 车辆制动效果的评价指标

- 制动距离短：车轮与路面之间的制动力尽可能大
- 制动跑偏、侧滑和失去转向能力：车辆与路面之间的侧向力越大越好

- 车轮抱死的危害

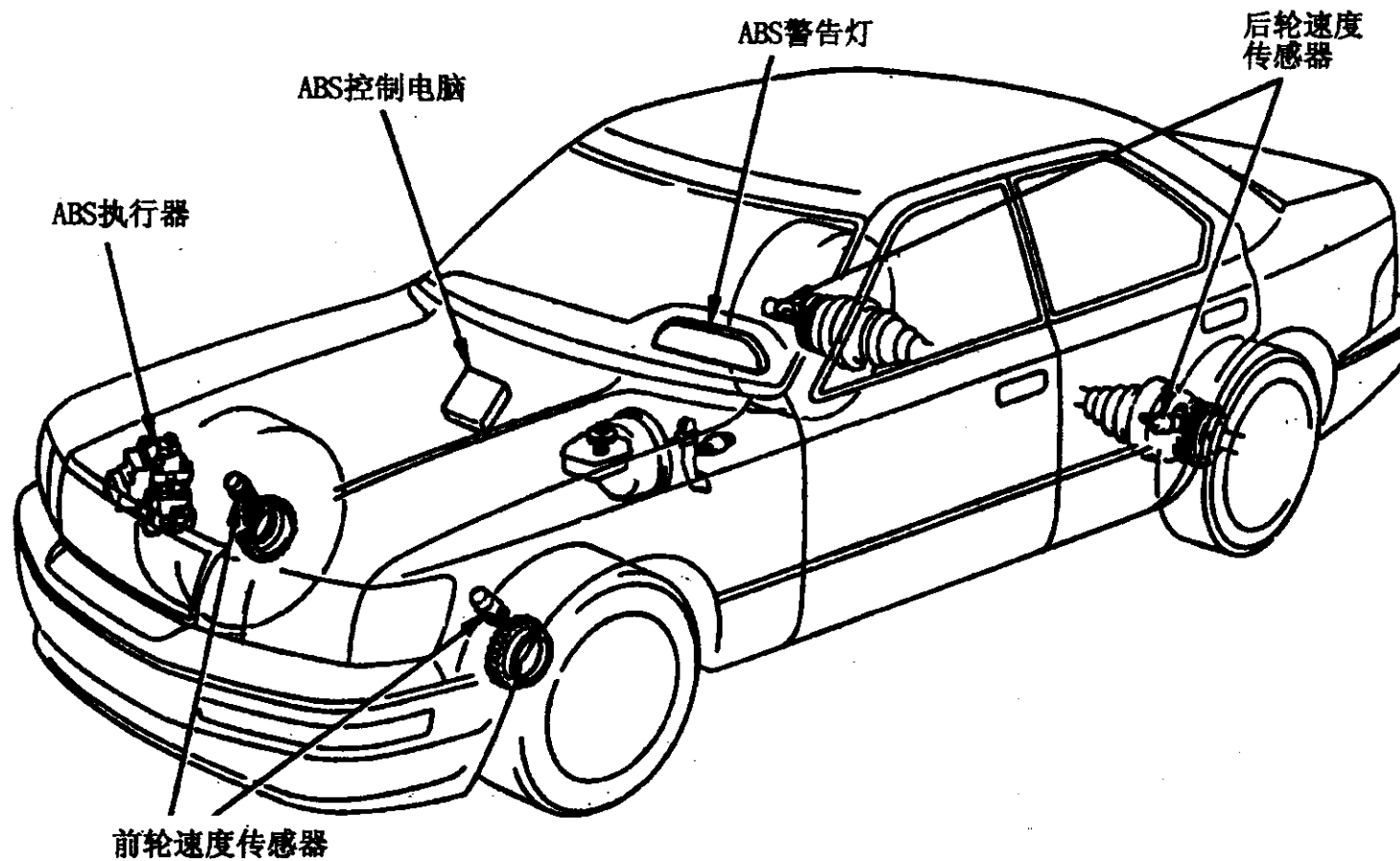
- 路面制动力减小
- 侧向力减小

不带ABS的车
辆行驶表现

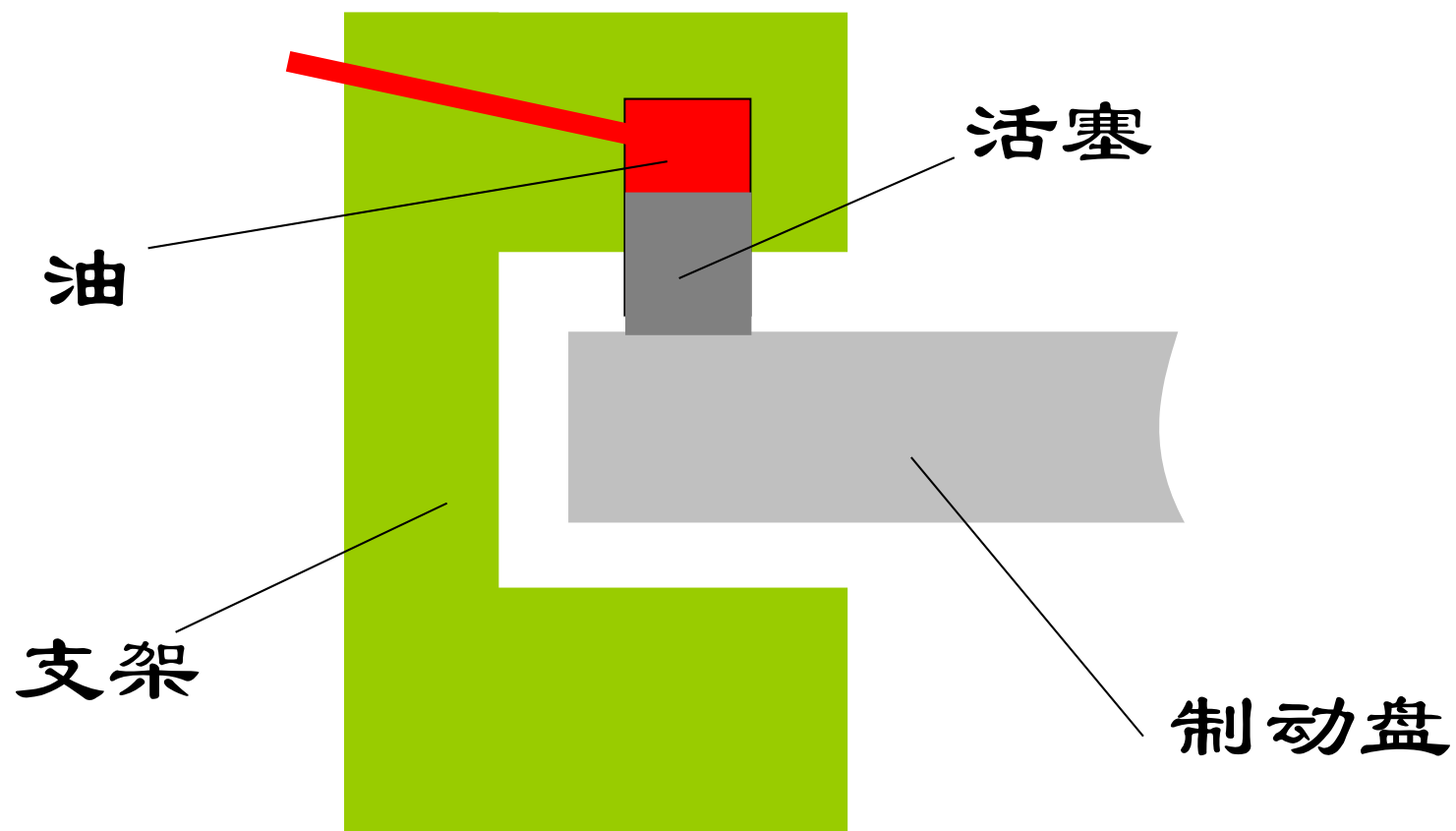
带ABS的车
辆行驶表现

- 防抱死制动系统的功能：防止车轮抱死

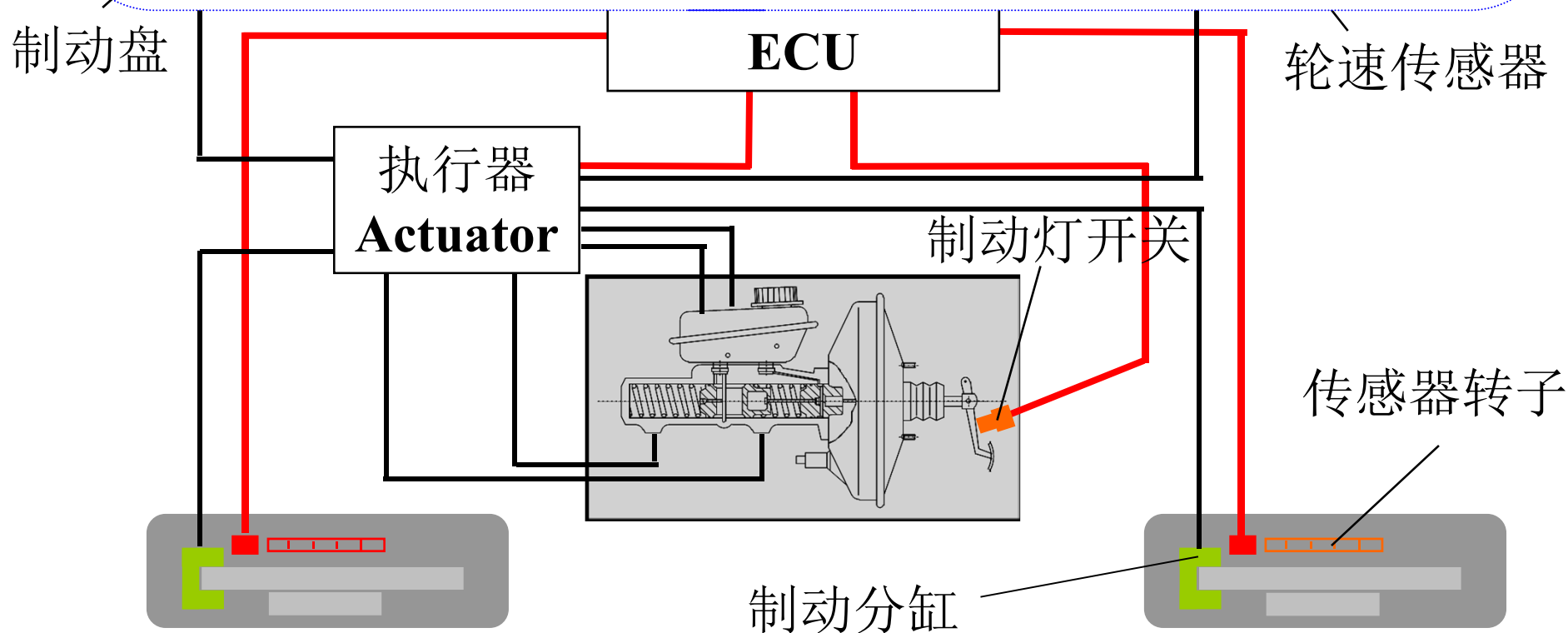
ABS在车辆上的安装

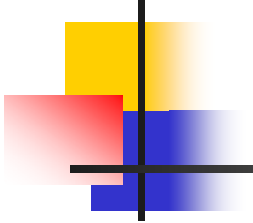


液压制动原理简介



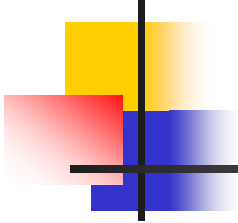
轮速传感器安装在汽车驱动轮上，连续不断地测取车轮的转速，并将这些信号传递给**ABS ECU**，电子控制单元将检测到的转速信号处理后与预先存储在电子控制单元中的参考值进行比较，如果车轮的角减速度急剧增大，表明该车轮即将抱死，**ABS ECU**指示执行器降低该车轮制动轮缸的制动液压，车轮开始转动，当传感器的信号表明车轮又正常转动时，**ABS ECU**又发出指令升高车轮制动轮缸的制动液压，而执行器则根据电子控制单元的指令“降低”、“增大”或“保持”各车轮制动轮缸的制动液压，从而以脉冲形式（每秒约**4~10**次）进行制动压力的调节，将车轮的滑移率始终控制在最佳滑移率范围内，从而保证在制动过程中车轮与路面之间的地面制动力和侧向力最大，缩短制动距离，最大限度地保证制动时车轮的稳定性，提高安全性。





ABS的发展(1)

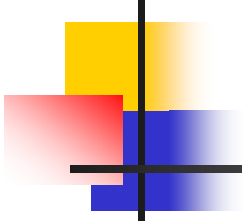
- 1932: 英国专利“**制动时防止车轮压紧转动车轮的安全装置**”；
- 1936: 德国Bosch将**电磁传感器**用于测量车轮的转速；
- 1978: 德国Bosch将**微处理器**引入ABS控制；
- 估计: 本世纪初，全世界汽车ABS装备的比率将达到**90%以上**。



ABS的发展(2)

汽车ABS仍需进一步提高系统的技术性能，提高系统元器件的可靠性，其发展趋势为：

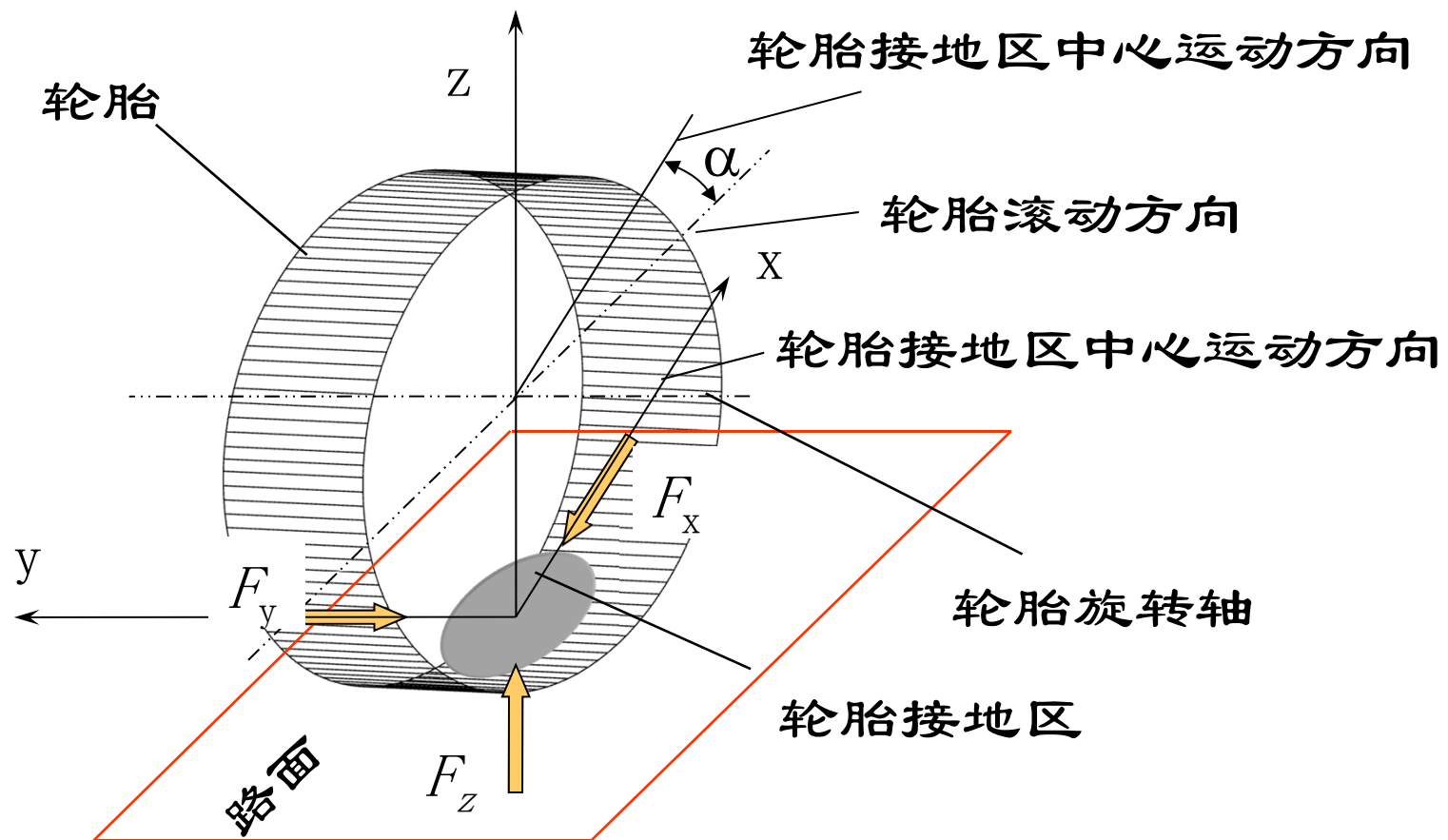
- 1. **ABS/ASR一体化**：ASR是驱动力防滑转系统的英文缩写，全称为Anti-Slip Regulation。有时也称为驱动力控制系统，全称为Traction Control System，简称为TRC。ASR也是典型的机电一体化控制系统，其作用是在汽车的启动和加速过程中，控制传递到驱动轮上的驱动力矩，防止车轮空转，从而使启动和加速过程快速而稳定。由于ASR与ABS所需的工作部件和控制原理等有许多相近的地方，ABS制造公司常将二者集成为一体，实现信息与资源的共享；
- 2. **减小体积，降低重量**：现代汽车装备的辅助装置越来越多，一方面汽车的重量随之增加，能耗与运行成本也相应地增加，另一方面，可供这些装置布置的空间受到限制，因此，减小ABS的体积，降低系统的总重量一直是ABS生产公司追求的目标；
- 3. **基于CAN总线的多控制系统集成网络控制**：由于汽车上采用的机电一体化控制装置越来越多，每个系统都有自己的ECU和传感器，装置和信息不能共享。采用基于CAN总线的多控制系统集成网络控制，将ABS与其它系统集成控制，可以节约成本，提高控制效率。

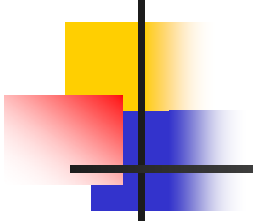


2、ABS的理论基础

- 制动过程中车轮的受力及运动分析
- 制动力系数与侧向力系数曲线
- 最佳滑移率范围

轮胎坐标系





制动力系数/侧向力系数

$$F_x = f_x F_z$$

$$F_y = f_y F_z$$

F_x : 沿 X 轴方向的分力, 称为地面制动力, 又称纵向力;

F_y : 沿 Y 轴方向的分力, 称为侧向力, 或称横向力;

F_z : 沿 Z 轴方向的分力, 称为法向反作用力;

f_x : 称为制动力系数;

f_y : 称为侧向力系数。

制动滑移率：

描述制动过程中的滑移程度

$$S = \frac{V - V_R}{V}$$

S — 制动滑移率

V — 车辆行驶速度

V_R — 车轮滚动速度

r — 车轮滚动半径

ω — 车轮角速度

显然，车轮作纯滚动时，车轮实际行驶速度与车轮滚动的圆周速度相等，即 $V = V_R$ ，制动滑移率为0；车轮作纯滑动，即车轮抱死时，车轮的圆周速度为零，即 $V_R = 0$ ，制动滑移率为1；车轮既滚动又滑动时，制动滑移率在0~1之间。可见制动滑移率描述了制动过程中车轮滑移的程度，滑移率值越大，表明滑移越严重。

以上讨论的是汽车在直线路面上行驶的情形。当汽车转向或行驶在弯曲的道路上时，由于惯性等因素的作用，车轮受到侧向力的作用。此时车轮的滚动方向与汽车的行驶方向不一致，两者之间的夹角称为侧偏角。有侧偏角时的车轮滑移率定义如下：

有侧偏角时的车轮滑移率

■ α — 侧偏角：车轮滚动方向与车辆的行驶方向之间的夹角

■ 绝对滑移率

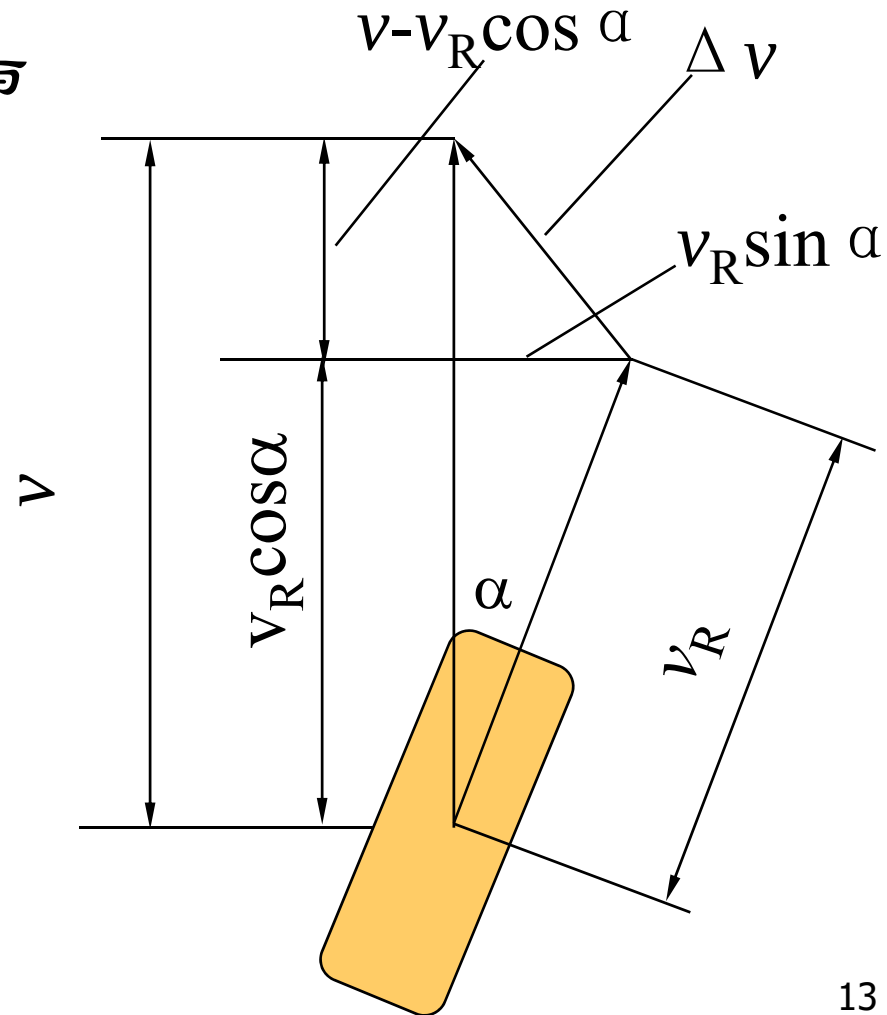
$$S_a = \frac{V - V_R}{V}$$

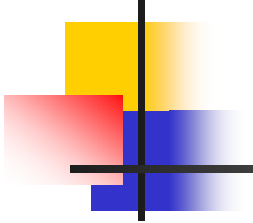
■ 纵向滑移率

$$S_{bx} = \frac{V - V_R \cos \alpha}{V}$$

■ 侧向滑移率

$$S_{by} = \frac{V_R \sin \alpha}{V}$$



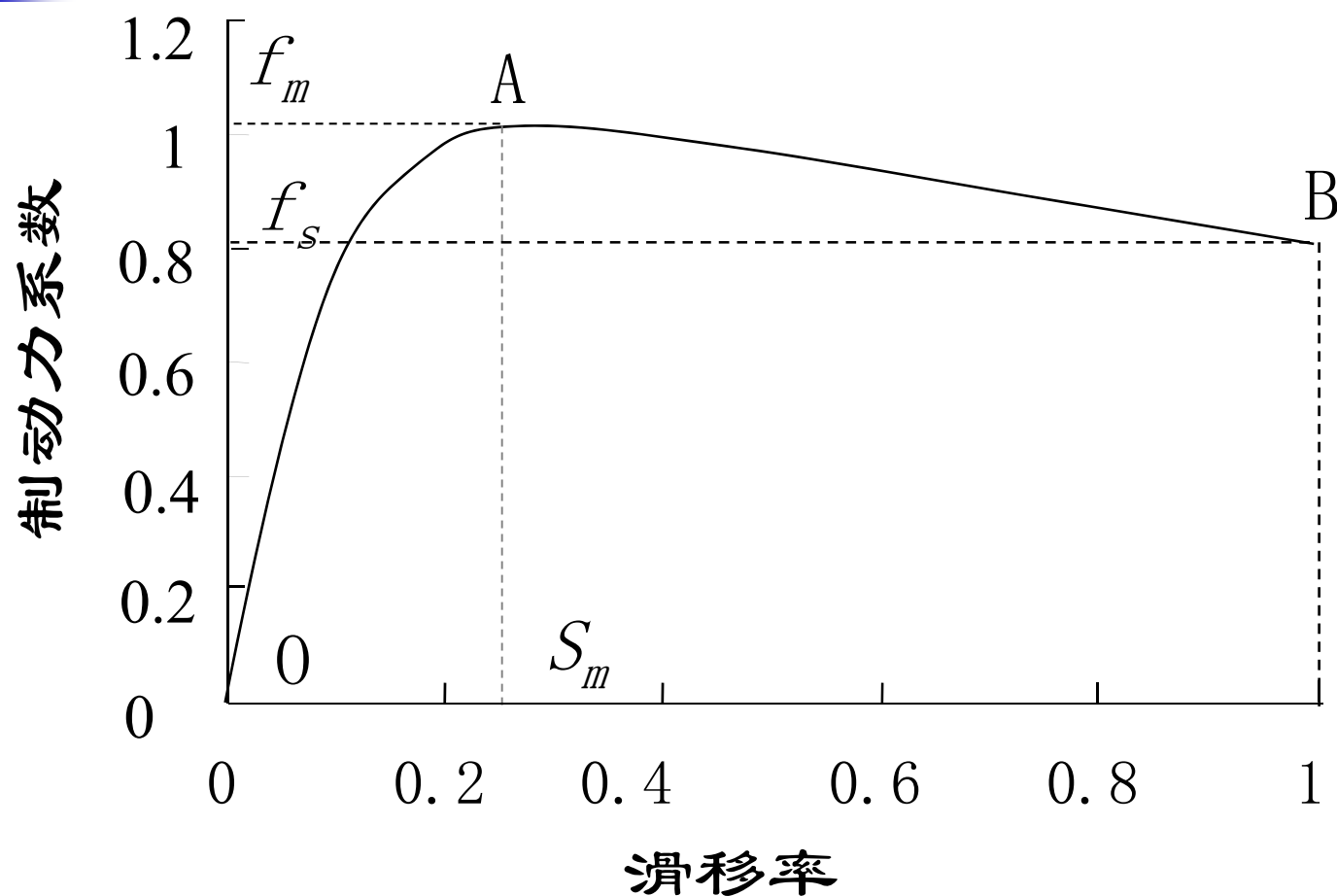


制动滑移率 与车轮运动状态的关系

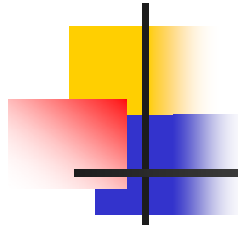
- $S = 0$ 纯滚动
- $0 < S < 1$ 边滚动边滑动
- $S = 1$ 纯滑动
- 结论：滑移率描述了制动过程中车轮滑移的程度，滑移率值越大，表明滑移越严重。

制动时轮胎与路面之间的制动力系数与滑移率有着密切的关系，这种函数关系通常用滑移率—制动力系数特性曲线来描述

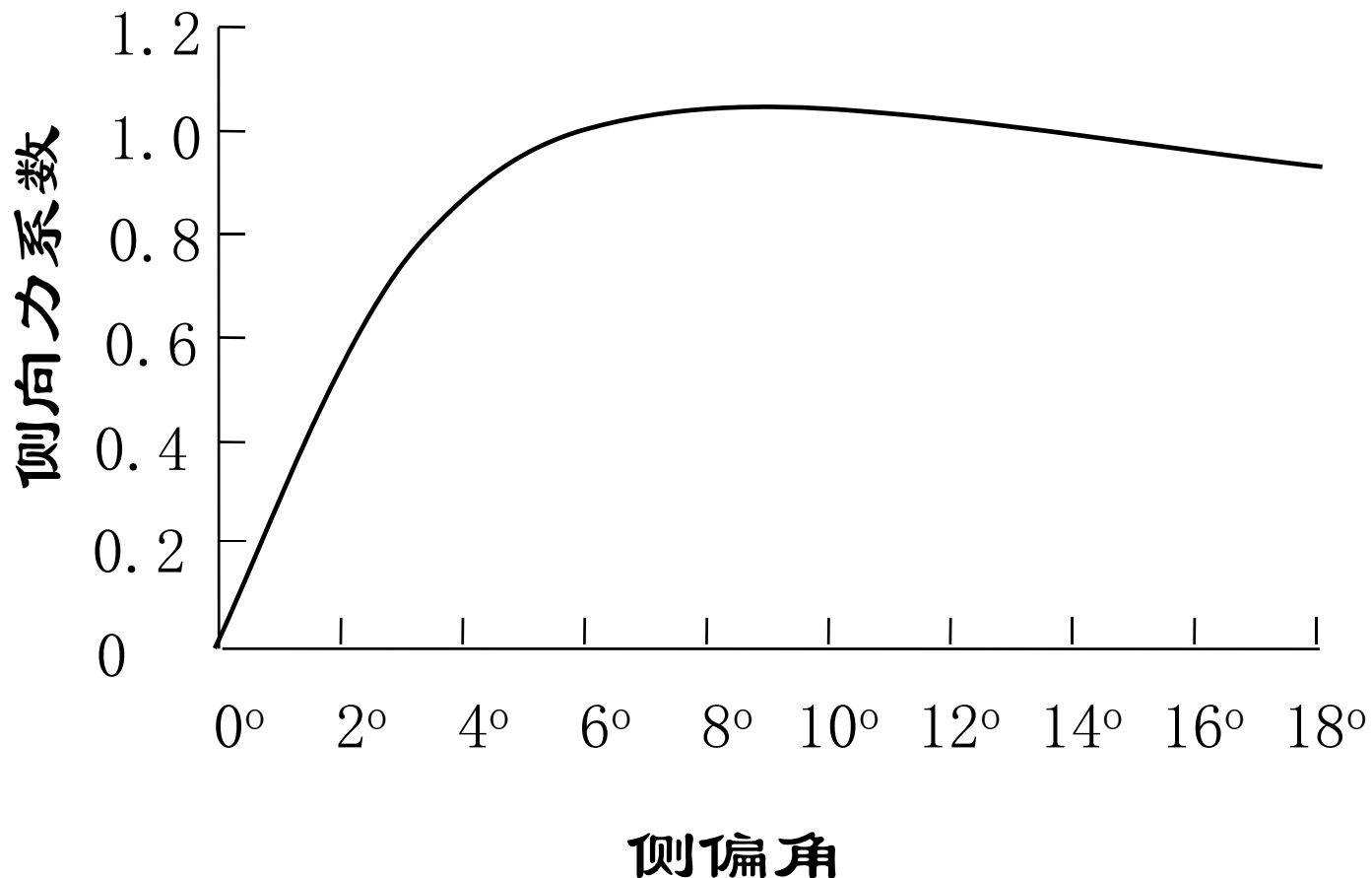
制动力系数特性曲线



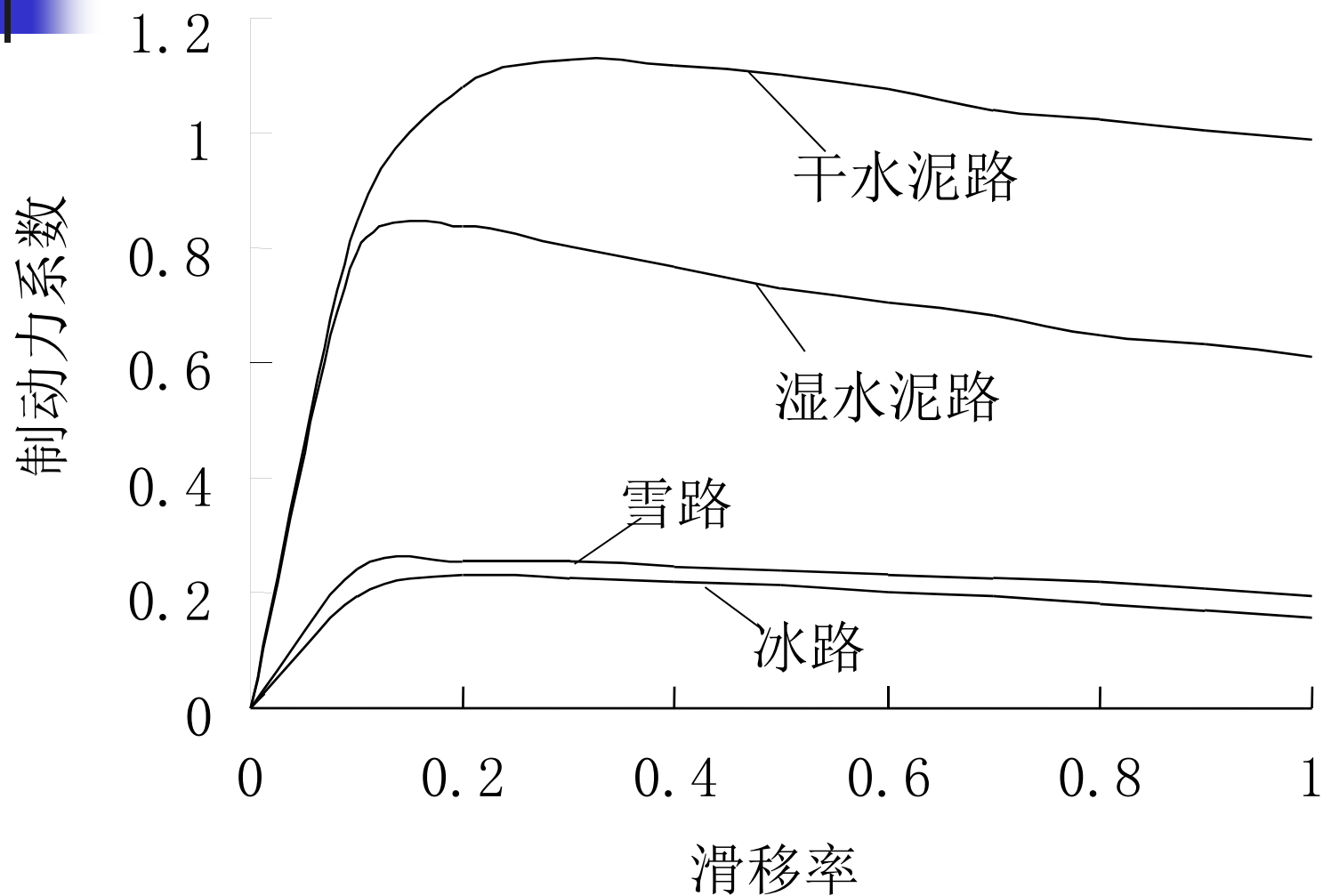
侧向力系数特性曲线



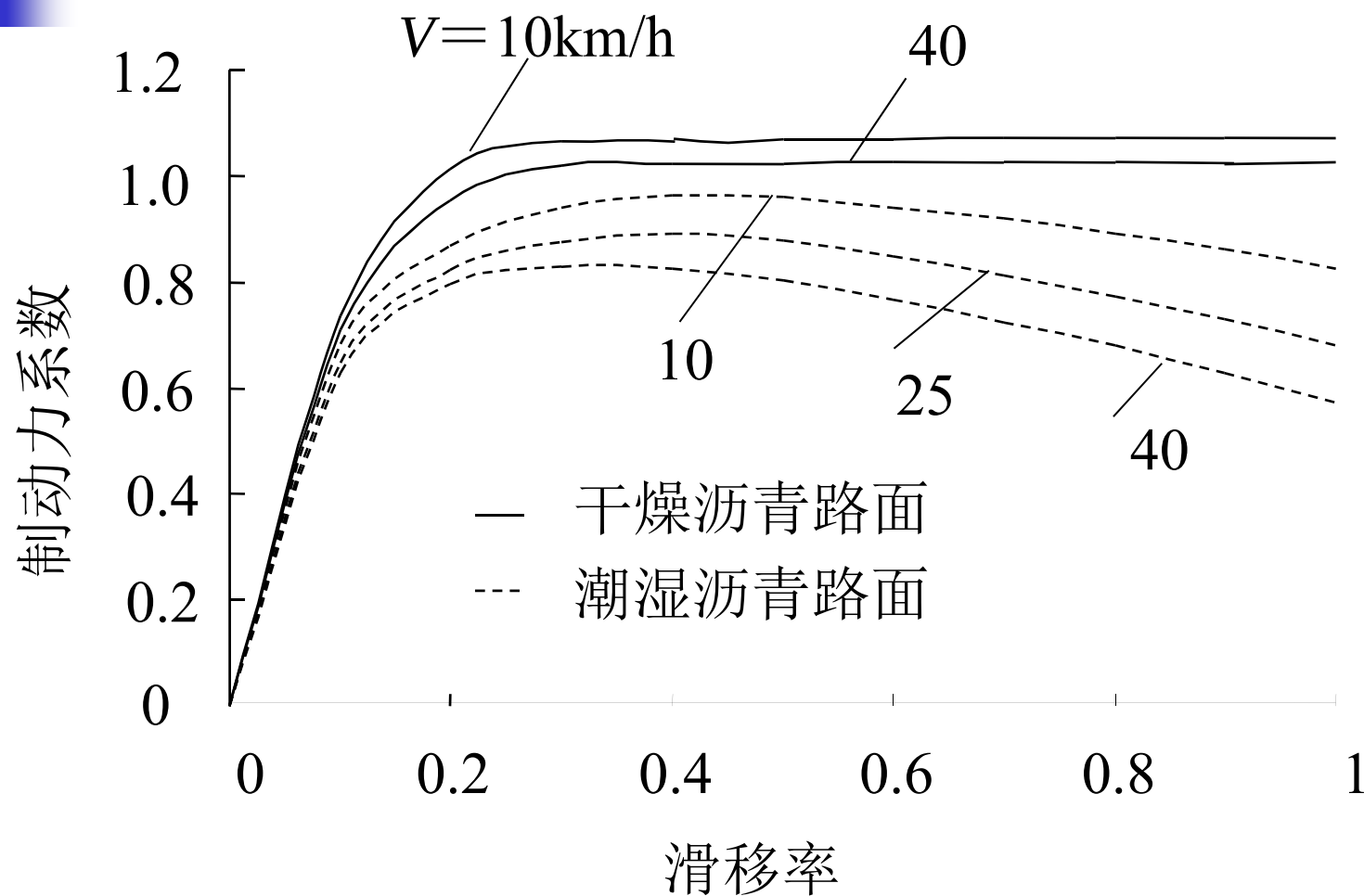
由图可知，当侧偏角不超过 5° 时，侧向附着系数随着侧偏角的增大近似线性地增大；当侧偏角范围达到 $5^\circ \sim 10^\circ$ 时，侧向力系数继续增大并达到最大值；当侧偏角再增大时，侧向力系数反而有所下降。



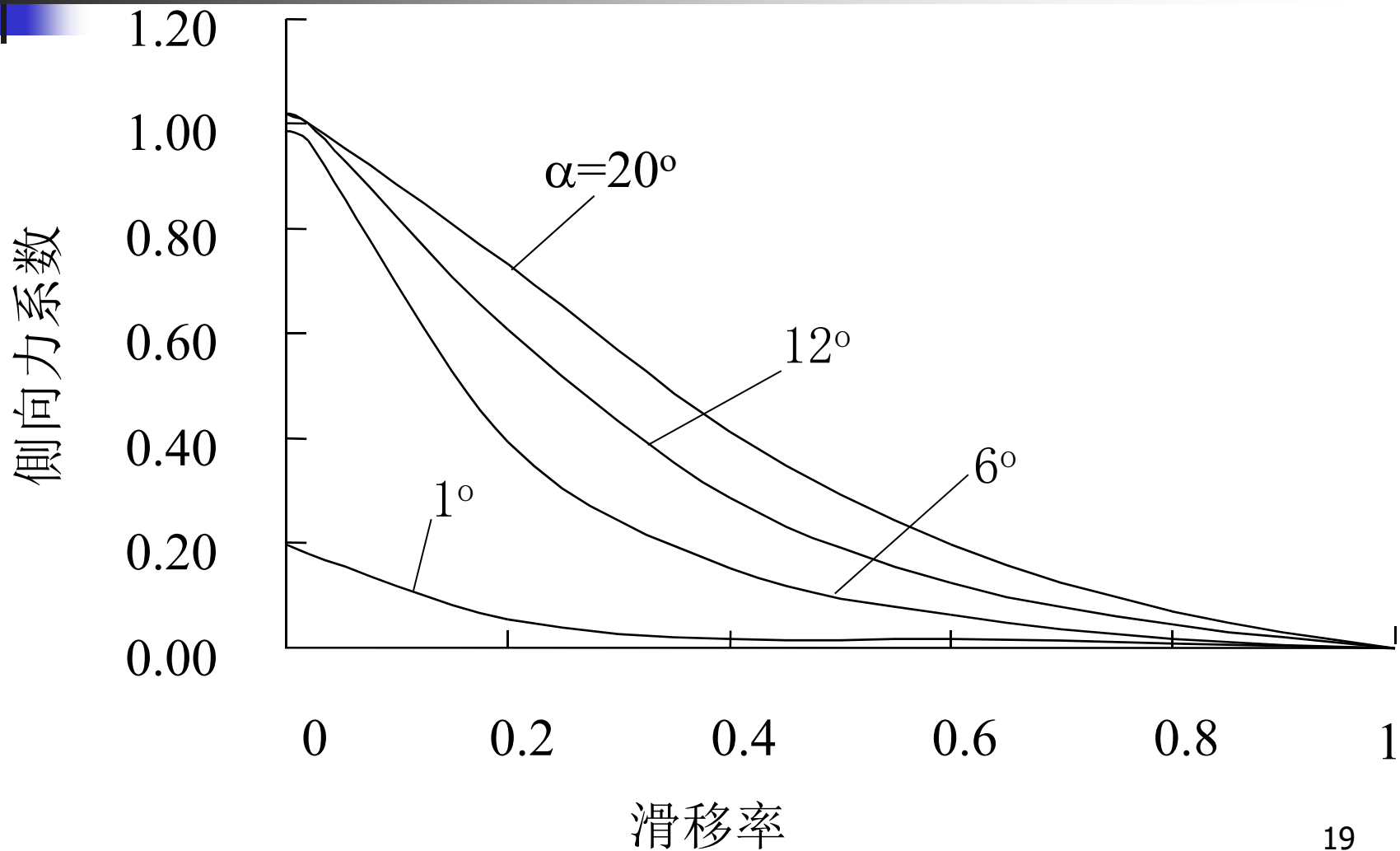
路面对制动力系数特性曲线的影响



制动力系数特性曲线与车速的关系

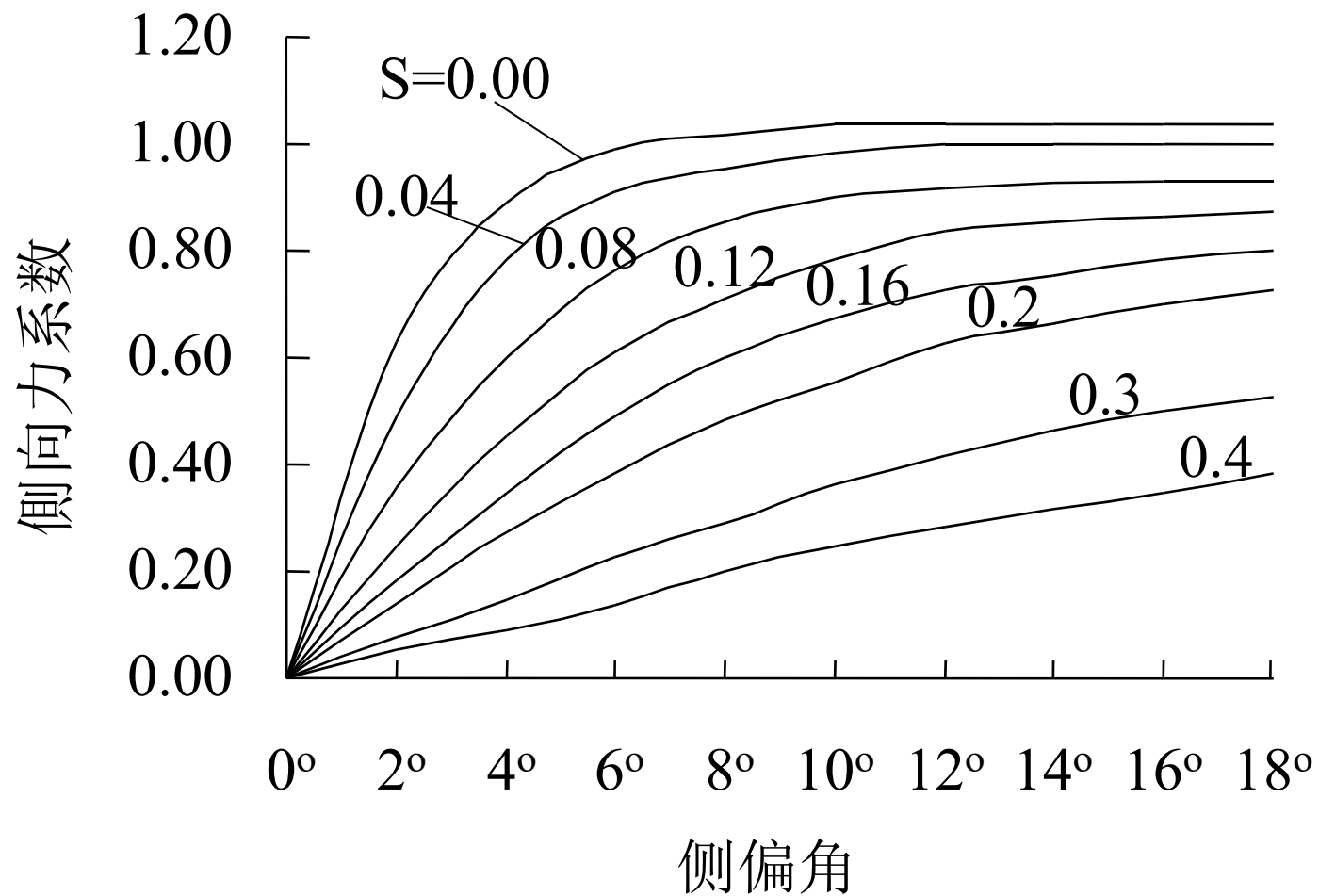


不同侧偏角时 侧向力系数随滑移率变化的曲线

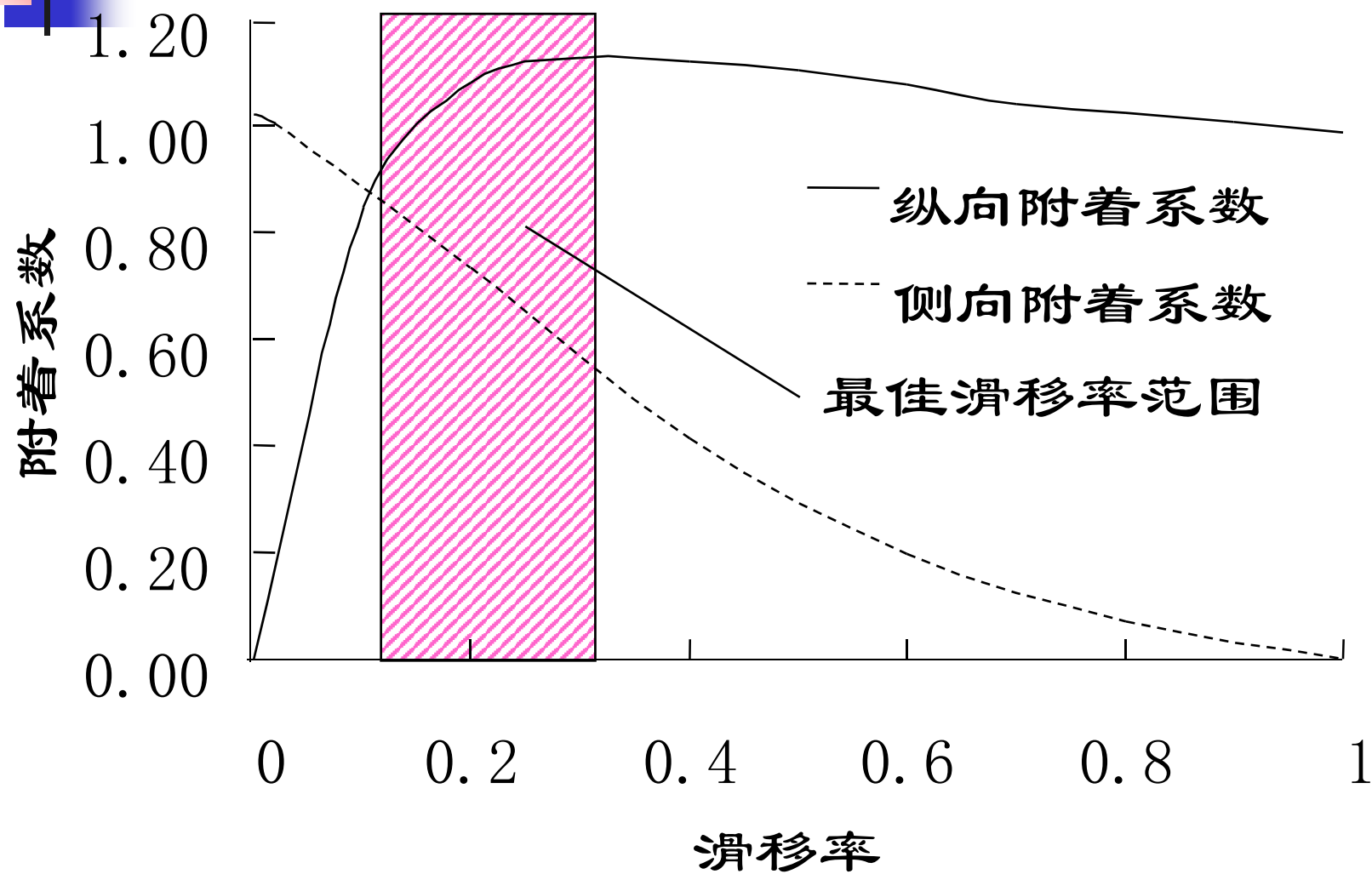


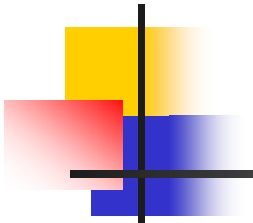
不同滑移率时

侧向力系数随侧偏角变化的曲线



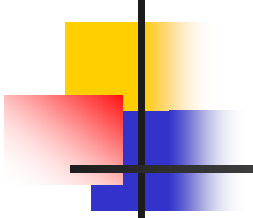
最佳滑移率范围





小 结

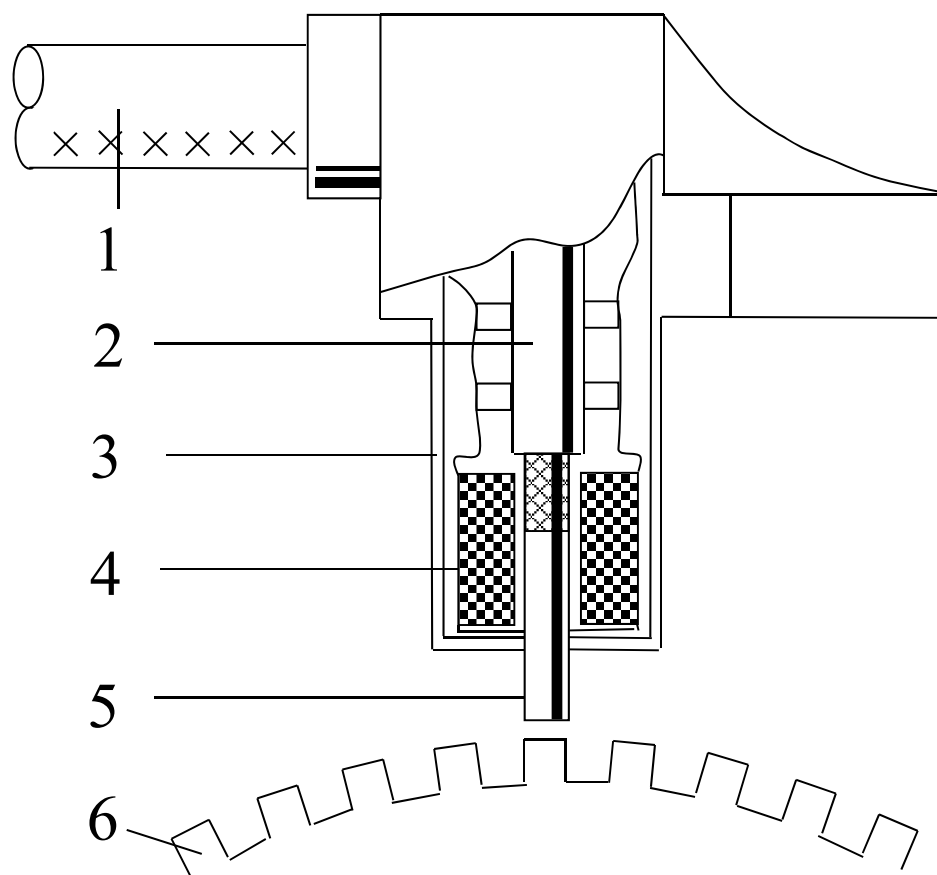
- 车辆的制动性能与轮胎的附着性能密切相关；
- 轮胎的附着性能与轮胎的滑移率密切相关；
- 附着力—滑移率特性曲线与路况、行驶工况密切相关；
- 最佳滑移率范围：0.1—0.3；
- 制动时的最差状况：轮胎抱死。



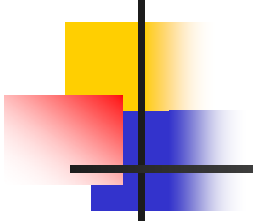
3、ABS的构造与工作原理

- 轮速传感器
- ABS执行器
- 制动液压系统
- 电子控制单元ECU

轮速传感器：构造



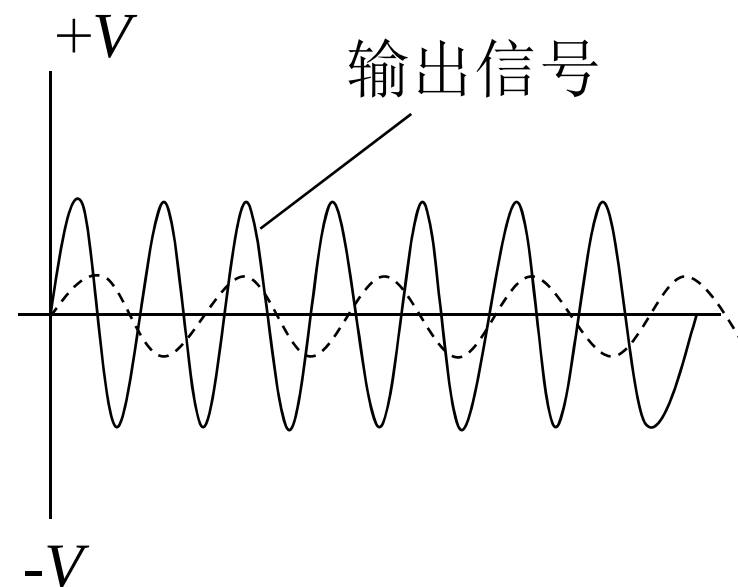
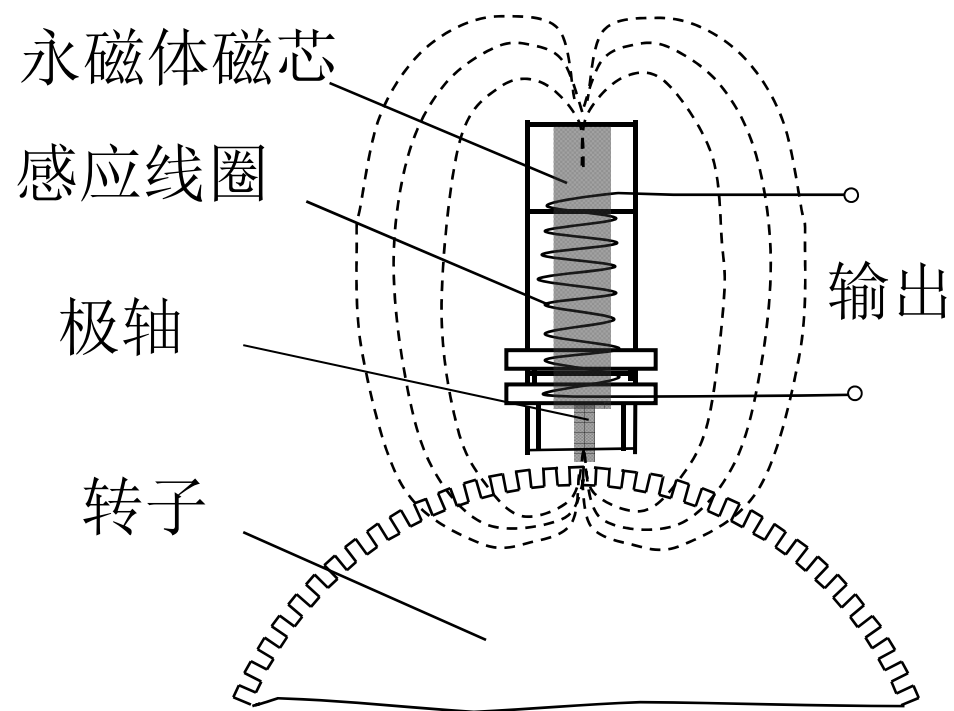
- 1、导线
- 2、永久磁铁
- 3、壳体
- 4、线圈
- 5、极轴
- 6、转子



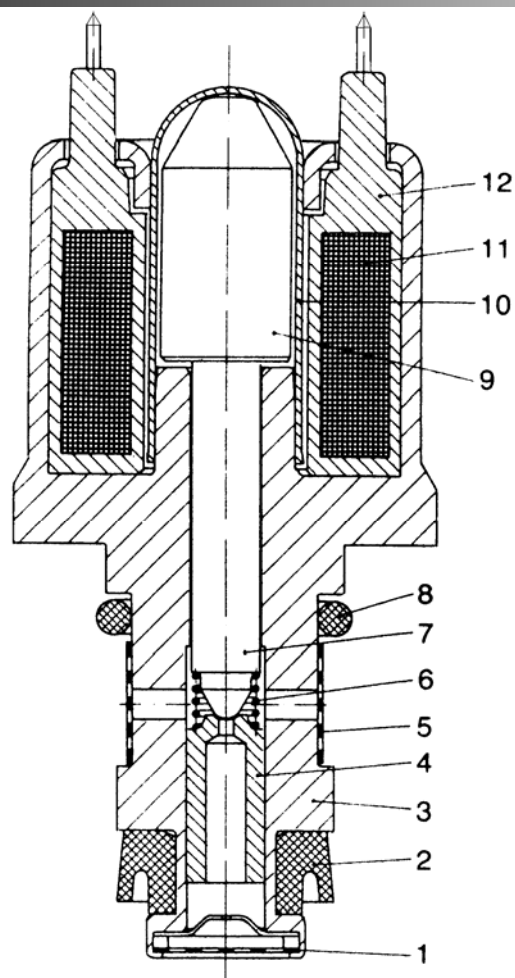
轮速传感器的安装

- **转子**：转子是一个带齿的圆环，由磁阻较小的铁磁性材料制成，**随车轮一起转动的部件上，如半轴、轮毂或制动盘等，与车轮同步转动；**
- **传感头**：传感头根据极轴形状的不同可以分为凿式、菱式和柱式极轴轮速传感头等，其内部结构基本相同，主要由永磁体磁芯、传感线圈和极轴等组成。传感头直接安装在**车轮附近不随车轮转动的部件上，如半轴套管、转向节、制动底板等。**

轮速传感器：工作原理

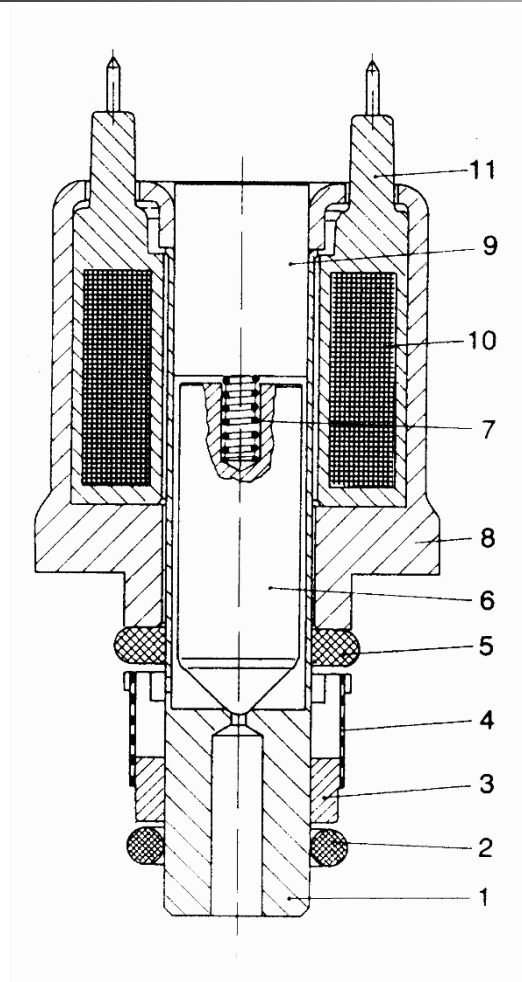


ABS执行器：2位2通进油阀构造



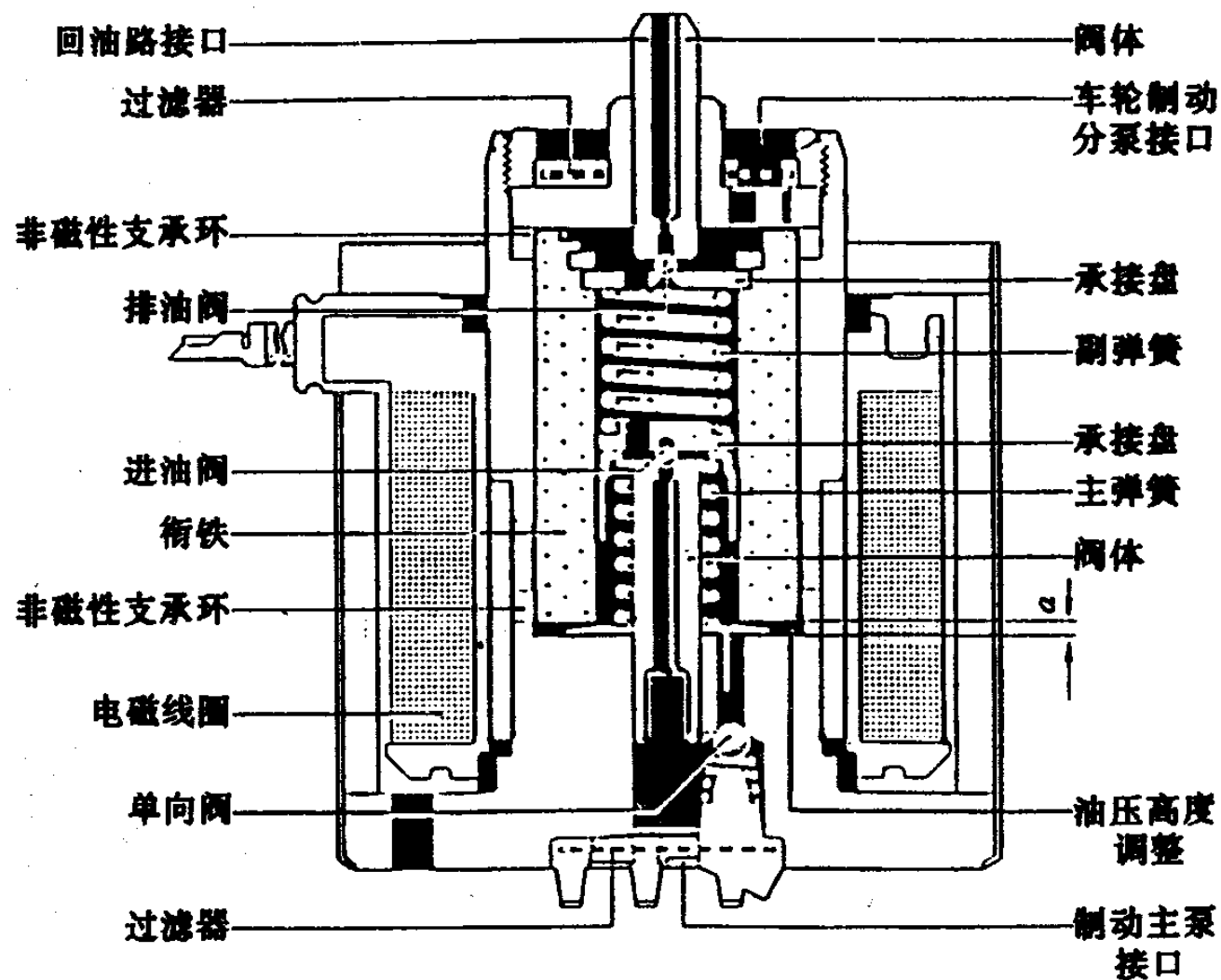
- 1、进油管滤清器
- 2、密封圈
- 3、阀体
- 4、阀座
- 5、滤清器
- 6、弹簧
- 7、阀芯
- 8、O形环
- 9、衔铁
- 10、密封盖
- 11、线圈
- 12、线圈架

ABS执行器：2位2通出油阀构造

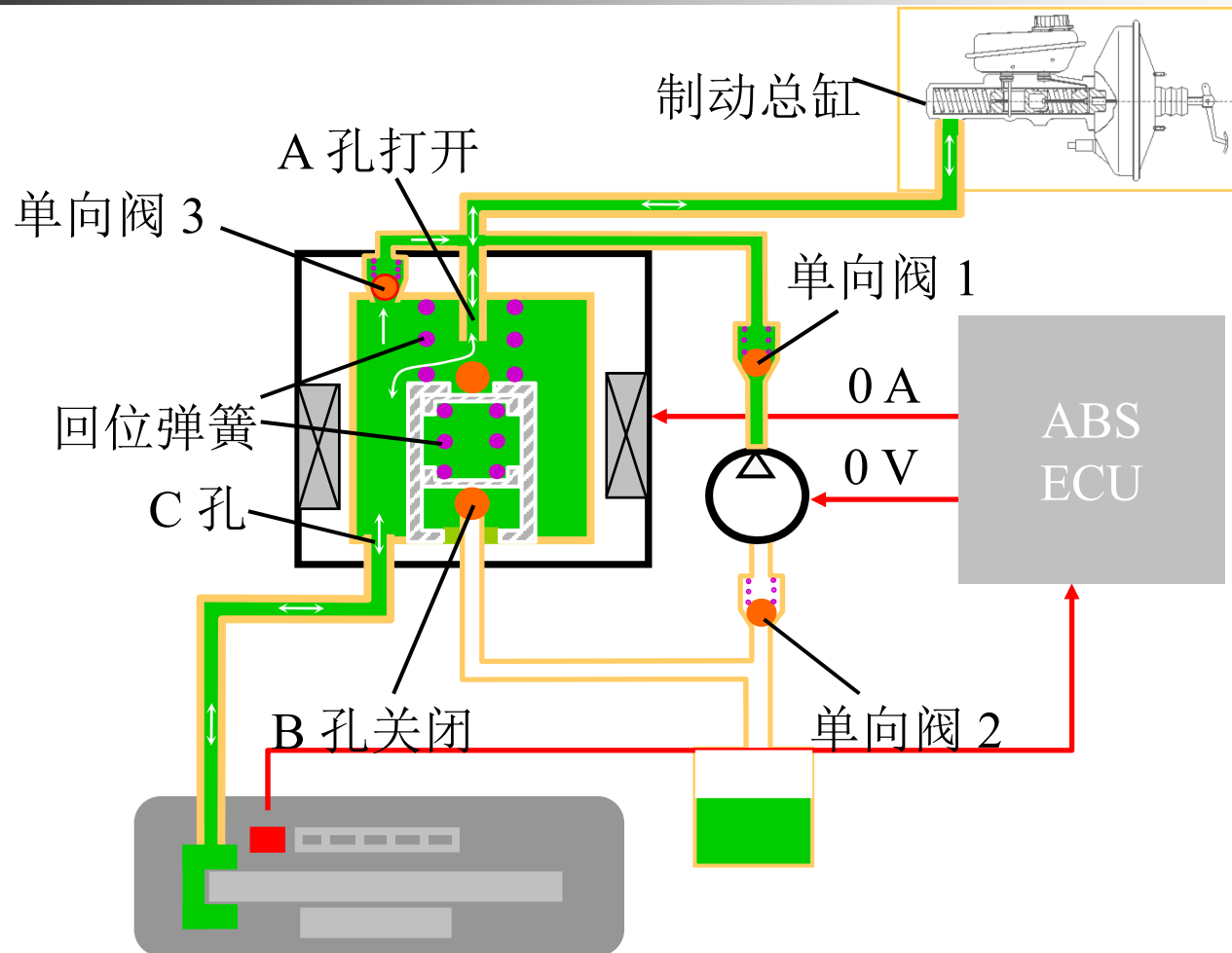


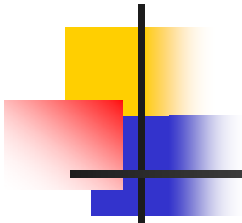
1. 阀座
2. O形环
3. 滤清支撑体
4. 滤清器
5. 密封圈
6. 阀芯
7. 弹簧
8. 阀体
9. 衔铁
10. 线圈
11. 线圈架

ABS执行器：3位3通电磁阀构造



ABS执行器：常规制动时的工作示意图

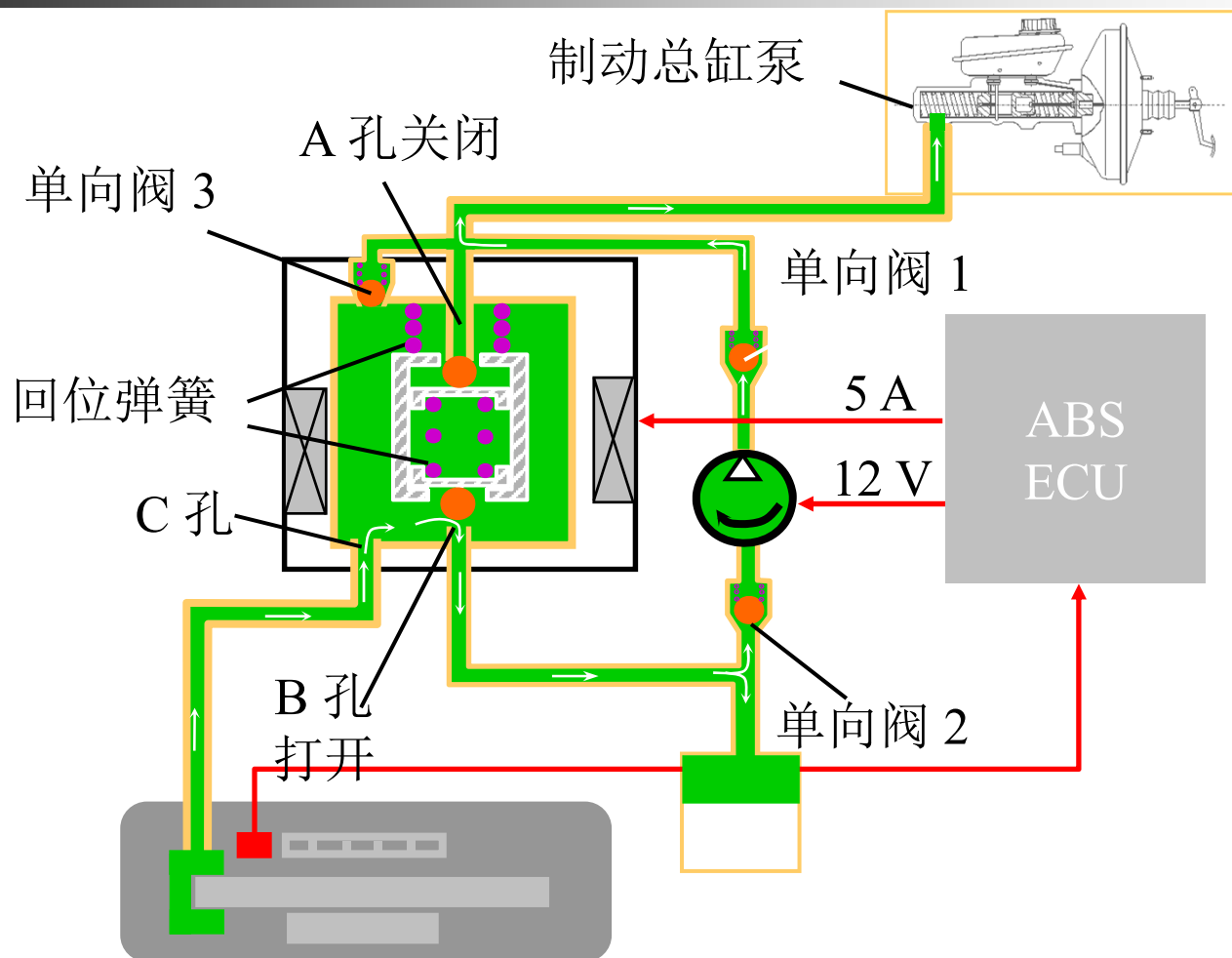


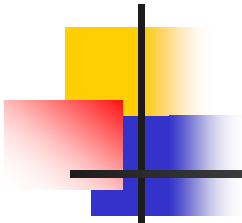


ABS执行器：常规制动时的 3位电磁阀和泵电机工作状态

部 件 名	工 作 状 态
3 位 电 磁 阀	“A”口打开
	“B”口关闭
泵 电 机	不 运 转

ABS执行器： 压力降低时的工作示意图

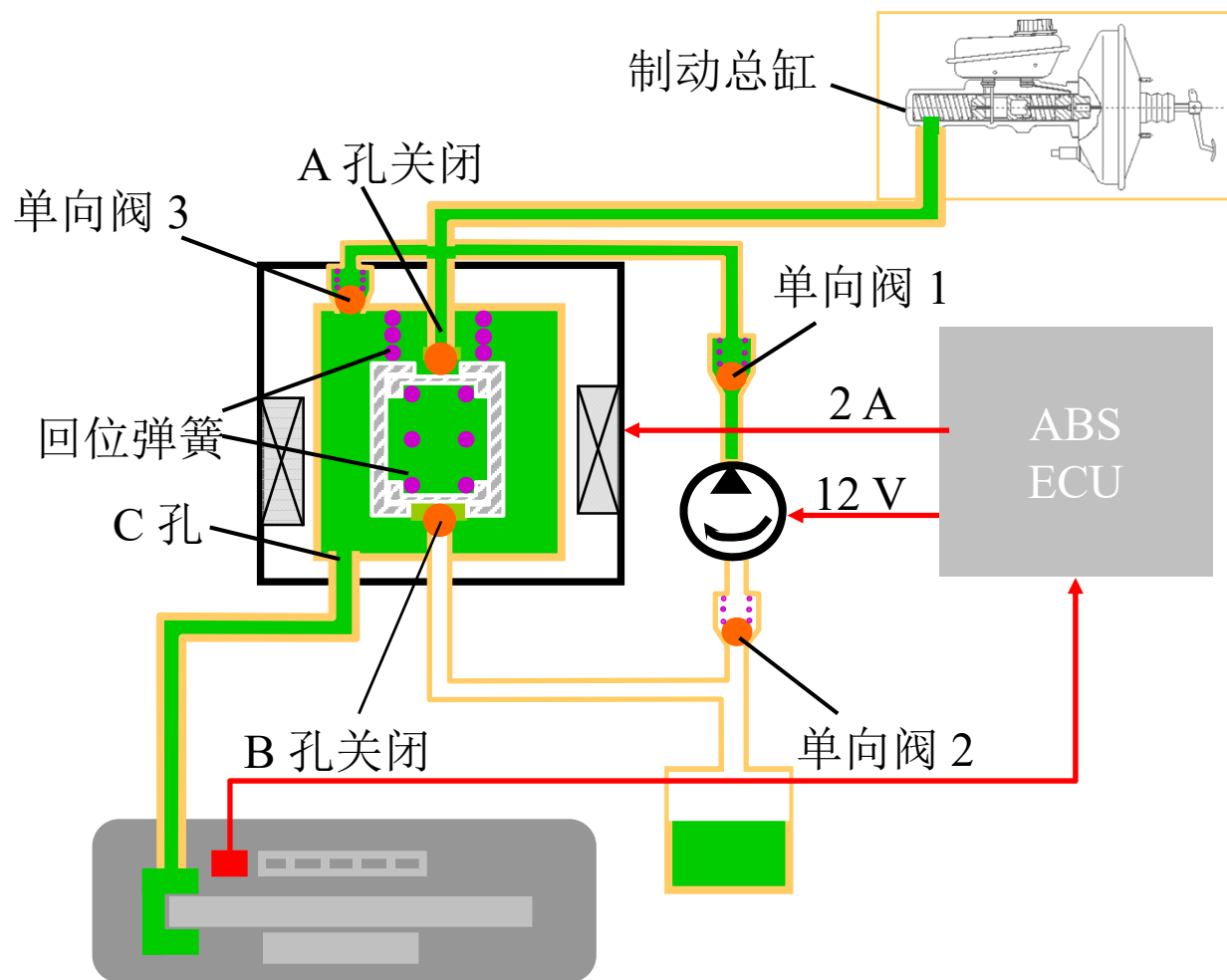


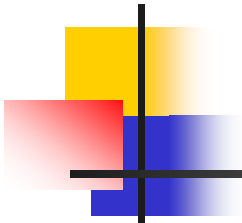


ABS执行器:压力降低时的 3位电磁阀和泵电机的工作状态

部 件 名	工 作 状 态
3 位 电 磁 阀	“A”口关闭
	“B”口打开
泵 电 机	运 转

ABS执行器：压力保持时的工作示意图

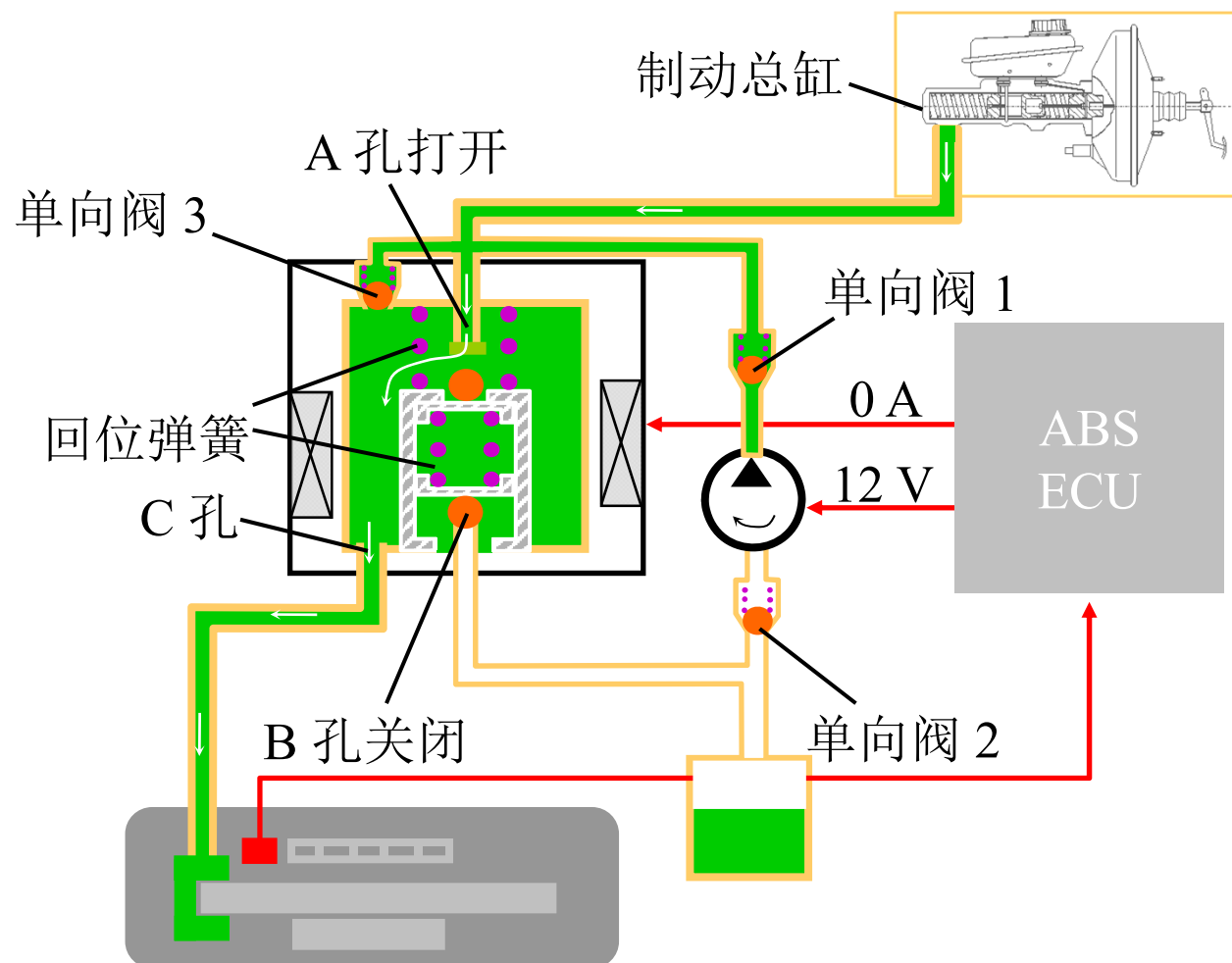


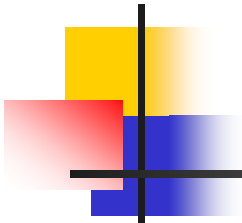


ABS执行器：压力保持时的3位电磁阀和泵电机的工作状态

部 件 名	工 作 状 态
3 位 电 磁 阀	“A”口关闭
	“B”口关闭
泵 电 机	运 转

ABS执行器：压力升高时的 工作示意图

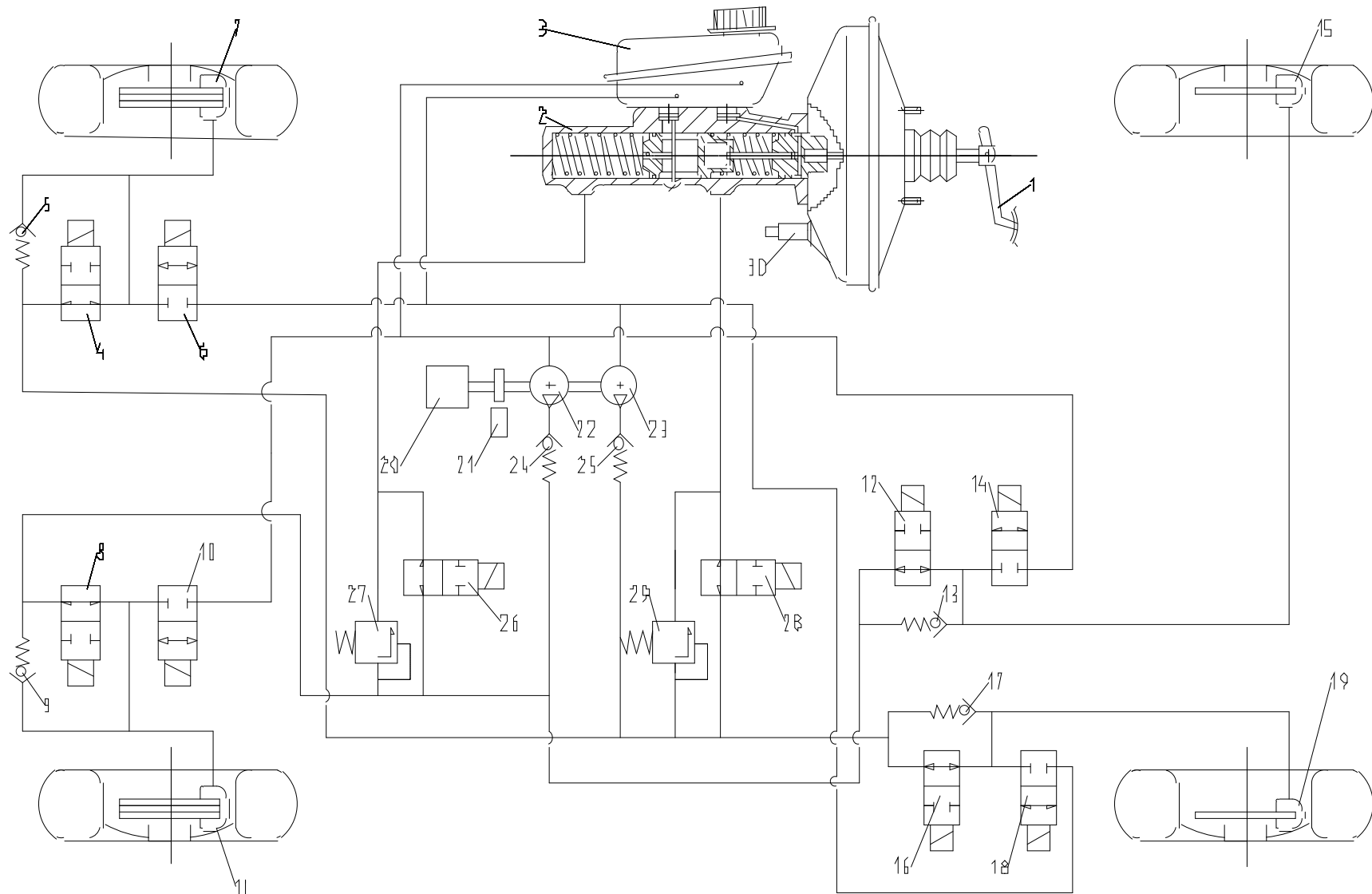




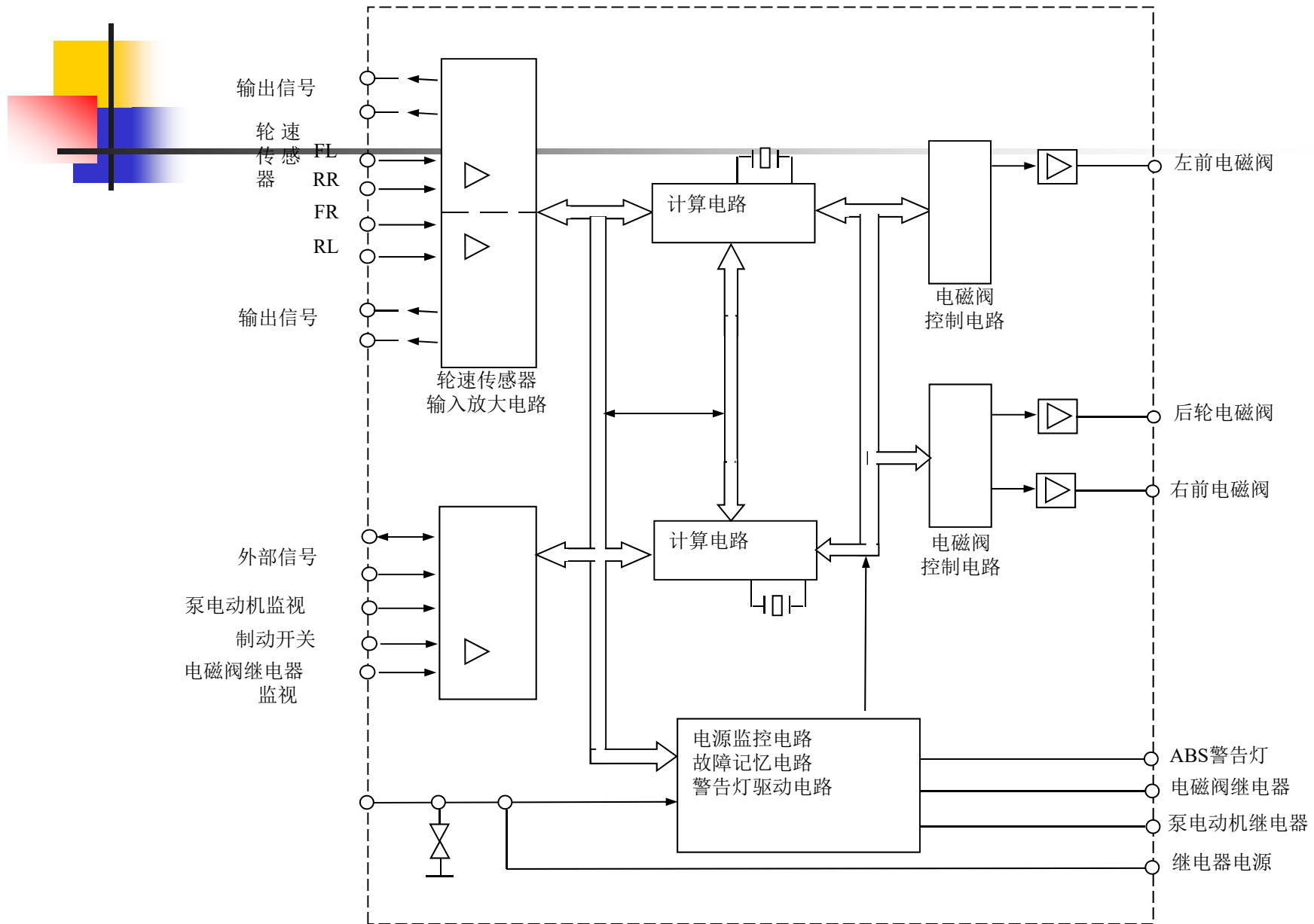
ABS执行器：压力升高时的3位电磁阀和泵电机的工作状态

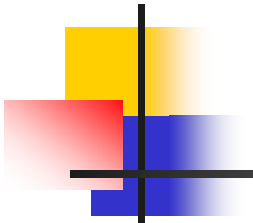
部 件 名	工 作 状 态
3 位 电 磁 阀	“A”口打开
	“B”口关闭
泵 电 机	运 转

制动液压系统



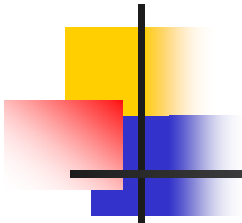
电子控制单元ECU





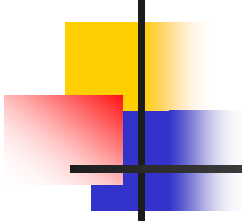
小 结

- **ABS的三大组成部分：转速传感器、执行器和控制器ECU；**
- **转速传感器的工作原理：电磁感应；**
- **ABS执行器的三大组成部分：电磁阀、泵电机和低压储液器；**
- **ABS控制器；**
- **ABS是附加在液压制动系统上的辅助控制系统。**



4、ABS的控制技术

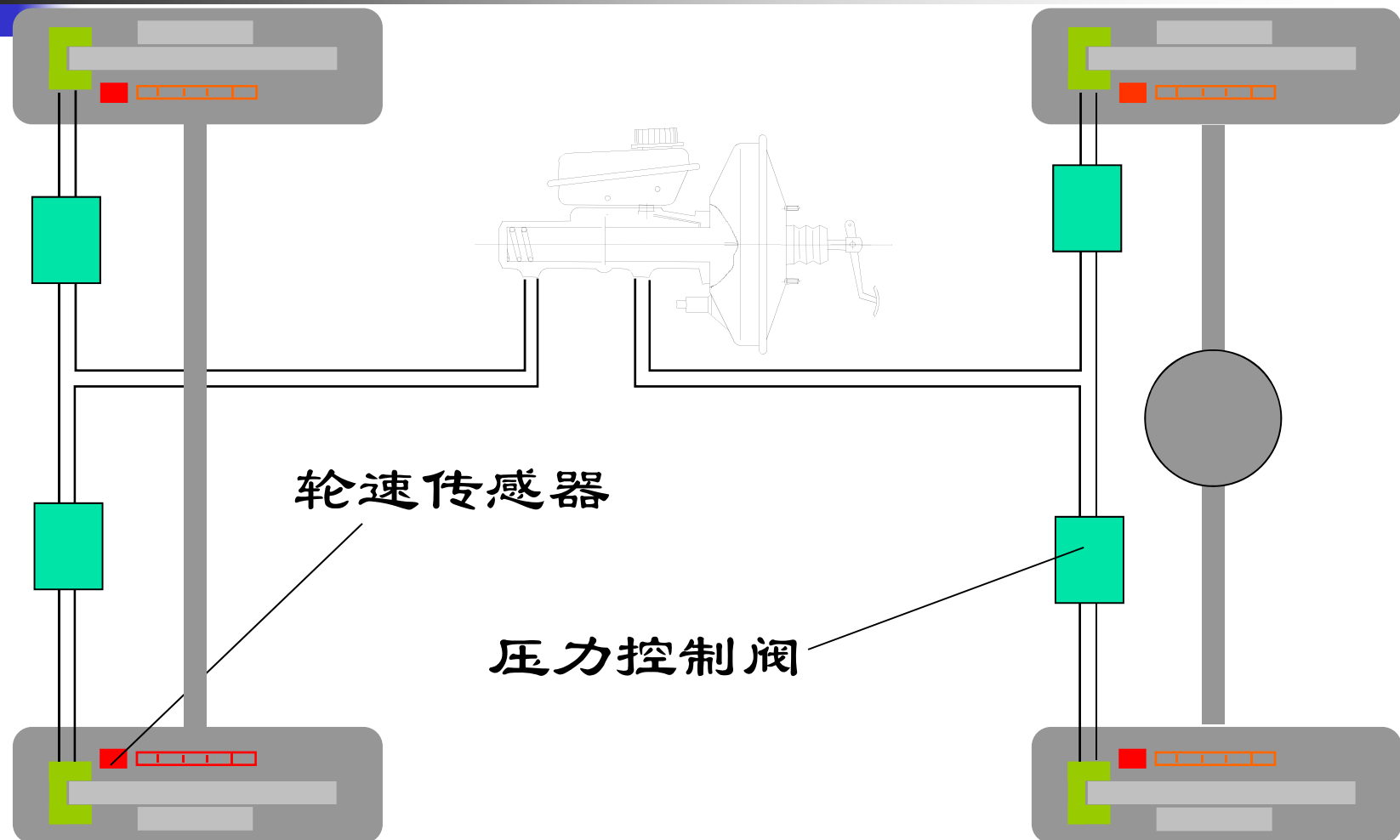
- ABS的布置及通道
- ABS控制方式
- ABS控制方法
- ABS控制过程



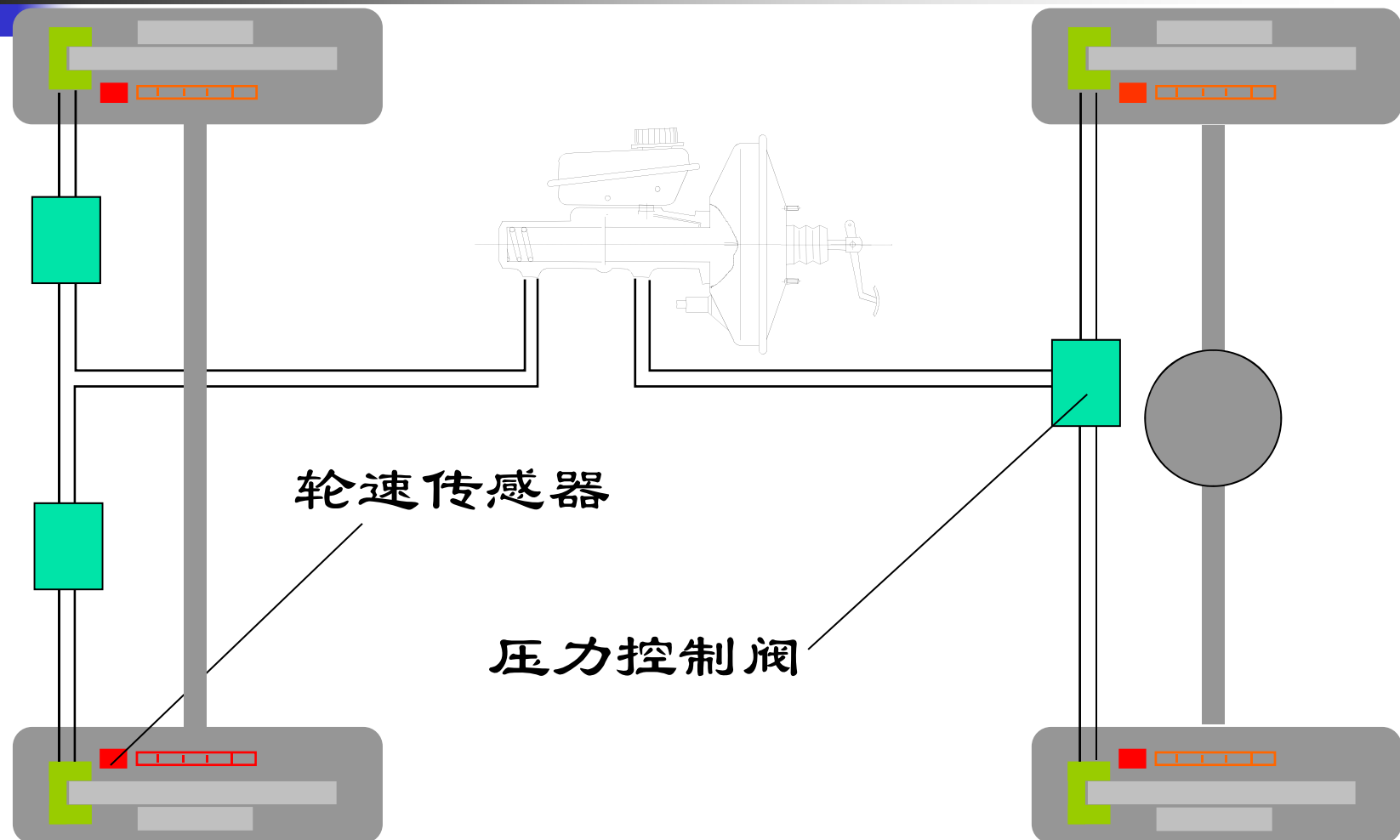
ABS的布置及通道

- 四通道式
- 三通道式
- 双通道式
- 单通道式

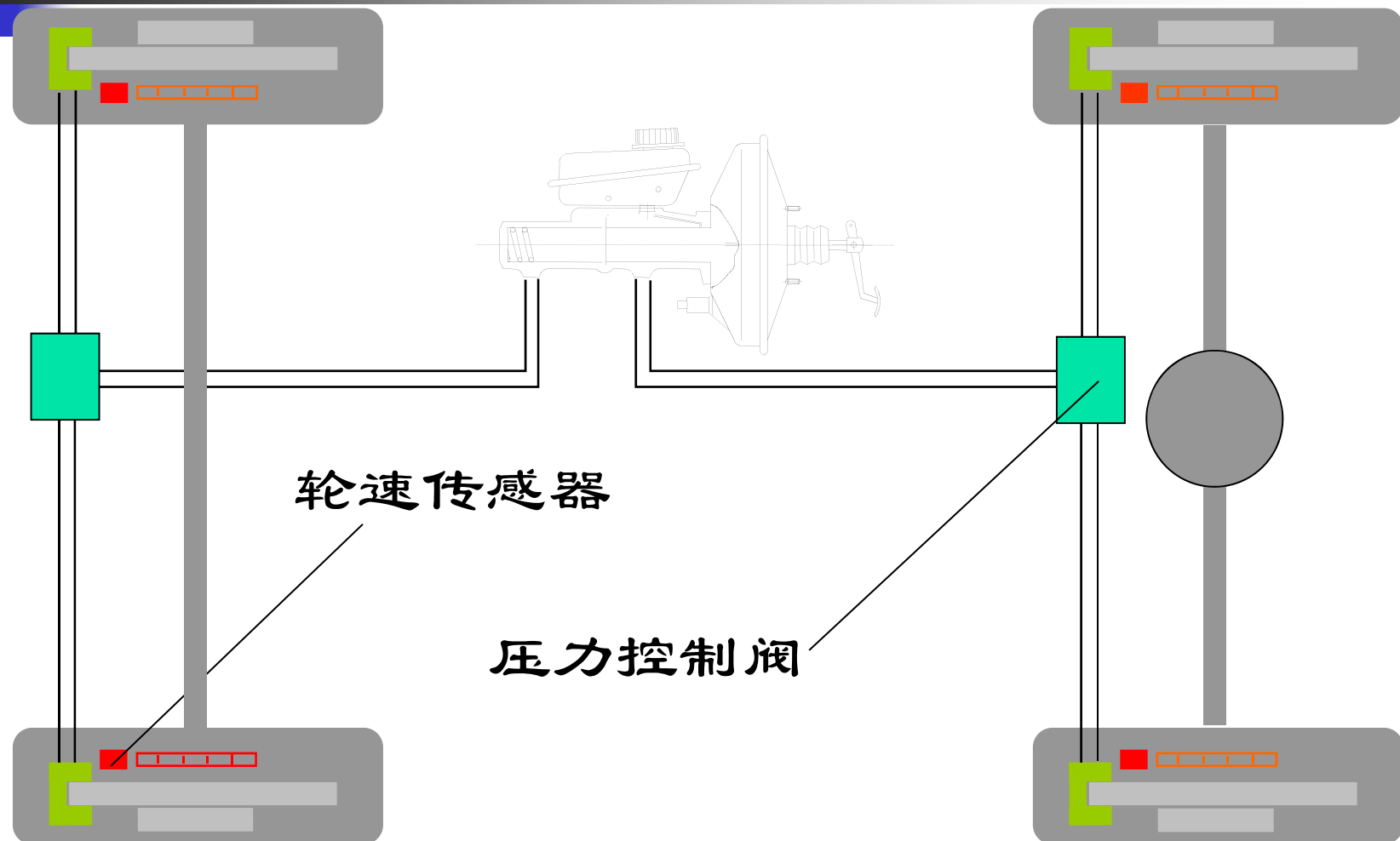
ABS的布置及通道：四通道式



ABS的布置及通道：三通道式

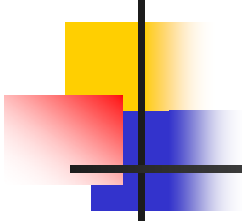


ABS的布置及通道：二通道式





四通道式制造成本高，制动过程中容易产生横摆力矩，ABS采用这种布置方式的很少。双通道式尽管制造成本低，但很难兼顾汽车对制动效能和方向稳定性的要求，ABS采用这种布置方式的也不多见。实际使用的ABS液压系统以三通道式居多。三通道式的前轮有两个独立的控制通道，后轮则只有一个控制通道，在下段的控制方式分析中我们可以看出，采用这种布置方式，可以充分利用两个前轮的附着力，同时保证制动过程中的方向稳定性。单通道式的控制通道一般布置在汽车的后桥上，其制造成本低，在一些轻型载货车上有较广泛的应用。



ABS控制方式

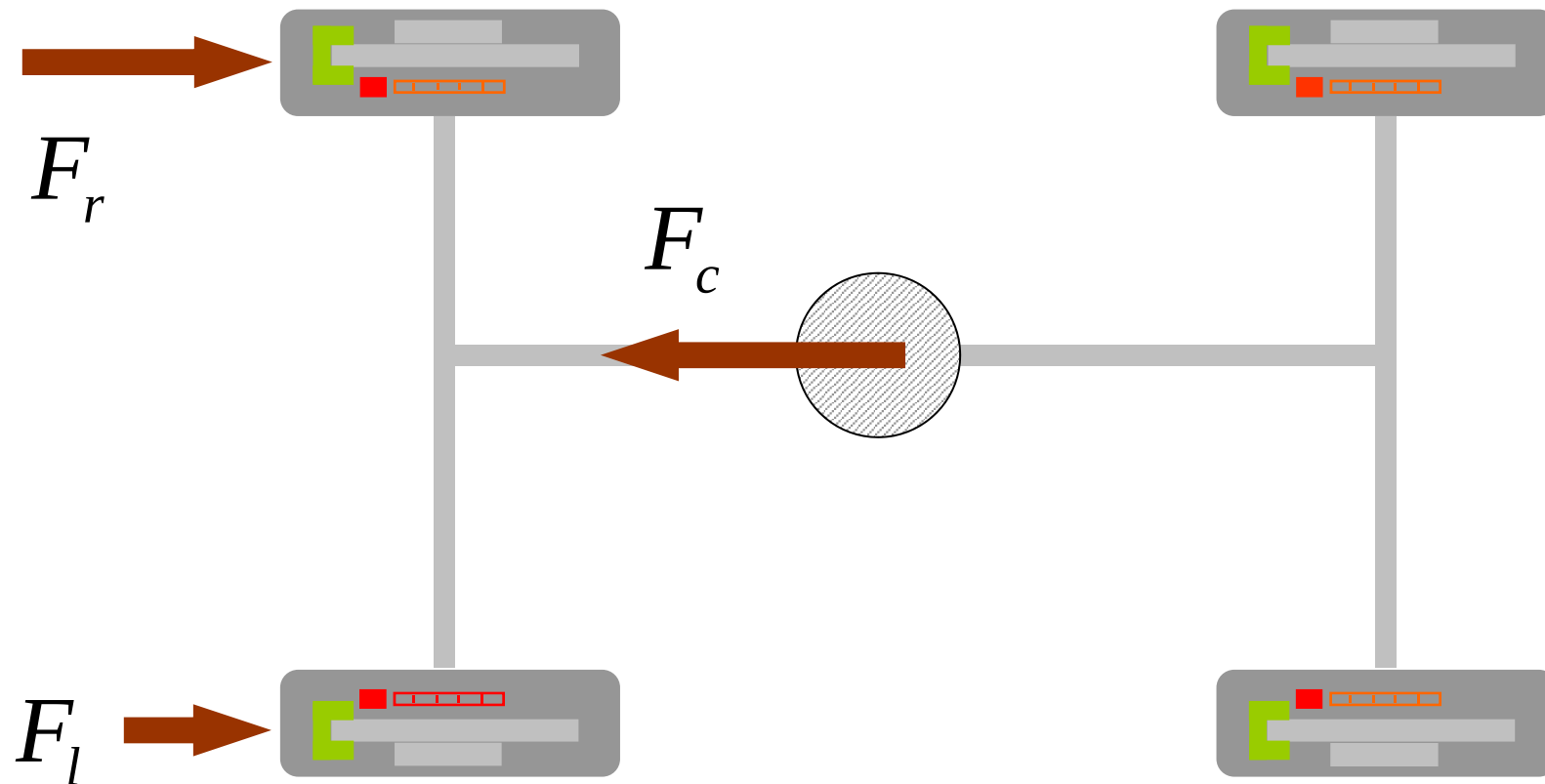
- 独立控制
- 低选择控制
- 高选择控制
- 修正的独立控制
- 智能选择控制

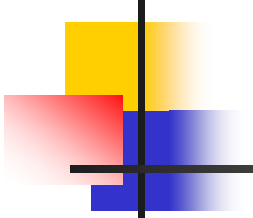


ABS控制方式：独立控制

- **控制方式**：每个车轮都有专用通道，一个轮速传感器对应一个压力控制阀。
- **优点**：每个车轮的附着系数利用率达到最大值，以获得最佳制动效果，
⇒ **制动距离短！**
- **缺点**：对不对称路面，由于附着系数不同，左右轮产生的路面制动力不同，导致车辆产生附加的横摆力矩，使车辆难以控制，
⇒ **操纵性和方向稳定性不太好！多用于中重型载货车的后轴。**

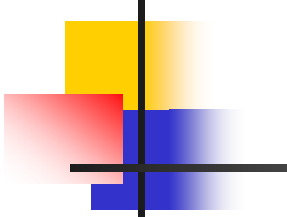
独立控制时的制动横摆力矩





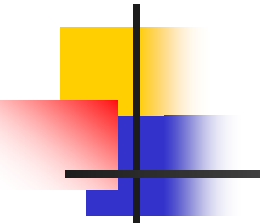
ABS控制方式：低选择控制

- **控制方式**：一个车桥上的两个车轮由一条通道控制，即两个轮速传感器对应一个压力控制阀，制动压力取决于预先抱死车轮的状态，对于不对称路面，选择附着系数较低的一侧车轮；
- **优点**：左右车轮产生的制动力相同，减少或消除了横摆和转向力矩；
⇒ **操纵性和方向稳定性好！**
- **缺点**：附着系数较高的一侧车轮的附着系数得不到充分利用。
⇒ **制动距离加大！**



ABS控制方式：高选择控制

- **控制方式**：一个车桥上的两个车轮由一条通道控制，即两个轮速传感器对应一个压力控制阀，制动压力取决于**后**抱死车轮的状态，对于不对称路面，选择附着系数较**高**的一侧车轮进行控制；
- **优点**：附着系数得到充分利用；
⇒ **制动距离短！**
- **缺点**：对于附着系数不对称的路面，该控制方式会产生附加的横摆力矩。
⇒ **降低制动时的方向稳定性！**

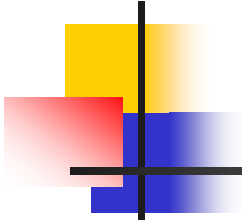


ABS控制方式： 修正的独立控制

- **控制方式**：和独立控制一样，每个轮速传感器对应一个压力控制阀。具体控制方式是，对一个车桥上的左右轮中附着系数低的一侧车轮用独立控制，附着系数高的另一侧按一定的比例以低于最大附着系数利用率进行控制，或者使其控制压力的建立时间推后一段。

优点：综合了独立控制和低选择控制的优点；

⇒制动距离较短！方向稳定性较好！

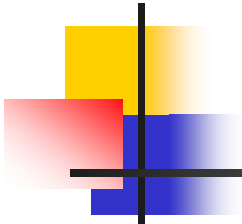


ABS控制方式：智能选择控制

- **控制方式**：一个车桥上的两个车轮由一条通道控制，即两个轮速传感器对应一个压力控制阀。

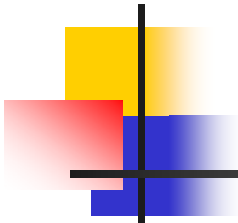
左右轮附着系数相同：低选择控制

左右轮附着系数不同：当附着力低的一侧其附着系数相对较高时，用低选择控制；而其附着系数相对较低时，选择系统趋向于高选择控制。



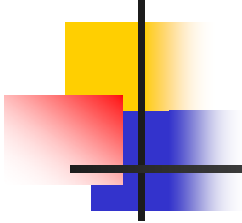
ABS控制方法

- 逻辑门限值控制
- PID控制
- 模糊控制



逻辑门限值控制(1)

这种控制方法是基于车轮角速度对制动力矩、制动力系数和滑移率的变化十分敏感，在制动过程中，车轮抱死总是出现在 $d\omega/dt$ 相当大的时刻，因此可以预选一个角减速度门限值 $-a$ ，当实际的角减速度超过此门限值时，ECU发出指令，开始降低制动压力使车轮得以加速旋转；再选一个角加速度低门限值 $+a_1$ ，当车轮的角加速度达到此门限值时，ECU发出指令，使制动压力保持不变；当车轮的角加速度增大到高门限值 $+a_2$ 时，又开始增大制动压力，车轮作减速运动。所以可以采用一个轮速传感器作为输入信号，同时在ECU中设置合理的车轮角加、减速度门限值，实现防抱死制动的控制，这种方法称为简单逻辑门限值控制，其逻辑判定条件可以表示为：



逻辑门限值控制 (2)

$$d\omega/dt < a_n$$

减压

$$d\omega/dt > a_p$$

保压, 上一个减压过程

$$d\omega/dt << a_p$$

增压, 上一个保压过程

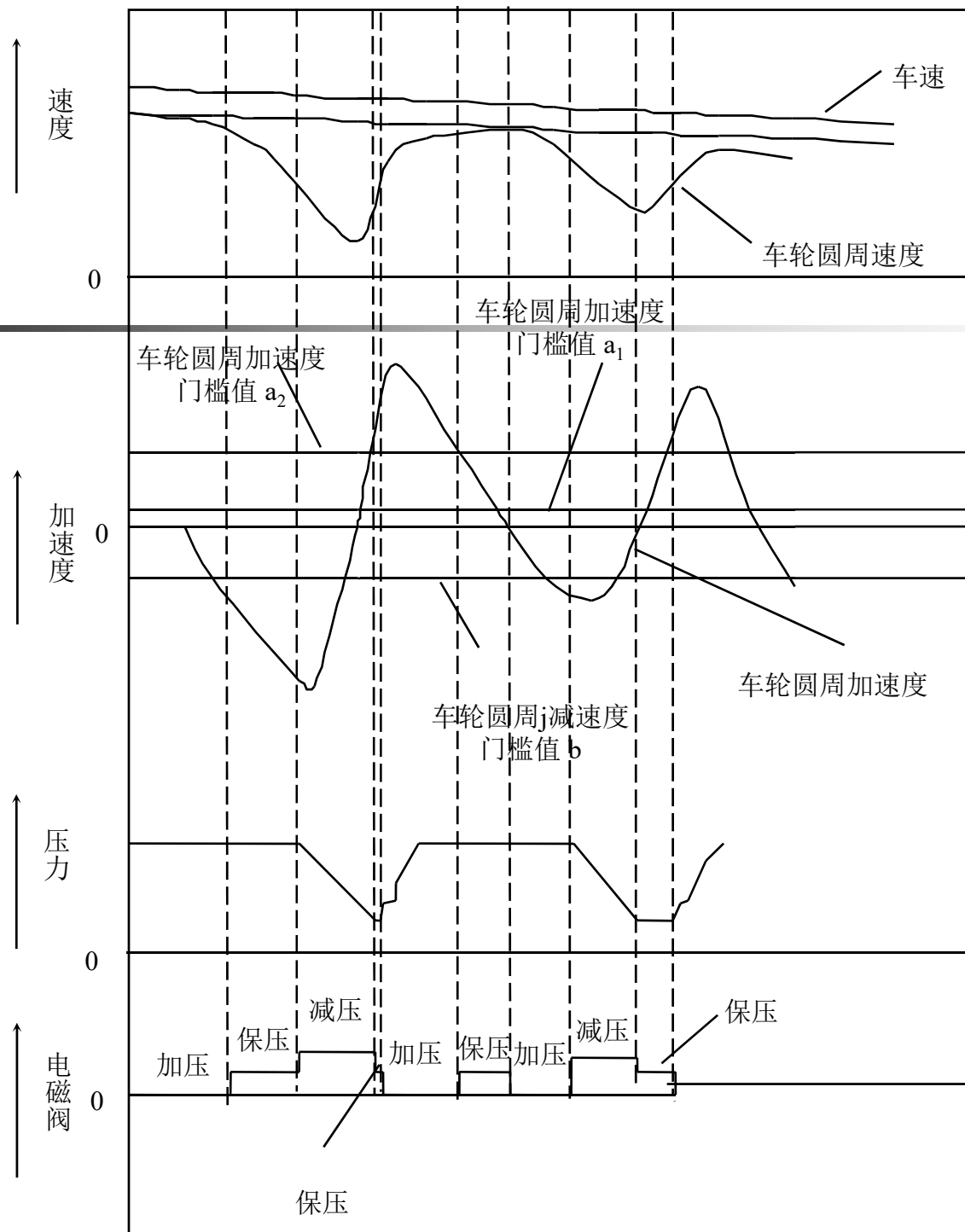
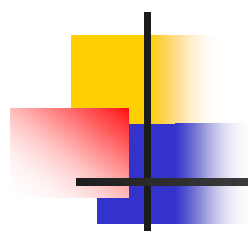
A_n —角减速度门限值;

A_p —角加速度门限值。

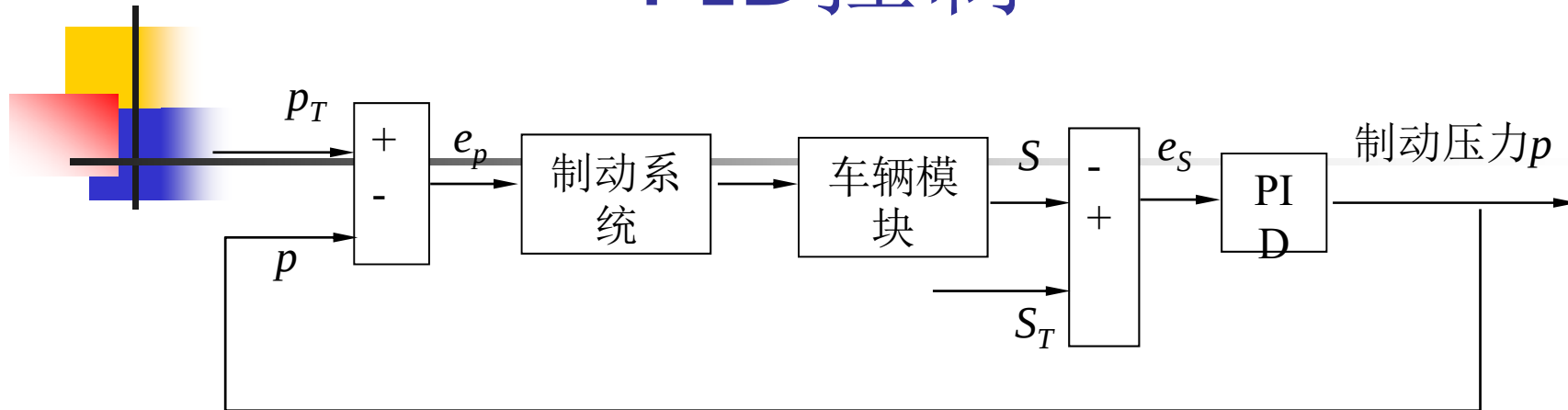


逻辑门限值控制(3)

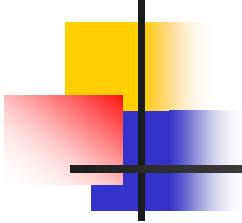
- 简单逻辑门限值控制可以适应不同的路面特性，但当路面制动力系数发生突变时，系统不能快速适应，此外，在初始和高速紧急制动情况下，有可能使防抱制动逻辑在后续的控制中失效，因此需要将角速度和滑移率这两个门限结合起来，以识别不同的路况。目前，ABS采用的基本上都是基于车轮加、减速度门限值及滑移率的控制方法。
- 逻辑门限控制具有控制简单，计算量小，便于实现的优点，目前已经在汽车上应用的ABS产品几乎无一例外地采用该方法。逻辑门限控制的缺点在于控制系统中的各种门限及保压时间都是通过反复试验得出，耗资巨大，产品开发周期长，而且从理论上讲，在整个控制过程中车轮滑移率并不总是保持在最佳滑移率上，而是在它的附近波动，并未达到最佳的制动效果。



PID控制

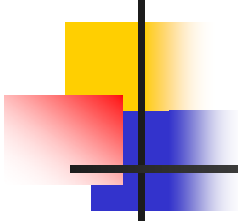


- 图为ABS PID控制的方框图，从图中可以看出，该方法将期望的滑移率 S_T 与实际滑移率 S 之差 e_s 定义为PID的输入，由PID控制算法算出控制参数值（液压制动系统的液压或气动制动系统的气压 p ）反馈给制动系统，构成典型的反馈控制。PID控制的难点在于PID参数的整定，一般结合具体的汽车用试凑的方法确定，只要PID参数选择恰当，就会得到较好的控制效果。



模糊控制

- 模糊控制也是目前研究人员研究比较多的**ABS**控制方法之一。模糊控制通过模糊逻辑和近似推理方法，把人的经验形式化、模糊化，使之成为计算机可以接受的控制模型。模糊控制是基于经验规则的控制，与系统的模型无关，有很好的鲁棒性和控制规则灵活性，控制规则符合人的思维规律，该控制方法是今后的发展方向。

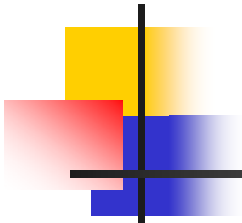


5. 典型ABS举例

- 国外的ABS制造公司达到10多家，除了ABS的主要供应商德国的Bosch公司以外，还有世界著名的制动器制造商德国的Teves公司、德国的Wabco公司、美国的Kelsey-Hayes公司和英国的Locas-Girling公司等。
- 我国对ABS的研究始于80年代初，主要研制单位有东风汽车公司（原第二汽车制造厂）、交通部重庆公路研究所、重庆宏安ABS有限公司、陕西新平514厂、长安大学和清华大学等。目前国产ABS比较成熟的产品主要有FKX-AC1、ABS121和ABS141三种型号。

国内外主要ABS产品及主要技术特点

产品型号	制造公司	国 别	主要技术特点
Bosch-ABS 2s	Bosch	德国	二个闭式循环液压制动系统回路；三位三通电磁阀；三传感器四通道布置；控制方法：车轮减速度+参考滑移率
Bosch-ABS 5	Bosch	德国	二个闭式循环液压制动系统回路；二位二通电磁阀；三传感器三通道/四通道布置；控制方法：车轮减速度+参考滑移率；采用计算机冗余原理监测信号的处理
Teves-ABS Mk4	Teves	德国	二个开式循环液压制动系统回路；二位二通电磁阀；控制方法：车轮减速度+参考滑移率；控制方式：前桥为独立控制，后桥为低选择控制；采用计算机冗余原理监测信号的处理
EBC-4-ABS	Kelsey-Hayes	美国	一个闭式循环液压制动系统回路；控制方式：前桥为独立控制，后桥为低选择控制
Locas-Girling-ABS/ASR 4/4	Locas-Girling	英国	二个闭式循环液压制动系统回路；滑移式二位二通电磁阀
ABS141	重庆宏安ABS有限公司	中国	ECU采用8798微处理器，四路输入 / 三通道输出；控制方式：前桥为低选择控制，后桥为独立控制



ABS试验测试：(视频)

