

车辆（三）——EPS控制策略



ZZ先生

偏隅一方，纵观苍茫大地

+ 关注他

来自专栏 · 车辆 >

191 人赞同了该文章 >

EPS系统的控制策略主要有三种形式，对应为基本助力控制、回正控制、**阻尼控制**。基本助力控制主要是为了降低转向时驾驶员所需提供的方向盘力矩；回正控制主要是为了改善装载有 EPS 系统汽车的回正性能；阻尼控制主要是为了提高汽车高速行驶时的操纵稳定性。由于 EPS 系统在汽车行驶时处于基本助力控制的时间最长、最能影响驾驶体验，因此它是 EPS 系统中最主要、最关键的控制模式。

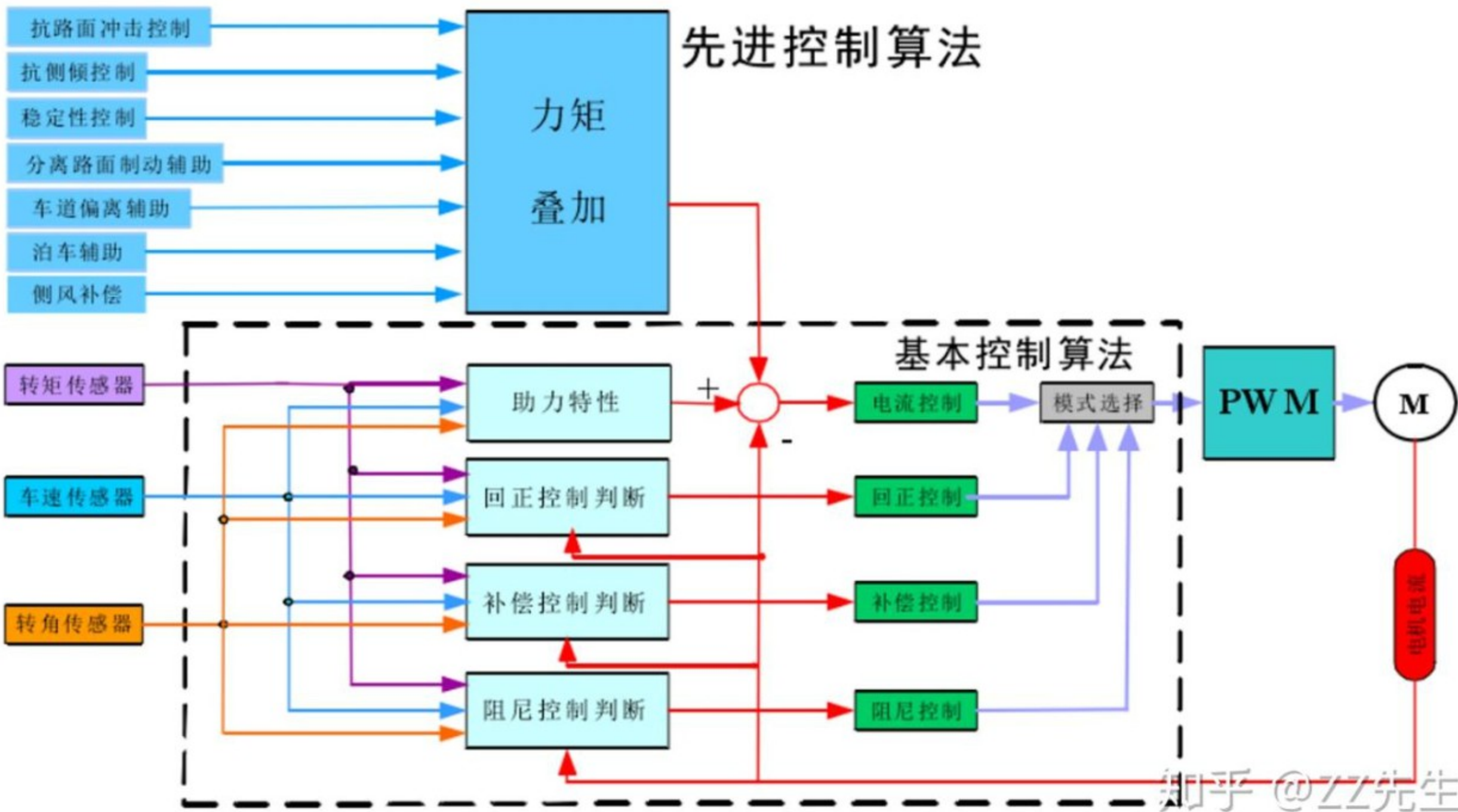


图1.EPS控制策略原理图（来源：汽车电动转向系统的开发及试验验证）

一、基本助力控制设计

输入：方向盘转矩、车速

模块：**助力曲线**模块——补偿器模块——电流闭环模块



输出：助力电机力矩

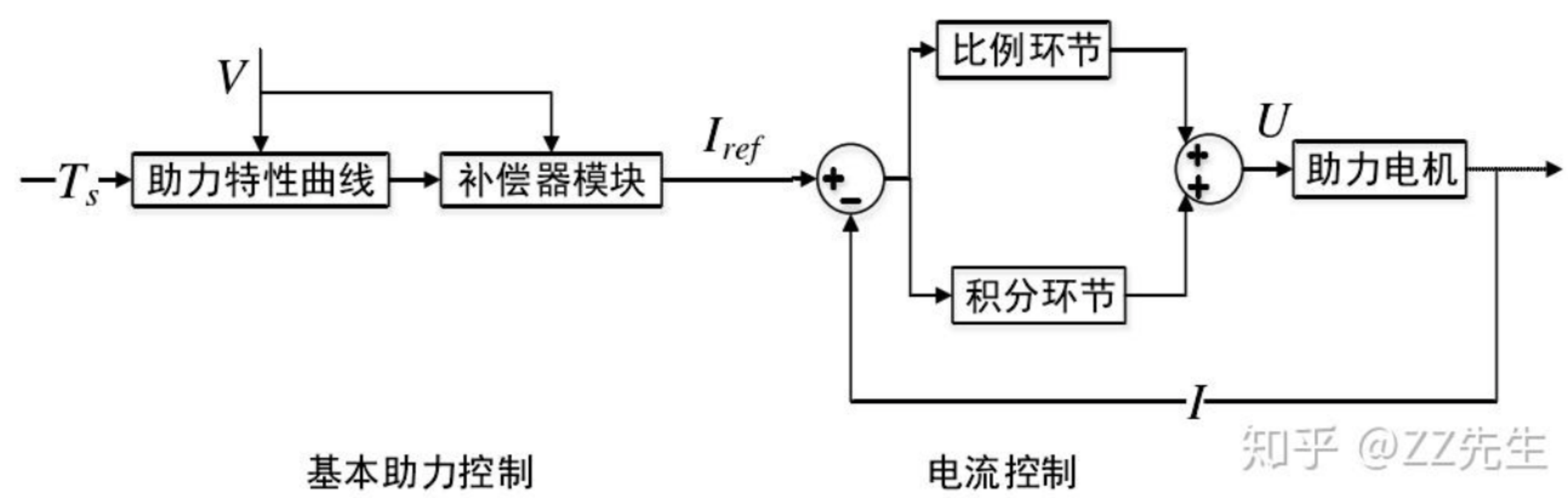


图2.基本助力控制原理框图

1.输入

- 方向盘转矩信号传感器

分类	类型	说明
按功能	TOS	转矩或转角单信号输出
	TAS	转矩和转角双信号输出
按结构	接触式	传感器全工作行程，获取信号的敏感部件存在机械摩擦
	非接触式	传感器全工作行程中，信号通过磁耦合、电耦合、光耦合等方式获取
按原理	电阻式	
	磁场检测式	扭杆变形量转换为磁通
	电磁感性式	扭杆变形量转换为感应系数
	电容感应式	扭杆变形量转换为电容量
	光电式	
按输出信号	Anglog	模拟信号
	PWM	脉冲宽度调制
	SPC	短脉宽调制编码
	SENT	单边沿半字节输出

2.模块

• 助力曲线

EPS助力特性曲线是基本助力控制的重要模块，反映了方向盘力矩和助力电机的助力力矩之间的关系。当前常见的EPS助力特性曲线主要有直线型、折线型和曲线型。这三种曲线的优缺点很难说哪个好或不好，基于最常见的文献中的说法：“上述三种助力特性曲线中，直线型助力特性曲线最简单，也最易于实现，但操纵手感差，曲线型助力特性操纵手感最好，但是因为二次曲线系数的意义不明确，所以难以实现且调试困难，而折线型的助力效果则介于两者之间。为了保证良好的驾驶手感且方便试验调试，选用分段式曲线型进行设计，其既保留了曲线型助力特性曲线良好操纵手感的优点，又降低了调试难度。”

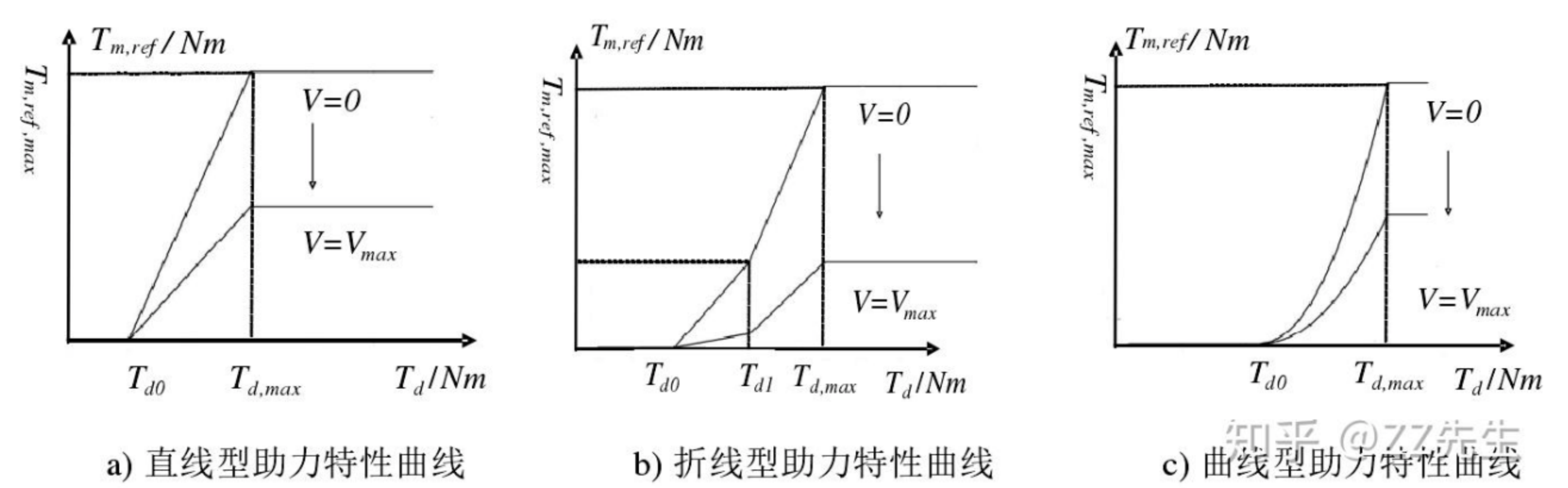


图3.常用的EPS助力特性曲线

在确定助力曲线时，根据经验或文献或实测手感进行助力死区以及助力饱和区确定，在助力死区以及助力饱和区中间的曲线获取方法多种多样：

工程方案：方案1.确定中间直线或折线，原地转向打方向盘，确定不同系数，不同车速乘系数进行测试；方案2：在原地转向及不同车速下标出细密的点，汇出助力曲线；3....杂七杂八...多有不同；最后以数据说话，主观评价为准。

• 补偿模块

惯性补偿、摩擦补偿、阻尼补偿。

助力电机补偿电流如下式所示

$$T_B = K_M \cdot w_a + K_{Mc} \cdot w + K_{Fr} \cdot sign(w)$$



(1) 惯性补偿：减小EPS助力电机减速机构的惯量响应，提高快速转向响应能力

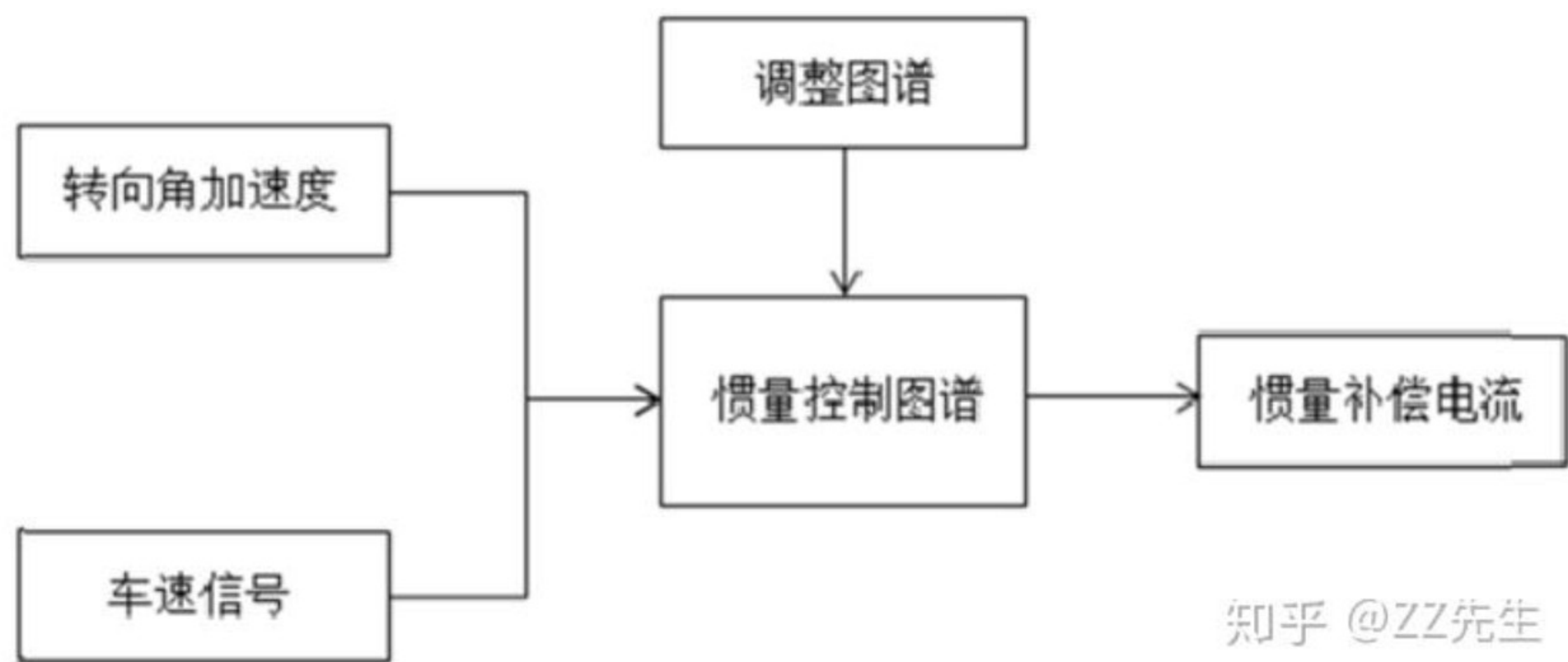


图4.惯量补偿

(2) 摩擦补偿：减小EPS转向系统中的摩擦阻力，减小或消除转向过程中摩擦对人的不利影响。

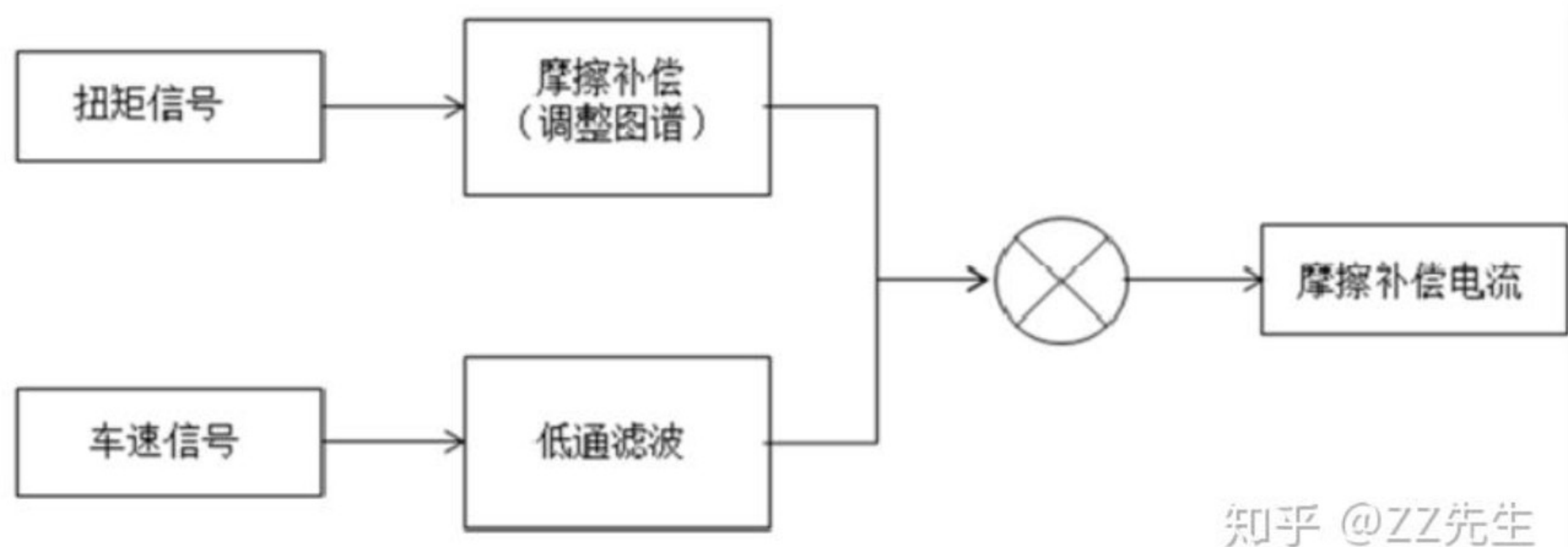


图5.摩擦补偿

(3) 阻尼补偿：保证车辆在泊车过程中转向盘的稳定性，适当提高驻车时的阻尼。为保证车辆低速时的回正速度，适当调低阻尼。车辆高速行驶时，为提高阻尼感，避免高速转向时的回正超调，改善路感，抑制横摆振动，需增加高速时的阻尼。

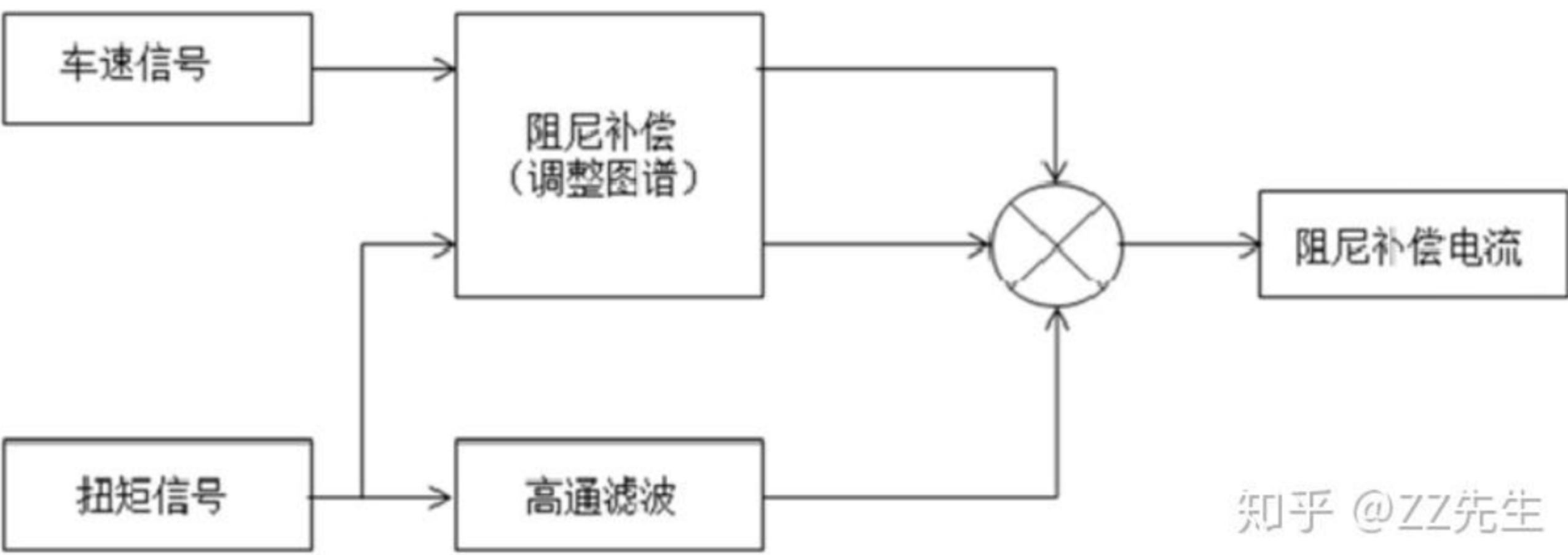


图6.阻尼补偿

二、回正控制

”

低速时，有较大的摩擦力矩，不利于回正，但能有效抑制震荡，稳定性高；高速时，转动惯量大，超调量变大，回正力矩变小。应特别注意低速时重力回正力矩所引起的转向角残留。但是，回正控制与阻尼控制是一对矛盾，回正快，动态响应好；阻尼大，稳定性好，抗干扰能力强，但牺牲了回正的时间，应根据实际情况在确定二者的关系。

车辆在回正的过程中由于车辆的侧向加速度的逐渐增大以及低速下绕主销的回正力矩逐渐减小，车辆在回正过程中容易出现低速回正不足和高速回正超调的现象，然而 由于 EPS 系统附加了电机及减速机构，这使得这一现象有可能进一步恶化。

一般来说，当车辆转向系统安装了转角传感器时进行回正控制效果会比较好，然后转角传感器造价较高，使得成本也随之提高。一般来说，在有转角传感器的回正补偿控制方面，较为常用方法包括：对方向盘转角或转速进行 PID 以及模糊 PID 等闭环控制；接着通过方向盘转角和方向盘转速的方向积来判断车辆是否正处于回正状态；然后在低速下采用 PI 控制，以期得到较大的电机补偿回正力矩从而快速减小方向盘的残留转角，在高速下采用 PD 控制，以期得到较大的电机阻尼回正力矩从而抑制转向盘转角可能出现的超调现象。

但是目前这种方法存在一定的不足之处：

第一是对于回正状态的判断可能出现错误，因为方向盘转角与方向盘转速方向相反这一逻辑判断并不能完全描述所有的回正状态，比如当转角因出现超调而逐渐反向增大时，这种情况也属于回正状态，但其转角与转速方向相同。



第二是由于角度伺服控制中转向盘转速的不可控性会导致低速回正过程中回正转速过快，从而方向盘无法停止在中间位置，这样会导致出现回正超调以及回正性能恶化等现象。在无转角传感器回正补偿控制方面，Masahiko Kurishige通过估计轮胎与地面间回正控制而判断车辆在转向时是否进入了回正状态，见下式：

$$S = \text{sgn}(\theta_{sw}) \text{sgn}(\dot{\theta}_{sw})$$

知乎 @ZZ先生

此文献中采用的PID控制的EPS回正控制研究，主要包括回正状态判断模块和回正电流控制模块。

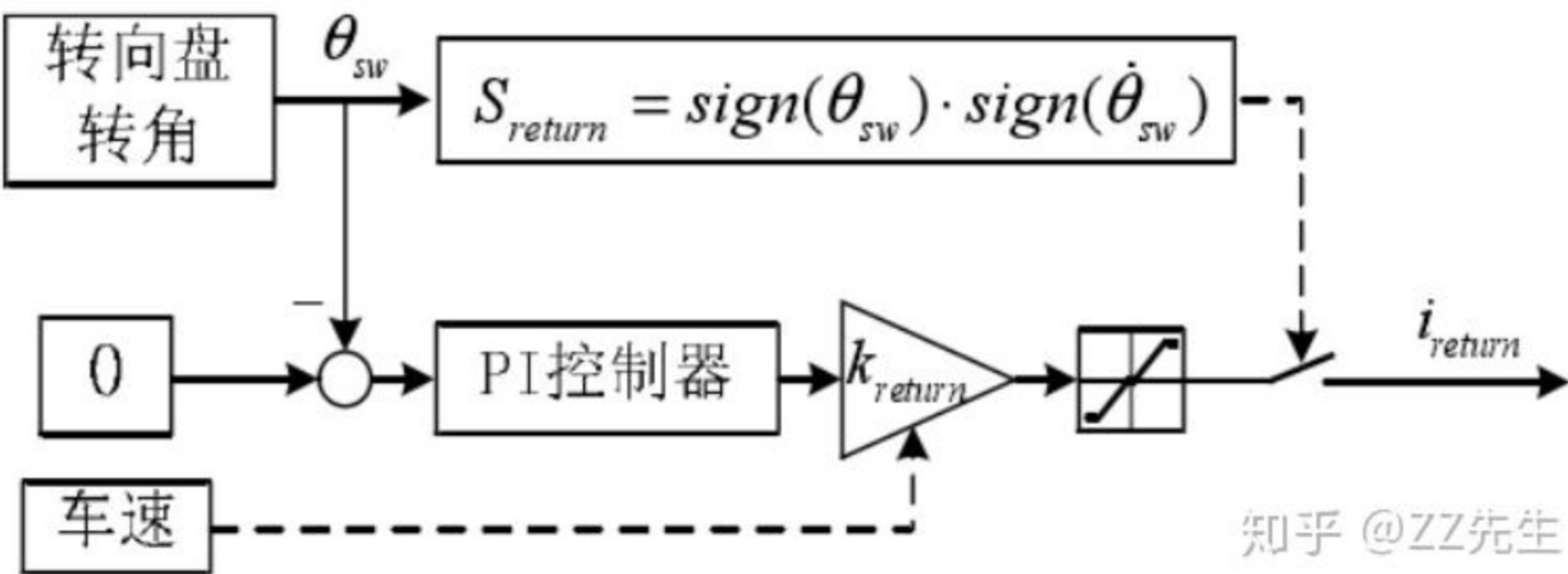


图7.回正控制框图

“【来源：汽车电动转向系统的开发及试验验证】”

”

装载有EPS系统的车辆转向时，由于助力电机以及蜗轮蜗杆减速器的存在增大了转向系统间的摩擦力矩，从而导致转向回正时所需的回正力矩增加，降低了转向系统的回正性能。为了解决EPS系统的上述缺陷，如今的EPS系统一般会在控制策略中设置有回正控制，通过助力电机在车轮回正时提供辅助回正力矩，进行主动回正干预，在改善EPS系统的回正性能的同时而不影响驾驶员的操纵手感。

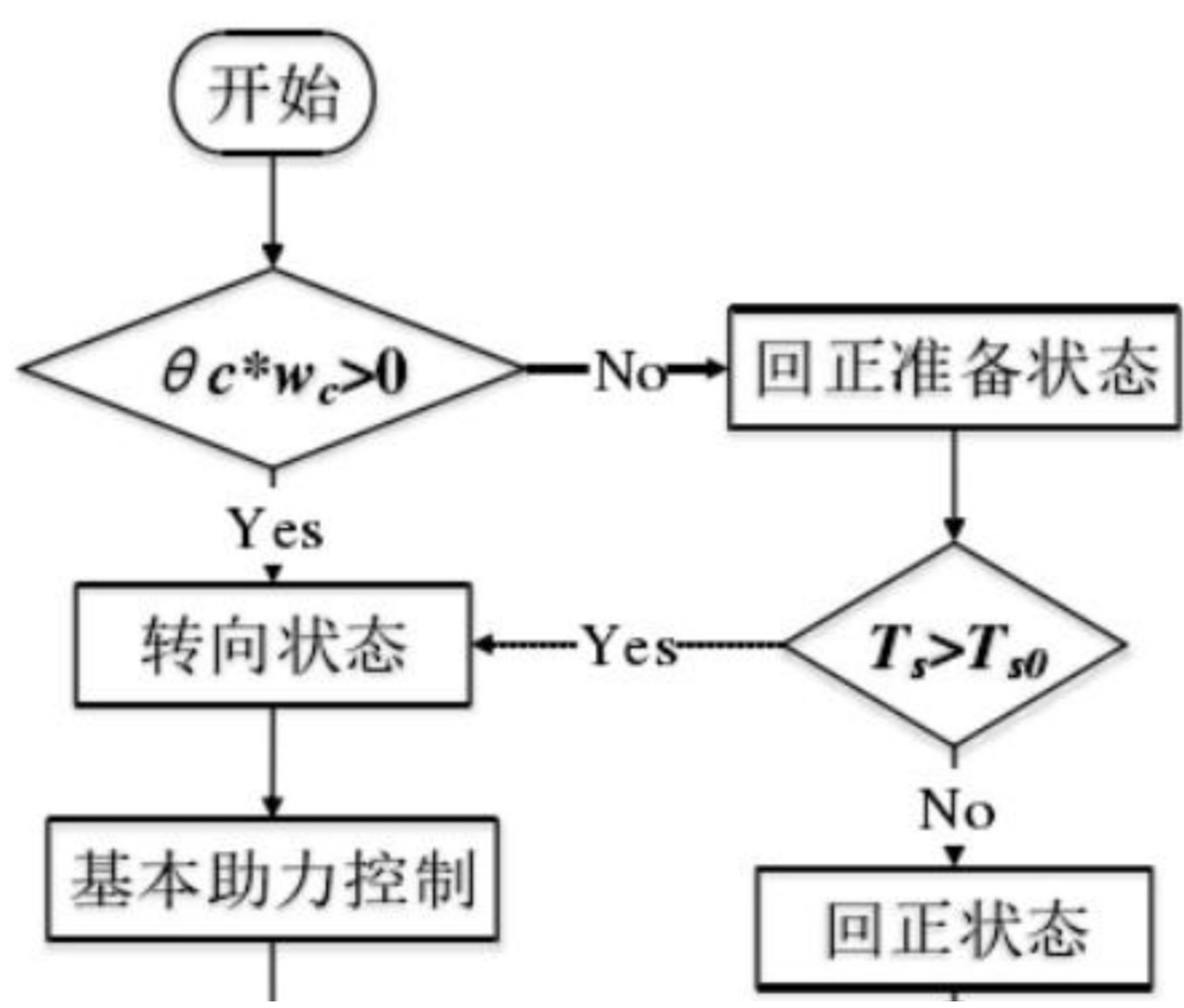


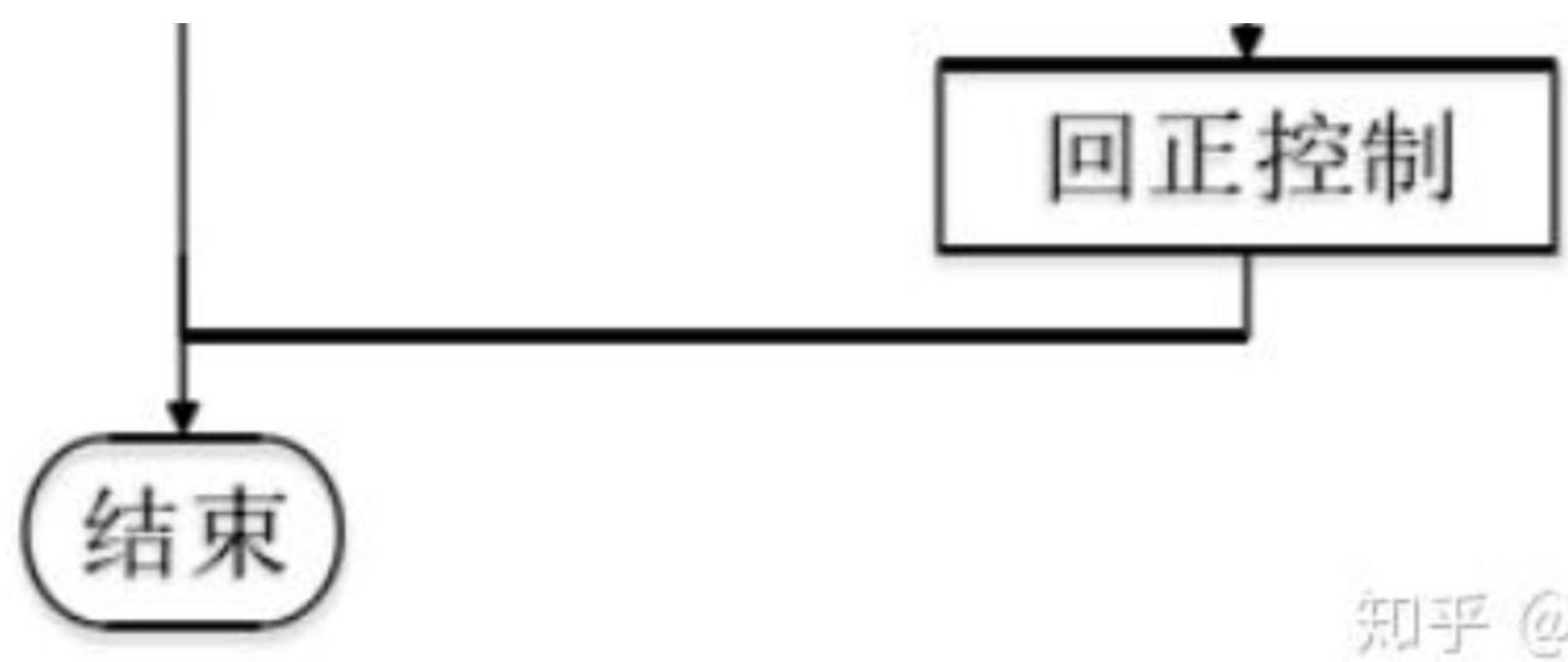
回正控制采用基于方向盘转角回正控制，首先对驾驶员的意图进行识别，当检测到驾驶员的驾驶意图为松手回正时，EPS 系统进入回正控制，对方向盘回正进行主动干预，然后以方向盘的中心位置作为回正控制的目标转角，以实际方向盘转角作为反馈信号，通过 **PID 控制** 器建立转角闭环控制得到助力电机的目标回正力矩信号，传递给助力电机进行实现回正助力力矩。转角闭环 PID 控制公式表达如下：

$$T_{m\_return} = (K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s) \theta_c(s)$$

知乎 @ZZ先生

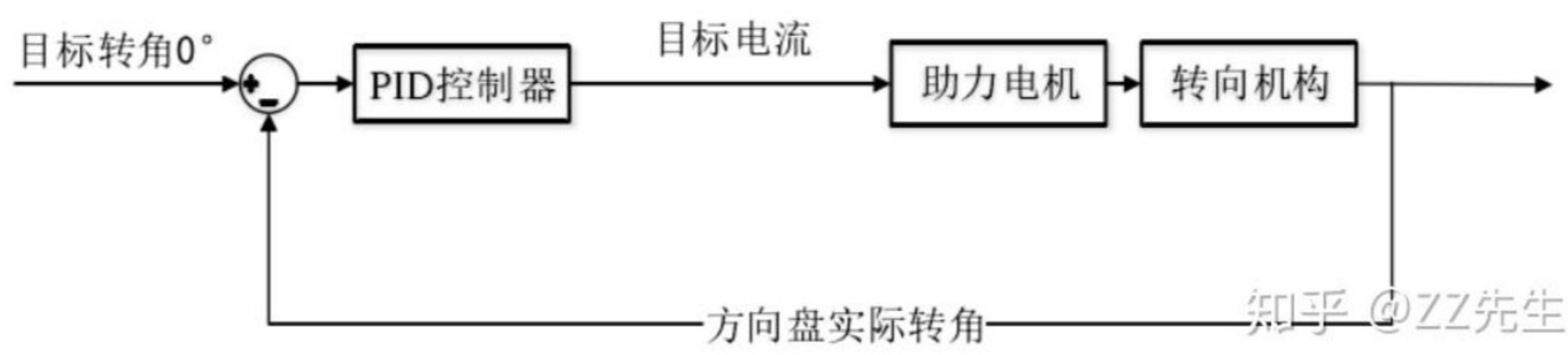
驾驶员意图将通过采集的方向盘力矩、方向盘转角以及方向盘转速信号来判断。首先使用方向盘转角  $\theta_c$  与方向盘转速  $w_c$  的方向来判断是否进入回正准备状态，如果方向盘转角与方向盘转速方向一致，则为转向状态，若方向盘转角与方向盘转速方向相反，则为回正准备状态，但是即使进入回正准备状态，EPS 系统仍然使用的是基本助力控制。进入回正准备状态后，将采集的方向盘转矩信号与设定的阈值  $T_{s0}$  对比，如果方向盘转矩信号比阈值要小，则证明驾驶员对方向盘的操纵为放松状态，此时 EPS 系统进入回正控制，反之若方向盘转矩信号比阈值要大，则证明驾驶员在操纵方向盘进行回正操作，所以此时应该保持基本助力模式，以免对驾驶员的操纵手感造成影响。





知乎 @ZZ先生

图8.驾驶员意图识别流程



知乎 @ZZ先生

图9.转角闭环PID控制原理图

”【来源：电动助力转向系统建模与控制算法研究】