

电动汽车制动

一、电动汽车制动力生成

电动汽车的制动力来自液压制动和再生制动，液压制动由 ABS 系统产生，其结构原理和传统汽车是一样的。再生制动是电动汽车所独有的，是利用电机的电动机 / 发电机可逆性原理来实现的。

1. 再生制动

(1) 再生原理

再生制动又称为能量回收，在减速制动（制动或者下坡）时将车辆的部分动能转化为电能，转化的电能储存在高压电池中，最终增加电动汽车的续驶里程。如图 1 所示为电动汽车能量转换图。

充电到驱动的过程



图 1 电动汽车能量转换图

2. 影响制动能量回收的因素

制动能量回收的过程是把驱动轮的部分动能通过电机回馈到动力电池组中，因此整车控制系统的各个模块和各模块的使用环境对制动能量回收有较大的影响。影响电动汽车能量回收的因素主要有以下 4 个方面。

(1) 电机特性

当进行制动能量回收时，电机工作在再生制动模式，电机的最大制动转矩影响着能够提供的电制动力大小。向电池组充电功率的大小由电机的发电功率决定，同时在制定能量回收策略时也要考虑电机的工作温度等因素。

(2) 蓄电池特性

当蓄电池剩余电量较高时，只能进行小电流充电或者不回收制动能量；当蓄电池剩余电量较低时，在不影响安全的前提下可以适当提高制动能量所占比例。能量管理系统将动力电池 SOC 值发送给制动控制器，当 $SOC > 0.8$ 时，取消能量回收；当 $0.7 \leq SOC \leq 0.8$ 时，制动能量回收受动力电池允许的最大充电电流制约；当 $SOC < 0.7$ 时，制动能量回收不受动力电池允许的最大充电电流制约。

同时充电时间过长或充电电流过大影响蓄电池的性能，蓄电池应该具有高的充放电循环次数和快速充放电能力。此外蓄电池的充电内阻影响蓄电池的充电功率。

(3) 车辆行驶工况

车辆在不同工况行驶时，纯电动汽车的制动频率和制动强度不同，当制动越频繁或制动强度越低时，电动汽车可以回收的制动能量就越多，例如在车辆频繁起步与停车的城市工况下。在高速公路行驶工况

下制动频率较低，所以回收的制动能量也相对较少。

(4) 制动的安全性

当车辆进行制动时，首先需要考虑的是制动系统要满足驾驶员的制动需求和制动时车辆的稳定性，只有在满足这些要求的前提下才能够考虑回收制动能量的多少。在有些情况下虽然电机能够提供足够大的制动力，但是为了防止车轮抱死也必须减少电制动力的大小来保证行车安全。

3. 制动力控制策略

当电动汽车减速、在公路上放松加速踏板巡航或踩下制动踏板停车时，再生制动系统启动。电机再生制动虽然可以回收制动能量并向车轮提供部分制动力，但是其无法使得车轮完全停止转动，制动效果受到电机、电池和速度等诸多条件的限制，在紧急制动和高强度制动条件下不能独立完成制动要求，因此，为了保证汽车的制动安全性能，在采用电机再生制动的同时，必须使用传统的液压摩擦制动作为辅助，从而达到既保证汽车的制动安全性，又回收可观的能量的目的。

制动过程中，控制器根据制动踏板的开度（实际为主缸压力）判断整车的制动强度，确定相应的摩擦制动和再生制动的分配关系。当总制动力需求小于此时能提供的最大再生制动力时，仅由再生制动力起作用；当总制动力大于此时能提供的最大再生制动力时，总制动力减去最大再生制动力是应该提供的机械制动力，机械制动力由 ABS 系统产生。剩余的需提供的机械制动力将分配为前轮机械制动力和后轮机械制动力。前、后轮机械制动力的分配按照尽量使总的前、后轮制动力分配接近理想制动力分配曲线。制动控制逻辑如图 2 所示。

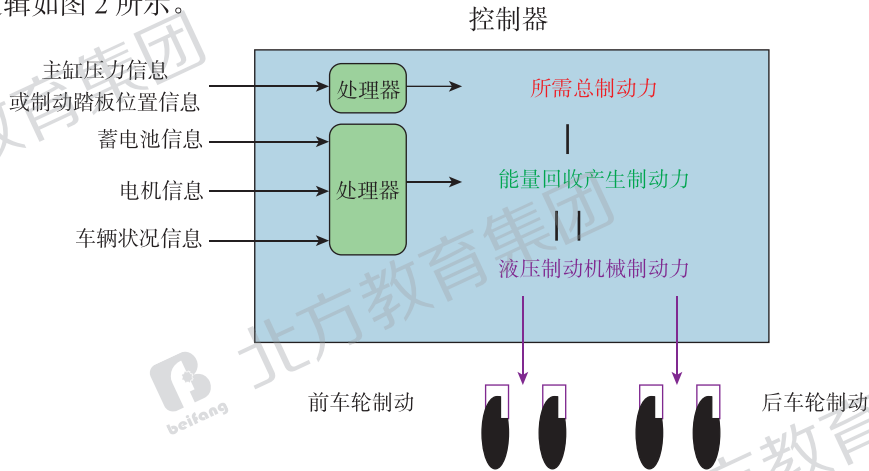


图 2 制动控制逻辑图

4. 控制原理

(1) 制动系统控制过程

轻度制动时（如图 3），高速开关阀 1 阀口关闭，高速开关阀 2 阀口打开，制动主缸前腔与 ABS 液压调节单元之间断开，与踏板感觉模拟器前腔连通。在此制动范围内，整车的制动力由前轮的再生制动力矩与后轮的液压制动力矩提供。

当车辆速度小于 5m/s 时，电机再生制动力矩开始减小直到零，同时车辆液压泵开始工作，液压调节单元开始给车辆前轮缸增压，使车辆前轮总的制动力矩达到车辆前轮需求的制动力矩。

(2) 中度制动时（如图 4），高速开关阀 1 阀口关闭，高速开关阀 2 阀口打开，制动主缸前腔与 ABS 液压调节单元之间断开连通，与踏板感觉模拟器前腔连通。在此制动范围内，整车的制动力由前轮的再生制动力矩和前轮液压制动力矩和后轮的液压制动力矩提供。

当车辆速度小于 5m/s 时，电机再生制动力矩开始减小直到零，车辆前轮缸压力继续增大，使车辆前轮总的制动力矩达到车辆前轮需求的制动力矩。

(3) 重度制动时（如图 5），再生制动与液压制动协调控制系统的控制执行过程如图所示，红色线条代表车辆制动液的流动。

高速开关阀 1 阀口打开，高速开关阀 2 阀口关闭，制动主缸前腔与 ABS 液压调节单元连通，与踏

板感觉模拟器前腔断开连通。整车制动力矩由前轮液压制动力矩和后轮液压制动力矩提供。

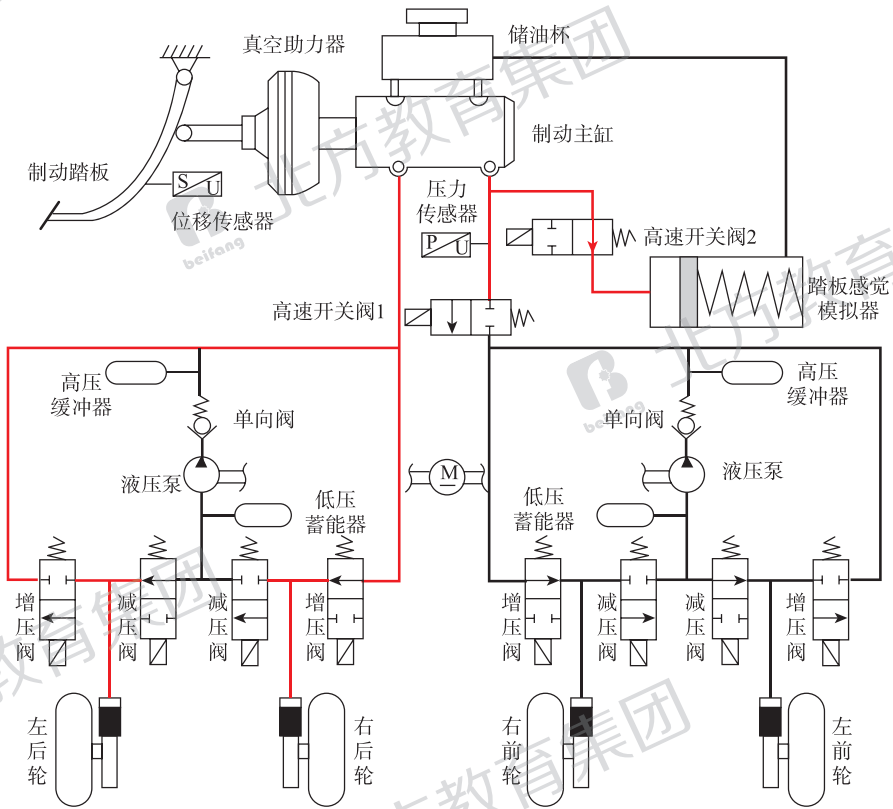


图 3

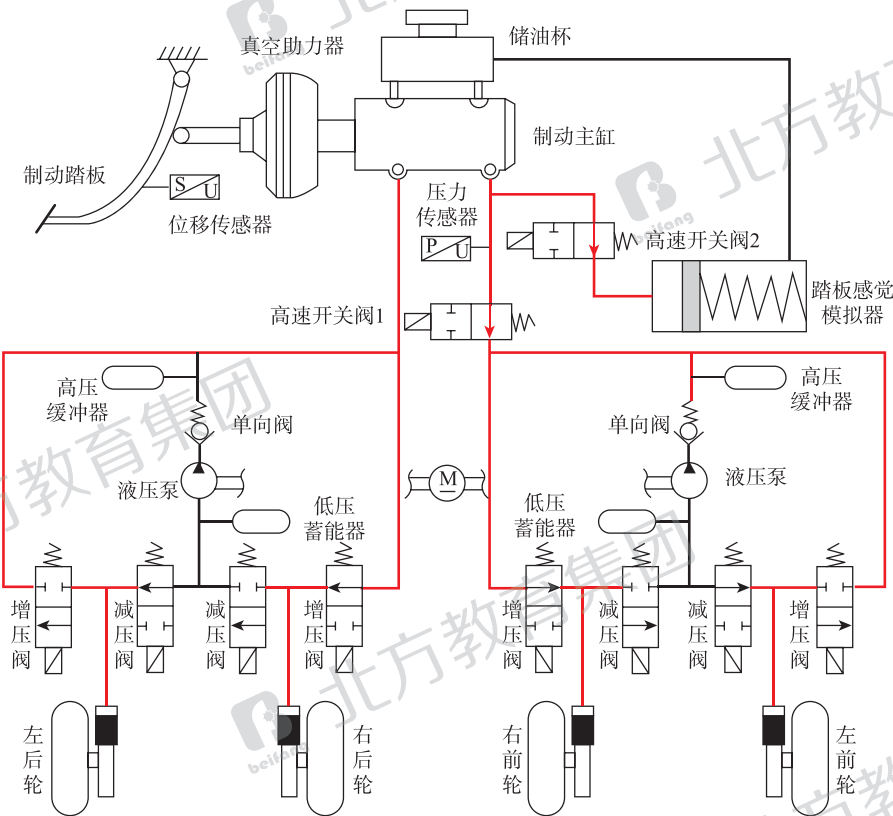


图 4

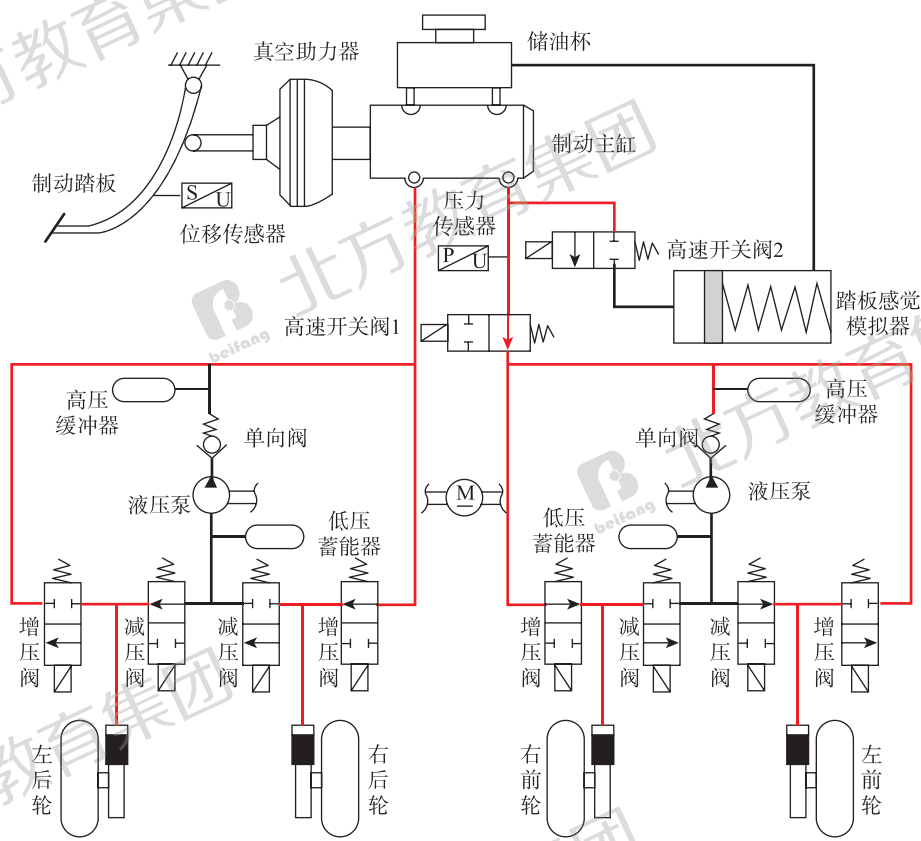


图 5

二、电动真空助力制动系统

电动汽车没有发动机产生真空，采用真空助力的制动系统，其真空由真空泵产生。真空泵产生的真空度越大，制动助力性能越好，驾驶员踩踏板也越省力。所以，在对真空助力制动系统电动真空泵的设计或选择上，应尽可能使真空度满足制动性能的要求。计算结果表明，当电动真空泵最小真空度为 37.5kPa 时，可为制动系统提供满足设计要求的制动助力。

如图 3 所示为电动真空助力制动系统的基本构成，真空助力器安装在制动踏板和制动主缸之间，由踏板通过推杆直接操纵。

电动真空助力制动系统的控制过程如下：

- ①接通汽车 12V 电源，压力延时开关闭合，真空泵大约工作 30s 后开关断开，这时真空罐内真空度约为 80kPa。
- ②当真空罐内真空度降到 55kPa 时，压力延时开关再次闭合。
- ③当真空罐内真空度降到约 34kPa 时，压力报警器发出信号。

电动真空泵控制也可以采用电控单元控制，只要将压力开关换成绝对压力传感器，电动真空泵由控制单元控制继电器控制即可。国内的一些纯电动汽车里，采用了由真空助力器真空度传感器、整车控制器 ECU、电动真空泵工作继电器、真空泵电动机组成的一个闭环真空度控制系统，确保制动时真空助力器的正常工作。