



1. 液压真空助力的方式

液压真空助力是将真空负压能转化为机械推力的助力方式，主要通过以下两种形式实现：

串联式助力：真空助力器与主缸串联布置，助力器输出力直接作用于主缸活塞，适用于乘用车常规制动系统。

并联式助力：真空助力器与液压系统并联，通过控制阀调节助力比例，多用于商用车重载制动场景。

复合助力：结合真空助力与液压增力，在低真空度时自动切换液压辅助，提升制动可靠性。

工作原理：真空腔与大气腔通过膜片分隔，当制动踏板触发时，控制阀打开大气通道，利用气压差推动膜片产生助力，助力倍数通常为5-8倍。

2. 真空助力系统的组成

系统模块	核心组件	功能说明
真空发生装置	真空泵、单向阀	提供稳定真空源，维持 40-80kPa 负压
助力执行机构	真空助力器、膜片、推杆	将真空能转化为机械推力
控制单元	真空度传感器、ECU	监测真空度并控制泵体工作
液压传动部分	主缸、制动管路、轮缸	传递制动压力至车轮制动器
辅助元件	储液罐、滤清器、密封圈	保障液压油清洁与系统密封



3. 真空泵的类型

(1) 叶片式真空泵

结构：由偏心转子、叶片、泵体组成。

特点：体积小、噪音低，真空度可达 -0.08MPa ，适用于轿车。

典型应用：大众 MQB 平台车型。

(2) 隔膜式真空泵

结构：通过橡胶隔膜往复运动实现抽气。

特点：无油设计、维护简单，真空度 $-0.06\sim-0.07\text{MPa}$ 。

典型应用：混合动力汽车辅助真空系统。

(3) 涡旋式真空泵

结构：静涡旋盘与动涡旋盘啮合运动。

特点：高效率、长寿命，真空度可达 -0.095MPa 。

典型应用：高端电动车制动系统。

(4) 活塞式真空泵

结构：活塞往复运动配合气门控制。

特点：抽气量大，适用于商用车。

典型应用：重型卡车制动系统。

4. 电机继电器线圈控制电路的组成

继电器线圈控制电路主要由以下部分构成：

(1) 控制信号源

ECU 输出的 PWM 信号或开关量信号，电压通常为 5V 或 12V 。

(2) 驱动模块

由三极管（如 TIP122）或 MOS 管组成的功率放大电路，将控制信号放大至驱动继电器线圈的电流（一般 $100\sim 300\text{mA}$ ）。



(3) 保护电路

包含：

- 续流二极管（1N4007）：吸收线圈断电时的反向电动势。
- 限流电阻：防止过流损坏驱动管。
- TVS 二极管：抑制浪涌电压。

(4) 继电器线圈

通常为 12V 直流线圈，电阻值 20-50 Ω ，吸合电流 $\geq 50\text{mA}$ 。

(5) 反馈电路

通过光电耦合器或采样电阻监测继电器状态，实现故障诊断。

5. 电机控制电路的组成

电路模块	关键元件	技术参数
电源管理	DC-DC 转换器、保险丝	输入 12V/24V，输出 5V/12V，过流保护阈值 20A
电机驱动	H 桥电路（如 L298N）	最大电流 30A，PWM 频率 1-20kHz
速度反馈	霍尔传感器、编码器	分辨率 1000ppr，响应频率 $\geq 10\text{kHz}$
电流检测	采样电阻（0.1 Ω ）、运算放大器	检测范围 0-50A，精度 $\pm 1\%$
控制核心	MCU（如 STM32F103）	主频 72MHz，集成 PWM、ADC 模块
保护功能	过压保护、过温保护、堵转保护	保护动作响应时间 $< 10\text{ms}$



6. 真空助力系统的故障分析

(1) 常见故障现象及原因

1) 制动踏板沉重

可能原因:

- 真空泵失效 (碳刷磨损、电机烧毁)。
- 真空管路破裂或接头松动 (泄漏量 $> 5\text{kPa}/\text{min}$)。
- 助力器膜片破损 (真空度保持能力下降)。

2) 制动踏板软行程过长

可能原因:

- 液压系统混入空气 (需排气处理)。
- 主缸密封件老化 (产生内漏)。
- 助力器推杆调整不当 (自由行程 $> 3\text{mm}$)。

真空度波动过大。

可能原因:

- 单向阀卡滞 (无法保持真空)。
- 真空泵控制电路故障 (继电器触点烧蚀)。
- 真空度传感器漂移 (测量误差 $> \pm 3\text{kPa}$)。

(2) 故障诊断流程

1) 真空度检测

使用真空表测量助力器接口处压力, 正常范围: $-60\sim-80\text{kPa}$, 熄火后 5 分钟压降应 $< 10\text{kPa}$ 。

2) 电路检测

- 测量真空泵供电电压 ($12\pm 0.5\text{V}$)。
- 检查继电器线圈电阻 ($25\sim 35\Omega$)。



- 用示波器观察 PWM 控制信号（占空比 10%-90%）。

3) 密封性测试

对真空管路进行烟雾测试，泄漏点会产生气泡（标准泄漏量 $< 2\text{kPa}/\text{min}$ ）。

4) 助力器性能测试

在真空度 -70kPa 时，助力器输出力应 $\geq 800\text{N}$ （测试台检测）。

(3) 典型故障案例

案例 1：真空泵不工作

现象：点火开关 ON 时真空泵无动作，真空度 $< -30\text{kPa}$ 。

排查：测量继电器线圈电压为 0V \rightarrow ECU 无控制信号输出 \rightarrow 检查真空度传感器线束断路 \rightarrow 修复后故障排除。

案例 2：助力器缓慢漏气

现象：制动踏板初始助力正常，连续踩 3 次后踏板变硬。

排查：拆下助力器，堵住大气口，施加真空后观察 30 秒，真空度从 -70kPa 降至 -40kPa \rightarrow 判断膜片微裂 \rightarrow 更换助力器后恢复正常。