



Season 2019

ESC 设计手稿

Department of ESC

设计者: 卢奇麟 王书鹏 赵砚秋 等

Designer: Qilin Lu, Shupeng Wang, Qiuyan Zhaoetc.

关键词: 稳定、快速响应、轻量化

Keywords: Reliable, Rapid response, Light-weight

目录

- 1. ESC 功能 .....3
- 2. 针对规则 ..... 3
- 3. 关联信号模块 ..... 4
- 4. 最终电路设计 ..... 5
  - 整体电路综述： ..... 5
  - 驱动板： ..... 6
  - 控制板： ..... 10
  - 控制策略： ..... 11
  - 控制流程 ..... 13
  - 控制效果 ..... 15
- 5. 传感器选型 ..... 16
- 6. 安装位置 ..... 17

## 1. ESC 功能

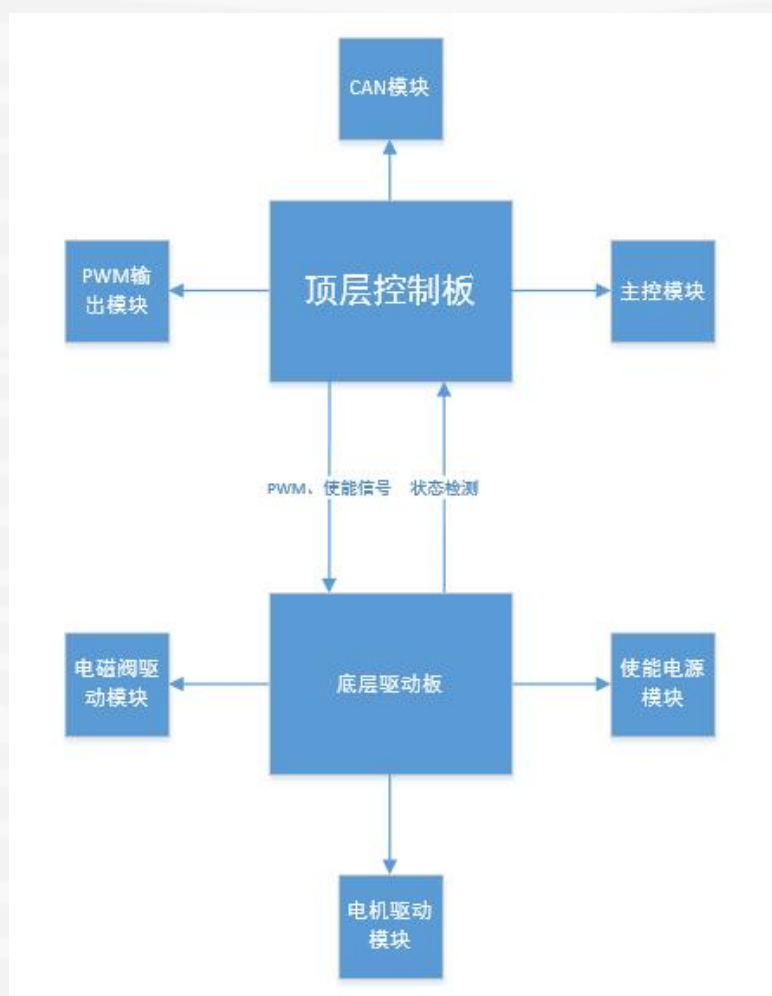


图 1-1 ESC 功能模块构成

ESC 全名为 Electronic Stability Control，一般用于控制车身高速行驶状态下的稳定性。今年车队研发 ESC 主要用于制动，实现对四个车轮稳定而准确可控的油压控制。

如图 1-1 所示，ESC 主要由两个部分构成：底层的驱动板以及顶层的控制板。其中顶层控制板涉及到收发 CAN 信号，主控算法以及 PWM 输出三大部分；底层的驱动板主要涉及电磁阀，电机的驱动以及电源使能模块，这些部分会在后文详细介绍。

由于 ESC 制动力不足，并不适合用于紧急制动，所以在功能上只是作为制动的冗余系统以及检测系统，在进入 AS Ready 前以及实际 EBS 制动时检测油压，如果油压没有在规定时间内（3s）增长到一定程度，就认为 EBS 错误，自动制动并发出代表错误的信号。另外在无人跑动直线时，车辆需要缓停，制动力也由 ESC 提供。

## 2. 针对规则

3.2.4. 在 AS 切换至“AS Ready”前，必须存在一个初始状态检查来保证 EBS 和它的冗余系统可以像期望的一样建立制动压力。

3.2.5. 驱动系统不被认为成制动系统。

3.2.6. 如果确保存在双向监测，行车制动可以认为是一套冗余系统。

### 3. 关联信号模块

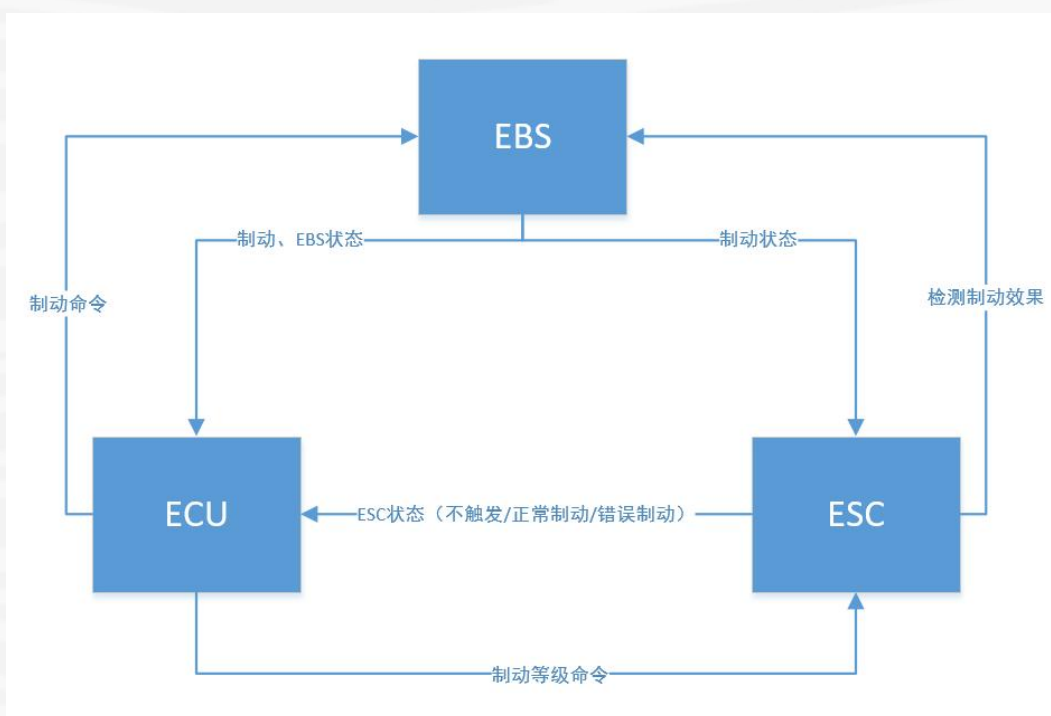


图 3-1 ESC 与整车信号交流示意图

如图 3-1 所示，ESC 主要与 EBS 和 ECU 有信号交流。其中 ECU 会向 ESC 发送 0-5 的制动等级信号，分别对应油压 0 到 1Mpa。接收信号后，ESC 内部自带的电机转动（占空比 0.6-0.9），并通过开闭电磁阀实现油路转换与油压调节，确保目标油压可以保持在一定范围内。同时 ESC 也会自检油压，并发送自身的状态位。

ESC 会接收 EBS 的制动状态，并检测 EBS 是否正常制动。如果 EBS 制动后规定时间内没有足够的油压，ESC 会自动补位，同时发送 EBS 的错误位。该错误状态会被锁存直到检测到 EBS 的状态不再是制动状态。

进入 AS Ready 状态前，ESC 会先进行制动，检测油压正常后，进入无人模式，EBS 触发。如果 ESC 检测正常，则可以进入 AS Ready 状态，否则 ESC 报错，系统退出 AS Ready 状态。

## 4. 最终电路设计

### 整体电路综述:

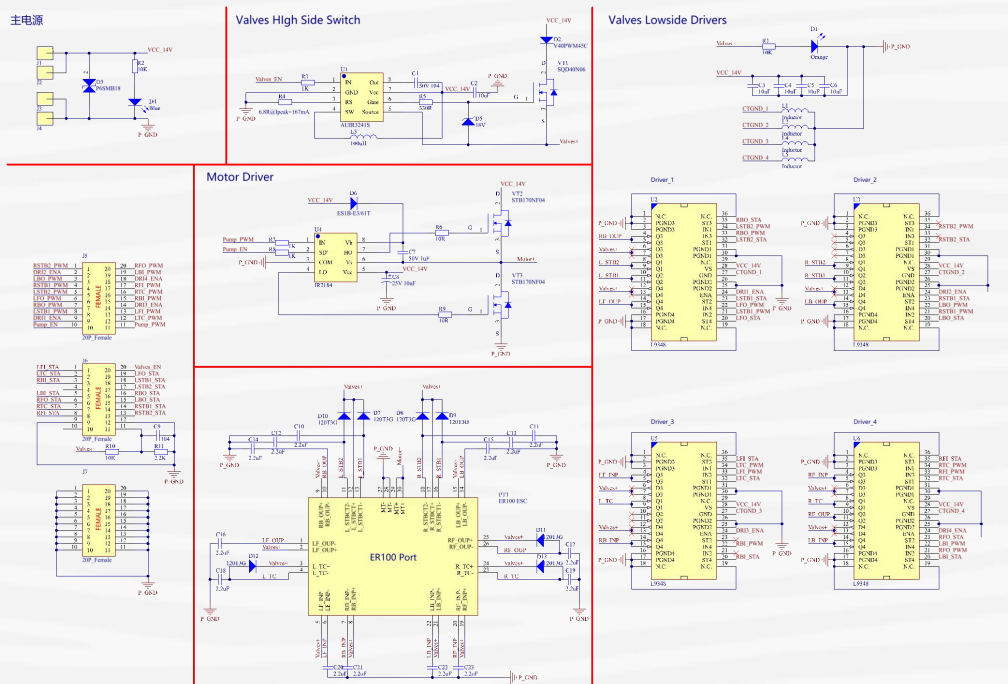


图 4-1 驱动板最终 PCB 原理图

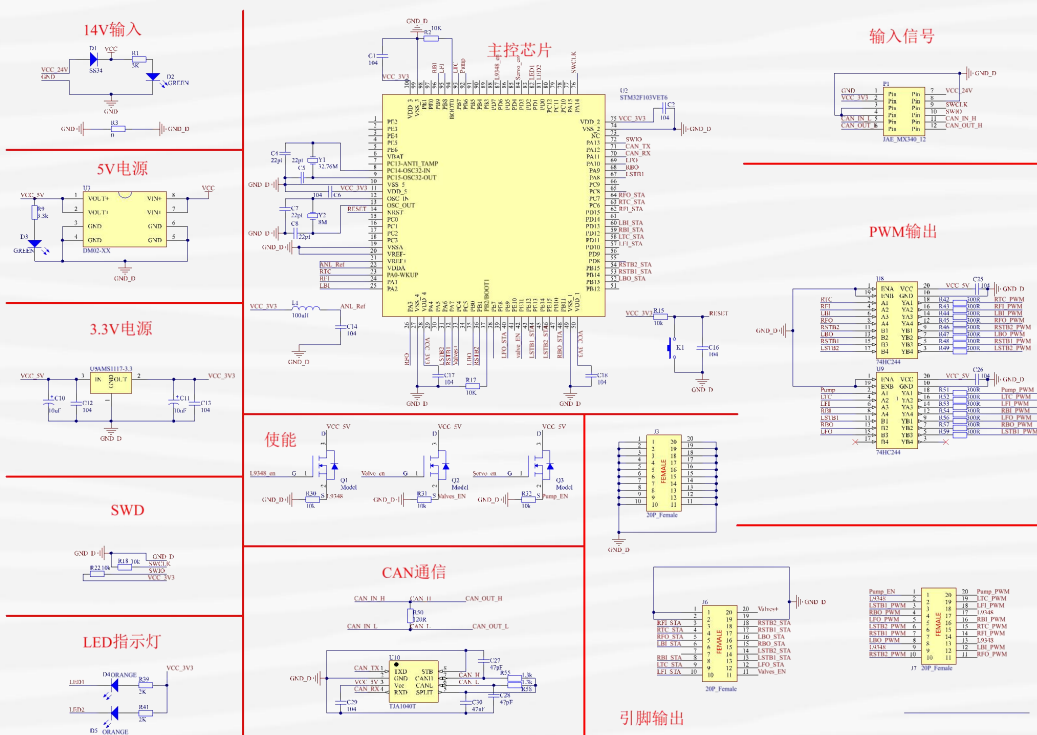


图 4-2 控制板最终 PCB 电路图

接下来介绍两个板子的主要构成部分，至于 LED、SWD 等不再赘述。

驱动板：

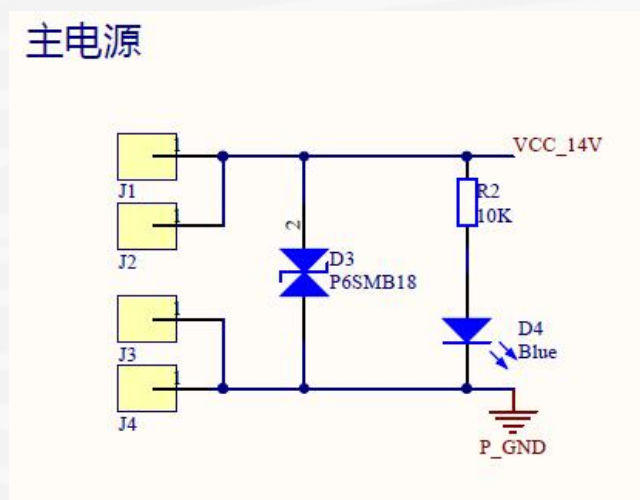


图 4-3 电源输入

由于电机的额定电压在 14V，为了避免电压过高损坏电机的问题，采用铝壳电源将低压电 24V 转化为 14V 电源，驱动电机及电磁阀。该电流最大时可达 9A，铝壳电源最大电流 13A，符合要求。

电路在接通、断开电感负载或大型负载时常常会产生很高的操作过电压，这种瞬时过电压称为浪涌电压，是一种瞬变干扰。而电磁阀和电机都是大功率电感元件，在通断过程中即便采用二极管泄压，难免会产生瞬时的过电压。P6SMB18 是一种双向瞬态二极管，在电压超过 16.2V 时，可以瞬时导通以避免该部分电流损坏电路系统。

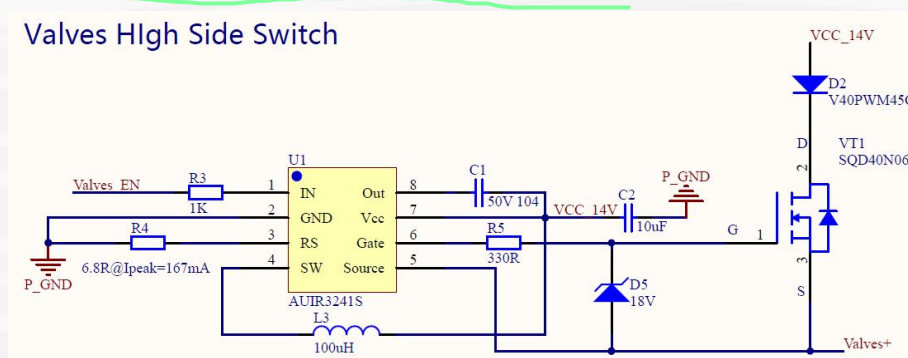


图 4-4 驱动板电源使能

该应用电路通过输入引脚 IN 实现对 Gate 开关的控制，进而控制整个电源的通断。

AU1R3241 是宽电压供电的大功率电源控制芯片，其供电电压可以为 3-36V 的任意值，输入端的电压可以在 2.5-5V 之间实现整个电源电路的通断，可以兼容单片机 3.3V。

使用大功率 mos 管 SQD40N06 流经所有的电源电压，可承受 40A 的电流，完全符合系统的要求（电磁阀部分最大约 6A）。



Motor Driver

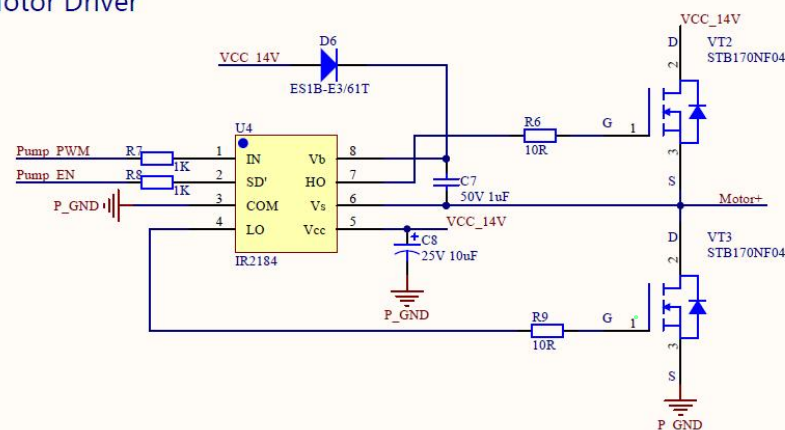


图 4-5 电机控制电路

该电路用于控制电机的停转。由于电机属于感性负载，其上的电流不能突变，不能直接使用 PWM 控制二极管通断供电。IR184 是一种半桥功率放大芯片，可以通过两路相反的输出分别控制电源和 GND 的通断，从而实现 PWM 直接控制电机的功能。

IR2184 的输入部分包括使能和 PWM。使能信号为低时，输出部分 HO 与 LO 都为低；否则根据 IN 引脚的输入，HO 与 LO 输出相反。驱动电机的部分为典型的自举电路：IN 输入为低时，LO 为高，Motor 和 GND 导通，此时电容 C7 由电源电压开始充电；IN 输入为高时，LO 为低，HO 的电压等于 Vb 的电压。MOS 管在 Vgs 达到一定压差时才会导通，因此 HO 与 Motor 上的压差等于电容电压，Motor 此时为高。如此充放电周而复始，实现 PWM 控制电机转动的目的。

在实际测试的过程中，1uF 的电容在 PWM 频率为 1000HZ，占空比 0.7 时由于存储的电荷不足，mos 管的 Vgs 达不到阈值，电机直接连接到 Vs 引脚。由于电机的电流不能突变，过剩的电流击穿了 Vs 与 HO 之间的 mos 管，芯片损坏，后来换成 10uF 的电容，不再出现芯片损坏的问题。

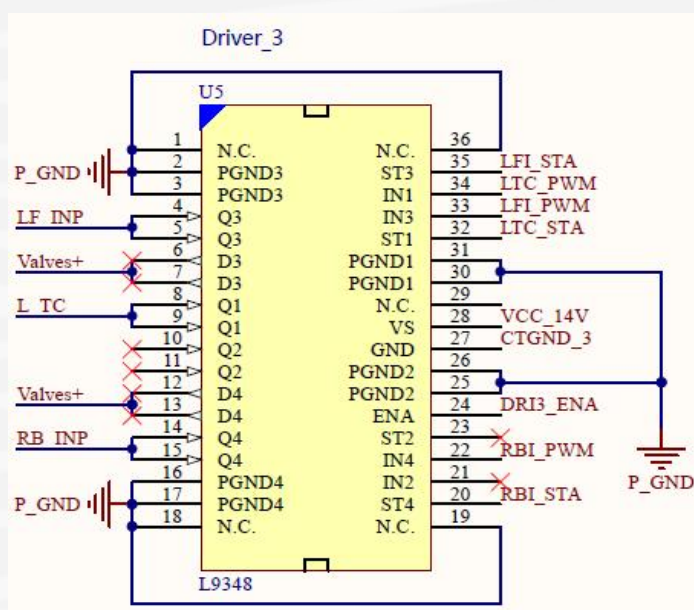


图 4-6 电磁阀驱动电路（一）

如图 4-6, 电磁阀驱动电路使用 L9348 芯片, 每一个芯片可以分别输出四路独立的 PWM, 对应四个电磁阀开关控制。实际电磁阀数量为 14 个, 共使用 4 个 L9348 芯片。

L9348 芯片包含四个输入端，4 个状态输出端，4 个电流输出状态（高阻态或导通），以及一个总的使能引脚。为了避免麻烦，控制板使用一个引脚控制 4 个芯片的使能。

L9348 本身不具有带感性负载的能力，但支持 PWM 形式的高速通断，以及最大 3A 的电流导通，相比 1A 可以实现功能的电磁阀，电流输出要求可以满足。此外，该芯片可以检测错误状态，包括输出过载、过温等。输出脚和输入脚在正常情况下会保持一致，（超过 667Hz 的输入会导致输出一直为高），发生错误后状态反转，所以可以输出电流时检测输出状态，为低时报错。

另外，每个芯片的 VCC 和 GND 都有电容和电感滤波，不再单独截图。

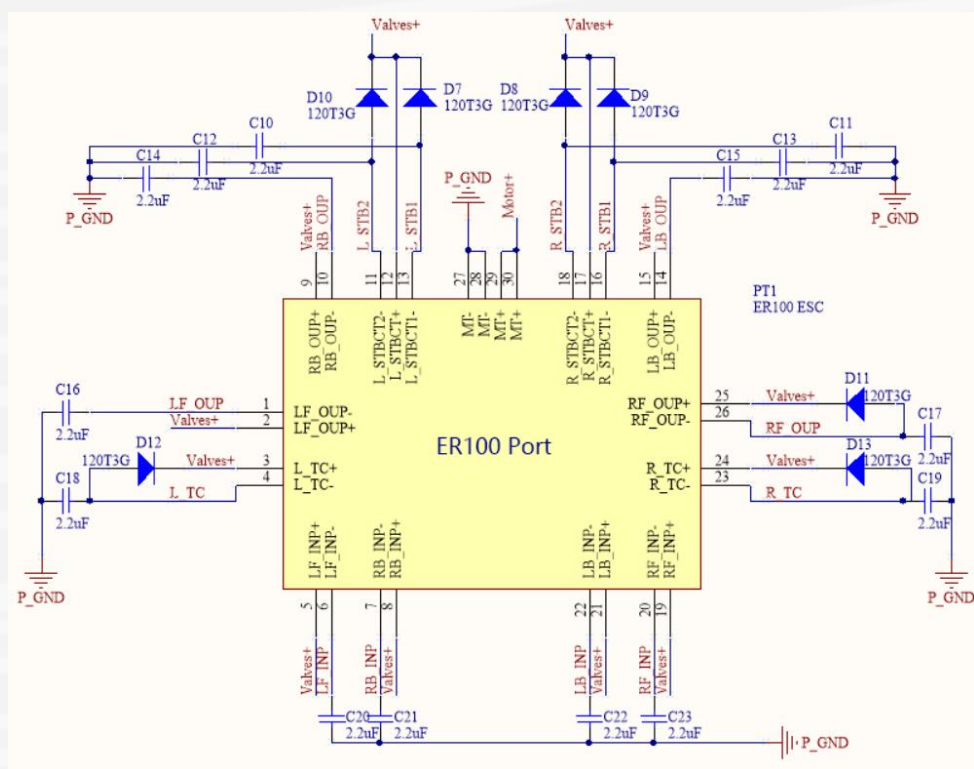


图 4-7 电磁阀驱动电路 (二)

ER100Port 实际代表与电磁阀位置对应的过孔，实际通过焊线连接二者。L9348 的输出代表与地导通与否，因此在导通且电源使能后，可以控制 PWM 形式的电流流过电磁阀，从而控制电磁阀导通与否。

120T3G 是一种快速恢复整流二极管，适合实现高频下的通断。PWM 控制电磁阀时，由于电磁阀为感性负载，其上电流不能突变，这部分电流经过 123T3G 二极管进入 Valve 电源端，避免损伤 L9348 芯片。



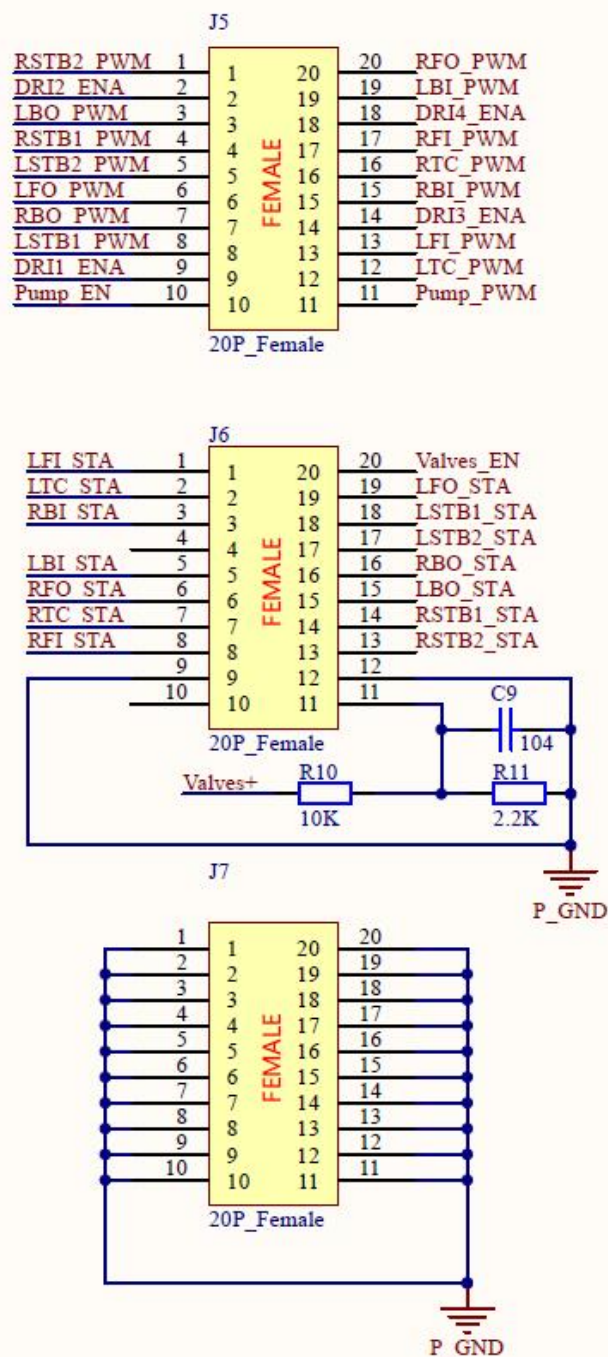


图 4-8 驱动板控制板连接

使用 Female 板对板连接器连接驱动板与控制板，同时固定二者之间的位置。信号包含 15 路 PWM，4 个 L9348 使能信号，1 个电机使能信号，1 个电源使能信号，1 个电源 ADC 信号采集口，以及 14 个状态位。

控制板：

控制板主要实现接收信号、中央控制、PWM 算法三个部分。

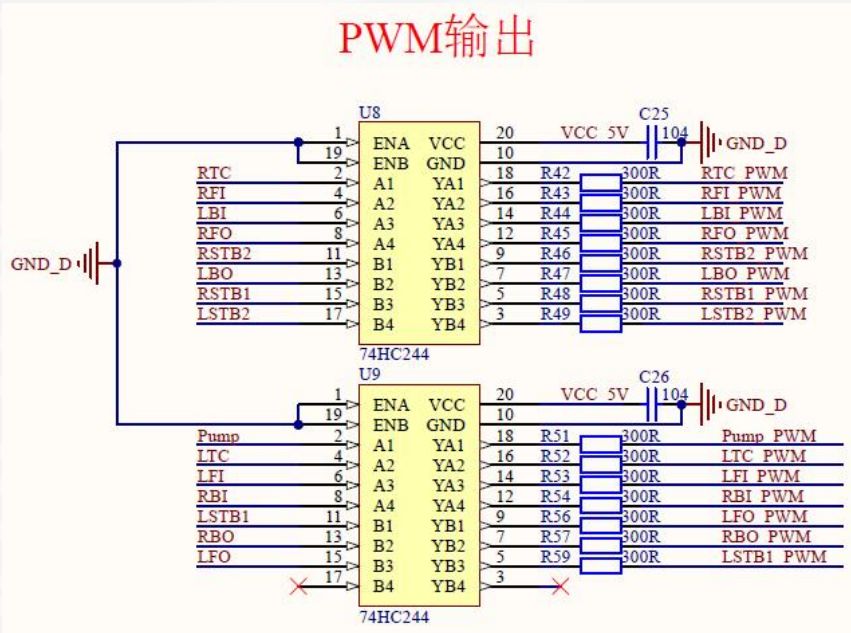


图 4-9 PWM 输出

一共有 14 个需要控制的电磁阀，再加上电机，实际共输出 15 路 PWM，分别由 4 路定时器输出 PWM。

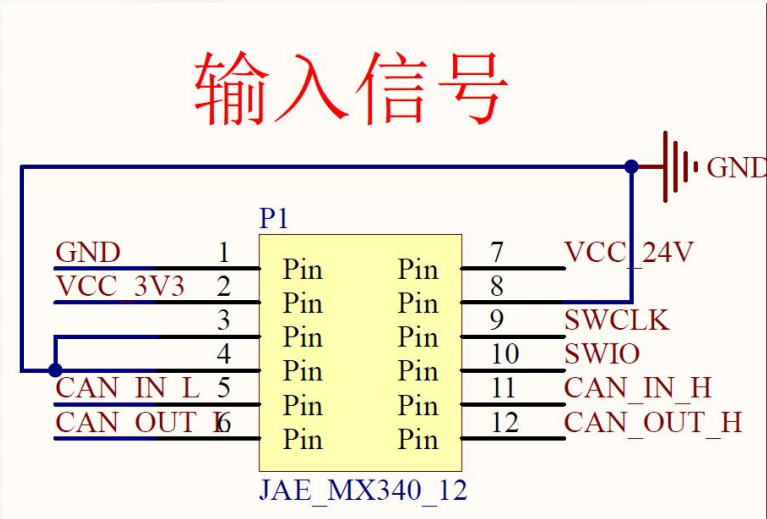


图 4-10 控制板的输入信号

输入信号较少，只有电源、CAN、SWD 下载口三个部分，获取整车状态以及和 EBS 双向通信都通过 CAN 通信。

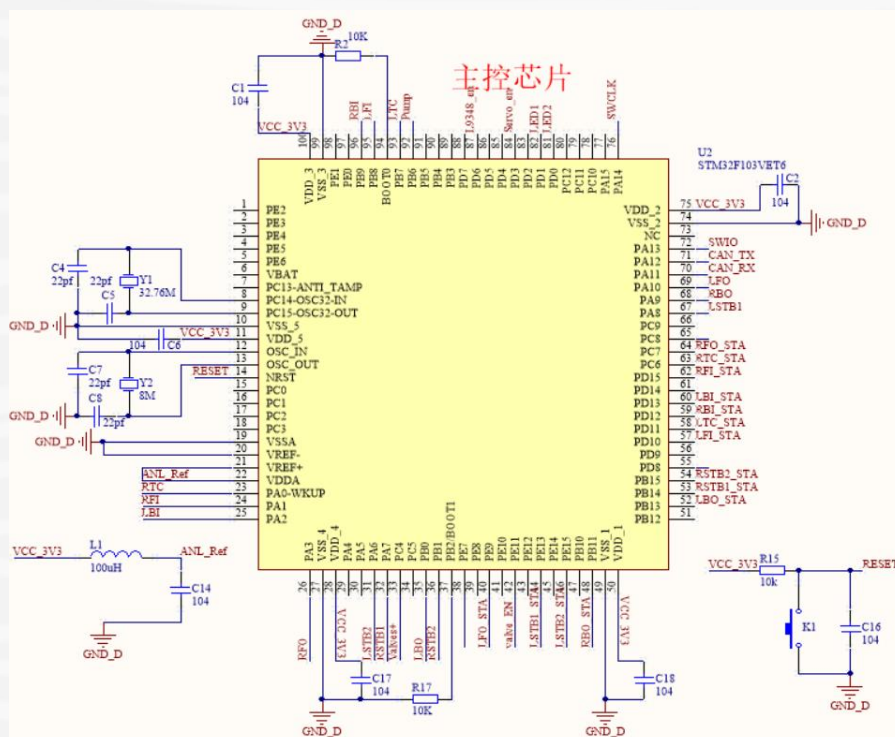


图 4-11 主控芯片部分原理图

虽然 ESC 的控制对芯片性能要求不高，但由于较多的 PWM 输出以及状态输入，需要大量的引脚进行状态获取与下发命令，所以使用 STM32F103VET6 芯片，共 100 个引脚，足够达到所需要的数量。

### 控制策略:

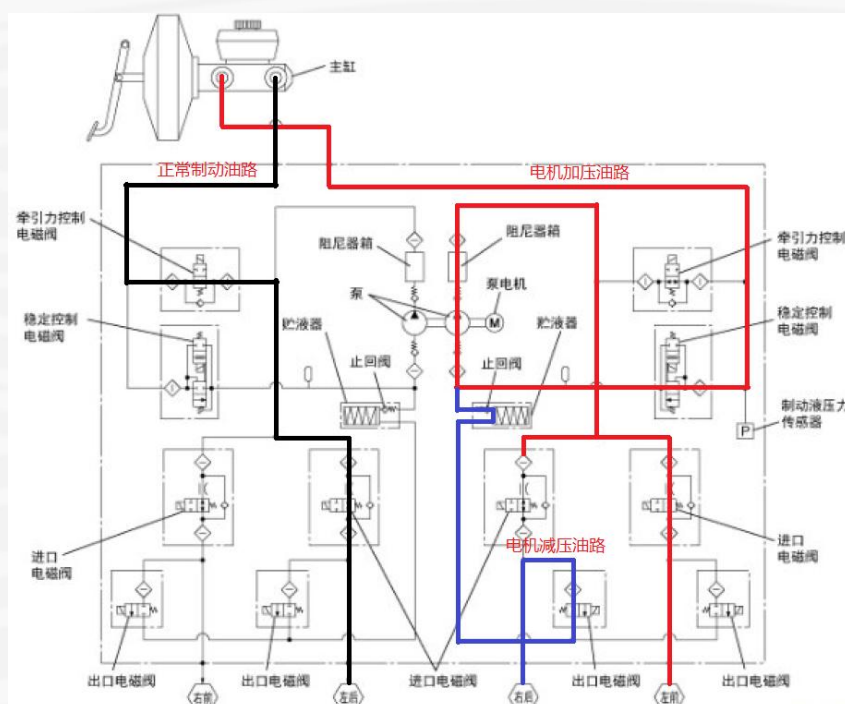


图 4-12 ESC 泵体内部油路布置

	进口电磁阀	出口电磁阀	牵引力控制电磁阀	稳定性控制电磁阀	电机
增压	不通电/ON	不通电/OFF	通电/ON	通电/OFF	转
降压	通电/OFF	通电/ON	不通电/OFF	不通电/ON	转
保压	通电/OFF	不通电/OFF	不通电/OFF	不通电/ON	不转

表 4-1 不同功能下电磁阀通断情况

如图 4-12 所示,ESC 使用电机进行加减压的过程实际就是改变制动油流动的路径以及电机转动的 PWM 占空比。通过控制板输出 PWM 可以改变电磁阀开关状态,进而实现改变油路的目的。

表 4-1 是具体实现修改油路的电磁阀通断表。当所有的电磁阀都不通电时,有人状态可以正常的踩动加压,其油路由图 4-10 黑色线所示;要实现某一路增压,需要通电牵引力电磁阀与稳定控制电磁阀,油路为图 4-10 的红色线所示,电机转动即可带动制动油流向轮边;需要减压时,通电进口电磁阀与出口电磁阀,制动油沿着图 4-10 蓝线所示到达储液器;要实现保压的目的,只需要通电进口电磁阀即可。

实际测试过程中发现,进口电磁阀可以基本保证油压不增加,但存在漏油现象,为了减小该现象,实际控制时电机一直处于转动状态,也可以避免电机频繁停转对系统的冲击。

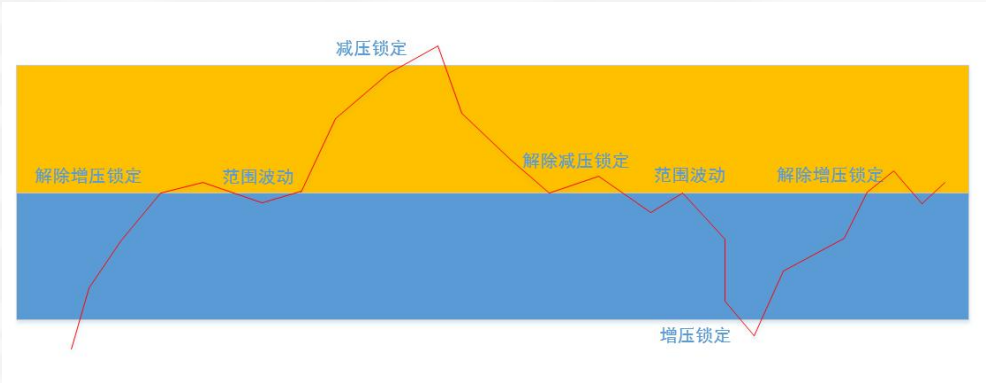


图 4-13 控制策略示意图

相比机械式的气瓶制动,ESC 的制动力明显不足,最大约 1MPa,不可能实现制动测试。但 ESC 的优势在于可以实时监测控制各个车轮的油压,以达到制动力最优分配的目的。

ESC 控制油压时,系统总处于加压、减压、保压之一的状态,而状态之间切换的过程需要一定时间并产生峰值电压,对系统不利。所以基本的控制策略如图 4-13 所示,分别设定一个合适的上下阈值(中间值为目标油压),检测到油压波动超过设定的范围后,设置锁存位,系统进入加压或降压的状态直到油压重新回到目标值。

实际测试时,关闭进口电磁阀油压整体有下降的趋势;为了避免测量油压时数据波动导致的频繁状态转换,上下阈值必须选取与目标值相差较大;但选取过大的偏差,ESC 分配油压的功能也就失去了意义。经过实际验证,0.08MPa 的阈值偏差为比较好的值。



## 控制流程

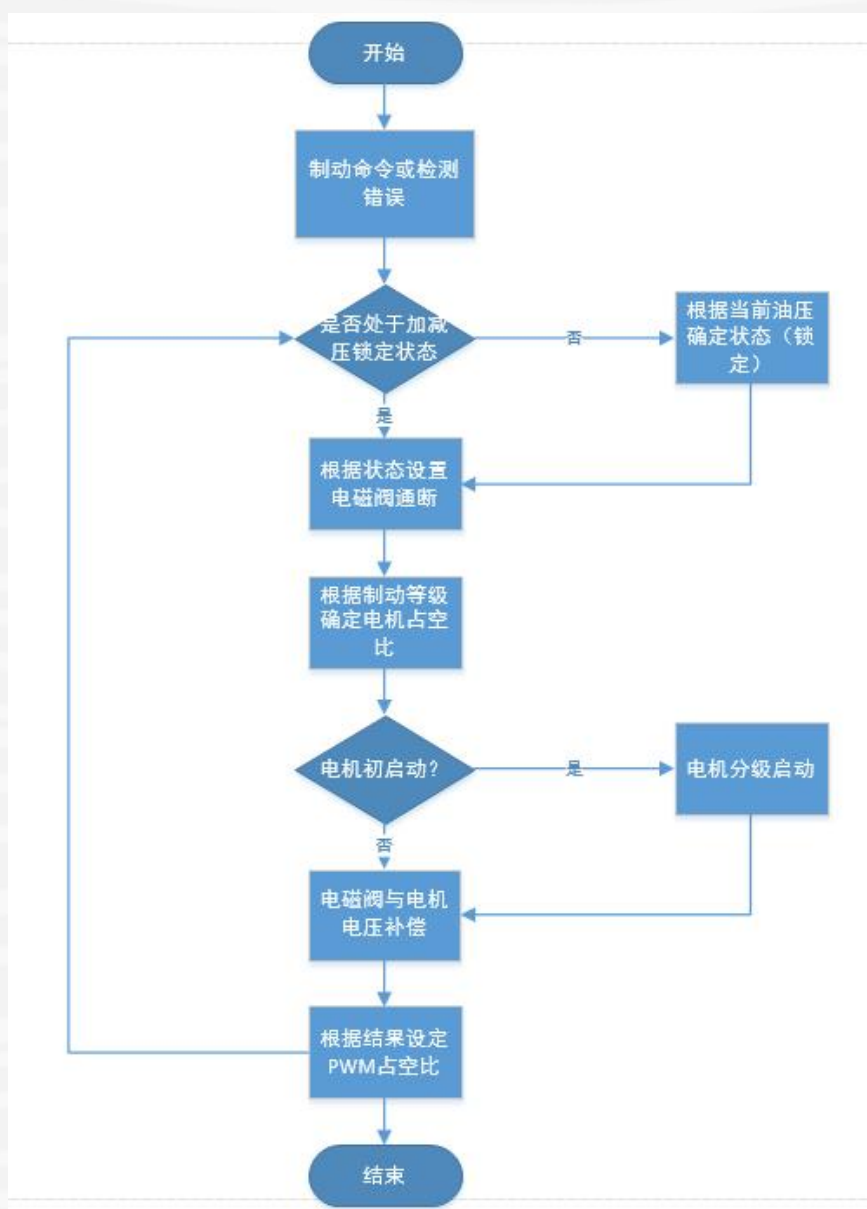


图 4-14 控制流程示意图

ESC 只在接收到制动命令或者检测到 EBS 制动错误后才会进入制动状态，制动状态控制流程如图 4-14 所示。进入制动状态后，系统根据置位确定当前的锁定状态，如果没有，则根据油压和目标值的差确定状态。进入锁定状态后（锁定加压、锁定减压），直到重新达到目标油压才会停止。

电机的占空比依靠制动等级确定，一般要求电机直接加压时的油压大于目标油压。实际控制时设定电机与制动等级线性相关，即 1-5 的制动等级对应 0.55-0.95 的电机占空比。

电机的电流与转速关系如下所示：

$$U_a = C_e * \phi * n + I * R_a$$



所以电机通电时初始转速为零，与之对应的的电流等于  $U/R$ 。经过测量， $R=3$  欧，所以电机初始启动时的电流非常大，对整个供电系统以及电机都有损害。采取分级启动的方法可以减小大电流的冲击，即电机刚上电的 1s 内，设定占空比为  $0.5+0.5*k$  ( $k$  为制动等级)，待到电机转速达到一等程度后，再设定目标占空比，可以减小流经电机的冲击电流。

电压补偿可以确保实际的电流（电压/电阻）达到预定值。由于电磁阀（1A）与电机（约 3A）都是比较大电流的器件，难免在电流变化或总量较大时出现电源电压被拉低的情况。所以需要实时检测电源电压，并根据实际电压按比例补偿占空比，确保电磁阀与电机的实际电压达到预定值。

控制时序如表 4-2 所示：

Count	ECU	ESC	ESC	油压采集板
0	制动命令			油压数据
1		设定 PWM	发送制动状态	
2				油压数据
3	制动命令			
4		设定 PWM	发送制动状态	油压数据
5				
6	制动命令			油压数据
7		设定 PWM	发送制动状态	
8				油压数据
9	制动命令			
10		设定 PWM	发送制动状态	油压数据
11				
12	制动命令			油压数据
13		设定 PWM	发送制动状态	
14				油压数据
15	制动命令			
16		设定 PWM	发送制动状态	油压数据
17				
18	制动命令			油压数据
19		设定 PWM	发送制动状态	
20				油压数据
30Hz	10Hz	10Hz	10Hz	15Hz

ECU 以 10Hz 的频率发送制动命令，ESC 也以 10Hz 的频率计算设定 PWM 占空比；而油压采集信号以 15Hz 的频率获得，高于 ESC 的控制频率，避免数据未更新导致的控制问题。

油压采集板由一个单独的板子采集，并通过 CAN 信号将采集到的油压发出来。油压采集板实质为 4 路 ADC 采集板，这里不再赘述。采集到的数据不经处理，以 8 个 CAN 位发送，每一路油压共 12 位，ESC 需要进行解码获得实际数据。

控制效果

## 5. 传感器选型



种类：压力  
型号：CGWY002  
材料：不锈钢（可定制）  
适配件号：//  
量程：0~30、100、150 PSI（可定制）  
防防等级：IP65  
输出信号：0.5~4.5V（可定制）  
输出型号：数字型  
供电电压：5±0.25VDC（可定制） 制  
作工艺：陶瓷式  
特点  
\*输出误差小：  
±  
2%FS（包括非线性、回差和重复性，全温度范围）；  
\*重量轻，体积小，易安装和操作；  
\*无磨损，性能稳定，长期漂移小，寿命长；  
\*完全兼容，可直接替换机械式传感器；  
\*完善的浪涌电压保护。

图 5-1 油压传感器型号

油压传感器定制型号 5V 供电，0.5-4.5V 输出，8MPa 的最大压强测量范围，足够赛车车轮抱死的油压。

## 6. 安装位置

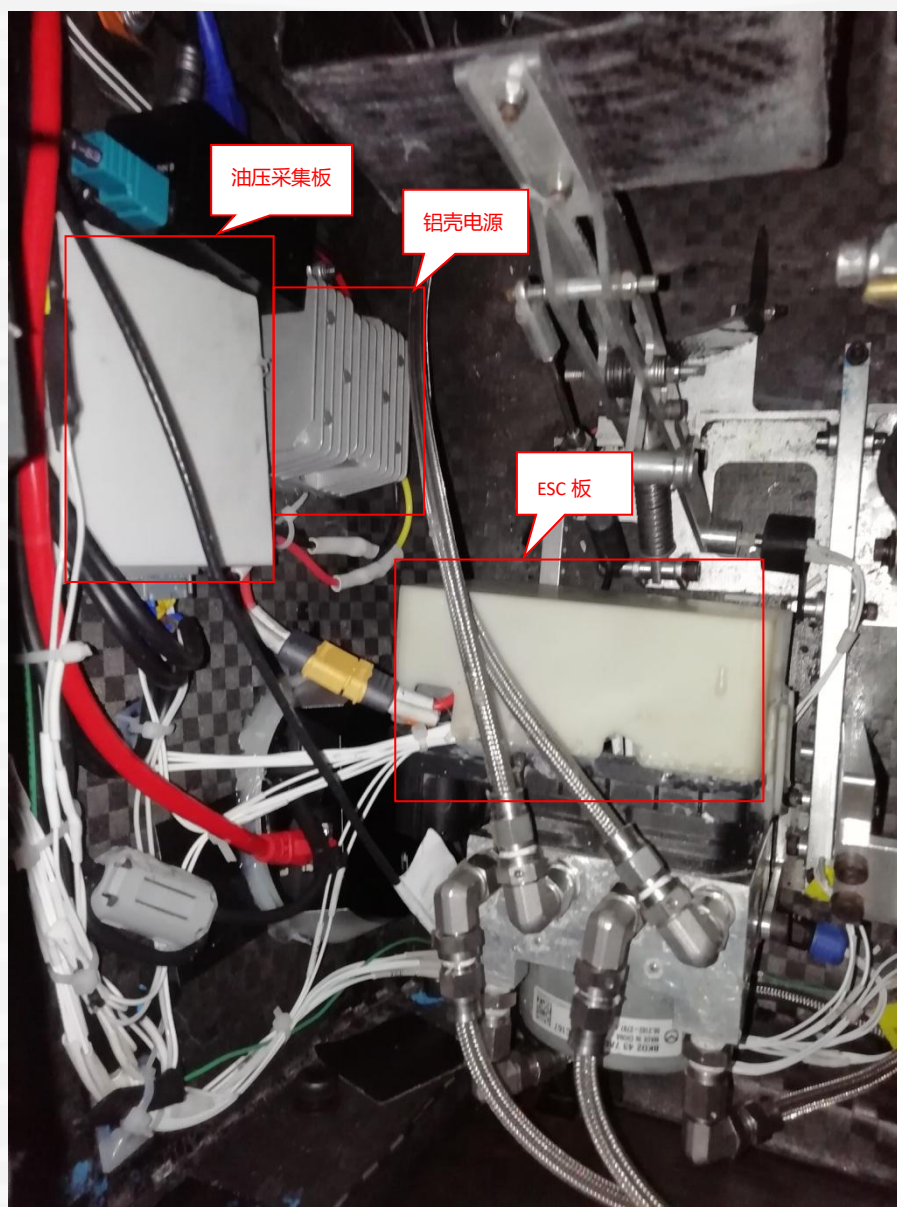


图 6-1 ESC 实际安装位置

如图 6-1 所示为 ESC 整个模块的安装示意图，将 ESC 泵原有的控制板取下，换成车队自主开发的 PCB，并使用新的电源模块对泵体供电。采集油压使用一个单独的板子，可以实际采集四路油压。ESC 泵体内部的板子示意图如下所示：





图 6-2 ESC 内部泵体安装示意图

驱动板与泵体之间通过 MX34 插头连接，电磁阀与电机的引出脚使用线束焊接，外包绝缘胶带，再用热熔胶糊上以避免短路。驱动板与控制板之间通过 Female 板对板连接器连接，在使用热熔胶固定，确保不出现连接松动问题。