

团 体 标 准

T/CSICE 033.4-2025

柴油发动机电控单元 第 4 部分：硬件设计

Diesel engine electronic control unit—Part 4: Hardware design

2025-12-26 发布

2025-12-26 实施

中国内燃机学会 发布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号和缩略语 1

5 硬件设计总体要求 2

 5.1 概述 2

 5.2 设计流程 2

6 硬件需求说明 2

 6.1 总体要求 2

 6.2 电路模块参数要求 2

 6.2.1 模拟量输入模块 2

 6.2.2 数字量输入模块 2

 6.2.3 频率量输入模块 3

 6.2.4 模拟量输出模块 3

 6.2.5 高边功率输出模块 3

 6.2.6 低边功率输出模块 3

 6.2.7 通讯模块 3

 6.2.8 喷油模块 4

 6.2.9 传感器供电模块 4

 6.2.10 诊断功能 4

 6.2.11 电性能要求 4

 6.2.12 EMC 要求 4

 6.2.13 环境可靠性要求 4

 6.2.14 功能安全要求 4

 6.2.15 信息安全要求 5

7 架构设计 5

8 元器件选型 5

 8.1 元器件选型的原则 5

 8.2 元器件选型的注意事项 5

9 电路原理图设计 5

 9.1 设计原则 5

9.2	页面布局要求	6
9.2.1	整体性	6
9.2.2	功能性	6
9.2.3	对称性	6
9.2.4	模块化	6
9.2.5	信号流向	6
10	PCB 设计	6
10.1	设计准备	6
10.2	PCB 布局	6
10.2.1	设置板框图	6
10.2.2	设置禁布区	7
10.2.3	选择器件贴装面	7
10.2.4	PCB 布局原则	7
10.3	设置布线约束条件	7
10.3.1	布线设计	7
10.3.2	叠层设置	7
10.3.3	线宽和线间距设置	8
10.3.4	过孔设置	8
10.3.5	定义和分割平面层	9
10.4	布线	9
10.5	工艺设计要求	9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

T/CSICE 033-2025《柴油发动机电控单元》已经或计划发布7个部分。

- 第1部分：需求开发。
- 第2部分：应用软件开发。
- 第3部分：基础软件开发。
- 第4部分：硬件设计。
- 第5部分：软件集成。
- 第6部分：软件测试。
- 第7部分：硬件验证。

本文件为T/CSICE 033-2025第4部分。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国内燃机学会标准管理部提出。

本文件由中国内燃机学会归口。

本文件起草单位：潍柴动力股份有限公司、山东大学、潍柴雷沃(潍坊)农业装备有限公司、潍柴新能源商用车有限公司、济南汽车检测中心有限公司、南岳电控(衡阳)工业技术股份有限公司、中国重型汽车集团有限公司。

本文件主要起草人：史家涛、杨英振、孙波、白书战、季宇杰、范鹏、常秀书、唐波、张秀丽、李园、李文学、潘玉鑫、刘党、刘悦、张文超。

本文件于2025年首次发布。

引 言

T/CSICE 033-2025《柴油发动机电控单元》是指导柴油发动机电控单元如何自上而下进行正向开发。它涉及柴油发动机电控单元开发的原则、流程、设计、集成和验证的行业标准，由7个部分组成。

- 第1部分：需求开发。
- 第2部分：应用软件开发。
- 第3部分：基础软件开发。
- 第4部分：硬件设计。
- 第5部分：软件集成。
- 第6部分：软件测试。
- 第7部分：硬件验证。

T/CSICE 033-2025的第1部分规定了柴油发动机电控单元需求开发的术语和定义、一般要求和需求开发过程要求。第2部分规定了柴油发动机电控单元中应用软件开发的术语和定义、组成部分、开发流程及技术指标。第3部分规定了柴油发动机电控单元中基础软件的术语和定义、技术指标及开发过程。第4部分规定了柴油发动机电控单元中硬件设计的术语和定义、硬件设计总体规范、硬件需求说明的原则和要求、架构设计的指导原则、元器件选型的总则、电路原理图设计和印刷电路板（PCB）设计需要遵循的基本指导方法和规则。第5部分规定了柴油发动机电控单元中软件集成的术语和定义、流程及技术指标。第6部分规定了柴油发动机电控单元软件测试规范。第7部分规定了柴油发动机电控单元硬件验证过程中试验流程、试验参数选择、电控单元试验工况定义等验证设计方法。

柴油发动机电控单元 第4部分：硬件设计

1 范围

本文件规定了柴油发动机电控单元中硬件需求说明、架构设计、元器件及芯片选型、电路原理图设计和印刷电路板（PCB）设计需要遵循的基本指导方法和规则。

本文件适用于柴油发动机电控单元，其他电控单元可参照本文件执行。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电控单元 electronic control unit

根据自身存储的程序对发动机各传感器输入的各种信息进行运算、处理，判断，然后输出指令，驱动相关执行器工作，实现各种多种控制功能的装置。

4 符号和缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AEC-Q: 汽车电子协会认证资格 (Automotive electronics council-qualification)

AI: 模拟输入 (Analog input)

BGA: 球栅阵列封装 (Ball grid array package)

BOM: 物料清单 (Bill of material)

DIP: 双列直插式封装 (Dual in-line package)

DV: 设计验证 (Design verification)

EDA: 电子设计自动化软件 (Electronic design automation)

ICT: 自动在线测试 (In circuit test)

MCU: 微控制单元 (Micro-controller unit)

MSL: 湿敏等级 (Moisture sensitivity level)

PV: 产品验证 (Product verification)

PCB: 印制电路板 (Printed circuit board)

PCBA: 装有元器件的PCB (Printed circuit board assembly)

PPAP: 生产件批准程序 (Production part approval process)

PWM: 脉宽调制 (Pulse width modulation)

QFN：方形扁平无引脚封装（Quad flat no-leads package）

5 硬件设计总体要求

5.1 概述

电控单元硬件设计以系统需求的输出为依据，明确硬件设计过程中的输入、输出，按照电控单元硬件设计过程完成各阶段设计。

5.2 设计流程

根据系统需求的输出，编写能够指导硬件设计的硬件需求说明、架构设计、元器件选型、电路原理图设计、PCB布局布线规则和布线设计。设计流程见图1。

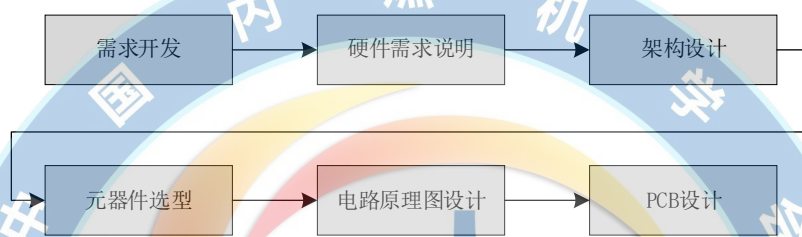


图 1 硬件设计流程

6 硬件需求说明

6.1 总体要求

硬件需求说明来源于系统需求，作为硬件电路量化的指标，具备对系统需求的完整覆盖，内容简明扼要、条目明晰。硬件需求说明包含硬件资源的总体描述、各电路模块参数需求和可靠性需求的描述，需具备向上的可追溯性。

6.2 电路模块参数要求

6.2.1 模拟量输入模块

用于描述模拟量输入的需求，明确模拟量输入模块的配置要求，包括但不限于如下内容：

- 电路模块的名称以及传感器类型；
- 配置的上/下拉电阻要求及其电阻值；
- 电路配置的滤波时间常数；
- 电路模块精度要求；
- 针对采样周期的模拟量输入需做出明确要求；
- 电路模块的电流需求；
- 针对确需隔离设计的模拟量输入需做出明确需求。

6.2.2 数字量输入模块

用于描述数字量输入的需求，明确数字量输入模块的配置要求，包括但不限于如下内容：

- 电路模块的名称及数字量输入对应的功能；
- 配置的上/下拉电阻要求及其电阻值；
- 电路配置的滤波时间常数；

- d) 电路是否需要滞回以及高低有效的识别阈值;
- e) 电性能耐受能力、防护能力的要求, 需做出明确需求;
- f) 针对确需唤醒功能的数字量输入需做出明确需求;
- g) 针对确需 MCU 直接采集的数字量输入需做出明确需求;
- h) 针对确需隔离设计的数字量输入需做出明确需求。

6.2.3 频率量输入模块

用于描述频率量输入的需求, 明确频率量输入模块的配置要求, 包括但不限于如下内容:

- a) 频率信号的信号类型及传感器型号;
- b) 频率信号幅值大小, 精度范围;
- c) 频率信号频率最大值和最小值;
- d) 频率信号是否需要占空比要求以及范围。

6.2.4 模拟量输出模块

用于描述模拟量输出的需求, 明确模拟量输出模块的配置要求, 包括但不限于如下内容:

- a) 信号类型以及传感器、执行器型号;
- b) 精度要求;
- c) 电压或电流范围要求;
- d) 带载能力要求。

6.2.5 高边功率输出模块

用于描述高边功率输出的需求, 包括但不限于如下内容:

- a) 被控对象的名称;
- b) 是否需要续流二极管;
- c) 驱动电路的电流输出能力;
- d) ON/OFF、PWM 驱动类型;
- e) PWM 控制信号的频率范围要求;
- f) 被控对象有特殊要求, 如电流限制或电流反馈, 需要明确写出。

6.2.6 低边功率输出模块

用于描述低边功率输出的需求, 包括但不限于如下内容:

- a) 被控对象的名称;
- b) 是否需要续流二极管;
- c) 低边驱动电路的电流输出能力;
- d) ON/OFF、PWM 驱动类型;
- e) PWM 控制信号的频率范围以及占空比要求;
- f) 被控对象有特殊要求, 如电流限制或电流反馈, 需要明确写出。

6.2.7 通讯模块

用于描述通讯模块的需求, 包括但不限于如下内容:

- a) 通讯模块通道的数量;
- b) 通信速率的具体要求;
- c) 是否需要终端电阻;
- d) 唤醒功能的需求;
- e) 是否需要进行隔离设计;
- f) 天线外置以及内置需求情况;
- g) 绝缘耐压要求。

6.2.8 喷油模块

用于描述喷油模块的需求，包括但不限于如下内容：

- a) 喷油器类型；
- b) 升压电路功率；
- c) 喷油器数量；
- d) BANK 数量；
- e) 喷射次数。

6.2.9 传感器供电模块

用于描述传感器供电模块的需求，包括但不限于如下内容：

- a) 供电电压；
- b) 电压值精度；
- c) 带载能力。

6.2.10 诊断功能

用于描述输入、输出的诊断要求，包括但不限于如下内容：

- a) 输入类针脚超上下限的诊断描述；
- b) 高边 ON/OFF/PWM 驱动和不驱动时的诊断描述；
- c) 低边 ON/OFF/PWM 驱动和不驱动时的诊断描述；
- d) H 桥驱动和不驱动时的诊断描述。

6.2.11 电性能要求

用于描述电性能可靠性的要求，包括但不限于如下内容：

- a) 适用的标准；
- b) 等级要求；
- c) 试验要求。

6.2.12 EMC 要求

用于描述 EMC 的要求，包括但不限于如下内容：

- a) 适用的标准；
- b) 等级要求；
- c) 试验要求。

6.2.13 环境可靠性要求

用于描述环境可靠性的要求，包括但不限于如下内容：

- a) 适用的标准；
- b) 等级要求；
- c) 试验要求。

6.2.14 功能安全要求

用于描述功能安全的要求，包括但不限于如下内容：

- a) 适用的标准；
- b) 等级要求；
- c) 试验要求。

6.2.15 信息安全要求

用于描述信息安全的要求，包括但不限于如下内容：

- a) 适用的标准；
- b) 等级要求；
- c) 试验要求。

7 架构设计

架构设计遵循以下原则：

- a) 依据硬件需求说明，架构设计完全包含电控单元需要的所有功能；
- b) 引用经过验证和测试的子架构设计，提高设计成功率；
- c) 架构方便扩展，为潜在的需求变更预留准备；
- d) 架构设计框图简洁清晰，方便阅读，有效指导电路原理图的设计。

8 元器件选型

8.1 元器件选型的原则

元器件选型原则如下。

- a) 普遍性原则。所选的元器件被广泛使用并经过充分验证。
- b) 高性价比原则。在元器件功能及可靠性都满足需求的前提下，选择价格有优势的元器件。
- c) 采购方便原则。选择采购渠道广泛、供货周期短的元器件。
- d) 持续发展原则。选用推荐新设计或量产状态的元器件。
- e) 可替代原则。选择封装通用、引脚兼容、品牌丰富的元器件。
- f) 向上兼容原则：在元器件及芯片功能满足需求的前提下，选择成熟产品使用的元器件。
- g) 归一化原则。在不影响功能、可靠性的前提下，尽可能减少物料的种类。
- h) 国产化原则。在满足功能和可靠性的前提下，优选选择国产元器件。
- i) MCU选型原则。满足核心数量、主频、内部存储空间等要求，选择软硬件开发复用率高的MCU。

8.2 元器件选型的注意事项

元器件及芯片选型注意事项如下：

- a) 选用元器件及芯片满足 AEC-Q 认证；
- b) 选用封装尺寸不小于 PCBA 贴片工厂生产能力要求的元器件及芯片；
- c) 不建议使用 QFN 封装的元器件；
- d) 使用贴片封装的元器件，贴片封装的引脚间距 $\geq 0.5\text{mm}$ ；
- e) 不建议使用 DIP 封装的元器件及芯片；
- f) 选用密封真空包装的型号；
- g) 建议选用卷带包装、托盘包装的元器件及芯片，不能选用管状包装的元器件及芯片；
- h) 湿敏等级 (MSL) ≤ 4 。

9 电路原理图设计

9.1 设计原则

电路原理图设计遵循清晰、准确、规范、易读的设计原则。

9.2 页面布局要求

9.2.1 整体性

按照信号的流向，整体布局时分为水平布局或垂直布局：

- a) 水平布局时，相同功能的元器件纵向对齐，同一个或类似的信号流上的元器件放置在同一水平线；
- b) 垂直布局时，相同功能的元器件横向对齐，同一个或类似的信号流上的元器件放置在同一纵向垂线。

9.2.2 功能性

逻辑功能上相关联的元器件或功能单元模块电路靠近绘制。功能组之间留有一定的空白区域，用于放置组与组之间的连线网络名和功能注释文字。

9.2.3 对称性

同等重要的并联通路元器件或功能相同的单元电路对称布置，增强图的可阅读性。

9.2.4 模块化

电路原理图表示电路的连接关系，电路结构要具备易读性，电路按功能进行划分，模块化设计，便于移植或复用。

9.2.5 信号流向

布局时按照信号的流向，信号输入连接端口放置在页面的左端，输出放置在页面的右端，上下对齐，均匀排布，集中放置在一侧。

10 PCB 设计

10.1 设计准备

PCB设计前需完成以下准备工作。

- a) 创建网络表。网络表是电路原理图与PCB的接口文件，根据所用的EDA工具的特性，选用正确的网络表格式。
- b) 创建PCB板。根据PCB板结构外形图或对应的标准板框，创建PCB设计文件。
- c) 选定正确的PCB板坐标原点位置，原点的设置原则如下。
 - 1) PCB板左边和下边的延长线交汇点。
 - 2) PCB板左下角的第一个焊盘。
- d) 建议板框四周倒角，倒角半径以方便生产为准。

10.2 PCB 布局

10.2.1 设置板框图

根据结构图设置板框尺寸，按结构要素布置安装孔、接插件等需要定位的器件，并给这些器件赋予不可移动属性。

10.2.2 设置禁布区

根据结构图、生产加工时所须的夹持边及某些元件的特殊要求(如晶体下方、变压器下方等元器件)，设置印制板的禁止布线区域和禁止布局区域。

10.2.3 选择器件贴装面

加工工艺的优选顺序参见图2。

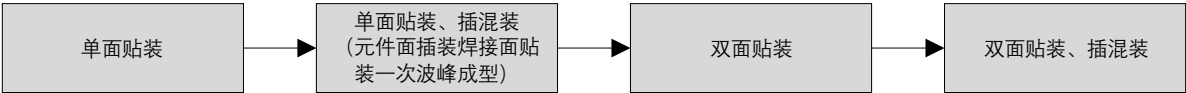


图 2 器件贴装面优选顺序

10.2.4 PCB 布局原则

PCB布局过程遵循以下原则：

- a) 根据元器件尺寸“先大后小，先难后易”进行布置；
- b) PCB布局中参考架构设计，根据PCB板的主信号流向规律布置主要元器件；
- c) 信号走线尽可能短，关键信号线最短；
- d) 辐射较强的信号与弱信号完全分开；
- e) 模拟信号与数字信号分开；
- f) 高频信号与低频信号分开，且高频元器件之间要间隔充分，避免相互干扰；
- g) 按照均匀分布、重心平衡、版面美观的标准优化布局；
- h) 一般芯片类器件布局时，栅格推荐为1.27 mm-2.54 mm，小型表面贴装器件栅格为 ≥ 0.60 mm。

10.3 设置布线约束条件

10.3.1 布线设计

布局基本确定后，使用PCB设计工具的统计功能，报告网络数量，网络密度，平均管脚密度等基本参数，以便确定所需要的信号布线层数。

信号层数的确定可参考以下推荐表1。

表 1 推荐信号层数

引脚密度	信号层数	板层数
1.0 以上	2	2
0.6-1.0	2	4
0.4-0.6	4	6
0.3-0.4	6	8
0.2-0.3	8	12
<0.2	10	>14
注：引脚密度的定义为：板面积（平方英寸）/（板上管脚总数/14）。		

10.3.2 叠层设置

在高速数字电路设计中，电源与地层为相邻层，中间无布线层。所有布线层靠近一平面层，优选地平面为走线隔离层。

为了减少层与层之间信号走线的电磁相互干扰，相邻布线层的信号线保持相互垂直。

可以根据需要设计1-2个阻抗控制层，按要求标注注释清晰，如需要更多的阻抗控制层需要与PCB厂家协商。将PCB板上有阻抗控制要求的网络布线分布在阻抗控制层上。

10.3.3 线宽和线间距设置

线宽和线间距的设置要考虑以下因素。

- a) PCB板的密度。PCB板的密度越高，倾向于使用更细的线宽和更窄的间隙。
- b) 信号的电流强度。当信号的平均电流较大时，考虑布线宽度所能承载的电流。
- c) PCB设计时铜箔厚度。走线宽度和电流的关系，不同厚度，不同宽度的铜箔的载流量不同，具体见表2。因PCB生产工艺和SMT生产限制，最小线宽和线距见表3推荐值。

表 2 铜箔宽度/厚度与电流载流量

宽度/mm	电流/A		
	铜皮厚度 35 μm ; 铜皮 $\Delta t=10^\circ\text{C}$	铜皮厚度 50 μm ; 铜皮 $\Delta t=10^\circ\text{C}$	铜皮厚度 70 μm ; 铜皮 $\Delta t=10^\circ\text{C}$
0.15	0.20	0.50	0.70
0.20	0.55	0.70	0.90
0.30	0.80	1.10	1.30
0.40	1.10	1.35	1.70
0.50	1.35	1.70	2.00
0.60	1.60	1.90	2.30
0.80	2.00	2.40	2.80
1.00	2.30	2.60	3.20
1.20	2.70	3.00	3.60
1.50	3.20	3.50	4.20
2.00	4.00	4.30	5.10
2.50	4.50	5.10	6.00

注：在PCB设计加工中，常用OZ（盎司）作为铜皮厚度的单位，1OZ铜厚的定义为1平方英尺面积内铜箔的重量为一盎司，对应的铜箔物理厚度为35 μm ；2OZ铜厚为70 μm 。

表 3 线宽和线距推荐值

项目	参数/mm	备注
推荐使用最小线宽	0.13	PCBA装有BGA元器件
推荐使用最小间距	0.13	PCBA装有BGA元器件
推荐使用最小线宽	0.15	PCBA无BGA元器件
推荐使用最小间距	0.15	PCBA无BGA元器件

10.3.4 过孔设置

过孔孔径与外层焊盘直径、内层热焊盘尺寸，见表4推荐值。

表 4 过孔孔径推荐值

孔径/mm	焊盘直径/mm	内层热焊盘尺寸/mm
0.61	1.02	1.27
0.51	0.89	1.14
0.41	0.71	1.02
0.30	0.64	0.89
0.20	0.51	0.76

10.3.5 定义和分割平面层

平面层一般用于电路的电源和地层（参考层），由于电路中可能用到不同的电源和地层，需要对电源层和地层进行分隔，其分隔宽度要考虑不同电源之间的电位差。当电位差>12 V时，分隔宽度为1.27 mm；电位差≤12 V时，分割宽度可选0.50 mm-0.60 mm。

- 注1：平面分隔要考虑高速信号回流路径的完整性；
- 注2：当高速信号的回流路径遭到破坏时，需在其他布线层给予补偿。例如可用接地的铜箔将该信号网络包围，以提供信号的地回路。

10.4 布线

- 布线遵循以下原则：
- a) 关键信号线优先原则。电源、模拟小信号、高速信号、时钟信号和同步信号等关键信号优先布线；
 - b) 密度优先原则。从PCB板上连接关系最复杂的器件着手布线及PCB板上连线最密集的区域开始布线。

10.5 工艺设计要求

对于批量生产的PCB板，生产需要做ICT（PCBA生产完毕后）。为满足ICT测试设备的要求，PCB设计时每个网络至少要有有一个可供测试探针接触的测试点。

测试点的焊盘尺寸直径最小为0.60 mm，两个单独测试点的最小气隙间距1.50 mm。

需要做ICT的PCB板对角上要设计两个3.18 mm的非金属化的孔，供ICT定位使用。

钻孔层中标明PCB的外形尺寸、所有孔的尺寸和数量并注明孔是否金属化。

