

Ethan Wen

ECU 应用简介

1. ECU 在汽车系统中的作用

发动机控制单元(Engine Control Unit, 简称 ECU)是现代汽车动力系统的核心控制模块, 负责采集和处理发动机各类传感器信号, 通过精确控制燃油喷射、点火时机、空气进气量、排气处理等策略, 实现发动机性能、油耗与排放的最优平衡。

2. ECU 的工作原理概述

如图 1 所示为 ECU 系统框图, ECU 通过连接在车载 CAN/LIN 总线上的传感器获取实时数据, 包含曲轴位置、氧气、节气门、温度、压力等。内部基于 MCU 运行一套复杂的控制算法, 并通过 PWM、模拟或数字信号输出控制信号给各类执行器如电磁阀、喷油器、点火线圈等, 从而动态调整发动机工作状态。

3. ECU 相关负载类型概览

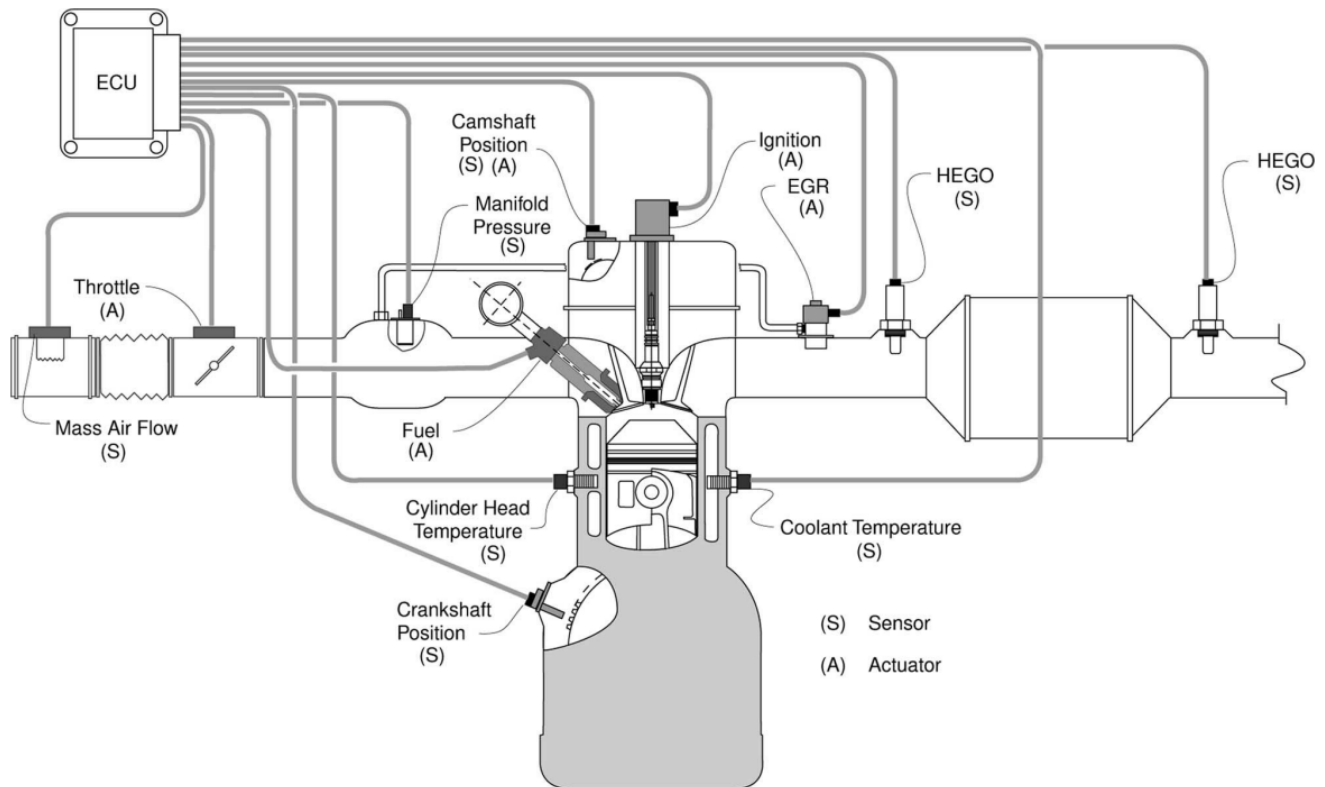


图 1. ECU 系统框图

图 1 中 ECU 系统框图里面(A)类型的负载就是执行器, 其他是传感器, 本文着重介绍执行器负载, 主要包括:

1. 燃油喷油器(Fuel Injector): 它的主要作用是将燃油雾化并按精确的时间和喷射量喷入气缸或进气道, 以保证发动机燃烧的效率和稳定性。

2. 进排气可变气门控制阀(VVT): 在图 1 中所示凸轮轴(Camshaft)上, 主要作用是通过调节进排气门开启和关闭时机来提升发动机动力与扭矩, 优化燃油经济性, 降低排放等。
3. 废气再循环阀(EGR): 主要作用是把一部分排气重新引入进气歧管, 与新鲜空气混合后再进入气缸燃烧, 从而改善燃烧过程和降低污染物排放。
4. 涡轮增压控制阀(Turbocharger control valve): 主要作用是精确调节进入涡轮的废气流量, 从而控制增压压力。既能避免发动机和涡轮因过度增压受损, 又能提升动力响应、改善燃油经济性和排放表现。
5. 电子节气门阀(ETC): 主要作用是取代传统机械拉线, 用 ECU 电子控制发动机进气量。能实现更精准的空燃比控制, 提升发动机性能与燃油经济性。
6. 点火线圈(Ignition coil): 主要作用是把低压电源升高到数万伏的高压, 并在火花塞上产生火花, 从而点燃发动机气缸内的空燃混合气。

ECU 中的电磁阀类型与控制需求分析

本文主要介绍 ECU 中电磁阀类型和控制需求以及推荐 TI 相关适合的产品, 因此下面会对燃油喷油器阀、进排气可变气门控制阀、废气再循环阀、电子节气门阀和涡轮增压控制阀的驱动需求进行介绍。

1. 燃油喷油器阀: 分为进气歧管喷射型和直喷型, 都为电磁阀结构, 主要区别在于, 进气歧管喷射型燃油在进气歧管中雾化, 而直喷型是通过多次快速喷射形成, 所以最主要区别是控制的频率不一样, 直喷型的 PWM 控制频率通常为 1kHz~2kHz。喷油器电磁阀数量与发动机气缸数匹配, 例如, 四缸机有 4 个燃油喷油器。如图 2 所示, 喷油器主要包括电磁线圈、针阀和弹簧, 通过在电磁线圈通电来吸起针阀打开喷嘴。该电磁阀的驱动一般采用峰值保持 (Peak&Hold) 控制, 峰值电流需求在 2~4A, 保持电流需求 0.5~1.5A, 通常为 PWM 控制, 典型 PWM 频率在 1kHz~2kHz。负载诊断方面需要监测负载短路、负载开路、输出短路到地或者 12V 电源等。

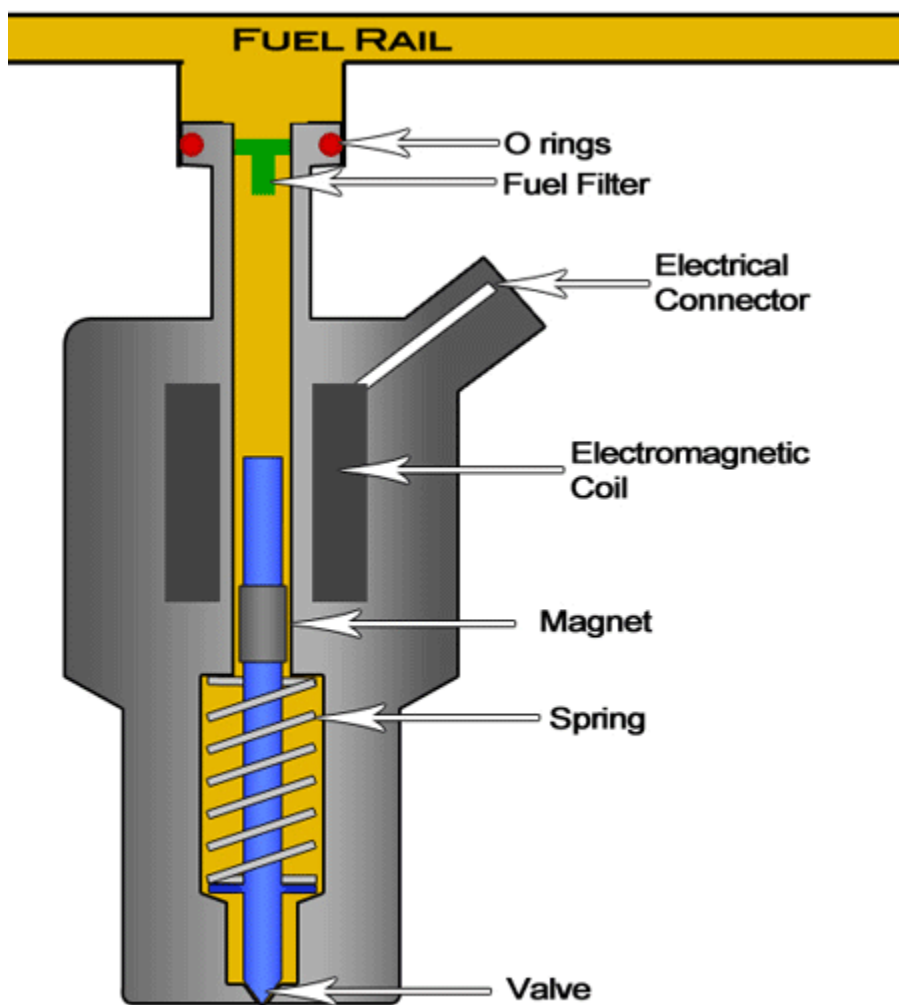


图 2. 直喷型燃油喷油器

2. 进排气可变气门控制阀(VVT): VVT 主要为电磁阀，一般每根凸轮轴需要一个 VVT 阀，下图所示为 VVT 阀的实例结构图，电磁阀位于图中 5 的位置，6 为电连接器，一般采用低边驱动，驱动电流通常在 0.5~1.5A，相对于喷油器阀，VVT 阀驱动响应速度需求较低，一般为 100~300Hz PWM 控制，但是需要线性恒流控制阀的开度，精度一般在 5%以内。负载诊断方面需要监测负载短路、负载开路、输出短路到地或者 12V 电源等。

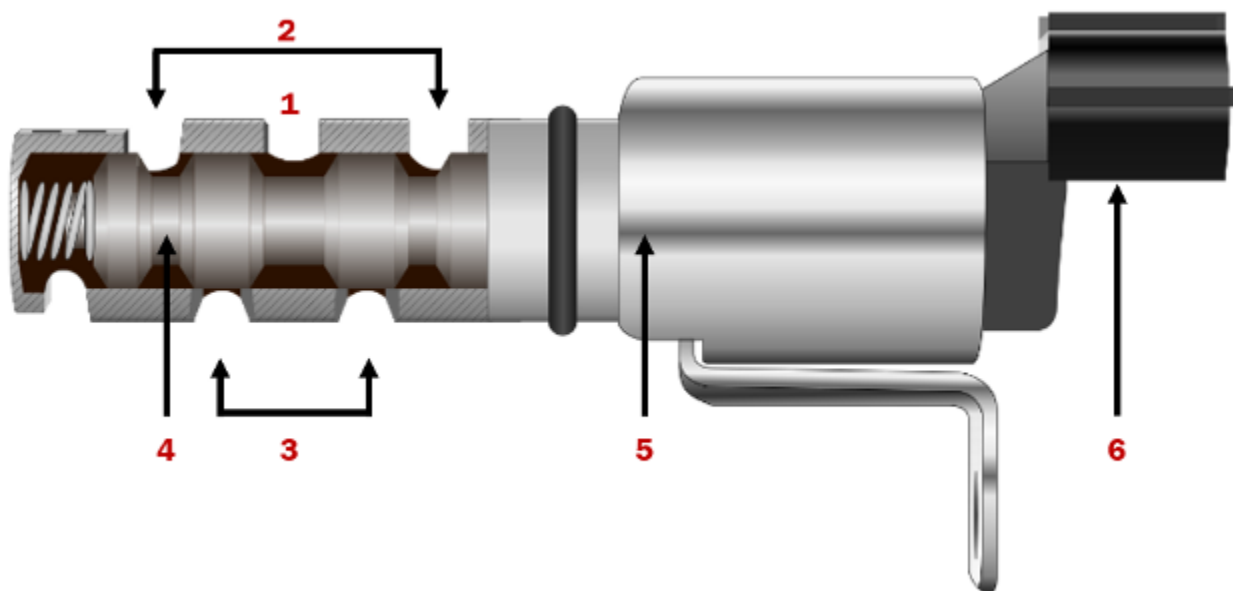


图 3. VVT 阀结构图

3. 废气再循环(EGR)、电子节气门阀(ETC): EGR 和 ETC 阀的驱动需求和作用类似，一般常见的类型有直流电机型和电磁比例阀型，EGR 和 ETC 都需要双向线性的调节阀门开度，并且一般需要配合位置传感器形成精确的闭环位置控制，图 4 为一种 EGR 的系统结构图。主流的 EGR 和 ETC 阀需要 H 桥驱动器，并且需要支持电流检测，PWM 驱动频率一般为几 kHz~20kHz，连续电流能力 1.5~3A，堵转电流 4~8A，负载诊断方面需要监测负载短路、负载开路、输出短路到地或者 12V 电源等。

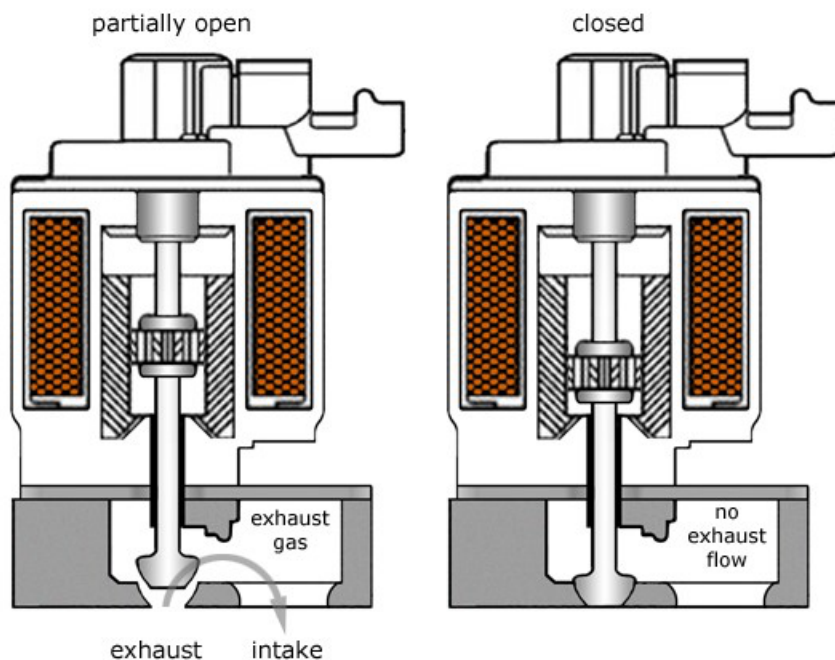


图 4. EGR 结构图

4. 涡轮增压控制阀(Turbocharger control valve): 图 5 所示为涡轮增压控制阀，一般为电磁阀型。由于需要具备双向开度的控制，所以一般采用 H 桥驱动器，电流范围 0.5~1.5A，并且需要具备闭环线性恒流控制，精度 3%~5%。负载诊断方面需要监测负载短路、负载开路、输出短路到地或者 12V 电源等。

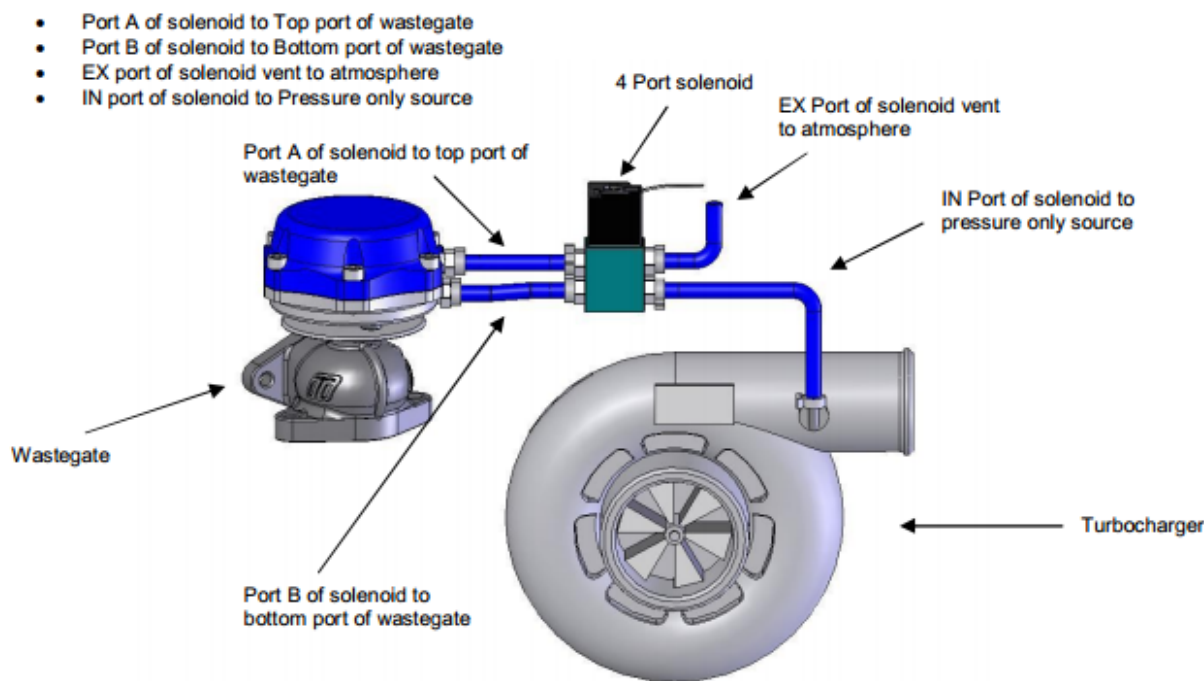


图 5. 涡轮增压控制阀结构图

TI 在 ECU 中相关电磁阀驱动产品推荐

ECU 系统中传统的执行器负载驱动方案主要来自于 ST 和 NXP，包括 ST 的 ECU 专用集成 IC L9788 和 L9781、驱动 ETC 和 EGR 阀的 L9960T 双通道 H 桥驱动器，以及 NXP 的 ECU 专用集成 IC MC33PT2001。其中，L9788、L9781、MC33PT2001 都集成多路燃油喷油器阀驱动和多路支持 peak&hold 控制的电磁阀驱动，L9788 相对多集成点火线圈的驱动。这些传统方案的集成度高，对于客户设计来说相对简单，但是灵活性相对较低，可替代性较差，设计上的更新迭代速度也会相对受限，下面来介绍一些 TI 在 ECU 中相关电磁阀驱动高性价比的特色产品。

1. DRV89xx-Q1

DRV89xx-Q1 系列是 TI 汽车多通道半桥驱动器，有 4/6/8/10/12 路半桥输出选项，并且互相 pin to pin 兼容。内部集成的 MOSFET 导通电阻典型值为 $0.75\ \Omega$ ，每路半桥可以输出最大 1A 有效值，并且支持多路并联输出，并联最大支持 6A 有效值。该芯片支持 SPI 接口，可独立配置为高边、低边或者 H 桥驱动模式，并且集成 4/8 路 PWM 发生器，每个通道占空比和 PWM 频率可独立配置，频率可配置选项包括 80Hz/100Hz/200Hz/2kHz。DRV89xx-Q1 系列产品也集成丰富的诊断保护功能，有独立的 nFault 引脚作为诊断指示的输出，包括输出过流保护、负载开路检测以及过热保护。因此，DRV89xx-Q1 系列产品集成度高和可支持最高 2kHz PWM 频率等特点，非常适合驱动 ECU 中燃油喷油器电磁阀。

2. DRV8243/4/5-Q1

DRV824x-Q1 系列是集成电流采样的 H 桥驱动器，其中芯片型号的尾缀表示不同 $R_{ds(on)}$ 的选项，DRV8243-Q1 高边+低边 MOS 导通电阻典型值为 $85\text{m}\ \Omega$ ；DRV8244-Q1 导通电阻典型值为 $45\text{m}\ \Omega$ ；DRV8245-Q1 导通电阻典型值为 $30\text{m}\ \Omega$ 。为方便客户选型，我们提供了对应结温计算工具(<https://www.ti.com.cn/tool/cn/download/SLVRBI3>)，可输入负载电流需求以计算芯片的结温，从而选取合适的型号。

DRV824x-Q1 系列 PWM 频率最高可支持 25kHz，可配置输出压摆率和展频时钟使其具备良好的 EMI 性能。芯片支持的诊断和保护包括，在离线和导通状态下的负载开路和短路检测、输出过流保护和过热保护等，该产品具有 SPI 和 HW 硬线控制两个版本，SPI 版本具有更高的可配置性，提供负载开路及短路等诊断标志位，满足更高的系统功能安全设计需求。因此，DRV824x-Q1 非常适合用于驱动 EGR 阀、ETC 阀和涡轮增压控制阀等负载。

3. DRV3946-Q1

DRV3946-Q1 是一款具有闭环 PWM 电流调节、可配置峰值和保持电流、集全面诊断功能满足 ASIL-C 芯片级功能安全认证的双通道汽车螺线管驱动器。内置典型值为 $37\text{m}\Omega$ (低侧)和 $57\text{m}\Omega$ (高侧)导通电阻的 MOSFET，适用于驱动持续电流在 3A 以内的负载，高侧开关主要用于负载续流和快速关断功能，低侧开关负责负载驱动。该产品在高侧和低侧都集成 $\pm 5\%$ 精度的电流采样，最高可支持 20kHz PWM 频率。在保护和诊断功能方面覆盖全面，支持上电自检、负载开路和短路的监控、在驱动器开启和关闭期间检测失控情况、用作冗余的引脚关断、故障指示等。因此，DRV3946-Q1 非常适用于需要恒流控制或者电流峰值保护驱动的电磁阀，如前述介绍的 VVT 阀。

4. DRV8873-Q1

DRV8873-Q1 是一款集成两路电流采样的 H 桥驱动器，内置 MOS 高侧+低侧导通电阻典型值为 $150\text{m}\Omega$ ，考虑开关损耗可支持 2.4A 左右的持续电流，10A 的峰值电流。相对于 DRV824x-Q1 系列产品，DRV8873-Q1 可支持高达 100kHz PWM 频率，并且集成独立的两路高侧开关电流采样和反馈引脚，除了用于驱动直流有刷电机，也非常适合作为两个独立半桥驱动两个电磁阀，如需获得更高的电流控制精度，也可通过搭配高精度的电流采样运放实现。

参考文献:

- [AUTOMOTIVE FUEL INJECTOR CONTROL USING POWER + CONTROL WITH POWER+ ARRAYS](#)
- [Control, Computing and Communications: Technologies for the Twenty-First Century Model T](#)
- https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/AuE835_Projects_2011/Lucas_project.html
- <https://www.gatestechzone.com/en/news/2021-10-vvt-technology-solenoids>
- [AGCO Automotive Repair Service - Baton Rouge, LA - Detailed Auto Topics - How Does an EGR Valve Work](#)
- [What is An Ignition System?- Types, Parts, and Working](#)

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月