**汽车概论A**

**班级：计算机222 姓名：章崇文 学号：202202296**

**汽车内燃机供油和点火系统的发展历程：从机械控制到电子控制**

**引言**

**内燃机作为汽车的主要动力来源，其燃油供给和点火系统对于发动机的运行效率、动力输出以及排放水平至关重要。随着汽车工业的不断发展，为了满足更高的性能要求、更严格的排放法规以及更好的燃油经济性，汽车内燃机的供油和点火系统经历了从简单的机械控制到复杂的电子控制的演变。本报告旨在详细阐述汽车内燃机（包括汽油机和柴油机）从机械式供油系统（包括点火系统）到电子控制系统的发展过程，并深入探讨不同系统的基本工作原理及其特点。**

**机械式供油系统的时代**

**在电子控制系统广泛应用之前，汽车发动机的燃油供给主要依靠机械式系统。对于汽油机而言，化油器是其主要的燃油供给装置，而柴油机则采用机械式喷油系统。**

## 1）汽油机从化油器到电子控制系统，汽油电控的基本工作原理，进气岐管喷射与缸内直喷（GDI）有哪些不同。

**汽油机：化油器系统**

**化油器的核心工作原理是利用空气流经文丘里管时产生的真空效应，将燃油从油箱吸入并与空气混合，形成可燃混合气供给发动机燃烧.1 空气流速在文丘里管处增加，导致压力下降，这个压差使得大气压力推动浮子室内的燃油通过喷油嘴进入气流中。化油器结构相对简单，其运行依赖于基本的物理原理.4**

**为了适应发动机在不同工况下的需求，化油器通常包含多个燃油供给回路，例如怠速回路、主供油回路、加速泵、加浓回路以及阻风门.5 怠速回路在发动机怠速时提供维持运转所需的少量燃油；主供油回路在发动机中高速运转时提供主要的燃油；加速泵在驾驶员踩下油门踏板时额外喷射燃油，以避免发动机加速时的迟滞 7；加浓回路在发动机高负荷运转时提供更浓的混合气以获得更大的动力；阻风门则在发动机冷启动时减少进气量，增加混合气浓度，以帮助启动.5 这些复杂的设计体现了在纯机械控制下，为了近似实现最佳空燃比所做的努力.7**

**然而，化油器也存在固有的局限性。由于其机械结构，化油器难以在各种不同的发动机运行条件下精确控制空燃比，导致燃油效率不高，排放物较多 . 化油器对空气密度、温度和发动机负荷的变化较为敏感，缺乏实时的反馈和调整机制 . 此外，化油器在满足日益严格的排放法规方面也显得力不从心 . 其机械响应速度相对较慢，特别是在发动机工况快速变化时，容易出现性能不一致和加速迟滞等问题.5**

**早期燃油喷射的尝试**

**尽管化油器在汽车工业中长期占据主导地位，但燃油喷射系统的研发可以追溯到20世纪初，最初主要应用于航空发动机 . 航空发动机由于需要应对高度变化和飞行中的各种力，化油器难以保证稳定的燃油供给，因此促使工程师们探索更可靠的喷射系统.8 20世纪40年代，赛车手和改装爱好者开始尝试机械式燃油喷射 . 20世纪50年代中期，一些汽车制造商，如梅赛德斯-奔驰和通用汽车，也在其部分车型上尝试了机械式燃油喷射系统.9 例如，通用汽车在1957年为雪佛兰克尔维特提供了一种机械燃油喷射系统.11 早期的机械式燃油喷射系统通常依赖复杂的机械联动装置和燃油泵来控制燃油的计量和喷射.10 这些系统的喷射压力通常与发动机转速相关联，限制了其在各种工况下的灵活性.12**

**向电子燃油喷射的过渡**

**从化油器到电子燃油喷射（EFI）的转变是汽车发动机技术发展史上的一个重要里程碑.14 这一转变的主要驱动力在于对更精确的空燃比控制的需求，以提高燃油效率、降低排放并提升发动机性能 . 电子控制系统能够根据发动机的实时运行状态精确计量燃油喷射量和喷射时机，这在机械式化油器时代是难以实现的.18**

**电子燃油喷射系统的发展和应用经历了几个关键阶段.15 20世纪50年代末，出现了早期的电子燃油喷射系统，例如1957年美国汽车公司（AMC）的Rambler车型上首次采用的Bendix Electrojector系统.9 然而，早期的电子元件可靠性不高，导致这些系统的应用受到限制.10 20世纪50年代及之后，出现了批量生产的歧管喷射系统，例如通用汽车的Rochester Ramjet和博世的D-Jetronic系统.9 这些系统标志着电子燃油喷射技术向实用化迈出了重要一步.15 到了20世纪80年代，随着计算机技术的进步，特别是微处理器计算能力的增强和体积的缩小，电子燃油喷射模块的性能得到显著提升，成本也逐渐降低，从而促使其在汽车工业中得到广泛应用.1 到20世纪90年代初，电子燃油喷射系统基本上取代了化油器，成为乘用车汽油发动机的主要燃油供给方式.2**

**汽油电子燃油喷射系统**

**基本工作原理**

**现代汽油电子燃油喷射系统的核心在于精确控制燃油的喷射量和喷射时机.18 一个典型的EFI系统包括燃油泵、燃油导轨、压力调节器、燃油喷油器、各种传感器以及发动机控制单元（ECU）.3 燃油泵将燃油从油箱输送到燃油导轨，压力调节器维持燃油导轨内恒定的燃油压力.19 燃油喷油器是电控阀门，负责将燃油以雾状喷射到进气歧管或直接喷入气缸.3**

**各种传感器实时监测发动机的运行参数，并将数据传输给ECU.5 这些传感器包括：空气流量传感器（测量进入发动机的空气量）23，氧气传感器（监测排气中的氧气含量）5，节气门位置传感器（监测节气门开度）23，冷却液温度传感器 23，电压传感器 7，歧管绝对压力传感器 23 以及发动机转速传感器等.23 ECU作为系统的“大脑”，接收并处理来自各个传感器的信号，然后根据预设的程序和算法，计算出最佳的燃油喷射量和喷射时机.3 ECU通过控制喷油器打开的时间（脉冲宽度）来精确计量燃油喷射量.3**

**进气歧管喷射（PFI）与缸内直喷（GDI）有哪些不同。**

**根据喷油器的安装位置，汽油电子燃油喷射系统可以分为进气歧管喷射（Port Fuel Injection，PFI）和缸内直喷（Gasoline Direct Injection，GDI）两种主要类型 .**

**在进气歧管喷射系统中，喷油器安装在进气歧管中，位于进气门的上游 . 燃油在进入气缸之前与空气在进气歧管内混合 . 进气歧管喷射系统的优点包括结构相对简单，制造成本较低 ；燃油在进入气缸前有更充足的时间与空气混合，有助于燃油的雾化和蒸发 4；喷射的燃油可以冲刷进气门背面，有助于清洁积碳 ；在高发动机转速下燃油供给稳定 . 然而，进气歧管喷射系统的燃油效率通常不如缸内直喷 ，因为部分燃油可能会附着在进气歧管壁上 ；排放方面，与缸内直喷相比，也可能略高 ；此外，由于燃油在气缸内停留时间较长，容易受热，可能导致发动机压缩比不能过高，从而影响性能的提升.4**

**缸内直喷系统则将喷油器直接安装在气缸盖上，燃油直接喷入燃烧室 . 缸内直喷的优点在于可以实现更精确的燃油控制，提高发动机的性能和燃油经济性 . 由于燃油直接喷入气缸，冷却了气缸内的空气，可以采用更高的压缩比，从而提高发动机的动力输出 . 此外，缸内直喷可以实现更稀薄的混合气燃烧，进一步提高燃油效率并降低排放 . 然而，缸内直喷系统也存在一些缺点，例如在低发动机转速下，燃油和空气混合可能不够充分，导致排放增加 ；高压燃油系统的结构更为复杂，导致制造成本和维护成本较高 ；由于没有燃油冲刷进气门，可能更容易在进气门上形成积碳 .**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **特性** | **进气歧管喷射（PFI）** | **缸内直喷（GDI）** |
| **喷射位置** | **进气歧管，进气门上游** | **燃烧室** |
| **燃油压力** | **较低** | **较高** |
| **优点** | **结构简单，成本低，清洁进气门** | **性能好，油耗低，排放低** |
| **缺点** | **油耗较高，排放较高，压缩比受限** | **低速混合差，成本高，易积碳** |

## 2）柴油机共轨系统的工作原理，喷油量有哪些因素决定？

**柴油机共轨系统的工作原理**

**共轨喷油系统是现代柴油发动机广泛采用的一种电子控制燃油喷射技术.11 其基本工作原理是利用一个高压油泵将燃油加压后输送到一个公共的燃油导轨（共轨）中，共轨内的燃油压力由压力传感器和压力调节器精确控制.11 每个气缸的喷油器都与共轨相连，由ECU根据发动机的运行状态独立控制喷油量和喷油时机.11 高压油泵负责产生并维持共轨内所需的高燃油压力（可高达29000 psi以上）.32 共轨作为一个压力蓄能器，确保所有喷油器都能获得相同的高压燃油.32 ECU通过控制喷油器的电磁阀或压电阀的开启和关闭，来精确控制燃油的喷射量和喷射时机.11**

**与传统的柴油喷射系统相比，共轨系统具有显著的优势.34 首先，共轨系统中的燃油压力与发动机转速和负荷无关，可以在整个发动机运行范围内实现最佳的喷油压力，从而提高燃油的雾化效果和燃烧效率.34 其次，共轨系统可以实现多次喷射，例如预喷射、主喷射和后喷射，这有助于降低发动机噪音、优化燃烧过程并减少排放.32 此外，共轨系统对喷油量和喷油时机的控制更加灵活和精确，可以根据不同的发动机运行条件进行优化.32**

**喷油量有哪些因素决定？**

**柴油机的喷油量受到多种因素的影响 . 发动机负荷是决定喷油量的主要因素之一，负荷越大，需要的燃油量就越多 . 发动机转速也会影响喷油量，通常转速越高，单位时间内需要的燃油量也越多 . 冷却液温度也会对喷油量产生影响，例如在冷启动时，可能需要增加喷油量以帮助启动 . 进气温度和压力也会影响空气密度，从而影响所需的燃油量，以维持最佳的空燃比 . 燃油温度会影响燃油的密度和粘度，ECU可能需要根据燃油温度进行喷油量的修正 . 燃油喷射脉冲宽度也会影响喷油量.11 最终，ECU会综合考虑这些因素，并根据预设的喷油量图谱和实时的传感器数据，精确计算并控制喷油量 .**

## 3）传统汽油机点火系统的工作原理是什么？计算机控制的点火系统是如何实现点火提前角控制功能的？

**传统汽油机点火系统的工作原理是什么？**

**传统的汽油机点火系统主要由蓄电池、点火开关、点火线圈、断电器、电容器、分电器、火花塞和高压线等组成.39 蓄电池为点火系统提供低压电源.39 点火开关控制整个点火系统的电路通断.39 点火线圈将蓄电池的低电压（通常为12V）升高到足以在火花塞电极之间产生火花的数万伏高压.39 断电器（在较老的系统中）通过机械触点的开闭来周期性地切断点火线圈初级电路的电流，从而在次级线圈中感应出高电压.37 电容器用于吸收断电器触点断开时产生的自感电动势，防止触点产生电弧，并加速初级电流的断开，提高次级电压.25 分电器负责将点火线圈产生的高压电按照发动机的点火顺序分配给各个气缸的火花塞.39 火花塞是点火系统的最终执行元件，它在气缸内产生电火花，点燃压缩后的混合气.39 高压线则负责将高压电从分电器输送到各个火花塞.39**

**其工作原理是：当点火开关接通时，蓄电池向点火线圈的初级线圈供电.39 当断电器触点闭合时，初级线圈中产生电流，并在铁芯中建立磁场.39 当发动机运转时，断电器凸轮驱动触点周期性地断开，初级电路电流迅速中断，导致磁场快速 collapse，根据电磁感应原理，在次级线圈中感应出高电压.39 高电压通过分电器的旋转臂和分电器盖上的电极，按照发动机的点火顺序依次分配给各个火花塞，最终在火花塞的电极间产生火花，点燃气缸内的混合气.39**

**传统的机械点火系统存在一些固有的局限性 . 例如，断电器触点和分电器等机械部件容易磨损，需要定期维护和调整 . 在高发动机转速下，机械触点的性能会下降，导致点火能量不足和点火正时不准确 . 此外，机械点火系统难以精确地根据发动机的各种运行参数（如转速、负荷等）调整点火提前角 .**

**计算机控制的点火系统是如何实现点火提前角控制功能的？**

**计算机控制的点火系统通过使用电子控制单元（ECU）来取代传统的机械断电器和分电器，从而实现更精确和灵活的点火控制 . 现代计算机控制的点火系统通常包括蓄电池、点火开关、点火线圈（可以是单个或每个气缸一个）、各种传感器（如曲轴位置传感器、凸轮轴位置传感器、爆震传感器等）以及ECU .**

**计算机控制的点火系统实现点火提前角控制功能的过程如下 :**

1. **传感器信号输入： ECU接收来自各种传感器的信号，例如曲轴位置传感器提供发动机转速和曲轴位置信息，凸轮轴位置传感器识别气缸，爆震传感器监测发动机是否发生爆震 .**
2. **ECU计算： ECU根据这些传感器信号，并参考预先存储的点火提前角图谱（根据发动机转速和负荷等参数优化过的点火提前角数据表），计算出当前工况下的最佳点火提前角 . 点火提前角是指在活塞到达上止点（TDC）之前，火花塞点燃混合气的曲轴转角 . 由于混合气的燃烧需要一定的时间，因此需要在活塞到达上止点之前点火，以便在活塞开始下行做功时，气缸内的压力达到最大值，从而获得最大的动力 . 发动机转速越高，活塞运动越快，燃烧过程需要更早开始，因此需要更大的点火提前角 . 发动机负荷越大，混合气燃烧速度越快，所需的点火提前角就越小 . ECU还会根据冷却液温度、进气温度等其他参数对基本点火提前角进行修正 . 如果爆震传感器检测到爆震，ECU会延迟点火提前角以保护发动机 .**
3. **执行机构配合： ECU根据计算出的点火提前角，向点火线圈发送控制信号，控制点火线圈初级电路的通断，从而精确控制火花塞的点火时刻 .**

**通过这种方式，计算机控制的点火系统能够根据发动机的实时运行状态，精确地调整点火提前角，从而优化发动机的性能、燃油效率和排放水平 .**

## 4）研究控制发动机供油系统的ECU，结合自己的专业课程“嵌入式系统”，思考从以上的学习中，你更想获得哪些知识和技能？

**发动机控制单元（ECU）在供油和点火系统中的作用**

**发动机控制单元（ECU）是现代汽车发动机管理系统的核心.26 它本质上是一个嵌入式系统 1，专门用于控制发动机的各种功能，包括燃油喷射、点火正时、怠速控制、排放控制等 .**

**在燃油供给系统中，ECU的主要功能包括：根据传感器数据和发动机运行状态，精确计算并控制燃油喷射量 ；控制燃油喷射的时机 ；通过氧气传感器反馈实现闭环控制，实时调整空燃比 5；以及根据发动机温度进行燃油喷射量的修正 .**

**在点火系统中，ECU的主要功能包括：根据发动机转速、负荷、温度和爆震等信息，确定最佳的点火提前角 ；以及控制点火线圈的通断，从而控制火花塞的点火时刻 .**

**ECU作为汽车电子控制系统中的一个关键组成部分，与“嵌入式系统”课程有着密切的联系.1 ECU本身就是一个典型的嵌入式系统，它由微处理器或微控制器、存储器（ROM、RAM、EEPROM/Flash）、输入/输出接口（用于连接各种传感器和执行器）以及通信接口（例如CAN总线）等硬件组成.32 ECU的运行依赖于其内部预先编程的软件和算法，这些软件负责处理来自传感器的实时数据，并根据控制逻辑和标定数据，输出控制信号给燃油喷射器和点火线圈等执行器.30 ECU需要进行实时的数据处理和控制，对系统的响应速度和可靠性要求很高.8 现代汽车中的ECU功能越来越复杂，除了基本的燃油和点火控制外，还涉及到可变气门正时控制、排放控制、与车辆其他电子控制单元的通信等.26**

**通过以上的学习，我更想获得的知识和技能包括：**

* **深入理解ECU的硬件架构和工作原理： 了解ECU内部微处理器/微控制器的选型、存储器的类型和应用、各种输入/输出接口的功能和设计，以及ECU与其他车载系统的通信方式（如CAN总线）.1**
* **掌握ECU的软件开发流程和技术： 学习嵌入式系统常用的编程语言（如C和C++）、开发工具和调试方法，了解ECU软件的架构、实时操作系统（RTOS）的概念及其在ECU中的应用.1**
* **学习汽车发动机控制策略和算法： 深入研究燃油喷射控制、点火提前角控制、怠速控制、排放控制等核心算法的原理和实现方法.1**
* **熟悉汽车传感器的类型和特性： 了解各种常用汽车传感器（如空气流量传感器、氧气传感器、曲轴位置传感器等）的工作原理、信号输出特性以及在发动机管理系统中的作用.1**
* **掌握ECU的标定和测试技术： 学习如何使用标定工具调整ECU中的控制参数，以优化发动机的性能和排放，并掌握对ECU进行功能测试和故障诊断的方法.1**

**结论**

**汽车内燃机的供油和点火系统从机械控制到电子控制的演变，是汽车技术进步的重要体现.17 电子控制系统的应用使得发动机能够实现更精确的燃油供给和点火控制，从而显著提高了发动机的性能、燃油效率并降低了排放.19 发动机控制单元（ECU）作为这些系统的核心，是一个复杂的嵌入式系统 1，其功能和性能的不断提升，将持续推动汽车发动机技术的进步.17**

**对嵌入式系统和未来学习的思考**

**研究汽车内燃机的供油和点火系统，特别是ECU在其中的作用，让我深刻体会到嵌入式系统在现代工程领域的重要性.1 我希望能够将从本次学习中获得的知识与我在“嵌入式系统”课程中所学的理论知识相结合，进一步提升我在嵌入式系统设计、开发和应用方面的能力。未来，我计划深入学习微处理器和微控制器的原理与应用、嵌入式软件开发技术、汽车电子控制系统的相关标准和协议，并尝试参与一些与汽车电子相关的实践项目，例如基于微控制器的发动机模型仿真或简单的ECU功能原型设计，以便更好地掌握汽车嵌入式系统的关键技术和应用.**