

基于 SAE J1850 通信协议的汽车发动机故障诊断与测试

摘 要

计算机技术和控制技术广泛应用于汽车上，使得现代汽车在功能、安全以及对环境的污染方面都有了长足的改进，但同时也使得汽车的结构更为复杂，增加了汽车故障诊断与测试的难度。为此，美国汽车工程师协会（SAE）于 1993 年制定了随车诊断系统 OBD 标准。OBD II 随车诊断系统通过汽车上安装的随车诊断装置，实时监测汽车的行驶状况，一旦发现问题，立即通过故障指示灯向驾驶员显示，并存储故障代码与有关数据，从而提高了汽车的安全性与诊断的准确性。

汽车 OBD 技术的核心是汽车总线协议。带有 OBD II 随车诊断系统的汽车电控系统是建立在 B 类数据通信网络协议基础上的，SAE J1850 标准是 B 类网络数通信协议中比较常用的一种。本论文选择了 SAE J1850 汽车通信协议设计了汽车故障诊断与测试系统。该系统以发动机为控制对象，以电子技术为指令分解和执行的设计基础，以通信技术架起指令发出者与指令执行者之间的通信桥梁，以计算机技术开辟可视化的人机交互窗口。

本论文包括对 B 类数据网络的体系结构和 SAE J1850 通信协议技术规范的解析，和基于 SAE J1850 通信协议故障诊断与测试系统的设计两部分。本文设计的故障诊断与测试系统包括硬件和软件两

方面。硬件部分包括 PC 机与 ECU 的通信接口装置，负责将网络总线的数据信号转换为 PC 机可以识别的串行通信信号。本文也给出了 OBD II-PC 接口设备的详细设计。

软件部分包括对 ECU 数据与故障码的读取与分析，负责发送请求信号，接收应答信号，分析所得数据并以直观的方式显示 ECU 数据和故障码。软件在设计开发时充分贯彻了软件工程的设计原则，采用了结构化与模块化的程序设计方法，并结合了关系数据库系统的有关理论，实现了串行通信、数据采集、数据分析、数据库查询的有机结合。

本系统设计完成后在 GM 的电控发动机上进行了热试试验，该型号发动机按 SAE J1850 的 VPW 方式（即 Class 2 协议）进行通信。通过该系统在电控发动机热试中的应用，证实系统运行可靠，有实际使用价值。

关键词：汽车网络总线，OBD II，SAE J1850，通信协议，故障诊断，热试试验

THE DESIGN OF FAULT DIAGNOSE AND TEST SYSTEM OF AUTOMOBILE ENGINE BASED ON SAE J1850 COMMUNICATION PROTOCOLS

ABSTRACT

With the computer and control technology application to automobile, the modern automobile has been improved on the aspect of performance, safety and pollutant on environment. However, the automobile structure become more complex, at the same time automobile fault diagnosis and test become more difficult. Therefore, SAE establishes the OBD II standard in 1993. The OBD II system can monitor the running condition of automobile, and illumine the indication light and memorize the fault codes and relative data in case discovering any problem. Consequently the safety and the diagnostic veracity of automobile have been enhanced.

The core technology of OBD is automobile bus protocol. The electronic system of automobile with OBD II is based on class B data communication network. And SAE J1850 standard is the most popular one. This thesis designs automobile fault diagnosis and test system based on SAE J1850 communication protocols. This system regards engine as controlled object, electronic technology as design base and

communication technology as communicational bridge and computer technology as visible interface.

This thesis includes the research of the class B data communication network and SAE J1850 communication protocols standard, and the design of fault diagnosis and test system of SI engine is based on the SAE J1850. This system is made up of two parts: the hardware and the software. The hardware includes PC-OBD II interface, dealing with transferring the data signals of network bus to serial communication signals which PC can identify. We also give the detailed explaining of hardware design of the OBD II -PC interface.

The software includes acquiring and analyzing the ECU data and fault codes, dealing with sending request messages, receiving respond messages, analyzing the data and displaying the data. The software design carry out fully the principle of software engineering. It adopts the programmer method of configuration and module. Also combines some database system theories. Then achieves the integration of serial communication, data collection, data analyze and database query.

This system is used in the hot tests of electronic control gasoline engines of SGM. This type of engine communicates in SAE J1850 protocols. The application of this fault diagnosis and test system to the hot tests of the engine has indicated the design is successful and effective.

Key words: automobile network bus, OBD II , SAE J1850,
communication protocols, fault diagnosis, hot test

上海交通大学

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权上海交通大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密，在___年解密后适用本授权书。

本学位论文属于

不保密。

(请在以上方框内打“√”)

学位论文作者签名：苏荣艳 指导教师签名：常久鹏、邓康耀

日期：2005年2月1日

日期：2005年2月1日

上海交通大学

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：苏荣艳

日期：2005 年 2 月 1 日

第一章 绪论

1.1 引言

随着有关汽车的各种法规的日趋强化，人类对汽车性能指标的要求越来越高，例如，不仅要求功率高、扭矩大、油耗低、污染小，而且要求安全性好、舒适佳、智能化高以及成本低廉等等，这些因素共同作用的结果推动了汽车电子化的进程。特别是七十年代中期以后，微机在汽车上的应用已使汽车工业进入了一个崭新的发展阶段，可以说汽车已经进入微机控制的年代。

汽车发动机是汽车的“心脏”，其工作好坏直接影响汽车的整体性能。由于传统的供油和点火系统具有影响其自身发展的固有缺点，因此，汽车电子控制装置开发最早、最主要部分便是从发动机控制^[1]开始的，它从单一项目的发动机点火控制系统逐步扩展到控制废气再循环、空燃比、怠速转速等多项内容的发动机综合控制系统，然后再渗透到汽车的其它组成部分，最终形成了汽车的微机集中控制系统。

前期的发动机控制系统主要应用模拟电路的电子控制单元(ECU)，其控制系统大多采用一个 ECU 控制一个系统的单独控制方式。随着电子技术的飞速发展，发动机电控系统 ECU 采用了数字电路及大规模集成电路，其集成度越来越高，控制功能大大加强，发动机控制系统也由单独控制转向了综合控制，并最终形成了整个汽车的集中控制系统。发动机综合控制^{[2][3]}的项目如表 1-1 所示。随着电控技术的发展，控制项目还会逐渐增多。

计算机技术和控制技术广泛应用于汽车上，使得现代汽车在功能、安全以及对环境的污染方面都有了长足的改进，但同时也使得汽车的机构更为复杂；在延长了汽车使用寿命的同时，也增加了汽车诊断、维修的难度。因此，许多传统的故障诊断方法和诊断测试设备无论在诊断的准确性、使用的方便性方面都难以满足用户的需求。

表 1—1 发动机综合控制

Tab1 - 1 Engine integrate control

发动机控制	1 电控燃油喷射	①喷油量
		②喷射定时
		③燃油停供
		④燃油泵
	2 电控点火装置	①点火时刻
		②通电时间
		③爆震防止
	3 怠速控制 (ISC)	
	4 排放控制	①EGR 废气再循环
		②氧传感器及三元催化
		③CO 控制 (VAF)
		④二次空气喷射
		⑤活性炭罐电磁阀控制
	5 进气控制	①空气引导通路切换
		②进气涡流控制阀
	6 增压控制	
	7 警告提示	①涡轮指示灯
		②催化剂过热警报
	8 自诊断	
9 备用功能与失效保护		

1.2 汽车故障诊断技术发展状况和研究动向

现代汽车的故障诊断技术^{[4][5]}，主要是从发达的工业化国家开始的，诊断范围已经扩展到包括发动机在内的各个子系统。概括起来，故障诊断系统主要有两种：一种是具有诊断功能，应用车内仪表的自诊断系统(称车内诊断系统)；另一种具有诊断功能，则需要应用车外仪器进行检测的诊断系统(称车外诊断系统)。

在诊断技术发展的最初阶段，故障诊断装置仅是一些专用的检测仪器，直至 1972 年，才由德国推出了大众牌汽车诊断装置。随后，各国也相继推出了类似的设备，如美国哈密顿公司的自动读出诊断仪、日本三菱公司的综合诊断装置以及德国大众公司、法国雷诺公司、日本电装公司等推出的各自的车用诊断装置等。这些诊断装置对故障部位的推断能力有限，而且使用成本很高，因此，七十年代后期，新出现的微机自诊断系统占据了汽车故障诊断的主流。

八十年代以后, 车内诊断系统占主导地位的局面开始被打破, 车外诊断系统有了重大发展。如 1986 年通用汽车公司推出的诊断系统(CAMS), 福特汽车公司推出的诊断系统(SMDS)等, 均是车外诊断系统, 它们不但可以从随车系统上接收数据, 用自身存贮的故障诊断程序进行自动诊断, 而且还具有提供维修说明、技术资料目录检索、各项参数及技术条件等咨询功能。随着计算机的普及以及人工智能(AI)技术的发展, 汽车诊断的专家系统^[6]又得到了应用, 如 1986 年福特汽车公司推出的 TEST (Troubleshooting Expert System Tool)、加拿大太平洋铁路公司利用多年积累的润滑油光谱分析数据和经验开发的发动机油液分析故障诊断专家系统 EDMS(Engine Diagnosis Maintenance System)等。但是, 由于这些汽车故障诊断专家系统目前所具有的经验与知识很不够, 同时 AI 技术水平也有待提高, 因此, 其应用尚未进入成熟阶段。

目前, 汽车诊断技术的研究动向集中在以下几个方面:

1. 扩充现有车内诊断装置的功能;
2. 进一步发展以诊断专家系统为主的车外诊断系统;
3. 加强故障预报功能;
4. 研究自疗技术;
5. 建立诊断技术标准化。

1.3 OBD II 随车自诊断系统^{[7][8][9][10]}的推出

具有电子控制的车辆, 各电控系统工作情况的好坏, 直接影响到车辆的正常行驶。为了保证车辆各系统的正常工作和方便检修, 主控制器 ECU 具有自我诊断的功能, 在汽车使用中, 它能够对各传感器、执行器和连接线路进行不断地监测, 如果出现工作不正常现象, 主控制器 ECU 则对故障的内容以代码的形式储存在存储器内, 同时控制警告指示灯点亮, 给驾驶员以提示。

ECU 的自诊断^{[11][12][13]} (Self Diagnosis) 是 ECU 本身具有的一种功能, 它是存储于 ECU 内微机中的一部分软件和相应的硬件。在电控系统中有着大量不断流动的电信号, ECU 自诊断就是利用这些电信号来做出判断, 并将判断的结果或储存, 或输出, 或针对故障做出反应。

控制系统在正常工作时, 主控制器 ECU 的输入和输出信号都是在一个规定的范围内运行, 当控制电路的信号出现异常时, ECU 中的诊断系统就判定该电路信号出现故障。电路的异常情况分为三种:

第一是电路的信号超出规定范围, 这主要是用来检查传感器故障。例如: 冷却液温度传感器(CTS)在正常工作时, 其输出电压在 0.1~4.8V 范围内, 如超出

这一范围，诊断系统则判定为故障信号。如在运行中发现这些故障，ECU 或者用一个预设的值代替传感器信号，让 ECU 按正常流程工作；或者转入其它运行方式，如出现 MAF 故障后，由空气质量流量法转入速度—密度法，出现 EGO 故障后，由 A/F 闭环控制转向开环控制等。

第二是主控制器 ECU 在一段时间内接收不到传感器的信号或接收到的信号在一段时间内不变，诊断系统也会判定为故障信号。这主要用来检查执行器的故障。例如：氧(O₂)传感器在正常工作时，其输入电压应在 0.1~0.9V 内波动不少于 8 次/10 秒。

第三是主控制器 ECU 中的诊断系统偶然发现一次不正常的输入信号时，不会诊断为故障信号，只有不正常的输入信号多次出现或持续一定时间，才会判定为故障信号。例如：转速信号是一个脉冲信号，发动机转速在 100RPM 以上时，丢失几个信号，ECU 不会判定为故障。

当主控制器 ECU 中的诊断系统检测到故障信号后，便立刻将故障信息以故障代码的形式存储到存储器中，同时点亮警告灯，以显示故障信息。

现代汽车上的控制系统越来越多，由于各控制系统之间需要共同使用一些传感器和开关的信号，例如发动机电控系统和自动变速器控制系统都需要转速传感器、节气门位置传感器和挡位开关信号等。过去，ECU 与电器部件之间都是点对点的单一通讯，互相之间很少有联系。这样的电控系统必然导致电路十分复杂，可靠性低。此外，当电控系统出现故障时，也需要将电控系统中存储的故障消息，能与汽车外的检测设备（微机或解码器）实现通讯。在过去，由于没有统一的网络通讯协议、没有统一的网络通讯接口，从而给测试故障的诊断带来了很大困难。为了解决以上两个问题，首先在现代汽车上已逐步由单一控制改变为集中控制，用网络通讯技术来实现个控制系统间的消息的互换。采用总线控制，其优点是可以大大减少线束的数量，大大提高电控系统的可靠性和维修性。图 1-1 所示为汽车集中控制系统的总线控制原理图。各控制系统间，通过网络通讯协议来实现联系，网络通讯协议主要用于解决以下问题：

- ① 优先权问题：各控制系统对某一共同使用信号的指令，可能是不一致的。因此，就需要按通讯协议，根据各指令的重要程度来确定执行指令的优先次序。
- ② 解决各系统间的独立性问题、灵活性问题、可扩展性问题等。
- ③ 解决汽车状态数据共享问题，如发动机转速、车速、轮速等数据必须由各个控制系统共享，数据的传输与时间的刷新等。
- ④ 规定各厂家生产的控制系统 ECU 都必须遵守统一的协议，以便相互通讯，共享信息。

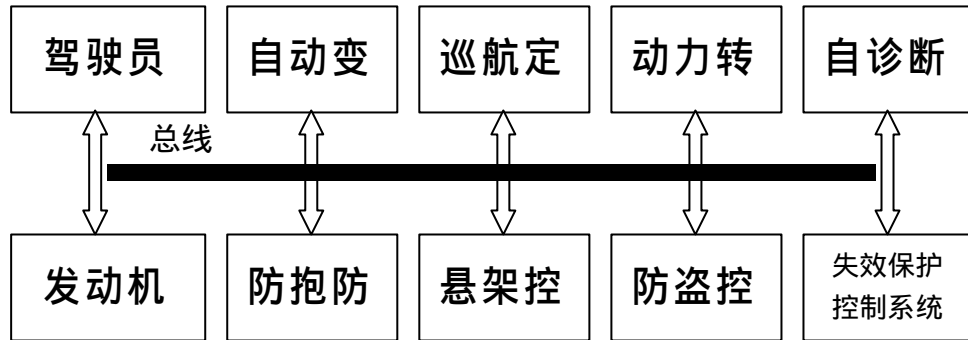


图 1-1 汽车集中控制系统总线控制原理图

Fig1-1 Bus-master chart of ECU system

为了解对外的通讯协议和通讯接口的统一问题，美国汽车工程师协会（SAE）于 1993 年制定了随车诊断系统 OBD 标准，即第二代随车微机自诊断系统。其优越性体现在：

- ① 统一了汽车控制系统内部网络的通讯协议。
- ② 统一通讯接口（故障诊断插座）。
- ③ 统一了故障码的设置规则。
- ④ 扩充了随车诊断系统的检测项目。

随车诊断系统通过汽车上安装的随车诊断装置，实时监测汽车的行驶状况，一旦发现问题，立即通过故障指示灯向驾驶员显示，并存储故障代码与有关数据，从而提高了汽车的安全性与诊断的准确性。汽车维修人员通过专用的诊断仪或某些规定的方法，能够获取随车诊断系统所存储的故障代码与故障数据，因此可以更准确地判断故障部位和故障原因，提高了诊断的效率。随车诊断系统的不足之处是只能提供故障代码与某些故障数据，不能对维修人员给以更具体的指导。电控汽车的结构非常复杂，对应某一故障码，可能对应几处甚至十几处具体零部件有发生故障的可能，维修人员仍需根据故障具体情况，结合已有的维修经验并查阅相关的维修手册，才能找出发生故障的具体部位，进行维修或更换，因此也是十分费时的。

1.4 汽车网络标准

汽车 OBD 技术的核心是汽车总线协议^[14]。目前汽车上存在多种汽车总线协议和标准，它们在功能和特点方面的侧重点都有所不同。按照 SAE 的规范，将

汽车总线协议分为三类：Class A、Class B和Class C^[16]。

Class A 协议是面向传感器/执行器控制的低速网络,数据传输位速率只要 1-10Kbps, 主要应用于电动门窗,座椅调节,灯光照明等控制。Class A类协议的实施可以大大减少汽车线束的使用量。

Class B 协议是面向独立模块间数据共享的中速网络,位速率一般 10-100Kbps. 重要应用于电子车辆信息中心,故障诊断,仪表显示,安全气囊等系统,以减少冗余的传感器和其他电子部件。

Class C 协议是面向高速、实时闭环控制的多路传输网,最高位速率可达 1Mbps。主要用于悬架控制、牵引控制、先进发动机控制、ABS 等系统,以简化分布式控制和进一步减少车身线束。其中最为重要的车辆网络 Class C 标准是 CAN。

由此可见,SAE 的网络分类仅仅是功能上的分类,A类面向低水平的传感器/执行器控制,B类侧重于参数共享,C类面向实时控制,三类网络功能均向下涵盖,即B类支持A类网的功能,C类网能同时实现B类和A类网功能。

典型的A类网应用如图1-2所示的汽车防盗报警系统,由于车门开关及行李厢开关等信号只在一定的情况下产生,正常时没有信号,所以对数据传输速率要求极低,低速A类网就能充分满足系统要求,并且和传统的系统设计相比,车身线束大大减少,设计更为简单方便。

当大量共享数据需要在车辆各智能模块间进行交换时,A类网不再胜任,可采用B类网络系统,典型B类网络系统如图1-3所示,车辆信息中心和仪表组单元无须单独挂接液位、温度、车灯、车门及安全带等信号传感器,就能从总线上获取上述信息,大大地减少了传感器和其它电子部件数量,有效地节约了安装空间和系统成本。

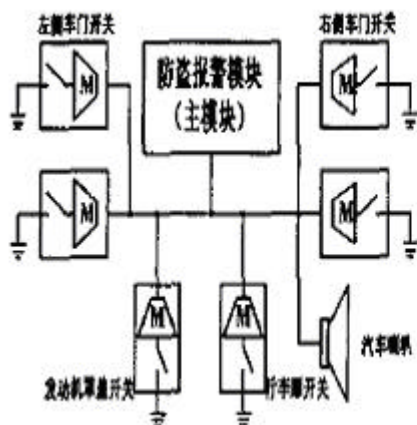


图 1-2 汽车防盗报警 A 类网络系统

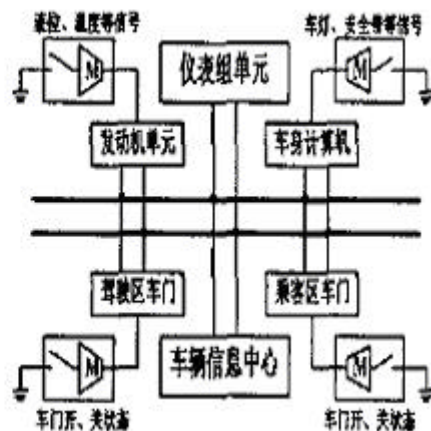


图 1-3 用于数据共享的 B 类网络系统

Fig1-2 Class A net system for Auto alarm Fig1-3 Class B net system for datacommunication

汽车 OBD 系统通常采用 Class B 类总线协议^[17]。目前在汽车 OBD 系统中普遍采用的汽车通信协议包括：SAE J1850、ISO 9141-2、ISO 14230-4 和 ISO 15765-4。SAE J1850 协议是由美国汽车工程协会 (SAE) 制定，其主要特点是总线仲裁、低成本、无主和单总线拓扑。SAE J1850 协议^[13]支持两种方式：脉宽调制 (PWM 41.6 Kb/s) 和可变脉宽调制 (VPW 10.4 Kb/s)。SAE J1850 协议的脉宽调制大多被美国福特汽车公司采用，又称 SCP 协议；SAE J1850 协议的可变脉宽调制通常为美国通用汽车公司和美国克莱斯勒汽车公司采用，又称 CLASS 2 协议。

ISO 9141-2、ISO 14230-4 和 ISO 15765-4 协议是由欧洲标准化组织协会 (ISO) 制定。ISO 9141-2^[18]和 ISO 14230-4^[19]用于车载故障诊断时采用都是 10.4 Kb/s 的波特率，ISO 14230-4 是 ISO 9141-2 的升级版，又称 KWP2000；ISO 9141-2 和 ISO 14230-4 的主要特点是成本低、单线和无总线仲裁。ISO 15765-4 通信协议^[20]是基于 CAN 的汽车通信总线，采用的最高波特率为 500 Kb/s；其主要特点是总线仲裁、多主和总线校验功能等。

SAE 在 1991 年 12 月定订 J1979 号通报，并在 1994 年 6 月修订该通报为「诊断测试模式标准」即为 OBD 系统(联邦)及 OBD 系统(加州) ON BOARD DIAGNOSTIC, 制定 7 个模式, 简称为(OBD/OBD-)。使用 J1979 诊断测试模式可以达到加州 OBD II 随车诊断法规所要求的排放测试指标。

SAE 在 1993 年 6 月定订 J2190 号通报 [加强诊断测试标准]，该通报依据 J1979 号通报 (诊断测试模式标准) 之增订文件，并适用于「诊断通讯方面」SAE J1850 或 ISO 9141-2 标准。该标准是用来定义资料传输的协定及 OBD 统一诊断的格式，并以电脑 16 进位 (HEX) 方式来定义传输协定。

1.5 本文的主要研究内容及意义

随车诊断系统 OBD 标准经美国环保局(EPA)和美国加州资源协会(CARA)认证通过，90 年代后期，美国本土生产的汽车以及进口到美国的汽车，随车诊断系统必须符合 OBD 的标准，由于美国的市场经济地位，该标准相对具有权威性，到目前为止，世界上各大汽车公司基本上全面采用了 OBD 诊断系统。带有 OBD II 随车诊断系统的汽车电控系统是建立在 B 类数据通信网络协议基础上的，SAE J1850 标准是 B 类网络数通信协议中比较常用的一种。数据通信是实现故障诊断与测试平台与控制器 ECU 之间信息互传的唯一通道。通信协议是实现数据通信的基础，通信双方必须遵守相同的约定方可实现准确的数据传送和数据解码。通信协议的选择直接关系者故障诊断测试系统的通用性和可移

植性。

一个多功能、高效率的汽车故障诊断与测试系统必定是包括电子技术、通信技术、计算机应用技术以及相应的发动机控制技术、车辆控制技术等的多学科技术的综合应用的结果。故障诊断与测试系统以发动机或车辆为控制对象，以电子技术为指令分解和执行的设计基础，以通信技术架起指令发出者与指令执行者之间的通信桥梁，以计算机技术开辟可视化的人机交互窗口，相辅相成，缺一不可。本论文以这几项技术为基础研究开发了基于 SAE J1850 通信协议的故障诊断与测试系统。

本文的主要研究内容如下：

- ① 深入研究 OBD II 系统采用的 B 类数据网络的体系结构，解析 SAE J1850 通信协议技术规范。
- ② 分析 SAE J1850 诊断测试的基本理论，掌握基于 SAE J1850 通信协议与 ECU 通讯的格式。
- ③ 设计开发基于 SAE J1850 通信协议的汽车故障诊断与测试系统，硬件部分包括 PC 机与 ECU 的通信接口装置，软件部分包括对 ECU 数据与故障码的读取与分析。
- ④ 最后在试验台架上测试该故障诊断与测试系统，并应用于发动机热试项目中，证实该系统的使用价值。

第二章 SAE J1850 通信协议的技术规范及其描述^[17]

2.1 引言

在目前存在的多种汽车网络标准中，应用最为广泛的是美国汽车工程师协会颁布的 J1850。J1850 是 SAE 车辆信息多路传输和数据通信网络标准委员会于 1988 年审议通过，经 1990 年 1996 年间多次修改而成的面向数据共享的 B 类网络协议。本章详细论述了应用于 B 类数据网络通信协议和接口的 SAE J1850 标准。

2.2 SAE J1850 通信协议的体系结构^{[17][21]}

2.2.1 网络拓扑结构

1. 数据总线拓扑

数据总线的拓扑是指数据总线连接各个节点的结构图，包括汽车数据总线模块里的所有总线和节点。现在汽车上较广泛使用的是一种称为‘单一总线结构’的最简单的总线结构，在‘单一总线结构’中，所有的节点通过一条数据总线连接起来。在一些有特殊要求情况下，往往采用复合‘单一总线结构’，即用包含有多根数据总线的电缆来连接多个节点。但如果遵循如下准则，这种冗余结构并没有改变‘单一

总线结构’拓扑的定义：

- a. 所有的节点通过单一路径发送和接收数据。

- b. 所有的节点在同一时刻接收到相同的数据帧。
- c. 每条总线上的通信是各自独立的。

2.数据总线控制

尽管可以采用各种各样的数据总线控制方式，但 B 类网络趋向于采用一种‘对等’的控制方式。采用对等方式是因为它是建立开放体系结构数据通信的基础。因为没有主控节点，所以当检测到总线上有空闲时，任何一个节点都有相等的机会开始一个数据发送。然而，并非所有节点的地位都是相同的，帧优先是存在的，优先级最高的帧总是能够完成，这也就是说这种帧不会发生数据丢失现象。对等控制方式的两个缺点是，除优先级最高的帧外，无法保证数据的延时。另一个缺点是总线的利用极限难于估计。

2.2.2 OSI 参考模型(开放系统互联参考模型)

OSI 参考模型如图 2-1 所示。该模型基于国际标准化组织(ISO)的建议，作为各种层上使用协议国际化的第一步而发展起来的。这一模型被称为 ISO OSI(国际标准化组织开放互联参考模型)，因为它是关于如何把开放式系统连接起来的，通常简称为 OSI 参考模型。

OSI 模型有 7 层，其分层原则如下：

- a. 根据不同层次的抽象分层
- b. 每层功能的选择应该有助于制定网络协议的国际标准
- c. 各层边界的选择应尽量减少跨过接口的通信量
- d. 层数应适当，既要避免不同的功能混杂在同一层中，又要避免过多的层所造成的体系过于庞大。

B 类数据网络主要应用了这 7 个层中的 3 个，即物理层、数据链路层、应用层。如图 2-1 所示。



图 2-1 ISO OSI 模式的 SAE J1850 结构图

Fig 2-1 Map of SAE J1850 to the ISO OSI model

1.应用层

在 OSI 模型的最顶端是应用层，该层建立了不同的输入、输出设备之间的应用关系，其中包括人的操作。将网络中的数据从一个字节传送到另一个字节，包括操作信息和诊断信息（运行工况参数数据和故障码）。只要按规定接通规定接口，就可以得到上述信息。另外，在某些法规规定的诊断中也要指明应用层的要求。

2.数据链路层

数据链路层的主要功能是将位或标志转化为有效的、无差错的帧或数据。一个典型的数据链路层的应用是将并行数据转化为串行数据，或者是提供位同步。数据链路层的另一个主要功能是出错检查，当有错误发生时，数据链路层或者是对其出错检查，或者通知上一层。因此数据链路层的内容包括地址策略、网络存取和数据同步、帧元素和结构、差错检查和应答等。

3.物理层

物理层及其线路形成了数据链路层之间传递的信息路径。物理层的主要元素包括诸如电压、电流值，位的定义以及时序等。它规定了工作介质、最大节点数、最大网络长度、电气参数、数据信号／符号定义／检测，以及故障容错等。

2.2.3 网络实现

本文所描述网络的实现已经被简化为普通的硬件、软件、消息以及工具。消息的第一个字节或前三个字节称为头字节，这些字节充分定义了与该网络接口相关的要求，这些要求在网络设计的最初阶段是可选择的。

图 2-2 显示了三字节头结构。

图 2-3 显示了统一定义的头的第一字节

字节 1	字节 2	字节 3
见图 3-3	目的地址	源地址

图 2-2 统一的三字节

Fig 2-2 Three byte form of consolidated header

位 7	6	5	4	3	2	1	0
P	P	P	O	K	Y	Z	Z
优先权 (0 到 7)			H=0	消息类型 (见下表)			
位	位含义			值	值含义		
K	帧内应答			0	要求帧内应答		
				1	不允许帧内应答		
Y	地址模式			0	功能地址		
				1	物理地址		
ZZ	特指消息类型			00	具体含义依赖于 K 和 Y 的值, 详细说明参见有关资料。		
				01			
				10			
				11			

图 2-3 三字节头的第一个字节

Fig 2-3 First byte of three byte form of consolidated heater

2.3 应用层

B 类数据网络的应用层是在网络中将数据从一个节点传到另一个节点或多个节点, 这种消息的传输应支持操作和诊断的需要。

1. 普通汽车操作消息

在非诊断模式时所传输的消息称为普通汽车操作消息, 这些消息被用来完成从网络的发送节点到一个或多个接受节点的数据通信。这些消息在 SAE 的标准中有详细定义。在 SAE J2178 标准中, 一部分消息是已经规定的, 另一部分是保留未用的, 这些保留未用的消息有待汽车生产厂商去定义, 因此往往是不同的。

2. 诊断消息

B 类数据通信网络在最初设计时就考虑到其诊断的功能, 即为该种网络所设计的故障诊断仪将通过网络来诊断汽车控制系统的故障, 这些诊断程序可以包括法定诊断、工业标准诊断以及生产厂商所特指的诊断程序。SAE J1979 和 SAE J2190 定义了一套公认的诊断模式, 这些诊断模式适用于诊断, 也是为诊断目的预留的。

1) 诊断参考数据

SAE J1979 和 SAE J2190 规定了测试模式和帧格式, 使车外的故障诊断仪

可以得到汽车中有关数据。

2) 诊断故障代码

在 OBD II 所规定的故障代码中，既有一部分分配于汽车各个系统所代表的故障，也有一部分是留给汽车生产商专用的，但这些汽车商所自定的故障代码必须满足 SAEJ2012 所规定的代码结构。SAE J1979 和 SAE J2190 规定了用来从在车系统重新获得故障码的信息。

3. 帧过滤

网络接口设备应该具备帧的过滤的功能，以使得对于特定的节点，只接受那些所需要的帧。因为 B 类数据网路使用物理地址和功能地址两种帧地址，因此帧过滤设备应该检查开始几个字节，而不是只检查第一个字节，以确定其目的地址。帧过滤的主要功能是通过减少节点所接收到帧数目，从而减少与网络操作有关的软件和过程的负担。

2.4 数据链路层

这一部分描述了数据链路层的如下特性：

- a. 地址策略
- b. 网络存取和数据同步
- c. 帧元素和结构
- d. 差错检查
- e. 差错响应

2.4.1 地址策略

B 类数据网络规定了两种地址策略-物理地址和功能地址，并且这两种地址可以在网络中共存。两种地址服务于不同的任务，在同一网络中灵活运用这两种地址很有用的。

1. 物理地址

当帧只在两个设备之间交换时，是基于它们所在网络内的物理地址的，网络内的每个节点都必须分配一个唯一的物理地址。这种地址策略应用于当通信引入特殊的节点，而并非其他存在于网络上的节点时。诊断仪的接入就是这种情况，此时，对这种特殊模块的确认是很重要的(注：诊断仪所发送请求信号中的地址是功能地址而非物理地址)。

2.功能地址

帧在网络上多个设备之间的传输是基于帧的功能地址的。每个节点被分配一系列与它相关的功能，或者发送，或者接收，并且这些节点可以位于网络的任何地方。这种地址策略用于功能的物理位置不是很重要，并且可以从一个模块转移到另一个模块中。在功能地址中，消息的功能是主要的，而非节点的位置。

2.4.2 网络存取和数据同步

网络接口设备采用一种多次存取仲裁，一种基于网络协议的、非破坏性的按位仲裁，以有效的解决同时存取总线的情况。当节点检测到总线上有空闲时，就可以向总线上存取数据，当同时有两个或两个以上节点存取时，就采用仲裁，以解决冲突的产生。因为网络上并没有离散的时钟信号，节点信号的同步依赖于网络上传输的位或标志。

1.全消息缓存

全消息缓存是指一个或多个消息存在于网络接口设备的入口处。全功能缓存以硬件的代价减低了软件的负担。若同时采样帧过滤，也可以更有效地降低软件的负担。

2.字节缓存

字节缓存是指接收到消息或传递消息的每一个字节都被单独地缓存于接口设备中。字节缓存的另一功能是为接口设备与网络上帧的同步提供时钟信号。

2.4.3 网络格式元素和结构

网络中的数据通常是按以下述格式传输的：

idle, SOF DATA_0, ..., DATA_N, CRC, EOD, NB, IFR_1, ..., IFR_N, EOF, IFS, idle

其中各元素的功能分别是：

1.SOF (Start of Frame)

SOF 标志位用来唯一地确定一帧的开始，不计入 CRC 校验码。

2.EOD (End of Data)

EOD元素是数据帧发送方用来表示发送结束的标志。当帧内存在 IFR(in-frame response)时，IFR 通常是跟在 EOD 后面而在 EOF 前面的。

3.EOF (End of Frame)

EOF 元素用来表示一帧的结束。当一帧中最后的数据传输完毕后，总线将保持低电平状态，此时，所有的接收方都认为传输已经结束。

4. IFS (Inter-Frame Response)

IFS 是用来在帧连续传输时为不同的节点作适当的同步信号。在 IFS 最小周期结束之前，传输方不能在总线上开始传输。然而，接收方必须与其他在 EOF 最小周期后出现的 SOF 同步，以此来调节不同时钟的误差。

5. NB (Normalization Bit)

NB 仅用于采用可变脉宽调制的设备中。对可脉宽调制来说，帧内应答的第一位仍为低电平。因此，在 EOD 标志的后面必须跟着一个 NB。NB 的作用为标志 IFR 的开始。

6. BRK (Break)

BRK 元素的作用是终止总线的传输，并使所有节点置位于待接收状态。

7. IDLE (IDLE BUS)

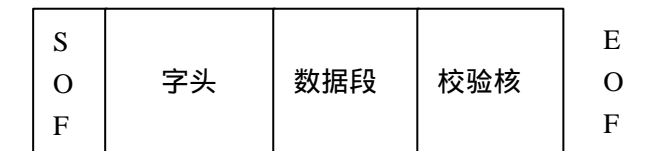
IDLE 被定义为紧根于 IFS 后的所有低电平状态。当 IDLE 时，任何节点都可以立即发送数据。

8. DATA BYTES

数据字节由许多 8 位长的字节组成，设计者可以根据情况发送所需要的数据字节，然而。消息的总长度(从 SOF 到 EOF)不能超过规定的最大值。

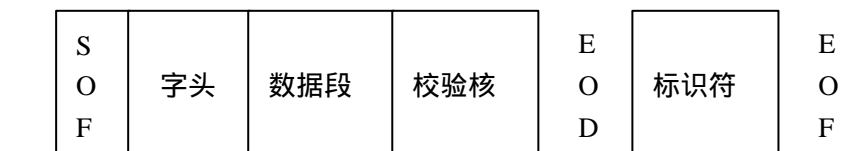
9. IFR (In-Frame Response)

帧内应答字节是发送方发出的，并等待接收方向发送方反馈应答信息，紧跟于 EOD 后。如果 EOD 后 IFR 的第一个字节没发出，而且总线处于低电平状态，此时所有的节点将以为此帧已经发送完毕。帧内应答字节采用下列类型中的一种：



类型 0 无帧内应答

Type 0- None



类型 1 单应答方的单字节

Type 1- Single byte from a single responder



类型 2 多应答方的单字节

Type 2- Single byte from multiple responders



类型 3 单应答方的多字节

Type 3- multiple bytes from a Single responder

2.4.4 差错检验

在 BOD II 网络中，数据的差错检验采用的是循环冗余检验(CRC)，即采用循环冗余码来检验数据的传输是否出现差错，所谓循环冗余是这样一组代码，其中任一有效码字经过循环移位后得到的码字仍然是有效码字，不论右移或左移，也不论移多少位。例如，若 $(a_{n-1}a_{n-2} \dots a_1a_0)$ 是有效码字，则 $(a_{n-2}a_{n-3} \dots a_0a_{n-1})$ ， $(a_{n-3}a_{n-4} \dots a_{n-1}a_{n-2})$ 等都是有效码字。在 OBD II 网络中，循环冗余码的计算是通过移位寄存器实现的。移位寄存器由 k 位组成，还有几个异或门和一条反馈回路。在 OBDII 系统中，寄存器被初始化为全“1”状态，数据字从右向左逐位输入。当一位从最左边移出寄存器时就通过反馈回路进入异或门和后续进来的位以及左移的位进行异或运算。当所有 m 位数据从右边输入完成后再输入 k 个零。最后，当这一过程结束时，移位寄存器中就形成了校验和。校验和紧随在数据字节后发送，接收端按同样的过程计算校验和并与接收到的校验和比较，以检验传输中的差错。

2.4.5 差错响应

1.发送方——当检测到网络上存在错误的时候，发送方必须在下一位数开始送出前终止传输，并等待规定的帧间隔(IFS)时间，或在确定帧结束(EOF)后方可重新发送。

2.接收方——当接收方收到一个包含错误的帧时，该帧将被丢弃，并向发送

方发送一个应答码请求重发，但当该帧包含帧内应答(IFR)时，接收方将不发送应答码。对发送方来说，此时无应答码即表示传输出错，该帧将被重发。

2.5 物理层

这部分主要阐述了对物理层如下属性的要求：

- 1) 介质
- 2) 最大节点数量
- 3) 最大网络长度
- 4) 电气参数
- 5) 数据位/符号定义/检测
- 6) 故障容错

2.5.1.物理层介质

本节着重于描述数据传输介质，并假设每个节点都接以适当的电源和地线。介质分单线和双行线两种，电压驱动单行线的网络介质必须是自由的单布线，电压驱动双行线的网络介质可以是并行线或双绞线。B类网络对线路无特殊要求。

2.5.2.最大网络节点数和最大网络长度

最大网络节点数是指 OBD II 网络上可以容纳节点数的最大值，这之中即包括了汽车自身的节点数，又包括譬如诊断检测仪等车外节点数。SAE 规定，OBD II 网络中容纳的节点数不得超过 32 个。最大网络长度是指任意两个网络节点之间连线的最大长度。其中车内的最大网络长度不得超过 35m，车外的不得超过 5m，总长不得超过 40m。

2.5.3.电气参数

OBD II 网络的电气参数如表 2-1 所示

表 2-1 OBD II 网络电气参数

Tab2-1 OBD II net electric parameter

参数名	符号	最小值	典型值	最大值	单位
输入高电平	V_{ih}	2.80	-	6.25	V
输入低电平	V_{il}	-1.00	-	2.20	V
输出高电平	V_{oh}	3.80	-	5.25	V
输出低电平	V_{ol}	0.00	-	1.20	V
对地电压绝对偏移量	V_{gp}	0.00	-	1.00	V
总线电压	V_{sup}	4.75	5.00	5.25	V
接收器的操作幅度	V_{cm}	1.80	-	2.75	V
接收器过载	V_{ovs}	-	-	180	μV
网络阻抗	R_{load}	85	-	378	Ohms
网络电容	C_{load}	500	-	15000	PF
网络时间常量	T_{load}	-	-	1.35	μS
信号传输时间	T_t	-	-	1.75	μS
节点阻抗	R_{cl}	-	2.880	-	Ohms
节点电容 (信号对地)	C_{ulg}	-	250	-	PF
节点电容 (信号对信号)	C_{ulv}	-	10	-	PF
节点泄漏电流 (正状态)	I_{loadt}	-	-	100	μA
节点泄漏电流 (负状态, 节点关)	I_{loadcu}	-	-	250	μA
节点泄漏电流 (负状态, 节点开)	I_{loadcp}	-	-	250	μA

2.5.4. 数据位和数据符号的定义和检测

数据总线存在高电平和低电平两种状态，当从高电平转换为低电平时，我们称之为下降沿；当从低电平转换为高电平时，我们称之为上升沿。

本文所叙述的 OBD II 网络中存在两种编码方式，脉宽调制 PWM 和可变脉宽调制 VPM，其中“0”、“1”、SOF、EOD、EOF、IFS 等标志适用于 PWM 和 VPM 两种方式，而 NB 标志只适用于 VPM 方式。图 2-4 引入脉宽的概念，一个脉宽记 T_{p1} ，同理，两个脉宽记 T_{p2} ，依此类推。

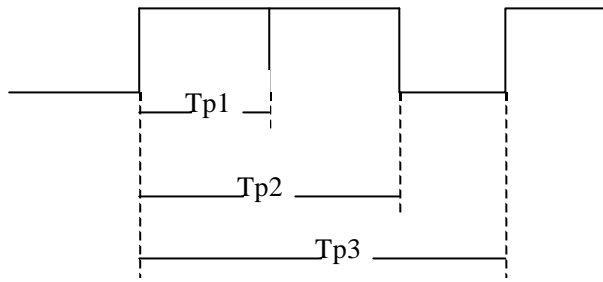


图 2-4 脉宽的定义

Fig 2-4 Pulse width definition

1. 脉宽调制 PWM 的编码

1) “1”和“0”的定义

“1”的定义必须满足以下两个条件：

- ① 前一个上升沿之后的一个上升沿之间至少有三个脉宽。也就是说任意两个上升沿之间的间距不可少于三个脉宽。
- ② 在该上升沿之后一个脉宽出现一个下降沿。

图 2-5 定义了 PWM 中“1”，图 2-6 定义了 PWM 中“0”。

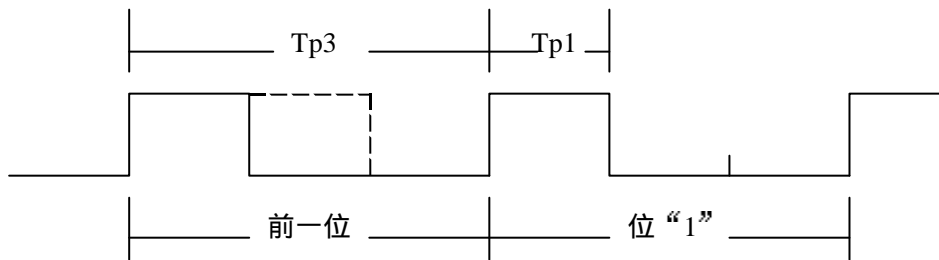


图 2-5 PWM 中“1”的定义

Fig 2-5 “1” bit definition

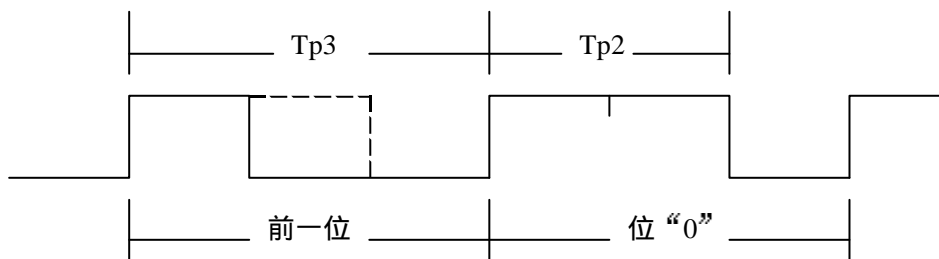


图 2-6 PWM 中“0”的定义

Fig 2-6 “0” bit definition

“0”的定义必须满足以下三个条件：

- ① 前一个上升沿之后的一个上升沿之间至少三个脉宽，也就是说任意二个上升沿之间的间距不可少于三个脉宽。
- ② 在该上升沿之后两个脉宽出现一个下降沿。
- ③ 下一位数据位的上升沿应出现在其前一位数据下降沿后十一个脉宽的位

置。

2) SOF 的定义

SOF 是一帧开始的标志，如图 2-7 所示。必须满足如下条件：

- ① SOF 的参考上升沿必须要在前一个上升沿之后至少五个脉宽。
- ② 参考上升沿的七个脉宽之后出现下降沿。
- ③ 帧的第一位数据的上升沿应出现在参考上升沿后十个脉宽处。

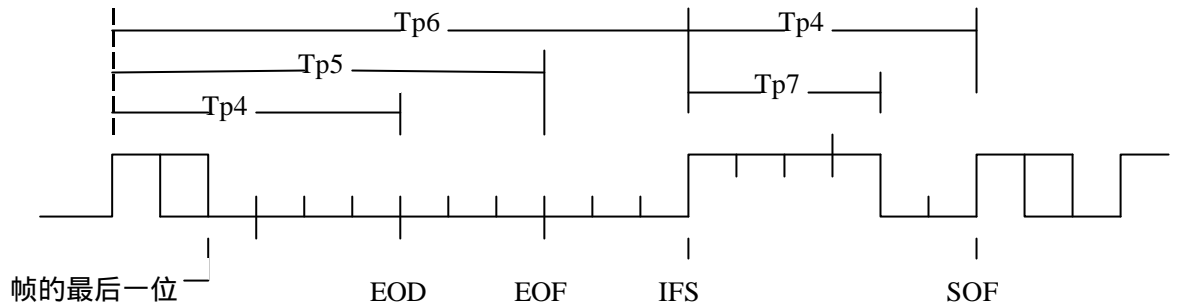


图 2-7 帧开始标志

Fig 2-7 Frame symbols

3) EOD 的定义

EOD 是由发送方所发出的，表示数据结束的标志，如图 2-8 所示。当帧内含有 IFR 标记时，IFR 通常是紧跟于 EOD 后发送的。帧内不含有 IFR 标记时，总线要继续保持低电平一位，以表示该帧已经结束(EOF)。

当帧内有 IFR 标记时，接收方所发送的应答字节从其所发送的第一位的上升沿开始，并在发送方发送最后一位的上升沿后四个脉宽处开始发送。如果应答字节的第一位不出现在四个脉宽之后，而且总线维持低电平五个脉宽的时间，那么发送方和所有接收方认为该帧已经结束。

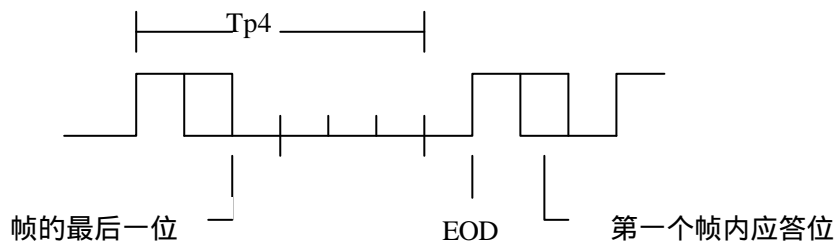


图 2-8 数据结束标志

Fig2-8 End of data symbol

4) EOF 的定义

EOF 是一帧结束的标志。当最后的数据字节发送完毕后，总线将保持低电子状态，在最后一位上升沿后的五个脉宽处即认为该帧已经结束。

5) IFS 的定义

IFS 为帧连续传输时提供适当的同步信号，当一个发送方希望向总线发送数据时，必须满足：

- ① 已经过了最小帧间隔(IFS minimum)时间(最后一位上升沿后六个脉宽)。
- ② 已经过了最小帧间隔(EOF minimum)时间，并且有一个上升沿已经被检测到(最后一位上升沿后五个脉宽)。

6) BRK 的定义

BRK 的作用是终止总线上的数据传输，并使所有节点恢复至待接收状态，如图 2-9 所示。在 PWM 调制方式下，BRK 标记被作为 SOF 的扩展，并有可能被某些设备认为是不合理标记，从而被忽略掉。通常，在 BRK 标记上升沿后九个脉宽处出现 IFS 标记，以再次同步接收方。当发送 BRK 信号的节点希望获取总线的使用权时，应向总线发送优先级最高的帧，否则，按常规的仲裁协议，其他节点也有权获取总线的使用权。

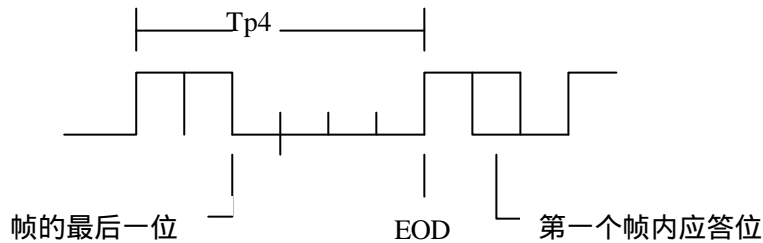


图 2-9 PWM 中断顺序

Fig 2-9 PWM break sequence

7) IDLE 的定义

IDLE 状态是指当最短 IFS 信号过后总线上一段持续的低电平状态，如图 2-10 所示。任何节点在 IDLE 时都可以向总线发送数据。

当总线处于 IDLE 时，所有节点都可以立即向总线发送数据。但当两个或两个以上节点同时发送数据时，就会产生冲突。因此，总线上应始终存在用以再同步的上升沿信号。

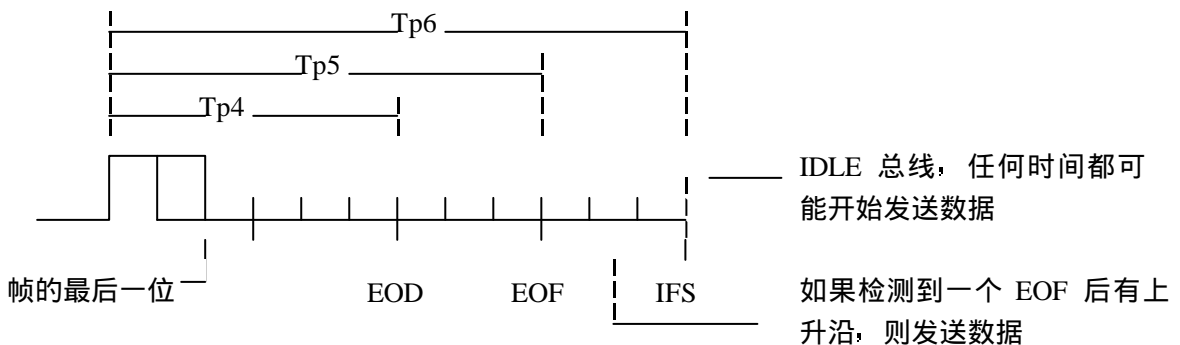


图 2-10 帧结束标志和 ILDE 总线的定义

Fig 2-10 EOF and IDLE bus definition

2. 可变脉宽调制 VPM 的编码

1) “1”和“0”的定义

与 PWM 方式不同，在 VPM 中，“1”的定义是指两个低电平或一个高电平，反之，“0”的定义是指两个高电平和一个低电平。总线状态中，正负电平之间脉宽的变化是为了适应仲裁和优先权的需要。图 2-11 定义了 VPM 中“1”；图 2-12 定义了 VPM 中“0”。

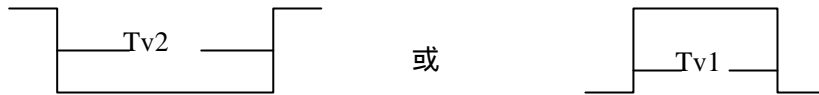


图 2-11 VPM 中“1”的定义

Fig 2-11 “1” bit definition in VPM

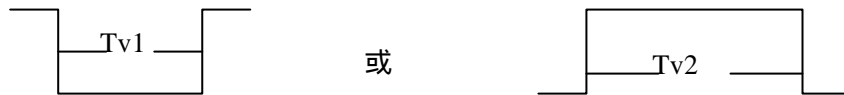


图 2-12 VPM 中“0”的定义

Fig 2-12 “0” bit definition in VPM

2) SOP 的定义

VPM 中 SOP 是指连续三个脉宽的高电平。

3) EOD 的定义

VPM 中 EOD 是指连续三个脉宽的低电平。

4) EOF 的定义

VPM 中 EOF 是指连续四个脉宽的低电。

5) IFR 的定义

IFR 标记是由接收应答方发送的，并开始于低电平的 EOD 信号之后。对 VPM 调制方式来说，IFR 的第一位仍然是低电平，因此，必须产生一个标准位跟随于 EOD 信号之后，该标准位是由应答方在发送帧内应答信号前发送的。这个标准位被定义为 IFR 信号的开始，并有两种编码方式。一种是持续一个脉宽的高电平，另一种是持续两个脉宽的高电平，如图 2-13 所示。标准位也可以用来识别帧的 IFR 部分应答的类型。当使用一个脉宽高电平的标准位时，表示该应答信号不包含 CRC 码。当使用双脉宽高电平的标准位时，表示该应该信号包含 CRC 码。个别制造商允许根据他们的需求使用标准位。然而，未来的所有 SAE J1850 应用者要求使用上述描述的标准位。

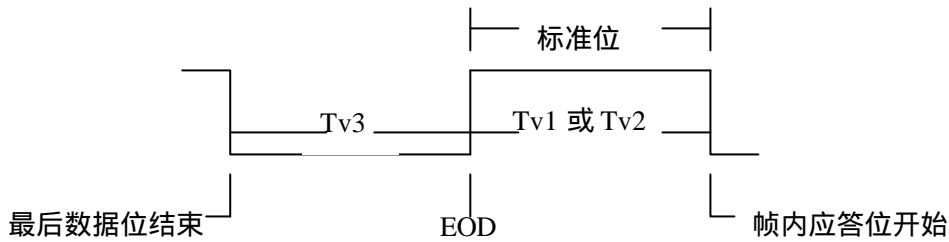


图 2-13 标准位

Fig2-13 Normalization bit

6) IFS 的定义

同 VPM 方式一样，IFS 用来为连续传输的帧提供适当的同步信号，具体定义如图 2-14 所示。当某节点希望向总线发送数据时，必须满足如下要求之一：

- ① 总线上已经出现最小的 IFS 信号(六个脉宽)。
- ② EOF 信号已经出现(四个脉宽)，并检测到另一个上升沿出现。

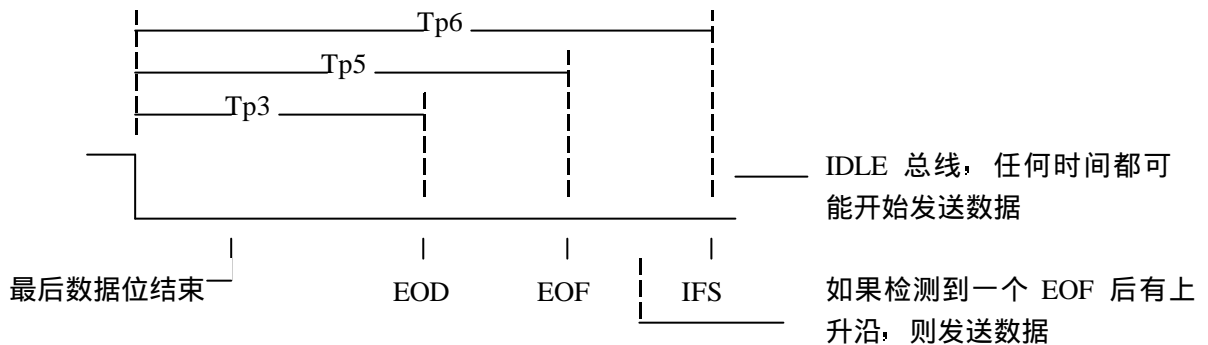


图 2-14 帧埋葬分离

Fig 2-14 Inter-Frame separation

7) BRK 的定义

BRK 的作用是终止总线上的数据传输，并使所有节点恢复至待接收状态。在 VPM 调制方式下，BRK 标记也有可能被某些设备认为是不合理标记，从而摒弃当前的帧。VPM 的 BRK 标记是一个持续五个脉宽的高电平信号，如图 2-15 所示。紧跟于 BRK 信号后的是持续六个脉宽的 IFS 信号，其作用是为连续传输的帧提供再同步信号。当发送 BRK 信号的节点希望获取总线的使用权时，应向总线发送优先级最高的帧，否则，按常规的仲裁协议，其他节点也有权获取总线的使用权。

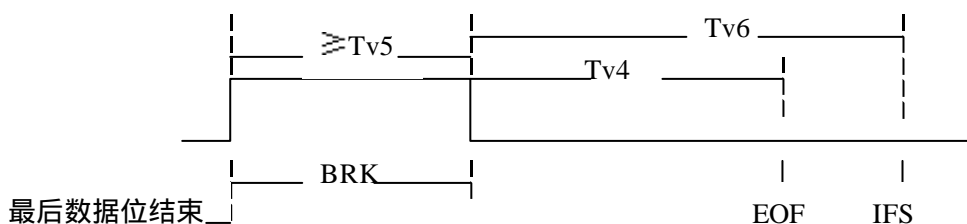


图 2-15 中断信号 BRK

Fig 2-15 Break signal

8) IDLE 的定义

与 PWM 方式相同, IDLE 状态是指当最短 IFS 信号过后总线上一段持续的低电子状态。任何节点在 IDLE 时都可以向总线发送数据。ISF (六个脉宽) 后会存在一个 IDLE 总线, 当两个或两个以上节点同时发送数据时, 就会产生冲突。因此, 总线上应始终存在用以再同步用的上升沿信号。

2.5.5. 物理层的故障容错

1. 必须满足的故障容错

OBD II 网络必须满足下述容错要求, 否则, 将对网络造成损害。

① 节点掉电

当节点工作电压消失或低至无法正常工作, 节点必须具备承受网络最大峰值电流冲击的能力。

② 总线对地短路

当总线对地短路时, 允许终止数据传输, 但网络上的所有节点不可受到损害。

③ 总线对电源短路

当总线对电源短路时, 允许终止网络数据传输, 但网络上的所有节点不可受到损害。

④ 节点对地断路

当某节点对地断路时, 必须保证网络上的其他节点继续保持通信能力。

2. 可选的故障容错

各生产厂商可根据各自的需要选择满足如下的容错要求。

① 偏流电阻或终端电阻失效

偏流电阻和终端电阻应有足够冗余, 从而不致因某个电阻失效而影响整个网络通信。

② 节点脱离网络

当某节点脱离网络时, 必须保证网络上的其他节点继续保持通信能力。

③ 双线通信的容错

当某节点采用双线通信时, 如下述故障之一发生, 该节点必须保持要求的收发速率。

- A. 正总线开路
- B. 负总线开路
- C. 正总线对地短路
- D. 负总线对地短路

- E. 正总线对电源短路
- F. 负总线对电源短路
- G. 正总线对电源和地之间的任何电压短路
- H. 负总线对电源和地之间的任何电压短路

故障发生时，网络的抗噪性能允许有一定程度的降低，故障排除后，网络的抗噪性能应恢复到应有的标准。当发生上述故障时，所有的节点应受到保护而不致损害。当故障排除后，整个系统应自动恢复到应有的标准。当正总线与负总线短路时，即发生所谓“双故障”时，允许终止通信。

2.5.6 冲突、仲裁和优先权

1. 冲突探测

当多个节点同时向总线发送数据时就会产生冲突。冲突探测是冲突标识或冲突位的识别器。位-位仲裁过程允许探测冲突帧的传输。探测接收的标识或位和目前传输的标识或为之间的不同的节点，就探测到帧了传输的冲突。只有赢得了与其他所有在帧内开始传输数据的节点不同的标识或位的冲突，这个帧才不探测冲突。

2. 仲裁

当多节点企图同时传输帧时，位-位仲裁解决此时产生的冲突。位-位仲裁应用于帧的每一个标识或位，从 SOF 标识开始到帧结束。在物理层，位-位仲裁方式是用于有高电平和低电平两种值的总线上的。所有的标识或位在总线上使用物理层的高电平和低电平的合成信号来编码的。当总线上高电平和低电平信号同时传输时，总线的合成信号就是高电平。如果传输节点探测到一个电平信号不同于该节点在帧的字头部分传输的信号，则该节点终止传输数据，把优先权让给下一个位。如果传输节点探测到一个电平信号不同于该节点在帧的数据部分传输的信号，则有下列几种操作：

- ① 终止传输，把优先权让给下一个位。如果由于字头后非预期的冲突探测导致消息传输的过早终止，则必须通知接收节点不接收无用的消息。最后一个字节收到前一个字节的 CRC 校验码而把它当作一个有效消息的概率有 $1/256$ ，因此，节点有必要确定所接受的消息的正确长度来证明消息的有效性。
- ② 当一个字节边界有冲突探测时发送少于 8 位的附加位。这样，一旦由于噪声产生了非预期冲突探测，所有其他的接收方都能接收到帧故障。

仲裁过程始于 SOF，贯穿发送帧的所有位。当所有同步帧的每一个标识或位传输时，最后一个标识或位将探测是否有冲突发生，之后所有节点继续传输数

据。任何保留的节点将继续发送标识或位，直到下探测到一个冲突。没有探测到任何冲突的节点才唯一地获得发送标识或位到介质层的权力。

3. 帧优先权

位-位仲裁使用帧优先权。当一个单一的发送方被仲裁优先于任何帧的数据值时，相关帧的结构优先权是继承的。在帧相同的同步窗口里，当两个以上节点企图向总线发送数据时，非破坏性的仲裁将出现。总线有高电平和低电平两种电平信号。如果一个高电平位和一个低电平位在总线上同时传输，则高电平位覆盖低电平位。这种仲裁的结果是，发送低优先权帧的节点被认为他们失去了仲裁而在下一个位时之前终止发送；而发送高优先权帧的节点不会被打断继续发送。

第三章 SAE J1850 诊断测试的基本理论

3.1 引言

SAE J1850^[17] 包括 PWM 和 VPW 两种方式，通用汽车公司在发动机、变速器、ABS、汽车仪表等设备中普遍应用了这一标准协议，而且以 VPW 方式进行工作。通常情况下，SAE J1850 的 VPW 方式通信又被称为 CLASS 2 通信协议，SAE 操作规程推荐使用的 J1979 诊断测试模式可以达到加州 OBD II 随车诊断法规所要求的排放测试指标。SAE 操作规程推荐使用的 J2190^{[21][22]} 增强型诊断测试模式用来补充 SAE J1979 规定的法定测试模式。本章主要讨论标准化的 J2190 诊断测试模式，使用这些标准化的模式有益于减少不必要的浪费、减少软件、测试设备的开发，同时建立通用的诊断方法。

3.2 Class 2 的工作模式^{[22][23]}

Class 2 总线有三种工作模式，分别是：正常模式，诊断模式和高速模式。“当前测试设备在线”的 \$3F 消息周期性发送来维持一种工作模式，如果 Class 2 总线没有这种物理消息，则运行正常工作模式。正常模式是汽车网络总线上的各个控制单元之间通讯使用的工作模式。诊断模式主要用于与诊断测试设备的通讯，这种诊断设备与 ECU 之间的通讯需要周期性的发送“当前测试设备在线”的请求消息 \$3F 来维持。但是并非所有的“当前测试设备在线”的请求消息 \$3F 都能使目标设备进入诊断模式。只有测试设备或随车携带的设备作为测试设备时，才发送诊断请求消息，诊断请求消息也不能用作正常工作模式时的设备与设备之间的通讯。高速模式是一种扩展的诊断模式，主要用于标定和 ECU 内部程序的刷新。高速模式时 Class 2 总线的速度是正常模式的四倍，车辆不能满足排放标准，因此，在这种模式下车辆不能正常工作。图 3-1 描述了 Class2 总线设备的三种工作模式之间的相互转换关系。

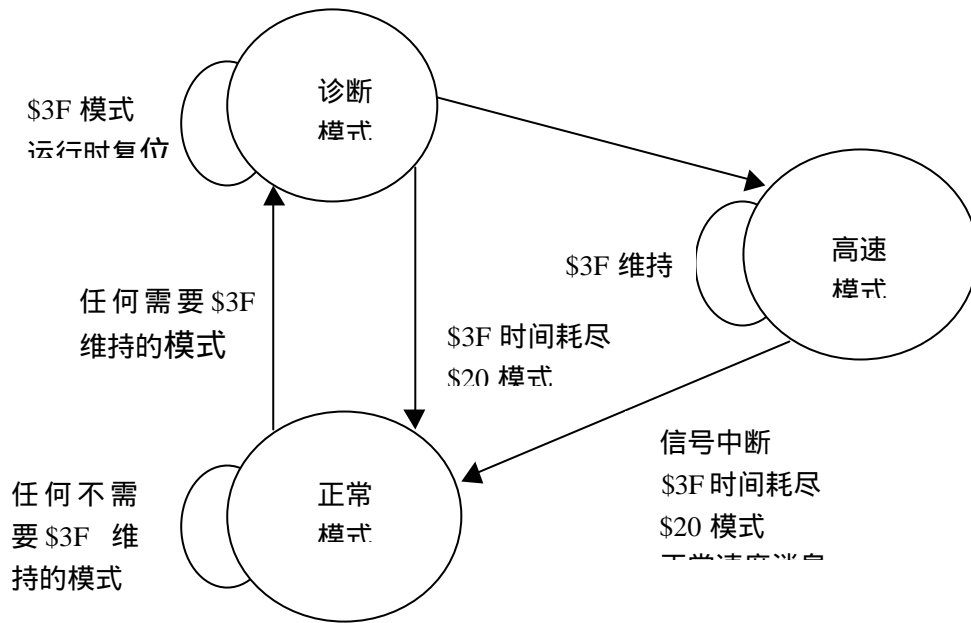


图 3-1 状态转移图

Fig 3-1 State transfer chart

不需要用\$3F 模式来维持其运行模式的诊断测试模式，将会在它当前的运行模式时离开设备，任何需要\$3F 模式的诊断测试模式将把设备转到诊断模式。在诊断模式下，需要\$3F 模式消息来维持该模式。如果设备在诊断模式下执行一个不影响存储器的运行复位，它将继续保持诊断模式。下列的任何操作都会是设备由诊断模式转到正常模式：\$3F 时间耗尽，收到一个\$20 模式或上电复位。当收到一个\$A0 和\$A1 模式消息时，设备由诊断模式转入高速模式。4X capable 设备需要用\$3F 模式消息来维持高速模式，4X compatible 设备不需要用\$3F 模式消息来维持高速模式。一个设备或测试设备发送一个中断信号或正常速度消息、测试设备发送\$20 模式或\$3F 时间耗尽时，都会离开高速模式。如果 4X capable 设备在高速模式时在适当的时间收到\$3F 模式消息，则会发送一个中断信号和执行\$20 模式，从而设备离开高速模式。从高速模式转入正常模式时，4X capable 设备和能探测到中断信号的 4X compatible 设备不会立即恢复正常模式通讯，而会等待一秒钟。不能探测到中断信号的 4X compatible 设备在收到第一个正常速度消息后，不作任何延迟立即恢复正常模式通讯。

3.3 J2190 通信策略 [24][25]

SAE J2190 增强型诊断测试模式只适用于测试或诊断的测试设备，不能用于

正常车辆运行时非诊断设备和诊断设备之间的通讯。设备在所有动力模式都要支持物理请求消息。所有的 J2190 诊断测试模式除非特别注明都配有物理地址，所有物理请求消息都是规定长度的。如果物理请求消息含有多于或少于规定长度的数据字节，则该消息将被判无效而丢弃。

所有物理消息应答的优先权等价于最后收到的物理消息请求的优先权,这个请求包括一个\$FE 的目标地址或接收设备的源标识符。所有物理消息的目标地址等于包含\$FE 的目标地址或接收设备源标识符的最后接收到的物理消息请求的源地址。诊断测试模式是请求和应答成对出现的，应答消息模式号码是请求消息模式号码加\$40。一般而言，设备对任何物理地址消息的应答，其第 4 字节的第 6 位不能置“1”，这样避免了对其他设备的错误应答。

当向总线发送数据无须仲裁时，无传输功能消息的设备必须在 100 毫秒内应答诊断测试请求。当需要多个应答时，这个定时要求是用于第一个应答消息。一旦设备接收到一个诊断请求，设备只能连续传输不超过两个功能消息。设备必须对每一个指定的模式应答，如果设备不能在 100 毫秒内排队等待所期望的应答，它必须发送一个不完全的单一程序来指出请求消息已经收到且应答信号将在可能时发出。测试设备收到不完全程序后，将至少等待一秒钟，无应答时再重发请求消息。

3.4 J2190 诊断测试模式^[20]

每个测试模式的定义包括功能描述、消息数据、需要的支持模式、测试设备含义和其他相关信息。消息数据段以一个表格式格式来介绍消息数据的字节信息，只陈列了消息的八个数据字节。消息的头三个字节没有明确定义，当确实发送消息时，设备必须给出准确的头三个字节。消息数据给出了任何参数的请求消息，设备不要求支持测试模式的所有特征，因为每个模式都有其必须支持的特征和可不支持的特征。错误应答用\$7F\$RM\$Code 格式表示，其中\$RM 表示请求消息的 6 个数据字节。如果请求消息超过 6 个数据字节则被删节，如果少于 6 个数据字节则被填补。\$Code 是一个错误码，解释消息被拒绝的原因。

J2190 的诊断工作模式共有 26 种消息请求模式，本章主要介绍\$19、\$2A、\$2C、\$3F 和\$7F 五种数据请求模式。

3.4.1 \$19 模式-诊断故障码的请求

\$19 模式提供一种方法，测定符合被请求状态标准的所有诊断故障码 (DTC)

状态。它有两种请求模式：一种是\$19 列表请求模式，请求所有诊断故障码的列表和各自的状态；另一种是\$19 数量请求模式，请求符合状态标准的诊断故障码的数量。两种请求模式都包含一个身份标识码，表明搜索到的设备标识位。

\$19 列表请求模式的应答消息可以是一个或多个，每一个消息都由诊断故障码和它目前的状态组成。身份标识码是由一个或多个位被设成逻辑 1 组成一个字节，如果多个位被置 1 组成一个身份标识码，那么设备就每个被设的通讯状态位的故障诊断码都要有相应的应答消息。每一个应答消息包含诊断故障码和所有支持位的目前的状态。如果设备不支持某个状态位，那么该通讯位的应答字节应设为 0。任何设备的\$19 列表请求模式的最后应答通常是\$59 \$00 \$00 \$SSB，表明这是最后的应答消息。对于每一个设备，\$SSB（被支持的状态位）是不同的常数，用来表明设备支持的状态位。\$SSB 字节的目的是允许检测工具决定特定的设备支持或不支持一些状态位。如果没有诊断故障码符合状态码标准，那么\$59 \$00 \$00 \$SSB 是设备发送的唯一的\$19 列表应答模式。

\$19 数量请求模式的应答只有一条消息，消息由被请求的标识码和 DTC 的数量组成，这个数量值通常比消息总数少 1。状态标识码是由一个或多个位被设成逻辑 1 组成的一个字节，如果多个位被设为标识码，那么设备将应答诊断故障码的数量。如果没有诊断故障码状态符合状态码标准，那么设备用\$59 \$Mask \$00 应答。

如果设备接收到没有设任何支持状态位的\$19 请求模式（例如：\$Mask = \$00），那么，对列表请求，设备将发送\$59 \$00 \$00 \$SSB，对数量请求发送\$59 \$Mask \$00。当设备的被支持状态位不明确时，列表请求\$19 \$00 \$FF \$00 是一个很有用的请求模式，唯一的应答消息的最后一个字节表明其支持状态位。例如，如果设备只支持第 4 位（历史记录）和第 0 位的编码，那么应答消息就是\$59 \$00 \$00 \$11。总之，任何设备在\$SSB 中至少要有两个位被置 1，第 0 位（被支持的编码）和其他的至少一位是必须置 1 的。\$19 列表请求模式的消息数据格式见表 3-1，\$19 数量请求模式的消息数据格式见表 3-2。

表 3-1 \$19 列表请求模式

Tab3-1 Request List of DTCs by Status

DTC 请求状态	Data bytes (Hex)							
	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11
请求消息:								
请求消息数据:	\$19	\$Mask	\$FF	\$00				
消息参数	\$Mask: 每一位对应表示一种 DTC 状态的通讯。 置“1”表示打开相应的 DTC 支持的通讯状态。							
正确响应:								
# 1	\$59	DTC#1	DTC#1 Status					
# 2	\$59	DTC#2	DTC#2 Status					
...					
# n	\$59	DTC#n	DTC#n Status					
# n+1	\$59	\$0000	\$SSB					
出错响应:								
功能不支持或非法格式	\$7F	\$19	remainder of request (up to 5 bytes)					\$12
响应未完成	\$7F	\$19	Status Mask	\$FF	\$00	\$23		

表 3-2 \$19 数量请求模式

Tab3-2 Request Number of DTCs by Status

DTC 数量请求状态	Data bytes (Hex)							
	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11
请求消息:								
请求消息数据:	\$19	\$Mask	\$FF	\$FF				
消息参数	\$Mask: 每一位对应表示一种 DTC 状态的通讯。 置“1”表示打开相应的 DTC 支持的通讯状态。 具体各位的定义见下表							
正确响应:								
正确响应	\$59	\$Mask	# of DTCs					
错误响应:								
功能不支持或非法格式	\$7F	\$19	remainder of request (up to 5 bytes)					\$12
响应未完成	\$7F	\$19	\$Mask	\$FF	\$FF	\$23		

每一个 DTC 通讯就是一个诊断测试，都有一个逻辑：开始、结束、通过或失败的结果。状态是一个特定诊断测试所捕获的一个或多个标记的状态的结合。如果设备支持\$19 模式，则一个或多个标记状态的任何结合形式都是可用的。一般来说，设备不需要支持所有 8 个状态标记。然而，对于指定目标 ID 的每一个设备，所有的诊断测试和被支持的通讯 DTC 都必须支持状态标记的同一个子集。每一个标记的位置和定义见表 3-3：

表 3-3 消息参数\$Mask 的位定义

Tab3-3 the position and definition of each flag of \$Mask

位号#	位名称	描述
7	点亮警告灯	警告灯当前被请求点亮用来表明有相应这种 DTC 的故障或驾驶员信息中心故障消息在排队等待显示
6	上电以来的当前故障码	一个锁定标记发生变化（“0”到“1”）表示该位在设备当前动力循环中正在或曾经被置“1”。逻辑“1”表示一个当前故障码在这个动力循环中出现；逻辑“0”表示没有当前故障码在这个动力循环中出现。在任意动力循环中，这个状态位由“0”变成“1”表示当前故障码在此时第一次出现。这个状态标记在每一个动力循环开始时必须置“0”。

5	自上电以来测试是否通过	一个锁定标记发生变化 (“1”到“0”)表示在当前动力循环中已经进入测试状态且还没有检测到当前故障码(例如:在这个点火循环中至少通过了一次诊断)。逻辑“1”表示在这个动力循环中测试没有通过;逻辑“0”表示通过。在任何动力循环中,一旦这个状态位有“1”变成“0”,表示此时测试第一次通过。如果设备支持,这个状态标记在每一个动力循环开始时必须置“1”。
4	历史故障码	一个锁定标记发生变化 (“0”到“1”)表示当前故障码已经出现足够长的时间可以把它存到长期存储器中。长期存储器中可以是稳定的随机存储器或可擦除只读存储器 EEPROM。
3	故障码清除之后测试失败	一个锁定标记发生变化 (“0”到“1”)表示该位在 DTC 复位后正在或曾经被置“1”(例如:故障码清除后诊断测试未通过)。这个编码用来表示一个当前故障码至少出现过一次,但是还不足以构成一个历史故障码来存储。
位号#	位名称	描述
2	故障码清除之后测试未通过	一个锁定标记发生变化 (“1”到“0”)表示测试设备或一个稳定的设定初值最后一次复位了 DTC 之后,测试条件没被满足,没有检测到当前故障码(例如:在故障码清除后,诊断至少通过一次)。逻辑“1”表示在故障码清除后诊断没有通过;逻辑“0”表示通过。如果设备支持,这个状态标记在每次诊断信息清除后必须置“1”。
1	当前故障码	状态标记表示测试条件被满足,测试结果呈现了故障码。这个标记是最后诊断测试运行的结果 (“1”表示未通过或当前探测到故障;“0”表示通过或当前没探测到故障)。当这个标记置“1”变成一个闭锁码时,会使得诊断测试不能进行。
0	所有支持的故障码	状态标记表示设备支持故障码,任何设备用了\$19 模式都可获得一列的支持码。

注:设备不支持的状态标记位总是置“0”,设备支持的位置成当前状态。

3.4.2 \$2A 模式-诊断数据包请求

用\$2A 诊断数据包请求模式的目的是请求诊断数据,根据测试的信息要求对

分组数据进行分段，这些分组数据叫做数据包。每个数据包有一个 ID 号码，也称 DPID。DPID 包含数据值，如信号输入和输出、数据输入和输出、计算数值、系统状态信息。每个 DPID 包含 6 个字节。如果 DPID 应答少于六个字节的数据，剩余的字节必须用零填满。DPID 可以由设备预先定义，即静态 DPID；也可以用 \$2C 模式动态地定义，即动态 DPID。有效地 DPID 号码范围从 \$01 到 \$FE，动态定义的 DPID 从 \$FE 开始，往后定义；静态 DPID 从 \$01 开始往前定义。设备允许支持动态和静态 DPID 的任何结合。DPID 可以用一个定期的速率（低速、中速、高速）或一对一模式发送请求。表 3-4 给出 \$2A 模式消息数据格式。

控制器将支持 \$2A 模式的下面的数据速率：

01：发送一个响应（一对一模式）；

控制器可能支持 \$2A 模式的下面的数据速率：

00：停止发送数据

12：低速重复

13：中速重复

14：高速重复

表 3-4 \$2A 模式消息数据格式

Tab3-4 message data of \$2A

诊断数据请求 字节号	数据字节 (Hex)							
	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11
诊断请求数据包	\$2A	\$Rate	\$DPID1	\$DPID2	\$DPID3	\$DPID 4	\$DPID 5	\$D PID 6
消息参数	\$Rate: \$00 停止对请求表格的周期性响应 (All periodic Levels) \$01 一对一模式 \$nr n 表示第 n 张表， r 取 2,3,4。2 为慢速率 100ms，3 为中速率 50ms，4 为快速率 25ms \$F1 to \$FF 定义最后一张表和第一张表之间的延时。							
正确响应：								
接收到的正确反应	\$6A	\$DPID#	DATA1		DATA3	DATA4	DATA5	DAT A6
置延时响应	\$6A	\$Rate						
停止周期性响应	\$6A	\$00						
出错响应：								
功能不支持或非法 消息	\$7F	\$2A	Up to five additional bytes from the request message					\$12
请求超范围	\$7F	\$2A	\$Rate	\$DPID1	\$DPID2	\$DPID3	\$DPID4	\$31
响应未完成	\$7F	\$2A	\$Rate	\$DPID1	\$DPID2	\$DPID3	\$DPID4	\$23

如果设备支持动态 DPID，它一定也支持\$2C 模式，\$2C 模式规划定义动态 DPID 的内容。要求\$3F 模式每隔 5 秒发送一次来激活这种模式。

3.4.3 \$2C 模式-诊断数据包动态分配

这个模式用来定义动态数据包（DPID）的内容，然后用\$2A 消息模式请求。测试设备使用动态数据包可以优化诊断程序，只请求当前测试需要的数据。完整定义一个动态 PDID 需要多条消息，动态 PDID 必须从\$FE 开始往后定义。

动态 PDID 可以用参量标识符（PID）或地址定义，对于一个\$2C 请求，用 PID 定义需要两个参量，用地址定义只需要一个参量。如果一个设备支持 PID 和地址定义动态 PDID，那它也一定支持用 PID 和地址的任意组合来定义任意 PDID（例如：头三个字节用 PID 定义，下三个用地址定义）。请求消息包含已定义的参量的总长度，设备用此来校验请求消息的完整性。因此，设备必须知道它所支持的 PID 的长度。

一个动态 DPID 的请求返回六个字节，没有定义的动态 DPID 字节以\$00 响应。当测试设备从\$2C 请求接收到一个正确响应时，它假设所有后来的 DPID 的\$2A 模式响应包含新的已定义的参量。

\$3F（当前测试设备在线）时间耗尽或接收到一个\$20 模式时，设备将保留所有动态 DPID 的内容。另外，那些周期性发送的消息将停止并开始而不影响任何动态 DPID 的内容。在运行时复位或上电复位的情况下，设备不需要保留任何动态 DPID 的内容。

如果一个多字节参数用这种模式定义在一个 DPID 中，那么当\$2A 模式请求这个 DPID 时，设备将忽略任何和这个多字节参数重叠定义在这个 DPID 的数据。例如，当设备应答了一个双字节参数，从 DPID 第一个字节开始的，那么设备接下来应答参数只能从 DPID 的第三个字节开始，忽略任何从第二字节开始的请求。当第一字节曾经预先定义为一个单字节参数时，如果第二个字节预先定义了，设备将应答第二个字节；如果第二个字节定义，设备将用\$00 应答第二个字节。表 3-5 给出 \$2C 模式消息数据格式。

表 3-5 \$2C 模式消息数据格式

Tab3-5 message data of \$2C

诊断数据包的动态定义 字节号	Data bytes (Hex)							#11
	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	
请求消息格式:								
请求消息数据:	\$2C	\$DPID#	\$Format	\$Data1	\$Data2	\$Data3	\$Data4	
消息参数:	\$Format: Bits 7, 6: 00 不支持 01 根据 PID 定义 DPID 10 根据地址 DPID 11 不支持 Bits 5, 4, 3: 数据在响应消息中的开始位置 (DPID 字节之后第一个字节为 001) Bits 2, 1, 0: PID 参数所占的字节长度 \$Data1 to \$Data4: 按 PID 定义: 两个 PID 或一个 PID 加上 \$FF \$FF (必须用\$FF 填充到第十个字节) 按地址定义: 三个字节的地址加上 \$FF (必须用\$FF 填充到第十个字节)							
正确响应:								
确认诊断数据包定义	\$6C	\$DPID#	\$Format					
出错响应:								
功能不支持或非法格式	\$7F	\$2C	请求消息的五个附加数据字节					\$12
请求超范围	\$7F	\$2C	\$DPID #	\$Form at	\$Data 1	\$Data 2	\$Data 3	\$31
响应未完成	\$7F	\$2C	\$DPID #	\$Form at	\$Data 1	\$Data 2	\$Data 3	\$23

3.4.4 \$3F 模式-测试设备在线

\$3F 模式的目的是通过重新安排诊断时间来使得设备维持在诊断模式或高速模式, 每隔 5 秒钟至少要向在诊断模式或高速模式的设备发送一个测试设备在线消息。使得设备在诊断模式或高速模式的模式类型有: \$10、\$26、\$27、\$28、\$A0、\$A1 和 \$AE; 周期性的有: \$22、\$23 和 \$2A。

\$3F 模式通常用目标 ID\$FE 发送给所有的车辆设备, 如果设备在每 5 秒内没有收到至少一个这个消息, 那么, 所有在诊断模式的设备都将返回到正常运行模式。当在高速模式时时间耗尽, 设备将发送一个中断信号给总线, 让其回到正常速度模式。当一个设备时间耗尽时, 它将执行等同于 \$20 模式 (返回正常模式) 的动作。设备时间耗尽的时间为不少于 5 秒, 不超过 5.5 秒。值得注意的是, 设备接收到测试设备在线的消息并不会将设备放置到诊断模式 (例如: 这个消息不会触发测试设备在线计时器状态), 它只能将在诊断模式或高速模式

的设备维持其状态。表 3-6 给出 \$3F 模式消息数据格式。

表 3-6 \$3F 模式消息数据格式

Tab3-6 message data of \$3F

测试设备在线	Data bytes (Hex)							
	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11
请求消息:								
请求消息数据:	\$3F							
正确响应:								
无								
错误响应:								
功能不支持或非法格式	\$7F	\$3F	请求消息的五个附加的数据字节				\$12	

3.4.5 \$7F 模式-一般错误响应

该模式用来报告出现在 Class2 总线的一般错误，设备用这些消息来对测试设备请求的一般响应。一般响应消息包含模式数字\$7F、请求消息的六个数据字节和一个错误码。如果请求消息包含的字节数多于六个，剩余的字节将被删节；如果请求消息包含的字节数少于六个，一般响应消息不填补。其原因是给测试设备一个准确的设备接收到的复制消息，这样将提供给测试设备一个诊断通信问题最好的可行方法。

测试设备用\$7F 模式消息来确定请求消息的错误，测试设备将用一个模式来考虑所有可能存在的错误响应，并执行防御的措施。

3.5 J2190 诊断测试模式应用实例

3.5.1 \$19 模式应用实例

表 3-7 举例说明设了备对各种不同请求的响应，所有的故障码都是假设的。

1.设备支持的故障码：\$9110, \$9111, \$9112, and \$9113

2.支持的状态位：0,1,3,4,7

3.当前状态：

\$9110 = 00011001b (故障码清除之后测试失败, 历史故障码)

\$9111=00011011b (当前故障码, 故障码清除之后测试失败, 历史故障码)

\$9112 = 00001011b (当前故障码, 故障码清除之后测试失败)

\$9113 = 00000001b (无故障)

表 3-7 应用实例

Tab3-7 Example Usage

Device	Data Bytes	Comments
tool	\$19 \$01 \$FF \$FF	请求设备支持的故障码的数量
device	\$59 \$01 \$04	正确响应
tool	\$19 \$01 \$FF \$00	请求所有设备支持的故障码和状态
device	\$59 \$91 \$10 \$19	正确响应
device	\$59 \$91 \$11 \$1B	正确响应
device	\$59 \$91 \$12 \$0B	正确响应
device	\$59 \$91 \$13 \$01	正确响应
device	\$59 \$00 \$00 \$9B	最后响应
tool	\$19 \$12 \$FF \$FF	请求支持的历史故障码和当前故障码位置“1”的故障码数量
device	\$59 \$12 \$03	正确响应Positive response
tool	\$19 \$12 \$FF \$00	请求所有设备支持的历史故障码和当前故障码位置“1”的故障码
device	\$59 \$91 \$10 \$19	正确响应
device	\$59 \$91 \$12 \$0B	正确响应
device	\$59 \$00 \$00 \$9B	最后响应

故障码只能请求一次，设备收到请求后响应一次而不会周期性地响应。程序必须根据需要不断发出请求消息，以跟踪故障码的状态。测试设备若用\$19 模式发送请求一个消息，它必须等待所有对应的应答消息全部接收后才能发送下一个\$19 模式的请求消息，设备同一时间只能处理一个\$19 模式请求消息。如果设备还没有完成对上一个请求消息的应答，而再发送另一个请求消息，则应答消息将会出错。

\$59\$00\$00\$BBS 表示最后的应答消息，如果没有检测到当前故障码和历史故障码，则\$59\$00\$00\$BBS 是唯一的应答消息。

3.5.2 \$2A 模式应用实例

当用\$2A 模式时，设备每隔 5 秒要发送一个\$3F 模式消息，否则设备将像收到\$20 模式消息一样退出诊断模式。表 3-8 给出\$2A 模式的应用实例。

表 3-8 应用实例

Tab3-8 Example Usage

Device	Data Bytes	Comments
tool	\$2A \$12 \$DPID1 \$DPID2 \$DPID3 \$DPID4	
device	\$6A \$DPID1 data1 data2 data3 data4 data5 data6	
	\$6A \$DPID2 data1 data2 data3 data4 data5 data6	
	\$6A \$DPID3 data1 data2 data3 data4 data5 data6	
	\$6A \$DPID2 data1 data2 data3 data4 data5 data6	
	\$6A \$DPID3 data1 data2 data3 data4 data5 data6	
	etc.	
tool	\$2A \$00	
device	\$6A \$00	停止所有预定的消息
tool	\$2A \$00 \$DPID1	
device	\$6A \$00	停止DPID1的消息
	\$6A \$DPID2 data1 data2 data3 data4 data5 data6	
	\$6A \$DPID3 data1 data2 data3 data4 data5 data6	
	\$6A \$DPID3 data1 data2 data3 data4 data5 data6	
	etc.	

3.5.3 \$2C 模式应用实例

当\$3F时间耗尽或接到一个\$20模式请求时，测试设备会假设动态DPID的内容被保存。设备必须知道所有支持的PID的长度，才能确定请求消息的长度；对地址定义的参数，设备不保证其长度的有效性。表3-9给出\$2C模式的应用实例。

表 3-9 应用实例

Tab3-9 Example Usage

Device	Data Bytes	Comments
tool	\$2C \$FE \$4A \$01 \$04 \$FF \$FF \$4A=01 001 010 b	双字节PID \$0104定义在DPID \$FE头两个字节。
device	\$6C \$FE \$4A	
tool	\$2C \$FE \$5B \$02 \$9A \$01 \$6F \$5B=01 011 011 b	单字节PID \$029A定义在DPID \$FE的第三个字节，双字节PID \$016F定义在DPID \$FE的第三第四个字节。
device	\$6C \$FE \$5B	

Device	Data Bytes	Comments
tool	\$2A \$12 \$FE	请求 DPID \$FE (注意: DPID 的第六个字节没有定义。)
device	\$6A \$FE (\$0104) (\$029A) (\$016F)\$00	
tool	\$2C \$FE \$B1 \$FF \$39 \$22 \$FF \$B1=10 110 001b	地址\$FF3922的单字节参数定义在 DPID \$FE的第六个字节:
device	\$6C \$FE \$B1	
tool	\$2C \$FE \$51 \$01 \$05 \$FF \$FF \$51=01 010 001b	单字节PID \$0105定义在DPID \$FE的第二个字节:
device	\$6C \$FE \$51	
tool	\$2A \$12 \$FE	请求DPID \$FE (注意: PID \$0105没有得到应答, 因为它和PID \$0104定义重叠):
device	\$6A \$FE (\$0104) (\$029A) (\$016F) (Address \$FF3622)	
tool	\$2C \$FE \$49 \$01 \$72 \$FF \$FF \$49=01 001 001b	单字节 PID \$0172定义在\$FE的第一个字节:
device	\$6C \$FE \$49	
tool	\$2A \$12 \$FE	请求 DPID \$FE:
device	\$6A \$FE (\$0172) (\$0105) (\$029A) (\$016F) (address \$FF3922)	
tool	\$2C \$FE \$72 \$34 \$56 \$FF \$FF \$72=01 110 010b	双字节PID \$3456定义在 DPID \$FE的第六第七个字节:
device	\$7F \$2C \$FE \$72 \$34 \$56 \$FF \$12	非法格式

3.5.4 \$3F 模式应用实例

如果向测试设备发送一个像\$2A 的周期模式消息而不发送\$3F 模式和周期数据的发送时间间隔, 那么, 数据将只传输 5 到 5.5 秒, 接着设备传输一个返回正常模式的应答, 且从此不再发送诊断消息。\$3F 模式消息必须不少于 5 秒一次的频率定期发送, 测试设备有责任确定该消息已经接收。测试设备必须考虑总线通信量和消息优先权来安排该消息。表 3-10 给出\$3F 模式的应用实例。

表 3-10 应用实例

Tab3-10 Example Usage

Device	Data Bytes	Comments
tool	\$3F	
device		设备接受该消息
tool	\$3F \$xx	
device	\$7F \$3F \$xx \$12	设备拒绝该消息

第四章 基于 SAE J1850 通信协议的故障诊断与测试系统的设计

4.1 故障诊断与测试系统的功能设计

本系统的总体设计目标为：

1. 在系统运行状态能够对 ECU 的数据和控制参数进行访问。
2. 能进行故障诊断，读取其故障码。

为了达到预定的设计目标，并且尽可能方便应用，本系统的功能设计如下：

- ① 快速可靠的数据通信。数据通信是故障诊断系统与 ECU 之间进行数据交换、信息交流、指令传递的唯一通道。
- ② 灵活的故障码读取方式。出现故障码时要能有醒目的方式显示出来并记录，可以手动请求故障码历史记录。
- ③ 灵活友好的可视化界面。基于视窗的灵活、友好的可视化界面是故障诊断测试人员与 ECU 进行信息交流的人机交互窗口。

本文所阐述的基于 SAE J1850 通信协议的汽车故障诊断系统能通过读取汽车电控系统中的数据来监测汽车的运行情况，同时还能进行故障诊断。在此基础上观察不同状态下汽车总线的特征，进而逐步深入理解 SAE J1850 通信协议和其诊断测试模式。本系统可以按 SAE J2190 加强型诊断测试模式读取汽车电控系统 ECU 中的数据，还能以自动读取和手动申请两种方式读取故障码。

4.2 故障诊断与测试系统的总体设计结构^[27]

故障诊断系统的设计开发主要分为上层平台和底层模块两部分进行，如下图 4-1 所示。上层监测平台由前台可视的监测界面、后台实现数据管理的数据库、以及图形化显示等辅助功能和实现上层监测平台与 ECU 之间通信连接的上层通信驱动模块等构成。底层 ECU 监测驱动模块源源不断地向上层监测平台发送监测数据，数据通信成为其主要工作。上层诊断设备、测试平台或监测平台通常以 PC 机为载体，通过 PC 机的串行通信接口实现与 ECU 的通信。底层驱动模

块做成接口通讯卡。

因此，本系统也可以分为硬件接口设备部分即通讯卡和数据的采集与分析软件两部分。通讯卡负责 ECU 与 PC 机之间的信号转换，将 ECU 所输出的信号经过缓存，电压转换，重新编码，最后经 RS232 接口电路连接至 PC 机，并将 PC 机的请求信号经变换后发送给 ECU。数据采集与分析软件负责向 ECU 发送请求、接收应答并分析、显示应答信号及其相关信息。

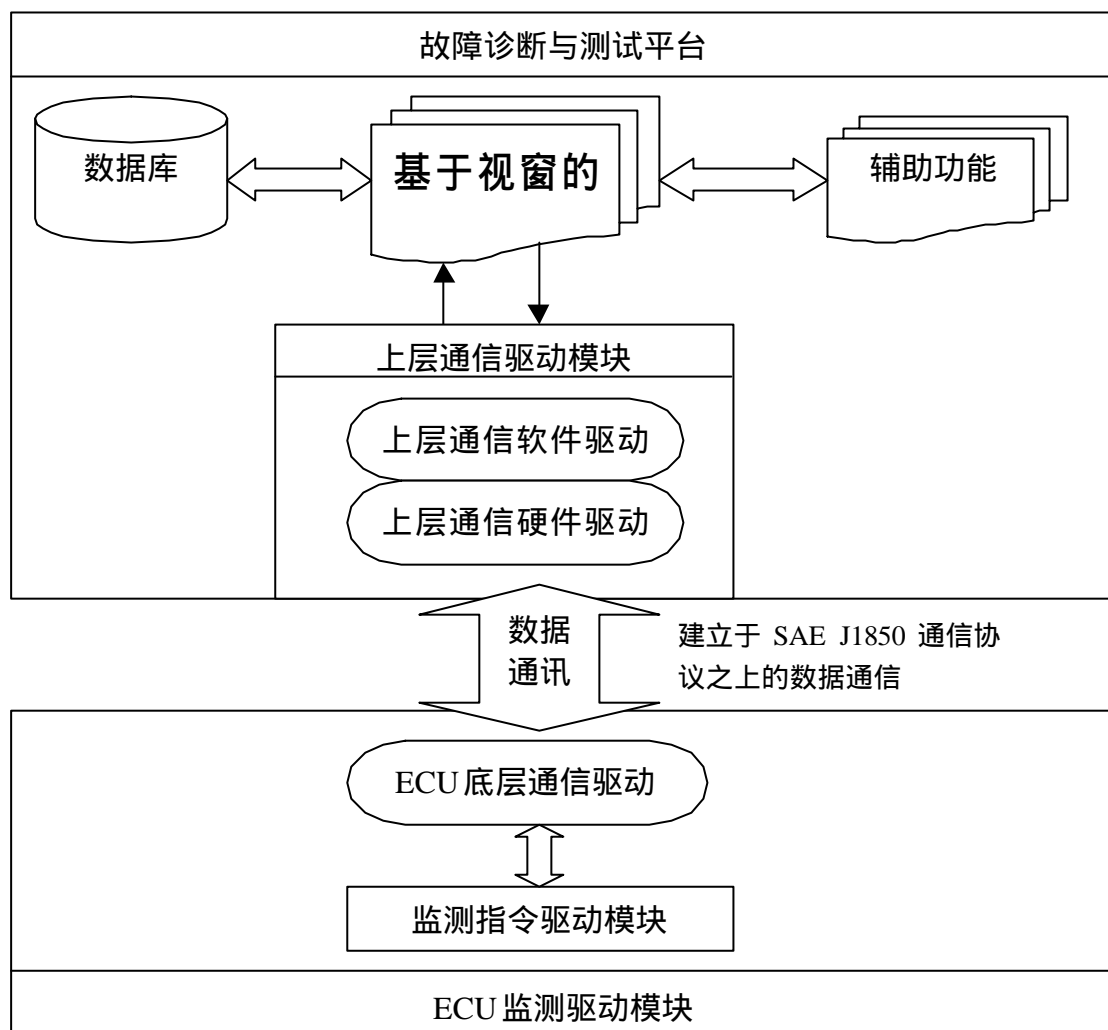


图 4-1 系统总体设计框图

Fig 4-1 Block diagram of system

PC 机数据处理速度快、系统容量大，操作方便、直观，软件丰富、开发灵活，所以选用带通讯卡的 PC 机作网络监控节点，使用 PC 机上的用户软件可方便测试汽车 SAE J1850 总线的运行情况。对 PC 机来说，无需关心物理层的有关内容，即无需关心信号电平是否适合，传输速率是否匹配。PC 机的作用是接收来自应用层的用户请求，根据请求模式通过 RS232 串行通信接口向 ECU 发送请求信号，并等待应答信号。当应答信号到达后，通过分析、检错、解码、运

算，最后以用户易于接收的方式显示数据。

4.3 系统硬件接口设备通讯卡的设计

4.3.1 功能分析

设计接口设备时，为保证系统能完成所需的功能，接口设备应满足如下要求：

1. 具备电气隔离功能

因为 SAE J1850 总线的信号电平值高于 PC 机的信号电平值，并且接口设备工作电源是取自汽车的电源，因此为保证通信的正常进行并且不致引起 PC 机的损坏，接口设备应具备电气隔离功能，确保不让过高的信号电平与汽车电源电压在系统失常的情况下损坏 PC 机。

2. 运算速度快，并有足够的缓存，不致发生数据丢失现象。

当接口设备将 ECU 的数据信号与 RS232 的信号相互转换时，为保证不发生数据丢失现象，应选用运算速度较快的解码与编码单元，并通过数据缓存以保证不发生数据丢失现象。

4.3.2 通讯卡硬件接口电路设计^[38]

1. 通讯控制器选型

微控制器的功能是协调各部分的工作，使系统具备一定的智能性。自带 J1850 总线控制器的微处理器将 CAN 控制器与微控制器集成在一起，不占用处理器的端口资源，同时还可以大大简化接口电路的设计。本系统选用 Motorola 的 MC908AS60ACFN 作为通讯卡的控制器。

2. 通讯卡收发器选型

一般 J1850 总线控制器的总线驱动能力不大，不能直接与总线相连，为了提高差动收发的能力，提高系统的抗干扰能力，需要使用专门的 J1850 收发器。本系统选用 MC33390 作为通讯卡的接收器，如图 4-2 所示。

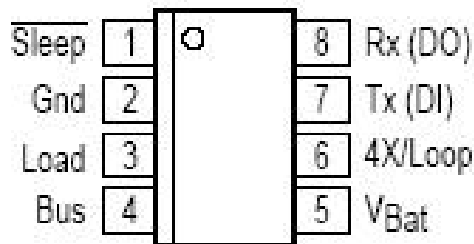


图 4-2 MC33390 收发器

Fig 4-2 MC33390 transceiver

MC33390 串行总线收发器与 SAE J1850 通信协议实行半相功通信，它直接与车载微控制器通信，并用可变脉宽调制 VPM 向单一总线发送和接收数据。MC33390 直接由汽车 12V 电池供电。其引脚定义如下表 4-1 所示：

表 4-1 MC33390 引脚定义说明

Tab 4-1 MC33390 Terminal connections definitions

引脚号码	引脚名称	功能描述
1	Sleep	置“1”时使能收发器，置“0”时不使能收发器。
2	Gnd	接地端
3	Load	提供外部对地下沿电阻器，以防地保护损失
4	Bus	SAE J1850 标准接发波形
5	V _{Bat}	提供设备运行的输入电源
6	4X/Loop	三态输入模式控制
7	Tx	微控制器向总线传输串行数据
8	Rx	总线向微控制器发送所接收的输出串行数据

3. 与上位计算机的通讯

本系统的主要功能是接收记录各种试验数据，因此与上位计算机的通讯采用速度低成本也低的 RS232C 串行口进行通讯。该部分的功能是将 PC 机的控制、请求信号传输给解码、编码器，并将从编码、解码器取得的数据发送给 PC 机。并起到速率匹配、电气隔离、数据缓存的功能。现在 RS232 串行通讯端口已经是 PC 机上的标准配置了，一般为 9 针接口，其号码在接头上有标记，各引脚的含义见表 4-2。

表 4-2 RS232C 串行口引脚定义

Tab4-2 RS232C pins definitions

引脚	简写	含义
引脚 1	CD	载波检测 (Carrier Detect)
引脚 2	RXD	接收字符 (Receiving)
引脚 3	TXD	发送字符 (Transmit)
引脚 4	DTR	数据端备妥 (Data Terminal Ready)
引脚 5	GND	接地端 (Ground)
引脚 6	DSR	数据备妥 (Data Set Ready)
引脚 7	RTS	要求发送 (Request To Send)
引脚 8	CTS	清除以发送 (Clear To Send)
引脚 9	RI	响铃检测 (Ring Indicator)

本系统中主要使用到 2, 3, 5 引脚, 这三个引脚是保证一般的数据通讯所必备的。6, 8, 4, 7 这四个引脚用于硬件握手进行流量控制, 本设计不采用。1, 9 脚在与调制解调器的通讯中使用。

4. 通讯卡硬件接口电路设计

根据系统的功能分析及要求, 通讯卡硬件接口电路设计如图 4-3 所示:

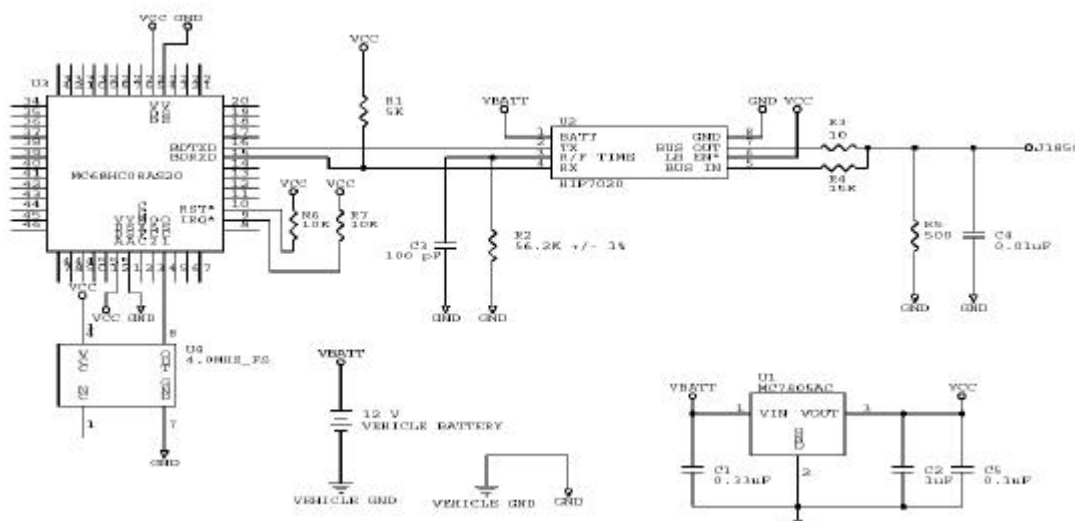


图 4-3 通讯适配器电路图

Fig 4-3 Diagram of the communication card

4.3.3 接口设备结构

系统接口设备结构图如图 4-4 所示, 包含以下部分:

- 1) VPM 方式时与汽车 SAE J1850 系统的接口。
- 2) PWM 方式时与汽车 SAE J1850 系统的接口。

这两部分的主要功能是将连接器所传来的 SAE J1850 信号经过缓存、降压, 发送给译码电路, 将译码电路传过来的信号变换成 SAE J1850 系统所要求的信号。并具备在意外情况下保护 SAE J1850 系统不受损害的功能。

- 3) VPM 方式的解码与编码。
- 4) PWM 方式的解码与编码。

该部分的功能是将 SAE J1850 系统的编码转换为 PC 机可识别的 RS232 串行通信编码, 并将 PC 机的控制与请求信号转换为 SAE J1850 系统的编码。

5) VPM、PWM 选通电路

该部分的功能是根据 PC 机所发出的控制信号, 选择使用 VPM 通道或 PWM 通道。并应具备一定的自动判断的能力。

6) 微控制器

微控制器的功能是协调各部分的工作, 使系统具备一定的智能性。

7) RS232 接口 [29]

该部分的功能是将 PC 机的控制、请求信号传输给解码、编码器，并将从编码、解码器取得的数据发送给 PC 机。并起到速率匹配、电气隔离、数据缓存的功能。

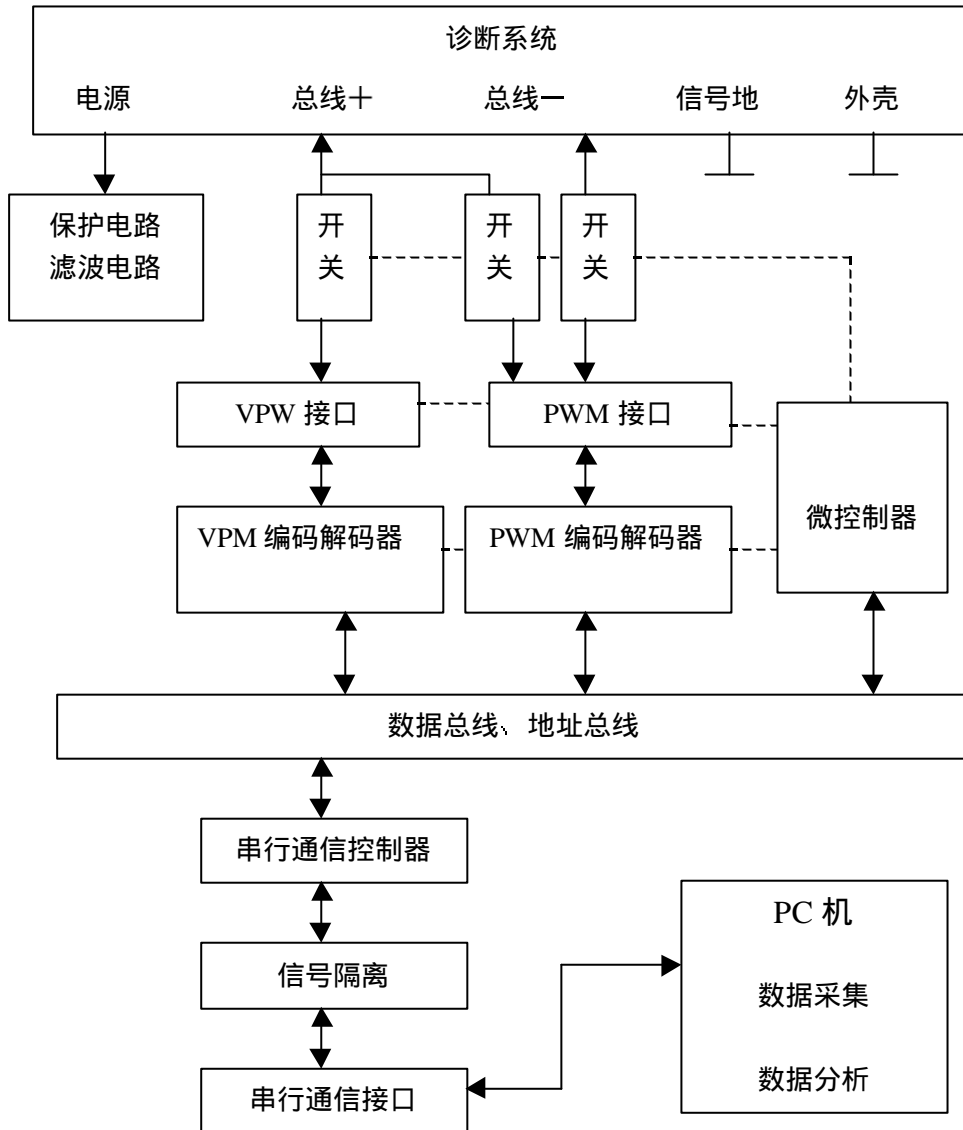


图 4-4 系统接口设备结构图

Fig 4-4 interface device frame chart

4.4 数据采集与分析软件设计 [39][45][46]

数据的采集与分析软件是整个系统功能的核心部分，也是用户与系统交流的界面。为保证软件功能的全面性，系统的可移植性与可扩充性，故障的独立性以及界面的友好性，本软件在设计开发时充分贯彻了软件工程的设计原则，采用了结构化与模块化的程序设计方法，并结合了关系数据库系统的有关理论，

实现了串行通信、数据采集、数据分析、数据库查询的有机结合。

4.4.1 需求分析

需求分析阶段的任务是通过分析软件所要达到的功能，从而对目标系统提出完整、准确、具体的要求。根据 SAE 的有关规定，本软件应满足如下要求：

① 自动配置与自动检测

考虑到软件的使用人员并非计算机方面的专业人员，软件应具备自动配置功能，即自动测试串行通信波特率、校验位等参数，自动检测汽车 SAE J1850 系统的编码方式，自动检测汽车 SAE J1850 系统的模式支持等功能。

② 以尽可能直观、全面的方式显示数据

为方便在使用本软件的过程中，对系统所取得的数据有更清楚、直观的认识，系统应具备数字与图形两种显示方式，并对关键的数据以突出的颜色显示。

③ 故障代码的可重取性

当测试人员将根据所显示的故障码查出故障并维修完测试毕后，应允许再次手工申请故障代码，以检验维修是否成功。

④ 系统的可扩充性

此处的可扩充性有两方面含义，一方面是指系统功能的可扩充性。因为 SAE 规定，汽车生产厂商可以按 SAE 有关协议自行采用一些特殊的诊断参数，因此，应使系统在分析处理数据时具备良好的可扩充性。可扩充性的另一方面是指数据库的可扩充性。即允许用户将故障代码与故障现象输入数据库中，以便于在以后的测试中查询使用。

⑤ 数据的可存储性

该软件应具备数据存储功能，即将所诊断车型的数据以文件方式存储，并将文件名结合汽车的有关信息存储于数据库中，便于查询、管理。

⑥ 具备联机帮助功能

联机帮助的作用是在用户产生疑问时帮助用户解答疑问。

4.4.2 总体设计

总体设计阶段的任务是确定系统平台、开发工具、数据库系统，并根据需求分析阶段的结论初步设计软件的组成结构。

1. 系统平台的选择

在综合考虑了操作系统成本及获取渠道、使用方便等因素下，本软件的开发平台选用 Microsoft Windows2000 版。在开发软件的过程中，应尽量减少对操作系统的依赖性，使本软件可以不加任何改动移植到 Windows 98、Windows NT

系统上。

2. 开发工具的选择^[30]

目前采用 GUI 可视化的编程工具主要有这几种：Visual C++ 6.0, Visual Basic6.0, Delphi6.0。各种 GUI 界面的编程软件各有优点，也存在不足。如 VC++ 采用 C++ 语言，是一种面向对象的可视化编程软件，但 C/C++ 不太容易掌握。在 VC 的风格上面虽然提供了对话编辑器，但并没有将窗体设计器集成到开发流程中，而窗体设计器的出现会大大加快应用程序的开发进度。从界面设计的风格来说，VC 强调的是给程序员一个灵活的开发环境，但是缺少集成化的窗体设计器，从而在编写一些很基本的文本框、按钮等控件时都要将一行行的代码写出来，工作量非常大，且容易出错。

VB 和 Delphi 都是非常好的可视化编程工具，尤其是 Delphi 非常适合于 RAD 的开发，相对而言 Delphi 比 VB 更为强大一些。但是 VB 简单易学实用，对于一些底层硬件的设计可以直接调用数以千计的 Windows API 函数去解决，同时它也支持 COM 和 DLL 技术可以实现用其他语言解决 VB 难题。VB 的界面设计能力也是相当优秀的，微软公司著名的 Office 系列软件是由 VB 软件编制出来的。也正因为此，VB 可以和 Office 无缝联接，因此本软件系统采用 VB 编程。

3. 数据库的选择^[31]

当前流行的数据库管理系统主要有微软公司的产品 Office 软件内的 Access 和 Excel、微软的 SQL Server2000、Oracle 9i、Sybase、Informix 等等。Sybase 对中文支持比较差，多用于银行系统，而 Informix 对大型数据库系统缺乏良好的性能，无 CLIENT/SERVER 分布式处理模式。因此这两种方案被首先排除掉了。在总体性能上来讲，Oracle 是非常优秀的，Oracle 能够支持不同的操作系统，而微软公司的产品几乎都是只能支持 Windows 操作系统的，而且 Oracle 在支持多用户性能上面确实要比别的数据库软件好。但是 Oracle 软件的数据操作，管理，控制等方面非常专业，需要专门的培训，并且 Oracle 作为一种企业级的大型数据库系统需要很高的计算机配置和专人维护，因此本软件设计不采用 Oracle。

Access 数据库非常适合处理包含中小型数量、访问用户数量也不大的数据的管理。用户可以很方便的使用 Access 当中的数据库向导设计数据库，然后使用其他向导创建表格、输入数据、建立包含个人信息的报表。Access 和 VB 的数据库使用相同的数据库引擎 (Microsoft Jet)，使用 VB 去访问 Access 是最佳搭配。另外，作为 Office 办公套件之一，在全世界范围内有较好的支持，这使得 Access 数据库移动性很好。Access 数据库的这些特性非常适合本软件系统的需要，因此本软件选择 Access 数据库作为数据记录的基础。

4. 系统总体结构

根据需求分析阶段所得出的结论，并结合所用开发工具的特点，本软件分为以下几个模块：

- ① 串行通信模块
- ② 请求、应答模块
- ③ 各模式的数据分析模块
- ④ 主控程序及用户界面模块
- ⑤ 帮助模块

软件总体结构如图 4-5 所示：

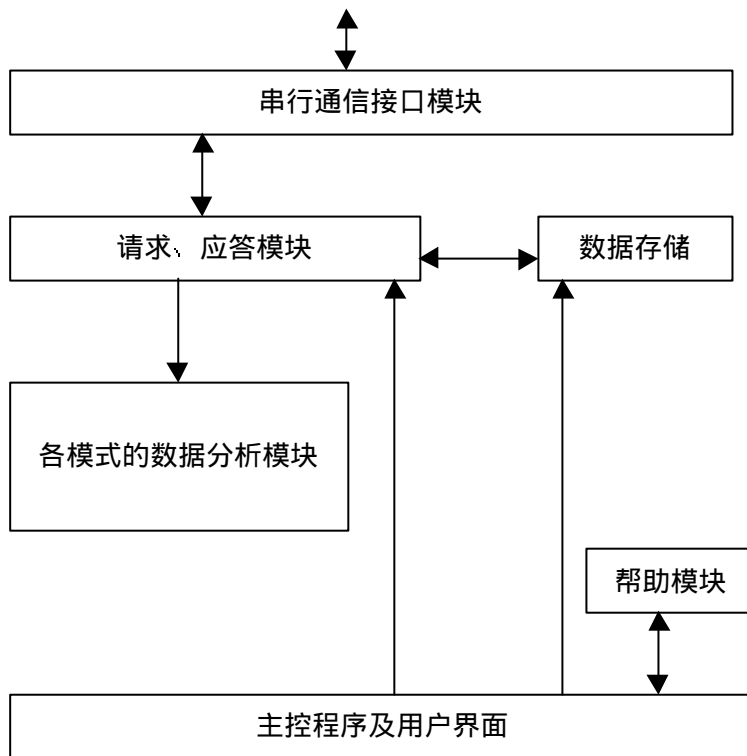


图 4-5 软件总体结构图

Fig 4-5 Software frame chart

4.4.3 数据采集与分析软件模块详细分析

本阶段的主要任务是具体分析各模块的组成及接口，确定如何实现各模块的功能，得出对整个软件的精确描述。

4.4.3.1 串行通信模块

为使串行通讯正常进行，必须要对通讯双方的通讯参数进行必要设置，也就是通讯协议的设置，在串行通讯中这一过程叫做串行端口初始化。需要初始

化的参数主要有：

1. 数据的传输速度

串行通讯的双方通过传输在线的电压改变来交换数据，但传输在线的电压改变的速度必须和接收端的接收速度保持一致。而 RS232 经常用作异步通讯，通讯双方没有一个可以参考的同步时钟作为基准，这样双方所发送的高低电位究竟代表几个位就不得而知了，此时要使双方的数据读取正确，就要使双方使用相同的传输速率一波特率，其所代表的意义是每秒钟所能产生的最大电压状态改变率。因此数据传输速率的设置也叫做波特率设置。

2. 数据的发送单位

串行通讯数据的发送单位有两种：字符类型和二进制类型，本系统中使用二进制类型。

3. 起始及停止位

异步通讯没有同步基准，通常发送方在发送数据前后分别加上高电位的起始为（逻辑 0）和低电位的停止位（逻辑 1），这样接收方就可以知道数据通讯何时开始与结束。起始为固定为 1 个位，而停止位则有 1 和 1.5 及 2 个位多种选择。本系统中停止位均为 1 位。

4. 校验位的检查

为了防止错误的产生，串口通讯使用了校验位作为查错机制。校验位是用来检查所发送数据正确性的一种核对码，分为奇校验和偶校验分别用来检查字符码中 1 的个数是奇数还是偶数。发送方会将检查结果和数据一起发送给接收方，接收方将接收到的数据再检查一遍与发送方的结果进行比较，如果不一样则认为出错。

关于错误检查有两点值得注意：一是它的检错能力有限，例如 0 和 1 互换它无法查出；二是由于它要占据一个位的位置，会导致实际数据的通讯速率的下降，也就是信道的利用率下降。基于这两点本设计不作查错，而是在通讯中使用了更有效地 CRC 校验。

4.4.3.2 数据请求、应答模块

1. 请求、应答模块的结构

该模块负责自动发送请求信号，并接收应答信号，如图 4-6。包括以下部分：

① 自动发送请求信号

因为 SAE J1850 系统采用请求、应答方式提供数据，为方便用户使用，该模块应具备自动发送请求信号的能力，即按照 SAE J1850 的要求依次发送各模式

的请求信号以及模式内的 PID 请求信号。

② 差错检验

在本模块中应该具备差错检验功能，当从汽车 OBDII 系统中得到应答信号后，模块应根据其 CRC 校验位的值确认该数据是否可用。若发现出现错误，应申请重新发送。

③ 数据存储功能

当请求、应答模块接收到来自汽车 SAE J1850 系统的应答信号后，如确认无误，一方面应将信号送到各模式的数据分析模块进行数据分析；另一方面应将信号数据暂时保存在磁盘中，如果用户需要保存数据，则在用户给出文件名后将该数据保存，否则，可在诊断结束后删除该信号数据。

④ 已存储数据的读取功能

当需要的时候，该模块可以从已存储的数据中读取有关的信息，并将其发送给数据分析模块。

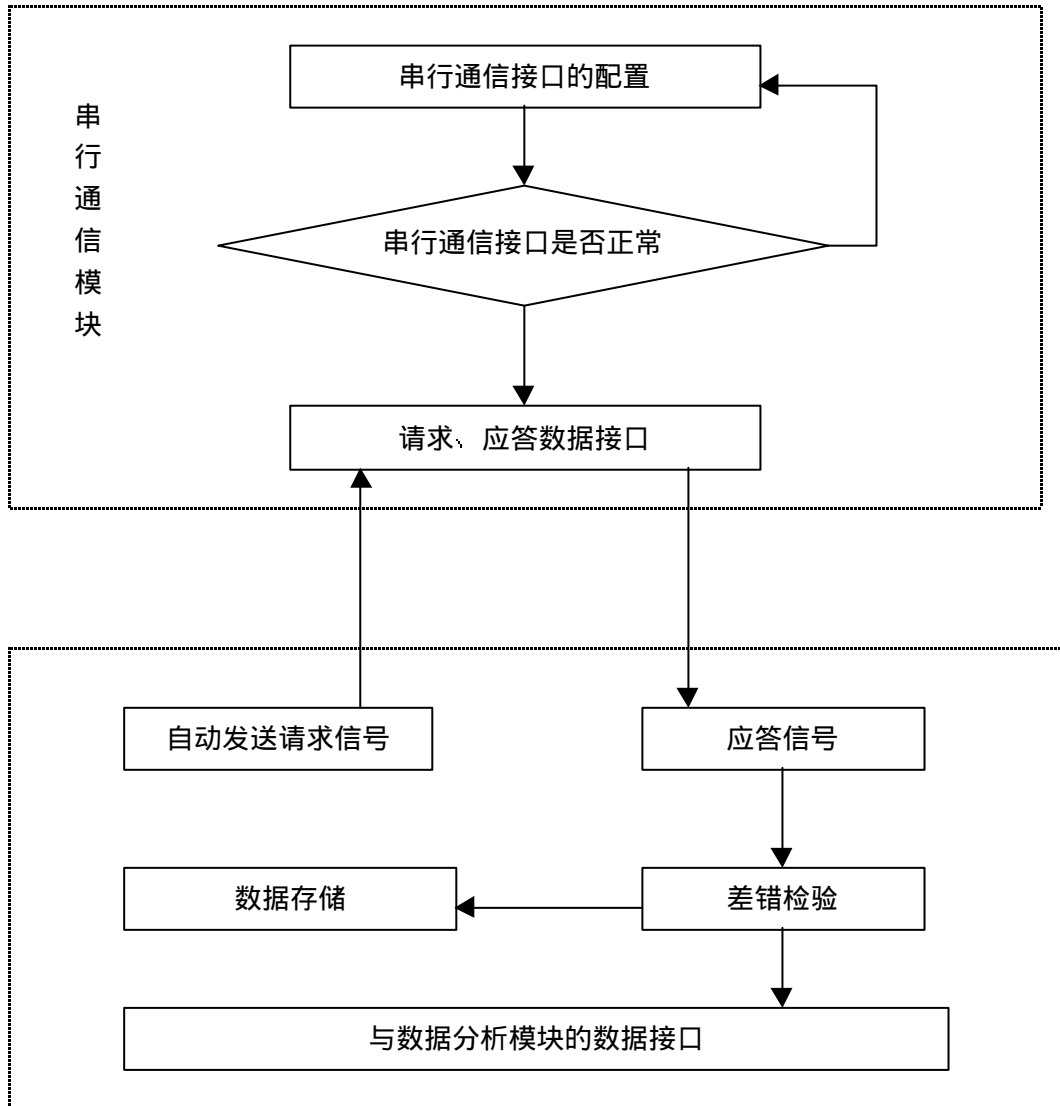


图 4-6 串行通信模块和请求、应答模块结构图

Fig4-6 Serial communication and request and response module frame chart

2. 数据的收发

当数据从串行端口接受之后，会先存入一个很大的缓冲数组之中，让后按照相关通讯协议（详见第二、三章），进行通讯帧的重组，组好的帧放入一个二维数组中，经过 CRC 校验验证正确后调用帧分解函数取出数据，完成数据的接收。程序流程如图 4-7 所示。

① 串行端口接收

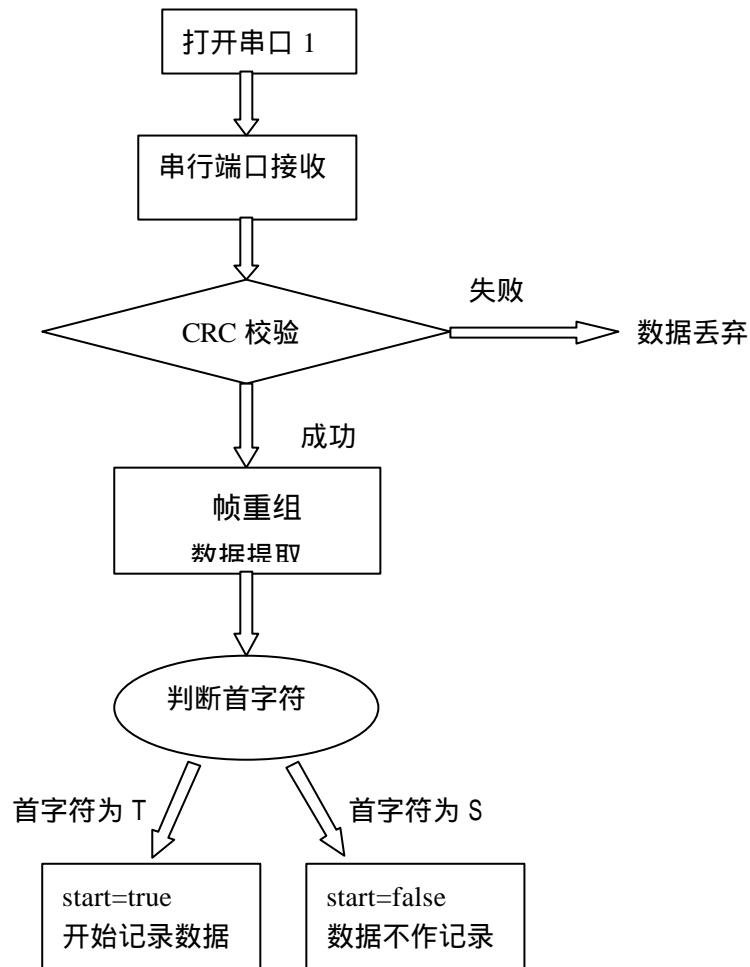


图 4-7 数据接收流程图

Fig 4-7 Flow chart of receiving data

VB 中有一个 Masco 控件对象，它将 RS232 的所有低级底层操作都封装起来了，这使得在 VB 中控制串行端口变得非常容易。Masco 控件有一个 once 事件，此事件依靠 comment 属性值的变化来触发。RS232 九个引脚除接收和发送以外的七个引脚上的电平的变化都能引起 comment 相应属性值的变化，从而会产生 once 事件。对于发送和接收则是通过发送和接收缓冲区内数据的变化来引起 comment 属性变化产生 once 事件。通常是设定缓冲区内数据长度阈值，当

长度达到阈值时就会触发 once 事件。本设计将接收缓冲阈值定为 1 字节，只要缓冲中有数据就会触发 once 事件接收数据。once 事件触发以后使用 Input 属性从接收缓冲区中接收并删除数据。Masco 控件对数据的接收会因数据类型的不同而有较大区别。文本数据的接收要相对容易一些，直接用文本类型变量接受就可以了。而字节类型数据则相对比较麻烦，需要先申请一个字节类型的动态数组，使用动态数组的数组名来接收数据，接收完成后接收数组的上下标值却不知道，需要使用上下标函数 Lbound () 和 Ubound () 去探明。接收程序如下：

```

Dim InByte ( ) As Byte      ' 定义字节类型的动态接受数组
Dim OutByte ( ) As Byte    ' 定义字节类型的动态发送数组
Private Sub Comm_OnComm()  ' OnComm 事件
Dim Buff(1 to 2048) As Byte ' 定义缓冲数组
Select Case Comm.CommEvent
Case comEvReceive        ' 当接收缓冲区内数据达到阈值时开始接收
InByte=Comm1.Input       ' 接收数据
For I = Lbound(InByte) to Ubound(InByte)
    Buff(I)=Inbyte(I)    ' 数据送入缓冲区
Next I

```

② CRC 校验码函数

CRC 校验是数据通讯中经常使用的一种查错手段，CRC 是循环冗余校验码 (Cyclic Redundancy Check Code) 的简写。CRC 的计算方式是将传输的数据块视为一堆连续位所构成的整个数值 bdf (16 进制数)，并将此 bdf 除以一个特定的除数，通常以二进制表示，此除数称为生成多项式 (Generation Polynomial)，目前较常使用的 CRC 位数目有 8 和 16 以及 32，CRC 位数目越大，则数据越不容易受干扰，但是所花的时间也越多，本设计使用 16CRC。其生成多项式为：

$$G(X) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1 \quad \text{其中 } X \text{ 为所采用的进制}$$

在二进制系统里， $X = 2$ ，则 G 的值如下： $G = 10001000000100001$ 。将数据序列构成的二进制值乘上 2^{16} 然后除以 G 的值所得余数即为 CRC 的值。使用 XOR 运算可以达到将次的目的，因此可以将 XOR 运算实现到程序中以简化计算。

③ 帧的重组与数据提取设计

根据首字符和长度码以及 CRC 码是否正确，然后去掉首字符、长度码、CRC 码即可恢复从通讯卡发送的一帧数据。

4.4.3.3 数据库模块设计

由于 Access 本身是 Office 的一部分, 也具有 Office 软件很强的界面功能, 简单实用易学, 而且它与 Office 的另外两个套件 Word 和 Excel 可以相互嵌套, 其数据也可以直接导入 Excel 之中, 从而可以利用其强大的数据处理能力。因此本软件不需要白费功夫去为其设计豪华的使用界面, 本设计数据库模块的主要工作是利用 VB 的数据库驱动能力将试验数据按照要求记录到相应的数据记录表中即可, 界面功能只提供一个简单的查询功能, 离线处理可以利用 Microsoft Office 的相关软件进行因而不作单独设计。

1. 数据库设计的基本原则

- ① 尽量减少数据的重复, 使数据具有最小的冗余度。
- ② 保证数据的完整性。这对于需要以前发动机数据来进行质量跟踪的情况尤为重要。
- ③ 注意同一数据描述方法的一致性, 使数据操作不致发生混乱, 如某个发动机型号却对应另一台发动机型号的数据。
- ④ 对于某些需要保密的数据, 必须增设保密措施。
- ⑤ 数据的查找率高, 需要的数据能及时提取。

2. 数据库的设计

1) VB 对数据库的操作

VB 对数据库中各元素的操作都要通过定义相应类型的数据访问对象, 让其与 VB 所提供的各数据库控件相关联, 然后通过引用相关控件对象的属性和方法来实现 VB 对数据库表的添加与删除, 表中记录的添加与删除, 数据的查询与定位等操作。VB 常用有以下几种对象:

① 数据库对象(Database Object): 代表一个已打开的数据库, 数据库对象是对数据库实施操作时首先要使用的对象。可用 OpenDatabase 函数打开一个库。定义数据库对象的方法: Dim DbDatabase As Database。

② 表对象 (TableDef Object): 代表数据库中已定义和存在的一个表。与数据库对象类似, 要操作一个表, 首先要定义一个表对象, 使其和特定的表相对应, 然后引用它的属性和方法, 比如通过 Name 属性可得到表的名称, Count 属性可得到表的个数等。

③ 查询对象 (QueryDef Object): 代表数据库中存在的查询定义。

④ 记录集对象 (Recordset Object): VB 表中的记录不允许直接操作, 必须通过记录集对象进行浏览与操作。创建记录集可有三种类型: 表类型记录集 (Table - type Recordset)、动态类型记录集 (Dynaset - type Recordset)、快照记录集 (Snapshot - type Recordset), 相应的也有三种类型的记录集对象与之对应, 所有这些记录集最终也都要通过这些记录集对象所提供的属性和方法来进行操作。可通过数据库对象的 OpenRecordset 方法打开一个表, 创建一个记录集。比

如发动机型号表, 或者热试数据表都是一个 Recordset。可以使用 OpenRecordset 方法打开它们。VB 是在先定这样一些数据库对象的基础之上, 通过这些对象的相关方法或属性来控制数据库的, 数据库使用完毕之后一定要关闭所有的数据库对象释放所有资源。

2) 数据库查询

VB 的 DATA 控件则直接支持 SQL 查询语言, 这使得在 VB 数据库中实现查询变得容易。SQL 查询语句:

```
SELECT      目标列
FROM        基本表
[WHERE      条件表达式]
[GROUP BY  列名 1 [HAVING 内部函数表达式]]

ORDER BY   列名 2 {  $\begin{matrix} ASC \\ DESC \end{matrix}$  }
```

SELECT 语句的功能是: 根据 WHERE 子句中的条件表达式, 从基本表中找出满足条件的元组, 按 SELECT 子句中的目标列选出元组中的分量, 形成结果表。如果有 ORDER BY 子句, 则结果表应根据列名 2 按升序(ASC)或降序(DESC)排列。若再有 GROUP BY 子句, 则结果将列名 1 分组, 分组的附加条件用 HAVING 短语给出, 只有满足内部函数表达式的组才会被输出, 每个组产生结果表中的一个元组。

4.4.3.4 主控程序与用户界面模块

主控程序与用户界面合并在一个模块中, 主控程序负责各模块的协调运作以及数据的合理流动, 用户界面负责显示数据及其单位, 数据的图形化处理及显示, 接受用户的操作命令并传递到相应模块, 该模块主要包括以下部分:

① 主控程序

主控程序是整个软件的核心部分, 负责合理调用各模块, 并使数据在各模块之间合理流动。

② 用户界面

用户界面是用户与计算机的接口部分, 设计良好的用户界面可以使操作人员对软件的使用一目了然, 用户界面包装了整个程序, 并给予用户所允许的操作接口; 接受用户的操作指令, 将其传送给相关的模块并返回指令执行结果。忽略用户的错误操作。

4.5 数据采集软件程序实现

4.5.1 请求电控单元参数数据

发动机电控单元参数达十几个之多，因此不能一个一个地请求，应该采用\$2A模式的Slot方式，该方式的数据包参数地址（Data Packet Identifier 缩写为：DPID）需要用\$2C模式动态分配，因此在发送\$2A模式请求之前要先使用\$2C模式给每个要求记录的参数地址（Parameter Identifier 缩写为：PID）分配一个动态的DPID，该DPID从\$FE开始逐步递减往下分配，直到每个参数都有DPID为止。

下面是对电控单元数据的请求消息：

一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一			
E0	0B	6C	10	F1	2C	FE	4A	00	0C	FF	FF	2A	（发动机转速）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FE	5A	11	93	FF	FF	82	（喷油脉宽）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FE	6A	12	A4	FF	FF	60	（长期燃油修正）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FD	49	00	11	FF	FF	27	（节气门开度）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FD	51	00	0E	FF	FF	22	（点火提前角）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FD	59	00	0B	FF	FF	1D	（进气管绝对压力）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FD	62	00	10	FF	FF	0F	（进气质量流量）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FD	71	00	0F	FF	FF	01	（进气温度）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FC	49	11	92	FF	FF	96	（目标怠速）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FC	51	00	05	FF	FF	2C	（冷却水温度）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FC	59	11	9E	FF	FF	7A	（空燃比设定值）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FC	61	11	52	FF	FF	BE	（EGR 阀开度）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FC	69	12	00	FF	FF	07	（当前所有失火记录）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FC	71	11	A0	FF	FF	60	（爆震记录）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FB	49	11	A2	FF	FF	87	（出现故障码记录）
E0	0B	6C	10	F1	2C	FB	51	11	45	FF	FF	DC	（氧传感器电压值）

字段一到三对应 SAE J1850 物理消息头格式的三个字节，故\$10为目标地址实际上是诊断测试设备的ID，\$F0为数据源地址即电控单元的ID，第四个字节即为\$2C请求模式，第五位是DPID，第六位是格式说明指明参数在DPID中的位置和长度，根据该位的说明可以知道参数的详细位置。第七、八位是参数

在电控单元中所对应的 PID 号。按 PID 定义，两个 PID 或一个 PID 加上 \$FF \$FF (必须用\$FF 填充到第十个字节)。第十一个是校验和。

动态 DPID 申请好之后，发送总体请求：

E0 0A 6C 10 F1 2A 14 FB FC FD FE 7B

其含义是向电控单元请求以高速 (25ms) Slot 模式周期性向诊断设备发送诊断数据包。

以上这些数据请求消息如果得到正确的回应消息，则只需要发送一次，以后每 5 秒钟之内用\$3F 模式发送一个“当前测试设备在线” (Test Device Present (\$3F) message) 的请求维持消息，电控单元就会源源不断地将请求的数据发出来。如果没有\$3F 消息或者因为其他缘故中断了\$3F 消息，则电控单元会因为\$3F 时间耗尽而离开诊断模式进入正常工作模式并停止向诊断测试设备发送数据。为保证能连续性，设计时使用一个 3 秒的定时器，每隔 3 秒发一次\$3F 请求消息。

程序设计流程如图 4-8 所示：

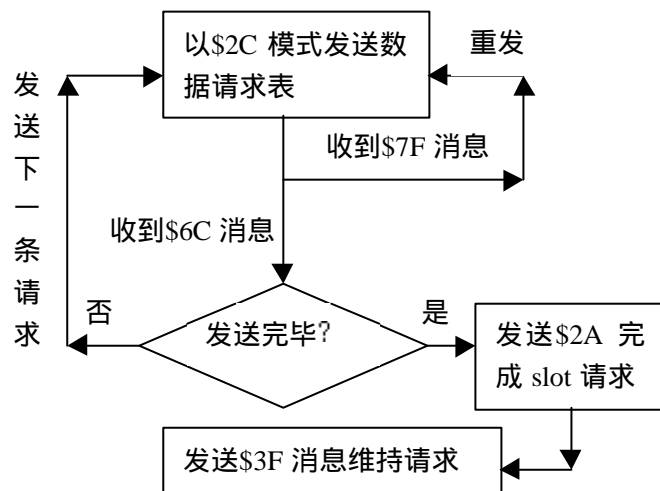


图 4-8 数据请求流程图

Fig4-8 Data request flow chart

4.5.2 接收数据

如果接收正确，电控单元会将目标地址和源地址互换，模式\$2A 加上\$40，将 DPID 的每个 Slot 插入相应的数据之后发出（见相关协议 J2190），对应请求消息分配的动态 DPID，接收到的消息如下：

	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
E0	08	6C	F1	10	6C	FE	4A	CB	2C	
E0	08	6C	F1	10	6C	FE	5A	06	E1	
E0	08	6C	F1	10	6C	FE	6A	4C	8B	
E0	08	6C	F1	10	6C	FD	49	38	C1	
E0	08	6C	F1	10	6C	FD	51	1D	D4	
E0	08	6C	F1	10	6C	FD	59	F5	F4	
E0	08	6C	F1	10	6C	FD	62	70	70	
E0	08	6C	F1	10	6C	FD	71	9A	37	
E0	08	6C	F1	10	6C	FC	49	74	86	
E0	08	6C	F1	10	6C	FC	51	51	A1	
E0	08	6C	F1	10	6C	FC	59	B9	31	
E0	08	6C	F1	10	6C	FC	61	1B	C7	
E0	08	6C	F1	10	6C	FC	69	F3	E7	
E0	0D	6C	F1	10	6C	FC	71	50	7C	
E0	08	6C	F1	10	6C	FB	49	8D	6E	
E0	08	6C	F1	10	6C	FB	51	A8	4B	

因此根据固定特征：电控单元 ID(\$F0)，测试设备 ID(\$10)，应答模式(\$6A)，DPID，数据格式等可以比较容易是别处各个参数的值，而不用去管上层串口通讯的其他细节，毕竟主要目的是在理解相关协议的基础上获得电控单元数据。数据参数在 ECU 中的 PID 码及计算公式如表 4-3，接收数据软件流程如图 4-9 所示。

表 4-3 数据参数表

Table4-3 Parameter Table

参数	PID	计算公式
转速	000C	$N/4$
冷却水温	0005	$N-40$
进气绝压	000B	N
点火提前	000E	$N/2-64$
喷油脉宽	1193	$N/65.535$
目标怠速	1192	$N*12.500000+0.00000$
进气流量	0010	$N/100$
节气门开度	0011	$N/2.25$
EGR 开度	1152	$N/2.25$
进气温度	000F	$N-40$
第五缸失火次数	11F8	N
总失火次数	1200	N
长期修正	0007	$(N-128)/1.28$
短期修正	0006	$(N-128)/1.28$
目标空燃比	119E	$N/10$
O2 电压	1145	$N/0.23.4$

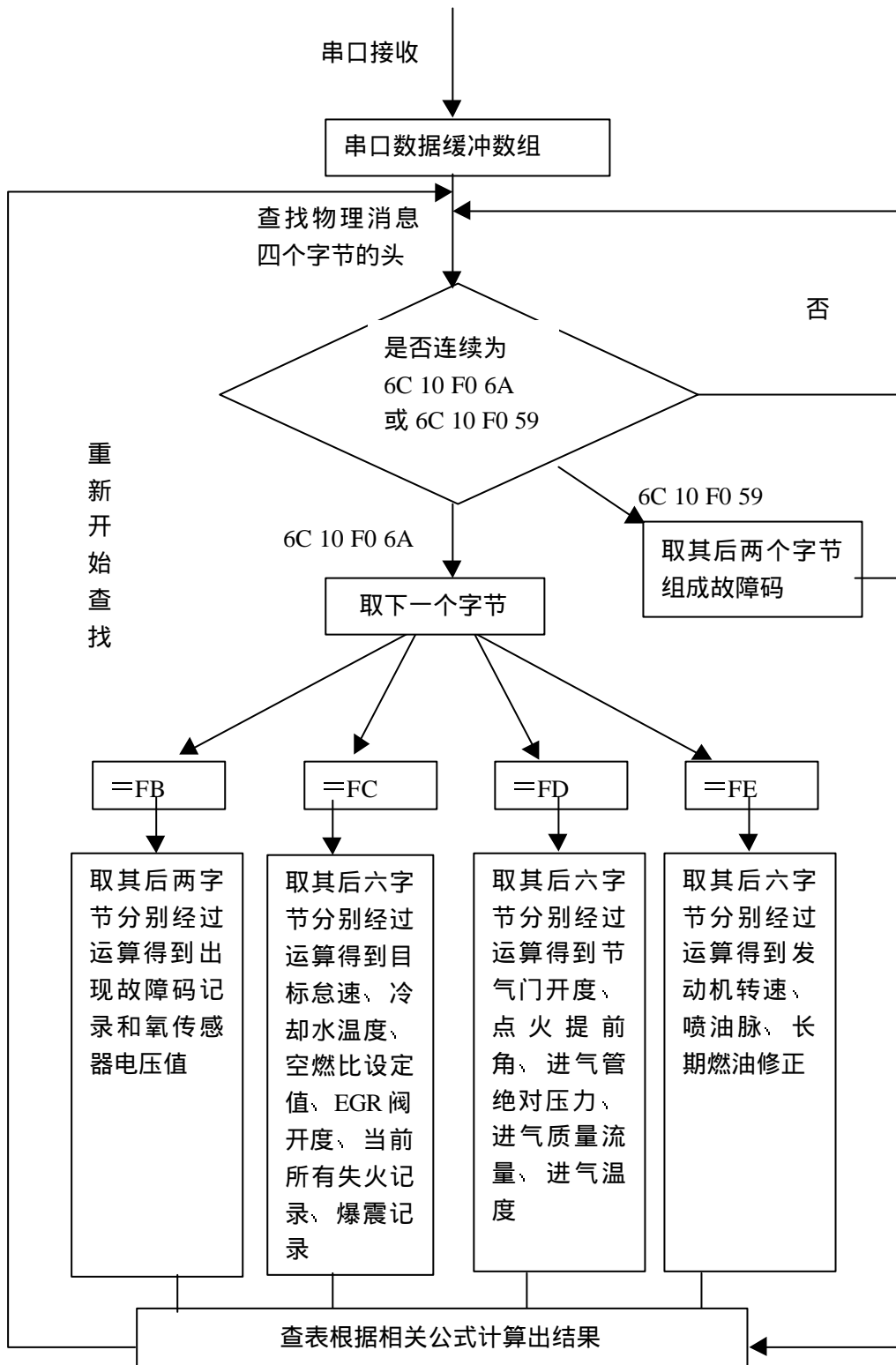


图 4-9 接收数据流程图

Fig 4-9 Data receiving flow

4.5.3 故障码的获取

4.5.3.1 故障码分类

故障码DTC分为A、B、C、D四类。

1.A类DTC：与排放有关，是最严重的一类，只发生一次，就触发MIL灯。为了诊断方便，当A类故障码被记录时，OBD系统同时还储存了一个历史故障码，失效记录和一帧现场数据。

2.B类DTC：与排放有关，是次严重的一类。在MIL灯点亮之前，这类故障应在两次连续的行驶过程中都至少发生一次。若在一次行驶过程中发生，而在下一次行驶过程中没有发生，则该故障的码还未“成熟”，MIL灯不点亮。当MIL灯点亮的条件满足时，所储存的历史故障码、失效记录和一帧现场数据与触发A类故障码时完全相同。

3.C类DTC：与排放无关（该失效导致的排放增加不会比联邦法规标准大1.5倍），第一次扫描失效只请求点亮维修指示灯（而非MIL）或显示维修信息，第一次扫描失效则存储DTC历史，不存储冻结框，试验失效即存储失效记录，每次诊断试验失效即刷新失效记录。

4.D类DTC：与排放无关（该失效导致的排放增加不会比联邦法规标准大1.5倍），不请求任何指示灯，第一次扫描失效即存储DTC历史，不存储冻结框，试验失效即存储失效记录，每次诊断试验失效即刷新失效记录。

这里所提到的行驶过程(或循环)不只是一次点火循环，而是一次暖机循环，即启动发动机，行驶车辆让冷却液温度升高至少 22°C （如果启动时温度低于 72°C ）。

一旦A类或B类故障码已被记录，只有在三次连续的行驶过程中，OBD系统均未再次发现同一故障后，MIL灯才会熄灭。如果故障涉及到象P0330随机熄火或燃油平衡问题，那么只有当OBD系统通过在与触发故障码时相同的工况（允许误差：发动机转速=375rPmin，负荷=10%）下的自诊而未发现相同故障后，MIL才会熄灭。如果问题仍然存在，即使以人为的方式清除故障码（例如用解码器或使PCM断电），MIL还会重新点亮。

4.5.3.2 故障码的定义

统一的故障代码有4部分组成。

例如：P / 0 / 1 / 20 /

① 第一部分用英文字母：

P-发动机和变速器控制电脑

C-底盘控制电脑；

B-车身控制电脑；

U-暂未规定。

② 第二部分用数字：

0-美国汽车工程师学会(SAE)定义的故障代码；

1、2、3.....9-汽车制造厂自行定义的故障代码。

③ 第三部分用数字：

美国汽车工程师学会定义的故障代码为：

1 和 2-燃料和进气系统故障；

3-点火系统不良或发动机间歇熄灭；

4-废气控制系统故障；

5-怠速控制系统故障；

6-电脑和执行元件系统故障；

7 和 8-电控自动变速器系统的故障。

④ 原厂编码顺序号。

部分故障码如表 4-4 所示：

表 4-4 故障码表

Tab4-4 Malfunction codes

故障码	诊断内容
P0101	空气流量计电路不良
P0112	进气温度传感器电压信号太高
P0113	进气温度传感器电压信号太低
P0116	发动机水温电压信号不良
P0117	发动机水温电压信号太高
P0118	发动机水温电压信号太低
P0123	节气门位置传感器电压太高
P0125	发动机无法进入闭合回路
P0131	氧信号太低,混合比太稀
P0132	氧信号太高,混合比太浓
P0133	前侧氧传感器变动率慢
P0134	氧传感器断线或不变动
P0135	前侧氧传感器信号干扰
P0137	后侧氧传感器信号太低
P0138	后侧氧传感器信号太高
P0140	后侧氧传感器线路断线
P0151	前侧辅助氧电压太低,混合比太稀
P0152	前侧辅助氧电压太高,混合比太浓
P0153	前侧辅助氧信号变动率太慢
P0154	前侧辅助氧传感器断线
P0155	前侧辅助氧传感器干扰
P0158	后侧辅助氧电压太高,混合比太浓
P0160	后侧辅助氧传感器电压信号不良

P0161	后侧辅助氧传感器电压信号电路干扰
P0171	供油修正一直太稀
P0172	前氧供油修正太浓或太稀
P0174	前辅助氧传感器供油修正太稀
P0175	前辅助氧传感器供油修正太浓
P0300	点火系统间歇性不点火
P0321	曲轴传感器或参考信号 (REF) 不良
P0325	爆震传感器信号不良
P0341	凸轮或曲轴传感器信号不良
P0342	凸轮轴传感器信号不良
P0401	废气再循环电磁阀电路不良
P0420	后氧传感器不良或催化转换器不良
P0501	实际车速在 30km/h 以上, 但无车速信号
P0502	发动机 3000r/min 以上, 但无车速信号
P0703	液力变矩器电路、刹车开关电路不良
P0705	变速器档位开关电路不良
P0712	变速器温度传感器电压太高
P0713	变速器温度传感器电压太低
P0740	液力变矩器电磁阀不良
P0755	换档电磁阀 "B" 电路不良
P1114	发动机水温传感器间歇性短路
P1115	发动机水温传感器间歇性开路
P1133	前氧传感器电压没有变动
P1153	前辅助氧传感器电压一直没变动
P1158	后辅助氧传感器电压高, 混合比过浓
P1257	涡轮增压电磁阀不良
P1350	EST 电路不良
P1361	旁路电路不良
P1403	EGR 第 1 组电磁阀不良
P1404	EGR 第 2 组电磁阀不良
P1405	EGR 第 3 组电磁阀不良
P1406	EGR 位置传感器不良
P1530	冷媒压力开关信号不良
P1531	冷媒压力太低或开关不良
P1550	恒速控制电机不良
P1558	恒速控制位置传感器不良
P1561	恒速大气电磁阀不良
P1562	恒速真空电磁阀不良
P1565	恒速控制位置传感器不良
P1567	恒速控制开关不良
P1568	恒速位置电压信号不良
P1571	ABS 负荷信号不良
P1573	ABS 负荷电路不良
P1599	恒速控制电源不良
P1619	机油指示灯归零电路不良
P1623	电脑 EPROM 不良
P1626	防盗控制在发动机发动后汽油泵电路开路
P1629	防盗控制在起动机时汽油泵电路开路
P1630	电源电压低于 9V 或高于 17.3V

P1640	碳罐阀、风扇继电器、液力变矩器 (TCC) 电脑阀电路不良
P1650	换档电磁阀 A 和 B、液力变矩器 (TCC) 的主油压阀、EGR 阀电路不良
P1670	空调继电器、风扇继电器、故障灯电路不良

4.5.3.3 故障码的获取

故障码不同于普通的数据，不能由上面的请求模式来读取。故障码只能请求一次，ECU 响应一次而不会周期性地响应。程序必须根据需要不断发出请求消息，以跟踪故障码的状态，一般是同\$3F 消息一起发出。故障码的请求消息如下：

一 二 三 四 五 六

E0 05 6C 10 F0 3F 70 // \$3F 消息用于维持总线的诊断工作状态

6C 10 F0 19 92 FF 00 EA 54 36 0D // 故障码请求

第五字节\$92 是状态字具体含义参看相关协议 J2190 (第三章)。接收软件流程如上图 4-9 所示。

第五章 系统在发动机热试中的应用

本系统的测试试验在 GM 的电控发动机上进行, 该型号发动机按 SAE J1850 的 VPW 方式 (即 Class 2 协议) 进行通信。通过该系统在电控发动机热试中的应用, 证实系统运行可靠, 有实际使用价值。

5.1 发动机热试^{[32][33]}的介绍

5.1.1 发动机热试规范

热试是指点燃发动机, 以自身为动力, 在不同工况下完成测试的试验。发动机热试能真实地反映发动机的工作状况, 因而能发现发动机的许多质量问题, 比如零件的装配问题、零件本身的质量问题等等。

有负荷热试^[5]有两种, 一种是普通的试验, 通常是在不同的工况施加不同的负载 (一般是由小负荷逐步增加到中等负荷但不会使用全负荷), 让发动机运行, 观测发动机的各参数进行质量评价。这种检查试验可以作为抽查性的试验也可以作为所有新发动机的检测工艺。另一种是强化耐久性试验, 通常是大负荷高转速, 运行时间较长, 试验做完后要拆检发动机, 根据拆检的结果对发动机的生产质量进行评价, 拆完后发动机报废, 由于具有破坏性一般作为抽查性试验。本文只进行前者试验, 即 20 分钟有负荷热试。

20 分钟的热试检查规范如图 5-1, 其前面 10 分钟是无负荷试验, 然后才逐渐增加载荷, 最高为 75%。

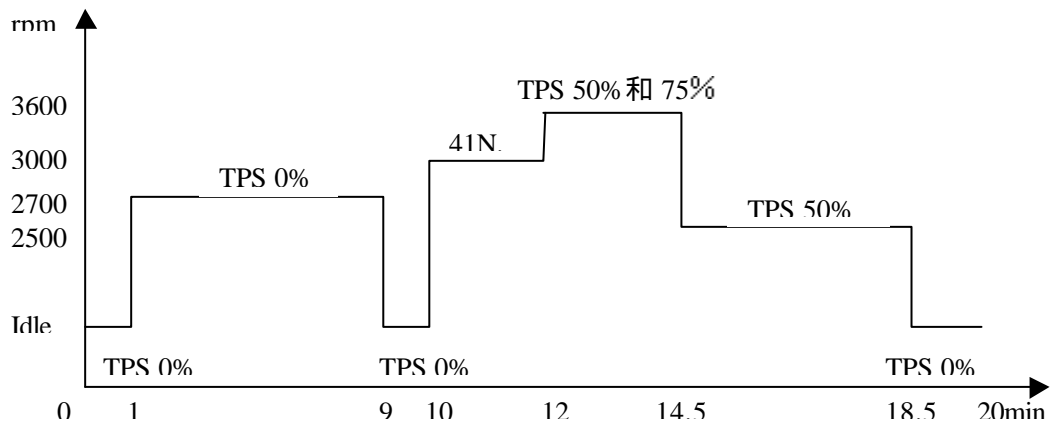


图 5-1 20 分钟带负荷热试规范
Fig5-1 20minutes load test

5.1.2 热试试验台架系统的组成

对于单个的发动机试验台架^{[36][37]}，包括发动机测功机系统、试验保证系统和试验数据采集系统。其中发动机测功机系统是核心部分，完成整个试验过程的控制等；另外两个部分是辅助部分，发动机试验保证系统是为了保证必需的试验条件，包括冷却水恒温恒压控制、燃油的恒压控制、台架安全保护装置以及控制室环境的监测和控制等；试验数据采集系统是用于采集试验台架测量数据、试验台架环境监测数据和 ECU 工作状态参数以及故障码等。

测功机测控系统采用的是湘仪 FC2000 全自动测控系统^[38]。FC2000 发动机自动测控系统由 FC2010 测控仪、FC2020 数据采集系统、FC2210 智能油耗变送器、FC2310 角行程油门执行器、FC2030 参数大屏幕显示器、GW/CW 系列电涡流测功机、FC2000 系统软件组成。

5.1.3 热试试验测量参数

电控发动机热试实验数据主要分为两类：

- 1) 第一类，可以由测功机测控设备采集的数据，主要是发动机的一些热力参数：
 - ① 温度类：进气温度，冷却水进口温度，冷却水出口温度，冷却水温度，旁通温度，机油温度，排气温度；
 - ② 压力类：冷却水压力，燃油压力，排气背压
 - ③ 其他：修正扭矩，空燃比（测空燃比的仪器具有输出模拟信号的功能，而测功机测控的扩展采集通道可以采集该参数，因此亦归为此类）；
- 2) 第二类，来自发动机电控单元的数据，主要是电控发动机用于自身控制的各传感器的数据：
 - ① 进气类：进气温度（IAT），进气质量流量（MAF），进气管绝对压力（MAP），EGR 阀的实际开度（Actual EGR），节气门位置（TP Angle）
 - ② 喷油点火类：喷油脉宽（InjPWM），短期燃油修正（ST FT），长期燃油修正（LT FT），点火提前角（Spark Advance）
 - ③ 诊断类：氧传感器是否触发（O2 Toggle），故障灯检查（Check Engine Light），发动机缺火记录（Misf1-6 History、Misf Total）
 - ④ 其他：目标空燃比（A/F Ratio），目标怠速（DesIdle）。

这两类数据在发动机热试装置中的流动情况如图 5-2 所示，由图可见第一类数据汇集到测功机测控系统的 CAN 总线，而第二类数据则汇集到电控单元的 J1850 总线上。这两类总线均属现场总线具有很好的实时性，总线上的数据可用于在线监测。因此，第一类热力参数直接由测功机的主控制计算机采集记录；

第二类电控参数则需要通过数据通信技术从 Class2 总线上获得。

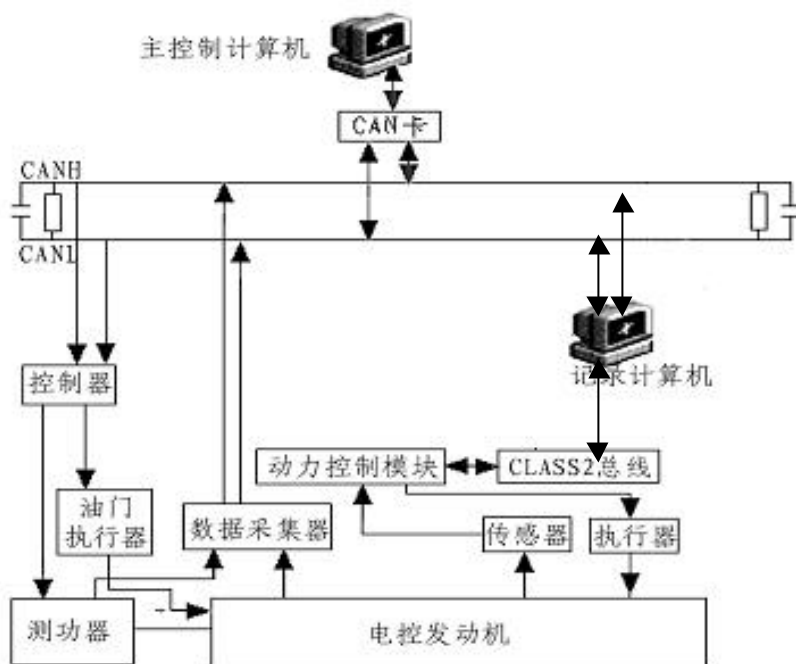


图 5-2 电控发动机数据流动图

Fig5-2 Data flow graph in test bed

5.2 系统在发动机热试中的应用

在热试系统的开发中，数据通信技术是系统实现网络化管理和采集 ECU 工作状态参数以及故障码的关键技术。CLASS 2通信是用于 ECU 数据与故障码的读取，通过 CLASS 2-TO-RS232 的转换器（即通讯卡）可以读取 ECU 中的数据与故障码。

该系统在热试的数据通讯系统中的应用如图 5-3 中虚线所示。

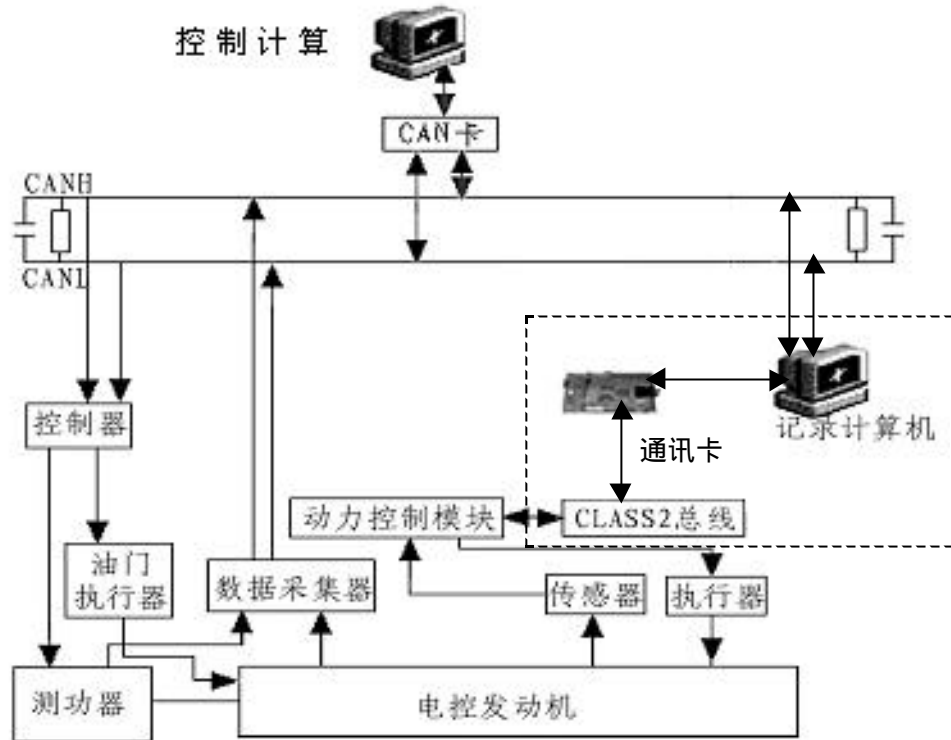


图 5-3 数据通讯系统总体设计

Fig5 - 3 Data communication system general design chart

5.2.1 系统测试设计

本系统的测试主要分两方面进行：通讯卡通信测试部分与软件数据分析测试部分。通讯卡通信测试部分采样串口调试助手按协议诊断模式向通讯卡发送请求信号，测试通讯卡是否能向总线发送请求信号，并接收到总线的应答信号，串口调试助手收到总线的应答信号后确认。软件数据分析部分的测试主要是采用了从汽车电控系统中提取出故障诊断数据块进行模拟测试方法。测试时由发送、应答模块负责将数据读入内存，并送给数据分析模块分析。数据分析模块先根据信号的头信息区分开每一个信号，然后根据不同 PID 值分析、计算数据，最后送交显示模块显示数据。

5.2.2 系统测试

基于 SAE J1850 通信协议的故障诊断系统按加强诊断测试标准 J2190 诊断模式进行诊断测试。先是对所请求的数据初始化打包，使用\$2C 模式给每个要求记录的参数地址 PID 分配一个动态的 DPID，该 DPID 从\$FE 开始逐步递减往下分配，直到每个参数都有 DPID 为止。如果接收正确，电控单元会将目标地址和源地址互换，模式\$2A 加上\$40，将 DPID 的每个 Slot 插入相应的数据之后发

出。如果接收不正确，将返回一个\$7F消息，重新分配动态 DPID 直到接收到正确应答消息。动态 DPID 申请好之后，采用\$2A 模式的 Slot 方式发送总体请求，电控单元就会按所初始化分配的动态 DPID 把相应数据发出。根据其 PID 码和计算公式就可得到相应参数的数值。

1.\$2C 模式分配动态 DPID 消息及其正确应答消息

分配发动机转速 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FE 4A 00 0C FF FF 2A

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FE 4A CB 2C

分配喷油脉宽 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FE 5A 11 93 FF FF 82

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FE 5A 06 E1

分配长期燃油修正 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FE 6A 12 A4 FF FF 60

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FE 6A 4C 8B

分配节气门开度 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FD 49 00 11 FF FF 27

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FD 49 38 C1

分配点火提前角 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FD 51 00 0E FF FF 22

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FD 51 1D D4

分配进气管绝对压力 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FD 59 00 0B FF FF 1D

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FD 59 F5 F4

分配进气质量流量 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FD 62 00 10 FF FF 0F

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FD 62 70 70

分配进气温度 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FD 71 00 0F FF FF 01

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FD 71 9A 37

分配目标怠速 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FC 49 11 92 FF FF 96

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FC 49 74 86

分配冷却水温度 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FC 51 00 05 FF FF 2C

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FC 51 51 A1

分配空燃比设定值 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FC 59 11 9E FF FF 7A

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FC 59 B9 31

分配 EGR 阀开度 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FC 61 11 52 FF FF BE

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FC 61 1B C7

分配当前所有失火记录 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FC 69 12 00 FF FF 07

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FC 69 F3 E7

分配爆震记录 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FC 71 11 A0 FF FF 60

接收到的正确应答消息: E0 0D 6C F1 10 6C FC 71 50 7C

分配出现故障码记录 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FB 49 11 A2 FF FF 87

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FB 49 8D 6E

分配氧传感器电压值 DPID: E0 0B 6C 10 F1 2C FB 51 11 45 FF FF DC

接收到的正确应答消息: E0 08 6C F1 10 6C FB 51 A8 4B

这些消息只发送一次, 对各参数进行动态 DPID 分配。

2.\$2A 模式总体请求及应答

请求消息:

E0 0A 6C 10 F1 2A 14 FB FC FD FE 7B

系统接收到的应答消息:

E0 0D 6C F1 10 7F 2A 12 FB FC FD FE 23 1A BC

E0 0D 6C F1 10 6A FB 00 68 00 00 00 00 71 68

E0 0D 6C F1 10 6A FC 00 00 00 00 00 00 D6 6A

E0 0D 6C F1 10 6A FD 80 00 00 00 00 00 2B 94

E0 0D 6C F1 10 6A FE 00 00 00 00 40 A3 00 5B

E0 0D 6C F1 10 6A FB 00 68 00 00 00 00 71 68

E0 0D 6C F1 10 6A FC 00 00 00 00 00 00 D6 6A

E0 0D 6C F1 10 6A FD 80 00 00 00 00 00 2B 94

E0 0D 6C F1 10 6A FE 00 00 00 00 40 A3 00 5B

E0 0D 6C F1 10 6A FB 00 68 00 00 00 00 71 68

E0 0D 6C F1 10 6A FC 00 00 00 00 00 00 D6 6A

E0 0D 6C F1 10 6A FD 80 00 00 00 00 00 2B 94

E0 0D 6C F1 10 6A FE 00 00 00 00 40 A3 00 5B

E0 0D 6C F1 10 6A FB 00 68 00 00 00 00 71 68

E0 0D 6C F1 10 6A FC 00 00 00 00 00 00 D6 6A

E0 0D 6C F1 10 6A FD 80 00 00 00 00 00 2B 94

E0 0D 6C F1 10 6A FE 00 00 00 00 40 A3 00 5B

E0 0D 6C F1 10 6A FB 00 68 00 00 00 00 71 68

E0 0D 6C F1 10 6A FC 00 00 00 00 00 00 D6 6A

E0 0D 6C F1 10 6A FD 80 00 00 00 00 00 2B 94

E0 0D 6C F1 10 6A FE 00 00 00 00 40 A3 00 5B

E0 0D 6C F1 10 6A FB 00 68 00 00 00 00 71 68

E0 0D 6C F1 10 6A FC 00 00 00 00 00 00 D6 6A

E0 0D 6C F1 10 6A FD 80 00 00 00 00 00 2B 94

E0 0D 6C F1 10 6A FE 00 00 00 00 40 A3 00 5B

E0 0D 6C F1 10 6A FB 00 68 00 00 00 00 71 68

根据初始化时\$2C 模式分配的动态 DPID 的 PID 码和计算公式就可得到相应参数的数值。此消息也只需要发送一次, 每 5 秒钟之内发送\$3F 模式的请求维

持消息，电控单元就会源源不断地将请求的数据发出来。

3. \$3F 模式消息

\$3F 消息用于维持总线的诊断工作状态：

E0 05 6C 10 F0 3F 70

如果没有\$3F 消息或者因为其他缘故中断了\$3F 消息，则电控单元会因为\$3F 时间耗尽而离开诊断模式进入正常工作模式并停止向诊断测试设备发送数据。

4.故障码消息

用\$19 模式请求故障码，故障码只能请求一次，ECU 求后响应一次而不会周期性地响应。程序必须根据需要不断发出请求消息，以跟踪故障码的状态，一般是同\$3F 消息一起发出。

请求故障码：6C 10 F0 19 FF FF 00 EA 54 36 0D

维持诊断：E0 05 6C 10 F0 3F 70

故障码应答消息：

E0 09 6C F1 10 59 00 68 25 FF C5 00 00

E0 09 6C F1 10 59 01 01 25 F9 31 00 00

E0 09 6C F1 10 59 01 03 25 61 C7 00 00

E0 09 6C F1 10 59 01 07 25 4C D8 00 00

E0 09 6C F1 10 59 01 13 25 D5 43 00 00

E0 09 6C F1 10 59 01 18 25 5B B8 00 00

E0 09 6C F1 10 59 02 02 25 A1 87 00 00

E0 09 6C F1 10 59 03 25 25 A2 62 00 00

E0 09 6C F1 10 59 03 35 25 16 DE 00 00

E0 09 6C F1 10 59 04 01 25 70 B7 00 00

E0 09 6C F1 10 59 04 04 25 11 13 00 00

E0 09 6C F1 10 59 11 06 25 18 FD 00 00

E0 09 6C F1 10 59 00 00 FF 10 42

\$59 后两位构成故障码，其具体定义见第四章。\$59\$00\$00\$BBS 表示最后的应答消息。

5.2.3 发动机热试应用实例

本系统设计研发完成后在上海通用汽车公司的出口 V6 发动机上进行测试试验，在热试试验中，系统的运行图如图 5-4。

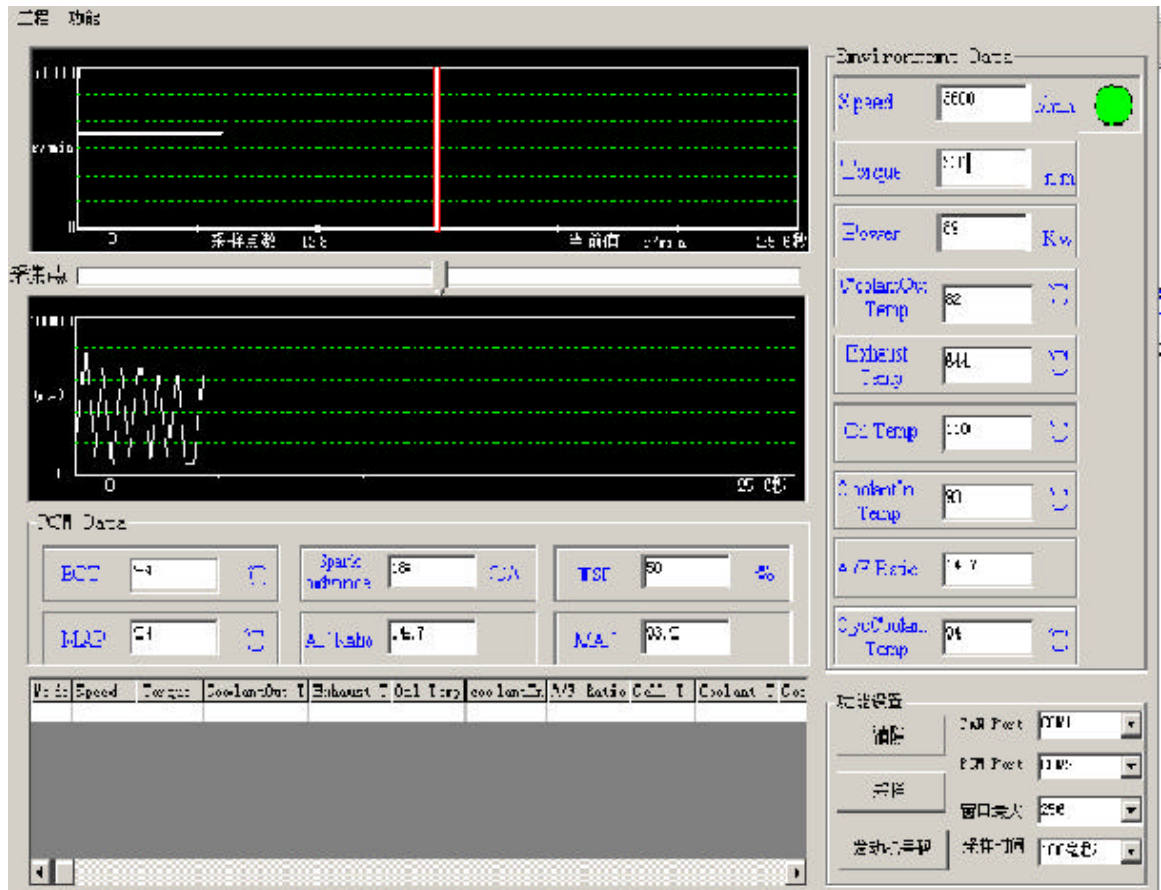


图 5-4 系统运行图

Fig5-4 System running graph

根据热试规范要求，本实验读取的发动机各个工况下的电控单元参数如下表 5-1。

表 5-1 热试参数列表

Table 5-1 parameters list of hot test

20 分钟热试规范表头								
工况	1	2	3	4	5	6	7	8
转速	Idle	3600	Idle	3000	3600	3600	2500	Idle
扭矩 / 油门	0 N.m	34N.m	0 N.m	41 N.m	50%	75%	50%	0%
时间 (Min)	1	8	1	2	2	0.5	4	1.5
20 分钟热试参数数值:								
转速 (rpm)	800	3601	700	3000	3600	3600	2500	700
喷油脉宽 (msec)	3.9	5.7	3.3	5.3	18.1	22.3	16.7	3.2
长期燃油修正 (%)	-17.2	3.1	-3.9	4.7	7	7	8.6	5.5
节气门开度 (%)	0	22	0	23	49	74.5	47.9	0
点火提前角 (CA)	22	26	20	28	19	19	19	24
进气绝对压力 (Kpa)	31	37	35	36	95	100	100	30
进气质量流量 gm/s	3.7	32.62	3.42	24.96	92.06	96.54	61.86	3.64
进气温度 (°C)	20	21	23	23	23	24	24	23
目标怠速 (rpm)	725	675	675	675	675	675	675	675
冷却水温度 (°C)	49	92	94	92	95	95	94	93
目标空燃比	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	11.8	14.7	14.7
EGR 阀开度 (%)	0	14.1	0	15.7	3.1	0	12.9	0
失火记录	0	0	0	0	0	0	0	0
第五缸失火	0	0	0	0	0	0	0	0
短期燃油修正 (%)	3.1	1.6	4.8	0.8	2.3	0	2.3	1.6

图 5-5 为通讯卡记录生成的电控参数详细数据 Excel 表格。

PCM DATA														
Engine Speed (rpm)	TP Angle (%)	Spark (CA)	ECT (°C)	IAT (°C)	MAP (kPa)	MAF (g/s)	InjPWH (volts)	ST/IT FT%	DeIdle (rpm)	A/F Ratio	O2RB (volts)	Actual EGR (%)	Baro (Volts)	DTC Count
3603	49	17	94	27	92	95.28	17	-2.3/-3.9	675	14.7	378	5.9	0	0
3603	49	18	94	27	93	97.3	18	-2.3/-3.9	675	14.7	408	5.1	0	0
3596	49	18	94	27	93	92.72	18	-2.3/-3.9	675	14.7	673	5.5	0	0
3588	49	18	94	27	93	93.99	16	-2.3/-3.9	675	14.7	712	7.5	0	0
3588	49	18	94	27	94	93.14	16	-2.3/-3.9	675	14.7	512	9.8	0	0
3603	49	17	94	27	94	94.27	17	-2.3/-3.9	675	14.7	378	5.9	0	0
3596	49	18	94	27	94	95.46	18	-2.3/-3.9	675	14.7	382	5.1	0	0
3611	49	17	94	27	93	93.56	18	-2.3/-3.9	675	14.7	725	1.6	0	0
3603	49	17	94	27	94	92.35	16	-2.3/-3.9	675	14.7	273	1.2	0	0
3596	49	17	94	27	94	92.95	16	-3.1/-3.9	675	14.7	165	3.1	0	0
3611	49	18	94	27	93	93.99	16	-3.1/-3.9	675	14.7	109	11.8	0	0
3611	49	17	94	27	93	92.95	18	-3.1/-3.9	675	14.7	699	2.7	0	0
3596	49	17	94	27	93	92.35	18	-3.1/-3.9	675	14.7	668	7.5	0	0
3618	49	18	94	27	94	93.99	16	-3.1/-3.9	675	14.7	156	6.3	0	0
3611	49	17	94	27	94	93.56	16	-3.1/-3.9	675	14.7	204	4.7	0	0
3603	49	17	94	27	93	94.17	18	-3.1/-3.9	675	14.7	291	8.2	0	0
3611	49	17	94	27	94	92.22	18	-3.1/-3.9	675	14.7	360	6.7	0	0
3588	49	17	94	27	92	94.17	18	-3.1/-3.9	675	14.7	586	3.5	0	0
3611	49	18	94	27	93	94.78	18	-3.1/-3.9	675	14.7	612	7.1	0	0
3603	49	17	94	27	93	92.35	18	-3.1/-3.9	675	14.7	252	7.5	0	0
3588	49	17	94	27	94	91.61	18	-3.1/-3.9	675	14.7	321	4.3	0	0
3588	49	18	94	27	93	94.08	16	-3.1/-3.9	675	14.7	621	7.1	0	0
3618	49	17	94	27	92	92.95	16	-2.3/-3.9	675	14.7	165	3.5	0	0
3596	49	17	94	27	93	93.56	18	-2.3/-3.9	675	14.7	543	6.3	0	0
3611	49	17	94	27	92	95.39	18	-2.3/-3.9	675	14.7	716	4.7	0	0

图 5-5 发动机电控单元的详细数据

Fig5-5 Detail data for engine management system

以编号为 10BAB-S31106256 的发动机 20 分钟热试检查试验为例，根据热试规范，第六工况为 75% 节气门开度开环控制，第七工况为 50% 节气门开度闭环控制。在第七工况时，故障诊断与测试系统获得故障码 P0201，查询相应的故障码表为氧传感器非正常开环。

试验过程中故障诊断与测试系统读取发动机自身氧传感器的电压值一直保持在 800 毫伏左右，表明控制器按开环控制；同时观察到空燃比在 13 左右，亦表明混合气过浓，属于开环控制。

根据系统记录的电控参数得此发动机的自身氧传感器的电压值与发动机正常运行的对比图 5-6，发动机的空燃比(A/F)曲线与发动机正常运行的对比图 5-7。

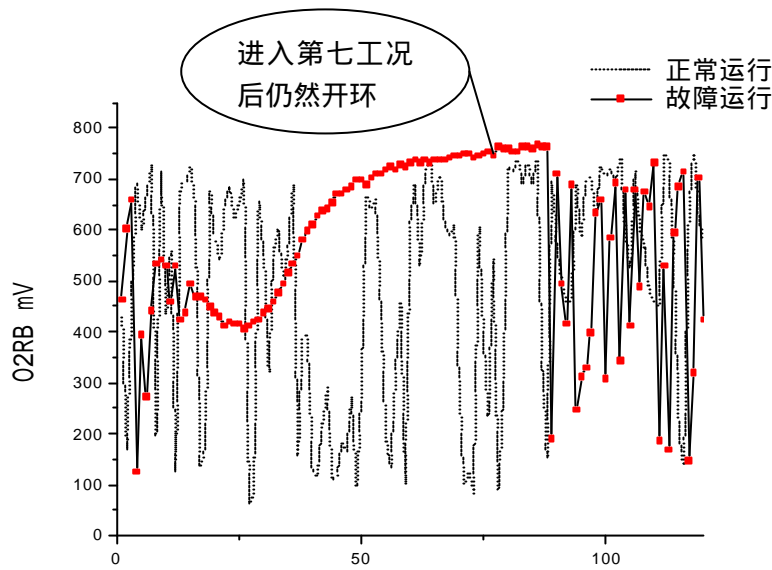


图 5-6 正常和不正常时的氧传感器的电压值比较

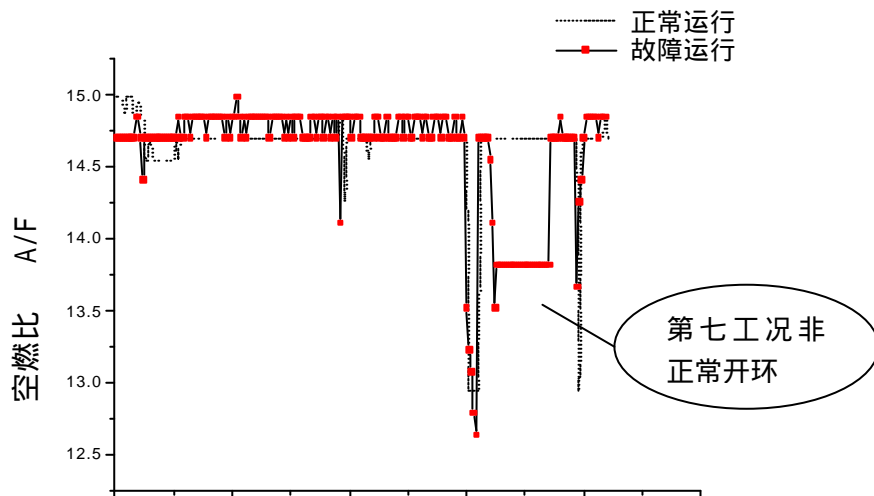
Fig5-6 Normal and abnormal O₂ sensor volts comparison

图 5-7 正常和不正常时的空燃比较

Fig5-7 Normal and abnormal A/F comparison

最后再以编号为 10BAB-S405133551 的发动机 20 分钟热试检查试验为例，在第六工况时，故障诊断与测试系统获得故障码 P0131，查询相应的故障码表为第一缸不喷油。

当发动机有一缸不喷油时，相应喷油量必定减少，相应输出功率也必定减少。试验过程中故障诊断与测试系统读取发动机的喷油脉宽值明显比发动机正常运行时小，同时发动机的输出扭矩也减少，进气质量流量也相应减小了。

根据系统记录的电控参数得此发动机的喷油脉宽值与发动机正常运行的对比图 5-8，发动机的输出扭矩曲线与发动机正常运行的对比图 5-9。

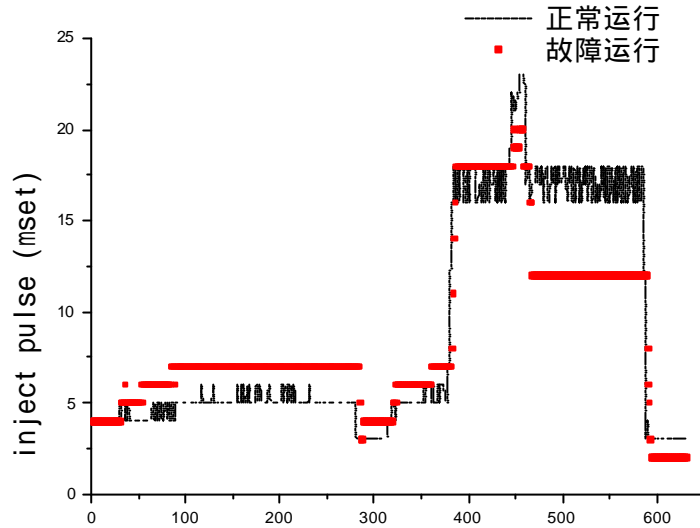


图 5-8 正常和不正常时的喷油脉宽比较

Fig5-8 Normal and abnormal injPWM comparison

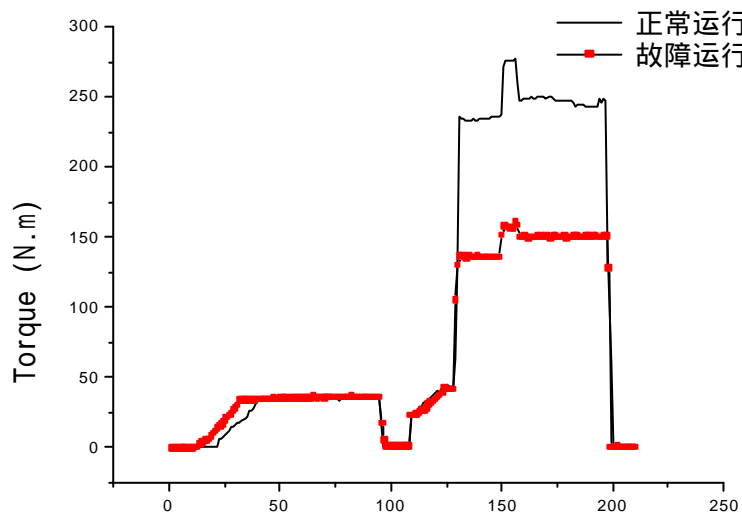


图 5-9 正常和不正常时的输出扭矩比较

Fig5-9 Normal and abnormal Torque comparison

通过本故障诊断与测试系统在热试试验中的应用实例中可得出该系统完全按 Class2 的请求方式和应答，按照数据头字节、诊断模式、PID 的定义，实现了对 ECU 诊断数据的请求与解码。通过 SAE J1850 通信协议与 RS232 标准在物理层与数据链路层的转换，实现了 PC 机与 ECU 之间的通信。能读取 ECU 中的数据与故障码，证实了该系统的运行可靠性及实用性。

第六章 结论与展望

6.1 结论

1. 本文通过了深入分析 SAE J1850 通信协议及其诊断模式 J2190，结合了硬件设计、串行通信、软件编程等技术，采样面向对象的程序设计方法，通过不同模块功能的组合，设计开发了基于 SAE J1850 通信协议的故障诊断系统。
2. 本系统按照 SAE J1850 通信协议数据头字节、诊断模式、PID 的定义，实现对 ECU 诊断数据和故障码的请求与解码，实现了以普通 PC 机为主体的对 ECU 的外部诊断和测试。
3. 本系统在上海通用汽车公司的 V6 电控发动机上进行了热试试验，试验结果表明该系统具有发动机测试实时监视的功能，能作为电控发动机的各种试验监视系统，实时反映发动机的运行状态。
4. 在整个系统的所有软件开发中使用了软件工程学的一般思路，采用模块化和面向对象的编程方法，对于软件的可理解性、可测试性、可修改性、可扩充性作了多方面的考虑。

6.2 展望

1. 本文设计开发的基于 SAE J1850 通信协议的故障诊断与测试系统对发动机的故障诊断，主要是通过读取其 ECU 自诊断系统中的故障码来实现的，所以获取的故障码需要配备 SAE 统一的故障码参照手册查询才可知道发动机发生的故障。不具备故障码的可定义性和更改性。
2. 本系统的诊断与测试功能主要由软件实现的，其数据库可以进一步扩充，和专家系统的特点相结合，使用人员既可方便地提取 ECU 的故障信息，又能够利用专家的经验与知识，提高诊断的准确性。

参考文献

- [1] 沈晓明, 发动机控制系统在车故障检测与诊断算法的特点分析, 车用发动机, 1996 (6), 27~29
- [2] 戴冠军, 周启明, 吴捷, 汽车电控系统 OBD- II 的网络通讯与诊断协议, 陕西汽车, 2001 (3), Page40~44
- [3] 黄海燕, 电控汽油机台架综合管理系统的研制, 车用发动机, 1999 年 2 月
- [4] 江冰, 现代汽车故障诊断技术的探讨, 山西交通科技, 2002 (2), Page60~61
- [5] 陆耀祖, 汽车发动机的使用与故障分析, 陕西科学技术出版社, 1991 年 4 月, Page261~266
- [6] 虞和济, 侯广林, 故障诊断的专家系统, 冶金工业出版社, 1991
- [7] 朱学军, 谢福泉, 王新究, 现代高级汽车 OBD- II 诊断系统, 河南交通科技, 2000 (1), Page34~37
- [8] 王桂华, 傅立新, 周中平, 中国汽车行业实施 OBD 系统的宏观分析, 公路交通科技, 2003 (4), 81~83
- [9] 美国加利福尼亚州法典(CCR)第 13 卷, 1968. 1 部分: 故障及诊断系统要求— 1994 年及以后车型乘用车、轻型载货车、中型车辆和发动机(OBD II)
- [10] SAE J1978—OBD II 扫描工具(ISO/DIS 15031-4: 2001/12/14), 2002 年 4 月
- [11] SAE J1979—E/E 诊断试验模式(ISO/DIS 15031-5: 2002/4/30), 2002 年 4 月
- [12] SAE J1962—诊断连接器, 2002 年 4 月
- [13] 于松涛, 杨龙滨, 刘亚秋, 汽车故障诊断技术与自诊断系统, 林业机械与木工设备, 2000 (7), 19~20
- [14] 刘光明, 现代汽车的微机网络技术, 公路与汽运, 2001 (2), Page4~6
- [15] Richard P.W, Custom Test Instruments Created with Personal Computer Surpass Capabilities of Conventional Capabilities, SAE 920257,1992
- [16] Chris A, Lupini, Multiplex Bus Progression [C] SAE2001-01-0060, 2001
- [17] SAE J1850—B 级数据通讯网络界面, 2001 年 5 月
- [18] ISO 9141-2: 1994—道路车辆—诊断系统—数字信息交换的 CARB 要求, 1994 年 2 月
- [19] ISO 14230-4—CAN 网络的道路车辆诊断系统, 2001 年 12 月
- [20] ISO 15764-4: 2001—道路车辆—诊断系统关键词协议 KWP2000, 2000 年 6 月
- [21] SAE Vehicle Network for Multiplexing and Data Communications Standards Committee, SAE J2178/1, “Class B Data Communication Network Messages: Detailed Header Formats and Physical Address Assignments”, Issued 1992.6
- [22] SAE Vehicle Network for Multiplexing and Data Communications Standards Committee, SAE J2178/2, “Class B Data Communication Network Messages: Data Parameter Definitions”, Issued 1993.6
- [23] Keith E. Larson, Class 2 (J1850) Transceiver Bit Timing: the Impact of Propagation Delay & Output Voltage Slew Rate[C], SAE 2000-01-0147, 2000

- [24] Class 2 Diagnostic Work Group, Class 2 Physical Message Diagnostic Strategy Specification [Version:1.24], 2000 .1
- [25] North American Operations, NAO Corporate CLASS2 COMMUNICATION FUNCTIONAL SPECIFICATION [Version: 1.4], 2000.1
- [26] Dearborn Group Technology, VEHICLE SERIAL INTERFACE CLASS 2 USER' S MANUAL [Version:1.0],1998.4
- [27] 戴冠军, 周启明, 谢小军, 电控汽车自诊断系统通信网络设计原理, 汽车技术, 2003 (2), Page38~42
- [28] 何立民, 单片机技术选编, 北京, 北京航空航天大学出版社, 1997.4
- [29] 泛逸之, 陈立元, Visual Basic 与 RS-232 串行通信控制, 北京, 清华大学出版社, 2002.6
- [30] 东剑工作室, Visual Basic 6.0 中文版程序设计, 北京, 清华大学出版社, 1998.3
- [31] 王珊, 陈红, 数据库系统原理教程, 清华大学出版社, 1999
- [32] 唐艺, 汽车修理工艺, 湖南, 湖南科学技术出版社, 1990年9月, Page456~458
- [33] 刘延振, 汽车发动机的修理, 北京, 人民交通出版社, 1990年4月, Page254~262
- [34] 赵恒侠, 赵斯重, 汽车发动机测试技术, 湖北, 湖北科学技术出版社 1995, Page98~110
- [35] 倪计民, 汽车内燃机试验技术, 上海, 同济大学出版社, 1998年1月, Page1~122
- [36] 王植槐, 汽车制造检测技术, 北京, 北京理工大学出版社, 2000年11月, Page283~289
- [37] 严兆大, 内燃机测试技术, 浙江, 浙江大学出版社, 1994
- [38] 湘仪动力测试仪器有限公司, FC2000 发动机自动测控系统操作手册 16, 2000, Page1~3
- [39] 阳宪惠, 现场总线技术及其应用, 北京, 清华大学出版社, 1999, Page12~13
- [40] 唐松立, 发动机试验新装备—高级冷试机, 车用发动机, 1999(2), Page38~41
- [41] Bhargav P.Upender, Analyzing the Real-Time Characteristics of Class C Communications in CAN Through Discrete Event Simulations, SAE paper 940133
- [42] 卓斌, 刘启华, 车用汽油机燃料喷射与电子控制, 北京, 机械工业出版社, 2001
- [43] 蒋浩天, 工业系统的故障检测与诊断, 机械工业出版社, 2002
- [44] J.P.Marques de Sa 编, 吴逸飞译, 模式识别—原理、方法及应用, 清华大学出版社
- [45] 段兴, Visual Basic 6.0 控件实用程序设计 100 例, 人民邮电出版社
- [46] 范逸之, Visual Basic 与分布式监控系统, 清华大学出版社
- [47] 高春雷, 基于 VB 的多线程实时测控系统的设计与实现, 河海大学学报, 2002年1月

作者在攻读硕士学位期间所发表的论文

1. 苏荣艳, 常久鹏, 邵力清, 邓康耀, 基于 CAN 总线的发动机测控系统接口通信卡的设计, 微计算机信息, 2005 年第一期[已发表]

致 谢

本篇论文是在常久鹏副教授和邓康耀教授的悉心指导下完成的。常久鹏副教授学识渊博而且待人谦和，在课题研究过程中给予极大帮助，不论是软件的编制，还是硬件电路的安排以及试验的调试都给予了指导和帮助，使我专业水平有了很大的提高。在此，我要衷心感谢常老师。

邓康耀教授治学严谨、虚怀若谷对本文提出了许多宝贵意见和建议，使我受益非浅。在此，我要衷心感谢邓老师。

在整个课题的研究期间，课题组的邵力清硕士给我提供了许多参考资料，在设计过程中给了我很大的帮助，这里，我也要深深感谢邵力清硕士。

另外，还要对实验室刘国庆主任、何方正高工表示最衷心的感谢。在他们的帮助指导下，我学到了许多新的思维方式和研究问题的方法，顺利的完成学位论文的试验，在此，对他们表示深深的感谢。

课题组的顾宏中教授，邬静川教授，郭中朝副教授，郁其祥副教授，尹琪副教授，朱仪伦副教授，崔毅副教授，杨世友副教授，程红老师在学习和生活上都给予过帮助，在此，一并表示感谢。

另外，学科组中的大家庭让我记忆深刻。这里要由衷感谢课题组的杜海硕士，韩娜硕士，徐俊馨硕士，张海波硕士，刘宇硕士，石磊博士，王希波博士，他们在作者的学习和研究生活中给予了大量的帮助；还有课题组的张凌彩硕士，童号硕士，夏慧鹏硕士，黄旭亮硕士，周振华硕士，陈源源硕士，彭海勇博士，陆霄露博士在学习生活中给予了帮助，在此表示感谢。

两年半的学习生活中，我的父母，哥嫂给了我无尽的关怀，支持，理解和鼓励，在此我要特别感谢他们。

最后，再次向所有关心和帮助过我的人们表示深深的谢意！

作者：苏荣艳