基于 AUTOSAR 的汽车故障诊断系统的设计与实现

（删减版）

浙江大学 ESE 工程中心 胡琦

火龙果•整理
uml.org.cn

分类号：TP319　　单位代码：10335

学　　号：20821045

硕 士 学 位 论 文

中文论文题目：**基于 AUTOSAR 的汽车故障诊断系统的设计与实现**

英文论文题目：**Design and Implementation of Vehicle Diagnostic System based on AUTOSAR**

申请人姓名：胡 琦

指导教师：潘 纲 副教授

合作导师：杨国青 博士

专业名称：计算机软件与理论

研究方向：嵌入式系统

所在学院：计算机科学与技术学院

火龙果•整理
uml.org.cn

A Dissertation Submitted to Zhejiang University for the Degree of Master of Engineering

TITLE: Design and Implementation of Vehicle Diagnostic System based on AUTOSAR

Author: Qi Hu

Supervisor: Prof. Gang Pan

Doctor. Guoqing Yang

Subject: Computer Software and Theory

College: Computer Science and Technology

火龙果•整理
uml.org.cn

浙江大学研究生学位论文独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 **浙江大学** 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：胡琦　　签字日期：2011 年 3 月 7 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 **浙江大学** 有权保留并向国家有关部门或机构送交本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权 **浙江大学** 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索和传播，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

学位论文作者签名：胡琦　　导师签名：潘纲

签字日期：2011 年 3 月 7 日　　签字日期：2011 年 3 月 7 日

火龙果•整理
uml.org.cn

摘要

随着汽车电子技术的发展，由于电子控制系统的复杂性，传统的汽车故障诊断开发和测试方法已经难以满足故障诊断在实时性、准确性和开发效率上的需求。AUTOSAR 为解决应用程序重复开发、移植困难的问题提供了一种新的手段，但还存在着配置繁琐、效率低下、占用资源过多、开发工具链不完善以及可参考的 AUTOSAR 解决方案稀少等问题。

本文在调研了目前世界主要汽车整车厂商、软件提供商以及硬件提供商所提供的 AUTOSAR 解决方案以及现有汽车故障诊断系统的基础上，探索性地按照 AUTOSAR 标准完成了基于 AUTOSAR 的汽车故障诊断的设计与实现，并使用硬件在环仿真技术搭建了故障诊断仿真测试环境。

本文首先基于目前汽车电子软件开发主流趋势 AUTOSAR，探索汽车故障诊断系统软件开发的新方法。在基于 AUTOSAR 开发故障诊断软件时，软件开发人员不需要关注底层硬件和通信的实现细节，只需要专注于软件本身功能的设计。然后基于上述方法和 OBD 诊断协议设计和实现了 AUTOSAR 中诊断通信管理和诊断事件管理两大核心模块，并实现了 7 个常用 OBD 服务。最后使用硬件在环仿真技术搭建了故障诊断仿真测试环境。OBD 诊断协议要求发动机电子控制单元诊断模块能够实时监测零部件和系统故障，并对各种故障状态做出相应反应并正确记录故障码。本文使用硬件在环技术完成仿真测试，能够节省大量时间和费用。不仅如此，硬件在环技术还可以在实车测试无法进行的极限条件下完成测试，而且测试是可重现和自动化的。

关键词： AUTOSAR，汽车故障诊断，On-Board Diagnostic，硬件在环仿真

火龙果•整理
uml.org.cn

Abstract

With the development of automotive electronics, the traditional developing and testing methods for vehicle diagnosis can hardly meet the demand of real-time, accuracy and efficiency of development. AUTOSAR has provided new methods for solving the repeated application development and portable problems. However, some drawbacks still exist, such as the cumbersome configuration, low efficiency, too much resources occupation, incomplete developing tools and few AUTOSAR solution references.

In this paper, we have investigated AUTOSAR solutions and vehicle diagnostic systems of the major vehicle manufacturers, software and hardware providers. Based on such investigations, we have accomplished the design and implementation of vehicle diagnostic system according to the AUTOSAR. Meanwhile, by using the hardware in the loop simulation technique, we have built the diagnosis simulation testing environment.

In this paper, firstly, we have explored a new method of software development for vehicle diagnostic system based on AUTOSAR—current mainstream trends in automotive electronics.When develop such diagnostic system, software developers do not need to concern about the realization of the underlying hardware and communication details, focusing on the design of software functions is just enough. Then, based on the above method and OBD diagnostic protocols, we have accomplished the diagnostic event manger (DEM) and diagnostic communication manger (DCM) which are the core modules in AUTOSAR diagnostic system. The seven common OBD services are implemented in the system. Finally, we use the hardware in the loop simulation technology to build a diagnostic simulation test environment. The OBD diagnostic protocols require the diagnostic module of the engine electronic control unit to real-time monitoring the components and systems malfunctions, correctly record fault code and make the appropriate reactions according to the fault conditions. This paper uses HIL technology to achieve simulation tests,

火龙果•整理
uml.org.cn

which can save considerable time and expense. Moreover, HIL can complete the test under extreme conditions which cannot be accomplished in real vehicle testing. All the tests are reproducible and automatic.

Keywords： AUTOSAR， Vehicle Diagnostic， On-Board Diagnostic， HIL

火龙果•整理
uml.org.cn

目录

摘要 i
Abstract ii
第 1 章 绪论 1
1.1 课题背景 1
1.2 国内外发展现状 2
1.2.1 国外汽车诊断技术的发展现状 3
1.2.2 国内汽车诊断技术的发展现状 4
1.2.3 汽车故障诊断技术的发展趋势 4
1.2.4 AUTOSAR 发展现状及趋势 5
1.3 课题研究内容及研究意义 7
1.4 本文结构 8
第 2 章 技术基础 9
2.1 AUTOSAR 9
2.1.1 AUTOSAR 体系结构介绍 9
2.2 汽车电控系统故障诊断介绍及原理 11
2.2.1 汽车电控系统故障诊断原理 11
2.2.2 汽车故障诊断协议 12
2.2.3 AUTOSAR 诊断功能 12
2.3 硬件在环故障注入技术 15
2.4 本章小结 17
第 3 章 故障诊断系统及仿真测试环境总体设计 18
3.1 ECU 软件 19
3.1.1 诊断功能模块 ..... 错误！未定义书签。
3.1.2 诊断算法模块 ..... 错误！未定义书签。
3.1.3 发动机管理模块 ..... 错误！未定义书签。
3.1.4 AUTOSAR 操作系统 ..... 错误！未定义书签。
3.1.5 AUTOSAR 通信协议栈 ..... 错误！未定义书签。
3.2 上位机软件 19
3.3 硬件在环故障注入单元 19
3.4 本章小结 19
第 4 章 AUTOSAR 诊断功能模块的设计与实现 20
4.1 诊断通信管理模块 ..... 错误！未定义书签。
4.1.1 数据结构 ..... 错误！未定义书签。
4.1.2 关键功能操作流程 ..... 错误！未定义书签。
4.1.3 重要接口的设计与实现 ..... 错误！未定义书签。
4.2 诊断事件管理模块 ..... 错误！未定义书签。

火龙果•整理
uml.org.cn

4.2.1 数据结构 ..... 错误！未定义书签。
4.2.2 诊断机制 ..... 错误！未定义书签。
4.2.3 诊断事件的处理与存储 ..... 错误！未定义书签。
4.3 本章小结 ..... 错误！未定义书签。
第 5 章 上位机诊断软件的设计与实现 21
5.1 CAN 通信模块设计与实现 ..... 错误！未定义书签。
5.1.1 CAN 通信驱动层 ..... 错误！未定义书签。
5.1.2 AUTOSAR 模拟通信协议层 ..... 错误！未定义书签。
5.2 本章小结 ..... 错误！未定义书签。
第 6 章 仿真测试环境的设计与实现 22
6.1 故障模拟算法模型 ..... 错误！未定义书签。
6.1.1 氧传感器老化 ..... 错误！未定义书签。
6.1.2 氧传感器信号电压超出范围 ..... 错误！未定义书签。
6.1.3 氧传感器活性不足 ..... 错误！未定义书签。
6.2 故障诊断算法 ..... 错误！未定义书签。
6.2.1 氧传感器老化故障诊断 ..... 错误！未定义书签。
6.2.2 氧传感器信号电压超出范围故障诊断 ..... 错误！未定义书签。
6.2.3 氧传感器活性不足故障诊断 ..... 错误！未定义书签。
6.3 本章小结 ..... 错误！未定义书签。
第 7 章 故障诊断系统的测试与实验 23
7.1 OBD 服务$01—读取当前排放相关数据 24
7.2 OBD 服务$06—氧传感器监测 26
7.3 读取故障数据 30
7.3.1 OBD 服务$03—故障码读取 30
7.3.2 OBD 服务$02—冻结帧数据读取 31
7.3.3 电子节气门故障检测 32
7.3.4 氧传感器故障检测 33
7.4 OBD 服务$04—清除故障码 34
7.5 OBD 服务$09—读取车辆信息 35
7.6 本章小结 37
第 8 章 总结与展望 39
8.1 工作总结 39
8.2 工作展望 40
参考文献 41
攻读硕士学位期间主要的研究成果 44
致谢 45

火龙果•整理
uml.org.cn

图目录

图 1-1 AUTOSAR 成员（截至 2009 年 11 月） 6
图 2-1 AUTOSAR 体系架构 9
图 2-2 AUTOSAR CAN 诊断相关模块 13
图 2-3 DCM 模块所遵循的标准 15
图 2-4 硬件在环工作原理示意图 16
图 3-1 故障诊断系统及仿真测试环境总体设计 18
图 3-2 DTC 格式 ..... 错误！未定义书签。
图 3-3 电控汽油机 ECU 控制原理 ..... 错误！未定义书签。
图 3-4 AUTOSAR COM 体系架构 ..... 错误！未定义书签。
图 4-1 DCM 启动序列图 ..... 错误！未定义书签。
图 4-2 处理当前请求 ..... 错误！未定义书签。
图 4-3 返回积极响应 ..... 错误！未定义书签。
图 4-4 返回消极响应 ..... 错误！未定义书签。
图 4-5 Dcm_ProvideRxBuffer 流程 ..... 错误！未定义书签。
图 4-6 Dcm_ProvideTxBuffer 流程 ..... 错误！未定义书签。
图 4-7 Events in a row counter ..... 错误！未定义书签。
图 4-8 Events up-down-counter ..... 错误！未定义书签。
图 4-9 Count-in–Count-out/Jump-in ..... 错误！未定义书签。
图 4-10 基于时间的算法 ..... 错误！未定义书签。
图 5-1 CAN 通信驱动层接口库函数使用流程 ..... 错误！未定义书签。
图 5-2 将发送数据封装成 CAN 帧的流程图 ..... 错误！未定义书签。
图 5-3 解析 CAN 帧并提取字节数据的流程图 ..... 错误！未定义书签。
图 6-1 氧传感器正常波形 ..... 错误！未定义书签。
图 6-2 氧传感器正常波形在 Simulink 中的设置 ..... 错误！未定义书签。
图 6-3 氧传感器故障模拟算法模型整体设计 ..... 错误！未定义书签。
图 6-4 氧传感器信号电压响应速度过低波形 ..... 错误！未定义书签。
图 6-5 氧传感器信号电压响应速度过低波形在 Simulink 中的设置错误！未定义书签。
图 6-6 氧传感器信号电压偏低波形 ..... 错误！未定义书签。
图 6-7 氧传感器信号电压偏高波形 ..... 错误！未定义书签。
图 6-8 氧传感器信号电压超出范围波形在 Simulink 中的设置错误！未定义书签。
图 6-9 氧传感器活性不足 ..... 错误！未定义书签。
图 6-10 氧传感器活性不足波形在 Simulink 中的设置 ... 错误！未定义书签。
图 7-1 汽车故障诊断实验平台 23
图 7-2 OBD 服务$01CANTest 数据 26

火龙果•整理
uml.org.cn

图 7-3 OBD 服务$01 上位机显示结果 26
图 7-4 TID 测试结果计算图 27
图 7-5 氧传感器检测 CANTest 数据 29
图 7-6 氧传感器检测上位机显示结果 30
图 7-7 故障码和冻结帧数据 33
图 7-8 氧传感器老化故障 CANTest 数据 34
图 7-9 氧传感器老化故障上位机检测结果 34
图 7-10 清除故障码 CANTest 数据 35
图 7-11 读取车辆信息 CANTest 数据 37
图 7-12 读取车辆信息上位机显示结果 37

火龙果•整理
uml.org.cn

表目录

表 2-1 AUTOSAR 支持的 OBD 服务 14
表 4-1 外部数据结构类型 ..... 错误！未定义书签。
表 4-2 内部数据结构类型 ..... 错误！未定义书签。
表 4-3 诊断事件处理与存储需要调用的接口 ..... 错误！未定义书签。
表 5-1 CAN 通信驱动层重要接口 ..... 错误！未定义书签。
表 5-2 AUTOSAR COM 中各种类型帧的结构 ..... 错误！未定义书签。
表 5-3 各种类型帧的 N_PCI 代表的意义 ..... 错误！未定义书签。
表 5-4 N_PCItype 所代表的各种意义 ..... 错误！未定义书签。
表 7-1 OBD 服务$01 的请求报文格式 24
表 7-2 OBD 服务$01 的应答报文格式 25
表 7-3 标准的 TID 描述 27
表 7-4 OBD 服务$06 的请求报文格式 27
表 7-5 OBD 服务$06 的应答报文格式 28
表 7-6 OBD 服务$06 的应答报文格式 28
表 7-7 OBD 服务$03 的请求报文格式 30
表 7-8 OBD 服务$03 的返回报文格式 31
表 7-9 OBD 服务$02 的请求报文格式 31
表 7-10 OBD 服务$02 的返回报文格式 31
表 7-11 OBD 服务$04 的请求报文格式 35
表 7-12 OBD 服务$04 的应答报文格式 35
表 7-13 OBD 服务$09 的请求报文格式 35
表 7-14 OBD 服务$09 的应答报文格式 36
表 7-15 OBD 服务$09 的应答报文格式 36

火龙果•整理
uml.org.cn

第1章 绪论

1.1 课题背景

据相关部门统计，目前全世界每三分钟就有一辆汽车下线。汽车的出现，大大缩短了地域间的距离，极大地推动了人类社会的发展。经过一个多世纪的发展，汽车已经成为现代社会最普遍的交通工具之一，汽车产业已经逐步成为各发达国家的支柱产业。在中国，2010 年初中国汽车工业协会数次调整预测，将中国汽车产销定位在 1700 万辆，然而中国汽车产业发展势头之迅猛让人难以预料。2010 年，中国汽车市场销售成绩已稳超 1800 万辆，交出了令人兴奋的答卷。中国汽车产业正面临着前所未有的机遇与挑战。

二十世纪七十年代以后，电子技术领域的集成电路、大规模集成电路，尤其是超大规模集成电路的发展，为汽车提供了功能更强大、性能更可靠、成本更低的汽车电子控制系统。伴随着电子和信息技术的发展，汽车已经由传统的机械控制发展为先进的电子控制，由传统的机械式系统发展成为分布式、智能式的电子信息式系统。汽车电子化被认为是汽车工业发展进程中的一次革命，同时汽车信息化大大提高了汽车的舒适性和易用性，使得汽车性能越来越强大，成本越来越低。汽车电子信息化程度成为了衡量一个国家汽车产业水平的重要标志。与此同时，汽车电子控制系统的高度电子信息化，也带来了新的问题[1]。

首先，汽车不断朝着高可靠性、高智能化的方向发展。在汽车电子控制系统中，软件是其重要的组成部分。随着汽车不断朝着高可靠性、高智能化的方向发展，对汽车电子软件开发工具的要求越来越高。此外，汽车的高可靠性、高智能化对汽车电子控制系统控制精度和实时性要求越来越高，系统内部采用的控制和诊断算法越来越复杂，使得汽车电子控制软件的开发同样变得日益困难。

其次，随着汽车不断朝着高可靠性、高智能化的方向发展，汽车中使用的电子控制单元越来越多，电子控制系统算法也越来越复杂，控制精度要求越来越高，因此系统中任意一个部件的故障（除了一些简单的机械故障以外，还包括了更多

火龙果•整理
uml.org.cn

的电子控制系统故障）都可能导致整个系统的故障。对于这些故障，由于电子控制系统的复杂性，传统的汽车诊断和维修的方法难以满足故障诊断在实时性和准确性上的需求。汽车维修者需要具备相当丰富的汽车电子控制基础知识和经验，才能准确地定位和处理相应的故障。汽车故障的定位和处理成为了越来越困难的问题。

为了增强汽车电子控制系统软件的功能，提高车用电子控制系统软件的可重用性，增强系统软件的可配置性，加快汽车电子控制系统软件的开发效率，改善系统软件的可靠性和稳定性，由全球汽车制造商、部件供应商及其他电子、半导体和软件系统公司联合推出了汽车开放系统架构标准 AUTOSAR（AUTomotive Open System ARchitecture），其目的是为汽车电子软件开发提供开放的、标准化的软件架构[2]。AUTOSAR 的出现不仅解决了汽车电子软件开发中遇到的问题，也解决了目前汽车电子控制系统故障诊断所遇到的问题。

1.2 国内外发展现状

汽车故障诊断技术的发展大致经历了三个阶段[3]：

第一阶段(二十世纪七十年代～八十年代初)，此阶段为人工故障检验阶段。在这一阶段里，汽车维修人员主要修车方式是采用手摸、眼看、耳听等传统方式，再加上自己以往的经验和纯手工工具来判断和排除汽车的故障。这种纯手工的诊断方法对汽车维修工程师的经验有相当高的要求，并且不能保证诊断的准确性。

第二阶段(二十世纪八十年代初～八十年代末)，此阶段开始使用故障诊断仪器进行检测。在这一阶段里，故障诊断仪器被广泛应用于对故障诊断信息的采集过程中。使用故障诊断仪器设备采集故障诊断信息，虽然大大提高了诊断的效率和准确性，但是还不能够进行故障判断。因此，仍然要求汽车维修工程师具备丰富的经验，并且诊断的正确性较低。

第三阶段(二十世纪八十年代末至今)，此阶段使用专业的综合性故障诊断仪器进行检测。专业的综合性故障诊断仪器设备最大的特点是自动化、智能化，它能够完成从故障数据信息采集、故障判断与定位以及故障码读取与清除等一系列

火龙果•整理
uml.org.cn

功能，从而大大降低了故障诊断对维修工程师经验的依赖性，减轻了维修工程师的工作负担，提高了故障诊断和修理的工作效率。

1.2.1 国外汽车诊断技术的发展现状

二十世纪中叶，随着汽车工业技术的进步，在欧美等一些先进的汽车工业国家汽车诊断技术发展迅速，并且大量应用了声光电以及物理、化学与机械相结合的诊断技术。此外，随着计算机科学和技术的发展，汽车故障诊断系统功能更加强大，使用更为方便。

二十世纪中叶以来，欧美等先进国家的汽车工业飞速发展，随着汽车保有量的急剧增加，汽车安全和环境污染问题日益突出，使得这些国家相继出台了有关汽车安全、排放的相应法规，各主要汽车生产厂家也普遍开始重视汽车的安全性和环保性。同时，为了更加快速和准确地对故障车辆进行诊断和维修，美国开始发展 OBD（On-Board Diagnostic）[4, 5]技术。初期的 OBD 诊断技术是通过恰当的技术方式提醒驾驶员发生的失效或是故障，之后德国和日本等国家开始引入 OBD 诊断技术[6]。OBD 诊断技术通过对故障码(Diagnostic Trouble Code,以下简称 DTC)的存储与读取，控制汽车仪表板上的故障指示灯的亮灭状态，反映系统的工作状况，并通过记录的故障码检测故障发生的位置和原因。1972 年，在美国旧金山召开的第一次国家汽车安全会议上，德国大众汽车公司首先推出了基于微型计算机的汽车故障诊断仪器，该仪器通过在车辆上装备的诊断用传感器，然后使用通信线路与计算机连接，能进行 88 个诊断项目的诊断。随后，各国相继推出类似诊断设备和仪器。这些设备在发动机控制单元（Engine Control Unit，以下简称 ECU）内部设有简单的故障诊断程序，该程序通过不断采集相关传感器和发动机工作参数来判断车辆是否出现故障。当故障诊断程序检测出故障，会将故障状态以故障码的方式保存在 ECU 的只读存储器（Read Only Memory，以下简称 ROM）中，并点亮相应的故障指示灯提示驾驶者。当驾驶人员将故障车辆送往汽车维修厂时，维修人员可以通过上述的故障诊断设备和仪器通过诊断数据口读取故障码，并查询相关的故障码手册确定故障产生的位置与原因，进而进行诊断和维修。这

火龙果•整理
uml.org.cn

些仪器和设备的出现，大大推动了汽车诊断技术的发展。但是还存在着诊断数据简单、故障码不规范以及故障码手册不准确等问题，因此大部分实际故障诊断工作仍需要凭借维修工程师的经验来完成。

二十世纪八十年代后，基于串行通信口的车外故障诊断工具得到迅速发展，车外离线诊断通过串口与车内 ECU 进行诊断数据信息交互。维修工程师使用能与 ECU 进行串行通讯的诊断仪器，读出 ECU 中的所记录的故障码。这种工具可以准确获得汽车故障信息，从而判断发生故障的位置和原因，使得诊断功能有较大的提高。如 1986 年美国通用汽车公司推出 TECH-1 型汽车诊断仪；1987 年日本丰田汽车公司和三菱汽车公司分别推出了诊断检测仪和多用途故障诊断试验仪；1989 年日本同产公司也推出了故障阅读仪[6]。

1.2.2 国内汽车诊断技术的发展现状

我国汽车故障诊断技术开始于二十世纪六十年代，汽车故障诊断技术的发展经历了一个渐进的过程。二十世纪八十年代以来，汽车诊断技术，尤其是检测设备的研制开发和生产得到了快速发展，缩小了与工业发达国家的差距，但与世界先进水平相比，还有一定的差距。国内汽车故障诊断主要集中在专用的诊断和检测仪器的开发上，缺乏综合性的汽车诊断系统，并且没有提出车内的在线汽车故障诊断标准[7]。

2005 年 4 月 5 日，国家环保总局发布批准《轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国 III、IV 阶段）》等五项标准为国家污染物排放标准。OBD 作为强制性要求首次出现在我国的法规标准中。但是此项标准中的 OBD 部分基本照搬了欧盟的标准[8]。

1.2.3 汽车故障诊断技术的发展趋势

国内外的研究表明，汽车故障诊断技术正在朝着智能化、网络化的方向发展，诊断方式已由车内诊断与车外诊断相互独立走向相互结合[7]。OBD-II 虽然可以诊断出排放相关故障，但是无法保证在发生故障时，及时地对车辆故障进行修复。

火龙果•整理
uml.org.cn

为了解决这个问题，以无线传输故障信息为主要特征的 OBD-III 系统发展迅速。OBD-III 系统能够利用车载无线通信系统，通过各种无线传输方式（如无线蜂窝通信、卫星通信或者 GPS 系统）将车辆的识别码、故障码及所在位置等信息自动发送给诊断信息中心。诊断信息中心接收到该车辆排放问题的信息时，向对其回复相应指令，包括维修建议，排放问题解决时限等内容。目前 OBD-III 仍然处于发展阶段。

此外，人工智能的发展为汽车智能故障诊断技术的发展奠定了基础，出现了汽车故障诊断专家系统。二十世纪八十年代中后期，国外对汽车故障诊断专家系统进行了大量的研究，通过这些系统的试运行和实车应用，部分诊断专家系统已经走向成熟和实用化[9]。

1.2.4 AUTOSAR 发展现状及趋势

AUTOSAR（AUTomotive Open Systems Architecture，汽车开放系统架构，以下简称 AUTOSAR）成立于 2003 年，由全球汽车制造商、部件供应商及其他电子、半导体和软件系统公司联合建立，致力于为汽车电子开发建立一个开放的、标准化的软件架构。AUTOSAR 为复杂的汽车电子软件系统提供了基础软件平台，此外它还定义了一套支持分布式的、功能驱动的汽车电子软件开发方法和电子控制单元上的软件架构标准化方案，以便应用于不同的汽车平台，提高软件复用，降低开发成本。基于 AUTOSAR 的汽车电子软件具有良好的可移植性和可扩展性，并且可以有效地实现软件的重用。AUTOSAR 可以有效地减少软件的开发周期，提高软件质量，在确保产品及服务质量的同时，提高了开发效率。

AUTOSAR 自面世以来，从全球汽车制造商、部件供应商到其他电子、半导体和软件系统公司，整个汽车领域都给予该标准积极的推动。这使得 AUTOSAR 组织的规模不断壮大，如图 1-1 所示。目前，AUTOSAR 包括九个核心成员：宝马、博世、大陆、戴姆勒、福特、通用、标志-雪铁龙、丰田、大众，目前其成员已超过 150 个。

火龙果•整理
uml.org.cn

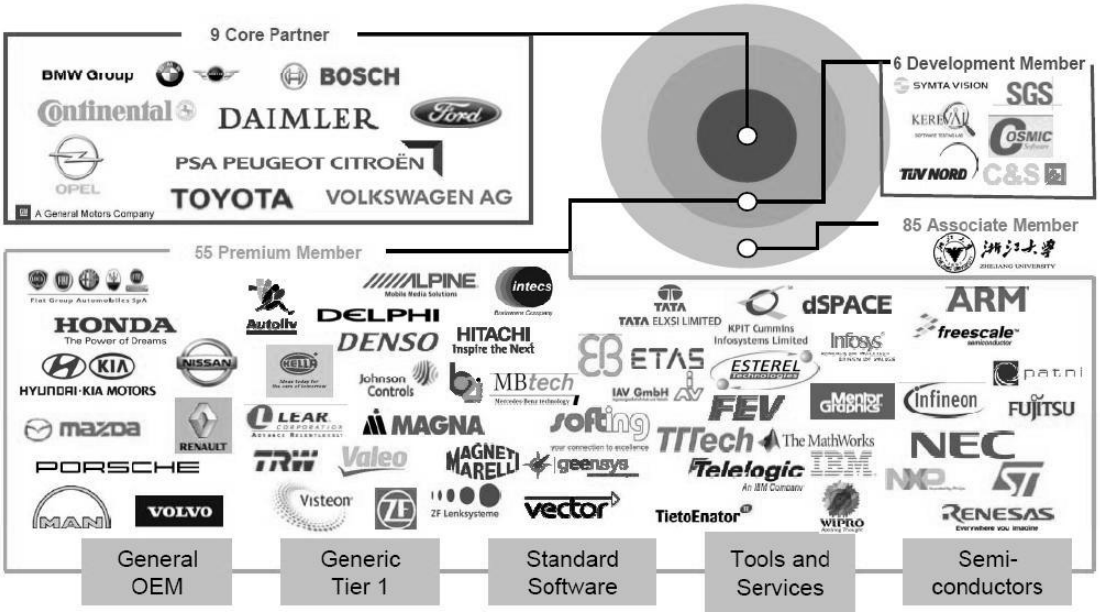

图 1-1 AUTOSAR 成员（截至 2009 年 11 月）

2009 年上市的全新宝马 7 系实现了基于 AUTOSAR 开发的 ECU 在量产车型上的应用。宝马公司应用 AUTOSAR 架构设计和实现了新宝马 7 系汽车的车载网络、系统内存管理以及大部分的系统诊断功能，此外在基础软件层面以及应用软件层面都运用了 AUTOSAR [10]。

其他众多汽车厂商与软件公司也已经开始尝试基于AUTOSAR的汽车电子软件开发。2007 年大众汽车公司与 HELLA、MathWorks、ElektroBit、NEC 等公司合作，实现了一个兼容 AUTOSAR 的车身舒适控制器，并装配在大众的帕萨特轿车中[11]；2007 年 ETAS 公司开始探索 AUTOSAR 开发流程，并使用该公司的 ASCET 和 INTECRIO 等开发工具，并应用了 ERCOSEK 操作系统，成功地将一款宝马 5 系的发动机管理系统迁移到 AUTOSAR 框架中[12]；2008 年德尔福（Delphi）公司使用基于模型的开发方法开发兼容 AUTOSAR 的外车灯控制系统[13]；2008 年 10 月 NEC 电子与法国汽车电子软件开发企业 Geensys 合作，共同开发支持 AUTOSAR 标准的软件平台[14]；2009 年 Magneti Marelli 将已有的应用往 AUTOSAR 移植，其中包括了自动变速器控制，并在实践过程中展开了对软件组件实现时的时间和空间性能的分析[15]。

为了紧跟国际先进汽车电子软件发展的方向，掌握 AUTOSAR 标准以及相应

火龙果•整理
uml.org.cn

开发方法，国内整车厂中已有一汽和上汽加入了 AUTOSAR 组织，此后浙江大学也加入了 AUTOSAR 组织。浙江大学作为国内 AUTOSAR 会员中唯一一家高校，长期致力于汽车电子领域的研究与开发，以期在未来打造具有中国自主知识产权的汽车电子软件开发平台。

1.3 课题研究内容及研究意义

随着汽车电子技术的发展，由于电子控制系统的复杂性，传统的汽车故障诊断开发和测试方法已经难以满足故障诊断在实时性、准确性和开发效率上的需求。AUTOSAR 为解决应用程序重复开发、移植困难的问题提供了一种新的手段，但还存在着配置繁琐、效率低下、占用资源过多、开发工具链不完善以及可参考的 AUTOSAR 解决方案稀少等问题，目前国内外还没有基于 AUTOSAR 进行开发的汽车故障诊断系统。

本文在调研了目前世界主要汽车整车厂商、软件提供商以及硬件提供商所提供的 AUTOSAR 解决方案以及现有汽车故障诊断系统的基础上，探索性地按照 AUTOSAR 标准完成了基于 AUTOSAR 的汽车故障诊断的设计与实现，并使用硬件在环仿真技术搭建了故障诊断仿真测试环境。

本文主要内容和贡献在于：

1. 探索基于 AUTOSAR 的汽车故障诊断系统开发方法。

本文基于目前汽车电子软件开发主流趋势 AUTOSAR，探索汽车故障诊断系统软件开发的新方法。由于汽车电子领域的特殊性，在传统开发方法中，故障诊断软件的设计需要考虑从整体架构设计到底层硬件实现的所有细节。在基于 AUTOSAR 开发故障诊断软件时，软件开发人员不需要关注底层硬件和通信的实现细节，只需要专注于软件本身功能的设计。探索这种新的汽车电子软件开发方法，将大大提高汽车故障诊断系统软件的开发效率。

2. 基于上述方法设计并实现了基于 OBD 诊断协议的 AUTOSAR 诊断功能模块。

诊断通信管理模块和诊断事件管理模块是实现 AUTOSAR 诊断功能的核心模

火龙果•整理
uml.org.cn

块。OBD 诊断协议是目前主流的汽车故障诊断协议。在 AUTOSAR（Version 3.1）中，诊断功能共支持 9 个 OBD 服务。本文基于 AUTOSAR，实现了诊断通信管理和诊断事件管理两大核心模块，并实现了 7 个常用 OBD 服务。

3. 使用硬件在环仿真技术搭建了故障诊断仿真测试环境。

OBD 诊断协议要求发动机电子控制单元诊断模块能够实时监测零部件和系统故障，并对各种故障状态做出相应反应并正确记录故障码。使用传统的汽车故障诊断系统测试方法，需要通过更改接线产生汽车系统各部件的各种故障，因而对诊断模块进行全面功能测试的工作量非常巨大。本文使用硬件在环技术完成仿真测试，从而能够节省大量时间和费用。不仅如此，HIL 还可以在实车测试无法进行的极限条件下完成测试，而且测试是可重现和自动化的。

1.4 本文结构

本文主要内容和结构安排如下：

第一章为绪论。该章节说明了论文的课题背景，简要说明了国内外汽车电子软件开发方法以及汽车故障诊断系统的发展现状与趋势。

第二章介绍了 AUTOSAR 体系结构、开发的技术基础、汽车电控系统故障诊断原理和协议以及硬件在环仿真技术，阐述了本文所需要的研究基础。

第三章为本文汽车故障诊断系统的整体设计。说明了该系统的整体设计方案以及各个模块的主要功能。

第四章说明了 AUTOSAR 诊断功能模块的设计与实现。重点说明了 AUTOSAR 诊断功能两大核心模块—诊断通信管理模块以及诊断事件管理模块的设计与实现以及相关工作机制。

第五章说明了上位机诊断软件的设计与实现。

第六章以氧传感器为例，说明了仿真测试环境的设计与实现。重点说明了故障模拟算法模型的建立方法以及故障诊断算法的设计与实现。

第七章为本文所实现的汽车故障诊断系统的测试和应用。

第八章为工作总结和展望，总结了本文的工作，并对未来工作进行展望。

火龙果•整理
uml.org.cn

第2章 技术基础

2.1 AUTOSAR

汽车工业技术的飞速发展使得汽车新功能不断增加，汽车电子软件的开发变得越来越复杂。同时，故障诊断之类的非功能性需求的引入，进一步加剧了汽车电子软件开发的复杂度。

AUTOSAR 的建立，旨在增强车用电子控制系统软件的功能，提高车用电子控制系统软件的可重用性，增强系统软件的可配置性，改善系统软件的可靠性和稳定性，为汽车电子软件开发提供开放的、标准化的软件架构。

2.1.1 AUTOSAR 体系结构介绍

AUTOSAR 的目标是实现汽车电子软件系统的基本功能，并标准化功能接口，使得软件模块易于集成和复用，切实提高软件的更新和开发的效率。为了实现这个目标，AUTOSAR 按照层次化、模块化的软件开发和设计思想，将 ECU 软件架构分成了应用层（Application Layer）、运行时环境（Runtime Environment，RTE）层以及基础软件（Basic Software，BSW）层[16]，如图 2-1 所示。

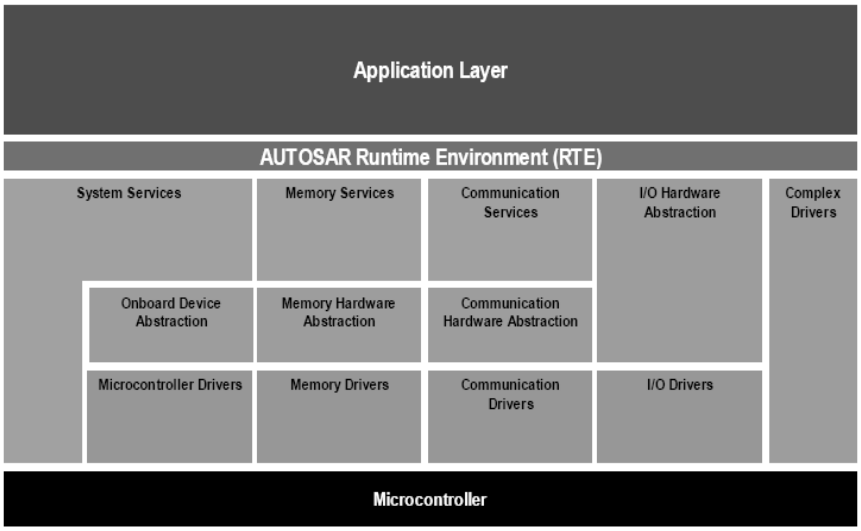

图 2-1 AUTOSAR 体系架构

火龙果•整理
uml.org.cn

2.1.1.1 应用层（Application Layer）

在 AUTOSAR 中，应用程序由一组通过虚拟功能总线相互连接的软件组件（Software Component，以下简称 SWC）组成。每个 SWC 包含一个或多个端口(Port)，SWC 之间通过端口连接。运行实体(Runnable Entity，以下简称 RE)是 SWC 中的最小代码片段，最终 RE 将被映射到具体的操作系统任务（Task）中，由操作系统进行调度，完成相应的功能[17]。为了支持系统的集成，AUTOSAR 引入了虚拟功能总线（Virtual Function Bus，以下简称 VFB）[18]，VFB 使应用软件在设计时不依赖于底层的硬件和通信机制，软件开发人员得以专注于软件本身功能的设计。SWC 需要通过 VFB 进行软件组件间的通信以及访问 ECU 的硬件资源，从而使得应用层软件实现不依赖于底层硬件的实现，大大提高了应用软件的可移植性。

2.1.1.2 RTE 层（Runtime Environment）

运行时环境（Runtime Environment，以下简称 RTE）是 AUTOSAR 架构的核心，它是 VFB 的具体实现。RTE 将本地 ECU 上所有 SWC 中的 RE 映射到操作系统中的任务里，并负责建立起 RE 之间的通信。同时，如果 RE 被映射到不同 ECU 上，那么 RTE 也需要负责这些 RE 间的通信。RTE 实现了应用程序和基础软件之间的分离，并为应用层 SWC 之间提供通信服务，是单 ECU 系统或者多 ECU 系统内部 SWC 之间通信的桥梁[19]。RTE 定义了应用层 SWC 之间以及应用层 SWC 与基础软件模块之间数据通信的接口，标准化了对 I/O、存储和其它基本服务访问的接口，使得应用程序独立于底层硬件特性。

2.1.1.3 基础软件层（Basic Software）

基础软件层向 AUTOSAR 应用层软件组件提供基础的服务，主要包括底层硬件驱动、总线和网络通信、实时任务调度以及汽车故障诊断等底层服务。基础软件层包含了大约 80 个基础软件模块。基础软件层自底向上分为微控制器抽象层（Microcontroller Abstraction Layer）、ECU 抽象层（ECU Abstraction Layer）和服

火龙果•整理
uml.org.cn

务层（Service Layer），以及复杂驱动层（Complex Device Driver，CDD）。

应用程序可以通过复杂驱动层直接访问微控制器硬件资源，从而实现一些复杂的传感器和控制器操作，如喷油和点火控制等复杂的特定操作。复杂驱动层可以用于实现 AUTOSAR 不支持或者未标准化的硬件资源，同时可以满足了某些特定操作的实时性要求。

2.2 汽车电控系统故障诊断介绍及原理

2.2.1 汽车电控系统故障诊断原理

完整的故障诊断系统包括两个部分：车内在线诊断系统—此系统用于监测车身内部的传感器和电子控制单元的工作情况，并根据这些数据信息自动检测系统故障，并将故障以故障代码的形式保存，同时点亮相应故障灯提醒驾驶人员；车外离线诊断系统—此系统通过向车内在线诊断系统发送服务请求，读取相应的故障码信息以及清除故障码，并完成诊断协议提供的其他服务。将车内在线诊断系统和车外离线诊断系统配合使用，就可以对汽车故障进行完整地诊断。

当前，整车厂和供应商采用车内在线诊断和车外离线诊断相结合的诊断方法。汽车电控系统故障诊断过程包括以下两个步骤[20]：

第一步是车内在线诊断系统通过 ECU 内部软硬件功能模块实现自诊断。在汽车运行过程中，车内诊断诊断系统实时监控汽车电子控制系统各组成部分的工作状态，从而检测电子控制系统中的故障。在检测出故障时，车内诊断系统一方面向驾驶员发出警告（比如点亮故障指示灯），另一方面将故障代码及相关数据存入 ECU 内部的非易失存储器内。

第二步是故障车辆被送往汽车维修厂，维修人员通过车外离线诊断设备读取车内诊断系统所存储的诊断信息（比如 DTC），从而判断故障发生的位置和原因。实现车外离线诊断的关键在于如何实现诊断设备和 ECU 之间的诊断服务和通信机制，即制定规范的诊断协议。

火龙果•整理
uml.org.cn

2.2.2 汽车故障诊断协议

诊断协议标准主要分为两种体系：ISO（International Standards Organization）和 SAE（Society of Automotive Engineers）。美国使用 SAE 标准体系，美国之外的多数国家（包括中国）使用 ISO 标准体系。在乘用车领域，OEM 正从自定义诊断协议，逐渐转向 ISO 标准。在商用车领域，OEM 沿用 SAE 诊断，欧洲 OEM 在此基础上增加了 ISO 诊断[21]。

从二十世纪八十年代起，美、日、欧等各大汽车制造企业开始在其生产的电喷汽车上配备 OBD，初期的 OBD 没有自检功能。二十世纪九十年代中期，美国汽车工程师协会（SAE）制定了比 OBD 更先进的 OBD-Ⅱ，并要求各汽车制造企业按照 OBD-Ⅱ的标准提供统一的诊断服务。OBD-Ⅱ在线诊断系统的一个最大的特点就是统一了数据传输协议和诊断模式，OBD-Ⅱ标准规定了多种通信协议，分别为：CAN、ISO9141、KWP2000、SAEJ1850（PWM）、SAEJ1850（VPW）。二十世纪九十年末开始，进入北美市场的汽车都按照新标准配置了 OBD。

从 2006 年 1 月 1 日开始，北京已经率先实施了国家机动车第三阶段排放标准（国III标准）。2009 年 12 月 1 日，我国环境保护部发布了国家环境保护标准《轻型汽车车载诊断（OBD）系统管理技术规范》，并于 2010 年 2 月 1 日起实施。此标准的实施将实现对轻型车 OBD 系统从生产到使用全过程的有效监督和检验，确保 OBD 系统能够发挥监控汽车污染物排放状况、促使车辆持续达标的作用，同时也将促进 OBD 系统及整车的技术进步和相关行业的健康发展[22]。

2.2.3 AUTOSAR 诊断功能

AUTOAR 汽车电子软件架构中和诊断相关的模块如图 2-2 所示。

火龙果•整理
uml.org.cn

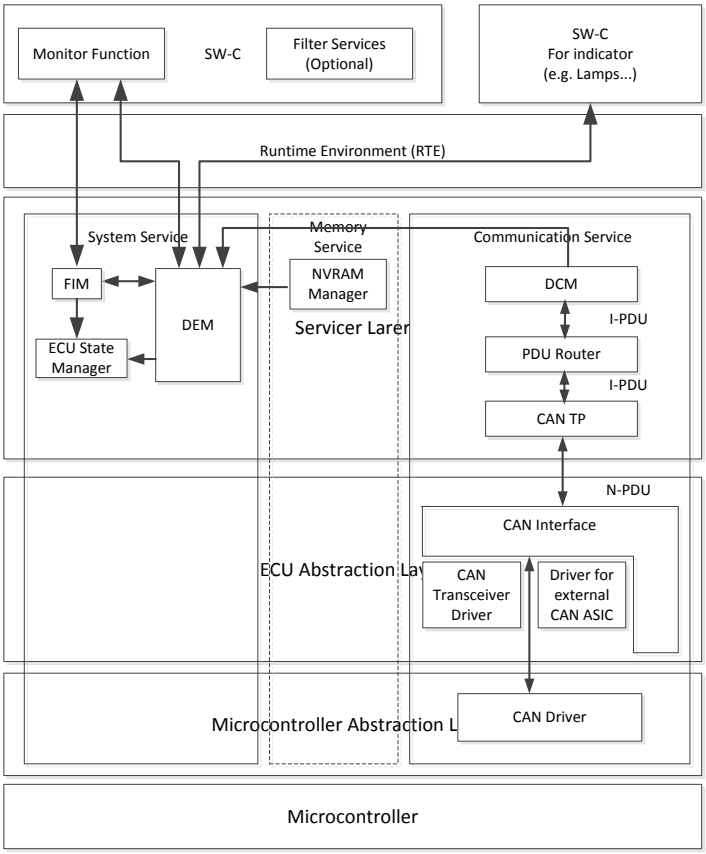

图 2-2 AUTOSAR CAN 诊断相关模块

FIM 模块的作用是根据 DEM（Diagnostic Event Manager）报告的事件状态使能或禁止软件组件内部的功能实体[23]。PDU Router（协议数据单元路由器）模块负责转发 DCM（Diagnostic Communication Manager）和 CAN TP（CAN Transport Layer）之间的 I_PDU（交互层协议数据单元），不对数据进行任何修改[24]。CAN Interface 模块、CAN Driver 模块和 CAN Transceiver 模块负责 L_PDU（数据链路层协议数据单元）的底层传输。其中，DCM 和 DEM 是实现 AUTOSAR 诊断功能的核心模块。

目前，AUTOSAR Version 3.1 诊断功能共支持 9 个 OBD 服务。参照表 2-1 可知，AUTOSAR 不支持 OBD 诊断标准中的 0x05 服务（请求氧传感器监测结果），原因在于基于 CAN 总线的 0x05 服务可以通过 0x06 服务实现。

火龙果•整理
uml.org.cn

表 2-1 AUTOSAR 支持的 OBD 服务

服务标识符	描述
0x01	Request current powertrain diagnostic data 根据 PID 读取对应排放相关的数据，如模拟或数字输入/输出数据，且为其实际读取值
0x02	Request powertrain freeze frame data 读取 PID 对应排放相关的冻结帧数据，如厂商自定义数据
0x03	Request emission-related diagnostic trouble codes 读取排放相关故障码，需要与 0x01 服务结合使用
0x04	Clear/reset emission-related diagnostic information 清除/复位排放相关的故障信息，如故障码、冻结帧
0x06	Request on-board monitoring test results for specific monitored systems 请求规定监控系统的 OBD 线监控结果，包括持续监控结果（如失火）和非持续监控结果（如催化系统）
0x07	Request emission-related diagnostic trouble codes detected during current or last completed driving cycle 主要用于汽车维修后的测试工作
0x08	Request control of on-board system, test or component 请求控制在线系统、测试或部件
0x09	Request vehicle information 请求车辆信息，如车辆识别码，标定标识符等
0x0A	Request emission-related diagnostic trouble codes with permanent status 请求排放相关的故障码

2.2.3.1 诊断通信管理模块（Diagnostic Communication Manager）

如图 2-3，DCM 模块遵循 ISO 14229-1、ISO 15031-5、ISO 15765-4 和 SAE J1979 标准，能直接处理 0x10、0x27 和 0x3E 服务。DCM 收到 AUTOSAR 支持的 OBD 服务请求时，通过调用 DEM、应用层软件组件或者其他基础软件模块提供的接口进行处理[25]。

火龙果•整理
uml.org.cn

OSI-Layer	Protocols				
7	UDS-Protocol – ISO14229-1				Legislated OBD – ISO15031-5
6	-	-	-	-	-
5	ISO15765-3	-	-	-	ISO 15765-4
4	ISO15765-2	-	-	-	-
3	ISO15765-2	-	-	-	ISO 15765-4
2	CAN-Protocol	LIN-Protocol	FlexRay	MOST	ISO 15765-4
1	CAN-Protocol	LIN-Protocol	FlexRay	MOST	ISO 15765-4

图 2-3 DCM 模块所遵循的标准

AUTOSAR 建议使用三个功能子模块实现 DCM，分别是 DSL（Diagnostic Session Layer，以下简称 DSL）、DSD（Diagnostic Service Dispatcher，以下简称 DSD）和 DSP（Diagnostic Service Processing，以下简称 DSP）。

2.2.3.2 诊断事件管理模块（Diagnostic Event Manager）

DEM 模块遵循的标准与 DCM 相同，负责直接处理与 DTC（Diagnostic Trouble Code）相关的服务。当应用软件组件中的 Monitor Function（故障诊断算法）检测到故障时，将通知 DEM 模块处理和存储相应的故障诊断事件（由 Event ID 进行标识）[26]。如果经过判定确诊为故障，则调用 NVRAM Manager（非易失存储器管理器）[27, 28]，提供的接口将其存取到非易失存储器中（如 Flash 或者 EEPROM），同时通知应用层软件点亮故障灯，提醒驾驶人员相应的故障信息。

2.3 硬件在环故障注入技术

随着汽车电子软件复杂度和系统规模的迅猛增长，对汽车电子控制系统软硬件进行全面测试已经变得越来越困难。首先，进行实车路测需要花费很高的成本。如果未能及时准备好必需的车辆原型，测试将推迟进行，与开发流程同步进行的工程技术工作将难以达到相应的目标。其次，实车路测不仅需要耗费大量时间和费用，受天气以及汽车原型影响，测试工程师还常常不得不应对测试结果不完整的情况。

目前几乎所有商用车制造商和供应商都采用了硬件在环仿真

火龙果•整理
uml.org.cn

（Hardware-In-the-Loop，以下简称 HIL）。HIL 不是将 ECU 连接到实车上，而是连接到 HIL 仿真设备上进行测试。因此可以在生产出第一台汽车原型之前完成虚拟路测，从而节省大量时间和费用。不仅如此，HIL 还可以在实车测试无法进行的极限条件下完成路测，而且测试是可重现和自动化的。最后再使用实车进行最终测试。HIL 是一种可行的测试手段，通过 HIL 可以在虚拟环境中对新的电控单元及软件进行大量测试。

如图 2-4 所示，以发动机电子控制单元 ECU 的测试为例，在实时仿真硬件设备中运行动态发动机模型，通过 I/O 板卡将模型计算得到的结果以实际物理信号作为 ECU 输入信号传递给 ECU，同时采集 ECU 的输出信号并传递给发动机模型，构成一个闭环仿真测试系统，从而在一个仿真模拟的发动机工作环境中对 ECU 进行集成测试。

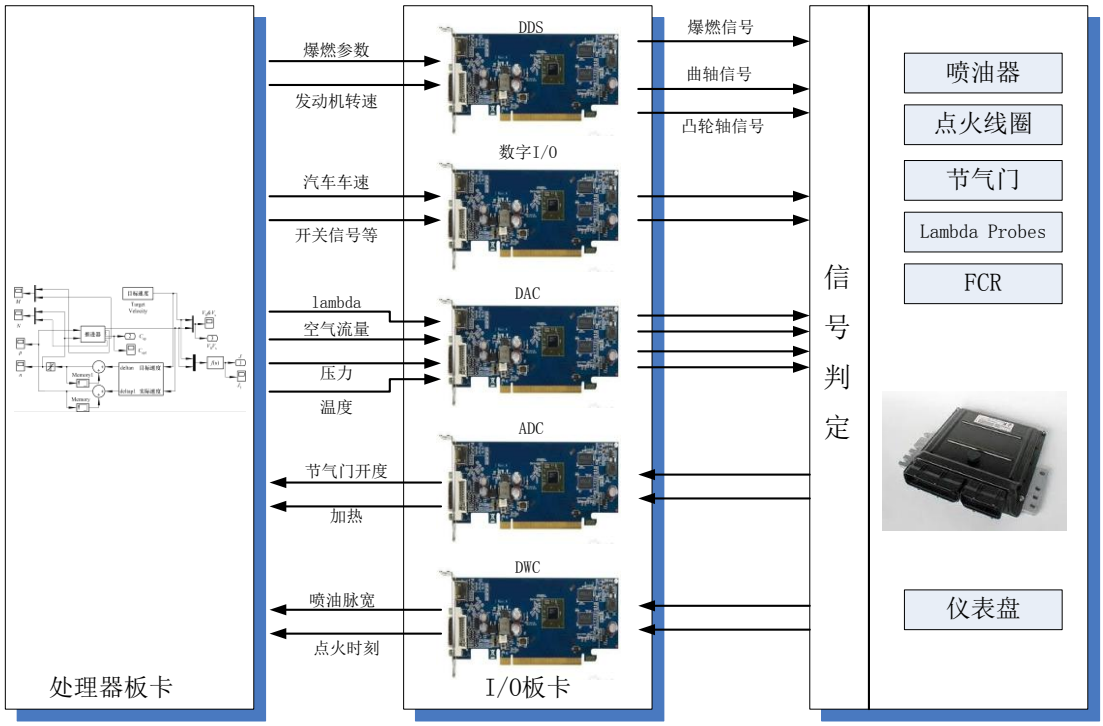

图 2-4 硬件在环工作原理示意图

OBD 法规要求发动机电子控制单元 ECU 中的诊断模块能够实时监测零部件和系统故障，并对各种故障状态做出相应反应并正确记录故障码。如果通过使用更改接线产生汽车系统各种部件的各种故障的方式，进行 ECU 诊断功能全面测

火龙果•整理
uml.org.cn

试的工作量将是非常巨大的，而且，通过接线产生故障很难保证实时性。因此，必须使用更加有效的方式，可以自动模拟零部件的各种故障状态，即硬件在环故障仿真注入技术。

2.4 本章小结

本章首先介绍了 AUTOSAR 的模块化、层次化体系结构，其次介绍了汽车电控系统故障诊断原理以及硬件在环仿真测试技术，为本文基于 AUTOSAR 的汽车故障诊断系统的设计、实现和测试提供重要技术基础。

火龙果•整理
uml.org.cn

第3章 故障诊断系统及仿真测试环境总体设计

AUTOSAR 的诊断功能模块只包括 ECU 软件中的故障通信管理以及故障事件管理功能。在实际应用中，一个完备的故障诊断系统还应该包括 ECU 软件中的故障诊断算法以及上位机诊断软件。此外，为了测试故障诊断系统设计与实现的功能和性能，需要搭建硬件在环故障注入单元对故障系统进行仿真测试。

故障诊断系统及仿真测试环境的整体结构如图 3-1 所示，分为 ECU 软件、硬件在环故障注入单元以及上位机诊断软件三个部分。硬件在环故障注入单元根据故障模拟算法模型，通过板卡输出故障模拟信号；ECU 软件负责故障检测、故障处理、诊断请求响应、发动机控制以及操作系统任务调度等功能；上位机诊断软件通过 CAN 总线连接至 ECU，诊断工程师通过图形化界面处理相关故障信息。下面将分别对三个部分的整体设计进行说明。

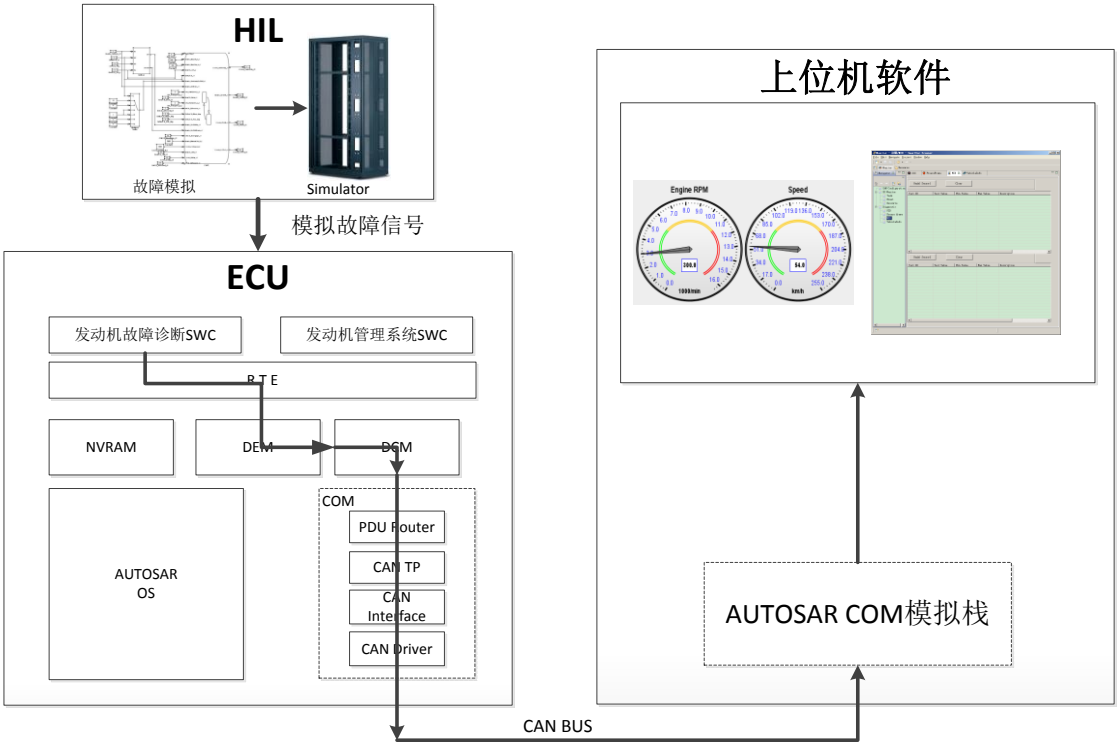

图 3-1 故障诊断系统及仿真测试环境总体设计

火龙果•整理
uml.org.cn

3.1 ECU 软件

ECU 软件负责故障检测、故障处理、诊断请求响应、发动机控制以及操作系统任务调度等功能。根据功能，ECU 软件可分成诊断功能模块、诊断算法模块、发动机管理模块、AUTOSAR OS 以及 AUTOSAR COM 协议栈。

… (此处省略中)

3.2 上位机软件

… (此处省略中)

3.3 硬件在环故障注入单元

… (此处省略中)

3.4 本章小结

本章首先确定了基于 AUTOSAR 的汽车故障诊断系统的总体设计框架，其中包括了 ECU 软件、上位机软件以及硬件在环故障注入单元。此外，本章还介绍了基于AUTOSAR的汽车故障诊断系统所使用到的其他的AUTOSAR基础软件和应用程序，如发动机管理模块、AUTOSAR 操作系统以及 AUTOSAR 通信协议栈等等。

火龙果•整理
uml.org.cn

第4章 AUTOSAR 诊断功能模块的设计与实现

… (此处省略中)

火龙果•整理
uml.org.cn

第5章 上位机诊断软件的设计与实现

上位机软件按照功能划分为 CAN 通信模块、数据处理模块、数据显示模块以及用户图形操作接口模块。CAN 通信模块负责诊断请求与响应数据的收发，获得的数据将交给数据处理模块做进一步的处理；数据处理模块对 ECU 发上来的数据进行处理和转换，将其转换成上位机的表现形式，并对数据进行相应的数字运行；数据显示模块使用 JFreeChart 来图形化地显示汽车的运行状态，用户可以直观地看到汽车的运行和故障诊断状态；图形化的操作界面是提供给用户的操作接口，用户可以通过图形界面的操作来获取自己需要的内容、配置程序的参数等操作。本章将重点说明 CAN 通信模块的设计与实现。

… (此处省略中)

火龙果•整理
uml.org.cn

第6章 仿真测试环境的设计与实现

随着环境问题的日益突出，排放法规越来越严格，排气污染问题越来越受到各大汽车厂商的重视。汽车所排放的废气主要为一氧化碳、碳氢氧化物和氮氧化物，目前大部分车辆使用三元催化转换器以减少排气污染。混合气的空燃比在理论值附近时，三元催化转换器才能保证其净化的效果。混合气空燃比一旦偏离理论空燃比，三元催化器对废气的净化能力将急剧下降，污染物排放大量增加。为了解决这个问题，各大汽车厂商通过在排气管中安装氧传感器，从而检测排气中氧的浓度，ECU 采集氧传感器的数据从而控制喷油器喷油量的增减，将混合气的空燃比控制在理论值附近。氧传感器的监测对于控制排放来说非常重要，对于采用 ISO9141-2，ISO14230-4 和 SAE J1850 通信协议的 OBD 系统，专门由$5 服务请求氧传感器监测结果，其中包含了氧传感器的特性参数（常数，由所选用的氧传感器本身决定），还包括一些氧传感器评价指标的测试结果。通过检测氧传感器，可以判断氧传感器的工作情况，同时也可以检测氧传感器的净化效果。在使用三元催化转换器以减少排气污染的发动机上，氧传感器是必不可少的元件。氧传感器一旦出现故障，将使电子燃油喷射系统无法获得排气管中氧浓度的信息，因而不能对空燃比进行反馈控制，会使发动机油耗和排气污染增加，发动机出现怠速不稳、失火、喘振等故障现象。因此，必须及时的排除故障或更换。本章以氧传感器故障为例，详细说明了氧传感器故障模拟算法模型的建立方法，以及故障诊断算法的设计与实现。

本文使用浙江大学 ESE 工程中心自行研制的基于 xPC Target 的硬件在环仿真系统。首先，诊断测试人员在宿主机上建立相应的故障模拟算法模型并进行离线测试；其次，在模型验证通过后，将其编译并下载至目标机上，启动仿真程序。诊断测试人员根据实验测试需求，操控上位机界面或者外围实际传感器，对 ECU 的诊断功能进行测试。

… (此处省略中)

火龙果•整理
uml.org.cn

第7章 故障诊断系统的测试与实验

本文汽车故障诊断系统基于 AUTOSAR 和 OBD-II 相关标准设计与开发。整个系统分为两部分，下位机 ECU 软件和上位机诊断软件。

在完成软件系统的开发之后，为了验证诊断系统对于故障判断的准确性和系统的可配置性，本文进行了针对 OBD 服务的多组实验，包括读取当前排放相关数据、以及分别针对使用硬件在环仿真平台模拟氧传感器和汽车电子节气门故障模拟的实验。

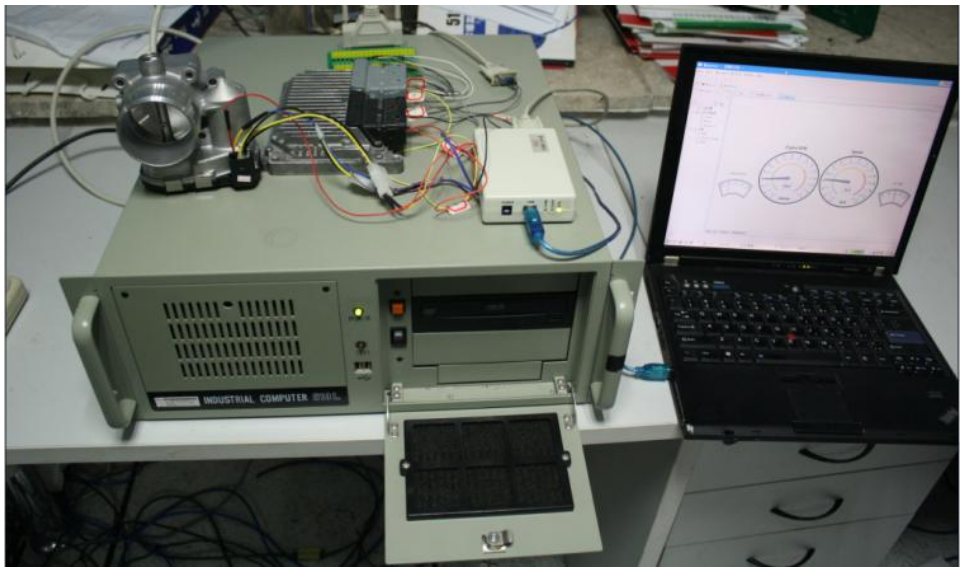

图 7-1 汽车故障诊断实验平台

图 7-1 是本文为进行故障诊断系统实验所搭建的实物平台，图右中笔记本所运行的软件为上位机的诊断软件，诊断软件根据 OBD-II 标准开发，从下位机中读取诊断数据并详细地显示给诊断检测人员，例如从 ECU 中读取故障码和冻结帧数据，并提供清除故障码等诊断服务；图左下的机器即硬件在环仿真平台，通过 MATLAB 建模后下载到平台中可以通过数据 I/O 板卡模拟故障信息；图左上最左边的是电子节气门，用于模拟电子节气门故障；中间是故障诊断系统以飞思卡尔 HCS12X 处理器[33, 34]为控制芯片的 ECU，AUTOSAR 操作系统、AUTOSAR 诊断功能模块、AUTOSAR 通信协议栈、诊断算法以及发动机管理模块运行在此

火龙果•整理
uml.org.cn

ECU 中，对电子节气门和硬件在环故障注入单元输出的故障模拟信号进行监测；右边为用于上下位机之间通信的 CAN 总线收发器—USBCAN-Ⅱ。

7.1 OBD 服务$01—读取当前排放相关数据

OBD 的$01 服务，用于读取当前的与排放相关的数据，如冷却水温、曲轴转速等数据信息。在 OBD 标准中，使用 PID 来标识所读取的数据类型。

在服务$01 中，部分 PID 直接由 DEM 计算获得，其中包括 DTC 清除之后检测器的状态等，而大部分的 PID 都是由发动机控制模块实时采集和计算得到。DCM 收到服务$01 请求时，通过调用 DEM 或发动机控制模块提供的接口来获得请求中所要求的数据，然后返回给上位机诊断软件。

ECU 不支持 OBD 协议中规定的所有 PID 值，因此上位机首先需要查询 ECU 支持哪些 PID，PID$00 通过位编码形式表示对 PID$01-$20 中支持的 PID，PID$20 通过位编码形式表示对 PID$21-$40 中支持的 PID，以此类推。通过这些支持的 PID 值，上位机可以向 ECU 请求各类与排放相关的数据，服务$01 的请求报文格式如表 7-1 所示。

表 7-1 OBD 服务$01 的请求报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	请求当前动力相关诊断数据服务标识码	必须	01	SIDRQ
#2	PID#1	必须	xx	PID
#3	PID#2	可选	xx	PID
#4	PID#3	可选	xx	PID
#5	PID#4	可选	xx	PID
#6	PID#5	可选	xx	PID
#7	PID#6	可选	xx	PID

ECU 的应答报文格式如表 7-2 所示。

火龙果•整理
uml.org.cn

表 7-2 OBD 服务$01 的应答报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	应答当前动力相关诊断数据服务请求标识码	必须	41	SIDPR
#2 #3 #4 #5 #6	支持的 PID 的数据记录=[1st PID DATA A ， DATA B ， DATA C， DATA D]	必须 必须 可选 可选 可选	xx xx xx xx xx	PIDREC PID DATA_A DATA_B DATA_C DATA_D
. .	. .	. .	. .	. .
#n-4 #n-3 #n-2 #n-1 #n	支持的 PID 的数据记录=[mth PID DATA A， DATA B ， DATA C， DATA D]	C C C C C	xx xx xx xx xx	PIDREC PID DATA_A DATA_B DATA_C DATA_D
C：根据请求报文情况确定。				

服务请求报文中 PID 为$00、$20 等询问 ECU 支持的 PID 的标识符时，响应报文中包含 DATA A- DATA D 4 个字节数据，其中每一位由低到高表示是否支持对应的 PID，其他情况下应答报文中 PID 的数据长度根据标准而定。

实验时，我们将上位机诊断软件与 ECU 进行连接，通过上位机发送诊断请求，读取用于描述发动机工作情况的数据。诊断软件请求和 ECU 响应信息如下：

（1） 上位机首先发送诊断请求 02 01 00，其中 02 是 AUTOSAR COM 中的控制帧，01 00 是 OBD 诊断请求，01 代表$01 号服务，00 代表查询 PID$01-$20 支持的 PID，帧 ID 18DA0000 为 COM 分配给诊断的 CAN 帧 ID，COM 收到诊断请求后通过 PDU Router 将 01 00 发送给 DCM 进行诊断服务处理。

（2） DCM 收到 01 00 后从配置项中查询 PID$01-$20 支持的 PID，并且组织好应答报文返回给 PDU Router，例如 41 00 18 30 00 00，41 为应答当前动力相关诊断数据服务请求标识码，00 为请求 PID$00，18 30 00 00 表示支持的 PID 为 PID$04、PID$05、PID$0C 和 PID$0D。

（3） PDU Router 收到 DCM 的返回信息，共有 7 个字节，COM 发送返回信息 10 07 41 00 18 30 00 00 给上位机，其中 10 为 COM 中的控制帧，07 表示有 0x7 个字节的数据需要发送，41 00 18 30 00 00 为诊断返回信息。

（4） 上位机请求其他 PID 数据后，根据 OBD 标准对数据进行处理详细的

火龙果•整理
uml.org.cn

显示出来。

使用 CANTest 进行数据收发，收发数据如图 7-2 所示。

序号	传输方向	第几路CAN	时间标识	帧ID	帧格式	帧类型	数据长度	数据
00000000	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x03	02 01 00
00000001	接收	0	0x00e87b2b	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x07	06 41 00 18 30 00 00
00000002	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x03	02 01 04
00000003	接收	0	0x00e8db0d	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x05	04 41 04 00 31
00000004	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x03	02 01 05
00000005	接收	0	0x00e91931	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x05	04 41 05 00 1c
00000006	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x03	02 01 0b
00000007	接收	0	0x00e96b16	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x05	04 41 0b 00 07
00000008	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x03	02 01 0c
00000009	接收	0	0x00e9a2a4	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x05	04 41 0c 00 58

图 7-2 OBD 服务$01CANTest 数据

上位机软件对数据流的显示结果截图如图 7-3 所示。

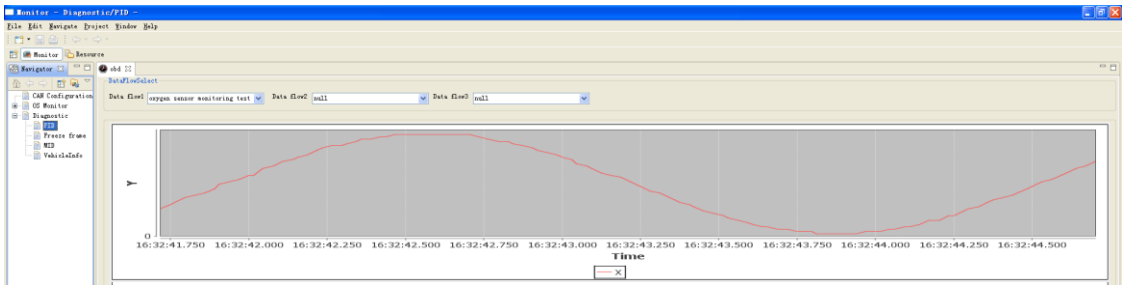

图 7-3 OBD 服务$01 上位机显示结果

7.2 OBD 服务$06—氧传感器监测

氧传感器是发动机控制系统当中非常关键的控制部件，准确监测氧传感器的各项性能指标对于排放控制是非常重要的。OBD 服务$05 用于请求氧传感器结果。在 AUTOSAR 诊断中，OBD 服务$05 包含在了 OBD 服务$06 中，OBD 服务$06 用于请求特殊检测对象的实时检测数据。特殊检测对象是指没有被连续监测的对象，如氧传感器、蒸发系统。对于不同的实验系统，汽车开发商需要分配一个 MID（Monitor ID），而每个实验系统中会有一些 TID（Test ID）。

TID 是指 MID 中需要的一些实验的数据。在这些 TID 中，有一些是预先配置的值，有一些是需要 SWC 实时计算的。氧传感器中需要评价的性能指标非常多，ISO-15031 中规定了 10 个最基本的评价指标，各个厂商可以根据需要添加其他的指标，这些指标反映了氧传感器最终的特性，每条指标对应一个 TID，每个 TID 的都有详细的描述，标准的 TID 如表 7-3 所示。

火龙果•整理
uml.org.cn

表 7-3 标准的 TID 描述

TID	描述
$01	从稀到浓传感器阈值电压
$02	从浓到稀传感器阈值电压
$03	进行切换时间计算的传感器低电压
$04	进行切换时间计算的传感器高电压
$05	从浓到稀的切换时间
$06	从稀到浓的切换时间
$07	测试循环中的最小传感器电压
$08	测试循环中的最大传感器电压
$09	传感器的切换时间
$0A	传感器周期
$0B-$1F	ISO 保留
$21-$FF	厂商自定义

这 10 个指标在氧传感器信号中的测试结果计算图如图 7-4 所示。

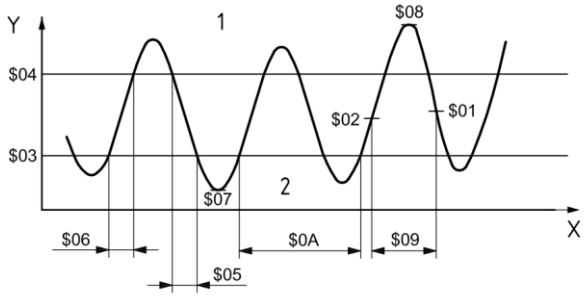

图 7-4 TID 测试结果计算图

服务请求包括服务号和 MID。与 OBD 服务$01 请求数据之前需要知道支持的 PID 一样，OBD 服务$06 在请求数据之前需要知道支持的 MID。

OBD 服务$06 的请求报文格式如表 7-4 所示。

表 7-4 OBD 服务$06 的请求报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	请求特殊检测对象的在线检测数据服务标识码	必须	06	SIDRQ
#2	On-Board Diagnostic Monitor ID	必须	xx	OBDMID

OBD 服务$06 的 ECU 应答报文格式如表 7-5 所示。

火龙果•整理
uml.org.cn

表 7-5 OBD 服务$06 的应答报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	应答特殊检测对象的在线检测数据服务请求标识码	必须	41	SIDPR
	支持的 MID=[			OBDMIDREC
#2	MID	必须	xx	OBDMID
#3	DATA A ，	必须	xx	DATA_A
#4	DATA B ，	可选	xx	DATA_B
#5	DATA C，	可选	xx	DATA_C
#6	DATA D]	可选	xx	DATA_D

在取得支持的 MID 后，上位机需要读取每个 MID 中的数据，读取数据的请求报文格式与请求支持的 MID 的报文格式一致。数据读取应答报文格式如表 7-6 所示。

表 7-6 OBD 服务$06 的应答报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	应答特殊检测对象的在线检测数据服务请求标识码	必须	41	SIDPR
	支持的 MID 的数据记录=[			OBDMIDREC
#2	TID	必须	xx	OBDMID
#3	单位	必须	xx	STID
#4	测试结果高字节	必须	xx	UASID
#5	测试结果低字节	必须	xx	TESTVAL
#6	最小值高字节	必须	xx	TESTVAL
#7	最小值低字节	必须	xx	MINLIMIT
#8	最大值高字节	必须	xx	MINLIMIT
#9	最大值低字节	必须	xx	MAXLIMIT
#10	最大值低字节]	必须	xx	MAXLIMIT
	支持的 MID 的数据记录=[			OBDMIDREC
#n-8	TID	C	xx	OBDMID
#n-7	单位	C	xx	STID
#n-6	测试结果高字节	C	xx	UASID
#n-5	测试结果低字节	C	xx	TESTVAL
#n-4	最小值高字节	C	xx	TESTVAL
#n-3	最小值低字节	C	xx	MINLIMIT
#n-2	最大值高字节	C	xx	MINLIMIT
#n-1	最大值低字节	C	xx	MAXLIMIT
#n	最大值低字节]	C	xx	MAXLIMIT
C：根据 MID 中支持的 TID 情况确定。				

使用 MATLAB 建立氧传感器信号仿真模型。将模型下载到硬件在环仿真平台中，硬件在环仿真平台通过数据 I/O 板卡产生物理信号，ECU 不断对信号进行检测并计算出标准中所规定的指标，由上位机诊断软件发送诊断请求读取相关数据。

（1） 上位机首先发送诊断请求 02 06 00，其中 02 是 COM 中的控制帧，

火龙果•整理
uml.org.cn

06 00 为 OBD 诊断请求，06 代表 06 号服务，00 代表 MID$01-$20 中支持的 MID。

（2） COM 收到诊断请求后通过 PDU Router 将 06 00 发送给 DCM 进行诊断服务处理。DCM 收到 06 00 后从配置项中查询 MID$01-$20 支持的 MID，并且组织好应答报文传送给 PDU Router，例如 46 00 00 00 00 01,46 为应答特殊检测对象的在线检测数据服务请求标识码。

（3） 上位机依次请求 MID$20 和 MID$40，由于 ECU 中只支持 MID$41，前一次返回为 46 20 00 00 00 01，后一次返回为 46 40 80 00 00 01。

（4） 上位机收到 46 40 80 00 00 01 后，发送诊断请求读取 MID$41 的数据，请求报文格式为 02 06 41。COM 收到诊断请求后通过 PDU Router 将 06 41 发送给 DCM 进行诊断服务处理。

（5） PDU Router 收到 DCM 的返回信息，共有 91 个字节，COM 首先发送返回信息的第一帧 10 5b 46 41 01 0a 00 5a 给上位机，其中 10 为 COM 中的控制帧，5b 表示有 0x5b 个字节的数据需要发送，46 41 01 0a 00 5a 为诊断返回信息的前 6 个字节。

（6） 上位机收到第一帧后，需要准备好接收缓存，并且发送应答帧 30 0d 00 给下位机，表示缓存已经准备好，帧 ID 18DA0001 为分配给诊断的应答 CAN 帧 ID。

（7） COM 收到应答帧后将剩余数据发送给上位机，其中每一帧的第一个字节为控制帧，包括 COM 中的控制信息和帧的序号，后 7 个字节为诊断数据。

使用 CANTest 进行数据收发，收发数据如图 7-5 所示。

序号	传输方向	第几路CAN	时间标识	帧ID	帧格式	帧类型	数据长度	数据
00000000	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x03	02 06 41
00000001	接收	0	0x01b7312c	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	10 5b 46 41 01 0a 00 5a
00000002	发送	0	无	0x18da0001	数据帧	扩展帧	0x03	30 0d 00
00000003	接收	0	0x01b82a90	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	20 00 00 00 00 41 02 0a
00000004	接收	0	0x01b82a96	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	21 00 5a 00 00 00 00 41
00000005	接收	0	0x01b82a9c	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	22 03 0a 00 3c 00 00 00
00000006	接收	0	0x01b82aa1	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	23 00 41 04 0a 00 78 00
00000007	接收	0	0x01b82aa7	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	24 00 00 00 41 05 05 00
00000008	接收	0	0x01b82aad	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	25 23 00 10 00 18 41 06
00000009	接收	0	0x01b82ab3	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	26 05 00 24 00 10 00 1c
00000010	接收	0	0x01b82ab8	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	27 41 07 0a 00 0c 00 01
00000011	接收	0	0x01b82abd	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	28 00 28 41 08 0a 00 d0
00000012	接收	0	0x01b82ac3	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	29 00 96 00 d1 41 09 05
00000013	接收	0	0x01b82ac8	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	2a 00 12 00 03 00 24 41
00000014	接收	0	0x01b82ace	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	2b 0a 05 00 20 00 01 00
00000015	接收	0	0x01b82ad2	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x02	2c 50

图 7-5 氧传感器检测 CANTest 数据

火龙果•整理
uml.org.cn

上位机软件显示结果截图如图 7-6 所示。

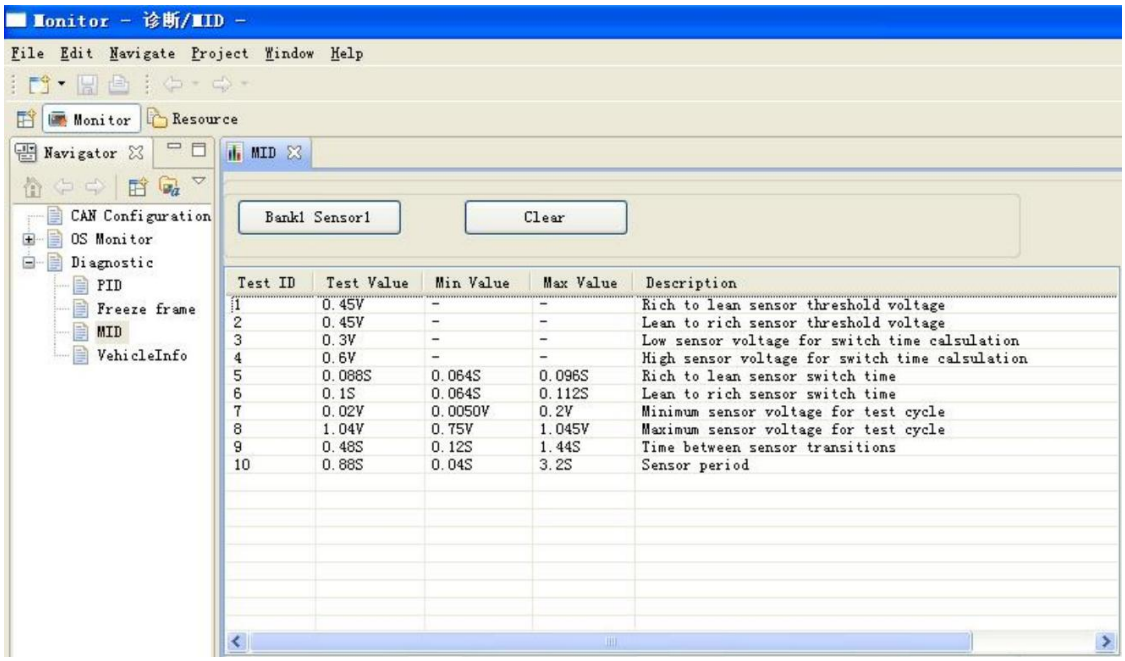

图 7-6 氧传感器检测上位机显示结果

图中 Test Value 栏为 TID 测试结果，Min Value 和 Max Value 分别为此数据在正常情况下的最小值和最大值，如果这个 TID 对应的是一个常数，则为空。根据图中的检测结果可以看出各项指标都在正常工作范围内，说明氧传感器运行正常。

7.3 读取故障数据

7.3.1 OBD 服务$03—故障码读取

故障码是诊断标准中对具体故障的编码。通过故障码，可以初步了解产生故障的元件位置、故障类型以及故障原因。

故障码读取的请求报文格式如表 7-7 所示。

表 7-7 OBD 服务$03 的请求报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	故障码请求服务标识码	必须	03	SIDRQ

故障码读取的返回报文格式如表 7-8 所示。

火龙果•整理
uml.org.cn

表 7-8 OBD 服务$03 的返回报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	故障码请求服务应答标识码	必须	43	SIDPR
#2	故障码数量 = [无故障码 有故障码]	必须	xx = [00, 01 - FF	#OFDTC
#3 #4	DTC#1 (高字节) DTC#1 (低字节)	C C	xx xx	DTC1HI DTC1LO
. .	. .	. .	. .	. .
#n-1 #n	DTC#m (高字节) DTC#m(低字节)	C C	xx xx	DTCmHI DTCmLO
C：根据故障码数量确定				

7.3.2 OBD 服务$02—冻结帧数据读取

在发生故障时，DEM 会将故障的故障码和冻结帧存储到 ECU 的非易失存储器中，进行故障处理时需要使用 PBD 服务$02 将这些故障信息读取出来。

读取冻结帧数据与读取实时数据类似，需要先读取支持的 PID 的信息，然后根据支持的 PID 读取数据，并且需要根据冻结帧的编号来读取数据。

数据请求信息格式如表 7-9 所示。

表 7-9 OBD 服务$02 的请求报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	读取冻结帧数据请求标识符	必须	02	SIDRQ
#2	PID#1	必须	xx	PID
#3	冻结帧编号	必须	xx	FRNO_
#4	PID#2	可选	xx	PID
#5	冻结帧编号	可选	xx	FRNO_
#6	PID#3	可选	xx	PID
#7	冻结帧编号	可选	xx	FRNO_

数据返回信息格式如表 7-10 所示。

表 7-10 OBD 服务$02 的返回报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	读取冻结帧数据应答标识符	M	42	SIDPR
#2	1st supported PID	M	00	PID
#3	冻结帧编号	M	xx	FRNO_

火龙果•整理
uml.org.cn

续表 7-10 OBD 服务$02 的返回报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
	支持的 PID 数据记录=[			DATAREC
#4	DATA A	M	xx	DATA_A
#5	DATA B	M	xx	DATA_B
#6	DATA C	M	xx	DATA_C
#7	DATA D]	M	xx	DATA_D
. .	. .	. .	. .	. .
#n-5	m^{th} supported PID	C	xx	PID
#n-4	冻结帧编号	C	xx	FRNO_
	支持的 PID 数据记录=[			DATAREC
#n-3	DATA A	C	xx	DATA_A
#n-2	DATA B	C	xx	DATA_B
#n-1	DATA C	C	xx	DATA_C
#n	DATA D]	C	xx	DATA_D
C：根据请求报文情况确定。				

服务请求报文中 PID 为$00、$20 等询问 ECU 支持的 PID 的标识符时，响应报文中包含 DATA A- DATA D 4 个字节数据，其中每一位由低到高表示是否支持对应的 PID，其他情况下应答报文中 PID 的数据长度根据标准而定。

7.3.3 电子节气门故障检测

电子节气门是汽车发动机上的重要控制部件，精确控制节气门开度，不仅可以提高燃油利用的效率，从而控制排放，也可以提高汽车行驶的可靠性。

根据汽车电子节气门的工作原理，发动机控制模块根据采集到的油门踏板信号，判定驾驶员的操作意图。之后通过 PWM 控制电子节气门的直流电机的转动，从而控制节气门的开度。在 OBD-II 中关于节气门或电子节气门的故障码定义为 P0120~P0124，下面将就 P0123（节气门位置传感器电压过高）故障的检测过程进行说明。

7.3.3.1 节气门位置传感器电压过高

节气门位置传感器电压过高产生的原因是节气门开度信号电压大于 4.75V 并且维持时间超过 0.08 秒。实验中我们通过将 ECU 节气门输入信号外接至 5V 电源上模拟节气门位置传感器电压过高的信号。实验中配置了一个事件，事件 ID 为 1，故障码是 P0123，当检测出故障时，故障指示灯闪烁，同时 ECU 软件中的故障诊断模块将 PID0x04,0x05,0x0c 等信息存入冻结帧中。

火龙果•整理
uml.org.cn

此时，我们将上位机诊断软件与 ECU 进行连接，通过上位机发送诊断请求，读取相应的故障码和冻结帧数据。

上位机软件显示结果截图如图 7-7 所示。图中可以看到此次故障的故障码和冻结帧数据。

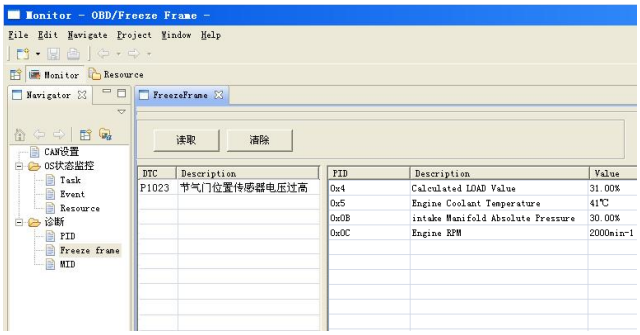

图 7-7 故障码和冻结帧数据

7.3.4 氧传感器故障检测

7.3.4.1 氧传感器老化故障诊断

氧传感器老化主要表现为：信号电压响应速度过低、信号电压跳变时间超出规定范围或者信号电压跳变频率过低。故障判断条件为如果从稀到浓的时间的平均值超过 114ms 或从浓到稀的跳变时间的平均值超过 99ms，可以判断为氧传感器老化，此故障的故障码为 P0133，故障描述为氧传感器反应太慢。

在氧传感器老化故障模拟实验中配置了一个事件，事件 ID 为 6，故障码是 P0133，故障为 OBD 类，故障指示灯闪烁，冻结帧中不需要存储数据。

使用硬件在环仿真平台模拟出此故障下的氧传感器信号，诊断系统发现此故障后点亮故障指示灯。使用 CANTest 进行数据收发，收发数据如图 7-8 所示。

火龙果•整理
uml.org.cn

序号	传输方向	第几路CAN	时间标识	帧ID	帧格式	帧类型	数据长度	数据
00000000	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x03	02 06 41
00000001	接收	0	0x002eab24	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	10 5b 46 41 01 0a 00 5a
00000002	发送	0	无	0x18da0001	数据帧	扩展帧	0x03	30 0d 00
00000003	接收	0	0x002ffae0	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	20 00 00 00 00 41 02 0a
00000004	接收	0	0x002ffae5	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	21 00 5a 00 00 00 00 41
00000005	接收	0	0x002ffaeb	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	22 03 0a 00 3c 00 00 00
00000006	接收	0	0x002ffaf1	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	23 00 41 04 0a 00 78 00
00000007	接收	0	0x002ffaf6	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	24 00 00 00 41 05 05 00
00000008	接收	0	0x002ffafc	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	25 23 00 10 00 18 41 06
00000009	接收	0	0x002ffb02	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	26 05 00 24 00 10 00 1c
00000010	接收	0	0x002ffb07	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	27 41 07 0a 00 0c 00 01
00000011	接收	0	0x002ffb0d	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	28 00 28 41 08 0a 00 d0
00000012	接收	0	0x002ffb12	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	29 00 96 00 d1 41 09 05
00000013	接收	0	0x002ffb18	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	2a 00 12 00 03 00 24 41
00000014	接收	0	0x002ffb1e	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	2b 0a 05 00 20 00 01 00
00000015	接收	0	0x002ffb22	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x02	2c 50

图 7-8 氧传感器老化故障 CANTest 数据

上位机软件显示结果截图如图 7-9 所示。

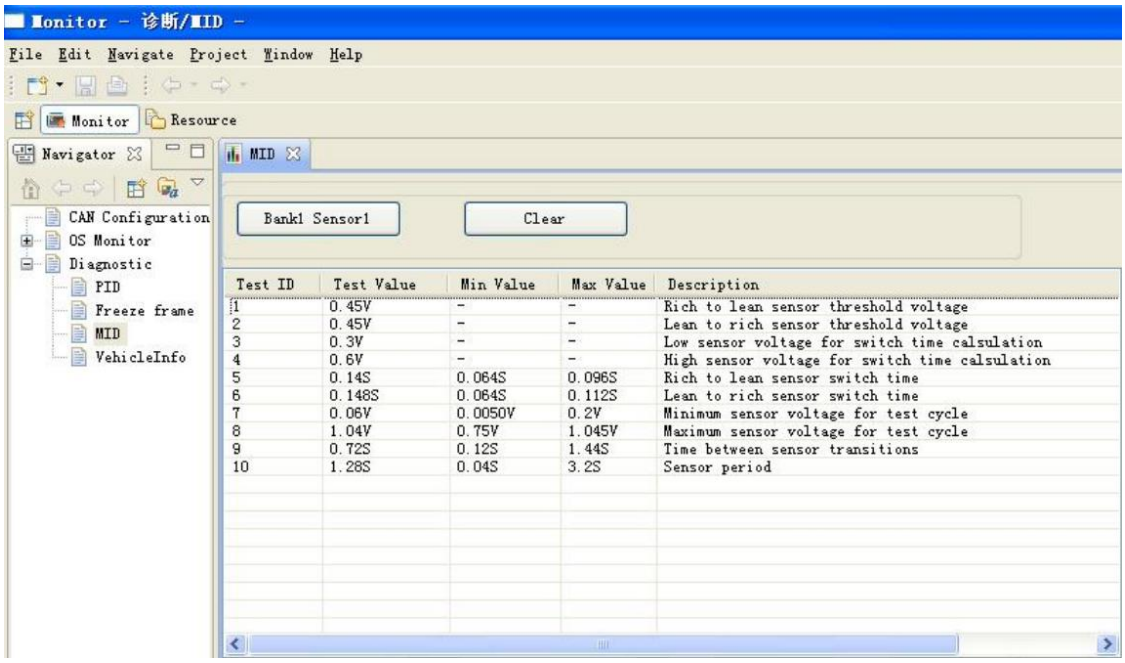

图 7-9 氧传感器老化故障上位机检测结果

从图中可以看到从稀到浓的时间的平均值超过和从浓到稀的跳变时间的平均值都超过了正常的规定范围，说明氧传感器已经老化，响应速度过低。

7.4 OBD 服务$04—清除故障码

在修复好故障后，需要通过 OBD 服务$04 清除故障码，诊断软件会同时清除存储在 ECU 中的诊断相关信息，这些信息包括：故障灯和故障码数量、验证过的故障码、冻结帧中的故障码、冻结帧数据、系统监测器的状态、故障灯亮后行驶的公里数、清除 DTC 后行驶的公里数、故障灯亮后发动机的工作时间、诊断

火龙果•整理
uml.org.cn

错误清除后的时间。

清除故障码的请求报文格式如表 7-11 所示。

表 7-11 OBD 服务$04 的请求报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	清除故障码服务请求标识码	必须	04	SIDRQ

清除故障码的应答报文格式如表 7-12 所示。

表 7-12 OBD 服务$04 的应答报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	清除故障码服务应答标识码	必须	44	SIDPR

7.3.3 和 7.3.4 各故障模拟实验中清除故障码前后的读取故障码报文如图 7-10 所示。

序号	传输方向	第几路CAN	时间标识	帧ID	帧格式	帧类型	数据长度	数据
00000000	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x02	01 03
00000001	接收	0	0x003bd803	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x05	04 43 01 01 33
00000002	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x02	01 04
00000003	接收	0	0x003d43aa	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x02	01 44
00000004	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x02	01 03
00000005	接收	0	0x003ddc11	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x03	02 43 00

图 7-10 清除故障码 CANTest 数据

从图中可以看出，第一次发送读取故障码命令时，下位机返回一个故障码，发送清除故障码命令后再发送读取故障码命令，下位机返回故障码数量为 0。

7.5 OBD 服务$09—读取车辆信息

OBD 服务$09 为读取车辆信息，这些信息包括车辆身份码(Vehicle Identification Number，VIN)和校准标识码（Calibration ID）。在 OBD 标准中，这些信息是通过 INFOTYPE 进行标识的，与 OBD 服务$01 一样，不同的 ECU 可能支持不同的 INFOTYPE，所以需要首先请求支持的 INFOTYPE，然后读取对应的数据。读取车辆信息的服务请求报文格式如表 7-13 所示。

表 7-13 OBD 服务$09 的请求报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	读取车辆信息请求服务标识码	必须	01	SIDRQ
#2	InfoType#1	必须	xx	INFTYP

火龙果•整理
uml.org.cn

续表 7-13 OBD 服务$09 的请求报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#3	InfoType#2	可选	xx	INFTYP
#4	InfoType #3	可选	xx	INFTYP
#5	InfoType #4	可选	xx	INFTYP
#6	InfoType #5	可选	xx	INFTYP
#7	InfoType #6	可选	xx	INFTYP

读取支持的 InfoType 应答报文格式如表 7-14 所示。

表 7-14 OBD 服务$09 的应答报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	读取车辆信息应答标识符	M	42	SIDPR
#2	1st supported InfoType	M	00	INFTYP
	支持的 InfoType 数据记录=[			
#3	DATA A	M	xx	DATA_A
#4	DATA B	M	xx	DATA_B
#5	DATA C	M	xx	DATA_C
#6	DATA D]	M	xx	DATA_D
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
#n-4	mth supported InfoType	C	xx	INFTYP
	支持的 InfoType 数据记录=[			
#n-3	DATA A	C	xx	DATA_A
#n-2	DATA B	C	xx	DATA_B
#n-1	DATA C	C	xx	DATA_C
#n	DATA D]	C	xx	DATA_D
C：根据请求报文情况确定。				

读取 InfoType 数据的请求报文中一次只能读取一个 InfoType ，应答报文格式如表 7-15 所示。

表 7-15 OBD 服务$09 的应答报文格式

字节编号	参数名称	要求	参数值	缩写
#1	读取车辆信息应答标识符	必须	42	SIDPR
	InfoType 数据记录 = [			NFTYPREC
#2	InfoType	必须	xx	INFTYP
#3	数据记录大小	必须	xx	NODI
#4	data #1,	C	xx	DATA_#1
#5	data #2,		xx	DATA_#2
:	:	C	xx	:
#m	data #m]	C	xx	DATA_#m
C：根据数据大小确定。				

火龙果•整理
uml.org.cn

在本例中支持的 InfoType 为 InfoType$02、InfoType$04 和 InfoType$06。它们的数据分别为：InfoType $02: [1G1JC5444R7252367]、InfoType $04: [JMB*36761500]以及 InfoType $06: [1791BC82]。

使用 CANTest 进行数据收发，收发数据如图 7-11 所示。

序号	传输方向	第几路CAN	时间标识	帧ID	帧格式	帧类型	数据长度	数据
00000000	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x03	02 09 02
00000001	接收	0	0x00691905	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	10 13 49 02 31 47 31 4a
00000002	发送	0	无	0x18da0001	数据帧	扩展帧	0x03	30 02 00
00000003	接收	0	0x0069ef83	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	20 43 35 34 34 34 52 37
00000004	接收	0	0x0069ef89	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x07	21 32 35 32 33 36 37
00000005	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x03	02 09 04
00000006	接收	0	0x006b0116	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	10 0c 4a 4d 42 2a 33 36
00000007	发送	0	无	0x18da0001	数据帧	扩展帧	0x03	30 01 00
00000008	接收	0	0x006bf723	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x07	20 37 36 31 35 30 30
00000009	发送	0	无	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x03	02 09 06
00000010	接收	0	0x006daf1a	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x08	10 08 31 37 39 31 42 43
00000011	发送	0	无	0x18da0001	数据帧	扩展帧	0x03	30 01 00
00000012	接收	0	0x006ee5e2	0x18da0000	数据帧	扩展帧	0x03	20 38 32

图 7-11 读取车辆信息 CANTest 数据

上位机软件显示结果截图如图 7-12 所示。

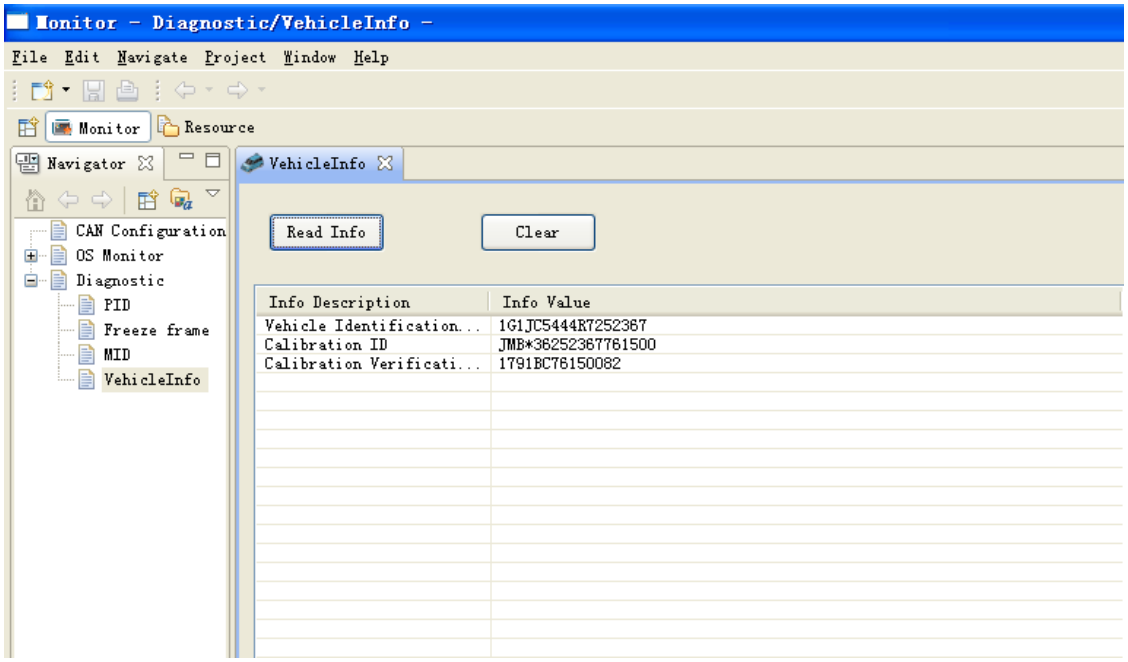

图 7-12 读取车辆信息上位机显示结果

7.6 本章小结

本章在前几章对诊断标准、故障模拟和诊断算法的研究基础上对 OBD 服务$01、OBD 服务$02、OBD 服务$03、OBD 服务$04、OBD 服务$06 和 OBD 服务$09 进行了实验。故障诊断系统以飞思卡尔 HCS12X 处理器为硬件开发平台，并

火龙果•整理
uml.org.cn

且结合硬件在环仿真技术和硬件实物进行故障模拟测试。测试结果表明，本系统能够对汽车中一些重要的数据进行实时监测，在汽车产生故障时能够及时、准确的判断出故障并且详细地显示出故障的相关信息。

火龙果•整理
uml.org.cn

第8章 总结与展望

8.1 工作总结

随着汽车电子技术的发展，由于电子控制系统的复杂性，传统的汽车故障诊断开发和测试方法已经难以满足故障诊断在实时性、准确性和开发效率上的需求。AUTOSAR 为解决应用程序重复开发、移植困难的问题提供了一种新的手段，尽管 AUTOSAR 仍在修订和完善中，但在宝马公司等著名汽车厂商的推动下，AUTOSAR 日益受到重视。AUTOSAR 代表了未来汽车电子软件开发的趋势，国外成熟的软件公司已经推出了相关的基础软件包和开发工具。

本文在调研了目前世界主要汽车整车厂商、软件提供商以及硬件提供商所提供的 AUTOSAR 解决方案以及现有汽车故障诊断系统的基础上，探索性地按照 AUTOSAR 标准完成了基于 AUTOSAR 的汽车故障诊断的设计与实现，并使用硬件在环仿真技术搭建了故障诊断仿真测试环境。主要的工作包括：

1. 设计并实现了基于 OBD 诊断协议的 AUTOSAR 诊断功能模块。诊断通信管理模块和诊断事件管理模块是实现 AUTOSAR 诊断功能的核心模块。OBD 诊断协议是目前主流的汽车故障诊断协议。本文基于 AUTOSAR，实现了诊断通信管理和诊断事件管理两大核心模块，并实现了 7 个常用 OBD 服务。

2. 设计并实现了基于 OBD 诊断协议的上位机软件。上位机软件按照功能划分为 CAN 通信模块、数据处理模块、数据显示模块以及用户图形操作接口模块。在 CAN 通信模块中实现了一个 AUTOSAR 模拟通信协议栈，完成对通过 AUTOSAR COM 通信的故障诊断数据的解析功能。

3. 使用硬件在环仿真技术搭建了故障诊断仿真测试环境。OBD 诊断协议要求发动机电子控制单元诊断模块能够实时监测零部件和系统故障，并对各种故障状态做出相应反应并正确记录故障码。本文使用硬件在环技术完成仿真测试，从而能够节省大量时间和费用。不仅如此，HIL 还可以在实车测试无法进行的极限条件下完成测试，而且测试是可重现和自动化的。

火龙果•整理
uml.org.cn

8.2 工作展望

… (此处省略中)

火龙果•整理
uml.org.cn

参考文献

[1] Simon Fürst, Jürgen Mössinger, Stefan Bunzel, et al., AUTOSAR – A Worldwide Standard is on the Road[R]. Muniche: AUTOSAR GbR, 2009.

[2] AUTOSAR. AUTOSAR Technical Overview[S/OL].http://www.autosar.org/.

[3] 蔡浩. 汽车故障诊断系统的设计和开发[D]. 上海：上海交通大学机械工程学院, 2009.

[4] International Organization for Standards. ISO15031-5 Road vehicles —Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics —Part 5: Emissions-related diagnostic services[S]. 2006.

[5] International Organization for Standards. ISO15031-5 Road vehicles—Diagnostics on Controller Area Networks(CAN)—Part 4:Requirements for emissions-related systems[S]. 2005.

[6] 郑善亮. 汽车发动机故障诊断研究的理论与方法[D]. 重庆：重庆交通大学车辆工程学院, 2009.

[7] 李华嵩. 车载故障监控诊断平台 OBD-Ⅱ接口单元的设计[D]. 成都：电子科技大学机械制造及其自动化学院, 2007.

[8] OBD-China. OBD 在中国[R/OL].http://www.obd-china.com/index.php/Intro/OBDInChina.

[9] 陈朝阳, 张代胜, 任佩红. 汽车故障诊断专家系统的现状与发展趋势[J]. 机械工程学报, 2003,39(11):1-5.

[10]轿车情报. 应用 AUTOSAR 的全新 BMW 7 系量产首发[J]. 轿车情报, 2009,2009(1):21.

[11]Tillman Reck Andreas Köhler. AUTOSAR-Compliant Functional Modeling with MATLAB®, Simulink®, Stateflow® and Real-Time Workshop® Embedded Coder of a Serial Comfort Body Controller[C]. MathWorks Automotive Conference, 2007

[12]Ulrich Freund Patrick Frey. AUTOSAR compliant reengineering of an Engine Management System. AUTOSAR compliant reengineering of an Engine Management

火龙果•整理
uml.org.cn

System[C]. The 4th Workshop on Object-oriented Modeling of Embedded Real-Time Systems(OMER4),2007, 2007:18-24.

[13]T. K. Jestin Devendra Rai, Lev Vitkin. Model-Based Development of AUTOSAR-Compliant Applications: Exterior Lights Module Case Study[J]. SAE Technical Paper Series, 2008,2008(01)-0221

[14]张培锋. 参照 AUTOSAR 的汽油发动机 ECU 软件设计[D]. 杭州. 浙江大学计算机学院, 2010.

[15]Marco Di Natale Alberto Ferrari, Giacomo Gentile, Paolo Gai. Time and memory tradeoffs in the implementation of AUTOSAR components. Design[C]. Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, 2009(DATE '09), 2009:864-869.

[16]AUTOSAR. AUTomotive Open System ARchitecture[CP/OL].http://www.au-tosar.org/.

[17]AUTOSAR GbR. AUTOSAR Methodology V1.2.1[S]. 2008.

[18]AUTOSAR GbR. Specification of the Virtual Functional Bus V1.0.1[S]. 2008.

[19]AUTOSAR GbR. Specification of Run-Time Environment V2.0.1 R3.0 Rev001[S]. 2008.

[20]Roy S.Cox. 汽车第二代车载诊断系统(OBDII)解析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.

[21]恒润科技. AUTOSAR CAN 诊断实现研究[R/OL].http://www.hirain.com/ae/A-rticleShow-ps.asp?ArtID=2876.

[22]人民网. 北京: 12 月 30 日起正式实施国 III 机动车排放标准[EB/OL].http://auto.people.com.cn/GB/25959/47716/47718/3974962.html.

[23]AUTOSAR GbR. Specification of Function Inhibition Manager V3.1[S]. 2008.

[24]AUTOSAR GbR. Specification of PDU Router V3.1[S]. 2008.

[25]AUTOSAR GbR. Specification of Diagnostic Communication Manager V3.1[S]. 2008.

[26]AUTOSAR GbR. Specification of Diagnostic Event Manager V3.1[S]. 2008.

[27]AUTOSAR GbR. Specification of NVRAM Manager V3.1[S]. 2008.

[28]AUTOSAR GbR. Specification of Module Flash Driver V3.1[S]. 2008.

[29]钱人一. 现代汽车发动机电子控制[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2004.

火龙果•整理
uml.org.cn

[30]邬宽明. CAN 总线原理和应用系统设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.

[31]饶运涛，皱继军. 现场总线 CAN 原理与应用技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.

[32]李东江，张大成. 汽车车载网络系统 CAN BUS 原理与检修[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

[33]王宜怀，刘晓升. 嵌入式系统—使用 HCS12 微控制器的设计与应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.

[34]Freescale. MC9S12XEP100 Data Sheet Covers MC9S12XE Family[S/OL]. http://www.freescale.com.cn/.

火龙果•整理
uml.org.cn

攻读硕士学位期间主要的研究成果

参与的项目和主要工作：

[1] 构件化操作系统项目（编号：513150401）

- 设计并实现具有安全性和可靠性的适合 Flash 存储介质的嵌入式线性文件存储系统。

[2] 嵌入式实时操作系统在电控汽油发动机上的应用及开发测试环境的仿真

- 将传统单片机模式开发的电控汽油发动机控制算法引入嵌入式实时操作系统 SmartOSEK OS 中。
- 开发汽车动力总成开发测试仿真环境，以达到提高开发效率的目的。

[3] 浙江省重大科技专项项目“基于 AutoSAR 的汽车电子软件平台及发动机控制应用示范”（编号：2008C11G2010039）

- 研究 AUTOSAR 开发方法以及参照 AUTOSAR 的发动机电控系统的开发

[4] **AUTOSAR 基础软件模块的设计与实现**

- 基于 AUTOSAR 进行了设计并实现了汽车故障诊断系统，并使用硬件在环仿真技术搭建了故障诊断仿真测试环境。

录用待发表论文：

[1] **胡琦**，赵民德，吴锋，姚栋伟，方正，李红，基于 AUTOSAR 的电控汽油机 ECU 软件设计与实现，浙江大学学报（工学版）

参与申请的专利：

[1] 杨国青、李红、**胡琦**、魏城炯、周霖、吴朝晖，一种适合嵌入式 Flash 文件系统的均衡擦写实现方法，申请号：200910099832.2，已受理

[2] 吕攀、吴朝晖、魏城炯、**胡琦**、赵民德、杨国青，一种基于 OSEK 网络管理机制的动态网络管理方法，申请号：200910097839.0，已受理

[3] 姚栋伟、罗端、邓俊、张翼、**胡琦**、赵明德，一种实现和控制看门狗的逻辑电路，申请号：201010167515.2，已受理

火龙果•整理
uml.org.cn