

Abstract

Candidate: LIU Hui

Supervisor: HUANG Xue-liang

University: Southeast University

At present, the air-fuel ratio closed-loop control technology, which is composed of the electrical control fuel injection system and catalytic converters, has become the main vehicle emissions control measure. The control system could get excellent exhaust gas purification properties, meanwhile, the fuel consumption and operating characteristics are guaranteed.

In the first part, the harmfulness and influence factors of vehicle exhaust gas emissions are introduced, the impact and the relationship between air-fuel ratio and CO, HC, NO_x are emphatically analyzed. It can be concluded that maintaining the theoretical air-fuel ratio value is very important.

Secondly the most critical component—three-way catalytic converters on the emissions control system is presented in detail. After that three-way catalytic converters' chemical mechanism, oxygen storage effect, and air-fuel ratio control are mentioned. The timely monitoring of the oxygen sensor and observation, to ensure that car in good running condition is very important. Oxygen sensors are given a comprehensive introduction, which play an important role in the emission control system, including the structure of sensors, detecting principle, output characteristics, work characteristics, and practical application of oxygen sensors.

Finally, through the analyse of exceptional wave shape of oxygen sensor collected by digital memory oscillograph, this dissertation tries to find the method of diagnosis system by oxygen sensor.

Keywords: Air-fuel ratio, fault diagnosis, Electronic Fuel Injection, vehicle exhaust emissions, oxygen sensor

东南大学学位论文独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，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，也不包含为获得东南大学或其它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了谢意。

研究生签名： 刘卉 日期： 2009.9.

东南大学学位论文使用授权声明

东南大学、中国科学技术信息研究所、国家图书馆有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外，允许论文被查阅和借阅，可以公布（包括以电子信息形式刊登）论文的全部内容或中、英文摘要等部分内容。论文的公布（包括以电子信息形式刊登）授权东南大学研究生院办理。

研究生签名： 刘卉 导师签名： 黄子良 日期： 2009.9

第一章 绪论

1.1 课题的背景和意义

当今汽车工业得到了快速的发展。大量的汽车在给生活带来便利的同时也带来了许多的负面影响,如:汽车对能源的消耗,汽车排出的大量污染物,汽车所造成的大量交通事故,汽车产生的电波、噪声等,这些影响中最突出的问题就是汽车的排气污染^[1]。机动车排放已成为增长最快的空气污染源,城市中的空气污染 50%~60%是汽车尾气排放。汽车排放的污染物主要来源于内燃机。被称为移动烟囱的汽车尾气,其有害成分包括一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO_x)、硫化物(SO_x)以及微粒物质(铅化物、碳烟、油雾等)、臭气(甲醛、丙烯醛等)等;其中 CO、HC 和 NO 是汽车污染控制的主要大气污染成分^[2]。由此所产生的大量对人体有害的排放物所带来的环保问题,都成为人类可持续发展中所遇到的棘手问题:

- 1) 一氧化碳 CO。CO 是一种无色无味的气体,它和血液中输送氧的载体血红蛋白的亲合力是氧的 240 倍,CO 与血红蛋白结合生成碳基血红蛋白,就剥夺了血红蛋白对人体组织的供氧能力。空气中 CO 的体积分数超过 0.1%时就会导致人体中毒,超过 0.3%时,则可在 30min 内使人致命。
- 2) 碳氢化合物 HC。HC 包括未燃和未完全燃烧的燃油、润滑油及其裂解和部分氧化产物,如烷烃、烯烃、芳香烃、醛、酮、酸等数百种成分。烷烃基本上无味,对人体健康不产生直接影响;烯烃略带甜味,有麻醉作用,对粘膜有刺激,经代谢转化会变成对基因有毒的氧化衍生物。烯烃是与氮氧化物一起在太阳光的紫外线作用下形成有毒的“光化烟雾”的罪魁祸首之一;芳香烃对血液和神经系统有害,特别是多环芳香烃(PAH)及其衍生物有致癌作用;醛类是刺激性物质,对眼、呼吸道、血液有毒害。
- 3) 氮氧化物。内燃机排放的氮氧化物绝大部分是一氧化氮 NO,少量是二氧化氮 NO₂,一般用 NO_x表示。NO 是无色气体,本身毒性不大,但在大气中会缓慢氧化成 NO₂。NO₂呈褐色,具有强烈的刺激味,被吸入人体后与水分结合形成硝酸,会引起咳嗽、气喘,甚至肺气肿和心肌损害。NO_x也是在地面附近形成含有毒臭氧的光化烟雾的主要因素之一。
- 4) 微粒 PM。柴油机所排放 PM 的主要成分是碳,粒度大多小于 0.3 μm,可长期悬浮在大气中而不沉降,会深入人肺深部造成机械性超负荷,损伤肺内各种通道的自净机制,促进其他污染物的毒害作用。碳粒还吸附硫酸盐及多种有机物质,吸附物中有多种 PAH,具有不同程度的诱变和致癌作用。

所以,如何降低汽车有害排放的产生,保护环境,已成为我国现实发展中所考虑的关键问题。

燃油系统的改善是控制汽车排放污染非常重要的一步。随着电子技术的迅速发展,汽车电子化成为各国汽车工业发展的重要发展方向。以计算机为基础的车用电子控制燃油喷射系统,是世界汽车工业在技术上同时解决节油和排放净化两大难题的重大突破。目前,电控燃油喷射结合三元催化转化技术已成为车用发动机降低排放的最直接有效的方式。然而,三元催化器的转化效率受空燃比的影响很大,研究表明,要想获得较高的转化效率(80%以上),要求空燃比(A/F,空气与汽油的质量比)控制在化学计量比(即空燃比为 14.7)附近^[3],误差不超过±3.5%^[4]。

发动机空燃比控制的核心是喷油控制,目的是保持给定的空气和燃油比,其实是比值控制。空燃比控制主要由前馈和反馈控制组成。常见的空燃比闭环控制框图如图 1-1

所示。空气质量流量传感器(Mass Air Flow Meter, MAF)安装在节气门前的进气管中,用于测量空气质量流量,电子控制单元(ECU)根据MAF传感器测量的流量和设定的比例关系产生相应的喷油量,实现给定空燃比的前馈控制。

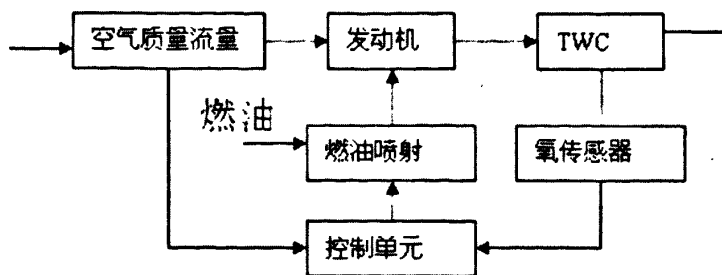


图 1-1 A/F 闭环控制框图

开环控制无法保证空燃比的控制精度,因此在排气管中安装废气氧传感器(Exhaust Gas Oxygen sensor, EGO)测量尾气中的氧含量,反馈给 ECU,作为进一步调节喷油的依据,由此形成反馈控制,来实现准确的空燃比控制,以满足排放法规的要求。在发动机控制系统中,实际空燃比与理论空燃比的比值称为过量空气系数,可用下式表示:

$$\lambda = \frac{(\text{空气/燃油})_{\text{实际}}}{(\text{空气/燃油})_{\text{理论}}}$$

过量空气系数 λ (当 $\lambda = 1$ 时,为理论混合比)值在 1 附近时(实际上 λ 在 0.995 ~ 1 之间),三元催化转换器可以取得最好的催化效果,即趋向于同时将 CO、HC、NO_x 保持在相对最小。这些性能与反馈系统中的氧传感器甚为相关。

氧传感器是在电子燃油喷射式发动机上进行空燃比反馈控制的传感器,它安装在发动机的排气管上,作用是通过检测排放气体中氧的含量来获得混合气的空燃比浓度信号,并将检测结果转变成电压信号输入 ECU, ECU 根据氧传感器输入的信号,不断地对喷油脉宽进行修正,使混合气浓度保持在理想范围内,实现空燃比的反馈控制,即闭环控制(由于发动机控制的复杂性,还需要综合考虑转速、压力、温度等其他传感器提供的信息,才能真正完成空燃比控制。)。因此,氧传感器的作用非常重要。

随着现代汽车电控化水平日益提高,使得汽车的故障也变得越来越复杂。尤其是电控燃油喷射式发动机所涉及系统众多,各系统的故障形式不尽相同,并且都有相互的牵制关系,所以研究起来相对复杂。空燃比控制系统作为电控燃油喷射系统中的主要控制部分,对发动机的正常运转起着相当重要的作用。在现实的汽车修理过程中,由空燃比控制系统所造成的故障相对较多,尤其是氧传感器所引起的故障更是屡见不鲜。氧传感器通常被称为 ECU 的“看门狗”,它可以快速而准确的判断电控喷油系统的运行性能。在发动机稳定工况时,ECU 根据氧传感器监测到的排气管氧含量对发动机进行反馈控制,使混合气的空燃比接近 14.7:1,从而得到最佳排放性能。氧传感器处于良好状态,它输出的信号能反应发动机点火系统、喷油系统以及控制各种传感器及执行器的工作情况,这些部件出现故障都会在传感器上有所反应,因此维修人员通常将它的波形和其他波形结合起来分析,进而确定故障的原因和部位,利用氧传感器的信号对发动机的故障做诊断研究。

1.2 国内外的研究现状及发展趋势

1.2.1 电控发动机的发展史

自从世界上第一辆汽车问世以来,汽油机主要采用化油器式燃料供给系统。尽管人

们想了很多办法,采取各种措施,不断对化油器式燃油供给系统进行改进,甚至采用电子化油器,但由于化油器结构和工作方式的限制,这种燃料供给系统仍然不能满足人们对汽车排放和燃料经济性的要求。

由于化油器式燃油供给系统不能精确地控制空燃比,各缸混合气的浓度相差也比较大,因此人们就开始探索另外一种汽油机的燃油供给系统,即汽油机燃油喷射系统。汽油喷射作为一种实用的技术在上世纪二三十年代首先在德国产生并运用于当时的军用飞机发动机上,它主要是用来解决作战时飞机姿态使化油器不能正常工作以及化油器结冰等问题。美国也于二战后期,在其轰炸机上采用了机械式喷射泵向气缸内直喷汽油的技术。

二战结束之后,燃油喷射技术才逐渐被应用于汽车发动机上。1952年,曾用于二战德军飞机的机械式汽油喷射技术被应用于轿车,德国戴姆乐——奔驰300L型赛车装用了BOSCH(博世)公司生产的第一台机械式汽油喷射装置。1953年,美国Bendix公司着手开发电控汽油喷射(EFI)装置,1957年,该公司的电子控制汽油喷射系统问世,并首次装于克莱斯勒豪华型轿车和赛车上。但在60年代以前,车用汽油喷射装置大多采用机械式喷射泵,其结构和原理与柴油机喷射泵很相似,控制功能是借助于机械装置实现的,结构复杂,价格昂贵,多用于豪华型轿车和赛车。

从60年代开始,由于美国和欧洲国家汽车工业的不断发展,汽车保有量与日俱增,排气污染也日趋严重。一些发达国家为了降低排气污染物,提高车辆行驶安全性,降低噪声和油耗,相继制定了严格的法规。一些国家的排放法中不仅严格限制排气中的CO、HC和NO_x等有害物质,而且还限制了颗粒物、曲轴箱排气、燃油蒸发等,并且使限制指标越来越严格,其中美国加州的排放标准是最严格的。另外,由于70年代初一度出现的世界能源危机,各国又制订了更严格的燃油经济法。为了满足汽车的燃油经济性、动力性,尤其是废气排放法规的日益严格的要求,各厂家对传统的机械式化油器做了各种各样的改进与革新,但直至今日,最新式的电子化油器也难于满足这日益严格的要求。这迫使汽车工业不得不寻找新的途径以提高发动机的性能。

由于汽油喷射系统与化油器相比,计量更精确、雾化燃油更精细、控制发动机工作更为灵敏,因此,在经济性、排放性、动力性上表现出明显的优势。人们的注意力越来越集中在汽油喷射系统上。德国BOSCH(博世)公司在成功研制K-Jetronic机械式汽油喷射系统的基础上,进而成功开发了KE-Jetronic机电控制的汽油喷射系统,使该技术得到了进一步的发展。

70年代初,受能源危机与电子技术的迅猛发展的共同影响,汽车发动机电控汽油喷射(EFI)成为汽车工业的重要发展方向。随着电子技术的发展,电控汽油喷射系统经历了从晶体管、集成电路到微机控制,从模拟式到数字式控制的发展过程。由于计算机技术的发展,微机已被广泛应用于汽车控制。同时,电子器件的微型化和电子技术的普及化,为电子控制汽油喷射系统的功能扩大、控制精细及结构紧凑提供了有利条件,汽油喷射系统完成了从机械式向电子控制化的过渡。

1967年,德国BOSCH(博世)公司率先开发出一套全电子汽油喷射系统(D-Jetronic),于70年代首次批量生产,并应用于汽车上,率先达到了当时美国加州废气排放法规的要求,开创了汽油喷射系统的电子控制的新时代。D型喷射系统在汽车工况发生急剧变化时,控制效果并不理想。1973年,在D型汽油喷射系统的基础上,BOSCH(博世)公司开发了质量流量控制的L-Jetronic型电控汽油喷射系统。之后,L型电控汽油喷射系统又进一步发展成为LH-Jetronic系统,后者既可精确测量进气质量,又可补偿大气压力和温度变化的影响,而且进气阻力进一步减小,响应速度更快,性能更加卓越。

随着大规模集成电路与微型计算机的迅猛发展,为能协调发动机各方面的矛盾,达到对油耗、排放与动力性等性能进行全面控制的综合控制系统的诞生提供了条件。1979年,德国BOSCH(博世)公司开始生产集电子点火和电控汽油喷射于一体的Motronic数字

式发动机集中控制系统，它可对空燃比、点火时刻、怠速转速和废气再循环等方面进行综合控制。

为了降低汽油喷射系统的价格，从而进一步推广电控汽油喷射系统，1980年，美国通用(GM)公司首先研制成功一种结构简单，价格低廉的TBI(节流阀体喷射)系统，它开创了数字式计算机发动机控制的新时代。TBI系统是一种低压燃油喷射系统，它控制精确，结构简单，是一种成本效益较好的供油装置。随着排放法规的不断严格，这种物美价廉的系统迅速取代了传统的化油器系统。1983年，德国BOSCH(博世)公司也推出了Mono-Jetronic单点汽油喷射系统。

电控汽油喷射技术日趋完善，性能优越，使得电控汽油喷射装置从70年代末开始得到迅猛发展。目前发达国家汽车发动机的电子化控制已经普及，而且近些年来像中国这样一些发展中国家也加紧开发电控汽油喷射技术，采用电控汽油喷射技术的汽车越来越多。电控汽油喷射技术不仅轿车上，而且越来越多的其它类型车辆被广泛采用，这充分证明了它强大的生命力与竞争力。

随着发动机电控技术的发展，对发动机进行电子控制的内容也越来越多。包括电控燃油喷射控制、点火控制、怠速控制、进气控制、蒸发污染控制、废气再循环控制等。控制的方式更加集中，通常由一个电子控制单元(ECU)对发动机的所有电子控制项目进行集中控制。有的则将发动机和自动变速器使用一个电子控制单元进行控制。到目前为止，轿车基本上都采用了电控汽油喷射系统，在其它汽车上采用电控发动机也是其发展的必然方向。可以预见，在不远的将来汽车将全部实现发动机电控化。

1.2.2 电控发动机的工作原理

混合气浓度与发动机性能的关系：无论是化油器式发动机还是采用电子控制的发动机，其最根本的目的就是通过控制可燃混合气的浓度和点火提前角等，以期在各种工况下发动机都处于最佳的工作状态，从而达到减少燃油消耗量，提高发动机动力性能和减少排放的目的。因此，混合气浓度的控制对发动机来说就显得尤为重要，精确地控制混合气浓度是发动机电控系统所追求的重要目标之一。

发动机不同工况对混合气浓度的要求：汽车发动机在工作中转速和负荷的变化范围是非常宽广的，发动机转速从起动时的每分钟几十转到最高转速时的每分钟几千转，负荷可以在很短的时间内从零到满负荷。因此对汽车发动机的性能提出了很高的要求，不仅要求发动机能在工作范围内的任一工况下稳定运转，满足动力性、经济性以及排放性能的要求，还要适应工况的突变。不同工况下所要求的混合气空燃比也不一样，具体各工况下发动机对混合气浓度的要求见下表1-1：空燃比(A/F，空气与汽油的质量比)

表1-1 运行工况与混合气浓度的关系

工况	发动机工作状态	混合气空燃比
起动	起动工况下发动机转速很低，进气流速低，发动机温度低，汽油雾化差，不易蒸发，故需要供给浓的混合气。	A/F=3~9
怠速及小负荷	转速低，汽油雾化不良，由于节气门开度小，每循环进入气缸的可燃混合气少，被气缸内残存的废气稀释，难以点燃，因此需要较浓的混合气。	A/F=9~13
中等负荷	在中等负荷工况下，可燃混合气的形成条件和燃烧条件逐步达到最佳状态，发动机可以燃烧经济混合气，以降低发动机油耗。	A/F=13~16
大负荷	节气门全开或者接近全开，汽车需要克服较大阻力，要求发动机输出大功率，以满足动力性要求，因此需要较浓混合气。	A/F=12~13.5
加速	节气门突然开大，空气流速突然增加，进气温度下降，导致汽油雾化变差，因此需要增加燃油量，使混合气变浓。	A/F=10~12

1.2.3 电控燃油喷射供给系统

电控汽油喷射式发动机就是装有电脑、传感器、执行元件的智能控制发动机（见图 1-2）。它可以精确控制空燃比，使燃烧充分，显著减少排气污染。同时，由于发动机工作稳定性得到加强。电子控制燃油喷射系统是以一个电子控制装置为控制中心，利用安装在发动机不同部位上的各种传感器测得发动机各种运行状况下的参数，经过计算精确地控制喷油量，使发动机在各种工况下都能获得最佳浓度的混合气，同时也提高了其它的性能。

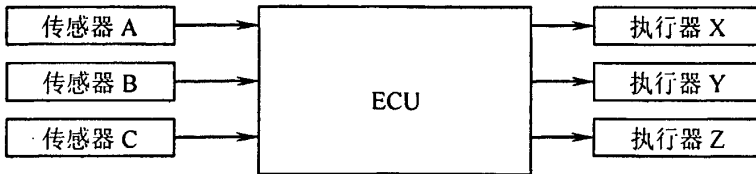


图 1-2 电控汽油喷射系统的组成

电控汽油喷射 EFI (Electronic Fuel Injection) 系统具有以下优点:①电控汽油喷射系统易于控制燃油供给量,实现混合气空燃比及点火提前角的精确控制,使发动机无论什么工况都能处于最佳运行状态。②电控汽油喷射可以提高发动机功率。化油器可以使燃油细微化,改善发动机的过渡性,但喉管直径不能无限制地加大。电控汽油喷射则完全不需要喉管,这就减少了空气阻力,提高了充气效率,从而得到比化油器更高的功率输出。③由于汽油喷射系统不对进气加热,使得压缩温度较低,不易发生爆震,故可采用较高的压缩比来改善热效率。④化油器系统很大程度上依赖进气管的设计,特别是在低温启动时,由于燃油附着在进气管内壁,会使 HC 排放增加,还容易引起加速相应滞后。电控汽油喷射则不受其影响,它的燃油雾化是由喷嘴的特性所决定的,与发动机转速无关,故启动性能良好,不存在从怠速向正常行驶过渡时可能出现的不圆滑现象。⑤电控汽油喷射系统的控制自由度大,对动力性、经济性和排放等可以实现多目标控制;因工况变化,海拔高度、温度变化等对供油系统的影响可以非常容易得到校正。⑥电控汽油喷射系统具有良好的耐热性能,电控汽油喷射的供油压力为 0.25MPa 左右(化油器只有它的 1/10),它也没有浮子室,所以具有良好的抗气阻和防热渗性能^[5]。

由于具有以上这些优点,电控燃油喷射发动机与化油器式发动机相比,功率提高了 5%---10%,有害气体的排放下降了 70%~80%,燃油消耗率降低了 5%~15%,从而满足当前日趋严格的排放法规和燃油经济性法规的要求^[6,7]。

电控汽油喷射技术日益完善,性能优越,使得电控汽油喷射装置从 20 世纪 70 年代末开始得到了迅猛发展。德国于 1993 年 10 月停止生产采用化油器式发动机的轿车而全部采用电控燃油喷射系统。到 1992 年美、日、欧电控汽油喷射的车辆分别占当年轿车产量的 95%, 80%和 51%。

1.2.4 汽车排放污染的控制技术

汽车排放污染控制技术大致分为机内净化和机外净化方法两大类。机内净化是根据有害排放物生成机理,对内燃机的结构及控制系统进行改造的改进设计,采用新材料、新工艺、新技术和新的控制方法,使空气燃油混合气充分且高效地在燃烧室内燃烧,从而达到减少有害气体排放的目的。例如,现代汽车发动机缸体设计的面容比小(气缸短而粗),能迅速提高气缸内壁的温度,有利于混合气的充分燃烧;火花塞上采用新材料和改进的结构,使点火能量增大;现代加工工艺可使车用化油器控制更精确,结构更合理,工作效率更高。这些对发动机及控制系统本身的改造和重新设计都能起到减少排放

污染的作用。在 20 世纪 70 年代中期以前,汽车排放污染控制技术主要是以改善燃烧过程的机内净化技术为主,这些技术尽管对降低排气污染排放起到了很大作用,但一方面效果有限,根本不可能通过它们使汽车能达到目前的排放法规,而且降低排放的措施往往与改善动力性和经济性发生冲突,有时不得不牺牲某些方面的优点,而且带来发动机成本的急剧增加。例如在改善柴油机工作过程中,用来降低微粒排放的措施往往导致 NO_x 排放的增加;而且随着排放标准的不断严格,通过改善内燃机工作过程的余地将越来越小,因此机外净化是控制和净化汽车排放污染的发展趋势。

20 世纪 60 年代末,各工业国家先后开发汽车排气后处理技术。汽车排气后处理是指在内燃机排气系统中,通过化学反应、物理过滤、物理吸附等净化处理技术措施,对排气有害污染物净化的技术。通常为了使排气后处理装置尽量不影响汽车的动力性和经济性,并且在车辆使用寿命内具有良好的性能,它应当满足:较高的排气污染物净化效率,较低的气体流动阻力,在使用过程中有较长的使用寿命,体积要小,不产生新的污染物,要有足够的机械强度,较高的耐热性能,容易维修,制造和使用成本要比较低。三元催化转换器的开发成功使汽车排气污染物控制取得突破性的进展,它在基本上不影响发动机其它性能的前提下,可使汽车排气的 CO 、 HC 、 NO_x 同时降低 90% 以上,大大降低了汽车排气污染物排放。

为了有效控制汽车排放污染物对环境和人类的危害,几乎所有的国家都制定了限制汽车污染物排放的标准。目前,世界上实施的排放标准主要有美国、欧洲和日本三大体系,其中美国和欧洲的排放标准体系为许多国家广泛使用,如中国、俄罗斯、海湾地区、印度等采用欧洲排放标准体系,而加拿大、南美地区、澳大利亚等采用美国排放标准体系。

控制的污染物由最初的 CO 、 NO_x 、 HC 和碳烟,扩展到排气物中微粒物、燃料中的铅和芳香烃,以及空调器用 CFC (破坏臭氧层和温室效应主要物质之一) 和汽车摩擦材料用的石棉(致癌物质)。就占有量最大的汽油轿车而言,当今美国法规规定的 CO 、 NO_x 和 HC 的排放量已比未控制前分别下降了 96%、96% 和 76%,日本则分别为 95%、96% 和 92%,欧洲分别为 85% 和 78% ($\text{NO}_x + \text{HC}$),而且全部实现无铅汽油。

OBD 是英文 On-Board Diagnostics 的缩写,即“车载诊断系统”^[1]。该系统可根据发动机的运行状况随时监控汽车尾气排放是否超标——一旦检测到汽车尾气排放超标,它会马上发出警示。当系统出现故障时,故障灯(MIL)或检查发动机(Check Engine)警告灯亮,同时动力总成控制模块(PCM)将故障信息存入存储器,通过一定的程序可以将故障码从 PCM 中读出。根据故障码的提示,维修人员能迅速准确地确定故障的性质和部位。OBD 系统工作原理如图 1-3 所示。

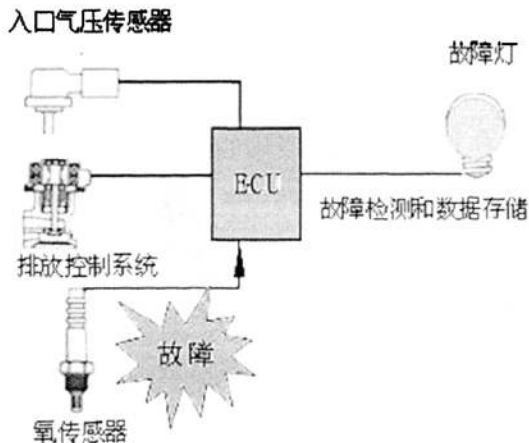


图 1-3 OBD 系统工作原理

目前国际上,按不同国家和地区研制、生产和装用OBD情况,当前已形成3大种类OBD,美国OBD(OBDII)、欧洲OBD(EOBD)和日本OBD(JOBD)。其中,装用最多的是EOBD,我国GB18352.3-2005《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国III、IV阶段)》标准中就是参考采用的EOBD技术体系。EOBD(欧洲车载诊断系统)的排放限值标准:HC为0.4g/km,CO为3.2g/km,NOx为0.6g/km(此值大于型式认证的排放限值),如图1-4所示。

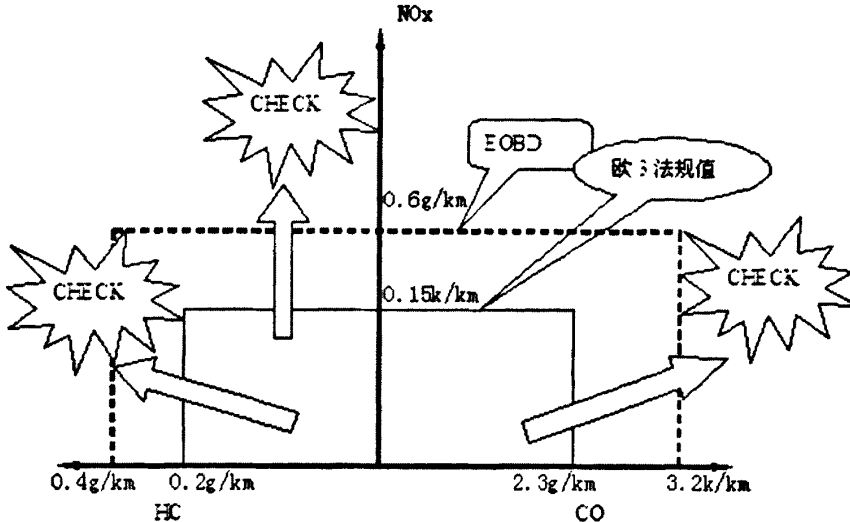


图1-4 EOBD排放限值

1999年3月15日,国家技术监督局正式颁布了四项汽车排放国家标准,并于2000年1月1日正式实施。从2001年开始,我国开始执行更为严格的欧洲排放标准,北京于2005年9月1日起,率先执行欧III排放标准。根据国家环保总局公布的消息,全国将于2007年7月1日起在全国执行欧III标准,2010年7月1日起在全国执行欧IV标准。

目前,我国汽车的排放标准已经逐步完善,但汽车排放污染控制工作是一项需要耗费大量资金和人力的工作,若仅有标准,却没有与其配套的实施机制,没有足够的人力、财力去研究,标准也只是纸上谈兵,不能付诸实施。由于我国汽车的总体技术水平较低且使用时间长,特别是在使用期内经1—2次大修,汽车的技术状况恶化的比较严重,而在以后的10—20年是我国汽车工业发展最快的时期,这也将是汽车污染急剧加重的时期,因此,对于我国控制汽车排放污染物仍然是一项十分艰巨的任务。

1.3 本课题的提出和主要内容

为了满足排放控制标准和燃料消耗标准,汽车制造商使用了各种新的技术,采用电子控制技术是当今汽车发展的重要方向之一。采用电子控制技术以后,汽车上的电子控制单元(ECU)可以根据各种传感器传递来的信号精确地控制喷油量以及各种时间参数,从而使发动机在各种工况下都能按照最佳的状态工作,这样不仅可以提高发动机的动力性和燃料经济性,而且可以将各种有害物质的排放减少到最低程度。随着发动机电控技术的提高和成本的降低,各发达国家生产的汽车中采用电控燃油喷射系统的比重越来越大。到二十世纪九十年代,欧、美、日等国发动机排量在2.0L以上的轿车已经全部采用电控汽油喷射系统,目前几乎所有的汽车发动机都使用了电子控制系统。

空燃比的控制是电控燃油喷射发动机的一项主要内容。它能有效地控制混合气空燃比,使发动机在各种工况下及有关因素的影响下,空燃比达到最佳值,从而提高功率、降低油耗、减小排气污染。该系统可分为开环和闭环两种控制。闭环控制是在开环控制

的基础上,在一定条件下,由微机根据氧传感器输出的混合气(空燃比)信号,修正燃油供应量,使混合气空燃比保持在理论空燃比 14.7:1 附近,以实现排气中三种污染物(CO, HC, NO_x)能被同时高效净化的目的。汽车尾气净化的主要方法是利用催化剂将其有害成分 CO、HC 和 NO_x通过化学反应转化成为无害的 CO₂、H₂O 和 N₂。如果空燃比控制系统出现故障将会直接影响发动机的工作状况。

目前在汽车中用氧传感器控制空燃比的反馈控制系统有两种。一种是三元催化系统,它在 Volvo 中被首次应用,随即被日本、美国公司用来降低汽车尾气有害气体的排放量,是目前控制汽车达标的主要措施。另一个系统为稀薄燃烧系统,它是丰田公司 1984 年首次应用的。三元催化方式(氧传感器、三元催化剂与电子控制供油系统,即所谓三元系统)在降低汽车排放技术中处于主导地位。本文主要说明氧传感器在三元催化方式中的应用原理。

控制关键技术是汽车发动机电子控制燃油喷射系统(EFI)、氧传感器(EGO, 排气氧传感器 Exhaust Gas Oxygen Sensor) 和三元催化反应器(Three Way Catalyst Converter 简称 TWC) 及电控模块(ECU)组成的空燃比闭环反馈控制系统。其中,氧传感器对于提高燃烧效率、降低污染排放量和三元催化起着重要的作用。它们调节汽车发动机的空燃比(A/F, 空气与汽油的质量比),精确地控制燃油的燃烧过程,既提高燃烧效率,节省能源,又能大幅降低尾气的污染。汽车使用时必须安装氧传感器控制的电子喷射系统才能达到环保要求。目前,在汽车发动机上常用的氧传感器是二氧化锆传感器和二氧化钛传感器。本文将说明这两种传感器的原理及特点。

控制系统中三个主要的部分:氧传感器、燃油电控单元 ECU 和喷油器是分析该系统故障的主要考虑因素。由于电控单元 ECU 在使用中故障率比较低,喷油器的故障较易发现,所以对空燃比控制系统中氧传感器的工作特性分析以及故障判断显得尤为重要。而在实际的维修实例中,由氧传感器引发或自诊断系统显示氧传感器故障码的情况较多,这些故障通常会使发动机工作情况恶化,油耗升高,排放污染严重。所以本文就空燃比控制系统中氧传感器的工作特性以及故障分析作为重点研究,用多种方法对氧传感器进行故障诊断和分析。

1.3.1 汽车故障诊断技术

现代汽车故障诊断技术起始于 60 年代末的西方发达国家,随着汽车结构的日益复杂,必然要求有相应的诊断手段来满足其维护的需求,因此,汽车诊断技术在过去的几十年中取得了迅速的发展。汽车诊断技术的发展经历了三个阶段。

1) 人工检验阶段

早期的汽车诊断,主要依靠有一定技术和经验的工匠,凭耳听、手摸的方法来了解汽车的技术状况,再根据已掌握的实践经验进行汽车故障的诊断。该诊断方式完全靠检查者的感觉和经验进行。这种诊断方法总结起来主要是:问、看、嗅、听、摸、试、断。这种方法简单、经济,但是准确性差,很大程度上依赖于操作者的经验。

2) 运用简单的仪器、仪表进行测量阶段

随着诊断技术的进步,一些简单的测试仪器,如:水温表、转速表等应用于汽车的故障诊断中,从而使诊断技术从耳听手摸的定性阶段,逐渐发展到仪器、仪表的定量测量阶段。这种方法为汽车故障诊断提供了客观依据,不足之处是仪器分散,对故障缺乏综合的分析和判断。

3) 利用专门设备进行综合的诊断阶段

专家系统的发展和现代化电子技术的进步为汽车故障诊断提供了更先进的诊断工具和方法。在汽车总成不解体的情况下,用先进的仪器和设备测出汽车有关数据,通过电子计算机的处理,就能显示汽车的技术状况或寻找故障的原因。在七十年代,随着专

家系统的发展和电子计算机智能化的提高,用计算机储存专家知识,建立汽车故障诊断专家系统,把汽车故障诊断推向更加智能化的阶段。

1.3.2 国外汽车故障诊断技术的发展现状

专用的汽车故障诊断仪最早出现在 70 年代初期。原西德在 1972 年推出了他们研制的国民牌车外诊断装置,该装置可以对特定车型的 80 多个项目进行检测,并能输出打印结果。随后,美国和日本也开发出了类似装置,但因为受当时技术水平的限制,这些车外诊断装置的诊断效果并不理想。

为了克服车外诊断装置的局限性,1979 年,美国通用公司在其所生产汽车的电控汽油喷射系统中,正式采用了随车诊断系统。在随后的几年中,欧、美、日等国的汽车生产厂商陆续在各自生产的汽车上配备了随车诊断系统,随车诊断系统成为各汽车生产厂商完善其产品功能,增强市场竞争力的一个重要标志。随车诊断系统主要有如下功能:

- 1) 有严重故障时向驾驶员报警。
- 2) 存储并显示故障代码。
- 3) 实行容错控制,使汽车在某些故障下不丧失基本行驶能力,在 80 年代和 90 年代初的汽车上配备的随车诊断系统,多为各汽车生产厂商独立开发的,因此,无论在检测项目、通信协议、接口标准以及故障代码的定义等方面,不同厂商的产品都存在着较大的差异,因而也给不同车型的维修工作带来不便。

1988 年,美国汽车工程师协会(SAE)、美国环保署(EPA)、加州空气资源委员会(BARB)协同提出了 OBDI 随车诊断系统,其目的是加快燃油喷射系统的维修速度,提高其维修质量,OBDI 系统能够实时监控控制模块、与控制模块相连的各传感器、燃油表系统以及废气再循环系统等等。随后,美国汽车工程师协会开始着手制定一些 OBDII 的标准。

1993 年,美国环保署颁布了相应的规定,一些 1994 年出厂的轻型车上开始配备 OBDII 随车诊断系统。

1.3.3 国内汽车故障诊断技术的发展现状

国内的汽车故障诊断技术的研究起始于 70 年代后期,1977 年,国家为改变汽车维修行业技术落后的局面,下达了“汽车不解体检验技术”的研究课题,标志着我国汽车诊断技术研究的开始。

80 年代以来,我国汽车诊断主要集中在专用的诊断和检测仪器的研制开发上。目前,国内已开发成功的汽车检测设备主要有:发动机无外载加速测试仪、发动机废气分析仪、发动机异响诊断仪、汽车制动试验台、发动机综合测试仪等。与此同时,各种研究院所也纷纷对汽车故障诊断的理论和方法进行了研究,将专家系统理论、信号处理技术、模糊诊断理论以及人工智能技术应用于汽车故障的诊断领域。

80 年代初,一汽奥迪与北京切诺基汽车率先在其电喷发动机中采用了随车诊断系统,开始了随车诊断系统在我国推广。现在,在我国生产的各类轿车中,都已配备了随车诊断系统,并且,在 1999 年投产的上海别克轿车中还配备了先进 OBDII 随车诊断系统。

90 年代以来,我国出现了企业自行研制开发的汽车电控系统检测仪,这类检测仪大多采用单板机技术制造,并配备有多种车型的检测卡和连接器,可以对欧、美、亚及国内生产的多种电控汽车进行故障检测。90 年代后期,随着带有 OBDII 随车诊断系统的电控汽车在我国逐渐增多,一些厂商生产出了具备 OBDII 检测功能的电控汽车检测仪。例如深圳元征计算机公司生产的“电眼睛”汽车电控系统检测仪,适用于亚、欧、美各大车系 2000 多种车型的发动机、变速箱、防抱刹车、防撞气囊等系统的故障检测,可进

行数据流、故障码及发动机动态测试，并具备直接打印以及与 PC 机联机打印等功能。

1.3.4 本课题的主要工作

我们知道汽车发动机故障诊断和维修的传统的“问、看、嗅、听、摸、试、断”¹⁹，方法已经不在适用于社会的发展需要，这就要求维修人员和试验人员不仅仅要有机械方面的知识，还需要电子、控制、计算机等等各个方面的综合知识。传统的维修方式已远远不能满足对现代汽车的维修要求。本文用多种方法对氧传感器进行故障诊断和分析：

- 1) 根据氧传感器的工作原理得出正常工作时氧传感器的参数，依据这些参数进行简单测量，排除故障；
- 2) 根据氧传感器的外观特征判断氧传感器的好坏；
- 3) 用发光二极管判断氧传感器的好坏；
- 4) 利用汽车专用万用表判断故障；
- 5) 利用汽车专用解码器如何判断故障；
- 6) 利用汽车示波器如何判断故障；

本文主要研究内容也是在以上背景下产生的，包括如下：

- 1) 系统分析空燃比控制系统的基本工作原理和特点；
- 2) 从理论上分析和研究了氧传感器的原理和应用；
- 3) 从测量到仿真分析，系统深入地研究基于空燃比控制系统的氧传感器电路；
- 4) 深入地研究了故障案例并对结果做了详细的分析；
- 5) 小波分析方法在发动机故障诊断中的研究；
- 6) 分析氧传感器使用问题和发展方向。

第二章 汽油发动机的空燃比控制系统

2.1 空燃比反馈控制的概念及工作过程

当今世界汽车大量使用计算机控制的发动机（电控发动机），化油器式的发动机逐步被淘汰。计算机控制的发动机系统可对发动机的喷油量、点火提前角实施精确地控制，对车辆的排放装置、怠速和故障自诊断等进行管理，是一个以计算机为中心的发动机闭环控制系统，能够根据车辆的状态准确、稳定地控制，故有较高的燃油经济性、动力性和“清洁”性能。

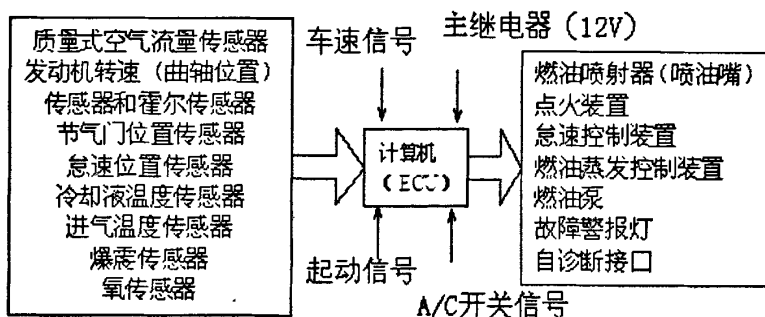


图 2-1 电喷发动机系统

空燃比一般用来表示可燃混合气的成份，定义为空气与燃料的质量比。空燃比小于 9 或大于 20 的混合物一般不能燃烧。烃类燃料按理想条件完全氧化时，其燃烧物只有二氧化碳和水，但是在内燃机气缸燃烧的条件下，还产生了其它产物，包括 CO、H₂ 及部分氧化了的烃类、醛类。另外一部分汽油也没有被燃烧，部分裂解为较小的碳氢化合物分子。在用空气作为氧气源时，一部分空气中的 N₂ 与 O₂ 化合成 NO_x。一些颗粒物，特别是含有铅的化合物也随废气排出。内燃机废气污染物的排放依赖于下面一些因素：

(1) 空燃比 (2) 发动机热状态 (3) 发动机转速 (4) 发动机负荷 (5) 点火时间 (6) 压缩比 (7) 燃料类型

其中空燃比是最重要的因素。内燃机废气排放的 CO、CH_x 和 NO_x 与空燃比的关系见图 2-2a。由于混合物的空燃比不同，使燃烧速度产生很大差异，排气成分也发生变化。

空燃比不同，燃油的燃烧速度和燃烧温度也存在显著差异。空燃比为 13.5~14 时，火焰温度最高；在空燃比为着火上、下限时，燃烧温度最低；在空燃比为 12~13 时，燃烧速度最快，发动机将发生最大功率，此时的空燃比成为功率空燃比；在空燃比约为 16 左右时，燃料燃烧最完全，燃料消耗率最低，称为经济空燃比。空燃比对有害物排放浓度的影响主要体现在以下三个方面：

1) 空燃比对 CO 的影响

当空燃比小于 14.7 时，混合气较浓，由于空气量不足，引起不完全燃烧。CO 排放浓度升高。空燃比约为 14.7 时，即使用功率混合气时，发动机达到最大功率，但油耗高，CO 生成量大。空燃比大于 14.7 时，有足够的氧支持燃烧，燃油容易完全燃烧，CO 浓度也就较低。由于空燃比对 CO 排放量的影响十分大，那么凡影响空燃比的因素，也就是影响 CO 排放的因素。

2) 空燃比对 HC 的影响

当空燃比小于 17 时，混合气较浓，燃烧越不完全，HC 生成量也就越多；当空燃比大于 18 时，由于燃油过少，火花塞点不着火，发动机缺火使 HC 生成量急剧上升。

3) 空燃比对 NO_x 的影响

当空燃比接近经济空燃比 16 时，燃料燃烧效率高，温度也高，因此 NO_x 生成量最大；当空燃比低于或高于 16 时，NO_x 生成量迅速下降。空燃比小于 16 时，氧浓度太低；空燃比大于 16 时，燃烧太慢，燃烧温度不能升至最高，两者都不满足 NO_x 产生的条件，所以 NO_x 排放量较小。

通过上述分析可以看出，当 CO 或 HC 生成量较小时，NO_x 的生成量很多；而当 NO_x 的生成量减少时，CO 或 HC 的生成量又增加，同时燃料消耗也可能增大。因此只有保证空燃比处于理论值附近才可以达到同时降低 CO、HC 和 NO_x 排放，节省燃油的目的。

理论上 1 kg 汽油完全燃烧需要 14.7 kg 空气，比值 14.7 即称为理论空燃比。理论空燃比对我们理解可燃混合气如何燃烧有重要意义。混合气的浓与稀可参照参数过量空气系数：实际空气量与理论空气量的比，用 λ 表示。当 $\lambda=1$ ，即实际空燃比等于理论空燃比。相对而言，混合气浓（空燃比小于理论空燃比或 $\lambda < 1$ ），所供的空气量小于理论空气量，这种混合气不足以完全燃烧，汽油浓度大，称为稠密。对完全燃烧来讲氧气过少，有利于提高发动机动力性，但燃油经济性将下降，且易生成较多的 CO 和 HC 降低排放性能；反之，当混合气稀（空燃比大于理论空燃比或 $\lambda > 1$ ），对完全燃烧来讲氧气过多，有利于提高燃油经济性，但发动机动力性将受损失，且易生成较多的 NO_x 降低排放性能。因此，有效地控制实际空燃比在理论空燃比附近，将有利于提高汽车发动机的经济性、动力性和降低排放污染（见图 2-2a）。

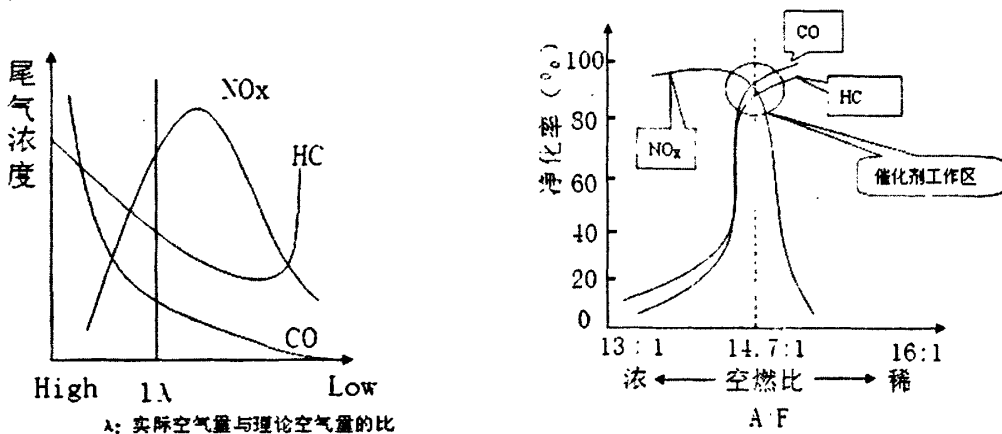


图 2-2a 空燃比对尾气排放的影响

图 2-2b 三元催化反应器的净化效率与空燃比的关系

三元催化装置（器）（图2-3），是一个具有不锈钢外壳的罐状物。它的工作温度较高，一般在300℃以上，甚至高达800℃左右。三元催化装置中有钯（Pd）、铂（Pt）和铑（Rh）三种稀有贵金属，是重要的催化元素。催化转化装置的内部是交叉片状或蜂窝状的陶瓷，是三种催化元素的载体。当发动机的排气通过时，转换装置可提供较大的反应面积，使废气中的有害气体HC、CO和NO_x在转换装置中充分反应（氧化还原反应），形成无害的水蒸气和二氧化碳和N₂。它的工作原理是利用该三种气体相互之间的氧化还原反应来实现尾气的净化。这三种气体的净化化学反应为：CO被氧化成CO₂，CH_x与H₂O反应生成CO₂，NO_x则被还原成N₂。钯（Pd）、铂（Pt）和铑（Rh）三种元素在氧化还原反应中起催化的作用，促进有害气体的转化。然而，在这些催化反应中催化剂的反应特性与通过的尾气中所含的氧量有关，因此由催化反应所导致的净化效率就与发动机的空气和燃料的比例A/F有关。只有当过量空气系数为1（汽油完全燃烧并生成CO₂和H₂O时空燃比称为理论空燃比，理论空燃比为14.7：1）很窄的范围内，有害气体HC、CO和NO_x在转换装置中的转化效率才能同时达到最高。空燃比变小（浓混合气），HC、CO的转化效率低，而空燃比大（稀混合气），NO_x转化率降低，如图2-2b。装有催化器的排放系统见图2-4所示。

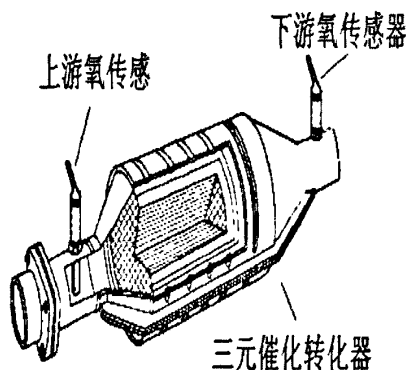


图 2-3 三元催化装置(器)

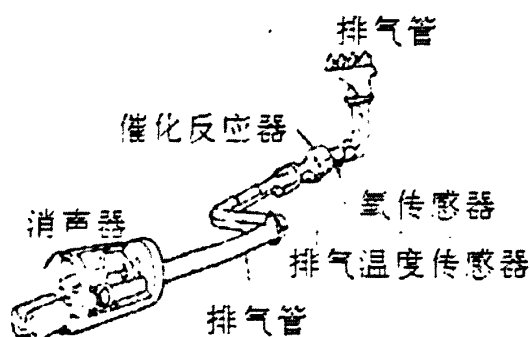


图 2-4 装有催化器的排放系统

电喷式发动机系统一般由传感器、计算机本身和执行装置三大部分组成。氧传感器可监测发动机废气中的氧含量，产生一个与其成比例的电压信号，计算机根据该信号判断出空气燃油混合比 λ 值。根据 λ 值计算机连续控制、改变喷油量，使空燃比接近理论空燃比 14.7: 1，此时发动机的动力性、燃油经济性和排放性能（加三元催化装置）会达到最佳。由于氧传感器的信号是代表最终喷油量的数值，因此，计算机以 14.7: 1 的空燃比进行喷油量的控制成了闭环，即构成所谓的电喷式发动机系统的闭环控制^[11~14]。

故此，三元催化反应器通常与电子计算机控制系统结合在一起，用氧传感器检测尾气中的氧浓度并将其信号反馈到 ECU，又通过 ECU 发出指令来控制调节燃料供给系统。这样就构成一个自动控制空燃比的闭环回路，见图 2-5 所示。为此，利用氧传感器检测排放气体中的氧浓度及微机反馈控制来调整发动机空燃比，成为必不可少的手段；同时也表明，氧传感器是使该系统最有效地发挥作用必不可少的部件。

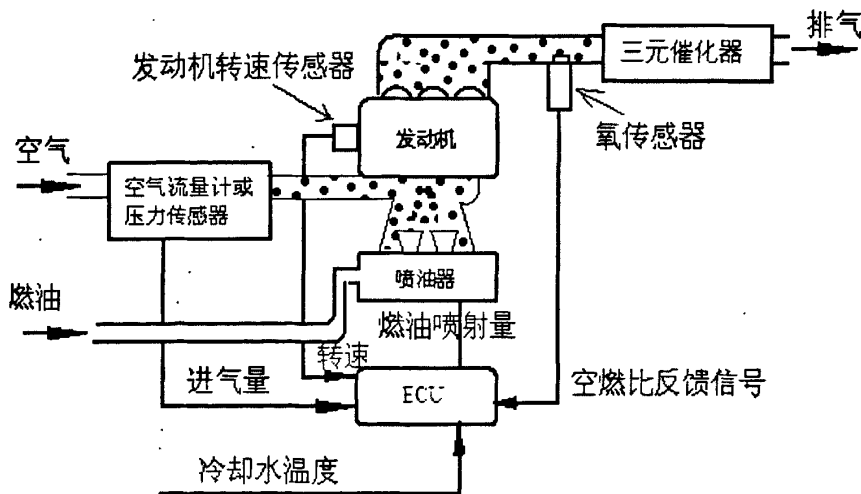


图 2-5 尾气闭环控制系统

空燃比的闭环反馈控制是一个有限循环的闭环控制系统，空燃比在理论值附近波动，波动的频率通常在 0.3~10Hz 之间。波动幅值峰——峰值小于 2 个空燃比系统单位。最简单的闭环控制系统的结构如图 2-6 所示，燃油计量系统调节供油量，确定 λ_i ，排气浓度为 λ_o 。氧传感器输出 U_f 是 U_o 函数，这个信号用于控制供油系统从而控制 λ_i 。控制器连续调节输入空燃比，尽量使平均空燃比接近其理论值。

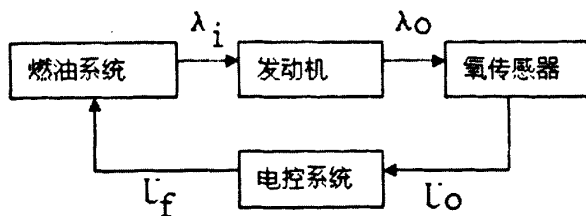


图 2-6 空燃比闭环控制系统

2.2 反馈控制的实施和停止条件

采用氧传感器进行反馈控制（闭环控制），原则上供给的混合气应在理论空燃比附近，但有时情况则不同。例如发动机起动时，由于发动机冷却液温度低，需要较浓的混合气，若按反馈控制供给理论空燃比附近的混合气，发动机可能会熄火。再如发动机在大负荷、高转速工况时，需要较浓的混合气，若按反馈控制供给理论空燃比附近的混合气，发动机可能运转不良。因此，有些情况下应停止反馈控制，进入开环控制状态。通常在下述情况中，反馈控制将自动解除：

- 1) 发动机起动时；
- 2) 起动后燃油增量修正(加浓)时；
- 3) 发动机暖机时；
- 4) 节气门全开(大负荷、高转速)时；
- 5) 加、减速燃油量修正时；
- 6) 燃油中断停止供油时；
- 7) 氧传感器送回的空燃比过稀信号持续时间大于规定值(如 10 s 以上)；
- 8) 氧传感器送回的空燃比过浓信号持续时间大于规定值(如 4 s 以上)。

另外，由于氧传感器的温度在 300℃ 以下不会产生电压信号，不能正确检测理论空燃比，反馈控制也不会起作用。

反馈控制的停止条件：1) 起动后或发动机暖机时停止反馈控制。2) 为了确保行驶性能，高负荷，高转速时停止反馈控制。

2.3 氧传感器在空燃比反馈控制系统中的作用

当发动机在理论空燃比附近运转时，串接在排气管中的三元催化转换器能使 CO、HC 和 NO_x 获得 90% 的净化。一旦空燃比偏离 14.7:1，废气净化效果就明显降低。只有由氧传感器组成的反馈控制系统，才能获得理想的净化效果。

发动机空燃比反馈控制原理如图 2-7，图 2-8 所示。ECU 接收到氧传感器的反馈信号后，将其信号电压与基准电压进行比较，以判定混合气的浓稀程度进行控制。空燃比反馈控制的实质就是通过氧传感器信号执行回归理论进行空的控制。在该系统中，当空燃比稀薄时，排放气体中的氧浓度增加，氧传感器把“稀薄状态”通知微机，氧传感器输出低电位信号，ECU 收到这一信号后，使反馈修正系数增大(先骤升，后缓升)，结果使喷油器延长喷油持续时间增加喷油；当空燃比较浓时，排放气体中的氧浓度降低，氧传感器把“较浓状况”通知微机，则氧传感器输出高电位信号，ECU 收到这一信号后，使反馈修正系数减小(先骤降，后缓降)，喷油器缩短喷油持续时间减少喷油。由于喷油量减少，混合气随之又很快变稀。反馈控制系统就是这样往复动作，从而把空燃比控制在理论值。ECU 根据氧传感器的输出信号对混合气空燃比进行控制的过程，称为闭环式

控制。但由于控制系统的反馈控制过程需要一定的时间(包括可燃混合气吸入汽缸、尾气流过氧传感器及氧传感器响应时间等)，故实际控制的混合气的空燃比总是保持在理论空燃比 14.7 附近的一个狭窄范围内。

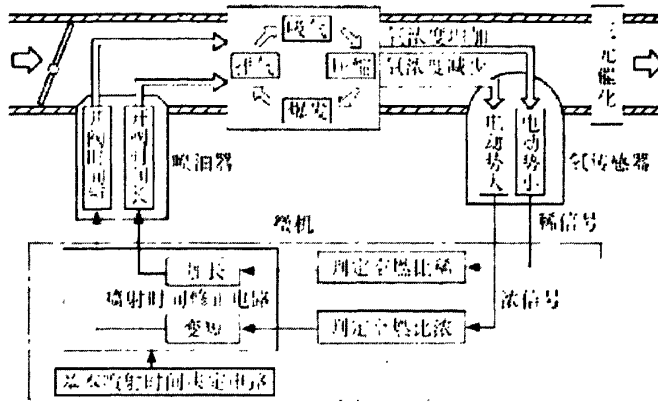


图 2-7 反馈控制过程图

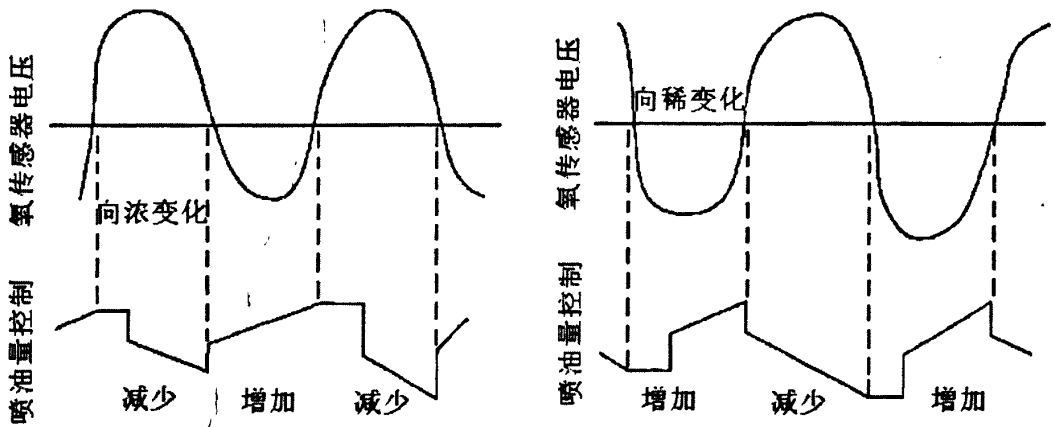


图 2-8 闭环控制特性曲线图

氧传感器只在正常工作温度范围内进行工作。如二氧化锆型氧传感器自身温度低于 315℃ 则基本不工作，其正常工作温度为 450~850℃。氧传感器检测尾气排放中氧气的含量，检测发动机是否按理想空燃比燃烧，并向发动机控制单元反馈^[13]。当混合气浓时排放气体中氧比较少，和大气中的氧差值大，产生较高输出电压。当混合气稀时排放气体中氧比较多，和大气中氧差值较小，产生较低输出电压。PCM（动力控制模块）根据氧传感器反馈的信息，重新调节喷油脉宽，使混合气的空燃比尽量接近 14.7 : 1 的理想空燃比，以保证三元催化转化器的转化效率。

氧传感器是燃油系统中负责闭环控制的传感器，氧传感器输出的电压信号是控制单元所依赖的最重要的信息来源。

第三章 氧传感器的结构和原理

3.1 常见的氧传感器

目前,市场上汽车氧传感器产品按工作原理分为浓差电压型、极限电流型、半导体电阻型(前两者通常采用掺杂稳定剂的 ZrO_2 基电解质,以氧空位离子传导导电;后者以氧化物半导体对氧气的氧化还原产生电子导电);按其应用分为理论空燃比传感器(即 λ 传感器)、稀薄空燃比传感器、宽范围空燃比传感器;按其结构分为套管式和平板式;按其材料分为氧化锆和二氧化钛。相比较而言,平板式 ZrO_2 汽车氧传感器由于具有尺寸小、响应快、能耗低、易集成加热器,在恶劣环境下工作稳定等优点成为主流产品。

3.2 两种常见氧传感器的工作原理

在汽车发动机上常用的氧传感器是氧化锆传感器和二氧化钛传感器。氧化锆的离子导电性最早研究是在1900年,从最初的研究到理论机理的提出,再到1961年美国科学家Weissbart和Ruka成功制做了第一个氧化锆氧传感器大约经历了61年的时间,而真正将氧传感器应用于汽车上则是在1976年,由德国博世BOSCH公司首先在瑞典VOLVO汽车上装用了氧化锆氧传感器^[16],实现了汽车尾气空燃比的反馈控制。之后通用、福特、丰田、日产等汽车都先后开发了氧传感器并应用于汽车上来控制汽车尾气。随着汽车尾气排放所带来的环境污染的严重,氧化锆氧传感器(EGO)经过改进成为加热型(HEGO)氧化锆传感器,来保证发动机在负荷小、排气温度低时,加热器通电保证氧传感器在正常的工作温度内工作,目前氧化锆传感器已是应用在汽车上较成熟的氧传感器。二氧化钛(TiO_2)属N型半导体材料,其阻值大小取决于材料温度及周围环境中氧离子的浓度,因此可以检测排气中的氧离子浓度。氧化物半导体表面可选择性地吸附某种气体,利用其氧化物薄膜的电阻率变化可制成气敏元件是由日本的清山哲郎在1962年发现的,而二氧化钛传感器在汽车上的应用是日本于1982年才开始使用,丰田公司于1984年研制成功了管芯式氧化钛传感器,1985年研制成功厚膜式氧化钛传感器并批量生产,并且之后在全球得到迅速的发展。氧化钛式一般都为加热型传感器,由于价格便宜,且不易受到硅离子的腐蚀,因此随着新技术,特别是纳米加工技术发展,二氧化钛传感器将更具有广阔的前景。

3.2.1 氧化锆传感器的结构与工作原理

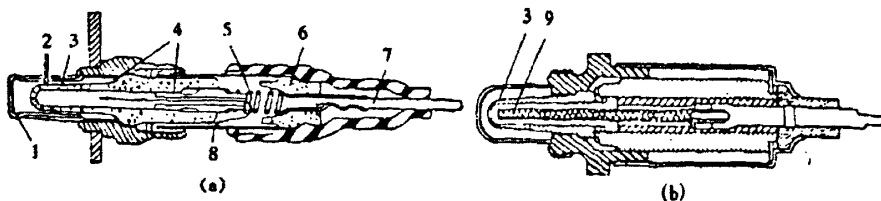


图 3-1 氧化锆氧传感器结构 (a) 无加热器 (b) 有加热器

1 防护套管, 2 废气, 3 锆管, 4 电极, 5 弹簧, 6 绝缘体, 7 信号输出线, 8 空气, 9 加热器

氧化锆氧传感器(结构如图3-1所示)的基本元件是专用陶瓷体,即 ZrO_2 固体电解质。陶瓷体制成试管式的管状,亦称锆管。其内外表面都覆盖了一层多孔性的铂膜作为电极。由于在汽车上使用,环境条件苛刻,寿命要求长,为防止废气中的杂质腐蚀铂膜,在 ZrO_2 传感元件的铂膜上覆盖一层多孔氧化铝保护层,并且还加装一个防护套管。氧传感器内侧通大气,外侧直接与废气接触。由于发动机空间有限,传感器外形设计成U型,内电极为厚膜技术固定的多孔Pt(铂)膜,外电极采用有机硅胶液涂敷Pt膜上再

溅射 Pt 薄膜的方法制备,以提高三项界面的催化活性。为增加其机械强度,整个传感器装在不锈钢套筒内,然后固定在发动机与排气管的连接处。尾气温度在 300~950°C 之间变化,为保证传感器在稳定温度下工作,U 型管内插入加热器。氧化锆氧传感器必须满足发动机温度高于 60°C、氧传感器自身温度高于 300°C,以及发动机工作在怠速工况或部分负荷 3 个条件时才能正常调节混合气浓度,因此,将其安装在温度较高的排气管上。同时,为了使氧传感器迅速达到工作温度(300°C)而投入工作,采用加热器对锆管进行加热。为使传感器在低温条件下就投入工作,加热器的加热温度一般设定为 300°C。温度对氧传感器电动势的影响如图 3-2 所示。锆元素氧传感器的正常工作温度是 315°C 左右,低于该温度值,氧传感器不输出电压,因此,传感器的引出线常常有三根,有一根是供加热使用的导线。

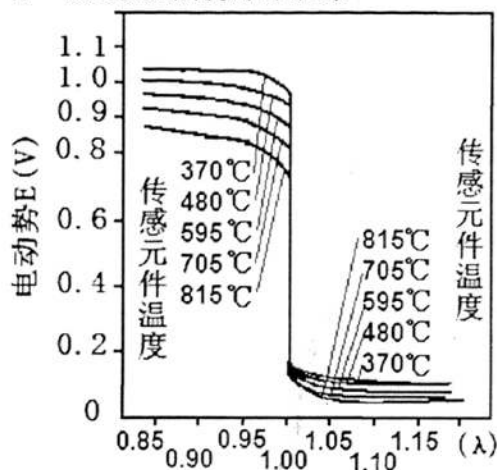


图 3-2 温度对氧传感器电动势的影响

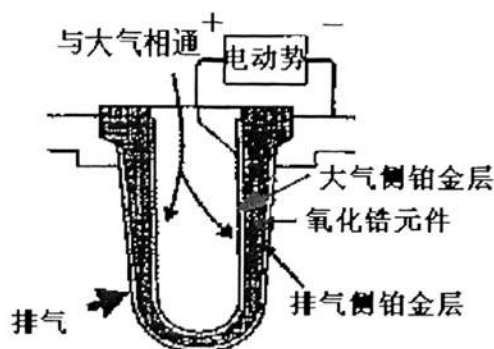


图 3-3 氧化锆氧传感器工作原理



图 3-4 氧化锆氧传感器结构

1) 电池特性:

ZrO₂ 传感元件陶瓷体是多孔的,允许氧渗入该固体电解质内,温度较高时,氧气发生电离。ZrO₂ 氧传感器的工作原理与干电池相似,传感器中的氧化锆元素起类似电解液的作用。二氧化锆具有吸附氧离子的作用,每个氧离子带有两个负电荷。传感器的内部电极接触空气,氧含量较高,该极二氧化锆吸附的氧离子就多,电位较低;传感器的外部接触废气,氧的含量少,这一侧二氧化锆吸附的氧离子就少,电位较高。两极电位差就是传感器输出的电压值,它随着空燃比的变化,在 0.1V~0.9V 之间变化。

其基本工作原理:在一定条件下(高温和铂催化),利用氧化锆内外两侧的氧浓度差产生电位差,则在固体电解质内部氧离子从大气一侧向排气一侧扩散,使铂管形成微电池,在铂管铂极间产生电压。氧化锆氧传感器工作原理如图 3-3 所示,结构如图 3-4。化学反应过程:

内电极（参比电极） $O_2+4e \rightarrow 2O^{2-}$ 外电极（工作电极） $2O^{2-} \rightarrow O_2+4e$

$$E = (RT/4F) (\ln P_s - \ln P_r)$$

式中 R 为气体常数 (8.314J/(mol·K))；T 为工作绝对温度 (T)；F 为法拉第常数 (96480C/mol)；Pr、Ps：排出气体与大气中的氧分压，Pa

起电力 E 与氧分压比的对数成正比，氧传感器表面的氧浓度差越大，起电力也越大。

2) 开关特性：

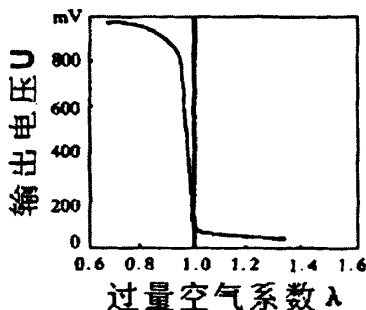


图 3-5 锆氧传感器输出特性

$$\lambda = \frac{\text{燃烧1kg燃料所实际供给的空气质量}}{\text{完全燃烧1kg燃料所需的理论空气质量}}$$

当混合气稀(空燃比大或 $\lambda > 1$)时，排气中氧的含量高，CO 浓度较小，即使 CO 全部都与氧离子发生化学反应，锆管外表面上还是有多余的氧离子存在。因此，传感元件内外侧氧浓度差小，则内外侧两电极之间产生的电压很低(接近 0V)；反之，混合气浓(空燃比小或当 $\lambda < 1$)时，在排气中几乎没有氧，CO、HC、 H_2 的含量较多，这些成分在锆管外表面的铂的催化下，与氧发生反应生成 CO_2 气体，消耗废气中残余的氧，使锆管外表面氧浓度变成零。由于锆管内表面与大气相通，氧离子浓度很大，这样使得锆管内、外两侧的氧浓度差突然增大，两极间产生的电压也增大(约 1V)。在理论空燃比附近(即 $\lambda = 1$)，排气中的氧离子和 CO 含量都很少。在铂催化剂的作用下，氧离子与 CO 的化学反应从缺氧状态(CO 过剩、氧离子浓度为 0)急剧变化为富氧状态(CO 为 0、氧离子过剩)。由于氧离子浓度差急剧变化，因此，铂电极之间的电位差急剧变化，使氧传感器输出电压信号有一突变，其输出特性见图 3-5。

当 $\lambda = 1.00$ 时，废气净化率最高，此时传感器的输出电压处于临界状态。

当 $\lambda < 1.00$ 时，发动机工作在缺氧状态，输出电压接近于 1.0V。

当 $\lambda > 1.00$ 时，发动机工作在富氧状态，输出电压接近于 0.0V。

在理论空燃比附近，氧传感器的电压输出曲线呈阶跃状，计算机判断氧传感器的电压在 0.4~0.5V 时，就可知道空燃比接近理论空燃比。

因此，通过氧传感器的信息反馈，使空气过剩率始终保持在以 $\lambda = 1.00$ 为中心的狭小范围内，从而将废气组分中有害气体的排出量控制在最低限，经空气净化器后，废气含量只占发动机管道内含量的 1/10，另外通过测量净化气体前后的氧偏差，还可以监测发动机的工作是否正常。

3) 响应时间：

当混合气体浓度发生变化时，氧传感器的电压输出从开始变化到最终输出的 90%之间所需的时间，即为响应时间。氧传感器的响应时间一般不超过 10S。响应时间越短，则其灵敏度越高。氧传感器信号应在 0.1~0.9V 之间上下波动，为了尽快进入闭环控制，现在发动机上使用的都是加热型氧传感器。加热线圈的 12V 电源来自接线盒和燃油泵继电器。

3.2.2 二氧化钛传感器的结构与工作原理

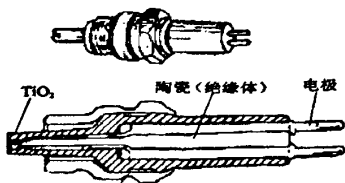


图 3-6 TiO₂ 氧传感器的结构

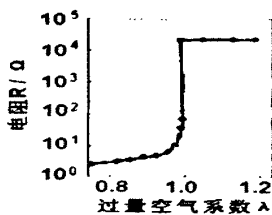


图 3-7 TiO₂ 氧传感器的阻抗特性

1) 构造：二氧化钛属于 N 型半导体材料，其阻值大小取决于材料温度和周围环境中离子的浓度，因此可以用来检测尾气中氧离子的浓度。它主要由二氧化钛传感元件、钢质壳体、加热元件和电极引线组成。氧化钛式氧传感器（结构如图 3-6 所示）必须满足发动机温度高于 60°C、氧传感器自身温度高于 600 °C，以及发动机工作在怠速工况或部分负荷 3 个条件时才能正常调节混合气浓度，因此，氧化钛式氧传感器也安装在温度较高的排气管上。同时，采用了直接加热方式使氧传感器迅速达到工作温度（600°C）而投入工作。氧化钛式氧传感器是利用二氧化钛(TiO₂)材料的电阻值随排气中氧含量的变化而变化的特性制成的，故又称电阻型氧传感器（阻抗特性如图 3-7 示）。二氧化钛式氧传感器的外形和氧化锆式氧传感器相似，在传感器前端的罩内是一个二氧化钛膜元件。纯二氧化钛在常温下是一种高电阻的半导体，但表面一旦缺氧，其晶格便出现缺陷，产生更多电子，电阻随之减小^[17]。由于二氧化钛的电阻也随温度不同而变化，因此在二氧化钛式氧传感器内部也有一个电加热器，以保持氧化钛式氧传感器在发动机工作过程中的温度恒定不变。

$$R = A \exp(-E/RT) \cdot P_{O_2}^{1/m}$$

式中：

R：波兹曼常数，J/K；A：常数；E：活化能，J；1/m：依赖于晶格缺陷性质的指数；P_{O₂}：氧分压，Pa；R：气体常数，J/mol K；T：绝对温度，K

如果偏离理论空燃比，P_{O₂} 则会发生逐步的变化。所以，通过测定氧分压，亦即传感器的电阻变化，就能测定与理论空燃比的偏移数值。

2) 工作原理：电控单元 ECU 将一个恒定的 1V 电压加在二氧化钛氧传感器的正极，并将传感器负极上的电压降与电控单元控制程序中设定的参考电压相比较，如图 3-8。当发动机的可燃混合气浓 (A/F<14.7) 时，排气中氧含量少，二氧化钛氧传感器外表面氧很少，二氧化钛呈现低电阻；当发动机的可燃混合气稀 (A/F>14.7) 时，排气中氧含量大，二氧化钛氧传感器外表面氧很多，二氧化钛呈现高电阻；电阻在混合气空燃比为理论空燃比 14.7（即 λ=1.00）时产生突变，如图 3-9。通过这样的反馈控制，使混合气的浓度保持在理论空燃比附近的狭小范围内。

氧化钛型氧传感器反馈给发动机电控单元的电压，一般是 1V 范围内变化，也有少数的是 5V 范围内变化的。

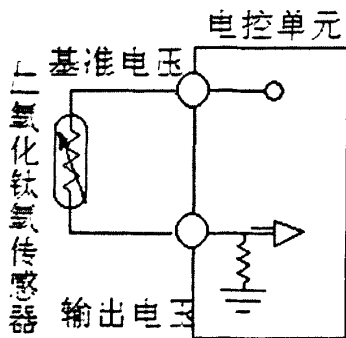


图 3-8 氧化钛式氧传感器工作原理

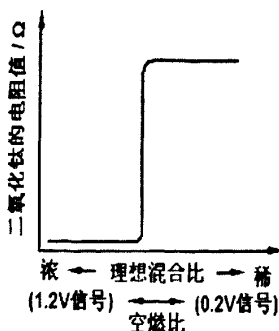


图 3-9 二氧化钛型氧传感器的阻值与电压信号

3.3 两种常见氧传感器的特性和要求

表 3-1 ZrO₂ 氧传感器和 TiO₂ 氧传感器的比较

	ZrO ₂ 氧传感器	TiO ₂ 氧传感器
工作原理与输出特性	根据排气中氧含量变化, 测定电压输出	根据排气中氧含量变化, 测定电阻输出
优点	灵敏度高, 寿命长	结构简单, 价格便宜, 体积小, 抗铅能力强, 氧化钛式氧传感器不需要于大气压进行比较, 因此传感元件的密封与防水十分方便, 利用玻璃或滑石粉等密封即达到使用要求。
缺点	结构复杂, 价格昂贵, 贵金属催化剂容易铅中毒	外接仪器较昂贵、灵敏度和寿命不及 ZrO ₂ 氧传感器

氧化钛式氧传感器具有两个氧化钛元件, 一个是多孔性的二氧化钛陶瓷, 用来检测排气中的氧含量; 另一个是实心的二氧化钛陶瓷, 用来做加热调节, 补偿温度的误差。传感器外面套有带孔槽的金属防护套。传感器接线端以橡胶作为密封材料, 防止外界气体渗入。当空燃比由浓变稀或由稀变浓时, 发动机排气中的氧浓度将会发生较大的变化, 安置在发动机排气管中的氧化钛氧传感器的电阻也会发生明显的变化。

与氧化锆型氧传感器不同的是二氧化钛型氧传感器不需要与大气进行比较, 因此对传感元件的密封性和放水性提供了保证。同时, 避免了二氧化锆型氧传感器因内表面与大气接触的孔被泥堵塞后, 无法进行氧气浓度差的比较, 造成氧传感器输出电压变化频率过慢的故障。二氧化钛型氧传感器在电极引线与护套之间设置一个硅橡胶密封垫圈, 可以防止水蒸气侵入传感器内部造成的腐蚀。

动力控制模块 (PCM) 向氧传感器提供 0.45V 的参考电压, 也称偏压。偏压与氧传感器产生的信号电压叠加, PCM 检测该叠加电压。当空燃比较稀时, 尾气中大约有质量分数 0.2% 的氧气, 则氧传感器信号电压低于 0.45V, PCM 根据这个信号增加喷油脉宽。当空燃比较浓时, 尾气中的含氧量较低, 则氧传感器信号电压高于 0.45V, PCM 根据这个信号减少喷油脉宽。PCM 通过控制空燃比在略稀和略浓之间上下波动, 将空燃比控制在接近理想范围内。

PCM 根据氧传感器信号在短时间内调整的喷油量叫短期燃油调节。短期燃油修正系数是控制单元根据氧传感器输出信号确定的。短期燃油调整可分为 0~255 级, 中间值为 128。在此基线上, 不需调整基础喷油脉宽。若短期调整值高于 128, 说明混合气稀了, PCM 控制增加喷油量, 反之, 减少。若短期值偏离 128 太远, 通过短期调整值无法满足, 则需长期燃油修正。长期燃油修正系数是控制单元根据短期燃油修正系数的变化, 对控制单元运行数据结构进行修正确定的。长期燃油调整表示 PCM 的结构性补偿量。

由于发动机空燃比控制中工作环境的特殊性, 对氧传感器的性能提出如下一些工作要求: 传感器能够在较高温度下工作, 这是由发动机燃烧及其尾气排放管道温度较高决定的; 传感器材料要能经得住 -20℃~900℃ 左右的经常性的温度突变的冲击; 传感器应具有较好的防尘和抗外界沙石击打的能力, 因为氧传感器是安装于车底部排气管上的; 对尾气的氧分压变化能做出极为快速的响应和恢复, 重复性、稳定性和灵敏度要好。由于铅对铂的氧化作用有抑制作用, 因此采用催化转换器及氧化锆式氧传感器的汽车必须使用无铅汽油。

第四章 氧传感器的常见故障和简单诊断

氧传感器一般安装在排气管的第一节、三元催化器的前面,由于汽车尾气及排气温度的原因,其工作条件极其恶劣。无加热器的氧传感器寿命约为5~8万公里,有加热器的氧传感器寿命比无加热器的氧传感器长3万公里。氧传感器的失效过程都是缓慢进行的,先是响应速度变慢、输出信号的幅度变低,然后是输出信号不变化或完全没有信号,此时就会有故障代码出现(如丰田车系的代码为21、25、26、27、28、29),发动机故障指示灯就会点亮。

氧传感器产生故障会造成其反馈信号出现异常,将使电子燃油喷射系统的电脑不能得到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,造成加速“闯车”,发动机出现怠速不稳、喘振、缺火等故障现象,氧传感器故障还会造成TWC寿命下降,因此,必须及时地排除故障或更换。

除了由于使用年限或行驶里程的增加而导致氧传感器的正常失效外,氧传感器还可能因汽油中含铅,含硫量过高,机油中使用含硫、磷的添加剂,以及低速行驶造成的CO排放或冷却液进入排气管,或冷却液的硅胶腐蚀而提前失效,氧传感器的衬垫在维修过程中被拆掉所造成的尾气泄漏也会导致氧传感器提前失效。还有一些潜在的因素,例如燃油压力过高、喷油器损坏、发动机电脑和传感器损坏以及操作不当等,混合气窜入TWC内燃烧,导致TWC内温度超过900℃会将陶瓷载体烧坏等也都可能导致氧传感器提前失效。然而,导致氧传感器提前失效的首要原因是由发动机混合气过浓所造成的炭堵塞。当氧传感器或线路有故障时,容易产生下列故障:1、废气排放超标;2、怠速不稳;3、空燃比不正确;4、油耗上升。

为了防止氧传感器和三元催化转化器早期损坏,应注意:1、机油窜入排气管的预防(由于国内机油中含有较多的硫、磷,所以发生窜机油故障后不足一周,就会导致氧传感器和TWC污染,比如气门油封不密封,活塞环与缸壁间密封不良会造成窜机油故障);2、混合气窜入排气系统的预防(冷车起动困难、缺缸和排气门密封不良,都会造成混合气窜入排气系统);3、冷却液窜入排气系统的预防(进气歧管垫不密封,汽油中使用含锰添加剂会导致TWC内温度过高,造成陶瓷体烧熔堵塞的故障,使用高清洁汽油和乙醇汽油同样可能造成TWC内部堵塞的故障)。

氧传感器的故障检测方法有很多,一般可以灵活采用下列的4种方法来鉴别其好坏:1、颜色辨别法;2、电压检测法(在故障码检测中,为了不被假象所迷惑,在有经验的情况下可以用电压检测法来判断氧传感器的好坏);3、故障码检测法(有的车型在静态下可以利用发动机故障指示灯进行自诊断或采用解码器读取氧传感器的故障码)修理人员根据故障码的提示即可进行处理;4、示波器检测法(采用专用示波器检测氧传感器的输出波形)。通常,在没有专用汽车解码器和汽车示波器的时候,我们可以通过借助万用表检测氧传感器的好坏,或直接根据氧传感器的外观判断有何故障。

4.1 氧传感器常见故障及故障成因

氧传感器的主要损坏形式有两种,一种是被碳粒堵塞,电子控制器(ECU)会发出减少喷油量的指令,使混合气过稀;第二种是尘土和机油堵塞氧传感器与大气的通孔,电子控制器又会指示喷油器多喷油,引起混合气过浓。如果使用了含铅汽油或者发动机在维修时使用了不合要求的硅密封胶,还会造成氧传感器早期损坏。

1) 氧传感器铅中毒:是由于铅污染所致,即铅中毒,这时氧传感器外观出现棕色顶尖现象。由于误用燃油、润滑油或其他化学物品(如各类添加剂等),其结果从稍微改变空燃比直到传感器完全失效。通常在氧传感器严重中毒或完全失效、燃油经济性或

驾驶性能恶化时, 驾驶员才会加以注意。造成其中毒的决定性因素是排气温度。如果在约 900℃ 的高温下侵入铅, 就好象在传感器上涂了一层高温漆, 它堵塞了传感器基准侧和排气侧之间氧离子的流动。使用含铅汽油时, 新传感器即使在不太恶劣的工况下工作使用期限也仅为 2~3 万公里, 有的甚至只能行驶几千公里铅化物就会粘附在氧传感器的工作面上, 使氧传感器基本丧失信息反馈功能。若使用真正的无铅汽油, 一旦沉积物烧尽, 就能使传感器恢复正常工作。轻微的铅中毒, 使用一箱不含铅的汽油, 就能消除氧传感器表面的铅, 使其恢复正常工作。如果过高的排气温度, 使铅侵入其内部, 阻碍了氧离子的扩散, 使氧传感器失效, 这时只能更换。

2) 硅中毒: 是由硅污染造成, 即硅中毒, 这时必须更换氧传感器, 这时氧传感器外观出现白色顶尖现象。硅化合物燃烧生成 SiO_2 会引发类似问题。汽油和温室硫化的硅橡胶密封垫材料是主要的硅中毒源。维修发动机时使用了硅密封胶、硅密封圈等会引起“硅中毒”。硅橡胶用于气门罩、油底壳和进气歧管上, 修理时采用湿的或硫化时间不够的密封垫都会引起传感器中毒。硅胶中含有醋酸(它起硫化作用), 当醋酸硅胶应用在有机油流动的部位, 醋酸蒸发, 进入曲轴箱, 经过废气再循环系统又进入气缸, 最终经过排气管排出而损坏氧传感器。另外, 如果汽油和机油中含有的硅化合物过多, 燃烧后生成二氧化硅(SiO_2), 也会使氧传感器“中毒”失效。维修时要按规定选用硅橡胶元件以及相应的清洁剂或溶剂等。

3) 积碳: 如果发动机燃烧不完全, 所排的气体就会含碳, 使其依附在氧传感器表面, 形成积碳, 这时氧传感器外观出现黑色顶尖现象。产生积碳, 主要表现为排放浓度明显增加, 油耗上升。此时, 积碳(或油污、尘埃等沉积物)会阻碍或阻塞外部空气进入氧传感器内部, 使氧传感器输出的信号失准, ECU 不能及时地修正空燃比。在排除发动机积碳故障后, 一般可以自动清除氧传感器上的积碳。如果将沉积物清除, 就会恢复正常工作。

4) 氧传感器陶瓷碎裂: 氧传感器的陶瓷硬而脆, 容易碎裂。因此, 处理时要特别小心, 防止用硬物敲击或用强烈气流吹洗。

5) 加热器电阻丝烧断: 对于加热型氧传感器, 如果加热器电阻丝烧蚀, 就很难使传感器达到正常的工作温度而失去作用。氧传感器内部线路断脱, 氧传感器由于内部的线路焊接不牢或由于汽车的颠簸, 内部线路会出现断裂。此外, 氧传感器加热元件失效、传感器壳体上的透气孔堵塞、氧传感器的热负荷过重、弯折变形等, 也会导致氧传感器工作异常甚至是失效。

6) 使用操作不当对氧传感器造成的损坏: 在处理氧传感器时只要稍加注意, 就可以避免损坏。不要用扳手或撬杠敲打, 因为陶瓷硬而脆, 甚至强烈的吹洗就会使它碎裂。不要在氧传感器内部喷涂防锈层或使用溶剂, 否则将阻碍或堵塞外部空气进入传感器内部而改变其标定, 甚至导致其完全失效。其他泄漏液如动力转向油及制动液也会起同样作用。除厂商规定者外, 不要在氧传感器的螺纹处采用防粘剂或溶剂。

4.2 氧化锆式氧传感器的检测

氧传感器一般有单线、双线、三线、四线 4 种引线形式。单线式只有一根引线, 把氧敏元件联接到控制单元上, 这根引线就作为信号线。如果氧传感器有两根引线, 第二根引线就是搭铁线, 也与控制单元相联。许多氧传感器有三根引线, 第三根线与传感器中的电热元件相联, 点火开关接通时, 加热元件上的电压就由点火开关提供, 鉴于氧传感器只有在温度达到 315℃ 时才能产生令人满意的信号^[16], 采用内部加热器能使传感器快速预热, 而且能在长时间的怠速运行时保持较高的传感器温度。氧传感器的内部加热器使氧传感器维持较高的温度, 有助于烧掉传感器上的沉积物。当氧传感器有内部加热器时, 就可安装在远离发动机的排气流中, 而这也使设计者在传感器的位置方面有更大

的灵活性。某些氧传感器有四根引线：一根信号线，一根加热器线，还有两根搭铁线。在这类四引线的传感器中，加热元件和敏感元件都有各自的搭铁线。更换氧传感器时其引线数目必须与原传感器相同。后两种是装有加热元件的加热式氧传感器。单线为氧化锆式氧传感器；双线为氧化钛式氧传感器；三线和三线为氧化锆式氧传感器。三线和四线的区别：三线氧传感器的加热器负极和信号输出负极共用一根线，四线氧传感器的加热器负极和信号负极分别各用一根线。图 4-1 分别为四线氧化锆式氧传感器与 ECU 的连接电路图和无线加热器的氧化锆氧传感器与 ECU 连接图。四线中两根与 ECU 相连，另外两根是电源正、负极线。加热元件受 ECU 控制，无论排气温度是多少，只要不超过工作极限温度，陶瓷温度总是不变化。其中 1 为主继电器，2 为氧传感器，3 为发动机 ECU。使用时需要按照规定里程或时间间隔定期检测或更换。新型的能保证行驶 8-11 万 km。检测时有的要求用扫描仪器来测量氧传感器的输出，有的可用数字电压表检测输出电压信号随混合气浓度变化的情况，以及 ECU 对电压信号的反应。发动机在正常工作温度时，氧传感器如不能随混合气的浓度输出相应的电压，则证明已失效需更换。

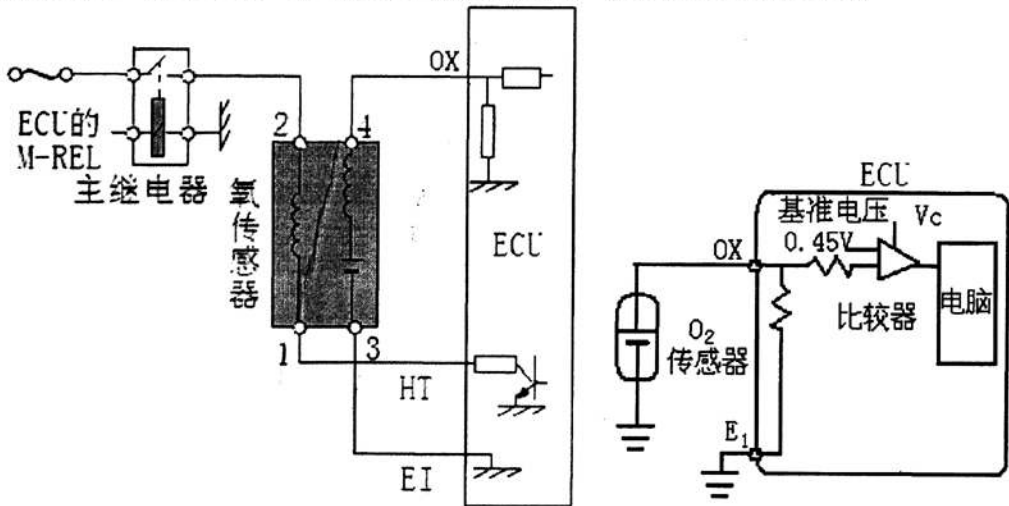


图 4-1 四线氧化锆式氧传感器与 ECU 的连接，无线加热器的氧化锆氧传感器与 ECU 连接图

1) 由氧传感器上的加热器诊断，氧传感器加热电阻的检测法（如图 4-2）：

如果氧传感器上的加热器不工作，传感器的预热时间就要延长，控制单元处在开环状态的时间也延长，控制单元将误传出一个浓混合气指令。拆下传感器接线器，在加热器供电导线和搭铁线之间接上数字式电压表。在点火开关接通时，这段导线间应为 12V 电压，如果电压不足 12V，应检查电源线或熔断器。点火开关置于“OFF”位置，拔下氧传感器的导线连接器，用万用表的 Ω 档测量氧传感器接线端中加热器端子和搭铁端子间的电阻，应为 4~40 Ω （加热元件的电阻冷态时阻值很小，随温度上升一点将会使电阻阻值大增），若过大或过小，表示加热元件已损坏，应更换传感器。测量后，接好氧传感器线束连接器，以便做进一步的检测。

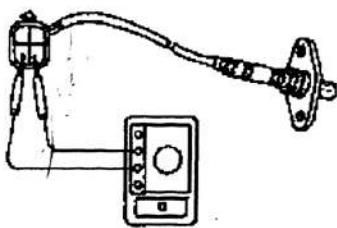


图 4-2 氧传感器加热电阻的检测

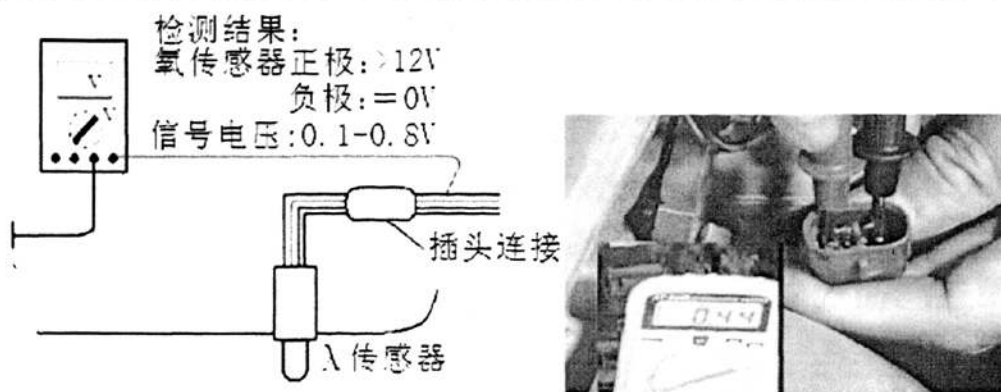


图 4-3 氧传感器反馈电压的检测

2) 氧传感器反馈电压的检测法 (如图 4-3):

测量氧传感器反馈电压时,应先拔下氧传感器线束连接器插头,对照被测车型的电路图,从氧传感器反馈电压输出端引入一条细导线,然后插好连接器,在发动机运转时从引出线上测量反馈电压。让发动机维持 2500r/min 运转,同时检查电压指针能否在 0~1V 之间来回摆动(正常应在 0.4V 上下不断变化),记下 10S 内反馈电压变化数,应不少于 8 次^[10]。(若反应速度过慢,则可能:传感器进水,氧传感器积碳,加热装置失效,热负荷过载,氧传感器铅中毒,电喷系统故障。)当突然踏下油门时,混合气变浓,电压上升;突然松开油门时,混合气变稀,反馈电压下降。若无变化,表明氧传感器损坏。若混合气浓度正常,氧传感器性能良好而反馈电压不正常,则说明电路或电脑有故障,应予以检修或更换。从排气管上卸下氧传感器,若外壳通气孔堵塞或陶瓷芯破损应更换。更换时,应装用新的密封垫片,并按 30~50N·m 的力矩拧紧。在检测氧传感器的反馈电压时,最好使用指针式万用表,以便直观地反应出反馈电压的变化情况,但是,电压表应是低量程和高阻抗的(阻抗太低会损坏传感器),必须用数字式电压表测试氧传感器。氧传感器是否损坏,还可用简易方法判断:拔下氧传感器的插头,从插头处引入 2 根导线,一根接线路的信号线电路,另一根接控制单元供应电压,两只手分别拿住线路两头,如果发动机的转速发生变化即为氧传感器损坏,否则,为其它部位故障。

若电压读数过高,可能是混合气过浓,或是传感器被污染。氧传感器可能被室温硅密封胶或防冻剂污染,也可能被含铅汽油中的铅污染。

若电压读数过低,可能是混合气过稀,或是传感器故障;或是传感器与控制单元之间导线电阻过大等原因。

如果电压信号保持为一个中间值,可能是控制单元回路不通或传感器损坏。

把氧传感器从发动机上拆下,将氧传感器的敏感元件放到丙烷焊枪的火焰上加热。丙烷火焰可以使敏感元件与氧气隔离,这样,将导致传感器产生电压。传感器的敏感元件处在火焰中时,输出电压应该接近 1V,而把敏感元件从火焰中拿出时,输出电压应立刻降至 0V。如果传感器输出电压没有按上述变化,应予更换。

3) 由氧传感器导线诊断

如果怀疑氧传感信号线有故障,在发动机处于怠速时,在控制单元和传感器两处用探针刺破导线测量电压。传感器和控制单元两处电压差不应超出汽车制造厂家给的规定值。这两者间的标准平均压差为 0.2V。

超过 0.2V,修理接搭铁线或传感器在排气管处的接搭铁线。

4.3 氧化钛式氧传感器的检测

某些汽车现在装备二氧化钛型氧传感器。二氧化钛型传感器中包含一个可变电阻,可变电阻根据周围的空燃比变化而改变电阻值,以变换电压的方式工作,控制单元读取

电阻两端的电压降。而二氧化锆型传感器则以产生电压的方式工作。控制单元把蓄电池的电压供给二氧化钛传感器，不过，这个电压值被电路中的一个电阻器降低了。随着空燃比周期性地浓稀变化，二氧化钛的阻值相应地变化。空燃比浓时，二氧化钛的阻值低，向控制单元提供一个较高的电压信号；空燃比稀时，二氧化钛的阻值高，输到控制单元的电压就低。

发动机冷起动之后，二氧化钛型氧传感器几乎能立即提供令人满意的信号，这就能够在发动机暖车期间提供较好的空燃比控制。

1) 检查加热器电阻（如图 4-4 示）：

用高阻抗数字式万用表的 Ω 档测量氧传感器的加热电阻，拔下氧传感器线束插头，测试氧传感器两接线柱之间的电阻值，应为 $5\sim 7\Omega$ ，若过大，表示加热电阻已损坏，应更换传感器^[20]。

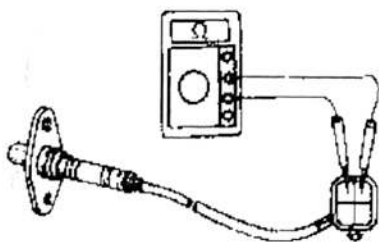


图 4-4 检查加热器电阻

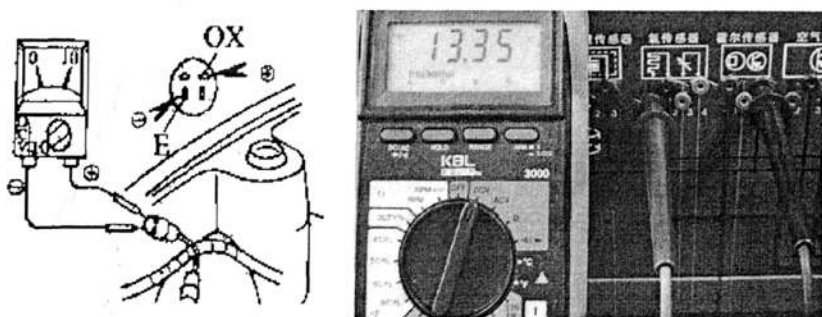


图 4-5 检查氧传感器的电源电压和氧传感器加热器电源电压

2) 检查氧传感器的电源电压和加热器电源电压（如图 4-5 示）：

打开点火开关，用万用表电压档测量传感器的电源电压，其标准值为 1V。打开点火开关，用万用表电压档测量传感器的加热器的电源电压，其标准值为 12V。

3) 检查氧传感器的反馈电压（如图 4-6 示）：

接通点火开关，并启动发动机，使之在怠速下正常运转，然后用电压表测量电控单元 ECU 的 4 号脚与搭铁之间的电压值，其值应在 $0.2\sim 0.8V$ 内变动。当发动机提高转速后，其电压值应为 $0.6\sim 1.0V$ ，否则应更换氧传感器。

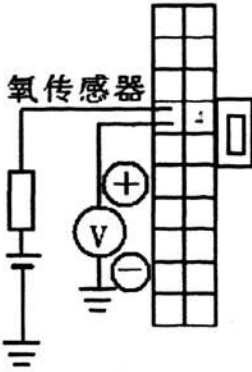


图 4-6 检查氧传感器的反馈电压

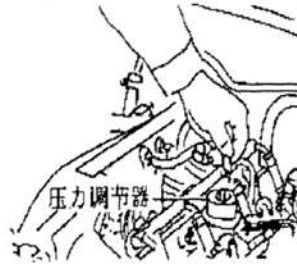


图 4-7 动态测试

4) 动态测试 (如图 4-7 示):

使发动机充分预热, 拔下燃油压力调节器的真空软管, 堵上歧管, 使混合气加浓 (空燃比减小)。在怠速状态下测量电控单元 ECU 连接器的端电压, 氧传感器上的电压应 $>0.5V$, 否则更换氧传感器。

4.4 氧传感器外观判断故障与确认

氧传感器的正常颜色是淡灰色, 通过观察氧传感器顶端工作面的颜色, 也可以判断氧传感器是否因铅中毒、硅中毒或者积碳沉积过多而损坏。(1) 顶端工作面呈棕色。这是由“铅中毒”引起的颜色。无论氧化锆式氧传感器还是氧化钛式氧传感器, 都怕废气中的铅化物和碳化物的污染和覆盖。汽车一旦使用了含铅汽油或者发动机“烧机油”, 由于铅化物和碳化物的覆盖, 氧传感器的信号电压突变特性立即失准, 响应速度降低到 10s 内少于 8 次, 并且报警显示, 此时只能更换新的氧传感器。(2) 顶端工作面呈白色。这是由于在维修发动机时使用了硅密封胶、硅密封圈等引起的“硅中毒”。硅胶中含有醋酸(它起硫化作用), 当醋酸硅胶应用在有机油流动的部位, 醋酸蒸发, 进入曲轴箱, 经过废气再循环系统又进入气缸, 最终经过排气管排出而损坏氧传感器。另外, 如果汽油和机油中含有的硅化合物过多, 燃烧后生成二氧化硅(SiO_2), 也会使氧传感器“中毒”失效。(3) 如果发动机排气中烟尘、积碳较多, 则会在氧传感器顶尖上留下黑色积碳。

电极中毒给氧传感器的研究带来了新的课题, 为了预防电极因中毒而失效, 改善现有的氧传感器的性能, 目前大致可采取两个方面的措施: 一方面是采用新的电极材料, 如 IrO_2 电极、 In_2O_3 电极以及掺杂此类物质的 Pt 电极; 另一方面是对电极进行防护, 如涂保护层。

4.5 用发光二极管检查氧传感器

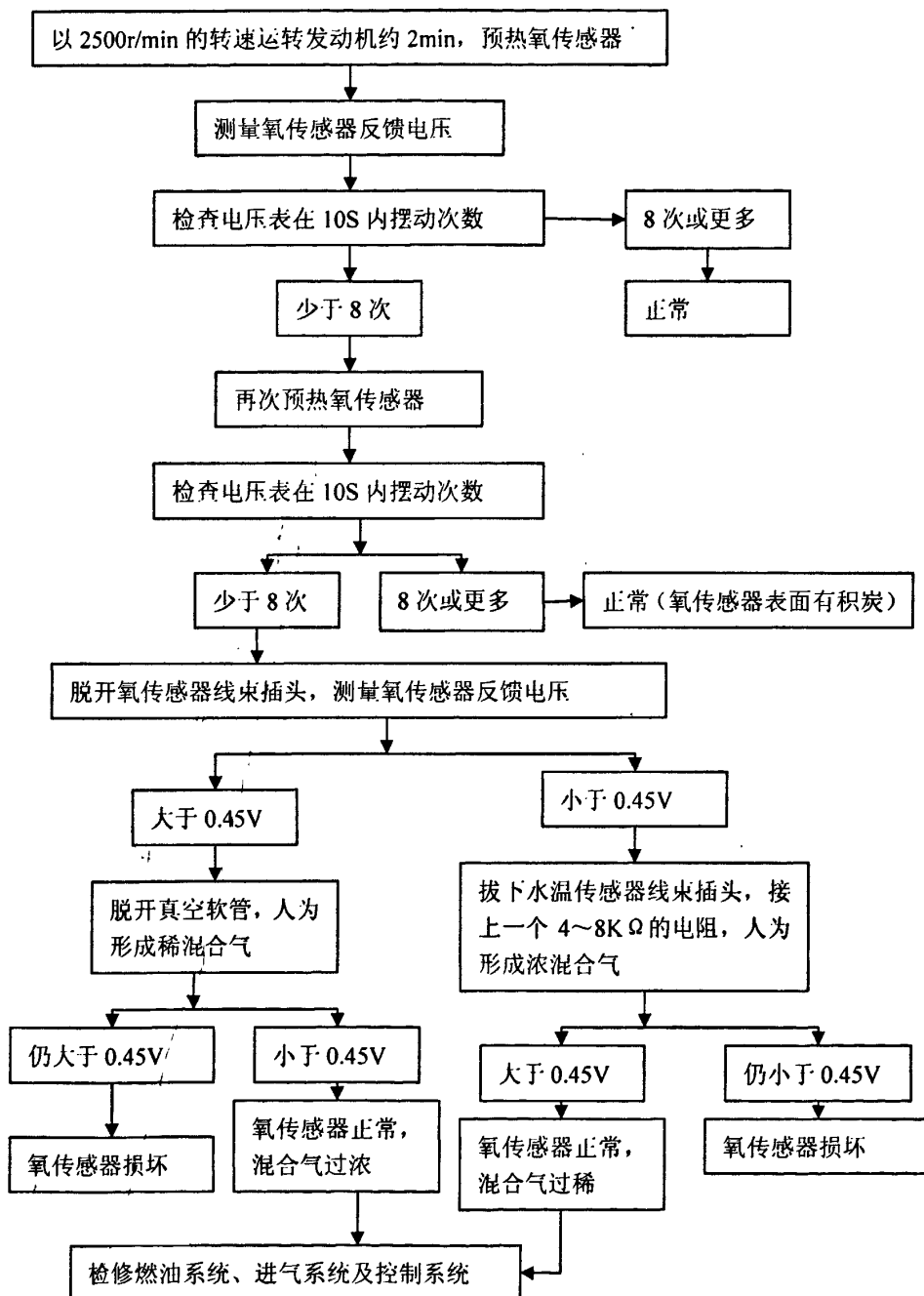
用一个发光二极管搭到信号输出端和搭铁 (如图 4-8 示)。氧传感器正常工作时, 在每一个浓稀循环, 信号电压达到发光二极管 0.6—0.7V 的门坎电压时, 发光二极管便会闪亮一次; 如果混合气过稀, 发光二极管一直不亮; 如果混合气过浓, 发光二极管会一直亮着; 如果氧传感器损坏, 一般会长亮或不亮。

如果氧传感器性能不良, 并非一定要更换才行, 氧传感器由于积炭和汽油中铅元素的影响, 会在长久的工作时, 在外壁上附着一种灰白色的物质, 即俗名“铅中毒”, 这样会影响测量精度。所以应对氧传感器进行还原。方法如下: 驾驶车辆, 将接口固定在 1 挡, 油门踩到底, 车高速行驶后突然松开, 并重复多次。或将氧传感器卸下, 用氧焊枪对准, 直至烧白为止, 可以快速还原。



图 4-8 LED 检测

4.6 氧传感器的检测程序



4.7 氧传感器的正确使用

1) 装有氧传感器的电喷发动机, 应选用规定牌号的无铅汽油作为燃料, 不要使用劣质汽油和含铅汽油。因为含铅汽油能使氧传感器中毒而失效, 还会损坏三元催化转换装置。当使用含铅汽油不久而氧传感器出现轻微中毒时, 使用无铅汽油就能消除氧传感器表面的铅, 使其恢复正常工作。但排气温度过高(890℃以上)而使铅侵入其内部, 就会阻碍氧离子的扩散而使氧传感器失效。另外, 由于汽油和润滑油中含有硅化合物, 燃烧后生成二氧化硅, 也会使氧传感器发生硅中毒; 同时, 硅橡胶密封垫使用不当、在传感器上涂敷制造厂未规定使用的溶剂和防粘剂等都有可能使氧传感器发生硅中毒。

2) 发动机刚熄火时切勿冲洗, 待排气歧管不烫手时才能冲洗。从解体失效的氧传感器看, 陶瓷体炸裂、破碎占很大比例。除排气的高温、高流速、高压冲击力外, 外部急剧冷却是造成陶瓷体炸裂的主要因素。此外, 对于氧化锆式氧传感器, 急剧冷却会造成传感器内部气压下降, 冲洗的水会通过通气孔进入传感器内部, 造成传感器电极处接触不良和通气孔堵塞(窄缝通气的生锈堵塞, 有滤清体过滤空气的略为好点); 对加热式氧传感器易产生漏电, 使氧传感器输出电压过高, 而 ECU 误认为是混合气过浓而减油, 造成混合气过稀, 发动机无力, 工作不稳。

3) 在检测氧传感器时, 要认清每根导线的作用, 由于氧传感器所形成的电动势的能量非常小, 所以用普通的万用表是无法测定的, 必须使用示波器或者高阻抗的数字式万用表才行。不要用低输入阻抗的表去检测氧传感器的输出电压(信号), 而要用内阻大于 10M 的高阻表。对氧化锆式氧传感器, 其电压值应在 0~1V 之间且在 0.5V 附近跳动, 不在此区间的为线路故障或传感器损坏。接线头松动、接触不良, 也常输出一些误信号。

4) 氧传感器的拧紧扭矩为 30~50N·m。注意: 在安装时不要对氧传感器侧的电缆金属扣环不适当地加热。

5) 由于氧传感器始终处在高温废气之中, 它的故障率较高, 使用寿命较短, 氧传感器损坏后应当及时更换, 不能采取将氧传感器断路或者短路的办法。

6) 氧传感器柄部套下有通气孔, 外界空气由此进入氧传感器的内腔, 作为“参考气”, 因此应该检查该通气孔是否畅通。一旦堵塞了该通气孔, 会使氧传感器的输出信号失真。

7) 一部分老车型的电控单元(ECU)在怠速状态下会忽略氧传感器的信号, 只有在发动机转速达到 1800r/min 时 ECU 才对混合气进行闭环控制。因此, 为这类汽车必须先将转速提高到 1800r/min, 然后再对氧传感器进行检测。

8) 不要在氧传感器的插头上涂抹制造厂未规定使用的溶剂、清净液、防粘剂、油性液体或者挥发性固体。使用某些室温硫化密封剂会污染氧传感器, 应使用汽车制造厂家推荐的室温硫化密封剂。在安装之前, 传感器的螺纹表面应涂上防粘剂, 否则, 下次要拆除传感器会很困难。

9) 更换氧传感器时应先用丝锥等工具清除排气管上安装螺纹孔内的脏物和毛刺, 在安装时还需用特殊的防粘剂(其中包含有石墨和玻璃粉, 石墨烧掉后留下玻璃粉在螺纹上易于拆卸)。

10) 冷却液漏进燃烧室会污染氧传感器。测试氧传感器必须使用数字电压表^[21]。一定不要用模拟电压表检查氧传感器的电压, 因为这类仪表会吸收较大的电流, 以至损坏传感器。

第五章 基于汽车解码器的氧传感器故障诊断

随着发动机的控制模式从单一功能到集中控制的发展,电子装置在控制系统中的应用增多,仅仅依靠外观检查是不可靠的。计算机能自动地、连续地监测传感器、执行装置和本身的工作状况,如果出现不正常(故障)的情况,就将一系列警告(故障)信号存到计算机的随机存储器内。这些警告(故障)信号用数字和字母的形式编排,称作故障码。维修技术人员和工程师们用扫描仪(称解码器或故障诊断仪)读取故障码,按故障码(表)对应的故障原因检查车辆,从而为故障判断、修理提供了极大的帮助。注意:如果一个故障涉及到氧传感器,则必须至少试车 4min 后才能形成故障码,并被计算机存入随机存储器内。

车上故障排除后,相应故障码要予以清除,以免出现误解和混乱。如果故障是由于临时电缆断路或接触不良造成的,该故障也会以故障码的形式存入内存。这类故障码将用“SP”显示,表明是偶然故障,如果在 40 次起动发动机后,该故障没有重复出现,计算机将把这些故障码清除。如果电脑供电电源被切断,比如拔下插头,或蓄电池(电瓶)上的接线被拆下,则故障码会全部被清除。

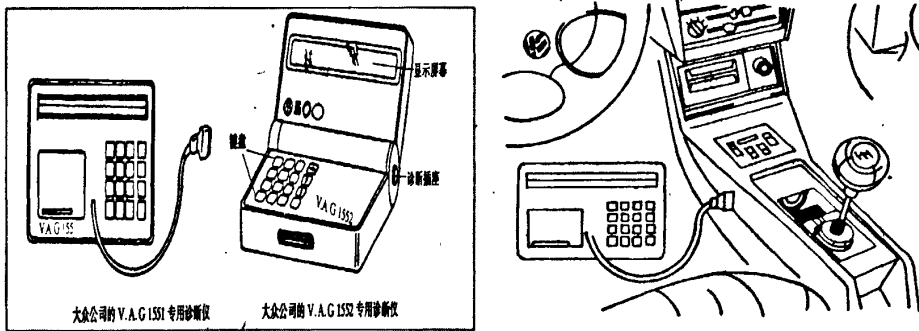


图 5-1 大众汽车电脑诊断仪及与发动机电脑的连接

自诊断功能的选择,即扫描仪(故障诊断仪或解码器,见图 5-1,在扫描仪与电脑连接前,蓄电池电压、熔断丝必须正常,发动机和变速器的接地线必须牢固,发动机的接地线在缸盖罩壳上)的选择操作有 8 种^[22],见下面表格 5-1:

表 5-1 解码器的选择操作基本功能

功能编码	功能	功能编码	功能
01	查询电喷发动机计算机的版本	05	清除故障码
02	故障查询(读取故障码)	06	结束输出
03	执行机构自诊断	07	计算机(ECU)编号
04	进入基本设定	08	读取测量数据组

控制发动机的计算机(ECU, J220)是整个系统的核心,俗称电脑,它是对发动机的喷油量、点火提前角实施精确控制,对车辆的排放装置、怠速和故障自诊断等进行管理的中心,基本是一个不可拆卸和检修的整体。

故障的自诊断功能使计算机能自动地、连续地监测传感器、执行装置和本身的工作状况^[23]。如果发现不正常(故障)的情况,就将一系列故障信号存到计算机的存储器内。这些故障信号用数字和字母的形式编排,称作故障码。

5.1 自诊断系统的基本原理

对于氧传感器来说,有三种基本故障存在。分别是 M11,即氧传感器没有触发;M12,即氧传感器电压低;M13,即氧传感器电压高。具体说来,M11 对应的故障现象可以再细分成以下故障,即氧传感器电路故障、氧传感器电路反应迟缓、氧传感器电路没有检测到工作、氧传感器加热电路发生故障等。

传感器表面贵金属被铅或其它杂质毒害、铂片表面积碳、陶瓷元件的破损或者加热器电阻丝烧断,会导致 M11 故障的产生;氧传感器电路接触不良或者断路、短路,以及进行差分放大的信号方向出错,都可能导致 M12 或 M13 故障的产生。

其中,用来判断 M11 故障的参数有:

RUNENBLTM——使发动机开始运转的时间限值,用来判断是否起动正常;O2LOW——氧传感器信号电压低限值;O2HIGH——氧传感器信号电压高限值;DEGLM——冷却液温度限值;O2TPS——节气门位置低限值;M11TIM——氧传感器没有触发的时间限值。

用来判断 M12 故障的参数有:

O2MIN——氧传感器信号电压最低限值;M12TIM——M12 时间限值;

用来判断 M13 故障的参数有:

O2MAX——氧传感器信号电压最高限值;M13TIM——M13 时间限值。

AD02 是氧传感器的电压输出信号。O2NTGCTR 是 M11 故障定时器,O2LCTR 是 M12 故障定时器,O2RCTR 是 M13 故障定时器。

当发动机正常起动时,如果进气歧管绝对压力传感器、节气门位置传感器等没有出现故障,此时才进入对氧传感器 M11、M12、M13 故障的自诊断。

首先是对传感器没有触发的检测。因为发动机起动后,氧传感器的加热器通电加热氧传感器,使它很快得到活性,也就是很快令其信号电压或者低于 O2LOW,或者高于 O2HIGH,而不会停留在这两者之间。不论是否处在闭环控制,如果氧传感器的电压输出信号 AD02 停留在这个范围内 ($O2LOW < AD02 < O2HIGH$),并且冷却液温度正常 ($COOLDEG > DEGLM$)、节气门位置也正常 ($NTPSLD > O2TPS$) 时,停留时间一旦超过限值 M11TIM,就要记录此故障。

如果氧传感器信号电压不在此范围内,就要检测信号电压是否超出限值,即 M12 及 M13 故障的检测,其自诊断逻辑类似。当氧传感器信号电压低于最低限值或者高于最高限值时,如果处于闭环控制中(也不是起动、起动加浓、加速加浓、减速减稀等不能进行闭环控制的过渡工况),并且冷却液温度正常 ($COOLDEG < DEGLM$)、节气门位置也正常 ($NTPSLD < O2TPS$),停留时间一旦超过限值(M12TIM 或者 M13TIM),就要记录相应的故障(M12 或者 M13)。

当检测到故障之后,如果该故障没有被屏蔽,则将发生的故障存储在 RAM 中,故障代码规定为两位(旧标准)或者是四位(OBD II 标准)。同时将故障模式字 DLAGMW 置位,用来控制 ECU 中其它相应模块,使发动机进入开环工作状态。此时 ECU 将忽略氧传感器的信号,将根据歧管绝对压力、发动机转速、冷却液温度等信号,按照内存预存数据,调节喷油器喷油脉冲宽度。

当没有氧传感器故障发生,且符合闭环条件时,发动机进入闭环工作状态,微机在根据上述有关传感器提供的信息建立喷油器脉冲宽度的基础上,用氧传感器送入的信号不断修正脉冲宽度,使空燃比保持在理想空燃比 14.7 附近。此时三效催化转化器效率最高。

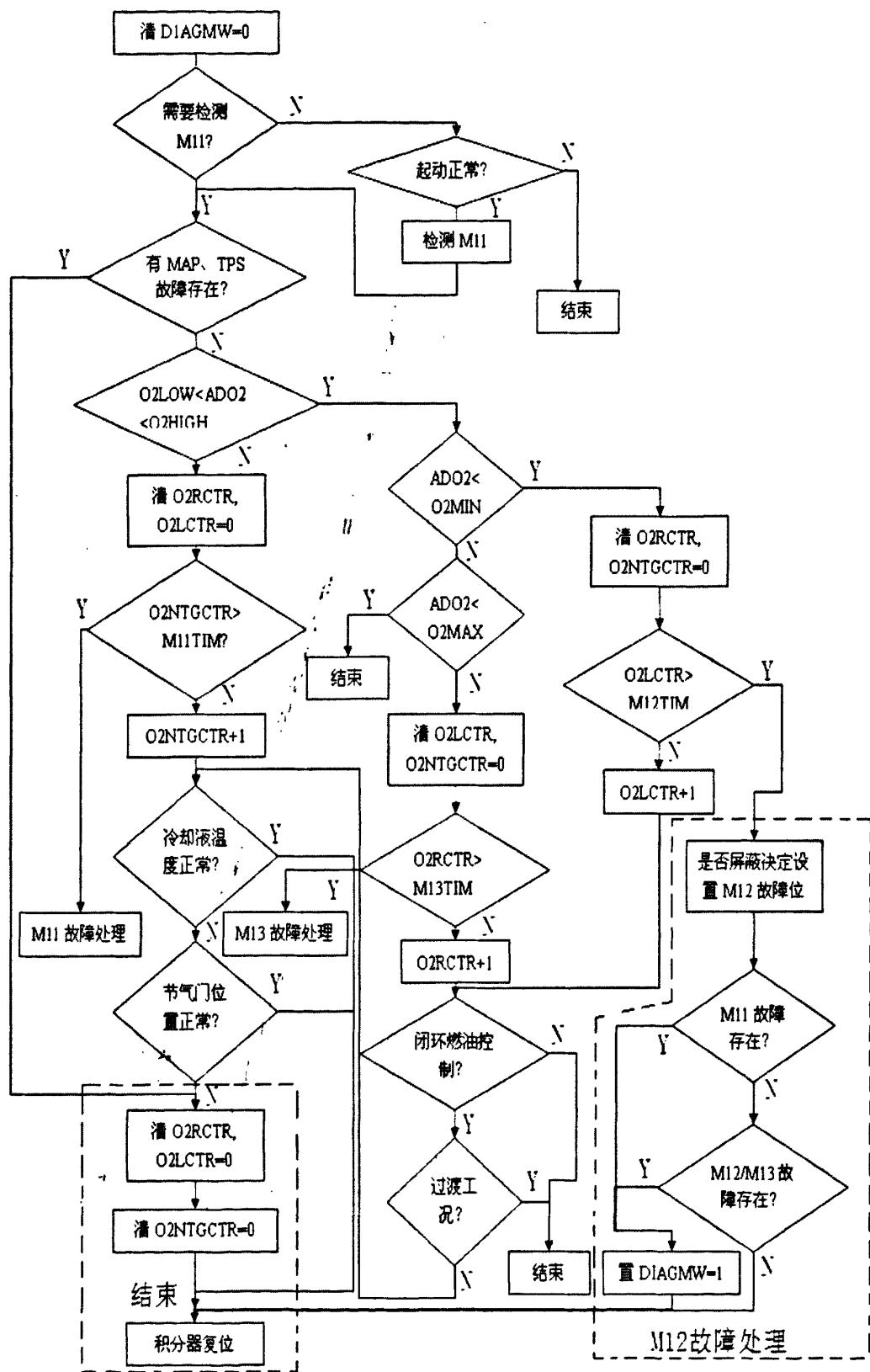


图 5-2 氧传感器自诊断逻辑流程图

5.2 故障诊断模式

自诊断逻辑结束后,如果有故障记录,则在这个点火循环中,CEL灯会一直亮着直到有进入诊断模式的请求发生。如果有故障记录到NVM中,就会点亮CEL灯并且CEL灯会一直亮到该故障消失。

如果将诊断请求电路或ECM接地,当点火开关置于“ON”时,ECM就会进入到诊断模式。

诊断模式包括两个子模式:现场维修模式和CEL故障闪烁诊断模式。

1) 如果发动机运转,就进入现场维修诊断模式。在现场维修诊断模式下,仍然要执行故障自诊断逻辑,但不会有故障记录进入NVM。

当有进入现场维修模式的请求发生时,如果不是处在燃油的闭环控制状态下,检查发动机灯(CEL)就会以2Hz的频率闪烁。

如果是处在燃油的闭环控制状态下,将在每1s检查氧传感器,检测在上1s混合气空燃比是否在理论空燃比附近波动。如果发生这种波动,就会触发CEL灯,将之点亮。如果氧传感器一直工作正常,则CEL灯将以0.5Hz的频率闪烁。

如果在上1s没有发生这种变化,表明发动机处于起动、起动加浓、加速加浓、减速减稀等不能进入闭环控制的工况下。当混合气浓时,会点亮CEL灯;当混合气稀时,会熄灭CEL灯。

2) 如果发动机不运转,就进入检查发动机灯(CEL)故障闪烁诊断模式。在闪烁模式下,就会完全跳过故障诊断逻辑。此时,故障灯应该顺序闪烁故障码(MALF55)3次,表明诊断系统工作正常。若没有闪烁55码,则说明诊断系统本身存在问题,应检查指示灯灯泡及电路是否良好。

继55码之后,如果存在故障码,则故障灯将该故障码闪烁3次,否则将继续输出55码。若存储了不止一个故障码,则每一个故障码显示3次。当所有的故障码均显示完毕,则循环进行上述过程。故障码的十位数字显示时间和个位数字显示时间以及各故障码之间的间隔均由软件控制实现。

用故障灯闪烁的方式读取故障码,是简单的方法,当然也可以用专门的诊断工具读取故障码。

一般而言,断开通往发动机微机控制系统的电源线或保险丝,就可清除或清掉微机控制系统存储的故障码。将汽车蓄电池负极或微机控制系统的保险丝拔掉约30s即可。

5.3 故障码检测的注意点

利用故障自诊断方式可以检测多种故障,但是故障自诊断操作必须注意以下问题:

读码过程中的操作不当可能造成不必要的困惑和麻烦。例如,排除故障后又出现新的故障码;更换有关故障部件后,故障依然存在或者出现故障越来越多等。因此,无论是采用人工读码,还是采用专用仪器读码,都应保证操作的正确性^[24]。通常我们要注意以下几点:

1) 正确清除故障码。

2) 机械部件的连接是否完好;蓄电池电压汽车蓄电池电压正常与否,对检测故障码至关重要。标定电压为12V的蓄电池,其电压值不应低于11V,标定电压为24V的蓄电池,其电压值不应低于23V;关掉所有的辅助电器设备,避免消耗掉电能和干扰控制电脑的正常工作。

3) 发动机水温85°C-95°C读码最为可靠,发动机达到正常的工作温度,才可以进行自诊断测试。否则,在读码过程中有时会出现一串非故障的故障码,诸如水温、废气再循环、怠速不良等故障码等,给人以误导。

4) 静态码与动态码的转换时机要适宜。对具备静态读码和动态读码的电控系统, 应注意读码的先后顺序以及有关的转换程序, 否则会造成读码的失败。如美国福特车系的两种读码转换就有严格的程序需求, 必须先读静态码(即 KOEO KeyOn,EngineOff 模式, 即打开点火开关, 但不启动发动机的诊断方式。它是种静态诊断, 是“为了诊断而诊断”, 其目的是为了诊断出发动机电控系统的各种故障, 输出故障码, 以供维修人员参考。该模式首先要对微处理器、RAM 和 ROM 进行检查, 然后对部分器和开关进行反复诊断, 以减少连续诊断时产生的偶然故障码。)。若静态码读完后, 系统未输出代码为 11 的正常故障码, 就去读取动态码(即 KOEREngineRunning 模式, 即打开点火开关并启动发动机的诊断方式。它是一种动态诊断, 也是“为了诊断而诊断”, 其目的同 KOEO 一样。由于它是种动态诊断, 所以可以对 KOEO 不能检查的传感器如 CPS、CAS 和 EGO 等传感器进行检测, 它还对燃油系统、怠速控制、爆震监控系统和系统动态反应(如喷油平衡)等进行检测。进行该诊断模式, 发动机处于怠速状态, 反复的对电控系统进行检测, 最大程度的“暴露”故障。), 则会出现故障失真, 进而造成检修时的误判口同时应注意, 一般情况下在读动态码之前需要先清除静态码。仍以福特车电控系统为例, 在进行动态码自诊断之前, 应拆下读静态码时在诊断插座上所连接的跨接线, 而后清除静态故障码; 起动发动机, 加速到 2000r/min, 保持 2min 以上, 发动机达到正常工作温度, 然后关断点火开关; 等待 10s 后, 将自诊断接头跨接好, 再次起动发动机, 此时所显示的故障码便是动态模式下的故障码。

5) 读码后的记忆修正。通过读码、清码、故障排除, 如果汽车的加速性能有所下降, 有时属于正常现象, 但需要维修人员对 ECU 进行正确行车状况的记忆修正; 换言之, 就是要恢复 ECU 对汽车现行状况的记忆功能。

6) 故障码并非是唯一的排障依据。ECU 所提供的故障代码仅与所示故障部位对应的内外线路有关, 与其他线路和该部位的机械故障无关。而造成故障的原因实际上是多方面的, 故障代码仅仅是一个是或否的界定结论, 不可能指出故障的具体原因。如需要找出具体的故障部位和原因, 还需要根据发动机的故障征兆, 进一步分析和检查才能做到排除故障无误。

7) 不是故障的两类故障码。有时会发现读取的故障码所指示的故障与实际故障完全无关, 此时可认为故障码显示有错, 不必理会。造成这种情况的原因一是上次维修时原故障码未能有效地清除掉; 二是发动机运行中, 维修人员无意碰掉了有关传感器的导线连接器。

利用故障诊断法检测氧传感器时, 扫描仪与发动机电脑连接前, 蓄电池电压、熔断丝必须正常, 发动机和变速器的接地线必须牢固(发动机的接地线在缸盖罩壳上)。打开点火开关或起动发动机, 若发动机因故障无法起动, 要使点火开关处于打开的状态, 以便控制所有的信号。观察扫描仪上显示器的显示并进行初始化操作。扫描仪与电脑连接并初始化操作后, 就可读取故障码。在读取故障码之前, 必须确定下列操作已经完成:

- 1) 车必须至少行车 4min;
- 2) 冷却液温度高于 70℃ 的情况下不少于 3min;
- 3) 至少高速行驶 6s (>65km/h);
- 4) 怠速运转 10s;
- 5) 发动机转速至少有一次超过 2200r/min。

读取故障码后要按故障码表确定故障原因。

氧传感器动态信号检测: 利用扫描仪可对氧传感器的动态信号进行检查, 并判断出故障。检测必备的条件如下:

- 1) 发动机冷却液温度至少为 80℃;
- 2) 怠速检测正常; 发动机控制单元必须和节气门位置传感器匹配。
- 3) 排气系统无泄漏; TWC 前面的排气管和气缸垫必须密封良好。

- 4) 氧传感器的加热元件供电电压正常。传感器自身的温度为氧化锆型的高于 300℃, 氧化钛型的高于 600℃; 发动机工作在部分负荷状态。
- 5) 在开环控制时氧传感器信号不变属于正常情况。

使用故障码检测法时应注意以下一些问题:

- 1) 氧传感器的工作条件是否满足

2) 在开环控制时氧传感器信号不变属于正常情况随着发动机工况不同, 对混合气浓度要求也不同, 在以下工况时进入开环控制, 氧传感器的信号不被 ECU 采用: 1、启动时的加浓。2、启动后加浓修正以防熄火。3、暖机过程的加浓。4、发动机大负荷时需加浓混合气。5、加速过程中的加浓。6、燃油停供时信号暂时变小。包括减速停供、发动机超速停供、清除溢流停供(即点火开关在启动档、节气门全开时 ECU 进入此控制状态, 停止喷油, 清除汽缸中过浓的混合气)、自动变速器的升挡降挡停供过程。7、氧传感器有故障或工作条件不满足时进入开环控制。在读取数据流时, 不要在以上开环控制情况下进行, 因为此时氧传感器不参与调节混合气浓度, 信号电压不变, 以防造成误判。

3) 有氧传感器故障码时并非氧传感器一定有故障一旦有氧传感器故障码, 首先应检测它与 ECU 和油泵继电器(大部分车此继电器控制氧传感器加热器的电源)连接的线束是否完好, 线束电阻一般应小于 0.5Ω; 其次在满足氧传感器工作条件和闭环控制时, 用诊断仪读取数据流, 看是否符合要求。如不符合, 应断开氧传感器与 ECU 的信号连接线, 根据氧传感器的类型, 用万用表(输入阻抗高的指针式效果明显)单独检测它的信号, 以判断 ECU 和氧传感器有关部件的故障。人为地加浓和变稀混合气浓度, 如信号正常变化, 说明 ECU 有故障; 如信号不正常, 说明氧传感器或与混合气浓度相关的部件有故障, 更换氧传感器后, 如信号还是不变化, 则一定是与混合气浓度相关的部件有故障, 如: 进气系统的密封性、碳罐电磁阀是否常开、燃油压力是否正常、喷油器的工作情况等。

5.4 自诊断系统的案例

- 1) 基于解码器判断故障诊断: 怠速忽高忽低。

故障诊断: 打开自诊断接口的盖板, 用电缆 V. A. G1551/3 将扫描仪与接口连接。将 1552 专用解码器(见图 5-3)连接在汽车的诊断接头上(见图 5-4), 打开点火开关, 进入诊断模式。按 01 键, 按 Q 键确认, 进入发动机自诊断系统。按前进键两次, 按 02 键, 按 Q 键确认; 按前进键, 进入本车故障代码, 电脑显示屏显示的是 P1116, 根据此故障代码, 查阅故障代码表, 确认为氧传感器加热线路断路。按 06 键, 按 Q 键退出诊断系统。

故障排除: 将 LED 灯的正极接入氧传感器的 1 号引脚, 负极接电瓶, LED 灯应该亮, 如果不亮, 说明氧传感器加热线圈的输入信号有问题。应检测这段线路的情况。将 LED 灯负极接入 2 号引脚, 正极接电瓶, LED 灯应该亮, 如果 LED 灯不亮, 说明搭铁有问题。应检测搭铁情况。将万用表接入 1 号端子, 负极接电瓶负极, 检测其电压值。万用表显示为蓄电池电压, 说明输入信号正常; 将万用表分别接到 1、2 号线圈上, 电阻为无穷大, 说明加热线圈烧坏应更换。

按 01 键, 按 Q 键确认, 进入发动机控制系统。按前进键两次, 按 02 键, 按 Q 键确认, 发现故障码依然存在, 按前进键, 这时应对故障码进行解码。按前进键, 按 05 键, 按 Q 键确认, 按前进键, 按 06 键, 按 Q 键确认, 退出自诊系统。短暂起动引擎, 再次检查故障码是否存在。如果不存在, 说明故障已排除。

复查: 按 01 键, 按 Q 键确认, 进入发动机控制系统, 按前进键两次, 按 02 键, 按

Q 键确认, 电脑显示屏上无故障码, 说明故障码排除。按前进键, 按 06 键, 按 Q 键确认, 退出自诊系统。(桑塔纳时代超人)

故障码的读取主要用扫描仪的“02”和“03”功能。

起动发动机并使发动机怠速运转, 输入“02”可进行故障码的读取。

输入“03”可进行执行装置的自诊断, 它是在执行装置“激活”方式下的故障自诊断, 故障检查更精确。

输入“08”可读取测量数据组。



图 5-3 本实验采用的专用诊断仪

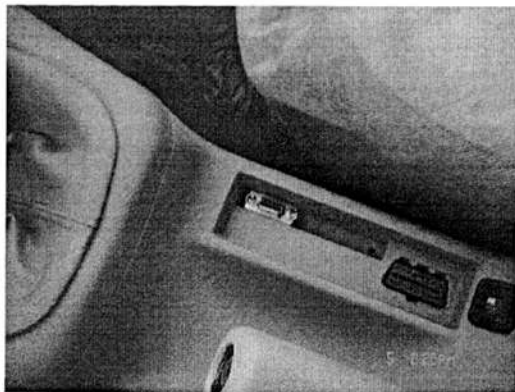


图 5-4 本实验采用的专用诊断仪的连接

2) 故障现象: 一辆中兴多用途汽车, 行驶 74850km。出现加速无力, 发动机转速最高只能达到 2000r/min 就再也加不起速来, 排气管放炮、进气管回火, 怠速抖动的故障。

故障诊断: 该车采用德尔福第二代电控多点喷射系统。前一次由于怠速抖动, 故障灯点亮, 故障码为进气压力传感器和氧传感器的故障, 更换了上述两个传感器后, 故障排除。但行驶几天后出现新的故障, 出现加速无力, 发动机转速达到 2000r/min 就再也不能上升, 进气管回火, 排气管放炮, 怠速抖动的故障。以前曾出现怠速抖动的故障, 是由于发动机 ECU 连接器侧接触不良, 于是拆下 ECU 侧连接器, 把 ECU 连接器端子处理好, 故障依旧。用诊断仪读取故障码, 系统正常。读取数据流, 发现氧传感器反应速度缓慢, 不能在 10s 内变化 8 次以上, 其电压大多数时间在 0.45~0.47V 之间变化。其他数据都在正常范围。于是又测量氧传感器至发动机 ECU 连接器间线束, 都正常, 这说明氧传感器损坏。于是测量燃油压力, 怠速时为 230kPa, 急加速上升正常, 更换燃油滤清器。于是拆下氧传感器连接器, 路试, 故障消失, 于是又更换一个新的氧传感器, 读取数据流氧传感器的数据已经正常, 故障排除。

第六章 基于波形分析的氧传感器和发动机故障诊断

故障自诊断系统、排放分析法等先进的故障诊断方法在电喷发动机故障诊断中起到了重要的作用。但是它们也存在各自的缺点，例如当电喷发动机发生间歇性故障时，自诊断系统有时很难用故障码来判断故障具体部位；排放分析法虽然可以快速确定故障的可能位置，但要做到准确还需要结合其他的专用检测仪器。专用解码器的屏幕显示大部分是数字式的，而数字显示会有明显的时滞现象，即响应性较差，实际观测到的信号变化会有较大的差异。而示波器的出现为快速判断电子装置的故障提供了可靠的依据，由于其具有测试方法简单、形象直观等优点，所以利用示波器诊断发动机故障的示波法也被广泛地应用于汽车修理行业中。汽车示波器不但可以快速捕捉电信号，还可以慢速显示波形。因此，汽车示波器象一把尺子，可以测量发动机控制系统工作状况，进而确定发动机电气零部件、电子电路或整机的运行情况。用汽车示波器（图6-1）观察到的氧传感器的信号电压波形能够反映出发动机的机械部分、燃油供给系统以及发动机电脑控制系统的运行情况，并且，所有汽车的氧传感器信号电压的基本波形都是一样的，利用波形进行故障判断的方法也相似，连接端口如6-2图所示。

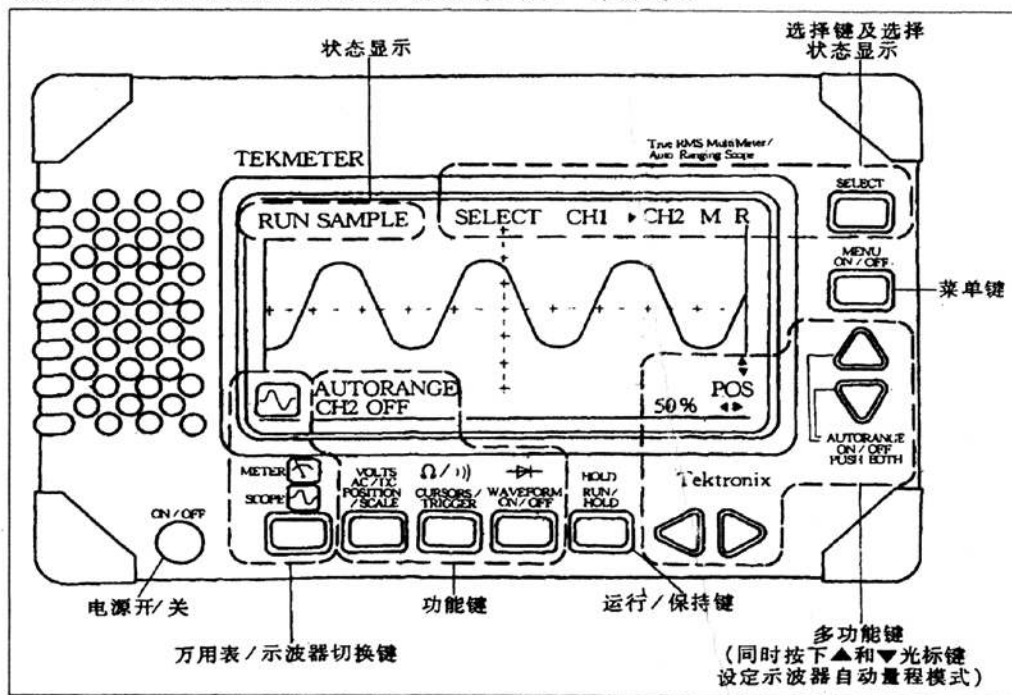


图 6-1 TEKTRONIX THM550 汽车示波器

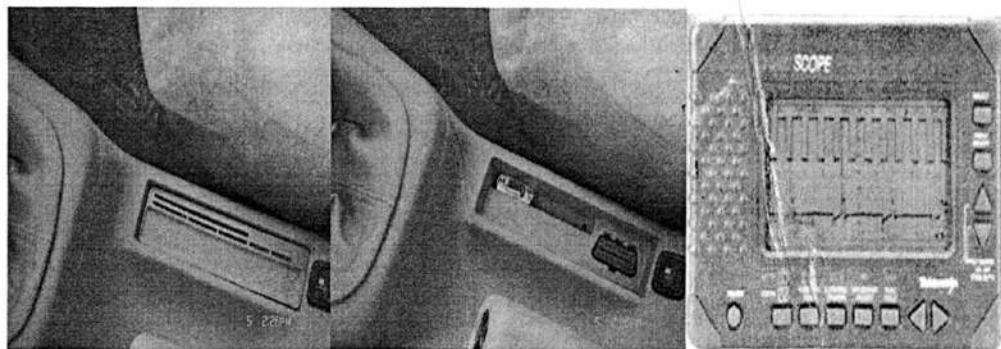
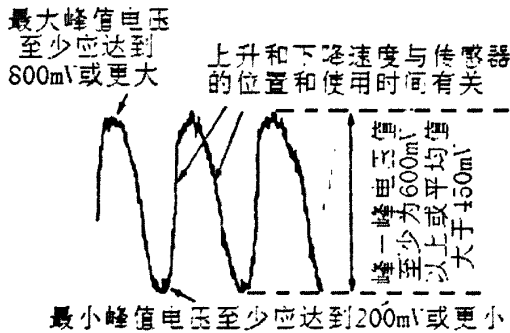


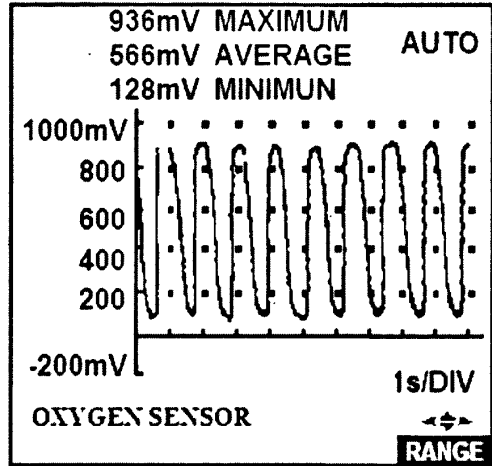
图 6-2 大众帕萨特接口与汽车示波器

好的氧传感器是非常灵敏的，但其信号也极易受干扰。若发动机有故障，氧传感器的输出信号一定会有反应。所以，当氧传感器的信号电压波形正常时，就可以断定整个发动机控制系统的工作是正常的或对发动机的修理是成功的。在汽车示波器上进行氧传感器信号电压波形分析，通常称为氧反馈平衡测试（Oxygen Sensor Feedback Balance），简称 O_2FB 【25、26】。

从氧传感器的信号电压波形图上（见图 6-3a 标准信号波形）可以看出汽车燃油反馈控制系统的状况——是否工作或进入了闭环状态。只有当氧传感器在无故障时电压波形才能反映燃油反馈控制系统的状况。如果氧传感器有故障，那么它所产生的波形就不一定反映的是燃油反馈控制系统的状况了。用汽车示波器观察的氧传感器的信号电压波形来判断混合气的浓度（见图 6-3b），从而判断燃油反馈控制系统的整体运行状况。



6-3a 标准氧传感器的信号电压波形



6-3b 用汽车示波器实测的信号电压波形

由于氧传感器所处的环境比心电图仪的传感器所处的环境差得多，所以在观察氧传感器波形前必须先测试氧传感器本身，即必须在确认其本身是否正常后，才能对氧传感器的信号波形进行诊断分析。

6.1 氧传感器检查

1) 加热线电压的检查

在实践中，我们一般会遇到以下几类氧传感器 1 线、2 线、3 线、4 线，（5 条引线的多属于稀混合氧传感器）。而现在大部分电控汽车使用的都是 3 线或 4 线加热式氧传感器。3 条引线：1 条为信号线，1 条搭铁，另外 1 条为 12V 的加热控制线。4 条引线：信号线与加热控制分别组成各自的回路，也就是两条搭铁线分开。（因此，对于这一类氧传感器首先应检查加热线的电压是否正常，即在打开点火开关或启动发动机后应有 12V 电压。如果没有加热电压，则氧传感器必然工作不良。）

2) 氧传感器内加热电阻的检查

如果加热线电压正常，则接下来应检查氧传感器内加热电阻的好坏。一般正常值为几欧姆，如果加热电阻无穷大或为零，则说明电阻开路或短路，这样势必造成氧传感器工作不良。

3) 接地线的检查

1 线式氧传感器靠本身与排气管形成接地回路（以单线作为其信号线，氧传感器的外壳搭铁），对于 2 线式氧传感器，一般黑色线为接地线，测量其接地压降，应小于 100mv 为好，3 线式氧传感器与 2 线式氧传感器的检测方法相同。对于 4 线式氧传感器，由于它有两根接地线，一根为加热线的接地线，另一根为信号线的接地线，因此两根

接地线应分别测量，以确定其是否正常。

做完以上的检查，则基本上可以断定传感器本身是否工作良好，以便为接下来的氧传感器信号测试做准备。因为以上任何一项检查如果有问题，都将导致氧传感器工作不良，而使其输出信号电压失准或没变化，从而使对氧传感器信号的测试失去意义。

4) 发动机是否处于闭环控制模式

在我们截取正确的波形之前，最好让发动机热车之后再来进行，以确定发动机正处于封闭的控制回路之下。一般来说，只要发动机无任何异常或故障，一旦超过 1000r/min，氧传感器即刻以电压的变化来反映出闭环控制。

6.2 氧传感器信号测试的方法和标准

6.2.1 氧传感器信号测试的方法

测试氧传感器有两种常用方法：丙烷加注法和急加速法^[27]。

1) 加注丙烷法：(该方法需要专门的丙烷加注工具，这些步骤和规格适用于由世界最大的氧传感器制造厂生产出来的氧化钛传感器，同时它也适用于汽车生产厂的OBD-II 诊断仪所显示的氧化锆传感器规格。)

1) 连接丙烷加注工具，把用于加浓的丙烷接到真空管入口处(有曲轴箱强制通风或制动助力系统应连接完好的条件下工作)；

2) 连接并设置好汽车示波器；

3) 起动发动机，并使其在2500r/min下运转2~3min；

4) 让发动机怠速运转，注意必须在30秒内完成准确的振幅和反应结果。打开丙烷开关，慢慢加注丙烷，直到氧传感器输出电压升高(混合气变浓)，此时，一个运行正常的燃油反馈控制系统会试图将氧传感器的信号电压向变小(混合气变稀)的方向拉回。然后继续缓慢地加注丙烷，直到系统失去将混合气变稀的能力，最后继续加注丙烷直至使发动机转速因混合气过浓而下降100~200r/min。此步骤必须在20~25s内完成。

5) 迅速将丙烷从真空管处移开，及把丙烷输入端移离真空管，使造成极大的瞬时真空泄漏，此时若出现发动机失速是正常的。它并不影响检测，关闭丙烷开关。

6) 等到波形移动到示波器屏幕上的中央位置时，操作示波器，定住波形，并进行分析。接着就可以通过分析信号电压波形来确定氧传感器是否合格。

如果在关闭丙烷开关之前，发动机怠速运转时间(即混合气达到过浓状态的时间)超过 25s，则可能是氧传感器的温度太低，这不仅会使信号电压的幅值过低，而且还会使输出信号下降的时间延长，造成氧传感器不合格的假象。因此，在检测前应将氧传感器充分预热(即让发动机在 2500r/min 下运转 2~3min)。如果发动机仅怠速运转 5s，就可能有一个或多个参数不合格，而这个不合格并不说明氧传感器是坏的，只是测试条件没有满足的缘故。

2) 油门急加速法：

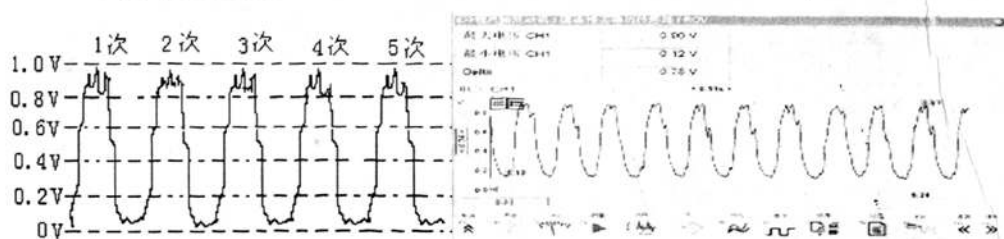


图6-4a 油门急加速法测氧传感器的波形

图6-4b 仿真图形

对有些 1988 年或更新的汽车，已经写了快速补偿真空泄露的功能，在一些新的汽车上安装有速度—密度方式空气流量计系统，还有一些汽车装有质量空气流量计，进气压力传感器的系统，在这两种系统中氧传感器信号想要足够的下降(变稀)是非常困难，甚至是不可能的。通常，比较新的发动机控制系统能够非常快的补偿比较大的真空泄漏，所以氧传感器信号决不会变稀(在排放中氧的不同部分压强，不足产生在最大的氧传感器响应信号)。有几个可能的变通办法就是在测试氧传感器的手动真空泵使传进压力传感器(MAP)的真空压力稳定，用急加油门的办法来测试氧传感器的。用急加速油门的方法有三个步骤(示波器设定方法与丙烷测试方法相同)：

- 1、以 2500r/min 预热发动机和氧传感器 2~6min 后，再使发动机怠速运转 20s；
- 2、在 2s 内将发动机节气门从全闭(怠速)至全开一次(共进行 5~6 次)，即油门自怠速加大至全开 5~6 次(见图 6-4)，注意不要超速，没有必要让发动机转速超过 4000r/min，只要得到一次节气门急加速和全减速即可。
- 3、锁定波形以便检查。按照丙烷测试方法时的波形图来检查氧传感器的最大最小电压以及响应时间，必要时可以用游标测量，汽车示波器通常会显示最大值和最小电压值。在信号电压波形中，上升的部分是急加速造成的，下降的部分是急减速造成的。

起动发动机使氧传感器加热至 315℃ 以上，发动机处于闭环工作状态，利用跨接线或探头与传感器连接器信号端子相连，观察氧传感器的信号波形。

6.2.2 氧传感器信号测试的标准

信号测试中有 3 个参数(最高信号电压、最低信号电压和混合气从浓到稀时信号的响应时间)需要检查，只要在这个参数中有 1 个不符合规定，氧传感器就必须予以更换^[28]。更换氧传感器以后还要对新氧传感器这 3 个参数进行检查，以判断新的氧传感器是否完好。测试步骤氧化锆型传感器和氧化钛型传感器都适用(见图 6-5a)。用汽车示波器对氧传感器进行测试时，可以从显示屏上直接读取最高信号电压和最低信号电压值，并且可以用示波器游动标尺读出信号的响应时间，这是汽车示波器特有的功能。汽车示波器还会同时在其屏幕上显示测试数据值，这对分析波形非常有帮助。

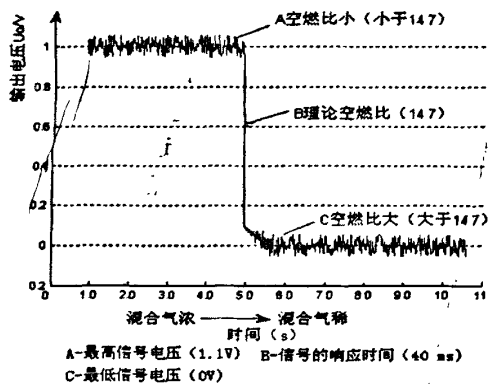


图 6-5a 氧传感器正常波形的三个标准参数

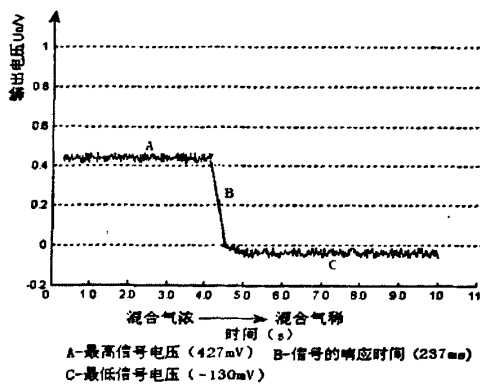


图 6-5b 已损坏的氧传感器信号波形

- 1、当进入闭环控制模式(一般来说，只要发动机无任何异常或故障，一旦超过 1000r/min，氧传感器即刻以电压的变化来反映出闭环控制)，电压是在 1~0V 间不断地变化。
- 2、一般最高电压值，最低电压值须满足。
- 3、 $\lambda = 1$ 时电压大约在 0.45~0.5V 之间，其上下反应时间依车种而定，但一般不可大于标准时间，否则氧传感器反应过慢。具体参数见表 6-1。

氧传感器测试——可以从显示屏上直接读取最大或最小电压，并用示波器游标读出

延迟时间。如果这三项中任何一项不符合上表要求，氧传感器均不合格，应更换新的并对新氧传感器采取同样的方法予以检查。如果从波形上还无法准确断定氧传感器的好坏，可以用示波器上的游标读出最大最小电压和响应时间，大多数坏的氧传感器都可以从波形明显地分辨出来（见图 6-5b）。

表 6-1 氧传感器标准信号波形衡量标准

要素	测量参数	允许范围
1	最高电压（左侧波形）	大于 850mv
2	最低电压（右侧波形）	75~175mv
3	从浓到稀的允许响应时间（允许中间的下落沿）	少于 100ms（波形在 300~600ms 应该垂直下降）

氧含量多少决定氧传感器输出电压大小。氧含量少，则混合气中燃油多，混合气浓，A/F 小， λ 小，输出电压为 1V。如图 6-6a, 6-6b, 6-6c 所示。

当 $\lambda = 1.00$ 时，废气净化率最高，此时传感器的输出电压处于临界状态。

当 $\lambda < 1.00$ 时，发动机工作在缺氧状态，输出电压接近于 1.0V。

当 $\lambda > 1.00$ 时，发动机工作在富氧状态，输出电压接近于 0.0V。

在理论空燃比附近，氧传感器的电压输出曲线呈阶跃状，计算机判断氧传感器的电压在 0.4~0.5V 时，就可知道空燃比接近理论空燃比。

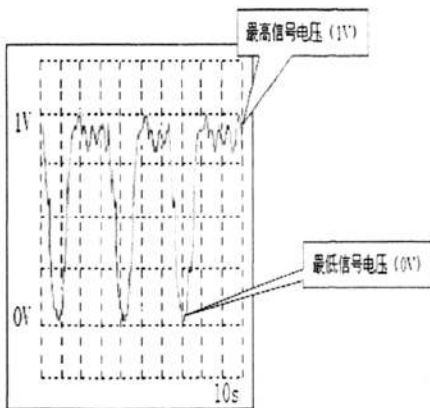


图 6-6a 氧含量少（混合气浓）

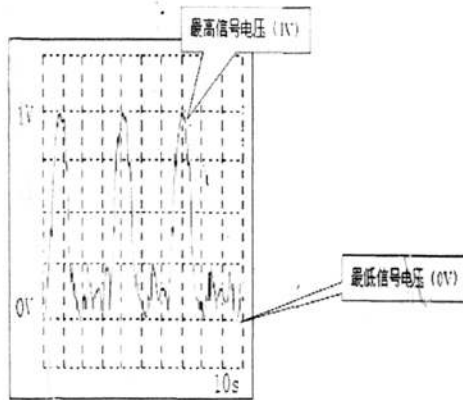


图 6-6b 氧含量多（混合气稀）

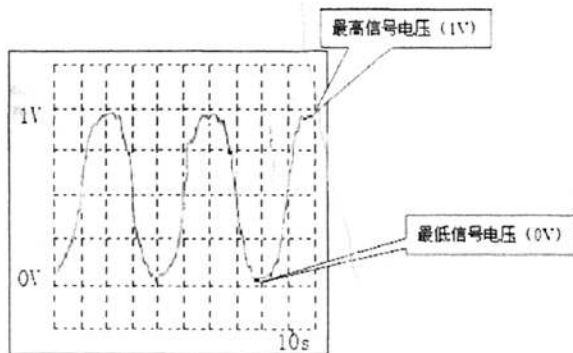


图 6-6c 氧传感器正常

6.2.3 氧传感器测试信号的数值及产生原因

1) 氧传感器的输出电压应在 0.0~1.0V 间变动: 1、氧传感器输出电压在 0.0~1.0V 间变动, 说明氧传感器调节正常; 2、新车通常在 0.3~0.7V 间变动; 燃烧室被积炭轻度污染时在 0.2~0.8V 间变动; 烧室被积炭严重污染时在 0.1~0.9V 间变动; 3、氧传感器输出电压不在规定范围内摆动, 应进行试车, 试车后再次检测氧传感器输出电压。

2) 如氧传感器输出电压始终为: 1、约 1.1V, 则氧传感器对正极短路; 2、约 0.0V 氧传感器对地短路; 3、0.45~0.50V 间的某个数值保持不动, 则氧传感器断路。

如氧传感器输出电压为 0.0V, 说明氧传感器已损坏, 但控制单元却会误认为是混合气过稀, 进而加大喷油脉宽, 发动机热车进入闭环控制后, 排气管就会冒黑烟, 油耗会明显增大。

3) 当发动机急加速时从节气门位置传感器输出信号为最大值, 到氧传感器输出电压到最大值约需要 400ms, 氧传感器从输出电压最大值再回到最小值约需要 300ms。所以氧传感器正常时, 调节频率可达每秒一次。通常新车调节频率较快, 随着行驶里程的增加调节频率会逐渐放慢。一般把调节频率过慢称为“老化”, 氧传感器调节频率过慢的原因: 1、氧传感器加热器损坏, 输出电压过低, 导致混合气过浓, 排气管在部分负荷时冒黑烟; 2、氧传感器本体上缝隙或孔隙被积炭等有害物质堵塞, 无法和氧气接触, 输出电压过高, 导致混合气过稀; 3、氧传感器热负荷过载, 陶瓷体熔化。

氧传感器调节频率过慢会造成怠速不稳、部分负荷冒黑烟, 有时还会出现换挡熄火。因此无论是氧传感器输出电压不对还是调节频率过慢, 都必须更换。

4) 氧传感器输出电压过高的原因: 1、氧传感器触头被严重污染: 氧传感器触头本体上缝隙或孔隙被严重污染发生堵塞时, 无法和排气接触, 氧传感器输出电压会出现过高。2、发动机缺缸: 四缸发动机缺 1~2 个缸, 发动机抖动厉害, 但可以勉强行驶。不工作的缸的混合气未经燃烧, 直接进入排气管, 使氧传感器输出电压过高。

5) 氧传感器输出电压过低的原因: 1、热丝和热膜式质量空气流量传感器 (MAF) 被废气返流积炭污染, 在表面产生隔热层, MAF 的输出电压明显低于正常值, 导致混合气过稀。对 MAF 的输出电压是否准确的检测, 可用诊断仪读取数据流中的怠速空气流量。2、发动机进气系统发生泄漏: 使用进气歧管绝对压力传感器 (MAP) 的发动机进气系统发生泄漏会造成混合气过浓; 使用 MAF 的发动机进气系统发生泄漏会造成混合气过稀, 使氧传感器输出电压过低。3、氧传感器加热器损坏不工作, 会造成氧传感器输出电压过低。4、氧传感器前端的排气系统泄漏, 会造成氧传感器输出电压持续过低。排气管冒黑烟时, 氧传感器输出电压仍持续过低。5、导线电阻值过大: 氧传感器与控制单元间导线电阻值过大, 造成氧传感器输出电压过低。6、对地短路, 输出电压为 0.0V。

氧传感器输出电压过低时, 控制单元就会误认为混合气过稀, 进而加大喷油脉宽, 导致混合气过浓, 排气管冒黑烟。

用诊断仪读取氧传感器输出电压的数据流, 如果数据流显示电压和实测的电压相差 0.2V 以上, 应重点检测发动机前悬架支架上的各种传感器的总接地线和排气管上的氧传感器专用接地线是否有接触不良。

6.2.4 各种情况下正常氧传感器的波形

氧传感器信号在燃料反馈控制系统中的地位, 在汽车示波器的显示屏上, 氧传感波形, 就相当于医院手术室里的电起搏器 (EKG), 事实上, 在医院的急救室里, 最主要的判断设备就是起搏器 (EKG), 它所以看到病人脉搏的波形。汽车行驶能力和排放诊断的实际任务就是恢复汽车的脉搏 (FFCS 的脉搏), 而这个脉搏是就是氧传感器波形。观察传感器的波形能说明什么样的燃料反馈控制系统是“进入活动”或“进入闭环”状态。

起动时, 传感器输出电压达到 450mV 时开始进入浓和稀的循环。图 6-7a 与医院的电起搏器相似, 氧传感器波形只有当氧传感器是好的时才是可信的, 如果装在病人皮肤上的电起搏器的传感器不好, 那么实在不能相信它产生的波形, 但是由于氧传感器所处的环境要比电脉搏的传感器在卫生的病房里所处的环境差得多。所以在开始依靠氧传感器工作之前, 必须测试氧传感器本身, 如果将氧传感器波形用于诊断目的, 必须十分确信它的精确性。如果用一个坏的氧传感器, 那就会既不能进行有效地进行氧反馈平衡诊断, 也不能让发动机控制电脑(PCM)正常运行。这就是为什么诊断工序的第一步就要测试它的原因。从冷车进入闭环需要 23s。

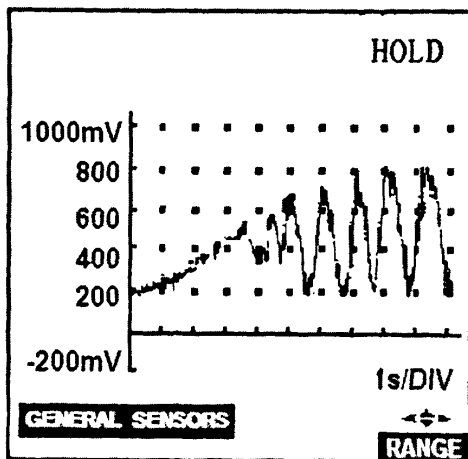


图 6-7a 反馈系统进入闭环

转速在2500r/min时, 氧传感器在10s内出现10~40浓/稀振幅, 水平坐标为每小格 1s, 整个屏幕时间为10s, 共有15个浓/稀振幅, 响应时间正常。(见图6-7b)

在怠速时, 氧传感器在10S内, 应有3~6个浓/稀振幅。(见图6-7c)

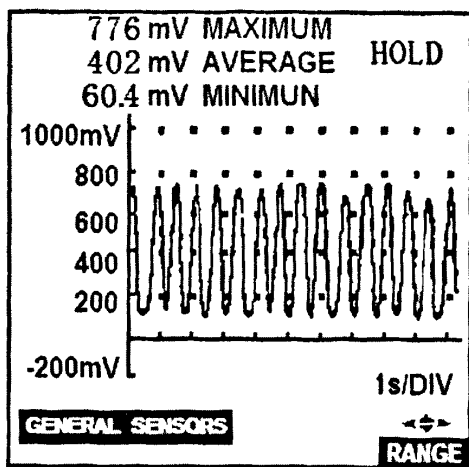


图6-7b 正常的氧传感器波形

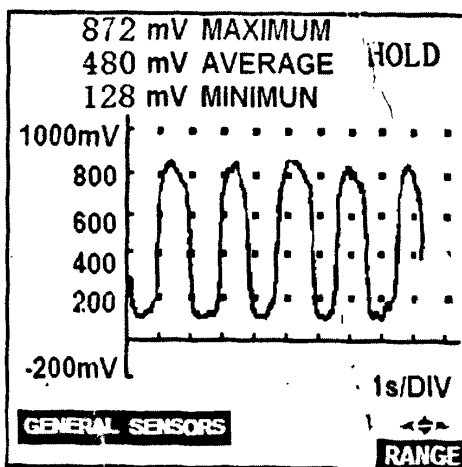


图6-7c 怠速时氧传感器波形

这里要特别提到二氧化钛型氧传感器, 现在一般电控汽车上的氧传感器都是二氧化锆型的, 其输出信号的电压范围为 0~1V, 而二氧化钛型氧传感器输出信号为 5V 或 1V 的可变电压信号。氧化锆氧传感器正常波形, 正常情况下当闭环控制时(见图 6-7d), 氧传感器的电压信号大约在 0 至 1V 之间波动, 平均值约 450mV。当混合气浓度稍浓于理论空燃比时, 氧传感器产生约 800mV 的高电压信号; 当混合气浓度稍稀于理论空燃比时, 氧传感器产生接近 100mV 的低电压信号。当然, 不同类型的氧传感器其实际波形并不完

全相同。在吉普公司 4.0L 汽车上用的是二氧化钛型的氧传感器，有 2 个特点：1) 该氧传感器信号电压的变化是从 0 到 5V，而不是从 0 到 1V。2) 该氧传感器的信号电压与其他氧传感器的信号电压相反，混合气浓时电压低，混合气稀时电压高，见图 6-7e，2500r/min 时二氧化钛型氧传感器正常波形，无杂波正常。氧化钛型氧传感器和氧化锆型氧传感器的信号响应时间一般是相同的。

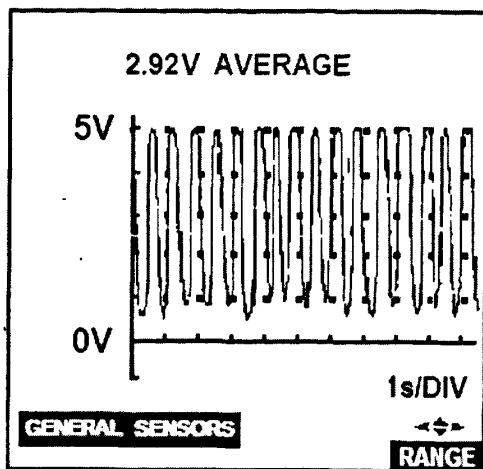
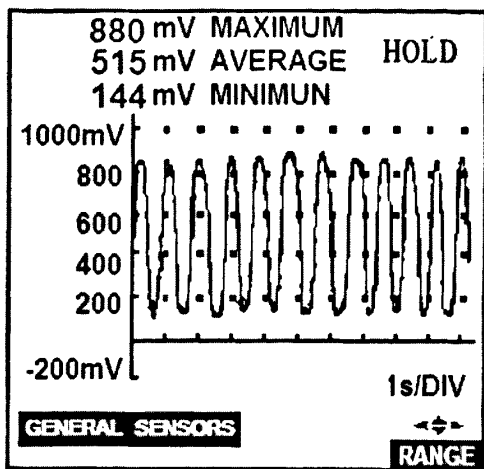


图 6-7d 正常的多点喷射发动机氧传感器波形 图 6-7e 二氧化钛型氧传感器信号波形

5V 氧化钛传感器系统：

配置氧化钛传感器系统——5V 或 1V 可变电阻。氧化钛传感器与氧化锆不同。氧化钛传感器的工作原理与发动机冷却液温度传感器 (ECT) 和进气温度 (IAT) 传感器一样，它们包含一个可变电阻器。这个可变电阻根据条件的改变 (例如：温度) 来改变电阻值。但是与发动机冷却水温度或进气温度不同的是，氧化钛传感器在传感器四周空气/燃油混合比变化时改变电阻值，而发动机控制电脑 (PCM) 则是读取电阻两端电压降，通常要提供给氧化钛传感器一个工作电压 (一般是 1V，但吉普 4.0L 直到 1991 年用的是 5V)。然后传感器送回一个较低的变化电压，这个电压是根据空气/燃油混合比的情况回送的。

大多数氧化钛传感器系统是在多点喷油系统中使用，在 4.0L 切诺基和 wsanglers (1991 年以前) 吉普，一些 3.0L 的克莱斯勒 Eahie, Summit, 1986 年以后的日产 300ZX 和 Stanza 4WD, 1982 年以后日产千里马和 Sentre, 1983 年和以后日产 D21 卡车和一些 1988 年更新的丰田汽车，例如 4-Runner, 4.0L 的吉普系统 (1991 年以前) 用 5V 电压电源，其它用 1V 电压电源。并不是所有的吉普 5V 氧化钛传感器系统与氧化锆传感器的性能相同。在吉普公司 4.0L 轿车上有一些统一差别。

氧传感器的响应速度也是重要的参数，如图 6-7f 所示。

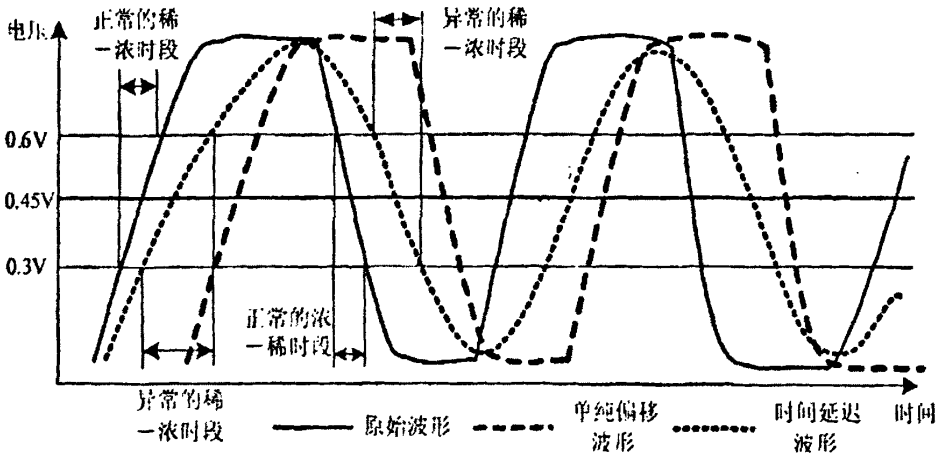


图 6-7f 氧传感器响应速度监控

通常有三种不同的燃油喷射系统反馈式化油器系统、节气门体燃油喷射 (TBI) 即单点喷射系统和多点式燃油喷射系统 (MFI)，现在多采用后面两种。

1) 节气门体燃油喷射系统氧传感器信号电压波形

节气门体燃油喷射 (TBI) 即单点喷射系统只有一个喷油器，由于系统的机械元件少了，所以它只需要较少的时间就可以响应系统的燃油控制命令，较迅速地改变喷油器的喷油量。因此，在相同的时间内，该系统氧传感器信号电压变化的频率较高，其频率为 0.2 (怠速时) ~ 3Hz (2500r/min 时)，如图 6-8a, 6-8b 所示。

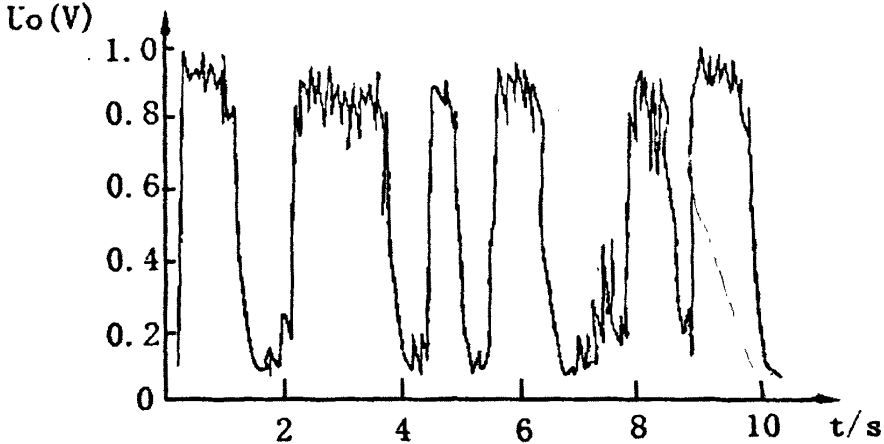


图 6-8a 典型单点式燃油喷射系统氧传感器在怠速工况时的波形

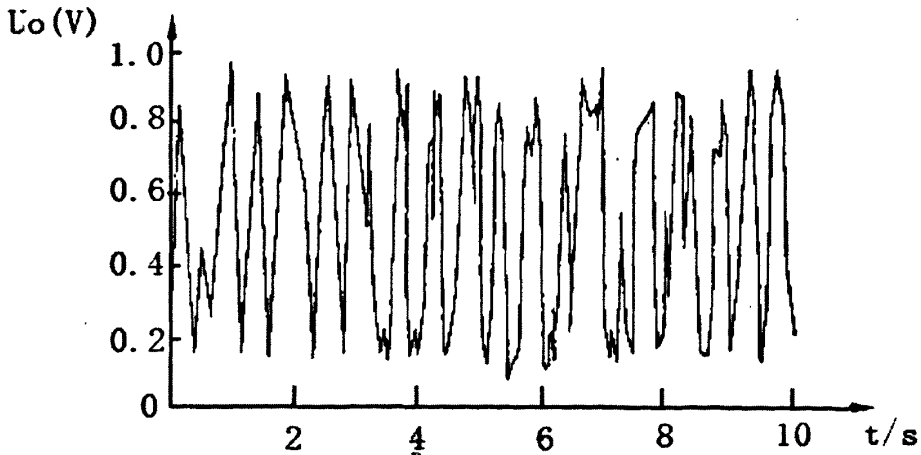


图 6-8b 典型单点式燃油喷射系统氧传感器在发动机转速为 2500r/min 时的波形

2) 多点式燃油喷射 (MFI) 系统氧传感器信号电压波形

多点式燃油喷射系统由于大大改变了电子与机械部分设计, 因而性能超过节气门体(单点式)燃油喷射系统。该系统的进气通道明显缩短, 从节气门体燃油喷射系统的喷油器到进气门的距离没有了, 氧传感器的信号电压变化的频率为 0.2 (怠速时) ~ 5Hz (2500r/min 时), 如图 6-8c, 图 6-8d 所示。

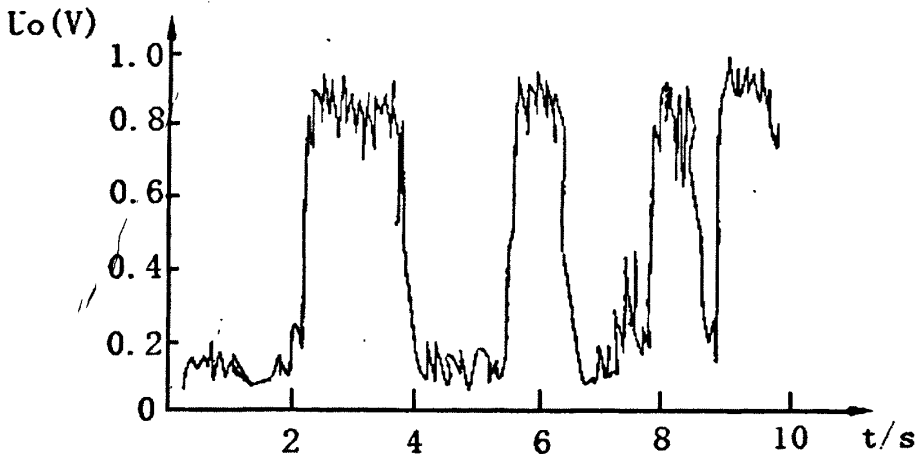


图 6-8c 典型多点式燃油喷射系统氧传感器在怠速工况时的波形

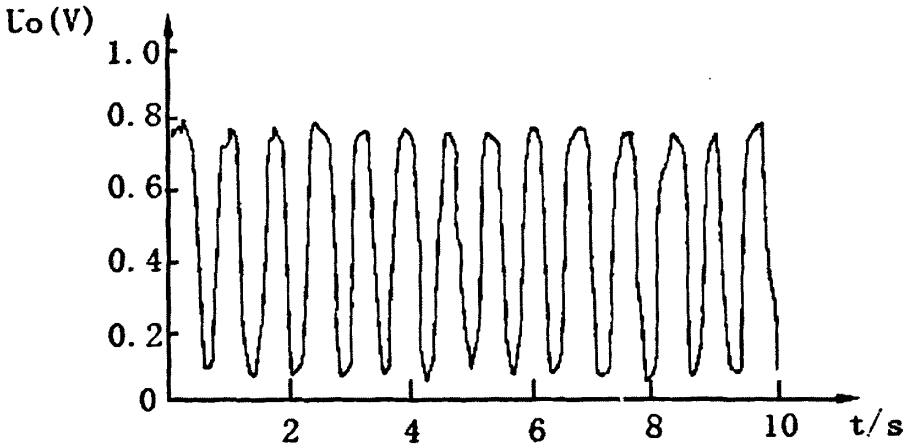


图 6-8d 典型多点式燃油喷射系统氧传感器在发动机转速为 2500r/min 时的波形

因此，该系统对燃油的控制更精确，氧传感器的信号电压波形更标准，三元催化转化器的效果更好。但因该系统分配至各气缸的燃油也不完全相等，所以氧传感器的信号电压波形会产生杂波或尖峰。

6.3 氧传感器诊断故障的依据和流程

氧传感器在电控车空气燃油反馈控制系统中有着十分重要的地位。有人把它看作是 整个发动机控制系统的“看门狗”，可以快速、准确地判断整个空气燃油反馈系统的运行性能。在氧传感器本身处于良好状况时，所输出的信号反映了发动机点火系统，连同所有的进气系统、排气再循环（EGR）系统、喷射系统等传感器、执行件、发动机 ECU 和电路的工作情况，把氧传感器波形和喷油脉冲宽度结合起来评定，可以确定废气排放故障的原因。通过用汽车示波器对氧传感器波形进行分析、评定，可以帮助我们诊断分析汽车的怠速不稳、加速迟缓、功率低下、油耗量大、废气排放超标等故障及其原因。知道哪里修理，着手修理后通过对氧传感器波形的测试，又可验证修理是否有效，车是否真正修好。因为好的氧传感器产生的波形非常敏感，并且极易受到干扰。所以，当氧传感器波形良好时，可以肯定修理是成功的，并且整个空气燃油反馈系统工作是正常的。

当诊断汽车时，如果发现氧传感器的输出电压不正常或根本不变，那可能有两个原因，一个是由于氧传感器本身的问题造成的，而不是对排气成份正确性测量的问题，另一个可能是由于上流动系统故障造成的，而不是混合比改变的问题，这是因为上流动系统中的一些部件有故障。

1) 上流动系统(Upstream System)

上流动系统是指位于氧传感器前的，包括传感器、执行器和发动机 ECU 的发动机各系统(包括辅助系统)，即在氧传感器之前的影响尾气的所有机械部件和电子部件，例如：进气系统、废气再循环系统和发动机电子控制系统等。

2) 下流动系统(Downstream System)

下流动系统是指位于氧传感器后面的排气系统部件，包括三效催化转化器、排气管和消声器等。

3) 闭环(Close Loop)

闭环是指发动机 ECU 根据氧传感器的反馈信号不断地调整混合气的空燃比，使其值符合规定。根据氧传感器的信号波形可以判断系统是否已经进入闭环控制状态。用波形测试设备测得的发动机起动后的氧传感器输出的信号电压波形器信号电压波形上的杂波一般也比较少。

发动机闭环控制时氧传感器随时监测着排气中的氧浓度，如果供入气缸的混合气空燃比不正常，排气中的氧浓度亦不正常，氧传感器信号就会有所反映。但排气中氧浓度不仅受混合气空燃比的影响，而且也受气缸中燃烧状况的影响。发动机正常燃烧需要三方面条件：1. 合适的混合气空燃比；2. 足够的点火能量和适当的点火提前角；3. 正常的压缩压力和压缩温度。

上述条件如有一条不满足，就有可能造成燃烧不正常，进而使排气中的氧含量异常，氧传感器的信号波形即出现异常。

下列故障可导致燃烧不正常而引起氧传感器信号不正常：

1) 点火系故障造成的燃烧不正常或缺火使排气中的氧含量升高。对此，可用示波器检测以排除这类故障的可能性或确认这类故障。

2) 由机械原因引起的压缩泄漏使正常的压缩比遭到破坏，这也可使部分氧“不经消化”即排出缸外引起排气中的氧含量升高。

3) 真空泄漏造成的空燃比不正常达到 17 以上时，就可引起因混合气过稀而发生的缺火。如此，造成排气氧含量增高。

4) 各缸喷油不均衡造成的压缩比不正常(对于多点喷射)：造成混合气过浓或过稀，当个别缸的混合气空燃比达到 13 以下或 17 以上时，将可能引起缺火。亦可造成排气氧含量异常。

反过来，就可以通过氧传感器反映排气中氧量的多少的性质，由氧传感器的电压的变化，诊断有关燃烧系统以上部分的故障(见图 6—9)。

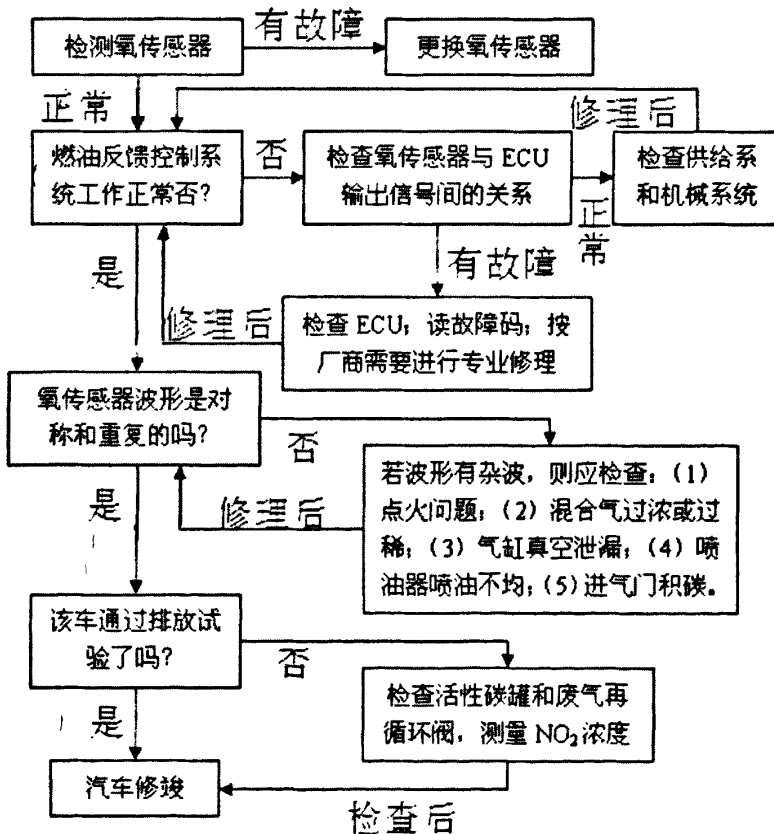


图 6—9 氧传感器波形分析法诊断故障流程图

6.4 基于氧传感器杂波的系统故障诊断

6.4.1 氧传感器杂波的三种类型

在有的氧传感器输出波形中明显出现杂波，杂波可能是由于燃烧效率低造成的，它反映了发动机各缸工作性能以及三元催化转化器工作效率降低的状况。对杂波的分析是尾气分析中最重要的内容，因为杂波会影响燃油反馈系统的正常运行，使反馈控制程序失去控制精度或“反馈节奏”，导致混合气空燃比超出正常范围，从而影响三元催化转化器的工作效率以及尾气排放和发动机性能。我们可以根据杂波的特征来辅助分析汽车故障。首先，我们来了解杂波的种类：

1) 增幅杂波（如图 6-10a）

增幅杂波是指在氧传感器波形中，经常出现在 300mV 到 600mV 之间的一些不重要杂波，通常，所观察到的 300mV 到 600mV 间的杂波是增幅杂波，这种类型的杂波通常对特定的诊断是不重要的。这时因为增幅杂波大多是因氧传感器自身的化学特性所导致的，而不是发动机或其它系统的问题。因此高于 600mV 和 300mV 的杂波才是明显的杂波，在 300mV 至 600mV 之间的杂波不是特别确定的，而是由氧传感器的化学作用造成的，因此从实际触发称为无关型杂波。

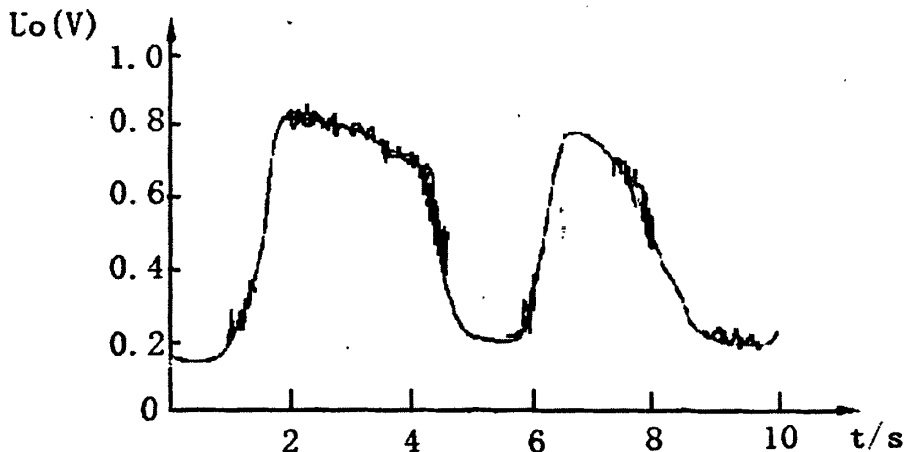


图 6-10a 轻度杂波示例

2) 中等杂波（如图 6-10b）

中等杂波是指当波形通过浓段时，从波形的顶弧下冲的尖峰。中等杂波尖峰振幅不大于 150mV，当氧传感器时波形穿过 450mV 时，中等杂波会达到 200mV（见“增幅杂波”）。中等杂波对特定的诊断也许有用，也许没用，在诊断时还必须权衡一些其它因素，产生杂波的燃油反馈系统的类型是重点考虑因素，杂波发生时发动机运行方式也是有关系的。例如，多数汽车在怠速是氧传感器波形上的杂波比较多。此外，在考虑氧传感器波形上的中等杂波信号时，发动机的系列或氧传感器类型也是重要的因素。这种杂波与反馈系统的类型、发动机的运行方式（如在发动机怠速运转时氧传感器信号电压波形上的杂波比较多）、发动机系列或氧传感器类型有很大关系。

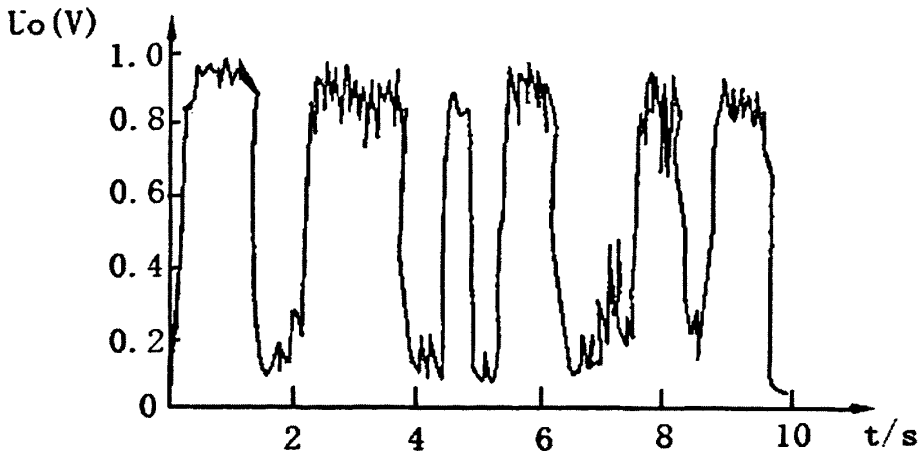


图 6-10b 中度杂波示例

3) 严重杂波 (如图 6-10c)

严重杂波是指振幅大于 200mV 的杂波, 严重杂波会在持续的运行时段内覆盖传感器的整个电压范围, 在示波器上的严重杂波表现为从传感器运行范围的顶部向下冲的尖峰, 冲过 200mV 或达到传感器运行范围的底部, 在发动机运转期间它会覆盖氧传感器的整个信号电压范围。如果发动机处在稳定的运行方式时, 例如稳定在 2500r/min 时, 严重杂波能够持续在几秒钟, 这对任何汽车的任何诊断总是有意义的, 因为这种特性的严重杂波决不是正常系统设计造成的, 它是由气缸点火不良或混合气不平衡引起的。发动机稳定运转时出现杂波, 说明发动机有故障, 一般是点火不良或各缸喷油量反映不一致造成, 这种杂波的出现必须排除。

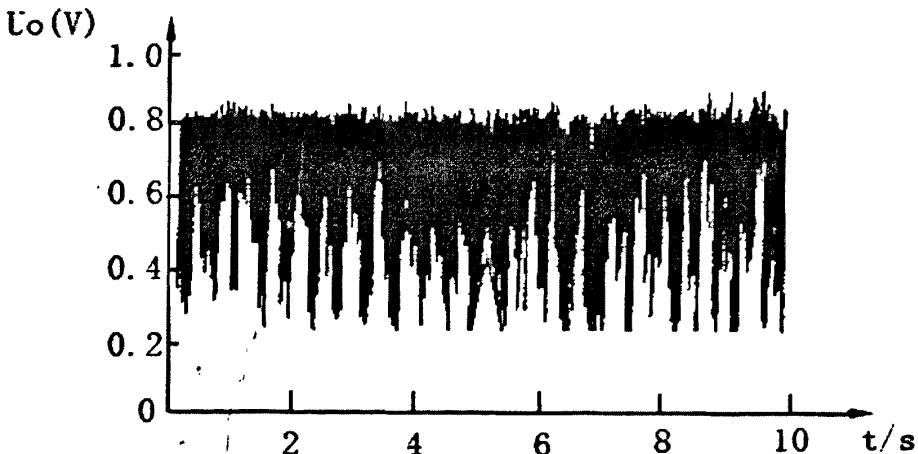


图 6-10c 严重杂波示例

6.4.2 氧传感器杂波分析的原因

为什么要研究氧传感器波形上的杂波信号呢?这是因为杂波可能是由于燃烧效率低造成的, 氧传感器波形的杂波能警告各个发动机气缸性能的下降, 这时废气诊断是最主要的。因为它能发现催化剂转换效率的降低和个别气缸的性能降低。杂波信号也妨碍燃油反馈控制系统控制器的正常运行 (在发动机控制电脑中的反馈程序运行), “燃油反馈控制系统控制器”专门指起作用的软件程序 (从现在起, 称之为“反馈控制器”), 它是接受氧传感器电压信号并计算正确的即时喷油或混合气控制命令的程序。

通常,反馈控制器程序不是设计成有效地去处理由非正常的系统操作和燃油控制命令所产生的氧传感器信号频率。杂乱的高频变动信号能使反馈控制器失掉控制精度,或失去“反馈节奏”。这里有几个影响,首先,当反馈控制器的操作精度受影响时,燃油混合比就会超出催化剂窗口,这将影响转换器的工作效率和废气排放。其次,当反馈控制器的操作精度受影响时,发动机性能也将受到影响。

杂波可以成为失去控制的废气进入催化剂的判定性指示,经常可发现当杂波存在时,进入催化剂的废气便没有了正确的混合气空燃比,理解氧传感器波形上的杂波对废气排放的修理诊断是很重要的。在一些情况下,杂波是催化转换效率减少的明显信号,随后就是尾气排放超出标准。此外,氧传感器波形上杂波的解释、对发动机性能或行驶能力诊断是一个有价值的工具。杂波是燃烧效率从一个缸到另一个缸不平衡指示。对氧传感器波形上的杂波的解释和理解对有效地运用氧传感器信号修理验证也是很重要的。

在氧传感器波形上的杂波表明排气变化从一个缸到另一个缸的不平衡,或者是比较特别地从个别的燃烧过程中没有得到较高的氧的含量。大多数氧传感器当工作正常时能够比较快的反馈各个燃烧过程所产生的电压偏差。杂波的信号限制越大,从各个燃烧过程测得氧成分的差别就越大,在不同行驶方式下看到的杂波不但对确定稳态和瞬态废气试验失效的根本原因是重要的,而且也是有效的可驾驶性能诊断的判断依据。

杂波信号的幅度越大,各个燃烧过程中氧气量的差别越大。

在加速方式下,能够与碳氢化合物(HC)相对应的氧传感器杂波(波形的峰值毛刺)形成一对一废气波形的氧传感器信号杂波是一种非常重要的诊断信号,因为它意味着在加大负荷的情况下点火出现断火现象。通常,杂波幅度越大。在排气中氧传感器的成份就越多,所以杂波是由于进入催化器的反馈气平均氧含量升高造成氧化氮排前增加的指示,在浓氧环境(稀混合气)催化器中的氧化氮不能被减少(化学地)。

杂波还说明由于进入三元催化转化器的尾气中的氧含量升高而造成NO_x的增加,因为在浓氧环境(稀混合气条件)下三元催化转化器中的NO_x无法减少。

综上所述,已知一些反馈类型系统完全正常的氧传感器波形上的杂波信号对废气或发动机性能不产生明显影响。对于少量的杂波可以不去管它,而大量的杂波是重要的。对于大多数普通系统,一个软件波形是绝对有价值的,对正在控制着的系统拥有一张氧传感器参考波形,能判断出什么样的杂波是允许的、正常的,而什么样的杂波是应该关注的,关于好的杂波标准是:如果发动机性能是好的,则应该没有真空泄漏,废气中的碳氢(HC)化合物和氧含量是正常的。

6.4.3 氧传感器杂波产生的原因

氧传感器信号电压波形上的杂波通常是由发动机点火不良、燃油雾化不好(如喷油器堵塞)、结构原因(如各缸的进气管道长度不同)、零件老化及其他各种故障(如进气管堵塞、进气门卡滞、活塞环磨损或断裂等)引起的。下列故障可导致的燃烧不正常进而引起氧传感器波形不正常。

其中,由点火不良引起的杂波呈高频毛刺状,发动机的点火不良是如何引起杂波呢?点火不良易造成气缸内燃料燃烧不完全或根本不燃烧,多余的氧气排出,氧传感器便感知氧浓度的变化,在波形上产生低压或毛刺,即杂波。点火系故障、混合气过浓(空燃比为13)或过稀(空燃比17)、气缸压力偏低、一缸或几缸产生的真空泄漏、喷油嘴喷油不均等均会造成点火不良。当传感器发现排气中氧成分变化时,它就非常快地产生一个低压或毛刺,一系列这些高频毛刺就组成称之为“杂波”东西。

由点火不良引起的杂波呈高频毛刺状,而造成点火不良的原因有多个:

1) 点火系统本身有故障(如火花塞、高压线、分电器盖、分火头、点火线圈或只影响单个气缸或一对气缸的初级点火问题等)。通常点火示波器可以用来确定这些问题

或排除这些故障。

2) 混合气过浓(空燃比约为 13)或过稀(空燃比约为 17)。(注:理论空燃比为 14.7)

3) 发动机的机械故障(如气门烧损、活塞环断裂或磨损、凸轮磨损、气门卡住等)引起汽缸压力过低。由汽缸压力造成的点火不良,它是由机械问题造成的,它使得在点火前燃油空气混合气的压力降低,并不能产生足够的热,这就妨碍了燃烧,它增加了排气中的氧含量,压缩泄漏,使点火之前的压缩温度、压缩压力不够,造成燃烧不完全甚至缺火。

4) 一个缸或几个缸进气道(进气管上的真空软管等处存在泄漏)有真空泄漏造成的不良,这可以通过对所怀疑的真空泄漏区域(进气叶轮、进气歧管垫、真空管等)加入丙烷的方法来确定,看示波器的波形什么时候因加丙烷使信号变多,尖峰消失,当与一个缸或几个缸有关的真空泄漏造成进入汽缸的混合气超过 17:1 时,就可引起因混合气过稀而发生的缺火,造成排气氧含量增大,真空泄漏造成的点火不良就发生了(真空泄漏会造成混合气过稀)。会有:怠速非常不稳,加速迟缓,动力下降,在冷启动后或重新热启动后的开环控制期间情况稍好,一旦反馈燃油控制系统进入闭环控制,症状就变得显著的症状。(例可见图 6-15)

5) 在多点式燃油喷射发动机中,各喷油器喷油量不一致(喷油器堵塞或卡死),造成个别汽缸内的混合过浓或过稀。当一个汽缸或几个汽缸中的混合气空燃比超过危险时 17:1 就产生了稀点火不良,低于 13:1 也产生浓点火不良,这就造成了喷油嘴喷油不平衡产生的点火不良。将可能引起缺火,亦可造成排气氧含量异常。

在判断点火不良的原因时,应首先检查点火系统本身是否有故障,然后检查汽缸压力是否正常,再检查是否有汽缸真空泄漏现象。如果这三项均正常,则对于多点式燃油喷射发动机来说,点火不良的原因一般就是各喷油器的喷油量不一致。

点火系统本身的故障和汽缸压力过低的故障可以用汽车专用示波器及汽缸压力表来检查,而汽缸真空泄漏故障可以通过真空压力表或在所怀疑的区域周围加丙烷的方法检查(喷化油器清洗剂观察发动机转速是否变化的方法也可),观察示波器上的氧传感器信号电压波形是否变多且尖峰消失。

6.4.4 氧传感器杂波的判断原则

如果氧传感器的信号上有明显的杂波,这种杂波对所判断的那一类系统是不正常的话,通常这将伴随着重复的、可测试出的怠速时的发动机故障(例如:每次汽缸点火的爆震)。通常,如果杂波是明显的,发动机的故障最终将与波形上的各个尖峰有关,在发动机修理后应消失。如果氧传感器的信号上没有明显的杂波,并且可以断定是进气歧管无真空泄漏,排气中的 HC 和氧含量正常,发动机的转动或怠速运转比较平稳,则该杂波是正常的,也就是说当在波形上产生杂波的个别尖峰最终与发动机故障无关时,那么在修理中想要排除它的可能性很小。

关于杂波的标准是:在发动机性能良好状态下(没有真空泄漏,尾气中的 HC 和含氧量正常),氧传感器信号电压波形中所含的杂波是正常的。

对于喷油系统和点火系统故障以及真空泄漏、压缩泄漏引起的氧传感器的信号波形严重杂波,其形态会有一些的区别。但对不同的车型,明确区分是比较困难的。要想学会区分不同杂波所对应的故障,最好的方法就是观察在不同行驶里程下同一类型汽车氧传感器的信号电压波形,并加以分析比较。不过,可以肯定的是如果你检测出氧传感器信号波形出现非常严重的杂波,就可以推测这可能是缺火所引起的发动机故障。一般来说,点火失误引起的严重杂波,氧传感器波形大多处在低电压位置;喷油器损坏引起喷油滴漏和各缸喷油不均匀则可能使氧传感器电压波形大多处于高电压位置。

当氧传感器波形出现严重杂波,而不是氧传感器本身及控制系统故障时,必须对发

动机进行检查以确定故障部位。

- 1) 检查、判断点火系统是否有故障;
- 2) 检查汽缸压力以判断是否有压缩泄漏的可能性;
- 3) 用人为加浓或配合其他仪器等方法判断是否有真空泄漏的可能性;
- 4) 检查喷油系统是否有故障。

6.5 基于氧传感器检测波形的系统故障诊断

一般汽车用氧化锆式氧传感器，本文若不作特别说明，以下的波形分析都是氧化锆式氧传感器的输出波形的分析。

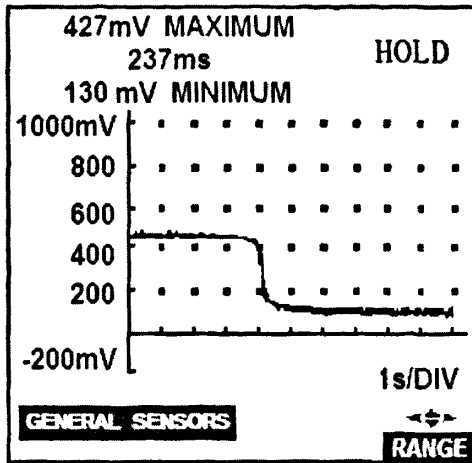


图 6-11a 最大电压过小

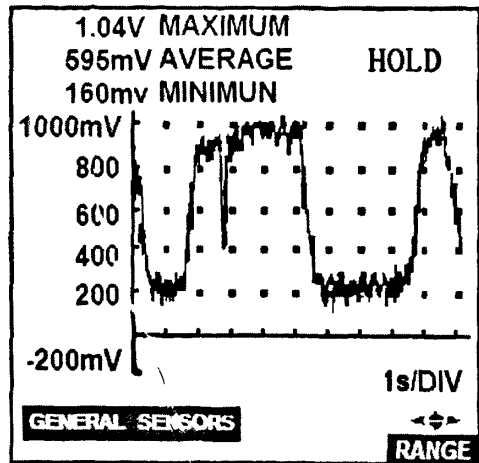


图 6-11b 浓变稀的响应时间过长

1) 氧传感器最大电压过小，如图 6-11a 所示。从波形上分析，最大电压为 427mV，最小电压为 130mV，响应时间 237ms。这种波形无论是电压值的范围和最大、最小值，还是响应时间均不符合标准，是个不正常的波形，故障原因为真空泄漏。

2) 混合气由浓变稀的响应时间过长，如图 6-11b 所示。如果穿越次数降低或空燃比由浓变稀的响应时间大于 100ms，说明氧传感器失效或部分污染。这是用油门急加速法在林肯车上测得的氧传感器不正常波形。用光标测得的响应时间是 360ms，这个氧传感器不合格。经查，故障原因为使用年限长，氧传感器失效。

3) 混合气过稀，如图 6-11c 所示。氧传感器信号持续低压，说明空燃比过大，混合气过稀。检查喷油脉宽，若喷油脉宽高于规定值，说明存在真空泄漏这样的机械故障。

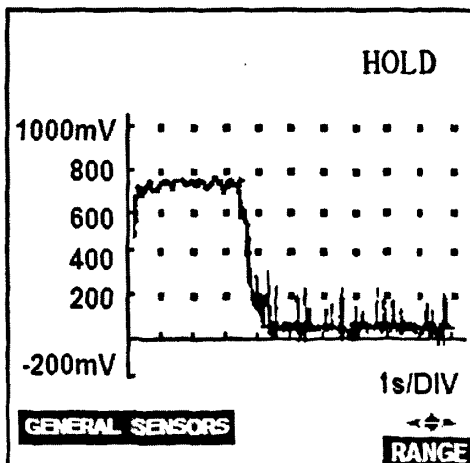


图 6-11c 混合气过稀

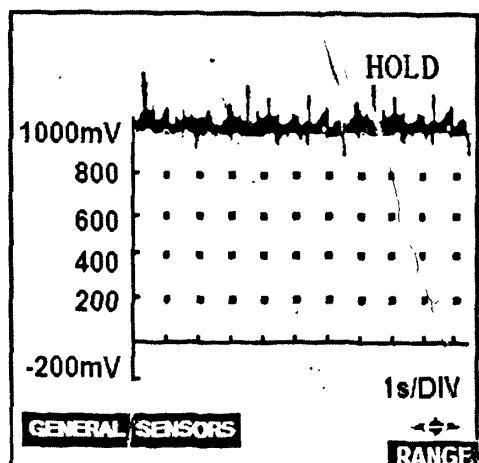


图 6-11d 混合气过浓

4) 混合气过浓, 如图 6-11d 所示。氧传感器信号持续高压, 表明空燃比过小, 混合气过浓。检查喷油脉宽, 若喷油脉宽正常或小于标准, 则应检查发动机是否存在机械故障或油压过高, 若喷油脉宽高于指定值, 则偏浓的故障是由氧传感器输入信号线或电脑故障引起。

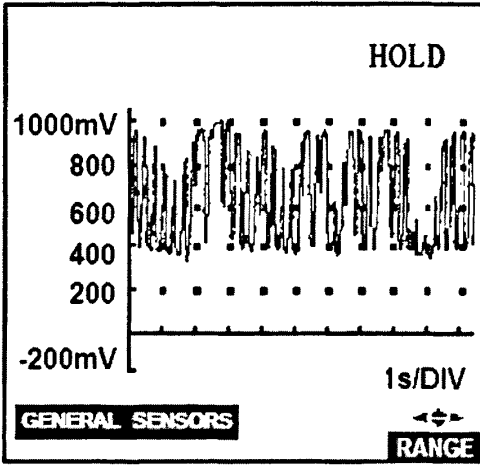


图 6-11e 火花塞短路

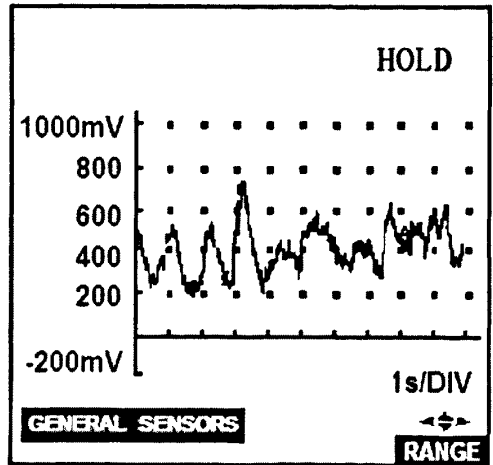


图 6-11f 火花塞高压线开路

5) 火花塞短路故障, 如图 6-11e 所示。此种故障在波形上出现大量的稀 / 浓过渡段。

6) 火花塞高压线断路故障, 如图 6-11f 所示。在波形上出现大量的浓 / 稀过渡段, 故障原因是火花塞高压线开路。

7) 喷油器泄漏故障, 如图 6-11g 所示。波形上出现明显的浓 / 稀过渡段。

8) 某缸喷油器不喷油故障, 如图 6-11h 所示。波形上出现大量的浓 / 稀过渡段。

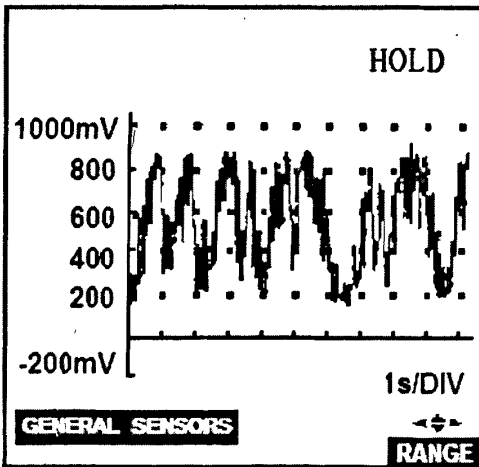


图 6-11g 喷油器泄漏

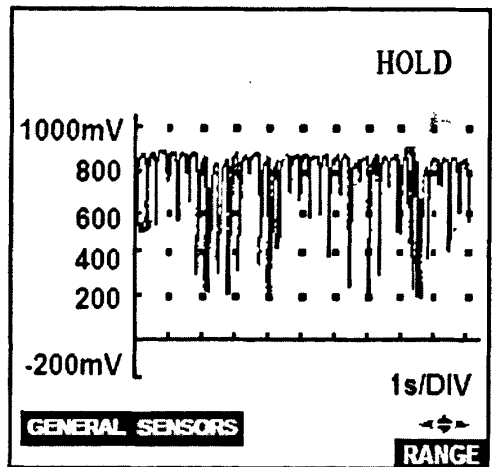


图 6-11h 个别喷油器不喷油

9) 踩下油门踏板的瞬间, 由于喷油量增加, 氧传感器出现高电压信号, 再迅速进入反应状态, 如图 6-11i 所示。

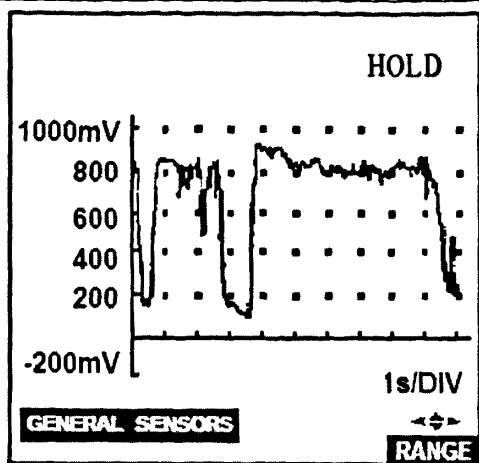


图 6-11i 发动机从怠速状态开始加速

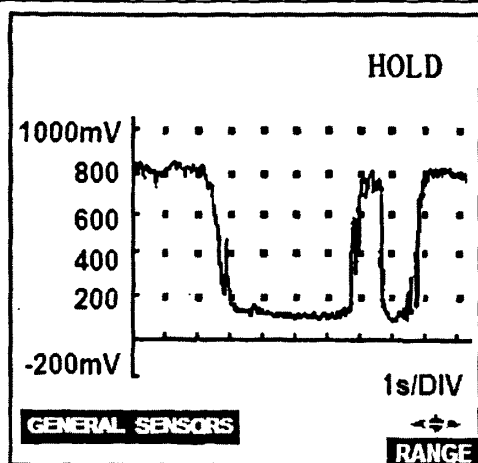


图 6-11j 怠速状态加速后再减速的波形

10) 当减速时，由于喷油量降低，氧传感器维持低电压信号，如图 6-11j 所示。

11) 氧传感器损坏，加热器的供电电路与氧传感器信号电压短路，导致加热电路电压加载到信号电路，造成信号电压提升约 300mV，使 ECU 误认为是连续混合气浓的信号。图 6-11k 中，平均电压为 742mV。

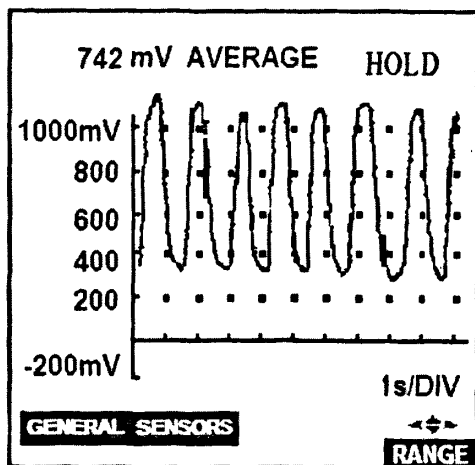


图 6-11k 氧传感器损坏

12) 个别缸喷油器堵塞造成各缸喷油不均衡的故障现象 (图 6-12a)

怠速非常不稳，加速迟缓，动力下降，在冷起动后或重新热起动后的开环控制期间情况稍好，一旦反馈燃油控制系统进入闭环控制，症状就变得显著。

用示波器检测氧传感器，检测发动机在 2500r/min 和其他稳定转速下的氧传感器波形，以检查燃料反馈控制系统。氧传感器在所有的转速、负荷下都显示了严重的杂波。

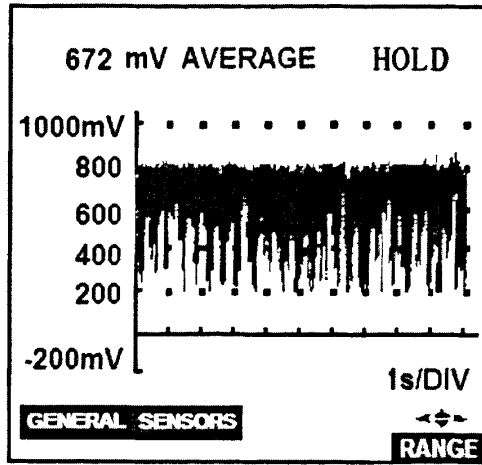


图 6-12a 喷油器损坏后的氧传感器波形

此例中，排气中氧不均衡或存在缺火使氧传感器电压波形产生严重杂波，这些杂波彻底毁坏了燃料反馈控制系统对混合气的控制能力。在图形上表现为氧传感器的信号电压波形的尖峰，覆盖氧传感器的整个信号电压范围。通常可以采用排除其他故障可能性的方法（即排除法）来判定喷油不均衡。包括用示波器检查、判断点火系统和气缸压缩压力以排除其可能性；用人为加浓或配合其他仪器等方法排除真空泄漏的可能性。总之，对于多点喷射式发动机，如果没有点火不良、压缩泄漏、真空泄漏问题引起的缺火，则可假定是喷射不均衡引起的缺火。此例中，进一步检查了上述点火、压缩、真空的各方面情况，结果表明可以排除这些方面问题的可能性。因此，判断为喷油器损坏。还应注意，上述“在冷启动后或重新热启动后的开环控制期间情况稍好”。这进一步说明了有个别缸喷油器存在堵塞问题。这是因为，在当时情况下，喷油脉宽稍长，加浓了混合气，多少起到一些补偿作用。通过更换喷油器以后，发动机工作恢复正常，且氧传感器信号波形也恢复正常。

但我们的问题是，如果氧传感器信号波形出现这种严重的杂波，能否可以推测是由于喷油系统损坏导致个别缸缺火或各缸喷油器喷油量不一致所引起的发动机故障？当引起发动机某缸缺火的原因不一样时，氧传感器信号波形会有较大的区别。理论上，当存在点火失误时，尾气中氧含量较高，一般氧传感器波形应当处在低电压的状态，瞬时高读数可以理解为是由于未燃烧燃油在氧传感器表面燃烧引起氧含量大大降低以及非平衡气体（CO、HC、NOX）的作用所致。这里需要明确的是：氧传感器测量的是其表面的氧气浓度，而非排气管中的平均浓度，当然，正常情况下两者是基本一致的。

一辆 3.5L V6 发动机的 Honda Odyssey 进行检测。由于一个点火线圈失效而产生了缺火，氧传感器波形出现异常。可以注意到氧传感器在大多数时间里都处于小读数状态，但有很多的瞬时是高读数（如图 6-12b）。

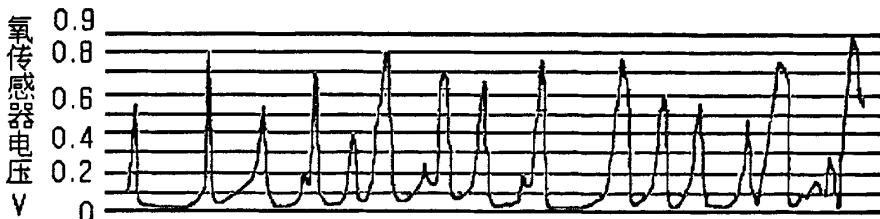


图 6-12b 点火故障产生缺火



图 6-12c 喷油故障产生缺火

对同一个发动机汽缸在喷油系统出现故障时进行同样的试验，氧传感器信号波形如图 6-12c 所示。可以注意到氧传感器的读数与图中刚好相反，此时更长的时间停留在高读数状态。理论上，氧传感器波形处于高电压的状态一般是由于混合气过浓、排气中氧含量减少所致，而瞬时低读数可以理解为一各缸喷油不均匀及非平衡气体的作用所致。

13) 真空泄漏故障的氧传感器波形分析

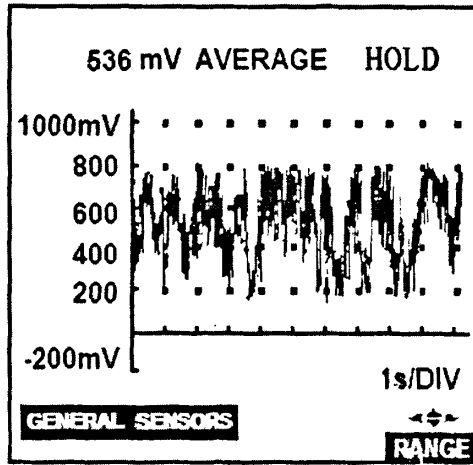


图 6-13 真空泄漏故障的氧传感器波形

图 6-13 为某发动机在 2500r/min 时的氧传感器波形。故障为个别汽缸的进气歧管真空泄漏。对图中波形分析可以得出：真空泄漏使混合气过稀，每当真空泄漏的汽缸排气时，氧传感器就产生一个低电压尖峰，一系列的低电压尖峰在波形中形成了严重的杂波。而平均电压高达 536mV 则说明：当氧传感器向微机控制系统反馈低电压信号时，燃料反馈控制系统使汽缸内的混合气立即加浓，排气时氧传感器对此反映为高电压信号，说明燃料反馈控制系统的反应是正确的。

14) 间歇性缺火故障的氧传感器波形分析

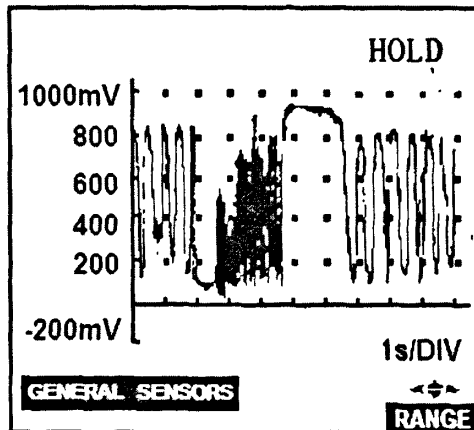


图 6-14 间歇性缺火故障的氧传感器波形

图 6-14 为某发动机在 2500 r/min 时的氧传感器波形。该波形反映出点火系统存在间歇性缺火故障。波形两边部分显示正常，但波形中段严重的杂波表明燃烧极不正常，甚至缺火。如前述，由于缺火时汽缸内的氧“未经消化”即排出缸外，致使氧传感器波形出现一系列的低电压尖峰，形成严重的杂波。同时，整个波形显示燃料反馈控制系统的反应是正常的。从波形上看，其数秒的间歇性杂波表明压缩泄漏或真空泄漏的可能性较小，应对点火系做进一步检查，以确定具体故障原因。系统用两秒恢复正常。

15) 良好的氧传感器与损坏的氧传感器波形比较分析 (图 6-15a, 6-15b)

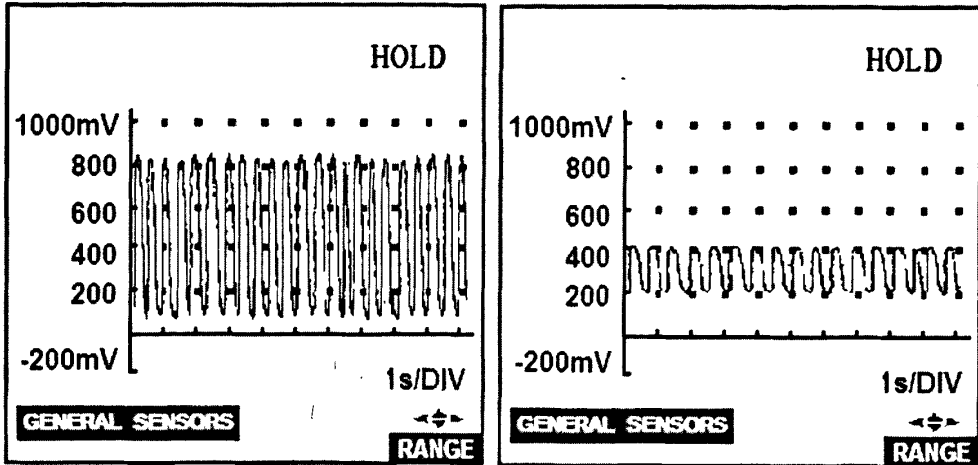


图 6-15a 良好的氧传感器波形

图 6-15b 损坏的氧传感器波形

振幅大的波形表示良好者，振幅小的表示损坏者。损坏的氧传感器波形表明，燃料反馈控制系统的正常运行受到了严重的抑制。但从其波形中的“稍浓、稍稀”振动来分析。燃料反馈控制系统一旦接收到正确的氧传感器反馈信号是有控制空燃比能力的。由于损坏的氧传感器的反应速率迟缓限制了浓稀转换次数，使混合气空燃比超出了三元催化器要求的范围，故此时排放指标恶化。图中良好的氧传感器波形反映的是更换了氧传感器之后的情况。

16) 氧传感器配合喷油脉宽检查分析

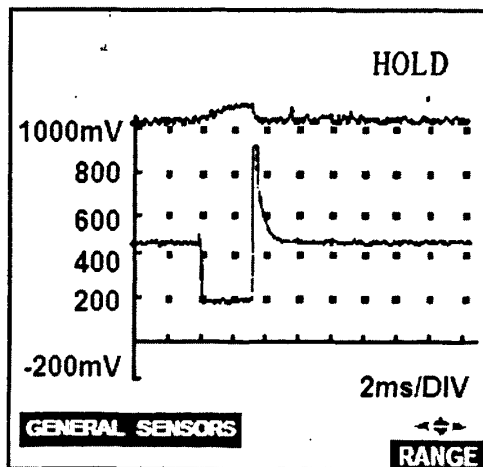


图 6-16a 发动机在 2500 r/min 时的氧传感器波形和喷油脉宽波形(一)

氧传感器波形显示为不正常的持续浓混合气信号(上边波形)，而微机控制系统能正确地发出较短的喷油脉宽指令(下边波形，正常应为 5 ms)试图使混合气变稀。两个波形的关系是正确的负反馈关系。这说明故障不在燃料反馈控制系统，可能是燃油压力过高

或喷油器存在漏油等原因。(图 6-16a)

若氧传感器波形显示为不正常的持续稀混合气信号(低电压),而微机控制系统能发出较长的喷油脉宽指令(例如 6 ms),这两个波形的关系也是正确的负反馈关系。这同样说明故障不在燃料反馈控制系统,可能是燃油压力过低或喷油器存在堵塞等原因。

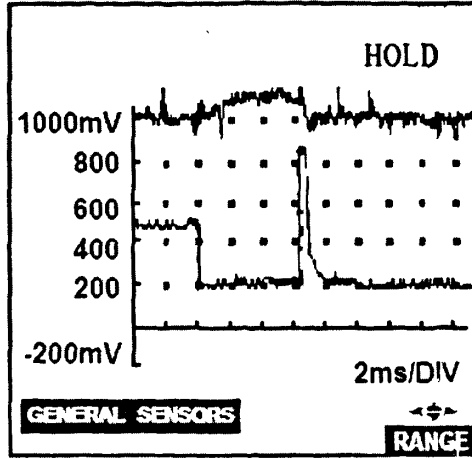


图 6-16b 发动机在 2 500 r/min 时的氧传感器波形和喷油脉宽波形(二)

氧传感器波形显示为不正常的持续浓混合气信号(上边波形),而微机控制系统正在发出的却仍然是要加浓混合气的较长的喷油脉宽指令(下边波形,正常应为 5 ms),即两个波形的关系出现方向性错误。这说明故障存在于燃料反馈控制系统内部,例如可能是微机控制系统接收了错误的进气流量信号或错误的发动机冷却液温度信号等原因。(图 6-16b)

随着汽车排放法规的不断严格和汽车控制技术、汽车维修检测技术的相应发展,使得汽车上增加了许多“让人摸得着脉搏”的地方(例如传感器)以及“摸脉搏”的仪器。采用波形分析方法检测发动机故障有了更大的必要性和可能性。其中,由于氧传感器本身所具有的特殊作用,故对氧传感器的波形检测和分析于汽车维修有着更重要的意义。

6.6 氧传感器对三元催化器的诊断作用

一个工作正常的三元催化转化器,在配上燃油反馈控制系统后就可以保证将尾气中的有害成分转变为相对无害的二氧化碳和水蒸汽。但是,三元催化转化器会因温度过高(如点火不良时)而损坏(催化剂有效表面减少和板块金属烧结),也会因受到燃油中的磷、铅、硫或发动机冷却液中的硅的化学污染而损坏。

三元催化装置的主要故障是本身的阻塞,出现这种故障后,车辆的动力性会明显下降。若阻塞严重,车辆还会出现熄火或起动困难等现象。催化装置严重的故障是它的内部陶瓷蜂窝过热碎裂,颗粒催化物熔化。另一故障是三元催化装置的车使用了有铅汽油,结果铅中毒使其失效。上述任何故障都会使车的排放控制性能迅速下降或完全失去作用。

6.6.1 三元催化器老化失效的原因和使用注意

随着使用时间的增长,三元催化器的活性表面开始老化、失效。具体的表现在转化效率下降,引起燃油温度上升。三元催化器老化的主要原因有两点:

1) 过热老化,是由使用温度过高造成催化器表面烧结,导致催化器活性表面损失。一般催化器的使用温度不宜超过 900℃;当三元催化器内部温度超过了极限温度上限

(800℃),甚至更高时,其载体、涂层以及上面的催化剂铂、铑等贵金属,就会因温度过高而烧损或脱落,使氧化还原化学反应失效。

2) 化学毒化,是由燃油和润滑油中的一些元素(如铅、磷和硫)和催化器的活性材料反应,或沉积覆盖在铂、铑等催化剂的活性表面上,造成催化转化率下降。一般都要使用三元催化器的汽车,必须加注无铅汽油,对润滑油的成分(特别是添加剂的成分)也提出了新的要求。

3) 老化。汽车在使用过程中,使发动机负荷、转速不断地发生变化,工作温度既有起动时的冷状态,又有大负荷时的热状态,三元催化器会因受到冷、热的冲击而老化。

使用三元催化器注意事项如下:

1) 一般排气中有害成分的开始转化温度需超过 250℃,因此,发动机起动后要预热,大约 5min 后才能达到。一旦活化开始,在催化剂的作用下,化学反应放热会自动保持高温。

2) 为提高催化器的净化率并延长使用寿命,最佳运行条件的使用温度应为 400~800℃。

3) 为防止催化剂过热,必须保证点火系工作可靠,及时清除火花塞表面积炭,排除不着火、点火能量不足、高压线脱落和点火线路接触不良等故障。发动机起动困难,会造成大量燃油经排气管流入三元催化器中燃烧而产生高温,应排除发动机故障,使起动顺利。

4) 汽车上坡时,发动机是在低速和负荷较大的工况下运转,排气温度在 700~800℃,催化气温度又因 HC 和 CO 浓度增大而上升促使催化剂过热,在这种情况下,要防止超负荷运行,控制发动机在正常温度范围内运转。

5) 发动机经过大负荷、高转速运转时,因排气温度较高,需停车熄火前,要使发动机进入怠速运转片刻,可使排气温度逐渐降低,以减少对三元催化器的热冲击。

6) 三元催化器损坏的原因,主要是使用有铅汽油造成的铅中毒,因此,必须使用无铅汽油。

6.6.2 三元催化器的失效检查

一般情况下,催化转换装置可用专用工具检查其蓄氧能力来判断它的好坏,也可用一些简单实用的方法进行检查。

1) 简单检查法:可将车辆顶起,找到前排气管上的催化装置,用橡皮锤进行轻轻敲打,听有没有“嘎拉嘎拉”的声音,并伴随散碎的东西掉下来,如果有,说明催化装置内部催化物质剥落或陶瓷蜂窝基底破碎,必须更换。如果没有异响,应检查三元催化器是否堵塞。

2) 使用怠速试验法:即在发动机怠速运转时,用汽车尾气分析仪测量汽车尾气的 CO 含量,其 CO 读数应接近于零,最大值不应超过 0.3%,否则说明三元催化器已经损坏。

3) 提速测试法:使用数字式转速表,使发动机缓慢加速,同时观察汽车尾气分析仪上 CO 和 HC 的读数,可用一真空测量仪连接到发动机进气歧管的一个真空口,起动发动机并使发动机的转速达到 2500r/min,并稳定此转速时,CO 和 HC 的读数应缓慢下降,并稳定在低于或接近于怠速时的排放水平,否则,就说明催化装置或排气系统有阻塞。

4) 堵塞检查法:取下废气再循环(EGR)阀上的真空软管,并用塞子将管口塞住,将真空表接到进气歧管上的一个真空口,起动发动机并使发动机的转速缓慢达到 2500r/min,观察真空表读数,若真空表读数瞬时下落后又回升到原有水平(47.5~74.5kPa),并能稳定地保持 15s 以上,则说明三元催化器完好没有堵塞;若真空表读数不能稳定并有明显下降,则可能为三元催化器或排气管堵塞。

5) 检查三元催化器的连接情况:主要检查其保护壳是否完整;固定是否牢固;最

后还要检查一下催化装置与排气管的连接是否良好，以免出现泄漏。

6.6.3 氧传感器对三元催化器的诊断作用的诊断机理

催化器的储氧能力，与其转化效率密切相关。随着三元催化器活性表面的老化失效、储氧能力下降时，也意味着转化效率明显下降。图 6-17 为三元催化器的储氧能力与 HC 转化效率的关系。从图中可以看出，转化效率稍有下降，催化器的储氧能力就降低很多，对三元催化器的监测就是利用这种关系进行的。

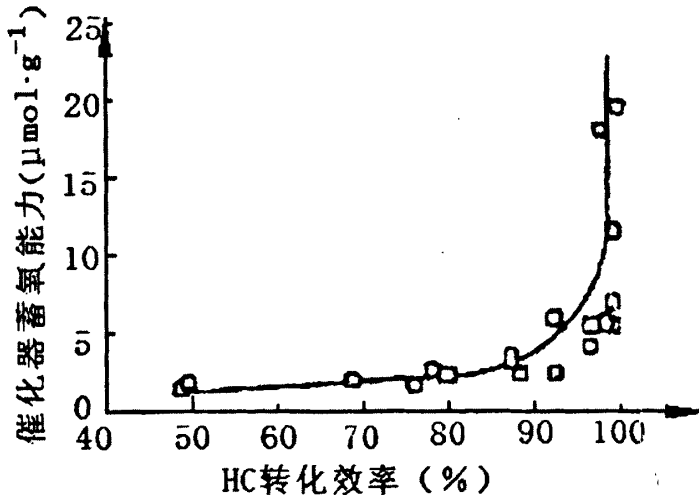


图 6-17 催化器的储氧能力与 HC 转化效率的关系

新的、正常的催化器，具有较高的储氧能力，它可以消除由于空燃比调节时带来的波动。在富氧(燃烧的混合气比理论混合气稍稀)的排气状态下，能将过量的氧存储在活性表面的空隙间；在缺氧(燃烧的混合气比理论空燃比浓)的排气状态下，向排气释放存储的氧气。催化器的这种性能，可以消除空燃比调节过程中引起的波动，使通过催化器之后的排气含氧量，保持恒定的百分比。而老化的催化器，由于储氧能力减弱，调节空燃比波动能力降低，催化器出口波动幅度增大。因此，目前在许多车型(例如切诺基汽车)中开始采用两个氧传感器，即除了正常的在三元催化器前的氧传感器外，又在三元催化器之后加装一个氧传感器，有的称该氧传感器为催化监测传感器。一般前者称前氧传感器或上游传感器，后者称为后氧传感器或下游传感器。通过对比前后两个氧传感器的输出电压信号，来诊断三元催化器的失效程度。后氧传感器一般采用与前氧传感器同一类型的氧传感器。

在汽车匀速行驶时，安装在三元催化转化器后的氧传感器信号电压的波动应比装在三元催化转化器前的氧传感器(前氧传感器)信号电压的波动小的多，因为正常运行的三元催化转化器在转化 HC 和 CO 时要消耗氧气。现在 OBD-II 监视系统正是根据这个原理来检测三元催化转化器转化效率的。

6.6.4 基于氧传感器对三元催化器的失效程度的诊断

通过以上分析可知，在许多汽车发动机的燃油反馈控制系统中，安装了 2 只氧传感器。

为适应美国环境保护署(EPA)对废气控制的要求，从 1994 年起有些汽车在三元催化转化器的前后都装有 1 只氧传感器，这种结构在装有 OBD-II 的汽车上可用于检查三

元催化转化器的性能，在一定情况下还可以提高对混合气空燃比的控制精度。

由于氧传感器信号的反馈速度快，其信号电压波形就成为最有价值的判断发动机性能的依据之一。对于汽车维修员来说，氧传感器安装得越多，好处就越多。

通常，氧传感器的位置越靠近燃烧室，燃油控制的精度就越高，这主要是尾气流动的特性（例如尾气的流动速度，排气通道的长度和传感器的响应时间等）决定的。

许多制造厂在每个气缸的排气歧管中都安装有 1 个氧传感器，这就使汽车维修人员容易判断出工作失常的气缸，减少判断失误。

在许多情况下只要能迅速地判断出大部分无故障的气缸（至少为气缸总数的 1/2 以上），就能缩短故障诊断时间。

如图 6-18 所示是对三元催化器进行检测的结构示意图。图中在三元催化器的上游安装一个氧传感器，在催化器的出口处也安装一个氧传感器。在发动机工作时，它们都向 ECU 输入电压信号。前氧传感器输出的信号，输出的是快速升降变化的电压信号，以反映燃烧后排气中的残氧量，信号波形与进入催化器的废气中的含氧量变化相同，其作用是供 ECU 用来闭环控制空燃比。

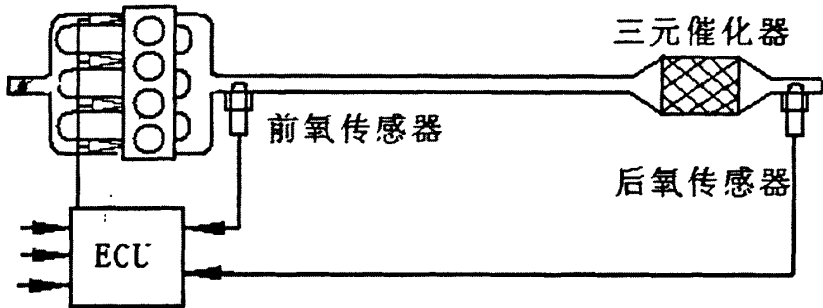
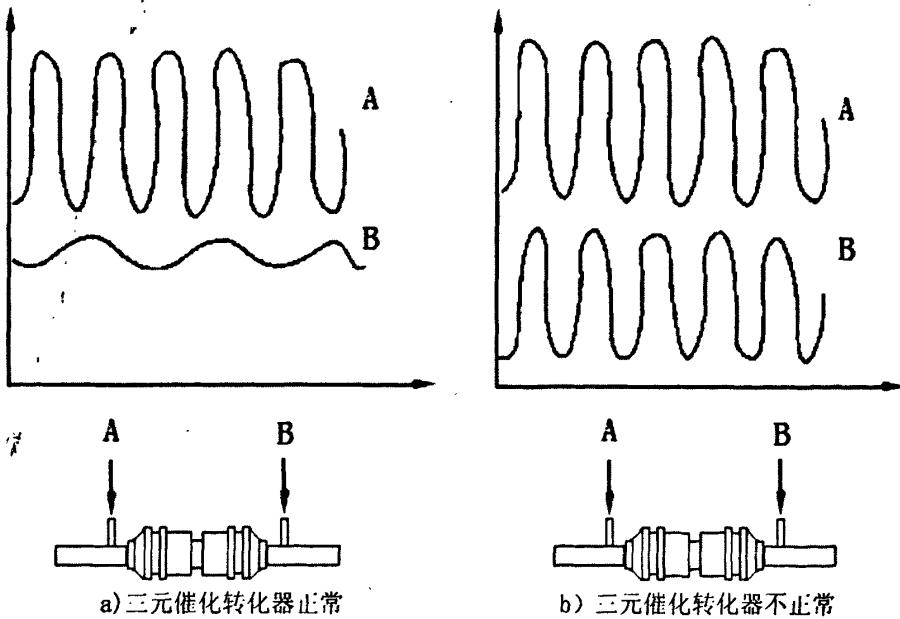


图 6-18 对三元催化器进行检测的结构示意图

双氧传感器信号波形电压及分析如图 6-19a, 6-19b 所示。



a) 三元催化转化器正常

b) 三元催化转化器不正常

图 6-19 催化器前后氧传感器输出信号比较图

$$\text{诊断参数} = \frac{\text{后氧传感器振幅峰值到下一峰值的平均值}}{\text{前氧传感器的转化数}}$$

后氧传感器输出的信号，则与催化器的性能密切相关。对于新的催化器，有正常储氧能力。后氧传感器输出的电压比较平稳，虽然有些波动，但其频率与波动幅度都很低，如图 6-20 所示。但催化器老化失效后，已失去储氧能力，后氧传感器输出的信号开始波动，其波动的频率和幅度，随催化器的失效程度而上升。当催化器老化失效时，后氧传感器和前氧传感器的输出信号有些接近。ECU 在一定的周期内，通过检测两个氧传感器的输入信号，比较两个氧传感器的读数，就可以得出三元催化转化器的失效程度。利用氧传感器的波形诊断三元催化器的故障：

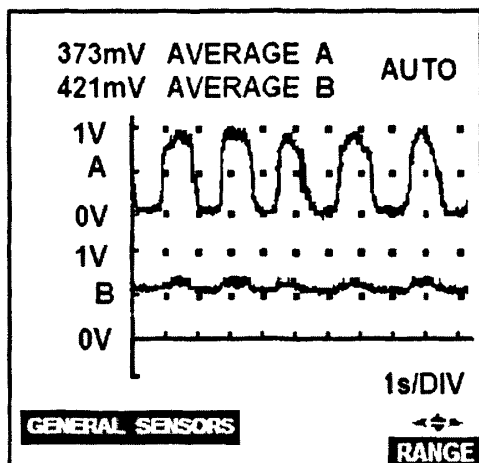


图 6-20 对三元催化器的检测

为了对三元催化器进行故障诊断，必须在它的上游和下游各装一个氧传感器，即双氧传感器。正常运行的三元催化转化器，因其储氧能力可使下游氧传感器的动态相应曲线的振幅非常小。反之，如果下游氧传感器信号电压的波形非常接近上游氧传感器，只不过相位略滞后，则 ECU 认为三元催化器转化效率低（即三元催化器失效），如图 6-20 所示。

OBD-II 法规要求显示三元催化器的效率，这个测试既能利用氧传感器检测三元催化器的能力，同时检测三元催化器的效率。

观察下游氧传感器输出的电压信号能判断三元催化转化器是否能正常工作，废气排放是否得到正常控制。观察上游氧传感器输出的电压信号能判断发动机燃油系和点火系是否正在有效运转，还可以确定氧传感器是否存在短路或断路的故障。通过调取氧传感器输出的电压信号还能间接判断 CANP、EGR、二次空气喷射系统 AIR 是否工作正常。

- 1) 夏天混合气过浓，氧传感器输出电压信号持续走高，CO 和 HC 严重超标，说明 CANP 有可能卡滞在开启位置。
- 2) 氧传感器可用于确定发动机中速运转时 EGR 阀是否处于开启位置。但要注意，如果 NO_x 很低，HC 含量明显过高，可能是排气不畅造成排气管压力过高，引发 EGR 开启时过多的废气进入燃烧室。此时控制单元会点亮故障指示灯，但故障码显示的是 EGR 阀故障。
- 3) 进入闭环控制后氧传感器输出电压信号持续走低，导致混合气过浓，说明超二次空气喷射电磁阀可能关闭不严。

氧传感器失效退出后或插头脱落后，通常是控制单元按其退出前的最后一个信号进行控制，如其在大负荷或加速时退出，那么中小负荷时混合气就会明显偏浓。如果在中小负荷退出，在加速和大负荷时混合气就会明显偏稀，造成加速不良，车速上不去。前者在大负荷时发动机故障指示灯会亮起，后者在中小负荷时故障指示灯会被点亮。

第七章基于软件仿真和小波分析的氧传感器和发动机故障诊断

7.1 软件仿真测试在诊断汽车氧传感器故障中的使用

仿真测试是现在各个学科领域都比较热门和实用的课题，它可以节约成本。氧传感器也可以通过软件进行仿真测试（图 7-1），通过测试的波形分析故障（图 7-2），也可以设置故障并加以分析排除（图 7-3）。

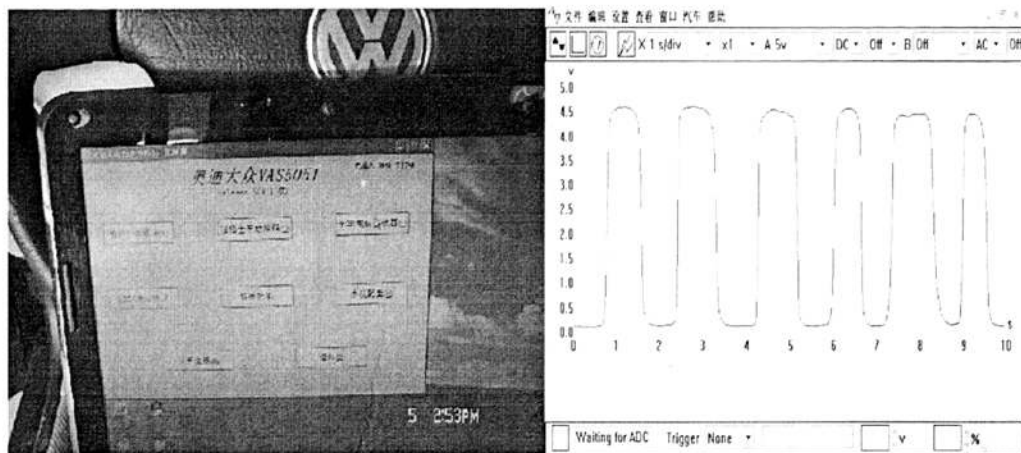


图 7-1 连接车，用软件仿真

图 7-2 软件仿真的二氧化钛氧传感器波形图

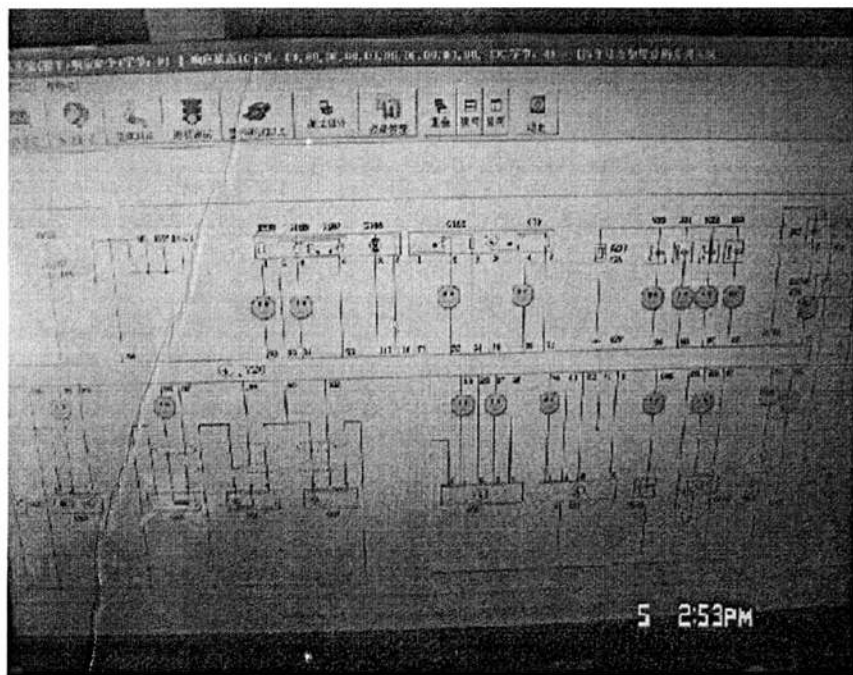


图 7-3 用软件设置故障

仿真测试可以在汽车上直接进行，也可在故障台上进行（见图 7-4）。

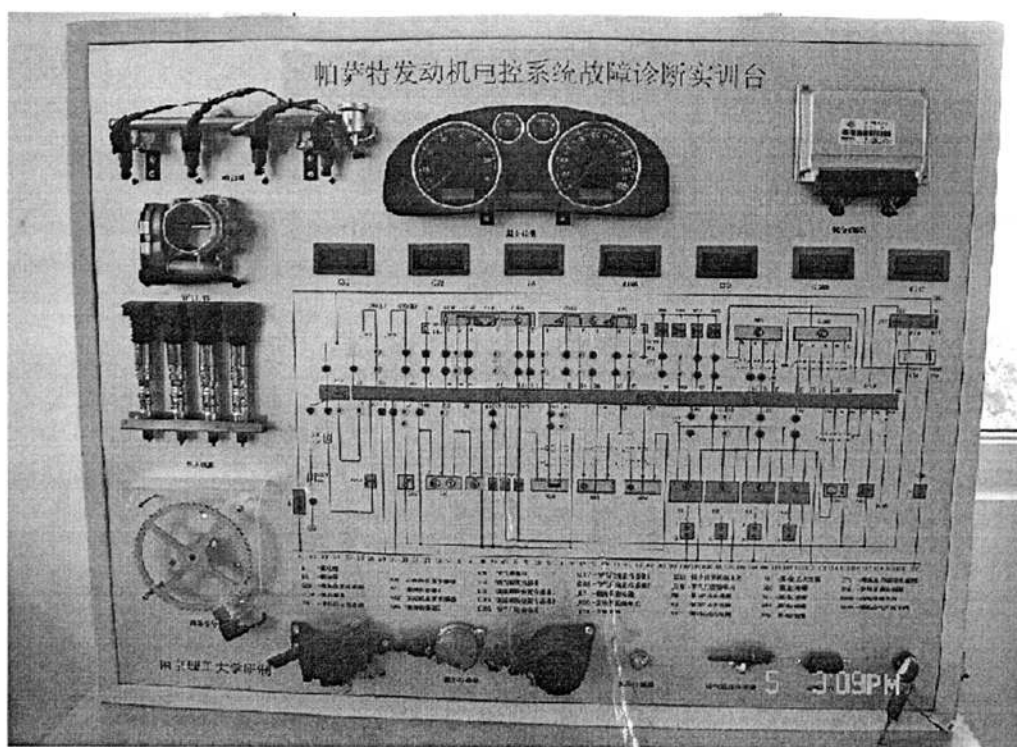


图 7-4 用故障台设置故障，检测

7.2 用小波分析采集的汽车氧传感器波形进行电喷发动机故障诊断

利用示波器采集发动机传感器及执行器，对发动机的实时运行状况进行监控，可以方便、快捷、准确地对相应故障地诊断，是一种可行、实用的方法。通过数字存储示波器将存储的相关波形输入计算机，由相应软件采用小波分析的方法，对波形消噪、信号特征提取，是对直观的波形分析的补充，可以诊断一些隐形的故障。小波分析方法在发动机故障诊断中具有重要的实用价值。下面是利用采集氧传感器的信号后使用小波分析进行电喷发动机故障的诊断。

在小波分析地许多分析的许多应用中，都可以归结为信号处理问题。现在，对于其性质随实践是稳定不变的信号，处理的理想工具仍然是傅立叶分析。但是在实际应用中的绝大多数信号是非稳定的，而特别适用于非稳定信号的工具就是小波分析。

小波分析是目前科学界和工程技术领域研究的一个热门课题，是当前数学中一个迅速发展的新领域，它同时具有理论深刻和应用十分广泛的双重意义。原则上讲，传统使用傅里叶分析技术的地方，现在都可以使用小波分析技术。小波分析优于傅里叶分析的地方是：它在时域和频域上同时具有良好的局部化特性，对信号的高频成分，采用逐渐精细的时域或空域取样步长，对信号的低频成分采用较大的时间步长，从而它被人们誉为数学上的显微镜。

小波变换的概念是由法国从事石油信号处理的工程师 J. Morlet 在 1974 年首先提出的，通过物理的直观和信号处理的实际需要经验的建立了反演公式，当时未能得到数学家的认可。在七十年代，A. Calderon 表示定理的发现、Hardy 空间的原子分解和无条件基的深入研究为小波变换的诞生做了理论上的准备，而且 J. O. Stromberg 还构造了历史上非常类似于现在的小波基；1986 年著名数学家 Y. Meyer 偶然构造出一个真正的小波基，并与 S. Mallat 合作建立了构造小波基的同意方法棊多尺度分析之后，小波分析才

开始蓬勃发展起来,其中比利时女数学家 I. Daubechies 撰写的《小波十讲(Ten Lectures on Wavelets)》对小波的普及起了重要的推动作用。它与 Fourier 变换、窗口 Fourier 变换 (Gabor 变换) 相比,这是一个时间和频率的局域变换,因而能有效的从信号中提取信息,通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号进行多尺度细化分析 (Multiscale Analysis),解决了 Fourier 变换不能解决的许多困难问题,它是调和和分析发展史上里程碑式的进展。

小波 (Wavelet) 这一术语,顾名思义,“小波”就是小的波形。所谓“小”是指它具有衰减性、局部非零,中心点以外迅速衰减至零;而称之为“波”则是指它的波动性,其振幅正负相间的震荡形式。

几种简单的小波如图 7-5 所示:(a) haar 小波 (b) 三次样条小波 (c) 二次样条小波 (d) 紧支正交小波

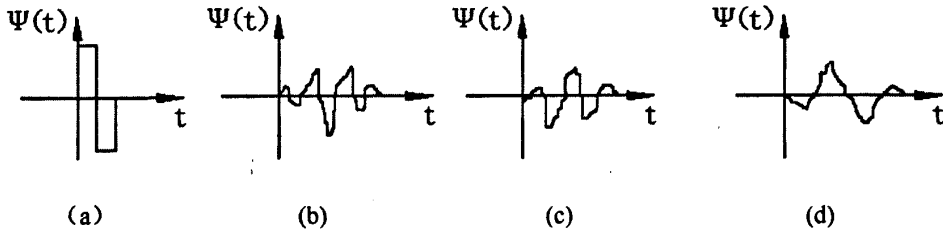


图 7-5 几种小波图形

7.2.1 小波分析理论

1) 小波的概念

设 $\psi(t) \in L^2(\mathbb{R})$ ($L^2(\mathbb{R})$ 表示平方可积的实数空间,及能量有限的信号空间),其傅立叶变换为 $\Psi(\omega)$ 。当 $\Psi(\omega)$ 满足允许条件:

$$C_\psi = \int_{\mathbb{R}} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (7-1)$$

时,我们称为一个基本母小波 (mother wavelet)。将母函数经伸缩或平移后,就可以得到一个小波序列。

对于连续的情况,小波序列为

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi \left[\frac{t-b}{a} \right] \quad (7-2)$$

其中离散的情况,小波序列为

$$\Psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \Psi(2^{-j}t - k) \quad (7-3)$$

对于任意的函数 $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ 的连续小波变换为

$$W_f(a,b) \leq f, \psi_{a,b} \geq \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{\mathbb{R}} f(t) \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (7-4)$$

其反演公式为

$$f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{R^+} \frac{1}{a^2} W_f(a, b) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) da db \quad (7-5)$$

小波变换的时频窗口形状为两个矩形

$$[b - a\Delta\psi, b + a\Delta\psi] \times [(\pm\omega_0 - \Delta\psi)/a, (\pm\omega_0 + \Delta\psi/a)]$$

窗口中心为 $(b, \pm\omega_0/a)$ ，时窗和频窗分别为 $a\Delta\psi$ 和 $\Delta(AK\psi)/a$ 。

2) 小波变换的特点

小波变换是一种信号的时间——尺度（时间——频率）分析方法，它具有多分辨率分析(multiresolution analysis)的特点，而且在时域频域都具有表征信号局部特征的能力，其窗口大小不变但其形状可改变，即在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率，在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率。若用信号通过滤波器来解释，小波变换与傅立叶变换的不同之处在于对傅立叶变换来说，带通滤波器的带宽 Δf 与中心频率 f 无关；及滤波器有一个恒定的相对带宽（称之为等 Q 结构）。在傅立叶变换中所存在的频谱分析带宽受限于信号序列的采样速率，以及频率分辨率受限于时间窗口长度的局限，在小波变换中，依然原封不动的存在，而并没有什么减弱。从这些特点可以看出，小波变换与傅立叶变换有着紧密的内在联系。

7.2.2 小波分析在信号处理中的应用

小波分析方法应用在以下三个方面：

1) 小波分析用于信号与图象压缩是小波分析应用的一个重要方面。它的特点是压缩比高，压缩速度快，压缩后能保持信号与图象的特征不变，且在传运中可以抗干扰。基于小波分析的压缩方法很多，比较成功的有小波包最好基方法，小波域纹理模型方法，小波变换零树压缩，小波变换向量压缩等。

2) 在工程技术等方面的应用。包括计算机视觉、计算机图形学、曲线设计、湍流、远程宇宙的研究与生物医学方面。JPEG2000 格式，它完全放弃了 JPEG 中所采用的以离散余弦转换为主的区块编码方式，而改采以小波转换为主的多解析编码方式。因而可以同时实现无损和有损两种压缩方式。

3) 小波在信号分析中的应用也十分广泛。它可以用于边界的处理与滤波、时频分析、信噪分离与提取弱信号、求分形指数、信号的识别与诊断以及多尺度边缘检测等。

小波变换(Wavelet Transform)是一种窗口大小不变但形状可变，即时窗和频率窗都可改变的时频局部化分析方法。即在高频部分具有较高的时间分辨率和频率分辨率，在低频部分具有较低的时间分辨率和较高的频率分辨率。由于小波分析具有局部分析和细化的功能，所以小波分析可以揭示其他信号分析所丢失的数据信息，如断点、高阶导数不连续性、趋势和自相似性等。而且与传统的信号分析技术相比，小波分析还能在没有明显损失的情况下，对信号进行消噪和压缩。

7.2.3 发动机信号的小波分析

由于发动机工作情况恶劣，各种传感器极易收到外部各种干扰，这给直观的分析波形带来了一定困难。而小波分析的重要应用之一就是用于信号消噪。利用小波分析对采集到的氧传感器信号消噪，达到分析的目的。

消噪原理:一个含噪的一维信号模型可表示为如下形式:

$$S(k) = f(k) + \varepsilon \cdot e(k), \quad k=0, 1, \dots, n-1$$

其中, $S(k)$ 为含噪信号, $f(k)$ 为有用信号, $e(k)$ 为噪声信号。

可以认为 $e(k)$ 是一个 1 级白噪声, 通常表现为高频信号, 而工程实际中 $f(k)$ 通常为低频信号, 或者是一些比较平稳的信号。因此可按如下方法进行消噪处理:

首先对信号进行小波分解, 一般地, 噪声信号多包含在具有较高频率的细节中, 从而可利用门限阈值等形式对所分解地小波系数进行处理, 然后对信号进行重构即可达到对信号的消噪目的。对信号消噪实质上是抑制信号中的无用部分, 回复信号中有用部分的过程。

一般地, 一维信号消噪的过程可分为如下 3 个步骤:

1、一维信号的小波分解。选择一个小波并确定分解的层次, 然后进行分解计算; 2、小波分解高频系数的阈值量化。对各个分解尺度下的高频系数选择一个阈值进行软阈值量化处理。3、一维小波重构。根据小波分解的最低层低频系数和各层高频系数进行一维小波重构。

实验在 DAEWOO m-TEC 电控发动上, 测试和数据处理系统的示意图如图 7-6 所示, 试验在怠速下进行, 切断第 1 缸的供油, 采集氧传感器的正常和异常信号。

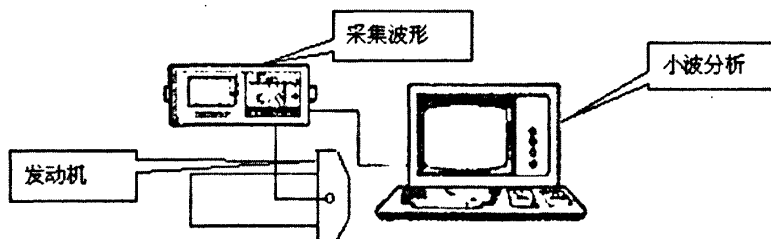


图 7-6 测试系统示意图

利用小波变换优良的波滤性能除去干扰信号, 获取不同状态时的特征信息。小波的多尺度分解能提供有效的除噪工具。

图 7-7 是小波变换的信号滤波过程, 原始转速信号 S 通过两个互补对称滤波器后, 得到高频、低频两路信号。上面是高频信号, 下面得到低频信号。

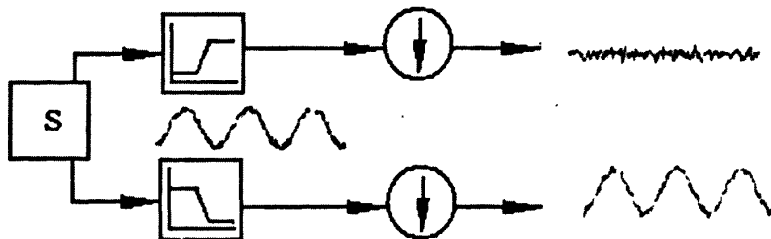


图 7-7 信号的滤波过程

利用 Matlab 软件对采集到的波形进行消噪处理。装载用数字存储示波器采集到的氧传感器的正常和异常波形, 启动一维离散小波分析图形工具, 利用“dmey”小波, 对正常和异常信号进行三层除噪。

原始信号与除噪后的信号如图 7-8 和 7-9 所示。取第三层重构信号为除噪后信号。图中正常与异常的原始因为含有高频噪声, 从直观上区分不出两个波形之间的不同之处。除噪后的信号看上去仍存在噪声, 这是由于氧传感器电压变化的频率很高取点密集造成的。除噪后的信号基本上可以区分两个信号幅值与频率的不同, 例如正常信号的最大幅值为 0.65V, 变化频率较小; 异常信号的最大幅值为 0.87V, 变化频率较大。这都与断油后气缸燃烧异常有关。

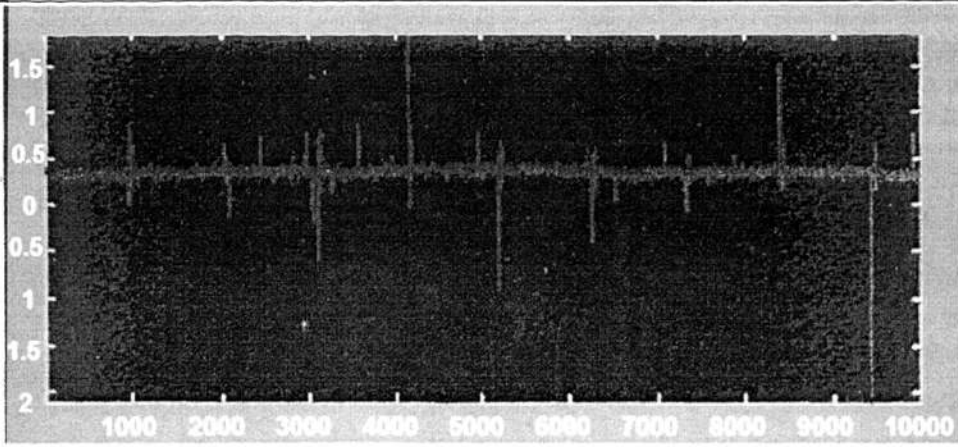


图 7-8a 原始信号(氧传感器正常)

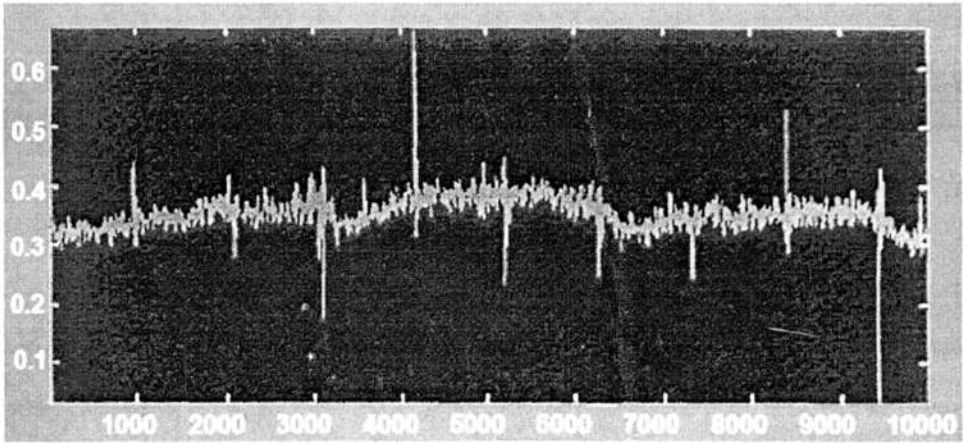


图 7-8b 除噪后信号(氧传感器正常)

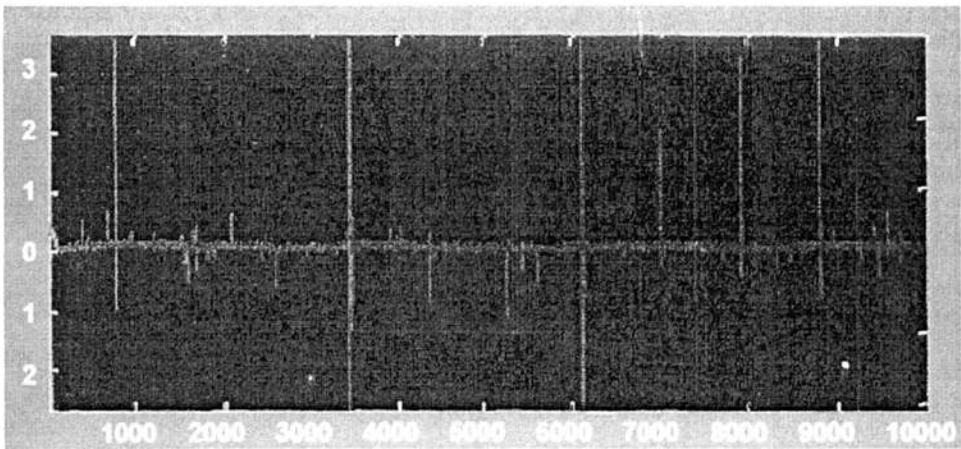


图 7-9a 原始信号(氧传感器异常)

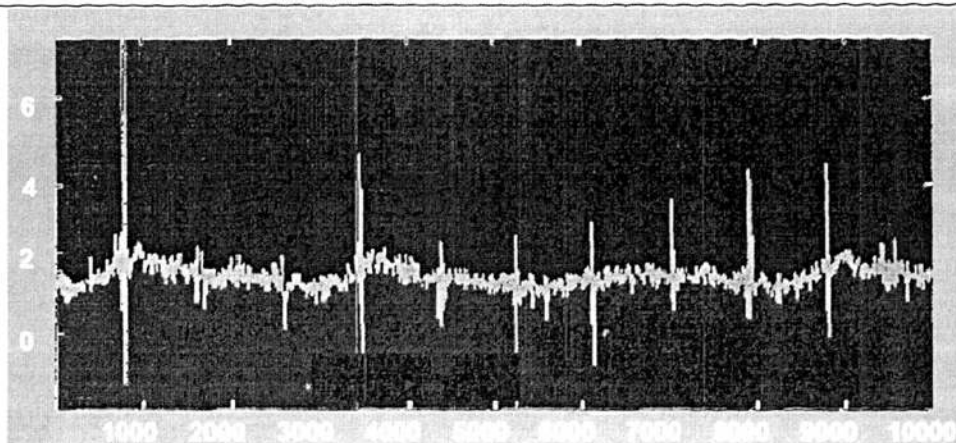


图 7-9b 除噪后信号(氧传感器异常)

7.2.4 小波分析对信号故障特征的判定

除了利用小波分析对信号做消噪处理,还可以对信号的特征部分尤其是故障特征作出精确的判定。由于发动机在一个工作循环内转速是波动的,其转速的波动由瞬时转速来表达,发动机转速中能包含各缸的气体压力、外负载、曲轴的转角等大量可供提取的内部状态信息,且转速测取方便^[29]。本节以发动机断缸故障为例,探讨了发动机转速信号小波分析法的可行性。

试验在怠速下进行,切断第4和第2缸的供油,采集转速传感器的正常和异常信号,记录发动机转速、点火提前角、喷油脉宽等参数的变化。试验数据如下表7-1:

表 7-1 试验数据

工况	情况	转 速 n, r/min	喷油脉宽度 T _p , ms	油耗 Q, kg/h	点火提前 角, °CA
怠速	正常	780	2.6	0.81	12°
	4、2缸断油	≈780	4.0	0.81	12°

从表中可以看出,当发动机有两个缸供油中断时,喷油脉冲宽度增加到4.0 ms,油耗和点火提前角不变,发动机转速基本不变,但实际上存在转速不稳定的现象。这是因为:断缸后,转速有下降趋势,为了维持怠速工况稳定,电控单元(ECU)指示喷油脉冲宽度由2.6 ms增加到4.0 ms,保持总供油量不变,故转速基本不变。但由于供油量变化与转速变化不同步,加之各缸混合气分配不均匀,故出现运转不稳定现象。

利用 Matlab 6.0 软件的一维连续小波变换工具,通过 Haar 小波计算出了正常和异常信号的小波变换系数,信号处理结果如图所示。图中小波系数即小波变换系数,它定义为:

$$WT_f(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi_{a,b}(t)dt = \langle f(t), \psi_{a,b} \rangle \quad (7-6)$$

式中: $f(t)$ ——原始信号;

$\psi_{a,b}(t)$ ——小波变换函数;

a ——频率参数,称为小波变换尺度;

b ——位移参数。

图7-10为滤波的转速正常信号(上面)和其一维连续小波变换系数线(下面)的图。从图可以看出,在发动机正常工况下,在曲轴每两转(720°)由于各缸的工作性能差不多

一样、发动机飞轮系统的稳速作用，转速信号小波系数的幅值变化均匀。

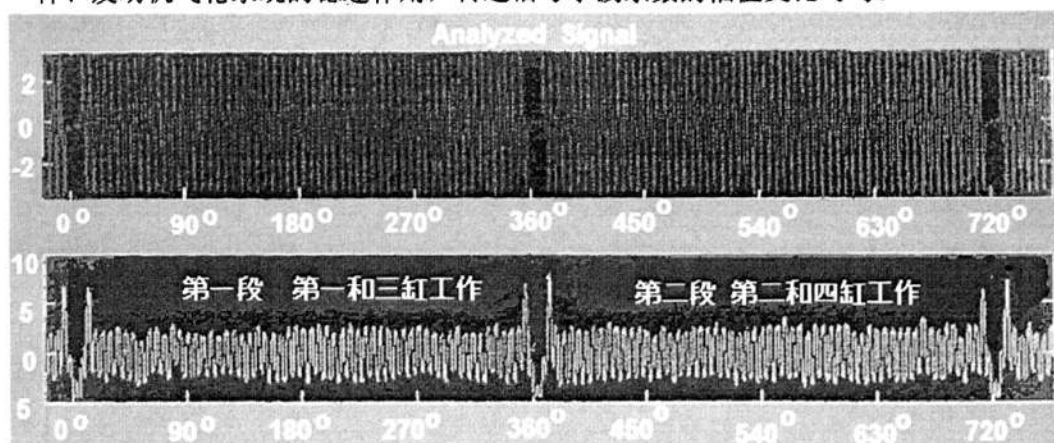


图 7-10 转速正常信号和其小波系数线

图 7-11 为发动机第 4 和 2 缸断油时的转速信号(上面)和转速信号小波系数线。从小波系数线能看清楚:在第二段,两个缸不工作时,发动机曲轴转速下降,转速信号幅值下降,转速信号的一个脉冲的周期变大,信号小波系数幅值慢慢地变小;在第一段,转速信号小波系数线变化不均匀,曲轴转角 $0^{\circ} \sim 90^{\circ} \text{CA}$ 内幅值小,第 1 缸开始工作(转角 90°CA 左右)时,转速增大,同时,信号幅值和小波系数幅值也增加。

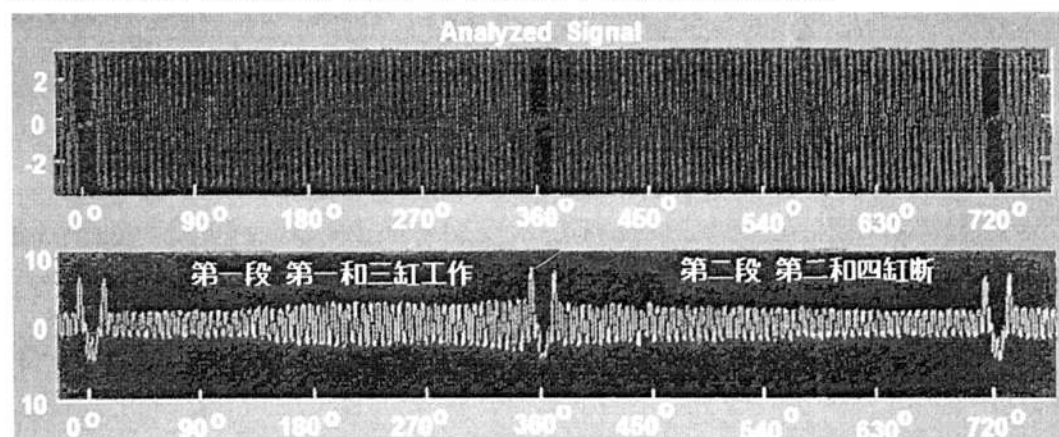


图 7-11 转速异常信号和其小波系数线

从上面两个图也能看出,发动机转速较高的范围内信号频率和幅值大、周期小,小波系数幅值变大,转速越低信号频率和幅值越小、小波系数幅值越低。

从小波分析能看出,所变换信号的周期越小,小波系数线幅值越大。

两个缸断油时,在第一段,发动机转速低、转速信号幅值小(周期较大);在第二段,由于两个缸不工作发动机转速下降、信号幅值变小(周期变长)。

汽车故障不仅局限于机械方面,如何从机械、电子等全方位的角度对汽车进行故障诊断是当前所面临的和必须解决的问题。在汽车故障诊断技术中,小波分析是一项非常热门的技术,它具有良好的时频局部化特性,处理时变信号更具有独特的优越性,尤其是在瞬变信号的处理中得到了日益广泛的重视和应用。

通过本章分析可以看到,采集氧传感器的波形,试验和数据波形分析处理结果表明,利用小波分析对电控发动机进行故障诊断是切实可行的。

7.3 电控喷射发动机故障诊断注意事项

1) 打开点火开关, 而发动机未起动时, 警告灯应点亮。发动机正常起动后, 警告灯应熄灭, 如果不熄灭, 则表示电脑自诊断系统检测到故障或异常现象。此时不能将蓄电池从电路中断开, 以防微机中存储的故障代码及有关信息丢失。应根据警告灯闪烁的次数或输出的故障编码, 判断电控汽油喷射系统的故障, 并用专用设备读取故障码。

2) 对燃油系统进行检修操作前, 应先拆除蓄电池的搭铁线。

3) 电动汽油泵除受点火开关控制外, 还受空气流量计内的开关控制。点火开关接通后, 只有在发动机处于正常工作或起动状态, 且空气流量计检测到空气流量信号或微机检测到转速和点火信号时, 汽油泵才连续工作。它的出油压力比一般的供油系高(390Kpa), 损坏后, 只能使用原型号的电动汽油泵进行更换。

4) 检修时, 不论发动机是否运转, 只要点火开关接通, 决不可断开任何正在工作的电气装置。因为这些装置往往具有一定的电感, 当突然切断其工作电流时, 会在电路中产生很高的瞬时电压, 有的感应电动势甚至超过 7000V。这样高的瞬间脉冲, 会造成电子器件的严重损坏。尤其是对以下装置进行断电时: 蓄电池的电源线和搭铁线; 混合气控制电磁阀; 电磁喷油器; 怠速控制装置执行机构(步进电机、电磁阀等); 点火装置连接导线; 二次空气喷射装置的电磁阀; 连接微机控制单元的任何导线; 微机系统中的任何集成电路芯片。

5) 如需要进行电弧焊接, 应断开电控单元的供电电源线。

6) 电子控制系统中, 控制单元与传感器的工作电流通常都比较小, 因此, 与之对应的电路元器件的负载能力也比较小, 在进行故障检查时, 不可输入阻抗过小的检测工具。一般不能用指针式万用表检查控制系统各部分的电阻, 而应该用高阻抗的数字式万用表或是电控汽车专用检测仪表。不能用试灯对传感器部分和微机控制单元进行检查(包括对其接线端子的检查)。禁止搭铁线试火或拆线划火的方法对电路进行检查。

7) 对微机及与之连接的传感器、执行器进行检修时, 操作人员须预先消除身上的静电, 一定要带上接铁金属带, 将其一端缠在手腕上, 另一端夹到车身上, 避免静电造成微机系统的损坏。

第八章 总结和展望

8.1 结语

当氧传感器出现故障后,可以使用多种方法进行检测、诊断,比较常用的方法有以下几种:

1) 检测氧传感器加热元件的电阻值。当发动机温度达到正常后,拔下氧传感器的导线连接器,用高阻抗数字式万用表(汽车万用表)测量氧传感器接线端中加热器接柱与搭铁接柱之间的电阻,电阻值应符合具体车型标准值的要求(一般为 $4\sim 40\ \Omega$),如电阻值不符合要求,则应更换氧传感器。如奥迪 2.6L(V6)轿车氧传感器加热元件正常电阻值应为 $3\sim 15\ \Omega$,若不符,则应更换氧传感器。

2) 检测加热元件的电源电压。点火开关置于 ON 位置,利用汽车万用表测量氧传感器加热元件两接线端子之间的电压,应为蓄电池电压。

3) 切断氧传感器的反馈信号。当发动机出现了排气冒黑烟、怠速时容易熄火等故障时,可拔下氧传感器输出信号插头,此时若发动机的故障减轻或消失,则说明氧传感器出了问题。

4) 利用高阻抗万用表置于电压档,将它的两表笔分别接氧传感器两个信号输出端子(应注意黑表笔与接地端子相连),起动发动机后,观察快慢情况,如丰田汽车正常情况下,10 秒内应不少于 8 次变化。

5) 拆下氧传感器,观察其顶端工作面的颜色也可知道故障原因。一旦发现氧传感器顶尖的颜色发生变化时,就预示着氧传感器存在着故障或者故障隐患。正常时的颜色为淡灰色,若其顶端工作面颜色为棕色,则表明氧传感器已经铅中毒,这是由于汽车使用了含铅汽油所致。若呈现出白色,则是硅中毒的征象,这是由于发动机在维修时,使用了不符合要求的硅密封胶,此时必须更换氧传感器。任何含有醋酸(起硫化作用)的硅密封胶都会损害氧传感器。若是黑色的,则说明积碳过多,造成了氧传感器堵塞或灵敏度下降,拆下后,应清除其上的积碳沉积。

6) 通过专用解码器,电脑检测仪,通过故障诊断接口读取氧传感器的故障代码或其它有关信息。

7) 利用专用示波器观察氧传感器的信号电压波形。如果利用汽车示波器,则能准确地检测到氧传感器的信号电压波形。

在氧传感器本身处于良好状况时,所输出的信号反映了发动机点火系统,连同所有的进气系统、排气再循环(EGR)系统、喷射系统等传感器、执行件、发动机 ECU 和电路的工作情况,把氧传感器波形和喷油脉冲宽度结合起来评定,可以确定废气排放故障的原因。本文通过用汽车示波器对氧传感器波形进行分析、评定,诊断分析汽车的怠速不稳、加速迟缓、功率低下、油耗量大、废气排放超标等故障及其原因。

8.2 展望

氧传感器的检测方法和利用氧传感器的波形进行系统故障诊断是本文研究的重点,但只是进行了实验和对测量结果进行分析,下面还要继续开展工作,进行简单可行测量电路的设计,并开发出产品。

致 谢

由于时间和能力所限，本论文中一定存在许多疏漏和不足，恳请各位专家、学者和老师给予批评指正，以求在今后的工作中做出进一步的改进与提高。

在本论文完成之初，首先要感谢导师黄学良教授。在我三年的研究生学习和生活中，始终得到了恩师无微不至的关怀和教诲，在此谨表示崇高的敬意和感谢。导师渊博的知识、严谨踏实的治学态度和谦虚和蔼的作风给我留下了终生难忘的印象，对我以后的工作学习将有莫大的帮助。感谢他在繁忙的科研和日常工作之余，始终关注着我的论文进展情况，并给予悉心的指导和帮助，使我受益匪浅！

跟随黄老师，我收获的不仅是知识、能力，还有很多无形的宝贵财富，将使我受益终身。

同时还要感谢电气学院各位老师的指导和帮助，没有他们的无私帮助，就没有我现在的论文。祝大家事业有成，前程似锦！

最后，我要感谢我的父母、家人和朋友对我深情的照顾和支持，祝身体健康，幸福快乐！

再次向关心、爱护和帮助过我的所有的人表示我最诚挚的谢意。

参考文献

- [1]陈勇.汽车测试技术[M].北京:北京理工大学出版社,2008.1:212
- [2]荒井宏[日],张键译.汽车电子系统[M].北京:科学出版社,2008:32~33
- [3]Per Andersson and L Nielsen. Modeling and Architecture Examples of Model Based Engine Control[C]. CCSSE, SWEDEN, 1999.
- [4]J-M Kang, J W. Grizzle, Engine A/F and Torque Control using Secondary Throttles. IFAC Workshop on Advances in Automotive Control, Mohican State Park, Ohio, 1998:1-8
- [5]谢绍发.汽车燃油喷射发动机电控原理和故障诊断[M].北京:人民邮电出版社,1998.2:4
- [6]杨玉林,程雨梅.城市汽车排放污染的影响因素及防治污染研究[J].长春大学学报,2006,12:111~115.(完整的)
- [7]陈昊,赵炜华.电控发动机氧传感器对排放影响的研究[J].上海汽车,2007.08:24~27(完整的)
- [8]王建海,方茂东,高继东,陆红雨,戴春蓓.汽油车车载诊断系统(OBD)基本原理及其应用[J].汽车工程,2006(5)491~494(完整的)
- [9]嵇伟.汽车电喷发动机常见故障诊断与分析[M].北京:机械工业出版社,2008.10:1~2
- [10]华道生.中外汽车故障诊断检修400例[M].北京:机械工业出版社,1998.10:209~210
- [11]潘旭峰等.现代汽车电子技术[M].北京:北京理工大学出版社,1998.1(1998.8重印):51~52
- [12]王启瑞.汽车电气及电子设备[M].合肥:安徽科学技术出版社,2000.8:254~255
- [13]杨妙梁.汽车实用电子技术与90年代市场需求[M].北京:中国物质出版社,1996.10:135~136
- [14]孙平,傅文范.国产汽车燃油喷射系统365问[M].北京:中国林业出版社,2000.2:1~5
- [15]王长安.电子控制燃油喷射发动机原理及检修[M].北京:机械工业出版社,1997.12:167~168
- [16]鲁植雄,谢剑.汽车传感器动态与静态测试200Q&A[M].北京:人民交通出版社,2005.11:107
- [17]宋福吕等.汽车传感器识别与检测图解[M].北京:电子工业出版社,2003.6:154~155
- [18]黄康群.汽车氧传感器电路特性及故障原因的分析与检修[J].广西轻工业,2008.12:34~35(完整的)
- [19]张立新,杨智勇,白峭.轿车燃料系的维修[M].北京:机械工业出版社,1998.5:350~352
- [20]鲁植雄,赵兰英.汽车传感器检测图解(第二版)[M].南京:江苏科学技术出版社,2007.10:188~189
- [21]赖慧豪.氧传感器对汽车排放的监控及检测方法[J].汽车维修2007.3.(9~11)(完整的)
- [22]张豫南 高玉峰 李匡成 谢永成,新编桑塔纳2000轿车结构与使用维修.人民交通出版社,2000:96~97
- [23]邹晓国,张云龙,袁大宏.电控系统氧传感器自诊断[J].汽车技术,2000:32~35
- [24]刘晓岩.汽车电子电子技术[M].北京:化学工业出版社,2008.6:27~28
- [25]朱永成.氧传感器波形分析在电喷汽车维修检测中的应用[J].韶关学院学报,自然科学2008.3第29卷第三期(48~51)(完整的)
- [26]吴心平,赵清华,李照美.电控发动机的氧传感器波形分析[J].农业装备与车辆工程,2006(10):44~46(完整的)
- [27]谭本忠.汽车波形与数据流分析[M].北京:机械工业出版社,2009.1.1:23~24
- [28]鲁植雄,刘奕贯.汽车电喷发动机波形分析图解[M].南京:江苏科学技术出版社,2006.10:38
- [29]张珍,翁史烈,王永鸿.小波分析在燃气轮机传感器故障诊断中的应用[J].动力工程,第26卷第2期:245~248(完整的)

攻读硕士学位期间发表的学术论文

- [1]刘卉. 汽车氧传感器的应用研究. 中国科技信息[J], 2008. 11
- [2]刘卉. 汽车氧传感器的故障及检测方法. 中国青年科技[J], 2008 年第 9 期

刘卉, 女, 32 周岁, 籍贯: 江苏扬州