

第 1 章 汽车诊断概述

1.1 发展汽车检测诊断技术的意义

1. 汽车检测诊断技术是改革汽车维修制度、实行视情维修的必要手段

早期的汽车维修方式采用“事后维修”和定期强制保养，带来了一系列问题。事后维修，不坏不修，维修只是在汽车出现了故障后进行的修理，这种方式隐含着对人身安全的威胁和造成财产重大损失的危机。强制定期保养往往造成盲目修理或失修现象。在汽车检测诊断技术水平十分低下的条件下，这两种维修方式是可行的。随着制造工艺改进，汽车寿命延长，过去那种维修方式很不适应今天的形势。目前，广泛采用了“视情维修”制度，它能最大限度地发挥零件的使用潜力，减少了不必要的拆卸，大大地提高了机器的可靠性和使用经济效益。显然，如果没有一定的检测诊断手段，要实现视情维修只是一句空话。

我国交通部在《汽车运输业车辆技术管理规定》中指出：“车辆修理应贯彻视情修理的原则，即根据车辆检测诊断和鉴定的结果视情按不同的作业范围和深度进行，既要防止拖延修理造成车况恶化，又要防止提前修理造成的浪费。”“各地交通运输管理部门和运输单位积极推广检测诊断技术。”

2. 发展诊断汽车技术是提高维修效率、监督维修质量的迫切需要

随着汽车工业的发展，汽车保有量迅猛增长。目前，我国汽车年产量已达到 160 多万辆。汽车保有量增加，维修任务量相应加大；从另一方面来看，汽车结构日益复杂，例如，1970 年美国平均每辆小汽车电子装置价值 25 美元；而 1985 年已迅速上升到 900 美元；现在小轿车电子装置价值已超过 4000 美元。由此产生的后果是熟练汽车维修工严重短缺，单纯凭经验进行汽车维修已不能适合现代汽车技术要求。

在车辆技术保障中，资料统计，查找故障的时间为 70% 左右，而排除与维修的时间占 30%。车辆结构日益复杂，使故障诊断的地位越来越重要。

可以这样说，在车辆技术保障中，离不开汽车诊断检测技术。没有检测诊断技术，汽车技术保障系统中缺少一个重要的环节；没有检测诊断技术，车辆的技术状况就不能迅速地恢复；没有检测诊断技术，车辆维修保障体制就只会停留在事后维修和定期维修方式上。所以，汽车检测诊断技术在汽车技术保障中处于十分关键性的地位。

3. 加强汽车安全技术检测，是保证行车安全的有效手段

随着机动车保有量的逐年增加，公路交通事故和对环境的污染成为愈来愈不可忽视的社会问题。据统计，自有汽车以来，全世界死于车祸的总人数已超过 2500 万人。近几年，因车辆事故每年大约死亡 55 万人，伤 1000 多万人。我国因交通事故每年死亡人数近 10 万人，伤超过 25 万人，造成的经济损失十分惊人。

面对着日益严峻的交通形势，“中华人民共和国道路交通管理条例”规定：机动车安全性能的检测，一般应在公安部门委托的机动车辆安全技术检测站上进行。采用先进的仪器对

机动车辆的技术状况做出准确的判断，发现问题及时维修，是确保交通安全的有效措施。

1.2 汽车诊断与诊断学

“诊断”一词是根据医学名词沿引而来。在医学上“诊”就是“望、问、切、察”；“断”就是医生做出判断，指出发生了什么疾病。在医学诊断中，采用的是由现象判断本质，由当前推断未来的方法。这一逻辑思维方法推广到工程技术领域，逐步形成了机器故障诊断这一门新兴学科。

国标 GB5624—85 “汽车维修术语”中对汽车诊断的常用术语作了如下规定：

汽车诊断——在不解体（或仅卸下个别小件）的条件下，确定汽车技术状况，查明故障部位及原因的检查。

汽车检测——确定汽车技术状况和工作能力的检查。

汽车故障——汽车部分或完全丧失工作能力的现象。

汽车技术状况——定量测得表征某一时刻汽车外观和性能参数值的总和。

在机械故障诊断中，还经常出现“监测”一词。所谓监测，是对机器技术状况进行定期的或连续的检测。

根据上述定义，我们将汽车故障诊断学定义如下：

汽车故障诊断学是研究汽车故障机理、汽车诊断理论、方法和检测诊断技术的一门学科。它包括汽车故障物理、诊断数学和检测诊断技术三方面的内容。

故障机理，又称失效理论，它是研究机器元件、部件失效机理，即失去功能的物理化学过程和失效模式。

诊断数学是研究诊断信息的选择、采集、处理和判断的数学原理与方法。

检测诊断技术是诊断理论与方法的一种工程实现，它包括检测仪器的研制、无损检测技术、寿命估计与预报技术和诊断系统等。

由上可知，汽车故障诊断学是以工程数学、可靠性理论、信息理论为基础，以电子技术、计算机技术、人工智能技术为手段，以汽车故障为主要研究内容的一门综合应用学科。

1.3 机械故障诊断技术

1.3.1 机械故障诊断技术的现状

故障诊断技术是现代化生产发展的产物。早在 20 世纪 60 年代，英美等国在宇航、重型机械等领域创立了故障预防组织。由于故障诊断技术创造的巨大经济效益，从而得到迅速发展。起初，人们只是采用直观的诊断技术，能解决较简单机器的故障诊断问题。但随着设备复杂程度增加，各种传感器与监测诊断仪表开始应用于故障诊断实践。

随着计算机的普及，计算机诊断与监测系统相继问世。它们利用传感器获取信息，采用接口技术将其输入计算机进行处理，对各种设备实行实时监控。目前在各专业领域已经有一批较高水平的计算机辅助监测与诊断系统，在实际使用中产生了较大的效益。

尽管如此，现存的计算机辅助监测与诊断系统存在许多问题，如诊断系统的通用性差、知识获取能力弱等。为了克服上述不足，在计算机辅助监测与诊断系统中引入了人工智能技术。

人工智能的研究起源于 20 世纪 50 年代。20 世纪 70 年代，专家系统开始应用于工程技术实践。同时人们也着手研究基于知识的故障诊断专家系统。20 世纪 80 年代是专家系统研究最繁华的年月。这一时期，工程技术各个领域的科技工作者开发了各种各样的专家系统。1990 年后，人工神经网络应用于故障诊断实践，使故障诊断专家系统的水平进一步提高。

1.3.2 故障诊断技术的发展趋势

经过几十年的发展，故障诊断技术达到了较高的水平。现代数学、信息科学强大的渗透力，计算机技术、电子技术、人工智能技术更广泛、更深入的应用，推动了机器诊断技术向如下几方面发展：

(1) 微型计算机、单片机将成为诊断仪器的一个组成部分，诊断技术的自动化、智能化水平将进一步提高。

(2) 信息科学中的时-频分析技术、机械系统中的磨屑光谱分析技术、红外热成像技术、机械振动和噪声分析技术会越来越成熟，形成具有特色的工程诊断技术分支。

(3) 模糊集理论、神经网络、混沌理论相结合，为故障分析开辟了新的途径，故障诊断将向多参数综合发展。近似推理、模糊识别得到更广泛的应用，故障诊断的速度更快，诊断的准确度将进一步提高。

(4) 网络技术的异军突起给机器故障诊断注入了新的活力。互联网将为故障诊断提供源源不断的信息。人们可以通过网上查询法迅速获得需要的大量资料，而且可以通过热线咨询，随时得到具有高水平的“故障诊断专家系统”的指导。通过网络技术，可以将传感器检测到的数据远程传输到计算中心处理。同时，计算中心将分析结果反馈回现场指导故障诊断。

不久的将来，可视网络技术将投入实用，远在千里之外的专家能像在现场一样，一步一步地指导检修人员诊断和排除故障。

1.4 汽车诊断技术的发展

1.4.1 国外汽车诊断技术的发展概况

早在 20 世纪中叶，工业化发达国家就形成了以故障诊断和性能调试为主的单项检测技术。随着汽车技术的进步，国外汽车检测诊断技术发展很快，并且大量应用了声学、光学、电子技术、物理、化学与机械相结合的检测诊断技术。例如，非接触式车速仪、前照灯检测仪、车轮定位仪、废气分析仪等就是应用这些技术的产物。

20 世纪 80 年代，随着计算机技术的发展，出现了汽车检测诊断、数据采集处理自动化、检测结果直接打印等功能的汽车检测仪器。在此基础上，为了加强汽车管理，各工业发达国家相继建立了汽车检测诊断站，使汽车检测制度化。

总体上讲，工业化发达国家的汽车检测诊断，在管理上实现了“制度化”；在检测指标实现了“标准化”；在检测技术上向“智能化、自动化检测”方向发展。

1. 检测管理制度化

在工业发达国家，汽车检测工作由交通部门统一管理，在全国各地建立了由交通部门认证的汽车检测场（站），负责新车的登记和在用车的安全检测，修理厂修过的汽车也要经过汽车检测场的检测，以确定其安全性能和排放是否符合国家的标准。

2. 检测指标标准化

工业发达国家的汽车检测有一整套的标准。判断受检汽车技术状况是否良好，是以标准中规定的数据为准则，有量化指标，避免主观上的误差。如美国规定，经过修理后的汽车只有经过严格的安全与环保检测后，才能出厂。

除对检测结果有严格完整的标准以外，国外对检测设备也有标准规定，如检测设备的检测性能、检测精度、具体结构都有严格的规范，对检测设备的使用周期、技术更新等都做出了具体要求。

3. 检测技术智能化和自动化

国外汽车检测诊断设备正向智能化、自动化、精密化和综合化方向发展，应用新技术，开拓新的领域，研制新的检测设备。

计算机的广泛应用，出现了汽车检测控制自动化、检测结果直接打印等多项功能的现代综合性能检测技术与设备。例如，国外生产的汽车制动检测仪、全自动前照灯检测仪、发动机分析仪、计算机四轮定位仪等自动检测设备，技术十分先进。目前在汽车检测线上正投入使用的检测诊断系统，集检测、信号采集、处理、打印及车辆调度于一体，使汽车检测诊断过程全自动化。这样不仅避免了人为错误，提高了检测的快速性和准确性，而且可以将检测资料存储于计算机中，对汽车进行全寿命管理。

1.4.2 国内汽车检测诊断技术的现状与发展

我国从 60 年代开始研究汽车检测技术。当时，由交通部门主持研制了一些简单的诊断设备。进入 80 年代后，随着国民经济的发展，在交通部门的统筹规划下，汽车检测诊断技术得到了迅速发展。截止 1999 年底，我国已经建立各类汽车诊断站 1200 多座。全国汽车综合检测站年检测车辆 813 万台次。目前，我国汽车检测诊断技术的发展，主要突出了如下两方面的特点：

1. 检测技术水平逐步提高

自 1980 年交通部在大连建立第一个检测站后，汽车检测站作为检测技术的象征在全国各地蓬勃发展。随着世界汽车技术日新月异、汽车检测技术水平的不断提高，反映在汽车检测诊断设备制造水平和技术含量都有了明显地提高。汽车电子控制技术广泛应用，一批具有高新技术的诊断仪器被研制出来。如我国自主开发的发动机故障检测仪、汽车底盘测功机、四轮定位仪、悬架检测仪、制动检测台、侧滑试验台、全自动转向角检测仪、汽车传动系故障检测仪、轴距差检测仪等达到了较高的水平，逐渐缩短了与国外的技术差距。在汽车检测站，这些设备大部分实现了与计算机联网，满足了快速、方便、准确测试的要求。

2. 法规建设逐步完善

交通部从加强车辆管理的需要出发，1990 年在《汽车运输业车辆技术管理规定》中提出要对车辆实施“定期检测、强制维护、视情修理”汽车新的维修制度，明确了交通主管部门要对汽车检测行业进行管理，建立车辆检测制度并监督实施。

1991 年 4 月，为进一步规范汽车综合检测站的建设与管理，充分发挥汽车综合性能检测站的作用，交通部颁发了《道路运输业车辆综合性能检测站管理办法》，对汽车检测站的职责、分级、基本条件及资格认定等进行了明确的规定。

此后几年内，交通管理部门又颁发了一系列标准、法规，对汽车检测站的检测项目、检

查内容、检测站的管理提出了明确的要求。这些规章的出台，促进了汽车检测诊断站的建设与发展。

尽管如此，我国汽车检测诊断技术水平与国外还存在较大的差距。今后，我国汽车检测诊断技术应向如下三方面发展：

（1）完善与硬件配套的软件建设，制定量化的检测标准；

（2）在大型检测诊断设备研制方面，向声、光、电等自动化技术方向发展，进一步提高诊断系统的智能化水平；

（3）汽车检测诊断实现网络化，提高信息资源共享、硬件共享、软件共享水平。利用信息高速公路，将全国的汽车检测站联成一个广域网，使交通管理部门随时掌握车辆状况。

第 2 章 汽车诊断参数与诊断信息获取

2.1 汽车故障诊断的分类

汽车故障诊断理论大体上分为两大分支，即汽车电器故障诊断和机械故障诊断，各类故障诊断有自己独特的理论与方法。

2.1.1 汽车电器故障诊断

汽车电器故障诊断分数字电路故障诊断和模拟电路故障诊断。

数字电路仅有两种状态，即 0 和 1。列出其输入、输出关系真值表，便可以很方便地找出原因—结果对应关系。数字电路的故障诊断理论发展迅速，并日趋成熟。目前已经有相当多的诊断程序和诊断设备投入实际使用，如汽车电器诊断中的解码器便是其中的一种。

模拟电路故障诊断具有多样性。信号的连续性、非线性、容差和噪声以及检测点的有限性，使诊断问题变得十分复杂，难度大、精度低、稳定性差，从而导致检测诊断的效益低。目前汽车模拟电路故障诊断尚未建立完整的理论，还没有通用的诊断方法。

诊断模拟电路故障，一般借助于相似产品的使用经验或通过电路模拟得到的故障特征集，然后通过主动或被动的测试，将测试结果与故障特征比较，以发现和定位故障。

有关汽车电器故障诊断的主要内容，将在后面专门的章节进行介绍。

2.1.2 汽车机械故障诊断

对汽车机械系统工作状态的检测与诊断，往往是利用汽车运行过程中的二次效应所提供的信息，如温升、噪声、润滑油状态、振动及各种物理、化学特性的变化来进行故障诊断。

汽车机械系统的故障具有如下特点：

(1) 机械运行过程是动态过程，就其本质而言是随机过程。机械系统不同时刻观察的数据通常是不重复的，用检测数据直接判断运行过程故障是不可靠的，不同时刻观察值不一致，只能从统计意义上比较它们的差异。

(2) 从系统特性上看，汽车机械系统故障除了如连续性、离散性、间歇性、缓变性、突发性、随机性、趋势性和模糊性等一般特性外，汽车各总成都是由成百上千个零件装配而成，零部件间相互耦合，决定了汽车各总成故障的多层次性，一种故障由多层次故障原因所构成。故障现象与故障原因之间没有一一对应关系，很难从一个侧面或某个检测信息的分析结果作出正确的决策。

因此，汽车机械系统故障诊断是从随机过程出发，充分运用各种现代化的分析工具，分析测取的各种信息，综合判断各种故障现象的属性、形成与发展，从而实现故障诊断的目的。

本书后续章节的大部分内容主要讨论汽车机械故障的分析与诊断。

2.2 汽车诊断参数

汽车诊断参数是诊断技术的重要组成部分。在不解体的条件下直接测量结构参数十分困难，因此必须通过状态参数进行描述。此时用来描述系统、零件和过程性质的状态参数称为诊断参数。

2.2.1 状态参数与结构参数的关系

汽车使用过程中，其结构参数与状态参数变化有一定的函数关系。归纳起来有如下几种：

(1) 渐增曲线：状态参数随结构参数增大而增大；

(2) 非单值变化曲线：状态参数在结构参数变化允许范围内出现极值；

(3) 渐减曲线：状态参数随结构参数增大而减小。

例如，在一定转速、负荷下，发动机气缸漏气率随活塞与气缸壁不均匀磨损间隙增大而增大；发动机输出功率随活塞与气缸壁间隙变化就是一个非单值变化曲线；气缸压缩压力随气缸与缸壁间隙变大而减小。图 2-1 示出了几种典型的状态参数随结构参数变化的关系曲线。弄清它们之间的关系，就能通过状态参数的变化准确地描述结构参数的变化，达到不解体诊断的目的。

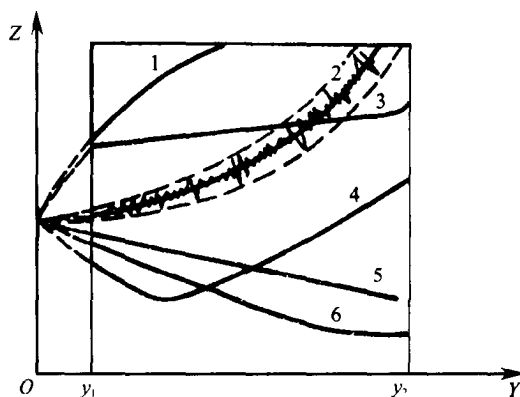


图 2-1 状态参数 Z 随结构参数 Y 的变化规律

y_1 、 y_2 初始及极限结构参数

3—渐增曲线； 4—非单值变化曲线；

5 6—渐减曲线

2.2.2 诊断参数的选择方法与原则

一个复杂系统是由多个元件组成的，各元件的等强度、等寿命是不可能的。在系统技术状况变化过程中，结构参数不同，变化过程也不相同。如果知道了系统中每个零件、机构和部件的变化规律，那么究竟选择哪些零部件变化特性作为系统的状态参数呢？这需要对所检验对象的主要性能变化，进行全面的记录和分析。特别要弄清那些最容易出现故障、直接影响汽车行驶安全及动力性能的元件、机构和系统的结构参数及与之相对应的状态参数和这些参数间的变化关系。在此基础上，确定出描述系统的状态参数。

一个结构参数的变化可能引起很多状态参数的变化。究竟选择哪些状态参数作为诊断参数应从技术上和经济上综合分析来确定。确定诊断参数时应注意如下几点：

(1) 诊断参数反映灵敏性。在结构参数变化过程中，输出值大的状态参数应优选为诊断参数。例如，当发动机气缸出现较大磨损时，发动机输出功率值下降只有 5%~7%；而发动机气缸漏气率增大 40%~50%。后一种状态参数的变化率远大于前者，所以应首选气缸漏气率作为气缸磨损的诊断参数。

(2) 诊断参数的单值性。在结构参数变化范围内，不出现极值的状态参数应优选的诊断参数。

(3) 诊断参数稳定性。在相同测试条件下所测得参数值的离散度最小，也就是测量的重复性更好的参数应作为诊断参数。

(4) 诊断参数的可达性和方便性。要求所确定的诊断参数容易测量，所用的设备尽量简单，测试工艺简便、费用低。

在确定诊断参数时，应权衡上述四点进行选择。

2.2.3 汽车诊断参数

根据诊断参数选择方法与原则选出汽车诊断参数如表 2-1 所示。分析表 2-1 中的汽车诊断参数，可以将它们划分为四类。第一类是表示系统主要功能的工作过程状态参数，如制动距离、发动机功率等。它们是系统整体技术状况的评价指标，表明系统是否需要进行深入诊断；第二类是伴随工作过程状态参数，如热、声、振动等。由于伴随工作过程的状态参数描述的是诊断对象局部信息，是诊断对象的直接描述，通过性强，适合于故障诊断；第三类是由前二类状态参数派生出来的诊断参数。在测取诊断参数时，不可避免地会产生误差。为了提高诊断精度和测量方便性，在某些条件下，不是直接测量诊断参数的物理量，而是测取这些物理量对时间的一阶或二阶导数。例如，测量振动信号时，不是直接测取振动信号的振幅大小，而是测取振动加速度。第四类诊断参数是几何参数，如气门脚间隙、制动蹄与蹄片间隙等。

表 2-1 汽车诊断方法和诊断参数

诊断方法	诊断对象和诊断参数
测量综合性能变化	整车动力性、经济性和安全性 主要诊断参数：发动机输出功率、底盘输出功率、汽车滑行特性、加速性能、制动性能
测量几何特性变化	转向操纵机构、车轮轴承、传动系配合尺寸等 主要诊断参数：线性间隙、角度间隙、侧滑量、自由行程、工作行程
测量工作容积密封性能变化	发动机气缸—活塞组、润滑系、冷却系、供给系、轮胎气压等 主要诊断参数：气缸压缩压力、发动机漏气率、气缸窜气量、进气管真空度、轮胎气压、机油压力等
测量光学、电学、热状态等工作过程参数变化	汽车电系、点火系、发动机转速、前轮定位、冷却系、润滑系、灯光等 主要诊断参数：电压、电流、光通量、温度及其变化速度
测量振动和声频变化	发动机、传动系 参数：振动频率、相位、时频特性、幅频特性、声级
测量机油、排气等化学成分的变化	发动机供给系、点火系、润滑系内部配合副磨损情况 参数：排气中 CO、HC、NO _x 等成分含量，机油粘度、机油中清净剂含量、金属杂质含量等

虽然每一类诊断参数有不同的含义，但判断某些复杂故障时，需要测量不同参数进行综合诊断。

诊断参数值的性质与诊断对象的工作状况有极大关系。对汽车而言，就是载荷、速度、

热工况等。测取某诊断参数时，一定要注意测试规范。没有测试规范，诊断参数值没有意义，也无从比较。诊断参数值都是对一定测试规范而言。如测量功率值是对应一定转速和一定油门开度而言；测量汽车制动距离是对应一定制动初速度和一定载荷而言。为了提高诊断的正确性，必须严格遵循规定的测试规范，应把测试规范与诊断参数看成一个整体。

2.2.4 诊断标准

为了定量评价汽车及总成技术状况，单有诊断参数还不够，还必须有诊断标准。诊断标准是从技术—经济观点出发，在汽车正常运行时输出的各种状态参数变化范围允许值。

1. 诊断标准的类型

诊断标准有两种分类方法，按标准的来源划分可分为三类，如国家标准，制造厂制定的标准和使用单位制定的标准；按标准的性质划分，可分为绝对标准，相对标准和类比标准。下面分别进行讨论。

(1) 按标准来源分类。第一种主要是国家法规规定的汽车运行中与安全环境保护有关的标准值。如制动距离、侧滑量、噪音标准、废气中有害物质含量标准等，它是根据人、车、路等具体情况，通过大量试验或根据经验确定的。各种不同的试验方法可以通过统一标准进行换算。例如，国家规定的标准是制动距离，但有时测量的是制动力或制动减速度，此时可以通过一定方法进行换算。

第二种标准主要取决于制造上结构参数的工艺误差，或考虑汽车工作时的最佳可靠性、耐久性和经济性要求规定的技术参数允许值。这类标准通常在设计阶段确定，最终经样机台架试验或使用试验进行修正。产品说明书上规定的是结构参数，它们可以通过与状态参数的函数关系进行换算，直接用状态参数允许值代替诊断标准值。

第三种标准值是根据车辆的具体使用情况，由运输部门确定。这类标准多而复杂，需要经过大量试验、统计分析，并在实际使用中反复修正后，才能确定。

(2) 按标准性质进行分类。第一种为绝对诊断标准。它是在确定了诊断对象和诊断方法后制定的标准。在现场测试中，最好使用绝对标准，因为它能根据实测诊断参数直接反映结构参数的变化。采用绝对诊断标准时，必须十分清楚地理解结构参数的变化对诊断参数的影响时，才能采用。

第二种为相对诊断标准。该标准是对某正常部件进行测试后，确定的一个基准值。通常是正常值乘以一个系数作为某零部件的使用极限。现实中许多情况采用此类标准。由于我国目前技术水平和经济实力的限制，一个产品投入使用后，不可能对一些渐变故障的破坏特征有十分清楚的了解，然而，为了能对一些重要部件进行监测与诊断，可以采用相对标准。

第三种为类比标准。该标准是用数台同样规格的设备在相同条件运行时，通过对同一部件进行测量和相互比较来掌握异常程度的一种方法。对于一些为数不多的设备可以采用此类标准。

在上述两种分类方法中，第一种分类方法分类的三种标准可能包含第二种分类方法分类的三种标准。事实上，第一种分类方法分类的三种标准是一种结果，而第二种分类方法分类的标准是一种方法。它们二者具有因果关系。

2. 确定诊断标准的一般方法

(1) 绝对标准的确定方法。在定义了车辆的正常和异响状态后，采用一定方法对诊断参数进行测量，就可以确定正常状态下、故障状态下诊断参数的概率密度函数，如图 2-2 所示。

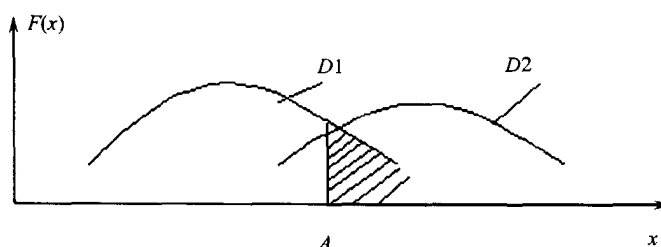


图 2-2 诊断参数概率密度函数分布

D1—正常状态下参数分布规律；D2—故障状态下参数分布规律；A—在一定误判率条件下的诊断标准值

根据分布规律的条件概率值，可以计算出在一定的误判概率条件下的诊断标准值 A。

(2) 相对标准的确定方法。相对标准是测定一定数量的正常零部件运行参数，确定一个基准值。然后，用一个系数乘上基准值，即得到相对标准。例如，日本的丰田利夫推荐齿轮、轴承和旋转轴的相对标准是其正常条件下振动测量值的 5 倍或 6 倍为零件的使用极限标准，在实际使用中取得了较好的效果。我国铁道部在诊断齿轮、轴承等零件中，采用了类似的方法，也取得了很好的效果。

(3) 类比标准的确定方法。在工程实际中，不可能对每个零件进行实际测量来制定其检测诊断标准。通常采用类比的方法来确定。对于类似结构、类似使用条件，借鉴以往的使用经验来确定一些不太重要零件的诊断标准。

对于同种机器，在同样的条件下，可以通过互相比较来确定其使用状况。

2.3 诊断信息的获取

2.3.1 诊断信息获取方法概述

汽车性能检测与故障诊断过程中，获取诊断信息的常用方法有直接观察法、磨损残余物检测法、温度测量法、压力测量法、运转性能检测法、振动噪声检测法等。本节简要介绍前五种方法，有关汽车振动噪声检测法将在下节介绍。表 2-2 列出了汽车中常用的传感器。有关诊断检测用传感器，将在诊断设备中介绍。

(1) 直接观察。对汽车运行状况进行直接观察，可以获得第一手资料，检测诊断人员凭借积累下来的经验可以对车辆技术状况进行判断。但这种方法是定性的，或者说是较粗略的，且常适用于能直接观察到的汽车零部件。为此，往往需要借助一些简单的仪器直接测量，来扩大人眼的观察能力。这些仪器有气缸内窥镜、厚薄规、气缸漏气率检测仪、尾气分析仪等。

除了使用一些辅助观察仪器外，将直接观察的情况进行记录并存档是十分有效的手段，特别是需要分析零部件在一段时间的变化趋势，历史的记录对于现场的判断是十分有帮助的。

表 2-2 汽车常用传感器

物理量	测定部位	传感元件	用途
旋转角度	曲轴转角	电磁拾音器 / 光电遮断器 / 霍尔集成电路	电子控制燃料喷射装置
	节气门开度	电位计	
	转向角、转弯角	光电遮断式 / 静电容量式	四轮转向系统、转向
	车高	超声波 / 激光 / 电位计	悬架
	角速度 / 方位	振动陀螺仪 / 光纤陀螺仪 / 排气流量陀螺仪	导向系统
旋转速度	发动机转速	电磁拾音器 / 霍尔集成电路	电子控制燃料喷射装置、自动变速器、悬架、车门锁定、导航
	变速器转速	电磁拾音器 / 霍尔集成电路 / MR 元件	
	车轮速度		制动防抱死系统
压力	发动机进气压	半导体式	电子控制燃料喷射装置等
	发动机油压	机械膜片式 / 半导体式	
	制动液压	半导体式	制动防抱系统、牵引力
流量	发动机吸入空气量	叶片式 / 热线式 / 卡曼涡旋式 / 加热薄膜式	电子控制燃料喷射装置等
液量	汽油 / 润滑油 / 水	浮子、电位计 / 静电容量式	
温度	发动机水温	热敏电阻	
	发动机进气温度	铂电阻	
	触媒温度	热电耦 / 热敏电阻	
	变速器温度	热敏铁氧体	自动变速器
	车内外温度	热敏电阻	太阳能通风装置
排气 / 氧气	排气中氧浓度	导电性陶瓷 / 电解性陶瓷	电子控制燃料喷射装置等
加速度	重心弹簧上加速度	差动变量器 / 光电遮断器 / 霍尔集成电路	制动防抱死系统、四轮转向系统、导向系统
	碰撞减速度	机械式开关 / 半导体	安全气囊系统
	振动加速度	压电陶瓷片	爆震

(2) 磨损残余物测定法。汽车零件，如轴承、齿轮、活塞环、气缸套等在运行过程中的磨损残余物可以在润滑油中找到。目前，测定润滑油中磨损物有三种方法：第一种是直接检查残余物，测定油膜间隙内电容或电感的变化，润滑油混浊度的变化等方法迅速获得零部件失效的信息。第二种是收集残余物，判断其形态。例如，采用磁性探头、特殊的过滤器等收集齿轮、滚动轴承等工作表面疲劳引起的大块剥落颗粒。第三种方法是油样分析，采用光谱、铁谱分析方法可以确定汽车运动机械配合副中什么零件发生了磨损。

(3) 温度测定法。汽车工作时，不仅伴有振动、噪声，而且自身温度也区别于背景温度。正常条件下，某零部件的温度在一定范围内变化，如正常燃烧的汽车发动机水温为 80°C ~ 90°C ，温度的升高或降低意味着冷却系工作不良。发动机排气管的温度过高可能是点火过晚或混合气过浓过稀等。测量温度有两种方法：接触法和非接触法。传统的水温传感器是接触测量法的一种，而红外成像法是非接触法的一种。研究表明，不同温度的物体都在向外界

辐射红外线，且辐射功率与物体表面热力学温度的 4 次方成正比。当物体表面温度为 27 °C 时，温度每升高 1 °C，辐射功率将增加 1.34%。因此，可利用被测物体自身发射的红外辐射不同于周围部件的红外辐射的特点来检测被测物体的表面温度及温度分布（温度分辨率为 0.01 °C ~0.1 °C）。将被测物体的红外辐射转换成可见光显示出来，即为红外成像技术。利用红外成像能对被测对象技术状况进行判断。

(4) 压力测量法。汽车检测中，各种压力的测量是一重要的方法。汽车各总成中需要检测的压力参数有：机油压力、发动机气缸压力、进气管真空度、燃料系供油压力、各种助力装置产生的压力等。一般的方法是将压力信号转换成电信号后，输入控制器进行处理，并由此来控制执行机构的各种操作。

(5) 整体性能测定法。评价汽车整体性能的指标有动力性指标、经济性指标、通过性指标、安全性指标、平顺性指标等。测定这些指标中的参数，就可以确定车辆总体性能。通常，如果说车辆的总体性能指标较高，表明该车辆不会有大的故障，但可能有些小故障存在。这是实际中经常遇到的现象，如汽车发动机存在异响，较轻微的异响一般不影响汽车性能指标。反过来讲，没有故障的车辆一般总体性能指标较高。所以，检测汽车总体性能，能判断主要总成是否存在故障。

2.3.2 汽车振动信号的检测

1. 概述

在汽车的往复机构和旋转机构中，由于制造和安装误差及结构特点等原因，运动中会产生不平衡力。这些力是运动机械的激励源，它使运行中汽车产生振动。汽车振动信号信息量十分丰富，所有的运动部件技术状况信息都包含在振动信号之中。只需要一只传感器，就能将其拾取。

拾取振动信息的装置通常称为拾振器，它是传感器的核心组成部分，表达振动信号特性的基本参数是位移、速度、加速度、频率和相位，它们都可以作为旋转件和往复运动件的特征信号。拾振器的作用是检测被测对象的振动参数，把需要的频率范围内的信号接收下来，并将此机械振动信号转换成电信号输出。

测振传感器的种类很多，按被测参数进行分类有位移传感器、速度传感器、加速度传感器。将上述传感器进行细分如表 2-3 所示。

表 2-3 振动传感器分类

传感器类型	接触方式	传感原理
位移传感器	接触式	电阻式；应变式
	非接触式	电容式；电涡流式
速度传感器	接触式	动圈式；动磁式
	非接触式	变间距式
加速度传感器	接触式	压电式加速度传感器； 应变式加速度传感器

按所测振动的性质进行分类，振动传感器可分为绝对式振动传感器和相对式振动传感器。壳体和测量单元分别与不同的被测件联系，其输出能描述此两件物体的相对振动，称为相对

式拾振器；拾振器的壳体固定在被测件上，内部用一个弹簧质块系统来感受振动，称为绝对式拾振器。惯性式拾振器如图 2-3 所示， $x_0(t)$ 、 $x_1(t)$ 、 $x_{01}(t)$ 分别表示壳体的绝对位移、质块的绝对位移和壳体与质块的相对位移。

测试时，壳体与被测物体联接，使二者之间无相对振动，被测物体的振动即为拾振器的输入。拾振器内质块对壳体的相对位移量是图 2-3 的输出，经变换成电信号后，即为拾振器的输出，用以描述被测物体的绝对振动量，被测物体以 $x(t)$ 的二阶导数输入，则质块与壳体的相对位移 $x_{01}(t)$ 为惯性系统的输出，弹簧—质块—阻尼系统的二阶微分方程描述为

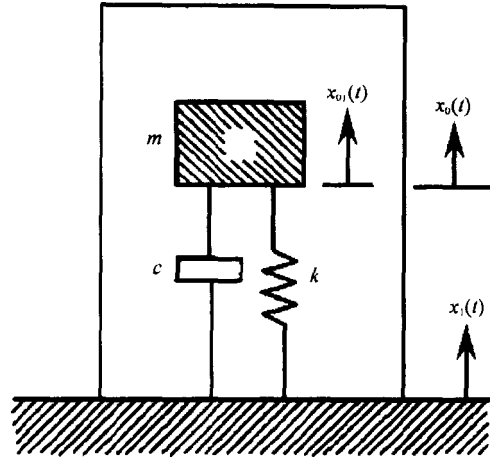


图 2-3 惯性式拾振器的力学模型

幅频

$$A(\omega) = \frac{(\omega / \omega_1)^2}{\sqrt{[1 - (\omega / \omega_n)^2]^2 + [2\xi\omega / \omega_n]^2}} \quad 2-1$$

相频

$$\Phi(\omega) = \arctan \left[\frac{2\xi\omega / \omega_n}{1 - (\omega / \omega_n)^2} \right] \quad 2-2$$

式中 ω ——基础运动角频率；

$\omega_n = \sqrt{k/m}$ ω_n —振动系统固有频率； k —刚度； m 质量；

$\xi = \frac{c}{2\sqrt{km}}$ ， ξ ——振动系统的阻尼比。

当 $\omega \ll \omega_n$ 时，质块的相对基础运动接近于零，相对运动小；

当 $\omega \gg \omega_n$ 时， $A(\omega)$ 接近 1 表明质块和壳体的相对运动输出和基础的振动输入近乎相等，即表明质块在惯性学中几乎处于静止状态。

2. 电涡流式位移传感器

(1) 工作原理。所谓电涡流是指金属导体置于变化的磁场之中运动时，金属导体内要产生感应电流。这种电流在导体内是自己闭合的，它称之为电涡流。

电涡流的大小与金属的电阻率 ρ 、导磁率 μ 、金属物的厚度 t 以及线圈与金属导体的距离 δ 等参数有关。当传感器与被测金属物体接近时，测量间距为 δ 。若有一高频交变电流 i 通过线圈，便产生磁通 Φ ，此磁通通过被测金属物体，并在被测金属物体表面产生感应电流 i_1 和交变磁通 Φ_1 ，在金属表面形成涡电流。根据楞次定理：涡电流的交变磁场与线圈的磁场变化方向相反，即 Φ_1 总是抵抗 Φ 的变化，如图 2-4 所示。

分析表明：线圈自感量 L 与间距 δ 成反比，与导磁面积 A 成正比。它们的关系如 2-3 式所示

$$L = \frac{\omega^2 \mu_0 A}{2\delta}$$

式中 ω ——线圈匝数； μ_0 ——真空磁导率。

当取 $\omega=10$, $A=50 \text{ mm}^2$, δ 与 L 成反比, 测出 L , 就可测出 δ , 如图 2-5 所示。

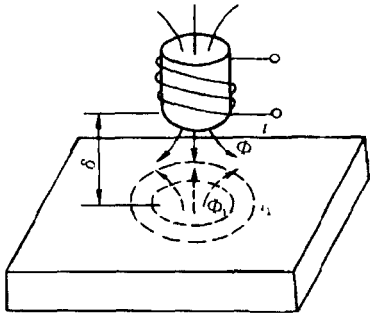


图 2-4 涡流传感器工作原理

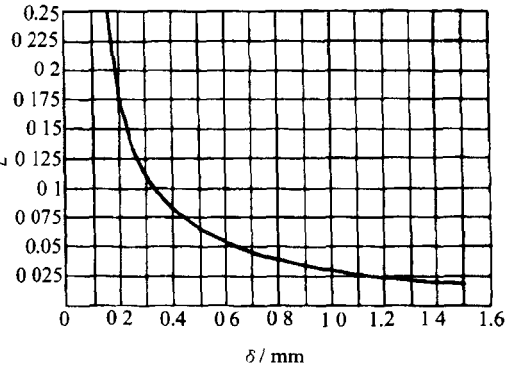


图 2-5 传感器自感量 L 与距离 δ 的关系

(2) 涡流传感器的测量电路。根据电涡流传感器的测量电路不同, 电涡流传感器可分为调幅式、调频式、差动电桥式等。这里仅介绍实际中应用较多的调幅式电涡流传感器。如图 2-6 所示, 线圈 L 、电容 C 组成并联谐振回路, 谐振频率为

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \tag{2-4}$$

振荡器提供了稳定的高频信号电源。实际测量时, 随着线圈与被测金属体间间距 δ 的变化, 线圈阻抗发生相应的变化, 使 LC 回路失调, 这时输出信号 $U(t)$ 的频率仍然等于振荡器的工作频率, 但其幅值随 δ 改变。它是一个调幅波, 经放大检波后, 可得到 δ 的动态信息。

(3) 涡流传感器的应用。电涡流式传感器的优点是灵敏度高、结构简单、抗干扰能力强、不受油污等介质的影响, 可以进行非接触测量, 它被广泛应用于工业生产和科学研究的各个领域。在汽车故障诊断中常用来监测汽车传动轴的弯曲和不平衡。图 2-7 示出了涡流传感器的典型结构的。

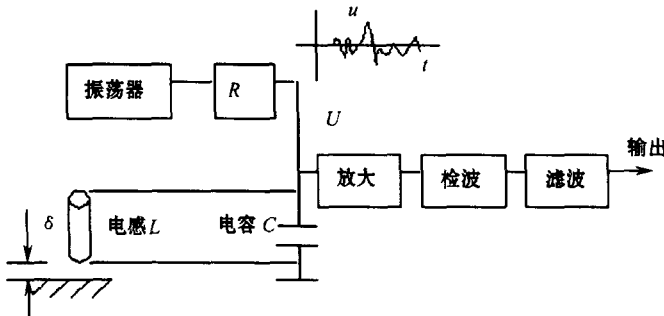


图 2-6 调幅电路原理图

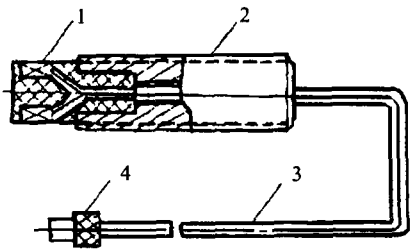


图 2-7 涡流传感器的典型结构

1—传感器头, 2—传感器体, 3—固定电缆; 4 接头

使用中，应注意如下几点：

被测对象的金属材料不同，检测结果相差较大。当电涡流传感器的被测对象是铝块时，若取此时的输出为 1 (0 dB)，各种常用材料的相对输出如表 2-4 所示。

材料的电阻率对电涡流传感器相对输出的影响。电涡流传感器检测不同对象时，电阻率不相同，输出结果差异较大。若把铝块作为检测对象，电涡流传感器的输出取 1，各种不同电阻率材料的输出结果如图 2-8 所示。

表 2-4 不同磁导材料的相对输出

抗磁物质材料				铁磁质材料	
材料名称	相对输出	材料名称	相对输出	材料名称	相对输出
铝	1	黄铜	0.97	铝	1
银	1.1	钛	0.94	镍	0.84
铜	1.09	铅	0.91	合金 Ni80% Fe20%	0.91
金	1.05	铀	0.84	钢	0.35-0.50
镁	0.99	不锈钢	0.82		

被测对象的形状、大小对电涡流传感器输出的影响。当电涡流传感器的被测对象为平面型导体时，在一定范围内，其面积大小对输出结果有一定影响。当被测对象的面积小于电涡流传感器的敏感部分面积时，随着被测对象面积减小，传感器输出值降低，但对传感器的

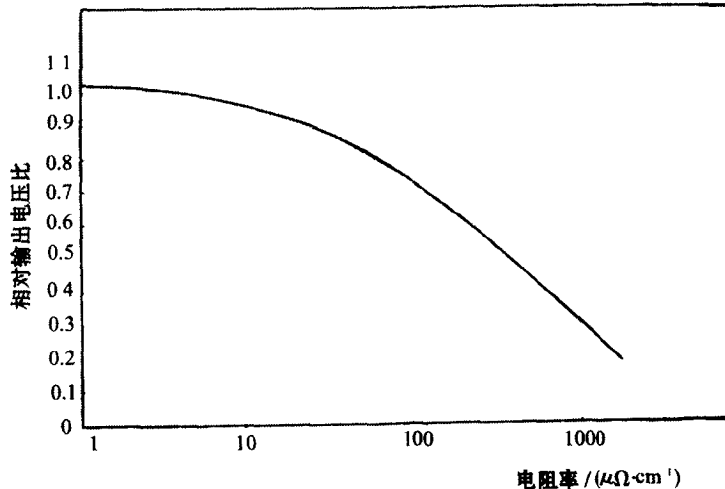


图 2-8 不同电阻率时，电涡流传感器的相对输出结果

线性度不产生影响。当被测对象的面积大于涡流传感器敏感部分的面积时，涡流传感器的灵敏度不受影响。

当被测对象为一轴时，若轴的直径为传感器灵敏部分直径的 3 倍以上时，轴直径大小对涡流传感器的灵敏度无影响，否则，传感器的灵敏度下降。

此外，被测对象的材质不均匀、表面光洁度差异、几何形状变化对涡流传感器的输出均在不同程度上有所影响。

(4) 传感器的安装。安装传感器时，应尽量保证被测对象与传感器敏感部分表面平行。一般情况下，应保证两表面倾斜相差不超过 15° 。由于涡流传感器是面测量而不是点测量，当测量凸凹不平表面时，传感器输出的位移值是传感器敏感部分直径范围内的平均值。当两个以上传感器并排使用时，它们之间的距离不能小于传感器的直径，否则要受到影响。

3. 磁电式速度传感器

速度传感器，因其输出正比于振动速度而得名，其机械信号转变为电信号的元件是磁场中运动的线圈。这种传感器输出阻抗较低，便于测量，适合在 $10\sim 1000\text{ Hz}$ 频率范围内测量振动位移或振动速度。

(1) 工作原理。设有一线圈，匝数 ω ，当穿过该线圈的磁通 Φ 发生变化时，感应电动势

$$e = -\omega \frac{d\Phi}{dt} \quad 2-5$$

上式表明线圈感应电动势大小与线圈匝数和穿过线圈的磁通变化率有关。而磁通变化率又取决于磁场强度、磁路磁阻及线圈运动速度。所以，改变速度会改变线圈感应电动势的输出。

当置于永久磁铁的磁场内的可动线圈作直线运动时，产生的电动势为

$$e = \omega BLv \sin \theta \quad 2-6$$

式中 B —— 磁场感应电动势强度；

L —— 单匝线圈的有效长度；

ω —— 线圈匝数；

v —— 线圈与磁场的相对运动速度；

θ —— 线圈运动方向与磁场方向夹角。

当 B 、 ω 、 e 、 θ 为常数时，感应电动势与速度 v 成比例。

(2) 等效电路。速度传感器的等效电路如图 2-9 所示， e 为发电线圈感应电动势， Z_0 线圈阻抗； R_L 负载电阻； C_c 导线分布电容； R_c 电缆导线电阻；输出电压 u_i

$$u_i = e \frac{1}{1 + \frac{Z_0}{R_L} + i \omega C_c Z_0} \quad 2-7$$

(3) 典型结构。图 2-10 是电磁式速度传感器的典型结构。它由磁钢、线圈、弹簧、阻尼器等组成。这些部件均放在一个密封的外壳内。从图 2-10 可以看出，动圈和阻尼铜杯用一个螺杆联接起来，它们可以各自在磁场内运动。质量 m 的上下端各用一片形状复杂的圆片弹簧

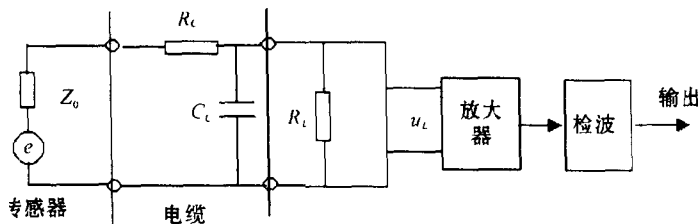


图 2-9 电磁式速度传感器等效电路

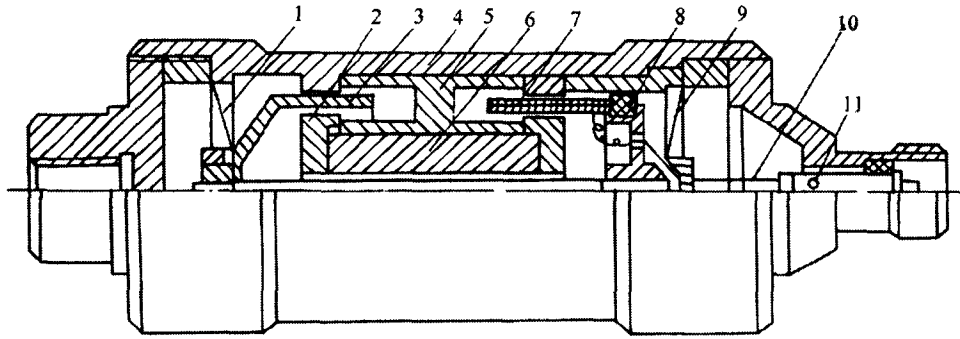


图 2-10 电磁式传感器结构图

1—弹簧片；2—磁靴；3—阻尼环；4—外壳；5—铝架；6—磁钢；7—线圈；
8—线圈架；9—弹簧片；10—导线；11—接线座

支撑着。外壳上有连接被测对象的螺纹。阻尼器为电磁阻尼器，敏感元件是一个在磁场内运动的线圈。

线圈是质量块的一个组成部分。当它在磁场中运动时，其输出电压正比于线圈切割磁力线的速度，即质量块相对于壳体的速度。当系统设计保证基础件运动引起的受迫振动频率远远大于传感器的固有频率时，质量块在绝对空间中相对近似静止，从而（和传感器相连接的）被测物与质量块的相对位移、相对速度就分别近似其绝对位移和绝对速度。这样，绝对式速度计实际上是将被测物体的振动速度转换成质量块与壳体的相对速度，然后通过磁电变换原理将其转换为输出电压。

4. 压电式加速度传感器

(1) 工作原理。某些物质受外力后产生极化。有些物质，如石英，当受到外力作用后，不仅几何尺寸发生变化，其内部还产生极化现象，表面出现电荷，形成电场，当失去外力后又恢复原状，这一现象称为压电效应。

如将这种物质置于电场中，其几何尺寸也会变化。这种由外电场的作用而导致物质变形的现象称为“逆压电效应”或“电致伸缩效应”。天然石英和人工陶瓷 钛酸钡 锆钛酸铅 具有这种特性；天然石英具有各向异性，人工陶瓷是各向异性的多晶体材料，经极化处理后，其压电常数比石英晶体高达数百倍。

人们利用这些物质制造出了压电式加速度传感器。图 2-11 表示了压电加速度传感器的结构原理图。在两压电片中间有一金属圆片作为加速度传感器的输出极板。在压电陶瓷片上面有质量块 m 在质量块 m 的上面还有一个硬弹簧片。所有这些元件（压电陶瓷片、金属圆片、质量块、硬弹簧片）都装在同一金属座上，构成了压电加速度传感器。当压电加速度传感器安装在被测对象上时，整个加速度传感器与被测对象一起运动，质

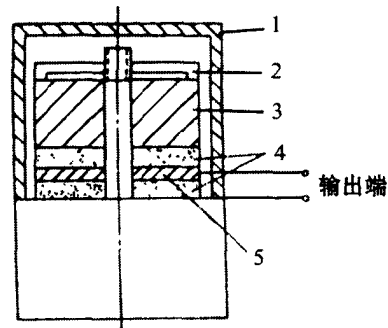


图 2-11 压电式加速度传感器原理图

1—壳体；2—弹簧；3—质量块；4—压电片；5—金属圆片