



新世纪教改系列教材

21世纪高等院校“十一五”重点图书

微机检测与 故障诊断技术

郭世明 编著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)



新世纪课程系列教材

教育部推荐教材 “十一五” 国家重点图书

微机检测与 故障诊断技术

—— 第 2 版 ——

清华大学出版社

TP360.6/22

2007

新世纪教改系列教材

21 世纪高等院校“十一五”重点图书

Wei Ji Jiance yu Gu zhang Zhen duan Ji shu
微机检测与故障诊断技术

郭世明 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

微机检测与故障诊断技术 / 郭世明编著. —成都: 西南交通大学出版社, 2007.12

(新世纪教改系列教材 21 世纪高等院校“十一五”重点图书)

ISBN 978-7-81104-746-2

I. 微… II. 郭… III. ①微型计算机—故障检测—高等学校—教材②微型计算机—故障诊断—高等学校—教材
IV. TP360.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 186994 号

新世纪教改系列教材
21 世纪高等院校“十一五”重点图书

微机检测与故障诊断技术

郭世明 编著

*

责任编辑 张华敏

特邀编辑 杨磊

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 23.25

字数: 579 千字 印数: 1—3 000 册

2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81104-746-2

定价: 35.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

检测技术应用的领域十分广泛,随着科学技术的发展和生产力水平的不断提高,检测技术的重要性和必要性日益显现。检测技术属于信息科学范畴,是信息技术(检测控制技术、计算机技术与通信技术)三大支柱之一。因此,在当今信息社会,现代化的检测技术在很大程度上决定了生产力和科学技术的发展水平,而科学技术的进步又不断为现代检测技术提供了新的理论基础和新的工艺。微机检测技术结合了检测技术和微机应用技术,是检测技术发展的高级形式和高级实现,有非常好的发展前景和广泛的适用性。

随着现代化大生产的发展和科技的进步,系统(设备)的复杂程度日益提高,如何保证系统(设备)的安全运行,已成为一个十分迫切的问题。故障诊断技术是保障系统(设备)安全运行的基本措施之一,它能对系统(设备)故障的发展作出早期预报,对出现故障的原因作出判断,提出对策建议,避免或减少事故的发生。

本书以信息的获取(传感器)、信息的转换(检测电路)、信息的处理(微机技术)、信息的判别(故障诊断)为主线,系统地介绍了各类传感器的原理和特性以及检测技术理论、信号放大与变换技术、微机接口技术、抗干扰技术、系统(设备)的故障诊断技术,并将计算机技术与检测技术、故障诊断技术融汇一体。

全书共分十章。第1章是微机检测技术基础;第2章介绍传感器;第3章介绍检测信号的调理;第4章介绍检测信号的采集与处理;第5章介绍微机检测系统的接口技术;第6章介绍微机检测系统的总线技术;第7章介绍微机检测系统的抗干扰技术;第8章介绍故障诊断技术基础;第9章介绍故障诊断的常用方法;第10章介绍基于故障树的机车电子控制柜故障诊断专家系统。

本书可作为电气工程与自动化专业高年级本科生和研究生的教材,也可供有关工程技术人员参考。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免有不妥之处,敬请大家批评指正。

作 者

2007年11月

目 录

第 1 章 微机检测技术基础	1
1.1 微机检测概述	1
1.2 误差的概念	5
1.3 检测系统的性能指标	8
第 2 章 传 感 器	17
2.1 传感器概述	17
2.2 温度传感器	22
2.3 湿度传感器	45
2.4 压力传感器	57
2.5 流量传感器	70
2.6 转速传感器	75
2.7 加速度传感器	80
2.8 电压/电流传感器	88
第 3 章 检测信号的调理	95
3.1 检测信号的放大	95
3.2 检测信号的滤波	109
3.3 检测信号的变换	118
第 4 章 检测信号的采集与处理	136
4.1 信号采集系统的构成	136
4.2 模拟信号的采集	148
4.3 数字信号的采集	164
4.4 信号的分析与处理	169
第 5 章 微机检测系统的接口技术	176
5.1 微机接口概述	176
5.2 I/O 地址译码技术	179
5.3 存储器接口电路	186
5.4 A/D 转换器接口电路	194
5.5 总线接口电路	199

第 6 章 微机检测系统的总线技术	203
6.1 总线概述	203
6.2 PC 微机的内部总线	211
6.3 串行总线	228
6.4 CAN 总线	241
6.5 IEEE-488 总线	248
6.6 VXI 总线	252
第 7 章 微机检测系统的抗干扰技术	262
7.1 干扰的来源	262
7.2 噪声的形成及其抑制措施	264
7.3 差模干扰和共模干扰	267
7.4 干扰抑制技术	270
第 8 章 系统 (设备) 故障诊断技术基础	281
8.1 系统故障及故障诊断概述	281
8.2 故障诊断的内容和基本方法	287
8.3 故障诊断的知识构成和求解策略	294
第 9 章 故障诊断的常用方法	301
9.1 故障诊断的专家系统方法	301
9.2 故障诊断的故障树方法	316
9.3 DK-1 型电空制动机故障树的建立	326
9.4 故障诊断的信息融合技术	333
9.5 基于信息融合技术的变压器故障诊断	344
第 10 章 基于故障树的机车电子控制柜故障诊断专家系统	348
10.1 机车电子控制柜的构成与功能	348
10.2 机车电子控制柜的故障分析	352
10.3 机车电子控制柜故障诊断专家系统的建立	356
参考文献	366

第 1 章 微机检测技术基础

1.1 微机检测概述

1.1.1 检测的概念

检测是利用各种传感器,采用适当的方法和相应的装置,将工农业生产、科学研究、日常生活等各方面的有关信息,在现场通过检查与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。

采用微型计算机自动地完成整个检测处理过程的技术称为微机检测技术。

检测技术是自动化技术四大支柱之一,与一般的测量相比,检测技术含义更广泛,它包括:寻找与自然信息具有对应关系的种种表现形式的信号,确定被测量与显示量两者间的定性、定量关系,并为进一步提高测量精度、改进实验方法及测量装置性能提供可行依据的整个过程。

检测技术是涉及检测方法、检测结构以及检测信号处理的一门综合性技术。一个完整的检测过程一般包括:信息的提取,信号的转换、存储与传输,信号的显示和记录,信号的分析 and 处理。

1.1.2 检测技术在科学技术领域中的地位

在当今信息社会的一切活动领域中,从日常生活、生产活动到科学实验,时时处处都离不开检测。现代化的检测手段在很大程度上决定了生产和科学技术的发展水平,而科学技术的发展又为检测技术提供了新的理论基础和手段,同时对检测技术提出了更高的要求。

检测技术是科学地认知客观世界的手段,只有通过检测人们才能够定量地表述事物和事物的发展过程,才能进行比较和判断,进而对事物和过程进行有效的管理和控制。

在现代工程装备中,检测环节的成本已达到装备系统总成本的 50%~70%。检测环节已成为保证装备实际性能指标和正常工作的重要手段,例如,在钢铁厂的高炉冶炼过程中,为了实施生产监督和保证产品质量,必须由称重测量系统对送进高炉的铁矿石及各种添加剂进行称量以保证配比,还要有温度、风速和湿度测量装置对送风温度、流量以及湿度进行测量并实施温度及湿度控制,以保证钢锭质量;为保证火箭的正常发射和运行,需要通过各种检测装置得到火箭的飞行速度、加速度、航向等几百个状态数据;电厂中运用蒸汽轮机发电,需要随时检测蒸汽流量,蒸汽流量测量值若有 1% 的测量偏差,电站的燃烧成本将增加 1%。在精密机械加工中,对过程控制的各类参数的检测精度和实时性也有十分严格

的要求，如大规模集成电路的加工中，对于微米、亚微米线宽，必须采用亚微米或纳米级的高精度位置检测技术。

随着科学技术的发展，一方面是被测对象的范围日益扩大，要求应用物理、化学和生物学等基础科学提出新的变换原理，另一方面是对检测系统的准确性、检测系统对被测参数微小变化的分辨能力、使用的可靠性、反映快速变化信号的实时性、抵抗和抑制外界干扰影响的抗干扰能力及在线提供数据分析判断的能力提出了更高的要求。

1.1.3 检测技术在不同领域中的作用

在科学实验过程中，需要对描述被控对象特征的某些参数进行检测，其目的是为了准确获得表征它们的定量信息，为科研提供可靠的数据。

科学技术的发展与检测技术的发展是密切相关的，检测技术达到的水平愈高，则科学技术的成就愈为深广，而科学技术的发展，特别是新材料、新结构的传感器研制成功，以及微型计算机的发展，给检测技术带来了革命性的影响，它们在检测系统的准确性、快速性、可靠性和抗干扰能力等方面发挥了明显作用，大大丰富了检测技术所包含的内容，扩大了检测技术的应用范围，同时也提出了新的课题。

1. 检测技术在工业生产中的作用

在工业生产中，为了保证生产过程能正常、高效、经济地运行，必须对生产过程的某些重要工艺参数（如温度、压力、流量等）进行实时检测与优化控制。例如，城镇生活污水处理厂在污水的收集、提升、处理、排放的生产过程中，通常需要实时准确地检测液位、流量、温度、浊度、泥位（泥、水分界面位置）、酸碱度（pH 值）、污水中溶解氧含量（DO）、化学需氧量（COD）、各种有害重金属含量等多种物理和化学成分参量；再由计算机根据这些实测的物理、化学成分参量对流量、（多种）加药（剂）量、曝气量、排泥量进行优化控制；为保证设备完好及安全生产，还要同时对污水处理所需的机电动力设备和电气设备的温度、工作电压、电流、阻抗进行安全监测，这样才能保证污水处理安全、高效率和本地低成本地进行。

2. 检测技术在铁道机车车辆上的作用

当前铁路运输正朝着高速与重载的方向发展，这对机车车辆的安全性能提出了更高更严的要求。为了保证行车安全，就需要对机车车辆的运行状态进行实时监测。例如，在机车车辆的转向架上安装振动传感器，可对机车车辆的蛇行运动、轮对踏面剥落、擦伤等异常状态进行检测；将温度传感器安装在轴箱和牵引电机上，可对轴箱轴承和机车牵引电机轴承的状态进行检测；通过对机车车辆的速度、电压和电流的检测，可实现对机车车辆的速度、电压和电流的闭环控制。机车车辆上电气设备的许多故障往往都会以温度为征兆而表现出来，因此，通过检测温度信息，可以对电气设备的工作状态进行有效监视和故障的早期诊断，这对机车的安全运行是十分有益的。

3. 检测技术在军工生产中的作用

在军工生产和新型武器、装备的研制过程中，更离不开检测技术，对检测的需求更多，要求更高。研制任何一种新武器，从设计到零部件制造，从装配到样机试验，都要经过成百、上千次严格的试验，每次试验都需要高速、高精度地同时检测多种物理参量，测量点经常多达上千个。而飞机、潜艇等，在正常使用时都装备了上百个各种检测传感器，组成了十几至几十种检测仪表，实时地监测和指示各部位的工作状况，尤其是在新机型的设计、试验过程中，需要检测的物理量更多，而检测点通常在 5 000 个以上。在火箭、导弹和卫星的研制过程中，需要动态高速检测的参量很多，要求也更高；没有精确、可靠的检测手段，要使导弹准确命中目标和卫星准确入轨是根本不可能的。

随着生活水平的提高，检测技术与人们的日常生活愈来愈密切。例如，电冰箱的温度调节离不开对温度的检测；家庭用电、用水和用气的多少则通过电表、水表和煤气表对电量、水流量和气流量进行检测；新型建筑材料的物理、化学性能检测；装饰材料的有害成分是否超标检测；城镇居民家庭室内的温度、湿度、防火、防盗及家用电器的安全监测。所有这些都说明了检测技术在社会中的重要地位与作用。

1.1.4 微机检测系统的构成

对各种物理量进行检测和转换是构成自动检测系统的关键环节，由于半导体技术和微型计算机（简称微机）的发展，在检测和转换装置中广泛采用微机实现自动检测。由微机构成的检测系统具有以下特点：

- ① 便于连续进行测量和记录，并能对测量结果自行处理。
- ② 不仅适用于静态测量，亦适用于动态过程的测量。
- ③ 便于自动改变量程（放大倍数），故测量范围广，测量精确度和灵敏度高。
- ④ 能进行多点扫描检测，即组成数据采集装置。
- ⑤ 易于实现检测系统的智能化和网络化。

微机检测系统的任务是：首先将被测参数的变化转换成电信号，再对电信号进行调理和变换，然后通过微机实现对信号的采集、处理、输出和传输。

微机检测系统的结构如图 1.1 所示。

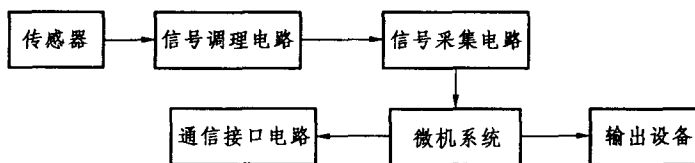


图 1.1 微机检测系统的结构

微机检测系统的主要组成部分包括：传感器、信号调理电路、信号采集电路、微机系统、通信接口电路、输出设备等。

① 传感器。传感器直接与被测对象发生联系，它的功能是将被测参数直接或间接转换成电信号。它的性能直接影响检测系统的性能，是检测系统的重要部件。

② 信号调理电路。它的作用是将传感器的输出信号进行放大和变换（包括绝对值变换、有效值变换、电压/电流变换等）。

③ 信号采集电路。它的作用是通过 A/D 转换电路对模拟量进行采集，通过 I/O 接口电路对开关量和数字量进行采集。

④ 微机系统。它的作用是对检测系统的检测过程进行控制，对检测的结果进行分析处理。

⑤ 输出设备。它的作用是对检测结果进行显示和打印输出。

⑥ 通信接口电路。它的作用是使检测子系统与检测子系统之间、下位机与上位机之间实现数据交换。

1.1.5 检测技术的发展趋势

随着计算机技术和微电子技术以及计算机软件技术和数据处理技术的发展，检测技术也得到了空前的发展和进步。

人类的信息化时代必将为智能检测提供更为广阔的应用前景。随着科学技术的发展，检测技术将向着高可靠性、高智能化方向发展。

1. 采用新型信息处理方法

近年来，新型信息处理技术，如数据融合技术、模糊信息处理技术和神经网络技术等，在现代检测系统中得到了有效应用。例如，热处理炉温度自动检测系统采用多传感器进行数据融合处理，可以提高温度测量的可靠性与准确性，从而提高热处理产品的质量和生产效益。随着新型信息处理技术的发展，现代检测系统的信息处理方法必将有革命性的改变。

2. 仪器与计算机技术的集成

仪器与计算机技术的深层次结合产生了全新的仪器结构概念。例如，虚拟仪器、卡式仪器、VXI 总线仪器以及集成仪器等。一般来说，将数据采集卡插入计算机空槽中，利用软件在屏幕上生成虚拟面板，在软件引导下进行信号采集、运算、分析和处理，实现仪器功能并完成检测的全过程，就是虚拟仪器的工作过程。在此平台上，调用不同的检测软件就可构成不同功能的虚拟仪器，故可方便地将多种检测功能集于一体，实现多功能集成仪器。

3. 硬件功能软件化

在虚拟仪器的检测平台上，调用不同的检测软件就可构成不同功能的仪器，因此，软件在检测系统中占有十分重要的地位。在大规模集成电路迅速发展的今天，检测系统的硬件越来越简化，软件越来越复杂；而集成电路器件的价格逐年大幅下降，软件成本费用则大幅上升。检测软件不论是对于大的检测系统还是对于单台仪器子系统，都是十分重要的，而且是检测系统未来发展和竞争的焦点。因为，信号分析与处理要求取的特征值，如峰值、真有效

值、均值、均方值、方差、标准差等，若用硬件电路来获取，其电路是极为复杂的；若要获得多个特征值，电路系统会很庞大；而另一些数据特征值，如相关函数、频谱、概率密度函数等则是不可能用一般硬件电路来获取的。而在虚拟仪器的检测平台上，信号数据特征的定义式用软件编程很容易实现，从而使得那些只能由精密而昂贵的分析仪器才具有的信号分析与测量功能得以在一般工程测量中实现，使得信号分析与处理技术能够广泛深入地工程实践服务。

软件技术对于微机检测系统的重要性表明了计算机技术在现代检测系统中的重要地位。

4. 网络化

随着网络技术的普及与发展，为检测技术带来了前所未有的发展空间和机遇。将微机检测系统与网络相连接，不仅能实现对检测系统的远程操作与控制，而且可以把检测结果通过网络显示在世界各地的浏览器中，以实现检测系统资源和数据的共享。

5. 通用化与标准化

为了便于获取和传输信息，实现系统的更改与升级，微机检测系统的通用化、标准化设计十分重要。

目前市场上的接口与总线系统种类较多，但随着智能检测技术的发展，可望制定出全世界通用的几种统一接口与总线系统标准，或者制定出几种互相兼容的接口与总线系统标准，以便于检测系统的组建、更改、升级和连接。由于采用通用化、标准化设计，现代检测仪器将易于实现分散使用与大范围联网使用，例如，当不需要让整个检测系统工作，而仅仅需要进行某个观测目标的单一检测时，可令检测系统中的某个智能部件单独工作；当观测目标多、信息量较大时，则可将许多智能部件连接成大型智能检测系统，也可将多个智能检测系统联网，组成巨型智能检测网络。

现代检测仪器还可以与其他非检测性网络连接，获得其他系统的信息，为其他系统提供现代检测仪器的观测、估计、判断与决策结果。

1.2 误差的概念

1.2.1 什么是误差？

在检测过程中，由于所选用的仪表的精确度有限、实验手段不够完善、环境中存在各种干扰因素，以及检测技术水平的限制等原因，必然使测量值和真实值之间存在一定的差值，这个差值称为测量误差。由于误差自始至终存在于一切科学实验和检测之中，被检测量的真值永远是难于得到的，这就是误差公理。

对检测过程中出现的误差进行研究，不论在理论上还是在实践中都有现实的意义。例如：

① 能合理确定检测结果的误差。

② 能正确地认识误差的性质，分析产生误差的原因，采取措施，达到减少误差的目的。

③ 有助于正确处理实验数据，合理计算测量结果，以便在一定的条件下得到最接近于真实值的最佳结果。

④ 有助于合理选择试验仪器、测量条件及测量方法，以便能在较经济的条件下得到预期的结果。

1.2.2 误差的表示方法

在实际检测中，检测误差的表示方法有多种，最常用的是绝对误差、相对误差和引用误差。

1. 绝对误差

检测的绝对误差可用下面的误差基本公式来定义：

$$\Delta = X - X_0 \quad (1.1)$$

式中 Δ ——绝对误差；

X_0 ——被测量的真值；

X ——测量值。

一般情况下，被测量的真值 X_0 是未知的，所以误差也是未知的，但在下面几种情况下真值是可行的：

① 理论真值。例如，平面三角形的内角之和恒为 180° 。

② 计量学约定真值。国际计量大会的决议已定义了长度、质量、时间、电流强度、热力学温度、发光强度及物质的量七大基本单位。凡是满足有关规定条件复现出的数值即为计量学约定真值。

③ 标准仪器的相对真值。在有些情况下，可以认为高一级标准仪器的测量值是低一级标准仪器或普通仪器的测量值之相对真值。

绝对误差不能很好地说明检测结果的好坏。例如，温度测量的绝对误差 $\Delta = 1^\circ\text{C}$ ，这对于人体温度测量来说，其误差过大，而对于钢水温度测量来说，则是目前尚达不到的最佳测量结果了。然而，绝对误差说明了检测值偏离真值的大小，它能够说明检测的精确度，因而它一般适用于检测系统的校准。

2. 相对误差

被测量的绝对误差与其真值之比，称为相对误差，一般用百分数表示为：

$$\delta = \frac{\Delta}{X_0} \times 100\% \quad (1.2)$$

式中 δ ——相对误差；

Δ ——绝对误差；

X_0 ——被测量的真值。

相对误差表示法与绝对误差表示法相比，最突出的优点是能够更好地说明检测结果的好坏。

1.2.3 误差的类型

由于各种客观及主观原因，任何测量过程都必然存在误差，根据检测误差的性质及产生的原因，检测误差分为以下三类。

1. 系统误差

在同一条件下，多次重复检测同一量时，误差的大小和符号保持不变或按一定规律变化，这种误差称为系统误差。

系统误差主要是由于检测装置本身在使用中变形或未调到理想状态、电源电压下降等原因所造成的有规律的误差，一般可通过实验或分析的方法查明其产生的原因，因此，它是可以预测的，也是可以消除的。系统误差的大小表明检测结果的准确度。

2. 随机误差

在同一条件下，多次重复检测同一量时，误差的大小、符号均无规律地变化，这种误差称为随机误差。

随机误差是由很多复杂因素，如电磁场的微变、零件的摩擦和间隙、热起伏、空气扰动、气压及湿度的变化等对检测值的综合影响所造成的，它不能用修正或采取某种技术措施的办法来消除。

应该指出，在任何一次检测中，系统误差与随机误差一般都是同时存在的，而且两者之间并不存在绝对的界限。随着人们对误差来源及其变化规律认识的加深，就有可能把以往认识不足而归为随机误差的某项误差明确为系统误差；反之，当认识不足、测试条件有限时，也常把系统误差当作随机误差，并在数据上进行统计分析处理。

3. 粗大误差

粗大误差是一种显然与实际值不符的误差。例如，测错、读错、记错以及实验条件未达到预定的要求而匆忙实验等，都会引起粗大误差。含有粗大误差的检测值称为坏值或异常值，在处理数据时，应剔除掉。这样，在检测中要估计的误差就只有系统误差和随机误差两类。

误差的来源是多方面的，例如，检测用的工具（仪器、量具等）不完善（称为工具误差）；测试的设备和电路的安装、布置、调整不完善（称为装置误差）；检测方法本身的理论依据不完善（称为方法误差）；检测环境如温度、湿度、气压、电磁场等的变化（称为环境误差）；甚至检测人员生理上的最小分辨力、反应速度（称为人员误差）等。在检测中，有时是几种误差来源共同起作用，并且一个具体的误差，往往既可归入这一类，也可归入另一类。

1.3 检测系统的性能指标

1.3.1 检测系统的静态特性及其参数与性能指标

1. 静态特性参数

表示检测系统静态特性的参数主要有零点偏移量、灵敏度、分辨力和量程等。

(1) 零点偏移量

零点偏移量是指，当输入量为零时（ $x=0$ ）检测系统输出的数值。该数值一般可以采用“迁移”或“设置”等方法将零点调整为零或某个常量。例如，某些变送器的标准输出信号就是将电流值 4 mA 定为零点位置，表示输出电流值 4 mA 时的输入量为零。

(2) 灵敏度

灵敏度是描述检测系统输出量对于输入量变化的反应能力，由输出变化量与输入变化量之比来表示，即：

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx} \quad (1.3)$$

式中 K ——灵敏度；

Δy ——输出变化量；

Δx ——输入变化量。

当静态特性为直线时，其斜率即为灵敏度，且为常数。如果输入与输出的量纲相同，则灵敏度无量纲，常用“放大倍数”代替灵敏度一词。当静态特性是非线性特性时，灵敏度不是常数。

注意，检测范围越窄，灵敏度选择得越高时，检测系统的稳定性就会越差。因此，应合理选择检测系统的灵敏度。

(3) 分辨力

分辨力表征检测系统能够有效辨别最小输入变化量的能力。对于由数字显示的检测系统，其分辨力是指当最小有效数字增加一个数字时，相应示值的改变量。

(4) 量程

量程表征检测系统能够有效检测最大输入变化量的能力，其数值是检测系统示值范围上、下限之差的模。当被测输入量在量程范围以内时，检测系统可以在预定的性能指标下正常工作；当被测输入量超越了量程范围，检测系统的输出就可能出现异常。

一般来说，量程小的检测系统，其灵敏度就高，分辨力就强。量程大的检测系统，其灵敏度就低，分辨力就差。所以，应根据检测任务的具体要求选择合适的静态特性参数。

另外，检测系统的输出不仅取决于输入量，还取决于环境的影响。环境温度、大气压力、相对湿度以及电源电压等都可能对系统的输出造成影响。例如，环境的变化将或多或少地影响某些静态特性参数，如改变了检测系统的灵敏度或使系统产生零点漂移，这将改变检测系统的实际工作曲线。

因此，为了减小检测误差，提高检测准确度，有必要采取一定的措施来降低或消除环境

因素的影响。常采用的方法有隔离法、补偿法、高增益负反馈和计算机修正补偿等方法。

2. 静态特性的性能指标

表示检测系统静态特性的性能指标有滞差、重复性、线性度、准确度、稳定性、影响系数和输入/输出电阻等。

(1) 滞差

滞差是滞后误差的简称，亦称“滞后量”或“滞环”，反映了系统的输出对于输入的某种滞后现象。也就是说，当输入由小变大再由大变小时，对应同一输入值会得到大小不同的输出值，其输出值的最大差值就叫做滞差，滞差值用引用误差形式表示，即输出最大差值除以满量程输出的百分数：

$$\delta_H = \frac{|\Delta y_{HM}|}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1.4)$$

式中 δ_H ——滞差；

$|\Delta y_{HM}|$ ——同一输入量按正反两个方向（正反行程）变化所对应输出量的最大差值；

Y_{FS} ——检测系统的量程。

产生滞差的原因可归纳为系统内部各种类型的磨擦、间隙以及某些机械材料（如弹性元件）和电、磁材料（如磁性元件）的滞后特性。

(2) 重复性

重复性反映了检测系统的输入量按同一方向做全量程多次变化时，静态特性不一致的程度，可用引用误差形式表示：

$$\delta_R = \frac{|\Delta y_{RM}|}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1.5)$$

式中 δ_R ——重复性；

$|\Delta y_{RM}|$ ——同一输入量按同一方向（正或反行程）变化所对应输出量的最大差值。

(3) 线性度

线性度又称“直线性”，表示检测系统静态特性对选定的拟合直线 $y = B + kx$ 的接近程度。用非线性引用误差形式表示：

$$\delta_L = \frac{|\Delta y_{LM}|}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1.6)$$

式中 δ_L ——线性度；

$|\Delta y_{LM}|$ ——静态特性与选定的拟合直线的最大拟合偏差。

由于拟合直线确定的方法不同，则非线性引用误差表示的线性度也就会不同，目前常用的有理论线性度、平均选点线性度、最小二乘法线性度等。

(4) 准确度

检测系统的准确度，俗称精度，其定量描述方法有以下几种：

① 用准确度等级指数来表征。准确度等级指数 a 的百分数所表示的相对值代表允许误

差的大小， α 值越小，表示准确度越高。

② 用不确定度来表征。不确定度由不确定度分析报告给出，一般有以下 8 项内容：

- 检测方法 简述检测方法和过程。
- 数学模型 建立被检测量与各个影响量的数学关系。
- 方差和传播系数 建立合成标准不确定度与各方差及其传播系数的关系式。
- 标准不确定度一览表 将各分量标准不确定度的符号、来源、数值、传播系数、合成标准不确定度分量、自由度等列成表。
- 计算各个分量 计算并说明获得每个分量数值所使用的方法和依据。
- 合成标准不确定度。
- 计算有效自由度并确定覆盖因子。
- 计算扩展不确定度。

③ 用简化表示方法。对于一些国家标准未规定准确度等级指数的产品，在说明书中常用“精度”作为一项技术指标来表征产品的准确程度。通常，精度由滞差、重复性和线性度计算值的总和表示。

(5) 稳定性

稳定性是指在规定的工作条件下和规定的时间内，系统性能保持不变的能力。例如，稳定性表示为 $0.25 \text{ mV}/24 \text{ h}$ ，是指在输入保持不变的情况下，24 小时内输出变化不超过 0.25 mV ，如果满量程输出为 1 mV ，即表示 24 小时内不超过 0.25% 满量程输出。

(6) 影响系数

工作环境影响包括温度、大气压、振动以及电源电压、频率等外部状态变化。一般检测系统都有给定的标准工作条件，如环境温度 20°C 、相对湿度 65% 、大气压力 101.26 kPa 、电源电压 220 V 等。由于实际工作中难以达到这个要求，故又规定了标准工作条件的允许变化范围，如环境温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(65 \pm 10)\%$ 、电源电压 $(220 \pm 10) \text{ V}$ 等。实际工作条件偏离标准工作条件时，对检测系统的影响可用影响系数表示，影响系数即指示值变化与影响量变化的比值。例如， $2.2 \times 10^{-2}/^\circ\text{C}$ 表示温度变化 1°C 引起指示值变化 2.2×10^{-2} （引用误差）。

(7) 输入/输出电阻

对于输入/输出电阻的要求是：当检测系统作为中间环节，前级是传感器，后级是其他应用系统时，其输入电阻越大越好，输出电阻越小越好。这样可减小对前一级的影响并提高带负载的能力。

1.3.2 检测系统的动态特性及其性能参数

当被测对象处于动态时，也就是当检测系统的输入信号随时间变化时，检测系统的输入与输出之间的关系称为动态特性，它反映了系统检测动态信号的能力。

1. 检测系统的动态数学模型

检测系统的动态特性可用数学模型来描述，主要有三种形式：时域中的微分方程，复频