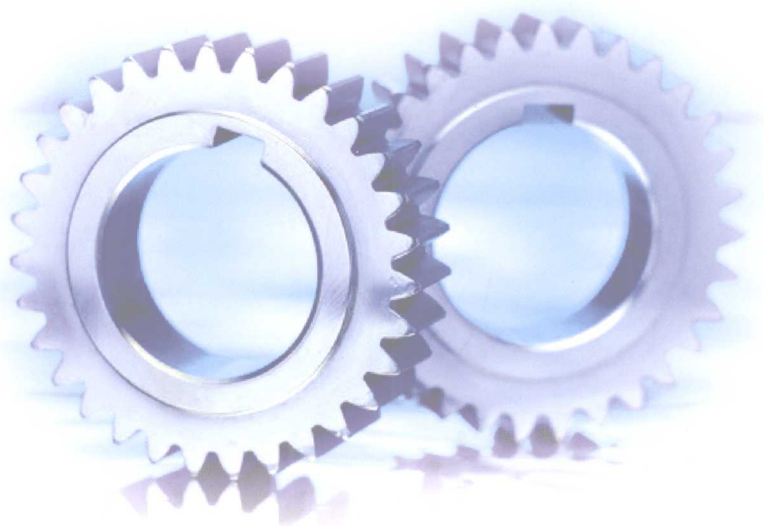


机 电 一 体 化 技 术

测试技术

刘晓彤 编



机电一体化技术

测试技术

刘晓彤 编

附录(9C) 目录附录在图

8002, 并编出零件, 第11 附录附录 附录附录

(附录附录) 附录

附录

附录

附录

附录 附录

附录 附录 附录 附录 附录 附录

科学出版社

300.85 : 附录

附录 附录 附录 附录 附录 附录

内 容 简 介

本书从实用的角度出发,以被测物理量为研究对象,系统地阐述了机械工程中常见各种机械参量的测试方法、各种传感器的工作原理以及典型应用。全书共九章。测试装置的基本特性、传感器基础讲述的是测试技术的基础理论。应用技术部分,分别介绍了应变、力、扭矩、位移、位置、物位、振动、速度、转速、压力、流量、温度等机械参量的各种测试方法、测试原理及其在工业生产和日常生活中的测试实例。最后介绍了计算机测试系统的相关知识。

本书根据应用型教育的特点,着重叙述各种参量的基本测试原理、各种测试方法、测试系统的构成和应用实例。本书适用于高等工科院校机械类和机电一体化类专业学生使用,也可供从事工程测试技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

测试技术/刘彤彤编. —北京:科学出版社,2008

(机电一体化技术)

ISBN 978-7-03-023033-1

I. 测… II. 刘… III. 技术测量 IV. TG806

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 144249 号

责任编辑:杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:郝晓燕

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 10 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008 年 10 月第一次印刷 印张: 12 3/4

印数: 1—4000 字数: 241 000

定 价: 28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前言

随着现代科学技术的不断发展,测试技术这一学科迅速地发展起来。目前,在现代制造业最具代表性的产品中,测试技术已成为不可缺少的重要组成部分。

本书以培养学生从事实际测试工作的基本能力和基本技能为目的,将理论知识的讲解与实际应用相结合。在理论知识的讲解上以必需、够用为度,注重讲解与工程测试有关的应用实例。本书在内容安排上从实用性的角度出发,以被测物理量为主线,通过对物理量的分析,引出测试方法、各种传感器的工作原理以及典型应用实例。通过本书的学习,学生能够对测试方法和测试过程有一个完整的认识,并能够针对常见的机械量正确地选用传感器,搭建测试系统,完成测试任务。

本书的特点是,以测试技术的基础知识作为切入点,以技术应用为重点,内容丰富且精炼,图文并茂,内容表达通俗易懂。强调理论知识和工程应用的结合,着重培养学生应用所学知识分析问题、解决问题的能力。

全书共9章,第1章测试装置的基本特性,第2章传感器基础,第3章应变、力和扭矩的测试,第4章位移、位置和物位的测试,第5章机械振动的测试,第6章速度和转速的测试,第7章压力与流量的测试,第8章温度的测试,第9章计算机测试系统。在本书每章后面都安排了一定的思考与练习题,其中一些练习题是让学生结合各章所学知识,自己设计一个简单的测试系统,目的是培养学生理论联系实际、灵活运用所学理论知识的能力,并以此调动学生的主观能动性,激发学生的学习兴趣。在本书各章中插入了许多图片,目的是使学生对传感器和测试方法有一个直观的认识,为日后的应用打下良好的基础。

本书在编写过程中得到科学出版社的大力支持和帮助,得到了学院有关老师的指点和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在一些问题和不妥之处,恳请专家与读者批评指正。

编 者

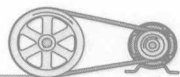


目 录

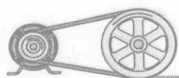
绪 论	1
0.1 测试技术的基本概念和作用	1
0.2 测试方法和测试系统的组成	3
0.2.1 测试方法	3
0.2.2 测试系统的组成	4
0.3 测试技术的发展	5
第 1 章 测试装置的基本特性	7
1.1 线性系统及其主要性质	7
1.2 测试装置的静态特性	8
1.2.1 灵敏度	8
1.2.2 线性度	9
1.2.3 回程误差	10
1.2.4 测量范围和量程	10
1.2.5 分辨力和分辨率	10
1.3 测试装置的动态特性	10
1.3.1 传递函数	11
1.3.2 频率响应函数	11
1.3.3 一阶、二阶系统的频率响应函数	12
1.4 实现不失真测试的条件	16
1.5 负载效应	18
1.5.1 负载效应	18
1.5.2 减轻负载效应的措施	18



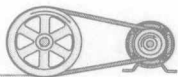
1.6 测试系统的干扰和抗干扰	19
1.6.1 干扰的类型	19
1.6.2 抗干扰的方法	20
思考与练习	23
第2章 传感器基础	25
2.1 传感器的作用	25
2.2 传感器的分类与组成	25
2.2.1 传感器的分类	25
2.2.2 传感器的组成	27
2.3 传感器的标定与校准	27
2.3.1 概 述	27
2.3.2 传感器的静态标定	28
2.3.3 传感器的动态标定	28
2.3.4 传感器的校准	29
2.4 传感器的选用	29
2.4.1 性能指标	29
2.4.2 测试方法	31
2.4.3 使用环境条件	31
2.4.4 其 他	31
思考与练习	33
第3章 应变、力和扭矩的测试	35
3.1 应变的测试	35
3.1.1 电阻应变片的工作原理	35
3.1.2 测量电路——电桥	38
3.1.3 应变片的选择	44
3.1.4 应变片的粘贴	44
3.1.5 试件上的布片与接桥	45
3.1.6 提高应变测试精度的措施	46
3.2 力的测试	47



3.2.1 测力传感器	47
3.2.2 测力装置	51
3.2.3 称重及电子称重装置	55
3.3 扭矩的测试	59
3.3.1 扭矩及其测试方法	59
3.3.2 扭矩测试装置	60
思考与练习	65
第4章 位移、位置和物位的测试	67
4.1 常用位移传感器	67
4.1.1 电感式传感器	67
4.1.2 电容式传感器	78
4.1.3 应变式位移传感器	83
4.2 位移的测试	84
4.2.1 电容式测厚仪	84
4.2.2 电感式轮廓仪	85
4.2.3 电感式滚柱直径分选装置	85
4.2.4 电感式仿形机床	86
4.2.5 超声波测厚仪	87
4.2.6 电容式振动计	87
4.3 位置的测试	88
4.3.1 开关类传感器	88
4.3.2 开关类传感器应用实例	91
4.4 物位的测试	92
4.4.1 概述	92
4.4.2 压力法	93
4.4.3 浮力法	95
4.4.4 电容法	96
4.4.5 物位测试应用实例	97
思考与练习	99



第 5 章 机械振动的测试	101
5.1 概 述	101
5.1.1 振动测试的意义	101
5.1.2 振动测试的内容	102
5.2 测振传感器	102
5.2.1 压电式加速度传感器	103
5.2.2 磁电式速度传感器	108
5.2.3 选择测振传感器的原则	110
5.3 振动的激振和激振器	111
5.3.1 振动的激振方法	111
5.3.2 激振器	112
5.4 振动测试实例	115
5.4.1 机械运行状态监测及故障诊断	115
5.4.2 玻璃破碎报警器	116
5.4.3 小轿车乘坐舒适性试验	117
5.4.4 机床空运转试验	117
5.4.5 固有频率和阻尼比的测定	119
5.4.6 机械阻抗的测试	121
思考与练习	126
第 6 章 速度和转速的测试	127
6.1 概 述	127
6.2 速度的测试	127
6.2.1 速度的测试方法	127
6.2.2 多普勒测速	128
6.2.3 相关法测速	130
6.3 转速的测试	132
6.3.1 模拟式转速测试系统	133
6.3.2 数字式转速测试系统	135
6.3.3 转速测试传感器	136
6.3.4 同步式转速测试系统	144



思考与练习	145
第 7 章 压力和流量的测试	147
7.1 压力的定义、单位及表示方法	147
7.2 压力的测试	148
7.2.1 常用压力敏感元件	148
7.2.2 压力测试传感器	149
7.2.3 压力传感器的选用	155
7.3 流量的测试	155
7.3.1 流量的概念和测试方法	156
7.3.2 流量测试传感器	157
7.3.3 非接触式流量测试法	161
思考与练习	163
第 8 章 温度的测试	165
8.1 热电偶传感器	166
8.1.1 热电偶传感器的工作原理	167
8.1.2 热电偶的基本定律	167
8.1.3 热电偶的结构	169
8.1.4 热电偶的材料	170
8.1.5 热电偶的温度补偿	170
8.1.6 热电偶的应用	171
8.2 热电阻传感器	172
8.2.1 热电阻传感器的工作原理	172
8.2.2 金属热电阻	173
8.2.3 半导体热敏电阻	174
8.3 其他测温传感器	176
8.3.1 PN 结温度传感器	176
8.3.2 集成温度传感器	177
8.3.3 红外线温度传感器	179
思考与练习	179



第 9 章 计算机测试系统	181
9.1 计算机测试系统概述	181
9.1.1 计算机测试系统的基本结构	181
9.1.2 接口技术简述	182
9.1.3 总线技术简述	182
9.2 虚拟仪器	183
9.2.1 虚拟仪器的概念	183
9.2.2 虚拟仪器的特点	184
9.2.3 虚拟仪器的形式	184
9.2.4 虚拟仪器的基本组成	185
9.2.5 Labview 简介	185
9.2.6 Labview 虚拟测试系统应用举例	186
参考文献	189
附 录	191



绪 论

0.1 测试技术的基本概念和作用

测试是人类认识客观世界和改造客观世界的不可缺少的重要手段。测试技术是人们借助专门的工具,对研究对象进行测量和试验,取得定量信息和定性信息的过程。实际上测试技术就是利用各种物理效应,选择合适的方法与装置,将生产、科研、生活中的有关信息,通过测量和试验手段进行定性的了解和定量的分析所采取的一系列技术措施。

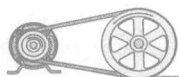
自然科学的产生与发展离不开测试技术。科学技术的进步是与测试方法、测试技术的不断完善分不开的。只有借助于测试技术,人们才有可能发现、掌握自然界中的规律,并利用这些规律为人类服务。

现代科学技术的发展与测试技术息息相关,特别是科学技术迅猛发展的今天,在机械工程、电子通信、交通运输、军事技术、空间技术等许多领域都离不开测试技术。

1. 测试技术在工业测试和自动控制系统中的应用

在机械、化工、电力、石油、钢铁等工业生产中有许多工艺参数需要及时测试。如机械制造行业中,通过对机床的许多静态、动态参数如工件的加工精度、切削速度、床身振动等进行在线测试,目的是为了控制加工质量。在化工、电力、石油等行业中,要随时对生产工艺过程中的温度、压力、流量、转速、振动等多种参数进行自动测试,以保证生产过程能够正常、安全地进行。

测试技术也是自动控制系统不可缺少的重要组成部分。在各种自动控制系统中,测试环节起着系统感官的作用。要实现有目的的控制,就需要先通过测试获取有关信息,然后才能运用分析处理设备,对测得信息进行分析判断,以便实现自动



控制。

2. 测试技术在汽车中的应用

从目前来看,测试技术在汽车上的应用,不只限于测试行驶速度、行驶距离、发动机旋转速度以及燃料剩余量等有关参数,还应用在一些新的设备中,如汽车安全气囊、防滑控制系统、防盗、排气循环、电子变速控制、电子燃料喷射等。美国为实现汽车的自动化,曾在一辆汽车上安装了 90 多只传感器以测试不同的信息。

3. 测试技术在国防科研、航空航天中的应用

在国防科研中,测试技术用得更多,许多尖端的测试技术都是因国防工业需要而发展起来的。例如,在飞机、火箭等飞行器上,要使用多个传感器对飞行速度、加速度、飞行距离、飞行轨迹、飞行姿态以及发电机工作状况等进行测试;在研究飞机的强度时,就要在机身、机翼上贴上几百片应变片并进行动态测试。

在我国神州飞船上,安装有 185 台(套)仪器装置,用于对速度、加速度、温度、压力、振动、流量、应变、声学、位置等进行监测。

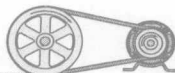
4. 测试技术在日常工作和生活中的应用

近年来,随着家电工业的兴起,测试技术也进入了人们的日常生活中。现代家庭中空调器、电冰箱、洗衣机、电子厨具、电子热水器、安全报警器等都用到了测试技术。例如,全自动洗衣机中就需要对衣物重量、衣质、水温、水质、透光率(洗净度)、液位以及衣物烘干等进行测试。另外在办公机械、医疗器械上也应用了许多先进的测试技术。

在家电产品、办公自动化产品和医疗器械等的设计中,人们应用大量的测试技术和传感器,就是为了提高产品性能、质量、自动化程度和智能化程度。

由此看来,测试技术已广泛地应用于工农业生产、科学研究、国内外贸易、国防建设、交通运输、医疗卫生、环境保护和人民生活的各个方面,发挥的作用越来越大,已成为国民经济发展和社会进步的一项必不可少的重要基础技术。

测试技术达到的水平越高,提供的信息越丰富、越可靠,科学研究和生产技术取得突破性进展的可能性就越大。从另一方面看,现代化生产和科学技术的发展也不断地对测试技术提出新的要求和课题,促进了测试技术向前发展。科学技术的新发现和新成果不断应用于测试技术中,有力地促进了测试技术的现代化。



0.2 测试方法和测试系统的组成

0.2.1 测试方法

测试是为了获取研究对象中的有用信息,测试方法是实现测试过程所用的具体方法。

根据测试时被测量具有的不同特征,测试方法有许多种分类。

1. 静态测试和动态测试

这两种测试方法是根据被测物理量的特征来划分的。

静态测试是指被测物理量不随时间变化或随时间变化非常缓慢,以至于可以忽略。例如,工件几何尺寸的测试。

动态测试是指被测物理量随时间快速变化。例如,机械振动的测试。本书主要讲述动态测试。

静态与动态是相对的,可以把静态测试看作动态测试的一种特殊形式。动态测试的误差分析比静态测试要复杂。

2. 直接测试和间接测试

直接测试是用预先标定好的测试仪表,对某一未知量直接进行测试,得到测试结果。例如,用压力表测试压力,用游标卡尺测出轴径的大小等。直接测试的优点是简单而迅速,所以广泛应用在工程上。

间接测试是对几个与被测物理量有确切函数关系的物理量进行直接测试,然后把所得的数据代入关系式中进行计算,从而求出被测物理量。例如,温度的测试是借助一些材料或元件的性能随温度而变化的特性,通过测试该性能参数而间接得到被测温度。

3. 接触测试和非接触测试

这两种测试方法是根据测试装置与被测对象是否有接触来划分的。

接触测试是指测试时,仪器的敏感元件与工件表面直接接触,并有机机械作用的测试力。测试力的存在将引入接触变形,带来测量误差。

非接触测试是指测试时,仪器的敏感元件与工件表面不直接接触,因而没有机械作用的测试力。可利用光、气、磁等物理量关系使敏感元件与工件建立联系。如用光电转速表测试转速。非接触测试不干扰被测对象,测试更加方便、准确。



4. 非电测法和电测法

两者的差别在于测试回路中是否需要电源。如用百分表测试轴的径向跳动,用天平称重都属于非电测法。

在现代测试技术中普遍使用电测法来测试非电量。广泛采用非电量电测法的原因是电测法灵敏度高,测试精度高,特别是用于动态测试,可以实现远距离测试和控制,便于与计算机连接实现测试过程的自动化。非电量的电测法是将各种被测非电物理量通过传感器转换成电量,再由后续仪器进行分析处理,实现测试。如用电容传感器测试轴的径向跳动,用电子秤称重都属于非电量的电测法。本书重点介绍非电量电测法的相关知识。

0.2.2 测试系统的组成

由完成测试过程中各环节的专用设备组成的系统通常称为测试系统。

一个完整的非电量电测系统或测试装置通常是由传感器、信号处理电路和显示器、记录仪、数据处理装置等部分组成,分别完成信息获取、转换、显示和处理等功能。图 0.1 给出了测试系统的组成框图。



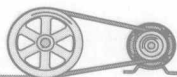
图 0.1 测试系统的组成框图

1. 传感器

传感器是测试系统实现测试的第一环节,它是测试系统的信号拾取部分,作用是感受被测量并将其转换成电信号输出。如将机械位移量转换成电阻、电容或电感等参数的变化,又如将振动或声音信号转换成电压或电荷的变化。

2. 信号处理电路

又称测量电路或中间变换电路,用来对传感器所送出的信号进行加工,作用是把传感器输出的微弱信号变成具有一定功率的电压、电流或频率信号,以满足显示记录装置的要求。如将阻抗的变化转换成电压或电流的变化,或将信号进行放大、调制与解调、滤波、阻抗匹配以及转换成数字信号等,使得传感器的输出信号可以进一步驱动显示记录装置和控制器,或将信号送入计算机中进行处理。



应当注意的是,测量电路的类型和结构有多种,不同的传感器所要求配用的测量电路经常具有自己的特色。

3. 显示、记录部分

显示、记录部分的作用是将信号处理电路输出的被测信号转换成人们可以感知的形式,如指针的偏转、数码管的显示、荧光屏上的图像等,还可将此电信号记录在适当的介质上,如磁带、记录纸等,以提供人们观测和分析。

常用的显示器有:模拟显示器、数字显示器、图像显示器等。记录仪主要用来记录被测量随时间变化的曲线。常用的记录仪有:笔式记录仪、光线示波器、磁带记录仪、快速打字机等。

随着生产的发展和技术的进步,特别是计算机技术在信号处理中的广泛应用,近些年来已经将计算机引入到测试系统中,构成了计算机化的测试系统。计算机测试系统,是将温度、压力、流量、位移、速度、加速度等模拟量采集、转换成数字量后,再由计算机进行存储、处理、显示或打印的过程。由于计算机对信号采集和处理具有速度快、存储方便、信息量大、成本低等优点,所以计算机测试系统得到了迅速的发展与应用。

图 0.2 给出了计算机测试系统的基本组成框图。

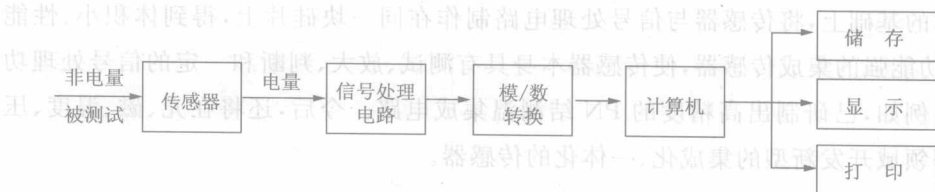


图 0.2 计算机测试系统的组成框图

0.3 测试技术的发展

测试技术虽然已经得到了广泛的应用,但是随着科学技术的发展,对测试技术提出了更高的要求。除了不断提高精度、提高可靠性、扩大应用领域以外,总的趋势是向着一体化、集成化、智能化等方向发展。测试技术的发展主要表现在以下几个方面。

1. 测试系统的测试精度和可靠性的不断提高

随着科学技术的不断发展,对测试系统测试精度的要求也相应地在提高。近年来,人们研制出许多高精度的测试仪器以满足各种需要。例如,用直线光栅测试



直线位移时,测量范围可达二三十米,而分辨力可达微米级。人们已研制出能测试小至几十帕的微压力和大到几千兆帕高压的压力传感器,开发了能够测出极微弱磁场的磁敏传感器。测试系统和仪表的可靠性对其质量来说是一个重要指标,人们很早就对传感器的可靠性和故障率的数学模型进行了大量的研究,使得测试系统的可靠性及寿命大幅提高。目前人们正在不断努力进一步提高测试系统的各项性能指标。

2. 新技术和新的物理效应的应用

测试原理大多以各种物理效应为基础,人们根据新原理、新材料和新工艺研究所取得的成果,研究生产出更多品质优良的新型传感器。近代物理学新的成就如激光、红外、超声、微波、光纤、放射性同位素等,也成为测试技术的物理基础。另外,代替视觉、嗅觉、味觉和听觉的各种仿生传感器和测试超高温、超高压、超低温和超高真空等极端参数的新型传感器,开拓了测试技术的应用领域,加快了测试技术的蓬勃发展。

3. 集成化、一体化的传感器的发展

由于测试系统中的传感器和测量电路是分开的,常会受到各种干扰信号的影响。随着超大规模集成电路技术的发展,人们研制出了一种传感器,就是在半导体技术的基础上,将传感器与信号处理电路制作在同一块硅片上,得到体积小、性能好、功能强的集成传感器,使传感器本身具有测试、放大、判断和一定的信号处理功能。例如,已研制出高精度的PN结测温集成电路。今后,还将在光、磁、温度、压力等领域开发新型的集成化、一体化的传感器。

4. 计算机测试系统和虚拟仪器的应用

自从微处理器问世后,人们已逐渐将计算机技术应用到测试系统中,构成了计算机测试系统,使测试仪器智能化、自动化,从而扩展了功能,提高了精度和可靠性。

虚拟仪器概念的引入使传统仪器仪表的面貌发生了巨大的变化。“软件就是仪器”已成为现实。应用图形化编程语言 Labview、Labwindows、CVI、VEE 等开发软件,用户可以自己定义自己的仪器,方便地创建仪器的软面板,或通过 VXI、PXI、PCI 仪器总线自由地将各测试模块组成完整的测试系统,或将 RS232、GPIB 等接口的仪器自由组合起来,从而大大扩展了仪器的功能,节省了大量的硬件资源。

由此看来,计算机测试系统及由其进一步发展而来的智能仪器仪表和虚拟仪器等现代测试技术已成为测试技术的主要发展趋势。



第1章

第1章

测试装置的基本特性

在进行物理量的测试时,首先遇到的问题就是选择测试装置。为了正确地描述或反映被测的物理量,使测试装置的输出信号和输入信号之间的差别最小,就必须对测试装置的基本特性有一定的认识。

所谓测试装置的基本特性是指测试装置对其输入量的影响,通常用测试装置的输入和输出之间的关系来描述。

测试装置的基本特性包括静态特性和动态特性。当被测量为恒定值或为缓慢变化的信号时,通常只考虑测试装置的静态性能,而当对快速变化的量进行测试时,就必须全面考虑测试装置的动态特性和静态特性。只有当其满足一定要求时,才能从测试装置的输出中正确分析、判断其输入的变化,从而实现不失真测试。

1.1 线性系统及其主要性质

对于测试装置来讲,希望最终得到的输出信号能够确切的反映被测输入信号,这是一种理想情况。理想的测试装置应当是线性系统。

线性系统的输入 $x(t)$ 和输出 $y(t)$ 之间的关系可用下列微分方程来描述:

$$\begin{aligned}
 & a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) \\
 & = b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx(t)}{dt} + b_0 x(t)
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

式中,若 $a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0$ 和 $b_m, b_{m-1}, \dots, b_1, b_0$ 均由系统物理参数所决定而与时间无关,则该方程所描述的系统称作常系数线性系统,也称为时不变线性系统。

线性系统有许多有用的性质,下面介绍其中两个重要性质。