

高等教育“十三五”规划教材



安全检测技术

李雨成 刘尹霞 主编

Anquan Jiance Jishu

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

”规划教材

安全检测技术

主 编	李雨成	刘尹霞		
副 主 编	耿晓伟	李晓伟	张学博	
	宋佰超	赵 丹		
参编人员	毕秋苹	刘天奇	郑 义	赵晓涛
	黄 旭	沙 迪	李俊桥	富健涛
	郑 强	刘蓉蒸	刘宗桃	

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了安全检测基础知识、技术原理以及检测方法。全书分为10章。其中,第一至四章介绍了安全检测基础知识、生产工艺参数检测、环境与灾害参数检测、生产装置安全检测;第五章介绍了矿井气体参数及成分检测;第六章介绍了矿井通风阻力测定方法;第七章系统介绍了煤矿主要通风机性能检测方法;第八至十章介绍了粉尘检测、煤自燃检测及煤尘爆炸检测技术。为方便读者学习和复习每章节内容,编者在每章节均加入思维导图和相应的配套习题。

本书可以作为高等院校相关专业本科生和硕士研究生的专业教材或教学参考书,也可以作为安全管理和安全技术人员的实用参考书。

图书在版编目(CIP)数据

安全检测技术 / 李雨成, 刘尹霞主编. —徐州:
中国矿业大学出版社, 2018. 6
ISBN 978 - 7 - 5646 - 4027 - 9

I. ①安… II. ①李… ②刘… III. ①安全监测—技
术—教材 IV. ①X924. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 139711 号

书 名 安全检测技术
主 编 李雨成 刘尹霞
责任编辑 满建康
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 24 字数 600 千字
版次印次 2018年6月第1版 2018年6月第1次印刷
定 价 39.80 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

当前,我国正处于经济的转型期,安全生产形势十分严峻,煤矿透水、瓦斯爆炸、油气泄漏、火灾、地震等各种灾难性事故频频发生,由此造成的重大安全事故和因各种事故死亡的人数触目惊心,对人民群众的生命财产也造成重大损失。

随着科学技术的飞速发展,新技术、新材料、新工艺不断出现并被及时地应用于生产活动和人们的日常生活中,由此也不可避免地引发出各种安全问题。为了发现、检查、预测、排除和防止各种安全隐患,就必须对各种危险、有害因素进行安全检测,因此,很有必要充分认识安全检测技术的重要性,认真开展安全检测技术的研究,切实提高安全检测的技术水平,为有效发现事故隐患、预防和控制特大事故的发生、保障国民经济的持续稳定发展起到其应有的作用。

安全检测技术是一门多学科交叉的技术科学,理论与工程技术相结合,涉及内容非常广泛。我们结合多年从事安全检测技术教学和科研工作的经验编写了本书。本书系统地阐述了安全检测基础知识、生产工艺参数的检测、环境与灾害参数的检测、生产装置的安全检测、矿井气体参数及成分检测、煤矿主要通风机性能检测、矿井通风阻力测定、粉尘检测、煤自燃检测及煤尘爆炸检测技术。为了方便读者学习和复习,在每章节均加入了思维导图和相应的配套习题。

本书由辽宁工程技术大学、中国矿业大学、河南理工大学及呼伦贝尔学院共同完成。辽宁工程技术大学李雨成和刘尹霞提出本书选题、担任主编并组织编写和统稿。全书共10章,其中第一章和第四章由辽宁工程技术大学李雨成、刘尹霞和耿晓伟共同编写,第二章和第三章由辽宁工程技术大学赵丹和呼伦贝尔学院宋佰超共同编写,第五章由河南理工大学张学博编写,第六章由呼伦贝尔学院宋佰超和辽宁工程技术大学赵丹编写,第七章由辽宁工程技术大学李雨成、呼伦贝尔学院宋佰超和辽宁工程技术大学赵丹编写,第八章、第九章由中国矿业大学李晓伟编写,第十章由辽宁工程技术大学刘天奇和呼伦贝尔学院宋佰超编写。辽宁工程技术大学博士研究生毕秋苹、黄旭负责全书的校对和修改工作。辽宁工程技术大学硕士研究生郑义、赵晓涛、沙迪、李俊桥、富健涛、郑强、刘蓉蒸、刘宗桃等负责全书习题和思考题的编制以及文字录入和制图工作。

由于作者水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正,以使我们能够不断提高和完善。

编 者

2018年6月

目 录

第一章 安全检测基础知识	1
第一节 安全检测技术的发展和关键技术	1
第二节 安全检测的意义、目的和任务	4
第三节 检测信号分析基础	5
第四节 传感器基本知识	10
第二章 生产工艺参数检测	20
第一节 温度测量与仪表	20
第二节 压力测量与仪表	47
第三节 流量检测与仪表	67
第三章 环境与灾害参数检测	94
第一节 气体的检测	94
第二节 粉尘检测	106
第三节 噪声检测	111
第四节 火灾参数检测	121
第五节 防雷电安全检测	134
第六节 防静电安全检测	143
第四章 生产装置安全检测	152
第一节 超声检测	152
第二节 射线检测	158
第三节 红外检测	161
第五章 矿井气体参数及成分检测	167
第一节 矿井空气压力测定	167
第二节 矿井空气温度及湿度测定	176
第三节 矿井空气风速测定	180
第四节 氧气及二氧化碳浓度检测	187
第五节 一氧化碳浓度检测	192
第六节 硫化氢及二氧化硫浓度检测	197
第七节 氨气及氮氧化物浓度检测	199

第八节	瓦斯浓度检测	201
第九节	矿井瓦斯等级鉴定及煤与瓦斯突出鉴定	220
第六章	矿井通风阻力检测	226
第一节	自然风压	227
第二节	井巷通风阻力	230
第三节	矿井通风阻力测定基础	234
第四节	矿井通风阻力的测定方法	245
第五节	矿井总阻力、总风阻计算与误差处理	254
第六节	矿井通风阻力测定报告	260
第七章	煤矿主要通风机性能检测	261
第一节	矿用通风机类型及附属装置	262
第二节	主要通风机性能测定的理论依据和方法	270
第三节	通风机现场性能检测	278
第四节	检测数据分析与通风机实际特性曲线	287
第五节	通风机性能检测报告的编写	290
第八章	粉尘检测	295
第一节	粉尘概述	295
第二节	粉尘物理化学性质检测	298
第三节	粉尘浓度检测	305
第四节	粉尘粒度检测	321
第五节	游离二氧化硅含量检测	325
第六节	粉尘爆炸性检测	329
第九章	煤自燃检测	336
第一节	煤自燃概述	336
第二节	煤自燃倾向性检测	342
第三节	煤自然发火期检测	350
第四节	煤炭氧化自燃指标气体检测	353
第五节	工作面自燃“三带”测试	357
第十章	煤尘爆炸检测技术	363
第一节	煤尘爆炸概述	363
第二节	煤尘爆炸的相关检测技术	368
第三节	煤尘爆炸性影响参数的检测技术	372
参考文献		377

第一章 安全检测基础知识

☞ 教学目的

1. 掌握安全检测技术的发展和关键技术；
2. 了解并熟悉安全检测技术的定义、目的和任务。

☞ 教学重点

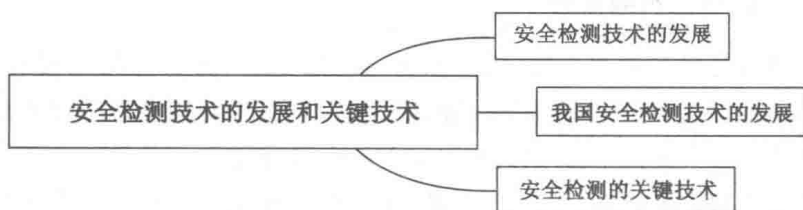
1. 检测信号的分类与处理；
2. 传感器的作用及分类；
3. 传感器的转换原理。

☞ 教学难点

1. 信号的频域分析；
2. 传感器的选用原则。

第一节 安全检测技术的发展和关键技术

【本节思维导图】



一、安全检测技术的发展

1815年,英国发明了第一项安全仪器——安全灯,它是利用瓦斯在灯焰周围燃烧时,根据火焰高度来测量瓦斯含量的简单仪器。由于它构造简单、性能可靠、使用寿命长,200多年来一直被沿用下来,至今仍在许多国家使用。随后,由于基础科学的发展和科学技术的进步,在石油、化工、制药、冶金、煤炭等工业生产中,陆续出现了利用光学原理、热导原理、热催化原理、热电效应、弹性形变、半导体器件、气敏元件等多种工作原理和不同性能元件的各类检测仪器,对影响生产安全的各种因素实现了不同程度的监测,并逐渐形成了不同种类的检(监)测仪器仪表。

20世纪50年代之后,由于电子通信和自动化技术的发展,出现了能够把工业生产过程

中不同部位的测量信息远距离传输并集中监视、集中控制和报警的生产控制装置,初步实现了由“间断”、“就地”检测到“连续”、“远地”检测的飞跃,由单体检测仪表发展到监测系统。早期的监测系统,其监测功能少、精度低、可靠性差、信息传递速度慢。20世纪80年代以来,随着电子技术和微电子技术的发展,特别是计算机技术的应用,实现了化工生产过程控制最优化和管理调度自动化相结合的分级计算机控制。对于检测仪器仪表和监测系统,无论其功能、可靠性和实用性都产生了重大的飞跃,使安全监测技术与现代化的生产过程控制紧密地联系在一起。

目前,大型化工企业中的安全监测系统,已可使检(监)测的模拟量和开关量达上千个,巡检周期短,能同时完成信号的自动处理、记录、报警、联锁动作、打印、计算等;监测参数除可燃气体(如 H_2 、 CO 等)成分及浓度、可燃粉尘浓度、可燃液体泄漏量之外,还有温度、压力、压差、风速、火灾特征(烟、温度、光)等环境参数和生产过程参数。由于可以从连续监测数据、屏幕显示图形和经过数据处理得到各种图表,及时掌握整个化工生产过程的过程参数、环境参数和生产机械的状态,就保证了生产的连续与均衡,减少停顿和阻塞,防止重大事故发生。同时,由于及时掌握生产设备和机械的工作状态,可以分析设备的配置情况和利用率,发现生产薄弱环节,改善管理,提高生产效率。

改革开放以来,我国的工业生产发展很快,国家十分重视安全,在安全检测仪表的研究和生产制造方面投入很大,使安全仪表生产具备了相当大的规模,形成了以北京、抚顺、重庆、西安、常州、上海等为中心的生产基地,可以生产多种型号环境参数、工业过程参数及安全参数的监测、遥测仪器。此外,具有发达国家20世纪90年代水平的安全监测系统已开始装备我国的石油、化工、煤矿等工业生产部门;安全监测、报警及联锁控制装置等也在我国自行设计的石化生产设备中获得了应用,这标志着我国安全监测仪器的研制和装备进入了新的阶段。但必须指出,我国安全监测传感器目前种类较少,质量尚不稳定;监测数据处理、计算机应用与一些发达国家有一定差距,这些都需要在今后重点解决。

二、我国安全检测技术的发展

目前,在我国的大型石化企业的项目(如扬子乙烯工程、齐鲁乙烯工程等)中,大量装备使用各种安全监测仪表。装备和使用先进的安全监测系统,使生产事故率极大地下降,促进了生产发展,获得了很大的经济效益。因此,安全检测技术与石化生产过程控制的密切配合,是我国石化生产的发展方向,是防火防爆、预防重大火灾及爆炸事故发生的重要环节。

我国煤矿安全检测技术也有较大进步,主要表现在:

- ① 煤矿安全检测技术理论更加成熟,开发出了更先进、更实用的检测设备;
- ② 煤矿安全检测设备的生产逐渐进入正规化,设备操作更简便,数据处理更直观;
- ③ 在计算机技术的发展基础上,开发了矿井安全预警系统。

三、安全检测的关键技术

(一) 灾前抑制

当热量过分集中于某一客体,并且超过其所能承受的能量阈值时,将引发重大的事故或灾害。如果不断聚集的热量作用于可燃物,可能导致火灾或爆炸;作用于非可燃物,则可能因局部过热受到破坏,从而引发事故。

灾前抑制措施可以感知外界的异常,并通过自身变化弥补或消除热量等能量意外集中释放的变化,达到最大限度地抑制事故发生的目的。其抑制作用可以持续到事故已经发生、发展阶段,起到延缓进程、保护结构不受损的作用。

(二) 前兆检测

由于很多火灾、爆炸等事故是因为物体过热或热量相对集中造成的,根据事故前所表现出来的温度或热特性,已经形成很多检测设备,例如热成像技术以其独有的方便直观等特点被广泛应用。一般材料的破损缺陷会直接导致热或能量的异常集中分布,所以超声波等材料缺陷检测技术对事故前兆检测也是极其重要的一环。

(三) 早期监测

由被动式的抗灾技术向新一代的主动式防治技术转变的关键是以智能监测技术为核心,结合灾前抑制和高效扑救技术,实施最直接的灾害防治。传感手段、信号处理算法是智能探测的两个基本方面,新的监测技术一般都是从这两个方面入手,提高其智能程度、反应速度与稳健性。图像模式、次声等新型传感手段结合多信号多判据、基于模糊逻辑和神经网络技术、现场总线、专用集成芯片等技术,把智能监测带到一个崭新的时代。研究过程也从单一的实物探索尝试,发展到与计算机模拟、虚拟试验等方式相结合。

传感技术的发展和水平直接影响着安全监测技术的水平。现代传感技术的发展日新月异,安全监测也受惠其中,对众多技术先进、工艺成熟的传感器件,安全工程有了更大的选择余地。用于灾害监测的传感器非常多,如化学传感器、声学传感器、机械传感器、磁传感器、辐射传感器、热传感器、生物传感器、膜传感器、光纤传感器、硅传感器、应用 MEMS 的微传感器等。

传感器的信号已不再是简单的二值量,有意义的结论往往是对信号的深入加工分析,例如变化率检测、趋势分析、斜率求取、复合滤波、功率谱分析、时间序列分析、多传感器相关运算、模糊统计、模糊推理、神经网络等。神经网络与模糊系统融合的信号检测算法也已经应用于灾害探测,将模糊理论和神经网络有机地结合起来,取长补短,提高整个系统的学习能力和表达能力,可以进一步提高监测系统的智能化水平。

(四) 灾害扑救

灾害发生后,有效的扑救技术可以大幅度地减少灾害损失。扑救过程涉及清洁、高效救灾,人员疏散,人员防护,防排烟等技术。

智能机器人技术在灾害救援方面也得到了应用。研制机器人的初衷就是制造一种用来代替人在复杂、危险及人的生理条件所不能承受的环境中工作的机器。从 20 世纪 50 年代末至今,机器人已经研制出三代。从第二代机器人起,已经有专门研制的机器人从事恶劣、危险环境下的检修、清洁等安全防范工作,以及从事消防灭火、火场搜索救援工作。1999 年,英国消防科技部门成功研制了能扑灭特种火灾的机器人,这种外壳用特种不锈钢制成的机器人貌似叉车,可进入 800 °C 高温区域灭火救灾,能用水、泡沫和干粉扑灭各种火灾,并可把储有易燃易爆物品的容器转移到安全区域,也可将汽车残骸等笨重物移出口口,为消防人员和消防车进出提供方便。

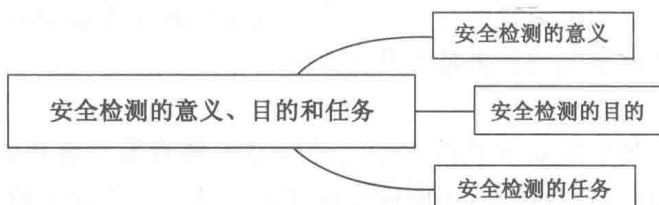
思考题

1. 简述我国安全生产技术与发达国家的差距。

2. 安全生产关键技术有哪些？
3. 简述安全技术的发展与趋势。

第二节 安全检测的意义、目的和任务

【本节思维导图】



一、安全检测的意义

工业事故属于工业危险源,后者通常指人(劳动者)-机(生产过程和设备)-环境(工作场所)有限空间的全部或一部分,属于“人造系统”,绝大多数具有观测性和可控性。表征工业危险源状态的可观测的参数称为危险源的“状态信息”。状态信息是一个广义的概念,包括对安全生产和人员身心健康有直接或间接危害的各种因素,如反映生产过程或设备的运行状况正常与否的参数,作业环境中化学和物理危害因素的浓度或强度等。安全状态信息出现异常,说明危险源正在从相对安全的状态向即将发生事故的临界状态转化,提示人们必须及时采取措施,以避免事故发生或将事故的伤害和损失降至最低程度。

安全检测方法依检测项目不同而异,种类繁多。根据检测的原理机制不同,大致可分为化学检测和物理检测两大类。化学检测是利用检测对象的化学性质指标,通过一定的仪器与方法,对检测对象进行定性或定量分析的一种检测方法。它主要用于有毒有害物质的检测,如有毒有害气体、水质和各种固体、液体毒物的测定。物理检测利用检测对象的物理量(热、声、光、磁等)进行分析,如噪声、电磁波、放射性、水质物理参数(水温、浊度、电导率等)等的测定。

二、安全检测的目的

- (1) 能及时、正确地对设备的运行参数和运行状况做出全面检测,预防和消除事故隐患。
- (2) 对设备的运行进行必要的指导,提高设备运行的安全性、可靠性和有效性,以期把运行设备发生事故的概率降低到最低水平,将事故造成的损失减少到最低程度。
- (3) 通过对运行设备进行检测、隐患分析和性能评估等,为设备的结构修改、设计优化和安全运行提供数据和信息。

三、安全检测的任务

在工业生产过程中,各种有关因素如烟、尘、水、气、热辐射、噪声、放射线、电流、电磁波以及化学因素,还有其他主、客观因素等,造成对生产环境的污染,对生产产生不安全作用,也对人体健康造成危害。查清、预测、排除和治理各种有害因素是安全工程的重要内容之

一。安全检测的任务是为安全管理决策和安全技术有效实施提供丰富、可靠的安全因素信息。狭义的安全检测侧重于测量,是对生产过程中某些与不安全、不卫生因素有关的量连续或断续监视测量,有时还要取得反馈信息,用以对生产过程进行检查、监督、保护、调整、预测,或者积累数据,寻求规律。广义的安全检测,是把安全检测与安全监控统称为安全检测,认为安全检测是指借助于仪器、传感器、探测设备迅速而准确地了解生产系统和作业环境中危险因素与有毒因素的类型、危害程度、范围及动态变化的一种手段。

为了获取工业危险源的状态信息,需要将这些信息通过物理的或化学的方法转化为可观测的物理量(模拟的或数字的信号),这就是通常所说的安全检测和安全监测。它是作业环境安全与卫生条件、特种设备安全状态、生产过程危险参数、操作人员不规范动作等各种不安全因素检测的总称。不安全因素具体包括如下几种:

(1) 粉尘危害因素:浓度、粒径分布;全尘或呼吸性粉尘;煤尘、石棉尘、纤维尘、岩尘、沥青烟尘等。

(2) 化学危害因素:可燃气体、有毒有害气体在空气中的浓度和氧含量。

(3) 物理危害因素:噪声与振动、辐射(紫外线、红外线、射频、微波、激光、同位素)、静电、电磁场、照度等。

(4) 机械伤害因素:人体部位误入机械动作区域或运动机械偏离规定的轨迹。

(5) 电气伤害因素:触电、电灼伤。

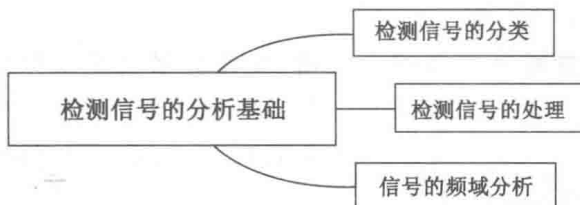
(6) 气候条件因素:气温、气压、湿度、风速等。

思考题

1. 简述安全检测的意义。
2. 简述安全检测的目的。
3. 安全检测的主要任务是什么?

第三节 检测信号分析基础

【本节思维导图】



一、检测信号的分类

(一) 静态信号、动态信号

静态信号:是指在一定的测量期间内,不随时间变化的信号。

动态信号:是指随时间的变化而变化的信号。

(二) 连续信号、离散信号

连续信号(又称模拟信号):是指信号的自变量和函数值都取连续值的信号。

离散信号:是指信号的时间自变量取离散值,但信号的函数值取连续值(采样值),这类信号被称为时域离散信号。如果信号的自变量和函数值均取离散值(量化的值),则称为数字信号。

(三) 确定性信号、随机信号

确定性信号:可以根据它的时间历程记录是否有规律地重复出现或根据它是否能展开为傅立叶级数而划分为周期信号和非周期信号两类。周期信号又可分为正弦周期信号和复杂周期信号;非周期信号又可分为准周期信号和瞬态信号。

随机信号:根据一个试验,不能在合理的试验误差范围内预计未来时间历程记录的物理现象及描述此现象的信号和数据,就认为是非确定性的或随机的。

二、检测信号的处理

信号处理是指对信号进行某种变换或运算(滤波、变换、增强、压缩、估计、识别等)。其目的是削弱信号中的多余成分,滤除夹杂在信号中的噪声和干扰,或将信号变换成易于处理的形式。

广义的信号处理可把信号分析也包括在内。

信号处理包括时域处理和频域处理。时域处理中最典型的是波形分析,示波器就是一种最通用的波形分析和测量仪器。把信号从时域变换到频域进行分析和处理,可以获得更多的信息,因而频域处理更为重要。信号频域处理主要指滤波,即是把信号中的有效信号提取出来,抑制(削弱或滤除)干扰或噪声的一种处理方法。

进行信号分析的方法通常分为:时域分析和频域分析。

由于不同的检测信号需要采用不同的描述、分析和处理方法,因此,要对检测信号进行分类。

三、信号的频域分析

(一) 信号的分解与合成

为了便于研究信号的传输与处理等问题,可以对信号进行分解,将其分解为基本的信号分量之和。

1. 直流分量与交流分量

信号的直流分量就是信号的平均值,交流分量就是从原信号中去掉直流分量后的部分。

$$x(t) = x_D(t) + x_A(t) \quad (1-1)$$

2. 偶分量与奇分量

任何信号都可以分解为偶分量 $x_e(t)$ 与奇分量 $x_o(t)$ 两部分之和,即

$$x(t) = x_e(t) + x_o(t) \quad (1-2)$$

3. 脉冲分量

一个信号可以分解为许多脉冲分量之和,有两种情况,一种情况是可以分解为矩形窄脉冲分量,当脉冲宽度取无穷小时,可以认为是冲击信号的叠加;另一种情况是可以分解为阶跃信号分量之和。

另外,在描述某些变化过程的物理量时,会需要用复数量来描述,此时,可将信号分解为

实部分量和虚部分量。同时,任意信号可由完备的正交函数集来表示,如果用正交函数集来表示一个信号,那么组成信号的分量就是相互正交的。也就是说,一个信号或函数可以分解为相互正交的 n 个函数,即可以用正交函数集的 n 个分量之和来表示该函数。

(二) 周期信号与离散频谱

频域分析是以频率 f 或角频率 ω 为横坐标变量来描述信号幅值、相位的变化规律。信号的频域分析或者说频谱分析,是研究信号的频率结构,即求其分量的幅值、相位按频率的分布规律,并建立以频率为横轴的各种“谱”。其目的之一是研究信号的组成成分,它所借助的数学工具是法国人傅立叶为分析热传导问题而建立的傅立叶级数和傅立叶积分。连续时间周期信号的傅立叶变换表示为傅立叶级数,计算结果为离散频谱;连续时间非周期信号的傅立叶变换表示为傅立叶积分,计算结果为连续频谱;离散时间周期信号的傅立叶变换表示为傅立叶级数。进行离散时间非周期信号的傅立叶变换时,必须对无限长离散序列截断,变成有限长离散序列,并等效将截断序列沿时间轴的正负方向开拓为离散时间周期信号。

1. 傅立叶级数的三角函数展开式

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t + \cdots + a_n \cos \omega t + b_n \sin \omega t + \cdots \\ &= \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \omega t + b_n \sin \omega t) \\ &= \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \end{aligned} \quad (1-3)$$

2. 傅立叶级数的复指数函数展开式

$$x(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_m e^{jm\omega t} \quad (1-4)$$

式中 c_m ——傅立叶系数。

$$c_m = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} x(t) e^{-jm\omega t} dt \quad (1-5)$$

(三) 非周期信号与连续频谱

一般所说的非周期信号是指瞬变冲激信号,如矩形脉冲信号、指数衰减信号、衰减振荡、单脉冲等。对这些非周期信号,我们不能直接用傅立叶级数展开,而必须引入一个新的被称为频谱密度函数的量。

1. 频谱密度函数 $x(\omega)$

对于非周期信号,可以看成周期 T 为无穷大的周期信号。当周期 T 趋于无穷大时,则基波谱线及谱线间隔 $\omega = 2\pi/T$ 趋于无穷小,从而离散的频谱就变为连续频谱。所以,非周期信号的频谱是连续的。同时,由于周期 T 趋于无穷大,谱线的长度 $|c_m|$ 趋于零。也就是说,按傅立叶级数所表示的频谱将趋于零,失去应有的意义。但是,从物理概念上考虑,既然成为一个信号,必然含有一定的能量,无论信号怎样分解,其所含能量是不变的。如果将这无限多个无穷小量相加,仍可等于一有限值,此值就是信号的能量。而且这些无穷小量也并不是同样大小的,它们的相对值之间仍有差别。所以,不管周期增大到什么程度,频谱的分布依然存在,各条谱线幅值比例保持不变。

即当周期 $T \rightarrow \infty$ 时, $\omega \rightarrow d\omega \rightarrow 0, m\omega \rightarrow \omega$ 。因此, 将傅立叶系数 c_m 放大 T 倍, 得

$$\lim c_m T = \lim c_m \frac{2\pi}{\omega} = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-\frac{\pi}{T}}^{\frac{\pi}{T}} x(t) e^{-jm\omega t} dt \quad (1-6)$$

当 $T \rightarrow \infty$ 时, $\omega \rightarrow d\omega$, 上式变为

$$\lim_{d\omega \rightarrow 0} c_m \frac{2\pi}{d\omega} = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1-7)$$

由于时间 t 是积分变量, 故上式积分后仅是频率 ω 的函数, 可记作 $X(\omega)$ 或 $F[x(t)]$, 即

$$X(\omega) = F[x(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1-8)$$

或

$$X(f) = F[x(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (1-9)$$

2. 非周期信号的傅立叶积分表示

作为周期 T 为无穷大的非周期信号, 当周期 $T \rightarrow \infty$ 时, 频谱谱线间隔 $\omega \rightarrow d\omega, T \rightarrow \frac{2\pi}{d\omega}$, 离散变量 $m\omega \rightarrow \omega$ 变为连续变量, 求和运算变为积分运算, 于是傅立叶级数的复指数函数的展开式变为

$$x(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_m T e^{jm\omega t} = \lim_{d\omega \rightarrow 0} \frac{d\omega}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (1-10)$$

上式称为傅立叶积分。

(四) 离散时间信号的频谱

通过采样从模拟信号 $x(t)$ 中产生离散时间信号, 称为采样信号 $x_s(t)$ 。经过模拟/数字转换器在幅值上量化变为离散时间序列 $x(n)$, 经过编码变成数字信号。从而在信号传输过程中, 就以离散时间序列或数字信号替换了原来的连续信号。

这时有两个问题须弄清楚: ① 采样信号的频谱与原连续信号的频谱有什么样的关系? ② 信号被采样后, 能否无失真地恢复到采样前的模拟信号? 若要恢复成原连续信号, 需要满足什么样的采样条件?

1. 采样信号的频谱

由于采样信号的信息并不等于原连续信号的全部信息, 所以, 采样信号的频谱 $E^*(s)$ 与原连续信号的频谱 $E(s)$ 相比, 要发生许多变化。研究采样信号的频谱就是要找出 $E^*(s)$ 与 $E(s)$ 之间的相互联系。

单位理想脉冲序列为

$$\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_m e^{jn\omega_s t} \quad (1-11)$$

式中 $\omega = \frac{2\pi}{c}$ —— 采样角频率;

c_m —— 傅立叶系数。

其值为

$$c_m = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \delta_T(t) e^{jm\omega_s t} dt \quad (1-12)$$

由于在 $[-T/2, T/2]$ 区间中, $\delta_T(t)$ 仅在 $t=0$ 时有值, 此时, $e^{jm\omega_s t} |_{t=0} = 1$, 所以

$$c_m = \frac{1}{T} \int_{0^-}^{0^+} \delta_T(t) dt = \frac{1}{T} \quad (1-13)$$

将式(1-13)代入式(1-11)有

$$\delta_T(t) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\omega_s t} \quad (1-14)$$

因为采样信号

$$e^*(t) = e(t)\delta_T(t) \quad (1-15)$$

将式(1-14)代入式(1-15)有

$$e^*(t) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e(t) e^{jn\omega_s t} \quad (1-16)$$

对式(1-16)两边取拉氏变换, 并由拉氏变换的复数位移定理可得

$$E^*(s) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} E(s + jm\omega_s) \quad (1-17)$$

如果 $E^*(s)$ 在 S 平面右半面没有极点, 则可令 $s = j\omega$, 代入式(1-17), 就得到了采样信号的傅立叶变换

$$E^*(j\omega) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} E[j(\omega + m\omega_s)] \quad (1-18)$$

一般说来, 连续信号 $e(t)$ 的频谱 $|E(j\omega)|$ 是单一连续谱, 而采样信号 $e^*(t)$ 的频谱 $|E^*(j\omega)|$ 则是以采样角频率 ω_s 为周期的无穷多个频谱之和, 仅在幅值上变化了 $\frac{1}{T}$ 倍, 其余频谱($m=1, 2, \dots$)都是由采样引起的高频频谱, 称为采样频谱的补分量。

2. 采样定理与频率混叠

如果增加采样周期 T , 采样角频率 ω_s 就会相应地减少, 当 $\omega_s < 2\omega_h$ (ω_h 为原连续信号的最大截止频率)时, 采样频谱中的补分量相互混叠, 致使采样信号发生了波形畸变, 理想滤波器也无法将采样信号恢复成原连续信号。

因此, 要想从采样信号 $e^*(t)$ 中完全复现原连续信号 $e(t)$, 对采样角频率有一定的要求。采样定理指出: 如果采样器的输入信号 $e(t)$ 具有有限带宽, 并且有直到 ω_h 的频率分量, 则使信号完全从采样信号 $e^*(t)$ 复现, 必须满足 $\omega_s \geq 2\omega_h$ 。

思考题

1. 检测信号通常分为几类? 每一类里面都包含哪几种类型?
2. 什么是静态信号? 什么是动态信号?
3. 求下列各信号的傅立叶级数表达式。

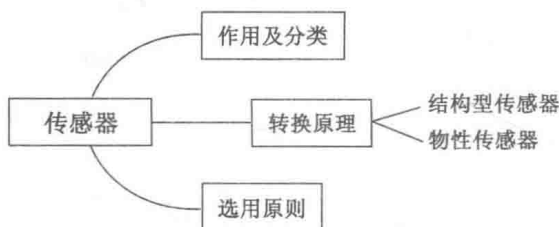
(1) e^{j200t}

(2) $\cos 4t + \sin 8t$

(3) $F(t)$ 是周期为2的周期信号, 且 $F(t) = e^{-t}$, $-1 < t < 1$

第四节 传感器基本知识

【本节思维导图】



一、传感器的作用及分类

(一) 传感器的作用

传感器是实现检测与自动控制(包括遥感、遥测、遥控)的首要环节,而传感技术是衡量科学技术现代化程度的重要标志。如果没有传感器对原始信息进行准确可靠的捕获与转换,一切准确的检测与控制将无法实现。当今的世界正处在信息革命的新时代,而信息革命的两大重要支柱是信息采集与信息处理。信息的采集(捕获)与转换主要依赖于各种类型的传感器,信息的处理主要依靠电子技术和各种计算机。计算机与各种智能仪器将很快地在各个科学技术部门发挥巨大作用。然而,如果没有各种类型的传感器去准确地捕获并转换信息,即使最现代化的计算机也无法充分发挥其应有的作用。目前,传感器的应用已经渗透到各个学科领域,从高新技术直到每个家庭日常生活。如空间技术、海洋开发、资源探测、生物工程、人体科学等高技术领域许多新的进展和突破,都是以实验检测为基础并与传感器技术的发展密切相关的;工业生产过程的现代化,几乎主要依靠各种传感器来监测与控制生产过程的各种参数,使设备和系统正常运行在最佳状态,从而保证生产的高效率与高质量;传感器在生活领域中已进入每一个家庭,据不完全统计,现代高级轿车中所应用的传感器可达56种之多。又如目前常用的19种家用电器中,总共应用了53个(21种)传感器。传感器应用的技术水平成为衡量一个国家的科技和工业水平的重要标志。传感器技术已形成一个完整独立的科学体系,相信在不久的将来,对传感器的研究将进入一个崭新的阶段。

(二) 传感器的分类

1. 按输入量(被测对象)分类

输入量即被测对象,按此方法分类,传感器可分为物理量传感器、化学量传感器和生物量传感器三大类。其中,物理量传感器又可分为温度传感器、压力传感器、位移传感器等。这种分类方法给使用者提供了方便,容易根据被测对象选择所需要的传感器。

2. 按转换原理分类

从传感器的转换原理来说,通常分为结构型、物性型两大类。

结构型传感器是利用机械构件(如金属膜片等)在动力场或电磁场的作用下产生变形或位移,将外界被测参数转换成相应的电阻、电感、电容等物理量,它是利用物理学运动定律或电磁定律实现转换的。

物性型传感器是利用材料的固态物理特性及其各种物理、化学效应(即物质定律,如胡

克定律、欧姆定律等)实现非电量的转换。它是以半导体、电介质、铁电体等作为敏感材料的固态器件。

3. 按能量转换的方式分类

按转换元件的能量转换方式,传感器可分为有源型和无源型两类。有源型也称能量转换型或发电型,它将非电量直接变成电压量、电流量、电荷量等(如磁电式、压电式、光电池、热电偶等);无源型也称能量控制型或参数型,它把非电量变成电阻、电容、电感等量。

4. 按输出信号的形式分类

按输出信号的形式,传感器可分为开关式、模拟式和数字式。

5. 按输入和输出的特性分类

按输入、输出特性,传感器可分为线性和非线性两类。

二、传感器的转换原理

(一) 结构型传感器

1. 电阻式传感器原理

金属体都有一定的电阻,电阻值因金属的种类而异。同样的材料,越细或越薄,则电阻值越大。当加有外力时,金属若变细变长,则阻值增加;若变粗变短,则阻值减小。如果发生应变的物体上安装有(通常是粘贴)金属电阻,当物体伸缩时,金属体也按某一比例发生伸缩,因而电阻值产生相应的变化。设有一根长度为 l ,截面积为 A ,电阻率为 ρ 的金属丝,则它的电阻值 R 可用下式表示

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1-19)$$

从上式可见,若导体的三个参数(电阻率、长度和截面积)中的一个或数个发生变化,则电阻值随着变化,因此可利用此原理来构成传感器。例如,若改变长度 l ,则可形成电位器式传感器;改变 l 、 A 和 ρ ,则可做成电阻应变片;改变 ρ ,则可形成热敏电阻、光导性光检测器等。

2. 电容式传感器的工作原理和结构

电容式传感器常用的是平板电容器和圆筒形电容器。

(1) 平板电容器

平板电容器由两个金属平行板组成,通常以空气为介质,如图 1-1 所示。

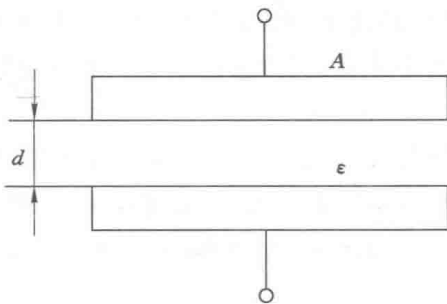


图 1-1 平板电容器

在忽略边缘效应时,平板电容器的电容为