



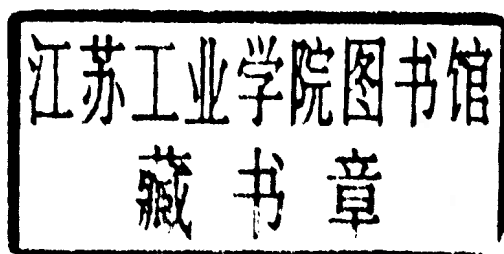
诸葛洪祥 主编

现代医学实验仪器 及应用

◆ 苏州大学出版社

现代医学实验仪器及应用

主编 诸葛洪祥



苏州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代医学实验仪器及应用/诸葛洪祥主编. —苏州:
苏州大学出版社, 2005. 9
ISBN 7-81090-554-6

I. 现… II. 诸… III. 医疗器械-基本知识
IV. TH77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 107686 号

现代医学实验仪器及应用

诸葛洪祥 主编

责任编辑 肖丽娟

苏州大学出版社出版发行

(地址: 苏州市干将东路 200 号 邮编: 215021)

丹阳教育印刷厂印装

(地址: 丹阳市西门外 邮编: 212300)

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 394 千

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 7-81090-554-6/TH·8(课) 定价: 35.00 元

苏州大学版图书若有印装错误, 本社负责调换

苏州大学出版社营销部 电话: 0512-67258835

前 言

现代医学实验仪器是用于医学实验和医学科研的一类大型、复杂的智能化仪器。本教材以机械、电子技术、光学及计算机等学科为基础,以医学院校医疗、教学和科研常用的大型、复杂的新型仪器及相关设备为重点,系统地介绍了医学实验仪器的原理、结构、性能和应用范围。全书共六章,根据医学教学和科研的实践,分别介绍了医学实验室净化、生物安全及冷暖设备、形态学实验仪器、纯化分离仪器、普通分析仪器和现代分析仪器。

随着相关学科的发展,生物医学相关产业成为全球发展最快的高技术之一,如 20 世纪 70 年代以来创建的 DNA 技术和杂交瘤技术、动物转基因技术、离子通道记录技术以及近几年相继发展起来的基因组学、蛋白质组学、生物信息学、组合化学和生物芯片等技术。国际间人才竞争日趋激烈,培养开拓型的创新医学人才越来越显得重要。新型的医学人才除了具有扎实的医学基础和专业知识及获取信息的能力外,还要较系统地了解 and 掌握先进的医学实验仪器的原理和应用,为医学科研设计和科学研究奠定扎实的基础。

《现代医学实验仪器及应用》是把医学实验室净化设备、生物安全设备及冷暖设备等医学研究综合仪器与纯化分析仪、普通和现代分析仪器系统地结合在一起的专业教材。本书内容丰富、技术性强、涉及领域广,既可作为医药专业、生物技术和生物制药专业的本科生和研究生教材,也可作为教师和科研人员的参考用书。该书的编写分工如下:第一章由诸葛洪祥、诸葛纯一编写;第二章由诸葛洪祥、张介寿、薛智谋、詹春芳编写;第三章由诸葛洪祥、周洪福、许菊、王玉芳、王佳编写;第四章由周霞、姜旭淦、金东华、陈盛霞编写;第五章由张梦寒、姜旭淦、陈盛霞、金东华、许菊、石永兵编写;第六章由诸葛洪祥、张梦寒、宋军、蒋星红编写。

在编写本教材过程中,编者翻译了大量实验室引进的新型仪器说明书,参阅了有关书籍和文献,尽可能使用新实验仪器型号,但由于水平有限、编写时间仓促、搜集资料不够充分,难免存在遗漏或错误之处,恳请广大读者不吝赐教。

编 者

2005 年 3 月



目 录

第一章 概论

一、医学实验仪器设备与医学研究的关系	(1)
二、医学实验仪器及设备的特点	(1)
三、医学实验仪器的分类	(2)
四、医学实验仪器的主要性能指标	(2)
五、传感器在医学实验仪器中的应用	(5)

第二章 实验室净化、生物安全及冷暖设备

第一节 正压净化实验柜及实验室	(11)
一、空气净化的基本概念与知识	(11)
二、空气净化的基本方法	(13)
三、医学科研设施中的暖通设计	(15)
四、医用大型诊治机室内环境要求	(16)
五、医院内几种生物洁净病房	(17)
第二节 负压生物安全柜及实验室	(18)
一、标准	(18)
二、隔离方式	(19)
三、生物安全柜	(19)
第三节 独立通气笼盒(IVC)	(22)
一、主机	(22)
二、独立通气笼盒的标准化操作规范	(25)
第四节 冷暖设备	(36)
一、电热设备	(36)
二、高压灭菌设备	(40)
三、制冷设备	(41)

第三章 形态学实验仪器

第一节 显微镜	(43)
一、概述	(43)
二、显微镜的构造	(46)
三、显微镜的调节	(50)
四、几类显微镜的应用简介	(52)
五、原子力显微镜	(67)



第二节 切片机	(69)
一、超薄切片机	(69)
二、冷冻切片机	(70)
第三节 图像分析仪	(71)
一、J-WSW 微生物图像处理系统	(71)
二、捷达-501 病理图像分析系统	(71)
三、SYNGENE——全自动凝胶成像分析系统	(74)
四、复旦 FR-980 生物电泳图像分析系统	(76)

第四章 纯化分离仪器

第一节 离心机	(77)
一、离心机原理	(77)
二、离心机分类	(78)
三、离心机的结构	(79)
四、离心方法概述	(84)
五、离心机的使用与保养	(87)
第二节 色谱柱层析概述	(92)
一、吸附柱色谱法	(92)
二、分配柱色谱	(95)
三、柱色谱操作方法	(96)
四、柱色谱分离法的应用	(96)
第三节 亲和纯化	(96)
一、概述	(96)
二、操作	(97)
三、影响亲和作用的因素	(98)
第四节 电泳仪	(100)
一、概述	(100)
二、电泳基本原理	(101)
三、常用电泳方法简介	(103)
四、电泳仪	(105)
五、电泳的操作	(109)

第五章 普通分析仪器

第一节 酶标仪	(111)
一、概述	(111)
二、 μ -Quant 型酶标仪的工作原理	(111)
三、 μ -Quant 型酶标仪的结构	(113)
四、系统分析软件	(113)
五、在医学研究中的应用	(114)



六、注意事项	(115)
第二节 PCR 仪及其应用	(115)
一、概述	(115)
二、PCR 的技术原理	(116)
三、PCR 仪的操作	(117)
四、PCR 技术的发展	(119)
五、荧光定量 PCR 技术	(122)
六、PCR 技术在医学上的应用	(124)
第三节 流式细胞仪	(125)
一、概述	(125)
二、基本结构	(126)
三、工作原理	(127)
四、商品仪器介绍	(130)
五、流式细胞仪在各学科中的应用	(131)
第四节 紫外-可见光分光光度计	(132)
一、概述	(132)
二、基本原理	(134)
三、紫外-可见光分光光度计的主要组成部分	(136)
四、分光光度计的校正	(141)
五、常见的紫外-可见光分光光度计	(142)
六、紫外-可见光分光光度计的发展动向及应用	(148)
第五节 红外分光光度计	(151)
一、概述	(151)
二、基本原理	(152)
三、常见的红外分光光度计	(154)
四、傅里叶变换红外分光光度计(FTIR)	(160)
五、红外分光光度计的安装与性能指标	(167)
六、红外吸收光谱应用简介	(169)
七、制样	(169)
第六节 荧光分光光度计	(170)
一、概述	(170)
二、荧光分析的基本原理	(171)
三、荧光分光光度计	(172)
四、荧光仪器的应用和荧光分析新技术简介	(178)
第七节 色谱仪	(179)
一、色谱法概述	(179)
二、气相色谱仪	(182)
三、高效液相色谱仪	(191)



第六章 现代分析仪器

第一节 质谱仪	(200)
一、概述	(200)
二、基本原理	(201)
三、离子检测器和质谱	(206)
四、质谱仪的应用	(208)
第二节 X 射线晶体衍射仪	(209)
一、概述	(209)
二、晶体的 X 射线衍射原理	(210)
三、衍射图	(214)
第三节 磁共振波谱仪	(218)
一、概述	(218)
二、磁共振的基本原理	(218)
三、磁共振波谱仪	(223)
四、MR 在生物学中的应用	(225)
第四节 基因芯片技术	(226)
一、概述	(226)
二、基因芯片的制备	(227)
三、靶基因样品的制备和杂交检测	(229)
四、基因芯片设计和杂交图像分析	(230)
五、传统检测方法与基因芯片检测方法比较	(231)
六、基因芯片的应用	(231)
七、基因芯片的研究和发展趋势	(232)
第五节 电生理仪器	(233)
一、电生理仪使用注意事项	(233)
二、普通电生理仪	(234)
三、膜片钳技术	(238)
主要参考文献	(245)



第一章

概 论

一、医学实验仪器设备与医学研究的关系

医学实验仪器是用于医学科学研究的实验仪器,其相关设备包括正、负压实验室,净化室及超净工作台,生物安全实验室,生物安全柜,冷暖设备,形态研究实验仪器,普通分析仪器,特殊分析仪器和现代分析仪器。

医学实验分析仪器是指用以测定某物质的存在、化学组成、分子结构及某些物理特性的定性研究,并且给出定量结果的一类仪器。随着新型材料的广泛应用,制造工艺不断创新和计算机技术迅速发展,光机电一体化使得仪器多功能和高度自动化已成为可能。在人类认识物质的组成、结构分布状态、物质特性,揭示生命规律,诊断和治疗疾病的过程中,医学实验仪器发挥了重要的作用。

医学实验研究经历了从整体水平到器官、组织、细胞和亚细胞水平的研究,再到微观研究,从人类基因结构和功能研究到原子力水平研究的过程。相关学科发展和多功能高精度新型仪器的不断推出,使生物医学得以长足地发展。进行现代病原生物学、分子生物学和分子免疫学等学科研究必须要求对各类医学实验仪器的原理和应用有较全面的了解和掌握。

二、医学实验仪器及设备的特点

医学实验仪器绝大多数属精密仪器,其科学技术含量高,并大量使用新材料制造,原理涉及物理学、物理化学、电化学、生物物理学、结构分析、电子技术、材料学、计算机技术等多个领域,是多学科技术相互渗透的产物。医学实验仪器在结构上有以下特点:

(1) 技术先进,涉及领域广:医学实验仪器紧跟各相关学科前沿,涉及电子、机械、光学、计算机、材料、生物化学等多门学科,是一种多学科技术相互渗透、完美结合的产物。

(2) 结构复杂:医学仪器大多是集光、机、电于一体的仪器,使用的器件种类繁多,尤其是仪器自动化程度愈高和仪器愈小型化,仪器各种功能就愈强大,仪器结构也就更紧凑和更加复杂。

(3) 灵敏度高:分析仪器的灵敏度都在 $1/100$ 万,甚至达到 $1/10$ 亿,较化学分析的灵敏度高很多,因而特别适用于超纯物质中杂质含量的测定和环境监测中微量成分的分析。

(4) 选择性好:分析仪器的选择性比化学分析的好得多,所以分析仪器可同时进行多组分的测定,虽然部分分析仪器每次只能测定一种组分,但调整到适当条件后,其他组分的干扰通常都可避免,故用分析仪器检测复杂组分试样就更方便了。

(5) 速度快:现代分析仪器中广泛采用高科技、新技术和计算机技术,实现了分析操作自



动化、结果自动记录、数据自动处理。分析仪器的一机多用、多机联用的发展,使分析仪器的测试速度愈来愈快,分析的范围也愈来愈宽,试样经预处理后直接上机分析,仅需数十秒至数分钟便可得出分析结果。而一些分析仪器如色谱仪、原子发射光谱仪和极谱仪等,可一次测定多种样品。分析测试的自动化,可在很短的时间内批量分析同种样品。

(6) 适应性强,用途广:分析仪器种类繁多,分析测试的方法各不相同,故分析仪器的适应性很强。不但可以用于结构状态、空间分布、微观分布等有关特征的分析,还可进行微区分析、遥测分析等;不仅可以进行定性分析,还可以进行定量分析。由于分析仪器灵敏度很高,所需试样量极少,有时仅需数微克,甚至可对样品进行无损伤分析,这对于活体组织、考古分析、产品仿制都有重要的意义。因而分析仪器在各领域都得到了广泛的应用。

三、医学实验仪器的分类

医学实验仪器种类多、工作原理广泛,以致这类仪器的分类变得非常复杂。传统的分类是以仪器的工作原理进行分类的。如电化学式分析仪、热学式分析仪、磁学式分析仪、光学式分析仪、射线式分析仪、色谱分析仪、电光学和离子光分析仪、物性测定仪和其他分析仪 9 大类。

医学实验仪器涉及医学学科分类、医学实验方法、物理学和化学原理等非常广泛的领域,应尽可能使分类合理,有利于教学、科研和管理。随着科学技术发展日臻完善,仪器分类也将日趋完善。结合本教材涉及的医学实验仪器和设备,将医学实验仪器分为以下几类:

(1) 医学实验室净化、生物安全及冷暖设备:正压净化实验室和超净工作台,负压生物安全实验室及生物安全柜,独立通气笼盒,医学实验用冷暖设备等。

(2) 形态实验仪器:光学显微镜、特种显微镜、电子显微镜、扫描隧道显微镜、原子力显微镜;切片机;显微图像分析仪等。

(3) 纯化分离仪器:普通离心机、冷冻高速离心机、超速离心机;层析设备、离子交换层析、凝胶层析;亲和纯化设备;电泳仪及凝胶图像分析仪等。

(4) 普通分析仪器:酶标仪、PCR 仪、流式细胞仪、紫外可见分光光度计、红外分光光度计、荧光分光光度计、色谱仪等。

(5) 现代分析仪器:质谱仪、X 射线单晶体衍射仪、磁共振波谱仪、基因芯片扫描仪、电生理仪器等。

四、医学实验仪器的主要性能指标

分析仪器作为测量仪器,其性能指标主要是衡量仪器的分析和测试能力,如精度、分辨率、灵敏度、检测极限、选择性、响应时间、线性范围、稳定性、重复性等。

(一) 精度

精度是判断分析仪器性能的重要指标,通常用误差来表示。误差愈小,说明仪器精度愈高;反之亦然。

表示误差大小的量有两种:一是绝对误差,是说明仪器指示值偏差真实值大小的程度,即指示值有规律偏离真实值的程度,又称为准确度。常用准确度衡量仪器系统误差的大小,数值愈小,系统误差愈小;二是相对误差,用仪器绝对误差的平均值与量程范围之比的百分数来表示,即:



$$Q = \pm \frac{\Delta N}{\Delta D} \times 100\% \quad (1.1)$$

式中, ΔN 表示平均误差, ΔD 表示量程范围, “ $\pm$ ”表示测量结果可大于或小于真实值,但不能超过 ΔN 。

在仪器指标中常用“精度等级”来表示仪器的误差,“精度等级”代表的误差是指在规定的使用条件下,用该仪器测定的最大误差。其意义是式(1.1)中去掉百分号和“ $\pm$ ”即可。通常把仪器表的精度等级由高到低分为 1.0、1.5、2.0、2.5、4.0、5.0、6.0、10.0、15.0、20.0 10 级。在仪器精度等级前加上“ $\pm$ ”和“%”,即构成仪器的基本误差,如精度等级为 1.0 的仪器,精度为 1.0%;精度为 2.5% 的仪器,其精度等级为 2.5。

(二) 分辨率

分辨率又称鉴别率或分辨本领,是仪器区分特性相近成分的能力。分辨率愈高,说明仪器将几种性能相比的成分区分开的能力愈强;反之亦然。

不同的分析仪器,分辨率的表现形式也不尽相同。对于显微镜,分辨率是指显微镜分辨被检物体的微细结构的能力,与显微镜分辨距离成反比;分光系统的分辨率是指分光元件分辨相邻两谱的能力。由于质谱仪是区分物质的质量数,故其分辨率是指区别样品质量数的能力。总而言之,分辨率这个概念较复杂,对于不同的仪器,分辨率有不同的含义,但其基本概念是一致的。

(三) 灵敏度

灵敏度是指分析仪器在稳定条件下对被测量物微小变化的响应,也即仪器的输出量与输入量之比。灵敏度等于分析仪器的指示值增量与被测量增量之比,用下式表示:

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1.2)$$

式中, Δy 表示输出增量, Δx 表示输入增量,此式只能反映特性是线性的情况,若反映特性是非线性的,则式(1.2)应写成导数形式:

$$S = \frac{dy}{dx} \quad (1.3)$$

它是仪器在稳态下输出与输入特性曲线上各点的斜率。

由于各种仪器作用机制不同,灵敏度的计算式和量纲也不同。如用气相色谱仪测试气体样品,若使用浓度型检测器所得灵敏度单位是 $\text{mV} \cdot \text{mL} \cdot \text{mL}^{-1}$;而使用质量型检测所得灵敏度单位是 $\text{mL} \cdot \text{s} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

对于一台仪器,其灵敏度在测量不同含量、不同对象时是不相同的。因此,要比较仪器的灵敏度,必须给定一定条件,如某一量程范围的平均值、满量程的平均值、某一具体浓度或含量、测量某一对象的值等。

显然,灵敏度值愈高,仪器就愈灵敏。

(四) 检测极限

检测极限指仪器能确切检测的最小物质含量,又称检出极限或最小检测量。检测极限也是一个衡量分析仪器性能优劣的重要指标,它比灵敏度更具明确的意义,它考虑到了噪声影响,并明确地指出了测定的可靠性。

一台仪器的检测极限与仪器自身的噪声水平关系极大,这是因为检测系统和电子线路都有一定的噪声。噪声在灵敏度较高时将被如实地放大,噪声太大时,测量信号将被放大的噪声

淹没而不能被确切地辨认。因此检测极限就受到噪声信号的限制,用公式表示为:

$$d = \frac{nN}{S} \quad (1.4)$$

式中, N 表示噪声水平, n 为安全系数, S 表示仪器的灵敏度, d 为检测极限。噪声水平 N 一般由实测得到, 为了保险起见, 将实测的噪声水平放大若干倍, n 值一般取 1~5, 如在气相色谱中取 $n=2$ 。

由式(1.4)可见, 在提高仪器灵敏度 S 的同时, 可最大限度地抑制噪声, 这是改善检测极限的有效途径。如果单纯提高仪器的灵敏度, 则噪声也会成比例增大, 那么提高灵敏度对降低检测极限将毫无意义。

由于同一台仪器对不同物质的灵敏度不同, 所以对不同物质的检测极限也就不同, 在比较仪器性能时, 需用相同的样品进行测量。

(五) 选择性

选择性主要是对单组分分析仪器而言的, 它表示分析仪器区分待分析组分与非待分析组分的能力, 并用选择性系数表示该能力的大小。选择性系数定义为取得相等的输出信号时非待分析组分的含量变化 ΔC_m 与待分析组分的含量变化 ΔC 之比, 用公式表示为:

$$K = \frac{\Delta C_m}{\Delta C} \quad (1.5)$$

式中, K 为选择性系数, ΔC_m 为非待分析组分变化量, ΔC 为待分析组分变化量。

(六) 响应时间

响应时间是衡量仪器动态特性的一个参数, 它反映了被测样品参数发生变化后仪器的输出信号能否及时、准确地跟随被测信号参数的变化而变化。响应时间有两种表示法:

(1) 被测信号发生变化后, 仪器响应达到最后值的 63% 时所需的时间, 即时间常数 T 。如样品突然从 20% 变到 30%, 则响应时间是指从开始变化起到指示值到达时所经历的时间:

$$20\% + (30 - 20)\% \times 63\% = 26.3\% \quad (1.6)$$

(2) 从被测信号发生变化起到仪器响应达到最后指示值的 90% 所经历的时间, 同上例, 则响应时间为:

$$20\% + (30 - 20)\% \times 90\% = 29.0\% \quad (1.7)$$

所经历的响应时间一般采用后一种表示法。

响应时间与样品含量变化的关系曲线如图 1-1 所示, 在 t_0 时刻样品浓度突然发生变化, 仪器指示值变化情况从图中可见曲线①响应最快, 曲线②次之, 曲线③最慢。

为使输出指示值能快速跟随被测样品含量的变化, 在分析过程中总希望响应时间愈快愈好。特别是在被测参数变化较快的场合更应给予足够的重视。

(七) 线性范围

线性范围是指仪器检测系统检测信号与被测物质浓度或质量成线性关系的范围, 可用该物质在线性范围内的最大和最小进样量之比来表示。线性范围愈宽, 在定时分析中可测定的浓度范围就愈宽。如图 1-2 所示, 在 A~B 区间, 反应曲线对应的物质含量范围即为线性范围, 反应曲线低于 B 或高于 A 时, 曲线开始弯曲, 也就不属于线性范围了。

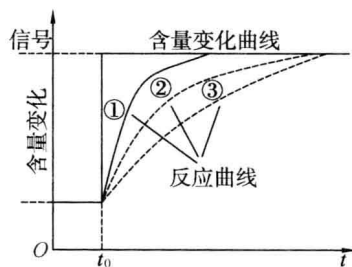


图 1-1 响应时间与样品含量变化的关系



对于一台分析仪器,人们总希望它具有线性特性,这样既可以使指示部分刻度均匀,又可以在整个测量范围内具有相同的灵敏度,并且不需采用线性化环节,从而简化测量电路。然而实际上许多分析仪器,尤其是传感器总是具有不同程度的非线性。将一个小范围内的或在特定条件下的曲线处理成近似于直线的方法称为“线性化”。经“线性化”处理后,仪器的输出量与输入量将按比例变化。

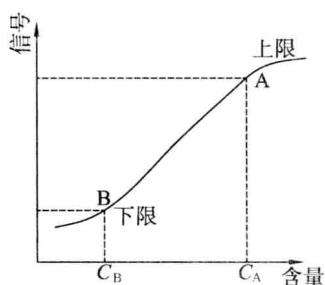


图 1-2 线性范围

(八) 稳定性

稳定性是指在规定的时间内,测量条件不变的情况下仪器指示值的变化。影响仪器指示值变化的因素很多,一般由仪器中随机性变动、周期性变动、漂移等引起;也可因外界环境的变化,如温度、湿度、气压、电源电压、电网频率变化引起。稳定性常用单位时间仪器漂移满量程的百分数来表示。如某仪器电压指示值在任意 1 h 变化 1.3 mV,则稳定性可表示为 1.3 mV/h,有的仪器也用漂移、噪声等来表示稳定性特征。

(九) 重复性

理想状态下的分析仪器在相同条件下应具有一致的重复试验性,也就是说经多次循环试验所得到的变化规律是一致的,各个对应点上的量值是完全重合的。但实际试验中不同次的试验结果所得到的输出量总有一定的差异,这个差异就形成了重复性误差。所以,重复性说明仪器测量值的分散性,即对某一稳定的被测量物由同一操作者用同一台仪器在短时间内连续重复测定多次,其测量结果的分散程度。如某台酸度计的重复性为 5%,意即用该酸度计多次测量结果的分散程度小于 0.05 pH。重复性与精度的关系非常密切,重复性必然在精度范围内。

五、传感器在医学实验仪器中的应用

(一) 传感器的定义及分类

传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节。如果没有传感器对原始参数进行精确可靠的测量,那么无论是信号转换或信息处理,或者最佳数据的显示与控制都是不可能实现的。

在非电量测试技术中,将各种非电量变换为电量,我们称能够完成变换功能的装置为传感器。

传感器的种类很多,一般可按以下几种方法分类:

- (1) 根据输入物理量可分为:位移传感器、压力传感器、速度传感器、温度传感器及气敏传感器等。
- (2) 根据工作原理可分为:电阻式、电感式、电容式及电势式传感器等。
- (3) 根据输出信号的性质可分为:模拟式传感器和数字式传感器。即模拟式传感器输出模拟信号,数字式传感器输出数字信号。
- (4) 根据能量转换原理可分为:有源传感器和无源传感器。有源传感器将非电量转换为电能量,如电动势、电荷式传感器等;无源传感器不起能量转换作用,只是将被测非电量转换为电参数的量,如电阻式、电感式及电容式传感器等。

(二) 热电偶的理论基础

把两种不同的导体或半导体连接成图 1-3 所示的闭合回路,如果将它们的两个接点分别

置于温度各为 T 及 T_0 (假定 $T > T_0$) 的热源中, 则在该回路内就会产生热电动势和温差电动势。

温差电动势是在同一导体的两端因其温度的不同而产生的一种热电动势。由于高温端 T 的电子能量比低温端 T_0 的电子能量大, 因而从高温端跑到低温端的电子数比从低温端跑到高温端的电子数多, 结果高温端因失去电子而带正电荷, 低温端因得到

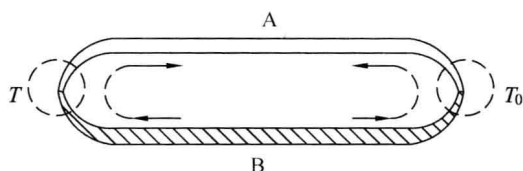


图 1-3 热电偶回路

电子而带负电荷, 从而形成一个静电场。此时, 在导体的两端便产生一个相应的电位差 $U_T - U_{T_0}$, 此即温差电势。图 1-3 中的 A、B 导体分别都有温差电动势。根据物理学的推导有下列公式:

$$e_A(T, T_0) = U_{AT} - U_{AT_0} = \frac{k}{e} \int_{T_0}^T \frac{1}{N_A} \frac{d(N_A t)}{dt} dt \quad (1.8)$$

$$e_B(T, T_0) = U_{BT} - U_{BT_0} = \frac{k}{e} \int_{T_0}^T \frac{1}{N_B} \frac{d(N_B t)}{dt} dt \quad (1.9)$$

式中, $e_A(T, T_0)$ 和 $e_B(T, T_0)$ 为导体 A 和 B 在两端温度分别为 T 和 T_0 时的温差电动势; e 为单位电荷; k 为波耳兹曼常数; N_A 和 N_B 为导体 A 和 B 的自由电子密度, 它们均为温度 t 的函数。

(三) 压电传感器

1. 压电传感器的定义

压电传感器是一种典型的电能量型传感器, 它以某些电介质的压电效应为基础, 在外力作用下在电介质的表面上产生电荷, 从而实现力—电荷的转换, 所以它可以测量最终能变换成力(动态)的那些物理量, 如压力、应力、加速度等。

2. 压电传感器及其应用

(1) 压电加速度传感器

压电加速度传感器是一种常用的加速度计。因其固有频率高, 高频(几千赫至十几千赫范围)响应好, 如配以电荷放大器, 低频率特性也很好(可低至 0.3Hz)。压电加速度传感器的优点是体积小、重量轻, 缺点是要经常校正灵敏度。

(2) 压电压力传感器

压电压力传感器主要用于发动机内部燃烧压力的测量与真空度的测量, 它既可用于测量大的压力, 也可以用来测量微小的压力(如图 1-4 所示)。

(四) 压力传感器

图 1-5 是压力传感器, 它是利用弹性元件先将压力转换成力, 然后再转换成应变, 从而使应变片电阻发生变化。从结构示意图 1-5 可见, 应变片粘贴在悬臂梁上, 悬臂梁的刚度应比压力敏感元件更高, 这样可降低这些应变片所固有的不稳定性及迟滞。这种传感器在适当选择尺寸和制作材料后, 可测量较低压力。此种类型传感器的缺点是: 自振频率低, 因而不适于测量瞬态过程。

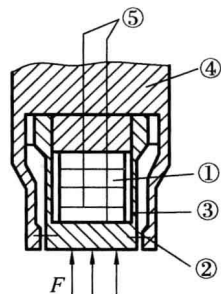


图 1-4 压电电力传感器

- ① 压电晶体 ② 模片弹簧
- ③ 薄壁圆筒 ④ 外壳
- ⑤ 引线

(五) 光电阻传感器

光电阻传感器是将光信号转换为电阻变换的一种传感器。若用这种传感器测量其他非电量时,只要将被测非电量的变化转换成光信号的变化即可。此种测量方法具有结构简单、非接触、高可靠性、高精度和反应快等优点,故广泛用于自动检测系统中。

(六) 常用半导体传感器

用半导体敏感元件构成的半导体传感器,近几年发展较快,在国防和国民经济各个部门以及人们的日常生活中得到越来越广泛的应用。

半导体敏感元件种类繁多,能够把力、热、光、磁、气、温度、射线、离子等一些物理量、化学量和生物量转换成电量信息。此外,还具有体积小、重量轻、精度高、成本低、便于集成化、多功能化、易于微机接口等优点,因此,被广泛用于过程自动检测、灾害自动报警、自动测量、自动计量、自动控制等各个领域。

1. 霍尔传感器

(1) 霍尔效应

如图 1-6 所示的金属或半导体薄片,若在它的两端通过控制电流 I ,并在薄片的垂直方向上施加磁感应强度为 B 的磁场,那么,在垂直于电流和磁场方向上(即霍尔输出端之间)将产生电动势 U_H (霍尔电动势或称霍尔电压)。这种现象称为霍尔效应。

霍尔效应的产生是由于运动电荷受磁场中洛伦兹力作用的结果。假设在 N 型半导体薄片的控制电流端通过电流 I ,那么,半导体中的载流子(电子)将沿着与电流相反的方向运动,若在垂直于半导体薄片平面的方向上加以磁场 B ,则由于洛伦兹力 f_L 的作用,电子向一边偏转(见图中虚线方向),并使该边积累电子,而另一边则积累电荷,于是产生电场。该电场阻止运动电子的继续偏转。当电场作用在运动电子上的电场力 f_E 与洛伦兹力 f_L 相等时,电子积累达到动态平衡。这时,在薄片两端面之间建立的电场称为霍尔电场 E_H ,相应的电动势称为霍尔电动势 U_H 。

(2) 霍尔传感器的应用

由于霍尔元件具有对磁场敏感,结构简单,体积小,频带响应宽,输出电动势的变化范围大,无活动部件,使用寿命长等优点,因而在测试技术、自动化技术和信息处理等方面有着广泛的应用。

2. 气敏传感器

为了确保安全,需对各种可燃性气体、有毒性气体进行检测。目前实用气体检测方法很多,其中接触燃烧法和用半导体气敏传感器检测法具有使用方便、费用低和可把气体浓度转换成相应电量输出的特点。由于接触燃烧法中使用的催化剂长期使用时容易劣化和中毒,灵敏度又较低,故在应用时不如使用半导体气敏传感器。在诸多的半导体气敏元件中,由于用

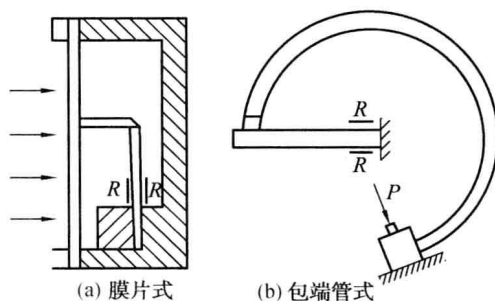


图 1-5 组合式压力传感器

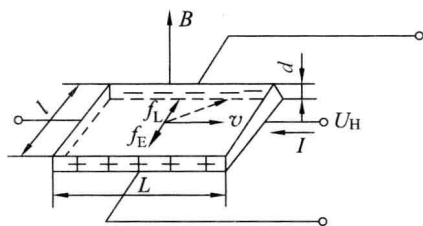


图 1-6 霍尔效应原理示意图

SnO₂制成的元件有一系列优点故应用最为广泛。

(1) SnO₂半导体气敏元件的特点

SnO₂半导体气敏元件,目前以 TGS 型和 QM - N5 型气敏元件为主要代表。这类器件以多孔质 SnO₂烧结体为基体材料,它与其他类型气敏元件相比,具有以下特点:

① 气敏元件阻值随检测气体浓度具有指数变化关系,因此,这种器件非常适用于微量低浓度气体的检测。

② SnO₂材料的物理、化学稳定性较好,与其他类型气敏元件(如接触燃烧式气敏元件)相比,SnO₂气敏元件寿命长、稳定性好、耐腐蚀性强。

③ SnO₂气敏元件对气体检测是可逆的,而且吸附、脱吸附时间短,可连续长时间使用。

④ 元件结构简单,成本低,可靠性高,力学性能良好。

⑤ 对气体检测不需要复杂的处理设备。待检气体可通过元件电阻直接转变为电信号,且元件电阻率变化大。因此信号处理可不用高倍数放大电路就可实现。

由于上述特点,SnO₂半导体气敏元件一直是目前世界上生产量大、应用面广的气敏元件。

(2) SnO₂的基本性质

SnO₂的气敏效应是在多晶 SnO₂材料上发现的。经实验发现,SnO₂对多种气体具有气敏特性。用烧结法或制膜法制备的多孔型 SnO₂半导体材料,其电导率随接触的气体种类而变化。一般吸附还原性气体时电导率升高,而吸附氧化性气体时其电导率降低。这种阻值变化情况如图 1-7 所示。

实验证明,SnO₂中的添加物质对其气敏效应有明显影响。表 1-1 列出了具有不同添加物的 SnO₂气敏元件的气敏效应。

实验证明,制作元件的烧结温度和元件工作时的加热温度,对其气敏性能也有明显影响。因此,利用元件这一特性可进行选择性检测。

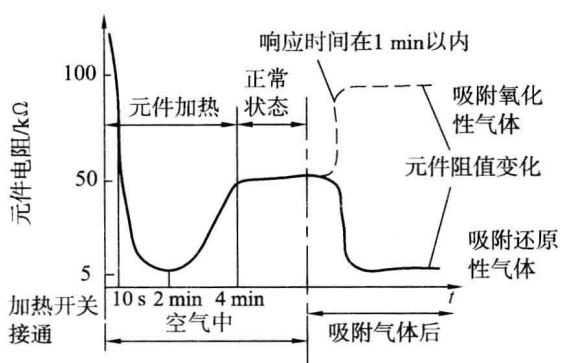


图 1-7 SnO₂ 气敏元件电阻与吸附气体的关系

表 1-1 添加物对 SnO₂ 气敏效应的影响

添加物质	检测气体	使用温度(℃)
PdO, Pd	CO, C ₃ H ₈ , 酒精	200~300
Pd, Pt, 过渡金属	CO, C ₃ H ₈	200~300
PdCl ₂ , SbCl ₃	CH ₄ , C ₃ H ₈ , CO	200~300
PdO + MgO	还原性气体	150
Sb ₂ O ₃ , TiO ₂ , TlO ₃	LPG, CO, 城市煤气, 酒精	250~300
V ₂ O ₅ , Cu	酒精, 丙酮	250~400
稀土类	酒精系可燃性气体	—
过渡金属	还原性气体	250~300
Sb ₂ O ₃ , Bi ₂ O ₃	还原性气体	500~800
高岭土(陶土), Bi ₂ O ₃ , WO	碳氢系还原性气体	200~300



(3) 气敏传感器的应用

半导体气敏元件由于具有高灵敏度、响应时间和恢复时间短、使用寿命长和成本低等优点,所以自其实现商品化以来,得到了广泛的应用。我们以烧结型 SnO_2 半导体气敏元件的应用为主,重点介绍已开发的应用领域。

① 检漏仪或称探测器:它是利用气敏元件的气敏特性,将其作为电路中的气—电转换元件,配以相应的电路、指示仪表或声光显示部分而组成的气体探测仪器。这类仪器通常都要求有较高的灵敏度。

② 报警器:这类仪器是对泄漏气体达到危险限值时自动进行报警的仪器。

③ 自动控制仪器:它是利用气敏元件的气敏特性实现电气设备自动控制的仪器。如电子灶烹调自动控制、换气扇自动换气控制等。

④ 测试仪器:它是利用气敏元件对不同气体具有不同的元件电阻—气体浓度关系来测量、确定气体种类和浓度的。这种应用对气敏元件的性能要求较高,测试部分也要配以高精度测量电路。

3. 湿敏传感器

(1) 概述

近年来工农业生产甚至人类的生活环境,对湿度测量与控制的要求愈来愈严格。例如,温室作物栽培时的湿度若不合理控制,势必影响产量;空调房间不只是温度一个参数控制得好就令人感到舒适,实验表明,只有将相对湿度控制在 $40\% \sim 70\% \text{RH}$ 的状态下,再配合以适当的温度调节才能获得满意的效果。

所谓湿度,就是空气中所含水蒸气的量。空气可分为干燥空气和潮湿空气两类。理想状态的干燥空气只含有约 78% 的氮气、21% 的氧气和 1% 的其他气体成分而不应含水蒸气。把潮湿空气看成理想气体与水蒸气的混合气体,那么它就应当符合多尔顿分压定律,即潮湿气体的全压应等于该混合物中各种气体分压之和。因此设法测得空气中水蒸气的分压,也等于测出了空气的湿度。

气体的水蒸气分压与同温度下饱和水蒸气压的比值,或者其绝对湿度与同温度时饱和状态的绝对湿度的比值称为相对湿度。相对湿度一般用百分数来表示,记为“%RH”。

在湿敏元件发展的过程中,金属氧化物半导体陶瓷材料由于具有较好的热稳定性及抗沾污的特点,因而相继出现了各种各样的烧结型半导体陶瓷湿敏元件。

(2) 烧结型半导体陶瓷湿敏元件的工作原理

烧结型半导体陶瓷材料,一般为多孔结构的多晶体,而且在其形成过程中伴随着半导体化过程。半导体陶瓷多系金属氧化物材料,其半导体化过程通常是通过调整配方,进行掺杂或通过控制烧结气氛有意造成氧元素过剩或不足而得以实现的。半导体化过程的结果,使晶粒中产生了大量的载流子——电子或空穴。一方面使晶粒体内的电阻率降低,另一方面又使晶粒之间的界面处形成界面势垒,致使晶粒界面处的载流子耗尽而出现耗尽层。因此晶粒界面的电阻率将远大于晶粒体内的电阻率,而成为半导体陶瓷材料在通电状态下电阻的主要部分,湿敏半导体陶瓷材料正是由于水分子在其表面和晶粒界面间的吸收所引起的表面和晶粒界面处电阻率的变化,具有湿敏特性的。大多数半导体陶瓷属于负感湿特性的半导体陶瓷,其电阻随环境(空气)湿度的增大而减小。

金属氧化物半导体陶瓷材料,结构不甚致密,各晶粒之间带有一定的空隙,呈多孔毛细管