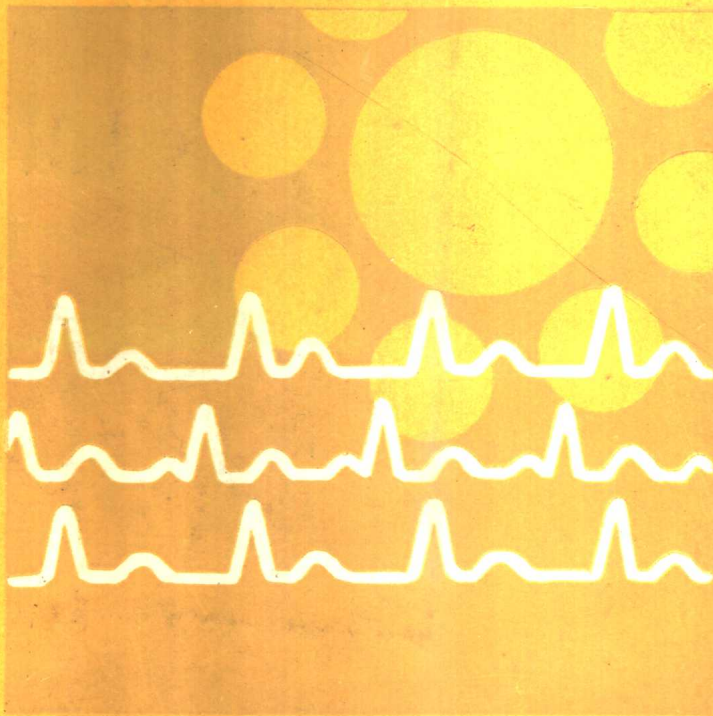


医用电子仪器

苗振魁 主编



2.01
52

天津大学出版社

医 用 电 子 仪 器

主 编 苗 振 魁

编 者 苗 振 魁 潘 慧 泉 杨 学 友
耿 世 钧 赵 秋 生 刘 凤 军

天 津 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书是在天津大学等有关院校生物工程及仪器专业多年教学实践的基础上编写而成。该书从应用和设计的角度研究了医学仪器的共性，并在此基础上对多种典型医用电子仪器进行了具体分析，也介绍了用新技术和新理论研制的成果。

本书共8章，分两大部分。第一部分阐述了医学仪器原理、信号检测、显示记录和安全用电等内容，第二部分介绍了治疗仪器、生物电放大记录仪、医用监护系统、医用遥测技术。各章均附有习题。

本书可作为大学本科生教材，又可供大学教师及有关工程技术人员和医务工作者阅读。

(津)新登字012号

医 用 电 子 仪 器

苗振魁 主编

*

天津大学出版社出版

(天津大学内)

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本：787×1092毫米1/16 印张：10 1/2 字数：262千字

1992年8月第一版 1992年8月第一次印刷

印数：1—3000

ISBN 7-5618-0360-5

TH·17

定价：6.20元

前 言

医学仪器是生物医学工程 (Biomedical Engineering, 简称BME) 研究的重要内容, 是医学科学现代化的物质基础和主要标志, 也是预防疾病、诊断疾病、治疗疾病以及医学教育、科学研究必不可少的工具。医用电子仪器是发展最快、应用最广、技术高密集的医学设备。所以, 医用电子仪器技术的进步、普及和应用将对我国的医学现代化起着重要的促进作用。

世界各国都很重视BME的发展, 尤其重视人才的培养。我国早在1978年就制定了这项学科的发展规划和人才培养计划, 并且在许多高等院校建立了BME专业, 医用电子仪器成为医学仪器专业的主干课程。为了满足培养BME人才的需要, 反映国内外BME技术水平, 在总结了有关院校多年教学经验的基础上, 由天津大学、河北机电学院、天津医学院和吉林空军医学专科学校共同编写了这本教学用书。本书比较系统地阐述了医用电子仪器的基础理论, 详细地介绍了电子技术在研究、诊断和治疗疾病方面的应用, 也收集了比较新的资料和研究数据, 在一定程度上反映了当前的科研成果。

本课是医学仪器专业的必修课。学完本课以后, 使学生在基本理论和基本知识技能方面达到如下要求: 能够掌握医用电子仪器的基本概念、基本结构和工作原理; 能够进行医用电子仪器的设计、制造和维修。

全书计划64学时 (含实验10学时), 前4章20学时, 后4章34学时。每章后均有习题。

本书在编写过程中得到了天津大学王明时教授及医学仪器教研室同志们热情指导和帮助, 在此一并表示感谢!

书中难免有不妥之处, 恳请广大读者, 尤其是使用本教材的师生批评指正。

编 者

1990年6月

目 录

绪论	(1)
0.1 生物医学工程(BME).....	(1)
0.2 医学的发展和医学仪器的关系	(2)
0.3 医用电子仪器及其发展趋势	(3)
第 1 章 医用电子仪器的基本原理	(5)
1.1 医用电子仪器系统	(5)
1.2 医用电子仪器的分类及其特点	(7)
1.3 医用电子仪器的基本特性	(9)
1.4 医用智能仪器的设计	(17)
第 2 章 医用电子仪器的信号检测	(27)
2.1 人体生理信息概述	(27)
2.2 生物医学电极	(27)
2.3 生理信息检测电路	(36)
2.4 干扰及其抑制	(43)
第 3 章 医用电子仪器的信号显示和记录	(50)
3.1 发光二极管显示器	(50)
3.2 示波器显示装置	(51)
3.3 医用记录器	(55)
第 4 章 医用电子仪器的电气安全	(63)
4.1 电流的生理效应及电击	(63)
4.2 电击产生的原因	(65)
4.3 防止电击的措施	(67)
4.4 医用电子仪器的检测及其使用分类	(70)
第 5 章 治疗和康复仪器	(74)
5.1 电针机	(74)
5.2 心脏除颤器	(77)
5.3 心脏起搏器	(79)
第 6 章 生物电放大记录仪	(85)
6.1 生物电放大器	(85)
6.2 心电图机	(89)
6.3 脑电图机	(103)
6.4 其它生物信号处理器	(108)
第 7 章 医用自动监护系统	(113)
7.1 概述	(113)

7.2	床边监护仪	(115)
7.3	智能携带式动态心电监护仪	(131)
第 8 章	医用遥测技术	(139)
8.1	概述	(139)
8.2	调制与解调技术	(141)
8.3	植入式生物医学遥测仪	(145)
8.4	体外生物医学遥测仪	(149)
8.5	多路复用技术	(158)

绪 论

0.1 生物医学工程(BME)

现代科学技术发展的重要特点是各学科相互渗透, 新兴边缘学科不断出现。而生物医学工程学就是最令人瞩目的新学科之一。

这里所说的“生物”是指有生命的领域, 或是指生命科学; “医学”是表明所研究的是生命科学中主要与人的健康和治病有关的领域; “工程”一词则说明这个学科是属于工程学的范畴, 而不是医学的范畴。因此, MBE是综合应用各种现代自然科学和工程技术的相应理论和方法, 从工程的角度深入研究人的结构、功能及其相互关系, 以解决生物医学中生命的奥秘、疾病的防治等各种有关问题的学科。

早在40年代这门学科就开始萌芽。当时, 二次世界大战已经结束, 电子技术刚开始涌向医学领域, 由于缺乏必要的协调知识, 所以没有形成体系。50年代, 随着电子学的高速发展, 电子技术被很快地引入到生物医学中, 形成了“医学电子学”(Medical Electronics 简称ME), 成为BME的先导。到60年代, 出现了大量新技术, 如激光、红外、超声、光学纤维、电子计算机、高分子化合物等, 这就为生物医学提供了日益广阔的应用条件, BME作为一门新兴的边缘科学应运而生了。进入70年代, 由于电子技术的大规模渗透, 出现了像CT之类的新产品, 给BME增添了耀眼的光辉。80年代又有许多新的突破, 未来的整个生物界和人类健康状况将会出现一种很难预料的崭新前景。

BME研究的内容分为基础研究和应用研究两大类。

0.1.1 基础研究

它是从工程学方面研究生命体。其中包括:

1. 生物力学——它是用力学的理论与方法来研究人体的结构和功能。
2. 生物流体力学——是研究人体内部、人体与环境之间流体的运动与传热、传质过程, 包括人体血液循环、呼吸、泌尿等系统的内部流动。由于血液循环对维持人的生命有重要作用, 因此目前以心血管系统流体力学的研究最引人注目。它包括血液流变学、动脉中的血液流体力学、微循环力学等。
3. 生物材料学——是研究各种医用材料的微观和宏观结构, 以及与人体组织相互作用时的生物变化特性。其中医用高分子化合物的研究是主要的内容之一。生物材料包括用于硬组织(如骨、软骨等)、软组织(如皮肤、肌肉、血管等)和液体(如血液、淋巴液等)的材料。
4. 生物质量和能量的传递——是研究各种物质和能量在人体内传递的机理和过程。质量传递如气体、液体在体内的扩散、渗透规律等; 而能量的传递包括声、光、电、磁、热或射线等。
5. 生物信息和生物控制——是研究人体信息的发生、提取、分析和处理, 并达到控制的目的。生命信息是指生物体内随时间或空间变化的参数, 如压力、温度、心电、脑电、流

量、浓度、pH值等。

0.1.2 应用研究

它是在基础研究前提下，运用现代技术手段具体地解决医学上提出的课题，包括研制新设备、发展新技术和探索新方法。具体有：

1. 人工器官的研制——此项研究开始于19世纪后半叶。现在的研究范围，已从功能简单的器官发展到功能复杂的器官，代用时间也从手术时的短暂代用推进到半永久性的植入型代用。目前除了胃肠和大脑以外，出现了形形色色的人工器官，这是20世纪医学的一项重大进展。

人工器官包括人工脏器、人工假肢、人工鼻、人工视觉等。当前人工器官研究发展的趋势是：由代替部分机能到代替全部机能；由短期使用到长期使用；在外形上则要求小型、可移动并向植入型发展，如用人工心脏完全取代人的天然心脏是受人们重视的课题之一。

2. 医学仪器的研制——这是生物医学工程中的一个重要的组成部分。医学仪器包括的内容也很多，有医用电子仪器、医用超声仪器、医用微波仪器、医用射线仪器、医用光学仪器等。就医用电子仪器来说，有从生物体取得信息的检测仪器，又有作用于生物体的刺激仪器、治疗仪器和各种监护仪器等。随着微电子技术的发展，医用电子仪器将朝着大规模集成电路的方向发展，这将使仪器更加精密和轻巧，日益微型化、智能化。

总之，BME是工程与技术科学向生物学、医学渗透的科学。工程与技术科学从未像今天这样为揭示生命现象、医治人体疾患及延长人的寿命提供如此完备的手段。这些手段包括：生物系统的数学模拟，即建立生物系统在各种观察角度的数学模型，以便可以对难于测量的状态变化和参数进行估计和推算；用工程技术中的调节原理对生物调节系统进行分析，从整体上认识生理机构的精细功能；生物系统的物理模拟，即建立生理系统的物理模型，运用无生命的材料、元件乃至仪表装置构成一个人工系统，使其在状态特性及参数上符合某一生理系统的数学模型及控制过程。一个完美的物理模型，在成功地进行了生物体的相容性处理后，就意味着人工脏器设计的完成。此外，在实现临床医学现代化的过程中，工程与技术科学在生物医学测量、生物医学信息处理、医学影像、生物医学材料、康复工程以及临床安全等方面也都提供了多种有效的技术手段，无疑这些也应属于BME的范畴。

0.2 医学的发展和医学仪器的关系

医学科学的现代化是以医学仪器现代化为物质基础和重要标志的。医学发展的历史证明，医学仪器是预防、诊断、治疗疾病和进行医学教育、科学研究必不可少的重要工具。

近代医学是从16、17世纪实验医学开创之后才逐渐发展起来的。但是，因为当时没有可靠的实验工具，所以发展缓慢。20世纪50年代以后，科学技术飞速发展。尤其是物理学、电子学新技术渗透到医学科学领域，使医学得到了迅速的发展。除光学显微镜外，X射线以及心电、脑电、肌电、超声仪器和各种电疗机对基础医学和临床诊断治疗起着重要作用。

到70年代，医学科学已进入到细胞、亚细胞及分子水平。这时，再用光学显微镜和一般测试技术研究生命物质的超显微结构和功能已远远不够。这就需要研究制造新仪器。电子显微镜使人可以直接看到病毒，进一步研究细胞组织内部的超显微结构；X射线衍射和红外光谱技术可以研究蛋白的空间构型；射线和同位素广泛应用于诊断疾病、治疗肿瘤以及正常生理和病理机理的研究；核磁共振技术可以研究有机体内游离基的浓度，对细胞癌变可以获得

很灵敏的测量结果。

随着科学技术的发展,电子计算机已经广泛地应用于医学科学领域。其中包括行政管理、病历管理、门诊预约、自动临床化验、手术监护、病理或药理分析、中医辨证施治的理论研究、药剂配置、生物电信号自动分析、图像识别以及断层成像等。现代诊断工具中,电子计算机断层成像(简称CT)已经大大地超越了X光机成像技术,是现代诊断学上的一项重大突破。现在CT已用于颅脑、颈、胸、腹或骨盆等处进行横向断层检查,图像层次分明,分辨率达到 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 。因此它对于体内肿瘤、脑内出血、体腔积液、脏器病变的诊断具有独特的价值,准确率可达95%。这是一种深入体内的无损快速检测法。目前国内已经研制出先进的核磁共振CT设备,国外还研制出对于动态心脏实现断层成像的快速CT。

总之,近代医学仪器的应用和发展直接促进了医学科学的进步,保证了人民的健康,延长了人类的平均寿命。医学仪器是一个国家医学科学水平的标志。

0.3 医用电子仪器及其发展趋势

在医学仪器中,医用电子仪器发展最快、应用最广。这是因为电子惯性小,用电量表示信息时,转换方便,传递迅速,便于测量和记录,对信息可进行逻辑处理,也可连续观察生命过程的各种微妙变化,最大限度地延伸眼、手、脑的功能,使生命现象客观定量地动态显示、计量、记录及分析。医用电子仪器的发展趋势是组合式、多功能化、小型化,以及普遍采用微处理机技术,实现自动化、智能化。

0.3.1 心电图机

已经从手工操作的单导心电图机发展到六道自动心电图机。六道心电图机具有手动、自动两种操作方法,有碳粒转移或热笔记录两种记录方法。若换上专用插件还可作脑电、肌电、希氏束、心率、血压、心音等多种检查。单道心电图机趋向便携式,供紧急情况时使用,因而要求重量轻、使用简便、可靠性高。如直接佩带在病人胸前的紧急诊断用心电图机,重量仅790g,体积为 $45 \times 110 \times 130(\text{mm})$ 。带心电分析装置的多道心电图机可以将记录下来的心电图在一分钟内进行分析,并打印出分析结果。这就省去医务人员分析判断心电图的麻烦,备受用户欢迎。

0.3.2 心脏起搏器

发展趋势是按需式和参数可调式。后者可在体外对装入人体的起搏器的电参数进行调整。另外一个趋向是提高寿命和可靠性。

0.3.3 监护系统

它是各种医用电子仪器的组合应用,代表医疗仪器的发展水平。监测项目已扩展到心电、脑电、心律失常、血压、呼吸、体温、脉搏、子宫收缩、氧分压、pH值、二氧化碳分压等多种生理指标。中央监护台可通过计算机系统重现病人参数信息。不同的监护项目可组成不同类型的监护系统,如重症监护、冠心病监护、手术室监护、手术后监护、分娩监护或婴幼儿监护等等。

植入式遥测监护是医护史上的重大成果。如将微型压力传感器和发射机埋植颅内,将颅内压力的变化由传感器检出,经发射机发射后由体外接收机接收,以此监测脑水肿等疾病引起的颅内压升高。从工程技术角度讲,要求植入式遥测装置尺寸小、重量轻、功耗低、寿命长、可靠性高、生物相容性好,并要求采用新颖的传感器和微型高效电池。

由此看来，学习“医用电子仪器”，需要有电子学、机械学、光学、医学、计算机科学等多方面的知识。本课程的任务是研究医用电子仪器的原理、使用和设计，以先进、精密和可靠的医用电子仪器武装和推动医学科学，促进医学水平的提高，为人类健康服务。

要看到，与先进国家相比，目前我国医疗仪器的水平还比较低，与我国医学科学的发展不相适应。所以必须努力发展我们自己的医疗仪器事业，开发研制符合我国国情的医用电子仪器，早日实现祖国医学科学的现代化。

第1章 医用电子仪器的基本原理

本章主要介绍医用电子仪器的系统组成、基本原理、特点及静态特性和动态特性。

1.1 医用电子仪器系统

1.1.1 系统概述

对系统进行研究时,工程上传统的方法是在已知输入量作用下,求出系统的输出量,最终建立一组输入-输出方程,以描述系统内部的函数关系。通常把这样的未知系统称为“黑箱”。

生物体就是一个复杂的黑箱,尤其是有生命的人体。在这些有生命的机体内存存在着电、声、光、磁、热、水力、空气、化学、机械以及其他许多种系统,而这些系统之间又互相作用和制约。人体内还存在一台高效能的“计算机”、若干交换系统和各种控制系统。

生命体内没有一个输入和输出的关系是确定的。也就是说,重复地将同一组输入信号作用于生命系统,系统的输出并不是唯一的值,而是一簇广范围的响应集,有时甚至是完全随机和互不相关的。

用仪器进行生命体测量时会遇到很多问题。首先,生命体变量之间存在着高度的相关性,当测量两个变量之间的关系时,往往无法确定哪个是因变量,有时甚至连输入和输出都难以分辨。因此就不能采用保持几个参数不变来求取输入和输出之间关系的研究方法。有时所用测量装置本身也会改变生命体正常的生理状态。其次,有很多重要的生理参数对测量装置是不容易接近的。这就使某些重要关系不能很好确定,只能用精度较差的方法进行间接测定。此外,对生命体进行测量时必须要有安全保护,而且应不使人有过度的痛苦和其他不舒适感觉。有时还要考虑医院的环境因素和社会因素以及道德和法律的因素。很显然,上述特点都不同于通常对工程系统的测量,因此不能把用于非生命系统的测量直接用于人体。

由于仪器系统和被测人体之间存在复杂的相互作用,所以应该把人体作为仪器系统的一个组成部分。在设计和应用医学仪器时,为了从人体取得可靠数据,必须同时考虑人体的内部特性。

医用仪器系统的基本功能大致有以下几种。

1. 采集信息 测量人的生理参数和人所处周围环境的自然现象,帮助人们探索自身和所处环境的知识。

2. 诊断和治疗 根据采集的信息,进行一定处理后,评价是否满足被测系统功能的要求,并对被测系统的故障进行治疗。一些仪器可以直接将电、声、光、热等形式的能量作用于人体以改变人体内部某些系统的参数;有些仪器甚至可以与人体组成闭环系统,依靠人的某种输出参数控制仪器输送给人体的能量性质和大小。

3. 监护 取得被测系统状态的连续或周期性的信息,监视某些过程或操作。

4. 控制 根据系统一个或多个内部参数的变化来控制系统的操作。

基于上述功能,医用仪器不但能帮助医生诊断疾病,也广泛用来治疗人体各种机能失调

等疾病；在常规的体检中，可用其评定身体健康状况；特殊的仪器系统还可用于病人的手术监护或危重病人的监护。

医用仪器通常可分为临床和研究两大类。临床仪器主要用于疾病的诊断、监护和治疗，此类仪器应便于使用、操作，结构应牢固可靠，以便医生获得足够可靠的信息，从而做出正确的临床判断。研究用仪器主要用于对生物医学基础理论的研究，要求仪器有比较高的精度和分辨率，仪器的设计更复杂、更专业化。有一些仪器的作用介于两者之间，在临床医学和基础理论研究领域均能使用。

医用仪器对人体测量大致可分为活体内测量和试管测量两大类。前者是人体处于机能状态下的临床检查或体内测量，后者是处理血液与尿之类的标本化验检查。活体内测量的例子是用电极插入血管中直接测量血液中的pH值。应该指出的是，一些非创伤性诊断技术，虽然测量是在人体外进行的，但是与人体内保持着能量或其他形式的联系，例如，用体外血压计测量时，传感器虽未直接侵入体内，但人体血压信号被换能器感知，彼此间保持着能量联系和转换，此种测量仍属于活体内测量。

1.1.2 系统组成

图1-1为医用电子仪器系统结构方框图。这个系统的基本部件和工业仪器系统基本相同。其区别在于被测对象是有生命的人体。

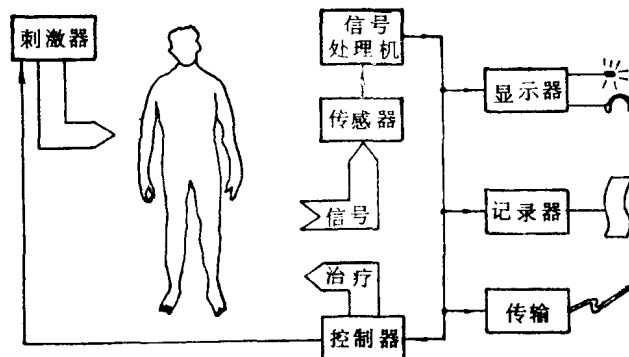


图 1-1 医用电子仪器系统方框图

医用电子仪器系统由以下几部分构成。

1. 被测对象 被测对象主要是人体的生理系统。它提供了系统要测量的各种物理量。医学上最主要的被测量有生物电位、压力、位移、速度、加速度、阻抗、流量、温度和化学浓度等。

2. 刺激器 在许多医学测量中，要求生物体对某种形式的外部刺激作出反应。刺激可以是视觉（如闪光）、听觉（如声音）、触觉（如敲打跟腱），也可以是对神经系统某些部位的电刺激。

人体组织对外部刺激的响应程度取决于刺激信号的幅度、频率以及人体组织本身状况和刺激信号之间的相位关系。当人体组织感受到刺激并作出可测量的响应时称为诱发。

3. 医用传感器 医用传感器把来自生物体的能量或信息转换成电信号，输入给仪器系统进行各种处理。医用传感器转换的最主要量有温度、压力、流量、位移、速度和力等非电量。而生物医学电极是直接感知人体生物电位的医用传感器。

传感器在与人体接触提取信号时不能对人体造成任何损害，也不能较多地改变人体原来

状态。

4. 信号处理机 信号处理机的目的是处理传感器送来的信号,以满足系统显示或记录设备的要求。有时常把传感器输出的模拟信号转换成数字形式,然后用计算机进行数据处理。信号处理机还可以补偿传感器的非线性失真。

5. 显示和记录器 显示器接收信号处理机来的电信号并以操作人员所能感知到的形式显示出结果。实际应用中,多数显示形式是依靠操作者的视觉感知的,但也有靠测量所得的信息(如多普勒超声信号),采用听觉感知形式却有更好的效果。视觉感知的显示方式有,数字式(如发光二极管LED)、图形式(如阴极射线管,CRT)和指针式(如磁电表表头)三种形式。

为了对测量结果进行事后分析处理或者从一处传送到另一处,就需要将测量结果记录下来以便长时间保存。医用仪器的记录器主要有两种类型。一种是磁带记录装置。磁带记录装置有很多优点,首先是频率响应宽,记录的信息可以反复重放,便于分析处理和保存;其次是信号失真度低,适宜于作准确测量,可以在一些较恶劣的环境下使用;此外,一条磁带可同时记录多个生理量,适宜于长时间连续记录和大量资料存贮,且记录的信号可以抹除,磁带可多次使用,成本较低。所以该种装置的应用日益增多。另一种记录装置是直接描记式装置,主要用来记录各种生理参数随时间变化的模拟量。直接描记式记录装置在医用仪器中使用较多,常用的有描笔记录仪、喷墨记录仪、光线示波器及X-Y记录仪等。

6. 数据传输设备 从人体采得的信号一般具有两个主要特点:一是信号微弱,各种干扰很大,信噪比低,有用信息常淹没在强干扰背景中;另一个特点是,由于人体复杂,测得的数据遵循统计规律,因而需要采用各种统计分析方法对信号进行叠加、相关处理、或进行频谱分析和直方图等数据处理,方能从强干扰背景中提取微弱的生理信息。这些待测的信息送入“数据处理设备”。数据处理设备既可对信号进行处理,也可以随时对保存在记录器上的信息作分析处理。这个任务常由微型计算机完成。信号传输设备将生物医学信息由一处自动传送至另一处。根据不同的要求,传输距离可长可短。

7. 控制器 把部分输出信号反馈到输入端,以使系统按某一方式工作,如控制刺激量大小、控制传感器或仪器系统中其他任何部分。控制可以是自动的或手动的。

此外,医用电子仪器系统还具有校准信号,以便对整个仪器系统进行自动的或手动的、随机的或周期性的校准。

1.2 医用电子仪器的分类及其特点

1.2.1 医用电子仪器的分类

通常有以下四种分类方法。

(1)根据被测物理量分类 如按压力、流量、温度、位移、振动等分类。其优点是可以对任一参数的各种测量方法进行比较,明确表明了传感器的用途,便于使用者选择合适的测量方法。

(2)根据转换原理分类 如按压电、电感、电容、电阻、光、热电、超声或电化学等分类。这种分类法可以加强对仪器各种原理的理解,了解各种原理的不同用途,便于工程技术人员掌握原理和设计。

(3)按各种生理系统分类 如按心血管系统、肺循环系统、神经系统或内分泌系统等分

类。这种分类方法对只熟悉本专业领域的专科医生选用仪器来说是方便的。

(4)按临床医生的专业分类 如按儿科、妇产科、放射科等分类。这种分类,对于关心专门化仪器的医务人员是很有价值的。

除以上分类方法外,还可以按医用电子产品的类别来分。

(1)生理参数测量与诊断仪器 如心电图机、脑电图机、肌电图机、超声诊断仪、X光机、同位素仪、肺活量计、电子血压计等。

(2)治疗仪器 如放射线治疗仪、红外治疗仪、电动针刺仪、超声治疗仪、微波治疗仪、电磁治疗仪、针刺针麻仪、脉象仪、热针治疗仪、激光针灸仪等。

(3)生化分析仪器 如自动比色计、血液pH气体分析仪、电泳光密度扫描器、血色素自动测定仪、血小板自动计数器等。

(4)外科手术、医院护理等自动化及现代化专用医学仪器 如手术器械、手术台、病床、灭菌设备等。这些设备也需要依靠电子系统,实现多功能化、自动控制并与周围其他机器协调工作。ICU是重点护理系统的简称,它可以自动护理重病、急救病人和做过大手术的病人,并且对这些病人的各种重要生理参数进行监视和记录,以实现全自动监护。

1.2.2 医用电子仪器的特点

医学测量与普通工业参数测量相同,都是对物理量进行检测,其基本原理是一致的。不同之处在于各自物理参数的特性不同,以及被测对象的复杂程度和测量环境不同。应该指出,医学测量的主要对象是活的生命体。它有如下七个方面的特殊性。

(1)艰巨性 例如要测量脑内神经化学变化,或把一个流量传感器放置在血管里测量血流等,目前都是艰巨的新课题。

(2)数据的易变性 即使条件完全相同,各次测量结果与正常值也总会有偏差。这种内在的变化已从小至分子,大至器官,直至整个身体的测量中被证实。

(3)生理系统间的相关性 人体各生理系统之间存在复杂的相互作用和大量反馈环路。如对某系统中的一部分进行刺激,该系统的其他部分乃至其他系统也会有反应,使因果关系很难分清。

(4)传感器的影响 由于传感器的存在,使任何形式的测量几乎都受到不同程度的影响。例如,把流量传感器放在血流中,便局部地堵塞了血管并改变了系统压力,对活体测量的影响尤为明显。再如,在测量单细胞内的电化学电位时,需要微电极刺入细胞,这样很容易杀死细胞或使它损伤。因此在设计医学仪器时,必须尽力做到使测量装置的影响减到最小。

(5)能量的限制 生物医学测量,一种是依靠被测活体本身发出的能量,例如生物电位测量;另一种是利用换能器工作时产生的能量作用于被测活体,例如阻抗容积分测量需要电流作用于被测组织和血液。当电流流过人体组织时会产生热量,因此必须注意避免因长时间的能量集中引起细胞破坏。

(6)干扰 被测信号以外的任何信号统称为干扰。如测量仪器本身噪声,人体感应的交流干扰等,均需采取有效的抑制措施。因为人体电信号十分微弱,信号频率又很低,所以要求医用电子仪器具有很高的抗干扰性能。

(7)安全性 在医学测量过程中,必须保证不危及人体生命和损害正常功能。对医用电子仪器的设计要特别重视安全可靠,即使在仪器系统失效时也应保证人体的安全。同时,在医学测量过程中不应使被测者感到疼痛、产生外伤或不舒服。随着BME的日益发展,创

伤性测量已逐渐被非创伤性测量所代替。

除了电气安全以外,设计医用电子仪器时还要考虑辐射、化学腐蚀、毒物、有害气体和交叉感染等因素。

1.3 医用电子仪器的基本特性

1.3.1 静态特性

静态特性表示被测物理量各个值处于稳定状态时,仪器的输入—输出关系。衡量仪器静态特性的重要指标有线性度、精度、灵敏度、滞后、重复性、输入和输出阻抗等。

1. 线性度 线性度表示实测输入—输出特性曲线与理想的输入—输出特性直线之间的偏差程度。如图1-2所示,线性度可用下式表示:

$$e_f = \pm \frac{\Delta y_{\max}}{U_{f_s}} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 Δy_{\max} ——最大偏差值; U_{f_s} ——满量程的输出量。

为了尽可能消除测量中的偶然误差,实际测定时应取若干次测量的平均值,然后按上式计算。

在实际计算中,理想直线的选取方法不同,则所得的线性度亦不一样。下面作一简单介绍。

(1)绝对法 把零点和满量程输出点连接起来的直线作为理想直线。

(2)独立法 在实际测量点中取一条直线,使该直线两侧的最大实测偏差量基本相等,把这条直线作为理想直线。

(3)端基点法 把实测平均曲线的起始点和最终点的连线作为理想直线。

(4)平均选点法 把全部实测点按时间顺序分为前半部和后半部两组,并使两组的点数相等,分别求出各自的“平均点”,将其连成直线就得到理想直线。

(5)最小二乘法 采用最小二乘原则求得最佳拟合直线方程,以此作为理想直线。

上述五种方法中,最小二乘法拟合精度最高,但计算较繁琐,一般情况下不采用。平均选点法精度较高,计算也较方便,所以比较实用。另外三种方法精度均较差。

2. 误差 仪器系统的误差可用下列几种方法表示。

(1)绝对误差 即同一输入量的仪器测量值 A_m (实测输出量) 与真值 A (理论输出量) 之差值,可表示为

$$\Delta y = A_m - A \quad (1-2)$$

(2)相对误差 即绝对误差 Δy 与满量程输出量 U_{f_s} 之比,可表示为

$$e = \frac{\Delta y}{U_{f_s}} \times 100\% \quad (1-3)$$

(3)精确度 精确度包含两个方面,即准确度和精密性。这两个概念在实际使用中容易混淆,应注意区分。

准确度是指实际测量值与理论值之间的接近程度,一般都以相对值表示,数值越小则准确度越高。准确度用来衡量仪器的系统误差较方便。

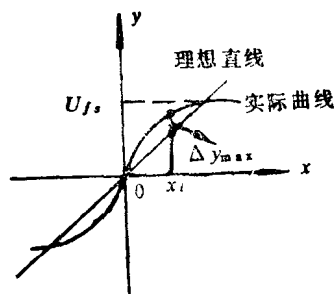


图 1-2 线性度示意

精密度则表示在相同条件下，用同一方法多次测量所得数值的接近程度。这些数值越接近，则精密度越高，所以精密度表示仪器用同一方法多次测量的重复性。仪器精密度的大小是随机误差的标志，精密度越高，则随机误差越小。但精密度高不一定准确度高，反之准确度高不一定精密度也高。

绝对误差用来更正测量结果比较方便，相对误差便于比较同类仪器的误差特性。精确度则是用来综合评价仪器的误差范围。

3. 灵敏度 通常指仪器的输出量 $Y(t)$ 的增量和输入量 $X(t)$ 的增量之比，可表示为

$$K = \frac{\Delta Y(t)}{\Delta X(t)} \quad (1-4)$$

具有非线性输入—输出特性的仪表的灵敏度在量程内并不是常数。工作在线性区域的仪器灵敏度才是一个常量，此时可表示为

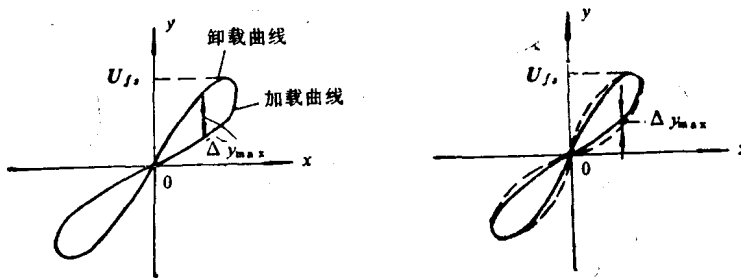
$$K = \frac{Y(t)}{X(t)} \quad (1-5)$$

电流放大倍数和电压增益就是灵敏度的实例。

4. 滞后 滞后特性表示仪器在同样工作条件下，输入信号增加和减小时输入—输出特性曲线不重合的程度，如图1-3(a)所示。这两条曲线分别称为“加载曲线”和“卸载曲线”。滞后特性一般由实验确定，并用下式表示

$$e_l = \pm \frac{\Delta y_{\max}}{U_{f_s}} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 Δy_{\max} ——加载与卸载曲线上对应的输出量的最大偏差值。



(a) 滞后特性 (b) 重复特性
图 1-3 仪器的滞后特性和重复特性

5. 重复性 重复性表示仪器在全量程中作多次循环试验时所得输入—输出特性曲线不一致的程度，如图1-3(b)所示，并用下式表示

$$e_x = \frac{\Delta y_{\max}}{U_{f_s}} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 Δy_{\max} ——多次试验中正或反行程中的最大偏差值。

6. 输入和输出阻抗 在一个仪器系统中必须考虑前一个环节的输出阻抗与后一环节输入阻抗的匹配问题。因为后一环节的输入阻抗又是前一环节的负载，所以输入和输出阻抗直接影响仪器系统各环节能否组合，并影响测量精度及元件的选择。

医用传感器直接与被测量的人体接触，它们的输入阻抗就是人体信号源的直接负载。过小的输入阻抗会使本来就弱的人体生理信息源加重负载，甚至无法检测到信号，因此要尽

量提高仪器的输入阻抗。

一个仪器的输出阻抗越小，则带负载的能力越强。对于一般由检测线路构成的环节来说，通常要求输入阻抗高而输出阻抗低，这样环节之间的匹配比较方便。

7. 几种典型的非线性曲线 医学仪器的基本非线性曲线如图1-4所示。

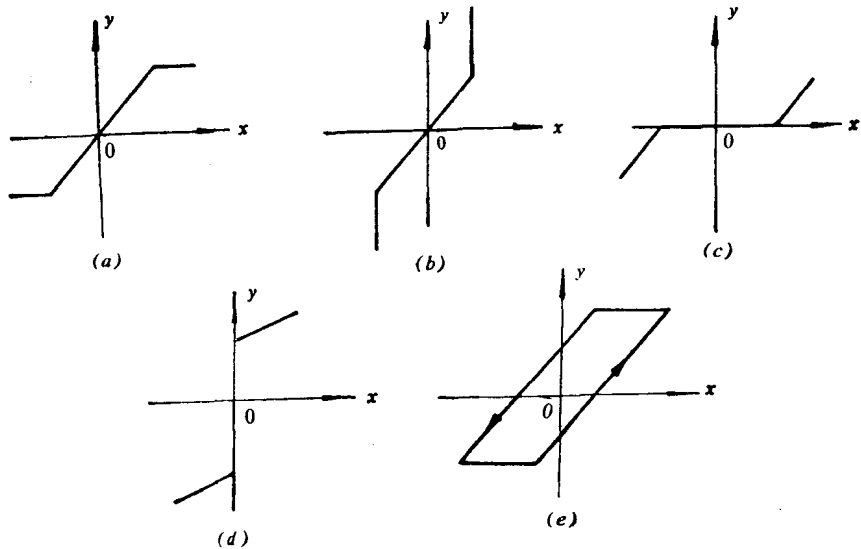


图 1-4 非线性曲线

(a)饱和：当输入信号足够大时，仪器进入饱和状态；

(b)击穿：当输入信号超过某一值后，仪器的输出突然增大；

(c)不灵敏区：当输入信号达到某一值后，仪器才有输出；

(d)开关：当输入信号的正负极性改变时，仪器的输出也突然改变极性，如同一个开关；

(e)滞后：当输入信号增加时，仪器的输入-输出特性曲线不同于输入信号减少时的曲线。

1.3.2 动态特性

动态特性是指仪器输入量随时间变化时，输出量与输入量之间的响应特性。目前，对仪器进行动态分析有两种不同的方法，即稳态分析法和瞬态分析法。

所谓稳态分析法即频域法，是以正弦波作为仪器的基本输入信号，研究仪器对不同频率信号的振幅和相位的响应。这种方法的依据是信号的频谱分析，即任何一个周期信号，都能分解为一系列具有一定振幅和相位的基波及谐波分量。因此，如果知道仪器的幅频特性和相频特性，就能判断仪器在任意波形输入情况下引起的频率失真。稳态分析法的优点是分析简单，实验测试时并不需要特殊设备，缺点是幅频特性和相频特性不能直观地确定仪器的波形失真。

所谓瞬态分析法即时域法。它以单位阶跃信号为仪器的输入信号，研究仪器的输出波形随时间变化的情况，称为仪器的阶跃响应。这里衡量波形失真常以上升时间和平顶降落的大小作为标志。如果知道仪器对阶跃信号的响应，就可以判断它在通过其他输入信号时是否会有很大失真。瞬态分析法的优点是可以直观地判断仪器的瞬态特性，缺点是分析比较复杂。

在工程实际中，可将以上两种方法结合使用，根据具体情况取长补短、灵活运用。

对于一个医用电子仪器，为了说明动态输出信号与动态输入信号的关系，要建立微分和积分方程。很多生物医学仪器都能用常系数线性微分方程描述。设输出信号为 $y(t)$ ，输入信号为 $x(t)$ ，则