



普通高等教育“九五”国家级重点教材

# 生物医学传感器 原理及应用

彭承琳 主编

高等教育出版社

普通高等教育“九五”国家级重点教材

# 生物医学传感器原理及应用

彭承琳 主编

高等教育出版社

## 内容简介

本书系普通高等教育“九五”国家级重点教材,全国高校生物医学工程教学指导委员会规划编写教材。

本书对生物医学传感器的原理及应用作了系统介绍。全书共分九章。前三章介绍了生物医学传感器的特点及技术基础以及传感器敏感材料。其余六章分别介绍了物理传感器、化学传感器、生物传感器及其应用以及生物医学测量系统、传感器的集成化和微系统技术。各章均附有习题或思考题以及参考文献。

本书可作为高等院校生物医学工程专业及相关专业的教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员和医务工作者参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

生物医学传感器原理及应用/彭承琳主编. —北京:  
高等教育出版社, 2000

ISBN 7-04-007991-7

I. 生… II. 彭… III. 生物医学传感器—高等学校  
—教材 IV. TP212.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 17620 号

生物医学传感器原理及应用  
彭承琳 主编

---

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16

版 次 2000 年 6 月第 1 版

印 张 26

印 次 2000 年 6 月第 1 次印刷

字 数 480 000

定 价 30.40 元

---

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等  
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

# 前 言

生物医学工程学是 20 世纪中叶才发展起来的一门新兴边缘科学,是工程学科和生物医学相结合的产物。生物医学工程学为生物医学的发展提供工程原理和技术,为医疗保健性产业提供重要技术基础和发展动力,在医学和生物学的现代化过程中具有重要的地位和作用。另一方面,生物医学工程学研究中所获得的对复杂、精细生命过程的认识以及对以生命体为对象的独特的工程原理与技术方法,也渗透到电子、信息、材料、物理、化学等多个学科,促进了学科间的相互发展。生物医学工程学的共同技术基础方法是生物信息检测技术,而检测技术的重要组成部分是生物医学传感器。因此,生物医学传感器是生物医学工程专业的一门重要课程。

有鉴于此,1994 年 11 月在无锡召开的原国家教育委员会高等工业学校生物医学工程与仪器专业教学指导委员会会议确定由上海交通大学、西安交通大学、浙江大学、重庆大学共同编写《生物医学传感器原理及应用》教材,并一致推荐由重庆大学彭承琳教授担任该书的主编工作。在 1996 年 11 月天津会议上,该教材被评定为“九五”国家级重点教材。

根据国家级重点教材的要求,本着“加强基础,突出特点,拓宽专业”的原则,并充分考虑生物医学传感器的发展趋势,本书先从信息检测角度讨论了传感器的基本理论、方法以及制作传感器的敏感材料,然后分门别类对物理传感器、化学传感器、生物传感器及在医学中的应用作了较为系统的介绍。在此基础上以生物医学传感器的应用为主线,讨论了传感器接口技术及典型生物医学测量系统。最后对集成化传感器和微系统技术作了简要介绍。书中对生物医学传感器的可靠性、安全性、生物相容性以及传感器的微型化、集成化以及化学传感器、生物传感器等方面予以足够重视,对物理传感器的一些传统内容做了较大的精简。为拓宽学生知识面,培养学生综合分析问题、解决问题的能力,本书将一些富有启发性或有一定实用性的内容安排在思考题与习题中,供学生选用。

本书是在总结编者在生物医学传感器方面的教学经验,参考大量国内外同行专著或教材并充分听取有关专家及教学指导委员会意见的基础上,几易其稿完成的。参加本书编写的有:重庆大学彭承琳(第 2 章,另有第 1 章、第 7 章中部分内容)、郑尔信(第 1 章部分内容)、王志刚(第 3 章)、郑小林(第 6 章,另有第 2 章、第 7 章部分内容);上海交通大学寿文德(第 4 章);西安交通大学鞠烽炽(第

5章)、罗融(第8章,除§8-3内容以外);浙江大学陈裕泉(第9章,另有第8章§8-3内容及第3章部分内容);全书由彭承琳、郑小林统稿。参加编写工作的还有侯文生、罗小刚、肖镛等,他们为本书的出版作出了积极的贡献。

本书由高等教育出版社聘请天津大学王明时教授、中国医科大学霍纪文教授初审。由天津大学王明时教授、华中理工大学林家瑞教授复审。在编写过程中还得到高等教育出版社和主编及参编单位(特别是重庆大学)的大力支持,在此谨向为本书出版给予热情支持与帮助的单位领导和专家、学者表示衷心的感谢。最后还要说明的是,由于编者业务水平有限,加之本书涉及的知识面广,难免存在缺点和不足,诚恳希望读者予以批评指正。

编者

1999年7月

# 目 录

<b>第1章 绪论</b> .....	1
§1-1 传感器的定义 .....	1
§1-2 传感器的发展动向 .....	2
§1-3 开发新型传感器的途径 .....	3
§1-4 生物医学传感器的地位和用途 .....	4
§1-5 生物医学传感器的分类 .....	5
§1-6 生物医学传感器的特殊性 .....	7
思考题与习题 .....	8
参考文献 .....	9
<b>第2章 传感器基本知识</b> .....	10
§2-1 传感器的静态特性 .....	10
§2-2 传感器的动态特性 .....	15
§2-3 传感器的干扰与噪声 .....	29
§2-4 医用传感器的安全性和可靠性 .....	33
§2-5 生物医学传感器的安全性评价 .....	44
§2-6 传感器的标定与校准 .....	48
§2-7 弹性敏感元件 .....	50
思考题与习题 .....	56
参考文献 .....	57
<b>第3章 传感器敏感材料</b> .....	58
§3-1 半导体敏感材料 .....	58
§3-2 石英敏感材料 .....	60
§3-3 功能陶瓷材料 .....	62
§3-4 功能高分子材料 .....	70
§3-5 金属系功能材料 .....	73
思考题与习题 .....	76
参考文献 .....	76
<b>第4章 物理传感器的基本原理</b> .....	77
§4-1 光电式传感器 .....	77
§4-2 压电传感器与超声换能器 .....	90
§4-3 压阻式传感器 .....	106



§4-4 电磁式传感器 .....	113
§4-5 热电式传感器 .....	117
§4-6 电阻式,电容式和电感式传感器 .....	126
§4-7 光导纤维传感器 .....	138
§4-8 声表面波传感器 .....	146
思考题与习题 .....	153
参考文献 .....	155
<b>第5章 物理传感器的应用</b> .....	<b>157</b>
§5-1 压力传感器 .....	157
§5-2 心音传感器 .....	169
§5-3 血流传感器 .....	173
§5-4 呼吸传感器 .....	190
§5-5 温度传感器 .....	201
§5-6 运动信息的检测 .....	217
思考题与习题 .....	225
参考文献 .....	228
<b>第6章 化学传感器</b> .....	<b>230</b>
§6-1 电化学基本概念 .....	231
§6-2 离子传感器 .....	234
§6-3 气体传感器 .....	252
§6-4 生理电量测量电极 .....	265
§6-5 化学传感器在医学中的应用 .....	273
思考题与习题 .....	278
参考文献 .....	281
<b>第7章 生物传感器</b> .....	<b>283</b>
§7-1 生物活性物质的特定识别功能 .....	283
§7-2 生物敏感膜与固定化技术 .....	288
§7-3 酶传感器 .....	292
§7-4 微生物和组织及细胞器传感器 .....	296
§7-5 免疫传感器 .....	302
§7-6 生物传感器在医学中的应用 .....	307
思考题与习题 .....	309
参考文献 .....	310
<b>第8章 生物医学测量系统</b> .....	<b>312</b>
§8-1 测量电桥 .....	312
§8-2 传感器与微机接口 .....	329
§8-3 传感器输出信号的计算机处理 .....	341
§8-4 生物医学测量系统 .....	352

---

§ 8-5 植入式电子装置 .....	359
思考题与习题 .....	370
参考文献 .....	371
<b>第 9 章 集成化传感器和微系统 .....</b>	<b>373</b>
§ 9-1 概述 .....	373
§ 9-2 集成化传感器微细加工技术 .....	374
§ 9-3 微系统 .....	390
思考题与习题 .....	394
参考文献 .....	395
<b>名词术语汉英对照 .....</b>	<b>396</b>



# 第1章 绪 论

## § 1-1 传感器的定义

传感器(Sensor)曾被称为换能器或变送器(Transducer),近年国际上多用“Sensor”一词。按我国国家标准“传感器通用术语”中的定义:“传感器是能感受规定的被测量并按一定规律将其转换为有用信号的器件或装置”。又指出:“传感器通常由敏感器件、转换器件和电子线路组成”。在有些传感器中敏感器件和转换器件是合为一体的。在信息社会里,各行各业和人们日常生活中所遇到的信号绝大部分是非电量的,对于这些非电量信号,即使能检测出来也难以放大、处理和传输。因此传感器通常是用于检测这些非电量信号并将其转变成便于计算机或电子仪器所接收和处理的电信号。从传感器的作用来看,实质上就是代替人的五种感觉(视、听、触、嗅、味)器官的装置(图 1-1)。人们把外界信息通过五官收集起来,传递给大脑,在大脑中处理信息,得出一个“结果”,发出指令。

在电子设备中完成这一过程时,电子计算机相当于大脑,传感器作为电脑的五官,就像人的眼、耳、鼻、舌、皮肤那样可以收集各种信息,这些信息送入电脑后,由电脑进行判断处理,并发出各种控制信号去控制执行机构,从而满足各种社会需要。20 世纪 80 年代后期,由于电子技术的进步,微型计算机的功能不断提高,价格却在不断下降,微型计算机在多方面迅速普及,而且已开始进入家庭。相比之下,传感器处于较落后地位。不少传感器尚不能很好地满足现代信息系统对其准确度、速度和价格的要求。传感器技术已成为微型计算机应用中的关键技术。近年来,随着科学技术的迅速发展,特别是微电子加工技术、计算机芯片及外围扩展电路技术、新型材料技术的发展,使得传感器技术的开发和应用进入了一个崭新的阶段。

生物医学传感器(Biomedical Sensors)是获取人体生理和病理信息的工具,是生物医学工程学中的重要分支,对于化验、诊断、监护、控制、治疗和保健等都

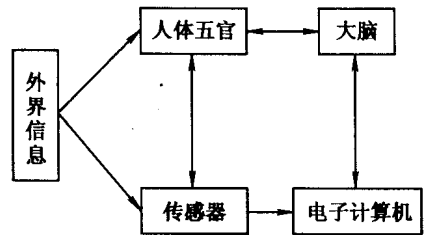


图 1-1 人体五官功能和传感器功能比较

有重要作用。

## § 1-2 传感器的发展动向

### 1-2-1 发展多功能传感器

以前一个传感器只能把单一的被测量转换成电信号,新型传感器可利用一个传感器同时检测几种被测量并分别转换成相应的电信号。例如,一种多功能传感器,它可以同时检测气体的温度和湿度。这种传感器是在 $(\text{BaSr})\text{TiO}_3$ (钙钛矿)上填加对湿度敏感的 $\text{MgCr}_2\text{O}_4$ (尖晶石)的复合多孔质烧结体作为传感元件。温度变化引起传感器电容量的变化,湿度变化引起传感器电阻的变化,其特性曲线和等效电路如图1-2所示。因此传感器的电阻值和电容量的变化,分别表示气体温度和湿度的变化量。

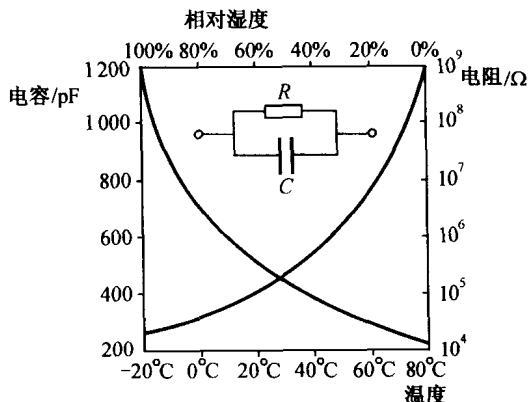


图 1-2 温度湿度传感器的特性曲线及等效电路

多功能化的另一层含义是将传感器与其他功能复合(如温度补偿、信号处理、执行器等功能)。

### 1-2-2 发展图像传感器

在大多数情况下一个敏感元件只能获取一个点的信息,这是很不够的,许多应用场合要求传感器传感一个被测源所发出的全部信息,亦即要求传“像”。如红外成像技术要求传感器传感热图像,超声成像技术要求传感器传感声图像,X线成像技术要求传感器传感光图像。因此,要求传感器能将物体具有二维、三维或四维(包含时序)的图像转换成电信号,这就是所谓的“图像传感器”。目前固体图像传感器发展突出,正取代摄像管。它具有体积小、重量轻、寿命长、分辨率高、功

耗低、残留图像少、图像不变形、不易受电磁干扰、信号易于处理等优点。

### 1-2-3 发展智能传感器

电子计算机与传感器的有机结合,构成了智能传感器的基本框架。智能传感器不仅把传感和信号预处理结合为一体,使之与后处理的微型计算机兼容,而且为利用现代信号处理方法提高对信号的判断能力和开辟新的应用领域创造了条件。智能传感器不仅能完成传感和信号处理任务,而且还有自诊断、自恢复及自适应功能。智能传感器可使信号在敏感元件附近就能进行局部处理,从而减轻了CPU和传输线路的负担,提高了效率。智能传感器不存在非线性缺点。相反,当传感器具有较宽的动态范围或在某一区域具有较高灵敏度时,这种非线性不仅无关紧要,而且可以变成有利的因素。

### 1-2-4 发展化学传感器和生物传感器

由于科学技术不断深入发展,除了以物理量为检测参数的物理传感器以外,又出现了以化学物质成分为检测参数的化学传感器,现有的化学传感器主要是利用敏感材料与被测物质中分子、离子相互接触时引起材料表面电势、电极电势、表面化学反应直接或间接地转换为电信号。目前的化学传感器有半导体陶瓷传感器、电化学传感器、半导体场效应化学传感器等。但是这些化学传感器的测量对象限于低分子物质,很难有选择地检测复杂的有机物以至高分子物质。近30年来,由于生物医学工程的迅速发展,出现了检测生物体内高分子化学成分的生物传感器。已经研制出的生物传感器有酶传感器、组织传感器、微生物传感器、免疫传感器、酶热敏电阻、发光酶传感器等。这些传感器将有力地促进医学基础研究、临床诊断和环境医学的发展。

## § 1-3 开发新型传感器的途径

随着科学技术的交叉发展、相互渗透,对传感器的质量、品种和数量提出了新的要求。因此,必须从新原理、新材料以及新加工技术等三方面寻找途径才能研究出新型传感器。

### 1-3-1 采用新原理

利用新的物理效应、化学效应,可研制出新一代传感器。例如利用约瑟夫逊效应开发的磁场传感器可以检测极微弱的磁场,使超高灵敏度的测量成为现实,可用于超低温中的磁导率测量、岩石中的剩余磁量测量、生物体磁场的测量等方面。近20年发展起来的光纤传感器和表面波传感器,已取得了长足进展,对提

高测量系统的可靠性极为有效。

### 1-3-2 采用新材料

由于材料科学的巨大进步,新的功能材料的开发将导致新型传感器的出现。半导体材料研究的进步,促进了半导体传感器的迅速发展;压电半导体材料为压电传感器集成化提供了方便;高分子压电薄膜的研制成功,将使机器人的触觉系统更接近人的触觉系统——皮肤。目前正在研究的精细陶瓷、非晶半导体、形状记忆合金等是很有希望的传感器材料,尤其是记忆合金,当它复原时会产生相当大的力,因而它有可能作为敏感元件和执行元件的集合体,在自动化系统中显示独特的作用。在功能材料方面,把酶或活体组织的一部分作为敏感元件也是很有前途的,因而它对特定的化学物质具有高度的选择性,不仅可测量各种分子量和结构的化学物质,而且有可能测量食品的新鲜度。随着材料科学技术的发展,适用于敏感元件的材料会大量增加,新型传感器将不断地出现。

### 1-3-3 采用新的加工技术

采用新的加工技术可以制造出新型传感器,如采用光刻、扩散以及各向异性腐蚀等方法,可以制造出微型化和集成化传感器,现在已经制造出能装在注射针上的压力传感器和成分传感器。采用半导体集成电路制造技术在同一个芯片上同时制造几个传感器或传感器阵列,而且这些传感器输出信号的放大、运算等处理电路也集成在这个芯片上,从而可构成多功能传感器、分布式传感器。

## § 1-4 生物医学传感器的地位和用途

生物医学传感器的作用是将被测的生理参数转换为与之相对应的电学量输出,以提供生物医学基础和临床诊断的研究与分析所需的数据。随着科学的发展和其他学科的渗透以及生物医学学科的进步,使医学科学进入一个新阶段——定量医学。从定性医学到定量医学的发展过程中,传感器起了重要作用。传感器延伸了医生的感觉器官,扩大了医生的观测范围,并把定性的感觉扩展为定量的测量。目前,传感器已成为生物医学测量、数据处理中不可缺少的关键部分。可以说传感器的作用和地位就相当于医生的五官。要提取和捕捉生物体内各种生物信息,就需要依靠各种各样的传感器,它是医学测量系统的第一个环节,如图 1-3 所示。

在医学上,传感器的主要用途有:

(1) 检测生物体信息 医学诊断以及基础研究都需要检测生物体信息。例如,先天性心脏病人在手术前必须用血液传感器测量心内压力,以估计缺陷程

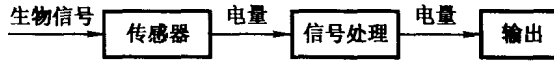


图 1-3 医学测量系统框图

度。普查乳房癌,可用红外探测器扫描乳房温度分布(热像图)。要深入研究心血管功能,需要用传感器直接在动物心脏内进行测量。

(2) 监护 连续测定某些生理参数,监护这些参数是否处于规定的范围内,以便了解病人的复原过程,或在异常时及时报警。例如,对一个做过心内手术的病人,在手术后头几天内,往往在其身体上要安置体温、脉搏、动脉压、静脉压、呼吸、心电等一系列传感器,用监护仪连续观察这些参数的变化。

(3) 控制 所谓控制,就是利用检测到的生理参数,控制人体的生理过程。例如电子假肢,就是用肌电信号控制人工肢体的运动。在用同步呼吸器抢救病人时,需要换能器检测病人的呼吸信号,以此来控制呼吸器的动作与人体呼吸同步。

## § 1-5 生物医学传感器的分类

生物医学传感器的分类方法有很多种,其中最基本的分类方法是按被测量分,分为:① 物理传感器;② 化学传感器;③ 生物传感器三大类。所谓大类是因为这种分类方法是一种宏观的方法,也是一种本质的分类方法。

(1) 物理传感器 用于测量血压、体温、血流量、血粘度、生物组织对辐射的吸收、反射或散射以及生物磁场等。这些被测量都属于物理量,设计传感器时多利用这些非电量的物理效应。

(2) 化学传感器 用于测量人体体液中离子的成分或浓度(如  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 、 $\text{Na}^{+}$ 、 $\text{Cl}^{-}$ ……)、pH 值、氧分压( $p_{\text{O}_2}$ )及葡萄糖浓度等。这些被测量都属于化学量,不过这些被测物质的分子量一般都不太大,利用电化学原理或物理效应可以制成化学传感器。见表 1-1。

表 1-1 化学传感器

传感器	利用效应
气敏电极	离子效应
离子敏电极	
离子敏场效应晶体管(ISFET)	场效应
化学敏场效应晶体管	
光纤化学传感器	光效应
声表面波(SAW)化学传感器	质量效应
压电化学传感器	

生物电位(如心电、脑电、肌电等)本来属于物理量,但由于测量生物电位时不可避免地要使用电极,通常测两点之间电位差时必须使用一对电极,电极和皮肤或软组织之间的界面是一个半电池,为满足测量的要求,两个半电池电位之和应为已知且十分稳定。电极是电化学研究的对象,如把测量生物电位的电极也看作是一种传感器,则应将其列入化学传感器。

(3) 生物传感器 用于酶、抗原、抗体、递质、受体、激素、脱氧核糖核酸(DNA)、核糖核酸(RNA)等物质的传感。这类物质也都属于化学物质,不过它们的分子量一般较大,分子结构比较复杂,一般的化学传感器很难对它们进行识别。生物传感器的敏感部分具有生物识别功能,有很强的特异性和高度的敏感性,能有选择地与被测物质起作用。可以说,生物传感器是具有生物识别能力的化学传感器。

生物传感器的分类方法更多,由于生物学反应本身是多元化的,可供利用的效应也是多种多样的,生物传感器的发展正处于幼年时期,尚无固定的分类方法,按其构成原理主要有以下两种分类法:

(a) 按生物识别器件(也称生物活性物质)分类,即按一次传感原理分类而不论其二次传感原理。如:酶传感器,免疫传感器,组织传感器,细胞传感器,微生物传感器。

(b) 按二次传感器器件分类(不论生物识别器件),如:生物电极,光生物传感器,半导体生物传感器,压电生物传感器,热生物传感器,介体生物传感器。

对生物医学传感器进行具体的分类还有许多种方法:

- 按被测对象分类:如血压传感器、血氧传感器、葡萄糖传感器、基因传感器等。
- 按工作原理分类:如光纤传感器、声表面波传感器、超导传感器、免疫传感器等。
- 按尺寸分类:如微型传感器、分子传感器、纳极(Nanode)等。
- 按功能分类:如多参数传感器、智能传感器等。
- 按使用方法分类:如一次性传感器、植入式传感器等。
- 按工艺分类:厚膜传感器、集成传感器等。

类似以上分类方法还可举出一些,但这些分类法都是非本质的。由于传感器种类繁多,所以难免出现性质不同的传感器却被分在同一类里的情况。为克服这一困难,目前比较流行“功能+特征”的分类法,如葡萄糖氧化酶传感器、葡萄糖光纤传感器等。

本书按被测量分类的方法来安排全书的内容,在介绍生物医学传感器基本理论的基础上,分别介绍物理传感器、化学传感器、生物传感器的原理及应用。在物理传感器部分,先按传感器所依据的工作原理的不同分别对光电、压电、压

阻等传感器的原理进行介绍;然后按被测量的不同来具体介绍物理传感器在医学中的应用。在化学传感器部分,则按目前较为通用的分类方法,分别讨论离子传感器、气体传感器、生理电量测量电极的原理及应用;限于篇幅关系,将湿度传感器的内容略去。在生物传感器部分,则按所采用的生物识别器件的不同,分别介绍酶传感器、微生物和组织及细胞传感器、免疫传感器原理及应用。最后从综合应用角度出发,介绍生物医学测量系统等一些共通性的技术与方法。

## §1-6 生物医学传感器的特殊性

生物医学传感器是在工程学与生物医学相结合的基础上发展起来的。随着生物医学传感器在微型化、植入测量、多参数测量等方面的进一步发展,与生物医学的交叉更为显著,使得生物医学传感器的设计与应用必须考虑人体因素的影响及生物信号的特殊性;必须考虑生物医学传感器的生物相容性(植入体内材料与生物体相互作用问题,或两者间相适应的问题,称为生物相容性)、可靠性、安全性;必须考虑使用对象的特殊性及其复杂性等等,这是生物医学传感器与工业用传感器的显著区别。

具体讲,应注意生物医学传感器以下几方面的特殊性。

1. 一般工业测量中,为准确检测待测量,并减少干扰,总是尽量使传感器接近被测点。但在对生物体内某部位进行就近直接测量时,由于生物体具有自身体内平衡(Homeostasis)机能,一旦有外界扰乱因素出现,为补偿扰乱因素带来的影响,整个生物体将产生各种应急反应,从而改变被测部位的状态,影响被测量的真实性,还可能给被测者带来不适感和痛苦,例如开胸测心脏的状态等。因此,在对人体进行测量时,应尽力避免传感器干扰人的正常生理、生化状态,尽量避免给人的正常活动带来负担或痛苦。较自然的想法是使传感器探头部分远离被测部位,但这样一来,由于比较远离被测点,干扰因素增加,可能使测得的信号质量变坏,故应根据实际情况综合考虑。

2. 为了减轻对被测生物体的侵扰,非接触与无损伤或低损伤的传感器成为人们研究的一个重点。此类传感器在对一般人进行健康普查或医院门诊部进行诊断治疗时得到广泛应用。由于此类传感器多利用间接测量方法来获得体内有关信号,故通常信号中干扰成分较多,往往需要借助信号处理等技术加以改善。

3. 为了既能准确检测到生物体内某个局部信息,又能使对生物体的侵扰减小到足够低程度,发展了体内(植入式或部分插入式)传感器。对体内传感器应考虑装置的微型化、能量及信息传输方式、植入或插入材料的生物相容性及植入装置的安全性等诸多特殊要求。

4. 生物信号的特点是信号微弱、频率很低、背景噪声及干扰大、随机性强、



个体差异大,而且生物体内多种生理、生化过程同时进行,这都增加了检测特定生物信号的难度。除了通过后续电路进行处理之外,重要的是优化传感器设计,防止噪声和干扰混入,使传感器有较高的灵敏度和较大的动态范围,使其在有大的干扰和被测对象发生较大变化情况下,仍能工作并不产生失真。

例如,通过测量胸壁的微小振动来间接了解心脏的运动状况(见图1-4)。心脏运动传递到体表的振幅为微米量级,所用的传感器应具有相应的灵敏度;但由于呼吸以及人的体动或发声等造成的干扰,可使胸壁产生高达毫米量级的起伏。为了正确检出有用信号,要求传感器及后续电路应有高达100 dB以上的动态范围,必须对传感器进行精心设计。



图1-4 通过胸壁测量了解心脏的运动状况

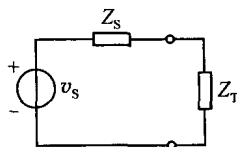


图1-5 图1-4的等效电路

5. 生物医学传感器的设计与应用,应充分考虑生物体的特性。仍以图1-4的例子为例,传感器与人体构成了如图1-5所示的等效电路。因此在设计传感器时必须了解人体内振动源  $v_s$  及人体等效阻抗  $Z_s$  的特性,并根据增益和频率特性要求正确确定传感器的等效输入阻抗  $Z_T$ 。

又例如,在采用压电、应变及差动变压器或传感器等对人体进行接触测量时,由于人体被测部分通常比传感材料柔软,即传感器和人体间材料特性不相匹配,影响传感器的灵敏度和频率特性,为此,应在两者间加入匹配材料,以改善测量系统特性。

6. 生物医学传感器的使用对象极为广泛,有医生、护士、患者,也可以是社会其他各界人士,从男到女,从少到老。使用环境亦是多种多样,体内、体外、医院、家庭、野外,甚至太空等等。这就要求生物医学传感器的设计应能分别适应各种对象和环境。例如,对少儿用传感器,应更多地考虑如何使测量变得安全、简单而易于接受,如何避免意外情况发生,如儿童误食或摔打传感器等;对家庭用传感器则应考虑使用成本及质量等。总的说来,和一般工业用传感器相比,生物医学传感器应更注重使用方便、舒适、稳定、可靠、安全、耐用、快捷。

## 思考题与习题

1-1 传感器定义中“有用信号”的含义是什么?为什么通常传感器输出信号形式为电

信号?

1-2 试分析比较生物医学传感器主要分类方法有何优缺点。

1-3 用一个有较大表面积的温度传感器测量体表皮肤温度,问可能产生什么样的测量结果?

1-4 图 P1-4 为一种心音传感器结构图。为避免体动等大的干扰对传感器的影响,在可动部分  $M$  与敏感部分(应变片) $m$  之间用具有非线性粘性的硅润滑脂做传递介质,可改善心音传感器的动态范围。试分析其作用原理是什么。

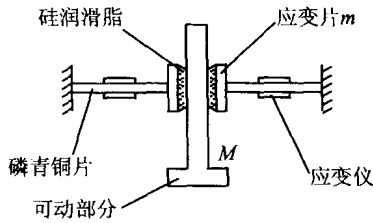


图 P1-4 一种心音传感器结构示意图

## 参考文献

- 1-1 [美]阿西莫夫著,何笑松译.从元素到基本粒子.北京:科学出版社,1978
- 1-2 彭承琳.生物医学传感器——原理与应用.重庆:重庆大学出版社,1992
- 1-3 任怨.国外医学——生物医学工程分册.15(1992)
- 1-4 W. Gopel et al.. Sensors (A Comprehensive Survey). VCH press, 1992
- 1-5 C. J. Robinson and G. V. Kondraske. Emerging Issues in Biomedical Engineering. IEEE/EMBS(1986)