

〔美〕约翰·G·韦伯斯特 主编

医学仪器

应用和设计

79.97
399

医学仪器

——应用和设计

〔美〕约翰 G·韦伯斯特 主编

马立业等 译

新时代出版社

1110500

内 容 简 介

本书阐述了医学仪器的原理、使用和设计。内容可分为四个部分：

一、生物电位的起源：单个细胞的生物电位，以及神经、肌肉、心脏、脑、眼等组织、器官的解剖、生理功能和生物电位。

二、医学仪器的工作原理、静态性能和性能标准、各组成部件（包括各种传感器、生物电位电极、放大器和信号处理器）的工作原理、应用和设计以及无线电遥测系统和微型计算机的组成、原理和应用。

三、各种具体（包括电、声、光、激光、热、核子、放射和机械等）的诊断仪器、治疗仪器和功能支持器械。

四、电气安全措施和医学仪器的检验方法。

本书可供生物医学工程专业的大专院校师生作为教学参考书用。对医学仪器的科研、生产及临床工作人员和医学、生物学的研究人员，以及从事电子测量、显示、计算和信息处理技术的工程技术人员也都有参考价值。

MEDICAL INSTRUMENTATION

—APPLICATION AND DESIGN

John G. Webster

Houghton Mifflin Company, Boston 1978

*

医学仪器

——应用和设计

【美】约翰·G·韦伯斯特 主编

马立业等 译

新时代出版社出版 新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 印张22⁷/₈ 585千字

1982年5月第1版 1982年5月北京第1次印刷

印数： 3,600册

统一书号：15241·6

定价：2.80元

译者序

随着现代科学技术的迅速发展，各学科之间互相渗透，形成了一门新兴的综合性边缘学科——生物医学工程。生物医学工程目前在国内外都受到了极大重视。而先进、精密和可靠的医学仪器则是生物学、医学水平提高的先决条件和标志。

我国医学仪器的设计和制造，虽然近年来发展很快，进口的先进仪器也逐年增多，有些高等院校也已经建立了生物医学工程专业和生物医学仪器专业，但对医学仪器的理论研究还较少，系统、全面介绍各种医学仪器的原理、应用和设计的书还不多见。

本书原是生物医学工程专业的大学高年级学生和研究生用的一本教材。内容比较新颖、系统全面，详细叙述了医学仪器的工作原理、设计要求、应用特点和使用注意事项；为了理论结合实际和使读者对内容加深理解，各章都有例题和大量习题；为了便于读者对某些问题作进一步研究，各章末都附有大量参考文献目录。所以本书对大专院校师生来说，是一本有参考价值的教学参考书；对医学仪器使用人员来说，可提高其理论水平，使能更好地使用仪器和发挥仪器性能；对医学仪器的研究和生产人员来说，也能提高他们对于这门边缘学科的基础理论水平。为此，我们翻译此书，希望对我国医学仪器的教学、科研、生产和使用，都能有所裨益。

书中关于电气设备的美国设计标准和安全标准，照译未删，以便参考。

参加翻译工作的人员：第一、二、三、五、六、十二、十三章由马立业译。第四、七章由孙克正译，马立业校。第八章由华

IV

润熙、史光云、刘源译。第九章由钱肇鄂译，杨禄荣校。第十章由杨禄荣译。第十一章由陈玉人译。全稿由马立业统一整理。在翻译过程中，得到了谢柏樟等同志的大力协助，在此一并致谢。

由于译者水平不高，加之书中涉及基础知识和不同专业内容较多，翻译时间又较仓促，书中肯定有不妥和错误之处，望读者批评指正。

原书序言(节译)

本书叙述在医院里最常用的医学仪器的原理、应用与设计。因为设备因时而异,所以我们着重论述工作的基本原理,而不在于对目前的设备进行详情的叙述和提供照片。因为生物医学工程是一门边缘学科,需要与医务工作者密切配合,所以我们对每件仪器的应用范围都作了一些说明。但是,为使本书的篇幅不致太长,我们略去了许多生理学内容,而推荐一些廉价的生理学基础知识读物,如W·F·加诺著的《医学生理学评论》1977年第八版,由加利福尼亚州、洛斯阿尔托斯的朗格医学出版社出版。

本书第一章论述适用于所有仪器设备的基本原理。第二章叙述基本的传感器,第三章介绍传感器的放大器设计。第四章到第六章讨论生物电位,它通过电极、从始端沿着电路传到所要求的专用放大器装置。第七章到第八章介绍心血管的血动力学——血压、心音、血流量和血容量的测量。第九章介绍呼吸的动态特性——压力、流量和气体浓度的测量。第十章叙述在医院里作大量测试的地方——临床检验室。第十一章首先介绍医学成象的基本原理,然后说明它们在X射线、超声波和温度记录法等方面的应用。第十二章讨论医疗设备,例如起搏器和去颤器。第十三章介绍如何保证医院用电安全和减少事故的方法。

本书的特点是着重于设计。在电子学和仪器制造学方面具有一定基础的科技人员将会在这些方面得到足够的资料,以便设计医学仪器。由于经常发生需要某种特殊的仪器而市面上又无出售的情形,因而掌握设计能力也就特别重要。本书备有例题和习题,以增加它作为教科书的实用价值。我们没有提供一个详尽的参考书目,而是努力精选了一个综述性文章和书籍的目录,以利于读

者对某些专题作进一步系统的学习。

本书是为生物医学工程专业的高年级学生和研究生写的一本教材。本专业最合格的学生，应当具备化学、数学知识、掌握微分方程，有牢固的物理学基础以及学过电路和电子学方面的许多课程。但是，基础差的读者也能从这些详述的材料中有所收益，找到有价值的参考资料。

全书采用了国际上通用的公制单位。关于压力单位，我们同时使用了常用的毫米汞柱和公制单位巴斯噶。为了帮助读者适应日益广泛应用公制单位的趋势，附录中备有最常用的换算系数。附录还备有本书中所用的许多物理常数和—个缩写表（以下从略）。

威斯康星州大学电气和计算机工程系

约翰 G·韦伯斯特

目 录

符号表	1
第一章 仪器的基本原理	6
§ 1.1 广义的仪器系统	6
§ 1.2 可选择两种工作方式	8
§ 1.3 医学仪器的限制条件	10
§ 1.4 生物医学仪器的分类	13
§ 1.5 干扰输入信号和变形输入信号	14
§ 1.6 补偿技术	16
§ 1.7 广义的静态特性	20
§ 1.8 非线性静态特性	28
§ 1.9 广义的动态特性	30
§ 1.10 设计标准	45
§ 1.11 一般仪器的技术条件	47
第二章 基本传感器及其原理	54
§ 2.1 位移测量方法	54
§ 2.2 电阻式传感器	55
§ 2.3 电桥电路	62
§ 2.4 电感式传感器	64
§ 2.5 电容式传感器	67
§ 2.6 压电式传感器	72
§ 2.7 温度测量	75
§ 2.8 热电偶	76
§ 2.9 热敏电阻	79
§ 2.10 辐射测温法	85
§ 2.11 化学测温法	89
§ 2.12 光学测温法	90
§ 2.13 辐射源	91

VIII

§ 2.14	几何光学和纤维光学	96
§ 2.15	滤光片	99
§ 2.16	辐射探测器	101
§ 2.17	光学组合	105
第三章	放大器和信号处理	109
§ 3.1	理想的运算放大器	109
§ 3.2	倒相器	111
§ 3.3	跟随器	114
§ 3.4	差动放大器	116
§ 3.5	比较器	119
§ 3.6	整流器	122
§ 3.7	对数放大器	123
§ 3.8	积分器	125
§ 3.9	微分器	127
§ 3.10	有源滤波器	128
§ 3.11	频率响应	131
§ 3.12	偏移电压	134
§ 3.13	偏移电流	135
§ 3.14	输入电阻和输出电阻	138
§ 3.15	相敏解调器	140
§ 3.16	医学仪器中的微型电子计算机	143
第四章	生物电位的起源	149
§ 4.1	可兴奋细胞的电活动	149
§ 4.2	容积导体电场	157
§ 4.3	周围神经系统的功能组织	161
§ 4.4	神经电图	163
§ 4.5	肌电图	167
§ 4.6	心电图	170
§ 4.7	视网膜电图	184
§ 4.8	脑电图	191
第五章	生物电位电极	222
§ 5.1	电极-电解液界面	222
§ 5.2	极化	226

§ 5.3	可极化的和不可极化的电极	230
§ 5.4	电极性能和电路模型	238
§ 5.5	电极-皮肤界面和运动伪迹	243
§ 5.6	体表记录电极	248
§ 5.7	体内电极	256
§ 5.8	微电极	261
§ 5.9	组织的电兴奋电极	270
§ 5.10	使用电极的心得	273
第六章	生物电位放大器	279
§ 6.1	基本要求	279
§ 6.2	心电图机	281
§ 6.3	经常遇到的问题	290
§ 6.4	过渡过程的保护电路	302
§ 6.5	共模干扰和其他干扰的衰减电路	305
§ 6.6	其他生物电位信号放大器	309
§ 6.7	生物电位放大器举例	313
§ 6.8	其他的生物电位信号处理器	315
§ 6.9	心脏监视器	327
§ 6.10	无线电遥测学	332
第七章	血压和心音	343
§ 7.1	直接测量技术	343
§ 7.2	血压脉冲波形的谐波分析	346
§ 7.3	血压测量系统的动态特性	347
§ 7.4	系统响应的测量	354
§ 7.5	系统参数对响应的影响	357
§ 7.6	血压测量对通带宽度的要求	358
§ 7.7	典型的血压波形畸变	359
§ 7.8	测量静脉血压的系统	361
§ 7.9	心音	362
§ 7.10	心音描记法	366
§ 7.11	心内心音描记法	369
§ 7.12	心音测量系统	370
§ 7.13	心导管术	374

§ 7.14	势能和动能对血压测量的影响	378
§ 7.15	血压的间接测量法	380
§ 7.16	张力测定法	384
第八章	血流量和血容量的测定	392
§ 8.1	连续输注指示剂-稀释法	392
§ 8.2	采用快速注射的指示剂-稀释法	395
§ 8.3	电磁式流量计	398
§ 8.4	超声流量计	405
§ 8.5	热对流速度传感器	422
§ 8.6	套式容积描记法	425
§ 8.7	电阻抗式容积描记法	428
§ 8.8	光容积描记器	435
第九章	呼吸系统的测定	441
§ 9.1	呼吸系统的模型	442
§ 9.2	压力的测定	448
§ 9.3	气体流量率的测定	450
§ 9.4	肺容量	458
§ 9.5	用全身体积描记法测定肺泡压和肺容量	466
§ 9.6	呼吸系统的几种力学试验	474
§ 9.7	气体浓度的测定	488
§ 9.8	气体转运的几种试验	498
第十章	临床实验室仪器设备	514
§ 10.1	分光光度测定技术	515
§ 10.2	自动化学分析仪	526
§ 10.3	血气和酸碱度的测量	540
§ 10.4	层析法	546
§ 10.5	电泳技术	549
§ 10.6	血液学	552
第十一章	医学成像系统	563
§ 11.1	影象的信息含量	563
§ 11.2	调制传递函数	573
§ 11.3	噪声等效带宽	575
§ 11.4	摄影术	576

§ 11.5	电视系统	579
§ 11.6	X射线摄影	585
§ 11.7	热摄影	592
§ 11.8	核医学	601
§ 11.9	超声扫描	607
§ 11.10	计算机辅助的X射线断层摄影法	612
第十二章	治疗和恢复装置	622
§ 12.1	心脏起搏器和其它的一些电刺激器	622
§ 12.2	去颤器和心律转复器	638
§ 12.3	机械的心血管矫正和恢复装置	646
§ 12.4	血液透析	650
§ 12.5	呼吸器	654
§ 12.6	新生儿保温箱	659
§ 12.7	外科器械	661
§ 12.8	激光的治疗用途	666
§ 12.9	远景的展望	667
第十三章	电气安全措施	673
§ 13.1	电的生理效应	674
§ 13.2	几个重要的感受参数	676
§ 13.3	电源的分配	681
§ 13.4	宏电击的危害性	684
§ 13.5	微电击的危害性	687
§ 13.6	电气安全标准	694
§ 13.7	防止电击的两种基本方法	696
§ 13.8	电源配电系统的保护措施	697
§ 13.9	仪器保护装置的设计	700
§ 13.10	电气系统的检验	705
§ 13.11	电气仪器的检验	706
附录		714
附录 I	物理常数	714
附录 II	公制字头	714
附录 III	公制单位	715
附录 IV	缩写	716
附录 V	化学元素	719

符 号 表

本表列出参数的单字母符号, 没有注脚或修饰字。物理常数的符号在附录 I 中给出, 多字母符号在附录 IV 中给出, 化学符号在附录 V 中给出。

英 文 字 母

符 号	参 数	引入的节
<i>a</i>	absorptivity 吸收率	2.15
<i>a</i>	activity 活度	5.2
<i>a</i>	coefficient 系数	1.9
<i>a</i>	lead vector 导联向量	6.2
<i>A</i>	absorbance 光密度	2.15
<i>A</i>	area 面积	2.2
<i>A</i>	coefficient 系数	1.9
<i>A</i>	gain 增益	3.1
<i>A</i>	percent 百分数	1.7
<i>b</i>	coefficient 系数	1.9
<i>b</i>	intercept 截距	1.7
<i>B</i>	coefficient 系数	1.9
<i>B</i>	percent 百分数	1.7
<i>B</i>	viscous friction 粘滞摩擦	1.9
<i>B</i>	magnetic flux density 磁通密度	8.3
<i>c</i>	coefficient 系数	7.13
<i>c</i>	specific heat 比热	8.1
<i>c</i>	velocity of sound 声速	8.4
<i>C</i>	capacitance 电容	1.9
<i>C</i>	compliance 柔性	7.3
<i>C</i>	concentration 浓度	2.15
<i>C</i>	contrast 对比度	11.6
<i>C</i>	factor 因数	11.7
<i>d</i>	derivative 导数	1.9
<i>d</i>	diameter 直径	1.9

符 号	参 数	引入的节
<i>d</i>	distance	距离
<i>D</i>	density	浓度
<i>D</i>	detector responsivity	探测器响应度
<i>D</i>	d/dt	微分算符
<i>D</i>	diameter	直径
<i>D</i>	diffusing capacity	扩散容量
<i>D</i>	distance	距离
<i>D</i>	normalized detectivity	标准探测灵敏度
<i>E</i>	emf	电动势
<i>E</i>	energy	能量
<i>E</i>	exposure	照射量
<i>E</i>	irradiance	辐射度
<i>E</i>	modulus of elasticity	弹性模数
<i>f</i>	force	力
<i>f</i>	frequency	频率
<i>f</i>	function	函数
<i>F</i>	filter transmission	滤光片透射
<i>F</i>	flow	流量
<i>F</i>	force	力
<i>F</i>	fraction	部分
<i>F</i>	molar fraction	体积克分子分数
<i>g</i>	conductance/area	电导率
<i>G</i>	conductance	电导
<i>G</i>	form factor	形状因数
<i>G</i>	gage factor	应变系数
<i>G</i>	gain	增益
<i>h</i>	height	高度
<i>H</i>	feedback gain	反馈增益
<i>i</i>	current	电流
<i>I</i>	current	电流
<i>I</i>	intensity	强度
<i>j</i>	$+(-1)^{1/2}$	
<i>J</i>	number of standard deviations	标准离差值
<i>k</i>	constant	常数
<i>k</i>	piezoelectric constant	压电常数
<i>K</i>	constant	常数

(续)

符 号	参 数	引入的节
K	number	数 11.1
K	sensitivity	灵敏度 1.9
K	solubility product	溶度积 5.3
K	spring constant	弹簧系数 1.9
L	inductance	电感 1.7
L	inertance	惰性 7.3
L	length	长度 2.2
m	average number	平均数 11.1
m	mass	质量 7.3
m	slope	斜率 1.7
M	mass	质量 1.9
M	measured values	测量值 11.2
$\bar{M}$	modulation	调制 11.1
M	cardiac vector	心脏向量 6.2
n	number	数 1.7
n	refractive index	折射率 2.14
N	noise equivalent bandwidth	噪声等效带宽 11.3
N	number	数 5.3
N	turns ratio	圈数比 3.13
p	pressure	压力 9.1
p	probability	概率 11.1
p	power	功率 1.7
p	pressure	压力 7.3
p	projection	投射 11.10
q	charge	电荷 2.6
q	rate of heat	热量加入速度 8.1
q	volume flow	流量 9.1
Q	heat content	热含量 8.2
Q	volume flow	流量 9.1
r	radius	半径 7.3
r	resistance/length	单位长度的电阻 4.2
R	range	距离 8.4
R	resistance	电阻 1.7
S	modulation transfer function	调制传递函数 11.2
S	slew rate	转换速率 3.11
S	source output	光源输出 2.17

符 号	参 数	引入的节
t	thickness 厚度	5.8
t	time 时间	1.9
T	interval 周期	1.9
T	temperature 温度	2.8
T	transmittance 透射系数	10.1
u	velocity 速度	4.2
u	work function 功函数	11.6
$\bar{U}$	molar uptake 净摄入分子率	9.1
v	voltage 电压	1.5
v	volume 容量	9.1
V	voltage 电压	1.5
W	power 能量	2.10
W	weight 重量	2.15
W	weighting factor 重迭系数	11.10
x	constant 常数	2.15
x	distance 距离	2.4
x	input 输入信号	1.5
X	chemical species 化学气体	9.1
X	effort variable 作用力变量	1.7
y	constant 常数	2.15
y	deflection 位移	7. P
y	output 输出信号	1.5
Y	admittance 导纳	1.7
Y	flow variable 流速变量	1.7
z	distance 长度	4.1
Z	atomic number 原子序数	11.6
Z	impedance 阻抗	1.5

希腊字母

符 号	参 数	引入的节
α	thermistor coefficient 热敏电阻温度系数	2.9
α	thermoelectric sensitivity 热电灵敏度	2.8
β	thermistor constant 热敏电阻材料常数	2.9
ϵ	emissivity 辐射率	2.10
ϵ	dielectric constant 介电常数	2.5
ζ	damping ratio 衰减系数(阻尼比)	1.9
η	viscosity 粘度	7.3
Λ	logarithmic decrement 对数衰减率	1.9
λ	wavelength 波长	2.10
μ	attenuation coefficient 衰减系数	11.10
μ	mobility 迁移率	5.2
μ	permeability 导磁率	2.4
μ	Poisson's ratio 泊松比	2.2
ν	frequency 频率	2.13
ρ	density 密度	7.3
ρ	mole density 克分子浓度	9.1
ρ	resistivity 电阻率	2.2
σ	conductance 导电率	12.4
σ	conductivity/distance 电导系数	4.7
σ^2	variance 方差	11.1
τ	time constant 时间常数	1.9
ϕ	number of photons 光子数	11.6
ϕ	phase shief 相移	1.9
ϕ	divergence 扩散角	8.4
Φ	potential 电位	4.6
ω	frequency 频率	1.7