

BIOMEDICAL INSTRUMENTS

THEORY AND DESIGN

〔美〕W·韦尔科威茨·S·多伊奇著

林劲 郭营川译

陈明进 徐雍容校



生物医学仪器

——原理与设计

上海科学技术出版社

79.97
319

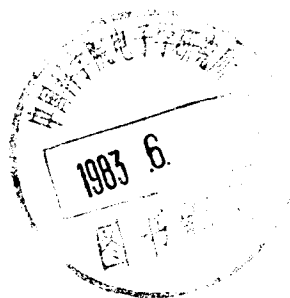
生物医学仪器

——原理与设计

〔美〕 W. 韦尔科威茨 S. 多伊奇 著

林 劲 郭营川 译

陈明进 徐雍容 校



上海科学技术出版社

1110676

Walter Welkowitz
Sid Deutsch
Biomedical Instruments, Theory and Design

生物医学仪器

——原理与设计

〔美〕 W. 韦尔科威茨 S. 多伊奇 著

林 劲 郭营川 译

陈明进 徐雍容 校

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 无锡县人民印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 10 字数 220,000

1983年3月第1版 1983年3月第1次印刷

印数 1—4,700

统一书号: 15119·2229 定价: (科五) 1.25 元

内 容 提 要

本书主要叙述各种医学仪器的原理与设计。所述及的仪器有呼吸流量计、导管端血压计、电子温度计、心内导管端微音器、压电心室助推装置、心脏助推器、电磁血流量计等。仪器所使用的各种换能器有变电阻换能器、压电换能器、电动换能器、力平衡换能器、差动变压器换能器、变电容换能器等，以及仪器所使用的电子放大器都作了较详尽的叙述。

本书还阐述了超声技术在医学上的应用、X射线摄影成像技术和生物遥测技术等。

本书可供从事医学仪器专业的技术人员、大专院校有关专业师生参考阅读，也可作为有关专业的大专教材。

译 者 的 话

生物医学工程是近年来迅速发展起来的一门边缘科学，在医学领域中所起的作用越来越重要。众所周知的超声诊断和治疗技术以及新近发展的射线断层成像技术（CT）就是最为显著的成果。这里翻译的《生物医学仪器——原理与设计》一书是美国 Rutgers 大学为生物医学工程系高年级开设的专业课程的教课书。内容着重于生物医学仪器的原理与设计，而不是介绍商品仪器。对于生物医学工程系的学生、仪器的设计人员以及医院的技术人员和医生都有实际的参考价值。

本书前言、第一、二、四、六、十二章由林劲同志翻译，符号表、第七、八、九、十一、十三章由郭营川同志翻译，第三、五章由傅雄飞同志翻译，第十章由陈家豪同志翻译。本书最后由上海市生物医学工程学会秘书长陈明进同志校阅定稿，参加校对的还有徐雍容同志。本书曾蒙上海科学技术大学生物医学工程专业王保华副教授校阅特此表示衷心感谢。北京首都医院石健民同志、郑文祥同志早期曾参与本书第五、十章的翻译特此表示衷心感谢。

由于生物医学仪器所涉及的知识较广，而我们水平有限，翻译中难免存在错误，希望读者批评指正。

译 者

一九八一年十二月

前 言

从一九六六年起,我们开设了名为“生物医学仪器的原理与设计”为期一年的课程,作为 Rutgers 大学生物医学工程系研究生教学大纲的一部分。虽然有几本关于生物医学仪器的基础书可供使用,然而,其中大部分与其说是为工程师而写的,不如说是为仪器使用者(如医生和医院技师)而写的。因而,为了设计的目的准备一些教材就显得必要了。本书就是在这些教材的基础上为工科高年级大学生或低年级研究生而写的。

本书的目的在于:(1)给出各种换能器性能的物理解释,(2)研究出适用于这些换能器的数学原理,(3)讨论生物医学仪器的实际设计。我们希望这本书将作为未来从事仪器设计工作的生物医学工程学生的课本,作为医学仪器设计师的参考书,以及作为许多生物医学研究工作者的设想来源(因为他们有时需要制作一个小器械,以便进行研究工作)。为了阐明数学分析,书中给出了若干医学仪器设计的实例。

本书第一章向读者介绍有关生理测量的各种概念,以及这些测量所应用的各种换能器。第二章为全书所用的各种分析方法作准备。对于不常使用这些分析方法的读者来说,本章可以作为“进修课程”。鉴于本书是围绕各种换能器机理编写的,所以在第三~九章叙述了在仪器设计中每种换能技术是如何得以应用的。由于超声系统在医学领域的应用已日益

增多,所以在第五章阐述了超声系统设计的一些方法。本书所讲到的机电换能器大部分都需要对电信号作某些适当的调整,这些信号适调放大器的设计包括在第十一章中。其余各章涉及一些重要的,然而却是专门的领域,诸如计算机处理射线成像、闭环反馈回路仪的设计以及生物遥测。

生物医学仪器的原理和设计来源于多种不同的科学学科——生理学、系统分析、电路原理、固态物理学、声学、电磁原理等等,这些学科已形成各自的术语和符号,因此,要制定出与以上各门学科所采用的典型符号都极其相似的另外一套符号就很困难了。

我们感谢在医学仪器方面共同探讨的许多同事;感谢我们的学生们,因为本书最终必然反映了他们的课堂提问、意见以及考试易犯的错误。我们还要感谢打印原稿的 Constance Zylman夫人。最后,谨向允许我们从文献中复印许多图表的出版者和作者致以谢忱。

W. Welkowitz

S. Deutsch

符 号 表

a	加速度	i	磁损耗系数
a_n	余弦分量峰值	j	$(-1)^{1/2}$
a_0	特定加速度	k	耦合系数
b	常数	k_a	放大器电压增益
b_n	正弦分量峰值	k_B	波尔兹曼常数
c	常数	k_o	调节器增益
c_n	频谱分量	k_d	阻尼常数
d	直径	k_f	回复力常数
d_B	声束直径	k_g	换能器常数
d_o	线圈架直径	k_0	比例常数、有源装置的电 压增益
d_p	压电常数	k_p	换能器常数
d_T	换能器直径	k_r	弹簧常数
d_w	导线直径	k_t	回复力矩常数
e	换能器常数	l	长度
f	频率	l_o	芯子长度
f_s	并联谐振频率	l_d	介电片厚度
$f_{B, \gamma}$	频带宽度	l_e	有效长度
f_0	谐振频率	l_F	焦距
f_r	串联谐振频率	l_g	空气隙长度
f_R	接收频率	l_{g0}	静态空气隙长度
f_T	发射频率	l_m	磁路长度
g	磁致伸缩常数	l_0	参考温度下的长度
g_p	压电常数	l_p	初级线圈长度
h	高度、厚度、深度		

$\bar{r}_R$	深度分辨率	v_r	速度的径向分量
l_s	次级线圈长度	v_s	声速
m	质量	v_x	速度的 x 向分量
m_l	应变计系数	v_y	速度的 y 向分量
n	整数	v_z	速度的 z 向分量
p	压力	v_θ	速度的 θ 分量
p_c	心压	w	宽度
p_g	表压	x	距离
q	电荷	x_0	静态输入、水平飘移
r	半径	x_p	水平宽度
r_a	平均半径、膜片半径	x_v	归一化距离
r_c	芯子的半径	y	距离
r_i	内半径	y_0	静态输出、垂直飘移
r_o	外半径、最大半径	y_p	垂直宽度
s	$j\omega$	z	距离
t	时间	z_k	X 射线的强度
t_c	一个循环的周期	A	面积
t_d	顺流渡越时间	A_g	空气隙的横截面积
t_0	时间延迟	A_m	磁芯的横截面积
t_{cut}	输出脉冲周期	A_p	初级线圈的面积
t_p	脉冲周期	A_s	次级线圈的面积
t_u	逆流渡越时间	B	磁通密度
t_v	归一化时间	B_A	A 点的磁通密度
u	变量、半径的函数、水平分量	B_m	磁芯的磁通密度
v	速度、垂直分量	B_r	剩余磁通密度
v_a	平均速度	B_x	磁通密度的 x 向分量
v_f	流速	B_y	磁通密度的 y 向分量
v_l	$x=l$ 处的速度	B_z	磁通密度的 z 向分量
v_0	$x=0$ 处的速度	C	电容
v_p	正弦速度峰值	C_d	电介质片电容

C_f	反馈电容	L_0	静态电感、特殊的电感
C_g	空气隙电容	L_p	初级线圈电感
C_L	负载电容	L_s	次级线圈电感
C_0	静态电容、特殊的电容	M	磁动势
C_s	次级并联电容	M_m	磁铁的磁动势
C_o	倒相源电容	$M(\omega)$	幅度响应
D	电通量密度	N	匝数
D_x	电通量密度的 x 向分量	N_n	第二类贝塞尔函数
D_y	电通量密度的 y 向分量	N_p	初级匝数
D_z	电通量密度的 z 向分量	N_s	次级匝数
E	电场强度	N_T	初/次级匝数比
E_x	电场强度的 x 向分量	P	功率
E_y	电场强度的 y 向分量	P_B	电极化
E_z	电场强度的 z 向分量	Q	品质因数
F	力	Q_V	流量体积
F_l	$x=l$ 处的力	R	电阻
F_0	$x=0$ 处的力	R_c	补偿电阻
F_p	正弦力的峰值	R_f	反馈电阻
$F'(\omega)$	傅里叶变换	R_i	有源装置的输入电阻
G	电导	R_{inn}	由非倒槽发生器看入的输入电阻
G_c	补偿电导	R_{inv}	由倒相发生器看入的输入电阻
H	磁场强度	R_L	负载电阻
H_0	矫顽力、磁芯磁场强度	R_n	非倒相信号源的电阻
I	电流	R_0	在参考温度下的电阻、有源装置的输出电阻
I_p	功率密度	R_p	电位计电阻、并联电阻
J	电流密度	R_r	反射电阻
J_n	第一类贝塞尔函数	$R(r)$	半径的函数
K	介电常数	R_s	串联电阻
K_0	静态介电常数		
L	电感		
L_0	磁芯电感		

R_T	热敏电阻	X	电抗
R_{Th}	戴维宁信号源电阻	X_L	感抗
R_v	倒相信号源电阻	X_{Lv}	初级线圈感抗
$\mathcal{R}$	磁阻	X_{Ls}	次级线圈感抗
$\mathcal{R}_g$	空气隙磁阻	X_m	互感
$\mathcal{R}_m$	磁路的磁阻	X_s	次级线圈电抗
$\mathcal{R}_U$	U形磁路的磁阻	Y_m	机械导纳
S	应变	Y_0	杨氏弹性模量
T	温度	Y_p	最大的拉伸强度
T_0	参考温度	Z	阻抗
U	容积	Z_f	反馈阻抗
V	电压	Z_k	线圈阻抗
V_a	放大器的输出电压	Z_L	负载阻抗
V_O	电容器电压	Z_0	特性阻抗
V_G	回转器电压	Z_{Th}	等效信号源阻抗
V_{inn}	非倒相信号源电压	Z_v	倒相信号源阻抗
V_{inv}	倒相信号源电压	α	常数、衰减常数
V_n	非倒相端电压	α_B	温度膨胀系数
V_N	噪声电压的有效值	α_{BS}	结构材料的温度膨胀系数
V_{Nf}	反馈电阻的噪声电压	α_{EW}	电阻丝的温度膨胀系数
V_{Nk}	有源装置的噪声电压	α_R	电阻温度系数
V_{Nn}	非倒相信号源的噪声电压	α_{R_c}	补偿电阻的温度系数
V_{Nu}	倒相信号源的噪声电压	β	常数
V_p	初级线圈电压	γ	导电率
V_R	接收电压	δ	挠度、偏移
V_s	次级线圈电压	ε	2.718
V_T	发射电压	ε_0	真空的介电常数
V_{Th}	等效信号源电压	ζ	弹性常数
V_v	倒相端电压	η	小位移
V_v	归一化电压	θ	角度
W	功、能量		

$\theta_{B/W}$	角长度带宽	ϕ_0	磁芯的磁通量
θ_0	谐振时的角长度	ϕ_a	顺流相移
λ	粘度	ϕ_u	逆流相移
μ	导磁率	ψ	电通量
μ_i	导磁率增量	ω	角频率
μ_{ir}	相对导磁率增量	ω_a	并联谐振角频率
μ_m	磁芯的导磁率	ω_0	谐振角频率
μ_0	真空导磁率	ω_r	串联谐振角频率
μ_r	相对导磁率	ω_x	空间角频率的水平分量
ν	导磁率的倒数	ω_y	空间角频率的垂直分量
ν_i	导磁率增量的倒数	ω_ν	归一化角频率
ξ	极化系数	Γ	反射系数
σ_{ijkl}	压阻常数	Δ	一个小的变化量
ρ	电阻率	Δ	温度的倒数
ρ_D	质量密度	Δ_0	参考温度的倒数
ρ_0	参考温度下的电阻率	Σ	复数代数和
ρ_i	电荷密度	r	应力
σ	泊松比	r_R	径向应力
τ	时间常数	r_s	长度方向应力
τ_f	$2\pi\tau$	r_θ	环向应力
ϕ	相位角、磁通量		

目 录

译者的话	i
前言	ii
符号表	iv
第1章 生理学的若干特性	1
第一节 血流量	4
第二节 血压	5
第三节 体温	5
第四节 呼吸流量和速率	5
第五节 心音	6
第2章 分析方法	7
第一节 频谱	10
第二节 拉普拉斯变换法	13
第三节 系统的传递特性	17
第四节 反馈系统	22
第五节 电和机械的类比	24
参考文献	28
第3章 变电阻换能器	29
第一节 电位计式仪器	29
第二节 惠斯登电桥	36
第三节 电阻丝应变仪换能器	38
第四节 压阻换能器	49
第五节 热敏电阻温度换能器	54
参考文献	63
第4章 压电换能器	65

第一节	压电现象原理	66
第二节	传输线类比	75
第三节	谐振型横向压电换能器	76
第四节	横向式等效电路	82
第五节	圆管状接收器的设计	85
第六节	医学仪器的设计	88
	参考文献	95
第5章	超声仪器	96
第一节	谐振型有载纵向压电换能器	99
第二节	纵向式等效电路	105
第三节	组织的超声特性	107
第四节	组织显象方面的应用	113
第五节	超声血流量计	117
	参考文献	127
第6章	电动换能器	129
第一节	电磁理论的回顾	129
第二节	磁路	135
第三节	电磁血流量计	140
第四节	等效电路	145
第五节	心脏助推器的设计	148
	参考文献	155
第7章	变电感和差动变压器换能器	156
第一节	杂散电容的影响	156
第二节	非线性分析	158
第三节	单线圈换能器	160
第四节	双线圈换能器	168
第五节	一种震颤测量仪	170
第六节	差动变压器换能器	172
	参考文献	178
第8章	磁致伸缩换能器	179
第一节	磁致伸缩现象的原理	180

第二节	机械共振状态下的磁致伸缩换能器	184
第三节	等效电路	189
参考文献		192
第9章	变电容换能器	193
第一节	基本设计	193
第二节	弹性膜换能器	198
参考文献		209
第10章	X射线摄影成像	210
第一节	图象重建的联立方程组法	214
第二节	图象重建的总和法	215
第三节	代数重建技术	217
第四节	应用傅里叶变换技术的图象重建	222
参考文献		230
第11章	电子放大器	231
第一节	非倒相输入	233
第二节	倒相输入	237
第三节	桥式放大器	240
第四节	电缆驱动放大器	243
第五节	电流放大器	245
第六节	幅频响应	246
第七节	偏置和关于交流放大器的几点考虑	253
第八节	运算放大器的微分电路	255
第九节	运算放大器的积分电路	257
第十节	关于噪声的几点考虑	260
参考文献		262
第12章	力平衡换能器	263
第一节	开环装置	266
第二节	相移阻尼式力平衡装置	269
第三节	摆式伺服加速度计	276
第四节	具有速度传感器和电动加力器的压力计	279
参考文献		284

第 13 章 生物遥测技术	285
第一节 信号源	286
第二节 天线和频率设计的几点考虑	288
第三节 单通道调频装置	295
第四节 调频脉冲式射频装置	298
第五节 多通道时分制多路传输调频装置	299
参考文献	305

第 1 章

生理学的若干特性

在考虑设计生理测量仪器时应当强调的是：那些适用于工业测量仪器或海洋学仪器的基本要求，对于生理测量仪器也同样适用。然而，设计这类特殊仪器还必须考虑到如解剖学、生理功能和医疗安全之类的其它因素。

本书的重点是各种换能器，特别是那些机电换能器。此外，本书还将研究一些热电装置、电子学原理以及系统概念。这里讨论的换能器全部都是电输出装置，这些装置很容易与各种测量输出的仪器、记录设备以及计算机一起工作。由于换能器与输出系统要匹配，这就要求我们对灵敏度、信噪比的概念以及信号适调电路作广泛研究。因为数学分析在生理学和医学中应用得比较广泛，所以必须为这些分析提供准确数据，这就要求基本测量必须准确，因此测量仪器也必须精密。在医学领域中，粗糙的仪器设计是没有地位的。

设计医学仪器的一个特殊问题是被测系统的解剖特性。由于许多器官的几何形状是复杂的，所以必须作出如下选择：或者使换能器的设计与器官的形状相适应；或者设法从体外来进行测量。心音测量就是说明这种选择的一个很好例

1110675

• 1 •