

# 常用医疗 电子设备 阅图和维修

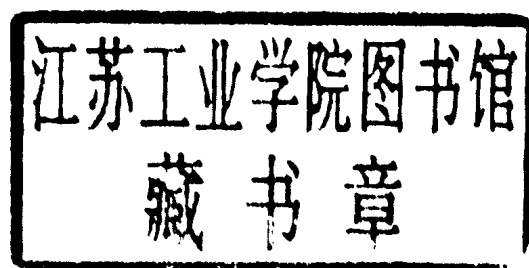
李文峰 陈国桢 等 编著



人民邮电出版社

# 常用医疗电子设备阅图和维修

李文峰 陈国桢 等编著



人民邮电出版社

## 内 容 提 要

本书通过深入浅出、颇具启发性的写作技巧，将理论知识和实践技能融为一体，力图提高读者阅图水平和维修技能。

本书主要内容是：医用电子设备的特殊性 & 电路组成导论——在介绍人体测量及生理信号特征、人体电子测量中的干扰及抑制的基础上，根据医用电子设备的需要，对生物电信号放大器、信号处理电路、遥测方式及相关技术、医学传感器等内容进行讨论，并分别举例说明它们在医用电子设备中的具体应用；常规医用电子设备阅图和维修——在介绍医用电子设备阅图方法和维修导论的基础上，对精心选择的十六种医用电子设备的阅图和维修方法进行详尽讨论。其中有应用广泛的各种生化检验仪器、电疗机、肾图仪、激光治疗机、心电图机、脑电图机、心脏急救监视装置及放射免疫计数器。书末有附录，供读者提高实践技能及维修水平参考。

本书主要作为大专院校医学电子专业的教学参考书和各类医用电子仪器维修技能的培训教材，更是医用电子设备设计、生产、~~维修人员的工具书~~

### 常用医疗电子设备阅图和维修

李文峰 陈国桢 等编著

责任编辑 刘惠云

人民邮电出版社出版发行  
北京朝阳门内南竹杆胡同 111 号  
北京朝阳展望印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销

\*

开本：787×1092    1/16    1996年9月    第1版  
印张：31.75        1996年9月    北京第1次印刷  
字数：8.02千字    插页：10    印数：1 25 00册

ISBN 7-115-05867-9/TN·964

定价：39.00元

# 前 言

当今世界科学技术迅猛发展，边缘科学、横向科学等新兴学科不断涌现，传统的单一的专门知识人才已难以满足科学技术发展的广泛结合性需要。科学家、专门家之间的专业跨行、协作将成为现代社会的普遍现象。当代生物医学工程是具有划时代特色的新兴学科，它是生物医学和电子技术、计算机技术、信息图像处理技术、通信技术、传感器技术等相结合的产物。

先进的现代化医学仪器门类繁多、包罗万象，它们既是生物医学工程发展的结晶，又是更深入地从事医学研究的得力工具，更是为民众解除疾患的重要手段。正是由于医用电子设备涉及的学科跨度大、更新换代速度快、微机化的新型仪器不断问世等。因此，很多医院由于缺乏真正具有过硬本领的维修技术人员，一旦机器出了故障只好停用，给医院造成经济损失，也影响对患者的全面诊断或治疗；还有一些医院将有故障的机器“带病”工作，由此可能给患者造成新的痛苦；一些医用电子仪器的维修工作者，由于缺乏必要的理论知识和实践技能，而对有故障的仪器不知从何入手。为了摆脱这种困境，加速培养大批能适应医用电子设备发展需要、真正具有才干的维护检修人员，已成社会的迫切要求。为了促进生物电子学的发展、为了帮助广大医用电子设备维修工作者，尽快掌握医用电子设备的相关技术和各项实践技能，人民邮电出版社根据社会需要，组织医学、电子、计算机、传感器领域的专家、教授、工程师、技师编辑出版《常用医疗电子设备阅图和维修》，奉献给社会。该书以理论紧密联系实际、先进性和实用性相结合、面向基层的原则精选内容，其丰富的题材是实践性的，而内容却以理论系统性统帅起来，试图使读者从中掌握分析问题、解决问题的一整套能力。书中所介绍的阅图和维修方法具有普遍指导意义，它不仅能够帮助电子专业及医学电子专业的学生把理论知识变成活的实际，而且更是电子设备维修工作者的良师益友。全书具有实用性强、服务面广、文字朴实、深入浅出、分析问题逻辑性强等特点，它是作者长期工作中积累起来的经验作了系统的总结和提高奉献给读者。

本书主要内容如内容提要中所述。随着医用电子设备的发展和计算机在医用设备的广泛应用，我们还将组织编写常用医疗电子设备阅图和维修续篇。

本书由李文峰教授、陈国桢副教授任主编，参加编写的其他同志还有：合肥工业大学程国义、中科院安徽激光所奚居雄和张健如、安徽中医学院附属医院李铁峰、安徽省电子科学研究所陈伟铭和马震娅、上海浦东新区教育学院康健民、上海西门子医疗器械有限公司陈立群、沈阳军区大连第一疗养院吕国良、沈阳军区医疗器械检修所吕庆友、上海医用电子仪器厂顾心耀、钱志强、陆锡忠、桂福申、安徽省科光应用技术开发公司熊延松和王江波等教授、高工、主任医师、工程师、技师。

作者在收集资料和编写的过程中曾得到许多同志的大力支持和热情帮助。上海医科大学、上海医用电子仪器厂、沈阳军区大连第一疗养院的领导和有关同志都为作者提供了许多技术图纸和参考资料，中国人民解放军蚌埠坦克学院的领导为此书的编辑出版提供了许多方便，北

京军区总医院何铁春教授给予过热情指导。为了确保书稿的质量，人民邮电出版社又组织了有上海医科大学基础医学院副院长毛凤仪研究员及部分专家、教授、工程师等二十余人参加的审稿会，对书稿的选材、写作技巧与特点都给予了充分肯定，同时，也提出了许多宝贵意见。在此，一并表示深切谢意。

由于作者人数较多，又是首次编写这样多学科交叉的实用性图书，因此，书中缺点错误在所难免，敬请读者批评指正。

作者  
1995.5

# 目 录

## 第一篇 医用电子设备的特殊性及其电路组成导论

1.1 人体测量及生理信号特征 .....	1
1.1.1 人体生理信号及其特征 .....	1
1.1.2 人体电子测量的一般组成框图 .....	3
1.1.3 医学电子仪器的制约条件和分类 .....	4
1.2 人体电子测量中的干扰及抑制 .....	6
1.2.1 医学电子仪器中的干扰与噪声 .....	6
1.2.2 抗干扰的“三要素” .....	7
1.2.3 医学电子仪器中经常采用的抗干扰措施 .....	8
1.3 生物电信号放大器 .....	11
1.3.1 对生物电放大器的基本要求 .....	11
1.3.2 集成运算放大器实用知识及改善运放性能的措施 .....	12
1.3.3 生物电信号前置放大器的基本电路型式 .....	21
1.3.4 两种实用生物电放大器的组成 .....	26
1.4 生物电信号处理 .....	28
1.4.1 有源滤波器 .....	29
1. 滤波器的分类 .....	29
2. 有源带阻滤波器的基本结构 .....	30
3. 实用有源滤波器举例 .....	31
1.4.2 电压比较器 .....	32
1. 集成电压比较器及其特点 .....	32
2. 电压比较器的典型应用 .....	33
3. 电压比较器在医用电子仪器中的应用实例 .....	39
1.4.3 常用运算电路 .....	42
1. 加法器 .....	42
2. 减法器 .....	43
3. 积分器 .....	43
4. 微分器 .....	45
5. 对数放大器 .....	45
1.4.4 非线性处理 .....	49
1. 检波电路 .....	49
2. 限幅电路 .....	52
3. 函数发生器 .....	57
1.4.5 数/模及模/数转换 .....	70
1. 数/模转换器 (DAC 或 D/A) .....	71

2. 模/数转换器 (ADC 或 A/D)	76
3. 模/数转换器在医用电子设备中的应用实例	83
1.4.6 信号处理电路应用实例	86
1. 具有报警功能的数字式温度计	86
2. 具有报警功能的数字式心率计	87
3. 心音图放大器	91
1.5 生物遥测方式及相关技术	92
1.5.1 生物遥测的基本制式及组成	93
1. 有线遥测的基本组成及特点	93
2. 生物无线遥测的基本制式及其组成	94
1.5.2 脉冲调制式生物遥测概要	96
1. 脉冲幅度调制 (PAM)	96
2. 脉冲宽度调制 (PWM)	97
3. 脉冲位置调制 (PPM)	98
1.5.3 数字式生物遥测导论	99
1. 脉冲编码调制 (PCM) 基础	99
2. 数字传输概要	100
1.5.4 高频正弦波自激振荡器	104
1. 变压器反馈式振荡器	104
2. 三点式 LC 振荡器	105
3. 石英晶体振荡器	108
1.5.5 调制与解调	111
1. 调幅与检波	111
2. 调频及鉴频	116
3. 调制和解调在生物遥测中的应用举例	120
1.5.6 集成锁相环及其在医学电子仪器中的应用	122
1. 锁相环路 (PLL) 的构成及工作原理	122
2. 集成锁相环	123
3. 集成锁相环在医学电子仪器中的应用举例	125
1.6 生物医学传感器及医用电极	128
1.6.1 生物医学传感器概述	128
1. 生物医学传感器的分类	128
2. 对医用传感器的特殊要求	129
3. 传感器的基本特性	130
1.6.2 电阻式传感器	134
1. 电位器式传感器	134
2. 金属应变式传感器	135
3. 半导体压阻传感器	136
4. 医用桥式电阻传感器举例	136
1.6.3 电容式传感器	137
1. 工作原理	137
2. 电容式传感器的测量电路	139
3. 医用电容式传感器举例	141

1.6.4 电感式传感器 .....	143
1. 自感式传感器 .....	143
2. 互感式传感器 .....	143
3. 差动变压器式传感器 .....	144
4. 电感式传感器的应用讨论 .....	145
1.6.5 压电式传感器 .....	145
1. 压电效应及压电材料 .....	146
2. 压电式传感器及其应用实例 .....	146
1.6.6 光电式传感器 .....	149
1. 光导管(光敏电阻)及其应用 .....	149
2. 光电池及其应用 .....	151
3. 光电管 .....	152
4. 光敏二极管和光敏三极管 .....	153
1.6.7 温度传感器 .....	154
1. 热敏电阻 .....	155
2. 半导体温度传感器 .....	156
3. 热电偶 .....	158
4. 温度传感器的应用实例 .....	159
1.6.8 医用测量电极 .....	161
1. 电极理论 .....	161
2. 生物电位电极 .....	163
3. 电化学传感器 .....	165

## 第二篇 常规医用电子设备阅图和维修

2.1 医用设备中常用电子电路及器件补遗 .....	167
2.1.1 直流稳压电源及电源变换器 .....	167
1. 串联型晶体管直流稳压电源 .....	168
2. 集成稳压电源 .....	170
3. 直流电源变换器(DC/DC变换器) .....	172
4. 开关式直流稳压电源 .....	173
2.1.2 功率放大器 .....	176
1. 互补对称式OTL电路(单端推挽放大电路) .....	176
2. OCL电路及其应用 .....	177
3. BTL电路及其应用 .....	181
2.1.3 各种集成门电路及组合逻辑电路 .....	182
1. 数字逻辑电路综述 .....	182
2. 分立元件门电路 .....	184
3. 集成逻辑门电路 .....	187
4. 组合逻辑电路举例 .....	190
2.1.4 双稳态和单稳态触发器 .....	195
1. 双稳态触发器 .....	195
2. 单稳态触发器 .....	203
2.1.5 时序逻辑电路 .....	212



1. 二进制计数器 .....	212
2. 十进制计数器 .....	218
3. N进制计数器 .....	220
4. 集成脉冲顺序分配器 .....	223
2.1.6 译码与数字显示 .....	224
1. BCD—十进制译码器 .....	225
2. BCD—八段译码器 .....	227
3. 数字显示电路应用举例 .....	229
2.1.7 可控硅及其触发线路 .....	233
1. 可控硅的主要特性及使用注意事项 .....	233
2. 可控硅触发线路 .....	234
3. 可控硅在医用电子设备中的应用举例 .....	235
2.2 医用电子设备阅图方法概述 .....	237
2.2.1 电路图的基本种类 .....	238
2.2.2 电路图的一般绘制格式 .....	238
2.2.3 一般的阅图要领和方法 .....	239
2.3 医用电子设备维修导论 .....	241
2.3.1 维修的类别、步骤和原则 .....	241
1. 维修类别 .....	241
2. 维修工作的基本步骤 .....	241
3. 维修工作原则 .....	242
2.3.2 维修前的准备工作 .....	243
2.3.3 常用维修方法综述 .....	244
2.4 常规医用电子设备阅图和维修 .....	248
2.4.1 GD811 连续式比色计 .....	248
1. 工作原理 .....	249
2. 电原理图分析 .....	249
3. 常见故障及维修 .....	250
2.4.2 722 型光栅分光光度计 .....	251
1. 结构方框图及主要技术指标 .....	251
2. 电原理图分析 .....	252
3. 常见故障及其原因分析 .....	255
2.4.3 XX-3 (B) 型血液细胞计数器 .....	257
1. 变阻法血细胞计数原理 .....	257
2. XX-3 型血细胞计数器的组成及电原理图分析 .....	258
3. 常见故障及排除 .....	264
4. XX-3B (改进) 型血液细胞计数器介绍 .....	266
2.4.4 WB-74 型微波电疗机 .....	267
1. 整机组成及各部分作用 .....	267
2. 阅图及工作过程分析 .....	269
3. 使用注意事项及常见故障分析 .....	270
2.4.5 ZTD-3 型正弦调制中频电疗机 .....	270

1. 组成框图及主要技术指标 .....	270
2. 各单元电路分析及整机阅图 .....	272
3. 常见故障分析 .....	276
2.4.6 CO <sub>2</sub> 激光手术刀 .....	276
1. 激光基础知识 .....	276
2. CO <sub>2</sub> 激光器 .....	278
3. CO <sub>2</sub> 激光手术刀概述 .....	280
4. 整机电路分析 .....	282
5. 操作方法与常见故障维修 .....	287
2.4.7 JG-1 型激光眼科治疗机 .....	291
1. 概述 .....	291
2. 工作原理简介 .....	291
3. 整机电原理图组成及阅图分析 .....	292
4. 使用方法及注意事项 .....	295
5. 常见故障及其分析 .....	296
2.4.8 KG-620 型肾图仪 .....	298
1. 肾功能检查的原理和方法 .....	298
2. 肾图仪组成及主要性能指标 .....	299
3. 电路工作原理及分析 .....	300
4. 电源部分 .....	304
5. 常见故障及其排除方法 .....	305
2.4.9 XDH-3B (改进) 型心电图机 .....	307
1. 心电图机的组成框图及主要技术指标 .....	307
2. 单元电路介绍及整机阅图分析 .....	308
3. 使用注意事项及常规检查方法 .....	319
4. 常见故障及其分析 .....	321
5. 另一电路方案 .....	322
2.4.10 XD-7100 型单道心电图机 .....	322
1. 概述 .....	322
2. 电路原理分析 .....	325
3. 整机修理 .....	337
2.4.11 ECG-6511 型心电图机 .....	339
1. 概述 .....	339
2. 电路原理分析 .....	341
3. 常见故障整机修理 .....	348
2.4.12 RG-2B 型血流图仪 .....	352
1. 血流图仪概述 .....	352
2. 单元电路分析 .....	354
3. 常见故障及修理 .....	368
2.4.13 ND-82B 型八通道脑电图机 .....	370
1. 脑电图机概述 .....	370
2. ND-82B 型脑电图机的组成框图 .....	372
3. 单元电路分析 .....	373

4. ND-82B 型脑电图机修理举例 .....	390
2.4.14 ND-161 型脑电图机 .....	392
1. 概述 .....	392
2. 整机组成及单元电路分析 .....	393
3. 校正方法 .....	416
4. 常见故障分析 .....	417
2.4.15 XJJ-1 型心脏急救监视装置 .....	420
1. 概述 .....	420
2. 基本结构和工作原理 .....	423
3. 故障的分析与排除 .....	454
2.4.16 KG-RIA50 型放射免疫计数器 .....	458
1. 概述 .....	458
2. 原理简介 .....	458
3. 电路分析 .....	460
4. 常见故障现象及维修 .....	468

## 附 录

附录一 本书常用文字、图形符号 .....	472
附录二 常用阻容元件实用知识 .....	474
附录三 集成电路实用知识 .....	478
附录四 常用数字显示器件 .....	481
附录五 光电耦合器及其在医用电子设备中的应用 .....	484
附录六 印刷电路板及焊接工艺常识 .....	488
附录七 集成多用信号发生器（函数发生器） .....	490
附录八 新型的数字设备故障检测仪 .....	493

## 医用电子设备的特殊性及其电路组成导论

一个缺少电子电路知识、对医用电子设备不甚了解或一知半解的人，面对一张由成千上万个元器件组成的电路图，根本无法顺利而准确地对整机电路进行全面分析和综合评定；面对各式各样的故障更是束手无策，如盲动，则可能把小毛病捅成大故障。因此，要想真正掌握医用电子设备的阅图技巧、要想真正具备维修工作所需的各种理论知识和实践技能，必须首先了解医用电子设备的特殊性、一般组成及常用的各种器件和电路。本篇就是为此目的而编写。

遵照理论密切联系实际的原则，紧紧围绕医用电子设备的实际需要精选内容。为了给“阅图和维修”工作打下良好基础并方便自学，在介绍具体电路知识时，采用深入浅出、由简到繁、启发诱导的撰稿特色，着重在提高读者的独立思考能力方面下功夫。本篇将要讨论人体测量及生理信号特征、人体电子测量中的干扰及抑制、生物电信号放大器、生物电信号处理、遥测方式及相关技术、医用传感器知识等内容，重点放在放大器和信号处理两章。在讨论各种单元电路的组成特点、工作原理分析、实用知识的基础上，选择医用电子设备中的典型电路，作为应用举例和阅图练习，以期读者较好地掌握各单元电路的基本原理和组成，并了解它们的实际应用。

### 1.1 人体测量及生理信号特征

医用电子仪器是医学中用于诊断、治疗和研究的重要工具。它不仅改变了过去凭借医生的感官去收集诊断信息的状况，而且提供了更为客观、精确、有效的诊断及治疗手段。

由于医用电子仪器的测量对象是人体的生理信息，因此，医学电子仪器和工业用的电子仪器相比有许多特殊之处。为了帮助读者便于学习以后各章内容，本章在介绍人体生理信号特征的基础上，讨论医学电子仪器的一般组成、制约条件、干扰与噪声。

#### 1.1.1 人体生理信号及其特征

人体有关的各项医学和生理参数如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 中，不仅列出人体生理参数的基本测量范围，而且指出各参数的频率值以及可采用的传感器或方式。表中所列数据都是近似值，虽然不同资料上报导不尽相同，但它们的共性却可以帮助我们认识生物信号的特征——幅值低、频率低、不稳定性、非线性等等基本特点。特作如下说明：

表 1.1.1

医学和生理参数

参数或测量技术	参数的主要测量范围	信号频率范围 (Hz)	标准换能器或方式
心冲击图 (BCG)	0~7g	直流~40	加速度计 (应变仪)
膀胱压强	0~100cmH <sub>2</sub> O	直流~10	应变仪压力计
血流量	0~300mL/s	直流~20	流量计
血压	动脉压 (直接)	直流~50	应变仪压力计
	(间接)	直流~60	脉压带 (听诊)
静脉压 (间接)	0~50mmHg	直流~50	应变仪
	PO <sub>2</sub>	直流~2	电极 (定容或定压)
血气	PCO <sub>2</sub>	直流~2	电极 (定容)
	PN <sub>2</sub>	直流~2	电极 (定容或定压)
	PCO	直流~2	电极 (定容或定压)
血液 pH 值	6.8~7.8	直流~2	电极
心输出量	4~25L/min	直流~2	染料稀释流量计
心电图 (ECG)	0.5~4mV	0.01~250	皮肤电极
脑电图 (EEG)	5~300μV	直流~150	头皮电极
脑皮质电图和脑深部电图	10~5000μV	直流~150	脑表面或深部电极
胃电图	10~1000μV	直流~1	皮肤表面电极
肌电图 (EMG)	0.5~80μV	直流~1	胃表面电极
	0.1~5mV	直流~10000	针电极
眼电位	EOG	直流~50	接触电极
	ERG	直流~50	接触电极
皮肤电阻	1~500kΩ	0.01~1-	皮肤电极
胃液的 pH 值	3~13pH 单位	直流~1	pH 电极、铂电极
胃肠压强	0~100mmHg	直流~10	应变仪、压力计
胃肠力	1~50g	直流~1	位移装置
神经电位	0.01~3mV	直流~10000	体表电极或针电极
心音图 (PCG)	10 <sup>-4</sup> Pa	5~2000	微音器
呼吸率	2~50 次/min	0.1~10	胸部应变仪, 鼻腔热敏电阻
呼吸潮气量	50~1000mL/呼吸	0.1~10	胸部应变仪, 鼻腔热敏电阻
体温	32~40°C	直流~0.1	热敏电阻或热电偶
	90~104°F		

幅值小——电压在微伏或毫伏级, 压强在 100mmHg。

频率低——多数在音频范围, 有的甚至接近直流。

不稳定性——人体是复杂的有机整体, 各生理系统的器官既有各自的性能与特点, 但又彼此密切相关、相互作用、相互制约; 人体又是一个多输入系统, 任何外界因素很容易在人体内造成影响, 形成各种各样的噪声; 人体的年龄差异、意识状态变化、新陈代谢过程的进行, 等等因素均导致生物信号的不稳定性。当然, 为了使问题讨论简化, 在一定条件下, 我们可以将这种“不稳定”近似地视为“静态稳定”来处理。

非线性——由于生物体中充满着非线性现象, 因此, 反映在生物信息中必将是非线性的, 进而导致生理参数动态范围大的特点。

综观表 1.1.1 中各参数, 可以将生理信息分为电量和非电量两大类——脑电、心电、肌电、眼电均属于生物电量; 脉搏、血压、体温、呼吸量、血流量、心音均属于非电量。就信号获取方式而言, 前者通过电极测量就有可能得到, 后者需经不同类型的传感器转换尚可获得。

此外，由于所有生命物质都离不开各种化学反应和离子作用，故表 1.1.1 中有少量生理参数是化学量（如血气分析和 pH 值测定），它们所采用的电极实质上是一种换能器，用来将待测溶液的化学量（如酸碱度 pH 值）转换成电位的高低。

### 1.1.2 人体电子测量的一般组成框图

人体电子测量仪器的目的是将活体系统信号，经过一定的电路处理之后转变成人的感官所能感知的形式。其组成框图如图 1.1.2.1 所示。

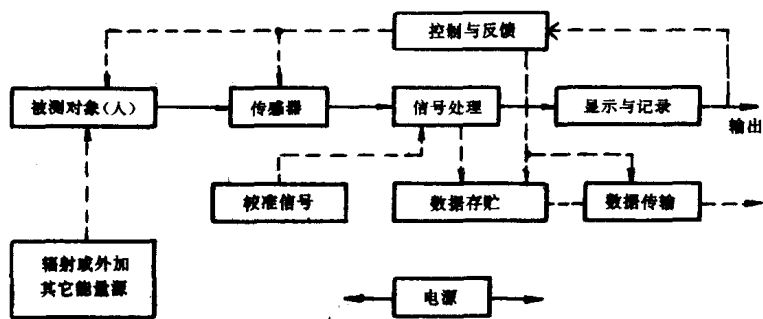


图 1.1.2.1

由图 1.1.2.1 可知，医学电子仪器必需包括三大部分——传感器（或电极）、信号处理电路、输出显示与记录装置，如图中实线部分所示。传感器将来自被测对象（人体）的某种生理医学信号，转换成另一种形式的能量（一般是电量），经信号处理电路后，以人们能感知的信息形式显示或记录输出，供医护人员进行诊断、监护或治疗使用。

为了使医学电子仪器的性能更好，以适应某些特定要求，常配有各种辅助系统，如图 1.1.2.1 中虚线所示，它们包括：控制与反馈、数据存贮与传输、校准信号与外加能量源等环节。显然，辅助系统的复杂程度不一，应根据仪器的使用场合、功能要求、精度高低等因素综合考虑而定。

下面就图中各功能块的作用与组成进行概要介绍。

**被测对象**——医学电子仪器和其它类型电子设备的根本不同在于被测对象，也就是信号源不同。医学电子仪器的测量对象是生物体（人）中的物理量、化学量、生理特性和状态等等，它们可能来自身体内部（如血流）或体表面（如各类生物电位），也可能是从体内辐射出来的（如温度或红外线），有的生物信息是由身体原发的，也有的是通过外加能量而获得的。这些被测对象可以归纳为：生物电位（心电、脑电、肌电、眼电）、压力（血压、胃压、肠压、膀胱压）、流量（血流量、心排出量、呼吸流量）、温度、位移（速度、加速度、力均可变为位移）、阻抗（血流阻抗、脑阻抗）、化学浓度等等，它们又可分为电量与非电量两大类。

**传感器或电极**——医用传感器的作用是把反映人体各部机能状态的各种非电量生理参数转换成模拟电（或电磁）信号，通常用得最多的传感器是热敏、压敏、光敏器件。电极则是从生物体（人）直接获得电信号，并把人体的离子流转换成电流。由于上述原因，不少资料

中把传感器和电极统称为换能器。医学仪器系统中,要求传感器及电极所吸取的被测量最小,对人体的侵害性最小。

**信号处理**——从传感器输出的信号,一般不能直接送到仪器的记录显示系统中去,而是要经过一个加工处理过程,使得换能器的特性(如非线性)得到补偿,并使有用信号得以改善。信号处理系统正是为此目的而设置。最简单的处理方法(有的资料上称为“预处理”),是将信号进行放大、滤波(去掉原始信号中的干扰)或者对换能器进行阻抗匹配。较完善的信号处理系统一般包括放大器、滤波器、干扰抑制、信息变换(如进行频域、时域或数域变换)及各种运算(加、减、乘、除、微分、积分、对数、指数等等)装置。若需要用数字显示或用电子计算机进行处理时,则还需要用模/数(A/D)转换、数/模(D/A)转换等专门的接口电路。

**输出显示与记录**——被测信号经传感器和信号处理单元之后,被转换成操作人员能感知(看、听、触)到的数据形式。显示方式可以是数字的或图形的、连续的或离散的、暂时的或永久的(仅仅是实时显示或是打印记录永久保存)。显示内容可以是光、声音或触觉等人的感觉器官可以感知的信息,例如用水银血压计来测量血压,需视觉、听觉并用,而多普勒超声信号仅用听觉器官来感知。

**控制和反馈**——这是一个调节、控制系统。其主要作用是用来调节换能器、控制数据信号的存贮和传输,以求达到待测信号能正确显示、存贮和传输的要求。这部分可以是人工的或自动的。

**数据存贮和传输**——为了便于医护人员对数据进行分析研究进而做出正确诊断、为了对信号进行补偿或变换,往往需要把数据信号进行存贮,以便多次使用。若要对信号进行遥测或进行中心监护(如需要把处理后的信号数据传输到医务中心或医学数据处理设备中去),仪器的辅助系统应配有数据传输装置。

**标准信号和外加能量源**——为了确保测量结果准确、可靠,医用电子仪器中常常配置标准信号源,以便实时地对仪器进行校正。事实上生物信息的检测,不仅依靠活体组织自身的某些能量,而且,还经常依靠同活体组织相互作用的外加能量。例如,X射线、超声波及其它形式的能量,均是医学检测中常用的外加能量源。

此外,电源装置可以提供医学仪器所需的各种电源。有时,根据测量的需要,还可能对电源提出一些特殊要求。例如,在医学信号进行无线电遥测时,就要考虑电源的密封及尺寸问题。

### 1.1.3 医学电子仪器的制约条件和分类

#### 1. 制约条件

由于医学电子仪器的检测对象是人,因此,设计医学仪器时还必须考虑解剖学、生理功能、医疗安全等特殊要求,也就是说,设计、制造医学仪器时,还必须受这些方面的制约。制约条件可以从以下几个方面加以简要说明。

##### (1) 待测量的特点

由前面讨论可知,许多生物信号不仅幅度十分微弱、频率很低,而且,噪声很严重。也就是说,生物信号属于强噪声背景下的低频弱信号,它是由复杂的生命体发出的不稳定的自

然信号。这些待测量（即信号源）的特点，就限制了设计医学仪器时进行多方面选择的可能性，并增加了实现优化方案的难度。

### （2）待测量的不可达性

医学测量系统中许多极重要的变量（如心搏出量、脑中动态波形、神经化学活力等），是很难直接测量到的，必须进行间接测量或进行必要的修正，这是因待测量与换能器不可能直接连接及其它原因所致。

### （3）待测量的可变性

人体的生理参数几乎都是多变的。即使可以控制的因素都固定，不少生理参量还是随时间而改变；即使测试条件相同，但由于人体个别差别相当大，因此，每个相同参量的测试结果将因人而异；生物系统与其它物理系统还有一个很重要的差别——在测量生物系统参数的过程中，不可能关闭掉或暂时切断某些部件，因此，每个生理参数都会受到多种因素的影响而不是独立的稳定参量。鉴于待测量的多变性，实际工作中往往采取经验数据，或以统计的分布函数为标准，对测量结果进行比对。

### （4）外加能量的限制

很多生理变量的测量需要将外加能量施于活体系统。例如，阻抗法测量时，就需要使高频电流流过组织或正在被测的血流，由于电流经过组织时必定会产生热量，因此，只有当电流很小时，其影响才不会十分显著；在处理活体细胞时，尤其要注意对外加能量的限制，否则，它将会破坏细胞或影响测量结果的准确性；众所周知，若X射线的剂量过大或超声功率的剂量过大，必将对活体产生不利影响，因此，它们都是应该加以限制的参量。

### （5）安全问题

医学电子仪器的电气安全尤为重要，应提倡“失效或损坏也应安全”的设计原则，以确保医护人员和患者的安全；医学仪器还必须考虑辐射的防护，防止化学腐蚀、噪声、毒物、交叉感染等对人体有害的因素。此外，还必须考虑到许多操作者不是科学仪器工作者，因此，医学仪器必须便于操作、经得起滥用并能耐化学腐蚀。

## 2. 几种基本分类方法

随着现代科学技术迅猛发展，尤其是电子技术及计算机的广泛应用，医用电子仪器的门类日益增多。目前，对医学仪器还没有一个统一的、系统的分类方法。综合起来看，主要有以下几种基本分类方法。

（1）按被检测的生理参数分类——可分为位移、压力、流量、温度、电位、磁场强度测量仪器等等。这种分类方法与工业仪器的一般分类方法相似。

（2）按传感器的转换原理分类——可以分为压电式、光电式、温度类、核辐射类、电化学类测量仪器等等。这种分类方法能把各种相同转换原理而不同用途的仪器联系起来，进而发展其新用途。

（3）按生理系统分类——可以分为循环系统、呼吸系统、神经系统、消化系统、内分泌系统测量仪器等等。这种分法，医护人员较欢迎，但转换原理有很多重复。

（4）按临床的专业分类——可分成儿科学、内科学、妇产科学、心脏病学、放射学测量仪器等等。这种分类方法，关心专门化仪器的医生较欢迎，但同一种仪器往往可以在多科使用，因此，仪器的重复性很大。

（5）按用途分类——可分为诊断用（如心电图机、脑电图机、肌电图机等）、治疗用（如



激光、射线、电磁及其它电子治疗装置)、监护用(如心血管监护、呼吸监护、床边重症监护等)医疗仪器。

对工程技术人员来说,最关心的是医学仪器所涉及的新技术、新器件。对上述分类方法略知一、二即可。本书所列举的医用电子仪器,并不拘泥以上各种分类方法。选材的原则是由简到繁、由浅入深、通用性强、有代表性,试图通过对它们的讨论,引导、启发读者掌握医用电子仪器的组成概况、涉及到的新技术、电路原理分析、故障分析与排除等等专门技能。

综上所述,对人体生理信号的特征、医学仪器的一般组成及其特殊限制条件有了基本了解。究竟怎样从多种外来干扰及内部噪声的淹没中,把微弱的生理信号有效地拾取出来?这将在以后的章节中进行讨论。

## 1.2 人体电子测量中的干扰及抑制

从前面的讨论可知:抗干扰和低噪声是构成生物信号测量的两个基本条件。那么,怎样提高医用测量系统的抗干扰能力?怎样设法减少噪声影响、提高信噪比?将成为亟待研究解决的核心问题。它们既是设计工作者的根本依据,又将是维修工作者的经常任务。本章,首先对医学仪器中可能产生的干扰与噪声进行综述性介绍;接着讨论电子设备中采取抗干扰措施所遵循的原则,即“抗干扰的三要素”;最后介绍医学仪器中经常采用的抗干扰措施。

### 1.2.1 医学电子仪器中的干扰与噪声

生理信号不仅处于强噪声的背景下,而且,来自测量系统之外的干扰也相当严重,因此,抗干扰和低噪声的要求成为生理信号测量的基本条件,也就是医学仪器设计过程中必须认真对待、并妥善解决的核心问题。

电子设备的使用环境中大致存在着以下三类干扰源:磁场干扰源——变压器、电动机、荧光灯镇流器;电场干扰源——电力线、水银灯、各种指示灯;电磁场干扰源——无线电广播、电视广播、通讯发射信号、高频振荡器、雷达。因此,电子设备的设计者务必着力提高设备的抗干扰能力,以确保设备安全可靠的运行。而医用电子设备对外来干扰尤其敏感,因为它们不仅将遭受到上述种种干扰,而且,还有以下几个特殊性。

1. 被测生理信号是微弱信号,医用仪器应具有较高的灵敏度。而灵敏度越高的机器,对外来干扰也越加敏感,很容易把干扰引入仪器;

2. 被测信号的频率较低,市电 50Hz 干扰几乎落在所有生物电信号的频带范围内,而 50Hz 干扰可以说是普遍存在;

3. 人体属于电的良好导体,而且难以屏蔽,尤其是 50Hz 的工频干扰,几乎所有生物体均有携带。因此,强大的干扰信号往往把微弱的生理信号完全淹没。

电子仪器除了受到外界的种种干扰之外,仪器内部由元器件(尤其是电阻及各类管子)、材料、部件的物理因素将会产生各种自然扰动,称之为噪声。在生物医学电子学中,最常遇到的噪声源有两种——热噪声和散粒噪声。热噪声是由导体中内部载流子不规则的热运动产生的,而且,温度越高导体内自由电子的热运动越激烈,噪声电压就越大。此外,噪声电压还与工作频率成正比、与电阻值成正比,而人体生理信号(即仪器的信号源)对外呈现高阻,