

医疗仪器维修专业试用教材

医用X线设备

上册

王思荣，杨素霞编

中国人民解放军总后勤部军医学校

一九八四年一月

编写说明

此书由江西医疗机械厂工程师王思荣、杨素霞编写，供医疗仪器维修专业试用，亦可作为本专业在职人员的参考书。

本教材以X线物理学理论为基础，较详细地阐述了医用X线设备的结构原理和安装维修技术，以目前医院常用的X线设备为主，适当介绍一些近年来新发展的产品。全书分上、中、下三册，其中包括总论、X线的物理基础、诊断X线设备的主机结构、诊断X线设备的辅助装置、治疗X线设备、医用X线设备的安装、使用和维护。

因时间仓促，难免有缺点或错误之处，望同志们在使用中提出宝贵意见，以便修改。

本书为内部使用教材，请勿翻印。

一九八四年一月

目 录

总 论

第一篇 X线的物理基础

第一章 X线的性质 ----- 19

第一节 X线的特性综述 ----- 19

第二节 阻止X线 ----- 28

- | | |
|----------------|----------------|
| 一. 阻止辐射的脉冲理论 | 二. X线强度在空间的分布 |
| 三. X线发生的理论及其发展 | 四. 关于连续线谱的若干问题 |

第三节 特性X线 ----- 54

- | | |
|--------------|--------------|
| 一. 特性X线的基本特点 | 二. 产生特性X线的理论 |
|--------------|--------------|

第四节 X线的折射、反射和衍射 ----- 62

- | | |
|----------------------|-----------------|
| 一. 布雷格方程 | 二. X线的折射和折射率的确定 |
| 三. X线的全反射和衍射及其用于波长测量 | |

第二章 X线与物质的相互作用 ----- 73

第一节 物质对X线的吸收 ----- 73

- | | |
|-----------|------------------|
| 一. 直线吸收系数 | 二. 电子吸收系数和原子吸收系数 |
| 三. 光电吸收 | 四. 散射吸收 |
| 五. 对子产生 | 六. 总吸收系数 |

第二节 X线特性在医学上的应用 ----- 89

- | | |
|---------|---------|
| 一. 物理作用 | 二. 化学作用 |
| 三. 生物作用 | |

第三章	X线的质和量	-----	主要内容5
第一节	在诊断方面X线的质和量	-----	95
第二节	在治疗方面X线的质和量	-----	98
一	治疗中X线的质	二	半价层及其测定
三	治疗中X线的量	四	表面反向散射
五	百分深度剂量和半价层的因素	六	等量线和等量面
第四章	X线的防护	-----	主要内容3
第一节	X线对人体的危害	-----	113
一	影响辐射效应的因素	二	慢性外照射的放射病
三	辐射的远期效应	四	慢性小剂量的辐射效应
第二节	防护原理和防护措施	-----	122
一	距离、时间和屏蔽的防护	二	常用防护措施
第三节	放射防护的标准	-----	124
一	防护标准的演变	二	国际放射防护委员会的新建议
三	我国有关放射防护的规定	四	X线防护的剂量控制
第四节	X线防护的计标	-----	138
一	若干名词的解释	二	防护物厚度的计标
三	诊断X线设备的防护要求		
第五节	防护材料	-----	156
一	防护材料的特性	二	铅、含铅材料和其他材料
三	防护材料的选择		

第二篇 诊断X线设备的主机结构

第五章 诊断X线设备的主电路-----216

第一节 X线管-----166

- | | |
|-------------|-------------|
| 一. X线管的基本结构 | 二. X线管的物理特性 |
| 三. X线管的测试 | 四. 三极X线管 |

第二节 高压整流元件和高压整流电路-----230

- | | |
|-----------|---------------|
| 一. 高压整流管 | 二. 半导体高压整流 |
| 三. 自整流电路 | 四. 半波整流和逆电压衰减 |
| 五. 四管全波整流 | 六. 六管三相整流电路 |
| 七. 倍压整流电路 | |

第三节 X线设备的寄生电容和高压波形的畸变-----262

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 一. 医用X线设备的寄生电容 | 二. 寄生电容对各种整流电路的影响 |
| 三. 寄生电容对高压波形的影响 | 四. 产生波形畸变的基本原因 |

第四节 高压变压器-----276

- | | |
|---------------|---------------|
| 一. 高压变压器的又作原理 | 二. 高压变压器的调压方式 |
| 三. 高压变压器的设计 | 四. C型铁芯的高压变压器 |
| 五. 高压变压器的常规试验 | 六. 高压测量仪及其误差 |
| 七. 主电路中的过电压 | |

第五节 主电路的压降及其补偿-----314

- | | |
|------------------|--------------|
| 一. 诊断X线设备的外在特性 | 二. 主电路中的各种电阻 |
| 三. 主电路中的电压降 | 四. KV补偿的设置 |
| 五. KV补偿(瞬时压降)的估计 | 六. KV补偿的准确性 |
| 七. KV补偿的调查 | |

第六节	自耦变压器的电流电路	340
一.	自耦变压器的工作原理	二. 自耦变压器的设计
三.	电流电路的设置	
第六章	X线管的灯丝加热电路	361
第一节	灯丝加热变压器	361
一.	灯丝加热变压器的结构	二. 加热变压器的设计
三.	灯丝加热变压器的测试	
第二节	X线管灯丝加热电路的设置 (附: 高压氙流管灯丝加热电路)	364
第三节	空间电荷补偿装置	371
一.	空间电荷补偿原理	二. 空间电荷的几种补偿方法
第四节	磁放大器及其在灯丝电路的应用	379
一.	磁放大器的工作原理	二. 磁放大器在灯丝电路的作用
第五节	管电流的自动补偿机构	385
一.	断层摄影的管电流自动补偿	二. X线电视的管电流自动补偿
三.	间接摄影的管电流自动补偿	
第六节	跌落负载的基本原理	389
第七节	X线管灯丝电压稳定器	393
I	谐振式磁饱和稳压器	
一.	磁饱和稳压器的物理过程	二. 磁饱和稳压器的数学分析
三.	磁饱和稳压器的频率补偿	四. 磁饱和稳压器的设计

五. 磁饱和稳压器的调在

II. 电子交流稳压器的

一. 电子交流稳压器的工 作原理

二. 电子交流稳压器的设计 要点

第七章 控制电路-----415

第一节 控制系统的组成和发展-----415

一. 控制系统的基本组成和 发展概况

控制系统的容另

三. X线管特性的调制

四. 摄影条件的稳定和调节

第二节 管电压、管电流和曝光时间的调节系统-----420

一. 三钮制X线设备的调节 系统

二. 二钮和单钮调节系统的 布局

第三节 控制电路的设置-----425

第四节 限时器和延时器-----431

一. 机械限时器

二. 同步电机限时器

三. 一般电子限时器

四. 零序控制的电子限时器

五. 光电限时器

六. 电阻器限时器

七. 可控硅限时器

八. 毫安秒限时器

九. 延时器

第五节 X线管过载保护电路-----432

一. 过载保护的目和手段

二. 几个典型的过载保护电 路

第八章 毫安测量电路-----437

第一节 电容电流及其补偿-----437

第二节 毫安测量电路的设置-----500

	第九章 附属电路	大恩荣：秘录第05
第一节	旋转阳极启动电路	505
一、	旋转阳极的启动原理	二、 具体电路举例
第二节	诊断床的控制电路	526
一、	诊断床控制电路的设置	二、 床台电机的选用和计标
	第三篇 诊断X线设备的辅助装置	
	第十章 滤线器和胃肠摄影装置	大恩荣第2
第一节	滤线器	532
一、	滤线器的构造原理	二、 活动滤线器
三、	暗条效应及其防止	
第二节	胃肠摄影装置	537
	第十一章 断层摄影装置	大恩荣第47
第一节	断层摄影的原理	547
第二节	断层的厚度	549
第三节	断层的模糊度	552
第四节	断层摄影装置的种类	554
一、	纵向断层摄影装置	二、 横向断层摄影装置
三、	多层断层摄影装置	四、 多轨迹断层摄影装置
	第十二章 影象增强装置	大恩荣第577
第一节	影象增强器概述	577
一、	影象增强管的发展史	二、 影象增强管的构造
三、	影象增强管的亮度增益原理	
第二节	影象增强管的种类	583

第三节	X线摄影的调制传递函数理论	585
一.	调制传递函数的概念	
二.	调制传递函数的数学分析	

第四节	影象增强管的特性和测试	504
一.	影象增强管的特性	
二.	影象增强管的测试	

第五节	影象增强管的应用	599
-----	----------	-----

第十三章 X线电视装置

第一节	X线电视的种类	601
-----	---------	-----

第二节	X线电视的摄像管	604
-----	----------	-----

一.	正析摄像管	二. 超正析摄像管
三.	视象(摄像)管	四. 光导摄像管

第三节	显象管的结构原理	619
-----	----------	-----

第四节	影响X线电视象质的主要因素	620
-----	---------------	-----

第五节	X线电视装置的主要电路	621
-----	-------------	-----

一.	摄像机的电路	二. X线电视的主电路
----	--------	-------------

第十四章 X线电影装置

第一节	X线电影的光学系统	637
-----	-----------	-----

一.	透镜的特性	二. 透镜的选择
----	-------	----------

第二节	脉冲放射和同步曝光	641
-----	-----------	-----

一.	遮光口和同步曝光	二. 脉冲放射
----	----------	---------

第三节	电影胶片	644
-----	------	-----

第四节	X线电影的监视	646
-----	---------	-----

第五节	变速X线电影的基本结构	647
-----	-------------	-----

第十五章 电子计算机断层扫描

装置(C、T)简介	650
-----------	-----

第一节	CT的发明和发展	650
第二节	线性衰减系数	658
第三节	图象的重建	661
一.	直接反投影法	二. 代数重建技术
三.	傅立叶重建技术	
第四节	CT的电子计算机	671
第五节	图象质量和病人剂量	674
一.	描述图象质量的参数	二. 剂量、噪声和X线束几何尺寸间的关系
三.	噪声与空间分辨率的关系	四. 与CT值矩阵重建无关的图象质量问题
第六节	各代扫描机中X线束的几何结构	682
第七节	CT扫描装置及其应用	691
	第十六章 荧光摄影装置	706
第一节	荧光摄影的成像方法	706
第二节	荧光摄影装置举例	711
	第十七章 心脏记波摄影装置	713
第一节	记波摄影的基本原理	713
第二节	X线记波摄影装置	715
第三节	电记波描记装置	718
	第十八章 血管造影装置	720
第一节	造影技术及其应用	720
一.	对诊断X线设备主机的要求	二. 造影技术的应用

第二节 血管造影及高压注射机-----723

- 一. 高压注射机的基本结构 二. ZSK-781型电动高压注射机

第三节 血管造影的快速换片机-----728

- 一. 国内产品介绍 二. AOT-P型快速换片机

第十九章 诊断X线设备的总体认识-----745

第一节 电路分析的基本方法-----743

第二节 读图举例-----747

- 一. 80/50型X线机 二. KF-200型X线机
三. 78-1型300毫安X线机 四. 大型设备说明图纸的阅读方法

第四篇 治疗X线设备

第二十章 KV级治疗X线机-----760

第一节 浅部治疗X线机(暂缺)

第二节 深部治疗X线机-----760

- 一. 主电路的基本结构 二. 灯丝电路和管电流的稳定
三. 控制电路和油循环的延时 四. 深部治疗X线机的测定

第二十一章 高能X线和对设备的要求-----770

第二十二章 医用加速器简介-----776

第一节 医用加速器的又作原理-----776

- 一. 电子回旋加速器 二. 电子直线加速器

三.	相聚焦	
第二节	国产医用加速器介绍	782
一.	BJ-10型行波电子直线加速器	
二.	BZ-4型驻波电子直线加速器	
三.	SL-75/20反馈式电子直线加速器	
第三节	国外医用加速器介绍	786
一.	美国 Varian 公司驻波边耦合电子直线加速器	
二.	Siemens 公司电子感应加速器	
三.	Mevatron 医用电子直线加速器	

第五篇 医用X线设备的安装、使用和维修

第二十三章	X线设备的安装	791
第一节	安装设计	791
一.	机房要求和机房位置	
二.	电源要求	
三.	地线要求	
四.	防护要求	
第二节	机械部件的安装	815
一.	小型X线机的机械安装	
二.	大、中型X线机的机械安装	
三.	治疗X线机的机械安装	
四.	机械性能的检查	
第三节	电路联接和常规试验	822
一.	主机的电路联接和试验	
二.	主机和辅助装置의联接	
第四节	套机的检测和校准	829
一.	管电流及有关电路的调在	
二.	管电压的测量和KV补偿的校准	
三.	曝光时间的校准	
四.	治疗X线设备的剂量测量	
五.	套机性能的试验	

第二十四章 X线机的使用和维护 ----- 839

- 第一节 医用X线设备的使用 ----- 839
- 一. 千伏和毫安对焦点大小 二. 使用上若干注意事项的影响
- 第二节 X线管的生热和冷却 ----- 842
- 一. 瞬时负载 二. 连续负载
 - 三. 断续使用 四. X线管使用举例
- 第三节 X线设备的维护 ----- 856
- 一. 机械部件的维护 二. 低压部件的维护
 - 三. 高压部件的维护

第二十五章 X线机常见故障的检修 ----- 860

- 第一节 X线机常见故障的分析方法 ----- 860
- 第二节 主电路的常见故障 ----- 864
- 一. X线管和管套的故障 二. 高压电缆的故障
 - 三. 高压整流管的故障 四. 半导体高压整流管的故障
 - 五. 高压变压器油的故障 六. 变压器油的试验和处理
 - 七. 高压初级电路的故障 八. 自耦变压器的故障
 - 九. 电流电路的故障 十. 毫安测量电路的故障
- 第三节 灯丝加热电路的常见故障 ----- 887
- 一. 灯丝加热电路的故障 二. 灯丝加热变压器的故障
 - 三. 稳压器的故障 四. 整流管灯丝电路的故障
- 第四节 控制电路的故障 ----- 895
- 一. 限时器的故障 二. 延时器的故障
 - 三. 过载保护电路的故障 四. 继电器电路的故障

第五节 附属电路的常见故障	901
一. 旋转阳极启动电路的故障	二. 诊断床控制电路的故障
第六节 辅助装置的常见故障	904
一. 胃肠摄影装置的故障	二. 滤线器的故障
三. 断层摄影装置的故障	四. X线电视装置的故障
五. 快速换片机故障	

主要参考资料

放射物理讲义	陈玉人等编
X线机结构学	孟炎、林栖鹤、邹振华、李宗纯、 <u>宣大中</u> 、李春山、等编
医用X线的防护	郑钧正编
X射线机	中国人民解放军总后勤部卫生部
医用X线机的结构、安装和维修	雷成斌编
医用诊断X线机设备与维修	顾元华编
计算机断层技术	荷兰 F.W. Eonneveld 杨秀琼、何养元译
“医疗机械”杂志	上海医疗机械研究所
“医疗与工程技术”杂志	北京医疗机械研究所
医用X线机综述	北京东方红医疗机械厂研究室
电工学	哈尔滨工业大学电工教研组
晶体管开关电路	上海市业余工业大学编
晶体管脉冲数字电路	清华大学编
200 300毫安X线机主要部件全国统一设计资料	
有关情报资料	杨午、耿质兴、孙逊、双令等

总 论

1895年，德国物理学家伦琴（W. Röntgen），在研究阴极射线的时候，发现了X线；当时不知为何物，即以数学上的未知数X为名，称为X射线。在伦琴和后人不断研究下，了解到X线是一种波长很短（ 2×10^{-8} — 0.6×10^{-8} cm），能量很大（比可见光的能量大几万至几十万倍）的光量子；随之对它的性质也有了深入的了解，并开辟了X线在医学、工业和科研等方面的应用。

大概是由于伦琴在发现X线时，曾经得到过手掌的骨骼形象之故，首先在医学上得到了应用，并且是作为拍摄和透视骨象的技术手段而被应用的。后来，造影剂的出现，使X线的应用上扩展到某些自然对比度较差的组织系统（如胃肠道、支气管、血管和脑室等），成为目前X线诊断技术的基础；也形成了医用X线机特别是诊断X线机的基本结构。于是，X线的诊断技术，便成为世界上最早应用于非创伤性的内脏检查技术了。由于对X线性质的认识不断深化，较深入地掌握了X线的生物效应，于是，X线便被用于某些疾病的治疗，使在治疗上发挥了重要作用；而且，在利用X线的同时，为防止对人体的伤害，采取了相应的X线防护。这就构成了X线应用于医学方面的三大环节——诊断、治疗和防护。

同时，X线在工业上（如用于探伤）、科研（如用于波长测量）等方面也得到了应用。

随着X线管的不断改进，例如结构的改进，焦点的形状和大小的改进，以及真空度的提高等；特别是本世纪30年代旋转阳极X线管的制成，使X线管的功率有了大幅度的提高，影像质量亦有明显的改善，从而某些活动器官的诊断和细微结构的放大摄影成为可能和现实。同时，各种辅助装置的创制和完善，也使X

线诊断技术得到了进一步充实和提高，如断层、记波和光学缩影等，使医学专家们借助于X线技术，扩大了诊断的视野；诊断X线机，相应的成为医学基础研究和临床应用所不可缺少的常规设备了。

这50年代初期，X线影象增强装置问世，随之出现了X线电视、电影、取景和间接快速摄影等装置，把诊断X线机推进到一个新的阶段，使它在一定程度上解决了动态检查、影象再现、操作简单化、X线防护、以及科研和教学等较为复杂的问题，为现代医疗技术的发展提供了日益完善的诊断手段。在长期间，尽管出现了一系列新的内脏诊断技术，如超声断层、热象、内窥镜光学等，X线诊断技术仍有其强大的生命力，并显示出越来越重要的地位。可以预料，在今后的相当长的历史时期中，X线诊断技术，将和超声断层等新的内脏诊断技术并驾齐驱。

在长期间，X线治疗方面，由于对治疗效果和防护可靠性的要求进一步提高，用于治疗X线，向高能射线方向发展，于是，医用加速器相继出现，使用X线治疗仍然是肿瘤等病症的重要治疗手段。

从60年代开始，电子技术迅速发展，特别是70年代以来，电子计算机和通讯技术对各行各业的渗透，使推出了一系列划时代的新产品——电子计算机断层扫描装置（CT），并且在很短时间内得到了发展和完善，这就引起了X线诊断技术和诊断X线设备的一次重大变革，进入了新的更高的阶段。在机内结构、成象原理、讯息传递和处理、以及诊断方法等都与传统X线机有所不同，诊断X线机已从一般的电机产品，进入到包含了多学科技术的综合性医用工程设备了。

如上所述，我们从纵的方面看到了医用X线设备的发展概况，其中以诊断X线机的发展尤为可观。现在，我们再从横的方面了解一下医用X线设备的种类、结构和用途，使对医用X线设备

有一个总的初步的认识。

医用X线设备，从临床应用上来区分，可分为诊断X线设备和治疗X线设备两大类。兹分别简述如下：

一. 诊断X线设备

就其使用而言，大致可分摄影系统和透视系统两种。它们是：

1. 摄影系统：

① 直接摄影：它是通过X线→人体→前增感屏→X线胶片→后增感屏的成象途径成象，而从X线胶片的影象进行诊断的。其中包括普通摄影、滤线器摄影、胃肠摄影、断层摄影、钡波摄影和血管造影等。

② 间接摄影：它是通过X线→人体→荧光屏→光学系统→胶片的成象途径成象，从普通胶片上的影象进行诊断的，故称为间接摄影（又称荧光摄影）装置。

③ X线电影：它是通过X线→人体→影象增强器→光学系统→电影胶片→光学系统的成象途径成象，从光学系统上进行诊断的。

2. 透视系统：

① 直接透视：它是X线穿过人体后直接在荧光屏上成象，医生直接从荧光屏的影象进行诊断的，通常称为普通透视。

② X线电视：它是通过X线→人体→影象增强器→光学系统→电视系统的成象途径成象的，医生从电视屏幕的影象进行诊断。

上述的划分不甚习惯，使用亦不大方便。通常是从其结构来确定诊断X线设备的组成，一般分为主机和辅助装置两大部分，