

医用X线机结构 安装和维修

雷 成 斌 编

人 民 卫 生 出 版 社

医用 X 线机 结构、安装和维修

雷 成 斌 编

人 民 卫 生 出 版 社

医用X线机结构、安装和维修

开本：787×1092/16 印张：23 字数：508千字

雷 成 斌 编

人 民 卫 生 出 版 社 出 版

(北京书刊出版业营业许可证出字第〇四六号)

·北京市宣武区迎新街100号·

· 人 民 卫 生 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

统一书号：14048·3409 1975年5月第1版—第1次印刷

定 价： 1.35 元 印数：1—50,400

毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

整个过渡时期存在着阶级矛盾、存在着无产阶级和资产阶级的阶级斗争、存在着社会主义和资本主义的两条道路斗争。忘记十几年来我党的这一条基本理论和基本实践，就会要走到斜路上去。

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

无产阶级必须在上层建筑其中包括各个文化领域中，对资产阶级实行全面的专政。

我们要保持过去革命战争时期的那么一股劲，那么一股革命热情，那么一种拚命精神，把革命工作做到底。

备战、备荒、为人民。

把医疗卫生工作的重点放到农村去。

我们的提高，是在普及基础上的提高；我们的普及，是在提高指导下的普及。

前 言

在党的十届二中全会和四届人大精神鼓舞下，全国人民紧密地团结在以毛主席为首的党中央的周围，认真学习和深刻领会毛主席发出的重要指示：“列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。”在毛主席的这一重要指示的指引下，全国人民正以党的基本路线为纲，继续普及、深入、持久地开展批林批孔，坚持社会主义道路，坚持无产阶级专政下的继续革命，争取更大的胜利。社会主义革命蓬勃发展，祖国大地欣欣向荣。

我国医药卫生事业也和其它战线一样，形势一派大好，卫生革命不断深入。解放前，依赖进口和仅为少数大城市医院才能装备的X线机，在解放后不久，由于我国医疗器械工业战线上的广大工人阶级，坚持“独立自主，自力更生”的伟大方针，破除迷信、解放思想，已能成批生产。但是，在刘少奇反革命修正主义卫生路线的干扰下，广大农村县社医疗机构仍然不能安装使用X线机，致使这一诊治疾病的重要工具，不能直接为广大贫下中农患者服务。史无前例的无产阶级文化大革命，粉碎了刘少奇、林彪两个资产阶级司令部，批判了他们的反革命修正主义卫生路线，伟大领袖毛主席光辉的《六·二六指示》日益深入人心，卫生革命正在深入发展，广大农村的医疗卫生面貌正在发生着深刻的变化，各种医用X线机正在逐渐普及，其它医疗卫生设备也在逐步的健全，这是无产阶级文化大革命和批林批孔运动的丰硕成果，是毛主席革命路线的伟大胜利。

在各种医用X线机被我国广大农村基层医疗卫生单位广泛运用的情况下，对X线机的安装使用、维护保养、故障检修，已成为日益迫切需要解决的问题。过去在林彪鼓吹孔老二“上智下愚”，“生而知之”等反动观点的思想影响下，认为X线机是所谓“高、大、精”的仪器，“使用人员搞不了维修”，使其神秘化，把使用与维修分开，致使X线机发生故障得不到及时修理，影响了医疗工作的开展。毛主席教导我们：“一切真知都是从直接经验发源的。”只要我们肯于学习，逐步熟悉X线机的电路、机械结构，正确操作，加强维护保养，就能在工作实践中，逐步掌握常见故障的维修技术，使机器经常处于良好的工作状态，保证防病治病的需要。

本书在编写过程中，得到山西省医药公司党总支，各级领导及广大职工的大力支持与鼓励，得到本公司器械修理组同志们热情帮助；山西省阳泉市、昔阳县地区及大寨公社卫生院的放射科工作者，曾热情审核此书的部分章节，并提出不少宝贵意见；西南医疗设备厂，西北医疗设备厂，北京东方红医疗器械厂，天津理疗仪器厂等单位供给很多技术资料，原北京商学院器械系陈玉人同志认真审订，特此表示衷心感谢。

本书在编写中虽然得到多方面的帮助，但由于自己学习马列主义、毛泽东思想不够，业务水平有限，实践经验缺乏，错误缺点一定不少，恳切希望广大工农兵读者批评指正。

编 者

1975年2月于山西太原

目 录

第一篇 X线的物理概念	1
第一章 X线的物理基础	1
第一节 X线的发现与发生	1
第二节 X线的性能	6
第三节 X线在物质中的作用	7
第四节 X线的量与质	9
一、在诊断方面X线量与质的应用	9
二、在治疗方面X线量与质的应用	11
第二章 X线在医学上的应用	13
第一节 X线在诊断方面的应用	13
一、X线透视	13
二、X线摄影	13
1. 一般摄影	14
2. 滤线器摄影	14
3. 胃肠摄影	15
4. 断层摄影	16
5. 立体摄影	17
6. 记波摄影	17
7. 荧光摄影	18
8. 硒静电干板摄影	19
第二节 X线在治疗方面的应用	19
第三章 X线的防护	21
第一节 X线对人体的损害	21
第二节 防护物质	22
第三节 X线透视工作中的防护	23
第四节 X线摄影工作中的防护	24
第五节 X线深部治疗工作中的防护	25
第六节 X线机维修工作中的防护	26
第四章 医用X线机分类	27
第一节 诊断用X线机	27
第二节 治疗用X线机	27
第二篇 X线机的电路结构	29
第五章 X线机的基本电路	29
第六章 X线机电路元件常用的符号与文字符号	30
第七章 高压次级电路的元件及其电路	32
第一节 X线管	32
第二节 X线管管套	43

第三节	灯丝变压器	44
第四节	高压变压器	47
第五节	高压整流管	52
第六节	高压电缆及其插头、插座	55
第七节	高压交换闸	57
第八节	绝缘油	58
第九节	常见的几种高压次级电路	59
一、	F10型、SJ型、F44-I型X线机高压次级电路	59
二、	KE-200型、F30-ⅡB型X线机高压次级电路	60
三、	KB-400型、KC-400型X线机高压次级电路	62
四、	F34-I型深部治疗X线机高压次级电路	63
第八章	高压电流测量电路的元件及其电路	65
第一节	毫安表	65
第二节	仪表整流器	67
第三节	毫安秒表	70
第四节	仪表保护装置	70
第五节	常见的几种高压电流测量电路	71
一、	F10型、SJ型、F44-I型X线机高压电流测量电路	71
二、	KE-200型、F30-ⅡB型X线机高压电流测量电路	72
三、	KB-400型、KC-400型X线机高压电流测量电路	74
四、	F34-I型深部治疗X线机高压电流测量电路	76
第九章	X线管灯丝初级电路的元件及其电路	76
第一节	电阻器与电位器	76
第二节	电容器	78
第三节	电感器	81
第四节	毫安选择器	83
第五节	稳压器	84
第六节	空间电荷补偿装置	87
第七节	常见的几种X线管灯丝初级电路	87
一、	F10型、SJ型、F44-I型X线机X线管灯丝初级电路	87
二、	KE-200型、F30-ⅡB型X线机X线管灯丝初级电路	89
三、	KB-400型、KC-400型X线机X线管灯丝初级电路	92
四、	F34-I型深部治疗X线机X线管灯丝初级电路	95
第十章	高压初级电路中的元件及其电路	98
第一节	千伏调节器	99
第二节	继电器	100
第三节	熄弧装置	105
第四节	逆电压衰减装置	110
第五节	千伏表	111
第六节	千伏补偿装置	111
第七节	常见的几种高压初级电路	113
一、	F10型、SJ型、F44-I型X线机高压初级电路	113

二、KE-200型、F30-ⅠB型X线机高压初级电路	115
三、KB-400型、KC-400型X线机高压初级电路	117
四、F34-Ⅰ型深部治疗X线机高压初级电路	120
第十一章 高压整流管灯丝初级电路	124
第一节 KE-200型、F30-ⅠB型X线机高压整流管灯丝初级电路	124
第二节 KB-400型、KC-400型X线机高压整流管灯丝初级电路	125
第三节 F34-Ⅰ型深部治疗X线机高压整流管灯丝初级电路	128
第十二章 控制电路的元件及其电路	129
第一节 脚闸、手闸	129
第二节 限时器	130
一、手持机械限时器	130
二、电机式限时器	131
三、电子管限时器	134
(一) 基本结构原理	134
(二) RC延时电路的基本概念	140
(三) 电子管限时器的基本电路	141
(四) 几种电子管限时器电路	141
1. FZX03-200/100型X线机(沈阳医疗器械厂生产)电子管限时器电路	141
2. X200-ⅠB型X线机(西北医疗设备厂生产)电子管限时器电路	143
3. ZD-100-200型X线机(原北京理工工厂生产)电子管限时器电路	143
4. F30-ⅠB型X线机(北京东方红医疗器械厂生产)电子管限时器电路	144
5. KC-400型X线机(西南医疗设备厂生产)电子管限时器电路	145
第三节 延时器	151
一、继电器式延时器	152
二、电机式延时器	152
1. KB-400型X线机延时器	152
2. KC-400型X线机延时器	152
三、电容器式延时器	153
ZD-100-200型X线机延时器	153
四、二极管式延时器	154
第四节 安全使用量保护装置	154
一、基本结构原理	154
二、几种安全使用量保护装置电路	155
1. FZX03-200/100型X线机安全使用量保护装置电路	155
2. X200-ⅠB型X线机安全使用量保护装置电路	157
3. ZD-100-200型X线机安全使用量保护装置电路	158
4. F30-ⅠB型、KE-200型X线机安全使用量保护装置电路	160
5. KB-400型、KC-400型X线机安全使用量保护装置电路	163
第五节 旋转阳极快速启动装置	165
一、基本结构原理	165
二、KB-400型X线机旋转阳极快速启动电路	166
三、KC-400型X线机旋转阳极快速启动电路	167
第六节 透视与胃肠摄影装置	168

一、基本结构原理	168
二、常见的几种透视与胃肠摄影装置电路	170
1. F10型、SJ 型X线机透视控制电路	170
2. F44- I 型X线机透视与胃肠摄影装置电路	170
3. F30- II B 型、KE-200 型X线机透视与胃肠摄影装置电路	170
4. KB-400型、KC-400 型X线机透视与胃肠摄影装置电路	172
第七节 普通摄影与滤线器摄影装置	176
一、活动滤线器的结构原理	176
二、常见的几种普通摄影与滤线器摄影装置电路	178
1. F10 型、SJ 型X线机摄影装置电路	178
2. F44- I 型X线机普通摄影与滤线器摄影装置电路	178
3. KE-200 型、F30- II B 型X线机普通摄影与滤线器摄影装置电路	179
4. KB-400型、KC-400 型X线机普通摄影与滤线器摄影装置电路	181
第八节 断层摄影装置	186
一、基本结构原理	186
二、F30- II B 型X线机断层摄影装置电路	187
三、KB-400 型X线机断层摄影装置电路	188
第九节 台交换控制装置	190
一、KB-400 型X线机台交换控制电路	190
二、KC-400 型X线机台交换控制电路	191
第十节 深部治疗X线机控制电路	192
F34- I 型深部治疗X线机的控制电路	192
第十三章 电源电路的元件及其电路	193
第一节 自耦变压器	193
第二节 保护机件	197
第三节 电源开关	198
第四节 电源电压表	199
第五节 常见的几种电源电路	199
一、F10型、SJ 型、F44- I 型X线机电源电路	199
二、KE-200 型、F30- II B 型X线机电源电路	201
三、KB-400型、KC-400 型X线机电源电路	203
四、F34- I 型深部治疗X线机电源电路	205
第十四章 电动诊断床电路	207
第一节 F30- II B 型X线机电动诊断床电路	207
第二节 ZY- 7 型电动诊断床电路	208
第十五章 几种携带式、移动式诊断用X线机电路图	211
一、F10 型携带式X线机电路图	211
二、F43- I 型携带式X线机电路图	212
三、F30-DL型移动式X线机电路图	213
四、71-15 型携带式X线机电路图	214
五、6515 型携带式X线机电路图	215
六、SJ 型移动式X线机电路图	215

七、05-30 型移动式X线机电路图	216
八、64-01 型移动式X线机电路图	216
九、30-58 型移动式X线机电路图	217
十、30-60 型移动式X线机电路图	217
十一、25型移动式X线机电路图	218
十二、F22-Ⅱ型牙科用X线机电路图	218
第三篇 X线机的安装	219
第十六章 安装前的准备	219
第一节 对电源的要求	219
一、电源容量	220
二、电源电阻	221
三、电源电压	223
四、电源频率	224
五、电源导线	224
第二节 对地线的要求	226
一、接地的意义	226
二、接地的概念和对地电压	226
三、接触电压和跨步电压	226
四、对接地装置的要求	227
第三节 对机房与防护的要求	227
一、机房的位置	227
二、机房的面积	228
三、机房的高度	230
四、对防护的要求	230
第四节 物品的准备	231
第十七章 机械部件的安装	231
第一节 机械部件的表面检查	231
第二节 机械部件的安装	232
一、携带式X线机机械部件的安装	232
二、半固定式X线机机械部件的安装	233
三、中型以上X线机机械部件的安装	236
第三节 机械部件性能检查	239
第十八章 电路连接与测试	239
第一节 低压电路的连接与测试	240
一、电源电路的连接与测试	240
二、控制电路的连接与测试	241
三、高压初级电路的连接与测试	243
四、X线管灯丝初级电路的测试	243
五、高压整流管灯丝电路的测试	244
第二节 高压试验与整机性能的校准	246
一、X线管的训练	246
二、管电流的校准	249

三、管电压的校准	250
四、照射时间的校准	252
五、深部治疗X线剂量的测量	253
六、整机性能的试验	256
第十九章 X线机安装报告	257
第四篇 X线机在使用中的维护	259
第二十章 机械部件的维护	259
第二十一章 控制台的维护	259
第二十二章 高压发生器及组合机头的维护	260
第二十三章 高压电缆的维护	261
第二十四章 X线管的维护	261
第五篇 X线机常见的故障及检修方法	263
第二十五章 X线机检修中应注意的事项	263
第二十六章 X线机故障检查的方法	264
第二十七章 常用电工测量仪表的使用	265
第一节 电流表的使用	265
第二节 电压表的使用	266
第三节 万用表的使用	267
第四节 高阻表的使用	272
第二十八章 X线机高压电路机件常见故障及检修	274
第一节 X线管常见的故障	274
第二节 X线管早期损坏实例分析	276
第三节 X线管的检验	279
一、外观检查	279
二、低压试验	280
三、高压试验	280
第四节 X线管管套的故障及检修	281
第五节 高压电缆的故障及检修	283
第六节 高压整流管常见的故障	286
第七节 高压整流管的检验	289
一、外观检查	289
二、低压试验	289
三、高压试验	289
第八节 高压变压器的故障及检修	290
一、次级线圈漏电击穿的原因	290
二、高压变压器的试验与检查	292
三、高压次级线圈的绕制	295
四、高压变压器的干燥	296
第九节 绝缘油的耐压试验与过滤处理	298
第十节 灯丝加热变压器的故障及检修	300
第十一节 高压交换闸的故障及检修	302

第十二节 高压发生器与机头的静电放电	303
第十三节 高压漏电、击穿故障部位的鉴别	303
第二十九章 X线机低压电路机件常见故障及检修	305
第一节 自耦变压器的故障及检修	305
第二节 稳压器的故障及检修	306
第三节 继电器的故障及检修	308
第四节 限时器的故障及检修	312
第五节 延时器的故障及检修	316
第六节 旋转阳极快速启动装置的故障及检修	319
第七节 胃肠摄影装置的故障及检修	321
第八节 滤线器的故障及检修	322
第九节 断层摄影装置的故障及检修	323
第十节 脚闸的故障及检修	326
第十一节 毫安表的故障及检修	326
第十二节 千伏表或电压表的故障及检修	330
第十三节 几种常见故障检查程序	332
一、无X线发生	332
二、透视萤光强度减弱, 摄影效果降低	333
三、透视时X线管管套容易发烫	334
四、电源保险丝熔断或过载闸跳开	335
五、旋转阳极不转动	336
附录一 国产X线管型号命名方法	337
附录二 各国X线机使用X线管型号明细表	338
附录三 常用X线管主要参数表	341
附录四 常用高压整流管主要参数及其换用	344
附录五 常用X线管的互换代用	347
附录六 国产X线机变压器、稳压器绕制数据	349
附录七 英文、希腊文字母表	352
电路图索引	353

第一篇 X 线的物理概念

第一章 X 线的物理基础

第一节 X 线的发现与发生

X 线在医学上的应用已有70多年的历史了，在 1895 年 11 月 8 日德国物理学家伦琴 (W.C.Röntgen) 是在研究阴极射线时发现的。但是任何科学上的发现都不是孤立的，是与科学各领域里的进展分不开的；在当时，由于电磁学与静电学的研究与发展，闭管水银气压计的发现；以及真空抽气机、静电发生器等各种仪器的发明创造，都是伦琴进行物理研究工作必不可少的条件。

伦琴作阴极射线试验时，是用一个嵌有两个板形金属电极的玻璃管(如图1-1)。这两个电极一个叫阴极，另一个叫阳极。当在这两电极间加上几万伏的高电压，并对玻璃管进行抽气至管内气体达到一定稀薄程度时，从阴极发射出来的电子受阳极高电压的吸引，电子沿直线向前进行撞至玻璃壁上而产生阴极射线。后来在一次试验中，用一层黑色纸遮住玻璃管，当加上高压后，发现放在附近的涂有铂氰化钡的纸屏上出现一可见萤光。再进一步试验，发现这种光线能穿透过纸板、衣服、甚至页数很多的书本；同时，在用手掌置于玻璃管附近时，其手的骨骼影像便映在萤屏上。但因当时没有弄清这种射线的性质，尚不能全面地、正确地解释它发生的原理，故以数学中的未知数“X”来命名。后来，有的人为纪念发现者，又称这种射线为伦琴射线。

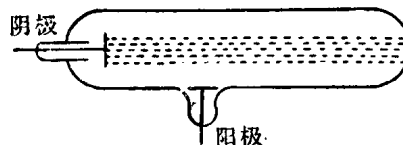


图 1-1

科学实验总是不断发展的。经过数十年的研究、实践，对 X 线有了一定的认识，证明它是一种电磁波放射，是物质在一定条件下的放射作用所产生的。它具有微粒放射与电磁波放射的双重性质。它的波长比可见光线的波长短得多，它的光子能量比可见光的光子能量大几万乃至几十万倍。

世界上一切物质都是由分子所组成；分子是物质中保持原有的一切化学性质的最小的粒子。如将分子再行剖开，则是由更小的粒子——原子所组成。原子和分子在物质中不停的运动是物质发生变化的基本因素。一定种类的原子，具有相同的化学性质的，称为“元素”。一个分子可由一种元素或几种元素组成。

在原子结构中，有电子、质子、中子等这些基本颗粒；它们决定着各个元素的性质，也是物质的最基本的组成因素：

1. 电子 带有负电荷，彼此相斥，其相斥力与距离平方成反比。这些电子象太阳系中的行星一样，在一定的轨道上围绕着原子核进行旋转，并有其质量、占有空间。

2. 质子 带有正电荷，彼此相斥，但与电子则相吸引。质子的质量比电子的质量约大1835倍，它也占有空间并集中于原子核内，核象太阳系的太阳一样。

3. 中子 不带电性或者说它的负电量与正电量完全相等, 是一种中性粒子, 也占有空间, 与质子的质量几乎相等(1.66×10^{-24} 克), 也集中于原子核内。

元素的性质, 完全由于电子、质子、中子的数目与安排的不同而异。一个原子的核(氢除外)是由一个或更多的质子和中子所组成, 而外围轨道的电子则由于受原子核的吸引, 只能在轨道上旋转而不离开轨道, 只有外力才可能破坏原子的这种稳定的运动状态而使电子脱离轨道, 或从一层轨道移向另一层轨道; 但这种现象是暂时的, 这些原子很快又会恢复原状。这些在核外围沿轨道不断运行的电子, 在放射线中是很重要的。在物理学中原子核外围的电子数目称该物质原子的原子序数, 而原子核中的质子、中子之总数称该物质原子的原子质量(简称原子量)。

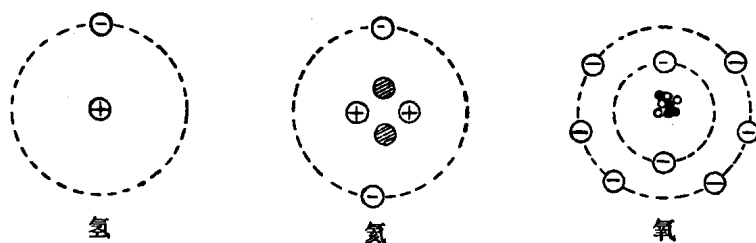


图 1-2

图 1-2 中氢原子, 其核内有两个质子, 两个中子, 外围有一层电子轨道, 有两个电子在轨道上旋转; 氢原子核内只有一个质子、核外有一个电子; 而在氧原子内, 则核内有 8 个质子, 8 个中子, 在核外有 8 个轨道电子分两层轨道旋转。原子序数高的物质, 其原子结构越复杂, 如重要的元素铀, 在原子核外有七层轨道, 这七层轨道从里往外数, 称 K 层、L 层、M 层、N 层、O 层、P 层、Q 层。在原子序数为 83 以上的元素, 其核内的作用力很不稳定, 这种不稳定的元素叫做放射性元素。而在每一种元素中都有几种仅是原子量不同而化学性质则相同的原子, 并在元素周期表中占同一位置的叫作同位素。

在原子中最外层轨道上的电子称为价电子, 不同原子的不同化学特性, 就是由最外层轨道上的电子的数目来决定的。在轨道电子中距离原子核近的那层轨道上的电子, 因受核的吸力很大, 与核结合很紧, 只有 γ 射线和 X 射线或其他高能量的粒子, 才能打到内层轨道, 使电子外逸; 而外层电子距原子核较远, 因而与原子核吸力很小, 很易受低能的外界影响而脱离轨道, 打破原子的中性稳定状态。

原子被 X 线照射后, 失去了一个或数个核外围电子, 则这个原子因失去电子而带阳电, 称阳离子或正离子。如此失去的电子附着在其它中性原子上, 这个原子因多了电子而成为阴离子或称负离子。这是 X 线的电离作用, 在 X 线应用上是很重要的。

放射线的类型可分为两大类:

(一) 微粒放射: 如某一物质之原子受到内在或外部的冲动而分裂射出其电子、中子和质子, 这些射出的粒子就成为不同的放射线。例如: 放射性元素铀的原子, 向外放射 α 射线及电子, 以高速度向空间进行, 这就成为铀的 α 、 β 射线; 铀原子核被高速进行的 α 射线击出的中子成为中子射线; 电子管的阴极电子的放射, 在阳极端加一高压后, 电子以高速度奔向阳极的阴极射线。

(二) 电磁放射: 这种放射即电磁波进行的传播; 如电波、热波、无线电波、红外线、

紫外线、可见光线、X射线、镭的 γ 射线等，都具有电磁放射的性质。它们都有很广泛的波长和频率，在真空中其速度与光速相同。在X线与 γ 射线的波段内，波长愈短，其穿透物质的能力愈强。

电磁波在真空中传播的速度是相同的，为每秒 3×10^{10} 厘米，波长的符号以希腊字母 λ 代表。一个波长是指某一波峰到相邻的波峰的距离。电磁波每秒的振数叫电磁波的频率，用希腊字母 ν 代表，其速度用C代表，三者的关系是：

$$\nu \times \lambda = C, \text{ 或 } \lambda = \frac{C}{\nu}, \text{ 或 } \nu = \frac{C}{\lambda}$$

X线与可见光线有相同的一般性质。例如：光的直线传播、反射、折射、散射和绕射等，并遵循可见光的一般规律。但它与可见光线的区别是波长极短，通常以埃单位来表示，用 $\text{\AA}$ 来代表（ $1\text{\AA} = 10^{-8}$ 厘米）。用于诊断方面的X线的波长约在1至 $0.1\text{\AA}$ 。用于治疗方面的X线和 γ 线的波长约在 0.1 至 $10^{-4}\text{\AA}$ 之间。而且，X线的光量子能量很大，在它被某一物质吸收时，能穿过许多物质原子，从这些原子中又能击脱许多电子，而发生电离现象。同时也产生该物质的特性放射。

X线应被看作是具有一定能量的粒子同时它又以有频率和波长的波动性质用光速进行，因此利用这种微粒性和波动性辩证关系的理论，才能圆满的解释X线在物质中的吸收，散射等物理现象和X线在进行中的反射、衍射、绕射等现象。

当X线管的阴极电子受到阳极高电压的吸引，而以极高的速度撞击阳极的钨制靶面时，即产生X线。但从X线管产生的X线是一束波长不一的混合线，波长短的叫硬线，能穿过物质而产生某种物理作用；波长长的叫软线易被物质所吸收，甚至被X线管的玻璃壁吸收，而对物质的作用很小。

X线管发射的X线有两种情况：

（一）连续放射（即阻止放射）：在X线管中，阴极电子在趋向阳极中的动能，决定于施加在X线管两极间的管电压，管电压愈高，阴极电子的动能愈大，其最短波长就愈短。阴极电子在加速电场的作用下，获得巨大的动能，其动能为：

$$\frac{1}{2}mv^2 = Ve = \frac{hc}{\lambda}$$

或

$$\lambda = \frac{hc}{Ve}$$

上式中 m 为电子质量， v 是其末速， e 是电子电量为 4.803×10^{-10} 静电单位（1静电单位=300伏）， V 是管电压为伏特/300=KV/0.3= $3.33 \times KV$ ， c 是光速为 3×10^{10} 厘米/秒， h 是卜朗克常数为 6.62×10^{-27} 尔格/秒。

代入上式得：

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{6.62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{3.33 \times KV \times 4.803 \times 10^{-10}} = \frac{1.242 \times 10^{-8}}{V(KV)} \text{厘米} \\ &= \frac{12.42}{V(KV)} \text{\AA} \text{ 或 } \lambda_{\text{最短}} \times V(KV) = 12.42 \end{aligned}$$

由此可见X线管管电压愈高，X线的波长愈短。图1-3是X线管的阳极靶面为钨时，加于X线管两极的管电压分别为65、100、150、200千伏(KV)时的强度分布曲线。由曲线可看出：每一数值的管电压都绘出一条最短波长，管电压愈高，波长愈短；相对强度愈大，强度最大的波长随管电压的增加而向短波方向移动。

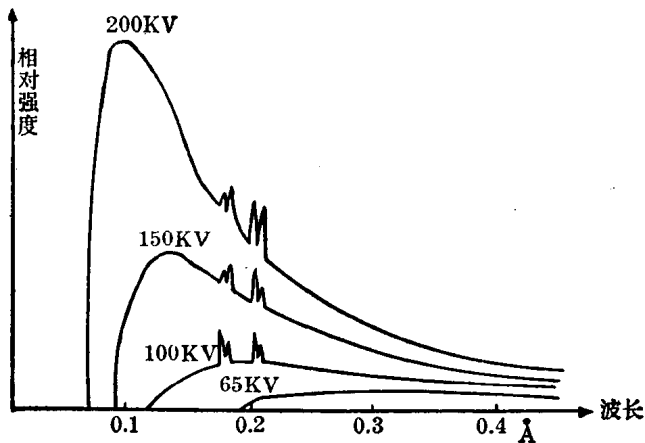


图 1-3

但是，大部分X线机采用交流电源供电，加于X线管的管电压的峰值，只处在交流波形中的瞬时，也就是说峰值电压在整个交流周波中只占一小部分，这样就可能仅有一小部分阴极电子得到最大的动能，而与阳极钨靶撞击，才能产生波长较短的X线；而其他阴极电子则因得到的动能较小，产生波长较长的X线。同时还有些高速电子并不直接与阳极物质的原子核相撞，而只从核旁经过，它们将受到核内正电场的作用而失去一部分能量直接以光子的形式放射出去，电子愈趋近核，失去的能量就越多，所放射的X线波长就愈短。所以X线管放射的X线是一束波长不等的混合线。

当阴极电子愈多时，即管电流愈大时，连续放射的总能量也愈大；而管电压增加时，虽然阴极电子的数目未变，但每一个电子所获得的动能也变大，因而波长短的X线增多，总能量增加。同时构成阳极的物质的原子序数愈高，阴极电子撞击核轨道电子的机会也愈多，连续放射的总能量也会增加。由此连续放射的总量与下列三个因素有关：

1. 放射量与X线管的管电流成正比。
2. 放射量与X线管的管电压的平方成正比。
3. 放射量与阳极物质的原子序数成正比。

当高速的阴极电子撞击阳极时，大部分能量（约99.8%）变为热能，仅有小部分能量（约0.2%）变为X线。这是因为大部分低能量的电子与阳极相撞击而增加了原子热运动的结果，使阳极靶面的温度上升，这也是X线管不能长时间连续使用的根本原因。

（二）标识放射（即特性放射）：这种放射与X线管的管电流，阴极电子的速度无关，完全依构成阳极的物质而定。如前所述：物质的原子结构不同，有的电子轨道多（最多的有七层）；有的电子轨道少（最少的也有一层）。同一轨道上有的电子数目多；有的电子数目少。当加速的阴极电子撞击阳极靶面时，便有机会与阳极物质中的原子的轨道电子相撞击，轨道电子由于得到能量便脱离轨道而逸出，使原子呈不稳定状态；但受击之原子

的能级较高的电子就要转移到有空位的轨道上去, 此时就要释放出多余的能量, 这种多余能量的放射即为标识放射。

在原子结构中, 最内层的轨道是K层, 离原子核最近, 其次是L层、M层……。距原子核愈远的轨道电子其势能愈高。由于距原子核最近的K层轨道电子, 受核电场的作用大, 所以击脱K层电子比击脱L层电子所需的能量要多, 这样K层电子所得的能量也愈大, 所产生的标识X线的波长也短。但是, K层的标识射线也不是单一的, 当K层轨道失去电子后, 如由L层轨道电子来补充空位时所产生的标识射线为 $K\alpha$ 射线; 由M层轨道电子补充时所产生的为 $K\beta$ 射线; 由N层轨道电子补充时所产生的为 $K\gamma$ 射线。每一层轨道都有它的标识射线, 有几层轨道就有几种标识射线。一个元素的标识射线的波长, 可用 KLM 来分组, 一般钨的L层和M层标识射线波长很长, 不能通过X线管管壁, 在医用X线中无任何用途。

标识射线须在一定的高压下才能发生, 所需之高压几乎与原子序数的平方成正比。原子序数愈大, 波长愈短。下表是不同金属所产生的K系标识射线的波长与原子序数的关系。

表 1-1 不同金属的K组标识射线波长与原子序数的关系

	铜	银	钨	钍
波 长 $\text{\AA}$	1.54	0.56	0.21	0.15
原 子 序 数	29	47	74	92

如图1-4, 阴极电子1, 由于高速度撞击在阳极面钨原子的L层轨道的电子2上, 使L层轨道电子逸出, L层轨道因缺少一个电子而显空位, 于是由M层轨道电子来补充。如L层轨道电子的能量为 W_e , M层轨道电子的能量为 W_a , 于是:

$W_a - W_e = h\nu$ 以电磁波形态放射出来。

由于原子的内层轨道电子与核的结合能大于外层轨道电子与核的结合能, 如欲使K层轨道电子脱位所需的能量比使L层轨道电子脱位所需的能量要大, 故K系标识射线比L系标识射线的波长短。即:

$$(K) h\nu_K > (L) h\nu_L$$

$$\text{或: } h \frac{c}{\lambda_K} > h \frac{c}{\lambda_L}$$

$$\therefore \lambda_K < \lambda_L$$

根据上述则:

$$h \frac{c}{K\alpha} > h \frac{c}{K\beta} > h \frac{c}{K\gamma}$$

或:

$$h\nu_K > h\nu_L > h\nu_M > h\nu_N > h\nu_O \dots$$

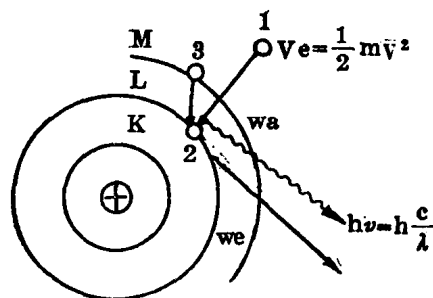


图 1-4