

RADIOLOGY EXPOSURE
PARAMETERS

X线摄影曝光参数

主编 秦维昌 刘传亚



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

RADIOLOGY EXPOSURE
PARAMETERS

X 线摄影曝光参数

主 编 秦维昌 刘传亚

编 者 (以姓氏笔画为序)

刘传亚 张晓晶 赵永霞

秦维昌 黄 玲

人民卫生出版社

图书在版编目(CIP)数据

X 线摄影曝光参数 / 秦维昌主编. —北京: 人民卫生出版社, 2014

ISBN 978-7-117-19491-4

I. ① X… II. ① 秦… III. ① X 射线摄影—曝光—参数 IV. ① R814.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 153473 号

人卫社官网	www.pmph.com	出版物查询, 在线购书
人卫医学网	www.ipmph.com	医学考试辅导, 医学数据库服务, 医学教育资源, 大众健康资讯

版权所有, 侵权必究!

X 线摄影曝光参数

主 编: 秦维昌 刘传亚

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 潮河印业有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 7

字 数: 170 千字

版 次: 2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

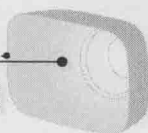
标准书号: ISBN 978-7-117-19491-4/R · 19492

定 价: 21.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

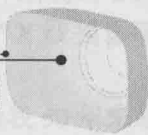
(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

内容介绍



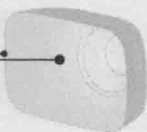
本书是作者从事影像技术工作 50 年在 X 线摄影曝光参数学方面经验和体会的总结,介绍了作者对传统 X 线摄影曝光参数学的认识和理解,并提出一些新观点,如:影像的层次标准;层次和对比都是照片的主要质量指标且相互制约;在密度适当的前提下使层次和对比得到最佳兼顾才是参数选择的最终目标;实现这一目标的正确手段是曝光参数协调变化法;AEC 的局限性和正确应用等。书中也介绍了对数字 X 线摄影的曝光参数选择的理解。

Introduction



This book is the experience summary of author's 50 years work on imaging technology in the exposure parameters selection of Radiography, described the author's understanding of traditional Radiography exposure parameters, and put forward some new ideas, such as: image grayscale levels is a important standards of image quality; grayscale levels and contrast both are photo's keys indicators and are restraint each other; the best balance between them is the ultimate goal of the parameters selection beyond the appropriate level in density; exposure parameters harmonious changing is the right means to achieve the above objectives; Limitations and proper use of the AEC; the selection of exposure parameters of digital Radiography; and so on.

前言



X线摄影是应用最久和最广泛的X线检查方法。X线摄影技术学主要由成像几何学(摄影体位学)和曝光参数学等组成,本书仅讨论其中曝光参数学方面的内容。

也许有人认为这是一个不大的话题。但本人的实践认为这是X线摄影技术学的重要组成部分,且是最难掌握的方面。迄今国内外尚没有一本这方面的专著,我们愿意写出自己的实践和理解,并提出了一些自己的观点,希望能引起对这方面的重视。

在屏-片X线摄影系统,曝光参数决定了照片密度。密度是影像的基础、一张优质X线照片的基本条件,也受到了足够重视。曝光参数也决定了照片的层次和对比,但层次却一直未受到应有重视,在以往的照片质量标准中也没有这一条。照片的层次和对比都是我们所希望的,但两者又相互制约,是一对矛盾,如何平衡这对矛盾是参数选择的重要出发点。如何正确运用曝光参数,在达到照片视觉效果满意的同时尽量减少受检者的剂量,也是曝光参数选择要重点考虑的。本书将就这些问题展开讨论,从屏-片系统的曝光参数谈起,引申到数字X线摄影,争取形成体系,便于指导工作,所以称为“X线摄影曝光参数学”。

今年是我从事X线技术工作50周年。“X线摄影曝光参数的正确应用”是我50年来最感兴趣和思考最多的问题。在此,愿意把自己这方面的体会与思考写出来,一是与同道交流,二是供新人参考,希望对他们能有所启发。提出的一些观点也许会引起争论,那也是本书希望达到的另一个效果。技术总是经过切磋获得进步。

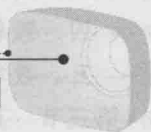
趁此机会我要感谢50年来山东省立医院放射科和山东省医学影像学研究所提供的工作条件,使我有机会接触很多新技术和大量的实践机会;感谢一起工作了几十年的前辈和同事们对我的包容和帮助;特别感谢孟代英老师对我的指导,使我能更快地进步、有更高的起点。

本书的第二、四、八、九章主要由刘传亚编写,书中第五章和第九章中的部分试验由张晓晶、黄玲、赵永霞在读研期间所作并整理成文。

由于自己水平有限,且时间催促,可能条理不够清晰,有些观点甚至不一定正确。欢迎广大同道批评、指正。

2013年冬 于济南

目 录



第一章 绪论	1
一、X线摄影	1
二、曝光参数选择的重要性	1
三、数字X线摄影	2
第二章 X线的传递与接收	4
第一节 X线影像的形成	4
一、X线信息的产生	4
二、X线信息的转换	5
三、影像的阅读	5
第二节 摄影用X线源	6
一、X线的产生	6
二、X线能谱	6
三、X线强度	8
四、X线强度的空间分布	9
第三节 X线的衰减	10
一、距离引起的衰减	10
二、人体对X线的衰减	11
第四节 影像接收器的X线响应	16
一、屏-片系统	17
二、成像板	18
三、平板探测器	20
第三章 X线影像的质量标准	23
第一节 成像几何学方面的标准和影响因素	23
一、投影关系正确	23
二、失真度小	23
三、影像锐利度	24
第二节 视觉效果方面的标准和影响因素	25

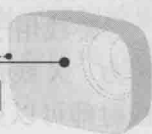
一、密度	25
二、对比度	27
三、层次	27
四、颗粒度	28
五、数字影像的噪声水平	29
第三节 其他要求	30
一、照射野适当	30
二、标记齐全、准确	30
三、无伪影	30
四、画面布局合理	31
第四章 X线摄影曝光参数及参数间的互易	32
第一节 感光效应	32
一、感光效应公式	32
二、感光效应公式的简化	33
第二节 X线摄影曝光参数的互易	33
一、几种参数与管电流量的互易	33
二、管电压与管电流量的互易	35
第三节 管电压与管电流互易的辅助方法	36
一、飞利浦E表	36
二、西门子点系统	38
三、点数表	39
第五章 曝光参数对照片质量的影响	42
第一节 X线线质对照片效果的影响	42
一、X线管电压对照片效果的影响	42
二、滤过对照片质量的影响	46
第二节 mAs 对照片质量的影响	46
一、mAs 影响曝光量	46
二、相关试验	47
三、管电流和曝光时间对影像的影响	48
第六章 曝光参数的个性化调整	49
第一节 X线摄影曝光参数表	49
一、概述	49
二、曝光参数表的形式	50
三、曝光参数表的制订	54
四、X线摄影参数表的移植	55

第二节 曝光参数个性化调整的基础方法	56
第三节 协调变动法	57
一、理想影像的曝光参数	57
二、协调变动法的优越性	58
三、协调变动法的辅助工具	59
第四节 曝光参数的设定	60
一、应考虑到的其他方面	60
二、曝光参数的设定步骤	61
第七章 曝光参数的调整技术	63
第一节 曝光参数的调整	63
一、曝光参数调整方式	63
二、n 参数调整技术	63
第二节 自动曝光量控制	65
一、AEC 的构成	65
二、AEC 的功能	66
三、AEC 的局限性	66
四、AEC 的正确应用	67
五、AEC 的调整	67
第八章 数字 X 线摄影的曝光参数	69
第一节 影像的自动优化	69
一、原理	69
二、采用 CR 的实验	71
三、采用 DR 的实验	74
四、小结	76
第二节 曝光参数的设定	76
一、感光效应公式的应用	76
二、影像质量与辐射剂量的平衡	78
三、实例——胸部数字 X 线摄影的适宜曝光参数	79
第三节 曝光指数	83
一、曝光指数的意义	83
二、几个主要数字设备生产商的曝光指数简介	84
三、曝光参数对曝光指数的影响	91
四、曝光指数的应用	93
第九章 摄影参数对受检者接受剂量的影响	95
第一节 X 线滤过	95

一、滤过对 X 线的衰减	96
二、滤过板的材料和厚度	97
第二节 管电压对受检者剂量的影响	100
一、kV 对入射体表剂量的影响	100
二、kV 增加透过率	101
第三节 照射野对受检者剂量的影响	102

第一章

绪论



X线摄影是X线在医学应用最早和最多的检查方式。X线照片可以长期保存,优质的X线照片可以提供丰富的人体结构和生理信息,是医生作出诊断的重要依据。

一、X线摄影

X线摄影是利用X线的穿透作用和物体对X线的吸收衰减特性,使用影像接收器检测透过人体的射线剂量,得到人体内部器官结构对X线吸收程度差异的投影像的检查方法。

X线照片的光学密度反映了受检部位器官结构的密度和厚度差异。照片的高密度是由较多的辐射剂量作用于胶片形成,对应于肢体较低的生理密度和较薄的体厚;照片的低密度对应于肢体的较高的生理密度或较厚的部位。

X线照片的质量评价指标主要包括成像几何学方面的指标和视觉效果方面的指标。成像几何学方面的指标主要指摄影以正确的体位和中心线投射角度,使兴趣区解剖结构得以清晰显示以及影像的失真度和锐利度等,这些指标主要受操作技术的影响。照片的视觉效果方面的指标主要指密度、对比、层次等,这些指标主要受曝光参数的影响。

二、曝光参数选择的重要性

X线摄影技术的临床操作内容可分为摄影体位和曝光参数选择两大方面。前人设计的摄影体位沿用多年,早已标准化、规范化,通常摄影摆位时几乎不会因人而异进行改变。X线摄影曝光参数则往往需要根据受检者的情况进行个性化设置,是X线摄影技术的难点,也是X线摄影技术工作者研究的重点。

X线摄影曝光参数主要指曝光的管电压(kV)、管电流(mA)和曝光时间(s)。在使用环境固定的情况下,面对确定的受检者,曝光参数是可以人为控制、最终决定曝光量、决定影像质量和效果的关键因素。摄影距离也是重要的曝光参数,但对于确定部位基本是固定的,本书不作为重点进行讨论。

曝光参数选择的目的是,首先是要使X线被人体吸收差别的特征能在X线照片影像上得以适当体现,即X线束要有足够和适当的穿透力。然后,在屏-片系统应以适当的曝光量使照片达到适当密度,并获得满意的层次、对比效果。在数字X线摄影曝光剂量影响着影像的信噪比。同时,曝光参数和所涉及的因素还决定了受检者接受的辐射剂量。所以,X线摄影曝光参数选择无论在屏-片系统还是数字系统都应当引起足够的重视。

从X线开始用于医学,人们就十分注意曝光参数对影像的影响。1896年,美国旧金山的芙莱史曼(Elizabeth Fleischmann, 1859?—1905)开设私人X线工作室,专门接受医生的

委托进行X线摄影。那时,一次X线摄影要曝光20分钟至1小时。每天,她总是用自己的左手测试正确的曝光,校准照片密度,作为一天的标准程序。芙莱史曼是X线摄影技术的先驱,也是重视曝光参数和质量控制的先行者。

X线用于医学检查一百多年来,学者和厂家工程师都为X线技术的发展付出了巨大努力。X线摄影参数选择的理论和控制技术都有了长足进步。这些进步简化了操作,使放射师可以更专注于操作技术和解决受检者的问题,提高了X线摄影的照片质量和工作效率。

三、数字X线摄影

数字X线摄影也是以X线作为成像能源,在成像几何学方面与屏-片X线摄影是一致的。而其影像探测器的特性与屏-片系统有明显区别,两者使用中的差别主要是曝光参数方面的变化。如何用好数字X线摄影系统,对于已经有屏-片系统摄影经验的人来说,主要是在曝光参数学方面理念的转变。

数字X线摄影的照片“密度”是由系统软件处理决定的,不再与曝光剂量相关联。这看来是一件好事,但过度降低剂量后出现的问题是影像的噪声增加。因为X线产生过程中的统计学起伏,影像噪声不可避免,特别在较低剂量时就更明显。所以,“噪声水平”成为评价数字影像质量的重要指标。

增加X线剂量可降低噪声、提高信噪比和图像质量,但同时也增加了患者的辐射剂量,增加了对生物分子和细胞的损伤和致癌风险。我们既要利用X线进行成像,又要尽可能地降低剂量,降低X线对人体的伤害。数字X线摄影的曝光参数选择的关注重点是在曝光剂量和可接受的影像质量之间的平衡。即,数字X线摄影影像质量以能解决受检者的问题为准,应以尽可能低的剂量获得能解决受检者问题的影像质量,不应脱离具体诊断要求去单纯追求影像质量。

屏-片系统的动态范围小,只能用曝光参数控制兴趣部位器官的透过信息、把透过剂量分布压缩、调整到胶片特性曲线的线性区内。而数字摄影系统探测器的动态范围大、灵敏度高,大量在屏-片系统不能进入胶片特性曲线线性段的密度信息被数字影像探测器宽泛的动态范围所接受;大量在屏-片系统不能被区分的“密度差别”被数字影像的像素数据区分开来。所以,动态范围大、“层次丰富”是数字摄影系统的天然优势。

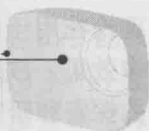
数字系统的处理软件会影响影像的视觉效果。软件的设计追求在大多数情况下能直接输出优质的影像效果、尽量减少人工的干预,以提高工作效率。对原始数据的处理方式是可以进行选择、改变的,但在大量的实际工作中,人们大多接受了默认软件的自动处理结果,仅在十分必要时对具体案例进行改变程序的处理,以得到更理想的效果。

系统软件和后处理对影像的层次和对比有很大影响。但无论屏-片系统还是数字系统,X线摄影影像都应反映X线的特性和被人体吸收差别的本来特征。千伏的高低影响着不同密度组织间吸收系数差别的幅度;千伏的选择是确定如何体现这些差别的有效手段。良好的原始信号对比,加上正确的软件处理,才能得到最理想的影像效果。

后处理功能可以一定程度上弥补参数使用偏差造成的影像质量缺陷。尤其在剂量过大时,这在屏-片系统会造成密度过大,明显影响照片质量;但在数字系统反而会得到优质的影像。不过其代价是受检者接受了过多的辐射剂量,而对其检查目的并没有增加多少有用

的信息。这是个美丽的陷阱,影像本身并不提醒人们剂量已经过高。所以摄影参数的选择在数字系统仍然是十分重要的,但其重点转移到了影像质量和使用剂量的平衡上。

总之, X 线摄影曝光参数的选择在屏 - 片系统已形成了比较完整的理论体系。但这些理论在用于数字摄影系统时, 必须结合数字系统自有的特点适当调整, 才能得到理想的影像效果。放射师也要与时俱进、转变理念, 重视适于数字 X 线摄影系统的曝光参数学方面的探索和研究, 把数字摄影用得更好。



X线源、受检体和影像接收器是构成X线摄影系统的三大要素。从X线源发出的X线经过受检体的衰减到达影像接收器,接收器接收衰减信号、经过处理形成X线影像,最终经人眼阅读形成视觉影像。了解X线在三大要素间传递和接收的物理过程及影响因素,是X线摄影中正确设定摄影参数的基础。

第一节 X线影像的形成

人体是复杂的信息源,包含人体组织器官的密度、厚度、形态、生理功能等多种信息。在临床医学中,人眼不能直接感知和识别这些信息,需要借助于信息载体(或能量,如X线、电磁场、超声波等)与人体相互作用,将人体的这些信息检测出来,形成可见的医学影像。X线影像的形成过程,是以X线作为信息载体,以荧光屏、屏-片系统或数字摄影的接收器等作为能量检测和信息转换的介质,形成X线影像。其过程实质上是一种信息的传递、能量的传递与转变过程。图2-1是屏-片摄影系统的影像信息链示意图,描述了X线影像的形成与影像诊断阅片的信息传递过程。

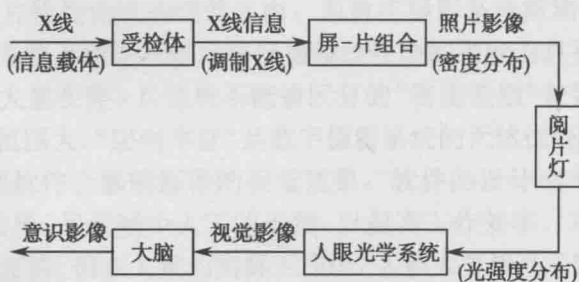


图 2-1 X线影像信息链

一、X线信息的产生

一束强度分布均匀的X线穿过由不同密度、厚度的组织组成的人体后,导致不同程度的衰减而强度不再均匀,称为“调制X线”。此处借用了无线电通讯中“调制”的概念,即作为载波的无线电电波在运载音频信号过程中发生的与叠加的音频信号成比例的变化。在X

线成像过程中,将X线管发出的X线比作为无线电通讯中的载波,将人体内部结构对X线衰减的差异性比作为无线电通讯中的音频信号。当X线管发出的“均匀射线”穿过人体后,因为人体内部结构对X线衰减的不一致性,即经“调制”后,就携带了受检体的密度信息,形成了X线对比度。

二、X线信息的转换

透过受检体的调制X线携带有受检体的密度信息,但人眼不能直接观察识别,必须由影像接收器将X线信息转换为人眼可见的影像。由于影像接收器的不同,X线检查的信息转换过程也不同,常见有以下几种。

1. 影像接收器是荧光屏或影像增强器时,其接收调制X线照射后,X线携带的人体密度信息直接转换为二维光强度分布的影像。

2. 以增感屏-胶片系统作为影像接收器时,增感屏将携带有人体密度信息的X线转换成可见光,使胶片感光后经过化学处理形成二维光学密度分布的照片影像。此阶段的信息传递与转换过程发生了光化学反应,X线光子能转化为化学能。

3. 以计算机X线摄影(CR)的成像板(IP)作为影像接收器时,X线信息转换为IP中可激发存贮荧光体的潜影。IP经CR阅读器处理后把潜影转换为数字信号,进一步处理形成数字影像(在显示器上直接显示或者打印出照片)。

4. 影像接收器是数字X线摄影(DR)的探测器时,则X线信息经探测器转换为像素数据信号,经进一步处理形成数字影像。

在X线信息的产生、传递中,必然伴随X线的吸收和衰减;X线信息被接收并转换为X线影像的过程也因接收器的能量响应特性的不同而形成不同的影像效果。

三、影像的阅读

医学影像的阅读是影像信息链的最后一个环节,是通过一定的显示设备将医学影像投影到人眼的视网膜上形成视觉影像,再传递到人的大脑形成意识影像。在此过程中,信息的传递除了受到影像显示方式以及显示设备的性能、影像阅读环境的影响外,人的视觉生理和心理作用也是一个重要的影响因素。

在屏-片X线摄影时代,照片是影像信息存贮和显示的介质。阅片时须通过观片灯把照片的光学密度分布转换为可见光影像。

进入数字成像时代后,影像的存储和显示方式也发生了根本性的改变。数字影像信息的存贮方式有两种:软拷贝和硬拷贝。数字影像的阅读也相应改变为软拷贝阅读和硬拷贝阅读两种方式。软拷贝阅读是指在工作站的医用显示器上观察数字影像并进行疾病诊断的方式;硬拷贝阅读是将数字影像打印出照片采用传统观片灯进行阅读的方式。

阅读方式的改变,带来的是对影像评价指标和方法的变革。照片影像主要是评价密度、对比度、层次、清晰度等指标。软拷贝阅读为影像质量评价提供了更加灵活和便利的条件。在软拷贝影像除可以评价影像灰度、信号对比外,还可以利用曝光指数评价摄影剂量、噪声水平,或者借助工作站的各种图像后处理软件测量像素值、噪声标准差等,拓展了影像评价指标的范围。

第二节 摄影用 X 线源

一、X 线的产生

X 线是高速运动的电子流撞击物质时放射出的一种能量。X 线的产生必须具备三个基本条件：①电子源，它能根据需要随时提供足够数量的电子；②高速运动的电子流，这需要一个直流高压产生的强电场和一个高真空度的空间；③接收高速运动电子撞击的障碍物（靶面），将电子的动能转变为 X 线能。

对于医用 X 线摄影，X 线由 X 线管产生。X 线管由阴极、阳极和玻璃管壳等基本部分组成。阴极为电子源，阳极靶面是接收高速电子撞击产生 X 线的部位。当在阴极和阳极之间加上正向高电压时，在强电场的作用下，蒸发电子奔向阳极便形成管电流。管壳的作用是维持高真空度的空间并固定阳极和阴极的位置。

二、X 线能谱

对 X 线进行光谱分析发现，它由两种成分组成：一种 X 线谱是连续的，称为连续 X 线；另一种则是脉冲式的，称为特征 X 线。X 线是由这两种成分组成的混合射线。

（一）连续 X 线

连续 X 线又称为轫致辐射，是高速运动的电子与靶物质原子核相互作用时产生的。连续 X 线与可见光相似，是包含多种能量光子的混合射线。

1. 连续 X 线产生的物理过程 根据经典的电磁学理论，具有一定能量的高速电子进入原子核附近的强电场区域时，在强电场的作用下，电子运动的速度和方向必然发生变化。在此过程中，电子损失的能量转变为连续 X 线。由于单位时间内到达靶面的电子数目是大量的，且每个高速电子具有的能量不同、与靶物质原子作用时的相对位置不同、相互作用对应的能量损失也不同，因而发出的 X 线光子频率也互不相同。大量不同能量的 X 线光子组成了具有连续频率的 X 线谱（图 2-2）。

图 2-3 是 X 线管使用钨靶、管电流保持不变、管电压从 20kV 增加到 50kV 的 X 线谱。由图中曲线可见，连续谱的 X 线强度是随波长的变化而连续变化的。每条曲线都有一个峰值；曲线在波长增加的方向上都无限延展，但强度越来越弱；在波长减小的方向上曲线都存在一个波长极限，称为最短波长（ $\lambda_{\min}$ ）。随着管电压的升高，各曲线所对应的强度峰值和最短波长的位置均向短波方向移动，辐射强度均相应地增强。

2. 连续 X 线的最短波长 在 X 线管中，撞击阳极靶面的电子动能取决于施加在阴阳两极间的管电压，管电压越高，阴极电子获得的动能越大。若电场对电子所做的功全部转移为电子的动能，且电子的动能全部转变给撞击时产生的 X 线光子的能量，则存在如下关系式

$$Ve = \frac{hc}{\lambda_{\min}} \quad (\text{公式 2-1})$$

式中 V 表示管电压， e 表示电子电量， h 为普朗克常数， c 为光速， $\lambda_{\min}$ 为最短 X 线波长。公式左边表示电场对电子所做的功（电子获得的动能），公式右边表示光子能量。

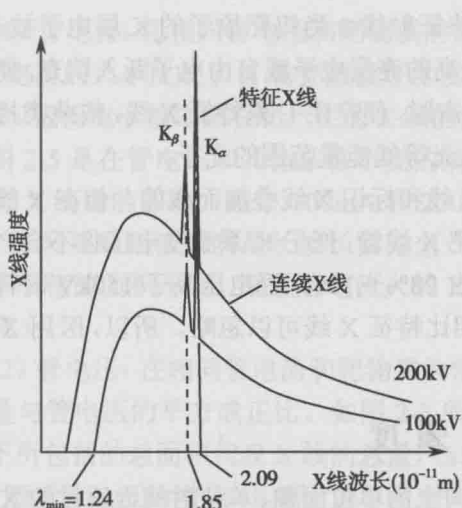


图 2-2 X 线谱

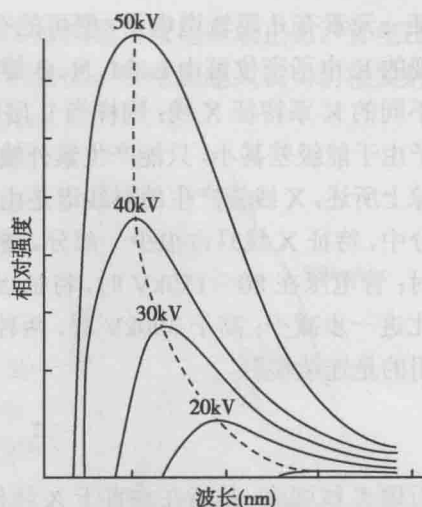


图 2-3 管电压对连续 X 线的影响

公式 2-1 可以改列为:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{V_e} = \frac{1.242}{V} \text{ cm} \quad (\text{公式 2-2})$$

由上式可见, 连续 X 线的最短波长只与管电压有关, 管电压越高, 所产生的 X 线波长越短。

(二) 特征 X 线

特征 X 线又称为标识 X 线, 是高速运动的电子与靶物质原子的内层轨道电子相互作用时产生的。当在 X 线管电压下加速的电子能量大于靶物质原子内层电子的结合能时, 就有部分高速电子将内层轨道电子击脱使之成为自由电子(称光电子), 使原子内电子层出现空位, 从而处于不稳定的激发态。这样, 按能量分布最低的原则, 处于高能态的外壳层电子必然要向内壳层跃迁填补其电子空位, 便释放出能量等于电子跃迁前、后两能级之差的特征 X 线光子。不同的靶物质, 原子结构不同, 发出的特征 X 线的波长也不同。这种由靶物质决定的 X 线表征靶物质的原子结构特性, 而与其他因素无关, 故称为特征辐射或特征 X 线(图 2-4)。

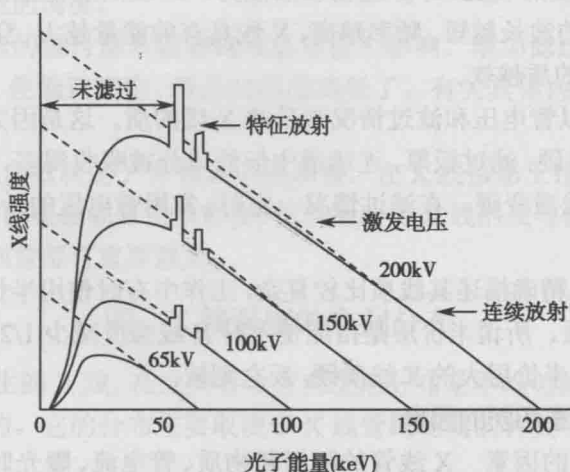


图 2-4 钨在较高管电压的 X 线谱

某一元素有几层轨道电子,便可能有几种特征射线。当钨靶原子的K层电子被击脱,其出现的K电子空位可由L、M、N、O等能级较高的壳层电子或自由电子跃入填充,便产生能量不同的K系特征X线;同样当L层电子被击脱,便产生L系特征X线,依此类推。外层电子由于能级差甚小,只能产生紫外线或可见光等低能量范围的光子。

综上所述,X线管产生的射线谱是由连续X线和标识X线叠加而成的。但在X线的两种成分中,特征X线只占很少一部分。例如钨靶X线管,低于K系激发电压将不会产生K系放射;管电压在80~150kV时,特征X线只占28%~10%;管电压高于150kV时特征X线占比进一步减少;高于300kV时,两种成分相比特征X线可以忽略。所以,医用X线主要使用的是连续辐射。

三、X线强度

所谓X线强度,是指在垂直于X线传播方向上的单位面积、单位时间内通过的X线光子数量与能量乘积的总和。在实际应用中,常用量和质来表示X线强度。

(一) X线的量

X线的量是线束中X线光子的数目。设在单位时间内通过单位横截面积上的X线光子数目为 N ,若每个光子的能量为 $h\nu$,则单色X线的强度可表示为:

$$I = Nh\nu \quad (\text{公式 2-3})$$

对于波长由 $\lambda_{\min}$ 到 λ_{∞} 的连续X线谱,对应X线光子能量由 $h\nu_{\max}$ 到零,其强度可表示为:

$$I = \int_0^{E_{\max}} E \cdot N(E) \cdot dE \quad (\text{公式 2-4})$$

式中, E 表示光子能量, $N(E)$ 是相应能量X线光子的数目。

在实际工作中,常用X线管的管电流(mA)和照射时间(s)的乘积,即管电流量(mAs)来间接表示X线的量。管电压一定时,阴极灯丝发射电子的情况决定了管电流的大小。管电流大,表明单位时间撞击阳极靶的电子数多,由此激发出的X线光子数也正比地增加;照射时间长,X线量也正比地增大。所以管电流和照射时间的乘积能反映X线的量。

(二) X线的质

X线的质表示X线的硬度,即穿透物质的能力。X线的质完全由光子能量决定,而与光子数量无关。X线的波长越短、频率越高,X线具有的能量越大、穿透力就越强,即X线的质越硬;反之,X线的质越软。

在实际应用中是以管电压和滤过情况来反映X线的质。这是因为管电压高、激发的X线光子能量大,即线质硬;滤过板厚,连续谱中低能成分被吸收得多,透过滤过板的高能成分增加,使X线束的线质变硬。在滤过情况一定时,常用管电压的千伏值来粗略描述X线的质。

X线为连续能谱,精确描述其线质比较复杂,工作中有时使用半价层(half value layer, HVL)来表示X线的质。所谓半价层是指能使入射X线强度减少1/2时某种均匀物质的厚度。对于同一种物质,半价层大的X线质硬,反之则软。

(三) 影响X线的量和质的因素

1. 影响X线的量的因素 X线管的阳极靶物质、管电流、曝光时间、管电压以及高压波形是影响X线的量的主要因素。