



无损检测工艺

上海锅炉厂技工学校 主编

上海科学技术出版社

5.28

内 容 提 要

本书按技工学校无损检测专业教学特点,扼要讲授射线、超声波、磁粉、渗透探伤的基本原理、仪器设备、检测方法、工艺要求、质量评定及有关专业技术标准的主要内容。

本书在编写过程中参考了国内外相近的教材及有关文献资料,力求符合国家劳动人事部、机电工业部规定的中级无损探伤工应知、应会要求。

本书采用现行有关无损检测专业的国家标准及有代表性的部颁标准相关内容。

无 损 检 测 工 艺

上海锅炉厂技工学校主编

上海科学技术出版社出版发行

(上海瑞金二路450号)

江苏省南通韬奋印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 印张19 字数458千字

1989年7月第1版 1989年7月第1次印刷

印数1—6,000

ISBN 7-5323-1563-0/TG·57

定价: 8.00元

前 言

无损检测是一门应用范围极为广泛的新兴综合性学科,对于控制和改进生产过程和产品质量,保证材料、零件和产品的可靠性及提高生产率起着关键的作用,是发展现代工业必不可少的重要技术措施之一。无损检测技术在材料加工、零件制造、产品组装直至产品的使用整个过程中,不仅起到保证质量、保障安全的监督作用,还在节约能源及资源、降低成本、提高成品率和劳动生产率方面起到积极的促进作用。无损检测的发展程度将直接或间接标志一个国家(地区)的工业水平。

《无损检测工艺》是在《无损检测技术》(1982年由上海锅炉厂技工学校编,内部发行)的基础上,经上海市劳动局技工教材办公室和上海锅炉厂技工学校联合组织,由原作者按国家劳动人事部、机电工业部规定的中级无损探伤工应知、应会要求,结合现行的有关国家标准和有代表性的部颁标准内容以及作者近几年来参加技工学校无损检测专业教学的实践经验,予以重新编写。

在编写过程中,从实际应用出发,各探伤方法的基础理论部分均避繁就简,除了必须要求中级无损探伤人员了解的基础知识予以详述以外,与实际应用关系不大的内容均予以删节。而将涉及各探伤方法的要求、影响检测灵敏度(效果)的因素、操作方法要领、技术规范和标准的要点、相关的仪器设备、质量评定、安全防护等有关实际应用的内容均一一予以重点阐明,以利于各技工学校、各部门、各行业结合培养目标、任务和方向有针对性地组织教学,取得良好的教学效果。

本书扼要讲授射线探伤法、超声波探伤法、磁粉探伤法、渗透探伤法的基本原理;常用探伤仪器设备特点、性能、操作方法及维护保养要求;技术规范和标准的要点;探伤工艺要求、结果分析及质量评定等方面内容。并在每一章后附有习题,供教师在教学过程中向学生布置课外作业以及学生复习巩固本章的主要教学内容时使用,教师可按教学产品的特点,适当增删以取得最佳的教学效果。

考虑到印刷方面的原因及底片和照片的不同之处,在讲授射线探伤底片上缺陷图像特征的内容时,未使用缺陷照片。各学校,各单位在组织教学时应自备典型缺陷照片,结合书中有关内容,利用实验条件组织教学活动。

本书是技工学校无损检测专门工艺教材,也可作为中级无损探伤工技术培训教材及供有关专业工程技术人员参考阅读。

本书由陈德安(第一、三、四篇)、胡汝舜、赵三林(第二篇)编写,并由陈德安同志对全书进行统编。由马铭刚同志担任主审,王怡之同志审稿。

参加组织编写的同志有施聘贤、葛景泰、张济扑同志。高煌、姚智敏等同志在本书编写过程中做了大量的具体工作。

无损检测涉及许多学科及先进的技术领域,由于我们教学经验和知识有限,加上编写时间仓促,缺点和错误在所难免,希望广大师生、读者提出宝贵意见,我们将在今后的修订中予以改进。

编 者 一九八八年一月

目 录

第一篇 射线探伤法

第一章 射线探伤的物理基础.....	2
§ 1-1 射线的种类	2
§ 1-2 射线的基本特性	2
§ 1-3 射线的强度	3
§ 1-4 衰减定律及衰减曲线	5
§ 1-5 射线对胶片的感光作用	7
§ 1-6 常用的射线剂量单位	7
习题一	8
第二章 射线的产生.....	10
§ 2-1 射线管X射线的产生	10
§ 2-2 高能X射线的产生	17
§ 2-3 γ 射线的产生.....	18
习题二	20
第三章 射线探伤工艺.....	22
§ 3-1 射线探伤几个基本术语和概念	22
§ 3-2 像质计及使用方法	24
§ 3-3 射线胶片	29
§ 3-4 增感屏	32
§ 3-5 几何不清晰度	34
§ 3-6 透照方法	37
§ 3-7 曝光条件选择	41
§ 3-8 散射线及其屏蔽方法	45
§ 3-9 特殊的透照方法	47
§ 3-10 射线透照的现伤操作	49
§ 3-11 影响射线照相图像质量的因素	51
§ 3-12 射线实时显像探伤法	52
习题三	53
第四章 暗室处理工艺.....	59
§ 4-1 暗室技术要求及布置	59
§ 4-2 显影及操作	61
§ 4-3 定影及操作	64
§ 4-4 水洗和干燥	66
习题四	67
第五章 底片上缺陷辨认及评定.....	69

§ 5-1 底片上伪像的分辨	69
§ 5-2 底片上缺陷图像的分辨	69
§ 5-3 焊缝底片的等级评定	73
§ 5-4 铸钢件底片的等级评定	77
习题五	82
第六章 射线的安全防护	87
§ 6-1 射线对人体的危害	87
§ 6-2 最大容许(安全)剂量	88
§ 6-3 射线剂量测定	89
§ 6-4 射线防护技术	92
习题六	94

第二篇 超声波探伤法

第七章 超声波探伤的物理基础	98
§ 7-1 振动和波	98
§ 7-2 超声波及其波型	99
§ 7-3 声速	100
§ 7-4 垂直入射时的反射与透射	101
§ 7-5 倾斜入射时的反射与折射	104
§ 7-6 超声场	105
§ 7-7 材料中超声波传播的规律	107
§ 7-8 分贝(dB)	109
§ 7-9 超声波的衰减	110
习题七	110
第八章 超声波探伤设备	114
§ 8-1 超声波探伤仪结构和原理	114
§ 8-2 超声波探头	116
§ 8-3 试块	121
§ 8-4 仪器和探头的性能测试	125
§ 8-5 仪器探头和试块维护保养	131
习题八	131
第九章 超声波探伤方法及工艺	135
§ 9-1 探伤方法分类及脉冲反射法原理	135
§ 9-2 超声耦合	137
§ 9-3 探头扫查方法	141
§ 9-4 材料衰减系数的测定	143
§ 9-5 探伤仪时基线的标定	144
§ 9-6 探伤灵敏度的校准	147
§ 9-7 探伤图形的分析	150
§ 9-8 其他超声波探伤法原理	153

习题九	154
第十章 缺陷测定	157
§ 10-1 缺陷定位	157
§ 10-2 缺陷当量测定(当量法)	160
§ 10-3 缺陷指示长度(面积)的测定(探头移动法)	163
§ 10-4 缺陷性质的判断	165
习题十	166
第十一章 板材超声波探伤	168
§ 11-1 板材常见缺陷种类	168
§ 11-2 中厚板探伤方法	168
§ 11-3 复合钢板探伤方法	171
习题十一	173
第十二章 管材超声波探伤	175
§ 12-1 钢管横波探伤条件	175
§ 12-2 大口径钢管探伤方法	175
习题十二	177
第十三章 锻件超声波探伤	179
§ 13-1 锻件中的常见缺陷及分类	179
§ 13-2 锻件探伤方法	179
§ 13-3 缺陷回波的辨认	182
§ 13-4 质量等级分类	184
习题十三	184
第十四章 焊缝超声波探伤	186
§ 14-1 焊接基本知识	186
§ 14-2 对接焊缝超声波探伤方法	192
§ 14-3 大口径管座角焊缝超声波探伤方法	195
§ 14-4 小口径管子对接焊缝超声波探伤方法	197
习题十四	199

第三篇 磁粉探伤法

第十五章 磁粉探伤的物理基础	204
§ 15-1 磁学基本理论	204
§ 15-2 通电导体产生的磁场	206
§ 15-3 磁场的几个物理量	207
§ 15-4 磁性材料及磁化	209
§ 15-5 漏磁场	212
习题十五	214
第十六章 磁粉探伤仪及材料	217
§ 16-1 磁粉探伤仪的基本结构	217

§ 16-2 磁粉探伤仪分类·····	218
§ 16-3 磁粉和磁悬液·····	222
§ 16-4 反差增强剂·····	225
§ 16-5 灵敏度试板、试片及磁场指示器·····	225
习题十六·····	227
第十七章 磁化方法及磁化规范 ·····	231
§ 17-1 磁化电流·····	231
§ 17-2 磁化磁场及其应用·····	233
§ 17-3 通电磁化法·····	234
§ 17-4 通磁磁化法·····	235
§ 17-5 复合磁化法·····	237
§ 17-6 旋转磁场磁化法·····	238
§ 17-7 磁化方法的选择·····	239
§ 17-8 磁化规范及选择·····	239
习题十七·····	242
第十八章 磁粉探伤操作工艺 ·····	245
§ 18-1 磁粉探伤方法及其应用·····	245
§ 18-2 预处理及探伤时机·····	247
§ 18-3 磁化及施加磁粉·····	247
§ 18-4 磁痕分析·····	248
§ 18-5 退磁·····	250
§ 18-6 记录、报告及安全规定·····	251
§ 18-7 磁痕的评定及验收标准·····	252
习题十八·····	253

第四篇 渗透探伤法

第十九章 渗透探伤的物理基础 ·····	256
§ 19-1 渗透探伤的原理·····	256
§ 19-2 物质分子的运动·····	257
§ 19-3 液体的表面张力·····	257
§ 19-4 液体对固体表面的浸润·····	257
§ 19-5 液体的毛细作用·····	258
§ 19-6 乳化作用·····	259
§ 19-7 荧光物质的发光现象·····	260
§ 19-8 渗透探伤法分类·····	260
习题十九·····	263
第二十章 渗透探伤材料 ·····	265
§ 20-1 渗透探伤液·····	265
§ 20-2 对比试块及其使用方法·····	268

§ 20-3 渗透探伤液性能测试	270
习题二十	271
第二十一章 渗透探伤装置	274
§ 21-1 便携式探伤装置	274
§ 21-2 固定式探伤装置	274
§ 21-3 渗透探伤流水作业线的设计	277
习题二十一	278
第二十二章 渗透探伤工艺	280
§ 22-1 荧光渗透探伤工艺	280
§ 22-2 着色渗透探伤工艺	286
§ 22-3 缺陷显示痕迹的辨认及等级分类	288
§ 22-4 安全注意事项	291
习题二十二	291

第一篇 射线探伤法

1895年11月8日德国科学家伦琴在实验室中利用气体放电管发现了一种可以穿透物体的贯穿性辐射,因为当时对这种辐射性质不甚了解,所以命名为X射线。人们为了纪念伦琴这一伟大的发现,又把这种射线命名为伦琴射线。时隔一年,亨利·贝可勒耳在利用铀盐和感光板进行实验时发现了铀能够发射一种类似于X射线的辐射;与此同时,法国居里夫妇经多年研究,从铀盐中成功地分离出天然放射性元素镭,从而证实贝可勒耳所发现的辐射是由镭所产生的,并将这种射线命名为 γ 射线。

1911年德国米勒博士成功地制造了世界上第一只X射线管,但它的使用寿命短、所产生的射线强度低、实用价值不高。1912年美国柯立奇博士针对这些问题在材料上作了改进,把用纯金制的靶改为钨靶,获得了较高的射线强度,开拓了X射线在工业生产中的应用的途径。1922年美国磁通公司应用这种改进的X射线管试制成功了世界上第一台200kV5mA的X射线机,为X射线探伤奠定了基础。

第二次世界大战期间,随着飞机等军事工业的发展,美国、苏联等工业先进的国家,为了保证战斗机的质量,在飞机制造过程中开始应用X、 γ 射线对飞机的重要零部件进行射线探伤,因而这一方法逐步成熟并趋向实用。

目前,射线探伤法已经成为一门成熟的无损检测技术。它与超声波探伤、磁粉探伤、液体渗透探伤和涡流探伤已经成为无损检测的五大常规技术。

射线探伤是利用X、 γ 等射线在穿透物质时其能量将衰减这一现象,得出与材料内部结构和缺陷相对应的检测图象,从而探明物质内部结构或所存在缺陷的性质、大小、分布状况,并作出评价判断。

由于射线探伤比较直观,对缺陷的性质和尺寸比较容易判断,并且在射线照相法中有底片可作为原始档案资料长期保存,所以射线探伤已在化工、石油、电站设备制造、航空、宇航、造船等工业中得到极为广泛的应用,对控制和提高产品的质量、确保安全运行起了积极作用,在现代工业生产中已成为一种必不可少的无损检测技术。

射线探伤对工件中的体积型缺陷(如焊缝中的气孔、夹渣等缺陷)具有较高的检出能力;对工件中的面积型缺陷(如焊缝中的裂纹、未熔合等缺陷)也具有一定的检出能力。但与其它常用的无损检测技术相比,对微小裂纹的检出能力较低,并且生产成本高于其他无损检测技术,其检验周期也较长。

第一章 射线探伤的物理基础

§ 1-1 射线的种类

在工业射线探伤中应用的射线主要是X射线和 γ 射线，它们是一种波长较短、具有较高能量、能贯穿物体的电磁辐射线。

一、X射线

X射线是在射线探伤领域中应用最为广泛的一种射线。

X射线的波长范围见图 1-1。在工业射线探伤中主要采用X射线管产生 X 射线，其常用的波长范围约为 $0.001 \sim 0.1\text{nm}$ 。可见 X 射线波长较紫外线波长短，其频率段位于紫外线之前。

二、 γ 射线

γ 射线是一种比 X 射线波长更短的射线，它的波长约为在 $0.0003 \sim 0.1\text{nm}$ (图 1-1)。

现代工业射线探伤中广泛采用人工放射性同位素源产生 γ 射线，由于 γ 射线较 X 射线波长更短，所以具有更大穿透物质的能力。在无损检测中常用来对厚度较大的工件进行探伤。

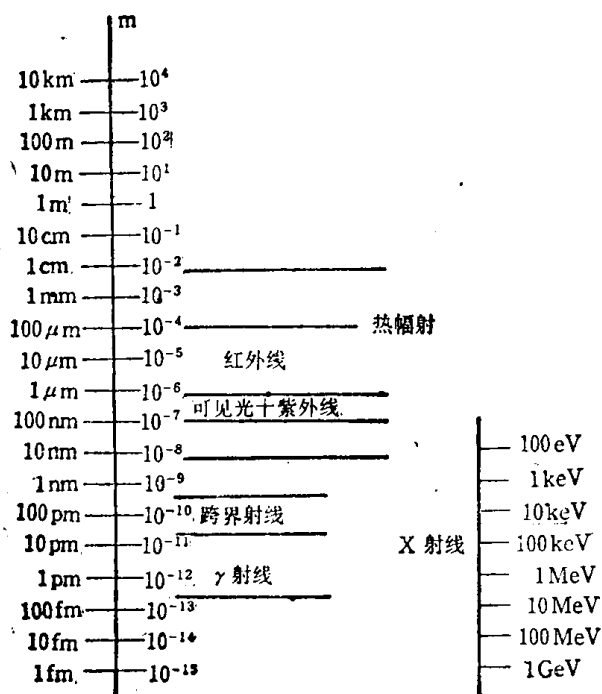


图 1-1 X、 γ 射线在电磁谱中的位置

§ 1-2 射线的基本特性

X(γ)射线的基本特性如下：

①射线是不可见的。由于射线的波长极短，最长的波长也仅仅是可见光线的几

千分之一，因此人的眼睛无法识别。

②射线具有穿透物质的能力。射线波长愈短，穿透物质的能力愈大；物质密度愈小，射线愈容易穿透。

③直线传播。射线从本质上来讲与可见光一样同属于电磁波范畴，所以它的传播速度与可见光相同($3 \times 10^8\text{m/s}$)，并是直线传播。

④射线不能用棱镜或透镜的光学方法和在电磁场中产生偏转的方法来改变其传播方向，而只能用晶体光栅来改变其传播方向。

⑤射线能产生干涉、绕射和反射等现象。但与可见光有明显不同之处是不能产生镜面反射。

⑥射线可使荧光物质产生荧光效应及感光材料产生光化反应。

⑦射线具有电离作用。它可使空气产生电离,伤害和杀伤生物细胞。

§ 1-3 射线的强度

一、射线的质

射线的光子是由辐射源发出。光子能量(E)与频率(γ)成正比。

$$E = h\gamma \quad (1-1)$$

或者

$$E = hc/\lambda \quad (1-2)$$

式中 λ ——射线的波长(10nm);
 c ——射线的传播速度(3×10^8 m/s);
 h ——普朗克常数(6.62×10^{-34} J/s)。

从式(1-1)、(1-2)中可以看出,射线频率愈高,光子所具有的能量愈高,其波长也愈短。

在实际应用时,通常由射线源辐射的射线束并不是单一频率而是一束包含不同频率的射线,这种射线称为连续射线(或称白色射线),正像一束太阳光中包含了许多不同波长的光线一样。

X射线管所产生的连续射线的波长与射线光子能量有关。按式(1-1)、(1-2)的推导其最短波长为

$$\lambda_{\min} = 124/U \quad (1-3)$$

式中 $\lambda_{\min}$ ——X射线束中最短的波长(nm);
 U ——加上X射线管两端的电压(kV)。

由 γ 射线源产生的 γ 射线波长取决于 γ 射线源的种类。为此X射线管两端的电压和 γ 射线源的种类就间接地表示为射线的质,射线波长愈短,其穿透力(射线的质)或射线的硬度愈大。

X射线管的管电压与所发射的X射线的质的关系见表1-1,常用 γ 射线源的能量与所发射的 γ 射线的质的关系见表1-2。

二、射线的量

在一定的管电压下,X射线的量与X射线管中灯丝射向靶的电子数量成正比。当管电流增加时,灯丝所发射的热电子数量也随之而增加,那末射向靶的电子数量也随之增加,X射线的量则增大。所以X射线的量可以通过管电流予以调节控制。

γ 射线的量取决于 γ 射线源的活度(§ 1-6)。 γ 射线源的活度愈大所产生的 γ 射线的量也愈大。因此, γ 射线的量不能在操作现场进行调节控制。

三、射线的强度

射线的强度是指射线在单位时间内通过垂直于射线传播方向上的单位面积所传递的辐射通量。对于一个X射线管所产生的辐射强度来讲,它正比于管电流(mA),但在同一管电压下所产生的不同波长的射线,其强度并不相等,而是作图1-2的分布。由横轴和曲线所包围的

表 1-1 X射线的质和管电压关系

X射线的质	管电压 (kV)	X射线机
非常软	≤ 20	软射线 X射线机
软	$> 20 \sim 60$	软射线 X射线机
半硬	$> 60 \sim 150$	一般X射线机
硬	$> 150 \sim 420$	一般X射线机
非常硬	$> 420 \sim 3000$	加速器、脉冲X射线机
特硬	> 3000	加速器

表 1-2 常用 γ 射线源能量

γ 射线源	能量 (MeV)	穿透钢铁厚度(mm)
^{60}Co	1.17 1.33	225
^{137}Ir	0.32	75

面积为X射线管总的辐射强度。其最大强度的波长约为：

$$\lambda_{\max} = 2\lambda_{\min}$$

(1-4)

式中 $\lambda_{\max}$ ——最大强度的波长(nm)；

$\lambda_{\min}$ ——射线的最短波长(nm)。

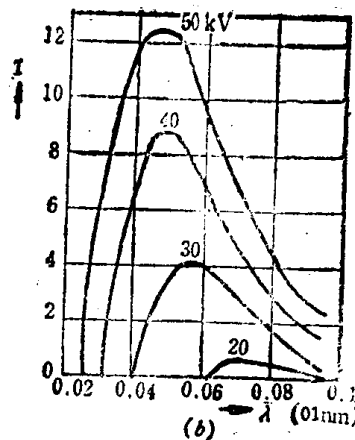
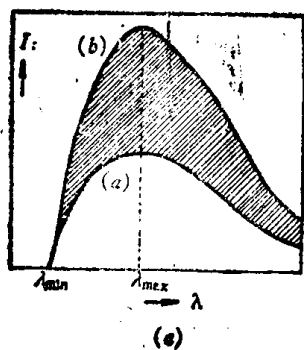


图 1-2 X射线管的辐射强度

(a)管电流对射线强度的影响 (b)管电压对射线强度的影响

X射线管的辐射强度与射线的质(管电压)和量(管电流)都存在一定关系。

如图1-2a所示,当管电流增加时,所有波长的X射线强度都将增加,波长较短的X射线强度增加量比波长较长的X射线强度增加量大。而管电压增加时最短波长变短(图1-2b)。

为获得近似相同的辐射强度,可以作这样的估计:若管电压(kV)增加15%,所需的管电流(mA)可减小一半;若管电压降低15%,所需的管电流加倍。但这种估计仅适用于电压在40~95kV范围内,超过100kV就得不到良好的结果。

大量的试验说明,射线强度与管电压、管电流之间的关系是:

$$I = KU^n i \quad (1-5)$$

式中 I ——X射线管产生的射线强度;

K ——常数(与仪器及度量单位有关);

U ——管电压(kV);

i ——管电流(mA);

n ——取决于管电压及其它因素的指数。

γ 射线强度取决于 γ 射线源的能量及其放射性活度,能量愈高活度愈大则 γ 射线源所产生的 γ 射线强度也就愈大。它与X射线的不同之处是:X射线机的强度可由管电压、管电流调节控制,而 γ 射线源的强度则无法在现场进行调节控制。

§ 1-4 衰减定律及衰减曲线

射线在穿透物质过程中,由于与物质相互作用而失去一部分能量,强度相应减弱,这种现象称为射线的衰减。

一、与物质的相互作用

射线与物质的相互作用可能产生下列三种主要过程:光电效应、康普顿效应和电子对产生效应。

1. 光电效应

在量子学概念中射线束是由光子所组成。光子运动时保持它的全部动能,并能撞击物质中原子轨道上的电子,光子释放出全部能量,其一部分能量把电子从原子中击出,剩余的能量则作为电子的动能,从而产生光电子(图1-3)。

当光子的能量低于1 MeV时,光电效应是射线与物质作用的重要过程。另外光电效应容易在原子序数高的材料中产生,如在射线作用下铅($Z=82$)比铜($Z=29$)容易产生光电效应。

2. 康普顿效应

在康普顿效应(图1-4)中,光子撞击出原子中的电子时只释放出一部分能量,结果光子的

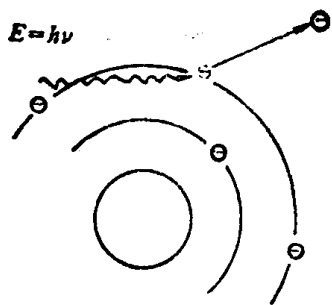


图 1-3 光电效应

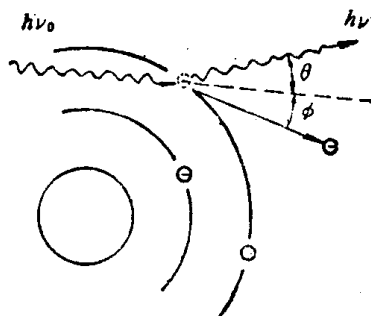


图 1-4 康普顿效应

能量减弱,并且在与初始方向成 θ 角的方向上产生散射,而被撞击的电子在 ϕ 角方向上散射。在整个过程中反冲电子所具有的动能为入射光子和散射光子的能量之差。

康普顿效应的大小取决于物质原子中的电子数及射线能量,在中等原子序数的物质中及射线能量约为 $0.2\sim 3\text{MeV}$ 时,康普顿效应是个极为重要的过程,这在射线的防护时也是很重要的。

3. 电子对产生效应

一个具有足够能量的光子与物质作用时释放出它的全部动能而形成一个正电子和一个负电子,即电子对产生效应。电子对产生发生在原子核附近(图1-5)。由于产生电子对所需的能量为 0.51MeV ,所以光子能量必须大于 1.02MeV 才有可能发生电子对产生效应。

当能量超过 1.02MeV 的光子把能量转换成具有动能的负电子和正电子时,另一部分能量传递给原子核以满足能量守恒定律。在物质中正、负电子都是通过原子的电离而消失,在消失过程中正电子和物质中的电子相互作用而成为能量各为 0.51MeV 的两个光子,它们在物质中又可以通过光电效应(康普顿效应)进一步相互作用。

此外,电子对产生效应正比于吸收体的原子序数的平方,所以在高能X射线和部分 γ 射线及高原子序数物质中,电子对产生效应是重要的过程。

光电效应和康普顿效应随射线能量的增加而减弱,而电子对产生效应却随射线能量的增加而加强,三种效应的结果都可以使射线强度在穿透物质过程中衰减。

二、射线的衰减定律及衰减曲线

射线衰减主要是由于射线与物质相互作用时,射线被吸收和散射而引起。由此可见,当射线穿透物质时随着贯穿行程的增加其衰减程度随之增加。

射线衰减的程度不仅与透过物质的厚度有关,而且还与射线的质(波长),物体的性质(密度和原子序数)有关。一般来讲,射线的波长愈短衰减愈小,物质的密度及原子序数增加,射线衰减也增大。

设射线的初始强度为 I_0 ,透过物质的厚度为 δ ,那末透过物质后的射线强度 I_δ 为:

$$I_\delta = I_0 e^{-\mu\delta} \quad (1-6)$$

式中 e ——自然对数的底($e \approx 2.72$);

μ ——射线强度线性衰减系数;

δ ——被透过物质的厚度(mm)。

从式(1-6)中可以看出,射线强度衰减是呈指数规律衰减,图1-6所示是射线衰减曲线。

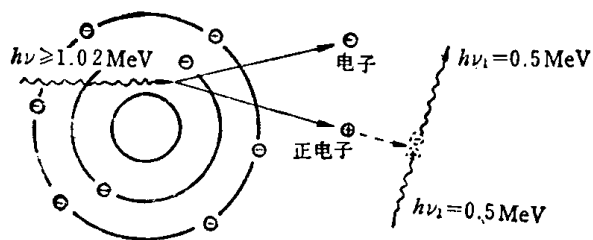


图 1-5 电子对产生效应

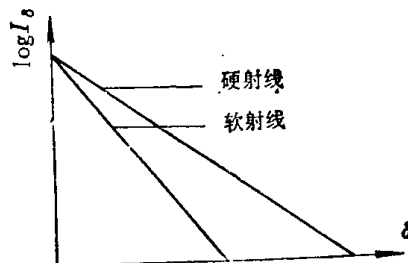
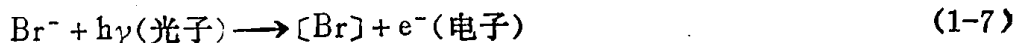


图 1-6 单色射线强度衰减曲线

§ 1-5 射线对胶片的感光作用

一、初级光化反应

射线照射射线胶片时,一小部分在胶片上产生散射,绝大部分产生透射,剩余部分将被胶片乳剂层中的明胶和溴化银吸收,射线对胶片产生感光作用。其过程为:



式(1-7)、(1-8)所表示的过程即为射线胶片的初级光化反应,光子使 Br^- 和 Ag^+ 形成游离态原子,其中 $[\text{Ag}]$ 即形成潜影,潜影经暗室处理以后就会形成可见图象。

二、胶片曝光后的反应

胶片经初级光化反应以后,可能产生如下的逆反应:



因为 Ag^+ 和 Br^- 的游离能较 Ag 和 Br 小而稳定,所以胶片曝光后,如果将胶片搁置过久,就有可能产生式(1-9)所示的反应,致使潜影衰退,将有可能造成底片图象模糊。

潜影衰退的速度与环境温度有关,在低温及低湿度的条件下,衰退机率减小,为此在射线探伤中要求胶片在曝光后立即进行暗室处理。

§ 1-6 常用的射线剂量单位

自1962年起,国际辐射单位和度量委员会(ICRU)采用传统的单位:伦琴、拉德和居里。自1978年1月1日起规定采用法定计量单位(SI)。

一、放射性活度

当放射性物质被用作辐射源时,它的活度(强度)等于放射性物质在每秒钟内的蜕变数。

放射性活度的法定计量单位为贝可勒尔(Bq),它相当于每秒钟内一次蜕变。在工业射线探伤中用比其大 3.7×10^{10} 倍的居里(Ci)作为单位。

二、电离剂量

电离的剂量是间接地由射线在1 kg空气中能产生的电离数量来确定。至今仍采用伦琴(R)来表示。法定计量单位为每千克库仑数(C/kg),并无特殊规定的符号。它们之间的关系为 $1\text{R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ 或 $1\text{C/kg} \approx 4000\text{R}$ 。

三、能量吸收剂量

被吸收的辐射能量是以每千克焦耳数(J/kg)表示。法定计量单位以戈瑞(Gy)表示,至今沿用的单位是拉德(rad)。它们之间的关系为 $1\text{rad} = 10^{-2} \text{J/kg} = 10^{-2} \text{Gy}$ 。

四、等效剂量(或剂量当量)

希沃特(Sv)是用于电离辐射对人体生物效应的一种新单位,它相当于能量吸收剂量与一个因子的乘积,这个因子由实验确定,并表示电离辐射的相对生物效应。对于X射线因子为1,所以希沃特的量相当于戈瑞的量。

五、单位的换算

综上所述,射线剂量单位的概念如表1-3所示。

表 1-3 射线剂量单位的概念

剂 量 名 称	迄 今 使 用 的 单 位		法 定 计 量 单 位	
	标 示 名 称	值	标 示 名 称	值
放射性物质的活度(强度)	居 里(Ci)	$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}/\text{s}$	贝可勒耳(Bq)	$1\text{Bq} = 1/\text{s}$
电 离 剂 量	伦 琴(R)	$1\text{R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$		$1\text{Sv} = 1\text{C/kg}$
能量吸收剂量	拉 德(rad)	$1\text{rad} = 10^{-2} \text{J/kg}$	戈 瑞(Gy)	$1\text{Gy} = 1 \cdot \text{J/kg}$
等 效 剂 量	雷 姆(rem)	$1\text{rem} = 10^{-2} \text{J/kg}$	希 沃 特(Sv)	$1\text{Sv} = 1\text{J/kg}$
辐 射 强 度	伦 琴/秒 (R/s)	$1\text{伦琴/秒} = 1\text{R/s}$		$2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg} \cdot \text{s}$ 单位: $\text{A/kg} = \text{C/kg} \cdot \text{s}$

注: $\text{A} = \text{C/s}$ 。

所以,射线剂量单位的相互换算关系为:

$$1\text{C/kg} = 3.876\text{R}$$

$$1\text{C/kg} \cdot \text{s} = 3.876\text{R/s}$$

$$1\text{s}^{-1} = 2.703 \times 10^{-11} \text{Ci}$$

$$1\text{J/kg} = 100\text{rad}$$

习 题 一

一、选择题(将正确的答案填入题干内)

- 在射线探伤中应用最多的射线是_____。
 A. X、 α 射线
 B. X、 γ 射线
 C. γ 、 β 射线
 D. X、 β 射线
- 在射线探伤中应用的X、 γ 射线是属于_____。
 A. 冲击波
 B. 电磁波
 C. 声波
 D. 机械波
- X射线与可见光一样是一种具有一定频率范围的电磁波,所以X射线_____。
 A. 与可见光一样可分解成各种不同颜色的射线。
 B. 能采用光学透镜进行聚焦。
 C. 能采用镜面产生全反射。
 D. 上述三点都不对。
- 射线与物质相互作用时可能发生_____效应。
 A. 光电
 B. 康普顿
 C. 电子对产生
 D. 光化反应
- 法定计量单位中的射线剂量单位有_____。
 A. 伦琴(R)
 B. 希沃特(Sv)
 C. 贝可勒尔(Bq)
 D. 戈瑞(Gy)

6. 暂时与法定计量单位并用的射线剂量单位有_____。

A. 伦琴(R)

B. 居里(Ci)

C. 拉德(rad)

D. 雷姆(rem)

二、填空题

1. 在工业射线探伤中常用的X射线管所产生的X射线波长范围为_____, γ 射线波长范围为_____。

2. 射线可使_____材料产生荧光效应,使感光材料产生_____反应。

3. 在X射线探伤中射线束是一束包含不同频率的射线,可称为_____或称_____。

4. X射线的质取决于加在X射线管两端的_____,强度与_____,_____,_____有关。

5. 射线的强度是射线在_____内通过垂直于射线传播方向的_____所传递的_____。

6. 在中等原子序数物质中及射线能量为_____时,_____效应是一个极为重要的过程。

7. 材料密度愈小射线强度衰减愈_____,射线质愈硬射线强度衰减愈_____。

8. 贝可勒尔定义为_____;戈端定义为_____;希沃特定义为_____。

9. 贝可勒尔与居里的换算关系为_____;戈端与拉德的换算关系为_____;希沃特与雷姆的换算关系为_____;伦琴的法定计量单位表示值为_____。

三、问答题和计算题

1. 什么是X、 γ 射线的质、量和强度?

2. 计算X射线管的管电压为200kV,管电流为5mA时,X射线管所产生的射线最短波长。

3. 射线强度衰减有哪些规律?

4. 铁、铜、铝、铅、镁五种金属材料中,列出射线强度衰减从最小到最大的顺序,并说明理由。

5. 讲述射线胶片感光的基本原理及其过程。

6. 讲述射线与物质相互作用时可能产生的光电效应、康普顿效应、电子对产生效应的过程。