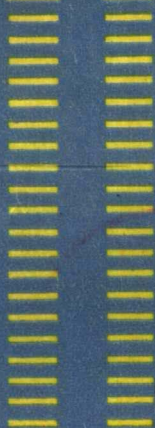


工业X射线



**INDUSTRIAL
X RAY**

王文忠译

上海交通大学出版社

工业 X 射线

王文忠 译

郑家勋 王务同 校

上海交通大学出版社

工 业 X 射 线
上海交通大学出版社出版
(淮海中路1984弄19号)
江苏常州村前印刷厂

印装：5

开本787×1092毫米 1/32 印张5 字数110000

1989年1月第1版 1989年3月第1次印刷

印数：1—3000

ISBN 7—313—00498—2/TG·11

定价：2.60元

前 言

X射线探伤方法是较为普及的一种探伤手段，它以其独特的优点愈来愈被广泛地应用于无损检测。为了使国内广大探伤人员更好地学习和掌握X射线探伤技术，促进我国X射线技术的不断发展，特将西德出版的《Industrielle Radiographie》一书翻译成中文，把国外先进的技术介绍给国内广大探伤人员。该书是根据几十年丰富的工作经验编写而成，从X射线的原理、X射线胶片的机理，到探伤人员的射线防护详尽地作了介绍。

由于译者水平有限，不妥之处在所难免。希广大从事无损检测技术的各界人士批评指正。

译 者

一九八九年三月

目 录

第一章 射线照相的辐射线

- 1-1 X射线·····(1)
- 1-2 X射线的主要性质·····(1)
- 1-3 γ 射线·····(1)
- 1-4 电磁辐射的波长·····(2)
- 1-5 辐射谱·····(3)
- 1-6 γ 射线和X射线“线质”·····(3)
- 1-7 单位·····(3)
- 1-8 SI单位·····(5)

第二章 射线源

- 2-1 X射线管·····(8)
- 2-2 X辐射谱·····(10)
- 2-3 X射线管的种类·····(14)

第三章 电路类型

- 3-1 自整流电路·····(16)
- 3-2 配有一个或二个整流管的电路·····(16)
- 3-3 Villard电路·····(16)
- 3-4 Graetz电路·····(18)
- 3-5 Greinacher电路·····(18)

第四章 专用X射线探伤装置

- 4-1 “Van de Graaff”X射线仪·····(19)
- 4-2 电子回旋加速器·····(21)
- 4-3 直线加速器·····(23)

第五章 放射源

- 5-1 放射性·····(25)
- 5-2 放射性元素的“半衰期”·····(25)
- 5-3 放射性活度·····(25)
- 5-4 活度比·····(26)
- 5-5 半阶层·····(26)
- 5-6 天然放射性元素·····(26)
- 5-7 人工放射性元素的辐射器·····(27)

第六章 照相技术

- 6-1 辐射图象和胶片上的图象·····(29)
- 6-2 散射·····(30)
- 6-3 增感屏·····(32)
- 6-4 荧光增感屏·····(32)
- 6-5 铅增感屏·····(32)
- 6-6 荧光-金属增感屏·····(33)
- 6-7 辐射的吸收·····(33)
- 6-8 光电效应·····(35)
- 6-9 康普顿效应·····(35)
- 6-10 电子偶的生成·····(36)
- 6-11 单色X射线的吸收·····(37)
- 6-12 连续射线的吸收·····(39)
- 6-13 射线过滤·····(39)

第七章 缺陷的分辨率

- 7-1 几何因素的影响·····(42)
- 7-2 焦点-胶片距离及再现刻度·····(43)
- 7-3 几何不清晰度·····(44)
- 7-4 焦点-胶片距离的缩小与图象的放大·····(45)

7-5 固有不清晰度	(46)
7-6 最佳灵敏度	(46)
7-7 缺陷深度的测定	(49)
7-8 半价层	(51)
7-9 线质和射线照相的对比度	(51)
7-10 距离平方定律	(53)
7-11 厚度差异较大工件的照相	(53)
7-12 铸件中可能存在的几种缺陷	(54)

第八章 曝光曲线图

8-1 X 射线照相用曝光曲线图的制作	(60)
8-2 曝光曲线图的应用	(64)
8-3 相对曝光系数	(64)

第九章 图像质量评定(灵敏度)

9-1 标准线质像质计	(66)
9-2 美国的像质计	(69)
9-3 英国的像质计	(70)
9-4 法国的像质计	(71)
9-5 CERL像质计	(72)
9-6 图像质量的曲线	(74)

第十章 X 射线胶片

10-1 应用	(77)
10-2 胶片结构	(77)

第十一章 有关感光学的定义

11-1 感光学	(79)
11-2 感光乳胶层	(79)
11-3 潜像	(79)
11-4 显影	(79)

11-5	显影液	(80)
11-6	黑度	(80)
11-7	对比度	(81)
11-8	光化辐射	(81)
11-9	曝光量	(81)
11-10	特性曲线	(81)
11-11	感光对比度	(83)
11-12	对比度系数	(83)
11-13	定律	(83)
11-14	梯度	(84)
11-15	平均梯度	(84)
11-16	γ 值	(86)
11-17	应用范围	(86)
11-18	曝光范围	(87)
11-19	正确的曝光量间隔	(87)
11-20	正确的曝光量范围	(88)
11-21	曝光量宽容度	(89)
11-22	显影时间的影响	(91)
11-23	调制传递函数	(93)
11-24	显影液种类的影响	(94)
11-25	推荐的显影时间	(95)
11-26	显影时间和曝光宽容度	(95)
11-27	显影温度	(95)
11-28	胶片搅动的影响	(95)
第十二章 工业X光胶片的处理		
12-1	暗室	(97)
12-2	容器	(98)

12-3	溶液的应用	(98)
12-4	显影剂	(99)
12-5	定影液	(99)
12-6	显影	(99)
12-7	胶片搅动	(100)
12-8	回收	(100)
12-9	停影液	(100)
12-10	定影	(101)
12-11	最后漂洗	(101)
12-12	脱干	(102)
12-13	X 射线胶片的保存性	(102)
第十三章 使用事项		
13-1	容器的清洗	(106)
13-2	手指污染的清除	(106)
13-3	白粉化水的处理	(106)
13-4	银的回收	(107)
第十四章 特性曲线的应用		
		(109)
第十五章 图像质量		
		(116)
第十六章 “Structurix” 胶片		
		(118)
第十七章 照相结果和底片处理的错误及其原因		
		(120)
第十八章 焊接缺陷举例		
		(127)
第十九章 射线照相纸		
19-1	图像质量	(129)
第二十章 全息照相		
20-1	光源	(131)
20-2	照相技术	(131)
20-3	应用	(135)

20-4	照相材料	(135)
20-5	处理	(136)
20-6	显影	(136)
20-7	定影	(136)

第二十一章 辐射防护

21-1	辐射的测量	(137)
21-2	辐射的单位	(138)
21-3	测量仪器	(139)
21-4	剂量率计	(140)
21-5	剂量累积计	(140)
21-6	石英纤维剂量计	(140)
21-7	胶片剂量计	(140)
21-8	最大允许辐射剂量	(141)
21-9	射线防护的基本原理	(142)
21-10	辐射束尺寸的限制	(143)
21-11	辐射时间的限制	(143)
21-12	安全屏蔽	(144)
21-13	放射源	(147)
21-14	辐射源设备	(147)

附：十进对数表

第一章 射线照相的辐射线

1-1 X射线

1895年11月8日, Wilbem Conrad Röntgen 发现了一种新射线, 他称之为X射线。在有些国家, 则不称为X射线, 而以伦琴射线称之。X射线正如可见光、热辐射和无线电波一样, 是一种电磁辐射; 其特性是能量以间断的、且被分成微粒的“量子”形式辐射。X射线是通过X射线管产生, 其能量和强度通常是可调的。

1-2 X射线的主要性质

1. X射线是不可见的;
2. X射线以直线传播, 其传播速度与光速相同;
3. 虽然X射线的行程可以因晶格而挠曲(衍射), 但采用透镜或棱镜不能改变X射线的原来方向;
4. X射线能穿透材料, 穿透能力取决于材料的类别和X射线的能量;
5. X射线是电离辐射, 即它能在材料中释放出电子;
6. X射线能损害或破坏有生命的细胞。

1-3 γ 射线

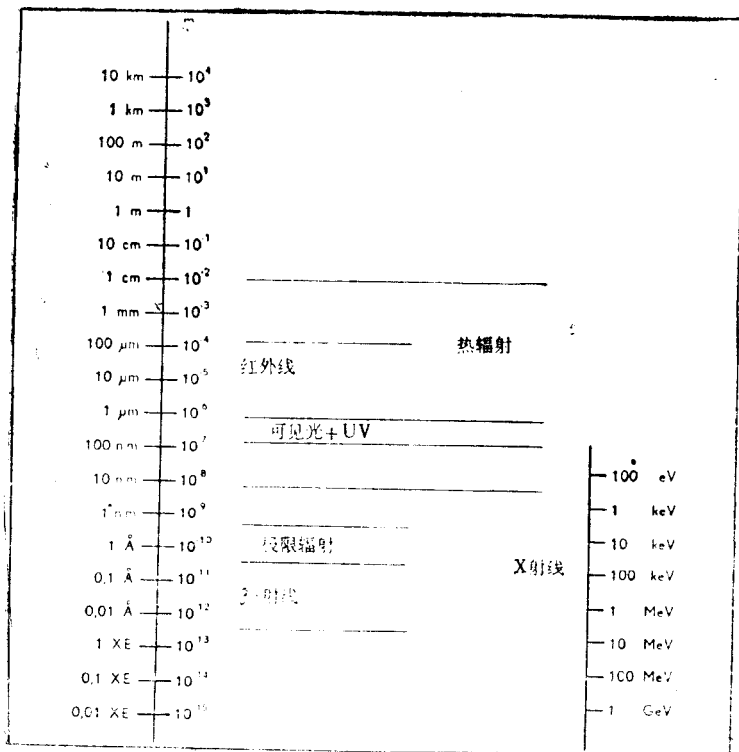
γ 射线与X射线一样也属电磁振动, 它们具有相同的特性, 但 γ 射线不是由X光管而是由放射性物质原子核蜕变时产生。 γ 射线的能量不能调节, 它依赖于射线源的性质。与辐射能量不

能调节一样， γ 射线的强度也不能调节，因为放射性物质的蜕变率是不能改变的。与X射线相同，采用吸收屏也可阻止 γ 射线的传播。

1-4 电磁辐射的波长

电磁辐射波长(λ)用m, cm, mm, μm ($1\mu\text{m} = 1/1000\text{mm}$), m ($1\text{nm} = 1/1000\mu\text{m}$) 和 \AA ($1\text{\AA} = 1/1000\text{nm}$) 为单位表示。表1

表 1



给出了X射线和 γ 射线在由磁辐射谱中的分布位置。

1-5 辐射谱

通常用作材料结构检验的X射线，是一束具有连续频谱的非均匀性辐射，並称之为“多色的”；而材料微结构即晶体分析用的，则均采用单色特征的X射线。

γ 射线由许多单一的波长(线谱)组成，其辐射特征谱与放射性同位素有关。

1-6 X射线和 γ 射线的“线质”

这两种射线的穿透力均随其能量的提高而提高。能量与波长成反比，波长短的X射线称之为“硬”射线，反之称之为“软”射线。因此，射线的“线质”可由它们对材料的穿透能力决定。

实际上，X射线的线质一般可用产生辐射所需的管电压(见表2)或用某种吸收材料的半价层来表示。

表 2

射线类	管电压 (kV)
很软的射线	<20
软射线	20~60
半软射线	60~150
硬射线	150~400
很硬的射线	400~3000
超硬射线	>3000

1-7 单位

自1962年起，I.C.R.U.(辐射计量和单位国际委员会)采的的常规单位是伦琴、拉德和居里；自1978年11月起，则采

用SI(国际制)单位。

居里(Ci)

居里(Ci)是放射源活度的单位,还可用mCi和 μ Ci为单位。

1居里表示放射性材料在每秒钟内蜕变 3.7×10^{10} 次,与1g镭/秒的蜕变速率相同。

伦琴(R)

伦琴(R)是辐射剂量的单位,亦即在空气中辐射能引起的电离效应。

1伦琴(R)表示X射线或 γ 射线在 1cm^3 纯空气(0.001293g在 0°C 时,水银空气压力表为760mm)中它能产生带正负电荷(各为1静电单位ESE)的离子。

拉德(Rad)

拉德为测定电离辐射(α 、 β 、 γ 和X射线)的吸收剂量单位。一个拉德相等于每克被照物质吸收100尔格能量。

RBE、EER、Rem

RBE、EER和Rem是监测辐射对人体影响的单位。

RBE(relative biological effectiveness相对生物效率)是指不同类型的辐射引起生物效应相互比较得出的函数。几种辐射的RBE值如下:

X和 γ 射线 = 1

β 射线 = 1

α 射线 = 20

快中子 = 10

RBE是通过实践中求得的值,也就是与不同类型辐射比较的生物函数。如将不同生物系列加以比较,则要涉及EER(equal effect ration当量效率),同时,根据不同类型的辐射、能量和质量测出线质系数Q。该值对辐射防护具有特殊

意义。

Rem(röntgen equivalent man 个人剂量当量), 是用以描述人体受各种辐射的生物效应率。此值可通过Rad乘上RBE值后求得, 剂量当量的国际单位是J/kg(焦耳/公斤)。

1-8 SI 单位

自1970年起, I.C.R.U.就优先采用SI即国际单位。基本国际单位是:

1米(m) = 长度单位

1秒(s) = 时间单位

1公斤(kg) = 重量单位

1安培(A) = 电流强度单位

1开尔文(K) = 温度单位

1烛光(cd) = 发光强度单位

根据上述基本国际单位推导出下述单位:

1焦耳(J) = $1\text{kgm}^2/\text{s}^2 = 1\text{瓦(特)秒} = \text{能量单位}$

1伏特(V) = $1\text{J}/\text{As} = \text{电压单位}$

1牛顿(N) = $1\text{kgm}/\text{s}^2 = 1\text{J}/\text{m} = \text{力的单位}$

1帕斯卡(Pa) = $1\text{N}/\text{m}^2 = 1\text{kg}/\text{ms}^2 = \text{压力单位}$

1韦伯(Wb) = $1\text{Vs} = \text{磁通量的单位}$

1库仑(C) = 电量单位

电离辐射也采用国际单位。光子能量的单位仍采用电子伏(特)(eV)。电子伏(特)的复数为千伏(特)($1\text{kV} = 1,000\text{eV}$)和兆伏(特)($1\text{MeV} = 1,000,000\text{eV}$), 1eV 国际单位为 $1.602 \times 10^{-19}\text{g}$ 。

5A

大气孔，铝合金；厚度8 mm，60kV，5 mA，15sec，
FFA100cm，D7 胶片。

表 3

量值名称	惯用系列	国际单位
放射性活性	1居里=1Ci=3.7×10 ¹⁰ 次蜕变/秒	3.7×10 ¹⁰ s ⁻¹
电离剂量	1伦琴=1R	2.58×10 ⁻⁴ C/kg
能量吸收剂量	1拉德=1Rad	10 ⁻² J/kg
剂量当量*	1雷姆=1Rem	10 ⁻² J/kg
剂量率	1伦琴/秒=1R/s	2.58×10 ⁻⁴ C/kg 单位:A/kg=C/kg.s

* 1973年取名

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

$$1\text{C}/\text{kg}\cdot\text{s}=9.876\text{R}/\text{s}$$

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

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