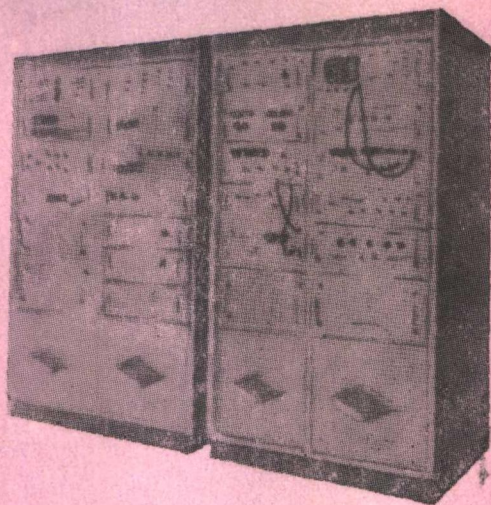
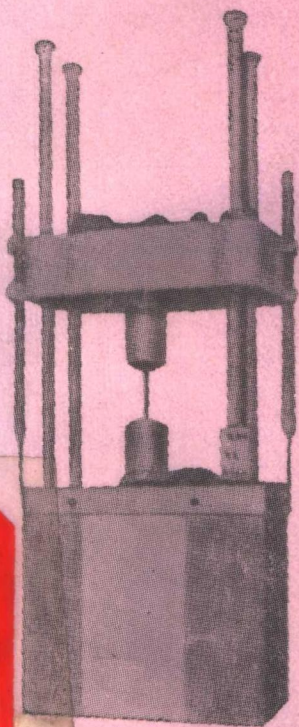


试验机丛书

射线探伤装置

余长江 王吉先 郑西振 编著



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书比较详细地介绍了射线探伤基本理论, 射线照相技术及射线探伤机的结构、原理、使用、维护和常见故障的分析及排除方法; 还介绍了射线探伤机的发展趋势、探伤用附件及测量仪器和辐射线的危害及防护。

本书可供从事射线探伤工作的科研、设计、使用与维修人员参考, 亦可作为高等院校有关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

射线探伤装置/余长江, 王吉先, 郑西振编著. —北京: 机械工业出版社, 1994

试验机丛书/中国仪器仪表学会试验机学会主编)

ISBN 7-111-01167-4

·射… I. 余… II. ①射线探伤机; 无损探伤仪②无损探伤仪; 射线探伤机 IV. TH878

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第00154号

出版社: 机械工业出版社(北京市百万庄南街一号 邮政编码100037)

责任编辑: 周金生 版式设计: 霍永明 责任校对: 刘志文

封面设计: 王 芬 责任印制: 王国光

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1994年8月第1版·1994年8月第1次印刷

787mm×1092mm¹/₃₂·14.25印张·311千字

0 001—5200册

定价: 12.50元

前 言

试验机是在各种条件、环境下测定金属材料、非金属材料、机械零件等的力学性能、工艺性能、内部缺陷和校验旋转零部件动态不平衡量的仪器。在研究探索新材料、新工艺、新技术和新结构的过程中，试验机是一种不可缺少的重要测试仪器。它广泛应用于机械、冶金、石油、化工、建筑、航空、造船和交通运输等工业部门及大专院校等，对有效使用材料，改进工艺、提高产品质量、降低成本、保证产品安全可靠等都具有重要作用。

近年来，我国试验机及其试验测试技术水平都取得了较快的发展，从事这方面工作的人员也大量增多，为了适应新形势发展的需要，帮助有关人员了解和掌握试验机的基本知识，我们组织编写了这套试验机丛书。

《射线探伤装置》一书是试验机丛书之一，它是结合我国射线探伤装置的特点和射线探伤工艺现状而编写的。

本书在文字叙述上力求深入浅出、简明易懂，在内容上重点阐述了射线探伤的理论基础，射线探伤装置的原理、结构、用途，并介绍了射线探伤装置的使用、维护、修理以及发展趋势，同时也介绍了照相技术和辐射线危害及防护等。

本书共分九章，第一、二、四、六章由丹东射线仪器集团公司高级工程师余长江、丹东仪表研究所高级工程师王吉先和长春材料试验机研究所高级工程师郑西振共同编写；第五、八、九章由余长江编写，第三、七章由王吉先编写。全

书由余长江主编、王吉先审阅。

本书由全国无损检测学会常务理事、长春材料试验机研究所高级工程师马羽宽主审。

本书在编写过程中，得到丹东射线仪器集团公司等有关企业和科研单位的大力支持和帮助，特别是丹东射线仪器（集团）股份有限公司董事长关志良和丹东射线仪器集团公司刘永智总经理以及山东烟台福山区西苑科技开发公司吕健总经理给予极大支持和关怀。也得到刘宝金、王秋霞同志大力协助并付出了辛勤劳动，在此一并表示衷心谢意。

由于我们水平所限，书中不当之处甚至错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 射线探伤的基础.....	1
第一节 X射线的发现	1
第二节 射线探伤的基本原理	2
第三节 射线照相的基本原理	2
一、粒子辐射线	2
二、电磁辐射	3
第四节 X射线和 γ 射线的基本性质	5
一、X射线具有电磁波与光子流二重性	5
二、X射线与物质相互作用	5
三、物质对射线的衰减	10
四、X射线穿透物质的作用	11
五、X射线的线质	15
六、X射线的折射	17
七、X射线的电离作用	17
八、X射线的荧光作用	17
九、X射线的生化作用	18
第五节 X射线和 γ 射线产生的条件	19
一、X射线产生的条件	19
二、 γ 射线产生的条件	20
第六节 X射线的种类与特性	21
一、连续X射线谱	21
二、标识X射线	28
第七节 γ 射线源的特点和种类	32

一、 γ 射线的特点	32
二、 γ 射线源的种类	34
第二章 X射线探伤机的基本组成部分	39
第一节 X射线管	39
一、X射线管的结构与分类	39
二、X射线管的阴极	47
三、X射线管的阳极	49
四、X射线管的焦点	51
五、X射线管的真空度	57
六、X射线管的冷却	59
七、X射线管的灯丝发射特性	61
八、X射线管的主要性能测试方法	64
第二节 X射线探伤机的整流电路	73
一、半波自整流电路	74
二、半波整流电路	77
三、全波整流电路	79
四、半波倍压整流电路	82
五、恒电压倍压整流电路	84
第三节 X射线探伤机的高压系统	88
一、高压变压器	89
二、灯丝变压器	102
三、冷却油泵和水泵	104
四、温度保护装置	105
五、高压元器件	106
六、绝缘介质	106
七、高压电缆及插头插座	109
八、X射线发生器	110
第四节 X射线探伤机的低压系统	111
一、控制装置	111
二、显示和保护装置	119

第三章 典型X射线探伤机结构原理	121
第一节 概述	121
一、X射线探伤机的分类	121
二、X射线探伤机结构特征	122
三、X射线探伤机工作原理简介	125
第二节 XXV系列携带式X射线探伤机	126
一、用途	127
二、结构特征	127
三、电路分析	128
第三节 XXQ系列携带式X射线探伤机	133
一、结构	133
二、工作原理	135
三、微机控制中心简介	153
第四节 XY系列移动式X射线探伤机	154
一、操纵台	155
二、高压发生器	166
三、射线管头	169
四、冷却装置	170
五、高压电缆	173
第五节 其他类型X射线探伤机简介	174
一、XY-0530移动式软X射线探伤机	174
二、XYM-400(1000)型脉冲式X射线机	174
第四章 X射线探伤机的故障及修理	177
第一节 检查故障的基本方法	177
一、检修X射线探伤机应具备的条件和要求	177
二、检修时应注意事项	178
三、判断故障的程序	180
四、检查故障的方法	185
第二节 X射线探伤机常见故障及其原因	194
一、操纵台的故障	194

二、高压系统的故障	201
三、X射线探伤机在运行中常见故障	215
四、透照影像不清晰和穿透能力降低	219
第三节 国产常用X射线探伤机故障分析	220
一、XXY-2005型携带式X射线探伤机的故障分析	220
二、XXQ-2505型携带式X射线探伤机的故障分析	225
三、XYG-4010/3型移动式X射线探伤机的故障分析	228
第四节 X射线探伤机的修理方法	230
一、更换X射线管的工艺要求	230
二、修理高压变压器的工艺要求	231
三、关键工艺处理的要点	232
第五节 X射线探伤机的使用和维护保养	236
一、X射线探伤机的选择	236
二、X射线探伤机的安装	237
三、X射线探伤机的训练	239
四、X射线探伤机的使用	240
五、选择X射线探伤机的工作条件	241
六、X射线探伤机的维护保养	243
第五章 其他射线探伤装置	246
第一节 放射性同位素的应用	246
一、放射性同位素	247
二、放射性同位素在探伤上的应用	250
第二节 γ 射线探伤装置	255
一、 γ 射线探伤装置的特点	255
二、 γ 射线探伤装置的选择	256
三、确定 γ 射线探伤作业的条件	257
四、国内 γ 射线探伤情况	262
第三节 中子及中子射线探伤装置	265
一、中子源的获取	265
二、中子射线探伤检测的特点	266

三、中子射线无损检测照相方法	266
四、国内外中子射线探伤情况	269
第四节 高能射线探伤装置	271
一、电子感应加速器	271
二、直线电子加速器和微波电子加速器	274
第五节 X射线特种探伤方法	276
一、X射线电离法探伤	276
二、快速X射线探伤法	277
三、工业用X-CT简介	278
第六章 射线探伤附件	280
第一节 工业用X射线胶片	280
一、工业用X射线胶片结构	280
二、X射线胶片感光效应的基本特点	282
三、X射线胶片感光材料的特性	284
四、X射线胶片的分类和用途	292
第二节 增感屏	297
一、荧光增感屏	298
二、钡氟化钡稀土增感屏	303
三、金属箔增感屏	306
四、金属荧光增感屏	309
五、国产增感屏简介	309
第三节 像质计	310
一、金属丝像质计	310
二、沟槽像质计	317
三、孔板像质计	318
四、像质计的灵敏度计算图	320
第四节 黑度计	323
一、射线底片的黑度概念	323
二、底片黑度的测量	325
第七章 射线探伤机的发展趋势	327

X

第一节 射线源的发展趋势	327
一、X射线管焦点微型化	327
二、X射线管体积小型化	327
三、X射线管寿命的延长	328
四、发射软射线的超薄钛窗口X射线管	328
五、高能射线探伤加速器日趋小型化和可靠性提高	329
第二节 X射线探伤机的发展趋势	331
一、携带式X射线探伤机	331
二、移动式X射线探伤机	332
第三节 荧光透视装置的发展趋势	333
一、荧光透视装置	333
二、几种新型荧光透视装置	335
第四节 其他探伤装置的发展趋势	338
一、X射线管道爬行器	338
二、闪光(脉冲)X射线探伤机	339
三、检验复合材料的X射线探伤机	339
四、探头检测式X射线探伤装置	340
五、中子射线探伤装置	341
第八章 射线照相检测技术	342
第一节 射线源的选择	342
第二节 透照条件的选定	343
一、对比度	343
二、像质计的选择及应用	346
三、射线能量的选择及曝光曲线的制做	348
四、增感屏的选择	352
五、焦距的选择	355
六、X射线探伤机的焦点选择	358
第三节 透照措施	358
一、透照准备工作	359
二、射线照相检验方法	359

三、射线照相中对散射线的防护措施	365
第四节 胶片的暗室处理	368
一、显影液的配制与显影操作	368
二、定影液	372
三、定影作用及定影剂	373
四、底片的水洗与干燥	375
第五节 射线照相结果的评定	375
一、铸件中常见缺陷及其在底片上的特征	376
二、焊缝中常见缺陷及其在底片上的特征	378
三、缺陷位置的确定	381
第九章 电离辐射的危害及防护	384
第一节 电离辐射的危害	385
一、躯体效应	385
二、遗传效应	386
三、慢性小剂量照射对人体的危害	386
第二节 辐射剂量及单位	387
一、照射量	388
二、吸收剂量	389
三、照射量与吸收剂量的关系	389
四、剂量当量和剂量当量率	392
五、电离辐射的单位制	394
第三节 电离辐射防护标准	395
一、辐射防护标准的发展	395
二、ICRP的新建议	396
三、我国现行的放射性防护标准	397
四、工作场所剂量监测和个人剂量监测	399
第四节 X射线和γ射线的防护	401
一、间接防护	402
二、时间防护	402
三、距离防护	403

四、屏蔽防护	404
五、放射线卫生预防措施	418
附录	419
附录A 射线探伤中常用的法定计量单位	419
附录B 常用单位的换算及常数表	424
附录C 丹东射线仪器(集团)股份有限公司生产的主要 产品	436
附录D 丹东射线仪器(集团)股份有限公司生产的X射线管	438
参考文献	442

第一章 射线探伤的基础

第一节 X射线的发现

X射线是德国著名物理学家W.K.伦琴(W.K. Röntgen)在研究阴极射线管时，偶然发现的。1895年11月8日伦琴在一个嵌有两个板形电极的低真空玻璃管的两极间加上几万伏电压，偶然发现一种用肉眼看不到的“光线”，它能使放在旁边的涂有铂氰化钡的纸板发出可见的荧光，并且在涂有铂氰化钡的纸板上发现了伦琴的手部骨骼影像。进一步实验，还发现它能穿透许多物质，诸如衣服、纸板，甚至页数很多的书本，并能使胶片感光，X射线就这样被发现了。

1896年初，一件耸人听闻的消息轰动了世界上所有的大学和科学院，不大出名的德国教授伦琴发现了一种新光线，它具有的性质使人吃惊，这种新光线能穿透各种物体，而且能在漆黑的地方照相。

新光线发现不久，马上就有人想把这种新光线用到实际中去。例如，在伦琴发现新光线的消息传到美国的第四天，就有一位医生利用新光线来检查受枪伤的病人，看有没有子弹留在他身体里。

由于当时对这种新光线的性质不甚了解，便借用数学上未知数“X”来代表，故称之为X射线。后来，人们为了纪念伦琴的伟大发现，又称为伦琴射线。

X射线的发现，在人类科学史上具有划时代的意义，它

促进了自然科学、医学和工业技术的发展。

第二节 射线探伤的基本原理

工业上广泛应用射线照相来发现工件内部存在的缺陷，分析其形成的原因和规律，评价这些缺陷对工件使用性能的影响，以便改进设计或工艺，进一步提高产品质量，降低生产成本，避免恶性事故的发生。

利用射线对材料具有一定的穿透能力及其在穿透材料过程中，不同物质和不同的物体结构对射线衰减程度各不相同，从而使缺陷在照相软片或电视荧光屏上形成影像，借以判断工件内部的缺陷和完整性。射线检测原理如图1-1所示，辐射源照射工件，X射线胶片放在工件的底面，由于有缺陷的材料与没缺陷的材料吸收射线不同，所以工件的缺陷显影在底片上，借助于缺陷的图象，可以判断工件的质量。

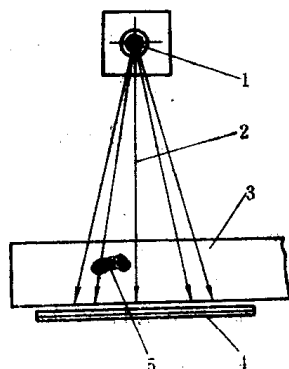


图1-1 射线检测原理图

- 1—辐射源 2—射线 3—被
检测工件 4—胶片暗袋
5—工件缺陷

第三节 射线照相的基本原理

韦伯斯特曾给出过射线辐射的定义，即“辐射，乃由于分子或原子内部变化而发射能量的过程”。就是说在空间里，以高速运动的微小粒子和其通道上的原子或分子发生碰撞，反跳，从而被吸收，或至少改变其速度或方向，最终放出能量，这种能量就是辐射。

用于工业射线探伤的辐射线可分为粒子辐射线和电磁辐射线。

一、粒子辐射线

(一) α 粒子

由原子核放出的带正电的粒子(质子)与物质互相作用而被急剧吸收,因而在射线探伤上没有实用价值。

(二) β 粒子

β 粒子是从围绕原子核的轨道上跳出的电子。 β 粒子在与其他原子或分子互相作用时,产生具有重要意义的辐射效应,这种效应是影响整个射线照相过程的X射线束的基础。

(三) 中粒子(中子)

中粒子一般存在于原子核中,不带电,但具有相当大的质量,而且运动速度高,具有很大的动能。它与许多元素的原子和分子相互作用,常常会释放出 α 粒子、 β 粒子和 γ 辐射线。另外各种物质对中子的衰减(吸收)情况,有时与X射线、 γ 射线相反。由于中子有这种特殊现象,它在工业探伤中有独特的用途。

α 粒子、 β 粒子和中粒子在工业探伤中的应用将在第五章中详细讲述。

二、电磁辐射

所谓的电磁辐射,是指以电磁波的形式向外传播能量,它属于电磁波的一种。电磁辐射的波长、频率范围很宽,它同时具有粒子辐射的性质。从波长最短的宇宙射线到 γ 射线—X射线—紫外线—可见光,而终结于有最长波长的无线电波。X射线和 γ 射线所占据的频谱段是电磁波中波长极短的那一部分,部分电磁波频谱如图1-2所示。由图可以看出X

射线与紫外线和 γ 射线的波长界限以及 γ 射线与宇宙射线的波长界限都不是十分明确的，而且相互搭接。

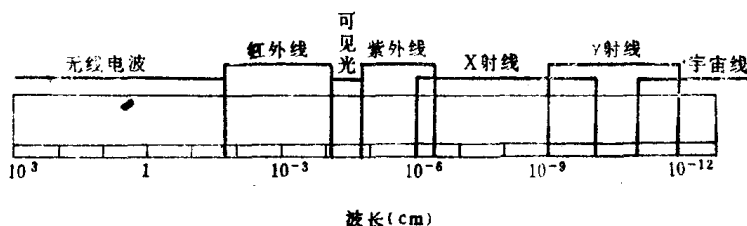


图1-2 部分电磁波频谱

电磁波辐射可用波的运动来描述，其波长和频率可用数学公式来表达。任何电磁波辐射，其波长和频率的乘积均为常数，即

$$c = \lambda f \text{ 或 } f = c/\lambda \text{ 或 } \lambda = c/f \quad (1-1)$$

式中 f ——频率 (Hz);

λ ——波长 (cm);

c ——光速度, $c \approx 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ 。

光子(量子)的能量是其辐射频率或波长的函数，其公式可写成

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (1-2)$$

式中 E ——能量 (eV);

h ——普朗克常数, $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 。

由此可见，随着电磁辐射波长的减小，其频率和能量增大，穿透物质的能力也增大。有时把X射线和 γ 射线这类电磁波辐射常称为“穿透辐射”。然而有些波长较长的电磁波也具有穿透物质的能力。

第四节 X射线和 γ 射线的基本性质

X射线和 γ 射线虽然都是电磁波，但它们的生成和谱线状态是不同的。X射线是连续波谱， γ 射线是线状波谱。然而， γ 射线与物质互相作用时，谱线却有连续化的倾向。因此，它们两者的性质又是完全相同的。就是说下边讲述的X射线的性质对 γ 射线是完全适用的。

一、X射线具有电磁波与光子流二重性

X射线具有电磁波与光子流的双重性。光子的运动方向同电磁波的传播方向相同，X射线在真空中是以射线源（X射线管焦点）为中心，以球面波形式向四周传播。若从光量子的角度考虑，X射线的光量子是由射线源向外呈放射状（同电磁波的波面相垂直）直线传播。

二、X射线与物质相互作用

X射线穿过物质时，使物质受到影响。一部分光子可能从物质的原子间隙中穿过，不发生任何作用；另一部分光子能与物质中原子的轨道电子或原子核发生不同形式的作用。同时X射线也受到物质的影响，使物质吸收部分X射线，且使部分X射线改变传播的方向，我们把这种现象称为X射线与物质的相互作用。

X射线与物质相互作用，主要有光电效应、汤姆逊效应、康普顿效应及电子对效应四种形式，而产生这四种效应的几率大小，则取决于光子能量和物质的原子序数。

（一）光电效应

光电效应是光子将其能量传给电子的过程之一。当一个具有 $h\nu$ 能量的X射线的光子撞击原子内层轨道上的一个电子，将自己的一部分能量用于击脱这个电子与原子核的结合