

GONGYE WUSUN JIANCE JISHU

# 工业无损检测技术

( 射线检测 )

夏纪真 编著

中山大学出版社

GONGYE WUSUN JIANCE JISHU

# 工业无损检测技术

( 射线检测 )

夏纪真 编著

中山大学出版社

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

工业无损检测技术: 射线检测/夏纪真编著. —广州: 中山大学出版社,  
2014. 2

ISBN 978 - 7 - 306 - 04803 - 5

I. 工… II. ①夏… III. ①无损检验②射线检验 IV. ①TG115. 28

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 006875 号

---

出版人: 徐 劲

策划编辑: 郭 升

责任编辑: 施国胜

封面设计: 林绵华

责任校对: 施国胜

责任技编: 黄少伟

出版发行: 中山大学出版社

电 话: 编辑部 020 - 84111996, 84113349

发行部 020 - 84111998, 84111981, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275 传 真: 020 - 84036565

网 址: <http://www.zsup.com.cn> E-mail: [zdcbs@mail.sysu.edu.cn](mailto:zdcbs@mail.sysu.edu.cn)

印 刷 者: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

规 格: 787mm × 1092mm 1/16 24.5 印张 440 千字

版次印次: 2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 2000 册 定 价: 59.80 元

---

如发现本书因印装质量影响阅读, 请与出版社发行部联系调换

## 作者简介

夏纪真 (Xia Jizhen): 高级工程师, 男, 汉族, 1947 年生于广州市, 祖籍江苏高邮。

1991 年获得航空航天工业部有突出贡献的中青年科技专家称号。

1992 年获得国务院授予的有突出贡献专家称号并终身享受国务院的政府特殊津贴。

2000 年 4 月创建并主持无损检测技术专业综合资讯网站至今。无损检测资讯网 (www.ndtinfo.net) (具有简繁体中文与英文版)。

1960 年毕业于中山大学附属小学, 1965 年毕业于广东省广雅中学, 1970 年毕业于哈尔滨军事工程学院空军工程系飞机电器专业 (哈尔滨军事工程学院最后一期学员)。

从事过多种技术工作 (锻造、电器、电子仪表、理化测试、无损检测、计算机等), 曾长期在航空工业系统生产第一线 (贵州安顺) 工作和具有在高等院校 (南昌航空工业学院无损检测教研室) 从事大专、本科专业教学, 科研与科技开发以及在广州某大型国企从事质量管理和计算机技术工作等实践经历。

历任航空工业系统某锻造厂无损检测组组长、南昌航空工业学院无损检测专业教研室副主任和昌航高新技术开发公司副总经理、广州某大型国企集团的机械公司质量管理部副部长兼理化计量测试中心主任和集团公司计算机与信息中心主任等职, 曾任航空航天工业部无损检测人员资格鉴定考核委员会委员、中国机械工程学会无损检测专业委员会教育培训科普工作委员会副主任、中国机械工程学会无损检测专业委员会会刊《无损检测》杂志编委、贵州省机械工程学会无损检测分会常务理事、江西省机械工程学会无损检测分会副秘书长、广东省机械工程学会理事、广东省机械工程学会无损检测分会理事长等, 原航空航天工业部无损检测人员超声检测、磁粉检测和渗



透检测的高级技术资格、劳动部锅炉压力容器无损检测人员超声检测高级技术资格。自1982年起长期兼职从事无损检测人员的技术资格等级培训考核工作30多年,1991—1993年间还担任闽台超声波检测、射线检测研讨班的主讲教师和考核工作。

专长于无损检测技术,尤其在超声波检测方面有较高造诣,在国际和全国性杂志与学术会议发表论文30多篇、译文30多篇,编写出版专业教材和专著13部,从事科研课题数十项,开发新产品9项,曾获国家科技进步1等奖,航空工业部与国防工业重大科技成果、科技成果1、2等奖等。

现任中国机械工程学会无损检测专业委员会教育培训科普工作委员会委员、辽宁省无损检测学会会刊《无损探伤》杂志特邀编委、北京理工大学珠海学院“应用物理(无损检测方向)”兼职责任教授。2009年3月获得中国机械工程学会无损检测专业委员会30周年(1978—2008)学会优秀工作者荣誉。2013年9月获得中国机械工程学会无损检测专业委员会35周年(1978—2013)学会“特殊贡献奖”。

自1996年起陆续被收入《中国高级专业技术人员辞典》(中国人事出版社)、《中国专家大辞典》(国家人事部专家服务中心)、《数风流人物——广州市享受政府特殊津贴专家集》(广州市人事局)、《中国设备工程专家库》(国家级专家,中国设备管理协会)、《广州市科技专家库》(广州市科技局)等。

地址:中国广州市海珠区新港西路135号中山大学西北区534座203室  
邮编:510275

手机:13922301099 E-mail: xjz@ndtinfo.net

# 前 言

传统的工业五大常规无损检测技术主要指超声检测（UT）、射线照相检测（RT）、渗透检测（PT）、磁粉检测（MT）和涡流检测（ET），俗称“五大常规”检测，本书是已出版《工业超声波无损检测技术》、《工业无损检测技术》（磁粉检测）和《工业无损检测技术》（渗透检测）之后关于射线无损检测技术的专述。

本书定稿之时恰逢作者从事无损检测技术工作达 40 周年。

本书是作者集多年从事生产第一线射线无损检测技术工作的实践经验，从事科研与技术咨询服务，开展射线无损检测人员技术资格等级培训的讲稿等为基础，以及出于对射线无损检测技术的兴趣而进行的研究和资料搜集积累，作了尽可能全面的综合与系统化整理而成，希望能为我国广大无损检测技术人员提供有益的参考，希望对长江后浪推前浪，一代又一代新人辈出贡献自己一份微薄之力以及表达自己对无损检测技术热爱之情。

本书侧重于实际应用，有关射线无损检测的物理基础理论方面仅作了必要与简练的阐述。

本书适合作为大学本科无损检测专业教材（128 学时，含实验课），并可作为大专、高职层次的无损检测专业参考教材和各行业领域中无损检测技术人员的工作参考书，对报考初、中、高级射线无损检测技术资格等级的人员也有重要的参考价值。

本书对以无损检测为研究方向的硕士、博士有开拓思路的参考作用，对从事非无损检测专业工作的工程技术人员也有重要的参考价值。

本书中的“以图像增强器为基础的 X 射线实时成像检测技术”部分得到曾祥照高级工程师提供的不少资料支持，在此表示衷心感谢。

夏纪真

2013 年 12 月于广州

# 目 录

第一篇 射线检测的物理基础.....	1
1.1 原子与原子结构 .....	1
1.2 工业射线无损检测中应用的射线种类 .....	3
1.2.1 X射线 .....	3
1.2.2 $\gamma$ 射线 .....	8
1.2.3 $\alpha$ 射线 .....	11
1.2.4 $\beta$ 射线 .....	11
1.2.5 中子射线 .....	12
1.3 射线的能量与强度 .....	14
1.3.1 射线的能量 .....	14
1.3.2 射线的强度 .....	15
1.4 射线与物质的相互作用 .....	17
1.4.1 射线的吸收与散射 .....	18
1.4.2 射线与物质的其他相互作用 .....	27
1.4.3 射线在物质中的散射对射线检测的影响 .....	27
1.5 放射性辐射的安全防护 .....	29
1.5.1 射线辐射安全防护的基本概念 .....	29
1.5.2 射线辐射安全防护的基本要求 .....	39
1.5.3 射线安全防护的基本方法 .....	43

1.5.4	辐射监测 .....	56
1.5.5	防护设施与程序控制 .....	64
1.5.6	射线检测工作者的自我保健 .....	71
第二篇	射线照相检测技术 .....	73
2.1	射线照相检测的基本原理 .....	73
2.2	射线照相检测设备与器材 .....	77
2.2.1	X射线机 .....	77
2.2.2	$\gamma$ 射线机 .....	120
2.2.3	加速器 .....	130
2.2.4	工业射线胶片 .....	131
2.2.5	射线照相辅助设备器材 .....	147
2.3	射线照相检测工艺 .....	167
2.3.1	与射线照相检测工艺相关的基本概念 .....	167
2.3.2	X射线照相检测透照工艺 .....	176
2.4	射线照相检测图像质量的影响因素 .....	210
2.4.1	影像形成的简单分析 .....	210
2.4.2	影像质量的影响因素 .....	212
2.4.3	影像质量评定 .....	217
2.5	暗室处理 .....	220
2.5.1	暗室基本知识 .....	220
2.5.2	暗室设备器材使用知识 .....	221
2.5.3	胶片处理程序和操作要点 .....	223
2.5.4	胶片处理药液的配方与处理技术 .....	225
2.6	底片评定 .....	233
2.6.1	评片的基本要求 .....	233



2.6.2	评片示例 .....	237
2.7	射线照相检测的质量控制 .....	257
2.7.1	射线照相检测人员的技术资格等级控制 .....	257
2.7.2	射线照相检测设备器材的质量控制 .....	258
2.7.3	射线照相检测工艺的质量控制 .....	258
2.7.4	示例 .....	261
2.8	中子射线照相检测技术简介 .....	266
第三篇	数字 X 射线成像检测技术 .....	268
3.1	以图像增强器为基础的 X 射线实时成像检测技术 .....	269
3.1.1	X 射线实时成像检测系统的基本构成 .....	269
3.1.2	X 射线实时成像检测系统的性能与评价方法 .....	299
3.1.3	X 射线实时成像检测工艺 .....	312
3.1.4	X 射线实时成像检测系统的应用实例 .....	326
3.2	CR 技术 .....	334
3.3	DR 技术 .....	340
3.4	CR 技术与 DR 技术的共同点与差异 .....	349
3.4.1	CR 技术与 DR 技术的共同点及相对于传统增感屏— 胶片系统的优点 .....	349
3.4.2	CR 与 DR 的差异 .....	352
3.5	工业 CT 技术 (计算机辅助层析扫描射线检测技术) .....	353
3.6	其他数字 X 射线成像检测技术 .....	362
3.6.1	胶片扫描数字成像系统 (FDR) .....	362
3.6.2	平板扫描仪 .....	363
3.6.3	基于光纤耦合 CCD 的射线成像系统 .....	366
3.7	数字 X 射线成像检测技术尚存在的不足 .....	367

第四篇 其他射线检测技术简介 .....	369
4.1 中子活化分析 .....	369
4.2 荧光 X 射线检测 .....	370
4.3 $\beta$ 射线反向散射法 .....	372
4.4 辐射测厚 .....	372
4.5 放射性气体吸附检测 .....	373
4.6 穆斯堡尔谱分析 .....	373
4.7 正电子湮灭技术 .....	374
4.8 X 射线表面残余应力测试技术 .....	376
4.9 康普顿散射成像检测技术 .....	377
主要参考文献 .....	379

# 第一篇 射线检测的物理基础

## 1.1 原子与原子结构

按照原子物理理论，物质由原子组成，原子是组成单质和化合物分子的有质量、有尺寸的最小微粒（粒子）。

原子由原子核和若干个围绕原子核在一定轨道上作行星运动旋转的核外电子所构成。

原子核由中子和质子组成，中子呈中性（不带电荷），质子带正电荷（因此常把质子数称为核电荷数）。原子核的密度非常大，原子的质量几乎集中在原子核内（用原子量表示大小），原子的质量（原子量）等于原子核的质子数和中子数之和，不同数量的质子和不同数量的中子构成了不同性质的原子核。原子的半径一般在  $10^{-9}$  mm 数量级，原子核的半径一般在  $10^{13}\sim 14$  mm 数量级。

原子核带正电荷，电子带负电荷，电子的数量与原子核的质子数对等，因此原子对外呈现为中性。

例如，氢（H）是最小的原子，它的原子核内只有一个质子，而较大的原子其原子核内质子及中子的数目则很多。例如，碳 12 的原子核内有 6 个质子和 6 个中子，而铀 238 的原子核内有 92 个质子和 146 个中子。

又如工业射线检测中常用到的  $\gamma$  射线源之一的放射性同位素钴 60（在工程上常常简写为  $^{60}\text{Co}$ ）有 27 个质子和 33 个中子，因此其原子量就是  $27 + 33 = 60$ ，在工程上表示为  $^{60}_{27}\text{Co}$ ，即其原子量为 60，质子（核电荷）数为 27，则中子数为  $60 - 27 = 33$ 。同样还有铱 192（ $^{192}\text{Ir}$ ）、铯 137（ $^{137}\text{Cs}$ ）、硒 75（ $^{75}\text{Se}$ ）等。

我们把具有相同质子数（核电荷数）的同一类原子称为元素，将元素的核电荷数按顺序排列就构成了元素周期表，元素在元素周期表上的排列序号叫原子序数（atomic number）。原子序数在数值上等于原子核的核电荷数（即质子数）或中性原子的核外电子数。

原子核外的电子围绕原子核在距离原子核不同距离的若干轨道上做圆周运动，形成行星结构，每一轨道形成一个电子层（壳），每一电子层上容纳的电子数是一定的，其规律为  $2n^2$  个（ $n =$  层数），电子首先在内层上排满后，多余的电子才会向外形成新的电子层，例如，最接近原子核的第一轨道上有 2 个电子，稍远一点的第二轨道上有 8 个电子，以此类推。

每一层的电子与原子核具有一定的结合能（能级），并且围绕原子核有一定的旋转速度，距离不同，电子所具有的与原子核的结合能和本身的运动速度不同。整个原子处在平衡状态（所需能量为最低）时也就是最稳定的状态（称为基态）。

如果有外来能量施加给某层电子使它从一个低能级轨道变到另一个高能级轨道时，称为电子跃迁，这样就会破坏原子的稳定状态，总的能量增高，原子进入激发状态，这是一种不稳定的状态，任何不稳定状态的原子都有自动恢复到稳定状态的趋势，在此过程中将释放高出稳定状态时的能量，亦即有辐射发生，这可能是光辐射，也可能是放射性辐射等，释放能量的过程可能是一次性释放而恢复到稳定状态，也可能是逐渐释放恢复到稳定状态。

决定元素化学性质的是原子的质子数（核电荷数）而不是原子质量数，一种物质变成另一种物质的实质是原子核的变化。大多数物质的原子核是稳定不变的，即能长期保持原来的状态，但是有些物质的原子核是不稳定的，即便在无外界作用下也会自发地发生某些变化去趋向形成稳定的元素，这些不稳定的原子核在发生变化的同时会释放出各种各样肉眼看不见也感觉不到的粒子（如  $\alpha$  粒子、 $\beta$  粒子、 $\gamma$  光子或中子、质子等）及能量，只能用专门的仪器才能探测到，这种现象就是“放射性”（radioactivity），这一变化过程称为放射性衰变。放射现象是由原子核内部变化引起的，同核外电子状态的改变关系很小，不稳定的原子核经过衰变达到稳定状态后才会停止放射，成为衰变产物（转变为稳定的另一种元素的原子核，例如铀和钍衰变为铅）。

处于基态的稳定性原子核不会发生衰变，如稳定同位素，只有处于激发态的不稳定原子核（不稳定同位素）才会有衰变发生。释放出来的粒子或能量（后者以电磁波方式射出）统称为辐射。

例如，钴 58.9 衰变后变成镍 58.6，钍 232 衰变为铅 207，碘 126.9 衰变

为氡 131.3, 氦 222 衰变为钋 208, 铀 238 衰变生成氦 222 等。

具有放射性的物质有两类, 一种是天然的放射性物质 (如铀、钍、镭、钷等, 放射出  $\alpha$ 、 $\beta$  或  $\gamma$  射线, 还有正电子、质子、中子、中微子等其他粒子); 另一种是人工放射性物质, 这是利用核反应的方法获得的放射性同位素 (radioisotope)。

## 1.2 工业射线无损检测中应用的射线种类

就射线而言, 其种类包括电磁波和粒子两大类, 属于电磁波类的如  $X$  射线、 $\gamma$  射线, 以及红外线、紫外线、微波……属于粒子类的如  $\alpha$  射线、 $\beta$  射线 (电子射线)、质子射线、中子射线……

工业射线无损检测中应用的是放射性辐射, 有多种不同的放射线, 最常用的是  $X$  射线、 $\gamma$  射线和中子射线, 此外还有  $\alpha$  射线、 $\beta$  射线。

### 1.2.1 $X$ 射线

在一束高能电子流撞击金属靶时, 由于高速运动的电子与靶原子碰撞 (电子被阻止而突然急剧减速或停止), 电子与原子核外库仑场 (原子核的核电场) 作用, 电子的大部分动能转变成热能, 而有一小部分动能则转变成了电磁能辐射, 亦即产生了  $X$  射线。

这种由于高速电子与物质原子碰撞作用而产生  $X$  射线的辐射称为“韧致辐射”。

$X$  射线是一种波长比可见光短得多的电磁波, 其基本单元是光子, 波长范围在  $10^{-18} \sim 10^{-9} \text{m}$ 。

波长  $\lambda = c/\nu$

式中:

$c$  —— 光速;

$\nu$  —— 频率。

产生  $X$  射线必需具备的条件:

- (1) 能够产生一定数量电子的电子源;
- (2) 用于加速电子沿一定方向作高速运动的高压电场;

(3) 阻止电子运动的靶 (障碍物)。

实际应用中的 X 射线是在 X 射线管中产生的, X 射线管提供了产生 X 射线的基本条件, 而且具有很高的真空度, 以避免被电离的空气造成干扰。

X 射线光子的能量大小取决于电子的原始动能和电子加速的程度。

由于是一束高能电子流撞击金属靶而产生 X 射线, 因此产生的是连续谱的 X 射线 (即包含有多种波长, 其射线谱是连续的, 也称为连续 X 射线或白色 X 射线、多色 X 射线)。

X 射线管发出的 X 射线之所以具有连续波长, 是因为施加于 X 射线管两端用于加速电子运动的高压电场是脉动直流电压, 亦即电压是随时间有不断变化的, 因此, 到达阳极 (金属靶) 的电子速度各不相同, 只有部分电子得到最高电压的加速, 而电子与阳极靶的碰撞情况也各不相同, 少数电子经过一次碰撞, 运动即被阻止, 能量全部转换为 X 射线 (波长最短的部分 X 射线就属于这种情况), 大部分电子与阳极靶原子要进行多次碰撞, 速度逐渐降低, 直至为零, 碰撞过程中转换的 X 射线波长也就各不相同, 有长有短, 因此 X 射线管发出的 X 射线束其波长呈连续分布而不会是单一波长。

连续 X 射线谱的最大强度对应波长  $\lambda_{\max}$  与最短波长  $\lambda_{\min}$  的关系:  
 $\lambda_{\max} \approx 1.5\lambda_{\min}$ 。

X 射线管发出的 X 射线的连续波长 (连续谱变化规律) 主要与施加的高压 (管电压) 和电子流 (管电流) 有关, 最短波长  $\lambda_{\min}$  (单位为埃) 与管电压  $V$  (千伏, kV) 的关系:

$$\lambda_{\min} = hc/eV = 12.4/kV$$

式中:

$h$  ——普朗克常数;

$c$  ——光速;

eV ——电子伏, 即电子能量。

注: 波长单位埃 (A) =  $10^{-8}$  cm; 纳米 nm =  $10^{-7}$  cm。

**例题 1—1:** X 射线管的管电压  $V = 200$  kV 时, X 射线管发出的 X 射线最短波长是多少?

解:  $\lambda_{\min} = 12.4/200 = 0.062$  埃 =  $0.62$  nm

X 射线连续谱的变化规律还与 X 射线管所用靶材的原子序数以及 X 射线管所用滤波材料有关。

X 射线的能量, 通常以 keV (千电子伏) 或 MeV (百万电子伏, 也叫做兆电子伏) 为单位表示, 1keV 单位相当于一个电子通过电位差 1kV 的两个不

同电压区内时获得的动能，同样，1MeV 单位相当于一个电子通过电位差 1MV 的两个不同电压区内时获得的动能，这不同电压的两个点就称为阴极（-）和阳极（+）。

连续谱 X 射线的总强度为：

$$I_t = K \cdot Z \cdot i \cdot V^2$$

式中：

$K$  ——比例系数， $K = 1.1 \sim 1.4 \times 10^{-6}/\text{kV}$ ；

$Z$  ——靶材原子序数；

$i$  ——X 射线管的管电流，mA；

$V$  ——X 射线管的管电压，kV。

由式中可见，影响连续谱 X 射线强度的主要因素是 X 射线管的管电压、管电流和作为阳极靶的靶材原子序数。

高速电子流撞击阳极靶产生连续谱 X 射线的转换效率为：

$$\eta = K \cdot V \cdot Z$$

式中：

$K$  ——比例系数， $K = 1.1 \sim 1.4 \times 10^{-6}/\text{kV}$ ；

$Z$  ——靶材原子序数；

$V$  ——X 射线管的管电压，kV。

由式中可见，影响连续谱 X 射线转换效率的主要因素是 X 射线管的管电压和作为阳极靶的靶材原子序数。

**例题 1—2：**使用金属钨制造阳极靶（W，原子序数 74，熔点  $3410 \pm 20^\circ\text{C}$ ，密度  $19.35\text{g}/\text{cm}^3$ ），在管电压 200kV 时，求该 X 射线管的 X 射线转换效率。

解：已知  $Z = 74$ ， $V = 200\text{kV}$ ， $K$  取  $1.4 \times 10^{-6}/\text{kV}$ ，则： $\eta = 1.4 \times 10^{-6} \times 74 \times 200 = 2\%$

**例题 1—3：**使用金属钼制造阳极靶（Mo，原子序数 42，熔点  $2610^\circ\text{C}$ ，密度  $10.2\text{g}/\text{cm}^3$ ），在管电压 200kV 时，求该 X 射线管的 X 射线转换效率。

解：已知  $Z = 42$ ， $V = 200\text{kV}$ ， $K$  取  $1.4 \times 10^{-6}/\text{kV}$ ，则： $\eta = 1.4 \times 10^{-6} \times 42 \times 200 = 1\%$

由上面两个例题可以看出，一般的 X 射线管多采用金属钨制造阳极靶，以获得尽可能大的 X 射线转换效率，按照能量守恒定律，其余 98% 的能量将转变成热能。

X 射线管产生的 X 射线除了连续 X 射线外，还包含有标识 X 射线。在 X

射线谱曲线上表现为标识峰，是 X 射线强度突变的位置（如图 1—1），这些强度峰值是由于能量较大的高速电子流撞击阳极靶时，与靶材料原子的壳层电子碰撞，击出内电子，使原子处于激发态（吸收），激发态原子要恢复到稳态则将释放能量而发射出光子，亦即辐射出标识 X 射线（又称为特征 X 射线、线状 X 射线、单色 X 射线、特征谱线）。

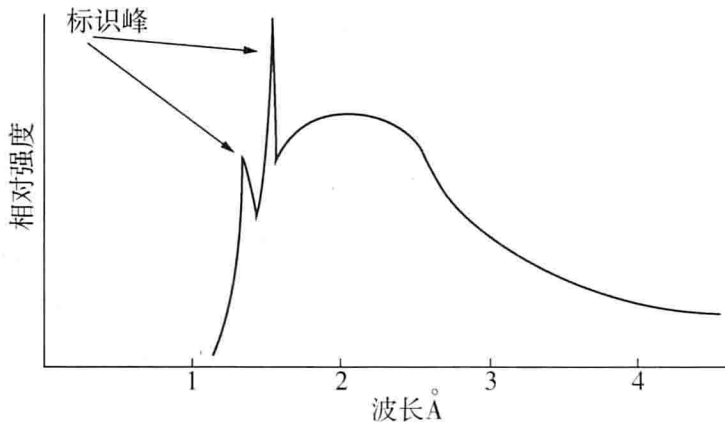


图 1—1 典型的 X 射线谱

不同阳极靶材料的原子结构不同，靠近原子核不同轨道上运行的电子具有不同的能量级别，并且每个原子单元都有其固有的能量级别组合，因此在这种情况下将产生某种特定靶材料的标识，亦即不同的靶材有不同的标识 X 射线。

标识 X 射线只有在管电压大于某一临界值时才能产生，标识 X 射线属于窄波带的谱线，与连续谱线相比，具有较高的辐射强度，其波长与阳极靶材料有关，而与管电压无关。

例如，对于钨靶，管电压达到并超过 69.51kV 时就能产生标识 X 射线，而对于钼靶则只要管电压达到并超过 20.0kV 就能产生标识 X 射线。

连续 X 射线和标识 X 射线的区别在于：

(1) 连续 X 射线是高速电子与靶原子核的库仑场碰撞产生的，标识 X 射线是高速电子把靶原子的内层轨道电子碰撞出轨道后，外层电子向内层跃迁时发出的，因此两者的产生机理不同；

(2) 连续 X 射线具有混合波长，能谱为连续谱，最短波长（最高能量）取决于管电压，而标识 X 射线波长为特定值，能谱为线状谱，是叠加在连续谱上的单色谱，波长（能量）取决于临界电压，达到临界电压后与管电压变化无关，仅与靶材料元素有关；



(3) 连续 X 射线的强度很强，而标识 X 射线在 X 射线总强度中只占极少一部分，因此其能量很低。

标识 X 射线的波长较长，光子能量小、射线总强度很弱，线质软（例如钨靶所产生的标识 X 射线中，能量最大的 K 系标识射线能量仅为 69.5kV）。因此，在实际的 X 射线检测中，穿透试件产生 X 射线图像主要是依靠连续 X 射线，标识 X 射线基本上不起作用（不足以用于射线检测）。如果经过 X 射线管的滤波片处理，也可以得到单一波长的 X 射线（称为单色 X 射线），但这并不是标识 X 射线。

连续 X 射线的有效能量：

如果在特定厚度范围内，某单一能量 X 射线的吸收系数与连续 X 射线平均吸收系数相等，则可以用此一能量 X 射线的能量来表示连续 X 射线的平均能量，该能量就称为有效能量。

连续 X 射线束中包含有能量不同的光子，在辐射穿透物质的过程中，能量较低的光子较容易被物质吸收，因此，在射线透过物质后，不同能量射线所占的强度比率就发生了变化，低能量射线所占的比率减少，从而使透过射线的平均能量或有效能量增大。亦即连续 X 射线穿透物质时，随着物质厚度的增加，透过射线的总强度减小，平均波长变短，最短波长不变，有效能量增大。

X 射线的能量大小取决于 X 射线管的管电压。X 射线检测工艺中，在透照厚度大的工件时要选用较高管电压就是因为高管电压激发的 X 射线波长短，穿透能力强。

X 射线的主要性质可以概括为以下几点：

(1) X 射线不可见，依直线传播；X 射线的频率比可见光的频率高，其波长也较可见光短，但是 X 射线与可见光具有相同的传播速度；不带电，不受电场和磁场的影响。

(2) X 射线具有极大的能量，能透过可见光不能透过的物质，其中包括金属、非金属、复合材料以及有机物体等。

(3) 与可见光一样，X 射线也有反射、干涉、绕射、折射等现象。但 these 现象又与可见光有区别。如 X 射线只有漫散射，不能产生如可见光那样的镜面反射，X 射线的折射系数非常接近于 1，其折射现象不能像可见光一样的能很清楚的观察到。

(4) X 射线能使物质产生光电子及返跳电子，以及引起散射现象。

(5) X 射线穿过物质时有被吸收和衰减现象。