

X射线检验问答

孙 万 铃 编著



X SHEXIAN JIANYAN WENDA

國防工業出版社

75.2.6
489

X 射线 检 验 问 答

孙万铃 编著



国防工业出版社

1111726

内 容 简 介

本书以问答形式详尽地介绍了射线检验原理与基础知识、X射线检验设备、检验工艺、胶片及暗室处理、透照结果的观察评定、其它射线检验方法及对射线的防护等方面的内容,并结合国内实情有选择地介绍部分国外先进技术。针对上述内容编写了十七种基础实验方法,以便读者自行实验和总结,巩固学习成果和加深感性认识。

本书可供X射线检验专业工作人员自学,也可作为技术培训教材或专业技术人员参考。

X射线检验问答

孙万铃 编著

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张14¹/₄ 插页1 362千字

1984年7月第一版 1984年7月第一次印刷 印数: 0,001—6,800册

统一书号: 15034·2652 定价: 1.80元

15034·2652

前 言

X射线检验是无损检测技术中的一种直观可靠的检测方法。在我国X射线检验已具有较长的历史，并在各工业部门中形成了庞大的技术队伍。他们在提高产品质量、保证使用安全、增进产品设计的科学性、加强生产管理、降低成本，以及进行新材料、新产品、新工艺的试验研究方面都做出了重要的贡献。

随着现代科学技术的飞速发展，X射线检验技术在国内外也在不断提高，许多新设备、新方法、新工艺不断涌现，要跟上这种发展形势必须加强学习。但是，基础最重要，不管X射线检验技术发展怎样，它的基础理论是不会有有多大改变的。

针对目前X射线检验专业人员的迫切需要，结合本单位技术培训的体会，问答形式容易使读者接受并便于自学，因此，本书主要采用了问答形式，但它实质上是一本系统完整的实用科技书籍。

值得指出的是：为巩固读者的学习成果和加深感性认识，本书编写了十七种基础实验方法，还不够完善甚至有误，请读者充实或更正。

本书在编写过程中力图以内容连贯、由浅入深、通俗易懂并具有实用价值为指导思想，力图使读者能在自学的基础上看得懂、学得会、用得上，但由于水平所限，实感到心有余而力不足，且由于时间仓促，所以在内容、深度及文字等方面，都会存在一些缺点或错误，恳请广大读者批评指正。

本书由赵起良同志审阅，并得到了邓日红同志及本单位有关领导的支持和鼓励，同时得到了孔繁庚、张维疆等同志的热情帮助，谨此表示诚挚的谢意。

编者

目 录

一	基础理论知识	1
	什么是无损检测?它在国民经济中起何作用?	1
	常用的无损检测方法有哪些?它们的应用如何?	1
	X射线是谁发现的?	4
	原子及其结构是怎样的?	6
	什么是X射线?对X射线性质有哪两种矛盾的说法?	8
	X射线是怎样产生的?怎样探知X射线的存在?	11
	为什么X射线束是混合波长?	13
	X射线的波长如何计算和测量?	15
	连续X射线谱的强度及在透照场内的分布特点如何?	17
	什么是标识X射线?它在检验工作中有何意义?	20
	X射线穿透物质时有哪些现象发生?	23
	什么是射线的衰减律和吸收系数?什么是射线波长的均匀化?	28
	软、硬X射线有何区别?是怎样产生的?	32
二	X射线检验设备	35
	学习和掌握X射线设备应具备哪些条件?	35
	学习X射线设备应掌握哪些电工学基础知识?	36
	学习和修理X射线设备应掌握哪些电子学基础知识?	43
	你能看懂这张电路图吗?	45
	X射线管的结构怎样?你是否了解其工作原理?	46
	在电子管收音机傍收听广播或看电视节目时,电子管或显象管能产生X射线伤害人吗?	47
	X射线管的阴极结构怎样?你是否了解其工作原理?	48
	X射线管的阳极结构怎样?你是否了解其工作原理?	50

什么是X射线管的焦点?	53
X射线管焦点的形状和尺寸与哪些因素有关?	54
X射线管焦点在射线检验工作中具有哪些意义?	56
什么是X射线管的容量?	58
影响X射线管容量的因素有哪些?	59
X射线管为什么要经过老炼硬化处理?怎样进行?	60
什么是X射线管的饱和电流和饱和电压?	61
X射线管有什么发展?	64
金属陶瓷X射线管有什么优越性?	66
X射线管防护套有何作用?	67
X射线管防护套有哪些类型?其结构怎样?	68
X射线管防护套有哪些改进?	71
X射线机的冷却系统结构怎样?	71
高压整流管的构造与X射线管有什么不同?	73
怎样解决高压整流管的代换问题?	74
X射线机为什么要整流?整流的方法有哪些?	74
半波自整流式的基本电路怎样?它有哪些优缺点?	
如何改进?	75
什么是半波整流?它有哪些基本电路?	78
什么是全波整流?它有哪些基本电路?	80
什么是倍压整流?它有哪些基本形式?	81
高压次级电路为什么都要接地?	85
X射线机高压电路发展情况如何?	85
高压发生器有哪些功用?其结构怎样?	86
高压变压器和灯丝变压器的结构怎样?有哪些特点?	89
高压电缆有哪些用途?其结构怎样?	92
X射线机调整高压的方法及设备有哪些?	95
X射线管和高压整流管的灯丝加热调整方法及设备有 哪些?	98
X射线机的时间控制器有何用途?有哪些类型?	

其结构怎样?	99
继电器在X射线机中起何作用?结构怎样?	
其触点类型有哪些?	100
X射线机为什么要稳压?	103
磁饱和稳压器的的工作原理如何?	103
怎样“走通”X射线机的电路原理图?	105
移动式GTY-200-20型X射线机电路原理图如何分析?	109
携带式TX1005型系列X射线机的电路原理图如	
何分析?	116
X射线机常见故障如何分析?	119
检查或修理X射线机应注意哪些事项?	124
如何维护、保养X射线机?	125
如何选用射线检验设备?	126
三 X射线检验工艺	128
射线检验的“三个基本要素”是什么?	
射线检验有哪些方法?	128
如何用射线的衰减律解释X射线透照法的基本原理?	128
什么叫射线检验的灵敏度?通常用什么方法表示?	130
影响灵敏度的因素及与被透材料厚度的关系是什么?	131
如何计算灵敏度?	132
透度计有哪些品种和规格?	133
灵敏度透度计的使用应遵循什么原则?	141
用X射线检验法检查裂纹的灵敏度如何?为什么?	142
什么是X射线的硬度?它与什么因素有关?	144
X射线硬度对灵敏度有什么影响?	144
什么叫曝光量?如何计算和选取?	146
什么叫焦距?它与感光量和曝光量有何关系?	149
焦距对射线检验的灵敏度有何影响?	152
选取焦距的原则是什么?	155
圆筒(环)形零件圆周分段曝光次数如何决定?	157

什么是散射线?	159
散射线对射线检验灵敏度有何影响?	160
对散射线影响应采取哪些防护措施?	161
什么是增感和增感系数?增感屏的种类有哪些?	166
荧光增感屏的构造原理、性能和用途如何?	167
金属增感屏的构造原理、性能和用途如何?	170
金属增感屏的制作方法有哪些?	174
金属荧光增感屏的构造原理及组合应用怎样?	176
曝光曲线的用途如何?有哪些类型?	179
曝光曲线的制作和使用方法如何?	180
在X射线透照零件前应做哪些准备工作?	187
平板形零件的X射线透照方法有哪些?	190
圆筒(柱)形、球形零件的X射线透照方法有哪些?	192
角形零件X射线透照方法有哪些?	195
什么是工业X射线电视?它有哪些优缺点?	198
工业X射线电视检验系统包括哪些设备或器件?	200
工业X射线电视检验系统可分为几种基本类型?	201
X射线检验自动化的发展方向如何?	203
什么是高能X射线检验?它的特点和发展情况如何?	207
什么是荧光观察法?	212
什么是X射线电离探测法?它有哪些用途?	214
什么是干印射线照相?它有哪些特点?	217
什么是快速(闪光)X射线照相?它有哪些用途?	220
四 X射线胶片及暗室处理	223
摄影胶片是怎样构成的?对X射线胶片有何特殊要求?	223
乳剂层的组分及摄影作用是什么?	224
什么叫潜影?它是怎样形成的?	226
什么叫底片黑度?如何计算和测量?	228
什么是胶片特性曲线?它有何用途?	232
什么叫胶片的灰雾度?它对透照质量有何影响?	234

灰雾度的大小与哪些因素有关?如何计算和测定?	234
什么叫胶片的感光度?如何计算和测定?	236
什么叫胶片的衬度?如何计算?	237
什么是胶片的曝光宽容度?在实用中有何意义?	240
什么是胶片的颗粒度?它对检验灵敏度有何影响?	241
怎样制作胶片特性曲线?怎样测定胶片性能?	243
什么叫胶片的保存性?怎样保存X射线胶片?	249
X射线胶片的分类及国内外常用的胶片类型如何?	249
显影的目的和作用是什么?	250
显影液由哪些成分组成?这些成分有何功用?	252
常用的显影剂有哪些?其特性如何?	253
显影液常用的促进剂有哪些?其特性如何?	254
显影液常用的保护剂和抑制剂有哪些?其特性如何?	255
配制和保存显影液应注意些什么?	255
配制显影液经常发生哪些问题?	256
X射线胶片的显影液常用配方有哪些?	257
高温显影有何特点?怎样配方?	259
底片显影质量与哪些因素有关?如何正确掌握操作?	262
停影的作用是什么?如何配方?	264
定影的作用如何?定影液的组分是什么?	265
定影液中各组分的作用如何?常用药品有哪些?	265
配制定影液应注意什么?定影过程怎样正确操作?	268
定影液有哪几种?常用定影液配方有哪些?	269
水洗的目的和要求是什么?怎样干燥底片?	272
自动洗相机有何用途?其工作原理如何?	274
底片黑度过大或过小怎么办?	276
对暗室安全灯有什么要求?如何测定?	279
底片经常出现哪些疵病?产生原因是什么?	281
从废定影液中回收银的重要性和可能性如何?	
其含银量如何测定?	286

从废定影液中提银有哪些方法?.....	289
怎样从冲洗水中回收银?.....	294
五 X射线透照结果的观察评定	295
对判断和结论X射线底片有何要求?.....	295
铸件常见缺陷有哪些?产生原因何在?	297
焊接件常见缺陷有哪些?产生原因何在?	305
观察X射线底片应注意些什么?	312
用什么标准评定铸件的质量?.....	317
用什么标准评定焊件的质量?.....	317
如何确定缺陷的位置和深度?.....	317
六 其它射线检验方法及对射线的防护	323
什么是中子和中子射线? 中子射线照相有什么特点?.....	323
目前有哪些中子源? 用于射线照相比较成熟的有哪些?.....	324
你知道中子射线照相的原理和用途吗?.....	326
什么是 γ 射线? γ 射线检验的特点及应用范围有哪些?.....	329
对同位素射线源有什么要求? 常用的有哪几种?.....	331
对 γ 射线机有哪些要求? 国内常见的有哪几种?.....	333
γ 射线检验的工艺特点是什么?.....	337
为什么要注意对射线的防护?.....	341
X射线辐射及其单位是什么?.....	345
有关放射卫生防护标准有哪些规定?.....	350
怎样测量和鉴定射线的防护情况?.....	355
射线防护的基本原则是什么? 有哪些防护方法?.....	360
基础实验	373
实验一 测量X射线管焦点位置及射线束辐射角	373
实验二 测量X射线管焦点的形状和尺寸	375
实验三 测量曝光场内X射线强度的分布情况	378
实验四 测绘曝光曲线	381

实验五	散射线的影响实验	386
实验六	X射线硬度对检验灵敏度的影响实验	392
实验七	焦距与曝光量的关系及对检验灵敏度 的影响实验	395
实验八	测量半值厚度及材料厚度与检验灵敏度的 关系实验	398
实验九	锡箔、铅箔和荧光增感屏的增感系数 和灵敏度实验	402
实验十	铅增感屏的各种性能实验	405
实验十一	测量缺陷深度和位置的实验	409
实验十二	X射线胶片特性曲线制作实验	413
实验十三	显影液的组分、显影温度和显影时间对 底片灰雾度、衬度和检验灵敏度的 影响实验	417
实验十四	显影液和定影液的配制方法实验	422
实验十五	底片的减薄和加厚实验	425
实验十六	锻炼工作人员对底片、实物、缺陷三者 间关系的观察、思维和判断能力	428
实验十七	工作场所及个人对射线防护的剂量测量 实验	432

附 录

附录 I	国内外生产的部分 X 射线机	435
附录 II	有关技术标准摘录	437
附录 III	常用单位换算及常数表	444
参考文献		446

一 基础理论知识

什么是无损检测？它在国民经济中起何作用？

在早期，无损探伤的名词应用较广，从字义上看，它只限于在不损坏材料或制品的情况下，发现人眼无法观测到的缺陷。但在实际工作中，不但需要发现缺陷，还要作出该材料或制品能否应用的结论，因而它又具有检验性质。所以后来逐渐被无损检验这个名词所代替。

无损检测的名词是在无损探伤、无损检验等名词的基础上发展起来的。由于无损检测技术的不断发展，新设备、新工艺、新方法的不断采用，因此，它的应用远远超出了探伤或检验的范围。所以无损检测是一种广义的、概括的总称，原则上应该是在不损坏材料或制品的前提下，检测缺陷及其它有关技术参数的所有方法，实际上包括了现代应用物理所有领域。诸如硬度、温度、应力测定、强度试验、缺陷检测、尺寸测定等。无损检验仅是其中最重要、应用最广泛的一个方面。

无损检测在国民经济和人民生活方面得到了广泛的应用。除用于工业部门外，在医疗卫生部门同样存在无损检测的问题。

在工业生产中，从原材料到成品的最后制成，乃至使用中的各个环节、始终离不开无损检测。它不但可以保证产品质量，而且也能提高生产效率，节约原材料达到改进生产和指导生产的目的。特别是在军工产品上，宇航上，关系到人民生命财产安全的设施上，都是绝对不可缺少的。所以无损检测技术的发展和應用应该得到广泛的重视。

常用的无损检测方法有哪些？它们的应用如何？

无损检测方法虽有五十多种，但广泛采用的只有几种，即通

常所称的“常规无损检测方法”：

- (1) 射线检验；
- (2) 磁粉检验；
- (3) 渗透检验；
- (4) 超声检测；
- (5) 涡流检测。

这些检测方法的性质和优缺点决定了它们的发展和应用，分述如下：

(一) 射线检验

它是应用较早的一种无损检测方法，至少有五十年的历史。这种无损检测方法有无可比拟的独特优越性，即检验缺陷的准确性、可靠性和直观性，且得到的射线底片可用于缺陷的分析和作为质量凭证存档。所以它被广泛用于金属和非金属材料及制品的内部缺陷检验。但这种方法也存在着设备较复杂，成本较高的缺点，并应注意对射线的防护。

射线检验虽然是一种较定型的无损检测方法，但近年来，它的发展是很快的。检测方法在不断改进，检测设备也不断发展更趋完善，应用范围和检测灵敏度不断提高。

(二) 磁粉检验

也称为磁力探伤或磁法检验。是应用最早的一种无损检测方法。由于它所使用的设备简单，成本低而效率高，所以在工业生产中得到了广泛的应用。

它的检测原理是基于铁磁性材料在磁场中被磁化后，材料或制品的不连续处（缺陷处）产生漏磁场，吸附磁铁粉而被显现。所以此法只能应用于铁磁性材料或制品的表面或近表面缺陷检验。

(三) 渗透检验

它包括荧光、着色两种方法，在近年来得到了广泛应用。由于它设备简单，操作方便，是弥补磁粉检验不足的检验表面缺陷的有效方法，所以它主要用于非磁性材料的表面缺陷检验。

0551111

荧光检验的原理是将被检制品浸入荧光液中,因毛细管现象,在缺陷内吸满了荧光液,除掉表面液体,由于光致效应荧光液在紫外线的照射下,发出可见光而显现缺陷。

着色检验的原理与荧光检验相似,它不需专门设备,只是用显象粉将吸附在缺陷内的着色液吸出零件表面而显现缺陷。

(四) 超声检测

它是在无损检测领域里较年青而又有广阔发展前途的一种无损检测方法。因它的经济效果和应用范围有独到之处,得到国内外的普遍重视,发展很迅速。

这种方法是利用超声振动来发现材料或制件内部(或表面)缺陷的。根据超声振动的不同调制方法,可划分为连续波和脉冲波;根据不同的振动和传播方式,超声振动又可分为纵波、横波、表面波和兰姆波四种形式在材料或工件中传播;根据声的发射和接收条件的不同,又可分为单探头法和双探头法;这些方法都可用于检测缺陷。

(五) 涡流检测

涡流检测在国内近年来发展较快,它适宜生产流水线上,能自动地进行金属材料表面缺陷的检测和分析,特别对管材表面缺陷的自动化检测更有它的独特优越性。涡流检测的原理是交变的磁场在金属材料内产生相同频率的涡电流,用这种涡电流的大小与金属材料的比电阻间的关系变化来检测缺陷的。当金属材料表面有缺陷时(如裂纹),该处的比电阻便因缺陷的存在而增大,与其相关的涡电流便相应地减小,其微小变化的涡电流经放大后用仪表指示出来,便可显现缺陷的存在与尺寸。

以上介绍的几种常用无损检测方法,各有优缺点。比如、磁粉、涡流、渗透等方法,只适宜检测表面或近表面的缺陷,其中渗透检验仅限于表面开口缺陷,而磁粉检验又仅限于铁磁性材料,它们对于线性缺陷,如裂纹等有较高灵敏度。射线检验显现缺陷直观准确,对于内部体积形缺陷有较高灵敏度,而对于线性(如裂纹)缺陷却不易发现。超声检测对内部缺陷较迅速灵敏,但对

缺陷的定量或定性分析尚存在一定困难，而且也受工件的形状和表面状况及晶粒尺寸等限制。因此，没有哪一种无损检测方法是十全十美的。所以，在选择无损检测方法时，必须根据具体情况，充分运用各种方法的主要优点，采取综合性无损检测是十分必要的。

X 射线是谁发现的？

X 射线是德国渥茨堡大学教授伦琴于 1895 年 11 月研究阴极射线时发现的。

1896 年初，有一件耸人听闻的消息轰动了世界上所有的大学和科学院。消息说，不大出名的德国教授伦琴发现了一种新光线，它所具有的性质真使人吃惊。这种新光线人眼看不到，而且能在漆黑的地方照相。

最令人吃惊的是它能穿过各种物体，如果用手去挡住它的道路，就会在发光屏上出现几根暗色轮廓的骷髅手的可怕影像。可敬的绅士们即使穿了硬胸衬衣和大礼服，礼服上的钮子每一个都是扣得好好的，还是可以从屏上看见自己的肋骨、脊柱和周身骨骼的影子。同时，如果背心袋里有表，裤袋中钱包里有硬币，也都能看见。

因此，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，看有没有枪弹留在他身体里。

利用 X 射线可以照出种种极其有趣的像片。X 射线照相这把戏对观众有极大的吸引力，所以最初一段时期，到处都把它当做供人解闷的魔术来表演。X 射线时髦极了，连富裕人家大摆夜宴的时候，也往往要在客厅里支起克鲁克斯管（阴极射线管），让交际花们看看她们自己那付“华丽”的骨骼。

但做为科学家们所关心的是这种新光线是怎样发现的，它产生的条件和性质。人们争相传颂伦琴完成这个发现的经过。伦琴一向是在自己的实验室里研究克鲁克斯管中所发生的现象。克鲁

克斯管是抽去了空气的玻璃管，管内两端各焊一只金属电极，通上电流之后，管内两只电极间的稀薄空气中，就会发生放电现象。这时候，管内的空气和管壁都会发冷光。

有一次，伦琴把一包用黑纸裹着的还没显影的照相胶片放在克鲁克斯管的附近，后来它给胶片显影时，却发现胶片已经走了光。这种情况出现不只一次，克鲁克斯本人以及其他一些用这种真空放电管做研究工作的人，在伦琴以前，老早就注意到这种情形了，但他们没有予以重视，底片走光了吗？以后把它们放得离管远一点就是了。可是伦琴不满足这样的办法，他开始试验，开始研究是怎么回事。

有一天，伦琴把一张黑色的硬纸板卷在克鲁克斯管外面，然后用管工作。后来，他关了灯，离开了试验室，却忽然想起自己忘记掐断电路，使那跟克鲁克斯管接连的感应圈停止工作。来不及开灯，他就摸回桌边来纠正自己的疏忽。不料就在这时，看见旁边另外一张桌上，有件东西在放着不很明亮的冷光。

那放冷光的物体原来是一张涂了铂氰酸钡的纸。铂氰酸钡是一种能放磷光的物质，只要旁边有强光向它照射，它就会放出自己的冷光来。可是实验室里不是漆黑的吗？克鲁克斯管虽然还在发冷光，那样微弱的冷光却绝对不能使发光物质发生磷光现象。再说，克鲁克斯管外面还卷有黑纸板哩。那么，究竟是什么使这张磷光屏在黑暗中发光的呢？

后来，有人问伦琴：“您在碰到这类莫名其妙的现象时，心里是怎么个想法？”，他回答：“我不想，我只做实验。”。他不停地做实验，他顽强而巧妙地盘问自然，到最后就发现了一种新光线。

谦逊的伦琴给新光线取名叫X射线，是要着重声明他自己还不十分了解这种射线的真正性质。而数十位不同国籍的科学家，却迫不及待地要把伦琴没有谈到的东西马上补充出来。科学期刊上陆续出现了不计其数的关于X射线实验的报告，有的报告性质，有的报告来源。由于兴奋和匆忙，有的研究家甚至觉得自己也发现了几种新射线。关于“Z射线”、“黑射线”的消息，纷至沓来。

“射线”简直弥漫了欧美两洲所有的科学实验室。

为了纪念伦琴的伟大发现，所以X射线也称为伦琴射线。

原子及其结构是怎样的？

前面讲到：无损检测基本包含了现代应用物理所有领域。现代物理学，特别是原子物理学，是射线检验的基础理论。所以，在学习射线检验的基本理论时，首先应对原子结构有一明确认识。

（一）什么是原子

我们生活中，每天都与各种物质打交道。组成物质的元素迄今已知的有107种，这些元素按一定规律排列在元素周期表里。

组成物质的最小颗粒是分子，分子仍具有该物质的特性。分子是很小的，用普通显微镜也无法观察到它。比如，180克水中就大约含有 6×10^{24} 个分子。但分子是可以继续分割的，经过分割而失去了物质原有的特性，便成了更小的微粒——原子。构成某种元素的最小、最基本的单位是该元素的原子。

（二）原子结构

各元素的原子结构基本相似，都包含一个处在中心的原子核和在核外面沿一定轨道围绕原子核作高速旋转运动的若干电子，就好象地球和行星围绕太阳旋转一样。

原子的直径只有 $(1/100,000,000)$ 厘米数量级，也就是在一厘米长度上可以排下一亿个原子。但原子核和电子就更微小了，图1-1是氢原子结构示意图，假设把电子轨道直径放大为100米，原子核的直径只有一厘米，电子就更小了。

原子的质量也十分微小，例如一个氢原子的质量只有 1.6735×10^{-24} 克，最重的铀原子的质量也只有 3.951×10^{-22} 克。而电子的质量又比原子核小得多，例如氢原子的原子核静止质量为 1.6726×10^{-24} 克，电子的静止质量只有 0.0009×10^{-24} 克，电子的质量只有核质量的 $1/1858$ 。

不同的元素具有不同的原子结构，它们原子核的大小、质量和电荷数量都不同，其次，环绕原子核旋转的电子数目也不同。