

无损检测

技术丛书

射线探伤

A

〔日〕日本无损检测协会编

NDT

机械工业出版社

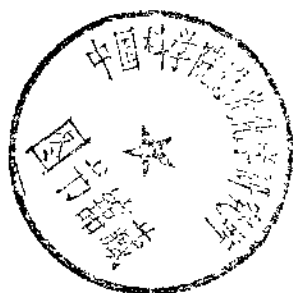
无损检测技术丛书

射线探伤 A

日本无损检测协会 编

李 衍 译

郑 中 兴 校



机械工业出版社

本书为日本对 II 级射线探伤人员培训、考核用的教材,在 13 年中已修订再版 10 次,在日本有一定的权威性。主要内容包括射线探伤基础、器材,射线透照灵敏度,射线透照条件,射线管理以及日本工业标准(钢、铝、铸钢、不锈钢、钛材等零件及焊缝的透照方法和透照底片的分类方法等)。

本书可做为我国培训 II 级、III 级射线探伤人员的参考材料;对于设计、工艺、技监人员及无损检测专业师生也有一定的参考、使用价值。

非破壊検査技術シリーズ

放射線透過試験 A

1981

社団法人 日本非破壊検査協会

* * *

射线探伤 A

日本无损检测协会 编

李 衍 译 郑中兴 校

*

责任编辑: 方婉莹

封面设计: 王 伦

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄甲里 1 号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32·印张 8 1/8·字数 208 千字

1988 年 7 月北京第一版·1988 年 7 月北京第一次印刷

印数 0,001-3,750·定价: 3.40 元

*

ISBN 7-111-00536-8/TL·1

译者的话

《射线探伤 A》是由日本大阪大学工学博士仙田富男教授主编、日本无损检测学会发行的射线探伤 II 级人员的培训教材。该书从 1969 年初版以来，已进行过 9 次修订。这里是根据 1981 年版本翻译的。本书与仙田富男教授另外主编的射线探伤 I 级人员培训教材——《射线探伤 B》在体系上和内容上是有连贯性的。

鉴于国内目前尚无有关统一教材，本书可以作为培训射线探伤 II 级人员的参考教材。译者在江苏省历期射线探伤 II 级人员培训考核班上，曾结合本书内容并对照美、德有关教材作过多次试讲。书中的一些图表和公式对理解基本概念、掌握透照技术很有帮助。

本书内容分探伤基础、透照灵敏度、透照条件、射线防护、标准及解释等五部分。全书的重点是透照工艺。根据译者在教育实践中的体会，认为本书不同于国内有关教材的特点如下：

1. 在探伤基础部分，本书从单一波长窄束 X 射线的衰减公式逐渐引入实际探伤用的宽束连续 X 射线衰减定律，进而阐明了 X 射线照相法探伤的原理。这里突出了连续 X 射线的衰减特性和散射比的影响因素。理解这一点有助于正确贯彻透照工艺。而国内教材一般只单纯地叙述单一波长 X 射线的特性。

2. 在探伤工艺部分，本书突出了射线照相底片对比度和识别界限对比度的影响因素，提出了底片象质的改善原理和几种改善方法。对透照条件，日本无损检测学会的观点与其他国家有所不同，除了强调焦点尺寸与几何不清晰度的关系外，还特别强调对小缺陷影像显示的对比度的影响结果，因而提出了几何修正系数 σ 这个参数。此参数就成为日本一系列射线探伤标准中确定焦距的

依据。此外,对如何综合利用曝光曲线和胶片特性曲线来选定正确的曝光条件,以控制射线底片应该具备的条件——黑度和灵敏度,本书也作了较为详细的说明,这对实际透照工作很有指导意义。

3. 在射线防护部分,本书注重于辐射源在使用前、使用中和使用后的管理事项,介绍了两种剂量计——电离箱式剂量仪和胶片剂量计的测定原理和测定方法。

4. 在标准部分,重点解释了6个常用的有代表性的射线探伤标准,另外又收录了5个有关标准。这些标准按透照材质分钢焊缝、铝焊缝、钛焊缝和不锈钢焊缝,按焊缝型式分对接焊缝和T型焊缝,而按工件性质又分焊缝和铸件两种。特别是JIS Z 3108铝管环焊缝的透照方法和评定标准,对环焊缝四种常规透照布置的要求,对透照条件、几何参数的选择以及对环焊缝100%透照时最少曝光次数的确定,颇有独到之处,值得国内借鉴。如透照焦距的选择,不仅要考虑几何不清晰度 U_g ,还要考虑放大值 m 和透度计灵敏度 S ,以及对横裂的最大透照角度 θ 。这样考虑比较全面,打破了许多国家对焦距的选择只局限于满足 U_g 的框框。

T型焊缝的透照国内至今尚无标准,但一直是众所关注的问题,书中介绍了这方面的JIS标准,为我们进行这类工件的透照提供了重要资料。

在钛焊缝的射线探伤标准中,提到了线质计的使用。当遇到透度计金属丝材质与被检焊缝材质不一致的时候,就要考虑透度计灵敏度的换算问题,线质计是解决这个问题的一种简单、有效的工具。

标准是技术的升华,又是工艺的轨道。本书对标准的解释颇为精辟、周密,可以帮助我们澄清对一些问题的模糊看法,如象质等级的划分及适用范围;透照有效长度的限制依据及计算方法;气孔、夹渣等缺陷的评定原则以及各种焊缝等级与疲劳强度的关系等。

由于本书是日本无损检测学会发行的无损检测丛书(全套共

84 本)中的一本,所以在我们看来应该放在一起的内容,如射线探伤设备的种类、结构、线路、使用和维护,感光材料的冲洗原理、方法和故障及处理对策,各种工件的透照方法(在标准中有此内容,但教材正文中没有介绍),各种焊接缺陷在 X 光底片上的影象特征及识别方法,真假缺陷的区分等,在日本是作为单行本另编成册的(有关射线探伤的学会丛书共有 9 本,参阅原文序言)。另外在工艺部分也没有较多的篇幅讨论清晰度(包括几何不清晰度和内在不清晰度)的影响因素,而只是再三突出对比度的问题。以上可能是本书编写结构上的不足之处吧。

然而总的来说,这本书作为 II 级人员的培训参考教材仍有一定特色,书中所强调的某些内容恰恰是国内已有的一些培训教材中所忽略的部分,特别是日本的射线探伤标准分类较细,内容较具体,对国内从事实际透照和评片的 II 级人员来说很有参考价值。

译者认为,在悉心攻读本书之后,如再结合日本无损检测学会提供的射线探伤习题进行消化,就一定能加深对基本概念、基本原理和基本方法的理解。可以指望,在本书提供的基础知识的“高速袭击”下,基础技术的“核裂变”必将在实际透照检验工作中释放出巨大的能量!

本书承北京重型机器厂郑中兴工程师仔细审阅,提出了不少修改意见,在此深表谢意。由于本人学识水平有限,书中存在错误与疏漏之处在所难免,恳请读者指正。

译 者

一九八七年五月

前 言

日本无损检测协会为普及无损检测技术和提高检测技术水平,发行了一套《无损检测技术丛书》。这套丛书也可作为 II 级人员资格鉴定考试用的教材,这种考试是由本协会无损检测人员资格鉴定委员会实施的。

这里作为射线探伤 II 级人员所必备的知识,除《射线探伤 A》外,还包括下列书籍所叙述的内容:

无损检测概论

射线透照技术

射线底片的评级

有关焊缝射线探伤技术的照片集

有关铸钢件射线探伤技术的照片集

此外,为加深理解,还希望能参考下列书籍:

射线探伤习题集

X 射线作业班长用教材

X 射线作业班长用试题、答案和说明

关于 1981 年版的说明

1980 年 11 月已制定了 JIS Z 3109 (铝的 T 形焊缝的射线透照方法)。为此,在第五章“标准及其说明”中增加了 JIS Z 3109 的内容;另外,还增加了 JIS Z 3106 和 JIS Z 3107 这两份标准。

1981 年 6 月

社团法人 日本无损检测协会

编辑委员和协助者

委员长	仙田 富男	大阪大学工学部
委员	大岡 纪一	日本原子能研究所大洗研究所
	関田純一郎	铁师阁公司
	平山 一男	大阪大学工学部
	松山 格	东京都立工业技术中心
	丸山 温	日本钢管(株)技术研究 所津研究所
协助者	小林 昌敏	日本原子能研究所高崎 研究所
	寺田 幸博	日立造船(株)技术研 究所
	古田純一郎	大阪府立放射线中央研 究所

目 录

译者的话

前言

第一章 射线探伤基础	1
1.1 射线的贯穿和散射	1
1.1.1 单一波长 X 射线的贯穿和衰减	1
1.1.2 连续 X 射线的贯穿和衰减	4
1.1.3 宽束 X 射线的贯穿和衰减	6
1.2 射线探伤原理	11
1.2.1 被检体的对比度	11
1.2.2 射线探伤的种类	12
1.3 感光材料	13
1.3.1 X 射线胶片	13
1.3.2 照相黑度	14
1.3.3 X 射线胶片的特性曲线	15
1.3.4 X 射线胶片的颗粒性	17
1.3.5 X 射线胶片的种类	17
1.3.6 增感屏	18
第二章 射线透照灵敏度	21
2.1 射线底片的对比度	21
2.1.1 厚度差和射线底片对比度	21
2.1.2 散乱射线和射线底片对比度	23
2.1.3 几何条件和射线底片对比度	24
2.2 射线底片的识别界限对比度	25
2.2.1 缺陷在射线底片上的对比度及其识别	25
2.2.2 识别界限对比度	26
2.2.3 感光材料和识别界限对比度	28
2.3 射线底片象质的改善	28
2.3.1 一般检验和精密检验	28

2.3.2 改善方法	28
2.3.3 壁厚补偿层的利用	29
2.3.4 屏蔽层的利用(窄视野透照法)	30
2.4 观察方法和缺陷的识别	31
2.4.1 观片器	31
2.4.2 射线底片的表观对比度	31
2.4.3 观察方法和透度计识别度	32
第三章 射线透照条件	36
3.1 射线的线质及其选择	36
3.1.1 X射线的线质和照射率	36
3.1.2 线质和射线源种类对对比度的影响	37
3.2 几何因素及其选择	39
3.2.1 焦点及射线源尺寸	39
3.2.2 焦点尺寸和几何布置引起的影像模糊和放大	41
3.2.3 焦点尺寸和底片对比度	43
3.2.4 辐射场内的焦点尺寸和放大率的影响	43
3.3 曝光条件的确定	44
3.3.1 曝光因子	44
3.3.2 曝光曲线图	45
3.4 X射线胶片特性曲线和曝光曲线图的利用	47
3.4.1 X射线胶片特性曲线用的坐标纸	47
3.4.2 透照条件和X射线胶片的特性曲线	47
3.4.3 X射线胶片和增感屏的组合及相对感光度	50
3.4.4 曝光条件的修正	50
3.4.5 底片黑度范围的确定	52
3.4.6 试件的容许厚度差	54
第四章 放射线管理	57
4.1 射线管理的重要性	57
4.1.1 使用前的管理	58
4.1.2 使用中的管理	58
4.1.3 使用后的管理	59
4.2 射线的管理	59
4.2.1 射线探伤时的有害X射线	59

4.2.2	前散射线量率	60
4.2.3	后散射线量率	61
4.2.4	漏射线的线量率	62
4.2.5	减少有害射线的方法	63
4.2.6	射线防护法令	67
4.2.7	管理区和禁区的确定	67
4.3	射线的测定	68
4.3.1	电离作用和射线的测定	69
4.3.2	电离箱式剂量计	69
4.3.3	胶片剂量计	70
4.3.4	其他测定法	71
第五章	标准及其说明	72
5.1	标准的种类	72
5.2	日本工业标准 JIS Z 3104—1968	73
	钢焊缝的射线透照方法和透照底片的等级分类方法	
5.3	日本工业标准 JIS Z3105—1977	105
	铝焊缝的射线透照方法和透照底片的等级分类方法	
5.4	日本工业标准 JIS Z3108—1978	128
	铝管环焊缝的射线透照方法	
5.5	日本工业标准 JIS Z3109—1980	156
	T型铝焊缝的射线透照方法	
5.6	日本工业标准 JIS G0581—1968	168
	铸钢件的射线透照方法和透照底片的等级分类方法	
	(同时说明日本铸锻钢学会标准 JCSS G2—1980 的部分条款)	
5.7	日本工业标准 JIS Z3861—1979	206
	焊缝射线透照技术鉴定考试方法和评定标准	
5.8	其它 JIS 标准	219
5.8.1	JIS Z 3106—1971	219
	不锈钢焊缝的射线透照方法和透照底片的等级分类方法	
5.8.2	JIS Z 3107—1973	220
	钛焊缝的射线透照方法和透照底片的等级分类方法	

- 资料 日本工业标准 JIS Z 3106—1971 (1974 年确认) 不锈钢焊缝的射线透照方法和透照底片的等级分类方法
日本工业标准 JIS Z 3107—1978
钛焊缝的射线透照方法和透照底片的等级分类方法
日本铸锻钢学会标准 JCSS G 2—1980
铸钢件的射线透照方法和透照底片的等级分类方法
X 光胶片的特性曲线
曝光曲线图

第一章 射线探伤基础

1.1 射线的贯穿和散射

在射线探伤方面,正确理解 X 射线和 γ 射线贯穿物体时所产生的作用是很重要的。当 X 射线或 γ 射线照射到物体上时,其中一部分射线会不受任何影响而直接通过,另一部分射线则与物质碰撞,因产生光电效应、康普顿效应和电子对效应等相互作用而减弱,或者变成散乱 X 射线和荧光 X 射线。各种相互作用的程度随照射 X 射线或 γ 射线能量的大小而显著不同。

散乱 X 射线中,与透射线夹角在 90° 以内的称为前方散乱射线,夹角在 90° 以上的称为后方散乱射线。在射线探伤中,只有一部分透射线才是有用的,而其他射线对射线探伤和防护管理都是有害的。

1.1.1 单一波长 X 射线的贯穿和衰减

X 射线贯穿物体时的现象是很复杂的,为便于解释,可先考虑这样的情况:假定单一波长的 X 射线或 γ 射线被图 1.2 所示的狭缝集成窄束照射到物体上,贯穿物体后又被狭缝收成窄束。

设射线未穿过物体时在某一点 P 的强度为 I_0 , 穿过物体后在 P 点的强度为 I , 则 I 和 I_0 的关系可用下式表示:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1.1)$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (1.2)$$

式中 μ ——吸收系数(或衰减系数);

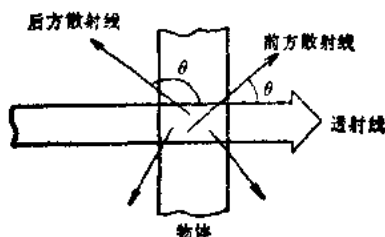


图 1.1 透射线和散乱射线

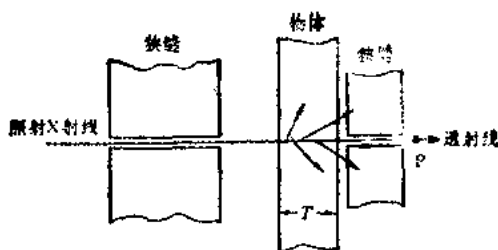


图 1.2 窄束 X 射线的贯穿

e ——自然对数的底($e=2.7183, \dots$);

T ——透射的物体厚度(cm)。

若 $\mu=0.5, 1, 2(\text{cm}^{-1})$, 用半对数坐标图表示公式(1.2), 即为图 1.3。

图 1.3 表示强度为 I_0 的 X 射线或 γ 射线透过厚度为 T 的物体时的衰减情况。从图中可见, 吸收系数不同, 吸收曲线也不同。

(1.2) 式两边取对数, 即

$$\lg \frac{I}{I_0} = -\mu T \lg e$$

$$\therefore \lg e = 0.434$$

$$\therefore \lg \frac{I}{I_0} = -0.434 \mu T \quad (1.8)$$

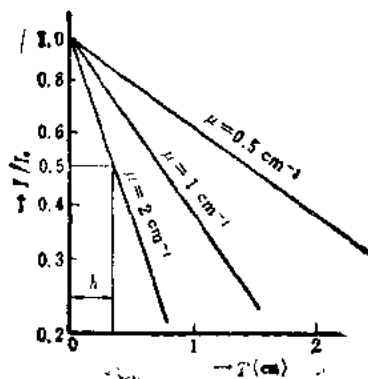


图 1.3 X 射线的衰减

(1.3)式表明,当纵轴用对数刻度表示时,射线衰减的比率 I/I_0 对厚度 T 来说,就是斜率为 -0.434μ 的直线。图 1.4 就表示以此 μ 为参数,改变 μ 值时的衰减情况。

这里把贯穿 X 射线强度变为入射 X 射线强度一半时的厚度称为半价层。

设半价层为 h , $\because I = I_0/2$, 由 (1.3) 式即可求出吸收系数 μ 和半价层 h 的关系:

$$\begin{aligned}\lg \frac{1}{2} &= -0.434\mu h \\ -0.301 &= -0.434\mu h \\ \therefore \mu &= \frac{0.693}{h}\end{aligned}\quad (1.4)$$

因此测定半价层,就能根据 (1.4) 式求出吸收系数 μ 。试件材质不同,吸收系数 μ 值也不同。图 1.4 所示是几种物质的吸收系数。例如,使一定能量的 X 射线或 γ 射线透过厚度相同的铝和钢试件时,铝的吸收系数就较小,而透过后的射线强度较大。

在图 1.4 铅的曲线中,有一段吸收系数产生了急剧变化,这是由于光电效应引起的元素固有的吸收端所造成的。

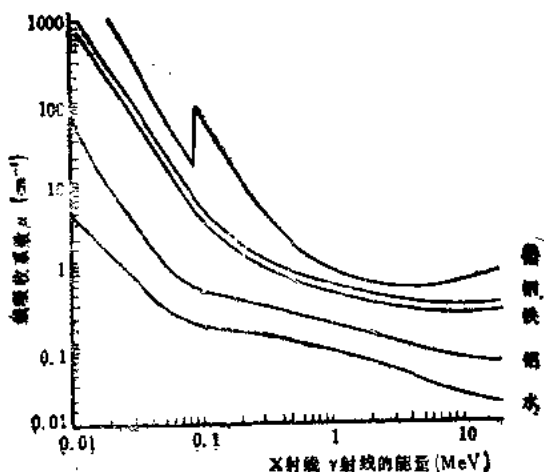


图 1.4 X 射线、 γ 射线的能量和线吸收系数

当一定能量的 X 射线或 γ 射线透过一定材质的试件时, 试件厚度 T 越大, 则透过后的强度 I 越小。

如果透射线不是收成窄束的 X 射线, 如图 1.7 所示, 则到达 P 点的射线强度, 除透射线外, 还得加上物体内部产生的散射线强度, I 和 I_0 之间就不是 (1.1) 式那样的单纯关系。

1.1.2 连续 X 射线的贯穿和衰减

实际上射线探伤不是使用单一波长的 X 射线, 而是使用连续 X 射线进行的, 因此这里考虑连续 X 射线透过物体时的情况。

先研究 X 射线管电压为 200 kV_p 的连续 X 射线不透过任何物质和透过厚度为 1 mm、5 mm、10 mm 铝板时射线谱的变化情况, 如图 1.5 所示。

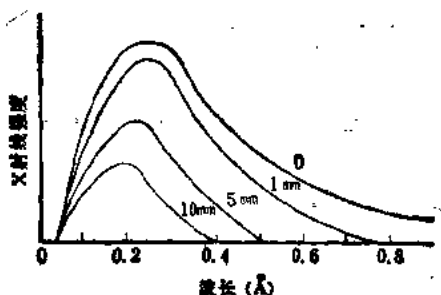


图 1.5 透过铝板时连续 X 射线谱的变化

由图可知, 随着板厚的增加 (1 mm ~ 5 mm ~ 10 mm), 不但 X 射线的总强度会减小, 而且平均波长向波长短的方向移动 (但 X 射线的最短波长不变)。这是因为连续 X 射线波长长的部分比短的部分能量小, 容易被吸收的缘故。

如果使连续 X 射线也象图 1.2 所示的单一波长的 X 射线一样, 通过狭缝变成窄束, 并改变试件厚度, 测出相应的透射线量率, 画出透射线剂量率和透过厚度的关系, 就可得图 1.6 所示的曲线 a。由图得知, 对连续 X 射线来说, 上述关系就不是图 1.3 所示的直线, 而是图 1.6 中向上略凹的曲线。试件的厚度越大, 则曲线的倾斜度越平缓。这是因为随着试件厚度的增加, 透过 X 射线的波长分布会发生变化, 因而吸收系数也会变化 (如图 1.5 所示)。

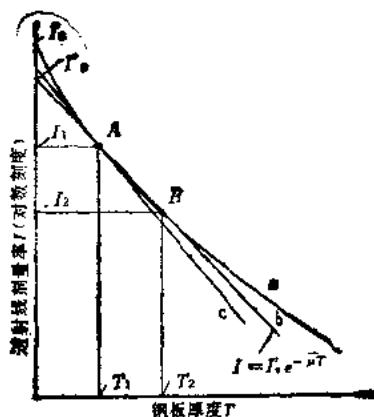


图 1.6 连续窄束 X 射线的透过

现在考虑图 1.6 中连续 X 射线透过厚度为 T_1 和 T_2 的试件时的情况。设与 T_1 、 T_2 相应的透射线剂量率分别为 I_1 和 I_2 ，连结吸收曲线 a 上与厚度 T_1 和 T_2 相应的 A、B 两点，引一直线 b，假定与直线 b 具有相同衰减的 X 射线的吸收系数为 $\bar{\mu}$ ，则 $\bar{\mu}$ 可按下列步骤求得。设直线 b 与纵轴相交一点的强度为 I'_0 ，则直线 b 可用下式表示：

$$I = I'_0 e^{-\bar{\mu} T} \quad (1.5)$$

因此，图 1.6 中的 I_1 和 I_2 由下式求得：

$$I_1 = I'_0 e^{-\bar{\mu} T_1} \quad (1.6)$$

$$I_2 = I'_0 e^{-\bar{\mu} T_2} \quad (1.7)$$

由 (1.6) 式和 (1.7) 式可得：

$$\frac{I_2}{I_1} = e^{-\bar{\mu}(T_2 - T_1)} \quad (1.8)$$

两边取常用对数，即可求出 $\bar{\mu}$ ：

$$\lg \frac{I_2}{I_1} = -\bar{\mu}(T_2 - T_1) \lg e$$

$$\bar{\mu} = -\frac{1}{\lg e} \cdot \frac{\lg(I_2/I_1)}{(T_2 - T_1)}$$

$$= -\frac{1}{0.434} \cdot \frac{\lg(I_2/I_1)}{(T_2 - T_1)}$$