

WUUSUN JIANCE SHUXUN



职业教育金属材料检测类规划教材

无损检测实训

邓洪军 主编

WUUSUN JIANCE SHUXUN



教师免费下载
www.cmpedu.com

赠电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

职业教育金属材料检测类规划教材

无损检测实训

主 编 邓洪军
参 编 路宝学
主 审 杨家武



机械工业出版社

本书根据无损检测技术专业岗位工作的要求,以数十个操作训练实例分别介绍了射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测的特点、检测原理及操作技能,具有较强的实用性和指导性。

全书共分四个单元,包括射线检测、超声检测、磁粉检测和渗透检测。本书在编写过程中,从现代高等职业人才培养目标出发,注重教学内容的实用性。特别是结合无损检测技术专业岗位特点,尽量结合生产实际组织教材内容,使学生掌握四种无损检测方法的操作技能。

本书可作为高职、高专及各类成人教育金属材料检测类专业教材或培训用书,也可供Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级无损检测考证人员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

无损检测实训/邓洪军主编. —北京:机械工业出版社,2010.1
职业教育金属材料检测类规划教材
ISBN 978-7-111-28727-8

Ⅰ. 无… Ⅱ. 邓… Ⅲ. 无损检验 - 职业教育 - 教材
Ⅳ. TG115.28

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第003318号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:齐志刚 责任编辑:齐志刚

封面设计:王伟光 责任校对:李秋荣 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷

2010年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11印张·268千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-28727-8

定价:20.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

为了进一步贯彻“国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定”的文件精神，加强职业教育教材建设，满足现阶段职业院校深化教学改革对教材建设的要求，根据现阶段职业院校该专业没有一套较为合适的教材，大部分院校采用自编或行业的考证培训教材组织教学，非常不适合职业教育的实际情况，机械工业出版社于2008年8月在北京召开了“职业教育金属材料检测类专业教学研讨及教材建设会议”，在会上，来自全国该专业的骨干教师、专家、企业代表研讨了新的职业教育形势下该专业的课程体系，本书就是根据会议所确定的教学大纲要求和高职教育培养目标组织编写的。

本书根据国家职业技能标准，将无损检测技术专业不同等级的核心操作技能提炼出来，用极具典型性和代表性的实例加以表现并分步骤进行讲解。本书新颖的编排形式可以使读者对每个案例的操作全过程一目了然，力求使读者尽快熟练掌握无损检测技术各个等级的核心操作技能，力求对读者通过职业资格鉴定考试有所帮助。同时，读者也可以将书中相应实例应用于实际生产操作。

本书以数十个操作训练的实例较全面地介绍了射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测的操作过程和方法，重点强调无损检测实际应用工艺，增加了典型检测工艺卡和应用实例介绍，力求为无损检测从业人员提供无损检测技术应用方面的指导和帮助。

全书共四个单元，邓洪军编写第一、二单元，路宝学编写第三、四单元。全书由邓洪军统稿，渤海船舶重工有限公司研究员级高工杨家武主审。

编写过程中，作者参阅了国内外出版的有关教材和资料，得到了北京普汇恒达材料测试有限公司、河北石油职业技术学院、陕西工业职业技术学院、四川工程职业技术学院、包头职业技术学院有关同志的有益指导，在此一并表示衷心感谢！

由于编写时间仓促，加之作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一单元 射线检测	1
模块一 射线检测概述	1
【一】射线的产生、性质及其衰减	1
【二】射线检测原理	2
模块二 射线检测的技能训练	3
【一】射线检测设备的使用与维护	3
【训练一】X射线探伤机的使用、维护和保养	3
【训练二】 γ 射线探伤机的使用、维护和保管	5
【二】射线检测透照方法	7
【训练三】曝光曲线的制作方法	7
【训练四】纵缝单壁透照法	9
【训练五】纵缝双壁透照法	13
【训练六】环缝单壁外透法	16
【训练七】环缝内透中心法	20
【训练八】环缝内透偏心法	23
【训练九】环缝双壁单影法	26
【训练十】环缝双壁双影法	30
【三】暗室处理技术	33
【训练十一】胶片处理药液的配制方法	33
【训练十二】胶片手工处理方法	35
【训练十三】胶片自动处理方法	37
【四】底片评定	38
【训练十四】底片质量的评定	38
【训练十五】焊接缺陷在底片上的影像分析	42
【五】典型工件的射线检测	44
【训练十六】二氧化硫储罐的射线检测	44
【训练十七】球罐的射线检测	47
模块三 射线检测工艺的编制	50
【一】射线检测通用工艺规程	50
【二】射线检测专用工艺卡	52

【三】典型对接接头射线检测工艺卡编制	55
【实例一】浮头式换热器管箱组件射线检测工艺卡	55
【实例二】压缩机出口分液罐射线检测工艺卡	59
【实例三】工业管道对接焊接接头射线检测工艺卡	62
【综合训练】	62
第二单元 超声检测	65
模块一 超声检测概述	65
【一】超声波的产生及性质	65
【二】超声检测方法	65
模块二 超声检测的技能训练	66
【一】超声波探伤仪及探头的性能测试	66
【训练一】超声波探伤仪的主要性能测试	66
【训练二】直探头的主要性能测试	68
【训练三】斜探头的主要性能测试	71
【训练四】双晶直探头的主要性能测试	75
【训练五】超声波衰减系数的测试	76
【训练六】不同耦合剂对超声波能量损失的测试	78
【训练七】圆柱面反射波（三角形反射波）的测试	79
【训练八】表面声能损失差的测定	80
【训练九】缺陷长度的测定	81
【训练十】焊缝超声检测距离一波幅曲线的制作	83
【二】典型工件的超声检测	84
【训练十一】薄钢板的超声检测	84
【训练十二】中厚钢板的超声检测	86
【训练十三】复合钢板的超声检测	88
【训练十四】无缝钢管的超声检测	89
【训练十五】锻件的超声检测	90
【训练十六】铸件的超声检测	92

【训练十七】对接焊缝的超声检测	94	模块三 磁粉检测工艺编制	129
【训练十八】管座角焊缝的超声检测 ...	96	【一】磁粉检测通用工艺规程	129
【训练十九】T形焊缝的超声检测	99	【二】磁粉检测工艺卡	134
模块三 超声检测工艺的编制	101	【三】典型工件磁粉检测工艺卡编制	135
【一】超声检测通用工艺规程	102	【实例一】压力管道磁粉检测工 卡	135
【二】超声检测专用工艺卡	103	【实例二】减速机蜗杆轴磁粉检测 工艺卡	135
【三】超声检测工艺卡编制实例	105	【实例三】丙烯蒸发器磁场检测工 艺卡	138
【实例一】压力容器钢板超声检测工 艺卡	105	【综合训练】	139
【实例二】锻件超声检测工艺卡	106	第四单元 渗透检测	142
【实例三】回转炉超声检测工艺卡	108	模块一 渗透检测概述	142
【综合训练】	109	【一】渗透检测原理和分类	142
第三单元 磁粉检测	111	【二】渗透检测的优点和局限性	143
模块一 磁粉检测概述	111	模块二 渗透检测的技能训练	144
【一】磁粉检测原理	111	【一】渗透检测试剂性能测试	144
【二】磁粉检测的适用范围	111	【训练一】溶剂清洗型着色液性能的 比较试验	144
模块二 磁粉检测的技能训练	112	【训练二】荧光渗透剂亮度的比较测 定	145
【一】磁粉及磁悬液	112	【训练三】渗透剂在紫外线下的稳定 性测试	145
【训练一】磁粉的磁性测定	112	【训练四】渗透剂的灵敏度测试	146
【训练二】磁粉粒度测定（显微镜筛 选法）	113	【训练五】显像剂的灵敏度测试	148
【训练三】磁粉粒度测定（酒精沉淀 法）	114	【二】典型工件的渗透检测	149
【训练四】磁悬液的配制	116	【训练六】焊缝着色检测	149
【训练五】磁悬液的浓度测定	117	【训练七】铸钢件的渗透检测	150
【二】磁粉检测设备及试块	118	【训练八】锻件的渗透检测	151
【训练六】通电导体的磁场测试	118	【训练九】小型不锈钢工件的渗透检 测	152
【训练七】工件 L/D 值对纵向磁化 效果的影响	119	模块三 渗透检测工艺的编制	153
【训练八】白光照射和紫外线光（黑 光）照度的测定	120	【一】渗透检测通用工艺规程	153
【训练九】灵敏度标准试片使用试 验	121	【二】渗透检测的工艺卡	160
【训练十】磁粉检测综合性能测试	122	【实例一】压力管道渗透检测工 卡	162
【训练十一】反差增强剂的使用	123	【实例二】中压分离器渗透检测工 卡	164
【三】磁痕记录及退磁	124	【实例三】锻件渗透检测工艺卡	166
【训练十二】磁痕记录试验	124	【实例四】铸造汽轮机叶片渗透检测 工艺卡	167
【训练十三】退磁及剩磁测量	125	参考文献	169
【四】典型工件的磁粉检测	127		
【训练十四】焊缝磁粉检测	127		
【训练十五】磁粉检测——橡胶铸型 法	128		

第一单元 射线检测



内容导入：射线检测，也称射线探伤，是工业无损检测中的一个重要检测手段。这里介绍的射线检测方法是指用 X 射线或 γ 射线穿透工件，以胶片作为记录信息载体的无损检测方法，其检测原理作一般了解，重点掌握射线检测的技能训练和检测工艺的编制。

射线检测是利用 X 射线或 γ 射线可以穿透物质和其在物质中有衰减的特性，来发现物质内部缺陷的一种无损检测方法，它可以检查金属和非金属材料及其制品的内部缺陷，如焊缝中的气孔、夹渣、未焊透等体积型缺陷。这种无损检测的方法有独特的优越性，即焊接缺陷的直观性、准确性和可靠性，而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。但此法也存在着设备较复杂、成本较高的缺点，并需要对射线进行防护。

模块一 射线检测概述

【一】射线的产生、性质及其衰减

一、X 射线的产生及其性质

用来产生 X 射线的装置是 X 射线管，它由阴极和真空玻璃（或金属陶瓷）外壳组成，其结构和工作原理如图 1-1 所示。阴极通以电流加热至白炽时，其阳极周围形成电子云，当在阳极与阴极间施加高压时，电子被阴极排斥而受阳极吸引，加速穿过真空空间，高速运动的电子束集中轰击金属靶，电子被阻挡减速和吸收，其部分动能（约 1%）转换为 X 射线，其余（99% 以上）的能量变成热能。

与检测有关的 X 射线具有以下性质：

- 1) 不可见，以光速直线传播。
- 2) 不带电，不受电场和磁场的影响。
- 3) 能穿透可见光不能穿透的物质，如骨骼、金属，并且在物质中有衰减的特性。
- 4) 可以使物质电离，能使胶片感光，也能使某些物质产生荧光。
- 5) 能起生物效应，伤害和杀死细胞。

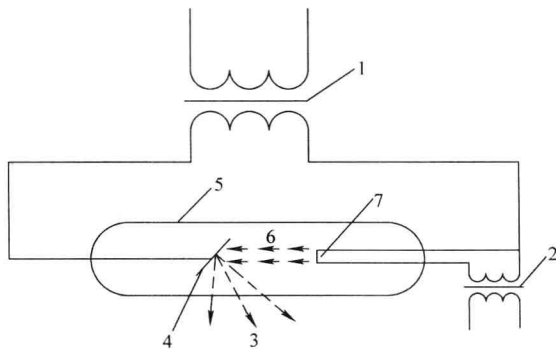


图 1-1 X 射线产生装置的结构和工作原理示意图

1—高压变压器 2—灯丝变压器 3—X 射线
4—阳极 5—X 射管 6—电子 7—阴极

二、 γ 射线的产生及其性质

γ 射线是由放射性物质（ ^{60}Co 、 ^{192}Ir 等）内部原子核的衰变过程产生的。

γ 射线的性质与X射线相似，由于其波长比X射线的波长短，因而射线能量高，具有更大的穿透力。例如，目前广泛使用的 γ 射线源 ^{60}Co ，可以检查250mm厚的铜质焊件、350mm厚的铝制焊件和300mm厚的钢制焊件。

三、射线的衰减

当射线穿透物质时，由于物质对射线有吸收和散射作用而使射线失去部分能量，从而引起射线能量的衰减，这种现象称之为射线的衰减。

射线在物质中的衰减是按照射线强度的衰减呈负指数规律变化的，以强度为 I_0 的一束平行线束穿过厚度为 δ 的物质为例，穿过物质后的射线强度可用衰减定律表达

$$I = I_0 e^{-\mu\delta} \quad (1-1)$$

式中 I ——射线透过物质厚度为 δ 的强度；

I_0 ——射线的初始强度；

e ——自然对数的底；

δ ——透过物质的厚度；

μ ——衰减系数（ cm^{-1} ）。

【二】射线检测原理

射线照相法是根据被检焊接件与其内部缺陷介质对射线能量衰减程度的不同，使射线透过焊件后的强度也不同，从而使缺陷在射线底片上显示出来的一种方法。如图1-2所示，当平行射线束透过焊件时，由于缺陷内部介质（如空气、非金属夹渣等）对射线的吸收能力比母材对射线的吸收能力要低得多，因而透过缺陷部位（A、B处）的射线强度高于周围完好部位（C处）的射线强度。在感光胶片上，对应有缺陷部位将接受较强的射线曝光，经暗室处理后将变得较黑（图1-2中A、B处黑度比C处大）。因此焊件中的缺陷通过射线照相后就会在底片上产生缺陷影迹。这种缺陷影迹的大小实际上就是焊件中缺陷在投影面上的大小。

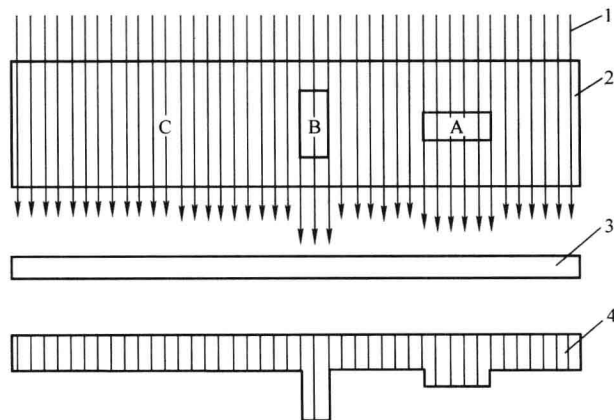


图 1-2 射线照相法原理

1—X射线 2—焊件 3—胶片 4—底片黑度变化

模块二 射线检测的技能训练

【一】射线检测设备的使用与维护

掌握射线检测方法，首先必须熟练地操作和使用检测设备。设备的正确使用和及时维护不仅能延长其使用寿命，还能保证检测质量、保障检测人员及公众的生命安全。

【训练一】X射线探伤机的使用、维护和保养

一、训机

为了保证X射线管的使用寿命，对新出厂的或长期不使用的X射线探伤机应严格训机后才能使用。训机就是对不是连续使用的X射线探伤机按要求进行逐步升高电压的训练过程。训机一般按设备说明书进行。下面以常用的XXQ—2505型X射线探伤机的训机方法为例进行介绍，其控制器面板示意图如图1-3所示。

1. 手动训机

(1) 训机前的准备 对于长期闲置不用或新出厂的X射线机，可按如下步骤进行训机。

1) 将电缆线一端与控制箱连接，另一端与X射线探伤机机头连接；将电源线的一端插入控制箱电源线插孔，另一端插入外接电源插座，保证各连接点接触良好，并接好接地线。

2) 检查所使用的电源电压是否是220V，如果电压有较大波动，需接一台稳压器。

3) 接通电源后，打开电源开关，控制箱面板上的电源指示灯亮，机头风扇开始转动，表明系统已经准备好，可以进行训机或曝光。

(2) 训机操作

1) 首先调节“管电压”旋钮，使它指示最低值150kV，调整时间指示器为5min，按下“高压通”开关。此时高压指示灯（红灯）亮，表示高压已接通。

2) 在通高压的5min内，以极其缓慢的速度旋转“电压调整”旋钮，使旋钮指示在160kV，也就是使升压速度为2kV/min。

3) 5min后，蜂鸣器响起，红灯熄灭，即高压切断。让机器休息5min，保持时间指示器不变，然后按下“高压通”开关，继续以2kV/min的速度调整电压旋钮，调到170kV。

4) 时间到，再休息5min，重复以上操作，直到管电压升到额定管电压250kV为止，整个训机过程结束。

对于闲置一段时间的X射线探伤机，可按表1-1规定的升压速度和休息时间进行训机。

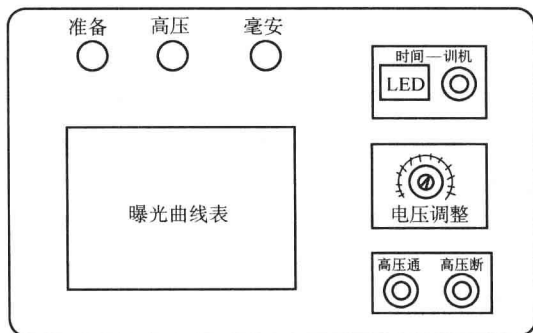


图 1-3 2505 型 X 射线探伤机控制器面板示意图

表 1-1 X 射线探伤机训机规定

闲 置 时 间	训 机 方 法
1 天	只需自动训机到使用电压值，若使用电压较前一天高，可自动训机到前一天使用的电压值后，手动按 2kV/min 的升压速度升到将使用的电压值
2 ~ 7 天	手动训机，从最低值开始，按 10kV/min 升到最高值（到 210kV 时，需休息 5min，然后继续训机）
7 ~ 30 天	手动训机，从最低值开始，每 5min 升电压 10kV，至最高值。每训机 10min，休息 5min
30 ~ 60 天	手动训机，从最低值开始，每 5min 升电压 10kV，升到最高值。每升 10kV 电压休息 5min
60 天以上	按上述方法进行，但需增加休息时间和训机次数

2. 自动训机

对于装有延时线路、自动训机线路的 X 射线探伤机，训机可以自动进行。

1) 正确连接好设备后，设备指示“准备工作”。在准备工作状态下，按下“训机”键，设备自动从最低电压 150kV 开始训机。机器本身的预置时间为 5min，并自动设置 1:1 休息程序。

2) 训机开始后，控制面板显示倒计时，同时电压从 150kV 逐渐升高。当计时器显示为 0 时，训机中断开始休息。电压显示此时升高到的电压值。

3) 机器休息 5min 后，语音提示“继续训机”。电压开始继续升高，计时器从 5min 开始倒计时。

4) 以上过程“训机——休息——训机”循环进行，直到电压升高到最高负载电压 250kV 为止，语音提示“训机结束”。整个过程都是设备微机控制系统自动控制进行的。

自动训机的另一种方法是，设备提示“准备工作”后，输入需用管电压，若训机灯亮，则提醒您在该电压下工作需要训机。这时，调节训机时间（如 2min），在工作状态下，按“开”键，则机器根据输入的时间自动进行训机，管电压以最低值 150kV 开始逐渐升高。当管电压升到输入的管电压值时，训机灯灭，训机结束。这一训机过程中机器自动进行 1:1 工作与休息，即训机 2min，休息 2min。训机完成后，可以进行曝光操作。

二、X 射线探伤机的使用

1. 操作内容和步骤

1) 将电源线、电缆线插头分别和控制箱、机头、高压发生器及冷却系统等牢固连接，保证接触良好。

2) 检查所使用的电源电压是否为 220V，并观察其稳定性，如果波动范围超过 $\pm 10\%$ 额定电压时，需加设一个调压器或稳压电源。

3) 将控制箱上的接地线与外接接地插头连接好，保证可靠接地。

4) 认真训机，保证 X 射线管良好的使用状态，以便延长探伤机的使用寿命。

5) 按要求划线、贴片、调整管电压和曝光时间，准备曝光。

6) 按下“高压通”开关，高压指示灯和毫安指示灯同时闪亮，开始曝光。曝光时计时器显示倒计时，当计时器显示为 0 时，曝光结束。蜂鸣器响起，高压指示灯熄灭，高压自动切断。

7) 一次曝光时间超过设备最大预置时间 5min 时，需休息 5min 后，调整计时器为剩余

曝光时间，按下“高压通”开关继续曝光。

2. 注意事项

- 1) 通电前应检查电源线、电缆线插头是否接触良好，防止虚接触。
- 2) 接通电源后，检查冷却系统是否正常工作，确保整个曝光过程中，冷却良好。
- 3) 曝光过程中，如发现异常，应按下“高压断”开关，切断高压，分析原因，排除故障，然后才能继续进行曝光。
- 4) 工作结束后，拔下电缆线时应手握接头根部，顺着接头方向拔下，不能强行拖拽，防止损坏电缆线。

三、X 射线探伤机的维护和保养

为了减少 X 射线探伤机的使用故障，应做经常性的维护和保养工作。

- 1) X 射线探伤机应摆放在通风干燥处，切忌置于潮湿、高温及腐蚀性环境中，以免降低绝缘性能。
- 2) 运输、搬动时要轻拿轻放，并采取防振措施。避免因剧烈振动造成接头松动、高压包移位、X 射线管破损等故障。
- 3) 保持机器表面清洁，经常擦拭机器，防止尘土、污物造成短路或接触不良。
- 4) 保持电缆线插头接触良好，如因使用时间过长，导致插头磨损松动，接触不良，应及时更换。
- 5) 经常检查机头是否漏油、漏气。如窗口有气泡产生即证明机头漏油；若压力表指示低于 0.34MPa，则机头可能漏气。发生上述情况应及时补充油、气，确保绝缘性能良好。

【训练二】 γ 射线探伤机的使用、维护和保管

一、 γ 射线探伤机的使用

1. 操作内容和步骤

- 1) 根据探伤条件用 γ 射线曝光计算尺寸算出最佳黑度的曝光时间。
- 2) 检查 γ 射线监测仪，音响报警器是否正常工作。
- 3) 检查设备有无明显损伤，驱动机构是否灵活，有无卡死现象，输源管有无明显砸扁或损坏现象。
- 4) 利用定位架固定输源管曝光头，使其与实际拍片焦点重合。把主机平稳地安放在合适的位置，铺设输源管道，注意输源管曲率半径不得小于 500mm。如果工作场地允许，尽量使输源管伸直。
- 5) 从屏蔽容器上取下源顶鞭，将其插入储存源顶鞭管内，将输源管与探伤机机体输出端连接。
- 6) 连接驱动机构。打开机体上的安全锁，旋转“选择环”，使其从“锁紧”位置转到“连接”位置，防护盖自动弹出；将控制缆连接套向后滑动，打开控制缆连接器上的卡爪，露出控制缆上的阳接头；用大拇指指尖压下弹簧顶锁销，把阴阳接头嵌接好，放开锁销，检查是否连接妥当；收拢卡爪，盖住阴阳接头部件；向前滑动连接套，套住卡爪，并将连接套上的缺口销插入选择环定位环孔内；旋转选择环到“工作”位置。
- 7) 沿顺时针方向迅速摇动驱动机构手柄，将射线源从屏蔽容器内送入输源管，再到照相头，直至手感到摇不动为止，此时行程记录数字应与输源管长度相对应。如果中途发现摇动手柄有困难，就应反向摇，把源收回到屏蔽容器中，然后用 γ 射线剂量率仪检

测工作场所,确信放射源回到储存容器后,再检查控制缆和输源管是否异常,校正后再往外送源。

8) 收源。曝光结束后,沿逆时针方向迅速摇动手柄,直至摇不动为止,这时源被收到储存容器内,用 γ 射线剂量率仪检查确认放射源已回到屏蔽容器中。

9) 旋转“选择环”到“连接”位置,取下连接爪式定位环,打开连接爪,从阴接头中取出阳接头,盖上端盖,旋转“选择环”到“锁紧”位置,锁上安全锁,取下安全锁的钥匙,卸下输源管,上好源顶鞭,整个操作过程结束。

2. 注意事项

1) 工作前,应对操作区域进行划分,对射线剂量过大的区域要设立安全警示标志。

2) 进入工作区,操作人员就应携带好 γ 射线剂量率仪和报警器,并打开仪器开关,检查仪器是否完好,损坏的仪器应马上更换。

3) 整个操作过程中,操作人员要在远离放射源的地方工作。当射线源输送到照相机后,应跑步离开,在有屏蔽物的地方或安全距离外等待曝光结束。曝光结束后,迅速将源收回,尽量减少受照射时间和剂量。

二、换源

γ 射线源经过几个半衰期后,源的活度减小,曝光时间增加,生产效率下降。当无法满足生产需要时,则需购买新源,将旧源换掉,这个过程叫换源。换源包括两个内容,一是从探伤机中将旧源输入到换源器的空腔内;二是从换源器的另一个装有新源的腔体内取出新源送至 γ 射线探伤机的机体内。

1. 设备和器材

γ 射线探伤机主要有换源器、 γ 射线探伤机、 γ 射线剂量率仪、音响报警器。

2. 操作内容和步骤

1) 在检测室内,将换源器、 γ 射线探伤机摆放平稳。按 γ 射线探伤机操作步骤把驱动机构与探伤机主机连接,然后,将不带照相头的输源管两端分别与主机和换源器相连。

2) 摇动驱动机构手柄,将旧源从探伤机中送入换源器空腔内。

3) 从旧源鞭上取出驱动缆上的阳接头,从换源器旧源孔道接头上拆下输源管,将输源管与换源器上新源孔道接头相连。

4) 将控制缆阳接头与新源鞭的阴接头连接,并合上导源管。

5) 摇动驱动机构曲柄,将新源拉入探伤机机体内。

6) 旋转“选择环”到“连接”位置,取下连接爪式定位环,打开连接爪,从阴接头中取出阳接头。

7) 盖上端盖,旋转“选择环”到“锁紧”位置,锁上安全锁,取下安全锁的钥匙,卸下输源管,上好源顶鞭。换源操作完毕。

3. 注意事项

1) 换源需要在探伤室或有屏蔽措施的地方进行,以免对公众造成辐射伤害。

2) 换源操作前,须认真检查 γ 射线剂量率仪和音响报警器是否完好,并保证在操作过程中始终处于打开的状态,以监测射线源是否完全进入换源器和探伤机体中,防止掉源现象的发生。

3) 换源操作应迅速熟练,尽快完成,最大限度地减少操作者受辐射的时间。

三、 γ 射线探伤机的维护和保管

1) γ 射线探伤设备需设专人保管,并保存在屏蔽良好的专用场地,出入库都应有详细记录。

2) 平时工作中,对输源管应特别注意保护,尽可能避免重物砸扁导管。不得在地上拖拽输源管,防止泥沙进入导管内。

3) 每次使用前应认真检查,如发现问题,应暂停使用,报专门人员处理。不允许自行拆卸,以免造成放射性事故。常见的设备故障有安全锁失灵、机体破碎、阳接头拉断、驱动机构失灵、控制缆导管及输源管被砸扁变形、源外包壳与源座脱开等。 γ 射线探伤机出现故障,一般个人无法维修,需更换零件或通知厂家进行处理。

【二】射线检测透照方法

根据对接焊缝的类型,一般将射线检测透照方法分为纵缝透照法和环缝透照法;根据透照时射线需穿透的厚度是一层工件的厚度还是两层工件的厚度,将透照方法分为单壁透照法和双壁透照法;根据底片产生的影像情况可将环缝双壁透照分为环缝双壁单影透照法和环缝双壁双影透照法。

射线检测透照方式的选择一般根据现场工况,综合考虑各种因素进行。这些因素包括透照灵敏度、缺陷检出特点、透照厚度差和横向裂纹检出角、一次透照长度、操作方便性及试件和检测设备具体情况等。选择时应权衡利弊,选择最适合的方法。

透照方式确定后,首先应选择检测设备和曝光条件,这就涉及曝光曲线这一概念。曝光曲线是表示射线能量、曝光量、被透照工件厚度之间关系的曲线。若纵坐标用对数刻度表示曝光量,横坐标表示工件厚度,管电压作为变化参数,所构成的曲线称为曝光量-厚度曲线,即 $E-T$ 曲线。实际工作中,通常根据工件的材质和厚度来选取射线能量、曝光量。每台 X 射线探伤机的曝光曲线各不相同,即使同一台 X 射线探伤机,随着使用时间的增加,管子的灯丝和靶也可能老化而引起射线照射率的变化,曝光曲线在实际应用中还要不断修正。因此制作曝光曲线是一项很重要的工作。曝光曲线可以通过试验制作。

【训练三】曝光曲线的制作方法

一、设备和器材

- (1) 设备 XXQ—2005 型 X 射线探伤机。
- (2) 胶片 天津Ⅲ型胶片。
- (3) 增感屏 铝箔增感屏,前、后屏厚度均为 0.03mm。
- (4) 显影液 D19b 型显影药液。
- (5) 试块和垫板 如图 1-4 所示的阶梯试块 1 块;与阶梯试块尺寸相同,厚度为 8mm 的垫板 1 块;试块和垫板材料为普通低合金钢或碳素钢。
- (6) 黑度计 TH—386A 型黑度计。
- (7) 辅助器材 铅字、尺、瞄准器、坐标纸、薄铅板。

二、制作方法

1. 确定有关数据

- 1) 焦距 $F = 600\text{mm}$ 。
- 2) 暗室显影条件:显影温度 24°C ,显影时间 3min。

3) 黑度 $D = 2.0$ 。

2. 曝光准备

1) 将胶片切成长 200mm、宽 80mm 的 10 张胶片，每张胶片分别放在两片增感屏中间与增感屏一起装入暗袋。

2) 将 10 个暗袋分成两组：A 组暗袋分别贴上“ A_1 ”、“ A_2 ”、“ A_3 ”、“ A_4 ”、“ A_5 ”铅字；B 组暗袋分别贴上“ B_1 ”、“ B_2 ”、“ B_3 ”、“ B_4 ”、“ B_5 ”铅字。

3. 曝光

1) 在地面上铺一块比阶梯试块大一些的薄铅板，其作用是吸收散射线。将贴有“ A_1 ”标记的暗袋放在铅板中心位置，试块放在暗袋上，注意使试块完全覆盖住胶片。

2) 将机头用支架支起，调整焦距，使射线源到胶片的距离为 600mm，并用瞄准器调整机头，使主射线束对准试块中心。

3) 以管电压为 100kV，曝光量为 $2\text{mA} \cdot \text{min}$ ，即 0.4min 的曝光时间，对试块进行曝光，摄得小曝光量 100kV 条件的阶梯试块胶片 1 张。将“ A_1 ”暗袋收起，换成“ A_2 ”暗袋，曝光时间不变，管电压改为 120kV，进行曝光，摄得小曝光量 120kV 条件的一张胶片。用同样方法调管电压为 150kV、170kV、200kV 分别对“ A_3 ”、“ A_4 ”、“ A_5 ”暗袋进行曝光。

4) 把厚度为 8mm 的垫片放在阶梯试块下面，以曝光量为 $50\text{mA} \cdot \text{min}$ ，也就是曝光时间为 10min 的条件，分别用 100kV、120kV、150kV、170kV、200kV 的管电压用上述方法对“ B_1 ”、“ B_2 ”、“ B_3 ”、“ B_4 ”、“ B_5 ”胶片进行曝光，摄得 5 张不同电压条件下大曝光量的阶梯试块胶片。

4. 测量黑度

1) 将摄得的 10 张阶梯试块胶片采用相同的暗室处理条件进行冲洗，显影温度为 24°C ，显影时间为 3min，用机器自动冲洗（也可以手洗）。

2) 用黑度计测量每张底片上每级阶梯影像的黑度，设计一张表格，将数据记录下来。

5. 绘制 $D-T$ 曲线

1) 试块的阶梯厚度作为横坐标，单位是 mm。

2) 以黑度值为纵坐标，刻度为 1.0、1.5、2.0、2.5。

3) 以管电压 100kV、120kV、150kV、170kV（200kV 略）为变量分别绘制小曝光量 $D-T$ 曲线和大曝光量 $D-T$ 曲线，如图 1-5 所示。

6. 绘制 $E-T$ 曲线

1) 横坐标仍为试块的阶梯厚度，纵坐标为曝光量的对数，建立 $E-T$ 坐标。

2) 选定基准黑度 $D = 2.0$ 。从小曝光量 $D-T$ 曲线（图 1-5a）上查出 150kV 管电压在 $D = 2.0$ 时对应的厚度值为 4.2mm。即 $E_1 = 2\text{mA} \cdot \text{min}$ ， $T_1 = 4.2\text{mm}$ 。

3) 查大曝光量 $D-T$ 曲线（图 1-5b）获得 150kV 管电压在 $D = 2.0$ 时对应的厚度值为 16mm。即 $E_2 = 50\text{mA} \cdot \text{min}$ ， $T_2 = 16\text{mm}$ 。

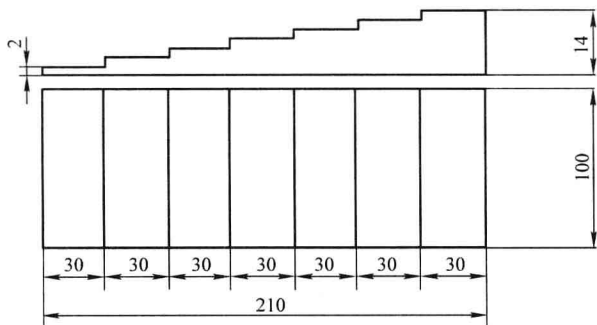


图 1-4 曝光用阶梯试块

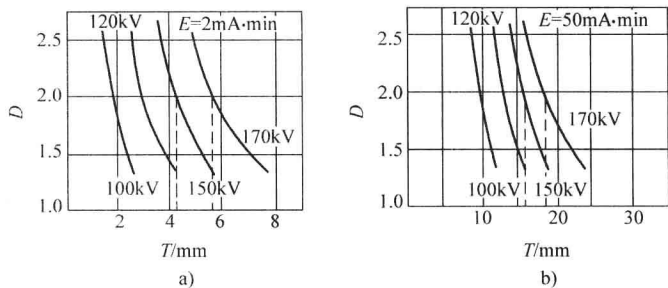


图 1-5 D-T 曲线

a) 小曝光量 D-T 曲线 b) 大曝光量 D-T 曲线

4) 将上述两点在图 1-6 的 E-T 坐标上标出, 用直线连接起来并延长, 在直线的附近标出“150kV”的字样, 则得到 150kV 的曝光曲线。

5) 用同样方法绘制 170kV 管电压的曝光曲线: 查图 1-5a, $D=2.0$ 与 170kV 曲线相交点的横坐标数值为 5.6mm, 即 $E_1 = 2\text{mA} \cdot \text{min}$, $T_1 = 5.6\text{mm}$ 。再查图 1-5b, 当 $D=2.0$ 时, 170kV 曲线对应的横坐标数值为 18mm, 即 $E_2 = 50\text{mA} \cdot \text{min}$, $T_2 = 18\text{mm}$ 。将上述 (T_1, E_1) 和 (T_2, E_2) 两点在图 1-6 坐标中标出, 连接两点并适当延长, 在直线附近标出“170kV”字样, 则得到 170kV 的曝光曲线。

6) 采用上述相同的方法逐一绘制出其他管电压下的曝光曲线, 得到完整 E-T 曲线。

7) 在所绘制的曝光曲线图下面标明固定条件: 所使用的设备、焦距、胶片、增感方式、冲洗条件和基准黑度。

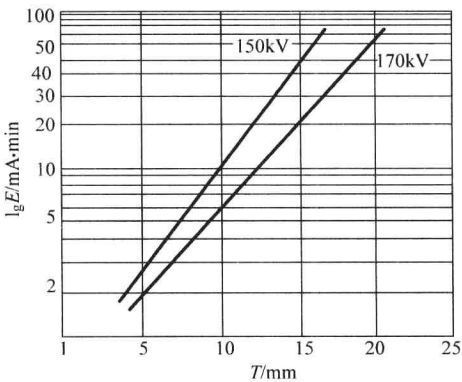


图 1-6 E-T 曝光曲线

三、注意事项

由于每一曝光曲线只适用于一组特定的条件, 做实验时应保证这一组特定条件始终不变。

- 1) 阶梯试块的加工要保证精度, 阶梯厚度不得有较大的厚度偏差。
- 2) 由于射线辐射强度与距离的平方成反比, 焦距的很小变化, 将会使到达胶片的射线强度产生较大的变化。所以为保证实验的准确性, 射线源至胶片的距离要准确量出, 并在整个曝光过程中保持不变。
- 3) 摄得的两组胶片要以相同的显影条件进行冲洗, 不同的显影温度和显影时间会使底片黑度产生很大的差异, 以致影响曝光曲线的准确性。

【训练四】 纵缝单壁透照法

一、适用范围

纵缝单壁透照法是纵缝透照时最常用的方法, 适用于试板、平板、筒体纵缝的透照。

二、工艺方法和检测操作

1. 试件状况和检测要求

(1) 试件规格 焊缝长度 $H=1800\text{mm}$ 的筒节, 母材厚度 $T=8\text{mm}$ 。

- (2) 试件材料 16MnR。
- (3) 焊接方法 焊条电弧焊双面焊。
- (4) 检测比例 对焊缝进行 100% 射线检测。
- (5) 像质等级 AB 级。
- (6) 验收标准 符合 JB/T 4730—2005 II 级合格。

2. 设备和器材

- (1) 设备 XXQ—2005 型 X 射线探伤机, 设备焦点尺寸为 $2.3\text{mm} \times 2.3\text{mm}$ 。
- (2) 胶片 天津Ⅲ型胶片, 规格为 $360\text{mm} \times 80\text{mm}$ 。
- (3) 增感屏 使用铅箔增感屏, 前、后屏厚度均为 0.03mm 。
- (4) 显影液 D19b 型显影液。
- (5) 黑度计 TH—386A 型黑度计。
- (6) 像质计 R10 系列, Fe Ⅲ型 (10/16) 像质计。
- (7) 铅字 与识别标记、定位标记相关的各种铅字。
- (8) 辅助器材 瞄准器、卷尺、薄铅板、胶带、石笔、记号笔等。

3. 透照工艺条件的选择

(1) 管电压的选择 射线能量的选择取决于透照工件厚度及材料种类, 有时也根据设备类型和条件而定。通常情况下, 随着能量的降低, 透照影像的对比度增加。因此, 在曝光时间许可的情况下, 应尽量采用较低的射线能量。图 1-7 是透照不同厚度材料时允许使用的最高透照管电压。

透照工件材料为 16MnR, 属钢铁类, 选择图 1-7 中的曲线 2 来限定最高管电压。

选择管电压之前应首先计算工件透照厚度 W 。单层透照双面焊接焊缝的透照厚度按下列公式计算

$$W = T + 4 \quad (1-2)$$

其中 $T = 8\text{mm}$, 则 $W = 12\text{mm}$ 。

根据 $W = 12\text{mm}$ 查图 1-7 得到最高管电压为 190kV 。为避免短时曝光对灵敏度的影响, 标准推荐曝光量不低于 $15\text{mA} \cdot \text{min}$ 。对照图 1-8 曝光曲线, 选 150kV 作为该工件的透照管电压比较合适。

(2) 焦距的选择 焦距对射线照相灵敏度的影响主要表现在几何不清晰度 (u_g) 上。在我国现行标准中, 规定透照距离 f 与焦点尺寸 d 和透照厚度 b 应满足以下关系:

像质等级为 AB 级, 要求 $u_g \leq \frac{1}{10}b^{1/3}$, 通过几何不清晰度 u_g 的计算公式 $u_g = \frac{db}{f}$ 可推导出

透照距离 f 的公式

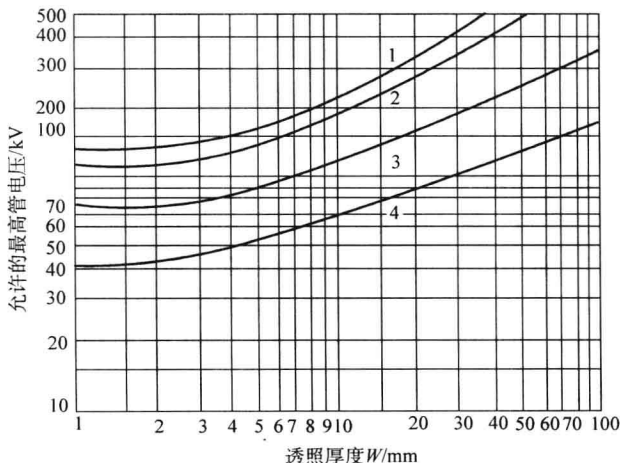


图 1-7 不同透照厚度允许的最高透照管电压
1—铜及铜合金 2—钢 3—钛及钛合金 4—铝及铝合金

$$f \geq 10db^{2/3} \quad (1-3)$$

式中 f ——射线源至工件表面的距离 (mm);

d ——有效焦点尺寸 (mm);

b ——工件表面至胶片距离 (mm)。

这里 $d = 2.3\text{mm}$, $b = 12\text{mm}$, 则

$$f \geq 10 \times 2.3 \times 12^{2/3} \text{mm} = 120\text{mm}$$

因此最小焦距 $F_{\min} = f + b = 120\text{mm} + 12\text{mm} = 132\text{mm}$ 。

单纯为满足几何不清晰度要求, 焦距只要不小于 132mm 即可,

但是实际透照时一般并不采用最小焦距值, 所用的焦距比最小焦距要大得多, 这是因为透照场的大小与焦距相关。焦距增大后, 匀强透照场范围增大, 这样可以得到较大的有效透照长度, 同时影像清晰度也进一步提高。一般选择焦距为 600~700mm, 根据具体情况酌情考虑。现选择焦距 $F = 600\text{mm}$ 。

(3) 曝光时间的选择 曝光时间可通过查曝光曲线获得。曝光曲线可以选用射线探伤机厂家推荐的曝光曲线, 也可以用自己针对特定设备制作的曝光曲线。现以图 1-8 的曝光曲线为例来阐述曝光量的确定方法。

工件透照厚度 $W = 12\text{mm}$, 管电压选用 150kV, 在曝光曲线上找出该点, 该点的纵坐标即是曝光量 ($18\text{mA} \cdot \text{min}$)。由曝光量可以确定曝光时间

$$t = \frac{\text{曝光量}}{\text{管电流}} = \frac{18\text{mA} \cdot \text{min}}{5\text{mA}} = 3.6\text{min} \quad (1-4)$$

前面讲述我们所选焦距 $F = 600\text{mm}$, 与使用的曝光曲线焦距相同, 因此曝光量无须修正。

(4) 一次透照长度和最少透照次数的计算

一次透照长度: JB/T 4730—2005 标准规定, 纵缝透照满足像质等级 A 级和 AB 级的透照厚度比 $K \leq 1.03$ 。图 1-9 是焊缝透照厚度比示意图。

$$\text{从图中可以看出: } K = \frac{T'}{T} = \frac{1}{\cos \theta}$$

因 $K \leq 1.03$, 则 $\theta \leq 13.86^\circ$

$$L_3 = 2f \tan \theta \approx 0.5f \quad (1-5)$$

$f \approx F = 600\text{mm}$, 则 $L_3 = 0.5 \times 600\text{mm} = 300\text{mm}$

最少透照次数: 最少透照次数也就是满足透照厚度比的焊缝最少曝光次数, 用 N 表示。

$$N = \frac{\text{焊缝长度}}{\text{一次透照长度}} = \frac{1800}{300} = 6$$

也就是说该筒节纵缝需曝光 6 次。

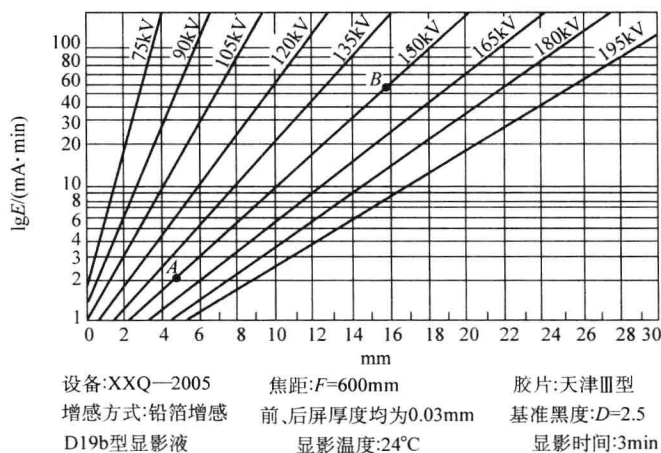


图 1-8 曝光曲线

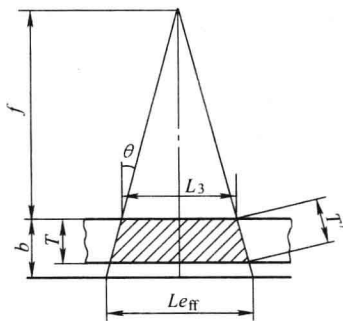


图 1-9 焊缝透照厚度比示意图