

机械工人学习材料

用X射线和 γ 射线 检验焊缝的方法

马幼良 陈永麟 编著

机械工业出版社

内容提要 本书详细介绍了X射线和Y射线发生的原理，用这两种射线来检验焊缝的具体方法，对缺陷的辨认，鉴别焊缝质量的标准以及X射线机的安装、调试、常见故障和维护等；最后还谈了一些劳动保护的常识。

本书可作为焊工及焊缝检验工的学习材料。

用X射线和Y射线检验焊缝的方法

马幼良 陈永麟 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ，印张 $1^{10}/_{16}$ ，字数 35 千字

1974年5月北京第一版，1974年5月北京第一次印刷

印数 00,001—47,000，定价 0.14 元

*

统一书号：15033·3496



毛主席语录

红与专、政治与业务的关系，是两个对立物的统一。一定要批判不问政治的倾向。一方面要反对空头政治家，另一方面要反对迷失方向的实际家。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

目 次

一	概述	1
二	X射线发生的基本原理和检验焊缝的方法	3
	1 X射线的产生和它的性质(3)——2 工业上用的X射线装置(5)——3 X射线机的安装、试验及射线管的“训练”(9)——4 X射线机的常见故障和维护(12)——5 X射线机的技术规范(14)——6 透照焊缝的方法(15)	
三	γ 射线发生的基本原理和检验焊缝的方法	22
	1 什么叫做 γ 射线(22)——2 工业用 γ 射线探伤设备(24)——3 应用 γ 射线透照各类焊缝的方法(26)	
四	X射线胶片的暗室处理和贮藏	29
	1 胶片的显影(30)——2 胶片的定影(32)——3 胶片的水洗(33)——4 干燥(34)——5 胶片的贮存(34)	
五	焊缝质量的鉴定	35
六	工厂中应用放射线检验焊缝时的劳动保护	42
	1 放射线对有机组织的影响(42)——2 在工地、车间及试验室中进行透照的安全技术(44)——3 探伤工作人员的条件和应有的保健措施(46)	

一 概 述

“一切产品，不但求数量多，而且求质量好”，为了保证和提高产品的质量，各种材料或成品，在生产过程中，都必须经过一系列的检查。检查材料或成品的方法很多，大致可分为下列两大类：

第一类：从所需用的材料或成品中间，选取一定数量的样品，然后再用机械性能试验机来测定这些样品的抗压强度、抗拉强度、抗弯强度、冲击值等；或用化学分析方法来测定这些样品内所含有的化学成分；或者用金相方法来观察它们的金相组织。根据这些试验方法得出的结果，来判断和确定这批材料或成品质量的优劣。这些试验方法，总称为破坏性试验检查。这种检查方法的缺点，就是在大量生产时每个产品不能一一作破坏性试验检查。

第二类：在检查材料或成品前和检查过程中，不破坏被检查的材料或成品，同样能知道材料或成品内部的情况；当检查完毕后，被检查的产品或材料仍能保持完整无缺，这种检查方法，总称为无损探伤法。

在现代化的工业生产中，第二类检查方法已被广泛应用。无损探伤法中，一般是利用磁力线、X射线、 γ 射线^①、超声波、荧光、染色等检查法。这些检查方法中，每一种方法都有它一定的优点和缺点，在应用上也有一定的范围，检查各种缺陷的灵敏度也都不同。

① “X”的读音是“爱克斯”，“ γ ”的读音是“嘎马”。

焊接工艺现在采用得很广泛，它在机械工业中占着重要的地位。焊接质量的优劣，严重地影响到整个产品的质量——强度、寿命。所以焊缝质量的检查，是一个极重要的、不可缺少的步骤。

目前在我国检查焊缝质量比较有效的方法，就是利用 X 射线或 γ 射线来检查焊缝内部的缺陷。

下面列出两种射线的优缺点。

X 射线法的优点：

1. 检查厚度较小的焊缝时，所显现缺陷的灵敏度较 γ 射线为高；

2. 透照时间较短，速度快。

X 射线法的缺点：

1. 设备复杂，检查费用较 γ 射线高；

2. 穿透能力较 γ 射线小。

γ 射线法的优点：

1. 穿透能力大，最大能透照 300 毫米厚的钢铁材料；

2. 设备简单轻便，操作方便；

3. 在检查外形较复杂的零件时，可不必采用补偿方法；

4. 进行透照工作的时候，不需电源等辅助能源；

5. 在检查内径小的环形焊缝的时候，采用 360° 照射的 X 射线管无法放入，而 γ 射线则仍可进行一次曝光。

γ 射线法的缺点：

1. 透照时间较 X 射线长；

2. 检查厚度较小的焊缝的时候，它显现缺陷的灵敏度较 X 射线低；

3. 防护设备条件较 X 射线高。

当用 X 射线或 γ 射线对焊缝进行透照检查后，如果发现检查

结果不能符合技术条件，就应当作为废品。

在用 X 射线或 γ 射线检查焊缝质量的时候，焊缝外表应当没有任何缺陷（如咬边、弧坑、焊瘤、表面气孔、表面裂缝等外表缺陷）存在。如果在用 X 射线或 γ 射线进行透照检查以前，发现被检查的产品或材料有上面所说的各种外表缺陷的时候，就应当将焊缝表面缺陷修正后再进行透照检查，否则将会影响鉴定的正确性。

射线工作人员不仅需要对各工序进行检查，并且也应该协助焊接技术人员和工人分析并找出焊缝缺陷产生的原因和挽救的措施，以便提高焊接质量。

二 X 射线发生的基本原理 和检验焊缝的方法

1. X 射线的产生和它的性质 1895 年德国物理学家 伦琴在研究阴极射线的时候，发现一种特殊的射线，这种射线能够使涂有铂氰化钡或钨酸钙的玻璃片发生荧光，并且能穿透可见光线所不能穿透的东西，如纸、木头、金属等。当时对这种射线的性质还不清楚，伦琴就称它为 X 射线（意思是不知名的射线）；后来因为这种射线是伦琴所发现的，又称它为伦琴射线。

要得到 X 射线，一般必须满足下面三个条件：

- 一、用某种方法能够得到一定数量的自由电子，
- 二、能够使这些自由电子在一定方向上以最大速度运动，
- 三、在它运动的路线上，设立一个能够阻止电子运动的障碍物。

为了满足上面所说的三个条件，我们通常采用一种电子管

——X射线管。这种管子有两个封焊的电极——阴极1和阳极2（如图1）。当加热阴极的钨丝的时候，周围就产生许多自由电子3；电子发射的多少是和电流的大小有关系的。在这个时候，如果在X射线管的两极间（阴极和阳极间）加上一个高电压，于是在两极之间就产生极强的电场；这时从钨丝上发射出的电子就得到一个向阳极运动的加速度。电子运动的速度是和加

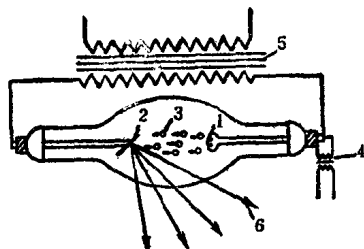


图1 X射线管示意图

1—阴极；2—阳极；3—电子；4—灯丝
变压器；5—高压变压器；6—X射线

在X射线管两端的电压大小有关系的：如果所加的电压愈高，那么电子运动的速度也就愈大。高速度运动的电子碰到阳极“靶”的时候，就被急剧地阻止，于是就失去了它们的动能。电子失去的动能绝大部分转变为热能，使阳极“靶”的温度升高；只有极小一部分（约1%左右）动能转变为能穿透物体的X射线。X射线就是这样发生的。

X射线的性质 X射线是电磁波的一种，它和其他光线不同的地方，主要是它的波长比一般光线的波长短（见表1）。

表1 各种电磁波波长的范围

射线名称	波 长	射线名称	波 长
无线电波	30000米~0.3毫米	X射线	$10\text{ \AA} \sim 0.02\text{ \AA}$
红外线	0.3毫米~7500 $\text{\AA}$ ①	γ 射线	$0.02\text{ \AA} \sim 0.001\text{ \AA}$
可见光线	7500 $\text{\AA} \sim 4000\text{ \AA}$	宇宙线	$10^{-3}\text{ \AA} \sim 10^{-5}\text{ \AA}$
紫外线	4000 $\text{\AA} \sim 10\text{ \AA}$		

① $1\text{ \AA} = 10^{-8}$ 厘米。

由于X射线的波长和一般光线的波长不同，所以它和一般光线的性质也就有不同的地方，它的性质主要有以下几点：

- 一、看不见；
- 二、依照直线方向传播；
- 三、不受电场、磁场的影响；
- 四、能够被物质吸收；

五、有光化学作用，能够使胶片感光，并且能够使某些物质产生荧光；

- 六、能够使气体电离；
- 七、能够起生物效应，伤害和杀死有生命的细胞。

2. 工业上用的X射线装置 X射线装置一般有三种类型：固定型、移动型和携带型（见图2）。各种类型都具有三个主要部分：一、X射线管——产生X射线的部分；二、高压发生装置——供给X射线管的高压电源；三、控制机构——控制和调节X射线。下面分别作简要的说明：

一、X射线管：X射线管是用圆柱形玻璃管制成的，中部扩大成好像气球的形状，管内抽成真空，管内有一个阴极和一个阳极。阴极用钨丝做成螺旋形，作为放出自由电子的电子源。阴极的焦点大小和形状直接影响X射线管的品质；焦点愈小，X射线所照的像愈清晰。焦点大致可以分为圆焦点和线焦点两种，它的构造如图3所示。圆焦点阴极的钨丝被绕成螺旋线形，头呈碗状；而线焦点阴极的钨丝是被绕成螺旋管形，头上有凹面槽，钨丝就嵌在里面。阳极是直接发生X射线的部分，阳极靶是用熔点极高的钨做成，阳极体则用铜制成，因为铜的导热性较好，能使钨靶上的热量迅速传到铜体上去。铜体常用流动的水、油或散热器等来加速冷却。工业上用的X射线管都放在保护罩内，里面充满着

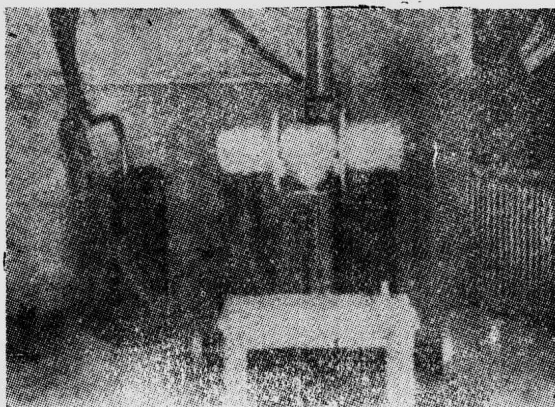


图2a 固定型X射线装置

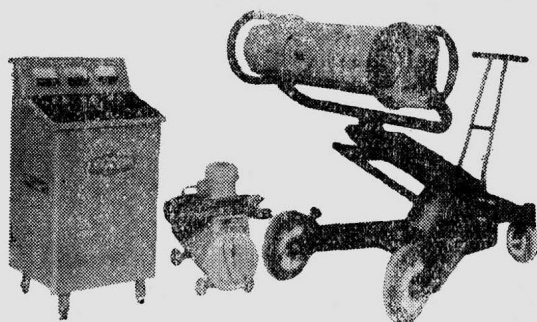


图2b 移动型X射线装置

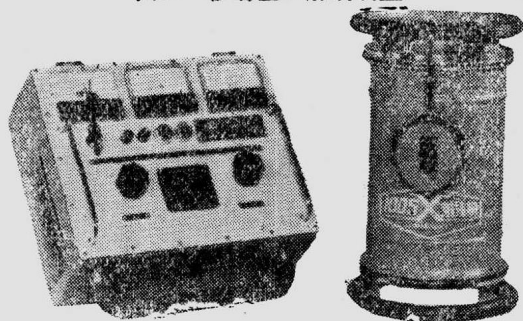


图2c 携带型X射线装置

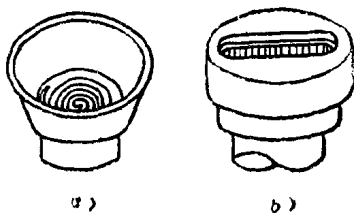


图3 X射线管阴极示意图

a) 圆焦点; b) 线焦点

耐高压的变压器油,这种变压器油起着绝缘和冷却的作用。保护罩的内壁上镶一层薄铅板,用来防护X射线对人体的伤害,X射线可以从保护罩上的小窗口内射出。

二、高压发生装置:高压发生器通常分装在两个油槽中,阴极油槽(图4a)中放有高压变压器、整流管及整流管加热变压器、电容器及X射线管加热变压器。阳极油槽(图4b)中放有高压变压器、整流管及整流管加热变压器、电容器。阴极高压发生器发生-100千伏电压,阳极高压发生器发生+100千伏的电压。在X射线管两端的电压就是200千伏。

最简单的X射线装置就是将X射线管直接连接在高压变压器的两端。其中不另外装置高压整流管,X射线管本身起了整流作用,所以也称为自整流式。这种装置结构简单,所以在一些轻便式的如携带型的X射线机内,大多是采用这种装置(图5)。

三、控制机构:调节X射线的波长大小、X射线量的多少及透照时间的长短,都是由X射线机的控制机构来掌握的。我们在使用X射线机时,只要掌握控制机构台面上的调节手柄,就能发射出我们需要用的X射线来。一般X射线机的控制机构大致可分下列三个部分:

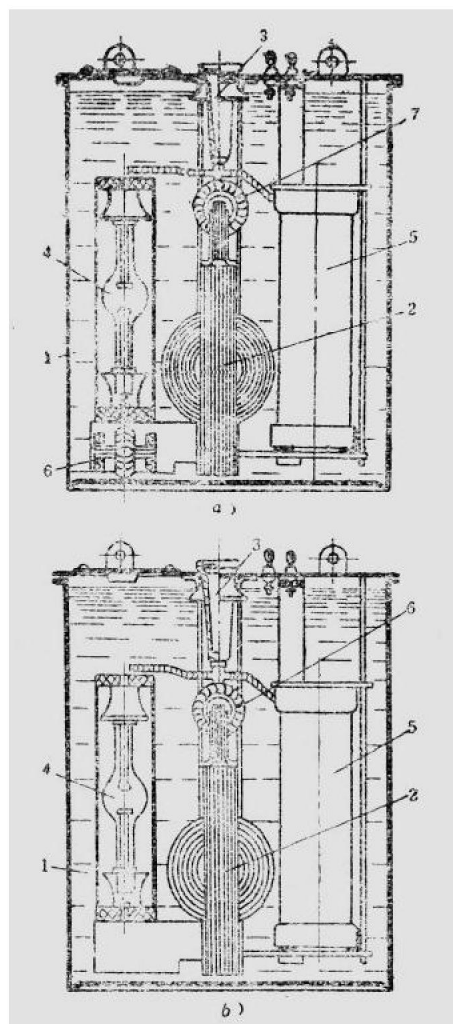


图4 阴极油槽 a) 和阳极油槽 b)

- 1—变压器油；2—高压变压器；3—高压电缆插穴；4—整流管；5—电容器；6—整流管加热变压器；
7—X射线管加热变压器

1) 电压调整机构:

调整高电压一般是在高压变压器的初级线圈上接一个可调节的自耦变压器。自耦变压器的电源电压通常采用 220 伏特。

2) 电流调整机构:

对于工业上用的 X 射线机, X 射线强度大小是直接加热电流来调整的。而加热电流大小则是在 X 射线管加热变压器的初级线圈上串联一个可变电阻来调节的。

3) 时间控制机构:

工业上用的 X 射线机的时间控制器大多是采用电动

式的(见图 6)。它用一个小的同期电动机来带动,电动机的电路和高压电路是同时接通的。当高压接通时,电动机也同时转动并带动齿轮使凸轮转动,凸轮和外面的指针在同一根轴转动。当凸轮转到一定的位置时就将一接触片拨开,使高压切断。

3. X 射线机的安装、试验及射线管的“训练” 各种类型的 X 射线机的安装、试验及射线管的训练,基本相同,现举国产 2515 型为例:

一、X 射线机拆箱后,必须放于有安全防护装置的探伤室内使用,搬动时必须注意不得受剧烈震动,以免损坏射线管, X 射

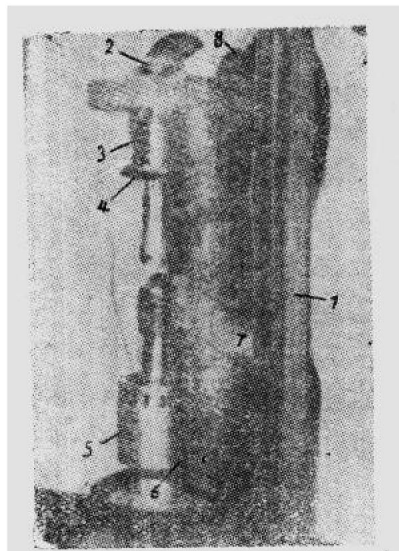


图 5 高压发生器装置

- 1—X 射线管灯丝变压器; 2—铜帽; 3—阴板座; 4—阴极铜环; 5—散热器; 6—绝缘子座; 7—阳极高压变压器; 8—阴极高压变压器

线装置可单独直立或横卧使用；也可装上转轴支架，置于小车叉形架上使用。

二、X射线机放置的周围必须干燥，以免电器部件受潮而漏电，通过电源线联接控制机构电源，同时必须注意可靠地接受地线，以确保安全。

三、通过低压电缆可靠地联接控制机构、射线发生器及冷却油箱。

四、将通冷却水的两根橡皮管，分别接妥于油箱下部的两个水嘴，一端与龙头连接，另一端则置于下水道。

五、用两根输油皮管将油箱上部两个管口与射线发生器上两个管口对号连接，并注意旋紧，以防漏油。

六、X射线机在第一次试用或久隔数月后再使用时，X射线管必须按规定进行“训练”一次才可正常使用，其训练方法如下：

1) 按下电源的合闸按钮，红色电源指示器燃亮，千伏表指针指示进线电源电压大小，油泵电机同时启动，灯丝接通，射线窗口发出红光，此时需预热两分钟。

2) 将进水管的龙头开放，绿色冷却指示灯燃亮，调压器位于原点时，则绿色高压预备指示灯燃亮。

3) 若绿色高压预备指示灯不亮，则按降压按钮，电压下降至绿色高压预备指示灯燃亮为止，此时表明调压器已回到原点。

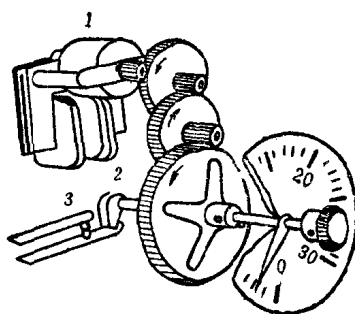


图6 电动式时间控制器的内部构造

1—同期电动机；2—凸轮；3—接触片

4) 将时间继电器旋钮指针拨至 12 分钟位置;毫安、千伏旋钮调节至最小位置。

5) 拨动打向自动调压侧开关,按下高压合闸按钮,控制台的红色高压指示灯、小提灯以及射线发生器上红色警告灯同时燃亮,绿色高压预备指示灯熄灭,毫安表指示约在 5 毫安左右,千伏表指针降至原点后缓慢上升至 70 KVP 左右即停止。

6) 缓慢旋转千伏旋钮,千伏表 KV 指针相应跟随慢慢上升,与此同时调整毫安旋钮,保持毫安表读数在 15 毫安不变。千伏上升速度为:

100KVP~160KVP	每分钟上升 20 KVP
160KVP~220KVP	每分钟上升 10 KVP
220KVP	保持 3 分钟

时间到达后不久,千伏表指针即行自动下降至原点处,高压自动切除,红色高压指示灯、小提灯、射线发生器上的红色警告灯熄灭,高压预备指示灯燃亮,此时毫安、千伏旋钮均不要去转动,保持原状。

7) 休息两分钟后,再按高压合闸按钮,此时电压将自动上升至 220 KVP、15 毫安左右而停下。以后以每分钟 5 KVP 速度上升至 250 KVP 保持 6 分钟,至时间到后,自动重复上述过程,降压至高压断开为止,这样 X 射线管的训练工作即告完成。

8) 值得注意的是 X 射线管在训练时有大量电子轰击阳极钨靶而产生很高的热量,所以必须将冷却油泵继续运转 10~15 分钟,使 X 射线管阳极充分冷却后方可按下总电源关闭按钮,切除电源,关闭龙头。

9) 在训练或使用,若自动调压器失灵或需要手动调节时,可将拨动开关打向手动调压侧,这时按降压按钮或升压按钮时电

机才动作，手如松开，电压升降也就停止。故其操作步骤开始同（1）～（4），以后按高压合闸按钮，同时按升压按钮，至电压上升一段时间后，方可松开上述两个按钮，否则高压将合闸不上。高压合闸后即可用升压按钮或降压按钮来调整电压至所需值，其以后上升情况同前。

10) 在上述射线管训练的任何阶段中，如发现毫安表指针突然跳动（升高或减小）应立即将电压降低 20~30 KVP，待电流稳定后再上升电压。若电压降低而毫安仍不稳定，这是射线管排出气体现象。应立即将高压关闭，休息两分钟，再缓慢继续上升，此后 KVP 上升速度应适当放慢。

4. X射线机的常见故障和维护 操作人员不仅会使用 X 射线机，并且应当懂得 X 射线机故障的检修和维护的方法。

一、在使用中如千伏表 KV 上升至定值时不停止而继续上升，这表明自动电压调整器失灵，这时需立即按下高压关闭按钮或降压按钮至高压切除，检查机器直至故障排除后方可继续工作，或改用手动调压。

二、按下高压合闸按钮无反应或手松开后千伏表指针又不再上升，毫安表无读数，指示灯均不亮，这表明高压未合上，需用降压按钮将电压再次降至原点处，直至高压预备指示灯燃亮为止，则再次合上高压。

三、在使用中，若发现调压电机频繁运转，电压表指针来回摆动，则可能是自动电压调整器灵敏度由于温度变化而改变，一般时间长些即能恢复正常，否则可打开调整器，调整电位器，降低灵敏度。

四、在使用过程中如高压突然自动切断，而绿色冷却指示灯仍亮着，则可能是因冷却水中断所造成，如高电流继电器动作，

则可能是高压对地放电或X射线管内气体放电，毫安波动。一般休息两分钟后还可继续工作，但操作时应小心，高压应缓缓上升。

五、在使用过程中如高压突然切断，绿色冷却指示灯也熄灭，而红色电源指示灯仍亮着，则可能是冷却系统出故障，具体原因有：

- 1) 油温太高，油温继电器动作，这时应休息一下，让油泵开动一段时间，使油温降低后仍可继续工作；
- 2) 水冷部分出故障，检查冷却水接头及水压开关；
- 3) 油循环系统出故障，油泵或油泵电机出问题，油管卡死，油循环断路或油循环开关损坏，必要时应拆开冷却油箱检查。

六、如电源电流剧增而将保险丝熔断，所有指示灯熄灭，则可能是：

- 1) 高压变压器击穿或线圈短路；
- 2) 灯丝变压器击穿；
- 3) X射线管漏气；
- 4) 半波整流时二极管击穿或断路。

对X射线机进行维护时应注意以下几点：

1) 变压器油每隔六个月必须检查一次，在2.5毫米的距离进行耐压试验时，冷却油箱部分不得低于20千伏；高压变压器部分不得低于30千伏。如果低于以上规定，变压器油必须更换或过滤处理。

2) 变压器油可从X射线发生器端部的放油螺钉放出，放油螺钉也是补油螺钉，放油或补油后必须将空气排尽。方法是將X射线发生器斜卧，放油螺钉朝上并位于最高点，用力将底部两膨胀器压瘪直至油溢出为止，同时迅速将放油螺钉旋紧，这时油膨