

用 X 射綫和 γ 射綫 檢驗焊縫的方法

馬幼良、陈永麟 編著



中国工业出版社

內 容 提 要

本书詳細介紹了X射綫和 γ 射綫發生的原理，用这两种射綫來檢查焊縫的具体方法，对缺陷的辨認，鉴别焊縫质量的标准等；最后还談了一些劳动保护的常識。

本书可作为焊工及焊縫檢驗工的学习材料。

用 X 射綫和 γ 射綫檢驗焊縫的方法

馬幼良、陈永麟 編著

*

机械工业图书編輯部編輯（北京阜成門外西万庄）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

机工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印張 $1 \frac{1}{4}$ · 字数 28,000

1962年5月北京第一版·1962年5月北京第一次印刷

印数 · 0001—2,198 · 定价（8-3）0.14元

*

統一书号, 15165 · 1559（一机-296）

为了保証产品的质量和提高产品的质量，各种材料或成品，在生产过程中，都必须經過一系列的檢查。檢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間，选取一定数量的样品，然后再用机械性能試驗机来測定这些样品的抗压强度、抗拉强度、抗弯强度、冲击值等；或用化学分析方法來測定这些样品內所含有的化学成分；或者用金相方法来檢察它們的金相組織。根据这些試驗方法得出的結果，来判断和确定这批材料或成品质量的优劣。这些試驗方法，总称为破坏性試驗檢查。这种檢查方法，最大的缺点，就是在大量生产时每个产品不能一一作破坏性試驗檢查。

第二类：在檢查材料或成品前和檢查过程中，不破坏被檢查的材料或成品，同样能知道材料或成品內部的情況；当檢查完毕后，被檢查的产品或材料仍能保持完整无缺，这种檢查方法，总称为无损探伤法。

在現代化的工业生产中，广泛地采用第二类檢查方法。无损探伤法中，一般是利用磁力綫、X射綫、 γ 射綫●、超声波等檢查法。这些檢查方法中，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，檢查各种缺陷的灵敏度也都不同。

焊接工艺現在在我国采用得很广泛，它在机械工业中占着极重要的地位。焊接质量的优劣，严重地影响到整个产品

● “X”的讀音是“爱克斯”，“ γ ”的讀音是“嘎馬”。

的质量——强度、寿命。所以焊缝质量的检查，是一个极重要而不可缺少的步骤。

目前在我国检查焊缝质量最有效、最先进的方法，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. 在检查环形焊缝的时候，可以采用一次曝光。

γ 射线的缺点：

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

縫等外表缺陷)存在。如果在用X射綫或Y射綫进行透照檢查以前,发现被檢查的产品或材料有上面所說的各种外表缺陷的时候,就应当由技术檢查科通知車間将焊縫表面缺陷修正后再送来透照檢查,否則将会影响胶片鉴定的正确性。

射綫工作人員不仅需要对各工序进行檢查,并且也应该协助焊接技术人員和焊接工人分析并找出焊縫缺陷产生的原因和挽救的措施,以便提高焊接质量,保証产品的质量。

二 X射綫发生的基本原理和檢查焊縫的方法

1. X射綫的产生和它的性质 1895年德国物理学家倫琴在研究阴极射綫的时候,发现一种特殊的射綫,这种射綫能够使塗有铂氰化鋇或鎢酸鈣的玻璃片发生螢光,并且能穿透可見光綫所不能穿透的东西,如紙、木头、金屬等。当时对这种射綫的性质还不清楚,倫琴就称它为X射綫(意思是不知名的射綫);后来因为这种射綫是倫琴所发现的,又称它为倫琴射綫。

要得到X射綫,一般必須滿足下面三个条件:

- 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、在它运动的路綫上,設立一个能够阻止电子运动的障碍物。

为了滿足上面所說的三个条件,我們通常采用一种电子管——X射綫管。这种管子有两个封焊的电极——阴极1和阳极2(如图1)。当加热阴极的鎢絲的时候,周圍就产生許多自由电子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。高速运动的电子碰到阳极“靶”的时候，就被急剧地阻

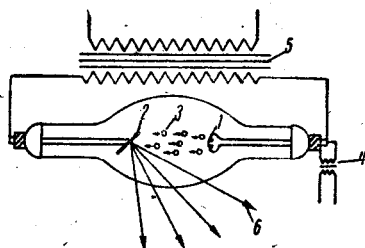


图1 X射线管示意图：

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。

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
无线电波	30000米~0.3毫米
红外线	0.3毫米~7500Å ^①
可见光线	7500Å~4000Å
紫外线	4000Å~10Å
X射线	10Å~0.02Å
γ射线	0.02Å~0.001Å
宇宙线	10 ⁻⁶ Å~10 ⁻³ Å

① 1Å=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（见图2），一般可分为三个主要部分：一、X射线管——产生X射线的部分；二、直流高压发生装置——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

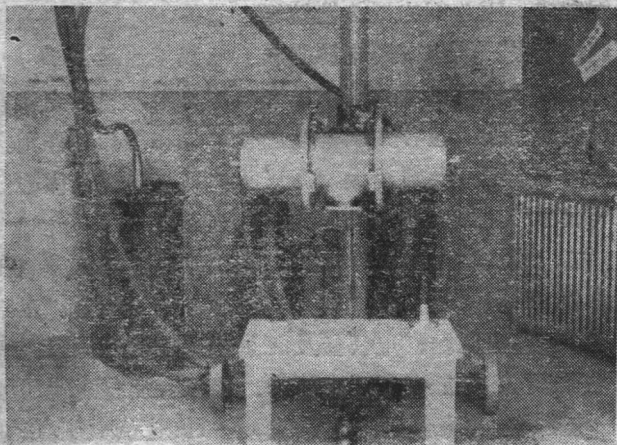


图2 工业上用的X射线装置。

的說明：

一、X射綫管：X射綫管是用圓柱形玻璃管制成的，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。阴极用鎢絲做成螺旋形，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射綫管的品质；焦点愈小，X射綫所照的像愈清晰。焦点大致可以分为圓焦点和綫焦点两种，它的构造如图3所示。圓焦点阴极的鎢絲

被繞成螺旋綫形，头呈碗状；而綫焦点阴极的鎢絲是被繞成螺旋管形，头上有凹面槽，鎢絲就嵌在里面。阳极是直接发生X射綫的部分，阳极靶是用熔点极高的鎢做成，阳极体則

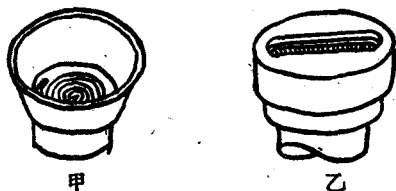


图3 X射綫管阴极示意图；

甲) 圓焦点；乙) 綫焦点。

用銅制成，因为銅的导热性較好，能使鎢靶上的热量迅速傳到銅体上去。銅体常用流动的水、油或散热器等来加速冷却。工业上用的X射綫管都放在保护罩內，里面充滿着耐高压的变压器油，这种变压器油起着絕緣和冷却的作用。保护罩的內壁上鍍一层薄鉛板，用来防护X射綫对人体的伤害，X射綫可以从保护罩上的小窗口內射出。

二、直流高电压发生裝置：高压发生器通常分装在两个油槽中，阴极油槽（图4甲）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射綫管加热变压器。阳极油槽（图4乙）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-100仟伏电压，阳极高压发生器发生+100仟伏的电压。在X射綫管两端的电压就是

200仟伏。

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X光机内，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光机的控制机构来掌握的，所以说控制机构是X光机的全部装置的总枢纽。我们在使用X光机时，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光机的控制机构大致可分下列三个部分：

1) 电压调整机

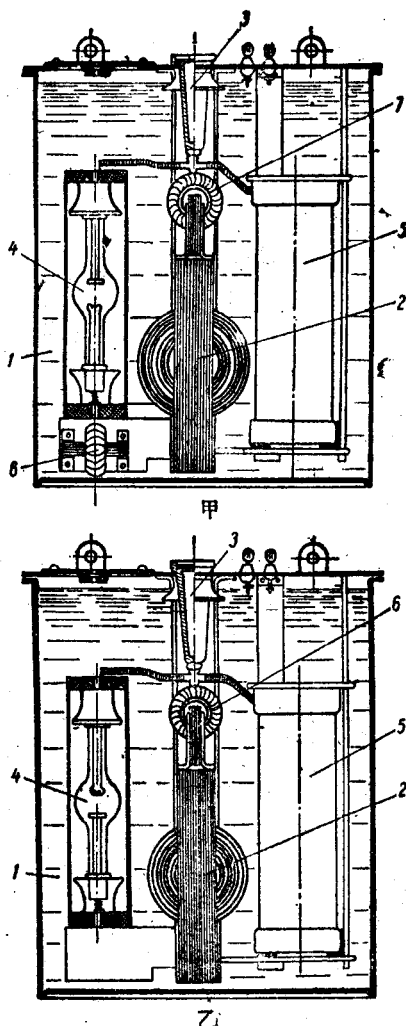


图4 阴极油槽(甲)和阳极油槽(乙)。
1—变压器油；2—高压变压器；3—高压电缆插穴；4—整流管；5—电容器；6—整流管加热变压器；7—X射线管加热变压器。

构：調整高电压一般是在高压变压器的初級綫圈上接一个可調节的自耦变压器。自耦变压器的电源电压通常采用 220 伏特。

2) 电流調整机构：对于工业上用的 X 光机，X 射綫强度大小是直接用加热电流来調整的。而加热电流大小則是在 X 射綫管加热变压器的初級綫圈上串联一个可变电阻来調整的。

3) 時間控制机构：工业上用的 X 光机的時間控制器大多是采用电动式的（見图 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，电动机也同时轉动并带动齿輪使凸輪轉动，凸輪和外面的指針在同一根軸轉动。当凸輪轉到一定的位置时就将一接触片撥开，使高压切断。

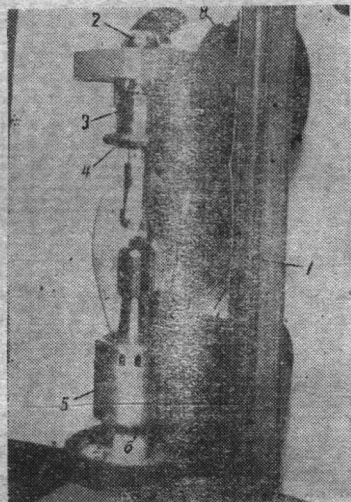


图 5 高压发生器装置：

- 1—X 射綫管灯絲变压器； 2—銅帽；
- 3—阴极座； 4—阴极銅环； 5—散热器；
- 6—絕緣子座； 7—阳极高压变压器；
- 8—阴极高压变压器。

3. 透照焊縫的方法 用 X 射綫檢查材料或成品內部的缺陷，主要是利用 X 射綫对各种物质的影响和各种物质对 X 射綫的吸收和衰减的原理来实现的。

当 X 射綫通过被檢查的材料时，由于材料外部和內部的形状和构成的不同，对 X 射綫的衰减和吸收也不同，因此通过被檢查材料后的射綫强度也不同；然后把这些不同的变化

用各种方法記載下来，就能判断出被檢查材料内部有无缺陷的存在。

利用X射綫檢查材料或成品的方法，一般有螢光观察法、电离法和照相法三种。目前用得最广泛的要算照相法，因它具有下列主要的优点：

- 1) 发现缺陷的灵敏度較高；
- 2) 缺陷的位置、形状、大小可在胶片上看出。

最簡單的照相方法就是在被檢查材料的后面放置一張胶片，射綫从被檢查材料前面透入（如图7）。

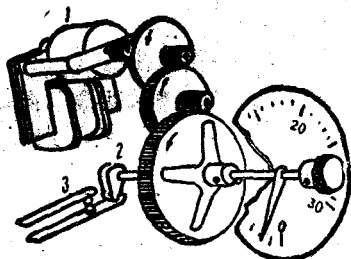


图6 电动式时间控制器的内部

构造：

- 1—同期电动机；2—凸轮；3—接触片。

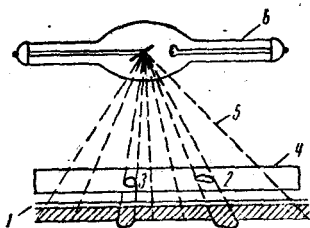


图7 照相法檢查：

- 1—胶片；2、3—材料内部的缺陷；
4—被檢查的金属材料；5—X射綫；
6—X射綫管。

当X射綫透过被檢查的物体后，由于物体的厚度和密度的不同，对X射綫的能量的衰减和吸收也不同，而到达照相胶片上的射綫强度也不相同，因此对胶片上化学药品的感应程度也起了不同的变化。如果射綫透过較厚或密度較大的物体，則它对射綫能量的衰减和吸收能力就較大，到达照相胶片上的射綫强度就較弱，胶片的感光程度也較小，胶片經過显影后得到的黑化度也就淺。反之，黑化度就較深。我們就可依据胶片黑化度深淺不同的形状来判断和鉴定物体内部的

质量情况。

1) X射线胶片的增感 我们在前面已经谈过,某些物质受到X射线照射后,会发生荧光。我们就利用这种作用,把这种物质涂在硬纸上。使用时,将X射线胶片夹在二张塗有这种荧光物质纸(这种纸片一般称为增感纸)的中间。塗有荧光物质的一面应面向胶片。前面的一张增感纸应该比后面一张增感纸薄。在利用X射线照相时,在胶片的二面加入这样一对增感纸后,可大大地增加胶片的感光作用,缩短摄影时间。

2) 照相法的灵敏度 灵敏度是指在X射线胶片上能表示出最小缺陷的尺寸大小。这缺陷的大小是指它在射线入射方向的深度或厚度,这个厚度通常以X射线穿透被检查物体总厚度的百分比来表示的。灵敏度与缺陷的形状和缺陷的位置等因素有关。所以灵敏度只可以说是一个可能检查出缺陷的一般概念。

如果我们对缺陷的形状和位置不加考虑,而只以材料厚度的差异来谈,则灵敏度可以下式来表示:

$$\text{灵敏度}\% = \frac{s}{t} \times 100,$$

式中 s ——缺陷在射线方向的深度(毫米);

t ——被检查材料在射线方向的厚度(毫米)。

例如透照5毫米厚的钢铁,它的灵敏度为2~3%,这就是说,可在5毫米厚的钢铁中可找出0.1~0.15毫米厚度差的缺陷来。如果缺陷小于这个数字,那就难以检查出来。

为了测定灵敏度,通常采用以被检查物件的同样材料特制的透度计。透度计大致可分为两种类型:线状透度计和槽式透度计(或称片状透度计)。

线状透度计的构造如图8所示,它的外层是用橡皮或用

塑料制成，在其中間放着不同直徑的金屬綫。在使用時，把綫狀透度計橫放在被檢查焊縫的上面（如图 9 所示）。

槽式透度計的構造如图10所示，它是用一塊與被檢查成品或材料同一種性質材料制成，金屬板上刻着不同深度的凹槽，使用時，把它放在和焊縫并行的位置（图11）。

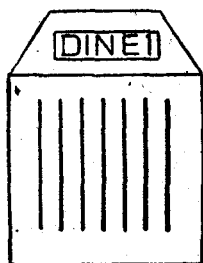


图 8 綫狀透度計。

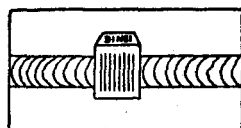


图 9 綫狀透度計放在焊縫上的情况。

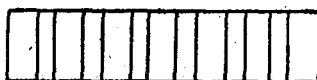
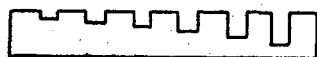


图10 槽式透度計。

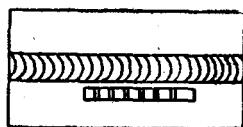


图11 槽式透度計放在焊縫上的情况。

以上两种透度計，在使用方面可以由各使用单位，根据各种产品的技术条件和实际使用情况来加以确定。这里我們提供一些数据，可供参考（表 2 和表 3）。

表 2 綫狀透度計所用金屬綫的直徑

鋼 板 厚 度 (毫米)	金 屬 綫 直 徑 大 小 (毫米)						
0~30	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
30~60	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
>60	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80

表 3 片状透度計沟槽的深度

鋼 板 厚 度 (毫米)	沟 槽 深 度 (毫米)						
0~30	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
30~60	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
>60	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80

3) 影响胶片质量的几个因素 影响胶片质量的因素很多, 主要的有以下几点:

(1) X射綫的硬度(X射綫波的长短) 在透照金属材料时, 所选用的透照规范是根据透照金属材料的厚度和密度来决定的。金属厚度或密度愈大, 则所选用的X射綫的硬度也愈大, 也就是說应选用波长較短的X射綫, 因为它的穿透能力較强。如何来改变X射綫的硬度呢? 我們可在X光机的操纵台上調节高电压, 就可以改变X射綫的硬度。当电压愈高, 则X射綫的硬度愈大, 穿透能力也愈大。但X射綫的硬度过大, 得到的胶片质量就較差, 发现缺陷的灵敏度也較低。所以我們在选用X射綫的高电压时, 应考虑到不能选得太高, 但也不能选得太低。因太低了, 会使X射綫不能透过金属, 使胶片感光不足。正确的透照规范, 应由使用单位根据X光机的性能进行試驗得出。

(2) X射綫的散乱 当X射綫透过物质时, 物质对X射綫会引起一种散乱現象。因为物质中的电子, 在X射綫电磁波場中起共振作用, 而改变了X射綫原来的方向。这种作用, 会影响我們发现缺陷的正确性, 使胶片产生模糊, 降低胶片的质量。有时也因为所选用的电压太低, 产生波长較长的散乱綫, 使胶片产生模糊。所以在透照时, 应把不需要透照的部位用鉛板或其他补偿板遮去, 并且在胶片后面也須放

置一块鉛板以防止胶片后面其他物质对胶片产生散射，使胶片质量降低。

(3) X射綫的焦点 我們在使用X光机檢查物体时，希望X射綫管的焦点是一个很小的点，这样，摄成的胶片缺陷形象非常清楚。如果焦点是一个較大的面积，則会使缺陷形象的边緣形成半影，如图12所示。

从图 12 中看出，X射綫管的焦点愈小愈好，最理想为点焦点。但焦点太小，管电流会受到限制。管电流太小，就須延长曝光時間。并且X射綫管的焦点是不能調节的，是X光机制造厂設計而定的。所以我們射綫工作人員为了补救焦点太大的缺点，則应在曝光距

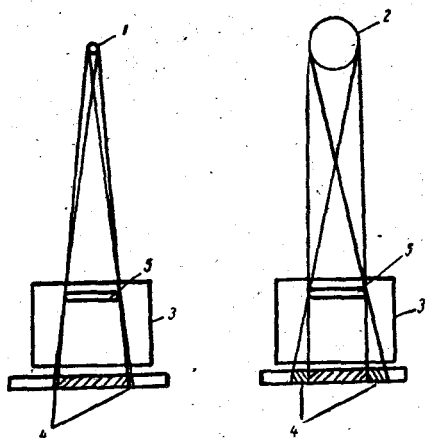


图12 焦点大小与半影的关系。

1—小焦点；2—大焦点；3—被檢查的材料；
4—半影；5—材料内部的缺陷。

离上来想办法。延长曝光距离（焦距）可减少因焦点太大对胶片质量的影响。但焦距太大，X綫射到胶片上的强度减小，减弱的程度与焦距的平方成正比。所以在選擇焦距时，既要考虑焦点的大小，又应考虑射綫强度的减小。一般采用焦距为50~70厘米。

(4) X射綫胶片 X射綫胶片的质量对发现缺陷的灵敏度关系較大，一般对胶片的要求是，在胶片上塗的溴化銀必須非常均匀，胶片表面不应有任何损伤或缺陷。胶片的晶

粒大小与胶片的感光速度有关系：晶粒細，感光速度慢。晶粒粗則感光速度快。感光速度快可节省曝光時間，但晶粒粗的胶片，会降低胶片清晰度。所以在選擇X射綫胶片时，也应考虑到被透照物件的技术要求及曝光時間。

(5) X射綫照相的增感方法 X射綫照相的增感方法，一般可分为二种：一种是用螢光增感法，所謂螢光增感法，就是在胶片二边各放一張螢光紙（又称增感紙），可加快感光速度，减少曝光時間。但在选用螢光增感法时，对螢光紙的质量要求应是表面平滑，不允許在螢光紙的一面有划破和污点等缺陷存在。否則将会因螢光紙质量不高，而引起胶片透照质量的降低。另一种是用鉛箔增感法，就是在胶片的二边，各放一張很薄的鉛箔，这样可得到清晰度較高、质量較好的胶片。但鉛箔也应是表面平滑，不应有任何皺紋或小孔等缺陷。曝光時間也較螢光增感法为长。

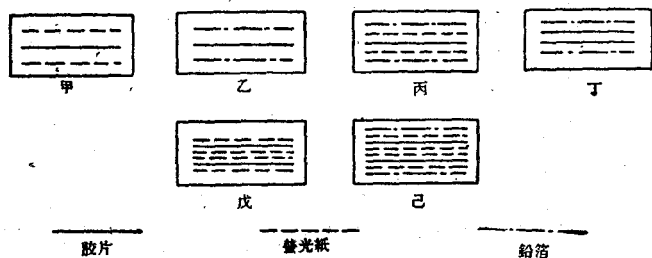


图13 胶片充装方式。

(6) X射綫透照时胶片盒的充装 X射綫胶片盒是用不透明的物质制成，如紙、黑漆布、鋁等，在使用胶片盒时，应保証不会漏光，并能使螢光紙或鉛箔紧密地和胶片貼在一起，这样才能保証胶片的质量。胶片在盒內充装的方式很多，图13所示的几种充装方式，可作为参考。一般常用的充

装方式则为甲、乙两种。

(7) 显影液对胶片质量的影响 显影液成分与X线胶片的反差度(黑白对比)有很大的关系;如果选用反差度高的显影液来冲洗X线胶片,则可得到反差较高的胶片,增加胶片的清晰度。同时,显影时间和胶片的特性曲线也有关系:显影时间长,则胶片的黑白反差可增高。在处理X线胶

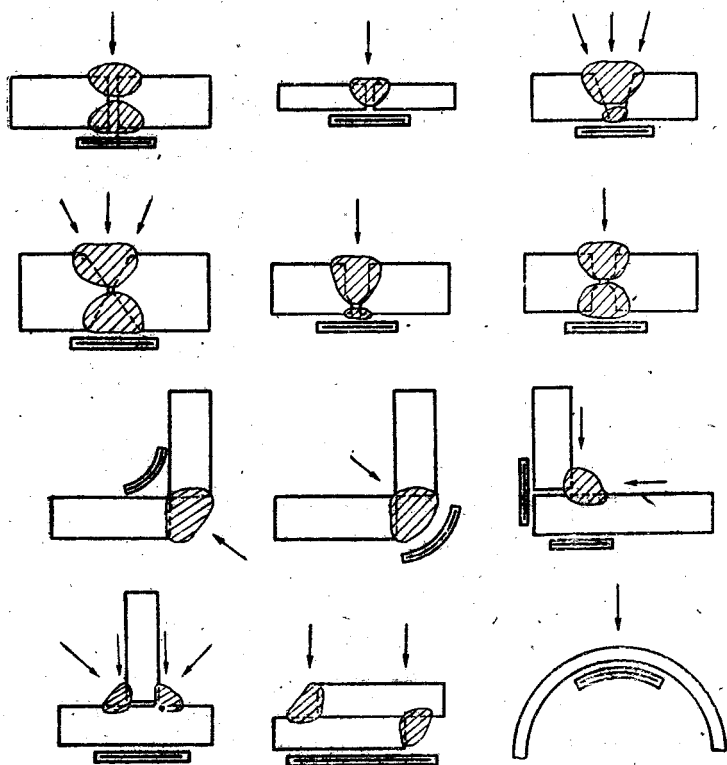


图14 X射线透照焊缝方法的基本类型。(图中箭头表示X射线入射的方向)