

## 陸、非破壞性檢驗

### 七、放射線照相檢驗

#### 講解討論

講解討論時數：2小時

參考資料：

- 一、技令 33B-1-1，第五篇
- 二、中華民國非破壞檢測協會訓練教材
- 三、美國電力研究學會非破壞性檢驗訓練教材
- 四、中國國家標準射線照相檢測法通則。
- 五、美國非破壞檢測協會訓練教材

講授內容：

#### 壹、概述：

放射線照相檢驗係以一具穿透能力之射線（如X射線或伽瑪射線）穿透受檢物，再於底片或螢光屏等介質上，形成可視之影像，並藉研判影像以瞭解物件品質。而射線貫穿物質之能力與物質種類、密度及射線能量有極大關係，因為不同密度或厚度之物質，會影響射線透過量，而於底片上造成不同曝光量，形成黑白對比不同之影像，藉研判此黑白對比不同之影像，即可達射線照相檢驗。

#### 貳、放射線之特性：

- 一、屬於電磁波，能量大小由其波長決定。
- 二、不帶電亦不具質量。
- 三、以光速作直線行進，不受磁場影響。
- 四、具有穿透物質之能力，穿透深度由射線能量決定之。
- 五、穿透物質時會產生散射，散射量和物質密度、射線能量有關。
- 六、會被物質吸收，吸收量多寡與物質之密度、射線能量有關。
- 七、具有使物質產生游離能力。
- 八、能使底片曝光。
- 九、能使部份物質產生螢光（如鎢化鈣）。
- 十、無法使用人類五官查覺。

#### 參、適用範圍：

- 一、機身主結構驗裝置座檢查。
- 二、機翼、直尾翅、水平安定面結構、鉸鏈等檢查。
- 三、蜂巢結構水氣及破損之檢查。
- 四、發動機架、機匣、燃燒筒、火

- 星塞、滑油散熱器等之檢驗。
- 五、螺旋槳葉之檢查。
- 六、飛機電路板引線、接點檢查。
- 七、銲接件檢查：
- 八、機身、機翼及蜂巢結構內部之外物檢查。

## 肆、應用裝具及器材：

### 一、輻射源：

放射線照相檢測中常用之射源可分為 X 射線及伽瑪射線兩種。除了來源不同外，事實上 X 射線及伽瑪射線均屬電磁波輻射。

#### (一) X 射線：

● X 射線之產生必須符合下列三種需求：

##### 1. 電子源：

電子源頗易獲得，僅須於陰極之燈絲通以適當電流加熱，溫度上升，燈絲之自由電子受激發最後逸出圍繞燈絲形成電子雲，供給產生 X 射線所需之電子。

##### 2. 電子加速裝置：

燈絲周圍環繞之游離電子，若無外在作用力將其引離，最終將還原燈絲。若於陰極加一負電壓，陽極施以正電壓，使兩極產生電位差，則

電子將得到加速之外力。

##### 3. 電子靶：

電子靶主要是供電子加速撞擊並使釋出 X 射線的效應愈好，X 光管中通常以鎢作為靶極之材料。

#### ● X 射線設備：

一套完善之 X 光機組通常包括：X 光管頭、控制箱、冷卻裝置等三項組件：

##### 1. X 光管頭：

X 光管類似一真空燈泡（如圖 6-7-1），內分為陰極及陽極，陰極上有一燈絲，用一小型變壓器產生低壓電源，通以數毫安培之小電流使燈絲白熱化，燈絲將逸出電子，受到陰極負電相斥，陽極正電吸引之戶用，使得逸出之電子得人加速並撞擊陽極靶而產生 X 射線。

##### 2. 控制箱：

典型之 X 光機控制箱（如圖 6-7-2 X 光機控制面板）係由下列

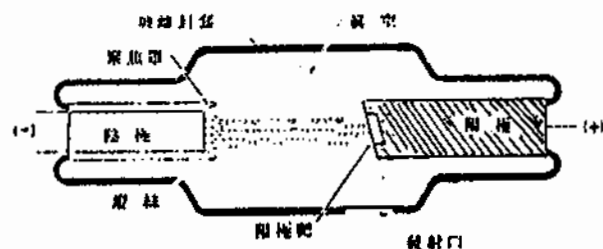


圖 6-7-1 X 光管結構圖

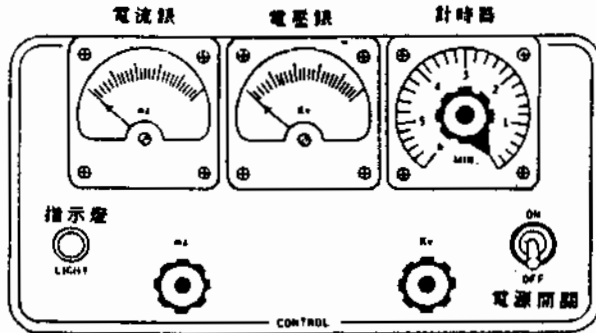


圖 6-7-2 X 光機控制面板

各旋鈕及指示錶組成：

- (1) 燈絲電流控制鈕及指示錶：  
主要用於設定燈絲電流 (mA) 及指示電流量。
- (2) 電壓控制鈕及指示錶：  
主要用於設定陰極及陽極兩者間之電壓及指示電壓值。
- (3) 計時器：  
主要用於調整及設定 X 射線放射時間之長短即曝光時間。
- (4) 電源開關：  
用於控制 X 光機組電源。
- (5) 指示燈：  
X 射線放射期間指示用。

### 3. 冷卻裝置：

電子撞擊至陽極靶時大約僅有 1% 之能量轉變成 X 射線，其餘能量則化成熟量，通常這些熱量須借助於冷卻裝置將熱導出，以延長陽極靶之壽命，冷卻方式有水冷式、混合液冷卻式及氣冷式等方式。

## (二) 伽瑪射源：

伽瑪射線與 X 射線相同屬於電磁波之一種，特性亦相同，差別在於產生方式不同，伽瑪射線係由不穩定放射性同位素之原子核衰變所產生。每一種放射性同位素所發出之伽瑪射線都具有獨特之能譜，如鈷 60 所發出之伽瑪射線能量有 1.17Mev 及 1.33Mev 兩種；而銥 192 所發出之伽瑪射線能量 0.21Mev、0.31Mev、0.47... 至 0.61Mev 等 12 種。此即表示伽瑪射線光譜為不連續光譜。表 6-7-1 為常用之伽瑪射線。

## 二、底片：

X 光底片係由一層薄的塑膠片做為片基，然後在片基兩側塗上膠層，膠層外面再塗上乳層，最外層則敷以保護層如圖 6-7-3

### (一) 選擇底片應考慮之因素：

- 待檢物組合情況、形狀、尺寸、位置。
- 放射線之型式。
- 曝露時間之長短及使用之增感屏。
- 所要求之靈敏度及黑度。
- 技令或規範要求。

表 6-7-1 為常用之伽瑪射線

	<sup>60</sup> Co	<sup>137</sup> Cs	<sup>192</sup> Ir	<sup>170</sup> Tm
半化期	5.3 年	33 年	75 日	130 日
化學狀態	Co	CsCl	IR	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
比重	8.9	3.5	22.4	4
γ 線能量(Mev)	1.33	0.662	0.21-0.61	0.084
	1.17		(12 種)	0.052
r.h.m./curie	1.35	0.37	0.55	0.0030
半值層之厚	A14.6	3.6	2.4	1.3
(cm)	Fe1.6	1.2	0.85	0.15
檢驗範圍	Pb1.0	0.56	0.12	0.14
Fe(mm)	38-20	25-90	19-70	2-12
活性比(Ci/gm)	1.13x10 <sup>3</sup>	87.0	9.17x10 <sup>3</sup>	

(二) 底片之儲存：

● 溫度：

底片之乳化層，易受高溫影響，促使其產生化學或物理變化；未曝光之底片受高溫影響，經曝光沖洗後常產生霧影，已曝光之底片，受高溫之影響易使底片變黃或模糊，底片之儲存應置於冷氣房中，溫度維持於 77°F 以下。

● 濕度：

底片不應儲存在濕度限高之場所，否則會影響其品質，儲存室內之濕度，宜保持在 55% 以下，尤其對底片盒密封線開啟後之底片應特別注意。

● 防護：

底片之儲存應遠離射源或照相區域，以免未曝光底片受射線影響，而造成影像之陰

影。

三、增感屏：

射線到底片約僅 1% 之射線被吸收，其餘則穿過底片成為無效射線；為增加底片吸收更多之射線，可將底片夾於二片增感屏間，當射線通過增感屏時，可與增感屏發生作用，發射出電子群或螢光，使底片乳層得到額外感光效果，若使用金屬增感屏尚可過濾散射射線。增感屏通常分為鉛增感屏、螢光增感屏及螢光金屬增感屏等三類。

四、像質計：

射線照相之品質需由一種標準試片來指示檢驗之靈敏度，這種標準試片即為像質計或透度計，通常北美地區稱為透度計 (Penetrameter)；歐洲地區稱為像質計 (Image Quality Indicator 簡稱 IQI)。(如圖 6-7-4, 6-7-5, 6-7-6)。

伍、曝光值之計算：

放射線照相檢測中，若能量 (X 射線為 Kv 值、伽瑪射線依核種之種類而是) 不變，則決定曝光之因素為強度 (毫安培或居里)、距離 (射源至底片之距離)、時間 (曝露之

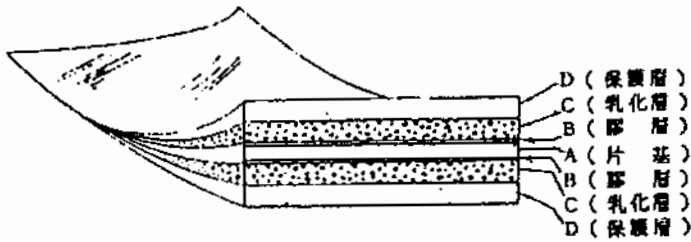
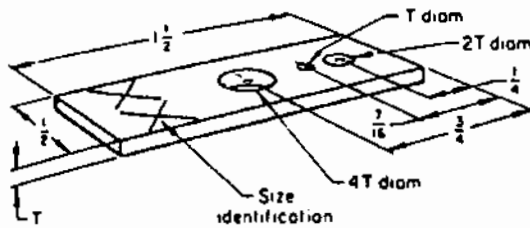


圖 6-7-3 底片構造

(單位：mm) (厚度：0.13mm~4.6mm)



(單位：mm) (厚度：≥ 4.6mm)

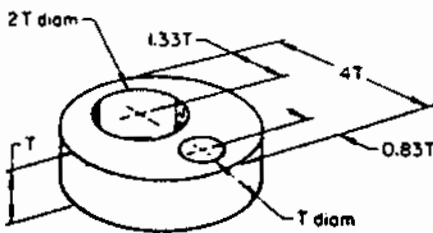


圖 6-7-4 孔洞型像質計構造尺寸

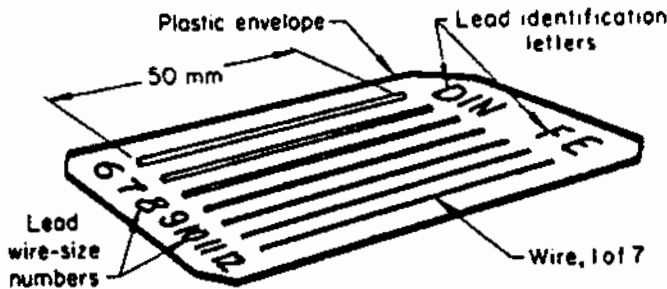


圖 6-7-5 線條型像質計構造尺寸

時間)。以上三者中，任一因素有方法直接計算，也可仰賴曝光表查之。

一、強度與距離之關係：

一定曝光量所需之強度(M)與射源至底片間之距離(D)平方成正比。

$$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

$$\frac{M_2}{M_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

二、時間與距離之關係

一定曝光量所需之曝光時間(T)與射源至底片間距離(D)平方成正比。

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

三、強度與時間之關係：

射線照相檢驗中，某一曝光量所需之強度(M)與曝光時間(T)成反比。

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{T_1}{T_2}$$

陸、底片沖洗：

一、分類：

底片之沖洗方式一般可分為人工沖片及自動沖片兩種。

(一) 人工沖片：

人工沖片為目前常用之方法：沖洗時清洗用水及所需之藥水均分別盛於槽內，清洗槽深度以能完全浸入懸掛底片架為原則，槽之四周通常以循環水維持藥液溫度藉以控制底片之品質。

**(二) 自動沖片：**

如果底片量大或需要趕時間，宜使用自動沖洗底片，此法不僅可大量節省暗房工作人力，亦可節省沖片時間，沖片人員只須將底片送入事先安排之沖洗溶液機器

內，即可全自動完成底片沖洗。

**二、沖片程序：**

**(一) 顯影：**

將曝光之溴化銀還原成銀。

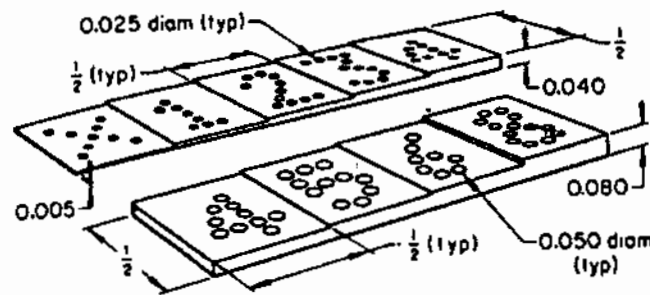
**(二) 中止：**

中止液有兩大作用：

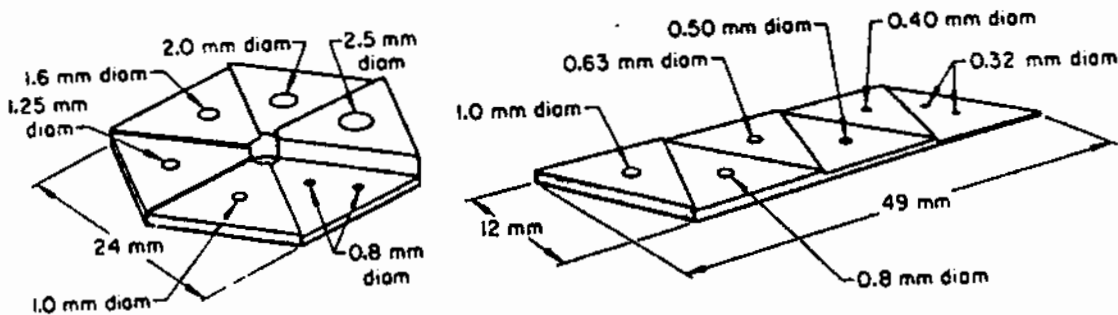
- 中止顯影作用。
- 中和鹼性顯影液，延長定影液之使用壽限。

**(三) 定影：**

定影係將底片上未經曝光之溴化銀結晶顆粒剝落，並溶解至影液中，而對曝光變黑



英國鐸接研究學會標準 (BWRA STANDARD)



法國海軍標準 (AFNOR STANDARD)

圖 6-7-6 階梯型像質計構造尺寸

色之銀粒子則不變發生影響，並使膠層變硬、堅固。

#### (四) 清洗：

清洗底片之目的，係清除殘留於底片上之化學藥劑，因為定影時底片感光乳化劑與定影作用所生之銀化合物，對底片金屬銀所組成之影像品質影響甚大。所以定影後使用水將定影液及其它可溶鹽類，予以徹底清洗乾淨。

#### (五) 潤濕：

底片清洗乾淨後，最好先浸在潤濕劑中1至2分鐘，以防止木痕產生導致研判困難。

#### (六) 乾燥：

底片宜置放在特別設計之烘乾機烘乾，若無此設備亦可置於乾燥通風，無灰塵之室內涼乾之，如使用乾燥機時，熱空氣不宜超過 50°C，否則會使底片膠層熔化，造成底片扭曲變形。圖6-7-7為底片沖洗之流程圖。

## 柒、底片判讀：

判讀人員判讀底片時，應熟悉該底片之照相技術、使用之裝備、底片沖洗條件及被檢物之製造程序。如此方能正確判讀底片並找出潛在之

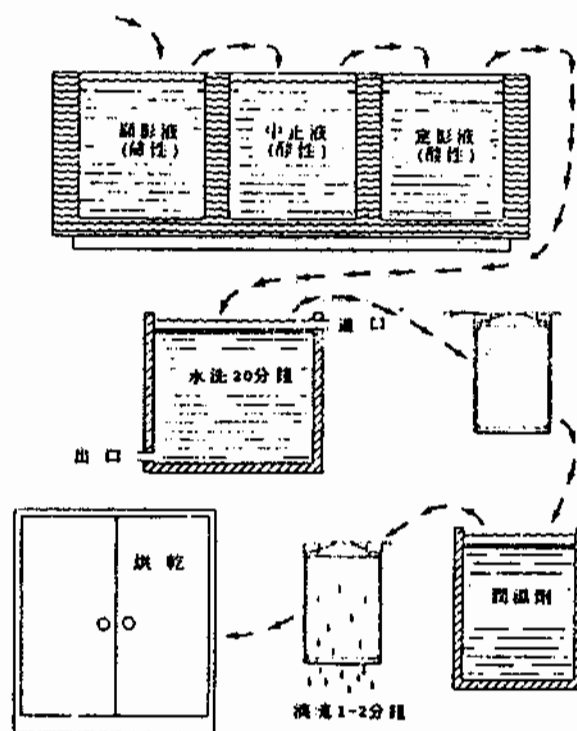


圖 6-7-7 底片沖洗流程圖

缺陷。

#### 一、顯示：

顯示係指底片所顯現之任何跡象，而這些顯示必須經過判讀程序方能了解其意義，一般底片中所顯現之顯示不外乎下列三種：

#### (一) 錯誤顯示：

常見之錯誤顯示包括：底片水痕、刮傷、擦傷、手紋、污染、增感屏不良所造成之顯示，此類顯示通常由檢驗疏忽所造成。

#### (二) 無關顯示：

造成無關顯示之主因，有些

是設計上本來就可能造成之顯示，如幾何形狀之變化，或者受檢物上之外物所形成之顯示，通常此類顯示與缺陷無關。

(三) 適切顯示：

適切顯示係由實際缺陷所產生，判讀人員應特別注意，並給予適切之判讀。

二、判讀裝具：

(一) 黑度計：

底片之黑度可使用黑度計量測，常見之黑度計有二種：一為指針型黑度計，另一種為數字型黑度計。不論是指針型或是數字型黑度計在使用前都須先執行歸零校準，並使用一已知黑度之底片校準黑度計。

(二) 判讀燈：

判讀燈必須能提供充足之光線，以利判讀人員能正確地判讀底片，判讀燈之強度一般可依判讀人員之視覺情況作適度之調整，當使用判讀燈時，周圍光線應力求柔和，以防止光線反射影響判讀人員判讀。

放射線照相檢驗目前於航太工業中常用於檢測飛機內部結構之潛在缺陷，由於一般狀況下，無須拆卸受檢物即可執行檢測，因此，可節省大量之人力、工時及費用支出；且檢測結果可紀錄於底片上作為研判之依據，為一客觀之檢測方法。唯檢測所使用之射源（如X光、瑪射線）均具危險性，若運用不當將對操作人員或周遭工作人員，造成極其嚴重之傷害；故操作人員除應接受安全訓練外，執行檢測工作時，更應遵守各項安全守則，方能將傷害降至最低。並達成檢測任務。

習題：

- 一、試述放射之特性。
- 二、放射線照檢驗之適用範圍為何？
- 三、實施放射線照相檢驗應具備那些條件？
- 四、底片儲存應注意事項為何？
- 五、放射線照相檢驗之曝光值如何計算？

捌、結論：