

# 材料成品的X射線檢驗

陶 鈞 編譯  
陳 農 校閱

大東書局出版

# 材料成品的X射線檢驗

陶 鈞 編 譯  
陳 農 校 閱

大 東 書 局 出 版

## 材料成品的 X 射線檢驗內容提要

本書敘述  $x$ -射線產生和  $x$ -射線管的構造、使用及管理。其次講到  $x$ -射線如何用來檢驗材料成品——鑄製材料、鍛製材料及其成品，包括鋁、銅等。在各節中儘量提出工廠中實際經驗的資料，以便檢驗時作為參考。

本書適用於機械製造、金屬材料等工廠檢驗工作人員與專科工學院學生參考之用。

原作者：А.К.ТРАПЕЗНИКОВ

原書名：КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛОВ И  
ИЗДЕЛИЙ РЕНТГЕНОВЫМИ  
ЛУЧАМИ

原出版者：МАШГИЗ, МОСКВА

原出版年月 1951 年

## 材料成品的 X 射線檢驗 書號：5103

|     |                       |
|-----|-----------------------|
| 編譯者 | 陶鈞                    |
| 校閱者 | 陳農                    |
| 出版者 | 大東書局<br>上海福州路 310 號   |
| 印刷者 | 導文印刷所<br>上海威海衛路 357 弄 |

32 開 41 印刷頁 50,000 字 定價 5,000 元  
一九五三年八月初版

(0001—3000)

上海市書刊出版業營業許可證出 043 號

上海市書刊發行業營業許可證發 C61 號

## 前 言

1. What is the purpose of the study? The purpose of the study is to determine the effect of the use of a computer program on the learning of the English language.

# 目 錄

|     |                       |    |
|-----|-----------------------|----|
| 第一章 | 概 論                   | 1  |
| 第一節 | $\alpha$ -射線的產生       | 3  |
| 第二節 | $\alpha$ -射線的性質       | 11 |
| 第三節 | $\alpha$ -射線在透射中的能量衰退 | 16 |
| 第四節 | $\alpha$ -射線能量衰退定律    | 19 |
| 第二章 | 檢驗方法                  | 26 |
| 第一節 | 照像法                   | 26 |
| 第二節 | 螢光屏觀察法                | 42 |
| 第三節 | 曝光時間極短的裝置             | 47 |
| 第四節 | 電離法                   | 49 |
| 第五節 | 物體厚度和缺陷位置的確定          | 51 |
| 第三章 | 檢驗技術                  | 57 |
| 第一節 | 不同範疇的檢驗工作             | 59 |
| 第二節 | 自動傳遞帶的使用              | 73 |
| 第三節 | 檢驗工作者的保護              | 75 |
| 第四章 | 結 論                   | 77 |

## 第一章 概 論

材料和成品的檢驗方法，大致可分為下列兩類：第一類須破壞材料或成品；第二類則不需破壞。

第一類：在所要用的材料或成品中選取樣品，用材料試驗機來試驗此樣品，作抗拉、抗壓、抗彎、抗扭、衝擊或震動等試驗。決定樣品破裂時的最大負載值，或者它在最大負載下所能忍受的時間。這些數值必須和規定的標準規範相符合。此外，將用作檢驗的樣品，割取成一定斷面，經精密研磨後，用顯微鏡研究內部結構（微粒結構），此種結構亦須符合一定標準。但是，這一類破壞式檢驗方法最顯著的缺點是：在大量生產中，產品無法一一來作試驗。

第二類：在檢驗前或檢驗中無須破壞材料或成品，便能達到目的，在檢驗完畢，材料或成品仍是完整無損。因此全部材料或成品均可經過檢驗再加使用。

在現代化的工業生產中，廣泛的推行了第二類的不破壞式檢驗方法。例如磁氣的、 $x$ -射線的、 $\gamma$ -射線的、超音波的和螢光的方法。每一種方法都具有一定的優點和缺點。在應用上也都有一定的範圍。甚至對於隱藏在材料或產品內部的瑕疵，各種方法也都具有不同的靈敏程度。

反過來講，由於材料種類繁多，成品類型不同，以及需要顯露的瑕疵各各不同，每一類材料或成品不能完全使用同一檢驗

方法就能達到目的。因此在工作中選擇適宜的檢驗方法，以免遭受失敗，是完全必要的。

$\alpha$ -射線檢驗( $\alpha$ 線透視)有比較悠久的歷史。在公元1895年，德國樂琴教授<sup>①</sup>宣稱發現了一種新的 $\alpha$ -放射線，因此英、美、法等國便稱它為 $\alpha$ -射線。在蘇聯和德國則稱它為樂琴射線。在樂琴發表論文不久，醫學界便開始使用它來檢查人體內部隱藏着的缺陷，這種方法稱為 $\alpha$ -射線醫療診斷法。至於用來研究工業材料或成品，尤其指金屬質地的，在當時根本不可能辦到。因為當時 $\alpha$ -射線管及裝置的能力很低，構造又很簡陋，尚屬於草創期，直至公元1915年左右，技術文獻上始有使用 $\alpha$ -射線透視法來研究金屬材料和成品的初步報告，1920年世界上才有專門使用 $\alpha$ -射線透視來檢驗材料和成品的試驗室成立。所檢驗的範圍包括金屬製造工業的某些產品：如鑄件、電鍍件、銲接件等成品。

在航空工業的發展中，由於廣泛的使用了電鍍和輕質合金的鑄件， $\alpha$ -射線透視檢驗法便得到廣泛的使用。二次世界大戰中，航空工業曾廣泛地使用這一類檢驗方法。當時，美國的開始應用尚遲於蘇聯。

在蘇聯國內，假使某一種檢驗方法有肯定的成績而且有希望，國家便可付予一切必需配備，使之在生產中普遍應用。工廠中的 $\alpha$ -射線實驗人員已創製了許多必需補助儀器、 $\alpha$ -射線設備，並研究出合理的作 $\alpha$ -射線透視檢查所必需的前提條件，這

① William Konard Röntgen

些都有很大的價值。到目前這種檢驗法已很普遍的使用於國內某些工廠中，並且將在需要提高產品質量的部門中繼續應用。這類不破壞式檢驗方法不但能檢查產品的缺陷，和揭露工業材料中所隱藏着的缺陷；並且更能指出這些缺陷造成的原因何在，從而修改和改進生產的工藝技術。一般在工廠中使用新的生產技術製造某種零件時，產品最後須 100% 的加以檢驗，檢驗出廢品和材料的缺陷時，便可以修正所用的生產技術，使它完全能適合我們的目的和要求。在另一方面講，優越的檢驗方法可以很有效的提高進行生產的工人質素。這個情況在蘇聯是屢見不鮮的；例如在電鍍工場中，用  $x$ -射線透視檢查出鍍得沒有貫穿的工作物，電鍍工人便能從檢驗報告上發現產生缺陷的原因，進而改進了工作的技術。由於上面種種原因，使工廠的生產部門和  $x$ -射線透視試驗室發生了極密切而不可分離的關係。

至於工業中，那些部門是應用或者可以應用  $x$ -射線透視檢驗方法，是不勝枚舉的。例如在工業原料部門，橡膠、煤、電木，木材等都能使用它來檢驗出品質的優劣來，使用  $x$ -射線透視可以研究紡織品、瓷質絕緣物、鑄件電鍍件的品質、封閉機械機構的內部結構等；甚至於可以用來辨別古代畫片的真偽。

### 第一節 $x$ -射線的產生

要想得到  $x$ -射線，必須有一定的儀器和設備。這些設備主要的包括高電壓的發電機（普通用變壓器），操縱台，和  $x$ -射線管。 $x$ -射線是從  $x$ -射線管中產生的，然後就將產生的射線投射



在需要檢查的對象上。圖 1 就是射線管結構的簡單圖樣。射線管是用圓柱形玻璃管製成。玻璃管形狀亦可如圖 1 所示，中部

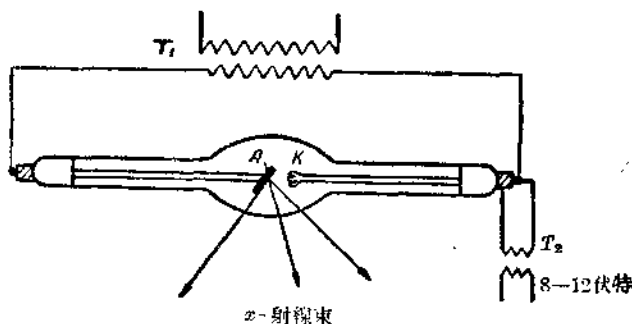


圖 1 x-射線管

A—陽極 K—陰極  $T_1$ —主要變壓器  $T_2$ —燈絲變壓器

擴大如氣球狀。玻璃管中空氣大部份被抽去，空氣壓力祇有水銀柱高度一公厘的百萬分之幾。然後在管子兩端鉗上兩個金屬電極。普通一極具有光滑面，用鎢製成，我們稱它為陽極。在另一端為陰極，端部裝一金屬小杯，杯中繫有直徑約為 0.2 公厘的螺旋形鎢絲。螺旋形鎢絲再由金屬線通過金屬小杯和電極的樞軸出來，連於小型燈絲變壓器（圖 1 的  $T_2$ ）的二次線圈（次級線圈）上，在這線圈上有 8-12 伏特電壓的電流。變壓器的一次線圈（初級線圈）電壓為 120-220 伏特。要是變壓器開始工作，螺旋形鎢絲被電流燒紅，發射電子（熱電子效應）。電子是帶有負電荷的微粒子，這是大家所共知的。倘若在這個時候，將 x-射線管的兩電極連接在高電壓的電源上（發電機）；在陽極上接電源二次線圈的正極；在陰極上（即連接燈絲變壓器次級線圈的一

端)接二次線圈的負極。那麼在  $x$ -射線管的兩極間便產生極強的電場。在鎢絲上產生的電子帶有負電荷，在電場中獲得向陽極移動的加速度，從負電極衝向正電極去。當電子到達陽極面板時，電子已具有一定的速度，這個速度的大小和加於  $x$ -射線管兩電極上的電壓大小有關。

在兩電極接於高電壓後，管中電子流便具有某種程度的電流強度。陽極鏡面成為電子流匯集的地方，因此也稱它為陽極焦點或簡稱為  $x$ -射線管的焦點。電子流中每一個電子都像打靶的子彈似的衝向陽極焦點。

假設子彈質量為  $m$ ，到達靶板時速度為  $v$ ，則子彈所具有的動能為  $\frac{1}{2}mv^2$ 。當子彈衝擊靶子時，子彈速度很快的趨於零，所具動能便完全消失了。根據能量不減定理，子彈的動能並不消失，僅轉變成另外形態的能而已；也就是說子彈在這個時間做了若干功。例如將阻止子彈前進的障礙物擊壞使它變形，部份動能轉變為熱，使子彈的溫度大為增加。倘若子彈是射擊在不能穿透的靶子上，那麼靶子不起任何形變，而子彈反被壓扁，能量大部份轉變為熱。在  $x$ -射線管中電子流衝擊陽極鏡面的情形與之相仿。電子流帶着很大的速度衝擊陽極鏡面，進入很小的一個深度後，便被陽極面板材料的原子所阻擋而損失其能量。電子流所具有的能量一部份化為熱，使陽極鏡面板溫度昇高很多；另一部份能量便變為  $x$ -射線。但必須加以說明：轉變成  $x$ -射線的 energy 祇是整個能量的很小一部份（最多祇有百分之幾），極大部份能量都轉變為熱。因此要是  $x$ -射線繼續不斷的工作，陽

極鏡面板吸收了很多熱量，溫度逐步升高，面板某些部份甚至於會過度受熱而融化。所以做陽極面板的材料必須是難熔的金屬材料，例如熔點約為  $3300^{\circ}\text{C}$  的鎢是比較適用的材料。此外必須在陽極裝置冷卻設備。一般是用泵將水或油壓入陽極的中空管子中，來傳走集積於陽極鏡面板上的熱量。有些  $x$ -射線管的結構比較特殊，在陽極連接管壁處做成許多如魚鱗狀的散熱片，使周圍空氣傳走陽極鏡面板的熱量。但是要知道：每一個  $x$ -射線管都有一定的負荷值，在工作中決不能超過此值，以免損壞管子。

總之，電子流的能量愈大（即電子的數量和速度愈高時），被激發出來的  $x$ -射線能量也愈大。

陰極鎢絲加熱後所放射出電子的數量，決定了  $x$ -射線管陽極電流強度，並且這個電子數量大小是和陰極螺旋形鎢絲加熱溫度有關。燈絲加熱愈強，電子流中電子數量愈大，陽極電流愈大，因而  $x$ -射線強度愈大。這個強度和管內陽極電流成正比例。電子的速度和加於兩電極間的電壓值有關。兩電極所加電壓高，電子速度便增大，電子能量也便增大， $x$ -射線強度也跟着增大。根據計算可知  $x$ -射線管的功率（每秒鐘能量值），和所加電壓的平方值成正比例。例如電壓（即管中電流強度值）增加二倍，那麼  $x$ -射線的功率便增加四倍；要是電壓增加三倍， $x$ -射線功率便增加九倍。

因此，我們可以改變電流或電壓的大小來調節放射線的功率。但是在這裏必須強調的：改變電流祇能改變放射量或功率

的大小。要是改變加於兩極的電壓值，則不但改變了功率，並且改變了射線的性質。當電壓提高時， $x$ -射線很容易穿透物體，在一定的材料上具有較大的深入力。我們稱這類  $x$ -射線為較硬的。總起來說：可以只改變放射量（改變電流），也可以同時改變射線的放射量和性質（改變電壓）。前面所講到的高壓電是由變壓器輸送來的，由低電壓經變壓器昇高到數萬或數十萬伏特的電壓，而後送到  $x$ -射線管兩極上。變壓器由鐵片（一般為矽鋼片）疊成心子（即構成磁回路），上面繞有初級和次級線圈。初級線圈通上低壓電，由電源（127, 220 或 380 伏特交流電源）導入，並經操縱台的調節器調節電流。初級線圈中，有低壓交流電時，由於電磁感應作用，心子中便產生交流磁力線，次級線圈中每一線圈便感應得電動勢（電壓）。次級線圈圈數愈大，所得電壓值愈高。設初級線圈圈數為  $n_1$ ，次級線圈圈數為  $n_2$ ，兩線圈所具電壓各為  $V_1$  和  $V_2$ ，則可得下列關係

$$V_1 : V_2 = n_1 : n_2 \quad (1)$$

根據能量不減定理，次級線圈電壓增高，電流便相反的減低，故

$$i_1 V_1 = i_2 V_2 \quad (2)$$

此處  $i_1$ —初級線圈的電流，

$i_2$ —次級線圈的電流，

根據方程式(2)得

$$V_1 : V_2 = i_2 : i_1 \quad (3)$$

用公式(1)代入(3)式，得

$$i_2 : i_1 = n_1 : n_2$$

(4)

即兩個線圈中的電流和線圈圈數成反比例。換言之，初級線圈中電壓低而電流大，次級線圈電壓高而電流小。也就是說：用高電壓導入x-射線管兩極，管中的電流強度並不大。一般x-射線管所用的變壓器，初級線圈中電流的變化僅幾個安培或數十安培；而在x-射線管中的電流則僅千分之幾或者百分之幾安

培而已。變壓器次級線圈的接線，應用絕緣很好的包布所包的特殊高壓導線，接到x-射線管的兩極上。變壓器的兩個線圈相互間的絕緣必須很好。除了用絕緣紙、絕緣層糊等乾燥絕緣物外，整個變壓器放在盛有變壓器油的匣子中。變壓器油不但是作絕緣物用，並且具有散熱的效用。圖2所示為高壓變壓器的構造圖。

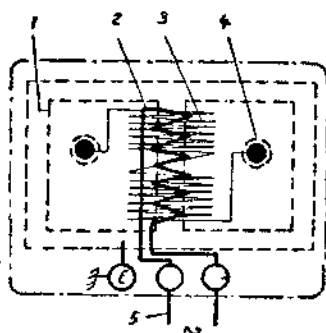


圖2 120伏特  
高壓變壓器

1. 磁回路
2. 初級線圈
3. 次級線圈
4. 高壓接頭
5. 低壓接線
- B. 接地

對於揭露材料的內部缺陷，x-射線的放射量和性質具有基本的影響。一定種類的材料和它的厚度，便須有一定的工作規範。由於檢驗對象的變化很大，一個x-射線管必須具有可以改變射線性質的能力（主要為改變加於管子兩極的電壓），藉以改變工作規範，獲得所需要的射線性質。但是要製造一個變壓器，使它產生的電壓能自極低變化至最大值，技術上是完全不可能的，並且也是不合理的。

$x$ -射線儀器的用途不同,所具有的電壓範圍也就不同。表一所列即為目前使用的  $x$ -射線儀器電壓範圍的分類,可供我們參考。

表一:  $x$ -射線儀器類型和用途

| 工作電壓範圍<br>(千伏特) | 儀 器 用 途                                                               |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 5-15            | 用於醫學上皮膚病的治療。<br>檢驗很薄的,吸收能力很低的材料。                                      |
| 到 30-50         | 用於透視電法,非金屬物品。<br>檢驗(透視)鋁合金和鎂合金材料,厚度 8 公厘(用三萬伏特);厚度 30 公厘(用五萬伏特)。      |
| 到 60-80         | 用於醫學上作室內診斷。<br>當電壓為八萬伏特時,可透視厚度近乎 50 公厘的鋁,或厚度近乎 6 公厘的鋼。                |
| 到 110-125       | 用於醫學上固定儀器式的診斷。<br>用於檢驗材料:<br>15 萬伏特時,鋁的厚度可達 100 公厘,<br>鋼的厚度 20-30 公厘。 |
| 到 200-250       | 用於醫學上治療。<br>工業檢驗:<br>鋁的厚度 350 公厘,<br>鋼的厚度 70 公厘。                      |
| 到 300-400       | 用於醫學上治療。<br>工業檢驗:<br>鋼的厚度 100-125 公厘。                                 |
| 到 1000          | 透視鋼的厚度為 200 公厘。                                                       |
| 到 2000          | 透視鋼的厚度為 300 公厘。                                                       |

註: 變壓器所用電壓,一般都以千伏特為單位。

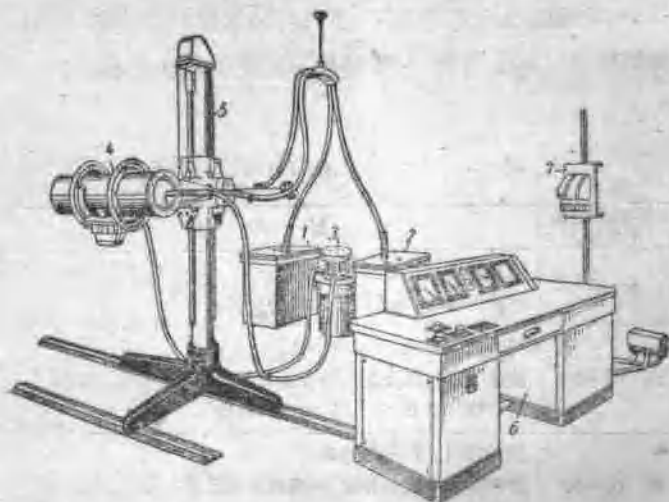


圖3 蘇聯  $\text{PYN-1}$  型  $\pi$ -射線儀器  
(200 千伏特, 20 毫安培)

- 1, 2. 高壓變壓器的兩個半體。
3. 冷卻射線管用的油泵。
4. 管套。
5. 台架。
6. 操縱台。
7. 移動開閉器(變壓器初級回路開關)。

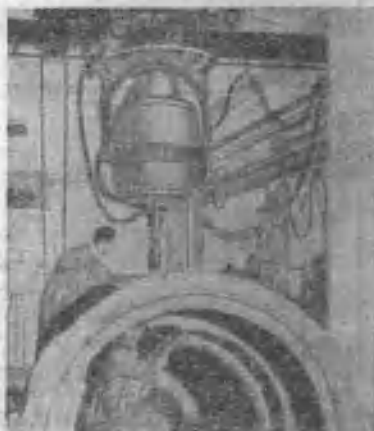


圖4 用起重機吊著的  $\pi$ -射線管(1百  
萬伏特)和變壓器。  
(在管子下面是被檢驗的物件)

圖3, 4所示為兩個不同類型的 $x$ -射線儀器設備。依照所用電壓的不同, $x$ -射線儀器可分為許多不同的類型,也就可以製造出各種不同的 $x$ -射線管來。

## 第二節 $x$ -射線的性質

爲了要瞭解用 $x$ -射線爲什麼可以檢驗出材料內部隱藏着的缺陷,必須簡單地對 $x$ -射線的本質和它的性質有所明瞭才行。

$x$ -射線是自由電子以很高的速度衝向陽極,在陽極鏡面板上被阻止住而產生的。此時電子與陽極中的原子發生許多次的衝擊,在每一次的衝擊上,電子要損失它的動能而產生若干振動(衝量),散佈在周圍的空間裏面。

在無線電工程中,要將所產生的無線電電波放射到周圍的空間中,必須要有一種週期性變動的電力振動來作發射源泉。在電流的變動中,由於所荷載的電荷關係,在運動着的電荷四周產生電磁場。這個電磁場向四周均勻的擴散出去,擴散的速度等於光的速度,即在真空中約爲300,000公里/秒。

當運動的電子在射線管陽極遭遇阻礙,電荷的運動速度有了很大的改變,同樣的在電荷周圍也產生電磁場。但這個電磁場的性質和無線電電波有所不同,這個電磁場是具有若干程度的游離化性質。在無線電中,電荷速度的改變是週期性的,是連續的,所成的波是呈波浪形向四周振動着傳播出去。倘若在同一平面上作週期性振動,則它的傳播情況很容易用波浪運動來表示。例如我們將水平面選爲振動面,則在水面上擲下一塊小



的木塊，水面便從木塊處形成一圈一圈的水波向四周擴張出去；一圈比一圈大，一圈高一圈低的成為波浪形。木塊則在原來地點隨着水波昇降振動，經過若干時間才靜止下來。

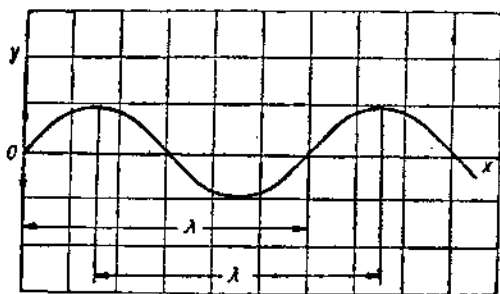


圖5 波 形 ( $\lambda$ —波長)

圖5所示為水面的縱斷剖面圖。圖上 $o$ 點為木塊振動的地點， $x$ -軸為水點從 $o$ 點開始振動後的傳播方向。這個傳播路徑稱為射線。 $y$ -軸是表示水點上下振動時離開原始靜止位置的偏差值。每個水點完成一個往復完整的振動所需要的時間稱為振動的週期 $T$ (從原始靜止位置起，因為受木塊下擊的影響而向下運動，然後由於相隣水點黏附性的關係又向上昇，經原始點 $o$ 後，由於慣性作用而仍向上昇，到一定高度，又因相隣水點的黏附性而折回原始靜止位置，這一路徑所經的時間稱為週期)。水點的振動是沿縱的方向進行着向四周傳播出去。這種類型的波稱為縱波。

上面所講的是在一個平面上的振動運動。無線電波是從發射處向周圍傳播而不限於一個平面上。波成圓球面形；在同一