

X 綫机構造学

人民衛生出版社

X 綫 机 構 造 学

編著者 史 元 明

人 民 衛 生 出 版 社

一 九 五 六 年 • 北 京

內 容 提 要

本書共分三章,首先介紹高压部分机件,其次介紹低压部分机件,最后介紹电路結構,其中關於發生X綫用的X綫管,供应X綫管高电压的發生裝置,操縱X綫發生及性能調節裝置的控制台,透視攝影床等机械部分,均作了詳細介紹,並对主要各厂各牌号机器的不同裝置及性能,亦分別予以介紹。附圖 296 幅,敘述詳尽,可供X綫技士学校及一般X綫机工作人員参考。

X 綫 机 構 造 学

开本: 850×1168/32 印張: 7 7/16 插頁: 7 字數: 200千字

史 元 明 編 著

人 民 衛 生 出 版 社 出 版

(北京書刊出版业營業許可証出字第〇四六号)

• 北京崇文区茨子胡同三十六号 •

上海市印刷五厂印刷 • 新華書店發行

統一書号: 14048 • 0890

定 价: (9) 1.00 元

1956年6月第1版—第1次印刷

1956年11月第1版—第2次印刷

(上海版) 印數: 6,101—9,100

目 錄

緒 論	1
第一章 高压部分机件	4
第一節 X綫管	4
第二節 高压电纜	33
第三節 高压整流管	35
第四節 灯絲变压器	44
第五節 高压变压器	47
第六節 高压交換閘、高压电容器及电阻器	56
第二章 低压部分机件	58
第一節 自耦变压器	58
第二節 低压整流器	67
第三節 穩压器	75
第四節 电的接觸接連	83
第五節 繼电器	88
第六節 过負載断路器及保護机件	103
第七節 延時器	110
第八節 旋轉陽極啓動器	119
第九節 限時器	126
第十節 电子限時器	135
第三章 电路結構	157
第一節 机器圖的種類与符号	159
第二節 低压电路結構	162
第三節 高压电路結構	199
第四節 全部机器的电路結構举例	226

緒 論

自从 1895 年倫琴發現 X 綫以后,很快就被应用於医学的范围內。X 綫發現三个月后,俄國著名学者,無綫电的發明家 A. C. 波波夫就親手做了一个 X 綫管,並將其所創制的 X 綫裝置於克朗石塔德海軍病院中应用。同時經 B. B. 哥利聰院士研究証明,X 綫的發源地是陽極面上被电子所撞擊之处即所謂[焦點]。於是証實了 X 綫是由於高速度運動的电子,在其運動过程中遇到阻擋發生撞擊而發生的假說。

由於 X 綫能应用於各种不同的科学、技術范围內,所以 X 綫發生裝置(即 X 綫机)的改進,有了迅速的發展。舊式 X 綫机的高压电源多用感应圈供給,效率低且功率又小,后为俄國傑出的电机工程師烏薩根累衣發明的高压变压器所代替。舊式 X 綫管皆为离子管,使用不便,效率亦低,在 1910 年俄國物理学家 П. Н 列別傑夫首先建議制造熱陰極(白熾鎢絲)电子 X 綫管,可惜由於他的早逝而未能完成此項重要發明,直到 1913 年才有电子 X 綫管的制出。

一架 X 綫机所包括的各主要部分如下:[其結構參閱圖(1)]。

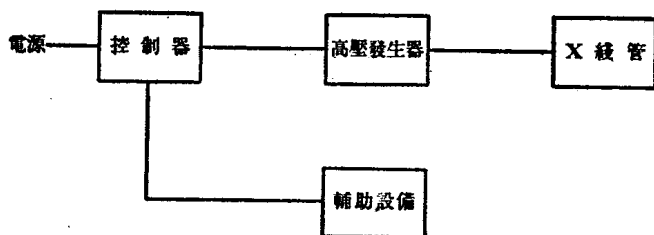


圖 1 X 綫机結構略圖

1. 發生 X 綫用的 X 綫管。
2. 供应 X 綫管高电压的發生裝置。
3. 操縱 X 綫發生及性能調節裝置的控制台。
4. 透視、攝影床等机械部分。

除去X綫管外,其余部分皆由多种机件組成,本書將分別予以討論。

医用X綫机由应用方面看可分为診斷用X綫机及治療用X綫机兩大類。前者如根据使用及容量等划分,又可包括有(下表)所列各式。

診斷用X綫机的類別

机 器 型 式	輸 出 容 量	用 途
小型攜帶式X綫机	10 余毫安以下 60 千伏	出診, 或病房及戰地用
小型移動式X綫机	20—30 毫安 80 千伏 (或 60 千伏) 以下	病房及手術室等用
大型移動式X綫机	數百毫安 100 千伏以下	病房手術室作大功率 短時間攝影用
中小型固定式X綫机 (自整流式)	百余毫安以下 100 千伏以下	一般透視攝影用
大型固定式X綫机 (附有整流設備)	100—200毫安以下 100(或120)千伏以下	一般透視攝影用
超大型固定式X綫机* (附有全波整流或三 相整流)	500 毫安以上 100 (或 120) 千伏	一般透視攝影用

*超大型X綫机例如 300—400—500 毫安以上者,在实际应用中多無此項需要,如果电源供电情况較差,电压降較大,這類机器根本不能發揮其效能,並且对其中机件如整流管、X綫管等等損坏及消耗非常大,甚至反不如一般中、大型机器使用效果良好。

診斷用的X綫机亦有專有或附有特种应用的装备,其主要者例如:

螢光攝影机: 或称間接攝影机,系用普通相机攝下螢光板上的影像,常应用於防癆工作中之胸部檢查。

連續攝影及適時攝影: 多用於胃腸檢查,在透視中間作快速攝影之用。

斷層攝影机: 用以攝制被照射物各种深度的平面影像。

記波攝影机: 用以攝制心臟波動影像以診斷心臟等疾病。

其他如泌尿系統專用X綫机及头部攝影X綫机等,則裝置有

特殊診斷床,固定架,可作快速換片攝影等用。綜觀以上各類機器,其X綫發生原理皆相同,电路結構基本主要部分亦大致相同,僅在机械裝置上有所不同而已。

過去我國在反動統治時期,一切仰仗外國,X綫機也不例外,因此國內現有機器的情況亦非常複雜,國別牌號應有盡有,很難一一列舉分別敘述,僅提出主要機件及其重點,學者自可舉一而反三,在实际工作中加以提高。

第一章 高压部分机件

重點要求：(1)學習高压部分主要机件的構造，其中主要为X綫管，高压整流器，高压電纜，高压变压器等。(2)認識以上各主要机件的性能及应用方面中的特點。(3)一架X綫机虽为許多机件所組成，但具有其整体性，分散開來則不可能工作，故本章虽单独講述，但讀者必須建立連續性的觀念。(4)學習本章內各節应注意正确地使用方面問題，尤以各种X綫管的正常使用更为重要。

第一節 X 綫 管

X綫管为X綫机器內的最主要机件，是一个精密的高压电真空儀器。舊式X綫管圖(2)为一密封玻璃容器，其中存留少許空气

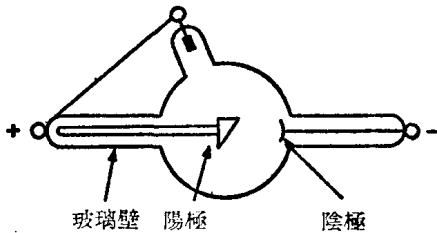


圖 2 气体X綫管

或其他气体，当兩端加以高压時，管内气体电离，陰極射綫集中撞擊於对陰極面上。所謂[对陰極]者，即作为障碍物之用。運動电子突被停止，其動能即被对陰極物質原子所吸收，而發生X綫射出管外。目

前所用的X綫管，与上述略有不同，多系高真空熱陰極式，其構造如圖(3)。管内为高度真空，陰極為一鎢制灯絲，通电流使之熾熱而放散电子。这些电子受高电压的作用，以很大的速度投射於陽極，在陽極上即有X綫向四方發射，所生X綫的強度(硬度，亦

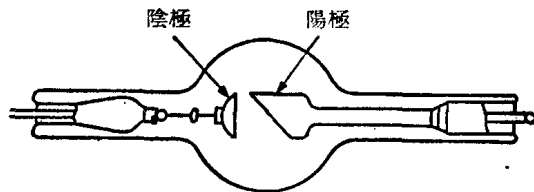


圖 3 熱陰極式X綫管

即穿透力),視陽極所用的金屬及所加电压的大小而定;陽極电位愈高,則电子行動愈速,所發生X綫的波長愈短,即X綫愈硬。而所發生X綫的量,則大部取決於灯絲所放散电子數目的多少,亦即灯絲温度的高低。灯絲温度愈高,X綫量亦愈大。

現在所用的X綫管種類虽多,但基本原理皆如上述,今分別討論於下。

一、構造

1. 陰極:熱陰極X綫管的陰極為放散电子之用,电子放散的原理,略述如下:

在物質的原子中,是由各种基本粒子,如电子、質子、中子等所組成。在原子最外一層的电子,它在一定的条件下可以比較容易地脫离母体,而以自由电子的形态出現,电子本身是極小的物質微粒,具有負电荷,其值为 $e = 1.601 \times 10^{-19}$ 庫侖。

在X綫管內,电子由陰極脫出,必須有一定的条件,第一、因为电子在金屬中時,它們与正离子之間有吸引力存在,电子如欲勝过这种吸引力,必須有足够的能量才能完成。第二、在金屬的表面由於金屬內部一些自由电子暫時由金屬內逸出而存在有一电子的[气層],並帶有負电荷,阻止了后來的电子。这也是造成电子逸出,須具有相当的能量的原因之一。

假設电子逸出金屬表面所需用於克服第一种条件的功为 W_0 ,用於第二种者为 W_i 。則电子要从金屬內逸出所必須具有的總能量 W_a 应为:

$$W_a = W_i + W_0$$

W_0 又称为逸出功。下表为一些金屬的逸出功之值(以电子伏特为單位)。

銻.....1.81	鉬.....4.07
鎢.....2.11	鎳.....4.30
鈣.....2.24	鉕.....4.41
鈦.....3.35	鎢.....4.52
銅.....4.0	鉑.....5.0

因此X綫管陰極放散电子是用陰極的加熱。当金屬加熱后,一

些电子的能量和速率增加到足够的程度,做了所需要的[逸出功],亦即克服了前述的阻挡力,而逸出金属表面。金属的温度愈高,电子所获得的能量也愈多,遂使逸出金属表面的电子也愈多。所以电子放散的数量,是随温度的上升而增加的。

1901年 O. W. Richardson 氏依据实验,得一电子放散公式,后经 Dushman 略加修改为:

$$i = Ne = AT^2 \epsilon^{-\frac{\phi_0 e}{KT}} \text{ 安/厘米}^2$$

式中 i ——加热金属单位面积上所放散出来的电子流
(以每平方厘米的安培计)

N ——每秒放出的电子数

e ——每个电子的电荷

ϵ ——自然对数底

A ——在纯金属中的常数,其值为 $60.2 \text{ 安/厘米}^2 \cdot \text{度}^2$

T ——金属的绝对温度

ϕ_0 ——该发射物体的常数

K ——为 Boltzman 常数,其值为 $1.36 \times 10^{-16} \text{ 尔格/T.}$

(绝对温度 K)

如放散电子的金属为钨,则

$$b_0 = \frac{\phi_0 e}{K} = 52400 \quad \frac{e}{K} \text{ 之值为 } 1.17 \times 10^4$$

但是电子离开发射体后,发射体即显示正电荷,而有力量促使发射出去的电子,再被吸回原表面。现设想一表面,其绝对温度为 T 度,外罩一层如云状的电子群(按任何一电子均不能远离其发射面,在普通应用的灯丝温度,大部分发射的电子,若不受其他力量而只靠发射的速度,约能离发射面至 0.001 厘米),电子密度颇高,距离稍远,即减为稀薄。在表面附近的一层电子,将排斥外层电子,使之更远,同时且排斥欲从表面向外放散的电子。因之,此层电子的存在,将对电子放散与管电流有很大的影响。

X 射线管的阴极皆用钨丝制成,因为钨的熔点较高,蒸发率低,加工容易,且坚固价廉。钨制灯丝电子放散情况可由下列例题中

看出。

例：由直徑為圓形的鎢絲所制成的陰極，其直徑 $d = 0.1$ 毫米，長度 = 10 厘米，在溫度由 $2000^{\circ} - 2600^{\circ}\text{K}$ 內，計算其放散電流，並作出溫度與放散電流關係曲綫。

解：

陰極放散電子的面積為：

$$Q = \pi d l = \pi \times 0.01 \times 10 = 0.314 \text{ 平方厘米}$$

因 $A = 60$ ， $b_0 = 52400$ ，則在不同溫度下每平方厘米陰極表面放散電流為：

$$I_1 = 60T^2 e^{-\frac{52400}{T}} \text{ 安/厘米}^2$$

全部陰極表面上的總放散電流等於：

$$I = I_1 \times Q \times 10^3 \text{ 毫安}$$

由 $T = 2000^{\circ}$ 到 2600°K 分別代入計算得：

$T^{\circ}\text{K}$	I_1 安/厘米 ²	I 毫安
2000	1.15×10^{-3}	0.36
2100	4.16×10^{-3}	1.31
2200	14.2×10^{-3}	4.46
2300	43.8×10^{-3}	13.7
2400	120×10^{-3}	37.7
2500	300×10^{-3}	94.2
2600	740×10^{-3}	232.1

依照上表數字，繪出其關係曲綫圖(4)。

由曲綫可以看出當溫度增加時，放散電流最初增加很慢，後來就非常快速。如溫度在 $2400^{\circ} - 2600^{\circ}\text{K}$ 之間，則溫度增加很少，而陰極的放散電流就要增加很多，例如，陰極溫度由 2400°K 增加到 2600°K ，即僅上升 4%，但放散電流却增加了 150%。故使用 X 綫機時，燈絲調節（即控制 X 綫管燈絲加熱電流的調節器）至一定程度後，稍增之，即可使管電流增加很多，此點宜特別注意。

X 綫管燈絲溫度的高低，對其壽命（指燈絲本身的壽命，下同）

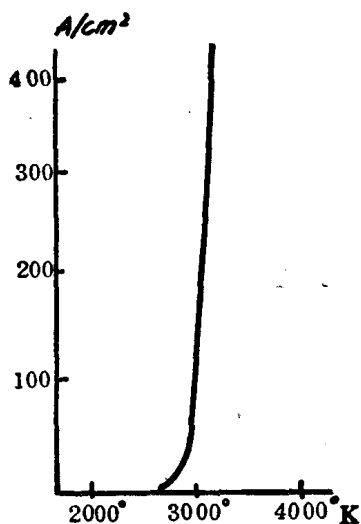


圖 4 灯絲电子放散特性

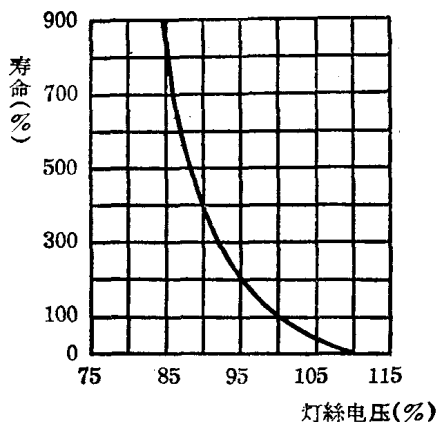


圖 5 灯絲加熱与其寿命關係曲綫

有很大的影响,灯絲温度愈高,則其寿命的縮短也愈快,並且不成直綫比例。如灯絲温度減少 5%,則寿命即可延長 100%,所以使用 X 綫管時,常是尽可能地使用低毫安,这样可以節省甚多。圖(5)为灯絲寿命与灯絲温度的關係曲綫。

灯絲經過相当長時間的點燃后,由於逐漸地蒸發而变細。当其截面積减小 10% 后,寿命即將告終。因愈細則表面積减小愈多,电子放散數目亦减小,而至不能使用。不过一般 X 綫管常未達於此种程度,而已經由於其他原因而損坏至不能使用。一个 0.025 毫米直徑的灯絲,點燃於 2500°K 之下,每秒鐘蒸發率为 2.02×10^{-16} 毫克/厘米²/秒。其寿命約为 1690 小時(指灯絲而言)。因此採用鎢做为 X 綫管陰極灯絲,这是为了鎢的熔點較高,蒸發率低,並且加工容易,以及坚固价廉等。

医用 X 綫管的灯絲,多制成圓盤形或長螺管形圖(6)。

电子在陽極面上的撞擊面称曰「焦點面」,此面積即为 X 綫發射的面積,在应用攝影時,可以直接影响照射影像的清晰度。焦點面当然是愈小愈好,但是会受到「熱問題」的限制(將於以后討論)。为了避免灯絲放散出來的电子,擴散地撞在陽極上,所以都要有聚

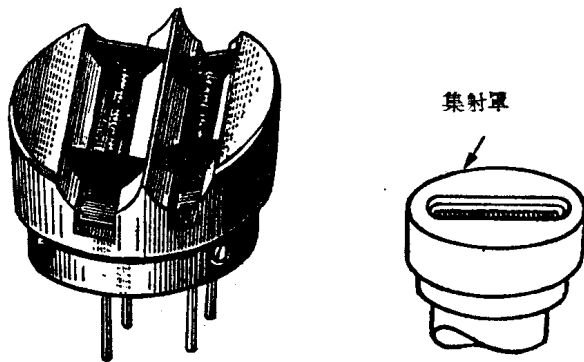


圖 6 甲 長灯絲

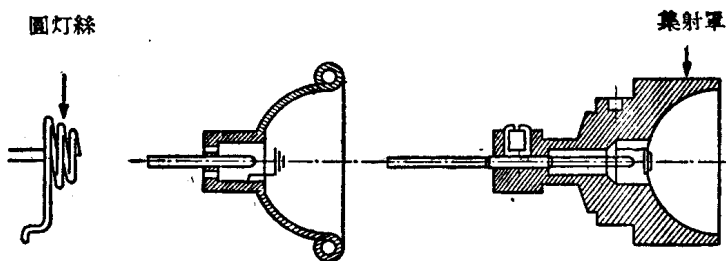


圖 6 乙 圓灯絲 集射罩

射罩的設置。聚射罩多用鎢鉬等硬金屬制造,灯絲裝於其中,並与灯絲一端相連接,这样,灯絲为負电位時,聚射罩亦为負电位,它可利用電場作用使被陽極吸引过去由灯絲放射出來的电子,聚集地射向陽極。聚射罩的大小、深度、形狀以及灯絲在其中的位置等,都可影响陽極的焦點面積。

有些治療用的X綫管,因为沒有必要使[X綫源]小,有時且須要大些,所以在圓形的灯絲中間立有一小金屬柱,並与灯絲相連,这样可以適当地控制电子束的大小,即控制撞擊面的大小,其構造如圖(7)。

長条螺管狀灯絲的寬度較圓灯絲小,再
利用陽極角度的關係,可使[有效焦點面積]



圖 7 各有擴散柱的
灯絲

縮小甚多(詳見陽極構造)。圓灯絲本身不能盤得過小,否則易於相碰短路,一個與圓焦點有同一角度、同一光效应的綫焦點,可以承受約二倍於圓焦點的負荷。

有效焦點面積系指垂直於管長軸,實焦點面積的投影面積如圖(8)。

X綫管灯絲电阻,多在0.5—2歐姆之間(加熱情況下)。加熱电压隨管的形式而不相同,一般多在2—10伏或高至十數伏左右,电流一般多在3—6安左右(亦有高至8—9以上者)。更換不同型式X綫管時,應根據其特性調整。

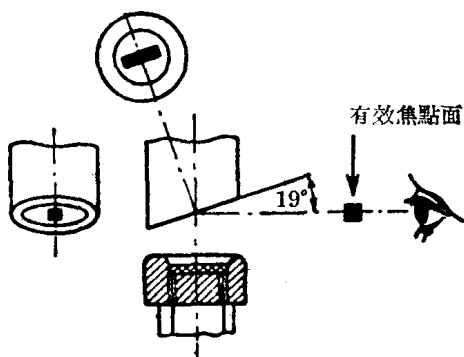


圖8 有效焦點面

X綫管在診斷用途上,為了增進使用效果,有的裝有兩個灯絲,一個較大為大焦點灯絲;一個較小為小焦點灯絲,這樣可以在使用一定負荷時,提高透視或攝影的影像清晰度。此種X綫管稱曰雙焦點X綫管。其交換使用,多在低壓部分操縱。

如將一鎢絲或一陽極板,相距不遠而置於極高度真空玻璃泡中,即成為一簡單的二極电子管。將灯絲加熱,並在陽極与灯絲二極間加以高电压,使陽極的电位对灯絲为正,於是在陽極与灯絲間,由於高電場的作用,促使管內有电流通过。电流的值,視陽極与

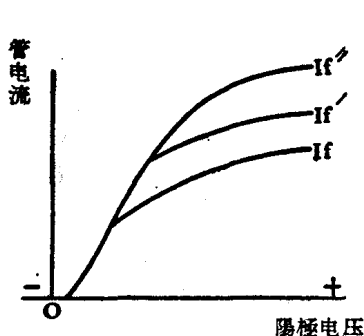


圖9 管电流与管电压的關係

灯絲間电位差的多少及灯絲温度的高低而定。前已述及,灯絲温度決定於灯絲所通过电流的大小,故可用灯絲电流为指示(因灯絲温度較难測定)。圖(9)曲綫即为用三种不同的灯絲电流,示陽極电流与陽極电压的關係。

此曲綫顯然与电路中歐姆定律不同,否則当各為一直綫(电流与电

压成正比)。其电阻亦不为常数而与所经过的电流有关。在一定灯丝电流(I_f)时,灯丝的温度亦在一定点,电子的放散依据 Richardson 氏方程式而有一定值。在阳极电位(E_p)较低时,阳极电流(I_p)的增加较为显著(即电压稍增,电流即可增加很多),因阳极电位增加时,不独可多吸引电子,且空间电荷效应亦可减少,故更可帮助电子脱离灯丝而到阳极;但在阳极电位较高时,则虽增加阳极电位,而阳极电流增加甚微,若 E_p 超过此值后,则虽再加高,而不能再得到更多阳极电流的增加,因灯丝放散电子在此温度时已达到饱和状态。即在此温度时,电子因温度得到动能,而能脱离灯丝的表面者,均已被阳极吸去(有时在灯丝附近有极高电位梯度,使电子挤出丝面,谓之[冷放射])。

X射线管工作时多使用曲线上较平的部分。图(10)的两个曲线为苏联制 БДМ—85 型 X射线管的特性。

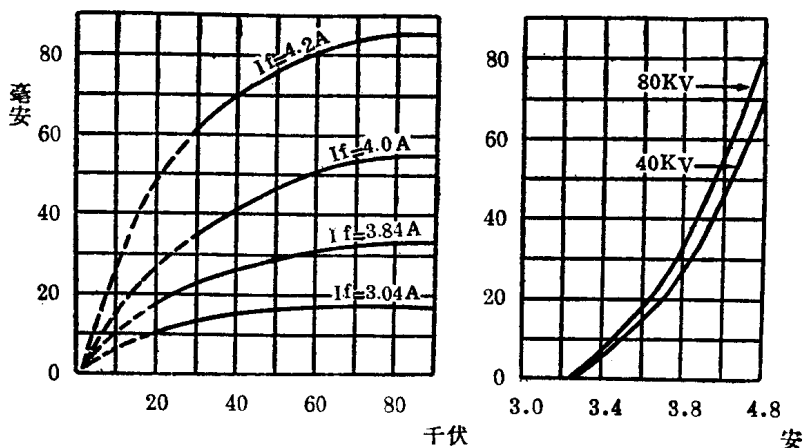


圖 10 БДМ—85 型 X射线管特性

2. 阳极: X射线管的阳极是用以承受电子的撞擊而發生 X 射线者,自阴极射向阳极的电子,速度甚高,其速度视阴阳两极間所加的电压而定。电子由阴极到达阳极,必有一定的动能,其值当与该电子所完成的功相等,即:

$$V_e = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

$$v = \sqrt{2V \frac{e}{m_0}}$$

式中 v 为到達終點的速度

V 为电子路徑起點与終點的电位差。

將 $\frac{e}{m} = 1.759 \times 10^{11}$ 庫侖/千克代入,得

$$v = \sqrt{2 \times 1.759 \times 10^{11} \times V}$$

$$= 5.931 \times 10^5 \sqrt{V} \text{ 米/秒}$$

$$\text{約等於 } 600 \sqrt{V} \text{ 公里/秒}$$

例: 假設正負二極間电位差为 40000 伏, 不計电子由灯絲放散出來的初速, 求其終速:

解: 代入上式

$$v \text{ 約等於 } 600 \sqrt{40000} = 120000 \text{ 公里/秒}$$

在上述計算式內可以看出, 若兩極間所加的电压愈高, 則电子运行將更加速, 不过在实用中, 电子速度有一極限值, 即不能超过或達到光速 (300000 公里/秒), 此系由於电子的質量並非恆定。上式計算中採用靜止時的質量, 根据質能關係知, 当电子運動速度增大后, 其質量亦將增加; 实际的速度应按下式計算:

$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{1}{\frac{Ve}{m_0 c^2} + 1} \right)^2}$$

下表为各电压值下的电子速度(約數)。

伏	电子速度公里/秒
20000	82000
50000	124000
100000	160000
200000	210000
400000	240000

鐳的 β 射綫約为 299000 公里/秒, 已接近光速。

由上列計算中可以看出, 因撞擊於陽極面的电子其速度接近光速, 亦即動能相当高, 如此大量的能量多數轉变为熱, 且承受电

子撞擊面甚小(即焦點面由於使用的要求須甚小)。而熱能集中於此甚小的焦點面上。下列計算可約略看出焦點面當撞擊時的溫度(承受電子撞擊面為鎢)。

如一X綫管在60千伏,20毫安,0.6秒條件下照射後,求鎢面溫度的升高。假設承受電子撞擊面為2毫米寬16毫米長、3.2毫米厚,未使用前電子撞擊面為30°C,因有99%以上的能動皆轉變為熱,故可不計發生X綫的能。由熱能轉變公式可在求出上述使用條件下,承受電子撞擊面的熱量:

$$\text{熱量} = 0.24 I E t \text{ 卡}$$

已知 $I = 0.02 \text{ 安}$

$$E = 60000 \text{ 伏}$$

$$t = 0.6 \text{ 秒}$$

代入

$$\text{熱量} = 0.24 \times 0.02 \times 60000 \times 0.6 = 172.8 \text{ 卡}$$

茲假定其中40%的熱傳導出去(鎢的導熱系數為0.4)則鎢面(電子撞擊面)尚余熱量為 $172.8 \times 0.6 = 103.7 \text{ 卡}$ 。

由熱學的計算

$$\text{熱量} = MHT$$

$$T = \frac{\text{熱量}}{MH}$$

M ——質量

H ——比熱

T ——溫度

鎢的比熱為0.036卡

鎢的質量可由體積求出 即:

$$\text{比重} \times \text{體積} = \text{質量}$$

鎢的比重為19.39克/立方厘米

則鎢的體積為 $2 \times 16 \times 3.2 = 102.4 \text{ 立方毫米}$

$$19.3 \times 0.1024 = 1.9736 \text{ 克(鎢的質量)}$$

以上各數字代入熱學公式中

$$\text{即 } T = \frac{103.7}{1.9763 \times 0.36} = 1457^\circ\text{C}$$