—X線管の管電流特性に就て—

三 島 初 太 郎

Plate-Current-Characteristics of X-ray Tubes

By H. MISHIMA

Lamp and Tube Mfg. and Sales Dept., Tokyo-Shibaura Electric Co.

In this article the author explains that, as to the relation between the plate current and the filament current of X-ray tubes, $\log I_p - 1/I_f^{1/2}$ can be represented by a straight line within the limit of permissible experimental error, and that in many cases we can make use of this relation advantageously.

(1) 緒 言

周知の如く診察用 X 線管に於ては、濾波回路なしの整流電圧をもつて動作させるので、その管電流は空間電荷特性部分と、熱電子飽和特性の部分とからなる。この中飽和熱電子流に依るものが大部分である故、温度依存性が大である。即ち Richardson の式で示される如く、フィラメント電流の変化は、管電流の急激な

ことを知つた(1)。この特性を応用すれば品質管理上、又実際取扱上非常に有効であるので報告する。

(2) 実験方法および測定結果

第1図の如き (i) 単相全波整流回路 (Grätz 回路), (ii) 無整流回路, にて測定した。負荷時のフィラメント電流の変化を考慮し、高圧変圧器 (H.T.) の一次電源は 220 V 電源より、フィラメント加熱変圧器 (F.T.) は 100V 電源より供給し 夫々単捲変圧器を通して電圧を調整し、フィラメント電流

の変動を絶無に保持した。又 X 線管の管電流は、フィラメント電流一定の場合でも、時間と共に降下する現象が存在するから、なるべく測定を短時間にする様に努力した。供試管は SDR-10, SDW-10, SDO-2 を対象に行い、SDR-10, SDW-10, は空气中に於て、SDO-2 は油浸の状態で夫々規格通りの冷却方式で測定した。管電圧は SDR-10, SDW-10 に於ては単相全波整流回路 (第1図 (i)) で、あらかじめ管電流に対し、一次電圧と二次電圧を校正した図表により 60kVP に一次電圧を調整し SDO-2 は無整流回路 (第1図(ii)) で同様に 50 kVP に調整し、1~

(i) 全波整流回路

(ii) 無整流回路

X : X 線管, K : ケノトロン, H. T. 高圧変圧器, F. T. : フィラメント加熱変圧器

第 1 図

変化をもたらす。このために管電流特性の測定、或いは実際使用中管電流の調整が非常に困難となり、時には過電流のため管球が破壊されるが如き現象を屢々経験する。著者は X 線管の飽和電圧の範囲では、管電流 (I_p) とフィラメント電流 (I_f) との関係は $\log I_p$ と $1/I_f^{1/2}$ が実験誤差の範囲で直線的に充分に表示できる

5 秒程度の印加時間にて管電流の平均値を測定した。測定結果は第1表、第2表、第3表、および第2図、第3図、第4図に示してある。管電流の小さい時には極端にずれた値を示すときもあり、又そうでない時もあつた。これは管電流の小さい時は、大きい時よりガラス表面の荷電の影響が表われ易いためと考えられる

第 1 表 (SDR-10) $E_p=60\text{kVP}$

Tube. No. I_f (A)	1	2	3	4	5
3.50	1.4 mA	0.4 mA	2.0 mA	1.4 mA	0.5 mA
3.75	5.7	2.5	9.7	5.9	4.3
4.00	18.0	8.0	18.5	20.5	16.0
4.25	46.0	27.0	50.0	47.5	45.0
4.50	80.0	82.0	120.0	107.0	104.0

第 2 表 (SDW-10) $E_p=60\text{kVP}$

Tube. No. I_f (A)	1	2	3	4	5
3.25	0.15 mA	0.16 mA	0.71 mA	—	—
3.50	1.0	1.13	3.2	1.25	0.8
3.75	4.3	5.8	12.0	5.4	4.2
4.00	14.5	19.0	34.0	18.0	14.0
4.25	52.0	51.5	87.0	51.0	42.0
4.50	101.0	125.0	180.0	120.0	101.0
4.75	205.0	220.0	—	220.0	—

第 3 表 (SDO-2) $E_p=50\text{kVP}$

Tube. No. I_f (A)	1	2	3	4	5
3.50	1.25 mA	0.8 mA	0.5 mA	0.75 mA	0.75 mA
3.75	4.3	2.4	1.55	2.5	2.7
4.00	11.4	6.5	4.2	6.55	6.7
4.25	23.5	14.0	8.35	14.3	14.8
4.50	45.0	29.0	18.5	30.0	33.0

以上は一社のみの製造管球であるが、これが他社製管球にも適用するかどうかを見るために、X線管協議会に於て提出された SDW-10 の資料を整理してみると、第 5 図の如く良く直線性を示している。以上の結果を見ると、規格の範囲内にては明らかに何れの管球も $\log I_p$ と $1/I_f^2$ の関係は直線表示が可能であることが認められる。供試管中には第 2 図 No.3 の如く直線性を示さぬものがあるが、これは真空度が底下していたことを知った。

第 2 図 SDR-10
 $E_p=60\text{kVP}$ (単相全波整流電圧) 第 3 図 SDW-10
 $E_p=60\text{kVP}$ (単相全波整流電圧)

(3) 考 案

この関係を考察するに、輻射の 4 乗の法則のみを考慮すると、近似的に次式が成立する。

$$\log I_p = A + \frac{B}{I_f^{0.5}} \dots\dots\dots (1)$$

第 4 図 SDO-2

$E_p = 50 \text{ kVP}$ (単相無整流電圧)

第 6 図

第 5 図

但し A, B は常数とする。

然るに実測値を $\log I_p$ と $1/I_f^{0.5}$ の関係に図示すると、第 6 図 (A) の如く直線性は劣る様に思われる。

次に輻射の代りに、フィラメントの表面の熱放散が (3') の条件の如く行われているものと仮定すると、近似的に次式を満足する。

$$\log I_p = A_0 + \frac{B_0}{I_f^2} \quad (2)$$

即ち、半径方向のみの熱伝導と考えると次式が成立する。

$$\frac{d^2\theta}{d\gamma^2} + \frac{1}{\gamma} \frac{d\theta}{d\gamma} + \frac{q}{\lambda} = 0 \quad (3)$$

但し、 r : 半径, θ : 温度, q : 単位体積当りの発熱量, λ : 熱伝導率,

$$\left. \begin{aligned} \text{条件として} \quad & \left(\frac{d\theta}{d\gamma} \right)_{r=0} = 0 \\ & -\lambda \left(\frac{d\theta}{d\gamma} \right)_{r=r_0} = \alpha \theta_{r_0} - t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (31)$$

又、フィラメントの固有抵抗 $p = D\theta - E$ (D, E , 常数) で表わすと

$$\log I_p = \left(\log A \left(\frac{0.86E}{Ga - 0.86D} \right)^2 - \frac{BD}{E} \right) + \frac{BG\alpha}{0.86EI_f^2} \quad (4)$$

但し、 A, B, G は常数である。

(4) 式に於て $\frac{Ga}{I_f^2} \ll 0.86D$ ならば、近似的に (2) 式が成立することは明らかである。しかるにフィラメント温度は $1,500 \sim 2,800^\circ \text{ (K)}$ 附近にあるから、輻射の影響は決定的なものである故、それと他の現象とが組合わされた結果、上記の式が成立するものと推定される。これに対して X 線管の管電流波形と、フィラメントの端子損失による Emission の変化を考慮する必要のあることを本多教授は指摘された (2)。計算の方法は次の通りである。

管電流は、空間電荷電流および飽和熱電子流の 2 つの特性を反復しているから、次の如く表わすことができる。

$$I_p = I_h \frac{2}{\pi} \left(\frac{\int_0^{\theta_0} \sin 3/2 \theta d\theta}{\sin 3/2 \theta_0} + \frac{\pi}{2} - \theta_0 \right) \dots (5)$$

但し、 I_h : 飽和熱電子流、 θ_0 : 飽和する時の ωt を角度で表わしたものである。

次に X 線管フィラメントの温度分布を考慮した飽和熱電子流は次式となる。

$$I_h = I_{T0} l \frac{2 \int_0^{l/2} T e^{-b/T} dx}{T_0^2 e^{-b/T_0} l} \dots (6)$$

但し、 I_{T0} : 中心温度、 l : フィラメント長さ、 b : 常数故に(6)を(5)式に入れると、管電流は次の如く表わすことができる。

$$I_p = I_{T0} \frac{4l}{\pi} \left(\frac{\int_0^{\theta_0} \sin 3/2 \theta d\theta}{\sin 3/2 \theta_0} + \frac{\pi}{2} - \theta_0 \right) \times \frac{\int_0^{l/2} T e^{-b/T} dx}{T_0^2 e^{-b/T_0} l} \dots (7)$$

(7) 式を数値計にすると第 4 表の如くなり、之を $\log I_p$ と $1/I f^2$ の関係で表わすと、低電流の所では僅かにずれているが、充分に直線性を満足する(第 6 図 B)更に $\log I_p$ と $1/I f^{0.5}$ の関係で計算値を表わしたものは第 6 図 C に示した。これらを比較すると、前者の表示方法が遙かに良く直線性を満足することが明らかである。比較に察して注意を要することは、 $1/I f^{0.5}$ と $1/I f^2$ の範囲は同じ程度の目盛にとらなければならない。

第 4 表

$I f$ (A)	3.5	4.0	4.5	4.75	5.00
I_p (mA)	0.645	7.05	41.8	92.5	153.00

以上の計算は単相全波整流回路に就いて考察したものであるが、無整流回路に於ても、直線性は本質的変化を示さぬことがこれより推定できる。

更に第 7 図に示す如き回路の、フィラメント点火方式の蓄電器放電型高圧装置(3)に於て、波高値を測定しても或る程度直線性を示す。即ち第 8 図(4)に示す様に充電電圧 60kVP のとき、300mA までは良く直線性を示すが、それ以上になれば彎曲する。これは充電電圧が逐次放電し、X 線管の飽和電圧より低いときに管電流の最大値が現われるためと考えられる。これに就いては別に報告するつもりである。

X: X線管, C: コンデンサ, K: ケノトロン
T1: 高圧変圧器, T2: フィラメント加熱変圧器

第 7 図 蓄電器放電型高圧装置
(フィラメント点火方式)

第 8 図

(4) 図表の応用例

この特性図表の応用例に就いて簡単に説明する。

(i) X線写真撮影の時、規定管電流に対するフィラメント電流 ($I f$) を求める場合

X 線管の管電流特性を 5~50mA 程度の低い範囲で 3点又は4点任意のフィラメント電流に対する管電流を実測する。この実測値から第2図~第4図の如く図表を作成し、測定点を通る直線を延長すれば、大きい管電

流に対するフィラメント電流を図表より容易に求めることができる。この場合、 $1/I f_2$ と $I f$ の図表を更に準備しておけば計算の手間も省けて便利である。参考のために計算値を第5表に示した。

第5表

$I f (A)$	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
$1/I f_2$	0.200	0.198	0.160	0.152	0.111	0.0947	0.0816	0.0711	0.0625
$I f (A)$	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25
$1/I f_2$	0.0553	0.0494	0.0443	0.0400	0.0362	0.0331	0.0302	0.0276	0.0256

(ii) 品質管理の場合

管電流特性の不朽一性を検討する時、この特性の傾斜を利用すれば、フィラメントの状態および陰極部品の状態の適否を判断することができる。又管内の真空度の状態も直線性を満足するか否かにより判断することも可能と思われる。

(5) 結 論

これを要約すれば、X線管の管電流とフィラメント電流との関係は、 $\log IP$ と $1/I f_2$ が直線性を満足し又この特性を利用すれば、管球の保守上および品質管理上価値あることが結論される。

終りに本実験に終始努力して頂いた斎藤安男君、常に御指導、御鞭撻をいただいた田中博士、野中博士、東大本多教授に衷心より御礼申上げる。又X線協議会に於て各委員より有意義な御検討を頂いたことを感謝する。

文 献

- (1) 第7回日本放射線医学会に発表(昭23—4)
- (2) 本多:X線管協議会報告
- (3) 東芝レビュー, 5, 39(昭25)
- (4) マツダ研究所医療機技術課より提供された資料である。

本器の二大特徴

一、電流の自動断続装置(特許申請中)により吸引の陰圧を一定に自動調節するもので吸引中は常に一定に保たれる。

二、吸引陰圧はスイッチの切換により任意の陰圧を持続する、本器の陰圧力は最高一六〇mm水銀圧二・一八米水圧であるので左記各種吸引器の作用を完全に行うことが出来る。

▽ペルテス吸引器▽ワゴン吸引器▽ソーレン吸引器▽手術用強力吸引器▽ビコーロー吸引器▽梶谷式吸引器▽モナルデー吸引器▽間接輸血吸引器

(詳細は記事参照下さい)

發賣元

大美商會

東京都文京區金助町四一
電話小石川(85)二二三六三

(後 側)

(正 面)

日本専賣公社東京病院

外科醫長 宮地清一先生御考案

宮治式自動調節持續吸引器

術後持續吸引、手術、診察、検査用吸引兼用