

大學用書選譯

# 電子管電路

方重壽譯

教育部出版  
正中書局印行

大 學 用 書 選 譯

電  
子  
管  
電  
路

方 重 壽 譯  
SAMUEL SEELY 著

正 中 書 局 印 行  
教 育 部 出 版



版權所有

翻印必究

中華民國六十年五月臺初版

大學用  
書選譯

電子管電路

(Electron-Tube Circuits)

全一冊 基本定價 平裝陸元壹角  
精裝柒元壹角

(外埠酌加運費滙費)

|   |   |        |       |
|---|---|--------|-------|
| 著 | 者 | SAMUEL | SEELY |
| 譯 | 著 | 方      | 重     |
| 出 | 版 | 者      | 教     |
| 發 | 行 | 印      | 刷     |
|   |   | 正      | 中     |
|   |   |        | 書     |
|   |   |        | 局     |

(臺灣臺北市衡陽路二十號)

發行人 李 潔  
海外總經銷 集成圖書公司

(香港九龍亞皆老街一一一號)

海 風 書 店

(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

內政部登記證 內版臺業字第〇六七八號 (6336) 裕

(1000)

## 譯 者 序

本書原文名“Electron Tube Circuits”，著者爲撒姆耳·西里博士，一九五八年再版於紐約麥克勞圖書公司。本書約一半內容屬於無線電工程方面之電路，其餘部份則廣泛用於雷達、電視、電子控制與儀表，及計算機等方面。

本書重要內容大致可分爲下列五大部份：

一、電子裝置之基本性質及其基本電路用途。

二、各種非調諧放大器電路之討論：

(一) 利用直線特性者，包含簡單電壓放大器，視頻放大器，功率放大器，及電子計算電路。

(二) 利用非直線特性者，作電子開關用途之討論。

三、各種調諧放大器之討論。

四、各種振盪器及同步波形產生器之討論。

五、調幅與解調及調頻與檢波之原理。

本書倉促譯成，錯誤或不當之處在所難免，尤以專門名詞無標準譯名可資參考，殊難求其完全恰當。至希讀者不吝指教，以便再版時予以改正。

譯 者 謹 識

48.12.17

## 原 序

「電子管電路」一書之再版業經廣泛修訂。初版中認為需要加強之某數章，已予擴充，並經加入許多新節目，如電晶體之理論與應用，俾使本書合乎時代需求。惟本書仍保留與初版相同之一般宗旨：(1)使學生對電子管電路之研究有一明確之分析方法，此處「電子管」一詞可代表許多用以策動網路之電子裝置；(2)研究各類有廣泛應用之電路；(3)舉例說明如何合併各式電路以完成一種或多種工作。本書不欲包羅萬象，或為達到一特殊結果而研究所有之電路與方法，僅將有代表性之電路加以研究，而希望讀者能從中發現某種指示，對彼在某一特殊研究方面有所助益。

本書欲說明，大多電子系統乃為各種基本電子支系統所組成，各支系統完成特定之工作，並常對一定之時基遵循一定之時間程序。此類支系統為電路設計者所用之基本單位，實際上為電網路。有些網路或包含主動元件，但必須認明，支系統之基本作用，較之可能裝於電路中之電子裝置，尤為基本。對於已通用之各式電路，其主要重點在此。

本書內容大約一半為無線電工程性質，其餘材料則廣泛用於雷達、電視、電子操縱與儀表，及計算機。對於無線電工程電路或非無線電電路之課目，均有充份之資料。教師選擇章節有充份之伸縮性，幾可滿足任何課目之需求。然而，資料敘述之程序大多依據分析之性質，雖然完成某類工作之電路已儘可能置於一處。因此，應用不同且常不相關之電路，可於同一章中發現。

本書很自然地分為許多主要部份。第一部份概述電子裝置的基本性質及其基本電路的應用。第二部份討論各種帶反饋及不帶反饋之非調諧放大器。由於電子調節器之反饋狀態，故整流器及電源留

待本書稍後章節中討論。在一部份非調諧放大器電路中，電子裝置係在直線區域內工作，在其他電路中，其非線型能力亦被利用。前者包括簡單電位放大器，視頻放大器，功率放大器，及電子計算電路，後者則討論電子裝置用作開關之用途。本書之次一部份討論有諧振電路之放大器，調諧電壓放大器及調諧功率放大器。振盪器之討論兼含反饋式與弛張式二者，此二者均有反饋迴路，雖然其策動裝置工作範圍廣濶，幾可在任何情況下用作非線型元件，但在弛張式則用作開關。本書其次討論各種同步波形產生器——產生方波，鋸齒電壓波形，鋸齒電流波形，及其他特定形狀。最後主要部份則廣泛討論調幅與解調及調頻與檢波。

電路分析儘可能分為兩個步驟。首先對電路之工作予以物理的解說，然後，可能時予以數學分析。此項數學分析之目的有三：(1)說明分析的技術（事實上常併列別法，藉以說明各種不同之分析方法）；(2)推演得一解答，藉可描述電路之工作；(3)檢討各參數對電路工作之影響，在一切電路圖中對於電壓極向，電流方向，及變壓器線繞方向等之基準情況，均經注意編入，蓋因其對爾後之分析甚為重要也。

對本書之大部資料來源作一正式誌謝，殆屬不可能。一部分內容主要屬無線電工程性質者，來源廣泛已歷多年，其根本來源似已為大眾所忽視。許多引用於雷達方面之電路，其主要來源為麻省理工學院放射研究所。二次大戰期間著者曾任該所研究員。但其中許多電路取自各方面之現成電路，一部份來自其他研究所包括英國研究所在內。祇有少數情形，作此項工作之團體可以確定。凡資料之直接來源經採用者，均經表明。

本書承多人協助，本人能在此表示謝意，深感欣慰。對於以前同事，鄭鈞教授，葛拉斯福教授，侯拉曼教授，以及苟德斯理夫教授之協助討論及校對，著者深致謝意。感謝通用電氣公司及RCA製造公司儘量供給許多照相圖及真空管特性圖表。著者得能在早期

教本「電子學」中自由採用資料，亦表謝意。（密爾曼與西里合著，再版，紐約麥克勞圖書公司，1951）

撒姆耳·西里

# 目 次

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 譯者序.....                 | 1   |
| 原序.....                  | 2   |
| 第一章 電子裝置之特性.....         | 1   |
| 第二章 真空三極管及電晶體用作電路元件..... | 64  |
| 第三章 基本放大器原理.....         | 95  |
| 第四章 非調諧電壓放大器.....        | 123 |
| 第五章 放大器中之反饋.....         | 162 |
| 第六章 整流器.....             | 216 |
| 第七章 電源.....              | 241 |
| 第八章 電子計算電路.....          | 276 |
| 第九章 特殊電子電路.....          | 316 |
| 第十章 非調諧功率放大器.....        | 352 |
| 第十一章 調諧電壓放大器.....        | 382 |
| 第十二章 調諧功率放大器.....        | 417 |
| 第十三章 振盪器.....            | 455 |
| 第十四章 高偏壓弛張電路.....        | 516 |
| 第十五章 鋸齒波拂掠產生器.....       | 579 |
| 第十六章 特殊拂掠產生器.....        | 605 |
| 第十七章 調幅.....             | 626 |
| 第十八章 解調.....             | 658 |
| 第十九章 調頻與檢波.....          | 688 |
| 第廿章 電子儀器.....            | 736 |
| 附錄A 網路定理.....            | 758 |
| 附錄B 真空管之屏極特性.....        | 760 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 附錄C 發射管之特性·····    | 777 |
| 附錄D 第一類貝賽耳函數表····· | 779 |

## 第一章

### 電子裝置之特性

近十年來電子學之廣大範圍已有驚人之擴展，其原因一部份由於新式電子裝置之發明，一部份由於電子電路更為廣泛之應用。此等應用，或可稱為電子系統，却不能予以概括之定義，除非可當作電子支系統的集合體，各支系統對於某一制定之時基，遵循特定之時間程序，執行某種特定之工作。殊饒趣味者，基本電子支系統為數甚少，而即為此等支系統，常被採作任一特定之用途。偶有新的基本電子支系統被發明時，即加於百科全書中，以供電子界大多工作人員參考，用作彼等所欲研究之整個結構中之基本元件。

最重要者，須知此等基本構成單位，實為電網路。該項電網路，或為被動裝置，或為主動裝置，常為一電子裝置所策動，如真空管，電晶體，磁力放大器，含氣管，光電管，熱電變換器，或其他獨立或非獨立之可能電源。通常所欲完成之基本工作，較之用以策動網路之特殊裝置尤為基本。例如，調幅為產生一種波的方法，此波之幅度隨另一調幅波之瞬值之函數而變。欲完成此項工作，即需一非線型的電路元件。誠然，此特殊非線型裝置將影響有關電路其餘部份之細節，但此為一細節問題，而非為一基本效應。因此，須強調者，所討論之大多電路中，若用一真空管作為有關電網路之激勵元件時，亦可能對電晶體電路作一般比較的研究。由於該項研究之重要性，有時對電晶體策動電路以及真空管策動電路均作一電路分析。但須注意，基本重要者為物理的過程，而電路元件之細節通常乃屬次要。故「電子管」一詞廣義的用於一切型式之電子裝置——各式真空管，半導體裝置，含氣管，等等。

**1-1 緒言** 本書主要限於研究完成基本工作之各種電路。此等電路即為電子系統之構成單位，由此形成巧妙之組合，而作各式各樣

之用途。一部份係研究討論連合各種此等單位之方法，用以完成一種特定程序之工作。

一特殊電子系統或需求電子電路以完成多種不同之工作。例如，一較簡單之系統，可能需要產生正弦波，方波，三角波，實用上無畸變之放大器，能控制其畸變之放大器，產生能控制其休止之放大器，及其他多種工作，其中一部份構成單位或含有較簡單之電路，一部份則需較複雜之配件組合以達到需求之目的。

爲使本書資料編纂合乎條理，以下各章中分析各種電子電路之工作時，並不顧慮其特殊之應用，但主要依據其工作及分析之方法。因此，一章中所含電路可能有甚多不同之用途。例題及習題之選擇，多少顯示具有代表性之用途。爲欲達到某種特定之要求，某一電路較優於另一電路之實際理由，本書亦將討論及之。

**1-2 關於電子管的基本問題** 吾人在從事研究含有電子裝置之電路以前，先須考查該項裝置之實際工作原理，有關此項裝置之重要基本問題有二。其一爲電子之確實來源及其放射；其二爲電子流之控制。茲將此等問題簡單討論如下。<sup>1\*</sup>

## 電 子 之 放 射

**1-3 電子之來源與控制** 根據現代理論，一切物質在本質上均屬電。原子爲一切物質之基本構成單位，含一中央核心或核。核帶正電且具有幾乎全部原子之質量，帶有充份負電之電子圍繞此核，因此原子在正常情況下乃屬中和而不帶電。因一切化學物質含有此等互相束縛之原子羣，則一切物質，無論其爲固體，液體，或氣體狀態，均爲電子之可能來源。事實上，物質三態確均用作電子之來源。使電子解放有甚多不同之方法，其中對電子管重要者爲(1)熱游子放射，(2)二次放射，(3)光電放射，(4)高場放射，(5)游離，及(6)半傳導。此等方法將詳述於後。

\* 字角數字參閱本章末之引證。

電子解放時，必須具有控制之之法。此項控制係利用外控制電場或磁場，或二者兼用。該場完成下述作用之一種或二種：(1)控制離開放射體附近區域之電子數；(2)控制電子離開放射體後之行徑。控制法(1)較為普通，該項控制法，（而電磁場偏轉式則除外），幾用於一切電子管。所謂電磁場偏轉管之一極重要實例即陰射管為極線。然而，即使電磁場偏轉管，仍用(1)式控制以控制電子管電流，唯控制其後之運動，係利用電場或磁場或二者兼用。

**1-4 熱游子放射** 就金屬狀態之物質而論，金屬多半通用線狀，帶狀或細絲狀者。若該項細絲含有電子，且能在金屬中作相當自由之運動（事實如此，例如若在金屬線兩端施一小電位差，即生電流），則可想像一部份電子可能自動「漏」出金屬之外。然而，事實並不如此容易。

今就電子企圖脫離金屬時之情況而論，此脫離之帶負電荷之電子將在金屬上感應一正電荷。於是在感應電荷與電子間乃有吸引力，除非此脫離之電子具有充份之能量，能脫離此影像吸引力之影響區域，該電子仍將返回金屬。使電子脫離此吸引力所需之最小能量，稱為該金屬之工作函數。該項最小能量可由許多不同之方法供給。其中最重要者即為將金屬加熱至高溫，因而供給金屬之熱能之一部份，即由被熱之金屬晶體格子，將之變為電子之動能。

對於熱游子放射電流密度與金屬溫度之關係，可導出一明確公式<sup>1</sup>，其形如

$$J_{th} = A_0 T^2 e^{-b_0/T} \quad (1-1)$$

此處  $A_0$  為一切金屬之常數，其數值為  $120 \times 10^4$  安培/(米<sup>2</sup>) (°K<sup>2</sup>)， $b_0$  為金屬之特性常數。 $b_0$  與金屬之工作函數  $E_w$  之關係為

$$b_0 = 11,600 E_w \quad ^\circ K \quad (1-2)$$

由實驗結果知公式(1-1)，確能代表大多數金屬電流之變化與溫度之關係，雖然所得  $A_0$  之數值與理論值  $120 \times 10^4$  安培/(米<sup>2</sup>) (°K<sup>2</sup>) 可能有顯著之不同。

表 1-1

重要熱游子放射體及熱游子放射常數

| 放 射 體         | $A_0$ 安培/(米 <sup>2</sup> )(°K <sup>2</sup> ) | $E_w$ , ev. |
|---------------|----------------------------------------------|-------------|
| 鎢 絲           | $60 \times 10^4$                             | 4.52        |
| 加 鈦 鎢 絲       | $3 \times 10^4$                              | 2.63        |
| 塗 氧 化 物 放 射 體 | $0.01 \times 10^4$                           | 1           |

由公式 (1-1)，可知金屬之工作函數低者，在中度低溫時可供豐富之放射。但可惜者，在使熱游子放射豐富所必需之溫度，此低工作函數之金屬往往被溶解，甚且沸騰。現今應用之重要放射體為純鎢絲，加鈦鎢絲，及塗氧化物陰極。此等放射體之熱游子放射常數，經書列於表 1-1 中。

鎢絲被廣泛用作熱游子燈絲，而不顧其高值工作函數。事實上，鎢絲之特別重要性，實因其為能圓滿用作高電壓管燈絲之唯一材料。鎢絲用於高電壓 X-射線管，高電壓整流管，及作無線電通信用之高功率放大管。其缺點為陰極放射效率小。陰極放射效率之定義為：放射電流毫安數與加熱功率瓦特數之比值。除此，鎢絲可工作於極高之溫度，2600 至 2800°K，以供豐富之放射。

經發現鎢絲上若塗以薄層之低工作函數材料，可顯著降低其結果表面之工作函數。在抽絲前加少許氧化鈦於鎢絲上即得一種加鈦鎢絲。該項燈絲如經適當加熱，可於約 1800°K 時作為一有效之放射體。該項放射體必須加以炭化，因如此可減低燈絲上鈦層之蒸發率至其六分之一。加鈦鎢絲限用於中度電壓約 10,000 伏以下之管。高電壓管則用純鎢絲。

塗氧化物陰極之效率極高（約當鎢絲之二十倍），且可於較低溫度 1000°K 供給高放射電流。該陰極含康納耳（一種鎳、鈷、鐵及鈦之合金）或其他金屬製成之金屬套筒，上塗以氧化鋇及氧化

鎢，該陰極因種種原因限用於低電壓管，約 1,000 伏以下，然在脈動狀況及較低頻率之高電壓，仍能工作滿意。該項陰極幾全部用於接收管，其工作效率高而壽命長。

比較鎢絲，加鈹鎢，及氧化物陰極之陰極效率之曲線如圖 1—1 所示。由此可見鎢絲之效率遠低於其他二放射體。

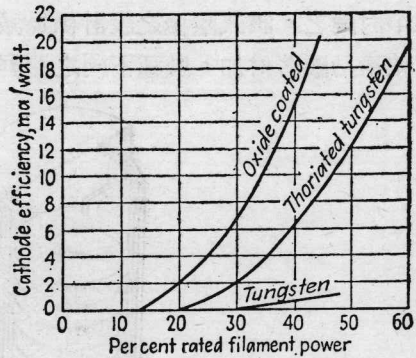


圖1—1 陰極效率曲線

熱游子放射體在電子管中之實際形狀，可為直接加熱式即燈絲式，或為間接加熱式，而在含氣管與含蒸氣管中之陰極或為熱屏蔽式。典型燈絲式陰極如圖 1—2 所示。此等燈絲式陰極或為純鎢絲，或為加鈹鎢絲，或為塗氧化物型。

Cathode efficiency, ma/watt 陰極效率，毫安/瓦  
Oxide coated 塗氧化物  
Thoriated tungsten 塗鈹鎢絲  
Tungsten 鎢絲  
Percent rated filament power 額定絲極功率%

用於真空管中之間接加熱式陰極如 1—3 圖所示。加熱器線裝於一瓷質絕緣體內，然後封閉於金屬套筒中，套筒上再塗以氧化物塗料。此式陰極之熱容量甚大，故其溫度在用交流電時，不隨加熱器電流之瞬時變化而改變。

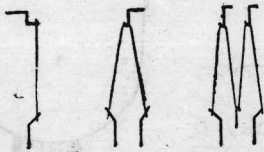


圖1—2 典型直接加熱式陰極

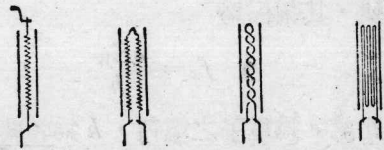


圖1—3 典型間接加熱式陰極

熱屏蔽式陰極，僅能用於含氣電子管中，其理由於第 1—31 節

中討論之。該式陰極之設計係為減少由陰極輻射之熱能。於是陰極效率乃顯著增加。數種不同之熱屏蔽式陰極如圖 1—4 所示。

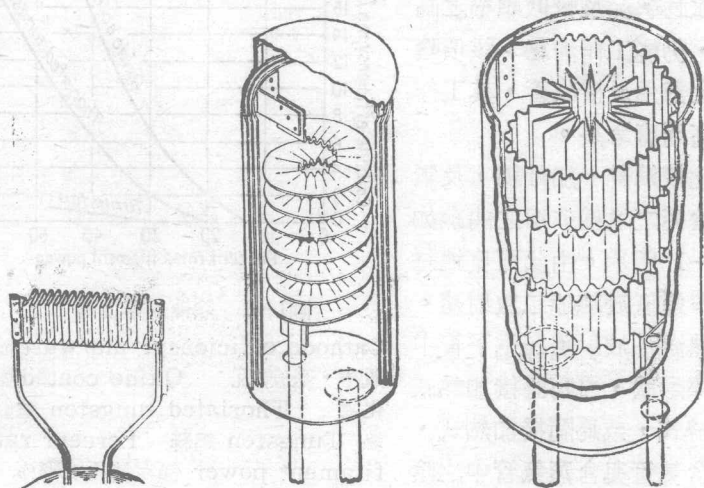


圖1—4 各種熱屏蔽式陰極

**1-5 光電放射** 使一電子脫離一金屬面所需之能，可由光照射表面供給之。該項電子放射因表面之性質與照射光之頻率而有某種限制。換言之，僅當照射光之頻率超過某一臨界數值時，電子放射始有可能。此臨界值隨表面之工作函數  $E_w$  而變，其關係為

$$f_c = \frac{eE_w}{h} \quad (1-3)$$

此處  $e$  為電子之電荷， $h$  為勃蘭克 (Planck) 氏常數。其相當之臨界波長（超越此數即不能作光電放射）為

$$\lambda_c = \frac{ch}{eE_w} = \frac{12,400 \text{ A}}{E_w} \quad (1-4)$$



此處A為單位埃( $10^{-8}$ 厘米)，在全部可見光範圍，4,000至8,000 Å中，感光表面之工作函數必須小於1.54伏。

光電管之主要元件為感光陰極表面與一集光電極，封閉於一玻璃管中，管內或為真空，或含一種低壓惰性氣體。該項光電管之照相圖如圖1-5所示。感光陰極每平方毫米面積上之光電子為數甚少，通常採用較大面積之感光陰極，如圖所示。若以光之照度為參數，當陰極與集合陽極間之集合電位不同時，該項光電管之電流特性如圖1-6所示。該圖顯示一真空光電管以光之照度為參數時之曲線。注意在外加電壓數值極低時之電流即已達飽和數值。

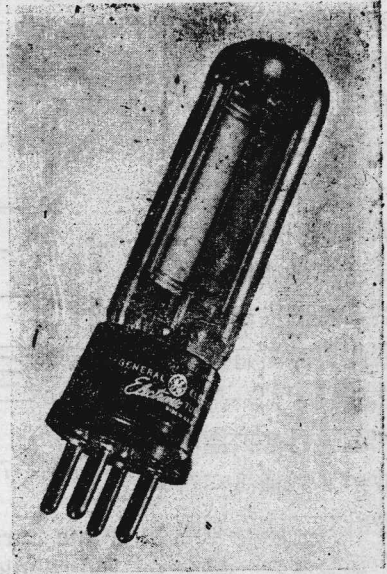


圖1-5 典型光電管

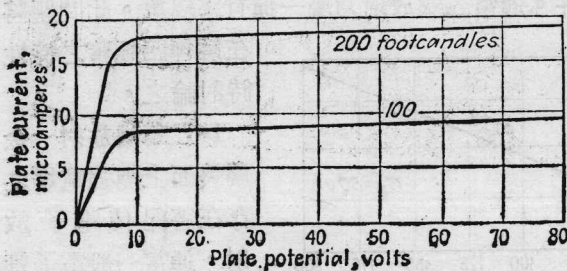


圖1-6 PJ-22 式真空光電管之伏——安特性，以光之強度為參數

Plate current, microamperes 屏流，微安  
candles 呎燭光 Plate potential, volts 屏壓，伏

玻璃管中惰性氣體如氖或氬之存在，在低壓時顯著改變此伏——安曲線。氣體光電管之一組特性曲線如圖1-7所示。光電管中氣體之存在，增加光電管之靈敏度，在光之照度一定時，電流輸出隨

屏極電壓之增加而增加，而在真空光電管中其輸出則幾乎不變。

圖 1—8 中顯示兩種光電管輸出之比較，一為真空式，另一為充氣式，管之其他特性均相同。注意真空光電管之光電流為照度之直線函數，而在充氣管中當照度較大時則偏離直線。但充氣管顯然有較大之靈敏度。

**1-6 二次放射** 若有一質點，或為一電子，或為一正游子，衝擊一金屬表面，則可能於碰撞中將其一部份或全部動能傳遞給一個或多個內部電子。若此質點具有足夠高之能量，則一部份內部電子可能被撞出而放射。數種真空管中設計有二次放射面，作為裝置之一部份，而高度靈敏之光電管中亦有此項輔助元件。通常二次放射乃屬一種有害現象。此問題將在解釋四極管之特性時討論之。

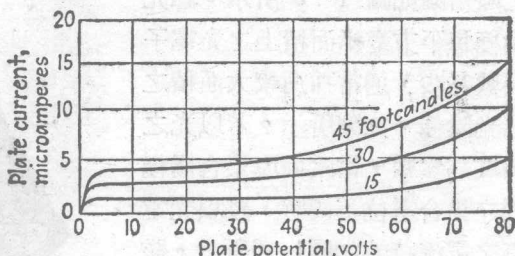


圖1—7 PJ-23 式充氣光電管之伏——安特性，以光之強度為參數

Plate current, microamperes 屏流，微安  
footcandles 呎燭光 Plate potential, volts  
屏壓，伏

中亦有此項輔助元件。通常二次放射乃屬一種有害現象。此問題將在解釋四極管之特性時討論之。

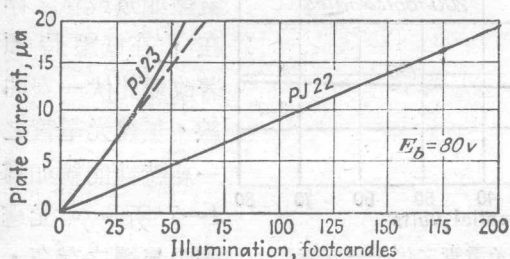


圖1—8 PJ-22 真空光電管及 PJ-23 充氣管之光電流為照度之函數

plate current,  $\mu a$  屏流，微安 Illumination, footcandles 照度，呎燭光

**1-7 高場放射** 金屬表面上極強電場之存在將促使電子放射。通常一般電子管中之電場甚弱，不能導致此項電子放射。此法曾被建議用以解釋水銀整流器中，從