

高等学校教学用书

热力过程中控制及調整 的电子装置

A. B. 叶罗非也夫著

刘 孟 平 譯



中国工业出版社

本书的第一部分说明了电子管，光电管和闸流管以及电子放大器和电子继电器电路的工作原理。在第二部分中，讨论了用来自动控制和调整热工量的电子装置。

本书系热工过程中自动控制和自动调整专业学生的教科书，但对于从事上述电子装置运行工作的工程技术人员也有参考价值。



А. В. ЕРОФЕЕВ
ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА
АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ
ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1955

热力过程中控制及调整
的电子装置

刘孟平译

(根据水利电力出版社纸型重印)

中国科学院原子核科学委员会编委会编辑

中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路10号)

(北京市书刊出版事业许可出字第110号)

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $12^{3/16}$ ·字数318,000

1959年4月北京第一版

1961年6月北京新一版·1962年3月北京第二次印刷

印数531—3,630·定价(10)2.00元

统一书号: K15165·283(核—1)



本書系1951年出版的教科書“熱力監視和調整用的電子儀器”一書，經過大部分重寫和補充後的第二版。從準備第一版時開始已經過了4年，自動監視和調整的電子裝置獲得了進一步的發展。

目前，在自動監視和調整的廣闊技術領域內這些裝置表現出它在解決問題的可能性和多樣性方面是異常豐富的。

本書並不要求從各方面來闡明有關運用電子電路於測量監視和調整各種物理量的問題。在本書中只討論自動監視和調整熱工量的電子裝置（主要是蘇聯的產品）。

然而即使在此種情況下，所提出的問題以及解決它的可能技術方案的多种多样，使得不可能在一本書的篇幅內以必要的完整來闡明這個技術領域，所以許多問題的描敘是帶有壓縮性質的。在本書中，僅僅討論典型和使用得最廣泛的熱力過程的監視和自動調整裝置。

某些一般的電子儀器和電路的原理，只是按照了解本書所述的資料所必需的內容來安排的。若干比較深入的理論說明可以從專業的文獻或者期刊上找到。

本書只能從大量各種型式的，蘇聯出品的電子自動監視和調整裝置中選出這種裝置的幾種主要型式來討論。它們是由國家聯合特殊設計局、蘇聯機器與儀器製造工業部（НИИЛАБОРПРИБОР）、蘇聯黑色冶金工業部中央自動化試驗室和以Ф.Э.捷爾仁斯基命名的全蘇熱工研究所（ВТИ）等研究出來的。

當然，本書所敘述的許多運用電子裝置來作各種熱工量的自動監視和調整的問題（其中包括一些新的問題）是免不了還有缺點的。

作者將對那些願意把批評意見和願望寄給出版社的讀者表示謝意。這些批評和願望會有益於作者日後的工作。

作者對莫斯科動力學院的教學研究科學小組，其中有：工業電子學，熱力監視和自動化，自動控制和遠方控制，在審查和討論手稿時所給予的有益指示和意見表示真誠的感謝。同樣，對П.Н.馬奴洛夫（П.Н.Мануйлов）和А.А.叙加列夫（А.А.Жигарев）在校閱手稿時所提出的寶貴願望和指示也表示感謝。

作者對所有曾經在指示和提供各種最新研究出的自動監視和調整用電子裝置的資料方面給作者以很大協助的各位同志致以深摯的謝意。

作者

目 录

緒 論

第一章 电子测量和自动装置的一般分类..... 7

- 1-1. 电子设备分类的特点..... 7
- 1-2. 测量和自动装置的电子设备的主要部分..... 10

第 一 編

第二章 电子和离子仪器..... 12

电 子 管

- 2-1. 电子管的型式和用途..... 12
- 2-2. 二极管的结构及其工作原理的一般概念..... 12
- 2-3. 二极管的伏安特性及其参数..... 16
- 2-4. 电子管阳极耗散的功率..... 19
- 2-5. 三极管的特性及其参数..... 20
- 2-6. 电子管内阻与工作情况的关系..... 24
- 2-7. 束射四极管及五极管的特性..... 25
- 2-8. 束射四极管及五极管的特性和参数的换算..... 29

光 电 元 件

- 2-9. 光电元件的型式和用途..... 33
- 2-10. 外光电效应光电元件的特性..... 37
- 2-11. 闸型硒光电元件..... 41
- 2-12. 光电电阻的主要型式..... 46
- 2-13. 光电电阻的特性曲线和参数..... 48

閘 流 管

- 2-14. 閘流管的作用原理, 特性曲线及参数..... 53
- 2-15. 閘流管阳极电流平均值的变化..... 56

第三章 电子放大器和振荡器的电路..... 63

电 子 放 大 器

- 3-1. 放大器的型式和用途..... 63
- 3-1. 放大器的动态特性与参数..... 64
- 3-3. 选择单级放大器的电路元件和工作方式的一般考虑..... 70
- 3-4. 单级电压放大器的计算例题..... 73
- 3-5. 三级电压放大器..... 79

3-6. 三极电压放大器的放大系数	82
3-7. 低频放大器里的反馈	85
3-8. 具有阴极负载的放大器(阴极偶合器)	89
3-9. 直流放大器	91

电子振荡器

3-10. 电子振荡器的用途	98
3-11. 电子振荡器的工作原理	99
3-12. 三点振荡器	102
3-13. 振荡在栅极回路中的放大	109

第四章 电子和离子继电器	110
---------------------	-----

电子继电器

4-1. 电子继电器的分类和用途	110
4-2. 带有栅极接点的瞬时动作继电器	111
4-3. 通用式电子继电器	113
4-4. 交流相敏继电器	115
4-5. 直流时间继电器	120
4-6. 交流时间继电器	122

光电继电器

4-7. 光电继电器的用途	123
4-8. 直流光电继电器	124
4-9. 直流光电继电器的计算	126
4-10. 交流光电继电器	131
4-11. 交流光电继电器的计算	135
4-12. 光电电阻式光电继电器	137

闸流管继电器

4-13. 具有直流和交流栅压的闸流管继电器	140
4-14. 光电闸流管继电器	142

第二编

第五章 电子自动控制装置的测量电路	144
--------------------------	-----

自动平衡电桥的测量电路

5-1. 桥式电路的不平衡电流和电压	144
5-2. 测量电路的灵敏度	147
5-3. 自动平衡电桥的原理	150
5-4. 平衡电桥的刻度公式	152
5-5. 苏联生产的自动平衡电桥的测量电路	156

5-6.	平衡电桥测量电路的计算	158
自动电位计的测量电路		
5-7.	补偿电路的工作原理和灵敏度	161
5-8.	工业用自动电位计的测量电路图	167
5-9.	电位计测量电路的变阻器和电阻的计算	169
5-10.	电位计的刻度公式	174
第六章	自动控制及自动调整装置电子组件	176
6-1.	电子组件的用途	176
电压放大器		
6-2.	电子放大器组件的电路	177
6-3.	三级电压放大器的计算	178
6-4.	电子组件中三级放大器的自激	181
6-5.	通过公共电源反馈时三级放大器动态稳定的保持	186
功率放大器		
6-6.	功率放大器和平衡电动机的型式	190
6-7.	电容器式电动机的运行	191
电容器式电动机的调整特性和负载特性		
6-8.	罩极式电动机的运行	197
6-9.	功率放大器的电路	199
第七章	具有圆形度盘和记录图纸的电子自动控制装置	205
7-1.	电子平衡电桥和电位计的型式和用途	205
7-2.	电子平衡电桥的工作原理	206
7-3.	电子电位计的工作原理	210
7-4.	电位计和平衡电桥各元件的结构	212
平衡电动机		
7-5.	振动变换器	220
7-6.	具有盘形记录图纸的电子电桥和电位计的一般构造	223
7-7.	具有旋转变盘的指示式电位计	227
7-8.	具有圆筒形旋转变盘的电桥和电位计	229
第八章	具有带形记录图纸的电子自动控制装置	233
8-1.	具有带形图纸的电子电桥和电位计的型式和用途	233
8-2.	ЭПМ-09 型电位计的系统图	235
8-3.	ЭПМ-09 型电位计的运动系统	238
8-4.	图纸运动速度和周期的长短	243
8-5.	ЭПМ-09 型电位计各元件的结构	246

8-6. ЭПН-09 型电位計总的結構.....	248
8-7. БП-102型快速动作电位計的用途和电路	250
8-8. БП-102型电位計各組件的結構	252
8-9. 快速动作电子电位計的动态特性	258
8-10. 稳定环节.....	259
8-11. 分析快速动作电位計动态稳定的例子.....	264
第九章 无反饋的电子調整器	268
9-1. 調整器的型式.....	268
基本式結構的調整器	
9-2. 无反饋基本式結構的电子調整器电路.....	269
9-3. 作为多点記錄, 帶“基本仪器”的位置調整器的电路.....	274
9-4. 无反饋的电子調整器的結構.....	276
9-5. 程序調整器的原理和用途.....	278
9-6. ЭПР-19型程序調整器的結構.....	279
具有高频振蕩器的調整器	
9-7. ЭРМ-47型調整器的电路.....	284
9-8. ЭРМ-47型調整器的元件与工作方式的选择.....	285
9-9. 电容轉換器.....	289
9-10. 带电容轉換器的电子测量和調整裝置的电路.....	293
第十章 具有反饋的自动电子調整器	297
帶剛性反饋的調整器	
10-1. 帶剛性反饋的电子調整器的型式.....	297
10-2. 調整器的測量电路.....	298
10-3. 調整器的原理电路.....	304
10-4. 調整器控制組件的結構.....	307
10-5. 具有感应轉換器的 ЭПД 电子調整器.....	310
10-6. ЭРС-67型比例調整器(Регулятор соотношения)的用途和主要元件.....	312
10-7. ЭРС-67型調整器(图10-15)的原理电路.....	313
10-8. 动态补偿組件.....	315
10-9. 調整器电路中的主令部分.....	317
10-10. ЭРС-67型調整器的結構.....	319
具有彈性反饋的电子調整器	
10-11. ИР-130型恆速調整式調整器(Изодромный регулятор).....	320
10-12. ИР-130型調整器(图10-22)的工作.....	323
10-13. ИР-130型調整器的結構.....	329

10-14. ВТИ (以捷尔仁斯基命名的全苏热工研究院) 系统的调整器	330
10-15. ЭР-Т-54型电子调整器的电路	332
10-16. ЭР-III-54型调整器的电路	336
10-17. ЭР-С型调整器	337
10-18. 电子跟踪系统	338
10-19. 具有小型仪器的调整器电子组件	340
10-20. 带有小型仪器的调整器的结构	342
10-21. 带有差接变压器测量电路的电子调整器	344
10-22. 气动调整器的用途和主要的元件	345
10-23. 气动调整装置的原理简图	346
第十一章 特别用途的电子自动监视装置	349
光 电 高 温 计	
11-1. 光电高温计的型式和用途	349
亮度式光电高温计	
11-2. 非自主的光电高温计	350
11-3. ФЭП-3型光电高温计的光学系统	353
11-4. ФЭП-3型光电高温计的电路和结构	355
11-5. 关于“色的温度”测量的基本概念	359
11-6. 带转换器(Коммутатор)和流比计(Логометр)的光电比色高温计	360
11-7. 无转换器及流比计的光电比色高温计电路	362
11-8. 红外綫光电高温计的原理电路	367
11-9. 在光譜紅內綫部分测量温度的快速动作光电高温计	370
带有电子放大器的气体分析器	
11-10. 工作原理和紅內綫型气体分析器	372
11-11. 紅內綫气体分析器的原理电路	374
11-12. 紅內綫气体分析器的若干细节	376
11-13. 工作于热传导变化原理的气体分析器	376
11-14. 热磁式气体分析器(Термоманитные газоанализаторы)	378
11-15. МГК-158型磁式气体分析器	380
放射性监视装置	
11-16. РУ-4型液面计的用途和作用原理	381
11-17. РУ-4型放射性液面计的元件与总的结构	384
11-18. 自动记录的放射性气压计的作用原理	387
11-19. 放射性气压计的电路	389

緒 論

第一章 电子测量和自动装置的一般分类

1-1. 电子設備分类的特点

近年来工业部門生产了大量型式的用来測量、監視和自动調整各种热力过程的自动电子电桥、电位計以及調整器。

这些設備可以按照一系列的特点来进行分类。其中主要的特点划分如下。

a) 电子設備的用途

可以将电子設備分为測量与記錄，控制和調整用的；監視保护和連鎖，信号和通訊用的；远方控制和远方測量，計算和运算用的。

大多数的工业电子装置都包含有几种作用，例如被監視量的測量，讀数和記錄或者发信号和調整等。

这些設備可分为指示用的，記錄用的，調整用的以及发信号用的。

6) 被監視量的屬性，物質的物理性質

为所述的电子設備所測量和調整的物理量中最主要的有：

热工量——液态和气态物質的压力、温度和流量；液体和悬浮物的液面；液体和煤粉燃料的湿度；液体燃料和油的粘度；气体混合物中各成分的含量。

物質的物理性質——常利用被監視量某种物理性質的变化来进行測量，監視和調整。属于这些性質的有：

- 1) 辐射的强度和光谱成分(光电高温计);
- 2) 所研究的物质对一定波长辐射的吸收, 光受到沉淀或者悬浮质点的扩散;
- 3) 氢离子的浓度;
- 4) 物质的介电性能与湿度的关系;
- 5) 导电度随含盐量的变化。

а) 过程的稳定装置

按照这个特点可分为:

- 1) 没有稳定元件的电子设备;
- 2) 具有稳定元件的电子设备: 用刚性或者弹性反馈作为稳定措施。

自动调整器可以没有反馈, 可以具有刚性或弹性的反馈。

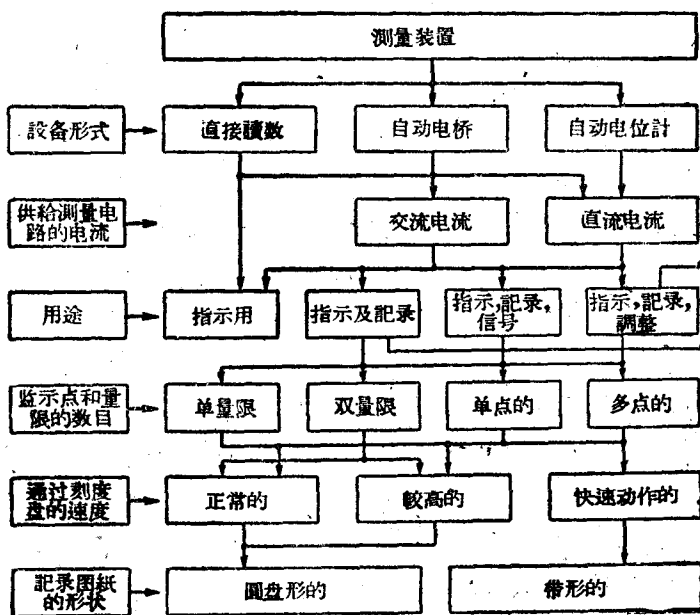


图 1-1. 测量和自动装置的

在某些电子测量和自动装置中，例如在快速动作的电位计中采用了感受被调整量变化速度(也即为被测量对时间的导数所作用的)的稳定装置。

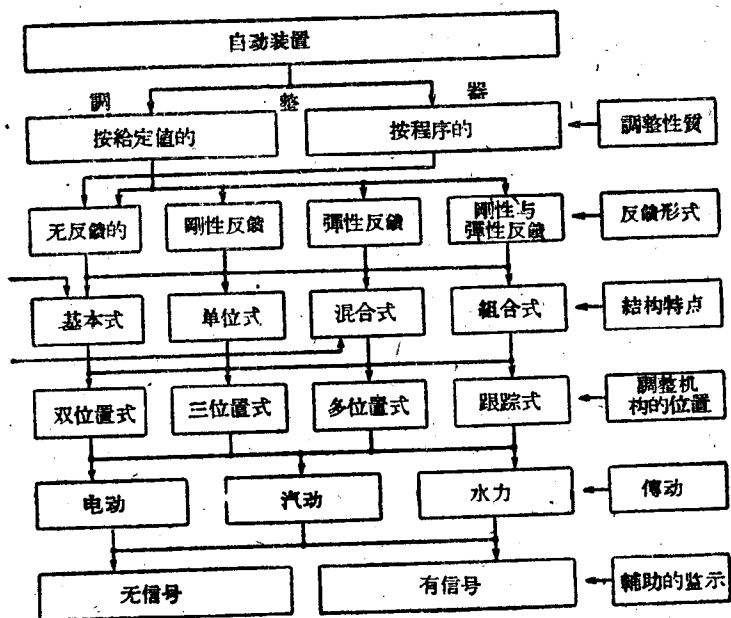
4) 驱动执行机械的能量属性

在测量装置中，平衡测量电路的机械，读数以及作记录的机械都是用电来驱动的。

自动调整器的执行机械有用电能，压缩空气或者液压来驱动的。按照这些特点可将电子自动调整器分为具有电动，气动或者水力驱动的。

6) 电子测量和自动装置元件的编制

电子设备按照这个特点可以划分为：基本式(базовая)，单



电子设备的分类举例系统图

位式(индивидуальная), 混合式(смешанная) 以及組合式(агрегатная) 的結構。电子自动电位計和平衡电桥是屬於基本式的仪器。

基本式仪器可以加上某些調整装置而改变为自动調整器。

单位式的結構如果不对整个仪器作根本性的改造。是不能使电子设备获得改型的。

在混合式的編制中, 基本仪器 and 自动調整器都是独立的設備。在总的調整系統中它們只靠电气連接綫来相互連系。

在組合式的結構中电子設備的各个組件都是独立的部分。这些部分靠电气接綫連接至某种測量和自动調整装置。

e) 結構上的特点

电子设备可按下列特点分类:

- 1) 按照量限的数目: 单量限或双量限的;
- 2) 按照被測量, 被記錄量和被調整量的数目: 单点的或多点的;
- 3) 按照指針和記錄笔尖的移动速度: 具有正常速度或高速度的以及快速动作的;
- 4) 按照記錄圖紙的形状: 圓盘形和帶形的記錄紙;
- 5) 按照仪器的刻度盘装置: 靜止的圓形度盘或直綫度盘; 旋轉的圓盘形度盘或圓筒形度盘;
- 6) 对于平衡电桥, 按照供給測量电路的电流性質。

測量和自动裝置的电子設備它們的总体性分类示于图 1-1。

1-2. 測量和自动裝置的电子設備的主要部分

完成某种作用的个别裝置在电子仪器的系統图中是一个組件。在一般情況下电子设备包含有下列各項組件: 測量, 放大, 讀数和記錄組件, 控制調整器的組件。

每一个上述的主要組件在各种型式的电子设备中可以具有不同的电路和不同的結構外形。同时, 包含一些相同組件电子装

置它們的块形系統圖都是相同的。

电子自动測量裝置的块形系統圖示于图1-2。

測量組件用来作被監視量的測量。測量組件的輸出信号加在放大組件的輸入端。在这里进行了信号的电压放大和功率放大。放大組件控制了平衡电动机，它用来操縱指示和記錄被測量的机械，平衡測量电路和調整电位計測量电路里电流的恆定。

电子设备还具有电源組件。

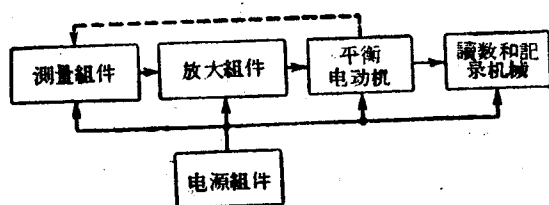


图1-2 电子自动測量裝置的块形系統圖

在基本式結構的設備中把主要的組件連結成一個儀器。

当为組合結構时，几个組件可以是独立的設備或者結構性地被連結成一個单体的复杂組件。

在基本式結構的电子調整器中，把控制調整器的組件(图1-3)加到測量裝置的主要組件中去(調整器就裝在基本儀器里)。

調整器組件控制着調整机件的执行机械。

按照控制調整器組件的型式，可以把基本式儀器改为沒有反饋的，或具有剛性或彈性反饋的位置調整器。

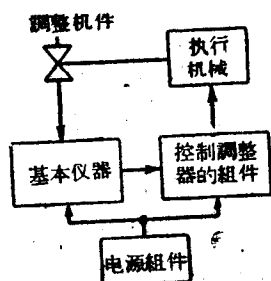


图1-3 基本式結構电子調整裝置的块形系統圖

第一編

第二章 电子和离子仪器

电 子 管

2-1. 电子管的型式和用途

电子管是电子设备电路中的一种元件。它是用来变换各种电气量的，例如：

- a) 将交流电流变为直流电流(整流)；
- b) 将直流电压变为交流电压(产生等幅振荡)；
- c) 将量值小的交流电压变为同频率的，但量值较大的交流电压(电压或功率放大)；
- d) 将交流电压的变化转换为电阻的变化(电子管)。

本书仅介绍为了了解上述这些仪器电路的作用所必需的那一部分电子管原理。书中比较着重于介绍三极管的特性和参数，因为三极管的特性和参数是计算和分析电子电路工作的基础。

2-2. 二极管的结构及其工作原理的一般概念

电子管是一个抽除了空气的玻璃泡子(或者金属泡子)，在泡子里配置了若干个电极。二极管(简称二极管)的结构及其电路如图2-1所示^①。

二极管的一极是热阴极2，系作为供给自由电子之源。另一个极是阳极3，由阴极放射出来的电子进入该极。

靠接在阳极与阴极之间的阳极电源，形成了电位差，即阳极电压 U_a 。如果阳极电源的极性是这样的，使阳极为正而阴极为

① 电子管的阳极部分地被切开了。

負(電場系由陽極向陰極), 則電場的方向符合于電子管工作時的情況。當電場反向時, 電流便不能通過電子管。

為了使電子管工作, 需要靠陰極放射自由電子, 並且還需使這些電子在管中由陰極移向陽極。用陰極放射自由電子的方法被稱為“電子放射”。

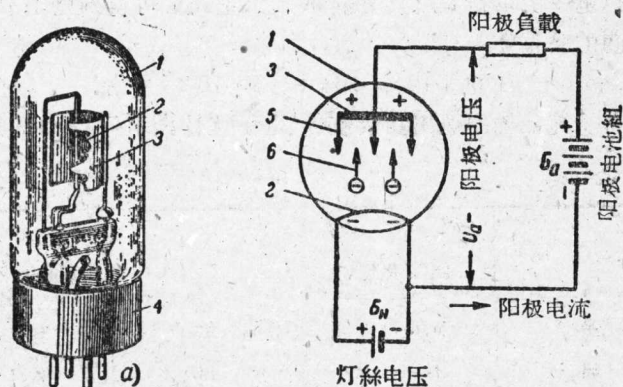


圖 2-1 二極電子管(二極管)的結構和電路圖

a—外形總圖; 6—用符號表示的電子管電路; 1—管泡;
2—陰極; 3—陽極; 4—管座; 5—電場的方向; 6—電子流的方向。

在電子管中通常採用加熱的陰極。用加熱物體來放射電子的方法稱為“熱電子放射”(Термоэлектронная эмиссия)。

金屬中有許多自由電子(導電電子)在金屬內部各原子的空間中作不規則的運動(熱運動)。這些電子所具有的能量不足以使它們從金屬中逸出到周圍空間中去。

為了保證使電子從金屬中逸出來(放射出來), 需要由外源授予它們一些附加的能量。在熱電子放射的情況中, 這種附加的能量是以熱的形式授予電子的——用加熱於陰極(或燈絲)的方法。

使電子從金屬中跑出來所需之能量叫做“逸出功”(Работа выхода)。

各種不同材料的陰極, 其逸出功在 $10^{-12} \sim 10^{-11}$ 爾格的範圍內。

在电子学中，逸出功是用“电子伏特”(eV)来测量的。在电场中一个电子经过1伏的电位差即有一个电子伏特(eV)的功。

根据能量守恒定律，若电荷在电场中通过电位差 φ ，则聚有

$$\frac{mv^2}{2} = e\varphi \quad (2-1)$$

动能以电子的电荷 e 及其质量 m 代入上式，可得到电子伏特和尔格间的关系①

$$1 \text{ 电子伏特(eV)} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ 尔格。}$$

若干纯金属的逸出功数值(以电子伏特表示)如表2-1所示。

表2-1

金 属	逸 出 功 (电子伏特)	金 属	逸 出 功 (电子伏特)
铯	0.7~1.4	钨	4.12
钡	1.6~1.9	钼	4.31
镨	2.9	汞	4.4
钪	2.7~3.2	钨	4.5
碳	4.1	铂	5.4

现代主要采用的是纯钨及氧化物阴极。过去也曾用过涂钪和钡的阴极，由于强度不够，现在几乎已经不用了。

钨阴极系以纯钨制成。阴极的工作温度在 $2,300 \sim 2,700^\circ \text{K}$ 的范围内。

钨阴极的优点是：制作工艺比较简单，电子放射稳定及机械强度高。这种阴极的缺点是逸出功大。钨阴极的效率——即每一瓦加热功率所能放射的电流毫安数——不高，约为6~15毫安/瓦。

氧化物阴极是一根用钨或者用一种合金(含钨72%，钪18%，

① $e = 4.8 \times 10^{-10}$ 绝对静电单位 $= 1.6 \times 10^{-19}$ 库伦； $m = 9.1 \times 10^{-28}$ 克。

鉄 7% 及 鈹 3%) 制成的金屬蕊子, 在其上复有一层 碱土金屬 (鈣、鋇、鎂) 的氧化物。氧化物阴极的效率为 100~200 毫安/瓦。工作温度 1,000~1,100°K。

氧化物金屬对过热和阳离子的轟击作用較为敏感。

按照加热的方法可将阴极分为直接加热式(直热式——譯者)及間接加热式(傍热式)两种。前者加热电流直接通过灯絲 (即阴极), 而后者被加热的灯絲不作放射电子之用, 仅用来加热阴极。为了热透傍热式的阴极, 需要若干时间。对于中等大小的阴极需要 0.6~0.8 分鐘, 对于大功率的阴极, 有时需要加热 5~10 分鐘之久。

每秒鐘自一平方厘米阴极表面上放射出来的电子流数叫做“放射电流密度”。

“热电子放射”时, “放射电流密度”与加热温度有关, 并与阴极材料放射电子的性能有关。这种关系的解析形式如下:

$$I_e = AT^2 e^{-\frac{b_0}{T}} \quad [\text{安/厘米}^2]. \quad (2-2)$$

式中 I_e ——放射电流密度;

T ——阴极的加热温度, °K;

b_0 及 A ——系常数, 决定于阴极材料的电子放射特性。

若干材料的这些数值示于表 2-2 中。某些阴极材料的 $I_e = f(T)$ 关系曲线如图 2-2 所示。

表 2-2

材 料	A 安/厘米 ² (°K) ²	b_0 °K
鎢	60	52,400
鎢	55	48,100
鈹	60	47,500
鈹	70	39,200
鎢	60	24,500
鈹	162	21,000