

高保真音响

(第2版)

# THE PRACTICAL VACUUM TUBE AMPLIFIER HANDBOOK

# 电子管声频放大器 实用手册

设计 · 装配 · 调试

唐道济 著

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

---

(第2版)

---

# THE PRACTICAL VACUUM TUBE AMPLIFIER HANDBOOK

---

# 电子管声频放大器 实用手册

---

设计·装配·调试

---

唐道济 著

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

电子管声频放大器实用手册 / 唐道济著. — 2版

. — 北京 : 人民邮电出版社, 2018.1

ISBN 978-7-115-46141-4

I. ①电… II. ①唐… III. ①电子管—音频放大器—手册 IV. ①TN722.1-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第169489号

## 内 容 提 要

本书主要介绍音响领域的电子管应用,从电子管原理、结构、特性谈起,内容包括电子管的正确使用,电子管在音频放大中的各种应用,电子管的替换以及电子管声频放大器的装配、调试、检修等原理和有关计算。本书内容深入浅出,切合实际,音频领域应用电子管所必须了解的知识以及易被忽略的问题,都有较详细的叙述。书中还列出了大量适于实际应用的数据、实物图片以及典型电路。

本书适合电子管音响爱好者及有关专业人士阅读参考。

- 
- ◆ 著 唐道济  
责任编辑 房 桦  
执行编辑 买晓然  
责任印制 周昇亮
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 700×1000 1/16  
印张: 18.75 2018年1月第2版  
字数: 368千字 2018年1月北京第1次印刷
- 

定价: 89.00 元

读者服务热线: (010)81055339 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

# 序

《电子管声频放大器实用手册》是唐道济老师为普及电子管应用技术而奉献给广大音响爱好者的又一佳作。该书实用价值大、文字结构严谨，学术品位高，对电路的原理分析、应用、调试、检测都有着不可取代的作用。

唐道济老师学识渊博，有着雄厚的电子、电声技术理论基础。在多年的实践操作探求过程中，注重理论与实践的结合，有着丰富的实践经验。他为人随和，平易近人，和蔼可亲。多年来他为众多企业解决各类电子、电声方面的技术疑难问题，从不计报酬；他对求学者总是循循善诱，充满着爱护之情。唐道济老师为人师表、助人为乐的精神令人尊敬。

唐道济老师自小爱好广泛，喜欢戏曲、音乐、美术、文学、机械结构、电气、电子技术。良好的教育使他从小就显示出极强的求知欲和勤奋执着的秉性。他至今仍有坚持读书、做笔记的良好习惯。他酷爱电子、电声技术，20世纪70年代就开始从事电声及电子产品的研究和开发工作，为普及我国的音响技术做了大量的工作；20世纪90年代参与当时的国家劳动部有关专业的国家标准及规范的制订；1995年、1996年先后担任国家音响技术相关标准专家组的主审工作。唐道济老师对学术孜孜不倦、锲而不舍的精神更是大家的榜样。

唐道济老师有着十分扎实的理论基础知识，更有着丰富的实践经验。凭着对电子、电声技术的钟爱，20世纪80年代以来他先后出版了10本电子、电声方面的专著，成了广大音响爱好者的良师益友。

李克俭

# 代序 古典电子管技术的 稀世汇整

自工业革命以来，科学突飞猛进，大部分的科技产品每隔一段时间，便会被新的材料、新的原理、新的形式所取代。200多年来，人类的生活，便是在这样的反复演进之中逐步提升，达到今日人人皆如顺风耳、千里眼的境界。

可是，在科技的日新月异之下，电子管的声频放大技术，却是不动如山，纵使半导体的应用日益壮大，也依然能够生生不息，循着历史的轨迹，香火延续至今，非但不轻言创新，反而充满了老酒陈香的文化，与科技快速更迭的步调背道而驰。

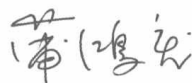
这样的现象，说明了电子管放大器有其独特的魅力，特别是在音响的应用上，有其不可取代的地位。此乃因电子管虽为早期的电子科技，却是经过千锤百炼，累聚万千人耳鉴赏的考验，故能源远流长。

故电子管在声频上的应用，已发展成为一门专有之学问，与一般科学的相异之处在于特别重视仿古、复古，甚至于“考古”。究其原因，乃在于若要深入理解电子管之奥妙，常需纵贯古今，遍阅散见各处之资料文献，方能登其堂奥。特别是电子管的电路形式，与其生成谐波之形态，对音质、音色皆有举足轻重之影响，尤其后者常能赋予悦耳之听感，故能受人喜爱，历久不衰。这一特色犹如许多美食流传千年而仍受赞赏，不会因时间的流逝而改变。

因此之故，唐道济老师的这本《电子管声频放大器实用手册》便显得格外珍贵，此书之内涵，就如其另一本著述《Hi-Fi 音响入门指南》，深入浅出，广征博引，巨细靡遗，一路引领读者由基础开始，循序进入如何识管、选管、换管之境界。更难能可贵之处，本书将各类知识分辑整理，并辅以图片，以供辨识，让电子管爱好者得以如拥有实物般参考，亦有助于分辨真伪。

故就当前之声频电子管工具书而言，不论海内外中外文版本，这本由唐道济老师精心编撰的实用手册，堪称是搜罗广阔，汇整了电子管爱好者亟欲追求之知识，即或是道行深入之专业人士，亦能够开卷有益，作为案头之重要参考文献，本书之用大矣！

中国台湾《高传真视听》杂志社 总编辑



# 前言

电子管发明迄今已逾百年，这个古老的器件，虽已从电子技术主舞台淡出，不再为大家熟悉，但在音响领域却保有一席之地，而且长盛不衰。声频放大器处理的是声音，声音有个音质问题，不容易掌握，所以声频放大器才有其特有的电路技术。而且音响技术属于实验科学范畴，在设计时需要经验的融入。此外，在设计声频电路时，有必要把听觉因素考虑进去，并设法使它不受信号源和负载的影响。

鉴于电子管放大器历经衰落再东山再起，存在低谷期，致使现今有些设计人员，未能承袭昔日电子管电路之设计精髓，出现技术断层，在电子管应用上存在一些误区，甚至错误，导致某些产品性能欠佳，电子管过早夭折损坏。

现在有关电子管放大器的基础设计资料很少，笔者从事电子产品开发和音响技术研究数十年，近年来对电子管放大器作了温故、实验。《高保真音响》杂志曾连续刊载拙作《电子管特性及其应用》，历时2年，受到广大读者的欢迎。现对有关电子管放大器的理解、设计、制作问题及实用数据作了全面的充实，特别是一些易被忽视的问题都作了阐述，论述虽避免抽象的数学推导和烦琐的理论分析，但仍给予正确概念，现奉献给广大电子管放大器爱好者和有关专业人士，希望能对当前流传的一些误解，从原理上进行澄清，于实际工作上有所帮助。

电子管DIY爱好者仿制一些名机时，有些实际问题需要注意。首先不要盲目模仿，因为复杂的电路并非一定都好，而且出于广告宣传的目的，有的机器常用花很高代价追求并不合理的特性的设计。其次在使用与原机牌号不同的电子管及类型不同的电容器时，声音效果会有差异，有时必须对相应元器件值进行修正。另外有些非常著名的机器，由于几十年前技术条件的限制，在频率响应和分析力等方面已远不能适应现在的听音要求。历史上的名机，是那个时代的产物，可以视为古董，至于现实的实用性则是另一回事，排除商业因素，实在没有必要花费大量时间、精力去复古。

一台声频放大器，除了合理的电路设计，还需要适当的元器件相匹配，而元器件没有最好，只有最合适，更不能迷信所谓“发烧元件”，“发烧元件”常有极强的个性，难以取得正确、平衡的声音，所以对元器件的性能应有相当了解，并善加运用，以使电路性能发挥致最佳。

电子管放大器装响容易装好难，指标与声音俱佳的电子管放大器并不好做，决不是罗列一些高档元件就能奏效那么简单，各级工作状态又如何调整，实在有好多问题可研究探讨。

欢迎交流。

唐道济

# 再版的话

自《电子管声频放大器实用手册》成书后，几年来笔者对第1版反复作了推敲，感到有些问题深入不够，需加充实增补，如一些特殊电子管的应用和参考电路等，以期使内容更完善、更切合实际。

第1版受到广泛欢迎和好评，多次重印也早售罄，现将修订增补后的第2版付梓出版，希望能更多地满足有关人士的需要和期望。

2017年6月



# 再版序 1

2013年为电子管发明110周年。1904年英国人弗来明(J.A.Fleming)发明二极管,1907年美国德·福里斯特(D.Forest)发明三极管,这一段惊天动地的发展历史,大家耳熟能详,如今阅读《电子管声频放大器实用手册》一书,敬佩唐道济先生耕耘于声学原理、电声基础,博览影音专知和音乐欣赏知识技巧,翔实搜罗影音设备的专业术语、学理、部分古董级或当红的组件与机种,并务实地叙述出个人的经验,分门别类地完成巨册,分享同好。

余在台湾联合大学理工学院任教二十余年,现掌海峡视听音响发烧协会,常与吴永光、陈坤志、苏集达、王清旺、吴坚新、周家成、罗兴泉等电子管专家聚会研讨,也举办过培训研习班。我们概略地将音响玩家分类成以下3个群体。

第一类群体的人有一定的音乐素养,平时会收藏自己喜爱的音乐、名曲、演奏实录等,供作闲暇时独自或与同好欣赏之用,因此,对还原影音原貌的设备,尽可能要求巨细靡遗,这是超级追求忠于原貌者(高保真度)。

第二类群体的人是为了追求声色的刺激,例如动感、声光、节奏……他们会为了达到个人追求的目标,常去比较影音设备,极崇尚品牌,只要经济许可,就会汰换不懈,没有止境。

第三类群体的人是从事影音设备的产销,从事相关设备成品组件的研究、制造、販售者,可能为了个人的理想或客户的需求,自制或他求,来获取无穷无尽的第一巅峰产品。

基本上,不管是哪类人,相信都可以在此巨著之内,获得很多的认知与启发才对,特此向大家推荐!

海峡视听音响发烧协会 理事长

程希文 博士

# 再版序 2

1907年，美国人德弗里斯特（D. Forest）发明了三极电子管，使微弱的信号放大成为可能，扩大了热电子管被用于广播、电视和计算机，亚洲和北美之间的距离大大缩短，人类生活因此转变成快速的节奏，我从加拿大打电话给在中国台湾的朋友，就好像我打电话给邻居一样，从此天涯若比邻。

近半世纪以来，人类总是想要使用比较轻、比较薄，而且比较小的装置，研究人员遂不眠不休地研发集成电路，以取代电子管系统，在北美和欧洲无管化产品早已俨然成型。

几个月前，加拿大的好友 Alfouso Petra 邀请我到他家，分享电子管音响的音乐宴，我轻松陶醉在悠美的旋律中，超爱这种美妙之音。

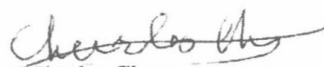
为提升电子管音响的质量，节省宝贵的时间和费用，高档音响配线是最佳的选择，而唐老师所写的《电子管声频放大器实用手册》，主要介绍了如何测试、修理、替换部分零配件，要言不烦，便捷而务实，干净利落又愉快，手脑并用。

我是查理士，现任 ACE WIRE 总经理，曾先后在日本 N.H.K 中央研修所研习电视工程，在美国 Raytheon 雷声特训班受业微波课程，在美国的 RCA 进修尖端科技，并在电视工程部门工作了 25 年。

依据我的经验，本书涵盖各专业类型的电子管知识，启发了许多新观念，减轻了大家的烦恼，这是一本值得推荐的实用手册，了解电子管音响，一起来分享宝藏。

祝福所有的读者！

ACE WIRE 总经理 查理士



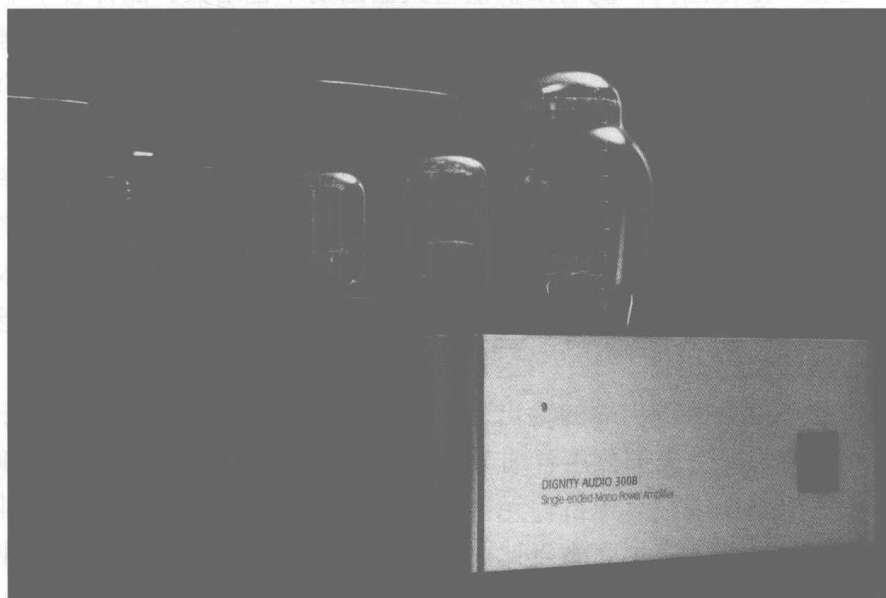
Charles Cheng

# 目录

导论 “胆”机与“胆”味	1
第1章 电子管及其特性	4
逆栅电流	11
中间层阻抗	12
极间电容	12
电子管结构零件	12
第2章 电子管的正确使用	15
氧化物阴极电子管衰老复活法	18
电子管漏气判别法	19
第3章 电子管阻容耦合放大器	20
汽船声	34
密勒效应	34
等效噪声电阻	34
初速电流	34
第4章 电子管级联放大器与SRPP电路	35
第5章 电子管功率放大器中的输出级	39
自激的防止	49
阻尼系数	49
典型功率管特性曲线	50
第6章 电子管功率放大器中的倒相器	52
差分放大器	56
第7章 电子管功率放大器中的前级管和驱动管	57
第8章 多极电子管的三极管接法	61
第9章 电子管放大电路中的负反馈	64
RIAA曲线	71
第10章 电子管阴极输出器	73
直接耦合	75
第11章 电子管电源电路	76

附：电源变压器的计算	84
常用线规	85
电源变压器数据	86
阴极打火	86
电源变压器电压调整率的测量	87
电网电源的纯化	87
改善电压变动率的方法	87
第12章 提高电子管放大器信噪比的措施	89
第13章 电子管的代换	92
第14章 电压放大管互换指南	99
第15章 功率放大管互换指南	116
第16章 整流管互换指南	125
稳压用管	128
第17章 换管调声须知	130
第18章 电子管声频放大器实例	144
输入选择转换电路	156
主极点补偿	157
第19章 电子管放大器的装配工艺	158
装配前的准备和注意事项	168
电烙铁温度判别法	171
双金属腐蚀作用的防止	171
第20章 电子管放大器的调整	172
第21章 电子管用输出变压器的计算	175
输出变压器的检测	180
第22章 电子管放大器的测试	181
真实声音重现的条件	186
A 计权	188
交流电压表	188
第23章 音质评价	189
声音的音色感觉	192
频谱与听感	192
第24章 电子管放大器的检修	194
第25章 简明电子管特性	199
第26章 附录	218

# “胆”机与“胆”味



随着声频放大器的晶体管化，其技术指标虽然非常高，但音响爱好者却对其音质并不满意，鉴于电子管放大器的音色一般比较甜美温暖，特别是中频段更柔顺悦耳，所以电子管放大器得以在 20 世纪 70 年代末东山再起，与晶体管放大器分庭抗礼。加上早期激光唱机的声音较冷硬，正需要这种放大器作补偿，于是人们开始寻觅 20 世纪五六十年代的经典电子管放大器设计，并成再度热门。

电子管放大器又称“胆”机，晶体管放大器又称“石”机，由于晶体管和电子管传输特性的不同，造成两种放大器的声音有一定差异。晶体管功率放大器的长处在于大电流、宽频带、低频控制力、处理大场面时的分析力、层次感和明亮度要比电子管功率放大器优越，但电子管功率放大器的高音较平滑，有足够的空气感，具有一种相当部分人所喜欢的声染色，甜美润厚，尽管声音细节和层次少了些，但那种柔和的声音却是美丽的。

电子管功率放大器的谐波能量分布，是 2 次谐波最强，3 次谐波渐弱，4 次谐波更弱，直至消失。晶体管功率放大器的谐波能量分布，则直至 10 次谐波以上几

乎是相等的量，其高次谐波量减少极小。可见，电子管功率放大器引起的主要是偶次的2次谐波，这种谐波成分非常讨人喜欢，恰如添加了丰富的泛音，美化了声音。而晶体管功率放大器产生的谐波中，多次谐波分量相当大，这就会引起听觉的不适。而且当放大器处于过激励而进入过载状态时，晶体管放大器的谐波失真和互调失真会急剧增大，波形被削成梯形的平顶状，声音严重劣化，而电子管放大器则比较平缓，只是波形头部变圆或略呈弯曲，声音虽失真，但还能接受。

电子管功率放大器的负载阻抗-输出功率特性与晶体管功率放大器不同。三极电子管输出有一个最大输出阻抗值，大于或小于此值都会使输出功率减小，多极电子管输出在一定范围内，随着阻抗值增大输出功率也增大。晶体管单端推挽输出则随着负载阻抗值的增大，输出功率相应减小。鉴于作为负载的扬声器阻抗是随着频率的不同而变化，所以在相同条件下，电子管功率放大器的低音和高音重放声压级要比晶体管功率放大器高。

此外，由于晶体管放大器比电子管放大器的过载性能差，所以同功率或同电平等级的晶体管放大器比电子管放大器要求有更高的功率储备量或电平储备量。如电子管放大器的最大输出功率应是其平均使用功率的3倍以上，而晶体管放大器就要求在10倍以上。这也是通常认为同样功率的电子管放大器的驱动能力大于晶体管放大器的原因。

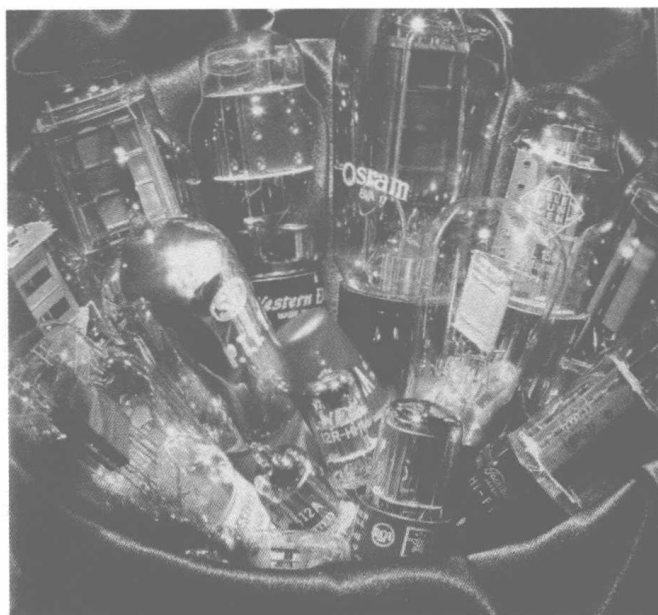
电子管功率放大器输出端的输出变压器，由于铁心的磁滞作用，会降低放大器的瞬态响应特性，丢失部分声音细节，但它使重放声变得比较“甜美温暖”。晶体管功率放大器输出端没有电抗性元器件。电子管的内阻大，晶体管的内阻极小，故电子管功率放大器的阻尼系数远比晶体管功率放大器小，对扬声器机械运动系统的控制能力较差，对低音表现不利。此外，需用高压电源、效率低、热量大、抗振性差、体积大、成本高、低频及高频上段较薄弱等都是电子管放大器的弱点。不过电子管放大器有一个独特的好处，就是换插不同牌号或不同时期生产的电子管，会有不同的音色表现，可尽享玩“胆”之乐趣。

电子管放大器虽有其特有的声音表现，但说它比晶体管放大器优秀实在是一种误解，一般中档的电子管放大器和晶体管放大器孰优孰劣是个见仁见智的问题，它们各有所长，也各有所短。

“胆”味是电子管放大器特有的一种音色，那种甜甜的、平滑而泛音丰富的声音，听起来非常悦耳。这种音色是因为一定量的2次谐波造成的修饰，由于大多数电子管放大器难以利用适当的负反馈提供良好的线性，加上输出变压器铁心的磁滞作用降低了瞬态响应，遂提供了这种2次谐波造就的泛音。实质上是电子管改变了原来音乐的色调，老式电子管放大器虽温暖柔和，但稍显朦胧的声音，难免有些软绵绵，现代电子管放大器则都有较高透明度、良好的声场、较少的电子管声染色。

电子管放大器的通病是有味无力，“胆”味不足，细节模糊，声音粗糙。如电子管前置放大器最易犯的毛病，是甜浓过度的中频，偏暗，缺乏光彩，速度感缓慢，冲击力欠佳，信噪比偏低。好的电子管放大器具有醇厚的“胆”味，明快的速度以及宽阔的频响。如好的前置放大器瞬态反应快，充满弹性和凝聚力，全频透明，细节丰富，密度高，宽松自然，很容易使人投入到音乐中去。电子管放大器以其微妙的“胆”味，充分体现了电子管的魅力，使不少音响爱好者为之痴迷、倾倒，并引发出“胆”“石”之争，历数十年而不息。自己动手制作电子管放大器，寻求其中的韵味奥秘，更是音响发烧之最大乐趣所在。

## 电子管及其特性



电子管 (electron tube, 英国称 valve) 也叫真空管, 也称它为“胆”。它从电子教科书中删去已有 30 多年, 不再是人们所熟知的电子器件, 但电子管在现代音响设备中却长盛不衰, 仍然占有一席之地。

电子管通常指一种密封管壳内抽成高真空, 具有两个或多个电极的有源器件, 它的基本工作原理是借助电场来控制真空中自由电子的运动。

阴极 (cathode) 是利用热电子发射原理而发射电子的电极。为发射电子而使热电子发射体达到高温的方法, 有用表面涂有金属氧化物的细丝形或带形灯丝本身直接加热的直热式 (direct-heated type) 灯丝 (filament), 或用易发射电子材料覆盖的镍圆筒由里面放置的加热丝 (heater) 加热的旁热式 (indirect-heater type, 也称间热式) 阴极, 如图 1-1 所示。旁热式阴极的灯丝与阴极间是绝缘的, 所以灯丝采用交流加热时不容易感应交流声, 但有些电子管屏极电压在 1000V 以上时, 出于寿命等原因, 不能采用旁热式阴极。



直热式灯丝一般由折成 V 字形的钨丝构成，底部用两根硬线支承，顶部有弹簧拉紧。旁热式阴极是一个镍金属管，管内有加热用的螺旋形或发夹形钨丝或钼丝构成的热丝，螺旋形热丝可抵消热丝电流形成的磁场减小交流声。

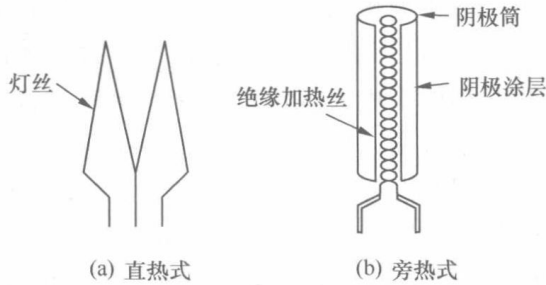


图 1-1 阴极结构

钨灯丝可以在高温下运用而且机械强度高，工作温度在  $2200\sim 2300^{\circ}\text{C}$ ，呈耀目的白色光辉。由于它发射效率低 ( $2\sim 10\text{mA/W}$ )，现在除高电压、大功率的发射管和旁热式加热灯丝外，都不采用钨作阴极。

钨钨灯丝也称钨钨灯丝，它的工作温度为  $1650^{\circ}\text{C}$ ，呈明亮的黄色光辉，发射能力为  $20\sim 40\text{mA/W}$ ，远大于钨灯丝，多用于  $1000\text{V}$  以上空气冷却的中等功率发射管。

氧化物阴极是用镍及其合金等为基金属，以稀土金属氧化物涂敷作为发射层，它可在低得多的温度下具有较大的发射能力，加热后呈暗红色，温度  $700\sim 750^{\circ}\text{C}$ ，发射效率可达  $60\sim 100\text{mA/W}$ ，但这种阴极不能在高场强下工作，所有接收放大管都是氧化物阴极。电压在  $1000\text{V}$  以下而且屏极耗散较小的电子管，由于管内残留气体影响小，而且电极放散的气体也少，亦可使用氧化物阴极。

长寿命电子管的阴极温度较低，工作时阴极的亮度较暗，也需要稍长时间预热才能进入最佳状态。

二极管 (diode) 由真空密封管壳内的阴极和屏极 (plate 也称板极，英国称阳极 anode) 组成，屏极是包围在阴极外的镍 (或镀镍钢) 椭圆管状或匣状电极，如图 1-2 所示，为提高热辐射能力，屏极常经碳化处理呈灰色，或配备散热片帮助耗散热量。当屏极电位比阴极电位正时，来自阴极的自由电子被正电位的屏极所吸引，产生电流，当反向偏置时，屏极不能吸引电子而没有电流，故电子二极管的特性与半导体二极管相似，都是单向导电。

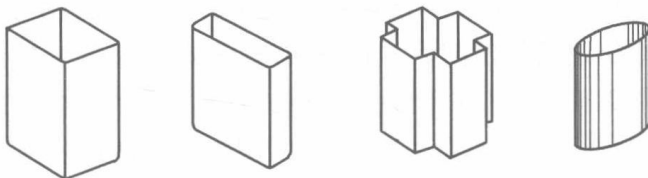


图 1-2 屏极的外形