

中等專業學校教學用書

無線電工學

高崇齡編著

人民鐵道出版社

一九六二年·北京

本书系中等专业学校教学用书。除对无线电的基本原理作较系统的叙述外，还就 KP-1 和 KP-3 型无线电电台、铁路运输中的无线电通信问题作简单的介绍。再则，本书中对通常检修调整机器的经验和注意事项也有所说明，并列出了常用的电子管的数据，以备查考。

本书除供中等电信专业学校教学外，亦可作为一般从事电信工作的技术人员阅读之用。

无 线 电 工 学

高崇龄编著

人民铁道出版社出版

(北京市霞公府17号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 010 号

新华书店北京发行所发行

人民铁道出版社印刷厂印

书号915 开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 $11 \frac{5}{16}$ 插页11 字数280千

1958年4月第1版

1962年8月第1版第8次印刷

印数3,000册 [累] 29,380册 定价(9) 1.80元

目 录

緒論	1
第一章 电路的元件	
1—1. 电路元件的种类	8
1—2. 电阻器	8
1—3. 电感器	13
附表一单层线圈参数的关系	15
1—4. 电容器	18
习题一	24
第二章 电子管	
2—1. 热电子的发射	26
2—2. 阴极的构造	27
2—3. 电子发射的其他方式	29
2—4. 二极管	30
附表二及附表三 二极管的特性表	33—34
2—5. 二极管的整流作用	35
2—6. 整流器的滤波电路	40
2—7. 单管全波整流器	42
2—8. 倍压整流器	44
2—9. 三极管的构造和作用	46
2—10. 三极管的静态特性曲线	50
2—11. 三极管的参数	54
附表四及附表五 三极管和双二极管三极管的特性表	61~62
2—12. 三极管的等效电路	63
习题二	67
2—13. 三极管的动态特性曲线	67
2—14. 四极管	74

2—15.	五极电子管	78
2—16.	电子注功率管	81
2—17.	变 μ 管	84
2—18.	阴极射线示波管	86

附表六、附表七及附表八 四极管和五极管特性表

附录一 电子管的编号 90~91

第三章 音频放大器

3—1.	放大器的种类	92
3—2.	甲、乙、丙类放大器	94
3—3.	电阻耦合电压放大器	102
3—4.	放大倍数及电平的分贝表示法	112
	习题三	115
3—5.	抗流圈耦合放大器及变压器耦合放大器	115
3—6.	放大器的失真现象	119
3—7.	甲类功率放大器	122
3—8.	乙类推挽式功率放大器	129
3—9.	倒相器	133
	习题四	135
3—10.	负回输放大器	137
	习题五	147

第四章 扩音设备

4—1.	扩音设备的线路系统	148
4—2.	微音器	149
4—3.	拾音器	153
4—4.	扬声器	155
4—5.	50瓦扩音机	160
4—6.	低阻抗输送线上扬声器的配合	163
4—7.	常值阻抗式的负载	166
4—8.	高阻抗输送线上扬声器的配合	167
4—9.	列车扩音机	169
	习题六	177
4—10.	扬声器的装置及播音室的概念	178

4—11. 扩音机的检修.....	181
附录二 100瓦扩音机电路及使用说明	184

第五章 振荡器

5—1. 振荡器的概念.....	188
5—2. 调栅振荡器.....	190
5—3. 调屏振荡器.....	192
5—4. 自耦变压器耦合振荡器.....	196
5—5. 调栅调屏振荡器.....	197
5—6. 晶体振荡器.....	199
5—7. 振荡器乙电源的馈电方法.....	205
习题七.....	206

第六章 调制

6—1. 调制的种类.....	207
6—2. 调幅的原理.....	208
6—3. 幅调波功率的关系.....	213
6—4. 栅极幅调放大器.....	215
6—5. 载波遏止平衡幅调器.....	219
习题八.....	227
6—6. 调频.....	227
6—7. 调相.....	231

第七章 射频放大器

7—1. 射频放大器的目的与种类.....	235
7—2. 调谐回路直接耦合的高频放大器.....	236
7—3. 单调谐式变压器耦合高频放大器.....	237
7—4. 双调谐带通式中频放大器.....	239

第八章 检波器

8—1. 半导体检波器.....	243
8—2. 二极管直线性检波器.....	246
8—3. 双二极管五极管.....	249
习题九.....	254
8—4. 调频信号的接收.....	254

第九章 接收机

9—1. 無線电波的概念.....	259
9—2. 超外差式接收机的線路系統.....	264
9—3. 变频器.....	265
附表九 变频管的特性表.....	269
9—4. 超外差式收音机的实际線路.....	269
9—5. 电眼 (电子調諧指示器).....	273
附表十 电子調諧指示管特性表.....	276
習題十.....	276
9—6. 接收机的調整和檢修.....	276
習題十一.....	280
附录三 接收机安裝的注意事项.....	280
附录四 TY-50A 型四用扩音机說明.....	281

第十章 ЖР型無線电台

10—1. ЖР-1 型無線电台的用途.....	286
10—2. 电台的組成.....	289
10—3. 發送机線路.....	291
10—4. 接收机線路.....	299
10—5. 各部分的構造.....	308
10—6. 电台的安裝.....	317
10—7. 电台的运用.....	320
10—8. 电台的檢修.....	323
附表十一 ЖР-1型 电台收發机电子管的特性.....	325
附表十二 ЖР-1型 电台收發机及操縱盤元件表.....	326
附表十三 ЖР-1型 电台电压稳定器元件及線圈規格表.....	330
10—9. ЖР-3型 無線电台.....	332

第十一章 铁路运输中的無線电通信

11—1. 铁路運輸無線电通信的特点.....	339
11—2. 站內無線电通信.....	341
11—3. 列車無線电通信.....	342
11—4. 微波多路接力通信的概念.....	346

緒 論

(1) 『無線電工学』課程的目的

為長途通信、選號通信、及傳真電報打下基礎，並使學生掌握擴音設備和無線調度裝置的一般原理和運用檢修的技術。

『無線電工学』這門課程的目的是：

- ① 研究現代無線電通信工程中的一般技術知識和鐵路特种無線通信的一般概念；
- ② 使學生掌握擴音設備、接收設備、和無線調度裝置的一般原理和運用檢修的技術；
- ③ 為『長途通信』、『選號通信』及『傳真電報』三種課程打下基礎。

在我國現階段的鐵路上，擴音設備和無線調度裝置是應用無線電技術最重要的兩項設備。長途電話電報要應用電子管放大、振盪、調幅、及解調的原理，選號電話和傳真電報要依靠電子管放大。無線電工学這門課程即圍繞上列的要求來敘述無線電工程的一般技術知識和實用技術。

(2) 無線電的優越性

無線電通信在空間中不用導線連接，通信的距離非常遠，通信的速度每秒 3×10^5 公里。

無線電的優越性，在於它能夠克服空間戰勝距離。無線電通

信在空間中不要用導線連接，通信的距离能够到达很远，通信的速度可达到每秒300000公里，地球上最远的两个地点是20000公里，無線电波却能在 $\frac{1}{15}$ 秒里跨越这一段距离。列宁对無線电的优越性曾經这样说过：“对于苏維埃联邦和廣闊的版圖來說，無線电通信，特別是無線电广播，將有如何的意义！不用紙張和沒有距离限制的报纸和亿万听众的大会”。中华人民共和国和苏联一样，疆土也很广，無線电波却能在一刹那间走遍他們边区，因此边区得以接近中心，远方得以变成近隣。

(3) 無線电的誕生和發展

無線电是俄国科学家A·C·波波夫在1895年發明的。

偉大的俄国科学家A·C·波波夫是無線电的發明者。在1895年5月7日波波夫在俄国物理化学学会的會議上宣讀了他的發明論文，并以他創制的“雷电指示器”（这是有名的第一台电磁波接收机）做了实验。

在波波夫关于自己接收机的第一次公开演講的一年以后，也就是这接收机綫路圖發表在杂志上的半年以后，意大利人馬可尼帶着一个类似的收报机到了英国，他宣揚这是他的發明。無耻的意大利企業家，从俄国科学家發明上賺得了大量金錢，并制造了許多广告，把馬可尼說成是無線电的發明者。因此，在資本主义国家和旧中国的無線电發展史上，都把馬可尼說成为無線电的發明者。

事实上，無線电的發明不是馬可尼，而是俄国科学家A·C·波波夫。

电子管的發展，从二極管而五極管，从复式电子管而特殊电子管，使电子管广泛应用于無線电报電話、無線电广播、無線电导航、雷达、电视、無線电远程控制等。

在1913年以前，初期的無線電通信工具是用火花式發送機和粉末或晶体檢波接收機。在發展的过程中，也曾採用过电弧發生器和高頻發電機做为發送機；但自三極电子管（1907年）出現后，电弧式及高頻發電機式發送機就逐漸被完善的电子管發送機所排擠。电子管的發明可以說是無線電發展中的一个重大而且是划时代的事件。現在几乎沒有一个無線電儀器不利用电子管的。

随着电子管的改进，从二極管、三極管、四極管、五極管、复式电子管、超短波用电子管、微波用电子管、而至特殊电子管。無線電的应用范围也就日益扩大。当火花式、电弧式、和高頻發電機式的發送機基本上是用於無線電報的时候，电子管發送機迅速而有效地为無線電話、無線電广播的發展开辟了新的境界。在現代，無線電广播在全世界各个国家里，都有着巨大的發展。

电子管还给無線電开辟了一个非常主要的部門，这就是無線電导航。現代的無線電导航是引导飞机和船舶航行的最好方法。利用無線電儀器就能很准确地确定船舶的方位，測量从飞机到地面的距离。

电子管更使無線電应用到雷达方面。雷达是利用無線電脈冲波去測量目的物（如飞机、船舶、坦克等）的准确位置。战时雷达代替探照灯偵察敌人飞机的方向、引导自己的驅逐机、發現艦艇、並能帮助大炮的瞄准。在和平时期雷达可用来作为無線電測距儀器和气象的探測儀器。

电视的發明，把人类的眼界扩大了。电视是把活动的圖像傳遞到遙远的地方去。光电管和陰極射線示波管的制造为电视奠定了基础。

电子管更使無線電应用到远程控制方面。目前無線電操縱裝置已可应用於任何种类的船舶。沒有飛行員的飞机完全服从無線電的操縱也已实现。將來，無線電远程控制極有可能普遍採用於

日常和平生活中。

(4) 無線電在鐵道運輸中的應用

鐵路上載波電話電報、調度通信設備、車內信號設備、車站里和列車上的擴音設備都是引用電子管和無線電的技術；調度車輛、列車上司機和調度員的聯繫，也是使用無線電的。

在鐵道運輸中已將電子管的應用和許多無線電技術上的方法引用到有線通信方面，就使得電話傳輸的有效距離顯著地增加了，同時使有線多路電話電報的傳輸也成為可能了。鐵路上長途有線電話和長途有線電報，就是引用電子管和無線電的技術。

鐵路上的行車調度通信設備和電碼軌道電路、車內信號設備等，也是引用電子管的技術的。

在龐大的鐵路調車場里，也是應用無線電來調度車輛。在那裏鐵道線上來回奔馳着幾台調車機車，它們選擇着車輛，把車輛從一條鐵道線轉送到另一條。把那些長長的列車，變成一組一組的車輛重新組合成新的列車。調度員用無線電發出調度的命令，調車機車的司機從機車里的無線電台得到命令。因為利用了無線電，車輛的選擇和列車的組成現在已比從前快多了。在列車上司機和調度員間的聯繫也可利用無線電。

每個車站里的有線擴音設備和列車上的有線擴音裝置，也是引用電子管放大的技術。

在鐵路系統里，也有設立無線電廣播電台或轉播站的，利用無線電廣播消息和節目。在有線架空線還沒有設置前，或有線通信發生故障時，鐵路上也使用無線電收發報機和收發話機來替代。

微波多路接力通信也將被應用於鐵道運輸中。

(5) 无线电技术对国家社会主义工业化的作用

高频电热用来熔化金属、鍛接金属、烘干材料，电子管用来控制电机、控制温度、控制制造工业的生产步骤、控制发电站的自动化操作程序，对于提高生产速率、改善产品品质、加速增产、节约人力，因而对加速国家社会主义工业化具有重大的作用。

电子管和无线电的技术在工业上的应用也很广。

高频电热被用来熔化金属、烘干材料、和鍛接金属制品。高频电热是利用电子管设备产生高频的交变电流，借感应发热或介质发热的方法把金属、木板、电木、或其他介质材料提高温度而发生热的现象。感应发热是把导电的物体，放在线圈所产生的交变磁场中，借感应作用而使物体内部感应电流产生损耗，变成有用的热。感应电热的方法，很早曾经应用于冶金、电灯泡和电子管的制造工业方面，用来除去电灯泡或电子管内部金属所含的气体。近十年来高频感应电热更广泛地被用到金属的热处理，如熔化金属、鍛接金属等。介质发热，是把非导电的材料，放在电容板间做为介质，受到了高频交变电场产生损耗，因而发热。介质电热是比较新颖的电热方法，被用在非金属材料，如烘干材料、胶接木板、制造电木橡胶等。

光电管、闸流管、或其他电子管广泛地被用来控制电焊、控制电机、调节电压、调节速率、控制时间、控制温度、控制制造工业的某一生产步骤、或控制发电站的自动化操作程序。一般的光电管控制设备，先是把光线集中到光电管，使光电管产生电流，再经过放大器放大后，控制某些机件的动作，如控制炉门的开启、电动机或发电机的运转。光电管控制并被用做报警和安全设备，以保障工作人员的安全。

电子管设备和技术应用到工业上后，对于提高生产速率、改善产品品质、加速增产、节约人力物力，有着决定性的影响；并

为生产程序自动化准备了优良的条件；显然地对于加速国家社会主义工业化具有很大的作用。

(6.) 我国无綫电的发展

我国超外差式接收机、扩音机及載波电话机的电子管已完全自制，1500瓦扩音机已开始使用，調車无綫电已使用于铁路，多路的載波电话机已广泛地被使用着，微波接力通信也将使用于铁路运输。在第二个五年计划期間将加强我国无綫电工业的建設。

三十年来我国的无綫电事业，因受到旧社会环境的阻碍，进展比較迟緩。但自新中国成立后，尤其是我国发展国民經济第一个五年计划开始后，我国的无綫电也开始轉入一个新的阶段，开始进展着。

解放前，无綫电另件的制造、简单的80号孿生二极管和30号三极管的制造，无綫电发送机及接收机的装配修理，雷达的使用和修理，无綫电定向台及罗盘的运用和修理，75千瓦及10千瓦广播电台的装設，都已有了一些基础。解放后八年来，电子管的制造事业已得到进一步的发展，超外差式接收机的全套电子管已完全制造成功，750瓦以下的較大功率电子管、10千瓦的风冷管、和30千瓦的水冷管也已自制，載波电话总机及扩音机使用的电子管都能自制，超短波电子管已开始制造，晶体二极管和三极管也在試制。电解电容器、电阻器、微音器、及揚声器的制造已进一步地得到质的改进和量的扩大。各地的有綫扩音设备大量地发展，使用功率达到1500瓦的扩音机已經开始需要。完全国产的超外差式接收机已广銷亚非国家，1957年的生产量达到36万架。120千瓦巨型短波广播电台也已制成。丰台車站已开始使用調車无綫电收发机。多路的載波电话机已广泛地被铁路和邮电部門使用。这些都是为了我国无綫电的美好未来鋪下了更好的基础。

党第八次全国代表大会已通过关于发展国民經济的第二个五

年計劃的建議，在第二个五年計劃期間，加强工業中的落后部門——石油工業、化学工業、和無綫電工業的建設。

無綫電廣播網和無綫電轉播站將滿布于我国各城市和各乡村。不仅現時使用的中波、短波、和超短波的应用越来越广，更短的公分波和公厘波在不久的将来也將被广泛地利用着。微波多路接力通信設備也將于1958年开始在我国鐵路建立。

目前，北京電視台已建成，并开始进行工作。活动电影和剧院的演出將会在我們的家里出現，国内的重要事件就在它們發生的同时，会表現在巨大的銀幕上。

無綫電調車和列車無綫電通信將广泛地在鉄路上应用，傳真电报將被推广到鉄路上使用，列車的运轉也將应用电视来控制。

第一章 电路的元件

1-1. 电路元件的种类

組成电路的基本元件，有电阻，电感，电容，半导体，压电晶体和电子管等。

电路的基本元件，有电阻，电感，电容，半导体，压电晶体，电子管等，一般地可以分类如下：

- (1) 电阻器：綫繞电阻，炭粉复合电阻，炭膜电阻；
- (2) 电感器：空心綫圈，鉄磁綫圈；
- (3) 电容器：云母，紙質，陶瓷，电解，空气电容器；
- (4) 半导体：向性电阻（方鉛矿、氧化銅、硒），光敏电阻（硅、鍺），热敏电阻（氧化錳，硫化銀）；
- (5) 压电晶体：石英（控制射頻），洛希尔盐（音頻微音器及揚声器）；
- (6) 电子管：見第二章。

1-2. 电 阻 器

电阻器的主要特性有五点：（1）电阻值和容許差度；（2）功率耗散定額；（3）頻率特性；（4）对于溫度，湿度，电压的稳定性；（5）噪声水平。在綫繞电阻器，炭粉复合电阻器，薄膜电阻器的三类电阻器中，薄膜电阻器比較最好，复合电阻器和薄膜电阻器都用身尾点顏色标記法或三环（或四环）顏色标記法来表示电阻值。

电阻器的构造，普通有三类。第一类是由金属或合金的电阻綫在絕緣体上繞成綫圈形状，叫做綫繞电阻器，依綫的材料，粗

細和長度決定電阻值。線繞電阻器的電阻線，是由適當的合金制成的，電阻係數要大，而溫度係數要小。銅和鎳的合金線是最普通的電阻線；銅和錳的合金電阻線，溫度係數幾乎為零，電阻不隨溫度變動，適用於高度正確性的地方。

第二類是由石墨粉、黏土、煤煙等材料複合後壓成棒狀圓體叫做炭粉複合電阻器，依炭粉和絕緣體複合的比率決定電阻值。第三類是炭的薄膜或金屬薄膜附着在絕緣體上，叫做薄膜電阻器，依薄膜的材料和面積決定電阻值。這三種各具優缺點，分別應用於不同的場合。

電阻器的主要特性有：電阻值與容許差度；功率耗散定額；頻率特性；對於溫度、濕度、電壓的穩定性；噪聲水平。

今就其中幾個主要特性加以解釋。

頻率特性：電阻器的目的雖在獲得電阻，但實際構造上，不能避免少數的電感和分佈電容。

圖1—1(甲)表示電阻器的等效電路，其中主要電阻 R 和附帶電感 L 串聯後，再和分佈電容 C 並聯，好像一個二端網絡。圖1—1(乙)表示和圖1—1(甲)等效的二端網絡，其中 R' 代表有效電阻， L' 代表有效電感，就是說電阻器因為構造上不能避免的電感和電容，以致電阻器兩端，實際獲得的不是原有的電阻而是有效電阻 R' ，並且還有串聯的有效電抗存在。設計時必須注意減少 L 、 C 的影響，以使有效電抗互相抵消，獲得純電阻，使電阻器的量值不受頻率的影響而有所變動。

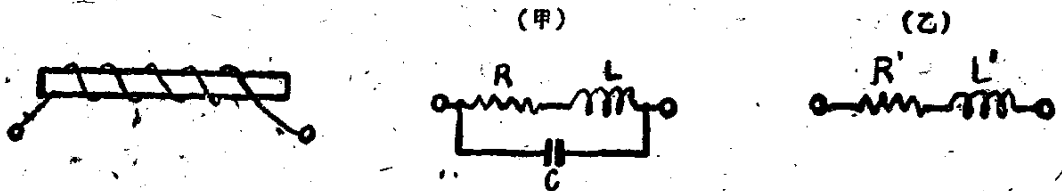


圖1—1 電阻器的等效電路

一般炭粉複合電阻器和炭膜電阻器的電感和電容很少，線繞

电阻器的电感和电容比较严重，但線繞电阻的繞法会影响它的 L 和 C ，因此線繞电阻常采取适当的繞法以减少电感和分佈电容。倘使一条直線在中段弯折回来成为兩条平行線，他們的反向电流所生的磁場互相抵消使电感減低。線間距离靠近固可減小电感但不可避免地却增加了电容；所以应该选择一适当的分隔距离，以获得需要的 L, C 比值。如把一条直線弯成几段，可使分佈电容減低，線間距离因此可以靠近一些。圖1—2示这种双線繞法的原理，線与線間画有电场線，电场線的多少表示电压差的大小，(甲)示二線平行远端割开，沿線电压差始終相等，电容假設是 $2C$ ；(乙)示二線平行远端联接，电压差在远端是零在近端最大，沿線电压差平均值是以前的一半，因此，电容是 C ；(丙)示分成兩段每一段沿線电压是(乙)的一半，兩段电容串联，整个电容是 $\frac{C}{4}$ 。

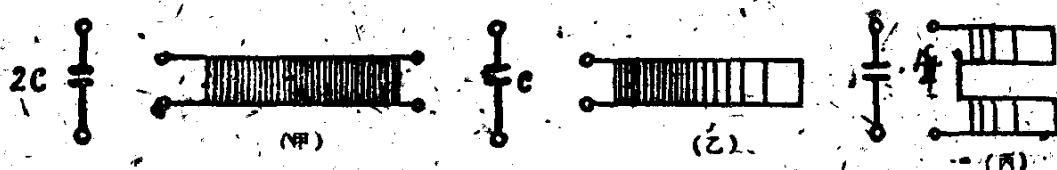


圖1—2 線繞电阻器减小电感和电容的双線繞法

噪声水平：炭粉复合电阻器或多或少地存在着微音器式的噪声，主要原因是电阻器内部炭粉粒間接触的杂乱变动，产生噪声。噪声水平和使用的負載、电阻器的尺寸、材料、性質等都有关系。虽則屬於同样構造，每只电阻器的噪声水平互不相同，电阻值愈大，或电阻尺寸愈小，产生的噪声愈大，这个噪声水平是复合电阻器很严重的缺点，限制了它的应用。

电阻器的功率耗散定額（或瓦特定額）：电阻器的瓦特定額，是它在規定条件下放散热量，而不讓温度高到足以使它的电阻特性改变的一种量度。这种定額視物質的輻射表面、輻射性質、热的性質、以及承受高温的能力而定。所以决定某种制法的电阻器的体积大小的是瓦特定額而不是电阻。在空气不易流通或靠近别的發热体的地方所裝置的电阻器，瓦特定額較小，一般說，

来，用得比定額低的元件，它的运用比較稳定，寿命也比較長。

根据以上的特点，可以对三类电阻器的特性做一簡單的比較如下：

線繞电阻器——通常从0.1欧到1兆欧，制造差度約 $\pm 1\%$ ~ $\pm 10\%$ ，它的优点是稳定性好，温度系数低，噪声水平低，能够耐热，功率耗散定額可以很大。它的缺点是高电阻需要容积很大，成本貴，电阻值不能太高，潮湿的地方容易生銹，在高頻时特性不好。

炭粉复合电阻器——电阻范围約从10欧至22兆欧，制造差度 $\pm 5\%$ ~ $\pm 20\%$ 。它的优点是：比較小巧价廉，高頻率的特性很好。它的缺点是：温度、湿度的稳定性較差，噪声水平高，电阻值不够正确，功率耗散定額較小。

薄膜电阻器——电阻范围約从1欧至50兆欧。它克服了以上兩类的缺点。电阻值較高时容积較小，而頻率特性，噪声水平及稳定性、正确性都有所改进。

可变电阻器：無線电中常用的可变电阻器亦分線繞、复合、和薄膜三类。普通的可变电阻器是連續变动式，接触点在線圈上移动，由旋轉的軸控制。电阻与旋轉的特性，最常用的是直線关系，在每一旋轉角度，接触点与終端間电阻变动数是相等的，如線繞电阻。有些特殊应用，如音量控制，音調控制等。电阻与旋轉的关系不是直線性的，以复合与薄膜式較为适宜。在电阻值較大的可变电阻器或电位器，線繞式成本很高，只得採用复合式或薄膜式。可变电阻器的一般特性，应该和固定电阻器相似，但是因为接触点在电阻上移动，电阻实体受到一些損伤，可能使电阻值变动或产生噪声；所以在可变电阻器，須注意电阻構造具有适当硬度，可以耐磨擦，在电阻上移动接触点的压力应该恰当，不要过大或过小，移动接触点表面应该很圓滑，以免不必要的磨擦或損伤。

电阻的颜色标记：