

中 等 专 业 学 校 试 用 教 材

铁 路 地 区 电 话

洛阳铁路电务工程学校 杨维生 主编

武汉铁路运输学校 周生法 主审

中 国 铁 道 出 版 社

1989·北京

前 言

本教材根据铁路中等专业学校铁道通信专业《铁路地区电话》教学大纲的要求和在1984年《铁路地区电话》讲义的基础上编写的。本书为铁道通信专业教学用书，也可供使用和维护铁路地区交换设备的技术人员、工人学习参考。

本书在内容选择上的特点是：与同类教材比较，在全书内容结构、章节安排与讲述方式等方面，作了较大的调整，克服了单元电路和局部电路与整机电路重复的弊病；将现有铁路部门部分存在而逐渐淘汰的步进制自动电话交换机删去，增加了已普遍安装应用的ZHJD型千门纵横制自动电话交换机的主干电路；将本教材中的整机电路图与电路原理图分开，并把整机电路图单独编印图册以利教学；全书以2000门纵横制交换机为主要内容，并以新的JZ型取代原JTZ型。

本书第一、二、三章由洛阳铁路电务工程学校丁亮安编写，第四、五、六、七章由杨维生编写并主编全书，武汉铁路运输学校周生法主审。参加本书审稿工作的有兰州铁路机械学校，南京、西安、锦州、武汉铁路运输学校及洛阳铁路电务工程学校。

本书编写过程中，还得到沈阳铁路信号工厂、洛阳电话设备厂等单位及有关同志的热情帮助和支持，在此一并表示感谢。

由于经验不足，水平有限，书中可能存在缺点和错误，希望读者提出宝贵意见，以便今后修订时改进。

编 者

一九八七年六月

内 容 简 介

本书为中等专业学校铁道通信专业试用教材。内容包括电话基础与电话机、电话继电器、纵横接线器及其组合连接、纵横制交换机中继方式及中继组合、纵横制交换机单元电路、JZ200/600型纵横制自动电话交换机、ZHJD型纵横制交换机本局呼叫正常接续过程等七章，并附有JZ200/600型及ZHJD-1型纵横制自动电话交换机电路图。

本书可作电信专业学校教材，也可供通信专业使用和维修纵横制自动电话交换机的技术人员、工人学习参考。

中等专业学校试用教材

铁路地区电话

洛阳铁路电务工程学校 杨维生 主编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 倪嘉寒

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 印张：16 插页：38 字数：394 千

1989年2月 第1版 第1次印刷

印数：0001—7000 册 定价：6.20 元

目 录

第一章 电话基础与电话机	1
第一节 声的特性及电话传输频带.....	1
第二节 电话机部件.....	4
第三节 电话机.....	20
第四节 自动（共电）交换机的供电电路.....	27
第二章 电话继电器	31
第一节 电话继电器的构造及工作原理.....	31
第二节 继电器的电流特性.....	36
第三节 继电器的时间特性.....	38
第四节 继电器的应用.....	42
第五节 消火花电路.....	45
第六节 笛簧继电器.....	46
第三章 纵横接线器及其组合连接	48
第一节 纵横接线器.....	48
第二节 纵横接线器的运用与组合连接.....	53
第四章 纵横制交换机中继方式及中继组合	62
第一节 JZ200门中继方式及中继组合.....	62
第二节 JZ400门中继方式及中继组合.....	73
第三节 ZHJD-1型中继方式及中继组合.....	76
第四节 铁路地区电话网.....	88
第五章 纵横制交换机单元电路	94
第一节 分配器电路.....	94
第二节 互斥电路.....	99
第三节 C线测试电路.....	101
第四节 重接测试电路.....	102
第五节 同抢测试电路.....	105
第六节 收号电路.....	106
第七节 时延电路.....	107
第六章 JZ200/600型纵横制自动电话交换机	110
第一节 电话交换机概述与分类.....	110
第二节 JZ200/600型纵横制自动电话交换机简介.....	113
第三节 呼出接续电路及其接续过程.....	114
第四节 记发器电路及其计存过程.....	141
第五节 呼入接续电路及其接续过程.....	148

第六节	主被叫双方通话及复原	159
第七节	出中继器电路及其接续过程	161
第八节	入中继电路及其接续过程	164
第九节	铃流、音流及信号电路	173
第十节	组间交接电路及其接续过程	181
第七章	ZHJD型纵横制交换机呼叫本局正常接续过程	191
第一节	呼出接续电路及其接续过程	192
第二节	用户记发器及其计存过程	214
第三节	呼入接续电路及其接续过程	221
第四节	通话及复原	245

附 图 (附图另袋)

一、JZ200/600型电路图

- J—1 JZ200/600 200门中继方式 (ZF) JZ200/600 200门组群方式 (ZQ)
- J—2 JZ200/400用户电路 (YL) JZ200/400绳路连接电路 (SJL)
- J—3 用户连接电路 (YJ)
- J—4 绳路电路 ($SL_1 \sim SL_{21}, SL_{29}$)
- J—5 JZ200/600用户记发器 ($YJF_1 \sim YJF_9$)
- J—6 JZ200/600 本组交接电路 (JL)
- J—7 JZ200/600 标志器 (BZ) (查号及链路测试部分)
- J—8 JZ200/600 标志器 (BZ) (吸磁铁部分)
- J—9 JZ200/600 信号电路 (XH)
- J—10 JZ200/600 长途自动出中继器电路 (CCZ) JZ200/600 特服151中继器 (TF_{151})
- J—11 JZ200/600 长途自动入中继器电路 (CRZ)
- J—12 JZ200/600 长途台中继器电路 (C_1TZ)
- J—13 JZ200/600 长途台中继器电路 (C_2TZ)
- J—14 JZ200/600 市话出中继器电路 (SCZ)
- J—15 JZ200/600 特服141、161中继器电路 ($TF_{141, 161}$)
- J—16 JZ200/600 400门中继方式图
- J—17 JZ200/600 400门组群方式图
- J—18 JZ200/600 400门组间交接电路 (ZJ)
- J—19 JZ200/600组间交接电路 (ZJ) [吸磁铁部分]

二、ZHJD-1型电路图

- Z—1 ZHJD单局1000门中继方式图、用户电路
- Z—2 单局1000门组群方式图
- Z—3 YAX机架电路 (YAXL)
- Z—4 YBX机架电路 (YBXL)
- Z—5 呼出标志器电路 (CBZ)
- Z—6 绳路电路 (SL)
- Z—7 绳路记发器交接电路 (SJL)
- Z—8 四、五位用户记发器电路 (Y_2JF)

Z—9(A) 选组标志器电路 (ZBZ)

Z—9(B) 选组标志器电路 (ZBZ)

Z—10 呼入标志器电路 (RBZ)

Z—11 ZABX机架电路 (ZXL)

三、第六章附图

6—1 JZ200门交换机呼出接续电路动作程序及路由图

6—2 JZ200门交换机呼入接续电路动作程序及路由图

四、第七章附图

7—1 呼出接续动作程序图

7—2 呼出接续动作程序及路由图

7—3 呼入接续 (本局呼叫) 动作程序图

7—4 呼入接续电路动作程序及路由图

第一章 电话基础与电话机

第一节 声的特性及电话传输频带

在我们日常生活中，每时每刻都与声音接触，我们生活在一个充满声音的世界里。电话是利用电能传递人的语言的一种通信工具，而人的语言也是一种声音，因此，电话与声学有密切的关系。

一、声的特性

声的产生是物体在弹性介质中振动的结果。人发出的声音，则是声带在空气中振动而产生的。发声的物体称为“声源”。从声源发出的声音，需要通过弹性介质的传播才能被人听到。能传播声音的物质称为“介质”。介质种类很多，气体、液体、固体都是传播声音的介质，例如空气、水、钢铁等。

物体在空气中振动，会激起周围空气质点的振动。当这些质点离开原来的平衡位置后，又排挤它周围的质点也随之振动。这样，在振动物体的周围就形成了稀疏与稠密相间的空气质点层，并且逐渐向较远的空气层传播。空气质点的波动形成了空气波，能被人感觉到的空气波叫作“声波”。

声波传播的空间称为“声场”。

声波在声场中任何一点的压力，随时间和振动物体到该点的距离的变化而变化。

当物体作简谐振动时，在声场中任何一点的瞬时压力 P_1 和当没有声波时同一点的大气压力 P_0 的差值称为瞬时声压。如果瞬时声压值是依照正弦波规律而变化，那么它的有效值就叫做声压。声场中任一点的压力变化，如图 1—1 所示。

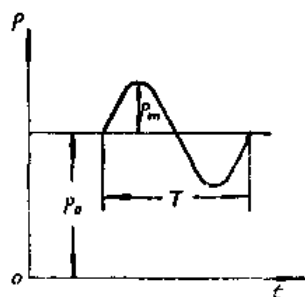


图 1—1 声场中任一点压力变化图

在声场中任一点的压力变化可用下式表示

$$P_1 = P_0 + \Delta P = P_0 + P_m \sin \omega t$$

即

$$P_1 - P_0 = P_m \sin \omega t \quad (1-1)$$

式中 P_m 为声压振幅、 $P_m \sin \omega t$ 为瞬时声压，声压 P 与振幅 P_m 之间的关系是：

$$P = \frac{P_m}{\sqrt{2}}$$

声压的大小，通常用“巴”为单位量度。一巴就是一达因的力垂直作用于每一平方厘米面积上的压力强度。即：1bar = 1dyn/cm²。

物体在振动时，能使周围介质的分子也产生振动，因而将自己的部分能量传递给周围分子。所以在声波传播的同时，还有能量的传递和转移过程。

空气质点由于振动而具有的能量叫做“声能”。我们将每秒钟通过垂直于声波传播方向

的一平方厘米面积上的声能称为“声强”。声强的单位是瓦特/厘米²(W/cm²)。

声的特性主要由声波的振幅、频率和波形决定。

空气中振动质点离开它平衡位置的最大距离称为声波的“振幅”，它确定声压和声强的大小。

空气中振动质点每秒钟振动次数称为声波的“频率”，用 f 表示，单位是 Hz。

空气质点振动一周的时间称为“周期”，用 T 表示， $T = \frac{1}{f}$ 。

声波的波形决定于组成声波的基波和多次谐波的成份。

以上是确定声特征的客观因素，而人在主观感觉上用来辨别声音特征的是响度、音调和音色。

响度，决定声波对听觉神经刺激的大小。在同一频率下，刺激的大小又决定于声波振幅的大小，或作用于耳膜的声压、声强的大小。

音调，决定于声波的频率。频率愈高，音调愈高；频率愈低，音调愈低。例如，女声的频率高音调也高，男声的频率低音调也低。

音色又称音质，它是各种声音所特有的品质，音色的好坏主要决定于声波的波形。两种不同的乐器发出的声音虽然响度和音调都一样，但人耳仍能区别出来的原因，就是因为它们的波形不同。声波的波形是十分复杂的，它可以分解为一个基波和若干个谐波。两种乐器发出的声音因为谐波的个数、振幅、相位不同，组成的声波波形也不一样。所以人耳能区别出来。

二、语言和听觉特性

人发出的声音是声带振动的结果。由于每个人的发声器官构造不同，所以发出的声音也不一样。讲话时语言的基波频率大致如下：

男低音 80~320Hz

男中音 100~400Hz

男高音 130~480Hz

女低音 160~600Hz

女高音 250~1200Hz

由上述数字可见，人的语言基波频率约在80~1200Hz之间。

讲话时，声带振动产生的声波，除了基波外，还有大量决定音色的各次谐波，所以整个频带宽度约为80~8000Hz。

人耳对声音的感受有一定的范围。人耳的可闻频带约在16~20000Hz之间，频率过低或过高的振动，无论声强或声压多大，都感觉不到声音。

在可闻频带内，若声强或声压过小，人耳也会感觉不出声音。人耳所能接受的声音强度的最低值称“可闻限”；若声强或声压过大，超过某一定值时又会引起人耳疼痛的感觉，这就是“感觉限”。“可闻限”与“感觉限”随频率不同而不同，频率约为2500Hz时听觉最灵敏。

在同一频率下，随着声强的增大，声音就变得响些。但每个人对声音的感受是不同的，因此，声音的响度感觉由不同的人而有差异。

声强与响度感觉的关系很复杂，并且随各人主观感觉而有所不同。但是，可以近似地认为，人耳对响度的感觉在相当程度上可以用对数定律求出。这一定律的数学概念是：人耳对

响度感觉的增长值不是直接与引起这些感觉的声强成正比，而是与这比值的对数成正比。例如，若声音强度增加100倍，则响度的感觉增大不是100倍，而是1倍 ($\lg 100 = 2$)。这个定律说明，响度感觉的增加比声音强度的增加要慢得多。

此外，人耳还有下列特性与电话传输质量有关。

(一) 听觉的疲乏现象

当一个单一频率或较强的声音长时间连续不断地刺激人耳时，人耳的听觉神经就疲乏，造成灵敏度降低，这种现象称为听觉疲乏。当这种声音停止后，疲乏现象不能立即消失，还可延续3~5s。当你打电话时，如果在受话器中听到自己讲话的声音，就会造成听觉疲乏。因而就听不清对方讲话。所以在电话机电路内，均采取措施，防止在受话器中能听到自己讲话的声音。

(二) 声的掩蔽作用

当两个响度不同的声音同时作用于人耳时，较强的声音就会掩蔽较弱的声音，人耳对后者就听不清楚，这就是声的掩蔽作用。电话机旁嘈杂声过大，就会听不清对方讲话，这是因为较强的嘈杂声，掩蔽了较弱的通话声。因此，电话机应安装在安静的地方。公共场所要安装在有隔音设备的电话间里。

(三) 听觉的非线性失真

当声强很大的声波传入人耳后，由于听觉器官系统的振动与声波强度不是线性关系，所以，在人耳内就产生比原声波频率高一倍，二倍或更多倍的声音，称为泛音。

泛音使原声波的波形产生失真，因而打电话时大声讲话，对方反而听不清楚，这是一个重要原因。

三、能量、清晰度与电话传输频带

电话的基本原理是：在发送端将声音转变为相应的电信号，通过导线送到对方；在接收端再将电信号还原为声音。最简单的单向通话电路如图1—2所示。

电话的用途是传递语言，即将双方讲话声音以一定强度传到对方，能使对方听清即可，没有必要将整个频带的声音都传递过去。因为传输频带过宽，就会使通信机械构造复杂、成本提高。因此在保证通信质量的前提下，尽可能压缩通话传输频带，使设备简化。

评定电话传输的质量，是以响度、清晰度和逼真度三项标准来衡量。

响度就是受话端听到的声音大小，这与传输到受话端的能量大小有关，清晰度是受话端能准确听清对方讲话的程度；逼真度是受话端收到的声波与发送端发出的声波相似程度。

衡量传输系统的清晰度，用下述方法测定：在发送端将一些互不相关的字或字母，一个一个地读给受话端，受话端能准确记录的百分数，就定为该系统的清晰度。

实验证明，清晰度在85%以上的电话传输系统，受话端感到声音清晰易懂。如清晰度在75%以下，受话端就会感到声音模糊不清，理解费力。为了保证通话质量，我们必须研究电话传输频带与能量和清晰度的关系。

图1—3是电话传输频带与能量和清晰度的关系曲线图。横坐标代表频率，单位为Hz。



图1—2 最简单的单向通话电路

纵坐标代表清晰度或能量的百分数。

图 1—3 中实线 A 是在传输系统中加入低通滤波器后, 滤掉高于某一确定频率以上全部频率的声波时, 受话端的清晰度。例如, 频率定为 1000Hz 时, 该传输系统仅能传输 1000Hz 以下的声波, 1000Hz 以上声波全部滤除, 这时从图中查知清晰度为 40% 。如确定频率为 2000Hz 时, 清晰度可达 75% 。

图中实线 B 代表用高通滤波器滤掉某一确定频率以下全部低频时的清晰度。例如, 滤去 1000Hz 以下全部低频时, 清晰度可达 85% , 但要滤去 2000Hz 以下全部低频时, 清晰度就下降到 40% 以下了。

图中点线代表传输频率与能量的关系。由点线 B' 可以看出, 滤除 500Hz 以下全部低频时, 则语言的平均声能减少了 60% , 对方仅收到 40% 。由实线 B 可以看出, 此时对清晰度影响不大, 只降低了 2% 。

由点线 A' 可以看出, 如滤除 1500Hz 以上频率, 语言能量只减少了 12% , 由曲线 A 可以看出, 此时清晰度则降为 65% 。

通过图 1—3 可以看出: 高频部分对清晰度影响较大。因此, 为了保证声音清晰, 必须传送 1000Hz 以上的频率。但传送 2500Hz 以上频率, 对提高清晰度的影响不显著, 不传送 2500Hz 以上频率的声波, 清晰度仍能保证在 80% 以上。

还可看出: 低频部分包含能量较大。如将低频部分滤去, 虽然清晰度能达到标准, 但能量损失较大。

为了兼顾能量与清晰度, 电话传输频带确定为 $300\sim 2700\text{Hz}$ 。低于 300Hz 或高于 2700Hz 的声波, 虽不传输到对方, 但对响度与清晰度均影响不大, 能够保证通话质量。

近年来, 人们对电话传输设备的要求愈来愈高, 除要保证一定的响度和清晰度外, 还要求电话的声音逼真。为此, 可将传输频带的高频端适当放宽, 因为音色主要由声波中的高频部分来决定。因此, 近代通信系统均将电话传输频带的高频端提高到 3400Hz 。整个传输频带确定为 $300\sim 3400\text{Hz}$ 。

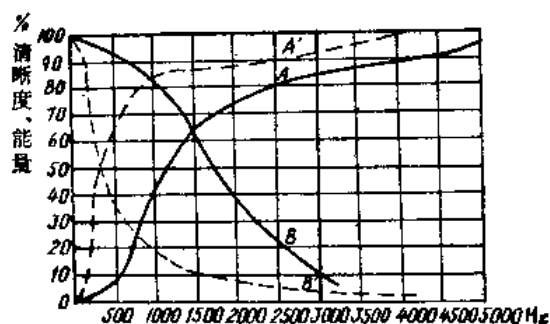


图 1—3 电话传输频带与能量和清晰的关系

第二节 电话机部件

电话机部件主要有以下几种: 送话器、受话器、电话变量器、极化铃、拨号盘或按键盘等。

一、送话器

送话器是一种将声能变为电能的声电换能元件。电话机中普遍使用的是炭粒送话器。另有一种新型驻极体送话器, 也逐渐被采用。下面分别介绍这两种送话器。

(一) 炭粒送话器

1. 构造及工作原理

炭粒送话器是在用真丝或塑料等绝缘材料制成的炭粒杯中, 装填适量用炭精制成的小颗

粒——炭精粒。杯的两端是用黄铜制成的前、后两个电极板。为了保证电极与炭精粒接触良好，极板面可镀一层薄金。振动膜片是用薄铝片冲压而成，膜片外缘与送话器外壳嵌接，膜片中心与前电极固定在一起。前后电极、负载电阻 R_L 和电池 U 连接构成如图1—4。

当发送端不讲话时，振动膜片静止不动，在电路中有一恒定电流，即送话器的静态供电电流。

当用户对送话器讲话时，振动膜片在声波的作用下发生振动。当声波的密波部分作用到振动膜片前时，膜片前的大气压力大于膜片后的大气压力，膜片向后弯曲，炭精粒被压紧，电阻变小，电路中电流增大。当声波中的疏波到达膜片前时，振动膜片前的大气压力低于膜片后的大气压力，膜片就向前弯曲，这时炭精粒松散，电阻值增大，电路中电流减小。发话人不断讲话，膜片不停地振动，电路中电流不断变化。电流变化的频率和振幅与声波的频率和振幅是一致的。这样就可以将声波转变为相应变化的电流，从而达到声电换能的目的。

从以上电路可以看出，送话器电路中电流只有振幅大小的变化。而电流方向并无变化，称此电流为脉动电流。

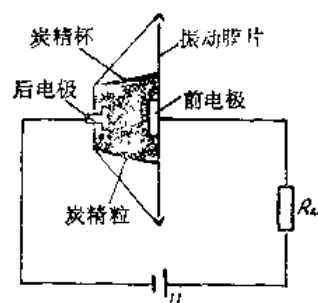


图 1—4 炭粒送话器的构造及工作原理图

2. 话音电流产生过程的分析

当膜片静止不动时，炭粒送话器具有的电阻叫静态电阻，用 R_0 代表。静态电阻并不是完全不变的，因为通过炭粒构成的电路，是由炭粒各颗粒间许多串联和并联的“接触桥路”形成的。这些接触桥路经常处于不断破坏和建立过程之中。因此，炭粒送话器在静止时，其静态电阻也经常有微小的、不规则的变化。当然这种变化比讲话时由于膜片振动而产生的电阻变化要小得多，所以，可以近似地认为是不变化的。

当膜片在声波作用下产生振动时，接触桥路的相对平衡状态发生变化，它的平均数量减少。所以，送话器在用户讲话时的平均电阻，即“平均动电阻” R_T 的值大于静态电阻 R_0 。

图1—5是送话器电阻在声波作用下，从静态电阻 R_0 变化为平均动电阻 R_T 的过程曲线。

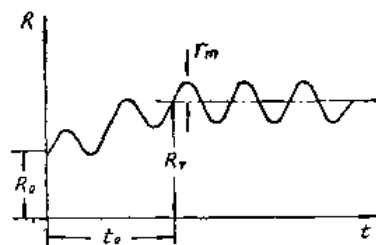


图 1—5 动态下送话器电阻变化曲线

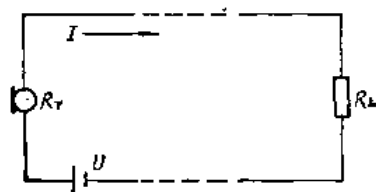


图 1—6 送话器电路

现将图1—4改画成图1—6，并设作用于送话器的声波是按正弦规律变化，则炭粒送话器电阻的变化也按正弦规律变化。如用 r_T 代表送话器电阻变化值，

$$r_T = R_T - r_m \sin \omega t \quad (1-2)$$

式中 R_T ——送话器的平均动电阻；

r_m ——送话器的变化电阻最大值。

在图1—6中，供电电流为 I

则

$$I = \frac{U}{R_L + R_T} \quad (1-3)$$

用户讲话时，电路中电流值发生变化，如变化电流值为 i ，则

$$\begin{aligned} i &= \frac{U}{R_L + (R_T - r_m \sin \omega t)} \\ &= \frac{U}{R_L + R_T} \cdot \frac{1}{1 - \frac{r_m}{R_L + R_T} \sin \omega t} \end{aligned}$$

式中 $\frac{r_m}{R_L + R_T}$ ——调幅系数，用 m 表示

又 $\frac{U}{R_L + R_T} = I$ ，所以上式可以写成

$$i = I \cdot \frac{1}{1 - m \sin \omega t}$$

将上式展开可得

$$\begin{aligned} i &= I(1 + m \sin \omega t + m^2 \sin^2 \omega t + m^3 \sin^3 \omega t + \dots) \\ &= I + mI \sin \omega t + m^2 I \sin^2 \omega t + m^3 I \sin^3 \omega t \\ &\quad + \dots \end{aligned} \quad (1-4)$$

分析 (1-4) 式，等号右边第一项 I 是供电电流；第二项 $mI \sin \omega t$ 是与声波变化一致的话音电流；第三项及以后各项是原声波中没有的各次谐波。

由此可见，当一个按正弦规律变化的声波作用于炭粒送话器时，输出的电流并不完全按照正弦规律变化，其中包含若干谐波成份。这就造成输出的电流波形与输入的声波波形不同，这是炭粒送话器在声电转换过程中产生的失真。

若要减少失真，必须使调幅系数 $m < 1$ ，即使交变电阻最大值 r_m 小于回路总电阻 $R_L + R_T$ 。

这样，(1-4) 式中第三项及以后各项数值可以忽略不计。 m 值越小，送话器失真也越小。

在实际应用中， m 值均不大于 $1/5$ ，可将 (1-4) 式近似写为

$$i \approx I + mI \sin \omega t \quad (1-5)$$

3. 炭粒送话器的基本性能

(1) 送话器的等效电动势

从式 (1-5) 可以看出，送话器电路中流动的是一种脉动电流。它的直流部分是供电电流 I ，交流部分是话音电流 i_f 。即

$$\begin{aligned} i &= I + i_f \\ i_f &= mI \sin \omega t \\ &= \frac{r_m}{R_L + R_T} I \sin \omega t \end{aligned} \quad (1-6)$$

分析式 (1-6) 可以看出， $R_L + R_T$ 是送话器回路总电阻，而 $r_m I \sin \omega t$ 可以看作是产生话音电流的电动势，如以 e_T 代表，则

$$e_T = r_m I \sin \omega t \quad (1-7)$$

当用户讲话时，炭粒送话器可以等效为一个产生话音电流的交流发电机。发电机的内阻为 R_L ，电动势等于供电电流 I 与交变电阻 $r_m \sin \omega t$ 的乘积。因此图 1-6 又可用图 1-7 所

示的送话器等效电路来表示。

由式 (1-7) 可以看出, 送话器的等效电动势 e_T 与下述因素有关。

① 供电电流 I

供电电流大, 则 e_T 也大, 即通话电源电压 U 越高, 回路总电阻 $R_L + R_T$ 越小, e_T 就越大。

② 交流电阻的最大值 r_m

当送话声音强度大时, 膜片振动的振幅就大, 则 r_m 也大, e_T 值增大。

但 e_T 值不能无限制增大, 因为供电电流超过一定值, 会造成炭粒烧结, 杂音增大, 影响通话质量。送话时声音过大, 还能使调幅系数 m 变大而产生失真。

(2) 送话器的放大作用

炭粒送话器对声波功率具有放大能力, 它可将输入的声波功率放大为1000倍以上的话音电流功率输送出去。

根据理论推导, 送话器输送给负载的话音电流功率 P_L 的计算公式为

$$P_L = \frac{1}{4} P_0 \left(\frac{r}{R_T} \right)^2 \quad (1-8)$$

式中 P_0 ——消耗在送话器的直流功率。

R_T ——送话器的平均动电阻。

r ——在送话时附加于送话器的变化电阻的有效值。

应该指出, 送话器的放大能力是在输出最大话流功率的条件下, 即 $R_T = R_L$ 时获得的。

【例一】设有一低阻送话器 $R_T = 50\Omega$, 负载电阻 $R_L = 50\Omega$, 直流电源电压 $U = 3V$, $r = 15\Omega$ 求送话器的放大能力。

解:

$$\begin{aligned} P_0 &= R_T I^2 = R_T \left(\frac{U}{R_L + R_T} \right)^2 \\ &= 50 \left(\frac{3}{50 + 50} \right)^2 = 45 \text{mW} \end{aligned}$$

式中 $I = \frac{U}{R_L + R_T}$ 为供电电流

$$\begin{aligned} \text{则 } P_L &= \frac{1}{4} P_0 \left(\frac{r}{R_T} \right)^2 = \frac{0.045}{4} \left(\frac{15}{50} \right)^2 \\ &= 1.012 \text{mW} \end{aligned}$$

通常送到送话器的声波功率为 $1\mu\text{W}$, 因此, 送话器的功率放大倍数为

$$K = 1.012 / 0.001 = 1012 \text{倍}$$

(3) 送话器的灵敏度 (效率) 及频率响应特性

送话器在声能作用下, 其输出端会产生相应的电流变化。这种由声能作用产生电能变化的能力, 常以话音电流的等效电动势 e_T 与产生该话音电流的声压 P 的比值来表示, 称为“送话器的效率”或“灵敏度” a 。

$$a = \frac{e_T}{P} (\text{mV/bar})$$

由于送话器的各个构成部分 (例如振动膜、振动膜前后气室等) 均有其本身固有的声谱

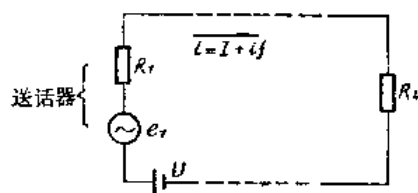


图 1-7 送话器工作时的等效电路

振频率，当声波频率和结构的自然谐振频率相等时，就会产生谐振，使振动膜的振幅显著增大，从而产生较强的语音电流电动势。由此可见，送话器的灵敏度随声能的频率而变化。灵敏度、频率相随变化的关系称为“频率特性”或“频率响应特性”。一般常将理论计算或由电声仪器测定结果绘成曲线（习惯上以纵坐标表示灵敏度，横坐标表示频率）。图 1—8 所示为 QT-100 型炭粒送话器的频率响应曲线。

利用送话器谐振系统的自然谐振频率可以提高效率，但也会由于频率特性很不均匀引起畸变。改进送话器的结构及材料，可使送话器具有较高的效率和较均匀的频率特性。目前新生产的送话器已将前电极改为球型，前后气室，振动膜形状及采用材料均有较大改进，送话器电阻受结构及位置的影响大为减小。

（4）送话器的电阻值

炭粒送话器的主要作用，在于炭精粒之间的接触电阻变化。这种接触电阻与许多因素有关，最主要的是炭精粒本身的材料性能，如炭精粒颗粒的形状、大小、选用材料的种类、制造工艺等参数。一般说，颗粒大的电阻小，颗粒较小的电阻值较大。按电阻数值，炭精粒一般分三类，即低阻、中阻和高阻。一般磁石式话机用的送话器、使用颗粒较粗的 40 号或 60 号炭精粒，共电式和自动电话机用的送话器，大多用颗粒较小的 80 号和 100 号炭精粒。

炭粒送话器的电阻及其工作效率（灵敏度）与供电电流的大小有关。当供电电流不足时，送话器的灵敏度会降低。如电流加大，则灵敏度也随之提高。但当电流超过某一数值后，会引起送话器的噪声过大而降低清晰度。实验证明，噪音是由于炭精粒间的接触电阻的变化所引起的。当加在每颗炭精粒上的电压增高时，电阻值的变化就大。故要使噪音减小，必须降低作用于每颗炭精粒上的电压，对于供电电流较小的电路，线路的电阻常大于送话器电阻，此时，应采用高阻送话器。因为这时送话器两端电压虽有提高，但电流较小，不致使每颗炭精粒上的电压过高。因而可以提高话流功率输出。

由此可见，在不同供电条件下，要达到最好的通话质量，必须根据供电电流的大小来选用不同电阻值的送话器。表 1—1 为炭粒送话器的技术数据。

如前所述送话器在静止时所具有的电阻称为“静态电阻”。由于静态电阻不是固定不变的常数，而是随温度、湿度及机械振动等外界条件的变化而变化。这是造成固有杂音的原因。送话器在声压作用下，振动膜的振动改变了炭粒之间的接触状况，使电阻随声压振幅而变化，这时的电阻称为“动态电阻”。

另外，在同样条件下，送话器的电阻值与放置位置有关。当送话器垂直放置时，电阻值最小；水平放置时，电阻值最大；倾斜放置时电阻值介于两者之间。使用时要注意保持在垂直或倾斜位置。当然，新式炭粒送话器，已在结构设计上力求减小位置的影响。

炭粒式送话器具有效率高，价格低廉的特点，在电话技术上应用十分广泛，但也有较显著的缺点，主要是其电阻变化的非线性，因而失真较大，其次是工作不稳定，易受潮等。

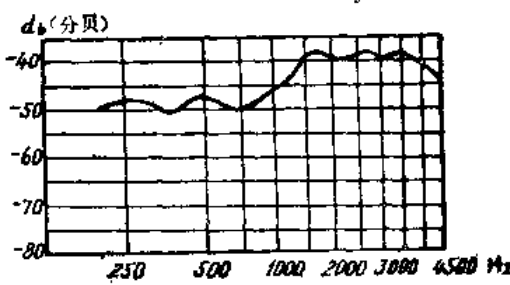


图 1—8 QT-100 型送话器的频率响应特性曲线

表 1—1

分类	供电电流 (mA)	送话器电阻 (Ω)	用于何种话机
低阻	20~80	30~65	磁石式
中阻	25~60	65~145	共电式和自动式
高阻	12~25	145~300	远距离自动式

(二) 驻极体送话器

驻极体送话器，是一种用驻极体材料制成的新型送话器。它具有体积小、频带宽、噪声低、保真度高等优点。

某些电介质在受到高电场作用而极化后，去掉外加电场仍能在介质表面半永久性地保存下正、负表面电荷，具有这种特性的电介质就叫驻极体材料。如聚四氟乙烯薄膜，聚丙烯薄膜。送话器采用这些薄膜极化后紧绷在金属环上做为振动膜片。膜片的外侧镀有金属层，膜片的内侧靠近一个金属后电极，其间距离约 $10\sim 20\mu\text{m}$ ，如图1—9所示。在两金属板之间构成一个约 $30\mu\text{F}$ 的电容器，并受驻极体的静电感应而充电。讲话时膜片振动使其电容 C 随声波而变化，两极间的电压 $U=\frac{Q}{C}$ 就随之而变化，从而完成了声—电变换。但是，由于这个电容很小，送话器的输出阻抗可高达几十 $\text{M}\Omega$ ，所以它产生出来的话音电压不能直接送到放大器中。通常是用一只场效应管接成源极输出回路以进行阻抗变换，这个场效应管一般均封装在送话器中，如图1—9虚线框所示。使用时只要在源极 S 和漏极 D 之间通过偏置电阻 R 加以适当的工作电压（一般 $1.5\sim 12\text{V}$ ），送话器产生的话音电压就能通过栅极 G 控制场效应管的输出，从而获得放大作用。

一般驻极体电容式送话器的频率范围约为 $50\sim 10000\text{Hz}$ ，在 1000Hz 时输出阻抗一般为 $1\sim 3\text{k}\Omega$ 。效率可达 $0.2\sim 2\text{mV}/\mu\text{bar}$ 。外形呈圆柱形，直径约 10mm ，长约 $6\sim 18\text{mm}$ ，比其它型式的送话器体积小得多。

二、受话器

受话器的用途是将对方送来的话音电流还原为声音，所以说它是一种电声换能元件。受话器种类较多，电话机中普遍采用的是电磁式受话器和压电式受话器。电磁式受话器又可根据构造的不同而分为电磁谐振式受话器和舌簧式受话器。

下面分别介绍这几种受话器的构造及工作原理。

(一) 电磁谐振式受话器

1. 构造及工作原理

电磁谐振式受话器简称电磁受话器。构造如图1—10所示。

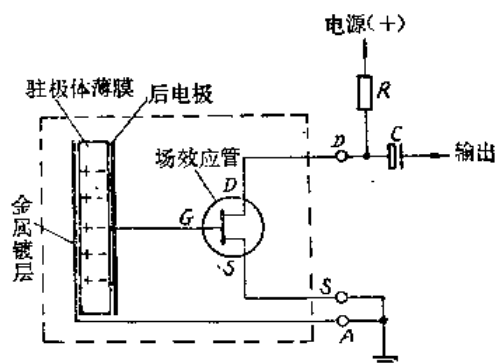


图1—9 驻极体送话器原理

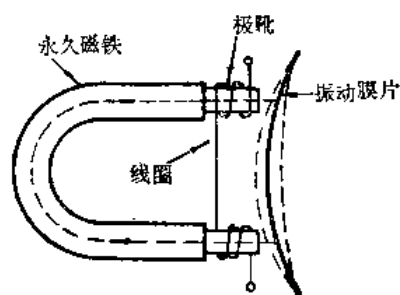


图1—10 电磁受话器构造及工作原理

在永久磁铁的延长部分——极靴上用漆包线绕成线圈。在极靴前置有用软铁制成的振动膜片。没有话音电流流入受话器时，永久磁铁的磁通，穿过振动膜片构成磁路，使膜片略向磁极弯曲。膜片弯曲后具有的弹力，与永久磁铁的吸力平衡，膜片静止于某一位置。这时膜

片与极靴间仍保持一定间隙。

当有话音电流流入受话器线圈时，线圈中产生磁通。两个线圈产生的磁通方向相同，在磁路内是相加的。交变的话音电流在线圈中产生的磁通方向是交变的。它与永久磁铁的磁通方向，有时相同，有时相反。

在话音电流正半周时，永久磁铁与线圈中产生的磁通方向相同，则通过振动膜片的磁通量增大，对膜片的吸力增加，可使膜片更加向磁极弯曲。

当话音电流负半周流过线圈时，两磁通的方向相反，对膜片的吸力减弱，因此，膜片的弯曲程度比静止状态时小。

这样，受话器线圈中流过话音电流时，膜片就以静止时的位置为中心，前后振动，激励周围空气而产生声波。声波的频率与振幅基本上与话音电流的频率与振幅相一致。这就是电磁式受话器的原理。

为了便于分析，设通过受话器的话音电流按正弦规律变化，则在受话器线圈中产生的磁通，也应按正弦规律变化。设该变化的磁通为 ϕ_i ，则

$$\phi_i = \phi_{im} \sin \omega t$$

式中 ϕ_{im} ——话音电流产生的磁通最大值。

设永久磁铁通过膜片的有效磁通为 ϕ_0 ，则当话音电流流入线圈后，作用于膜片的磁通应为两磁通量之和。设合成磁通为 ϕ_1 ，则

$$\phi_1 = \phi_0 + \phi_i = \phi_0 + \phi_{im} \sin \omega t \quad (1-9)$$

设电磁铁的吸力为 F ，则 F 与磁感应强度 B 、磁极尺寸及导磁率等存在下列关系

$$F = \frac{B^2}{2\mu} S \quad (1-10)$$

式中 B ——有效磁感应强度；

S ——电磁铁磁极的截面积；

μ ——空气导磁率。

由于穿过磁极截面积的有效磁通 $\phi = BS$ 故

$$F = \frac{\phi^2}{2\mu S} \quad (1-11)$$

式中 $\frac{1}{2\mu S}$ 为一常数，设为 K ，则 $F = K\phi^2$ (1-11) 式说明电磁铁的吸力 F ，与有效磁通的平方成正比。

当没有话音电流时，永久磁铁对膜片的吸力为 F_0 ， $F_0 = K\phi_0^2$ ，当有话音电流时，作用于膜片的吸力为 F_1 ，则

$$F_1 = K\phi_1^2 = K(\phi_0 + \phi_{im} \sin \omega t)^2$$

能使膜片振动的力 F ，是有话音电流时的吸力 F_1 和没有话音电流时的吸力 F_0 之差，

$$\begin{aligned} F &= F_1 - F_0 = K(\phi_0 + \phi_{im} \sin \omega t)^2 - K\phi_0^2 \\ &= 2K\phi_0\phi_{im} \sin \omega t + K\phi_{im}^2 \sin^2 \omega t \end{aligned} \quad (1-12)$$

由式(1-12)可以看出，使膜片振动的力由两部分组成。第一部分即(1-12)式第一项 $2K\phi_0\phi_{im} \sin \omega t$ ，这是与 $\phi_0\phi_{im}$ 乘积成正比、按正弦规律变化的吸力，故产生的声音没有失真；式(1-12)的第二项为 $K\phi_{im}^2 \sin^2 \omega t$ 。

因
$$\sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$$

$$\text{所以 } K\phi_{jm}^2 \sin^2 \omega t = \frac{K\phi_{jm}^2}{2} - \frac{K\phi_{jm}^2}{2} \cos 2\omega t$$

这是使膜片以话音电流二倍的频率振动的力。它将使受话器发出的声音严重失真。

2. 永久磁铁的作用

电磁式受话器中的永久磁铁是十分重要的部件，永久磁铁磁力的强弱，直接影响受话器的工作质量。

(1) 永久磁铁磁力很强，即 $\phi_0 \gg \phi_{jm}$ 时，式 (1—12) 中的第二项可忽略不计，

$$\text{故 } F \approx 2K\phi_0\phi_{jm} \sin \omega t \quad (1-13)$$

这时，受话器发出的声波近似为正弦波。

从上式还可看出，永久磁铁 ϕ_0 与交变磁通 ϕ_{jm} 越大，则吸力 F 亦越大，振动膜片的振动幅度亦越大，受话器发出较响的声音。

在永久磁铁磁力较强的条件下，虽然话音电流较小，也能发出足够大的声音，从而提高受话器的灵敏度。

如果 ϕ_0 稍大于 ϕ_{jm} 时，则式 (1—12) 中第二项所占比重大，就不能忽略。这时，受话器发出的声音就会产生一定的失真，发出的声音也较弱。

(2) 没有永久磁铁

受话器中，若没有永久磁铁则 $\phi_0 = 0$ 。式 (1—12) 中第一项为零，这样

$$F \approx \frac{K\phi_{jm}^2}{2} - \frac{K\phi_{jm}^2}{2} \cos 2\omega t$$

上式中第一项是不变化的力，不能使膜片振动，第二项是一变化的力，它使膜片以话音电流二倍的频率振动。所以受话器发出的声音严重失真。

上式的物理概念是，当永久磁铁磁力较强时，话音电流每变化一周，合成磁通 ϕ_1 也变化一周。膜片将以静止时的位置为中心振动一次，故产生一次声振荡。

若无永久磁铁，话音电流同样变化一周，则在正半周时，膜片被吸向线圈一次，在负半周时，膜片又被吸向线圈一次，故产生两次声振荡。所以，发出的声音频率为话音频率的二倍。由此可见，没有永久磁铁受话器将无法使用。

(3) 永久磁铁磁力很弱

受话器使用长久，永久磁铁磁力减退，在 $0 < \phi_0 < \phi_{jm}$ 情况下，合成磁通 ϕ_1 与吸力 F_1 的关系曲线如图 1—11。

从图 1—11 可以看出，合成磁通 ϕ_1 是以 ϕ_0 为轴的正弦曲线（虚线）。但吸力 F_1 则是一非正弦曲线（实线）。所以话音电流虽是正弦波，但受话器发出的声波却是非正弦波。

产生失真的原因，就是永久磁铁磁力减退，即 $\phi_0 < \phi_{jm}$ 。从图 1—11 可以看出，当 ϕ_1 向负值变化，还没有达到负 ϕ_{jm} 时 (t_1)， $\phi_1 = \phi_0 + \phi_j$ 已为零值。 ϕ_1 继续向负值变化，在 $t_1 \sim t_2$ 瞬间， $\phi_1 < 0$ 而为负值，但吸力 $F_1 = K\phi_1^2$ ，仍为正值，所以 F_1 在 $t_1 \sim t_2$ 区间曲线上凸，而造成波形失真。

其物理意义是，当 ϕ_1 变化到 t_1 时， $\phi_1 = \phi_0 + \phi_j = 0$ 。此时膜片已由原来向磁极弯曲状态，

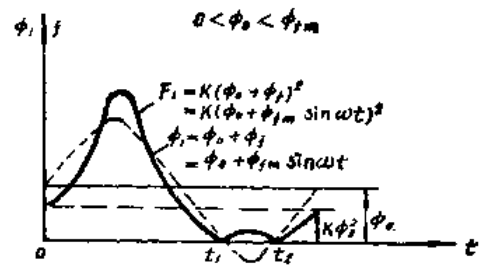


图 1—11 永久磁铁磁力很弱时 ϕ_1 与 F_1 关系曲线

所以 F_1 在 $t_1 \sim t_2$ 区间曲线上凸，而造成波形失真。