

邮 电 高 等 函 授 试 用 教 材

电 话 交 换 技 术 上

张家兴 姚洁莹 林康琴 编著



人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

全书分上、下两册，上册介绍：声学基础，电话机，电话继电器，步进制、纵横制交换原理，纵横制交换机单元电路和设备。下册主要介绍长途交换，市控和程控电子交换。

本书以电话交换基本工作原理的讲述与分析为主，概念清楚，通俗易懂，便于自学。每章后附有小结和习题，供读者参考。

本书是邮电高等函授试用教材，也可供从事电话交换技术工作的人员参考。

邮电高等函授试用教材

电 话 交 换 技 术

上 册

张家兴 姚洁莹 林康琴 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32

印张：15 页数：240

字数：396千字 插图：3

1983年7月 第 一 版

1983年7月河北第一次印刷

印数：1—13,000册

统一书号：15045·总2688-市347

定价：2.00 元

前 言

本书是根据一九七九年六月全国邮电高等函授教材编写会议修订的“电话交换技术教材编写大纲”编写的教材，供全国邮电高等函授电话交换专业试用，也可作为同类专业的高等院校和其它业余大学师生以及从事电话交换技术的工程技术人员参考用书。

本书主要介绍电话学基础、步进制和纵横制交换原理、长途交换、布线逻辑控制和存储程序控制交换原理。考虑到函授教育的特点，全书以概念、系统为主，着重基本原理的分析，力求作到深入浅出，通俗易懂，便于自学。

全书分上、下两册，共十三章。上册第一章至第四章由姚洁莹同志编写；下册第八章至第十章由林康琴同志编写；其余各章的编写以及全书的统编和审核工作均由张家兴教授负责。

由于编写时间短促，编者水平有限，书中不当或错误之处，欢迎读者批评指正。

编 者

1982年1月

目 录

第一章 声学基础	(1)
第一节 物理声学简介.....	(1)
第二节 听觉器官及其特性.....	(6)
第三节 声音的强度和响度.....	(10)
第四节 语言、清晰度和传输频带的关系.....	(14)
小结.....	(17)
习题.....	(18)
第二章 电话机	(20)
第一节 电话机的组成及对话机的要求.....	(20)
第二节 电话机的质量指标.....	(23)
第三节 电话机的基本元件.....	(25)
第四节 电话机消侧音原理.....	(59)
第五节 电话机电路.....	(76)
第六节 晶体管电话机.....	(82)
第七节 按钮式电话机.....	(92)
小结.....	(95)
习题.....	(97)
第三章 电话继电器	(98)
第一节 继电器的构造及工作原理.....	(98)
第二节 继电器的时间特性.....	(103)
第三节 继电器的机械特性、负载特性及吸力特性.....	(119)
第四节 电话继电器的线圈设计.....	(123)
第五节 继电器的磁路与簧片.....	(144)
第六节 消灭火花电路.....	(152)

第七节 笛簧及其它继电器.....	(154)
小结.....	(157)
习题.....	(160)
第四章 步进制自动电话交换原理.....	(162)
第一节 电话交换概念.....	(162)
第二节 共电电话机电源的供给方式.....	(171)
第三节 中央电池的正极接地与通话回路的平衡.....	(174)
第四节 步进制选择器.....	(178)
第五节 预选和选组.....	(183)
第六节 线束的构成和影响线束出线利用率的基本因素.....	(193)
第七节 步进制市内电话通信网.....	(198)
小结.....	(226)
习题.....	(228)
第五章 纵横制自动电话交换原理.....	(230)
第一节 间接控制概念.....	(230)
第二节 纵横接线器的构造及工作原理.....	(234)
第三节 纵横接线器及其它组成矩阵形接续元件的符号表示方法.....	(240)
第四节 接线器的组合连接.....	(242)
第五节 纵横制交换机的中继方式.....	(264)
第六节 纵横制交换机的控制方式.....	(340)
小结.....	(342)
习题.....	(350)
第六章 纵横制自动电话交换机的单元电路.....	(354)
第一节 概述.....	(354)
第二节 互斥电路.....	(354)
第三节 分配电路.....	(364)
第四节 识别 (查定) 电路.....	(369)

第五节	测试电路	(374)
第六节	吸磁铁电路	(378)
第七节	号盘脉冲接收与计数储存电路	(380)
第八节	电码的传送和接收电路	(388)
第九节	核对电路	(394)
第十节	译码电路	(399)
第十一节	收号电路	(413)
第十二节	C线测试电路	(418)
第十三节	重接测试电路	(422)
第十四节	同抢测试电路	(427)
第十五节	时延电路	(431)
第十六节	用户类别音频接收器 (Y S)	(435)
小结		(437)
习题		(441)
第七章	纵横制交换机的主要设备	(443)
第一节	用户电路	(443)
第二节	机架电路	(445)
第三节	绳路 (S L)	(447)
第四节	记发器 (Y J F)	(449)
第五节	标志器	(453)
第六节	信号系统	(459)
第七节	多频收发码系统	(465)
第八节	按钮话机音频接收器	(467)
第九节	12千赫信号发生器与接收器	(468)
小结		(469)
习题		(470)

第一章 声学基础

电话通信是通过声能与电能相互转换来达到用电传输语言的一种通信技术。当发话者在送话器前说话时，由于声带的振动激动了口腔内的空气，产生声波。声波作用于电话机的送话器上，使送话器电路内的电流随声波作相应的变化。话流沿导线传送到对方电话机的受话器后，使受话器的膜片随话流而振动，它的振动推动周围空气振动而产生声波。声波通过空气的传播，作用在听者的耳膜上，使受话者听到讲话声。电话通信通过这种声能和电能的转换使两地用户达到互相通话的目的。

从上述过程可知，为了研究电话通信技术，必须先了解声学上的一些问题。

本章将介绍声场的一些主要物理量和它们之间的关系，介绍听觉器官的特性，提出语言包含的频谱，也将研究传输频带与传输质量的关系。要求掌握有关的物理概念，并要了解物理学中的声学部份。

第一节 物理声学简介

一、声 场

声音是由振动着的物体产生的。当物体振动时，引起它邻近的空气质点进入振动状态，这种振动状态有时向外，有时向内，通过空气向外不断传播。这样在传播过程中，空气层有时被压紧，有时被放松。这种在空气中行进着的稠密和稀疏状态称为“空气波”，其中的稠密部分称为“密部”，稀疏部分称为“疏部”。空气波是

以纵波形式传播的，其振动频率在人耳能感觉到的范围内的称为“声波”。当声波达到人的耳膜时，使耳膜也随之振动，耳膜的振动通过耳内的骨干系统、淋巴液和主膜，刺激听神经，传给大脑，使人感觉到声音。声音的传播必须要有媒质，事实上大部分物体都能传声，而其中和我们接触最多的是空气。

声波存在的空间，称为“声场”。声波在传播的某一瞬间，声场内每一点都存在空气压力，它是随着传播的时间和空间变化的。

二、声波的基本物理量

下面介绍度量声波的几种主要物理量，以及它们之间的关系。

1. 声压

在声场中，每一点都存在着压力。这压力是由两部份组成的：一部分是声波作用于该点的压力，称为声压；另一部分是没有声波时存在于该点的压力。

声压随时间变化，也随空间位置变化，如果以函数式表示，即为

$$p=f(t,x,y,z) \quad (1-1)$$

既然声压是随时间变化的，因此它和交变电流（或电压）一样，也有瞬时值和有效值。

声压瞬时值作正弦规律变化时为

$$p=P_m \sin \omega t \quad (1-2)$$

式中 P_m 是声压的最大值，即声压的振幅值； ω 是声振动的角频率。

声压的有效值为

$$P=\frac{P_m}{\sqrt{2}} \quad (1-3)$$

测量声压所用的单位称为“巴”，1巴等于在1平方厘米的面积上受1达因的力。即1巴=1达因/厘米²。

2. 声速

声波在声场内传播的速度称作“声速”。声速不仅有大小，而且有一定的方向。声速的大小决定于媒介质的特性，对于不同的媒介质和不同的环境温度声速各不相同。在空气中，当温度在 0° — 20°C 范围内，声波的传播速度为每秒331—340米。

声速与传播媒介质特性的关系可用公式表示为

$$c = \sqrt{\frac{\text{媒介质的弹性模量}}{\text{媒介质的密度}}} \quad (1-4)$$

理论证明，声波传播的速度，决定于媒介质的特性，对气体的媒介质而言，声振动的发生是这样迅速，以致气体的压缩和膨胀可以看作是绝热的，因此气体的状态变化满足泊松公式，据此上式变为

$$c = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho}} \quad (1-5)$$

式中： c ——气体中的声速，单位是厘米/秒；

γ ——气体在定压下的热容量和它在定容下的热容量的比值；

P_0 ——气体的压力，单位是巴；

ρ ——气体的密度，单位是克/厘米³；

当声波的媒介质是空气时，它在温度为 20°C ，气压为1个大气压时， $P_0 = 1.013 \times 10^6$ 巴， $\rho = 1.2 \times 10^{-3}$ 克/厘米³， $\gamma = 1.4$ 。因此，在空气中声速为

$$c = \sqrt{\frac{1.4 \times 1.013 \times 10^6}{1.2 \times 10^{-3}}} = 3.4 \times 10^4 \text{厘米/秒} = 340 \text{米/秒}$$

在液体媒介质如水中，声速为1500米/秒。在固体媒介质如金属中，声速为4000米/秒。

3. 音响速度

声波在声场内传播的过程中，媒介质的分子本身发生振动，这

种振动速度称为“音响速度”。它与声波的传播速度属于不同的概念。声波的传播速度有一定的传播方向，而音响速度是在声场中媒介质质点振动的速度。

设我们取振动中心作为坐标原点，那末在平面波的情况下，声场中的原点处媒质分子将依照下面的规律振动

$$a = A_m \sin \omega t \quad (1-6)$$

式中 a ——表示媒介质分子在某一瞬间对原始平衡位置的位移；

A_m ——是振动的振幅，也即最大的位移值，其有效值是 A ；

ω ——是振动的角频率；

t ——是从振动开始时刻算起的时间。

沿直线传播的波（设不减幅），到达任意一点时，由该点离开平衡位置的位移 a 可由下式表示

$$a = A_m \sin(\omega t - Kx) \quad (1-7)$$

式中 $K = -\frac{\omega}{c}$ ω 为角频率， c 为声波速度；

x ——是该点至坐标原点的距离；

A_m ——是振动的振幅。

有了媒质分子振动的位移，则音响速度只要取（1—6）或（1—7）式对时间的一次导数即得

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{da}{dt} = \omega A_m \cos \omega t \\ \text{或} \quad v &= \omega A_m \cos(\omega t - Kx) \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

由上式看出音响速度不是一个恒量，而是一个正弦函数，它的振幅为

$$V_m = \omega A_m \quad (1-9)$$

因此，对一定媒介质而言，音响速度是随时间变化的，并且与声波的频率和强弱都有关。然而，声速对一定的媒介质，在一定的温度和气压下，是一个固定的常数，它与声波的频率和强弱无关，也不随时间变化。

4. 体积速度

在电声元件（例如送话器，受话器）的音响系统中，所涉及到的往往不是单个介质分子的振动，而是某个平面上所有介质分子的振动，因此，我们引入体积速度的概念。

$$V_A = Sv \quad (1-10)$$

式中 V_A ——体积速度；

S ——在声场中，垂直于声波传播方向的面积通常称为“波阵面”。

5. 声波功率

声场中单位体积内，由于声振动而具有的能量称为声能密度，以 E 表示。它的单位为尔格/厘米³。声场中的声波功率是声波在单位时间内，沿其传播方向通过与此方向垂直的面积 S 的能量，以尔格/秒作单位。

如声压均匀分布在波阵面的一定的面积 S 上声波功率为：

$$W = P \cdot v \cdot S \quad (1-11)$$

式中 W ——声场中的声波功率；

P ——声压；

v ——音响速度的有效值。

6. 声强

声场中单位时间内，通过单位面积的波阵面的声能量称为声强。

$$J = \frac{W}{S} = \frac{P \cdot v \cdot S}{S} = P \cdot v \quad (1-12)$$

式中 J ——声强，通常以尔格/厘米²·秒来度量；

S ——波阵面的面积。

声强和声能密度的关系可以寻求如下：设声速为 c ，单位厘米/秒，而声能量在1立方厘米体积内等于 E ，图1—1为声强和声速

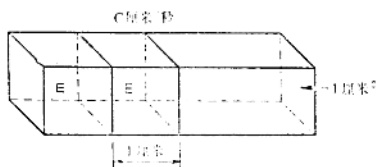


图 1-1

$$J = EC$$

(1-13)

(1-13) 式说明了声强与声能密度之间的关系。

第二节 听觉器官及其特性

人耳由三部分组成，即外耳、中耳和内耳。图 1—2 为人耳的构造图。外耳包括耳廓和耳孔，耳孔的末端是耳膜，亦称鼓膜。当声音经耳孔到达耳膜时，耳膜即随着声波而振动，把声压传给中耳。中耳由槌骨、砧骨、马蹬骨三块小骨构成。马蹬骨后面连着称为腰圆窗的弹性膜，腰圆窗通内耳。中耳的作用是把鼓膜传来的力以杠杆方式传送到内耳，

使振动幅度减小而作用力加强。内耳是听觉器官最复杂和最重要的部位。负责听觉的是一个螺旋形的圆管称为蜗牛管，蜗牛管的一端接中耳，另一端是封闭的，里面充满了淋巴液。一个称作主膜的弹性膜（也是螺旋形的）把整个蜗牛管内部分成上、下两个室。上室的一端以腰圆窗与马蹬骨相接，下室的同一端也称为

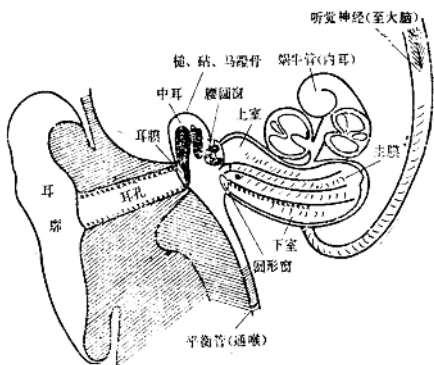


图 1-2

两个室。上室的一端以腰圆窗与马蹬骨相接，下室的同一端也称为

圆形窗的弹性膜与连通喉咙的平衡管相接。它们的另一端有一小孔相通，使两室的淋巴液能通过它互相沟通。在主膜上布满了听觉神经的许多末梢。不同位置的神经末梢分别对不同频率的声波刺激特别敏感。当声压经圆窗传入内耳后，即引起上室淋巴液的振动，从而刺激了主膜的神经末梢，其中对声压频率敏感的神经末梢最受刺激，它把相应的神经冲动送到大脑的听觉神经中枢。

通过实验证明正常人耳的可闻范围是16赫到20千赫的频带。声波的频率高于20千赫，由于中耳三小骨来不及跟随振动，因而听不到声音；声波的频率低于16赫，由于上室的淋巴液通过两室间的小孔流到下去，不再刺激主膜上的神经，因此也听不到声音。

即使在可闻频带内，人耳要接受某个频率的音调，该音调的声强也必须超过某一定值，这个最低值称为该频率的“可闻限”。各个频率的可闻限是不同的。可闻限的倒数称为感觉灵敏度，显然不同频率的感觉灵敏度也是不同的。

每个人的可闻限也并不一样，在一定程度上是和年龄有关的。一般老年人可闻限提高了，也即感觉灵敏度降低了。但是，对于健康的青壮年人来说，每个人的可闻限的数值对其平均值的偏差是不大的。

如果将声音的强度逐渐增大，则听起来自然越来越响，但是当声强提高到一定值时，人耳即感到疼痛，这个数值就是痛苦感觉限，亦称感觉限。对于不同的频率感觉限也不同。

图1—3的曲线表示了可闻限、感觉限的频率特性。人类听觉器官所能听到的声音范围就局限在图中这两条曲线之间。曲线的纵坐标为声强，同时也标出了计算所得到的相应于各声强的声压。

人耳的特性主要表现为以下几个方面

一、声音的掩蔽作用

假定有两个不同响度的声音同时作用于人耳。于是较强声音能压倒较弱的声音，或者说弱声会被强声掩蔽。这样，由于另一声音

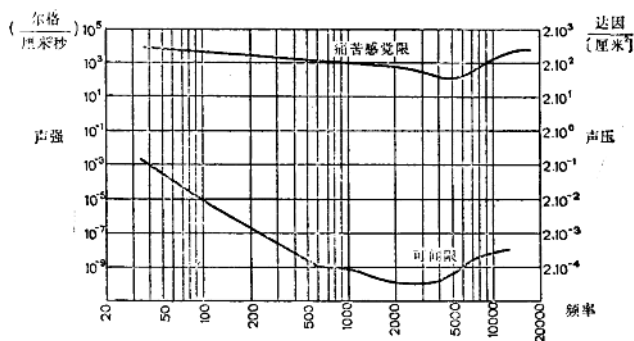


图 1-3

的存在而使人耳对某一声音的灵敏度下降，使人耳所听到的将不是两个声音而只是较强的一个声音，这种现象称为声音的掩蔽作用。

这个现象产生的原因，是由于当某个频率的声音进入入耳时，不仅该频率的神经末梢受到刺激而振动，而与该频率的谐波有关的神经末梢也均受刺激而振动，但幅度较小，因此，较强的声音就以其谐波效应强烈地刺激内耳主膜上相当多的神经末梢，使较弱声音的刺激就被忽略了。

声音的掩蔽作用可以在数量上用被掩蔽的声音的可闻限的提高来估计。实验证明掩蔽作用随着起掩蔽作用的声音的加强而增大，又当频率同掩蔽音的频率越接近时，掩蔽作用越大，而100 赫以下的低音，掩蔽作用最显著。

研究声音的掩蔽作用，在电话通信中具有很大的意义。电话机附近的嘈杂声，对通话的清晰程度起着不良影响。因此，我们要设法提高有用声音的强度，使它超过嘈杂声的声强达一定数值，使嘈杂声被掩蔽而不起显著影响。

二、听觉疲乏现象

当一个连续不断的声音长时间地作用于人耳时，人耳听觉的灵

敏度，就会由于听觉神经的疲乏而降低，这种现象称为听觉的疲乏。由于听觉疲乏，甚至在这一声音停止后，还要经过3—5秒钟的时间后，听觉才能逐渐恢复常态。当某一频率的音调长时间作用于人耳而使听觉疲乏后，不仅对这个频率的听觉灵敏度降低了，而且也会降低附近频率的听觉灵敏度。所以，在设计电话机电路时，必须考虑这个问题，使讲话者在自己的受话器内最好听不到或几乎听不到本人的说话声音，以免引起听觉疲乏现象而降低收听来话的能力。

三、人耳可辨别的音调和声强的区分限

人耳能够辨别不同的声波频率和不同的声波强度，但是，对频率和声强的相对变化则感觉不同。最小的可辨别的音调的相对变化称为音调变化区分限，以 $\Delta f/f$ 表示之。最小的可以辨别的声强的相对变化称为声强变化区分限，以 $\Delta J/J$ 来表示。

实验证明， $\Delta f/f$ 的值和频率有关，低音调时，也就是声音频率低时， $\Delta f/f$ 的值增大，这意味着人耳对于低音调（400赫以下）变化的感觉不如对较高音调（400赫到3200赫）变化的感觉灵敏。

对于 $\Delta J/J$ 来说，它和音调的高低无关。

四、听觉器官的非线性失真

作用在听觉器官上的声波强度与所引起的听觉器官系统的振动并非线性关系。尤其在声强很大时，这种非线性特别显著。此时，声波通过耳朵后，就不再保持其原有的振动波形，因而引起了非线性失真。

由于听觉器官的非线性失真，当耳朵收到一个强单音调时，人们感到的将不是纯的单音调，而感到声音中还存在此音调的泛音，这泛音就是听觉器官的非线性失真产生的。因此，在通话时，说话声太响，并不一定使对方听得更清楚，常常会使对方听不清楚说话的内容。

第三节 声音的强度和响度

一、强度和响度

声音的强度是单位时间内沿声波传播方向通过单位面积波阵面的声能量，它是一个客观的量。

声音的响度是声音的强弱对人的主观感觉，是通过人耳感受到的，因而它和听觉器官的特性有关。因此，响度视人之不同而不同，是一个主观的度量。

声音的强度和响度在同一频率下互相有关系，但是它们是两种截然不同的概念。

在同样的声强下，频率变化会引起相应的响度变化。例如，当声强均为 10^{-7} 尔格/厘米²·秒，对1000赫我们能感觉到一定的响度。而对100赫，这个数值的声强则低于它的可闻限（见图1-3所示），所以听不到。一般来说，声音强度大，听起来就响，这只是对同一个频率来说才是正确的。

二、强度和响度的表示方法

声音的响度和强度之间的关系较为复杂，且由于各人主观感觉的不同而有所不同。但是，可以近似地认为，人耳的响度感觉，可以用声强的对数表示，即人耳感觉的增长值与引起这二个感觉的声强之比的对数成正比。

设 J_1 和 J_2 是声音的两个不同的声强值。按照上述关系，响度感觉的变化值 S 可用下式表示：

$$S = K \lg \frac{J_1}{J_2} \quad (1-14)$$

式中 K 为比例系数，由选择的单位决定。当 $K = 1$ 时，则

$$S = \lg \frac{J_1}{J_2} \text{ 贝尔}$$

由于人耳能辨别的范围，通常为 $\frac{1}{10}$ 贝尔，故为方便起见，采用 $\frac{1}{10}$ 贝尔（即分贝）作为单位。此时

$$S = 10 \lg \frac{J_1}{J_2} \text{ 分贝} \quad (1-15)$$

若采用自然对数，则响度感觉的变化表示为

$$S = \ln \sqrt{\frac{J_1}{J_2}} = \frac{1}{2} \ln \frac{J_1}{J_2} \text{ 奈比} \quad (1-16)$$

上述两种表示法之间的换算关系为

$$1 \text{ 分贝} = 0.1151 \text{ 奈比}$$

或

$$1 \text{ 奈比} = 8.686 \text{ 分贝}$$

(1-15) 和 (1-16) 式只表示了二个声强水平的相对大小。为了要确定某一声强的绝对值，必须选择一参考声强作为标度的起点，称为声音的零水平。根据参考点的不同选择，有不同的声音水平的概念。现分别叙述如下：

1. 声强水平

以1000赫的可闻限作为零水平，即参考声强

$$J_0 = 10^{-9} \text{ 尔格/厘米}^2 \cdot \text{秒}$$

声强水平即某一频率声音的声强在1000赫可闻限以上的分贝数，以公式表示为

$$N = 10 \lg \frac{J}{10^{-9}} \text{ 分贝} \quad (1-17)$$

例如，400赫声音的声强为 10^{-6} 尔格/厘米²·秒，则其声强水平

$$N = 10 \lg \frac{10^{-6}}{10^{-9}} = 30 \text{ 分贝}$$

2. 感觉水平

某一频率的声音声强在该频率可闻限以上的分贝数即为感觉水平值。以公式表示为