



教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材  
中央广播电视大学汽车维修(专科)系列教材

北京中德合力技术培训中心组编

QICHEYINXIANG

# 汽车音响



林世生 主编

中央广播电视大学出版社

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材  
中央广播电视大学汽车维修（专科）系列教材  
北京中德合力技术培训中心组编

# 汽车音响

林世生 主编

中央广播电视大学出版社

北 京

### 图书在版编目 (CIP) 数据

汽车音响 / 林世生主编; 北京中德合力技术培训中心组编.

—北京: 中央广播电视大学出版社, 2007. 1

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材.

中央广播电视大学汽车维修 (专科) 系列教材

ISBN 978-7-304-03792-5

I. 汽... II. ①林... ②北... III. 汽车—音频设备—电视  
大学—教材 IV. U463.67

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 014720 号

版权所有, 翻印必究。

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

中央广播电视大学汽车维修 (专科) 系列教材

北京中德合力技术培训中心组编

汽车音响

林世生 主编

---

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 发行部: 010-58840200 总编室: 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

---

策划编辑: 何勇军

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

版本: 2007 年 2 月第 1 版

开本: 787×1092 1/16

责任编辑: 冯 欢

印数: 0001~3000

2007 年 2 月第 1 次印刷

印张: 20.25 字数: 465 千字

---

书号: ISBN 978-7-304-03792-5

定价: 29.00 元

---

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

# 总序

随着我国经济持续快速平稳发展,工业化、信息化水平不断提高,产业结构进一步升级优化,不仅需要一大批科技创新人才,而且需要数以千万计的技能型人才和高素质的劳动者队伍。目前,我国已经出现了技能型人才短缺的现象,一方面,企业现有技术人员不能满足产业升级和技术进步的需要;另一方面,技能型人才的教育培养滞后于市场需求。这种现象已经引起各级领导和社会各界广泛关注。就汽车维修行业而言,技能型人才短缺现象更为突出。据调查,随着汽车保有量的大幅度上升,全国汽车维修行业每年需要新增近30万从业人员。为此,教育主管部门和相关行业主管部门提出和实施了“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”,旨在整合教育和行业资源,加大投入力度,改革教育培养模式,创新教学和培训方法,培养一大批适应我国经济建设需要、人才市场紧缺的技能型人才。

中央广播电视大学是面向全国开展现代远程教育的开放大学。中央电大和44所省级电大及其所属的分校、工作站、教学点,共同组成了目前世界最大的现代远程教育教学和教学管理系统。中央电大的主要任务是各类从业人员提供学习的机会和条件,为国家经济和社会发展培养应用型人才。我们有责任也有能力为技能型紧缺人才培养做出自己的贡献。近几年来,中央电大抓住国家大力发展现代远程教育这一有利时机,通过开展人才培养模式改革和开放教育试点项目,有效提升了办学综合实力和为社会提供教育服务的能力。截至2005年春,中央电大开放教育试点本专科累计注册学生超过200万人,毕业学生超过60万人;已构建了“天网地网结合、三级平台互动”的技术模式,建设了适应成人在职学习、学历及非学历教育相结合的课程体系;形成了资源共享、导学与自主学习相结合的教学模式和统一规范管理、分层组织实施、系统协同服务的管理模式及运行机制。

中央电大长期以来形成的一个重要办学特色,就是广泛地与政府部门、行业、企业、部队密切合作,为行业培养应用型人才。为服务于“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”,中央电大经过考察、论证,选择北京中德合力技术培训中心和中国汽车工程学会作为合作伙伴,联合开办开放教育“汽车运用与维修专业”。这个专业既是高等专科学历教育,又是技能型人才的培养和培训。该专业根据汽车维修行业存在大量人才缺口,行业从业人员专业技术和学历层次偏低,高层次经营管理人才紧缺,一线操作工人技能水平较低的状况,有针对性地设置专业课程,安排教学内容和实训实习环节,培养具有良好的职业道德、专业的理论知识、较强的实践技能和实际工作能力,以及德、智、体全面发展的应用型人才。

## 2 汽车音响

办好一个专业，开好一门课程，编写、使用合适的教材是前提。“汽车运用与维修专业”根据专业培养目标和远程开放教育的办学特点，按照课程一体化设计的要求，以文字教材为主体，辅助以音像教材、计算机课件和网上动态资源等多种媒体有机结合，并编写了相配套的教材。这套教材经过专家、学者多次论证和修订，其内容不仅注重学历教育的知识系统性，而且紧密结合汽车最新技术和发展趋势，具有技术的先进性和实用性。

现在，中央电大“汽车运用与维修专业”各门课程的教材就要陆续出版了。看到已经编成的高质量教材，使我对办好这个专业更加充满信心。在此，我对参与课程设置和教学大纲论证、教材编写的专家、学者表示衷心的感谢！

当然，汽车技术进步和更新越来越快，我们的教材也需要不断修订与更新，以便能够与最新的技术保持同步。我祝愿同学们通过本套教材的学习，既能够系统掌握汽车维修知识，又能学到汽车工业的前沿技术，迅速成长为一名具有较高水平的汽车运用与维修专业人员，为我国汽车工业的发展做出积极的贡献。

是为序。

中央广播电视大学党委书记、副校长  
2005年8月



# 序

北京中德合力技术培训中心与中央广播电视大学、中国汽车工程学会合作，联合开办了中央电大“汽车运用与维修专业”，并受中央电大的委托，承担教学资源建设和教材编写任务。

“汽车运用与维修”并不是一个新的专业，国内很多院校都开设过，也编写和出版了众多专业方面的教材，但是在采用远程教育方式的广播电视大学开办这个专业尚属首次。中央电大开办这个专业的目的是为了加速培养适应市场需求的汽车维修行业紧缺的技能型人才。而适用于远程教学需要的汽车维修专业教材，包括文字教材、音像教材以及多媒体课件和网络课件，都不是现有的汽车维修教材可以替代的。

另外，电大汽车运用与维修专业的学习对象是一个庞大的群体，包括全国数百万汽车维修行业的从业人员，以及将要投身这个行业的高中、职高、技校的毕业生等。这个群体有文化基础差异大、工作岗位不同以及学习时间不一样等特点。这就决定了这套汽车维修教材既要能满足全日制学习、业余学习以及自学的需要，同时又能满足短期专题技术培训、现场培训的需要。

这套符合电大教学特色的学历教育系列教材是北京中德合力技术培训中心组织清华大学、北京理工大学、北京交通大学、北京联合大学等高等院校的教授和北京汽修行业的专家进行大纲论证和教材编写的。

这套教材的具体特征是具备知识和技术的先进性、系统性和实践性。

**先进性。**当代汽车制造业发展迅速，汽车技术的进步越来越快，新技术的运用也越来越多，高科技的含量也越来越高，因此，教材编写内容必须突出汽车新技术的应用和发展趋势，使读者能掌握最新的知识和技术。

**系统性。**汽车维修专业课程的设置本身就具有系统性。作为专科学历教育的教材，注意了对学员进行系统的专业理论知识教育。但教材不是把理论知识教育作为重点，而是将重点放在技术应用方面。这样做有利于培养具有操作能力的技术人才。

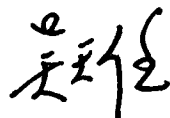
**实践性。**教材编写注意了理论与实训结合，理论教材和实训教材由同一主编统一编写，同时出版，同步使用，使理论课和实训课有机结合起来，并在教学中实现边学习理论边动手操作，学理论时可结合实际操作，并在实际操作中学理论。实践证明，这是培养技能型人才有效的方式。

## 2 汽车音响

高水平的编写团队为教材的成功提供了坚实的基础。这套系列教材的出版，是清华大学资深汽车专家庄人隽牵头的编写团队的成果。在此，对教材的主编及参编人员表示真诚的感谢！对参加教学计划的制订、大纲论证、教材评审的专家表示真诚的感谢！

希望这套系列教材能得到电大汽车维修专业教学人员及广大汽修行业从业人员的喜爱。当然，教材中难免有疏漏和不足之处，希望广大读者提出宝贵意见，以便于我们修改完善。

北京中德合力技术培训中心名誉理事长  
2005年12月



# 前 言

“汽车音响”课程是中央广播电视大学人才培养模式改革和开放教育试点汽车专业（开放专科）的选修课。本教材是依据该课程的教学大纲和该专业的教材编写要求进行编写的。

自 2000 年以来，中国轿车飞速发展，尤其是私人轿车的持有量飞速增长，引起了我国汽车行业的变革。轿车从办公用车发展到私家车，用户对汽车的要求也发生了很大的变化，对汽车的舒适性、文化性、自我表现性等方面的需求不断上升，汽车音响越来越受到关注。针对此需求，汽车专业开始尝试开设“汽车音响”课程。

本教材共 8 章节，第 1、2、3 章主要讲述电声学方面的基础知识、音响系统的评价标准、汽车音响的组成及各个主要部分的原理、技术性能指标。此三章为基础篇，为后面章节的学习打基础。第 4、5 章主要讲述“分频器”和“音箱”的设计方法，由于汽车音响的特殊条件，所以“分频器”和“音箱”常常需要自行设计，这两项的设计牵扯较深的理论，对于这些理论学习起来存在一定的困难，所以教材针对此情况，只将理论的主要原理向学生作基本介绍，对于此理论的应用问题，章节后面都有设计实例，实例中将复杂的理论计算简化为简单计算或查表方式。第 6、7、8 章为实践篇，主要讲述汽车音响改装方案设计，操作步骤、安装方法和调试方法，详细介绍了汽车音响故障检测与排除的原则与方法。

本书的编写过程中，参与编写的人员如下：

王瑞利参与第 1 章乐理方面的编写，黄标参与第 4 章分频器相关理论与设计方面的编写，彭伯平参与第 6 章关于汽车音响装配方面的编写，雷红参与第 5 章音箱相关理论与设计方面的编写，于增信参与第 7 章汽车音响调试方面的编写。

编 者

2006 年 10 月



# 目 录

<b>第 1 章 音响基础知识</b> .....	(1)
1.1 导言 .....	(1)
1.2 声音的某些特性 .....	(3)
1.3 人耳的听觉特性 .....	(18)
<b>第 2 章 汽车音响技术指标</b> .....	(35)
2.1 音响评价指标及方法 .....	(36)
2.2 音响系统的主要技术指标 .....	(38)
2.3 汽车音响测试 .....	(39)
2.4 音频信号及处理系统 .....	(44)
2.5 时域分析法 .....	(51)
2.6 脉冲响应函数 .....	(52)
<b>第 3 章 汽车音响组成与选配</b> .....	(65)
3.1 主机 .....	(66)
3.2 车载 MP3 .....	(68)
3.3 功放的要求与选用 .....	(70)
3.4 扬声器的要求与选用 .....	(82)
3.5 线材的要求与选用 .....	(109)
3.6 分频器的要求与选用 .....	(117)
3.7 熔丝与电容的要求与选用 (附录) .....	(121)
<b>第 4 章 分频器的设计与制作</b> .....	(129)
4.1 分频器的设计与制作 .....	(130)
4.2 分频器元器件的选取与制作 .....	(157)
<b>第 5 章 音箱的设计与制作</b> .....	(161)
5.1 音箱的设计与制作 .....	(162)
5.2 封闭式音箱的设计 .....	(173)
5.3 倒相式音箱的设计 .....	(181)
5.4 音箱结构设计 .....	(192)
5.5 低音炮音箱的设计与制作 .....	(204)

## 2 汽车音响

<b>第6章 汽车音响装配</b> .....	(209)
6.1 汽车音响装配方案设计 .....	(209)
6.2 汽车音响装配步骤 .....	(222)
6.3 汽车音响装配中的隔音工程 .....	(227)
6.4 汽车音响布线 .....	(237)
6.5 汽车扬声器安装 .....	(246)
6.6 功率放大器安装 .....	(252)
6.7 汽车音响系统防干扰 .....	(257)
6.8 汽车音响装配实例 .....	(265)
<b>第7章 汽车音响调试</b> .....	(272)
7.1 汽车音响的调试 .....	(273)
7.2 线材 .....	(285)
<b>第8章 汽车音响维修</b> .....	(296)
8.1 汽车音响的常用检查方法 .....	(296)
8.2 易损元器件的检测与更换方法 .....	(303)
<b>参考文献</b> .....	(313)

# 第1章 音响基础知识

## 教学内容

本章主要讲述电声学方面的基础知识,这是了解汽车音响的基础。主要介绍了声场的形成,立体声的原理,音质、音调、响度等基础概念。

## 教学目标

1. 了解声音信号的基本特性。
2. 熟悉人对声音的感觉。
3. 掌握人耳的听觉特性。

## 教学重点

1. 掌握声音的主观特征。
2. 掌握人耳的听觉范围、听觉特性、音色结构及音色的评价。
3. 掌握声音的响度、指向性、共振、掩蔽的含义。
4. 掌握立体声形成原理。
5. 了解音色的概念与特性。
6. 了解哈斯效应、颅骨效应。

## 教学难点

1. 声音的频谱分析法。
2. 音色结构及音色的评价。

### 1.1 导言

汽车音响在我国具有很大的潜在市场,同时汽车音响的安装与调试又是一项十分复杂的工

## 2 汽车音响

作,要求安装设计人员具有较高的理论水平,同时也要具有很强的动手操作能力,所以本课程较详细地讲解了有关音响方面的相关知识,同时也介绍了有关具体操作方面的内容以供参考。

### 1.1.1 汽车音响发展史

在20世纪五六十年代,由于电子行业的飞速发展,汽车上出现了电子音响,随着欧美汽车市场的兴起,六十年代汽车生产厂家纷纷在汽车产品中配置汽车收音机,七八十年代配置卡式收音机与卡式磁带机,到九十年代发展为配置卡式收音机与CD/VCD的连体机。由于音响设备较为昂贵,所以汽车生产厂家多配置中低档的放音设备。

随着消费及汽车市场发展,很多车主亦开始醉心于汽车音响。美国是最先研究汽车音响装置的国家,因美国人较喜欢强劲音乐,许多年轻人在汽车上安装可发出重低音、具有强劲输出功率的美式汽车音响,称为后置汽车音响。

后置汽车音响于八十年代在美国发展迅速,九十年代初成为音响电子工业的另一火车头,并出口世界市场。美国的汽车音响始终未能在机头音源方面发展,出口主要生产功放、喇叭及安装技术的附加产品,如较知名的有Soundstream、Precision Power 后级功放、Bosshifi、Rockford Fosgate 系列产品、Pheonix Gold 线材、Altec Lansing、Acosunik 套装喇叭、JL、OK 低音喇叭及 Audio Control 讯号处理器等。

日本在汽车音响发展的方面主要注重电子化的技术应用,生产高质量的收音机和CD播放机。在处理汽车特殊环境的音响技术方面,采用(DSP)数码讯号处理来解决声场定位问题。如Sony EX Alpine 的外置20bit 解码器A类功放,以及1994年生产的Pioneer ODR(光纤网络、机头控制定位的A类后级功放系统)等一些先进的电子工艺产品。近十年来,日本高保真汽车音响发展非常迅速,喇叭定位和车厢工艺亦渐成熟。

在我国,由于汽车销售及消费市场在九十年代初还未普及,汽车音响消费较集中在音源产品,如日本品牌卡式收音机、CD转换盒及功放。自2000年开始,国内汽车市场渐渐普及,后置音响消费市场逐步成长,如广州的东莞及深圳等地区。

由于美国厂商注重车厢声学 and 输出安装技术研究,其汽车音响一直是后置发烧音响的主流,随着我国家用轿车保有量的飞速增长,发烧级汽车音响在国内定会得到迅速发展。

### 1.1.2 汽车音响的特点

汽车的运行环境是十分恶劣的,包括振动、高温、噪音、电磁波等都会干扰车内电子设备的正常工作,因此轿车专用的音响设备在设计和工艺制造方面的要求都比家用音响严格,而且价格不菲。从这个意义上讲,高性能的轿车音响实际上是当今音响世界中的顶级品。

汽车音响与家用音响相比具有4个不同点,包括安装尺寸和安装技术、音响本身的避震技术、音质的处理技术以及抗干扰技术。

#### 1. 安装技术要求

轿车上的音响绝大多数安装在仪表板或副仪表板的位置上,而这些仪表板内的空间比较狭窄,汽车音响主机的体积必然要受到限制,因此国际上产生一个通用的安装孔标准尺寸,称为DIN(德国工业标准)尺寸。标准的DIN尺寸为178mm×50mm×153mm(长×宽×深)。有些

比较高级的汽车音响主机带有多碟 CD 音响等装置, 安装孔尺寸为  $178\text{ mm}\times 100\text{ mm}\times 153\text{ mm}$ , 又称为二倍 DIN 尺寸, 多见日本机。而有个别品牌的轿车其音响主机属于非标尺寸, 只能指定安装某种型号的汽车音响。所以购置汽车音响, 一定要注意音响主机尺寸与仪表板上安装孔尺寸是否适配。

## 2. 避震技术

汽车音响的安装除了仪表板安装孔尺寸外, 更重要的是整个音响系统的安装, 尤其是喇叭和机件的安装技术。因为一辆轿车的音响优劣, 不但与音响本身的质量有关系, 还与音响的安装技术有直接关系。

汽车的振动比较大, 音响系统的安装技术要追求高稳定性和高可靠性。因此, 汽车音响具有以下特点:

- (1) 汽车磁带放音部分多采用横向放置方式, 上下卡紧以保证稳定放音。
- (2) 采用优质陶瓷涂层的坡莫合金磁头, 令音质与耐久性都有保障。
- (3) CD 部分采用多级减振方法, 要求线路板上的元件焊接绝对可靠。

## 3. 音质的处理技术

汽车音响的音质处理已朝数码技术发展。高级汽车音响带有 DAT 数码音响、DSP (数码信号处理器)、MP3 技术等, 形成了数字化、逻辑化、大功率的 Hi-Fi 立体声系统。

汽车音响的音质优劣除了主机配置外, 喇叭的质量也同样起到非常重要的作用。有人认为, 在一般汽车音响中, 喇叭至少应占总投资的一半以上。因为制造优质的喇叭需要复杂的技术, 价格不菲, 但其产生的高音、低音效果往往是普通喇叭无法达到的。所以, 轿车音响的喇叭一般是比较讲究的, 尤其是多路分频喇叭更是如此。

轿车车厢空间有限, 汽车音响喇叭是不可能带大音箱的, 这就需要因地制宜地利用仪表台、车门、后围隔板等部件与喇叭有机地结合起来, 形成一种类似音箱的构造原理, 消除声波的相互叠加现象。当然, 喇叭的安装位置往往影响着汽车音响的音质效果, 同一对喇叭在不同的安装位置会产生不同的效果, 因此, 中高级轿车音响喇叭的安装位置要经过种种测试后才能确定下来。

## 4. 抗干扰技术

汽车音响处在一个非常复杂的环境之中, 它会随时受到汽车发动机点火装置及各种电器的电磁干扰, 尤其是车上所有电器都用一个蓄电池, 更会通过电源线及其他线路对音响产生干扰。汽车音响的防干扰技术就分别对电源线的干扰采用扼流圈串在电源与音响之间进行滤波, 对空间辐射干扰采用金属外壳密封屏蔽, 在音响中专门安装抗干扰的集成电路, 用来降低外界的噪声干扰。

# 1.2 声音的某些特性

## 1.2.1 声音的世界

声音是粒子运动的结果。简单地说, 就是当一个物体受外力的作用时, 产生一个往复的弹

性振动，这样就产生了声波，声波经过介质（空间、物体或水）向四面八方传播，人耳接受到声波的振动后，通过听觉神经传达给大脑，这就是声音传播的整个过程，如图 1-1 所示。

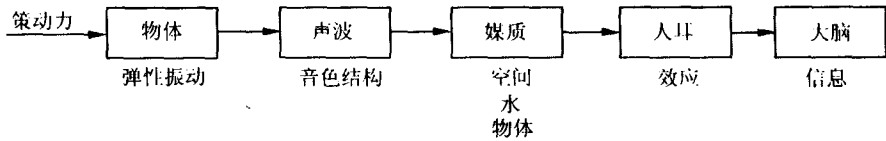


图1-1 声音的传播过程

声音是世界上很重要的物理现象，它和人们的日常学习、工作、生活有着极其密切的关系。当一个声音通过空间传入人耳时，人们常常仅凭听觉感受到声音，但这个“声音”并不是原原本本客观存在的声音，而是发生了某些改变，这种现象就是听觉效应。例如：哈斯效应、多普勒效应、鸡尾酒会效应和回音壁效应等。

所以说，声音的振动、传播、听觉感受是一个十分复杂的过程，但其中各部分的关系都是十分清楚的。这些在以后的章节里将详细介绍。

### 1.2.2 声音的分类与应用

#### 1. 声音的分类

研究声音的学科叫作声学，按研究对象不同可分为语言声学、音乐声学、电子声学和建筑声学、噪声学。其中，音乐声学又可分为声乐声学、器乐声学和音乐律学。这些都是独立的声学的边缘学科，都具有各自完整而系统的理论、实践和广泛的应用领域。

(1) 语言声学。随着科学的不断发展和电子计算机的广泛应用，声学中许多复杂的计算被解决了。所以，声学研究领域的范围也在不断地扩大。例如：专门研究语言的学科称为语言声学。中国科学院设有语言声学研究所，专门研究语言的结构、特性和分析语音信息的电脑媒体。声学技术就属于语言声学领域中的一个重要课题。

(2) 间乐声学。专门研究音乐与声学关系的科学称为音乐声学。其中研究发声、气息、共鸣等生理声学的部分称为声乐声学；研究乐器的结构与制作及其音域、音色的特性、乐器的艺术表现力等内容的学科称为器乐声学；研究音乐领域中的弦乐器使用的五度相生律、管乐器使用的三分损益律和键盘乐器使用的十二平均律，以及专门研究音乐律学的纯律和这些不同律制之间的关系与应用的学科称为音乐律学。

(3) 电子声学和建筑声学。通过电子电路把声音进行各种特性的加工处理（例如：修饰、美化、扩大和传播）的系统称为电子声学。音响系统的各个单元大部分都属于电子声学领域中的组成部分。专门研究厅堂建筑设计与声学关系的学科称为建筑声学。例如：对剧场、歌舞厅、会议厅、体育馆声学的设计与研究等都属于建筑声学的领域。

(4) 噪声学。专门研究噪声问题的学科称为噪声学。中国科学院设有噪声研究所，专门研究、分析、处理各种噪声。因为噪声对人类生存的危害越来越严重，所以也越来越被人们所重视。许多国家都制定了关于噪声的具体的法律条文，我国也制定了有关噪声的各项技术标准。

## 2. 声音的应用

(1) 水声。声呐技术应用于军事领域，驱逐舰通过声呐探测潜水艇；声呐也用于海底探矿。

(2) 超声波。可应用于各种工程的引爆系统。

(3) 声控。可用于电视机、收音机、录音机以及电子玩具，由声音进行控制。

(4) 语音电话机。使用语音叫播对方电话号码。

(5) 语音打字机。根据语音总体发音规律制作的单音字母打字机。

(6) 语音保险柜。根据每个人音色结构不同原理制作的声锁，例如：瑞士银行出租的语音保险柜。

(7) 音乐医疗。世界上很多国家都建立了音乐疗养院，例如：北京的西山音乐疗养院。音乐医疗对治疗一些心血管疾病、脑神经系统疾病以及一些慢性病都有良好的医疗效果。

(8) 声文技术。众所周知，水文是研究河流、湖泊、水位、地下水、地上水的特性和各种资料的技术。声文则是研究、分析声音的特性与信息的技术，例如：警察利用声文技术破案。

### 1.2.3 声音的主观特性

#### 1. 灵敏度曲线与动态范围

人耳对于不同频率的声音有完全不同的灵敏度，最灵敏的区域是 700Hz~3000Hz 之间，人耳在这一区域内的灵敏度是非常高的。但是，不同的人，甚至同一个人的左右两耳，也可能有大不相同的灵敏度。听觉灵敏度随着年龄的增长而降低，同时，可闻频率上限也会逐渐下降。如图 1-2 所示为人耳的灵敏度曲线。横坐标为频率，纵坐标为声音强度，图中最下一条曲线是听觉的界限，最上一条是痛感界限，两曲线间包括的范围代表整个听觉区域。由图可见，人耳最灵敏的地方在 3000Hz 左右，在 16Hz 以下和 20000Hz 以上的区域，无论强度多大，人耳都不会听到。

痛感闭的声强与可感觉到的声强的比值称为（听力范围的）动态范围。显然，在中频区（500Hz~4000Hz）的动态范围比在高频及低频区要大得多。例如：在 1000Hz 时，动态范围为  $10^{-4}/10^{-16}=10^{12}$ ，而在 30Hz 时则约为  $10^7$ 。

图 1-2 不仅是人耳的灵敏度曲线，同时它又表示声音可听范围、音乐、语言频率范围及音量、动态范围等。

#### 2. 声音强度与音高

音高的变化主要决定于频率，但是和振幅的大小也有一定的关系。当听到一个固定频率的音，而且持续时间较长时，只要强度一有变化，则在听觉上也产生相应的感觉变化。例如：频率在 2000Hz 以下的音，如将强度增大，表面上就感到低了；相反，强度减小，就会感到高了。但频率接近 2000Hz 的声音强度如有变化，就不会产生此种感觉；如果超过 2000Hz 时，它的音高的表面提高程度就不太显著。

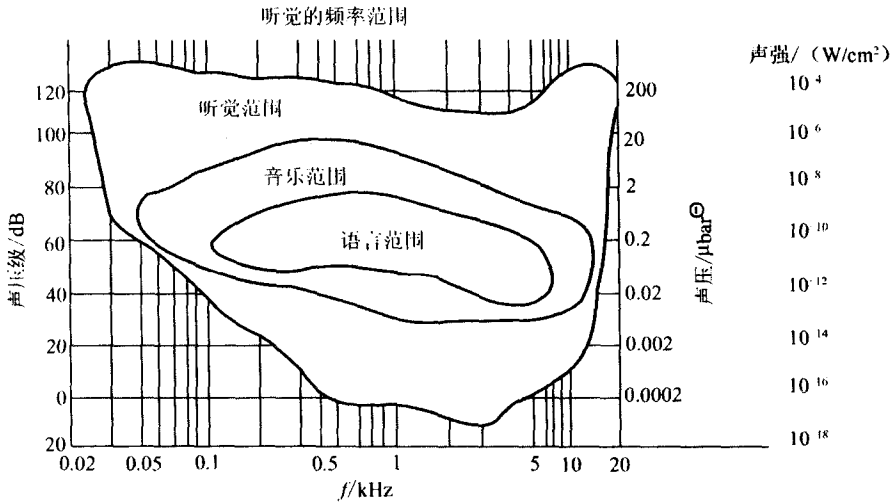


图1-2 人耳听觉的频率范围

如图1-3所示是一些实验结果：横坐标表示频率，纵坐标表示当某一纯音的响度级从40phon（方）增加至图中所示的另一值时，音高的表面变化的百分数。例如：100Hz的声音从40phon的响度级增加至100phon时，音高好像降低了10%；又如，当500Hz的声音从40phon增至100phon时，音高好像只降低了2.5%。

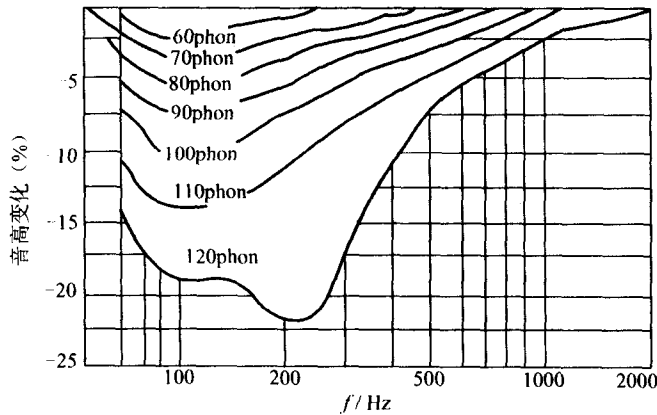


图1-3 音高变化的百分数

声音强度和响度级的变化在一定条件下影响音高在主观上的感觉，这是因为当振幅增加至很大时，声音对于人耳鼓膜的刺激可能使它胀大或变形，鼓膜的重心移动因而影响到神经上的感觉。

### 3. 等响度曲线

人耳对于不同频率的声音有不同的响度响应。用实验的方法比较各种频率下人耳实际感受声音的响度，就可以得到一个用 phon 表示声音响度对频率关系的曲线，这就是有名的



H. Fletcher 和 W.A. MunsOn 两人测定的等响度曲线，如图 1-4 所示。用 1000Hz 的纯音作为参考频率，并选定参考频率的声压级，调节其他各频率的声压级，直到它们被认为是响度相等为止，即得出此图。图中横坐标表示频率，纵坐标表示声级，图中间的曲线代表相等的响度级。

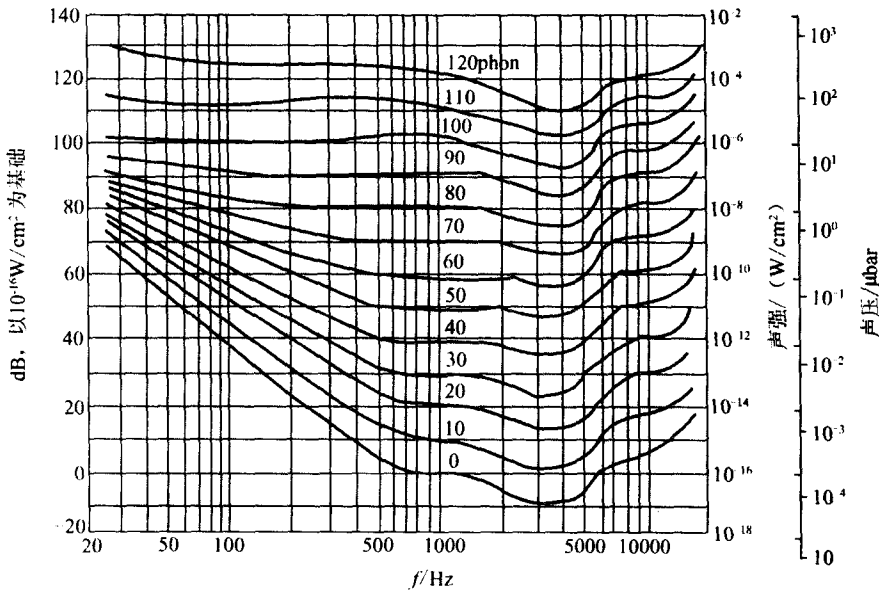


图1-4 人耳听觉的等响曲线

从响度级来看，此图表有以下性质：

(1) 两个声音的响度级 (phon) 相同，但强度 (分贝) 不一定相同，它们与频率有关。例如：80Hz 70dB 的音是 50phon，而 1000Hz 60dB 的音却是 60phon。两者相比，前者大 10dB，而响度级却小 10phon。相反，50Hz 及 500Hz 的两个音，如响度级都等于 20phon，那么强度则不相等，前者是 64dB，而后者是 25dB。

(2) 两个声音的响度级 (phon) 及强度 (dB) 仅在 1000Hz 时才相等。例如：在 800Hz~1000Hz 这个范围内，phon 的变化和 dB 的变化其数值是完全一致的。因此，在这个频率范围内，可以用 dB 代表 phon，如超过此范围则不是这样。但这是在纯音条件下的情况，如具有宽频带的声音或声音较强时（如强的乐队音等），也可用 dB 来代表 phon。

(3) 在响度级大于 80phon 的强大声音时，响度级只决定于强度 (dB)，而与频率无关。在此情况下可以近似地认为 phon 与 dB 值相等。

从图 1-4 可以看出，如果声音在几个不同频率同样声级（如 50dB）时，人耳对于 50Hz 的音则听不到（因低于闻域 ZdB），响度级接近于 0phon；100Hz 的音，响度级为 20phon；300Hz 的音为 40phon；1000Hz 的音为 50phon（这等于 50dB，两者吻合）。对 1000Hz 的音来说，声级每变化 10dB 响度就改为 10phon（在 700Hz~1500Hz 时大体都如此）。但在低频时，如果声级小于 90dB，phon 比 dB 变化得快，这些声音的等响度曲线较密，因而声级每变化 3dB~4dB，