

实用音响调控技巧

高雨春 唐继勇 编著



北京工业大学出版社

实用音响调控技巧

高雨春 唐继勇 编著

北京工业大学出版社

内 容 提 要

本书以专业和民用音响并重,原理介绍和实际应用相结合,重点在实用调试方面,还介绍了如何正确地进行音乐欣赏,怎样做好的设备使用、维护,可供广大音响爱好者参考,适用于各类音响培训班作教材使用。

实用音响调控技巧

编著:高雨春 唐继勇 责任编辑:刘津瑜

北京工业大学出版社出版发行 社址:北京朝阳区平乐园 100 号
徐水宏远印刷厂印刷 新华书店北京发行所经销
开本:1/16 787mm×1092mm 印张:30.5 字数:760 千字
印数:00001~8000 册 1995 年 10 月第 1 版 1995 年 10 月第 1 次印刷

ISBN7-5639-0379-8/T·46 定价:35.00 元

(京)新登字 212 号

前 言

自然界中任何事物存在的方式或运动状态都是用信息进行直接或间接表达的,所以信息是人类社会赖以生存和发展的必不可少的基本条件。声音的传递是诸多信息中最早也是最重要的一种,最早用来记录声音的是,1877年由美国人爱迪生(T Edison)发明的机械式留声机,这种简单的留声机第一次实现了人类对自己声音的记录,而且录制了一首动听的“美丽的小羊”;1888年由德国出生的美国科学家艾米尔·贝林纳(Emil Berliner)进行了重大的改革,他制成圆盘,并把唱针改为水平运动,录制声音信号时演唱者要面对着刻纹刀将刻痕划在螺旋形音槽的侧面,制成了圆盘留声机;1898年丹麦科学家沃尔德曼·波尔森(Valdeman Poulsen)发明了钢丝录音机并取得专利。20世纪30年代出现过钢带录音机,这些都由于质量差而被淘汰。

磁带录音机属于磁性记录技术的再发挥,其最初的理论设想是由美国科学家奥伯林·史密斯(Oberlin Smith)1888年提出的,中心内容是根据电磁感应定律,提出用永久剩磁录音的可能性,并设想把声音记录在磁带上,接着又用磁带进行还原。1926年美国J A Oneil用纸质带基作成了最初的磁带;1928年德国弗洛依玛发明了塑料带基涂敷型磁带,从此奏响了磁带录音机的新篇章。随着音响技术的发展,音响设备不论从机型的繁衍、结构的改进,还是功能的扩展、性能的提高等诸多方面都取得了瞩目的成绩。

在电路方面基本上实现了集成化,目前录音机上应用的集成电路大多采用多片式结构,其形式灵活性大,既可适应单声道使用,也可适合中、高档机,同时也有应用厚、薄膜电路及其与集成电路组成一起的混合电路;在元、器件的选用方面,大量采用新型产品如压电元件、传感器件、陶瓷滤波器、检波器、鉴频器、LED驱动器、锁相环解码器、钟控数字分频器、显示器等,还利用计算机进行CAD辅助设计;在功能方面出现了2.5倍高速快录两套机构,既可独立运用,亦可配合使用双机芯形式,进行自动选曲、自动定位、自动卷带、自动电平控制、自动响度控制,还增设了磁带选择开关、混合录音、编辑等专用功能,同时还有剩余磁带显示,增加了立体声效果等用途;高速复制录音机,复制速度有常规速度的2.5、3、8倍等多种,同时可录制两面磁带,不需翻面,效率很高;在控制部分已由传统的按键式控制开关发展到轻触式按钮开关,使用时只要用手轻轻地一触即可实现各种功能的操作,手感好、噪声低;开门方式则由弹开式发展到阻尼式缓开门或软开门式,目前还出现空气阻尼式、摩擦阻尼式、惯性阻尼式和液压-齿轮阻尼式;在操作方面,广泛使用微处理机控制程序,实现了高度自动化。

数字音响的理论基础始于1937年法国人A·H瑞福斯(Reeves)提出脉冲编码调制(PCM)并获得专利。调制是一种对信号进行变换处理的手段,在信号传递或记录、重放的过程中,可以通过调制将信号变换成适合于电路传输或录放系统记录的形式,这种设想到1948年被香依进一步论证,直到1967年日本NHK才制成第一部数字录音机,当时是利用旋转磁头式数字磁带录音机,直接用录像带作为宽频带记录载体,巧妙地将PCM音响信号存入视频带内;从70年代英国、日本开始研制固定磁头式数字录音机(DASH)并取得成功。

唱片是具有悠久历史的聲音信号记录载体,最早的粗纹唱片以 78r/min 占主导地位,当时所使用的是用发条驱动的手摇唱机;到 1887 年伯利纳(Berliner)发明了平面唱片,利用虫胶压制而成;1931 年首次出现了 $33\frac{1}{3}\text{r/min}$ 的密纹唱片,并逐渐引用氯乙烯、醋酸乙烯树脂等材料;1956 年以后出现高质量的立体声唱片。

磁带是音频信号记录的载体,最早的磁带是 1926 年美国欧奈尔(J A Onell)发明的。光盘是根据激光束照射介质表面时,由于介质各微区具有不同的光学特性使反射光和透射光产生强度和其它特性的变化,并通过光电检测器,读出原先记录在介质上的信号。常用的 CD 唱盘就属于只读型光盘,带有信息的盘片由制造厂直接生产,盘上的信息不能改变,也不能抹除。一次写入型光盘是指工厂所生产的不带信息的盘片,用户可以根据自已的要求录入信息,已经录入信息的盘片,可以进行多次读出,但不能进行改写和抹除。可录、可抹光盘可以非常方便地进行音频信号的抹、录,而且能够多次反复进行。

随着技术水平的发展,更伴有人们物质、文化水平的提高极需更好品位音响效果的欣赏,更加促进了实用音响的发展,本书在进行了设备、器材原理探讨之后,还介绍了使用和维护,而且更多地进行了各种调试技巧的讨论,以期满足人们的需求。

参加本书编写工作的还有植本、仁武伍、寿程之、计酢书、魏纪念、宋冬泉、顾金良、陈克明、傅耀鼎、王雪华、杨昌献、陆兆林、黄永庆、张春寿、戴殿中、高维诚、吴世良、王炳木、孟惕平、崔镜民、林孝龙、胡惠芬、沃汉堂、徐国良、印玉良、冯根发、潘锡宝、凌美英、糜浩清、吕静贤、陶渭南、邓贵生、俞竟成、姜德清、杨德方、祝大中、钱雪珠、朱满生、陈耀昌、周顺祥等同志。

高雨春

1995 年 9 月于北京

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 声学的物理基础	2
一、声音的产生	2
二、声波的传播	7
第二节 声学量	15
一、频率与倍频程	15
二、声阻抗与特性阻抗	16
三、声强	17
四、声源功率	18
五、声压级与声强级	18
六、频谱与谱级	18
七、分贝(dB)	19
八、声学量的迭加	24
九、音质	24
十、信噪比 S/N	25
第三节 人耳感官	25
一、听觉系统	25
二、感受性	26
三、听觉掩蔽	28
四、响度(Sone)	29
五、双耳效应	29
六、失真	30
第二章 声源与音场	32
第一节 声源	32
一、形式与类别	32
二、基本原理	33
三、定位	37
四、电学特性	41
五、利用声源美化音色	45
六、电脑音乐声源	46
第二节 音场	47
一、近场	47

二、远场·····	47
三、定位与真实感·····	48
四、室内音场·····	48
五、声场创造·····	52
六、歌舞厅堂音场·····	52
七、声学房间音场设计·····	54
第三章 电路系统 ·····	57
第一节 调谐器 ·····	57
一、灵敏度·····	57
二、50dB 静噪·····	57
三、信噪比·····	57
四、捕获率·····	57
五、频率响应·····	58
六、立体声分离度·····	58
七、静噪阀·····	58
八、其它性能·····	58
第二节 前置放大器 ·····	58
一、音量控制·····	58
二、音调控制·····	59
三、响度控制·····	63
四、带宽控制·····	65
第三节 传声器 ·····	65
一、传声器技术参数·····	66
二、传声器应用技巧·····	75
三、传声器的种类·····	81
第四节 电唱机 ·····	96
一、结构形式·····	97
二、展望·····	103
第五节 录音机 ·····	104
一、盘式录音机·····	104
二、盒式录音机·····	106
三、电路原理·····	111
四、技术要求·····	126
第六节 扬声器 ·····	130
一、应用特点·····	130
二、扬声器的种类·····	135
三、电动扬声器·····	141
四、监听扬声器·····	150

五、音箱	150
第七节 激光唱机	155
一、激光束与激光头	155
二、数字信号处理	163
三、伺服电路	176
四、DAT	184
五、DCC	199
六、MD	204
第八节 耳机	212
一、分类和特点	212
二、应用	215
第九节 调音台	217
一、分类与功能	217
二、电路形式	219
三、调控技巧	224
四、调音台数字化趋势	233
第十节 功率放大器	234
一、特点和分类	234
二、甲类功率放大器	235
三、乙类功率放大器	236
四、甲乙类功率放大器	237
五、OTL 电路	237
六、OCL 电路	239
七、BTL 电路	241
八、集成电路功放电路	242
九、适应电源不稳定的功率放大器	243
第四章 结构与结构件	246
第一节 轻触式传动机构	246
一、选曲机构	246
二、轻触机构	247
第二节 机芯与马达	248
一、开门方式	248
二、按键结构	248
三、材料方面的发展	249
四、小型化	249
五、马达	249
第三节 电子调谐与数字显示	250
一、电子调谐	250

二、数字频率合成调谐器	250
三、微处理机的应用	251
四、数字化显示	251
第四节 电路程式立体化	252
一、柯林斯型(Corinth)	252
二、预先混频型	252
三、互德爾型	252
第五节 磁头	252
一、结构特点	253
二、分类	253
三、技术性能	254
四、使用与维护	255
五、检修与替代	257
第五章 信息记录载体	260
第一节 唱片	260
一、工作原理	260
二、制作要点	261
三、主要特点	263
四、形形色色的唱片	264
五、主要特性	266
六、使用与维护	268
第二节 磁带	269
一、录、放音原理	269
二、主要特征	271
三、分类与选择	272
四、生产制作	277
五、电磁性能和机械性能	277
六、使用	279
七、维护、保养	280
八、检修	282
第三节 磁盘	285
一、硬盘	285
二、软盘	286
第四节 光盘	287
一、基本原理	287
二、结构特点	290
三、分类	291
四、特点	296

五、警惕劣质激光唱片	297
六、应用与前景	297
七、使用与维护	297
第五节 数字音乐带	298
第六章 声音功能效果处理	299
第一节 时间效果处理	299
一、变速处理	299
二、混响	303
三、延时器	315
第二节 频率效果处理	318
一、音调控制器	319
二、均衡器	325
三、高低通滤波器	344
四、陷波器	346
五、激励器	349
第三节 振幅处理	354
一、机理	354
二、压限器	355
三、啞音控制器	364
四、噪声门	365
第四节 噪声与降噪	369
一、噪声的来源	369
二、降噪机理	371
三、降噪方法	372
四、杜比降噪	380
五、电路检修	396
第五节 歌舞厅的调控	397
一、总体技术要求	397
二、响度平衡	397
三、频率补偿	397
四、延迟混响	399
五、DJ 系统的使用	400
六、取样器的使用	401
第七章 选择方法和技巧	402
第一节 选购的科学性	402
一、选购的科学性	402
二、选购的实用性	403

三、精品意识	403
四、欣赏水平	403
五、越简洁越好	406
六、音质主观评价	406
七、中性选择	407
八、美妙的色彩	408
九、注册商标	409
第二节 收音机	409
一、形形色色的收音机	409
二、怎样挑选收音机	411
第三节 录音机	412
一、形形色色的盒式录音机	412
二、各种盒式录音机的结构特点	414
三、录音机的主要性能指标	415
四、怎样选择录音机	416
第四节 电唱机	418
第五节 组合音响与音响组合	419
一、组合形式	419
二、组合音响的选择	421
三、音响组合	423
四、组合实例	427
第六节 激光唱机	436
一、CD 唱机的种类	436
二、怎样选购激光唱机	438
三、袖珍 CD 机的选购	439
四、怎样识别盗版	440
第七节 歌舞厅设备配置	440
一、调音台	440
二、功放器	441
三、混响器	441
四、激励器	442
五、扬声器和音箱	442
六、传声器	442
第八节 电声器材	443
一、电钢琴	443
二、电子琴	443
三、电吉它、电贝司	443
四、电子合成器	444
五、音源与 MIDI 主键盘	444

六、效果器	444
七、电子鼓机	444
八、乐器音箱	444
第九节 AV 选择	445
一、VSX9500S	445
二、RX508	447
三、家庭影院和 AV 中心	448
第十节 卡拉 OK 伴唱机的选购	449
一、类型	449
二、选购与使用	450
第八章 使用与维护	451
第一节 使用方法	451
一、调频广播的接收	451
二、十波段收音机的使用	451
三、怎样使用录音机	451
四、组合音响的使用	455
五、电子琴的使用	456
六、唱机的应用	457
七、激光唱机的使用	457
八、音响组合的使用、维修与保养	462
第二节 音响设备的连接	462
一、电源安装	462
二、电路连接	463
三、共模抑制	463
四、射频干扰	463
五、信噪特性	464
六、电器连接	464
七、扩音机与扬声器的配接	465
八、音箱与扬声器的连接	465
九、接地	466
第三节 合理放置	467
一、合理摆放	467
二、防磁	468
三、巧摆音响获靓声	468
第四节 维护与保养	471
一、日常维护	471
二、使用与保养	474

第一章 概 论

音响技术属于物理学的分支,是研究声波发生、传播、接收以及声信号处理的学科。由于科学技术的发展,以及生产、生活的实际需要,其研究范围正在日益扩大。

日常生活中,人们无时无刻不同声音打交道。很早以前,声音就引起了人们的注意,特别是作为一门艺术,最先引起人们的兴趣,而且声学的发展同音乐艺术有着密切的关系。

我国是对声学作出突出贡献的国家之一,早在《诗序》上就说过,声成文谓之音,音和乃成乐,声、音、乐三者不同,但有时又相通,一般常用声音表示。响是声,但与声、音又不同,“响之附声如影之著形”,所以响是声的作用。特别是使人对声响产生感觉。噪则是“群呼烦扰”或“扰”。可见,当时对声现象的观察与理解之深刻。我国在音乐声学方面的研究,不但是世界上开展最早的国家之一,而且也更具有系统性。相传在黄帝时就有了宫、商、角、征、羽的五声音阶,而对管乐器发音规律的研究,在公元前6世纪的《管子》中,就明确记载了“三分损益法”,并得到了十二律。到了东汉时期,王充对声音波动性质提出了明确的看法。宋朝张载更提出了“声音形气相轧而成”,说明物体振动产生声和气流冲动物体发声的原理。同一时期,科学家沈括在《梦溪笔谈》中,提出了弦乐器的共振现象,并对板乐器中的振动面、振幅与响度之间的关系均有阐述。

国外声学的研究始于公元前5世纪,希腊华达哥拉斯(Pythagoras)研究过弦的振动规律,将音乐从原来的三音发展到七音;后来,阿里士多德(Aristotle)提出了声音特性应以音调、强度与音色表征,并注意到其与空气质点运动的速度、被激发空气量以及发声器的构造有着密切关系。到了中世纪,出现了一段停滞阶段,在16世纪至17世纪时期,伽俐略(Galileo)深入地研究了弦振动规律,解析了共振现象;梅尔斯(Marin Mersenne)和加桑地(Pierre Gassendi)先后测定了声音在空气中的传播速度,并证明了声速与音调无关。1687年,牛顿(Newton)从理论上导出了计算声速的公式,但由于他将介质中通过声波时的膨胀与压缩过程认为是等温过程,使公式计算值与实验值不符,到1816年拉普拉斯(P S Laplace)对其进行了纠正。后来,利喇顿(J D Colladon)与斯吐尔木(J C F Sturm)于1827年测定了水中的声速,也证实了拉普拉斯公式的正确性。

18~19世纪期间,电磁学、数学、流体力学、弹性力学等学科的发展,对声学理论的发展起了很大的推动作用。欧拉(Euler L)与伯努利(Bernoulli)以及达朗伯(J D' Alembert)等对振动问题作了不少研究,发展了弦振动理论,对理解声波传播有很大帮助。19世纪初,克拉德尼(E E F Chladni)用实验方法详细地研究了各种弹性物体,如弦、棒、板等的振动,为实验声学开辟了一条道路。19世纪30年代,韦伯兄弟(W Weber & E H Weber)与萨瓦(F Savart)等人研究了声音在液体与固体中的传播,并证明了这种传播与在空气中的传播是服从相同规律的。19世纪中叶,声音与生理的关系也受到注意,欧姆(Ohm)提出了人的听觉只与组成声音的各谐波的振幅有关,而与它们之间的相位无关,创造了用频谱分析来研究声

音的重要方法。赫姆霍兹(Helmboltz)发展了“声音分析法”,用赫姆霍兹共鸣器阐明了音乐与语言的物理本质。19世纪末,古典声学发展到了最高峰,瑞利(Rayleigh)从统一理论出发,系统地陈述了声学全部知识。

20年代开始出现电子管,使声学的发展进入了新的阶段,人们不再局限于研究音频范围内的声振动,而有可能获得更高或更低频率的声波,同时使声学研究超出声波基本性质研究范围,而渗透到近代科学与现代工业,以及生产与生活的各个领域中去,为声学的发展开辟了一个广阔的天地。

随着科学技术的发展,以电声为基础的各种艺术作品中的音响效果越来越受到人们的重视。这是由于艺术作品中声音是以其综合的音响效果为人们所接受的,正如交响乐的配器、总谱和最后的总体演出效果是一样的。

以电声为基础的艺术作品主要指的是广播、电视、电影和唱片,其中广播和唱片是借助于声音表达作品内容的;电视和电影是由声音和图像组成,是通过这两种形式共同传播信息的。在这些作品中,声音是用来表现一定的自然现象与社会生活的全貌和细节的,对其内容和人物的刻画、气氛的渲染都起着极其重要的作用。因此,正确地运用声音也成了艺术作品中的重要因素。

将艺术作品中的声音可以简要地分成为语言、音乐和效果三个部分。不同的人物、不同的场合、不同的要求对这三要素的追求是不同的。其中效果则是人们所追求的最终因素。

艺术作品中的音响效果是声学处理中最突出、最重要、最具代表性的指标。实际生活中总是通过各种技术手段,包括设备和技巧努力创作,以达到要求。

要创作一部完美的具有很高水平的音响效果作品首先必须具备良好的电声学基础,其中包括对原始声源的理解、声源特性以及对声学制作环境的认识。

声音基础是创作人员必须具有的基本知识,同时也是欣赏者及音响爱好者必备的艺术修养,其中主要包括美学认识、情感投入和艺术构思等。

第一节 声学的物理基础

声音是通过机械振动产生的,而又以波动形式传播的,这就是最基本的声学物理基础。声音的产生与传播方法很多,下面就有针对性地介绍与实用技术相关的内容。

一、声音的产生

声音是由声波刺激人耳所引起的感觉。产生声音必须满足两个条件,一是振动物体,二是使声波传播的媒体。

振动是研究声学的基础,声学现象实质上就是传声媒体质点所产生机械振动过程的表现,而且声波的发生基本上也来源于物体的振动。声音在本质上是波动,其传播是振动物体在媒体中以波的形式体现,声波是物质运动形式,声音是由物体振动而产生的。因此,从物体振动的规律可以预知声音的一些规律。

任何振动物体都可以发出声音,例如拉小提琴时,琴弦受到琴弓的摩擦产生振动,会发出琴声;敲鼓时,鼓槌敲击鼓膜,使鼓膜产生振动而发出“咚咚”的鼓声,人在讲话的时候,把手放在咽喉的外部,就会感到咽喉内部在振动,这是由于肺部气流冲击咽喉声带产生振动,使口鼻腔内的空气产生共鸣而引起的。

一个质量为 m 的物体与一个忽略了质量的弹簧组成的集中参数振动系统,如图 1-1-1所示。在这个系统中质量集中在一点,整个弹簧弹性也是均匀地集中在一点,运动状态都是均匀的,所以称为集中参数系统,它具有一定的普遍意义。在这种情况下,可以认为没有外加作用,而且摩擦阻力可以忽略,那么质量的重力与弹簧的弹力相平衡,系统处于相对静止状态。若取质量 m 的静止位置为坐标原点,当有一外力突然在 x 方向拉动 m ,使弹簧产生伸长,随即释放,此时质量 m 的物体在弹簧的弹力作用下,会在平衡位置附近往复运动并发生了振动。如果外力仅在初始时刻起作用,而后就去掉了,在这种情况下,质点所作的振动称为自由振动。根据虎克定律,当形变不大时,弹力 F 和物体位移 x 成正比,但与位移的方向相反,即

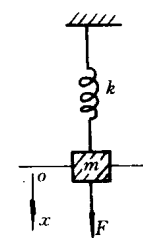


图 1-1-1 集中参数系统

$$F = -kx$$

式中, k 为弹簧的弹性系数, k 值越大,表示弹簧越硬,越不容易变形。

根据牛顿第二定律,作用力 F 与质量 m 、加速度 a 的物体应满足以下关系:

$$F = -ma$$

将以上两式相加可计算出 a ,即

$$a = -\frac{k}{m}x$$

由上式可见,弹簧振子的运动规律是加速度的大小与位移的大小成正比,但方向相反。凡是遵循这种规律的运动,就叫做谐振运动。

如果在弹簧振子上装一支小笔,后面放记录纸带,使笔尖恰好与纸带接触,当弹簧振子振动时,把纸带匀速地向右移动,这时在纸带上就会描绘出物体位移随时间变化的曲线。这种变化的曲线就叫做振动曲线,如图 1-1-2 所示。物体振动时,以一定幅度在平衡位置附近往复运动,反映运动幅度的量,叫做振幅,如图 1-1-2 中的 A 值。物体完成一次振动所需要的时间,叫做周期,通常用符号 T 表示。周期 T 的倒数是频率 f_0 ,将上述曲线用函数表示,应为

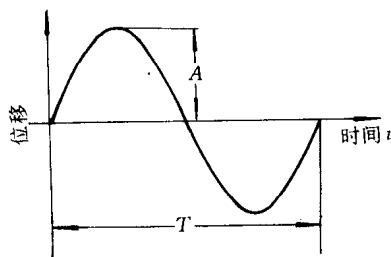


图 1-1-2 振动曲线

$$x = A_0 \sin \omega_0 t$$

式中,

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi}{T}$$

ω_0 称为振动角频率或圆频率,它等于 2π 秒内的振动次数。位移对于时间的导数是物体运动的速度 v ,即

$$v = \frac{dx}{dt} = A_0 \omega_0 \cos \omega_0 t$$

当 $\omega_0 t = 1$ 时,振动速度 v 达最大值,即 $V_{\max} = A_0 \omega_0$,叫做振速幅值。当振幅 A_0 一定时,它与频率成正比。由此可知,当位移 x 随时间以正弦函数的规律变化时,振动速度 V 随时间以余弦函数的规律变化。由于 $\cos \omega t$ 在 $-1 \sim 1$ 的范围内变化,因此 V 在 $-V_{\max} \sim V_{\max}$ 范围内变化, v 为正时表示向下运动,为负时表示向上运动。

速度对于时间的导数就是加速度。因此,物体振动的加速度 a 为

$$a = \frac{dv}{dt} = -A_0\omega_0^2\sin\omega_0t$$

同样,加速度的最大值为

$$A_{\max} = A_0\omega_0^2 = V_{\max}\omega_0$$

当振幅一定时, $A_{\max}$ 与频率的平方成正比,它随时间以正弦函数的规律变化。由上述分析可见,加速度与位移时间变化的规律是相同的,但符号相反。

$$a = -\omega_0^2x$$

加速度的大小与位移的大小成正比,但方向相反。谐振运动就是位移随时间以正弦或余弦函数的规律变化的运动。弹簧振子作谐振运动时,其频率由本身的质量与弹性所决定,与振动的振幅无关。这种完全由振动系统本身性质所决定的振动频率,叫做振动系统的固有频率。

谐振运动是最基本的振动,各种复杂振动可以看成是由许许多多不同振幅、不同频率谐振迭加而成的,叫振动频谱。不同时刻物体运动处于不同的状态,由正弦或余弦函数内的角度 ω_0t 决定,这个角度叫做振动位相或相位,用以描述振动物体运动状态的“瞬时”情况。例如,当 $\omega_0t=0$ 、 $x=0$ 时,物体处于平衡位置,此时 $v=V_{\max}$;当 $\omega_0t=\pi$ 、 $x=0$ 时,物体又回到平衡位置,这时 $v=-V_{\max}$,两种情况下虽然都处于平衡位置,但状态是不同的。 $\omega_0t=0$ 相对应的状态,物体自平衡位置向下运动; $\omega_0t=\pi$ 相对应的状态,物体通过平衡位置向上运动。与这两种状态相对应的“相位”相差 180° 。由于这时正弦或余弦函数正负符号相反,通常称相位相反,简称“反相”。与此类似,当 $\omega_0t=2\pi$ 时,正弦或余弦函数与开始 $t=0$ 时相同,即物体完成一次振动后恢复到原来的状态,因此通常称它们的相位相同,简称“同相”。由此可见,相位相差 π 的奇数倍时为反相,相位相差 π 的偶数倍时为同相。

如果振动速度 v 随时间变化的关系也用正弦函数表示,当位移 x 的相位为 ω_0t 时,振动速度 v 的相位则为 $\left(\omega_0t + \frac{\pi}{2}\right)$,两者相差 90° 。位移的相位比振动速度的相位“落后” 90° ,或者说,振动速度的相位比位移的相位“超前” 90° 。与此类似,振动加速度 a 也可以用函数表示,当振动速度的相位为 ω_0t 时,加速度的相位为 $\left(\omega_0t + \frac{\pi}{2}\right)$,这表明振动速度的相位比加速度的相位“落后” 90° 。

在一般情况下,开始作谐振运动时,位移的相位不一定为零,谐振运动方程可写成下面比较普遍的形式:

$$x = A_0\sin(\omega_0t + \varphi)$$

式中, φ 为 $t=0$ 时的相位,叫初相位,它表示物体在开始振动时的状态。

1、谐振动的能量

任何一个时刻振动系统的能量 E 是由动能与位能两部分组成的,即

$$E = E_K + E_P = \frac{1}{2}mv^2 + \int_0^x kxdx$$

由上式积分可得

$$E = -\frac{1}{2}mA_0^2\omega_0^2\cos^2\omega_0t + \frac{1}{2}kA_0^2\cos^2\omega_0t$$

故有

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} \quad E = \frac{1}{2} k A_0^2$$

$$E = \frac{1}{2} k A_0^2 = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A_0^2 = \frac{1}{2} m V_{\max}^2$$

为了计算方便起见,假定初相位 $\varphi = 0$ 。可见,任何时刻系统的总能量都等于物体位移最大时的位能 $\frac{1}{2} k A_0^2$ 或物体振动速度最大时的动能 $\frac{1}{2} m V_{\max}^2$ 。如果将 $\omega_0 = 2\pi f_0$ 代入上式,则有

$$E = \frac{1}{2} m \cdot 4\pi^2 f_0^2 A_0^2 = 2\pi^2 f_0^2 A_0^2 m$$

这就是说,任何时刻系统的总能量 E 与固有频率 f_0 的平方和振幅 A_0 成正比。计算物体作谐振运动动能的平均值时,仍然假定 $\varphi = 0$,其动能 E_K 为

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m A_0^2 \omega_0^2 \cos^2 \omega_0 t$$

$$\text{设 } E_{K\max} = \frac{1}{2} m A_0^2 \omega_0^2 = \frac{1}{2} m V_{\max}^2$$

上式可简化为

$$E_K = E_{\max} \cos^2 \omega_0 t$$

由此可见,动能随时间以余弦函数的平方规律变化,且总是正值。如果引入振动速度的“有效值” v_{rms} 来代替变值 v ,就要求物体以有效值速度运动时动能正好等于物体振动平均动能。速度有效值是最大值的 0.707 倍,结果是以余弦函数的平方,随时间变化,然后开方而得,因此有效值也叫均方根值。与此类似,位移、加速度、作用力以及声压等,随时间以正弦或余弦函数的规律变化,都可以引入有效值来描述。实际计算也是先平方,后平均,然后开方。应用过程中,往往只要求了解振动整个的概貌,而不必要细致地描述各振动状态,这时以最大峰值及有效值等固定值来代替随时间迅速来回振动的变值是比较适宜的。

2、阻尼振动

许多情况下,物体的线性同声波在其中传播的波长是可以比拟的,叫做分布参数系统,即质量在空间有一分布,弹性系数以及阻尼系数也同空间有关,而且空间每一质量中还包含弹性与阻尼,即所谓弹性体。其振动过程中,总是有阻力作用,振动机械能不断地转化为其它形式的能量,如果不给予补充,经过一段时间后,振动就要停止下来。这种能量不断消耗的振动,叫做阻尼振动。

机械能的减少通常通过下列两种形式:一种是摩擦阻力的作用,使振动的机械能转化为热能,叫摩擦阻尼;另一种是由于辐射的作用,使振动的机械能转化为声能,以波的形式向四周辐射出去,叫做辐射阻尼。由于振动能量与振幅的平方成正比,物体作阻尼振动时,如果没有能量补充,它的振幅将随能量的减少而逐渐衰减,这时阻尼振动又叫做减幅振动。阻尼振动的典型的振动曲线如图 1-1-3 所示。

由图可见,在一个位移极大值后,每隔一段固

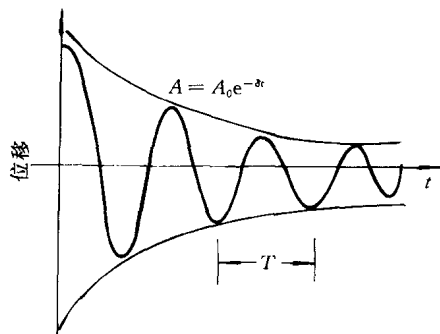


图 1-1-3 阻尼振动曲线