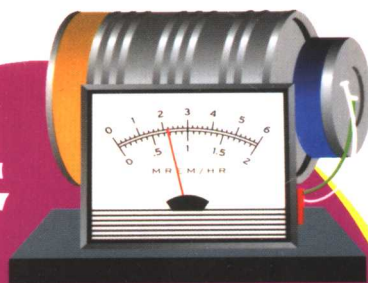


图解电子创新制作

传感器 电子制作 DIY



〔美〕 Tom Petruzzellis 著
李大寨 译

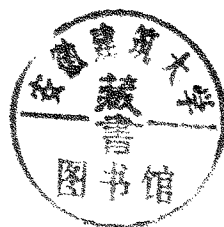
54 例

图解电子创新制作

传感器电子制作

〔美〕 Tom Petruzzellis 著

李大寨 译



科学出版社

北京

图字: 01-2006-5209 号

内 容 简 介

本书是“图解电子创新制作”丛书之一。本书将介绍运用各种传感器感知和测量光、声、热、气等物理量以及振动、磁场、电场、无线电和辐射等现象的方法。全面系统地介绍了 54 种传感器实验项目的制作过程及方法,并给出了制作过程中的各种操作技巧。并通过所提供的实验项目给大家很多有用的信息以及一些创新的理念。本书提供了大量的照片、示意图及表格。同时,还附有元器件供应商以及所用工具的来源。

本书可供传感器产品的设计与开发人员阅读,也可作为电子类相关专业的高校师生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器电子制作/(美)Tom Petruzzellis 著;李大寨译.——北京:科学出版社,2007

(图解电子创新制作)

ISBN 978-7-03-018679-9

I. 传… II. ①T…②李… III. 传感器-制作 IV. TP212-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 028704 号

责任编辑:赵方青 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:朱 平

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

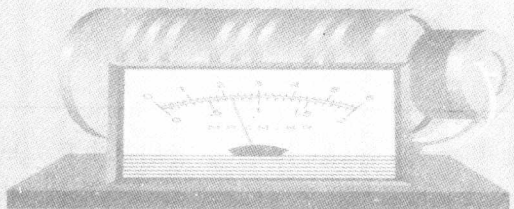
2007 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2007 年 4 月第一次印刷 印张: 19

印数: 1—5 000 字数: 349 000

定 价: 36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)



前言

本书旨在引导学生、电子技术爱好者以及各年龄层对电子制作感兴趣的人步入科学的殿堂,同时激励那些求知欲强的读者去探索人类感官无法感知到的自然界中的光、声、电等领域。对于那些电子爱好者以及使用电子传感器做实验的电子工程师来说,也极具参考价值。

本书将向读者介绍如何感知和测量光、声、热、气,以及振动、磁场、电场、无线电和辐射等物理量。在书中,还会看到肉眼看不到的、听到人耳听不到的以及感觉到平时感觉不到的事物,同时有助于读者认识我们周围看不见摸不着的能量,甚至能感知和监测它们。这本书将引导读者兴味盎然地去探索光怪陆离、神秘莫测的自然现象。将会向读者介绍能够把能量由一种形式转换为另一种形式的各种各样的传感器。

希望本书能够激励读者亲自动手制作书中所介绍的传感器,并帮助那些对科学感兴趣的读者通过电子传感技术来揭示这个自然界的奥秘。

书中提供了大量的照片、示意图及表格。同时还提供了元器件供应商以及所需的工具的来源。

1——声 能

声能是我们观察周围自然现象很好的一个切入点。人耳所听到的声音只是声谱中很有限的一部分。人类只能听到频率在 $20\text{Hz}\sim 15\text{kHz}$ 之间的声音。实际上自然界中很多声音的频率都不在人耳能听到的范围之内,虽然不可能全部探测到这些声音,但是探测它们是一件有趣的事。

在本章中,将探索有趣的声世界以及超声波和次声波等现象。读者将学会如何监听动物发出的高频声音及远处别人的谈话,还会学习如何利用电子听诊器来查找机器的故障。在制作完成水中听音器和声音放大器之后,可以利用它们倾听水下的所有声音。读者会了解到频率低于可听见声谱的次声波(就像红外线的波长低于红色光的波长)和频率高于可听见声谱的超声波(就像紫外线的波长高于紫色光的波长)。人耳能感觉到的最短波长声音频率($20\,000\text{Hz}$)是最长波长声音频率(20Hz)的 1000 倍。

本章将带领读者制作一个超声波探测器,借助它可以听到人耳无法听到

的昆虫声音和其他声音。也会研究次声波,它通常由较大的能量产生,如大气、天气的变化或地震。读者还将学习如何制作微气压计,用它可以探测到由于气压变化和即将到来的暴风雨引起的波长很长的声压波。

2——光的探测和测量

尽管在可见光谱中人眼可以识别大约一千万种颜色,但这一千万种颜色实际上只集中于很窄的一段波长上。这就相当于把所有人造无线电频率放入狭窄的 550~880kHz 标准调频无线电频谱中。眼睛像是一种令人惊异的电磁接收器,想一想只是瞥了黄色的东西 1s,视网膜上的电子簇就会在这 1s 内振动 5×10^{15} 次。如果想数清地球上所有海滩上的波浪的话,要数上一千万年,就像数清楚 1s 内黄色的光引起的电子簇振动的次数一样。

在本章中,将进一步介绍光传感器,如光电池和太阳能电池以及如何使用光电池来探测光的有无。详细地讲解测量太阳常数,如何探测紫外线及空气层中的臭氧的方法。读者还可以使用光探测器来探测光声现象,即可听到由运动调制出来的光所发出的声音。可以通过耳朵、变送器及声音放大器在广阔的光领域探测光、声,而不是通过眼睛来观察。在制作完成光-声探测器之后,就可以听到电子显示器、自动照明灯、火焰和闪电的“歌唱”。可以听到任何光源发出的声音。此外,读者可以通过自己制作的光学转速计来测量物体的运动速度。最后,会介绍如何使用光度计来探测和衡量水的污染度。

3——热能探测

热量从一个地方转移到另一个地方有三种方式,即热传导、热对流和热辐射。热传导是热量在物质内分子间传递的过程,当金属棒的一端放在火里时,另一端很快就变热了,这是因为热量通过热传导从金属棒的一端传递到另一端(以分子间传递的方式)。热对流是热量通过被加热物质的流动来传递热的过程,因此热对流一般以液体或气体为媒介,房子由于其里面热空气的热对流而变得暖和。第三种是热辐射,无论是在热传导还是在热对流中,热量都是通过移动的微粒(如分子)来传递的。然而在不存在传播媒介的地方,热量的传递就需要通过热辐射的方式。例如,太阳发出的热量跨越九千三百万英里到达地球,当一朵云挡在太阳和地球上的某一点时,那一点的热量将会大大减小或根本没有了,这是因为太阳发出的热量是通过波的形式传播或辐射的。

热波和光波本质上是相同的,它们都属于电磁辐射,其不同之处在于波长的不同,热波的波长比光波的波长要长。热波光谱靠近无线电的那部分波段称为红外线。

在本章中将设计一种红外线火焰探测器,它能够感应到远达 3ft (1ft =

0.3048m)的火焰。读者还将学会如何制作冰点报警器,在路面结冰的情况下它会发出警报,提醒司机小心驾驶;以及如何制作过热报警器,在机器或是冰箱发生过热的情况下它会发出报警。此外,还会学到一种由录音机记录数据的远距离温度数据记录仪,利用该设备在野外记录数据然后把数据传回到实验室里。更加高级的项目包括 LCD 温度计、夜视仪及红外运动探测器,红外运动探测器可以探测到方圆 50ft 的入侵者,因此它也可以用作家庭报警系统。

4——液体传感器

本章将介绍液体传感器。液体传感器是传感器家族中有趣且重要的一族。本章介绍的第一个项目是一种简单且有效的雨水探测器,雨水探测器能够探测到即将下雨之前的少量雨滴,这样你将有时间关上汽车车窗或收起晾晒的衣服及其他一些物品。当用作天气数据收集系统中时,它能够精确地记录降雨时间。在本章中,还要介绍如何制作液位显示器。液位显示器可以显示在某个容器中还有多少剩余的液体。气象爱好者还可以学到如何制作湿度传感器,用来测知家里或商店周围的湿度。“小科学家”们将会了解什么是 pH 值以及如何利用廉价且易安装的元器件制作 pH 计。自然和生态爱好者们将学会如何制作和使用水位监测器来研究河流水位的变化。

5——气体检测

气体探测总是显得很神秘,因为空气和许多气体既无味又无色。但是借助现代电子技术,人们便能够检测到空气和大气中的各类气体。本章将介绍如何制作一个空气压力传感器,它可以用来探测门的移动及车辆的靠近。之后要介绍的电子嗅探器可以探测到很多种不同的气体并发出警报。利用图形条压力传感器,可以探测到水和空气的压力变化,并把变化的程度显示到发光二极管上。另外还要介绍一种新的粒化电阻易燃气体传感器是如何工作的,并展示如何设计有毒气体传感器。天气爱好者们将会非常高兴地学到如何制作电子气压计,它可以用于气象观测站的基础设备中。

6——振动传感器

震动探测是传感器技术应用的一个方面。震动探测主要用于地震学研究,用来监控地震的发生。地震学也包括研究炸弹爆炸的迹象和位置,从而可以验证谁违反了核武器试验条约(也就是用来监视其他国家的炸弹爆炸实验)。

震动探测技术也能够用来解决工业中的问题,还可以用来监测地球内部的地震。你知道震动探测技术可以用来探测发动机和电动机里的震动吗?随

着时间的流逝这些问题可以得到解决。在本章的开篇,会介绍一个震动计时器,这个简单而独特的仪表可以记录某件事情发生的时间长短,只要震动持续发生,计时器就会一直记录时间。

下一个要介绍的项目是震动报警器,当有人或动物入侵时它会通知你。该项目使用一个普通扬声器作为探测震动的探测头。该震动报警器也可以用来吓走误闯入花园的动物及警告入侵者。第三个项目是压电式地震感应报警器,它用气体压电点火装置作为地震传感器。这个报警器对于刚接触电子制作的人来说是一个很有趣的项目。本章中更复杂的项目是 AS-1 地震仪,它可以探测全球发生的地震。这个地震仪可以用于业余研究和观测,许多学校都免费地在使用 AS-1。

7——检测磁场

磁场存在于人们的周围,但是人类的感觉器官不能感受到磁场的存在。要探测磁场就必须提高我们的感知能力,通常仅用一些线圈及放大器即可探测到磁场的存在。某处磁场只能存在于一定距离内,但是磁场和电场可以结合在一起形成电磁场。当电场与磁场正交时,磁场变为电场的一部分,会形成一串复杂的随时间变化的波,称为电磁波。电磁波像无线电一样在空间辐射。

本章将介绍各种不同类别的磁场传感器,小的磁感应线圈可以与“电磁听筒”一起用以找到电子管和金属;较大的线圈探测器可以探测到移动的汽车或火车产生的磁场。本章还将介绍如何制造一个电子指南针,称为 ELF 辐射监测器,它可以用来监测家中是否有潜在的低频磁场,这是比较危险的。在本章中还会介绍如何使用电离层干扰接收器来研究无线电的传播,读者也将学会如何制作和使用这种接收器。最后要介绍的是地磁磁力计,它可以用来探测来自太阳的磁极风暴。

8——感知电场

研究者最初是借助电场来观测自然现象的。许多最初观察到的静电现象涉及动物的皮毛、头发、玻璃或是石头。这些现象的观察对电荷间的作用定律和电波的发现起到了推动的作用,并为以后电子学的产生打下了基础。本章将为读者介绍基本静电学、电场和电磁场,电场与磁场正交时会产生电磁波的相关知识。

读者在本章会了解到所有不同频率的电磁能在本质上是一样的。电场和磁场在一起形成了电磁波。电场和磁场变化时存在两个特点:电场和磁场总是相互正交的,并且传播方向也正交;随着传输距离的增加,电场和磁场都变得越来越弱。

读者会了解经典验电器、莱顿瓶、静态管的用途,以及学会如何制造和使用云室来探测微粒。实际介绍的项目包括离子探测器、电子验电器和大气静电监测器。向年轻科学家们介绍的高级项目有先进验电器和云层电荷监测器,云层电荷监测器可以探测并显示出头顶上云层中的电荷。本章的最后一个项目是电场干扰监测器,它可以在电场中发现人体并发出警报。电场干扰监测器可以用于各种电场研究或者作为家庭、校园里的报警系统。

9——无线电项目

电磁能频段的频率范围很宽。电磁能量在自然界中存在的一个典型例子是闪电,闪电产生电磁信号的时候会向空间释放出巨大的能量,闪电产生的电磁信号包含从几赫[兹]到覆盖整个广播波段的频率,在这个频段人们能听到AM广播。自然界中存在的各种频率的无线电信号如木星的雷暴都可以在短波频率段探测到。

本章中读者将会了解到各种各样的无线电频率,包括由闪电和行星风暴产生的无线电信号,以及电视、通信和雷达产生的无线电信号。无线电频率覆盖了一个很宽的范围,从高能海军无线站与核潜艇通信用的低波段(10~25kHz),到大家所熟悉的550Hz~1600kHz广播频段;从2000~30000kHz短波段,一直到电视使用的54~216MHz高频段;从非常通用的调频88~108MHz,到雷达使用的1000~15000MHz,也可能会达到300GHz。无线电频谱实际上达到了可见光频率的最低极限。

读者还可以开发和使用一些其他的无线电接收器。第一个要介绍的项目是电子闪电探测器,它可以预测即将到来的暴风雷雨,这对于气象研究者来说是一个很好的项目。第二个要介绍的项目是天然无线电探测器,它可以用来探听大自然产生的低频无线电信号,如大气干扰发出的吱吱声、砰砰声及啸声。为什么不自己动手做一个短波无线电收音机收听地球另一边的无线广播呢?或收听来自欧洲和非洲的令人兴奋的音乐和新闻?高级一些的项目,如木星射电望远镜可以让你观测到木星上行星风暴的情况,这对于从事射电天文学的研究者来说是一个很好的项目。

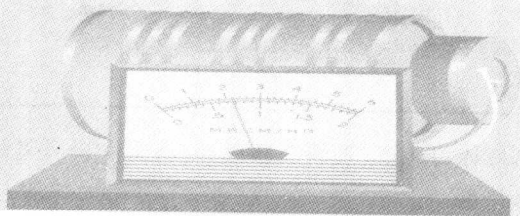
10——辐射感应

辐射光谱一般分为电磁辐射和电离辐射。电磁辐射就是可见光和波长较长波,如热能和无线电波。来自太阳辐射的大多数能量波就在这个范围内。借助这些光波人们可以看见物体,种植植物,为太阳能电池提供能量。电离辐射是一种有足够能量使电子离开原子所产生的辐射。电离辐射包括高速粒子及高能量电磁波。高速粒子可以是光子、电子或电离成的元素,如氢元素和铁

元素。这些电离成的元素没有电子。

当这些高速粒子穿过物体时,它们可能对物体造成破坏,也有可能陷在物体中。当穿透物体时,在它们后面会留下一串离子(就是失去电子的粒子)。沿运动轨道的每厘米离子数量取决于粒子的类型和速度。体积越大、速度越高的粒子造成的破坏也越大。

在地球上,辐射来自于岩石和矿物质,甚至来自于土壤中的氡气。自然界中的电离辐射来自于太阳和宇宙的深处。本章中读者将学会如何制作和使用云室来探测低电离度的 α 粒子。读者还将学到如何使用低成本的电离室来探测电离辐射,这种电离室可以由四个普通的晶体管构成,更加高级的电离室可以使你从事更加深入的辐射研究。最后会介绍如何制作一种电池供电的盖革计数器,它可以用来探测放射性物质(如铀),用于放射性领域的研究。



目 录

1 声 能

第 1 课	声 能	1
	声音在空气中/超声波/次声波/温度和声音/声波的压力/分贝	
第 2 课	传声器(麦克风)的类型	4
	简单的传声器改装/高增益抛物面反射式传声器	
第 3 课	放大声音——声音放大器	5
	驻极体传声器前级放大器元器件表/大功率声音放大器元器件表	
第 4 课	电子听诊器	8
	电子听诊器元器件表	
第 5 课	水下听音器	11
	能够听到的水下声音/水下听音器接收装置/操作/游泳池报警器/家庭养鱼缸/湖池塘和小溪/海边和海洋里/在船上听声音/水下听音转换器和前级放大器单元元器件表/超声波听音器/应用/超声波听音器元器件表	
第 6 课	次声波	21
	次声波微压计/微压计发热器电路元器件表/微压计输出电路元器件表/微压计附加元件表	

2 光的探测和测量

第 7 课	光探测仪器	28
	历史回顾	
第 8 课	听光的声音——用光听音器	30
	光听音器元件表/听白炽灯光/听荧光灯光/听电视机阴极射线管的聲音/听燃烧的物体/听湿气	
第 9 课	测量太阳能常数——用辐射计	34
	布格斯定律/比尔定律/与太阳光对应的大气层/滤光器/探测器	
第 10 课	一个基本的辐射计电路	40

	过滤光辐射计的装配/可调节辐射计/使用太阳辐射计/测量/基本辐射计元器件表	
第 11 课	测量紫外线——利用紫外线辐射计	44
	组装/UV-B 测量/数字紫外线辐射计元器件表	
第 12 课	测量臭氧层——利用臭氧测量仪	49
	臭氧测量仪/选择滤光器/制作臭氧测量仪/测试和校准臭氧测量仪/使用臭氧测量仪/计算臭氧量/臭氧计算总公式	
第 13 课	灵敏的光学转速计	54
	灵敏的光学转速计元器件表	
第 14 课	浑浊度	57
	电子浑浊度测量计/测量技巧/光学浑浊度测量传感器元器件表	

3 热能探测

第 15 课	红外火焰探测器	63
	红外火焰探测器元器件表	
第 16 课	冰点报警器	65
	冰点报警器元器件表	
第 17 课	过热报警器	68
	过热报警器元器件表	
第 18 课	模拟数据记录系统	70
	模拟数据记录系统振荡发送单元元器件表/模拟数据记录系统接收/显示单元元器件表	
第 19 课	LCD 温度计	76
	LCD 温度计元器件表	
第 20 课	夜视仪	80
	夜视仪元器件表/可选用元器件	
第 21 课	红外移动探测器	86
	红外运动探测器元器件表/可选元器件表	

4 液体传感器

第 22 课	雨水探测器	97
	雨水传感器元器件表	
第 23 课	流体传感器	99
	流体传感器元器件表/液位指示器/液位指示器元器件表	

第 24 课	湿度监测器	105
	湿度监测器元器件表	
第 25 课	pH 计	108
	pH 计元器件清单	
第 26 课	河流水位测量	114
	河流检测器的部署/河流检测器元器件表	

5 气体检测

第 27 课	空气压力传感器	121
	空气压力传感器元器件表	
第 28 课	电子嗅探器	124
	电子嗅探器元器件表	
第 29 课	图形条压力传感器	128
	图形条压力传感器元器件表	
第 30 课	粒化电阻易燃气体传感器	134
	粒化电阻易燃气体传感器元器件表	
第 31 课	电子气压计	140
	关于电路/模拟放大器/模-数转换器/气压计存储器/电子气压计元器件表	

6 振动传感器

第 32 课	振动计时器	147
	振动计时器元器件表	
第 33 课	地震报警器	149
	振动报警器元器件表	
第 34 课	压电式地震探测器	152
	压电地震探测器元器件表	
第 35 课	研究用的地震仪	158
	概述/装配地震仪/地震信号的放大和滤波/时间信号记录/记录数据/放置地震仪/安装 AS-1 地震仪/地震仪滤波电路元器件表/可选地震时钟同步电路元器件表/电源部分元器件表	
第 36 课	AS-1 说明书	172
	感应线圈/磁铁	

7 检测磁场

第 37 课	历史回顾	173
第 38 课	变压器效应	174
第 39 课	发射场和感应场	175
第 40 课	磁 场	175
第 41 课	电 场	175
第 42 课	磁场探测器	176
	电磁听筒放大电路的元器件列表/放大电话通话声音/聆听磁化导线的声音/让导线发出的声音像伦敦大笨钟/查找电磁干扰(EMI)/探测磁场/探测电视辐射/查找电路管线	
第 43 课	Barkhausen 效应	181
	研究/Barkhausen 噪声的应用/聆听 Barkhausen 噪声/寻找埋藏的铁金属	
第 44 课	2in 直径的感应线圈及其应用	183
	寻找埋藏的水管/寻找住宅的水管/寻找主水管/寻找墙里和混凝土里的电线或钢筋/听地铁的声音	
第 45 课	甚低频(ELF)监视器	185
第 46 课	防 护	186
	家庭附近的预防措施/使用 ELF 探测器/电磁场探测器元器件表	
第 47 课	电子指南针	189
	搭建电路/检验步骤/指南针的使用/电子指南针元器件表	
第 48 课	突发 Ionospheric 干扰接收器	194
	VLF 传输/SID 的研究机会/SIO 接收器元器件表	
第 49 课	地磁磁力计	199
第 50 课	螺旋磁心磁通传感器	200
第 51 课	磁通传感器	201
第 52 课	磁通磁力计	202
	搭建电路/测试/地磁磁力计的元器件表	

8 感知电场

第 53 课	静电原理	207
	电场/电磁波	
第 54 课	制作经典验电器	213
第 55 课	制作莱顿瓶	214

第 56 课	制作静态管	215
	如何用静态管给莱顿瓶充电/使用静态管的其他试验	
第 57 课	简单的电子验电器	216
	电子验电器元器件清单	
第 58 课	离子探测器	217
	离子探测器元器件清单	
第 59 课	大气静电监测器	218
第 60 课	先进的静电计	220
	电路搭建/测试和校准/先进静电计元器件表	
第 61 课	云层电荷监测器	223
	电路搭建/云层电荷监测器元器件清单	
第 62 课	电场干扰监测器	226
	电路描述/电路装配/操作/电场干扰监测器元器件表	

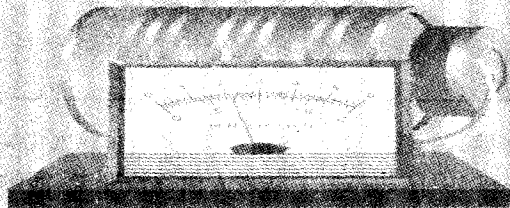
9 无线电项目

第 63 课	无线电历史	235
	无线电波的类型/无线电波频谱	
第 64 课	探测闪电	238
	闪电探测器/电路搭建/操作/闪电探测器元器件表	
第 65 课	ELF/VLF 无线电或天然无线电	242
	收听的时间/观察和录音提示/制作啸声接收器/ 使用 VLF 接收器/VLF 接收器元器件表	
第 66 课	短波收音机	249
第 67 课	频率校准	253
	短波收音机元器件表	
第 68 课	木星射电望远镜	254
	电路图/印制电路板的组装/测试和校正	
第 69 课	木星射电望远镜的天线	259
	观测提示:木星的无线电发射/木星射电望远镜元器件表	

10 辐射感应

第 70 课	空间辐射	265
第 71 课	地球上的辐射资源	266
	辐射警告	

第 72 课	云室趣事	266
	云室是如何工作的/云室零件表/构造云室/检修云室	
第 73 课	廉价的离子室	270
第 74 课	廉价的离子室辐射探测器	270
	廉价的离子室辐射探测元器件表	
第 75 课	改进离子室辐射探测器	273
	改进的离子室元器件表	
第 76 课	盖革计数器相关实验	277
	背景辐射源/探测辐射/计数率对辐射率/电路结构/盖革电子管组 装/辐射源/检查你的住宅/用盖革计数器监控太阳耀斑/商用盖革 计数器/盖革计数器元器件清单	



声 能

1

声能的研究对于探索和观察人们周围的自然现象具有很重要的意义。人耳能够听到的声波只是整个声音频谱中很小的一部分。人类对声音的感知能力使我们仅能听到频率在 $20\text{Hz} \sim 15\text{kHz}$ 范围内的声音。事实上,整个音频范围要远远超过人类所能感知的范围,而对于这部分低于和高出感知的声音范围的探索也是饶有趣味的。

在这一章里,要带领读者去探索有趣的声音世界。既要研究人耳能够听到的声音,又要研究存在于我们周围却很少被意识到的次声和超声部分。将讲解如何探听动物发出的高频率的声音和极细微的谈话,以及如何用电子探测器来捕捉声音。还将介绍如何用水下测音器和声音放大装置去探索一个全新的水下世界。

本章研究的重点是各种各样的传声器和声音放大装置,以及应用它们听到自然界和人类发出的声音的方法。

声音放大器实际上就是一个用来增大音量的电路,它接收一个功率很低的声音信号,然后经电路放大到人类能够正常听到的音量。还可以用声音放大器来提高音量,帮助听清楚由远处传来的声音,或者简单放大音量来收听音乐和电话通话。这一章的大部分项目中会用到功率放大原理,但是首先还是要了解一下声能的基础知识。

第1课 声 能

声波基本上是一种纵向机械波,它可以在固体、液体及气体中传播。与电磁波不同的是,声波不能够在真空中传播。

■ 声音在空气中

图 1.1 解释了一个声波从左至右的传播过程(如横穿垂直波的水平长箭头所示)。空气粒子向前和向后的运动(较短箭头上的垂直波)使得周围空气的压缩和稀释交替进行。空气粒子向前运动时,压缩空气;空气粒子向后运动时,空气稀释。于是,空气以一种波的形式把这些扰动从声源处向外传输。

能够刺激人耳和脑听觉系统的声波频率范围为 $20 \sim 20\,000\text{Hz}$, 但是人们很少能够听到频率高达 $20\,000\text{Hz}$ 的声音。随着人们逐渐变老, 能够听到的声音频率上限也将越来越小。 $20 \sim 20\,000\text{Hz}$ 这个频率范围也正是高保真或立体声扩音器所能达到的范围。

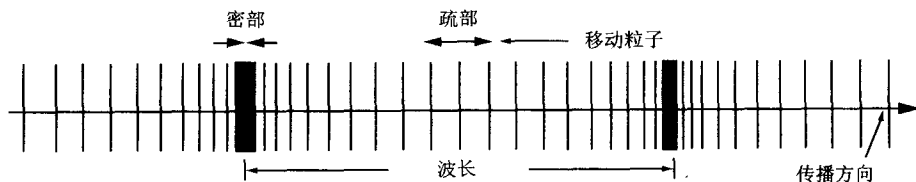


图 1.1 从左边的声源传向右边的纵向声波传播

■ 超声波

超越人类听觉范围 $20 \sim 50\text{kHz}$ 的声音构成了一个有趣的声音世界。很多动物, 如蝙蝠能发出很多人类听不到的声音。气体和化学药品泄漏, 还有很多机器运转发出的声音和摩擦声也是人类听不到的, 但是它们一直存在于我们周围, 只是我们不知道而已。超声波也可以由超声发生器生成, 这些发生器将“听不见的声音”充满一定的空间或覆盖到一定的区域上, 目的是通过探测移动物体和初始信号的“节拍”来判断入侵者的存在。它们一般可以适用于频率为 40kHz 这种不能被人耳听到的声音。绝大部分人都熟悉频率高于听觉范围的超声波, 却有很多人不熟悉频率远低于听觉范围的次声波。

■ 次声波

频率低于可听见的声音频率范围的纵向机械波叫次声波(红外线是频率低于红色光波的波)。频率高于可听见的声音频率范围的纵向机械波叫超声波(紫外线是频率高于紫色光波的波)。

能够刺激人耳的最大声波频率($20\,000\text{Hz}$)是人耳能够听到的最小声波频率(20Hz)的 1000 倍。正如所观察到的, 能够刺激人眼的最大光波(红色光)频率是能够刺激人眼的最小光波(紫色光)的两倍。人耳具有 $10 \sim 12$ 个八度的可辨声音的范围, 而人眼只有一个八度的可辨光的范围(当一个频率为另一个的两倍时, 这两个频率的间隔是一个八度, 如 $400 \sim 800\text{Hz}$)。

特别有趣的是次声波通常是由很巨大的声源产生的, 如地震。除了地震现象, 在高速公路上跟在一辆拖车的后面也可以感受到这种波的存在。拖车巨大的前表面(通常是平的)冲击气流, 会产生次声波, 使人耳产生一种“感觉”, 而并非听见声音。这种冲击会使得车辆的驾驶更加困难。流星穿过大气层也会产生可探测的次声波。

想要“听见”特别低频率的波, 在一幢很高的建筑物里乘坐非常快的电梯就可以。假设你在 $30 \sim 60\text{s}$ 的时间内, 从一个气压很高的位置(最低层)升到一个气压