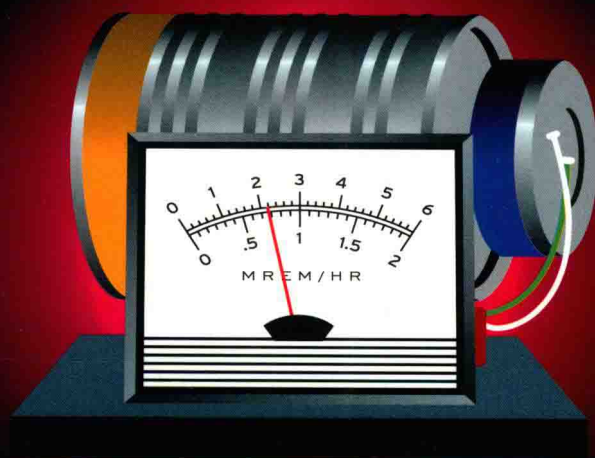


科学鬼才

传感器智能应用

54 例 (图例版)

ELECTRONIC FOR THE EVIL
SENSORS GENIUS



GENIUS
54 ELECTRIFYING
PROJECTS

[美] Tom Petruzzellis 著 赵正 译



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

科学鬼才

传感器智能应用

54例 (图例版)

[美]Tom Petruzzellis 著 赵正 译



Mc
Graw
Hill
Education

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

传感器智能应用54例 : 图例版 / (美) 托马斯·彼
德鲁德利斯 (Tom Petruzzellis) 著 ; 赵正译. -- 北京:
人民邮电出版社, 2017.10
(科学鬼才)
ISBN 978-7-115-46439-2

I. ①传… II. ①托… ②赵… III. ①传感器—应用
—普及读物 IV. ①TP212.9-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2017) 第169744号

版权声明

Electronics Sensors for the Evil Genius: 54 Electrifying Projects by Tom Petruzzellis
978-0071470360
Copyright © 2006 by McGraw-Hill Education.
All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical,
including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written
permission of the publisher.
This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education and POSTS & TELECOM PRESS. This edition is
authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.
Copyright © 2017 by McGraw-Hill Education and POSTS & TELECOM PRESS
版权所有。未经出版人事先书面许可, 对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播, 包括但不限于复印、录制、录音,
或通过任何数据库、信息或可检索的系统。
本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔教育出版公司和人民邮电出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内 (不
包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾) 销售。
版权© 2017 由麦格劳-希尔教育出版公司与人民邮电出版社所有。
本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

内 容 提 要

本书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。全书全面
系统地介绍了54种传感器实验项目的制作过程, 并给出了各种操作技巧和注意事项。通过所提供的实验项目带给大家很多有用的信
息以及一些创新的理念。适用于电子技术从业者和工程师, 以及对电子技术感兴趣的各年龄段人士。

- ◆ 著 [美] Tom Petruzzellis
译 赵 正
责任编辑 魏勇俊
责任印制 周昇亮
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
- ◆ 开本: 880×1230 1/16
印张: 12.75 2017年10月第1版
字数: 420千字 2017年10月河北第1次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2016-5091 号

定价: 59.00 元

读者服务热线: (010) 81055339 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

本书献给 Josh 和 Andy——希望可以帮助他们渡过人生中的难关。



关于作者

ABOUT AUTHOR

Tom Petruzzellis是一位具有30年丰富经验的电子工程师，他就职于Binghamton的纽约州立大学的地球磁场仪器部门。另外他还是Binghamton的指导员。他有很多行业内的著作，包括《Electronics Now》《Modern Electronics》《QST》《Microcomputer Journal》和《Nuts & Volts》，他还是以下4本经典图书的作者：《Build Your Own Electronics Workshop》《STAMP 2 Communications and Control Projects》《Optoelectronics, Fiber Optics, and Laser Cookbook》《Alarm, Sensor, and Security Circuit Cookbook》（全部由McGraw-Hill出版社出版）。目前Petruzzelli居住在美国纽约的Vestal。

本书将带您开启关于电子传感器的发现之旅，本书旨在引导爱好电子元器件的儿童、学生、成人探索和发现自然界那些无法被人类器官感觉到的奥秘，例如声音、气味等。从事电子传感器相关工作的电子技术人员和工程师也是本书的目标读者。

本书的目标是让大家学会如何利用电路来检测环境中的声、光、电、气体、振动、磁场、电场、无线电波和辐射。本书将带领读者检测日常生活中不容易被感知，甚至人体完全无法听到和看到的现象。有兴趣的读者可以借助本书中的知识实现对自然界各种现象的独立探索。本书将向大家展现各种传感器、检测器、换能器等能量转换装置。

作者希望本书能激励读者动手创作几个小科学制作，或者引领读者进入用电子传感器检测和研究自然界的领域。

本书内有丰富的照片，包括原理图、数据表格和图片。附录部分还提供了供应商信息和其他配件获取渠道。

第一章 声能

声能是自然界中比较有趣的一种能量。人耳只能听到20Hz到15kHz这段范围非常有限的音频，其他人耳无法感知的音频也有很多值得探索的有趣特性。

本章内容涵盖声波、超声波和次声波。通过本章读者可以学到如何侦听动物发出的高频声音（远程会话），如何用电子听诊器发现机械噪声背后的故障。如何通过水下听声器和音频放大器了解全新的水下音频世界。本章将介绍次声波和超声波的定义，次声波即频率低于声波的纵波（红外线则是频率低于红光的光波）。频率超过声波的纵波则是超声波（紫外线是频率高于紫光的光波）。人耳可以听到的声音波长范围横跨两个数量级（从20 ~ 2000Hz）。

本章还将向读者介绍超声波监听器和次声波监听器的制作方法，前者可以用来侦听昆虫发出的超声波，而后者一般用来监测大型声源发出的长波音频，例如因天气变化和地震产生的音频。读者还可以学会微气压计（即可以检测气压变化和风暴来临前气压变化的设备）的制作方法。

第二章 光的检测与测量

虽然人眼可以辨别数千万种颜色，但这些可见光只占光谱中很小的一部分，其密度好比将所有人造无线电波都集中在550kHz到880kHz的标准AM广播波段一样。人眼是一

种灵敏度非常高的电磁波接收器。假设人眼瞥了一下黄色的衣服，仅在这一瞬间，光子就在视网膜上振动了约 5×10^{15} 次。如果将这些光子比作普通物品，那么一个人要花几千万年才能将这些光子数一遍。

本章将详细向大家介绍光电池和太阳能电池板等光学传感器的用法，日辐射常数、紫外线强度和大气层中臭氧含量的测量方法，另外还将介绍如何使用光传感器来解析光的调制现象。光传感器可以将光谱的波动转换成可供换能器和音频功放使用的声波，这种声波甚至可以直接被人耳感知。借助于光侦听器，人们可以用耳朵听到电子显示屏、汽车大灯、火焰和闪电的“声音”，或者听到其他光线的“声音”，这些技术使得通过光线来测速成为可能。本章最后还将向读者介绍如何使用光学浊度计来测量水体污染程度。

第三章 热检测

热量的传播方式有3种：传导、对流、辐射。热传导是指在组成物质的微粒间以热运动来实现导热的方式。当铁棒的一端受热后，铁棒另外一端很快也会变热，这就是传导的效果。热对流是指物质本身通过运动实现导热的方式。热传导主要在气体或液体中出现。例如当屋子里有热气流涌入时，屋子里的物品也会跟着暖和起来。与热传导和热对流不同，热辐射不需要借助物质的移动（例如分子或者空气），甚至不需要物质也可以导热。例如9 300万英里（1英里=1.6km）以外的太阳通过热辐射的方式向地球输送热量。当天空中有云层出现时，云层会大幅缩减地球和太阳间的热辐射效率，这是因为热辐射是通过波动的方式实现的。

从本质上说，热波和光波同属于电磁波的一种，只不过热波的波长比光波要长。从光谱上看，热波属于红外线波段。本章将带领读者制作一些很有趣的设备，例如检测范围高达3m的红外火焰探测器，可以提示温度低于0℃的冰冻报警器，或者可以监控冰箱或其他机器温度的过热报警器。读者可以利用本章介绍的远程无线电模拟温度记录仪来记录温度。此外本章还将提及很多更复杂的设备，例如LCD温度计，夜视仪，检测范围高达50英尺（1英尺=0.3048m）的红外移动检测器。其中红外移动检测器可以用来组建家庭报警系统。

第四章 液体检测

本章将和读者一起探索另外一种很有趣的传感器：液体传感器。本章的第一个小项目是雨水检测器，它可以第一时间检测到降雨事件，提醒人们及时关闭车窗或者收好衣服。当用在气候数据采集系统中时，它可以精确记录降雨时间。本章还将介绍液体或流体传感器和液位传感器，这些器件主要用于检测车辆水箱或油箱中的液体容量。气候爱好者可以从本章学到如何构建可以检测家庭湿度的湿度传感器。有志于从事科研的读者可以在本章学习到pH值的相关知识和简易pH表的制作方法。自然生态爱好者则可以学习到如何制作水标尺监测器，并利用它来监测溪流。

第五章 气体检测

与液体和固体不同，气体给人一种很虚无的感觉，因为日常生活中人们对气体的感知很少，大部分气体都无色无味。但借助于先进电子技术，人们可以轻易地检测出空气中的很多气体元素。本章将介绍气压传感开关的制作方法，这种设备可以用于门禁检测和车辆检测。此外还有可以检测特定气体并报警的电子嗅探器，柱状气压传感器可以将气体或液体的压力转换成数字信号，在LED柱状图上显示出来。本章还将介绍催化燃烧传感器

的工作原理，引导读者学习有毒气体传感器的制作方法和用法。最后还将介绍天气爱好者感兴趣的电子气压计项目，此项目可以用于建造基础气象站。

第六章 振动检测

振动传感是传感器领域中比较有趣的一个分支。地震学就是主要研究和监测地壳振动的学科，另外利用地震学知识还可以定位爆炸地点、监测违法核试验（即监测其他国家的大型爆炸事件）。

振动传感器可以用来解决工业故障，或者检测地球内部的地震事件。你知道利用振动传感器来收集引擎或马达振动数据，并且可以分析出机器的内部故障吗？本章的第一个项目是振动時計。这种简单又独特的电路可以以小时为单位对机器或自然界的事件计时。只要有振动事件发生，计时器就可以记录其发生时间。

本章第二个项目是振动闹钟，这种设备可以用来检测人或动物的非法入侵。本项目采用常见的音频喇叭做振动检测单元。振动闹钟还可以用来驱赶花园里的野生动物。下一个项目是压电地震报警传感器，此项目使用煤气灶上的气体点火线圈作为振动传感器。振动报警器和压电地震报警器适合有志成为科学家的读者研究。接下来是一个高级项目——AS-1型地震仪，此仪器可以检测全世界发生的地震情况。这种地震仪可用于正式的地震检测活动。很多学校已经将AS-1用在科研和教学活动中了。有资质的学校可以申请免费获取AS-1型设备。

第七章 磁场检测

人类的生活环境中充斥着各种电磁场，但是普通人一般感知不到它的存在。人们需要借助于传感器才能检测电磁场。由线圈和放大器制成的传感器可以用来检测磁场。通过本章读者可以学习到磁场可以在小范围内单独存在，也可以与电场交织在一起，以电磁场的形式存在。当磁场与电场的方向成正交时，它们可以以一种稳定的形态向外传播——电磁波。

本章会介绍多种不同的磁场传感器，从可以当作电话听筒或检测隐藏金属元素的小型电感线圈，到用来检测汽车或火车磁场的大型线圈检测器。本章还将介绍电子罗盘的制作方法，即所谓ELF辐射检测器，这种设备可以检测家用电器故障时发出的低频磁场。本章还将介绍为什么电离层的突发扰动会影响到收音机信号，如何透过这一现象研究无线电传播的原理。本章的压轴项目是地磁检测器，这种设备还可以用来检测太阳磁暴。

第八章 电场检测

人类最早通过各种灵异事件开始研究电场。很多现象来自于动物毛皮和玻璃、石头间摩擦产生的静电。这些现象引导科学家们一步一步地发现电引力原则，脑电波，最后发展到先进电子技术。本章内容包括电子技术基础、电场原理和电磁场原理。电磁场是呈 90° 交织而成的电场与磁场。

从本章中读者将会了解到电磁场的能量与其频率无关。变化的磁场和变化的电场是电磁场的两大组成部分。电磁场的两大特性包括①电场、磁场和电磁场的传播方向两两垂直；②随着传播距离的增加，电磁场的强度将越来越低。

本章将会介绍莱顿瓶、静态管的用法，以及如何利用云室来检测 α 粒子。本章项目包括离子检测器、电子验电器和电子大气检测器。针对进阶读者的项目包括专业电子验电器和云电荷检测器，这种仪器可以测量并显示云层中TODO的电荷分布。本章最后一个

项目包括电场扰动监视器，这种设备可以检测电场中的入侵者并发出报警信号。电场扰动监视器可以用在专业电场研究领域，或用在家庭或野外防盗系统中。

第九章 无线电项目

电磁能量分布在每个电波频段。最简单的自然电磁能量发射器是闪电。闪电可能将大量的能量通过电磁辐射的方式向外传输，它发出的电磁波频率通常分布在几赫兹到几百兆赫兹中，有时AM波段收音机也能捕捉到闪电发出的无线电波，例如木星发出的宽频无线电风暴就可以被短波接收器捕捉到。

本章将会带领读者认识各种无线电能量，从闪电和行星风暴等自然无线电到电视、广播、雷达等人工无线电。本章研究的电磁波频率范围涵盖10 ~ 25kHz的大功率核潜艇通信波段、550 ~ 1600kHz的AM广播波段、2000 ~ 30000kHz的短波无线电波段、54 ~ 216MHz的甚高频电视波段、88 ~ 108MHz的FM广播调频波段、1000 ~ 15000MHz的雷达波段，直至300GHz。无线电频谱的下限几乎与可见光波区域直接相连。

本章将带领读者制造各种类型的无线电接收器。本章的第一个项目是电子闪电探测器，它可以用来预测闪电风暴，对气象爱好者来说这个项目非常有用。本章第二个项目是ELF自然电台，人们可以用它来侦听大自然的低频声音，例如大气干扰、污染物、黎明时的自然音及哨声等。这些上行和下行的扫频信号通常是由地球另一侧的电磁风暴引起的。读者何不与本书一起，亲自制作一个短波接收器，听听来自地球另一端的广播声音呢。能用自己的接收器收听到来自非洲和欧洲的音乐和新闻，一定是非常有成就感的。本章的进阶项目是木星射电望远镜项目，通过它我们可以听到由木星产生的行星风暴声。对于业余无线电天文爱好者来说，这个项目绝对是一项很有意义的工程。

第十章 辐射传感

辐射光谱可以细分为电磁辐射和电离辐射两大类。电磁辐射包括可见光、长波热辐射和长波电磁辐射。例如太阳发出的巨量能量就是通过光辐射传达到地球的，阳光可以照亮地球，催长农作物，驱动太阳能发电板等。

另一种辐射为电离辐射。电离辐射的波长极短，因此通常被视为高速高能粒子。粒子的种类可以是光子、质子、电子、离子（例如氦离子或铁离子）。离子是内含空穴的带电体。

当这些高速粒子照射到物质时，会对物质造成深层次的伤害，当它们穿透物质时，会在物质中残留一条电离痕迹（即带走一些电子，在痕迹上留下空穴）。单位面积上照射到的粒子数量取决于粒子的类型和速度。体积越大、速度越快的粒子产生的效果越明显。

地球上的很多物体都会对外发出辐射，例如岩石和矿石等。太阳等天体也会产生电离辐射。本章将向读者介绍一种微量 α 粒子检测电离室的制作和应用，使读者掌握用低成本电子电离室（仅用4个通用三极管）来检测电离辐射的方法。如果想要对电离辐射进行更深入的研究，则需要借助更先进的电离室。在本章末尾读者还可以学习到便携盖革计数器的制作方法，盖革计数器可以用来检测含有铀等放射性元素的岩石，或者用来研究辐射场的特性。

目录

CONTENTS

第一章 声能 1

2	1.1 声能
3	1.2 话筒的种类
4	1.3 声音的放大——音频放大器
6	1.4 电子听诊器
8	1.5 水听器
12	1.6 超声波侦听器
14	1.7 次声波

第二章 光的检测与测量 18

19	2.1 光检测设备
21	2.2 倾听闪电——使用光侦听器
23	2.3 测量太阳常数——使用辐射仪
26	2.4 基本辐射计电路
29	2.5 紫外线的检测——使用紫外线辐射计
32	2.6 测量臭氧——使用臭氧计
35	2.7 高灵敏度光学转速计
37	2.8 浊度

第三章 热检测 40

41	3.1 红外火焰传感开关
42	3.2 冰冻温度报警器
44	3.3 过热报警器
45	3.4 模拟数据记录系统
49	3.5 LCD 温度计
52	3.6 夜视镜项目
56	3.7 红外移动探测器

第四章 液体检测 63

64	4.1 雨量检测器
65	4.2 液体传感器
68	4.3 湿度监测器
70	4.4 pH计
74	4.5 水流水位测量

第五章 气体检测 79

80	5.1 气体压力开关
82	5.2 电子嗅探器
84	5.3 柱状表压强传感器
88	5.4 催化可燃气体传感器
91	5.5 电子气压计

第六章 振动检测 96

97	6.1 振动時計
98	6.2 地表振动报警器
99	6.3 压电振动检测器
104	6.4 探索地震仪
113	6.5 AS-1性能参数

第七章 磁场检测 114

115	7.1 历史
115	7.2 变压器的工作原理
116	7.3 辐射场和感应场
116	7.4 磁场
116	7.5 电场
117	7.6 磁检测器
120	7.7 巴克豪森效应
121	7.8 直径两英寸的拾取线圈及其应用
123	7.9 ELF辐射计
124	7.10 屏蔽
126	7.11 电子指南针
129	7.12 电离层突发扰动接收机
133	7.13 地磁计
134	7.14 环形磁通门传感器
134	7.15 磁通门传感器
134	7.16 磁通门磁力计

第八章 电场检测 139

140	8.1 静电基础
143	8.2 传统验电器的制作
144	8.3 制作莱顿瓶
145	8.4 制作静电管
145	8.5 简易电子验电器
146	8.6 离子检测器
147	8.7 大气电荷检测器
148	8.8 高级静电计
150	8.9 云电荷监测器
152	8.10 电场扰动监测器

第九章 无线电项目 158

159	9.1 无线电的历史
160	9.2 侦听闪电
161	9.3 闪电检测器
163	9.4 ELF/VLF无线电或自然无线电
167	9.5 短波收音机
170	9.6 频率校准
170	9.7 木星射电接收机
174	9.8 木星射电接收器的天线

第十章 辐射检测 177

178	10.1 太空辐射
178	10.2 地球上的辐射源
178	10.3 在云室中寻找乐趣
180	10.4 低成本离子室
181	10.5 低成本离子室辐射检测器
183	10.6 高级离子室辐射检测器
186	10.7 盖革计数器的相关实验

第一章

声能

Chapter 1

声能比较适合作为探索自然界多种现象的切入点。人耳只能听到非常小范围内的声能，即频率为20Hz ~ 15kHz之间的声音。实际上“声音”的频谱范围比我们能感知的区域要大得多，声能正是本章将要探索的对象。

本章将带领读者进入声音的奇妙世界。我们不但要探索人耳可以听到的声音，还要探索次声波和超声波，超声波和次声波无处不在，但人们在日常生活中的感知却少之又少。本章会向读者介绍如何侦听动物发出的高频声音，带领读者借助电子听诊器来追踪噪声源。最后还会和读者一起利用水听器和音频放大器来探索一个全新的领域——水下声音世界。

借助各种话筒和音频放大器，人们就可以探索人耳听不到的各种人造和自然声音了。

音频放大器是一种可以提升声音强度的电路。音频放大器的输入信号通常是极微弱的音频信号，音频放大器的工作是将其放大到适合人耳或其他器件可以接收的能级。以下几种情况可能会用到音频放大器：强度很微弱、音源距离非常远、为了使交流和收听更舒适。本章中的大部分项目都需要用到音频放大器，我们还是从声能开始吧。

1.1 声能

声波是一种典型的纵波，可以在固体、液体和气体中传输。与电磁波不同，声波不能在真空中传输。

1.1.1 空气中的声音

图1-1是声波从左向右传播的示意图（横轴是声波的传播方向）。声波传播时，其覆盖范围内的空气会左右颤动（如横轴上方的小箭头所示），当空气动起来的时候，声波就沿着空气的疏密变化向右传播。

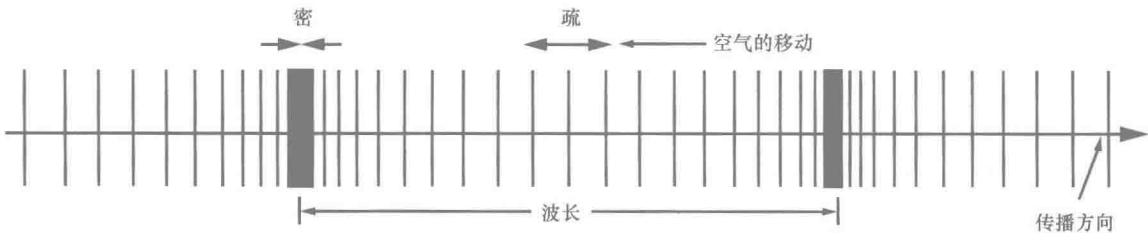


图1-1 声波从左向右传播的示意图

某些频段的声波可以刺激人类的耳朵和大脑，使人类感受到信号。根据经验，人耳可以听到的声波频率在20 ~ 20 000Hz之间，其中高频段的声音更难听到，随着年龄的增长，人耳可以听到的高频声音范围也在慢慢变窄。高保真和立体声音响的频响范围通常也与这个范围相同。

1.1.2 超声波

20kHz ~ 50kHz的声音虽然超出了人耳听觉范围，但却非常丰富多彩。蝙蝠等昆虫和其他动物会在此频段内发出各种声音。气体和化学液体在泄露时、机械发生异常磨损时都会发出超声波，只是人耳无法感知而已。此外超声波检测器也可以对外发出超声波，当待测区域安静时，它可以对外产生人耳听不到的40kHz超声波，一旦超声波的频率被打乱，则表示有入侵者出现。与超声波相比，普通人对次声波的了解往往会更少。

1.1.3 次声波

低于人耳感知下限频率的机械纵波称为次声波（与之类似，低于人眼可见波长的光线称为红外线）。高于人耳感知上限频率的机械纵波称为超声波（与之类似，高于人眼可见波长的光线称为紫外线）。

人耳可以听到的最长波长的声音（20Hz）与最短波长声音（20 000Hz）之间差1 000倍。与之相比，人眼可见的最长波长光波（红光）与最短波长光波（紫色）之间的差距只有不到2倍。因此我们说人耳有10 ~ 12倍频程，而人眼只有1倍频程。（当两个频率之间的间隔，刚为其中一个频率的1倍时，称为一个频程，例如400 ~ 800Hz。）

人们感兴趣的次声波通常由一些大型事件产生，例

如地震。当然人们都不希望经历地震，通过在公路旁边感受大型卡车行驶带来的振动，也可以感受到次声波。大卡车的迎风面较大（近似一个平面），高速运动时很容易使空气产生剧烈波动，导致次声波的出现，通常人们的身体比耳朵更容易感受到次声波的存在。次声波也会加大卡车的操控难度。除此之外，气象锋面和穿越大气层的流星也会产生明显的次声波。

想要感受极低频次声波，可以依据以下方法：登上摩天大楼的电梯，在30 ~ 60s内控制电梯从高气压的位置向低气压位置高速移动（即从高楼层向低楼层移动）。将测试时间看做半个波长，那么等效移动频率为

$$f = 1 / T$$

式中， f 是以赫兹（Hz）为单位的频率， T 是以秒（s）为单位的周期。

当测试时间为30s时，频率为1/60，即0.0166周期每秒。此频率相当于每1 ~ 2min循环一个周期，属于远低于人耳可听范围外的次声波。当在电梯（或飞行器）中高速下降，并尝试测试时，测试人员必须张开嘴巴，以保持耳朵内外的气压相同，防止因为气压的骤变损伤耳膜。当大气中有锋前涌过时，其产生的次声波周期甚至可以高达3小时！通过不断观察气压计，可以捕捉到锋前带来的气压“变化”。从原理上讲，天气变化带来的气压变动与锋前带来的气压变动相同，只是前者的周期更长而已。

1.1.4 温度和声音

在环境温度70 ℉时，海平面的声音传播速度为1130英尺/s。由于声速对温度敏感，当温度上升时，基本粒子传播声音的速度会提高（例如空气或金属），因此声速会增加。当环境温度为32 ℉时（冰点温度），声音在海平面的传播速度会降低到只有1088英尺/秒。

1.1.5 声压

声波是一种压力波，传输声波的空气压力会在15磅每平方英寸的基准压力上下浮动。因此平均压力这个概念对于声音来讲没有任何意义。人们通常用均方根（RMS）值来表示声波的压力变动幅度。由于人耳可以听到的声压幅度非常广（从0.0001 ~ 1000毫巴（1毫巴=100Pa）），

因此用声压等级（SPL）来表示声波大小更加方便，SPL的定义如下。

$$L = 20 \log(P_1 / P_0)$$

式中， L 是根据 P_1 和 P_0 计算出的声压等级。SPL通常用来标定高保真高功率扬声器。

1.1.6 分贝

声压的标准单位是分贝（dB）。dB是一种相对比值（例如 P_1 和 P_2 ）。对于 L_1 和 L_2 两种声压，其差值为

$$L_2 - L_1 = \frac{1}{2} \log\left(\frac{P_2}{P_0}\right) - 20 \log\left(\frac{P_1}{P_0}\right) = 20 \log(P_2 / P_1)$$

假设 P_2 大于 P_1 ，由上式可以看出，基准压力 P_0 并不影响最终结果。

对于1000Hz的声音，人耳能听到的最小声压约为0.0002毫巴，因此人们约定基准声压 $P_0 = 0.0002$ 毫巴。在此基础上，达到140dB的声压强度为人耳的疼痛阈值，大约等同于喷气式飞机起飞的噪声大小。0dB声压近似等同于窃窃私语或非常轻的脚步声。140dB对应的声压强度是0dB声压强度的1000万倍，从这个比例也可以看出人耳的超强声音接收能力。为了保护听力，在无防护措施的情况下，人耳不宜长时间收听声强较大的声音。

1.2 话筒的种类

话筒是一种换能器件，也叫换能器，它的作用是将机械波转换为电信号。将声音转换为电信号后，可以更方便地对它进行放大和整形。话筒的种类有以下几种。

- **碳粒式** 这种话筒具有一个可移动振膜，隔膜随声音颤动，同时带动内部的碳粒压缩和拉伸，导致碳粒的等效电阻也随声音发生变化。
- **压电式** 基于压电材料制成的话筒，材料本身会随着声压的变化，输出不同的电压，也叫晶体话筒。
- **电磁式** 同样采用振膜来采集声音的波动，并带动电枢移动，进而影响线圈中的磁阻。其应用包括助听器和吉他拾音器。
- **动圈式** 悬浮在固定磁场中的动圈（通常是指与振膜固定在一起的线圈）可以随着声音而振动，从而实现

机械振动到动圈交流电流的转换。

● **静电式** 由可移动振膜和可移动电极共同组成采样电容器,其电容值随声音的变化而改变,也叫电容话筒。若其中一个电极上的电荷量固定,那么就称为驻极体话筒。

话筒又分定向式和全向式两种类型。大部分话筒属于常见的全向话筒,即可以采集周围任何方向的声音。定向话筒较为特殊,它的振膜通常为心形。这种话筒一般用来采集指定声音,同时忽略环境中的其他声音。长枪式话筒就是一种定向话筒,飞禽爱好者喜欢用它来收听远处的鸟鸣,私人侦探也常用它进行远距离侦听。很多电影摄制组会用带长吊杆的长枪式话筒来录制音频。高定向话筒也叫抛物面话筒,这种话筒的优势是定向性极强,而且灵敏度极高。它们通常搭配音频放大器使用,用来放大远处的声音。抛物面话筒的方向图非常窄(只有几度)。因此使用时一般要先进行转动扫描,以精准定位目标声音的方向。

1.2.1 简单的话筒转换

通过增加一个很简单的配件即可改善全向话筒的方向性。其制作方法如下:找一个废弃的纸杯(带塑料盖子的那种)。杯子较细的一端直径刚好与话筒相符。或者找一个大漏斗,将其罩在小型驻极体话筒上。接下来用黑色绝缘胶带将话筒和配件粘在一起,防止声音从连接处泄露。装上外壳的话筒立刻就会显示出方向性,其接收角近似 60° 。从背面和侧面传来的声音很难被话筒采集到。这种设备适合侦听50~75英尺左右的鸟叫或其他声音。

1.2.2 高增益抛物面话筒

很多人都从橄榄球场上见过用来采集观众声音、现场音乐、球场声音的抛物面话筒。图1-2就是一种高定向抛物面话筒的照片。其中抛物面状反射器的材料是塑料,焦点在距抛物面中心6英寸(1英寸=0.0254m)处。当话筒置于焦点处并面向抛物面放置时,可以获得最大灵敏度。这种设备的优点是质量非常轻,适合用来接收运动场或野外的声音,由于水面对声音的吸收较少,因此在湖泊或者小河上使用时,抛物面话筒的拾音效果更好。高增益抛物面话筒的方向图极窄,形状接近圆柱体。因此

在远距离使用时需要仔细扫描,以确保对准音源。



图1-2 抛物面话筒

1.3 声音的放大——音频放大器

话筒和放大器的组合,可以用来侦听室外各种声音,包括禽类叫声、汽车火车声、郊外自然声和人声等。若再搭配录音设备,则可以随时记录下各种声音。这些设备可以辅助猎人捕猎。以数百英尺为固定间隔,搭建话筒网络,还可以用来侦听掩体外面的声音。

图1-3是话筒的前置放大器电路图。此电路采用TL084型运算放大器放大话筒采集到的音频信号。图中运算放大器的总增益为27dB。反馈网络中的R6起增益控制效果。图中的前置放大器适合搭配驻极体话筒使用。如果使用动圈式话筒,则需要移除偏置电阻R1。此电路供电部分为9V晶体管收音机用电池,S1为供电开关。输出电容C4为前置放大器和大功率音频放大器的耦合电容,为保证信号质量,这两个放大器之间的导线应该选用屏蔽线缆(例如使用远距离探针式话筒的场合)。如果前置和大功率放大器同在一块电路板上,就不需要屏蔽线缆。

大功率音频放大器的原理图如图1-4所示。其放大器采用了大功率集成芯片U1。R1为输入端电位器。运算放大器的引脚3连接电位器,引脚2接地。通过改变R2和C1的值,可以将放大器的增益在20~200之间自由调整。此外放大器的引脚7可以使用旁路电容接

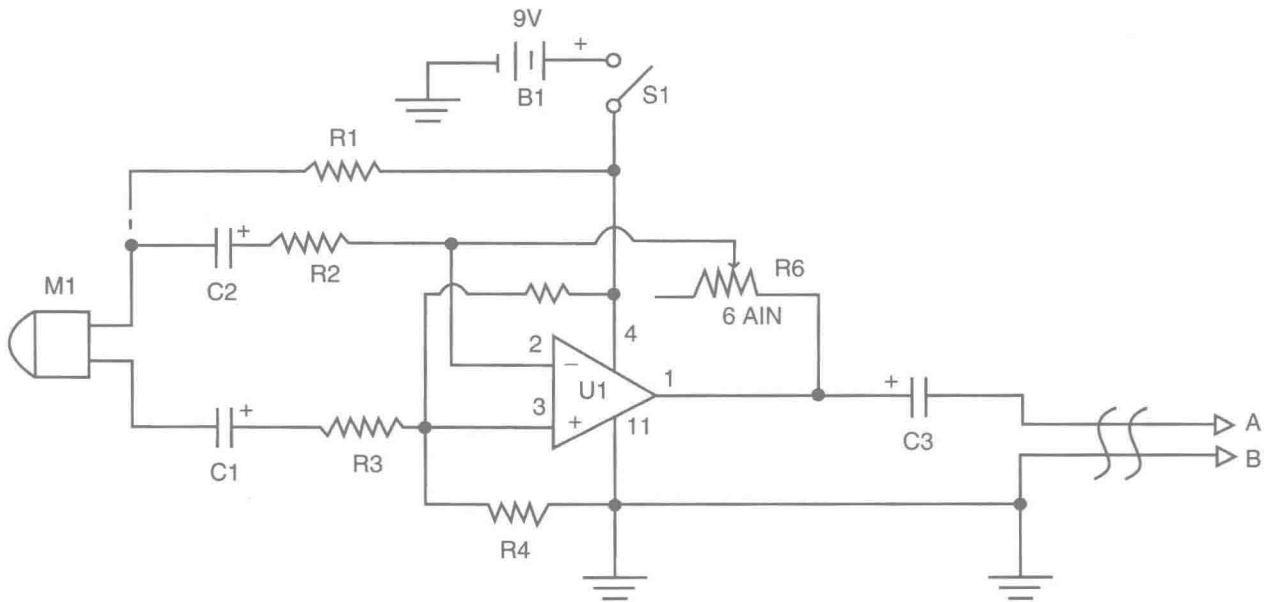


图1-3 前置话筒放大器电路

地。C3和R3负责输出信号的整形。音频放大器输出端通过2200 μ F电解电容连接到8 Ω 扬声器。整个电路采用9 ~ 12V电池供电，电源直接接入LM386的5脚。注意LM386属于大功率器件，使用时需要加装散热器。上文中的前置话筒放大器可以与此电路配合使用，组成兼容性非常好的音频放大系统，可用来实现远距离侦听。

我们的音频放大系统可以用来搭建非常有趣的“雨

声”话筒。其具体的制作方法为：选用直径在8 ~ 10英寸左右的塑料筒，在外壳的中央部位放置驻极体话筒，并用胶合板或塑料圆片固定，使话筒指向塑料筒的闭合端。然后将筒倒置，从底部开槽并引出话筒导线。最后将倒置的圆筒安装在地面或屋顶上，并通过屏蔽线缆将话筒与室内的前置放大器连接。这样你就可以在室内听到屋外的雨声，随时掌控天气的变化了。

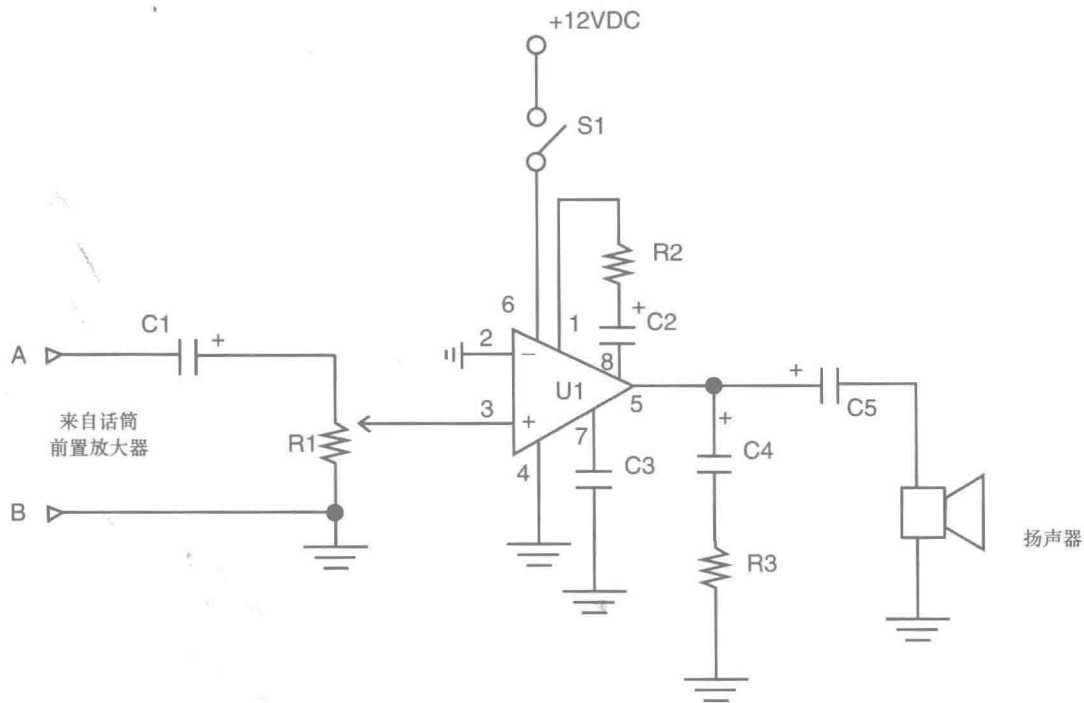


图1-4 大功率音频放大器电路