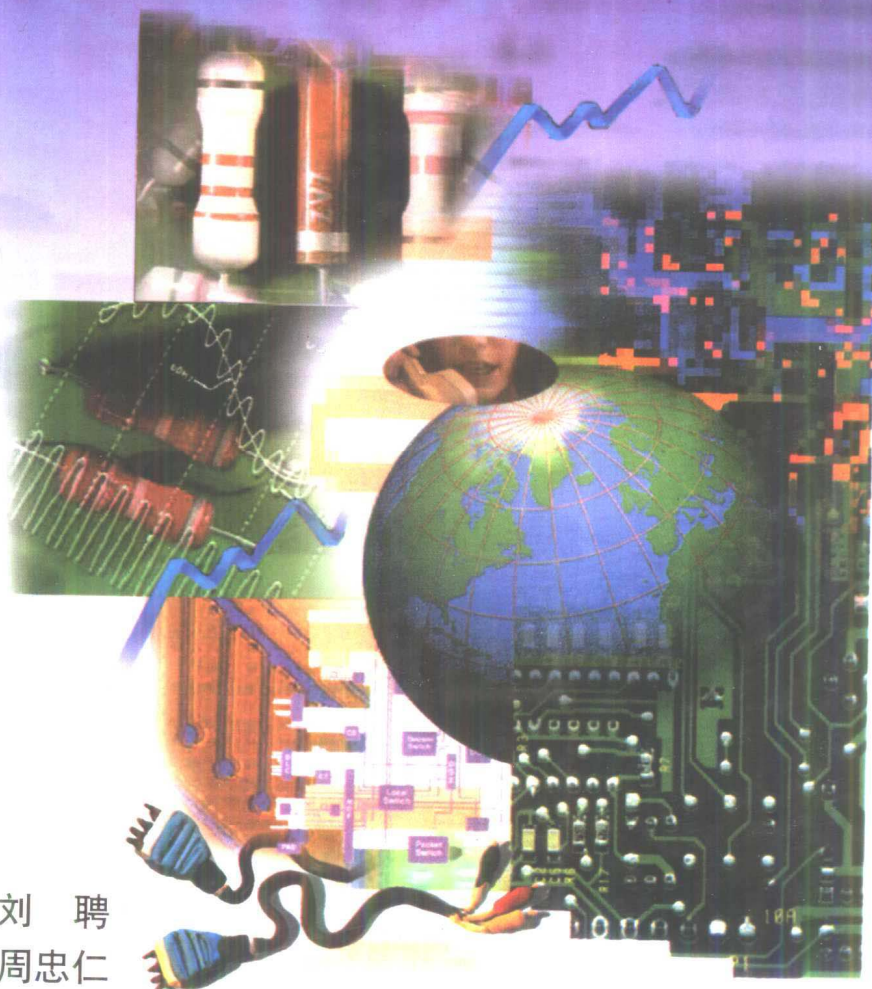


21 世纪高职高专信息类专业系列教材

高频电子技术



主 编 刘 聘
副主编 周忠仁
李 旭
主 审 郭守田

重庆大学出版社

21 世纪高职高专信息类专业系列教材

高频电子技术

主 编 刘 聘
副主编 周忠仁 李 旭
主 审 郭守田

重庆大学出版社

· 内 容 提 要 ·

本书主要介绍高频电子线路的基本概念、分析方法和主要的实际应用。

本书的参考学时为 60 学时, 主要内容包括: 小信号谐振放大器、高频功率放大器、频谱搬移电路、角度调制及解调、反馈控制电路、典型整机线路介绍等。最后, 结合高等职业技术教育的特点, 给出了本课程的参考实训方案以供选用。

本书在内容选择方面注意体现职业教育的特色; 在论述上强调物理概念、注重实用性及其与后续课程的衔接; 突出对集成电路的介绍; 每章后均附有小结及思考题和习题。

本书为高等职业技术学院电子类、通信类专业的专业基础课教材, 也可供相关专业的大中专学生、工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子技术/刘骋主编. —重庆: 重庆大学出版社, 2000, 7

21 世纪高职高专信息类专业系列教材

ISBN 7-5624-2168-4

I. 高... I. 刘... III. 高频-电子电路-高等学校: 技术学校-教材 IV. TN7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 38504 号

21 世纪高职高专信息类专业系列教材 高频电子技术

主 编 刘 骋

副主编 周忠仁 李 旭

主 审 郭守田

责任编辑 谭 敏 肖顺杰

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆建筑大学印刷厂印刷

*

开本: 787×960 1/16 印张: 12.75 插页: 3 字数: 272 千

2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1-3000

ISBN 7-5624-2168-4/TN·35 定价: 18.00 元

· 系列教材编委会 ·

主任单位：

重庆电子职业技术学院

副主任单位：

武汉职业技术学院

邢台职业技术学院

陕西工业职业技术学院

贵州大学职业技术学院

编委(以姓氏笔画为序)：

才大颖

王晓敏

王兆其

王柏林

刘真祥

刘业厚

刘建华

朱新才

李传义

吕何新

张学礼

张明清

张 洪

张中洲

张国勋

张西怀

李永平

杨滨生

林训超

赵月望

涂湘循

唐德洲

徐民鹰

曹建林

程迪祥

黎省三

武汉职业技术学院
重庆电子职业技术学院
陕西工业职业技术学院
邢台职业技术学院
贵州大学职业技术学院
河南职业技术学院
三门峡职业技术学院
湖南工业职业技术学院
昆明大学
广西机电职业技术学院
成都电子机械高等专科学校
昆明冶金高等专科学校
珠海职业培训学院
广东交通职业技术学院
浙江省树人大学
江西工业职业技术学院
成都航空职业技术学院
辽宁仪器仪表工业学校
北京信息职业技术学院
徐州交通职业技术学院
重庆大学职业技术学院
重庆邮电学院
重庆工业高等专科学校
重庆石油高等专科学校
重庆职工大学
西南农业大学
长沙航空职业技术学院
番禺职业技术学院



当今世界,科学技术的发展日新月异。在这空前的技术发展进程中,电子信息技术以其独特的渗透力和亲和力,正在迅速地改变着我们周围的一切。利用现代电子信息技术来改变我们的生活与学习,改造传统的各行各业,已成为当今社会人们的共识。

教育在我国社会主义建设发展进程中所具有的战略地位和基础作用已被越来越多的人所认识。职业技术教育、特别是高等职业技术教育在近二十年来得到了长足的发展,“高等教育法”、“职业教育法”的颁布与实施,使我国高等职业教育步入了法制轨道,国家与社会的进步与发展,需要高等职业教育,技术的进步与发展,也需要高等职业教育,高等职业教育成为世界教育发展的共同趋势。

在我国国内,高等职业教育毕竟是一种新型的教育类型,发展历史还不太长,在教育观念、教育体制、教育结构、人才培养模式、教育内容、教学方法、教材、教法诸方面,有不少问题需要研究与探索。重庆大学出版社从促进高等职业教育发展战略的角度,于1999年邀请国内三十余所长期开办电子信息类专业的学校,开展对电子信息类高职、高专教材的开发研讨。与会学校有独立设置的职业技术学院、高等专科学校、职业大学、普通高校中的职业技术学院、多年试办高职班的重点中专学校。大家一致认为,我国高等职业教育的教材建设非常薄弱,基本上没有自己的教材,从而导致针对性、适应性差。从电子信息类专业角度看,缺乏成体系的系统教材,从而导致不同层次教材的交叉重复现象严重;再者,现行教材中缺乏对新技术、新工艺、新产品相关内容的介绍。因此,开发适应新世纪高等职业技术教育的教材就成为当务之急,它的总的原则应是:根据培养应用型、技能型人才的目标,从职业岗位对专业知识的需要来确定教材的知识深度及范围,坚持“必须、够用”的原则;同时注意知识的应用价值在教材中的科学体现,力求构筑具有高职特色的理论知识体系;基本概念、基本原理以讲明为

度,同时将一些内容相近的部分进行合并。另外,针对高职教育培养技能型、现场型人才的目标,把训练职业能力的实践技能体系方面的内容,与理论知识体系有机地结合起来,力求在这方面有所突破。根据教育部在高职、高专教材建设方面采用先解决有无问题,再解决提高与系统性问题的原则,我们在一开始就力求站在一个较高起点上,先从电子信息类教材开发做起,然后再进一步开发其他专业大类的应用型高职教材。

经过近一年的努力,电子信息类高职、高专系列教材就要与大家见面了。本系列教材的编写原则、编写体例均是根据教育部高职、高专培养目标并由参与系列教材编写的全国三十余所相关院校经过数次研讨、反复论证确定的。尽管我们对它抱有较高的期望,但这毕竟是一个新生事物,是一种尝试,成功与否,还需要经过教学实践来检验。无论如何,既然已经起步,这条路我们会一直走下去。为了我们共同的高职教育事业,欢迎大家在使用过程中,指出它的不足,以利于我们今后的工作。

编委会
2000年7月

前 言

本书是 21 世纪高职高专信息类专业系列教材之一,根据教育部高职高专培养目标和对本课程的基本要求编写而成,经过系列教材编委会审定。

本书参考学时为 60 学时,主要包括:绪论,简要介绍无线电信号的基本知识及通信系统的基本工作原理。第一章,小信号调谐放大器;第二章,高频功率放大器;第三章,频率变换电路分析基础;第四章,调幅、检波、混频—频谱的线性搬移电路;第五章,角度调制与解调;第六章,反馈控制电路;分别介绍了各个单电路的工作原理和分析方法。第七章,典型整机电路介绍,简要介绍了两种典型整机电路的基本工作原理。按照高等职业技术教育对实践技能培养的要求,本书附录了参考实训方案以供选用。

本书在编写过程中,注意了以下几个方面:

1 注重传统内容与反映新技术及其发展趋势相结合。对传统内容,强调对基本原理和基本概念的理解;对应用实例,则尽可能选用反映新技术发展的例子。

2 注重教材的实用性,尽可能从工程实例的角度分析问题。根据电子技术的发展趋势,适当减少分离元件的内容加强集成电路的内容和应用。

3 注意介绍各单元电路在整机及系统中的作用和地位,强化本课程为后续课程服务的功能。因此,在最后一章专门介绍了典型整机电路,使学生通过对整机电路的了解,对各单元电路的基本原理融汇贯通。

4 全书的图形、符号和术语,尽量采用现行国标;国标中没有明确规定的,则参照教材中的通用写法,每章后均附有小结和思考题及习题,并尽量选用实用性强的习题。

在本系列教材中,低频电子技术已有专门章节讨论正弦波振荡器,本书不再专门讨论,在涉及到相关内容时再对具体问题进行分析。

高频电子技术是一门实践性很强的课程,本教材应与配套的实验教材结合使用。

本书第二、三、六章由刘骋(武汉职业技术学院)编写;绪论、第一章由周忠仁(重庆电子职业技术学院)编写;第七章、附录由李旭(武汉职业技术学院)编写;第四章、第五章由常志文(昆明冶金高等专科学校)、王川(武汉职业技术学院)、刘骋编写;全书由刘骋统稿。(武汉职业技术学院)郭守田副教授在百忙中认真审阅了全书原稿,并

提出了许多宝贵的修改意见。

本书为高等职业技术学院电子类、通信类专业的专业基础课教材,也可供相关专业的大中专学生、工程技术人员参考。

本书在教材内容的组织及编写方法上力求创新,在语言上力求通俗易懂,但由于编者水平有限,缺点错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2000 年 5 月

目 录

1	绪 论
6	第一章 高频小信号调谐放大器
6	第一节 概述
8	第二节 并联谐振回路及其选频特性
14	第三节 单调谐回路放大器
21	第四节 双调谐回路放大器
24	第五节 小信号调谐放大器的稳定性
26	第六节 集中选频放大器
32	小结
33	思考题与习题
35	第二章 高频功率放大器
35	第一节 概述
36	第二节 丙类高频功率放大器的工作原理
39	第三节 丙类高频功率放大器的分析
42	第四节 高频功率放大器的动态分析和外部特性
48	第五节 馈电电路和输出回路
55	第六节 高效率功率放大器的实现
57	第七节 丙类倍频器
60	小结
61	思考题与习题
62	第三章 频率变换电路分析基础
62	第一节 概述
63	第二节 非线性元件的特性描述
65	第三节 非线性电路的分析方法
69	第四节 集成模拟相乘器
74	小结
74	思考题与习题

76	第四章 调幅、检波、混频——频谱的线性搬移电路
76	第一节 调制概述
77	第二节 调幅信号分析
82	第三节 调幅电路
91	第四节 检波器原理及电路
101	第五节 混频器原理及电路
114	小结
115	思考题与习题
118	第五章 角度调制与解调
118	第一节 概述
119	第二节 调频信号与调信号的分析
126	第三节 调频原理及电路
133	第四节 鉴频原理及电路
146	小结
148	思考题与习题
150	第六章 反馈控制电路
150	第一节 概述
151	第二节 自动增益控制电路
156	第三节 自动频率微调
157	第四节 锁相环路的工作原理及性能分析
165	第五节 锁相环路的应用
170	第六节 集成锁相环简介
171	小结
172	思考题与习题
173	第七章 典型整机电路介绍
173	第一节 音响调谐器
177	第二节 短波 100W/h 收发信机
182	附录 实训方案
188	常用简号表
	参考文献

绪 论

一、电磁波的发现

人们在日常生活和生产的各个方面,无时无刻不和电、磁以及电磁波打交道。但人们对电磁波的认识却经历了漫长的岁月。

我们学习电学时遇到的第一个定律是库仑定律,这是法国科学家库仑在牛顿万有引力定律的启发下于1785年发现的。这个定律标志着人类进入了对电和磁有了定量认识的新阶段。

把人们引导到电磁波大门口的是英国科学家法拉第,他于1831年发现了电磁感应定律。这个定律的发现为电力工业的建立和发展奠定了基础。

打开电磁波大门的是英国科学家麦克斯韦,他总结了前人的研究成果,加以概括提高,进行了创造性的理论研究,于1873年建立了完整的电磁场和电磁波的理论。

赫兹1888年用实验证明了确实存在电磁波,证实了光波也是电磁波,这和麦克斯韦正式提出电磁波的理论相隔了15年。

1895年,伦琴发现了X射线,这是波长比可见光和无线电波都短得多的电磁波。差不多在此同时,俄国人波波夫和意大利人马可尼分别发明了接收无线电波的装置。

1896年,波波夫进行了通信表演,用无线电报在250m的距离上发送了“亨利希、赫兹”这几个字。差不多在同一时候,马可尼在意大利进行了无线电报通信试验,后又到英国进行无线电报表演,多次表演获得成功,并于1897年获得专利。

1901年马可尼不惜耗费20万元的巨大资金进行了长波通信试验。他选择了横跨大西洋北部,长达9千km的线路,从英国发射,在加拿大接收。由于马可尼对无线电科学的重大贡献,他于1907年获得了诺贝尔奖金。

20世纪以来,无线电电子学得到了突飞猛进的发展,其应用领域迅速扩大,为人类社会进步做出了巨大贡献。

二、无线电波的传播途径

无线电波的传播途径大致有三种,如图 0-1 所示。

1. 地波传播

地波传播指无线电波沿地球表面传播的方式。地波传播过程中,无线电波不断被地面吸收迅速衰减,工作波长越短,衰减越大,传播距离也越短。长波,超长波,极长波沿地面传播能力最强,可达数千至数万 km。中波可沿地面传播数百 km。短波沿地面传播最多 100km。超短波和微波沿地面传播能力最差,故一般不采用这种传播方式。

2. 天波传播

天波传播指无线电波向天空辐射进入大气层后被电离层反射回到地面的传播方式。长波、中波、短波都可以经电离层反射传播。超短波则由于频率过高,会穿透电离层而不被反射回地面,故一般不采用这种传播方式。由于气候、季节、昼夜等因素变化的影响,使得电离层的电子密度及高度千变万化。所以,天波传播一般说来是不稳定的。但只要掌握了电离层运动的变化规律,就能使得短波传播更好地为通信服务。

3. 直接波传播

直接波传播(或称空间波传播)是指发射天线辐射电波通过空间直接到达接收天线的传播方式。超短波(如电视信号)的波长不超过 10m,由于波长短(频率高)不能用天波来传播。如用地波传播,衰减又严重,仅适用于很短的距离。所以,超短波在绝大多数情况下,采用直接波传播方式。超短波直线传播距离公式如下:

$$D = 4.12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \times 10^3$$

式中 D ——直线传播距离;

h_1 ——发射天线高度;

h_2 ——接收天线高度。

从上式可以看出,要增加超短波的直线传播距离必须高架发射天线和接收天线。

此外,无线电波的传播还有散射传播(对流层散射传播和电离层散射传播)、地下传播、磁层传播等方式。

三、无线电信号的表述

无线电波即无线电信号,简称信号。它是原始信号和已调振荡的总称。声音、图



图 0-1 无线电波的传播途径

像、文字等要传送的消息,经过转换设备后,转换成相应变化的电压或电流,这种变化的电压或电流称为原始信号。在发射机中原始信号是用来调制高频振荡的,或者说是用来控制高频振荡的某一参数的,因此,又称为调制信号。经过调制的高频振荡,或者说参数按调制信号规律变化的高频振荡,称已调振荡,也叫已调波。

调制信号往往不是简单的正弦波,而是具有复杂波形的信号。一般来说,任何复杂的波形都可用傅里叶级数分解成一系列周期性正弦波之和。设 $f(t)$ 为任意复杂波形信号,如用三角函数形式展开为傅里叶级数则可表示为

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [b_n \sin n\Omega t + a_n \cos n\Omega t] \quad (0-1)$$

式中, $\Omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{t}$, t 为周期信号重复周期, Ω 为基波角频率, f 为基波频率, a_0 为常数项, a_n 为余弦项的振幅, b_n 为正弦项的振幅。 a_0 , a_n 和 b_n 可由下式求得:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt \\ a_n &= \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos n\Omega t dt \\ b_n &= \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin n\Omega t dt \end{aligned} \quad (0-2)$$

这就是无线电信号的表述方法。

四、通信系统的组成及各部分的作用

广义地讲,凡是发信者和收信者之间,以任何方式进行信息的传递,都可称为通信。现代通信,主要是指电通信,即电信。电信号沿导体(如架空线、电缆、波导、光缆等)传输的通信方式称有线电通信;电信号在空间进行传输的通信方式,称无线电通信。实现信息传递所需的设备总和,称为通信系统。一个完整的通信系统包括信号源、发送设备、传输信道、接收设备和终端装置。其组成方框图如图 0-2 所示。

- (1) 信号源 将要传递的声音、图像、文字等信息变换为电信号,即待传送信号。
- (2) 发送设备 其作用是调制和放大。调制就是用待传送信号去控制信息载体高

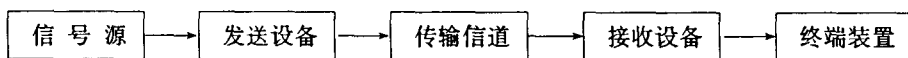


图 0-2 通信系统组成方框图

频振荡的某一参数(幅度、频率或相位),使之随待传送信号的变化规律而作线性变化的过程。用待传送信号去控制高频振荡的振幅,称为调幅;用待传送信号去控制高频振荡的频率或相位,称为调频或调相。通常将待传送的信号称为调制信号;经过调制后的高频信号,携带有要传送的信息,称为已调信号或已调波。而未被调制的高频振荡是运载信息的工具,称为载波。

(3)传输信道 又称传输媒介。通信系统中的传输信道可分为两类:有线传输信道(如架空线、电缆、波导、光缆等)和无线传输信道(如海水、地球表面、自由空间等)。不同的传输信道有不同的传输特性,同一信道对不同频率的信号其传输特性也不相同。传输信道的作用就是将发送设备发出的信号传送到接收设备。

(4)接收设备 其作用是选频、放大和解调。也就是将传输信道传送过来的已调信号进行处理,恢复出与发送端相一致的调制信号,这一过程称为解调。由于信道的衰减特性,经远距离传送到接收端的信号电平很微弱(μV 数量级),因此,需要放大后才能解调。同时,由于传输信道中存在有许多干扰信号,因而接收设备还必须要具有从众多的干扰信号中选择有用信号,抑制干扰信号的能力。

(5)终端设备 终端设备多种多样,其作用是将接收设备送来的电信号还原再现为原来待传送的声音、图像、文字等。如常用的扬声器、显示屏、打印机等都属终端设备的范畴。

五、无线电发送设备和接收设备的组成

发送设备和接收设备是现代通信系统的核心部件。现以无线电调幅广播发射和

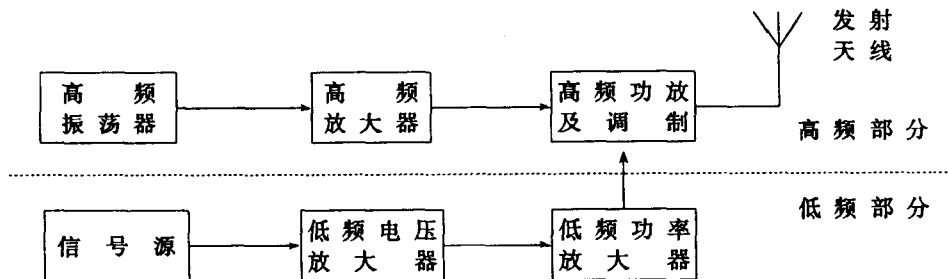


图 0-3 调幅发射机组成方框图

接收设备为例,说明它们的组成。如图 0-3 所示为调幅发射机组成的方框图。高频部分由高频振荡器、高频放大器和高频功率放大器及调制组成。高频振荡器的作用是产生频率稳定的高频载波信号。高频放大器的作用是将高频振荡载波放大到足够大的强度。高频功率放大器及调制的作用是将高频放大后的高频振荡进一步放大,同时把低频功率放大器输出的信号调制到载波上,完成末级高频功率放大,最后发射天线将已调波辐射出去。

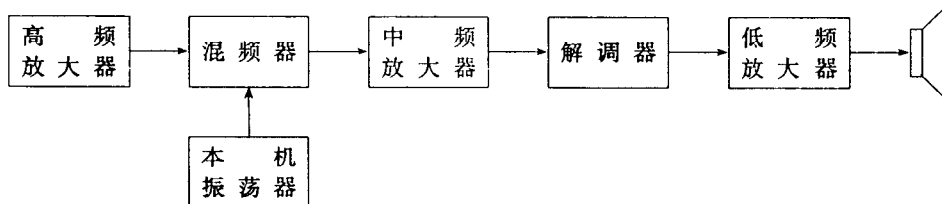


图 0-4 超外差接收式接收机组成方框图

图 0-4 为超外差接收式接收机组成方框图。接收天线将接收到的无线电波转变为已调波电流,然后从这些已调波电流中选择出所需的信号,并对其进行放大,放大后的有用信号送入混频器与本地振荡器产生的正弦振荡信号在混频器中混频产生一个频率固定的中频,此中频信号经中频放大器放大后,再经解调还原为原待传送的信号,最后经低频放大器输出。

第一章

高频小信号调谐放大器

本章要点

- 并联谐振回路及其选频特性
- 单调谐回路放大器的工作原理及性能指标
- 双调谐回路放大器的工作原理及性能指标
- 小信号调谐放大器的稳定性
- 集中选频放大器的基本组成与特点

第一节 概 述

高频小信号调谐放大器是构成无线电设备的主要电路。其作用是放大信道中的高频小信号。所谓“高频”，通常指低于微波频率范围的信号频率。所谓“小信号”的“小”字，主要是强调放大这种信号的放大器工作在线性范围内。所谓“调谐”，主要是指放大器的负载为调谐回路(如 LC 调谐回路等)。

高频小信号调谐放大器主要由放大器与调谐回路两部分组成。这里的放大器，定义为由放大器件构成的不含信号源和负载的基本线性放大电路。它与低频电路中的放大器并没有本质的区别。其用于放大的器件可以是半导体三极管、场效应管、集成运放等。调谐回路的主要作用是选频和抑制干扰。它可以是 LC 调谐回路，也可以是集中滤波器等。

一、高频小信号调谐放大器在整机中的作用

高频小信号调谐放大器的典型应用之一是在超外差接收机中，如图 0-4 所示。对