

清华大学信息科学技术学院教材——实验实践系列

电子技术实验

Experiments on Electronic Technology

高文焕 张尊侨 徐振英 金平 编著

Gao Wenhuan Zhang Zunqiao Xu Zhenying Jin Ping

清华大学出版社

清华大学信息科学技术学院教材——实验实践系列

电子技术实验

Experiments on Electronic Technology

高文焕 张尊侨 徐振英 金平 编著

Gao Wenhuan Zhang Zunqiao Xu Zhenying Jin Ping

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书共分8章,主要包括:常用电子仪器的原理与使用、模拟电路基础型实验、数字电路基础型实验、电子电路的计算机辅助分析与设计、电子技术设计型实验、在系统可编程逻辑器件应用、实验用电路元器件。

书中安排了较多的实验题目,且每个实验题目包括较多的实验项目,其内容和难易程度基本上可满足不同层次的教学要求,任课教师可以根据实际情况灵活选用。为了适应不同类型实验课的需求,每个实验都附有实验原理、参考实验电路和思考题。

本书是为适应电子技术实验课改革的需要,在总结多年实验教学经验的基础上编写的,可作为大专院校电类专业学生电子技术基础实验的教材,也可作为从事电子技术工作的工程技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验/高文焕等编著. —北京:清华大学出版社,2004.8

(清华大学信息科学技术学院教材——实验实践系列)

ISBN 7-302-08882-9

I. 电… II. 高… III. 电子技术—实验—高等学校—教材 IV. TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 058482 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 陈国新

文稿编辑: 马幸兆

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印张: 21.5 字数: 444 千字

版 次: 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-08882-9/TN·193

印 数: 1~5000

定 价: 28.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770175-3103 或 (010)62795704

《清华大学信息科学技术学院教材》

编 委 会

(以姓氏拼音为序)

主 任: 郑大钟

副 主 任: 蔡鸿程 邓丽曼 胡事民 任 勇 章 征
王希勤 王 雄 余志平

编 委: 高文焕 华成英 陆文娟 王诗宓 温冬婵
萧德云 谢世钟 殷人昆 应根裕 郑君里
郑纬民 周立柱 周润德 朱雪龙

秘 书: 王 娜

责任编辑: 马瑛珺 王一玲 邹开颜

出版说明

本套教材是针对清华大学信息科学技术学院所属电子工程系、计算机科学与技术系、自动化系、微电子研究所、软件学院的现行本科培养方案和研究生培养计划的课程设置而组织编写的。这些培养方案和培养计划是基于清华大学对研究型大学的定位和对研究型教学的强调,吸纳多年来在教学改革与实践中所取得的成果和形成的共识,历经多届试用和不断修订而形成的。贯穿于其中的“本科教育的通识性、培养模式的宽口径、教学方式的研究型、专业课程的前沿性”的相关思想将成为我们组编本套教材所力求体现的基本指导原则。

本套教材以本科教材为主并适量包括研究生教材。定位上,属于信息学科大类中各个基本方向的基本理论和前沿技术的一套高等院校教材。层次上,覆盖学院公共基础课程、专业技术基础课程、专业课程、研究生课程。领域上,涉及6个系列14个领域,即学院公共基础课程系列,信息与通信工程系列(含通信、信息处理等领域),微电子光电子系列(含微电子、光电子等领域),计算机科学与技术系列(含计算机科学、计算机网络与安全、计算机应用、软件工程、网格计算等领域),自动化系列(含控制理论与控制工程、模式识别与智能控制、检测与电子技术、系统工程、现代集成制造等领域),实验实践系列。类型上,以文字教材为主并适量包括多媒体教材,以主教材为主并适量包括习题集、教师手册等辅助教材,以基本理论和工程技术教材为主并适量包括实验和实践课程教材。列入这套教材中的著作,大多是清华大学信息科学技术学院所属系院所开设的课程中经过较长教学实践而形成的,既有多年教学经验和教学改革基础上新编著的教材,也有部分已出版教材的更新和修订版本。教材总体上将突出求新与求实的风格,力求反映所属领域的基本理

论和新进展,力求做到学科先进性和教学适用性的统一。

本套教材的主要读者对象为电子科学与技术、信息与通信工程、计算机科学与技术、控制科学与工程、系统科学、电气工程、机械工程、化学与技术工程、核能工程等相关理工专业的大学生和研究生,以及相应领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望,这套教材既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者与工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的和有价值的进修或自学读物。我们同时要感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并热忱欢迎提出批评和意见。

《清华大学信息科学技术学院教材》编委会

2003 年 10 月

前言

Preface

随着大规模集成电路和电子计算机技术的发展,电子系统的理论、技术和电路发生了巨大的变化,这种发展状况和趋势对电子技术基础课程提出了更高的要求,需要不断地更新课程内容,拓宽知识面,培养学生的综合能力和创新能力。电子技术实验作为电子技术基础课程的重要组成部分,在人才培养过程中起着不可替代的重要作用。它的主要任务是培养学生的基本实验技能、电路的设计与综合应用能力以及使用计算机工具的能力,以全面提高学生的素质和创新能力。为了适应这种要求,推动电子技术实验课的改革,特编写此教材。

电子仪器是观察物理现象、测量电子系统或电路性能的工具,了解常用电子仪器的基本原理,正确调整和使用电子仪器,掌握电路与系统的测试方法等是进行电路实验和科学研究的基础,也是培养学生实验能力的重要内容。对于一个从事电子技术工作的科技人员来说,正确使用电子仪器是必须具有的基本功。因此,本书第2章专门介绍了常用电子仪器的原理、使用方法和电子网络主要性能指标的测试方法等,并有专门进行练习的实验,且将此项训练作为基本要求贯穿整个基础型实验。

电子技术实验按其性质和目的可分为基础型实验、设计型实验和研究型实验3大类。本书在第3章和第4章安排了模拟电路和数字电路基础型实验,第6章安排了设计型实验。考虑到研究型实验是具有研究性和探索性的大型实验,需要较多的学时和较多的条件,拟放于课程设计或大型专题实验,本书对此不作介绍。

本书涉及的基础型实验(包括模拟电路与数字电路)不着重对电路理论的验证。学生通过基础型实验,可掌握基本的实验方法与实验技能,并具有观察和分析实验现象的能力,为进行更复杂的实验打下基础。

设计型实验是在基础型实验的基础上进行的综合性实验训练,其重点是电路设计。实验内容侧重综合应用知识,设计制作较为复杂的功能电路。本书所安排的设计型实验一般是给出实验任务 and 设计要求,学生通过电路设计、电路安装调试和指标测试、撰写报告等过程,提高电路设计水平和实验技能,提高综合运用所学知识,解决实际问题的能力。

随着电子设计自动化程度的迅速提高和集成电路技术与工艺的飞速发展,电子系统已进入片上系统的阶段。使用计算机辅助分析和设计工具来分析与设计电路,已经成为电类本科生必须掌握的知识和必备的基本能力。所以,培养学生使用工具的习惯和能力也是电子技术实验课程的重要任务。本书第 5 章以 OrCAD PSpice A/D 9 为典型软件,介绍 PSpice 软件的功能和使用方法,并通过电路实例和实验使学生逐步掌握如何使用 CAD 工具,进行电路分析与设计的基本方法。

近年来,采用大规模可编程逻辑器件作为电路载体,以硬件描述语言描述系统的逻辑关系,以微机和开发软件作为设计工具来设计数字系统等已成为一种趋势。因此,本书第 7 章简单介绍大规模可编程逻辑器件、硬件描述语言、软件开发工具和实验开发系统等基础知识,并有相应的实验,使学生受到基本训练,为今后使用可编程逻辑器件设计较复杂的数字系统打下较好的基础。

为了适应不同实验课的类型和不同实验学时的需求,本书安排了较多的实验题目,且每个实验题目包括较多的实验项目,其内容和难易程度基本上可满足不同层次的教学要求,任课教师可以因材施教,根据实际情况灵活选用。此外,每个实验都附有实验原理和思考题,有的还附有参考实验电路。多数学生可以通过自学或在教师的指导下,自行拟定实验步骤和测试方法,独立完成实验全过程。

参加本书编写工作的有清华大学电工电子学教学实验中心的高文焕(第 1 章、第 3 章)、张尊侨(第 2 章、第 4 章、第 8 章)、徐振英(第 6 章、第 7 章)、金平(第 5 章)等同志,高文焕同志为主编,负责全书的统稿工作。

在编写过程中得到董在望教授的热心指导和清华大学电工电子学教学实验中心许多同志的支持。在此对以上所有给予支持、帮助和指导的同志致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编者

2004 年 3 月

于北京清华园

目 录

Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 电子技术实验在人才培养中的作用	1
1.2 电子技术实验的一般过程和要求	2
1.3 实验测量误差	3
1.3.1 测量误差的来源与分类	4
1.3.2 测量误差的表示方法	5
1.3.3 误差的估计	5
1.3.4 误差的消除方法	8
1.4 实验数据处理	9
1.4.1 测量读数的处理	9
1.4.2 实验数据的处理方法	12
1.5 常用基本电量的测量方法	13
1.5.1 电压的测量	13
1.5.2 阻抗的测量	14
1.5.3 电压增益及幅频特性的测量	16
 第 2 章 常用电子仪器的原理与使用	 18
2.1 电子示波器的原理与应用	18
2.1.1 示波器显示波形的基本原理	18
2.1.2 示波器的工作原理	24
2.1.3 电子示波器的主要技术指标和正确使用方法	34
2.1.4 使用示波器测量电压、相位、时间与频率	36
2.2 SS7804/7810 型示波器简介	39

2.2.1	SS7804 型示波器的主要性能指标	39
2.2.2	SS7804 型示波器面板各部件的作用及使用方法	40
2.2.3	SS7810 型示波器简介	45
2.2.4	SS7804/7810 型示波器的屏幕字符显示	46
2.2.5	SS7804/7810 型示波器的校准方法	47
2.2.6	使用 SS7804/7810 型示波器测量电压、相位、时间和频率	48
2.3	EE1642B1 型函数信号发生器的原理与应用	49
2.3.1	EE1642B1 型函数信号发生器的组成及工作原理	49
2.3.2	EE1642B1 型函数信号发生器的主要技术指标	50
2.3.3	EE1642B1 型函数信号发生器的使用说明	52
2.3.4	AFG310 型任意函数波形发生器简介	54
2.4	DH1718E-4 型双路直流稳压电源	57
2.4.1	概述	57
2.4.2	电源的主要性能指标	57
2.4.3	电源面板各部分的作用与使用方法	58
2.5	GH4821 型晶体管特性图示仪	59
2.5.1	晶体管图示仪的基本原理	59
2.5.2	GH4821 型晶体管特性图示仪的主要技术指标	60
2.5.3	GH4821 型晶体管特性图示仪面板各部分的作用与使用方法	61
2.6	实验 常用电子仪器的使用及二端口网络参数的测量方法	65
第 3 章	模拟电路基础型实验	71
3.1	实验 1 单管放大电路	71
3.2	实验 2 负反馈放大电路(A)	75
3.3	实验 3 负反馈放大电路(B)	81
3.4	实验 4 增益自动切换的电压放大电路	84
3.5	实验 5 波形产生电路	88
3.6	实验 6 RC 有源滤波电路的设计	92
3.7	实验 7 集成功率放大电路	95
3.8	实验 8 555 定时器的应用	100
第 4 章	数字电路基础型实验	106
4.1	实验 1 与非门电路的测试	106
4.2	实验 2 简单组合逻辑电路设计	110

4.3	实验3 键盘输入电路设计	114
4.4	实验4 定时控制电路设计	117
4.5	实验5 扫描显示电路设计	121
4.6	实验6 电子密码锁电路设计	127
第5章	电子电路的计算机辅助分析与设计	131
5.1	概述	131
5.1.1	电路CAD技术及工具	131
5.1.2	电路CAD工具 PSpice 软件简介	132
5.2	OrCAD PSpice 软件功能介绍	135
5.2.1	电路基本特性的分析功能	135
5.2.2	电路复杂特性的分析功能	136
5.2.3	OrCAD PSpice 的元器件	137
5.3	使用 OrCAD Capture 软件绘制电路图的方法	137
5.3.1	Capture 软件的运行方法	138
5.3.2	电路原理图的绘制方法	145
5.4	OrCAD PSpice 仿真分析	156
5.4.1	OrCAD PSpice 仿真分析的基本步骤	156
5.4.2	OrCAD PSpice 仿真分析的操作方法	164
5.5	电子电路的仿真实验	185
5.5.1	教学目的与要求	185
5.5.2	实验1 单管共发射极放大电路	186
5.5.3	实验2 有源负载差动放大电路	186
5.5.4	实验3 多级放大电路	187
5.5.5	实验4 由集成运算放大器组成的多谐振荡电路	188
5.5.6	实验5 直流稳压电源	189
5.5.7	实验6 两位全减器电路	189
5.5.8	实验7 十字路口交通信号灯控制电路	190
第6章	电子技术设计型实验	191
6.1	概述	191
6.1.1	教学目的	191
6.1.2	设计型实验的步骤	191
6.2	电子电路设计的基础知识	192

6.2.1	电子电路设计的一般方法	192
6.2.2	电子电路设计中应注意的几个问题	193
6.2.3	设计型实验电路的设计方法	194
6.3	实验1 数字显示稳压二极管稳压值的测量电路	201
6.4	实验2 双线多路通信	204
6.5	实验3 产品分挡电路的设计	206
6.6	实验4 流水线产品统计电路的设计	207
6.7	实验5 超声波遥控电路的设计	210
6.8	实验6 晶体管输出特性曲线测试电路的设计	211
6.9	实验7 数模转换器和模数转换器的应用	218
6.10	实验8 电话自动留言电路	221
6.11	实验9 超声波测距电路的设计	223
6.12	实验10 温度测量电路的设计	224
第7章	在系统可编程逻辑器件的应用	226
7.1	概述	226
7.1.1	可编程逻辑器件的基本概念	226
7.1.2	可编程逻辑器件实验的一般过程与要求	227
7.2	可编程逻辑器件简介	228
7.3	硬件描述语言	232
7.3.1	VHDL 语言	232
7.3.2	Verilog-HDL 语言	232
7.3.3	ABEL-HDL 语言	233
7.4	软件开发工具	244
7.4.1	ispDesignEXPERT 设计软件	245
7.4.2	ispDesignEXPERT 操作举例	247
7.5	可编程逻辑器件实验	257
7.5.1	实验1 汽车尾灯控制电路	257
7.5.2	实验2 乒乓球游戏模拟电路	258
7.5.3	实验3 自动售票模拟电路	258
7.5.4	实验4 秒表电路	258
7.5.5	实验5 呼叫系统	258
7.5.6	实验6 公交车自动报站控制器	258
7.5.7	实验7 互锁式电子触摸开关	259

7.5.8	实验 8 步进电机控制电路	259
7.5.9	实验 9 密码锁电路	260
7.5.10	实验 10 抢答器电路	261
第 8 章	实验用电路元器件	262
8.1	常用电阻电容元件	262
8.1.1	电阻器型号命名与识别方法	262
8.1.2	电容器的识别与型号命名法	266
8.2	常用半导体器件	271
8.2.1	常用半导体器件型号命名的国家标准	271
8.2.2	常用二极管型号及性能	273
8.2.3	常用三极管型号及性能	275
8.3	几种常用模拟集成电路简介	278
8.3.1	μ A741 通用运算放大器	278
8.3.2	LM318 高速运算放大器	280
8.3.3	μ A348 四通用运算放大器和 μ A324 四通用单电源运算放大器	281
8.3.4	OP07 低失调、低温漂运算放大器	283
8.3.5	LF347 四 JFET 输入运算放大器	285
8.3.6	电压比较器 LM311	287
8.3.7	音频功率放大器 LM386	288
8.3.8	音频功率放大器 LM388	290
8.3.9	音频功率放大器 LA4102	291
8.3.10	CMOS 模拟开关 4052	292
8.3.11	CMOS 四双向模拟开关 4066	294
8.3.12	555 和 556 定时器电路	294
8.3.13	集成三端稳压器电路	295
8.4	常用数字集成电路简介	297
8.4.1	几类常用数字集成电路的典型参数	297
8.4.2	常用 TTL 数字集成电路功能及引脚图	298
8.4.3	常用 CMOS 数字集成电路引脚图	310
8.5	常用显示器件	312
8.5.1	发光二极管	312
8.5.2	数码管	314
8.5.3	发光二极管阵列显示器	314

8.6	A/D 与 D/A 变换电路	315
8.6.1	A/D 转换器 ADC0804	315
8.6.2	D/A 转换器 DAC0832	316
8.7	存储器	317
8.7.1	静态随机存取存储器(RAM)2114 简介	317
8.7.2	可用紫外线擦除的只读存储器 27C16	320
8.7.3	电可擦除只读存储器 93C46	321
8.8	专用器件和可编程器件	322
8.8.1	发射/接收型超声波传感器	322
8.8.2	光电耦合器	323
8.8.3	压电陶瓷蜂鸣片	324
8.8.4	可编程器件	325
8.8.5	语音处理集成电路	326
参考文献		330

1

绪论

1.1 电子技术实验在人才培养中的作用

电子技术基础是一门重要的技术基础课,它的主要任务是使学生获得电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,培养学生分析问题、解决问题的能力 and 创新精神,为以后从事电子技术方面的工作打下良好的基础。电子技术基础是一门实践性很强的课程,具有工程特点。所以加强实践环节,进行严格的工程训练和技能培养是培养学生全面素质,提高学生创新能力必不可少的教学环节。在学校里,这种实践和训练主要是通过实验课程来完成的,因此实验教学在人才培养中具有十分重要的作用。

实验教学和理论教学是相辅相成的,许多理论概念必须通过实践才能获得更清晰、更深入的理解,而在实践中获得的丰富知识和经验有助于理论的学习。实验过程会加深对理论教学内容的理解。一般来说,要对事物有全面、深刻的了解和认识,除了学习理论上的描述外,还需进行实际观察,所以重视实验环节同重视理论学习具有同样的重要意义。

一个实际的工程问题往往是比较复杂的,涉及到器件、电路、工艺、环境等许多方面的实际因素,这使得一些实验现象和结果与书本上和课堂上的内容往往存在一定的差别。分析实验中出现的现象,解决实验中出现的问題不但需要扎实的理论基础,更需要在实践中积累起来的丰富经验和实验能力。因此只有书本知识,缺乏实际经验和能力往往不能很好地解决实际问题。分析解决实验过程中出现的现象和问题可以促使实验者独立思考,学习新的知识,从而扩大知识面,增强理论联系实际的能力,培养创新意识,这也是科学工作者应具备的能力和素质。

近年来,电子系统的结构发生了很大变化,其中软件和硬件的结合是发展趋势。软件必须在硬件平台上运行才能实现其功能,没有性能优异的硬件作为基础,再好的软件也发挥不出作用。所以各种电子技术在物理世界中发挥作用必须有硬件作为媒介,可见硬件有其不可替代的重要地位和作用。对一个从事电子技术工作的科技人员来说,必要的硬件知识和实验能力是必须具有的基本功,也是发挥创新潜力的基础。电子技术实验是学生获得硬件知识,培养实验能力的重要一环,因此要给予足够的重视。

实验教学的另一个重要任务是培养学生严谨、勤奋、求实、创新的进取精神和理论联系实际科学作风,使学生立志为科学事业努力奋斗。

如何利用教学实验环节,自觉提高自己的实验能力是每个学生必须重视的问题。实验能力的培养没有什么捷径,必须通过独立完成教学实验的各个环节,通过自己的实践,点滴积累经验,才能达到目标。提高效率的办法就是严谨、认真和实践。

一般来说,电子技术实验包括基础型实验、设计型实验和研究型实验3大类。

基础型实验,可以巩固并深入理解本学科的基础知识,可使学生掌握基本的实验方法和基本实验技能。这类实验往往具有验证和训练的性质,所以实验题目一般比较简单,内容多是单元性的。

设计型实验是在基础型实验的基础上进行的综合性的实验训练,其重点是综合应用所学知识,设计制作较为复杂的功能电路。设计型实验是电子技术实验的重要教学环节,它对提高学生的电路设计水平和实验技能,培养学生综合运用所学知识解决实际问题的能力都是非常重要的。

研究型实验的题目往往是从科学研究、生产实践和实验室建设等项目中提炼出来的子课题或子系统。实验者通过查阅资料、设计实施方案、设计电路、组织实验、撰写总结报告等过程,获取新的知识和经验,得到全面组织实验的锻炼,从而具有从事科学研究和科学实验的素质和能力。

目前,以电子计算机辅助设计为基础的电子设计自动化技术已渗透到电子系统和专用集成电路设计的各个环节。使用计算机辅助分析和设计工具来分析与设计电路,加深对电路原理、信号流通过程、元器件参数对电路性能影响的了解等,已经成为电类本科生必须具备的基本能力,因此电子实验课程同时要培养学生使用工具的习惯和能力。

综上所述,电子技术实验课程的目的是培养学生的实验技能,提高电路设计能力,培养学生科学作风和创新精神,为以后从事电子技术方面的工作打下良好的基础。

1.2 电子技术实验的一般过程和要求

电子技术实验一般分为实验前的准备(预习)、实验室内做实验和实验后的总结(撰写实验报告)等三个阶段,具体要求如下。

1. 实验前的准备

为了避免盲目性,提高实验效率,实验者应对实验内容进行充分的预习,包括认真阅读实验指导书,了解实验目的与要求,掌握实验的原理,完成电路设计,拟定实验方法和步骤,设计记录表格,了解注意事项,解答思考题等。一般需按要求写出预习报告。

2. 实验室内做实验

首次进入实验室要熟悉实验室的环境,了解实验室的规则,自觉遵守实验室的各项规章制度,保证实验室有良好的实验秩序、实验环境,要注意人身安全和仪器设备的安全。

按实验方案搭接实验电路,检查无误后通电。要精心操作,认真观察实验现象,准确记录实验现象和实验数据(包括波形)。如果发现有误,要分析原因,排除故障(应记录故障现象和排除故障的方法)。如果发生安全事故,则应立即切断电源,报告辅导教师或实验室工作人员。

实验内容完成之后,一般要将实验记录送交辅导教师审阅,得到辅导教师同意后再拆除线路,清理现场。

需要指出的是,在实验过程中出现一些在预习中没有预料到的故障和问题是正常现象,不一定是坏事。实验者通过思考和分析,独立地排除故障,解决问题的过程就是积累经验,增长才干的过程,从中可以得到锻炼和提高。

3. 撰写实验报告

撰写实验报告的过程是对实验进行总结和提高的过程。通过这个过程可以加深对实验现象和内容的理解,更好地将理论和实际结合起来,这个过程也是提高表达能力的重要环节。一个科技工作者或一个工程技术人员应该具备处理技术文件的素质和能力。

一般实验报告的内容应包括:

- ① 实验环境和条件,如实验日期、同组人、所用仪器仪表的名称与编号等。
- ② 整理实验数据,描绘测试波形,列出表格或画出测试曲线。
- ③ 对实验结果进行理论分析,做出简要的结论,对实验误差进行简单的分析。
- ④ 分析实验中出现的故障或问题,总结排除故障,解决问题的方法。
- ⑤ 实验的收获和体会以及对改进实验的意见与建议。

实验报告要层次分明,文理通顺,书写整洁,简明扼要。图表、曲线要符合规范。

1.3 实验测量误差

测量是通过实验获得对客观事物定量表征的过程,测量结果是验证理论的客观标准。通过测量可以揭示自然界的奥秘,可以发现理论中存在的问题以及理论的近似性和局限性,从而促进科学理论的进一步发展。