

民用航空器维修基础系列教材

中国民用航空局飞行标准司推荐

电子技术基础 (第2版)

Fundamentals of Electronics

(ME)

刘建英 主编



清华大学出版社



民用航空器维修基础系列教材

电子技术基础 (第2版)

Fundamentals of Electronics

(ME)

刘建英 主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是“民用航空器维修基础系列教材(第2版)”之一,是民用航空器维修人员基础执照考试的主要参考用书。全书分为上篇和下篇两大部分,其中上篇为“模拟电子技术基础”,主要包括模拟电子技术基础、印刷电路板、自动控制理论基础和无线电基础知识;下篇为“数字电子技术基础”,主要包括逻辑电路基础、数据转换和光纤技术、基本计算机基础、电子显示器和电磁干扰及防护等内容。

本书的内容深入浅出,注重物理概念的解释,避免引入高深的数学推导,以便于不同基础的人员自学。本书主要用于民航机务维修人员的基础执照考试,也可用作电气信息类专业本科学生和高职学生的课外学习用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础:ME/刘建英主编.--2版.--北京:清华大学出版社,2016

民用航空器维修基础系列教材

ISBN 978-7-302-43765-9

I. ①电… II. ①刘… III. ①电子技术—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第100194号

责任编辑:赵 斌

封面设计:李星辰

责任校对:刘玉霞

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:13.25

字 数:321千字

版 次:2006年7月第1版 2016年8月第2版

印 次:2016年8月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00元

产品编号:069459-01

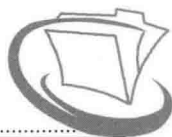
民用航空器维修基础系列教材

编写委员会

主任委员：任仁良

编	委：	刘 燕	陈 康	付尧明	郝 瑞
		蒋陵平	李幼兰	刘 峰	刘建英
		刘 珂	吕新明	任仁良	王会来
		张 鹏	邹 蓬	张铁纯	

序 言



PREFACE

2005年8月,中国民航规章CCAR-66R1《民用航空器维修人员执照管理规则》考试大纲正式发布执行,该大纲规定了民用航空器维修持照人员必须掌握的基本知识。随着中国民用航空业的飞速发展,业内迫切需要大批高素质的民用航空器维修人员。为适应民航的发展,提高机务维修人员的素质和航空器的维修水平,满足广大机务维修人员学习业务的需求,中国民航总局飞行标准司组织成立了“民用航空器维修基础系列教材”编写委员会,其任务是组织编写一套满足中国民航维修要求、实用性强、高质量的培训和自学教材。

为方便机务维修人员通过培训或自学参加维修执照基础部分考试,本套教材根据民航局颁发的AC-66R1-02维修执照基础部分考试大纲编写,同时满足AC-147-02维修基础培训大纲。本套教材共12本,内容覆盖了大纲的所有模块,具体每一本教材的适用专业和对应的考试大纲模块见本书封底。

本套教材力求通俗易懂,紧密联系民航实际,强调航空器维修的基础理论和维修基本技能的培训,注重教材的实用性。本套教材可作为民航机务维修人员或有志于进入民航维修业的人员的培训或自学用书,也可作为CCAR-147维修培训机构的基础培训教材或参考教材。

“民用航空器维修基础系列教材”第1版在CCAR-66执照基础部分考试和CCAR-147维修基础培训中得到了非常广泛的应用。通过10年的使用,在第1版教材中发现了不少问题;同时10年来,大量高新技术应用到新一代飞机上(如B787、A380等),维修理念和技术也有了很大的发展,与之相对应的基础知识必须得到加强和补充。因此,维修基础培训教材急需进行修订。

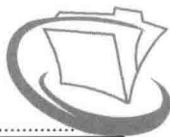
“民用航空器维修基础系列教材”第2版是在民航局飞行标准司的直接领导下进行修订编写的。这套教材的编写得到了民航安全能力基金的资助,同时得到了中国民航总局飞行标准司、中国民航大学、广州民航职业技术学院、中国民用航空飞行学院、民航管理干部学院、上海民航职业技术学院、北京飞机维修工程有限公司(Ameco)、广州飞机维修工程有限公司(Gameco)、中信海洋直升机公司、深圳航空有限责任公司等单位以及航空器维修领域专家的大力支持,在此一并表示感谢!

由于编写时间仓促和我们的水平有限,书中难免存在许多错误和不足,请各位专家和读者及时指出,以便再版时加以纠正。我们相信,经过不断的修订和完善,这套教材一定能成为飞机维修基础培训的经典教材,为提高机务人员的素质和飞机维修质量作出更大的贡献。任何意见和建议请发至:skyexam2015@163.com。

“民用航空器维修基础系列教材”编委会

2016年4月

第2版前言



FOREWORD

本书是在 2006 年出版的“民用航空器维修基础系列教材”之一《电子技术基础(ME)》的基础上修订而成的,修订的主要依据是 AC-66R1-02《民用航空器维修人员执照基础部分考试大纲》中所规定的考试内容,同时也采纳了基础执照培训教师和广大考生反馈的意见,并考虑了目前主流机型上航空新技术的使用情况。新版教材在保持原版教材整体框架不变的前提下,主要在以下几个方面作了修改:

一是鉴于电力电子器件在飞机系统中的应用越来越普遍,在本书上篇的第 1 章中,增加了“电力电子技术简介”部分,简要介绍了电力电子技术的基本概念和基本应用,使学生对电力电子技术有初步的了解。

二是删除了上篇第 3 章“自动控制理论基础”中的传递函数,以便于不同层次的学生自学。此外,在本章的“伺服电动机”中,增加了“直流伺服电动机”,使内容更趋完整。

三是在上篇第 4 章的“无线电基础知识”中,删除了部分数学公式,并修改、调整了部分内容及其前后顺序,使教材内容和结构更趋合理。

四是在下篇的第 5 章“逻辑电路基础”中,增加了“单稳态触发器”小节,并更换了“逻辑电路在飞机系统中的应用”中的举例,并对电路框图的工作原理作了简要介绍,以便于学生理解。

五是充实了下篇的第 7 章“计算机基础”的内容,并按照考试大纲的要求,增加了“微型计算机在飞机上的应用”部分。

六是在下篇第 9 章“电磁干扰与防护技术”中,增加了“高强度辐射防护”、“飞机结构中静电荷的产生及危害”、“滤波技术”等内容,使内容更趋全面。

由于我国民航所使用的飞机大都是欧美制造,为了便于学生对照机型资料学习,书中的部分图形符号采用了欧美国家的符号,并在书后的附录中给出了逻辑符号对照表。

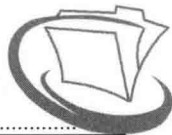
本书由中国民航大学刘建英副教授担任主编并统稿,其中上篇的第 4 章、下篇的第 9 章由中国民航大学孙俊卿副教授编写,下篇 6.2 节中的“光纤在飞机上的应用”由深圳航空公司培训部的郝瑞修改和编写,北京 AMECO 的王会来也参与了部分内容的修订工作。在教材的编写和修订过程中,东航西北分公司的杨晓龙、北京 AMECO 的王会来、深圳航空公司培训部的郝瑞、中国民航大学的尤晓明等都提出了许多宝贵意见,任仁良教授从始至终严格把关,上述老师的共同努力充分保证了第 2 版教材的质量,在此一并表示衷心的感谢!

尽管作者付出了很大努力,但由于水平所限,书中仍然存有不少瑕疵,敬请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 4 月

第1版前言



FOREWORD

《电子技术基础(ME)》分上下两篇,上篇为模拟电子技术基础,下篇为数字电子技术基础。本教材是按照中国民航规章 CCAR-66R1《民用航空器维修人员执照管理规则》航空机电专业(ME)考试大纲 M4 和 M5 编写的,本书可以作为 CCAR-147 维修基础培训机构的培训教材或参考教材,也适用于具有一定基础的航空机电专业人员自学。

上篇包括二极管、三极管和集成运放的工作原理和应用、印刷电路板、自动控制的基本原理和无线电基础知识。下篇包括数制及编码系统、数据转换及光纤技术、计算机基础、电子显示设备和静电及防护的基本知识。本书的内容都是机电专业的航空器维修人员必备基础知识。在编写过程中,力求做到通俗易懂,注重知识的实用性,贯彻了理论与实际密切结合的思想,基本上不涉及复杂的数学公式和推导,强调用实验的方法总结和描述大纲中要求掌握的基本知识。

由于我国民航所使用的飞机大都是欧美制造,为了便于学生对照机型资料学习,书中的部分电路符号采用了欧美国家的符号,学习时应予注意。

本教材由任仁良教授担任主编,王会来、刘建英副教授参与了编写和修改工作,上篇的第4章无线电基础知识由郑连兴副教授编写。刘建英副教授对全书进行了审校,在此谨表深深的感谢。

由于编写时间仓促和我们的水平有限,教材中还存在着许多错误和不足,请各位专家和读者指出,以便再版时加以纠正。

编 者

2006年5月

目 录



CONTENTS

上篇 模拟电子技术基础

第 1 章 半导体	3
1.1 半导体二极管	3
1.1.1 半导体二极管及其伏安特性	3
1.1.2 二极管的识别和简易检测方法	7
1.1.3 二极管的种类及其应用	8
1.2 三极管及其基本放大电路	18
1.2.1 晶体三极管的结构和基本工作原理	18
1.2.2 晶体三极管的特性曲线和主要参数	21
1.2.3 放大器的一般概念	25
1.2.4 基本放大电路	26
1.3 集成运算放大器	35
1.3.1 集成运算放大器的基本知识	35
1.3.2 运算放大器的应用	37
1.4 电力电子技术简介	42
1.4.1 电力电子器件	42
1.4.2 电力电子器件应用举例	47
第 2 章 印刷电路板	52
2.1 印刷电路板的基础知识	52
2.2 印刷电路板的简易制作	55
第 3 章 自动控制理论基础	58
3.1 自动控制系统概述	58
3.1.1 自动控制的基本概念	58
3.1.2 自动控制系统的组成	61
3.1.3 典型输入信号和控制系统的性能指标	64

3.1.4	控制器的类型及特点	68
3.1.5	自动控制系统举例	75
3.2	同步器和伺服机构	75
3.2.1	同步器	75
3.2.2	伺服系统	83
3.3	伺服电动机	85
3.3.1	直流伺服电动机	85
3.3.2	两相交流伺服电动机	86
3.4	步进电动机	90
3.4.1	步进电动机的典型结构	90
3.4.2	步进电动机的基本工作原理	90
第4章	无线电基础知识	93
4.1	无线电频段的划分	93
4.2	信号频谱与带宽	95
4.2.1	信号	95
4.2.2	频谱与带宽	95
4.3	传输线	98
4.3.1	传输线的基础知识	98
4.3.2	传输线的特性阻抗及电磁波在线上的传播速度	100
4.3.3	均匀无损耗传输线的工作状态	101
4.3.4	波导	102
4.4	电磁波传播与天线	103
4.4.1	电磁波的传播	103
4.4.2	电磁波的传播方式	104
4.4.3	天线	106
4.5	无线电发射机	110
4.5.1	高频功率放大器	111
4.5.2	信号调制的基本原理	111
4.5.3	调幅波	111
4.5.4	调频波	112
4.6	无线电接收机	113
4.6.1	选频放大器	113
4.6.2	混频器	114
4.6.3	调制信号的解调	114

下篇 数字电子技术基础

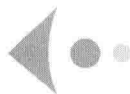
第5章	逻辑电路基础	119
5.1	数制及编码	119

5.1.1	数制系统的分类	119
5.1.2	不同进制数之间的转换	121
5.1.3	常用的编码	123
5.2	门电路和基本逻辑关系	124
5.2.1	基本逻辑门	124
5.2.2	正逻辑和负逻辑	129
5.2.3	集成逻辑门电路	130
5.3	触发器	132
5.3.1	双稳态触发器	132
5.3.2	单稳态触发器	136
5.4	逻辑电路在飞机系统中的应用	138
第 6 章	数据转换与光纤技术	141
6.1	数据转换	141
6.1.1	模拟量与数字量的含义	141
6.1.2	D/A 转换器	142
6.1.3	A/D 转换器	146
6.2	光纤技术	149
6.2.1	光纤传输的基本概念	150
6.2.2	光纤及其传输原理	151
6.2.3	光纤通信系统	156
6.2.4	光纤通信在飞机上的应用	157
第 7 章	计算机基础	160
7.1	计算机的基本组成	160
7.1.1	计算机的硬件系统	160
7.1.2	计算机的软件系统	164
7.2	计算机的基本工作原理	165
7.2.1	初级计算机模型	165
7.2.2	指令和程序的概念	167
7.2.3	初级计算机的指令执行过程	168
7.3	微型计算机在飞机上的应用	168
7.3.1	概述	168
7.3.2	数据处理微机	169
7.3.3	实时控制微机	170
第 8 章	电子显示器	172
8.1	发光二极管显示器	172
8.1.1	LED 的基本特性	172

8.1.2 LED 的驱动电源	175
8.2 阴极射线管	176
8.2.1 显像管的结构和基本工作原理	176
8.2.2 彩色显像管概述	178
8.3 液晶显示器	178
8.3.1 液晶材料	178
8.3.2 液晶材料的电光效应	179
8.3.3 液晶显示器的结构及基本原理	181
8.3.4 液晶显示器的使用注意事项	182
第9章 电磁干扰与防护技术	184
9.1 静电防护技术	184
9.1.1 机载电子设备的静电防护	184
9.1.2 飞机结构的静电防护	188
9.1.3 雷击防护	190
9.2 电磁辐射及其防护	191
9.2.1 电磁环境相关术语	192
9.2.2 机载电子设备电磁干扰控制方法	192
9.2.3 高强度辐射防护	195
附录 常用逻辑符号对照表	196
参考文献	197

上篇

模拟电子技术基础



1.1 半导体二极管

1.1.1 半导体二极管及其伏安特性

在典型的半导体材料硅和锗中,若掺入磷、锑或砷等五价元素,就可以使晶体中的自由电子浓度大大增加,这种半导体称为 **N 型或电子型半导体**;若掺入硼、镓或铟等三价元素,则可以使晶体中的空穴浓度大大增加,这种半导体称为 **P 型或空穴型半导体**。

将 P 型半导体与 N 型半导体通过物理、化学的方法有机地结合为一体后,在两个半导体的交界面处就形成了 PN 结。**PN 结具有单向导电性**,是多种半导体器件的基础。

半导体二极管的核心部分就是一个 PN 结。在 PN 结两端加上电极引线和管壳后就制成了半导体二极管,P 区引出端称为**正极(或阳极)**,N 区引出端称为**负极(或阴极)**。二极管一般用文字符号“D”表示,其结构和图形符号如图 1.1-1 所示。箭头一边代表正极,竖线一边代表负极,箭头所指方向是 PN 结正向电流的方向,它表示二极管具有单向导电性。



图 1.1-1 二极管的结构图及符号

1. 二极管的单向导电性

1) 二极管的正向接法

将电源的高电位端接在二极管的 P 区电极,低电位端接在 N 区电极,这种接法称为二极管的**正向接法**,如图 1.1-2(a)所示。半导体二极管在正向接法下,可以形成正向电流,正向电流的大小取决于外加电源和电阻的大小。

2) 二极管的反向接法

将电源的高电位端接在二极管的 N 区电极,低电位端接在 P 区电极上,这种接法称为二极管的**反向接法**,如图 1.1-2(b)所示。

二极管加反向电压后,PN 结处于反向偏置,这时二极管的电流很小,该电流称为二极

管的反向电流 I_R 。当环境温度一定时,二极管的反向电流在一定的反向电压范围内不随反向电压的改变而发生变化,因此反向电流又称为反向饱和电流。反向饱和电流越小,二极管的单向导电性越好。

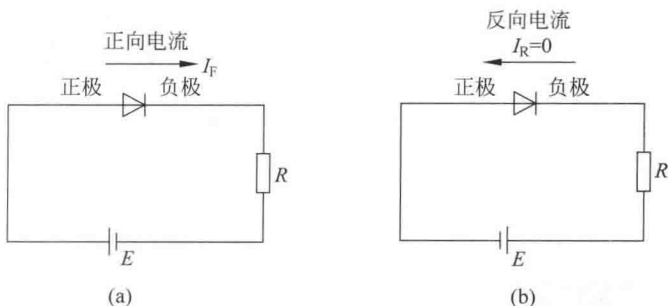


图 1.1-2 二极管的正、反向接法

2. 二极管的结构和外形图

由于功能和用途不同,二极管的结构和大小也不同,其外形和封装各异。

在图 1.1-3 中,从左到右是由小功率到大功率的几种常见的二极管外形。从二极管使用的封装材料来看,小电流的二极管常用玻璃壳或塑料壳封装;电流较大的二极管工作时的 PN 结温度较高,常用金属外壳封装,外壳就是一个电极并制成螺栓形,以便于和散热器联接成一体。随着新材料和新工艺的广泛应用,二极管也采用环氧树脂、硅酮塑料或微晶体玻璃进行封装。

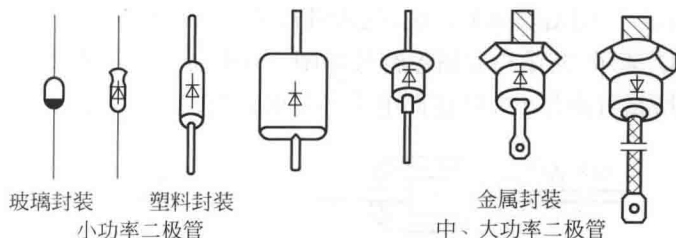


图 1.1-3 常用二极管的外形图

二极管的外壳上一般印有符号表示其极性,正、负极的引线 with 符号一致。有的二极管在外壳的一端印有色圈表示负极;有的在外壳一端制成圆角形来表示负极;也有的二极管在正端打印标记或用红点来表示正极,这一点在使用时要特别注意。

根据不同的制造工艺,二极管的内部结构大致分为点接触型、面接触型和平面型三种,以适应不同用途的需要。

点接触型二极管的内部结构如图 1.1-4(a)所示,其特点是 PN 结的面积较小,结电容很小,适合于在高频电路中工作,但只能通过较小的电流。

面接触型二极管的内部结构如图 1.1-4(b)所示,其特点是 PN 结的面积较大,结电容大,只能在低频信号下工作,并允许通过较大的电流。

平面型二极管是用特殊工艺制成的,其特点是截面积较小时结电容小,适用于在数字电路中工作;当截面积较大时,可以通过很大的电流,其内部结构如图 1.1-4(c)所示。

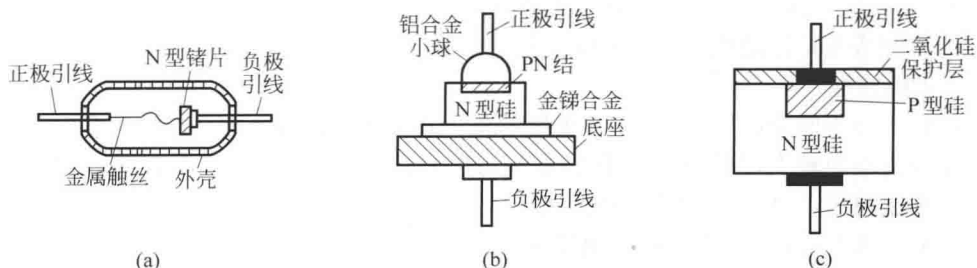


图 1.1-4 二极管的内部结构

3. 二极管的伏安特性曲线和参数

1) 二极管的伏安特性曲线

二极管最重要的特性就是单向导电性,这是由于在不同极性的外电压作用下,其内部载流子的不同运动过程形成的。反映到外部电路就是加到二极管两端的电压和通过二极管的电流之间的函数关系,该曲线称为二极管的**伏安特性**。在电子技术中,常用伏安特性曲线直观地描述电子器件的特性。图 1.1-5(a)、(b)是测量二极管伏安特性的实验电路。在不同极性的外加电压作用下,每改变一次 R_P 的值就可以测得一组电压和电流数据,然后在以电压为横坐标、电流为纵坐标的直角坐标系中描绘出来,就可以得到二极管的伏安特性曲线,如图 1.1-6 所示。

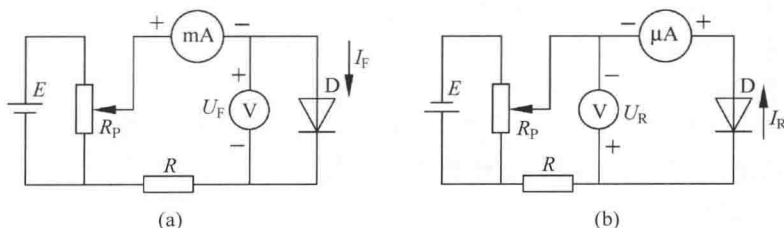


图 1.1-5 测量二极管伏安特性的实验电路

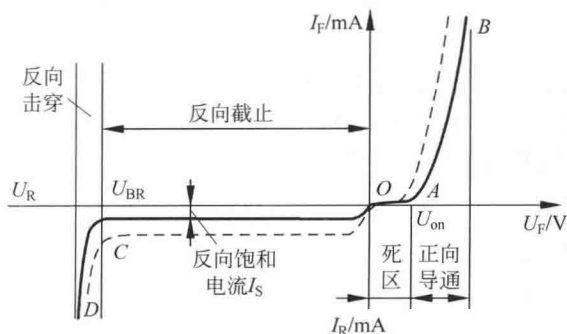


图 1.1-6 二极管的伏安特性曲线

从特性曲线可以看出,当正向电压 U_F 上升时,二极管呈现的电阻很小,正向电流 I_F 增长很快,这时二极管正向导通;二极管加反向电压时,二极管呈现的电阻很大,只有很小的

反向电流 I_R 流过,这时二极管基本处于阻断状态。

二极管的伏安特性曲线可以分为以下几个区域。

(1) 正向特性

正向特性分为两个区域,当二极管所加的正向电压 U_F 比较小时,正向电流几乎为零,二极管呈现的电阻较大,曲线 OA 段比较平坦,这一区域称为不导通区或死区,与之相对应的电压叫死区电压,一般硅二极管的死区电压约为 $0.5V$,锗二极管约为 $0.2V$ 。

当正向电压 U_F 上升到大于死区电压时,二极管的正向电阻减小,正向电流 I_F 增大,二极管正向导通。二极管导通后,正向电压微小的增大就会引起正向电流急剧增大,如曲线中的 AB 段所示。该段曲线陡直,电压与电流的关系近似于线性,我们把 AB 段称为导通区。二极管导通后,其两端的正向电压称为正向压降(或管压降),一般硅二极管近似为 $0.7V$,锗二极管为 $0.3V$ 。该电压比较稳定,基本不随流过的电流大小而变化。但当温度升高时,管压降下降,如图 1.1-6 中虚线所示。

(2) 反向特性

反向特性也可以分为两个区域。当二极管承受反向电压 U_R 时,二极管呈现出很大的反向电阻,只流过很小的反向电流 I_R 。当反向电压继续增加时,反向电流略有增大,如曲线的 OC 段所示,这时的反向电流 I_R 又称为反向饱和电流, OC 段称为反向截止区。二极管反向电流随温度的升高而增大,如图 1.1-6 中虚线所示。在实际应用中,反向电流越小越好。

当反向电压 U_R 增大到超过某一个值时(图中 C 点),反向电流急剧增大,这种现象叫反向击穿。 C 点对应的电压叫反向击穿电压 U_{BR} , CD 段称为反向击穿区。不同的二极管,其反向击穿电压也不一样。二极管工作时,要防止反向电压达到击穿电压。

2) 二极管的主要参数

(1) 最大整流电流 I_{FM} 。常称为额定工作电流,是指二极管长期使用时,允许流过的最大平均电流。该电流与二极管两端正向压降的乘积就是使二极管发热的耗散功率。正向电流不能无限制增加,否则 PN 结会因过热而烧毁。应用时,二极管的实际工作电流要低于规定的最大整流电流值。

(2) 最大反向工作电压(峰值) U_{RM} 。常称额定工作电压,它是为了保证二极管不致被反向击穿而规定的最大反向电压。一般规定二极管最高反向工作电压是反向击穿电压的 $1/3 \sim 1/2$,以确保二极管安全工作。在实际应用中,反向电压的峰值不能超过最高反向工作电压。

如型号为 1N4003 的二极管其额定工作电流为 $1A$,额定工作电压为 $200V$; 1N5402 的额定工作电流为 $3A$,额定电压为 $200V$ 。在实际使用时应根据电路参数选择合适的管子,使其工作过程中的平均电流和最大反向工作电压不超过额定值。

4. 二极管的串并联

在整流设备中,有时会遇到要求输出很高电压或很大电流的情况。这时,单个的整流器件已不能满足要求,这时可以采用同型号的整流二极管串联或并联使用。

1) 二极管的串联

串联后总的反向工作峰值电压成倍增长。由于各个二极管的反向电阻不可能完全一致,因此串联后,反向电阻最大的二极管有可能因承受过高的电压而击穿,这样全部电压分别加在剩余的二极管上,结果将导致全部二极管陆续被击穿而损坏。所以整流二极管串联使用时,一般需要并联均压电阻,如图 1.1-7 所示。均压电阻的阻值一般选为单个二极管反