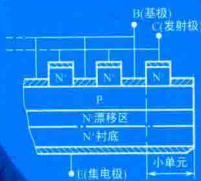
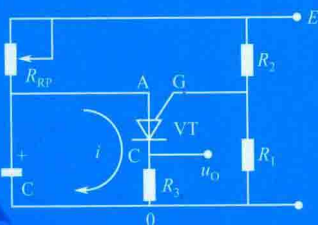


朱益江 魏 弢 副主编

**BIANLIU
JISHU JI
YINGYONG**

变流技术 及应用



化学工业出版社

魏连荣 主编

朱益江 魏 弢 副主编

BIANLIU
JISHU JI
YINGYONG

变流技术 及应用



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

变流技术及应用/魏连荣主编. —北京: 化学工业出版社, 2016.1

ISBN 978-7-122-25600-3

I. ①变… II. ①魏… III. ①电力电子学-交流
IV. ①TM46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 261855 号

责任编辑: 卢小林

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 边 涛

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 14½ 字数 314 千字 2016 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

《变流技术及应用》是根据教育部高职高专自动化类专业建设与教学改革研讨会会议精神,编写的教学用书。《变流技术及应用》课程是机电类专业的一门重要的技术基础课。为适应职业技术教育的迅速发展,根据国家教委对高等职业技术学院的教学要求,在教学实施中,采用“教、学、做”一体化的教学模式,对教学内容进行调整,减少理论内容,结合生产实际应用,增加实训内容,形成了一定的教学特色,本书也正是在此基础上编写而成的。

本书主要内容有:常用电力电子器件(功率二极管、晶闸管、可关断晶闸管、大功率晶体管、功率场效应晶体管、绝缘栅双极晶体管)的工作原理与使用特性,上述器件组成的可控整流电路、交流调压电路、逆变电路、直流斩波电路的工作原理与用途,并附有典型的应用实例。

本书在编写中紧紧围绕电力电子器件的应用,力求将复杂理论分析简化,定性说明并将其实用化,将器件、电路与应用有机结合。编写时力求在保证必需的基础理论与常规技术的同时,充分考虑教材的应用性,以满足高等职业技术学校的需要。在编写内容上力求精选内容,叙述尽量深入浅出,每项目后附有思考题与习题,有实训指导,以期符合职业教学要求,做到学用结合的效果。

本书可用作高等职业技术学校“工业电气自动化”“电气技术”等相关专业的教学用书,为培养生产第一线高级应用型人才服务,也可供从事电工技术的工程技术人员参考。

本书由魏连荣任主编,朱益江、魏弢任副主编,编写分工:魏连荣编写项目1、2及其实训部分,朱益江编写项目3,魏弢编写项目4,李秀斌编写项目5,白岩峰编写项目3、4、5的实训部分,全书由魏连荣负责统稿。

本书在编写过程中,参阅了部分兄弟院校的教材文献资料,参考了生产厂家的产品说明书,在此向所有参考文献的作者表示衷心的感谢。本书在编写过程中得到吉红、严昆、韩睿群、刘彦磊、张佳、秦立芳、纪文华、徐霁堂、赵建松、陶英杰、张楠各位老师的指导和帮助,在此表示感谢。

由于编者水平所限,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2015年8月

目录

CONTENTS

绪论	1
----------	---

项目 1 电力电子器件	4
-------------------	---

1.1 电力二极管	4
1.1.1 结构和伏安特性	5
1.1.2 主要参数	6
1.1.3 型号及选择原则	6
1.2 晶闸管	8
1.2.1 晶闸管的结构	8
1.2.2 晶闸管的导通关断条件	8
1.2.3 晶闸管的工作原理	10
1.2.4 晶闸管的阳极伏安特性及主要参数	11
1.2.5 晶闸管的门极伏安特性及主要参数	15
1.2.6 晶闸管的简易测试	15
1.3 其他类型晶闸管	16
1.3.1 双向晶闸管	16
1.3.2 可关断晶闸管	20
1.3.3 快速晶闸管	24
1.3.4 逆导晶闸管	25
1.3.5 光控晶闸管	25
1.4 电力晶体管 (GTR)	25
1.4.1 电力晶体管的结构与工作原理	26
1.4.2 电力晶体管的特性与参数	29
1.4.3 电力晶体管的基极驱动与缓冲电路	30
1.5 电力场效应晶体管 (电力 MOSFET)	34
1.5.1 电力场效应晶体管的结构与特性	35
1.5.2 电力场效应晶体管的主要参数	38
1.5.3 电力场效应晶体管的栅极驱动与保护	38
1.6 绝缘栅双极晶体管 (IGBT)	42

1.6.1	IGBT 的工作原理与特性参数	42
1.6.2	IGBT 的电压、电流额定值的选择	46
1.6.3	IGBT 的驱动电路	47
1.6.4	IGBT 的保护	49
1.7	其他新型电力电子元件	51
1.7.1	MOS 控制晶闸管 (MCT)	51
1.7.2	静电感应晶体管 (SIT)	53
1.7.3	静电感应晶闸管 (SITH)	55
1.7.4	集成门极换流晶闸管 (IGCT)	57
1.7.5	智能功率模块 IPM	58
小结		59
思考题与习题		63
实训 1.1	SCR、GTO、MOSFET、GTR、IGBT 特性	66
实训 1.2	GTO、MOSFET、GTR、IGBT 驱动与保护电路	67

项目 2 可控整流电路 70

2.1	单相半波可控整流电路	70
2.1.1	电阻性负载	70
2.1.2	电感性负载	72
2.1.3	晶闸管的触发电路	76
2.2	单相桥式全控整流电路	78
2.2.1	电阻性负载	78
2.2.2	电感性负载	80
2.2.3	反电动势负载	83
2.3	单相桥式半控整流电路	84
2.3.1	电阻性负载	85
2.3.2	电感性负载	85
2.3.3	单结晶体管触发电路	89
2.4	三相半波可控整流电路	93
2.4.1	电阻性负载	93
2.4.2	电感性负载	97
2.4.3	三相半波共阳极可控整流电路	98
2.5	三相桥式全控整流电路	100
2.5.1	工作原理和波形分析	100
2.5.2	主要参数关系	102
2.5.3	反电动势负载	102
2.6	三相桥式半控整流电路	103
2.6.1	电阻性负载	103
2.6.2	电感性负载	104
2.7	带平衡电抗器的双反星形可控整流电路	105

2.7.1	电路原理	105
2.7.2	波形分析	106
2.8	整流电路的换相压降与外特性	109
2.8.1	换相期间的输出电压	109
2.8.2	换相重叠角 γ	110
2.8.3	可控整流电路的外特性	111
2.8.4	变压器漏抗对整流电路的其他影响	111
2.9	同步电压为锯齿波的触发电路	112
2.9.1	同步环节	112
2.9.2	锯齿波形成及脉冲移相环节	113
2.9.3	脉冲形成、放大和输出环节	114
2.9.4	双脉冲形成环节	115
2.9.5	强触发及脉冲封锁环节	116
2.10	集成触发电路	116
2.10.1	KC04 与 KC41C 组成的三相全控桥集成触发电路	116
2.10.2	波形分析	116
2.11	触发脉冲与主电路电压的同步	119
2.11.1	同步的意义	119
2.11.2	实现同步的方法	119
2.11.3	定相举例	121
2.12	可控整流电路应用实例分析	122
2.12.1	一体化三相桥式全控整流模块	122
2.12.2	直流电动机拖动控制	123
2.12.3	直流稳压电源	123
小结		124
思考题与习题		125
实训 2.1	单相半波可控整流电路	127
实训 2.2	单相桥式半控整流电路	129
实训 2.3	锯齿波同步移相触发电路	131
实训 2.4	三相半波可控整流电路	133
实训 2.5	三相桥式半控整流电路	134
实训 2.6	三相桥式全控整流电路	137

项目 3 交流调压电路 140

3.1	单相交流调压	140
3.1.1	电阻负载	140
3.1.2	电感性负载	142
3.1.3	晶闸管交流稳压电路	142
3.1.4	相位控制器	144
3.2	三相交流调压	146

3.2.1	星形连接带中性线的三相交流调压电路	146
3.2.2	晶闸管与负载连接成内三角形的三相交流调压电路	147
3.2.3	用三对反并联晶闸管连接成三相三线交流调压电路	147
3.2.4	三个晶闸管连接与星形负载中性点的三相交流调压 电路	148
3.3	三相交流调压应用实例	150
3.3.1	全隔离三相交流调压模块	150
3.3.2	交流电动机软启动	152
3.3.3	晶闸管电解、电镀电源	154
3.3.4	小功率白炽灯调光电路	155
3.3.5	三相自动控温电热炉	155
3.3.6	由过零触发开关电路组成的单相交流调功器	156
3.3.7	固态开关	158
小结		159
思考题与习题		160
实训 3.1	采用两个晶闸管反并联的单相交流调压电路	161
实训 3.2	采用双向晶闸管的单相交流调压电路	163

项目 4 逆变电路 165

4.1	有源逆变的工作原理	165
4.1.1	功率的传递	165
4.1.2	有源逆变的工作原理	166
4.1.3	逆变失败与逆变角限制	167
4.2	有源逆变应用电路	168
4.2.1	三相半波有源逆变电路	169
4.2.2	三相全控桥式有源逆变电路	170
4.2.3	绕线转子感应电动机的串级调速	174
4.3	无源逆变基本电路	175
4.3.1	逆变器的工作原理	175
4.3.2	基本逆变器电路	176
4.4	电压型和电流型逆变器	178
4.4.1	电压型逆变器	178
4.4.2	电流型逆变器	179
4.5	负载换流式逆变电路	180
4.5.1	并联谐振式逆变电路	181
4.5.2	串联谐振式逆变电路	182
4.6	脉宽调制 (PWM) 型逆变电路	183
4.6.1	PWM 控制的基本原理	184
4.6.2	PWM 逆变电路的控制方式	185
4.6.3	三相桥式 PWM 逆变器	186

4.7 逆变电路应用实例分析	187
4.7.1 变频器结构原理	187
4.7.2 高压直流输电	189
小结	190
思考题与习题	190
实训 4.1 单相桥式全控整流及有源逆变电路	191
实训 4.2 三相桥式有源逆变电路	193
实训 4.3 三相 SPWM 变频电路	196

项目 5 直流斩波电路 197

5.1 降压式斩波电路	197
5.1.1 基本斩波器的工作原理	197
5.1.2 电流连续的导通工作模式	199
5.1.3 电流不连续的导通工作模式	200
5.1.4 输出电压纹波	201
5.2 升压式斩波电路	203
5.2.1 电流连续导通的工作模式	203
5.2.2 电流不连续导通的工作模式	204
5.2.3 输出电压纹波	205
5.3 升降压式斩波电路	206
5.3.1 电流连续导通的工作模式	206
5.3.2 电流不连续导通工作模式	208
5.3.3 输出电压的纹波	208
5.3.4 库克直流斩波电路	209
5.4 直流斩波电路应用实例分析	210
5.4.1 TGC-I 型无轨电车晶闸管斩波调速装置	210
5.4.2 全控型器件组成的斩波电路应用实例	212
5.4.3 感应加热电源	213
5.4.4 开关稳压电源	213
5.4.5 IGBT 斩波器控制板	218
5.4.6 有刷电机控制器	219
小结	220
思考题与习题	221
实训 直流斩波电路原理	222

参考文献 224

绪 论

(1) 电力电子器件概述

变流技术是一门使用电力半导体器件，可以实现对电能的有效变换和控制的一门技术，它包括电压、电流、频率和波形等方面的变换，也称变流技术。

变流技术包括电力电子器件、电路和控制三个部分，其中电力电子器件是基础与核心，变流技术是电力、电子、控制三大电气工程技术领域之间的交叉学科。随着科学技术的发展，变流技术又与现代控制理论、材料科学、电机工程、微电子技术等许多领域密切相关。变流新技术能够实现对电网的电压、电流、频率和相位等基本参数的转换与控制，特别是能够实现大功率电能的频率变换，从而为变流技术的发展提供有力的支持。因此，现代变流技术不但本身是一项高新技术，而且还是其他多项高新技术的发展基础。变流技术及其产业的进一步发展必将为大幅度节约电能、降低材料消耗以及提高生产效率提供重要的手段，并为现代生产和现代生活带来深远的影响。

(2) 电力电子器件发展

电力电子器件发展可分为如下两个阶段。

1) 传统电力电子器件

自 1957 年晶闸管问世以来，实现了弱电对强电的控制。其发展的特点是晶闸管器件越来越多，功率越来越大，性能越来越好。传统的电力电子器件已由普通晶闸管衍生出了快速晶闸管、逆导晶闸管、双向晶闸管等，从而形成了一个晶闸管大家族。各种晶闸管的电压、电流、参数定额等均有很大提高，开关特性也有很大改善。但在实际应用上存在着两个制约其继续发展的重要因素：一是控制功能上的欠缺，它通过门极只能控制开通而不能控制关断，所以称之为半控器件。二是由于元件结构，工作频率难以提高，一般情况下难以高于 400Hz，因而大大地限制了它的应用范围。

晶闸管系列器件的价格相对低廉，在大电流、高电压场合的发展空间依然较大，尤其在特大功率应用场合，其他器件尚且不易替代，仍有许多以晶闸管为核心的应用设备在生产现场使用。

2) 现代电力电子器件

20 世纪 80 年代以来，随着微电子技术的发展，电力电子器件向高频化、全控型的功率集成器件发展，从而使变流技术由传统的变流技术跨入现代变流技术的新时代。

现代电力电子器件是指全控型的电力半导体器件，这类器件可分为三大类：双极型、单极型和混合型。这类器件的通态压降低、阻断电压高、电流容量大，适合于中大容量的变流装置。常见的有可关断晶闸管（GTO）、电力晶闸管（GTR）、静电感应晶闸管（SITH）、电力场效应晶体管（功率 MOSFET）、静电感应晶体管（SIT）、绝缘门极双极晶体管（IGBT）、MOS 控制晶闸管（MCT）以及功率集成电路（PIC）。目前被认为最有发展前途的复合器件是 IGBT 和 MCT。现已达到 1200~1600A、几千伏，其工作频率都超过了 20kHz，此外它们还具有输入阻抗高、属于电压控制型元件、控制较为方便及抗干扰能力强等特点。它们的出现为工业应用领域的高频化开辟了广阔的前景。

（3）变流技术的主要功能与应用

电力电子电路是以电力电子器件为核心，通过对不同电路的各种控制来实现对电能的转换和控制的，它的基本功能有以下四种。

① 整流与可控整流电路，其功能是把交流电变换为固定或可调直流。亦称交流、直流（AC/DC）变换电路。

② 交流调压，其功能是把恒定交流变换为可变交流称为交流调压，把固定频率的交流变为频率可变的交流称为变频电路。亦称 AC/AC 变换电路。

③ 逆变电路，其功能是把直流电变换成频率固定或频率可调的交流电。如把直流电能逆变成 50Hz 的交流返送交流电网称为有源逆变，把直流电能逆变为固定频率或频率可调的交流供给用电设备则称为无源逆变。亦称直流、交流（DC/AC）变换电路。

④ 直流斩波电路，其功能是把固定直流变换成可调或固定直流。亦称 DC/DC 变换电路。

在实际使用时可将一种或几种功能电路进行组合，上述四种电路的变换功能统称为变流技术。

变流技术在生产与生活中的具体应用主要有：直流可调电源、电镀、电解、加热、照明控制与节能、不停电电源（UPS）与开关电源、充电器、电机励磁、电焊接、电网无功与谐波补偿、高压直流输电、光电池与燃料电池变换、固态断路器、感应加热、电机直流调速与交流电机变频调速、电力牵引（地铁机车、矿山机车、城市电车、电瓶车、电动汽车）、汽车电气、计算机及通信电源，以及各类家电与便携式电器等。

由电力半导体器件构成的变流电路，伴随着电力半导体的优点而呈现许多优势。例如：①体积小、重量轻、耐磨损、无噪声及维修方便；②功率效益高、控制灵活；③控制动态性能好、响应快、动态时间短；④效率高、节约能源。

伴随着电力半导体本身特性的不足，交流电路的缺点也不可避免。例如：①过载能力低；②某些工作条件下功率因数低；③对电网会有“公害”。

（4）本课程的教学要求

“变流技术”是电类专业主要课程之一。该课程重点介绍了：电力电子器件、整流、逆变、交流调压及直流斩波等变流电路；对于各种器件的驱动电路及保护电路也作了适当的介绍。在分析不同的变流电路中，以不同的电力电子器件为核心展

开讨论，讲解器件原理、特性，会正确使用电力电子器件组成应用电路。通过本课程的学习应达到下列要求。

- ① 掌握不同器件的外部特性及其极限参数。
- ② 掌握不同器件所组成的变流电路的工作原理、波形画法、电路中主要物理量的计算。
- ③ 掌握晶闸管、GTR、IGBT 的器件额定参数选择；能查阅器件手册选取所需的器件。
- ④ 掌握晶闸管在不同负载时的电路特性及波形分析。
- ⑤ 熟悉各种器件组成的电路所必要的保护设施选取方法。
- ⑥ 熟悉晶闸管等常用电力电子器件组成的基本电路的实验、调试、方法。具有初步故障分析与处理的能力。

电力电子器件、变流电路、控制技术都在不断发展与不断更新，所涉及的知识面广、内容丰富多彩。本课程的学习中还应注意与电工基础、电子技术基础、电机及拖动等知识的分析与联系；在讲授和学习中都要着重于物理概念与对不同问题的分析方法；重视实训、识图等应用能力的培养。

电力电子器件是电力电子技术的基础。电力电子器件根据器件开关特性的不同可分为两大类型：半控器件和全控器件。通过门极信号只能控制其导通而不能控制其关断的器件称为半控器件，如普通的晶闸管、双向晶闸管等；通过门极信号既能控制其导通也能控制其关断的器件称为全控器件，如 GTR、GTO、电力 MOSFET、IGBT 等。根据控制极信号性质的不同，电力电子器件还可以分成：电流控制型器件和电压控制型器件。电流控制型器件一般通过控制控制极的电流大小来控制器件的导通和关断，如 GTR、GTO 等。而电压控制型器件一般通过控制控制极的电压大小来控制器件的导通和关断，如电力 MOSFET、IGBT 等。近几年来 IGBT、IPM 等功率模块得到了广泛应用。本项目重点介绍电力二极管、晶闸管、双向晶闸管、GTR、GTO、电力 MOSFET、IGBT 等电力器件的工作原理、驱动电路与保护电路。

晶闸管是晶体闸流管的简称，曾称为可控硅。自从 1957 年美国研制出第一个普通晶闸管以来，至今已形成了从低压小电流到高压大电流的系列产品。同时世界各国还研制出了多种晶闸管的派生器件，如双向晶闸管、可关断晶闸管、快速晶闸管、逆导晶闸管及光控晶闸管等。晶闸管作为大功率的半导体器件，只需用几十至几百毫安的电流，就可以控制几百至几千安培的大电流，实现了弱电对强电的控制。

晶闸管具有体积小、重量轻、耗损小、控制特性好的特点，目前在各个领域得到了广泛的应用。

因普通晶闸管应用最为广泛，常简称为晶闸管，本书若不作特别说明，均以晶闸管代替普通晶闸管的名称。

1.1 电力二极管

电力二极管是指可以承受高电压大电流具有较大耗散功率的二极管，它与其他电力电子器件相配合组成各种变流电路，在整流、续流、钳位以及隔离等场合发挥主要作用。

电力二极管与小功率二极管的结构、工作原理和伏安特性相似，但它的主要参

数的规定、选择原则等不尽相同，使用时应当注意。

1.1.1 结构和伏安特性

(1) 结构

如图 1-1 所示，电力二极管的内部结构也是一个 PN 结，只是结的面积大一些。最近研制的电力二极管如快速恢复二极管等，在研制工艺上有新的突破，使开关时间大为减少。

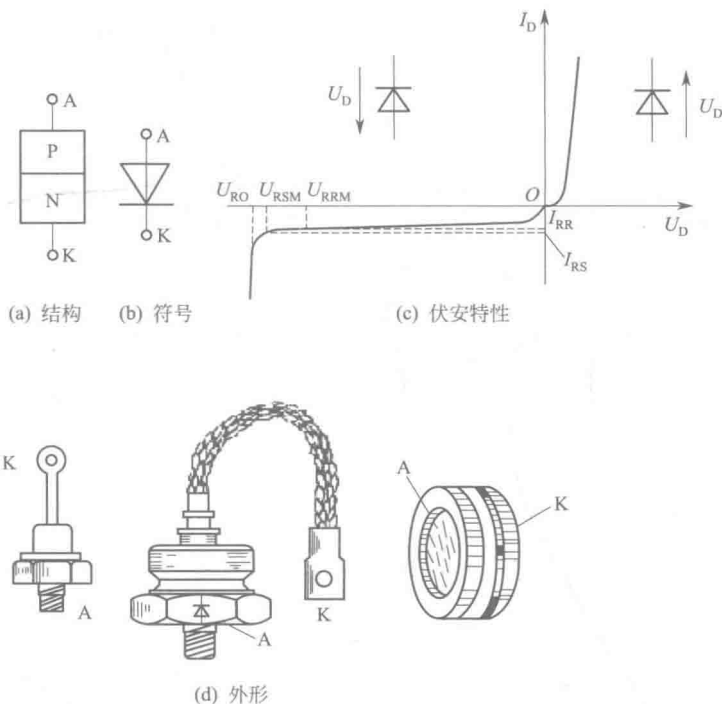


图 1-1 电力二极管的结构、符号及伏安特性

电力二极管具有两个引出极，分别称为阳极 A 和阴极 K，使用的符号与小功率二极管一样，电力二极管功率较大，它的形式有螺栓式和平板式两种。螺栓式二极管的阳极紧拴在散热器上。平板式二极管又分为风冷式和水冷式，它的阳极和阴极分别由两个彼此绝缘的散热器紧紧夹住。

(2) 伏安特性

电力二极管的阳极和阴极间的电压和流过管子的电流之间的关系称为伏安特性，如图 1-1 所示，当从 0 逐渐增大二极管正向电压时，开始时的阳极电流很小，这一段特性曲线很靠近横向坐标，当正向电压大于 0.5V 时，正向阳极电流急剧上升，管子正向导通，如果电路中不接限流元件，二极管将被烧毁。

当二极管加上反向电压时，起始的反向电流很小，而且随着反向电压增加。反向漏电流只略有增大，但当反向电压增加到反向不重复峰值电压值时，反向漏电流开始急剧增加。同样，如果对反向电压不加限制的话，二极管将被

击穿而损坏。

1.1.2 主要参数

(1) 额定正向平均电流（额定电流） I_F

在规定的环境温度为 40℃ 和标准散热条件下，元件 PN 结温度稳定且不超过 140℃ 时，所允许长时间连续流过 50Hz 正弦半波的电流平均值。将此电流取规定系列的电流等级，即为元件的额定电流。

(2) 反向重复峰值电压 U_{RRM}

在额定结温条件下，元件反向伏安特性不重复峰值电压 U_{RSM} （图 1-1）的 80% 称为反向重复峰值电压 U_{RRM} 。将 U_{RRM} 值取规定的电压等级就是该元件的额定电压。

(3) 正向平均电压 U_F

在规定环境温度 40℃ 和标准散热条件下，元件通过 50Hz 正弦半波额定正向平均电流时，元件阳极和阴极之间的电压的平均值，取规定系列组别，称为正向平均电压 U_F ，简称管压降，一般在 0.45~1V 范围内。

(4) 最高工作结温 T_{JM}

结温是指管芯 PN 结的平均温度，用 T_J 表示。最高结温是指在 PN 结不致损坏的前提下所能承受的最高平均温度，用 T_{JM} 表示，通常在 125~175℃ 范围之内。

(5) ZP 型硅二极管参数（表 1-1）

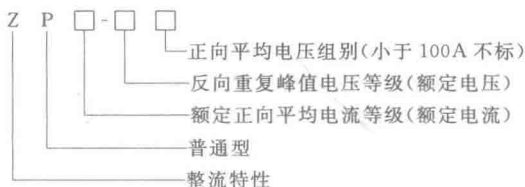
表 1-1 ZP 型硅二极管参数

系列	额定正向 平均电流 I_F/A	反向重复 峰值电压 U_{RRM}/V	反向不重复 平均电流 I_{RS}/mA	反向重复 平均电流 I_{RR}/mA	浪涌电流 I_{PSM}/A	正向平 均电压 U_F/V	额定结温 $T_{JM}/^{\circ}C$	额定结 温升 $\Delta T_{JM}/^{\circ}C$
ZP1	1	100~3000	≤ 1	< 1	40	0.4~1.2	140	100
ZP5	5		≤ 1	< 1	180		140	100
ZP10	10		≤ 1.5	< 1.5	310		140	100
ZP20	20		≤ 2	< 2	570		140	100
ZP30	30		≤ 3	< 3	750		140	100
ZP50	50		≤ 4	< 4	1260		140	100
ZP100	100		≤ 6	< 6	2200		140	100
ZP200	200		≤ 8	< 8	4080		140	100
ZP300	300		≤ 10	< 10	5650		140	100
ZP400	400		≤ 12	< 12	7540		140	100
ZP500	500		≤ 15	< 15	9420		140	100
ZP600	600		≤ 20	< 20	11160		140	100
ZP800	800		≤ 20	< 20	14920		140	100
ZP1000	1000		≤ 20	< 20	18600		140	100

1.1.3 型号及选择原则

(1) 型号

国产电力二极管的型号规定如下。



(2) 选择额定正向平均电流 I_F 的原则

在规定的室温和冷却条件下，只要选择的管子额定电流有效值大于管子在电路中可能流过的最大有效值 I_{DM} 即可。考虑到元件的过载能力较小，因此选择时考虑 1.5~2 倍的安全余量。经数学推导，正弦半波电流有效值是平均值的 1.57 倍，所以

$$I_F = (1.5 \sim 2) \frac{I_{DM}}{1.57} \quad (1-1)$$

取相应标准系列值。

(3) 选择额定电压 U_{RRM} 的原则

选择电力二极管的反向重复峰值电压 U_{RRM} 的原则，应为管子所工作的电路中可承受到的最大反向瞬时电压 U_{DM} 的 2~3 倍，即

$$U_{RRM} = (2 \sim 3) U_{DM} \quad (1-2)$$

取相应标准系列值。

(4) 电力二极管使用注意事项

① 必须保证规定的冷却条件，如强迫风冷或水冷，如不能满足规定的冷却条件，必须降低容量使用。

② 平板型元件的散热器一般不应自行拆装。

③ 严禁用兆欧表检查电力二极管的耐压情况。如需检查整机的耐压时，应将元件短接。

(5) 二极管的测量

① 二极管好坏的鉴别。最简单的方法是用万用表测其正、反向电阻，如图 1-2 所示，将万用表的挡位放在 $R \times 1k$ 或 $R \times 100$ 挡，分别测量二极管的正、反向电阻值。若测得正向电阻值为几百欧或几千欧，如图 1-2(a) 所示，反向电阻值为几十千欧或几百千欧以上，如图 1-2(b) 所示，表明二极管是好的；若测得正、反向电阻值都为无穷大，表明二极管断路，二极管损坏；若测得正、反向电阻值都为零，表明 PN 结被击穿或短路，二极管损坏；若测得正、反向电阻值一样大，表明二极管损坏。

注意：测量二极管时不要使用 $R \times 10k$ 挡，这一挡表内接电池电压较高，易损坏被测元件。

② 二极管正、负极的判断。将万用表的挡位放在 $R \times 1k$ 或 $R \times 100$ 挡，测量二极管的正、反向电阻值。当测得二极管的正向电阻值为几百欧或几千欧时，红表笔所接二极管引线为负极，黑表笔所接二极管引线为正极；当测得二极管的反向电阻值为几十千欧或几百千欧以上时，红表笔所接二极管引线为正极，黑表笔所接二极管引线为负极。

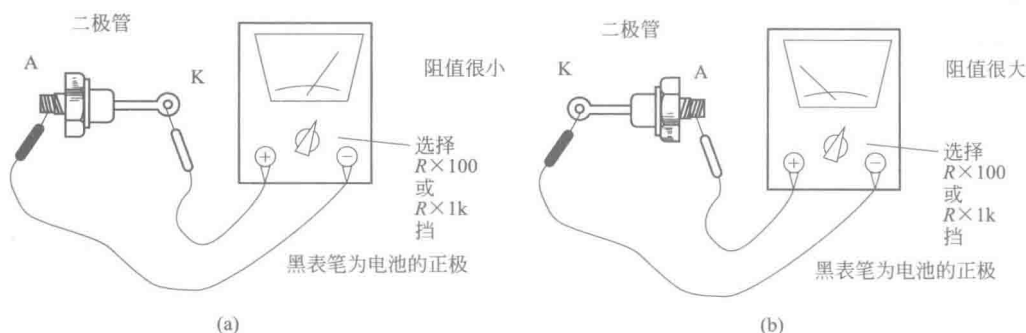


图 1-2 二极管的测量

1.2 晶闸管

1.2.1 晶闸管的结构

晶闸管的外形及符号如图 1-3 所示，晶闸管的外形有三种：塑封型、螺栓型和平板型。图 1-3(a) 为塑封型，多见于额定电流 10A 以下；图 1-3(b)、(c) 为螺栓型，一般为 10A 以上 200A 以下；图 1-3(d) 为平板型，用于 200A 以上。晶闸管工作时，由于器件损耗而产生热量，需要通过散热器降低管芯温度，器件外形是为便于安装散热器而设计的。图 1-3(e) 为自冷式散热器，图 1-3(f) 为风冷式散热器，图 1-3(g) 为水冷式散热器，图 1-3(h) 将螺栓型晶闸管安装在散热器中。晶闸管使用时必须按照规定要求安装散热器，以保障晶闸管正常工作。

晶闸管是四层 ($P_1N_1P_2N_2$) 三端 (A、K、G) 器件，其内部结构和等效电路如图 1-4 所示。

1.2.2 晶闸管的导通关断条件

晶闸管是单向可控的开关元件，它的导通和关断条件，可通过图 1-5 所示的实验线路来说明。主电源 E_A 和门极电源 E_G 通过双刀开关 Q_1 和 Q_2 正向或反向接通晶闸管的有关电极，用灯泡来观察晶闸管的通断情况。实验步骤如下。

① 当 Q_1 向右闭合时，晶闸管承受反向阳极电压，不论 Q_2 正向或反向即门极承受何种电压，灯泡都不亮，说明晶闸管处于关断状态。

② 当 Q_1 向左闭合时，晶闸管承受正向阳极电压，仅当 Q_2 正向闭合即门极也承受正向电压时灯泡才亮。

③ 晶闸管一旦导通， Q_2 不论正接、反接或断开，晶闸管都保持导通状态不变。说明门极失去了控制作用。

④ 要使晶闸管关断，可以去掉阳极电压，或者给阳极加反压；也可以降低正向阳极电压数值或增大回路电阻，使流过晶闸管的电流小于一定数值（维持电流）以下。