

职业资格培训教材·社会力量办学培训教材


ZHIYE ZIGE PEIXUN JIAOCAI SHEHUI LILIANG BANXUE PEIXUN JIAOCAI



劳动和社会保障部教材办公室组织编写

电梯安装维修工

(高级)

 中国劳动社会保障出版社

内容简介

本书是高级电梯安装维修工的职业资格培训用书。

本书详细介绍了高级电梯安装维修工必须掌握的知识和技能。内容包括电力电子变流技术、自动控制基础、机械制造工艺与加工工艺基础、微型计算机原理及其在电梯中的应用、高速直流电梯、全电脑变压变频调速电梯原理、电梯交通设计与电梯功能、立体停车库电梯与特种电梯、电梯供电、电梯及自动扶梯的测试技术、电梯工程管理、质量控制理论、变流技术操作练习、可编程序器编程练习和电梯故障排除等。

本书的编写面向电梯安装维修工的工作实际，是高级电梯安装维修工知识和技能培训的必备教材，也是各类各级职业技术学校电梯安装维修专业师生的培训教材，还可供机关企事业单位电梯管理人员参考。

DIANTI ANZHUANG WEIXIUGONG DIANTI ANZHUANG WEIXIUGONG

责任编辑：高永新
责任校对：王 静
封面设计：邱雅卓
版式设计：朱 姝

ISBN 7-5045-3969-4



9 787504 539694 >

ISBN 7-5045-3969-4/TU · 189

定价：37.00元

TU857
Y897:1

职业资格培训教材
社会力量办学培训教材

电梯安装维修工

(高级)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

电梯安装维修工：高级/袁克文，张百令编写. —北京：中国劳动社会保障出版社，2003
职业资格培训教材. 社会力量办学培训教材
ISBN 7-5045-3969-4

I. 电… II. ①袁… ②张… III. ①电梯-安装-技术培训-教材 ②电梯-维修-技术培训-教材 IV. TU857

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 036478 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

出版人：张梦欣

*
新华书店经销

国防工业出版社印刷厂印刷 北京密云青云装订厂装订

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22 印张 543 千字

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

印数：3 200 册

定价：37.00 元

读者服务部电话：010-64929211

发行部电话：010-64911190

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话：010-64911344

前 言

《劳动法》和《职业教育法》明确规定，在全社会实行学历文凭和职业资格证书并重的就业制度。在国家劳动和社会保障行政管理部门的大力倡导下，取得职业资格证书已经成为劳动者就业上岗的必备的前提，同时，作为劳动者职业能力的客观评价，已经为人力资源市场供求双方普遍接受。取得职业资格证书不但是广大从业人员、待岗人员的迫切需要，而且已经成为各级各类普通教育院校、职业技术教育院校毕业生追求的目标。

开展职业资格培训教材建设十分重要。为此，劳动和社会保障部教材办公室、中国劳动社会保障出版社组织编写了《职业资格培训教材》，用于规范和引导职业资格培训教学。第一批组织编写的有：制冷设备维修工、冷作钣金工、制冷空调工、家用视频设备维修工、汽车修理工、客房服务员、电工、办公设备维修工、电梯安装维修工、计算机操作员、计算机调试工、计算机维修工12个职业的教材。其他职业（工种）的教材将分期分批地组织编写。

职业资格培训教材的主要特点是：

1. 最大限度地体现校能培训的特色。教材以最新国家职业标准为依据，以职业校能鉴定要求为尺度，以满足本职业对从业人员的要求为目标。凡《标准》中要求的校能和有关知识，均作了详细的介绍。

2. 以岗位技能需求为出发点，按照“模块式”教材编写思路，确定教材的校心技能模块，以此为基础，得出完成每一个技能训练单元所需掌握的工艺知识、设备（工具）知识、相关知识和技能、专业知识、基础知识，并根据培训教学的基本规律，校照基础知识，专业知识、相关知识、设备（工具）知识、工艺知识、技能训练的次序组成教材的结构体系。

3. 服务目标明确。从教学形式上，主要服务于教育、劳动社会保障系统，以及其他培训机构或社会力量办学所举办的各种类型的培训教学，也适用于各

级各类职业技术学校举办的中短期培训教学，以及企业内部的培训教学；从培训教学时间上，服务于3~6个月不同等级的培训教学，即300~600授课学时的培训教学。

- 4. 在强调实用性、典型性的前提下，充分重视内容的先进性。尽可能地反映与木职业相关联的新技术、新工艺、新设备、新材料、新方法。

本书由袁克文、张百令编写，袁克文主编；袁如红、胡关祺审稿。编写过程中，得到天津市劳动和社会保障局、上海市房地产行业教育中心、上海电梯技术培训中心的大力支持，在此一并致谢。

编写职业资格教材是一项探索性的事业，尽管参与编写的专家已经为此付出了艰苦的努力，但是由于缺乏可以借鉴的成功经验，加之时间仓促，存在缺点和不足实所难免，恳切希望广大读者提出宝贵意见和建议，以便今后修订，逐步完善。

劳动和社会保障部教材办公室

目 录

基础知识部分

单元 1 电力电子变流技术基础	(1)
1.1 晶闸管	(1)
1.2 晶闸管整流电路	(6)
1.3 晶闸管有源逆变电路	(25)
1.4 晶闸管交流调压	(31)
1.5 全控型器件与变频电路	(33)
单元 2 自动控制基础	(43)
2.1 自动控制的基本概念	(43)
2.2 具有反馈装置的自动调速线路	(46)
2.3 自动控制系统在电梯中的应用	(49)
2.4 数模转换与模数转换	(50)
单元 3 机械制造工艺与加工工艺基础	(54)
3.1 机械制造工艺的基本概念	(54)
3.2 机械加工工艺规程的制定	(56)
3.3 机械加工精度及表面质量	(62)
3.4 机械加工工艺基础	(71)

专业知识部分

单元 4 微型计算机原理及在电梯中应用	(77)
4.1 概述	(77)
4.2 计算机中的数	(78)
4.3 逻辑运算和逻辑电路基础	(88)
4.4 微型计算机结构及工作过程	(94)
4.5 微型计算机在电梯中的应用	(100)

4.6	可编程控制器(PLC)原理	(102)
单元 5	高速直流电梯	(113)
5.1	高速直流电梯的主驱动系统	(113)
5.2	GJX 系列直流高速集选控制电梯电路分析	(115)
5.3	直流高速电梯中晶闸管可控励磁装置	(136)
单元 6	全微机控制变压变频调速电梯	(143)
6.1	概述	(143)
6.2	VVVF 型电梯的电气控制系统	(144)
6.3	VVVF 型电梯的拖动系统	(149)
6.4	控制部分	(152)
6.5	管理部分	(162)
6.6	电梯运行原理	(165)
6.7	故障排除及状态调整	(167)
6.8	GPS 系统电梯	(175)
单元 7	电梯交通设计与电梯的功能	(188)
7.1	电梯的交通设计与大楼电梯配置	(188)
7.2	电梯的运行功能	(202)
单元 8	立体停车库电梯与特种电梯	(207)
8.1	立体停车库	(207)
8.2	特种电梯	(215)

相关知识部分

单元 9	电梯供电	(233)
9.1	电力系统的组成	(233)
9.2	电梯设备的供电	(234)
9.3	电梯中的接地保护	(237)
单元 10	电梯和自动扶梯的测量技术	(241)
10.1	电梯曳引机性能测量	(241)
10.2	电梯振动、噪声测量	(245)
10.3	电梯速度、平衡系数与平层准确度测量	(247)
10.4	门机构测量	(250)

10.5	安全钳、限速器和缓冲器的测试	(253)
10.6	自动扶梯主要部件及整机性能测量	(263)
单元 11	电梯工程管理	(268)
11.1	安装工程	(268)
11.2	电梯的维护保养	(274)
11.3	电梯修理与改造	(280)
单元 12	质量控制理论	(288)
12.1	全面质量管理的基本原理	(288)
12.2	全面质量管理的基本方法	(293)
12.3	质量管理小组活动	(301)
12.4	ISO 9000 的认证工作	(302)

技能操作部分

单元 13	变流技术操作练习	(311)
13.1	练习 1 晶闸管测试导通关断条件	(311)
13.2	练习 2 单结晶体管触发电路及单相半波可控整流电路	(312)
13.3	练习 3 正弦波同步触发电路与三相半波可控整流电路	(313)
13.4	练习 4 三相半控桥整流电路	(316)
13.5	练习 5 单相交流调压电路	(317)
单元 14	可编程序控制器(PLC)编程练习	(319)
14.1	练习 1 层楼控制继电器控制电路	(319)
14.2	练习 2 定向控制电路	(320)
14.3	练习 3 运行环节控制电路	(321)
14.4	练习 4 按钮操作电路	(321)
14.5	练习 5 电梯加速环节电路	(322)
14.6	练习 6 指令登记与消除电路	(323)
14.7	PLC 操作练习说明	(324)
单元 15	电梯故障排除	(325)
15.1	练习 1 直流高速电梯的故障排除	(325)
15.2	练习 2 全电脑变压变频调速电梯的故障排除	(330)
15.3	练习 3 自动扶梯的故障排除	(336)
附录	电梯安装维修工技术等级标准	(339)

基础知识部分

单元 1 电力电子变流技术基础

1.1 晶闸管

晶闸管是一种大功率半导体器件 (SCR)。由于它具有效率高、控制特性好、容量大、使用寿命长、体积小等优点,自 20 世纪 60 年代以来,晶闸管获得迅速发展,是大功率电能变换与控制的较理想器件。电能的变换技术,包括电压、电流和频率的变换,统称为“变流技术”。

电力电子器件是由半导体材料制成的一系列固态大电流开关器件,晶闸管仅是电力电子器件中研制最早,使用最广的一种。晶闸管的应用标志着电力电子技术的开端,从此电子进入强电领域。电力电子器件成为弱电控制强电的纽带。但普通晶闸管存在着无法控制关断的缺点,这给有些变流领域带来不便,使其电路复杂。随着半导体制造技术与变流技术的发展,近年来相继研制成功了可以控制导通和关断的全控型电力电子器件。如电力晶体管 (GTR)、可关断晶闸管 (GTO)、大功率场效应晶体管 (MOSFET) 以及绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 等。元件形式从单片器件发展到模块化、集成化,驱动功率从小功率 ($< 10 \text{ kW}$) 到大功率 ($> 1 \text{ MW}$),最高耐压可达到 10 kV 以上,最大电流可达到 5 kA 。

我国自 1962 年首次研制成晶闸管以来,电力电子变流技术也同样得到迅速发展,目前已能生产各类型晶闸管和全控型电力电子器件,电力电子变流技术也普及到各个行业的各个领域。电梯早在 20 世纪 70 年代就应用了晶闸管,开始用于直流电梯的励磁装置,后来在各调速系统中得到普遍的使用。电梯上电力电子变流技术应用主要有可控整流、有源逆变、交流调压、变频等几个方面。

(1) 晶闸管的结构

晶闸管的外形与硅整流二极管相似。其管芯是由 $P_1N_1P_2N_2$ 四层半导体材料组成的。它有三个 PN 结和三个引出极,阳极 (A)、阴极 (K) 和一个起控制作用的门极 (G),如图 1-1 所示。

晶闸管可按电流容量分类,一般认为 5 A 以下为小功率元件, 50 A 以上为大功率元件。由于大功率晶闸管工

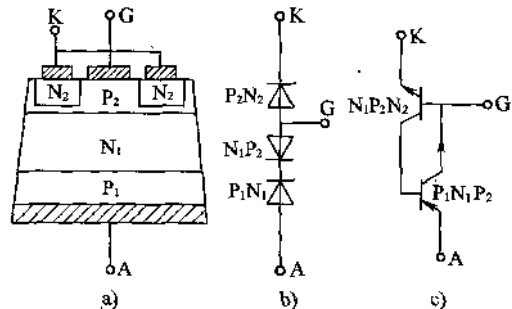


图 1-1 晶闸管内部芯片及等效电路

a) 芯片原理结构 b) 以三个 PN 结等效 c) 以互补三极管等效

作时发热较大，因此必须安装散热器。螺栓式晶闸管的阳极是紧固在铝制散热器上，平板式晶闸管是由两个彼此绝缘的相同形状的散热器将其夹在中间，晶闸管外形及散热器如图 1—2 所示。

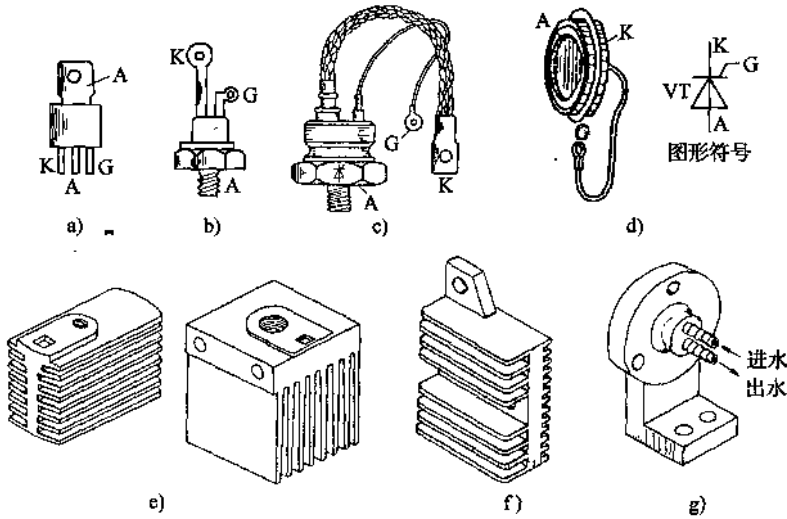


图 1—2 晶闸管的结构及符号

- a) 小电流塑封式 b) 小电流螺栓式 c) 大电流螺栓式 d) 大电流平板式
e) 螺栓式散热器 f) 平板式风冷散热器 g) 平板式水冷散热器

(2) 晶闸管工作原理

为了弄清楚晶闸管工作的特点，了解晶闸管导通和关断的条件，我们用图 1—3 的电路来进行实验，图中 VT 为晶闸管。其中阳极 A、阴极 K、负载灯泡 E 和电源 E_a 、开关 S1 构成的整流回路为主电路；门极 G、阴极 K 和电源 E_g 、开关 S2 构成的控制回路为触发电路。

① S1 接正，VT 中 A 正 K 负，S2 未合上，灯泡不亮，说明晶闸管不导通。

② S1 接反，即 VT 中 A 负 K 正，S2 未合上，灯泡不亮，晶闸管也不导通。

③ S1 接正，即 VT 中 A 正 K 负，S2 接正，G 正 K 负为正向触发，则灯泡发光，表示晶闸管导通。

④ 晶闸管导通后，关断开关 S2，即触发电压消失，灯泡继续发光，表示晶闸管维持导通。

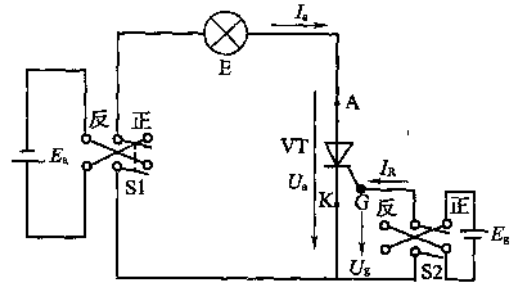


图 1—3 晶闸管导通、关断条件实验电路

以上实验说明，晶闸管像整流二极管一样，具有单向导电特性，有反向阻断能力，电流只能从阳极流向阴极。另外晶闸管又不同于整流二极管，它具有正向导通的可控特性，当器件阳极加上正向电压，器件还不能导通，处于正向阻断状态，只有同时在门极加上适当正向电压 E_g ，让门极有一个足够的触发电流时，晶闸管才能导通。但晶闸管一旦导通后，即使断开门极，晶闸管也不能自行关断，从而维持导通状态。

需使晶闸管关断，只有降低电源 E_a 电压，使通过晶闸管的电流减小到小于维持电流，晶闸管即关断，恢复其阻断状态。

如何理解上述现象，我们用一只晶闸管等效成两只互补三极管来加以说明。等效电路如图 1—4 所示。

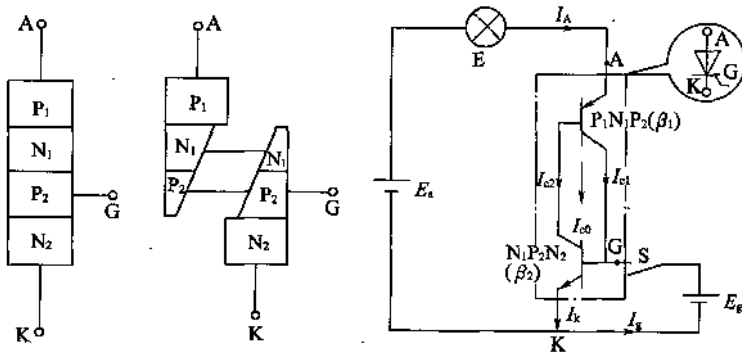


图 1—4 用一对互补三极管说明晶闸管的工作原理

当晶闸管加上反向电压，相当于 $P_1N_1P_2$ 与 $N_1P_2N_2$ 三极管都承受反向电压，因为没有导通条件，所以加不加触发电压都不导通。当晶闸管加上正向电压，两只三极管都承受正向电压，但不加门极电压，相当于三极管无基极偏压而截止，故晶闸管仍不能导通。

当晶闸管阳极加上正向电压，闭合开关 S 又在门极 G 上加上较小的正向电压时，有触发电流 I_g 流入门极 G 相当于 $N_1P_2N_2$ 基极有一基极电流 I_b ，经过互补强烈正反馈即

$$E_g \rightarrow I_g \rightarrow I_{b2} \uparrow \rightarrow I_{c2} \uparrow (= \beta_2 I_{b2}) = I_{b1} \uparrow \rightarrow I_{c1} \uparrow (= \beta_1 I_{b1})$$

瞬时使两只三极管迅速进入饱和导通，也就是晶闸管完全导通。晶闸管导通后，即使去掉触发电压（开关 S 断开），由于互补三极管中反馈信号大于触发电压，两只三极管维持饱和状态，晶闸管也能保持导通。要关断晶闸管，必须采取减低阳极电压甚至加反向电压。当阳极电压小于某一值时，管内反馈过程不能维持下去，晶闸管立即关断重新转为阻断状态。这种能维持晶闸管导通的最小电流值，称为维持电流。

通过上述实验和分析，可得三点结论：

- ①普通晶闸管不仅有反向阻断能力，而且还有正向阻断能力。
- ②晶闸管导通条件一是阳极与阴极间加上正向电压，二是门极与阴极间加上正向触发电压。
- ③晶闸管一旦导通，门极就失去控制作用。重新关断晶闸管，必须将阳极电流减小到低于维持电流。

(3) 晶闸管的伏安特性

晶闸管的伏安特性是指阳极与阴极之间的电压和阳极电流的关系，如图 1—5 所示。

1) 正向伏安特性曲线

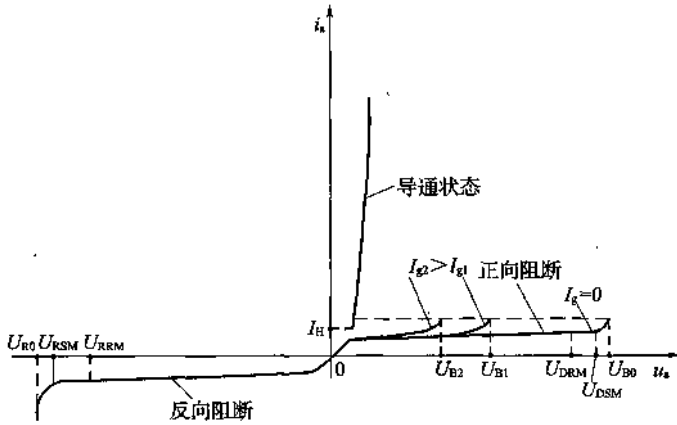


图 1—5 晶闸管伏安特性

U_{RO} —反向击穿电压 U_{RSM} —断态反向不重复峰值电压 U_{RRM} —断态反向重复峰值电压
 U_{BO} —正向转折电压 U_{DSM} —断态正向不重复峰值电压 U_{DRM} —断态正向重复峰值电压

如图 1—5 中第 I 象限所示。当 $I_g = 0$ 晶闸管正向电压未增到正向转折电压 U_{BO} 时，晶闸管都处在正向阻断状态，其正向漏电流很小，随阳极电压 u_a 的增大而缓慢增大。当 u_a 增大到 U_{BO} 时，晶闸管就开始导通。导通后其伏安特性与整流二极管相似。这条 $I_g = 0$ 的晶闸管伏安特性曲线称为晶闸管自然特性曲线。通常是不允许 u_a 增加到 U_{BO} 使管子导通的。因为这样是不可控导通，而且还会损坏管子。一般工作时在门极加一个足够的触发电流，使转折电压明显降低来导通晶闸管。在图 1—5 中， $I_{g2} > I_{g1} > I_g$ ，相对应的 $U_{B2} < U_{B1} < U_{BO}$ 。晶闸管一旦被导通，其伏安特性与整流二极管相似。

2) 反向伏安特性曲线

如图 1—5 中第 III 象限所示，它与整流二极管反向伏安特性相似。当反向电压增大到击穿电压 U_{RO} 时，反向电流急剧增加，说明管子已反向击穿。晶闸管一旦击穿将造成永久性的损坏。在实际运用中，晶闸管两端可能承受的最大峰值电压，都必须小于反向击穿电压，否则将使晶闸管损坏。

(4) 晶闸管的主要参数

要正确地使用晶闸管，不但要了解其结构、工作原理和伏安特性曲线，而且还要定量掌握理解晶闸管的主要参数。

1) 额定电压 U_{Th}

从晶闸管的伏安特性曲线可见，当门极断开，器件处于额定结温时，管子阳极电压 u_a 升到正向转折电压 U_{BO} 之前，管子的正向漏电流开始急剧增加，在特性曲线形成向上弯曲处，此时对应的电压 U_{DSM} 称为正向不重复峰值电压。同样元件承受反向电压时，反向漏电流开始急剧增加时，对应的电压 U_{RSM} 称为反向不重复峰值电压。将上述两电压各乘以 0.8 所得数值，分别为元件的正向阻断重复峰值电压 U_{DRM} ，和反向阻断重复峰值电压 U_{RRM} 。

晶闸管的额定电压 U_{Th} 是指 U_{DRM} 与 U_{RRM} 中较小的值，再取相应于标准的电压等级中偏小的电压值。如某一晶闸管实测 $U_{DRM} = 750 \text{ V}$ ， $U_{RRM} = 820 \text{ V}$ ，取两者其中小的数值 750 V，按其标准电压等级只能取 700 V。所以该晶闸管的额定电压为 700 V。

2) 额定电流 $I_{T(AV)}$

在环境温度为 40°C 和规定的冷却条件下, 元件在电阻性负载的单相工频正弦半波, 导通角不小于 170° 的电路中, 当结温稳定而不超过额定结温时, 所允许的最大通态平均电流, 称为额定通态平均电流。将此电流按晶闸管标准电流系列取相应的电流等级。称为元件的额定电流。

3) 通态平均电压 (管压降) $U_{T(AV)}$

元件通过正弦半波额定平均电流, 结温稳定时的阳极与阴极之间电压降的一周平均值, 习惯上称为导通时管压降 $U_{T(AV)}$ 。这个电压降应当越小越好, 表明元件耗散功率小, 管子质量好。

4) 门极触发电压 U_G 和触发电流 I_G

门极触发电流是指在室温下, 晶闸管施加 6 V 正向阳极电压时, 使器件由断态转入通态时所必需的最小门极电流。对应于触发电流的门极电压, 称为门极触发电压。

5) 维持电流 I_H 和擎住电流 I_c

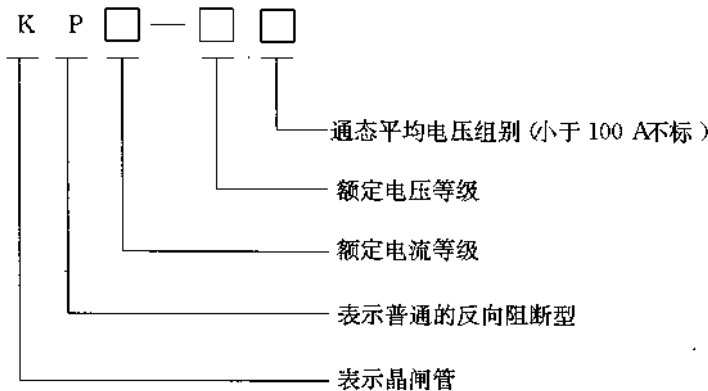
在室温和门极断开时, 器件从较大的通态电流降至刚好能保持器件导通所必需的最小电流称为维持电流 I_H 。

晶闸管导通后, 去除触发电压, 要使管子仍维持导通, 所需要的最小阳极电流称为擎住电流 I_c , 一般擎住电流 I_c 比维持电流大几倍。

以上为晶闸管的主要参数。在运用晶闸管中要掌握这些参数。具体数值可在电工手册中及产品说明书中查阅。

(5) 晶闸管型号

根据标准规定, 适用于工频 50 Hz , 额定通态平均电流为 1 A 及 1 A 以上的 KP 型晶闸管的型号命名和含义如下:



(6) 晶闸管的简易测试

晶闸管是四层三端半导体器件。根据 PN 结单向导电原理 (如图 1—6 所示), 用万用表欧姆档测试晶闸管三个电极之间的阻值, 就可以初步判断管子是否损坏。好的管子, 用表的 $R \times 1\text{ k}$ 档测量阳极与阴极间正反向电阻都应很大, 一般可达几百千欧。用 $R \times 10$ 或 $R \times 100$ 档测门极与阴极间阻值。正向阻值应小于或接近于反向电阻 (如图 1—6 所示)。

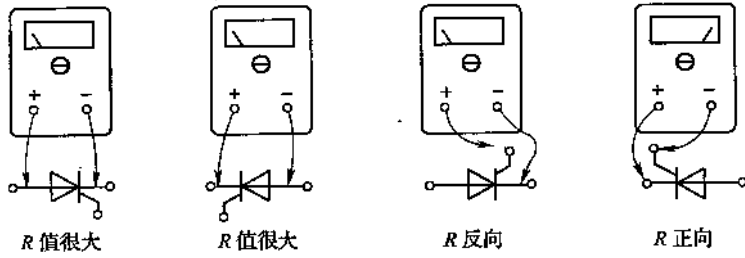


图 1—6 万用表测试晶闸管

1.2 晶闸管整流电路

晶闸管不仅具有硅整流元件的特性，而且整流过程可以控制，它可制成输出电压连续可调的可控整流设备，在工业生产上已获得广泛使用。如直流电梯中可控励磁电源及曳引直流电动机的调压调速电源，都由晶闸管可控整流提供。

可控整流装置中有单相可控整流和三相可控整流，对容量小的负载可采用单相可控整流，如电梯中的单相可控励磁装置。容量在 4 kW 以上者可采用三相可控整流，如电梯曳引直流电动机的可控调压调速直流电源。

(1) 单相可控整流电路

1) 电阻负载

为了解晶闸管在整流过程中如何起控制作用，调节输出电压的高低，这里以最简单的纯电阻负载单相半波可控整流电路为例进行分析。电炉、白炽灯等均属于阻性负载，阻性负载特点是负载两端电压波形和流过的电流波形相似，其电流电压均允许突变。

如图 1—7 所示是一单相半波阻性负载可控整流电路，由晶闸管 VT、负载电阻 R_d 及单相整流变压器 TR 组成。由于负载需要，TR 将不合适的电网电压 U_1 变成合适的二次电压 U_2 。 u_2 为 U_2 的瞬时值； u_d 、 i_d 分别为负载两端电压瞬时值和通过负载电流的瞬时值； u_T 为晶闸管两端电压瞬时值。

①交流电压 u_2 通过 R_d 加到晶闸管的阳极和阴极两端。在 $0 \sim \pi$ 区间的 ωt_1 之前，晶闸管承受到正向电压，但因门极没有加到正向触发电压（触发脉冲），所以晶闸管仍保持阻断状态，无直流电压输出。

②在 ωt_1 时刻。触发电路向门极发出触发脉冲 u_g ，晶闸管被导通。忽略晶闸管压降，负载 R_d 两端得到与 u_2 相同的电压 u_d ，波形如图 1—7b 所示。

③在 $\omega t = \pi$ 时刻。 u_2 下降为零。晶闸管阳极电流下降为零而自动关断，电路输出为零。

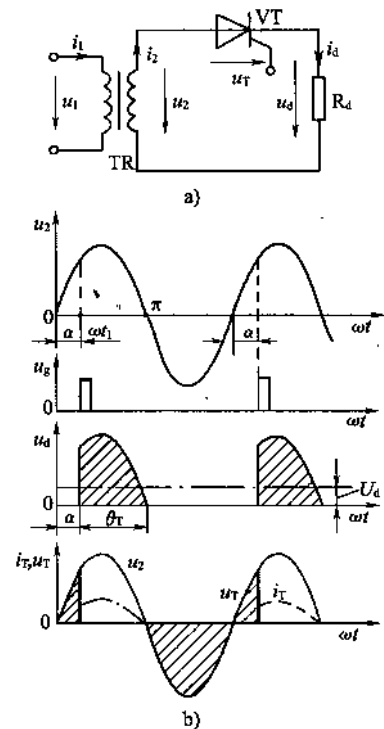


图 1—7 单相半波阻性负载电路及波形

a) 电路 b) 波形

④在 u_2 的负半周即 ωt 为 $\pi \sim 2\pi$ 区间。由于晶闸管承受反向电压而处于反向阻断状态，如有触发脉冲出现，晶闸管也无法导通，负载两端电压为零， u_2 在下一周期情况同上所述，循环往复。

从上述单相半波可控整流电路中。将晶闸管开始承受正向电压到触发脉冲出现使晶闸管导通这段电角度称为控制角，用 α 表示。晶闸管在一周期内导通的电角度称为导通角，用 θ 表示，显然 $\theta + \alpha = \pi$ 。在控制角内晶闸管因关断而承受电源 u_2 的全部正向电压。在 u_2 的负半周时，晶闸管不导通，将承受 u_2 反向电压的最大值 $\sqrt{2}U_2$ ，如图 1—7b 中 u_T 阴影部分。

如果触发脉冲延迟到 ωt_2 ($\omega t_2 > \omega t_1$) 时刻才加到门极上，则晶闸管导通时间相应延迟到 ωt_2 ，即控制角 α 加大，导通角 θ 减小，负载上得到的平均电压更低。反之触发脉冲提前， α 减小， θ 加大，负载上得到的平均电压提高。

负载 R_d 上平均电压使为

$$U_d = 0.45U_2 \frac{1 + \cos\alpha}{2}$$

式中 U_2 ——变压器次级电压有效值，V。

负载 R_d 上流过平均电流值为

$$I_d = \frac{U_d}{R_d}$$

2) 电感性负载

在可控整流电路直流负载中，电感 L_d 和电阻 R_d 的大小相比不可忽略时，这种负载称作电感性负载，如电动机的励磁线圈。电感性负载与电阻负载不同。为了使于分析，我们将电感与电阻分开，如图 1—8 所示。

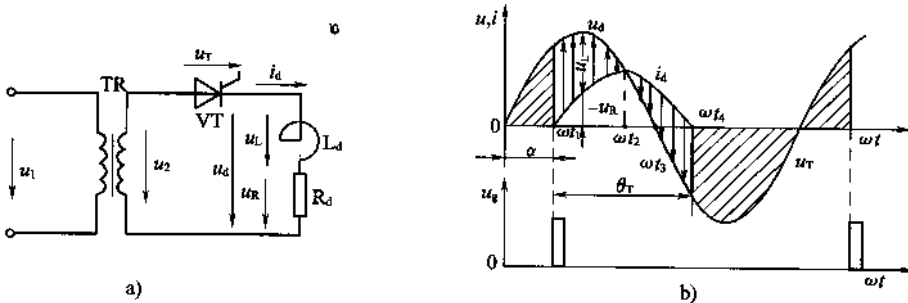


图 1—8 单相半波可控整流电感性负载电压电流波形图

电感是一个储能元件。当流过电感 L_d 的电流 i_d 发生变化时，就会产生自感电动势 e_L ，起阻止电流变化的作用。当 i_d 增大时， L_d 两端产生的感应电动势 e_L 极性上正下负，阻止 i_d 的增大。当 i_d 减小时， L_d 产生的感应电动势极性上负下正，阻止 i_d 减小。设 $\omega t_1 = \alpha$ ，晶闸管 VT 门极被触发导通。

①在 $\omega t_1 \sim \omega t_2$ 期间。晶闸管被触发导通后，由于 L_d 的作用，电流 i_d 不能突变，只能从零开始逐渐增大，到 ωt_2 时， i_d 达到最大使。 $i_d = \frac{u_2}{R_d}$ 。这时电源不但向 R_d 提供能量，同时给电感 L_d 储存磁场能量使其也增至最大使。

②在 $\omega t_2 \sim \omega t_3$ 期间。由于电流 i_d 已下降，感应电动势 e_L 改变方向。当到 ωt_3 时， u_2 已

下降到零。由于 e_L 的作用，晶闸管仍受正压导通， i_d 仍大于零，在这时间电源继续供给能量， L_d 也释放储存的磁场能量，共同供给负载电阻 R_d 。

③在 $\omega t_3 \sim \omega t_4$ 期间。这时电源电压 u_2 已由零变负。电流继续下降。只要感应电动势大于电源电压值，晶闸管承受正压就继续维持导通。当 u_2 反向电压逐渐增大到数值上与感应电动势相等时，晶闸管正向电压变为零而关断，之后并承受反压。此时间 L_d 中磁场能量继续释放，一部分消耗在电阻上，另一部分被反送到电源。当到 ωt_4 时，电流下降为零，电感中能量也释放完毕，以后重复上述①~③的过程。

从图 1—8 中电压电流波形图可见，电感性负载，输出电压 u_d 与电流 i_d 的波形与电阻负载不同。由于 L_d 的作用，使电流 i_d 的变化落后于 u_d 的变化。晶闸管从 α 时触发导通，到 $\alpha + \theta$ 时关断，负载两端出现部分负电压，其导通角 θ 的大小与控制角 α 及负载中感抗与阻抗的值有关。当 R_d 一定时， L_d 越大，其比例越大，使 θ 也越大。所以电感 L_d 值电流波形峰值压低，导通时间延长，电流波形变得平坦，起到平波作用。

由于电感的存在，使负载电压 u_d 波形出现部分负值，其结果使负载得到的直流平均电压 U_d 减小。 L_d 越大， U_d 减小越快。当电感 L_d 很大时（通常感抗 $X_L \geq 10R_d$ 时，就认为是大电感），对于不同控制角 α ，导通角 θ 将接近 $2\pi - 2\alpha$ ，电流波形如图 1—9 所示。这时负载上得到的电压波形是正负面积接近相等，直流电压平均值 $U_d \approx 0$ 。由此可见，在大电感负载中，不管 α 如何调节， U_d 总是很小，平均电流 $I_d = U_d / R_d$ 也很小，如不采取措施，电路无法满足输出一定平均电压的要求。

为了解决上述问题，可以在整流输出端并联一只二极管。该二极管是当电感负载在晶闸管关断时提供续流回路的，故将此二极管称为续流管。

3) 续流二极管的作用

如图 1—10 所示是并联续流二极管的单相半波可控整流大电感负载图。

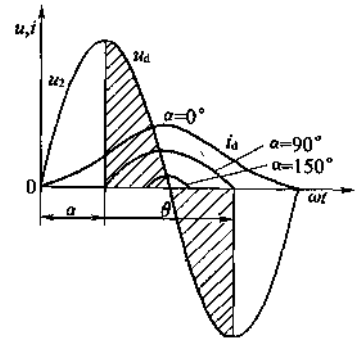


图 1—9 大电感时，不同 α 负载电压和电流的波形图

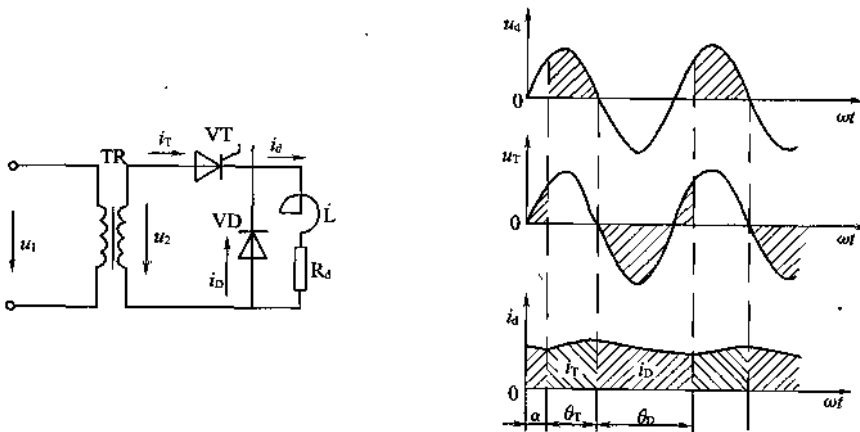


图 1—10 并联续流二极管的单相半波可控整流电感性负载图