



可控硅

在造船工业中的应用

人 民 交 通 出 版 社

可 控 硅

在 造 船 工 业 中 的 应 用

《可控硅应用》编写组

人 民 交 通 出 版 社

1 9 7 4 年 • 北 京

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

外国有的，我们要有，外国没有的，我们也要有。

我们的方针要放在什么基点上？放在自己力量的基点上，叫做自力更生。

前 言

在毛主席革命路线的指引下，广大工人和科技人员发扬了“自力更生，艰苦奋斗”的精神，使造船工业取得了迅速的发展。由于造船工业的发展，为可控硅这门新技术在造船工业中的应用开辟了宽广的途径，并已取得了一定的成绩。

毛主席教导我们：“要认真总结经验”。可控硅在造船工业中的应用，目前已经有了一些初步经验，有必要进行总结提高，并加以普及推广，使之更好地为社会主义建设服务。为此，六机部、交通部组织了有上海沪东船厂、东海船厂、上海船厂、上海交通大学、上海船研所参加的“三结合”编写小组，负责编写了这本《可控硅在造船工业中的应用》的科技书。主要供从事造船工业的工人、技术人员参考。

在编写过程中，我们曾到全国各地有关单位进行了调查研究，得到各有关单位的热情支持，并提供了许多资料和宝贵意见，特在此表示衷心感谢。

本书分基本原理和应用实例两部分。基本原理部分主要围绕应用实例的有关原理来叙述，目的是为使读者了解应用实例时提供方便。应用实例部分中，大部分实例都已经各单位试验或实船应用，但其中也有个别项目尚欠成熟，有待在今后实践中进行检验，进一步加以提高和完善。

由于我们经验不足，水平有限，时间也短，这本书的内容还不能全面地反映现有的实践经验和当前我国的发展水平，可能会有不少的缺点和错误，希望广大读者批评指正。

《可控硅在造船工业中的应用》编写小组

1973年10月于上海

目 录

第一部分 可控硅基本原理.....	1
第一章 可控硅元件.....	1
1—1 概 述.....	1
1—2 可控硅元件的结构和特性.....	1
1—3 可控硅元件的型号、参数及使用注意事项.....	4
1—4 可控硅的保护.....	7
1—5 可控硅元件的串联和并联.....	13
1—6 几种特殊的可控硅.....	16
第二章 可控硅的主电路.....	20
2—1 可控硅整流电路.....	20
2—2 可控硅开关电路.....	37
2—3 可控硅逆变电路.....	43
第三章 可控硅触发电路的基本知识.....	51
3—1 直流放大器.....	51
3—2 直流稳压电源.....	54
3—3 R C 电路.....	60
3—4 脉冲触发电路.....	61
3—5 逻辑电路.....	72
3—6 相敏整流电路.....	74
第四章 可控硅的触发电路.....	80
4—1 阻容移相触发电路.....	81
4—2 单结晶体管触发电路.....	82
4—3 同步信号为锯齿波的触发电路.....	86
4—4 带小可控硅整流器的触发电路.....	88
第二部分 可控硅应用实例.....	90
第五章 船舶电站.....	90
5—1 75瓩船用发电机自激恒压装置.....	90
5—2 500瓩船用发电机自激恒压装置.....	92
5—3 渔船轴带直流发电机电压自动调节器.....	96
5—4 船用发电机自动并车装置.....	98
第六章 船舶辅机.....	105
6—1 液压自动舵.....	105
6—2 电磁离合器式自动舵.....	111
6—3 7.5瓩电动舵机.....	114

第一部分 可控硅基本原理

第一章 可控硅元件

1—1 概 述

可控硅元件是二十世纪五十年代才发展起来的一种新型的大功率半导体器件，它的全称叫可控硅整流器（英文缩写为SCR）。由于它具有如下优点：

1. 功率增益大；
2. 耐压高，正向压降小，功率损耗小；
3. 开通和关断迅速，控制灵敏；
4. 体积小，重量轻，耐震，无噪声，维护方便，寿命长。

所以已成为强电领域里一种重要的半导体器件，并且是一项有发展前途的新技术。但是它也存在一定的缺点：

1. 过载能力差；
2. 控制较复杂；
3. 抗干扰能力差。

随着工艺的改善，成本的降低，可控硅的应用将日益广泛。最近几年来，可控硅这门新技术在造船工业中也开始得到了应用，并取得了一定的成果。本书所收集的二十多项应用实例就反映了这方面的情况。

1—2 可控硅元件的结构和特性

一、可控硅元件的结构

可控硅的外形目前主要有两种：一种是螺栓型，一种是平板型，如图 1—1 所示。螺栓型使用方便，但散热性能较差；平板型使用、维修不如螺栓型方便，但它可以两面散热，因

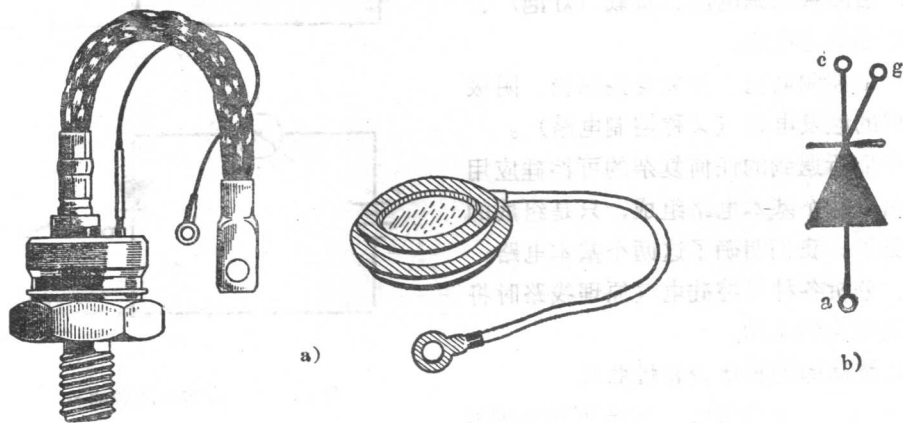


图 1—1 可控硅元件的外形与图形符号
a) 外形， b) 图形符号

而散热性能较好。大功率可控硅有逐渐采用平板型结构的趋势。

可控硅元件有三个电极，螺栓型螺栓那一端一般是阳极 a ，另一端有两个电极，其中较粗的一根为阴极 c ；较细的一根为控制极 g 。平板型中间的金属环是控制极，离控制极近的一面是阴极，远的一面是阳极。可控硅的图形符号如图 1—1b) 所示。

可控硅的内部结构如图 1—2 所示，它的核心部分是一块硅片，它由 P 型半导体和 n 型半导体交替迭合而成的 P-n-P-n 四层元件。从外层 P 区引出的是阳极，从外层 n 区引出的是阴极，而控制极是从里层 P 区引出的。P 型和 n 型半导体迭合在一起形成一个 P-n 结，因此可控硅中有三个 P-n 结。

二、可控硅的工作过程

我们先看图 1—3 的实验。

1. 可控硅阳极经灯泡接电源的正端，阴极接电源的负端，控制极不加电压，可控硅不导通，灯不亮。

2. 控制极加正电压，可控硅导通，灯亮。

3. 可控硅导通后，去掉控制极上加的电压，元件仍然导通，灯继续亮着。

4. 如果控制极加负电压，无论阳极加正电压或负电压，可控硅都不会导通；同样，如果阳极加负电压，即使控制极加正电压，元件也不会导通。

从上面的实验可以得出一个重要的结论：要使可控硅正常导通必须同时具备下列两个条件。

(1) 可控硅要有正向阳极电压。

(2) 可控硅要有适当的正向触发电压。

为了今后分析线路方便，可以把图 1—3 的电路看作由两部分组成：

(1) 由阳极电源电压、负载（灯泡）、可控硅所组成的主电路。

(2) 由控制电压、开关与控制极、阴极串联所组成的触发电路（又称控制电路）。

我们今后所遇到的任何复杂的可控硅应用电路，都由这两个基本电路组成，只是组成的形式不同罢了。我们明确了这两个基本电路，今后研究、分析各种可控硅电气原理线路时将给我们带来很大的帮助。

三、可控硅的阳极伏安特性曲线

按图 1—4 a) 电路接线，调节可控硅阳极电压 U_a 及控制极触发电流 I_g 就可以测得如图 1—4 b) 所示的阳极伏安特性。

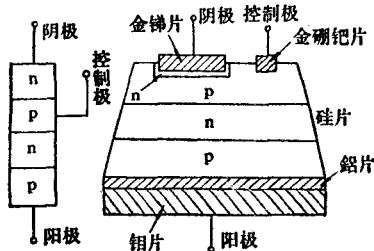


图 1—2 可控硅的内部结构

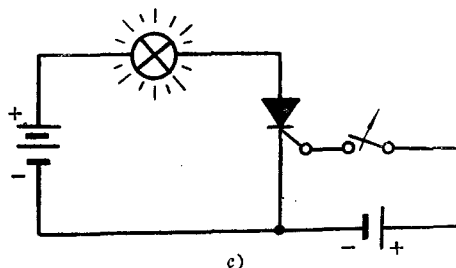
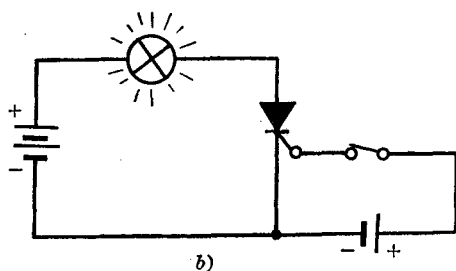
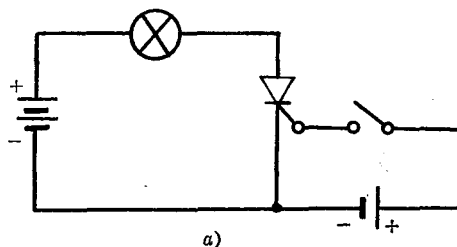


图 1—3 可控硅的导通条件

先断开控制极电路, 则 $I_g = 0$, 改变阳极电压 U_a , 使其从零逐渐增大, U_a 数值虽已较大, 但流过元件的电流 I_a 仍很小, 只有几百微安到几个毫安, 可控硅仍处于阻断状态, 这时的电流称为正向漏电流。当 U_a 升到 U_{BO} 时, I_a 突然增大, 而 U_a 突然跌到很小 (1 伏左右), 此时电源电压几乎全部加到负载 R_L 上, 而 I_a 的数值就由负载决定, 可控硅已从关断变为导通。电压 U_{BO} 称为正向转折电压。这种不加触发电压, 是在很大的阳极电压下, 使可控硅从关断转化到导通的条件, 不是正常的工作条件, 因此在使用时必须避免这一点。

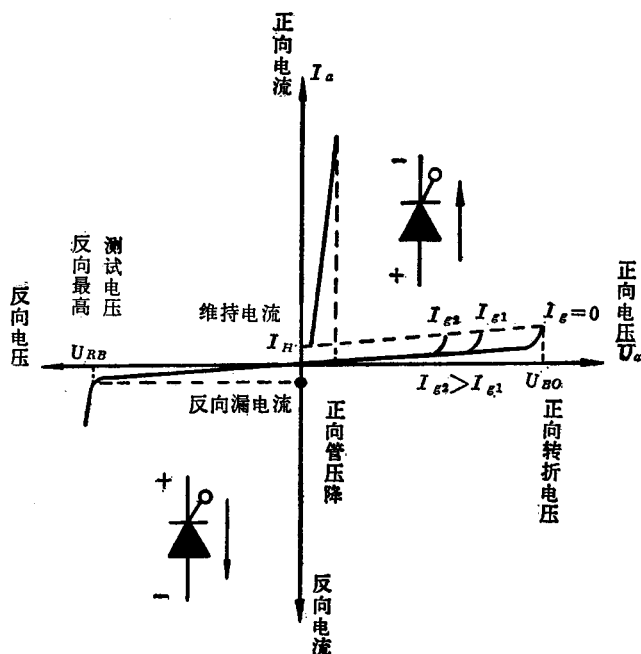
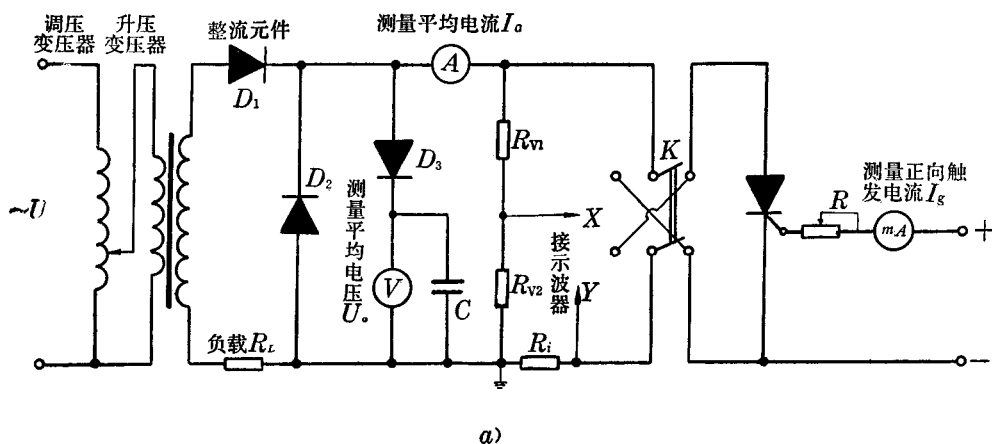


图 1-4 可控硅的阳极伏安特性

a) 伏安特性测量原理电路;

b) 伏安特性曲线

如果在控制极与阴极之间加上正向触发电压, 控制极有正向触发电流流过, 可控硅导通所需要的正向阳极电压就较低。正向触发电流越大, 导通所需要的正向阳极电压就越低。例如某一元件, 当 $I_g = 0$ 时, $U_{BO} = 800$ 伏; 当 $I_{g1} = 5$ 毫安时, $U_{a1} = 200$ 伏; $I_{g2} = 15$ 毫安时,

$U_{a2}=5$ 伏；当 I_g 足够大时，阳极、阴极间只要加上很小的正向电压就导通了。

可控硅导通后，若逐渐减小电源电压，阳极电流 I_a 也随着减小，当电流小到某一数值 I_H 时，可控硅又从导通状态转化为关断状态，电流 I_H 称为可控硅的维持电流。若阳极电流小于此值，则可控硅将关断。

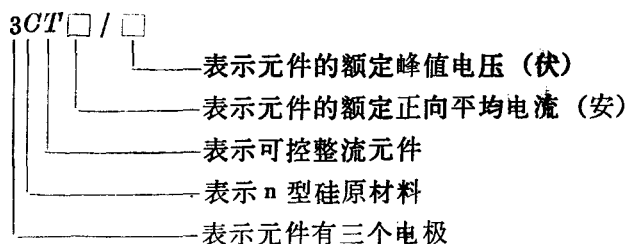
如果使可控硅处于反向阳极电压之下，则元件运行于特性曲线的左下方，此时电流 I_a 也反向，数值很小，只有几百微安到几个毫安，称为反向漏电流。当反向电压加得很大，达到 U_{RB} 时，反向漏电流明显增加，当反向电压超过 U_{RB} 时，反向电流变得很大，可控硅将被反向击穿，造成永久性破坏。电压 U_{RB} 称为反向最高测试电压。

可控硅的导通和关断是一对矛盾，在实际电路中有时要使它关断，有时要使它导通，关键在于掌握条件。毛主席教导我们：“矛盾着的对立的双方互相斗争的结果，无不在一定条件下互相转化。在这里，条件是重要的。”为了正确地使用可控硅，应该注意掌握导通和关断这对矛盾的转化条件，否则将使元件误导通，甚至会损坏元件。

1—3 可控硅元件的型号、参数及使用注意事项

一、可控硅元件的型号

我国目前生产的普通可控硅元件的型号是 $3CT \square/\square$ ，其含义如下：



例如 $3CT 50/800$ ，表示额定正向电流为50安，额定峰值电压为800伏的可控硅元件。

国产 $3CT-5$ 、20、50、200可控硅元件的参数见表1。

二、可控硅元件的参数

可控硅元件的参数很多，其中几个主要参数叙述如下：

1. 正向阻断峰值电压 PVV ：在控制极断路和额定结温的条件下，可以重复加在元件上的正向峰值电压。此电压规定为小于正向转折电压 U_{BO} 100伏。

2. 反向峰值电压 PRV ：在控制极断路和额定结温的条件下，可以重复加在元件上的反向峰值电压。此电压规定为小于反向最高测试电压 U_{RB} 100伏。

3. 额定正向平均电流 I_F ：在规定环境温度、标准散热和元件导通条件下，阳极和阴极间可连续通过的工频正弦半波（180度导通角）电流平均值。平时我们所指一个200安的元件，就是说在上述条件下，它容许通过的最大平均电流为200安。

4. 维持电流 I_H ：在规定环境温度、控制极断路和元件导通的条件下，要保持元件处于导通状态所必需的最小阳极电流。

5. 正向平均电压降 U_F ：在规定环境温度、标准散热和元件导通条件下，通以工频正弦半波额定正向平均电流时，阳极与阴极间的电压平均值。

6. 控制极触发电压 U_g ：在规定环境温度和阳极与阴极间加以一定的电压条件下，触发可控硅元件，使其从阻断状态转变为导通状态控制极所需要的最小直流电压。

7. 控制极触发电流 I_g ：在规定环境温度及阳极与阴极间加以一定电压的条件下，触

国产3CT—5、20、50、200可控硅元件的参数

表1

参 数 名 称	符 号	单 位	3 C T 系 列			
			5	20	50	200
正向阻断峰值电压	PFV	V	20~1500	20~1500	20~1500	20~1500
反向阻断峰值电压	PRV	V	20~1500	20~1500	20~1500	20~1500
正向平均电压降	U_F	V	1.5	1.2	1.2	1.2
额定正向平均电流	I_F	A	5	20	50	200
反向平均漏电流	I_R	mA	3	3	5	10
正向平均漏电流	I_{RF}	mA	3	3	5	10
维 持 电 流	I_H	mA	40	60	60	100
正向电压上升率	du/dt	$V/\mu S$	20	20	20	20
控制极最大触发电压	U_{GT}	V	3.5	3.5	3.5	4.0
控制极不触发电压	U_{GN}	V	0.3	0.25	0.15	0.15
控制极最大反向电压	U_{GR}	V	5	5	5	5
控制极最大触发电流	I_{GT}	mA	50	70	100	120
控制极不触发电流	I_{GN}	mA	0.4	1	1	1
开 通 时 间	t_{on}	μS	10	10	10	10
关 断 时 间	t_{off}	μS	30	30	30	30
额 定 结 温	T_j	$^{\circ}C$	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 120
结 温 升	ΔT	$^{\circ}C$	≤ 60	≤ 60	≤ 60	≤ 80
铝 散 热 板 面 积		cm^2	350	1200	900	2200
冷 却 方 式			自然冷却	自然冷却	风 冷	风 冷

发可控硅元件，使其从阻断状态转变为导通状态控制极所需要的最小直流电流。

8. 正向电压上升率 $\frac{du}{dt}$ ：在额定结温、控制极断路的条件下，元件在单位时间内所能容许上升的正向电压（电压从零加到正向阻断峰值电压），通常用伏/微秒表示。

9. 正向电流上升率 $\frac{di}{dt}$ ：在规定的环境温度和标准散热的条件下，元件在单位时间内所能容许上升的正向电流（电流从零加到额定值），通常用安/微秒表示。

10. 开通时间 t_{on} ：在规定的环境下，通以一定的正向电流（元件导通后的最终电流），元件自加以控制信号至进入导通状态所需要的时间。它是由延迟时间和上升时间两部分组成。

11. 关断时间 t_{off} ：在额定结温条件下，元件从切断正向电流，使元件重新处于阻断状态，直到控制极恢复控制能力为止所需要的时间。所谓恢复控制能力，就是控制极未加信号时，阳极与阴极间重新加上正向电压，元件不会导通。

三、使用可控硅元件时的注意事项

1. 使用环境和冷却条件：元件只适用于海拔高度不超过1000公尺，温度不高于 $+40^{\circ}C$ ，

不低于 -40°C ，相对湿度不大于85%，空气中无爆炸危险，无腐蚀性气体的环境。元件使用时，必须紧固在规定的散热器上，要求接触良好，散热器周围应有足够大的空间，没有其他散热量很大的热源。

2. 峰值电压：把正向阻断峰值电压与反向峰值电压中较小的那个数值定为元件的额定峰值电压。例如一个正向阻断峰值电压为800伏，而反向峰值电压为900伏的元件，则它的额定峰值电压为800伏。平时我们所说耐多大电压的管子，就是指它的额定峰值电压而言。在选用元件的时候，除按实际工作电压的峰值选择外，还应考虑足够的安全系数，一般选元件的额定峰值电压为实际工作电压峰值的1.5~2倍以上。例如实际交流工作电压峰值为311伏，应选元件额定峰值电压为500伏以上的元件。

3. 额定正向平均电流：技术规格中给出的电流是正弦半波平均电流，但冷却条件、环境温度、元件的导通角等因素都影响元件最大容许工作电流。譬如冷却条件达不到要求，导通角小于 180° ，容许通过的电流平均值就要减小。另外，使用的频率超过400赫时，元件的“开”、“关”损耗增加，使结温增加，因此在高频下运用时，亦应降低电流额定值。

4. 正向平均电压降：正向平均电压降一般在0.6~1.2伏左右。正向电压降乘以正向电流就是正向损耗，一般情况下，它是造成元件发热的主要原因，管压降小的元件，温升也小。

5. 控制极特性：同一型号，同一规格中的各个可控硅元件控制极的触发特性差别很大，而且同一个元件的控制极触发电流、电压，也随温度的变化而变化。温度变化的影响通常可以这样来估算： $+100^{\circ}\text{C}$ 时需要的触发电流（或电压）比室温时低2~3倍，而 -40°C 时需要的触发电流（或电压）则比室温时高2~3倍。元件的控制极触发电压、电流不能太大也不能太小。太大了，设计控制电路时有困难；太小了，元件易受干扰产生误导通。一般技术数据上有所规定，如表1所示。触发脉冲应有足够的宽度，它的持续时间足以使阳极电流上升到维持电流 I_H 以上（为了使控制极不致烧坏和击穿，控制极触发电压和电流都不能超过容许值）。

6. 电流上升率 $\frac{di}{dt}$ ：可控硅元件从阻断状态到导通状态，内部有一个电流扩展过程，当控制极有触发电流后，元件首先在控制极附近逐渐形成导通区，并局部扩大，直至全部结面形成导通。图1—5表示元件的开通过程。

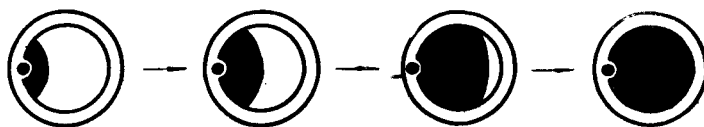


图1—5 可控硅元件的开通过程

由于开通最初瞬间，导通区域只在控制极附近，若这时电流上升速度太快，很大的电流集中在控制极附近的P-n结区域，产生“热点”，使P-n结局部过热而损坏。因此元件使用时，电流上升率不应超过技术数据中的给定值（一般 $\frac{di}{dt}$ 限制在20安/微秒以下）。在结构上增加控制极的数目或把控制极做成环形，可以提高元件对 $\frac{di}{dt}$ 的耐受力。在可控硅主电路中串联微亨数量级的电感，可以限制电流上升率。

7. 电压上升率 $\frac{du}{dt}$ ：元件的结面在阻断状态时相当于一个电容 C ，若所加的正向电压

上升速度 $\frac{du}{dt}$ 很大，就有一个很大的充电电流 $i = c \frac{du}{dt}$ 流过结面，这电流与触发电流的作用相当，而使元件发生误导通，所以必须限制电压上升率，一般限制在 20 伏/微秒以下。在元件的阳极与阴极间并联阻容支路，可以减小加在元件上的电压上升率。

8. 开通与关断时间：当元件在逆变、高频场合下应用或者串并联应用时，开通与关断时间是影响工作频率和效率的重要参数，要求它们越小越好。

1—4 可控硅的保护

“事物都是一分为二的。”可控硅元件虽然优点很多，但是它也有承受过电流和过电压的能力较差等缺点。我们在工作中如果不了解它的特性，不采取有效的保护措施，可控硅也很容易损坏。为了使可控硅可靠地工作，不但要合理地选择元件参数，而且必须对可控硅及其电路采取适当的保护措施。

一、可控硅的过电流保护

我们说可控硅承受过载能力较差，就是说它还是具有一定的过载能力。在表 2 中，列出了不同额定电流的元件所具有的过载能力。例如 50 安的元件在一个周波时间内(0.02 秒)可以承受五倍额定电流的过电流，只要在这时间里把故障电流切除，元件就不会损坏。但是如果切除的时间太慢，就会使元件的温度急剧上升，导致 P-n 结烧毁，而使可控硅损坏。所以在电路中需要接入快速动作的保护装置例如快速熔断器，当发生过电流时，保护装置先动作，切断电流，这样就保护了可控硅。

可控硅的电流过载倍数

表 2

额定电流 (A)	电 流 过 载 倍 数			
	一个周波	三个周波	六个周波	十五个周波
1	5.0	4.0	3.5	3.0
5	5.0	4.0	3.5	3.0
20	5.0	4.0	3.5	3.0
50	5.0	4.0	3.5	3.0
100	4.0	3.0	2.5	2.2
200	3.0	2.4	2.2	2.0

1. 可控硅发生过电流的原因有：负荷过载、线路短路、元件误导通等。例如整流装置中，输出回路的短路或过载是产生过电流的主要原因。又如在逆变装置中，由于可控硅的误导通会导致换流失败而引起短路。

2. 采用快速熔断器作过电流保护：由于可控硅容许承受过电流的时间很短，而普通熔

RLS快速熔断器的规格

表 3

熔断器型号	熔断器额定电压 (V)	熔断器额定电流 (A)	熔断体额定电流 (A)
RLS—10	500	10	3, 5, 10
RLS—50	500	50	15, 20, 25, 30, 40, 50
RLS—100	500	100	60, 80, 100

断器由于熔断时间较长，一般不能达到保护的目，只有采用快速熔断器才能达到保护的目。快速熔断器结构简单，尺寸小，容易安装。目前常用的快速熔断器有 RLS 系列（螺旋式）和 RSO 系列（插入式）等几种。RLS 系列的规格如表 3 所示。

RLS—50快速熔断器保护特性如表 4 所示。

RLS—50快速熔断器保护特性 表 4

熔断器额定电流 (A)	熔断体额定电流 (A)	I_F 过载倍数	熔 断 时 间
50	15、20、25、 30、40、50	1.1	5小时内不熔断
		1.75	1小时内不熔断
		4	0.2秒内熔断
		6	0.02秒内熔断

快速熔断器 RD 接在线路中的方式主要有三种，见图 1—6。

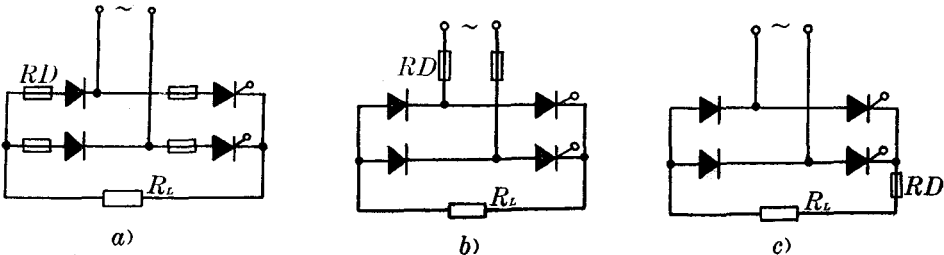


图 1—6 熔断器接入方式

- a) 与硅元件串联；
b) 接在交流输入端；
c) 接在直流输出端

快速熔断器的熔断体额定电流 I （有效值）选择方法如下：

- (1) 快速熔断器与硅元件串联；

$$I = (1.25 \sim 1.5) I_F$$

式中 I_F ——可控硅元件的额定正向平均电流。例如对 $I_F = 20$ 安的可控硅进行短路保护，由计算得：

$$I = 1.5 \times 20 = 30 \text{ (安)}$$

可取额定电流为30安的熔断体。

- (2) 快速熔断器接在交流输入端；

$$I = K I_d$$

式中 K ——系数，见表 5；
 I_d ——可能使用的最大直流整流电流。

系 数 K 表 5

整 流 线 路	单 相 全 波	单 相 桥 式	三 相 桥 式
K	0.707	1	0.816

- (3) 快速熔断器接在直流输出端；

$$I = I_d$$

3. 采用过电流继电器保护：对于还不是短路的过电流，可按可控硅的过载能力在交流侧或直流侧接入快速动作的电流继电器。过载时，继电器动作，从而有效地保护可控硅。

4. 过流截止保护

如图 1—7 所示，当负载电流超过整定值时，电流互感器或其他反映负载电流的装置，对控制电路发出信号，使可控硅的导通角迅速减小或使可控硅截止，使负载电流维持在整定值，保护了可控硅。

二、可控硅的过电压保护

变压器初级线圈的开闭；感性负载的断开；快速熔断器的熔断；可控硅的关断以及闪电、雷击等均能产生过电压。可控硅元件遭受过电压的袭击，可能因反向击穿而损坏，或者因电压超过可控硅的正向转折电压使元件产生误导通。如果误导通次数过多，电流过大，也能使元件损坏。因此必须采取保护措施，消除过电压。

保护措施主要有阻容保护和硒堆保护。

1. 阻容保护：这种保护的基本原理是基于电容两端的电压不能突变，利用电容这一特性就可以吸收过电压。当电容并联在元件的两端作过电压保护时，必须与电容串联适当阻值的电阻。这是因为电容可能与线路中的电感产生振荡而引起过电压，另外可控硅由阻断到开通的瞬间，电容的放电电流可能很大，串联入电阻 R ，一方面是加强了对振荡的阻尼作用，另一方面又限制了电容对可控硅的放电电流。电阻 R 称为阻尼电阻。在图 1—8 中，由于未接入阻尼电阻，导致可控硅损坏，而接入阻尼电阻 R 后，可控硅工作就正常了。

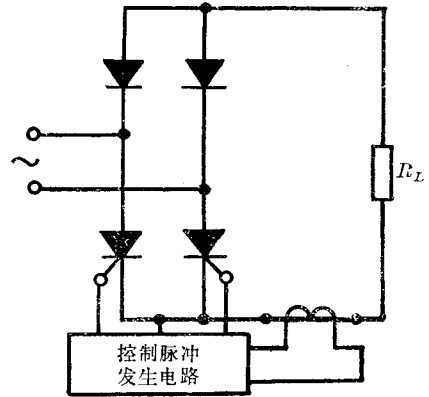


图 1—7 过流截止保护

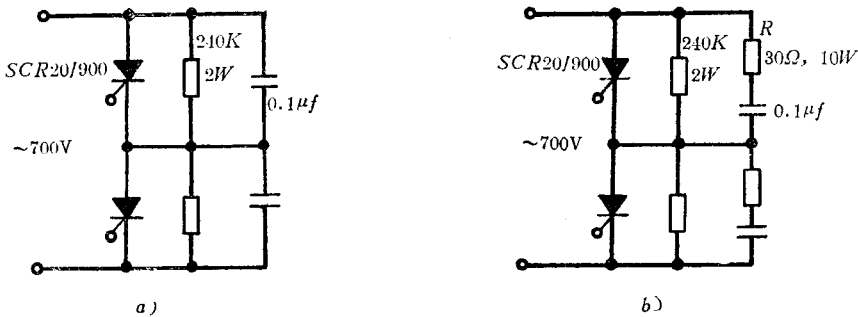


图 1—8 实例

a) 未接入阻尼电阻，可控硅损坏；

b) 接入阻尼电阻，可控硅工作正常

2. 硒堆保护：这种保护的基本原理是因为硒堆是一种非线性元件，当它承受的电压超过某一定值时，就被击穿，电阻迅速减小，在短期内通过较大的电流，从而抑制了电压的上升。所以它能够吸收过电压，保护可控硅，而硒堆本身并不损坏，过电压消失后，其耐压能力又可恢复。硒堆由两组相反连接的硒片组成，在正常电压下，硒堆处于开路状态，当外加电压超过一组硒片的耐压值时，它被击穿，从而对可控硅电路起到保护作用。虽然硒堆较之阻容保护体积较大，成本较高，但它吸收浪涌功率的能力较大而被广泛采用。

阻容保护和硒堆保护的线路如图 1—9 所示, 它又可分成交流侧保护、元件本身保护、直流侧保护三部分:

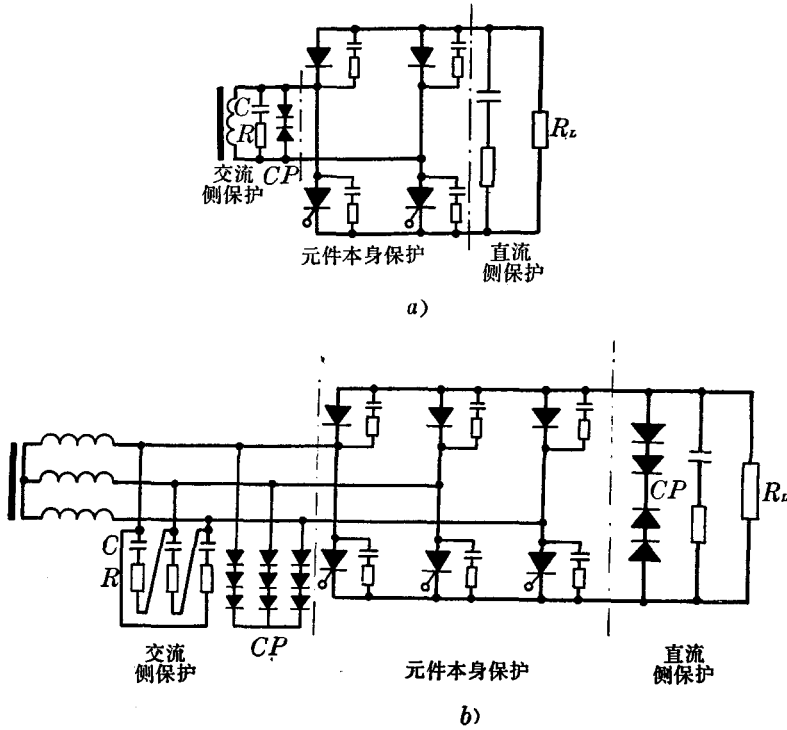


图 1—9 过电压保护线路

a) 单相; b) 三相

1. 交流侧保护

为了防止电源侧浪涌电压的侵入和变压器开闭时引起的过电压, 在变压器的次级采用阻容 RC 和硒堆 CP 保护。

(1) 阻容保护的计算

①单相时, 电容数值按下式计算:

$$C = 0.21 \frac{S_H K}{U_m^2} \times 10^{-4} \text{ (法)}$$

式中 S_H ——变压器的容量 (伏安);

$K\%$ ——变压器的空载电流百分数。对于容量为几十千伏安以上的变压器, $K\% \approx 3 \sim 5\%$, 即 $K = 3 \sim 5$; 对于几百千伏安的变压器, $K = 10$;

U_m ——可控硅反向峰值电压 (伏);

C ——电容量 (法)。

例 1 一个 2 千伏安的变压器, $K = 3$, 若所选用的可控硅的反峰电压为 500 伏, 则电容量为:

$$C = 0.21 \times \frac{2 \times 10^3 \times 3}{500^2} \times 10^{-4} = 0.5 \times 10^{-6} \text{ (法)}$$

电容器耐压可取反峰电压的 1.1~1.5 倍。

阻尼电阻 R 的数值可取:

$$R = 2.2 R_L$$

式中 R_L ——负载电阻。

阻尼电阻的功率可按下述方法计算。先忽略阻尼电阻 R ，求出流过电容 C 的电流：

$$I_c \approx U\omega C$$

式中 U ——变压器次级绕组电压有效值（在三相电路，则是线电压有效值）；

ω ——电网的角频率。 $\omega = 2\pi f$ ，若 $f = 50$ 赫，则 $\omega = 314$ 弧/秒；

C ——电容量（法）。

所以 R 的功率为：

$$W = I_c^2 R \quad (\text{瓦})$$

②三相时，电容数值仍可按下述方法进行计算，但在计算公式中的 S_H 必须用三相变压器总容量的三分之一代入。

例 2 三相变压器的容量为 48×10^3 伏安，每相容量为 16×10^3 伏安， $K=5$ ，可控硅反峰电压为 800 伏，则电容量 C 为：

$$C = 0.21 \times \frac{16 \times 10^3 \times 5}{800^2} \times 10^{-4} \approx 2.6 \times 10^{-6} (\text{法})$$

在三相电路中电容器的耐压可取线电压峰值的 1.1~1.5 倍。

（2）硒堆保护的计算

硒片面积有 20×20 、 30×30 、 40×40 、 60×60 、 100×100 平方毫米等数种规格，对于几个瓦至十几瓦的整流装置，一般选用面积为 40×40 平方毫米的硒片。对于功率较大的整流装置可以选用面积较大的硒片。

每堆硒片片数 n 的计算公式：

$$n = \frac{U}{U_n}$$

式中 U ——被保护的交流侧电压有效值，在三相中则为被保护的交流侧的线电压有效值；

U_n ——每片硒片承受的正常电压，一般是 18 伏。

在图 1—9a) 中，若输入电压 $U = 220$ 伏，则每堆需要的片数：

$$n = \frac{220}{18} \approx 12$$

两堆硒片正、反向串联总共需要 24 片。在图 1—9b) 中，输入线电压为 380 伏，每堆片数：

$$n = \frac{380}{18} \approx 21$$

总共需要 63 片。

2. 元件本身保护

为了防止可控硅遭受换向过电压的损坏，应在可控硅的阳极与阴极间并联阻容保护，如图 1—10 所示。电阻 R_b ，电容 C_b 的大小可以按表 6 选择。

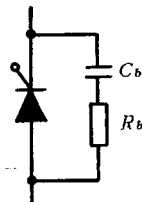


图 1—10 与可控硅并联的阻容保护

R_b 与 C_b 的数据选择

表 6

可控硅容量 (A)	5~20	50	100	200
C_b (μf)	0.1	0.2	0.25	0.5
R_b (Ω)	100	40	20	10

电阻 R_b 消耗的功率为:

$$P_b = I_b^2 R_b \text{ (瓦)}$$

$$I_b \approx U_{\text{反}} \omega C_b \text{ (安)}$$

式中 $U_{\text{反}}$ —— 可控硅反向工作电压有效值 (伏)。

在实际工作中, 为了减少电阻的发热, 电阻 R_b 的功率通常取 $(1.5 \sim 2) P_b$; 与可控硅并联的阻容元件要尽量靠近可控硅, 引线要短, 以提高保护的效果。

3. 直流侧保护

同样可以采用阻容和硒堆保护来防止可控硅遭受过电压的袭击。

应该指出的是, 还可采用其他方法作过电压保护, 诸如采用雪崩元件和可控硅保护电路作过电压保护。现简单介绍如下:

某雪崩二极管的特性曲线如图 1—11 所示。从特性曲线中可以看出, 由于雪崩元件本身可以瞬时通过较大的反向电流, 雪崩二极管两端的电压不会超过雪崩电压, 所以雪崩元件可起过电压的保护作用, 如图 1—12 所示。

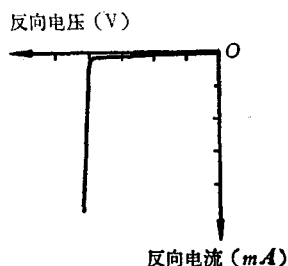


图 1—11 雪崩二极管的特性

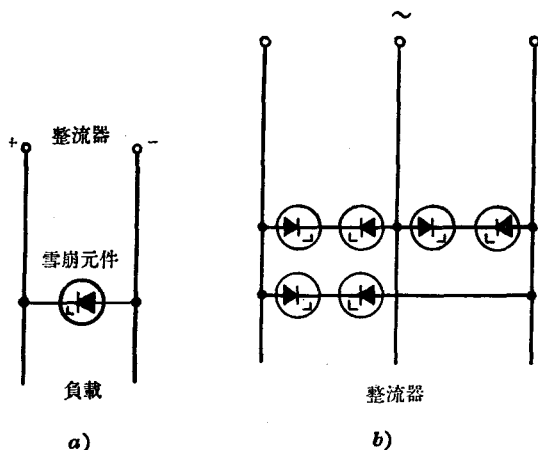


图 1—12 由雪崩二极管构成的过电压吸收回路
a) 吸收直流侧过电压; b) 吸收交流侧过电压

图 1—13 是由可控硅构成的吸收交流侧过电压的装置。过电压发生时, 稳压管 ZD 被击穿, 供给 SCR_1 (或 SCR_2) 控制极一个脉冲, 使 SCR_1 (或 SCR_2) 导通, 电阻 R_1 用来消耗过电压的能量, 以抑制过电压。

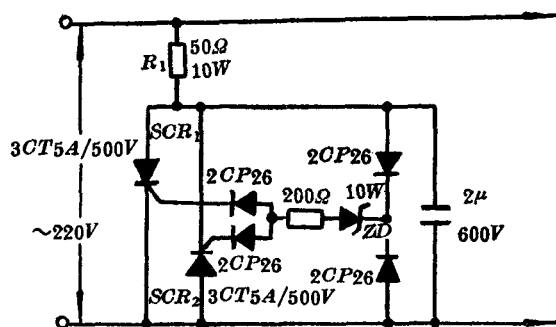


图 1—13 交流侧过电压可控硅保护电路

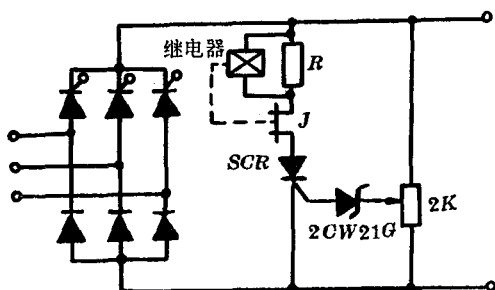


图 1—14 把可控硅放在直流侧作过电压保护

图 1—14 是由可控硅构成吸收直流侧过电压的装置。当直流侧出现过电压时, $2CW21G$ 被击穿, SCR 导通, 从而抑制了过电压。为了在过电压消除后, SCR 能关断, 电路中接入继