



国外大功率可控硅 技术参考资料

辽宁人民出版社

国外大功率可控硅技术

参 考 资 料

《国外大功率可控硅技术参考资料》

编译组译

辽宁人民出版社出版

辽宁省新华书店发行

朝阳六六七厂印刷

1972年11月第1版

1972年11月第1次印刷

书号 15090·3 每册0.70元

毛主席语录

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

内 容 简 介

大功率可控硅的研究和生产，近些年来发展很快。这种元件具有快速、灵敏、体积小、节电等优点，目前，许多行业的自控系统上已被广泛采用。

遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，本书收入了一九七〇年以后国外刊物上发表的有关大功率可控硅技术方面的文章，共十八篇。这本译文集，共分三大部分：一、国外大功率可控硅技术发展动态；二、各种类型的大功率可控硅的设计理论及制造工艺；三、大功率可控硅的性能改进及可靠性检验。着重介绍大功率可控硅的工艺、性能；提高元件的耐压、电流、开关特性以及可靠性方面的技术。

此书可供从事可控硅生产和应用的广大工人、干部和科技人员参考。

目 录

最近的可控硅动态·····	(1)
可控硅高压化技术·····	(14)
可控硅大电流化技术·····	(22)
可控硅高速化技术·····	(30)
全扩散大功率可控硅·····	(42)
超高压可控硅·····	(59)
一种新型的硅功率元件——反向导通可控硅·····	(74)
高压高温反向导通可控硅·····	(86)
反向导通可控硅的一些电学特性·····	(101)
大功率控制极可控开关 (GCS) ·····	(105)
高压大功率面结型硅整流元件的设计·····	(120)
可控硅阴极分流点的几何图形·····	(132)
可控硅的表面电场强度·····	(140)
大功率可控硅在动态和静态条件下 的等离子区扩展·····	(153)
用 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 钝化大功率整流元件 ·····	(172)
可控硅型式试验·····	(179)
可控硅的破坏·····	(218)
可控硅的误触发及其防止法·····	(224)

最近的可控硅动态

1. 引言

可控硅在电力变换和控制技术领域里越来越显得重要了。目前，人们正在探讨可控硅在所有电力领域内应用的可能性。

可控硅是一种小型轻便的硅功率元件。它的制法通常是先用直径约为4厘米、厚度约为0.5毫米或者更薄一些的硅单晶圆片制成管芯，然后在其上面安装兼作电极的散热器。这种元件只要在1.5伏左右的开通电压下，就能允许几百安培的电流流过；而在关断状态下，它又能用以阻断几千伏的电压。可控硅有许多优点，如：不发生火花，如果使用得当能承受反复的热循环，维护简便，等等。所以引起了人们极大重视。

四十年代至五十年代主要是应用水银整流器，因不经济，后来逐步被可控硅代替。随着旁路、回授整流二极管各种巧妙用法的普及，近几年可控硅应用技术的报道大量涌现。

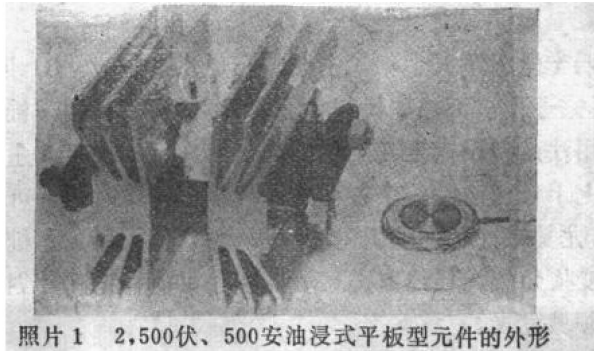
七十年代乃是一个各种技术推陈出新的时代。可控硅的应用，尤其在大功率范围内的应用，譬如作压延机和机车驱动用的变换装置，已经取得显著成绩。目前，正在计划向新的应用领域发展。

2. 可控硅制作技术的现状及动态

可控硅与晶体管相比，从原理上说它是一种适合于作高电压、大电流的元件。不过，要满足大功率的要求，自然要受工艺上的限制。譬如：要提高电压，就得以降低电流密度、牺牲高速开关特性作为代价。因此，在制造工艺上，相互矛盾的诸因素，需要按照使用目的加以适当的折衷选择，从而逐步研制各有独特性质的可控硅。由于新工艺逐年革新，目前这种折衷办法也在不断提高。

过去的一年里，是元件制作大飞跃时期。尤其在电压方面，相继发表了有7,000~10,000伏、几百安级的大功率可控硅〔1〕〔2〕。至于高速开关可控硅，去年的水平是：1,300伏、400安，开关时间为30微秒左右。而今年已经报道的水平是：1,600伏、400安，开关时间为20微秒〔3〕。同时，2,500伏、1,000安的可控硅也有报道。

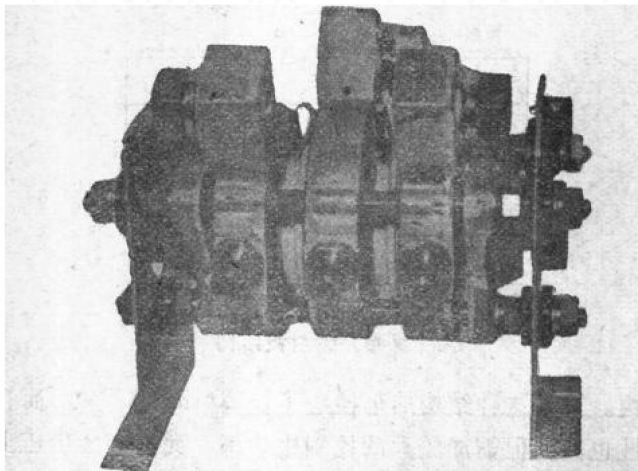
最近的技术倾向是普及大功率可控硅。所用的方法是：压接式大面积管芯，不用焊料，而且这种大功率可控硅都是



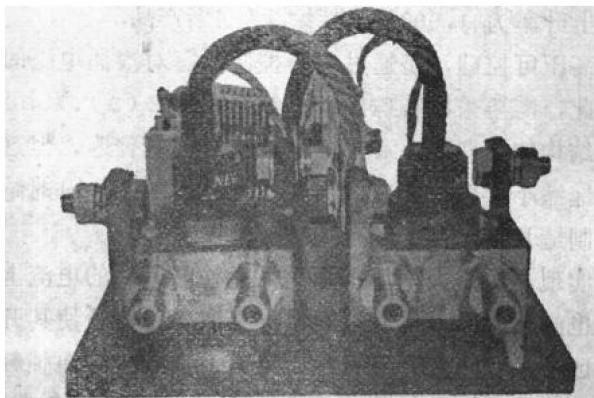
照片 1 2,500伏、500安油浸式平板型元件的外形

两面散热的平板结构，冷却方式为液冷。

照片 1 示出了2,500伏、500安培油浸式平板型可控硅元件的外形图。元件的外径约为80毫米，厚度为14毫米。如果采用风冷，散热片还需加大。照片 2 系水冷式平板型可控硅



照片 2 水冷式平板型1,200伏、400安可控硅堆反并联组装图



照片 3 水冷式螺栓型600伏、100安可控硅堆反并联组装图

堆反并联组装图。照片 3 所表示的是以同样方式组装成的螺栓型可控硅堆。

大多数的大功率可控硅，都作成如图 1 所示的短路发射

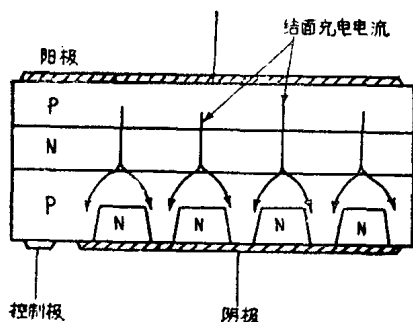


图 1 短路发射极结构

极结构。具有这种结构的可控硅不仅 dv/dt 容量大，而且热稳定性也高，但需加较大的控制极功率。允许关断电压上升率一般为 200 伏/微秒。对于超声波用的可控硅，目前正在研制电压上升率为 1,000 伏/微秒水平的新产品。

耐高压可控硅，是通过雪崩控制提高对浪涌电压的稳定性，为此，需要采用特殊的斜角结构。图 2 (a)、(b) 示出了斜角结构的原理。图 2 (c) 结构采用的最普遍，但这种结构大大地缩小了周边的有效面积。因此，图 2 (d) 的结构最适合于制造几千伏水平的可控硅。

若实现高电压大电流，那么，元件开通时的电流上升率 di/dt 也必然增大。这就需要设法采取各种途径使其开通后的开通区从控制极附近迅速地扩展开，以减少开通损耗。

图 3 示出了各种控制极结构的类型。就最早的点控制

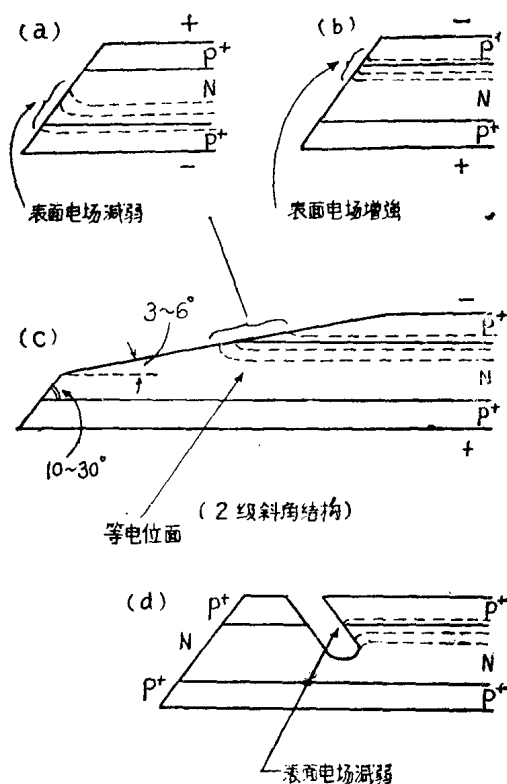
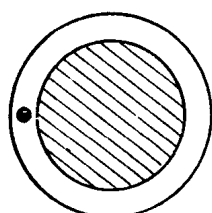
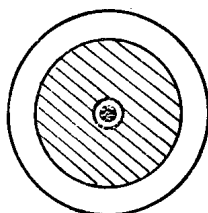


图2 各种斜角结构

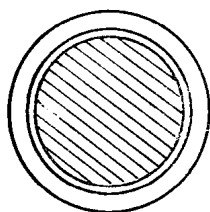
极结构来说,使其导通面积扩展的最快速度仅为0.1毫米/微秒左右。所以,后来都采用中心控制极、环形控制极和梳形控制极等。最近,在大功率可控硅中,又广泛采用 F-I (引



点控制极



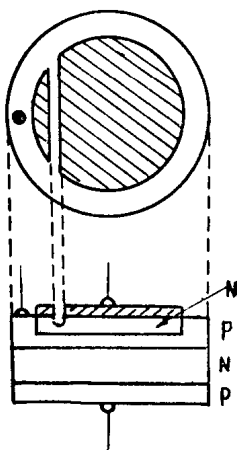
中心控制极



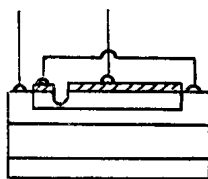
环状控制极



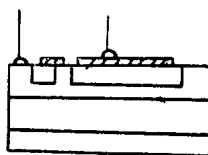
梳状控制极



FI控制极



再生控制极



辅助控制极
(AG结构)

图3 各种控制极结构的原理图

进场——译者注) 结构。这种结构的特点是: 当主电流上升时, 主电流本身构成了与结平面平行的电场成份, 从而使开通区的扩展速度加快。最近又进一步提出主电流本身对提高 di/dt 容量有同样作用的再生控制极和 AG (辅助SCR控制极——译者注) 等结构。

图 4 是由辅助 SCR 控制极和中心控制极并用的高速开关可控硅的原理图。GE 公司用这种方式试制了 1,200 伏、470 安 (有效值) 的平板型元件。其 di/dt 容量为 1,000 安培/微秒、关断时间为 25 微秒。

综上所述, 要想制作几千伏、几千安培水平的实用的可控硅元件, 一般说来, 应考虑采用环形 F-I 结构; 图 1 和图 2 (d) 并用的结构; 以及两面散热的压接式结构等。

另外, 作为反向阻断型可控硅来说, 除了前面介绍的可控硅 (SCR) 以外, 控制极可关断 (GTO) 仍然是今后探索的方向。GTO 是一种直流用的静止开关, 与功率晶体管相比, 其优点是可实现极高的电压; 与 SCR 相比, 其优点是具有高频驱动 (几十千赫) 的工作性能。目前, GTO 广泛应用在电视机的偏转电路里。

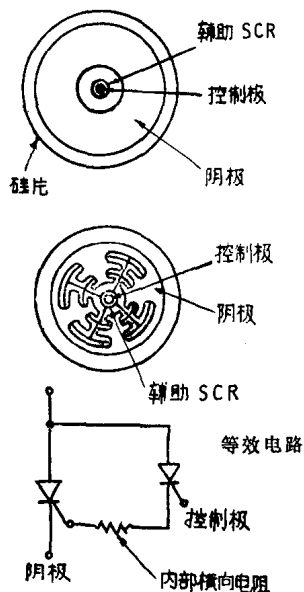


图 4 高速可控硅所采用的控制极结构 (AG 结构、中心控制极)

LAS ($p-n-p-n$ 型光敏开关——译者注) 和 LASCR (光敏可控硅——译者注) 等光电控制元件——隶属光电三极管或光电池之例——也是今后所要探讨的元件。

最近, 用于交流电力控制设备上的双向可控硅也在进行试制。尤其是五层开关 (triac), 已拿出1,200伏、150安培 (有效值) 的元件供应市场。以往都是将可控硅 (SCR) 反并联使用, 这样很不经济。预计这种双向可控硅今后将会有很大发展。

这些复合元件从动态特性方面来看, 研制的要比 SCR 晚一点。但是, 这种元件因为可以用玻璃进行表面处理、用树脂进行封装等, 使成本降低了, 因此有可能作为家庭电气化制品广泛普及。

在自励式逆变器和直流变换器中, 大多是把回授整流器与 SCR 反并联使用。对于这种用途的反向导通型元件的研制, 从今年开始也有所报道 [5][6]。

预计今后的动向是: 随着表面处理技术和绝缘材料技术的发展, 大容量的器件也要象目前模制型小容量器件一样, 最终将甩掉密封的金属帽。其次, 与平板型元件普及的同时, 串、并联连接起来的可控硅堆将与附属电路一起固定在油槽里, 即有可能逐步发展成所谓的微型组件。现在正在试制的用于化学方面的可控硅整流变压器, 就是将整流器组件连同变压器一起安装在槽内组成的一套整流变压器。另外, 将很多个并联元件构成一体的堆式大电流元件也将是一个方向。

要想将几个变换电路作成桥式连接, 那么根据控制极回路要求考虑, 不仅要发展目前的 P 型控制极可控硅, 还应研制 n 型控制极的可控硅。

从将来提高大容量可控硅成品率方面着想，急待解决的一个问题是如何处理大面积硅片的晶格缺陷。此外，将来还有可能利用金属间化合物半导体或者其它类型的半导体来制造高压、高速可控硅。

3. 可控硅的应用及其动态

可控硅变换器，就其速度响应性、控制精确性方面说，已经在压延机等静止伦纳德(Leonard)设备中占据了压倒的优势。而可控硅应用在交流电力机车方面已经卓有成效。日本山阳新干线正准备广泛采用可控硅。另外，直流电力机车也以地下铁道为先例，首次利用断路器式直流变换装置实现了高效率运转，与以往的电阻控制电力机车相比，节电大约40%左右。……

最近一两年，可控硅在家庭电气化方面的应用也日益兴盛。可以预料，继晶体管之后，可控硅在不久的将来，也将成为人们生活中屡见不鲜的东西。最近，汽油为动力的汽车，公害日益严重，急待开发电动汽车。这样，可控硅的应用必将加速扩大。

采用可控硅逆变器来控制交流电动机转速的基础技术已经确立[10]。鉴于无火花、无维护设备的迫切需要，将来可能逐步地取代整流子电动机。

在电力系统中，可控硅用于高频开关断路器或者用于工频感应加热器等方面，其重要优点是无火花、无损耗。从而可用它来抑制剧增电流和快速遮断短路电流[11]，可控硅应用在异常动作的辅助线路里，还能有效地增加大容量遮断器

的短路遮断容量。有关这方面应用实例可举出很多〔12〕。

特别在直流输电、直流连结的高压可控硅变换装置中，几个串联元件做到同时触发尚存在一些有待解决的问题，尽管各国仍在试作〔13〕〔14〕。

其他方面应用，如在计算机上作稳定电源，或者用在照明调节器、高频感应加热器、超声波发生器等方面作电源，等等。总之，在电力控制、电力变换等所有领域里，都可以找到可控硅的用途。表1对可控硅应用方式进行了分类，并把它的主要用途列成一览表。在表1的最下面还示出了各种变换方式的输出波形例，以供参考。对于交流电源只示出了单相的情况。在实际应用的设备上，一般使用多路多相的连接方式，以便尽可能减少输入、输出端的谐波。

随相位控制而产生的谐波，今后乃是可控硅变换器广泛应用的最大限制因素。它一方面给通讯线和信号回路带来感应故障；另一方面，有可能使连接在电力系统中的旋转仪器或电容器发热，甚至使各种继电器产生误动作。

以前，电力系统的谐波问题并不严重。对于那些不太考虑谐波对策的设备，只要对谐波可能带来的故障做到检查，加以改进，使谐波含量限制在容许的范围内，那么，可控硅电力电子学就有可能飞跃发展。除考虑多路多相化的措施以外，根据相位控制方式以及高频工作条件等方面的讨论，对可控硅变换器本身采取减少谐波发生量的对策也在日臻完善。

今后，作为未来可控硅变换器发展方向，有必要发展和直接输电有关的MHD（磁流体发电——译者注）等大容量变换器。在这种场合，不仅存在着用多相化减少谐波和无效功率的处理方式问题，同时和直流输电一样，也存在着多个

可控硅元件同时触发方式等问题。

另外，船舶内部的动力设备的可控硅化，迟早也是一个研究课题。应用到船舶工业的场合，因所构成的系统仅限制在船舶的机体范围，所以谐波问题容易解决。笔者认为这是一个值得注意的应用领域。

4. 结 语

可控硅在电力变换、控制领域内一经出现，必将促使闸流管、多极和单极水银整流器、接触变流电机、磁力放大器等变换装置领域发生深刻变化。可控硅发展到今天，似乎还未看到一种新的元件能够代替它。

表 1 可控硅应用范围概要

开关作用	报警、计数器、闪光灯、电视水平偏转、脉冲发生器、过电流遮断、过电压保护、温度调整、无火花无损耗开关器（交、直流）、光电控制、各种计时器。
交流电力控制	感应电动机控制、循环换流器、焊接机、电炉、调光、频率倍增。
交直流变换	直流电动机控制（电机车、各种轧钢机）、发电机励磁控制、直流输电、直流连结、频率变换器、升压器、稳定电源、电解电源（铝、盐水）。

自励式逆变换	稳压稳频电源、备用不停电电源、感应电动机速度控制、感应加热、线性电机驱动、荧光灯电源、超声波应用、直流变压器、电动汽车。
直流变换	电气铁道(力行、回生、发电制动器)、电动汽车、感应电机二次电阻控制、直流变压器。
各种变换波形例(负载电阻)	

参 考 资 料

- [1] 小津, 大冢, 松村; 昭44电气学会东京支部大会, 348.
- [2] 龟井, 小川, 守田, 和岛; 日立评论, 52, 49, 昭45—3.
- [3] 冈, 船川, 蒲生, 川上; 昭45电气4学会连大, 1725.
- [4] 船川, 饭田, 小岛; 三菱技报, 43, 389 & 510 & 626, 昭42.
- [5] 八尾, 小川, 和岛, 守田; 昭45电气4学会连大, 1730.
- [6] 松泽, 薄永; 昭45电气4学会连大, 1731.
- [7] IEC 文书 SC22-B(CO), 17, 1969.
- [8] IEC 文书SC22-B(S), 32, 1970.
- [9] Yamada & Ikeda; IEE Conf. on Power Thyristors and their Applications, Session 1. London, 1969.
- [10] 电气学会技术报告, No.73, 昭41—4.