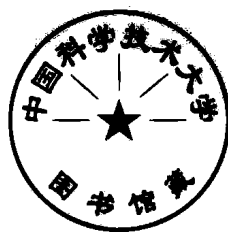


变流器及其器件 应用设计手册

第一机械工业部整流器研究所

一九六八年

变流器及其器件 应用设计手册



第一机械工业部整流器研究所

一九六八年

73-41
71-01

内 容 提 要

本手册比较完整地收集了国内生产的各种定型整流器件及其成套装置的性能、特性曲线和安装数据。给出了变流器设计及整流器件应用设计中常用的计算公式、图表曲线、规范标准、典型电路、配套设备和附属系统的计算和选择以及常用晶体管的特性、数据、外形尺寸等设计参考资料。

本手册的公式、图表和计算规程主要考虑硅和汞弧类电力变流器的设计需要、兼顾对晶体二极管、闸流管、充气二极管、硒等小功率变流器的通用性，这些小功率器件的性能、参数、外形尺寸在附录中给出。

本手册可供变流器设计人员及其他与整流器件应用技术有关的研究、设计、制造部门的工程技术人员作参考资料使用。对变流器使用部门的工人、设计运用人员也有参考价值。

变流器及其器件应用设计手册

编辑、出版者	第一机械工业部整流器研究所
印刷者	西安新华印刷厂
经售者	西安市大庆路八号
	第一机械工业部整流器研究所

1968年7月第1版

1970年2月第二次印刷

定价：1.00元

毛主席语录

无产阶级文化大革命，实质上是在社会主义条件下，无产阶级反对资产阶级和一切剥削阶级的政治大革命，是中国共产党及其领导下的广大革命人民群众和国民党反动派长期斗争的继续，是无产阶级和资产阶级阶级斗争的继续。

转引自《人民日报》、《解放军报》一九六八年
四月十日社论《芙蓉国里尽朝晖——热烈
欢呼湖南省革命委员会成立》

要斗私、批修，要拥军爱民，要抓
革命促生产，促工作，促战备，把各方
面的工作做得更好。

转引自《人民日报》一九六七年十一月十日
任立新《形势比以往任何时候都好》

毛主席语录

《关于实践》

認識从实践始，经过实践得到了理論的認識，还須再回到实践去。認識的能动作用，不但表現于从感性的認識到理性的認識之能动的飞跃，更重要的还須表現于从理性的認識到革命的实践这一个飞跃。

《实践论》（一九三七年七月），

《毛泽东选集》第一卷第二八一页

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的經驗，我們需要的是这样一种态度。

《关于正确处理人民内部矛盾的问题》（一九五七年二月二十七日），人民出版社版，第三八页

前 言

在我们伟大的领袖毛主席亲自发动和领导下，无产阶级文化大革命已经取得了决定性的胜利。目前，全国形势一片大好，越来越好。革命改变了人们的精神面貌，带动了生产，工农业战线出现一片兴旺景象。在毛主席“抓革命、促生产”伟大号召发出后，我所革命职工积极响应这一伟大号召，遵照毛主席指示的“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”“一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是马克思主义的认识论，就是辩证唯物论的认识论。”这一教导，为适应变流技术迅速发展的需要，应变流行业的有关制造厂和应用部门的设计、研究单位的要求，组织了技术力量，参照了有关资料和本行业的各单位设计积累的经验资料，汇总编写了这一设计手册，供这方面的工作人员参考使用。

本书内容主要考虑电力变流器的设计需要，兼顾对小容量的闸流管、充气二极管、半导体等阀型变流器设计的通用性。

全书分(一)汞弧变流器和(二)硅变流器二个部份。由于汞弧变流器的应用范围日益缩小，其内容尽量予以压缩。为此在第一部份内就汞弧变流器只提出了定型产品及其附属设备的技术数据和基本原理，其余绝大部分都是变流器(包括硅变流器)通用的设计计算资料。为压缩篇幅、查阅方便，本书主要是给出设计计算常用的成套公式、图表和技术数据，公式推导和理论探讨一概省略。

书中的技术数据依现有的标准与技术条件给出，如有更改一

律按更改后的标准与技术条件为准。

由于我所对手册编写尚无经验,又无同类手册可作蓝本,并且编写时间匆促,未能广泛征求本行业有关单位意见,因此,缺点和错误一定不少,诚恳希望兄弟单位和读者多提出宝贵意见,以便修订时补充。

在此对北京电器科学研究所、天津传动设计研究所、北京变压器厂等有关单位对我们这一工作的支持表示感谢。

編 者

一九六八年五月

目 录

概 论

用途与发展概况(1); 主要种类及其应用地位(1); 硅和汞弧变流器的比较(2)

第一部份 汞弧变流器

第一章 原理与结构	7
§ 1.1.1 汞弧閥的基本原理	7
閥性(7); 辅助电弧的产生和维持(7); 栅极的控制作用(8); 电弧电压降(9); 冷却(9)	
§ 1.1.2 汞弧閥及閥組的结构	10
§ 1.1.3 变流过程及其有关概念	13
多相整流(13); 重迭角及其影响(15); 电压的相位控制(15); 变流器的运用状态(16)	
第二章 国产汞弧整流器(汞弧閥)的品种规格与性能数据	18
§ 1.2.1 汞弧整流器的基本规格	18
§ 1.2.2 汞弧整流器的系列型譜	19
§ 1.2.3 汞弧整流器定型产品的技术数据	21
§ 1.2.4 电力汞弧閥技术条件	30
LCS-500 型汞弧管(30); YMS-300/5 型汞弧管(32); LMS-250/2.5 汞弧管(33)	
§ 1.2.5 电焊引燃管的技术条件	35
0.6 千伏电焊引燃管(焊接型)(35); 1.5 千伏电焊引燃管(整流型)(38)	
第三章 变流器的电联结型式及其无相位控制时的主要电量关系	53

§ 1.3.1	电联结型式	53
§ 1.3.2	理想空载电压	54
§ 1.3.3	理想变流电路的主要电量	55
	基本概念(55); 理想变流电路的基本假定(56); 理想 变流电路的电流波形(56); 阳极电流(58); 变压器阀 侧电流(58); 变压器网侧电流(59); 变压器的绕组功 率(59); 变流器的理想功率因数(60)	
§ 1.3.4	当 $L_d = \infty$, $X_A \neq 0$ 时的主要电量	60
	重迭角(60); 阀侧电流(61); 网侧电流(62); 变压器 的绕组功率(62); 感抗电压降与外特性(63); 补充说 明(64)	
§ 1.3.5	当 $L_d \neq \infty$, $X_A \neq 0$ 时的主要电量	64
	基本概念(64); 当 $L_d = 0$, $X_A = 0$ 时(65); 当 $L_d = 0$, $X_A \neq 0$ 时(65); 当 $0 < L_d < \infty$, $X_A \neq 0$ 时(67); 补充 说明(67)	
第四章	变流器在相位控制条件下的特性和有关电量	76
	基本概念(76); 影响直流电压的因素(76)	
§ 1.4.1	有相位控制而 $L_d = \infty$ 时的情况	77
	控制特性(77); 重迭角(77); 感抗电压降(78); 外特 性(78); 阀侧电流(79); 网侧电流(79); 补充说 明(79); 计算实例(79)	
§ 1.4.2	有相位控制和纯阻负载的情况	80
	基本概念(80); 电流连续的临界条件(81); 控制特 性(82); 外特性(82); 直流电流(83); 阀侧电流(83)	
§ 1.4.3	有相位控制和各种阻抗负载时的特性	83
	直流电流是否连续的判断方法(84); 阳极导电时 间(84); 直流电流断续的临界数据的计算(84); 控制 特性(85); 外特性(87)	
§ 1.4.4	有相位控制和反电势负载的情况	89
	导电时间 λ (89); 阳极电流(89); 直流电压(93)	

第五章 变流器的直流电压降及电压调整率	98
§ 1.5.1 变压器漏磁感抗引起的直流电压降	98
§ 1.5.2 网侧电抗器引起的感抗性直流电压降	99
当网侧交流系统为三相时 (99); 当网侧交流系统为单相时 (100)	
§ 1.5.3 阀侧电抗器引起的感抗性直流电压降	100
当网侧交流系统为三相时 (100); 当网侧交流系统为单相时 (101)	
§ 1.5.4 电阻性直流电压降	101
变压器电阻性电压降 (101); 各种电抗器的电阻性直流电压降 (101)	
§ 1.5.5 变流器的电压调整率	102
总的直流电压降 (102); 固有电压调整率 (102); 总电压调整率 (103); 计算实例 (103)	
第六章 变流器的损耗与效率	106
§ 1.6.1 阀的正向电压降损耗	106
§ 1.6.2 辅助设备的损耗	107
§ 1.6.3 变压器与电抗器损耗	107
变压器损耗 (107); 阀侧电抗器损耗 (107); 串联的滤波电抗器损耗 (107); 网侧电抗器损耗 (107); 平衡电抗器损耗 (108)	
§ 1.6.4 额定负载或三倍频率发生系统的损耗	108
第七章 变流器的功率因数和谐波分量	109
决定变流器功率因数的因素 (109); 位移因数 (109); 畸变因数 (109)	
§ 1.7.1 位移因数	109
无相位控制时的阀侧位移因数 $\cos \varphi'_1$ (110); 有相位控制时的阀侧位移因数 $\cos \varphi'_{a1}$ (111); 网侧位移因数 $\cos \varphi_1$ (111); 负载电流不等于额定值时的位移因数 $\cos \varphi$ (112)	
§ 1.7.2 畸变因数	112

§ 1.7.3	功率因数的计算程序	113
	准确计算(113); 近似计算(113); 功率因数近似计算表(115); 功率因数计算实例(114)	
§ 1.7.4	网侧交流电流的谐波分量	116
	网侧电流谐波的理想有效值(118); 谐波电流修正系数(118); 非额定负载下的网侧电流谐波(118)	
§ 1.7.5	直流电压的谐波分量	119
	额定负载下的直流电压谐波有效值(119); 非额定负载下的电压谐波(119)	
§ 1.7.6	纹波电压与滤波器	119
	直流侧纹波电压及其影响(119); 滤波系统的设计依据(120); 滤波系统的种类(121); 感应滤波器参数(121); 谐振滤波器参数(122)	
第八章	汞弧变流器控制柜	130
§ 1.8.1	点、励弧系统和引燃系统	130
	多阳极整流器点、励弧系统典型电路(131); 单阳极励弧式整流器点、励弧系统典型电路(132); 引燃式汞弧整流器引燃系统典型电路(132); 电焊引燃管引燃系统典型电路(134)	
§ 1.8.2	栅控系统	135
	稳压电源与巅峰发生器相组合的典型栅控系统(137); 静止移相器与巅峰发生器相组合的典型栅控系统(139); 静止移相器与巅峰电抗器组合的典型栅控系统(141); 正弦波迭加三次谐波的典型栅控系统(144)	
§ 1.8.3	国产定型控制柜的技术数据与安装尺寸	144
第九章	故障及其保护	145
§ 1.9.1	故障状态	145
	1. 直流侧短路(145); 2. 逆弧(145); 3. 通弧、失弧和颠覆(146)	
§ 1.9.2	故障电流的计算	146

逆弧电流(146); 直流侧短路电流(148)	
§ 1.9.3 保护措施	149
1. 高速栅极保护装置(149); 2. 快速自动断路器(150)	
第十章 配套	155
§ 1.10.1 变压器	155
变压器绕组的联结型式 (155); 变压器阀侧电压的计 算(155); 变压器网侧电压(155)	
§ 1.10.2 冷却设备	158
定型水冷设备(热交换器)的技术数据(158)	
§ 1.10.3 电抗器及其他辅助设备	158
平衡电抗器(158); 滤波电抗器(160); 均流器(160)	

第二部份 硅 变 流 器

第一章 基本原理和结构	163
价电子(163); 自由电子(163); 空穴(163); “N 型”半 导体(164); “P 型”半导体(164); 阻挡层(164); 整 流元件的结构(164); 可控整流元件的结构(164)	
第二章 特性及额定值	166
§ 2.2.1 伏安特性	166
2CZ 硅整流元件的伏安特性(166); 3CT 硅可控整流元 件的伏安特性(166); 正向阻断状态(167); 正向导通 状态(167); 正向转折电压(167); 维持电流(167); 导 通(167)	
§ 2.2.2 硅可控整流元件的控制特性	167
§ 2.2.3 热特性和额定值	168
结温升(169); 热阻(169); 2CZ 硅整流元件技术参 数(170); 3CT 硅可控整流元件的规定参数(170); 2CZ、3CT 元件的典型过载特性曲线(170)	
第三章 国产硅元件的型号规格和技术数据	173
§ 2.3.1 国产 2CZ 硅整流元件的系列	173

§ 2.3.2	2CZ 硅整流元件的级、组、类	173
§ 2.3.3	国产 3CT 硅可控整流元件的系列	175
§ 2.3.4	3CT 硅可控整流元件的级和类	175
第四章	硅半导体变流器的电联结及其主要电量的计算	177
	硅半导体变流器的电联结 (177); 理想空载直流电压 (177); 变压器阀侧绕组电流 (177); 变压器网侧绕组电流 (177); 变流器的额定功率 (177); 控制特性的计算 (177); 外特性的计算 (177)	
第五章	调压方式	178
§ 2.5.1	采用硅整流元件的变流设备的电压控制	178
	用切换变压器抽头来调节电压的方法 (178); 利用动圈式或动芯式变压器调压 (178); 利用饱和电抗器调压 (178)	
§ 2.5.2	采用硅可控整流元件的变流设备的电压控制	184
	小功率可控元件典型触发电路 (184); 大功率可控元件典型触发电路 (185); 单结晶体管触发典型电路 (186); 串联可控元件从属触发典型电路 (188); 并联可控元件独立触发典型电路 (188); 并联可控元件从属触发典型电路 (189); 并联可控元件集中供电式触发电路 (189)	
第六章	元件数目的确定	191
§ 2.6.1	并联支路数目的确定	191
§ 2.6.2	串联硅元件数目的确定	195
§ 2.6.3	硅元件的均流和均压	195
	并联元件间的均流 (196); 串联元件间的均压 (197)	
第七章	电压降与电压调整率	198
§ 2.7.1	阻抗电压降	198
§ 2.7.2	硅元件的正向电压降	198
§ 2.7.3	电网电压降	198
§ 2.7.4	电压调整率	198
§ 2.7.5	变压器参数	199

第八章 损耗、冷却、其他	201
§ 2.8.1 损耗和效率	201
整流元件正向电压降损耗(201); 整流元件反向损耗(202); 均压电阻损耗(202); 交流侧操作过电压保护 RC 回路损耗(202); 直流侧操作过电压保护 RC 回路损耗(202); 冷却系统和控制系统耗用功率(203); 变流设备效率(203)	
§ 2.8.2 功率因数	203
§ 2.8.3 冷却	203
对应于各种容量的散热器的参数(203); 冷却计算(203)	
第九章 保护设备	211
§ 2.9.1 过电压保护	211
大气过电压保护(211); 变流器交流侧操作过电压保护(211); 变压器直流侧操作过电压保护(215); 空穴积蓄效应引起的过电压保护(218)	
§ 2.9.2 过电流与短路保护	220
短路电流的数值(220); 各种过电流保护器件的优缺点比较(220); 保护方案的选择(220); 快速熔断器的技术数据(221)	
§ 2.9.3 硅元件故障检测装置	224
并联氖灯法(224); 并联电话继电器法(225); 并联变压器法(225); 快速熔断器辅助接点法(225); 桥式信号检测法(225); 不平衡桥式信号检测法(226); 迭加反向电压法(226)	
第十章 变流装置的制造和试验有关事项	227
§ 2.10.1 变流装置制造注意事项	227
元件的排列与均流问题(227); 均压问题(228); 整流元件的电腐蚀和发热问题(228)	
§ 2.10.2 变流装置的试验	230

出厂试验项目(230); 型式试验项目(230); 变流装置的绝缘试验(231); 变流器的等效空载试验(231); 等效负载试验(232); 外特性试验(232); 负载试验(233); 瞬变过电压测量(234); 效率测算(234); 全功率因数测算(235)

计算实例	硅整流装置技术设计单	236
附录一	名词解释	249
附录二	常用符号	257
附录三	硅整流装置系列型号编制办法	262
附录四	硅整流装置系列型谱	264
附录五	其他整流器件技术数据	285
	1. 半导体普通二极管	285
	2. 半导体小功率整流二极管	287
	3. 硒整流器	288
	4. 真空高压二极管	293
	5. 充汞闸流管	294
	6. 充气闸流管	294
附录六	常用晶体管技术数据	295
	1. 低频小功率晶体管	295
	2. 低频大功率晶体管	298
	3. 半导体稳压二极管	300
	4. 硅单结晶体管	302
参考资料		309

图表一览表

图 1-1	汞弧阀原理图	9
图 1-2	单阳极抽气水冷式励弧管结构图	11
图 1-3	单阳极密封水冷式引燃管结构图	12
图 1-4	单阳极密封水冷式励弧管结构图	12
图 1-5	单相全波整流器原理图	13
图 1-6	三相有 midpoint 整流器原理图	14
图 1-7	六相带平衡电抗器整流器原理图	14
图 1-8	整流器换相感抗对直流电压值及电流波相位的影响	15
图 1-9	电压相位控制原理图	16
图 1-10	汞弧整流器定型产品的外形尺寸图	26
图 1-11	LCS-500 型汞弧阀的外形尺寸与电极引线位置图	30
图 1-12	YMS-300/5 型汞弧管外形尺寸和引线位置图	32
图 1-13	LMS-250/2.5 型汞弧阀的外形尺寸与电极引线位置图	34
图 1-14	$Y_1-75/0.6, Y_1-100/0.6$ 型引燃管外形尺寸及电极引线位置图	36
图 1-15	$Y_1-75/0.6, Y_1-100/0.6$ 型引燃管与阳极电流传输功率特性	39
图 1-16a	$Y_1-75/0.6$ 型引燃管传输电流与暂载率特性	40
图 1-16b	$Y_1-100/0.6$ 型引燃管传输电流与暂载率特性	41
图 1-17a	$Y-20/1.5, Y_2-50/1.5$ 型引燃管外形尺寸和电极引线位置图	43
图 1-17b	$Y_2-100/1.5$ 型引燃管外形尺寸和电极引线位置图	43
图 1-18a	$Y-20/1.5$ 型引燃管作变频焊接使用时的阳极峰值电流与阳极平均电流特性	46
图 1-18b	$Y-20/1.5$ 型引燃管作电阻焊接使用时的控制功率与阳极平均电流特性	47
图 1-18c	$Y-20/1.5$ 型引燃管作电阻焊接使用时的阳极电流有效值与暂载率特性	48

图 1-19a	$Y_2-50/1.5$ 型引燃管阳极峰值电流与阳极平均电流特性	49
图 1-19b	$Y_2-50/1.5$ 型引燃管阳极峰值电流与暂载率特性	50
图 1-20a	$Y_2-100/1.5$ 型引燃管阳极峰值电流与阳极平均电流特性	51
图 1-20b	$Y_2-100/1.5$ 型引燃管阳极峰值电流与暂载率特性	52
图 1-21	阀侧及网侧电流修正系数 k_{I_r} 及 k_{I_L} 与重迭角 γ 的函数关系(无相位控制时)	67
图 1-22	当 $L_d = X_d = 0$ 时的临界电流波形	81
图 1-23a	单相全波整流器中的直流电流在阻抗负载下的波形	88
图 1-23b	在不同滞后角 α 下的外特性示意曲线	88
图 1-24a	重迭角 γ 与滞后角 α 之间的关系(以无相位控制时的重迭角 γ_0 为参数)	90
图 1-24b	在不同滞后角 α 时重迭角 γ_0 与换相电抗 X_d 的关系	90
图 1-25	变压器感抗电压降 Δu_e 及重迭角 γ_0 与短路电压 e_s 之间的关系	91
图 1-26	阀侧、网侧电流修正系数 k_{I_r} 、 k_{I_L} 与重迭角 γ 及滞后角 α 的关系	92
图 1-27a	各种电联结在纯阻负载下的控制特性	93
图 1-27b	直流电流间断时阳极电流导电时间 λ 与起燃角 ψ 、直流抗阻比 $\omega L_d/R_d$ 的函数关系	94
图 1-28a	单相半波联结在不同阻抗负载 $\omega L_d/R_d$ 下的控制特性	95
图 1-28b	单相全波联结在不同阻抗负载 $\omega L_d/R_d$ 下的控制特性	95
图 1-28c	三脉波联结在不同阻抗负载 $\omega L_d/R_d$ 下的控制特性	96
图 1-28d	六、十二脉波联结在不同阻抗负载 $\omega L_d/R_d$ 下的控制特性	96
图 1-28e	各种电联结在反电势负载下的导电时间 λ 与滞后角 α 抗阻比 $\omega L_d/R_d$ ($\tan \phi$) 反电势函数 e 的关系	97
图 1-29	交流电网阻抗引起的电压降 Δu_L 与电网容量 Q 、变压器及电抗器感抗电压降 $\Delta u_{xt} + \Delta u_{xb}$ 的函数关系	104
图 1-30	无相位控制时阀侧位移因数 $\cos \varphi$ 与感抗直流电压降 $\Delta u_{xt} + \Delta u_{xb}$ 的函数关系——(a) $p=6$ (b) $p=12$	123
图 1-31	网侧位移因数 $\cos \varphi$ 与阀侧位移因数 $\cos \varphi'$ 或 $\cos \varphi'_a$ 的函数关系	124
图 1-32	网侧电流的谐波分量修正系数 k_{In} 与感抗电压降 Δu_e 及滞	