

硅整流所 电力设计

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书内容包括硅整流所电力设计的理论计算、设计应用等方面。重点讨论了硅整流所电力设计中常见的特殊性问题,对硅整流装置的故障电流计算、控制保护、谐波分析、功率因数及整流效率、整流变压器特点、调压移相、整流电路、整流柜、主接线和配置以及有关技术条件、试验要求等各方面均作了较详细的论述。并结合多年试验研究与设计工作实践,对其中一些问题作了新的评述。

本书可供从事变流技术工作的设计、科研、安装、运行人员及高等院校有关专业师生参考。

硅整流所电力设计

沈阳铝镁设计研究院电力室 编

责任编辑 曾广洗

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 49 1/2 插页 1 字数 1188 千字

1983年12月第一版 1983年12月第一次印刷

印数00,001~3,500册

统一书号: 15062·3886 定价6.00元

前 言

为了提高企业硅整流所的电力设计工作水平、保证质量、加快进度,在总结多年从事硅整流所电力设计工作经验的基础上,我们编写了这本《硅整流所电力设计》。

企业硅整流所电力设计,是企业电力设计的一个组成部分。很多问题属一般企业电力设计范围,考虑到这方面的资料很多,为节省篇幅,本书取材重点放在硅整流所电力设计的特殊性上,并力图从基本概念出发,在多年实际运行、科研试验检验的基础上,对这些问题进行较详细的分析、计算和讨论,提出解决这些问题的具体对策和途径,供从事变流技术工作的工程技术人员使用和大专院校师生参考。

1974年本书初稿完成后,曾打印成册,送有关单位广泛征询意见。不少单位和个人对本书的内容提出了宝贵意见。在此对这些单位和个人表示感谢。1979年我们又全面修改了初稿,补充了新的内容。1981年再次作了修改、定稿。

由于我们水平不高,书中难免有错误,希望读者批评指正。

本书的主要编写人员是:刘忭斌、冯公伟、崔督普、孙宪钧、薛宗襄、杨秉炎。

沈阳铝镁设计研究院电力室

1982年 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 硅整流所设计的任务	1
第二节 硅整流所设计的基础资料	1
一、外部资料	1
二、内部资料	2
第三节 硅整流所设计要点	2
一、靠近电源	2
二、正确选择外部供电电压	2
三、注意变电所在厂区的位置	2
四、正确处理分工协作关系	4
第二章 整流所电力负荷、机组选择及主接线	5
第一节 电力负荷的性质和供电要求	5
一、铝电解负荷性质和供电要求	5
二、镁电解负荷性质	6
三、重有色金属电解负荷性质	6
四、化工食盐电解负荷性质	6
第二节 电力负荷计算	6
一、直流电解有功负荷计算	6
二、无功负荷和畸变负荷计算	10
三、视在负荷计算	11
四、负荷计算举例	12
第三节 整流机组的选择	15
一、整流机组一次电压的确定	15
二、整流机组数量的选择及机组额定电流的确定	16
三、整流机组直流额定电压的确定	18
四、整流相数的选择	18
第四节 整流所主接线的确定	18
一、总的要求	19
二、5000千瓦以下整流所的供电系统	19
三、食盐电解整流所供电系统	20
四、年产4500~9000吨铝厂的供电系统	22
五、年产25000吨及以上铝厂的供电系统	22
第五节 国外大型整流所主接线系统选编	24
第三章 硅整流所的配置	34
第一节 配置设计的原则	34
第二节 配置尺寸的确定及技术要求	35
一、总体配置	35
二、局部配置	38

第三节 各种配置方式概述	48
一、小型硅整流所配置方案	48
二、中型水冷硅整流所配置方案	49
三、大型硅整流所配置方案	51
四、大型整流所由水银整流器更换为硅整流器的配置方案	52
五、国外硅整流所配置方案	55
第四章 硅整流装置的控制、保护、测量及自动装置	60
第一节 控制方式	60
一、总降压变电所高压侧断路器的控制	60
二、控制室的设置	60
三、断路器的集中控制	60
四、控制保护屏的设置	60
第二节 控制、信号、测量电路	61
一、总则	61
二、断路器灯光监视的控制、信号回路	65
三、空气断路器灯光监视的控制、信号回路	66
四、隔离开关和断路器的闭锁接线	66
五、电解槽绝缘监视系统	67
六、整流所与电解车间联络信号电路	67
七、总调控制电路	67
八、电压互感器及测量表计电压线圈的接线	69
第三节 硅整流机组的保护	72
一、保护装置的任务	72
二、硅整流机组的过电流保护	73
三、硅整流机组的过电压保护	89
四、辅助保护措施	113
第四节 直流电量的测量	121
一、概述	121
二、直流电流互感器的应用	122
三、磁调制式总加器测量直流电流	133
四、霍尔效应测量直流电流方案简介	133
五、从整流变压器一次侧测定直流电流	135
六、磁位计测量交直流电流方案简介	137
第五节 自动稳流系统简述	139
一、安培-小时式自动稳流系统	139
二、比例式自动稳流系统	141
第六节 整流所的自用电	144
一、交流自用电	144
二、直流自用电	147
第七节 控制原理图部分参数计算	152
一、集中信号系统	152
二、跳闸中间继电器 (ZJ) 环节参数计算	154

第八节 直流系统绝缘检查装置中电压表 1V 的绝缘电阻值刻度	156
第五章 整流电路	159
第一节 理想情况下各种整流电路工作原理和基本参数	159
一、关于理想情况的基本假定	159
二、中点引出整流电路	160
三、桥式整流电路 ($X_d = \infty$)	179
四、带平衡电抗器整流电路 ($X_d = \infty$)	189
五、环形整流电路 ($X_d = \infty$)	199
六、十二脉波整流电路 (亦称十二相整流电路, $X_d = \infty$)	202
七、理想情况下基本参数计算示例	219
第二节 非理想情况下 ($\alpha \neq 0, \gamma \neq 0$) 整流电路的负载特性和基本参数修正	221
一、空载直流电压	221
二、正常换相范围内的直流负载特性	222
三、从空载到短路整个范围内的直流负载特性 (亦称全外特性, $X_d = \infty$)	240
四、 $\gamma \neq 0$ 时的基本参数修正	251
五、非理想情况下整流电路基本参数计算示例	260
第三节 整流机组的并联运行	262
一、关于并联运行的一般要求	262
二、并联运行的整流机组的负荷分配计算	263
三、两个双反星形带 3f 平衡电抗器的六脉波组成的等值十二相中均衡电流计算	270
四、两台桥式接线, 一次侧分别接成 Y 及 Δ 组成的等值十二相中均衡电流计算	286
第四节 各种整流电路的特点和应用	290
一、整流电路的一般特点	290
二、中点引出整流电路特点	291
三、双反星形带平衡电抗器整流电路特点	297
四、桥式整流电路特点	298
五、单机组十二脉波整流电路特点	298
六、等值十二脉波整流电路特点	300
七、带续流臂整流电路特点	301
八、各种整流电路应用	305
第五节 各种整流电路参数表	305
第六节 换相阻抗测量	331
一、概述	331
二、测试和计算方法	331
第六章 整流装置故障电流计算	333
第一节 概述	333
一、故障种类及计算要求	333
二、整流装置短路电流计算特点	334
三、关于暂态分量和稳态分量确定	335
四、关于公共阻抗和分支阻抗处理	339
五、短路电流计算的基本假定	346
第二节 直流侧短路电流计算	346

一、三相桥式接线直流侧短路·····	346
二、双反星形带平衡电抗器接线直流侧短路·····	352
第三节 整流臂短路电流计算·····	357
一、三相桥式接线桥臂短路·····	358
二、双反星形带平衡电抗器接线的整流臂短路·····	361
第四节 计算整流装置短路电流时两个实际问题·····	366
一、关于阻抗确定问题·····	366
二、关于多台整流机组并联运行问题·····	368
第五节 计算例题·····	368
一、双反星形带平衡电抗器接线整流臂短路计算示例·····	368
二、三相桥式整流系统桥臂及直流侧短路电流计算示例·····	371
第七章 调压、移相及大型整流变压器的特殊问题 ·····	379
第一节 硅整流装置的调压·····	379
一、概述·····	379
二、铝电解槽焙烧、起动过程中的调压要求·····	379
三、分期投产时的调压要求·····	380
四、正常生产制度下的调压要求·····	380
五、恒电流制的调压方式·····	383
六、调压范围下限值的确定·····	388
七、硅整流装置的主系统与调压方式的关系·····	391
八、各种调压设备·····	393
第二节 有载调压变压器·····	396
一、有载调压变压器调压级数和级差电压的确定·····	396
二、有载调压开关位置和联接方式·····	397
三、有载调压变压器的各种类型·····	398
四、有载调压变压器各种组合电路综合评价·····	419
第三节 硅整流器调压用饱和电抗器·····	426
一、概述·····	426
二、饱和电抗器的一般概念·····	427
三、饱和电抗器的基本类型和不同接法·····	428
四、自饱和式电抗器基本原理和特性·····	430
五、相接式饱和电抗器基本原理和特性·····	438
六、自饱和式电抗器与相接式饱和电抗器在使用上的比较·····	448
第四节 多机组并联运行时的分组调压及分相调压·····	449
一、多机组并联运行时的机组特性·····	450
二、多机组并联运行时的分组调压·····	450
三、整流机组的分相调压·····	455
四、分相调压计算中的误差·····	464
第五节 整流机组的移相·····	467
一、形成等效多相制的方法·····	467
二、移相变压器·····	473
三、自耦调压移相变压器·····	478

四、整流移相变压器	481
第六节 大电流和超高压直降式整流变压器	485
一、大电流整流变压器的绕组布置与线圈型式	485
二、超高压直降式整流变压器的特点和某些问题	491
第八章 功率因数、损耗和效率	497
第一节 功率因数有关概念	497
一、整流装置功率因数的特点	497
二、整流装置网侧电流和功率间基本关系	497
第二节 功率因数计算	502
一、概述	502
二、功率因数基本计算式	504
三、位移因数基本计算式	507
四、相控角 α 和换相角 γ 计算	511
五、整流所功率因数 λ 和位移因数 $\cos\varphi_N$ 计算	512
六、功率因数测量	526
第三节 功率因数补偿	527
一、概述	527
二、移相电容器补偿装置	529
三、超前相角整流机组	534
第四节 整流装置效率计算	576
一、概述	576
二、关于效率计算问题	578
三、确定效率应包括的损耗项目	578
四、整流器损耗计算	579
五、变压器和各种电抗器损耗	587
六、辅助系统功率消耗	589
七、整流器损耗计算示例（不包括整流变压器和电抗器）	589
第五节 整流装置损耗和效率测量	592
一、概述	592
二、整流器损耗测量	593
三、整流变压器和各类电抗器损耗测量	602
四、辅助系统和控制系统功率消耗测量	608
第六节 确定整流变压器负载损耗的方法	609
一、概述	609
二、方法 1 的应用	609
三、方法 2 的应用	610
四、电抗器负载损耗	611
第九章 整流装置谐波	613
第一节 概述	613
一、整流装置是电网的主要谐波源	613
二、整流谐波的不良影响	613
三、谐波计算任务及允许谐波水平	615

四、谐波电流计算方法	615
第二节 整流装置交流侧电流波形	617
一、交流侧电流理想波形	617
二、交流侧电流实际波形	623
第三节 整流装置交流侧谐波电流解析计算	625
一、交流侧电流理想波形的谐波	625
二、交流侧电流计入换相角及相控角时的谐波	635
第四节 电流源曲线法谐波电流近似计算	639
一、电流源曲线法的根据	639
二、电流源曲线法的应用	640
三、电流源曲线法谐波计算举例	648
第五节 电压源发电机法谐波电流近似计算	649
一、电压源发电机法的根据和工作状态	649
二、电压源发电机法计算谐波电流的步骤	649
三、谐波发电机的短路电流及空载电压	650
四、谐波发电机内阻 R_0	653
五、谐波发电机的负载电流和负载特性	654
六、电压源发电机法谐波计算举例	656
第六节 谐波阻抗和谐波等值电路	657
一、谐波阻抗计算目的	657
二、各类电路元件的谐波阻抗	657
三、谐波等值电路	660
四、谐波阻抗等值电路构成和计算示例	661
第七节 无电容性元件网络中谐波电流和谐波电压分布	664
一、不计容性元件时谐波电流分布和电流畸变系数	664
二、不计容性元件时谐波电压分布和电压畸变系数	665
第八节 有整流器电网中的电力电容器及谐振现象	666
一、整流器交流电网中有电容器时的工作状态	666
二、谐振现象和电流倍比系数	667
三、防止和消除谐振的措施	670
四、电力电容器故障事例分析计算	675
第九节 抑制和消除谐波的措施	682
一、增加整流所等效相数	682
二、安装滤波装置	684
第十节 整流谐波电流对同步发电机影响的计算	693
一、概述	693
二、计算公式	693
三、发电机允许负序电流标准摘录	694
四、计算示例	694
第十章 硅整流柜的技术设计	697
第一节 整流电路的选择	697
一、选择整流电路的原则	697

二、几种常用整流电路的优缺点	697
三、同相逆并联整流电路的应用	698
四、一次星形的六相半波中点引出式电路的应用	705
第二节 整流变压器二次空载电压及整流臂串并联元件数的确定	716
一、整流变压器二次空载电压	716
二、整流臂元件串并联方案	716
三、串联元件数的确定	717
四、并联元件数的确定	717
第三节 均流与均压	721
一、均流问题	721
二、均压问题	728
第四节 整流柜内母线尺寸及冷却水通道参数	730
一、柜内母线尺寸	730
二、水冷母线冷却水通道参数确定法之一	735
三、水冷母线冷却水通道参数确定法之二	740
第十一章 硅整流所的土建、通风、采暖、冷却、上下水技术条件	743
第一节 建筑、结构	743
一、硅整流所的建筑技术条件	743
二、设备的计算荷重及安装孔	746
三、户外基础	746
四、金属构件	747
第二节 整流装置的冷却	749
一、概述	749
二、整流装置的冷却方式	749
第三节 硅整流所的通风、采暖、上下水设施	752
一、机房部分	753
二、控制室	756
三、蓄电池室	757
四、自用变压器室及电抗器室	757
五、上、下水设施	757
第四节 水质及通风排热量计算	758
一、水质参考资料	758
二、通风排热量计算	759
附录 本书符号代表的意义	766

第一章 概 述

第一节 硅整流所设计的任务

有色金属、化工厂硅整流所的电气设计，是全厂电气设计的主要组成部分与企业供电设计有密切联系。设计时应考虑以下问题：

(1) 确定供电系统 整流所是有色金属、化工厂电力供应的重要环节。在确定整流所供电系统时，应与全厂供电系统通盘考虑。

(2) 选择电气设备

(3) 确定设备配置

在解决上述问题中，要体现下列原则：

(1) 满足工艺生产要求；

(2) 系统简单，供电可靠，配置清晰紧凑，经济合理，运行安全，操作维护方便，减少维护人员；

(3) 少占耕地；

(4) 试验确有成效的新技术，应积极推广使用；

(5) 近期建设与远景规划相结合，既要满足近期生产用电需要，也要考虑发展的可能；

(6) 施工方便。

第二节 硅整流所设计的基础资料

一、外部资料

1. 供电协议 其中应明确以下问题：

(1) 电力负荷大小及性质；

(2) 供电日期；

(3) 供电电压、供电回路数及电压水平；

(4) 外部供电系统的运行方式；

(5) 如可能应明确本厂变电所的主接线及运行方式；

(6) 设计分工；

(7) 施工电源的解决（改扩建厂除外）。

2. 向电力部门收集的资料 包括下列内容：

(1) 工厂总变电所受电端的电力系统最大、最小运行方式下的短路电流数据；

(2) 继电保护配合与协调问题 对大型铝厂的总降压变电所一般由电力部门设计，有关外部线路等的继电保护亦由电力部门统一设计。中、小厂则需了解给本厂供电线路出线端继电保护种类、整定数据以及电力部门对用户端继电保护的要求；

(3) 对电能计量的要求；

(4) 对功率因数的要求；

(5) 地区电价及电费的收取办法。

3. 有关气象、环境资料 主要包括下列内容:

(1) 年雷电日数、起迄时间, 土壤电阻率;

(2) 年平均气温, 年最高、最低气温、最热月13点平均温度、最热月平均温度、 $-0.7\sim-1$ 米地下温度(最热月平均温度)、地下冰冻深度; 最热月平均水温。

(3) 环境污染情况, 附近污染源性质、程度等(粉尘及有害气体成分组成), 在选厂阶段可委托其他专业收集。

二、内部资料

1. 工艺部门提出的资料 应明确以下各项:

(1) 系列电流及其允许波动范围;

(2) 系列电压

1) 平均槽电压及工作槽数;

2) 预留电压 包括调整阳极效应电压(铝电解, 约30~50伏)和发展预留电压;

3) 铝电解槽焙烧和启动所需的最低电压。

(3) 出现阳极效应(铝电解)的几率。

(4) 其他特殊要求等如铜的反向电解。

2. 其他动力用电负荷资料。

第三节 硅整流所设计要点

硅整流所设计中, 必须慎重地全面地考虑下列问题:

一、靠近电源

电力系统中, 往往由火电承担基本负荷, 而水电起调节尖峰负荷的作用。考虑到电解厂一般为电力网的基本恒定负荷, 因此, 在确定电解厂址时, 要注意这一特点, 有时可能靠近火电电源更为合理。

此外, 在有条件的地方, 应尽可能直接以发电机的电压供电, 例如对年产2.5万吨或5万吨的电解铝厂, 如由电厂出线端至铝厂整流所受电端的距离在一公里左右, 当发电机电压为10.5千伏以上时, 用槽形母线桥或组合导线直接供电, 这样就可以节省大量投资和大量电力损耗。重有色金属电解及化工电解如用电量很大亦应如此考虑。

二、正确选择外部供电电压

外部供电电压的确定, 应与电力部门配合, 从电网的潮流, 区域规划等作全面的技术经济比较, 共同协商决定, 但首先应考虑现已存在的电网电压以及电业部门可能的供电电压。各型电解厂整流所的电力需要容量, 外部供电电压及投资估算见表1-3-1。

三、注意变电所在厂区的位置

设有110千伏以上电压的变电所的电解工厂, 在厂区布置时应尽量将此部分设置在上风向, 尤其在大型铝联合企业内, 从铝氧厂烧成车间熟料窑烟囱排烟含尘量为 $0.2\sim0.6$ 克/米³, 最高达2克/米³; 其成分为Na₂O占27.5%, SiO₂占18.08%, Al₂O₃占13.4%, CaO占11.7%, Fe₂O₃占2.8%, 其他占26.52%。这种粉尘具有水泥性质, 粘附性强, 很容易粘结在绝缘瓷瓶上, 在一定的湿度下和经历一定时间后, 即形成一种导电率很高的被覆层, 遇有重雾、下毛毛雨或下大雪的天气即可造成绝缘闪络事故。过去在离熟料窑烟囱800米

远的110千伏变电所，就曾发生过110千伏隔离开关的瓷瓶闪络击穿事故。对于化工厂排出的多种气体如氯气，对电气设备腐蚀性很强，因此考虑企业内变电所整流所位置时，应远离各种污染源并在上风向，必要时应采用户内式装置。

各型整流所电力需要容量及投资估算

表 1-3-1

序号	需要容量 (千瓦)		供电电压 (千伏)	架空供电线路导线规格	输送距离 (公里)	供电线路 损耗 千瓦/公里	投资估算		附注
	平均	最大					硅整流 所电气 总投资 (万元)	外部线路单 位投资 万元/公里	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1300	1500	6	LJ-95	4.5	7	20	1.1	
			10	LJ-70	10	3.5	20	0.9	
2	2700	3000	6	LJ-185	3.5	14	35	1.60	
			10	LJ-120	7	8	35	1.2	
			35	LGJ-35	35	2	45	1.1	
3	5000	6000	6	LJ-400	2	27	65	2.5	
			10	LJ-240	5.7	14.5	65	2.1	
			35	LGJ-70	31	4	80	1.5	
4	7000	8000	10	LJ-300	5	20	90	2.5	
			35	LGJ-95	29	5	100	1.7	
			60	LGJ-50	53	3.5	130	1.3	
5	10000	11000	35	LGJ-120	21	9.5	140	1.9	
			60	LGJ-70	46	5.5	155	1.5	
			110	LGJ-70	150	1.5	170	2	
6	21000	23000	35	LGJ-240	17	17	200	2.8	
			60	LGJ-150	39	10	260	2.5	直降
			110	LGJ-95	98	4.5	300	2.1	
7	50000	55000	10	2×LGJ-185 12×LJ-185	1.4	105	520		直供
			10	LMY-2 [150×65×7	2.5	160	520	60	直供
			15.75	LMY-2 [100×45×6	4.5	100	520	59	直供
			60	LGJQ-400	25	21	620	3.8	
			110	LGJ-185	60	13	680	2.7	
8	100000	110000	10	2×LGJQ-300 + 24×LJ-185 +	0.9	217	1000		
			10	LMY-2 [200×90×10	1.8	497	1000	86	
			15.75	LMY-2 [150×65×7	2.8	285	1000	69	
			60	LGJQ-2×400	17	41	1200	4.9	
			110	LGJQ-400	42	25	1300	4.3	
			220	LGJQ-300	60	8.5	1500	5	

注：1. 导线截面考虑两回线同时送电，并按经济电流密度 0.9安/毫米²选择，取 $\cos\varphi = 0.9$ 时线路电压损失为 5% 的原则，确定输送距离。当有根据可以适当提高线路电压损失时，输送距离可以按比例延长。线路损耗同样按双回路同时送电计算，年平均用电时间按 8760 小时计。

2. 硅整流所总投资包括总降压变电所的投资和整流所土建费用，但不包括外部供电线路投资。因国内设备价格不统一，仅供参考。

此外，露天变电所的位置必须考虑引出线的方便，根据可能的出线数预留足够宽度的出线走廊。

整流所应尽可能与电解车间靠拢，以节省输送直流电能的大量母线和电能损耗。

四、正确处理分工协作关系

1. 关于设计分工方面

通常110千伏及以上的降压变电所由电力部门建设，并由其所属设计单位承担设计。因此在设计分工方面应与电力设计部门具体协商，明确以下几点：

(1) 由总降压变压器二次侧引至硅整流所所属高压配电装置进口套管前或进线门型构架前的一段线路，由电力部门负责设计、建设。

(2) 总降压变电所的控制室是否与整流所控制室合并，可根据节省投资、便利管理、分工明确等原则，在初步设计时与当地电业部门及有关电力设计单位协商，并签订必要的协议书。为便于运行管理，建议优先考虑总降与整流所控制室合并的方案。此时，电力设计部门应提出控制、保护盘的数量及尺寸，以便确定控制室大小。

(3) 总降压变电所与硅整流所的自用电系统统一考虑，不管控制室是否合并，总降的交直流自用电均由电力设计部门提出数据及所需回路数，由整流所自用电系统供应。当控制室分开设置时，技术经济亦比较合理，自用电直流电源也可分开设置。

(4) 工厂外部供电线路设计，由厂方委托电力设计部门承担。

2. 关于协作和通讯方面

变压及整流等各种电气设备的大修、油处理、运输以及通讯等事项，与硅整流所设计密切相关，必须全面考虑：

(1) 工厂用35千伏以上电气设备的大修和试验，一般应与当地电业部门协作，委托电业部门承担。

(2) 大型电解厂一般设油处理室，负责整流变压器大修、油处理。当工厂设置油处理时，总降压变电所的油务处理可由工厂承担。因大型变压器已普遍采用钟罩式结构，总降压变压器的大修可由电业部门自行解决，电力设计部门应提供有关油处理数据。

(3) 大型整流所除一般行政电话外，通常在其控制室内设置电力调度电话总机，负责全厂电力调度。此外，根据外部供电系统的要求，还可能设置外部电力系统的调度电话。

第二章 整流所电力负荷、机组选择及主接线

第一节 电力负荷的性质和供电要求

一、铝电解负荷性质和供电要求

按生产过程，铝电解属于熔盐电解，依靠不断地供给电解槽以直流电能，在 1000°C 左右将包括氧化铝的电解质进行加热和电解，生成的熔融铝沉于电解槽下部，连续不断的输入直流电流方能保持电解槽正常生产所需要的槽温。当降低直流电流时，将引起槽温下降，因而破坏槽子的热平衡，此时浮于上部的氧化铝将开始下沉槽底结疤，槽子的电阻值增大，槽电压升高，阳极效应增多，槽子处于病态，严重时电解不可能正常进行，因而工艺生产要求恒定的直流电流。直流电流大幅度的波动或降低，不但将破坏电解槽的正常生产，而且会造成槽子局部过热。当发生全停电事故时，如停电一个小时，除产生上述大幅度电流波动的严重影响外，还因电解槽逐渐冷却而危及槽子的正常寿命。

假如停电约六个小时，电解槽中的电解质将凝固和冻结，此时对电解槽的炭块内衬危害很大。即使恢复供电，槽子也将损坏，炭块间将产生裂缝而漏槽，槽子被迫停产大修。大修一个60000安电解槽的修理费约需槽子基建费的40%，如全部槽子大修，相当于新建一半以上槽子的工作量，而且最短也得在半年以后才能恢复生产（正常大修槽子，按槽子总数在三~四年内循环轮修，平时每天只有一二个槽子在修理）。根据上述工艺特点，我们在设计电解厂供电时，应把工厂供电的可靠性放在首位，并按以下原则进行考虑。

（1）铝电解负荷为一级负荷，因此设计铝电解厂供用电系统和电气设备的选择，必须考虑到在检修和一般故障的情况下不得影响铝电解的正常生产，不应降低负荷和电解电流等。

（2）铝电解车间的天车负荷，抽取电解铝液的真空泵，全厂性的水泵站，为整流所的整流机组供水、供风的水泵、风机为一级负荷。修理车间的负荷为三级负荷，其他所有负荷均属于二级负荷。

大型铝电解厂一级负荷约占全厂总负荷的95%。

（3）铝电解生产停电与减电的允许值（根据国外资料及国内运行经验推荐）：

- 1）正常情况下（包括检修及一般事故）不许停电。
- 2）极端情况下，如检修时发生事故或事故时，再发生事故，允许：
全停电 30~45分钟
20%减电 4 个小时
10%减电 12个小时

上述全停电时间指电解槽的直流电源中断时间，即包括整流机组为恢复送电所需时间；故电源实际中断时间应更短。

（4）铝电解厂应由两个独立电源供电

根据前述铝电解一级负荷性质和允许事故全停电时间，铝电解厂应由两个独立电源供电。一般可概分为两种情况：

1) 由多电源的统一电力系统的两个区域变电所(或发电厂)分别向铝厂供电,这是对大中型铝电解厂比较理想的供电情况。

2) 由多电源的统一电力系统的一个区域变电所(或发电厂)不同变压器母线段,以两个以上回路向铝电解厂供电。

二、镁电解负荷性质

按生产过程,镁电解亦属熔盐电解,槽温在720°C左右,依靠不断地供给电解槽以直流电能,加入熔融的无水氯化镁在电解槽中的熔融电解质(由 CaCl_2 、 MgCl_2 、 NaCl 等组成)内进行电解,在阳极上放出氯气,在阴极上吸附着金属镁。停电将使电解质凝固,但不像铝电解生产那样在恢复供电时会出现一系列严重问题。一般大型镁电解槽当电流降至设计电流的66%时,可以长期运行;当降至55%时,其时间不许超过8~10小时;全停电不许超过4小时;如采取某些保温措施,则允许全停电时间有可能延长至6小时。

镁电解生产为重要的二级负荷,与镁电解生产有关一些车间的某些负荷,如镁电解车间的氯压机与吊车,氯化车间的排烟机等为一级负荷,一般一级负荷约占全部负荷的10~20%。

三、重有色金属电解负荷性质

铜、铅、锌、镍等的精炼都采用水溶液电解法,除锌电解直流停电后,阴极返溶,产生氢气可能引起爆炸外,其余的不会因直流停电引起重大事故,故大中型的锌电解应保证电源可靠,直流负荷的30~40%为一级负荷。

近年来已有部分铜电解采用间歇性反向电解的工艺,因此必须采用可控硅整流机组以满足工艺生产的要求。

四、化工食盐电解负荷性质

化工食盐电解槽型近年来有了很大的改进,水银法食盐电解槽已逐渐被树脂隔膜槽所代替,电解系列电流增大,而系列电压不太高,工艺生产连续性强,因此国外已广泛采用可控硅整流机组供电,但目前国内大多数还是以二极管为主。

第二节 电力负荷计算

一、直流电解有功负荷计算

直流电解负荷计算的方法一般有两种:

1. 单位产品耗电法

在初步设计阶段,若每吨产品的单位直流电耗定额(W_{da} ——度/吨)已知时,则最大负荷可按下式计算:

$$P_m = \frac{K_m \cdot W_{da} \cdot M}{\tau_n \cdot \eta} \quad (2-2-1)$$

式中 K_m ——有功负荷最大系数,为最大有功负荷与平均有功负荷之比,此值大于1;

M ——电解产品年产量(吨/年);

τ_n ——电解整流负荷年工作小时数;

η ——整流机组效率,直流电压250伏,一般取0.93~0.96,500伏以上可取0.95~0.97。

2. 考虑阳极效应的铝电解负荷算法

按系列电流强度和由于同时产生阳极效应的数目和效应的频率、效应的持续时间等因素而计算出系列电压。根据系列电流和系列电压计算出需要的功率。还必须考虑电能在整流过程中和供电系统中的损耗。

产生阳极效应时（由于某个电解槽缺少氧化铝，其电阻增大），如电解电流不减少将引起短时间（一般效应持续时间15~20分）的负荷增加，发生阳极效应时，该槽电压从正常的4.0~5.5伏上升到35~45伏。

在确定电解负荷时，整流所的设备与供电网络应根据各种类型电解槽可能强化的电流值进行选择。

（1）计算基础资料 考虑阳极效应时的电解负荷计算，应根据铝电解工艺条件进行，表2-2-1为工艺条件示例。

铝电解系列工艺条件 表 2-2-1

系列电解槽总数 N_{xc}	工 作	(台)	槽电压 U_c	平均值 U_P	(伏)
	备 用	(台)		效应升高值 ΔU_{cx}	约 35 (伏)
同时发生阳极效应电解槽数 n_x	相当效应数目持续时间的相对值 K_{nx}		系 列 电 压 U_{dnx} (伏)		系 列 电 流 I_{dnx} (安)
1	2		3		4
0	K_{0x}		U_{d0x}		I_{d0x}
1	K_{1x}		$U_{d1x} = U_{d0x} + (1 \times 35)$		$I_{d1x} = I_{d0x}$
2	K_{2x}		$U_{d2x} = U_{d0x} + (2 \times 35)$		$I_{d2x} = I_{d0x}$
3	K_{3x}		$U_{d3x} = U_{d0x} + (2 \times 35)$		I_{d3x}
4	K_{4x}		$U_{d4x} = U_{d0x} + (2 \times 35)$		I_{d4x}

表2-2-1中 U_{d0x} 为无效应时的系列电压，一般可按每个电解槽的平均电压 U_P 乘以总槽数 N_{xc} 而得。当有效应时，系列所需总电压 U_{dnx} ，对槽数 N_{xc} 多于100台的，可考虑同时发生两个阳极效应，仍保持电解系列电流为 I_{d0x} 不变，如表2-2-1所示。当槽数 N_{xc} 小于100台时，可只考虑一个阳极效应所需升高的电压 ΔU_{cx} ，一般取35伏。

表2-2-1中 I_{d0x} 为无效应时的系列电流，通常即以此值作为电解系列额定电流 I_{dxN} 。当有效应时，根据整流所输出直流电压 U_d 预定的不同调压制度，系列电流 I_{d1x} ， I_{d2x} …… I_{dnx} 亦不同，其值与电解系列总槽数 N_{xc} ，槽平均电压 U_P ，分解电压 E_F ，效应电压升高值 ΔU_{cx} 等因素有关，可按以下步骤进行计算。

当没有效应时，整流所输出电压 U_d 适等于系列电压 U_{d0x} ，如设槽的等值电阻为 R_c ，则电解系列电流 I_{d0x} 为：

$$I_{d0x} = \frac{N_{xc} \cdot U_P - N_{xc} \cdot E_F}{N_{xc} \cdot R_c} = \frac{U_P - E_F}{R_c} \quad (2-2-2)$$