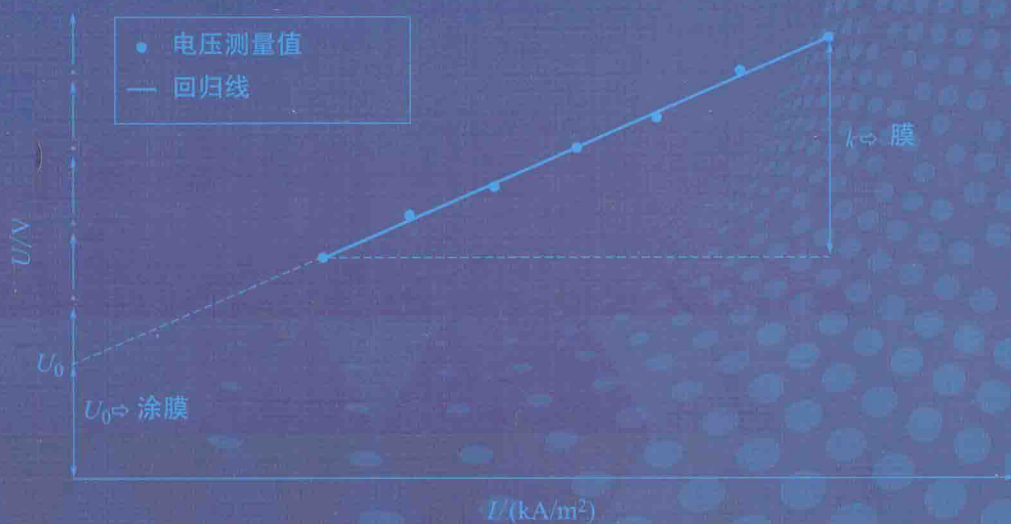


高国光 武平丽 等编著

离子膜烧碱 控制技术

LIZIMO SHAOJIAN
KONGZHI JISHU



化学工业出版社

高国光 武平丽 等编著

离子膜烧碱 控制技术

LIZIMO SHAOJIAN
KONGZHI JISHU



化学工业出版社

· 北京 ·

《离子膜烧碱控制技术》针对 25 万吨/年离子膜烧碱装置，介绍了装置中所用到的自动化仪表和过程控制系统，分析了离子膜烧碱的生产工艺流程、设备装置特点以及生产控制要求、运行工况要求与技术性能指标要求等，制定了离子膜烧碱装置的总体控制方案；介绍了 DCS 硬件配置设计和软件组态编程、离子膜烧碱装置中树脂塔的 DCS 逻辑控制程序开发、整个装置的安全联锁控制系统设计，提供了从硬件到软件的离子膜烧碱装置控制的全方位解决方案。

《离子膜烧碱控制技术》可作为氯碱行业技术人员的培训或参考用书，也可作为高等院校自动化专业的辅助教材及相关技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

离子膜烧碱控制技术/高国光，武平丽等编著. —北京：
化学工业出版社，2015.2
ISBN 978-7-122-22614-3

I. ①离… II. ①高… ②武… III. ①离子膜电解-烧碱生产
IV. ①TQ114.26

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 301663 号

责任编辑：高 钰
责任校对：蒋 宇

文字编辑：丁建华
装帧设计：史利平

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 24 字数 602 千字 2015 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：98.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

本书以离子膜烧碱装置为对象，从工程实施的角度出发，介绍了各工段工艺对检测、控制及信息管理的具体要求。分类介绍了该装置中所使用的仪表，并对关键仪表进行了选型设计。以 25 万吨/年离子膜烧碱装置 DCS（集散控制系统）控制系统为例，介绍了 DCS 系统结构及组成、工程实施及组态编程的基本过程。基于国产大型 DCS MACS 系统，进行了系统安全可靠设计、DCS 硬件配置和软件组态编程，提供了离子膜烧碱装置控制系统的全方位解决方案。

特别是对复杂控制回路、全厂联锁做了详细阐述，使工程实施人员根据书中的描述即能完成相关方案的组态。针对树脂塔的复杂顺控，总结了多年工程实践经验，使控制方案达到了安全可靠、简便易用的目标，并给出了全部的组态编程代码，对读者的工程实施具有指导借鉴意义和实用价值。书中还阐述了相关的整流系统及控制技术，使本书内容更加全面。

全书共分 7 章。第 1 章绪论，第 2 章离子膜烧碱工艺及控制要求，第 3 章离子膜烧碱控制方案，第 4 章离子膜烧碱仪表，第 5 章离子膜烧碱 DCS 硬件配置方案，第 6 章离子膜工程 DCS 软件组态编程，第 7 章离子膜烧碱整流。

全书由高国光、武平丽等编著，高国光、武平丽共同负责大纲的制定以及全书的组织、定稿和通审。高国光编著了第 3 章、第 6 章、附录 3 和附录 4，武平丽编著了第 4 章、第 5 章和附录 1。杨瑞锋编著了第 2 章和附录 2，高威和崔晓娜编著了第 7 章，罗勇编著了第 1 章。

在本书编著过程中，参考了大量的文献，得到了杭州和利时自动化有限公司、天津渤海化工集团、平煤集团开封东大化工公司、山东东营华泰化工有限公司、滨州海洋化工有限公司、河南联创化工有限公司等有关人员的支持，特别是东营华泰化工有限公司荆营山、赵永慧对本书的编著提供了很大的帮助，在此一并向参考文献的作者及为本书提供技术支持的人员表示衷心的感谢。

由于离子膜烧碱生产技术的不断改进、检测控制技术的快速发展，以及编者水平所限，书中存在的不足和疏漏恳请读者批评指正。

编著者

2015 年 1 月

目录

CONTENTS

第①章 绪论

1

1.1 氯碱工业概况及特点	1
1.1.1 氯碱工业概况	1
1.1.2 我国氯碱工业特点	1
1.2 离子膜烧碱装置主要设备简介	2
1.2.1 一次盐水精制主要设备	2
1.2.2 二次盐水精制主要设备	3
1.2.3 电解主要设备	3
1.2.4 氯氢处理主要设备	3
1.2.5 氯化氢合成与高纯盐酸的主要设备	4
1.2.6 氯气液化及包装主要设备	5
1.2.7 蒸发及固碱主要设备	5
1.3 离子膜烧碱装置控制现状	5

第②章 离子膜烧碱工艺及控制要求

17

2.1 一次盐水精制	7
2.1.1 一次盐水精制反应原理	8
2.1.2 一次盐水精制工艺简介	8
2.1.3 一次盐水精制控制要求	9
2.2 二次盐水精制	11
2.2.1 二次盐水精制反应原理	11
2.2.2 二次盐水精制工艺简介	12
2.2.3 二次盐水精制控制要求	12
2.3 电解及脱氯	14
2.3.1 电解及脱氯反应原理	14
2.3.2 电解及脱氯工艺简介	16
2.3.3 电解及脱氯控制要求	16
2.4 氯氢处理	18
2.4.1 氯氢处理化学原理	19

2.4.2	氯氢处理工艺简介	20
2.4.3	氯氢处理控制要求	21
2.5	盐酸合成	23
2.5.1	盐酸合成化学原理	23
2.5.2	盐酸合成工艺简介	23
2.5.3	盐酸合成控制要求	23
2.6	烧碱蒸发与固碱	25
2.6.1	烧碱蒸发与固碱化学原理	25
2.6.2	烧碱蒸发与片碱工艺简介	26
2.6.3	烧碱蒸发与片碱控制要求	27

第③章 离子膜烧碱控制方案

29

3.1	单回路控制系统	29
3.2	主要复杂控制回路	30
3.2.1	进电解槽盐水流量的控制	30
3.2.2	电解槽加酸量的控制	31
3.2.3	淡盐水循环流量控制	32
3.2.4	电解槽出口总管氯气氢气的差压控制	32
3.2.5	阴极液加水（碱浓度）的控制	32
3.2.6	电解槽电流的升降及其控制	33
3.2.7	氯压机的控制	33
3.2.8	盐酸合成与烧碱蒸发的控制	33
3.3	DCS对树脂塔的程序顺控方案	34
3.3.1	树脂塔工艺简述	34
3.3.2	离子交换树脂塔的操作程序	35
3.3.3	报警和联锁	37
3.3.4	断电时的操作	38
3.3.5	阀门联锁	38
3.4	电解槽槽电压检测方案	39
3.4.1	单元槽电压的构成	39
3.4.2	槽电压检测难点及常规检测方案	39
3.4.3	MACS系统对槽电压的检测方案	40
3.4.4	槽电压检测针孔探测器的功能	43
3.5	安全联锁控制方案	45
3.5.1	电解联锁控制方案	45
3.5.2	整流全停联锁方案	47
3.5.3	电解极化电源联锁方案	47
3.5.4	氯压机联锁方案	47
3.5.5	蒸发联锁	49
3.5.6	其他联锁	49

4.1	温度仪表	51
4.1.1	温度检测仪表的分类	51
4.1.2	测温仪表的性能特点	52
4.1.3	测温仪表的选用原则	53
4.1.4	离子膜装置中的测温仪表	54
4.1.5	测温原件及仪表的安装	64
4.2	压力仪表	66
4.2.1	压力的概念、单位及表示方法	66
4.2.2	常用的压力检测仪表	68
4.2.3	压力检测仪表的选用	69
4.2.4	离子膜装置中的压力仪表	71
4.2.5	压力表、变送器的安装	80
4.3	流量仪表	82
4.3.1	流量检测概述	82
4.3.2	流量仪表的分类	83
4.3.3	常用流量仪表选型	83
4.3.4	离子膜装置中的流量仪表	84
4.3.5	流量仪表的安装	96
4.4	物位仪表	101
4.4.1	物位的概念及物位检测意义	101
4.4.2	物位仪表的分类	101
4.4.3	常用物位检测仪表的选用	102
4.4.4	离子膜装置中的物位仪表	102
4.4.5	物位仪表的安装	116
4.5	分析仪表	118
4.5.1	分析仪表的分类	118
4.5.2	分析仪表的一般组成	119
4.5.3	分析仪表的选型	120
4.5.4	离子膜装置中的分析仪表	120
4.6	执行器	129
4.6.1	调节阀的组成及分类	129
4.6.2	调节阀的选择	131
4.6.3	阀门附件	136
4.6.4	离子膜装置中的执行器	138
4.6.5	调节阀的安装和维护	147
4.7	爆炸危险场所仪表电器安全	150
4.7.1	爆炸性气体环境危险区域划分	150
4.7.2	爆炸性气体混合物的分类、分级、分组	150
4.7.3	爆炸性气体环境仪表电气设备的选型	151
4.7.4	爆炸危险场所仪表电器安全	151
4.7.5	安全栅	152

5.1 DCS 硬件系统简介	156
5.1.1 DCS 系统定义	156
5.1.2 DCS 系统结构	156
5.1.3 DCS 系统功能	157
5.1.4 国内常见 DCS 厂商及品牌	157
5.2 和利时 (Hollysys) 公司的 MACS 系统	158
5.2.1 HOLLiAS® MACS 分布式控制系统概述	158
5.2.2 MACS-S 系统整体结构	159
5.3 离子膜烧碱装置 DCS 硬件配置方案	164
5.3.1 和利时 DCS 在氯碱盐化工行业应用情况	165
5.3.2 SM 现场控制站硬件产品简介及其配置要点	165
5.3.3 DCS 系统输入/输出测点统计	170
5.3.4 I/O 模块的配置	171
5.3.5 控制柜成套设计	172
5.3.6 离子膜烧碱装置操作站硬件配置	174
5.3.7 系统网络设计	176
5.3.8 系统供电设计	181
5.4 辅助机柜盘台布置与接线图	181
5.4.1 盘面布置图	181
5.4.2 柜内接线图	185
5.5 DCS 系统柜布置与接线图	190
5.5.1 柜内布置图	190
5.5.2 外部接线图	190

6.1 DCS 的软件体系	192
6.1.1 现场控制站的软件系统	193
6.1.2 操作站的软件系统	194
6.1.3 MACS V 系统软件的组成及功能	194
6.2 DCS 的组态方法	194
6.2.1 组态软件主要解决的问题	194
6.2.2 组态的内容	195
6.2.3 MACS V 系统软件组态步骤	195
6.3 离子膜烧碱装置控制工程组态	196
6.3.1 新建工程	196
6.3.2 工程画面组态	200
6.3.3 设备组态	216
6.3.4 数据库的编辑及编译	224
6.3.5 报表组态	229
6.3.6 服务器算法组态	230

6.3.7	生成控制器算法工程	235
6.4	离子膜烧碱装置控制器算法组态	235
6.4.1	控制器算法组态概述	235
6.4.2	控制器算法软件及功能	238
6.4.3	单回路控制系统组态	240
6.4.4	联锁及主要复杂控制回路组态	240
6.4.5	树脂塔顺控方案组态	252

第⑦章 离子膜烧碱整流 277

7.1	离子膜整流系统的组成及工作原理	277
7.1.1	整流系统组成	277
7.1.2	整流系统工作原理	277
7.2	整流系统设计	278
7.2.1	整流装置主要参数计算	279
7.2.2	整流柜内部元件的选取及制造要求	285
7.2.3	整流柜的保护措施	286
7.2.4	晶闸管整流装置控制柜	286
7.2.5	计算机监控系统	290
7.2.6	极化整流器	294
7.3	整流器辅助设备	296
7.3.1	整流变压器	296
7.3.2	纯水冷却装置	298
7.3.3	直流母线式大电流隔离器	300
7.3.4	直流大电流传感器	302
7.4	整流所的常见事故类型及处理	305
7.4.1	整流工段易出现的故障类型	305
7.4.2	整流装置的运行管理	305
7.4.3	整流工段可能出现的异常情况及事故处理	306
7.4.4	整流变压器的运行管理及检修维护	306
7.4.5	整流变压器可能出现的异常情况及事故处理	307
7.4.6	整流高压开关柜的运行管理	308

附录① xxx公司20万吨/年离子膜烧碱项目DCS控制系统招标文件 310

附录② DCS系统主要供应商及其产品介绍 330

附录③ 离子膜烧碱装置数据库I/O表 354

附录④ 现场控制站机柜布置与接线图 358

第1章

绪论

工业上用电解饱和氯化钠 (NaCl) 溶液的方法来制取烧碱、氯气和氢气 (NaOH 、 Cl_2 和 H_2), 并以它们为原料生产一系列化工产品, 称为氯碱工业。氯碱工业是最基本的化学工业之一, 其烧碱及众多氯产品除应用于化学工业本身外, 还应用于轻工业、纺织工业、冶金工业、石油化学工业以及公用事业。

烧碱又称氢氧化钠, 作为古老、传统的能源与资金密集型基本化工原料, 在国民经济中有着重要的作用。广泛应用于造纸、纤维素的生产, 洗涤剂、合成脂肪酸的生产以及动植物油提炼。纺织印染工业用作棉布退浆、煮炼剂和丝光剂。化学工业用于生产硼砂、氰化钠、甲酸、草酸、苯酚等。石油工业用于精炼石油制品。还用于生产氧化铝、金属锌和铜以及玻璃、搪瓷、皮革、医药、染料和农药等方面。近年来, 随着中国国民经济发展, 烧碱在各行各业中的应用也越来越重要。

1.1 氯碱工业概况及特点

目前, 氯碱生产有隔膜法、水银法和离子膜法, 而在新建和扩建装置中, 无论在技术先进、工艺优越性以及产品质量、节约能源等诸方面均为离子膜法占绝对优势。

1.1.1 氯碱工业概况

离子膜法是目前烧碱生产最先进的方法, 世界新建氯碱装置基本上全部采用离子膜法技术, 而隔膜法技术和水银法技术正在向离子膜法技术转换。我国从世界知名公司引进的离子膜法制碱技术, 快速发展离子膜法电解工艺, 彻底淘汰了水银法烧碱和部分石墨阳极隔膜法烧碱, 大大提升和优化了我国氯碱工业的产品结构。

从 20 世纪末开始, 我国的氯碱工业在产量、质量、品种、生产技术等方面都得到很大发展。根据石油和化学工业规划院的统计, 2012 年中国大陆氯碱产能超过 3736 万吨, 实际产量 2698 万吨, 装置开工率为 72.2%, 产量和产能都达到了世界第一。我国的烧碱净进口量为 206 万吨, 表观消费量为 2491.9 万吨。

1.1.2 我国氯碱工业特点

氯碱工业原料有井矿盐、海盐、卤水和精盐, 在我国这些原料还是比较容易得到的。但

我国氯碱工业耗电量大、氯与碱供求难以达到平衡都是比较突出的问题。

(1) 能源消耗量大

氯碱工业耗电量仅次于电解铝，在发达国家的化学工业中，94%的电能用于氯碱工业和电解铝的生产。我国氯碱生产耗电量约占整个化学工业总用电量的10%左右，占全国工业总用电量的2%左右。按目前国内生产水平，每生产1t100%烧碱需耗电2580度，耗汽5t，总能耗折标煤10815t。

(2) 氯与碱供求难以平衡

烧碱与液氯的平衡问题始终是氯碱工业发展的恒定矛盾。烧碱是由盐水电解得到的。盐水电解同时还产生氯气和氢气。烧碱和氯气的质量比为1:0.88。换句话讲就是每生产1t的烧碱就会产生0.88t的液氯。但是市场对烧碱和液氯的需求并不是按照这样的比例，因而就产生了氯碱不平衡的矛盾。

烧碱的产出很大程度上受制于液氯的下游消耗量，烧碱企业的开工要兼顾氯碱平衡而定。大量新建烧碱装置陆续投产，使得国内产能过剩、产业集中度不高等一系列问题与下游需求不足的矛盾进一步加剧。在下游需求无明显提升的情况下，氯碱平衡问题在如今表现得尤其突出。

(3) 腐蚀和污染严重

氯碱工业是腐蚀性很强的行业，其生产过程中的工艺介质及成品，例如饱和盐水、湿氯气、烧碱、盐酸及硫酸等均具有极强的化学腐蚀性。氯碱生产装置处在电化学介质的酸、碱、盐环境中，因此造成设备的腐蚀原因相当复杂，因而对装置结构的防腐选材显得尤为重要，否则就会造成严重的跑、冒、滴、漏现象，不但腐蚀设备、污染环境，同时会严重制约生产装置的长期稳定运行，因此防止腐蚀和环境污染也一直是氯碱工业努力革新的方向。

本书在第4章离子膜烧碱仪表变送器与执行器的选型中也考虑到了防腐问题。

1.2 离子膜烧碱装置主要设备简介

离子膜烧碱装置共由十多个生产及辅助单元组成，该装置工艺及控制要求内容比较多，将放在第2章详细阐述，这里简单介绍一次盐水精制、二次盐水精制、电解、氯氢处理、盐酸合成、氯气液化及包装几个主要工段的关键设备，以及某些设备的控制要点。

1.2.1 一次盐水精制主要设备

一次盐水精制的任务是将原盐和化盐水按比例掺混，加热溶解制成氯化钠的饱和溶液，然后将盐水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等分别生成难溶的沉淀物，最后再加入助沉剂 FeCl_3 ，通过澄清、砂滤、中和等后续步骤，得到质量合格的一次精盐水。一次盐水精制的主要设备有化盐桶、澄清桶、砂滤器、洗泥桶和凯膜过滤器。

化盐桶把部分原盐、部分盐卤水、蒸发回收盐水和洗盐泥回收淡盐水，按一定比例掺混，加热溶解后制成饱和食盐水。澄清桶将粗盐水中的钙、镁等难溶性的颗粒与液体分开，得到电解所需要的清盐水。砂滤器将澄清桶送来的清盐水经砂滤层进一步过滤，除去清盐水中微量的悬浮性不溶杂质，进一步提高盐水质量。洗泥桶将澄清桶等设备排出的盐泥，用水在桶内经过三次逆向洗涤，将盐泥中所含氯化钠回收，降低烧碱生产中的消耗。凯膜过滤器将经由缓冲罐进入其中的盐水利用膜过滤袋进行过滤。过滤后的清液送至精盐水储槽，滤渣

被膜过滤袋截留在过滤袋表面。当滤渣达到一定厚度后,过滤器自动进入冲清膜状态,过滤器各阀按各自的功能自动切换,使滤渣脱离薄膜过滤袋表面并沉降到过滤器的锥形底部,过滤器自动进入下一个过滤、反冲、沉降周期。当过滤器锥形底部的滤渣达到一定量时,过滤器将自动打开排渣阀排出滤渣。

1.2.2 二次盐水精制主要设备

二次盐水精制是将一次精盐水进一步过滤除去悬浮物,再调节盐水的 pH 值,将合格的盐水通入螯合树脂塔进行吸附,从而将盐水中的钙、镁等离子浓度降至要求的范围。二次盐水的主要设备是盐水过滤器和螯合树脂塔。

盐水过滤器的作用是对来自一次盐水精制工段的盐水中的微细悬浮物进行过滤,以防止盐水中所含悬浮物引起膜的堵塞而导致槽电压上升。在离子膜烧碱生产工艺中,要求盐水中的悬浮物含量控制在 1mg/kg 以下。螯合树脂塔通常是两台或三台串联使用,其作用是进一步滤去一次精制盐水中的悬浮物,并将其中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 杂质除去,以满足离子膜电解的需要。

螯合树脂的吸附能力除树脂本身外,还受盐水的温度、pH 值、盐水流量, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量等因素的影响。螯合树脂的内在结构不同,交换能力也不同,但是对流量、温度、pH 值变化趋势是一样的。因此,要加强工艺指标的控制,保证进电解槽的盐水质量合格。树脂塔的控制方案是离子膜烧碱装置中很重要的控制,这部分内容将放在第 3 章中详细阐述,同时会在第 6 章中给出树脂塔的控制程序。

1.2.3 电解主要设备

离子膜电解就是将二次精盐水送至电解槽中,通上大电流的直流电进行电解,从而制得烧碱、氯气、氢气的过程。电解工段的主要设备是离子膜电解槽和淡盐水脱氯塔。离子膜电解槽和上面提到的螯合树脂塔也是整个装置的主要设备。

目前主要有单极式和复极式两种离子膜电解槽,但两种电解槽的基本结构都是由阳极、阴极、离子膜和电解槽框等组成。电解槽的作用就是将精盐水进行电解,在阴极侧得到电解液和氢气,在阳极侧得到淡盐水和氯气。

淡盐水脱氯塔的作用是将来自电解槽阳极侧的淡盐水中的游离氯 (ClO^-) 脱除掉,其目的有四:①减少对设备和管道的腐蚀;②减少对二次精制的碳素管和螯合树脂的危害;③减少对环境的污染(氯气泄出);④回收氯气。

1.2.4 氯氢处理主要设备

氯氢处理主要设备分氯气处理主要设备和氢气处理主要设备两大部分。氯气处理设备主要包括氯气冷却设备、氯气干燥设备和氯气压缩设备。

其中氯气冷却设备主要有湿氯气水封、湿氯气缓冲器、钛列管冷却器、水沫过滤器和氯气洗涤塔。湿氯气水封又称安全水封、正水封。其作用是,当氯气处理的负压系统因突发故障产生正压时,带压的事故氯气将水封冲掉,向事故氯气洗涤塔处理塔泄压,用碱液进行吸收处理,以保护氯气负压系统的管道、设备和电解槽的安全。从电解槽出来的湿氯气温度较高,通过冷却降低其温度,减少饱和蒸气分压,从而降低湿氯气的含水量。湿氯气缓冲器的作用是来自电解槽的湿氯气均匀分配给多台并联使用的工业水钛列管冷却器。列管冷却器将来自电解的湿氯气进行冷却,使其气相中含水量大幅度减少。水沫过滤器通过丝网层捕

集、过滤去除气相中夹带的游离水分，还可以降低用于干燥脱水的吸收剂硫酸的单耗，并有效地防止游离水随气相带入干燥塔。氯气洗涤塔用来洗涤氯气，去除氯气中的杂质，提高氯气的纯度。冷却过程一定要控制冷却后氯气温度在 $12\sim 15^{\circ}\text{C}$ 之间，如果温度过高，水分多，干燥耗酸量大；但温度太低又会使湿氯气中的水蒸气与氯气生成 $\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 结晶，造成设备、管道的阻塞，并损失氯气，还可能造成钛冷却器的“燃烧（温度过低含水量少，氯气与钛发生化学反应）”。

氯气干燥一般是以硫酸与湿氯气接触后，氯气中的水分被硫酸吸收而实现的。氯气干燥设备主要有填料干燥塔、“填料+筛板”二合一干燥塔、泡罩干燥塔、“填料+泡罩”二合一干燥塔和酸雾捕集器。酸雾捕集器又称酸雾过滤器或酸雾自净过滤器。其作用是将气相夹带的大小不等的酸雾液滴用截留、碰撞、捕集、过滤的形式除去，使气相得以净化，确保进入氯气离心式压缩机流道、叶道的氯气洁净，不结垢，从而确保输送气体负荷适应生产的要求。

氯气压缩设备主要有液循环式氯气压缩机（纳氏泵）和离心式氯气压缩机。其作用是将经过冷却干燥的氯气增压后送出界区至各用户，并保持电解槽阳极室压力的稳定。通常通过设置回流调节氯气的方式，来实现氯气系统的压力稳定。为防止高压侧氯气在异常情况下窜回至低压侧，还需设置氯气防窜回自动控制系统。

从电解槽出来的氢气，含有饱和水蒸气，同时还带有碱的雾沫。氢气处理的任务就是对从电解送来的高温湿氢气进行洗涤、冷却和加压。氢气处理设备主要为液环式输送机和罗茨鼓风机，其作用就是将冷却后的氢气由氢气压缩机压缩加压后经氢气分配站送到氢气柜及各用氢部门。为了保持电解槽阴极室内的压力稳定，并使其不在氢气系统内呈现负压，保证空气不被吸入而造成危险，所以在氢气处理系统应设有电槽氢气压力调节装置及自动放空装置。

1.2.5 氯化氢合成与高纯盐酸的主要设备

氯气和氢气按一定的比例混合后进行燃烧生成氯化氢气体，氯化氢气体经冷却后可送至后续工段或用水吸收制成盐酸。氯化氢合成的主要设备有氢气柜、气液分离器、阻火器、氯气缓冲器、合成炉、石墨冷却器。

氢气柜用于暂存多于合成炉正常用量的氢气，调节氢气平衡，维持氢气输送临时故障时的最低流量。气液分离器用于除去氢气中多余的水分。阻火器能够阻挡燃烧火焰返回气柜，并使其熄灭于此，确保气柜的安全。氯气缓冲器的主要作用是使氯气流缓冲减压，进行稳压自控，有效地控制、稳定氯气的压力，平衡氯、氢比例，从而有效地稳定合成炉的生产。合成炉是氯化氢合成的重要设备，氯气和氢气是在合成炉内燃烧生产氯化氢气体的。石墨冷却器将氯化氢气体冷却至常温，以便进行制酸或冷冻脱水干燥。

高纯盐酸生产过程的主要设备为降膜式吸收塔、尾气吸收塔、陶瓷尾气鼓风机、石墨列管式冷冻塔、酸雾捕集器和纳氏泵。降膜式吸收塔用来将氯化氢气体用水吸收制成盐酸。陶瓷尾气吸收塔将未被吸收的氯化氢气体再次进行吸收，使气相成为合格的尾气。尾气鼓风机主要用于将从尾气吸收塔出来的合格的尾气进行抽吸后排空。石墨列管式冷冻塔主要用于零下 25°C 的冷冻氯化钙溶液，将氯化氢气体进行冷冻脱水，使氯化氢气体成为含水量小于 0.06% 的干燥氯化氢气体以便于输送。酸雾捕集器主要作用是将气流中的酸雾截留、捕集下来，从而达到净化气体的目的。纳氏泵将经过干燥脱水后的氯化氢气体压缩后，输送至后续

工段。

1.2.6 氯气液化及包装主要设备

氯气液化就是将气态氯经低温冷却成为液态氯，液氯储存在储槽内，经计量包装入钢瓶或槽车。小部分不凝气体作为液氯尾气送往氯化氢合成及高纯盐酸工段。液氯生产及包装的主要设备有氯气液化器、液氯计量槽、汽化器和液氯钢瓶。

其中氯气液化器是最主要的液氯生产设备，由螺杆压缩冷凝机组、氯气液化器和氯的气液分离器三个独立的部分组合成一整套系统。液氯计量槽必须带有准确的计量装置（磁翻转式液位计等）确保进入储槽的液氯不过量。汽化器是液氯包装的主要设备，来自计量槽的液氯在汽化器中经夹套内 80℃ 左右的热水加热汽化，产生小于 1.1MPa 的氯气，借助此压力将计量槽内的液氯压入钢瓶中，进行计量包装。

1.2.7 蒸发及固碱主要设备

隔膜法电解碱液蒸发的主要设备有蒸发器、旋液分离器、滤盐器和离心机。在蒸发器中，电解碱液被加热使其温度升高，将溶液中的水部分汽化，最终提高溶液中碱的浓度。旋液分离器将碱液中所含的结晶盐与清液分离开来。滤盐器和离心机用来集中处理蒸发过程中分离出来的盐泥。离子膜烧碱蒸发的主要设备有升膜和降膜蒸发器，多采用双效逆流工艺流程。

固碱生产的主要任务是将蒸发得到的液碱浓缩至 98.6% 的熔融碱后通过制片机生产出合格的固体烧碱。目前对于固体烧碱熔融的主要生产方法有大锅熬制法和膜式法两种。固碱生产的主要设备有大锅、片碱机、降膜浓缩器和熔盐炉。大锅用来熬制熔融碱，片碱机将熔融碱制成合格的片状固碱，降膜浓缩器和熔盐炉是膜式法生产固碱的主要设备。

1.3 离子膜烧碱装置控制现状

近年来，我国离子膜法烧碱发展十分迅速，离子膜烧碱的产量和产能都位居世界第一，但我国离子膜烧碱装置的控制水平并没有达到领先水平。在大力发展离子膜烧碱生产的同时，安全生产问题、高耗能问题、投资成本居高不下等问题一直困扰着氯碱企业。国内氯碱行业专家对离子膜烧碱生产工艺及关键设备电解槽的改进，以及离子膜生产的国产化研究比较多，对整个装置的控制系统的研究比较少，特别是针对大型氯碱化工国产集散控制系统（DCS）的安全性、适用性及优化控制等方面的研究更少。

国内离子膜烧碱生产装置关键部位的仪表基本采用进口产品，投资成本高和售后服务不及时的问题一直存在。虽然烧碱浓度的软测量技术正在逐步运用，但不成熟也没能普遍采用。特别是用于检测烧碱浓度和 pH、ORP（氧化还原电位）等的分析仪器的成本都比较高，而在线监测的浓度计还要有取样装置，安装和维护比较麻烦，运行成本也比较高。离子膜烧碱装置的关键设备离子交换树脂塔的控制部分厂家用 PLC 在现场对树脂塔进行操作控制，也有厂家用 DCS 逻辑程序控制但效果不尽理想。国外的系统通常是全英文的操作界面，这加大了操作人员的工作难度。

我国化工行业，包括氯碱行业所使用的 DCS 控制系统，有美国 Honeywell 公司的 TPS 系统、日本横河（YOKOGAWA）电机公司的 CENTUM-CS 系统等。而同档次的国产 DCS 系统在产品价格、供货周期、备品备件的供应及现场服务等方面相对国外系统都有较高的性

价比。例如同等规模的国外 DCS 价格上通常是国产系统的两倍以上；供货周期要比国产系统至少长两个月；几年后备品备件也不能及时供应；现场服务上国内 DCS 厂家基本上没有明确的服务期，在投运后的系统变更时也能及时到位（一般不超过 24h），而国外系统超过服务期后的现场服务价格昂贵且不够及时。随着近几年 DCS 技术的不断发展，国产 DCS 系统在技术和性能上也达到了国际先进水平，加上它在诸多方面的优势，许多行业都逐渐采用国产 DCS 系统。

本书以离子膜烧碱装置为对象，进行了合理的仪表选型、基于国产大型 DCS MACS 系统进行了 DCS 硬件设计和软件组态编程，提供了离子膜烧碱装置控制系统的全方位解决方案。希望能在减少离子膜烧碱自动控制装置投资成本，降低操作人员的工作难度，提高控制质量上对相关氯碱企业有所帮助。

第2章

离子膜烧碱工艺及控制要求

离子膜烧碱主要原料包括盐、纯碱、盐酸、氯化钡、次氯酸钠、铁盐、亚硫酸钠等。盐化学名称氯化钠，白色四方结晶或结晶粉末，因含杂质的不同，分别呈灰、褐等颜色，分子式 NaCl ，分子量 58，熔点 800°C ，沸点 1413°C ，易溶于水，由于工业盐中含有易吸收空气中水分的氯化钙、氯化镁杂质而潮解结块。纯碱化学名称碳酸钠，分子式 Na_2CO_3 ，分子量 106，相对密度 2.532，白色粉末或结晶细粒，味涩，易溶于水呈强碱性，本工序配成 $12\%\sim 15\%$ 的水溶液。盐酸化学名称氢氯酸，是氯化氢气体的水溶液，分子量 36.5，一次盐水精制所需盐酸为 $10\%\sim 15\%$ 无色的透明液体。氯化钡分子式 BaCl_2 ，分子量 208.4，一次盐水配成 $17\%\sim 20\%$ 的溶液。次氯酸钠分子式 NaClO ，分子量 74.5，一次盐水采用有效氯 $0.6\%\sim 1\%$ 工业次氯酸钠溶液。铁盐预处理剂分子式 FeCl_3 ，分子量 162.5，一次盐水配成 $1\%\sim 2\%$ （质量分数）的水溶液。亚硫酸钠分子式 Na_2SO_3 ，分子量 126，一次盐水配成 $3\%\sim 5\%$ （质量分数）的溶液。

离子膜烧碱工艺主要产品包括离子膜烧碱、氯气和氢气。离子膜烧碱主要化学物质氢氧化钠分子式 NaOH ，分子量 39.997， NaOH 含量 $32.0\%\sim 33.0\%$ ，相对密度为 $1.307\sim 1.317$ (85°C)，颜色为无色透明，产品的标准及包装规格要求 $\text{NaOH}\geq 32.0\%$ ， $\text{NaCl}\leq 0.01\%$ ， $\text{Fe}_2\text{O}_3\leq 0.001\%$ ， $\text{Na}_2\text{CO}_3\leq 0.2\%$ ， $\text{NaClO}_3\leq 0.002$ 。

氯气分子式 Cl_2 ，分子量 70.906，有剧毒，常温时压缩至 $0.8\sim 1.2\text{MPa}$ 或常压下冷却到 $-35\sim -40^{\circ}\text{C}$ 即成黄绿色的液体，产品标准及包装规格要求氯气纯度 $\geq 98.5\%$ ，氯气含氧量 $< 1\%$ 。

氢气分子式 H_2 ，分子量 2.016，无色、无味、无毒、无臭的气味，产品的标准及包装规格要求氢气纯度 $\geq 99.9\%$ ，氢气含氧量 $0.01\%\sim 0.03\%$ 。

离子膜烧碱是与隔膜烧碱相对应的工艺，二者均是生产氢氧化钠的方法，但由于隔膜法生产的产品品质较差，近年来新建装置大多是离子膜法。离子膜烧碱装置共由十多个生产及辅助单元组成，包括原盐堆场、一次盐水精制、二次盐水精制、电解、氯氢处理、盐酸合成、氯气液化及包装、蒸发及片碱、原料及成品罐区、循环水装置、污水处理、空压及制氮、冷冻站等，工艺相对复杂。目前新建大型装置一般单套生产能力为年产 25 万吨烧碱。

2.1 一次盐水精制

原盐质量对一次盐水精制的影响很显著，会影响精制剂的消耗及精制操作。如果盐水中

钙、镁、硫酸根等离子及天然有机物含量高，则要增加精制剂的用量，从而增加费用影响生产成本，同时影响设备能力的发挥。由于工业盐中含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 等无机杂质，含有菌类、藻类、腐殖酸等天然有机物和机械杂质，这些杂质在化盐时会被带入盐水中，如果不彻底去除会造成二次盐水精制树脂塔树脂结块，树脂交换能力下降，这样在电解过程中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 就会与从阴极室迁移到阳极室的 OH^- 结合生成氢氧化物，这些氢氧化物和天然有机物一起沉积在离子膜内或靠近阴极一侧的膜内，从而导致电流效率下降，破坏电解的正常运行，严重破坏电解槽的正常生产。如果盐水中 SO_4^{2-} 含量高，则会生成 Na_2SO_4 沉积在离子膜中，使电流效率下降， SO_4^{2-} 还会阻碍 Cl^- 放电，促使 OH^- 放电产生 O_2 ，氯中含 O_2 量增加，氯气纯度降低， O_2 还会腐蚀阳极。

一般的工业盐的质量要求和一次盐水精制产品要求如表 2-1 和表 2-2 所列。

表 2-1 工业盐质量控制范围

名 称	NaCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	水不溶物
控制范围	$\geq 94.5\%$	$\leq 0.2\%$	$\leq 0.2\%$	$< 0.6\%$	$\leq 0.01\%$

表 2-2 一次盐水精制产品控制范围

名 称	NaCl	Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 总量	SS	水不溶物	游离氯
控制范围	$(305 \pm 5) \text{g/L}$	$\leq 1 \text{mg/L}$	$\leq 1 \text{mg/L}$	$\leq 1 \text{mg/L}$	无

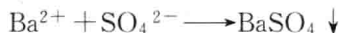
注：SS—固体悬浮物。

2.1.1 一次盐水精制反应原理

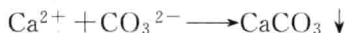
采用工业盐作为原料，用次氯酸钠-氯化钡-纯碱-烧碱-铁盐法精制盐水，除去钙、镁、硫酸根离子和天然有机物杂质。

盐水中的菌藻类被次氯酸钠杀死，腐殖酸等有机物被次氯酸钠氧化分解成为小分子除去。

向盐水中加入氯化钡溶液，使其和盐水中的硫酸根反应，生成硫酸钡沉淀，加入精制氯化钡不应过量，否则将增加离子交换树脂的负荷。反应如下：



在盐水中加入碳酸钠溶液，使其和盐水中的 Ca^{2+} 反应，生成不溶性的碳酸钙溶液，为了将 Ca^{2+} 除净，精制剂碳酸钠的加入量必须稍超过反应式的理论需要量，过碳酸钠量 0.5g/L 。反应式如下：



在盐水中加入 NaOH 溶液，使其和盐水中的 Mg^{2+} 反应，生成不溶性的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀，为了将 Mg^{2+} 除净，精制剂 NaOH 的加入量必须稍超过反应式的理论需要量，过碱量为 0.5g/L 。反应式如下：



2.1.2 一次盐水精制工艺简介

原盐（用于盐水制备的原盐主要有海盐、湖盐、井盐和矿盐四种）输送至化盐桶或池。化盐桶或池保持一定的盐层高度，以保证盐水浓度。来自离子膜的淡盐水、板框压滤机的滤