



化工技工学校教材

制碱工艺



陕西兴平化工技工学校赵师琦 编

化学工业出版社

前 言

本教材是根据化工部教育司一九八八年颁发的化工技工学校《制碱工艺教学大纲》，由无机化工教材编审委员会组织编写的。

本教材内容主要介绍纯碱、烧碱和其它碱生产的工艺过程原理、工艺流程和操作要点。全书共三篇，第一篇纯碱、第二篇烧碱、第三篇其它碱。总课时为 130 学时。

该教材适用于招收初中生三年制或招收高中生的二年制化工技校无机化工制碱专业，亦可作为职业高中的制碱工艺教材和碱厂职工自学参考书。

本教材由陕西兴平化工技工学校赵师琦编写，山东鲁南化工技校于风霞主审。教材编审过程参加审议的有：重庆化工技校张元昭、晋朝提、宁夏化工技校毛家郁、西安市化工技校杨锋、大连化学工业公司技校杨金明。书中插图均由陕西兴平化肥厂蒋云芝同志描绘。

本教材在编写中注重理论联系实际，结合生产过程，编入制碱工艺的重点岗位操作要点和与生产有关的计算，以利于对学生操作能力的培养。选用适量图表、照片，直观教学，便于学生对理论的理解。教材还注意了非智力因素的开发，用侯德榜博士的光辉业绩激发学生爱国心、责任感，利于教书育人。并对近年来的新技术、新工艺予以简要介绍，以扩大学生的知识面，注意了知识的衔接。和现行教材相比，该教材内容适中，深度、广度符合技工教育特点及当前改革的需要。

由于编写时间紧促，编者水平有限，缺点和错误在所难免，热忱希望读者批评指正，以待进一步修改完善。

编 者

一九八八年十月

目 录

第一篇 纯 碱

第一章 绪论	1	(一) 克/升换算成当量浓度	8
第一节 纯碱的性质和用途	1	(二) 当量浓度换算成克/升	8
一、纯碱的性质	1	四、滴度与克/升的换算	8
(一) 溶解度	1	第四节 纯碱工业国内外概况	9
(二) 溶解热	1	一、国外纯碱工业概况	9
(三) 生成水合物	1	二、国内纯碱工业概况	9
(四) 呈碱性	2	第二章 氨碱法生产纯碱	11
(五) 高温下易分解	2	第一节 概述	11
(六) 暴露于空气中易吸收水分和 二氧化碳	2	一、氨碱法生产纯碱的原料	11
二、纯碱成分与规格要求	2	(一) 食盐—— NaCl	11
三、纯碱的用途	3	1. 性质	11
(一) 制造烧碱	3	2. 规格	12
(二) 生产肥皂	3	(二) 石灰石—— CaCO_3	12
(三) 制造玻璃	3	二、氨碱法生产程序和主要化学反应	13
(四) 用于冶金工业	3	(一) 煅烧石灰石制备二氧化碳气和 石灰乳	13
(五) 用于化学工业和染料工业	3	(二) 盐水的制备、精制、吸氨制成 氨盐水	13
(六) 用于医药工业	3	(三) 氨盐水碳酸化制重碱	13
(七) 用于国防、造纸、纺织、食品 及日用品工业	3	(四) 重碱的过滤与洗涤	13
第二节 纯碱生产方法简介	4	(五) 重碱的煅烧	13
一、路布兰法	4	(六) 氨的蒸馏回收	13
二、氨碱法	5	第二节 石灰石的煅烧和石灰乳的制备	14
三、联合法制纯碱和氯化铵	5	一、石灰石煅烧的原理	14
四、用天然碱加工制纯碱	6	二、煅烧设备、工艺条件及操作要点	15
第三节 纯碱生产检验常用的浓度表示与 换算	7	(一) 煅烧设备——石灰窑	15
一、不同密度表示方法及换算	7	1. 窑身	16
(一) 比水轻的液体	7	2. 炉顶加料装置	16
(二) 比水重的液体	7	3. 卸灰装置	16
(三) 采用 A. P. I 密度计	8	(二) 石灰石煅烧过程及工艺条件 选择	17
二、百分浓度与克/升的换算	8	1. 石灰石煅烧过程	17
(一) 由百分浓度换算成克/升	8	2. 工艺条件的选择	17
(二) 由克/升换算成百分浓度	8	(1) 适当的配焦比和空气 用量	17
三、克/升与当量浓度的换算	8		

(2) 送风要均匀	18	(六) 吸氨过程体积和浓度的变化	35
(3) 窑内混合料块大小 均匀	18	二、盐水吸氨的工艺流程和工艺条件 选择	35
(4) 均匀出料和稍正压迅速 排气	18	(一) 盐水吸氨的工艺流程	35
(三) 石灰窑开、停工及正常生产时 的操作要点	18	(二) 工艺条件选择	37
1. 石灰窑开工操作要点	18	1. NH_3/NaCl (氨盐比) 的选择	37
2. 石灰窑停工操作要点	18	2. 温度的选择	37
3. 正常生产时的操作	19	3. 压力的选择	38
(四) 主要故障及处理方法	19	三、盐水氨化的主要设备	38
(五) 石灰窑的工作指标计算公式	20	(一) 吸氨塔	38
1. 碳酸钙的分解率	20	(二) 冷却器	39
2. 石灰窑的生产能力	20	(三) 氨盐水贮桶	40
3. 石灰窑热效率	20	(四) 氨盐水澄清桶	40
三、窑气的净化	20	四、吸氨操作要点及吸氨塔倒塔步骤	40
(一) 一级除尘	20	(一) 操作要点	40
(二) 二级除尘	21	(二) 吸氨塔倒塔步骤	40
四、石灰乳的制备	22	1. 准备	40
第三节 盐水的制备和精制	24	2. 开塔	41
一、饱和粗盐水的制备	24	3. 停塔	41
二、盐水的精制	25	五、可能发生的不正常现象、原因及 处理办法	41
(一) 盐水精制的目的	25	第五节 氨盐水的碳酸化	43
(二) 盐水精制的方法	25	一、碳酸化过程的基本原理	43
1. 氨与二氧化碳法	25	(一) 碳酸化过程的反应机理	43
2. 石灰、氨及二氧化碳法	26	1. 氨基甲酸铵的生成	43
3. 石灰纯碱法	27	2. 氨基甲酸铵的水解	43
4. 石灰芒硝法	28	3. 碳酸氢铵和氯化钠进行 复分解反应	43
三、主要设备及操作要点	29	(二) 碳酸氢钠单独析出的条件	44
(一) 化盐桶	29	二、氨盐水碳酸化过程的影响因素	45
(二) 澄清桶	30	(一) 几个概念	45
(三) 调和槽	30	1. 钠利用率	45
(四) 除钙塔	30	2. 氨利用率	45
(五) 洗泥桶	31	3. 碳化度	45
四、可能发生的不正常现象及处理办法	32	(二) 氨盐水的组成及影响	46
第四节 精盐水的氨化	33	(三) 影响碳酸氢钠结晶的因素	47
一、盐水氨化的理论基础	33	1. 控制温度	47
(一) 氨化反应及化学平衡	33	2. 添加晶种	48
(二) 盐水吸氨的速度	33	三、氨盐水碳酸化过程中几个主要成分 浓度变化情况	48
(三) 氨盐水面上气液相平衡关系	33	(一) 二氧化碳浓度的变化	48
(四) 原盐和氨溶解度的相互影响	34	(二) 游离氨和固定氨浓度的变化	49
(五) 吸氨过程的热效应	35		

(三) pH 值的变化	49	4. 碳化塔尾气带至除钙塔 NH ₃ 量	60
四、氨盐水碳化工艺流程及工艺条件 选择	50	5. 由 (NH ₄) ₂ CO ₃ 生成 NH ₄ HCO ₃ 的 NH ₃ 量	60
(一) 氨盐水碳化工艺流程	50	6. 由 NH ₃ · H ₂ O 生成 (NH ₄) ₂ CO ₃ 的 NH ₃ 量	61
(二) 工艺条件的选择	51	7. 每吨纯碱在碳化塔内吸收 的 CO ₂ 量	61
1. 清洗塔工艺条件选择	51	8. 每吨纯碱碳化塔需要的 CO ₂ 进气量	61
2. 制碱塔工艺条件选择	51	9. 碳化塔塔顶出气量	62
(1) 进塔 CO ₂ 浓度和温度	51	(二) 碳化所需冷却用水量的计算	63
(2) 中部温度	51	第六节 重碱的过滤	63
(3) 出碱温度	51	一、真空过滤的原理	64
(4) 碳化塔液面高度	52	二、过滤设备的主要构造及作用	64
(5) 进气量与出碱速度	52	(一) 真空过滤机	64
五、碳化塔及操作要点	52	(二) 真空分离器及真空分离塔	66
(一) 碳化塔	52	1. 真空分离器	66
(二) 正常生产时的操作要点	54	2. 真空分离塔	67
1. 碳化塔操作要点	54	(三) 真空机(泵)	67
2. 二氧化碳吸收有关操作要点	54	三、重碱过滤的工艺流程	67
3. 提高 NaCl 转化率操作要点	54	四、重碱过滤的工艺条件控制及有关 计算	68
4. 使 NaHCO ₃ 结晶粗大的操作 要点	55	(一) 真空度的控制	68
5. 生产中加硫化物的操作要点	55	(二) 吹气压力的控制	69
(三) 碳化塔的开停工步骤及倒塔	55	(三) 洗水的控制	69
1. 碳化塔的开工步骤	55	(四) 其它工艺条件的控制	69
(1) 开工前准备工作	55	(五) 有关计算	69
(2) 新开制碱塔	55	1. 重碱烧成率的计算	69
(3) 新开清洗塔	56	2. 纯碱含 NaCl 量的计算	69
2. 碳化塔的停工步骤	56	3. 洗水量计算	69
3. 碳化塔轮换	56	五、重碱过滤的操作要点及过滤机开停 车、轮换	70
(1) 轮换前准备工作	56	(一) 操作要点	70
(2) 拉塔	56	(二) 真空过滤机开停车及轮换	71
(3) 压塔	56	1. 开车	71
六、可能发生的不正常现象、原因及 处理办法	56	2. 停车	71
七、氨盐水碳酸化的计算	59	3. 轮换	71
(一) 物料计算	59	六、可能发生的不正常现象、原因及 处理办法	72
1. NaCl 转化率	59	第七节 重碱的煅烧	73
2. 纯碱系统的粗盐(NaCl88%) 消耗及 NaCl 利用率	59	一、重碱煅烧的基本原理	73
3. 每吨纯碱需在碳化塔中生成 NaHCO ₃ 量	60	(一) 煅烧的化学反应	73

(二) 煅烧反应的速度	73	及处理办法	91
二、重碱煅烧的工艺流程	76	三、离心式压缩机	92
三、重碱煅烧工艺条件选择	77	(一) 离心式压缩机构造简述	92
(一) 温度的选择	77	1. 机壳	93
(二) 加返碱	77	2. 转子	93
(三) 压力的选择	78	3. 固定元件	94
(四) 存灰量	78	4. 密封	94
四、重碱煅烧的主要设备	78	5. 轴承	94
(一) 外热式煅烧炉	78	6. 底座	94
(二) 内热式蒸汽煅烧炉	80	7. 润滑系统	94
(三) 沸腾煅烧炉	81	8. 中间冷却器	94
(四) 其它设备	81	(二) 离心式压缩机的工作原理	94
五、蒸汽煅烧炉的操作要点及开停炉		(三) 离心式压缩机的操作	95
注意事项	81	1. 正常操作要点	95
(一) 操作要点	81	2. 开车、停车及轮换	96
(二) 开停炉及临时停炉、开炉	81	(1) 开车前的准备工作	96
1. 开炉	81	(2) 开车	96
2. 停炉	82	(3) 停车	96
3. 临时停炉、开炉	82	(4) 轮换	97
六、可能发生的异常现象、原因及		(四) 可能发生的异常现象、原因	
处理办法	82	及处理办法	97
七、蒸汽煅烧炉的有关计算	83	第九节 氨的回收(蒸馏)	98
(一) 计算炉体散热损失的热量	84	一、蒸氨的原理	98
(二) 计算生产每吨纯碱所需蒸汽量		(一) 主要化学反应	98
.....	84	1. 加热段中的反应	98
第八节 二氧化碳的压缩	85	2. 溶解于过滤母液中的 NaHCO_3	
一、压缩的原理	85	和 Na_2CO_3 发生的反应	99
二、往复式压缩机	86	3. 石灰乳与母液的反应	99
(一) 基本原理	86	(二) 淡液蒸馏的原理	99
1. 工作原理	86	(三) 母液蒸馏的原理	100
2. 压缩机示功图	87	二、蒸氨的工艺流程及工艺条件选择	100
(1) 理论示功图	87	(一) 淡液蒸馏的工艺流程	100
(2) 实际示功图	88	(二) 母液蒸馏工艺流程及工艺条件	
(二) 往复式压缩机的结构	88		100
1. 气缸与活塞	88	1. 母液蒸馏工艺流程	100
2. 活门	89	2. 蒸氨工艺条件的选择	100
3. 连杆和十字头	89	(1) 温度的选择	100
(三) 压缩机的生产能力及其影响		(2) 压力的选择	101
因素	89	(3) 石灰乳浓度的选择	101
(四) 往复式压缩机的操作要点	90	(4) 其它	101
1. 适宜操作条件的选择	90	三、主要设备及操作要点	101
2. 正常操作控制	90	(一) 蒸馏塔	101
(五) 可能发生的异常现象、原因		(二) 蒸氨冷凝器	102

(三) 预灰桶	103	1. 性质	121
(四) 淡液蒸馏塔	103	2. 规格	121
(五) 母液蒸馏操作要点	103	第二节 原盐精制	121
(六) 淡液蒸馏操作要点	104	一、原盐精制的目的	121
(七) 倒蒸氨塔操作步骤	104	二、洗涤法精制原盐的原理	122
1. 开塔的准备工作	104	三、洗涤效率及其计算	122
2. 通汽温塔	104	四、精制流程及主要工艺指标	123
3. 开塔进液	104	(一) 工艺流程	123
4. 停进母液	105	(二) 主要工艺指标	124
5. 倒液	105	五、精制设备及操作	124
6. 减汽、减水	105	(一) 螺旋洗盐机及操作	124
7. 停汽、停塔	105	1. 螺旋洗盐机	124
8. 收尾	105	2. 生产操作	125
四、可能发生的异常现象、原因及		3. 故障及处理	125
处理办法	105	(二) 球磨机及其操作	126
五、有关物料衡算的计算	106	1. 球磨机	126
(一) 蒸馏塔的物料衡算	107	2. 操作要点	127
(二) 淡液蒸馏塔的物料衡算	108	(三) 分级器及其操作	127
(三) 吸收塔的物料衡算	109	(四) 立洗桶	127
第十节 氨碱法生产纯碱综述	110	第三节 母液吸氨	128
一、氨碱法生产纯碱小结	110	一、母液吸氨的目的、原理	128
二、近年来氨碱法生产新工艺、新技术		(一) 母液 I 吸氨的目的、原理	128
.....	111	(二) 母液 II 吸氨的目的、原理	129
(一) 大型氨碱法生产纯碱厂特点	111	二、母液吸氨的几个指标	129
(二) 降膜吸氨塔简介	113	(一) β 值	129
(三) 其它	114	(二) α 值	129
1. 采用碳钢制造大型碳化塔		(三) γ 值	130
.....	114	三、母液吸氨的流程及主要设备	130
2. 氨碱厂废液废渣处理	114	(一) 工艺流程	130
3. 采用地下卤水制碱	114	(二) 喷射吸氨器	131
第三章 联合法生产纯碱和氯化铵	117	四、母液吸氨的操作要点	132
第一节 概述	117	五、母液吸氨开停工要点	133
一、联合制碱法概述	117	(一) 开工	133
二、联合制碱法工艺流程	117	1. 开工前准备工作	133
三、氯化铵的性质和用途	118	2. 母液 I 吸氨的开工	133
(一) 性质	119	3. 母液 II 吸氨的开工	133
(二) 规格	119	(二) 停工	134
(三) 用途	119	1. 母液 I 吸氨的停工	134
四、原料的性质和要求	119	2. 母液 II 吸氨的停工	134
(一) 氨 (NH_3)	119	六、可能发生的异常情况及其处理办法	
1. 性质	120		134
2. 规格	121	七、母液吸氨量计算公式	134
(二) 二氧化碳 (CO_2)	121	第四节 氯化铵的结晶	135

一、氯化铵结晶的原理	135	2. 载冷体	154
(一) 过饱和度	135	二、冰机制冷工艺流程	155
1. 图解法	136	三、主要设备——冰机	156
2. 计算法求过饱和度	136	四、冰机操作	156
(二) 结晶的“介稳区”和影响结晶 粒度的影响	137	(一) 正常操作要点	156
(三) 冷析结晶原理	138	(二) 开停车操作	157
(四) 盐析结晶原理	139	五、不正常现象、原因及处理办法	158
二、氯化铵结晶的工艺流程	140	第七节 联合法生产纯碱和氯化铵综述	159
(一) 并料流程	140	一、联合法生产纯碱和氯化铵小结	159
(二) 逆流流程	142	二、联碱外冷器液氨致冷工艺简介	159
三、结晶工序主要设备及操作要点	142	三、热法生产氯化铵	161
(一) 结晶器	142	四、新旭法联合制碱简介	161
1. 结晶器构造	142	第四章 重质纯碱的生产	163
2. 对结晶器要求	142	第一节 重质纯碱简介	163
(二) 外冷器	144	一、重质纯碱生产方法简介	163
(三) 操作要点	144	(一) 以轻灰为原料生产重质纯碱	163
1. 正常生产操作要点	144	(二) 以天然碱为原料生产重质纯碱	164
2. 外冷器的轮换、清洗	145		164
3. 结晶器开停车及清洗	146	(三) 其它方法生产重质纯碱	164
四、可能发生的不正常情况、原因及 处理办法	147	二、各生产方法比较	165
第五节 氯化铵的干燥	148	第二节 水混法生产重质纯碱	165
一、氯化铵干燥的目的	148	一、生产工艺流程	165
二、干燥的基本知识	149	二、工艺条件选择	167
三、氯化铵干燥的工艺流程	149	(一) 温度条件选择	167
四、氯化铵干燥设备及其操作	149	(二) 水量的选择	167
(一) 沸腾干燥炉的构造	150	(三) 加添添加剂提高重灰重度	167
(二) 沸腾干燥炉的生产操作	151	三、主要设备	167
1. 正常操作要点	151	(一) 水混设备	167
2. 开工、停工操作要点	151	(二) 煅烧设备	167
3. 故障及处理	151	第三节 液相水合法生产重质纯碱	168
第六节 冰机制冷	152	一、液相水合法生产重质纯碱理论基础	168
一、基本概念	152	二、液相水合法生产重质纯碱工艺流程	169
(一) 冷冻循环	152		169
1. 压缩	152	三、工艺条件选择	169
2. 冷却冷凝	152	(一) 温度条件的选择	169
3. 节流膨胀	152	(二) 预加晶种	169
4. 蒸发	152	(三) 晶浆固液比选择	169
(二) 冷冻系数	153	(四) 加表面活性剂	169
(三) 冷冻能力	153	(五) 搅拌条件选择	170
(四) 冷冻剂和载冷体	154	四、液相水合法的优点	170
1. 冷冻剂	154	第四节 重结晶法生产碳酸氢钠和重灰	170
		第五章 纯碱生产中防腐和三废治理	171

第一节 纯碱生产中的防腐	171
一、防腐涂层	171
(一) 酚醛清漆	171
(二) 环氧焦油漆	171
(三) 无机富锌涂料	172
(四) 聚胺酯改性氯乙烯醋酸乙烯涂 料(简称氯醋涂料)	172
二、采用非金属材料	172
(一) 玻璃钢	172
(二) 橡胶和塑料	172
三、采用耐腐蚀金属材料	172
(一) 铸铁用于制造泵材	172

(二) 钛材的应用	173
四、电化学防腐	173
五、厂房建筑防腐蚀	173
(一) 厂房地面的防腐	173
(二) 梁柱、墙面和钢结构的防腐	173
(三) 其它部位	173
第二节 纯碱生产中的三废治理	173
一、废液的治理	173
二、废渣的治理	174
(一) 利用废泥渣生产轻质碳酸镁	174
(二) 废渣的其它用途	175
三、碱厂设备噪音治理	175

第二篇 烧 碱

第一章 绪言	176
第一节 烧碱的性质和用途	176
一、烧碱的性质	176
二、烧碱的用途	176
三、产品形态及规格	176
第二节 烧碱生产方法及烧碱工业概况	177
一、烧碱生产方法简介	177
(一) 苛化法制烧碱	177
(二) 电解法制烧碱	177
二、烧碱工业概况	177
第二章 隔膜电解法制烧碱	179
第一节 电解食盐水溶液的理论基础	179
一、电解的基本原理	179
二、法拉第定律和电流效率	179
(一) 法拉第第一定律	179
(二) 法拉第第二定律	180
(三) 电流效率	180
三、电解时的电压和电压效率	181
(一) 理论分解电压	181
(二) 超电压	182
(三) 槽电压和电压效率	183
四、电能效率	184
第二节 隔膜法电极反应及设备	185
一、电极反应与副反应	185
二、电极与隔膜材料	186
(一) 阳极材料	186
1. 石墨阳极	186
2. 金属阳极	187
(二) 阴极材料	187

(三) 隔膜材料	187
三、隔膜电解槽的构造	188
(一) 立式虎克式电解槽	188
(二) 金属阳极电解槽	190
四、影响电解槽技术经济指标的主要 因素	191
(一) 盐水质量	191
(二) 电解槽温度	191
(三) 盐碱比	192
(四) 阳极液 pH 值	192
(五) 电流波动	192
(六) 电流密度	192
五、新槽验收及除槽控制要点	192
(一) 新槽验收	192
(二) 除槽	193
(三) 电解槽完好标准	193
第三节 隔膜法电解生产工艺流程	194
一、盐水的制备和精制	194
(一) 盐水的制备	194
(二) 盐水的精制	194
1. 精制的目的	194
2. 精制的方法	194
(三) 盐水制备和精制工艺流程	195
(四) 盐水制备和精制的工艺条件	196
1. 温度	196
2. 精制控制点及时间	196
3. 加助沉剂	196
4. 精盐水 pH 值的控制	196
(五) 不正常现象及其处理方法	196

二、精盐水电解	197	(一) 氯及液氯的性质和用途	221
(一) 电解的工艺流程	197	1. 性质	221
(二) 电解操作	198	2. 用途	222
(三) 不正常现象及处理方法	200	(二) 氯气的液化	222
(四) 安全技术	202	1. 氯气液化的目的	222
三、氢气的处理和输送	202	2. 氯气的液化	222
四、氯气的处理和输送	203	(三) 氯气液化的工艺流程	224
五、电解碱液的蒸发	204	(四) 主要设备及操作要点	225
六、固碱的制造	205	1. 液化槽	225
(一) 用直接火加热间歇式生产固碱	205	2. 操作要点	225
(二) 降膜法制固碱	206	二、盐酸	225
第四节 隔膜法电解工序操作注意事项	206	(一) 氯化氢和盐酸的性质、用途	225
第三章 汞阴极电解和离子膜电解	208	1. 性质	225
第一节 汞阴极法电解	208	2. 用途	225
一、汞阴极法电解的电极反应和副反应	208	3. 盐酸规格	225
(一) 电解室反应及副反应	208	(二) 氯化氢气的合成	226
(二) 解汞室反应及副反应	209	(三) 用水吸收氯化氢制盐酸	226
二、汞阴极电解槽的构造	209	(四) 无水氯化氢的生产	227
三、汞阴极法的工艺流程	211	(五) 合成盐酸的主要设备	228
四、汞阴极法电解工序操作注意事项	211	1. 合成炉	228
五、汞阴极法和隔膜法比较与展望	212	2. 吸收设备	229
第二节 离子膜法电解	212	第三节 漂白粉的生产	230
一、离子膜法电解原理	213	一、漂白粉简介	230
二、电极和电解槽	213	二、漂白粉的生产	231
(一) 电极	213	(一) 漂白粉生产的化学反应	231
1. 阳极	213	(二) 漂白粉生产的工艺流程	231
2. 阴极	213	第六章 氯碱防腐及安全知识	233
3. 多孔电催化性膜电极(SPE)	213	第一节 氯碱防腐	233
(二) 电解槽	214	一、氯碱生产中腐蚀的特点	233
1. 复极式离子膜电解槽	214	二、氯碱生产中的防腐	233
2. 单极式离子膜电解槽	215	(一) 选择合适的防腐材料	233
三、工艺流程	216	(二) 制作设备衬里	233
第四章 苛化法制烧碱	218	第二节 安全生产知识	234
一、苛化法制烧碱的化学反应	218	一、爆炸与电火花的防止	234
二、苛化法制烧碱工艺流程	218	(一) 降低氯中含氢	234
三、苛化石灰泥的回烧与回收	219	(二) 氢气系统防止着火爆炸	234
第五章 氯制品加工	221	(三) 防止电火花产生	234
第一节 液氯和盐酸	221	二、触电及防止	235
一、液氯	221	三、氯气中毒与防治	235
		四、铅中毒与防治	235
		五、汞中毒及防治	235
		六、烧碱灼伤的紧急救护	236

第三篇 其 它 碱

第一章 小苏打的生产	237	一、生产原理	240
第一节 概述	237	二、工艺流程	241
第二节 生产方法简介	237	三、有关计算	242
一、气液相碳化法	237	第三章 钾碱、亚硫酸氢钠、大苏打、	
二、气固相碳化法	238	泡花碱	243
第二章 硫化碱	239	第一节 钾碱	243
第一节 概述	239	一、概述	243
一、性质	239	二、生产方法简介	243
二、用途	239	三、包装、储运注意事项	245
三、主要原料及规格	239	第二节 亚硫酸氢钠	245
四、产品标准	239	第三节 大苏打	245
第二节 硫化碱生产方法简介	240	一、概述	245
一、煤粉还原法	240	二、生产方法简介	246
二、吸收法	240	第四节 泡花碱	247
三、硫化钡法	240	一、干法生产	247
第三节 煤粉还原法生产硫化碱	240	二、湿法生产	247

第一篇 纯 碱

第一章 绪 论

第一节 纯碱的性质和用途

一、纯碱的性质

纯碱即碳酸钠 (Na_2CO_3)，又称苏打或碱灰，是白色粉末或粒状物，比重 2.533，熔点 $845\sim 852^\circ\text{C}$ ，易溶于水并能与水生成几种水合物。工业产品纯度在 99% 左右（工业按 Na_2O 的含量表示，如 58% 纯碱含量即相当于含 58% 的 Na_2O ，换算成含 $\text{Na}_2\text{CO}_3\% = \text{Na}_2\text{O}\% \times 1.71 = 99.2\%$ ）。依颗粒大小、堆积密度的不同，可分为超轻质纯碱、轻质纯碱和重质纯碱等，其堆积密度范围如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 不同纯碱产品的堆积密度范围

品 种	堆积密度, t/m^3
超轻质纯碱	0.3~0.44
轻质纯碱	0.45~0.69
重质纯碱	0.8~1.1

(一) 溶解度

碳酸钠虽然易溶于水，但在比较低的温度下（即 35.4°C 时），具有最大溶解度，这是它的特殊性质。在此温度下，100 份水中可溶解 49.7 份碳酸钠，成为含有 33.2%（重量） Na_2CO_3 的溶液，温度高于 35.4°C 时，其溶解度下降。

(二) 溶解热

碳酸钠的水合物溶于水时，热效应不同，无水 and 一水碳酸钠溶于水时，放出热量，混合物温度升高。七水和十水碳酸钠溶于水时，吸收热量，混合物温度降低。其溶解热如表 1-1-2 所示。

(三) 生成水合物

碳酸钠与水作用，可生成三种水合物。温度在 35.4°C 或高于此温度，纯碱用化学当量水润湿可生成一水碳酸钠 ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)，其中含有 85.48% 的 Na_2CO_3 和 14.52% 的结晶水，加热时一水碳酸钠失去水分。当与饱和溶液接触及在 109°C 温度时，一水碳酸钠转变为 Na_2CO_3 。

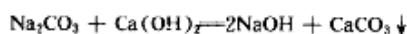
温度在 $32\sim 35.4^\circ\text{C}$ 间，纯碱与水作用可得七水碳酸钠 ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)，它含有 45.7% 的 Na_2CO_3 和 54.3% 的结晶水，因为它存在的温度范围窄，故没有工业研究价值。

三、纯碱的用途

纯碱是一种重要的化工产品，它的用途很广，主要用于冶金工业、化学工业、石油工业、轻工业、日用品工业、食品工业、医药和国防工业等。

(一) 制造烧碱

纯碱和烧碱同属碱类又均是钠的化合物，用纯碱可以制造烧碱，其化学反应为：



将 Na_2CO_3 溶于水，通入蒸汽，加入石灰乳，煮沸且搅拌之，一小时后，至少有 92% 以上的 Na_2CO_3 转化为烧碱（溶液）和碳酸钙沉淀。

(二) 生产肥皂

无论采用石灰皂法还是脂肪酸法生产肥皂，均要消耗较多量的纯碱，如生产每百斤石灰皂需用 21 斤左右纯碱。

(三) 制造玻璃

世界上纯碱产量约有 55% 用于玻璃工业，它是玻璃生产不可缺少且又十分重要的原料。纯碱与砂、石灰石经高温熔融可制造普通玻璃，如制瓶玻璃和平板玻璃。纯碱与砂和氧化铅高温熔融可制造光学仪器用贵重玻璃。玻璃生产中用纯碱，主要是作为溶剂以降低熔融温度，虽然它在玻璃产品中只占 13%，但生产成本却占 70% 左右。据统计，生产一吨平板玻璃需纯碱 200 公斤左右。

现代生产电视机显像管用玻璃需用重质纯碱，因它的堆积密度大，可减少生产中的粉尘对电气设备腐蚀和对人体的危害。

(四) 用于冶金工业

纯碱在冶金工业方面用量也很大，如炼一吨钢需纯碱 15~30 公斤，炼一吨铝约需纯碱 410 公斤，炼一吨硬质合金约需纯碱 1350 公斤，炼一吨钢锭模约需纯碱 1293 公斤。

(五) 用于化学工业和染料工业

名 称	纯碱用量, 公斤/吨	名 称	纯碱用量, 公斤/吨
环氧树脂 7-37	470	防老剂 MB	1340
硫化蓝	760	铬 黄	709
猩红基活性染料	986	合成洗涤剂	300

(六) 用于医药工业

名 称	纯碱用量, 公斤/吨	名 称	纯碱用量, 公斤/吨
磺胺嘧啶	1120	烟 酸	4560
金霉素	1140	四环素	25000
安乃近	1630	链霉素	21000

(七) 用于国防、造纸、纺织、食品及日用品工业

名 称	纯碱用量	名 称	纯碱用量	名 称	纯碱用量
T. N. T 炸药	47 公斤/吨	绢 绸	2.7 公斤/千米	自行车	97 公斤/千辆
牛皮纸	97 公斤/吨	绒衣裤	70 公斤/千打	热水瓶	200 公斤/千只
酱油	81.9 公斤/吨	袜 子	34 公斤/千打	罐 头	81 公斤/千听

纯碱除上述各种工业上的用途外，在石油精炼、食盐精制、水处理等方面用量也很大，称纯碱为“工业之母”确实言之不谬。

第二节 纯碱生产方法简介

十八世纪以前，碱的来源是依靠天然碱和草木灰。一七八七年法国人路布兰首先提出用工业方法制纯碱，即路布兰法。一八六一年比利时人苏尔维提出氨碱法制纯碱，即苏尔维法或称氨碱法。一九四二年我国侯德榜提出联合法制纯碱和氯化铵，即联碱法或称侯氏制碱法。

一、路布兰法

工艺流程示意图如下图所示。

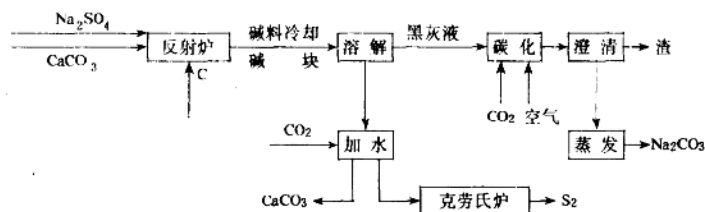
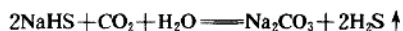
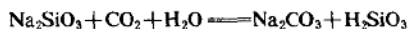


图 1-1-1 路布兰法生产纯碱流程图

该法的主要原料为芒硝 (Na_2SO_4) 100 份、石灰石 (CaCO_3) 100 份、煤 35.5 份。将三者混合研磨搅拌均匀后，置于反射炉（或回转炉）内加热至 $950\sim 1000^\circ\text{C}$ ，间歇操作，所发生的化学反应为：



将在反射炉中熔化的碱料倾入模中冷却，冷却后的碱料块子打碎放在池中用水溶解之。 Na_2CO_3 溶于水，其溶液称为黑灰液。反应生成的硫化钙和未反应完的碳酸钙和其它杂质不溶于水，在溶解池底部沉淀，称为黑灰渣。将黑灰液和黑灰渣分离，黑灰液送入碳化设备，向其中通入二氧化碳气和空气，溶液内少量的 NaOH 与 CO_2 反应变成 Na_2CO_3 。此外，溶液中的偏铝酸钠 (NaAlO_2)、硅酸钠 (Na_2SiO_3)、氢硫化钠等与二氧化碳作用发生分解反应，生成 Na_2CO_3 和硫化氢等，反应式如下：

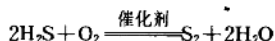


澄清后的 Na_2CO_3 溶液再经蒸发烘干可得纯碱产品。

黑灰渣送入加水槽中加水，在压力下通入二氧化碳气体，其中的 CaS 分解生成 CaCO_3 和 H_2S ，反应式为：



反应生成的 H_2S 移出与理论当量空气混合，在克劳氏炉中燃烧，用氧化铁（或铝土、铁铝氧化物）作催化剂，即可得纯硫，反应式如下：



纯硫可作为生产硫酸的原料。

在不产天然芒硝的国家，则需先用硫酸处理食盐制成芒硝，反应式为：



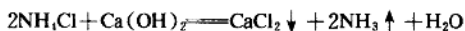
放出的氯化氢气体，用水洗涤回收制成盐酸为副产品。

路布兰法具有不连续、成本高、产品质量差等缺点，逐渐不能满足工业发展的需要，现已被淘汰。但对当时化学工业的发展有一定的促进作用，如用硫酸和食盐制取芒硝，硫酸为间接原料，采用路布兰法制纯碱，必然促使硫酸工业有较快地发展。盐酸又是生产芒硝的副产品，相应也得到发展。另外，与路布兰法相关的各种设备相继产生成为化学工业发展的重要里程碑。

二、氨碱法

一八六三年比利时人索尔维以食盐、石灰石为原料，氨为中间辅助原料，在比利时古耶建厂，一八六五年开工。不断地克服困难，逐步改良，扩充设备，于一八七二年日产量达十吨纯碱。从此，氨碱法宣告成功，世界其它各国相继建厂。

氨碱法生产纯碱先由原盐溶于水制成盐水，盐水经精制、吸氨、碳化、过滤结晶、煅烧等工序制得纯碱。过滤分离出碳酸氢钠结晶后的母液加入石灰乳，使其中氨蒸出，回收循环使用。该法主要化学反应式为：



氨碱法具有原料来源方便，生产连续、成本低、产量大等优点，但本身尚有四大缺点：

1. 原材料利用率低，如食盐利用率一般只有 70% 左右，其中只有钠被利用，全部氯和其余的食盐均未被利用。石灰石中全部钙未被利用。蒸氨中生成的氯化钙没有出路，造成大量堆积成为“白海之患”，在海滨建厂，则又将之排入大海，堵塞海道，内陆地区受此害限制，不能建厂；

2. 热能损失大，如蒸氨需用大量蒸汽，蒸氨后这些蒸汽大部分随废液排出，很难回收利用，因此燃料的消耗很大；

3. 设备高大笨重，钢铁用量大，投资也大；

4. 流程复杂，工序繁多。

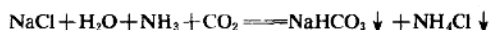
三、联合法制纯碱和氯化铵

鉴于氨碱法的缺点，有人提出纯碱厂与合成氨厂联合，使上法反应中生成的氯化铵母

液变成固体氯化铵肥料，采用联合法制纯碱和氯化铵。世界上研究的人很多，其中最完善的是我国侯德榜先生发明的侯氏制碱法。

侯德榜先生是著名的科学家，我国化学工业的奠基人之一，是世界上纯碱工业的权威。侯老一八九〇年生于福建省闽侯县凤尾坡村。早年留学美国，一九二二年应范旭东先生之聘，回国任天津塘沽永利碱厂技师长（即总工程师）兼制造部长。侯老深入车间，和工人、技术人员一起，苦钻苦干四、五年，制出“红三角”牌优质纯碱出口国外，得巴拿马国际工业博览会金质奖章，并在美国建国一百五十周年举办的国际博览会上获奖，红三角牌纯碱，声誉至今不衰。一九三八年选定川西岷江边五通桥为厂址，建设永利川厂，开始了联合制碱法的研究。侯老亲自确定试验条件、指导试验，终于取得了准确的结果，于一九四三年三月十六日在永利川厂厂务会议上正式命名联碱法为侯氏制碱法。该法一九五七年在大连碱厂建设大型联碱车间，一九六一年投入试生产，一九六四年国家科委对此通过技术鉴定，认为联合制碱这一成果可以推广全国。

该法的总反应式可表示如下：



以食盐、氨、二氧化碳为原料，经过两个生产过程，分别获得重碱和氯化铵，重碱再经煅烧得纯碱。

联合制碱法与氨碱法比较，有下述优点：原料利用率高，其中食盐利用率可达90%以上；不需石灰石及焦炭，节约了原料、能量及运输等的消耗，使纯碱和氯化铵产品成本大幅度下降；纯碱部分不需要蒸氨塔、石灰窑、化灰机等笨重设备，缩短了流程，建厂投资可节省四分之一；无大量废液、废渣排放，为在内地建厂创造了条件。

该法的缺点主要是：碱厂和氨厂联合生产，氯化铵产量供大于求。

四、用天然碱加工制纯碱

天然碱系指矿物碱，其中含有不定比率的碳酸氢钠、硫酸钠、氯化钠及微量有机物。天然碱在地面上分布极广，常见的有：结晶体。 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ，即“天然碱石”；粉状体，类似晶碱，表面的风化物多半是 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ；针状晶体，象倍半碳酸钠（ $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ），埃及、墨西哥等地产此碱；碱卤液体，含有碳酸钠、硫酸钠、氯化钠，并混有其它盐类的溶液。天然碱的积层，多发现于雨量稀少而气候干燥的低谷中，它的形成可有以下几种情况：

1. 由含钠盐的岩土，在自然条件下分解被水浸溶形成积层；
2. 因火山爆发，火山灰溶于水而形成碱卤；
3. 硅酸钠受空气中二氧化碳的作用而成为碳酸钠并放出硅酸；
4. 硫酸钠溶液受有机物（如小藻类）的作用还原为硫化钠，再与空气中二氧化碳作用，生成碳酸钠、硫磺，放出硫化氢；
5. 氯化钠或硫酸钠与石灰石相接触，石灰石与空气中的二氧化碳先化合生成碳酸氢钙 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ，碳酸氢钙再与氯化钠（或硫酸钠）逐渐进行复分解反应，生成碳酸氢钠和氯化钙（或硫酸钙）。碳酸氢钠分解成碳酸钠。匈牙利的天然碱、我国吉林省的碱淖等，都含有单斜钠碱（ $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ），即是如此构成。

我国天然碱的组成列于表1-1-3中。

天然碱经加工精制，可得纯碱或烧碱（苛化法），品位纯净的天然碱也可直接使用。