

CHUNJIAN GONGXUE

纯碱工学

第二版

大连化工研究设计院 主编



化学工业出版社

纯碱工学

第二版

大连化工研究设计院 主编

化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

纯碱工学/大连化工研究设计院主编. —2 版. —北
京: 化学工业出版社, 2003. 12
ISBN 7-5025-5088-7

I. 纯… II. 大… III. 纯碱生产-概况 IV. TQ114.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 125424 号

纯 碱 工 学

第二版

大连化工研究设计院 主编
责任编辑: 叶铁林 麻雪丽
文字编辑: 颜克俭 管景岩
责任校对: 顾淑云
封面设计: 潘 峰
封面题字: 叶铁林

*

化学工业出版社出版发行
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 57 $\frac{1}{4}$ 字数 1607 千字

2004 年 4 月第 2 版 2004 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5088-7/TQ·1889

定 价: 143.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

第二版序言

(第一版序言代)

化学工业在现代工业体系中占有非常重要的地位，而制碱工业又是化学工业的基础部门之一，其产品纯碱是重要的基本化工原料，与钢铁、有色金属冶炼等重工业和造纸、玻璃、纺织、食品等轻工业部门以及科学文化事业、人民生活均有十分密切的关系，在国民经济中地位显著。

纯碱工业是我国创建最早的化学工业，在基础研究、工业技术、生产规模等方面均有雄厚的基础。近十年来的发展尤为可观，生产能力和产量均在世界各国中名列前茅。纯碱工业的不断发展带动了化学工业的发展，也为化学工业乃至其他科技领域培养了大批工程技术人才。

侯德榜博士是我国化学工业的奠基人和纯碱工业的创始人。他发明的“侯氏制碱法”使合成氨和制碱两大生产体系有机地结合起来，在人类化学工业史上写下了光辉的一页。在学术界也获得了相当高的评价。

侯老是继路布兰 (Leblanc)、索尔维 (Solvay) 之后世界著名的制碱专家。他学识渊博，不仅在化工技术方面才华出众，而且对基础化学研究也有较深的造诣。在这之前，制碱技术一直为少数人所垄断，处于绝对保密阶段。侯老以他渊博的知识、扎实的基础、过人的才智，把化学工业的基础理论和工程技术巧妙地融合在一起，经过艰辛的努力，发明了具有国际先进水平的“侯氏制碱法”，并将全部心血公布于众，一举打破了制碱技术的垄断局面，表现了一个科学家为科学事业、为全人类无私奉献的高尚情操。他在 1932 年发表的英文版专著《Manufacture of Soda》(《纯碱制造》，美国化学专著丛书)，是世界上公认最早的制碱权威著作，多次再版并译成其他文本广为流传。1959 年，他的中文版新作《制碱工学》出版，成为迄今为止的大型制碱专著。

在合成氨工艺的设计上，再一次显示了侯老渊博、扎实的知识功底和丰富的实践经验，他不是简单地从国外引进整套的技术设备，而是博采众家之长，亲自动手，精心设计，呕心沥血，独具匠心，不仅使工艺设计达到最先进水平，而且投资成本也大大降低。

侯老不仅仅是一个杰出的科学家和工程技术专家，还是一个乐于关心、帮助青年后代的好老师和品德高尚、令人敬佩的爱国企业家。抗战胜利的前一年，我急于想回到阔别多年的祖国，为振兴祖国的科技、教育事业贡献力量，为此，我给素未识荆的侯老写了一封信，希望得到他的指点和帮助。没想到他很快地就约见了，给予我极大的帮助和鼓励，这件事使我终身难忘。

20 世纪 60 年代初，在福州大学和中国科学院福建物质结构研究所创建初期，侯老不顾当时当地恶劣的经济环境和生活条件，欣然应邀前来指导工作，他这种乐于奉献、不求索取的献身精神至今仍然铭记在我们的心中。

侯老数十年如一日地从事科学技术活动，将自己的毕生精力都献给了科技事业，他一生

刻苦钻研、勇于探索、勇于开拓，为科学技术的发展做出了巨大贡献。

在侯老诞辰 100 周年之际，为了纪念这位科学巨匠，缅怀和继承他的业绩，我国部分制碱专家通力合作撰著了《纯碱工学》这部大型工学著作，全面、系统地讲述了纯碱及其关联产品的生产原理、技术理论、工艺过程、设备及工程方面的有关内容，反映了我国纯碱工业的技术水平，是目前国内外同类书中内容较为丰富、具有较高学术水平和实用价值的大型工学专著。这部大型著作的出版对推动纯碱工业的发展一定会产生积极作用，对其他基础工业和新技术、高技术产业的发展也会起到推动作用。同时，相信对其他专业大型工学著作的撰著出版也将产生积极影响。

《纯碱工学》全体撰著者邀我作序，作为侯老的晚辈和学生，出于对他的崇敬和钦佩之情，我欣然命笔，写下了以上的话，意在纪念这位化学化工界老前辈诞辰 100 周年，弘扬他的业绩，学习他一生奉献的精神。同时，也与科技界的同行们共勉，让我们以侯老为榜样，面向四化，面向世界，面向未来，立足改革，立足竞争，立足创新。为促进我国的社会主义现代化建设，为人类进步和科学技术的发展贡献力量！

盧嘉錫

1990 年 3 月于中国科学院

第二版前言

我国纯碱工业在化学工业中历史最久，生产技术、理论研究、生产能力、工程设计和施工及装备制造均有雄厚基础，在世界各国中名列前茅。我国已故科学家侯德榜 1932 年发表的英文版专著《Manufacture of Soda》（《纯碱制造》），是世界最早的制碱专著，是当时世界公认的权威著作。此书多次再版并被译成多种文字的版本，在世界各国广为流传，影响深远。为纪念侯德榜诞辰 100 周年，继承他的业绩，我们集中了全国部分专家新编了《纯碱工学》，于 1990 年出版。该书出版后得到广大读者的好评，两次印刷，并获得了国家优秀科技图书奖和化学工业部科技进步奖。该书的出版对纯碱工业的发展和大型工学著作的编纂均有重要促进作用。为了适应十多年来科学技术的发展和保持我国在这一领域的优势，于 1996 年列入修订计划，2002 年开始在第一版的基础上进行全面修订。在 2004 年 8 月 26 日侯德榜逝世 30 周年之际，出版《纯碱工学》第二版，以此缅怀制碱工业的先驱侯德榜。

《纯碱工学》第二版，是在第一版的基础上补充了近十多年来科研、设计、生产以及天然碱资源勘测、加工、开采等方面的新成果和开发的新工艺、新产品、新设备、新理论，并有机地结合到有关章节。对陈旧内容适当删节，修订而成一部大型工学专著。以氨碱法、联合制碱法和天然碱加工法为主要生产体系。全书共分五篇 32 章，主要讲述生产原理、技术理论、工艺过程和控制、物料衡算、装置设备、原料材料、总图运输、供水供能以及其他有关工程方面的内容。另有附录、索引，共 160 余万字。本书二版修订者多属延聘一版作者，并聘请部分纯碱专家作为二版新作者加盟修订。作者代表广泛，有高等院校（如浙江大学、大连理工大学等）、设计研究院所（如大连化工研究设计院、中国成达化学工程公司、天辰化学工程公司等）、生产企业（如大连化工有限公司碱厂、天津碱厂、杭州龙山化工有限公司、内蒙古远兴天然碱股份有限公司等）的制碱专家，其中包括中国工程院院士、教授、高级工程师。在修订过程中全体新老作者通力合作，并力求理论联系实际，使读者得到从理论到实践的完整概念。反映纯碱工业在技术理论、工艺过程及控制、装置设备、工程设计、原料材料及天然碱开采和加工技术等方面的成果。并且反映了我国纯碱工业的特色和水平，具有较高的学术水平和实用价值，力求保持侯德榜首创世界第一部制碱专著的领先地位，成为我国常备保留的精品专著。然而，编写者在人才济济的纯碱行业中也只是微小的一部分，更限于编写人员的水平和撰著能力，书中有不妥和疏漏之处还望读者指正，以臻完善。倘蒙不吝珠玉，倾心赐教，深表谢意。

《纯碱工学》第二版出版过程中，得到了大连化工研究设计院、唐山三友集团有限公司、内蒙古伊科科技有限公司、天津碱厂、大连化工有限公司、杭州龙山化工有限公司、中国成达化学工程公司、湖北双环科技股份有限公司、内蒙古远兴天然碱股份有限公司等单位的大力支持，对此表示衷心感谢。

本书二版仍以卢嘉锡先生为一版所作之序为序言，以表对卢先生的怀念。对一版作者中已故的老专家也借此表示缅怀和敬意。

编 者

2003 年 8 月

目 录

第一篇 绪 论

第一章 纯碱工业概述	3	二、干法	42
第一节 纯碱工业的发展和现状	3	三、循环制碱法 (НИУИФ 法)	44
一、世界纯碱工业发展史	3	四、芒硝有机胺制碱	46
二、中国纯碱工业发展史	5	第四节 其他制碱方法	46
三、世界纯碱工业现状	9	一、钾钠矿盐生产纯碱及氮钾混肥	46
第二节 纯碱工业产品	16	二、有机胺制纯碱	48
一、纯碱	16	三、阿克苏法制纯碱	51
二、氯化铵	21	四、烧碱碳酸化法制纯碱	52
三、烧碱	22	五、日本新旭法制纯碱	52
四、小苏打	24	参考文献	55
五、氯化钙	26	第三章 制碱原料	57
六、碳酸氢铵	28	第一节 食盐	57
七、一水碳酸钠	29	一、食盐的性质	57
八、十水碳酸钠	29	二、资源	58
九、水玻璃	30	三、中国工业用盐标准	63
十、复混肥料	31	第二节 石灰石和二氧化碳	63
十一、过氧碳酸钠	32	一、石灰石	63
第三节 纯碱工业设备名称、符号及		二、二氧化碳	64
专用单位	33	第三节 氨	65
一、纯碱工业设备名称及国际符号	33	第四节 天然碱	65
二、中国纯碱工业规模的划分	35	一、天然碱的基本概念	65
三、纯碱工业专用单位及换算	35	二、天然碱矿物及矿石	66
参考文献	36	三、中国常见的几种天然碱矿石及产品	
第二章 纯碱生产方法	37	的俗称	68
第一节 概述	37	四、天然碱的伴生矿物	69
第二节 霞石制碱	37	五、天然碱矿物性质	69
一、霞石和霞石制碱过程	37	六、天然碱矿物资源分布	71
二、霞石加工产品	39	第五节 其他制碱原料	74
三、霞石制碱与氨碱法比较	40	一、芒硝	74
第三节 芒硝制碱	41	二、霞石	75
一、湿法 (ТИПХА 法)	41	参考文献	76

第二篇 氨碱法制碱

第四章 氨碱法制纯碱的理论基础	79	第二节 Na^+ 、 NH_4^+ // HCO_3^- 、 Cl^- 、 H_2O	
第一节 氨碱法生产纯碱的主要过程	79	体系相图分析	81

一、П. П. Федотьев 等人的工作	81	参考文献	120
二、 $\text{NaHCO}_3\text{-NH}_4\text{HCO}_3\text{-NH}_4\text{Cl}$ 三固相点的数据	85	第六章 盐水精制	121
三、 $\text{NaHCO}_3\text{-NH}_4\text{HCO}_3$ 二固相线的数据	86	第一节 盐水精制的目的及方法	121
四、 NaHCO_3 结晶区的数据	87	一、盐水精制的目的	121
第三节 生产过程条件的相图分析	87	二、精制盐水纯度的要求	121
一、不同温度的 P_1 母液对氨盐水浓度的要求	87	三、盐水精制方法	121
二、工业上所能达到的氨盐水浓度对碳酸化母液温度的要求	88	第二节 粗盐水的制备	122
三、冷却不足时,可提高 $\text{TNH}_3/\text{TCI}^-$ 比来提高钠利用率 U_{Na}	90	一、粗盐水的制备方法	122
四、氨盐水的最佳氨盐比	92	二、制备粗盐水的设备	122
五、盐水精制时生成的结合氨对钠利用率的影响	94	第三节 石灰-纯碱法精制盐水	123
参考文献	95	一、精制过程的原理	123
第五章 石灰石的煅烧和石灰的消化	96	二、工艺流程	124
第一节 石灰石煅烧和石灰消化的工艺过程原理	96	三、工艺控制条件	125
一、石灰石煅烧过程中的化学反应	96	四、石灰-纯碱法的优点	125
二、竖式石灰窑煅烧过程中区段的划分	98	第四节 石灰-碳酸铵法精制盐水	126
三、影响石灰窑生产能力的因素	99	一、精制原理	126
第二节 工艺流程及控制条件	102	二、工艺流程	127
一、工艺流程	102	三、工艺控制条件	128
二、控制条件	103	第五节 沉降原理及影响沉降的因素	128
第三节 石灰窑的工作指标及其计算	104	一、沉降原理	128
一、碳酸钙的分解率	104	二、影响沉降速度的因素	129
二、石灰窑的生产能力	105	第六节 盐水澄清设备和盐泥处理	130
三、窑气中二氧化碳含量	106	一、道尔式澄清桶	130
四、石灰窑热效率	106	二、斜板式澄清桶	130
五、石灰窑物料和热量衡算	106	三、斯堡丁式澄清桶	132
第四节 石灰窑	108	四、蜂窝式澄清桶	133
一、混烧竖窑构造的主要要求	108	五、其他澄清设备	133
二、石灰窑的主要结构	109	六、盐泥处理	133
第五节 石灰乳的制备	112	第七节 除钙塔	135
一、石灰的消化	112	一、除钙塔的作用	135
二、化灰机	114	二、除钙塔的主要结构	136
第六节 窑气的净化与冷却	116	三、除钙塔内吸收 NH_3 和 CO_2 情况	137
一、窑气成分及含尘量	116	四、除钙塔工艺计算举例	138
二、窑气的冷却与净化	116	五、除钙塔除钙热量衡算计算举例	142
三、填料式窑气洗涤塔	117	第八节 盐水精制过程中的结疤及处理	144
四、筛板式泡沫除尘器	117	一、结疤产生的原因	144
五、复合筛板洗涤塔	119	二、预防及消除结疤的措施	144
六、电除尘器	119	参考文献	145
		第七章 精制盐水的氨化	146
		第一节 盐水氨化过程的原理	146
		一、盐水氨化过程中的化学反应	146
		二、精制盐水氨化过程的吸收速度	147
		三、精制盐水氨化过程的汽液平衡	148
		四、精制盐水的氨化效应	149
		五、盐水氨化过程中的传质	150
		第二节 工艺流程和控制条件	150

一、吸氨流程的特点	150	一、转鼓(滤鼓)式真空过滤机	198
二、工艺流程	151	二、重碱离心分离与真空过滤的比较	206
三、工艺控制条件	153	三、真空装置及吹风装置	209
第三节 精制盐水氨化的设备	153	参考文献	215
一、概述	153	第十章 重碱的煅烧	216
二、吸氨塔结构的设计原则	154	第一节 重碱煅烧的物化基础	216
三、吸氨塔的结构	155	第二节 重碱煅烧的工艺流程	217
四、吸氨净氨器	156	一、炉气母液洗涤流程	219
五、吸氨冷却设备	156	二、返碱预混流程	219
六、氨盐水澄清桶及钛泵	158	三、热碱回收流程	219
第四节 精制盐水氨化过程的物热衡算	159	第三节 煅烧设备的演变及其结构	220
一、查定数据	159	一、煅烧设备的演变	220
二、物料衡算	160	二、外热式回转煅烧炉	220
三、热量和换热面积衡算(以 1t 碱计)	161	三、无返碱煅烧炉	223
参考文献	162	四、蒸汽煅烧炉	225
第八章 氨盐水碳酸化	163	五、自身返碱蒸汽煅烧炉	227
第一节 氨盐水碳酸化工艺过程原理	163	六、其他辅助设备	230
一、 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系的汽液平衡和 液相中各种组分的浓度分配	163	第四节 煅烧炉的操作控制	233
二、氨盐水的碳酸化动力学	166	一、出碱温度	233
三、 NaHCO_3 的结晶动力学	168	二、返碱量控制	233
第二节 氨盐水碳酸化的工艺流程、工艺 条件及操作控制	169	三、炉伸胀度	234
一、工艺流程	169	四、炉头压力	234
二、工艺条件	171	第五节 蒸汽煅烧炉物料和热量衡算 实例	234
三、操作控制要点	172	一、物料衡算	234
第三节 碳酸化塔的工作状况和操作 条件	174	二、热量衡算	236
一、各种参数的变化	174	第六节 工艺设计	240
二、结疤及清洗	176	第七节 重碱沸腾煅烧	240
三、硫化物在碳酸化过程中的作用 和变化	178	一、重碱沸腾煅烧工艺流程	241
第四节 碳酸化塔	181	二、重碱沸腾煅烧炉	241
一、索尔维碳酸化塔	181	三、重碱沸腾煅烧工艺控制	242
二、筛板式碳酸化塔	188	四、沸腾煅烧炉的特点、存在问题和 改进方向	242
三、复合筛板式碳酸化塔	189	第八节 凉碱装置	243
第五节 物料衡算和热量衡算	189	一、回转凉碱炉	244
一、物料衡算	189	二、流化床凉碱	245
二、热量衡算和冷却面积计算	192	第九节 重碱湿分解	246
参考文献	194	一、反应原理	246
第九章 重碱(粗碳酸氢钠)的过滤	195	二、重碱湿分解工艺流程	247
第一节 过滤工艺过程原理和流程	195	三、分解塔	248
一、概述	195	四、湿分解操作控制	249
二、过滤过程的理论基础	195	第十节 重质纯碱的制造	249
三、过滤工序的工艺流程	197	一、固相水合法	250
第二节 过滤机与真空装置	198	二、液相水合法	253
		三、水溶法	254
		四、挤压法	254

参考文献	266	第十二章 二氧化碳气的压缩	319
第十一章 母液和淡液蒸馏	268	第一节 二氧化碳气压缩过程原理	319
第一节 蒸氨过程的汽液平衡	268	一、等温压缩功的计算	319
一、 $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ 系统	269	二、绝热压缩功的计算	319
二、 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系统	269	第二节 压缩机的选择	320
第二节 母液蒸氨工艺流程	273	第三节 CO_2 离心式压缩机	321
一、典型的正压蒸馏流程	275	一、离心式压缩机的基本原理	321
二、真空蒸馏流程	275	二、离心式压缩机用于碱工业的 优越性	321
三、干石灰蒸馏流程	276	三、中国 CO_2 气离心压缩机	323
四、固体氯化铵蒸馏流程	279	四、60 万吨/年氨碱压缩流程及 压缩机选型	327
五、工艺技术评述	279	第四节 CO_2 螺杆压缩机	328
第三节 蒸氨设备	282	第五节 CO_2 活塞式压缩机	330
一、典型综合蒸氨塔	283	一、浓 CO_2 气制碱	330
二、不带冷凝器的蒸氨塔	285	二、变换气制碱增压机流程	332
三、改良型蒸氨塔	287	三、石灰窑 CO_2 气加压制碱流程	332
四、带机械搅拌装置的蒸氨塔	289	四、小型氨碱厂 CO_2 气压缩流程	332
五、筛板型蒸氨塔	290	五、活塞式压缩机的结构及选择	335
六、预灰桶	293	参考文献	335
第四节 蒸氨塔工艺计算	295	第十三章 纯碱生产过程的物料平衡 和能量平衡汇总	336
一、理论塔板	295	第一节 反应和反应热	336
二、塔体设计	298	第二节 氨碱法物料平衡与能量平衡汇 总表	337
三、泡罩设计	298	第三节 联碱法物料平衡图	344
四、溢流管设计	300	第四节 热力学考察	347
五、流体阻力计算	301	参考文献	348
第五节 母液蒸馏的操作控制	302	第十四章 苛化法制烧碱	349
一、蒸馏温度	302	第一节 苛化碱液的制备及固液分离	349
二、废液含 NH_3 和过剩灰	302	一、基本原理	349
三、操作负荷	303	二、苛化液的液固分离	351
四、停、开塔方法	303	三、工艺流程	352
五、扫塔方法	303	四、苛化过程的调节与控制	353
第六节 蒸氨塔物料和热量衡算	303	五、主要设备	354
一、物料衡算	303	第二节 烧碱液的蒸发及析出盐的分离	356
二、热量衡算	305	一、烧碱液的蒸发	356
第七节 蒸馏废液热量闪发回收	307	二、析出盐的分离	357
一、喷射法闪发回收流程	308	三、工艺流程	358
二、闪发器工艺计算	309	四、蒸发过程的调节与控制	359
三、蒸馏废液热量闪发回收操作	311	五、主要设备	360
第八节 淡液蒸馏	311	第三节 固体烧碱的生产	363
一、淡液蒸馏工艺流程	312	一、熔碱的精制	363
二、淡液蒸馏操作控制	313	二、工艺流程	366
三、淡液蒸氨塔设备	313	三、熔碱工艺指标和产品规格	367
第九节 蒸氨塔的结垢及其处理	316	四、熔碱锅	367
一、操作温度的影响	317		
二、晶态的影响	317		
三、过饱和值的影响	317		
参考文献	318		

五、安全、储存及运输	368	二、碳酸化塔	393
第四节 烧碱设备用材	368	三、分离、干燥设备	394
第五节 热量平衡	370	参考文献	394
一、苛化桶的热量平衡	371	第十六章 氨碱法生产过程的三废及其治理和综合利用	395
二、三效逆流蒸发装置的热量平衡	373	第一节 生产废弃物	395
三、升膜蒸发器的热量平衡	376	一、废液废渣	395
参考文献	377	二、废气和粉尘	395
第十五章 小苏打生产	378	第二节 氨碱厂生产过程的环境保护	396
第一节 小苏打生产原理	378	一、国外废液废渣排放概况	396
一、 $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ 体系的相平衡	378	二、国内碱厂废液废渣的合理排放	397
二、碳酸钠溶液碳酸化反应的研究	380	三、纯碱厂粉尘治理	399
第二节 小苏打生产工艺流程和工艺条件	382	第三节 废物综合利用生产化工产品	402
一、碳酸钠溶液的制备	382	一、废液制氯化钙和再制盐	402
二、碳酸化及其他工序的流程	384	二、废液晒盐	408
三、主要工艺条件	385	三、废液制淡盐水	409
第三节 小苏打生产的物料衡算与热量衡算	387	四、盐水一次泥制轻质碳酸镁	409
一、碳酸化塔的物料衡算和热量衡算	387	第四节 废物综合利用制建筑材料及其他制品	411
二、分离及化碱过程的物料衡算	389	一、废渣制水泥	412
三、干燥过程物料和热量衡算	390	二、废渣制胶凝材料及低温水泥	415
第四节 小苏打生产过程的主要设备	391	三、废渣制碳酸化砖	416
一、碳酸钠溶液制备设备	391	四、废渣制钙镁肥	419
		参考文献	422

第三篇 联合法生产纯碱和氯化铵

第十七章 联合法制纯碱的理论基础	427	参考文献	446
第一节 联合法制纯碱发展史	427	第十八章 原盐精制	447
第二节 联合法制纯碱相图分析	428	第一节 原盐精制方法	447
一、相图表示法	428	一、洗涤盐法	448
二、 $\text{Na}^+ \cdot \text{NH}_4^+ // \text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- \cdot \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 体系的溶解度数据及相图	429	二、再制盐法	452
第三节 生产流程	430	第二节 原盐精制主要设备	453
一、原则性生产流程	430	一、螺旋洗盐机	453
二、联合法流程的简化和各种流程的比较	433	二、球磨机	454
第四节 生产条件	437	三、分级器	455
一、制碱过程的生产条件	437	四、立洗桶	455
二、制氯化铵过程的生产条件	438	五、蒸发器	456
第五节 相图计算	439	第三节 原盐精制诸问题探讨	457
一、相图组成的计算	440	一、洗涤盐质量与产品质量关系	457
二、氨母液 I 冷析过程的计算	442	二、球磨机的转速	457
三、盐析过程的计算	443	三、球磨机钢球数量与级配	458
四、二次吸氨的计算	444	四、球磨机的生产率	459
五、碳酸化和重碱过滤的计算	445	五、球磨机的噪声	459
		六、分级器浮选速度的确定	459
		第四节 洗涤盐法物料衡算	460

一、依据	460	第一节 概述	523
二、平衡计算	461	第二节 工艺过程原理	525
参考文献	462	一、滤过母液脱氨	526
第十九章 联合制碱 I 过程——制碱		二、氯化钠与氯化铵的分离过程	528
过程	463	第三节 工艺流程和操作条件	538
第一节 I 过程原理	463	一、国外生产流程和操作条件	538
一、联合制碱循环过程概述	463	二、中国中间试验流程和操作条件	538
二、循环过程的机理	467	第四节 主要设备	542
第二节 I 过程的流程及工艺条件	470	一、脱氨塔	542
一、国内主要流程及其操作原理	470	二、蒸发器	543
二、联碱 I 过程的工艺条件	474	三、结晶器及外冷器、轴流泵	545
第三节 联碱 I 过程的主要设备	482	参考文献	546
一、吸氨设备	482	第二十二章 变换气制碱	548
二、碳酸化设备	486	第一节 变换气制碱原理	548
第四节 联碱 I 过程的综合工艺流程	490	一、引言	548
参考文献	492	二、变换气制碱原理	548
第二十章 联合制碱 II 过程——制铵	493	三、变换气制碱的特点	549
第一节 II 过程原理及工艺条件	493	第二节 变换气制碱流程和工艺条件	550
一、循环过程中氯化铵结晶原理	493	一、变换气制碱工艺流程	550
二、循环母液的冷再生与热交换	506	二、变换气制碱的工艺条件	551
三、稠厚、分离及晶浆洗涤	508	三、尾气净化流程及讨论	551
第二节 II 过程的主要设备	515	第三节 主要设备	552
一、结晶器	515	一、碳酸化塔	552
二、外冷器	519	二、尾气净化塔	553
三、母液换热器	519	第四节 变换气制碱技术的发展	553
四、推料式连续离心分离机	520	一、影响变换气制碱技术发展的因素	553
五、湿铵沸腾干燥设备	520	二、变换气制碱技术的发展	554
第三节 联碱 II 过程的工艺流程	522	三、变换气制碱节能分析	554
参考文献	522	四、变换气制碱的展望	556
第二十一章 热法生产氯化铵	523	参考文献	557

第四篇 天然碱的开采和加工

第二十三章 天然碱矿床的开采	561	第二十四章 天然碱加工	588
第一节 旱采	561	第一节 概述	588
一、露天开采	561	一、天然碱加工历史沿革	588
二、井巷开采	565	二、天然碱加工技术	589
第二节 溶解开采法原理	570	第二节 天然碱开采与碱液的制备	590
一、溶解开采法简介	570	一、天然碱开采	590
二、天然碱溶解开采的原理	571	二、溶碱	592
第三节 天然碱溶解开采工艺	578	三、碱液澄清	600
一、建井	578	四、碱液精制	604
二、建槽	581	第三节 天然碱加工制纯碱	606
三、采卤	581	一、倍半碱工艺	606
参考文献	587	二、一水碱工艺	613

三、碳酸化工艺	626	第五节 天然碱加工制烧碱	656
四、碳酸化-蒸发-苛化法联产纯碱、 元明粉(芒硝碱)和烧碱工艺	644	一、基本原理	656
五、天然碱制纯碱的其他加工方法	652	二、工艺流程	659
第四节 天然碱加工制小苏打	653	第六节 天然碱制泡花碱	660
一、以固体天然碱为原料碳酸化法制 小苏打	653	一、硅酸钠的性质和用途	660
二、溶采苏打石制小苏打	655	二、硅酸钠的生产方法和质量标准	661
		三、天然碱熔融法制硅酸钠	664
		参考文献	667

第五篇 公用设施与碱厂设计

第二十五章 纯碱厂的总图设计	671	第二节 冷却水	732
第一节 厂址选择	671	一、水量	732
一、引言	671	二、水源和净化	732
二、碱厂对厂址的要求	671	三、循环水	734
三、碱厂厂址的选择	671	四、冷冻水	737
第二节 碱厂的总体布置	672	五、循环水的化学处理	737
一、总平面布置的原则	672	第三节 锅炉给水	738
二、碱厂的组成	672	一、锅炉给水的水质	738
三、碱厂的总体布置	672	二、软化水和脱盐水系统的选择	739
第三节 纯碱厂总图布置实例	673	参考文献	741
参考文献	677	第二十八章 供能	742
第二十六章 粉体物料的储运	678	第一节 碱厂的能耗及节能	742
第一节 粉体物料	678	一、碱厂能耗	742
一、概述	678	二、碱厂能量的综合利用和节能	743
二、粉体原料的消耗定额	678	第二节 供热	743
三、纯碱物性	679	一、碱厂用汽的特点	743
四、粉体工学在纯碱生产中的地位	681	二、用汽负荷	744
第二节 原料的储运	683	三、蒸汽的多级利用	744
一、原料盐的储运系统	683	第三节 供电	744
二、石灰石储运系统	698	一、碱厂的用电特点	744
三、焦炭(白煤)储运系统	706	二、用电负荷	746
四、在制品的输送	706	第四节 碱厂热电站	746
第三节 成品的储运	708	一、碱厂对自备热电站的要求	746
一、纯碱的输送	708	二、碱厂蒸汽平衡	747
二、纯碱的筛分与粉碎	714	三、碱厂自备热电站规模的确定	747
三、纯碱的储存	715	参考文献	752
四、纯碱的包装	720	第二十九章 生产检验	753
五、纯碱的散运	728	第一节 生产检验控制指标	753
六、纯碱的装卸	729	一、氨碱生产控制指标	753
七、氯化铵的储运	730	二、联碱生产控制指标	760
参考文献	730	三、苛化法烧碱生产控制指标	764
第二十七章 供水	731	第二节 生产控制指标的分析与测定	766
第一节 工艺用水	731	一、氨碱生产的分析与测定	766
一、工艺用水的要求和来源	731	二、纯碱产品质量控制分析	774
二、工艺用水的需要量	732	附 食品添加剂用碳酸钠	780

三、联碱生产的分析与测定	781	六、电偶腐蚀	826
四、联碱（氯化铵）成品质量控制 分析	782	第四节 纯碱厂对腐蚀的防护	827
五、苛化法烧碱生产控制指标分析	789	一、耐蚀材料的试验与应用	827
六、烧碱成品质量控制分析	790	二、涂料防腐	838
附 食品添加剂用氢氧化钠	794	三、防腐覆盖层	843
参考文献	796	四、缓蚀剂及水处理	844
第三十章 生产过程检测与控制	797	五、电化学保护	847
第一节 概述	797	六、纯碱工业厂房建筑防腐	849
一、纯碱生产过程的特点	797	七、防腐保温	852
二、控制水平及仪表选型	797	第五节 纯碱工业防腐工作展望	852
第二节 检测与计量	798	参考文献	853
一、温度检测	798	第三十二章 碱厂生产安全技术	855
二、压力检测	798	第一节 碱厂安全卫生工作任务	855
三、流量计量检测	798	第二节 碱厂安全卫生和劳动保护	857
四、液面测量	800	一、有毒、有害物质	857
五、物料计量检测	801	二、粉尘污染	858
六、在线分析测量	801	三、噪声危害	858
七、控制（调节）阀	801	四、放射性危害	859
八、集散控制系统	802	五、火灾与爆炸危险	859
第三节 生产过程控制与调节	804	六、触电	861
一、盐水精制过程的自动控制	804	七、机械伤人	861
二、盐水氨化过程的自动控制	805	第三节 化学工业基本安全生产禁令	861
三、碳酸化过程的自动控制	805	一、生产区内十四个不准	862
四、重碱煅烧过程的自动控制	809	二、进入容器、设备的八个必须	862
五、蒸馏过程的自动控制	810	三、防止违章动火六大禁令	862
六、石灰石煅烧工序的自动控制	811	四、操作工的六个严格	862
七、滤过工序的自动控制	812	五、机动车辆七大禁令	863
第四节 生产过程控制优化	813	第四节 生产工序安全操作要点	863
参考文献	814	一、石灰工序	863
第三十一章 纯碱工业设备及厂房建筑 的腐蚀与防护	816	二、盐水精制工序	863
第一节 概述	816	三、盐水氨化工序	864
第二节 铸铁、碳素钢在碱厂各种溶液 中的腐蚀及影响因素	816	四、氨盐水碳酸化工序	864
一、铸铁自身存在的腐蚀潜在因素	816	五、重碱过滤工序	864
二、纯碱厂各种溶液的腐蚀性	817	六、重碱煅烧工序	864
三、各种溶液组分的腐蚀作用	817	七、氨的回收工序	865
四、氧的去极化腐蚀	820	八、压缩工序	865
五、流速对溶液腐蚀性的影响	822	九、洗盐工序	865
第三节 纯碱厂腐蚀破坏类型	822	十、制冷工序	865
一、均匀腐蚀	822	十一、氯化铵结晶工序	866
二、石墨化腐蚀	822	十二、氯化铵干燥工序	866
三、磨损腐蚀	823	十三、包装工序	866
四、孔蚀	824	十四、苛化烧碱工序	867
五、缝隙腐蚀	826	第五节 检修安全技术	867
		一、设备检修管理制度	867
		二、动火安全	868
		三、化工设备施工安全	869

四、起吊安全	869	附录 3 饱和水蒸气的蒸汽压	878
五、高空作业安全	870	附录 4 饱和湿空气的性质	878
六、滑轮与卷扬机操作安全	870	附录 5 18℃时 NaOH 在水中的溶解热	879
七、电气检修安全	870	附录 6 NaOH 水溶液的沸点	879
八、溶解乙炔气瓶使用安全	870	附录 7 NaOH 和 Na ₂ CO ₃ 的共同 溶解度	880
第六节 危险物品管理	871	附录 8 NaOH 和 Na ₂ CO ₃ 的共同 溶解度	880
一、范围与分类	871	附录 9 NaOH 溶液脱水时所得到的 蒸汽热焓	880
二、装卸运输	872	附录 10 中华人民共和国法定计量单位	881
三、储存保管	872	附录 11 常用国际单位制 (SI) 单位 量纲和俄文代号	883
四、使用	872	附录 12 中国部分纯碱工业企业介绍	885
五、报废处理	873	索引	891
参考文献	873		
附录	874		
附录 1 NaCl 在 NH ₃ -H ₂ O 中的溶解度	874		
附录 2 Na ⁺ 、NH ₄ ⁺ //HCO ₃ ⁻ 、Cl ⁻ 、NH ₃ 、 H ₂ O 体系的溶解度数据	875		

第一篇 绪论

纯碱即碳酸钠，英文为 natron，也称 soda，中国译称苏打。从化学理论分析，它不是“碱”而是无机“盐”，有关内容将在后面的相关章节中讲述。但是，由于它表现出许多碱的特性，在工业上惯称为碱。中国广泛称之为纯碱，是由于所制造的产品纯度极高，在最早的永利碱厂以此命名，沿用至今。

纯碱是基本化学工业中产量最大的产品，是用途十分广泛的基本工业原料。它的产量和用量标志着一个国家工业发达的程度。早在路布兰法兴起的时代，由于综合利用原料，不仅生产纯碱，而且还带动了生产硫酸、芒硝、硫代硫酸钠、苛性钠、盐酸、硫磺等化工产品的生产，形成了综合性生产的化学工业。也就是说，化学工业的兴起是始于路布兰法制纯碱。索尔维制碱法发明以后，由于规模大、连续性强，而且机械化程度高，设备大型化，使纯碱工业成为世界上发展最早的大型化学工业。由于纯碱生产过程包括的化工单元过程多、设备类型多、关联产品多，因而它的发展奠定了化学工业发展的基础，也促进了化学工业的发展。不论是世界许多其他国家，还是中国，其化学工业大都源于纯碱工业。纯碱工业的发展也造就了大批技术人才，在中国和许多其他国家中，纯碱工业部门向其他化学工业乃至其他技术领域输送了大量杰出的科技人员，他们为工业和科学技术事业的发展作出了贡献。

中国是世界上纯碱工业发展最早的国家之一。中国科学家侯德榜专著《Manufacture of Soda》（《纯碱制造》），是世界上最早公诸于世的制碱专著，在许多国家以多种文本出版，传播甚广，打破了当时制碱技术的垄断，促进了世界纯碱工业的发展。在侯德榜的主持下，中国建设了亚洲第一座纯碱厂，所生产的红三角牌纯碱在世界同类产品的评比中多次荣获大奖，一直保持着质量领先的地位，纯碱至今仍为中国名牌产品，行销全球。早在 1938 年，由侯德榜主持下，开始了改进索尔维制碱法的研究，1942 年获得成功，发明了比索尔维制碱法更为先进的制碱新工艺——“侯氏制碱”（Hou's Process），即联合制碱法。中国天然碱资源也很丰富，开发利用也有悠久历史。20 世纪 70 年代以后有长足发展，90 年代以后已成为纯碱工业中的一支重要力量，有广阔发展前途。2002 年中国纯碱产量已达 1000 万吨以上，2003 年达到 1128.04 万吨，在世界上已名列第一。中国纯碱工业在世界上一一直享有盛名，是纯碱生产能力和纯碱专著的影响共同打造并参与了很多国家纯碱工程建设和天然碱开发，为世界纯碱工业的发展做出了贡献。