

中国氯碱工业协会 组织编写

现代氯碱技术 》 手册



刘国桢 主编

Modern Chlor-alkali
Technical Manual



化学工业出版社

中国氯碱工业协会 组织编写

现代氯碱技术

手册



刘国桢 主编

Modern Chlor-alkali
Technical Manual



化学工业出版社

· 北京 ·

本书在概述食盐电解制烧碱、氯气和氢气的基本电化学理论、工艺和方法的基础上,重点介绍了当前离子膜电解工艺的相关技术和装置操作,涉及工艺过程中的盐水制备、电解、蒸发和固碱,氯氢处理,盐酸合成,纯水制备,整流变电,自控仪表和分析方法等内容,并对总图规划、环境保护和材料防腐做了有针对性的介绍。本书基本覆盖了离子膜电解制烧碱工艺设计生产的相关内容,反映了当代氯碱工业的基本情况和最新进展。

本书可供化工行业特别是氯碱领域的科技人员,以及相关院校化工类专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代氯碱技术手册/刘国桢主编;中国氯碱工业协会
组织编写. —北京:化学工业出版社,2018.8

ISBN 978-7-122-32232-6

I. ①现… II. ①刘… ②中… III. ①氯碱生产-生
产工艺-技术手册 IV. ①TQ114-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 112982 号

责任编辑:刘 军 张 艳
责任校对:宋 夏

文字编辑:孙凤英
装帧设计:王晓宇

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:三河市航远印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 38 1/4 字数 994 千字 2018 年 9 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:198.00 元

版权所有 违者必究

本书编辑委员会

主 任：罗 云

副主任：孙绍刚 徐荣一 张文雷

编 委：罗 云 孙绍刚 徐荣一 张文雷 张 鑫

李素改 刘国桢 孟祥龙 邢 军 刘东升

邵 华 范红波 王 雪

本书编写人员名单

主 编：刘国桢

副主编：李素改 薛卫东 张英民 张佳兴

编写人员（按姓名汉语拼音排序）：

曹宝刚	陈沛云	程 鹏	丁晓玲	董文虎	高自宏
高自建	顾金中	郭成军	郭海军	郭建岭	郝祥忠
黄海涛	黄华军	康建忠	郎需霞	李淑华	李素改
廖秀华	林 琳	刘国桢	刘立初	刘秀明	罗圣君
马进平	孟祥龙	倪留生	秦圣祥	任运奎	苏克勤
苏晓妹	孙广军	孙玉堂	唐必勇	王 平	王 强
王丹灏	王鸿东	王伟红	王学军	王永升	王战峰
王志明	魏国强	吴 彬	吴恒喜	吴政高	席引尚
夏碧波	肖祥远	徐华安	薛卫东	阎锁岐	杨振伟
叶乃义	于 军	于现军	袁建华	岳 群	曾宇峰
詹建锋	张 鑫	张定明	张佳兴	张良虎	张英民
张永明	章斯琪	赵兵兵	赵永禄	郑平友	钟汨江
周延红	周勇安				

I 前言 I

本书是由中国氯碱工业协会组织、行业内多位知名专家编写、汇集的氯碱行业新技术、新工艺、新装备的专业技术书籍，体现了当代氯碱工业技术的发展现状和发展历史。

本书根据行业多年的实践经验和理论研究成果，涵盖了国内外氯碱技术及与之相关的、较为全面的生产工艺技术及装备，为更加全面掌握现代氯碱生产技术提供了翔实的基础资料。全书包括氯碱工业综述、盐水系统、隔膜法电解及烧碱蒸发系统、离子膜、离子膜电解原理、离子膜电解槽、淡盐水脱氯系统、盐水硫酸根脱除系统、离子膜法碱蒸发和固碱、氯氢处理系统、氯化氢合成和纯酸系统、液氯和三氯化氮处理、纯水制备、整流变电系统、仪表控制和信息化系统、环保安全节能和总图、设备腐蚀与防护、氯碱分析共十八章。为体现氯碱工业的全面状况和为高含盐废水环保装置提供指导，本书保留了隔膜法电解和蒸发的章节。

由于行业技术发展迅速，本书编写时间跨度大，许多内容经由多名专家编写并经过多次补充修改完善，最终成稿。

书稿全部编写完成后，由刘国桢收集整理，由刘国桢、李素改、郎需霞、唐必勇完成第一次校核，由张鑫、李素改、杨振伟、王学军、刘秀明、袁建华、刘国桢、薛卫东、张佳兴、郎需霞、王永升、程鹏、郭海军共同完成第二次校核，最后根据定稿会意见，再次修改补充后定稿。

编校人员分工情况：第1章由张鑫编写；第2章由刘立初组织编写，杨振伟修改补充；第3章由夏碧波组织编写，李素改修改完善；第4章由张永明、高自宏组织编写，王学军修改补充；第5章由吴彬组织编写，袁建华补充修改；第6章由康建忠组织编写，刘秀明补充修改；第7章由张英民、郎需霞编写，刘国桢修改完善；第8章由唐必勇编写，袁建华补充修改；第9章由薛卫东编写；第10章由王鸿东组织编写，张佳兴补充修改；第11章由郎需霞编写，张佳兴补充修改；第12章由王平组织编写，孙广军修改，郎需霞补充修改；第13章由王强组织编写，郎需霞补充修改；第14章由廖秀华组织编写，王永升修改完善；第15章由王军组织编写；第16章由曾宇峰组织编写；第17章由程鹏组织编写；第15章、第16章、第17章由程鹏、李淑华等补充修改并完善；第18章由任运奎组织编写，倪留生修改。全书图例由郎需霞组织、青岛海湾集团有限公司工程设计院绘制。全书策划、统校及修改由刘国桢、李素改完成，孟祥龙整理。

本书虽经编写、审校多次讨论、修改，力求在内容上更加严谨准确，更加符合现代氯碱发展的需要，随着技术的发展进步，仍然会存在不足，希望给读者提供有益的帮助和参考。

编者

2018年5月30日

I 目 录 I

1 氯碱工业综述	001
1.1 氯碱工业基本情况	001
1.2 基本氯碱产品及性质	002
1.2.1 烧碱的性质与应用	002
1.2.2 氯的性质与应用	002
1.2.3 氢的性质与应用	003
1.3 中国氯碱工业发展现状	004
1.3.1 烧碱产能和产量概况	004
1.3.2 行业布局概况	004
1.3.3 行业集中度概况	005
1.3.4 中国氯碱工业发展特点	005
1.4 氯碱工业的生产技术	006
1.4.1 氯碱早期生产方法	006
1.4.2 氯碱电解方法发展简述	006
1.4.3 中国氯碱生产方法和技术	007
参考文献	008
2 盐水系统	009
2.1 氯化钠及氯化钠水溶液	009
2.1.1 固体氯化钠的性质	009
2.1.2 氯化钠水溶液的性质	009
2.1.3 盐的种类和生产	010
2.1.4 原盐的运输和储存	013
2.2 饱和盐水的制备	015
2.2.1 盐水的制备过程	015
2.2.2 化盐工艺	015
2.2.3 化盐的工艺控制	016
2.2.4 化盐设备	017
2.3 盐水精制的原理	019
2.3.1 盐水精制的目的	019
2.3.2 盐水精制分类	019
2.3.3 盐水中的杂质对电解生产的影响	019
2.3.4 盐水中各杂质去除原理	023
2.3.5 固液分离精制分类	027
2.3.6 固液分离精制的工艺方法	028
2.4 传统固液分离精制	029

2.4.1	传统固液分离精制工艺流程简述	029
2.4.2	一次盐水控制指标	030
2.4.3	一次盐水精制的工艺控制	030
2.4.4	传统的盐水固液分离	032
2.5	高分子膜盐水精制工艺	047
2.5.1	高分子膜盐水精制工艺概述	047
2.5.2	几种典型的膜法盐水精制工艺	049
2.5.3	膜法过滤工艺异常情况	055
2.6	陶瓷膜过滤精制	057
2.6.1	陶瓷膜精制工艺原理	057
2.6.2	陶瓷膜工艺流程概述	058
2.6.3	陶瓷膜盐水精制工艺的特点	058
2.6.4	陶瓷膜盐水精制工艺的注意事项	059
2.6.5	工艺及操作控制指标	060
2.6.6	陶瓷膜的结构	060
2.6.7	陶瓷膜过滤器选型原则	062
2.6.8	陶瓷膜过滤器开停车程序	062
2.6.9	陶瓷膜操作要点	064
2.6.10	主要故障处理	065
2.7	HW 盐水精制工艺	067
2.7.1	HW 盐水精制工艺简介	067
2.7.2	HW 盐水精制的流程原理	067
2.7.3	HW 工艺特点	067
2.7.4	HW 工艺操作注意事项	068
2.8	盐泥的洗涤、过滤和利用	069
2.8.1	盐泥的洗涤	069
2.8.2	盐泥的过滤	069
2.8.3	盐泥的回收利用	070
2.9	盐水的二次精制	070
2.9.1	盐水的二次精制的目的	070
2.9.2	二次精制原理	071
2.9.3	螯合树脂	071
2.9.4	盐水二次精制工艺	074
2.9.5	盐水二次精制的正常操作	077
2.9.6	盐水二次精制的正常开车程序	081
2.9.7	盐水二次精制的正常停车程序	081
2.9.8	树脂塔的结构	081
2.9.9	树脂塔操作过程中异常情况处理	083
2.9.10	螯合树脂的交换能力	084
2.10	盐水工艺技术对比	085
2.10.1	盐水化盐工艺技术	085
2.10.2	固液分离精制工艺对比	086
2.10.3	离子交换精制工艺对比	086

参考文献 087

3 隔膜法电解及烧碱蒸发系统 088

3.1 隔膜法电解 088

3.1.1 隔膜法电解概述 088

3.1.2 改性隔膜技术 090

3.1.3 活性阴极技术 091

3.1.4 扩张阳极+ 改性膜电槽技术 092

3.1.5 隔膜电解系统工艺流程 093

3.2 隔膜法烧碱蒸发 095

3.2.1 隔膜法烧碱蒸发概述 095

3.2.2 烧碱蒸发原理、 操作条件及影响因素 095

3.2.3 三效顺流蒸发工艺流程 098

3.2.4 三效四体顺流蒸发工艺流程 100

3.2.5 三效逆流蒸发工艺 103

参考文献 104

4 离子膜 105

4.1 离子膜概况 105

4.1.1 离子交换膜的定义、 结构和分类 105

4.1.2 离子交换膜发展的历史 105

4.1.3 氯碱离子膜的发展和现状 106

4.2 氯碱离子膜结构、 工作原理及性能 109

4.2.1 氯碱离子膜的结构 109

4.2.2 氯碱离子膜的工作原理 112

4.2.3 氯碱离子膜的性能及测试方法 114

4.3 氯碱离子交换膜的设计和操作要求 121

4.3.1 离子膜设计时考虑的因素 121

4.3.2 氯碱离子膜操作要求 123

4.4 离子膜实际使用规范 132

4.4.1 科慕公司离子膜使用规范 132

4.4.2 旭硝子系列离子膜使用规范 133

4.4.3 旭化成系列离子膜使用规范 134

4.5 国产氯碱离子膜的研发 134

4.5.1 国产氯碱离子膜的发展和现状 134

4.5.2 国产氯碱离子膜的结构、 组成 135

4.6 氯碱离子膜研发发展和未来发展改进空间 143

4.6.1 提高离子膜抗杂质污染能力 144

4.6.2 提高安全经济运行碱浓度 144

4.6.3 提高离子膜安全经济寿命 144

参考文献 146

5.1	离子膜电解方法概述	148
5.2	离子膜电解	148
5.2.1	离子膜电解原理	148
5.2.2	食盐水电解过程反应热力学	149
5.2.3	平衡电极电位	151
5.2.4	离子膜电解槽主要化学反应	153
5.2.5	氧阴极电解技术	154
5.3	离子膜电解物料平衡	155
5.4	离子膜电解电流效率	158
5.4.1	电流及电流密度	158
5.4.2	电流效率	159
5.5	离子膜电解槽电压	161
5.5.1	槽电压的构成	161
5.5.2	影响槽电压的主要因素	162
5.6	离子膜电槽运行特性	163
5.7	电解电耗	164
5.7.1	电解电耗的计算	164
5.7.2	影响电解电耗的主要因素	164
5.8	复极式离子膜槽的电流泄漏	164
5.9	离子膜电解槽辅助系统	167
5.9.1	概述	167
5.9.2	膜密封系统	167
5.9.3	液体供应分配及循环系统	168
5.9.4	电槽的电流分布	169
5.9.5	气相压力控制	169
5.9.6	开停车及保护	170
5.10	离子膜电解槽的电极	170
5.10.1	电极电位和电极退化	170
5.10.2	电极种类	172
5.10.3	弹性阴极与膜极距	174
	参考文献	175

6.1	离子膜电解槽历史与现状	176
6.1.1	单极槽与复极槽	176
6.1.2	自然循环与强制循环	177
6.1.3	单元槽有效电解面积	177
6.1.4	极间距的不断减小	178
6.2	历史上的几种离子膜电解槽	178
6.2.1	单极式离子膜电解槽	178

6.2.2	复极式离子膜电解槽	181
6.3	现代离子膜电解槽系统	184
6.3.1	日本旭化成 NCH 型离子膜电解槽	184
6.3.2	蓝星北化机复极式自然循环离子膜电解槽	184
6.3.3	蒂森克虏伯伍迪氯工程离子膜电解槽	188
6.3.4	英力士 Bichlor 复极式电解槽	193
6.4	各电解槽参数比较	194
6.5	离子膜电解槽最新技术发展	194
6.5.1	膜极距离子膜电解槽	194
6.5.2	氧阴极离子膜电解槽	195
	参考文献	196

7 淡盐水脱氯系统

197

7.1	概述	197
7.1.1	游离氯的产生	197
7.1.2	游离氯的危害性及利用	199
7.1.3	盐水脱氯的方法	200
7.2	盐水脱氯原理	200
7.2.1	淡盐水中相关物质的化学性质	200
7.2.2	脱氯原理	201
7.2.3	脱氯工艺数据	203
7.3	盐水脱氯工艺方法	204
7.3.1	真空法脱氯	204
7.3.2	空气吹除法	209
7.3.3	化学法脱氯	211
7.4	氯酸盐分解	213
7.4.1	概述	213
7.4.2	消除氯酸盐的有效途径	214
7.4.3	氯酸盐分解原理	214
7.4.4	氯酸盐浓度控制方法	215
7.4.5	氯酸盐分解条件的确定	215
7.4.6	工艺流程及主要设备	217
7.4.7	操作要点及工艺控制指标	218
7.4.8	正常开停车	219
7.4.9	异常情况的原因及处理方法	219
7.5	蒸汽机械再压缩 (MVR) 淡盐水浓缩工艺	220
7.5.1	MVR 技术原理	220
7.5.2	MVR 的优势和特点	220
7.5.3	脱氯淡盐水的特征	221
7.5.4	淡盐水处理方案	221
7.5.5	MVR 淡盐水浓缩工艺过程	221
7.5.6	几种淡盐水处理全卤制碱工艺经济性对比	225
	参考文献	225

8.1 硫酸根的危害和脱除原理	226
8.1.1 硫酸根的性质与危害	226
8.1.2 硫酸根脱除原理和方法	226
8.2 氯化钡法脱除硫酸根	227
8.3 碳酸钡法脱除硫酸根	227
8.4 氯化钙法脱除硫酸根	228
8.5 冷冻法脱除硫酸根	229
8.6 膜法脱除硫酸根	229
8.6.1 膜法除硫酸根工艺	230
8.6.2 操作要点及注意事项	230
8.6.3 膜法与冷冻法结合工艺技术	231
8.6.4 膜法除硫酸根设计实例	232
8.6.5 膜法除硫酸根的工艺流程	232
8.7 各种硫酸根去除方法综合对比和能耗分析	235
8.7.1 各种除硫酸根方法综合对比	235
8.7.2 能耗分析	235
参考文献	236

9.1 离子膜法碱液蒸发原理与特点	237
9.1.1 离子膜法碱液蒸发原理	237
9.1.2 离子膜法电解碱液蒸发特性	239
9.2 离子膜法碱液蒸发工艺	245
9.2.1 升膜蒸发	245
9.2.2 降膜蒸发	250
9.3 蒸发效间换热和余热利用	256
9.3.1 中间换热	256
9.3.2 三效逆流工艺的蒸汽余热利用	256
9.4 离子膜法固碱生产原理与特点	257
9.4.1 原理	257
9.4.2 离子膜固碱蒸发生产方法	257
9.5 锅式蒸发固碱	258
9.5.1 锅式蒸发原理	258
9.5.2 工艺流程	259
9.5.3 工艺操作条件	259
9.5.4 主要消耗定额	260
9.5.5 正常操作及故障处理	260
9.6 连续降膜浓缩固碱	261
9.6.1 生产原理	261

9.6.2	工艺流程	262
9.6.3	主要工艺控制指标	263
9.6.4	常见故障处理	263
9.7	闪蒸浓缩	264
9.7.1	生产原理	264
9.7.2	工艺流程	264
9.8	载热熔盐和燃料	265
9.8.1	载热熔盐	265
9.8.2	燃料	267
9.8.3	载热盐工作原理	268
9.8.4	载热盐性能曲线	269
9.9	固碱成型工艺	270
9.9.1	桶碱	270
9.9.2	片碱	270
9.9.3	粒碱	271
9.10	固碱主要设备	273
9.10.1	最终浓缩器	273
9.10.2	闪蒸浓缩器	276
9.10.3	熔盐炉	276
9.10.4	片碱机	277
9.10.5	造粒装置	278
9.11	蒸发技术发展	279
9.11.1	低能耗	279
9.11.2	高可靠性	281
	参考文献	283

10 氯氢处理系统

284

10.1	氯气处理	284
10.1.1	概述	284
10.1.2	工艺原理	284
10.1.3	湿氯气的冷却	287
10.1.4	氯气干燥	289
10.1.5	稀硫酸的浓缩和循环利用	292
10.1.6	氯气压缩输送	293
10.1.7	氯气紧急处理系统	298
10.2	氢气处理	300
10.2.1	概述	300
10.2.2	物料性质	300
10.2.3	氢气的冷却	301
10.2.4	氢气压缩输送	303
10.2.5	氢气干燥	304
10.2.6	各工艺比较	305

10.2.7 氢气输送安全	305
参考文献	306

11 氯化氢合成和纯酸系统

307

11.1 概述	307
11.1.1 氯化氢性质、用途及在工业中的地位	308
11.1.2 工艺原理	311
11.1.3 氯化氢合成工艺现状及发展方向	313
11.2 生产工艺方法	314
11.2.1 三合一炉法	315
11.2.2 二合一炉法	321
11.2.3 铁合成炉及膜式吸收法	332
11.2.4 四合一合成炉法	338
11.2.5 盐酸脱吸法	342
11.2.6 副产蒸汽式合成炉	346
11.3 高纯酸	348
11.3.1 高纯酸的质量要求	348
11.3.2 高纯酸的生产工艺	348
11.3.3 高纯酸的储藏和输送	348
11.4 三合一合成炉的自动控制与仪表系统	349
11.4.1 自动控制方案选择	349
11.4.2 安全联锁	352
11.4.3 仪表选型和自动技术选择	353
11.4.4 合成氯化氢比值控制和比值计算	358
11.4.5 仪表安装和控制系统投运	366
11.4.6 氯气、氢气自动配比应用	366
参考文献	369

12 液氯和三氯化氮处理

370

12.1 概述	370
12.1.1 液氯生产的基本原理	370
12.1.2 温度和压力的关系	370
12.1.3 液化效率和传热	370
12.2 液氯生产工艺	372
12.2.1 低压法工艺	372
12.2.2 中压法工艺	373
12.2.3 高压法工艺	374
12.2.4 工艺评述	375
12.3 液氯蒸发	375
12.3.1 概述	375
12.3.2 釜式蒸发器	377

12.3.3	盘管式蒸发器	377
12.3.4	列管式蒸发器	378
12.3.5	缓冲分离罐操作	378
12.4	液氯尾气和三氯化氮的处理	379
12.4.1	三氯化氮的产生和危害	379
12.4.2	防止三氯化氮的累积	380
12.4.3	三氯化氮的处理	382
12.4.4	液氯尾气的处理和次氯酸钠	382
12.5	液氯的输送、包装和储存	382
12.5.1	液氯的运输	382
12.5.2	液氯的包装	384
12.5.3	液氯的计量	387
12.5.4	液氯的储运	388
12.6	液氯生产的安全	389
12.6.1	生产控制方法	389
12.6.2	液氯充装	390
12.6.3	液氯钢瓶的储运	391
12.6.4	液氯槽车的储运	392
	参考文献	393

13 纯水制备

395

13.1	概述	395
13.2	纯水标准	396
13.3	原料水预处理	396
13.3.1	概述	396
13.3.2	机械杂质去除	397
13.3.3	结垢控制	397
13.4	纯水制备工艺	401
13.4.1	离子交换工艺	401
13.4.2	电渗析工艺	403
13.4.3	反渗透工艺	405
13.5	纯水制备设备	406
13.5.1	阴阳离子交换塔	406
13.5.2	电渗析器	414
13.5.3	反渗透器	415
13.6	纯水制备工艺评述	415
13.6.1	离子交换工艺	415
13.6.2	电渗析工艺	416
13.6.3	反渗透工艺	416
13.6.4	组合工艺	416
	参考文献	417

14.1 总述	418
14.1.1 氯碱工艺对整流供电的技术要求	418
14.1.2 氯碱整流技术的发展和现状	419
14.1.3 氯碱企业的供电电压等级和系统接线方案	421
14.1.4 氯碱生产电负荷用电特点	423
14.1.5 氯碱整流技术指标与电解工艺条件参数的关系	423
14.2 氯碱整流电路与整流设备	425
14.2.1 常用整流电路连接形式	425
14.2.2 整流系统的主要设备	426
14.2.3 整流变压器的技术特征	427
14.2.4 电化用硅整流器	428
14.2.5 电解槽的极化整流器	429
14.2.6 整流装置的监控系统	430
14.3 氯碱整流装置的设计选型	433
14.3.1 装置的类别和结构形式	433
14.3.2 装置基本电气参数设计	434
14.3.3 整流柜与离子膜电解槽的接线及配置方式	435
14.4 整流装置调试及运行监控	437
14.4.1 整流与电解工艺 DCS 联锁保护的联动调试	437
14.4.2 整流装置运行操作程序	438
参考文献	438

15.1 概述	439
15.1.1 氯碱自动化与信息化系统发展综述	439
15.1.2 仪表系统	439
15.1.3 控制系统	440
15.1.4 信息化系统	441
15.2 烧碱装置控制室设计原则	441
15.3 烧碱装置中安全仪表系统 (SIS/ESD) 的应用	443
15.3.1 烧碱生产主要特点	443
15.3.2 烧碱生产安全控制系统现状及要求	444
15.3.3 烧碱过程安全仪表系统 (SIS/ESD) 的设计方案	445
15.3.4 烧碱 SIS/ESD 相关仪表的选型	446
15.3.5 离子膜电解主要联锁条件和动作	447
15.3.6 国内氯碱企业 SIS/ESD 使用情况及展望	448
15.4 现代氯碱先进控制及主要工艺控制系统	449
15.4.1 电解生产控制系统	449
15.4.2 氯气压缩机的喘振预报及最小能耗防喘振方案	455
15.4.3 盐酸生产控制系统	458

15.5 氯碱企业安全管控一体化信息集成系统	460
参考文献	463

16 环保安全节能和总图

464

16.1 概述	464
16.2 环境保护和循环经济	464
16.2.1 环境保护的意义和目的	464
16.2.2 现代氯碱装置污染源	465
16.2.3 污染源的治理措施	468
16.2.4 现代氯碱循环经济	472
16.3 安全防护	475
16.3.1 安全防护的意义和目的	475
16.3.2 现代氯碱危害和危险源	476
16.3.3 危害和危险源的治理措施	481
16.3.4 职业病危害及其防护	487
16.4 节能	496
16.4.1 现代氯碱能源消耗和能流图	496
16.4.2 节能潜力和技术	496
16.4.3 未来节能技术	499
16.5 总图设计	499
16.5.1 总图设计的意义和目的	499
16.5.2 总图设计的基本原则和方法	500
16.5.3 现代氯碱总图设计的特点和要求	500
16.5.4 影响总图设计的因素以及解决对策	502
16.5.5 总图设计在配电、建筑以及结构防腐蚀方面的特点和要求	504
16.5.6 典型氯碱总图范例	507
16.6 环境友好和社会责任	509
16.6.1 环境友好型氯碱企业的意义和目的	510
16.6.2 环境友好型氯碱企业的标准和原则	510
16.6.3 建设环境友好型氯碱企业的方法	511
16.6.4 现代氯碱企业的社会责任	511
参考文献	512

17 设备腐蚀与防护

513

17.1 概述	513
17.1.1 氯碱工业防腐蚀的重要意义	513
17.1.2 氯碱工业防腐蚀的特点	513
17.1.3 腐蚀的定义、本质和分类	514
17.2 氯碱腐蚀理论	517
17.2.1 食盐水溶液对金属的腐蚀	517
17.2.2 杂散电流的腐蚀	521

17.2.3	氯、次氯酸盐对金属的腐蚀	523
17.2.4	酸的腐蚀	526
17.2.5	烧碱的腐蚀	528
17.3	主要材料的腐蚀形态和防腐	532
17.3.1	钛的缝隙腐蚀	532
17.3.2	提高钛耐腐蚀能力的主要方法	533
17.3.3	奥氏体不锈钢的应力腐蚀	533
17.3.4	非金属的腐蚀	535
17.4	设备和管道腐蚀	540
17.4.1	盐水系统设备与管道腐蚀	540
17.4.2	电解系统设备与管道腐蚀	544
17.4.3	盐水脱氯系统设备和管道腐蚀	547
17.5	离子膜法烧碱装置的防腐蚀	547
17.5.1	对防腐蚀的要求	548
17.5.2	材料的要求和选择	548
17.6	蒸发与固碱设备腐蚀	551
17.6.1	蒸发设备	552
17.6.2	膜式法固碱设备	554
	参考文献	554

18 氯碱分析

555

18.1	概述	555
18.2	氯碱生产分析方法	555
18.2.1	容量分析	555
18.2.2	质量分析	555
18.2.3	仪器分析	556
18.2.4	在线分析	556
18.3	原辅材料分析	556
18.4	中间控制分析	556
18.4.1	盐水中氯化钠测定	556
18.4.2	盐水中次氯酸钠测定	557
18.4.3	盐水中硫酸根测定	558
18.4.4	盐水中游离氯测定	558
18.4.5	盐水中亚硫酸钠测定	559
18.4.6	盐水中钙、镁总量测定	560
18.4.7	盐水中钙测定	560
18.4.8	盐水中氢氧化钠和碳酸钠测定	561
18.4.9	盐水中悬浮固体物 (SS) 测定	562
18.4.10	盐水中微量金属离子测定	562
18.4.11	盐水中无机铵测定	563
18.4.12	盐水中总铵测定	564
18.4.13	盐水中碘测定	565