

石油化工工人技术培训教材

尿素生产工艺与操作

(中 级 本)

陈观平 赵元凯 编著



中国石化出版社

石油化工工人技术培训教材

尿素生产工艺与操作

(中 级 本)

陈观平 赵元凯 编著



中国石化出版社

(京)新登字048号

内 容 提 要

本教材从 CO_2 气提法尿素生产的实际出发,系统地阐述了尿素生产的基本原理、工艺流程、设备构造、生产操作、安全技术以及其他方面的有关问题。内容力求理论结合实际,叙述力求深入浅出,通俗易懂,以普及为基础,适当兼顾提高,以使读者结合实际提高理论和技术水平。本教材提供了一些计算公式和图表,也都是生产中常用的。

本书主要作为尿素装置生产工人的中级培训教材,也可作为化工技校的专业课教材,并供大专院校师生参阅。

石油化工工人技术培训教材

尿素生产工艺与操作

(中级本)

陈观平 赵元凯 编著

中国石化出版社出版

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 19¹/₈印张 43千字 印1—4000

1993年5月北京第1版 1993年5月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-257-2/TQ·137 定价:11.80元

前 言

我国70年代初引进的11套 CO_2 气提法大型尿素装置，至今都已运转十余年了。80年代引进的氨气提法大型尿素装置，也于1990年在河南投产。为了适应这些装置工人培训的需要，中国石油化工总公司人事部统一组织编写了本书。本书是根据尿素中级工等级标准及结合尿素生产技术的发展而编写的。

气提法工艺是当代发展较快的一种尿素生产技术，它包括 CO_2 气提法、氨气提法、双气提法和其他方法。在我国， CO_2 气提法工艺已积累了较多的生产经验，本书收集了国内各大型尿素装置的一些生产经验，供从事尿素生产的技工学习。

书中相图理论部分由北京化工学院纪克敏副教授进行了审阅；南京金陵石化公司化肥厂于培钧参加了初稿的部分编写工作。兰州石化公司化肥厂苏彦清、镇海石化总厂王弘刚、广州石化总厂许津明、安庆石化总厂化肥厂肖甲荣、齐鲁石化公司第一化肥厂童泽堂、大庆石化总厂化肥厂万吉祥等同志参加了总公司人事部组织的审定会，并对本书提出了许多宝贵意见和修改建议，洞庭氮肥厂周济斋也对本书提出了许多有益的建议。巴陵石化公司洞庭氮肥厂和广州石化总厂化肥厂给予了大力支持，在此谨向他们表示衷心的感谢。全书共分十一章，由陈观平和赵元凯分章编写，最后由陈观平统稿。

由于水平所限，书中难免存有谬误与疏漏，恳请读者批评指正。

目 录

第一章 概述	1
第一节 尿素工业在国民经济中的地位	1
第二节 国内外尿素生产概况及发展趋向	3
第三节 尿素的性质	7
一、物理性质	7
二、化学性质	13
第四节 尿素的生产方法	14
第五节 氨和 CO_2 的特性和要求	18
一、氨的物理化学性质	18
二、 CO_2 的物理化学性质	23
三、合成尿素对原料的要求	23
第六节 尿素产品的消耗定额和质量指标	25
复习题	28
参考文献	29
第二章 相图的基本知识	30
第一节 相律	31
第二节 单组分平衡相图	36
第三节 双组分体系平衡相图	38
一、 $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ 体系气液相平衡图	38
二、 $\text{NH}_3\text{-CO}_2$ 体系气液平衡相图	41
三、 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系液固平衡相图	45
第四节 三组分体系相图	48
一、三组分体系相图的表示规则	49
二、 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三组分体系的液固平衡多温图	51

三、 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三组分体系饱和溶液相图	54
四、 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三组分体系不饱和溶液相图	57
复习题	60
参考文献	61
第三章 CO_2 气的压缩和液氨加压	62
第一节 CO_2 压缩机和蒸汽透平工艺流程	62
一、 CO_2 压缩机气体工艺流程	62
二、蒸汽和真空冷凝工艺流程	64
第二节 CO_2 压缩机与蒸汽透平的特性及其结构	67
一、 CO_2 离心压缩机的工作原理	68
二、 CO_2 离心压缩机的结构	69
三、 CO_2 离心压缩机的操作性能及喘振	77
四、蒸汽透平的性能与结构特点	84
五、蒸汽透平的辅助设备	88
第三节 供油系统	89
一、供油系统流程和设备	90
二、油质要求	93
三、供油系统的操作指标	95
第四节 CO_2 压缩机组的调节系统和保护系统	96
一、PG-PL型调速器的工作原理	97
二、PG-PL型调速器的动作	103
三、采用PG-PL调速器的速度调节原理	104
四、阿斯卡尼亚喷管调节器的工作原理	106
五、 CO_2 压缩机的汽轮机调节系统	107
六、 CO_2 压缩机组的保护装置	109
第五节 CO_2 压缩机组的操作控制	114
一、开机前的准备工作	114
二、开机	117
三、停机	119

四、正常操作	120
第六节 氨的加压	121
一、液氨加压工艺流程	121
二、高压氨泵分类	122
三、高压氨泵的工作原理	122
四、高压氨泵的排送流量	124
五、透平驱动型高压氨泵	125
六、电动机驱动型高压氨泵	126
七、高压氨泵工作过程保护系统	130
八、高压氨泵的正常操作	131
九、高压氨泵开停	133
复习题	134
参考文献	135
第四章 CO ₂ 气提法高压系统工艺原理与操作	136
第一节 高压系统工艺流程说明	136
一、高压甲铵冷凝	136
二、尿素合成	138
三、CO ₂ 气提	136
四、高压洗涤	140
第二节 尿素合成的化学平衡与反应速度	140
一、氨基甲酸铵的性质	141
二、尿素合成反应的化学平衡	145
三、影响CO ₂ 平衡转化率的主要因素	157
四、尿素合成的反应速度	160
第三节 从相图上看甲铵生成与尿素合成的工艺过程	163
一、高压甲铵冷凝器冷凝过程分析	163
二、NH ₃ -CO ₂ -Ur·1H ₂ O似三元体系相图在尿素合成 中的应用	165
三、尿素合成工艺指标的选择	170

第四节 CO_2 气提法的高压循环回收	173
一、气提的理论基础	174
二、 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-Ur}\cdot 1\text{H}_2\text{O}$ 似三元相图在气提过程 中的应用	176
三、 CO_2 气提过程工艺指标的选择	178
四、高压洗涤及尾气的防爆	181
第五节 CO_2 气提法高压系统设备说明	191
一、高压甲铵冷凝器	191
二、尿素合成塔	194
三、气提塔	200
四、高压洗涤器	206
第六节 CO_2 气提法高压系统的正常操作	211
一、高压甲铵冷凝器与尿素合成塔的操作	211
二、气提塔与高压蒸汽饱和器的操作	217
三、高压洗涤器与高压调温水的操作	219
第七节 设备的腐蚀与耐腐蚀材料	220
一、影响尿素用材料腐蚀的因素	221
二、尿素生产设备用材腐蚀的类型	223
三、尿素工厂耐腐蚀材料	226
四、操作对高压系统设备防腐蚀的影响	228
复习题	233
参考文献	235
第五章 CO_2 气提法循环系统工艺原理与操作	236
第一节 低压分解	237
一、低压分解工艺流程说明	237
二、低压分解基本原理	238
三、低压分解工艺指标的选择	245
四、真空闪蒸分解原理及其工艺指标选择	246
五、低压分解工艺指标一览表	247

第二节 冷凝吸收	248
一、冷凝吸收工艺流程说明	248
二、冷凝吸收基本原理	251
三、 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三元体系饱和溶液相图	251
四、冷凝吸收工艺指标的选择	255
五、冷凝吸收工艺指标一览表	262
第三节 解吸和水解	262
一、解吸和水解工艺流程说明	263
二、解吸原理和解吸工艺指标的选择	265
三、水解原理和水解工艺指标的选择	270
四、解吸和水解工艺指标一览表	274
第四节 循环系统设备说明	276
一、精馏塔	277
二、循环加热器	278
三、闪蒸槽	279
四、低压甲铵冷凝器	280
五、低压吸收器和低压甲铵液贮槽	281
六、中压吸收塔	283
七、解吸塔	284
八、水解塔	287
九、回流冷凝器	289
十、高压甲铵泵	290
第五节 循环系统的正常操作	292
一、低压分解设备的操作	292
二、低压吸收设备的操作	296
三、中压吸收塔的操作	299
四、解吸塔的操作	301
五、水解塔的操作	301
六、解吸和水解装置的运行经验	302

复习题	305
参考文献	306
第六章 尿液的蒸发与造粒	307
第一节 尿素水溶液的特性和生产过程中的副反应	307
一、尿素水溶液和熔融液的性质	307
二、尿素水解反应原理	308
三、尿素缩合反应原理	313
第二节 蒸发与造粒工艺流程说明	320
第三节 尿素溶液蒸发原理及工艺指标的选择	323
一、尿素溶液蒸发的特性	323
二、尿素溶液采用二段蒸发工艺的理由	324
三、二段蒸发采用三级蒸汽喷射器的理由	328
四、蒸发系统工艺指标的选择	328
五、蒸发工艺指标一览表	330
第四节 尿素造粒原理	330
一、熔融液的凝固和冷却	330
二、造粒塔进风量计算	334
三、改善尿素粒子强度的措施	336
第五节 尿素溶液蒸发造粒的设备说明	338
一、蒸发器及分离器组合设备	338
二、蒸汽喷射器	340
三、表面冷凝器	342
四、造粒塔	344
五、造粒喷头	348
第六节 蒸发系统的正常操作	351
一、尿液槽和尿液泵的操作	351
二、蒸发加热器和蒸发分离器的操作	353
三、蒸汽喷射器的操作	354
四、表面冷凝器的操作	356
五、熔融泵进口液位的操作	358

六、夹套保温管的操作	359
七、三通阀的操作	359
八、造粒塔的操作	360
复习题	362
参考文献	362
第七章 CO₂气提法尿素装置开停工操作要点	363
第一节 高压系统升温与钝化	363
一、含空气CO ₂ 气体、蒸汽冷凝液升温钝化方法	364
二、蒸汽、空气升温钝化	369
第二节 化工投料	371
一、投料前的准备工作	371
二、高压系统投氨	372
三、中、低压系统的开工	375
四、蒸发系统的开工	378
五、解吸和水解系统的开工	376
六、加负荷	379
第三节 正常封塔停工	380
一、停工准备	381
二、高压系统停工	381
三、中、低压系统停工	383
四、蒸发系统停工	384
第四节 封塔后开工	385
一、开工前的准备工作	385
二、封塔开工投氨顺序	386
第五节 长期停工	386
一、高压系统排放	386
二、合成塔排液后的操作	387
三、停止蒸发系统运行	388
四、中、低压吸收系统停运	389
五、蒸汽系统停运	389



第六节 紧急停工的操作要点	390
第七节 大修后的设备试车	391
一、高压系统严密度试验	391
二、合成塔液位计调校	393
三、气提塔液位计调校	393
四、排水操作	393
五、循环冷却水系统进行预钝化处理	393
六、蒸汽系统试运行	393
七、熔融泵进口液位计（荷型厂LI401、法型厂LI011） 调校	394
八、高压氨泵试车	394
九、高压甲铵泵试车	396
十、蒸发系统试车	397
十一、循环系统试车	398
十二、造粒喷头、刮料机、传动带试车	399
复习题	400
参考文献	401
第八章 CO ₂ 气提法装置在异常情况下的操作	402
第一节 高压氨泵	402
一、高压氨泵液氨汽化	402
二、高压氨泵填料函或单向阀压盖漏氨	404
三、高压氨泵安全阀动作	406
四、氨泵停运时，高压系统甲铵液倒入液氨管线和液氨 加热器	407
第二节 高压系统	408
一、CO ₂ 气升温钝化时，气体走短路窜气	408
二、CO ₂ 气“倒流”	411
三、合成塔满液	413
四、合成塔出料管断液	415
五、气提塔亮侧停止工作时的调节	416

六、停工封塔时合成塔发生倒液	417
七、高压洗涤器下部液封槽移位	418
第三节 中、低压循环系统	421
一、中压吸收系统结晶堵塞	421
二、中压吸收塔液位计失灵造成循环系统超压	423
三、中压吸收塔循环冷却器结垢	424
四、精馏塔出液温度降低	425
五、循环系统超压	425
六、循环系统结晶	427
七、解吸塔液泛	428
八、高压甲铵泵气缚	429
第四节 蒸发造粒系统	430
一、蒸发系统真空度降低	430
二、尿液泵扬量降低	432
三、熔融泵抽空和倒转	433
第五节 蒸汽冷凝液系统中常见故障	434
一、尿素装置排出的蒸汽冷凝液中导电度增高	434
复习题	436
第九章 氨气提法等尿素工艺与尿素大颗粒	
成粒技术	437
第一节 氨气提法工艺流程	437
一、CO ₂ 气压缩与液氨加压流程	438
二、高压合成与气提回收流程	438
三、中压分解回收流程	440
四、低压分解回收与真空预浓缩流程	441
五、蒸发造粒流程	443
六、解吸和水解流程	443
七、工艺特点	443
第二节 氨气提法主要工艺指标的选择及消耗定额	445
一、尿素合成塔工艺指标的选择	445

二、氨气提塔工艺指标的选择	446
三、中压分解吸收原理及其工艺指标选择	447
四、氨汽提法主要工艺指标	452
五、消耗定额	457
第三节 氨气提工艺主要设备说明	457
一、高压系统主要设备	457
二、中压系统主要设备	464
三、低压与水解主要设备	466
四、主要用泵	468
第四节 氨气提法尿素装置操作要点	470
一、开工前准备工作	470
二、化工投料	473
三、封塔停工	474
四、封塔停工后开工	475
五、长期停工	476
第五节 其它气提工艺	477
一、双气提工艺(IDR)	479
二、节资节能工艺(ACES)	480
三、分流反应循环工艺(SRR)	485
第六节 尿素大颗粒成粒技术	488
一、高温盘式成粒工艺	489
二、喷浆转鼓成粒工艺	489
三、NSM流化床成粒工艺	490
四、MTC/TEC流化床成粒工艺	500
复习题	502
参考文献	503
第十章 蒸汽系统和冷却水系统	504
第一节 蒸汽系统工艺流程及设备	505
一、蒸汽参数的确定	506

二、蒸汽系统工艺流程	507
三、蒸汽系统设备说明	513
第二节 蒸汽系统的运行	518
一、开工前的准备工作	518
二、蒸汽系统的开工	520
三、蒸汽平衡	521
四、正常操作	529
第三节 循环冷却水系统	536
一、污垢的危害及形成污垢的原因	538
二、冷却水系统中金属的腐蚀	539
三、冷却水系统中微生物的危害	542
四、循环冷却水的水质稳定	542
五、循环冷却水系统的清洗和预膜	544
六、循环冷却水系统的运行管理	546
复习题	550
第十一章 安全生产技术	551
第一节 有害物质特性及防护技术	551
一、氨	552
二、CO ₂	553
三、氨基甲酸铵	554
四、尿素溶液和熔融尿素液	555
第二节 防爆炸	555
一、防物理性爆炸	555
二、防止高压洗涤器爆炸的技术改进	556
三、防爆的安全装置	559
第三节 防止劳动伤害	562
一、防止造粒塔顶部结块坠落伤人	562
二、防电梯致伤	563
三、防辐射伤害	563
第四节 环境保护	564

一、防大气污染	564
二、防水质污染	569
三、防噪声	571
复习题	573
参考文献	274
附录一 饱和水蒸气表	575
附录二 饱和状态下氨的热力学性质	583
附录三 尿素装置常用符号说明	592
附录四 尿素常用不锈钢国内外牌号对照表	595

第一章 概 述

《尿素生产工艺与操作》是一本专业课教材。学习这门课程的目的和任务是使尿素装置操作人员（中级工）能运用已经学过的基础理论课程和专业知识，结合操作实践，来认识与解决尿素生产过程中的具体生产技术问题。

第一节 尿素工业在国民经济中的地位

尿素属中性速效肥料，长久施用不会恶化土壤，其物理性质稳定，不挥发，吸湿性亦低，因而与一般的化学肥料相比，它具有养分高、肥效快、对土壤和农作物适应性好、贮运及使用方便等优点，因而尿素是养分极高的优良氮肥。尿素也极易制成多种复合肥料，为农作物提供多种营养元素，如尿素磷铵等品种。由于以尿素为基础肥料而制成的复合肥料容易得到高浓度有效成分，因此复合肥料已成为农民欢迎的紧俏肥料。尿素与醛类缩合可制成缓释肥料。这种肥料在土壤中的释放速度缓慢。其释放速度主要决定于土壤中微生物作用下的水解速度，因此它是一种难溶性的缓释氮肥。如在尿素表面用物理方法包涂上其它物质（树脂、元素硫等），也可成为缓释氮肥。总之，尿素及其加工产品作为基肥和追肥。在广大农田中已得到广泛的使用。

尿素在工业上也有广泛的用途，世界生产的尿素中约有10%作为工业原料。

由尿素加热分解可制成三聚氰胺（反应式为 6CO