

尿素生产工艺

泸州天然气化工厂尿素车间编

石油化学工业出版社

尿素生产工艺

泸州天然气化工厂尿素车间编

石油化学工业出版社

内 容 提 要

本书主要讲述水溶液全循环法生产尿素的原理、工艺流程、主要设备构造。特别是总结了泸州天然气化工厂生产尿素的实际操作经验并从理论上进行了分析和探讨。对于二氧化碳气提法尿素工艺生产的原理、流程、主要设备也作了叙述。此外，对当前尿素生产工艺的多种流程和尿素生产正在研究的一些问题也作了介绍。

本书可作为化肥厂尿素车间培训工人的教材，也可供尿素车间的工人、技术人员和管理干部以及高等学校化肥专业的工农兵学员参考。

本书由泸州天然气化工厂林企殷、朱塞安同志执笔，四川天然气化工厂周明仁同志，成都工学院苏裕光同志作了部分工作。

尿 素 生 产 工 艺

泸州天然气化工厂尿素车间编

石油化学工业出版社出版

北京和平里七区十六号楼

石油化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 850 × 1168¹/₃₂ 印张 15⁵/₈ 插页 3 字数 413 千字 印数 1—11,500

1978年 2月北京第1版 1978年 2月北京第1次印刷

书号 15063·化 224 定价 1.60 元

前 言

在毛主席革命路线指引下，化肥战线的广大工人、革命干部和革命技术人员高举“鞍钢宪法”旗帜，深入开展“工业学大庆”的群众运动，有力地推动了化肥工业的迅速发展。为了适应化肥工业进一步发展的新形势，我们在泸州天然气化工厂厂党委的直接领导和关怀下，组成了在生产上具有丰富实践经验的老工人、基层领导干部和技术人员参加的三结合编写小组，总结我厂尿素生产操作的经验，编写了《尿素生产工艺》一书。经过我厂广大群众讨论修改后，石油化学工业出版社又组织了山东胜利第一化肥厂、鲁南化肥厂、石家庄化肥厂、大庆合成氨厂、北京化工实验厂、上海化工研究院、成都工学院等单位的有关同志进行了审查，并专请成都工学院无机化工专业小组的同志进行修改，最后由编写小组有关同志整理。本书在编写过程中还得到了南京化学工业公司、大连工学院、上海化工学院、上海化工研究院等兄弟单位的党组织和同志们的大力支持和帮助。

由于我们政治思想和业务水平所限，编写仓促，书中可能存在一些缺点和错误，希望读者阅后提出意见，以便再版时改正。

《尿素生产工艺》编写小组

1976.6.

目 录

第一章 概说	1
第一节 尿素的物理化学性质	5
一、尿素的一般物理性质	5
二、尿素的化学性质	5
第二节 尿素的用途	6
一、作肥料用	6
二、作饲料用	6
三、其它工业用	7
第三节 尿素生产的原料	7
氨	7
一、氨的性质	7
二、尿素生产对液氨质量的要求	8
二氧化碳	8
一、二氧化碳的性质	8
二、尿素生产对二氧化碳质量的要求	9
第二章 水溶液全循环法流程	10
第一节 流程说明	10
一、二氧化碳压缩	10
二、氨的净化和输送	11
三、尿素合成反应	12
四、循环系统	12
五、蒸发	16
六、造粒与固体贮存	18
七、吸收与解吸	19
第二节 消耗定额(设计指标)工艺指标及物料表	20
一、消耗定额(设计指标)	20
二、正常工艺条件及生产控制分析指标	21

三、生产控制分析	23
四、物料平衡表(以一吨尿素为基准)	25
第三节 工艺对设备及管道布置的要求	31
第三章 水溶液全循环法尿素工艺原理	33
第一节 尿素的合成	33
一、合成尿素的反应机理	33
二、氨基甲酸铵的性质	34
三、氨基甲酸铵的生成	38
四、尿素的生成	42
五、尿素合成反应工业条件的选择	57
六、合成塔正常生产时的状态	65
第二节 未反应物的减压分离	69
一、减压加热分离基本原理	69
二、中压分解	71
三、低压分解	88
四、闪蒸	96
五、解吸	98
第三节 未反应物的回收	101
一、三元系基本规则	101
二、氨-二氧化碳-水三元系的讨论	103
三、中压吸收生产条件的选择	125
四、低压吸收生产条件的选择与讨论	135
第四节 尿素溶液的浓缩及加工	146
一、尿素溶液的蒸发	146
二、尿素溶液的结晶	153
三、尿素造粒	158
第五节 尿素生产的副反应——缩二脲的生成和尿素的水解	162
缩二脲的生成	162
一、影响缩二脲生成的因素	163
二、尿素生产中各个阶段缩二脲的生成率及其原因	166
三、缩二脲的回收利用	168
尿素的水解	173
一、影响尿素水解率的因素	174

二、工业生产中如何防止尿素水解	175
第四章 一般尿素生产流程中的设备	177
第一节 传动设备	177
一、二氧化碳压缩机	177
二、高压液氨泵	186
三、高压甲铵泵	193
四、调速设备	198
五、离心泵	205
第二节 静止设备	211
一、塔类	211
1. 尿素合成塔	211
2. 中压吸收塔	221
3. 解吸塔	225
4. 低压精馏塔	227
5. 氨吸收塔	228
二、换热器	230
三、分离器	241
四、蒸汽喷射泵	242
五、贮槽及过滤器	245
六、造粒装置	251
七、设备的腐蚀与防腐	256
第五章 水溶液全循环法尿素工厂的操作	259
第一节 运转设备的单体试车	259
一、二氧化碳压缩机单体试车	259
二、二氧化碳压缩机负荷测定	264
三、泵的性能测定	266
第二节 静止设备开车前的处理	268
一、碳钢静止设备脱脂处理	268
二、管道吹净和清洗	268
三、系统试漏、试真空	269
第三节 水试车	271
一、合成循环系统水和二氧化碳联动试车	271
二、蒸发水试车	271

三、解吸、吸收及低压循环水试车	273
第四节 原始开车	274
一、合成塔的预热	274
二、合成塔的氨升压	276
三、二氧化碳进入合成塔至合成塔充满	280
四、合成塔出料前循环系统的准备	283
五、合成塔出料前蒸发系统的准备	285
六、合成塔出料	285
七、中压循环分离系统的调节	288
八、中压吸收塔的调节	289
九、低压循环系统的调节	293
十、蒸发与造粒的开车	295
十一、解吸开车	302
十二、原始开车操作记录曲线及说明	304
第五节 停车	312
一、长期停车	313
二、短期停车	317
三、紧急停车	318
四、停车操作的记录曲线及说明	320
第六节 短期停车后的开车	325
一、合成塔充满、循环系统卸压、排空后的开车	325
二、合成塔充满、循环系统保压后的开车	327
三、短期停车后开车时操作的记录曲线及说明	327
第七节 生产调节和异常情况处理	329
一、合成塔的正常调节和维护	329
二、中压分解系统的正常调节和异常情况的处理	345
三、中压吸收系统的正常调节和异常情况处理	349
四、低压分解吸收的正常调节和异常情况处理	364
五、蒸发与造粒的异常情况及处理	366
第六章 二氧化碳气提法尿素工艺	372
第一节 二氧化碳气提法原理	373
一、气提法分解氨基甲酸铵的理论基础	373
二、合成、气提及高压甲铵冷凝工艺条件的选择	374

第二节 二氧化碳气提法流程说明	387
一、工艺流程说明	387
二、蒸汽及冷凝液系统流程	404
三、简单物料平衡	407
第三节 二氧化碳气提法尿素的主要设备	410
一、二氧化碳压缩机	410
二、高压甲铵泵	416
三、尿素合成塔	417
四、气提塔	419
五、高压甲铵冷凝器	423
六、高压洗涤器	425
第七章 尿素生产工艺的改进	430
第一节 尿素生产流程的改进	431
一、水溶液全循环法流程的改进	431
二、气提法流程	443
三、气体分离法	449
四、热循环法	451
五、联尿法流程	456
第二节 尿素生产正在研究的一些问题	459
一、加添加剂以提高转化率	459
二、两段合成法的理论研究	460
三、采用分层分离器回收尿液的研究	462
四、其它研究	465
第八章 尿素生产中的安全技术	466
一、生产物料的安全特性	466
二、必要的安全保护装置	467
三、各工序安全操作要点	468
附录	
一、尿素在液氨中的溶解度表	470
尿素在液氨中的溶解度图	470
二、尿素水溶液的密度图	471
三、固体尿素的比热图	472
四、尿素水溶液的比热表	472

尿素水溶液的比热图	473
五、尿素在水中的溶解热图	474
六、尿素的结晶热图	474
七、尿素水溶液的导热系数表	475
八、尿素水溶液的粘度表(以重量%表示)	475
尿素水溶液的粘度图(以 100 克中尿素克数表示)	476
九、尿素水溶液的压缩系数图(0~100 大气压)	477
尿素水溶液的压缩系数图(100~200 大气压)	477
十、尿素水溶液的蒸汽压图	479
十一、尿素在液氨中饱和溶液的蒸汽压力图	479
十二、氨的压力-焓图 P-I 图	插图
十三、液氨的比热图	480
十四、液氨、气氨的导热系数图	480
十五、气氨在常压下的比热图	481
十六、氨在水中的溶解热图	481
十七、氨水蒸汽压力表	482
十八、氨水的焓-浓度算图	插图
十九、二氧化碳的温-熵图	插图
二十、二氧化碳气体的饱和含水量图	483
二十一、气体二氧化碳的比热表	483
二十二、气体二氧化碳在水中的溶解度表	485
二十三、甲铵在水中的溶解度图(以甲铵分子分数表示)	485
甲铵在水中的溶解度表(以重量%表示)	485
二十四、甲铵-氨-水系结晶温度表	486
二十五、甲铵-氨-水系熔点相图	487
二十六、甲铵在 1 分子尿素加 1 分子水中的溶解度图	487
二十七、甲铵-水-尿素系熔点图	488
二十八、尿素-氨-水系熔点图	488
二十九、(尿素+水)-氨-二氧化碳系的熔点图)	489
(尿素+水)-氨-二氧化碳系熔点表	490
三十、干空气的物理参数表(大气压下)	491

第一章 概 说

在化学肥料中，以氮肥需要量最大，应用最广。尿素是氮肥中的一个重要品种。自从本世纪初投入工业生产以来，引起了世界各国的极大重视，其发展速度和生产规模已超过了氮肥其它品种，这主要有如下几种原因：

1. 尿素有着广泛的用途。它既可以作为肥料，又可作为某些工业的原料及反刍动物的饲料。

2. 尿素作为氮肥，其含氮量最高，施入土壤内，分解的各种组分(氮的化合物及二氧化碳)都是作物需要的。尿素与其它氮肥，特别是与硝酸铵，碳酸氢铵等相比，不易吸潮结块，不易爆炸，便于贮存运输。而且，尿素还可以与一些品种的氮肥、磷肥、钾肥混合，制成多营养成分的混合(或复合)肥料，具有广阔的发展前途。

3. 生产其它氮肥，如硫酸铵，硝酸铵均需设有制造硫酸或硝酸的装置，在生产硫酸铵时，还要耗费重要的硫矿资源；而尿素则可利用合成氨副产二氧化碳，在一定程度上可以减少其基建投资和降低单位含氮的成本。

尿素原来是动物排出的尿液组分，十八世纪七十年代，有人以酒精抽提蒸干动物尿液，得到一种白色固体物——尿素。十九世纪二十年代末期，有人从氰酸铵制得尿素；十九世纪七十年代又有人将氨基甲酸铵脱水制得尿素。为以后从二氧化碳和氨为原料合成尿素提出了方向。到本世纪二十年代二氧化碳和氨合成尿素才用于工业生产，但因设备及腐蚀问题，未能大量生产。以后，又继续进行研究，逐步解决了设备及腐蚀问题，尿素工业才有了较大的发展。

以二氧化碳和氨为原料合成尿素，最初采用的是不循环法，

图 1-1 所示为其示意流程。

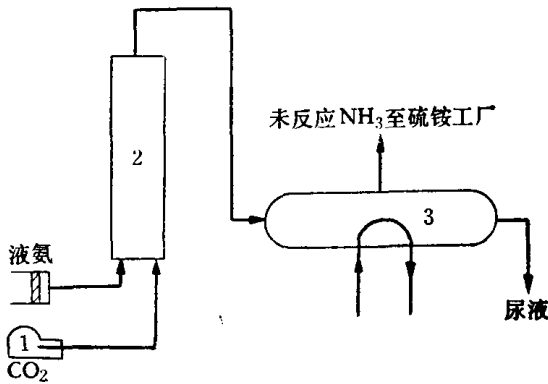
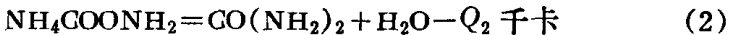


图 1-1 不循环法流程示意图

1—二氧化碳压缩机；2—尿素合成塔；3—加热分解器

二氧化碳和氨在合成塔内进行如下反应。



由于反应(2)不能进行到底，二氧化碳转化率只能达到 70% 左右，含有氨基甲酸铵(以下简称甲铵)的尿液，在加热分解器中分解，未转化的氨需用硫酸(或水)加以回收。生产能力为一吨的尿素装置，要副产 5~7 吨的硫酸，因而大大地限制了尿素的生产规模，一般只能日产 5 吨左右。

经过继续研究，至五十年代初出现了部分循环法。

部分循环法分为半循环法和高效半循环法两种，半循环法流程是将未转化的二氧化碳和氨，从尿液中分离后，其中一部分氨冷凝成液氨，然后返回合成塔。其示意流程如图 1-2a 所示。

高效半循环法流程是将未转化的氨和二氧化碳分离后，除了回收一部分冷凝液氨外，还将一部分未反应的二氧化碳和氨用水吸收，也返回合成塔，其示意流程如图 1-2b 所示。

由图(1-2a)、图(1-2b)两图可见，高效半循环法流程比一般半循环法流程有所进步，即有较多的氨和二氧化碳循环，返回合成

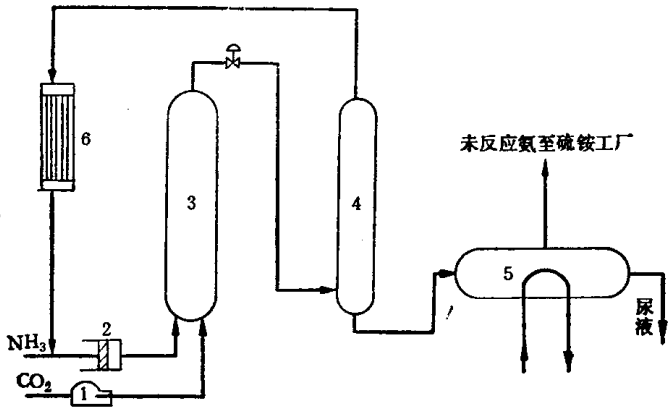


图 1-2 a 半循环法流程图

1—二氧化碳压缩机；2—液氨泵；3—合成塔；4—高压分离器；5—
低压加热分离器；6—氨冷凝器

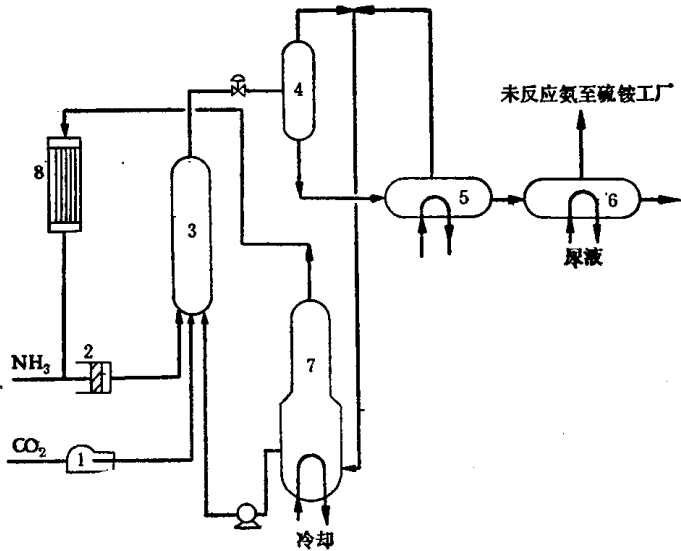


图 1-2 b 高效半循环法流程图

1—二氧化碳压缩机；2—液氨泵；3—合成塔；4—预分离器；5—
高压加热分离器；6—低压加热分离器；7—高压吸收器；8—氨冷凝器

塔重新参与合成反应。但是，总还有一部分未反应的氨必须用硫酸等吸收。生产能力为一吨的尿素装置要副产1~2吨的硫铵。

再经继续研究，至五十年代后期，全循环法研究成功，并以相当规模投入生产。

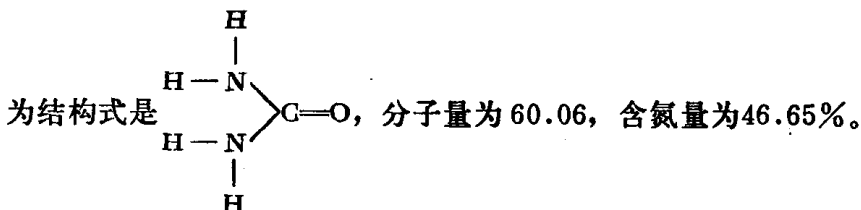
全循环法成功后，尿素生产才获得了快速发展，不仅生产能力大大增加，而且二氧化碳与氨的消耗大大降低。但是，从热利用率分析，尿素工艺研究还有许多课题急待解决。从上述反应方程式可见，氨与二氧化碳生成甲铵的反应可放热28千卡/分子，而甲铵脱水生成尿素的反应要吸热6千卡/分子，从理论上讲，两者相加尚可生成20千卡/分子以上的热量，相当于每生产1吨尿素可副产蒸汽400公斤。但实际上全循环法工艺，每生产1吨尿素反而需要消耗蒸汽1500公斤左右，这些热量的消耗主要用于分离尿液中未转化的甲铵。因此，研究的方向集中于如何解决热的利用问题。目前，较有成效的方法有气提法，热循环法以及联尿法等。

解放前，我国尿素生产是空白，解放后，化肥战线的广大革命职工在毛主席革命路线的指引下，在毛主席为首的党中央英明领导下，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，深入开展“工业学大庆”的群众运动，发扬独立自主、自力更生；艰苦奋斗，勤俭建国的革命精神，从无到有，从小到大，迅速地发展了我国的尿素工业。特别是无产阶级文化大革命以来，我国自行设计、自行制造、自行施工的一批大中型水溶液全循环法尿素工厂陆续建成投产，尿素的科研、设计等工作也取得了可喜的成绩，制造出新设备，研究出新钢种。最近，又在党中央的正确领导和亲切关怀下，正在兴建一批大型气提法尿素工厂。回顾过去，看看现在，展望未来，使我们感到欢欣鼓舞，豪情满怀。决心高举毛主席的伟大旗帜，在华主席的英明领导下贯彻抓纲治国的战略决策，为在本世纪内把我国建设成为伟大的社会主义的现代化强国而努力奋斗。

第一节 尿素的物理化学性质

一、尿素的一般物理性质

尿素的化学名称为碳酰二胺，分子式为 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ，一般认为

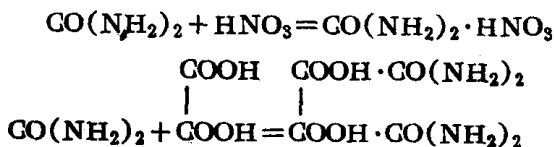


纯尿素为无色、无味、无臭的针状或棱柱状结晶。

纯尿素的熔点在 1 大气压下为 132.7°C ；在 20°C 到 40°C 的温度下，其比重为 1.335 克/厘米³，温度每增加 1°C ，比重将降低 0.000208 克/厘米³；在 25°C 时的比热为 0.32 卡/克 $^\circ\text{C}$ ；结晶热为 57.8 卡/克。

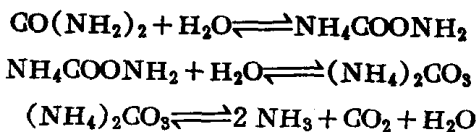
二、尿素的化学性质

1. 尿素呈微碱性，可以与酸作用生成盐。但尿素不能使一般指示剂变色。

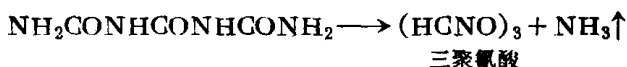
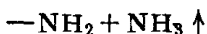
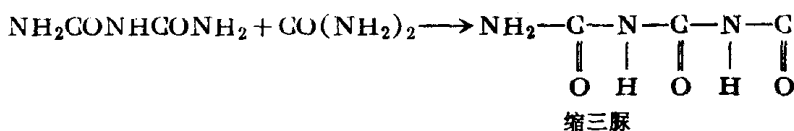
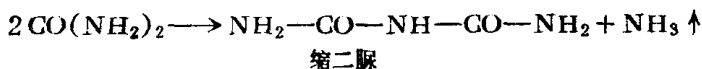


2. 尿素有水解作用，在酸性、碱性或中性溶液中，在 60°C 以下，尿素不发生水解作用。随着温度的升高，水解速度加快，水解程度也增大（在 80°C ，一小时内可以水解 0.5%； 110°C ，一小时内可增加到 3%）。

水解作用可以视为如下的反应：



3. 尿素的缩合反应：尿素在高温下可以进行缩合反应，生成缩二脲，缩三脲和三聚氰酸。



4. 尿素和甲醛的缩合反应：尿素和甲醛作用生成尿甲醛缩合物。此缩合物可作为脲醛塑料的原料，也是一种很好的缓效肥料。

第二节 尿素的用途

尿素的主要用途：一、作肥料用；二、作饲料用；三、其它工业用。

一、作肥料用

尿素含氮量在46%以上，它的含氮量为硝酸铵的1.3倍，为硫酸铵的2.2倍，为碳酸氢铵的2.6倍。尿素是中性速效肥料，不含对土壤有害的酸根，长久施用，不会使土质变硬和板结。在土壤中分解后，除氮素外，还有二氧化碳供作物吸收利用。一般情况下，施尿素肥料1斤，可增产稻谷10~15斤，小麦5~8斤，玉米8~15斤，棉花3~5斤。尿素可以做底肥，也可以在根部追肥，还可以在作物叶面上喷施，但应注意：尿素中缩二脲对发芽的种子有害，对桔柑等水果的生长不利，因而在生产过程中要尽量降低缩二脲的含量。但实践证明：当尿素中缩二脲含量高达2%时，施用于土壤，似乎没有明显的坏影响。尿素还可以和一些品种的氮肥、磷肥、钾肥组成复合肥料。

二、作饲料用

尿素中氮虽不是蛋白质形态的，但和碳水化合物一起经过胃液长时间的作用，可以造成蛋白质形态氮，故可以作为反刍动物

的饲料。

三、其它工业用

目前, 据不完全统计, 全世界尿素用作工业原料约占总产量的10~11%。主要有脲醛树脂、塑料、油漆和胶粘剂, 尿素的缩合物三聚氰胺是一种较好的涂料。尿素还可用作巴比妥、洁齿剂和利尿剂等药物的原料。此外, 尿素可以用作石油精制剂、纤维软化剂、炸药稳定剂等。

第三节 尿素生产的原料

合成尿素的主要原料是液氨和气体二氧化碳, 它们分别是合成氨厂的主副产品, 所以尿素工厂和合成氨工厂设在一起联合生产。

氨

一、氨的性质

氨的分子式为 NH_3 , 分子量为 17.03, 在常温常压下为无色的具有特殊刺激性的气体, 在低温高压下可以液化, 当温度低于 -77.7°C 以下时, 氨可以成为具有臭味的无色结晶, 其主要物理性质如下:

临界温度($^\circ\text{C}$)	132.4 $^\circ\text{C}$
临界压力(大气压)	111.5
临界比容(米 ³ /公斤)	4.26
密度: 气体在标准状态下(毫克/升)	760
液体密度将随温度变化而变化, 如: 35°C 时	为0.5875克/厘米 ³
	0°C 时为0.6386克/厘米 ³
沸点($^\circ\text{C}$)	-33.35
凝固点($^\circ\text{C}$)	-77.7
蒸发热(在 -33.35°C 时)千卡/克分子	5.581
凝固热(在 -77.7°C 时)千卡/克分子	1.351

比热: 一般的液氨比热随温度不同而不同, 亦可按以下公式计算之: