

化工工人岗位培训读本

尿素生产工

刘金银 编



Chemical Industry Press



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

反映实际**生产流程**

突出**操作技能**

职业**技能鉴定**辅助用书

化工工人岗位培训读本

乙烯生产工

磷肥生产工

合成橡胶生产工

● 尿素生产工

合成氨生产工

硝酸铵生产工

ISBN 7-5025-6494-2



9 787502 564940 >

销售分类建议：化学工业 / 职业培训

ISBN 7-5025-6494-2/TQ · 2136

定价：18.00元

化工工人岗位培训读本

尿素生产工

刘金银 编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

尿素生产工/刘金银编. —北京:化学工业出版社, 2005.2

(化工工人岗位培训读本)

ISBN 7-5025-6494-2

I. 尿… II. 刘… III. 尿素生产-技术培训-教材 IV. TQ441.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 137206 号

化工工人岗位培训读本

尿 素 生 产 工

刘金银 编

责任编辑:周国庆 刘 哲 姚晓敏

责任校对:李 林

封面设计:于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(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

北京兴顺印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 7½ 字数 200 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6494-2/TQ·2136

定 价:18.00 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

前 言

随着国内化学工业技术的迅速发展，行业规模不断扩大，高技能、复合型人才的就就业岗位比重不断增加，但与此相对应的是人才短缺，具有高技能的技术工人明显供不应求。为了满足化工企业技术工人岗位培训及职业技能鉴定的需要，全面系统地开展员工的技术培训工作，提高技术工人的基本素质，增强其在市场经济体制下的竞争能力，有效解决知识更新和人员更替问题，为企业发展提供可靠保障，化学工业出版社组织吉林化学工业公司、南京化学工业公司、燕山石油化工有限公司等单位编写了一套《化工工人岗位培训读本》丛书。

本套丛书的编写人员均为生产一线具有丰富实际工作经验的工程技术人员，本着精练、实用的原则，紧密联系化工生产实际，着眼于提高操作人员的实际操作技能和对异常情况的应变能力。对与生产过程相关的化学基础、化工基础、化工设备进行简要介绍，对生产工艺技术及其中各单元的操作、控制分析项目等进行较详细的讨论。因此，本套丛书可作为化工行业职业技能鉴定的培训教材。

本书是《化工工人岗位培训读本》之一。以尿素的生产流程为主线，从原料的净化与输送，尿素的合成，中压分解与吸收，低压分解与吸收，尿液的蒸发与造粒，到尿素生产中的安全技术及三废处理，书中对每一步的生产操作进行逐一详细介绍。全书内容具体，实用性较强。语言通俗易懂，便于操作工人自学。

需要说明一点，尿素生产中常提到的物质“甲铵”，其规范命

名应为“氨基甲酸铵”，因此本书中使用“氨基甲酸铵”这一科学命名。

由于编写时间短，人员水平和经验有限，书中难免出现疏漏和不妥之处，恳请读者提出宝贵意见。

编者

2004 年 10 月



内 容 提 要

本书是《化工工人岗位培训读本》之一。以尿素的生产流程为主线，从原料的净化与输送，尿素的合成，中压分解与吸收，低压分解与吸收，尿素溶液的蒸发与造粒，到尿素生产中的安全技术及三废处理，书中对每一步的生产操作进行逐一详细介绍。内容涉及反应原理、工艺条件的选择、工艺流程、主要设备、生产操作技术、工艺计算和分析控制等。全书内容具体、实用性较强。语言通俗易懂，便于操作工人自学。

本书适用于尿素生产装置的生产操作工人自学。

新 華 書 局

PDG

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 尿素的性质和用途	1
1.2 尿素的生产方法	3
1.3 尿素产品质量标准	11
1.4 生产尿素所需原料	12
第 2 章 原料的净化与输送	15
2.1 二氧化碳脱硫原理及工艺条件的选择	15
2.2 二氧化碳压缩原理及工艺条件的选择	17
2.3 二氧化碳压缩过程工艺流程	19
2.4 液氨的净化与输送工艺流程	22
2.5 主要设备	23
2.6 生产操作技术	31
2.7 分析控制	38
第 3 章 尿素的合成	39
3.1 合成尿素的反应原理	39
3.2 合成尿素工艺条件的选择	58
3.3 合成尿素工艺流程	64
3.4 主要设备	66
3.5 生产操作技术	70
3.6 分析控制	85
3.7 工艺计算	85
第 4 章 中压分解与吸收	88
4.1 减压加热分离原理	88
4.2 未反应物的回收原理	97

4.3	中压分解与吸收工艺条件的选择	108
4.4	中压分解与吸收工艺流程	116
4.5	主要设备	119
4.6	生产操作技术	129
4.7	分析控制	148
第5章	低压分解与吸收	149
5.1	低压分解的影响因素	149
5.2	闪蒸与解吸过程的影响因素	152
5.3	低压分解与吸收工艺条件的选择	155
5.4	低压分解与吸收工艺流程	161
5.5	主要设备	166
5.6	生产操作技术	174
5.7	分析控制	183
第6章	尿素溶液的蒸发与造粒	184
6.1	尿素溶液蒸发特性及工艺要求	184
6.2	尿素造粒过程的工艺要求	191
6.3	蒸发与造粒过程的工艺流程	195
6.4	主要设备	200
6.5	生产操作技术	213
6.6	分析控制	223
第7章	尿素生产中的安全技术与三废处理	225
7.1	安全生产原则	225
7.2	生产物料的安全特性	227
7.3	必要的安全保护装置	228
7.4	三废排放及处理	230



第 1 章 概 述

1.1 尿素的性质和用途

(1) 尿素的物理性质 尿素学名碳酰二胺，分子式为 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ，

一般认为结构式是：
$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{N} \\ | \\ \text{C}=\text{O} \\ | \\ \text{H}-\text{N} \\ | \\ \text{H} \end{array}$$
，分子量为 60.06，含氮量

为 46.65%。

纯尿素为无色、无味、无臭的针状或棱柱状结晶。工业上尿素产品因含有杂质，故为白色或淡黄色结晶。纯尿素在 $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$ 压力下的熔点为 132.7°C ，在 $20 \sim 40^\circ\text{C}$ 的温度下，其密度为 1.335 g/cm^3 ，温度每增加 1°C ，密度将降低 0.000208 g/cm^3 ；在 25°C 时的比热容为 $1.3398 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ；结晶热为 242.2 kJ/kg 。尿素容易吸水受潮，易溶于水和液氨中，溶解度随温度的升高而增加。

(2) 尿素的化学性质

① 尿素的缩合反应。在真空中，加热固体尿素到 $120 \sim 130^\circ\text{C}$ 时，尿素并不分解，但要升华；加热到 $160 \sim 190^\circ\text{C}$ 时，尿素可转变成氰酸铵：



在常压下，加热干燥固体尿素至高于它的熔点温度时，二分子尿素缩合成难溶于水的缩二脲并放出氨气：

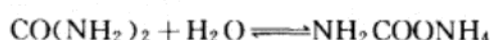


当温度超过 170°C 时，三分子尿素缩合生成缩三脲或三聚氰酸等。

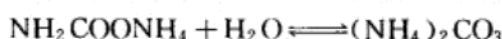


② 尿素的水解作用。在酸性、碱性或中性溶液中，在 60°C 以下，尿素不发生水解作用。随着温度的升高，水解速度加快，水解程度也增大（在 80°C ，1h 内可以水解 0.5%； 110°C ，1h 内可增加到 3%）。尿素的水解过程可视为如下步骤：

首先水解生成氨基甲酸铵：



生成的氨基甲酸铵溶解在水中，并部分再水解生成碳酸铵：



碳酸铵最后完全分解为氨、二氧化碳和水



尿素水解反应的速度与温度和加热的时间有关，在有氨存在的情况下，尿素的水解速度可以大大降低。

③ 尿素的加成反应。尿素在强酸溶液中呈现弱碱性，但其碱性极弱。尿素能与酸作用生成盐，如尿素与硝酸作用生成尿素的硝酸盐，尿素与磷酸作用生成尿素的磷酸盐等。

在强碱性溶液中，尿素又呈现弱酸性，故尿素又能和碱作用，如尿素与氢氧化钠作用生成碳酸钠等。

尿素还能与一些金属盐类作用生成络合物。

(3) 尿素的用途 尿素的用途非常广泛，它不仅可用作肥料，而且还可用作反刍动物的饲料以及某些工业的原料。

① 用作肥料。尿素是目前使用的固体氮肥中含氮量最高的。尿素的含氮量是硝酸铵的 1.3 倍，为氯化铵的 1.8 倍，为石灰氮的 2.3 倍，碳酸氢铵的 2.6 倍。尿素是一种良好的中性肥料，适用于各种土壤和各种农作物。它既可以做追肥，又可以做基肥；可以干施，又可以湿施，对作物根部和叶面都可以施用。尿素在施用过程中，不会在土壤中留下任何有害物质，而且分解释放出的二氧化

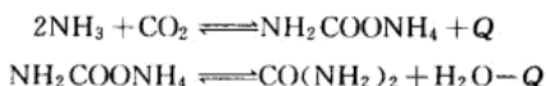
碳，还促使植物进行光合作用。所以长期施用尿素的土壤不会变质。尿素可以作为单一肥料使用，也可与其他氮、磷、钾肥料组成混合（或复合）肥料施用，如尿素磷酸铵等。尿素与甲醛作用，还可制成脲醛长效肥料。粒状尿素的吸湿性和结块性都比其他氮肥小，并具有良好的稳定性。因此，在运输、贮存和施用过程中氮的损失都较少。但是，尿素中缩二脲具有抑制种子发芽和生长的作用，施用时必须注意，含缩二脲过高的尿素不能作为拌种肥料。

② 用作饲料。尿素用作饲料仅限于反刍类动物的精饲料。尿素中的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的氮，故可以作为反刍动物的饲料。按蛋白质的价值来比较，1kg 尿素的氮量，等于 2.6~2.8kg 蛋白质的含氮量，约等于 6kg 豆饼或 22~25kg 大麦的含氮量。作为饲料用的尿素规格和用法有特殊要求，不能乱用，而且饲喂前必须经过试验。

③ 用作工业原料。在有机合成工业中，尿素主要用作合成塑料的原料，如生产脲醛树脂和有机玻璃。在医药工业中，纯尿素可用作利尿剂，生产制药原料氨基甲酸乙酯以及作为安眠药、镇静剂、止痛剂、麻醉剂、甜味剂等原料。在石油工业中，尿素用来制造化学络合物，用作石油精炼过程的脱蜡剂。在合成纤维中尿素是一种合成纤维——尤纶的原料。尿素还可用于纺织品的人工防皱和作为处理麻纱的软化剂。国防工业上尿素用作炸药的稳定剂。在选矿中尿素作为起泡剂。在制革及颜料、涂料、染料等生产过程中，也都要使用尿素。

1.2 尿素的生产方法

氨与二氧化碳直接合成尿素，系目前世界各国普遍采用的生产尿素方法。该法的反应可分两步进行，首先是氨与二氧化碳作用生成氨基甲酸铵，然后是氨基甲酸铵被加热分解为尿素和水。其反应式为



工业上氨与二氧化碳合成尿素，均包括下列四个生产过程：

- ① 氨与二氧化碳原料的供应及净化；
- ② 氨与二氧化碳合成尿素；
- ③ 尿液与未反应物质的分离回收；
- ④ 尿素溶液的加工。

其示意流程如图 1-1 所示。

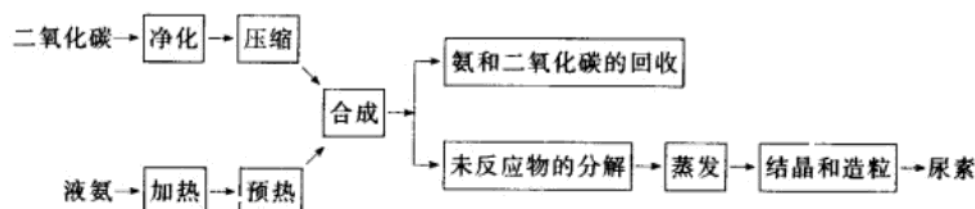


图 1-1 合成尿素流程示意图

根据所用原料及选择的工艺条件不同，合成尿素的工艺流程有多种。一般来说，上述四个过程中，第一过程和第二过程除工艺条件稍有差别外，在设备构造和操作上都差不多，第三过程和第四过程则差异较大。因此，合成尿素的工艺流程分类时，通常按第三过程来分。

(1) 不循环法 氨和二氧化碳在尿素合成塔内进行反应后，未反应的氨和二氧化碳不返回合成塔，而送去加工成其他产品（如硫酸铵）。其示意流程如图 1-2 所示。

(2) 半循环法（部分循环法） 半循环法是将合成后未反应的氨和二氧化碳，从尿液中分离后，其中一部分氨冷凝成液氨返回合成塔，另一部分不返回合成塔而送去加工成其他产品。其示意图如图 1-3 所示。

图 1-4 所示为高效半循环法流程，此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氨和二氧化碳用水吸收，也返回合成塔。可见，高效半循环法流程

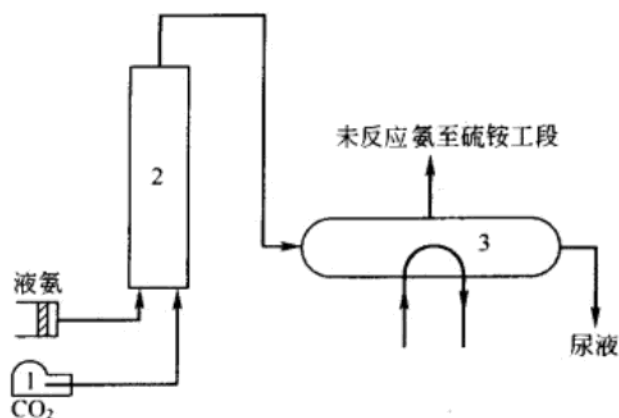


图 1-2 不循环法流程示意图

1—二氧化碳压缩机；2—尿素合成塔；3—加热分解气

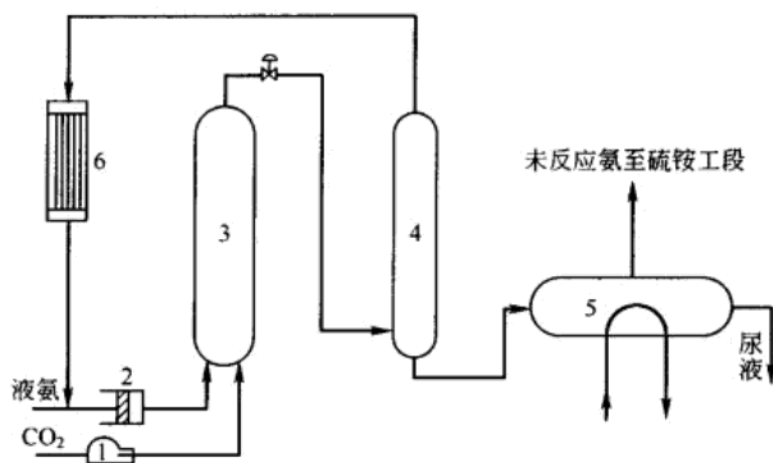


图 1-3 半循环法流程示意图

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

比半循环法流程有所进步，即有较多的氨和二氧化碳循环使用。但仍有一部分未反应物不返回合成塔。

(3) 全循环法 全循环法是将未反应的氨和二氧化碳全部返回合成塔循环使用。工业上曾较多采用全循环法，按照其工艺流程的特点，可归纳为四种类型，即热气全循环法；矿物油全循环法；尾

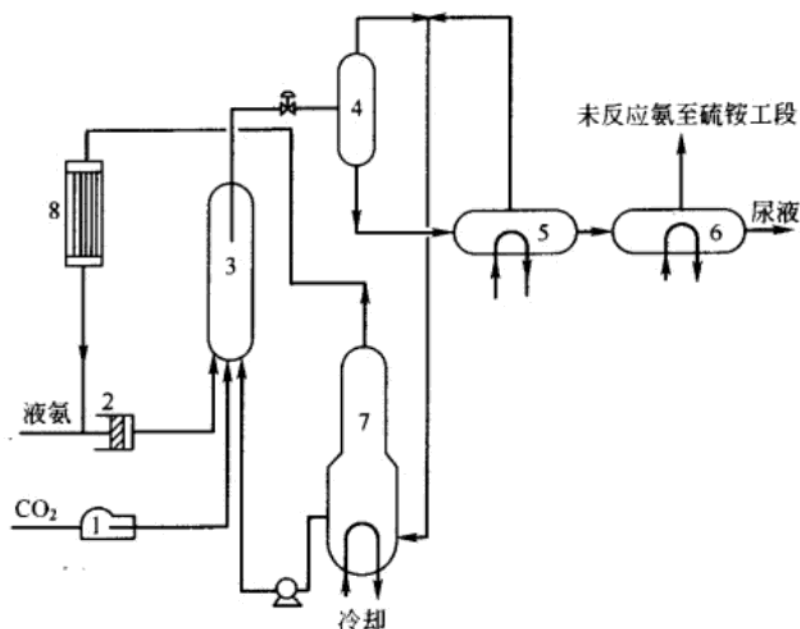


图 1-4 高效半循环流程示意图

1—二氧化碳压缩机；2—液氨泵；3—尿素合成塔；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

气分离全循环法和水溶液全循环法。

① 热气全循环法。热气全循环法是将未反应的氨与二氧化碳混合物，在高温下送入一个特制的压缩机中加压，再循环进入合成塔中合成尿素。此法投资较高，动力消耗大，腐蚀较严重。

② 矿物油全循环法。矿物油全循环法的特点是使未反应的氨和二氧化碳在油中反应，生成油-固体氨基甲酸铵悬浮液，再返回合成塔。其主要缺点是油占去了合成塔的一部分容积，使塔的单位生产能力降低；而且尿素易被油沾污。此外，同水溶液全循环法相比，此法投资与动力消耗都较高。

③ 尾气分离全循环法。尾气分离全循环法的特点是用某种溶液选择吸收未反应物中的氨或二氧化碳，使氨和二氧化碳分离后再分别循环返回合成塔中。这类方法又可分为两种：一种是硝酸尿素吸收法；一种是乙醇胺吸收法。此法缺点是基建投资大，动力消耗

大，流程比较复杂。

④ 水溶液全循环法。又称碳酸盐全循环法。它的特点是利用水吸收未反应的氨和二氧化碳以形成氨基甲酸铵或碳酸铵溶液，再用循环泵打回合成塔。由于未反应的氨和二氧化碳呈水溶液形态进行循环，故循环未反应物质消耗的动力比尾气分离法低得多，而且不消耗贵重溶剂，流程也较简单，投资较低，故得到广泛的采用，是目前生产尿素比较完善的方法。近年来，在水溶液全循环法的基础上，根据不同的分离与回收流程和尿液的不同加工方法，又创立了全循环改良 C、D 法，二氧化碳汽提法，氨汽提法及联尿法等。

下面简略叙述几种水溶液全循环法的流程。

① 水溶液全循环法流程。水溶液全循环法示意流程如图 1-5 所示。经过加压预热的原料液氨与经压缩后的原料二氧化碳气及循环回收来的氨基甲酸铵液一并进入预反应器。在预反应器内氨与二氧化碳反应生成氨基甲酸铵，再进入尿素合成塔，在塔内氨基甲酸铵脱水生成尿素。尿素熔融物从塔顶出来进入预分离器，将氨基甲酸铵和氨进行分离。氨基甲酸铵从预分离器底部出来进入中压循环加热器，用蒸汽间接加热使氨基甲酸铵分解，然后进入中压分离器，分离出的尿液再减压进入精馏塔，进一步分解氨基甲酸铵。精馏塔底出来的尿液进入低压循环加热器，用蒸汽加热进一步提高温度，促使残余氨基甲酸铵分解。气、液在低压循环分离器内分离。分离出的尿液经减压至常压后，进入闪蒸槽，经减压后尿液中的氨基甲酸铵和氨几乎全部清除。自闪蒸槽出来的尿液进入尿液贮槽，用尿素溶液泵打入中压蒸发加热器及低压蒸发加热器，在不同真空度下加热蒸发，气、液分别在中压蒸发分离器及低压蒸发分离器内分离。低压分离器出口尿液浓度达 99.7%（质量）以上，用熔融尿素泵打入造粒塔，经造粒喷头洒成尿粒，在塔底得到成品尿素。

预分离器、中压循环分离器、低压循环分离器及精馏塔顶部出来的氨和二氧化碳气体，进入回收系统。回收的氨和二氧化碳以液氨或氨基甲酸铵的形式返回合成系统循环使用。

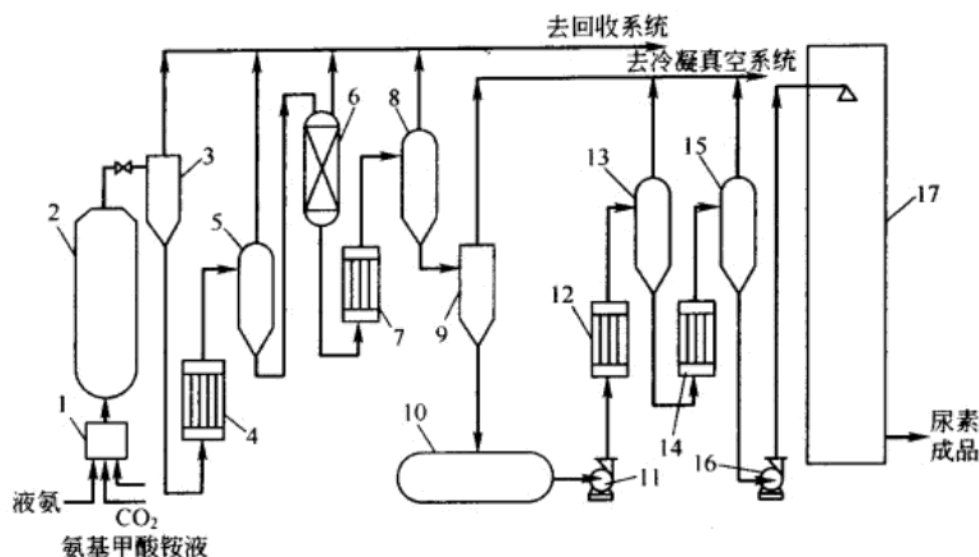


图 1-5 水溶液全循环法合成尿素示意流程

1—预反应器；2—尿素合成塔；3—预分离器；4—中压循环加热器；5—中压循环分离器；6—精馏塔；7—低压循环加热器；8—低压循环分离器；9—闪蒸槽；10—尿液贮槽；11—尿素溶液泵；12—一段蒸发加热器；13—一段蒸发分离器；14—二段蒸发加热器；15—二段蒸发分离器；16—熔融尿素泵；17—造粒塔

一段蒸发分离器、二段蒸发分离器及闪蒸槽出来的气体，大部分水蒸气和少量的氨去冷凝、真空系统，回收残余氨后放空。

② 二氧化碳汽提法。二氧化碳汽提法示意流程如图 1-6 所示。

原料二氧化碳气经压缩后进入汽提塔，与合成塔来的尿素熔融物逆流接触，用蒸汽间接加热进行汽提，使大部分未反应生成尿素的氨基甲酸铵和氨分离，塔顶出来的气体进入高压氨基甲酸铵冷凝器。

加压和预热后的液氨，经高压喷射泵与来自高压洗涤器的循环氨基甲酸铵液同时进入高压氨基甲酸铵冷凝器，氨与二氧化碳在高压氨基甲酸铵冷凝器内反应生成氨基甲酸铵，反应热由管外副产蒸汽移走。

从高压氨基甲酸铵冷凝器出来的物料自动流入合成塔底部，氨基甲酸铵在合成塔内脱水生成尿素，尿素熔融液从塔顶部溢流进入