

日 产 千 吨 合 成 氨 厂

气提法尿素生产工艺

大 连 工 学 院 编

13.26

石 油 化 学 工 业 出 版 社

中国科学院植物研究所

中国植物志

卷 10

1980年10月

日产千吨合成氨厂
气提法尿素生产工艺

大连工学院编

石油化学工业出版社

为配合我国引进 1620吨/日 气提法尿素装置投产，我社组织大连工学院编写本书，与《操作手册》配合使用，供培训工人和自学参考。

本书主要介绍斯太米卡姆设计的二氧化碳气提法尿素技术。内容大部分取材于他们提供的设计资料、操作手册和我国工人赴荷实习报告。

全书共分九章：第一章二氧化碳气提法尿素装置工艺；第二章尿素的合成；第三章相图及其应用；第四章二氧化碳气提法分解与回收未反应物；第五章甲铵的生成与高压甲铵冷凝器；第六章反应器出气的回收与尾气的防爆；第七章循环部分；第八章尿素的蒸发与造粒；第九章二氧化碳气提法尿素生产总述。

日产千吨合成氨厂 气提法尿素生产工艺

大连工学院编

*

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787×1092¹/₃₂印张6³/₈插页1字数138千字印数1—8·250

1978年10月北京第1版 1978年10月北京第1次印刷

书号15063·化276 定价0.49元

限国内发行

出版说明

为了配合日产千吨大型合成氨厂施工、开车和生产操作的需要，大连工学院在办培训班的基础上编写了一套日产千吨合成氨生产用书，其中包括合成氨生产工艺、气提法尿素生产工艺、离心压缩机、工业汽轮机、合成塔、转化炉、甲铵泵、机械零件、金属材料等，将分册陆续出版。

由于现有资料不够完整，又还缺乏生产实践的经验，因此，在这次编写中对有些问题讨论的还不够深入，个别章节尚不够完整，有待经过生产实践后再版时进行补充。

目 录

前言	1
第一章 二氧化碳气提法尿素装置工艺流程说明	5
一、图中常用仪表符号与设备位号的说明	5
二、原料氨和二氧化碳的压缩	7
三、合成及气提	8
四、循环	13
五、尿液的蒸发与造粒	15
六、解吸	17
七、蒸汽系统	19
八、高压系统物料自动循环	22
第二章 尿素的合成	24
一、影响尿素平衡转化率的因素	24
二、平衡转化率的计算	29
三、尿素合成反应速度与工艺条件的选定	33
四、尿素反应器的构造	38
五、反应器工艺操作控制要点	45
第三章 相图及其应用	47
一、相律	47
二、单元相图	48
三、简单的二元气液平衡相图	51
四、具有共沸组成的二元气液平衡相图	54
五、三元相图表示法及其规则	60
六、 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三元系统的液固相图	62

七、 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三元系统的气液相平衡	65
八、 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-Ur}\cdot\text{H}_2\text{O}$ 似三元系统的气液相平衡	73
第四章 二氧化碳气提法分解与回收未反应物	79
一、概述	79
二、气提塔（高压换热器）构造	81
三、气提过程的基本原理	89
四、主要工艺控制	94
第五章 甲铵的生成与高压甲铵冷凝器	99
一、甲铵生成反应的热效应及化学平衡	99
二、高压甲铵冷凝器	101
三、高压甲铵冷凝器中的过程分析	105
四、工艺操作控制要点	109
第六章 反应器出气的回收与尾气的防爆	110
一、尾气的爆炸性和防爆	110
二、高压洗涤器的构造	114
第七章 循环部分	117
一、概述	117
二、精馏条件的确定	117
三、分解气吸收条件的确定	119
四、循环部分主要设备构造	123
五、循环部分操作控制要点	131
六、解吸塔构造及主要操作控制	132
第八章 尿素的蒸发与造粒	137
一、尿素水溶液及其熔融物的物理化学性质	137
二、 $\text{Ur-H}_2\text{O}$ 的平衡相图	141
三、蒸发工艺条件的选择	143
四、膜式蒸发器构造	144
五、造粒塔简述	146
第九章 二氧化碳气提法尿素生产总述	148

一、尿素合成设备的腐蚀及防腐	148
二、系统开工要点	153
三、系统停工要点	159
四、二氧化碳气提法的评价	161
附表 1 二氧化碳气提法尿素装置设备一览表	164
附表 2 二氧化碳压缩机的机械特性	172
附表 3 不同工况下二氧化碳压缩机的各段特性	173
附表 4 物料平衡表	175
附表 5 原料辅助材料规格、产品质量及消耗定额表	184
附表 6 蒸汽与冷凝液的操作工况	185

前 言

尿素化学名为碳酰胺，分子式为 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ，含氮46.6%，是无色或白色针状结晶，能溶于水。熔点 132.7°C ，在高于 $150\sim 160^\circ\text{C}$ 的温度时，会发生缩合作用生成缩二脲。

由于可以综合利用原料，故尿素总与合成氨厂联合生产。

尿素的生产成本较其它氮肥为低。如以每吨氮计，尿素的成本为硝酸铵的80%，为硫酸铵的65%。

此外，尿素的物理化学性能很好，不挥发，吸湿性低，长期使用不致恶化土壤，且其中所含的二氧化碳也可供植物光合作用之需。

据试验结果表明，以同样的含氮量计，尿素肥效较硝酸铵、硫酸铵和碳酸氢铵都高。每斤尿素可增产稻谷 $10\sim 15$ 斤，小麦 $5\sim 8$ 斤，棉花 $3\sim 5$ 斤，玉米 $8\sim 15$ 斤。

尿素又可作为牛羊等反刍动物的辅助饲料，可以使肉、奶增产。

故近年来，尿素占氮肥中的比重逐年增加，例如1961~1962年占8.5%，1969~1970年占22%，估计在1975年已达30%。

工业上，尿素还可用来生产脲-甲醛树脂、塑料、油漆及医药等。

按国家规定，肥料级尿素的规格如下：氮含量不小于46%，缩二脲含量不大于0.9%，含水量不大于0.3%，粒度在 $\phi 1\sim 2.5$ 毫米之间者占90%以上。

尿素是在1713年发现的，1798年才定名为尿素，1828年在实验室中首次人工合成。

尿素的工业生产始于第一次世界大战末期，1920年第一套工业装置在德国开车，但直到1965年前，尿素生产装置的单系列产量小于300吨/日。1965年后，才开始生产装置大型化，我国正在新建的13套尿素生产装置，日产能力都在1620吨以上，是目前世界上生产能力最大的。在大型化的同时，在工艺及设备方面都有很大改进。如离心式压缩机代替了往复式压缩机，合成塔采用钛和锆衬里，热量利用更臻完善等。

氨和二氧化碳合成尿素，其总反应可以表示为：



这一放热反应需要在高温（ $>140^\circ\text{C}$ ，一般为 180°C ）高压（ $>140\text{kg}/\text{cm}^2$ ）下进行。由于这是可逆反应，因此氨与二氧化碳不可能全部转化为尿素。在工业生产条件下，二氧化碳的转化率仅在50~70%之间。为了处理未反应的氨和二氧化碳，可以将合成熔融物加热分解，使成气体逸出。但要将氨和二氧化碳气重新压缩，会生成固体氨基甲酸铵（以后简称甲铵）堵塞管道和设备。为了克服这种困难，就出现了各种气体循环的流程。

不循环法——将合成熔融物采用一次分解，未反应的氨和二氧化碳不再返回尿素合成系统中去，而送去副产硫酸铵或碳化氨水，在这种流程中，每生产1吨尿素，须副产3~5吨硫酸铵。

半循环法——将熔融物进行二次分解，回收第一次分解的氨和二氧化碳返回合成系统中去，而将第二次分解的氨和二氧化碳送去制造硫酸铵或碳化氨水。在这种流程中，每生产1吨尿素，须副产1~3.5吨硫酸铵。

全循环法——将未反应的氨和二氧化碳全部返回合成系统中去。为了避免生成固体甲铵的困难，又有热气全循环法、矿物油全循环法、气体分离全循环法、水溶液全循环法以及气提全循环法等。

热气全循环法：系将未反应氨与二氧化碳在热的状态下，进入压缩机压缩。这种方法不仅压缩机庞大，动力消耗大，而且由于操作温度高，腐蚀比较严重。

矿物油全循环法：用惰性矿物油处理未反应的氨和二氧化碳，使成为固体甲铵细粒，悬浮于油中，再用泵返回合成系统。本法反应器容积大，投资大，成本较高，而且成品带油。

气体分离全循环法：将未反应的氨和二氧化碳的气体混合物，用一种选择性吸收剂将其中的一种组份吸收，再解吸之，分别压缩返回合成系统中去。氨的选择性吸收剂为硝酸尿素水溶液，磷酸铵水溶液或重铬酸铵水溶液等；而二氧化碳的选择性吸收剂为醇基胺和多甘油酯等。这种方法流程复杂，动力消耗较大。

水溶液全循环法：将未反应的氨与二氧化碳用一定数量的水吸收成为水溶液返回合成系统中去。根据添加水量的多少，水溶液全循环法又可分为两类：添加的水量与二氧化碳的分子比近于1的碳酸铵溶液全循环法，添加水量较少的甲铵溶液全循环。后者优于前者，故已取代了前者。

气提全循环法：用原料二氧化碳气或氨气在合成压力下

将尿素熔融物气提，使其中的甲铵分解，返回合成系统。如用二氧化碳气提，称为二氧化碳气提法，如用氨进行气提，则称为氨气提法。在气提法流程中，热量利用合理，技术经济指标较为先进。本读物主要介绍二氧化碳气提法尿素的生产。

第一章 二氧化碳气提法尿素

装置工艺流程说明

一、图中常用仪表符号与设备位号的说明

○ 就地安装

⊖ 主控室仪表盘上安装

——— 气动信号

----- 电信号

~~~~~ 电磁, 声波, 放射性信号

如: ⊖<sup>HIC</sup> 第一个字母, 一般表示参数:

T: 温度

S: 速度

P: 压力

D: 密度

F: 流量

V: 粘度

L: 液面

X: 信号

H: 手动

Z: 定位

A: 分析

C: 电导

后面的字母:

A: 报警

T: 变送

C: 控制

E: 元件

I: 指示

G: 视镜

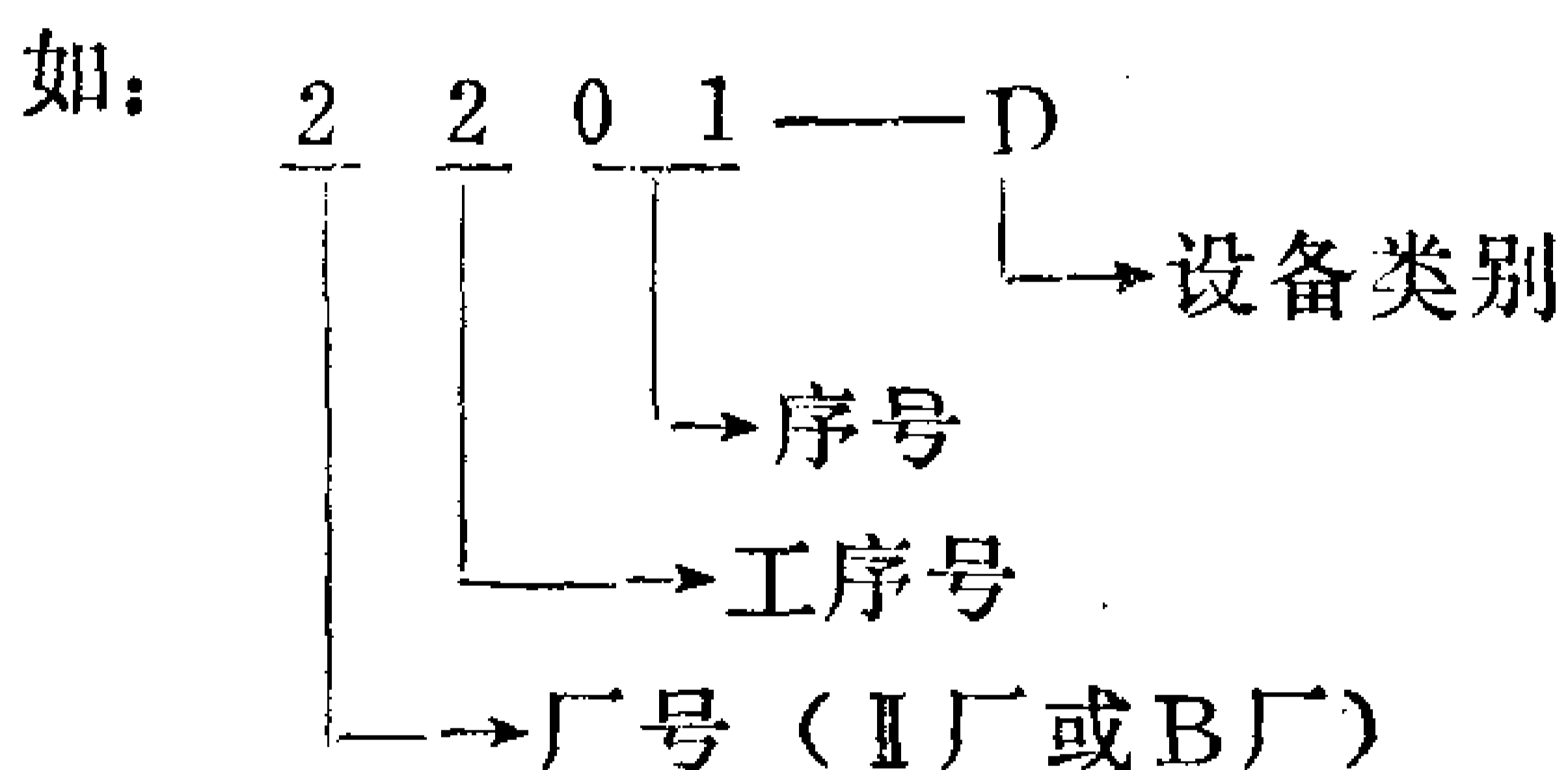
|       |         |
|-------|---------|
| R: 记录 | S: 开关   |
| X: 信号 | O: 节流小孔 |
| H: 高限 | Q: 累积   |
| L: 低限 | Y: 转换   |
| V: 阀  |         |

TI<sub>001</sub>, TI<sub>002</sub>, TI<sub>003</sub> 为多点温度指示, TI<sub>001</sub> 表示第一块温度盘, (TI<sub>001</sub>)<sub>1</sub> 为第一块温度盘中的第一点温度。

TS<sub>001</sub>, TS<sub>002</sub>, TS<sub>003</sub> 为多点温度切换开关。括号外的注脚同上。

TR<sub>001</sub>, TR<sub>002</sub> 为多点温度记录。括号外的注脚同上。

设备位号说明:



本读物中不列出厂号, 故只有三个数字。

工序号:

100号: 压缩

200号: 合成及气提

300号: 循环

400号: 蒸发

600号: 造粒

700号: 冷凝解吸

800号: 包装

900号: 公用工程

设备类别:

A: 基础类, 在此指造粒塔

B: 炉子

C: 换热设备

D: 反应设备

E: 传质设备

F: 槽和罐

J: 泵和压缩机

L: 特殊设备 (喷头, 喷射器)

V: 机械

JT: 透平

工艺流程图如图 1-1 所示。在流程图中加括号的是物料位号，其数值见附表 1。

## 二、原料氨和二氧化碳的压缩

原料液氨由合成氨车间供给，压力最低为  $24\text{kg}/\text{cm}^2$  (表)\*，温度低于  $40^\circ\text{C}$ 。进入尿素车间后，经氨预热器 (101-C) 预热到  $40^\circ\text{C}$  进入高压氨泵 (104-J)，为了避免高压氨泵的气塞，液  $\text{NH}_3$  的温度应比上述压力下的沸点至少低  $10^\circ\text{C}$ 。通过氨泵将压力提高到约  $180\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

高压氨泵是七柱往复泵，由电机经过水力无级变速器带动，后者可以变动泵的转速，使流入反应系统的氨流量可以在正常需要量的 36% 到 110% 之间的范围内变动。转速由人工调整，使速度调节器保持泵的转速在某一给定值，在流量计 (FR-151) 上给出需要的读数。出高压氨泵的液  $\text{NH}_3$  经氨加热器 (102-C) 用  $1\text{kg}/\text{cm}^2$  的蒸汽进一步加热到约  $70^\circ\text{C}$ ，送入高压喷射器 (201-L)，将高压洗涤器 (203-C) 出来的甲铵溶液增压，一并送入高压冷凝器 (202-C) 的顶部。

原料  $\text{CO}_2$  气，亦由合成氨车间送来，经二氧化碳压缩机 (102-J) 压缩后送入气提塔底部。在进入压缩机前往二氧化碳气流中加入一定量的空气，使气流中含有氧气以防腐蚀。所需空气约为二氧化碳气量的 4% (体积)。流量用调节器 (FIC-102) 保持恒定。

空气由空气鼓风机 (101-J) 送入，多余空气经控制阀

---

\* 除特殊说明外，书中压力均以表压计。

放空,CO<sub>2</sub>中的O<sub>2</sub>含量用(AR-101)自动分析并记录之。如O<sub>2</sub>含量降低到低于最小容许值,就发出低位报警(ARL-101)。

为了保护压缩机不致有水带入,CO<sub>2</sub>先通过液滴分离器(101-F)将液滴分离,液滴分离器设有自动排水装置。并装有液位开关,当液位过高时发出警报,经过一段时间后,压缩机自动停车,当吸入压力低于最小容许值时,低压报警会给出信号。

CO<sub>2</sub>压缩机是离心式的,由蒸汽透平带动,此压缩机共分四段。前两段同一转轴,装在一个水平的上下剖分式缸体内。后两段亦是一根转轴,装在筒形缸体内。在两个转轴之间装一个增速器。各段间设有气体冷却器和液滴分离器。最后一段气体出口约125℃,不加冷却就直接送去气提。

由于压缩机是蒸汽透平驱动的,因此可以通过调节蒸汽的输入控制阀,以改变压缩机转速。

在正常情况下来自合成氨车间的CO<sub>2</sub>,全部用于尿素车间。蒸汽透平通过压缩机吸入口的压力自动地调整转速。进入尿素车间的CO<sub>2</sub>流量用(FR-101)记录,如果CO<sub>2</sub>的流量在较长时间内偏离规定值,则必须调整氨量,以保持正常的反应条件。

当合成氨车间输出的CO<sub>2</sub>量超过尿素车间需要量时,过量的CO<sub>2</sub>经PIC-203调节阀排入大气,以保持吸入压力恒定。在开工时,也用它来控制生产负荷。

### 三、合成及气提

本工序有高压甲铵冷凝器(简称高压冷凝器)、反应器(尿素合成塔)、气提塔(高压热交换器)及高压洗涤器等设备。



### (一) 高压冷凝器 (202-C)

高压冷凝器的作用，是将液体  $\text{NH}_3$  和气体  $\text{CO}_2$  大部分冷凝成为甲铵液体。

高压冷凝器是立式管壳式热交换器，在其上部管侧送入新鲜的液氨、含有  $\text{NH}_3$  和  $\text{CO}_2$  的气提气以及循环返回反应系统的甲铵液，此物料是气液混合物，在约  $140\text{kg}/\text{cm}^2$  下送入，物料沿管子的内壁往下流，出口温度为  $166\sim 167^\circ\text{C}$ ， $\text{NH}_3/\text{CO}_2=2.8\sim 2.9$ 。

换热器的壳侧，用约  $3.0\text{kg}/\text{cm}^2$  ( $143^\circ\text{C}$  下) 的沸水冷却，管内  $\text{NH}_3$  和  $\text{CO}_2$  的压力高，管外水的压力低，故甲铵的冷凝温度比水的沸点要高  $20^\circ\text{C}$ ，这样加料物中的蒸汽冷凝，并按反应 (1) 生成甲铵时，放出冷凝热和生成热，传给管外的沸水，产生  $3\text{kg}/\text{cm}^2$  的蒸汽，这种蒸汽在工厂中有许多用途。

蒸汽在四个汽包 (201-F, A~D) 中与水分离，汽液混合物通过上升管进入汽包，而水由下降管回到高压冷凝器壳侧的底部。由于蒸汽的生成，在壳内水自然循环，蒸汽由汽包顶部离开，锅炉给水 (蒸汽冷凝液) 由泵送入下降管中。

蒸汽压力是自动调节的，当改变压力调节器的给定值时，也就改变了沸腾温度，从而也改变了管壁内外的温度差。因此用这种方法可以改变从反应系统中移走的热量，达到控制冷凝程度与甲铵生成程度的目的。

高压冷凝器的操作要使进口的氨与二氧化碳不是全部生成甲铵，而有一小部分仍然以气体存在。生成的甲铵液与未冷凝的气体，从底部各自的管子离开高压冷凝器，进入反应器的底部。

### (二) 反应器 (201-D)