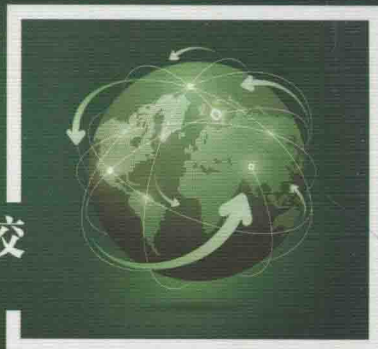


国家中等职业教育改革发展示范学校
重点专业教材建设成果



化肥生产工艺

- 郝向前 主 编
- 池永庆 副主编
- 董树清 主 审

HUAFEI
SHENGCHAN
GONGYI



化学工业出版社

国家中等职业教育改革发展示范学校
重点专业教材建设成果

化肥生产工艺

郝向前 主 编
池永庆 副主编
董树清 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要包括二氧化碳气提法合成尿素的生产工艺、硝酸铵生产工艺、硝酸磷肥生产工艺的生产原理、工艺条件的选择、工艺流程图的解读、主要设备的构造及其操作要点的分析等。此外,对当前国内外尿素生产工艺的多种流程和工艺及尿素产品的发展也做了简要介绍。

本书可作为中等职业学校化工工艺专业的教材,也可作为尿素、硝酸铵、硝酸磷肥生产企业的工人的培训教材,还可作为企业技术人员和管理人员的参考用书等。

图书在版编目(CIP)数据

化肥生产工艺/郗向前主编. —北京:化学工业出版社, 2015. 8

国家中等职业教育改革发展示范学校重点专业教材建设成果

ISBN 978-7-122-24549-6

I. ①化… II. ①郗… III. ①化学肥料-生产工艺-中等专业学校-教材 IV. ①TQ440. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 151405 号

责任编辑:张双进

文字编辑:咎景岩

责任校对:吴 静

装帧设计:尹琳琳

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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张11 $\frac{3}{4}$ 字数236千字 2015年10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:29.00 元

版权所有 违者必究

国家中等职业教育改革发展示范学校 重点专业教材建设

编审委员会

主 任：王黎明

委 员：（按姓氏笔画排序）

王建平	孔令慧	师文辉	朱学伟	任成平	孙建明
李 舟	李水龙	李国宏	张日利	张旭华	陆善平
陈启文	苗林明	郑智宏	秦京菊	秦晋一	原 俊
柴琳洁	梁占禄	董树清	温鹏飞	薛利平	薛新科

特聘专家：（按姓氏笔画排序）

王晓东	王梅梅	李四峰	郎红旗	杨志东	赵建勇
赵海兰	温卫东	韩文斌	薛永兵		

前言

《化肥生产工艺》是山西省工贸学校与化学工业出版社合作出版的教材之一。本书根据全国化工中专教学指导委员会颁发的《化学肥料教学大纲》和山西省工贸学校化学工艺专业人才培养方案，由山西省工贸学校示范办、化工科组织编写。

本书主要针对目前中国国内尿素、硝酸铵、硝酸磷肥的生产规模庞大、生产工艺繁多的特点，参阅山西省内数个尿素、硝酸铵、硝酸磷肥生产企业的生产工艺资料，以及现行尿素、硝酸铵、硝酸磷肥生产工艺教材，就其共性的问题，主要描述了二氧化碳气提法合成尿素的生产工艺、硝酸铵生产工艺、硝酸磷肥生产工艺的生产原理、工艺条件的选择、工艺流程图的解读、主要设备的构造及其操作要点的分析等。此外，对当前国内外尿素生产工艺的多种流程和工艺以及尿素产品的发展也做了简要介绍。

随着近几年国内化学工业的迅速发展，化肥企业的生产规模不断扩张，技术不断进步，企业对具备高技能、复合型技术人才的需求比重增加。为配合尿素、硝酸铵、硝酸磷肥生产企业的迅速发展对中等职业技术教育和化肥技术工人培训的要求，本书主要介绍了二氧化碳气提法合成尿素的合成理论和生产技术以及硝酸铵、硝酸磷肥的生产技术。其中尿素合成部分以尿素生产工艺流程为主线，从原料的性质、净化及输送，尿素的合成，尿素合成液中未转化物的分离与回收利用，尿素水溶液的蒸发，尿素熔融液的造粒工艺原理和技术进行了详细介绍；并且对尿素合成过程的中间产物氨基甲酸铵的性质及其在尿素合成过程中的重要性进行了阐述；根据尿素合成反应的特点，在工艺条件选择和讨论中对如何提高二氧化碳转化率，提高尿素产品质量、产量，如何抑制尿素水解、缩合副反应和防止尿素生产设备的腐蚀问题从理论上进行了详细的介绍。

全书由山西省工贸学校郝向前主编，山西省工贸学校董树清主审。全书共分三个工艺：尿素生产工艺中项目一、二、三、四、七由郝向前编写，项目五、六由太原科技大学化工学院池永庆编写；硝酸铵生产工艺由山西省工贸学校王宏祥编写；硝酸磷肥生产工艺由郝向前编写。全书由郝向前统稿。

本书可作为中等职业学校化工工艺专业的教材，也可作为尿素、硝酸铵、

硝酸磷肥生产企业的工人的培训教材，还可作为企业技术人员和管理人员的参考用书等。

由于编写时间短，编者实践经验有限，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
2015 年 2 月

目录

第一章 尿素生产工艺	1
项目一 概述	1
任务一 认知尿素的性质	2
一、尿素的物理性质	2
二、尿素的化学性质	3
任务二 探究尿素的用途及产品标准	5
一、用作氮肥	5
二、用于饲料生产的非蛋白氮添加剂	5
三、用作其他工业的原料	6
四、尿素国家标准	6
任务三 了解尿素的生产方法简介	7
项目二 合成尿素的原料	8
任务一 解读尿素生产对原料的工艺要求	10
任务二 解读原料输送设备	12
一、液氨泵	12
相关仿真知识 1	12
二、二氧化碳压缩机	13
相关仿真知识 2	14
项目三 尿素的合成	18
任务一 领会尿素合成的基本原理	18
一、合成尿素的反应机理	18
二、氨基甲酸铵的性质	19
三、氨基甲酸铵的生成	22
四、甲铵脱水生成尿素	24
任务二 识读尿素合成的工艺条件	32
任务三 解读尿素合成的工艺流程	37
任务四 解读尿素合成的主要设备	38
一、高压甲铵冷凝器	38
二、尿素合成塔	39
任务五 学会尿素合成塔状态分析及操作要点	42
相关仿真知识 3	44

项目四 尿素合成反应液中未转化物的分离与回收	46
任务一 识读减压加热法分离与回收未转化物	48
一、减压加热法分离与回收原理	48
二、未转化物分离与回收的工艺条件	52
三、分离与回收的工艺流程及主要设备	56
任务二 解读二氧化碳气提法分离与回收未转化物	59
一、二氧化碳气提法分离与回收原理	60
二、二氧化碳气提循环的工艺条件	66
三、二氧化碳气提工艺流程及主要设备	67
相关仿真知识 4	74
项目五 尿素水溶液的蒸发与尿素熔融液的造粒	78
任务一 识读尿素水溶液的蒸发	79
一、 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$ 二元体系相图	79
二、尿素水溶液加工过程的副反应及防止措施	80
三、蒸发工艺条件的选择	82
任务二 识读尿素熔融液的结晶与造粒	84
任务三 解读尿素水溶液加工的工艺流程及主要设备	85
一、尿素水溶液加工的工艺流程	85
二、尿素水溶液加工的主要设备	86
相关仿真知识 5	92
项目六 尿素生产工艺综述	96
分项目一 典型尿素生产方法的工艺流程综述	97
任务一 解读水溶液全循环法	97
任务二 解读二氧化碳气提法	100
任务三 了解全循环改良 C 法流程	103
任务四 解读氨气提法	105
任务五 了解 ACES 工艺	106
任务六 了解等压双气提工艺	107
任务七 了解 UTI 热循环法工艺	108
分项目二 尿素生产技术发展	110
相关仿真知识 6	111
项目七 尿素生产设备的腐蚀与防护	112
任务一 识读尿素生产腐蚀机理	113
任务二 识读尿素生产中腐蚀规律分析及腐蚀类型	114
一、腐蚀规律分析	114
二、腐蚀类型	115

任务三 识读影响腐蚀的因素及其防腐蚀的措施·····	116
尿素仿真实训知识汇总·····	120

第二章 硝酸铵生产工艺 ····· 143

项目一 概述·····	143
任务一 了解硝酸铵发展史·····	145
任务二 认知硝酸铵的危害与安全性·····	145
项目二 硝酸铵的性质与用途·····	146
任务一 识读硝酸铵的性质·····	147
任务二 解读硝酸铵的用途·····	148
项目三 硝酸铵的生产方法·····	149
任务一 识读中和法生产硝酸铵的基本原理及工艺条件·····	150
任务二 解读硝酸铵稀溶液蒸发的工艺条件·····	153
任务三 解读硝酸铵结晶及造粒的工艺条件·····	154
任务四 解读硝酸铵成品的包装、储存及运输·····	155
项目四 硝酸铵生产的工艺流程及主要设备·····	156
任务一 解读硝酸铵生产的工艺流程·····	157
一、常压中和法生产硝酸铵的工艺流程·····	157
二、加压中和造粒法生产硝酸铵的工艺流程·····	159
三、硝酸铵的造粒方法·····	160
任务二 解读硝酸铵生产的主要设备·····	160
一、循环式常压中和器·····	160
二、再中和器·····	161

第三章 硝酸磷肥生产工艺 ····· 164

项目一 概述·····	164
任务一 识读硝酸磷肥的组分与性质·····	165
一、定义·····	165
二、物理性质及使用性能·····	165
任务二 了解硝酸磷肥的生产工艺发展简史·····	165
项目二 硝酸磷肥生产的基本原理·····	167
任务 识读硝酸磷肥生产的基本原理·····	167
项目三 硝酸磷肥生产过程中的工艺条件·····	169
任务一 识读硝酸分解磷矿过程中工艺条件的选择·····	170
任务二 识读萃取液加工过程中工艺条件的选择·····	170
项目四 硝酸磷肥的生产方法·····	171

任务 识读硝酸磷肥的生产方法.....	172
项目五 间接冷冻法生产硝酸磷肥的工艺流程.....	173
任务 解读间接冷冻法生产硝酸磷肥的工艺流程.....	174
参考文献	177

第一章

尿素生产工艺

尿素档案

中文名：尿素

英文名：Carbamide（碳酰胺）Urea（尿素）

摩尔质量：60.055g/mol

密度：1.335g/cm³

沸点：196.6℃（760mmHg）

闪点：72.7℃

主要危害：一定条件下会爆炸 $2\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{N}_2 + 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$

安全性：避免与皮肤、眼睛接触

别名：碳酰胺

化学式：CO（NH₂）₂

外观：白色晶体

熔点：132.7℃（760mmHg）^❶

溶解度（水）：108g/100mL（20℃）

项目一 概述



学习目标

1. 知识目标：学会尿素的物理与化学性质、用途与规格、生产方法简介；
2. 能力目标：利用尿素的物理与化学性质、用途，为人类造福；
3. 情感目标：了解尿素生产方法简介，培养工程技术观念及与人合作的岗位能力。



项目任务

1. 尿素的性质；
2. 尿素的用途与规格；
3. 尿素生产方法简介。

❶ 760mmHg=101.325kPa。



项目描述

该项目阐述了尿素的性质、用途与产品规格、生产方法。



项目分析

尿素的性质决定尿素的用途，尿素先进的生产方法是学习重点。尿素产品规格涉及尿素产品的质量，要深入学习。



知识平台

常规教室



项目实施

任务一 认知尿素的性质

一、尿素的物理性质

1. 尿素的重要物理性质

① 尿素 (Urea) 的学名是碳酰胺，俗称尿素，又称为脲，分子式为 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ，

结构式为 $\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}}-\text{NH}_2$ ，相对分子质量为 60.055，含氮量为 46.65%。

② 纯尿素在常压下的熔点为 132.7°C 。

③ 尿素俗称的来源：尿素是碳、氢、氧、氮元素组成的有机化合物，因尿素这种物质首先发现于人类及哺乳动物的尿液中，故俗称为尿素。

④ 尿素的颜色与外观形状：纯净的尿素在室温下是无色、无味、无臭的针状或棱柱状结晶体。工业上尿素产品因含有杂质，一般为白色或浅黄色结晶体。

⑤ 尿素的吸湿性：固体尿素易吸湿，随温度升高和相对湿度增大而吸湿性增大，故尿素产品应密闭包装，在运输、储存和施用时，注意防止尿素吸湿潮解并导致尿素结块。粒状尿素的优点：粒状尿素尤其是大颗粒尿素的比表面积较小，与湿空气的接触机会较少，吸湿性和结块性较小，并具有良好的稳定性，便于运输、贮存和施用，故目前大多数尿素生产企业均生产大颗粒尿素。

⑥ 尿素的水溶性和氨溶性：尿素易溶于水和液氨中，其溶解度随温度升高而增大。

⑦ 尿素水溶液的沸点随浓度降低、压力降低而降低，反之也成立。

2. 尿素的其他物理性质

① 在 20°C 时尿素饱和水溶液的密度为 $1.146\text{g}/\text{cm}^3$ ，固体尿素密度为 $1.355\text{g}/\text{cm}^3$ ，温度每增加 1°C ，密度将降低 $0.000208\text{g}/\text{cm}^3$ ， 20°C 时比热容为 $1.334\text{J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$ ，结晶热为 $224\text{J}/\text{g}$ ，临界温度为 102.3°C 。

② 25°C 时比热容 (固态) $1.55\text{J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$ ，比热容 (液态) $2.09\text{J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$ 。

③ 尿素水溶液的密度和黏度随浓度升高，温度降低而增大。

二、尿素的化学性质

尿素的化学性质主要包括尿素的缩合反应、水解反应、加成反应等。

1. 尿素的缩合反应

评价：尿素的缩合反应是尿素生产过程中的有害副反应之一。

尿素在加热的条件下易发生分子间缩合脱氨生成缩二脲、缩三脲以及三聚氰酸等化合物。在真空条件下，将固体尿素加热到 120~130℃ 时，尿素并不分解，但要由固体直接升华成为气体。

① 温度升高至 160~190℃ 时尿素可转变为氰酸铵，相应的化学反应式如下：



② 当加热温度高于尿素的熔点时发生二分子或三分子间脱氨并生成缩二脲以及缩三脲的不利于尿素生产的化学反应。

a. 在常压下，加热干燥固体尿素到高于它的熔点温度时，两分子尿素缩合生成难溶于水的缩二脲，并放出氨气，反应方程式如下：



b. 当温度超过 170℃ 时，三分子尿素缩合生成缩三脲或三聚氰酸等，并放出较多的氨气：



尿素缩合反应的机理是很复杂的，有关研究指出，首先是尿素进行同分异构化，由酮状结构变成烯醇状结构，然后生成氰酸和氨，氰酸再与尿素作用生成缩二脲，以致进一步生成缩三脲或三聚氰酸等化合物。

③ 缩合反应产物的危害。缩二脲、缩三脲及三聚氰酸对于植物或动物都是有害的物质，缩合反应的发生会降低尿素产品质量，故生产过程中应防止或减少尿素缩合反应的发生。

2. 尿素的水解反应

评价：尿素的水解反应是尿素生产过程中的有害副反应之二。

(1) 水解反应的规律

① 尿素的水解过程，一般认为经历以下几个步骤。

第一步，尿素与水作用首先生成氨基甲酸铵（以下简称甲铵）：



第二步，生成的甲铵在水的作用下，部分进一步水解生成碳酸铵：



第三步，碳酸铵分解为碳酸氢铵和氨气：



碳酸氢铵最后进一步完全分解为氨、二氧化碳和水：



当加热尿素的水溶液温度高于 130℃ 时，尿素会直接水解为氨和二氧化碳：



该反应式也是尿素水解反应的总反应式。

② 尿素水解反应的速率和水解量的影响因素如下。

a. 温度：尿素在常温常压下性质比较稳定，即使在酸性、碱性或中性溶液中，当温度在 60℃ 以下时，尿素几乎不发生水解反应。随着温度升高，水解速率加快。当温度达 80℃ 时，1h 内尿素的水解量仅为 0.5%，110℃ 时 1h 内可增加到 3%。

b. 加热时间：加热时间越长，水解程度越大（即水解量越大），水解速率越快。

c. 氨存在：在有氨存在的情况下，可以抑制尿素的水解，该规律可由化学平衡移动原理解释。氨存在时尿素的水解速率可以大大降低，水解量大大减小。

(2) 水解反应对于尿素生产过程的危害

尿素水解反应是尿素合成反应的逆反应，是尿素合成反应的倒退！在尿素生产过程中发生水解反应，会减小尿素生产的产量、增加动力消耗、加大尿素的生产成本等，这一点将在工艺条件讨论项目中详细讲述，故实际生产中应尽可能防止或减少尿素水解反应的发生。

3. 尿素的加成反应

评价：拓宽了尿素的利用空间，增强了尿素的经济性。

① 由于尿素分子结构的特点，在强酸性溶液中呈现弱碱性，具有碱性特征，因此尿素能与酸作用生成盐类。

比如，尿素与硝酸作用生成尿素的硝酸盐：



其中 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{HNO}_3$ 称为硝酸脲，是尿素的硝酸盐，该物质微溶于水，加热即可迅速发生分解反应甚至爆炸。

尿素与磷酸作用生成尿素的磷酸盐：



其中 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ 称为磷酸脲，是尿素的磷酸盐，该物质易溶于水，是良好的复合肥料。

尿素与过氧化氢反应生成过氧化尿素或称过氧化碳酰二胺：

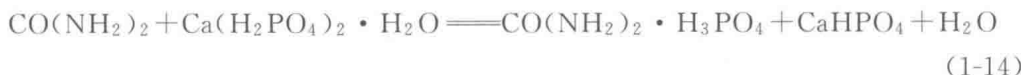


其中 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ 称为过氧化尿素，是一种优良的氧化性漂白剂和消毒剂。

② 尿素在强碱性溶液中，又呈现弱酸性，故尿素又能与碱作用生成盐类，如与 NaOH 作用生成 Na_2CO_3 等。



③ 尿素还能与一些金属盐类作用生成配合物，如尿素与磷酸二氢钙作用，生成磷酸脲和磷酸氢钙：



尿素与 NH_4Cl 作用生成 $\text{NH}_4\text{Cl} \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ，与 NH_4NO_3 作用生成 $\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 等络合物，利用这一性质可生产高效复合肥料。

④ 另外，尿素几乎能与所有的直链有机化合物（如醇、酸、醛、烃类等）发生化学反应。尿素不仅可以发生取代反应，而且还可以发生加成反应，这些性质大大地增加了尿素的用途及经济价值。

任务二 探究尿素的用途及产品标准

一、用作氮肥

(1) 高浓度氮肥 尿素是目前使用的固体氮肥中含氮量最高的化学肥料。尿素的含氮量为硝酸铵的 1.3 倍，氯化铵的 1.8 倍，硫酸铵的 2.2 倍，石灰氮（氰化钙）（ CaCN_2 ）的 2.3 倍，碳酸氢铵的 2.6 倍，因此，以单位氮为基准，尿素的生产、运输、储存和施用费用是最低的。

(2) 中性肥料 尿素是一种良好的中性肥料，不含酸根，适用于各种土壤和各种农作物，它既可以作基肥，也可以作追肥，可以干施又可以湿施，对农作物根部和叶面都可以施用，还能与其他化学肥料混合施用。尿素在施用过程中，不会在土壤中留下任何有害物质，尿素分子中的氮元素被作物吸收时，分解释放出的二氧化碳还会促使农作物进行光合作用，所以，长期施用尿素不会使土壤板结或变质。

(3) 生产复混肥料的主要原料 尿素与甲醛或乌洛托品 $[(\text{CH}_2)_6\text{N}_4]$ 反应可制得缓效的尿醛肥料，可以使肥效期大大增长，尿素与其他化学肥料混合而制得高效复混肥料，对农作物增产效果更为显著。

(4) 尿素产品中含有少量缩二脲对农作物的毒害作用 尿素中缩二脲对农作物有毒害作用，能伤害种子并抑制种子发芽。被农作物吸收后，使叶尖发黄，叶子枯萎，生长速率缓慢，影响农作物的产量。

(5) 尿素肥料中缩二脲的最高允许含量 随农作物种类和施肥方法而有较大差别。当缩二脲含量不超过 2.5% 时，各类农作物均可使用。但用于拌种或可能接触种子时，缩二脲含量不应超过 1%。用作叶面施肥时，对柑橘类果树，缩二脲应不超过 0.25%，对其他作物，缩二脲不应超过 0.5%。因缩二脲在土壤中能转变成硝酸态氮而被植物吸收利用，不会在土壤中积聚，因此只要一次施肥中缩二脲含量不超过允许量，就能避免对农作物的损害。

二、用于饲料生产的非蛋白氮添加剂

尿素可用作反刍动物（如牛、羊等）饲料的非蛋白氮添加剂（辅助饲料）。尿素在反刍动物胃中微生物的作用下将尿素所含的氮元素提供于生物合成蛋白质，使肉、奶增产。故仅限于用作反刍动物的饲料生产的添加剂，按蛋白质的价值比较，1kg 尿素的含氮量，等于 2.6~2.8kg 蛋白质的含氮量，约等于 5kg 豆饼或 22~25kg 大麦的含氮量，作为饲料生产的原料尿素的规格和用法有特殊要求，要科学配制，不能乱用。

三、用作其他工业的原料

尿素在工业上的用途非常广泛。现从以下八个层面描述：

(1) 合成高分子聚合物的原料 在有机合成工业中，尿素主要用作合成高分子聚合物的原料，如用于合成脲醛树脂、有机玻璃等。

(2) 利尿剂 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，还可用作生产安眠药、镇静剂、麻醉剂、甜味剂等原料。

(3) 石油精炼过程的脱脂剂 在石油工业中，尿素用来制造化学配合物，用作石油精炼过程的脱脂剂。

(4) 合成纤维——尤纶的原料 在合成纤维中，尿素是合成纤维——尤纶的原料。

(5) 软化剂 尿素还可用于纺织品的人工防皱和麻纱处理的软化。

(6) 炸药的稳定剂 在国防工业中，尿素用作炸药的稳定剂。

(7) 起泡剂 在选矿中用作起泡剂。

(8) 其他产品的原料 在制革、颜料、涂料、染料、摄影显影剂及日用化工产品生产中，也都要使用尿素。尿素在工业上使用时，除用于生产某些特殊产品外，一般对缩二脲的含量没有特殊要求。

四、尿素国家标准

GB 2440—2001 如表 1-1 所示。

表 1-1 尿素国家标准 (GB 2440—2001)

项 目		工业用			农业用		
		优等品	一级品	合格品	优等品	一级品	合格品
总氮(N)(以干基计)	≥	46.5%	46.3%	46.3%	46.4%	46.2%	46.0%
缩二脲	≤	0.5%	0.9%	1.0%	0.9%	1.0%	1.5%
水(H ₂ O)分	≤	0.3%	0.5%	0.7%	0.4%	0.5%	1.0%
铁(以 Fe 计)	≤	0.0005%	0.0005%	0.0010%			
碱度(以 NH ₃ 计)	≤	0.01%	0.02%	0.03%			
硫酸盐(以 SO ₄ ²⁻ 计)	≤	0.005%	0.010%	0.020%			
水不溶物	≤	0.005%	0.010%	0.040%			
亚甲基二脲	≤				0.6%	0.6%	0.6%
颗粒	δ 0.85~2.80mm	≥					
	δ 1.18~3.35mm	≥					
	δ 2.00~4.75mm	≥	90%	90%	93%	90%	90%
	δ 4.00~8.00mm	≥					

注 1. 表中为工业级和农业级质量标准，在饲料级尿素中缩二脲、游离氨和铁含量还有特别的要求。

2. 尿素生产工艺中，造粒时在尿素熔融液内不加甲醛，则不做亚甲基二脲含量的测定。

3. 项目中颗粒项只要符合四档中的任一档即可，包装标识中应注明。

4. 尿素产品含氮量的比较：

(1) 工业品同一级别>农业品同一级别；

(2) 对于工业品或农业品均有如下规律：优等品>一级品>合格品。

任务三 了解尿素的生产方法简介

尿素最早发现于 1773 年, 1828 年德国化学家维勒 (图 1-1) 在实验室用氰酸与氨进行化学反应, 第一次得到人工合成的尿素。到目前为止, 尿素生产方法很多, 其主要区别在于尿素合成反应液中未转化物的分离与回收方法不同。

1. 不循环法

即原料液氨和气体二氧化碳经尿素合成反应后, 未生成尿素的氨和二氧化碳与尿素分离后全部不返回尿素合成塔, 而送去加工成其他产品的方法。不循环法是 20 世纪 30 年代中期出现的一种合成尿素的方法。

2. 半循环法

即原料液氨和气体二氧化碳经尿素合成反应后, 未生成尿素的氨和二氧化碳与尿素分离后部分返回尿素合成塔继续合成尿素, 另一部分不返回尿素合成塔而送去加工成其他产品, 或只循环回收氨和二氧化碳其中一种的方法。氨和二氧化碳利用率比不循环法高。半循环法是 20 世纪 50 年代初期发展的。中国的尿素工业发展始于 1958 年, 先由南京建成日产 10t 尿素的半循环法装置, 其后又在上海吴泾化工厂建成年产 1.5 万吨的半循环法装置。

3. 全循环法

即原料液氨和气体二氧化碳经尿素合成反应后, 未生成尿素的氨和二氧化碳与尿素分离后全部返回尿素合成系统继续合成尿素, 构成封闭的循环系统的方法。原料利用率高达 98% 以上。

全循环法是 20 世纪 60 年代初期在半循环法的基础上发展起来的。

根据尿素合成反应液中未转化物的分离和循环回收的方法不同, 又可分为热气全循环法、矿物油全循环法、尾气分离全循环法和水溶液全循环法等。

如第一座以氨和二氧化碳为原料生产尿素的工业装置是德国法本 (I. G. Farben) 公司奥堡工厂于 1922 年建成投产的, 采用热混合气压缩循环。1932 年美国杜邦公司 (Du Pont) 用直接合成法制取尿素氨水, 并在 1935 年开始生产固体尿素, 未转化物以氨基甲酸铵水溶液形式返回合成塔, 是曾经流行的水溶液全循环法技术的早期设想, 也是现代尿素生产技术的基础。

(1) 水溶液全循环法 是利用水吸收未生成尿素的氨和二氧化碳, 以碳酸铵水溶液或甲铵水溶液的形式进行循环, 全部返回合成塔的方法。该方法具有动力消耗低、生产流程简单、投资较低等优点, 故曾经得到广泛采用。

在循环过程中根据使用水量的不同, 又可分为碳酸盐水溶液全循环法和甲铵溶液全循环法。如日本三井东亚全循环改良 C 法和 D 法, 荷兰斯塔米卡邦水溶液全循环法, 意大利蒙特卡蒂尼-爱迪生新全循环法, 美国凯米科水溶液全循环法以及



图 1-1 弗里德里希·维勒