



晋城煤业集团一体化教材

尿素工艺

成 静 主编

王建武 赵贵福 主审

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

Niaosu

Gongyi

China University of Mining and Technology Press

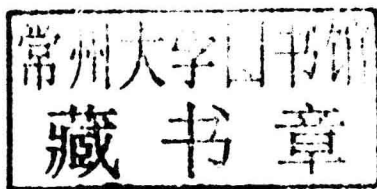
晋城煤业集团一体化教材

尿 素 工 艺

主 编 成 静

副主编 宋莉莉 杨 锐

主 审 王建武 赵贵福



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书共分4个模块,共16个课题,全面介绍了尿素工艺的基础知识、尿素生产工艺的主流程和附属流程,最后系统介绍了尿素生产的开车和停车。本书附有大量的知识链接及实训内容,以便读者更好地学习、掌握。

本书可作为以尿素为主的煤化工专业教学用书,还可以作为中等职业学校或技术工人教育的中、高级工学习使用;同时,本书兼顾煤矿企业工人培训及职业技能鉴定使用。

图书在版编目(CIP)数据

尿素工艺 / 成静主编. — 徐州:中国矿业大学出版社,2011.2

晋城煤业集团一体化教材

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0910 - 8

I. ①尿… II. ①成… III. ①尿素生产—教材
IV. ①TQ441.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第247500号

书 名 尿素工艺
主 编 成 静
责任编辑 陈红梅
责任校对 张海平
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail:cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 13 字数 324 千字
版次印次 2011年2月第1版 2011年2月第1次印刷
定 价 26.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《晋城煤业集团一体化教材》编审委员会

编审委员会领导组

主 任	苏清政			
副主任	白正午	王仁庭	马香河	
委 员	(按姓氏笔画排名)			
	马 涛	马洪礼	马跃龙	王 成
	王明学	王建武	王俊杰	牛海金
	田根旺	冯志强	任贵文	刘红岗
	刘海晨	闫小屯	孙贺军	李建国
	李承红	李爱民	李海贵	李碰林
	杨 廷	杨 建	杨太平	杨国立
	杨荣贵	杨健康	时旺节	宋晨光
	张志刚	张岩松	张建国	张钢同
	张晋国	张海军	张银忠	苏泽明
	国安民	赵贵福	姜志方	姜铁明
	姚克勤	徐太山	郭庆亮	郭宏兵
	彭红卫	董文敏	鲁风光	薛 懿
	魏国升			

《尿素工艺》编审组

主 编	成 静		
副主编	宋莉莉	杨 锐	
主 审	王建武	赵贵福	

序

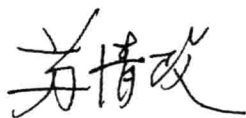
实践是认识的来源,是认识发展的动力,是检验理论的唯一标准,正确的认识和科学的理论对实践又有指导作用,这是马克思主义认识论的基本观点。只有认识与实践相结合才能更好地认识世界改造世界,在教育中,只有理论与实践相结合才能更好地促进学生的发展。然而,目前我国中职教育的培养模式,人为割裂了理论和实践,不利于学生综合职业能力的提高和全面素质的发展;加之教材内容与企业发展和生产实际相脱离,与学生学员自身发展相脱离,严重制约了技工教育教学质量的提高。

2009年7月13日,人力资源和社会保障部办公厅下发了《技工院校一体化课程教学改革试点工作方案》。该方案中明确指出:“一体化课程是以国家职业标准为依据,以综合职业能力培养为目标,以典型工作任务为载体,以学生为中心,根据典型工作任务和工作过程设计课程体系和内容,按照工作过程的顺序和学生自主学习的要求进行教学设计并安排教学活动,实现理论教学与实践教学融通合一、能力培养与工作岗位对接合一、实习实训与顶岗工作学做合一。”

课程是职业学校的产品,教材是课程的重要资源。《晋城煤业集团一体化教材》在编写中贯穿了“任务引领、行为引导”的先进教学理念;注重知识、技能、情感态度这三维目标的整合,使理论与实践在课程目标上融为一体。一体化教材的内容以模块课题形式呈现,模块课题通过精心设计,与学生的生活背景、学习经历和职业要求密切联系,使课程内容回归生活、回归职业。一个模块课题又分为几个具体的任务,通过任务的完成使学生获取知识、习得技能、养成健康的情感态度和价值观。

《晋城煤业集团一体化教材》共九本,分别是晋煤集团《采煤方法》、《掘进工艺》、《采掘机械》、《采区电气设备》、《运输与提升》、《矿井通风》、《煤矿地质与矿图》、《尿素工艺》、《选煤工艺——重选》,是一套突出技工学校煤炭主体专业教学特色的补充教材。为了兼顾煤矿职工培训和相关工种技能鉴定的需要,教材在编写中力求做到:理论够用,概括准确;操作规范,易懂易练;设备维护、检修工艺流程简单,具体易学;故障处理案例选取典型、具有普适性;内容贴近企业实际、贴近生产现场、贴近学生学员。

我们坚信,《晋城煤业集团一体化教材》的出版发行,必将改变煤炭企业一体化教材相对短缺的现状,为技工学校教学改革,为企业培养好未来人才,培训好现有人才做出应有的贡献。最后,向为一体化教材的编制、出版、发行过程中付出辛勤劳动的编审人员和各生产单位的专业技术人员表示衷心的感谢。



2010年6月30日

前 言

为不断深化一体化教学改革,加快技术技能型、知识技能型、复合技能型高技能人才的培养步伐,进一步满足企业生产现场需要,晋城煤业集团职教中心技工学校组织相关专业技术课教师,根据一体化教学要求,编写了《晋城煤业集团一体化教材》。这套教材具有以下特点:

第一,突出生产技能,贴近企业实际。教材编写人员深入到晋城煤业集团主要生产矿井和煤化工企业进行现场调研和实习,选用生产现场具有典型性、普适性和先进性的生产装备、技术、方法和工艺,贴近现场的实际操作需求,具有很强的针对性。

第二,体现国家标准,保证教学质量。教材编委会认真钻研国家人力资源和社会保障部制定的教学计划,教材编写大纲经过了专家的审核,涵盖相关工种国家职业标准,保证了教材的通用性。

第三,学习任务明确,实施过程合理。教材采用任务驱动的思路,分模块编写,以完成任务为导向、技能训练为主线、相关知识为支撑,达到理论教学与技能训练有机结合。聘请了技术专家和工程技术人员,对具体的任务选择进行把关,对任务描述和任务实施进行审核,教材实用性强。

这套教材主要用于技工教育教学,同时兼顾职工安全技术培训和职业技能鉴定培训。每本教材作为本专业的专业课补充教材,其他专业的专业基础课教材。我们有理由相信,这套教材的出版和使用必将有效提高集团公司技工教育和职工培训的质量,为集团公司实施“亿吨基地、千亿规模、百年企业、能源旗舰”宏伟战略愿景作出应有的贡献。教材在编写过程中,得到了晋城煤业集团相关生产处室和主力矿井的大力支持,得到了现场专家和工程技术人员的悉心指导,在此表示衷心感谢。

由于时间仓促,书中难免有不当之处,恳请广大读者批评指正。

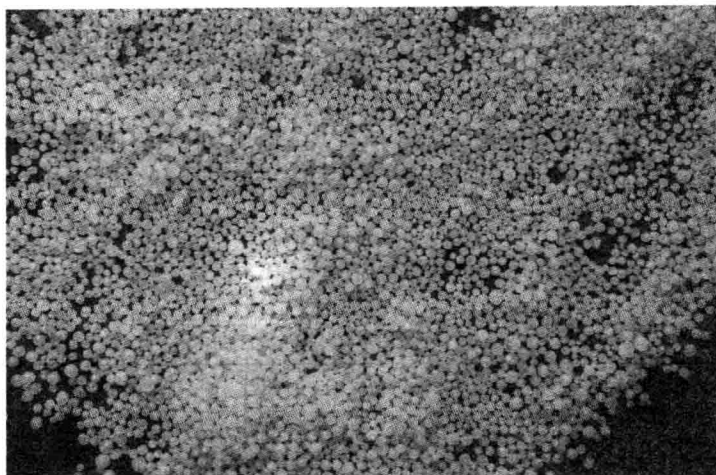
《晋城煤业集团一体化教材》编委会

2010年6月30日

目 录

模块一 尿素基本知识	1
课题一 尿素的性质	3
课题二 尿素生产的原理和步骤	5
课题三 尿素生产设备简介	7
课题四 主控系统介绍	10
课题五 尿素生产工艺流程综述	15
实习一 尿素生产工艺流程参观	20
模块二 尿素生产工艺主流程	22
课题一 高压系统	22
课题二 低压系统	55
课题三 蒸发造粒系统	66
课题四 解吸水解系统	82
实习二 尿素生产工艺主流程参观	90
分析一 尿素原料气分析	91
分析二 原料气中 H_2S 的分析	92
分析三 合成塔进、出口气中氨的分析	94
分析四 尿液成分分析	95
分析五 尿素成品分析	98
模块三 尿素生产工艺附属流程	113
课题一 二氧化碳压缩系统	113
课题二 空气压缩机	125
课题三 泵房	131
课题四 蒸汽系统	137
课题五 循环冷却水系统	143
课题六 胶带包装封口码包	148
实习三 尿素生产工艺附属流程参观	151
分析六 蒸汽冷凝液的氯离子和电导率的测定	152
分析七 pH 值的测定	156
模块四 开/停车	159

模块一 尿素基本知识



尿素,分子式为 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 或 H_2NCONH_2 ,又名碳酰二胺,因人及哺乳动物的尿液中含有这种物质而得名。在尿素工业生产中,常用符号“Ur”表示。

尿素在农业和工业中具有广泛的用途,在其他领域中也有着重要的地位。

在农业中,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,是营养极高的优良氮肥。作为肥料,尿素的含氮量为硝酸铵的 1.3 倍,硫酸铵的 2.2 倍,碳酸氢铵的 2.6 倍。尿素是中性速效肥料,不含酸根,长久施用不会使土质板结、土壤恶化。尿素释放出的二氧化碳还可被作物吸收,促进光合作用。与一般的化学肥料相比,具有营养高、肥效快、对土壤和农作物适应性好的特点。尿素物理性质稳定,不挥发,吸湿性低,便于储运,使用方便。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。国外有将尿素和甲醛或乌洛托品 $[(\text{CH}_2)_6\text{N}_4]$ 进行缩合制得缓效的尿醛缩合肥料,还有用来生产硝酸铵尿素 $[\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 、氯化铵尿素 $[\text{NH}_4\text{Cl} \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 等复合肥料。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,因此复合肥料深受农民欢迎,尿素及其加工产品作为基肥和追肥,在广大农田中得到广泛使用。

在工业中,尿素也有广泛的应用,世界上生产的尿素中约有 10% 作为工业原料。工业尿素总消耗量约 50% 用来制成尿素-甲醛树脂。尿素与甲醛经缩聚反应可制得尿醛树脂,它是一种热固性树脂,其成本低、颜色浅、硬度高、耐油、抗霉,还有较好的绝缘性和耐高温性。它缩聚成线性和分枝结构的树脂水溶液,可直接作为胶黏剂,主要用于木材加工工业中胶合板和人造板的生产,还可用于生产塑料、漆料和胶合剂等。另外,将尿素加热,分解可制成三聚氰胺[反应式为: $6\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \xrightarrow{\quad} \text{C}_3\text{N}_3(\text{NH}_2)_2$ (三聚氰胺) + $3\text{CO}_2 + 6\text{NH}_3$]。三聚氰胺是一种白色斜晶体,是用途很广的化学中间体,如:三聚氰胺可与甲醛、尿素缩合制得数

十种不同性能的树脂,广泛地用于涂料、造纸、纺织、制革等方面;将尿素加热,经过脱氢、聚合、酸化水解得粗品,再经过精制干燥,还可得到三聚氰酸,又称为氰尿酸——一种白色结晶,是重要的有机中间体,可加工成一系列衍生物,制成各种成品,用作漂白剂、抗氧化剂、涂料、农药、除草剂及金属缓蚀剂等。

此外,医药、纤维素、炸药、制革、选矿、颜料、石油脱蜡等的生产中也要用尿素。以尿素为原料,可得到医药、农药、香料的中间体,由它可制得安眠药、镇静剂、止痛剂、杀菌剂等。尿素与次氯酸钠、氢氧化钠在高锰酸钾催化剂作用下进行氧化反应,再经过蒸发、脱盐及精馏,可制得水合肼。它是一种无色发烟液体,为强还原剂,是医药、染料、显像剂、发泡剂等产品原料。国外还用尿素作为污染控制剂,吸收污染物,保护环境。

尿素还可作为牛、羊等反刍动物的辅助饲料。在反刍动物中,其胃内的微生物能将尿素转变成蛋白质,使肉、奶增产。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。

我国 2001 年颁布的工农业用尿素的标准见表 1-1。

表 1-1 工农业用尿素的标准 单位:%

项 目	工 业 用			农 业 用		
	优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品
外 观	白 色			白色或浅色颗粒状		
总氮(N)含量(以干基计)	≥46.3	≥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
水分(以 H ₂ O 计)	≤0.3	≤0.5	≤0.7	≤0.4	≤0.5	≤1.0
铁(以 Fe 计)	≤0.000 5	≤0.000 5	≤0.0010	—	—	—
碱度(以 NH ₃ 计)	≤0.01	≤0.02	≤0.03	—	—	—
硫酸盐含量(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(以 HCHO 计)	—	—	—	≤0.6	≤0.6	≤0.6
粒 径	d=0.85~2.80 mm	≥90	≥90	≥93	≥90	≥90
	d=1.18~3.35 mm					
	d=2.00~4.75 mm					
	d=4.00~8.00 mm					

注: 1. 若尿素生产工艺中不加甲醛,可不作亚甲基二脲含量的测定。

2. 指标中粒度项只需符合其任一粒度即可,包装标志中应标明。

课题一 尿素的性质

知识点

尿素的性质。

技能点

掌握尿素的性质并能理解尿素生产过程中的相关问题。

【任务描述】

尿素的性质和尿素生产过程中工艺条件的选择、工艺流程的设置等息息相关,本课题主要介绍尿素的性质,以便为后续的学习奠定基础。

【任务实施】

一、尿素的物理性质

尿素的相对分子质量为 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,一般是白色或浅黄色结晶。

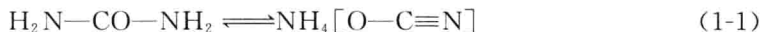
纯尿素的熔点在标准大气压下为 132.7℃,超过此温度开始分解,密度分别为:熔融尿素 1.22 g/cm³ (132.7℃),晶状尿素 1.335 g/cm³,粒状尿素 1.4 g/cm³;在 25℃下的比热容为 1.34 kJ/(kg·℃),结晶热量为 242.21 kJ/kg。

尿素在空气中易吸湿,吸湿性次于硝酸铵而大于硫酸铵,故包装、储运要注意防潮。

二、尿素的化学性质

1. 尿素的缩合反应

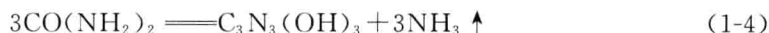
在真空中,加热固体尿素到 120~130℃时,尿素并不分解,但要升华。加热到 160~190℃时,尿素可转变成氰酸铵,即



在常压下,加热干燥固体尿素至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,即



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,即

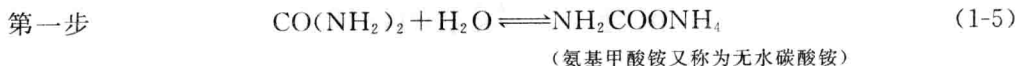


此外,尿素还可以和甲醛进行缩合,生成尿素甲醛缩合物。此缩合物可作为脲醛塑料的原料,也是一种很好的缓效肥料。

2. 尿素的水解作用

在酸性、碱性或中性溶液中,60℃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(80℃时,1h内可以水解0.5%;110℃时,1h内可增加

到3%)。水解过程可视为如下步骤:



尿素水解反应的速率与温度和加热的时间有关,在氨存在的情况下,可以抑制尿素的水解。

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,不能使一般指示剂变色。尿素能与酸作用生成盐,如与硝酸作用,生成尿素的硝酸盐,其反应式为



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

【思考与练习】

1. 填空题

(1) 尿素的分子式_____,学名为_____。尿素的相对分子质量_____,含氮量_____。在标准大气压下纯尿素的熔点为_____。

(2) 在尿素工业生产中,常用符号_____来表示尿素。

2. 选择题

(1) 纯尿素为_____色的针状或棱柱状结晶。

A. 无 B. 白 C. 黄

(2) 尿素在强酸溶液中呈现_____性。

A. 弱酸 B. 弱碱 C. 中

3. 判断题(对的打“√”,错的打“×”)

(1) 尿素在空气中不易吸湿。()

(2) 尿素加热,经过脱氢、聚合、酸化水解得粗品,再经过精制干燥,还可得到三聚氰酸。()

4. 问答题

(1) 尿素的物理性质有哪些?

(2) 尿素的化学性质有哪些?

课题二 尿素生产的原理和步骤

知识点

1. 尿素的合成原理；
2. 尿素生产的一般步骤。

技能点

1. 掌握尿素的合成原理和生产的几个阶段；
2. 了解汽提法有关知识。

【任务描述】

尿素由氨和二氧化碳合成,但尿素的生成并不能一步完成,因受尿素生产的特点及生产条件的限制,现代尿素生产也要分为几个互相连接的部分才能完成。本课题重点介绍尿素生产的一般原理和步骤,并对尿素生产常用的方法进行介绍,主要了解较为先进的二氧化碳汽提法。

【任务实施】

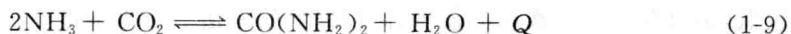
一、尿素生产的工业发展

1773年,化学家鲁埃勒(Rouelle)将人尿蒸发得到固体残渣,再用酒精抽提并蒸干,首次制得尿素结晶。1828年,F.维勒(F. Wohler)在实验室里首次用氨和氰酸合成尿素,反应方程式为: $\text{NH}_3 + \text{HCN} \rightleftharpoons \text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 。1870年,俄国人A. И. 巴扎罗夫提出在高压下加热氨基甲酸铵使之脱水,也制成尿素,反应方程式为: $\text{NH}_4\text{COONH}_2 \rightleftharpoons \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$ 。

直到1922年,世界上第一套用 CO_2 和氨直接合成尿素的工业装置在德国法本公司的奥堡工厂建成,但因种种原因尿素工业发展缓慢。1932年,荷兰斯太米卡邦公司提出了在 CO_2 原料气中加入少量的氧气和采用新型材料制作尿素合成塔的设备及管道,严重的腐蚀问题才得到解决,这为尿素工业发展奠定了基础。于是,从20世纪50年代开始,尿素工业得到了高速发展。

二、尿素生产的原理和步骤

目前,广泛采用由氨和二氧化碳直接合成尿素法。总反应为:



反应为可逆放热反应,受化学平衡限制, NH_3 和 CO_2 通过合成塔一次反应只能部分转化为尿素,生产过程常分为下列4个步骤:

- 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 未反应物的分离与回收;
- ④ 尿素溶液的加工。

现代尿素生产分为以下几个互相连接的部分,如图 1-1 所示。

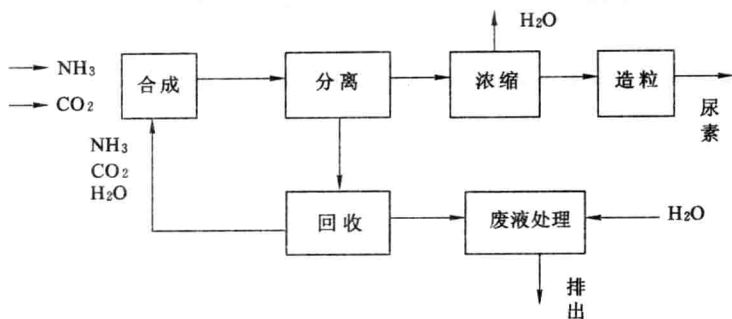


图 1-1 尿素生产流程

通常按第三步的不同而分成不同的生产方法。

三、尿素的生产方法简介

尿素的生产方法有:不循环法、半循环法和全循环法。不循环法和半循环法因工艺老化、生产效率低等已被淘汰,大型尿素生产装置为全循环法。

全循环法是将未转化成尿素的氨和二氧化碳经蒸馏和分离后全部返回合成系统循环使用,构成密闭的循环系统,原料的利用最完全,氨利用率达 98% 以上。

全循环法由分解、循环返回的方法不同,又可分为热气全循环法、气体分离(选择性吸收)全循环法、水溶液全循环法、汽提全循环法等不同流程。

(1) 热气全循环法

该方法是将未反应的氨和二氧化碳混合物,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。此方法投资较高,动力消耗大,操作温度高,腐蚀较严重。

(2) 气体分离全循环法

该方法是将蒸馏出来的未反应的氨和二氧化碳,借助选择性吸收剂吸收其中的一组分(氨或二氧化碳),吸收后溶液再生,循环使用,将解吸出来的气体与未被吸收气体分别返回系统中去。该方法比热气全循环法优化,但流程复杂,动力消耗较多。

(3) 水溶液全循环法

该方法又称为碳酸盐溶液全循环法。它的特点是利用水(或稀溶液)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,故循环消耗的动力比其他方法均低得多,流程也较简单,投资较低,是目前生产尿素用得较多、比较完善的方法。在水溶液全循环基础上,根据不同的分离与回收流程和尿液的不同加工方法,又产生了全循环改良 C 法和汽提法。

(4) 汽提法

汽提法是利用一种气体介质在与合成等压的条件下分解甲铵并将分解物返回系统使用的方法。这种气体介质又称为“汽提介质”。“汽提介质”可选用二氧化碳气、氨气和变换气,依次称为二氧化碳气汽提法、氨气汽提法、变换气汽提法。由于变换气来自合成氨厂,该法又称为“变换气汽提联尿”,即氨和尿素联合生产的流程简称。“联尿”技术是值得研究和有

发展前途的技术,它可以使合成氨和尿素的生产工艺流程缩短,节省动力。

我国的尿素生产直到 1958 年才开始起步,自 20 世纪 60 年代以来,尿素工艺逐渐发展。大型的尿素生产装置在 20 世纪 70 年代中期开始建设,近年来我国尿素装置有了突破性的进展。山西晋煤集团晋丰煤化工有限责任公司现在的 2 套 30 万吨尿素装置,全部使用国产化的设备及材料,3652 和 1830 两大项目均采用 CO_2 汽提法尿素生产工艺,在国内同行业处于领先地位。

晋丰煤化工有限责任公司尿素生产分为一期和二期工程,也叫做 A 系统和 B 系统。其生产过程基本相同,只是在压缩和造粒过程使用设备略有差别,部分工艺指标略有不同。本书主要以晋丰煤化工有限责任公司的生产设备和生产工艺为主对二氧化碳汽提法的生产过程进行介绍。

【思考与练习】

1. 填空题

- (1) 工业生产上,广泛采用由_____直接合成尿素法。
 (2) 全循环法可分为_____、_____、_____等不同流程。

2. 选择题

- (1) 二氧化碳汽提法所使用的汽提介质是()。
 A. 氮气 B. 二氧化碳气 C. 氧气
 (2) 氨和二氧化碳直接合成尿素法反应为()
 A. 可逆放热反应 B. 可逆吸热反应 C. 非可逆反应

3. 判断题(对的打“√”,错的打“×”)

- (1) 全循环法的原料利用最完全,氨利用率达 98% 以上。()
 (2) “变换气汽提联尿”是氨和尿素联合生产的流程简称。()

4. 问答题

- (1) 尿素合成的反应机理是什么?
 (2) 尿素的生产一般分哪几个阶段?
 (3) 简述二氧化碳汽提法。

课题三 尿素生产设备简介

知识点

尿素生产过程中的主要生产设备。

技能点

1. 了解尿素生产过程中使用设备情况;
2. 掌握主要生产设备名称及其用途。

【任务描述】

氨与二氧化碳合成尿素的过程在工业上是在尿素合成塔中进行的,但在合成塔中原

料不能一次性全部转化为尿素,需要回收未反应生成尿素的氨与二氧化碳;由合成塔中产生的尿素溶液也需要经过分解和闪蒸达到一定浓度后才能送去进行尿液的浓缩、造粒;为降低能耗、节约成本、保护环境,还需要回收蒸发工艺冷凝液中的氨、二氧化碳和尿素。也就是说,尿素生产是由几个互相关联的部分共同构成的复杂的生产过程,所用生产设备众多。

【任务实施】

一、尿素的生产过程

在本模块课题二中介绍过,尿素生产过程常分为下列4个步骤:氨与二氧化碳原料的供应及净化;氨与二氧化碳合成尿素;未反应物的分离与回收;尿素溶液的加工。

具体地讲,尿素生产过程首先要将原料气进行净化,这需要净化设备。

由液氨和气体二氧化碳直接合成尿素的总反应式为:



这是个可逆、放热的反应,一般认为反应是在液相中进行的:

第一步,液氨与气体二氧化碳作用生成氨基甲酸铵(简称甲铵,下同),故称为甲铵生成反应:



此为快速、强烈放热的可逆反应,如果具有足够的冷却条件,不断地把反应热取走,并保持反应进行中的温度低到足以使甲铵冷凝为液体,这个反应容易达到化学平衡。

第二步,甲铵脱水生成尿素:



这是个微吸热的反应,在固相时进行得极为缓慢,需在液态中才能有明显速率,可以认为甲铵脱水主要在液相中进行,它是合成尿素过程中的控制反应。

工业生产中,二氧化碳汽提法是将氨和二氧化碳生成甲铵的反应和甲铵脱水生成尿素的反应分别放在高压甲铵冷凝器及尿素合成塔两台设备中进行。在高压甲铵冷凝器内,可回收甲铵生成时放出的大量反应热,副产蒸汽。

甲铵脱水生成尿素的反应是一个可逆反应,即反应达到化学平衡时,在合成塔中也不能将原料一次全部转化为尿素。在实际生产中,每次只有55%~72%的原料(以二氧化碳计算)转化为尿素。因此,尿素合成塔出来的物料中,除了合成得到的尿素以外,还有氨与二氧化碳留在反应液中,一般 w_{CO_2} 为18%~20%, w_{NH_3} 为30%~32%。为了回收未反应生成尿素的氨与二氧化碳,同时能顺利地进行尿液的浓缩,以便回收尿素产品,人们必须将氨与二氧化碳从反应液中分离出来。

围绕着如何处理从尿素合成塔出来的物料,形成了各种尿素生产方法,如有水溶液全循环法、二氧化碳汽提法、双汽提法等。

在二氧化碳汽提法中,采用三步分解。也就是说,将合成塔出来的料液中的 CO_2 与氨分3次在3个设备中从尿液中分离出来,然后再将分解后的 CO_2 与氨加以回收。高压系统的汽提过程就是分解中的第一步,其特点是在与尿素合成相同的压力下,用二氧化碳气体在汽提塔中对合成塔底出来的合成液进行汽提,使其中大部分甲铵分解出来,然

后将汽提后的气体送回高压甲铵冷凝器上部,与高压液氨一起经高压甲铵冷凝器冷凝后进入合成塔回收。汽提法的其他两步分解是在低压循环系统中的精馏塔和闪蒸槽内完成的。

从尿素合成塔塔顶出来的气体中,含有相当多的 CO_2 与氨,通常合成气体组分为: CO_2 (20%), NH_3 (70%), H_2O (4%) 和惰性气体(如 H_2 , N_2 , CH_4 等),其中主要是 CO_2 与氨。为了回收这一部分 CO_2 与氨,在二氧化碳汽提法设计中还设计有两步冷凝吸收,在高压洗涤器中完成第一步冷凝吸收,第二步主要在循环系统中的低压冷凝吸收设备(如低压甲铵冷凝器、常压吸收塔等)内完成。

此外,达到一定浓度后的尿液还需经过蒸发浓缩、造粒等过程才能得到成品尿素。也就是说,二氧化碳汽提法是将合成氨系统来的液氨与二氧化碳经加压在高压设备内反应得到尿素熔融物,尿素熔融物经原料二氧化碳气在合成压力下进行汽提,使其中的氨基甲酸铵分解,返回合成系统,未反应和未转化成尿素的氨基甲酸铵再经低压分解分离、回收,循环返回合成系统。经低压分解分离后得到的尿液经过蒸发,达到一定浓度后才能送往造粒岗位进行造粒。高压洗涤设备则把从尿素合成塔出口的气体进行合成压力下的冷凝回收。此外,还有回收蒸发工艺冷凝液中的氨、二氧化碳和尿素的水解解吸过程等。因此,尿素的生产过程复杂,使用设备众多。

二、主要生产设备

尿素生产过程中使用的主要生产设备有:

- ① 高压系统:汽提塔、合成塔、高压甲铵冷凝器、高压洗涤器等。
- ② 低压系统:精馏塔、低压甲铵冷凝器、常压吸收塔等。
- ③ 蒸发造粒系统:闪蒸槽、蒸发器、造粒塔(或造粒机)等。
- ④ 解吸水解系统:水解塔、解吸塔等。

三、尿素车间生产设备

以晋丰公司尿素车间(A系统)生产设备为例,见附录(附表1~附表3)。

【思考与练习】

1. 填空题

- (1) 工业生产中,二氧化碳汽提法是将_____和_____合成尿素的反应在_____中进行的。
- (2) 二氧化碳汽提法是将_____脱水生成尿素的反应在_____中进行的。
- (3) 为了回收尿素合成塔出口物料中的_____与氨,在二氧化碳汽提法设计中还有两步冷凝吸收。

2. 选择题

- (1) 在()内可回收甲铵生成时放出的大量反应热,并副产蒸汽。
A. 高压甲铵冷凝器 B. 低压甲铵冷凝器 C. 低压吸收塔
- (2) 高压洗涤完成第一步()。
A. 冷凝吸收 B. 分离 C. 解吸