

化学肥料厂工人、工長培訓用書

(試 用 本)

# 合 成 氨 (三)

## 原料气的精制

化学工業部人事司 編

化 学 工 業 出 版 社

塑料注射成型、工具塑料成型

(第二版)

合成树脂

原料气的精制

化学工业出版社 编

化学工业出版社

15.129

4.16-2

這本書是“化学肥料厂工人、工長培訓用書（試用本）”“合成氨”的第三部分。本書詳述了用水洗、碱洗法清除合成氨用原料气中二氧化碳，及用醋酸銅氨液洗滌原料气中一氧化碳的有关生产原理、工艺过程、設備構造及作用、操作方法、事故的預防及处理以及主要原材料、半成品、成品的分析方法等。关于原料气的精制中有关安全技术及生产控制仪表，請參閱合成氨第四部分——氨的合成。

本書可作为省級、專区級氮肥厂培訓工人、工長的教材，也可供各氮肥厂老工人、工長、管理干部、車間技术人员自修和中等技术学校师生参考之用。

本書由化工部人事司組織编写，刘魁成同志执笔。

化学肥料厂工人、工長培訓用書

（試用本）

合成氨（三）

原料气的精制

化学工業部人事司編

化学工業出版社（北京安定門外和牛北路）出版

北京市書刊出版登記證出字第092号

北京市印刷一厂印刷 新华書店發行

开本：850×1168 1/32

1953年7月第1版

印张：7张 插页25

1953年7月第1次印刷

字数：197千字

印数：1—50000

定价：（9）1.20元

書号：15063·0223

## 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 序 言 .....                  | 6  |
| 概 述 .....                  | 8  |
| 第一章 原料气中二氧化碳的清除 .....      | 11 |
| 第一节 緒 言 .....              | 11 |
| 一、清除二氧化碳的方法 .....          | 11 |
| (一)水洗法 .....               | 11 |
| (二)碱洗法 .....               | 12 |
| (三)羧基乙胺法 .....             | 13 |
| 二、二氧化碳的性质及用途 .....         | 14 |
| 三、气体的溶解度 .....             | 15 |
| 第二节 用水吸收二氧化碳的原理 .....      | 17 |
| 一、吸收原理 .....               | 17 |
| 二、加压水洗与常压水洗的比较 .....       | 19 |
| 三、水洗效率及影响水洗效率的因素 .....     | 21 |
| (一)水洗效率 .....              | 21 |
| (二)影响水洗效率的因素 .....         | 22 |
| 第三节 氫、氮回收及水的脱气 .....       | 25 |
| 一、氫、氮回收 .....              | 25 |
| (一)氫、氮的流失 .....            | 25 |
| (二)氫、氮回收的操作条件 .....        | 26 |
| (三)回收氫、氮后的经济效果 .....       | 28 |
| 二、水的脱气 .....               | 29 |
| (一)水的脱气的目的 .....           | 29 |
| (二)水的再生原理 .....            | 29 |
| (三)影响水脱气的因素 .....          | 30 |
| 第四节 水洗系统的工艺流程及设备 .....     | 30 |
| 一、水洗系统的工艺流程 .....          | 30 |
| 二、水洗系统的主要设备 .....          | 32 |
| (一)水洗塔 .....               | 32 |
| (二)氫、氮回收罐 .....            | 33 |
| (三)脱气塔 .....               | 34 |
| (四)水泵 .....                | 36 |
| 第五节 水洗系统的开车、停车和水泵的联通 ..... | 41 |
| 一、水洗系统的开车 .....            | 41 |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| (一)原始開車.....                       | 41 |
| (二)正常開車.....                       | 48 |
| 二、水洗系統的停車.....                     | 48 |
| (一)計劃停車.....                       | 48 |
| (二)事故停車.....                       | 49 |
| 三、水泵的聯通操作.....                     | 50 |
| 第六節 水洗系統的正常管理及不正常情況的處理.....        | 52 |
| 一、水洗工段的任務及其與其他工段的关系.....           | 52 |
| 二、水洗系統的正常管理.....                   | 54 |
| (一)水泵的經常管理.....                    | 55 |
| (二)水洗塔的正常管理.....                   | 57 |
| 三、水洗系統的不正常情況的處理.....               | 62 |
| 第七節 氫、氮回收操作和水的再生操作.....            | 66 |
| 一、氫、氮回收操作.....                     | 66 |
| 二、水的再生操作.....                      | 68 |
| 第八節 水洗塔的檢修.....                    | 73 |
| 一、水洗塔的檢修內容.....                    | 73 |
| 二、水洗塔的小修.....                      | 75 |
| 三、水洗塔的大修.....                      | 77 |
| 四、高壓水泵的修理內容.....                   | 79 |
| 第二章 原料氣中一氧化碳的清除.....               | 80 |
| 第一節 緒 言.....                       | 80 |
| 一、醋酸銅氨液的物理化學性質.....                | 82 |
| 二、一氧化碳的性質.....                     | 83 |
| 第二節 醋酸銅氨液吸收一氧化碳、二氧化碳、氧及硫化氫的原理..... | 84 |
| 一、銅液吸收一氧化碳的原理.....                 | 84 |
| (一)吸收反應.....                       | 84 |
| (二)吸收能力.....                       | 85 |
| (三)影響吸收操作的因素.....                  | 85 |
| 二、銅液吸收二氧化碳、氧及硫化氫的原理.....           | 92 |
| (一)銅液吸收二氧化碳的原理.....                | 92 |
| (二)銅液吸收氧的原理.....                   | 93 |
| (三)銅液吸收硫化氫的原理.....                 | 95 |
| 三、銅液塔中的熱量變化.....                   | 95 |
| 第三節 銅洗系統的工藝流程和設備構造.....            | 96 |
| 一、銅洗系統的工藝流程.....                   | 96 |
| 二、銅洗工序的設備.....                     | 98 |

|     |                          |     |
|-----|--------------------------|-----|
|     | (一)銅液洗滌塔.....            | 98  |
|     | (二)銅液泵.....              | 99  |
|     | (三)銅液貯藏桶.....            | 101 |
| 第四节 | 銅、碱洗系統的開車、停車及銅液泵的倒換..... | 101 |
| 一、  | 銅、碱洗系統的開車.....           | 101 |
|     | (一)原始開車.....             | 101 |
|     | (二)銅液泵的正常開車.....         | 103 |
|     | (三)開車時的注意事項.....         | 104 |
| 二、  | 銅、碱洗系統的停車.....           | 105 |
|     | (一)計劃停車.....             | 105 |
|     | (二)事故停車.....             | 106 |
| 三、  | 銅液泵的倒換及其轉速的增減.....       | 109 |
|     | (一)倒泵方法.....             | 109 |
|     | (二)倒泵注意事項.....           | 110 |
|     | (三)銅液泵轉速的增減操作.....       | 110 |
| 第五节 | 銅洗系統的正常操作與不正常情況的處理.....  | 111 |
| 一、  | 銅洗工序的任務及其與其他工序的關係.....   | 111 |
| 二、  | 銅洗系統的正常操作.....           | 113 |
|     | (一)銅洗系統的操作條件.....        | 113 |
|     | (二)銅液塔的正常管理.....         | 113 |
|     | (三)銅液泵的正常管理.....         | 125 |
| 三、  | 銅洗系統的不正常情況處理.....        | 130 |
| 第六节 | 以碳酸銅氨液清除一氧化碳的工藝流程.....   | 134 |
| 一、  | 工藝流程.....                | 134 |
| 二、  | 碳酸銅氨液與醋酸銅氨液的比較.....      | 137 |
| 第三章 | 醋酸銅氨液的再生.....            | 140 |
| 第一节 | 銅液再生原理及銅的氧化與還原.....      | 140 |
| 一、  | 銅液再生原理.....              | 140 |
| 二、  | 銅的氧化和還原.....             | 144 |
| 第二节 | 銅液再生系統的工藝流程和設備構造.....    | 150 |
| 一、  | 銅液再生系統的工藝流程.....         | 150 |
| 二、  | 銅液再生工序的設備構造.....         | 152 |
|     | (一)回流塔.....              | 152 |
|     | (二)還原器.....              | 154 |
|     | (三)再生器.....              | 154 |
|     | (四)吸氨塔.....              | 155 |
|     | (五)化銅桶.....              | 158 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| (六)銅液水冷器                   | 158 |
| (七)銅液氮冷器                   | 159 |
| (八)銅液過濾器                   | 159 |
| (九)放空筒和集油桶                 | 159 |
| 第三节 銅液再生系統的开工、停工和倒換系統以及其他  | 161 |
| 一、再生系統的开工                  | 161 |
| 二、再生系統的停工                  | 166 |
| 三、倒換再生系統                   | 166 |
| 四、輔助設備的使用                  | 169 |
| 第四节 再生系統的正常操作及不正常情況的處理     | 172 |
| 一、銅液再生系統的正常操作              | 172 |
| (一)再生系統的操作條件               | 172 |
| (二)控制操作的內容                 | 173 |
| 二、銅液再生系統的不正常情況的原因、危害及其處理辦法 | 179 |
| 第五节 醋酸銅氨液的製備               | 184 |
| 一、製備原理                     | 184 |
| 二、製備流程和設備                  | 185 |
| (一)流程                      | 186 |
| (二)設備                      | 186 |
| 三、製備過程                     | 187 |
| 第六节 再生系統操作設備的維護            | 189 |
| 一、再生系統操作設備的經常維護            | 189 |
| 二、再生系統的檢修                  | 190 |
| 第四章 原料氣中殘余二氧化碳的清除          | 195 |
| 第一节 緒 言                    | 195 |
| 第二节 用苛性鈉溶液吸收二氧化碳的原理        | 196 |
| 一、吸收反應                     | 196 |
| 二、碱洗与碱液濃度、溫度及碱洗壓力的关系       | 196 |
| 三、碱洗效率和碱液利用率               | 197 |
| 第三节 碱洗系統的流程和設備             | 199 |
| 一、碱洗流程                     | 199 |
| 二、碱洗工序的設備                  | 199 |
| (一)碱液塔                     | 199 |
| (二)碱液泵                     | 199 |
| (三)碱液循环桶                   | 201 |
| 第四节 碱洗操作及其不正常情況的處理         | 202 |
| 一、碱洗系統的正常管理                | 202 |

|     |                                                                                          |     |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     | (一)碱洗系统的操作条件                                                                             | 202 |
|     | (二)碱液塔的经常管理                                                                              | 202 |
|     | 二、碱液泵的正常开、停车和倒换                                                                          | 205 |
|     | 三、碱液桶循环的倒换                                                                               | 208 |
|     | 四、铜液塔和碱液塔液位计的操作                                                                          | 209 |
|     | 五、碱洗系统不正常情况的处理                                                                           | 211 |
| 第五节 | 废碱液的再生                                                                                   | 214 |
|     | 一、碱液再生的任务                                                                                | 214 |
|     | 二、再生操作原理                                                                                 | 215 |
|     | 三、碱液再生流程和设备                                                                              | 216 |
|     | (一)碱液再生流程                                                                                | 216 |
|     | (二)苛化桶                                                                                   | 217 |
|     | 四、碱液再生操作要点                                                                               | 217 |
| 第六节 | 铜液塔和碱液塔的修理                                                                               | 220 |
|     | 一、大、中、小修的内容和时间                                                                           | 220 |
|     | 二、两塔的小修                                                                                  | 221 |
|     | 三、两塔的大修                                                                                  | 223 |
|     | 四、检修时的安全注意事项                                                                             | 224 |
| 第五章 | 精煉工段的控制分析                                                                                | 225 |
| 第一节 | 气体分析                                                                                     | 225 |
|     | 一、各种气体的分析原理                                                                              | 225 |
|     | 二、各种气体的分析操作与计算                                                                           | 227 |
|     | (一)水洗气分析( $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}$ )                                   | 227 |
|     | (二)氨、氮回收气分析( $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{CH}_4$ ) | 227 |
| 第二节 | 液体分析                                                                                     | 228 |
|     | 一、碱液分析                                                                                   | 228 |
|     | 二、铜液分析                                                                                   | 230 |
|     | 三、洗滌水、补给水、冷却水中氨根的分析                                                                      | 232 |
|     | 四、洗滌水中二氧化碳的分析                                                                            | 233 |
| 第三节 | 铜洗气和精煉气中微量一氧化碳、二氧化碳的分析                                                                   | 234 |
|     | 一、分析原理                                                                                   | 234 |
|     | 二、气体分析的流程                                                                                | 235 |
|     | 三、所需分析藥品的配制                                                                              | 237 |
|     | 四、分析操作                                                                                   | 238 |



## 序 言

我国是一个人口多、耕地少、幅员广大的国家。为了发展工业，加速我国社会主义工业化，必须迅速促进农业的发展。从我国的具体情况出发，发展农业的主要途径就是提高农田的单位面积产量；而提高单位面积产量最有效的方法之一，是大力发展化学肥料，增加单位面积的施肥量。

在化学肥料中，氮肥是占有相当大的比例的，它的肥效非常显著。一市斤氮素（相当于4~5市斤硫酸铵）能使每亩水稻作物增产15~20市斤，最高能达到25市斤；麦类作物增产15~20市斤；棉花增产2.5~3.5市斤；小米及玉米等杂粮增产25~32市斤；在蔬菜中：可使白菜增产200~270市斤；菠菜150市斤。由此可见，氮肥工业对于促进农业的迅速发展是具有重大的作用。

根据中国共产党第八次全国代表大会的决议，我国第二个五年计划中，化学肥料将有巨大的发展；从中央提出地方工业产值超过农业产值、全党办企业、县县办工业以后，地方兴办化学肥料工业的积极性空前高涨，预计不久化学肥料工业必将出现星罗棋布、县县开花的情景。

为了配合氮肥工业的大发展，化学工业部除了责成氮肥工业设计院，编制了建设省级（年产五万吨合成氨）、专区级（年产一万吨合成氨）及县级（年产二千吨合成氨）氮肥厂所需的定型设计外，并且由人事司从永利宁厂、大连化工厂和吉林肥料厂抽调了部分技术人员，按照定型设计的要求，于今年一月开始集中在北京编制了这一套氮肥工业培训生产工人用的教材。写成后分别经氮肥设计院和基本化学设计院审查，可作为相关定型设计的开工说明用。因此，关于各该定型设计即不再另编开工说明。

氮肥的品种很多，最常用的和我们今后准备大量生产的有硫酸铵（简称硫酸或硫酸铵，俗称的肥田粉多指此物）、硝酸铵（硝铵或硝铵）、碳酸氢铵、氯化铵、氰氨基钙（俗称石灰氮）、尿素、液氨、氨络物和氨水等。这些氮肥都是由合成氨与硫酸、硝酸等物质，在一定的条件下化合而成的。因此，这套教材将包括合成氨、硫酸、硝酸、硫酸铵、硝酸铵等的原料和成品（或半成品）的制造方法。

由于合成氨生产的工艺过程比较复杂，一个合成氨厂都是按照它的工艺过程分为若干车间、工段，而且对每一车间、工段操作的

7

工人的技术水平和文化水平的要求也是不同的。因此，我們在編制合成氨生产一書中，按照了上述要求把全書分为四本，即造气（包括煤气制造、脫硫、一氧化碳变换）；原料气的精制；合成氨用气体及氨的压缩；氨的合成。而硫酸、硝酸、硫酸銨、硝酸銨等，則分別独自作一本出版。

这套教材主要是供省級氮肥厂培训技术工人、工長用的，學習中应有教員講授。書中除考虑到定型設計的要求，安排必要的內容外，并結合了老厂的操作經驗加以补充，可作为氮肥生产的工人和工長必讀的課本；也可供中等技术学校畢業学生、氮肥工業企業的管理干部及具有初中文化程度的老工人参考或自修之用。每本書的內容包括：生产原理，工艺流程，設備構造，操作，維護和檢修方法，生产操作要点，事故預防及發生事故时的处理办法，生产控制及其使用仪表，半成品及成品的質量要求和主要分析方法等。全書的主要篇幅是放在操作管理和事故的預防、处理上。

在編制这套教材的过程中，曾拟把有关的物理、化学基本理論作为書中的組成部分；但考虑到如果这样做，不但要增加篇幅、多費紙張，而且会使每本書的这一部分出現重复現象。因此，决定把它略去，另編一本适用于工人同志閱讀的“化学肥料厂的化学、物理基础知識”，以弥补这一套書的不足。但是，在“化学肥料厂的化学、物理基础知識”尚未編出前，希望教师在講解这套教材的时候，事先或随时給學習的同志介紹一下化学、物理基础知識，以便學習的同志对本書工艺方面的理論能获得較深刻的了解。

由于参加編写工作的同志經驗有限，加以需要甚急，編写時間倉促，因此，不論在技术內容上、深淺程度上、章节安排上、文字表达上都存在着不少缺点，希望讀者在教学或學習当中随时指出，以便再版时补充、修正。

化学工業部人事司 1958年6月

## 概 述

液氨是由純淨的氮、氫氣體，以 1 与 3 之比混合，在适当的溫度、壓力、和有触媒存在的条件下直接合成。所以生产液氨时，应先制备純淨的氮、氫氣體。但是，除了用电解法可以制得純潔的氫氣外，由其他造氣方法所制得的制氨原料氣中，都混有相当数量的雜質。表 1 所載，便是合成氨工業常用的几种原料氣的組成。

不同原料氣的組成

表 1

| 原料氣<br>的 名 稱            | 成 份 %          |                |                 |             |                  |                |              |                 |                               | 備 註                                |
|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|-------------|------------------|----------------|--------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------|
|                         | H <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | CO          | H <sub>2</sub> S | O <sub>2</sub> | A            | CH <sub>4</sub> | C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> |                                    |
| 半水煤氣的<br>變換氣            | 51~55          | 13~17          | 29~31           | 1.7~<br>2.0 | 微量               | 0.1            | 0.17~<br>0.2 | 0.8             | —                             | 經除萘、<br>氨、焦油<br>及脫硫后<br>的氣體成<br>份。 |
| 焦爐氣                     | 54.7           | 0.9            | 2.2             | 9.0         | —                | 0.2            | —            | 29.9            | 3.0                           |                                    |
| 水煤氣的變<br>換氣             | 60.9~<br>61.3  | 5.8~<br>6.2    | 30.4~<br>30.9   | 1.5~<br>2.5 | 微量               | 0.1            | —            | 0.5<br>以下       | —                             |                                    |
| 焦爐氣與水<br>煤氣的變換<br>氣的混合氣 | 56.5~<br>59.2  | 6.1~<br>7.2    | 25.9~<br>26.5   | 3.1~<br>3.6 | 微量               | 0.15~<br>0.2   | —            | 4.4~<br>7.0     | 0.4~<br>0.6                   |                                    |

从表 1 中可以看出，在各种来源不同的原料氣中，除了含有有用的氮、氫氣體以外，尚含有不同数量的二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、一氧化碳(CO)、氨(A)、甲烷(CH<sub>4</sub>)及其他氣體，这些氣體都是合成氨所不需要的。如不預先除去，不仅空佔氣體容積，耗損動力，而且对氨的生产有着極大的危害。如原料氣中所含的硫化氨(H<sub>2</sub>S)能使合成触媒永久中毒，并腐蝕設備；二氧化碳、一氧化碳及氧能使触媒暫時中毒；甲烷和氫对合成触媒虽無毒化作用，但空佔氣體容積，降低氮、氮氣體的分壓，使氨的产率降低；高分子碳氫化合物(C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>)的沸點較高，容易析出而凝成固体，堵塞管道，和妨害生产。因此为了使生产能正常进行和保障合成触媒的安全，就必須將原料氣中的有害成份，在进入合成系統之前逐步淨除。原料氣的精煉工段，就担负这一淨化氣體、捍衛触媒和保証生产能够正常进行的生产任务。

从上面簡單的叙述中，可以看出，原料气的精煉在合成工業中佔有十分重要的地位。原料气不精煉，氨就不能合成，原料气精煉的質量稍有不好，氨的生产就会受到很大影响，如經過淨化后的精煉气中， $\text{CO} + \text{CO}_2$  的含量，高过 25 P.P.M. (即百万分之二十五)，就会使触媒中毒，使触媒活性下降，氨产率降低。所以在氨的生产中，不仅精煉气体重要，而且如何將气体煉到合乎質量要求，更为重要。

合成氨生产，是一个系統大、工序多的連續生产过程，各工序之間，都是互相关联、互相影响的，任何一个設備發生了故障，任何一个崗位操作失当，就会打乱全局，影响其他工序，輕則減产，重則停車使生产中断。精煉工段是合成工段的前衛，是合成工段的尖兵，能否經常不断的供給合成工段合乎質量的精煉气，便直接关系到氨的合成。所以要求每一个在精煉工段工作的操作人員，不仅要具有熟煉的生产技术，而且要求有高度的組織性和責任感。

由于原料气的来源不同，其所含雜質的成份和数量也不同，精煉的步驟和方法也就隨之而異。一般來說，淨化原料气的方法很多，可用固体或液体吸收剂將原料气的雜質吸收掉，亦可用深度冷冻的办法將雜質除去，或用触媒將雜質氫化成甲烷和水再行除去。假如，我們想从焦爐气中提氫，从空气中取氮来作为制氨的原料气，就應該先將焦爐气和空气分別精制：使焦爐气通过一套特制的精煉設備，按步除去苯、氨、和焦油，然后脫硫，并在 11~13 气压下，用水和碱液（氫氧化鈉溶液）洗去二氧化碳，再將洗过二氧化碳的焦爐气返入深度冷冻設備，逐步除去甲烷和高分子碳氫化合物，最后用液氮洗掉气体中的一氧化碳和氧，便可得到較純的氫气；同时使空气通过另一套淨化設備，逐步除去灰塵、二氧化碳，然后干燥脫水，最后將气体液化分离，除去氧份，便可得到較純的氮气。將由焦爐气分离制得的氫和从空气分离中所得的氮，按比例混合，就可得到較純的制氨原料气。另如，我們所用的原料气，若是由焦碳或無烟煤和空气、水蒸汽在煤气發生爐中制出来的半水煤气，則淨化方法与上不同。由于半水煤气經過脫硫变换之后，同时含有氫气和氮气，因此就可以不用分別精煉，而用合併精煉。它的

淨化过程是：先用高压水洗去变换气中的大部分二氧化碳和硫化氢，然后用銅氨液洗去一氧化碳；在清除一氧化碳的同时，亦可清除氧和部分二氧化碳及残余的硫化氢，最后用碱液將残余的二氧化碳洗去，便可得相当純淨的制氨原料气（ $\text{CO} + \text{CO}_2$  在12 P.P.M 以下）。

# 第一章 原料气中二氧化碳之清除

## 第一节 緒 言

前面已經提到，不論是焦爐气或是水煤气（或半水煤气）变换后的变换气中，都含有相当数量的二氧化碳（約 25~33%），所含的二氧化碳( $\text{CO}_2$ )如不除去，不仅能使合成触媒中毒，且对原料气的再步淨化有很大影响。如再步淨化是采用“深度冷冻法”，則原料气中的二氧化碳便在深度冷冻设备中，很快的凝成“干冰”，堵塞管道，影响生产。若再步淨化是采用“銅氨液洗滌法”，則原料气中的二氧化碳便在銅液塔中与銅液中的氨起反应，生成大量的碳酸銨( $\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ，或与銅液中的銅相化合，生成碳酸銅( $\text{CuCO}_3$ )的沉淀，堵塞設備，危害生产。在氮氫混合气中，如果混有少量的二氧化碳，就会使合成触媒的活性大大降低。所以原料气的精煉，先要清除二氧化碳。

### 一、清除二氧化碳的方法

淨除二氧化碳的方法很多，常見的有以下数种：

1. 水洗法（常压水洗或高压水洗）。
2. 碱洗法[苛性碱( $\text{KOH}$  或  $\text{NaOH}$ )、碳酸鹽( $\text{K}_2\text{CO}_3$  或  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )溶液，或氨水( $\text{NH}_4\text{OH}$ )]。
3. 羥基乙胺洗滌法。

現將各种方法分別簡述于下：

（一）水洗法 二氧化碳在水中的溶解度，較原料气中其他組份（硫化氫除外）为大，所以，可用清水洗除原料气中的二氧化碳。使水在水洗塔中与原料气逆流接触，則原料气中所含的二氧化碳，絕大部分溶于水中，而原料气中的其他組份，只有極小部分溶于水。这样，就可將二氧化碳从原料气中清除出来。吸收了二氧化碳的水（可称为碳酸水），引入脫气塔，用減压或吹風的方式，將二氧化碳从水中赶出，使水再生，再生水又可重新使用。

用水洗滌二氧化碳的操作，可在常压下进行，也可在加压下进

行。在小型工業中，或在對精制度要求不高的情況下，可用常壓水洗。在合成工業中，因對原料氣的精制程度要求很高，多採用加壓水洗。

水洗法的優點是水源很廣，到處都有，只要水質合乎規格，就可應用。一般河水或江水，經過簡單的淨化（軟化或局部軟化）處理，即可應用。且水的再生簡單，價格低廉（只需消耗動力和軟化藥品），因此各氨廠廣泛採用。但因用水洗滌二氧化碳，不能將二氧化碳完全除淨，在 16 氣壓下，用新鮮水洗滌二氧化碳，經水洗後的氣體中，尚含 0.1~0.5%  $\text{CO}_2$ 。若用再生水洗滌，水洗氣中的二氧化碳含量更高，約為 1.0~2.5%。因此用水洗過的氣體，還需用另一種吸收劑洗盡殘余的二氧化碳。所以，氨廠中多採用兩段法（水洗、鹼洗）或三段法（水洗、銅洗、鹼洗）來淨除原料氣中的  $\text{CO}_2$ （但在製造碳酸氫銨的工廠中不用水洗）。

水洗法的缺點是用水量和動力消耗較大，伴隨有氫、氮的流失。

（二）鹼洗法 一般用來作  $\text{CO}_2$  吸收劑的鹼液有苛性鉀、苛性鈉、碳酸鉀、碳酸鈉及氨水。其中以氫氧化鉀溶液最好，吸收二氧化碳的能力最強，但因價格太貴，工業上多不採用。現將各種鹼液吸收劑吸收二氧化碳的基本原理，分別簡述於下：

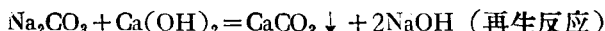
（1）燒鹼：燒鹼就是氫氧化鈉（ $\text{NaOH}$ ）的俗名。用燒鹼溶液吸收二氧化碳，是在鹼液塔中進行，使鹼液與原料氣逆流接觸，原料氣中的  $\text{CO}_2$  與鹼液中的氫氧化鈉作用生成另一種化合物，其化學反應如下：



由於氫氧化鈉與二氧化碳起了化學反應，生成了新的化合物，所以用鹼液淨除原料氣中的二氧化碳，不管在常壓下或在加壓下，都能收到極高的吸收效果。在生產過程中，鹼液是循環使用的。在鹼液循環過程中，鹼液中的氫氧化鈉逐漸減少，碳酸鈉不斷增多，等碳酸鈉增加到一定程度，就需更換新的鹼液。用過的鹼液送去回收工序再生，再生好的鹼液又送来鹼洗工序，重新使用。

廢鹼液的再生，是在鹼液再生反應槽（苛化桶）中進行的。先將鹼洗工序送來的廢鹼液送入反應槽，再在槽中加入適量的石灰乳

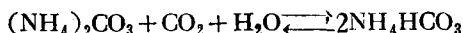
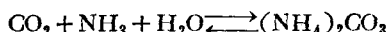
[又名熟石灰,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ], 并不断搅拌和加热, 则废碱液中的碳酸钠与新加入的石灰乳作用, 生成氢氧化钠, 其反应如下:



再生后的碱液, 经澄清过滤, 除去碱渣 (大部分是  $\text{CaCO}_3$ ), 然后送往碱洗工序, 重新使用。

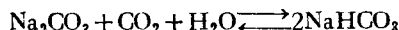
这种吸收剂吸收二氧化碳的能力虽然很强, 但因它的价格较贵, 再生复杂, 再生时二氧化碳不能回收, 并消耗大部分碱和大量的石灰乳, 所以在原料气中的二氧化碳含量很高时, 多不采用这种吸收剂。只在二氧化碳经第一步用别的吸收剂 (水) 净化处理之后, 才用碱液来作第二步或最后的净化处理。

(2) 氨水: 用氨水吸收二氧化碳, 在碳化塔中进行则原料气中的二氧化碳被氨水吸收, 生成碳酸氢铵, 其反应如下:



这样, 不仅清除了  $\text{CO}_2$ ; 而且使得  $\text{CO}_2$  得到有效的利用, 生成可用为肥料的碳酸氢铵。但由于碳酸氢铵挥发, 包装贮存较困难, 因此目前在氨产量较大的工厂, 仍未采用此法; 如碳酸氢铵包装贮存的困难获得全面解决, 则此法必时踞居优势, 取水洗法而代之。

(3) 碳酸盐: 用碳酸盐 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  或  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) 的水溶液吸收  $\text{CO}_2$  以后, 即生成另一种化合物——碳酸氢盐 ( $\text{KHCO}_3$  或  $\text{NaHCO}_3$ ), 其反应如下:



在吸收过程中, 有部分二氧化碳未参与上述反应, 直接溶于水。碳酸盐溶液吸收了  $\text{CO}_2$  以后, 被导入解吸塔, 用蒸汽间接加热, 使生成的碳酸氢盐受热分解, 放出  $\text{CO}_2$ 。溶液得到再生以后, 又可重新使用。

用碳酸盐吸收  $\text{CO}_2$  时, 吸收温度不能低于  $50^\circ\text{C}$ , 否则, 结疤堵塞现象十分严重, 并使吸收效率不高, 因此在合成工业中也很少采用。

(三) 羟基乙胺法 羟基乙胺是一种有机弱碱, 对二氧化碳和硫

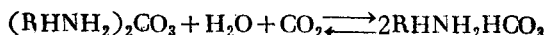
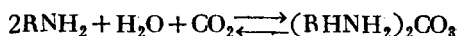


化氢的吸收能力很强。在吸收温度为  $15\sim 16^{\circ}\text{C}$  时，对吸收硫化氢有利。在吸收温度为  $40+50^{\circ}\text{C}$  时，对吸收二氧化碳有利。在吸收二氧化碳过程中，羟基乙胺与二氧化碳作用，生成碳酸盐或碳酸氢盐。吸收了二氧化碳的羟基乙胺溶液，经加热再生，又可重新使用。

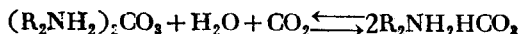
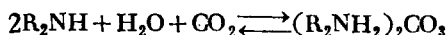
羟基乙胺的种类有三：一羟基乙胺  $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})\text{NH}_2$  或  $\text{RNH}_2$ ；二羟基乙胺  $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_2\text{NH}$  或  $\text{R}_2\text{NH}$ ；三羟基乙胺  $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{N}$  或  $\text{R}_3\text{N}(\text{R}=\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})$ 。

羟基乙胺与二氧化碳作用时的化学反应。

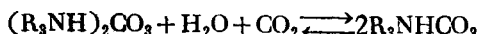
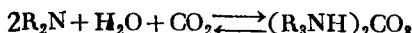
(1) 用一羟基乙胺溶液吸收二氧化碳的反应：



(2) 用二羟基乙胺吸收二氧化碳的反应：



(3) 用三羟基乙胺吸收二氧化碳的反应：



上述三类反应，从左到右是吸收反应，从右到左是吸收反应的逆反应——解吸（再生）反应。在此三类羟基乙胺溶液中，以一羟基乙胺的吸收效率最高，二羟基乙胺次之，三羟基乙胺最差。因此，一般多用一羟基乙胺溶液（浓度为  $0.5\sim 5$  千克分子/米<sup>3</sup>）来吸收二氧化碳。

羟基乙胺吸收法是一种新的吸收法，用这种方法精制原料气，其效果最好，可得到很高的精制度。其缺点是粘度较大，输送比较困难，并对设备有腐蚀作用。目前我国制取这种羟基乙胺的有机合成工业，尚未广泛发展，购价还比较贵，所以还未广泛采用。

## 二、二氧化碳的性质及用途

二氧化碳是一种无色、无毒、无味（用鼻嗅）的气体，它不能自燃，也不能助燃，更不能供作人的吸收养料。它的比重比空气重