



工人、工长用书

合成氨厂的工艺与操作

南京化学工业公司

吉林化学工业公司合編

大連化学工业公司

中国工业出版社

本书系1958年原化学工业出版社出版的“化学肥料厂工人、工长培训用书（试用本）合成氨”的修订再版。考虑到在修订过程中吸收了1958年以来各大型合成氨厂的经验，内容有所增添，编写形式也有所改变，因此，将书名改为“合成氨厂的工艺与操作”。

书中叙述了以固体燃料气化法获得合成氨用原料气的合成氨的生产过程。对于过程原理、工艺流程、设备构造、操作管理和安全技术等作了全面介绍，其中以操作方法、事故处理讨论得比较详细，此外，对主要设备的维护、检修方法，也给以必要的叙述。

本书可作为大、中型氮肥厂培训工人、工长的教材，也可供氮肥厂老工人、工长、车间技术人员和管理干部参考或自修之用。

本书系在化工部教育司的指示下，吉林化学工业公司教育处、大连化学工业公司教育处的支持下，由南京化学工业公司教育处负责组织编成的。执笔人为：高怀清、陈金堂、居益贤、丁萍、李青萼、冯瑞森、陈观平、吴玉峯、姜英成、范助昌等同志。第一次整理人为吴玉峯、陈观平。第二次整理人为吴玉峯。本书编成后，又由南京化学工业公司永利宁厂和设计院部分同志作了技术审查，北京化工设计院吴建生、伍宏业等同志补充校订。

工长用书
工艺与操作
业公司
业公司 合编
业公司

编辑（北京安定门外和平北路四号楼）

版（北京修明里西10号）
业许可证出字第110号

印刷厂印刷

行·各地新华书店经售

18·插页1·字数485,000

1964年9月北京第一版·1964年9月北京第一次印刷

印数0001—2,680·定价(科三) 2.00元

统一书号：15165·2826(化工-253)

目 录

总 論.....	1
一、合成氨工业对国民經济的关系	1
二、合成氨工业发展簡史	2
三、合成氨用原料气的各种制备方法	3

第一篇 固体燃料的气化

緒 言.....	11
第一章 气化原料的性质及对它的要求	13
复习題	18
第二章 半水煤气制造过程的原理.....	18
一、气化反应的理論基础	18
二、半水煤气的制造	25
三、間歇法制气的工作循环	27
四、間歇法制造半水煤气操作条件的选择	31
复习題	40
第三章 間歇法制造半水煤气的流程和主要設備.....	40
一、工艺流程	40
二、主要設備的构造及其維修要点	43
三、自动机的結構和动作原理及維修	53
复习題	67
第四章 正常操作管理	67
一、煤气发生系統的原始開車	67
二、煤气发生系統大停車	70
三、煤气发生炉的正常操作	71
四、操作条件的控制	74
五、中途改用无烟煤或焦炭时的操作	79
六、影响煤焦消耗定額的因素	83
复习題	84

第五章 操作中的故障和生产事故	85
一、运转中的故障及其处理	85
二、生产事故	90
复习题	93
第六章 沸腾状燃料层气化	93
一、沸腾气化原理	94
二、沸腾层气化的工艺流程和煤气发生炉的构造	102
三、正常操作管理	106
四、操作中的故障及其处理	113
复习题	116

第二篇 煤气的除尘和脱硫

第一章 煤气的除尘	117
一、旋风除尘器	117
二、机械洗滌机	118
三、电除尘器	120
复习题	128
第二章 煤气的脱硫	128
一、各种脱硫方法简介	129
二、氢氧化鉄法脱硫	130
三、活性炭法脱硫	132
复习题	133
第三章 砷碱法脱硫的基本原理	134
一、砷碱法脱硫的原理	134
二、生产条件的选择	137
复习题	141
第四章 砷碱法脱硫的工艺流程和主要设备	141
一、工艺流程	141
二、主要设备的构造及其維修要点	146
复习题	148
第五章 砷碱法脱硫的正常操作管理	149
一、原始开车	149
二、正常开停車	151

三、操作条件的控制	152
四、影响硫磺产量及碳酸钠消耗量的因素	155
复习题	157
第六章 砷碱法脱硫的不正常操作	158
一、脱硫部分	158
二、再生部分	160
复习题	162

第三篇 一氧化碳的变换

绪言	163
第一章 一氧化碳变换的理论	163
一、变换反应的简单原理	163
二、操作条件的选择	167
三、一氧化碳变换反应的触媒	170
复习题	174
第二章 变换系统的工艺流程和主要设备	174
一、变换系统的工艺流程	174
二、主要设备的构造及其维修要点	177
复习题	184
第三章 变换系统的正常操作管理	184
一、系统的开车	184
二、系统的停车	188
三、变换炉系统操作条件的控制	190
四、塔系统的操作	194
复习题	195
第四章 操作中的主要故障及其处理	196
一、不正常现象的原因及处理办法	196
二、事故的处理	199
复习题	201

第四篇 气体的压缩

绪言	203
第一章 活塞式压缩机的工作原理	205

一、壓縮过程	205
二、理論示功图	206
三、实际示功图	208
四、壓縮气体的三种过程.....	209
五、多段（級）壓縮	211
六、壓縮机的生产能力及其影响因素	214
七、壓縮机生产能力的計算	216
复习題.....	217
第二章 壓縮系統的流程和设备	217
一、前言	217
二、壓縮系統的流程	220
三、壓縮系統的设备	223
四、潤滑系統	238
复习題.....	241
第三章 操作管理	241
一、壓縮机的正常操作条件	241
二、壓縮机的開車	244
三、壓縮机的停車	249
四、操作因素的分析	250
五、操作压力的控制和不正常操作	257
复习題.....	262
第四章 壓縮机的故障	262
一、属于工艺方面的故障.....	262
二、紧急停車处理的注意事項	265
三、机械故障	266
复习題.....	273
第五章 壓縮机的維護和检修.....	273
一、壓縮机的維護	273
二、壓縮机的检修	280
复习題.....	284

第五篇 变换气中二氧化碳的清除

緒 言	286
-----------	-----

第一章 清除二氧化碳的各种方法	286
一、加压水洗法	287
二、热碳酸钾法	287
三、氨水法	290
四、其他方法简介	291
复习题	292
第二章 水洗法除去二氧化碳的原理	292
一、吸收原理	292
二、生产条件的选择	296
三、洗滌水的再生和氢、氮、二氧化碳的回收	299
复习题	302
第三章 水洗系统的工艺流程和主要设备	302
一、水洗系统的工艺流程	302
二、水洗系统的主要设备	305
三、筛孔板泡沫式水洗塔	311
复习题	313
第四章 水洗系统的操作管理	313
一、水洗系统的开停車	313
二、正常操作管理	318
三、不正常操作与事故处理	322
复习题	327
第五章 水洗设备的维护和检修	327
一、水洗塔的检修	327
二、高压水泵的维护和检修	330
复习题	334

第六篇 原料气中一氧化碳和微量二氧化碳的清除

緒 言	335
复习题	337
第一章 銅氨液吸收和銅液再生的原理	337
一、銅氨液的組成和性质	337
二、銅氨液吸收的原理及操作条件的选择	339
三、銅氨液的再生及操作条件的选择	347

复习题.....	350
第二章 碱液吸收和废碱液的再生原理	350
一、碱液吸收的原理及操作条件的选择	350
二、废碱液的再生	352
复习题.....	353
第三章 工艺流程和设备	353
一、铜液洗涤及铜液再生的工艺流程和设备	353
二、碱液洗涤及碱液再生的工艺流程和设备	363
复习题.....	366
第四章 正常操作管理	366
一、铜碱洗系统的开停车.....	366
二、铜液洗涤的正常操作	368
三、铜液再生系统的开停车	376
四、铜液再生的正常操作	378
五、铜液的制备	385
六、碱液洗涤和碱液再生的操作	389
复习题.....	392
第五章 不正常操作和事故处理	393
一、铜碱液洗涤的不正常操作	393
二、铜液再生的不正常操作	401
复习题.....	409
第六章 设备的维护和检修	409
一、铜液塔和碱液塔的维护检修	409
二、三联活柱泵的维护和检修	412
三、再生设备的维护和检修	415
复习题.....	416
第七章 冰机系统	417
一、冰机操作的原理	417
二、冰机系统的流程和主要设备	422
三、冰机系统的操作管理	425
复习题.....	433

第七篇 氨的合成

緒 言	434
一、氨合成的方法	434
二、氨的物理-化学性质	435
第一章 氨合成过程的理論	436
一、反应的平衡和速度	436
二、生产条件的选择	443
三、氨合成所用的触媒	450
复习題	454
第二章 合成系統的工艺流程和设备	455
一、合成系統的工艺流程	455
二、合成系統的设备	457
三、设备所用的材料	469
复习題	472
第三章 正常操作管理	473
一、合成系統的原始開車	473
二、操作条件的控制	476
三、触媒还原操作	486
四、升降溫操作	496
五、正常开停車	499
六、合成系統的总管操作	501
七、合成工段的正常操作条件	502
复习題	503
第四章 不正常操作和事故处理	503
一、合成塔	503
二、水冷凝器	509
三、氨冷凝器	509
四、氨分离系統的故障	510
五、循环机的故障	512
六、系統的阻力	513
七、事故停車的处理	515
复习題	517

第五章 设备的维护和检修.....	517
一、高压容器和管道的维护检查	518
二、合成塔的维护和检修	519
三、高压阀的维护和检修	523
复习题.....	526
第六章 液氮仓库	526
一、液氮的贮存及输送	526
二、液氮仓库的职能	527
三、液氮仓库的流程和主要设备	530
四、液氮仓库的操作	533
复习题.....	534

第八篇 安全技术

緒 言	535
第一章 中毒和烧伤	536
一、毒物和中毒	536
二、氨生产中的各种毒物	537
三、中毒事故的防止	540
四、防毒面具的构造和应用	541
五、烧伤	544
复习题.....	545
第二章 防爆技术	545
一、爆炸的分类及其原因	545
二、氨生产中的爆炸事故	547
三、防爆措施	551
四、受压容器的安全技术	554
复习题.....	558
第三章 防火、防触电和机械伤害事故	559
一、防火	559
二、触电事故的防止	563
三、机械伤害事故的防止.....	565
复习题.....	566

总 論

一、合成氨工业对国民經济的关系

蛋白质是維持植物和动物生命重要組成部分之一，而氮又是蛋白质中的主要組成部分，以重量計，約占蛋白质重量的 $\frac{1}{6}$ 。但在土壤中的氮每年都要被植物吸收掉或从土壤中被水帶走。因此，在农业生产上，为了提高农作物的产量，必須随时向土壤中补充氮素肥料。从以下的試驗結果也可看出，施用氮素肥料可以收到巨大效果。例如，每斤氮就能增产稻谷20斤左右、小麦15斤左右、棉花10斤左右、甜菜100斤以上、白菜200斤以上。

自然界中氮的数量是极丰富的，空气中大約有五分之四是氮。同时，按照計算，每平方公里(即100公頃)的地面上有氮800万吨，如果能自空气中取得氮，这真是取之不竭、用之不尽。但是，空气中的氮是以游离状态存在的，除了极少数植物以外，极大数目的植物都不能直接吸取空气中的氮，只能吸收氮和其他元素生成的化合物(例如氨和硝酸盐类等)，然后被吸收的氮在植物生长过程中合成蛋白质。

将空气中的氮轉变为氮的化合物的方法，称为“固定氮”。固定氮的方法很多，其中最簡單的方法是将空气中的氮和氧化合制成氧化氮。采用这种方法，除空气以外，不需任何其他原料。另一种方法是将空气中的氮和碳化鈣相作用而生成氰氨化鈣。由于这两种方法都要消耗大量电能，在目前还没有被广泛采用。現在最为經濟且在世界各国采用最广的固定氮方法是在高温高压下，将空气中的氮和用不同方法得来的氢直接化合而制成氨，这种方法又称为“合成氨”。

氨在氮肥生产中是很重要的，有了氨就可以和其他化合物加工制成硝酸铵、硫酸铵、磷酸氢铵、氯化铵和尿素等氮素肥料。

目前世界各国生产的大部分合成氨是用于固体肥料的生产。除此以外，也有把液氨或氨水直接注入土壤中作为肥料。因为使用这个方法，不必再用其它生产工序将氨加工成为固体肥料。液氨直接施肥，需要一整套中压的贮存、转运及施肥设备，恐一时不易办到，但氨水施肥，则较简便易行，我国南京、成都、大连等地农村已有某些经验，随着农业机械化水平的提高，将会得到一定程度的推广。

以农业为基础、以工业为主导是我国发展国民经济的长期方针，因此为了增产更多的粮食和其它农产品，以满足人民需要，必须积极发展合成氨及其加工工业。

合成氨不仅对农业有着重要意义，而且在工业上也是很重要的。氨是合成尿素的原料，而尿素不但是高效肥料，而且也是制造塑料、合成纤维和某些医药品的原料。

氨又是重要的化工原料，用它可以加工成为胺与磺胺，这两种化合物都是合成纤维及制药工业的重要原料。在制碱工业、石油工业和橡胶工业中也都要用到氨。此外，氨还应用于冷冻工业，因为它是最好和最常用的冷冻剂。

氨对于增强国防力量也是非常重要的，将氨用空气氧化可以制得硝酸。在炸药工业中，硝酸是最基本的原料，用硝酸做硝化剂可以制得三硝基甲苯、三硝基苯酚、硝化甘油、硝化纤维以及各种炸药。所以建设现代化的国防，就要借助于合成氨工业的发展。

由此可见，氨及氨的加工已成为现代化学工业中的一个重要部门。

二、合成氨工业发展简史

合成氨工业是近几十年开始发展起来的。虽然远在1841年，已经发现有氨的存在，但是合成氨的研究一直没有成功。以后由于工农业的发展对氨的需要量日益增加，合成氨的研究工作更加积极进行。例如，1901年吕·查得理曾进行过试验，后来由于反

应器发生爆炸而停止了。1904年珀曼等人曾进行高压試驗，以鉄为触媒制得了氨。同年，哈伯用鉄触媒在常压、高温(1000°C)下进行試驗，得到了0.012%的合成氨。以后，又繼續研究，直到1908年完成了实验室的研究工作，并在机械工程师波士的帮助下，于1910年5月建立了实验工厂，以300公斤/厘米²和500~550 $^{\circ}\text{C}$ 实现了氨的合成，这就是哈伯-波士法合成氨。1913年4月在德国奥堡建立了世界上第一个合成氨工厂。第一次世界大战期间，德帝国主义是唯一掌握合成氨制造方法的国家。他们以煤炭为原料制合成氨，然后将氨氧化以制造硝酸供应軍火生产。

第一次世界大战以后，德帝国主义战败，合成氨的生产方法被迫公开，从此，由于对氨的需要日益增长，合成氨工业便在世界各国得到广泛的采用和迅速的发展，目前世界各主要氮肥生产国家的氮素总产量已达一千三百多万吨。

解放前，我国的合成氨工业与其他工业一样是非常落后的，那时只有两个规模不大的合成氨工厂，不仅生产能力低，技术水平也很落后。

解放后，在党的正确领导下，国民经济得到了飞跃的发展，氨的需要量也不断增加。至1963年，全国合成氨年产量比解放前夕增加了一百多倍。尤其是经过二个五年计划的实际锻炼，我国已能自行进行各种规模氮肥厂的设计和设备制造。在生产技术上也取得了不少成就。所有这些，就为进一步迅速发展我国合成氨工业创造了有利条件。

三、合成氨用原料气的各种制备方法

无论采用何种方法生产合成氨，首先便是原料气的生产。它可以由分别制得的氢和氮混合而成，也可以同时制得氮氢混合气。原料气的制备，是合成氨生产中占成本比重较大的一个部分。因此，如何结合本国的资源条件选择最经济的原料来制造氮氢混合气，是合成氨生产中非常重要的问题。

首先谈谈原料气中氮的来源。直至目前为止，氮的唯一来源

是空气，空气中含有79%氮，通常可用化学方法或物理方法将空气中的氮和其他气体分开。应用化学方法时，是在燃料气化时将空气中的氧和燃料进行反应而得氮，也可以用所获得的廉价氢在空气中进行燃烧而遗留氮。物理方法制氮是应用空气分离法即用深度冷冻法将空气液化，然后利用氮和氧具有不同沸点的性质，将它们分开。

其次便是氢的来源。氢的制备方法较广泛，根据原料来源的不同可以分为：

(一) 固体燃料气化

用水蒸气 和空气（或 水蒸气 和氧气）混合而成的气体在高温下和固体燃料（如煤、焦炭等）进行反应以制得半水煤气（或水煤气）的方法，可以获得氢氮混合气（或氢气）。一直到现在，利用这个方法制造氢氮混合气以合成氨，被广泛采用着。

根据所采用固体燃料种类的不同，应用的气化设备也是不一样的。如果采用块焦、半焦和无烟煤为原料时，可用带有转动炉篦的固定层煤气发生炉；在采用较细颗粒燃料为原料时，可用所谓“沸腾层”煤气发生炉。其制取半水煤气的工艺流程示意图可见图0—1和图0—2。

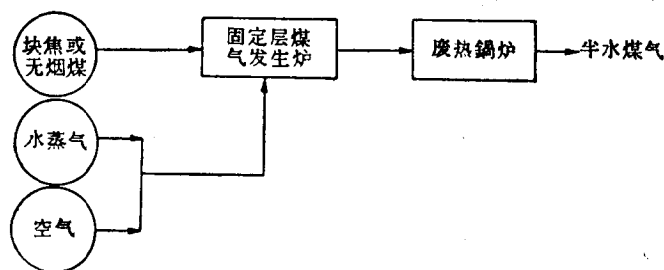


图 0—1 以块焦或无烟煤为原料制取半水煤气的示意流程

由以上方法制得的半水煤气中含有许多杂质，如硫化氢、二氧化碳等。在氨的合成以前，必须进行半水煤气的净化处理，其

淨化过程可見图0—3。

本书各篇將詳細討論用上述方法制取半水煤气及其淨化过程

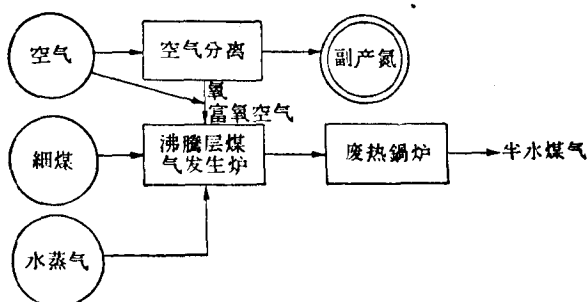


图 0—2 以細煤为原料制取半水煤气的示意流程

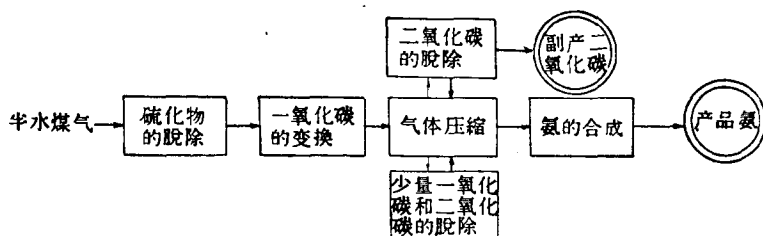


图 0—3 半水煤气淨化过程示意流程

的原理、工艺流程和设备、正常操作与不正常操作以及设备的维护检修等。

(二) 深度冷冻法分离焦炉气或石油加工副产气

焦炉气是炼焦工厂得到的副产气，它的組成中，氢約占 50%，甲烷約占 25%；石油加工副产气是由石油蒸馏工厂得到的，含氢量也較多。但是，上述两种气体中都含有硫化氢、二氧化碳等杂质，可以利用各种气体組分沸点不同，借部分冷凝的方法将杂质脫除而得氢。由于这两种气体中氮气含量較少，尚未达到氨合成时所需要的氮氢气的比例，所以从气体混合物中分离出

氢气以后，必须向氢气中添加由空气分离所制得的氮气。图0—4所示就是由焦炉气制取合成氨的示意流程。用石油加工副产气为原料时，也采用上述类似的流程。

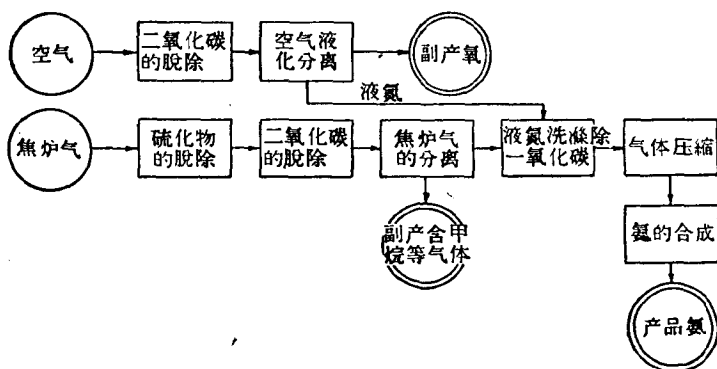


图 0—4 以焦炉气为原料制取合成氨的示意流程

利用焦炉气为原料的合成氨工厂，可以和炼焦企业联合生产。

(三) 含甲烷的气体转化

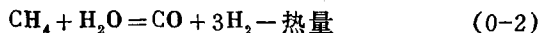
甲烷的主要来源是天然气和焦炉气。天然气中甲烷含量视产地而异，通常可达95%以上；焦炉气中通常含甲烷25%。天然气过去仅用作燃料，以后由于甲烷转化为氢气的研究获得成功以及由于世界上许多国家都有较丰富的天然气资源，因此目前采用以富含甲烷的气体为制取合成氨的原料已经愈来愈广泛了。

一般可用三种方法从甲烷制取合成氨所需的原料氢。

1. **热裂法** 即在高温下将甲烷裂化制氢，同时可以得到炭黑。其反应式为：



2. **转化法** 即用水蒸气在700~900°C并有镍触媒存在下和甲烷进行反应得到氢气和一氧化碳。其主要反应式为：



用转化法制氢的流程可见图0—5所示。将脱除硫化物后的含

甲烷气体（如天然气）与水蒸气混合，然后送入第一段轉化的管式炉中。在管式炉的管内装有镍触媒，而在管外則有煤气噴嘴燃烧加热。从管式炉出来的气体約含有8~10%的甲烷，把这样的气体送入也装有触媒的第二段轉化器中，并在通入該炉以前加入必需数量的空气，使轉化后的气体中氢与氮有一定的比例以进行氨的合成。由于空气中有氧气，气体中有部分甲烷、氢气和一氧化碳被烧掉。經轉化后的气体中甲烷含量可降低至0.2~0.8%。

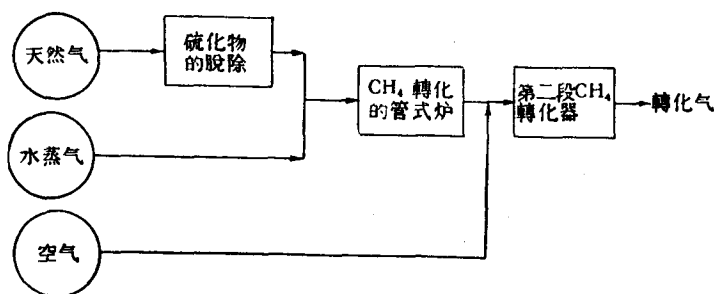
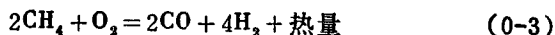


图 0—5 应用轉化法变换天然气以制取原料气的示意流程

甲烷轉化气中还含有一氧化碳及其它杂质，需要进行一氧化碳的变换以得到氢气。同时按图0—3所示进行净化处理。

3. 部分氧化法 即用氧和甲烷在950℃左右及镍触媒作用下，进行不完全的氧化以生成氢气和一氧化碳。其反应式为：



用这个方法制氢的流程见图0—6所示。将天然气和水蒸气混合后，经过热交换器预热，再在混合气内加入氧气并送到甲烷轉化器的底部。轉化器的底部有多孔板，在板上放有镍触媒，气体在上述轉化器内即进行轉化反应。经过轉化后的气体中含甲烷量已是很少了。有的工艺流程中，还设置有两段轉化器，使甲烷轉化更加完全。經轉化后的轉化气同样需经过净化处理，才能进行氨的合成。