

卓越 工程师教育培养教材

化工生产 综合实训教程

邱奎 黄森 熊伟 刘勇 等编著



化学工业出版社

卓越工程师教育培养教材

化工生产综合实训教程

邱奎 黄森 熊伟 刘勇 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是高等教育工科学生参加校内外工程实践、生产实习等教学环节使用的教材。本书以典型化工过程天然气生产合成氨为例,介绍了化工生产的安全环保、工艺流程、反应原理、设备结构、系统控制、操作方法、公用工程等内容。本书将理论知识与实际生产紧密结合,帮助读者结合专业知识进一步了解和认识生产现场装置和实际生产。

本书可供化工、过程装备与控制工程、机械、电气等工科专业实践教学使用。

图书在版编目(CIP)数据

化工生产综合实训教程/邱奎等编著. —北京:
化学工业出版社, 2016. 6

卓越工程师教育培养教材

ISBN 978-7-122-26536-4

I. ①化… II. ①邱… III. ①化工生产-教材
IV. ①TQ06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 052919 号

责任编辑:李玉晖 王 婧

装帧设计:史利平

责任校对:边 涛

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 装:三河市延风印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张17¼ 字数256千字 2016年7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: 35.00 元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

根据世界权威人才管理机构统计,我国劳动力市场可获得的合格工程师的比例远低于发达国家。要实现中国从当前的制造业大国向强国转变,需要培养大批优秀的工程技术人才。加强高校工科大学生工程能力教育已经在很多学校达成共识。主要措施包括搭建工程实践教学平台、建立双师型教师队伍、编写工程实践教材等。工程实践教材的编写是联系高校和企业的桥梁,是将理论向实践转化的纽带,是合格工程师培养的重要环节。基于上述考虑,重庆科技学院联合四川能投汇成培训管理有限公司,以化工领域典型过程合成氨工艺为背景,力图从工程教育的视角出发,向广大化工专业及相关学科读者介绍化工生产基本方法、工艺原理、设备结构、生产控制、常见故障处理、公用工程等知识。

本书以天然气生产合成氨实际装置为例,不仅详细介绍了工艺流程、化学反应原理、设备结构等知识,而且结合生产实际引入典型设备、系统的操作控制方法,对实际发生的事故案例进行了深入剖析。本书注重理论知识与实际生产问题紧密结合,结合了传统高校教材偏重理论知识,而企业培训教材注重生产实际这两者的优势。

本书适用于以下几方面。一是用于大学的课堂教学,在学习了基础化学、化工原理等相关课程之后,使大学生在校园内就接触工程实践的相关实际知识,把大学的理论教学与工程实践相结合,相得益彰,便于学生初步掌握理论知识在工程实际中的运用,使学生认识理论学习的重要性,激发其学习的热情。二是大学生在校内外工程实践教育基地参加实践实习时,通过对本书的学习,对现场生产装置有进一步的了解和认识,从而促进其工程理论

知识与工程实践知识的进一步融合。三是作为案例教学的教材，本书采用了大量的实际事故作为案例，能通过学习逐步培养大学生工程实践的素质和发现问题、分析问题、解决问题的意识。

本书由黄森编写第1、2、3、4、8章，伍建国编写第5章，贺江编写第6、7章，吴春兰编写第9章，张莹编写第10章，黎瑛、黄捷、邱堂海编写第11章，由重庆科技学院邱奎、熊伟和川化股份有限公司黄森、四川能投汇成培训管理有限公司刘勇统稿和审核。重庆科技学院蒯家建、邓欣、李维军、沈渝、陈晓星、余乐、黄超、冉维、方欣等师生参与了教材图片、文字、表格等的修改。

高校工程实践教育工作是我国由工程教育大国变为强国的重要基础工作，任重道远，值得我们皓首穷经，筚路蓝缕，上下求索。由于时间仓促和水平有限，本书肯定存在不足之处，真诚地希望读者不断提出宝贵意见和建议，共同推进我国高校工程实践教育的发展。

刘 勇

2016年2月

目录

CONTENTS

1 概论 1

- 1.1 安全与环保 1
- 1.2 氨的性质与用途 20
- 1.3 合成氨生产工艺 24
- 1.4 思考题 29

2 天然气脱硫 32

- 2.1 概述 32
- 2.2 干法脱硫 34
- 2.3 工艺流程和主要设备 46
- 2.4 开车与停车 48
- 2.5 操作注意事项 50
- 2.6 思考题 52

3 甲烷蒸汽转化造气 54

- 3.1 概述 54
- 3.2 甲烷蒸汽转化反应的基本原理 55
- 3.3 工艺流程和主要设备 57
- 3.4 转化催化剂 62

3.5	开车与停车	71
3.6	操作注意事项	73
3.7	思考题	77

4 变换 79

4.1	概述	79
4.2	工艺流程和主要设备	83
4.3	变换催化剂	84
4.4	开、停车及正常操作	90
4.5	思考题	92

5 脱碳 94

5.1	热钾碱法脱碳	94
5.2	MDEA 法脱碳	97
5.3	工艺流程和主要设备	98
5.4	开、停车及正常操作	101
5.5	异常工况的诊断及案例分析	105
5.6	思考题	107

6 甲烷化 108

6.1	概述	108
6.2	工艺流程和主要设备	110
6.3	甲烷化催化剂	112
6.4	开车及正常操作	114
6.5	案例及分析	116
6.6	思考题	118

7**压缩与透平****120**

7.1	压缩机的工作原理和结构	120
7.2	压缩机的操作及维护	123
7.3	离心式压缩机事故案例及分析	128
7.4	蒸汽透平的工作原理和结构	129
7.5	蒸汽透平的操作及维护	135
7.6	蒸汽透平事故案例及分析	138
7.7	燃气轮机的工作原理和结构	140
7.8	燃气轮机的操作及维护	141
7.9	燃气轮机事故案例及分析	144
7.10	思考题	144

8**氨的合成****147**

8.1	概述	147
8.2	工艺流程和主要设备	149
8.3	氨合成催化剂	153
8.4	开、停车与正常操作	156
8.5	氨合成事故案例及分析	159
8.6	思考题	162

9**氨的冷冻及储存****163**

9.1	制冷原理	163
9.2	工艺流程和主要设备	165
9.3	冷冻系统开车	169
9.4	正常操作与故障诊断	171
9.5	冷冻系统事故案例及分析	172

9.6 思考题	174
---------------	-----

10 合成氨生产过程控制 176

10.1 概述	176
10.2 现场仪表	181
10.3 PLC、DCS 和 FCS 系统	184
10.4 SIS 系统简介	189
10.5 工艺管道仪表流程图简介	193
10.6 合成氨重要控制系统与联锁系统	198
10.7 思考题	210

11 公用工程 212

11.1 化工厂水系统	212
11.2 电气系统	230
11.3 蒸汽系统	236
11.4 思考题	251

附录 254

附录 1 液体无水氨国家标准 (GB 536—1988) 摘录	254
附录 2 氨的饱和蒸汽压与汽化热	256
附录 3 合成氨厂常用催化剂	257
附录 4 合成氨工业常见填料特性	264

参考文献 268



概论

工程实践，是指工科类专业的学生通过在现场的实习，把所学知识用于实际，以此来巩固提高专业知识的过程。

本书以石油和化学工业中合成氨工业为主线介绍工程实践的必备知识。石油和化学工业是国民经济中重要的支柱产业，而合成氨工业是石油天然气化工领域最具有代表性的工艺技术。合成氨工业的迅速发展，促进了高压、催化、特殊金属材料、固体燃料气化、低温等科学技术的发展。尿素和甲醇的合成、石油加氢、高压聚合等工业是在合成氨工业的基础上发展起来的，合成氨工业在国民经济中占有十分重要的地位，氨及氨加工工业已成为现代化学工业的一个重要支柱。合成氨工业工艺流程长，包含多种单元操作，设备复杂，装置自动化程度高，能够全面地反映现代化学工业的技术发展。

通过本书理论与案例结合的学习，读者不仅能够掌握合成氨工艺中有代表性的转化、吸收、压缩、制冷等工艺过程的原理和操作要点，还对化工生产中自动控制系统、公用工程系统、能量利用、安全环保、设备动态检测等知识有一定程度的了解。

1.1 安全与环保

做好安全生产、强化劳动保护工作，确保人员的安全和健康，是党和政府的一贯方针，是企业管理的一项基本原则，也是企业安全工作者和全体员

工的职责。

安全生产既是企业管理的综合反映，又是一门科学。为确保化工生产建设的正常顺利进行，各级领导干部和广大职工必须提高对安全生产重要性的认识。在企业生产中，多少悲惨的教训使我们认识到，缺乏必要的安全知识是产生事故的重要原因，普及安全知识是做好安全工作的重要课题。

合成氨装置是以天然气为原料、燃料，其生产过程具有高温、高压、易燃、易爆、有毒、有害、噪声大及腐蚀性强等特点。组织和保障安全生产，为员工提供可行的安全生产环境，是各级管理者的主要工作和责任。同时，安全生产亦是企业提高经济效益的途径和保证。

为保证安全生产，必须牢固树立安全生产“责任重于泰山”的思想观念；坚决贯彻执行“安全第一、预防为主、综合治理”“安全生产、人人有责”的安全工作方针；我们要在思想上重视、制度上健全、措施上有效、技术上可靠、行动上有力。因此，了解装置的生产特点，对实现安全生产，保护职工安全和身体健康具有重要意义。

1.1.1 化工行业生产的特点

化工行业是利用化工原料，在高温、高压、催化剂等条件下，经过化学反应制成化工产品，设备主要为高温、高压的反应釜、搅拌机、压力管道、反应槽等。原材料大多数具有易燃、易爆、有毒、腐蚀等特性，易发生火灾、爆炸或中毒、烫伤、腐蚀等事故。

当前，化学工业呈现出以下几个特点。

1) 生产流程长。一个产品的生产需要多道工序，甚至十几道工序才能完成。比如作为化学肥料的硝酸铵，它的生产过程包括氨生产的造气（半水煤气）、脱硫（硫化氢）、转化（一氧化碳的变换），氮氢气的压缩、脱碳（二氧化碳的脱除）、净化（微量一氧化碳、二氧化碳的脱除），氨的合成，液氨的储存。再用液氨汽化为氨气、氨气氧化（得到氧化氮）、酸吸收生产稀硝酸。再用稀硝酸与氨气中和得到硝酸铵溶液，再将溶液经三级蒸发、造粒、冷却、包装才能完成整个的生产过程，得到产品硝酸铵。

2) 工艺过程复杂。生产过程中既有高温、高压，又有低温、低压。仍

以硝酸铵生产为例，氨生产造气炉的炉内温度，用煤焦为原料高达 1100°C ，氨合成的压力有的达到 30MPa 。有的氨生产需要的氧气的空气分离装置温度要低到 -190°C 。也有的化工产品生产过程在负压的情况下进行。

3) 原料、半成品、副产品、产品及废弃物大多具有危险特性。如硝酸铵生产，其原料有用煤焦，也有用石脑油、天然气为原料，过程中副产品硫磺、液氨、硝酸等都有危险特性。

4) 原料、辅助材料、中间产品、产品呈三种状态。有气态，有液态，有固态，而且互相可以转换。

5) 整个生产过程必须在密闭的设备、管道进行，不允许有泄漏。

6) 对包装物、包装规格以及储存、装卸、运输都有严格的要求。

1.1.2 化工安全生产知识

我国安全生产方针：安全第一，预防为主，综合治理的原则。我国制定颁布的安全生产、劳动保护的法律法规有 280 多项。

(1) 权利和义务

权利：

1) 有权了解作业场所和工作岗位存在的危险因素、防范措施及事故应急措施；

2) 有权对本单位安全生产工作中存在的问题提出批评、检举、控告、拒绝违章指挥和强令冒险作业；

3) 发现直接危及人身安全的紧急情况时，有权停止作业或在采取可能的应急措施后撤离作业场所。

义务：

1) 在作业过程中，应当严格遵守本单位的安全生产规章制度和操作规程，服从安全管理，正确佩带和使用劳动防护用品。

2) 应当接受安全生产教育和培训，掌握本职工作所需的安全生产知识和安全生产技能，增强事故预防和应急能力。

3) 发现事故隐患或其他不安全因素，应当立即向现场安全生产治理职员或本单位负责人报告；接到报告的职员应及时予以处理。



(2) 安全术语

1) 安全生产：消除或控制生产过程中的危险因素，保证生产顺利进行。

2) 本质安全：通过设计等手段使生产设备或生产系统本身具有安全性，即使在误操作或发生故障的情况下，也不会造成事故。

3) 安全治理：为了在生产过程中保护劳动者的安全和健康，改善劳动条件，预防工伤事故和职业危害，实现劳逸结合，加强安全生产，使劳动者安全顺利地进行生产所采取的一系列法制措施。

4) 事故：职业活动过程中发生意外的突发性事件总称，通常会使正常活动中断，造成职员伤亡或财产损失。

5) 事故隐患：可能导致事故发生的物的危险状态、人的不安全行为及治理缺陷。

6) 不安全行为：职工在职业活动中，违反纪律、操作程序和方法等具有危险性的做法。

7) 违章指挥：强迫员工违反国家法律、法规、规章制度或操作规程进行作业的行为。

8) 违章操纵：员工不遵守规章制度，冒险进行操作的行为。

9) “四不放过”的原则：在调查处理工伤事故时，必须坚持事故原因分析不清不放过、没有采取切实可行的防范措施不放过、事故责任人没受到处罚不放过、他人没受到教育不放过。

10) 三违：违章指挥、违章作业、违反纪律。

11) 三级安全教育：进厂教育、车间教育、班组教育。

12) 四不伤害：不伤害自己、不伤害别人、不被别人伤害、帮助别人不受到伤害。

13) 三懂四会：懂生产原理、懂工艺流程、懂设备构造；会操作、会维护保养、会排除故障和处理事故、会正确使用消防器材和防护器材。

14) 职业安全：人们进行生产过程中没有职员伤亡、职业病、设备损坏或财产损失发生的状态，是一种带有特定含义和范畴的“安全”。

15) 危险：可以导致意外事故发生的现存或潜伏的状态。

16) 危险化学品：易燃易爆、有毒有害或具有腐蚀特性，会对人员、设

施、环境造成伤害或损害的化学品，包括爆炸品、压缩气体和液化气体、易燃液体、易燃固体、自燃物品和遇湿易燃物品、氧化剂和有机氧化物、有毒品和腐蚀品等。

17) 重大危险源：企业生产活动中客观存在的危险物质或能量超过临界值的设施、设备或场所。

(3) 安全生产的“四个必须”

① 必须人人留意安全：不但要留意自己的安全，还要留意别人的安全和其他各种安全隐患。

② 必须事事留意安全：做任何事情都要留意安全，不要由于熟练而忽视安全。

③ 必须时时留意安全：例如不要由于即将下班而加快速度，违章操作，忽视安全。

④ 必须处处留意安全：在任何地方都要留意安全。

(4) 造成事故的主要原因

物的不安全状态、人的不安全行为、作业环境缺陷、治理缺陷。

(5) 安全色及安全标志

我国规定了红、蓝、黄、绿四种颜色为安全色，其含义如下。

红色：禁止，停止。

蓝色：指令，必须遵守的规定。

黄色：警告，留意。

绿色：安全。

(6) 违章作业

凡在生产过程违反国家颁发的各种法规性文件和企业、事业单位其上级治理机关制定的反映安全生产客观规律的各种规章制度，包括工艺、生产操作、劳动保护、安全治理等方面的规程、规则、章程、条例、办法等，以及有关安全生产的通知、决定等，均属违章作业。

主要内容概括如下。

不按规定正确穿着和使用各类劳动保护用品，在生产过程中穿戴拖鞋、凉鞋、高跟鞋、裙子、喇叭裤、围巾、腰巾以及散落发辫、袒胸露背等。



工作不负责任,擅自离岗、串岗、饮酒、干私活及在工作时间内从事与本职工作无关的活动。

发现设备或安全防护装置缺损,不向领导反映,继续操作,自作主张擅自将安全防护装置拆除、弃之不用者。

忽视安全、忽视警告,冒险进入危险区域、场所和攀、坐不安全位置。

不按操作规程、工艺要求操作设备,擅自用手代替工具操作,用手清除切屑,不用夹具固定、用手拿工件进行机加工等。

擅自动用未经检查、验收、移交或查封的设备和车辆,以及未经领导批准任意动用非本人操作的设备和车辆。

不按操作规定,擅自在机器运转时进行加油、修理、检查、调整、落料、焊接、清扫和排除故障等工作。

不按规定及时清理作业现场,清除的废物、垃圾不向规定地点倾倒,工件和附件任意摆放,堵塞通道。

超过额定负荷或不符合安全要求使用各种起吊设备、设施和工具。

不执行“危险作业申请单”所规定的安全防范措施,对领导的违章指挥盲目服从不加抵制。

对易燃、易爆、剧毒物品,不按规定进行储运、收发和处理。

特种作业工种无证单独操作,机动车辆持学员证单独驾驶和无证驾驶。特种设备和要害部分,不认真登记和交接,擅自离岗或睡觉。

经济承包中不讲安全,以拼设备、拼体力来抢时间、赶速度、冒险蛮干,或不按工艺要求操作设备,使设备超负荷运行。

违反其他法律、法规规定的行为。

(7) 安全防爆

1) 爆炸极限的概念 可燃气体、可燃液体蒸气或可燃粉尘与空气组成的混合物,并非任何混合比例下都可以爆炸,而是在某一浓度范围的內。不同的可燃物有不同的爆炸浓度范围,通常用可燃气体、可燃液体蒸气、可燃粉尘在空气中的体积百分数表示。能够产生爆炸的最低浓度称爆炸下限,最高浓度为爆炸上限。

2) 爆炸压力 可燃气体、可燃液体蒸气或可燃粉尘与空气的混合物、

爆炸物品在密闭容器中着火爆炸时所产生的压力称爆炸压力。爆炸压力的最大值称最大爆炸压力。

生产中常见的火灾爆炸现象：易燃易爆气体泄漏引起的燃烧爆炸；压力容器治理不善发生爆炸。

(8) 防触电

电气事故主要包括：电流伤害事故、电磁场伤害事故、雷电事故、静电事故和某些短路故障。

电流伤害事故是电流通过人体发生的事故，分电击和电伤。

电击：人体与带电导体直接接触，电流通过人的身体，当电流达到一定数值时，会使肌肉发生痉挛现象，如不能立即脱离电流，最后便会引起呼吸困难、心脏麻痹以致死亡。

电伤：人体触电后仅肌肤局部创伤，有灼伤、烙印和皮肤金属化等。

1) 电器作业时的注意事项

① 四必须

主线路、变压器、高压开关柜检验时必须按要求办理工作票证。

电气设备停电检验时相应开关拉下隔离并挂牌登记，拆、接电源后必须将电闸刀盖盖上。

重新接线后必须检查电机正反转、电位器相位。

凡电工检验期间必须穿绝缘鞋，穿戴劳保用品。

② 二严禁

严禁乱接乱拉电线，零线和地线架线必须符合安全要求，并做到人走线拆除。

严禁用铜丝、铝丝作为保险丝使用。

2) 触电急救

① 应立即断开近处电源开关或拔掉电源插头。

② 如断电有困难，可用干燥的衣服、手套、绳索、板等绝缘物体作为工具，拉开触电者或拉开电源，使触电者脱离电源。

③ 触电者紧握电线时，可用干燥的木柄斧、橡胶棒等工具切断电线，或用于木板、干胶板等绝缘物插进触电者身下借以隔断电源。事故发生在高



压设备上，应立即通知有关部门停电或戴上绝缘手套，穿上绝缘靴，用相应等级的绝缘工具切断电源。

(9) 安全防火

1) 火灾的分类 根据《火灾分类》(GB/T 4968—2008)，按照可燃物的类型和燃烧特性，火灾可分为 A、B、C、D、E、F 六类。

A 类火灾：固体物质火灾，往往是有机物燃烧，一般在燃烧时能产生灼热的灰火。如木柴、棉、毛、麻等着火引起的火灾。

B 类火灾：液体或可熔化的固体物质火灾，如汽油、煤油、原油、甲醇、乙醇、沥青、石蜡等着火引起的火灾。

C 类火灾：气体火灾，如甲烷、乙烷、丙烷、氨气着火引起的火灾等。

D 类火灾：金属火灾，如钾、钠、镁、钛、锂、铝、镁、合金着火引起的火灾等。

E 类火灾：带电火灾。物体带电燃烧的火灾。

F 类火灾：烹饪器具内的烹饪物（如动植物油脂）火灾。

2) 火灾的三要素 燃烧必须具备三个条件：可燃物、助燃物、点火源。

可燃物：燃烧的主体，如木炭、棉花、汽油等。

助燃物：参与燃烧，与主体物质起化学反应，加速燃烧进程，如空气等。

点火源：使可燃物达到燃点的物质或方法，如雷电、炉火等。

点火源的种类：明火及高温表面，摩擦与撞击，电火花，静电，雷击。

3) 火灾燃烧的四个阶段

① 初始阶段：一般固体可燃物质着火燃烧后，在 15 分钟内，燃烧面积不大，火焰不高，辐射热不强，烟和气流活动缓慢，燃烧速度不快，是扑救的最好时机，70% 以上是由在场人员扑灭的。

② 发展阶段：初起之火没有及时发现并扑灭，随着燃烧时间延长，温度上升，四周的可燃物质被迅速加热，气体对流增强，燃烧速度加快，面积迅速扩大，形成发展阶段。这是灭火的关键性阶段，必须采取正确的措施，来控制火势发展，以便进一步扑灭。

③ 猛烈阶段：火灾在发展阶段没有得到很好控制，由于燃烧时间继续