

中国石化员工培训教材

煤化工技术



MEIHUAGONG
JISHU

中国石化员工培训教材编审指导委员会 组织编写
本书主编 亢万忠

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

中国石化员工培训教材

煤化工技术

中国石化员工培训教材编审指导委员会 组织编写

本书主编 亢万忠

中国石化出版社

内 容 提 要

《煤化工技术》为《中国石化员工培训教材》系列之一。本教材共分为7篇26章。第一篇为煤的性质、加工和利用,共4章,分别对煤炭的分布和性质、煤的洗选和运输、煤的初级加工、煤的利用和煤化工产业链进行介绍;第二篇为煤的热解及焦化,共2章,分别对煤的热解技术、炼焦产品的回收与精制进行介绍;第三篇为煤气化技术,共3章,分别对煤气化原理、典型煤气化技术、煤气化技术的研究和发展趋势进行介绍;第四篇为煤气化配套单元技术,共5章,分别对空气分离、一氧化碳变换、酸性气脱除、合成气精制、硫回收技术进行介绍;第五篇为煤液化技术,共2章,分别对煤的直接液化和煤的间接液化进行介绍;第六篇为煤制合成气的主要产业链技术,共7章,分别对合成气制氨、合成气制甲醇、甲醇制烯烃、合成气制醋酸、合成气制乙二醇和多碳醇、合成天然气、IGCC发电及多联产等技术进行介绍;第七篇为煤化工的三废治理和节水节能技术,共3章,分别对煤化工三废治理、节水、节能技术进行介绍。

本书是煤化工技术及操作人员进行员工岗位技能培训的必备教材,也是专业技术人员必备的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

煤化工技术/亢万忠主编. —北京:中国石化出版社,
2017.1
中国石化员工培训教材
ISBN 978-7-5114-4328-1

I. ①煤… II. ①亢… III. ①煤化工-技术培训-
教材 IV. ①TQ53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 308430 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行
地址:北京市朝阳区吉市口路9号
邮编:100020 电话:(010)59964500
发行部电话:(010)59964526
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail:press@sinopec.com
北京柏力行彩印有限公司印刷
全国各地新华书店经销



787×1092 毫米 16 开本 32.5 印张 736 千字
2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷
定价:88.00 元

中国石化员工培训教材

编审指导委员会

主 任：李春光

委 员：戴 锭 谭克非 章治国 初 鹏

吕长江 张卫东 吕永健 徐 惠

张吉星 雍自强 寇建朝 张 征

蒋振盈 齐学忠 翟亚林 耿礼民

吕大鹏 郭安翔 何建英 石兴春

王妙云 徐跃华 孙久勤 吴文信

王德华 亓玉台 周志明 王子康

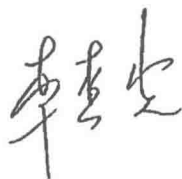
序

中国石化是上中下游一体化能源化工公司，经营规模大、业务链条长、员工数量多，在我国经济社会发展中具有举足轻重的作用。公司的发展，基础在队伍，关键在人才，根本在提高员工队伍整体素质。员工教育培训是建设高素质员工队伍的先导性、基础性、战略性工程，是加强人才队伍建设的重要途径。

当前，我们已开启了建设世界一流能源化工公司的新航程，加快转变发展方式的任务艰巨而繁重，这对进一步做好员工教育培训工作提出了新的更高要求。我们要以中国特色社会主义理论为指导，紧紧围绕企业改革发展、队伍建设和员工成长需要，以提高思想政治素质为根本，以能力建设为重点，积极构建符合中国石化实际的培训体系，加大重点和骨干人才培训力度，深入推进全员培训，不断提高教育培训的质量和效益，为打造世界一流提供有力的人才保证和智力支持。

培训教材是员工学习的工具。加强培训教材建设，能够有效反映和传递公司战略思想和企业文化，推动企业全员学习，促进学习型企业建设。中国石化员工培训教材编审指导委员会组织编写的这套系列教材，较好地反映了集团公司经营管理目标要求，总结了全体员工在实践中创造的好经验好做法，梳理了有关岗位工作职责和 workflows，分析研究了面临的新技术、新情况、新问题等，在此基础上进行了完善提升，具有很强的实践性、实用性和较高的理论性、思想性。这套系列培训教材的开发和出版，对推动全体员工进一步加强学习，进而提高全体员工的理论素养、知识水平和业务能力具有重要的意义。

学习的目的在于运用，希望全体员工大力弘扬理论联系实际的优良学风，紧密结合企业发展环境的新变化、新进展、新情况，学好用好培训教材，不断提高解决实际问题、做好本职工作的能力，真正做到学以致用、知行合一，把学习培训的成果切实转变为推进工作、促进改革创新的实际行动，为建设世界一流能源化工公司作出积极的贡献。



二〇一二年七月十六日

前 言

根据中国石化发展战略要求,为加强培训资源建设、推进全员培训的深入开展,集团公司人事部在梳理培训教材开发成果、调研企业培训教材需求和开展中国石化员工培训课程体系研究的此基础上,制定了职业素养、综合管理、专业技术、技能操作、国际化业务、新员工等六类组织编写覆盖石油石化主要业务的系列培训教材、构建起中国石化特色的培训教材体系的规划。系列教材围绕中国石化发展战略、队伍建设和员工成长的需要,以提高全员履行岗位职责的能力为重点,以研究和解决生产经营、改革发展面临的新挑战、新情况、新问题作为重要目标,将全体员工在实践中创造的好经验好做法作为重要内容,具有较强的实践性、针对性。培训教材的开发工作由中国石化员工培训教材编审指导委员会组织,集团公司人事部统筹协调,总部各业务部门分工负责专业指导和质量把关,主编单位负责组织培训教材编写。在培训教材开发和编写的过程中,上下协同、团结合作,各级领导给予了高度重视和支持,许多管理专家、技术骨干、技能操作能手为培训教材编写贡献了智慧、付出了辛勤的劳动。

《煤化工技术》作为培训教材,编写时以煤的概况、煤的气化及其配套技术、合成气制下游产品为主线,介绍了煤化工及其配套技术的情况,重点介绍已工业化的典型的煤气化及其配套技术,同时对煤的概况和加工利用、煤的热解、煤的液化、合成气制下游产品、三废处理及节水节能等技术进行了介绍。本教材编写时按照以主要产业链为核心,从技术原理、典型工艺、主要设备、能源综合利用和三废治理等各方面对煤化工技术各环节进行介绍,以期使读者能从整体上了解煤化工技术。

《煤化工技术》教材由宁波工程公司负责组织编写,主编亢万忠、副主编孙志刚(宁波工程公司),参加编写的单位有安徽理工大学、齐鲁研究院、上海石化院、安庆分公司、金陵分公司、南化公司、四川维尼纶厂。亢万忠、孙志刚、李晓黎、杨宏泉、张炜、刘芹、范斌、陈莉、胡力、陈金锋、王同宝、郭强、李峰、陈鑫、夏蕾等(宁波工程公司)主要编写了第3、4、7、8、9、10、11、13、15、23、24、25、26等章节,熊金钰、李寒旭等(安徽理工大学)主要编写了第1、2、5、6等章节,余汉涛、刘爱华、刘淑芝等(齐鲁研究院)主要编写了

第 11、14 等章节，滕加伟、杨学萍、杨德琴、刘红星、齐国祯、赵国良、瞿勇、孙凤霞、贺来宾、何文君、董丽、刘仲能、刘文杰、陶跃武等(上海石化院)主要编写了第 4、14、15、19、22 等章节，吴睿(湖北化肥厂)主要编写了第 17 章，何洋、钟勋(四川维尼纶厂)主要编写了第 18、20 章，盛新、程更新、朱林军、汪永庆(安庆分公司)参与编写了第 3、8 等章节，童武元、王勇、阮亚鹏(金陵分公司)参与编写了第 8、17 等章节，许荣发、汪泽强、周刘松、陈武、朱道平(南化公司)参与编写了第 3、8、12、22 等章节，另外金陵、安庆、南化等公司还提供了工厂的实际运行数据和经验；本教材已经由集团公司人事部组织审定通过，主审孙宝慈，参加审定的人员有安福、盛新、余振红、宋星星、张骏驰、庞睿、顾英、滕加伟等，审定工作得到了中国石化气化技术中心、经济技术研究院、中国石化壳牌岳阳合资公司、安庆分公司、上海石油化工研究院的大力支持；中国石化出版社对教材的编写和出版工作给予了通力协作和配合，在此一并表示感谢。

由于本教材涵盖的内容很广，涵盖技术种类很多，技术发展非常迅速，不同企业之间也存在着差别，编写难度较大，加之编写时间紧迫，不足之处在所难免，敬请各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议，以便教材修订时补充更正。

目 录

第一篇 煤的性质、加工和利用

第 1 章 煤炭资源及其组成和性质	(3)
1.1 世界煤炭资源	(3)
1.2 中国煤炭资源	(5)
1.3 煤的组成和性质	(7)
1.4 煤炭分类	(15)
1.5 原煤评价	(17)
思考题	(20)
参考文献	(21)
第 2 章 煤的洗选与储运	(22)
2.1 煤的洗选	(22)
2.2 煤的储运	(27)
思考题	(31)
参考文献	(31)
第 3 章 煤的预处理	(33)
3.1 煤的破碎与筛分	(33)
3.2 型煤技术	(35)
3.3 水煤浆制备	(38)
3.4 煤的预干燥	(45)
3.5 干煤粉制备	(48)
3.6 配煤技术	(51)
思考题	(54)
参考文献	(54)
第 4 章 煤的利用及煤化工产业链	(56)
4.1 煤的利用	(56)
4.2 煤化工产业链	(57)
思考题	(59)
参考文献	(59)

第二篇 煤的热解和焦化

第 5 章 煤的焦化	(63)
5.1 煤的热解技术	(63)

5.2 煤的焦化技术	(68)
思考题	(75)
参考文献	(75)
第 6 章 炼焦化学产品的回收与精制	(77)
6.1 概述	(77)
6.2 焦炉煤气及其利用	(78)
6.3 焦油及其深加工	(81)
思考题	(86)
参考文献	(87)

第三篇 煤气化技术

第 7 章 煤炭气化的物理化学过程	(91)
7.1 煤气化过程动力学	(91)
7.2 气化过程中的平衡与热效应	(95)
思考题	(104)
参考文献	(104)
第 8 章 典型煤气化技术	(106)
8.1 煤气化技术及其分类	(106)
8.2 固定床气化技术	(110)
8.3 流化床气化技术	(119)
8.4 水煤浆气化技术	(131)
8.5 粉煤气化技术	(158)
8.6 典型煤气化技术分析对比	(188)
思考题	(197)
参考文献	(197)
第 9 章 煤气化技术研究及发展趋势	(199)
9.1 煤气化技术研究	(199)
9.2 煤气化技术发展趋势	(203)
9.3 中国石化煤气化技术的应用与研发	(205)
思考题	(208)
参考文献	(208)

第四篇 煤气化配套单元技术

第 10 章 空气分离技术	(211)
10.1 概述	(211)
10.2 空气分离技术原理	(211)
10.3 深冷分离工艺流程及主要设备	(212)

10.4 空分技术国内外现状	(220)
10.5 空分技术发展趋势	(221)
思考题	(222)
参考文献	(222)
第11章 一氧化碳变换技术	(223)
11.1 概述	(223)
11.2 CO 变换反应的物理化学基础	(223)
11.3 变换催化剂	(229)
11.4 变换工艺技术	(231)
11.5 新型耐硫变换工艺在煤气化技术中的应用	(241)
11.6 变换系统的热能回收	(243)
11.7 CO 变换的主要设备	(243)
11.8 CO 变换技术发展趋势	(247)
思考题	(247)
参考文献	(248)
第12章 酸性气脱除技术	(249)
12.1 概述	(249)
12.2 低温甲醇洗	(250)
12.3 NHD 净化技术	(255)
12.4 MDEA 法	(259)
12.5 干法脱硫技术	(263)
12.6 其他酸性气脱除方法	(265)
12.7 技术对比	(269)
思考题	(272)
参考文献	(272)
第13章 合成气精制技术	(273)
13.1 概述	(273)
13.2 甲烷化精制技术	(273)
13.3 深冷分离	(278)
13.4 变压吸附	(283)
思考题	(287)
参考文献	(287)
第14章 硫回收技术	(288)
14.1 概述	(288)
14.2 克劳斯(Claus)	(288)
14.3 硫回收尾气处理	(292)
14.4 湿法制酸工艺(WSA)	(295)

14.5 湿式氧化法	(298)
14.6 其他工艺技术	(302)
14.7 硫回收方法的选择	(305)
思考题	(308)
参考文献	(308)

第五篇 煤的液化

第15章 煤的直接液化	(311)
15.1 煤直接液化的基本原理	(311)
15.2 煤直接液化工艺	(315)
15.3 主要设备	(321)
15.4 煤直接液化粗油提质加工	(323)
15.5 国内外煤直接液化发展现状	(326)
15.6 煤直接液化的发展前景	(327)
思考题	(327)
参考文献	(327)
第16章 煤的间接液化	(329)
16.1 煤间接液化的基本原理	(329)
16.2 煤间接液化工艺及合成油特点	(332)
16.3 主要设备	(338)
16.4 国内外煤间接液化发展现状	(340)
16.5 煤间接液化发展前景	(341)
思考题	(341)
参考文献	(341)

第六篇 煤制合成气的主要产业链技术

第17章 合成气制合成氨	(345)
17.1 概述	(345)
17.2 典型工艺技术	(348)
17.3 资源综合利用	(355)
17.4 氨的主要深加工产品	(356)
思考题	(360)
参考文献	(360)
第18章 合成气制甲醇	(361)
18.1 概述	(361)
18.2 生产工艺	(363)
18.3 主要设备	(368)

18.4	催化剂	(371)
18.5	甲醇深加工主要产品	(372)
	思考题	(383)
	参考文献	(383)
第 19 章	甲醇制烯烃技术	(385)
19.1	概述	(385)
19.2	MTO 生产工艺	(386)
19.3	MTO 工艺资源综合利用	(392)
19.4	甲醇制丙烯 (MTP) 生产工艺	(393)
19.5	烯烃的主要深加工产品	(399)
	思考题	(401)
	参考文献	(401)
第 20 章	合成气制醋酸	(403)
20.1	概述	(403)
20.2	生产工艺	(406)
20.3	典型生产工艺	(410)
20.4	资源综合利用	(419)
20.5	以醋酸为原料生产的有机化工产品	(421)
	思考题	(425)
	参考文献	(425)
第 21 章	合成气制乙二醇和多碳醇技术	(426)
21.1	概述	(426)
21.2	乙二醇生产技术	(427)
21.3	资源综合利用	(433)
21.4	以乙二醇为原料生产的有机化工产品	(435)
21.5	合成气制多碳醇	(436)
	思考题	(440)
	参考文献	(440)
第 22 章	合成天然气	(443)
22.1	概述	(443)
22.2	生产工艺	(445)
22.3	资源综合利用	(451)
	思考题	(452)
	参考文献	(452)
第 23 章	IGCC 发电及多联产	(454)
23.1	概述	(454)
23.2	IGCC 技术现状及发展趋势	(454)

23.3 典型 IGCC 装置的技术分析	(464)
23.4 IGCC 与新型煤化工的匹配	(467)
思考题	(467)
参考文献	(467)

第七篇 煤化工的“三废”治理和节水节能技术

第 24 章 煤化工“三废”治理	(471)
24.1 煤化工“三废”治理现状	(471)
24.2 煤化工“三废”治理技术方案	(484)
思考题	(489)
参考文献	(489)
第 25 章 煤化工节水技术	(490)
25.1 我国水资源状况	(490)
25.2 煤化工耗水状况	(492)
25.3 节水技术及其发展趋势	(492)
25.4 煤化工产业节水方案	(495)
思考题	(499)
参考文献	(499)
第 26 章 煤化工节能技术	(500)
26.1 煤化工产业能耗现状	(500)
26.2 煤化工节能技术及发展趋势	(500)
26.3 煤化工节能建议	(503)
思考题	(506)
参考文献	(506)

第一篇

煤的性质、加工和利用

第 1 章 煤炭资源及其组成和性质

1.1 世界煤炭资源

1.1.1 世界煤炭资源分布

世界能源委员会《能源资源调查》显示, 1991 年、2001 年和 2011 年探明世界煤炭资源经济可采储量的分布如图 1-1 所示。世界煤炭资源主要分布在欧洲及欧亚大陆、亚太和北美三个地区。北半球占地球上煤炭总地质储量的 92% 以上, 而且主要集中在北纬 $30^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 的含煤带中, 占世界煤炭地质储量的 70% 以上。南半球的煤炭总地质储量不到全球的 8%, 煤炭资源分布零散, 范围一般较小, 煤层厚度往往较薄, 主要分布在澳大利亚、博茨瓦纳和南非。

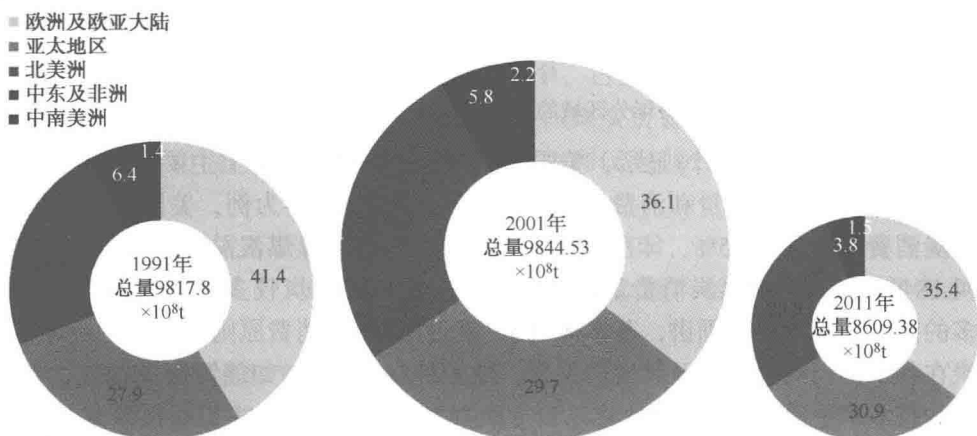


图 1-1 1991 年、2001 年和 2011 年世界煤炭资源经济可采储量的分布

据《BP 世界能源统计》统计, 2011 年末世界煤炭探明可采储量为 $8609 \times 10^8 \text{t}$, 全球 91% 以上的探明经济可采储量集中在美国、俄罗斯、中国、澳大利亚、印度、德国、乌克兰、哈萨克斯坦和南非 9 个国家。

1.1.2 世界煤炭消费市场

《BP 世界能源统计》显示, 2012 年全球一次能源增长 1.8%, 远低于过去十年 2.6% 的增长率。在全球一次能源的消费中化石能源比重占 86.9%, 其中, 石油 33.1%, 煤炭 29.9%, 天然气 23.9%。随着现代社会环境保护观念增强和能源技术的进步, 一次能源总需求中, 煤炭和石油的份额将进一步下降, 天然气、核能和可再生能源的份额不断提高。但是核能和可再生能源的发展, 受技术和经济性因素的双重影响, 在可预见的未来, 只能作为常规能源的补充。预计 2030 年之前, 石油、天然气和煤炭等化石能源仍将是世界的主流能源。

在 21 世纪开局的第一个 10 年, 油价暴涨和金融危机的双重影响, 造成世界经济持续衰退, 使得煤炭再次成为增长最快的化石燃料。2012 年全球煤炭产量比 2011 年增长了 2%, 世界煤炭消费量增长了 2.5%。2012 年世界煤炭消费总量为 $3730 \times 10^8 \text{t}$ (以油当量计, 下同), 同产量一样, 在地区分配上极不均衡, 如图 1-2 所示。

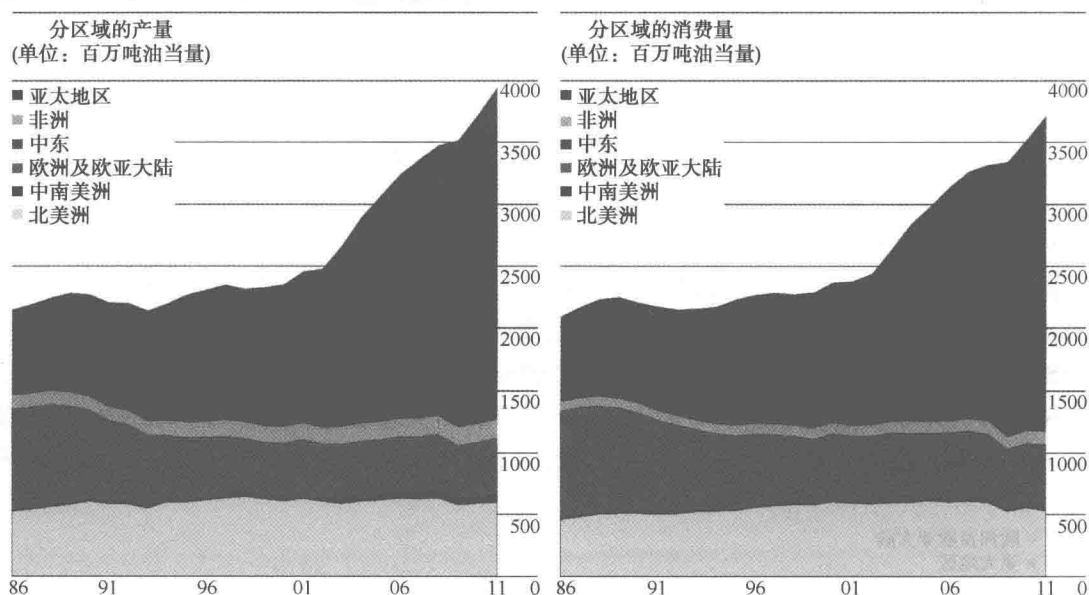


图 1-2 历年分区域的煤炭产量及消费量变化趋势图

2013 年《BP 世界能源统计》显示, 美国、印度和中国既是世界上主要的产煤国, 也是主要的消费国, 占世界的产煤量和消费量的半数以上。以 2011 年为例, 美国消费煤炭 502Mt, 占世界煤炭消费总量的 13.5%, 印度消费煤炭 295Mt, 占世界煤炭总消费量的 7.9%, 中国消费煤炭 1840Mt, 占世界煤炭消费量的 49.4%。上述消费煤炭较多的国家, 几乎都是煤炭产量较多的国家, 从世界范围讲, 基本体现了“就近用煤”的消费原则。

煤炭在各个部门的消费量及其比例关系, 随多种制约因素(如能源资源构成、生产力及煤炭利用的技术水平等)的变化而变化。自 20 世纪初期以来, 一些工业化国家 90% 以上的煤炭用于工业生产, 民用煤在 10% 以下。不过, 工业化国家虽然在生活方面直接用煤量少, 但大量消费电力, 而相当部分电力由煤转换而成。第三世界许多国家由于电气化水平低, 生活用电少, 而民用煤的比重较高。

在生产性用煤中, 工业一直居首位, 而且所占比重越来越高。在发达国家, 工业消费的煤占煤炭总消费量的 90% 以上

1.1.3 世界煤炭需求预测

在世界范围内, 煤炭消费量是同其他能源(尤其是石油)的消费与贸易情况密切关联的。随着国际能源市场石油供求关系的变化, 煤炭在世界能源贸易中的地位亦在相应变化。2011 年, 世界一次能源消费量增加了 2.5%, 为 2010 年增幅的一半左右, 接近历史平均水平。石油占全球能源消费量的 33.1%, 为有记录以来的最低值, 煤炭的份额为 30.3%, 达到 1969 年以来最高的水平。

除水电及可再生能源以外, 煤炭的需求增长比其他能源的增长更强劲。据《世界能源展