



石油科技知识系列读本
SHIYOU KEJI ZHISHI XILIE DUBEN

石油加工

催化剂

Petroleum Catalysis in Nontechnical Language

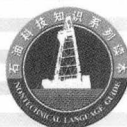
作者: John S. Magee & Geoffrey E. Dolbear

翻译: 乔柯戴磊

审校: 阎子峰 高雄厚



石油工业出版社



石油科技知识系列读本
SHIYOU KEJI ZHISHI XILIE DUBEN

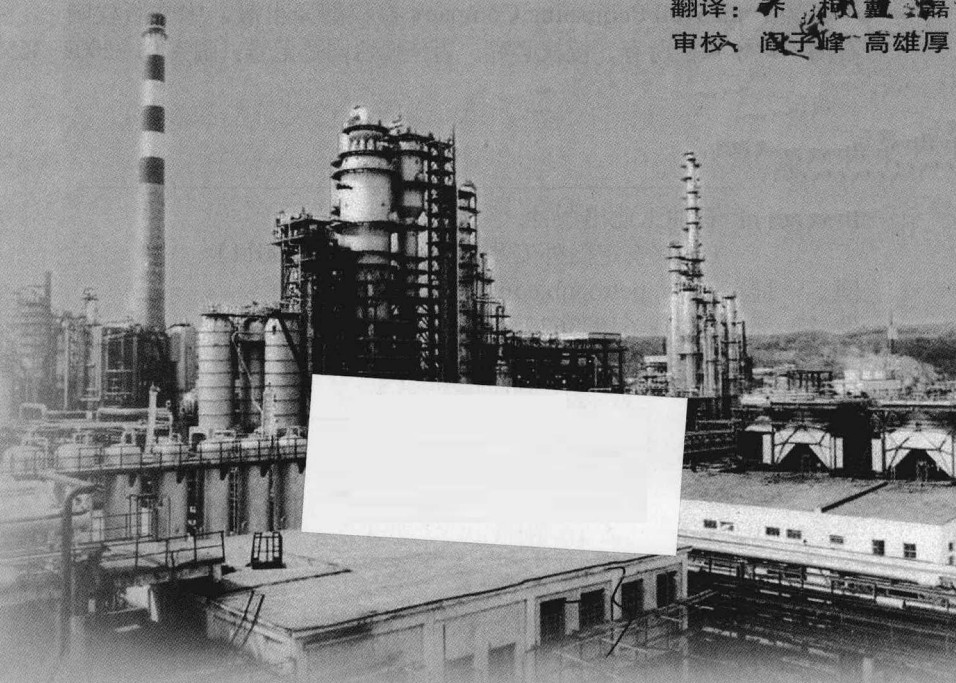
石油加工 催化剂

Petroleum Catalysis in Nontechnical Language

作者: John S. Magee & Geoffrey E. Dumble

翻译: 乔树强 董金嘉

审校: 阎子峰 高雄厚



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是为非专业技术人员撰写的石油加工催化方面专业性较强的读本,介绍了催化剂对石油加工工业的影响、石油加工催化转化过程、如何区分和用好催化剂以及环境保护给石油加工催化剂带来的挑战与机遇等。

本书可以作为非专业人员的入门读本,对从事石油加工的工程技术人员有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

石油加工催化剂 / (美) John S. Magee, Geoffrey E. Dolbear 著; 乔柯, 戴磊译. —北京: 石油工业出版社, 2010.7

(石油科技知识系列读本)

书名原文: Petroleum Catalysis

ISBN 978-7-5021-7815-4

I. 石…

II. ① M…② D…③ 乔…④ 戴…

III. 石油炼制—催化剂

IV. TE 624.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 094978 号

本书经 Penn Well Publishing Company 授权翻译出版, 中文版权归

石油工业出版社所有, 侵权必究。著作权合同登记号: 国字 01-2002-3655

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发 行 部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本: 1/16 印张: 9.75

字数: 163 千字

定价: 26.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

《石油科技知识系列读本》编委会

主 任：王宜林

副 主 任：刘振武 袁士义 白泽生

编 委：金 华 何盛宝 方朝亮 张 镇

刘炳义 刘喜林 刘克雨 孙星云

翻译审校：（按姓氏笔画排列）

尹志红	王 震	王大锐	王鸿雁	王新元
王瑞华	艾 池	乔 柯	刘 刚	刘云生
刘怀山	刘建达	刘欣梅	刘海洋	孙晓春
朱珊珊	吴剑锋	张 颖	张国忠	李 旭
李 莉	李大荣	李凤升	李长俊	李旭红
杨向平	杨金华	汪先珍	苏宇凯	邵 强
胡月亭	赵俊平	赵洪才	唐 红	钱 华
高淑梅	高雄厚	高群峰	康新荣	曹文杰
梁 猛	阎子峰	黄 革	黄文芬	黎发文

丛书序言

石油天然气是一种不可再生的能源，也是一种重要的战略资源。随着世界经济的发展，地缘政治的变化，世界能源市场特别是石油天然气市场的竞争正在不断加剧。

我国改革开放以来，石油需求大体走过了由平缓增长到快速增长的过程。“十五”末的2005年，全国石油消费量达到3.2亿吨，比2000年净增0.94亿吨，年均增长1880万吨，平均增长速度达7.3%。到2008年，全国石油消费量达到3.65亿吨。中国石油有关研究部门预测，2009年中国原油消费量约为3.79亿吨。虽然增速有所放缓，但从现在到2020年的十多年时间里，我国经济仍将保持较高发展速度，工业化进程特别是交通运输和石化等高耗油工业的发展将明显加快，我国石油安全风险将进一步加大。

中国石油作为国有重要骨干企业和中央企业，在我国国民经济发展和保障国家能源安全中，承担着重大责任和光荣使命。针对这样一种形势，中国石油以全球视野审视世界能源发展格局，把握国际大石油公司的发展趋势，从肩负的经济、政治、社会三大责任和保障国家能源安全的重大使命出发，提出了今后一个时期把中国石油建设成为综合性国际能源公司的奋斗目标。

中国石油要建设的综合性国际能源公司，既具有国际能源公司的一般特征，又具有中国石油的特色。其基本内涵是：以油气业务为核心，拥有合理的相关业务结构和较为完善的业务链，上下游一体化运作，国内外业务统筹协调，油公司与工程技术服务公司等整体协作，具有国际竞争力的跨国经营企业。

经过多年的发展，中国石油已经具备了相当的规模实力，在国内勘探开发领域居于主导地位，是国内最大的油气生产商和供

应商，也是国内最大的炼油化工生产供应商之一，并具有强大的工程技术服务能力和施工建设能力。在全球 500 家大公司中排名第 25 位，在世界 50 家大石油公司中排名第 5 位。

尽管如此，目前中国石油仍然是一个以国内业务为主的公司，国际竞争力不强；业务结构、生产布局不够合理，炼化和销售业务实力较弱，新能源业务刚刚起步；企业劳动生产率低，管理水平、技术水平和盈利水平与国际大公司相比差距较大；企业改革发展稳定中的一些深层次矛盾尚未根本解决。

党的十七大报告指出，当今世界正在发生广泛而深刻的变化，当代中国正在发生广泛而深刻的变革。机遇前所未有，挑战也前所未有，机遇大于挑战。新的形势给我们提出了新的要求。为了让各级管理干部、技术干部能够在较短时间内系统、深入、全面地了解和学习石油专业技术知识，掌握现代管理方法和经验，石油工业出版社组织翻译出版了这套《石油科技知识系列读本》。整体翻译出版国外已成系列的此类图书，既可以从一定意义上满足石油职工学习石油科技知识的需求，也有助于了解西方国家有关石油工业的一些新政策、新理念和新技术。

希望这套丛书的出版，有助于推动广大石油干部职工加强学习，不断提高理论素养、知识水平、业务本领、工作能力。进而，促进中国石油建设综合性国际能源公司这一宏伟目标的早日实现。

王宜林

2009 年 3 月

丛书前言

为了满足各级科技人员、技术干部、管理干部学习石油专业技术知识和了解国际石油管理方法与经验的需要,我们整体组织翻译出版了这套由美国 PennWell 出版公司出版的石油科技知识系列读本。PennWell 出版公司是一家以出版石油科技图书为主的专业出版公司,多年来一直坚持这一领域图书的出版,在西方石油行业具有较大的影响,出版的石油科技图书具有比较高的质量和水平,这套丛书是该社历时 10 余年时间组织编辑出版的。

本次组织翻译出版的是这套丛书中的 20 种,包括《能源概论》、《能源营销》、《能源期货与期权交易基础》、《石油工业概论》、《石油勘探与开发》、《储层地震学》、《石油钻井》、《石油测井》、《油气开采》、《石油炼制》、《石油加工催化剂》、《石油化学品》、《天然气概论》、《天然气与电力》、《油气管道概论》、《石油航运(第 I 卷)》、《石油航运(第 II 卷)》、《石油经济导论》、《油公司财务分析》、《油气税制概论》。希望这套丛书能够成为一套实用性强的石油科技知识系列图书,成为一套在石油干部职工中普及科技知识和石油管理知识的好教材。

这套丛书原名为“Nontechnical Language Series”,直接翻译成中文即“非专业语言系列图书”,实际上是供非本专业技术人员阅读使用的,按照我们的习惯,也可以称作石油科技知识通俗读本。这里所称的技术人员特指在本专业有较深造诣的专家,而不是我们一般意义上所指的科技人员。因而,我们按照其本来的含义,并结合汉语习惯和我国的惯例,最终将其定名为《石油科技知识系列读本》。

总体来看，这套丛书具有以下几个特点：

(1) 题目涵盖面广，从上游到下游，既涵盖石油勘探与开发、工程技术、炼油化工、储运销售，又包括石油经济管理知识和能源概论；

(2) 内容安排适度，特别适合广大石油干部职工学习石油科技知识和经济管理知识之用；

(3) 文字表达简洁，通俗易懂，真正突出适用于非专业技术人员阅读和学习；

(4) 形式设计活泼、新颖，其中有多种图书还配有各类图表，表现直观、可读性强。

本套丛书由中国石油天然气集团公司科技管理部牵头组织，石油工业出版社具体安排落实。

在丛书引进、翻译、审校、编排、出版等一系列工作中，很多单位给予了大力支持。参与丛书翻译和审校工作的人员既包括中国石油天然气集团公司机关有关部门和所属辽河油田、石油勘探开发研究院的同志，也包括中国石油化工集团公司江汉油田的同志，还包括清华大学、中国海洋大学、中国石油大学（北京）、中国石油大学（华东）、大庆石油学院、西南石油大学等院校的教授和专家，以及BP、斯伦贝谢等跨国公司的专家学者等。需要特别提及的是，在此项工作的前期，从事石油科技管理工作的老领导傅诚德先生对于这套丛书的版权引进和翻译工作给予了热情指导和积极帮助。在此，向所有对本系列图书翻译出版工作给予大力支持的领导和同志们致以崇高的敬意和衷心的感谢！

由于时间紧迫，加之水平所限，丛书难免存在翻译、审校和编辑等方面的疏漏和差错，恳请读者提出批评意见，以便我们下一步加以改正。

《石油科技知识系列读本》编辑组

2009年6月

译者的话

石油加工工业，通常称为炼油工业，是能源与化工工业的核心之一。普通老百姓对石油加工产品都耳熟能详，随着汽车大规模进入普通家庭，燃油更成为老百姓最关注的商品。今天，能源特别是石油，与足球一样，几乎每一个人都是专家，可以对石油资源、安全及其市场评头品足。这从另一个方面也说明，能源的的确确已经深入人心，成为老百姓最关注的话题之一。但是，老百姓并不熟悉，石油与汽油、柴油等燃料之间具体如何关联？甚至于一些化学、化工专业的大学生、研究生，尽管知道炼油使然，可具体如何转化，依然不甚明了。

另一方面，经历了 60 多年的发展，我国不仅建立起完善的石油加工工业体系，并缩小了与国外的差距，甚至拥有一些国际领先的专有技术。石油加工工业的发展，实质上得益于一批批高效催化剂的推陈出新。今天，催化剂依然贯穿于石油加工的每一个关键工艺，又是每一个加工工艺的核心，因而更是现代石油加工工业的核心。

可以说，催化作用无处不在，无时不有。催化不是一门独立的学科，它是涵盖了几几乎所有化学、生物、物理、材料以及工程的一门交叉性学科。在石油加工领域工作的人员，几乎没有人不关注催化现象。同样，很多很多催化过程已被公众与社会广泛接受，甚至于政治家、新闻工作者也深悟其妙。可以说，没有神奇的催化过程，生命就不会存在，人类也无法生存。没有石油的催化转化，人类的衣食住行无法彻底解决，现代化生活无法得以保障。同样，没有更好的催化转化，人类未来能源、环境的可持续发展将面临诸多的挑战。催化真正地造福于这个世界，造福于现代人类。

长久以来，催化被认为是“黑箱艺术”，一直进入不到主流科学中去，主要是由于催化剂表面结构复杂，表面分析手段有限，因而对真实的表面反应无法探索造成的。另一方面，也与我们一直没有一本科普性质的教材有关。非常高兴的是石油工业出版社提供了一本 John S. Magee 和 Geoffrey E. Dolbear 著的《Petroleum Catalysis》，看后非常兴奋。这本书将石油加工催化描述得如此直观、有趣，就像阅读一部科普书刊一样。有感于出版社的盛情，也被作者对专业书籍的独特写法和思

路所感动，我们愉快地接受了这一难啃的“骨头”，尝试将其译为一本适合石油加工行业人员以及炼油行业以外的技术人员可以接受的教材或者参考资料。但是，一旦动笔就发现语言的隔阂如此难以克服，以至于多次想退缩。这或许是至今难有科普性催化书籍面世的原因之一。经过半年多的努力，总算完成了朋友重托，可由于能力所限，总是感到不尽满意。

在本书的翻译过程中，博士生张磊、代晓东，硕士生赵国锋、闫日雄、吴绍亮、姜杰、高晓、秦冉、朱红梅、杨贵东、陈宏福等分别翻译了部分章节，并对其他章节内容提出了许多有益的建议。中国石油大学化学化工学院、重质油国家重点实验室、中国石油天然气集团公司催化重点实验室提供了大力支持。在此，译者一并表示衷心的感谢。

由于作者学术水平与文字能力非常有限，加之时间仓促，书中疏漏、不妥及错误在所难免，恳请专家和读者不吝指正！

前言

为非专业技术人员撰写一本石油加工催化方面专业性很强的教材，看起来近乎天方夜谭。但挑战也是机会，如果能够通过本书使非专业技术人员在某种程度上具备一定的石油加工催化领域的一些专用技术或专业基础，甚至，促使他走上专业之路，这何尝不是一件美事！正是基于这种设想，我们试图以相对简单的方式和最直观的语言来描述这一专业性非常强的技术领域，以方便非专业技术读者具备石油加工催化领域一些基本的技术基础知识。因此，大部分章节内容很是简单，但有一些内容实在难以简化，或者直观化，而这些章节往往又是我们最需要了解的。

希望通过本书的阅读，你可以获得以下方面的基础知识：

- 催化对石油加工工业的影响；
- 在真正意义上的大规模石油加工催化转化工艺过程；
- 一些小规模石油加工催化转化工艺的目的及重要性；
- 环境问题对石油加工催化转化的挑战与机遇；
- 如何区分催化剂的好坏；
- 如何用好催化剂。

我们希望，当您读完这本书，能意识到石油加工催化转化工艺的重要性，并且初步具备与从事催化剂研究与应用的专业人员讨论相关问题的能力。你将了解催化领域的一些专业术语、面临的挑战和取得的成功等，甚至你会像一位教授一样在催化领域做出重大贡献、申请专利甚至摘取诺贝尔化学奖。

致 谢

我们知道，写一本书、一篇文章，或是做其他任何事情，要记住所有有贡献之人将是非常困难的。在此，我将衷心地感谢被我遗忘的贡献者。同时，也非常感谢 Michael 博士，为我提供了《The Handbook of Heterogeneous Catalysis》的复印件，这是一本多相催化领域的杰出专著，由著名催化学家 Ertl、Knözinger 和 Weitkamp 编著，如今已经出版了五卷，可以向我们的读者提供最全面的石油加工催化基础知识。

许多同事为本书提供了图片、图表、数据和参考文献，或者具有建设性的批评意见：Exxon 研究发展实验室的 George Anderson, Bill Baird, Al Schweizer 和 George Swan；UOP 公司的 Sandy Weiss 和 Tony Vikers；KIT 的 Stan Che；CRI 的 Ken Mayeaux 和 Steve Blashka；Catalyst Technology 公司的 Dan Helfrich；Intercat 的 Bob Larson；Stone & Eebster 技术公司的 Warren Letzsch；Jeffrey Koepke, Consultant；Dave Harris 和 Jerry Woltermann, Engelhard；Leo Aalund 和 Anne Rhodes, Oil & Gas Journal；Marla Patterson, Petroluem Acquisition 的编辑。

对你们的慷慨贡献，在这里我表示衷心的感谢。

还要感谢 Karen Fiorino，感谢他为本书制作了动画、图画和图表，还要感谢 Mike Vanek 为本书制作了流程图。

最后，感谢我们的妻子，Cathy 和 Niki，感谢她们在我们漫长的写作过程中给予的耐心。写作时间比当初计划的要长，以致于“写完这本书我马上去做”这样的借口成了我们的口头禅。

目 录

绪论	1
1 催化化学基础	4
1.1 概述	5
1.2 流化催化裂化	6
1.3 加氢裂化	6
1.4 催化重整	7
1.5 加氢处理	8
1.6 催化异构化	9
1.7 原料组成	9
1.8 骨架异构化	10
1.9 催化剂结构基本组成	15
1.10 知识补充	15
2 表面积	18
2.1 糖粒的粉化	18
2.2 比切割(碾碎)更好的方法	19
2.3 如何进行测量	19
2.4 物理和化学吸附	20
2.5 孔结构	20
2.6 参考资料	21
3 表面能	22
3.1 表面能的定义	22
3.2 表面能和表面吸附	23
3.3 表面能和催化剂老化	24
4 催化反应动力学	27
4.1 反应速率和温度	27
4.2 催化剂组成的调变	28
4.3 扩散控制效应	29
4.4 反应速率、动力学和反应机理	30
4.5 参考资料	30

5 催化剂的制备和成型	31
5.1 催化剂组成元素	31
5.2 条形、微球形与片状催化剂	32
5.3 催化剂制备工具	33
5.4 催化剂制备步骤	35
5.5 一些特殊情况	36
5.6 催化剂强度要求	37
5.7 强度测定	38
5.8 参考资料	39
6 催化裂化	40
6.1 催化裂化发展历史	40
6.2 催化裂化工艺	44
6.3 催化裂化装置的组成	45
6.4 催化裂化反应	46
6.5 链引发——碳正离子的生成	47
6.6 催化裂化催化剂的酸性	50
6.7 FCC 添加剂	57
6.8 催化裂化发展趋势	57
6.9 催化裂化中的形状与尺寸效应	59
6.10 如何评价催化剂的好坏	63
6.11 FCC 催化剂供应商	65
6.12 催化裂化的基本内容	66
7 加氢处理	71
7.1 加氢处理的应用领域	72
7.2 加氢处理过程中的化学反应	73
7.3 加氢处理催化剂	75
7.4 氢的活化	76
7.5 加氢处理催化剂的制备	77
7.6 催化剂的预硫化	78
7.7 氧化铝载体	78
7.8 催化剂的失活	79
7.9 加氢处理催化剂供应商	80
8 催化重整	82
8.1 催化重整工艺	83

8.2	双功能催化剂	85
8.3	重整催化剂	87
8.4	工业催化重整装置以及催化剂	91
8.5	重整催化剂知识拓展	95
8.6	催化重整的发展趋势	98
8.7	谁做什么?	99
9	加氢裂化	100
9.1	加氢裂化的发展历史	100
9.2	加氢裂化工艺	101
9.3	加氢裂化原料	102
9.4	加氢裂化反应	102
9.5	加氢裂化双功能催化剂	104
9.6	催化剂颗粒	105
9.7	催化剂的寿命和再生	105
9.8	预处理脱硫和脱氮	106
9.9	加氢裂化的“红色难题”	107
9.10	加氢裂化催化剂供应商	107
9.11	参考资料	108
10	烷基化、异构化和叠合	109
10.1	概述	109
10.2	烷基化	111
10.3	异构化	115
10.4	叠合	122
11	炼油厂制氢	125
11.1	概述	125
11.2	加氢脱硫	126
11.3	蒸汽重整反应	127
11.4	水煤气变换反应	128
11.5	氢气的分离和二氧化碳的脱除	129
11.6	甲烷化反应	130
11.7	合成氨反应	130
11.8	甲醇	131
11.9	催化重整制氢	132
11.10	参考资料	132

12 催化剂装卸、再生和处理	133
12.1 新鲜催化剂的装填.....	134
12.2 废催化剂的卸载.....	135
12.3 废催化剂的再生与活化.....	135
12.4 废催化剂的处置与循环利用	137
13 催化剂设计与开发	138
13.1 新型催化剂的开发.....	138
13.2 催化剂开发的步骤.....	138

绪 论

“催化 (Catalysis)” 来源于希腊文，催化 (catalysis) 一词由两个希腊词组合而成，其中 “kata” 意为 “完全地”，“lyein” 则有 “使松散或使分解” 之意。如今，催化已经成为一门专门科学，催化剂既是专业词汇，也是大众词汇，在一些新闻、媒体上经常会出现催化剂的字眼。催化涉及的是一种具有特定功能的材料，它可以控制或改变化学反应的速率，一旦反应完成后，催化剂的性质又会恢复，不会发生本质的变化。

尽管催化剂起源至今已经有两个世纪的历史，但是催化剂依然是当今最热门的核心技术领域之一。Krichhoff 早在 1811 年就发现热酸溶液可以催化淀粉水解，使其转化为糖和糊精，而热酸溶液性质则保持不变。随后，Humphry Davy 在 1817 年发现金属铂线圈稍微加热即能促使醇类蒸气在空气中氧化。接下来的 30 年，Berzelius 在他的名著《Treatise on Chemistry》(1845) 中，总结了这种现象及其原因，并将这种现象称为催化作用。目前，催化剂已成为现代化学工业的核心技术，通过催化技术的不断开发、完善，不仅可以开发新的工业催化过程，还可以革新传统的化工生产过程，同时还可以对新能源、新材料、纳米技术及生物技术等相关领域等做出重大贡献。实际上，催化新材料及其应用新技术已成为上述领域的研究热点之一。

在催化反应中，催化剂最主要的作用是加快甚至极大地加快某一化学反应进行的速率。早期的发现认为催化剂可以促成某些反应的发生，但是实际上催化剂只是加快了原本很慢的反应的速率而已，或者说，这些反应的速率如此之慢，以至于早期的科学家认为反应根本没有发生。这类能够加快反应速率的催化剂，就说我们通常所说的催化剂，其实它是正催化剂。还有另外一类催化剂，可以有效降低某一化学反应进行的速率，这类催化剂叫做负催化剂。

如果我们扫视一百年来化学和催化发展的轨迹，我们会发现 1936 年开发成功的催化裂化工艺，则是真正意义上的现代石油加工工业的分水岭。从那时起，石油加工工业逐步成熟和完善，目前已拥有数十种加工工艺和数以百计的各类催化剂，真正实现了燃料和化工产品的规模化高效率生产。迄今，石油加工催化剂体系非常庞大，种类繁多