

工业催化剂的研制与开发

——我的实践与探索

闵恩泽 著

中国石化出版社

工业催化剂的研制与开发

——我的实践与探索

闵恩泽 著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书根据作者 40 年从事工业催化剂研制与开发的经历,从实践的角度,全面地总结和介绍了研制、开发工业催化剂的经验教训与体会、指导思想与方法,特别是如何进行导向性基础研究、开拓性探索与创新,并最终形成技术商品,实现技术转让。书中还讨论了学习国外创新的历史经验及工业催化剂从技艺到科学的前景。

本书涉及工业催化剂研制与开发的各个方面,内容十分丰富、翔实,紧密结合我国实际,具有很强的指导性、针对性、启发性、适用性和实用性。

本书适合从事催化、催化剂研制开发与生产及石油化工、有机合成、环境保护等专业技术人员阅读,也可作为高校、研究院所催化及有关专业研究生、本科生的教学用书或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工业催化剂的研制与开发:我的实践与探索/闵恩泽著.
北京:中国石化出版社,1997 ISBN 7-80043-637-3

I. 工… II. 闵… III. 催化剂-研究-文集 IV. TQ426-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 15199 号

*

中国石化出版社出版发行
地址:北京市东城区安定门外大街 32 号
社长:周培荣
邮编:100011 电话:(010) 64241850
海丰印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所经销

*

850×1168 毫米大 32 开本 8.75 印张 232 千字 印 1—4000
1997 年 3 月北京第 1 版 1997 年 3 月北京第 1 次印刷
精装定价:22.00 元 平装定价:17.00 元



闵恩泽

序

建国以来，我国炼油和石油化学工业（统称石化工业）有了巨大的发展。在其发展历程中，技术进步始终占有重要地位。一方面，对引进技术的消化、吸收和创新，逐步使一些重大工艺技术，如高压加氢裂化、蒸汽裂解制乙烯等，实现了国产化；另一方面，从基础性研究入手，努力创新，成功地开发了一批具有特色的先进工艺技术，如催化裂解、中压加氢改质等。

由于石化工业生产过程中的化学反应绝大多数是通过催化剂实现的，因此催化剂的效能、质量，决定了一个生产过程能否实现以及过程的技术经济指标是否先进。当今，是否掌握先进催化剂的生产技术是石化工业有无竞争力的标志。上述石化工艺技术的国产化及创新过程，都是从催化剂入手，首先研制出高效催化剂，并进而实现了工业化生产。这为现有生产过程水平的提高和为新工艺过程的开发、应用奠定了基础。

经过 40 多年的努力，我国石化工业所需的各种催化剂已基本实现了自给。其中一些催化剂，如加氢精制、催化裂解、丙烯腈等催化剂还

有所创新，并因性能优异已经出口国外。由此，既避免了在催化剂上被人控制，又由于催化剂性能和质量的提高，获得了巨大的经济效益。

闵恩泽同志自 1955 年 11 月回国至今，一直从事炼油和石油化工催化剂的研制、开发直至工业试生产工作，40 年来积累了丰富的经验。

开头 10 年，闵恩泽同志作为室主任，他带领科研人员研究解决了磷酸硅藻土叠合催化剂的挤条技术、硅铝胶小球干燥过程中的破碎、微球硅铝裂化催化剂的粒度分布及铂重整催化剂所需高纯氧化铝的制备等难题。在随后的工业化过程中，他与设计、生产部门密切结合，提供建厂所需设计数据，参加和指导工厂设计，并深入现场，参加装置建设，指挥试生产，使我国的叠合、小球裂化、微球裂化和铂重整等催化剂实现了工业化生产，解决了生产所需。

70 年代以后，闵恩泽同志把工作重点转向改进催化剂性能赶上世界先进水平上。如领导开发了新型半合成分子筛裂化催化剂，首先在齐鲁石化公司催化剂厂实现工业化生产，因催化剂性能和质量优良，迅速在炼油企业推广应用。

80 年代，闵恩泽同志作为总工程师，为了探讨创新之路，他建议并成立了基础研究部。随后他领导开展了高硅八面沸石、择形分子筛、层

柱分子筛、非晶态合金等新催化材料的探索研究。ZRP 择形分子筛已在多种催化剂中使用，性能优良，已获得专利。

闵恩泽同志在催化剂领域积累了从基础研究到应用研究，从中间试验到工业化，从设计、建设到生产全过程的丰富经验，是非常难能可贵的。他总结了这些方面的经验，写成了《工业催化剂的研制与开发——我的实践与探索》这本书，这是一件很好的事。

闵恩泽同志的工作单位中国石油化工总公司石油化工科学研究院有个好的传统，就是能较好地处理科研与生产相结合的问题，因此其科研成果的工业应用率比较高，没受“两张皮”的困扰。本书从催化剂这个侧面反映了该院的这个传统。

本书是国内第一部较全面、较系统地论述工业催化剂研制开发经验、体会和方法的专著。书中总结的紧密围绕生产开展催化剂研制，牢固树立工业化思想；选择适合国情的技术路线；科研工作必须成龙配套，抓住关键，整体布署，全面安排；学习国外创造发明经验；从文献和其他领域吸取营养，开展探索实验；重视新催化材料，开展导向性基础研究；科研、设计和生产紧密结合等都是宝贵的经验。这些经验不但值得工业催

化剂研制开发者学习和借鉴，也值得生产与应用催化剂的企业领导和技术人员学习。对于广大科技人员，为了处理好科研与生产相结合问题，本书也不无参考价值。相信本书的出版，对我国石化工业的发展会有所裨益，特别是对石油化工催化剂和催化技术的研究、开发及工业化会有重要的推进作用。

侯祥麟

1996年5月16日

前 言

催化剂是炼油和石油化工技术的核心，对它们的发展具有举足轻重的作用，因此世界各国各大公司竞相开发研究，不断创新。

我从事这类工业催化剂的研制和开发不觉已 40 年，早期研制石油炼制催化剂，近十几年又扩展到石油化工催化剂和催化工艺技术。初始，我只是从书本了解了催化剂，后来通过不断实践才逐步认识到一个工业催化剂的含义。我对如何进行工业催化剂的研制与开发像我对工业催化剂含义的认识一样，也是在边实践边探索的过程中才逐步认识的。回顾我的经历，大致可分为三个阶段：

1955~1965 年，主要从事我国急需工业生产的几种石油炼制催化剂的研制和开发工作，包括磷酸硅藻土叠合催化剂、小球硅铝裂化催化剂、微球硅铝裂化催化剂和铂重整催化剂。这一阶段的经验教训，使我认识到，建设一个催化剂工厂需要开展科研工作的内容，包括实验室研究制备方法、制备规律、建立分析方法、中型试验中化工单元设备选型及专用设备的研制等。同时也使我认识到，从全局出发协调上述各方面和各阶段科研工作的重要性。

至 1965 年，我们研制的几种石油炼制催化剂相继投产；与此同时，国外石油炼制催化剂生产技术又有了迅猛的发展。分子筛裂化催化剂、双金属重整催化剂相继问世，差距再现。因此，如何对建成的催化剂工厂进行技术改造，生产出这些新品种，赶上世界先进水平就成为这一阶段科研工作的中心。这十几年从事这类科研工作的实践使我认识到，应该从催化剂性能、制造方

法、生产设备及环境保护等方面入手，找出与国外先进水平的差距，然后组织并开展研究，才能迅速赶上。

进入 80 年代，我国石油炼制催化剂的研究开始进入创新阶段。这十几年来，可以说我在多方面摸索前进。80 年代初期，对于开展应用基础研究，我只是在科研工作中密切结合重要石油炼制催化剂的研制，指导开展有关制备规律的研究。后来，在与国外学术交流和回顾创新历史中，认识到研究新催化材料的重要性，新催化材料是创造发明新催化剂的源泉，才在这一领域开展了一些研究。1985 年中国专利法实施，要求开展具有新构思的研究以便形成专利。我归纳了形成新构思的多种途径，包括受专利和文献启发、移植其他领域的概念、利用工作中积累的知识等等，推动了开拓性探索的开展。90 年代开始，通过进一步总结技术进步的历史经验，我又认识到开展新反应工程和廉价原料新反应研究的重要性，包括新催化材料在内，它们形成了新催化技术的三个突破口。同时还认识到石油化工催化技术的创新，需要在这三个领域开展导向性基础研究，以寻找技术突破的生长点。

40 年的光阴是短暂的，但 40 年的经历却是曲折、多彩的。根据上述经历，就我对工业催化剂的研制与开发的认识和体会写成本书。可以说本书是我 40 年从事工业催化剂研制和开发的总结，涉及我的实践与探索，心得与体会，经验与教训，指导思想与科研方法。然而这些毕竟是个人之见，还需进一步实践与探索，积累经验。但在催化剂研究仍是以经验为主的今天，我想它对同行也许会有助益，因此奉献给读者。能如此，即达到编写本书的目的，我亦感自慰。

关于催化剂的研制与开发，我曾阅读过 D. L. Trimm 著的《工业催化剂的设计》（《Design of Industrial Catalysts》）、L. L. Hegedus 等编著的《催化剂设计——进展与展望》（《Catalyst Design—Progress and Perspectives》）、J. F. Le Page 等著的《接触催化》（《Catalyse de Contact》）、王文兴编著的《工业催化》和

黄仲涛等编著的《工业催化剂的研制和开发》等书，从中获得不少教益。这些书或介绍催化剂设计中的有关原理，或介绍催化剂设计中的有关科学前沿，或介绍工业催化剂的基本要求与特征，或介绍工业催化剂的设计方法与程序，个别书中也有一些催化剂的研制和开发实例。总体来说，这些书较系统地介绍了研制催化剂或工业催化剂所需的科学知识。读者如有这方面的需要，可参阅这些书籍。

为了便于表述和读者阅读，根据本书的特点，本书在编排上基本以时间为序，同时顾及其内容的系统性和合理性；在编写方式上，多以实例相释。

本书的一些内容曾作为教材，在石油化工科学研究院研究生的“工业催化剂的研制与开发”专业课中讲授过，也在华东理工大学讲授过；有的曾在全国催化会议等有关学术会议上报告过；有的曾在专业期刊上发表，这次系统地加以整理，并补充了一些内容，编写出版。其中有几章是根据石油化工科学研究院、长岭炼油化工总厂的内部资料编写的。

在本书编写过程中，得到了杨华琮高级工程师的大力帮助，在收集、整理资料和修改原稿、审核内容等方面倾注了大量的精力；何重金高级工程师仔细审校书稿，提出了不少修改意见，并且帮助文字润色。此外，何鸣元、李再婷、赵学斌、舒兴田、关景杰、宗保宁、慕旭宏、周蒙、周佩玲等提供了重要的资料；慕旭宏、张利雄等帮助打字绘图。李大东、宋启宏、汪燮卿等领导对编写本书给予了很大的鼓励和支持，否则我也下不了决心和安排时间来完成本书的撰写。特别要提到的是，中国石化出版社领导及有关人员对编写出版本书的热情、支持和合作。可以说，没有上述领导和同志的帮助与支持，本书的出版是不可能的。在此一并表示诚挚的谢意。

最后，特别要强调的是，书中所叙述的成绩是在中国石油化工总公司和原石油工业部的坚强领导下，在石油化工科学研究院

的领导下，以及有关科研人员共同奋斗下才取得的；还有设计院、工厂的紧密结合，中国科学院有关研究所和高等院校的支持，所以本书中涉及的一些成功经验是集体智慧的结晶和坚强领导的结果。

限于作者经历的局限性和水平，书中定有不当之处，恳请读者赐教和指正。

闵恩泽

1995 年 12 月 26 日

目 录

第一章 工业催化剂	1
第一节 引言	1
第二节 使用性能要求	4
第三节 工业生产要求	10
第二章 催化剂工厂建设	13
第一节 引言	13
第二节 选择适合国情的催化剂制造 技术路线	14
第三节 催化剂的实验室研制	18
第四节 中型试验	22
第五节 建立成套的分析评价方法	36
第六节 整体布署科研工作	37
第七节 科研、设计、生产三结合	39
第八节 催化剂工厂的建成投产	41
第三章 炼油催化剂新品种开发与工厂 技术改造	43
第一节 引言	43
第二节 稀土分子筛裂化催化剂	44
第三节 铂铈多金属重整催化剂	46
第四节 钨镍磷加氢精制催化剂	48
一、工厂现状与主要问题	48

二、国外情况与差距	49
三、研究方案的制订	52
四、科研与开发工作	53
五、催化剂工业试生产	60
六、工业装置试运转	61
第四章 催化剂制备规律的应用基础研究	65
第一节 引言	65
第二节 RN-1 低压加氢精制催化剂	66
一、活性组分的选择	67
二、载体的选择	67
三、发挥活性组分镍的作用	68
四、发挥活性组分钨的作用	69
五、催化剂运转初期的结焦	71
六、RN-1 催化剂与几种国外催化剂 性能的比较	74
第三节 SRNY 渣油裂化催化剂	76
第四节 骨架富硅 Y 型分子筛渣油裂化 催化剂	83
第五章 国外石油化工催化技术创新的一些 历史经验	90
第一节 引言	90
第二节 异丁烷与正丁烯硫酸法烷基化 反应的发现	91
第三节 分子筛裂化催化剂的发明	93
第四节 铂重整的发明	101
第五节 Marlex Polyolefin 工艺的发明	103

第六节 烯烃歧化反应的发现	105
一、催化剂研究	106
二、歧化反应范围研究	108
三、活性中心本质研究	108
四、歧化反应应用研究	108
第六章 开拓性探索与专利申请	111
第一节 引言	111
第二节 利用专利中的知识	112
第三节 利用会议文集和期刊上的知识	115
第四节 利用书本上的知识	123
第五节 利用工作实践中积累的知识	126
第六节 移植其他领域的概念	131
第七章 石油化工催化技术突破的途径	135
第一节 引言	135
第二节 技术进步的两条途径——连续性和 非连续性技术进步	136
第三节 石油化工催化技术的突破口	139
一、新催化材料是创造发明新催化剂 和新催化工艺的源泉	139
二、新反应工程是开发新催化工艺的一条 重要途径	142
三、利用廉价原料的新反应是开发低成本 新工艺的重要起点	150
第四节 国外石油、化工公司对应用基础 研究的部署	152
第五节 导向性基础研究领域的选择	155

一、新催化材料	155
二、新反应工程	157
三、利用廉价原料的新反应	158
四、石油资源的表征	160
五、重要催化过程的反应机理和催化剂的 活性本质	161
第六节 从导向性基础研究到工业化	162
第八章 新催化材料	165
第一节 引言	165
第二节 新催化材料的科研方法	166
一、形成对沸石催化特性的设想	166
二、沸石催化特性研究	167
第三节 新催化材料领域的选择	173
第四节 我们的初步实践——层柱分子筛新 催化材料的研究	178
一、铝-交联蒙脱土的酸性	180
二、纯烃裂化反应	186
三、铝-交联蒙脱土应用途径的探索	191
第五节 我们的又一实践——非晶态合金新 催化材料的研究	195
第九章 新型反应器的开发	208
第一节 配合新催化材料的使用而开发新型 反应器——磁稳定床加氢反应器	208
一、构思的形成	208
二、磁稳定床的特点	209
三、非晶态合金三相磁稳定床冷模实验	210

四、磁稳定床用于重整生成油烯烃饱和加氢过程的研究	212
五、高铁磁性催化剂的研制与磁稳定床加氢	214
第二节 从工艺要求出发开发新型反应器	
——液固循环流化床反应器	216
一、构思的形成	216
二、液固循环流化床的特点	217
三、液固循环流化床的数学模型	219
四、液固循环流化床与间歇式反应器的比较	220
第三节 催化与分离相结合——新催化蒸馏元件的研制	224
一、催化蒸馏的重要性	224
二、催化蒸馏元件新构思的形成	225
三、ZSM-5/不锈钢复合材料的制备	226
四、以 TEABr 为模板剂制备均匀的硅铝溶胶	228
五、不锈钢基材上分子筛层的形成过程与其状态	228
第十章 技术商品化与技术转让	232
第一节 引言	232
第二节 技术商品化的内容	234
一、工艺手册	234
二、操作手册	237
三、技术服务	238