



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

# 石油

## 炼制

*Petroleum Refining in Nontechnical Language*

作者：William L. Leffler

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

## 炼制

*Petroleum Refining in Nontechnical Language*

作者：William L. Leffler

翻译：乔柯戴磊

审校：阎子峰 高雄厚



石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书简要介绍了石油炼制的主要工艺过程,包括常压蒸馏、减压闪蒸、催化裂化、烷基化、催化重整、加氢裂化、加氢处理及脱硫、异构化及脱氢等。

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

## 图书在版编目(CIP)数据

石油炼制 / (美) William L. Leffler 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 Refining

ISBN 978-7-5021-7868-0

I. 石

II. ①L…②乔…③戴…

III. 石油炼制

IV. TE62

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第115251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](http://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: 10.5

字数: 175 千字

---

定价: 28.00 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。

王臣明

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

石油炼制工业是石油工业的一个重要组成部分，是把原油通过石油炼制过程加工为各种石油产品的工业。炼油厂中的主要生产装置通常有原油蒸馏（常、减压蒸馏）、催化裂化、催化重整、加氢裂化、延迟焦化以及炼厂气加工、石油产品精制（加氢处理）等，主要生产汽油、喷气燃料、煤油、柴油、燃料油、润滑油、石蜡、沥青、石油焦和各种石油化工原料。

国民经济的发展与石油炼制工业密切相关，无论工业、农业、交通运输和国防建设都离不开石油产品。石油燃料是使用方便、较洁净、能量利用效率较高的液体燃料。各种高速度、大功率的交通运输工具和军用机动设备，如飞机、汽车、内燃机车、拖拉机、坦克、船舶和舰艇，它们的燃料主要都来自石油炼制工业。另一方面，处在运动中的机械，都需要一定数量的润滑剂（润滑油、润滑脂），以减少机件的摩擦和延长使用寿命。绝大多数润滑剂也都是由石油炼制工业生产的。同时，石油炼制工业提供的石油化工原料，可用于生产合成纤维、合成橡胶、塑料以及化肥、农药等。

William L. Leffler 著的《Petroleum Refining》以生动通俗的语言对石油炼制工业做了全景式的介绍，从原油和石油产品的性质、各生产装置的原理、流程、设备到炼油厂的运营模式，使读者在轻松愉快的阅读中掌握石油炼制的基本原理和典型工艺。

在本书的翻译过程中，博士生杨贵东、韩德志、阎新龙、崔永利，硕士生王科、胡清勋、薛红霞、高晓、秦冉、朱红梅、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，一并表示衷心的感谢。

由于学术水平与文字能力非常有限，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

本书在编著时着力满足以下三种不同的需要。它可以作为工具类参考书，书的前面有一个好的目录表，书后附有索引，再版时又补充了新的学术术语。同时，本书曾被广泛地用作石油炼制课程的教材。再版时，有针对性地强化前沿讲座、文献阅读和解决实际问题的结合。由于许多人没有足够的时间或者合适的机会去听讲座，所以本教材可以作为自学者自学所用的教材。同时，编著者尽力将那些枯燥的专业知识采用尽量多的实例予以说明，使专业知识变得更加简洁与通俗，便于读者理解和体会。

为便于读者学习，本书在章节和内容方面做了如下安排：第2章是最重要的，主要介绍原油的基本特性。第3章是蒸馏方面的知识，其中有大量关于机械设备的内容，这方面不是主要的，所以不必因为不懂而烦恼。作为汽油的生产过程，蒸馏、催化裂化、烷基化、重整、加氢处理以及加氢裂化都是非常重要的。对炼油厂的工艺流程的理解可不必那么透彻。

汽油调和的那一章是最有趣的，因为它涉及的东西既熟悉又神秘——汽车发动机以及使它运转使用的燃料。简单与复杂的炼油厂那一章讲述如何将所有的炼油加工过程组合成一个良好的经济实体，对于企业管理者来说，更有参考价值。

最后的7章内容虽然有用，但是对于理解石油炼制帮助不是很大。因此，应将学习的重点放在前面的12章。

# 目 录

<b>1 石油炼制的发展</b> .....	1
<b>2 原油性质</b> .....	3
2.1 原油的组成 .....	3
2.2 蒸馏曲线 .....	4
2.3 馏分 .....	5
2.4 馏分切割 .....	6
2.5 密度 .....	7
2.6 硫含量 .....	8
2.7 体积 .....	9
2.8 小结 .....	10
习题 .....	10
<b>3 常压蒸馏</b> .....	12
3.1 简单蒸馏 .....	12
3.2 蒸馏塔 .....	13
3.3 回流和再沸 .....	16
3.4 切割温度 .....	17
3.5 设置切割温度 .....	18
习题 .....	18
<b>4 减压闪蒸</b> .....	21
4.1 裂化现象 .....	21
4.2 低压的影响 .....	23
4.3 减压闪蒸过程 .....	23
习题 .....	25
<b>5 石油的化学组成</b> .....	26
5.1 原子和分子 .....	26
5.2 烷烃 .....	26
5.3 环烷烃 .....	28
5.4 烯烃和芳香烃 .....	29
习题 .....	30
<b>6 催化裂化</b> .....	31
6.1 工艺简介 .....	31

6.2	催化裂化装置组成	32
6.3	收率	36
6.4	工艺条件	37
6.5	小结	38
	习题	39
<b>7</b>	<b>炼厂气处理装置</b>	<b>40</b>
7.1	饱和炼厂气处理装置	40
7.2	产品用途	44
7.3	不饱和炼厂气处理装置	44
7.4	仓储设施	45
	习题	46
<b>8</b>	<b>烷基化</b>	<b>48</b>
8.1	化学反应	48
8.2	工艺流程	49
8.3	收率	50
8.4	工艺参数	51
8.5	小结	51
	习题	52
<b>9</b>	<b>催化重整</b>	<b>54</b>
9.1	发展历史	54
9.2	化学反应	55
9.3	催化重整装置	56
9.4	催化剂的再生	58
9.5	工艺参数	59
	习题	60
<b>10</b>	<b>重油轻质化</b>	<b>62</b>
10.1	热裂化	62
10.2	焦化过程	64
10.3	其他渣油轻质化过程	67
	习题	68
<b>11</b>	<b>加氢裂化</b>	<b>69</b>
11.1	工艺流程	69
11.2	设备和反应	69
11.3	小结	72

习题	73
<b>12 汽油</b>	<b>74</b>
12.1 汽油发动机	74
12.2 蒸气压	76
12.3 辛烷值	78
12.4 含铅汽油	82
12.5 含氧化合物	82
12.6 与烟雾和臭氧的斗争	85
12.7 TOX, NO <sub>x</sub> , VOC <sub>s</sub> 和 SO <sub>x</sub>	85
12.8 汽油组分的调和及对操作的影响	86
习题	87
<b>13 轻质燃料油</b>	<b>88</b>
13.1 柴油发动机	88
13.2 柴油	88
13.3 炉用燃料油	90
习题	91
<b>14 沥青和残渣燃料油</b>	<b>92</b>
14.1 沥青	92
14.2 残渣燃料油	95
习题	98
<b>15 加氢处理及脱硫</b>	<b>99</b>
15.1 加氢处理	99
15.2 制氢	101
15.3 脱硫	102
习题	104
<b>16 异构化及脱氢</b>	<b>105</b>
16.1 C <sub>4</sub> 异构化	105
16.2 C <sub>5</sub> /C <sub>6</sub> 异构化	106
16.3 脱氢	108
16.4 小结	109
习题	109
<b>17 甲基叔丁基醚 (MTBE) 和其他醚类</b>	<b>110</b>
17.1 原料	110
17.2 装置和工艺	110

17.3 其他醚类·····	112
习题·····	113
<b>18 芳烃的溶剂回收</b> ·····	<b>114</b>
18.1 应用·····	114
18.2 工艺·····	114
18.3 苯和芳烃的回收·····	115
习题·····	116
<b>19 乙烯装置</b> ·····	<b>117</b>
19.1 原料·····	117
19.2 生产装置·····	118
19.3 与炼油厂的相互影响·····	119
习题·····	120
<b>20 简单与复杂的炼油厂</b> ·····	<b>121</b>
20.1 效益评估·····	121
20.2 利益研究·····	125
20.3 相同的炼油厂——不同的模式·····	128
20.4 什么决定价格·····	129
20.5 小结·····	130
习题·····	130
<b>21 原油、凝析油和天然气凝析液</b> ·····	<b>131</b>
21.1 油田现场操作·····	131
21.2 气体加工厂·····	132
21.3 运输与使用·····	133
21.4 液化天然气和压缩天然气·····	133
<b>22 燃料的价值——热值</b> ·····	<b>135</b>
22.1 热值·····	135
22.2 燃料价值计算图版·····	136
习题·····	137
<b>答案部分</b> ·····	<b>138</b>



# 1 石油炼制的发展

在 19 世纪晚期汽油机出现以前，石油主要是用来加热、照明以及润滑等非常有限的领域，这些都是用来满足最基本需要的。1859 年在宾夕法尼亚州的蒂图斯维尔 (Titusville)，Edwin Drake 在地下 69ft<sup>●</sup> 的地方发现了石油。他的投资者非常兴奋，因为在照明领域中，他们看到了一个和鲸油相竞争的商机。最初，他们为照明灯寻找煤油。炼油的主要目标是从原油中提取所有的轻组分作为照明燃料，这些轻组分后来被用作汽油。由于缺乏专业的炼油技术，为了提炼轻组分，当时的炼油商在地坑中烧掉了许多宝贵的资源。炼油商很快认识到了原油中重组分的潜在商业价值，因为这些重组分可用来生产水蒸气用于居民供暖——首先工业上应用，最终商用和民用。

像著名的 Stanley 兄弟发明的 Stanley 蒸汽机车一样，许多早期的汽车是用煤油为燃料产生蒸汽驱动的。到 1890 年，像 Karl Benz、Henry Ford、Ransom Olds 以及 Dave Buick 这些发明家兼汽车生产商所生产的汽车采用汽油内燃机驱动，永久地改变了石油炼制的面貌和目的。

1900 年以后，汽油的需求量迅速增加，如何满足市场需求成为最大的挑战。化学工程师们开始意识到，可以通过加热的方法使原油的一些重组分裂化成轻质产品，由此发明了最初的热裂化工艺。即便如此，由于汽油的需求量增长过于迅速，热裂化也不能满足市场需求。幸好，那时电力正在全世界范围内抢夺照明市场，使得照明用轻油需求大大下降，同时，当时喷气式发动机还没有商业化，局面还可以暂时维持。但是，炼油商已经开始面对市场的巨大挑战。

催化仍然是一门新兴的科学，但是到 1916 年，固定床催化裂化作为所有催化裂化的鼻祖已经出现。1936 年，Frenchman Houdry 首次把连续流动床投入生产。在第二次世界大战期间，炼油商采用了烷基化和甲苯提取的方法以满足对高辛烷值航空汽油的需求。

同时，汽车工程师们在不断地完善发动机的设计并且需要更高质量的汽油。1949 年催化重整首次投入生产，提高了石脑油的辛烷值，并把其调和到汽油中。

---

● 1ft=0.3048m。

在 20 世纪后期，炼油商依靠石油化工行业的技术革新以同时满足产品质量和环境保护的要求。炼油厂生产一些新的汽油调和组分，有甲基叔丁基醚（MTBE）、叔丁醇（TBA）、甲醇和乙醇。

在环境保护法规的驱使下，几乎所有东西都在改变，这使得炼油商必须调整现存的工艺过程。在过去的 15 年中，引进的技术主要集中在催化剂的改进，而不是新的工艺过程。所有的这些应该是个好消息。到现在为止，跟上正在发生的事是件很难的事情，而你学会了它以后，就不必担心有什么改变和变得过时。

## 2 原油性质

什么是原油？最好的描述方式是先从它不是什么和不具有怎样的特性说起。它不是一种单一的化合物，而是许多化合物的混合物。当加热的时候，它最重要的行为特性会显现出来。当加热到沸腾温度并且维持该温度后，它不会完全蒸发掉。

以水为对比来得出结论。如图 2-1 所示，把一罐水加热到  $212^{\circ}\text{F}^{\circ}$ ，并且一直维持该温度，会发生什么现象？水开始沸腾并不断蒸发。如果一直加热，最终，所有的水都会蒸发掉。

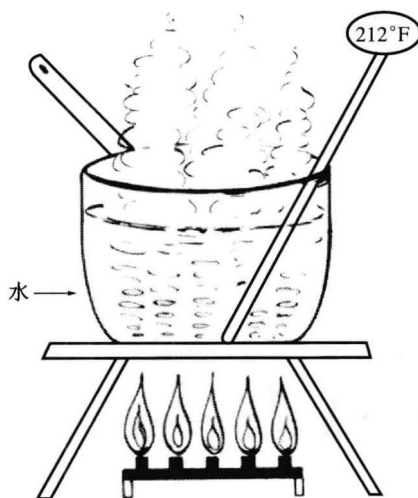


图 2-1 水的沸点

如果在罐子中放 1 支温度计，就会发现在最后一滴水蒸发掉以前，罐子中的温度仍然是  $212^{\circ}\text{F}$ 。那是因为水在  $212^{\circ}\text{F}$  时会沸腾。在一个大气压下，水沸腾时不会高于也不会低于这个温度。

### 2.1 原油的组成

现在我们来讨论原油。与水不同，原油不是一种化合物，而是含有

①  $^{\circ}\text{C} = 5/9(^{\circ}\text{F} - 32)$ 。