

高等学校教学参考书

工业有机化学

[德] K.Weissermel, H.-J.Arpe 著

化学工业出版社

782-1
高等学校教学参考书

工业有机化学

[德] K. Weissermel, H. -J. Arpe 著
周 遊 刘荣勋 等译
蒋学权 审校

化学工业出版社
·北 京·

(京)新登字 039 号

图字: 01-98-0319 号

图书在版编目 (CIP) 数据

工业有机化学 / (德) 韦瑟麦尔 (K. Weissermel,) 著;
周遛等译. - 北京: 化学工业出版社, 1998. 11
书名原文: Industrial Organic Chemistry
高等学校教学参考书
ISBN 7-5025-2122-4

I. 工… II. ①韦… ②周… III. 工业化学: 有机
化学-高等学校-教学参考资料 IV. TQ201

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 19403 号

Originally published in the English language by WILEY-VCH Verlag GmbH, Pappelallee 3,
D-69469 Weinheim, Federal Republic of Germany, under the title "Weissermel and Arpe:
Industrial Organic Chemistry, 3/E". Copyright 1997 by WILEY-VCH Verlag GmbH.

《工业有机化学》(第三版, 1997) 英文版由 WILEY-VCH Verlag GmbH 出版 (Pap-
pelallee 3, D-69469 Weinheim, Federal Republic of Germany)。

作者: Weissermel and Arpe.

高等学校教学参考书

工业有机化学

[德] K. Weissermel, H. - J. Arpe 著

周 遛 刘荣勋 等译

蒋学权 审校

责任编辑: 何曙霓 何 丽

责任校对: 凌亚男

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 24 字数 550 千字
1998 年 11 月第 1 版 1998 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-2122-4/G·610

定 价: 33.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

第三版前言

《工业有机化学》的英译第二版在出版后的短短几年内，引起了越来越多的关注，因此有必要再次出版本书。

在这几年中，本书有了更多的译本，有的已经出版，有的正在准备，某些译本还出了修订版。

大量的最新信息和数据资料不断涌现，促使我们对本书进行修正和增补，并增加其科研价值。除了科学文献，赫斯特公司（Hoechst AG）及多家其他化学公司的同仁的支持也极大地帮助了我们的工作。我们再一次感谢化学出版社的出色合作。

**K. 韦瑟麦尔
H. - J. 阿普
1997 年 2 月**

第二版前言

《工业有机化学》一书被翻译成七种语言，证明其引起了世界各地的广泛关注。该书翔实的内容和简明扼要的形式受到了读者的好评，同时其姊妹篇《工业无机化学》也获得了极大的成功，因此促成了这部修订版的问世。

这一版在文字上作了很多的增补。根据目前的情况对初版中关于发展前景的预测进行了修正。在初版的基础上进一步加强了国际性，以涵盖某些世界共同关注的领域。对一部分术语和名称也作了适当的改动。

赫斯特公司（Hoechst AG）的市场开发部帮助我们作了数据资料的搜集，在此特别致谢。我们还要感谢化学出版社（VCH Verlagsgesellschaft）的友好合作，感谢他们成功地组织了本书的出版发行工作。

K. 韦瑟麦尔

H. - J. 阿普

1993 年 2 月

第一版前言

关于工业有机化学，各种百科全书、标准教科书以及越来越多的专题论文都有广泛的论述。然而，从众多的资料中很难迅速地掌握最新的知识。

因此有必要写一本书，以简明的形式来阐述工业有机化学中最重要的初期产品和中间体。作者对所选用的材料进行了认真地审阅，并以在研究开发工作中经常遇到的问题为线索组织材料，使读者容易理解。进行这项工作，他们除了依靠自身的工业知识外，还借鉴了大学讲课的教学经验，并与许多同事进行了激烈的讨论。

本书面向各行各业的读者：化学专业的学生可以学到重要的基本有机原料和中间体的化学性质和组成，并了解其生产工艺的发展过程，将来有一天他们自己或许也会致力于这些工艺的改进工作。大专院校的教师可以从中收集有关应用有机合成方面的信息、生产工艺和原料的发展变化，以及相应的研究课题。化学家及化学工业的其他同仁（如工程师、市场开发人员、律师和工业经济学家等），将从中了解到各种复杂的技术、科学和经济方面的相互关系及发展前景。

本书分十四章，每章都将相互关联最强的初期产品和加工产品放在一起讲述。当然，在分类时难免会带有一些主观性。导言部分介绍了能源和原料供应目前及将来的状况。

在文中，对每种产品都是先讲其发展历史 and 意义，再讲生产工艺，重点讲述该产品的常用生产工艺，产品的应用及其主要的衍生物。在关于重要工业有机化工产品的章节后，多附有对其发展前景的预测，简述现有技术工艺或化学工艺的缺陷，将来如何改进，以及可能采用的其他更经济或更易获得的原料。

作者尽力提供丰富而准确的资料。读者可自行选用以下三种资料：

1. 正文
2. 正文旁的提要
3. 反映每章所述产品之间相互关系的产品方案

这三种形式是根据许多读者在阅读书刊时有划要点和作笔记的习惯而设计的。现在读者无需再做这个工作，因为每页旁边的提要依次列出了正文所有的要点，不用阅读正文也能迅速了解其中内容。

在阅读某一部分时，利用各章所附的化学反应方程式或产品方案图，有助于了解其与上下文所述内容的关系。为避免重复，正文中没有单项的工艺流程图，只给出了每项工艺的主要特点。

本书在索引中列出了许多关键词，以方便读者迅速找到所需资料。

本书第一版原是 1976 年用德语出版的。赫斯特公司 (Hoechst AG) 及其他公司的许多同仁对我们的工作给予了支持, 他们仔细阅读了手稿并提出了宝贵的建议, 保证了书中大量技术和化工资料的准确性。我们要特别感谢以下人士: H. H. Friz 博士、W. Reif 博士 [巴斯夫 (BASF) 公司]、R. Streck 博士、H. Weber 博士 [许尔斯 (Hüls AG) 公司]、W. Jordan 博士 [酚化学 (Phenol Chemie) 公司]、B. Cornils 博士、J. Falbe 博士、W. Payer 博士 [鲁尔化学 (Ruhchemie A G) 公司]、K. H. Berg 博士、I. F. Hudson 博士 [壳牌 (Shell) 公司]、G. König 博士、R. Kühn 博士、H. Tetteroo 博士 [莱茵褐煤燃料公司联合会-沃赛林 (UK-wesseling)]。

我们也感激许多赫斯特公司的同事和工作人员, 他们阅读了每个章节, 增添了许多数据, 绘制了化学反应方程图式并将手稿打字。我们要特别感谢 U. Dettmeier 博士、M. Keller 博士、E. I. leupold 博士、H. Meidert 博士和 R. Steiner 教授, 他们对手稿进行了认真阅读和校正, 有的还补充了大段文字。不过, 所选的材料是来自于赫斯特公司的经验和其全球性的信息渠道。

再者, 我们亲密的家庭成员和朋友们的细心照顾, 在手稿长期写作和修改过程中也作出了重要的贡献。

《工业有机化学》第一版出版不到一年时间, 现在第二版也已问世。本书所受到的好评, 激励并驱使我们出版第二版时, 不仅对本书进行修改, 并且对内容进行补充。现在的英文版就是根据德文第二版译出的, 但对德文版中的不少数据进行了更新, 并且尽可能补充从几个先进工业国家搜集的数据, 以加强其国际性。

在本版中, 还增加讲述了一些产品及其生产工艺。为帮助读者理解基本的生产过程, 当涉及新的内容时, 通常详细解释其原理。

本书由 A. 缪伦 (A. Mullen) (鲁尔化学公司) 博士翻成英文。我们特别感激的是他承担了这项艰巨的任务, 不仅保持了原来的内容, 而且体现了自己的风格。我们感谢鲁尔化学公司董事会给缪伦博士提供了使用公司设施的方便, 支持了这一尝试。

我们也特别感激美国赫斯特公司的同事 T. F. Leahy 博士, 他仔细地阅读手稿, 起到重要作用。

我们也应感谢化学出版社——特别是 H. F. Ebel 博士, 感谢他的支持并保证了英文版尽可能好地出版成功。

K. 韦瑟麦尔
H. -J. 阿普
赫斯特, 1978 年 1 月

内 容 介 绍

本书是根据德国 Wiley VCH Verlag GmbH 的“Industrial Organic Chemistry”(修订三版, 1997)翻译的。作为风格独特的高等学校教学参考书引进。

本书针对工业有机化学中最重要的初期产品和中间体,以简明的手法和新颖的编排方式,分十五章阐述了在日常研究和开发中遇到的各种有机化学原理,涉及到能量、原料路线和工业生产方法的发展以及技术经济等问题。作者除本身具备丰厚的工业知识外,还吸收了大学讲课中的教学经验进行编纂,并提供了先进工业国家大量的高质量的数据和资料,引至 1996 年。在主要章节之后,附有对其发展前景的预测,简述现有技术工艺的缺陷,将来如何改进,以及可能采用的其他更经济或更易获得的原料。书末,归纳了各章所述产品之间相互关系的产品方案图。

本书附图由陈允斌翻译,1~3 章由梁虹翻译,4~6 章由潘正安翻译,7~9 章由刘荣勋翻译,10~11 章由杨菁翻译,12~14 章由周遒翻译,前言、15 章文字及索引由吴克文翻译;全书由蒋学权先生审核校订。

本书可供从事有机化工专业及与之有关的工程技术人员、规划管理人员阅读;更可提供作化学、化工系及相关专业师生掌握最新工业有机化学动向的学习参考书。

目 录

1. 能量和原料供应概况.....	1	3.3.2. 丁烯	51
1.1. 目前和可预见的能量需求.....	1	3.3.3. 高级烯烃	57
1.2. 各种能源的可能性.....	2	3.3.3.1. 无支链高级烯烃	58
1.2.1. 石油.....	2	3.3.3.2. 含支链高级烯烃	64
1.2.2. 天然气.....	3	3.4. 烯烃复分解	66
1.2.3. 煤.....	4	4. 乙炔	70
1.2.4. 核燃料.....	4	4.1. 乙炔的现实意义	70
1.3. 未来能量供应的前景.....	5	4.2. 乙炔的生产方法	71
1.4. 目前和预期的原料状况.....	6	4.2.1. 由碳化钙生产	71
1.4.1. 石油化工的初级产品.....	6	4.2.2. 热裂解法	72
1.4.2. 煤的转化产物.....	8	4.3. 乙炔的利用	76
2. 工业合成的基本产物	10	5. 1,3-二烯烃	82
2.1. 合成气	10	5.1. 1,3-丁二烯	82
2.1.1. 合成气的发生	10	5.1.1. 1,3-丁二烯的传统合成方法	82
2.1.1.1. 由煤的气化制合成气	10	5.1.2. 从 C_4 裂解馏分制取 1,3-丁二烯	83
2.1.1.2. 天然气和石油裂化制合成气	13	5.1.3. 从 C_4 烷烃和烯烃制取 1,3-丁二烯	85
2.1.2. 合成气的净化和应用	15	5.1.4. 1,3-丁二烯的应用	87
2.2. 纯合成气组分的生产	17	5.2. 异戊二烯	90
2.2.1. 一氧化碳	17	5.2.1. 从 C_5 裂解馏分制异戊二烯.....	90
2.2.2. 氢	18	5.2.2. 通过合成反应制异戊二烯	91
2.3. C_1 -单元.....	21	5.3. 氯丁二烯	94
2.3.1. 甲醇	21	5.4. 环戊二烯	96
2.3.1.1. 甲醇的制造	21	6. 含有一氧化碳的合成	99
2.3.1.2. 甲醇的用途和潜在的应用	23	6.1. 烯烃的氢甲酰化反应	99
2.3.2. 甲醛	27	6.1.1. 氢甲酰化反应的化学基础	99
2.3.2.1. 由甲醇制甲醛	28	6.1.2. 氢甲酰化反应的工业操作.....	102
2.3.2.2. 甲醛的用途及潜在的应用	30	6.1.3. 氢甲酰化反应催化剂的改进.....	104
2.3.3. 甲酸	31	6.1.4. 羰基合成产物的应用.....	106
2.3.4. 氢氰酸	34	6.1.4.1. 羰基合成醇.....	106
2.3.5. 甲胺	38	6.1.4.2. 羰基合成羧酸.....	107
2.3.6. 甲烷的卤素衍生物	39	6.1.4.3. 羰基合成醛的醛醇缩合和缩合产物.....	108
2.3.6.1. 氯甲烷	39	6.2. 烯烃的羧化.....	110
2.3.6.2. 氯氟甲烷	43	6.3. Koch 酸的合成	111
3. 烯烃	46	7. 乙烯的氧化产物.....	113
3.1. 烯烃化学的发展史	46	7.1. 环氧乙烷.....	113
3.2. 烃类裂解制烯烃	46	7.1.1. 氯醇法制环氧乙烷.....	114
3.3. 烯烃的特殊生产方法	49		
3.3.1. 乙烯、丙烯.....	49		

7.1.2. 直接氧化法制环氧乙烷	114	8.3.3. 新戊二醇	166
7.1.2.1. 化学原理	114	9. 乙烯基卤化物和乙烯基氧化物	168
7.1.2.2. 工艺操作	115	9.1. 乙烯基卤化物	168
7.1.2.3. 环氧乙烷生产发展前景	116	9.1.1. 氯乙烯	168
7.2. 环氧乙烷的二次产物	117	9.1.1.1. 从乙炔制氯乙烯	169
7.2.1. 乙二醇和高级乙二醇缩聚物	118	9.1.1.2. 从乙烯制氯乙烯	169
7.2.1.1. 乙二醇生产发展前景	119	9.1.1.3. 氯乙烯生产开发前景	172
7.2.1.2. 乙二醇的用途	121	9.1.1.4. 氯乙烯和1,2-二氯乙烷用途	173
7.2.1.3. 乙二醇二次产物——乙二醛、二氧戊烷、1,4-二氧杂环己烷	122	9.1.2. 偏二氯乙烯	174
7.2.2. 聚乙氧基化物	123	9.1.3. 氯乙烯和偏二氯乙烯	174
7.2.3. 乙醇胺类及其二次产物	124	9.1.4. 三氯乙烯和四氯乙烯	175
7.2.4. 乙二醇醚	126	9.1.5. 四氯乙烯	177
7.2.5. 环氧乙烷的加成产物	128	9.2. 乙烯基酯和乙烯基醚	177
7.3. 乙醛	129	9.2.1. 乙酸乙烯酯	178
7.3.1. 乙烯氧化制乙醛	130	9.2.1.1. 从乙炔或乙醛生产乙酸乙烯酯	178
7.3.1.1. 化学原理	130	9.2.1.2. 从乙烯生产乙酸乙烯酯	179
7.3.1.2. 工艺操作	131	9.2.1.3. 乙酸乙烯酯生产发展前景	181
7.3.2. 从乙醇制乙醛	131	9.2.2. 高级羧酸乙烯酯	182
7.3.3. C ₃ /C ₄ 烷烃氧化制乙醛	132	9.2.3. 乙烯基醚	183
7.4. 乙醛的二次产物	133	10. 聚酰胺组分	185
7.4.1. 乙酸(醋酸)	133	10.1. 二羧酸	186
7.4.1.1. 乙醛氧化制乙酸	134	10.1.1. 己二酸	187
7.4.1.2. 烷烃和烯烃氧化制乙酸	135	10.1.2. 1,12-十二烷二酸	189
7.4.1.3. 甲醇羰基化制乙酸	137	10.2. 二元胺和氨基羧酸	191
7.4.1.4. 乙酸生产前景	139	10.2.1. 己二胺	191
7.4.1.5. 乙酸用途	140	10.2.1.1. 己二腈的生产	191
7.4.2. 乙酸酐和乙烯酮	141	10.2.1.2. 己二腈加氢	194
7.4.3. 乙醛的醇醛缩合及其二次产物	144	10.2.1.3. 己二腈生产发展前景	195
7.4.4. 乙酸乙酯	146	10.2.2. ω -氨基十一烷酸	195
7.4.5. 吡啶和烷基吡啶	147	10.3. 内酰胺	196
8. 醇	150	10.3.1. ϵ -己内酰胺	196
8.1. 低级醇	150	10.3.1.1. 环己酮肟法生产 ϵ -己内酰胺	197
8.1.1. 乙醇	150	10.3.1.2. ϵ -己内酰胺的其他可供采用的生产方法	200
8.1.2. 异丙醇	154	10.3.1.3. ϵ -己内酰胺生产前景	201
8.1.3. 丁醇	156	10.3.1.4. ϵ -己内酰胺的用途	203
8.1.4. 戊醇	159	10.3.2. 月桂基内酰胺	204
8.2. 高级醇	160	11. 丙烯转化产物	207
8.2.1. 烷烃氧化制醇	162	11.1. 丙烯的氧化产物	207
8.2.2. Alfol 合成	164	11.1.1. 环氧丙烷	207
8.3. 多元醇	165	11.1.1.1. 氯醇法生产环氧丙烷	208
8.3.1. 季戊四醇	165		
8.3.2. 三羟甲基丙烷	166		

11.1.1.2. 间接氧化法制环氧丙烷	208	13. 苯的衍生物	260
11.1.1.3. 环氧丙烷的生产发展的可能性	211	13.1. 苯的烷基化和加氢产物	260
11.1.2. 环氧丙烷的二次产物	214	13.1.1. 乙苯	260
11.1.3. 丙酮	215	13.1.2. 苯乙烯	263
11.1.3.1. 丙烯直接氧化法	216	13.1.3. 异丙苯	265
11.1.3.2. 异丙醇制丙酮	217	13.1.4. 高级烷基苯	267
11.1.4. 丙酮二次产物	218	13.1.5. 环己烷	268
11.1.4.1. 丙酮的醛醇缩合反应和二次产物	218	13.2. 苯的氧化和二次产物	269
11.1.4.2. 甲基丙烯酸及其酯	219	13.2.1. 苯酚	269
11.1.5. 丙烯醛	222	13.2.1.1. 苯酚的生产方法	270
11.1.6. 丙烯醛的二次产物	224	13.2.1.2. 苯酚生产发展前景	276
11.1.7. 丙烯酸及其酯类	225	13.2.1.3. 苯酚的应用和二次产物	278
11.1.7.1. 丙烯酸传统生产方法	225	13.2.2. 二羟基苯	281
11.1.7.2. 丙烯制丙烯酸	227	13.2.3. 顺丁烯二酸酐	284
11.1.7.3. 丙烯酸生产发展前景	228	13.2.3.1. 苯氧化制顺丁烯二酸酐	285
11.2. 烯丙基化合物和二次产物	229	13.2.3.2. 丁烯氧化制顺丁烯二酸酐	286
11.2.1. 烯丙基氯	229	13.2.3.3. 丁烷氧化制顺丁烯二酸酐	287
11.2.2. 烯丙醇及其酯类	231	13.2.3.4. 顺丁烯二酸酐的应用和二次产物	288
11.2.3. 从烯丙基母体制甘油	233	13.3. 苯的其他衍生物	290
11.3. 丙烯腈	235	13.3.1. 硝基苯	290
11.3.1. 传统的丙烯腈生产方法	236	13.3.2. 苯胺	291
11.3.2. 丙烯的氨氧化	237	13.3.3. 二异氰酸酯	293
11.3.2.1. Sohio 法制丙烯腈	237	14. 二甲苯和萘的氧化产物	298
11.3.2.2. 其他丙烯/丙烷氨氧化法	238	14.1. 邻苯二甲酸酐	298
11.3.3. 丙烯腈的生产发展前景	239	14.1.1. 萘氧化制邻苯二甲酸酐	298
11.3.4. 丙烯腈的应用和二次产物	240	14.1.2. 邻二甲苯氧化制邻苯二甲酸酐	299
12. 芳烃的生产和转化	242	14.1.3. 邻苯二甲酸酯	301
12.1. 芳烃的重要性	242	14.2. 对苯二甲酸	303
12.2. 芳烃的原料来源	242	14.2.1. 对苯二甲酸二甲酯和对苯二甲酸的生产	304
12.2.1. 硬煤焦化生产芳烃	243	14.2.2. 纤维级对苯二甲酸	306
12.2.2. 来自重整物和裂解汽油的芳烃	244	14.2.3. 对苯二甲酸和衍生物的其他制法	308
12.2.2.1. 芳烃的分离	246	14.2.4. 对苯二甲酸及其二甲酯的应用	310
12.2.2.2. 非芳烃/芳烃及芳烃混合物特殊分离技术	247	15. 附录	313
12.2.3. 芳烃生产发展前景	250	15.1. 过程及产品方案	313
12.2.4. 稠环芳烃	252	15.2. 用来描述化学反应特征的术语的定义	333
12.2.4.1. 萘	252	15.3. 公司名称及其缩写	334
12.2.4.2. 蒽	253	15.4. 信息来源	335
12.3. 芳烃间的转化过程	255	15.4.1. 通用文献	336
12.3.1. 加氢脱烷基	255	15.4.2. 各专业文献(书刊、专著)	336
12.3.2. 间二甲苯的异构化	256	索引	345
12.3.3. 歧化和转移烷基化	258		

1. 能量和原料供应概况

能量和原料的可获得程度和价格结构总是决定着技术基础，从而也决定工业化学的扩充和发展。然而，石油危机促使人们再次认识到这种关系及其对世界经济的重要意义。

在太阳能作用下历经漫长时间而形成的煤、天然气和石油，如今不仅作为能源，而且在很大程度上满足了作为化学原料的需求。

没有其他可比的工业部门在能量和原料之间像在化学工业那样如此密切地相互影响。由于化学工业是最大的能量消耗者之一，供应中的每一个变化都会对它产生双重影响。此外，作为原料的不可再生的矿物产品，被转化成人们生活中经常见到的多种合成物质。

不断增长的对原材料的需求及其有限的储量，充分说明了保障未来能量和原料供应的重要性。

所有中短期的努力都将集中于这样一个基本问题，即如何在现有资源的基础上，既提高化学工业又提高能源部门的原料供应的灵活性。从长远看，化石燃料的这种双重功能将要终止以保持这种富有吸引力的资源尽可能长期地作为原料供应化学工业。

为了更好地评价现状和了解今后一次能源和原料的消耗情况，将对这两个方面以及各种能源的情况作一回顾。

1.1. 目前和可预见的能量需求

在过去 25 年里，世界能量需求增长了两倍多，并于 1995 年达到 $94.4 \times 10^{12} \text{ kW}\cdot\text{h}$ ，相当于 $8.12 \times 10^9 \text{ t}$ 石油所蕴藏的能量（1t 石油相当于 $11620 \text{ kW}\cdot\text{h} = 10 \times 10^6 \text{ kcal} = 41.8 \times 10^6 \text{ kJ}$ ）。1974 年以前的年平均增长率为 5%，以后直至 80 年代末期有所减少，如旁表数字所示。90 年代，前东方集团发生根本性变化后，由于经济衰退引起的能量需求的下降，主要能量消耗几乎没有变化。

然而，根据国际能量机构（IEA）的最新预测，到 2010 年，地球人口将从目前的 5.6×10^9 增加到 7×10^9 ，使世界能量需求增长到 $130 \times 10^{12} \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

化石燃料：天然气、石油和煤具有两种功能

1. 能源
2. 化学产品的原料

保证工业原料和能量供应的长期目标：

1. 延长化石原料的使用时间；
2. 替代能源部门所使用的化石原料。

主要能量的消耗/ $10^{12} \text{ kW}\cdot\text{h}$

	1964	1974	1984	1989	1994
世界	41.3	67.5	82.6	95.2	93.6
美国	12.5	15.4	19.5	23.6	24.0
西欧	7.9	10.7	11.6	13.0	13.2

化学工业的能量消耗：
总消耗量的 6%，即第二位最大的耗能部门。

世界主要能量分配变化/%

	1964	1974	1984	1995
石油	41	48	42	38
煤炭	37	28	27	23
天然气	15	18	19	19
核能	6	6	7	6
水动力/其他	1	3	5	14

(其他包括，如生物质)

优先将石油和天然气作为能源的原因：

1. 经济的开采；
2. 应用的广泛性；
3. 低廉的运输和销售成本。

能源消费结构重组不可能在短期内实现。近期内石油仍是主要能源。

1989 年，OECD（经济合作与发展组织）国家的主要能量消耗分布如下：

31% 用于运输；

34% 用于工业；

35% 用于家庭、农业和其他部门。

化学工业占世界能量总消耗量的 6%，仅次于钢铁工业而居第二位。

1950 年至 1995 年间，世界主要能量消耗格局发生剧烈变化。煤炭所占的份额从 1950 年的约 60% 下降到旁表中所示的数值。在中国和一些前东方集团国家，所耗用的 40% 的能量仍来自煤炭。1950 年石油的份额正好占世界能耗的 25%，并在 70 年代前期达到近 50% 的最大值。现在已稳定在 38% 左右，并预计到 2000 年时减少至 37%。

形成这种能量消耗结构的原因，在于石油和天然气的快速、经济的开采和广泛的应用性，以及较低的运输和销售成本。

在今后的几十年里，预测来自石油和天然气的能量的相对数量有所减少，但来自煤炭和原子核的能量则小有增加。虽然希望最终能过渡到无碳和可再生，但这种发展将会受到许多因素的影响。

无论如何，预测今后数十年，石油和天然气仍将是主要能源，由于这一问题的复杂性，技术上的重新定向需要很长时间才能完成。

1.2. 各种能源的可能性

1.2.1. 石油

最新数据表明已探明的和可能的，即补充的、可开采的世界石油储量要高于最近几年内所估计的 $520 \times 10^9 \text{ t}$ 或 $6040 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。已探明的石油储量（1996 年）中，66% 在中东，13% 在南美，3% 在北美，2% 在西欧，剩余部分在其他地区。沙特阿拉伯有最大的份额，约占已证实的石油储量的 26%，位居近东的伊拉克、科威特和其他国家之首。1996 年，石油输出国组织（OPEC）国家约占世界石油产量（质量分数）的 77%。1994 年，最大产油国是沙特阿拉伯和美国。

另一种数量十倍于上述石油储量的资源是油页岩、焦油岩和石油砂。它远远超出了仅在几年前还被认为和它同属于一个数量级的矿物资源。

存在着利用油页岩和石油砂的强烈动机。为此目

石油储量/ $10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$

	1986	1989	1995
已证实的储量	1110	1480	1580
总储量	4900	1620	2470

油页岩和石油砂里蕴藏的“合成”油量/ $10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$

	1989	1992
已证实的储量	1550	1550
总储量	13840	12360

的,已经开发出在当地有利条件下商业上可行的提炼和热解方法。有一些大型商业装置正以重大的年度增长率(如1994年产量比1993年增长17%)在加拿大运转,同样也在独联体运转。尽管已经关闭了许多中试装置,例如在美国,但仍有新的装置正在一些地方筹建,如澳大利亚。中国从含油母质的岩层中提取石油。1994年,一个年生产能力为0.12 Mt的装置正处于最后建设阶段。

以目前的消费速度计算,已探明的原油储量估计能使用43年(1996)。如果加上从油页岩和石油砂中提取的油,则可供100多年之需。

然而,以下因素将可能使石油供给量远远超过上述的年限:改进对已知资源藏量的利用,目前,用常规技术开发的仅占总藏量的30%;强化勘探活动,开采难度大的资源储量;开发海底油田以及重新调整能量和原料的消费结构。

1.2.2. 天然气

据估计,已探明和可能的世界天然气储量略大于石油储量,目前估计约为 $368 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 或 $3390 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。已探明的储量达 $1380 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

1995年,这些储量的39%位于独联体,14%在伊朗,5%在卡塔尔,阿布扎比和沙特阿拉伯各4%,3%在美国。其余31%分布在其他天然气生产国。

基于1995年天然气的产量($25.2 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$)已探明的世界储量将可持续近55年。

1995年,北美和东欧是最大的生产国,分别供应世界天然气的32%和29%。

过去的20年里,天然气的消费量稳步上升。但到目前为止,天然气也只能用于具备相应的工业基础设施或可以用管道将气送至远方消费者。同时,将天然气由原产地长距离输送至最重要的消费地还可以采用天然气液化(LNG=液化天然气)的办法加以克服,然后用特制的船只运输,例如日本所采取的方法,它几乎完全依靠进口天然气。将来,天然气可能经由合成气先转化成甲醇然后运输——当然,这需要增加费用。

于是,一些天然气储量很少或没有的国家依靠进口的问题,如同石油一样,是可以解决的。然而,只有确立和发展了以褐煤和硬煤为基础的合成气技术,这些情况才从根本上改变。这种技术的大规模应用也许要等到遥远的将来才能实现。

油母质是在矿物岩中发现的一种蜡状的高分子物质,当加热超过 500°C 或加氢时,转变成“合成”油。

石油耗量/ 10^9 t 石油

	1988	1990	1994
世界	3.02	3.10	3.18
美国	0.78	0.78	0.81
西欧	0.59	0.60	0.57
独联体	0.45	0.41	n.a.
日本	0.22	0.25	n.a.

n.a. = 无数据

石油开采助剂:

开采阶段	助剂	可开采的油/%
一次	井头压力	10~20
二次	水汽溢流	→30
三次	化学溢流 (高分子化合物, 表面活性剂)	→50

天然气储量/ $10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$

	1985	1989	1992	1995
已探明储量	944	1190	1250	1380
全部储量	2260	3660	3440	3390

(1 m^3 天然气 = $9.23 \text{ kW} \cdot \text{h}$)

根据目前天然气消耗的速度,已探明的天然气储量将可使用55年左右。

用下列方法进行长距离输送可能使天然气消耗迅速发展。

1. 管道
2. 专门设计的船只
3. 转化成甲醇

用合成天然气(SNG)代替天然气在2000年前不会实现(参见2.1.2)。

硬煤储量/ 10^{12} kW·h

	1985	1989	1992	1995
已探明储量	5600	4090	5860	4610
总储量	54500	58600	67800	61920

“硬煤”也包括焦煤和无烟煤。

褐煤储量/ 10^{12} kW·h

	1985	1989	1992	1994
已探明储量	1360	860	1110	1110
总储量	5700	6800	n.a.	n.a.

n.a. = 无数据

用于发电的能源/%

	美国		西欧		全世界	
	1975	1987	1974	1995	1975	1995
天然气/石油	76	13	36	21	35	25
煤		53	34	29	37	38
核能	9	17	6	35	5	17
水电/其他	15	17	24	15	23	20

核燃料储量/Mt

	铀	钍
已探明储量	2.2	n.a.
总储量	4.0	2.2

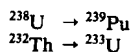
n.a. = 无数据

铀储量所含能量/ 10^{12} kW·h

690 常规核反应堆技术

80000 通过增殖反应堆充分利用

快中子增殖反应堆的作用（中子俘获）：



1.2.3. 煤

就储量而言，煤不仅是世界上分布最广，而且也是最重要的一种化石能源。但必需注意的是，这里提到的煤储量是以地质学研究为基础的，并没有考虑开采的问题。世界已探明的和可能的硬煤储量估计为 61920×10^{12} kW·h。已探明的储量为 4610×10^{12} kW·h。其中，35%左右在美国，6%在独联体，13%在中华人民共和国，13%在西欧，11%在非洲。1995年，世界硬煤产量为 3.4 Mt，其中 56%来自于美国和中国。

1989年，世界褐煤储量约估计为 6800×10^{12} kW·h，其中已探明储量为 860×10^{12} kW·h。至 1992年，这些已探明的储量增加了约 30%。

巨大的煤炭藏量能在很长时间里满足世界能量需求。根据几个研究所的研究，按目前能耗的增长率计，这个藏量可供人类使用几千年。

1.2.4. 核燃料

从核能发展阶段的结果来看，它是未来几十年里能真正解决能量供应问题的唯一现实途径。它的经济上的生命力已经得到证实。

核燃料在很多重要领域，特别是发电，提供了除化石燃料以外的一个可供选择的能源。1995年，全世界 17% 的电量是由 437 个核反应堆生产的，另有 59 个反应堆正在建设中。大多数核能装置在美国，其次是法国和日本。铀和钍的藏量巨大并且广泛分布在世界各地。1995年，铀的世界产量为 33 kt。加拿大供应的比例最大，为 9.9 kt，其次是澳大利亚、尼日尔、美国和独联体。

居中、低价格范围的铀的储量约为 4.0 Mt，其中已探明的储量为 2.2 Mt；相应的钍储量则在 2.2 Mt 左右。

应用铀于常规设计的轻水反应堆基本上只利用了 ${}^{235}\text{U}$ （天然铀中的含量最高达 0.790），并且每千克 ${}^{235}\text{U}$ 只能得到 24×10^6 kW·h 能量，这意味着 4 Mt 铀相当于约 690×10^{12} kW·h 的能量。如果采用快速增殖反应堆将铀充分利用，则所得到的能量可大幅度地增加到约 80000×10^{12} kW·h。如果将上述钍的储量用于增殖反应堆，则又可获得 44000×10^{12} kW·h 的能量。从这些数字中可以看出快速增殖反应堆的重要性。增殖反应堆通过中子俘获从不可裂变的核素 ${}^{238}\text{U}$ （天然铀的主要成

分, 丰度 99.3%) 合成可裂变的 ^{239}Pu 。热中子不能使 ^{238}U 裂变。用同样的方法, 可裂变的 ^{233}U 可以从 ^{232}Th 合成。

利用目前的反应堆技术可以至少在今后 50 年里满足日益增长的能量需求。

现在以及可能在未来的二十年里, 主要的反应堆型式是轻水反应堆 (沸腾的或加压的水反应堆), 在最高 300℃ 温度下操作。最高冷却介质 (氦) 温度接近 1000℃ 的高温反应堆正处于大规模发展的前夜。其优点是: 不仅供电, 而且能在高温下为反应过程供热 (参见 2.1.1 和 2.2.2)。商业上较为大量地应用增殖反应堆作为发电装置最早要到本世纪 90 年代末才会实现, 因为它的发展途中还面临着若干需要解决的技术问题。

1995 年, 日本和法国是唯一仍在使用和发展增殖反应堆的国家。

值得注意的是, 高度依赖能源进口的国家可从储存能量含量高的核燃料而显著改善其能量供应状况。成功地利用核能的前提是: 不仅要建立安全、可靠的核电站, 而且要求整个燃料循环过程完全封闭。这个过程从天然铀的供应开始, 经合适的浓缩装置的厂址选择, 到放射性裂变产物的废料处理, 以及未用和新增的核燃料的再循环。

废料管理和环境保护决定核能计划实现的速度。

1.3. 未来能量供应的前景

从前面各节看出, 长期以来, 石油、天然气和煤仍是最重要的基本能源。虽然, 目前对获取能源几乎没有限制, 但是根据石油和天然气作为化学工业原料的重要性, 应当尽快减少它们作为能源的使用量。

从长期来看, 油页岩和石油砂的开采不会对能量供应状况产生重大影响。用其他能源替代石油和天然气是摆脱这种困境的最为稳妥的办法。通过这些方法, 这些宝贵的化石物料将尽可能地留作化学工业加工用。

在中期, 核能的利用可从对缓解化石能耗起决定作用。太阳能几乎是一种用不完的能源, 但这里仅指它的工业潜力而言。太阳每年提供给地球的能量相当于煤储量的 30 倍。根据简单计算, 目前世界主要能量消耗可以由太阳供给的能量的 0.005% 来补偿。因此, 发展太阳能技术, 包括太阳能收集器和太阳能电池系统, 仍然是重要目标。但同时, 必须解决太阳能的储存和运输等问题。

反应堆发电:

轻水反应堆

高温反应堆

增殖反应堆

高温反应堆的优点:

高温 (900 ~ 1000℃) 所产生的热量可用于强吸热的化学反应。

核能利用的必要先决条件:

1. 核能的可靠供应;

2. 技术安全的核电站;

3. 裂变产物的安全处理和核燃料再循环 (再处理)。

按现行的能源结构, 石油和天然气将是首先耗尽的能源。

能源和化学利用之间的竞争迫使能量利用的模式作结构性的改变。

从以下能源产生能量, 以减少化石燃料的消耗:

1. 核能 (中期)

2. 太阳能 (长期)

3. 地热能 (部分)

4. 核聚变能 (长期)

可能替代石油产生能量的途径:

1. 煤;
2. 核能;
3. 煤和核能的结合;
4. 氢。

长期目标:

能量供应全部来自可再生资源; 原料供应来自化石资源。

化学工业原料基础变化特点

1950 年以前的原料:

1. 煤的气化产品 (焦化产品和合成煤气);
2. 从碳化钙制乙炔。

1950 年以后的原料:

1. 石油加工产品;
2. 天然气;
3. 煤的气化产品和从碳化钙和轻烃得到的乙炔。

只有原料由煤转向石油, 初级有机化学产品的发展才有可能

短期和中期内, 将有机初级化学产品转回到以煤为基础是不可行的。

初级化学产品是用于进一步反应的、以石油化学为基础的产品, 如乙烯、丙烯、丁二烯和 BTX 芳族化合物。

初级化学产品产量/Mt

	1989	1991	1993
美国	37.1	39.5	41.7
西欧	35.4	38.3	39.4
日本	15.9	19.2	18.4

大规模利用所谓的无限能源——太阳能、地热能和核聚变能——只有在遥远的将来才会变得重要。在此之前, 我们只能依靠对化石原料, 尤其是石油的优化使用。在最近的将来, 为尽量延续石油储量, 核能和煤在能量供应中将居统治地位。核能将担当起发电的任务, 而煤将越来越多地作为石油产品的替代品。

在能源供应不再依靠化石资源之前——毫无疑问要等到下个世纪——可能会有一个核能和煤结合利用的中间时期。这种结合可以利用核过程中产生的热使煤气化, 导致合成气产品的更大量的利用 (参见 2.1.1)。

通过煤的气化制造合成气的同时, 核能也可能通过高温水蒸气电解或化学循环反应法, 从水制氢。对于用太阳能进行水的电解也是如此, 这一方法正在几个国家中广泛研究。这可使氢作为能源 (氢技术) 被广泛使用以及替代由化石物质生产氢 (参见 2.2.2)。

这个阶段, 将导致这样的情况, 即能量将完全从再生资源获取而煤和石油只用来作原料。

1.4. 目前和预期的原料状况

目前化学工业原料状况的特点在于成功地和实际上完全地实现了从煤工艺到石油工艺的转变。

这种结构重组也体现在从以乙炔到以乙烯为基础的转变 (参见 3.1 和 4.1)。

1.4.1. 石油化工的初级产品

通过煤的气化生产一氧化碳 (CO) 和氢的工艺, 以及碳化钙 (用于焊接或制备一些特殊有机中间体)、苯和某些多核芳香烃的生产工艺是 50 年代利用煤制备基本有机化合物的生产方法中仅存的几种方法。但这些只占初级石油化工产品中的一小部分; 目前约 95% 的产品以石油或天然气为原料。再有, 毫无疑问, 有机二次产物原料生产的发展只有在转向石油为基础的前提下才有可能。如以煤为基础, 则由其固有的开采方面原因的制约, 不可能有如此迅速的发展。因此可以认为煤在将来只能部分地替代石油, 从而有限地拓宽原料基础。因此, 化学工业依赖石油的状况仍将保持下去。

在日本和西欧, 石脑油 (粗汽油) 是迄今从石油炼厂得到的最重要的化学工业原料。在美国, 由于可获得的天然气的数量减少, 导致更多地使用石脑油。烯烃如乙烯、丙烯和丁二烯, 以及芳烃如苯、甲苯和二甲苯都可以通过石脑油的裂解获得。其次是与天然气一起制造