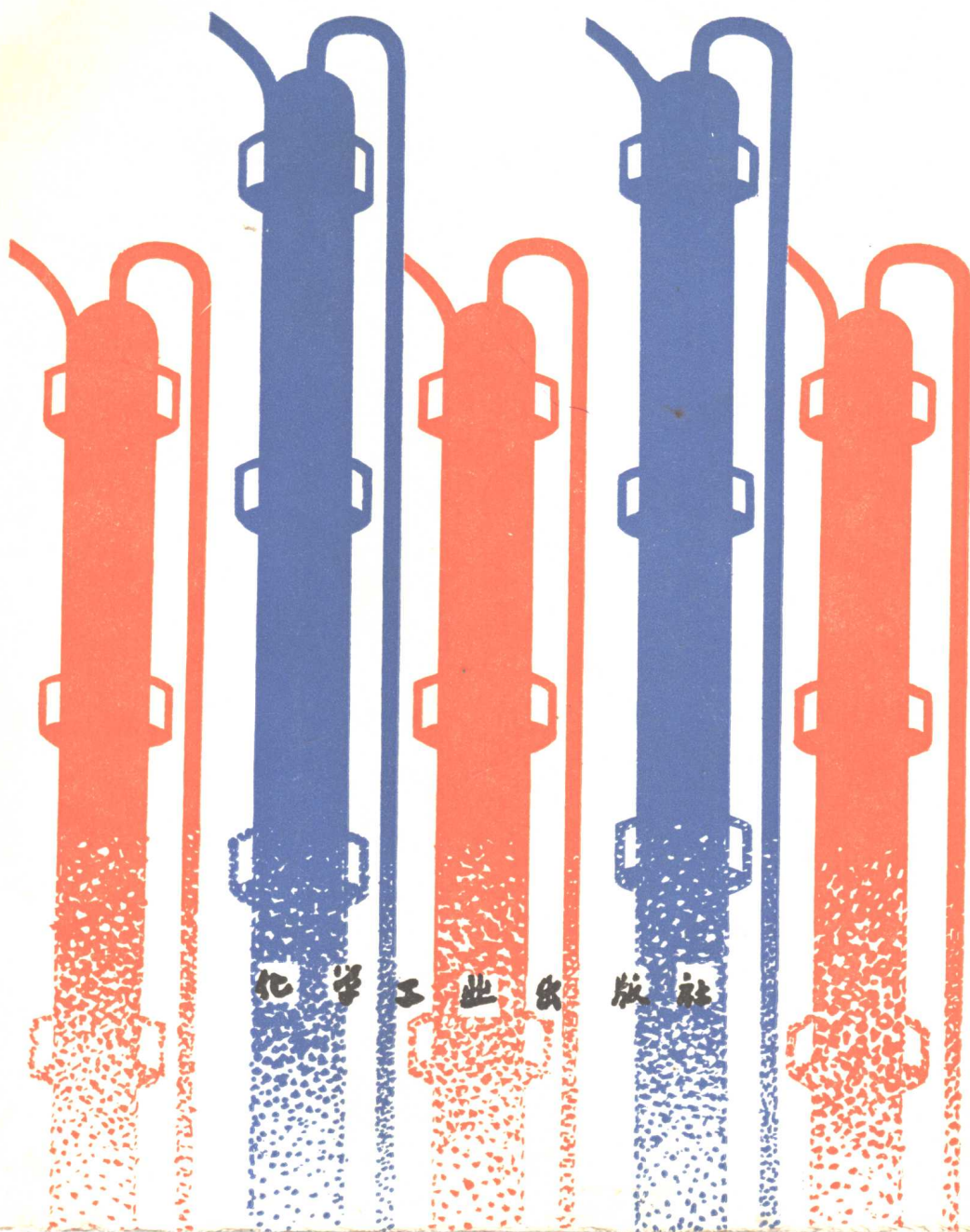


# 工业有机化学

## 重要原料和中间体

〔西德〕K·韦瑟麦尔 H·J·阿普 著



工业有机化学  
重要原料和中间体

14

# 工业有机化学

## 重要原料和中间体

[西德] K. 韦瑟麦尔 H. J. 阿普 著  
白凤娥 许晓慧 刘荣勋 译  
曹鸿林 校

化学工业出版社

## 内 容 提 要

本书是根据1978年修订二版英译本翻译的；英译本是由鲁尔化学公司的A. 缪伦(Mullen)将原著德文版译成英文的。书中素材主要采用了赫斯特公司在世界范围的经验和资料，同时还吸收了大学讲课时的教学经验。

全书共分十四章。以通俗易懂的文字、独特的编排风格，较为全面地概述了现代工业有机化工产品的化学工艺、原料和能源基础改变对工业技术经济的影响、重要初级产品和中间体的主要制法等。同时，针对各种工业有机化工产品，综述其历史发展过程和意义，阐明常用的生产方法、应用及其重要的衍生物。在有关重有机化工产品章节之后，附有发展前景和预测。另外，本书还简述了现有技术或化学工艺中的缺陷、将来如何改进以及向更经济或更易获得的原料的转变。

本书前言、第1~6章由许晓慧同志翻译，第7~9章由刘荣勋同志翻译，第10~15章由白凤娥同志翻译，全书由曹鸿林同志校核。

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，也可供大专院校化学、化工系的师生参考。

K. Weissmerl H. J. Arpe

Translated by Alexander Mullen

## INDUSTRIAL ORGANIC CHEMISTRY

Important Raw Materials and Intermediates

Verlag Chemie Weinheim New York 1978.

## 工 业 有 机 化 学

重要原料和中间体

白凤娥 许晓慧 刘荣勋 译

曹鸿林 校

化学工业出版社 出版

(北京和平里七区十六号楼)

北京市通县曙光印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 787×1092 1/16 印张 20 1/4 字数 480 千字 印数 1--6,000

1982年10月北京第1版 1982年10月北京第1次印刷

统一书号 15063·3393 定价 2.10 元

# 前 言

工业有机化学在百科全书、标准教课书以及某种程度上一些专题文献中进行了完臻的讨论。然而,从这些资料中不能很简单地掌握现今的状况。

这样就有必要写一本书,以简明的手法来阐述工业有机化学中最重要的前期产品和中间体。作者们认真地校核了本书取材,并以读者容易理解的方式,表达他们在日常研究和开发中遇到的问题。为此,除了本身的工业知识外,他们还吸收了在大学讲课中的教学经验并和同事们进行了激烈而有益的讨论。

本书面向各行各业的读者。学习化学的学生能够从中获得重要前期产品和中间体的化学原理以及生产方法的发展,有些可能会是他们将来从事改进的方法。大学或学院的讲师们可以收集应用有机合成的知识以及根据研究课题的成果不断改进生产方法和原料等方面的资料。化学家及化学工业中其他专业的同事们(如工程师、销售专家、律师和工业经济师),将从中获得有关如何处理复杂的技术、科学和经济间的关系及其发展的前景。

根据前期产品和中间体之间存在的紧密联系所形成的特定体系,将本书分为十四章。当然,其中有一部分是主观划分的,这是不可避免的。导言部分(第一章)阐述了目前和将来的能源和原料的来源。

本书一般是在综述产品的历史发展过程和意义之后,再说明生产方法,重点是放在常用的方法、产品应用及其重要衍生物上。在有关重要工业有机产品的章节之后,多附有发展前景的预测。本书还简述了现有技术或化学工艺中的缺陷,及将来如何改进或是向其他更经济或更易获得的原料的转变。

作者尽力提供了大量高质量的资料。读者可从以下三种资料中选用:

1. 正文;
2. 正文旁的提要;
3. 阐述每章产品内在关系的产品方案。

这三种资料表现方式是根据许多读者在阅读书刊时进行重点摘记和划出要点的通常习惯所设计的。读者可以不作这个工作,因为本书正文旁提要,按逻辑顺序扼要列出了正文所有的要点,因此,不对正文做仔细研究,也可迅速了解有关内容。

在阅读某一部分时,为了能够迅速了解它在整个过程中的关系,可以展开每章所属的化学反应方程式或过程及产品方案。为了避免类似工艺步骤的重复,本书正文没有单个生产工艺流程图,但是读者却能了解到生产工艺的显著特点。

包括许多术语的索引能使读者迅速找到所需的资料。

本书第一版原是1976年用德文出版的。赫斯特(Hoechst, A. G.)公司内外许多同事支持我们的工作,仔细阅读了部分手稿并提出了宝贵的建议,因而确保了许多技术上和化学上论据有确切的根据。我们特别对以下先生表示感谢: 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(Ruhrchemie 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式图并将手稿打字。我们特别应感谢 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，或对其中大部分手稿进行了补充。然而取材是根据赫斯特公司在世界范围的经验 and 资料来源而决定的。

再者，我们亲密的家庭成员和朋友们细心照顾，在手稿长期写作和修改过程中也作出重要贡献。

“工业有机化学”第一版出版了不到一年时间，现第二版也已问世。本书得到了很好的反映，使我们有义务在第二版出版时，不仅对本书进行修改，并且对内容进行补充。现在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来的数据，以加强其国际性。

随着产品生产方法之后还介绍了附属产品。为协助读者理解基本的工业过程，还补充了一些机理的描述。

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

# 目 录

<b>1. 各种能源和原料的供应</b> .....	1
1.1. 目前和可预见的能源需求.....	1
1.2. 各种能源的来源.....	2
1.2.1. 石油.....	2
1.2.2. 天然气.....	2
1.2.3. 煤.....	3
1.2.4. 核燃料.....	3
1.3. 未来能源的供应展望.....	4
1.4. 目前和预计的原料情况.....	5
1.4.1. 石油化工的一次产物.....	5
1.4.2. 煤的转化产物.....	8
<b>2. 工业合成的基本产物</b> .....	11
2.1. 合成气.....	11
2.1.1. 合成气的发生.....	11
2.1.1.1. 煤气化制合成气.....	11
2.1.1.2. 天然气制合成气与石油裂解制合成气.....	13
2.1.2. 合成气的净化和应用.....	15
2.2. 纯合成气组分的生产.....	16
2.2.1. 一氧化碳.....	16
2.2.2. 氢.....	17
2.3. C <sub>1</sub> -系.....	20
2.3.1. 甲醇.....	20
2.3.1.1. 甲醇的生产.....	20
2.3.1.2. 甲醇的用途和潜在应用.....	21
2.3.2. 甲醛.....	24
2.3.2.1. 从甲醇制甲醛.....	25
2.3.2.2. 从其他产物制甲醛.....	26
2.3.2.3. 甲醛的应用.....	27
2.3.3. 甲酸.....	27
2.3.4. 氢氟酸.....	29
2.3.5. 甲胺.....	32
2.3.6. 甲烷的卤素衍生物.....	33
2.3.6.1. 氯甲烷.....	33
2.3.6.2. 氟氯甲烷.....	36

<b>3. 烯烃</b> .....	39
3.1. 烯烃化学的发展史 .....	39
3.2. 烃类裂解制烯烃 .....	39
3.3. 个别烯烃的生产方法 .....	42
3.3.1. 乙烯、丙烯.....	42
3.3.2. 丁烯.....	44
3.3.3. 高级烯烃.....	48
3.3.3.1. 非支链高级烯烃 .....	48
3.3.3.2. 含支链高级烯烃 .....	53
3.4. 烯烃的复分解 .....	55
<b>4. 乙炔</b> .....	58
4.1. 乙炔的现实意义 .....	58
4.2. 乙炔的生产方法 .....	59
4.2.1. 以碳化钙为原料生产.....	59
4.2.2. 热裂解法.....	60
4.3. 乙炔的应用 .....	62
<b>5. 1,3-二烯烃</b> .....	66
5.1. 1,3-丁二烯 .....	66
5.1.1. 1,3-丁二烯的传统合成.....	66
5.1.2. 从C <sub>4</sub> 裂解馏分制取1,3-丁二烯.....	67
5.1.3. 从C <sub>4</sub> 烷烃和烯烃制取1,3-丁二烯.....	68
5.1.4. 1,3-丁二烯的应用.....	70
5.2. 异戊二烯 .....	72
5.2.1. 从C <sub>5</sub> 裂解馏分制异戊二烯 .....	72
5.2.2. 通过合成反应制异戊二烯.....	73
5.3. 氯丁二烯 .....	75
5.4. 环戊二烯 .....	77
<b>6. 含有一氧化碳的合成</b> .....	79
6.1. 烯烃的氢甲酰化 .....	79
6.1.1. 氢甲酰化反应的化学基础.....	79
6.1.2. 氢甲酰化的工业操作.....	81
6.1.3. 氢甲酰化催化剂的改进.....	83
6.1.4. 羰基合成产物的应用.....	84
6.1.4.1. 羰基合成醇 .....	84
6.1.4.2. 羰基合成羧酸 .....	85
6.1.4.3. 羰基合成醛的醇醛缩合和缩合产物 .....	86
6.2. 烯烃的羰化 .....	87
6.3. 科赫酸的合成 .....	88
<b>7. 乙烯的氧化产物</b> .....	90

7.1. 环氧乙烷 .....	90
7.1.1. 氯醇法制环氧乙烷 .....	90
7.1.2. 直接氧化法制环氧乙烷 .....	91
7.1.2.1. 化学原理 .....	91
7.1.2.2. 工艺操作 .....	92
7.1.2.3. 环氧乙烷生产前景 .....	93
7.2. 环氧乙烷的二次产物 .....	94
7.2.1. 乙二醇和较高级的缩聚物 .....	95
7.2.1.1. 乙二醇生产前景 .....	96
7.2.1.2. 乙二醇的应用 .....	97
7.2.1.3. 乙二醇的二次产物——乙二醛、1,3-二氧杂环戊烷、 1,4-二氧杂环己烷 .....	97
7.2.2. 聚氧化乙烯 .....	98
7.2.3. 乙醇胺及其二次产物 .....	99
7.2.4. 乙二醇醚 .....	101
7.2.5. 1,2-乙二醇的碳酸酯 .....	102
7.3. 乙醛 .....	103
7.3.1. 乙烯氧化制乙醛 .....	104
7.3.1.1. 化学原理 .....	104
7.3.1.2. 工艺操作 .....	105
7.3.1.3. 发展趋势 .....	105
7.3.2. 从乙醇制乙醛 .....	106
7.3.3. C <sub>3</sub> /C <sub>4</sub> 烷烃氧化制乙醛 .....	107
7.4. 乙醛的二次产物 .....	107
7.4.1. 醋酸 .....	108
7.4.1.1. 乙醛氧化制醋酸 .....	108
7.4.1.2. 烷烃和烯烃氧化制醋酸 .....	109
7.4.1.3. 甲醇羰化法制醋酸 .....	111
7.4.1.4. 醋酸生产前景 .....	113
7.4.1.5. 醋酸的应用 .....	113
7.4.2. 醋酐及乙烯酮 .....	115
7.4.3. 乙醛的醇醛缩合及其二次产物 .....	117
7.4.4. 醋酸乙酯 .....	119
7.4.5. 烷基吡啶 .....	120
8. 醇 .....	123
8.1. 低级醇 .....	123
8.1.1. 乙醇 .....	123
8.1.2. 异丙醇 .....	126
8.1.3. 丁醇 .....	28



8.1.4. 戊醇 .....	130
8.2. 高级醇 .....	131
8.2.1. 正构烷烃氧化制醇 .....	133
8.2.2. Alfol 合成 .....	133
8.3. 多元醇 .....	135
8.3.1. 季戊四醇 .....	135
8.3.2. 三羟甲基丙烷 .....	136
8.3.3. 新戊二醇 .....	136
<b>9. 乙烯基卤化物和氧化物 .....</b>	<b>138</b>
9.1. 乙烯基卤化物 .....	138
9.1.1. 氯乙烯 .....	138
9.1.1.1. 从乙炔制氯乙烯 .....	138
9.1.1.2. 从乙烯制氯乙烯 .....	139
9.1.1.3. 氯乙烯生产前景 .....	141
9.1.1.4. 氯乙烯的应用 .....	142
9.1.2. 偏二氯乙烯 .....	142
9.1.3. 氟乙烯和偏二氯乙烯 .....	142
9.1.4. 三氯乙烯和四氯乙烯 .....	143
9.1.5. 四氟乙烯 .....	144
9.2. 乙烯基酯和乙烯基醚 .....	145
9.2.1. 醋酸乙烯 .....	145
9.2.1.1. 从乙炔或乙醛为原料制醋酸乙烯 .....	146
9.2.1.2. 从乙烯为原料制醋酸乙烯 .....	146
9.2.2. 较高级羧酸的乙烯酯 .....	149
9.2.3. 乙烯基醚 .....	150
<b>10. 聚酰胺组分 .....</b>	<b>152</b>
10.1. 二元羧酸 .....	153
10.1.1. 环己醇/环己酮制己二酸 .....	153
10.1.2. 1,12-十二烷二酸 .....	155
10.2. 二元胺和氨基酸 .....	157
10.2.1. 己二胺 .....	157
10.2.1.1. 己二腈的生产 .....	157
10.2.1.2. 己二腈的加氢 .....	160
10.2.1.3. 己二腈生产前景 .....	160
10.2.2. $\omega$ -氨基十一烷酸 .....	161
10.3. 内酰胺 .....	162
10.3.1. $\epsilon$ -己内酰胺 .....	162
10.3.1.1. 环己酮肟法生产 $\epsilon$ -己内酰胺 .....	162
10.3.1.2. $\epsilon$ -己内酰胺的其他生产方法 .....	165

10.3.1.3.	$\epsilon$ -己内酰胺生产前景	167
10.3.1.4.	$\epsilon$ -己内酰胺的应用	169
10.3.2.	月桂基内酰胺	169
<b>11.</b>	<b>丙烯的二次产物</b>	<b>172</b>
11.1.	丙烯的氧化产物	172
11.1.1.	环氧丙烷	172
11.1.1.1.	氯醇法制环氧丙烷	173
11.1.1.2.	间接氧化法制环氧丙烷	173
11.1.1.3.	环氧丙烷生产前景	177
11.1.2.	环氧丙烷的二次产物	178
11.1.3.	丙酮	179
11.1.3.1.	丙烯直接氧化法	173
11.1.3.2.	从异丙醇制丙酮	180
11.1.4.	丙酮的二次产物	181
11.1.4.1.	丙酮的醇醛缩合和二次产物	181
11.1.4.2.	甲基丙烯酸和酯	182
11.1.5.	丙烯醛	184
11.1.6.	丙烯醛的二次产物	185
11.1.7.	丙烯酸和酯	187
11.1.7.1.	传统的丙烯酸生产方法	187
11.1.7.2.	从丙烯制丙烯酸	188
11.1.7.3.	丙烯酸生产前景	189
11.2.	烯丙基化合物和二次产物	190
11.2.1.	氯丙烯	191
11.2.2.	烯丙醇和酯	192
11.2.3.	从烯丙基类原料制甘油	194
11.3.	丙烯腈	196
11.3.1.	传统的丙烯腈生产方法	196
11.3.2.	丙烯的氨氧化	197
11.3.2.1.	生产丙烯腈的索亥俄法	197
11.3.2.2.	其他丙烯/丙烷的氨氧化法	198
11.3.3.	丙烯腈的应用和二次产物	199
<b>12.</b>	<b>芳烃的生产和转化</b>	<b>202</b>
12.1.	概述	202
12.2.	芳烃的原料来源	202
12.2.1.	硬煤焦化制芳烃	203
12.2.2.	从重整和裂解汽油制芳烃	204
12.2.2.1.	芳烃的分离	206
12.2.2.2.	非芳烃/芳烃和芳烃混合物的专门分离技术	206

12.2.3.	稠环芳烃 .....	210
12.2.3.1.	萘 .....	211
12.2.3.2.	蒽 .....	211
12.3.	芳烃间的转化方法 .....	213
12.3.1.	加氢脱烷基 .....	213
12.3.2.	间二甲苯的异构化 .....	214
12.3.3.	歧化和烷基化转移 .....	215
<b>13.</b>	<b>苯的衍生物</b> .....	<b>217</b>
13.1.	苯的烷基化和加氢产物 .....	217
13.1.1.	乙苯 .....	217
13.1.2.	苯乙烯 .....	219
13.1.3.	异丙苯 .....	221
13.1.4.	高级烷基苯 .....	222
13.1.5.	环己烷 .....	223
13.2.	苯的氧化和二次产物 .....	224
13.2.1.	苯酚 .....	224
13.2.1.1.	苯酚的生产方法 .....	225
13.2.1.2.	苯酚生产前景 .....	230
13.2.1.3.	苯酚的应用和二次产物 .....	233
13.2.2.	二元酚 .....	235
13.2.3.	顺丁烯二酸酐 .....	238
13.2.3.1.	苯氧化制顺酐 .....	238
13.2.3.2.	丁烯氧化制顺酐 .....	239
13.2.3.3.	顺酐生产前景 .....	240
13.2.3.4.	顺酐的应用和二次产物 .....	241
13.3.	苯的其他衍生物 .....	243
13.3.1.	硝基苯 .....	243
13.3.2.	苯胺 .....	244
13.3.3.	二异氰酸酯 .....	246
<b>14.</b>	<b>二甲苯和萘的氧化产物</b> .....	<b>250</b>
14.1.	邻苯二甲酸酐 .....	250
14.1.1.	萘氧化制苯酐 .....	250
14.1.2.	邻二甲苯氧化制苯酐 .....	251
14.1.3.	邻苯二甲酸酯 .....	253
14.2.	对苯二甲酸 .....	254
14.3.	对苯二甲酸二甲酯和对苯二甲酸的生产 .....	255
14.3.1.	对苯二甲酸二甲酯 .....	255
14.3.2.	纤维级对苯二甲酸 .....	257
14.3.3.	对苯二甲酸的其它生产方法 .....	258

14.4. 对苯二甲酸和对苯二甲酸二甲酯的应用 .....	261
<b>15. 附录</b> .....	<b>263</b>
15.1. 过程和产品方案 .....	263
15.2. 表示化学反应特征所使用术语的定义 .....	282
15.3. 公司名称缩写 .....	283
15.4. 资料来源 .....	284
15.4.1. 一般文献 .....	284
15.4.2. 特种文献索引 .....	285
<b>索引</b> .....	<b>291</b>

# 1. 各种能源和原料的供应

能源和原料的可用性及价格结构往往决定了技术基础,因而也决定了工业化学的扩大和发展。然而,只有在再次出现了石油危机后,才能使人们进一步认识这个关系及其对世界经济的重要性。

煤、天然气和石油是在太阳能作用下经几百万年而形成的。目前,不仅作为能源,而且在很大程度上满足了作为原料的要求。

任何其他的工业部门都不象化学工业那样,在原料和能源之间有着紧密的联系。由于化学工业大量消耗能源,因此,每一次供应的变化都对它产生双重影响。此外,化学工业可将不能回收的矿物产品作为原料转化成日常生活所需要的一系列合成产物。

原料需求量的逐步增长和资源的有限充分说明了这样一个事实,即必须保障将来的能源和原料供应。

所有的努力都应集中在这样一个基本问题上,即如何在现有资源基础上,一方面增加化学工业原料供应的灵活性,另一方面增加能源。而长期的目标,则是终止矿物燃料的这种双重功能,使之尽可能为化学工业长久地提供这类有益的资源供应。

为了更好地估价一次能源和原料的目前状况,并弄清将来的消耗,对每种能源应当同时弄清以下几个方面。

## 1.1. 目前和可预见的能源需求

过去二十年里,世界能源需求量超过以往的两倍。1975年达到了88亿吨SKE的高峰(Steinkohleneinheit, 1吨SKE =  $7 \times 10^6$ 千卡 =  $29.3 \times 10^6$ 千焦)年平均增长率约4%,与国民生产总值的增长率差不多。

同年,西欧能源消耗约为13亿吨SKE,其分配如下:

40% 工业用;

43% 家庭和其他小量消耗;

17% 运输业消耗。

化学工业占全部能源消耗的8%,在能源消耗上仅次于钢铁工业居第二位。

1950年到1975年之间,世界范围一次能源消耗的

矿物燃料:

天然气、石油、煤具有两个功能:

1. 能源;
2. 化学产品的原料。

长期的目的是节约工业原料和能源:

1. 延长矿物原料使用期;
2. 在能源方面取代矿物原料。

能源消耗(以亿吨SKE计)

	世界	西欧
1955	34	7
1975	88	13

化学工业能源消耗:

占总消耗量的8%,为工业用户的第二

位。

## 一次能源分配的变化(%)

	煤	石油
1950	60	25
1975	30	45

石油和天然气作为优先选用能源的原因：1. 开采经济；2. 应用广泛；3. 运输及分配费用低。

费用的变化使其他能源——煤、油母页岩和石油砂——更为经济可用。能源消耗结构在短期内不可能更改，石油在不久将来仍是主要能源。

石油储量(以亿吨SKE计)(1吨SKE约等于0.7吨油)：

已证实量：	1300
总量：	5600

估计油母页岩和石油砂储量为：6000亿吨SKE。

1975年油消耗量(以亿吨石油计)：

世界	27
西欧	6.6

累积石油消耗量：

1950~1975为380亿吨。以这种速度消耗，目前已证实的储量约可使用35年。

天然气储量(以亿吨SKE计)：

已证实量：	720
总量：	4000

以目前速度消耗，已证实的天然气储量将可使用四十年左右。

天然气消耗迅速发展，它可以用下列方法进行长距离输送：

结构发生了很大变化。煤炭的比例从1950年约60%逐渐下降到1975年的30%；而另一方面，石油的比例从世界能源消耗的25%增加到45%。

1985年前，石油和天然气无论在绝对数量或在百分比上仍将继续是主要的能源；其次是煤；如果核能发展计划能按时实现，则是核能。

这个能源结构是由于石油和天然气有着成熟的经济开采、应用广泛、以及运输和分配费用低等原因。

石油价格的猛涨以及为了减少对此类原料的依靠，开辟了将来增加煤的开采和现在还不受重视的从油母页岩、石油砂中回收油的可能性。但由于问题很复杂，技术路线的改变需要几十年的时间。还不能设想在不久的将来，在能源基础的结构方面会有一个急剧的变化。因此，在相当长时间内仍将依靠石油作为主要能源。

## 1.2. 各种能源的来源

### 1.2.1. 石油

目前，世界石油已证实和可能的存储量，估计约5600亿吨SKE。已证实的储量约1300亿吨SKE。地理上的分布为：近东56%，苏联和东欧国家<sup>①</sup>13%，非洲10%，北美6%，南美6%，西欧4%，远东地区3%。这些数字不包括约6000亿吨SKE油母页岩和石油砂中的石油存储量。

据估计，可以开采的石油储量在进入下个世纪时将消耗尽。但下面的因素将使该估计得以改善：充分利用已探明的储量，目前用一般技术只能开采出约30%；加强开采工作，回收难开采的储量；开采海底油田以及重新组织能源和原料消耗的结构。

### 1.2.2. 天然气

世界天然气已证实和可能的储量都比石油少。已证实的天然气储量估计是4000亿吨SKE，其中630000亿米<sup>3</sup>或者720亿吨SKE被认为是证实的储量。

地理上的分布是：苏联和东欧国家38%，近东24%，北美13%，非洲9%，西欧8%。在荷兰和北海的天然气田只能视为非常有限的暂时储量。到目前，北海能得到的天然气储量大约是20000亿米<sup>3</sup>。

在过去二十年里天然气的消耗量稳步上升。到目前为止，天然气只能使用在那些已具备相应生活设施的工

① 原文为：Eastern bloc countries——译者注

业区或可在管道连接距离以内的用户。同时，从供气点可以将天然气液化并用船只长距离输送到最重要的消费地区；也可以通过合成气转化成甲醇——当然需要增加投资费用。

在可预见的将来，天然气消耗量将会随着一次能源迫切需要的多样化而成比例地增加。

对于没有或缺少天然气资源的国家，还要进一步增加对进口的依赖。这种情况只有在建立和发展了褐煤或硬煤制合成气的技术后才能有根本改变。然而，在1990年以前，不会有很大的变化。

### 1.2.3. 煤

就存储量而言，煤不仅分布最广，而且也是最重要的矿物能源。然而应当注意到，对煤储量的估计仅仅是根据地质研究结果，并没有考虑开采问题。世界硬煤已证实和可能的储量估计为67000亿吨SKE，已证实储量是4600亿吨SKE。储量分布为：苏联和东欧国家40%，北美25%，西欧20%，非洲9%。

世界褐煤储量估计为7000亿吨SKE，其中1670亿吨SKE是已证实的储量。

西欧储量约为200亿吨SKE。

根据联合国组织发起的研究，到2000年世界上褐煤和硬煤的开采量约占储量的2%。这些大量有用煤的蕴藏在未来长时间内可以满足世界上能源的需求。

### 1.2.4. 核燃料

核能(由于其发展的水平)是今后十年合理解决能量问题的唯一途径，它在经济上的优越性已被证实。

核燃料在一些重要领域，特别是在发电方面是能够代替矿物燃料的。铀和钍的储量很大，而且在世界上分布很广。在低等和中等范围内铀储量大约有400万吨，其中已证实的有220万吨，相应的钍储量约为220万吨。

普通的轻水反应堆基本上只使用U-235(在天然铀中含量达0.7%)每公斤U-235获得一千兆瓦日(MWd)的能量，400万吨铀则相当于800亿吨SKE左右。假如采用增殖反应堆来充分利用这些铀资源，其能量利用可剧增至10万亿吨SKE左右。进一步再用增殖反应堆来利用前面所述的钍资源，还可以增加5.4万亿吨SKE的能量。这些数字可以使我们充分理解到高速增殖反应堆的意义。它用中子俘获原理从不裂变的同位素U-238(是天然铀中的主要成分，含量达99.3%)获得可裂变的

1. 管道；
2. 专门设计的船；
3. 转变成甲醇。

用合成天然气(SNG)取代天然气不会早于1990年(参见‘SNG制造’2.1.2)。

硬煤储量(以亿吨SKE计)：  
已证实量： 4600  
总量： 67000

褐煤储量(以亿吨SKE计)：  
世界 西欧  
已证实量： 1670  
总量： 7000 200  
预计2000年时的煤耗量为世界储量的2%。

核燃料储量(以万吨计)：  
铀 钍  
已证实量： 220  
总量： 400 220

铀储量的能量量(以亿吨SKE计)：  
采用普通反应堆技术时： 800  
采用增殖反应堆充分利用时： 100,000

高速增殖反应堆的功能(中子俘获)：  
U-238→Pu-239  
Th-232→U-233

反应堆的发展: 轻水反应堆; 高温反应堆; 增殖反应堆。

高温反应堆的优点:  
温度高(900~1000℃)过程热能可供强吸热化学反应使用。

应用核能的重要前提:  
1. 有可靠的核能来源;  
2. 核电站的技术安全性;  
3. 裂变物的安全排放和核燃料的循环(再加工)。

1975~2000 世界累计能源需求量的估计值大约 4000 亿吨 SKE; 能源储量是可以满足的。

保持现在的消耗结构不变, 石油和天然气的耗尽已可预见。

钚-239(Pu-239), 用热中子是不能使 U-238 发生裂变的。同样, 还可以从钍-232(Th-232) 获得可裂变的 U-233。

应用现有反应堆技术, 至少可以满足今后五十年能源增长的需要。近二十年内, 主要的反应堆型式将是轻水反应堆(沸腾或加压水反应堆), 其操作温度约达 300°C 左右。采用氦为冷却介质, 温度达 1000°C 的高温反应堆已开始大规模发展。它的优点是, 不但供应电能, 而且还供应高温的过程热能(参见 2.1.1. 和 2.2.2.)。由于增殖反应堆在发展中还存在一些技术问题, 故要到九十年代才能在动力厂实现工业化应用。

因为核燃料的能值高, 对于能源高度依赖进口的国家来说, 利用储存核燃料来大大改善其能源供应的地位是很重要的。成功地应用核能的前提是不但要建设安全可靠的核电站, 而且要使整个燃料循环系统完全封闭。这要从天然铀的供应开始, 到浓缩装置厂址的选定, 放射性裂变物废渣处理以及未用过的和新增增殖核燃料的循环。

再加工问题是决定核能计划实施时间的因素。这是指一些动力公司因其自身利害关系而迫使它在废渣处理方面作出贡献。

### 1.3. 未来能源的供应展望

根据世界能源年消耗量的估计可得出一个结论, 即使不包括核能, 从数量上是能满足到本世纪末。上述结论也适用于在今后二十五年内, 能源消耗量估计年增长 3%, 或稍多的情况下(参见表 1-1)。

与煤相比, 到 2000 年以后能源消耗的结构如不作根本改变的话, 适宜作化学工业原料的石油和天然气的储

表 1-1 世界能源储量及到 2000 年时的消耗量

能源	已证实及可能的世界储量 (10 <sup>9</sup> 吨 SKE)	1975 年消耗量 (10 <sup>9</sup> 吨 SKE)	1975~2000 年的量① (10 <sup>9</sup> 吨 SKE)	占储量的百分数
石油	560	3.9	150	27
油母页岩、石油砂	600	0	未知	—
天然气	400	1.8	68	17
硬煤	6700	2.2	82	1.2
褐煤	700	0.4	15	2.1
铀(增殖反应堆)	10,000	0.2	60	0.6
钍(增殖反应堆)	5,400	0	3	0.1

① 假设: 石油、天然气、煤年增加率为 +3%; 核能是根据联合国机构的估计。



量就会消耗殆尽。油母页岩和石油砂的开采并不能改变境况。用其他能源取代石油和天然气才是摆脱这种困境的有远见的措施。用这些办法才能使这些有价值的矿物原料尽可能长久地为化学工业加工所用。

石油和天然气资源的不断消耗,迫使矿物能源的价格关系不得不进行改变。然而从中期的发展来看,利用核能将会对减少矿物能源的消耗起很大作用。太阳能,仅就它的工业潜力而言,是一种取之不尽的能源,若用SKE单位计算,每年太阳供给地球的能量等于世界煤储量的三十倍。

根据简单计算,世界目前一次能源消耗仅占太阳供给能量的0.005%。因而发展太阳能技术,包括太阳能集能器和太阳能电池系统,已成为重要的课题。同时,还要解决能量的储存及输送等问题。

大规模利用所谓无限能源——太阳能、地热能和核聚变——当然在未来一般时间内会愈来愈重要。但在此之前仍将依靠最合理地利用矿物原料,特别是石油。在不久的将来,为了尽可能长久地保存石油储量,核能和煤将在能源供应中占重要地位。核能将取代全部发电用能源,而煤将更多地用来取代石油产品。

在能源供应摆脱矿物资源之前(毫无问题,在下世纪前是不可能的),可能会有一段实行核能与煤相结合的过渡时期。这种结合可以利用核过程的热能进行煤的气化,导致合成气产品的更多应用(参见2.1.1.)。

核能除用于煤气化制合成气外,还用于通过高温蒸汽电解或化学循环法从水制造氢。其结果可使氢作为一种能源(工艺氢气)而被广泛应用,并取代了从矿物原料制取氢气(参见2.2.2)。

这样,将会导致能源只取自再生性资源,而石油和煤只被用作原料的结果。

#### 1.4. 目前和预计的原料情况

目前化学工业原料的特点在于功成地和实际上圆满地由煤化学转为石油化学。

这种原料结构的变化也包括了从乙炔转为烯烃(参见3.1. 烯烃化学的发展史和4.1. 乙炔的现实意义)。

##### 1.4.1. 石油化工的一次产物

五十年代,从煤制基本有机化学品所保留下来的工艺有:用造气工艺制造一氧化碳和氢,以及制取碳化钙

可利用以下能源,以减少矿物燃料:

1. 核能(中期);
2. 太阳能(长期);
3. 地热能(部分地);
4. 核聚变能(长期)。

在能源方面取代石油有以下途径:

1. 煤;
2. 核能;
3. 煤和核能结合;
4. 氢。

长期目的:

能源只取自再生资源;原料取自矿物资源。

化学工业原料基础的变化特点:

1950年以前的原料:

1. 煤气化产物(焦化产物、合成气);
2. 自碳化钙制乙炔。

1950年以后的原料:

1. 石油加工产物;