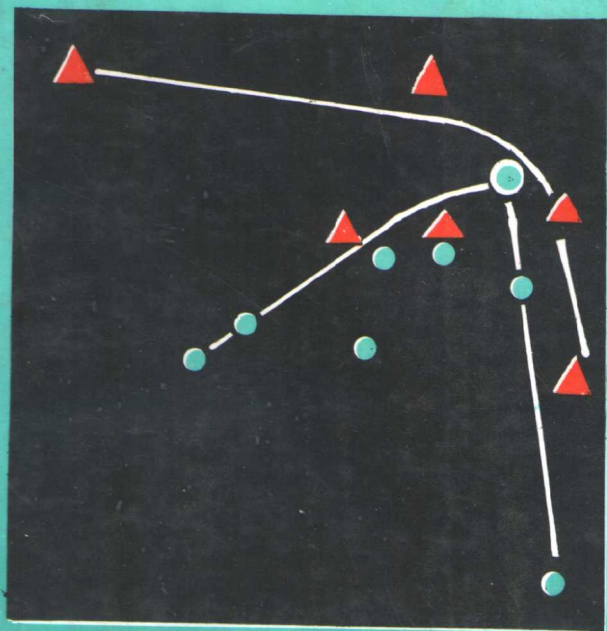




煤炭液化

崔之栋 李嘉珞 编著

大连理工大学出版社

煤 炭 液 化

崔之栋 李嘉珞

大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

内 容 简 介

本书是有关煤炭液化的专门书籍,较详细地评述了煤炭液化的各种主要方法及影响煤炭液化的因素;综合国内外研究成果系统地阐述了煤炭液化的理论;深入探讨了煤炭液化催化剂的作用与理论;介绍了煤制液体的精制加工等。

本书可用作煤化工专业本科生和研究生的教材或参考书,也可供有关科技人员学习参考。

煤 炭 液 化

Meitan Yihua

崔之栋 李嘉珞 编

大连理工大学出版社出版发行

邮政编码:116024

大连理工大学印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16

印张:8.5 字数:185.9千字

1993年6月第1版

1993年6月第1次印刷

印数:1—1000

责任编辑:王佳玉

封面设计:羊 戈

责任校对:宋玉珠

ISBN 7-5611-0770-6/TQ·23

定价:4.00元

前 言

煤炭液化是煤炭转化合理利用的重要途径之一，是煤化工学生必需学习的内容。鉴于国内没有这方面的专门教材，我与李嘉珞同志于1984年编写了“煤炭液化基础”，作为教材使用，曾获得大连工学院1986年度优秀教材奖，后经修改1988年又在淮南矿业学院印出用作教材讲授。由于这是国内唯一

有关煤炭液化的书籍，不少有关单位和个人来函索购。经过几年使用所得的教学经验以及考虑到这些年来有关学科的发展，现经修改补充正式出版。

此次出版前，石油大学北京研究生部朱亚杰教授曾在暑假期间，不顾炎热与劳累，挥汗审阅了原教材，提出不少十分中肯的宝贵意见。太原工业大学凌大琦教授及辽宁省能源学会对出版此书给予了极大支持。特此一并表示衷心地感谢。

此书可用作煤化工专业本科生和研究生的教材或参考书，也可供有关科技人员学习参考。由于水平所限，谬误之处在所难免，尚请不吝指正。

崔之栋

1991.12

ABE 33/04

目 录

第一章	绪 论	1
§ 1	煤炭液化的意义.....	1
§ 2	煤液化发展简史	20
	参考文献	25
第二章	煤液化方法	27
§ 1	煤液化的基本方法	27
§ 2	其它煤液化方法	58
	参考文献	92
第三章	煤直接液化基本原理	94
§ 1	绪 言	94
§ 2	实验室煤液化反应器	95
§ 3	液化产物的处理方法.....	101
§ 4	温度的作用.....	105
§ 5	供氢溶剂的作用.....	107
§ 6	氢气的作用.....	111
§ 7	溶解过程机理.....	115
§ 8	液化动力学.....	117
§ 9	用合成气体进行液化.....	138
	参考文献.....	157
第四章	原料性质对煤液化的影响	162
§ 1	煤的阶位对煤液化动态的影响.....	163
§ 2	煤的岩相组成对煤液化动态的影响.....	167
§ 3	煤的物理性质与液化的关系.....	171

§ 4	煤中矿物质对煤液化的影响·····	172
§ 5	工业溶剂组成对煤液化的影响·····	181
	参考文献·····	188
第五章	煤液化催化剂·····	191
§ 1	概 述·····	191
§ 2	卤化物催化剂·····	193
§ 3	过渡金属催化剂·····	200
§ 4	铁基催化剂·····	204
§ 5	影响催化剂活性的因素·····	217
§ 6	铁催化剂及硫在煤液化中的作用·····	227
	参考文献·····	230
第六章	煤液体的精制·····	235
§ 1	煤液体的性质·····	235
§ 2	煤液体的加氢处理·····	239
§ 3	脱杂原子化学·····	248
§ 4	催化加氢裂解·····	252
§ 5	催化裂解和催化重整·····	257
	参考文献·····	261

第一章 绪 论

§ 1 煤炭液化的意义

1.1 世界能源结构

能源在一个国家的技术经济发展中占有十分重要的地位，标志着一个国家的生产技术水平。能源是工业生产的动力，可以说没有能源就没有工业可言。因此，世界各国都非常重视能源的供求与合理使用。能源是多种多样的，按其自然形态可分为：矿石能源，可再生能源和核能。矿石能源包括煤炭、石油、天然气、油页岩及油砂等。这些能源又称为一次能源，是天然中的矿藏，人们开采出来使用后就消耗掉了。可再生能源包括太阳能、水力、风能、地热能、潮汐能等，这些能源虽然也是自然界形成的能源，但使用后还存在，它可以取之不尽，用之不竭，是人类的可永久享用的能源。核能是人工创造的能源，包括核裂变及核聚变能源。

人类很早就知道使用能源于生活和工业，在本世纪初工业发展时，主要能源为煤炭，约占总能源消耗的 80%，50 年代中东发现大量油田后，石油开采量迅速增大，石油炼制工业迅速发展，从而石油在能源中所占比例日益增大，约在 60 年代中期，石油在总能源消耗中所占比重已超过煤炭，到

1978 年世界能源总消耗中石油比重已达到一半。美国能源结构的变化大致与此相同，但因为美国天然气储量大，所以天然气在能源中占有相当的地位，石油和天然气两者之和，在 1973 年达 75% 以上，即占四分之三强。本世纪世界及美国能源结构变化示于表 1-1^[1]。

表 1-1 能源结构变化 (%)

世 界				美 国	
年 代	1925	1967	1978	1973	1985
煤 炭	83	38	26	17.9	20.8
石 油	13	42	50	45.9	45.0
天然气	3	18	17	31.2	23.2
水 力	—	2	2.4	5.0	4.6
核动力	—	—	2.4	—	6.4

近年来，由于人们考虑到石油储量有限，煤炭储量丰富，煤炭在世界总能源耗量中比例开始增大。与此同时，人们也在较多地研究和可使用可再生能源，尤其是水力，是丰富的能源，成本低，使用方便。其它可再生能源的使用也在研究开发中，如太阳能的利用。核能是人类自己可以创造和控制使用的能源，近年来发展很快，有着极其广泛的前景。

我国能源以煤炭为主，目前煤炭在总能源中约占四分之三^[2]，在今后相当长的时间内，仍然是以煤炭为主。石油主要用于生产化学品及化学原料。我国也正在积极开发水力资源及探索利用核能。

1.2 世界煤炭资源及生产情况

据报导^[3]，世界各地煤炭技术经济可采储量初步估算

为：硬煤（烟煤和无烟煤）约 4300 亿吨，褐煤约 2140 亿吨。1988 年世界主要产煤国家煤炭产量约 57 亿吨。煤炭资源的具体分布情况见表 1-2。世界各主要产煤国家的煤炭储量及生产情况分别见表 1-3a、1-3b 和表 1-4。

表 1-2 世界部分国家煤炭储量占世界总储量的比重^[2]

（包括烟煤、无烟煤、次烟煤和褐煤）

单位：10⁶t 标准燃料^①

国家或地区	已经查证的工业可采储量	占世界总储量的 %	估计可能增加的可采储量	占世界总储量的 %
美 国	225672.6	35.1	86932.0	10.2
前 苏 联	172277.0	26.8	4106802.0	48.2
南 非	58404.0	9.1	17100.0	0.2
澳 大 利 亚	39908.8	6.2	928560.0	10.9
前联邦德国	34464.0	5.4	186300.0	2.2
波 兰	32620.0	5.1	106620.0	1.3
前民主德国	27300.0	4.3	0.0	0.0
南 斯 拉 夫	8740.0	1.4	1986.5	0.0
加 拿 大	5443.4	0.8	49493.5	0.6
英 国	4600.0	0.7	185400.0	2.2
世界总计 ^②	642060.2	94.9	8493467.0	75.8

说明：① 表内数据为标准燃料，即每公斤按 1672 kJ 计算。

② 表中未包括中国。

表 1-3a 世界部分煤炭储量 (烟煤与无烟煤)^[2]单位: 10⁶t 标准燃料^①

国家或地区	已经查证的 工业可采储量 ^②	估计可能增加 的可采储量 ^③	远景储量 ^④
阿根廷	130.0	—	385.0
巴西	20.0	1.0	1.0
加拿大	3548.0	3949.0	25 687.0
智利	30.0	75.0	125.0
哥伦比亚	1010.0	—	7200.0
墨西哥	1274.0	1168.0	1960.0
秘鲁	—	—	856.0
美国	131 971.0	不详	458 069.0
委内瑞拉	372.0	1052.2	2250.6
美洲合计	138 355.6	6245.2	496 532.6
比利时	410.0	900.0	1400.0
保加利亚	30.0	—	1200.0
捷克斯洛伐克	2700.0	—	5500.0
法国	332.0	—	—
前联邦德国	21 000.0	—	—
前民主德国	23 919.0	—	186 300.0
希腊	3000.0	—	不详
匈牙利	596.0	77.0	702.0
荷兰	497.0	不详	不详
波兰	28 300.0	30 000.0	100 500.0
西班牙	415.3	247.2	2582.4
英国	4600.0	40 000.0	185 400.0
南斯拉夫	70.0	—	22.0
其它欧洲国家	—	509.8	1313.6
欧洲合计	85 869.3	71 734.0	484 920.6
莫桑比克	240.0	—	—
尼日利亚	—	—	21.0
博茨瓦纳	3500.0	—	100 000.0
南非	58 404.0	7900.0	17100.0

续表 1-3a

国家或地区	已经查证的工业可采储量 ^②	估计可能增加的可采储量 ^③	远景储量 ^④
罗得西亚	734.0	—	5820.0
斯威士兰	1820.0	—	3000.0
赞比亚	71.9	—	18.0
其它非洲国家	734.0	—	7510.0
非洲合计	65 503.9	7900.0	133 469.0
澳大利亚	27 442.0	240 000.0	507 000.0
新西兰	33.0	129.0	450.0
其它大洋洲国家	2.0	—	—
大洋洲及南太平洋合计	27 477.0	240 129.0	507 450.0
中国	不详	不详	1 700 000.0
印度	不详	不详	85 547.0
印度尼西亚	不详	不详	不详
伊朗	193.0	不详	不详
日本	997.0	不详	不详
朝鲜人民民主主义共和国	300.0	不详	270.0
韩国	132.7	515.6	1149.0
土耳其	94.0	866.0	1238.0
前苏联	108 800.0	975 200.0	2 163 000.0
其它国家	212.0	227.0	2841.0
亚洲合计	110 728.7	976 808.6	3 956 475.0
世界总计			

说明：① 表内数据为标准燃料，即每公斤按 1672 kJ 计算。

② 在当地现在技术和经济条件下能够采出的查证储量。

③ 在可预见的将来的经济和技术条件下能够采出的增加储量。

④ 设想储量或推断储量，其中包括在已发现的矿床中勘探尚不充分的储量或在已知含煤地层内尚未发现的矿床以及根据地质条件推断的储量。

表 1-3b 世界部分煤炭储量 (次烟煤与褐煤)^[2]单位: 10⁶t 标准燃料^①

国家或地区	已经查证的 工业可采储量 ^②	估计可能增加 的可采储量 ^③	远景储量 ^④
阿根廷	101.4	—	427.3
巴西	1811.9	11 076.0	21 773.7
加拿大	1895.4	4558.9	23 806.5
智利	897.0	—	—
哥伦比亚	19.2	—	560.2
墨西哥	501.5	457.1	617.8
美国	93 701.6	—	411 863.6
其它美洲国家	—	—	—
美洲合计	98 928.0	16 092.0	429 049.1
保加利亚	1850.0	—	350.0
捷克斯洛伐克	1716.0	—	972.0
法国	38.2	4.8	4.8
前民主德国	6300.0	—	—
前联邦德国	10 545.0	—	—
匈牙利	1717.3	658.7	2623.8
波兰	4320.0	—	6120.0
西班牙	267.2	144.8	773.2
南斯拉夫	8670.0	—	1964.5
其它欧洲国家	244.8	—	—
欧洲合计	36 668.5	1837.9	12 808.3
尼日利亚	131.8	—	780.0
其它非洲国家	121.6	—	—
非洲合计	253.4	—	780.0
澳大利亚	12466.8	210 300.0	421 560.0
新西兰	147.4	2062.0	5520.5
其它大洋洲国家	—	—	—
大洋洲及南 太平洋合计	12 614.2	212 362.0	427 080.5
中国	—	—	99 000.0
印度	521.7	641.2	641.2

续表 1-3b

国家或地区	已经查证的 工业可采储量 ^②	估计可能增加 的可采储量 ^③	远景储量 ^④
日本	234.0	—	2106.0
土耳其	1428.9	681.6	852.3
前苏联	63 477.0	987 822.0	1 943 802.0
其它亚洲国家	—	—	—
亚洲合计	65 661.6	986 144.8	2 046 401.5
世界合计	214 125.7	1 219 436.7	2 946 119.4

说明：①②③④参见表 1-3a 世界煤炭储量（烟煤与无烟煤）说明。

表 1-4 外国主要产煤国家煤炭产量^[2]单位：10⁴t

国别	1960年	1970年	1980年	1982年	1984年	1986年	1988年
美国	39400.0	55580.0	76295.0	75606.0	80725.0	80571.6	89690.0
前苏联	50962.3	62411.4	71640.0	71800.0	71230.0	74200.0	77200.0
前民主德国	22818.6	26253.1	25809.6	27603.6	29300.0	31125.6	31032.0
波兰	12376.0	17286.0	22998.0	22695.6	24196.8	25940.0	26650.8
前联邦德国	23941.0	21920.0	22435.0	22362.0	21157.2	20148.0	18792.0
英国	19670.0	14460.0	12864.0	12471.6	5118.0	10809.6	10378.8
印度	5264.0	7723.0	11270.0	13498.8	15242.4	17413.2	20500.0
澳大利亚	3813.0	6860.0	10652.0	13460.0	15966.0	18473.0	18345.0
加拿大	1000.0	1455.0	3656.0	4291.2	5740.8	5704.8	7064.4
南非	3817.0	5461.0	11604.0	13748.6	16203.0	17505.6	17812.4
法国	5323.0	4015.0	2275.0	2012.4	2070.0	1845.6	1380.0
日本	5247.0	3988.0	1804.0	1760.4	1664.4	1600.8	1122.0
捷克斯洛伐克	8461.7	10997.8	12320.4	12456.0	13113.6	12643.2	12583.2
世界总计	203689.0	292988.0	37300.0	389800.0	406800	433605.6	471933.9

我国是世界煤炭主要生产国和消费国之一，1989 年原煤产量达 10.58 亿吨，消费量 10.38 亿吨占一次能源总消费量的 75.8%，根据目前的规划，2000 年煤炭生产量可达 14 亿吨^[4]。我国的能源结构具有下述特点^[5]。

1. 能源资源构成：优质能源少，人均可采储量低。从我国能源资源总储量绝对数来看，我国能源资源是丰富的。如水能资源蕴藏量占世界第一位。可开发的水力资源达 3.78 亿千瓦。我国 1000 米深度内较可靠的煤炭总资源量（即预测储量）约 2 万亿吨，根据不同程度勘探工作计算的储量为 9014 亿吨，其中可供利用的精查储量为 2625 亿吨^[4]。应该看到，我国煤炭可利用的储量也是有限的，需要有效地合理利用。而优质能源——石油已探明的地质贮量为 71 亿吨，仅为煤炭的 1% 左右。

上述资源若以我国人均值来看，我国能源资源并不丰富。我国人均能耗较低，为前苏联的 1/10，美国的 1/20（见表 1-5）。特别是石油与天然气，其平均拥有量远低于世界大多数产油国，在全世界 30 个产油国中我国人均拥有量占第 29 位。

表 1-5 12 个人口最多国家的人均能耗及单位产值能耗^[4]

国 别	人均能耗 (kg 煤当量)	单位产值能耗 * (10 ⁴ J/美元)
中 国	600	60
前 苏 联	6500	30
印 度	200	26
美 国	12 000	26
印 尼	300	15

续表 1-5

国 别	人均能耗 (kg 煤当量)	单位产值能耗* (10 ⁴ J/美元)
巴 西	1100	14
日 本	4500	15
孟 加 拉	50	10
尼 日 利 亚	170	7
巴 基 斯 坦	220	19
墨 西 哥	1700	14
前 西 德	6000	15

* 1982 年值

2. 能源消费构成：中国是世界上少数几个以煤为主要能源的国家之一。表 1-6 至表 1-8 的数据表明：1976 年是我国建国以来石油消费量最高的一年，即使在这一年我国石油消费也仅占 23.00%；天然气占 2.81%；煤炭占 69.91%。

表 1-6 中国的能源产量^[6,17-20]

年 份	原煤* (Mt)	原油(Mt)	天然气(10 ⁸ m ³)	水电(TW·h)
1970	354.0	30.65	28.70	20.5
71	392.0	39.41	37.40	25.1
72	410.0	45.67	48.40	28.8
73	417.0	53.61	59.80	38.9
74	413.0	64.85	75.30	41.4
75	482.0	77.06	88.50	47.6
76	483.0	87.16	101.00	45.6
77	550.0	93.64	121.20	47.6
78	618.0	104.05	137.30	44.6
79	635.0	106.15	145.10	50.1
1980	620.0	105.95	142.70	58.2

续表 1-6

年 份	原煤(Mt)	原油(Mt)	天然气(10^8m^3)	水电(TW·h)
81	622.0	101.22	127.40	65.5
82	666.0	102.12	119.30	74.4
83	714.5	106.07	122.10	86.4
84	789.2	114.61	124.20	86.8
85	872.0	125.00	129.30	92.4
86	894.0	130.69	137.60	94.5
87	928.0	134.14	138.90	100.0
88	979.0	137.03	142.60	109.2
89	936.0*	—	—	—
1990	1053.5	138.16	152.06	124.5
91				
2000(计划)	1400	200.00	300.00	—

* 指统配煤矿原煤产量

表 1-7 中国一次能源产量及构成* [6.17-20]

年 份	能源总产量 (Mtce)	各类能源占能源生产总量的百分比			
		煤	原 油	天 然 气	水 电
1970	309.90	81.6	14.1	1.2	3.1
71	352.89	79.3	16.0	1.4	3.1
72	377.85	77.5	17.3	1.7	3.5
73	400.13	74.4	19.2	2.0	4.4
74	416.26	70.8	22.3	2.4	4.5
75	487.54	70.6	22.6	2.4	4.4
76	503.40	68.5	24.7	2.7	4.1
77	563.96	69.6	23.7	2.9	3.8
78	627.70	70.3	23.7	2.9	3.1

续表 1-7

年 份	能源总产量 (Mtce)	各类能源占能源生产总量的百分比			
		煤	原 油	天 然 气	水 电
79	645.62	70.2	23.5	3.0	3.3
1980	637.21	69.4	23.8	3.0	3.8
81	632.23	70.2	22.9	2.7	4.2
82	667.72	71.2	21.9	2.4	4.5
83	912.63	71.6	21.3	2.3	4.8
84	778.74	72.4	21.1	2.1	4.4
85	854.88	72.8	20.9	2.01	4.30
86	880.81	72.5	21.22	2.08	4.23
87	912.35	76.6	21.02	2.02	4.33
88	957.01	73.0	20.48	1.98	4.50
89					
1990	1018.7	73.8	19.39	1.98	4.82
91					
2000	1388.9	72.0	20.6	2.8	4.6

* 煤当量折算比率: 煤 0.714 t/t; 石油 1.43 t/t; 天然气 1.33 t/1000m³

表 1-8 中国一次能源消费量及构成 * [6,16]

年 份	国内能源消费总量 (Mtce)	各种能源占总消费量的百分数			
		煤	原 油	天 然 气	水 电
1970	292.91	80.89	14.67	0.92	3.52
71	344.96	79.19	16.00	1.44	3.37
72	372.73	77.51	17.17	1.73	3.59
73	391.09	74.84	18.58	2.03	4.55
74	401.44	72.14	20.72	2.49	4.65
75	454.25	71.85	21.07	2.51	4.57
76	478.31	69.91	23.00	2.81	4.28