

煤炭的利用技术

[日] 大内公耳 真田雄三 共编

张永照 译



西安交通大学出版社

煤炭的利用技术

[日] 大内公耳 真田雄三 编

张永照 译

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本文阐述了煤炭的转换和利用技术,还介绍了煤炭利用的发展和它的经济性。全书共八章,包括能源问题、煤炭有效利用的发展史、煤化学基本知识、煤的燃烧技术、煤的气化和液化技术、以及今后煤炭利用的方向和经济性等内容。

本书(原名《煤能读本》)是由日本煤炭利用方面的著名学者真田、大内等编写的。内容丰富,取材较新。有理论并有实践知识,通俗易懂地、全面地介绍了煤炭利用技术中的有关问题,是一本较好的煤炭利用方面的中级读物。可供从事煤化学、煤炭利用、化工、热能工程等方面的工程技术人员阅读,也可作为高、中等学校化工、能源与动力等专业教师、学生的教科书和参考书。

石炭エネルギー読本

理学博士 大内公耳 共编
理学博士 真田雄三
オーム社

煤炭的利用技术

大内公耳 真田雄三 编
张永照 译
责任编辑 晓杨

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁路 28 号)

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店发行·各地新华书店经售

1986年 1 月第一版

1986年 1 月第一次印刷

开本 787×1092 1/32 印张 9.25 插页 2 字数 195千字 (译文)

印数 1-3,000 册

统一书号 15340.057

定价 1.90元

前 言

1960 年能源的使用从煤炭转向石油可以说是全面的大转变，它和 1973 年以能源危机为开端的从使用石油再度转向别的能源，特别是转向煤炭都可以说是和平时期随着资本主义国家经济大原则变化的必然动向。油价和煤价的逆转使煤炭的消费量增加，石油过剩并造成价格下跌，这就是现在所能见到的情况。消费形态的转变以及煤产量的增加需要经过一些时间，在这段时间即油价提高后的若干时间内，石油也许将继续保持高的价格，但不久由于石油过剩，油价不得不降低到和煤价相平衡的地步。因此，可以认为，将来暂时按石油和煤炭共存的状态发展下去。当然，也可能用限制石油生产等手段来提高油价，但无论如何也不可能提高到高于煤液化油的价格，因此，自然而然地可控制在上限值。

如果煤和石油能这样共存并长期使用下去的前提成立的话，就应该考虑如何实现所谓煤的利用体系，而且，各种利用形态由于技术的进一步发展也在发生形形色色的变化。

本书只限于分析目前的煤炭利用，特别是作为能源利用的问题。因而，对大量使用煤炭的焦化工 业 等 问 题 就 省 略 了。对煤炭利用原来往往只就技术开发进行重新考虑，并注意在科学基础上评价和观察这些技术。而且，对以前的技术，也从科学的潮流出发注意掌握其今后进一步发展的关键。因此，以较多的篇幅来叙述关于煤炭利用及其研究的历史，同时阐述了对未来发展预测的若干想法。

不同领域的内容均由这个领域的权威执笔编写，以便能

4419/03

进行充分、透彻和精辟的分析。编者对全书进行通读后调整和消除了重复之处，并统一了用语和表达形式。

本书排斥了最近盛行的片假名泛滥，日语是表意文字，应发挥其特色，尽可能对外来语试用新的译语并望采纳之。这种尝试在执笔之间也有意见分歧，或许读者也有反感。因此，在各章中第一次用到之处一定在括弧内注以相应的英语。另外，本书不只是煤炭方面的专门书籍，同时也是以一般读者为对象的书籍，因此，尽可能地注意深入浅出地叙述，对专业以外领域的人来说，最困难的是片假名的专业用语，因此，即使在这方面不十分精通，使用译语也会稍稍有助于他们对各方面的理解。当然，这种尝试是否合适，其责任也始终应由编者承担。

如果本书对今后煤炭利用技术的发展有以帮助的话，那将是出乎意料的幸运。

大内 公耳
真田 雄三

1982 年 1 月

目 录

第一章 能源问题和煤的有效利用

- 1.1 能源危机和煤炭资源的重新评价 (1)
- 1.2 煤炭的有效利用——转变为清洁能源
 的意义和必要性.....(3)
- 1.3 石油和煤的特点比较 (7)
- 1.4 关于煤气化和液化技术的问题 (10)
 参考文献.....(12)

第二章 煤炭利用及其研究的历史

- 2.1 工业革命前的状况 (13)
- 2.2 第二次世界大战结束以前的状况 (15)
- 2.3 第二次世界大战后到现在的状况 (33)
- 2.4 基础研究的发展 (38)
 参考文献.....(55)

第三章 煤化学基础知识

- 3.1 煤的构造、性质及其特性 (56)
- 3.2 煤的热分解、干馏及氧化、燃烧 (62)
- 3.3 煤的气化 (67)
- 3.4 煤的液化 (75)
 参考文献.....(89)

第四章 煤的燃烧技术.....(91)

- 4.1 煤粒的燃烧 (91)

4.2	圆火炉和层状燃烧	(95)
4.3	工业用层状燃烧装置	(98)
4.4	煤粉燃烧	(100)
4.5	流化床燃烧	(112)
	参考文献	(124)
第五章 煤的液化技术		
5.1	煤液化法	(126)
5.2	煤液化设备及其基本操作	(158)
5.3	煤液化产品及其利用	(169)
5.4	煤液化的经济性及有关问题	(182)
	参考文献	(188)
第六章 煤的气化技术		
6.1	煤的气化方式	(193)
6.2	煤的气化	(205)
6.3	煤气化炉的开发	(220)
6.4	煤气化技术的应用	(246)
	参考文献	(255)
第七章 今后煤炭将如何利用和研究		
7.1	能源资源的未来形态	(259)
7.2	未来的工业用原料	(266)
7.3	未来的食品合成	(267)
第八章 煤炭利用的经济性问题		
8.1	煤炭的复苏	(269)
8.2	煤炭火力发电的经济性	(272)
8.3	煤液化的经济性	(283)
	参考文献	(289)

第一章 能源问题和煤的有效利用

1.1 能源危机和煤炭资源的重新评价

1973 年的中东战争导致了石油危机，由于石油占能源供应的首位，因而直接造成了能源危机，这种情况使我们一般公民的生活受到很大影响，至今还记忆犹新。从那以后，众所周知，报纸、电视每天都要提到能源问题。表 1.1¹⁾ 表示石油、煤炭等能源的贮存量。从表中可知，石油的贮存量，就全世界来看，和其他资源相比较不那么多，而且还集中在一部分地区。由此，石油有被作为政治武器来使用的倾向，在将来，想稳定地得到石油恐怕是不可能的。所以，在现代石油万能的形势下，从确保公民和平生活这个意义来讲，我们不能仅仅依靠石油。

为了更好地理解这一点，图 1.1²⁾ 列出了世界主要发达

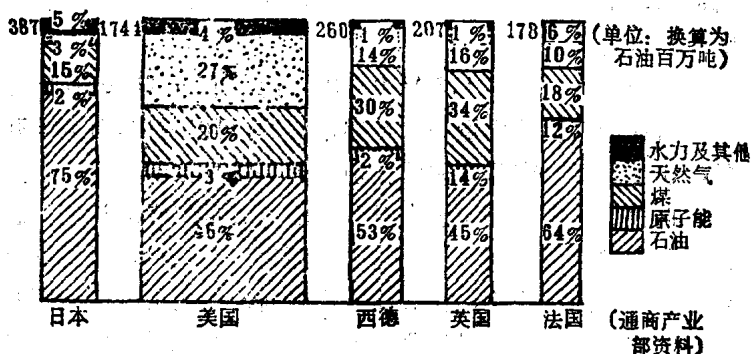
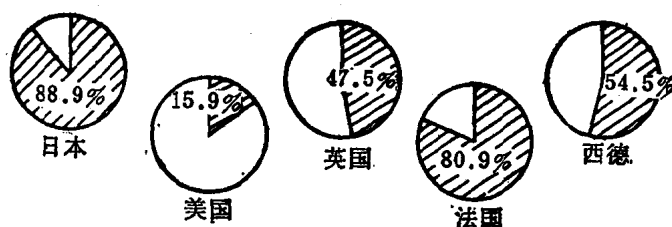


图 1.1 主要发达国家能源供应结构(1977)²⁾

国家的各种能源使用情况(构成比例), 图 1.2 *' 则表示了这



(日本为1974年度的“综合能源统计”资料, 外国为1973年联合国“世界能源供应”资料)

图 1.2 一次能源的国外依赖程度*'

些国家对国外输入能源的依赖程度。由此可知全世界是如何依赖石油的情况, 特别是日本, 约 75% 的能源依赖石油, 而且几乎全部能源依赖输入。由图中可知, 全部能源输入的依赖程度为 88.9%, 其比例是最高的。因此, 如果这种情况继续下去, 再一次出现石油危机那样的政治、社会不稳定状态的话, 那么, 在将来石油供应出现限制时, 社会经济和国民生活就会受到威胁了。

另一方面, 从图 1.3 *' 中可以看到, 截至 2000 年世界各国可能的煤炭输出量是有足够裕度的, 可以看出, 自美国开始, 澳大利亚、南非共和国、加拿大等国是主要供应国。此外, 据报道, 中国等国也有对我国输出大量煤炭的计划。总之, 石油供应渐渐变得严酷起来, 而为了满足目前需要供应煤炭是可行的, 此外, 在石油时代以前, 煤炭就处于能源的基础地位, 特别是将煤气化用做氢和氨等的化学原料。在称之为“汽油就是血”的第二次世界大战中, 开始是德国, 之

后又是日本都从煤炭制作人造石油，即使现在，煤作为燃料或焦炭大量使用在炼铁、炼钢业中。由此，和原子能、太阳能等新能源有所不同，煤炭的利用技术可以说是一种“复兴技术”，它是有充实基础的。

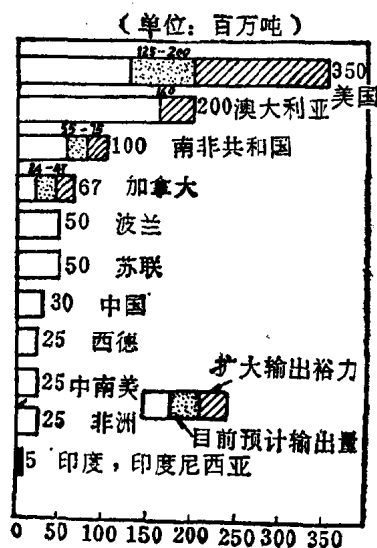


图 1.3 2000年前的煤炭可能输出量

1.2 煤炭的有效利用——转变为清洁能源的意义和必要性

要在文明社会中愉快舒适地生活，能源是必不可少的。

图 1.4⁴⁾ 是日本能源流程图 (flow chart)。由图可知, 现在占能源供应首位的是石油, 1977 年, 我国使用的石油 (天然气) 占全部能源的 78.3%。其余的 21.7% 是用煤、原子能、水力等一次能源来供应的。由此, 占能源大部分的石油, 将来必须用煤等加以替换。

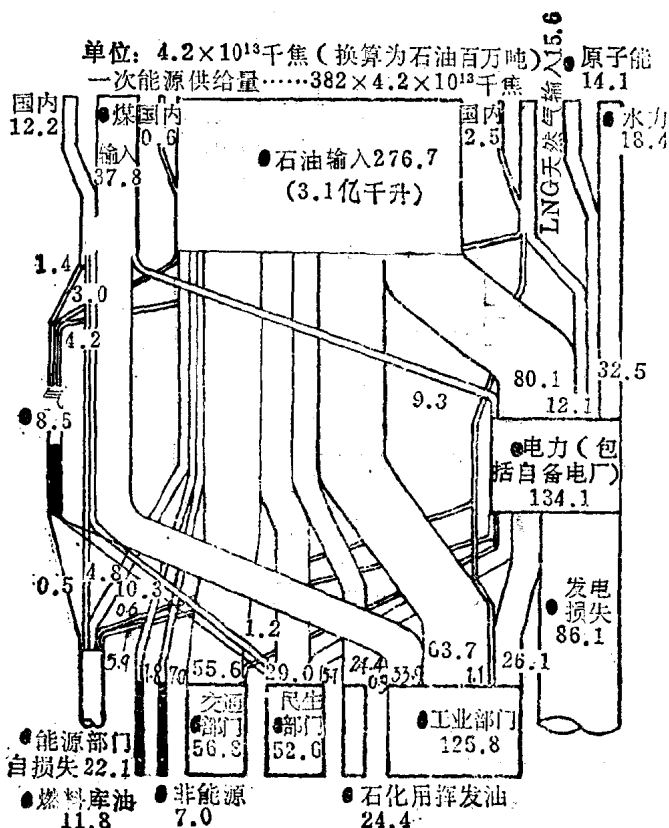


图 1.4 日本能源流程图 (1978年度)⁴⁾

使用煤时，应首先考虑将它转变为电能。电能是最方便的，使用也容易，但必须考虑以下事实。即转向发电用的一次能源比例，从1972年至1975年，平均值为35.9%，但是，其中能作为电能有效使用的不过占整个能源的21%。

能源转换时的损失比例，发电送电为70%，汽车、飞机等交通运输为74.6%，供暖等民生、商业为20%，矿业中的损失比例为22.1%（1975年的实际情况）。因此，作为最终需要，仅仅是使用方便的电能，其转换损失是很高的，因而从能源有效利用方面来看，它不是上策。对于热能，我们宁可直接使用煤炭。利用煤炭的转换效率较高，这在能源资源有效利用方面可认为是合适的。同样，与其投资把以现代石油制品为中心的最终消费结构改变为使用电能的消费结构，还不如投资去进行把石油以外丰富存在的煤、油页岩、焦油等化石燃料合成为石油及其同等产品的技术开发工作。例如，合成原油即使比通常的石油稍贵，但从保持原来的消费形态不变这一点来说，可认为是上策。又如，与其投资把汽油机驱动的汽车改为电车，还不如投资去从事制造人造石油和甲醇的煤液化技术的开发工作。用这些来供应汽车并保持汽车不变的做法是经济的。另外，利用煤炭的方法，还有将煤气化和液化转变为现代石化工业中大量使用的甲烷和挥发油，而太阳能以及地热能则不能转变为化学原料。

因此，可以考虑用煤来代替石油。煤和石油不同，在全世界分布较广，数量上也比石油多一位数字，因此，不会出现供应不稳定的现象，同时用它作政治武器的可能性也很小。由此可知，本世纪到21世纪仍然把煤用于燃烧、液化和气化是很重要的。使下世纪石油仍然占有很重要的地位，

我们也不能仅仅依靠石油，还要有效地利用煤炭，这是关系到把易于使用的石油转向最后长久地有效利用其特性的使用方法。

这样，全世界都正在进行煤炭利用的技术开发工作，美国、德国、英国等国正在开发中的技术都是分别以本国开采的煤炭为对象的。如第三章所详细叙述的那样，煤是极复杂的物质，不同的煤炭可有完全不同的性状。因此，对煤的气化和液化来说，也会发生不同的原煤只能用完全不同的方法（过程）来实现的情况。例如把美国的开发技术原封不动地拿到日本就不能认为是完全有用的。事实上，以往几年在我国（指日本，下同——译者）虽然从国外引入过适用于我们自己煤炭的煤炭气化方法，但也有很多必须加以改进的不愉快的经验。和别的化学工业方法相比，这就是根本不同之处。例如，由丙烯制造聚丙烯树脂的方法全世界都是通用的，而煤则不然。因此，在我国，就必须从事以适应使用国内煤炭为目标的技术开发工作。

此外，我国在进行煤炭的技术开发工作时，也应考虑以下情况。即有些发展中国家不产石油而产煤，而现在这些国家以超过森林再繁殖的速度将薪炭作为燃料来使用。类似情况也曾在英国发生过。在产业革命时代，为了获得当时发明的现代高炉炼铁用的还原剂——木炭，有过砍伐一切森林的这样一段历史。如果开发煤的气化和液化技术，则可用煤炭作为替代而将森林原封不动地保存下来，这样就避免了重蹈覆辙，这对发展中国家来说是非常有益的。我国的开发技术注意这一点也是必要的。

1.3 石油和煤的特点比较

煤是固体，而石油是液体。液体可以用泵和管道进行远距离输送，可以用阀门自动地调节定量供应燃烧室和引擎。同时，点火和熄火也可以自动进行。可见，因为原油及其制品汽油、灯油、轻油和重油等石油制品都是液体，因而使用极为方便。另一方面，因为煤是固体，所以在输送方面要有货车装卸设备，又由于它不能象石油那样进行海洋停泊装卸，因此，停泊大型船舶的深水港设备是必要的。煤还有10—20%的灰分，除灰和排灰方法也很麻烦，因此，将排出的灰很好地进行处理也是必要的。

此外，石油和煤的化学结构也大不相同。化石燃料的氢和碳的原子比如图1.5所示，图的左侧是化石资源的开采名

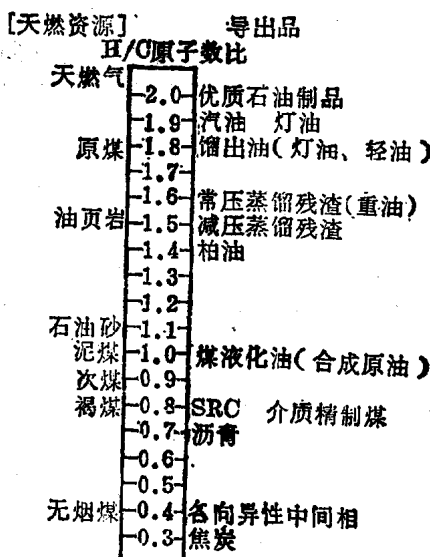


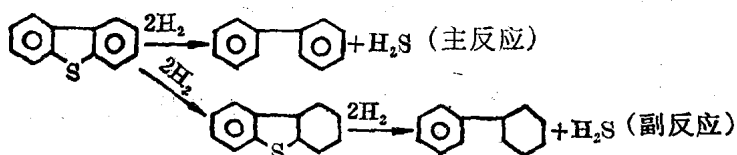
图 1.5 石油、煤及其导出品的 H/C 原子比图

称，右侧则是各种导出品。和石油相比，煤的含氢量少。而石油，特别是汽油、灯油、轻油等轻质油，因其主要由石蜡（脂肪族）碳氢化合物、环烷系碳氢化合物构成，故其H/C比接近2。重油、柏油等重质油也都存在芳香族化合物，但如和煤比，因含脂肪族、环烷系碳氢化合物占居多数，因此，和轻质油一样，H/C比也大。煤除了含碳和氢外，还有含硫的特点。褐煤含15%以上的硫，烟煤含3—10%。同时石油和煤的含氮量也大不相同。石油几乎不含氮，而煤一般含1—2%的氮，这就是利用煤炭比利用石油的氮氧化物（ NO_x ）量经常大幅度增加的原因。

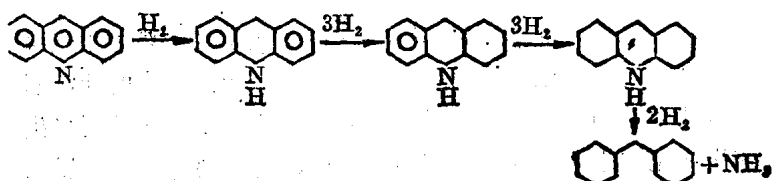
石油和煤炭在化学结构上的这种不同，在很大程度上影响着煤炭的利用技术。例如，欲把煤炭转变为石油那样的油，如前所述，必须添加和石油相比较为煤炭所缺少的氢；同样，要从石油中造出汽油、灯油和轻油，也必须添加相对煤重量10%以上的氢。由于氢的价格高，因此并不将它转化为象汽油等H/C比高的轻质油，而只限于考虑H/C低的添加少量氢的方法。如在溶剂中部分溶解或加热时达到最低熔化程度分解的方法。这样，虽然分解度低，但因能在溶剂中溶解，因而不溶于溶剂的煤的灰分就可以分离出来，同时还可以除去煤中的一部分硫和氮。此时，氢的消耗量仅为煤的2~3%；这是很合算的。但是，用这样的方法获得的油，与从石油中获得的制品相比H/C比较小，并且还含有氧、硫、氮。为了清除这些氧、硫、氮，就要再进行二次处理。

表1.2表示了液化煤所需添加的各种去向的氢，对褐煤、烟煤大致必须添加5%重量的氢，对于转变为轻油的情况，添加的一部分氢将和氧、硫、氮分别结合为水、硫化

氢和氨气。以硫化物为例, 并从二苯噻吩中干馏出的硫的反应



可以看出, 要除去一个原子的硫, 则必需 2—4 个分子的氢。同样, 对于氮氧化物, 以下式所示的氮蒽加氢脱氮反应为例, 由于必须切断饱和芳香族环周围的碳—碳结合, 因而除去一个氮原子就必须 9 个分子的氢。因此, 为了从煤炭和



一次液化油(指煤的第一阶段液化物)中完全清除硫和氮而成为石油系中的白油(汽油, 灯油等), 就有必要进行大量耗费氢的第二阶段精制过程。

表 1.2 液化 100 克煤所必需的加氢量¹⁾

液化所需加氢量	5 克(100%)
成为碳氢化合物的氢	2.1 克(42%)
进入液化油中的氢	1.5 克(30%)
成为水的氢	1.0 克(20%)
成为硫化氢的氢	0.2 克(4%)
成为氨的氢	0.2 克(4%)
	有效(72%)
	损失(28%)

1.4 关于煤气化和液化技术的问题

这里首先必须回答这样的问题——因为可以仅仿照以前开发过的技术，那么，现在投入很大人力物力进行煤的气化和液化技术的开发有什么必要呢？

把粉碎后的煤和油混合在一起做成固液混合流体（浆状），将这种固液混合浆边加热（到 $400-450^{\circ}\text{C}$ ）边送入到 $100-300$ 大气压的高压氢气中，这时固体的煤炭就变成液状，这就是煤的液化过程。这种方法德国的 Bergius 在 1973 年就发明了。用这种方法，德国每年曾合成人造石油 400 万吨。如果象战时那样不考虑经济性，那么至今仍然可用这种方法制造汽油。但是，考虑到经济性，以制造出便宜的油，那么新的观点和技术开发就是必要的了。这就是现在重新提出煤炭液化技术开发的第一理由。因此，首先要寻求放宽反应条件以及提高反应效率的措施。

在煤的气化方面，情况完全相同，应要求相应于天然气那样尽可能便宜的造气方法。以前只有煤气的时代是这种情况，而现在不仅有了天然气、石油气、LPG（液化石油气）等直接竞争者，而且在使用时，许多燃料要按热量标准比较其费用，因此我们还期望能有制造方便、不产生公害并尽可能便宜的燃料气。因此，尽管有过去的 Winkler 和现在的 Lurgi, Koppers-Totzek 等造气方法，但仍然要进行新的技术开发。

其次是规模扩大问题。现在能量消耗已扩大为战前的近百倍，随之就要求生产的大规模化。因此，每台反应器的处理量也有必要尽可能地大一点，这样，随着规模的扩大，受