

煤炭的 加工和利用



煤炭工业出版社

81.62
668

煤炭的加工和利用

《煤炭的加工和利用》编写组

315-0626

煤炭工业出版社

编写说明

煤炭是我国的第一能源。合理开发和利用煤炭，对发展国民经济和提高人民生活水平，起着极其重要的作用。

为了普及合理利用煤炭的基础知识，我们组织有关人员编写这本书。书中系统阐述煤炭成型、燃烧、焦化、气化和液化的机理、影响因素、工艺条件、生产流程和机械设备；原料煤的加工要求，产品的用途、质量及其检验方法等。对各项技术的发展前景，也结合我国的具体条件作了比较详细的介绍。

根据读者的要求，本书参照我国的实际需要选材，文字叙述力求深入浅出，通俗易懂，尽量用原则流程和示意简图来说明工艺和所用设备，以便于学习和掌握。

编写本书的同志是：古永辉，王润清、张治国、谢可玉和黄谦昌同志。全书由刘恩庆同志审订。

37013

目 录

绪 言	1
第一章 煤炭成型	6
第一节 概 述	6
第二节 煤炭的无粘结剂成型	7
第三节 煤炭的粘结剂成型	14
第四节 煤炭粘结剂成型举例	24
第五节 煤炭成型机械	43
第六节 型煤质量的检验方法	53
第二章 煤炭燃烧	57
第一节 概 述	57
第二节 煤炭的燃烧过程	62
第三节 燃煤锅炉的炉型	68
第四节 煤的沸腾燃烧	74
第三章 煤炭焦化	97
第一节 概 述	97
第二节 焦炭和炼焦用煤	99
第三节 室式焦炉炼焦	106
第四节 炼焦新工艺——型焦生产	143
第四章 煤炭气化	175
第一节 煤炭气化的重要意义	175
第二节 煤炭气化的基本原理	177
第三节 煤炭气化的原则流程	181
第四节 煤炭气化方法的分类	186
第五节 固定床、沸腾床和气流夹带床的基本原理	190
第六节 固定床气化	192

第七节	气流夹带床气化法	206
第八节	沸腾床气化法	218
第九节	熔融床气化法	233
第十节	原子能余热煤炭气化法	244
第五章	煤炭液化	245
第一节	概述	245
第二节	煤的热溶	249
第三节	煤的高压加氢	256
第四节	煤炭加氢液化方法	268
第五节	煤的间接液化方法	288

绪 言

人类社会生产和生活的一切领域，都离不开能源。一个国家能源资源的状况和开发利用程度对整个国民经济的发展及人民生活水平的提高都起着极为重要的作用。因此，能源问题已成为当今世界各国面临的一个大问题。合理开发和有效利用能源，受到了各国普遍重视。

煤炭、石油和天然气等常规矿物能源，不仅是近代生产建设中的主要动力燃料的源泉，而且也是重要的化工原料。矿物能源中以煤炭资源最丰富。世界已探明的煤炭保有可采储量，按目前生产水平计算，至少可开采250~300年。我国煤炭资源十分丰富，品种也颇为齐全；目前已探明的保有可采储量占世界储量的1/6，仅次于美国和苏联，居世界第三位。现在，煤炭在我国的能源构成中占70%以上，在今后相当长的时期内，煤炭仍将是我国的主要能源。

1980年颁布的我国能源政策规定：开发和节约并重，近期内要把节约能源放在优先地位。

节约能源，就是在使用能源的各个环节减少浪费，提高能源的有效利用率。由于我国的技术工艺设备比较陈旧，能源利用率低，管理上也存在问题，浪费现象还相当严重。与国外先进水平相比，我国工业产品的能耗有很大差距。这表明，节能的潜力是相当大的。

中央领导同志指出：煤炭部不只是简单地采煤，而是要开辟发展利用煤炭的道路。不仅要管煤炭的开采、运输、销

售，而且要管加工。第一是小型化，第二是气化，第三是液化。这一指示精神，对于我国发展煤炭加工，进行煤炭的合理利用和综合利用，改变煤炭工业产品结构，节约能源和提高经济效益，具有重大的指导意义，而且必将产生深远的影响。

当前，世界各工业发达国家为了合理地利用煤炭资源，提高煤炭利用率，都投入了大量的人力和物力，积极研究煤炭转换技术，大力开发煤炭成型、燃烧、炼焦、气化、液化、煤炭化工以及其他加工的新工艺。

化肥工业、铁路运输和其它工业的迅速发展，对块煤的需要越来越多。但是，随着采煤机械化程度的不断提高，粉煤数量将不断增加，而块煤产量减少；日益发展的冶金工业对焦炭的需要量不断增长，优质炼焦煤资源也随之日趋紧张。为了解决块煤和炼焦煤供不应求的矛盾，国内外积极研究粉煤成型和型煤炼焦技术。根据不同用途，生产各种煤球、煤砖和型焦，广泛用来作化肥和冶金工业的原料及锅炉、城市居民的燃料。实践证明，工业上使用煤球，不仅能够解决块煤和焦炭原料的不足，而且使大量粉煤得到合理利用，可获得较好的技术经济效益。仅以蒸汽机车用煤为例，我国现在蒸汽机车每年烧煤 2500 万吨（仅占我国能源消耗 4.4%）。由于目前供应机车的原煤中末煤（< 13 毫米）含量超过 60%，炉条漏落和烟囱飞扬损失高达 40%。如果将原来供应机车的原煤改烧型煤，不仅能提高机车的牵引能力，而且还大大减少煤炭损失，与烧原煤相比可节煤 20%，每年节煤约 400 万吨。

目前，世界各国生产的煤炭绝大部分用于直接燃烧，作动力燃料。因此许多国家把研究锅炉设备，改进燃烧技术，

提高煤炭的热能利用率，作为节约煤炭的重要措施；并且把利用沸腾燃烧工艺，强化燃烧与传热，缩小锅炉体积，提高锅炉对燃料的适应性，提高锅炉效率，充分利用劣质燃料，列为重要的研究课题。目前我国生产煤炭的70%直接燃烧，但我国燃烧设备陈旧，热效率低，煤耗高，因此节煤的潜力也是很大的。

我国每年火力发电用煤近1.5亿吨，由于火电机组中有1/3是中低压，平均综合热效率只有24%左右，比大机组多耗煤1/3。如果将我国发电650亿度的中低压机组（折合原煤5600万吨）用20万千瓦大型机组代替（折合原煤3700万吨），可节约煤炭1900万吨。

全国共有19万台工业锅炉，其中一半是老、旧、杂的“煤老虎”，平均热效率只在55%左右，年耗煤2亿吨。如果全国城镇实行区域供热或热电联产，不仅能减轻环境污染，每年还可节约煤炭几千万吨。

我国城镇居民做饭和取暖用煤，每年达5000万吨。但60%的用户使用旧式炉灶烧散煤，平均热效率只有15~18%。如果改烧型煤，热效率可提高到20%；采用革新炉灶再配烧上点火蜂窝煤，热效率可达30%或更高些。据粗略估算，倘若目前全国城镇居民全部使用革新炉灶改烧型煤，一年就可节煤600~700万吨。在近期还不能实现煤气化或集中供热的城镇，推广新式炉灶和型煤，确是节约煤炭切实可行的措施。

煤炭气化和液化具有提高热的总和利用率，有利于减少环境污染，减轻运输力，弥补流体燃料和化工原料的不足等优点。从长远来看，要使煤炭得到充分合理利用，必须发展煤炭气化、液化新技术。这些先进的煤炭利用方法，由于技

术上和经济上的原因，虽然目前尚不能广泛采用，但可以肯定，随着石油、天然气价格的不断上涨以及煤转换技术的不断改进，煤炭气化，液化有着广阔的发展前景。

煤炭气化可制取低热值、中热值燃料气、合成原料气及合成天然气。目前，世界各国研究和发展的煤炭气化方法至少有几十种。从工业上分有固定床、气流床、沸腾床和熔融床等方式，但比较成熟并已工业化的只是第一代气化法，如固定床式鲁奇加压气化炉、沸腾床式温克勒炉和气流床式柯-托炉等。第二代和第三代气化方法仍处于研究和发展阶段。不同的气化方法有不同的特点，总的发展趋向是提高制气压力，增加炉的直径和容量，提高产气量，扩大原料煤的适用范围以及发展煤气联合循环发电和利用核能制气，以实现降低煤气成本，代替石油和天然气的目的。

实现城市煤气化是煤炭气化的一个主要目的，也是节约城市用煤、保护环境、提高人民生活水平的重要措施。城市居民使用煤气的热能利用率可比烧煤提高15~20%，既防止污染、方便生活又提高热效率。

以煤为原料生产合成气，国外称为“一碳化学”工业，是当前世界各国正在开发而且很有前途的技术。合成气是发展煤炭化学工业的基础原料。用合成氨生产的甲醇，是重要的化工原料。例如甲醇与CO合成醋酸，进而生产合成树脂、合成纤维及其他有机化工产品；用甲醇制造无铅汽油的添加剂，并与汽油混合制成汽车燃料；甲醇还可以生产饲料蛋白，等等。

煤炭液化可以把固体的煤炭经过化学加工转化成液体燃料。按其工艺可分为直接液化和间接液化两种。直接液化是把煤在高温高压下加氢，直接生产液体燃料。间接液化是把

煤先经过气化，用制成的煤气再合成液体燃料。目前间接液化法实现了工业生产，直接液化法尚处于中试阶段。

科学实验证明，煤炭经液化和进一步加工，可生产石脑油及各种燃料油。它们的性质与天然石油相似，不但可以作航空、汽车和锅炉燃料，也是宝贵的化工原料，可制取从石油中所能得到的全部化工产品。利用煤炭直接液化法也可以得到炼焦配煤的粘结剂（SRC-2）和制造各种碳素制品的优质原料。煤炭液化还可使高灰、高硫和褐煤等劣质煤得到充分利用从而扩大能源资源，大大加深煤炭资源的利用程度。

但是，由于煤炭液化技术复杂、难度大、投资多，液化燃料油的成本比天然石油高得很多，还没有竞争能力。因此，目前仍处于研究试验阶段。尽管如此，由于石油的保有储量有日益减少的趋势，不少国家仍然投入了相当大的人力物力，采取多种形式，进行煤炭液化技术的研究。以煤炭为主要能源的我国，为了掌握液化技术，作为技术储备，国家应予统筹规划，加强科研工作，开展国际合作，并在可能的条件下给予必要的物质保障，以使我国的煤炭液化技术尽快达到世界先进水平，为社会主义现代化建设提供可靠的能源保证。

第一章 煤 炭 成 型

第一节 概 述

煤炭成型就是用机械压制的方法，将各种粉煤或劣质煤加工成具有一定强度和尺寸的型煤（或称煤球、煤砖）。大家都知道，煤末在炉内燃烧时，往往没有烧完就经炉篦漏下来，造成漏落损失。减少煤末漏落损失，从而更有效地提高煤炭利用效率的办法，就是将它压成型煤。

工业的发展，对块煤和焦炭的需要量越来越大。但是，随着采煤机械化程度不断提高，块煤的产率降低，粉煤量却大大增加。炼焦用的优质粘结煤越来越少，焦炭的需求量却越来越大。同时，有些劣质煤（如结构疏松、在空气中容易粉化的年轻褐煤、热稳定性差的贫煤和无烟煤、在焦炉中很难成焦的气煤和长焰煤等）如何更有效地利用，他们能否成型以代替块煤、焦炭使用，确是近二百多年来各国工业部门都在不断探索和研究的课题。现在，很多国家已形成庞大的煤炭成型工业，根据不同的用途生产各种各样的煤球、煤砖和型焦。例如东德1979年生产了褐煤砖6000多万吨，西德也生产了褐煤砖、硬煤煤球2000多万吨。匈牙利、捷克斯洛伐克、法国、美国、英国、日本和罗马尼亚等国家，每年都在大量生产各种各样的煤球和型焦，有些煤球甚至用塑料袋包装出售。

解放前，我国只靠手工生产少量民用煤球，没有煤炭成型的工业。解放后，随着工业的发展，我国的块煤和焦炭的生产数量满足不了生产增长的需要，特别是小型化肥厂和钢

铁厂原料不足。为了满足对块煤和焦炭的需求，更好地利用粉煤资源，各省市都在研究用粉煤成型来代替块煤和焦炭的问题。据不完全统计，除生产量比较大的民用煤球和蜂窝煤外，工业上已经出现的煤球有20多种，如石灰碳化煤球、纸浆煤球、粘土煤球、纸浆-粘土煤球、腐植酸盐煤球、沥青煤球及焦球、水泥煤球、水玻璃煤球和清水湿煤棒等。这些煤球比较广泛地用作造气原料，生产钙镁磷肥的燃料，作为铸造炉、各种工业锅炉和蒸汽机车的燃料以及生产电石的原料等。实践证明，在工业上使用煤球不仅能解决煤和焦炭原料不足的问题，而且大量的粉煤得到合理利用，并获得较好的技术经济效果。

煤炭成型方法一般分为粘结剂成型和无粘结剂成型两大类。

第二节 煤炭的无粘结剂成型

煤炭的无粘结剂成型，是指原料煤破碎后，不加粘结剂直接在高压下成型。这种方法对年青褐煤的成型已获成功，并达到大型工业化生产的规模。仅东德的“黑水泵”联合企业每年就消耗3000多万吨褐煤，生产褐煤砖1100多万吨。西德、匈牙利和印度等国也用此方法大量生产褐煤砖。

一、煤炭无粘结剂成型机理

无粘结剂成型的实质，是靠煤炭本身的性质和所具有的粘结性成分，在高压之下结成型煤。煤中粘结性物质一般是沥青质、腐植酸、胶体物质或粘土等。

不少研究工作者作了大量工作，提出各种假说来解释煤炭无粘结剂成型过程中的各种现象和成型机理。有代表性的

是沥青质假说、毛细管假说、腐植酸假说和胶体假说等。

沥青质假说认为，褐煤中的沥青质是煤粒粘结成型的主要物质。沥青质的熔点为 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，在成型时由于摩擦而温度升高，沥青质即软化成为塑性物质，并与煤粒粘结在一起而成为型煤。

毛细管假说认为，褐煤中存在大量充满水的毛细管。这种毛细管的数量和大小取决于煤的碳化程度。碳化程度越高，煤的化学变化越大，煤中的毛细管数量就越少。年青褐煤成型时、毛细管受压把其中的水挤出，覆盖于煤粒表面，使之容易滑动而密集。煤粒表面紧密接触，这时煤的分子间力使煤粒结成型煤。成型压力消失，煤中被挤压的毛细管力图扩张，吸收被挤出的水，煤粒表面的水膜变得非常薄。这样，煤粒间的分子聚集力提高，使型煤具有足够的强度。

腐植酸假说认为，褐煤的成型，是由于煤中含有游离腐植酸。游离腐植酸是一种胶体，可将煤粒粘结起来。

胶体假说认为，褐煤由固相和液相物质组成。固相物质是许多极小的胶质腐植粒构成，其粒度为 $0.001\sim 0.00001$ 毫米。在成型过程中，这些胶质颗粒紧密聚结而产生聚集力，形成具有一定强度的型煤。

还有一些其他的成型假说，但都不能圆满地解释煤料成型时的各种现象。如有些含沥青、腐植酸和水分很少的褐煤，也能压制出质量较好的型煤。煤中的无机组分，对煤炭成型也有影响，改变煤料的粒度、成型水分和成型压力，也会压制出质量不同的型煤。

褐煤的无粘结剂成型过程，实际上是一个与煤料的物理化学性质相联系的复杂过程。影响成型过程中的大量因素难以一个一个地分析清楚，这就难于建立公认的成型理论。一

般来说,成型决定于松散的粒状煤料在外压力作用下的密集能力,决定于在煤粒足够接近时密实成型的能力。

成型煤料的密集是与克服和改变煤料颗粒内部和颗粒之间的内聚力相联系的。所以,煤料的密集过程决定于煤粒的硬度、塑性、弹性和脆性,也决定于这些煤粒被水润湿的性能、吸附水的能力和粗糙程度等。

在压力下成型时,煤料内会发生不可逆的或永久的变形,和可逆的或弹性变形。不可逆变形包括脆性变形和塑性变形,脆性变形使煤粒破坏,而塑性变形是在结构不破坏的情况下使煤粒密集。煤料的成型性能是取决于其塑性变形、脆性变形和弹性变形的比例。

成型压力的大小、压力作用的时间和速度;会影响煤料的塑性变形、弹性变形及脆性变形之间的比例。成型压力越高,塑性变形的程度越大。但是在高压下压力作用的速度越大,则煤料的脆性变形和弹性变形比例越大。因此在采用较高的成型压力时必须延长压力的作用时间,使大部分的弹性变形转变为塑性变形,从而提高型煤的质量。

型煤的机械强度是由分子的聚集力、毛细管聚集力以及由摩擦引起的聚集力同时作用的结果。

综上所述,褐煤无粘结剂成型除与它本身的粘结性物质有关外,还与褐煤的表面物理化学性质(硬度、脆性、塑性、弹性、被水润湿性、吸附水的能力和粗糙程度等)及成型条件(成型压力、压力作用的时间和速度、成型水分、成型温度、煤料粒度及粒度特性、型煤形状和大小等)有关。

二、煤炭无粘结剂成型工艺

1. 褐煤的无粘结剂成型

根据变质程度，褐煤有褐色的土褐煤、暗褐煤和黑色致密的亮褐煤。土褐煤最年轻，它结构松散，容易粉化，水分高（一般达40~65%）而发热量低（一般为1500~2500大卡/公斤）。到目前为止，年青褐煤的无粘结剂成型应用最广，这也是提高这种劣质煤的使用价值，使之在生活上和工业上获得广泛应用的重要途径。中年褐煤的无粘结剂成型在工业上也得到应用，但要使用更大的成型压力，才能制成质量较好的型煤。老年褐煤的水分低，硬度大，无粘结剂成型比较困难，需要很大的成型压力。所以这种煤一般不成型而直接利用，或采用粘结剂成型。现以年青褐煤为例，叙述褐煤的无粘结剂成型过程。

年青褐煤无粘结剂成型的工艺流程见图1-1。



图 1-1 年青褐煤无粘结剂成型的工艺流程示意图

原料煤用胶带输送机给入锤式破碎机，破碎后送到振动筛上筛分。民用或气化燃烧用煤的粒度一般为0~6毫米，焦化用褐煤的粒度为0~1毫米。筛下合格煤经胶带机送入干燥机干燥。干燥后原料煤的水分为10~16%，温度约90℃，等冷却到40~45℃，送到成型车间压制成型。

褐煤成型的关键工艺是煤的干燥和压制成型。

年青褐煤的水分在50%以上。通过干燥脱除煤中水分时，应该使其保持一定量的剩余水分。至于要剩下多少，要根据预先的试验研究工作来决定。如果褐煤砖用作动力或气化燃料，原料褐煤的剩余水分12~18%即可；如果褐煤砖供炼焦用，剩余水分应是8~10%。

褐煤干燥时，不仅要力求降到要求的水分，同时还要使

不同粒级的剩余水分比较均匀。因为水分过低的原料煤成型时，煤粒间得不到足够的润滑以致内摩擦力增加，即煤粒在移动或压实过程中互相滑动或滚动时的阻力增高，需要更大的成型压力才能将煤粒压得致密，有时也难免因煤粒不滑动而产生“架桥现象”影响煤砖的质量。如原煤水分过高，煤粒之间有一层较厚的水膜，不能使煤粒压得很紧；干燥后产生收缩和裂缝，影响煤砖的强度。煤粒之间如水分分布不均，在煤砖中进行内部平衡时，含水少的煤粒就会膨胀，破坏了煤粒间的联系并产生内应力，煤砖的强度就不会很高。

褐煤一般采用滚筒型管式蒸汽干燥机或盘式蒸汽干燥机，以蒸汽为热源进行间接加热干燥。

加热干燥后的褐煤冷却到 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，送入冲压式或环式成型机压制成型。在压制过程中，由于煤炭压实对成型模板的摩擦力、煤粒的塑性变形以及克服煤粒之间的摩擦力等所消耗的功一部分变成热，所以煤砖的温度升高，一般约升高 30°C 。为防止自燃，制出的煤砖必须冷却，然后才能装仓或堆放。煤砖一般在金属槽中或网式输送机上冷却；有时还采取吹风或吸气的办法进行冷却。

褐煤砖较广泛地用作生活和动力燃料，作气化炉的造气原料或经干馏后成型焦，代替焦炭作金属冶炼的燃料。

2. 无烟煤的无粘结剂成型——清水湿煤棒

无烟煤是煤化程度最高的煤炭，它的硬度大、弹性大和塑性小，不使用粘结剂而压制成具有较高强度的型煤是十分困难的。但某些无烟煤经风化后煤质变得松软，同时煤中含有粘性较大的粘土。实践证明，用这样的无烟煤掺加一定量的水，经螺旋挤压机压制成型煤，不必烘干就能用于气化炉作造气原料。这种型煤叫做清水湿煤棒。

清水湿煤棒的工艺流程见图1-2。



图 1-2 清水湿煤棒的工艺流程示意图

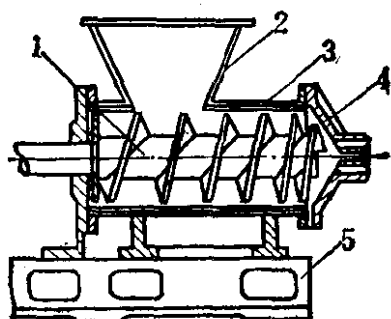


图 1-3 单螺杆螺旋挤压机的结构示意图

1—螺杆；2—给料口；3—机体；
4—模具；5—机架

原煤经破碎筛分，10毫米以下的粉煤加水搅拌混合，送入螺旋挤压机压成煤棒。原料粉煤的成型水分为15~18%。

螺旋挤压机的结构示意图见图1-3。

原料粉煤从给料口加入，靠转动的螺旋叶片向前推进。在推进过程中，粉煤逐渐受压缩、混合、揉搓，煤粒之间、

煤粒与叶片和机体内壁发生强烈的摩擦而发热，温度升高，使水分能够均匀地渗透到原料煤中，其流动性和塑性均增强。在成型原料被挤压通过一段较长的导流管（即螺旋挤压机的出口），排出表面光滑的煤棒。煤棒具有一定的机械强度，达到一定的长度后则横向一段段地断裂。

压制清水煤条的关键是煤料水分的控制。水分过高，原料煤的流动性好，达不到较高的成型压力时就被挤出来，煤棒压得不结实，质量差。水分过低，挤压时由于煤料内摩擦力大而影响煤料的前移，甚至会使一部分煤料从筒体内壁与螺旋叶片之间的径向间隙倒流。倒流的煤料与前移煤料之间产生强烈的摩擦和剪切，以及煤料颗粒与叶片和筒体内壁之间