

陈 贤 仁 等 编 译

煤炭气化 新工艺

煤炭工业出版社



81.652
286

煤炭气化新工艺

陈贤仁 等编译

31248/14

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书系根据苏联1976年出版的В.С.阿利特舒列尔(В.С.Альтшулер)著《固体燃料气化新过程》(Новые Процессы Газификации Твердого Топлива)一书编译的。

书中评述了目前各国已研究成熟或正在研究的各种煤炭气化新技术,各种因素(燃料、压力、温度和气化介质等)对气化过程的影响。详细探讨强化固体燃料气化过程的机理;介绍煤气中硫化物和二氧化碳脱除的新方法。此外,还分析高硫煤在热电厂中的不同使用方式和煤气化工联合企业的经济指标。

编译者: 陈贤仁 杨桂芬 包春林 李凌云 项友谦
杨克旗

校订者: 徐煤海

责任编辑: 施文华

煤 炭 气 化 新 工 艺

陈贤仁 等编译

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$

印张 $9^{11/16}$

字数211千字

印数1—3,600

1984年4月第1版

1984年4月第1次印刷

书号15035·2607

定价1.15元

引 言

能源是人类赖以生存和推动社会发展的物质基础。在世界能源总储量中，煤、石油和天然气占有重要的地位。按标准燃料计算，其中煤占79%左右，石油和天然气只占12%。而从能源消费构成来看，石油和天然气的总消耗量约为煤耗量的两倍，也就是说，目前全世界能源需求量的三分之二是靠石油和天然气来满足的。如果能源消耗年平均增长率按3%估计，石油和天然气仅够用几十年，而煤可供开采几百年之久。尽管今后人类对新能源如原子能，太阳能、水能和风能等的利用将会有显著的增加，而煤炭仍不失其为重要的矿物资源，因而合理利用煤炭资源和研究新的煤炭转化技术有着广阔的发展前途。

煤气化技术的发展已有几十年的历史并经历了曲折的过程。在五十年代，由于石油、天然气工业的兴起，使煤制气技术的开发研究工作受到冲击，有些项目不得不停顿下来。到了七十年代初期，世界范围内发生了能源“危机”，石油和天然气价格不断上涨，一些工业发达的国家又重新对煤的转化技术予以重视，各种新型的气化方法和炉型结构应运而生、种类繁多、方式各异。目前世界上已工业化的煤炭气化方法主要有鲁奇法（固态排渣），温克勒法和K-T法等。还有数十种方法尚处于过程开发、中试和示范装置规模，其中绝大多数集中于美国和西德。

我国煤炭资源丰富，分布地区较广，各地煤种不一，煤

37804

炭资源开采量占世界第三位。据估计,按目前产量可开采200年以上,这就为煤制气技术的发展提供了可靠的物质基础。煤炭气化后所得的气体产物中,主要成分是CO和H₂,按其组成,可用于以下几个方面:

1. 生产化工原料气

如合成氨,合成甲醇等。

2. 生产燃料气和还原气

燃料气是一种有广泛用途的理想燃料,许多炉型,通过选用不同的气化剂(如O₂或空气等),就可按需要生产出低、中、高三种热值的煤气,它广泛地用于钢铁工业、化学工业等部门以及用于商业,服务性行业和家庭烧饭取暖等。CO和H₂可合成甲烷气作为代用天然气。此外它还用于冶金工业中铁矿石的直接还原以生产海绵铁,从而解决没有焦煤地区的炼铁问题。

3. 用于联合循环发电

从上述煤的使用性能可以看出,它完全能在冶金、化工领域里取代石油和天然气。随着国民经济的发展,城市煤气事业已成为建设现代化城市的重要组成部分。在现代工业发达国家里的燃料结构中,气体燃料一般占30~40%,有的达50%,大城市煤气普及率高达100%。这是因为气体燃料与固体燃料相比,不但运输、使用方便,容易贮存和管理,而且气体在出厂时大都经过了脱硫等净化处理,大大减轻了对环境的污染,热效率也比烧煤时高。例如,民用煤气比直接烧煤的热效率提高一倍多。因此,发展城市煤气,改变燃料结构,特别是采用新技术,制定新工艺来实现能源的合理转化,已成为节约能源和提高人民生活水平的当务之急。当前,我国城市煤气气源主要是焦炉煤气、水煤气、液化石油气,

天然气及重油制气等，其中，以煤为原料的制气技术还比较落后，主要炉型有干馏炉，发生炉和水煤气炉等。近年来，许多部门已加强了对煤气化技术的开发研究工作，如K-T法、德士古法、液态排渣鲁奇炉、二段炉和粉煤流化床气化法、催化气化法等，有的已取得了较大的进展。

本书阐述用于气化的固体燃料的性质，反应机理及过程影响因素，还介绍一部分煤炭气化的新方法。这些气化方法，如按炉型结构和气固接触方式来分，大致可以分为：

1. 固定床气化法 如鲁奇气化法(固态排渣)。
2. 气流床气化法 如K-T法和德士古法。
3. 流化床气化法 如 Hy-gas 法、温克勒法和 CO-gas 法。
4. 熔渣床气化法 如熔盐法、奥托-鲁末尔法和熔铁浴气化法等。

如按其技术进展和当前工业化的程度，又可分为：

1. 第一代气化技术 一般指在生产上较成熟并已工业化的气化装置，如固态排渣鲁奇炉、K-T炉和温克勒炉等。

2. 第二代气化技术 是指把新的工程技术、煤化学的新理论及工程材料科学的新成就相结合而产生的新的气化方法。现在大多数正处于中试阶段的试验，少数已过渡到示范厂规模并为工业化装置提供设计数据，如高温温克勒炉、U-gas 法、Hy-gas 法 CO-gas 法和液态排渣鲁奇炉等。

3. 第三代气化技术 是指比第二代气化技术更先进，综合效率更高的气化方法。如催化气化、太阳能气化、核热气化、等离子气化和利用火箭技术的Rockwell气化法等，绝大部分还处于过程开发阶段，还需要较长的时间才能工业化。

综上所述，从各国开发的煤制气新方法中，可以归纳出如下的发展趋向：

1. 不断改进和完善现已工业化的气化装置，向大型化方向发展，以提高设备生产能力。如固态排渣鲁奇炉，直径已由2.76米增加到5米，产气量由8000标米³/时·台提高到75000~100000标米³/时·台。K-T炉由原来的两个炉头发展为四个炉头，产气量由4500标米³/时·台发展到35000(CO + H₂) 标米³/时·台。

2. 进一步提高气化炉的温度和压力。提高温度可以加快反应速度，提高气化效率。如高温温克勒炉将温度由800~900℃提高至1100℃后，碳转化率由90%提高至95%左右。液态排渣鲁奇炉炉温提高到1400℃时，热效率达83.4%，碳利用率达100%。单台炉产气量比固态排渣时大四倍。提高压力可以强化操作，增加单位炉体体积产量，降低煤耗和氧耗，增加煤气中的甲烷含量，从而提高了热值和碳转化率。同时压力的增加还可减少带出煤粉，并使产物中的酚等有害物质相应地减少，因此，大多数新气化法都是在压力下操作的。西德正在研究的压力为100巴的Ruhr-100型气化炉，产气量比压力为25巴时增加一倍左右，粗煤气中的甲烷含量可从10%增加到16~18%。

3. 扩大煤种适用范围，发展粉煤气化。传统的固定床气化炉，对煤种和块度都有较严格的要求，一些新的气化方法大都采取了一系列措施以便气化弱粘结性或粘结性煤。现代鲁奇加压气化炉内都装设搅拌器，在转动时具有解粘作用，使料层透气均匀，从而可气化粘结性煤和粉煤量多的煤。随着煤矿机械化和水力采煤工艺的发展，原煤中粉煤产率越来越多。为了合理利用这部分粉煤，目前各国也致力于粉煤流

化床气化的研究。流化床内加热速度高达 $500^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ ，气化反应迅速，而且床内温度均匀，容易控制调节，气、固两相接触好，炉型结构也比固定床简单。许多流化床气化炉不但能气化粉煤，还能气化弱粘结性或粘结性煤。

总之，由于各国自然资源和社会条件不同，所执行的能源政策也各有差异，但都积极采取了一系列措施，一方面抓新能源的开发，另一方面抓能源的节约利用。可以预料，在未来的世界中，煤炭仍将是主要能源之一，煤炭转化新技术的开发和研究工作，将进一步得到重视和加强。

编 译 者

目 录

第一章 现代的固体燃料气化技术	1
第一节 制取一定热值的煤气	1
一、制取低热值煤气的方法	1
二、制取中等热值煤气的方法	19
三、制取高热值煤气的方法	35
第二节 制取一定组分的煤气	48
一、大块燃料的气化过程	48
二、细粒燃料的气化过程	59
三、粉状燃料的气化过程	66
第二章 制气用的固体燃料	80
第一节 燃料的粘结性	80
第二节 燃料的结渣性	88
第三节 燃料的机械强度和抗热强度	92
第四节 粒度组成	95
第五节 燃料的水分、灰分和硫分	105
第三章 建立大型煤气发生炉的途径	108
第一节 强化气化过程的理论根据	108
第二节 块状固体燃料的高温气化	114
第三节 粉状燃料的高温气化	119
第四节 固体燃料在固定床中的高压气化	122
第五节 细粒燃料在沸腾床中的气化	135
第六节 粉状燃料在沸腾床中的高压气化	143
第四章 高热值煤气的制造原理	155
第一节 固体燃料的热分解	156
第二节 残炭的气化	171
第五章 可燃气在使用前的新处理方法	183

第一节	煤气中机械杂质的清除	183
第二节	煤气中冷凝烃（焦油）的脱除	185
第三节	煤气中硫化物和二氧化碳的脱除	186
一、	只脱除硫化氢的净化过程	187
二、	只脱除二氧化碳的净化过程	193
三、	同时脱除二氧化碳和硫化氢的净化过程	194
第四节	一氧化碳的转化	206
第五节	一氧化碳和氢的甲烷合成	209
第六章	用固体燃料气化的新方法解决燃料的	
	利用问题	216
第一节	作为大型发电厂燃料预处理阶段的高硫分固体	
	燃料的气化	216
第二节	大规模生产代用天然气的固体燃料气化	240
第三节	制取合成气、气体还原剂和氢的固体燃料气化	271

第一章 现代的固体燃料气化技术

固体燃料气化，作为燃料利用技术的方向，它的任务是
把固体可燃矿物转化为便于燃烧的可燃气体和化工原料——
氢氧及氢氧与一氧化碳的混合气。

任何一种固体燃料都能用以进行气化。

目前世界各国已掌握了很多关于固体可燃矿物气化的方
法和工艺，以制取不同组分和热值的可燃气体。此外，在生
产代用天然气和利用含硫燃料等方面，还提出许多关于固体
燃料气化新工艺的建议。

图 1 是固体燃料气化方法和气化工艺的分类。

根据这种分类方法，将能更详细地研究固体燃料各种气
化方法的工艺特点和技术方案。我们不但要研究已经掌握的
具有实际意义并反映当代气化技术水平的那些工艺，还要研
究现在正处于实验室和工业性试验阶段而将来会在工业上实
现的那些工艺。

第一节 制取一定热值的煤气

一、制取低热值煤气的方法

热值小于 1600 千卡/标米³的称为低热值的煤气。它是固
体燃料与空气或与蒸汽-空气混合气在高温下相互作用而制
得的，即用惰气（主要是氮）含量较大的鼓风法制得。低热
值煤气的特点，是含有大量的氮气、不定量的一氧化碳、二
氧化碳、氢气和少量的气态烃。气态烃之所以在煤气中出现
是燃料热分解的结果。根据气化供风的气体组成不同，低热

固 体 燃 料

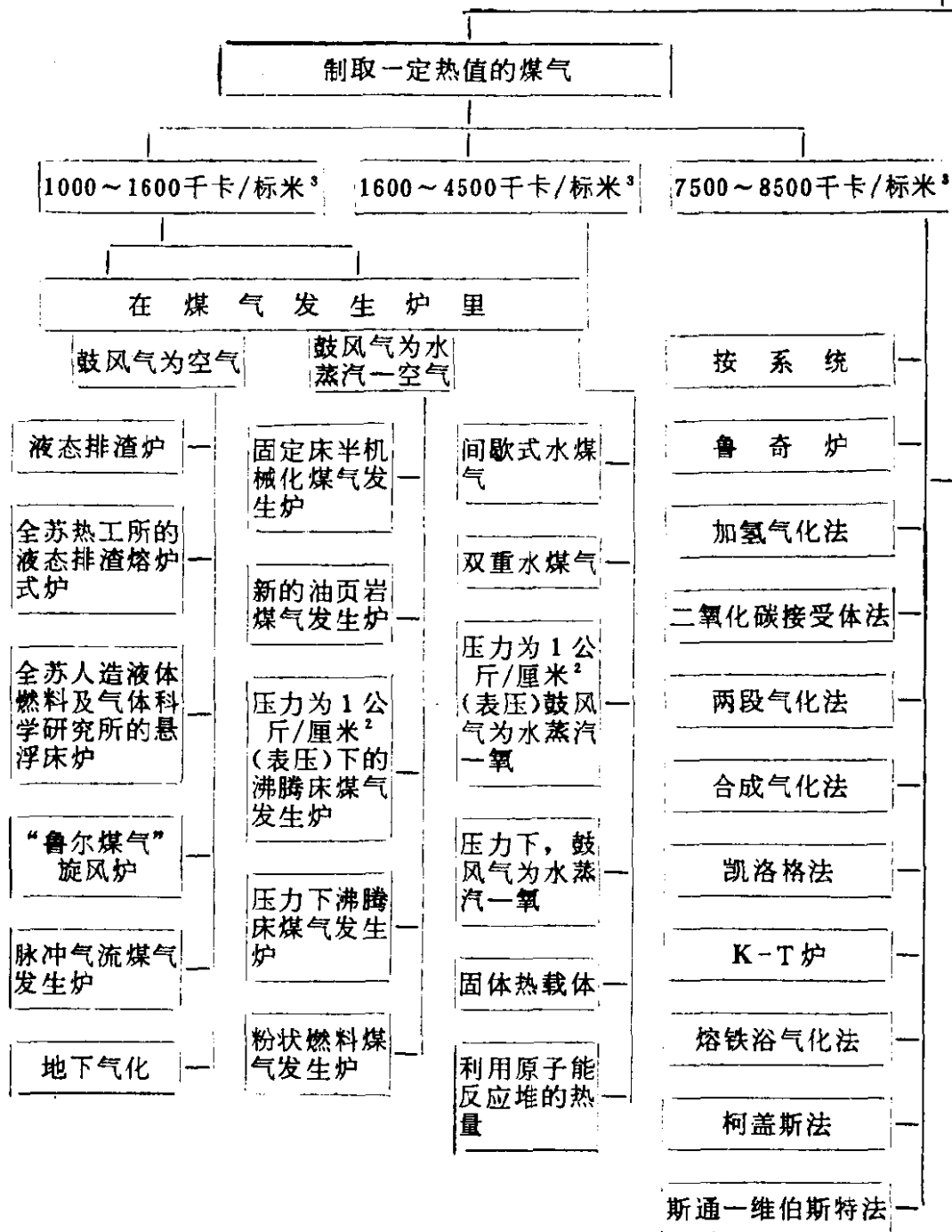
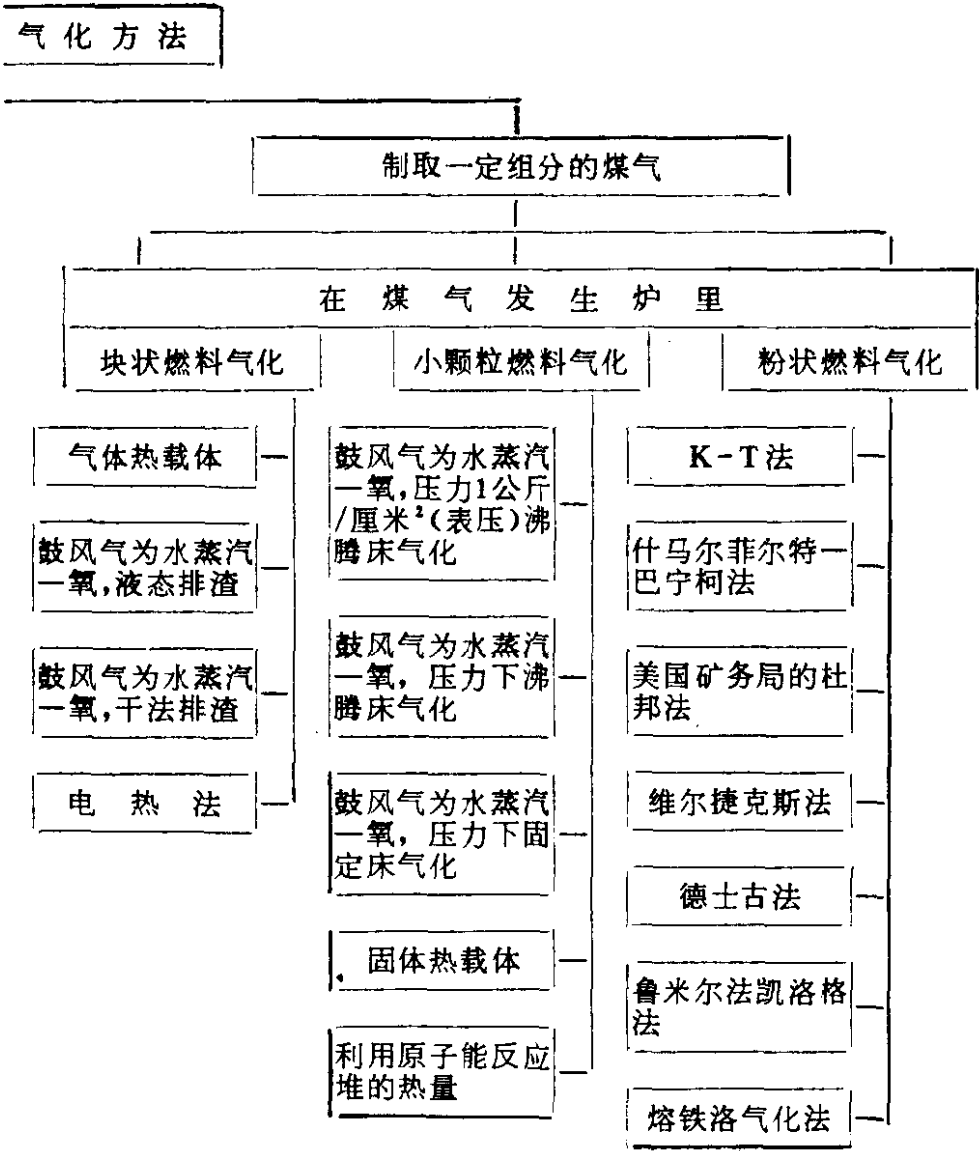


图 1 固体燃料



气化方法的分类

值煤气可分为空气煤气和水蒸汽-空气煤气（混合煤气）两种。这些煤气主要用于工业炉的加热和在单个装置的燃烧室内燃烧。

（一）空气煤气

生产空气煤气时，燃烧气化床层的氧化区温度很高，超过燃料的灰分的熔点，因而常产生结渣现象，破坏正常的气化过程。所以最好是用液态排渣的发生炉制取空气煤气，特别是在气化高灰分燃料时，更应采用这种工艺。

历史上为建立这种煤气发生炉进行过许多工业性尝试。但是，这些炉子很难保证熔渣能够流动，而对气化所用燃料的质量要求又较高——要求用热稳定性好的大块燃料。由于炉灰局部熔化造成炉瘤，妨碍了用空气鼓风和液态排渣的煤气发生炉的广泛使用。原料中加入能提高炉渣流动性的无机物助熔剂后，基本上克服了上述困难。然而这种方法使发生炉操作复杂。

五十年代末期，对液态排渣的空气煤气发生炉又重新感兴趣，这是因为这时能大大提高这种发生炉的气化强度。为建成用于燃气轮机发电装置的大型空气鼓风的发生炉，Ф.Э.捷尔任斯基全苏热工研究所（ВТИ）研究出新的，锻工炉或发生炉的固体燃料气化法（图2）。高压空气经风嘴鼓入炉内，在燃料松散床层的有限区域内形成高温燃烧中心，使燃烧过程得到极大的强化，同时把燃料中的灰变成液态渣。燃烧中心位于缝隙式排渣孔附近，从而保证了在高温条件下，即在炉渣高度流动的情况下连续把生成的渣排出炉外。

上述方法在气化能力每小时50公斤燃料（焦炭、无烟煤和茹林斯克半焦）的实验室发生炉和每小时250公斤无烟煤的试验性发生炉上进行后，证明在常压和在高压下实现这种

过程从技术上讲是可能的，特别是在可能同时利用制取的煤气的潜热和显热时更是如此。根据Ф.Э.捷尔任斯基全苏热工研究所研究结果建成了直径1米的工业试验性熔炉式煤气发生炉，并与1500千瓦的燃气轮机配套（图3）。

在这个装置中，曾对灰分7.9%（干基）的无烟煤进行试验。工作压力2.5~7.0公斤/厘米²（表压），燃料的气化强度1250~2550公斤/米²·小时，炉膛的热强度 16×10^6 千卡/米³·小时。所得煤气的平均组分如下：CO₂—5%、CO—26%、H₂—3%、CH₄—0.8%，煤气热值930千卡/标米³，发生炉

排出的煤气温度880℃。液态渣量为燃料灰分的73~86.5%。粗煤气的尘粒含量约16~31克/标米³。经第一级旋风除尘器后，煤气的含尘量降为1.3~4.4克/标米³，第二级旋风除尘器后，煤气的含尘量为0.9克/标米³。如能把第一级除尘器的带出物回收，则发生炉装置的效率为95~96%。

在制取空气煤气的其他方法中，应该提到的是细粒燃料的沸腾床气化法。这种方法的优点是单炉的生产能力大，并能制取不含焦油的煤气和不含酚的废水。但只有在安装辅助的余热利用设备（回收主要过程的大量余热和带出的燃料）

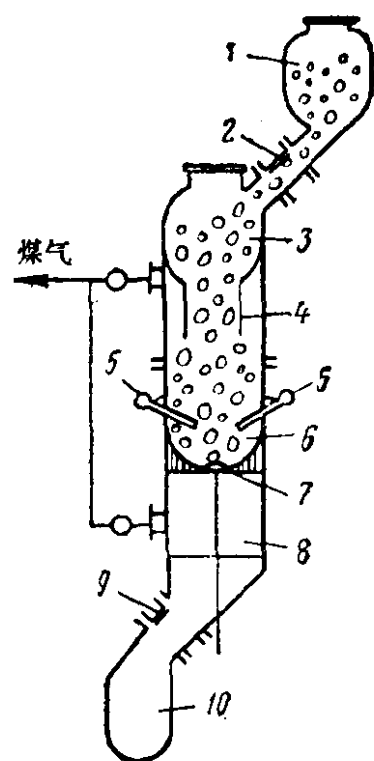


图2 全苏热工研究所锻工
炉式煤气发生炉示意图

1—料斗；2—燃料切断阀；3—
炉膛；4—下料管；5—风嘴；6—
炉缸；7—排渣阀；8—水池贮渣
槽；9—渣切断阀；10—渣斗

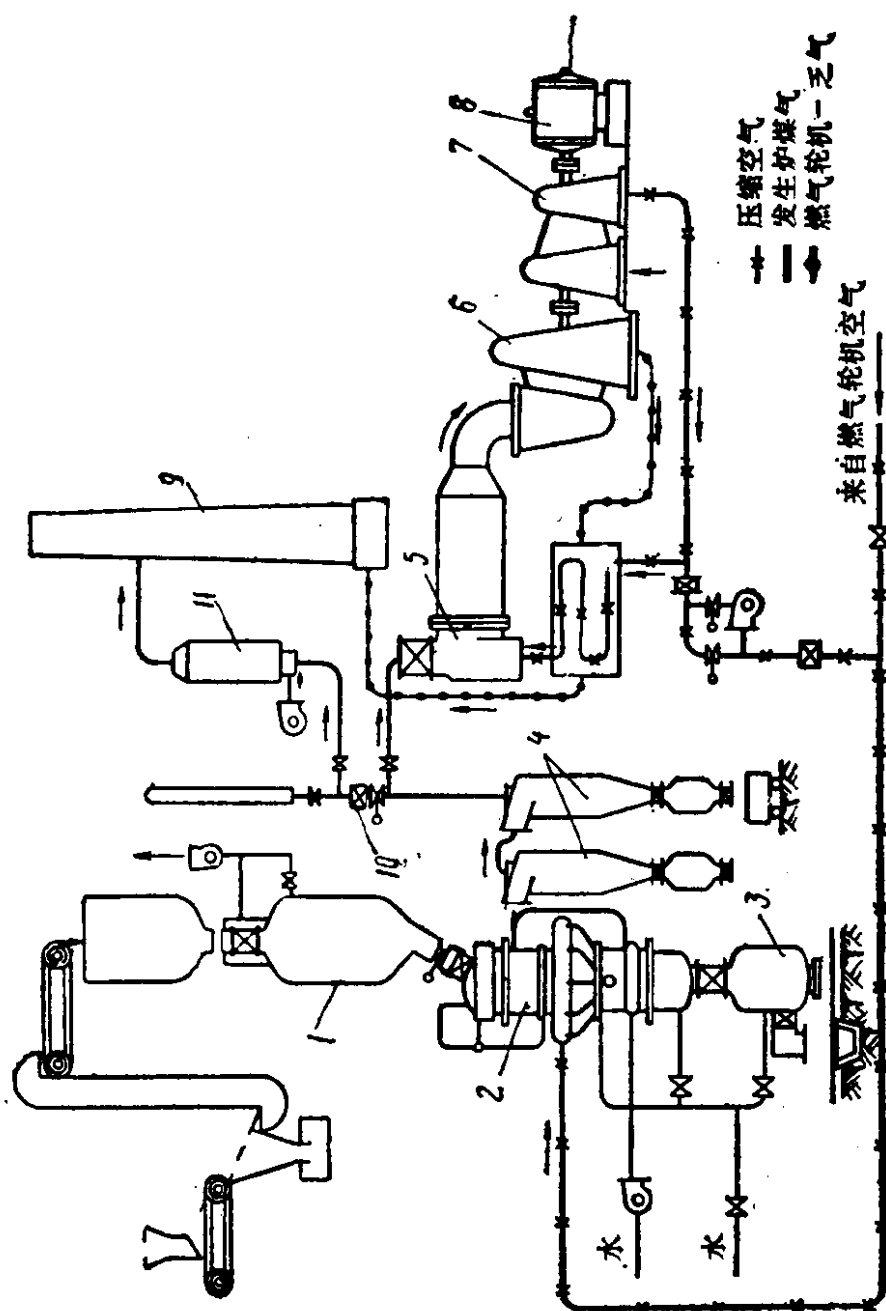


图 3 带熔炉式煤气发生炉的燃气轮机装置系统

1—料斗；2—煤气发生炉；3—渣斗；4—旋风除尘器；5—燃气轮机燃烧室；6—燃气轮机；7—空气压缩机；8—电动机；9—烟囱；10—节流阀；11—燃烧炉

时，利用该法才能获得高的热效率。其他国家的生产经验，用空气鼓风的沸腾床式煤气发生炉制取的煤气，热值为1000~1100千卡/标米³。

东德莱茵化学联合工厂建成温克勒(Winkler)煤气发生炉，炉篦直径3.6米，炉身内径5.5米。这种炉子的煤气生产能力可达60000标米³/小时。气化褐煤时制得的煤气组分为CO₂—9.8%、CO—21.7%、H₂—11.7%、CH₄—0.7%，高热值984千卡/标米³。气化褐煤半焦时制得的煤气组分为CO₂—4.3%、CO—32.7%、H₂—7.6%、CH₄—0.4%，高热值1140千卡/标米³。

可燃物在灰渣中的含量为50~55%，而在带出物中为30~35%。

为了制取采暖用煤气和动力用煤气，美国有的单位建议采用常压空气鼓风的温克勒煤气发生炉。

苏联在第二次世界大战前研究出的空气鼓风和水蒸汽-空气鼓风悬浮床气化细粒固体燃料的工艺（如全苏人造液体燃料及气体科学研究所的方法）是具有一定意义的。它所使用的煤的粒度为0~6毫米，自然水分在35%以下。这种煤气发生炉为圆锥形，炉中燃料颗粒在气流作用下旋转，并按不同的粒度分布在圆锥的不同高度上，形成悬浮层。煤气带出的煤粒用旋风除尘器捕集，并送回炉内的气化区。生成的炉渣及粘附在炉壁上的渣用机械方法清除，再用炉子底部的灰耙排渣。这种方法曾在日气化能力25吨的工业性试验装置里进行检验。机采泥炭（W_r在40%以下）在进行气化时用空气鼓风，炉身截面的气化强度达1200公斤/米²·小时，制得的煤气热值1200~1250千卡/标米³。热效率小于65~70%。

有实际意义的方法，是液态排渣旋风式发生炉煤粉气化