

化学肥料译丛

HUAXUE FEILIAO YICONG

第三輯

固体燃料气化制合成原料气專輯

化学工业出版社

化 学 肥 料 译 丛

第 三 輯

(固体燃料气化制合成氨原料气專輯)

化学工业部上海化学工业研究院第七研究室 譯

化学工业出版社

“化学肥料译丛”于1958年5月创刊以来，已出过两辑，至本辑——第三辑出版问世，相隔已有一年多。在这段时间里，我们考虑了许多读者的意见，并经过与化学工业部上海化学工业研究院协商，决定从第三辑开始，每辑按氮、磷、钾肥三方面的有关问题作集中报导。

从本辑开始，化学工业部上海化学工业研究院第七研究室负责本译丛各辑的选题、组稿及大部分材料的翻译等工作，化学工业出版社则对选题作最后决定并负责编辑和出版。

第三辑是固体燃料气化制成氨原料气专辑，收集了苏联、民主德国、西德、英国、美国、日本等国有关固体燃料气化方面的文章共八篇。

化 学 肥 料 译 丛

第 三 辑

化学工业部上海化学工业研究院第七研究室 译

化学工业出版社出版 北京安定门外和平街

北京市书刊出版业营业许可证出字第092号

化学工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

开本：850×1168 毫米 1/32 1960年6月第1版

印张：7¹/₈

1960年6月第1版第1次印刷

字数：165千字

印数：1—3,100

定价：(10) 1.10 元

书号：15063·0560

目 录

目前用固体燃料制取工艺气体方面的动向	1
煤的完全气化	49
科帕斯·托切克气化法	111
ГИАП型沸腾层煤气发生炉中細粒燃料的气化	121
科帕斯-托切克式粉煤气化炉的操作	137
劣质煤制合成气的工业方法	158
焦炭的高速气化	184
一氧化碳轉化与固体燃料气化結合过程物化原理的研究	196

目前用固体燃料制取 工艺气体方面的动向

技術科學碩士H. H. 廖勃采夫

作为生产合成氨、醇类和人造液体燃料的原料，固体燃料在目前世界經濟上占有一个头等重要的地位。在生产合成氨用的各种原料的世界需要量中，固体燃料的比重約占30%。美国氮素工业总生产能力有80%以上是利用天然气的，同时目前正在建造将用石油气和重石油残渣进行生产的工厂；但国会仍于1950年通过了关于拨款建造实验装置以便研究新的固体燃料气化法¹³的专门决议。目前正在设计关于将现有工厂改为用固体燃料的方案¹⁴。

- 天然气和石油气以及近来重石油残渣的应用范围之所以会扩大，是由于取得它们所含的潜热的成本较之用固体燃料时为低，而且可大大地简化生产流程和减低煤气生产费用。但是，不能认为天然气和石油气是能完全代替固体燃料的，因为天然气和石油气的贮藏量很有限，而需要量却在不断地增长。

由于上述原因，工业发达的国家都广泛地对各种固体燃料，首先是分布普遍的和价值便宜的各种固体燃料的新的气化方法进行研究。研究方向主要是在常压和30个大气压内的压力下使细粒燃料和粉状燃料呈沸腾状态或悬浮状态进行气化。同时还进行了一系列关于块状燃料气化的研究。

此外，还进行了在各种金属生产或碳化钙生产和工艺气体生产联合起来的所谓高炉-煤气过程中制取工艺气体的研究。研究时用的是烟煤，甚至是褐煤而不是冶金焦。

03616

工. 块状燃料气化法

1. 科帕斯(Копперс)法气化大块

燃料或压块燃料^{1~4, 45}

这种气化法的原理图如图 1 所示。

虽然这个方法的研究成功和工业化约在20年以前,但是它对于用低品位燃料制造化学合成原料气至今还具有一定的价值。

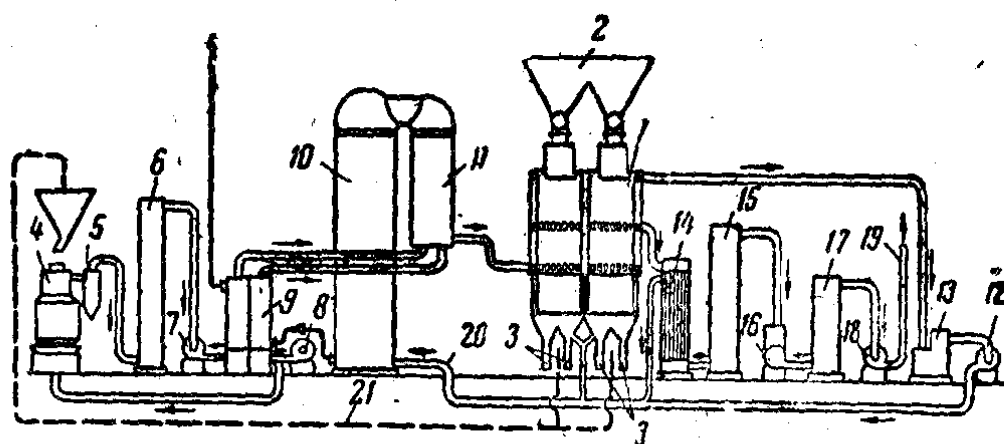


图1 科帕斯法制造合成原料气的原理图

1—灶式炉; 2—加料斗; 3—残余焦炭出口; 4—煤气发生炉; 5—旋风除尘器; 6—洗涤塔; 7—煤气鼓风机; 8—空气鼓风机; 9—煤气和空气预热器; 10—热风炉; 11—燃烧室; 12—循环煤气鼓风机; 13—焦油分离器; 14—废热锅炉; 15—洗涤塔; 16—泰生洗涤机; 17—雾沫分离器; 18—煤气鼓风机; 19—合成原料气送去脱硫; 20—循环煤气; 21—煤气发生炉中的残余焦炭

这个方法的特点是:

- 1) 不用氧而气化过程连续;
- 2) 使用大块燃料或非粘结性而具有化学活性的压块燃料;
- 3) 能够气化各种沥青燃料;
- 4) 采用由低温炼焦煤气和水蒸汽组成的高度过热吹风, 并为此而设有交流换热器(热风炉);
- 5) 具有两种气流: 工艺煤气流和作为热载体的低温炼焦煤气流;
- 6) 能得到副产物焦炭和焦油。

用褐煤压块生产水煤气的操作指标如表 1 所示。

褐煤压块的气化指标

表 1

序号	指标名称	计 量 单 位	数 值
1.	燃 料 規 格		
	1) 粒 度.....	毫米	60 × 40 × 40
	2) 机 械 强 度.....	公斤/厘米 ²	180
	3) 操作基組成:	%	—
	C.....	"	52.8
	H.....	"	4.1
	S.....	"	2.5
	N.....	"	0.6
	O.....	"	18.0
	A.....	"	8
	W.....	"	13.5
	4) 热 值	千卡/公斤	4800
2.	所得煤气的組成:	%	—
	CO ₂ + H ₂ S	"	13.0
	CO	"	28.2
	H ₂	"	56.1
	CH ₄	"	1.6
	N ₂	"	1.1
3.	所得煤气的热值.....	千卡/标准米 ³	2430
4.	制取1000标准米 ³ CO + H ₂ 的单位消耗量:		
	1) 燃 料.....	公斤	955
	2) 碳.....	"	505
	3) 水 蒸 汽.....	"	273
	4) 加 热 煤 气.....	千卡	1000000
	5) 电 能.....	千瓦小时	41
5.	制取1000标准米 ³ CO + H ₂ 所得的副产物:		
	1) 水 蒸 汽.....	公斤	748
	2) 焦 油.....	"	45
	3) 焦 炭.....	"	208①
6.	气化过程的强度:		
	1) 吹 风 气.....	标准米 ³ /米 ² ·小时	970
	2) 燃 料.....	公斤/米 ² ·小时	765
	3) 煤 气(CO + H ₂).....	标准米 ³ /米 ² ·小时	800
	4) 同 上.....	标准米 ³ /米 ² ·小时	78

① 低热值Q_H = 6600千卡

續表 1

序号	指标名称	計量单位	数 值
7.	效 率	%	
	1) 气化过程效率.....	"	64~65
	2) 装置效率 (副产物蒸汽和焦油計算在內).....	"	85~88

2. 拉科特(Лакотт)法气化低品位块状燃料

1946年初, 法国德卡茲維尔的一个拉科特法气化木材試驗装置(图2)投入了生产; 这种装置也适用于气化 25~100 毫米的其它块状固体燃料。該装置的用途是制得适合于合成甲醇的原料气。

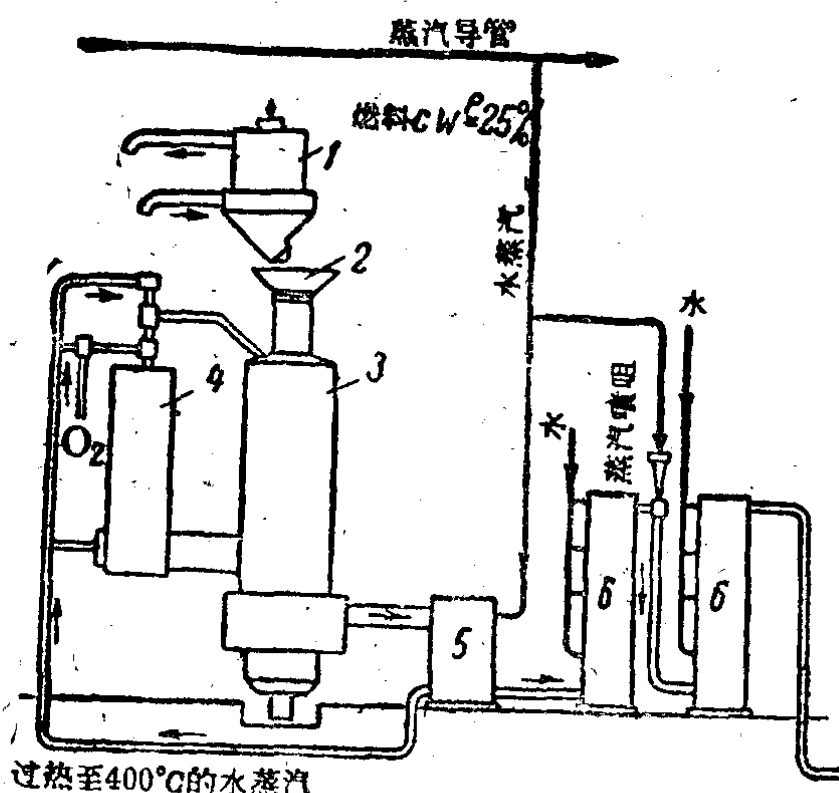


图2 拉科特法用低品位块状燃料制取工艺气体的流程图

1—干燥器; 2—配料加料器; 3—煤气发生炉;
4—燃烧室; 5—蒸汽过热器; 6—洗滌塔

原始燃料經過干燥器 1 和配料加料器 2 进入煤气发生炉 3, 炉的上部形成預干燥和焦化区, 下部則为气化区。在这两个区域的交界处將水蒸汽和二氧化碳的混合物吹入煤气发生炉, 吸风时溫度相当于被气化燃料的灰熔点。煤气发生炉中的吹风气分成两路, 一路

往上，一路往下。

往上的一路吹风气是使燃料干燥、半焦化和焦化等过程的热载体。

燃料焦化、半焦化和干燥等过程所得的气态和蒸气态产物从发生炉上部出口送到燃烧室4，同时往燃烧室4中加入氧和过热蒸汽。

燃烧产物的温度随被气化燃料的灰熔点而定，并且可以借改变加入燃烧室中的水蒸汽量来调节。如果要制造适合于合成氨用的原料气，则除氧和水蒸汽外，燃烧室中还须加入空气。

燃烧产物是煤气发生炉的高度过热吹风气。

往下的一路高度过热吹风气与赤热的焦炭反应而生成水煤气或半水煤气(视吹风气中氮的含量而定)；此水煤气或半水煤气的组成取决于煤气发生炉炉身高度上吹风气入口的地位和下、上吹风气的比例。

利用工艺煤气的热(500~600°C)在蒸汽过热器5中将水蒸汽过热到400°C。煤气的冷却和洗涤系在两个串连的洗涤塔中进行。

试验装置用一种褐煤进行试验时所得的操作指标列于表2。

可以设想，当用压块煤时或用微粘结性的烟煤而将吹风气温度提高到1100~1200°C时，该过程的指标将有所改善。

一、煤的組成，%						表 2		
C	H	S	N+O	A	W			
26.2	2.2	1.6	11.3	23.2	35.5			
二、煤氣組成，%								
		CO ₂	H ₂ S	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂
用試驗裝置制得的煤氣·····		41.3	0.7	0.2	8.7	34.3	0.8	14.0
對工業條件預計的煤氣·····		30.0	0.5	—	12.0	40.0	0.5	17.0
三、制取1000標準米 ³ CO+H ₂ 的單位消耗量								
				試驗裝置		工業條件		
1.	煤，公斤·····		3140		2180			
2.	水蒸汽，公斤·····		465		323			
3.	氧，標準米 ³ ·····		430		298			

四、工业条件下制取 1 标准米³CO + H₂

的單位副產物，公斤

焦油.....46.5

五、气化过程效率，%

1. 副产品焦油不計时.....49.5

2. 副产品焦油計算在內时.....55.5

3. 盧尔吉(Лурги)法加压气化小块燃料

約在 25 年前，德国研究成功了在 20~30 大气压下用蒸汽-氧气吹风从劣质煤制取民用煤气的气化法。該法的特点是气化过程連續和强度高，制得煤气的热值高，且能同时得到副产焦油和气态汽油。

气化用燃料可以用任何一种粒度为 2~20 毫米的固体燃料，其中包括輕微粘結性和中等粘結性燃料，但都需預先将其干燥至含水量 15~18%。

图 3 所示为改良了的、按卢尔吉法操作的煤气发生装置的工艺

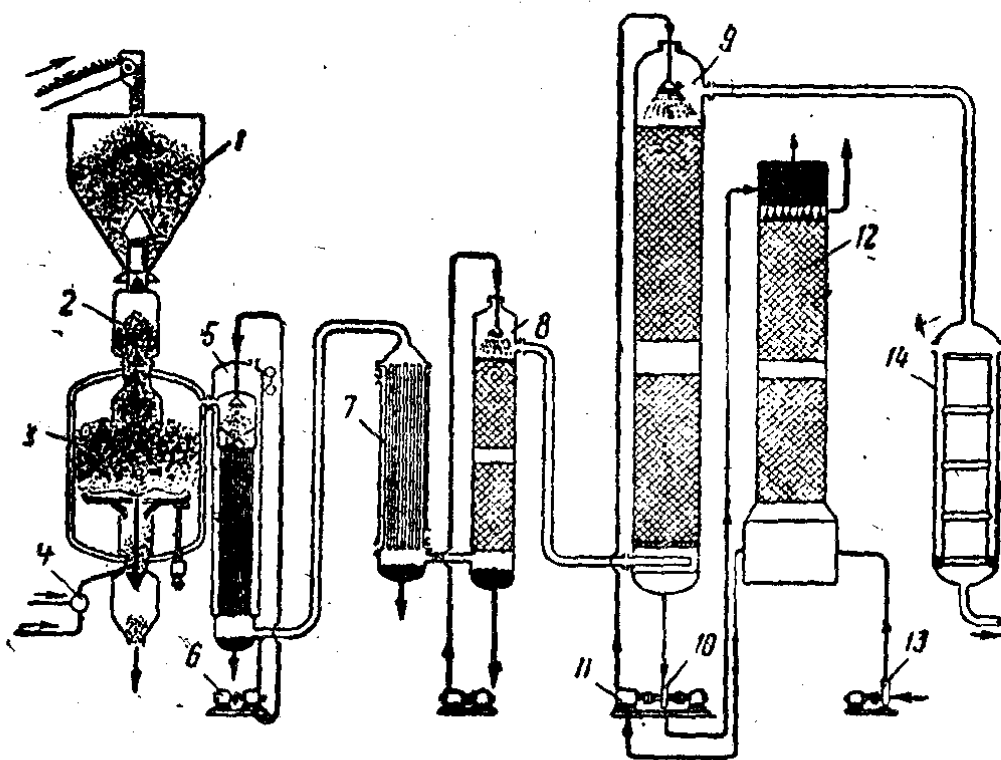


图 3 卢尔吉法加压气化小块煤的流程图

1—煤斗；2—煤閘；3—煤气发生炉；4—混合总管；5—噴淋式冷却器；
6—泵；7—管式冷却器；8—吸收塔；9—洗滌塔；10—透平；11—泵；
12—脱气塔；13—空气鼓风机；14—煤气脱硫設備

流程图。煤从煤斗1经过煤閘2进入煤气发生炉3,从发生炉下面由混合总管4加入氧和过热水蒸汽。温度为 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 的混合气从煤气发生炉中出来之后在喷淋式冷却器5中冷却,使水和焦油冷凝。所得冷凝液用泵6送回冷却器喷淋,而煤气则依次经过管式冷却器7和吸收塔8(吸收塔8用吸收油喷淋),使汽油蒸气被吸收。从这里将被汽油饱和了的吸收油送去再生,而煤气则送往用水喷淋的洗涤塔9清除 CO_2 。

洗涤塔9后的水经过透平10以回收泵11所消耗的能量后,送到脱气塔12。塔12内由空气鼓风机13送入空气以解吸水中的 CO_2 和可燃气体。然后水又回到洗涤塔9中重复利用。

煤气在脱硫设备14中用一乙醇胺清除硫化物,再经干燥和加味^①以后送入消费网。

表3列有英国煤和苏格兰煤的气化指标。

英国煤和苏格兰煤的气化指标

表 3

指 标 名 称	烏耶斯特·米德兰茨 (Уест Мидлэндс) 矿区的英国煤	博 格 沙 恩 特 (Богсэнд) 矿区的苏 格 兰 煤
1. 燃料规格:		
1) 水分, %.....	7.5	8.4
2) 灰分, %.....	7.5	28.5
3) 挥发分, %.....	35.4	24.7
4) 焦渣中含碳, %.....	49.6	38.4
5) 焦油得率, %.....	12.26	5.7
6) 可燃硫(Сера горючая), 1 %.....	1.10	1.3
7) 高热值, 千卡/公斤	—	4637
8) 粒度, 毫米.....	10~13	10~30
2. 操作条件.....		
1) 气化压力, 表压.....	21	20.6
2) 吹风气(公斤/米 ³)中水蒸 汽与氧的比例.....	6.1	6.5

① 原文为“Одорация”, 这里译作“加味”, 意思就是煤气经脱硫后已无臭味, 但为防止使用时发生中毒等危险, 特加一种味道到煤气中去——译者。

續表 3

指 标 名 称	烏耶斯特·米德兰茨 (Уест Мидлэндс) 矿区的英国煤		博 格 沙 恩 特 (Богсэнд)矿区的苏 格 兰 煤	
	粗制煤气	粗制煤气	粗制煤气	精制煤气
3. 所得煤气組成, %:				
CO ₂	28.9	2.0	30.5	2.0
H ₂ S ^①	—	—	0.5	—
C _n H _m	0.3	0.3	0.2	0.2
CO	19.5	26.9	17.4	24.7
H ₂	40.7	56.2	42.5	60.3
CH ₄	10.1	13.9	8.4	12.1
N ₂	0.5	0.7	0.5	0.7
4. 所得煤气的低热值, 千卡/标准米 ³	3500		3380	
5. 产量和单位消耗量:				
1) 粗制煤气产量, 标准米 ³ /公斤煤	1.94		1.39	
2) 精制煤气产量, 标准米 ³ /公斤煤	1.41		0.96	
3) 氧耗量, 标准米 ³ /标准米 ³ 粗制煤气	0.134		0.151	
4) 水蒸汽耗量, 公斤/标准米 ³ 粗制煤气	0.803		0.992	
6. 副产物:				
1) 焦油, 以对实验室試样%表示	62.2		74.7	
2) 煤渣(比重=1.0), 升/吨煤	70.5		33.0	
3) 輕油(比重=0.88), 升/吨煤	24.2		14.0	
7. 以燃料計的气化过程强度, 公斤/米 ² ·小时	867.5		1113	
8. 气化过程效率, %	91.3		87.9	

① 原文为H₂, 可能为H₂S之誤——譯者。

近年来, 卢尔吉煤气发生炉得到了改进, 因而它的生产能力增加了, 而且能够进行气化的固体燃料的种类范围也扩大了。例如, 用取消发生炉(炉身直径为2.4米)內衬的方法使生产能力由5000~700米³/小时增加到9000~12000米³/小时。

目前煤气发生炉的炉身直径已达到3.7米, 它的生产能力以粗制煤气計达到20000~22600米³/小时(图4)。这种发生炉的刮板机

械和炉栅是合用一个传动装置的。

卢尔吉发生炉不仅可用来制取民用煤气，而且还可制造工艺煤气。例如，南非联邦約翰內斯堡附近的一个人造液体燃料厂中，建成了一个八个炉身直径各为3.7米的煤气发生炉所組成的煤气发生站，每昼夜能处理当地的煤3100吨。

又訊，在西德(魯尔)、英国、比利时、意大利，澳大利亚、巴基斯坦等国也有已經开工生产的或者正在建造的卢尔吉系統的煤气发生站。

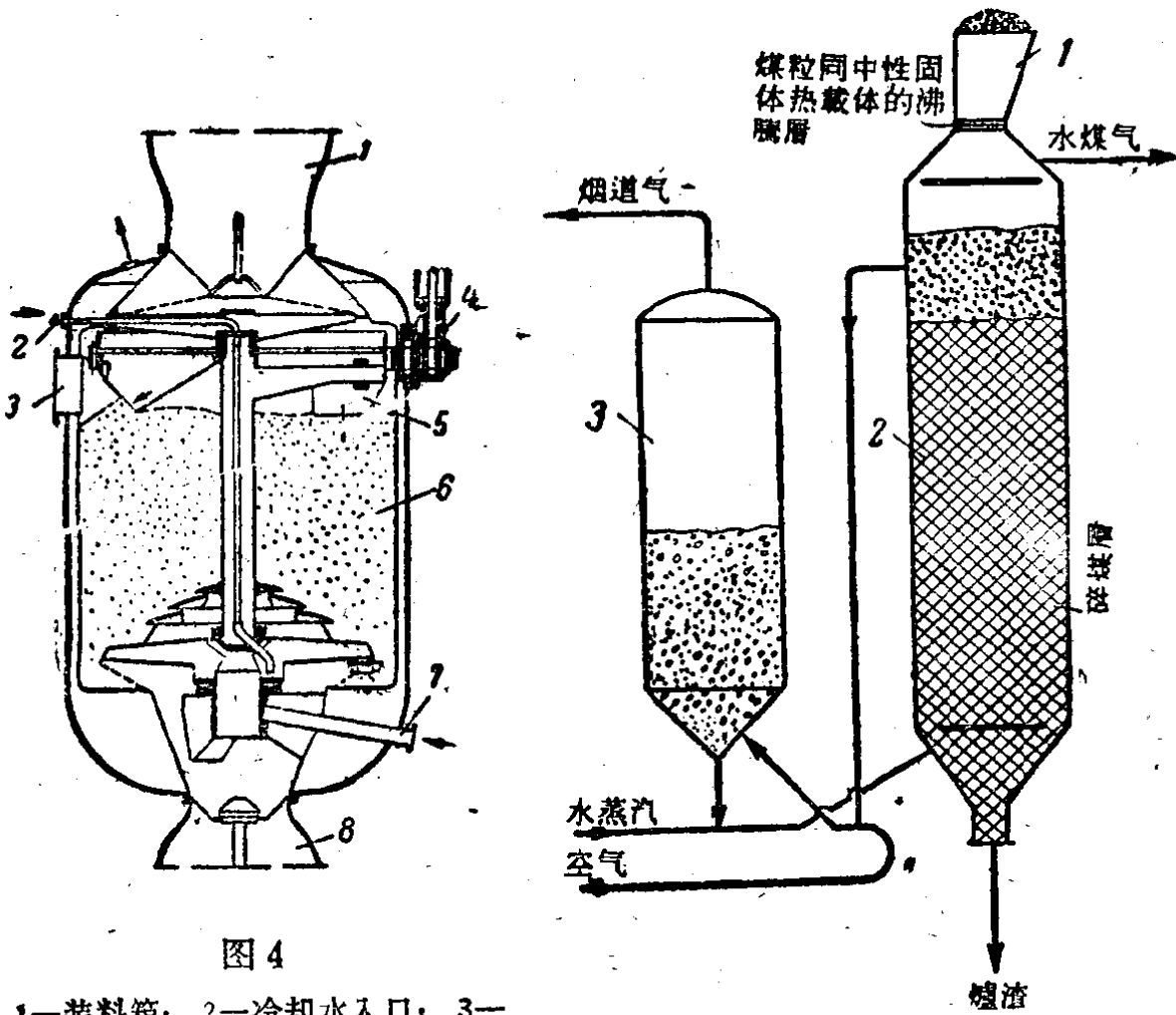


图 4

1—装料箱； 2—冷却水入口； 3—煤气出口； 4—刮板机械和炉栅的传动装置； 5—刮板浆； 6—燃料层； 7—过热蒸汽和氧的入口； 8—灰斗

图 5 用中性固体热载体气化块煤的流程图

1—煤斗； 2—煤气发生炉； 3—煤粉燃烧室

4. 用中性固体热载体以循环的方法气化块煤^{12, 13}

按此法操作的装置(图5)由煤气发生炉 2 和煤粉燃烧室3組成。燃料从煤斗 1 加入煤气发生炉中，燃烧室 3 中加热了的粒状热载体被水蒸汽流吹入发生炉下部。这时，蒸气和被气化的燃料的温度升高

到必需的溫度而生成水煤气。在被气化的燃料层中，水蒸汽和所得煤气的速度要使气体混合物能将中性热载体和燃料灰带出煤气发生炉，然后由空气流将其带入燃烧室3中。煤灰出煤气发生炉后即被烧尽，将热载体加热到应有的溫度，然后蒸汽流又将其吹入炉的下部。

上述气化过程可連續进行而不需用氧。过程的操作指标不詳。

II. 細粒燃料气化法

1. 符列什—溫克勒 (Флеш-Бинклер)

法气化細粒燃料^{13~16, 45}

与溫克勒法比較，此法具有如下的优点：

- 1) 不仅能气化褐煤，而且能气化烟煤和无烟煤，其中也包括中等粘性煤；
- 2) 煤气发生炉出口的煤气溫度較低 ($300 \sim 400^{\circ}\text{C}$)，而不是 $800 \sim 900^{\circ}\text{C}$ ；
- 3) 煤气含尘量較少 (30毫克/标准米³，而不是150~300毫克/标准米³)；
- 4) 采用連續法(用蒸汽-氧气吹风或蒸汽-空气吹风)和間歇法(輪流进行空气吹风和蒸汽吹风)均可不用氧而制得水煤气；
- 5) 气化过程系在小于10个表压的压力下进行。

图6所示为煤气发生炉的两种形式的結構略图，这两种形式相当于发生炉操作的两个阶段。

煤气发生炉具有两个以气道相連的炉身，沿着气道引入吹风流或煤气沿着气道从一个炉身到另一个炉身。

在第一个阶段(15分钟)內，煤气发生炉的两个炉身中从上往下地引入蒸汽-氧气吹风气，而生成的煤气則沿着气体管道7排出。这时，燃料被灰化，燃料层溫度升高并可能生成粘結的炉渣块。

第二个阶段是从其中的一个炉身的下面送入蒸汽或循环气，同时从上面加入燃料。蒸汽或循环气使燃料层成沸騰状，从而使炉渣块移动至炉篦，再用排渣机械将其送至灰斗6。生成的煤气送往炉

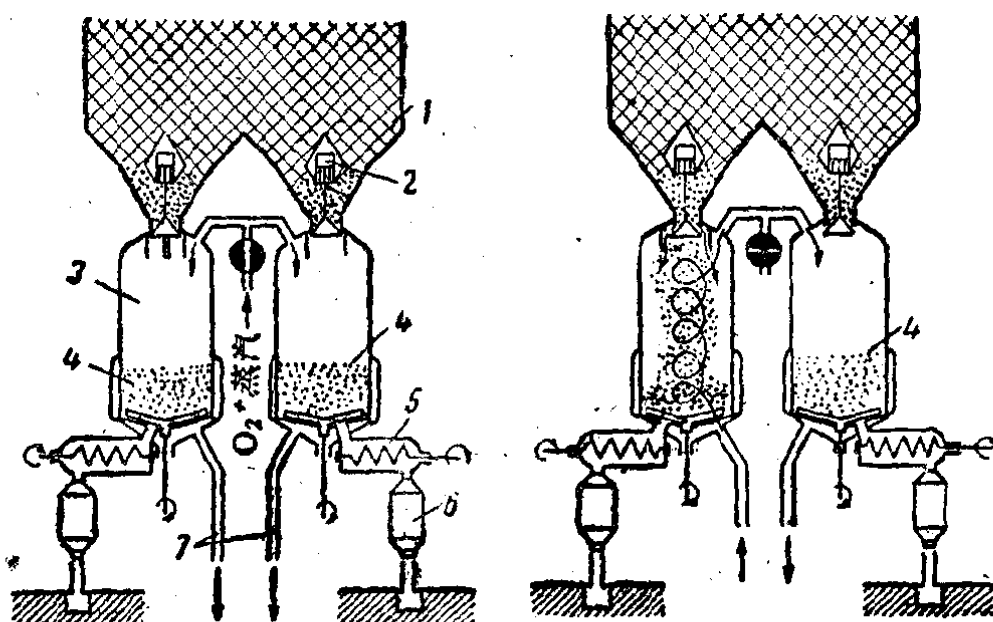


图6 符列什-温克勒法气化细粒燃料的略图

1—煤斗；2—加料设备；3—煤气发生炉；4—燃料层；5—螺旋运输机；6—灰斗；7—煤气出口或吹风气入口

身上部，使从上面落下的燃料成涡流运动并按照其粒级而被分开。最大的颗粒落到炉篦上，较小的颗粒自下往上（较大者在下，较小者在上）分布在燃料层中。最小的颗粒则随气流带入另一个炉身中，在这里被燃料层滤出，大部分都落在燃料层的上部。制到的煤气进入总管，一部分并送去循环。第二阶段的持续时间为2~2.5分钟。

在这个阶段中，煤气从第一个炉身出来时的温度约为 800°C ，而从第二个炉身出来时约为 500°C 。

已知在奥帕乌(Оппай)已建成上述结构的试验发生炉，生产能力为每昼夜处理燃料100吨。炉的尺寸：炉篦上面的炉身直径为920毫米，炉身高4000毫米，固定燃料层高1000毫米。

煤气发生炉的操作指标列于表4。

2. 用循环沸腾的氧载体气化细粒燃料^{17, 18}

该气化法〔法国专利949986(1949)〕的特点是不用氧而过程连续，并采用金属氧化物作为循环热载体和氧载体。

装置(图7)由煤气发生炉2和氧化物交流换热器3所组成。在发生炉中同时加入料斗1中的细煤和换热器3中加热到 $1000\sim 1050^{\circ}\text{C}$ 的金属氧化物(矿砂)。在炉下部送来的过热到 600°C 的水

表 4

序 号	指 标 名 称	計 量 单 位	燃 料 种 类		
			褐 煤	烟 煤	焦 炭
1	燃料的粒度.....	毫米	0~8	0~8	0~8
2	燃料灰分.....	%	30	26	13
3	燃料水分.....	%	2	4	1.5
4	燃料热值.....	千卡/公斤	4500	4800	6350
5	吹风气.....		氧和蒸汽	氧和蒸汽	空气
6	所得煤气的組成:				
	CO ₂	%	16.5	16.0	3.6
	CO	%	41.9	36.0	28.6
	H ₂	%	40.0	44.0	7.8
	CH ₄	%	0.9	2.5	0.7
	N ₂	%	1.5	1.5	59.3
7	煤气热值.....	千卡/标准米 ³	2576	2673	1182
8	气化过程的强度 (单位容积的 煤气产量).....	标准米 ³ /米 ³ ·小时	1000	1500	1700
9	煤气发生炉出口煤气温度.....	°C	360	350	350
10	煤气发生炉炉身的热应力.....	千卡/米 ² ·小时	2.57×10^6	2.01×10^6	2.01×10^6

蒸汽的作用下,煤和金属氧化物的混合物在这里成为沸腾状态,同时燃料层的温度維持在982°C。生成煤气的过程依靠水蒸汽和氧化物的氧进行。生成的煤气和未分解的水蒸汽送到除尘器4和洗滌器5去清除灰尘和冷却。

除尘器中的灰尘直接回到煤气发生炉中,而洗滌器中的灰尘則經過沉降槽6送回发生炉中。

在发生炉中还原了的矿砂随同灰化了的燃料用空气流送到交流换热器3,在温度約为1000~1050°C下氧化成原来的氧化物。是时以燃料的燃烧来維持这个温度。放出的热量中相当大的一部分被积聚在循环矿砂中而送回煤气发生炉。根据专利报导,有一个大型試驗装置按此法进行了試驗,制得了11749000米³煤气。

固体热载体和氧载体可采用鉄、鎳、銅、釩的氧化物以及这些氧化物相互間的混合物和与氧化硅的混合物。燃料可采用无烟煤、焦炭、炭、泥煤和木材。

在試驗装置中气化无烟煤时所得到的煤气含16%CO₂、42%CO

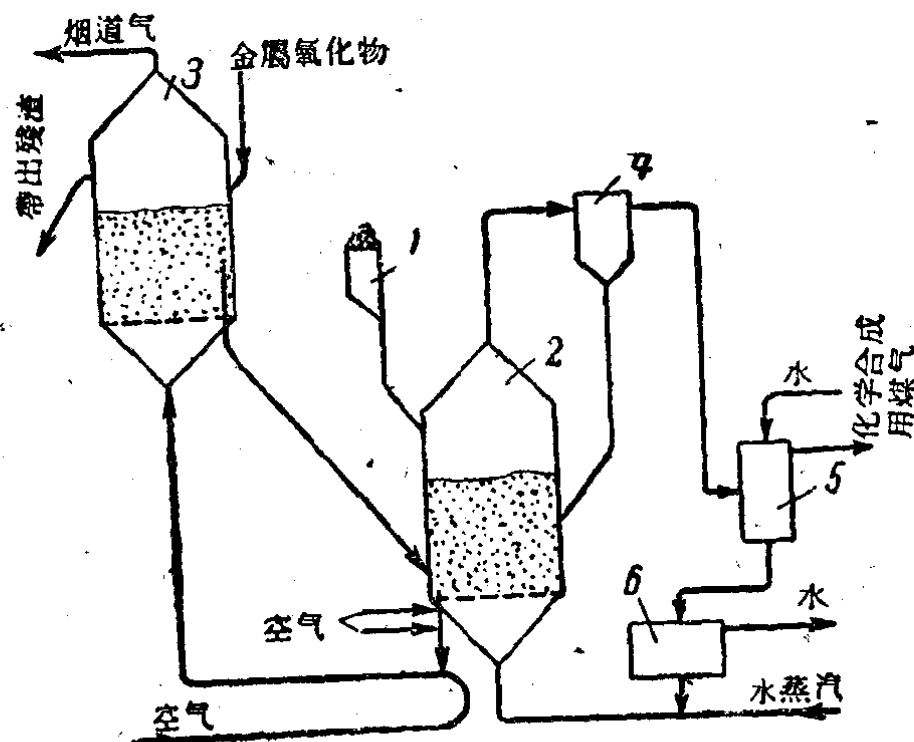


图 7 用固定的沸腾氧载体在煤气发生炉中
气化固体燃料的流程图

1—燃料下料斗；2—煤气发生炉；3—金属氧化物交流
换热器；4—除尘器；5—洗涤器；6—残渣沉降槽

和42% H_2 。

1951年，发表了用呈沸腾状态的金属氧化物氧化固体燃料的研究结果²⁶。

3. 用气体热载体在沸腾层中气化细粒燃料¹⁹

这个气化方法具有如下的特点：1) 过程连续；2) 能够气化细粒燃料；3) 采用的气体热载体温度接近于被气化燃料的灰熔点；4) 被气化的燃料层呈沸腾状态。

装置的主要设备(图 8)是煤气发生炉 2 和旋风炉 5。

燃料(粒度0~6.35毫米)沿着导管 1 送入煤气发生炉 2，在炉中被加热了的气态热载体和水蒸汽或空气气流导入沸腾状态。所得煤气按照规定通过除尘器 3 排出，而部分用过的燃料被空气或氧气流由溢流槽 4 沿着燃料管道送入旋风炉 5 中，在这里完全烧尽。旋风炉中的炉渣以液体形式排除，而烟道气则送至煤气发生炉中作为热载体。