

出国参观考察报告

西德粉煤气化、氧气底吹 转炉和冶金热能技术

(内部资料·注意保存)

冶金部情报标准研究所

出国参观考察报告

西德粉煤气化、氧气底吹转炉 和冶金热能技术

(内部资料·注意保存)

冶金部情报标准研究所

一九七八年五月

前 言

为执行中国西德两国科技交流协议，我们受冶金部派遣，以“粉煤造气考察组”的名义，于一九七八年二月九日到三月四日，在西德进行了二十三天考察，主要是粉煤气化、氧气底吹转炉炼钢和冶金热能三个方面的内容。

粉煤气化方面，我们访问了专门从事煤气化研究和设备生产的鲁奇公司 (Lurgi Kohle—Mineralöltechnik GmbH)、克虏伯—柯柏斯公司 (Krupp—Koppers GmbH) 和埃森采矿研究所 (Bergbauforschung Essen)；考察了萨尔煤矿 (Saarberg Werke) 的萨尔贝尔克—奥托 (Saarberg—Otto) 粉煤加压气化半工业试验装置、鲁尔化学公司 (Ruhrchemie A G) 的德士古 (Texaco) 粉煤加压气化半工业性试验装置、克虏伯—柯柏斯公司的谢耳—柯柏斯 (Shell—Koppers) 粉煤加压气化半工业性试验装置 (即加压 K—T 炉)、莱茵褐煤公司 (Rheinischen Braun Kohlenwerke) 的高温温克勒 (Hochtemperatur—Winkler) 碎煤加压气化半工业试验装置和利用核热能的加氢气化试验装置、埃森采矿研究所的利用核热能水蒸汽气化试验装置。

氧气底吹转炉 (OBM) 炼钢方面，考察了马克西米利安钢铁公司 (Maximilianshütte) 诺因基尔辛钢铁厂 (Neunkircher Eisenwerk A G) 和吕希令钢铁厂 (Röchling—Burbach GmbH)，并同西德钢铁协会 (VDEH) 和从事冶金设备生产的好望钢铁厂 (GHH) 进行了这方面的技术座谈。

冶金热能方面，考察了克虏伯公司 (Fried Krupp)、赫什钢厂 (Hoesch A G) 和蒂森公司 (Thyssen A G)，并同西德钢铁协会就如何进一步降低冶金能耗交换了意见。

应德方再三邀请，我们还参观了考夫公司 (Korf—Stahl A G) 在汉堡钢厂 (Hamburger Stahlwerke GmbH) 兴建的年产四十万吨海绵铁的中德勒法 (Midrex) 直接还原装置，参观了莱茵褐煤公司 (Rheinbraun A G) 所属佛特纳 (Fortuna) 煤砖厂年处理 37 万吨褐煤的床式回转炉炼细粒焦工艺。

遵照毛主席“洋为中用”的教导和华主席“对于世界上先进的科学技术，要认真学习，拿来为我所用”的指示，我们根据看到的情况和德方介绍的资料，整理出这份考察报告。由于我们水平所限，考察时间短，内容又多，再加上德方对“技术专利”严加保密，所提供的技术数据并不一定完全属实，因此报告中一定有不确切、不完整、甚至错误之处，欢迎同志们批评指正。

冶金部赴西德粉煤气化考察组 朱庆长 (酒泉钢铁公司)

汪雨生 (冶金部规划院)

郑秀云 (北京钢铁研究院)

张东亮 (陕西化肥研究所)

朱志仁 (北京钢铁设计院)

张鉴明 (鞍山冶金热能研究所)

付 兵 (酒泉钢铁公司)，一九七八年四月十七日

目 录

前言

第一部分 粉煤气化	1
一、西德煤气化工业概况	1
二、正在研制中的煤气化新工艺	3
(一) 萨尔贝尔克—奥托法	3
(二) 谢耳—柯柏斯气化法	9
(三) 德士古法	11
(四) 高温温克勒气化法	13
(五) 利用核热能的水蒸汽气化法	16
(六) 利用核热能加氢气化法	18
三、已工业化的气化方法	20
(一) 柯柏斯—托切克气化法	20
(二) 鲁奇加压气化法	25
四、讨论和建议	28
第二部分 氧气底吹转炉炼钢	30
一、概况	30
二、三个钢铁公司简介	30
三、氧气底吹转炉炼钢法的主要特点及西德的生产情况	34
四、对氧气底吹转炉的一些粗浅看法	40
第三部分 冶金热能	41
一、全西德冶金热能一般概况	41
二、蒂森钢铁公司能源概况	41
三、莱茵豪森钢铁厂能源概况	46
四、赫什钢铁公司能源概况	47
五、讨论	48
附一 细粒焦的生产	50
附二 铁矿石直接还原生产海绵铁	54

第一部分 粉 煤 气 化

一、西德煤气化工业概况

(一) 煤气化工业的重要性

利用煤造气，在德国已有几十年的历史。早在三十年代，在以煤为主要能源的德国就广泛开展煤气化的研究，炉型各异，种类繁多，造气方法不下十余种。目前世界上应用很广的所谓第一代煤气化法都起源于德国。

西德煤炭资源非常丰富，可供开采的煤中有硬煤240亿吨（标准煤）、褐煤350亿吨（相当于110亿吨标准煤）。照目前的开采情况，可用200~300年。

五十年代后期，由于石油、天然气工业发展较快，西德的原料、燃料结构逐渐改变；各工厂企业都在很大程度上依赖于进口的廉价石油和天然气，煤气化的研究和发展几乎处于停顿状态。

七十年代初期，资本主义世界受到了能源的冲击，石油和天然气价格猛涨，加之储量日趋减少（据估计，已查明的天然气储量的23%、石油储量的43%已被消耗），这种严重局势使西德政府和企业界认识到依赖外国能源的危险性；因此煤的利用包括煤气化工业又重新得到重视。政府为研究煤气化新工艺提供了大量的科研资金，据了解1977~1978年用于科研方面的总投资为47亿西德马克，其中煤气化为4.14亿马克，占8.8%。

(二) 煤气化工业发展情况

近几年来，西德已建立起一批新的煤气化半工业试验装置，有的已开始试验，有的在建设中，预计到1985年可推广于工业应用，而利用原子能制气，则要到1990年后才有工业价值。

西德研究煤气化有两个目的：一是技术出口；二是技术储备。只有当煤气化的价格低于进口的石油、天然气时，才在国内采用煤气化工艺。

我们在考察期间参观了正在研制或建设中的六种煤气化半工业性试验装置：萨尔贝尔克—奥托（Saarberg—Otto）法；谢耳—柯柏斯（Shell—Koppers）法；德士古（Texaco）法；高温温克勒（HTW）法；利用核热能的水蒸汽气化法和加氢气化法。这些正在研制中的煤气化法列于表1。

对已工业化的鲁奇法、KT法、温克勒法，我们与有关专家和技术人员进行了讨论。鲁奇法采用块煤或小粒煤制燃料气、城市煤气和合成天然气，世界上共建有62台炉子。西德的吕南（LuNEN）凯勒曼（Kellermann）电厂于1970年建有五台空气气化炉，但西德未予安排参观。KT炉自1949年工业化以来发展很快，在世界各地先后建有47台炉子，目前还在生产的有33台，其中27台用煤为原料。温克勒炉由于存在着对煤活性要求高、气化效率低等缺点发展较慢，世界上建成的36台炉子中只有6台尚在生产。三种气化方法的比较见表2。

表 1 正在研制中的煤气化新方法

序号	气 化 方 法	负 责 公 司、厂 家 (地址)	投 资 (万马克)	煤 种	气化温度 (°C)	气化压力 (公斤/厘米 ²)	排 渣 形 式	试验规模 (吨煤/时)	备 注
1	鲁奇加压气化法 Lurgi Druckvergasung	鲁尔煤气公司、鲁尔煤公司、煤 电公司 (Dortm)	10300 (政府投资75%)	细粒煤, 不 粘结性—粘 结性煤	900	最高至100	液态渣	7	正在筹建
2	高温温克勒法 HTW	莱茵褐煤公司 (Wachtberg)	724 (政府投资65%)	细粒煤、褐 煤和不粘结 性烟煤	1000	10	干灰	1	已单体试车
3	谢耳—柯柏斯法 Shell-Koppers	谢耳公司, 克虏伯—柯柏斯公司 (Hamburg)	6000	各种粉煤	1400~1500	20	液态渣	6	已单体试车
4	德士古法 Texaco	鲁尔化学公司, 鲁尔煤公司 (Oberhausen Holten)	2900 (政府投资60%)	各种煤粉制 成的煤浆	1400~1500	40	液态渣	6	已在1978年1月 开始试验
5	萨贝尔克—奥托法 Saarberg-Otto	萨贝尔矿, 奥托公司 (Saarbrücken, Völklingen— Fürstenhausen)	4300 (政府投资75%)	各种粉煤、 瘦煤	1500	25~30	液态渣	5~10	正在施工, 预计 1978年9月可以 开始试验
6	管式炉法 Röhrenofen	莱茵褐煤公司 (Wachtberg)	561 (政府投资65%)	细粒褐煤	850	40	干灰	0.4	已停止试验
7	原子能制气水蒸气气化法 Wasserdampfvergasung	采矿研究所 (Essen)	4000 (政府投资 78~85%)	硬煤	800	40	干灰	0.4	已于1976年开始 试验
8	原子能制气加氢气化法 Hydrierende Vergasung	莱茵褐煤公司 (Wesseling)	2552 (政府投资75%)	细粒褐煤	800~900	40~100	残焦	0.4	已于1975年开始 试验

表 2 已工业化的制气方法比较

项 目	炉 型	鲁 奇 炉	温 克 勒 炉	K-T 炉
		(固定床)	(沸腾床)	(气流床)
气化炉压力	(公斤/厘米 ²)	20~30	常压	常压
气化炉出口煤气温度	(℃)	350~600	800~1050	1400~1600
煤在炉内停留时间		90分	15分	1秒
气化煤种		不粘结、不热爆	高活性、不热爆	各种煤
入炉煤粒度	(毫米)	5~50 (>13占87%)	0~8	<0.1 (<200目占80%)
煤气成分: H ₂	(体积%)	37~39	35~46	31
CO	(体积%)	20~23	30~40	58
CO ₂	(体积%)	27~30	13~25	10
CH ₄	(体积%)	10~12	1~2	0.1
煤气中焦油、酚等付产物		有	无	无
煤气产率	(标米 ³ /吨煤)	1220	1580	1900
氧耗 (折成100%)	(标米 ³ /标米 ³ 粗煤气)	0.16~0.27*	0.35	0.31~0.36
蒸汽耗	(公斤/标米 ³ 粗煤气)	1.1~1.9	0.4~0.9	0.07~0.16
碳转化率	(%)	88~95	68~80	80~98
冷煤气效率	(%)	75~80	58~65	69~75

* 如使CH₄在转化炉转化,则氧耗还需增加20%。

(三) 煤气化发展方向

1. 利用氧作气化剂。由于氧气气化生产强度大、煤气质量好、气化效率高以及技术上较易掌握等优点,在新研制的气化方法中已基本上不用空气作气化剂。

2. 提高造气压力。加压气化能提高气化强度、节省动力。一般粉煤气化(如萨尔贝尔克-奥托、谢耳-柯柏斯、德士古)气化压力已提高至25~40公斤/厘米²。用块煤或小粒度煤的鲁奇法将提高至80~100公斤/厘米²。高温温克勒法(煤粒度0~8毫米)也提高至10公斤/厘米²。

3. 增大炉子直径和容积,提高单炉产气量。

4. 扩大原料煤适用范围,特别是发展粉煤造气。

5. 把煤气化与发电相结合,发展蒸汽透平、煤气透平联合循环。

6. 利用核能制气,扩大能源,提高煤利用率。

二、正在研制中的煤气化新工艺

(一) 萨尔贝尔克-奥托法(即加压鲁麦尔法)

萨尔贝尔克-奥托加压气化半工业试验由萨尔煤矿和奥托公司合作,于1975年9月筹建,目前正在安装,将在1978年9月投产,总投资4300万马克。试验装置建在萨尔布吕肯(Saarbrücken)附近的佛斯特豪森(Fürstenhausen),操作压力为25公斤/厘米²,试验规模为每小时处理10吨煤。

1. 历史沿革

萨尔贝尔克-奥托炉是在常压鲁麦尔熔渣池气化炉基础上发展起来的。1950年第一座单筒鲁麦尔试验炉建于威赛林(Weseling)的莱因褐煤动力燃料公司。炉子内径0.8米,氧气气化时产气量3300标米³/时,CO+H₂=85%;空气气化时,煤气热值达1000大卡/标

米，但是空气须高度予热。1954年该厂又安装一台内径为1.8米的单筒炉，于1956年投入运行，产气量为16000标米³/时，由于存在技术上的一些困难和设备缺陷，奥托公司又于1960~1961年设计安装了一座相同尺寸的经过改进的试验炉，但仍然遇到一些困难而未能连续运行，最长运转时间仅十多天。由于广泛采用石油、天然气以及试验中遇到的困难，鲁麦尔气化试验于1964年完全停止，试验装置现已拆除。

与此同时，还进行了双筒熔渣炉试验。1962年英国煤气协会在Bromley建造一台内径为0.71米的试验炉，由于遇到各种技术上的困难特别是渣池析铁，试验被迫停止。

2. 工艺流程和设备

在鲁麦尔炉六十年代试验的基础上新设计的萨尔贝尔克—奥托炉的工艺流程示于图1。原煤经破碎至3毫米以下，其中0~0.5毫米占70%，干燥至硬煤水分<2%、褐煤<12%。常压粉仓、加压粉仓均以N₂充压，加压仓进出口各有两只插板伐进行装卸料操作，插板伐为液压传动，密封圈材质为聚四氟乙烯，详见图2。粉煤进入加压粉仓后用螺旋输送机送出，用经冷却、清洗并升压后的自产煤气输送至气化炉喷嘴，输送比为15.6公斤煤/公斤煤气，流速约10米/秒，在进入喷嘴前再增加适量煤气。如图(1)所示，输送用煤气由900增至1400标米³/时，使流速大于20米/秒。在粉煤输送管道上装有根据压力降原理测量粉煤流量的计量装置。

气化炉结构见图3，内径1.4米，总高16米，分成三段：自下而上第一段为熔渣段，高3米，底部中间为φ250的溢流渣口。有四个喷嘴分成两对，垂角安装角度分别为20°和32°，在渣面形成两个切圆。喷嘴略伸炉内，喷口至渣面垂直距离为0.8米。

第二段为后气化段，高7米。在此将有占入炉煤中10%左右的炭继续转化为煤气。一、二段之间有一个内径1.1米的缩口，气体通过时增加旋转，有利于捕渣，也可延长炭粒在炉内的停留时间。

第三段为煤气急冷段，高6米。1200~1500℃的煤气在此用自产的冷煤气急冷至850℃，使煤气夹带之熔渣固化。

第一、二段炉壁为水冷壁，结构参见图4。第三段砌有耐火保温砖，顶部有一人孔供检修用。

从炉顶出来之粗煤气进入有氧化铝衬里的高温旋风分离器（除尘效率94%），煤气经废热锅炉冷却至240~280℃，再经热过滤器除尘后进入冷却塔，煤气出塔含尘量5毫克/标米³，温度40℃。高温飞灰由除尘器进入灰斗（发生低压蒸汽）并被冷却，用N₂吹送至制粉系统，与粉煤混合后重新回炉气化。由废热锅炉、过滤器除下来的飞灰也返回制粉系统。

表3~5列出气化长焰煤的设计指标和有关参数。

表 3 气化用恩斯道夫 (Ensdorf) 牌矿长焰煤组成

(重量%)

水 分	灰 份	C	H	S	N	O	挥 发 份	热 值
2.00	8.56	72.75	4.71	1.39	1.60	8.99	35.78	6830大卡/公斤

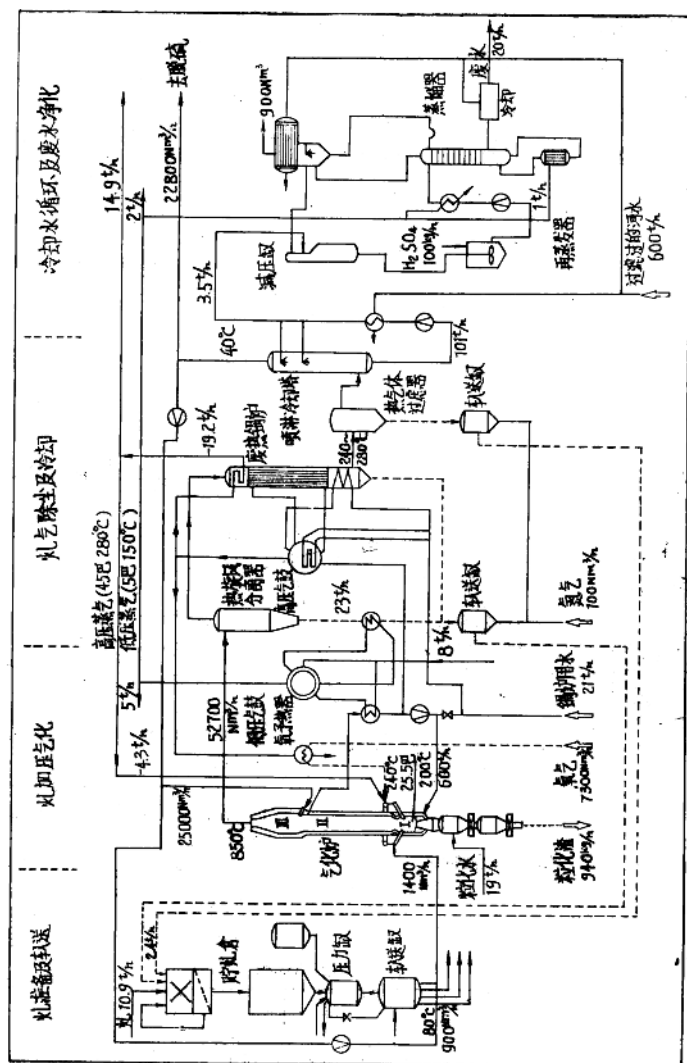


图 1 萨尔贝尔克—奥托气化工工艺流程

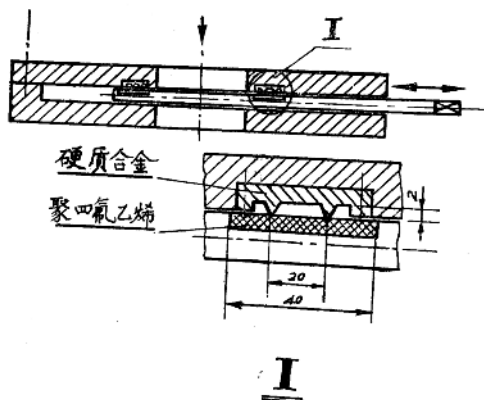


图 2 插板伐密封结构

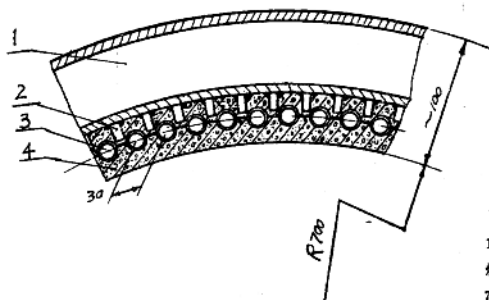


图 4 气化炉水冷壁结构

1—高压水夹套；2—渣钉；3—水冷壁管 $\phi 19$ ；4—耐火衬

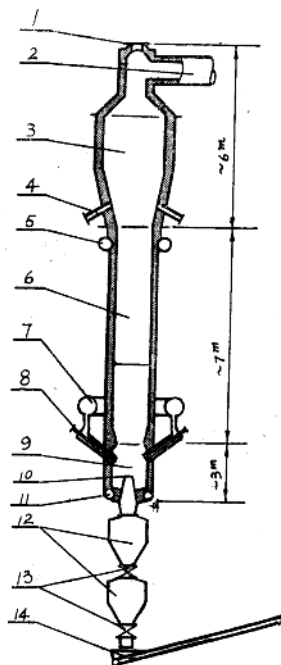


图 3 萨贝尔克—奥托气化炉结构

1—人孔；2—煤气出口；3—冷却段；4—急冷煤气进口；5—冷却水出口；6—后气化段；7—气化剂入口；8—煤粉入口；9—渣溢段；10—溢流渣口；11—冷却水入口；12—压力计；13—插板伐；14—皮带机

表 4 粗煤气(干)组成(体积%)

气 化 介 质	CO	H ₂	CO ₂	N ₂ + Ar	H ₂ S + COS	CH ₄	热 值
氧 气 (99.5%)	54.0	31.4	13.2	0.8	0.4	0.2	2480大卡/标米 ³
富 氧 (36%)	30.4	9.5	9.1	50.5	0.3	0.2	1200大卡/标米 ³

表 5 产品及消耗指标 (每小时计)

项 目		气 化 方 法	氧 气 (99.5%) 气 化	富 氧 (36%) 气 化
			25.5公斤/厘米 ²	17公斤/厘米 ²
产 品	干煤气	标米 ³	22800	16200
	高压蒸汽 (48大气压280℃)	吨	14.9	11.2
	低压蒸汽 (5大气压150℃)	吨	5.0	3.9
	粒化渣	公斤	940	400
消 耗	煤 (含水 2%)	吨	10	4.75
	氧气 (99.5%)	标米 ³	7300	1900
	空气	标米 ³	—	10400
	冷却水	米 ³	600	350
	电	度	(未予提供)	2800
	氮气或惰性气体	标米 ³	100	50
	碳转化率	%	约99.5	约99.5
气化效率		%	73	60
气化强度		吨/米 ² ·小时	6	2.85

3. 气化炉的特点及讨论

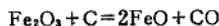
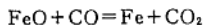
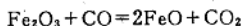
萨尔贝尔克—奥托气化属气流式高温熔渣气化, 产品气中几乎不含酚、焦油等有害物质。废水处理简单。煤气中CO和H₂含量很高, 甲烷含量极微, 特别适合于制还原气、合成气。

该气化炉的特点是有个熔渣池, 煤粉和气化剂首先在渣池中进行反应, 加之气流旋转载固间相对速度大, 炭粒在炉内停留时间长, 气化较完全, 捕渣率高于一般的气流式气化炉。此外, 由于渣面对喷出物的热辐射, 粉煤着火快, 火焰长度短。熔渣气化法的优点如下:

- (1) 气化强度大;
- (2) 可气化活性差的煤或半焦;
- (3) 可气化飞灰, 碳转化率可达99.5%;
- (4) 可气化较粗颗粒的粉煤, 磨煤耗电较少;
- (5) 可用富氧或空气气化, 生产低热值煤气。

熔渣池气化的主要困难是渣池析铁。根据鲁麦尔的理论, 渣池中氧化铁遵循 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{C} = 2\text{FeO} + \text{CO}$ 和 $2\text{FeO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3$ 的反应式进行氧传递而不会析铁。单筒炉试验未发现析铁现象, 在加压鲁麦尔炉中也未考虑析铁问题。然而, 根据英国双筒炉试验, 一旦氧化铁还原, 即迅速还原成金属铁并沉积于渣池底部, 使试验不能连续进行。

对于析铁的原因, 据认为双筒炉中主要发生在气化区, 因为这里缺少氧使金属铁再氧化, 而在单筒炉中不会发生这样的情况。事实上, 在单筒炉中渣池既有还原性气氛又有过剩碳, 同样具备了析铁条件, 能使氧化铁还原成金属铁:





西德单筒炉之所以未出现明显的析铁现象，可能因运转时间短，有些问题未充分暴露的原因。究竟能否控制渣池气氛和碳量来防止FeO的还原，或采取分离金属铁的措施，尚须在试验中验证。

熔渣池气化中，渣的粘度—温度关系曲线是一个至关重要的因素。理想的熔渣粘度应保证渣液流动性能好，又要使粘附在水冷墙上的凝固渣壳有一个适当的厚度。不同的煤有不同的温度—粘度关系曲线。须根据原料煤的活性差异，通过试验摸索适宜的反应温度。

本装置中还设计了以空气或富氧气化生产低热值煤气，使煤气透平与蒸汽透平相结合的流程，见图5、6。

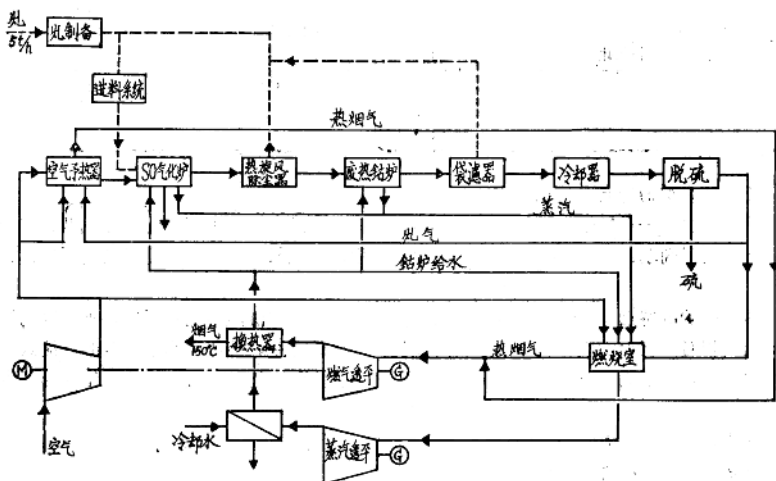


图5 用萨尔贝尔克—奥托气化炉联合循环

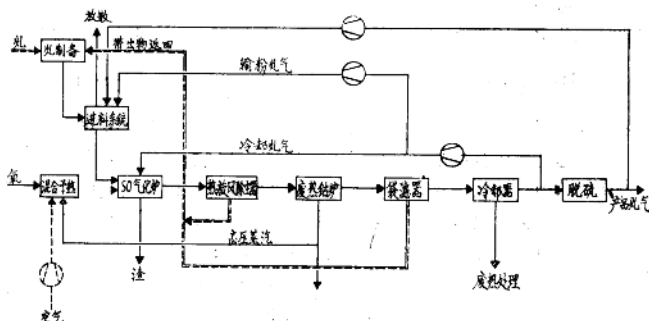


图6 生产煤气透平、蒸汽透平联合工艺用洁净燃料气的萨尔贝尔克—奥托流程

通过计算指出, 气化剂为空气时, 对试验规模的炉子须将空气予热到 1000°C , 工业规模的炉子—— 700°C 。须选用昂贵的管式炉来予热空气。

本装置将旋风分离器移到了废热锅炉前面, 改善了锅炉的积灰和磨损, 但是分离器要在 850°C 下工作并达到94%的除尘效率, 这是不易做到的。锅炉后的袋式过滤器在 $240\sim 280^{\circ}\text{C}$ 下工作, 对滤布的结构、材质及振打方式的要求也较高。

其他如粉仓的料位测定、高压下给料、输送, 西德都有成熟的技术, 本装置中的加料设备是向有关厂家成套购买的。

(二) 谢耳—柯柏斯气化法 (即加压KT法)

1. 概况

克虏伯—柯柏斯公司与谢耳公司合作, 在汉堡 (Hamburg) 的谢耳炼油厂建设了一座日处理煤量150吨的粉煤加压气化半工业装置, 总投资为6000万马克。克虏伯—柯柏斯公司负责技术和工程设计, 谢耳公司负责生产试验和设备安装。目前处于单体试车和试验准备阶段, 不久将投入试验。

粉煤加压气化技术难度较大, 在设计加压KT炉之前, 克虏伯—柯柏斯公司曾在荷兰的阿姆斯特丹进行了规模为6吨煤/天的扩大试验, 目的是试验加料结构、喷嘴、煤气急冷等, 汉堡的气化装置即根据荷兰的扩大试验结果而设计的。

粉煤加压气化的反应机理与常压相同, 它的最突出优点是在煤气须进一步升压 (如合成氨) 和远距离输送时可节省压缩动力, 因为只须压缩占煤气总量三分之一的氧气。其他优点是设备尺寸小、单炉生产强度大以及碳转化率高、氧耗低等。

谢耳—柯柏斯炉气化压力30公斤/厘米², 采用仓式法粉煤干法加料、高压氨液相输送粉煤的工艺流程。试验预计进行二年, 再在此基础上建设一台更大规模的工业试验炉, 预计1985年工业化并出售于市场。

2. 工艺流程

工艺流程见图7。原煤在制粉系统中经干燥, 研磨至含水量 $<2\%$ 、细度90%通过170目, 用 N_2 输送, 经旋风分离器 (1) 分出 N_2 、进入常压贮仓 (2), 在中间粉仓 (3) 升压后入加压粉仓 (4), 在此用高压 N_2 吹送入炉, 输送比400公斤/米³。氧在予热器 (18) 予热后送入近喷嘴处的 N_2 —粉煤中。蒸汽由废热锅炉 (6) 过热后送入喷嘴。本装置有两套独立的加料系统分别供应两个对称安装的喷嘴, 粉煤 (混入少量 N_2)、 O_2 、蒸汽在气化炉 (5) 内进行气化反应, 高温生成气在炉出口处用循环压缩机 (20) 来的自产冷煤气急冷至 $900\sim 1100^{\circ}\text{C}$, 在废热锅炉冷至 300°C 入省煤器 (7), 在旋风分离器 (8) 除去95%的飞灰, 经文丘里管 (13)、洗涤塔 (14) 除尘后往下一工段。由旋风分离器 (8) 除下来的飞灰贮在灰斗 (9), 经中间灰斗 (10) 减压后入常压灰斗 (11), 用 N_2 吹送至灰贮槽 (12)。气化生成的液渣流入炉下部淬冷室, 大块渣用破碎机 (15) 破碎, 经中间渣斗 (16) 减压后入常压渣斗 (17), 在此沿 30° 倾斜管道输送至渣贮槽 (19)。

3. 设备、仪表和操作

粉煤加料用的中间粉仓、加压粉仓的压力比气化炉高出2公斤/厘米²。煤仓间阀门的开关、充 N_2 、放空均自动操作。加压仓底部无螺旋加料器, 粉煤的计量是在 N_2 —粉煤管道上安装的一个型号为FRC的调节系统 (该公司专利) 来达到的。

粉仓料位用放射性料位计测定。为安全计, 本装置设有两种型式的料位计, 如图 (8)。

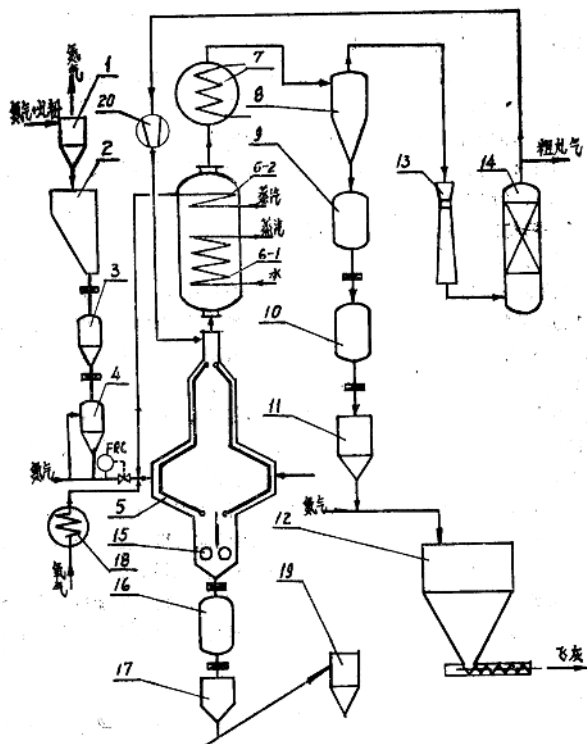


图 7 谢耳-柯波斯气化工艺流程

1—旋风分离器；2—常压粉仓；3—中间粉煤仓；4—加压粉煤仓；5—气化炉；6—废热锅炉；7—省煤器；8—旋风除尘器；9—加压灰斗；10—中间灰斗；11—常压灰斗；12—飞灰贮槽；13—文丘里管；14—洗涤塔；15—胶渣机；16—加压液罐；17—常压液斗；18—氧予热器；19—液贮槽

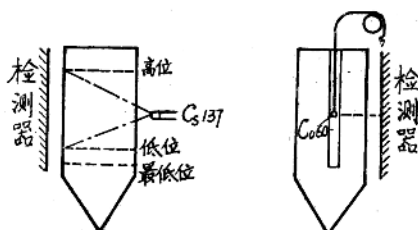


图 8 粉煤仓料位计结构

所示。图(8)左为常压气化中已应用过的料位计。仓内有三个料位：一个高料位；一个低料位；第三个是最低料位(离下料口1米)。当煤位处于任何一个低料位时即自动加煤。发射体¹³⁷铯装于粉仓一侧，相对面的另一侧装有检测仪。右图为克虏伯—柯柏斯公司新设计的料位计。发射体⁶⁰钴是活动式的，在一根插入粉仓内的金属管内上下移动，射线用检测仪测定。这种料位计可随时测定煤位的确切位置。两种结构的料位计都将试验，以便推广时择优选用。

气化炉形状与常压KT炉相似，二个炉头对称安装。不同之处中间有一个圆柱形炉身，下部为淬冷区并装有破渣机。炉身上部出口处用自产冷煤气急冷，以使气体夹带的熔渣固化。为避免急冷装置失灵而堵塞通道，还备有机械捅渣装置。

气化炉采用冷壁结构，冷却管内壁焊有15毫米渣丁并涂以耐火物。冷却管材质为15Mo3。炉子总散热损失3.5~4.0%，气体在炉内停留时间为4秒。

废热锅炉分为蒸发段、过热段，气化用蒸汽过热到500°C，过热管材质Incoloy800镍、铬合金钢管。锅炉总高20米。

气化设备(不包括制粉系统)全部露天安装，钢框架结构，最高层标高约50米。

气化炉无直接测温装置，反应温度是根据物料、热量平衡、蒸汽发生量、气体成分等参数用电子计算机综合算出的，每两分钟运算一次。炉子渣口处设有窥视孔，用电视机监测液渣流动情况，调节氧量以控制液渣粘度。

气化炉工艺参数(设计值)如表6所示。

表 6 用澳大利亚褐煤气化的煤气成分(%)

H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ S	N ₂	氧 耗	碳转化率	冷煤气效率
27.7	68.5	2.6	0.3	0.1	0.8	0.8吨/吨无灰无水煤	98%*	76%

* 当气化较老的烟煤时小于98%

根据炉子物料、热量平衡的计算，并考虑到输送粉煤的N₂混入炉内，上述气化数据中CO₂和N₂的含量看来是偏低的。

4. 谢耳—柯柏斯炉优缺点

优点：

(1) 谢耳—柯柏斯炉是在已工业化的KT法的基础上发展起来的，在荷兰又做过加压气化试验，在技术上较易过关；

(2) 采用仓式法干法加料，较易掌握，干粉入炉有利于气化；

(3) 用旋风分离器捕集飞灰，有利于飞灰的回收利用。

缺点：

(1) 加料设备庞大，阀门易磨损，操作复杂；

(2) 用N₂输送粉煤稀释了煤气有效成分。

从加料角度考虑，最好研制粉煤泵连续加料代替目前的仓式法间接加料。据称，克虏伯—柯柏斯公司拟进行这方面的工作。

(三) 德士古法

1. 概况

鲁尔化学公司和鲁尔煤公司合作，在奥伯豪森（Oberhausen）的鲁尔化学厂建成一套德士古法粉煤加压气化试验装置，已于1978年7月下旬投入运行。

德士古气化炉原系美国德士古公司专利，鲁尔化学公司、鲁尔煤公司从美国买进这一专利，总投资2,920万马克。试验装置规模为每小时处理6吨煤，气化压力40公斤/厘米²。

粉煤加压气化的主要技术难关，就是如何将粉煤连续、定量地送入到在压力下操作的气化炉内。萨尔贝尔克—奥托炉、谢耳—柯柏斯炉采用仓式法粉煤干法加料，而德士古法采用湿法加料，即干煤粉与水制成可输送的煤浆，用柱塞型煤浆泵升压并送入炉内。

磨煤及配浆在发电厂进行，距气化装置有400米远。煤浆由电厂用泵送至气化装置，再用高压煤浆泵送入气化炉。

2. 流程设备

图9是德士古法气化流程示意图。原煤在磨煤机（1）中所磨成小于0.1毫米的粉煤，进入一个带搅拌器的混合槽（2），在此与水混合，配制成含煤量55~60%的煤浆，用柱塞型煤浆泵（7）送至气化炉（3）的炉顶喷咀。氧气由喷咀中心管引入，在端部雾化由喷咀环隙送入之煤浆。由于煤浆中含有水，气化时不另加蒸汽。在气化炉生成的高温煤气和熔渣向下离开反应区，进入急冷区，冷却到900°C后进入废热锅炉（4），经洗涤塔（5）除尘后送往脱硫系统。由洗涤塔下来的含灰污水流入污水槽（6），澄清后的清水用泵（10）重返洗涤塔使用，而含碳灰浆用泵（8）返回煤浆槽重新气化。气化生成的渣落入炉底渣筒，经中间渣罐（9）减压后排出。渣筒用上下两个阀门密封，结构为合金钢制球阀。

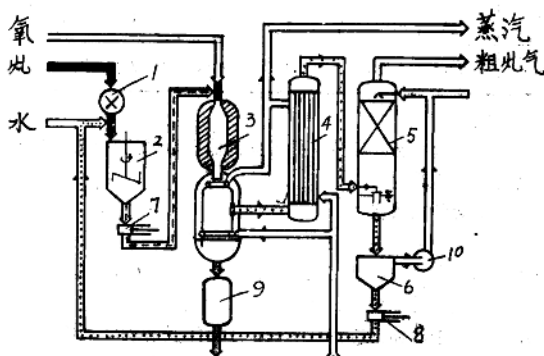


图9 德士古法气化流程图

1—磨煤机；2—煤浆槽；3—气化炉；4—废热锅炉；5—洗涤塔；6—污水槽；7—柱塞型高压煤浆泵；8—飞灰浆泵；9—渣筒；10—循环水泵

气化炉外壳为钢制压力容器，反应段内径1.8米，高6米，壳体内砌有耐火砖、绝热保温砖，最内一层是高纯度氧化铝砖（据称耐火砖价值30万马克）。为防止炉壳壁温超温，炉壳用表面温度计巡回检测。

气化设备露天布置，钢框架最高层标高约为35米。

气化装置(不包括制粉、配浆)共有17人:其中12名工人倒班(四班制,每班3人);替班1人;另有工程师、化学家各1人以及2名工人。气化炉从投料到正常操作约须1.5小时。

气化工艺指标(设计值)如下:

(1) 煤气成分: 体积%

H_2	CO	CO_2	CH_4
30~40	45~55	15~20	1

(2) 碳转化率: 95%

(3) 飞灰含碳量: 40~70%

由于鲁尔化学公司的限制,我们未能了解到炉子实际操作参数和各项气化指标。但见到该炉排渣时带出大量未气化的煤粉,这可能与湿料入炉热损失太大以及煤浆雾化不好等因素有关。

3. 讨论

与干法加料相比,德士古的湿法加料,结构简单,操作方便,动力消耗省,不需设置高压蒸汽系统;飞灰的回收和返料(再气化)也较方便。该法的主要缺点是湿料直接入炉,热损大,氧耗高,煤气质量差。德士古炉今后发展方向是降低煤浆含水量,提高气化效率。据鲁尔化学公司介绍,以后将进行这方面的试验。

(四) 高温温克勒气化法

1. 概况

莱因褐煤公司在威赛林的瓦赫特贝尔克(Wachtberg)压块厂建造了一台高温温克勒半工业性试验炉,投料量为1吨煤/时,气化压力为10公斤/厘米²。试验装置总投资为724万马克。目前正在单体试车,不久可开展试验。

已工业化的常压温克勒炉是用O₂或富O₂、蒸汽对0~8毫米碎煤进行沸腾层气化。第一套温克勒制气装置于1926年建于哈雷的洛伊那厂,以后又在世界各地共建有36台炉子。该法由于受灰熔点的限制,反应温度较低,对原料煤的活性要求较高,碳的气化不完全,带出物多。温克勒炉的发展不如KT炉和鲁奇炉快,目前世界上只有6台炉子尚在运转。

莱因褐煤公司对温克勒炉作了一些改进:气化压力提高到10公斤/厘米²;原煤中添加5%石灰使原煤灰熔点提高了150°C以保证炉子高温操作。他们把这种炉子称为高温温克勒炉。

2. 工艺流程和气化指标

工艺流程见图10。粒度为0~8毫米的褐煤由贮仓(1)经煤称量器(3)入间接加热的干燥器(5),用由鼓风机(9)来的CO₂进行气流干燥。煤、CO₂、蒸汽在过滤器(6)中分离,CO₂、水蒸汽在冷却器(7)冷却并排出凝液,CO₂经分离器(8)除去煤粉后重返鼓风机循环使用。由过滤器(6)下来的煤(W=8~12%)进入煤、石灰石储罐(10)。粒度为0~2毫米的石灰石由料仓(2)经石灰石称量器(4)进入煤、石灰石储罐(10)。煤、石灰石混合后经中间料斗(11)升压入加压料斗(12),用螺旋输送机(13)连续加入气化炉(17)内。O₂(或空气)分别经预热器(25)(24)预热并与蒸汽(或CO₂)混合,分成二路(一次风和二次风)送入气化炉内。高温煤气由旋风分离器(18)除去大粒煤,经分离器(19)除去细粉,用冷却器(23),冷却并减压后送去燃烧炉。