

煤炭地下气化

〔苏联〕Ф.И.克列伊門諾夫著

科学普及出版社

665

本書提要

238

煤炭地下气化在先进的苏联科学中是个正在發展着的部門。苏联在这方面的成就已远远超过了资本主义国家。

不把煤炭从地下采掘出来，而在地下就把它变成可燃气，可以使煤炭的利用效率增大，同时还节省了采掘、运输、存貯和用在这些設備上的大量人力和物力。

这本小册子介绍煤炭地下气化的一般知識，它在苏联的發展历史、現况和未来展望，以及其他国家对这方面的研究情况等等。

总号：463

煤炭地下气化

ПОДЗЕМНАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЕЙ

原著者：Ф.И. КЛЕЙМЕНОВ

原編者：ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО ПО
РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИ-
ЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

原出版者：ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

1955

譯者：林 中

校訂者：游 广 泰、陈 善 基

出版者：科 学 普 及 出 版 社

(北京市西直門外都家灣)

北京市書刊出版營業證許可証出字第091号

發行者：新 华 書 店

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

(北京市西便門南大街7.1号)

开本：787×1092 1/16

1957年8月第1版

1957年8月第1次印刷

印张：1 7/8

字数：27,400

印数：1,700

統一書号：15051·35

定 价：(9) 1 角 9 分

665
K23

序 言

煤气工業是苏联重工業中最主要的部門之一，它包括各种天然煤气的开采和人造可燃气的制造工業。这些气体可以作为能量以及化学原料的来源。这种工業具备着可以在最近几年中高速度發展的一切必需条件。

天然煤气可以用鑽孔方法，从在地壳內形成的純粹天然气矿床中取得，可以在开采石油时順便从石油气層中取得，也可以从开采含气煤層的煤井中取得。

人造可燃气体是在煤气工厂、煤气發生站以及煤炭地下气化站中，利用特殊裝置的爐子和設備（煤气發生器），从煤炭、油頁岩、焦炭、泥煤、石油产品和别的燃料制造出来的。

当其他工業部門在消耗燃料时，在对固体燃料或液体燃料进行加工时，作为副产品而得到的气体，也是人造可燃气体。例如，在高爐煉鉄时得到的高爐气，煉焦时的焦爐气，石油加工时得到的裂化气等。

俄国直到十九世紀的後半期，当石油工業已經有了發展时，才开始在工業中利用天然气。1853年在苏拉罕內著名的拜火教教堂遺址附近，曾建立了一个石油加工厂，在厂里用天然气作燃料。但是一直到1942年，苏联才开始大規模地开采天然气。

从固体燃料中第一次取得人造可燃气体，实际是在十九世紀的三十年代。俄国机械師尼古拉·麦尔庫洛夫在1836年提供的

“迴火爐” (огнеоборотная печь) 是現代煤氣發生爐的雛型。

在十九世紀的八十年代，出現了一種煉焦爐，它裝有利用廢氣來預熱空氣的裝置——叫做交換復熱器，這就減少了消耗於加熱焦爐所用的焦爐氣，並增加撥給有關方面的氣量。

現在莫斯科、列寧格勒、古比雪夫、薩拉托夫、斯大林格勒、塔林、敖德薩、維堡、加里寧格勒和其他城市都在使用著天然煤氣和從固體燃料製造出來的人造煤氣。

在1955年，俄羅斯蘇維埃聯邦社會主義共和國為了城市和工人住宅區的公共生活需要所售出的煤氣，比1940年增加了16倍。莫斯科在1955年獲得的煤氣比1940年多7倍。烏克蘭有45個城市的居民在使用著氣體燃料。1955年6月，蘇聯部長會議通過了在1956—1960年發展煤氣工業和城市供氣措施的決議。決議規定在上述時期內，要使132個城市能用到煤氣，使缺乏燃料的250多個大企業和電站改用煤氣，並把煤氣加工成貴重的化學產品；同時把天然煤氣的開采量提高為4.8倍；從煤炭和油頁岩生產出來的人造煤氣增加成兩倍；在城市里又將要有130萬住戶使用煤氣。

蘇聯除了生產日常生活用的煤氣外，還在專門製造煤氣的設備中氣化煤炭、泥煤、油頁岩、木柴和別種燃料，以生產工業用的煤氣，這些都獲得了很大的發展。

在現代化的冶金、機器製造、化學、玻璃、陶瓷和其他工業部門的工廠內，為了供給本廠的煤氣，也建立了許多規模巨大的煤氣發生站。

雖然近年來蘇聯用固體燃料製造人造煤氣以及開采天然煤氣的生產都大大地增加了，但是還不能完全滿足國民經濟在可

燃气方面的需要。苏联拥有發展煤气工業的巨大可能，不仅要扩大开采天然煤气，而且对分布在全国各地区的固体燃料要进一步發展加工的工作。但是必需指出，現代生产人造煤气的方法还是非常繁杂的，而且生产設備的生产率却并不高。因此，科学技术人員都在不倦地探寻用固体燃料制造可燃气的高生产率的新方法。

苏联在工業中采用各种不同的气化方法。其中最进步的煤炭气化方法之一可以說是煤炭地下气化，这个理想是偉大的俄国学者Д.И.門捷列夫提出来的。列宁曾經詳尽地指出过煤炭地下气化的国民經济意义和社会意义。

1888年在彼得堡出版的一期“北方通报”杂志上，Д.И.門捷列夫在“蘊藏在頓尼茨河沿岸的未来力量”論文中写道：“甚至这样的时代，大概將随着時間快到了；那时，人們不必把煤从地底下开采出来，而是在它所在的地底下把它变成可燃气，然后用管子將这种气体輸送到遙远的地方去。”

多年以后，在1912年，著名的英国化学家威廉·蘭賽曾企圖在自然条件下进行煤炭地下气化的試驗。英国的資本家沒有給蘭賽甚么实际的帮助，这正象沙皇时代的煤炭企業家不想实现門捷列夫的天才理想一样。

1913年，在“真理报”上登載的“技术上的一个偉大胜利”論文中，列宁把煤炭地下气化的实现，看做是煤炭生产部門中的一个巨大技术改革。列宁写道：“这个發明在工業中所引起的变革將是巨大的。”

按照列宁的評价，地下气化对于国民經济的基本意义是在于它能利用（用煤气發动机时）的“蘊藏在煤炭中的能量要比

用蒸汽机时大一倍”。列宁指出，当实行地下气化时，甚至最貧瘠的和現今不能开采的煤層都可以利用。实行这个技术改革，就可以把电力成本降低到现在的五分之一，甚至到十分之一。人类用于开采和运输煤炭所耗费的大量劳动也就可以节省下来了。

列宁不仅把地下气化的理想看做重要的国民經济問題，而且認為它有重大的社会意义。他写道，在現代資本主义制度下，这个变革对于整个社会生活所引起的后果，將完全不象这个發明在社会主义制度下所引起的那样。

“在資本主义制度下，‘解放’从事采煤工作的千百万矿工的劳动，不可避免会引起广大群众的失業，使貧穷大大增長，使工人的处境日益惡化。”

在社会主义制度下，以煤炭地下气化为基础的国民經济电气化，將“使劳动条件变得更衛生，使千百万工人不受烟塵和污泥的侵害，使污穢的、令人討厭的作坊早日变为清潔的、明亮的、象样的實驗室。每个家庭的电气照明和电爐裝置將使千百万个‘家庭奴婢’不必再把一生的四分之三消磨在烏烟瘴气的厨房中”。*

地下气化是在地底下不加采掘就使煤炭变为最方便和最完善的燃料（可燃气）的，它給固体燃料轉化为气体燃料的动力技术打开了無限前途，这就可以使煤炭中能量被利用的程度大大地增加起来。

苏联人民委员会在 1941 年 3 月 14 日关于 B.A. 馬特維耶

* 列宁全集，俄文第四版，第十九卷，第42頁。

夫，П.В. 斯卡發和 Д.И. 菲利普波夫等工程師由于制訂地下氣化的方法而授予斯大林獎金的決議中，指出了煤炭地下氣化對國民經濟的重大意義。

關於可燃氣的一般知識

我們首先來說明為什麼要把固體燃料變成氣體燃料。

變固體燃料為煤氣的必要：第一是由于煤氣和別種燃料相比，是具有很多優點的；第二就是煤氣在許多場合中是一種不可代替的化學原料。

我們現在來研討一下可燃氣比別種燃料優越的地方吧。

在工業爐中用可燃氣作燃料，對於各種加熱過程說來，比燃燒固體燃料能獲得更高的溫度。氣體燃料的這個優點，使人們在某些重要場合下採用它；在產品要求很快地加熱到需要的溫度而同時它卻不會被有害的雜質弄髒時，就可以採用煤氣來加熱。利用不同構造的燃燒器，可以毫無困難地用煤氣火焰來加熱任何形狀和大小的物件。

燃燒氣體所需要的空氣，比燃燒固體或液體燃料少；燃燒可燃氣所產生的煙道氣也不含有煤煙、塵埃和有害的化合物。

調節可燃氣的燃燒是不用複雜的機械就可辦到的，只須調節進氣開關來增加或減少氣體的供給量就行了，並且可以完全加以自動化。

可燃氣是沿着管子輸送（運輸）給用戶的，這就比用鐵路來運輸煤炭、油頁岩、木材、石油及其他固體和液體燃料顯得簡單和經濟得多。壓縮機代替了火車頭，而輸送管代替了車輛和鐵路。

把可燃气用管子送入燃燒室或者气体燃燒器中，同样不需要笨重的設備，象那些卸煤槽、倉庫、粉碎和运输設備。

就公用事業的观点看来，在城市和工人住宅区中用可燃气作燃料，是具有特殊意义的。取消龐大的煤炭和木材倉庫，煤气在使用上的清潔、衛生和簡便，使它在日常生活中成为最方便的燃料。使用气体燃料会使城市和工人住宅区沒有由烟道气散布在空气中的大量炭灰和煤烟。在已經使用煤气的城市和工人住宅区中，工作和生活的环境会变得更加有益于健康和衛生。

煤气的这些主要优点使Д.И.門捷列夫有权認為可燃气是未来的燃料。

可燃气能量的測定，通常是根據它的燃燒值和热效率来做出的。

在燃燒1立方公尺可燃气时所放出的热量就叫做該气体的燃燒值。假如气体成分中的氫在燃燒时生成液态水，那么这种气体的燃燒值叫做高燃燒值。假如氫燃燒时生成水蒸汽，就象通常實踐中往往發生的那样，那么这种气体的燃燒值叫做低的或者有效的燃燒值。

燃料（气体）的热效率就是在它燃燒时可以获得的最大可能的温度。

气体燃料可以加速生产过程的进行，而且在許多場合中还可以提高产品的質量。

但是，可燃气不單可以供作燃料之用。正如前面所說，在許多場合下，它是制造許多有价值产品的不可替代的重要化学原料。

在可燃气的混合物成分中有氢(H_2)、一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO_2)、氮(N_2)、甲烷(CH_4)和它的同系物(乙烷、丙烷、丁烷等等)、不饱和的碳氢化物(C_mH_n)等等。这些气体可以从可燃气的混合物中分离出来,并且用来当作各种化合物的合成原料。例如,氢可以用来制造氨(NH_3),使液体植物油制造成固体油脂,制造苯胺(它是生产苯胺染料的原料),充填轻气球等等。

一氧化碳可以和氢一同用来制造合成甲醇(木酒精)、人造液体燃料(合成醇)和固体石蜡等等。

从天然煤气、石油气以及由煤炭或油页岩制取的煤气的组成部分,都能够用来制造:合成橡胶、塑料、人造纤维、合成油脂、氮肥、溶剂、炸药、医药和合成染料。现在为了生产其中某些产品是要消耗大量粮食的。

人造煤气主要是由氢、一氧化碳和若干碳氢化物组成的。

煤炭地下气化的煤气成分,和煤炭在地面上煤气发生炉中气化而得的煤气成分差不多,主要含有一氧化碳、氢和氮。对于制造各种化学产品说来,这个工业部门是能够成为重要的原料泉源的。

煤炭热加工的实质

当我们了解了把固体燃料变为气体燃料的目的和可燃气体的用途之后,我们来简单地介绍一下燃料热加工的各种方法。这些方法是:低温炼焦、中温炼焦、高温炼焦和气化。

这些方法的实质是这样的。

假如把煤炭放入专门的炉子里隔绝空气进行加热,那么首

先是水分从煤里蒸發出来。温度更高时，煤炭的可燃部分便开始分解，有液态的和气态的揮發物質从煤炭里分解出来，这些东西是以气体和蒸汽状态分离出来的，在爐子內就剩下固体殘渣。煤炭（或其他固体燃料）在隔絕空气下的加热叫做干餾。

煤炭在干餾时，当水分蒸發之后，含氧的物質就开始分解，同时排出主要由二氧化碳(CO_2)和水蒸汽(H_2O)組成的气体。

当煤炭加热到 275° 时，除从煤炭里排出二氧化碳和水蒸汽以外，还开始排出其他气态的分解产物：一氧化碳(CO)、氢(H_2)、硫化氢(H_2S)和气态的碳氢化物。

当煤炭从 275° 加热到 550° 时，煤炭的分解进行得最迅速，那时候若干种气体和焦油蒸汽同时在猛烈地排出。当温度更高时，便不再有气体从不揮發的煤渣中排出了。

在 $550-580^\circ$ 温度中結束的煤炭热分解，叫做低温煉焦，在 $900-1050^\circ$ 中結束的叫做煉焦。这两种煤炭加工方法，在工業上都用得很广。此外，还有在 $700-800^\circ$ 温度中結束煤炭分解过程的，叫做中温煉焦。这种方法很少应用。

煤炭在煉焦、低温煉焦和中温煉焦的过程中，获得焦炭、半焦、中温焦、煤气和煤焦油。

石炭煉焦、低温煉焦和中温煉焦的可燃气的燃燒值（燃燒热）和大略的成分見表 1。

如果將煤炭放入叫做煤气發生爐的密閉器中，点火后并从下面送風，那么主要由碳素組成的、煤的有机部分，也就是它的可燃部分，將會变成可燃气。

这种用含有游离氧或者固定氧的送風来把固体燃料的可燃

表 1

指 数	低温炼焦	炼 焦	中温炼焦
固体残渣产量为原料煤的%	70—80	65—70	65—70
一吨煤炭的煤气产量(立方公尺)	60—80	300—350	200—210
气体成分为容积的%:			
二氧化碳(CO ₂)	13	3	3
氧(O ₂)	—	1	1
不饱和的碳氢化物(C _m H _n)	7	2	1.6
一氧化碳(CO)	9	6	7
氢(H ₂)	9	56	29
甲烷(CH ₄)	54	22	45.6
氮(N ₂)	8	10	9.8
煤气燃烧值(仟卡/立方公尺):			
高的	6740	4280	5500
低的	6100	3730	6000
煤焦油产量为煤炭重量的%	10—12	2—5.5	5.5—8

物变为煤气的过程，叫做气化。事实上，气化过程常常是和燃料的干馏过程同时进行的，因此干馏的产物：焦油蒸汽、水蒸汽、炼焦和低温炼焦的气体经常和焦炭残渣所生成的可燃气混合起来。在气化过程中燃料的最后残渣是它的不可燃部分，也就是灰分和熔渣。实际上还有少量燃料中的碳素仍然和熔渣留在一起没有利用。

煤炭地下气化的煤气，它的成分、燃烧值和在地面上煤气发生炉制造出来的煤气差不多。因此下面我们简单地介绍一下煤炭在一般煤气发生炉中气化的实质。

煤气发生炉是一种连续作用的器械，一般是圆筒形的。煤气发生炉上部装有间歇的或者连续的燃料加料设备。炉篦排列

在煤气發生爐的下部，它支持着燃料層。空气或其他含氧的送風，不停地从下面供应，生成的煤气从上面引出。煤炭在發生器中从上向下降落，接連地在發生許多变化。

煤炭在煤气發生爐（圖1）中从上向下的整个行程，可以区分为下列地带：1)干燥带，2)干馏带，3)还原带，4)燃烧带（氧化），5)爐灰和爐渣带。

我們来研討一下在煤气發生爐的各带中發生了什么样的过程。

从下面进入煤气發生爐的空气（送風）通过熔渣層——人

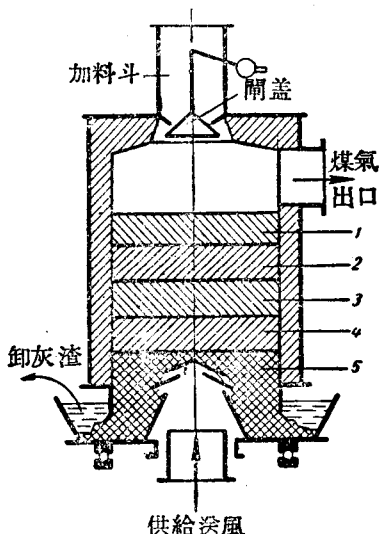


圖1 煤气發生爐工作簡圖：
1—干燥带；2—干馏带；3—还原带；4—燃烧带（氧化）；5—爐灰和爐渣带。

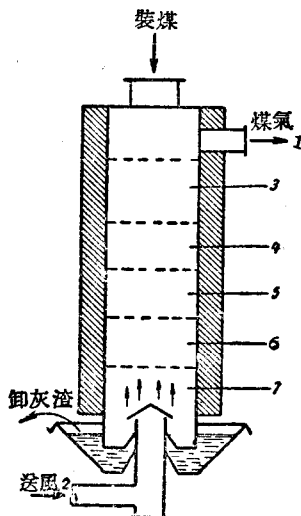


圖2 順吸氣化过程的煤气發生爐內各带分布圖：
1—煤氣；2—送風；3—干燥带；4—干馏带；5—还原带；6—燃燒带；7—爐灰和爐渣带。

們叫它“溶渣墊子”(爐灰和爐渣帶)，經預熱後進入煤炭的熾熱層(燃燒帶)。氧氣在那裡和煤的碳素起了作用，生成二氧化碳。用空氣送風時的二氧化碳和用蒸汽送風時的水蒸汽，在往上升的道路上遇到熾熱的煤炭，就還原為相當于一氧化碳和氫的可燃氣。在還原帶生成的、被強烈加熱的發生爐煤氣向上移動。當它通過干餾帶時，煤炭發生熱分解。煉焦和低溫煉焦的產物——煤氣、焦油氣、水蒸汽和塵埃等與發生爐煤氣一同被帶出來。

所以，在煤氣發生爐中是發生着許多複雜的物理-化學過程的，燃料的干餾和氣化在這些過程中是相互配合着進行的。

工業中的燃料氣化是在各種構造的煤氣發生爐中實現的。根據工藝原理可以分為兩類氣化過程：順吸的和逆吸的。

當煤氣發生爐中的煤炭和氣體是向相對方向移動時，也就是相互遭遇時的氣化過程，叫做順吸的氣化過程(圖2)。在這樣的情形下，投入煤氣發生爐中的煤炭，它的乾燥和加熱是依靠下面熾熱焦炭層所排出氣體的热量來進行的，焦炭層本身發生效化，也就是送風和氣體同熾熱的煤焦渣發生化學作用。當用順吸過程氣化煤炭時，煤氣發生爐排出的煤氣中含有焦油氣和其他在干餾帶形成的煤炭熱分解產物。

為了獲得不含焦油的煤氣，人們採用了一種叫做逆吸的氣化過程。在這種氣化過程中，煤炭和氣體是向同一方向移動的——從上而下——這樣，可燃氣的主要部分就不和冷的原煤接觸了(圖3)。在逆吸過程中，送風不是從下面——向爐渣帶——引入煤氣發生爐，而是從側面，向干餾帶引入。在逆吸過程中得到的氣體，不是通過乾燥帶和干餾帶，而是通過熾熱的

焦炭和熔渣層送往發生爐出口的。

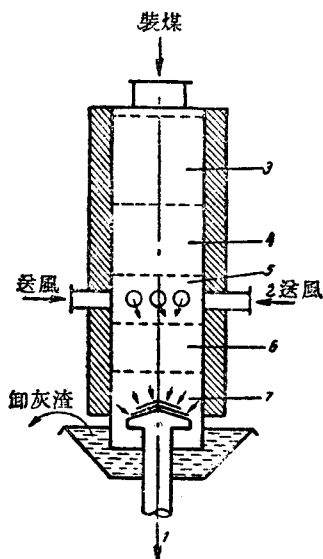


圖 3 在逆吸氣化過程的煤氣發生爐中的各帶分布圖：

- 1—煤氣； 2—送風； 3—干燥帶；
4—干燥帶； 5—燃燒帶； 6—还原帶； 7—爐灰和爐渣帶。

在逆吸煤氣發生爐的氣化過程中，煤炭的干燥和加熱，主要是依靠燃燒中（被氣化的）燃料熾熱層的热量向上層燃料輻射來進行的。

逆吸過程煤氣發生爐中的燃燒（氧化）帶和順吸過程煤氣發生爐中的不同，它是在还原帶的上面，而还原帶下面則是爐灰和爐渣帶。干餾帶直接在氧化帶的上面，而在干餾帶的上面，照例是干燥帶。由于這種排列程序，在干餾帶生成的焦油氣，大部分就在通過氧化帶時燃燒掉了；它的剩余部分在还原帶又被分解掉。這樣一來，在逆吸過程中，由于依靠分解焦油而增大了煤氣的

的產量，固体燃料變為气体的程度也增加了。

由于採用送風性質的不同，在煤氣發生站中可以生產出下列各種煤氣：

1. 熾熱燃料同空氣送風相作用制成的空氣煤氣或者叫發生爐煤氣；
2. 熾熱燃料同水蒸汽送風相作用制成的水煤氣；
3. 熾熱燃料同空氣和水蒸汽的混合送風相作用制成的混合

煤气；

4. 煖热燃料同氧和水蒸汽的混合送風相作用制成的蒸汽氧煤气，有时叫做氧水煤气。

表 2 所列是空气煤气、水煤气、混合煤气和蒸汽氧煤气的平均成分和燃燒值。

表 2

指 数	空气煤气	水 煤 气	混合煤气	蒸汽氧煤气
气体成分为容积的%：				
二氧化碳(CO ₂)	0.5	6.3	6.0	20.3
氧(O ₂)	—	0.2	—	0.2
不饱和的碳氢化物(C _m H _n)	—	—	—	0.5
一氧化碳(CO)	33.0	38.0	27.0	34.0
氢(H ₂)	1.0	51.0	13.0	39.0
甲烷(CH ₄)	0.5	0.5	0.6	3.0
氮(N ₂)	65.0	4.0	53.4	3.0
煤气燃燒值(仟卡/立方公尺)：				
高的	1100	2750	1270	2590
低的	900	2500	1200	2370

煤气發生爐有多种型式；它們是根据工艺的和机械的特点来加以区别的。

各种煤气發生爐在苏联煤气工業中都有广泛的应用。譬如有制造空气煤气的、水煤气的、混合煤气的和蒸汽氧煤气的，有气化塊狀和細粒燃料的，有在压力下、在“沸騰層”中和在悬浮状态下气化的，有用人工操作、用机械操作和在液体状态中排除爐灰及爐渣的，有固定爐篦的，有旋轉爐篦的等等煤气發生爐。

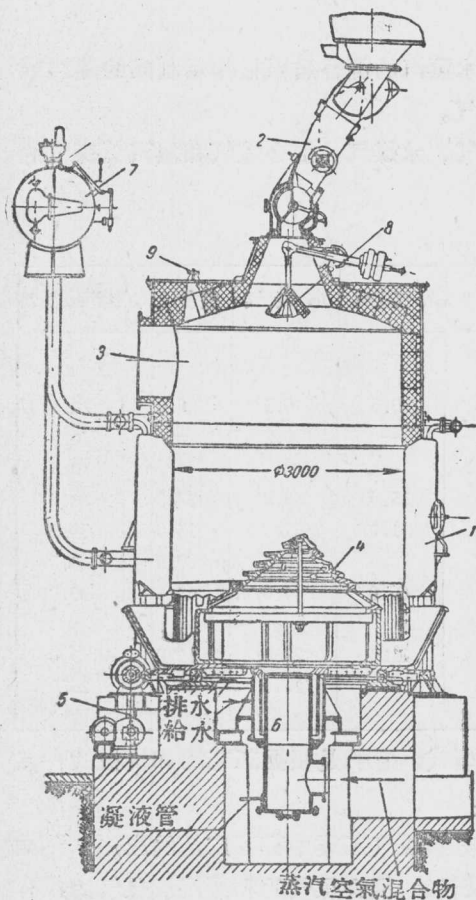


圖 4 現代機械化煤氣發生爐：

- 1—蒸汽水套；2—機械加料器；3—煤氣導出管；
 4—爐篦；5—爐篦的傳動裝置；6—裝有水封的
 送風箱；7—鍋爐-蒸汽聚集器；8—布料錐體；
 9—攪拌孔。

燥和半焦化。使用水分少的燃料(焦炭、無烟煤、石炭)，爐身

任何構造的煤氣發生爐都是由三個基本部分組成的：加料設備、爐身及爐篦。

加料設備是專為加入燃料和把燃料均勻地散布在煤氣發生爐中。燃料的氣化過程是在煤氣發生爐的爐身中進行的。爐篦是用來排除灰渣以及按爐身截面均勻地分配送風。我們已經指出過，爐篦可以是固定的或者旋轉的。爐身是鐵制的圓筒，它的上部用耐火磚襯砌里面。爐身高度由氣化燃料的種類來決定。使用水分高的燃料(泥煤、木材)，爐身要高；這樣做是為了使燃料還沒有在氣化之前來得及受到干

可以低些。

爐身下部裝設水套，通進冷水來預防灰渣粘結在煤氣發生爐壁上，並可以利用爐體的热量得到蒸汽。

圖 4 所介紹的是專供氣化塊狀燃料用的機械化煤氣發生爐。

根據氣化燃料的種類（無烟煤、焦炭、石炭、褐煤）和所採用的送風種類（空氣的，蒸汽空氣的以及定期的，也就是蒸汽和空氣互相更替的送風），在這種類型的煤氣發生爐中，可以制取從 900 到 2500 仟卡/立方公尺燃燒值的煤氣。這種煤氣發生爐的生產能力，每晝夜能氣化 40—100 噸煤，每小時能生產 6000—7500 立方公尺的煤氣。

為了獲得較高燃燒值的煤氣，現在採用一種在壓力下用蒸汽氧送風來進行氣化煤炭的煤氣發生爐。這種氣化的方法能夠從低質燃料中製造出合乎標準的生活用煤氣。不提純的這種煤氣的燃燒值達到 2500—2700 仟卡/立方公尺，而提純的可以到 4000—4200 仟卡/立方公尺。工業上用蒸汽氧送風的氣化過程，是在不到 18—20 個大氣壓力下進行的，這就是它和普通機械化的、在只稍高於大氣壓的壓力下操作的煤氣發生爐氣化燃料時主要不同之處。

在壓力下進行氣化，可採用搗碎的煤塊，大小從 2、3 到 20 公厘，甚至更大一點的。

隨着煤炭開采和運輸機械化的增長，煤屑的產量，或者說小煤級也顯著地增加了。因之必須尋找最合理利用這些煤級的方法。解決這個任務的出路之一，就是上面所說的在壓力下氣化煤炭的方法。除此之外，在“沸騰”層和在“懸浮”狀態中的氣