

发生爐气 及水煤气工学

楊 学 圖編著

石油工业出版社

發 生 爐 氣 及 水 煤 氣 工 學

楊 學 圃 編 著

石 油 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書有系統的介紹了發生爐氣和水煤氣的原料，其生產過程的原理、操作條件及技術指標。

書中用相當大的篇幅論述了氣化固體燃料的流程，氣化過程的計算，以及氣化固體燃料的新方法。對於氣化裝置的種類及基本結構，書中也有較詳細的介紹。

書中還敘述了煤的地下氣化法。

本書可供工業企業中從事固體燃料氣化工作的工程技術人員，高等院校中氣化專業學生參考。

統一書號：15037·245

發 生 爐 氣 及 水 煤 氣 工 學

楊 學 圃編著

*

石油工業出版社出版

(社址：北京六條線石油工業部內)

北京市書刊出版業營業許可證出字第083號

石油工業出版社印刷廠印刷

新華書店科技發行所發行

各地新華書店經售

*

850×1168 $\frac{1}{2}$ 開本 * 印張13 $\frac{1}{2}$ * 插頁1 * 349千字 * 印6,901-7,910冊

1957年6月北京第1版第1次印刷

1960年12月北京第1版第5次印刷

定價(11)3.30元

序

很久以来，發生爐气作为气体燃料广泛地用于冶金、机械、玻璃、耐火材料和动力等工業。水煤气除了用于都市气外，还用于金屬的截切和銲接。由于二十世紀初合成氨、合成醇和人造石油等規模巨大的合成化学工業的兴起，促使上述气体及其同类型气体的生产，無論在規模上或者在数量上，都有更进一步的發展。今日，發生爐气和水煤气的制造，已成为現代工業中所不可缺少的部門，而其在国民經济中的重要性，亦随着時間而激增。

在我国的社会主义建設中，冶金工業、机械工業以及与国防和人造肥料具有密切关系的合成化学工業，正以惊人的速度不斷發展，因此，發生爐气和水煤气的制造工業，無疑具有辽闊的發展远景。

为此，对于目前在这些工業中的技術人員，以及高等学校中有关專業的学生，一本系統地介紹發生爐气和水煤气的原料，生产过程的原理、操作条件、技術指标、机械裝备及其管理，計算方法以及各种最新制造法的参考書以至教科書，显然是十分必要的。作者几年前参加此种工業的修建和生产工作时，尝深感国内外此类書籍的缺乏。当时所能見到的，只是如 P. Dolch 的“Wassergas”，香坂要三郎的“發生爐ガス及水性ガス”等書籍。这两三年来，先后获得苏联 Н. В. Шишаков、С. В. Кафтанов、Д. Б. Гинзбург 諸氏的著作，以及 ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК “МАШИНОСТРОЕНИЕ” ТОМ II 等書，乃用今年夏天約三个多月的時間，就历年所見到的資料（本書的主要参考書目附后），結合本人过去的工作經驗，編成是書。惟限于作者的理論水平和实际經驗，疏漏之处在所难免，希望这方面的專家和技术工作者能不吝指正。

本書承天津大学前化工系主任肖連波先生校閱，在編写的过程中，并承張振东同志的协助，在此一併致謝。

楊 学 圃

1954年8月于天津大学

目 录

第 1 章 緒論	1
第 1 节 固体燃料气化的定义及种类	1
第 2 节 發生爐气及水煤气的制造工艺的發展、用途及其在国民 經濟中的地位	3
第 2 章 气化原料的种类和性質	5
第 1 节 煤	6
1. 煤的成因和組成	6
2. 煤的工業分析和元素分析	8
3. 煤的分类法	11
4. 煤的性質	13
第 2 节 焦炭	20
1. 焦炭的种类和組成	20
2. 焦炭的物理性質	21
3. 焦炭的反应性	22
第 3 节 木材和木炭	23
1. 木材	23
2. 木炭	24
第 4 节 煉煤塊	26
第 3 章 燃料气化所生成的气体的構成成分及性質	26
第 1 节 气体的構成成分	27
第 2 节 气体的性質	27
1. 气体状态方程式	27
2. 气体的密度及比重	29
3. 气体的比热及显热	30
4. 潛热	33
5. 燃燒热及發热值	34
6. 水蒸汽的飽和压	37
第 4 章 气化反应	38

第 1 节 气化反应的物理化学基础	38
第 2 节 發生爐气反应(碳与氧的反应)	44
1. 各个反应的研究	45
2. 碳与氧的反应机理	57
第 3 节 水煤气反应(碳与水蒸汽的反应)	62
第 5 章 發生爐气制造原理	76
第 1 节 单独送入空气的發生爐气(空气煤气)制造原理	76
第 2 节 發生爐气(空气-水蒸汽混合煤气)的制造原理	81
第 6 章 發生爐气的实际生产与其操作条件的研究	87
第 1 节 發生爐气制造的生产指标	87
1. 影响气化指标的因素	87
2. 生成气体的發热值及組成	91
3. 气体产率	93
4. 燃料的損失	94
5. 气化时的热損失	97
第 2 节 發生爐操作的因素	99
1. 燃料層的溫度	99
2. 水蒸汽送入量	101
3. 燃料層的高度	106
4. 气化强度及气流速度	109
5. 攪松及除灰	110
6. 原料的种类及性狀	111
第 7 章 水煤气生产操作的原理与实际	115
第 1 节 总論	115
第 2 节 利用送風發热的水煤气制造(即普通間歇式制法)	117
1. 原理	117
2. 水煤气制造的实际生产指标	118
3. 水煤气生产操作的一般原則	122
4. 水煤气生产的工作循环	123
5. 工作循环中各阶段的气体組成及产量的变化	130
6. 發生爐內气流速度对气体組成的影响	133
7. 吹出气持有热及水煤气显热的利用	134

8. 水煤气的增热法	135
9. 水煤气制造所用的原料	137
第 3 节 外部加热式水煤气制造	138
第 4 节 循环式水煤气制造	139
第 5 节 混合气化法	142
第 8 章 固体燃料气化装置的基本结构及种类	144
第 1 节 总論	144
第 2 节 气化剂的通入方向	145
第 3 节 气化剂的供給方法及其种类	146
1. 送風式	146
2. 吸引式	148
第 4 节 爐格的結構及其种类	148
1. 無爐格的發生爐	149
2. 固定爐格	150
3. 廻轉爐格	156
第 5 节 排灰机构及其种类	158
1. 廻轉爐格	160
2. 廻轉爐格的支承及傳動	164
3. 灰渣的排除形式	166
第 6 节 加料机构及其种类	169
1. 人力加料裝置	170
2. 机械加料裝置	173
第 7 节 攪松机构及其种类	176
1. 人力攪松裝置	177
2. 机械攪松裝置	178
第 8 节 水蒸汽發生裝置及其种类	179
1. 夾套鍋爐和水夾套	180
2. 柵式鍋爐(發生爐-鍋爐綜合裝置)	182
3. 蒸發器	184
4. 附屬於發生站的廢热回收裝置	184
第 9 章 制造發生爐气的設備和流程	187
第 1 节 普通發生爐	187

1. 具有机械排灰装置及机械加料装置的發生爐	188
2. 具有燃料層均平机的發生爐	188
3. 垂直攪松式机械化發生爐	190
4. 惠耳曼式机械化發生爐	191
5. 胡特式机械化發生爐	192
6. 具有耙式机械攪松机的机械化發生爐	195
第 2 节 液态排灰式發生爐	195
1. 胡尔茨式發生爐	195
2. 乔其-馬立于特式發生爐	197
第 3 节 焦油回收式發生爐	199
1. 使用粘結性燃料的内外併热式發生爐	200
2. 内热式發生爐	201
第 4 节 焦油分解式發生爐	202
第 5 节 發生爐气發生站及其流程	205
1. 無冷却过程的發生爐气發生站	206
2. 有冷却过程的發生爐气發生站	209
3. 有冷却及焦油回收过程的發生爐气發生站	213
第 10 章 制造水煤气的設備和流程	215
第 1 节 間歇式水煤气制造設備	213
1. 不設有廢热回收裝置的水煤气發生站	221
2. 一般增热式水煤气發生站	222
3. 克拉牟和阿茨式水煤气發生站	223
4. 利用吹出气持有热的水煤气發生站	224
5. 分隔式利用水煤气显热及吹出气持有热的水煤气發生站	226
6. 联合式利用水煤气显热及吹出气持有热的水煤气發生站	226
第 2 节 外部加热式水煤气制造設備	229
第 3 节 循环式水煤气制造設備	231
第 4 节 混合气化法設備	234
1. 外热式混合气化法設備	234
2. 内外併热式混合气化法設備	235
3. 内热式混合气化法設備	235
4. 循环气体式混合气化法設備	237

第 11 章 气体的加工、輸送和貯藏	233
第 1 节 总論	238
第 2 节 气体的除塵及其裝置	240
1. 沉降式除塵室	240
2. 旋風式除塵器	242
3. 电濾器	243
4. 洗滌器	243
5. 离心分离器	244
第 3 节 气体的冷却及其裝置	244
1. 管式冷却器	244
2. 洗滌器	246
第 4 节 焦油的除去及其裝置	252
1. 离心分离器	253
2. 电濾器	254
第 5 节 气体的輸送	255
第 6 节 气体的貯藏——貯气櫃	261
1. 湿式貯气櫃	261
2. 干式貯气櫃	264
3. 高压貯气櫃	266
第 12 章 發生爐气及水煤气發生站的操作与管理	266
第 1 节 發生爐气及水煤气發生站的操作	267
1. 开工前准备阶段	267
2. 点火	268
3. 正常運轉	270
4. 停車及停車后处理(包括緊急事故的停車)	273
第 2 节 發生爐气及水煤气發生站的控制与管理	275
1. 屬於發生爐的器械控制及試驗室控制	275
2. 屬於气体加工及輸送系統的控制	280
3. 計算控制	281
第 3 节 發生站的安全技术	282
第 13 章 固体燃料气化过程的气化强度及其研究	238
第 14 章 气化过程的热效率及热損失	293

第 1 节 气化过程的热损失及其計算法	291
1. 輻射及对流的热損失	297
2. 灰渣排出物持有热的热損失	299
3. 帶出物持有热的热損失	301
4. 生成气体显热和所含不分解水蒸汽热含量的热損失	302
5. 气体冷却、精制时的热損失	306
6. 气体漏洩的热損失	308
7. 其他操作上特殊性的热損失	309
第 2 节 热效率的計算式	310
第 3 节 發生爐气制造的热效率	313
第 4 节 水煤气制造的热效率	314
1. 总論	314
2. 間歇式水煤气制造的热效率	313
3. 外部加热式水煤气制造的热效率	329
4. 循环式水煤气制造的热效率	329
第 15 章 气化过程的計算	330
第 1 节 气化过程中的物料平衡和热平衡	334
1. 物料平衡	334
2. 热平衡	337
第 2 节 气化过程的綜合法計算	338
1. 使用泥煤为原料的發生爐气制造过程的計算	338
2. 水煤气制造过程的計算	353
第 3 节 按照实际测定数据的气化过程的計算	354
1. 發生爐气制造过程的計算例題	354
2. 水煤气制造过程的計算例題	364
第 16 章 固体燃料气化的新法及其今后的發展	371
第 1 节 总論	371
第 2 节 使用蒸汽-氧气的塊狀燃料气化	372
1. 在一般發生爐使用蒸汽-氧气作为气化剂	375
2. 在液态排灰式發生爐使用蒸汽-氧气作为气化剂	379
3. 在加压下使用蒸汽-氧气作为气化剂	381
第 3 节 粉末及細粒燃料的气化	391
1. 浮悬狀燃料層的气化方法(苏联气体及人造液体燃料	

研究所法)	392
2. 沸騰狀燃料層的气化方法	395
第 17 章 煤的地下气化法	404
第 1 节 总論	404
第 2 节 地下煤气化的方法和地下煤气發生爐的構造	407
1. 疏松煤層型地下煤气化法	407
2. 煤柱型有豎井的地下煤气化法	409
3. 煤柱型無豎井的地下煤气化法	414
第 3 节 地下煤气化过程所产生的气体的使用	415

附 录

表 1 主要气体的密度和比重	416
表 2 气体在各溫度的恒压(1 气压)比热(仟卡/仟克·°C)	417
表 3 气体在 0—t°C 間的平均恒压(1 气压)比热 (仟卡/仟克·°C)	418
表 4 气体在各溫度下的恒压(1 气压)比热(仟卡/米 ³ ·°C)	419
表 5 气体在 0—t°C 間的平均恒压(1 气压)比热 (仟卡/米 ³ ·°C)	419
表 6 气体在各溫度下的显热(以 0°C 为基准, 在 1 气压的恒压下)	420
表 7 水的蒸發热和热含量	421
表 8 水蒸汽飽和后的气体中的水蒸汽压(飽和压)和水蒸汽含量	421
主要参考書目	425

第 1 章 緒 論

第 1 节 固体燃料气化的定义及种类

發生爐气和水煤气的制造，是固体燃料气化工業中的兩個主要部門，因此，在研究發生爐气和水煤气之前，首先应說明一下固体燃料的气化。

固体燃料的气化是一种热化学过程。將各种煤、焦炭或木薪等固体燃料，在高温时，于单独用或者并用空气、氧气和水蒸汽等气化剂作用下而得到气体燃料的方法，一般称作固体燃料的气化。

从含有多量揮發分的如煙煤、褐煤或油頁岩等固体燃料，在高温时利用加热干餾的方法，也可以得到以其揮發分为主的可燃气体；但在这种过程中，气体的生成主要是由于燃料的热分解作用，而且除了气体之外，还可以得到大量的有价值的其他产品，如高温干餾(如煉焦)时的焦炭，低温干餾时的焦油及半焦。因此，从固体燃料利用干餾作用以获得可燃气体的过程，是与上述的固体燃料气化过程有本質上的区别的。

在工業生产上，气化过程与干餾过程，实际上是很难加以截然分开的。因为，固体燃料进行气化时，特别是在用含有大量揮發分的煙煤、褐煤、木薪等作为原料时，由于高温气体与这些燃料的接触，不可避免地会产生一些干餾作用。但是干餾过程本身的研究，屬於今日已成为独立科学的煉焦及低温干餾等工業的範圍，因此，在本書中不拟詳細地加以論述。

固体燃料气化过程中，由于所用气化剂的不同，可以得到各种組成和性質的气体；今日見于工業生产上的，大致有下列五种：

1)空气煤气：以空气(实际上是空气中的氧气)作为气化剂，利用燃料中碳与氧气間的反应所生成的气体。

2)水煤气:以水蒸汽作为气化剂,利用燃料中碳与水蒸汽間的反应所生成的气体。

3)發生爐气(空气-水蒸汽混合煤气):在以空气作为气化剂时,空气中总会含有若干水分,而且由于以后要講到的許多原因,在作为气化剂的空气中,还另外添加或多或少的水蒸汽,因此,在这种情形,气化过程中所进行的反应,已不仅仅是碳与氧气之間的反应,而是夹杂着一部分碳与水蒸汽的反应。此时生成的气体,其組成介乎上述空气煤气和水煤气之間,可以称作半水煤气或空气-水蒸汽混合煤气,但一般多称之为發生爐气。

应该指出,在工業生产上以空气作为气化剂的固体燃料气化过程,極大多数是在空气中加入水蒸汽的發生爐气制造过程。

4)二重煤气:早先,作为水煤气制造的原料,多是含揮發分極少的如焦炭或無煙煤等燃料,因此,水煤气中的主要成分为氮气和一氧化碳气。这一点,以前一直認為是水煤气的不可忽視的特征。但近年来,出現了以含有大量揮發分的褐煤、煙煤等燃料作为制造水煤气原料的方法,即所謂 固体 燃料的 混合 气化法,由此所生成的气体中,由于干餾的作用,要比普通的水煤气含有較多的碳氮化合物,因而相应地增加了气体的發热值;这种生成气,一般称作二重煤气。

5)蒸汽-氧气煤气:以水蒸汽和氧气作为气化剂所制成的气体。由于气化剂中不含氮气。因此蒸汽-氧气煤气具有比一般發生爐气为高的品質。

气化过程的气体种类及其性質可列成如表 1。

从气化剂的种类、气化过程中的主要反应以及其生成气体的主要成分来看,空气煤气与發生爐气属于同一个类型,而水煤气与二重煤气則属于另一个类型。因此,本書在以后系統地論述發生爐气及水煤气的反应、制造原理、气化装备及其操作等时,將相应地說明空气煤气及二重煤气的制造。至于 蒸汽-氧气 煤气的制造及其他固体燃料气化的新法,將在本書第 16 章中討論。

在二十世紀的三十年代,工業上出現了地下煤的气化法。这

气化过程的气体种类及其性質

表 1

名 称	气 化 剂	發 热 值 (仟卡/米 ³) 及 其 他
空气煤气	空气	900—1000, 以氮和一氧化碳为主要成分
發生爐气	空气和水蒸汽	1200—1580, 含 50% 左右的氮
水煤气	水蒸汽	2400—2700, 以氫和一氧化碳为主要成分
二重煤气	水蒸汽	2800—3200, 除氫和一氧化碳外还含有較多量的甲烷
蒸汽-氧气煤气	氧气和水蒸汽	2400—2500

种方法除了地下煤層本身所具有的一些特点外，無論其所用的气化剂，或者其反应的过程，是基本上与上述的相同的。

第 2 节 發生爐气及水煤气的制造工艺的發展、 用途及其在国民經济中的地位

發生爐气和水煤气制造工業的初步創立，都是一个世紀以前的事情。

發生爐气制造的起源，实际上可說是开始于金屬冶煉工業中鍊鉄爐气的应用，鍊鉄爐气在很久以前，就已使用于某些加热或干燥的目的。不难想像，鍊鉄爐中所进行的焦炭与空气的反应，实际上与制造發生爐气的反应並沒有区别，但显然鍊鉄爐的操作目的并不是为了燃料的气化。真正以生产气体为目的的發生爐气制造，是在十九世紀以后才出現的。

水煤气的生成反应，早在 1793 年就为法国的科学家拉佛西 (Lavoisier) 的實驗証实了，但直到十九世紀的二十年代，这个反应才开始用于水煤气的制造。

自十九世紀中叶以后，随着工業及文化的不断高漲，發生爐气及水煤气的制造工業有显著的發展，無論在裝置或者操作方面，都逐漸具备現代工業生产的形式和規模。1910 年以后，合成氨、合成醇及人造石油等合成化学工業，相繼以嶄新而巨大的規

模出現于工業上，使得作为其原料气体的發生爐气、水煤气及其类似气体的生产，更得到显著的扩展。

在發生爐气及水煤气的制造裝置方面，不但繁重的排灰作業获得机械化，即加料及攪松等作業也逐漸以自动化的机械代替了人力的操作。这种机械化設備的采用，不但大大提高了生成气体的品質及生产力，而且就体力劳动輕減这一点來說，也具有很大的意义。

苏联自从本世紀的三十年代开展了斯达哈諾夫运动之后，由于社会主义劳动竞赛的新的成就，使發生爐气及水煤气的生产指标获得更进一步的提高。

但是，一般發生爐的生产力的增加，还远远赶不上各种工業成長的速度，一个規模巨大的冶金联合工厂或者合成化学工厂，往往必須要装备三五十套發生爐的設備，才能滿足其生产上的需要。可以想像，这样的設備，無論在建筑上、材料上、以及在人力上，均有極大的浪費。因此，近几十年来，开始有各种强力的新式气化方法的出現。例如：使用氧气作为气化剂的气化法，加压气化法，苏联泥煤研究所（СССР, Институт торфа）的粉末燃料气化法，苏联气体及人造液体燃料研究所（СССР, Институт газа и искусственного жидкого топлива）的浮懸狀燃料層气化法，苏联氮气研究所（СССР, Институт азота）的沸騰狀燃料層的气化法等。除了粉末燃料气化法因成本較高尙未能应用于工業生产外，其余的均已为今日工業生产所采用。

新式气化法的气化强度（爐横断面單位面积上每小时的气化燃料量），一般都超过旧式气化法的机械化發生爐兩三倍以上，其中在工業上日見普遍采用的沸騰狀燃料層气化法，其气化强度为 2400（焦炭）——2700（褐煤）仟克/米²·时。

• 在二次世界大战前夕，全世界用于气化生产的煙煤，佔其世界开采量的 3.5%；用于煉煤塊制造（部分用于气化）及气化生产的褐煤，佔其世界开采量的 54.5%；用于煉煤塊制造（部分用于气化）、低温干餾及气化生产的泥煤，則佔其世界开采量的

27.0%。

苏联在第四个五年计划末，工业上消费的發生爐气达 200 亿米³；为了制造这样巨額的气体，需要約 1000 万吨的煤，即相当于当时煤年产量的 4%。

今日工业中，規模巨大的冶金工业、机械工业、玻璃制造工业、耐火材料工业、燃料干餾工业、合成化学工业以及动力工业，都需要使用發生爐气或空气煤气。水煤气除了广泛地用于合成化学工业外，还用于金屬的截切、鉚接以及作为都市煤气。

这种具体的数字与其使用范围的广大，就十足地說明了發生爐气及水煤气制造工业在現代文明及国民經济中的巨大意义。我国經過經济恢复阶段，已胜利地走上了社会主义建設的道路，随着重工业，尤其是其中的冶金工业、机械工业及基本化学工业的迅速发展，發生爐气及水煤气制造工业的研究，將具有極其重大的意义。

最后必須指出，由于苏联地下煤气化技术上的成功，使固体燃料的气化工业进入了一个新的紀元。

早在 1888 年，偉大的俄罗斯学者、化学元素週期律的創立者門捷列夫就已經科学地預見到煤在地下有直接气化的可能性，并在其后的年代中，指出了在技术上解决这个問題的基本道路。但这种偉大的理想，在沙皇俄国显然是不可能实现的，只有列宁才能对这样天才的理想，給予其应得的評价。

今日，在苏联，这种理想是完全实现了。

地下煤气化的成功，不但大大地降低了煤的能量利用的成本，而且有可能使人們从开采过程的繁重体力劳动中解放出来；特别是后面这一点，在今日來說，显然是有着極其重大的意义。

第 2 章 气化原料的种类和性質

气化过程所使用的原料的种类，是極其繁多的，几乎可以这

样說，所有的固体有机物质都可以作为气化用的原料；但在实际的工业生产中，通常使用的为：各种煤，煤的加工产物如焦炭、煉煤塊，木薪和其加工产物(木炭)，以及某些植物性的廢料。其中以各种煤和焦炭为今日大规模气化工業所广泛采用的原料。

在本章中，將对作为气化工業上主要原料的煤和焦炭加以仔細的討論，其他在工業上不甚重要的如木炭、木薪等原料，只作簡單的介紹。

由于各种气化过程对于原料的要求以及各种原料对某一气化过程所产生的影响的不同，因此，在以后討論了每一种气化过程之后，对于其所适用的原料，將再作进一步的具体分析和研究。

第 1 节 煤

1. 煤的成因和組成

煤的种类是很多的，但通常按照它的形成可以分为三种类型：腐植煤、腐泥煤和腐植-腐泥煤。属于腐植煤的有泥煤、褐煤、煙煤和無煙煤。属于腐泥煤的有腐泥、藻煤(Богхед)和頁岩。腐植-腐泥煤則为上述两种煤的混合型。

腐植煤是由高等植物所形成的。古代，在沼澤地区堆积的植物性物质，受到空气中的氧气和水分的作用，产生激烈的需氧生化分解。以后由于它們沉入水中，空气的氧化作用停止，但在乏氧細菌、黴等的作用下繼續进行生化分解，同时生成新的物质。这种过程使上述植物性遺体轉变成成为泥煤。

然后，由于生成的泥煤为矿物性的沉淀物所复盖，其生化学的过程受到阻遏，而化学变化变得显著，同时，其膠狀結構發生变化，使吸水的能力降低因而減少了它的自然水分含量。地質上的某些因素，例如地壳的变动、地層的压力与温度，特别是由于压力和温度的影响，使它逐漸轉变成褐煤、煙煤以至于無煙煤。

腐泥煤的原生物质是低等植物如藻类 and 水中繁殖的某些微生物等，它是在不深而平靜的湖中或海灣中于不接触空气中氧气的条件下形成的。对于腐泥煤，迄未能确定像上述腐植煤那样的形