

高等學校教學用書



鍋爐設備的自動調節

С. Г. 蓋拉西莫夫
Е. Г. 杜特尼柯夫 著
С. Ф. 契斯賈柯夫
許 晉 源 譯

高等教育出版社

本書譯自蘇聯國立動力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 1950 年出版蓋拉西莫夫 (С. Г. Герасимов)、杜特尼柯夫 (Е. Г. Дудников) 與契斯賈柯夫 (С. Ф. Чистяков) 合著的“鍋爐設備的自動調節” (Автоматическое регулирование котельных установок)。原書經蘇聯高等教育部審定為高等動力工業學校與動力系諸熱工專業的教科書。

本書的內容計有關於發電站自動化的基本概念，熱力過程調節理論的基礎知識，主要是在發電站中廣泛應用的自動調節器構造系統的敘述，調節過程的近似計算方法，以及鍋爐與鍋爐間和透平間補助裝備自動調節系統及線路構成原理的研究。

本書係由交通大學鍋爐教研室許晉源譯出。

鍋爐設備的自動調節

С. Г. 蓋拉西莫夫等著

許晉源譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內大街 27 號
(本書刊出後業經出版許可證出字第 034 號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店發行

統一書號 15010·63 開本 850×1168 1/32 印張 12 11/16
字數 322,000 印數 6,501—7,500 定價 (4) 1.70
1955 年 2 月第 1 版 1959 年 3 月上海第 5 次印刷

序

本書的目的主要作为中等专业学校鍋炉制造專業“鍋炉設備”課程的教本，因此編写时在內容和次序方面基本上按照上述課程的現行教学大綱。但为了照顧其他專業的需要，对某些章节作了适当的扩大，例如本書“水处理”一章的內容就比鍋炉制造專業所規定的要多一些。本書在取材方面尽量吸取最新科学技术成就和本国資料，例如本書介紹了好几种国产鍋炉；对苏联最新式的TII-240型鍋炉、組合鍋炉和原子能鍋炉也作了比較詳細的叙述；强度計算和热力計算都参照苏联最近公布的新标准。此外，为了适合中等专业学校学生的程度，本書在講解上力求簡明，并在有計算的部分都举有例題和附有习題。

編者对本書虽然作了很大的努力，但限于水平，書中可能还存在不少的問題，編者竭誠希望讀者对本書提出意見，以便改进。

在編写本書的习題和繪制插图时曾得到应永康、林国樑、陸子炎、錢季宝等同志的协助，在此特向他們致以衷心的感謝。

龔洪年 陈之航 何家宝

上册目录

序

第一章 緒論	1
--------------	---

第二章 鍋炉設備的基本概念	4
---------------------	---

2-1 鍋炉設備的組成部分	4
2-2 鍋炉的基本工作特性	7
2-3 鍋炉中的蒸汽发生过程	8

第三章 燃料	11
--------------	----

3-1 概述	11
3-2 燃料的利用原則	13
3-3 燃料的元素成分	14
3-4 燃料成分的換算	16
3-5 揮发物和焦炭	18
3-6 燃料的发热量	20
3-7 标准燃料	22
3-8 固体燃料的工业分析	23
3-9 固体燃料的特性和分类	26
3-10 液体燃料	30
3-11 气体燃料	40

第四章 燃料的燃燒及燃燒产物	43
----------------------	----

4-1 燃燒的基本概念	43
4-2 燃料中可燃成分的燃燒反应	44
4-3 燃料燃燒所需的空气量	48
4-4 根据燃燒反应計算燃燒产物的体积	51
4-5 根据烟气分析計算燃燒产物的体积	54
4-6 烟气中一氧化碳含量的計算及燃料的特性系数	57
4-7 干烟气中的 RO_2 最大含量	60
4-8 过量空气系数的計算	60
4-9 烟气的焓	64

第五章 鍋炉机組的热平衡	72
--------------------	----

5-1 热平衡的組成項目	72
5-2 机械不完全燃燒热损失	75

5-3 化学不完全燃烧热损失	80	5-7 有效利用热和锅炉机组的效率	86
5-4 排烟热损失	82	5-8 燃料的可见蒸发量和标	
5-5 散热损失	84	准蒸发量	88
5-6 灰渣物理显热损失和冷		5-9 锅炉设备的净效率	89
却损失	85		
第六章 锅炉机组中的热交换	98		
6-1 概述	98	6-4 锅炉机组中受热面的传	
6-2 基本传热方式	98	热系数	106
6-3 复杂的热交换	102		
第七章 锅炉中的水循环	110		
7-1 水循环的基本概念	110	7-3 自然循环的不正常现象	114
7-2 自然循环的流动压头和		7-4 锅炉的水循环线路简图	118
循环倍率	110	7-5 强制循环的基本概念	119
第八章 自然循环锅炉	121		
8-1 概述	121	8-5 立式水管锅炉	145
8-2 火管锅炉	123	8-6 高压锅炉	162
8-3 水管锅炉的特点	137	8-7 超高压锅炉	168
8-4 卧式水管锅炉	138		
第九章 特种锅炉	172		
9-1 单流锅炉	172	9-4 压入式锅炉	180
9-2 多次强制循环锅炉	178	9-5 二汽循环动力设备锅炉	183
9-3 间接蒸发锅炉	179	9-6 原子能锅炉	184
第十章 水处理	191		
10-1 概述	191	10-6 蒸汽的品质及其改善方	
10-2 天然水中的杂质及其对		法	207
锅炉的影响	192	10-7 给水、炉水和蒸汽品质	
10-3 水质的指标	194	的标准	211
10-4 水垢的形成及其防止方		10-8 水处理的方法	213
法	197	10-9 水的沉淀、凝聚和过滤	215
10-5 锅炉金属的腐蚀及其防		10-10 碱-石灰软化法	216
止方法	203	10-11 离子交换软化法	218

10-12 蒸发器·····222	洗淨·····230
10-13 水的除气·····224	10-16 鍋炉排污和分段蒸发···237
10-14 炉內水处理·····226	10-17 过热器的清洗·····241
10-15 汽水分离装置和蒸汽的	

第十一章 鍋炉机组的輔助受热面 ·····245

11-1 过热器的作用·····245	11-9 省煤器的种类和構造···259
11-2 过热器的構造·····245	11-10 省煤器的损坏及其防止
11-3 过热器的种类及其特性246	方法·····262
11-4 二次过热器·····250	11-11 空气預热器的作用·····263
11-5 过热蒸汽溫度的調整的	11-12 空气預热器的种类和構
必要性及其影响因素···251	造·····264
11-6 过热蒸汽溫度的調整方	11-13 空气預热器的损坏及其
法·····252	防止方法·····269
11-7 过热器被燒坏的原因及	11-14 进一步降低排烟溫度的
其防止方法·····257	方法·····271
11-8 省煤器的作用·····258	

第一章 緒 論

現代的蒸汽鍋爐是一種複雜的機組，它用來產生高於大氣壓力的蒸汽。由於現代的工業和日常生活都廣泛使用蒸汽，因此蒸汽鍋爐在國民經濟中占有極其重要的地位。

蒸汽鍋爐所生產的蒸汽通常用於：

1. 蒸汽發動機（汽輪機和蒸汽機），在這裡將蒸汽的能量轉變成機械能，因此，蒸汽鍋爐是熱力發電站中最重要的一種設備，而且是使用蒸汽發動機的運輸工具的动力設備中的一個不可缺少的組成部分；

2. 各種生產工藝，如加熱、蒸發、乾燥等等，因此蒸汽鍋爐在紡織印染、食品加工、酒精、造紙等工業中也得到了廣泛的採用；

3. 取暖。

由於鍋爐有着各種不同的用途，所以蒸汽鍋爐不僅在構造上有很多式樣，而且在蒸汽參數（汽壓和汽溫）和蒸發量（每小時的蒸汽生產量）方面也有許多種類。

按蒸汽壓力，鍋爐可分為：

1. 低壓鍋爐——15 表大氣壓以下；
2. 中壓鍋爐——15~60 表大氣壓；
3. 次高壓鍋爐——60~90 表大氣壓；
4. 高壓鍋爐——90~140 表大氣壓；
5. 超高壓鍋爐——140 表大氣壓以上。

按蒸發量，鍋爐可分為：

1. 小型鍋爐——20 噸/時以下；

2. 中型鍋爐——20~75 吨/时,

3. 大型鍋爐——75 吨/时以上。

我国在解放前虽然也制造一些小型低压鍋爐, 但是所用的主要材料(鋼板和无縫鋼管)都是由資本主义国家进口的。所以那时所謂的鍋爐制造厂, 实质上只能算是鍋爐的修配工厂。

解放后, 在中国共产党领导下, 进行偉大的社会主义建設, 电站鍋爐、工业鍋爐的需要量日益增加, 于是建立和发展鍋爐工业提到議事日程上来了。由于鋼鐵工业的迅速发展, 特别是无縫鋼管等鋼材能够自己生产后, 給鍋爐制造业的发展鋪平了道路。国家不仅扩建了原有鍋爐厂, 还新建了規模宏大的現代化鍋爐厂, 建立了汽輪机鍋爐的試驗研究基地。經過工人、技术人員的刻苦努力, 在較短的时间內, 基本上掌握了鍋爐的設計制造技能。目前, 我国已經能够自己制造成套火力发电設備, 其中包括多种型式、不同容量的鍋爐, 对于超高压与大容量設備以及压力燃燒鍋爐等, 也具有設計和試驗經驗。这些成就說明我国的动力工业已經有了一定基础, 为动力工业自力更生地进一步发展准备好了条件。我們确信我国的鍋爐制造工业不久将能够达到新的高度, 赶上先进水平。

为了提高动力設備的热效率, 近年来国外鍋爐制造业在制造高参数的大容量鍋爐方面取得了很大的成就。

在国外, 目前蒸汽鍋爐的发展主流是提高蒸汽参数和单机容量, 以提高动力設備热效率, 降低火力发电成本; 至于鍋爐品种, 除了自然循环鍋爐外, 直流鍋爐与多次强制循环鍋爐也很盛行。这些情况, 对于发展我国的鍋爐制造业, 可作适当参考。

由于原子能发电的实现, 在鍋爐行列中又增添了新的成員——原子能鍋爐(即原子反应堆)。例如, 国外在 1954 年 6 月开始发电的一座原子能发电站, 它的容量是 5000 瓩。在这座发电站中, 装置着用鈾 235 作为燃料的原子能鍋爐(原子反应堆), 它每昼夜

只消耗 30 克鈾,而具有相同发电能力的火力发电站每昼夜却需用 100 吨左右的煤。

我国在第一个五年計劃中,已开始了和平利用原子能的研究工作,相信在不久的将来,在祖国的土地上一定会出現自建的原子能发电站。

問 題

1. 蒸汽鍋炉有何用途?
2. 按压力鍋炉分哪几种?
3. 按蒸发量鍋炉分哪几种?

(2) 鍋炉本体，其中包括鍋筒 6、沸水管 7 和水牆管 8，其用途是把进入鍋炉本体中的液体轉变成在指定压力下的飽和蒸汽。

(3) 蒸汽过热器 9, 用来將飽和蒸汽过热到指定的溫度。

(4) 省煤器 10, 其用途是利用排烟的热量来預热进入鍋炉的給水。

(5) 空气預热器 11, 其用途是利用排烟的热量来預热送入炉中的空气。

(6) 炉牆, 用来形成炉膛和气道。

(7) 構架, 即支承鍋炉各組成部分的金属樑架。

(8) 管制件和附件, 管制件用来控制鍋炉的工作, 如各种閥門、压力表、水位表等; 鍋炉附件包括炉門、人孔盖、擋板、吹灰裝置等。

以上各組成部分总称为鍋炉机組。在現代的中、大型鍋炉机組中, 一般都包括上述各个組成部分, 但是并非任何鍋炉都必須包括所有这些部分, 例如在小型或老式鍋炉中通常都不裝用空气預热器和省煤器。

鍋炉設備則应包括鍋炉机組和下列輔助裝置:

(1) 燃料儲存和輸送裝置。

(2) 燃料制备裝置, 当裝用火室炉子时, 便需先將燃料在燃料制备裝置中制成粉狀后送入炉內。

(3) 除尘器, 用来收集烟气中的飞灰, 以免妨害附近地区的环境卫生。

(4) 除灰裝置, 用来排除炉子中的灰渣和除尘器所收集的飞灰。

(5) 水处理裝置, 用来清洁鍋炉給水。

(6) 給水裝置, 用来輸送鍋炉給水。

(7) 送风裝置, 用来把燃燒所需的空气送入炉中。

(8) 抽风裝置, 用来排除烟气。

現以图 2-1 所示的鍋炉为例來說明鍋炉設備的工作过程: 利用燃料輸送裝置 1 把燃料从儲存处送入原煤仓 2, 然后用給煤器 3 送入井式磨煤机 4, 在这里將燃料磨成粉狀后送入炉子 5 中。

用送风机 12 把空气送入空气预热器 11, 在其中被预热后再送入炉内。燃料在炉内与空气混合而进行燃烧, 并把所放出的部分热量用辐射方式传给水牆管 8, 所生成的烟气依次流过沸水管 7、过热器 9、省煤器 10 和空气预热器 11, 这时烟气的大部分热量逐渐被上述各部分中的工质所吸收。烟气流过除尘器 13 时, 其中的飞灰被留下, 然后用抽风机 14 将清洁的烟气通过烟囱 16 排出。

除尘器 13 所收集的飞灰和从炉中出来的灰渣用除灰装置排出锅炉房。

给水先在除气器 18 中除去其中的气体 (O_2 和 CO_2), 然后用给水泵 21 打入省煤器 10, 在这里被加热后再送入锅筒 6 中。水在沸水管 7 和水牆管 8 所组成的管系中经过若干次循环后而形成饱和蒸汽, 然后从锅筒 6 导出送入过热器 9, 在这里把蒸汽过热到指定温度后送往用户。

为了便于说明锅炉中的几个技术名词, 现在来看一个最简单的

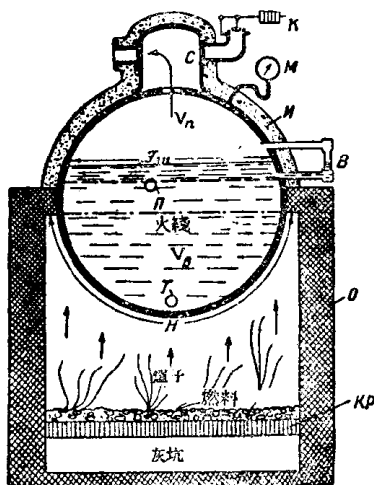


图 2-2

的圆筒锅炉 (图 2-2)。给水由给水管 Π 送入锅筒。锅筒中被水占有的空间叫做水空间 (水容积 V_g); 被蒸汽占有的空间叫做蒸汽空间 (蒸汽容积 V_n)。蒸汽空间与水空间的分界面便叫做蒸发面 F_{su} 。在锅炉上装置的水位表用来观察锅筒中的水位, 它是根据物理学中的连通器原理构成的, 一端与蒸汽空间相通, 另一端与水空间相通。锅筒中的水位不能

过高和过低, 过高则蒸汽将带出很多水分, 过低则可能引起缺水事故, 这时一面受烟气加热, 而另一面无水冷却的金属会因过热而降低其强度, 有时可引起锅炉爆炸。锅筒表面被热烟气冲刷的最高

界限便叫做火綫。鍋筒中的最低水位与火綫的距离不应小于 100 公厘。

鍋筒安置在用火磚砌成的炉子 O 上, 炉中裝有用生鉄制成的炉排 Kp 。燃料加在炉排上, 燃燒所需的空气由下部通过炉排空隙进入炉膛。燃料燃燒时所放出的热量通过鍋筒下部金属傳給水, 在炉子外面的鍋筒上部用絕热层 H 加以包复, 以免热量散失到外面去。鍋筒中所产生的蒸汽在干汽室 C 中分离出水分后送往用戶。

压力表 M 与蒸汽空間相通, 它用来測量鍋筒內的蒸汽压力, 当压力超过規定的数值时, 安全閥 K 便自动打开而將蒸汽放出。

放水閥 T 安置在鍋筒的下部, 它用来放出鍋筒中的污物。

在鍋炉中, 一面受到火焰和烟气的加热, 而另一面被工質(水、蒸汽或空气)所冷却的金属面就叫做受热面 (公尺²), 其大小通常按与热烟气接触的一面計算。例如在图 2-2 所示的鍋炉中, 鍋筒的下部(H_k)就是受热面, 而在图 2-1 所示的鍋炉中, 沸水管 7、水牆管 8、过热器 9、省煤器 10 和空气預热器 11 都具有受热面。主要依靠火焰的輻射而获得热量的受热面叫做輻射受热面, 例如置于炉膛中的水牆管; 而主要依靠与热烟气接触而获得热量的受热面則叫做对流受热面, 例如置于气道中的过热器、省煤器, 等等。

2-2 鍋炉的基本工作特性

鍋炉的基本工作特性主要是:

1. 蒸发量 D 即鍋炉每小时所生产的蒸汽量 (吨/时或公斤/时)。
2. 蒸汽参数 即蒸汽压力 p (表大气压) 和过热温度 $t_{ne}(^{\circ}C)$ 。如果鍋炉所生产的蒸汽为飽和蒸汽, 其蒸汽参数則为蒸汽压力和湿度。
3. 蒸发率 即鍋炉的蒸发量与其蒸发受热面之比;

$$y = \frac{D}{H_k}, \text{ 公斤/公尺}^2 \cdot \text{时} \quad (2-1)$$

式中 D ——鍋炉蒸发量, 公斤/时;

H_k ——鍋炉的蒸发受热面(鍋炉本体的受热面), 公尺²。

因此, 蒸发率表示出, 在單位時間內每平方公尺鍋炉受热面能产生多少公斤蒸汽, 也就是表明了鍋炉受热面的工作强度。在这里应当注意到, 由于鍋炉中不同区段的受热面在工作时具有不同的强度, 所以蒸发率只是一个平均数值。

4. 受热面热强度 即每平方公尺受热面在 1 小时内平均所吸收的热量:

$$y_T = \frac{Q}{H}, \text{ 大卡/公尺}^2 \cdot \text{时} \quad (2-2)$$

式中 Q ——每小时傳給鍋炉机組的总热量, 大卡/时;

H ——鍋炉的全部受热面, 公尺²。

应当指出, 鍋炉各部分受热面的热强度是不相同的。

5. 鍋炉机組的效率 η_k 即在鍋炉中有效利用的热量与燃料在炉中燃燒时所放出的热量之比, 这个数值表示出鍋炉工作的經濟性。

2-3 鍋炉中的蒸汽发生过程

在鍋炉設備中, 水的加热汽化及蒸汽的过热都是在定压下进行的。图 2-3 为蒸汽动力設備中工質状态变化的 TS 图。

M 点表示工質的初态(給水)。水在水泵中受压时, 其溫度和熵差不多都不改变, 因此可以認為, 表示水从給水泵出来时状态的 A 点和 M 点重合。水在鍋炉中的定压加热过程, 由等压綫 ABC 表示, 并可認為这等压綫与下极限曲綫重合。

B 点表示工質离开省煤器时的状态。 C 点表示鍋炉本体中的水在沸点 t_k 时的状态。在 $t = \text{常数}$ 时所发生的汽化过程由平行于

横坐标的直线 CE 表示, 而近于 $p = \text{常数}$ 时所发生的蒸汽过热过程则用等压线 EF 表示。

F 点表示蒸汽从过热器出来时的状态。蒸汽在汽轮机中的绝热膨胀由平行于纵坐标的直线 FG 表示。蒸汽在凝汽器中的冷凝过程由 $t = \text{常数}$ 的 GM 线表示。

循环在 M 点闭合, 以后又重复上述过程。蒸汽动力设备循环的各种不同的过程是在设备的各种不同的组成

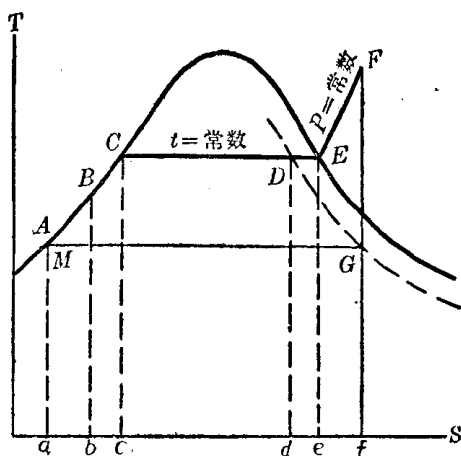


图 2-3

部分中实现的。锅炉中所发生的过程由 $ABCDEF$ 线表示。

水在省煤器中被加热所利用的热量为:

$$\text{面积 } ABbaA = i_{n2} - i_{n0} \text{ 大卡/公斤}$$

D 点表示锅炉中湿饱和蒸汽的状态。在锅炉的蒸发受热面中生产 1 公斤湿饱和蒸汽所利用的热量为:

$$\text{面积 } BCDdbB = i_n + rx - i_{n2} = i_x - i_{n2} \text{ 大卡/公斤}$$

式中 i_n ——液体在饱和温度 t_n 时的焓, 大卡/公斤;

x ——蒸汽在 D 点的干度;

r ——液体的汽化热, 大卡/公斤;

i_{n0} ——给水在 A 点的焓, 大卡/公斤;

i_{n2} ——给水离开省煤器时在 B 点的焓, 大卡/公斤。

F 点确定过热蒸汽从过热器出来时的状态。在蒸汽过热器中使蒸汽干燥所利用的热量为:

$$\text{面积 } DEedD = (1-x)r \text{ 大卡/公斤}$$

而使蒸汽过热所利用的热量为:

$$\text{面积 } EFfdE = C_p(t_{ne} - t_n) \text{ 大卡/公斤}$$

DEF 綫表示蒸汽的干燥和过热的过程, 因此, 在蒸汽过热器中所利用热量用 DEF 綫下面的面积 $DEFfdD$ 来量度, 即

$$(1-x)r + C_p(t_{ne}-t_n) = i_{ne} - i_x \text{ 大卡/公斤}$$

式中 i_{ne} ——过热蒸汽在 F 点的焓, 大卡/公斤;

i_x ——湿蒸汽在 D 点的焓, 大卡/公斤。

因此, 在鍋炉机組中从給水(A 点)变成 1 公斤过热蒸汽(F 点)所利用的总热量可用面积 $ABCDEFfaA$ 来量度, 其变化情形可参看图 2-4 的图解, 即

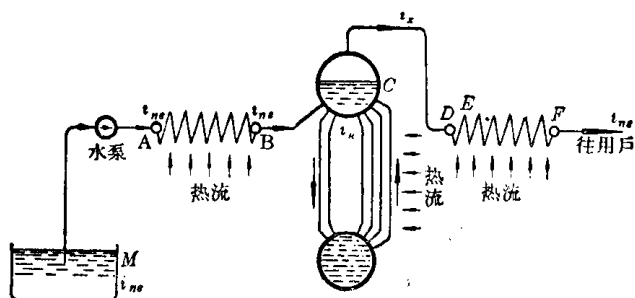


图 2-4 1 公斤水变成 1 公斤蒸汽的受热变化简图

水的加热	水的蒸发	蒸汽的过热
$\Delta i = \underbrace{(i_{n2} - i_{n0})}_{\text{省煤器中由 A 点到 B 点}} + \underbrace{[(i_n - i_{n2}) + rx]}_{\text{鍋筒中由 B 点經 C 点到 D 点}} + \underbrace{[r(1-x) + C_p(t_{ne} - t_n)]}_{\text{过热器中, 由 D 点經 E 点到 F 点.}}$		
$= (i_{n2} - i_{n0}) + (i_x - i_{n2}) + (i_{ne} - i_x) = i_{ne} - i_{n0} \quad (2-3)$		

問 題

1. 何謂鍋炉机組和鍋炉設備?
2. 何謂蒸发面?
3. 何謂受热面?
4. 什么是鍋炉的基本工作特性?
5. 怎样計算將 1 公斤給水在鍋炉中变成 1 公斤过热蒸汽时所利用的热量?

第三章 燃 料

3-1 概 述

著名的俄国科学家 Д. И. 門德列也夫对燃料作了如下的定义：“用来燃燒以取得热量的可燃物質叫做燃料”。

燃料按其物态主要可分成固体燃料、液体燃料和气体燃料。此外，燃料还可以按获得的方法而分成天然燃料和人工燃料两大类。

燃料按物态及获得方法的分类列在表 3-1 中。

表 3-1

种 类	天 然 燃 料	人 工 燃 料
固体燃料	木柴、泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤、可燃頁岩等。	木炭、焦炭、煤团、煤粉等。
液体燃料	石 油	汽油、火油、重油、焦油等。
气体燃料	天然煤气	高炉煤气、发生炉煤气、煉焦炉煤气、地下气化煤气等。

我国在利用和开采燃料方面有着悠久的历史。早在四千年前我們的祖先便懂得用炭。大約在公元前 200 年便有了发现煤的記載，如“汉書地理志”中說：“豫章郡出石，可燃为薪”。豫章郡即今江西的南昌附近。不过当时煤的使用和开采还不多。到了宋朝，我国煤的应用和开采便相当普遍了，如宋朝陸游的“老学菴筆記”中就有“北方多石炭”这样的記載。到元朝和明朝时，煤的应用更