

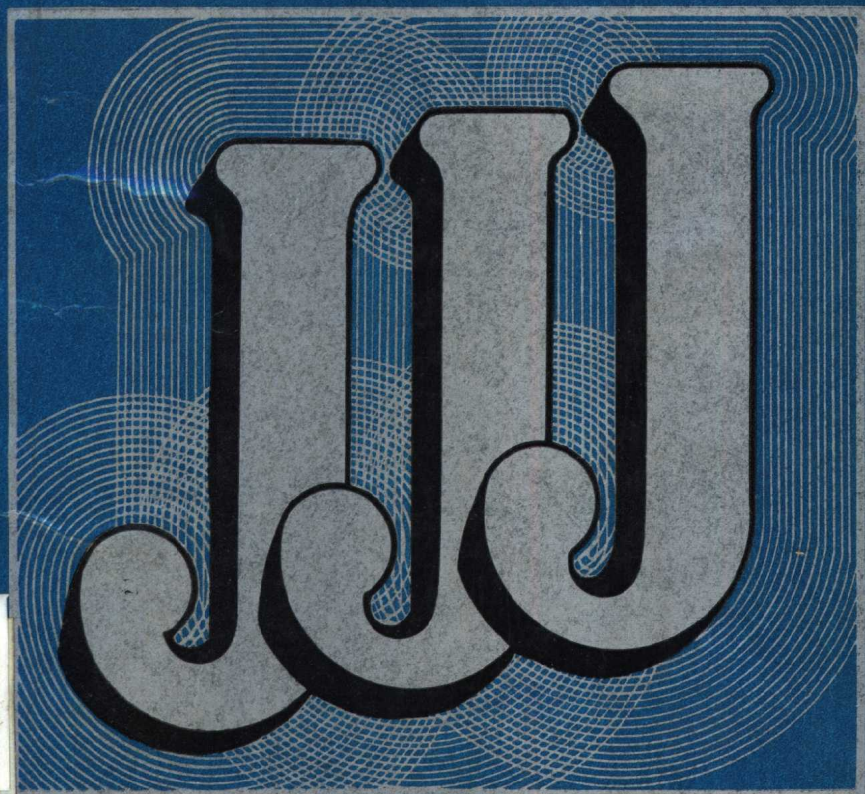
国家机械工业委员会统编

# 发生炉煤气生产原理

(中级煤气工适用)

机械工人技术理论培训教材

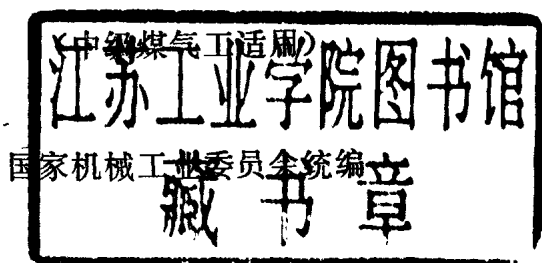
JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

## 发生炉煤气生产原理



机械工业出版社

217980

全书共分十章，叙述了煤气生产中有关煤的热解、燃气和气化原理，炉内煤气化反应的实际过程，介绍了煤气发生站的类型，工艺操作参数调节，净化方法原理及设备结构，并介绍了水煤气生产原理，煤气发生站的主要故障及处理，技术经济指标等。内容深入浅出，通俗易懂，理论联系实际，是机械工业系统中级煤气工的技术理论培训教材，也可作其他工业部门中级煤气工培训教材。

本书由东北煤气化设计研究所王惠忠、沈阳华光灯泡厂蒋新华编写；辽宁省石油化工规划设计院贾崇珍、东北煤气化设计研究所刘维范审稿。

## 发生炉煤气生产原理

(中级煤气工适用)

国家机械工业委员会统编

\*

责任编辑：崔世荣      版式设计：罗文莉  
封面设计：林胜利      方      芬      责任校对：李广孚

\*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{32}$  · 印张  $8 \frac{3}{4}$  · 字数 183 千字  
1988年11月北京第一版 1988年11月北京第一次印刷

印数 00,001—10,700 · 定价：2.95元

\*

ISBN 7-111-01174-0/TU·7

## 前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材149种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以基本

#### IV

概念和原理为主,突出针对性和实用性,着重讲授基本知识,注重能力培养,并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发,努力做到理论联系实际,通俗易懂,具有工人培训教材的特色,同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接,便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位,组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人,在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际,谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员,各地的组织领导者;以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意!

编好、出好这套教材不容易,教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误,我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题,及时提出批评和指正,以便再版时修订,使其更完善,更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会  
技工培训教材编审组

1987年11月

本教材适用于中级煤气工  
本工种需学习下列课程

**初级：**机械识图、钳工常识、电工常识、发生炉煤气生产原理（初级煤气工适用）

**中级：**发生炉煤气生产原理（中级煤气工适用）

**高级：**发生炉煤气生产原理（高级煤气工适用）

为便于企业开展培训，国家机械工业委员会教育局和机械工业出版社还组织编写出版了与以上教材配套的习题集，并摄制出版了机械识图、电工常识两门课的电视教学录像片。

# 目 录

## 前言

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 煤气生产的理论基础 .....      | 1  |
| 第一节 煤的热解 .....           | 1  |
| 第二节 煤的燃烧 .....           | 6  |
| 第三节 煤的气化机理 .....         | 11 |
| 第四节 发生炉气化反应过程 .....      | 13 |
| 复习题 .....                | 23 |
| 第二章 煤气发生站的生产工艺 .....     | 24 |
| 第一节 发生炉煤气种类 .....        | 24 |
| 第二节 冷、热煤气发生站 .....       | 25 |
| 第三节 混合发生炉煤气生产原理 .....    | 27 |
| 第四节 混合发生炉煤气生产的操作参数 ..... | 30 |
| 第五节 水煤气生产原理 .....        | 36 |
| 第六节 水煤气生产过程 .....        | 42 |
| 第七节 半水煤气生产原理及生产过程 .....  | 51 |
| 复习题 .....                | 67 |
| 第三章 发生炉煤气净化 .....        | 68 |
| 第一节 煤气净化方法及原理 .....      | 68 |
| 第二节 煤气中粉尘及焦油脱除 .....     | 70 |
| 第三节 煤气中硫化氢脱除 .....       | 75 |
| 第四节 煤气中二氧化碳脱除 .....      | 81 |
| 第五节 煤气冷却及干燥 .....        | 89 |
| 复习题 .....                | 96 |

|     |                  |     |
|-----|------------------|-----|
| 第四章 | 影响煤气发生炉气化的因素     | 97  |
| 第一节 | 原料煤性质对气化的影响      | 97  |
| 第二节 | 操作条件对气化的影响       | 101 |
| 第三节 | 气化工艺方法对气化的影响     | 109 |
| 复习题 |                  | 118 |
| 第五章 | 煤气发生站的操作         | 119 |
| 第一节 | 煤气发生站的种类及选用      | 119 |
| 第二节 | 冷、热煤气发生站的开工与正常操作 | 122 |
| 第三节 | 煤气发生炉的热备操作       | 134 |
| 第四节 | 冷、热煤气发生站停工       | 142 |
| 第五节 | 设备倒换操作           | 144 |
| 复习题 |                  | 148 |
| 第六章 | 水煤气发生站的设备        | 149 |
| 第一节 | 水煤气发生站的工艺设备及附属装置 | 149 |
| 第二节 | 水煤气发生站的净化冷却和干燥设备 | 156 |
| 复习题 |                  | 160 |
| 第七章 | 煤气发生站的故障与排除      | 161 |
| 第一节 | 气化过程中的异常现象及处理    | 161 |
| 第二节 | 净化系统设备故障及处理      | 166 |
| 第三节 | 机械转动设备故障及处理      | 171 |
| 第四节 | 自动机、阀门故障及处理      | 175 |
| 复习题 |                  | 188 |
| 第八章 | 煤气发生站的设备检修       | 189 |
| 第一节 | 检修知识             | 189 |
| 第二节 | 检修常用材料           | 193 |
| 第三节 | 煤气发生炉检修          | 198 |
| 第四节 | 自动机检修            | 205 |
| 第五节 | 净化设备检修           | 206 |
| 复习题 |                  | 212 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第九章 煤气发生站的技术经济指标 .....      | 213 |
| 第一节 煤气发生站的开工率及利用率 .....     | 213 |
| 第二节 煤气发生站的冷煤气效率和热煤气效率 ..... | 216 |
| 第三节 煤气发生炉的蒸汽分解率 .....       | 229 |
| 第四节 气化技术经济指标的计算方法 .....     | 237 |
| 第五节 国内煤气发生站的一般技术经济指标 .....  | 239 |
| 第六节 提高煤气产量、质量和降低能耗的途径 ..... | 241 |
| 复习题 .....                   | 245 |
| 第十章 煤气发生站的检控和安全 .....       | 246 |
| 第一节 煤气全分析和气相色谱的分析原理 .....   | 246 |
| 第二节 自动机控制的工作原理 .....        | 250 |
| 第三节 燃烧理论和灭火原理 .....         | 253 |
| 复习题 .....                   | 259 |

## 第一章 煤气生产的理论基础

煤的气化工艺是煤在高温条件下，于气化设备内与气化剂进行化学反应和本身的热解反应，使固体煤料转化成气体燃料和灰渣（固态灰或液态排渣成水淬渣）的化学工艺过程。

煤在气化反应设备内的主要化学工艺过程包括：煤的热解干馏过程、煤的还原过程、煤的燃烧过程。气体燃料是这些化学工艺过程的综合产物。在每一化学反应过程中都共同存在着一个化学反应的平衡和反应速度问题，前者为化学热力学问题，后者为化学反应动力学问题。

### 第一节 煤的热解

从煤的成因知道，煤是由高等植物（或低等植物）在一定条件下，经相当长的时期的各种化学、物理、物理化学、生物及地质作用形成的。其主体组成是含碳、氢、氧、氮和硫等元素的极其复杂的有机化合物，并夹杂有一部分无机化合物。煤气化时，受热后，使其内能增加，有机化合物中的不同结构，其分子间结合的键能大小不同，键能小的部位先行热解，键能稍大的较后热解，键能大的最后热解，无机化合物也伴随发生热分解。其中无机化合物分解生成的各种氧化物中，有些具有催化剂作用，能加速有机化合物的分解及其分解产物的化合。有机化合物的热解过程在气化反应设备内可进行到约  $600^{\circ}\text{C}$ 。如图 1-1；

煤气化热解过程从温度和工艺条件分析，基本接近于低

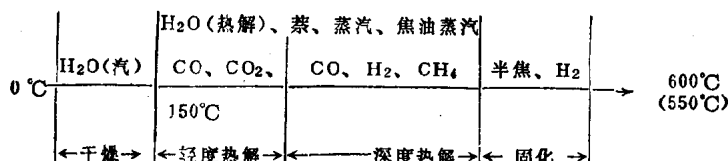


图1-1 煤的热解过程示意图

温干馏。为什么在气化反应设备内存有干馏段呢？当煤从煤斗加入炉内后，温度逐渐升高，在 $200\sim 550^{\circ}\text{C}$ 的区域内，从还原层上来的热气流中，经实际分析氧含量已减少到 $0.5\%$ 左右，即基本接近于零。在这一区域的煤加热热源是热气流，此热气流近似于无氧，可视为隔绝空气加热，这种条件即为干馏制气条件。由于在基本隔绝空气条件下进行热解，热解气体组分中惰性气（不可燃气体）组分含量较低，可燃成分含量如 $\text{H}_2$ ， $\text{CH}_4$ 较高，并含有一定量 $\text{CO}$ ，干馏煤气热值较高，约为 $16.72\text{MJ}/\text{m}^3\ominus$ ，产气率约为 $280\sim 320\text{ m}^3/\text{t}$ 干煤。气化烟煤时，在煤气中尚含有一定量萘和焦油，焦油性质经分析测定近似于低温焦油，有一定加工利用价值。

### 一、煤的热解反应热力学

煤的热解反应热力学是煤在加热条件下，发生一系列的热分解反应，由分子量极大的（ $10^5\sim 10^6$ ）固体物质煤分解为分子量较小的液态和气体物，同时由分子量小的产物再缩聚合成分子量较大的物质，粗略说，分解与聚和反应速度相等时，即热分解进行的平衡问题。煤的热解平衡限度与许多因素有关，主要有煤的性质、加热温度、压力和无机物性质等。

1. 煤的性质 在同一温度条件下，不同性质的煤如褐煤、弱粘结煤、长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤、贫煤和

⊖ 指标标准立方米，以下全书以符号 $\text{m}^3$ 表示均指标标准立方米

无烟煤，其开始分解温度和最终固化温度都不一样。主要是这些煤的结构和组成不同，促使分裂和破坏其键能的总能量也不同，而在外界供给同样能量的条件下，其热分解的深度必然不一样。因此，生成的产物由于平衡程度差别而组成不一。键能总量小的年青煤热解程度深些，键能总量大的年老煤热解程度浅些。同一种煤，在相同反应时间内为使其达到较为平衡深度，必需提高温度、压力等外部条件。根据煤的不同性质，应合理确定煤在干馏区段的高度。

2. 加热温度 煤在干馏段热解深度主要因素是加热温度。干馏热解反应是吸热反应，温度越高，反应向分解产物方向进行，深度越深，也即平衡向分解产物方向移动。温度高低是热能大小的标志，温度愈高，热能愈大。而对某一种煤而言，总键能基本变化不大，提高加热温度，煤在干馏热解时，深度较深，即达到平衡程度较高，能得到较多气(汽)、液产物。随着加热温度的提高，其分解产物组成也发生相应变化。由于分解产物多，反应复杂，其热分解反应平衡与温度关系不易用数学公式定量表达，目前世界各国正在探索试验和专题研究。

3. 压力 煤在干馏热解时，分解出气(汽)体产物，这些气体产物并能继续进行反应。根据气相反应的特点，反应前后气体体积可以是减少、增加或不变。压力与反应前后体积不变的气相反应无关，而有利于体积减小的反应，不利于体积增加的反应。后者是热分解反应，向体积增加方向移动，前者是平衡反应向体积减少方向移动。但生成较多热值较高的可燃物  $\text{CH}_4$  时，需较高的干馏温度，且需较高压力，而干馏热解区温度较低，干馏区形成的  $\text{CH}_4$  产物主要是煤的干馏热解过程中有机物裂解所致。总之，在低温时，压力对热

解反应影响不大。

4. 无机物性质 煤中矿物质受热分解产物主要是各种金属氧化物和  $\text{CO}_2$  气体。其中有的金属氧化物在气化反应研究中已被证实，不但能起到催化剂作用，而且有的具有较高催化效能。因此，国内外有些煤化专家认为，煤在气化工艺过程中，其灰分能起催化剂作用。催化剂对煤气化反应的作用是降低煤热解反应的活化能，促使反应平衡。

## 二、煤的热解反应动力学

煤的热解反应动力学是煤在热解反应过程中达到平衡时的反应速度，这对工业生产有现实意义。工业生产要求化学反应达到平衡时间越短越好，以提高设备生产能力，降低产品生产成本。为此，需想方设法确定化学反应操作的最佳工艺条件、设计结构先进的高效反应设备，配备相应的自动控制仪表和安全设施。工艺和煤质方面的因素有催化剂、温度反应气体、浓度和煤的化学活性等。

1. 催化剂 为提高化学反应速度，催化剂早有应用。最近对催化剂的催化作用理论研究更有许多新的进展。催化剂主要有液相和固相催化剂，其作用机理通常认为在其表面形成活性中心，与反应物形成一种过渡性物质，从而降低反应物之间反应的活化能，使活化分子增加，有效碰撞次数增加，因此加快了化学反应速度。在实际应用中，哪一种催化剂对某一化学反应效果最佳，需通过对许多催化剂筛选研究确定。在气化反应中目前常用催化剂有  $\text{Ni}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Na}$ 、 $\text{K}$  氧化物及其盐类等。

2. 温度 温度对化学反应速度的影响主要是通过能量传递，加热反应物，给予了外界能量，使反应物能量增加，因此增加了反应物的活化分子数量，使其有效碰撞次数增加。

此外, 由于温度提高, 改变了反应物的物性, 使其粘度降低, 分子扩散速度增加, 增加了分子间碰撞次数, 由于碰撞次数增加, 发生反应的可能性也就增加。由于上述两种主要原因, 温度能促使化学反应速度提高。

3. 浓度 浓度对化学反应的影响, 一般说, 浓度增加后, 化学反应速度增加, 对气相反应物, 增加其浓度有两种途径, 一是增加压力, 二是增加其组分数量。当气体压力增加时, 由于体积缩小, 其单位体积内的气体分子数量增加, 即增加了体积百分浓度, 在压力不变情况下, 单位体积内组分数量增加, 体积浓度也相应增加。由于气体反应物浓度增加, 使参加反应的分子数、碰撞次数及碰撞机率均增加。从而提高了化学反应速度。

### 三、煤的热解过程及产物

煤的热解过程通常指煤在隔绝空气条件下, 从冷态加热到 $1000^{\circ}\text{C}$  (或 $1100^{\circ}\text{C}$ ), 热分解的全过程。其全过程粗略划分如下:

1. 干燥过程 ( $0\sim 120^{\circ}\text{C}$ ) 干燥过程通常指煤从常温加热到 $120^{\circ}\text{C}$ 期间, 水分蒸发减少到接近于零的过程。干燥过程快慢取决于干燥温度和煤中水分含量。煤中水分含量低、干燥温度高, 则干燥时间短; 反之, 煤的干燥时间就需较长。干燥过程基本是一物理过程, 但也伴随有物理化学过程。水分因其与煤的结合方式不同, 供给其水分蒸发能量也不相同, 以机械形式连结的表面水, 使其蒸发所需能量较小, 以吸附方式存于煤的小毛细孔内表面的水分, 供应能量就需大些。某在干燥区的温度从理论上分析应维持在 $100^{\circ}\text{C}$ , 但实际生产中, 由于煤不断向温度高的区域移动, 且水分蒸发需一定时间, 因此, 水分全部蒸发的温度稍大于 $100^{\circ}\text{C}$ ,

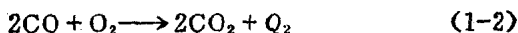
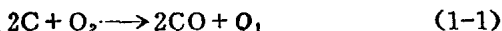
当气化煤水分含量较大时，干燥期间，煤料温度在一定时间内处于不变的  $100^{\circ}\text{C}$  左右。煤干燥过程的主要产物是  $\text{H}_2\text{O}$ （汽态）及被煤吸附的少量  $\text{CO}$ ， $\text{CO}_2$  等。

2. 热解固化过程 当煤料温度升到  $120^{\circ}\text{C}$  以上时，以物理化学方式连结的煤中水分，由蒸汽压的升高，离开煤料毛细孔而逸出，煤粒受热结构开始松懈，在温度升高过程中，从煤中分解出被吸附的  $\text{CO}$ ， $\text{CO}_2$  气体，并从煤中有机物环、链上的键能弱的结合部分断裂分解成分子量小的有机化合物，如萘、焦油蒸汽及结构最简单的可燃气体  $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_3\text{H}_6$ 、 $\text{C}_3\text{H}_8$  等，温度升高至  $320^{\circ}\text{C}$  左右，热解开始剧烈，一部分断裂的有机物质分子量较大，形成液态流动胶状物质（年青的褐煤和年老的贫煤、无烟煤因其结构特点，不能形成该种物质，这种物质称胶质体）并粘结周围煤粒，一部分断裂成分子量较小的气体物质。随着热解温度继续升高至  $500\sim 550^{\circ}\text{C}$  时，胶质体物质在温度作用下分解出一部分气体物质，并同时进行了缩聚，聚合等反应，逐渐转化成分子量大的固体物质，热解过程中，由于挥发物的逸出，使其体积减少，通常形成半焦。温度从  $550^{\circ}\text{C}$  继续提高至  $1000^{\circ}\text{C}$ （或  $1100^{\circ}\text{C}$ ），半焦中键能较小的侧键等物质已在  $550^{\circ}\text{C}$  前热解析出，剩下半焦可断裂的已经较少，一般以分解方式，主要析出  $\text{H}_2$ ，使固体物质结构中，碳含量逐渐增加，氢含量逐渐减少。半焦继续受热，产生内外应力析出氢气，因此进一步收缩，并产生裂纹，使结构致密，强度增加，逐渐固化成焦炭。

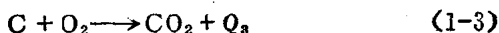
## 第二节 煤 的 燃 烧

煤气化工艺中热的供应靠燃烧一部分热焦，维持气化工

艺过程中的热量平衡,由于气化剂空气中混有一定量水蒸气,燃烧情况与煤在纯空气燃烧有一定区别,但燃烧的本质基本上是一致的。煤的燃烧系指在空气(或氧气中)中,当煤的温度达到着火温度时剧烈氧化,放出大量热量的过程。煤的燃烧化学反应可表示为:



将上两反应合并为:



其中  $Q_3 = Q_1 + Q_2$

### 一、煤的燃烧机理

煤在空气(或氧气)中燃烧,实际上是碳与空气中的氧进行氧化反应,该氧化反应过程至今有三种看法。

1. 煤燃烧初次产物为二氧化碳 当煤在空气中温度升高到着火温度时,煤燃烧进行氧化反应,其反应式为:

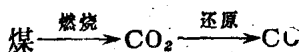


上反应式说明煤燃烧结果,其反应产物仅为  $CO_2$ ,并放出一定热量,使碳温度升高成为赤热的碳粒。反应初次产物  $CO_2$  与赤热的碳粒进一步进行二次还原反应为:



$$Q_4 = 401.28 \text{ kJ}, Q_5 = 164.69 \text{ kJ}, Q_4 > Q_5$$

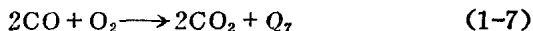
反应结果生成二次产物  $CO$ 。总之这种看法是先生成  $CO_2$ ,后生成  $CO$  即:



2. 煤燃烧初次产物为一氧化碳 煤在空气中进行燃烧时,按下式反应进行

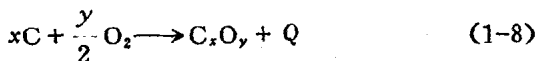


由上述反应看出, 反应生成的初次产物不是  $CO_2$ , 而是  $CO$ , 并放出热量  $Q_6 = 236.59 \text{ kJ}$ , 使  $CO$  气体温度升高, 热的  $CO$  继续与空气中氧发生气相化学反应为:

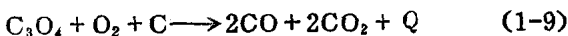


上述反应式的反应产物为  $CO_2$ , 很明显这种看法认为煤燃烧先生成  $CO$ , 二次反应产物为  $CO_2$ , 和第一种看法恰相反, 即煤  $\xrightarrow{\text{燃烧}} CO \xrightarrow{\text{燃烧}} CO_2$ , 同时放出热量。

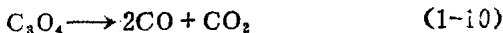
3. 煤燃烧初次产物为中间碳氧化物 ( $C_xO_y$ ) 煤在燃烧时先生成碳氧混合物, 用反应式表示为:



煤燃烧时, 氧分子由于碳的多孔性, 被吸附在碳的表面, 生成中间碳氧化物  $C_xH_x$ , 开始时碳周围氧的浓度较高, 温度较低, 这时中间物与氧在碳表面互相作用, 示意反应为:



反应结果生成一氧化碳和二氧化碳, 并放出热量, 接着由于氧的浓度降低, 且碳的温度升高, 中间化合物就开始分解, 其分解反应形式为:



作者认为, 煤在燃烧时反应速度很快, 在这种情况下, 究竟先生成哪一种气相物质的实际意义并不大, 不管那一种看法, 燃烧中都生成  $CO_2$  和  $CO$ , 最终燃烧成  $CO_2$ 。  $CO_2$  一部分是由煤 (固相) 直接燃烧生成, 一部分是由生成的  $CO$  (气相) 燃烧生成, 在燃烧区最终都生成  $CO_2$ , 并放出热量。从气化工艺角度考虑, 在燃烧区较重要的问题是通过燃烧能供给气化反应较多热量, 亦即要求单位煤量通过燃烧能放出