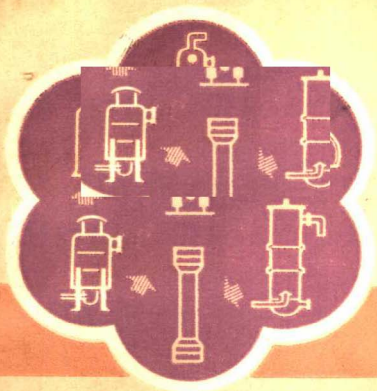




双加压流程碳酸氢铵生产

造 气

江苏省燃化局组织编写

燃料化学工业出版社

双加压流程碳酸



造 气

江苏省燃化局组织编写

燃料化学工业出版社

本套书在1969年出版的“小型氮肥厂生产”的基础上，以江苏省三千吨合成氨厂新版设计为依据重新编写的。全书侧重介绍“双加压流程碳酸氢铵生产”。并通过调查研究在内容上增添了近年来一些技术革新成果和实践经验，补充了有关的理论知识。全书共分造气、脱硫变换、压缩、碳化、精制、合成六个分册出版。

本书为这套书的第一分册，书中介绍了半水煤气制造原理、工艺流程及设备结构、操作条件的选择及操作方法、不正常现象的判断及事故处理方法等。

此书可作为新建小氮肥厂培训工人的教材，也可供生产厂的操作工人、管理干部、车间技术人员参考。

这套书由江苏省燃化局组织编写，其中的“造气”“精制”分册由泰兴县化肥厂执笔；“脱硫变换”“合成”分册由高邮县化肥厂执笔；“压缩”“碳化”分册由无锡县化肥厂执笔；全书由泰兴县化肥厂统一整理；最后由南京化工学院无机物工艺教研组审订。在编写过程中，江苏省、浙江省、上海市有关化肥厂均提供了不少宝贵意见。

双加压流程碳酸氢铵生产

造 气

江苏省燃化局组织编写

燃料化学工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

北京印刷八厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

* * *

开本 787 × 1092^{1/32}

印张 2¹³/₁₆

字数 59 千字

印数 1—18,200

1973年12月第1版

1973年12月第1次印刷

* * *

书号15063·2063(化-150)

定价 0.22 元

毛主席语录

社会主义革命和社会主义建设，必须坚持群众路线，放手发动群众，大搞群众运动。

我们的方针要放在什么基点上？放在自己力量的基点上，叫做自力更生。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

目 录

第一章 半水煤气的制造过程	1
第一节 固体燃料性质及其对制气的影响	3
第二节 气化反应原理	10
第三节 固定层间歇气化法制取半水煤气的工作循环	18
第四节 操作条件的选择	20
第二章 制取半水煤气的工艺流程和设备	26
第一节 工艺流程	26
第二节 主要设备及构造	28
第三章 操作管理	52
第一节 原始开车及大开车	52
第二节 停车及熄火	59
第三节 正常操作	60
第四章 操作中的主要故障及其处理方法	66
第一节 不正常现象	66
第二节 操作事故及其处理	69
第三节 自动机常发生的故障	78
第五章 安全技术要点	82

第一章 半水煤气的制造过程

氨分子是由三个氢原子和一个氮原子组成的。工业上用氢气和氮气在一定条件下合成氨。因此，要合成氨，首先要制得合成氨的原料气——3:1的氢氮气。

空气中含有约79%的氮，因此它是原料气中氮的唯一来源。通常用两种方法从空气中取得合成氨所需的氮：（1）使空气中的氧与燃料（或生产中获得的廉价氢）进行燃烧，生成含有氮和二氧化碳的混合气体，除去二氧化碳后得氮；（2）用深度冷冻法使空气液化变成液体，然后利用液态氮和氧的沸点不同，将液态空气进行精馏，分离出氮气。

氢气的来源比较多，除水之外，天然气、焦炉气、石油炼厂气、重油等碳氢化合物都是制取氢气的原料。制取氢气的方法也较多，例如：（1）电解水法——使水分解成氢气和氧气；（2）固体燃料气化法——在高温下用水蒸汽与固体燃料反应生成氢气和一氧化碳等气体；（3）重油裂化法——重油与水蒸汽和氧的混合气体高温反应，制得氢气和一氧化碳；（4）甲烷转化法——在700~900℃并有镍触媒存在下水蒸汽和甲烷反应，得到氢气和一氧化碳；（5）甲烷部分氧化法——氧和甲烷在950℃左右及有镍触媒存在下，进行不完全氧化，得到氢气和一氧化碳；（6）一氧化碳变换法——一氧化碳和水蒸汽在450℃左右及有变换触媒存在下生成氢气和二氧化碳等。在年产3000吨型的合成氨工厂里，大都采用固体燃料气化法和一氧化碳变换法，前者由造气工段完成，后者由变换工段完成。

制取合成氨原料气时，可以由分别制得的氢气和氮气混合而成，也可以同时制取氢氮混合气。目前小化肥厂常用煤或焦炭为原料，在高温下与空气和水蒸汽作用得到含有氢气、氮气、一氧化碳和二氧化碳等的混合气。所用的空气和水蒸汽叫做气化剂，所进行的气化过程叫做固体燃料气化法（简称造气），进行气化反应的设备叫煤气发生炉。

在气化过程中，空气与煤燃烧生成的气体通称空气煤（生产厂叫吹风气）；水蒸汽与赤热的煤作用生成的气体叫做水煤气；水煤气与空气煤气的混合气称为半水煤气。

上述几种气体的大致成分列于表 1。

表 1 煤或焦炭气化所得几种煤气的组成
(以体积百分数表示)

气体成分 气体名称	氢 气 H ₂	一氧化碳 CO	二氧化碳 CO ₂	氮 气 N ₂	甲 烷 CH ₄	氧 气 O ₂
吹 风 气	2.6	10	14.4	72.0	0.5	0.5
水 煤 气	48.4	38.5	6	6.4	0.5	0.2
半 水 煤 气	40~44	26~29	7~9	21	1.5	<0.5

从表 1 中可以看出，吹风气中氮气和二氧化碳含量很高，而氢气及一氧化碳含量较少；半水煤气中氢气、一氧化碳含量很高，而氮气含量很少。这两种气体都不能单独作为合成氨原料气，只有将吹风气与水煤气按一定的比例 $[(CO+H_2):N_2=3.1\sim 3.2]$ 混合，才可以配制成合成氨所要求的半水煤气。这样的半水煤气再经脱硫、变换、碳化（或水洗）及铜洗过程去除其中杂质（如硫化物、二氧化碳等）后，得到较纯净的氢氮混合气。在高温、高压和触媒存

的条件下，氢和氮化合成氨。

由于上述半水煤气的生产，是由制取吹风气和水煤气的过程交替进行来实现的，故通常称为间歇式半水煤气制造过程。

第一节 固体燃料性质及其对制气的影响

我国小合成氨厂用于制造半水煤气的燃料，现阶段主要是煤。我国地大物博，煤的蕴藏量很丰富，煤种多种多样。化肥战线上的广大革命工人，坚决贯彻执行毛主席的无产阶级革命路线，狠批刘少奇一类骗子所兜售的“原料定型论”、“粉煤无用论”等黑货，进一步发扬“独立自主、自力更生”的革命精神，大搞群众运动，大搞科学实验，在原料问题上做到因地制宜、就地取材，“粗粮细吃”“吃饱吃好”，不但利用本地煤制好气，而且使粉煤成球气化制取合成氨的原料气，为我国生产合成氨闯出了一条新路。

煤由于其成因及生成过程不同，它的物理化学性质也有较大区别。了解燃料性质及其影响，以便在生产中对工艺设计、操作技术和设备结构采取必要措施，从而达到提高产量降低消耗的目的。现将煤的一些主要性质及其对制气质量的影响叙述于下。

一、粒 度

煤的粒度是指煤块的大小。它对制气操作有较大的影响。煤的粒度小，表面积大，这样燃料与气化剂的反应接触面也大，对气化反应有利。但如煤的粒度过小，炭层阻力增加，火层不易上移，容易产生局部过热，造成炉内结疤，气化效果反而下降。同时气体带出物增多，堵塞和损坏管道设

备。粒度过大，气化剂与燃料接触面积大大减少，易使吹风气中氧含量提高，蒸汽分解率低，产气量差。同时，燃料燃烧不完全，造成灰渣含碳量增加，浪费燃料。所以，煤的粒度不要大于75毫米，一般以鸡蛋大小最为合适。但是，为了充分利用各地资源，提高原煤的利用率，进一步降低合成氨成本，应尽量利用小颗粒煤作为气化原料。目前，化肥工人在生产实践中，已摸索出用小颗粒煤造气的很多经验，使4毫米以上的小颗粒煤能产好气、多产气。对于粒度更细的粉煤，可以制成煤球、煤柱、煤砖等用于生产，人为地使煤的粒度由“小”变“大”。煤的粒度不同，操作条件也就有所不同，所以入炉燃料必须注意粒度均匀，力求大小分炉（或分批）烧。入炉的煤其粒度大小相差以不超过5倍为宜。

二、机械强度和热稳定性

煤的机械强度是指煤被机械或工具破碎的难易程度；热稳定性是以煤在高温下破碎的情况来衡量的。这两者都有专门的测定方法。在生产实践中，可凭经验来判断。机械强度可以从敲击时煤的碎裂情况看出。热稳定性则可以在煤入炉时听有无噼啪破裂声及捅炉时观察煤层表面的粒度变化情况来判断。

机械强度和热稳定性差的煤，入炉后容易破碎，使粒度变小，阻力增加，破坏既定的操作条件，对制气产生不良影响。但如事先知道煤的机械强度和热稳定性，在操作中采取措施，可以减少影响。

利用粉煤成球作为气化原料时，机械强度和热稳定性显得更为重要。为了提高煤球强度，目前有两种办法：一种是

将粉碎得很细的煤加少量水均匀拌和，提高制球压力来增加煤球强度，用此法所得煤球俗称清水煤球；另一种是在煤粉中加适量粘结剂（如纸浆、石灰、白土、废酒浆等等），以提高煤球强度，例如，强度较高的碳化煤球^①和纸浆煤球。

三、煤中杂质

煤中杂质（如石块等）的多少对制气亦有影响。煤中杂质含量多，煤的含碳量和单位炉容积中的碳容量都会降低，因此制气量就会减少。而且，石块本身是不起燃烧作用的，冷的加入炉中要吸热，出灰时将带走部分热量。另外，石块受热后，其中含有的碳酸盐分解，放出二氧化碳，影响气体成分。它还会在高温下与耐火砖及灰渣形成低熔点的疤块，成为炉中结疤挂炉的祸根。所以筛煤过程中应尽可能拣去煤中石块。

四、灰熔点

煤的灰熔点是气化燃料很重要的一个指标。灰熔点通常用三种温度表示，即 t_1 ——开始变形温度， t_2 ——软化温度和 t_3 ——熔融温度。灰熔点的高低与灰分的化学组成有关，含三氧化二铝（ Al_2O_3 ）和二氧化硅（ SiO_2 ）越多的，灰熔点越高；含三氧化二铁（ Fe_2O_3 ）、氧化钙（ CaO ）和氧化镁（ MgO ）越多的，则灰熔点就越低。大体上灰熔点与

① 碳化煤球粘结剂为石灰，首先用生石灰与水反应生成氢氧化钙， $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ ，成球后通入二氧化碳进行碳化反应， $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \uparrow$ ，借助坚硬的碳酸钙，提高煤球强度。

可参考燃料化学工业出版社，小氮肥生产经验交流资料(1)用碳化煤球生产合成氨原料气。

$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{MgO} + \text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3}$ 的比值成正比关系，可按下列经验公式计算：

$$t_2(^{\circ}\text{C}) = 19\text{Al}_2\text{O}_3 + 15(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2) + 10(\text{CaO} + \text{MgO}) + 6(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$$

〔例〕 某一煤种的灰分全分析如下： SiO_2 55.88%； Fe_2O_3 4.48%； Al_2O_3 32.56%； CaO 5.3%； MgO 1.4%。试计算灰熔点。

$$\text{解：} t_2 = 19 \times 32.56 + 15 \times 55.88 + 10 \times (5.3 + 1.4) + 6 \times 4.48 = 1550.72^{\circ}\text{C}$$

在实际操作中，一般控制炉温比灰分软化温度 t_2 低 50°C 左右较好。这可通过观察估计。例如在出灰时，炉下有轻微软疤，说明炉温近于 t_2 ；如果炉下或炉上有坚硬的疤块，说明炉温超过 t_2 。对于灰熔点高的煤，可以在较高炉温下操作，此时煤的化学活性好，气化效率高，炉子生产能力加大；对于灰熔点低的煤，操作时要适当降低炉温，以防结疤。

五、水 分

煤中含水量多少，对制气的数量、质量以及消耗定额均有影响。采用含水量多的煤，不易提高炉温，降低炉子的生产能力。根据计算，如果煤中含水量增加 1%，则消耗量将增大 0.1%。一般所指煤中水分是指湿存水，多半是开采、运输、储存时带入的。在雨雪较多的地区或季节应加以注意。一般入炉的煤在入炉前都存放在特设的干煤棚中，这样可使原有水分风干；防止因雨雪继续增加湿存水；减少煤的自然粉化作用，降低损耗。

六、挥发分、硫分、灰分

挥发分高的煤气化时，会增加气体中甲烷和焦油含量。焦油容易堵塞设备管道，甲烷是惰性气体，混在气体中不仅会减低压缩机的有效打气量，而且空占合成塔容积，增加合成放空气量，从而加大氢氮气的损失。

煤中硫分增多，将会增加气体中硫化氢含量，不仅腐蚀设备管道，而且会带来其他许多不良后果。

灰分是煤中的废物。煤中灰分含量高，固定碳含量就要相对降低。操作时，排灰的次数和带出的热量也会增多，从而降低炉子制气能力。含灰分较多的块煤气化时，由于灰分易覆盖在煤块表面，阻碍气化剂与碳进行反应，因此易使“返焦”增多，半水煤气中氧含量和氮含量高。

采用挥发分和硫分较高的煤生产时，要加强除去煤焦油和脱硫的措施。对于挥发分高的褐煤，有些地方采用炼土焦和半土焦的方法降低挥发分，例如某厂采用“综合气化法”，即一个炉子分上下两段，上段为干馏段，下段为固定层制气段，褐煤经干馏后，直接落入下段制气。

事实雄辩地证明，用马列主义、毛泽东思想武装起来的化肥工人智慧无穷，什么困难都不怕，经过反复实践，劣煤也能造出好气。

七、粉煤成型

我国星罗棋布的合成氨工业，在无产阶级文化大革命的强大推动力下，最近几年在充分利用资源方面取得了非常显著的成绩。不仅有一批小合成氨厂使用劣质煤、高硫煤和小粒煤生产出合格的合成氨原料气，特别可喜的是“人造块

煤”的诞生为合成氨生产在充分利用资源、保证稳产、高产方面创造了更为有利的条件。

所谓“人造块煤”就是将一定粒度的粉煤掺以适当的粘结剂，通过机械压制成型（通常为球形），再经干燥、固化而成。“人造块煤”生产的关键是保证煤球具有一定的机械强度和稳定性。煤球具有块度均匀的优点，因此对固定床气化是极为有利的。

粉煤成型随所用粘结剂不同，其工艺要求也不同。可以用来做粘结剂的有纸浆废液、制革废液、酿酒废液、石油沥青、消石灰、粘土以及清水等。因此，可以就地取材，因地制宜地选用粘结剂。目前生产上采用较多的、较成熟的是用纸浆废液和消石灰做粘结剂。

我国某厂以亚硫酸纸浆废液做粘结剂，进行了大量的试验工作。试验结果认为，为了得到强度较高的煤球，粘结剂必须恰好充满煤粒之间的空隙，使粘结剂很好地润湿煤的表面。如果粘结剂用量过多，反而煤球的机械强度要降低。如下表。

亚硫酸纸浆废液用量 (以煤为100重量百分比)	6	7	8	9	10.5	11	12	13	14
煤球抗压强度 (公斤/厘米 ²)	94	108	119	127	132.5	132	131	126	115

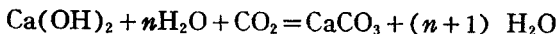
可见，随着亚硫酸纸浆废液用量的增加，煤球的强度也逐渐增加。但增加到10.5%左右，强度开始下降，再过量时，就会粘死球碗。所以粘结剂配比必须结合煤种而有一定的限度。该厂根据所用煤质特性和生产方式，采用亚硫酸纸浆废液比重在1.23左右时，配比为8~12%（重量比）。此外，还要注意选择适宜的煤粉粒度和含水量，以及成型条件

和干燥条件等。

用亚硫酸纸浆废液作为粘结剂压制的煤球，与原煤相比，煤球中只是硫份，挥发份略有升高，其它成份无显著变化。由于硫份高，则需要加强系统脱硫；由于造气带出物稍多，则要加强除尘。经实践证明，目前除煤耗比块煤稍高外，其它完全正常。

以消石灰为粘结剂成型的煤球，称之为碳化煤球。其所以叫碳化煤球，是因为成型后的煤球还要再经过 CO_2 气体的碳化作用，才能进行气化。

当含有 CO_2 气的具有一定温度的气体（如变换气、烟道气等）通过装有煤球的碳化罐时，便发生如下碳化反应：



由于 CaCO_3 的生成，并且逐渐增厚向球体内部扩散，最后完成整个煤球的碳化， CaCO_3 形成一个较为坚固的骨架将煤粉牢牢固定住，因此就具有很高的机械强度。

根据我国某厂的实践经验，认为控制适当的煤与石灰的比例是提高煤球机械强度和保证良好的制气条件的关键。因此，一般煤灰比控制在4:1左右较为适宜。如果减少石灰的掺入量固然会提高煤球的固定碳含量，但是石灰掺入量过少了，以致碳化后不足以形成一个较为坚固的骨架，这样制得的煤球机械强度低和热稳定性差，不仅煤耗增大，而且会给正常制气操作带来困难。相反的，如果石灰掺入量过多，固然煤球的机械强度及热稳定性可能得到提高，但却较大地降低了固定碳含量，从而必然降低煤气发生炉的气化强度以及半水煤气中有效气体的含量。所以说选择适当的比例是非常重要的。此外，控制煤粉的颗粒和含水量，选择适当的煤球碳化气源，掌握适宜的压制条件和碳化温度等都是获得机

械强度高、热稳定性好的煤球的先决条件。

碳化煤球的制造存在局限性。当既有小煤井，又有石灰石的地方，则可以发挥其显著的优越性。碳化煤球含石灰15~20%以上，因此相应的含碳量大大下降。所以，需要勤加煤勤出灰，需要延长吹风时间，制气的时间相应的就缩短了。同时由于炉温低了，所以半水煤气成分中CO下降，CO₂提高，这样就必须跟着改变变换的操作条件。

第二节 气化反应原理

一、燃料层的分区

在固定层煤气发生炉中，空气、水蒸汽与煤在不同燃料层的作用是不一样的。当以空气为气化剂时，固定层煤气发生炉中燃料层的情况，可以大致分为五个区域，如图1所示。在炉的上部，煤与热气体接触，其中水分开始蒸发，将煤干燥，此区域称为干燥层。干燥层以下，温度较上一层稍高，煤在这里发生热分解；其中挥发物大量挥发出来，因其作用与干馏相似，故称为干馏层（烧焦炭时一般没有这一个区域）。向下，是气化过程的

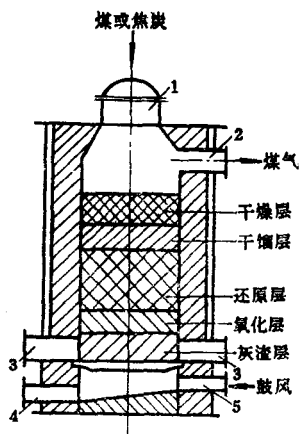


图1 煤气发生炉中燃料层的分区

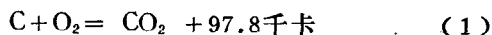
1—加料口；2—炉顶气体出口；
3—排渣口；4—出灰口；5—空气入口

主要区域——气化层。由于气化层是煤与空气和蒸汽发生化学反应最激烈的区域，因而亦常将此区域的燃料层称为有效炭层，有时也将这一区再细分为还原层与氧化层。最下一层，即靠炉篦的区域是灰渣层，它有预热进炉气体及保护炉篦不被烧坏的作用。

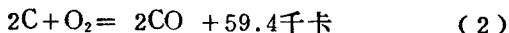
上述燃料层的分层情况，在各层间并没有严格的分界线，往往是相邻两区相互交错。而且对于干燥层和干馏层而言，只有燃料中水分及挥发分含量较多时才有明显的区分。

二、碳与氧的反应

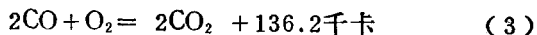
当空气进入固定层煤气发生炉的燃料层时，首先经过灰层。由于灰层温度低，不会和空气中的氧起反应。空气上升进入高温的燃料层时，碳和氧就发生下列反应：



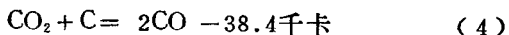
碳 氧 二氧化碳 热量



碳 氧 一氧化碳 热量



一氧化碳 氧 二氧化碳 热量



二氧化碳 碳 一氧化碳 热量

式中：反应式右边“+”表示放出热量，“-”表示吸收热量。

空气通入燃料层时气体组成的变化见图2。在上述反应过程中，空气中氧的浓度迅速下降，二氧化碳的浓度相应地急速上升。当氧的浓度降至最低时，二氧化碳达到最高值，这一反应区域称为氧化层。以后，二氧化碳的浓度逐渐下降，

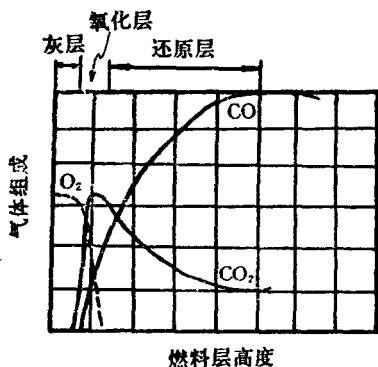


图 2 制造空气煤气时炉内反应情况

层中二氧化碳浓度最高，故这一层是煤气发生炉中温度最高的区域。式(1)、(2)、(3)反应速度极快，所以氧化层的高度不超过100~120毫米。

还原层中进行的主要是式(4)的吸热反应。反应所需的热量是气流从氧化层中带入的。由于二氧化碳被碳还原的反应速度比较慢，而且还原层温度随反应的进行逐渐降低，所以这个区域的燃料层厚度较氧化层要厚些。

上述四个反应随操作条件的不同，其结果也不一样，可以分别从化学平衡和反应速度两个方面来说明。

1. 反应的化学平衡 对可逆反应来说^①，化学反应是不能进行到底的。在一定条件（温度、压力或浓度）下，正

而一氧化碳的浓度逐渐上升，这一区域称为还原层。氧化层进行的反应，以式(1)、(2)、

(3)三个放热反应为主。反应放出热量的多少，要看反应后的生成物来决定。当生成物中一氧化碳多时，放出的热量就少；反之，当生成物中二氧化碳多时，放出的热量就多。氧化

① 可逆反应就是指的在同一条件下（温度、压力相同），可以同时向两个相反方向进行的反应。即反应可向生成物方向进行，同时也可向反应物方向进行。习惯上常把从左向右进行的反应称正反应，从右向左进行的反应称逆反应。