

# 浅析煤气炉内的化学反应平衡

潘光耀

(山西兰花科技创业股份有限公司田悦化肥分公司)

**摘 要:** 本文通过对煤气炉结构及半水煤气在生产过程中各种化学反应平衡的进一步分析, 结合实际生产过程中存在的各类问题, 对煤气炉在吹风、制气阶段的过程进行气体组分和热量平衡等问题进行总结, 从而可以进一步优化煤气炉的科学操作, 达到降低原料煤消耗和企业生产成本的问题。

**关键词:** 煤气炉; 化学反应平衡; 吹风; 制气; 热量

煤气炉的工艺调整目前在我国国内是一个化工企业的重中之重, 因为原料煤的消耗是一个化工企业控制成本的最重要环节, 但是煤气炉的工艺调整绝大部分企业都是依靠经验进行调整, 当炉况出现问题时, 无法通过科学的手段及时查找出问题的根源, 通过参考大量文献和实际对 $\Phi 2650/\Phi 2800$ 的锥型夹套煤气炉的操作经验, 简要总结煤气炉内的化学反应平衡, 希望可以为煤气炉的操作提供一些帮助。

## 1 间歇式固定床煤气发生炉内部碳层分布结构

燃料碳层的划分, 往往无明确的分界线, 不同区域的厚度, 随燃料种类性质的差别和气化条件的

不同而异, 大致分布情况为灰渣层、气化层、预热层, 如图 1-1 所示。

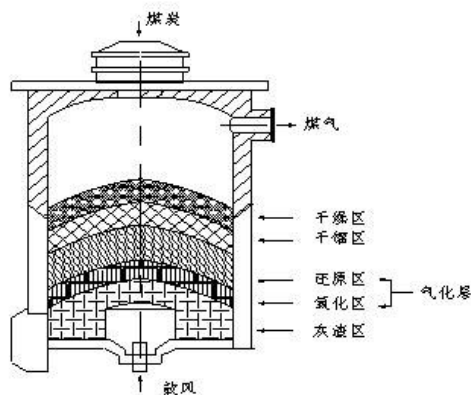


图 1-1 煤气炉燃料总分区示意图

在正常情况下, 气化剂通过燃料层中的干燥层、干馏层和灰渣层时, 因其温度较低, 通常不发生

气化反应,而只发生热量交换,只有气化层才具备使燃料发出气化反应的条件。因此,燃料层的分区,又可大体分为上预热层(干燥层和干馏层)、气化层(氧化层和还原层)、下预热层(炉渣层)三大区域。

下表是固定层煤气炉燃料层各区域(自下而上)的特征:

区域	区域名称	用途及作用	主要化学反应
一	灰渣层	进行气化剂的二次分布;保护炉箅及炉底设备免遭损坏;利用炉渣显热预热气化层;承载燃料层,起到支撑和骨架的作用。	
二	氧化层	碳与空气中的氧发生燃烧反应,生成二氧化碳和一氧化碳,并放出热量;水蒸汽分解为氢。	$C(s)+O_2(g)=CO_2(g)$ $2C(s)+O_2(g)=2CO(g)$
三	还原层	二氧化碳还原成一氧化碳;水蒸汽分解为氢;燃料依靠与热气体换热而被预热。	$CO_2(g)+C(s)=2CO(g)$ $C(s)+H_2O(g)=CO(g)+H_2(g)$ $C(s)+2H_2O(g)=CO_2(g)+2H_2(g)$ $CO(g)+H_2O(g)=CO_2(g)+H_2(g)$
四	干馏层	燃料依靠高温气体换热进行热分解,并析出水份、甲烷、焦油、硫化氢等。	
五	干燥层	利用气体的显热,蒸发燃料中的水份。	
六	炉上空间	调整燃料层高度;集聚煤气;均匀分布下吹制气化剂。	

## 2 间歇式固定床煤气发生炉的主要化学反应

序号	热化学反应方程式	热效应( $\Delta_r H_m^\ominus / \text{KJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )
1	$C(s)+O_2(g)=CO_2(g)$	-393.51
2	$C(s)+1/2O_2(g)=CO(g)$	-110.52
3	$C(s)+CO_2(g)=2CO(g)$	+86.25
4	$2CO(g)+O_2(g)=2CO_2(g)$	-283.0
5	$C(s)+H_2O(g)=CO(g)+H_2(g)$	+131.3
6	$C(s)+2H_2O(g)=CO_2(g)+2H_2(g)$	+90.13
7	$CO(g)+H_2O(g)=CO_2(g)+H_2(g)$	-41.18
8	$2H_2(g)+O_2(g)=2H_2O(g)$	-241.82
9	$C(s)+2H_2(g)=CH_4(g)$	-74.81
10	$C(s)+3H_2(g)=CH_4(g)+H_2O(g)$	-206.11
11	$C(s)+4H_2(g)=CH_4(g)+2H_2O(g)$	-164.94

## 3 吹风过程反应速率

二氧化碳还原的速度与温度和接触时间的关

系如图1-2。图中显示,虽然与实际生产存在有一定的差距,但可以反映出其大致趋势。从与可以看出,二氧化碳在1000℃时与燃料接触43秒生产气中有60%的一氧化碳;当温度升高到1100℃时只需要6秒就能得同样的结果。可见二氧化碳还原速度随温度升高而加快。在相同的温度下,如1000℃时接触43秒有60%的一氧化碳生成,如果接触10秒,就只有20%的一氧化碳生成。可见,接触时间越短,二氧化碳还原成一氧化碳的量越少,减低温度尽管可以抑制二氧化碳的还原,但与吹风的目的有矛盾。实际生产中为了达到缩短二氧化碳与接触时间的目的,宜采用提高风速,适当降低燃料层高度的方法来较少吹风中一氧化碳含量。

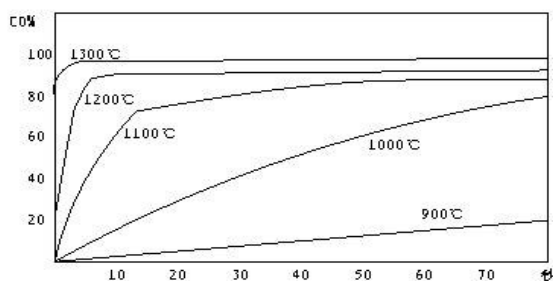


图1-2 CO<sub>2</sub>还原反应速率与温度的关系

## 4 吹风过程的化学平衡

吹风阶段由于气化剂(空气)和燃料均在不断补充,反应物浓度较大,在煤气炉可能允许的温度范围内,燃烧反应的平衡组成中几乎全部是生成物,这三个反应实际上是不可逆的,因此无需研究化学平衡问题。主要从图1-3中可以看出,随着温度的升高,一氧化碳的平衡浓度增加,二氧化碳的平衡浓度降低。例如,在800℃和0.1MPa的气压下平衡混合物中一氧化碳的含量约为90%,二氧化碳为10%;温度上升至1000℃时,一氧化碳的含量增加到99.1%,二氧化碳几乎全部转化为一氧化碳了。

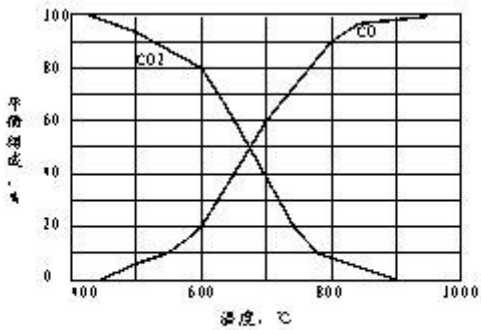


图 1-3 一氧化碳和二氧化碳平衡组成与温度关系

### 5 制气过程的化学平衡

制气阶段碳与蒸汽发生的反应式及二氧化碳的还原反应式均为即热反应,所以,温度升高有利于反应向右进行,生产我们需要的一氧化碳和氢气。甲烷的生成成为放热反应,因此,温度的升高也有利于抑制甲烷的生成。碳与蒸汽反应的平衡组成如图 1-4 所示。由图可以看出,一氧化碳和氢气的含量随温度的升高而增加,二氧化碳和甲烷随温度的升高而降低。很明显,提高气化层温度有利于蒸汽的分解和二氧化碳的还原。在实际生产中,因为化学反应并未达到平衡,加上燃料的性质及所形成的不同气化条件对反应的影响很大,使得生成物的组成与图

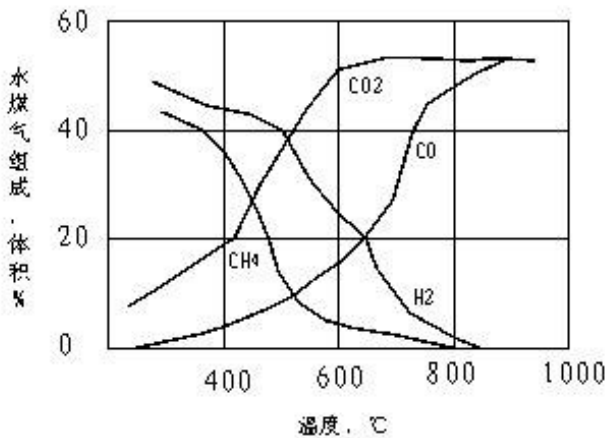


图 1-4 碳与蒸汽反应平衡组成

1-4 所示组成稍有不同。

此外,蒸汽的分解反应和二氧化碳的还原反应都是体积增大的反应,而生产甲烷的反应是体积缩小的反应,因此降低压力有利于提高气体的有利成份,减少甲烷有害成份。所以,在能保证正常气化条件下和产气量的前提下,反应压力应该尽可能低一些。

根据实验结果,蒸汽与碳的反应速度以及由此而得到的水煤气中各组分的浓度,除决定与温度外,还决定于原料性质。

通常我们用蒸汽分解率来间接表示碳与蒸汽的反应速率。所谓蒸汽分解率,是指反应消耗的蒸汽量与入炉蒸汽量的百分比。蒸汽分解率与温度、反应时间和燃料的性质关系如图 1-5 所示。图纸曲线为试验所得,与实际操作条件肯定存在差距,只能作为分析问题的参考依据。有图可见,对同一种原料在相同的接触时间内,反应温度越高,蒸汽分解率越高,即反应速率越快。

同种燃料在同温度下,接触时间越长,蒸汽分解率越高。因此,适当提高气化层温度和厚度,对提高蒸汽分解率是有利的。

燃料种类对蒸汽分解率的影响次序,同前述燃

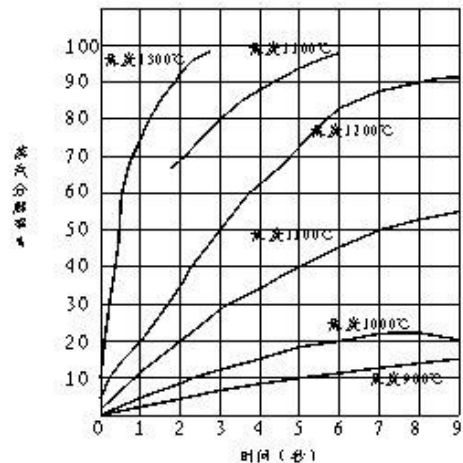


图 1-5 蒸汽分解率与温度、反应时间和燃料性质的关系

料种类对二氧化碳还原的影响次序一致。对活性较高的燃料,反应速率基本处于扩散或过渡区。对活性较差的燃料,反应速率基本处于动力学控制区。因此,在采用活性较高的冶金焦为原料时,在同样温度下适当的提高气化剂入炉速度(即提高蒸汽扩散速度),可以在不影响气体质量的条件下提高气化强度;而在使用活性较差的燃料时,在同样温度下提高气化剂入炉速度,气化质量和气化强度就下降甚快。

通过以上对煤气炉内的化学反应分析可以发现,吹风阶段和制气阶段所要求的反应温度、气化剂流速、碳层高度等方面是相互矛盾的,而这两方面的反应又是在同炉内交替进行的。因此,在实际操作中要综合考虑各方面的情况,权衡利弊,探索优化确定最合理的操作条件。

## 6 气化效率平衡

积蓄于燃料层中的热量,与吹风气的温度、二氧化碳的含量和吹风效率的关系,如图1-6所示。

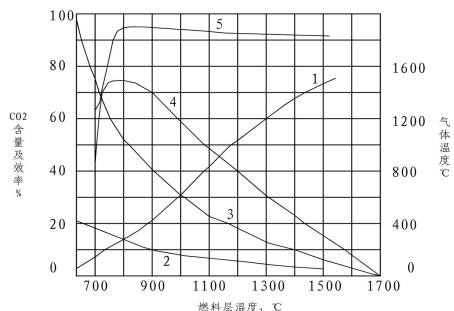


图1-6 间歇法气化过程的效率与温度的管线  
1-吹风气温度;2-吹风气中的CO<sub>2</sub>含量;3-吹风效率。  
4-气化剂速度为60mm/s时总效率;  
5-气化剂速度为43.5mm/s时制气阶段的效率。

随着吹风气中二氧化碳含量的下降,燃料层温度的上升,吹风效率逐步下降。如二氧化碳含量为13%、温度在800℃时,效率为53%;二氧化碳含量为8%、温度在1000℃时,效率为32%;二氧化碳含量为5%、温度在1200℃时,效率则下降到18%。当没有二氧化碳、温度上升到1700℃时,效率等于零,这说

明反应放出的热量,全部被吹风气带走了,不能再为制气阶段提供热量。

以上分析及图所示,是在参考大量文献和实际对Φ2650/Φ2800的锥型夹套煤气炉的操作经验得出的简易结论,,与各种炉型操作条件具有一定差异,仅可用作分析问题的趋向依据。

## 7 Φ2650/Φ2800的锥型夹套煤气炉使用实例

以Φ2650/Φ2800的锥型夹套煤气炉、配置C600鼓风机,且每四台炉使用一台鼓风机为例,对几个煤种在冬季的主要控制工艺参数进行对比:

	单烧小块碳	单烧小煤芽	单烧型煤
鼓风机风门开度	全开	开1/8	开1/3
风压(KPa)	29	30	25
循环时间(S)	126	126	126
吹风时间(S)	29	28	23
上吹时间(S)	32	32	33
下吹时间(S)	47	47	52
蒸汽设定值(MPa)	0.08	0.075	0.095
上行温度(℃)	250	210	300
下灰次数(每班)	2次	1次	3次

(1)单烧小煤芽由于炉内透气性差,风门开度一定要尽量小控制,降低单炉负荷,并且在单烧前期由于炉况不稳,要尽量控制风压低于25KPa,当炉况逐步稳定后,逐步提高负荷,将风门适当开大,提高入炉风压。由于单烧小煤芽燃烧比较充分,残炭含量低,灰渣较少,炉条机转速控制在100—200r/min,每班下渣一次。在单烧小煤芽前要将下防流板根据炉内结构适当进行加宽,防止经常性流炉。

(2)单烧型煤由于灰分大,未避免炉内温度过高,出现结巴现象,蒸汽用量要根据实际下渣情况增加使用量,同时由于型煤灰分大,渣量多,炉条机的转速要增加到500—800r/min,每班下渣增加到三次,控制好炉内碳层高度。单烧型煤后煤气炉的上行温度要达到300℃,会造成废锅和洗气塔的负荷增加,在控制好循环水量稳定出气温度的同时,要严密关注废锅过热段的出蒸汽温度,由于上行温度上涨,会造成废锅过热段的出蒸汽温度上涨,影响煤气炉的入炉蒸汽温度。