

文章编号:1000-1964(2002)05-0358-04

煤炭地下气化过程稳定控制方法的研究

梁 杰, 刘淑琴, 余 力, 常 建

(中国矿业大学化工与环境工程系, 北京 100083)

摘要: 在煤炭地下气化过程中, 由于炉内客观条件的不断变化, 难以建立正常的加热制度和及时正确地控制鼓风气流和煤气的流动, 从而影响气化过程稳定进行. 针对这一问题, 在新河和刘庄煤炭地下气化现场试验的基础上, 研究了三种控制气流的方法, 即辅助通道供风气化、压抽结合供风气化和反向供风气化. 结果表明, 这三种控制方法能够降低出口煤气中 CO_2 的含量, 提高煤气热值, 稳定煤气产量, 是现场试验和生产过程中实现连续、稳定生产的有效措施.

关键词: 煤炭地下气化; 辅助通道供风; 压抽结合供风; 反向供风

中图分类号: TQ 546 **文献标识码:** A

煤炭地下气化过程中, 向煤层鼓风、气流的运动及火焰工作面的移动, 将引起一系列特殊复杂的现象, 如煤层、顶底板受热破碎、塌落、气化通道有效断面及各反应区状态的改变等. 这些现象无一不随着客观条件的变更而变化. 地下气化过程稳定控制的目的, 就是随着炉内客观条件的变化而建立正常的加热制度和及时正确地控制气流(鼓风流和煤气流)的流动. 因此, 研究地下气化稳定控制的主要任务是研究正确的供风与排气方法. 在新河和刘庄现场试验过程中, 为实现气化过程的连续和稳定, 所采用的工艺方法有很多种, 我们着重研究了以下三种方法: (1) 辅助通道供风气化; (2) 压抽相结合供风气化; (3) 反向供风气化.

1 气化炉结构及试验系统

现场试验的基础就是要根据煤层赋存条件, 建立一个结构合理的地下气化炉. 地下气化炉料层不能移动, 必须采取措施, 控制气化工作面的移动, 才能保持气化过程的连续. 因此气化炉结构必须适应气化工质的要求, 调节供风点和排气点的水平位置和高度, 即实现供风点和排气点的二维控制^[1]. 为此现场试验结合急倾斜煤层的赋存特点, 设计了可调推进式地下气化炉, 如图1所示.

该炉的主要部分为进气孔、排气孔、辅助孔、气化通道和辅助通道. 与推进式气化炉相配套的地面

系统可分为三部分, 即供风部分、供汽部分和排气部分, 供风、供汽主管与所有钻孔相连. 这样, 可选择任意钻孔供风、供汽, 有利于各种气化工质的实施.

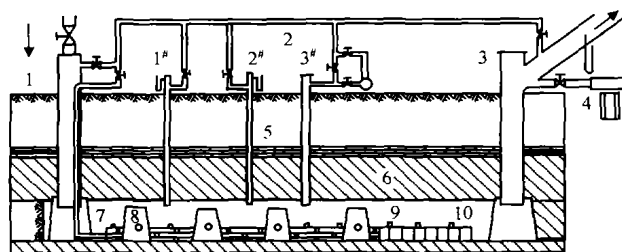


图1 煤炭地下气炉化及试验系统

Fig. 1 Gasifier and testing system of UCG

1. 进气孔; 2. 供风、供汽总管; 3. 排气孔;
4. 鼓风机; 5. 辅助孔×3; 6. 气化煤层; 7. 气化通道;
8. 煤堆; 9. 辅助通道; 10. 温度测点

2 辅助通道供风气化

现行的地下气化发生炉的运转经验证明: 不同的工作阶段, 均匀地向煤层反应表面鼓风, 是地下气化炉稳定气化的主要条件. 煤层埋藏的自然条件的差别、煤层的组成和厚度的不同以及煤化学性质以及顶板稳定性的不同, 都将或多或少地使向煤层均匀供风变得复杂. 但是在任何情况下, 顺利地解决这一问题, 才能保证地下煤气发生炉运行的稳定. 从图1可看出, 辅助通道供风时, 可形成一个与

收稿日期: 2001-12-14

基金项目: 国家高技术研究发展计划; 863计划经费资助(20001AA529030)

作者简介: 梁杰(1964-), 男, 江苏宝应县人, 中国矿业大学副教授, 工学博士, 从事煤炭地下气化、化工与环境工程方面的研究.

主流方向相垂直的扰动气流,这一扰动分布于整个氧化区,无疑提高了气化剂向反应表面的扩散能力,衡量气化剂向反应的煤表面传递的完备程度可用风流有效空气动力学活性系数^[2]表示,这个系数表示还原的多相反应($\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{CO}$)结果所生成可燃组分的百分数,与煤气中原始组分的百分数的比,即:

$$Ka = \frac{1/2n(\text{CO})}{1/2n(\text{CO}) + n(\text{CO}_2)}$$

式中: Ka 为风流有效空气动力学活性系数; $n(\text{CO})$ 为二氧化碳作用于煤表面后形成的一氧化碳量, mol; $n(\text{CO}_2)$ 为进行还原反应后在煤气中所含的二氧化碳的量, mol.

现场试验前期,对辅助通道供风和不供风所生产的煤气中的 Ka 值进行了比较,见表1.

表1 辅助通道供风前后 Ka 值比较
Table 1 Comparison of Ka before and after air supplying

$\varphi_B/\%$					$Ka/\%$	热值/ ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$)	备注
H_2	CO	CH_4	CO_2	N_2			
9.56	7.89	3.83	20.7	58.0	16.0	3.74	辅助通道不供风
10.9	11.9	3.37	16.4	57.4	26.7	4.25	辅助通道供风

由此可见,在同样的供风条件和气化炉状态条件下,辅助通道供风气化,可以使风流的有效空气动力学活性系数提高10%以上.新河试验时,点火4天后,氧化区煤层则发生了冒落,使供风量急剧下降,煤气热值也随之下落.当采用了辅助通道单独供风气化时,出口煤气热值逐渐回升.表2是氧化区煤层冒落后,辅助通道供风前后(5小时)煤气平均组分及热值的比较.

表2 煤层冒落后辅助通道
供风前后煤气组分及热值

Table 2 Comparison of gas components and heat value before and after air supplying through assistant tunnel in the case of coal seam callapsing

$\varphi_B/\%$					$Ka/\%$	热值/ ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$)	备注
H_2	CO	CH_4	CO_2	N_2			
6.01	4.39	2.55	17.7	69.3	11.1	2.35	供风前5h
10.9	11.4	3.35	14.3	60.3	28.4	4.13	供风后5h

3 压抽结合供风气化

降低还原区及干馏干燥区的压力,有利于生成的可燃气体及时排出,减少可燃气体的漏失率,但是氧化区压力宜为正压,为了能同时满足氧化区和

还原区的要求,可以采用压抽相结合的气化方案.则由进气孔鼓风,出气孔用引风机向外抽风,调节鼓风压力和抽气负压,使还原区处于相对较低的压力条件下.压抽相结合气化方案可以在两种气化过程不稳定的情况下使用.1) 煤层冒落,通道阻力增加,导致供风流量下降,热值降低;2) 气化剂或煤气漏失,引起煤气流量下降.现场试验中,一般都以压风气化为主,但煤层冒落时,煤气热值波动较大.在这种情况下,采用压抽相结合气化工艺,则可达到稳定产气的目的.表3是新河试验压风气化和压抽相结合气化煤气平均组分和热值的比较.从表3可以看出,压抽相结合气化与压风气化相比,出口煤气中 $\varphi(\text{H}_2)$ 、 $\varphi(\text{CO})$ 分别提高了5.77%和7.74%.

表3 压风和压抽相结合法热值比较
Table 3 Heat value comparison of two methods

项目	$\varphi_B/\%$					$Ka/\%$	热值/ ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$)
	H_2	CO	CH_4	CO_2	N_2		
压风	6.01	4.39	2.55	17.7	69.3	11.1	2.35
压抽结合	10.7	11.4	3.35	14.3	60.3	28.4	4.13

气流漏失量随煤层的赋存条件不同而有显著的区别,煤层埋藏深度及其透气性、顶板和底板岩石破碎程度对其都有影响.虽然在设计气化炉时采取了相应的措施,如在与气化炉相连的煤巷、岩巷做密封墙注浆密封,甚至将气化盘区采用隔离带包围起来,但是,气化炉点火后,仍会有少量气漏失.气流漏失在不同程度上影响了炉里的空气动力学条件,将会降低煤气热值,在矿井报废水平气化时,甚至会影响到矿井的安全.气化炉漏失率可用下式表示:

$$\eta = \frac{Q_{in}\varphi(\text{N}_2) - Q_{out}\varphi(\text{N}_2')}{Q_{in}(\text{N}_2)}$$

式中: η 为气化炉漏失率, %; Q_{in} , Q_{out} 为平均供风量和煤气流量, m^3/h ; $\varphi(\text{N}_2)$, $\varphi(\text{N}_2')$ 为鼓风空气和出口煤气中的氮气含量, %.

对刘庄矿 12^S 气化炉压风气化和压抽相结合气化前后的漏失率和煤气热值进行了统计,结果见图2.

图2中16日到20日是压风气化,21日到26日是压抽结合气化,由图可见,在压风气化时,气化炉漏失率都在10%以上,气化炉漏失率和煤气的比当采用压抽相结合气化时,漏失率则下降到6%以下,且煤气热值比较压风气化时更稳定,并有所提高.

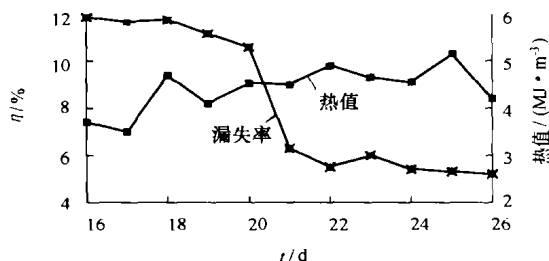


图 2 压风气化和压抽相结合气化前后漏失率和煤气热值的比较

Fig. 2 Comparison of gas lost rate and heat value between blowing & blowing combined with drawing

当气化炉漏失率都在 6% 以上时,一方面要加强矿井安全检测,提高矿井回风量,另一方面要采取压抽结合气化工艺,降低漏失率,以保证气化过程的顺利进行和矿井的安全生产。

4 反向供风气化

正向气化时,火焰工作面将渐渐向出气孔移动,干馏干燥区越来越短,到后期还原区也将越来越短,最终还原区长度将不能满足氧化区生成的 CO_2 还原和水蒸汽分解反应的需要,煤气热值降低. 这时必须采用反向供风气化方案,即由出气孔鼓风,原进气孔排气,使火焰工作面向进气孔方向移动,重新形成新的气化条件. 反向供风气化对气化过程有利也有弊,有利的方面是:1) 鼓风时空气在原高温排气孔中得以预热,该热能在气化炉中用以额外地分解水蒸汽以增加氢的含量,随鼓风导进的物理热,可以在煤气中得到大致相等的热能;2) 反向供风时,还原区及干馏干燥区都在正向鼓风时燃烧过的区域内,温度较高,还原反应温度条件及干馏效果都比较好;3) 气流下游灰渣中的金属氧化物对还原反应起一定的催化作用. 不利的一面:1) 火焰工作面移动会受到灰渣的影响;2) 煤层经过正向鼓风时的干馏,干馏煤气产量受到了影响. 但不利的因素可由煤层冒落重新暴露新的煤面而得到相应的补偿. 因此反向气化时,可以得到与正向气化相同热值的煤气. 反向供风气化可实现多程气化,提高煤层气化率.

局部反向供风气化,可以解决气化通道局部堵塞引起热值不稳定问题,还可以局部控制煤层燃烧高度. 进气孔鼓风,气化工作面向相邻辅助孔移动,当氧化区末端接近辅助孔(判断依据是辅助孔气样中含氧量逐渐升高)时,则可以由辅助孔供风,进气孔排气,形成局部反向供风气化.

图 3 是刘庄矿 12^{S} 炉在 80 m 的气化通道长度上进行局部反向供风时 6 天内煤气热值的变化. 由图 3 可见,煤气热值与正向鼓风时基本相等. 利用测氦技术,对反向供风气化工作面移动速度进行了测量. 图 4 是刘庄试验 12^{S} 炉反向供风前一时刻沿气化通道氦浓度分布和反向供风 144 h 沿气化通道氦浓度分布. 由图 4 可看出,炉里最高温度区移动了为 2.52 m,则工作面移动速度为 0.42 m/d. 这一移动速度和正向气化相近. 反向供风以后,沿气化通道,氦浓度(每分钟检测到的氦原子的个数,个/min)普遍提高,说明反向供风能够形成新的气化温度条件.

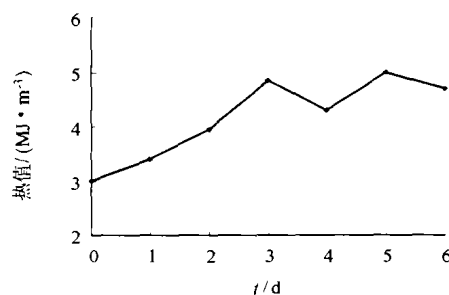


图 3 局部反向供风时煤气热值变化
Fig. 3 Changes of heat value in the process of partly reverse air supply

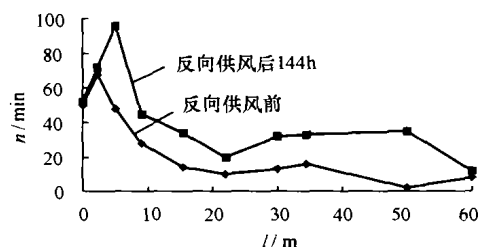


图 4 反向供风前后沿气化通道氦浓度分布
Fig. 4 Distribution of Rn concentration along tunnel before and after reverse air supply

5 结论

1) 辅助通道供风气化,能将有效空气动力学系数提高 10% 以上,当氧化区煤层发生冒落时,辅助通道供风能够起到稳定风流的作用.

2) 压抽结合供风气化能够适当提高还原反应速率,并能将气化炉漏失率降低一半左右.

3) 反向供风气化能够获得和正向供风气化相同质量的煤气,其气化工作面移动速度和正向供风相当,试验条件下为 0.42 m/d;反向供风气化能够提高煤层气化率.

总之,上述三种控制方法能够降低出口煤气中

CO₂ 的含量, 提高煤气热值, 稳定煤气产量, 是现场试验和生产过程中实现连续、稳定生产的有效措施。

参考文献:

[1] 梁杰. 急倾斜煤层地下气化过程稳定性及控制技术的

研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 1997.

[2] 李耀娟, 田玉璋, 于在平. 煤炭地下气化[M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1981. 194-195.

[3] 中国矿业学院物探教研室. 中国煤田地球物理勘探[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1981. 138-181.

Method of stably Controlling the Process of Underground Coal Gasification

LIANG Jie, LIU Shu-qin, YU Li, CHANG Jian

(Department of Chemical and Environment Engineering, CUMT, Beijing, 100083)

Abstract: Because the condition keeps changing within the gasifier in the process of underground coal gasification, the normal heating system is hard to be formed and the air and coal gas flow can not be controlled timely and correctly, influencing the gasification process. Aiming at this problem, 3 methods of air supply were worked out, they are the methods of supplying air by assistant tunnel, by combination of drawing with blowing, and by backward air blowing. The result shows that these methods can decrease the content of CO₂ in coal gas and increase the heat value, making the gas output be stable. So it is thought to be the efficient measures to realize a successive and stable gasification in the field trial.

Key words: UCG; assistant tunnel; evacuating-blowing; backward air blowing