

# No-Shaft Underground Coal Gasification

Hongtao Liu<sup>1</sup>, Shuqin Liu<sup>3</sup>, Xia Pan<sup>1</sup>, Jie Liang<sup>3</sup>, Feng Chen<sup>1,2</sup>

1.State Key Laboratory of Coal-based Low Carbon Energy, Langfang, China, 065001;

2. Xinao Coal Gasification Mining Corporation, Langfang, China, 065001;

3.School of Chemistry and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing, China, 100083

1,2.chenfenga@enn.cn, 3.cumttsq@sohu.com

**Abstract:** The technology of no-shaft underground coal gasification (UCG) was introduced. Based on the review of the status of UCG progress, the construction flowsheet of no-shaft UCG engineering was analyzed, in which site selection, the type of gasifier, ignition method, connection method, measurement & control, gasification management were included. The unique no-shaft demonstration project in China, Xinao Wulanchabu UCG project was introduced.

**Key word:** underground coal gasification; no-shaft; gasifier

## 无井式煤炭地下气化技术

刘洪涛<sup>1</sup>, 刘淑琴<sup>3</sup>, 潘霞<sup>1</sup>, 梁杰<sup>3</sup>, 陈峰<sup>1,2</sup>

1.煤基低碳能源国家重点实验室, 廊坊, 中国, 065001;

2.新奥气化采煤有限公司, 廊坊, 中国, 065001;

3.中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京, 中国, 100083

1,2.chenfenga@enn.cn, 3.cumttsq@sohu.com

**摘要:**介绍了无井式煤炭地下气化技术。根据目前无井式煤炭地下气化技术的发展现状,对无井式煤炭地下气化工程的建设过程和建设方法进行系统的总结和分析,阐述了气化炉的选址条件、气化炉类型、点火方法、气化通道的贯通工艺、气化炉的运行方法、测控内容和管理方法,并对目前国内唯一的无井式煤炭地下气化项目——新奥集团乌兰察布无井式煤炭地下气化项目进行了介绍。

**关键词:**煤炭地下气化;无井式;气化炉

### 1 引言

煤炭地下气化(underground coal gasification,简称UCG)就是将处于地下的煤炭进行有控制地燃烧,通过对煤的热作用和化学作用而产生可燃气体并输送到地面的过程,其实质是只提取地下煤层中的含能组分,而将矸石、灰渣等废弃物留在地下。

地下气化与地面气化的原理相同,产品也相同,但工艺形态不同。地面气化是在煤堆中进行,而地下气化是在煤层通道中进行。通过从地面向地下煤层打钻孔构建气化所需要的进气孔、出气孔及连通二者的气化通道,将煤层点燃后,从进气孔鼓入气化剂,使煤层燃烧、气化,由出气孔排出煤气。根据煤层通道中主要化学反应和煤气成分的不同,可将气化过程沿通道大致分为三个带,即氧化带、还原带、干馏干燥带,这些过程都将沿着气流方向向出气孔移动。

煤炭地下气化不仅可以回收老矿井遗弃的煤炭资源,而且可以用于开采井工难以开采的或开采经济性、安全性差的薄煤层、深部煤层和“三下”压煤,以及高硫、高灰、高瓦斯煤层等。煤炭地下气化过程燃烧的灰渣留在地下,大大减少了地表塌陷量,无固体废物排放,同时降低了对地表的环境破坏。地下气化出口煤气可以集中净化,脱除其中的焦油、硫和粉尘等有害物,从而得到洁净的煤气。该煤气不仅可以作为燃料用于民用、发电(包括联合循环发电)、工业锅炉燃烧,而且还可以作为原料气生产合成氨、甲醇、二甲醚、汽油、柴油等或用于提取纯氢。因此,煤炭地下气化技术将环境保护的重点放在源头,而非末端治理,是一项符合可持续发展需要的环境友好的绿色技术,并且具有显著的经济效益和社会效益,是我国洁净煤技术发展的重要领域。

## 2 无井式煤炭地下气化技术

煤炭地下气化生产煤气的方式根据气化炉的构建方法不同而分为：有井式煤炭地下气化和无井式煤炭地下气化。

有井式煤炭地下气化是指从地表开凿通向煤层的矿山坑道，并把它们的末端用燃烧巷道连接起来进行气化，从而构建完整的气化炉，通过这种方法构建气化炉生产煤气的方式，称为有井式煤炭地下气化。如图 1 所示：

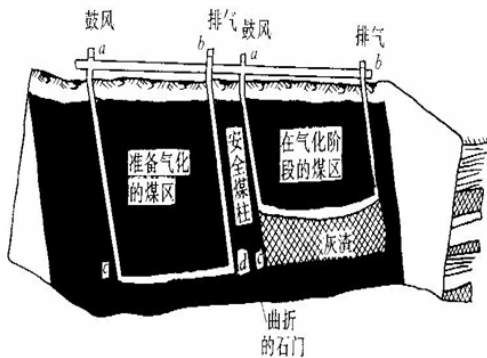


Figure 1. Schematic diagram of the shaft UCG gasifier structure

图 1. 有井式煤炭地下气化炉结构图

无井式煤炭地下气化是指利用钻孔合地下气化炉与地面联通，并利用特种技术在煤层中建立气流通道和（或）气化通道，从而构建完整的气化炉，通过这种方法构建气化炉生产煤气的方式，称为无井式煤炭地下气化。如图 2 所示：

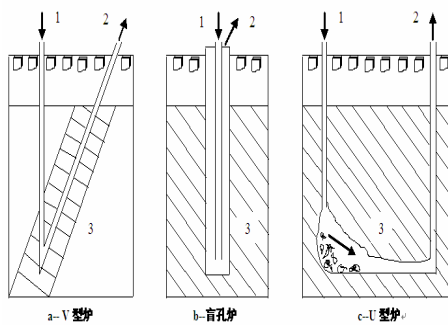


Figure 2. Schematic diagram of the no-shaft UCG gasifier structure

图 2. 无井式煤炭地下气化炉结构图

有井式煤炭地下气化利用老的竖井和巷道，减少建气化炉的投资，可回采旧矿井残留在地下的煤柱（废

物利用），气化通道大，容易形成规模生产，气化成本低，但其缺点是：老巷道气体容易泄漏影响气压气量及安全生产，避免不了井下作业，劳动量大，不够安全。而无井式煤炭地下气化，建炉工艺简单，建设周期短（一般 1 年~2 年），无人工在地下操作，没有大型设备在地下长期运行，也不需要开凿井筒和地下平巷，可以用于深部及水下煤层气化。

## 3 无井式煤炭地下气化工程建设步骤

无井式煤炭地下气化工程的建设一般分为选址、建炉、点火、贯通、运行几个步骤。下面针对无井式煤炭地下气化项目的这几个步骤进行分别介绍。

### 3.1 选址

对于煤炭地下气化技术而言，其所对气化煤层的赋存条件具有一定的要求，并不是所有的煤层都能够进行地下气化，现将无井式煤炭地下气化的气化区选址要求简要叙述如下：

(1) 外部条件：地理位置较好，交通运输较为便利，基本建设需要的电源、水源基本能够解决。

(2) 地层条件：由于无井式地下气化炉主要是由垂直钻孔与定向钻孔构成的，因此要求沉积地层胶结程度较好，岩层较为致密，以防止在钻孔施工过程中造成塌孔、埋钻或缩径。

(3) 构造条件：要求矿区内地质构造简单，地层平缓，无明显断裂构造，可以有较为宽缓的褶曲构造，这将有利于气化炉的布置与运行；

(4) 煤层条件：气化煤层应为中厚、厚、特厚煤层，结构简单，气化区范围内赋存较为稳定，夹矸层数少；

(5) 煤层顶底板条件：要求煤层顶、底板条件较好，岩性较强。若顶、底板围岩软弱将对未来气化区的排水、气化炉的正常持续燃烧以及垂直钻孔、定向钻孔的施工与运行维护产生不良影响；

(6) 煤质条件：低变质煤种较为适合进行地下气化，包括：褐煤、长焰煤、不粘煤、弱粘煤等。另外属于高水分、高灰分、高挥发分、高硫、高磷、低热值的、不利于井工机械开采的煤种均可进行煤炭地下气化；

(7) 水文地质条件：需要明确开采煤层上部含水层的具体情况，以及气化生产过程中顶板进水类型，并查明详细的水量补给途径，进行充水因素分析及水量预计。

(8) 储量条件: 可气化煤炭储量需要维持气化炉连续运行 10 年以上(根据气化炉生产能力进行计算)。

这一阶段很重要是做好煤炭资源地质勘探工作, 按普查、详查、精查的顺序, 查明地质构造、可采煤层厚度、层位、层数、结构及主要可采煤层的分布范围, 并查明可采煤层的煤质特征及其变化规律, 确定煤的种类、工业用途等。根据详查的资料, 对可采煤进行工业分析和元素分析, 并对其热解和气化特性进行初步评价, 满足后续气化工作的展开。

### 3.2 建炉

地下气化炉的建炉步骤一般是, 首先根据煤层条件确定炉型和工艺条件, 然后在此基础上进行不同功能钻井的构建。炉型一般分为 U 型炉、V 型炉、盲孔炉、L 型炉等。

目前进行建炉主要是采用定向钻为主的建设方法, 利用定向钻与直孔对接直接贯通, 引导地下气化区的发展。定向钻孔是石油工业开发的一种钻井新技术, 它是从地面打垂直钻孔, 钻到一定深度后, 钻孔可以拐弯, 变成水平方向钻进, 形成水平孔, 与直钻孔可以直接贯通。

### 3.3 点火

无井式气化炉煤层着火, 存在着两个不利的因素: 一是钻孔施工时, 会使钻孔底部的煤层含水率增高; 二是无气化通道排烟。水汽化时将吸收热量, 使散热量增加, 而烟气的存在降低了碳粒表面的氧气浓度, 使产热量降低, 因此, 为了迅速着火, 无井式气化炉一般采用强迫点火措施。常用的强迫点火方法是在钻孔中投入炽热煤炭, 然后由钻孔供风, 这种点火方法必须用较高的供风压力, 将烟气压入煤层。

一般的点火过程按以下方法分几个阶段进行:

- (1) 先进行冷试验, 然后根据冷试验的结果选择点火钻孔;
- (2) 在要建立火源的钻孔内, 测定地下水的流动速度;
- (3) 压出或排除地下水;
- (4) 在钻孔内点火建立火源。

先对地下煤气发生炉的所有钻孔进行冷试验, 根据冷试验的结果, 确定煤层的透气性与选择点火钻孔。在钻孔内压出水后, 向钻孔内投入炽热的焦炭, 然后送入 100~200 m<sup>3</sup>/h 的压缩空气, 建立火源后, 检查燃烧产物的组成, 判断火源形成的情况。

### 3.4 贯通

无井式气化通道贯通技术有火力贯通、电力贯通、水力压裂和定向钻进等。火力贯通因工艺简单常被采用, 火力贯通有正向燃烧贯通和反向燃烧贯通。

正向燃烧与反向燃烧的差别是很显著的。正向燃烧时一个火焰前沿与气流以同一方向扩展的过程, 煤的消耗速率决定了火焰前沿的速度, 随着煤的消耗, 燃烧区移向下游煤较密集的地方。但在反向燃烧中, 火焰前沿移动的方向与气流方向相反, 火焰前沿的速度是由上游热量对气流的传递速率决定的, 上游的煤被加热到它的着火温度而点燃, 从上游残留(半焦)中获取氧, 造成煤层的不完全燃烧。二者最重要的差别在于, 反向燃烧区域少出狭窄的, 直径固定的通道, 而正向燃烧一般以较宽的前沿向前扩展。因此, 正向燃烧可以扩大火源, 反向燃烧可以形成规则的通道。所以, 正向、反向互换贯通可以形成直径较大的规则通道。试验表明, 当煤气中 CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> 三种组分的百分比含量之和大于 18% 时, 说明火区温度较高, 可以进行反向贯通; 当其和小于 18% 时, 则必须采用正向供风, 以提高火区温度, 增大火区范围。

### 3.5 运行

气化炉贯通后, 进入气化炉运行阶段, 该阶段根据预先设计的工艺在进气孔进气, 适当控制气化炉压力, 生产合成气。在运行阶段, 主要需要关注和监测的内容有三个方面:

#### (1) 气化工艺控制

无井式煤炭地下气化工艺主要有空气连续气化、富氧连续气化、富氧水蒸汽连续气化、两阶段煤炭地下气化、纯氧水蒸汽连续气化工艺多种。需要根据该工程设计产出的产品气来选定气化工艺。

气化工艺控制包括进(出)气压力、气化剂流量、进气方向、单点进气多点出气等, 保证出气组分、流量的稳定, 保证较高的气化效率和气化率, 减少煤气泄漏量, 降低水源污染的可能性。

#### (2) 地下水的观测和控制

在气化过程中, 通过观测排水量、煤气水分含量、水文观测井的水位和水质变化, 结合气化前的水文地质资料, 判断气化煤层充水情况及气化过程中各含水层与煤层的水力联系。然后根据分析结果来设计气化炉压力, 进而控制气化炉水量, 同时降低水源污染的可能性。

#### (3) 顶板管理和地表沉陷的测量

气化过程中, 受热作用的影响, 顶底板力学性质发生变化, 围岩产生裂隙, 随着燃空区的扩大, 围岩



移动，崩落。小范围的冒落有利于气化过程的进行。但大面积的顶板冒落会使气化过程受到影响。

通过建立地表塌陷观测站，设立观测点，通过观测地表塌陷情况，对于不影响气化和环保的塌陷，可以不采取措施。对于影响气化的塌陷，可以通过减小鼓风量、改变气化炉压力等来缓解塌陷速度。地层本身具有一定的自修复作用，再通过合理的气化过程控制，基本可以消除顶板塌陷带来的影响。

## 4 工程案例——新奥集团乌兰察布无井式煤炭地下气化工程

### 4.1 煤层赋存条件和地质情况

试验区选择在乌兰察布弓沟矿区玫瑰营煤田，位于内蒙古自治区乌兰察布市集宁区东约 18 公里，察哈尔右翼前旗土贵乌拉镇北东约 20 公里（直距），矿区面积 116 平方公里。试验区的煤质属于具有中等发热量的高硫高灰褐煤。区内各煤层均呈简单的层状产出，煤层的盖层由松散层组成。矿区处于半干旱地区，降水较少。

### 4.2 气化炉建设和试验系统运行情况

新奥无井式煤炭地下气化工程从 2007 年 4 月 18 日正式开钻施工，2007 年 10 月一线炉的垂直钻孔、定向钻孔以及测温孔、水文观测孔全部施工完毕，气化区 L 型气化炉的地面工程全部完工，并于 2007 年 10 月 15 日点火进入试验生产阶段。试验过程中对不同的工艺和炉型进行工业化技术的全面研究。该试验工程于 2009 年 2 月开始稳定产出发电煤气，6 月实现发电，截止目前稳定运行 14 个月，产气约 8260 万方，发电 175 万度。

Table 1. Haet value and component of gas  
表 1 空气煤气组成和热值

煤气组分%							煤气热值
H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	MJ/m <sup>3</sup>
22.5	5.3	21.5	2.3	47.6	0.4	0.25	4.41

## 5 结论

无井式煤炭地下气化技术做为一种行之有效的洁净高效安全的煤炭开采方法，在过去一百多年得到了长足发展，国内外在该技术的开发上取得了很多成就。目前形成的无井式煤炭地下气化工程的建设步骤一般包括选址、建炉、点火、贯通、运行几个步骤。不同的步骤之间上下具有较高的连续性，只有扎实做好每

一步，才能使气化炉运行过程中状态保持稳定，连续安全生产。

## References (参考文献)

- [1] Yang Lanhe, Song Quanyou, et al. Underground Coal Gasification Engineering [M], China University of Mining & Technology published. 2001:18-25(Ch).  
杨兰和,宋全友等. 煤炭地下气化工程[M], 中国矿业大学出版社, 2001:18-25.
- [2] E. Burton, Best Practices in Underground Coal Gasification [EB/OL].<https://eed.llnl.gov/co2/pdf/BestPracticesinUCG-draft.pdf>, 2008-10-22
- [3] Yang Lanhe, Liu Shuqin, et al. Numerical Analysis of Dynamic Temperature Field and Concentration Field in the Process of Underground Coal Gasification[J], Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(4):349-353(Ch)  
杨兰和,刘淑琴等. 煤炭地下气化动态温度场及浓度场数值分析[J], 中国矿业大学学报, 2003, 32(4):349-353.
- [4] Liang Xinxing, Jin Guorong, et al. Pilot Study On The Catalysis Of Residues On Underground Coal Gasification[J], Coal Conversion, 2008,31(1):21-25(Ch).  
梁新星,金国荣等. 灰渣对煤炭地下气化催化效果的初步研究[J], 煤炭转化, 2008,31(1):21-25.
- [5] Liu Baoyin, Zheng Ke, et al. Study on Across Fault Technique of Underground Coal Gasification[J], Clean Coal Technology, 2003,9(4):31-35(Ch).  
刘宝银,郑珂等. 地下气化面过断层技术研究[J], 洁净煤技术, 2003,9(4):31-35.
- [6] Shi Xianxin, Chen Mingsheng, et al. Application of with comprehensive electric magnetic method for coal underground gasification[J], Coal Science and Technology, 2002, 30(10):1-4(Ch).  
石显新,陈明生等. 煤炭地下气化综合电磁法监测技术的应用[J], 煤炭科学技术, 2002,30(10):1-4.
- [7] Bao Guangfu. Determined the Groundwater Flow Velocity and Direction by Hydro-geophysical Exploration[J], West-China Exploration Engineering, 2008, 20(12): 156-158 (Ch).  
鲍广富. 运用水文物探方法测定地下水流速流向[J], 西部探矿工程, 2008, 20(12): 156-158.
- [8] Mao Zhiwei, Liang Jie, et al. Carbon Dioxide Emission Reduction Technology during the process of Underground Coal Gasification[J], Safety in Coal Mines, 2008, 39(1):72-74 (Ch).  
毛伟志,梁杰等. 煤炭地下气化过程中 CO<sub>2</sub> 回填减排工艺探讨[J], 煤矿安全, 2008, 39(1):72-74.
- [9] Martin A. Elliott. Chemistry of Coal Utilization (Second Supplementary Volume) [M], Translate by Gao Jianhui, Yang Shoujin, et al. Bei Jing: Chemical Industry Press, 1991.299(Ch).  
埃利奥特 M A. 煤利用化学(下册) [M], 高建辉, 杨寿金等译, 北京: 化学工业出版社, 1991.299.
- [10] Liu Xin, Liang Xinxing, et al. Analysis of ignition technique in UCG[J], Energy Engineering, 2009(1):10-12 (Ch).  
刘鑫,梁新星等. 煤炭地下气化点火方法分析[J], 能源工程, 2009(1):10-12.
- [11] Liang Jie. The stability and controlling technology of underground coal gasification process[M], China University of Mining and Technology Press, 2003.6-9.(Ch)  
梁杰. 煤炭地下气化过程稳定性及控制技术[M], 中国矿业大学出版社, 2003.6-9.
- [12] Tang Fenglin, Duan Longchen. Shaftless Underground coal gasification has great future—visited Angren UCG Station of Uzbekistan[J], Exploration Engineering(Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007, (6):1-13 (Ch).  
汤凤林, 段隆臣. 无井式煤炭地下气化技术大有作为—访问乌兹别克斯坦安格连煤炭地下气化站体会[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, (6):1-13.