

测氡法探测地下气化燃烧区及移动速度研究

陈启辉¹, 梁杰², 余力², 郭秋英¹

(1. 山东建筑大学 土木工程学院, 山东 济南 250101; 2. 中国矿业大学 化学与环境工程学院, 北京 100083)

摘要:煤炭地下气化技术是抛弃了全部庞大的、笨重的采煤设备与地面气化设备,并将传统的地面气化转化为地下有控制的气化新技术。其具有安全性好、投资少、效率高、污染小、效益高等优点。为了使煤的燃烧和气化得到有效的控制,监测燃烧区的范围和火焰工作面移动速度是至关重要的。在分析了测氡法应用于确定燃烧区范围和移动速度可行性的基础上,本文提出了采用测氡法对急倾斜煤层中煤炭地下气化燃烧区范围和移动速度进行监测的有益探索。现场试验研究表明,该方法能够较好地探测燃烧区的范围和移动速度。

关键词:煤炭地下气化;燃烧区范围;测氡法;移动速度

中图分类号:TQ546

文献标识码:A

Study on underground coal gasification combusted zone and velocity by radon-measurement method

CHEN Qi-hui¹, LIANG Jie², YU Li², et al.

(1. School of Civil and Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China; 2. School of Chemical and Environmental Engineering, University of Mining & Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: All of mining and ground gasification equipment are abandoned for technology of underground coal gasification (UCG), and traditional ground gasification is converted to underground controlled gasification. UCG has advantages of good safety, less investment, great effect, less pollution, and high benefit. For the controlling of gasification and combustion of coal, it is very important to survey combusted zone and velocity. On basis of feasible analysis by radon-measurement method, radon-measurement method is applied for the detection of combusted zone and velocity of UCG in steep coal layer. In field-test, combusted zone and velocity can be effectively detected by this method.

Key words: underground coal gasification (UCG); combusted zone; radon measurement method; velocity

0 引言

煤炭地下气化就是使地下煤炭通过热化学反应原地转化为可燃气体的技术,它是集建井、采煤、转化三大工艺为一体,多学科开发能源及化工原料的

新技术。将物理采煤方法转化为化学采煤,抛弃了全部庞大的、笨重的采煤设备与地面气化设备,并将传统的地面燃烧转化为地下有控制燃烧,因而是一种洁净煤综合利用技术,故具有安全性好、投资少、效率高、污染小、效益高等优点。目前国内外在其理

收稿日期:2008-03-03

基金项目:建设部科技计划资助项目(05-k1-14)

作者简介:陈启辉(1970-),男,江苏武进人,山东建筑大学土木工程学院副教授,博士,主要从事岩土与地下方向的研究。

论和实践上进行了深入的研究,取得了令人瞩目的成就,该技术也从室内模型试验、现场小型试验、半工业性试验的基础上,正逐步向现场工业性试验和应用道路上迈进^[1]。

煤炭地下气化工艺是自地面向下打钻孔到煤层,再在煤层内部将钻孔连接起来,以其中一个钻孔将气化剂(如空气、水蒸汽、富氧空气等)输出到煤层,气化剂在煤层内进行不完全燃烧,并连续发生气化,把产生的可燃气体从另一个钻孔输送到地面,地下气化工艺示意图如图1所示^[2]。

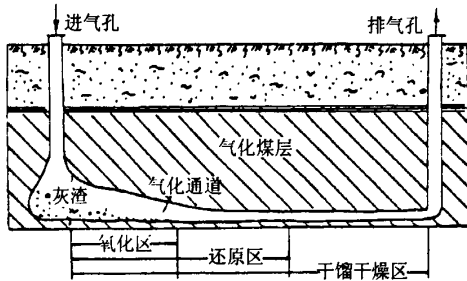


图1 煤炭地下气化示意图

在煤炭地下气化过程中,由于煤炭不断地被燃烧气化而形成燃空区,燃空区不断扩大,煤层顶底板日益暴露,给气化过程带来两方面的影响:第一,随着空间的扩大,反应区的表面积越来越小,反应强度降低;第二,在煤炭地下气化过程中,燃空区上方及两侧的煤,在煤的燃烧与气化的高温作用下,将不断烧掉或热软化,从而使气化空间不断上移与扩大。而气化空间上方的岩层在高温和地应力作用下也将逐步丧失稳定而冒落,从而严重影响炉内温度。还有可能引起燃空区上方煤岩层的过量移动、开裂破坏和地表沉陷,造成燃空区内煤气漏失或溢出地表污染环境,使气化炉不能正常生产,如何监测地下气化过程中燃空区塌落后空间的变化以及地下火焰的移动,对控制气化过程中煤气质量的控制、保持炉内温度的稳定、燃空区上覆岩层移动及地表沉陷起着至关重要的作用。

前苏联 B. П. 舍库拉塔克^[3-5]提出用地球物理方法可监测煤炭地下气化燃烧面的移动速度和燃烧范围。地下煤层燃烧时,由于高温作用使得岩层中的物理场和岩石性质发生了异常变化,用各种地球物理方法可测出上述异常现象,可确定燃烧空间的边界。由于在煤层中广泛存在衰变子体氡,巴西的 P. M. C. Barretto 研究了氡在岩石中的析出与温度的

关系,结果表明在 +260℃ 时岩石中氡析出率为 10.62% ± 0.3%,而在 -80℃ 时,析出率为 2.81% ± 0.18%,减少了 70%。前苏联学者苏尔坦霍耶夫等研究了氡中矿物中析出与温度的关系,当温度达 1000℃ 时,氡析出为 90%。B. A. Hukutkuh 曾作过含铀矿物随温度析出氡的试验,试验结果表明,随温度的升高,氡的析出量在逐渐增大。综上所述,氡的析出与温度之间有一定的相关关系。用此原理,可用该方法来进行煤炭地下气化煤层燃空区扩展范围和火焰工作面移动速度的探测^[6-8]。本文通过对我国急倾斜煤层中煤炭地下气化燃空区采用测氡法进行现场有益的探索,现场试验研究表明该方法能够较好地探测燃空区岩层扩展范围和火焰移动速度。

1 测氡法探测原理

岩石中均含有天然放射性系列元素²³⁸U,其衰变的射气元素为氡(²²²Rn)。因氡的半衰期为 3.825 d,氡在地下是以对流、扩散及随地下气体等接力传递作用向上流动传输的,所以氡可由地下向上迁移较长的距离,同时氡是惰性气体,在从地下向上迁移过程中不参与任何化学反应。因此,可以通过观测地表附近氡的异常来了解地下深部的地质信息。

在煤炭地下气化过程中,在煤层燃烧区产生温度为 700 ~ 800℃ 的高温区,同时在煤层附近的岩层中通过热传导等方式形成温度场,也影响周围煤岩层中孔隙水的温度。

在文献[4,5]等相关文章研究表明,在高温条件下,煤岩层中铀的射气系数随温度的升高而增大,岩石所析出的氡越多,图2为3h内不同温度的条件下氡气析出情况。

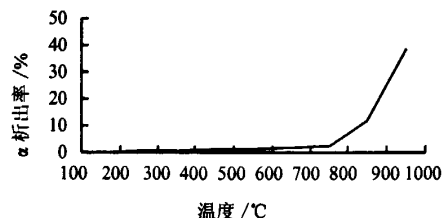


图2 氡气析出率与温度关系

另外,岩石均有一定的孔隙度,而且不同程度地含有一定的水。对当水温变化时,氡气在水中的溶解度将随温度的增高而降低,见表1,大大提高地下

向上迁移的氦气数量。

表1 氦在水中溶解度系数(β)与温度的关系表

温度/°C	β	温度/°C	β	温度/°C	β	温度/°C	β
0	0.510	20	0.254	50	0.138	80	0.112
5	0.420	30	0.195	60	0.125	90	0.110
10	0.351	40	0.159	70	0.117	100	0.108

因此,在煤炭地下气化过程中,煤层燃烧区上方的煤层层氦气的迁移速度将会增大,将会导致在燃烧区上方地表与周边氦气浓度产生差异。由此地面氦异常可以反映地下煤层燃烧的区域和位置。通过不同时间观测氦异常的变化以及氦异常在地面的移动也可以反映地下煤层燃烧区的移动,从而确定煤层的燃烧速度。

2 测氦法现场探测设计

2.1 煤炭地下气化炉布置

某煤矿煤炭地下气化试验的现场条件是气化煤层有9#和12#两层煤,间距30~40m,其间为中等硬度的砂岩或砂页岩组成。9#煤层平均厚度为3.0m,顶板为泥岩或粉砂岩,底板为页岩。12#煤层平均厚度为5.0m,顶板为页岩,底板为砂页岩。煤层倾角约为45°的急倾斜煤层。在9#(标高为-105.5m)、12#(标高为-116.8m)煤层中各布置一条高2.5m、宽3m左右的气化通道,每个气化通道有四个进、出气孔与其相连,如图3所示^[9]。

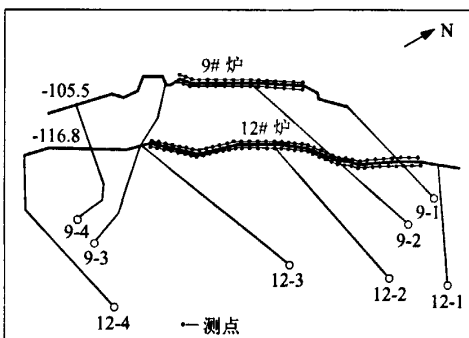


图3 9#、12#气化炉布置及试验区测氦点布置示意图

该煤炭地下气化采用大通道、大断面、双火源、两阶段、煤炭地下气化工艺,是在十余年深入仔细分析研究国外大量试验资料的基础上,以多次室内模型试验、马庄煤矿现场试验和徐州新河2号半工

业性试验的成果基础上,在刘庄矿进行工业性试验,不断地补充和完善发展起来的煤炭地下气化新工艺。这种新工艺是将有井式与无井式融合为一体,结合了水煤气与焦炉煤气生产工艺的优点,该工艺是可靠、灵活、互变、可控、稳定。气化通道中12-1,12-2,12-3,12-4钻孔沿12#煤层到水平气化通道,通常12-1为进气孔,12-4为出气孔,根据工艺的不同,这4个钻孔的进出气孔可互换;9-1、9-2、9-3、9-4为9#煤层的4个钻孔,其中9-1进气,9-4为出气孔,也可互换。

2.2 测氦法试验设计

本次测氦工作采用地面 α 杯测氦法(测量氦衰变的副产物 R_{α} 放射出的射线强度(α)),选用CD-1 α 野外高灵敏测氦仪),将 α 杯埋置地下50cm深,4~5h后取出,测量 α 杯上 α 粒子数,根据CD-1 α 野外高灵敏测氦仪上的 α 粒子数多少来反映氦浓度的高低。试验在野外沿地下气化炉方向布两条测线。第一条测线都在9#煤和12#煤气化通道中央位置,9#煤层第二测线向西平行布置,间距为2m。12#煤层第二测线向东平行布置,间距2.5m。每条测线上的测点由1号孔向4号孔顺序布置,测点间距为2m,如图3所示。

3 测氦法监测燃烧区燃烧范围及移动速度试验结果与分析

3.1 燃烧区范围及移动速度探测结果

9#煤地下气化炉第一测线测量为3d,间隔3d进行第二测线测量,每个测点均进行两次观测,12#煤地下气化炉与9#地下气化炉测量方式相同。在本次探测时9#气化炉距离点火已经88d;12#气化炉距离点火64d,9#气化炉上方氦测量异常剖面图见图4和图5,12#气化炉上方氦测量异常剖面图见图6和图7。

3.2 探测结果分析

从9#和12#炉每条测线的两次测量结果来看,测氦曲线形态相似,氦异常分布具有连续性和一致性。9#气化炉在8号测点开始出现氦气异常现象,一直延续到21号测点;12#气化炉在15号测点开始出现氦气异常现象,一直延续到34号测点。所以将

这些峰值点连起来,就可以分别推测9[#]和12[#]气化炉的火焰工作面的位置和燃烧区的范围。

由图4~7中可以看出,9[#]炉氨首次异常点距点火点16m左右,说明9[#]煤层气化炉燃烧区移动了16m,燃烧区的长度约为26m;12[#]炉氨首次异常点距点火点30m左右,说明12[#]煤层气化炉燃烧区移动了30m,燃烧区的长度约为38m。

3.2.1 空气连续气化与两阶段气化工艺探测结果分析

文献[3]研究表明,不同的沉积物中氨气的射气系数不同,造成其运移速度会发生明显变化,一般氨气在固体物质中的运移速度在0.3~1.9m/h之间。结合本地区地下气化炉的埋藏深度,可推算出氨异常区比地下气化高温区出现时间滞后4.5d。由此可以得到9[#]炉气化工作面的移动速度是0.192m/d,12[#]炉气化工作面移动速度为0.488m/d,9[#]炉移动速度小于12[#]炉。

现场中9[#]炉和12[#]炉采用不同气化工艺进行试验,9[#]炉采用的是两阶段(空气和水蒸气间隔)气化工艺,而12[#]炉采用的是空气连续气化工艺。在鼓风量基本相同、产生的煤气热值达到设计要求的条件下,两阶段气化工艺燃烧区的移动速度远小于空气连续气化工艺燃烧区的移动速度。由此可见,利用测氨法可以探测燃烧区的范围和移动速度,同时探测不同工艺条件下地下燃烧区的变化。

3.2.2 燃烧区充填试验探测结果分析

随着气化过程的进行,通道断面的增大,将导致产气过程的变坏。试验过程中,随气化通道燃空区的不断扩展,得到的煤气平均热值在逐渐下降,主要是因为通道不断扩大,气流与煤壁的反应比表面积在缩小,造成气化强度降低;同时反应热损在岩石中不断增大,形成的通道温度场较低;另外,由于冒落岩石的不封闭性造成气流的旁路可能引起二次燃烧,引起热值降低。为保证气化过程生产稳定的煤气,必须人为地控制燃空区的大小,减小热损,增大反应比表面积,增加气化反应强度。

在现场试验中采用粘土浆液湿式充填,试验结果表明,在保证连续稳定产气时,注水速率为每公斤煤注0.3~0.4kg粘土浆液为宜。通过多次试验,确定采取勤注、少注。主要在氧化区过后的充填孔进行充填,且在进气侧进行。

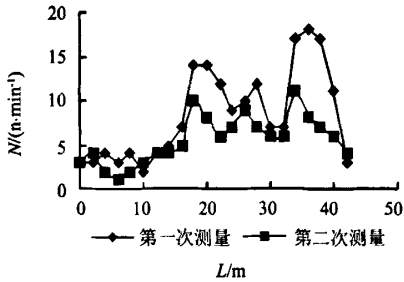


图4 9[#]炉第一条测线氨气异常图

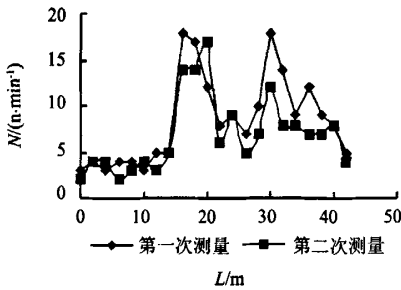


图5 9[#]炉第二条测线氨气异常图

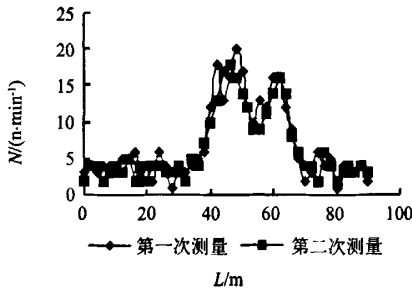


图6 12[#]炉第一条测线氨气异常图

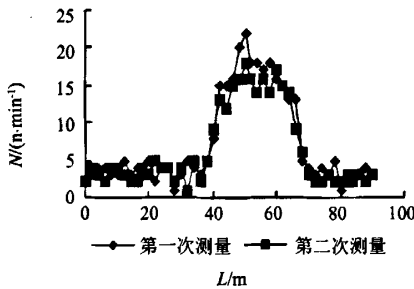


图7 12[#]炉第二条测线氨气异常图

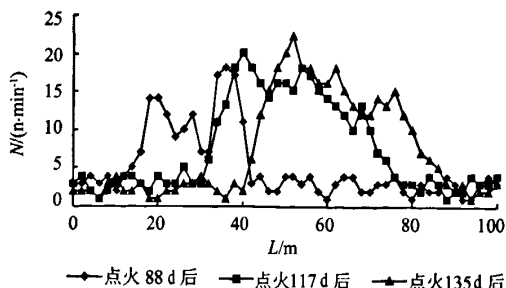


图8 9[#]炉燃烧区移动氦气异常图(第一条测线)

根据采用测氦法探测的地下燃烧区的位置,实施了边气化边充填的工艺。在充填过程中,煤气组分 H_2 和 CH_4 组分有所升高,而其它组分变化不大,煤气热值提高了30%。

图8为9[#]气化炉燃烧区不同时间的氦气异常分布图。点火88d后,9[#]气化炉改两阶段气化工工艺为空气连续气化工工艺,同时该炉采用了充填法对燃空区进行充填,使得气化炉中有效断面减小,增大了反应比表面积。气化炉燃烧区长度加大直至温度,然后有序地向前移动,这时9[#]气化炉移动速度平均为0.56m/d。由此可以看出,气化通道断面的减小可提高火焰工作面的移动速度,迅速建立其燃烧区的温度场。通过测氦法监测燃烧区的位置进行实时充填,保证了气化工工艺的正常进行,同时也说明了测氦法探测地下气化燃烧区和移动速度的准确性。

通过监测不同时间间隔氦气的异常,能够反映燃烧区的范围,监测氦气异常的移动,可以来推算火焰工作面移动的速度,从而了解地下煤层气化情况,以便控制气化工工艺条件,选择合适的气化工工艺、充填的位置等,达到稳定生产的目的。

4 结语

通过在急倾斜煤层中煤炭地下气化燃烧区采用测氦法进行现场试验研究,对采用测氦法探测燃烧区范围以及移动速度进行了有益的探索,现场试验

研究表明该方法能够较好地探测燃烧区的范围及其移动速度,并得出以下结论与建议:

(1)随温度的升高,氦的析出量在逐渐增大,燃烧区内外将产生氦气浓度的差异,放射性氦气的测量能反映煤层气化燃烧区的位置,试验证明利用氦测法进行地下煤层气化燃烧区范围和移动速度动态监测是可行的。

(2)测氦技术对地下气化过程中燃烧区的探测结果表明,9[#]炉气化工工作面的移动速度是0.192m/d,12[#]炉气化工工作面移动速度为0.488m/d。同时,两阶段气化工工艺气化工工作面移动速度小于空气连续气化工工艺的工作面移动速度。

(3)通过测氦法监测燃烧区范围和移动速度,实施燃空区充填工艺,气化通道断面的减小可较大提高火焰工作面的移动速度。

(4)由于气化过程温度对氦气异常的形成起着至关重要的作用,为了准确测量氦气异常,应在气化炉燃烧之前对气化区的初始条件进行详细测量,获得气化区氦浓度初始分布,氦测法可以得到更为准确的燃烧区范围和移动速度,为进一步控制气化炉的提供依据。

参考文献:

- [1] 陈启辉. 煤炭地下气化的现状与展望[J]. 东北煤炭技术, 1997(3): 3-8.
- [2] 陈贤文. 煤炭气化新工艺[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984.
- [3] 陈启辉, 梁杰, 余力, 等. 瞬变电磁法探测煤炭地下气化燃空区扩展的试验研究[J]. 山东建筑大学学报, 2007, 22(4): 288-292.
- [4] 吴惠山. 氦测量方法与应用[M]. 北京: 原子能出版社, 1995.
- [5] 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.
- [6] 董兆祥, 贺可强. 应用直接测氦法对唐山岩溶塌陷的测试研究[J]. 中国地址灾害与防治学报, 1997, 8(4): 28-32.
- [7] 刘菁华, 王祝文, 朱士, 等. 煤矿采空区及塌陷区的地球物理探查[J]. 煤炭学报, 2005, 30(6): 715-719.
- [8] 段鸿杰, 唐岱茂, 曹为民. 测氦技术圈定采空区影响边界的应用[J]. 华北地质矿产杂志, 1999, 14(1): 71-76.
- [9] 陈启辉. 煤炭地下气化燃空区扩展过程及控制技术的研究[D]. 江苏: 中国矿业大学博士学位论文, 1998.