

煤炭地下气化空间扩展规律及控制方法研究综述

王在泉

(青岛建筑工程学院工程力学研究所 青岛 266033)

华安增

(中国矿业大学建筑工程学院 徐州 221008)

摘要 在介绍煤炭地下气化特点的基础上,对地下气化空间扩展及气化过程影响进行了分析,综述了国内外在煤炭地下气化空间扩展规律及控制方法的研究进展,结合中国的气化工艺特点,提出了需进一步研究的课题。

关键词 煤炭地下气化, 空间扩展, 高温, 岩层控制

分类号 TP 722.5, TV 528

文献标识码 A

文章编号 1000-6915(2001)03-0379-03

1 前言

我国的能源构成中,煤炭占主导地位。目前的现状是原煤低层次燃烧,不但煤炭资源没有充分利用,而且煤的燃烧带来日益严重的环境污染、大气破坏等问题。而在煤炭的开采过程中,因煤层地质及开采技术条件的限制,目前井工开采的煤炭资源回收率大约只有50%。另外,开采深度增加带来一系列目前技术或经济难以克服的困难。因此,如何采用更有效的方法开采目前常规井工技术难以开采的煤炭资源,并能和煤的洁净燃烧与综合利用结合起来,将不但能使煤的资源回收率增加,且改善传统燃烧方式带来的环境污染及环境破坏,这将对我国国民经济发展具有十分重要的作用与意义。目前已公认煤炭地下气化(Underground Coal Gasification—UCG)是解决上述问题行之有效的方法与途径之一^[1]。

2 煤炭地下气化的特点

煤炭地下气化就是将处于地下的原煤在地下进行有控制地燃烧而产生可燃气体的过程。如图1所示,将地下气化煤层点燃后,从进气孔鼓入气化剂(如空气、水蒸汽、富氧空气等),对煤层进行有控制地燃烧气化,由出气孔排出可燃煤气。

煤炭地下气化将物理采煤(井工开采)转变为化学采煤,将传统的地面燃烧转变为地下有控制地燃烧,是一种洁净煤综合利用技术,被作为新型采煤方

法而加以研究与开发。原苏联、美国及德国等进行了大量理论和实践上的研究。我们在成功进行国家“八五”重大科技攻关项目“徐州新河二号井煤炭地下气化半工业性试验”的基础上,正在进行进一步的研究。

3 煤炭地下气化空间扩展研究进展

煤炭地下气化过程中,气化炉上方煤层因煤的燃烧与气化的高温作用,将不断烧掉或因热软化及热应力作用而产生大量裂隙,到一定程度将逐步跨落在气化通道底板上,从而使气化空间不断上移与扩大。当气化空间达到一定规模时,上方煤层将产生冒落,当冒落范围及规模较大时,有可能引起气化炉上方煤岩层的过量移动、开裂破坏及地表沉陷,使地表水浸入气化炉内,气化炉内煤气漏失或溢出地表而使气化炉不能正常生产,甚至造成停产,过量地表沉陷也将会危及地面气化设施及建筑、构筑物的正

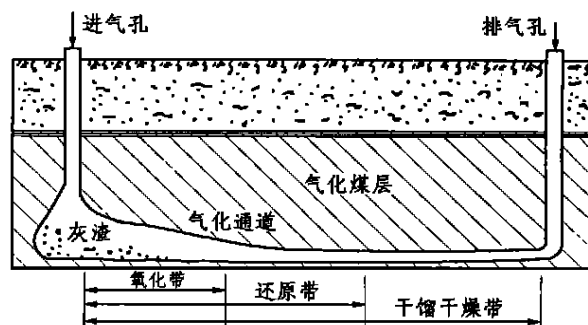


图1 煤炭地下气化示意图

Fig. 1 Sketch map of underground coal gasification

1999年11月16日收到初稿,1999年12月30日收到修改稿。

作者 王在泉 简介:男,1964年生,博士,1985年毕业于青岛建筑工程学院矿山系采矿工程专业,现任教授,主要从事岩石力学与工程方面的研究工作。

常使用(图 2)。因此,煤炭地下气化的技术关键之一是对随气化进行而日益增大的气化空间实施有效控制。

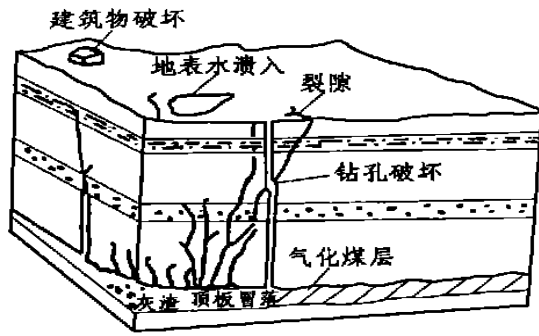


图 2 煤炭地下气化引起的环境问题示意图

Fig.2 Sketch map of environment problems in underground coal gasification

3.1 气化空间动态扩展的数学力学模型

对煤炭地下气化来说,气化空间扩展一般应有两方面的含义,一是指气化空间内燃烧区的扩展模型,主要与气化工艺有关。另一方面是气化空间的大小、形状及与之相应的稳定性等。这方面的研究除与煤层的燃烧扩展有关外,主要考虑煤炭地下气化的高温对煤岩的热干燥、焦化、软化特点,采用热力学-数学-力学方法建立气化空间大小、形态扩展方程。本文气化空间扩展含义指后者。针对气化空间扩展的数学模拟,文[2]运用变边界连续变形有限元法模拟分析了气化空间的扩展过程(形状、大小及稳定性)和相应的围岩应力、变形;文[3]则运用块体模型模拟了因气化空间扩展而引起的地表沉陷;文[4,5]运用热力学模型、固结模型,采用移动有限元法,考虑了煤岩的热弹性、热弹塑性、热粘弹性等模拟研究了气化空间的扩展及相关的岩层移动与地表沉陷;文[6]则模拟研究了因煤岩湿度变化(热干燥)引起的应力场对气化空间扩展的影响。文[7,8]采用有限元及现场实测等方法研究了气化空间的稳定性。上述研究的基本思路是采用有关控制方程,并对其数值求解,求出气化过程中不同时刻气化空间内的温度、应力(包括热应力)、位移等分布,然后根据有关高温煤岩失稳破裂模型,对已形成的气化空间周围煤岩的稳定性进行判断,当某点的应力、位移状态处于失稳状态时,便认为该处煤岩产生失稳冒落。随着气化的进行,气化煤层内温度场等不断变化,因而气化空间的扩展也是动态变化的。

3.2 高温煤岩性质及气化空间扩展模拟研究

显然,地下气化空间扩展与气化作用引起的煤岩的热物力学性质变化密切相关,综合国内外研

究成果,煤岩热物理性质(比热、传导率等)随温度是变化的^[5]。另外,煤的比热与传导率还与煤种、煤中挥发含量、温度等有关,故在利用这些参数计算地下气化炉煤岩温度场分布时应据此选择不同的参数值。

气化燃烧的高温作用将引起煤岩的热软化,并在温度梯度作用下产生热应力。而热软化主要反映在煤岩变形模量随温度而降低,且不同温度作用下煤岩热膨胀参数亦不同。据研究,煤在 320℃ 左右,变形模量基本趋于零,线膨胀系数也趋于零^[5]。另外,美国专门研制了适于煤炭地下气化特点的高温三轴应力测试系统。而高温作用下煤岩产生的蠕变特征,综合有关研究结果认为温度越高,蠕变特征越明显,而在常温条件下基本无蠕变特征。据室内无烟煤的高温流变试验^[5],在 24℃~260℃,流变主要表现为非线性特征(应力-应变关系曲线为“S”型),而在较高温度(302℃~343℃),则变为线性特征,另外,流变参数亦随温度而变化。

3.3 气化空间扩展现场探测及控制

美国 TONO 和 RAWLZNS 地下气化试验后均进行了气化空间的解剖勘探,并证明了数值模拟与实测结果的一致性。而在 HOE CREEK 试验现场则进行了长期的地表变形观测,结果发现地下气化引起的地表沉陷有的是突然形成,有的则类似井工开采那样缓慢形成,并提出了通过充填方法控制地表沉陷的设想。我国在唐山刘庄矿进行了充填试验,效果良好。

综合以上分析,美国对煤炭地下气化空间扩展规律进行了较多研究,但重点是在掌握高温煤岩性质基础上进行数值模拟,另外,在国外进行的气化,一般炉型小,气化空间也小,因此气化空间扩展有限,一般很少需在气化过程中对其进行探测与控制。而我国提出的报废矿井长通道、大断面、两阶段、多循环气化工艺^[1]则与国外不同,首先报废矿井气化前煤岩层已受过多年的井工开采影响,故其稳定性差,而采用上述气化工艺所形成的气化空间很大,且气化燃烧高度大,因而在气化过程中需对气化空间实施有效监测与控制。

4 需进一步研究的课题及设想

4.1 煤炭地下气化空间分区及室内模拟

从气化空间剖面看(氧化带),在气化空间上方煤岩中根据温度影响不同,可分为气化空间表面的燃烧气化带(以燃烧气化为),此带温度一般大于 550℃;在该带以上为焦化干馏带(以焦化干馏为

主), 此带温度一般在 200 ℃ ~ 550 ℃; 再上则为热干燥带(主要为煤岩的干燥), 此带温度低于 200 ℃; 在热干燥带以上则为正常煤岩区。为模拟地下气化过程中空间扩展规律及燃烧带、焦化干馏带、热干燥带的有关特征及对空间扩展的影响, 可在室内建立气化空间模拟试验台, 研究煤岩高温燃烧作用下气化空间扩展及煤岩内的有关温度、压力及应变变化规律, 从而为建立气化空间扩展模型提供机理上的指导。

4.2 气化空间扩展及稳定性的理论研究

根据国内外大量研究, 煤岩在 0 ℃ ~ 200 ℃ 作用下产生的有关力学特征变化, 主要与煤岩中随温度升高而引起的湿度变化有关, 而湿度场的变化将产生湿度应力, 而温度梯度将产生温度应力, 即在此温度范围内, 煤岩内产生温度-湿度场的共同作用, 为此应研究热干燥煤岩带的湿度-温度应力场共同作用理论, 用以求解热干燥煤岩带内的性质变化及对气化空间扩展的影响。

有关这方面的工作, 人们对地面气化过程中碎煤的成焦过程及焦炭的有关力学性能已有较全面的研究。但是对地下气化而言, 情况有很多差异, 首先, 地下气化煤岩焦化过程中受天然地应力作用, 其次, 焦化煤岩为地下天然煤层, 因此需专门研究地下气化煤岩焦化过程中焦化圈承载能力及形成机理理论, 特别是对随气化过程及气化结束后所形成的焦化干馏带焦化圈的有关强度、性能变化及对控制地表沉陷的作用应深入研究。

4.3 气化空间扩展控制方法及效果研究

对随气化进行不断扩大的气化空间何时、何处实施有效控制, 主要取决于两个因素: 一是气化空间必须保证使气化反应有效进行(如保证燃烧工作面的供氧浓度), 二是保证气化空间不致引起大的顶板

冒顶事故, 进而确保不致引起过量气化空间上覆岩层移动与地表沉陷。后者主要通过力学方法确定气化空间扩展过程中的动态稳定状况及与之相关的岩层移动与地表沉陷, 根据计算确定的指标判断气化空间是否会引起过量顶板冒顶及岩层移动与地表沉陷。当所对应的气化空间不能满足上述要求时, 就应进行气化空间控制, 为此尚需研究气化后的空间大小及充填后充填体的充填控制作用。

参 考 文 献

- 1 余力. 研究与开发煤炭地下气化技术[J]. 科技导报, 1995, (2): 54 ~ 56
- 2 Mackinnon R J. Modeling of 2-D cavity growth using continuously deforming finite elements[A]. In: Proceedings of the 10th Annual UCG Symposium[C]. New York: [s. n.], 1984, 61 ~ 68
- 3 Sutherland H R. Subsidence prediction for the forthcoming TONO UCG project[A]. In: Proceedings of the 9th Annual UCG Symposium[C]. New York: [s. n.], 1983, 99 ~ 107
- 4 Advani S H. Status of technology associated with cavity and subsidence response prediction associated with UCG[A]. In: Proceedings of the 7th Underground Coal Gasification Symposium [C]. New York: [s. n.], 1981, 271 ~ 286
- 5 Yang Tai, Lin Thomas. Structural mechanics simulations associated with UCG[Ph D Thesis][D]. USA: The Graduate School of West Virginia University, 1978
- 6 Mortazari H H, Emery A F. The effect of moisture on the structural stability of a coal cavity[J]. Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME, 1984, 108: 246 ~ 253
- 7 Wang Zaiquan, Hua Anzeng. Ground movement and control of UCG in elevated temperature[A]. In: Yuan Jianxin ed. Proc. of 9th International Conference of the Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics[C]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1997
- 8 Wang Zaiquan. Dynamic stability analysis and controlling of cavity associated with UCG[A]. In: Proceedings of 3rd International Conference on Mining Science and Technology [C]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1996

REVIEW ON CAVITY GROWTH LAWS AND CONTROL IN UNDERGROUND COAL GASIFICATION

Wang Zaiquan¹, Hua Anzeng²

⁽¹⁾ Qingdao Institute of Architecture and Engineering, Qingdao 266033 China

⁽²⁾ College of Architecture and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008 China

Abstract The influences of cavity growth in underground coal gasification on gasification process are analyzed on the basis of introduction of underground coal gasification. The development of space expanding laws and control methods in underground coal gasification are reviewed. The problems and ideas to be studied deeply are put forward combining with the gasification characteristics of China.

Key words underground coal gasification, cavity growth, high temperature, rock strata control