

doi:10.13301/j.cnki.ct.2015.10.050

油型气涌出矿井 CH_4 扩散规律数值模拟

张俭让^{1,2}, 张 荃^{1,2}, 董丁稳^{1,2}, 陈 伟^{1,2}

(1. 西安科技大学 能源学院, 西安 710054; 2. 教育部西部矿井开采及灾害防治重点实验室, 西安 710054)

摘 要: 根据局部通风流场特点,应用计算流体力学 CFD 软件对掘进工作面的 CH_4 与风流质量混合过程进行了模拟。选择采用 Realizable $\kappa-\varepsilon$ 双方程模型,探讨了掘进工作面风流流场和 CH_4 浓度分布规律,对比了油型气中的 CH_4 在掘进巷道底板不同位置涌出的扩散规律。

关键词: 掘进巷道;数值模拟;风流流场; CH_4 浓度

中图分类号: TD712 文献标志码: A 文章编号: 1008-8725(2015)10-136-03

Law of Gas Distribution of Numerical Simulation with Oil-type Gas Emission

ZHANF Jian-rang^{1,2}, ZHANG Quan^{1,2}, DONG Ding-wen^{1,2}, CHEN Wei^{1,2}

(1. School of Mining Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. Key Laboratory of Western Mine Exploration and Hazard Prevention of Ministry of Education, Xi'an 710054, China)

Abstract: According to the characteristics of local ventilation flow field, an simulation on the mixing process of airflow and CH_4 in heading face with CFD fluent. The heading face airflow field and CH_4 concentration distribution was discussed and the emission law of oil-type gas at different floor position was compared with the Realizable $\kappa-\varepsilon$ double equation model.

Key words: heading face; numerical simulation; airflow; CH_4 concentration

0 引言

黄陇基地为国家规划建设 13 个大型煤炭基地之一,含煤地层均为侏罗系延安组。其中,黄陵矿区、焦坪矿区和旬耀矿区均已发现存在煤层瓦斯与围岩油气共生现象。

煤油气共生矿区易发生围岩瓦斯涌出波动范围大、异常涌出现象,从底板涌出尤为严重,且具有突发性、隐蔽性和涌出量大等特点,成为影响矿井

安全高效开采新的致灾因素。初步研究表明,异常涌出气体与煤层气不同,其成因类型为油型气。油型气的主要成分 CH_4 含量高达 90%,此外还含有乙烷、丙烷、丁烷、戊烷、己烷、氢气、一氧化碳等多种可燃性气体。

本文针对煤油气共生矿井,选择对油型气的主要成分 CH_4 进行数值模拟,对比分析掘进工作面的风流流场及有油型气涌出时不同位置涌出点 CH_4

(3)煤炭在我国的能源生产和消费结构中占主导地位,但是由于我国地质特征比较复杂,国内的煤层瓦斯突出事故预防的理论和瓦斯抽采技术还不成熟。瓦斯的解吸规律直接影响到煤矿的安全生产,因此加快研究适合我国煤层瓦斯突出事故预防的理论和瓦斯抽采技术具有非常重要的现实意义。

参考文献:

- [1]王萍. 煤样瓦斯吸附数据采集与分析系统研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2009.
- [2]曹树刚,郭平,李勇,等. 瓦斯压力对原煤渗透特性的影响[J]. 煤炭学报,2010,35(4):506-599.
- [3]蔡立勇,尹智雄,赵红. 煤样粒径对瓦斯放散初速度的影响[J]. 矿业工程研究,2013,28(3):30-33.
- [4]张明明. 江西省涌山桥矿区煤变质程度对煤层瓦斯的影响[D]. 淮南:安徽理工大学,2011.
- [5]何志刚. 温度对构造煤瓦斯解吸规律的影响研究[D]. 焦作:河南理工大学,2010.
- [6]王鹏刚. 不同温度下煤层气吸附解吸特征的实验研究[D]. 西安:

西安科技大学,2010.

- [7]吕祥锋,潘一山,刘建军,等. 孔隙压力对煤岩基质解吸变形影响的试验研究[J]. 岩土力学,2010,31(11):3 447-3 451.
- [8]尹光志,李小双,赵洪宝,等. 瓦斯压力对突出煤瓦斯渗流影响试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(4):697-702.
- [9]陈攀. 水分对构造煤瓦斯解吸规律影响的实验研究[D]. 焦作:河南理工大学,2010.
- [10]贾彦楠,温志辉,魏建平. 不同粒度煤样的瓦斯解吸规律实验的研究[J]. 煤矿安全,2013,44(7):1-3.
- [11]乔军伟. 低阶煤孔隙特征与解吸规律研究[D]. 西安:西安科技大学,2010.
- [12]杜玉娥. 煤的孔隙特征对煤层气解吸的影响[D]. 西安:西安科技大学,2012.
- [13]蒯亚兵,贾雪梅,马东民. 不同变质成因无烟煤孔隙特征及其对瓦斯突出的影响[J]. 煤炭工程,2013(5):99-102.

作者简介:戴世鑫(1983-),山东青岛人,讲师,从事煤田勘探方面的研究工作,电子信箱:hmkjdsx@126.com.

责任编辑:张 欣 收稿日期:2015-02-10

的扩散规律,为煤油气共生矿井瓦斯治理提供依据。

1 物理模型

1.1 模型及参数设置

依照掘进巷道实际尺寸,利用 ANSYS 软件建立三维模型。模型为半圆拱形掘进巷道,巷道横断面宽 3.6 m,顶部半圆半径 2.08 m,顶部高度 3 m。风筒直径 0.8 m,局部通风方式采用压入式通风,压入式风筒悬挂在一侧煤壁处,风筒轴线距底板 1.5 m,出风口距掘进面 16 m。将掘进机简化为长×宽×高=5 m×2.2 m×1.8 m 的长方体。图 1 是模型的截面图。由于油型气分布的不均匀性,本文将涌出点设置为底板直径 0.3 m 的圆,模拟 CH₄ 在相同涌出量下,不同位置的涌出点的扩散规律。涌出源为 a、b、c、d、e 不同位置的 5 个 CH₄ 涌出点。

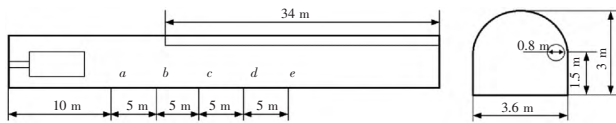


图1 模型几何及CH₄涌出点位置示意图

1.2 网格划分

根据模型的物理特征,选择 CutCell 网格划分方式,为六面体网格。网格的分辨率对于湍流十分重要,由于平均流动和湍流的强烈作用,湍流的数值计算结果往往比层流更容易受到网格的影响。

2 数值模拟计算及分析

2.1 边界条件及计算方法

本文依据掘进工作面瓦斯赋存及涌出规律,模拟中将掘进头瓦斯涌出设置为源项。根据瓦斯涌出量,以长 0.5 m 的煤体模拟瓦斯涌出。根据掘进时的瓦斯涌出量, $q=2.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 计算得工作面需风量为 $360 \text{ m}^3/\text{min}$,风筒出口速度为 12 m/s 。

经实际监测,掘进巷道 CH₄ 浓度短时间内增加,质量分数高达 0.017,正常掘进时巷道 CH₄ 质量分数为 0.006。根据组分质量守恒定律,计算出涌出速度为 1.8 m/s 。

边界条件设定如下:

风流入口,即风筒出口 入口速度 12 m/s ,湍流强度为 3.0%,水力直径为 0.8 m。

掘进头瓦斯涌出源项边界条件 多孔介质,孔隙率为 0.2,CH₄ 涌出量为 $2.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

出口边界 巷道自由断面处,设为自由出口。

油型气入口边界条件 入口速度 1.8 m/s ,湍流强度为 4.35%,水力直径为 0.3 m,CH₄ 质量分数为 0.9。

所有壁面采用无滑动边界条件。

结合所选择的主控方程,选择隐式分离三维稳

定流求解器,速度采用绝对速度;用 SIMPLEC 算法求解流速和压力耦合;采用 Realizable $\kappa-\varepsilon$ 双方程模型;压力场采用标准离散方式。

2.2 模拟结果及分析

以下所有分析皆以 $x=1.8$ (巷道中轴切面)平面风流流场矢量图及 CH₄ 浓度分布云图为依据。图 2、图 3 分别显示了无油型气涌出及涌出点 a、b、c、d、e 的风流流场矢量图及 CH₄ 浓度分布云图。

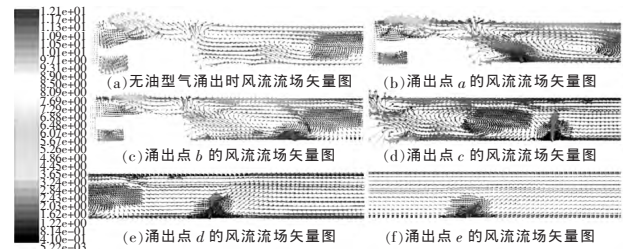


图2 风流流场矢量图模拟结果总汇

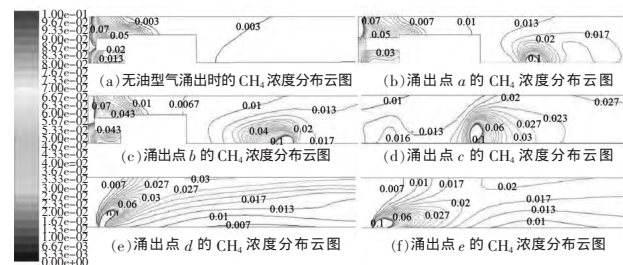


图3 CH₄浓度分布模拟结果总汇

(1) 无油型气涌出时掘进工作面情况

从无油型气涌出时的风流流场矢量图可以看出,由于掘进机对风流的干扰,在掘进面至掘进机前方形成明显的涡流,掘进机后方上部存在小涡流,掘进机后方约 5 m 处有一个纵向大涡流。对应无油型气涌出时的 CH₄ 浓度分布云图,掘进头上部的 CH₄ 浓度较高,高达 7%,在 CH₄ 爆炸极限内。巷道 CH₄ 浓度在 0.33%~0.67%,符合规定。

(2) 有油型气涌出时掘进工作面情况

涌出点 a 处于大涡流前端,CH₄ 涌出风流改变了原本的风流流场,涌出点前方,掘进机后方形成了小涡流。对应其 CH₄ 浓度分布云图,在风流的带动下,CH₄ 很快扩散并充满整个巷道,在涌出点后 3 m 内与巷道风流基本混合均匀。风流稳定之后,巷道 CH₄ 浓度为 1.7%。

涌出点 b 处于大涡流的中后位置,风流在涌出点是向掘进方向运动,因此 CH₄ 也是随风流向工作面方向扩散,扩散范围与涡流大小一致。在涡流后方,CH₄ 与巷道风流基本混合均匀。由此可以基本判断 CH₄ 的扩散与风流运动密切相关。

涌出点 c 处于大涡流的后方,巷道风流与水平呈约 60° 的夹角向下,遇到涌出风流后,小部分回流,

对应其 CH₄ 浓度分布云图,涌出点前方约 5 m 处(涡流所在区域)有浓度为 1.3% 以上的 CH₄ 积聚现象。

涌出点 *d*、*e* 处于基本稳定的风流流场,其风流流场矢量图与 CH₄ 浓度分布云图都极为相似,巷道上部 CH₄ 浓度较高,分析其原因,一是油型气涌出有一点初始向上速度,且油型气的主要成分甲烷的密度较空气小;二是此时巷道风流流向趋于稳定。

各截面 CH₄ 的最高浓度如表 1 所示,从表中可以看出各个涌出点 CH₄ 扩散的影响范围。涌出点 *c* 的影响范围最广,*c* 点前、后 5 m CH₄ 浓度都较高。*c*、*d*、*e* 点 CH₄ 浓度在巷道中皆有分层现象。*a*、*b* 点 CH₄ 浓度无分层现象,为了探究在长距离巷道中是否会因为 CH₄ 密度较空气小而逐渐聚集在巷道上部,将巷道长度设置为 200 m,其他条件不变。模拟结果显示,在稳定轴向流动中,CH₄ 不会因浮升力作用向上部积聚。

表 1 掘进巷道断面 CH₄ 最高浓度统计表

涌出点	距工作面不同距离处截面最大 CH ₄ 浓度/%									
	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m	40 m	45 m	50 m
<i>a</i>	1.7	10	2	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
<i>b</i>	2	1.7	10	2	2	2	2	1.7	1.7	1.7
<i>c</i>	1.7	0.7	4.3	10	3.7	3	2.7	2.7	2.7	2.7
<i>d</i>	1.3	0.7	0.7	4.3	10	3.7	3	3	3	2.7
<i>e</i>	1	0.7	0.7	0.7	0.7	10	2.7	2.3	2	2

通过观察无油型气涌出时掘进巷道的风流流场,及模拟设定的 5 个涌出点的位置(见图 4),做出如下讨论:涌出点 *a* 处于掘进机后方涡流区前方,涌出点 *b* 处于涡流区中后方,这 5 处涌出的 CH₄ 风流都会改变巷道风流流场的形态,且充分与巷道风流混合;涌出点 *c* 处于涡流末端,CH₄ 涌出后无法摆脱涡流对其的影响;涌出点 *d* 和 *e* 处于巷道风流较为稳定区域,CH₄ 涌出之后在巷道内有明显的浓度分层,巷道上部浓度最高,往下递减。由此得出,涌出点所处的风流流场对涌出后的扩散起决定性作用。

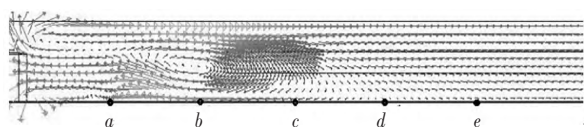


图 4 涌出点在掘进巷道风流流场中所处位置

为验证上述观点,以 *b* 点为例,改变入口风速,模拟出风筒出口速度为 12、15、17 m/s 时,涌出点 *b* 的风流流场矢量图及 CH₄ 浓度分布云图如图 5 所示。从图 3 中可以明显看出,风筒出口速度不同,风

流场及 CH₄ 浓度分布皆有很大区别。

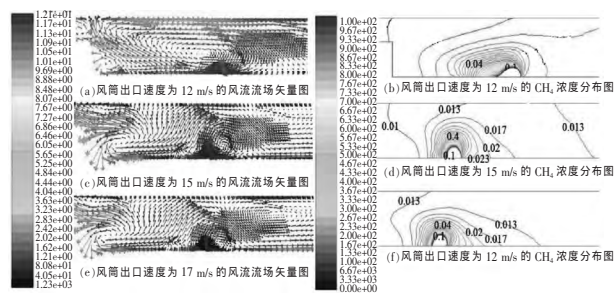


图 5 涌出点 *b* 的风流流场矢量图及 CH₄ 浓度分布云图

3 结语

(1)油型气中的 CH₄ 在不同涌出点的扩散规律不同。在本文的数据背景中,涌出点在风筒出风口位置前方时,能在到达风筒出口截面之前与巷道风流混合均匀;涌出点在风筒出风口位置之后约 6 m 的范围内时,在涡流处会产生小面积的积聚现象;涌出点在距风筒出风口位置约 8 m 后的范围时,油型气顺着风流沿轴向方向运动且不与巷道内的风流均匀混合,巷道上部油型气含量较高,往下呈递减。

(2)CH₄ 在巷道中混合均匀后不会因为其密度较空气小而在巷道上部积聚。

(3)本文设置的变量为涌出点的位置,而本质的影响因素是涌出点所处的风流流场。若因改变风筒出风口的风速或改变风筒位置而改变了风流流场,CH₄ 在同一涌出点涌出后的扩散情况会发生改变。

参考文献:

- [1]折满意,杜新峰. 陕西黄陵煤田侏罗纪煤层气地质条件与勘探开发现状[J]. 陕西煤炭,2013,32(5):35-37.
- [2]封华,徐永亮,任万兴. 焦坪矿区油气伴生特性及其对瓦斯爆炸极限的影响[J]. 矿业快报,2007(7):53-55.
- [3]汤民波. 掘进工作面压入式通风风流流场数值模拟研究[D]. 赣州:江西理工大学,2013.
- [4]高建良,徐昆伦,吴妍. 掘进巷道瓦斯分布数值实验研究[J]. 中国安全科学学报,2009,19(1):18-24.
- [5]候三中,刘德民,李金岭. 掘进工作面煤层渗透率变化对瓦斯涌出量的影响分析[J]. 矿业安全与环保,2010(5):7-10,95.
- [6]梁冰,刘菊南,孙维吉,等. 掘进工作面瓦斯流动规律数值模拟分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2011(4):46-51.
- [7]刘学服,方前程,黄渊跃. 独头煤巷掘进过程中瓦斯分布规律研究[J]. 煤炭科学技术,2012,40(3):62-64,69.
- [8]孙树林,周西华,徐军. 煤矿掘进工作面瓦斯涌出规律研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,2005(1):101-103.

作者简介:张俭让(1963-),陕西岐山人,教授,主要从事通风安全理论、通风系统分析、矿山灾害防治技术的教学与科研工作,电子邮箱:zhaangjr@sohu.com.

责任编辑:张欣 收稿日期:2015-02-11