

# 浅析不同钻孔抽采参数下瓦斯运移问题

和留生

(郑煤集团金龙煤矿,河南 巩义 451200)

**摘要:**为深入探讨不同钻孔影响参数下瓦斯运移规律,本文首先阐述了瓦斯治理方式,然后详细介绍了瓦斯-空气混合气体渗流控制方程,在此基础上,建立了瓦斯抽采数值模型,然后通过该模型对不同瓦斯抽采负压等情况下瓦斯运移特点与趋势,以期能够为今后深入研究瓦斯抽采参数问题提供参考依据。

**关键词:**瓦斯运移;瓦斯治理;混合气体渗流控制方程

**[DOI]**10.12231/j.issn.1000-8772.2021.02.179

## 1 引言

长期以来,煤炭一直是国内经济发展中极其重要的能源,伴随经济的不断发展,我国煤炭产量也在不断提高,与此同时,也引发了一系列的负面问题。由于煤矿开采不断向深部推进,矿井经常发生瓦斯事故,这在很大程度上制约着井下作业的安全性,有时候还会造成人员伤亡,到目前为止,瓦斯抽采是井下常用来治理该类问题的重要措施。为探讨不同钻孔影响参数下瓦斯运移特点以及趋势,理论领域专家人士展开了积极的研究,积累了许多有益成果。许满贵等深入研究了综采空区瓦斯运移趋势与抽采问题,他们主要通过 Fluent 数值模拟的方法,对相关参数进行了研究。刘少博以新义矿为研究对象,探讨了顺层抽采钻孔瓦斯运移趋势与相关方法,首先阐述了其漏气原理,然后按照当前的封孔方法,提出一种新的方法-带压注浆+聚氨酯封孔工艺。为充分了解煤矿井下瓦斯情况,更好地治理井下瓦斯,避免由于瓦斯而引发安全事故,笔者通过 Comsol Multiphysics 数值模拟的方式,仔细分析了不同钻孔抽采参数下瓦斯运移特点以及趋势。

## 2 瓦斯治理方式

当前,国内大多数矿井在经营运作过程中均存在着瓦斯抽采的难题。同时,相关统计数据 displays,在所有的煤矿井下安全事故中,由于瓦斯而引发的事故占有很大的比例,并且还造成了严重的后果,一方面影响到井下作业的顺利进行,另一方面,还会造成井下作业人员的伤亡,影响到一个家庭的幸福。因此,如何顺利抽采井下瓦斯,已经成为今后迫

切需要解决的重大问题。本文选择某地的 20 个矿井为研究对象,对它们展开深入的调查研究,重点是调查它们在生产实践中采用的瓦斯治理方式,这些矿井有的选择地面钻井抽采的模式,还有部分煤矿在实践中引入了高位巷和钻孔预抽等技术手段,由此可以看出,矿井在治理瓦斯过程中基本上通过瓦斯抽采的方法来进行。

## 3 瓦斯-空气混合气体渗流控制方程

为便于我们的研究,有必要引入以下几个方程:

(1)瓦斯-空气混合气体渗流控制方程。气体的质量守恒方程具体如下所示:

$$\frac{\partial m_{\kappa}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_{\kappa} q_{\kappa}) = 0$$

对于上面的方程,t用来指代时间; $M_{\kappa}$ 用来指代 $\kappa$ 气体的质量; $\rho_{\kappa}$ 用来表示其密度; $q_{\kappa}$ 用来表示其渗流速度;如果满足以下条件 $\kappa=1$ ,那么就表示这种气体是瓦斯;如果满足如下关系式: $\kappa=2$ ,在这种情况下,则说明这种气体是空气。

通过对煤层瓦斯分析可以得知,它包含以下两种类型:吸附瓦斯和游离瓦斯。关于瓦斯质量 $m_1$ ,具体可以通过以下的式子进行求解:

$$m_1 = \rho_{\kappa} \varphi + \rho_{\kappa}^a \rho_c \frac{V_L P_1}{P_1 + P_L}$$

对于上面的方程, $P_L$ 、 $V_L$ 两者分别用来指代朗格缪尔压力与常数;

$\rho_c$  与  $\varphi$  分别用来指代煤体密度与孔隙率; $p_1$  为瓦斯压力; $\rho_g^a$  为标况下的瓦斯密度。

而关于空气质量  $m_2$ , 具体可以通过以下的式子进行求解:

$$m_2 = \rho_2 \varphi$$

而对于气体密度  $\rho_k$ , 具体可以通过以下的式子进行求解:

$$\rho_k = \frac{p_k M_k}{RT}$$

对于上面的方程,  $p_k$  与  $T$  分别用来指代气体的压力与温度;  $R$  与  $M_k$  分别用来指代气体摩尔常数与质量。

(2) 氧气扩散对流方程。多孔介质氧气扩散对流方程具体情况如下所示:

$$\frac{\varphi \partial c_{O_2}}{\partial t} + \nabla \cdot (-\varphi D_{O_2} \nabla c_{O_2}) + \bar{q} \nabla c_{O_2} = w_{O_2}$$

上面的方程中,  $q$  为空气-瓦斯混合气体渗流速度;  $w_{O_2}$  为源汇项;  $C_{O_2}$  与  $D_{O_2}$  分别用来指代氧气摩尔浓度与扩散系数。

关于  $q$  的大小, 的具体可以通过以下的式子进行求解:

$$\bar{q} = \frac{2k}{\mu_1 + \mu_2} \nabla \cdot (p_1 + p_2)$$

关于氧气的消耗, 具体可以通过以下的式子进行求解:

$$w_{O_2} = \frac{c_{O_2}}{c_{O_2}^0} \gamma_0 e^{a(T-T_0)}$$

上面的方程中,  $a$  为氧化温度指数;  $T_0$  为实验温度;  $\gamma_0$  与  $c_{O_2}^0$  分别用来指代氧气浓度与消耗速度。

#### 4 构建模型

研究过程中, 我们主要通过 Comsol Multiphysics 数值模拟进行分析, 探讨不同钻孔参数条件下瓦斯抽采中瓦斯运移特点以及趋势。模型中主要包括以下诸多个参数, 详细情况如表 1 所示。

#### 5 模拟结果分析

为了解不同钻孔抽采参数下瓦斯抽采浓度, 本文主要从钻孔孔隙率、抽采负压、封孔长度三个参数与抽采浓度之间的关系。

##### 5.1 负压对瓦斯抽采的影响

表 1 模型中的基本参数及其取值

模型参数	数值
朗格缪尔常数 $V_L / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	0.015
气体热传导系数 $K_g / (\text{J} \cdot (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K})^{-1})$	0.026
氧气消耗速率 $\gamma_0 / (\text{mol} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1})$	0.16
瓦斯动力黏度 $\mu_1 / (\text{Ns} \cdot \text{m}^{-2})$	$1.84 \times 10^{-5}$
气体摩尔常数 $R / (\text{J} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1})$	8.314
氧化温度倒数 $\alpha / (^\circ\text{C}^{-1})$	0.0235
氧气扩散系数 $D_{O_2} / (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	$1.4 \times 10^{-4}$
瓦斯摩尔质量 $M_g / (\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1})$	0.016
煤体原始渗透率 $k_0 / \text{m}^2$	$3.8 \times 10^{-16}$
煤体热容 $C_{pg} / (\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1})$	1625
煤体密度 $\rho_c / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	1250
朗格缪尔压力 $P_L / \text{MPa}$	6.019
煤热传导系数 $K_c / (\text{J} \cdot (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K})^{-1})$	0.26
空气动力黏度 $\mu_2 / (\text{Ns} \cdot \text{m}^{-2})$	$1.79 \times 10^{-5}$
对流换热系数 $h_T / (\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1})$	180
参考氧浓度 $c_{O_2}^0 / (\text{mol} \cdot \text{m}^{-3})$	9.37
氧化产热 $Q_T / (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	330
空气摩尔质量 $M_{g2} / (\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1})$	0.029
煤体热容 $C_{pc} / (\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1})$	1260
煤体孔隙率 $\varphi$	0.084
瓦斯密度 $\rho_g / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	0.7

为切实熟悉抽采负压对于整个抽采工作的作用, 此处我们模拟了不同抽采负压下瓦斯抽采浓度分布趋势与特点, 此处设置的负压分别是 5、10、15MPa 三个梯度, 研究发现, 当抽采负压是 5kPa, 时间是 30d, 此时瓦斯抽采浓度达到 52%; 另一方面, 在时间保持固定的条件下, 将负压调整为 10kPa, 此时抽采浓度是 45%; 在时间保持固定的条件下, 将负压调整为 15kPa, 此时对应的抽采浓度只有 39%。通过比较上述各项数据不难看出, 抽采浓度与抽采负压之间存在着一定的负相关性, 也就是抽采负压的数值愈高, 对应的抽采浓度愈低。

##### 5.2 封孔长度对瓦斯抽采的影响

为熟知封孔长度对于整个抽采工作的作用, 此处我们模拟了不同封孔长度下瓦斯抽采浓度分布趋势与特点, 这里设置的负压分别是 8、9、10、11m 总共四个梯度, 研究发现, 封孔长度与瓦斯抽采浓度之间存在着一定的正相关性, 也就是前者的数值越长, 对应的后者数值就高, 瓦斯浓度变化越缓慢, 伴随时间的不断推移, 这一趋势表现的更加明显。

##### 5.3 钻孔孔隙率对瓦斯抽采的影响

为了解孔隙率对于整个抽采工作的作用, 这里我们模拟了不同孔隙率下瓦斯抽采浓度分布趋势与特点, 设置的负压分别是 0.91、1.00、1.11、1.25 总共四个梯度, 研究可知, 当抽采时间为 30d, 钻孔周围煤体的孔隙率为 0.91 时, 瓦斯抽采浓度是 68%, 在时间保持固定的条件下, 孔隙率为 1.25 时, 瓦斯抽采浓度是 37%。通过比较上述各项数据不难看出, 瓦斯抽采浓度与钻孔孔隙率之间存在着一定的负相关性, 也就是钻孔孔隙率越大, 抽采浓度越低。

#### 6 结论

综上所述, 瓦斯事故是煤矿井下常发事故之一, 不仅会影响到井下生产活动的顺利推进, 还会对井下劳动者的身体健康造成负面影响, 严重时甚至会导致人员的死亡。因此, 井下瓦斯治理已经引起了煤矿以及社会各界的广泛关注。而要想确保良好的瓦斯治理效果, 必须要采用科学合理的治理方式, 针对各种矿井进行研究, 分析不同钻孔参数的治理效果。本文首先阐述了瓦斯治理的现状以及采用的主要方式, 然后分析相关方程并进行建模, 通过模拟探讨了不同条件下瓦斯抽采浓度。得到以下主要结论:

(1) 当进行瓦斯抽采时, 抽采浓度与抽采负压之间存在着一定的负相关性, 也就是抽采负压的数值愈高, 对应的抽采浓度愈低。

(2) 封孔长度与瓦斯抽采浓度之间存在着一定的正相关性, 即前者的数值越长, 对应的后者数值就高, 瓦斯浓度变化越缓慢, 伴随时间的不断推移, 这一趋势表现的更加明显。

(3) 瓦斯抽采浓度与钻孔孔隙率之间存在着一定的负相关性, 即钻孔孔隙率越大, 抽采浓度越低。

#### 参考文献

[1] 房新亮, 潘东. 不同钻孔抽采参数下瓦斯运移规律研究[J]. 中州煤炭, 2019, 041(011): 43-46.  
 [2] 赤孟博, 边小涛. 钻孔抽放煤层瓦斯运移规律研究 [J]. 中州煤炭, 2019, 041(004): 60-62.  
 [3] 许江, 苏小鹏, 彭守建等. 卸压区不同钻孔长度抽采条件下瓦斯运移特性试验[J]. 岩土力学, 2018, 039(001): 103-111.  
 [4] 张超, 齐黎明, 张志刚. 低透气性煤层钻孔瓦斯运移及抽放参数研究[J]. 煤炭技术, 2014, 33(009): 5-8.  
 [5] 彭守建, 贾立, 许江等. 不同地应力条件下平行钻孔抽采瓦斯运移特性实验分析[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2019, 042(008): 79-89.  
 [6] 赤孟博, 边小涛. 钻孔抽放煤层瓦斯运移规律研究[J]. 能源与环保, 2019, 41(04): 64-66.

作者简介: 杨磊(1980, 11-), 男, 汉族, 河南虞城人, 本科学历, 助理工程师, 主要从事煤矿生产调度管理工作。