

# 综放工作面煤壁瓦斯动态涌出计算方法研究

王志亮

(华北科技大学 安全工程学院 北京 101601)

**摘要:** 论述了综采放顶煤工作面瓦斯涌出来源及涌出形式,分析了煤壁瓦斯涌出特性,依据煤层瓦斯单向非稳态流动理论建立了煤壁瓦斯涌出数学模型,得出了采煤工作面煤壁瓦斯涌出量计算公式。将计算结果应用于孔庄矿7354采煤工作面,提出了采用采煤循环煤壁平均瓦斯涌出量、割煤动态瓦斯涌出量和割煤最大瓦斯涌出量来预测煤壁瓦斯涌出危险性的分析方法,为矿井生产布置、通风安全管理及瓦斯防治提供了理论依据。

**关键词:** 综放工作面;煤壁;瓦斯涌出量;瓦斯涌出特性

中图分类号: TD712 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2013)06-0054-04

## Study on Calculation Method of Gas Dynamic Emission from Coal Wall of Fully Mechanized Caving Face

WANG Zhi-liang

(School of Safety Engineering, North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China)

**Abstract:** The paper stated the gas emission sources and emission mode of the fully mechanized top coal caving mining face, the paper analyzed the gas emission features of the coal wall. According to the unidirectional unsteady flow theory of the seam gas, a numerical model of the gas emission from the coal wall was established and a calculation formula of the gas emission from the coal wall of the coal mining face was obtained. With the calculation results applied to No. 7354 coal mining face in Kongzhuang Mine, the paper provided the analysis method to predict the gas emission danger of the coal wall with the average gas emission value of wall in one mining cycle, dynamic gas emission value and max gas emission value while cutting coal in order to provide theoretical basis to the mine production layout, mine ventilation safety management and gas prevention and control.

**Key words:** fully mechanized caving face; coal wall; gas emission value; gas emission features

## 0 引言

综放工作面瓦斯预测是预防矿井瓦斯事故的重要环节,是进行矿井生产布局、通风设计、制定瓦斯防治措施和矿井安全管理的基础<sup>[1-3]</sup>。近年来,由于采煤装备水平的不断提高,作为高产高效集约化矿井重要技术手段的综采放顶煤工艺,在国内主要生产矿井中被广泛应用。随着矿井开采深度的增加,煤层瓦斯含量增大,同时综放工作面推进速度快、生产强度大,瓦斯超限问题日趋突出,瓦斯隐患已成为影响采煤作业正常生产的主要制约因素,而确定科学合理的瓦斯涌出量计算方法是现场工程技

术人员面临的主要问题<sup>[4-5]</sup>。对综采放顶煤工作面而言,其瓦斯涌出来源主要有:工作面煤壁瓦斯涌出、采落煤瓦斯涌出、放落煤块瓦斯涌出、采空区遗煤瓦斯涌出、支架上方压裂顶煤的煤壁瓦斯涌出、围岩及邻近层瓦斯涌出等几个方面。其中工作面煤壁、采落煤和放落煤的涌出瓦斯直接与工作面风流混合;而采空区遗煤、支架上方压裂顶煤、围岩及邻近层涌出的瓦斯汇聚于采空区,一部分随工作面推进永久性积存于采空区冒落带和裂隙带区域内,一部分随采空区漏风由工作面回风隅角涌出。以往对采煤工作面瓦斯涌出量预测的研究主要针对混合总量的分析和推断,而针对不同的瓦斯涌出源进行计

收稿日期: 2013-03-10; 责任编辑: 王晓珍

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(AQ1201B)

作者简介: 王志亮(1971—),男,山西阳泉人,副教授,博士。Tel: 13931641124, E-mail: friendwzl@163.com

引用格式: 王志亮. 综放工作面煤壁瓦斯动态涌出计算方法研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6): 54-57.

算和预测却缺乏科学的计算方法。煤壁瓦斯涌出不仅随时间具有动态变化的特性,而且与生产工序密切相关,对煤壁瓦斯涌出量所占比例较大的矿井,煤壁瓦斯涌出规律的研究无疑更具有应用价值。笔者深入探讨了煤壁瓦斯涌出特性和规律,得出采煤工作面煤壁瓦斯涌出量计算公式。结合孔庄矿 7354 综采放顶煤工作面现场应用实际,提出煤壁瓦斯涌出危险性分析方法,为矿井生产、通风管理和瓦斯防治提供理论依据。

## 1 煤壁瓦斯涌出动态特性分析

煤壁瓦斯涌出的动态特性体现在 2 个方面,一方面是瓦斯的涌出具有非稳态特性,另一方面是瓦斯涌出与作业工序有关。瓦斯在煤层中的流动需要 2 个条件,一是要有一定的流动通道,即煤层有一定的透气性;二是煤体中的瓦斯必须具备一定的压力。

在矿井进行采掘工作时,将会破坏煤层中原始应力的平衡状态,导致煤体透气性发生变化,并且改变煤层中原有的瓦斯压力平衡状态,形成瓦斯流场。新暴露煤壁是回采空间瓦斯涌出的主要来源之一,工作面推进速度越快,煤壁预排瓦斯时间就越短,则新煤壁涌出的瓦斯量就越大。

由煤壁涌出的瓦斯大致上均沿着垂直于煤壁的方向,形成方向相同、相互平行的流场,因此可看作单向流动;再者,由于煤层既是瓦斯的来源又是瓦斯流过的通道,随着采掘工作的进行,在煤壁刚暴露时,其附近煤体的瓦斯流动状态极不稳定,流场中任何一点的流速、压力、比流量等参数均随时间发生较大变化。随着瓦斯的流出,瓦斯压力和瓦斯含量不断降低,瓦斯流场不断向内部延伸,瓦斯压力梯度和涌出量随时间减小,当运移瓦斯的动力与瓦斯流经路线的阻力相当时,瓦斯流场停止向煤层内部延伸,此后瓦斯流场范围保持恒定,煤壁瓦斯涌出量的大小仅取决于流场范围内吸附态瓦斯向游离态瓦斯的解吸程度,因此煤壁的瓦斯涌出又属非稳态流动<sup>[6-10]</sup>。

煤壁瓦斯涌出的动态特性还体现在与生产工序密切相关,在割煤工序时段煤壁瓦斯涌出量较大,其他工序时段相对较小,其波动幅度与煤壁瓦斯初始涌出强度和衰减系数直接相关,这种动态变化直接影响工作面通风设计和瓦斯防治措施的制定。

## 2 煤壁瓦斯涌出量计算方法

### 2.1 煤壁瓦斯涌出强度

依据煤层瓦斯流动理论,煤壁瓦斯涌出强度与煤体的透气性系数、瓦斯压力平方梯度成正比,而煤层内某点处的瓦斯压力与煤壁暴露时间、测点至煤壁距离直接相关,由此可建立煤壁瓦斯单向非稳态流动方程与初始条件、边界条件组成的数学模型<sup>[11-13]</sup>。对瓦斯流动方程采用拉氏变换,并将边界条件、初始条件带入后化简,可得煤壁瓦斯涌出强度与暴露时间之间的函数关系,即

$$q = q_0 (1 + t)^{-\beta} \quad (1)$$

式中:  $q$  为煤壁暴露  $t$  时间内单位面积煤壁上的瓦斯涌出强度,  $\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{min})$ ;  $q_0$  为煤壁刚暴露时,单位面积上的初始瓦斯涌出强度,  $\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{min})$ ,由煤层原始瓦斯压力、煤层透气性系数及瓦斯含量系数等瓦斯参数决定;  $\beta$  为煤壁瓦斯涌出衰减系数,  $\text{min}^{-1}$ 。

为求得煤壁初始瓦斯涌出强度和衰减系数,将式(1) 指数关系变换为线性方程形式,即

$$\lg q = \lg q_0 - \beta \lg(1 + t) \quad (2)$$

以  $\lg(1 + t)$  为  $X$  轴变量,以  $\lg q$  为  $Y$  轴变量,则  $\lg(1 + t)$  与  $\lg q$  为直线关系,直线的斜率为  $-\beta$ ,直线的截距为  $\lg q_0$ 。在现场通过实测不同时间  $t_i$  内煤壁的瓦斯涌出强度  $q_i$ ,然后采用最小二乘法对所测定的  $n$  组数据  $(t_i, q_i)$  进行线性回归拟合,将拟合直线延长与  $Y$  轴相交,即可求得煤壁初始瓦斯涌出强度  $q_0$  和衰减系数  $\beta$ 。

### 2.2 煤壁瓦斯涌出量

煤壁瓦斯涌出强度确定后,由式(1) 可得单位面积煤壁在  $t$  时间段内累计的瓦斯涌出量  $Q'$  为

$$Q' = \int_0^t q dt = q_0 \frac{(1 + t)^{1-\beta} - 1}{1 - \beta} \quad (3)$$

若采煤工作面日平均推进速度为  $u$ ,1 个采煤循环进度为  $L_1$ ,则 1 个循环进度内煤壁平均暴露时间  $t_1 = L_1/u$ 。设工作面采高为  $h$ ,工作面长度为  $L$ ,进回风巷道的瓦斯排放宽度为  $L_H$ ,则 U 型工作面煤壁的有效排放面积  $S = h(L - 2L_H)$ ,由此可得出在 1 个循环进度内工作面煤壁累计的瓦斯涌出量  $Q$  为

$$Q = SQ' = h(L - 2L_H) q_0 \left[ \frac{(1 + L_1/u)^{1-\beta} - 1}{1 - \beta} \right]$$

若煤的密度为  $d$ ,工作面采出率为  $C$ ,则由此可

得1个循环进度内煤壁的相对瓦斯涌出量 $Q_r$ 和绝对瓦斯涌出量 $Q_d$ ,即

$$Q_r = \frac{Q}{CdhLL_1} = \frac{(L - 2L_H) q_0}{CdLL_1} \left[ \frac{(1 + L_1/u)^{1-\beta} - 1}{1 - \beta} \right]$$

$$Q_d = \frac{Q}{t_1} = \frac{uh(L - 2L_H) q_0}{L_1} \left[ \frac{(1 + L_1/u)^{1-\beta} - 1}{1 - \beta} \right]$$

### 3 现场应用

#### 3.1 工作面生产概况及煤壁瓦斯涌出参数

孔庄矿7354工作面位于Ⅱ水平,采用单一走向长壁综采放顶煤采煤法,采空区处理方式为全部垮落法。该工作面采用“三八”工作制,中班和夜班生产,两割两放;早班检修,一割一放。工作面倾向长度164 m,巷道预排宽度18 m,煤的密度1.35 t/m<sup>3</sup>,煤层平均厚度为5 m,平均割煤高度2.3 m,放煤高度2.7 m,工作面采出率85%。回采循环进度0.6 m,循环煤量565 t,平均每个循环时间为288 min,每天工作面回采5个循环,推进3 m,工作面日产量2 822 t。

本工作面在放煤期间存在上隅角切顶线区域瓦斯积聚隐患,瓦斯超限成为影响安全生产的主要因素。为深入分析工作面瓦斯来源及其比例关系,以便有针对性地实施瓦斯防治措施,特对工作面各瓦斯涌出参数进行测定和计算,据此对不同形式的瓦斯涌出量进行分析和预测。经现场实测本工作面煤壁瓦斯初始涌出强度 $q_0$ 为0.064 1 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·min),煤壁瓦斯涌出衰减系数 $\beta$ 为0.826 771 min<sup>-1</sup>,由式(1)得出煤壁瓦斯涌出强度动态变化趋势(图1)。

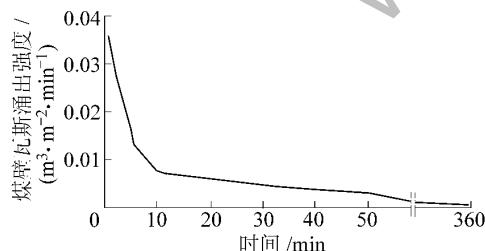


图1 孔庄矿7354工作面煤壁瓦斯涌出强度变化趋势

#### 3.2 采煤循环煤壁平均瓦斯涌出量

依据目前工作面生产条件,每个采煤循环的落煤量为565 t,其中割煤机落煤259.7 t,放落煤304.8 t。按照煤壁瓦斯涌出量计算公式,可得本工作面每个循环内煤壁累计瓦斯涌出量395.2 m<sup>3</sup>,煤壁相对瓦斯涌出量0.699 m<sup>3</sup>/t,绝对瓦斯涌出量

1.37 m<sup>3</sup>/min。

#### 3.3 割煤时段煤壁动态瓦斯涌出量

按照实测得出的煤壁瓦斯涌出强度衰减规律,本工作面新暴露的煤壁在30 min内涌出大部分瓦斯(图1),此后煤壁涌出瓦斯的比例很小。

依据7354工作面循环作业安排,若采煤机连续割煤,则在每个循环中实际割煤时间为100 min左右,煤壁的瓦斯正是在此动态生产时间内几乎全部涌出。为分析工作面在割煤时间段内煤壁动态瓦斯涌出量大小,以工作面割煤工序为研究对象,按照煤壁瓦斯涌出量计算公式可得本工作面在目前的生产状态下,每个作业循环中工作面割煤期间煤壁累计瓦斯涌出量为290 m<sup>3</sup>,煤壁动态瓦斯相对涌出量0.51 m<sup>3</sup>/t,绝对涌出量2.89 m<sup>3</sup>/min。

#### 3.4 割煤时段煤壁最大瓦斯涌出量

由于煤壁瓦斯涌出为非稳定流动,当工作面遇到地质构造、割煤速度加快、围岩应力突变等情况时,煤壁瓦斯涌出量可能会增大。工作面割煤期间的最大瓦斯涌出量与动态瓦斯涌出量的比值称为动态瓦斯涌出不均匀系数。基于孔庄矿7354工作面现场实测数据,该系数为1.2<sup>[14]</sup>,则可得出,每个作业循环中工作面割煤期间煤壁最大瓦斯涌出量为348 m<sup>3</sup>/min,最大瓦斯相对涌出量0.62 m<sup>3</sup>/t,最大瓦斯绝对涌出量3.5 m<sup>3</sup>/min。若实测的工作面煤壁瓦斯涌出量大于该值,则必须停止生产,查明原因,并采取相应措施及时处理。

#### 3.5 煤壁瓦斯涌出量与产量关系

由于工作面煤壁瓦斯涌出量与煤壁暴露时间有关,而煤壁暴露时间取决于割煤速度,因此工作面产量是决定煤壁瓦斯涌出量大小的主要因素。按照孔庄矿7354工作面煤壁瓦斯涌出强度变化规律,可得该工作面煤壁瓦斯涌出量与产量的关系,见表1。

表1 孔庄矿7354工作面煤壁瓦斯涌出量与产量关系

| 日产量/t | 每个采煤循环平均时间/min | 每个采煤循环瓦斯涌出量/m <sup>3</sup> | $Q_r / (m^3 \cdot t^{-1})$ | $Q_d / (m^3 \cdot min^{-1})$ |
|-------|----------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1 694 | 480.00         | 453.49                     | 0.803                      | 0.95                         |
| 1 976 | 411.43         | 435.34                     | 0.771                      | 1.06                         |
| 2 258 | 360.00         | 420.01                     | 0.744                      | 1.17                         |
| 2 541 | 320.00         | 406.78                     | 0.721                      | 1.27                         |
| 2 822 | 288.00         | 395.18                     | 0.699                      | 1.37                         |
| 3 105 | 261.82         | 384.86                     | 0.682                      | 1.47                         |
| 3 387 | 240.00         | 375.60                     | 0.665                      | 1.56                         |

### 3.6 工作面煤壁瓦斯涌出规律分析

从现场测试结果可知, 孔庄矿7354工作面煤壁瓦斯涌出强度符合负指数变化规律, 且其衰减速度较快, 实测的衰减系数 $\beta$ 为 $0.826771\text{ min}^{-1}$ , 则可推算出新暴露的煤壁在初始10 min内瓦斯涌出强度衰减至初始强度的13.3%, 30 min内衰减至初始强度的6.2%。因此在煤壁暴露初期30 min内是防治煤壁瓦斯超限的关键阶段, 在该时期必须保证足够的风量, 煤壁附近严禁出现一切火花, 必须加强煤壁瓦斯的检测工作。

从煤壁瓦斯涌出量计算方法来看, 平均瓦斯涌出特性是从宏观角度, 按照工作面平均推进度进行计算, 其结果反映了工作面煤壁平均瓦斯涌出量的大小; 动态瓦斯涌出特性是基于工作面割煤时段, 分析煤壁瓦斯在短时间内的涌出量大小, 反映了工作面生产班时的瓦斯涌出特性, 也是工作面进行通风设计、瓦斯抽采、风量调节等现场工程的基础依据。最大瓦斯涌出特性是以动态瓦斯涌出量为基础, 同时考虑瓦斯涌出不均匀系数为1.2时的瓦斯涌出量, 在正常的生产条件下, 工作面瓦斯涌出量不应超过该值。孔庄矿7354工作面煤壁动态瓦斯涌出量为 $2.89\text{ m}^3/\text{min}$ , 是平均瓦斯涌出量的2.11倍, 说明在割煤作业工时段, 煤壁瓦斯涌出增加较大, 但不应超过煤壁最大瓦斯涌出量 $3.5\text{ m}^3/\text{min}$ , 否则必须及时查找原因进行处理。

工作面产量的变化影响采煤循环时间, 但不影响割煤工时段的时间, 因此产量变化仅对煤壁平均瓦斯涌出量产生影响。从计算结果看, 孔庄矿7354工作面若从目前的产量 $2822\text{ t/d}$ 增加到 $3387\text{ t/d}$ , 煤壁平均绝对瓦斯涌出量则从 $1.37\text{ m}^3/\text{min}$ 增加到 $1.56\text{ m}^3/\text{min}$ , 产量和煤壁平均绝对瓦斯涌出量增加的比例基本相同。由于煤壁动态瓦斯涌出量的限制, 若不考虑其他因素的影响, 目前7354工作面产量最大只能增加2.11倍, 即最高日产量 $5954\text{ t}$ , 超过此产量则必须重新修订工作面通风参数。

根据7354工作面现场实测数据<sup>[14]</sup>: 工作面风量 $700\text{ m}^3/\text{min}$ , 检修班工作面机尾瓦斯体积分数为0.12%, 距回风口20、40、70、90 m左右的瓦斯体积分数分别为0.11%、0.08%、0.07%、0.05%, 工作面瓦斯浓度变化趋势符合式(1)反映出的煤壁瓦斯涌出规律。若工作面平均瓦斯体积分数按照0.1%来计算, 则此时工作面实际瓦斯绝对涌出量为0.7

$\text{m}^3/\text{min}$ , 按照笔者介绍的计算方法得出的平均瓦斯绝对涌出量为 $0.699\text{ m}^3/\text{min}$ , 二者非常接近, 说明该分析方法符合现场实际情况, 可以用来作为孔庄矿现场通风设计和瓦斯防治工作的理论依据。

## 4 结 论

1) 煤壁瓦斯涌出过程属单向非稳态流动, 当运移瓦斯的动力与瓦斯在煤体内流动的阻力相等时, 瓦斯流场的范围不再发生变化。

2) 煤壁瓦斯涌出强度与煤壁暴露时间之间具有负指数函数关系, 由此可得出任意时刻煤壁瓦斯累计涌出量、相对涌出量和绝对涌出量。

3) 采用煤壁瓦斯动态涌出计算方法分析采煤工作面瓦斯涌出特性时, 可分别从采煤循环煤壁平均瓦斯涌出量、割煤时段煤壁动态瓦斯涌出量和割煤时段煤壁最大瓦斯涌出量三个层次计算煤壁瓦斯的涌出特性, 并将其与产量的关系相关联, 从而可为生产设计和瓦斯防治提供依据。

## 参考文献:

- [1] AQ 1018—2006 矿井瓦斯涌出量预测方法 [S].
- [2] 赵建会, 孙榕鸿. 矿井回采工作面瓦斯涌出量预测新途径 [J]. 西安科技大学学报, 2011, 31(6): 708-710.
- [3] 朱秀社, 祁其德, 韩德明. 综放工作面瓦斯异常涌出及综合治理技术 [J]. 能源技术与管理, 2005(4): 7-9.
- [4] 何利文. 煤矿回采工作面瓦斯涌出非线性特性分析及预测仿真理论研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [5] 张兴华, 李德洋, 尚作铁. 高产高效工作面的瓦斯涌出量预测方法及其应用 [J]. 煤矿安全, 2001, 32(4): 35-37.
- [6] 范满长, 杨胜强, 王国臣. 综采面瓦斯来源与浓度分布单元法测定及分析 [J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(3): 23-27.
- [7] 李明辉. 开滦赵各庄矿综放工作面瓦斯涌出特征分析与治理 [J]. 河北能源职业技术学院学报, 2010(2): 67-68.
- [8] 胡殿明, 林柏泉. 煤层瓦斯赋存规律及防治技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [9] 周世宁, 林柏泉. 煤层瓦斯赋存与流动理论 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [10] 俞启香. 矿井瓦斯防治 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992.
- [11] 陈瑞端, 鲜学福. 回采工作面煤层气涌出量和涌出强度的研究 [J]. 矿业安全与环保, 2004, 31(5): 1-3.
- [12] 张进. 矿井瓦斯涌出及瓦斯流动预测的统计研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2005.
- [13] 俞启香, 王凯, 杨胜强. 中国采煤工作面瓦斯涌出规律及其控制研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2000, 29(1): 10-14.
- [14] 朱锴, 朱建芳, 王志亮, 等. 孔庄矿深部综放工作面回采期间瓦斯与火灾综合防治技术研究 [R]. 北京东燕郊: 华北科技大学, 2006.