

采空区瓦斯弥散流场的研究

何启林

(淮南矿业学院资管系 淮南 232001)

摘要 通过对瓦斯在采空区流动机理及分布规律的研究,建立了相应的数学模型及其解算方法,并结合应用实例进行了分析。该研究对现场采空区瓦斯管理有一定指导意义。

关键词 紊流机械弥散 扩散 瓦斯浓度

中图法分类号 TD 712.51

作者简介 何启林,男,1963年生,讲师,硕士,现从事通风与安全工程方向的教学和研究工作。

Studies on the Gob Dispersion Flow Field/He Qilin//Dept. of Resources & Management, Huainan Mining Institute, Huainan 232001

Abstract According to the theoretical studies of gas flow and regularity of distribution in the gob, a relative mathematical model is built and its way of solution is obtained. The research has provided some methods to the gob gas control on the spot by some examples.

Keywords turbulent flow mechanical dispersion; diffusion; gas density

0 前言

瓦斯从煤层中涌出与采空区冒落岩石缝隙中的空气相混合后,会出现流动和扩散现象,这样就使采空区瓦斯分布呈现有规则的分布。研究采空区瓦斯浓度分布规律,对防止采空区瓦斯突然涌出、预防自燃发火、改进采场通风、提高采空区瓦斯抽放率等,将起到积极的作用。

1 瓦斯弥散的理论基础

在采空区中,由于冒落拱形成的漏风通道是复杂系统,含有瓦斯的气流,在流动过程中会不断被岩石分流而沿着弯曲的路径流动,流动路径中各局部速度的大小和方向都不会相同,而形成了复杂的流动,这种流动可以分为两种气体运动的迭加。

其一是紊流机械弥散运动。含有一定浓度的瓦斯气流,沿流动方向前进,弥散范围逐渐变大,浓度梯度就逐渐变小,如图1。从微观角度看,气体流经多孔介质时被分流,造成微观速度不均匀,而引起的瓦斯迁移。

其二是气体扩散运动。由于气体分子的热运动就形成宏观上的气体扩散。

2 数学模型建立

假设采空区滤流场与瓦斯浓度分布流场都是二维稳定流场。根据瓦斯弥散方程与质量守恒定律建立了瓦斯浓度分布流场的数学模型。

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial x^2} + \frac{\partial P}{\partial y^2} = 0 \\ v_x \frac{\partial C}{\partial x} + v_y \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{xy} \frac{\partial C}{\partial x} + D_{yy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) - I_{CH_4} = 0 \\ \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0 \\ C(u=r_1) = C_1 \text{ 在已知瓦斯浓度的 } r_1 \text{ 边界上} \\ C(u=r_2) = 0 \text{ 在无漏风无瓦斯涌出的 } r_2 \text{ 边界上} \\ P(n=k) = P_0 \text{ 在已知压力的边界点 } k \text{ 上} \end{cases}$$

式中, v_x 、 v_y - 分别为采空区沿 x 轴与 y 轴方向风速, m/s ; P - 采空区内空气压力, mmH_2O ; C - 采空区瓦斯浓度, %; D_{ij} - 气体沿 i 方向流动时, 沿 j 方向的弥散系数。

据文献 1:

$$D_{ij} = a_i \cdot \delta_{ij} \cdot v + (a_i - a_i) \cdot v_i \cdot v_j / v$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{当 } i = j \\ 1 & \text{当 } i \neq j \end{cases}$$

D_{ij} 计算式中, v - 渗流速度模; a_k 、 a_i - 纵向和横向弥散度。此数据是 Dejong 和 Sahman 通过因式分析与实验相结合, 对多孔各向同性介质内的弥散现象进行大量实验而得到的数据, 具体可查文献 1 获得。

I_{CH_4} - 采空区单位体积的遗煤释放瓦斯量, 取破碎煤样在实验室模拟现场实测获得。

3 数学模型的模拟解算

瓦斯弥散方程的求解方法是采用伽辽金有限算法, 主要分为三大步骤: 第一步, 将采空区按一定比例划成若干个三角形单元, 并输入有关边界条件。第二步, 调用解算采空区滤流场的子程序算出各单元分支的风速。第三步, 将解算出来的风速作为已知条件解算瓦斯弥散方程。本解算程序是采用《FORTRAN 77》语言编写的, 具体解算步骤见图 2。

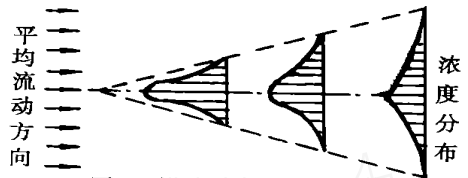


图 1 沿流动方向出现弥散现象的气体的浓度变化

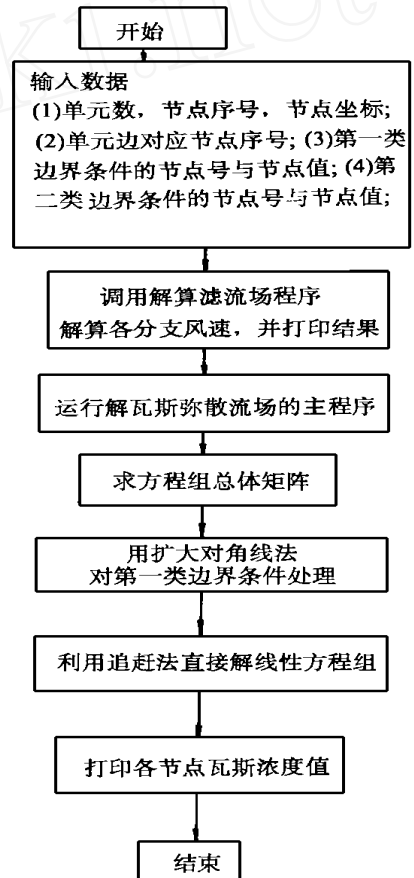


图 2

4 示例解算

设某长壁采煤工作面长 120m, 采空区冒落带走向长为 200m, 采高为 2m, 煤层顶板岩石为中硬粘土页岩, 采空区有一漏风源 (a) 和漏风汇 (b), 如图 3 所示。

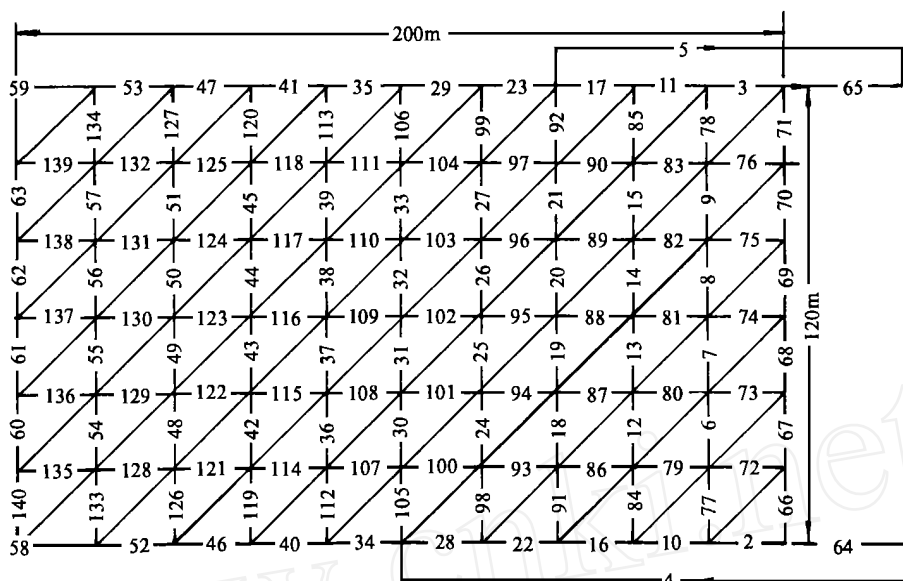


图 3

将采空区分成边长为 $\Delta L = 20\text{m}$ 等腰三角形单元, 将各分支和节点分别编以序号, 图 3 中数字代表三角形单元沿横向与纵向边的编号; 图 4、5 中数字代表三角形单元节点号; 图 4 中, 节点 29 与节点 37 分别是采空区通上下风巷未封闭的联络眼, 进风联络眼风速为 0.5m/s , 回风联络眼风速为 0.3m/s , 工作面各节点相对风压差, 可用阻力测定的方法获得。放顶前, 事先在工作面上、下顺槽埋几根钢管, 以测定采空区部分地点的瓦斯浓度, 具体解算的已知条件见表 1。解算结果见表 2、表 3。

表 1

节点号	2	3	4	5	6	7	8	9	15	22	23	29	37
相对压力值 mmH_2O	20.5	17.1	13.7	10.2	6.8	3.4	0	0.31	0.41	0.82	0.62	0.1	19.2
节点号	2	9	15	16	22	29	37						
瓦斯浓度 %	0	0.96	1.28	1.51	1.63	1.18	0						

根据解算结果作出采空区瓦斯流场见图 4 与瓦斯浓度分布见图 5。

5 主要结论

(1) 从采空区流线分布图与瓦斯浓度分布图, 可以看到采空区空气流动的趋向, 结合分支的风速与瓦斯浓度, 可以判断采空区向工作面涌出的瓦斯量, 以及其它有害气体流动

情况。

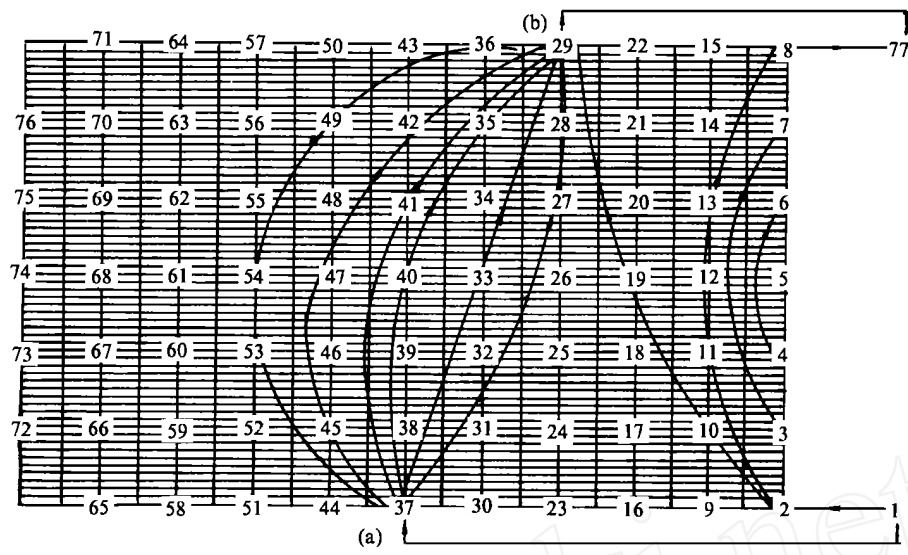


图 4

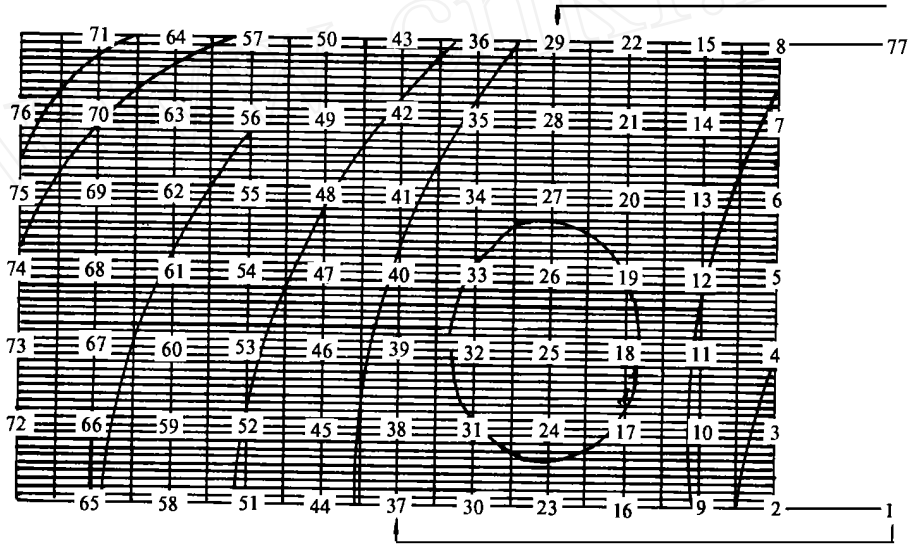


图 5 采空区瓦斯浓度分布图

- (2) 据参考文献 6 知, 采空区煤能自燃的漏风风速范围一般为 $0.001 \sim 0.02 \text{ m/s}$ 。若采空区某区域中风速在上述范围内条带数较多, 且处于该种漏风状态时间大于煤层自燃发火期, 瓦斯浓度又在爆炸范围内, 则该区域就具有煤炭自燃与采空区发生瓦斯爆炸的危险性。
- (3) 采空区的外部漏风条件变化时瓦斯弥散流场影响非常明显。因此充分了解瓦斯弥散流场的变化规律, 对控制采空区瓦斯涌出具有重大意义。

表 2 瓦斯浓度分布

节点号	瓦斯浓度 %	节点号	瓦斯浓度 %	节点号	瓦斯浓度 %
2	0.00	27	2.10	52	4.78
3	0.22	28	1.43	53	5.21
4	0.61	29	1.18	54	6.21
5	0.68	30	1.15	55	7.32
6	0.82	31	2.34	56	9.12
7	0.93	32	2.56	57	12.73
8	0.23	33	2.53	58	7.28
9	0.96	34	2.92	59	7.68
10	0.94	35	2.73	60	8.13
11	0.98	36	3.31	61	8.67
12	1.08	37	0.00	62	9.53
13	1.25	38	0.84	63	11.42
14	1.53	39	1.24	64	13.25
15	1.28	40	1.69	65	9.32
16	1.51	41	3.21	66	9.58
17	1.87	42	4.75	67	10.37
18	2.56	43	5.35	68	10.76
19	2.49	44	3.32	69	11.34
20	2.23	45	3.46	70	13.15
21	1.48	46	3.84	71	15.62
22	1.63	47	4.43	72	10.68
23	1.85	48	5.04	73	11.36
24	2.62	49	6.82	74	12.89
25	2.84	50	9.16	75	13.83
26	2.73	51	4.76	76	15.32

表 3 采空区各单元边的漏风风速

编号	风速 m/s	编号	风速 m/s	编号	风速 m/s
2	- 0.0013	8	0.0028	12	0.0022
3	- 0.0381	9	0.0030	13	0.0018
6	0.0032	10	0.0035	14	0.0029
7	0.0031	11	0.0010	15	0.0021

续表 3

编号	风速 m/s	编号	风速 m/s	编号	风速 m/s
16	0.0011	49	0.0004	84	0.0016
17	0.0017	50	0.0005	85	0.0028
18	0.0021	51	0.0003	86	0.0012
19	0.0023	52	0.0003	87	0.0018
20	0.0026	53	- 0.0002	88	0.0016
21	0.0027	54	0.0002	89	0.0015
22	- 0.0130	55	0.0003	90	0.0016
23	- 0.0015	56	0.0002	91	0.0021
24	0.0021	57	0.0003	92	0.1243
25	0.0025	58	0.0001	93	- 0.0013
26	0.0027	59	0.0000	94	- 0.0018
27	0.0029	60	0.0001	95	- 0.0022
28	- 0.0011	61	0.0001	96	- 0.0025
29	- 0.0013	62	0.0001	97	- 0.0031
30	0.0024	63	0.0001	98	0.0019
31	0.0021	66	0.0051	99	0.0024
32	0.0020	67	0.0060	100	- 0.0026
33	0.0017	68	0.0059	101	- 0.0023
34	0.0011	69	0.0056	102	- 0.0018
35	- 0.0012	70	0.0055	103	- 0.0015
36	0.0008	71	0.0063	104	0.0014
37	0.0007	72	0.0041	105	0.0956
38	0.0008	73	0.0043	106	0.0011
39	0.0009	74	0.0028	107	0.0009
40	0.0005	75	- 0.0044	108	0.0008
41	- 0.0004	76	- 0.0046	109	- 0.0006
42	0.0006	77	0.0035	110	- 0.0008
43	0.0007	78	0.0023	111	- 0.0009
44	0.0006	79	0.0018	112	0.0008
45	0.0005	80	0.0015	113	0.0007
46	0.0004	81	0.0012	114	0.0006
47	- 0.0004	82	- 0.0017	115	0.005
48	0.0005	83	- 0.0024	116	0.006

续表 3

编号	风速 m/s	编号	风速 m/s	编号	风速 m/s
117	- 0.0007	125	- 0.0004	133	0.0002
118	- 0.0008	126	0.0005	134	0.0003
119	0.0005	127	0.0004	135	0.0008
120	0.0006	128	0.0003	136	0.0009
121	0.0003	129	0.0003	137	- 0.0009
122	0.0004	130	- 0.0002	138	- 0.0008
123	0.0004	131	- 0.0003	139	- 0.0008
124	- 0.0005	132	- 0.0004		

注: 表中风速值为负的表示风流方向与原假定方向相反。

参考文献

- 1 贝尔·J 著. 多孔介质流体力学. 中国建筑工业出版社, 1993
- 2 黄伯轩. 采场通风与防火. 煤炭工业出版社, 1991
- 3 吴中立主编. 矿井通风与安全. 中国矿大出版社, 1988
- 4 Chung, T. J. 著. 流体动力学的有限元分析. 电力工业出版社, 1980
- 5 阿拉文·B.H, 努美夫著·C.H. 滤流理论. 高等教育出版社, 1960
- 6 王省身, 张国枢编著. 矿井火灾防治. 中国矿业大学出版社, 1990