

文章编号:0253-9993(2007)09-0950-05

影响晓南矿未开采煤层瓦斯赋存的地质因素

张振文, 高永利, 代凤红, 刘国兴, 费贤俊

(辽宁工程技术大学 资源与环境工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 为了解决晓南矿二水平未开采煤层的安全开采问题, 以14号煤层为例, 系统地分析了影响瓦斯赋存的地质因素. 采用灰色关联方法, 对各影响因素进行了研究, 建立了灰色关联模型, 并计算出各项因素的关联度. 研究表明: 影响晓南矿14号煤层瓦斯赋存的主要地质因素为煤的变质程度、地质构造、岩浆岩侵入、煤层厚度及煤层埋深等因素, 并用多元回归对其进行了瓦斯含量预测, 为二水平煤层的安全开采提供了基础资料.

关键词: 瓦斯赋存; 灰色关联; 地质因素

中图分类号: TD712.2 **文献标识码:** A

The geologic agent affecting the gas occurrence of the coal seam unmined in Xiaonan coal mine

ZHANG Zhen-wen, GAO Yong-li, DAI Feng-hong, LIU Guo-xing, FEI Xian-jun

(Resource and Environment Engineering Department, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In order to solve the safe mining question of the coal seam unmined which is in the second level in Xiaonan coal mine, took the No. 14 coal seam as an example and analysed the geologic agent systematically which influence the gas hosting. By using the gray connection method, it made a study of each influencing factor, established the gray connection model and calculated the degree of association of the influencing factors. The result indicates that the main geologic agent which influence the gas hosting of the No. 14 coal seam in Xiaonan coal mine are the grade of coal metamorphism, the geologic structure, magmatite ingress, the coal seam thickness and the buried depth of coal seam, etc, then it forecasts the gas content by multiple regression, it provides the basic data about the safe mining of the coal seam in the second level.

Key words: gas hosting; gray connection; geologic agent

铁法矿务局晓南矿是核定生产能力为2.25 Mt/a的现代化大型矿井. 晓南井田为侏罗系含煤岩系, 含主要可采煤层4层, 自上而下编号分别为4, 7, 14, 15₁. 根据已开采的4, 7号煤层的瓦斯含量及各类指标参数的测定, 将晓南矿确定为高瓦斯矿井. 随着开采水平的延深, 煤层瓦斯含量及矿井瓦斯涌出量将不断提高, 增加了第2水平下含煤组14, 15₁号煤层开采发生瓦斯灾害的危险性. 因此有必要加强第2水平下含煤组煤层瓦斯含量状况的研究, 其实质也是进行影响煤层瓦斯赋存状况的地质因素研究.

1 含煤岩系沉积环境和围岩透气性特征

1.1 含煤岩系沉积环境

晓南井田煤系地层, 尤其是14号煤层的沉积环境, 主要是扇三角洲(冲积扇-河流-湖缘三角洲)

相、湖泊相。煤层形成后，其沉积充填速度大于沉降速度，古地理景观出现周期性盆内碎屑体系衰退或废弃，是大面积沼泽-泥炭沼泽化的聚煤环境。为煤层中瓦斯的生成提供了丰富的物质基础，其煤层厚度较大，分布较广，且较稳定，有利于瓦斯的赋存。

1.2 煤层围岩透气性

14号煤层的直接顶岩性在NWW，SEE方向上呈条带分布，西南部、南部主要为由泥岩、碳质泥岩复合层砂质泥岩，渗透性差，瓦斯易保存，故瓦斯含量较大；中间以细、粉砂岩为主；东部边界也有少量的泥岩、碳质泥岩复合层砂质泥岩；其余的大部分以细、粉砂岩为主，渗透性好，瓦斯易于排放，故瓦斯含量较小（图1）。

底板岩性多为灰黑色的粉砂岩，直接底除少数为泥岩外，很少有其它岩性发育。由以上可看出，14号煤层顶板岩性并不稳定，既有瓦斯难以通过的泥岩屏障；又有易于瓦斯流过的砂岩、砾岩层透气层；底板岩性相对较单一。因此单从顶、底板岩性上来看，14号煤层的瓦斯逸散的难易、瓦斯赋存量的大小应主要与其顶板岩性相对应。

2 地质构造

整个铁法煤盆地是受新华夏系与纬向构造体系的南北向对扭、侧向挤压作用。而晓南井田位于铁法煤田盆地的东部，为向斜盆地的东翼，不利于瓦斯的纵向运移及逸散，使之成为瓦斯顺层运移的停滞地带，致使晓南井田成为铁法煤田煤层瓦斯含量相对较高的地段。

2.1 褶曲

晓南背斜的轴部与其南、北、西部正好是一个完好的马鞍型构造。从岩体力学性质来看，褶曲属于弹性变形，背斜鞍部瓦斯含量比背斜轴部含量高^[1,2]。

封闭的背斜有利于瓦斯的储存，是良好的储气构造。如E₂褶曲，由于受边界大断层的影响，右翼瓦斯含量相对于左翼应较少；W₁褶曲的封闭性较好，有利于瓦斯的赋存，瓦斯含量较高。在简单的向斜盆地构造的矿区，其瓦斯排放往往是比较困难的。宏观上从晓南井田构造纲要图上看晓南背斜的西翼是铁法盆地向斜的东翼，瓦斯排放较困难，而处于边缘另一翼的煤层瓦斯较易逸出，这也与瓦斯含量分布相对应，如图2所示。

2.2 断层

晓南井田大部分断层的走向为NNE向，煤层的展布方向与断层走向一致，表明在泥炭层沉积时就已活动，从而造成了煤层以断层为界的厚度差异。14号煤层现今构造形态均为张扭性正断层；NNE至NE向展布的断裂是井田内最为发育的一组断层，具有雁行排列和同沉积特点，且断层上盘煤层较复杂，夹石层数多且厚度大，但断层面上发育的3组擦痕表明断裂面曾发生过自身复合，又会对瓦斯的逸出产生一定的阻碍作用，在南部断裂与断裂之间表现为NNE向断裂切割NWW向断裂，有利于早期煤层瓦斯的逸散（图2）。

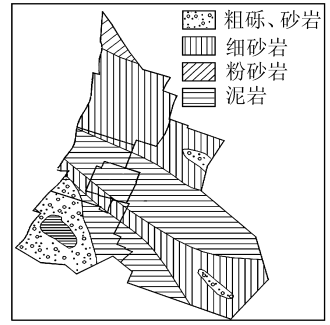


图1 14号煤层直接顶岩性
Fig. 1 Lithology of the immediate roof of No. 14 coal seam

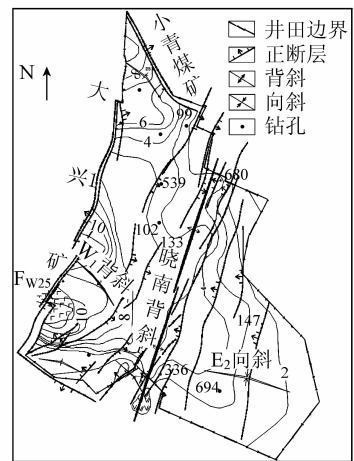


图2 晓南井田构造及瓦斯含量
Fig. 2 Coal mine constitution and gas content of Xiaonan

3 煤层及煤层结构

3.1 煤层埋藏深度及煤层厚度

煤层埋藏深度及煤层厚度是影响瓦斯含量的两个主要因素，且一般与瓦斯含量有一定的正相关关系，晓南井田 14 号煤层属于下含煤段，平均埋藏深度约 550 m，基本上处于晓南井田煤系地层底部，且煤层西部边缘煤层埋藏深度大，东部小；而从煤层厚度上来看，14 号煤层一般为 1.00 ~ 2.50 m，属中厚煤层，煤层厚度稳定系数为 99%。通过对 14 号煤层的 15 个钻孔的实测值（表 1）进行二元回归分析^[3]，得

$$\hat{y}_{14} = -1.8942 + 0.0096x_1 + 1.3411x_2,$$

式中， \hat{y}_{14} 为 14 号煤层瓦斯含量预测值， m^3/t ； x_1 为煤层埋深，m； x_2 为煤层厚度，m。

表 1 14 号煤层的瓦斯含量、各影响因素及其关联度和权重

Table 1 The gas content, influence factors data and their related degree and weight of No. 14 coal seam

孔号	埋深 /m	煤厚/m	挥发分 /%	灰分 /%	构造特征			顶板砂泥岩比	底板砂泥岩比	瓦斯含量实测/ $m^3 \cdot t^{-1}$	瓦斯含量预测/ $m^3 \cdot t^{-1}$
					断层	背斜轴部	翼部				
558	625.22	1.23	38.50	12.80	1.00	0	1.00	8.50	12.80	5.14	5.1626
99	545.90	0.80	34.00	15.40	0	1.00	1.00	3.60	5.80	4.08	4.3858
551	574.44	1.19	36.50	16.60	1.00	1.00	1.00	6.30	13.20	5.02	4.7637
554	673.26	1.29	40.50	12.50	0	1.00	1.00	13.20	13.60	5.78	6.0339
539	532.02	1.42	31.30	16.30	0	1.00	1.00	7.00	20.20	5.76	5.7246
102	525.42	1.23	35.20	15.10	0	1.00	0	8.90	14.60	5.35	5.6466
133	517.99	1.58	35.60	11.30	0	1.00	0	11.00	3.80	5.98	5.7187
512	640.53	4.20	42.50	22.30	1.00	1.00	1.00	5.00	19.00	9.64	9.6846
147	415.22	0.81	36.00	15.70	0	1.00	1.00	3.50	14.00	2.73	2.7451
694	453.44	1.05	37.60	20.70	1.00	1.00	0	6.00	8.00	3.54	3.7291
336	409.10	1.31	38.10	16.70	0	1.00	0	12.80	0	3.48	3.6351
409	527.25	0.94	39.50	23.20	0	1.00	0	6.10	9.00	5.06	4.7767
676	518.39	0.70	33.80	15.20	0	1.00	1.00	5.00	5.00	3.96	3.8735
680	514.99	1.25	37.20	13.50	0	0	1.00	10.40	11.80	4.62	4.3562
251	627.83	1.47	39.05	12.00	0	1.00	0	10.80	12.80	6.87	6.7738
关联度 r	0.784	0.807	0.844	0.735	0.835	0.463	0.704	0.742	0.733		
关联排序	4	3	1	6	2		8	5	7		

14 号煤层的瓦斯含量均与煤层厚度和埋藏深度呈正相关关系，这是因为煤层埋藏深度的增加，不仅会因地应力增高而使煤层和围岩的透气性降低，而且瓦斯向地表运移的距离也增大，这两者的变化均有利于封存瓦斯、而不利放散瓦斯；煤层是含煤岩系中具有较多空隙的有机岩层，对瓦斯有较强的吸附能力，煤层厚度越大，对瓦斯的吸附能力越大，储积的瓦斯量也越大，14 号煤层的瓦斯含量与煤层厚度的关系如图 3 所示。

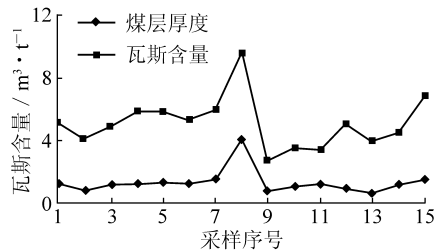


图 3 瓦斯含量与煤层厚度的关系

Fig. 3 The relation between gas content and thick of coal seam

3.2 煤层结构

井田内煤层结构的复杂程度与瓦斯含量也具有一定的正相关性。从走向上看，14 号煤层是西部、北部煤厚较大且复杂；东部煤厚相对较小，分层也少。垂向上，整个煤层厚度变化不大。如 14 号煤层西部

633 孔的煤厚为 3.85 m，含 17 个分层，夹石约 1.06 m，瓦斯含量为 9.8 m³/t。东部 427 孔煤厚 1.70 m，4 个分层，夹石厚 0.12 m，瓦斯含量 6.5 m³/t。煤层结构改变了煤层瓦斯横、纵向的运移及逸散条件，故结构复杂煤层较结构简单煤层利于瓦斯的赋存。

3.3 煤的变质程度

14 号煤层多为长焰煤，少数为气煤，在煤化过程中，随变质程度的增高，伴生的瓦斯量也增多，如气煤区的 251 钻孔瓦斯含量为 6.87 m³/t，而长焰煤区的 554 钻孔瓦斯含量为 5.78 m³/t。

4 岩浆岩对瓦斯含量的影响

岩浆岩侵入的热力烘烤使煤的变质程度提高，伴生的瓦斯量增加。如 14 号煤层井田西部 F_{w25} 断层附近，玄武岩的侵入使其瓦斯含量达 11 m³/t；岩浆岩的封盖对煤层瓦斯的逸散起到一定的阻碍作用，覆盖于 14 号煤层顶板的玄武岩对其高瓦斯含量也有一定的关系。总的来说，岩浆岩在晓南井田范围内普遍发育，虽然在 14 号煤层内局部发育，但是岩浆岩的热力烘烤和封盖作用，尤其是烘烤作用对 14 号煤层局部瓦斯含量有一定的关系。

5 瓦斯含量与影响因素的灰色关联分析

5.1 灰色关联分析原理

在对所研究问题定性分析基础上，确定一个因变量因素和多个自变量因素。设因变量数据构成参考序列 X'₀，各自变量数据构成比较序列 X'_i (i=1, 2, ..., n)，构成如下矩阵，即

$$(X'_0, X'_1, \dots, X'_n) = \begin{bmatrix} X'_0(1), & X'_1(1), & \dots, & X'_n(1) \\ X'_0(2), & X'_1(2), & \dots, & X'_n(2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ X'_0(N), & X'_1(N), & \dots, & X'_n(N) \end{bmatrix}_{N \times (n+1)},$$

式中，X'_i = (X'_i(1), X'_i(2), ..., X'_i(N))^T (i=0, 1, 2, ..., n)；N 为变量序列的长度。

常用无量纲化方法有均值化法和初值化法等^[4,5]，即

$$X_i(k) = X'_i(k) / \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X'_i(k) \right], \text{ 或 } X_i(k) = X'_i(k) / X'_i(1) \quad (i = 0, 1, \dots, n; k = 0, 1, \dots, N). \tag{1}$$

求差序列、最大差和最小差，形成如下矩阵，即

$$\begin{bmatrix} \Delta_1(1), & \Delta_2(1), & \dots, & \Delta_n(1) \\ \Delta_1(2), & \Delta_2(2), & \dots, & \Delta_n(2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \Delta_1(N), & \Delta_2(N), & \dots, & \Delta_n(N) \end{bmatrix}_{N \times n}, \tag{2}$$

式中，Δ_i(k) = |X₀(k) - X_i(k)| (i=0, 1, 2, ..., n; k=0, 1, 2, ..., N)。

根据式 (2) 计算关联系数矩阵为

$$\varepsilon_i(k) = \left\{ \min_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq k \leq N}} [\Delta_i(k)] + \rho \max_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq k \leq N}} [\Delta_i(k)] \right\} / \left\{ \Delta_i(k) + \rho \max_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq k \leq N}} [\Delta_i(k)] \right\}, \tag{3}$$

式中，ρ 为分辨系数，其大小可以控制最大差对数据转化的影响，ρ 取较小值可提高关联系数间差异的显著性，一般情况下 ρ=0.1~0.5^[6]。

计算关联度各因素所占权重为

$$\omega_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \varepsilon_i(k) / \sum_{i=1}^n r_i, \tag{4}$$

式中, r_i 为因素 i 的关联度.

5.2 瓦斯含量影响因素灰色关联分析

以晓南矿 14 号煤层为例, 用灰色关联度综合评价的方法来揭示该煤层瓦斯含量与其影响因素之间的强弱关系. 根据晓南煤矿 14 号煤层的特点和该地区的地质特征选取煤的埋藏深度、煤层厚度、煤层结构、构造特征、顶底板砂泥岩比作为自变量因素, 构成比较序列 (定性数据转化为定量数据依据数量化理论常采用二态变量来表示, 即“1”和“0”来表示某种属性“有”和“无”); 以煤层瓦斯含量为因变量, 作为参考序列 (表 1).

根据原始数据建立变量序列矩阵, 并根据式 (1) 用均值化法对原始数据矩阵进行无量纲化, 再由式 (2) 得差序列矩阵. 在分辨系数 $\rho=0.5$ 的情况下根据式 (3) 计算各因素的关联系数, 得到关联系数矩阵. 最后由式 (4) 求得 14 号煤层瓦斯含量与其各影响因素的关联度 (表 1).

对晓南矿 14 号煤层瓦斯含量及各影响因素关联度的计算结果表明, 影响瓦斯含量的主要因素依关联度由大到小的排序是挥发分含量、断层、煤层厚度、煤层埋深、顶板砂泥岩比等.

6 瓦斯含量预测

通过上述灰色关联度分析, 找到了影响煤层瓦斯含量大小的主要因素. 据此可利用多元回归分析来建立瓦斯含量预测模型. 以钻孔瓦斯含量为因变量 (y), 以关联度 >0.6 的影响因素为自变量 (x_1, x_2, \dots, x_8 (1, 2, 3, \dots , 各因素的关联排序)), 将它们的实测或统计数据输入计算机, 采用 Excel 中的回归分析程序, 得瓦斯含量回归预测模型及统计检验指标 $y = 0.6088 - 0.1069x_1 - 0.4433x_2 + 1.5021x_3 + 0.0125x_4 - 0.0136x_5 - 0.0114x_6 + 0.0228x_7 - 0.8738x_8$.

复相关系数 $R^2=0.98$, 检验统计量 $F=46.83 > F_{0.01}(8, 15) = 8.10$, 说明上述回归方程具有较高的显著性及拟合度. 部分预测值见表 1, 依据预测值绘制了瓦斯含量图 (图 2).

7 结 论

(1) 煤变质程度: $r_h=0.844$, 西南部挥发分含量达 42%, 瓦斯含量达 $9 \text{ m}^3/\text{t}$. 故煤变质程度越高, 瓦斯含量越高.

(2) 地质构造: 断层尤其是压扭性断层区瓦斯含量高; 晓南背斜鞍部是应力集中区, 瓦斯含量也高 (图 2).

(3) 煤层厚度: $r_{mh}=0.807$, 与瓦斯含量有明显的正相关关系, 在西部和中部表现较显著.

(4) 煤层埋藏深度: $r_{ms}=0.784$, 该煤层北部埋深达 600 m, 地应力相对较大, 围岩透气性较差, 赋集的瓦斯较其它地段多.

(5) 煤层顶板砂泥岩比: $r_d=0.742$, 砂泥岩比大的地段, 渗透性好, 瓦斯易于排放, 瓦斯含量相对较低.

参考文献:

- [1] 焦作矿业学院瓦斯地质研究室. 瓦斯地质概论 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1990.
- [2] 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.
- [3] 张振文, 费贤俊, 高永利, 等. 晓南矿瓦斯地质报告 [R]. 辽宁: 辽宁工程技术大学, 2006.
- [4] 伍爱友, 肖红飞, 王从陆, 等. 煤与瓦斯突出控制因素加权灰色关联模型的建立与应用 [J]. 煤炭学报, 2005, 30 (1): 58~62.
- [5] 李宏艳. 关于灰色关联度计算方法的研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26 (9): 1231~1234.
- [6] 林鹏程. 灰色关联度分析及应用 [J]. 盐湖研究, 2001, 9 (2): 48~50.