

文章编号: 1001-1986(2010)06-0022-05

地质构造复杂程度定量化评价

——以涡北煤矿为例

舒建生¹, 贾建称¹, 王跃忠², 宫文²

- (1. 煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710054;
2. 淮北矿业集团(有限)责任公司涡北煤矿, 安徽 涡阳 233600)

摘要: 针对涡北煤矿地质构造严重影响煤矿生产问题, 通过分析矿井断层发育特征和展布规律, 综合断层发育特征、沉积介质和经济技术 3 方面的因素, 建立了矿井构造评价指标模型; 采用灰色关联分析方法和等性块段综合指数评价方法, 对矿井构造复杂程度作出了定量化综合评价和分类。结果表明, 所得评价结果可靠, 与矿井揭露基本符合, 可为矿井生产提供指导性参考依据。

关键词: 地质构造; 定量评价; 评价指标; 灰色关联分析方法; 等性块段

中图分类号: 618 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.06.005

Quantitative evaluation of geological structure complexity: with Guobei coal mine as example

SHU Jiansheng¹, JIA Jiancheng¹, WANG Yaozhong², GONG Wen²

- (1. Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China;
2. Guobei Coal Mine, Huaibei Coal Mining Group, Guoyang 233600, China)

Abstract: Aiming at the problems of geological structure developed in Guobei coal mine, which seriously impactes coal production, through careful analysis of the fault characteristics and distribution law, three aspects of representative factors, i.e. fault development characteristics, sedimentary media, economic-technical conditions were taken to establish a structure assessment index model, and to predict the geological structural complexity of the different sections according of same character to the grey correlation analysis method and index evaluation method of blocks. Same character of the results showed that the evaluation results were similar with the results exposed by the coal mine, the reliable results provide references for production of coal mine.

Key words: geological structure; quantitative evaluation; assessment index; grey correlation analysis method; block of identical character

矿井构造定量评价是通过确定评价指标的方式间接地反映具有等性构造的不同块段内的构造特征和复杂程度, 国内外已作了大量的研究工作^[1-3]。本文以涡北煤矿构造本身的发育特征为基础建立评价指标模型, 采用现代数学方法和手段对矿井构造复杂程度进行了综合评价。

1 研究区概况

涡北煤矿位于安徽省亳州市涡阳县西部, 面积约 17.1 km², 矿井设计生产能力 120 万 t/a, 是淮北矿业(集团)有限责任公司新建的现代化矿井。

地层属华北地层区淮河地层分区淮北地层小

区。含煤地层有石炭系和二叠系, 其中石炭系太原组煤层可采性差; 二叠系山西组、下石盒子组和上石盒子组含可采煤层 6 层, 主要可采煤层为下石盒子组 8₁、8₂ 煤层。

大地构造位置属于华北板块淮河台坳淮北陷褶断带西部, 矿井被刘楼断裂、夏邑—固始断裂、丰涡断裂和楚店—泗县断裂围限。总体构造形态为向西倾斜的单斜构造, 地层倾角 20°~30°, 在此基础上主要发育脆性正断层, 褶曲不发育(图 1)。

根据地质勘查、采掘揭露资料和三维地震勘探成果^[4]统计, 区内共发育大小断层 200 余条, 其中仅 8 条逆断层, 其余均是正断层。断层所表现的分

收稿日期: 2010-09-06

基金项目: 国家科技重大专项课题(2008ZX05040-002)

作者简介: 舒建生(1979—), 男, 宁夏海原人, 硕士, 工程师, 从事煤及煤层气资源勘探与评价工作。

区性、方向性和分带性等规律为实现定量评价提供了地质依据。

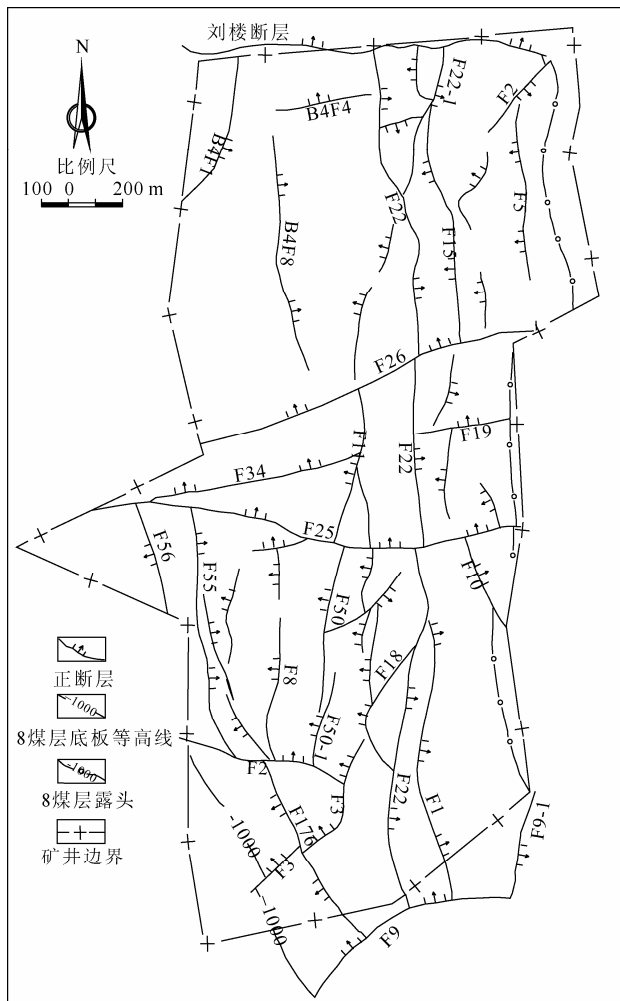


图 1 涡北煤矿构造纲要图

Fig. 1 Structure map of Guobei coal mine

a. 分区性 区内大型断层 21 条, 占总数 10%; 中型断层 15 条, 占 8%; 中小型断层 85 条, 占 42%; 小型断层 79 条, 占 40%。不同规模的断层逐层次将矿井自然分区, 如矿井南北边界断层(F9、F9-1 和刘楼断层)、F22、F25 和 F26 首先将全区分割为 6 个构造复杂程度呈现差异的断块(图 1)。

b. 方向性 区内正断层方向性明显, 走向以近南北向为主, 其次发育北东向和北西向, 其余方向断层不甚发育; 倾向以向西倾斜为主。此外, 逆断层以走向北北西, 倾向北东东者为主。

c. 成带性 矿井以中小型和小型断层最为发育, 其往往组合而产生累计破坏效应。严重影响生产。研究表明区内主要组合表现为小型地堑、小型地垒和阶梯状断层群等样式。

2 评价单元及划分原则

区内断层的分区分块性为构造复杂程度综合评

价单元的正确划分提供了基础, 以断层作为划分构造等性块段^[1]的关键因素确定划分原则(表 1), 以主要可采煤层 8₂ 煤层底板等高线图为基础, 按照断层发育规模由大到小逐层次划分, 共将全矿井划分为 40 个等性块段作为基本评价单元。

表 1 等性块段划分的基本原则

Table 1 Division principle of blocks of identical characters

块段分类		划分原则	
自然 边界	断层	断层落差	15 m
		或断层落差	10 m, 且断层延伸长度 500 m
	其他	或断层延伸长度	1 000 m
		煤层露头	
人工边界		煤层底板	1 000 m 等高线
	主要是矿井边界		

3 评价指标模型的确定

3.1 确定方法

评价指标是构造定量评价的关键, 应以能够科学、客观地反映矿井构造发育特征和复杂程度为原则。评价指标的建立可按以下两个步骤实现。

第一步骤, 建立构造评价指标模型。本次依据涡北矿井断层发育特征和沉积介质、经济技术 3 方面筛选代表性因素, 建立了评价指标模型(图 2)。

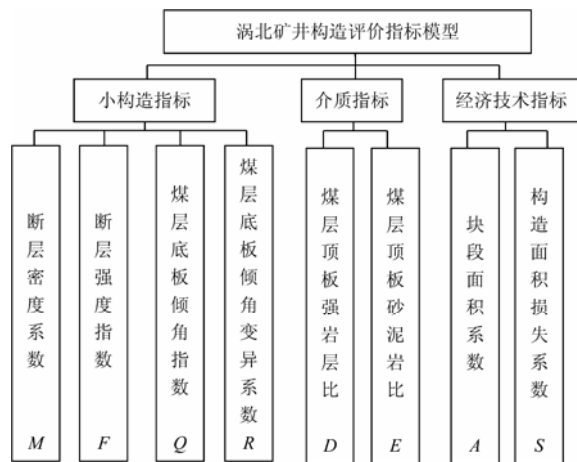


图 2 涡北煤矿构造评价指标模型

Fig. 2 Structure assessment index model of Guobei coal mine

第二步骤, 采用灰色关联分析方法计算各指标相互间的关联度, 进行关联分析, 确定关键指标和优势指标。

3.2 评价指标的地质意义

a. 断层密度系数(M), 即单位面积内断层的条数, 能直观反映断层的多少,

$$M = \frac{N}{S},$$

式中 S 为块段面积; N 为块段内断层条数。

b. 断层强度指数(F), 即单位面积内所有断层延伸长度总和, 反映了断层自身规模的影响程度,

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S},$$

式中 S 为块段面积; L 为块段断层延伸长度。

c. 煤层底板倾角指数(Q), 即块段内煤层底板倾角的平均值, 反映了煤层倾斜的缓急程度,

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

式中 x_i 为观测点倾角; n 为观测点数。

d. 煤层底板倾角变异系数(R), 即块段内煤层底板倾角相对于其均值的变化程度, 从侧面反映了小构造的发育程度对煤层破坏,

$$R = \frac{s}{\bar{x}}; s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \times 100\%,$$

式中 s 为倾角标准差; \bar{x} 为倾角平均值; x_i 为观测点倾角; n 为观测点数。

e. 煤层顶板强岩层比(D), 沉积介质是构造变形发生的物质基础, 尤其煤层顶底板岩性对于煤层中的构造变形有着控制作用。本次在总结前人研究实践经验的基础上, 以 30 m 作为分界线, 确定了煤层顶板强岩层比和煤层顶板砂泥岩比两个反映沉积特征的介质参数。

煤层顶板强岩层比指煤层顶板 30 m 范围内砂砾岩层所占的比率, 其是从百分比角度反映沉积介质的变形特性,

$$D = \frac{H_s}{30} \times 100\%,$$

式中 H_s 为煤层顶板 30 m 范围内砂砾岩层总厚度。

f. 煤层顶板砂泥岩比(E), 指煤层顶板 30 m 范围内砂岩与泥岩的比率, 其反映了沉积介质条件的变化差异性,

$$E = \frac{H_s}{H_n},$$

式中 H_s 为煤层顶板 30 m 范围内砂岩层总厚度; H_n 为煤层顶板 30 m 范围内泥岩层总厚度。

g. 面积系数(A), 即构造等性块段图上所获取的块段面积的大小。宏观反映了构造的破坏程度, 块段划分的越多, 面积越小, 构造越复杂。

h. 构造面积损失系数(S), 指块段内由于构造等因素而导致不可采煤层面积与块段面积之比, 反映了构造对生产的综合影响程度,

$$S = \frac{S_1}{S_0},$$

式中 S_1 为构造损失含煤面积; S_0 为块段面积。

上述指标的统计都是利用 8₂ 煤层底板等高线图, 依据指标各自的数学模型取值(表 2)。

表 2 评价指标统计值一览表
Table 2 Statistics of assessment indexes

块段编号	M	F	A	S	Q	R	D	E	块段编号	M	F	A	S	Q	R	D	E
1	0.08	0.08	0.22	0.26	0.52	0.21	0.56	0.06	21	0.00	0.00	0.08	0.72	0.30	0.33	0.78	1.00
2	0.14	0.12	0.31	0.19	0.71	0.21	0.32	0.03	22	0.00	0.00	0.06	0.60	1.00	0.01	0.76	0.08
3	0.10	0.08	0.28	0.10	0.59	0.01	0.62	0.08	23	0.02	0.03	0.80	0.34	0.57	0.20	0.89	0.46
4	0.22	0.17	0.06	0.41	0.52	0.18	0.98	0.20	24	0.10	0.20	0.17	0.73	0.24	0.18	0.62	0.07
5	0.04	0.10	0.21	0.81	0.79	0.12	0.41	0.05	25	0.00	0.00	0.05	1.00	0.63	1.00	0.43	0.03
6	0.05	0.03	0.20	0.73	0.53	0.44	0.56	0.12	26	0.00	0.00	0.25	0.96	0.50	0.77	0.89	0.12
7	0.08	0.03	0.03	0.94	0.73	0.30	0.00	0.00	27	0.03	0.04	0.30	0.56	0.39	0.62	0.65	0.07
8	0.00	0.00	0.00	0.60	0.67	0.36	0.17	0.01	28	0.32	0.38	0.19	0.11	0.13	0.13	0.78	0.12
9	0.16	0.13	0.07	0.69	0.65	0.37	0.14	0.01	29	1.00	1.00	0.04	0.11	0.11	0.28	0.86	0.13
10	0.15	0.14	0.17	0.21	0.34	0.15	0.35	0.02	30	0.49	0.49	0.31	0.14	0.21	0.63	0.90	0.21
11	0.04	0.04	0.81	0.04	0.34	0.36	0.81	0.14	31	0.14	0.21	0.23	0.04	0.28	0.60	0.90	0.25
12	0.04	0.06	0.11	0.52	0.31	0.28	/	/	32	0.15	0.17	0.11	0.31	0.39	0.61	0.94	0.26
13	0.05	0.05	1.00	0.10	0.15	0.39	/	/	33	0.00	0.00	0.21	0.25	0.66	0.37	0.52	0.04
14	0.02	0.02	0.30	0.71	0.00	0.20	0.41	0.05	34	0.00	0.00	0.02	0.23	0.58	0.37	0.52	0.04
15	0.04	0.06	0.21	0.50	0.05	0.20	0.22	0.02	35	0.02	0.02	0.19	0.00	0.54	0.13	/	/
16	0.00	0.00	0.02	0.49	0.11	0.29	0.06	0.00	36	0.05	0.07	0.18	0.15	0.77	0.37	0.70	0.07
17	0.02	0.01	0.25	0.64	0.07	0.51	0.52	0.08	37	0.06	0.07	0.06	0.34	0.81	0.34	1.00	0.27
18	0.00	0.00	0.05	0.99	0.23	0.45	0.73	0.13	38	0.15	0.23	0.17	0.25	0.13	0.05	0.79	0.21
19	0.00	0.00	0.14	0.42	0.38	0.00	0.49	0.07	39	0.09	0.10	0.20	0.23	0.60	0.49	0.79	0.10
20	0.05	0.09	0.20	0.38	0.72	0.66	0.44	0.07	40	0.00	0.00	0.23	0.02	0.64	0.32	0.63	0.06

注: 上述数据均已进行了数据正规化处理。

3.3 指标的关联分析

评价指标间的关联度矩阵见表 3。

表 3 评价指标之间的关联矩阵
Table 3 Association matrix between assessment indexes

<i>M</i>	<i>F</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>Q</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
1.00	0.97	0.77	0.62	0.59	0.67	0.53	0.84
0.97	1.00	0.78	0.62	0.59	0.68	0.54	0.85
0.77	0.78	1.00	0.63	0.63	0.70	0.61	0.80
0.62	0.62	0.63	1.00	0.66	0.69	0.60	0.65
0.59	0.59	0.63	0.66	1.00	0.67	0.65	0.63
0.67	0.68	0.70	0.69	0.67	1.00	0.63	0.67
0.53	0.54	0.61	0.60	0.65	0.63	1.00	0.54
0.84	0.85	0.80	0.65	0.63	0.67	0.54	1.00

a. 区内断层密度系数(*M*)和断层强度指数(*F*)之间的关联度最大, 呈良好的线性正相关关系(图 3), 说明块段断层的发育密度和强度具有一致性, 反映出矿井小断层的密集成群发育产生的累计效应导致块段断层破坏强度增大, 往往发展到一定程度就会影响矿井生产。事实上, 三维地震资料和生产揭露情况均已证实了这一点, 如南一采区 8101 工作面局部范围内由于小断层群的破坏导致在回采过程中重新改造了回风巷道。

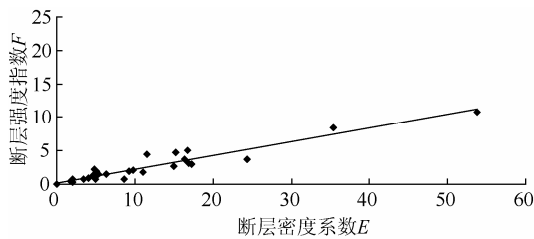


图 3 断层强度指数与密度系数之间的正相关性

Fig. 3 Positive correlation between the fault density and strength

b. 煤层顶板砂泥岩比(*E*)与断层密度系数(*M*)和强度指数(*F*)2 个指标之间关联度普遍较大, 表现线性正相关关系(图 4), 表明区内煤层顶底板以强岩层为主的块段易形成断层密集发育加剧对煤层的破坏, 客观反映了区内不同块段沉积介质条件与其构造复杂程度的密切相关性和预测性。

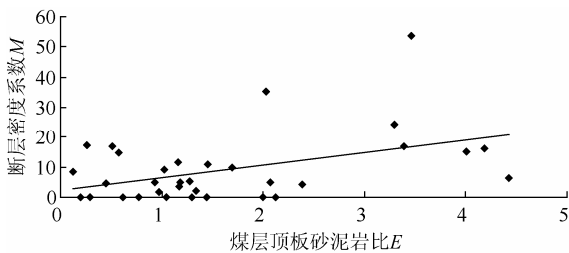


图 4 煤层顶板砂泥岩比与断层密度系数正相关性

Fig. 4 Positive correlation between the sandstone-mudstone ratio and the fault density

c. 断层密度系数(*M*)、断层强度指数(*F*)与面积系数(*A*)间也表现较好的关联度, 而与构造损失面积系数(*S*)关联变小。前者说明在矿井断层发育的复杂区域, 块段划分就越多, 面积越小; 反之, 面积增大。宏观反映了矿井断层发育是导致构造复杂程度分区性和差异性的主因。后者与区内防砂煤柱、断层煤柱留设等因素存在密切关系。

d. 区内不同指标间的关联度和关联序表现不同, 各指标对于断层密度系数(*M*)的关联序为: $M > F > E > A > R > S > Q > D$, 且与相对于断层强度指数(*F*)的关联序具有同步性。综合考虑各指标间的关联性, 确定矿井的优势指标依次为断层密度系数(*M*)、断层强度指数(*F*)、煤层顶板砂泥岩比(*E*)、面积系数(*A*)、煤层底板倾角变异系数(*R*)和构造损失面积系数(*S*), 其中断层密度系数(*M*)为关键指标。

4 构造复杂程度综合评级及划分

4.1 评价方法

针对涡北矿井断层发育的特征和优选取得的评价指标的特点, 采用构造等性块段综合指数评价方法进行矿井构造复杂程度综合评价, 提出本区构造等性块段总指数的具体算法如下:

$$ZG = ZG_m + ZG_x + ZG_y,$$

式中 ZG 为构造等性块段综合指数; ZG_m 为面积指数; ZG_x 为小构造指数; ZG_y 为异常指数。

a. 面积指数(ZG_m) 通过对块段面积的大小分级赋值, 以反映区内断层的宏观破坏程度。面积指数的赋值方案见表 4。

表 4 面积指数赋值方案
Table 4 Assignment principle of the area index

面积系数 <i>A</i> /km ²	面积指数赋值
<i>S</i> 1.60	0.00
1.60 > <i>S</i> 0.80	0.125
0.80 > <i>S</i> 0.40	0.25
0.40 > <i>S</i> 0.20	0.50
0.20 > <i>S</i> 0.10	0.75
0.10 > <i>S</i>	1.00

b. 小构造指数(ZG_x) 主要是通过对优势指标的综合达到实现衡量块段内部小构造发育复杂程度的定量评价。对于不同指标对总体的不同程度的影响采用权重来体现这种差异性。表达式为:

$$ZG_y = a_m \times M + a_f \times F + a_e \times E + a_r \times R,$$

式中 ZG_x 为构造等性块段小构造指数; α 为权重; M 为断层密度系数; F 为断层强度指数; E 为煤层顶板砂泥岩比; R 为煤层底板倾角变异系数。

其中权重确定是根据各优势指标对关键指标的关联度按照归一化方法处理得到(表 5)。

表 5 优势评价指标的权重系数
Table 5 Weighting coefficient of the advantageous assessment index

指标	<i>M</i>	<i>F</i>	<i>R</i>	<i>E</i>
关联度	1.00	0.97	0.67	0.84
权重系数 α	0.29	0.28	0.19	0.24

c. 异常指数(ZG_y) 作为衡量在矿井生产中由于构造破坏等因素致使块段煤层可采面积发生异常变化的评价指标,采用构造面积损失系数(S)能充分代表异常指数。

4.2 构造复杂程度划分

根据《煤、泥炭地质勘查规范》(DZ/T 0215—2002) 涡北矿井地质构造复杂程度整体属于中等—复杂类型,但不同区域具有明显的差异性,本次根据矿井断层发育特征和实际现状^[4-5],按照 4 类等级(I、II、III、IV)评价块段的构造复杂程度。并通过最优分割法得出构造等性块段综合指数取值范围(表 6)。

表 6 构造复杂程度评价标准
Table 6 Evaluation standard of structural complexity

构造类型划分	综合指数
中等	$0.50 > ZG$
较复杂	$1.00 > ZG \quad 0.50$
复杂	$1.50 > ZG \quad 1.00$
极复杂	$ZG \quad 1.50$

5 评价结果分析

依据上述构造复杂程度的评价方法和划分标准,并结合矿井生产揭露现状,对全区 40 个块段的构造复杂程度类型进行了归类和总结(表 7)。

I 类构造块段属于构造中等类型,煤层产状较为稳定,其多数区域可实现综采。

II 类构造块段属于构造较复杂类型,小断层较发育,煤层产状有一定的变化,大部分区域可利用综采生产。

III 类构造块段属于构造复杂类型,边界断层和次级小断层较为发育,煤层产状变化显著,这类区域极不利于使用综采,只能进行其他开采方法或非正规开采。

IV 类构造块段属于构造极复杂类型,边界断层和次级小断层极发育,致使面积很小,且引起煤层产状变化很大,这类区域只能进行非正规开采。

6 结 论

a. 涡北煤矿构造以中等类型(I)和较复杂类型(II)为主,前者仅 3 个块段,但面积占全区 22%;

表 7 块段构造类型归属一览表

Table 7 Structural complexity type of blocks

块段 编号	块段 面积	综合 指数	构造 类型	块段 编号	块段 面积	综合 指数	构造 类型
1	0.43	0.61		21	0.19	1.77	
2	0.60	0.56		22	0.17	1.38	
3	0.55	0.43		23	1.45	0.62	
4	0.16	1.35		24	0.35	1.36	
5	0.42	1.14		25	0.15	1.95	
6	0.40	1.11		26	0.49	1.39	
7	0.12	1.78		27	0.58	0.96	
8	0.06	1.67		28	0.40	0.61	
9	0.17	1.60		29	0.14	1.51	
10	0.35	0.83		30	0.59	0.84	
11	1.46	0.29		31	0.46	0.57	
12	0.25	1.10		32	0.25	1.08	
13	1.79	0.20		33	0.42	0.58	
14	0.58	1.02		34	0.10	1.06	
15	0.42	0.82		35	0.38	0.54	
16	0.09	1.54		36	0.37	0.77	
17	0.50	1.01		37	0.16	1.25	
18	0.15	1.86		38	0.36	0.92	
19	0.31	0.94		39	0.41	0.65	
20	0.40	1.06		40	0.45	0.35	

后者可达 17 个,块段最多,面积占全区 47%,二者均适合利用综采工艺开发。其次为构造复杂类型(III)和极复杂类型(IV),均具块段多面积小的特点,只能采取其他的开采或非正规开采。

b. 本文针对涡北煤矿地质构造发育特征提出的评价指标和量化评价方法,实现了矿井构造的综合评价和分类,结果可靠,为矿井生产提供了参考依据。同时对于具有相似地质构造变形特征的矿井具有借鉴价值。

c. 矿井的中小型断层是制约综采工艺的主要因素,加强小型构造的预测与评价技术研究应作为矿井进一步工作重点,特别是对未采区断层群的可靠预测,指导采区的合理开拓和布置是关键。

参考文献

- [1] 王桂梁,龙荣生,徐凤银,等. 矿井构造预测[M]. 北京:煤炭工业出版社,1993.
- [2] 徐凤银,魏铭康. 矿井构造预测与评价的理论、方法及其应用[M]. 北京:中国矿业大学出版社,1993.
- [3] 李增学,马兴祥. 实用矿井地质研究—方法与进展[M]. 北京:中国矿业大学出版社,1993.
- [4] 吴发红,许萍,宫仕昌. 三维地震勘探技术在涡北煤矿地质探测中的应用[J]. 陕西煤炭,2009(6):72-74.
- [5] 范云鹏. 探讨涡北煤矿软岩层地段巷道支护类型和技术参数选择[J]. 山东煤炭科技,2009(3):101-102.