

## 地质与测量



移动扫码阅读

陈银翠,严家平,黎 灵. 涡阳矿区矿井大中型断层探采对比分析研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(10): 235-239. doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.10.031

CHEN Yincui, YAN Jiaping, LI Ling. Comparative analysis study on prospecting and mining of large and medium-sized faults in Guoyang Mining Area[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(10): 235-239. doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.10.031

## 涡阳矿区矿井大中型断层探采对比分析研究

陈银翠<sup>1</sup>, 严家平<sup>2</sup>, 黎 灵<sup>3</sup>

(1. 安徽矿业职业技术学院 安徽, 淮北 235000; 2. 安徽理工大学 测绘学院, 安徽 淮南 232001;  
3. 煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院, 北京 100013)

**摘要:** 矿井大中型断层的探查效果直接影响到煤矿安全高效生产。开展矿井大中型断层的探采对比研究不仅可以作为煤层开采前勘探工作评价的依据, 同时可有效指导矿井生产。由于地质构造, 尤其是大中型断层对矿井生产的重要影响, 开展矿井大中型断层的探采对比分析对于矿井开采设计和生产管理具有更明确的针对性, 创新性开展了矿区大中型断层的探采对比方法, 在断层的探采对比指标方面, 提出并区分了断层数量探明率及勘探准确率 2 个概念, 以及断层落差探采误差的中误差概念; 采用统计学理论及定量统计分析方法对断层数量及断层落差 2 项指标的探采误差分析, 符合常规的误差分析理论与方法, 断层的探采对比分析指标简明, 符合矿井生产的实际需求。探采对比分析结果表明: 研究区断层探明率为 41.9%, 断层勘探准确率为 61.9%, 断层落差的探采平均相对误差达到 45.2%, 断层落差勘探值与采掘揭露实测值的误差为 0~25 m, 中误差为  $\pm 7.69$  m。

**关键词:** 大中型断层; 探采对比; 探查准确率; 中误差

中图分类号: TD163 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2019)10-0235-05

### Comparative analysis study on prospecting and mining of large and medium-sized faults in Guoyang Mining Area

CHEN Yincui<sup>1</sup>, YAN Jiaping<sup>2</sup>, LI Ling<sup>3</sup>

(1. Anhui College of Mining and Technology, HuaiBei 235000, China; 2. School of Geomatics, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 3. Mine Safety Technology Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

**Abstract:** The exploration effect of large and medium-sized faults in mines directly affects the safe and efficient production of coal mines. The comparative study of exploration and mining of large and medium-sized faults in mines can not only serve as the basis for the evaluation of pre-production exploration work, but also effectively guide mine production. Due to the geological structure, especially the important impact of large and medium-sized faults on mine production, the comparative analysis of exploration and mining of large and medium-sized faults in mines has a clearer targeting for mine design and production management. This paper innovatively carried out the exploration and mining comparison method of large and medium-sized faults in mining areas. In terms of the exploration and comparison index of faults, two concepts of fault detection rate and exploration accuracy were proposed, and the concept of medium error  $m$  of fault drop mining error was also proposed. The statistical error theory and quantitative statistical analysis method were used to analyze the mining error of the two indexes of fault number and fault drop, which was in line with the conventional error analysis theory and method. The comparative analysis of faults is simple and concise, but it meets the actual needs of mine production. The results of comparative analysis show that the fault detection rate of the study area is 41.9%, and the accuracy of fault exploration is 61.9%. The average relative error of fault mining is 45.2%. The error between the exploration value of the fault and the measured value of the mining reveal is between 0 and 25 m, and the medium error is  $\pm 7.69$  m.

**Key words:** large and medium-sized faults; comparison of prospecting and mining; prospecting accuracy rate; median error

收稿日期: 2019-05-25; 责任编辑: 曾康生

作者简介: 陈银翠(1968—), 女, 安徽安庆人, 副教授。Tel: 0561-5259621, E-mail: ankycyc@163.net

## 0 引言

地质勘探的技术方法与工程量直接影响到地质条件的勘探效果,从煤炭生产角度出发,在众多的影响煤矿生产的地质因素中,地质构造,尤其是断层当属重要的影响因素。因此,在矿井生产之前或生产过程中的各类地质勘探均把断层列为首要探查任务。我国的煤炭资源勘探规范明确要求,资源勘探阶段要求查明井田范围和初期开采地段的断层落差分别为30 m和20 m,对于地层倾角平缓、构造简单、地震地质条件好的地区为10~15 m<sup>[1]</sup>。实际上,这一规范的要求并不能满足矿井生产的要求。因此,我国多数矿井在实施开采以前均施行生产勘探或生产补充勘探,从而进一步提高煤层和断层的勘探精度。21世纪以来,我国多数生产矿井应用了先进的三维地震勘探技术,此项技术的采用可将井田内断层落差勘探精度提高到5m,断层的探明率可得到明显提高<sup>[2-3]</sup>。尽管如此,由于受勘探技术和矿区地质条件复杂程度的影响,对矿井内的大中型断层的采前探查仍然存在不同程度的误差。因此,采用合适的方法对井田大中型断层的勘探结果与实际情况进行对比分析,即所谓的“探采对比”不仅对采前勘探效果的合理评价,更主要的是可以对未开采区的生产补充勘探方案提供技术支撑。

近年来,随着深部煤炭资源开发所占比重越来越大,资源开发的经济成本越来越高,在已生产的矿区或矿井开展探采对比的研究逐渐增多,煤矿安全高效生产不断对地质勘探不断提出新的要求。彭苏萍<sup>[4]</sup>在深部煤炭资源赋存与开发地质评价研究现状及今后发展趋势研究中明确指出了深部煤炭资源地质条件较浅部的复杂性,并强调在有条件矿区开展探采对比作的重要性。在矿区探采对比分析内容与方法研究方面,魏迎春等<sup>[5]</sup>结合淮南煤田口孜东井田煤层、构造、工程地质等综合开采地质条件开展了研究,指出了深部资源勘探要增加地应力测量工作内容。在探采对比方法的研究方面,更多的学者或工程技术人员将三维地震的勘探结果与采掘生产揭露情况进行对比研究。彭苏萍等<sup>[6]</sup>研究了淮南矿区矿三维地震的勘探技术水平及应用情况,肯定了三维地震技术在淮南矿区应用的有效性及存在的不足;汤红伟<sup>[7]</sup>基于探采对比的分析研究了三维地震的精细解释方法,建立了三维地震资料的小断层识别依据,探讨了提高小断层解释精度的方法;在矿井地质构造的探采对比研究方面,苏贵芬等<sup>[8]</sup>采用灰色模糊理论,并选取褶皱平面变形系数、断层密

度,以及断层强度等参数对比了探采之间的差异,评价了临涣矿采前勘探技术效果;薛喜成<sup>[9]</sup>曾定量研究矿井地质构造对比评价方法;曹代勇等<sup>[10]</sup>研究并开发了矿井地质构造定量评价信息系统。上述学者及工程技术人员的研究不仅提出了煤矿生产过程中开展探采对比研究工作的意义,更主要的是研究提出了探采对比研究的内容和方法。但就研究现状而言,缺少对矿井大中型断层探采对比方面的专门性研究,更缺少关于断层对比指标及相关方法的研究。考虑到断层要素的多重性和复杂性,笔者针对与矿井生产关系最为密切的断层作为对比的内容,并选择了一定区域断层数量探查的准确率和落差的误差率进行探采对比分析参数,抓住了影响矿井生产的核心问题,简化了探采对比的内容,提高了探采对比的效果。

笔者选取安徽淮北涡阳矿区的涡北和刘店2个生产矿井作为探采对比研究区域。该矿区煤炭资源丰富,除了涡北、刘店、袁一、袁二等生产矿井外,在建的有信湖矿井以及多个已提交勘探报告的井田。矿区各井田不仅具有相同的成矿地质背景,矿井地质构造复杂程度以及开采技术条件也十分相近<sup>[11]</sup>。矿井生产实践表明,该矿区大中型断层的存在严重影响到矿井的安全高效生产。因此,开展的矿井大中型断层探采对比研究不仅进一步研究探讨了一种矿井断裂构造探采对比的新的方法,同时对该矿区的采前勘探成果评价有了新的依据。涡阳矿区是安徽省重要的矿区之一,矿业经济不仅对涡阳县,而且将是亳州地区的重要经济支撑<sup>[12]</sup>。该区的探采对比成果将为矿区后期的资源开发规划及矿井开采设计提供重要技术支撑。

## 1 探采对比的内容和方法

### 1.1 对比区域的选择与划分

矿井大中型断层的探采对比区域选择了矿区内涡北和刘店2个矿井开采浅部的4个采区,每个煤矿各选2个采区,8个工作面;分别是涡北煤矿的一采区8101、8102、8103工作面和二采区8203工作面,刘店煤矿的三采区1035、1037工作面和四采区的1042、1044工作面。对比区域的面积基本相当。在探采对比区的勘探方法与勘探程度方面均完全相同。其中前期的资源勘探和后期采用的三维地震技术的生产补充勘探均是同一施工单位。从开采地质条件而言,2个矿井的4个采区的煤层地质相对稳定,即煤层产状相对稳定,无岩浆侵入和岩溶陷落柱等因素影响的区域。故2个煤矿浅部的4个采区各

方面条件基本相似,可以反映矿区浅部的地质基本条件和勘探效果。

## 1.2 对比断层的落差及指标的确定

从矿井安全、高效生产角度出发,准确查明生产区域内断层的位置、规模及断距至关重要。在某些水文地质条件复杂的矿区甚至要查明大中型断层的工程地质性质<sup>[13]</sup>。从目前的矿井三维地震勘探技术来看,多数区内落差大于5 m的断层基本可以查明<sup>[14]</sup>。因此,在所开展的大中型断层探采对比研究的断层落差定为5 m,即以落差不小于5 m的断层为统计分析对象,对比矿井生产揭露与采前综合勘探提交的断层资料的差异。对比分析的指标不仅针对采前各类勘探对断层存在的探明率,更加强调对断层准确率探查的分析。同时把对矿井生产影响意义较大的断层落差的探查误差率作为另一重要的分析指标。

## 2 探采对比结果

### 2.1 大中型断层数量的探采对比

正如前已述及,选择的涡北矿断裂构造对比范围为2个采区的4个工作面。区内的采前勘探查明不小于5 m断层共有9条,全部为正断层。其中,由资源勘探阶段查明的断层有3条,分别是F<sub>8</sub>、F<sub>50</sub>和BF<sub>10</sub>;由三维地震生产勘探查明的断层有6条;另有采掘工程新揭露断层12条,即探采共涉及断层21条,编号记作1—21,详细信息见表1。

表1 断层数量的探采对比情况

编号	断层	类型	编号	断层	类型	编号	断层	类型
1	PF <sub>11</sub>	B	14	II F55	B	27	103F13	B
2	II F17	B	15	B2F9	B	28	103F14	B
3	F 4	A	16	BF <sub>10</sub>	A	29	DF <sub>08-39</sub>	B
4	II F <sub>46</sub>	B	17	F7	AB	30	104F <sub>8</sub>	B
5	F 8	AB	18	F6	AB	31	104F <sub>11</sub>	B
6	F 12	B	19	DF27	AB	32	DF08-41	A
7	PF <sub>29</sub>	B	20	DF21	A	33	DF59	AB
8	II F <sub>29</sub>	B	21	DF5	AB	34	DF08-45	A
9	II F <sub>30</sub>	B	22	DF <sub>23</sub>	AB	35	DF08-46	AB
10	II F35	B	23	DF <sub>26</sub>	AB	36	DF24	A
11	II F40	B	24	DF <sub>116</sub>	AB	37	DF114	AB
12	II F50	AB	25	DF <sub>128</sub>	AB	38	DF127	A
13	II F51	B	26	103F <sub>8</sub>	B	39	DF129	A
A类型断层总数						8		
B类型断层总数						18		
AB类型断层总数						13		

注:A代表由勘探查明断层;B代表由采掘揭露断层;AB代表既由勘探查明又由采掘揭露断层。

刘店矿2个采区的4个工作面的采前勘探查明

的大于等于5 m的断层有12条,这12条断层被生产揭露证实的有7条。另外,在采掘过程中新揭露大于等于5 m的断层的6条,即刘店矿探采共涉及断层18条,编号22—39,详细信息见表1。

### 2.2 大中型断层落差的探采对比

众所周知,断层落差是指垂直断层走向剖面上下两盘相当层位之间的铅直距离,也称铅直断距。在矿井开采区内,断层落差的大小直接影响采区划分和工作面布置等。一些断层当落差较大时往往具有较宽的破碎带,从而有可能成为导水裂隙带而引起矿井水害,以及造成瓦斯涌出量异常等问题<sup>[15]</sup>。当采煤工作面内存在断层且地层断距大于煤层的开采厚度时,有时需另外开切眼跳过断层。无论如何应对工作面内存在断层会严重影响开采效率,因此,准确获得断层落差的信息对煤矿的安全高效开采均有重要意义。

在涡北煤矿和刘店煤矿的13条同时被勘探指出并由采掘揭露的断层在断距落差方面均存在不同程度的误差,落差探采结果见表2。

表2 断层落差的探采对比情况

编号	断层	勘探 落差 h <sub>E</sub> /m	采掘揭 露落差 h <sub>S</sub> /m	相对 误差/ %	平均相 对误差/ %	误差/ m	中误差/ m
5	F8	120	120	0	—	0	—
12	II F50	40	15	166.7	—	25	—
7	F7	10	5	100.0	—	5	—
18	F6	12	7	71.4	—	5	—
19	DF27	8	8	0	—	0	—
21	DF5	10	8	25.0	—	2	—
22	DF <sub>23</sub>	15	15	0	45.2	0	7.69
23	DF <sub>26</sub>	15	15	0	—	0	—
24	DF <sub>116</sub>	10	10	0	—	0	—
25	DF <sub>128</sub>	5	10	50.0	—	5	—
33	DF59	10	8	25.0	—	2	—
35	DF08-46	10	5	100.0	—	5	—
37	DF114	20	14	50.0	—	6	—

## 3 断层探采对比分析

由于断层的存在对生产的影响既包括断层的数量,同时又涉及到断层的落差或规模。根据断层对采掘生产的影响程度大小不同,笔者认为采前勘探对断层的数量与分布最为重要,其次是断层的落差。因此,针对涡北及刘店2个矿井断层勘探的正确率和落差的误差率开展了对比分析研究。

### 3.1 断层数量的探采对比分析

为了评价实际存在断层在勘探阶段的探明程

度,提出断层探明率(Proved Rate,记为 $R_p$ )的概念。探明率 $R_p$ 即由勘探查出的实际断层存在数 $N_{ES}$ 与采掘揭露断层总数 $N_{TS}$ 之比,以百分数表示,即

$$R_p = \frac{N_{ES}}{N_{TS}} \times 100\% \quad (1)$$

此处阐明,实际存在断层即开采揭露断层,由表1可知,针对涡北及刘店2个矿井,由勘探指出并已证实的断层分别为6条、7条(共13条),另有采掘揭露新增断层分别为18条、13条(共31条),因此,2个矿断层探明率 $R_p = 13/31 \times 100\% \approx 41.9\%$ 。

为了评价由勘探指出的断层中实际存在断层的比例,提出断层勘探准确率(Accuracy Rate,记为 $R_A$ )的概念。准确率 $R_A$ 即由勘探准确指出实际存在的断层数 $N_{ES}$ 与勘探指出的断层总数 $N_{TE}$ 之比,以百分数表示,即

$$R_A = \frac{N_{ES}}{N_{TE}} \times 100\% \quad (2)$$

从表1可知,在涡北及刘店2个煤矿井,由勘探指出的实际存在断层分别为6条、7条(共13条),其中勘探指出的断层总数分别为9条、12条(共21条),因此,涡北及刘店2个矿井断层勘探准确率 $R_A = 13/21 \times 100\% \approx 61.9\%$ 。

### 3.2 断层落差的探采对比分析

为了分析勘探获得断层落差的准确程度,依据式(3)计算断层落差勘探值 $h_E$ 与采掘揭露实测值 $h_S$ 的相对误差 $\delta$ ,结果见表2, $\delta_{avg}$ 为相对误差平均值,即

$$\begin{cases} \delta = |(h_E - h_S)/h_S| \times 100\% \\ \delta_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i \end{cases} \quad (3)$$

式中: $n$ 为断层落差相对误差样本数。

相对误差可广泛用于评价某参数的测量值或预测值与真实值误差的相对大小<sup>[16]</sup>。 $\delta$ 值越小,表明断层落差勘探值与实测值越接近。分析结果表明,断层落差勘探值与实测值的相对误差波动幅度较大,自0至166.7%,平均相对误差达到45.2%。

此外,中误差同样是衡量测量值或预测值精度的参数,亦称“标准差”或“均方根差”<sup>[17]</sup>。采用长度量纲展示勘探获得断层落差的准确程度<sup>[18]</sup>,依据式(4)计算断层落差勘探值 $h_E$ 与采掘揭露实测值 $h_S$ 的中误差 $m$ ,即

$$\begin{cases} m = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 / n} \\ \Delta = |h_E - h_S| \end{cases} \quad (4)$$

可知 $m$ 越小,表明勘探查明断层的落差与采掘

工程揭露断层的落差偏离程度就越小,即勘探查明断层落差的精度越高,计算结果见表2,单次断层落差勘探值 $h_E$ 与采掘揭露实测值 $h_S$ 的偏离0~25 m,中误差 $m = \pm 7.69$  m。

据文献[19]对开滦矿区93.61 km<sup>2</sup>包括地震技术的综合勘探成果分析,该区的资源勘探经开采验证的成果准确率为40.8%,通过采前的三维地震补充勘探获得的综合成果准确率提高到56.8%。马彦良等<sup>[20]</sup>对山西阳泉五矿中央采区的岩溶陷落柱和断层做了探采对比研究,在地震勘探圈定陷落柱11个,断层4条。经采掘实际揭露或验证的陷落柱21个,断层11条。在涡阳矿区的采前勘探对大中型断层数量的勘探的准确率61.9%,包括断层落差的中误差均较理想。

众所周知,任何矿床勘探的地质勘探效果均取决于勘探技术和地质条件的复杂程度2个方面。矿区内矿井地质构造复杂程度定量化评价结果及矿井的生产实践表明,矿井的地质构造条件为复杂<sup>[21]</sup>。加之该矿区的资源埋深较大及褶皱构造的复杂性,影响了区内断裂构造勘探效果。

## 4 结 论

1)同一矿区或同一矿井内大中型断层分布具有可比性,可以通过采前勘探信息与生产实际揭露的信息进行对比分析;采用统计学理论及定量统计分析方法开展断层数量及断层落差2项指标探采误差分析符合客观实际,对比方法具有创新性。

2)断层数量的探明率与准确率是两个完全不同的概念。探明率 $R_p$ 即由勘探查出的实际断层存在数 $N_{ES}$ 与采掘揭露断层总数 $N_{TS}$ 之比。而准确率 $R_A$ 即由勘探准确指出实际存在的断层数 $N_{ES}$ 与勘探指出的断层总数 $N_{TE}$ 之比。

3)首次引入断层落差的探采对比“中误差”概念与表达方式,其符合统计学中的“标准差”或“均方根差”误差分析原理与方法。

4)根据涡北及刘店2个矿井大中型断层数量探采对比结果,矿井大中型断层勘探准确率 $R_A$ 为61.9%,准确率为中等。断层落差勘探值 $h_E$ 与采掘揭露实测值 $h_S$ 的误差为0~25 m,平均相对误差达到45.2%,落差的中误差 $m = \pm 7.69$  m。

### 参考文献(References):

- [1] 全国矿产储量委员会.煤炭资源地质勘探规范[M].北京:煤炭工业出版社,1986.
- [2] 彭苏萍,杜文凤,赵伟等.煤田三维地震综合解释技术在复杂

- 地质条件下的应用[J].岩石力学与工程学报,2008,27(1):2760-2764.
- PENG Suping, DU Wenfeng, ZHAO Wei, *et al.* 3D Coalfield seismic integrated interpretation technique in complex geological condition [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 27(1):2760-2764.
- [3] 刘天放,彭苏萍,钱建伟,等.中国采区三维地震勘探的进展[C]//中国地球物理学会,中国地球物理学会年刊2002——中国地球物理学会第十八届年会论文集.北京:中国地球物理学会,2002:2.
- [4] 彭苏萍.深部煤炭资源赋存规律与开发地质评价研究现状及今后发展趋势[J].煤,2008,17(2):1-11.
- PENG Suping. Present study and development trend of deep coal resource distribution and mining geologic evaluation [J]. Coal, 2008, 17(2): 1-11.
- [5] 魏迎春,夏永翊,武玉良,等.深部煤炭资源探采对比与勘探方法探讨[J].煤田地质与勘探,2016,44(4):25-29.
- WEI Yingchun, XIA Yongyi, WU Yuliang, *et al.* Comparison of exploration and exploitation of coal resources and discussion on exploration methods [J]. Coal Geology and Exploration, 2016, 44(4):25-29.
- [6] 彭苏萍,袁亮.淮南煤矿三维地震勘探技术应用与效果[J].安徽地质,2011,21(2):98-99.
- PENG Suping, YUAN Liang. Research and achievements of three dimensional seismic prospecting technologies in Huainan coal mines[J]. Geology of Anhui, 2011, 21(2):98-99.
- [7] 汤红伟.基于探采对比分析的三维地震资料精细解释方法探讨[J].中国煤炭,2017,43(4):43-47.
- TANG Hongwei. Discussion on fine interpretation method of 3D seismic data based on contrastive analysis of exploration and mining data[J]. China Coal, 2017, 43(4):43-47.
- [8] 苏贵芬,许模.灰色模糊理论在地质构造复杂程度评价中应用[J].煤炭科学技术,2009,37(10):96-99.
- SU Guifen, XU Mo. Application of Gray Fuzzy Theory to evaluation of complicated degree for geological structure coal[J]. Coal Science and Technology, 2009, 37(10):96-99.
- [9] 薛喜成.煤矿地质构造评价指标系统的建立与优选[J].煤炭技术,2010,29(2):129-133.
- XUE Xicheng. Establishment and optimization of comprehensive evaluation indicator system for geological structure of coal mine[J]. Coal Technology, 2010, 29(2):129-133.
- [10] 曹代勇,周云霞,魏迎春.矿井地质构造定量评价信息系统的开发及应用[J].煤炭学报,2002,27(4):379-382.
- CAO Daiyong, ZHOU Yunxia, WEI Yingchun. Development of the quantitative evaluation information system of mining geology structure[J]. Journal of China Coal Society, 2002, 27(4):379-382.
- [11] 姚振兴.涡阳矿区煤炭资源条件探采对比研究[D].淮南:安徽理工大学,2012.
- [12] 沈化修.煤炭资源开发对涡阳县发展的影响及对策[J].煤炭经济研究,2009(7):13-14.
- SHEN Huaxiu. The influence of coal resources development on the development of guoyang county and countermeasures[J]. Coal Economic Research, 2009(7):13-14.
- [13] 余开清.矿井构造特征与开采安全[J].煤矿开采,2000,4(4):60-62.
- YU Kaiqing. Discussion about the relation between the seam structure and mining safety[J]. Coal Mining Technology, 2000, 4(4):60-62.
- [14] 杜文凤,彭苏萍.深部隐伏构造特征地震解释及对煤矿安全的影响[J].煤炭学报,2015,40(3):640-645.
- DU Wenfeng, PENG Suping. Seismic interpretation of deep buried structure characteristics and its influence on coal mine safety[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(3):640-645.
- [15] 杜文凤,彭苏萍.利用地震层曲率进行煤层小断层预测[J].岩石力学与工程学报,2018,27(1):2901-2906.
- DU Wenfeng, PENG Suping. Seismic horizon curvature for predicting small fault in coal seam [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2018, 27(1):2901-2906.
- [16] 李成钢,唐力明,石晓春,等.GPS/CORS地质灾害动态监测技术及其误差分析[J].测绘通报,2009(9):7-10.
- LI Chenggang, TANG Liming, SHI Xiaochun, *et al.* Biases analysis for real-time geological hazard monitoring technique using GPS/CORS observation[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2009(9):7-10.
- [17] 刘坡,张宇,龚建华.中误差和邻近关系的多尺度面实体匹配算法研究[J].测绘学报,2014,43(4):419-425.
- LIU Po, ZHANG Yu, GONG Jianhua. Root mean square error and neighboring relation matching approach for multi-scale areal feature[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2014, 43(4):419-425.
- [18] 杨红伟,薛晓轩.地质雷达探测精度的分析与研究[J].测绘与空间地理信息,2019,42(4):150-152.
- YANG Hongwei, XUE Xiaoxuan. Analysis and research of geological radar detection accuracy[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2019, 42(4):150-152.
- [19] 洗伟东,凌春霞.开滦矿区三维地震技术应用效果及实例分析[J].煤炭技术,2017,36(4):110-112.
- XIAN Weidong, LING Chunxia. Application effects and case analysis of 3D seismic technology in Kailuan Mining Area[J]. Coal Technology, 2017, 36(4):110-112.
- [20] 马彦良,田庆路,王振虎,等.山区三维地震探采对比分析:以阳泉五矿中央采区三维地震勘探工程为例[J].中国煤炭地质,2008,20(6):6-10.
- MA Yanliang, TIAN Qinglu, *et al.* Mountainous area 3D seismic prospecting in correlation of exploration and mining information analysis: a case study of 3D seismic prospecting in central mining district, Yangquan No.5 Coalmine[J]. Coal Geology of China, 2008, 20(6):6-10.
- [21] 舒建生,贾建称,王跃忠,等.地质构造复杂程度量化评价:以涡北煤矿为例[J].煤田地质与勘探,2010,38(6):22-26.
- SHU Jiansheng, JIA Jiancheng, WANG Yuezhong, *et al.* Quantitative evaluation of geological structure complexity: with Guobei Coal Mine as example[J]. Coal Geology and Exploration, 2010, 38(6):22-26.