

文章编号: 1004-4051(2023)S2-0192-05

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20230745

综合矿井物探在煤矿探放水中的应用研究

祝凌甫^{1,2}, 孙林^{1,2}

1. 天地科技股份有限公司开采设计事业部, 北京 100013;
2. 中煤科工开采研究院有限公司, 北京 100013)

摘要: 层间距较小的上部采空区积水是影响下组煤安全回采的重要因素, 不疏放上部采空区积水, 将会对未来的工作面回采造成重大隐患, 但又不能盲目布置钻孔进行疏放, 因此对上部采空区积水范围的探查将会对下一步的疏放水产生重要意义。本文通过对地面与矿井物探、多种矿井物探方法的对比分析后, 采用矿井瞬变电磁法和无线电波透视法相结合的综合物探手段对上部采空区积水进行了探查工作。研究表明, 通过现场数据采集、数据处理、资料解释和综合分析, 可以圈定上覆采空区的积水区域, 从而为疏放水钻孔的布置提供良好的地质依据, 证明了选择方法的准确性和有效性。

关键词: 综合物探; 矿井瞬变电磁; 无线电波透视; 探放水
中图分类号: TD745 **文献标识码:** A

Research on the application of integrated mine physical exploration in coal mine exploration and release water

ZHU Lingfu^{1,2}, SUN Lin^{1,2}

1. Coal Mining and Designing Department, Tiandi Science and Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China;
2. CCTEG Coal Mining Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: The ponding in the upper goaf with small layer spacing is an important factor affecting the safe recovery of the lower group of coal, not releasing the ponding in the upper goaf will cause significant hidden danger to the future workings recovery, but cannot blindly arrange drilling holes for releasing. Therefore, the exploration of the extent of ponding in the upper goaf will be of great importance to the next step of water release. In this paper, a combination of mine transient electromagnetic method and radio wave penetration method are used to explore the water accumulation in the upper goaf after a comparative analysis of surface and mine physical surveys and multiple mine physical survey methods. The research results show that through field data collection, data processing, data interpretation and comprehensive analysis, the ponding in the overlying goaf can be circled, thus providing a good geological basis for the placement of water release boreholes and proving the accuracy and effectiveness of the selected method.

Keywords: integrated physical exploration; mine transient electromagnetic; radio wave perspective; exploration and release water

收稿日期: 2023-10-10 责任编辑: 刘硕

基金项目: 中煤科工开采研究院有限公司科技创新基金项目“烧变岩孔-裂隙系统及其富水边界精细探测研究”资助(编号: KJ-KCQN-01)

第一作者简介: 祝凌甫(1984—), 男, 汉族, 四川乐山人, 硕士, 副研究员, 主要从事矿山压力与岩层控制、地质测量和煤矿管理方面的研究, E-mail: cumtblinkin@126.com。

引用格式: 祝凌甫, 孙林. 综合矿井物探在煤矿探放水中的应用研究[J]. 中国矿业, 2023, 32(S2): 192-196.

ZHU Lingfu, SUN Lin. Research on the application of integrated mine physical exploration in coal mine exploration and release water[J]. China Mining Magazine, 2023, 32(S2): 192-196.

0 引言

矿井水害,尤其是采空区积水,对煤矿的安全构成严重威胁,并有可能引发安全事故^[1-2]。根据《煤矿安全规程》《煤矿防治水细则》等要求,近距离煤层群开采时,下伏煤层采掘前,必须疏放上覆煤层采空区积水,这就需要首先探查上覆采空区的积水区域,为设计疏放水钻孔提供依据。常用探测采空区积水区域的地面物探方法是瞬变电磁法和高密度电法,但在很多矿区有高压线、各种建筑物等,地电干扰严重,影响瞬变电磁法的正常开展^[3-5]。同时,矿区的复杂地形也使得高密度电法开展起来比较困难,且高密度电法的勘探深度有时也不能满足^[6-10]。这就提出一个思路,能不能在已形成的工作面的巷道中通过开展矿井物探工作,来探测上覆采空区积水状况。目前用于煤矿防治水工作的井下物探方法主要有直流电测深法、音频电透视法和无线电波透视法、瞬变电磁法。其中直流电测深法只能在巷道中开展,一般只用于巷道的顶、底板探测,只能得到巷道垂向上的电性分布特征。音频电透视法可以用于工作面上覆采空区积水探测,但如果巷道内接地条件不好,就会影响探测效果^[11-18]。

本文以陕西省榆林市神木市某矿3101工作面2 200~2 700 m段为研究目标,通过采用瞬变电磁法和无线电波透视法相结合的综合物探手段对上覆采空区积水进行探测,为布置放水孔提供了良好的地质依据,取得了较好的效果,为该区及相邻地区相似地质条件下的煤矿上覆采空积水区探测提供借鉴。

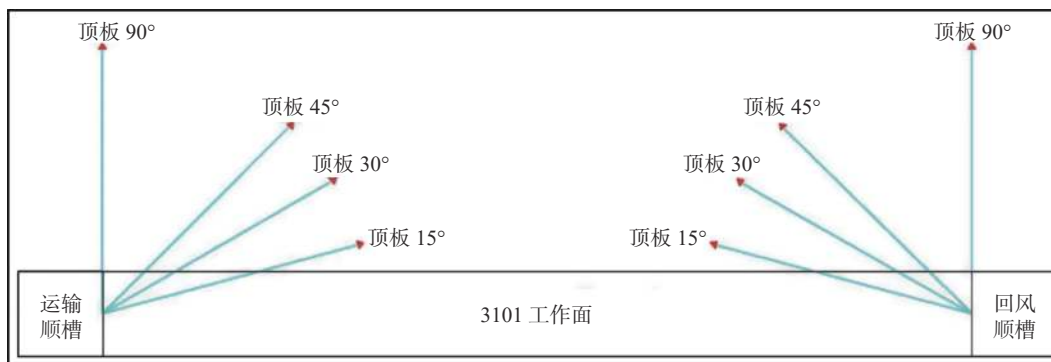


图1 瞬变电磁法探测角度布置示意图

Fig. 1 Schematic layout of the detection angle of the transient electromagnetic method

3) 成果分析。经过对所完成的各角度剖面综合分析,在此基础上绘制了平面图(图2),通过分析,将视电阻率 $\leq 25 \Omega \cdot \text{m}$ 区域推断为采空积水异常区。图2中的等值线为视电阻率等值线,虚线圈定的范围为采空积水区异常。总体上,靠近回风顺槽一侧的采空积水区异常主要集中在巷道2 300~2 370 m

1 研究区地质概况

研究区位于陕西省榆林市神木市,煤矿地表全部被现代风积沙及萨拉乌苏组沙层所覆盖,据钻孔揭露及地质填图资料,地层由老至新依次为:三叠系上统永坪组(T_3y),侏罗系中统延安组(J_2y)、直罗组(J_2z)、安定组(J_2a),新近系上新统保德组(N_2b),第四系上更新统萨拉乌苏组(Q_3s)、全新统风积沙(Q_4^{col})。开采煤层位于侏罗系中统延安组,目前上部的 2^2 煤层已经开采,采用长壁综合机械化采煤法,全部垮落法管理顶板,平均厚度3.44 m,形成了大面积采空区积水。现在要开采下组 3^1 煤层的3101工作面,距上覆 2^2 煤层约30 m,工作面宽度317 m。

2 现场实测分析

2.1 瞬变电磁法探查

1) 方法特点。矿井瞬变电磁法基本原理与地面瞬变电磁法基本原理相同。采用仪器和测量数据的各种装置形式和时间窗口也基本相同。所不同的是,受矿井环境限制,测量线圈大小有限,其勘探深度不如地面深,一般深度在100 m左右;矿井瞬变电磁法为全空间瞬变响应这种瞬变响应是来自于回线平面上(或两侧)地层。矿井瞬变电磁法有探测距离远、可以实现多角度测量和对积水低阻异常反映灵敏等特点,可以作为采空积水区探测的重要方法。

2) 测点布置。矿井瞬变电磁法在3101工作面回风顺槽和辅运顺槽布置测点,每10 m一个测点,都向工作面内部方向探测,分别完成顶板仰角 15° 、仰角 30° 、仰角 45° 、垂直向上四个方向,如图1所示。

段和2 520~2 600 m段;而在靠近运输顺槽一侧的采空积水区异常主要集中在巷道2 220~2 280 m段、2 320~2 360 m段和2 460~2 540 m段。

2.2 无线电波透视探查

1) 方法特点。无线电波透视法则具有仪器轻便、透视距离远、双向接收,数据量大的特点。

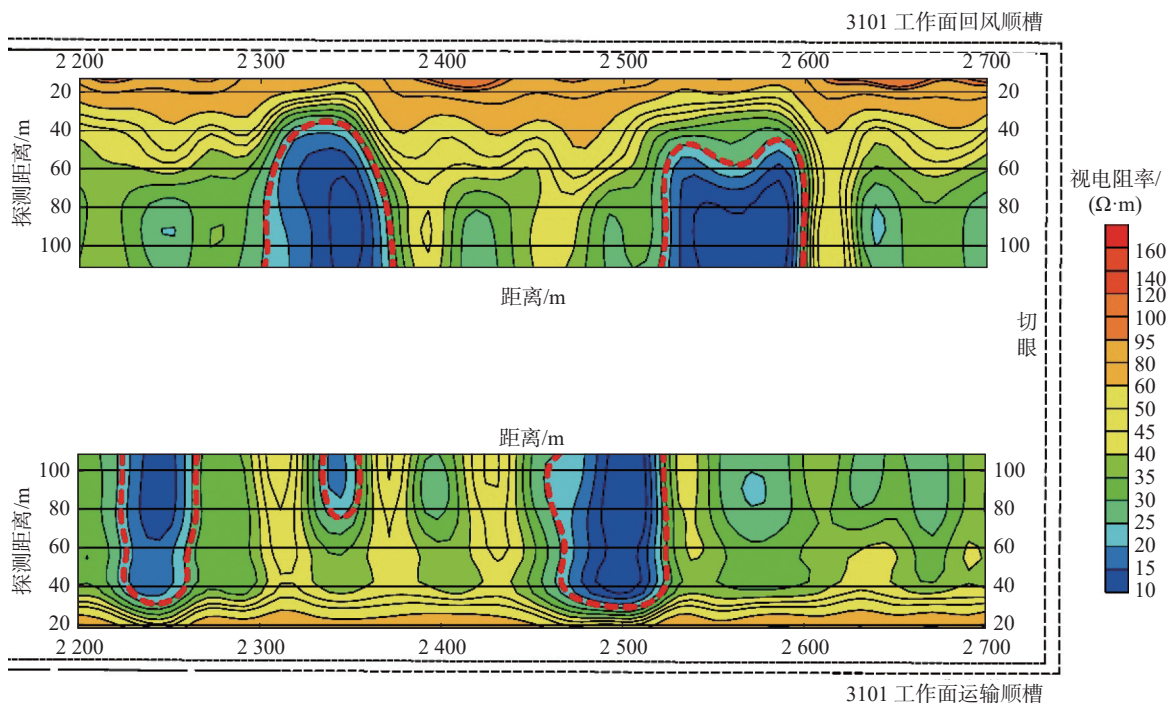


图 2 瞬变电磁法推断 2⁻² 煤层采空积水区分布图

Fig. 2 Distribution of goaf water accumulation area in 2⁻² coal seam inferred by transient electromagnetic method

2)工作布置。无线电波透视法也是围绕 3101 工作面的回风顺槽和辅运顺槽开展,按照发射点间距 50 m,接收点间距 10 m 先在回风顺槽发射,辅运顺槽接收,再在辅运顺槽发射,回风顺槽接收,完成双向发射双向接收。

3)成果分析。经过对所采集的数据分析后,绘制了吸收系数平面图(图 3),通过分析,将吸收系数 $\geq 0.011 \Omega \cdot m$ 区域推断为采空积水异常区。图中的等值线为吸收系数等值线,虚线圈定的范围为采空积水

区异常。总体上,形成两个长条状的采空积水异常,其中一条为回风顺槽 2 240~2 380 m 段向运输顺槽的 2 360~2 400 m 发育,另一条为回风顺槽 2 520~2 590 m 段向运输顺槽的 2 510~2 590 m 发育。

2.3 综合分析及钻探验证

将瞬变电磁法和无线电波透视法推断的异常综合在一块,综合推断 2⁻² 煤层采空积水区 3 处(图 4),其中 WTYC1 位于运输顺槽一侧,WTYC2、WTYC3 横跨工作面,在此基础上进行了钻探验证,其中在运

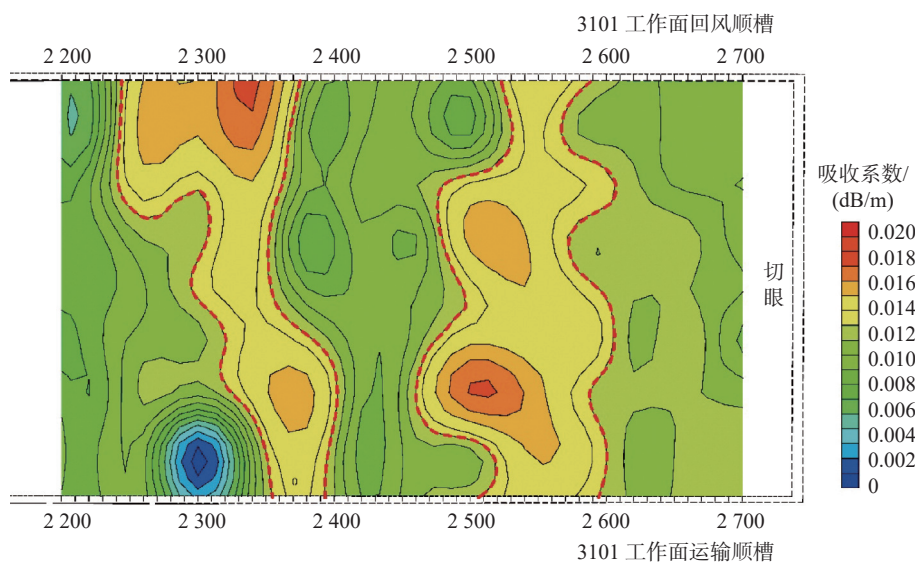


图 3 无线电波透视法推断 2⁻² 煤层采空积水区分布图

Fig. 3 Distribution of goaf water accumulation area in 2⁻² coal seam inferred by the radio wave perspective method

输顺槽一侧的物探异常区布置 YS1# 钻孔、YS2# 钻孔、YS3# 钻孔, 在无异常区布置 YS4# 钻孔, 在回风顺槽

一侧的物探异常区布置 HF1# 钻孔和 HF2# 钻孔, 在无异常区布置 HF3# 钻孔。

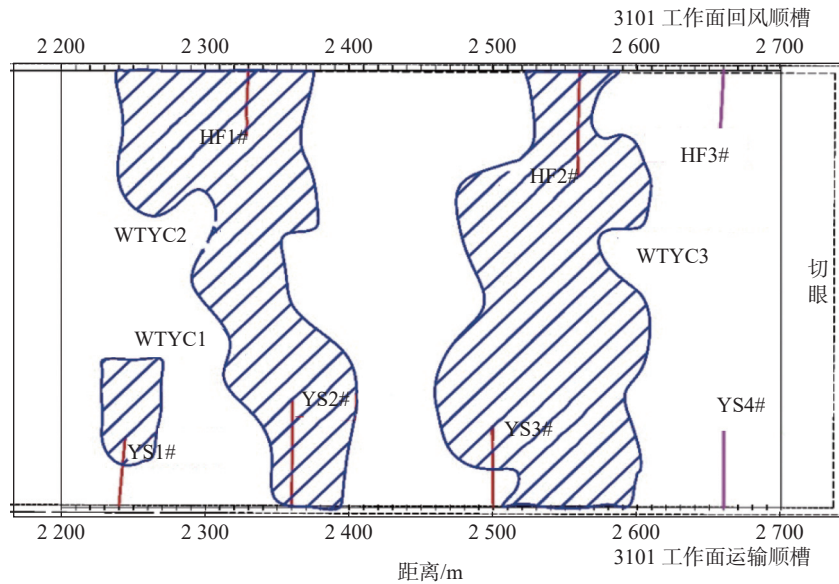


图 4 综合推断 2³ 煤层采空积水区分布及钻孔验证图

Fig. 4 Distribution of integrated inferred 2³ coal seam goaf water accumulation area and drill hole verification map

各钻孔的揭露情况见表 1。从表 1 中可以看出, 在物探推断的异常区均打到了采空积水区, 最大的初始水量为 80 m³/h, 最小的初始水量也达到了

20 m³/h, 而在没有异常区域施工的 YS4# 钻孔和 HF3# 钻孔则只有 1 m³/h 和无水, 这充分说明了物探工作的准确性。

表 1 验证钻孔揭露情况表

Table 1 Validation drill hole exposures

孔号	施工位置	揭露情况描述	初始水量/(m ³ /h)
HF1#	回风 2 330 m 处	倾角 46°, 44.0~44.2 m 见 2 ² 煤层, 48~52 m 岩性变软, 返水变小, 终孔深 52 m	80
HF2#	回风 2 560 m 处	倾角 36°, 54.0~54.2 m 见 2 ² 煤层, 终孔深 61.5 m	30
HF3#	回风 2 660 m 处	倾角 38°, 53.0~53.2 m 见 2 ² 煤层, 钻至 58 m 岩性变软, 见采空区, 终孔深 64 m	1
YS1#	运输顺槽 2 240 m 处	倾角 30°, 65.0~65.3 m 见 2 ² 煤层, 74 m 岩性变软, 终孔孔深 75 m	80
YS2#	运输顺槽 2 360 m 处	倾角 26°, 74.0~74.4 m 见 2 ² 煤层, 终孔孔深 84 m	20
YS3#	运输顺槽 2 500 m 处	倾角 30°, 68.8~70 m 见 2 ² 煤层, 终孔孔深 82 m	20
YS4#	运输顺槽 2 660 m 处	倾角 32°, 63.9~64.2 m 见 2 ² 煤层, 终孔孔深 76 m	10 m ³ , 之后水量持续减小, 至无水

3 结 论

1) 采用瞬变电磁法和无线电波透视相结合的综合物探手段探测上部采空积水区是可行的, 且能达到比较良好的效果。

2) 在工作面相对较宽(超过 200 m)的情况下, 由于瞬变电磁探测距离的限制, 工作面中间会存在盲区, 需要研制更大功率的瞬变电磁仪来满足这方面的缺陷。

3) 本研究为类似地质条件下的煤矿上覆采空积水区探测提供了方法指导。

参考文献 (References):

[1] 崔芳鹏, 武强, 林元惠, 等. 中国煤矿水害综合防治技术与方法研究[J]. 矿业科学学报, 2018, 3(3): 219-228.
 CUI Fangpeng, WU Qiang, LIN Yuanhui, et al. Prevention and control techniques & methods for water disasters at coal mines in China[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2018, 3(3): 219-228.

[2] 董书宁, 虎维岳. 中国煤矿水害特征及其主要影响因素[J]. 煤田地质与勘探, 2007, 35(5): 34-38.
 DONG Shuning, HU Weiyue. Basic characteristics and main controlling factors of coal mine water hazard in China[J]. Coal Geology &

- Exploration, 2007, 35(5): 34-38.
- [3] 杨光, 陈玉玖, 姜志海. 小回线源瞬变电磁法在煤矿积水采空区探测效果分析[J]. 工程地球物理学报, 2011, 8(4): 399-402.
YANG Guang, CHEN Yujie, JIANG Zhihai. The application of small loop TEM to detecting water in goaf[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2011, 8(4): 399-402.
- [4] 杨农合, 徐小林, 吴朝俊, 等. 瞬变电磁法小线框技术研究及其应用[J]. 西安理工大学学报, 2012, 28(3): 345-351.
YANG Nonghe, XU Xiaolin, WU Chaojun, et al. Transient electromagnetic method (TEM) small coil technology and its application[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2012, 28(3): 345-351.
- [5] 孙林. 小线框瞬变电磁仪探测煤矿采空区参数试验研究与应用[J]. 煤矿开采, 2016, 21(5): 8-10, 51.
SUN Lin. Experimental studying and application of coal mine goaf parameters explores with small wire frame transient electromagnetic instrument[J]. Coal Mining Technology, 2016, 21(5): 8-10, 51.
- [6] 曾若云, 姚建华. 直流电法在探测老窑采空区的应用[J]. 中国煤炭地质, 2001, 13(4): 53-54.
ZENG Ruoyun, YAO Jianhua. Application of D. C. electric method on surveying old mine area[J]. Coal Geology of China, 2001, 13(4): 53-54.
- [7] 喻佑顺, 刘金涛, 王柱, 等. 直流电测深法在煤矿陷落柱探测中的应用实例[J]. 资源环境与工程, 2007, 21(6): 736-738.
YU Youshun, LIU Jintao, WANG Zhu, et al. Application of direct current sounding on detection of collapsing karst column in coal mine[J]. Resources Environment & Engineering, 2007, 21(6): 736-738.
- [8] 郭纯, 李文军, 邢文平. 直流电法探测技术在煤矿防治水方面应用的研究[J]. 河南理工大学学报, 2005, 24(6): 439-442.
GUO Chun, LI Wenjun, XING Wenping. Research of the application of the D. C. detecting technology in mine water prevention and cure[J]. Journal of Henan Polytechnic University, 2005, 24(6): 439-442.
- [9] 孙林. 电阻率测深法在煤矿水害探测中的应用[J]. 中州煤炭, 2006(12): 143-146.
SUN Lin. Application of resistivity sounding method in detecting water disaster in coal mine[J]. Zhongzhou Coal, 2006(12): 143-146.
- [10] 陈仲候. 工程与环境物探教程[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- [11] 李宏杰, 谷小敏, 窦文武. 矿井瞬变电磁法在上覆采空区水害防治中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2016(5): 71-75.
LI Hongjie, GU Xiaomin, DOU Wenwu. Application of mine TEM to overlying gob water disaster control[J]. Coal Geology of China, 2016(5): 71-75.
- [12] 刘建国. 音频电透视法在煤矿工作面顶板水探测中的应用[J]. 煤炭与化工, 2021, 44(7): 78-80.
LIU Jianguo. Application of audio electric perspective method in mineworking face roof water detection[J]. Coal and Chemical Industry, 2021, 44(7): 78-80.
- [13] 张平松, 欧元超, 李圣林. 我国矿井物探技术及装备的发展现状与思考[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(7): 1-15.
ZHANG Pingsong, OU Yuanchao, LI Shenglin. Development quo-status and thinking of mine geophysical prospecting technology and equipment in China[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(7): 1-15.
- [14] 薛国强, 李海, 陈卫营, 等. 煤矿含水体瞬变电磁探测技术研究进展[J]. 煤炭学报, 2021, 46(1): 77-85.
XUE Guoqiang, LI Hai, CHEN Weiying, et al. Progress of transient electromagnetic detection technology for water bearing bodies in coal mines[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(1): 77-85.
- [15] 吴斌强, 刘宝宝, 杨海涛. 极复杂地质条件下地质异常综合探查技术应用研究[J]. 煤炭技术, 2020, 39(10): 70-72.
WU Binqiang, LIU Baobao, YANG Haitao. Study on application of comprehensive exploration technology of geological anomalies under extremely complex geological conditions[J]. Coal Technology, 2020, 39(10): 70-72.
- [16] 吴荣新, 庞瑶, 胡泽安. 采煤工作面无线电波探测技术研究进展[J]. 地球物理学进展, 2022, 37(5): 2196-2204.
WU Rongxin, PANG Yao, HU Zean. Research progress of radio wave detection technology in coal face[J]. Progress in Geophysics, 2022, 37(5): 2196-2204.
- [17] 陈继福, 赵庆珍. 音频电法透视技术在界沟矿井水害防治工作中的应用[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2020, 36(1): 56-60.
CHEN Jifu, ZHAO Qingzhen. Application of audio electric perspective technology in mine water disaster prevention and cure in Jiegou[J]. Journal of Shanxi Datong University(Natural Science), 2020, 36(1): 56-60.
- [18] 马玉龙, 李鹏飞, 赵兴辉, 等. 综合物探技术在工作面地质预报中的应用[J]. 煤矿安全, 2022, 53(3): 104-111.
MA Yulong, LI Pengfei, ZHAO Xinghui, et al. Application of comprehensive geophysical prospecting technique in geological prediction of coal mine working face[J]. Safety in Coal Mines, 2022, 53(3): 104-111.