



煤矿电法集成勘探系统及其应用研究

刘宝宝, 郭纯, 杨海涛

引用本文:

刘宝宝, 郭纯, 杨海涛. 煤矿电法集成勘探系统及其应用研究[J]. 煤田地质与勘探, 2021, 49(5): 247–252.

LIU Baobao, GUO Chun, YANG Haitao. Research on the integrated electric exploration system for coal mines and its application[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2021, 49(5): 247–252.

在线阅读 View online: <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2021.05.027>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

TEM探测深部煤层上覆多电性层的OCCAM反演

OCCAM inversion for detecting overlying multiple electrical layers above deep coal seams by TEM
煤田地质与勘探. 2018, 46(6): 169–173 <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2018.06.025>

煤矿采区高密度三维地震勘探模式与效果

Pattern and effect of the high density 3D seismic exploration in coal mining districts
煤田地质与勘探. 2020, 48(6): 1–7, 14 <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2020.06.001>

新型煤矿井下单分量无缆地震仪研制

The development of a single-component non-cable seismograph in underground coal mines
煤田地质与勘探. 2021, 49(3): 219–226 <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2021.03.028>

基于GA-BP神经网络算法的高密度电法非线性反演

GA-BP neural network algorithm based nonlinear inversion for high density resistivity method
煤田地质与勘探. 2017, 45(2): 147–151 <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2017.02.026>

山西煤矿采区高密度三维地震勘探综述

Summary of high density 3D seismic exploration in the mining districts of coal mines in Shanxi Province
煤田地质与勘探. 2020, 48(6): 15–24 <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2020.06.003>



移动阅读

刘宝宝, 郭纯, 杨海涛. 煤矿电法集成勘探系统及其应用研究[J]. 煤田地质与勘探, 2021, 49(5): 247–252. doi: 10.3969/j.issn.1001-1986.2021.05.027
LIU Baobao, GUO Chun, YANG Haitao. Research on the integrated electric exploration system for coal mines and its application[J]. Coal Geology & Exploration, 2021, 49(5): 247–252. doi: 10.3969/j.issn.1001-1986.2021.05.027

煤矿电法集成勘探系统及其应用研究

刘宝宝, 郭 纯, 杨海涛

(焦作煤业(集团)有限责任公司科学技术研究所, 河南 焦作 454002)

摘要: 为解决现有煤矿电法探测技术存在的电测深、电剖面、电透视需分多次施工且采集数据量少等方面的不足, 借鉴并行电法数据采集思路, 应用“矩形波型”电极布置方式结合“多装置数据提取”技术, 设计一种电法集成勘探系统。实验结果表明: 应用该系统可一次布线、一轮供电完成电测深、电剖面、电透视等多种电法施工方式的原始数据采集工作, 提取出多种电法工作方法和装置类型的测量数据, 综合处理得到多种地电场的三维勘探结果, 同时相同施工条件下多种成果相互对比, 提高物探成果解析的精细度和可靠性。研究成果对现有的传统直流电法、高密度电法、并行电法、电透视法等电法技术取长补短、融合创新、集成应用, 实现工作面煤层富水性的高效、精细、立体探测。

关键词: 电法; 集成勘探; 矩形波型; 高效采集; 数据提取; 三维勘探

中图分类号: TD745 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1986(2021)05-0247-06 **语音讲解**



Research on the integrated electric exploration system for coal mines and its application

LIU Baobao, GUO Chun, YANG Haitao

(Science and Technology Research Institute of Jiaozuo Coal and Industrial CO. LTD., Jiaozuo 454002, China)

Abstract: In order to overcome the shortcomings of the existing electrical prospecting technology in coal mines, such as multiple construction of electrical sounding, electrical profile and electrical penetration and a scarcity of data collected, an integrated electrical prospecting system is successfully designed, absorbing the idea of parallel electrical data acquisition, and applying the “rectangular wave” electrode layout mode combined with the “multi device data extraction” technology. The experimental results show that the system can complete the original data acquisition of electrical sounding, electrical profile, electrical perspective and other electrical construction methods with one-time wiring and one-round power supply, and extract the measurement data of various electrical methods and device types. After a comprehensive process, the 3D exploration results of various geoelectric fields are obtained. At the same time, results under the same construction conditions are compared with each other to improve the precision and reliability of the analysis of geophysical exploration results. The existing electrical methods such as traditional direct current method, high-density method, parallel method and electric perspective method should be integrated to complement each other in an innovative manner, so as to realize efficient, fine and three-dimensional detection of water bearing capacity of coal and rock strata in the working face.

Keywords: electrical method; integrated exploration; rectangular wave pattern; efficient acquisition; data extraction; 3D exploration

我国是世界上产煤量最多的国家之一, 部分煤

矿水文地质条件复杂。随着煤矿开采规模的扩大、

开采深度的增加, 开采时所承受的水压越来越大, 井下突水事故呈增加趋势^[1-2], 安全形势严峻。

目前国内外对煤矿工作面顶底板岩层富水性的探查方法主要有直流电法(含电测深法、电剖面法、高密度电法等, 下同)、音频电透视法、瞬变电磁法等电磁法技术^[3-4], 这些技术凭借着对含水反应灵敏的特点, 成为目前井下富水性探测最常用的方法^[5]。随着矿井生产规模更加大型化, 采区自动化、机械化水平不断提高, 矿井对水害探查工作提出了“高效、全区域、三维立体”的目标要求。瞬变电磁法抗金属干扰能力差, 在巷道采用工钢、U 钢和锚网支护、且常堆放有大量铁器的条件下, 探测效果较差; 单一的直流电法、音频电透视法等电法探测, 只能得到局部结果、且施工效率低; 现有的并行电法技术虽然可以同步完成电测深和电剖面探测, 但无法同时完成轴向电透视探测工作, 无法高效得出全区域的三维立体成果, 满足不了现场需求^[6-8]。

为解决现有电法探测技术存在的不足, 本文作者根据直流电法、电透视法等多种勘探方法的工作原理和施工方式, 设计出一种电法集成勘探系统, 同时将各种电法勘探结果在相同施工条件下进行对比解释, 以期提高勘探成果解析的精细度和可靠性。

1 电法集成勘探系统原理

电法集成勘探系统是以传统的直流电法、电透视法等矿井电法技术为基础, 以并行电法技术为主体^[9-10], 应用矩形波型电极布置方式、多装置数据提取、三维立体成像等多项创新技术、工艺, 分别在矿井电法的现场施工方式、数据采集方式、数据提取及综合应用方式、供电方式、资料处理及显示方式等多个方面进行创新和改进, 实现一次布线、一轮供电完成电测深、电剖面、电透视等各种电法施工方式的海量原始数据采集工作, 并从原始数据中提取出各种电法工作方法(电测深法、电剖面法、电透视法)和电法装置类型(如二极装置、三极装置、四极装置、轴向单极—偶极装置、赤道单极—偶极装置等)的测量数据^[8], 经过全区三维处理、多种成果对比、立体及切片化显示, 在避免或减弱巷道金属干扰影响的同时, 对直流电法、高密度电法、并行电法、电透视法等多种电法技术取长补短、融合创新、集成应用^[11-18], 实现工作面煤岩层富水性的高效、精细、立体探测。

2 电法集成勘探系统布置方式

电法集成勘探系统主要基于矩形波型测量电极

布置方式、以并行模式完成现场数据采集, 是多芯电缆和矩阵探测电极的高效组合应用, 电极呈“矩形波型”按照固定的行间距和列间距布置于巷道底(或顶)板内, 并依次连接于多芯电缆上, 多芯电缆与现场主机连接。该系统有两种工作方式: 单边式和包围式。

2.1 单边式工作方式

供电电极、测量电极布置在工作面的上下巷道内(图 1), 也可布置在同一条巷道内(这种工作方式无法完成电透视勘探), 按照并行电法方式采集数据, 实现一次布线、一轮供电完成一条巷道内的电测深、电剖面及单边电透视勘探的数据采集工作; 然后按照相同的布置方式, 2 条巷道装置互换, 完成整个工作面的所有原始数据采集工作。

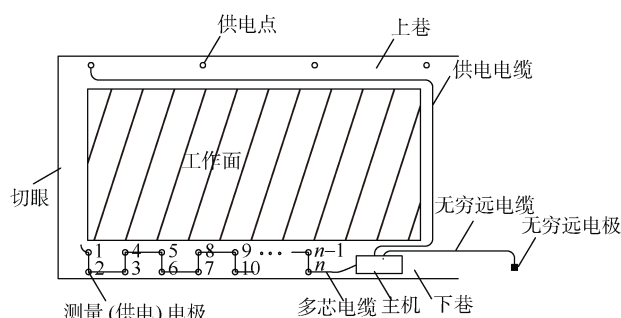
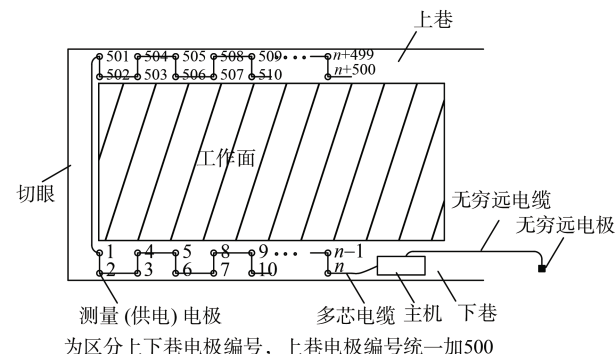


图 1 电法集成勘探系统单边式工作方式

Fig.1 Schematic diagram of unilateral working mode of the integrated electrical exploration system

2.2 包围式工作方式

在工作面的上下巷道内均布置矩形波型供电、测量电极(图 2)。



可以进行“多装置数据提取”, 即利用不同的电极组合, 提取出电测深、电剖面、电透视等多种电法工作方式的测量数据, 经处理得到多种地电场的二维或三维勘探结果, 多种成果相互补充、对比验证、综合分析, 提高物探成果的精度和质量。

3.1 电测深和电剖面勘探数据提取

如图 3 所示, 可以在原始数据中, 分别对应电极组 1、4、5、8、9、…(上排)和 2、3、6、7、10、…(下排)提取出 2 组并行电法数据, 利用并行电法处理软件直接提取出二极装置、三极装置的电流、电位等数据, 进行电测深和电剖面数据的处理和解释。

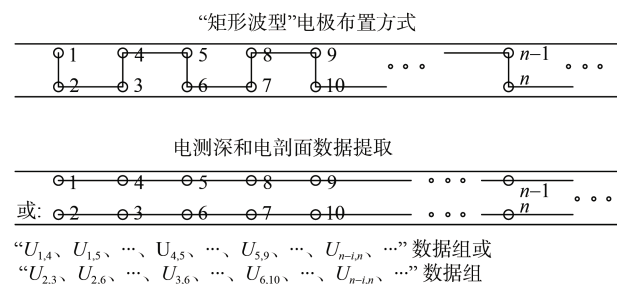


图 3 电测深和电剖面勘探装置数据提取

Fig.3 Schematic diagram of data extraction of electrical sounding and electrical profile exploration devices

也可以根据四极装置与三极装置关系的计算式(1)和偶极装置与三极装置关系的计算式(2), 计算得出四极、偶极等电法装置的视电阻率数据, 进行多种装置数据处理和异常对比解释。

$$\rho_s^{AB} = \frac{\rho_s^A + \varphi \rho_s^B}{1 + \varphi} \quad (1)$$

$$\rho_s^{OO'} = \frac{\varphi \rho_s^B - \rho_s^A}{\varphi - 1} \quad (2)$$

式中: $\varphi = \frac{K_A}{K_B}$; ρ_s^{AB} 为四极装置视电阻率; $\rho_s^{OO'}$ 为

偶极装置视电阻率; ρ_s^A 、 ρ_s^B 为三极装置视电阻率; K_A 、 K_B 为三极装置系数^[19-20]。

3.2 电透视勘探数据提取

应用“多装置数据提取”技术能够于海量原始数据中提取出“轴向单极-偶极法”和“赤道单极-偶极法”等多种电透视装置数据。

如图 4 所示, 对每个供电点 A, 利用软件从原始数据中提取出测量电极数据组“ $U_{1,2}$ 、 $U_{3,4}$ 、 $U_{5,6}$ 、 $U_{7,8}$ 、…、 $U_{n-1,n}$ 、…”进行“轴向单极-偶极”电透视法勘探解释; 仿照高密度温纳三极 $N=1$ 、 $N=3$ 、…模式提取出测量电极数据组“ $U_{2,3}$ 、 $U_{6,7}$ 、 $U_{10,11}$ 、…、 $U_{4,5}$ 、 $U_{8,9}$ 、…”或“ $U_{1,4}$ 、 $U_{5,8}$ 、 $U_{9,12}$ 、…、 $U_{3,6}$ 、 $U_{7,10}$ 、…”进行“赤道单极-偶极”电透视法勘探解释。

4 三维立体成像

通过对“多装置数据提取”技术得到的多种数据进行计算, 可以得出电测深、电剖面、电透视的电流、电位、视电阻率数据, 对这些不同勘探方式的数据可以单独进行处理、解释, 也可以结合电极坐标对所有数据进行整合校正、归一化处理, 然后利用 EarthImager3D、Voxler 等软件进行全区反演、三维成图, 得到岩层富水性的三维立体成果图及数据, 并可进行多个方向、任意深度的切片提取, 直观、精细、多方位地分析岩层的富水性分布状况。

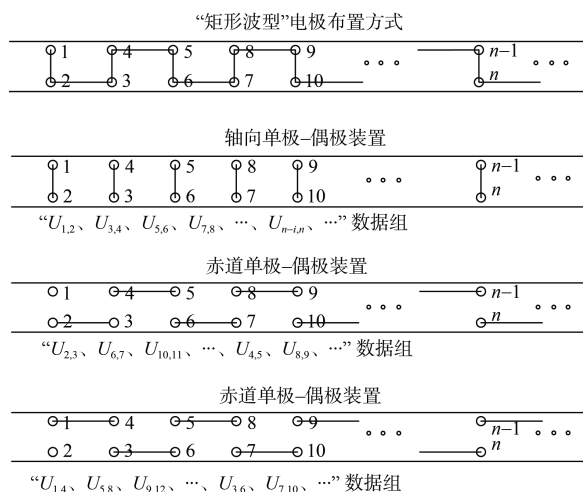


图 4 电透视勘探装置数据提取

Fig.4 Schematic diagram of data extraction of electrical sounding and electrical profile exploration device

5 工程实例

九里山矿 15091 工作面主采二₁煤层, 属稳定煤层, 走向长度 425 m, 平均煤厚 5.5 m, 回采范围内断层、裂隙较多, 底板含水层水压高、水量大、补给丰富。其底板主要含水层为 L₈、L₂、O₂ 灰岩含水层, 均为高承压含水层。工作面回采前, 需探明煤层底板下方岩层的富水性分布情况, 评估工作面回采时的水患威胁性, 为水害防治工作提供参考依据。

5.1 物探施工布置

图 5 为 15091 工作面电法集成勘探施工布置示意图。15091 工作面回风巷和运输巷布置方式一致, 每条巷道布置 2 站(排列), 每站布置 128 个电极, 矩阵电极行间隔 5 m, 列间距 3 m, 每条巷道电极排列总长度为 445 m。透射电极布置在对面巷道, 每个透射电极间距 50 m。

5.2 勘探结果

图 6 为 15091 工作面底板视电阻率横向切片图。图中可以看出, 探测范围内工作面底板存在 5 个低阻异常区, 分别标记为 Y1、Y2、Y3、Y4 和 Y5。

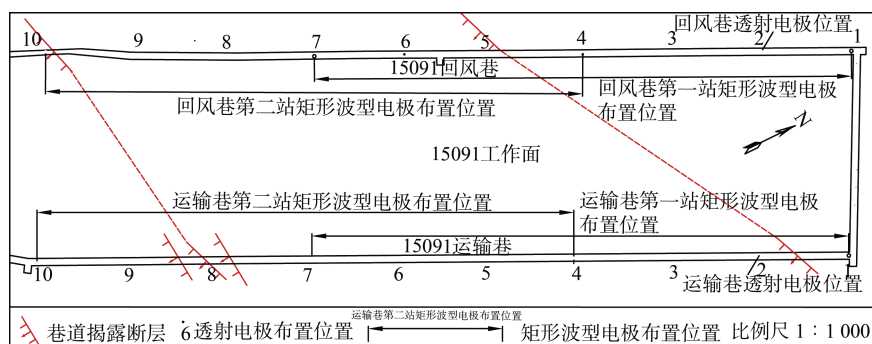


图 5 15091 工作面电法集成勘探施工布置

Fig.5 Construction layout of electrical method integrated exploration in working face 15091

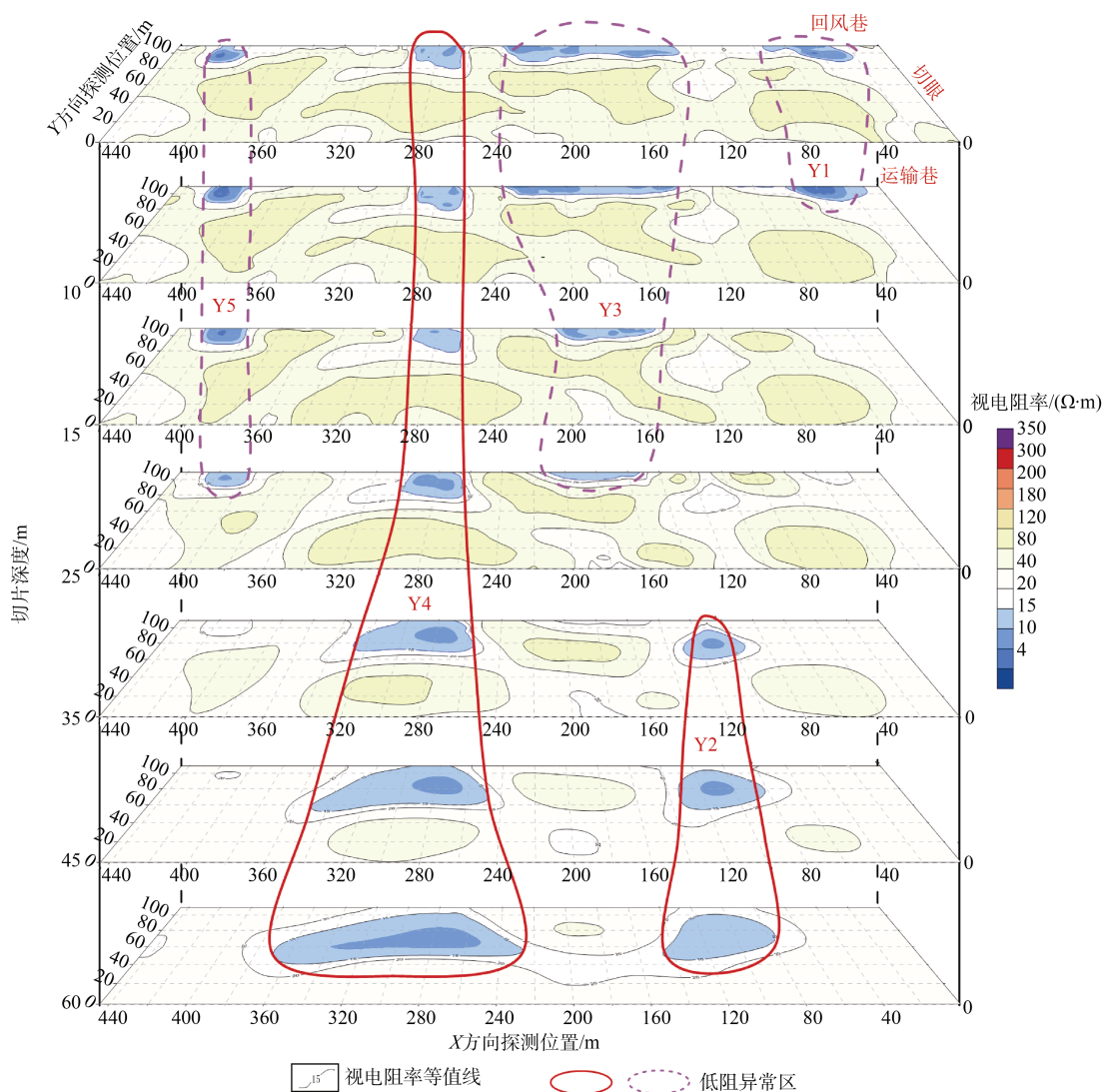


图 6 15091 工作面底板视电阻率横向切片

Fig.6 Slice diagram of apparent resistivity of floor in working face 15091

结合现场探测条件、矿方水文地质资料及各方向切片图的特点分析,物探结论为:Y1 仅位于煤层底板浅层区域、往深部延伸较少,工作面回采时,此低阻区附近不会发生底板出水;Y2 仅位于煤层底板深部、距离二₁煤层较远,工作面回采时,此低阻区附近发生底板出水的可能性较小;Y3、Y5 两

个低阻区位于煤层底板下方 L₈ 灰岩附近、距离二₁煤层较近,工作面回采时,这 2 个低阻区附近不排除发生底板出水的可能性;Y4 位于煤层底板下方 L₈ 灰岩附近、距离二₁煤层较近且浅深部沟通,工作面回采时,此低阻区附近容易发生底板出水。

图 7 为 15091 工作面探测三维立体成果图,是利

用全空间三维电阻率反演技术对回风巷、运输巷采集的全部数据进行反演,参考全空间层状模型,形成工作面底板视电阻率三维立体图(含三维切片数据体),能够直观、精细、多方面地分析岩层在任意位置、任意方向的富水性分布范围、发育变化趋势及水害威胁性等,精准划分煤岩层的相对贫、富水区域。

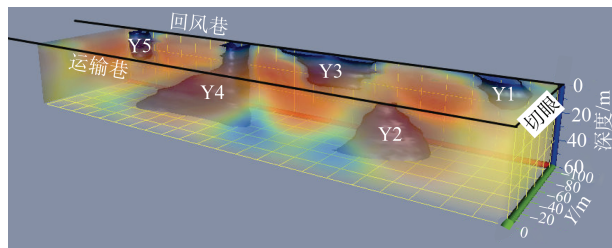


图7 15091工作面探测三维立体成果

Fig.7 Three dimensional exploration results of working face 15091

5.3 验证情况

九里山矿对15091工作面的5处低阻异常区采取了钻探验证,结果显示,5处低阻区域内布置在煤层底板 L_8 灰岩附近的钻孔出水量均较大,最大为 $19.2 \text{ m}^3/\text{h}$;布置在煤层底板附近的钻孔出水量小或无出水。总体上看,物探低阻区内的平均单孔涌水量是正常区域(低阻区以外区域)平均单孔涌水量的1.80倍,物探低阻区内的平均单孔注浆量是正常区域平均单孔注浆量的3.41倍,说明物探低阻区是相对富水区,物探结论准确、可靠。

目前,利用电法集成勘探系统已在多个矿井的工作面进行试验,根据各个工作面的钻探资料和回采资料进行验证,物探低阻区内的平均单孔涌水量均大于正常区域的平均单孔涌水量,矿井根据物探结果对低阻区域采取相应的防治水措施后,回采过程中没有发生出水情况,说明该系统得到的物探结论准确、可靠。

6 结论

a. 煤矿电法集成勘探系统是借鉴并行电法数据采集思路,发明并应用“矩形波型”电极布置方式结合“多装置数据提取”技术,可以一次布线、一轮供电完成电测深、电剖面、电透视等多种电法施工方式的原始数据采集工作。

b. 利用多装置数据提取技术可以从原始数据中提取出多种电法方法分支、工作方法和装置类型的测量数据,综合处理得到多种地电场的三维勘探结果,极大提高数据利用率,多种成果相互补充、对比验证、综合分析,进一步提高水文物探成果解

析的精细度和可靠性。

c. 对直流电法(含电测深法、电剖面法、高密度电法、并行电法)、电透视法等多种电法技术取长补短、融合创新、集成应用,实现工作面煤岩层富水性的高效、精细、立体探测。

参考文献(References)

- [1] 刘盛东,刘静,岳建华.中国矿井物探技术发展现状和关键问题[J].煤炭学报,2014,39(1):19-25.
LIU Shengdong, LIU Jing, YUE Jianhua. Development status and key problems of Chinese mining geophysical technology[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(1): 19-25.
- [2] 虎维岳,田干.我国煤矿水害类型及其防治对策[J].煤炭科学技术,2010,38(1):92-96.
HU Weiyue, TIAN Gan. Mine water disaster type and prevention and control countermeasures in China[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(1): 92-96.
- [3] 薛国强,于景邨.瞬变电磁法在煤炭领域的研究与应用新进展[J].地球物理学进展,2017,32(1):319-326.
XUE Guoqiang, YU Jingcun. New development of TEM research and application in coal mine exploration[J]. Progress in Geophysics, 2017, 32(1): 319-326.
- [4] 张泓,夏宇靖,张群,等.深层煤矿床开采地质条件及综合探测:现状与问题[J].煤田地质与勘探,2009,37(1):1-11.
ZHANG Hong, XIA Yujing, ZHANG Qun, et al. Coal-mining geological conditions and explorations of deep coal deposits: Status and problems[J]. Coal Geology & Exploration, 2009, 37(1): 1-11.
- [5] 董书宁.煤矿安全高效生产地质保障的新技术新装备[J].中国煤炭,2020,46(9):15-23.
DONG Shuning. New technology and new equipment of geological guarantee of safe and efficient production in coal mines[J]. China Coal, 2020, 46(9): 15-23.
- [6] 周金,程久龙,温来福.矿井瞬变电磁金属干扰响应特征与校正方法[J].中国矿业,2017,26(8):146-149.
ZHOU Jin, CHENG Jiulong, WEN Laifu. Response characteristics of metallic facilities and correction method on mine transient electromagnetic surveying[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(8): 146-149.
- [7] 王少飞.矿井物探技术应用现状与发展展望分析[J].江西化工,2020(2):307-308.
WANG Shaofei. Analysis on application status and development prospect of mine geophysical exploration technology[J]. Jiangxi Chemical Industry, 2020(2): 307-308.
- [8] 刘盛东,刘静,戚俊,等.矿井并行电法技术体系与新进展[J].煤炭学报,2019,44(8):2336-2345.
LIU Shengdong, LIU Jing, QI Jun, et al. Applied technologies and new advances of parallel electrical method in mining geo-

- physics[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(8): 2336–2345.
- [9] 刘盛东, 吴荣新, 张平松, 等. 三维并行电法勘探技术与矿井水害探查[J]. 煤炭学报, 2009, 34(7): 927–932.
- LIU Shengdong, WU Rongxin, ZHANG Pingsong, et al. Three-dimensional parallel electric surveying and its applications in water disaster exploration in coal mines[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(7): 927–932.
- [10] 胡水根, 刘盛东. 电法勘探中并行数据采集与传统数据采集效率的比较研究[J]. 地球物理学进展, 2010, 25(2): 612–617.
- HU Shuigen, LIU Shengdong. A comparative study on efficiency about traditional electrical and collateral data collection in electrical prospecting[J]. Progress in Geophysics, 2010, 25(2): 612–617.
- [11] 岳建华, 刘树才. 矿井直流电法勘探[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2000.
- YUE Jianhua, LIU Shucai. Mine direct current exploration[M]. Beijing: China University of Mining and Technology Press, 2000.
- [12] 戴前伟, 陈德鹏, 陈勇雄, 等. 电法勘探中异常响应特征的增强算法及其实现[J]. 煤田地质与勘探, 2013, 41(3): 75–78.
- DAI Qianwei, CHEN Depeng, CHEN Yongxiong, et al. The enhanced algorithms and its implementation for the abnormal response characteristics in electrical exploration[J]. Coal Geology & Exploration, 2013, 41(3): 75–78.
- [13] 杨振威, 严加永, 刘彦, 等. 高密度电阻率法研究进展[J]. 地质与勘探, 2012, 48(5): 969–978.
- YANG Zhenwei, YAN Jiayong, LIU Yan, et al. Research progress of the high density resistivity method[J]. Geology and Exploration, 2012, 48(5): 969–978.
- [14] 郭鹏飞, 谢雄刚, 白雯, 等. 音频电透视法在防治矿井水患中的应用[J]. 工业安全与环保, 2018, 44(4): 34–36.
- GUO Pengfei, XIE Xionggang, BAI Wen, et al. Application of audio frequency electric perspective method in detecting in detecting mine flooding zones[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2018, 44(4): 34–36.
- [15] 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.
- [16] 夏毅民, 尹奇峰, 郑刘根, 等. 并行电法矿井水害探测技术研究与应用[J]. 物探化探计算技术, 2019, 41(6): 813–818.
- XIA Yimin, YIN Qifeng, ZHENG Liugen, et al. Research and application of mine electrical disaster detection technology based on parallel electric method[J]. Calculation Technology Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 41(6): 813–818.
- [17] 张军, 王勇, 秦鸿刚, 等. 矿井音频电透视在矿井工作面探测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2013, 10(4): 551–554.
- ZHANG Jun, WANG Yong, QIN Honggang, et al. The application of audio frequency electric perspective to detection of coal mine work face[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2013, 10(4): 551–554.
- [18] 严加永, 孟贵祥, 吕庆田, 等. 高密度电法的进展与展望[J]. 物探与化探, 2012, 36(4): 576–584.
- YAN Jiayong, MENG Guixiang, LYU Qingtian, et al. The progress and prospect of the electrical resistivity imaging survey[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(4): 576–584.
- [19] 傅良魁. 电法勘探教程[M]. 北京: 地质出版社, 1983.
- FU Liangkui. Electrical exploration course[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983.
- [20] 李志聃. 煤田电法勘探[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1990.
- LI Zhidan. Electrical prospecting in coalfield[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1990.

(责任编辑 聂爱兰)

(上接第 246 页)

- [20] 张军. 矿井超浅层高分辨率瞬变电磁探测技术[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(4): 219–225.
- ZHANG Jun. The high-resolution transient electromagnetic detection technology for ultra-shallow layer in coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2020, 48(4): 219–225.
- [21] 郭建磊. 阵列源瞬变电磁法隧道高分辨超前探测研究[D]. 西

安: 长安大学, 2017.

GUO Jianlei. Transient electromagnetic method using source array for tunneling ahead geological prospecting of high resolution[D]. Xi'an: Chang'an University, 2017.

(责任编辑 聂爱兰)