

资源整合矿井小煤矿采空区火区探测技术

郑忠亚^{1,2},侯金玲^{1,2},梁成³,姚海飞^{1,2},吴海军^{1,2},徐长富^{1,2}

(1. 煤炭科学研究院 矿山安全技术研究分院 北京 100013;

2. 煤炭资源高效开采与洁净化国家重点实验室(煤炭科学研究院)北京 100013;3. 黄陵矿业集团有限责任公司 陕西 延安 716000)

摘要:针对马营煤矿东部4号煤层小煤矿采空区遗煤自燃问题,利用同位素测氡法对采空区进行火区探测,查明共有13个火区,总面积约为27 513 m²,并确定了火区的方位及发展趋势。探测结果与前期普查结果比较吻合,验证了测氡法应用于马营煤矿东部井田火区区域探测的可行性,同位素测氡法探测结果为制定小煤矿采空区火区治理技术方案及措施提供了技术依据。

关键词:火区探测;测氡法;GPS;小煤矿采空区;氡值异常;自然发火

中图分类号:TD75

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2013)04-0068-03

Firing Zone Detection Technology of Small Coal Mine Goaf in Resource Integration Mine

ZHENG Zhong-ya^{1,2}, HOU Jin-ling^{1,2}, LIANG Cheng³, YAO Hai-fei^{1,2}, WU Hai-jun^{1,2}, XU Chang-fu^{1,2}

(1. Mine Safety Technology Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 2. National Key Lab of Coal Resources High Efficient Mining and Clean Utilization, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 3. Huangling Mining Group Corporation Ltd., Yan'an 716000, China)

Abstract: According to the left coal spontaneous combustion problem of the goaf in a small coal mine in No. 4 seam at the east part of Maying Mine, an isotope radon measuring method was applied to the firing zone detection of the goaf. There were 13 firing zones detected in total with the total area of 27 513 m² and the position and development tendency of the firing zones were determined. The detected results and the previous general investigated results were quite fitted. Thus the feasibility of the radon measuring method applied to the regional detection of the firing zones in the eastern minefield of Maying Mine was confirmed. The detection results of the isotope radon measuring method could provide technical basis to make the technical control plan and measures of the firing zone in the goaf of the small mine.

Key words: firing zone detection; radon measuring method; GPS; small coal mine goaf; radon abnormal; spontaneous combustion

0 引言

小煤矿采空区自然发火是整合矿井安全生产的技术难题。小煤矿采出率低,采空区遗煤厚,煤层埋藏浅,易通过地表裂隙漏风,产生自燃现象;且小煤矿采用房柱式采煤方法,技术水平低,没有采空区自燃状况及位置的资料记录,这给采空区火区位置的确定及治理带来了很大困难^[1-2]。目前,应用于浅埋煤层小煤矿采空区火区探测方法主要有:磁碳法、电阻率法、红外探测法、温度法、无线电波法、遥感法及同位素测氡法等^[3-4]。磁碳法是利用煤层顶底板中含有较多的铁矿物在高温条件下随着烧变岩的形

成转变成磁性矿物,而该磁性矿物冷却时获得很强的磁性进行火区探测的方法;电阻率法是指煤炭燃烧过程中煤层的结构状态及其含水性会发生较大的变化,从而引起煤层及周围岩石电阻率的变化,从而判断自燃位置与范围的方法;红外探测法和温度法均是通过探测温度来判断煤自燃的燃烧程度和范围的方法;无线电波法需要事先在采空区放置温敏传感器,采空区升温时,传感器将所测物理量转变为无线电波传输出去,由接收机根据无线电波信号判断采空区火区温度和位置;遥感法是利用热红外遥感数据和图像,以及地表热效应和边界裂隙等综合因素来判断分析火区位置与范围;同位素测氡法是利

收稿日期:2012-11-10;责任编辑:王晓珍

基金项目:中国煤炭科工集团科技创新基金资助项目(2012MS001)

作者简介:郑忠亚(1986—),男,河南新乡人,硕士。Tel:010-84262512,E-mail:zhengzhongya@126.com

引用格式:郑忠亚,侯金玲,梁成,等.资源整合矿井小煤矿采空区火区探测技术[J].煤炭科学技术,2013,41(4):68-70,92.

用煤岩介质中天然放射性氡随温度升高析出增强的特性，在地面探测氡的变化规律，并对一系列数据进行分析处理，可以判断火源位置、范围以及发展趋势。目前测氡法探测深度可达500 m，理论研究可达800~1 200 m。根据马营煤矿煤层赋存条件及火区现状，考虑火区探测的精确度及经济条件，选择利用同位素测氡法对马营煤矿4号煤层小煤矿采空区进行火区探测。

1 工作面概况

马营煤矿属于整合矿井，井田内稳定可采煤层从上向下为4、9、11号煤层。4号煤层埋深为100.00~186.12 m，存在大量小煤矿开采遗留的采空区，部分采空区存在火区，且地表存在大量裂隙，与采空区构成漏风通道，更增加了采空区火区燃烧状况和位置的未知性。9号煤层上距4号煤层19.23~33.88 m，平均26.53 m。9号煤层回采过程中，采空区顶板垮落，将直接构成与4号煤层的漏风通道，导致9号煤层采空区遗煤自燃、CO等有毒有害气体超标，威胁9号煤层工作面的安全生产。因此，以马营煤矿4号煤层为例，研究小煤矿采空区火区探测技术具有十分重要的意义。

2 同位素测氡法火区探测技术

氡衰变辐射出 α 粒子，氡及其子体凭自身机制，具有很强的垂直向上运移的能力^[5~6]。当煤层发生自然现象时，其周围及上覆岩层中氡的析出率增大，且高温高压的环境会产生大量的H₂O、CO、CO₂、CH₄等气体。加之煤层埋藏较浅，自然区域顶部存在大量的裂隙，势必加快氡及其子体向上的运移速度，造成地表局部氡值异常^[7~8]；该异常可以通过气体分析检测出来，反映出煤层火区的位置及发展趋势。RAD-7型测氡仪属于高精密测量仪器，是一种通过在地表打钻，用取气杆取气分析Rn-222子体元素钋-218衰变产生的6 MeV的 α 粒子含量大小来测量氡气浓度的瞬时法测氡仪器。该测氡仪具有抗干扰能力强、检测时间短、操作简便、灵敏可靠的优点。

3 现场探测及数据处理

3.1 探测区域及测点布置

根据马营煤矿资料，利用GPS进行坐标定位，

火区探测范围南北最长为960 m（纬度坐标Y为4 398 220 m到4 399 180 m），东西宽度最大为600 m（经度坐标X为19 646 819 m到19 647 419 m），探测面积约42万m²。按照25 m×25 m的距离进行布点，累计布置测点640个（图1）。探测区域为丘陵地带，地势南高北低，最高点海拔标高为+1 634 m，最低点海拔标高为+1 528 m，相对高差为106 m，属低山丘陵黄土地貌。

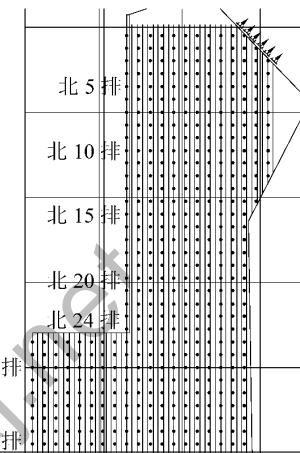


图1 测点布置

3.2 探测工艺

利用GPS定位测点位置，将取气杆插入土壤50 cm以上，对地表进行压实处理；设定取气检测时间30 min，逐点对各个测点进行取气分析；并对氡值异常区域进行重复检测。

3.3 数据处理

利用同位素测氡法探测采空区自然火源位置的精确性是火区治理的关键^[9~10]。气象因素、地质因素、仪器因素及人为因素均能对氡测量结果的精确度产生影响。因此，在测量过程中，不仅要从各个角度弱化以上因素对测量结果的影响，而且要对原始数据进行多方位的校正，包括：气象校正、仪器校正、浅部因素校正及数据均滑处理等，以最大限度消除测量过程中的各种误差。

将处理数据的经度、纬度坐标及海拔高度数值输入到surfer软件，得出的马营煤矿小煤矿采空区同位素测氡法探测结果如图2所示。

4 隐蔽火区范围分析

马营煤矿隐蔽火区分布如图3所示。图3中等值线密集区域为氡值异常区域，等值线密集程度越高代表氡值越高。氡值异常区域在东北部分布较

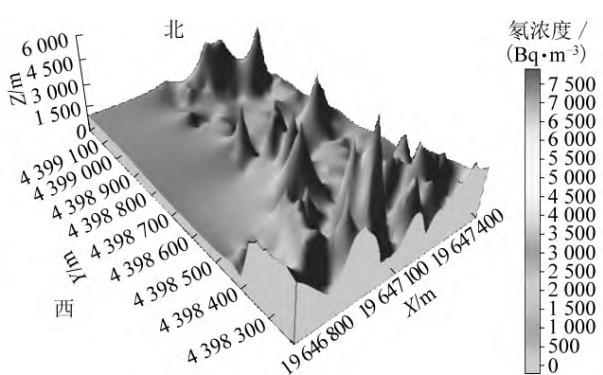


图2 同位素测氡法探测结果

少,大部分分布在南部海拔位置较高的区域。

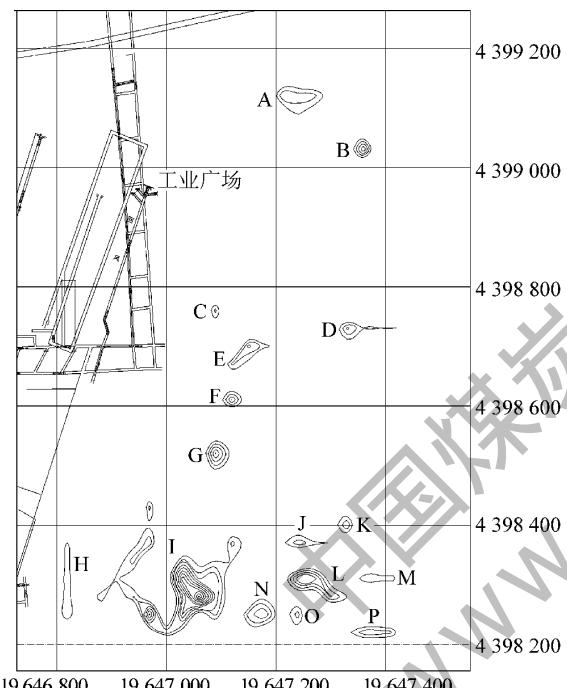


图3 马营煤矿隐蔽火区分布

由图3可以看出,探测区域内共有A、B、C、D、E、F、G、H、I、J、K、L、M、N、O、P等16个氡值异常区。其中,A和B区域位于工业广场附近,靠近马路,周围有大量树木,且周围氡值普遍偏低,推断该区域存在火区的可能性较小;C区域氡值相比较小,周围草木茂盛,有马路穿插而过,也排除在外。经过分析与推断,马营煤矿东部井田小煤矿采空区隐蔽火区有D、E、F、G、H、I、J、K、L、M、N、O、P等13个区域,总面积约为 $27\text{ }513\text{ m}^2$ 。隐蔽火区位置坐标以及发展方向见表1。探测结果与马营煤矿前期普查结果比较吻合,进一步验证了同位素测氡法应用于马营煤矿东部井田火区区域探测的可行性。

表1 马营煤矿隐蔽火区位置坐标及发展方向

序号	区域编号	区域面积/ m^2	中心位置坐标(X/m , Y/m)	发展方向
1	D	753	(19 647 338, 4 398 727)	东偏南
2	E	1 488	(19 647 148, 4 398 692)	西南
3	F	621	(19 647 121, 4 398 609)	东
4	G	1 430	(19 647 096, 4 398 516)	东南
5	H	726	(19 646 819, 4 398 297)	南
6	I	14 757	(19 647 046, 4 398 290)	东南
7	J	755	(19 647 245, 4 398 370)	东南
8	K	507	(19 647 326, 4 398 399)	东南
9	L	3 011	(19 647 277, 4 398 302)	东南
10	M	610	(19 647 386, 4 398 310)	东南
11	N	1 821	(19 647 133, 4 398 252)	西南
12	O	463	(19 647 238, 4 398 248)	西南
13	P	571	(19 647 380, 4 398 219)	西南

5 火区治理建议

根据马营煤矿提供的资料及探测结果进行分析,氡值异常区域存在明显的贯通地表的采空区塌陷裂隙区域,裂隙构成火区与地表的漏风通道。另外,异常区域存在大量的小煤矿影响区域,该类区域可能存在严重的自燃高温区域。

根据同位素测氡法探测结果,建议对地表裂隙进行黄土掩埋并压实处理;对4号煤层废弃巷道及采空区进行密闭堵漏工作,避免通过已有巷道向4号煤层采空区漏风。做好9号煤层回采工作面煤炭自燃的预测预报工作,加快工作面回采推进速度,建立健全矿井防灭火系统,并对4号煤层探测到的隐蔽火区进行有效治理。

根据同位素测氡法进行火区探测,明确了马营煤矿东部井田火区分布状况,由于没有施工钻孔进行更进一步的温度探测,未能将预测的火区分布情况和钻孔温度检测结果进行对比。在今后的火区治理过程中可施工钻孔进行温度检测,结合钻孔温度进一步进行火区位置及范围的修正。

参考文献:

- [1] 徐圣集.冯家塔矿易自燃煤层采空区火区火源探测研究[J].煤矿开采,2012,17(3):21-23.
- [2] 邬剑明,张晋花.露天矿自燃火区探测及火区综合治理技术研究[J].煤炭工程,2012(2):15-17.
- [3] 李苏龙.火源探测凝胶灭火技术及应用[J].煤炭科学技术,2011,39(7):22-24.

控制闸阀以及管路内部的水流速度和压力都很平稳。通过空间2点(0,10,0)和(860,-10,0)建立的一条通过管路中心的观测直线,用FLUENT软件仿真观测直线的压力、速度曲线(图7)。从图7可知:通过闸板位置时压力先略微增加之后迅速减小;除闸板附近速度短暂下降外,其他位置的速度一直很稳定,约为4.5 m/s。说明在闸板附近有一个明显的能量损失过程,这一现象和仿真结果相吻合,在通过闸板时受闸板底座的影响出现了涡流现象。

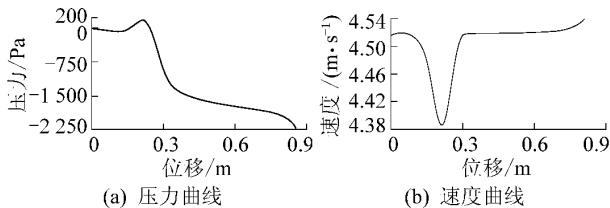


图7 观测直线的压力和速度曲线

4 试验验证

在以上理论分析及液压系统仿真的基础上,按仿真尺寸制造了矿用潜水电动液压控制闸阀的样机(图8),并进行了工业性试验。试验模拟千米深井现场,电源和控制信号分别用1 000 m动力电缆和控制电缆传送,闸阀的样机置于盛水的水箱。



图8 潜水电动液压闸阀的试验照片

试验测试了样机的开启和关闭操作,且测量了信号衰减情况。试验结果表明,该潜水电动液压控制闸阀能在水中完成相应的操作,且信号衰减不影响控制操作及反馈信号,气囊式全封闭液压系统在试验过程中无泄漏无进水现象发生。从试验情况来看,潜水电动液压控制闸阀为解决突水状况下开阀排水提供了新的设计方案。

5 结语

设计的矿用潜水电动液压控制闸阀结构紧凑、集成度高且能调整启、闭力,其液压控制系统动态性能较稳定。潜水电动液压控制闸阀流道模型模拟实际工况仿真分析,闸阀全开时模型内流场压力、流速等参数基本稳定,因此该闸阀投入使用在理论上可行。设计生产的潜水电动液压控制闸阀样机能在试

验条件下工作稳定,为解决应急情况下排水使用闸阀问题提供了新的设计方案。

参考文献:

- [1] 李惠平. 矿井应急排水系统设计[J]. 煤矿机电, 2011(6): 30-31.
- [2] 金亚飚. 浅议阀门电动装置选型时所须注意的要点[J]. 西南给排水, 2008, 30(3): 40-41.
- [3] GB 50215—2005 煤炭工业矿井设计规范[S].
- [4] 吴娟, 寇子明. 井下自动排水用液压可控闸阀仿真研究[J]. 煤矿机械, 2009, 30(1): 59-60.
- [5] 高奇峰, 杨兆建, 李泽松. 矿井自动排水系统液压闸阀动态特性分析[J]. 矿山机械, 2009, 37(9): 70-73.
- [6] 李晓豁, 徐辰丁, 焦丽. SIMULINK 和功率键合图在液压系统建模仿真中的应用[J]. 矿山机械, 2004, 32(3): 69-70.
- [7] 胡勇, 周建军, 贾方. 利用功率键合图和SIMULINK实现溢流阀的动态仿真[J]. 河南科技大学学报: 自然科学版, 2009, 30(4): 20-23.
- [8] Boruzky W. Bond Graph Model-Based Fault Detection Using Residual sinks[J]. Systems and Control Engineering, 2009, 22(1): 38-40.
- [9] Li P Y, Ngwompo R F. Power Scaling Bond Graph Approach to the Passification of Mechatronic Systems with Application to Electro-hydraulic Valves[J]. Transactions of the ASME, 2005, 127(12): 633-638.
- [10] 郑阿奇. Pro/ENGINEER实用教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 50-95.
- [11] 朱立明. 流体力学[M]. 上海: 同济大学出版社, 2009: 35-59.
- [12] 黄鹏江帆. FLUENT高级应用与实例分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 135-169.
- [13] 孙勇, 王伟. 基于Fluent的掘进工作面通风热环境数值模拟[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(7): 32-33.

(上接第70页)

- [4] 王正辉, 刘国忠. 采用地面测氡法探测井下火区分布实践[J]. 矿业安全与环保, 2010, 37(6): 3-4.
- [5] 李韧杰. 氢析出率的测定及其影响因素的探讨[J]. 铀矿冶, 2000, 19(1): 56-59.
- [6] 邓军, 徐精彩, 阮国强. 国内外煤炭自然发火预测预报技术综述[J]. 西安科技大学学报, 1999, 19(4): 293-295.
- [7] 张建明. 中国地下煤火研究与应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008: 123-134.
- [8] 赵耀江, 邬剑明. 测氡探火机理的研究[J]. 煤炭学报, 2003, 28(3): 34-35.
- [9] 金永飞, 邓军. 测氡法探测地下煤火技术研究与应用[J]. 西安科技大学学报, 2010, 30(6): 273-274.
- [10] 刘华军, 李天斌, 沈军辉, 等. 氡(RaA)测试技术在某岩质边坡卸荷深裂缝带研究中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(1): 35-37.