

淮北矿区祁东井田构造对瓦斯赋存的控制作用

李恒乐¹ 秦 勇¹ 张玉贵² 简 阔¹

(1. 中国矿业大学 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室 江苏 徐州 221116; 2. 河南理工大学 安全科学与工程学院 河南 焦作 454000)

摘要: 基于瓦斯赋存构造逐级控制理论和区域构造演化的研究,探讨了淮北矿区祁东井田成煤后不同期次和性质的构造应力场下形成的构造对瓦斯赋存的控制作用。结果表明:燕山期是控制瓦斯赋存的关键时期,该期NW—SE向水平挤压应力场作用下形成的一系列断层和褶皱奠定了现今淮北矿区的构造格局和瓦斯赋存特征;在成煤后的构造演化历程中,EW向构造表现为前期挤压、后期拉张,有利于瓦斯逸散,NE—NNE向构造大致经历了挤压剪切—拉张—挤压3个演化过程,NW向构造一直处于挤压状态;NW向构造对瓦斯保存最有利,NE—NNE向构造次之,EW向构造最差。祁东井田不同期次形成的不同性质的断层改变了井田内的瓦斯赋存格局,致使瓦斯赋存呈现出南北分异、东西分块的特点;各断块间瓦斯赋存特征及控制因素不相同,每个断块都可视为独立的瓦斯地质单元。

关键词: 瓦斯赋存; 构造演化; 逐级控制; 瓦斯地质单元

中图分类号: TD712 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2014)08-0042-05

Structure Control on Gas Deposition in Qidong Minefield of Huabei Mining Area

LI Heng-le¹, QIN Yong¹, ZHANG Yu-gui², JIAN Kuo¹

(1. MOE Key Lab of Coalbed Methane Resources and Deposition Process, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. School of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: Based on gradual control theory of gas deposition structure and regional structure evolution, the paper discussed gas deposition controlled by the structure formed under different period and different property structure stress field after coal formation of Qidong Minefield in Huabei Mining Area. The results showed that Yanshan period was the key period to control the gas deposition, series faults and folds formed under a role of a NW—SE horizontal extrusion stress field settled the structure pattern and gas position features in Huabei Mining Area. In the structure evolution process after the coal formation, the EW directional structure was in extrusion at the initial period and in tensile at the late period and was favorable for the gas dissipation. A NE—NNE directional structure roughly experienced three evolution processes, including the extrusion shearing—tensile—extrusion and the NW directional structure was always in an extrusion state. The NW directional structure was the most favorable for gas keeping, NE—NNE directional structure was the second and the EW directional structure was the worst. The different property faults formed in different periods in Qidong Minefield changed the gas deposition pattern within the minefield and caused the gas deposition features differentiation in the south and north and partition in the east and west. The gas deposition features and control factors between each fault and block would be different and each fault and block would be an independent gas geological unit.

Key words: gas deposition; structure evolution; gradual control; gas geological unit

0 引言

瓦斯的生成、保存、运移和富集受地质条件的控制,影响瓦斯赋存的地质条件主要有含煤岩系的建

造特征、煤的变质程度、煤层埋藏深度、煤层顶底板岩性、地质构造、岩浆活动、水文地质条件等^[1]。这些条件均在不同程度上受地质构造及其演化的控制,一方面控制着构造的形成及分布,另一方面影响

收稿日期: 2014-03-19; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.08.012

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(U1361207); 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05040-005)

作者简介: 李恒乐(1985—),男,河南南阳人,博士研究生。E-mail: hangleli@126.com

引用格式: 李恒乐,秦勇,张玉贵等.淮北矿区祁东井田构造对瓦斯赋存的控制作用[J].煤炭科学技术 2014,42(8):42-46,50.

LI Heng-le, QIN Yong, ZHANG Yu-gui, et al. Structure Control on Gas Deposition in Qidong Minefield of Huabei Mining Area [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(8): 42-46, 50.

着煤层瓦斯的生成、运移和聚集过程,因此,研究构造演化对构造和瓦斯赋存的控制作用至关重要。前人研究成果揭示,瓦斯赋存分布特征存在着地质构造逐级控制规律。板块构造控制区域构造,区域构造控制矿区构造,矿区构造控制井田和采区、采面构造;通过逐级控制研究,可以逐级缩小范围,厘清不同构造控制级别的瓦斯地质规律,最终圈定和预测瓦斯富集区以及煤与瓦斯突出危险区^[1-3]。长期以来,很多学者对淮北矿区地质演化史及瓦斯赋存特征做了很多研究^[4-14],研究主要集中在区域地质演化史及其控气特征方面,而对矿区、井田瓦斯赋存逐级控制方面研究较少。为此,笔者基于瓦斯赋存构造逐级控制理论,研究了淮北矿区祁东井田构造演化及其对瓦斯赋存的控制作用,以期揭示构造对井田瓦斯赋存的逐级控制特征。

1 地质背景

淮北矿区位于华北板块东南缘,安徽省北部,包括濉萧、宿县、临涣、涡阳4个矿区。主体属于鲁西—徐淮隆起区中南部的徐宿凹陷,夹持于近东西向的丰沛隆起和蚌埠隆起之间,东部以郯庐断裂带为界,西部与河淮沉降区相接^[15]。矿区构造及其演化受控于南部的蚌埠隆起,东北部的徐宿弧形构造和东部的郯庐断裂带。

祁东井田位于淮北矿区近SN向的宿南向斜的东南端,NW向的西寺坡逆冲断裂的西南部(图1)。井田整体上为一单斜构造,地层走向近EW向,向北倾斜,倾角在10°~15°。在此构造背景下,发育有EW向、NNE向、NW向构造。断层主要有EW向的

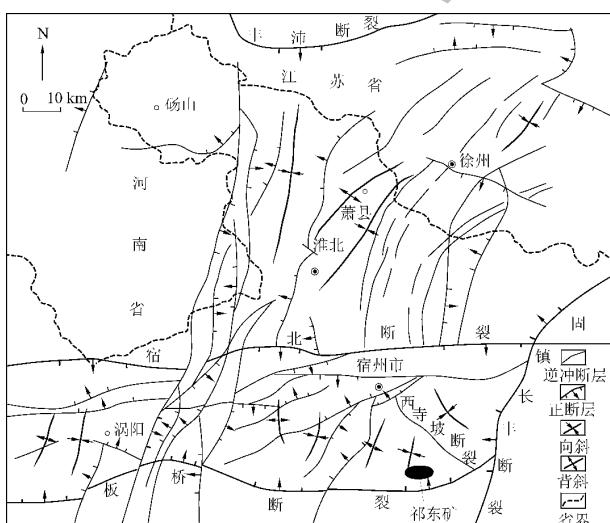


图1 淮北矿区构造示意

魏庙断层、NNE向的F₁、F₂、F₆₋₁正断层、NW向的F₅逆断层,褶皱有轴向近EW向的环东背斜和马湾向斜(图2)。井田范围内的石炭系煤层均不可采,二叠系下统山西组和下石盒子组、上统上石盒子组为主要含煤地层。发育1~11个煤层(组),可采煤层14层,自上而下编号为1、2₂、2₃、3₂、6₀、6₁、6₂、6₃、7₁、7₂、8₁、8₂、9、10号煤层,其中3₂、6₁、7₁、8₂、9为主要可采煤层。

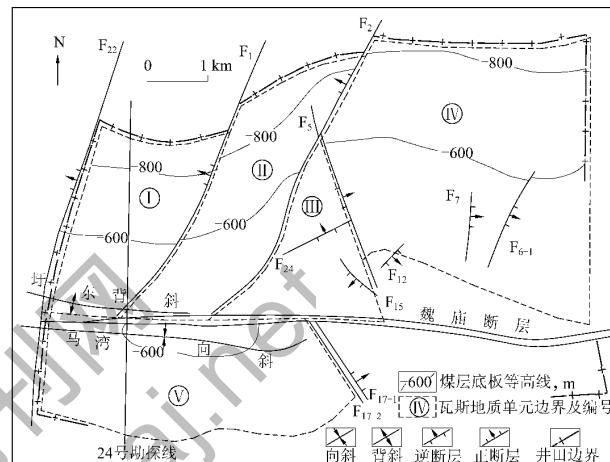


图2 祁东井田构造示意

2 构造演化对瓦斯赋存的控制

构造演化控制着地质构造变形机制及瓦斯赋存规律。现今煤层瓦斯的赋存状态是历次构造运动演化的结果,并受各种地质因素控制;成煤后历次构造运动产生的构造应力以及不同级别断裂、褶皱或发生的岩浆作用,均控制着煤层瓦斯的赋存和变化^[1]。相关研究^[16-18]表明,构造演化对瓦斯(煤层气)富集和保存起着重要的控制作用。

2.1 构造演化对淮北矿区瓦斯赋存的控制

构造应力场控制着不同构造样式的形成和演化,是驱动地下流体运移的重要动力,控制着煤层瓦斯赋存规律^[18]。淮北矿区自加里东运动之后,经历了印支、燕山、喜山三期构造应力场作用。

印支期表现为华北板块与扬子板块近南北向的强烈挤压作用,形成了一些近EW向构造。这种挤压作用导致华北东南部地层抬升,原先沉积的地层遭受风化剥蚀,普遍缺失三叠系地层,但本期构造运动基本没有改变聚煤期的构造格局及煤层展布特征^[6]。仅在部分严重隆起区煤系上覆地层被剥蚀,瓦斯逸散严重,但大部分地区煤层埋深仍较大,瓦斯保存较好。

燕山早中期表现为NW向NWW偏转的挤压应

力场作用下形成一系列 NE—NNE 向、近 SN 向、NW 向构造,切割早期形成的 EW 向构造。同时伴随着强烈的断裂活动,发生了中性岩浆岩的侵入和喷发,岩浆活动主要受 NNE 向和 EW 向构造体系的控制,侵入岩发育,主要分布于褶皱核部或断裂的交叉部位^[9]。岩浆岩的侵入为煤的二次生气创造了良好条件,也增加了瓦斯赋存的复杂性。本期构造运动基本奠定了现今淮北矿区的构造格局和瓦斯赋存特征。燕山晚期中国东部伸展构造活跃,表现为 NE—NEE 向水平伸展运动,区内形成大量的 NE—NNE 向纵张型正断层。

喜山期主要表现为 NE—NEE 向的挤压作用和近 SN 向的拉张裂陷,不均匀的升降和断裂活动。致使早期形成的一些近 EW 向、NE—NNE 向构造产生拉张或平滑移动,并形成了一系列走向近 EW 的正断层。早期形成的近 EW 向的宿北断裂转变为正断层是这一时期伸展运动的重要体现,造成了徐宿弧形逆冲推覆构造在南北向上的不连续,致使该断裂南部煤层埋深加大,瓦斯逸散较少,北部埋深相对较浅,瓦斯逸散严重,瓦斯风化带较深^[6—11]。

地质构造及其演化逐级控制着矿区、矿井的瓦斯赋存状态。在构造形态方面,从矿区到井田,构造总体上均可划分为 EW 向、NE—NNE 向和 NW 向 3 组(图 1)。在构造形成期次方面,EW 向构造主要是在印支期南北向挤压作用及喜山期南北向拉张作用下形成,NE 向、NNE 向和 NW 向构造主要形成于燕山期。喜山期主要表现为对前期已形成构造的改造。在瓦斯赋存分布方面,淮北矿区整体上呈现出“南高北低、东高西低、东南部最高”的分布格局^[11],但岩浆侵入作用提高了煤的变质程度,造成煤的二次生烃,增加了淮北矿区瓦斯赋存格局的复杂性。这主要是燕山期 NW—NNW 向强烈挤压作用及其伴随的岩浆活动和喜山期拉张裂陷、不均匀沉降综合作用的结果。

2.2 构造演化对祁东井田瓦斯赋存的控制

祁东井田现今的构造格局是含煤地层形成后不同期次构造运动叠加的结果。受印支运动影响,在南北向挤压作用下形成了轴向近东西的 2 个次级褶皱构造,即圩东背斜和马湾向斜,煤系地层隆起剥蚀严重,褶皱核部从 3₂ 煤层到 6₁ 煤层几乎被全部剥蚀,瓦斯大量逸散。喜山期在南北向拉张作用下这 2 个相连的褶曲被拉开,形成了东西向的魏庙正断层,为瓦斯逸散提供了通道,致使现今在魏庙断层附

近瓦斯含量很低,特别是魏庙断层南部,瓦斯含量一般为 2~4 m³/t,瓦斯风化带深 600 m。燕山期在 NWW 向强烈挤压作用下形成的 NW 向 F₅ 逆断层和 NE 向 F₁、F₂ 正断层将井田北部分割为断块状。断层性质的不同,燕山期岩浆岩在井田中东部的大面积侵入,NE—近 EW 向现代构造应力场的挤压作用,使井田北部各断块间具有不同的瓦斯赋存特征。

3 构造对瓦斯赋存的逐级控制特征

不同级别、性质、期次形成的构造对瓦斯赋存的控制作用各不相同。井田现今瓦斯赋存分布特征是含煤盆地成煤后历经印支、燕山、喜山三期构造运动和现代构造应力场作用的结果,均可归结为挤压剪切或拉张裂陷构造活动作用的结果^[3]。因此厘清构造的形成期次、级别和力学性质才能厘清构造是如何控制瓦斯的,从而厘清构造控制下的瓦斯赋存分布规律。

3.1 构造对淮北矿区瓦斯赋存的逐级控制

淮北矿区总体上发育 EW 向、NE—NNE 向和 NW 向 3 组构造。EW 向构造基本形成于印支期,部分断层又于喜山期在近 SN 向的伸展运动下转变为正断层,前期为挤压隆起型,后期为拉张裂陷型,为瓦斯逸散提供了良好通道,致使该组构造附近瓦斯普遍较少。NE—NNE 向和 NW 向构造基本形成于燕山早中期,NE—NNE 向构造又于燕山晚期近 EW 向伸展活动下转变为正断层,淮北矿区现代构造应力场最大挤压应力为 NE—近 EW 向^[19—20]。NE—NNE 向构造大致经历了挤压剪切—拉张—挤压 3 个过程,但 NW 向构造一直处于挤压状态,而且 NW 向断层基本均为逆断层,致使现今 NW 向构造附近应力集中,煤与瓦斯突出严重,瓦斯压力和瓦斯含量高,NE—NNE 向构造附近地应力、煤与瓦斯突出危险性和瓦斯含量等均小于 NW 向构造。就构造对瓦斯赋存的影响而言,NW 向构造影响最大,NE—NNE 向构造次之,EW 向构造最小。

3.2 构造对祁东井田瓦斯赋存的逐级控制

井田的构造特征必定是在特定的构造环境中产生的,其分布组合规律必定与矿区乃至更大区域的构造演化密切相关。祁东井田亦发育 EW 向、NE 向和 NW 向 3 组构造。NE 向和 EW 向断层基本为正断层,NW 向断层为逆断层。较大断层为 EW 向的魏庙断层,NE 向的 F₁、F₂ 正断层,NW 向的 F₅ 逆断层。这些断层破坏了煤层的连续完整性,同时也改

变了井田内的瓦斯赋存格局,致使井田内瓦斯赋存呈现出南北分异、东西分块的特点。南北分异以魏庙断层为界,北部瓦斯含量明显大于南部;东西分块以F₁、F₂、F₅断层为界,各断块间瓦斯赋存分布特征及主控因素各不相同,每个断块都可视为1个独立的瓦斯地质单元。据此,将井田划分为5个瓦斯地质单元(图2)。

魏庙断层南北两侧分别发育的轴向近EW的马湾向斜和圩东背斜(图3a),主要是印支期南北向挤压作用和喜山期近南北向拉伸作用的产物。对比分

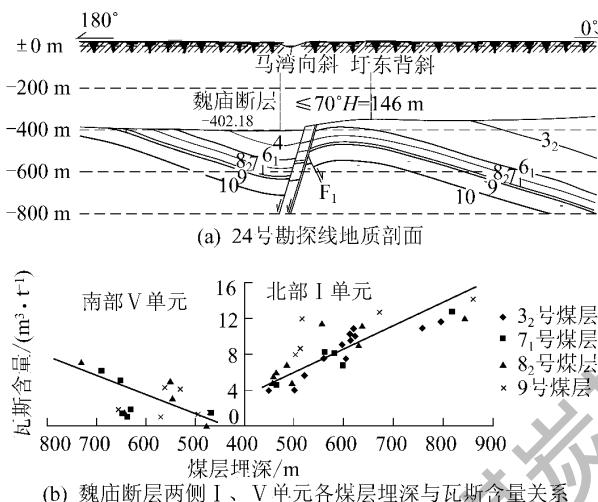


图3 魏庙断层两侧地质剖面及埋深与瓦斯含量关系

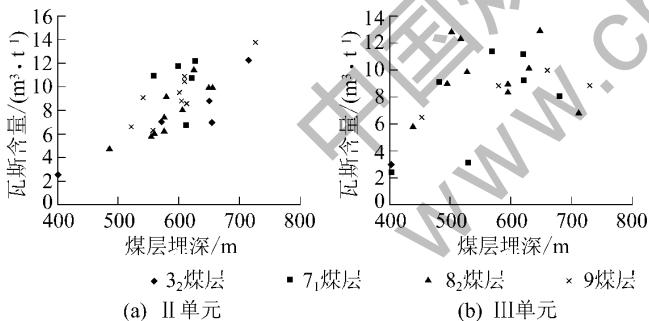


图4 II—IV单元各煤层埋深与瓦斯含量关系

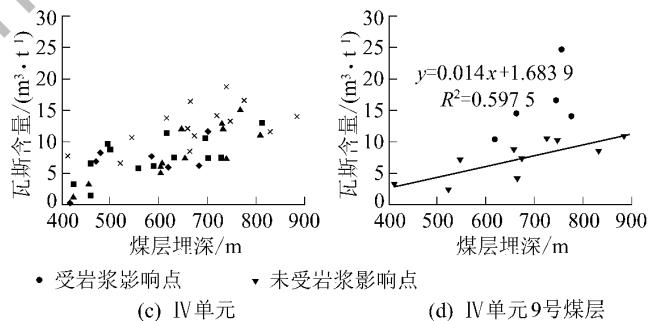
煤层埋深是控制I、II单元瓦斯含量分布的主要因素,区别在于瓦斯含量梯度在II单元大于I单元(图3、图4a)。在瓦斯含量相差很小的情况下,II单元煤层埋深远小于I单元(表1)。

表1 I、II单元最大瓦斯含量特征

煤层	最大瓦斯含量/(m³·t⁻¹)		埋深/m	
	I单元	II单元	I单元	II单元
3 ₂ 煤层	11.38	12.30	811.58	713.85
7 ₁ 煤层	12.59	12.21	837.19	625.00
8 ₂ 煤层	11.77	11.53	871.90	625.00
9煤层	14.01	13.97	885.25	724.35

析发现,魏庙断层两侧各煤层瓦斯含量具有随埋深增加而增大的趋势,但北部瓦斯含量明显高于南部(图3b)。如北部I单元8₂号煤层,最大瓦斯含量11.77 m³/t,一般在10 m³/t左右;南部V单元8₂号煤层,最大瓦斯含量7.34 m³/t,一般为2~5 m³/t;在同埋深情况下,北部瓦斯含量是南部的2~3倍。马湾向斜核部上石盒子组地层基本全部被剥蚀,圩东背斜核部上石盒子组和部分下石盒子组地层也被剥蚀,加之开放的正断层体系,为瓦斯逸散提供了良好的通道,这是造成以魏庙断层为界,井田南北部瓦斯赋存差异的根本原因。

NE向的F₁、F₂正断层以及NW向的F₅逆断层,将井田北部分割为4个断块。这些断层均形成于燕山期,F₅逆断层在燕山早中期NW—NNW向强烈挤压作用下随徐宿弧形逆冲推覆构造而形成,属挤压封闭型构造。F₁、F₂正断层形成时间晚于F₅逆断层,受燕山晚期中国东部NE—NEE向伸展运动和郯庐断裂带左行走滑的影响,断层线发生“S”形扭曲^[20],属拉张型构造。分析魏庙断层北部各单位各煤层瓦斯含量与煤层埋深关系,除III单元外,I、II、IV单元各煤层瓦斯含量均具有随煤层埋深增加而增大的趋势,但各单位控制瓦斯赋存的地质因素各不相同(图3、图4)。



F₁断层中断了瓦斯在I、II单元间运移的连通性,也为瓦斯逸散提供了通道。故将这2个主控因素相同的单元划分为2个瓦斯地质单元。III单元位于F₅逆断层下盘,各煤层瓦斯含量与埋深的关系比较混乱(图4b),说明除埋深外,还有其他影响瓦斯赋存的地质因素。据井巷揭露资料,该单元小断层发育,地质构造复杂,煤的破坏类型为IV、V类,煤体松软,层理紊乱。

9号煤层在掘进过程中共发生了25次突出事故,均位于该单元内,其中24次为压出,1次为倾出,强度最大的一次压出煤量104 t、瓦斯量11 617 m³。

据在429、521、621 m深度(其中后2个测点位于Ⅲ单元内)的地应力测试结果^[21],最大主应力分别为23.68、25.89、29.29 MPa,方向分别为49.4°、94.2°、42.6°,中间主应力为垂直应力。说明地应力场以水平构造应力为主,方向为NE—近EW向。结合已发生的突出类型,可知地应力为诱导突出的主要因素,这与燕山期形成的NW向F₅逆断层对下盘煤层的挤压破坏及NE—NNE向现代构造应力场的挤压作用有关。程远平等^[22]通过对祁南井田7₂号煤层的煤与瓦斯突出特征分析,也认为构造应力对该井田的突出灾害起主导控制作用。

Ⅳ单元除9号煤层外,其他煤层瓦斯含量与煤层埋深密切相关(图4c)。但9号煤层出现异常的现象与燕山期岩浆侵入作用有关^[23]。祁东井田岩浆岩以基性岩为主,少数为正长斑岩和辉石正长岩。岩浆主要侵入煤层为山西组10号煤层和下石盒子组9号煤层,其他煤层仅见个别侵入点,10号煤层全层发育岩浆岩,均不可采。9号煤层岩浆岩主要分布于F₅断层以西即Ⅳ单元。岩浆侵入使煤发生区域热变质和接触变质作用,提高了煤的变质程度,造成了煤的二次生烃,增加了瓦斯赋存格局的复杂性。9号煤层岩浆侵入严重的钻孔煤样镜质组最大反射率均大于1.0%,最大值为3.7%,而非影响区镜质组最大反射率只有0.97%(图5)。

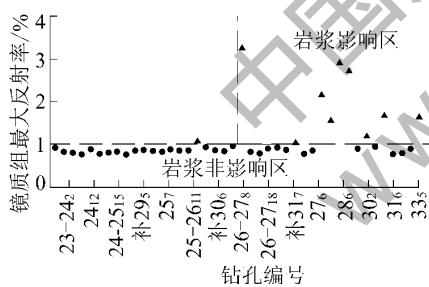


图5 9号煤层钻孔煤样镜质组最大反射率分布

如图4d所示,9号煤层未受岩浆侵入影响的区域瓦斯含量与煤层埋深有很好的线性关系,而发育岩浆岩的27-28₅、28₆、29₆、29-30₄、31₁₀等钻孔的煤层瓦斯含量分别为25.52、16.88、16.7、18.99、13.84 m³/t,远大于同埋深未受岩浆影响区域的煤层瓦斯含量。而且Ⅳ单元构造简单,因此,岩浆侵入作用是造成Ⅳ单元9号煤层瓦斯含量高的主要因素。

4 结 论

1) 淮北矿区祁东井田总体上发育EW向、NE—NNE向、NW向3组构造。EW向构造主要经历了

前期挤压、后期拉张作用,有利于瓦斯逸散,致使现今EW向构造附近瓦斯较少。NE—NNE向构造大致经历了挤压剪切—拉张—挤压3个演化过程,NW向构造一直处于挤压状态。就构造对瓦斯保存条件的影响而言,NW向构造最有利,NE—NNE向构造次之,EW向构造最差。结合淮北矿区构造形成期次,认为燕山运动对瓦斯赋存起决定性作用,印支运动和喜山运动对瓦斯赋存的影响相对较小。

2) 祁东井田发育5个瓦斯地质单元,不同性质和期次形成的断层不仅破坏了煤层的完整性,也改变了井田内瓦斯赋存格局,使瓦斯赋存呈现出“南北分异、东西分块”的特征。南北分异以魏庙断层为界,北部瓦斯含量明显大于南部;东西分块以F₁、F₂、F₅断层为界,各断块间瓦斯赋存特征及控制因素有所差异,使得每个断块形成1个独立的瓦斯地质单元。Ⅰ、Ⅱ单元瓦斯赋存主要受煤层埋深控制;Ⅲ单元受复杂的地质构造及高地应力控制,是发生煤与瓦斯突出的敏感地带;Ⅳ单元9号煤层瓦斯含量高异常部位是岩浆侵入作用的结果;Ⅴ单元在整个井田中瓦斯最小,是印支期含煤地层隆起剥蚀和喜山期开放型正断层(魏庙断层)共同作用的结果。

参考文献:

- [1] 张子敏.瓦斯地质学[M].徐州:中国矿业大学出版社 2009.
- [2] 张子敏,张玉贵.三级瓦斯地质图与瓦斯治理[J].煤炭学报,2005,30(4):455-458.
- [3] 张子敏,吴吟.中国煤矿瓦斯赋存构造逐级控制规律与分区划分[J].地学前缘,2013,20(2):237-245.
- [4] 曹代勇.安徽淮北煤田推覆构造中煤镜质组反射率各向异性研究[J].地质论评,1990,36(4):333-340.
- [5] 王桂梁,姜波,曹代勇,等.徐州—宿州弧形双冲—叠瓦扇逆冲断层系统[J].地质学报,1998,72(3):228-236.
- [6] 姜波,秦勇,范炳恒,等.淮北矿区煤储层物性及煤层气勘探前景[J].中国矿业大学学报,2001,30(5):433-437.
- [7] JIANG Bo, QU Zheng-hui, Geoff G X Wang, et al. Effects of Structural Deformation on Formation of Coalbed Methane Reservoirs in Huabei Coalfield, China [J]. International Journal of Coal Geology, 2010, 82(3): 175-183.
- [8] 姜波,秦勇,琚宜文,等.煤层气成藏的构造应力场研究[J].中国矿业大学学报,2005,34(5):564-569.
- [9] 琚宜文,王桂梁.淮北宿临矿区构造特征及演化[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2002,21(3):286-289.
- [10] 韦重韬,姜波,傅雪海,等.宿南向斜煤层气地质演化史数值模拟研究[J].石油学报,2007,28(1):54-57.
- [11] 屈争辉,姜波,汪吉林,等.淮北矿区构造演化及其对煤与瓦斯的控制作用[J].中国煤炭地质,2008,20(10):34-37.

(下转第50页)

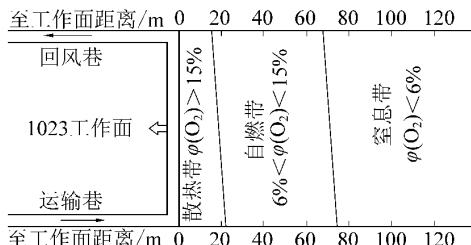


图5 1023综采工作面采空区自燃“三带”范围划分结果

5 结 论

1) 从采空区温度实测分析可以得知,在实测期间,各测点温度都不高,说明测试期间1023综采工作面采空区没有氧化自燃现象,采空区相对高温范围出现在距工作面30~60 m内。

2) 采空区内CO₂高浓度区域都分布在距工作面40~60 m内,此范围均处于自燃带内。采空区CO₂浓度分布规律符合“一源一汇”工作面的采空区漏风流场分布规律。采空区进风侧漏风范围大,供氧充足,易发生自热氧化现象。因此,采空区回风侧比进风侧更早进入惰化区域。

3) 袁店一矿1023综采工作面采空区自燃“三带”分布范围(距工作面中部距离)为:散热带0~18.8 m;自燃带18.8~71.1 m;窒息带大于71.1 m。

4) 根据划分的自燃“三带”范围,计算出预防10号煤层采空区煤体自燃的工作面最低推进速度为42 m/月适宜,可满足防灭火的需要。基于该Ⅱ类自燃煤层的自然发火规律,综合分析选取合理的开采方法和预防措施,采取注浆、注氮等防灭火措施,保证工作面的安全开采。

参考文献:

- [1] 王德明.矿井火灾学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2008.
- [2] 张国枢,谭允祯,陈开岩,等.通风安全学[M].徐州:中国矿业大学出版社,1990.
- [3] 王省身,张国枢.矿井火灾防治[M].徐州:中国矿业大学出版社,1990.
- [4] 张国枢,戴广龙.煤炭自燃理论与防治实践[M].北京:煤炭工业出版社,2002.
- [5] 李春生,张道树,王华胜.综放工作面煤层自燃综合治理技术[J].煤炭科学技术,2010,38(11):74~77.
- [6] 朱毅,邓军,张辛亥,等.综放采空区抽放条件下自燃“三带”分布规律研究[J].西安科技大学学报,2006,26(1):15~19.
- [7] 杨宏民,牛广柯,李化金.采空区自燃“三带”划分指标的探讨[J].煤矿安全,1998,29(5):26~28.
- [8] 张小明,侯忠杰.厚土层浅埋深煤层开采覆岩“三带”的数值模拟[J].煤炭科学技术,2007,35(2):93~96.
- [9] 蒋曙光,张人伟,陈开岩.监测温度和气体确定采空区自燃“三带”的研究[J].中国矿业大学学报,1998,27(1):56~59.
- [10] 秦波涛,张雷林,王德明,等.采空区煤自燃引爆瓦斯的机理及控制技术[J].煤炭学报,2009,34(12):1655~1659.
- [11] 王亮,张人伟,裴晓东,等.易自燃厚煤层采空区自然发火特性的研究[J].煤矿安全,2006,37(2):5~8.
- [12] 何启林,郑旺来.徐庄煤矿综放采空区“三带”宽度的确定[J].煤矿安全,2001,32(2):6~7.
- [13] 刘松,蒋曙光,王东江,等.采空区自燃“三带”变化规律研究[J].煤炭科学技术,2011,39(4):69~73.
- [14] 杨胜强,张人伟,邸志前,等.综采面采空区自燃“三带”的分布规律[J].中国矿业大学学报,2000,29(1):93~96.
- [15] 王云龙,贾宝山,林立峰.采空区自燃“三带”分布规律的模拟研究[J].能源技术与管理,2011(1):1~3.
- [16] 杨胜强,尹文萱,于宝海,等.煤巷高冒区破碎煤体自然发火微循环理论分析[J].中国矿业大学学报,2008,37(5):590~594.
- [17] 罗海珠,梁运涛.煤自然发火预测预报技术的现状与展望[J].中国安全科学学报,2003,13(3):76~78.
- [18] 徐精彩.煤自燃危险区域判定理论[M].北京:煤炭工业出版社,2001.
- [19] 兰泽全.多源多汇采空区速度场、瓦斯浓度场和温度场计算机模拟[D].淮南:安徽理工大学,2001.
- [20] 方爱民,侯泉林,琚宣文,等.不同层次构造活动对煤层气成藏的控制作用[J].中国煤田地质,2005,17(4):15~20.
- [21] 刘东旺,刘泽民,沈小七,等.安徽淮河构造变形带及邻近块体现代构造应力场特征[J].中国地震,2004,20(4):42~49.
- [22] 吴诗勇,胡宝林,姚多喜,等.祁东矿地质构造特征及演化规律[J].兰州大学学报,2010,46(3):64~67.
- [23] 吴俊松,吴玉华,傅昆嵒.祁东煤矿地应力测试成果分析[J].淮南职业技术学院学报,2004,4(3):32~34.
- [24] 程远平,张晓磊,王亮.地应力对瓦斯压力及突出灾害的控制作用研究[J].采矿与安全工程学报,2013,30(3):409~414.
- [25] 李恒乐,张玉贵,秦勇,等.淮北矿区祁东井田中生代岩浆侵入作用对煤层瓦斯赋存的影响[J].煤炭学报,2013,38(11):1082~1087.