

安全技术及工程

淮南煤田潘一矿瓦斯地质单元划分

钟福平¹, 白万备², 林辰¹, 王健康¹, 董林升¹, 李明明¹, 张玉贵¹, 崔洪庆¹

(1. 河南理工大学 安全科学与工程学院瓦斯地质研究所 河南 焦作 454000; 2. 河南理工大学 资源环境学院 河南 焦作 454000)

摘要: 为了查明煤矿瓦斯地质规律, 以更好地指导煤矿瓦斯灾害, 以淮南煤田潘一矿为研究对象, 划分了瓦斯地质单元。研究结果表明: 淮南煤田潘一矿煤系地层主要受晚三叠世和晚侏罗—早白垩世时期构造运动的改造, 其内部产生了不同时期的构造形迹, 以矿井内主要断层 F4、F5 为界, 将其划分为 3 个瓦斯地质单元。对划分出的 3 个瓦斯地质单元的瓦斯地质规律进行了研究, 揭示了各瓦斯地质单元内构造煤分布特征、瓦斯含量与瓦斯压力、瓦斯风化带深度及瓦斯动力现象, 对该矿瓦斯灾害防治提供了指导。

关键词: 瓦斯地质单元; 煤与瓦斯突出; 瓦斯地质特征; 构造煤

中图分类号: TD712 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2014)10-0057-05

Unit Division of Gas Geology in Panyi Mine of Huainan Coalfield

ZHONG Fu-ping¹, BAI Wan-bei², LIN Chen¹, WANG Jian-kang¹, DONG Lin-sheng¹,

LI Ming-ming¹, ZHANG Yu-gui¹, CUI Hong-qing¹

(1. Research Institute of Gas Geology, School of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. School of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: In order to prove the mine gas geological law to well guide prevention and control of mine gas disaster, taking Panyi Mine of Huainan Coalfield as a study object, the mine gas geological unit of Panyi Mine was divided. The study results showed that the coal measure strata of Panyi Mine in Huainan Coalfield were reconstructed mainly by the tectonic movements during the Late Triassic and Late Jurassic—Early Cretaceous and tectonic features of different period occurred in the internal of the strata. Based on major fault F4 and fault F5 in the mine as a boundary, three gas geological units were divided. A study was conducted on the gas geological law of the three gas geological units. The structure coal distribution law, gas content and gas pressure, gas weathering zone depth and gas dynamics phenomenon in each gas geological unit were revealed and could provide guidance to the prevention and control of the mine gas disaster.

Key words: gas geology unit; coal and gas outburst; gas geological features; structure coal

0 引言

对各煤矿进行瓦斯地质单元划分, 有助于研究煤矿瓦斯地质规律和划分突出危险区域, 对煤矿安全管理具有重要意义。目前主要从煤矿安全生产角度划分瓦斯地质单元, 即通过从煤矿自身地质条件、瓦斯地质条件与瓦斯动力学现象来划分瓦斯地质单元, 从而对这些瓦斯地质单元有区别地进行安全管

理。彭立世等^[1-2]认为瓦斯地质单元是根据煤体和瓦斯是否具有突出危险性所划分出的理想空间范围。杨陆武等^[3]的瓦斯地质单元法是以综合假说为理论基础, 以地质分析为依据, 提出了从瓦斯突出分布的角度来划分瓦斯地质单元, 在井田范围内确定突出危险点, 并认为瓦斯地质单元法的核心是地质条件控制煤与瓦斯突出的分布, 因此, 强调了研究区地质条件的重要性。张宏伟^[4]根据地形地貌的

收稿日期: 2014-04-07; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.10.014

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05040); 淮南矿业集团科研项目计划资助项目(HNKY—JT—JS(2010)); 河南理工大学博士基金资助项目(B2012-109)

作者简介: 钟福平(1978—), 男, 江西分宜人, 讲师, 博士。Tel: 15838970296, E-mail: zhongfp@hpu.edu.cn

引用格式: 钟福平, 白万备, 林辰, 等. 淮南煤田潘一矿瓦斯地质单元划分[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(10): 57-61.

ZHONG Fu-ping, BAI Wan-bei, LIN Chen, et al. Unit Division of Gas Geology in Panyi Mine of Huainan Coalfield[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(10): 57-61.

基本形态和主要特征,提出了地质动力区划,该划分在研究煤与瓦斯突出方面取得成功应用^[5]。此外,还有众多研究者在矿井瓦斯地质单元划分方面做了一系列研究^[6-11]。淮南煤田潘一矿是我国东部重要的煤炭生产基地,在我国能源事业中具有重要地位,但该矿煤与瓦斯突出形势严峻。所以,对该矿进行瓦斯地质单元划分对其安全管理具有重要意义。有关该矿井的瓦斯地质单元划分研究,已有学者做了一系列工作^[7-9]。笔者对该矿进行了瓦斯地质单元划分,并提出了对该矿瓦斯地质单元划分的新依据。通过分析,笔者认为,瓦斯地质单元划分应主要依据矿井地质条件,而瓦斯地质条件和瓦斯动力现象可作为验证瓦斯地质单元划分是否合理的证据。

1 潘一矿瓦斯地质单元划分依据

1) 潘一矿构造演化背景。潘一矿属淮南煤田,其大地构造复杂,南部为秦岭—大别造山带、东部为著名的郯庐裂隙带,而北部为蚌埠隆起,其构造地质特征受周围构造活动影响。南部的秦岭造山带经历了多期构造演化,其中最重要的2期造山运动发生在加里东期和印支期。加里东期造山运动表现为早古生代中秦岭微板块与华北板块沿北祁连—商丹缝合带碰撞拼合^[12-14]。印支期造山运动反映的是在晚三叠世华北板块和扬子板块碰撞造山,这一碰撞发生在古特提斯洋于三叠纪闭合之后。从岩石学角度研究显示秦岭—大别造山带在该期经历了剧烈活动^[15-24];从地层沉积情况来看秦岭造山带在晚三叠世也发生了碰撞^[15,25]。

研究区东部的郯庐裂隙带是我国东部最重要的裂隙带,长度达2400 km,总体为NNE走向,具有复杂的活动历史^[26-28]。该裂隙带形成后,裂隙带同造山运动的存在及其中大量早白垩世左旋走滑运动的现象^[29-31],表明该裂隙带在三叠纪^[32]与早白垩世^[30]分别发生了2次走滑活动。Mercier等^[33]通过对郯庐断裂南侧的演化历史研究表明,该裂隙带于早白垩世中晚期开始发生左旋走滑活动,中晚三叠世时,为介于大别—苏鲁碰撞带之间的左旋压扭转换断层。张岳桥等^[34]认为郯庐断裂在220—190 Ma发生了强烈的左旋走滑运动,而一系列的⁴⁰Ar/³⁹Ar测年结果及在郯庐裂隙带南段地表所见的一些大规模低温走滑糜棱岩是135 Ma形成的,说明了郯庐裂隙带在早白垩世发生了大规模的左旋走滑运动^[30],且主要与太平洋板块的高速俯冲有关^[35]。

研究区北部的蚌埠隆起位于华北地块东南缘,属于华北板块范畴。吴江等^[36]认为该隆起在奥陶纪就已形成雏形,而李东平等^[37]认为它是在中、新生代再度活化的新隆起。蚌埠隆起区西庐山及女山花岗岩中新元古代岩浆锆石和印支期变质锆石的存在以及太古宙和古元古代继承锆石的存在,暗示岩浆源区既有扬子地块基底物质又有华北地块基底物质,其中某些遭受了超高压变质作用的改造^[38]。侵入于蚌埠隆起中的晚侏罗世麻状花岗岩中的继承锆石U—Pb测年给出了平均217 Ma的年龄,说明了该带变质基底经历了三叠纪构造事件^[39]。

从上述井田南部的秦岭—大别造山带、东部郯庐裂隙带及北部的蚌埠隆起构造活动来看,它们的构造活动主要发生在晚三叠世和晚侏罗—早白垩世这2个时期。所以,该矿煤系地层也主要受到了这2期构造运动的改造。

2) 潘一矿主要构造特征分析。潘一矿位于淮南复向斜内部且位于潘集背斜的南翼及倾伏转折端(图1)^[40]。井田内以斜切张扭性断层为主,压扭性断层次之。张扭性断层按走向可分为2组:一组为NEE及EW向,倾向SE及S,倾角50°~75°,为本井田主要断层。另一组为NW及NNW向,倾向SW及NE,倾角50°~75°,落差较小。井田内主要压扭性断层为走向和背斜轴轴向基本一致或二者交角20°~30°的逆断层,其落差较大。其中正断层F4及逆断层F5是井田内最主要断层,且F4切割了F5断层,F4断层走向为NE—SW,F5走向近EW(图2)。

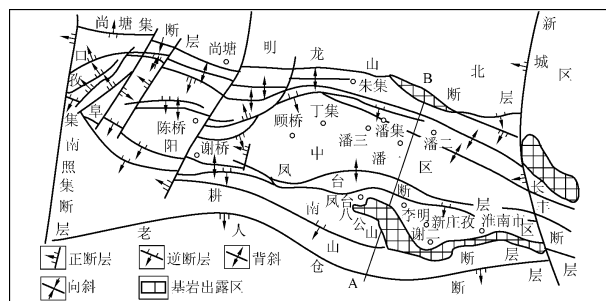


图1 淮南矿区构造纲要

笔者收集并在潘一矿井下观测了大量的构造形迹产状。以F4、F5为界,将13—1、11—2煤层F4断层左侧、F4断层右侧—F5断层左侧及F5断层右侧分为3个区,将这3个区内的小断层走向按不同煤层编制成玫瑰花图(图3—图5)。在F4断层左侧区域,断层的优势走向为NEE—NE;在F4、F5断层之间区域,断层的优势走向为NNE与NNW方向;在

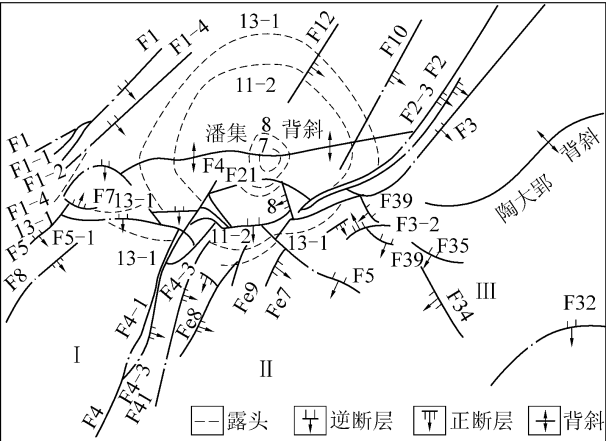


图2 潘一矿构造地质简图

F5 断层右侧区域, 断层的优势走向为 NW—NNW。

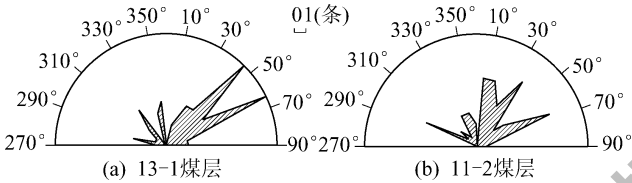


图3 13-1、11-2 煤层 F4 断层左侧区域内玫瑰花图

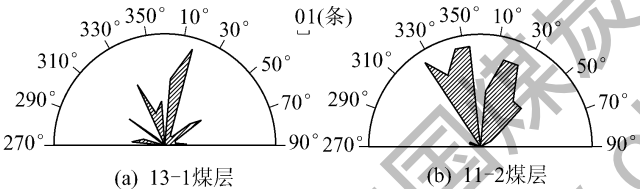


图4 13-1、11-2 煤层 F4、F5 断层之间区域内玫瑰花图

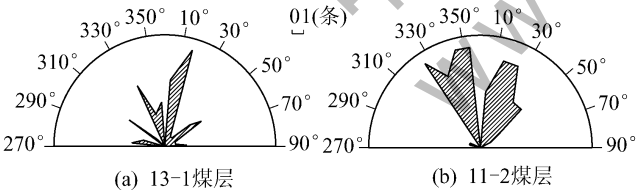


图5 13-1、11-2 煤层 F5 断层右侧区域内玫瑰花图

3) 潘一矿瓦斯地质单元划分。根据淮南煤田

经历的主要构造运动及潘一矿内玫瑰花图可知, 潘一矿主要断层 F5 及其右侧区域地质构造主要在晚三叠世时期形成, 所以, 该区主要经历晚三叠世构造活动改造, 为挤压应力, 且形成的断层走向优势方向与印支期间华南与华北板块俯冲碰撞时应力方向吻合; F4 断层及其左侧区域地质构造主要在晚侏罗—早白垩世时期形成, 为由挤压向拉张转换的构造背景^[41-46]; 而 F4 与 F5 之间区域受到了晚三叠世与晚侏罗—早白垩世这 2 期构造运动的叠加作用, 使得原来 NW 方向的断层在后期的构造运动改造为 NNW 方向。据此, 以潘一矿内主要断层 F4、F5 为界, 将其划分为 3 个瓦斯地质单元, 分别为 I、II、III 单元(图 2)。

2 各瓦斯地质单元特征

2.1 构造煤分布特征

根据安徽省煤田地质局鉴定与通过在潘一井田巷道对 13-1 煤层构造煤发育特征进行现场观测的 120 个钻孔的测井曲线, 将每个钻孔 13-1 煤层的构造煤厚度进行了解译并统计于表 1 中。在鉴定的 120 个钻孔中(井田 III 单元内有 29 个、I 单元内有 36 个、II 单元内有 55 个), 含构造煤的钻孔为 105 个, 占钻孔总数的 87.5%。在统计的 105 个含构造煤的钻孔中, 在 II 单元内的构造煤(图 6、表 1) 钻孔数量占 50% 左右。

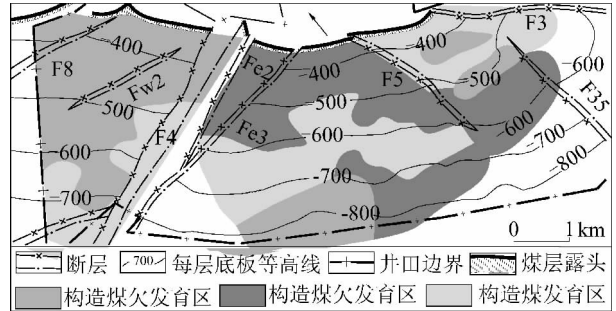


图6 构造煤发育程度分布

表 1 13-1 煤层构造煤厚度统计

区域	钻孔数 量/个	构造煤总厚度对应钻孔数量/个								
		<0.50 m	0.50~0.99 m	1.00~1.49 m	1.50~1.99 m	2.00~2.49 m	2.50~2.99 m	3.00~3.49 m	3.50~3.99 m	>4.00 m
Ⅲ	29	1	1	5	2	5	11	1	2	1
Ⅱ	52	1	6	3	6	6	6	6	3	15
Ⅰ	24	2	4	2	8	2	1	1	0	4

从表 1、图 7 中的矿井构造煤分布特征可以看出, 在矿井 II 单元内构造煤平均厚度为 3.37 m, III 单元内为 2.46 m, I 单元内最薄为 1.74 m^[9], 说明

了矿井中、西部煤层受到的挤压作用要强于东部。

2.2 瓦斯含量与瓦斯压力特征

张国辉等^[47]应用多场 MFCMS 模拟分析系统,

以矿井实测数据为基础,绘制出了潘一矿13-1煤层瓦斯含量与瓦斯压力等值线。由其研究成果可以得到,Ⅱ、Ⅲ单元内瓦斯含量分别为 5.34 、 $5.18 \text{ m}^3/\text{t}$ 、瓦斯压力为 2.61 、 1.93 MPa ,要高于Ⅰ单元内的 $4.30 \text{ m}^3/\text{t}$ 和 1.84 MPa ^[9],这是由于矿井西部经历晚侏罗-早白垩世时期由挤压向拉张转换的构造背景,有利于瓦斯逸散;而中、东部经历的晚三叠世为挤压背景有利于瓦斯的保存,所以造成了矿井中、东部的瓦斯含量、瓦斯压力均高于西部。

2.3 煤层风化带深度特征

根据地质钻孔测试的瓦斯指标综合分析,得出潘一矿以F4、F5为构造分界线13-1煤层瓦斯地质单元Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的标高分别为 -433 — -455 、 -340 — -350 、 -290 — -300 m ;11-2煤层瓦斯地质单元Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的标高分别为 -460 — -520 、 -320 — -338 、 -320 — -326 m 。从潘一矿13-1及11-2煤层瓦斯风化带深度可以看出矿井Ⅰ、Ⅱ瓦斯地质单元内瓦斯风化带比Ⅲ单元深,这是因为在井田西翼含煤地层在晚侏罗-早白垩世期间受到强烈改造,而在东翼受晚三叠世构造运动改造较弱,而且晚侏罗-早白垩世时期的构造运动对应的是拉张构造环境,而晚三叠世对应的是挤压构造环境,从而导致了Ⅰ单元瓦斯风化带最深,其次为Ⅱ单元,而Ⅲ单元最浅。

2.4 瓦斯动力现象特征

潘一矿共发生过25次煤与瓦斯突出动力现象,主要集中在Ⅱ、Ⅲ单元内^[48-50],最大的一次突出强度 226 t ,突出最大瓦斯量 $22\,366 \text{ m}^3$ 。根据对潘一矿构造煤分布特征、瓦斯含量和压力区域大小特征、煤层风化带深度特征及瓦斯动力学现象分布特征可以看出,笔者主要依据潘一矿不同区域受到不同期次构造运动改造且其改造程度的不同,将研究区划分为3个瓦斯地质单元是符合客观事实的。

3 结 论

淮南煤田潘一矿煤系地层形成后,先后经历了印支、燕山和喜马拉雅等3期构造运动。潘一矿特殊的大地构造位置决定了其构造地质与瓦斯地质特征的复杂性。研究区南部的秦岭-大别造山带、东部郯庐裂隙带及北部的蚌埠隆起构造活动主要发生在晚三叠世和晚侏罗-早白垩世时期。该矿不同区域受到晚三叠世和晚侏罗-早白垩世2期构造的改造与其改造程度不同,以此作为将该矿划分为3

个瓦斯地质单元的主要依据。划分出的3个瓦斯地质单元内其瓦斯地质特征明显不同,且煤与瓦斯突出动力现象发生次数也具显著差异。所以,瓦斯地质单元划分应该依据矿井的地质条件,而将瓦斯地质条件和瓦斯动力现象作为验证瓦斯地质单元划分是否合理的证据。

参考文献:

- [1] 彭立世.地质构造带控制瓦斯突出的机制初探[J].瓦斯地质,1989(1/2):31-36.
- [2] 彭立世,朱鹤勇.用瓦斯地质单元法进行瓦斯突出带预测[J].矿业,1988(2):12-19.
- [3] 杨陆武,彭立世,曹运兴.应用瓦斯地质单元法预测煤与瓦斯突出[J].中国地质灾害与防治学报,1997,8(3):21-26.
- [4] 张宏伟.地质动力区划方法在煤与瓦斯突出区域预测中的应用[J].岩石力学与工程学报,2003,22(4):621-624.
- [5] Zhang H W, Chen X H, Nan Y. The Regional Prediction of Tectonic Stress in Virgin Rock Mass[C]//Computer Applications in the Minerals Industries (APCOM 28th International Symposium). USA: Colorado, 1999: 103-109.
- [6] 曹运兴.瓦斯地质单元预测瓦斯突出的认识基础与实践[J].煤炭学报,1995,20(S):76-78.
- [7] 鲁玉芬,陈萍,唐修义.淮南煤田潘一井田13-1煤层瓦斯含量特征[J].煤田地质与勘探,2006,34(2):29-32.
- [8] 郭志企,张玉贵,成林.潘一矿13-1煤瓦斯地质单元划分[J].煤矿安全,2011,42(10):93-96.
- [9] 侯海海,张玉贵,邵龙义,等.煤与瓦斯突出矿井瓦斯地质单元特征研究[J].煤炭科学技术,2013,41(S1):202-205.
- [10] 吕闰生.陶二矿2煤层瓦斯地质单元划分及赋存特征[J].煤炭科学技术,2012,40(8):43-46.
- [11] 吕有广,胡金红,赵萌,等.应用瓦斯地质单元法划分突出危险区域[J].河南理工大学:自然科学版,2010,29(6):715-719.
- [12] Meng Q R, Zhang G W. Geologic Framework and Tectonic Evolution of the Qinling Orogen, Central China[J]. Tectonophysics, 2000, 323: 183-196.
- [13] Ratschbacher L, Hacker B R, Calvert A, et al. Tectonics of the Qinling (Central China): Tectonostratigraphy, Geochronology, and Deformation History[J]. Tectonophysics, 2003, 366: 1-53.
- [14] Sun W D, Li S G, Sun Y, et al. Mid-paleozoic Collision in the North Qinling: Sm-Nd, Rb-Sr and ⁴⁰Ar/³⁹Ar Ages and Their Tectonic Implications[J]. Journal of Asian Earth Science, 2002, 21: 69-76.
- [15] 王清晨,孙枢,李继亮,等.秦岭的大地构造演化[J].地质科学,1989,24(2):129-142.
- [16] 张国伟,孟庆任,于在平,等.秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J].中国科学:D辑,1996,26(3):193-200.
- [17] Cao X F, Lü X B, Yao S Z, et al. LA-ICP-MS U-Pb Zircon Geochronology, Geochemistry and Kinetics of the Wenquan Ore-

- bearing Granites from West Qinling ,China[J]. Ore Geology Reviews 2010 43(1): 120 – 131.
- [18] Qin J F ,Lai S C ,Wang J *et al.* High – Mg# Adakitic Tonalite from the Xichahe Area ,South Qinling Orogenic Belt(Central China) : Petrogenesis and Geological Implications [J]. International Geology Review 2007 49(12) : 1145 – 1158.
- [19] Zhang H F ,Xiao L ,Zhang L *et al.* Geochemical and Pb – Sr – Nd Isotopic Compositions of Indosinian Granitoids from the Bikou Block ,Northwest of the Yangtze Plate: Constraints on Petrogenesis ,Nature of Deep Crust and Geodynamics [J]. Science in China: Series D 2007 50(7) : 972 – 983.
- [20] Qin J F ,Lai S C ,Diuw C R *et al.* Magma Mixing Origin for the Post – collisional Adakitic Monzogranite of the Triassic Yangba pluton ,Northwestern margin of the South China block: Geochemistry ,Sr – Nd isotopic ,Zircon U – Pb Dating and Hf Isotopic Evidence [J]. Mineralogy and Petrology 2010 159(3) : 389 – 409.
- [21] Qin J F ,Lai S C ,Graves R *et al.* Geochemical Evidence for Origin of Magma Mixing for the Triassic Monzonitic Granite and its Enclaves at Mishuling in the Qinling Orogen (Central China) [J]. Lithos 2009 112(3/4) : 259 – 276.
- [22] Qin J F ,Lai S C ,Graves R *et al.* Origin of Late Triassic High – Mg Adakitic Granitoid Rocks from the Dongjiangkou Area ,Qinling Orogen ,Central China: Implications for Subduction of Continental Crust [J]. Lithos 2010 120(3/4) : 347 – 367.
- [23] Qin J F ,Lai S C ,Li Y F. Slab Breakoff Model for the Triassic Post – collisional Adakitic Granitoids in the Qinling Orogen ,Central China: Zircon U – Pb Ages ,Geochemistry and Sr – Nd – Pb Isotopic Constraints [J]. International Geology Review 2008 50(12) : 1080 – 1104.
- [24] 张成立 ,王 涛 ,王晓霞 ,等. 秦岭造山带早中生代花岗岩成因及其构造环境[J]. 高校地质学报 2008 14(3) : 304 – 316.
- [25] 姜春发 ,朱志直 ,孔凡宗 ,留凤关复理石[J]. 地质学报 ,1979 ,53(3) : 203 – 218.
- [26] 乔秀夫 ,高林志 ,彭 阳 ,等. 古郧庐带沧浪铺阶地震事件、序列及其意义[J]. 中国科学: D 辑 2001 31(11) : 911 – 918.
- [27] 乔秀夫 ,张安棣. 华北地块、胶辽地块体与郧庐断裂[J]. 中国地质 2002 29(4) : 337 – 345.
- [28] 罗志立 ,李景明 ,李小军 ,等. 试论郧城 – 庐江断裂带形成、演化及问题[J]. 吉林大学学报: 地球科学版 2005 35(6) : 699 – 706.
- [29] Zhu G ,Song C Z ,Wang D X *et al.* Studies on Ar – Ar Thermochronology of Strike – slip Time of the Tan – Lu Fault Zone and Their Tectonic Implications [J]. Science in China: Series D 2001 ,44(11) : 1002 – 1009.
- [30] 朱 光 ,牛漫兰 ,刘国生 ,等. 郧庐断裂带早白垩世走滑运动中的构造、岩浆、沉积事件[J]. 地质学报 2002 76(3) : 323 – 334.
- [31] 牛漫兰 ,朱 光 ,刘国生 ,等. 郧庐断裂带中南段中生代岩浆活动的构造背景与深部过程[J]. 地质科学 2002 37(4) : 393 – 404.
- [32] 陈宣华 ,王小凤 ,张 青 ,等. 郧庐断裂带形成演化的年代学研究[J]. 长春科技大学学报 2000 30(3) : 215 – 220.
- [33] Mercier J L ,Hou M J ,Vergé P *et al.* Structural and Stratigraphical Constraints on the Kinematics History of the so Uthern Tan – lu Fault Zone During the Mesozoic Anhui Province ,China [J]. Tectonophysics 2007 439: 33 – 66.
- [34] 张岳桥 ,董树文. 郧庐断裂带中生代构造演化史: 进展与新认识[J]. 地质通报 2008 27(9) : 1371 – 1390.
- [35] Zhu G ,Wang Y S ,Liu G S *et al.* 40Ar/39Ar Dating of Strike – slip Motion on The Tan – lu Fault Zone ,East China [J]. Journal of Structural Geology 2005 27: 1379 – 1398.
- [36] 吴 江 ,陈钟惠. 两淮地区古蚌埠隆起之存在[J]. 煤田地质与勘探 ,1991 ,19(3) : 28 – 34.
- [37] 李东平 ,江汉铨 ,程爱国. 蚌埠隆起的时代含义、演化历史与控煤作用[J]. 中国煤田地质 ,1991 3(4) : 1 – 6 ,11.
- [38] 杨德彬 ,许文良 ,王清海 ,等. 蚌埠隆起区中生代花岗岩的岩石成因: 锆石 Hf 同位素的证据[J]. 岩石学报 2007 23(2) : 381 – 392.
- [39] Xu W L ,Wang Q H ,Yang D B *et al.* SHRIMP zircon U – Pb Dating in Jingshan “Migmatitic Granite” ,Bengbu and its Geological Significance [J]. Science in China(Series D) 2005 48: 185 – 191.
- [40] 张国成 ,熊明富 ,郭卫星 ,等. 淮南矿区井田小构造对煤与瓦斯突出的控制作用[J]. 焦作工学院学报: 自然科学版 2003 ,22(5) : 329 – 333.
- [41] Chen L ,Zheng T Y ,Xu W W. A thinned Lithospheric Image of the Tanlu Fault Zone ,Eastern China: Constructed from Wave Equation Based Receiver Function Migration [J]. J Geophys Res , 2006 111 ,B09312. doi: 10. 1029/2005JB003974.
- [42] 翟明国 ,孟庆任 ,刘建民 ,等. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨[J]. 地学前缘 , 2004 11(3) : 285 – 298.
- [43] 李三忠 ,刘建忠 ,赵国春 ,等. 华北克拉通东部地块中生代变形的关键时限及其对构造的制约——以胶辽地区为例[J]. 岩石学报 2004 20(3) : 633 – 646.
- [44] 郑亚东 ,Davis G A ,王 琮 ,等. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题[J]. 地质学报 2000 74(4) : 289 – 302.
- [45] Davis G A ,Darby B J ,Zhang Y D *et al.* Geometric and Temporal Evolution of an Extensional Detachment Fault ,Hohhot Metamorphic Core Complex ,Inner Mongolia China [J]. Geology 2002 ,30: 1003 – 1006.
- [46] Tang Y J ,Zhang H F ,Ying J F *et al.* Rapid Eruption of the Ningwu Volcanics in Eastern China: Response to Cretaceous Subduction of the Pacific Plate [J]. Geochem. Geophys. Geosyst. 2013 ,14 1703 – 1721. doi: 10. 1002/ggge. 20121.
- [47] 张国辉 ,韩 军 ,宋卫华. 地质构造形式对瓦斯赋存状态的影响分析[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版 2005 24(1) : 19 – 22.
- [48] 钱建平 ,孙文卿 ,傅雪海 ,等. 淮南潘一煤矿未开拓区煤与瓦斯突出预测[J]. 中国煤炭地质 2011 23(6) : 23 – 27.
- [49] 张宏伟 ,李 胜 ,袁 亮 ,等. 潘一矿煤与瓦斯突出危险性模式识别与概率预测[J]. 北京科技大学学报 2005 27(4) : 399 – 402.
- [50] 朱 文. 潘一矿瓦斯地质工作探讨[J]. 煤炭工程 2008(7) : 55 – 56.