

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 山西沁水盆地中、南部现代构造应力场 与煤储层物性关系之探讨

秦勇

张德民

(中国矿业大学资源与环境学院, 徐州, 221008) (中国煤田地质总局, 涿州, 072700)

傅雪海

林大洋 叶建平

(中国矿业大学资源与环境学院, 徐州, 221008) (中国煤田地质总局, 涿州, 072700)

徐志斌

(中国矿业大学资源与环境学院, 徐州, 221008)

**内容提要** 山西沁水盆地中、南部二叠统山西组主煤储层现代构造应力场主应力差增大,煤储层渗透率梯度呈指数形式增长,煤储层压力梯度呈对数增长,这种规律主要受控于现代构造应力场主应力方向与煤储层天然裂隙优势发育方向之间的相互关系。这两组方向对于煤储层来说近于平行,对煤储层顶板则表现为近于正交,由此导致主煤储层中天然裂隙处于相对拉张状态,而其顶板天然裂隙处于挤压状态,主应力差越大,相对拉张(挤压)效应就越显著。基于这种规律和控制机理,预测渗透率大于1 md的山西组主煤储层可能分布于盆地内的阳城、潞城与沁源之间地带、武乡与左权之间地带以及左权西北方向的局部地区。

**关键词** 煤储层 渗透性 现代构造应力场 主应力差

山西沁水盆地主要发育高煤级煤储层,煤层气资源量占我国煤层气资源总量的近1/4<sup>[1]</sup>,煤层气勘探开发前景倍受国内外煤层气工业界关注。然而,该盆地煤储层物性变化较大,深部煤储层物性面貌不清,导致前期勘探开发试验中出现某些失败。因此,以高渗、较高储层压力区段预测为核心的煤储层物性研究,成为大规模成功开发该盆地煤层气资源所面临的关键地质问题。二十余年来,国内外研究者一直致力于对煤储层物性地质控制因素的探讨<sup>[1~9]</sup>,但先前研究的重点多数集中于煤级、煤岩、构造形态、古构造应力场、埋深、煤储层天然裂隙等与煤储层渗透性和储层压力之关系等方面,在现代构造应力场与煤储层渗透性关系、机理方面的成果极少报道。鉴于此因,作者基于现场调研和煤层气钻孔试井资料分析,对煤储层物性地质影响因素开展了广泛研究,发现现代构造应力场是该盆地中、南部煤储层物性的一个关键影响因素,两者之间的耦合特征主要受控于现代构造应力场主应力方向与煤储层天然裂隙优势发育方向之间的相互关系,进而对其可能的地质机理进行了探讨,并预测了研究区内可能具有较高渗透率煤储层的分布地段。

## 1 研究区煤层气地质背景

沁水盆地煤层赋存于石炭系一二叠系,其中山西组3号煤层和太原组15号煤层为主要可

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号49772131)的成果。

本文1999年2月收到,8月改回,任希飞编辑。

采煤层或煤层气储层。与美国圣胡安、黑勇士等世界上煤层气开发较为成功的盆地相比,沁水盆地煤层气地质条件具有如下特征:

(1) 煤级高但煤储层渗透率总体上也相对较高。沁水盆地中南部3号煤层镜质组最大反射率( $R_{o, \max}$ )大于1.40%,大部分地区在2.0%以上;在南部阳城矿区(晋城新区)可达4.20%<sup>[10, 11]</sup>。煤储层原始渗透率尽管变化较大,但在阳城矿区一般高于2 md(md为渗透率单位,  $1 \text{ md} = 9.8692326 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ ),最高可达3.61 md(C-01孔)。McKee等认为<sup>[12]</sup>,煤储层有利煤级的分布范围在 $R_{o, \max} = 0.7\% \sim 1.6\%$ 之间,煤级增高,煤储层渗透率会急剧降低,将给煤层气开采造成极大困难。

(2) 在现有试井深度范围内,煤储层渗透率与埋深无关。据研究区内7口煤层气试井资料,除CQ09井外,其余6口井3号煤储层的埋深为450~600 m,但渗透率变化于0.029~2.062 md,差别达2个数量级。一般情况下,煤储层渗透率随埋深增大而急剧降低,两者之间具有负指数关系<sup>[12]</sup>。

(3) 煤储层埋藏浅,但含气量极高,尤其是在研究区南部,含气量与煤储层埋深几乎没有通常的正相关关系<sup>[10, 13]</sup>。在煤层气风化带之下,3号煤储层含气量一般大于 $8 \text{ m}^3/\text{t}$ (无水无灰基,下同),具有“南高北低”的区域分布趋势,阳城矿区平均含气量为 $14.1 \text{ m}^3/\text{t}$ ,其中潘庄井田煤层埋深小于400 m,但部分井孔煤层含气量可高达 $37 \text{ m}^3/\text{t}$ ,在国内外均属少见。

煤矿井巷道观测发现,研究区煤储层和直接顶板盖层中各发育两组相互近于垂直、并垂直煤层层面的天然裂隙<sup>[14]</sup>。在煤储层中,NNE—SSW向外生裂隙发育密度显著大于WNW—ESE向裂隙,裂隙缝中很少见矿化充填,裂隙发育特征在区域上没有明显变化。在煤储层顶板中,一组节理相对发育,另一组不显或发育较差,节理优势发育方向在南部阳城一带为NNW—SSE向,往北至潞安一带变为WNW—ESE向。总体来看,煤储层外生裂隙与其顶板节理的优势发育方向接近于相互垂直,由此奠定构造应力场控气重要基础。

根据1965年来大于4级地震震源机制解和1973年来小震综合断面解资料<sup>[15~18]</sup>的综合分析,沁水盆地中、南部现代构造应力场表现为ENE—WSW向近水平挤压的特征。作者进一步采用有限元法对本区现代构造应力场的数值模拟结果,与上述结论基本一致<sup>[19]</sup>。

## 2 煤储层物性与现代构造应力之间关系

有限元法数值模拟结果表明:研究区现代构造应力场最大主应力为压应力,方向为NNE—SSW,轴向近于水平;高主应力差由南向北展布于3个地段:阳城地区;潞城与沁源之间地带;武乡与左权之间地带(图1)。对比钻

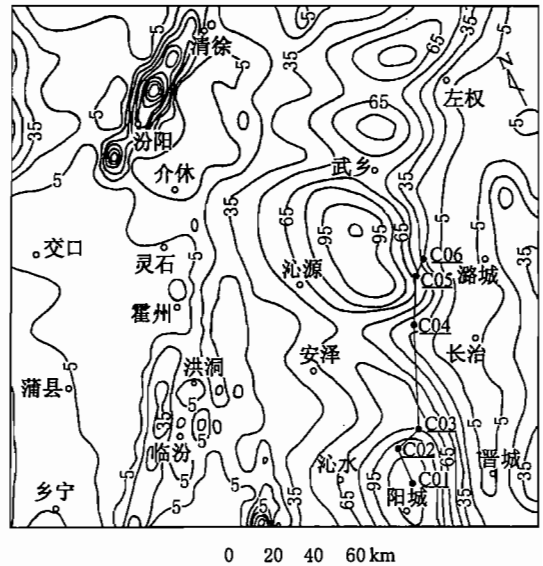


图1 沁水盆地中、南部现代构造应力场主应力差(MPa)等值线图

Fig. 1 Isogram of the principal stress difference (MPa) of the modern tectonic stress field in the central and southern Qinshui Basin

孔试井得到的煤储层物性资料,发现研究区煤储层物性与现代构造应力场特征之间具有良好的相关关系。

首先,主应力差增大,煤储层渗透率呈指数形式急剧增高(图 2a)。主应力差( $\Delta\sigma$ )小于 60 MPa,渗透率( $K$ )小于 0.5 md; $\Delta\sigma$  为 60~80 MPa 时, $K$  介于 0.5~1.0 md 之间; $\Delta\sigma$  一旦超过 80 MPa, $K$  急剧增至 1.0 md 以上; $\Delta\sigma$  大于 110 MPa, $K$  甚至可达 2.0 md 以上。两者之间关系可用下式( $r=0.9880$ )表示:

$$\ln K = 0.0485\Delta\sigma - 4.1166 \quad (1)$$

第二,主应力差对煤储层压力也有显著影响,与煤储层压力梯度( $\Delta P_R$ )之间相关性为较显著的对数关系(图 2b)。当  $\Delta\sigma$  小于 65 MPa 时, $\Delta P_R$  小于 6.85 kPa/m,煤储层处于严重欠压状态,但后者随前者的增大而明显增高。当  $\Delta\sigma$  大于 65 MPa 时, $\Delta P_R$  增势显著减缓,随  $\Delta\sigma$  的增大, $\Delta P_R$  最终未能超过 9.80 kPa/m,仅是接近于正常压力状态。两者之间关系如下式( $r=0.8081$ ):

$$\Delta P_R = 2.7247\ln(\Delta\sigma) - 4.5224 \quad (2)$$

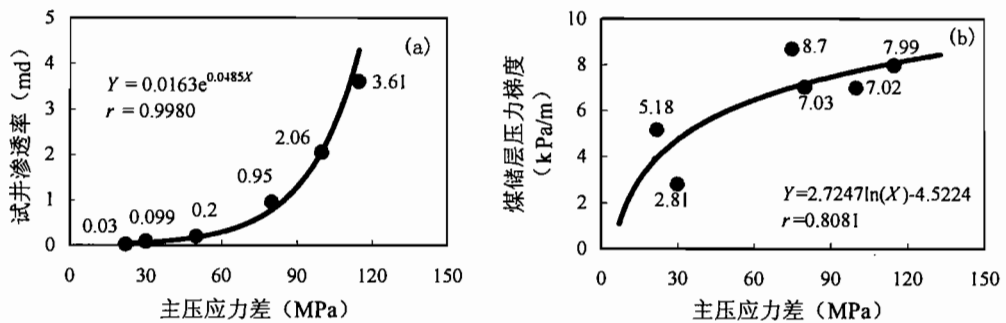


图 2 沁水盆地中、南部现代构造应力场主应力差与煤储层物性关系

Fig. 2 Correlation between the principal stress difference of the modern tectonic stress field and the physical properties of the coal reservoirs in the central and southern Qinshui Basin

(a)—试井渗透率;(b)—煤储层压力梯度

(a)—Well-testing permeability;(b)—gradient of coal reservoir pressure

第三,试井地应力梯度与煤储层物性之间的关系与主应力差类似,但离散性相对较大(图 3)。试井地应力是煤储层注水压降测试中取得的闭合压力,相当于现代构造应力场中最小主应力。因此,这种关系一方面揭示最小主应力同样对煤储层物性起着正相关的控制作用,另一方面表明与涵盖了最大和最小主应力在内的主应力差相比,单纯的最小主应力对煤储层物性的控制相对较弱。

### 3 现代构造应力场对煤储层物性的控制机理

#### 3.1 研究区煤储层物性关键控制因素筛选

煤储层的渗透性和储层压力受到诸多地质因素的影响<sup>[1~9,20~26]</sup>。通常,煤储层渗透率随埋深和地应力的增大而减小<sup>[12,26]</sup>。然而,在图 1 所示的研究区煤层气井横向剖面上:3 号煤储层厚度较为稳定,一般为 4~5 m,煤储层结构变化很小;各井均位于沁水盆地南部,经历了相似的构造演化历史;燕山中—晚期煤储层受热温度在南部阳城矿区高于偏北的潞安矿区,导致煤

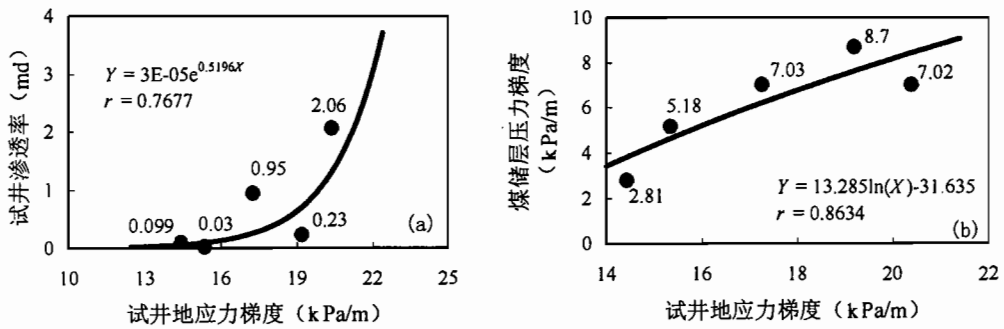


图3 沁水盆地中、南部试井地应力梯度与煤储层物性关系

Fig. 3 Correlation between the well-testing stress gradient and the physical properties of coal reservoirs in the central and southern Qinshui Basin

(a)—试井渗透率;(b)—煤储层压力梯度

(a)—Well-testing permeability;(b)—gradient of coal reservoir pressure

级由北向南增高<sup>[24]</sup>,致使剖面南部煤储层含气量和压力相对较高,但与煤储层内生裂隙发育密度以及渗透率从瘦煤向无烟煤降低的一般规律<sup>[27]</sup>不符;3号煤储层直接顶板多为砂质泥岩或泥岩,横向上较为稳定<sup>[14]</sup>;如前所述,在测试深度范围内,煤储层渗透率与埋深之间也无明显负相关趋势。

因此,上述地质因素并不是导致本区煤储层物性变化的主要原因,似应从现代构造应力场角度对关键性控制因素进行深入分析。

### 3.2 现代构造应力场特征与煤储层物性关系的理论分析

若不存在构造应力场,则自然状态下煤储层某点所受垂向应力 $\sigma_v$ 仅由上覆岩体重量造成,等于岩体的自重应力 $\sigma_z$ ,可用金尼克公式表示:

$$\sigma_v = \sigma_z = \gamma H \quad (3)$$

式中: $\gamma$ 为岩石密度, $t/m^3$ ;  $H$ 为井底深度,m。

根据弹性力学中物理方程所揭示的应力与应变之间关系<sup>[28]</sup>,围限条件下二维(平面)应力将在垂向上发生传递。因此,在构造应力场 $\sigma_g$ (设为水平挤压应力)条件下,地下岩层会在垂向上产生应力分量 $\sigma'_z$ :

$$\sigma'_z = k\sigma_g \quad (4)$$

式中: $k$ 为侧压系数,随深度增加而增大。

此时,自然状态下煤储层中某点所受垂向应力( $\sigma_v$ )是自重应力与构造应力垂向分量之和,可近似表示为:

$$\sigma_v = \sigma_z + \sigma'_z = \gamma H + k\sigma_g \quad (5)$$

对于煤储层而言,有效应力 $\sigma_e$ 与储层压力 $P_R$ 之间具有负相关关系,与 $\sigma_v$ 之间呈正相关关系:

$$\sigma_e = \sigma_v - \beta P_R \quad (6)$$

式中: $\beta$ 为毕奥特(Biot)常数。

根据模拟实验,油气储层渗透率随有效应力呈负指数增长关系<sup>[29,30]</sup>:

$$K_a = K_{ai} \cdot e^{-3C_f \cdot \sigma_e} \quad (7)$$

其中:  $K_a$  为绝对渗透率;  $K_{ai}$  为无应力绝对渗透率;  $C_f$  为孔隙体积压缩系数。

将式(5)和式(6)代入式(7)得:

$$K_a = K_{ai} \cdot e^{-3C_f \cdot (\sigma_v - \beta P_R)} = K_{ai} \cdot e^{-3C_f \cdot (\gamma H + k\sigma_g - \beta P_R)} \quad (8)$$

或:

$$\ln K_a = \ln K_{ai} - 3C_f(\gamma H + k\sigma_g - \beta P_R) \quad (9)$$

进一步考虑三轴受力状态,煤储层原地应力状态下的最大主应力  $\sigma_1$ 、中间主应力  $\sigma_2$  和最小主应力  $\sigma_3$  可分别表示为:

$$\sigma_1 = k\sigma_z + \sigma_g = k\gamma H + \sigma_g \quad (10)$$

$$\sigma_2 = \sigma_v = \gamma H + k\sigma_g \quad (11)$$

$$\sigma_3 = k\sigma_z + k\sigma_g = k(\gamma H + \sigma_g) \quad (12)$$

式(10)减去式(12),得主应力差  $\Delta\sigma$ :

$$\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_g(1 - k) \quad (13)$$

将式(13)代入式(9),得:

$$\ln K_a = \ln K_{ai} - 3C_f\{\gamma H + [k\Delta\sigma / (1 - k)] - \beta P_R\} \quad (14)$$

煤储层属于一种由裂隙和基质组成的双孔隙介质<sup>[24]</sup>,其渗透率与裂隙性质密切相关。根据休伊特等的研究,理想的裂隙—基质系统中水平渗透率( $K_H$ )与裂隙的各种要素之间存在如下关系<sup>[25]</sup>:

$$K_H = K_M + 8.44 \times 10^7 W^3 \cos 2\alpha / L \quad (15)$$

式中:  $K_M$  为基质渗透率;  $W$  为裂隙壁距;  $L$  为裂隙间距;  $\alpha$  为裂隙面与水平面的夹角。

煤储层渗透率增加主要来自天然裂隙贡献<sup>[24]</sup>,  $K_M$  可以忽略不计。在沁水盆地,煤储层中天然裂隙多与地层面近于垂直,地层倾角小于  $5^\circ \sim 10^\circ$ , 即  $\cos 2\alpha \approx 1$ 。因此,式(15)简化为:

$$K_H = 8.44 \times 10^7 W^3 / L \quad (16)$$

可以看出,煤储层中天然裂隙的壁距对原始渗透率起着关键性的控制作用。结合式(14)和式(16)可知,天然裂隙壁距是地应力大小和方向的函数,构造应力场主应力差对岩层裂隙壁距和渗透率的影响存在两类效果截然相反的情况(图4)。当构造应力场最大主应力方向与岩层优势裂隙组发育方向一致时,裂隙面实质上受到相对拉张作用,主应力差越大,相对拉张效应越强,越有利于裂隙壁距的增大和渗透率的增高。而在最大主应力方向与岩层优势裂隙组发育方向垂直时,裂隙面受到挤压作用,主应力差越大,挤压效应越强,裂隙壁距则减小甚至密闭,渗透率降低。也就是说,构造应力实质上是通过天然裂隙开合程度的控制而对储层原始渗透率施加影响。

基于上述因果关系,结合式(14)可知,对煤储层优势方向裂隙组起挤压作用的主应力差应为正值,反之为负值(规定压应力为正)。前人得出煤储层渗透率随地应力增大而增高的结论<sup>[6,8,12,26]</sup>,正是没有全面考察最大主应力方向与煤储层优势裂隙组发育方向之间关系以及主应力差大小的结果,似应予以修正。式(14)也表明,煤储层渗透率与储层压力呈正相关关系,这与本区实际试井数据吻合(图5)。储层压力增高,煤层气压力对裂隙面的内张力加强,也是煤储层渗透率随储层压力加大而增高的原因之一。

然而,在本区煤储层负主应力差条件下,煤储层裂隙张开,有利于煤层气逸散,造成煤储层压力降低,主应力差与煤储层压力之间应呈负相关关系,与实际试井资料似乎有所出入。进一

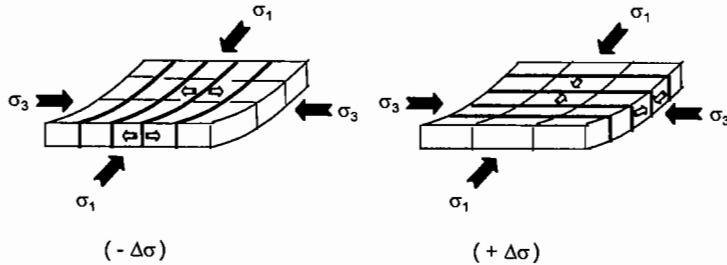


图 4 构造应力场最大主应力方向及主应力差与岩层裂隙受力状况关系示意图  
(粗线表示主要裂隙组,细线表示次要裂隙组)

Fig. 4 Schematic diagram of the relationship between principal maximum stress direction and the forced status of rocky bed

(Thick lines symbol for major fissure group and thin ones for minor fissure lines)

步考察发现,煤储层与其盖层(顶板岩石)中天然裂隙优势发育方向基本上是正交的(前述),即在同一构造应力场作用下,主应力差对煤储层表现为负值,而在盖层岩石却表现为正值。在这种受力状况下,顶板节理密闭性随主应力差的增大而增强,有可能对煤储层起到有效的封盖作用,从而成为煤储层压力随主应力差增加而变高的重要原因。

沁水盆地中、南部煤系地层中优势天然裂隙组发育方向与现代构造应力场最大挤压应力方向之间关系表现为图 4 中两种情况的组合,对于顶板来说两者近于垂直,对于煤储层而言却是两者近于平行。前者有利于增强盖层对煤储层的封盖能力,后者有利于煤储层渗透率的增加,这种相互关系正是导致该区煤储层渗透率随主应力差加大而增高的重要原因。

### 3.3 研究区有利煤储层物性分布地段预测

基于以上理论分析、现代构造应力场特征以及试井资料,可对研究区内尚未施工煤层气井地段 3 号煤储层的渗透性进行预测。国内外经验表明,有利于煤层气资源地面开发的煤储层渗透率一般在 1 md 以上。根据式(1),这一经验标准对应于本区主应力差大于 80 MPa,即具有有利渗透率的 3 号煤储层分布区除已证实的阳城矿区之外,可能还有潞城与沁源之间地带、武乡与左权之间地带以及左权西北方向的局部地区(图 1)。

## 4 结语

现有资料显示,沁水盆地中、南部二叠统山西组 3 号煤储层物性与现代构造应力场特征密切相关。主应力差增大,煤储层渗透率梯度呈指数形式增长,煤储层压力梯度显示出对数增长的趋势,渗透率大于 1 md 和储层压力接近于正常压力状态的煤储层展布于主应力差大于 80 MPa 的地区。

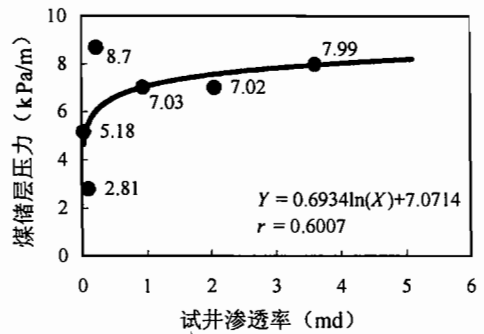


图 5 沁水盆地中、南部山西组 3 号煤储层渗透率与储层压力梯度之间关系

Fig. 5 Correlation between the well-testing permeability and the pressure gradient of No. 3 coal reservoirs in the Shanxi formation of the central and southern Qinshui Basin

理论分析揭示,现代构造应力场主应力方向与煤储层天然裂隙优势发育方向之间的相互关系对煤储层物性起着重要控制作用。在研究区,这两组方向对于煤储层来说近于平行,对煤储层顶板则表现为近于正交。这种相互关系,分别导致研究区3号煤储层中天然裂隙处于相对拉张状态和其顶板天然裂隙处于挤压状态,而且主应力差越大,相对拉张(挤压)效应就越为显著。这种机制可能正是本区现代构造应力场对煤储层物性控制规律产生重大影响的主要原因。

基于上述规律和控制机理,预测渗透率大于1 md的3号煤储层可能分布于研究区内的阳城矿区、潞城与沁源之间地带、武乡与左权之间地带以及左权西北方向的局部地区。

### 参 考 文 献

- 1 叶建平,秦勇,林大扬. 中国煤层气资源. 徐州:中国矿业大学出版社,1999.
- 2 Rightmire C T, Eddy C E, Kirr J N. Coalbed Methane Resources of the United States. AAPG Studies in Geology Series # 17, 1984.
- 3 Law B E, Rice D D. Hydrocarbons from Coal. AAPG Studies in Geology Series #38, 1993.
- 4 Flores R M. Coalbed Methane from Coal-Mine Outbursts to a Gas Resource. Int. J. Coal Geol., 1998, 35(1~4): Special Issue.
- 5 Lyons P C. Appalachian Coalbed Methane. Int. J. Coal Geol., 1999, 38(1~2): Special Issue.
- 6 地质矿产部华北石油地质局. 煤层气译文集. 郑州:河南科学技术出版社,1990.
- 7 秦勇,曾勇. 煤层甲烷储层评价与生产技术——美国煤层甲烷研究新进展. 徐州:中国矿业大学出版社,1996.
- 8 钱凯,赵庆波,汪泽成. 煤层甲烷气勘探开发理论与实验测试技术. 北京:石油工业出版社,1996.
- 9 孙茂远,黄盛初. 煤层气开发利用手册. 北京:煤炭工业出版社,1998.
- 10 秦勇,刘焕杰,桑树勋,曾勇,范炳恒,宋党育,张有生. 山西南部上古生界煤层含气性研究: I, 推定区煤层含气性评价. 煤田地质与勘探, 1997, 25(4): 25~30.
- 11 秦勇,刘焕杰,范炳恒,曾勇,桑树勋,张有生等. 山西南部上古生界煤层含气性研究: II, 推断区与预测区煤层含气性预测. 煤田地质与勘探, 1997, 25(6): 18~22.
- 12 Mckee C R, Bumb A C, Way S C, et al. Use of the correlation of permeability to depth to evaluate the production potential of the natural gas in coal seam. Quarterly Review of Methane from Coal Seams Technology, 1986, 4(1): 35~62.
- 13 秦勇,刘焕杰,范炳恒,桑树勋,李田忠,李贵中. 山西南部上古生界煤层含气性研究: III, 煤层气采收潜势分析. 煤田地质与勘探, 1998, 26(1): 26~30.
- 14 刘焕杰,秦勇,桑树勋. 山西南部煤层气地质. 徐州:中国矿业大学出版社,1998.
- 15 万天丰. 中国东部中生代板内变形构造应力场. 北京:地质出版社,1994.
- 16 谢富仁,刘巍,梁海庆. 山西断陷带及周缘构造应力场. 见:马宗晋主编. 山西临汾地震研究与系统减灾. 北京:地震出版社,1993.
- 17 武烈,贾宝卿,赵学普. 山西地震. 北京:地震出版社,1993.
- 18 徐志斌,云武,王继尧,秦勇. 晋中南中生代构造应力场演化及其动力学演化. 地学前缘, 1998, 5(增刊): 152~161.
- 19 徐志斌,云武,王继尧,秦勇. 晋中南新构造应力场动力学模型研究. 中国矿业大学学报, 1998, 27(1): 78~84.
- 20 Pollard D D, Aydin. Progress in understanding jointing over the past century. Geological Society of America Bulletin, 1988, 100(8): 1181~1204.
- 21 Close J C. Natural fracture in coal. In: Law B E, Rice D D, ed. Hydrocarbons from Coal. AAPG Studies in Geology # 38, 119~132.
- 22 Levine J R. Coalification: The evolution of coal as source rock and reservoir. In: Law B E, Rice D D, ed. Hydrocarbons from Coal. AAPG Studies in Geology # 38, 39~78.
- 23 Smyth M. Statistics of coal microlithotypes and their correlation to permeability of coal seams. Int. J. Coal Geol., 1993, 22(2): 167~187.
- 24 秦勇,宋党育,王超. 山西南部晚古生代煤的煤化作用及其控气特征. 煤炭学报, 1997, 22(3): 230~235.
- 25 Hobbs D W. The formation of tension joints in sedimentary rocks; An explanation. Geological Magazine, 1967, 104: 550~556.
- 26 Mckee C R, Bumb A C, Koenig R A. Stress-dependent permeability and porosity of coal. In: Fassett J E, ed. Geology and Coalbed methane resource of northern San Juan Basin, Colorado and New Mexico; Rocky Mountain Association of Geolo-

gists Guidebook. 1988. 143~153.

- 27 Tremain B P, Laubach S E, Whitehead III N H. Coal fracture (cleat) patterns in Upper Cretaceous Fruitland Formation, San Juan Basin. In: Ayers W B et al ed. GRI Topical Report (GRI-91/0072), 97~117.
- 28 徐芝纶. 弹性力学. 北京:高等教育出版社,1978.
- 29 张博全,王岫云. 油气层物理学. 武汉:中国地质大学出版社,1989.
- 30 陈碧玉. 油矿地质学. 北京:石油工业出版社,1987.

## A Discussion on Correlation of Modern Tectonic Stress Field to Physical Properties of Coal Reservoirs in Central and Southern Qinshui Basin

Qin Yong

(College of Mineral Resources and Environment Science, CUMT, Xuzhou, Jiangsu, 221008)

Zhang Demin

(China National Administration Bureau of Coal Geology, Zuozhou, Hebei, 072700)

Fu Xuehai

(College of Mineral Resources and Environment Science, CUMT, Xuzhou, Jiangsu, 221008)

Lin Dayang, Ye Jianping

(China National Administration Bureau of Coal Geology, Zuozhou, Hebei, 072700)

Xu Zhibin

(College of Mineral Resources and Environment Science, CUMT, Xuzhou, Jiangsu, 221008)

### Abstract

As for the main coal reservoirs of the lower Permian Shanxi Formation in the central—southern Qinshui basin, the permeability gradient of coal reservoirs tends to increase in exponential function and the pressure gradient to rise in logarithmic function with the increase of the principal stress difference  $\sigma_1 - \sigma_3$  of modern tectonic stress field, which is predominantly controlled by the correlation between the main stress direction and the preferentially developed direction of natural fissures in coal reservoirs. These two directions are nearly parallel for the coal reservoirs but nearly normal for the roof of coal seams. As a result, the natural fissures in coal reservoirs might be in a tensional state whereas those in the roof be in a compressive state. The larger the principal stress difference, the more remarkable the relative tensional or compressive effect. Based upon the regularity or controlling mechanism, it is predicted that the lower Permian main coal reservoirs might occur in Yangcheng, the area between Lucheng and Qinyuan, the area between Wuxiang and Zuoquan and northwestern to Zuoquan in the Qinshui basin.

**Key words:** coal reservoir; permeability; modern tectonic stress field; principal stress difference

### 作者简介

秦勇,男,1957年生。1992年于中国矿业大学煤田、油气地质与勘探专业获博士学位,现为该校资源与环境学院教授,博士生导师,主要从事化石能源矿产地质研究与教学工作。通讯地址:221008,江苏省徐州市,中国矿业大学资源与环境学院。