文章编号: 0253- 9993(2007) 09- 0934- 05

阜新盆地构造应力场演化对煤与瓦斯突出的控制

韩　军[1], 张宏伟[1], 朱志敏[2], 宋景春[3]

(1. 辽宁工程技术大学 资源与环境工程学院, 辽宁 阜新　123000; 2. 中国地质科学院 矿产综合利用研究所, 四川 成都　610041; 3. 阜新矿业 (集团) 公司, 辽宁 阜新　123000)

摘　要: 阜新盆地是中燕山期 (J_3-K_1) 断陷盆地. 盆地内断裂构造主要有北北东、北东、北西西、北北西和近南北向. 盆地内主要褶皱构造呈北东向雁列式排列. 位于盆地内的阜新矿区煤与瓦斯突出灾害频繁发生. 研究认为, 构造应力场多期演化使得大多数断裂历经了多期活动, 对应不同的力学性质和位移方式. 构造应力场的多期演化对局部构造应力、构造煤和瓦斯赋存的分布具有重要影响. 在现今北西西向构造应力场作用下, 盆地内北北东向、南北向和近南北向构造由于受垂直走向的挤压应力作用, 形成应力集中带, 渗透率降低, 瓦斯保存较好, 成为动力灾害多发地带; 而北西西向构造相对受拉张应力作用, 瓦斯易于逸散, 动力灾害程度相对较低. 北东向、北西向构造发生动力灾害的危险程度介于二者之间.

关键词: 阜新盆地; 构造应力场; 演化; 构造; 煤与瓦斯突出
中图分类号: P542　　文献标识码: A

Controlling of tectonic stress field evolution for coal and gas outburst in Fuxin basin

HAN Jun[1], ZHANG Hong-wei[1], ZHU Zhi-min[2], SONG Jing-chun[3]

(1. *College of Resource and Environment Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin　123000, China*; 2. *Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy Geologicol Sciences, Chengdu　610041, China*; 3. *Fuxin Mining Group, Fuxin　123000, China*)

Abstract: Fuxin basin is a J_3-K_1 fault basin. The main fold is NE array. The main faults include NNE, NE, NWW, NNW and SN. Coal and gas outburst is frequent during mining in Fuxin basin. Research shows that most of faults experience different mechanics process and movement character because of the evolution of tectonic stress field. The regional distribution of coal and gas outburst is consequent on the regional distribution of regional tectonic stress, tectonic coal and gas storage. At the action of NWW ~ EW extrusion stress, the NNE, SN and near SN strike structure is prone to occur coal and gas outburst because of concentrated stress, low penetrability and good gas storage condition. Then NWW strike structure is on the contrary because of tensile stressing. The danger of NE and NW structure is between of them.

Key words: Fuxin basin; tectonic stress field; evolution; geologic structure; coal and gas outburst

煤与瓦斯突出是一种复杂的矿井动力现象, 各国学者对于煤与瓦斯突出的发生机理进行了大量的研究并提出了各自的理论和观点[1~12]. 尽管对于其发生机理的认识存在差异, 但仍然可以从以上文献的分析中得出结论, 煤与瓦斯突出应当是两种应力场相互作用的结果: 在采掘工程未进行以前存在于煤 (岩) 体内的原岩应力场与人类工程活动引起的技术成因应力场, 并且动力现象在时间和空间上的不均匀分布及

收稿日期: 2006- 10- 11　　责任编辑: 高雪梅
基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973计划) 基金资助项目 (2005CB221501); 国家自然科学基金资助项目 (50574047)
作者简介: 韩　军 (1980-), 男, 内蒙古临河人, 博士研究生. Tel: 0418- 3350473, E- mail: hanj_lntu@ 163. com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

其显现强度的差异取决于地壳内构造应力场. 地壳的漫长演化史使其形成高度非均质和非连续特性. 煤系作为地壳的一部分, 在多期构造应力场作用下, 被各种构造所切割和改造, 结构和应力异常复杂. 本文从构造应力场演化的角度探讨阜新盆地内的各组构造, 分析其演化过程, 研究在各期应力场作用下, 构造的受力状态和运动方式, 同时进一步分析瓦斯赋存特征和煤体结构破坏特点, 探讨构造应力场演化与煤与瓦斯突出的关系.

1　阜新盆地矿井动力现象

1.1　地质概况

阜新盆地位于辽宁省西部, 属中燕山期 ($J_3 - K_1$) 断陷盆地. 盆地南北长约 80 km, 东西宽 11 ~ 22 km. 总体走向北北东 – 北东. 沉积层由上白垩统义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组和下白垩统的孙家湾组构成. 阜新盆地的断裂构造按照分布范围可以分为盆缘断裂和盆内断裂. 盆缘断裂即围限盆地四周特别是东西两侧的多条不同性质和位移方式的断裂. 盆内断裂主要有北北东向、北东向、北西西向、北北西向和近南北向 (图 1).

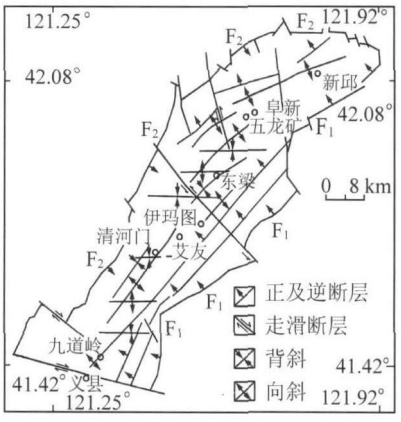

图 1　阜新盆地构造 (据王桂梁, 1996)

Fig. 1　Geologic structure in Fuxin basin

1.2　煤与瓦斯突出灾害

阜新矿区含煤面积 825 km^2, 可采面积约 500 km^2. 矿区的 11个国有煤矿中有 3个高瓦斯矿井和 2个突出矿井 (表 1). 矿区煤与瓦斯突出灾害频繁发生, 据不完全统计, 自 1950年以来, 矿区因瓦斯灾害造成的伤亡事故近 30余起, 其中王营矿自 1983—1996年发生煤与瓦斯突出 13起以上.

表 1　阜新矿区各生产矿井 2005年度瓦斯等级鉴定

Table 1　Check-up gas hazards in every mining area of Fuxin coal mine in 2005

指　标	清河门	艾友矿	乌龙矿	伊玛矿	恒大公司	五龙矿	海州立井	八道壕	海州矿西部井	海州矿东部井	清河门南风井
相对涌出量 /$m^3 \cdot t^{-1}$	17.56	20.60	0.57	2.22	16.20	23.36	14.15	3.92	2.72	1.66	7.01
绝对涌出量 /$m^3 \cdot t^{-1}$	30.24	82.71	0.39	2.99	50.92	91.83	36.96	9.97	0.15	0.26	0.73
爆炸指数 /%	41.47	39.01	41.15	43.85	43.92	39.23	39.71	37.21	45.35	39.11	45.11
发火期 /月	6 ~ 12	6	12	12	3	3	3	6 ~ 12	3	3	6 ~ 12
瓦斯等级	高	突	低	低	突	高	高	低	低	低	低

2　阜新盆地构造应力场

2.1　盆地构造应力场演化过程

阜新盆地主要发育 3期断裂[13~16]. 第 1期为成盆前基底断裂 (盆缘断裂), 即阎山断裂 (F_1)和松岭断裂 (F_2), 系由一系列锯齿状正断层组成, 控制盆地成生和发展. 第 2期为成盆期生长断裂, 一种为张性、张扭性同沉积正断层, 一种为近东西向转换断层, 控制盆地内的沉积. 第 3期为成盆后断裂, 走向北北西向, 使盆地沉积地层遭受后期改造. 以上断裂体系构成了盆地剖面和平面上各种断裂样式的基本构造格局.

北北东向的盆缘断裂 ——阎山断裂和松岭断裂 (F_1和 F_2) 控制了盆地的生成和发展, 并导致盆地长轴方向同沉积构造单元的形成, 即东西两侧强烈断陷带和中央隆起带的形成. 早白垩世初期的晚燕山运动在本区表现为北西—南东向的拉张以及右行走滑, 成盆期发育的走向近南北、北北东、北东和近东西向 4组主要断裂在这种应力场作用主要表现为张性或张扭性. 在早白垩世末期, 即孙家湾组沉积之后来自南东方向的挤压力使郯庐断裂发生左行压扭, 这时近东西向断裂做右行张扭活动; 北北东向的阎山断裂、松岭断裂以及近南北向和北东向断裂因近垂直于挤压方向成为压扭断层. 晚白垩世—古近纪, 盆地内部近南北

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

向、北北东向断裂为压扭性，近东西、北东向断裂为张扭性. 新近纪到现今，在北东东—近东西向挤压应力场作用下，北北东和近南北向断裂受近垂直走向的压应力，做压性逆冲运动；北东、北东东向断裂受平行走向的右旋剪切力，做张扭性活动；北西西、北北西向断裂受平行走向的左旋剪切力，做张扭性活动. 从盆地断裂体系特征可以看出，早期成盆前断裂控制后期断裂，后期断裂具有继承性和改造性，断裂活动具有多期性.

2.2 现今应力场与盆内断裂活动

(1) *现今构造应力场* 为了研究阜新盆地现今应力场的状态，采用空芯包体方法来研究阜新盆地的现今地应力场，测量地点位于盆地中部的五龙井田.

表 2 阜新矿区地应力实测结果 (五龙矿)

Table 2 In-situ stress measurement in Fuxin basin (Wulong coalmine)

编号	地点	深度/m	主应力/MPa	方位角/(°)	倾角/(°)
1	-600西一石门立眼	773	σ_1 = 29.45	102.3	-15.3
			σ_2 = 18.03	-19.0	-62.2
			σ_3 = 11.69	198.9	-22.6
2	-600东一石门火药库	774	σ_1 = 31.89	100.3	-21.0
			σ_2 = 20.57	-42.7	-64.3
			σ_3 = 17.79	195.9	-14.1
3	-365西一石门	539	σ_1 = 29.78	230.1	31.7
			σ_2 = 15.17	-4.2	43.4
			σ_3 = 10.76	119.1	30.1

第 3测点所得到的最大主应力方向与另外 2个差别很大 (表 2). 根据 2节研究结果，第 3测点并不能代表盆地内地应力的普遍状态. 因此，对于盆地应力场的探讨主要依据第 1和第 2测点进行. 水平地应力总体趋势是随深度线性增加，然而在地壳浅部水平主应力的变化范围很大，数据比较离散. 3个测点最大水平主应力为 29.45~31.89 MPa 最大水平主应力垂直应力的比值介于 1.57~1.63之间. 最大水平主应力与最小水平主应力的比值分别为 2.52，1.79，2.77. 可见五龙矿承受了较高的水平应力，且水平差应力很大. 最大水平主应力方位角为 100.3~102.3°，表明现今应力场的作用方向为北西西向—近东西向.

(2) *盆内断裂的现今应力状态与活动方式* 在现今北西西—近东西向挤压应力场作用下，北北东和近南北向断裂受近垂直走向的压应力，做压性逆冲运动；北西西向断裂受垂直走向的张应力，做张性活动；北东东向断裂受平行走向的右旋剪切力，做张扭性活动；北西、北北西向断裂受平行走向的左旋剪切力，也做张扭性活动. 北东向断裂作压扭性活动.

3 讨 论

3.1 应力对断裂活动的影响分析

断裂面的剪应力与正应力的关系，可以用经验公式[19]表示，即 $|\tau| \tau'_0 + \mu_s\sigma$，其中，$|\tau|$为先存断裂面开始运动时的剪应力，MPa；$\tau'_0$为常数；$\mu_s$为作用在该面上的正应力与剪应力之比，MPa；$\sigma$为先存断裂面开始运动时的正应力，MPa

由 $\sigma_1\sigma_3$摩尔圆给定的应力状态与断裂复活的曲线相交，两个交点的位置与稳定的和不稳定面的角度范围有关，角度为 0~α和 β~90°的面可能是稳定的，而角度为 α~β的面可能是不稳定的 (α和 β是 σ_3轴与这些面或 σ_3方向与这些面的法线方向的夹角) (图 2). 多纳斯 (Donath，1961) 对各向异性岩石进行的压缩实验表明，不稳定角为 30~60°[15].

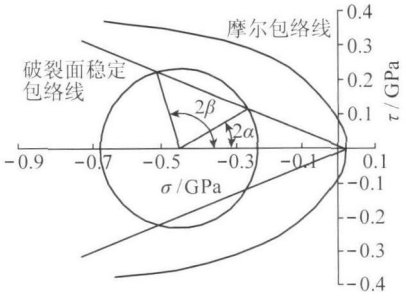

图 2 断裂面复活曲线与再次运动所需的应力状态

Fig. 2 Fault revive curve and stress for repeat movement

由此可认为，断裂面与最大主应力的夹角决定了断裂面是否再次活动，从而决定了局部构造应力场特征. 当断裂与最大主应力夹角近于垂直时，断裂不会

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

通过继续破裂来释放积累的应力, 断裂带易于形成高构造应力区. 当断裂与最大主应力的夹角位于 30~60°之间时, 断裂面会发生继续破裂, 应力得以部分释放, 因此构造应力集中程度相对较低. 阜新盆地内断裂的不同走向导致了其应力状态的差异. 在现今北西西—近东西向最大主应力作用下, 北北东向、近南北向断裂因与之近于垂直而易于形成高构造应力区, 北西西向、北东东向断裂则与之相反.

应力场的多期演化同时造成了煤体结构的破坏, 降低了煤体强度. 压性断裂带、褶皱轴部等构造应力集中的部位构造煤相对较为发育. 构造煤的发育降低了煤体强度, 减少发生煤与瓦斯突出所需的能量.

总之, 断裂带的多期运动造成了煤体结构的破坏, 同时由于断裂带形成时期不同, 各期断裂带经历的应力场演化过程具有差异性, 由此造成的煤体结构破坏程度和空间分布具有差异性特征.

3.2 构造应力对瓦斯压力、瓦斯含量的影响

在影响煤层渗透率的地质构造、应力状态、煤体结构、煤质特征、天然裂隙等诸多因素中, 应力指标最为显著. 煤体在构造应力场作用下, 其微观结构的变化体现为孔隙结构的压实过程或者松散过程. 煤体渗透率与应力的关系可表示为

$$K = K_0 \exp(-3C_\varphi \Delta\sigma), \tag{1}$$

式中, K, K_0为一定应力和无应力条件下的绝对渗透率, $K = K_0 = 10^{-3}\ \mu m^2$; C_φ为煤的孔隙压缩系数, $C_\varphi = 1/MPa$; $\Delta\sigma$为应力变化率, MPa

由式 (1) 可见, 渗透率与应力的负指数关系对于瓦斯赋存和运移的意义是显而易见的. 在挤压构造应力作用下, 渗透率呈指数衰减, 瓦斯的运移和逸散受到阻隔, 成为良好的瓦斯保存条件. 而在拉张应力作用下, 断裂带成为利于瓦斯逸散的通道 (图 3). 断裂带的应力状态的差异成为影响瓦斯赋存的重要因素. 这里所指的断裂带应力状态, 不仅指现今应力场的作用, 古构造应力场也具有重要影响. 以阜新盆地北北东向断裂为例, 根据其两盘相对关系可知为正断层, 但是受垂直于断裂走向的挤压应力的挤压作用, 断裂带内充填有较宽的糜棱岩化带、断层泥砾岩带, 断裂带呈高挤压应力下的闭合状态, 渗透率下降, 对瓦斯运移起到了阻隔作用, 这种条件下利于瓦斯的保存, 构成了发生煤与瓦斯突出的瓦斯条件.

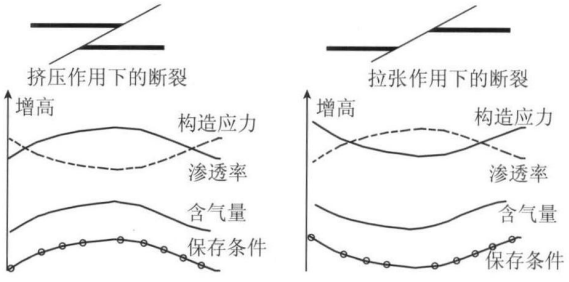

图 3　断裂应力状态与瓦斯赋存的关系

Fig. 3　Relation between stress of fault and gas accumulation

3.3 实例分析

王营井田东西两侧分别是平安 F_2 号和平西 F_2 号断层, 走向北北西和近南北, 在现今北西西向挤压应力场作用下, 均呈紧闭状态, 遏制了井田内瓦斯顺层逸散. 王营向斜贯穿王营矿井田, 井田西部向斜轴走向近东西, 而在井田东部转向北东. 显然, 北东走向的向斜受近于垂直向斜轴的挤压应力作用, 向斜上部煤岩层中裂隙和微孔隙被压实、闭合, 阻止了瓦斯的逸散, 而向斜构造煤系下部受拉伸作用, 煤岩层中的割理、节理、微孔隙等得以扩张, 扩大了瓦斯的聚集空间, 利于瓦斯的赋存, 于是形成了高瓦斯压力和高构造应力带[20]. F_8 断层走向近南北, 断裂的多期活动使得断裂带附近产生大量裂隙, 煤体结构遭受破坏, 强度降低, 现今北西西向的挤压应力作用, 使得断裂带受近于垂直断裂走向的挤压应力作用, 形成应力升高带, 同时又位于与王营向斜轴部的交叉部位, 成为煤与瓦斯突出的多发地带 (图 4).

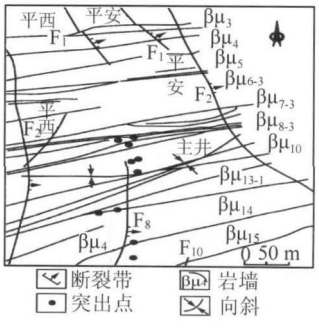

图 4　王营矿地质构造与煤与瓦斯突出

Fig. 4　Geologic structure and coal and gas outburst in Wangying coal mine

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4 结 论

(1) 阜新盆地现今应力场最大主应力 (水平) 与垂直应力的比值为 1.55~1.96之间，水平最大主应力与最小主应力的比值分别为 2.52，1.79，2.77. 应力水平高，差应力显著，属现代构造应力场，对矿井动力现象发生具有重要影响.

(2) 构造应力场多期演化使得大多数断裂历经了多期活动，对应不同的力学性质和位移方式. 构造应力场的多期演化造成局部构造应力、构造煤和瓦斯赋存的区域性分布特征，从而控制矿井动力现象的分区分带特征.

(3) 在现今北西西向构造应力场作用下，盆地内北北东向、南北向和近南北向构造由于受垂直走向的挤压应力作用，应力难于释放而成为应力集中带，渗透率降低，瓦斯保存较好，成为动力灾害多发地带；而北西西向构造相对受拉张应力作用，瓦斯易于逸散，动力灾害程度相对较低. 北东向、北西向构造介于二者之间.

石永生、王震等同志在现场地应力测试中做了大量的工作，在此致以谢意.

参考文献:

[1] 张宏伟. 活动断裂研究与矿井动力现象预测 [J]. 煤炭学报，1998，23 (2)：113~118.
[2] 霍多特 B B. 煤与瓦斯突出 [M]. 宋世钊，王佑安，译. 北京：中国工业出版社，1966.
[3] 于不凡. 煤和瓦斯突出机理 [M]. 北京：煤炭工业出版社，1985. 254.
[4] 佩图霍夫. 冲击地压和突出的力学计算方法 [M]. 段克信，译. 北京：煤炭工业出版社，1994.
[5] 周世宁，何学秋. 煤和瓦斯突出机理的流变假说 [J]. 中国矿业大学学报，1990，19 (2)：1~8.
[6] 章梦涛，徐增和，潘一山，等. 冲击地压和突出的统一失稳理论 [J]. 煤炭学报，1991，16 (4)：48~53.
[7] 于不凡. 地应力对煤和瓦斯突出的控制作用 [A]. 第三届全国地应力会议专辑 [C]. 北京：地震出版社，1994.
[8] 张宏伟，段克信，张建国，等. 矿井动力现象区域预测研究 [J]. 煤炭学报，1999，24 (4)：383~387.
[9] ZhangHongwei, Chen Xuehua, Nan Yue. The regional prediction of tectonic stress in virgin rock mass [A]. APCOM'99 [C]. USA, Colorado, 1999：103~109.
[10] 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.
[11] 郭德勇，韩德馨，王新义. 煤与瓦斯突出的构造物理环境及其应用 [J]. 北京科技大学学报，2002，24 (6)：581~584.
[12] 朱兴珊，徐凤银. 论构造应力场及其演化对煤和瓦斯突出的主控作用 [J]. 煤炭学报，1994，19 (3)：304~314.
[13] 王桂梁，马杏垣，荆惠林，等. 间歇侧移式的裂陷与递进跳跃式的反转：以阜新煤盆地为例 [J]. 高校地质学报，1996，2 (3)：284~294.
[14] 刘志刚. 阜新盆地地质力学分析 [J]. 地质评论，1991，37 (6)：529~536.
[15] 刘志刚，崔洪庆，孙殿卿. 断裂多期活动及其研究意义 [J]. 地质力学学报，1995，1 (1)：76~82.
[16] 王伟锋，陆诗阔，孙月平，等. 辽西地区构造演化与盆地成因类型研究 [J]. 地质力学学报，1997，3(3)：81~89.
[17] 黄庆华，马寅生，李永贤，等. 阜新－义县盆地构造演化及应力场光弹性模拟分析 [J]. 中国地质科学院学报，1991，22：21~34.
[18] 吴冲龙. 阜新盆地古构造应力场研究 [J]. 地球科学－武汉地质学院学报，1984，25 (2)：43~52.
[19] 兰姆塞 J G. 现代构造地质学方法 [M]. 徐树桐，译. 北京：地质出版社，1991.
[20] 朱志敏，崔洪庆，宋文杰. 阜新煤田王营－刘家区煤层气向斜控气研究 [J]. 天然气地球科学，2004，15 (6)：673~675.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net