

地质与测量

常村井田构造成因及对瓦斯赋存的影响

张书林^{1,2} 孙喜贵^{1,2} 陈 杰³

(1. 煤炭科学研究总院 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利用国家重点实验室
(煤炭科学研究总院) 北京 100013; 3. 中国煤炭科工集团有限公司 北京 100013)

摘 要: 为研究潞安常村井田瓦斯地质规律, 运用瓦斯赋存构造逐级控制理论, 结合大量瓦斯地质资料研究了井田内断层、褶曲和陷落柱的成因及对瓦斯的影响。结果表明: NEE、近 EW 和 SEE 向导通邻近含水层的断层, 受现今构造应力场作用, 易形成开放性断层, 落差约 50 m 时对瓦斯的影响范围为 130 ~ 140 m, 而小断层则通常成为瓦斯赋存的有利场所, 落差约 1 m 时对瓦斯的影响范围为 30 ~ 40 m; 近 SN 和 NNW 向的断层一直处于压扭状态, 封闭性较好, 因挤压、剪切活动较强, 造成附近构造煤发育, 控制着煤与瓦斯突出的分布。褶皱主要为向斜褶皱上层聚集型、背斜褶皱上层逸散型。陷落柱封闭性好, 但发育在 NEE、近 EW 和 SEE 向大落差断层附近时, 通常封闭性较差, 不利于瓦斯赋存。

关键词: 瓦斯赋存; 构造演化; 构造成因; 构造控制

中图分类号: TD163. 1; P64

文献标志码: A

文章编号: 0253 - 2336(2013) 12 - 0092 - 05

Genesis of Geological Structure and Effect on Gas Occurrence in Changcun Minefield

ZHANG Shu-lin^{1,2} SUN Xi-gui^{1,2} CHEN Jie³

(1. Mine Safety Technology Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization (China Coal Research Institute), Beijing 100013, China; 3. China Coal Technology & Engineering Group Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: In order to study gas geological rules of Changcun Minefield, geological structure gradual control theory on gas occurrence was used to analyze formation of geological structure, and its effect on gas occurrence was also analyzed combined with a large number of gas geological datas. The results showed that these large throw conducting adjacent aquifers faults of NEE, near EW and SEE were easy to form open faults to release gas on account of present tectonic stress field control. Gas releasing effect range of fault with 50 m throw was 130 ~ 140 m. However, these small scale faults of same direction were easy to become favorable location of gas occurrence, and gas reservoir effect range of fault with 1 m throw was 30 ~ 40 m. These faults of near SN and NNW were always in state of compress - torque to save gas, compression and strong shear force led to deformed - coal develop well near these faults, so it could be concluded that these faults controlled coal and gas outburst distribution in deep. Syncline structure was likely to save gas, conversely, and anticlinal structure was not. Most of karstic collapse columns were well - sealed against gas occurrence, but which developed near large throw geologic faults of NEE, near EW and SEE often were poor - sealed against gas occurrence.

Key words: gas occurrence; geological structure evolution; geological structure genesis; geological structure control

0 引 言

我国是世界上煤矿事故最严重的国家之一, 在这些煤矿事故中尤以瓦斯事故最为严重, 占事故总

数的 30% 以上^[1], 瓦斯事故特别是瓦斯爆炸事故是煤矿的“第一杀手”^[2], 瓦斯是气体地质体^[3], 现今煤层瓦斯的赋存和分布是煤层经历历次构造运动演化作用的结果, 受各种复杂地质因素的控制。每次

收稿日期: 2013 - 06 - 11; 责任编辑: 曾康生

基金项目: 煤炭科学研究总院青年创新基金资助项目(2010QN15)

作者简介: 张书林(1984—), 男, 河南夏邑人, 硕士。Tel: 010 - 84264177, E-mail: hpulynn@126.com

引用格式: 张书林, 孙喜贵, 陈 杰. 常村井田构造成因及对瓦斯赋存的影响[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(12): 92 - 96, 18.

地质构造运动,不同构造应力场的作用,板块构造碰撞、区域构造挤压、剪切或拉张、裂隙,引起隆起或拗陷,影响瓦斯的生成和保存。同时形成一系列不同级别的断裂、褶皱或岩浆作用等,控制着区域及其不同矿区(煤田)、矿井、采区、工作面的煤层和围岩发生不同程度的变形破坏,形成构造煤,并引起水文、地应力等不同条件的变化,控制着煤层的瓦斯赋存状态和分布规律,如瓦斯含量、瓦斯压力、煤层渗透性等。研究井田地质构造对瓦斯赋存的控制作用,对瓦斯防治实现安全开采都具有重要意义。笔者运用瓦斯赋存构造逐级控制理论,结合潞安矿区常村煤矿丰富的瓦斯地质资料,通过井田内构造成因分

析来研究井田内构造对瓦斯赋存的影响,以期对煤矿安全生产提供参考。

1 井田构造特征

常村煤矿现开采3号煤层,井田位于长治盆地西部,地层走向近SN,向西倾斜,倾角 $3^{\circ} \sim 6^{\circ}$,边界有文王山南、安昌和藕泽断层。井田内大致以姬村向斜轴为界,东部断裂构造发育,形成地堑、地垒及阶梯断块构造,以NEE、近EW和SEE向正断层为主,有少量近SN向逆断层;西部背、向斜相间发育。另外,陷落柱发育,东部井田生产揭露30个,三维勘探发现39个,如图1所示。

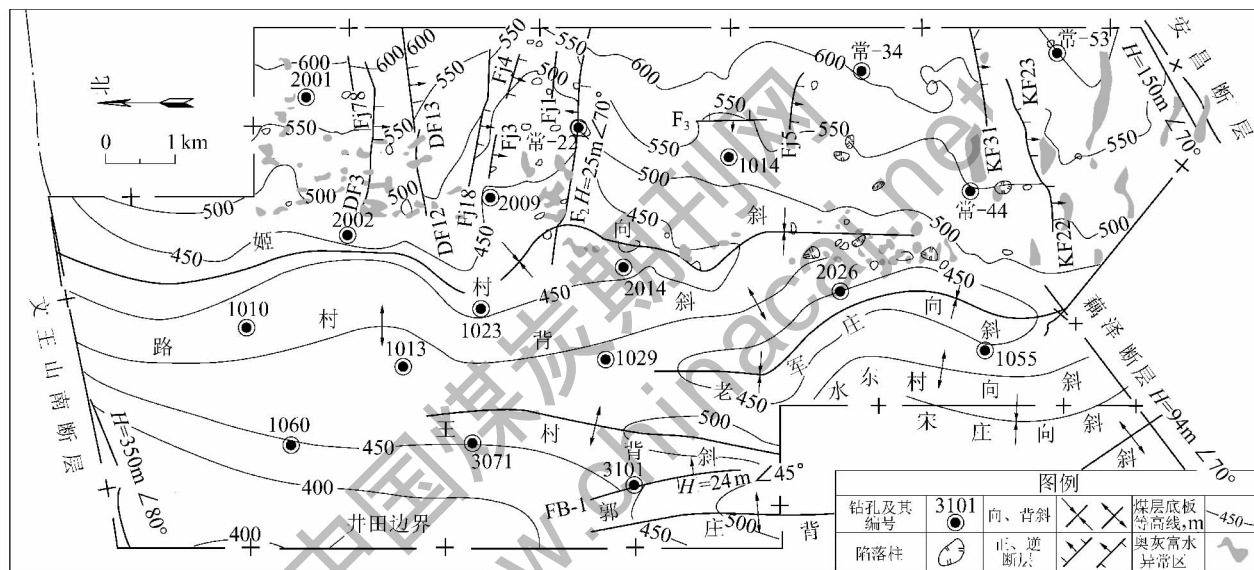


图1 常村井田地质构造简图

2 井田构造演化及成因分析

潞安矿区位于华北断块区吕梁—太行断块沁水块拗东部,次级构造单元沾尚—武乡—阳城NNE向褶皱中段,矿区主体部分为新生代叠加的长治新裂隙,东侧以晋获断裂带与太行山块隆相接,西侧逐渐过渡为沁水盆地核部^[4]。

印支期是以NNE向为主线、东西分异为特征的构造发展时期,因距直接碰撞挤压带较远,应力相对较弱,矿区内仅发育一些NNE向宽缓的褶皱^[5]。

随着中国东部大陆边缘由被动型转为主动型,特提斯—古太平洋洋盆的封闭和西太平洋古陆与亚洲东部大陆的碰撞,使晚古生代以来,燕山运动为东亚地区最为剧烈的一次构造运动。此时,在SEE—NNW向挤压应力场作用下,近SN向的晋获逆冲推

覆构造带发育并左旋运动,受其影响,矿区产生NNE、NE向的破裂面,如文王山地垒、二岗山地垒、中华—安昌地堑及苏店,井田内同样出现NE、NEE向的破裂。此时还伴有褶皱发育,矿区北段发育有天仓向斜,中段也发育NE、NEE向褶皱构造,如漳村井田内NEE向背、向斜相间发育,其南部常村井田NE、NEE向的褶皱则不发育,仅在 F_2 断层附近发育与其平行的小向斜。

燕山期后,由于印度板块向欧亚板块的碰撞挤入和新太平洋体系中的东亚大陆边缘裂解效应的联合作用,导致了矿区的构造应力场发生了重大变化(由SEE—NNW向转为NNE—SSW向),垂直于晋获断裂带发生应力松弛,导致该断裂带反转活动^[6]。中新世,以NEE—SWW向挤压和NNW—SSE向引张为特征^[7],矿区内NEE向断层发生正断

层运动,局部地区在重力作用下,沿早期 NEE 向构造破碎带形成剖面 X 型共扼剪破裂,进而发展为剖面 X 型正断层、构成垒堑组合。更新世,该区不但受太平洋俯冲引起的引张应力场的影响,也受到印度—亚欧板块碰撞挤压应力场的影响且占主导地位^[8]。在构造应力场的作用下,使得该地区古近纪经历 2 次裂谷运动,后期又继承了此期的构造运动,造成许多老构造复活,并产生新的构造,如王庄—常村断裂带^[9]。在此背景下,井田东部发育一系列地堑、地垒和阶梯构造。

由于沁水断块的核心基底对由连向西传递的侧向挤压的阻挡作用,导致矿区西部褶曲发育,在表现的更加明显,从沁水核部向东经过屯留井田直至常村井田姬村向斜轴发育一系列褶曲构造。随着挤压应力逐渐积聚至岩石破坏极限时,便开始产生宏观断裂形成剖面共扼剪破裂,进而形成共扼逆断层,导致近 SN 向逆断层发育。

关于井田内陷落柱构造成因,笔者已在文献[10]中有详细阐述,构造差异升降产生大量的裂隙、节理和断层,影响地下水径流条件;而地下水沿裂缝、节理和断层可溶性流动可以形成岩溶,并促进

其周围岩石塌落;岩石垮落又产生大量裂隙、节理和断层,这样相互作用周而复始共同促进陷落柱发育。

3 断层构造对瓦斯赋存的影响

在常压条件下煤的抗压强度、抗拉强度和抗剪强度只有泥岩的几分之一,不足砂岩和灰岩的 1/10^[11]。与上覆和下伏岩层相比,煤对应力和应变环境特别敏感,从而导致断层附近构造煤发育,封闭性好的断层通常是煤层瓦斯富集的地方,导致附近时常发生煤与瓦斯突出事故。瓦斯保存与否取决于断层的封闭性,判断某一组系或特定产状断层的力学性质和对瓦斯的开放或封闭程度,除了根据现今断层上下盘的相对位置和位移大小(断层落差)外,还必须对区域构造演化、构造应力场分析、断层面(断裂带)以及断层的伴生和派生构造观测来综合分析^[12]。

F₂断层走向 N80°E,倾向 NW,倾角 70°,落差 30 m,全长 3.5 km。在北翼材料斜巷、北翼皮巷暗斜井 15°下坡 41.5 m 和北翼总回风巷 15°变坡点等地点布置了观测点 I、II、III,断层展布特征和观测点位置如图 2 所示。

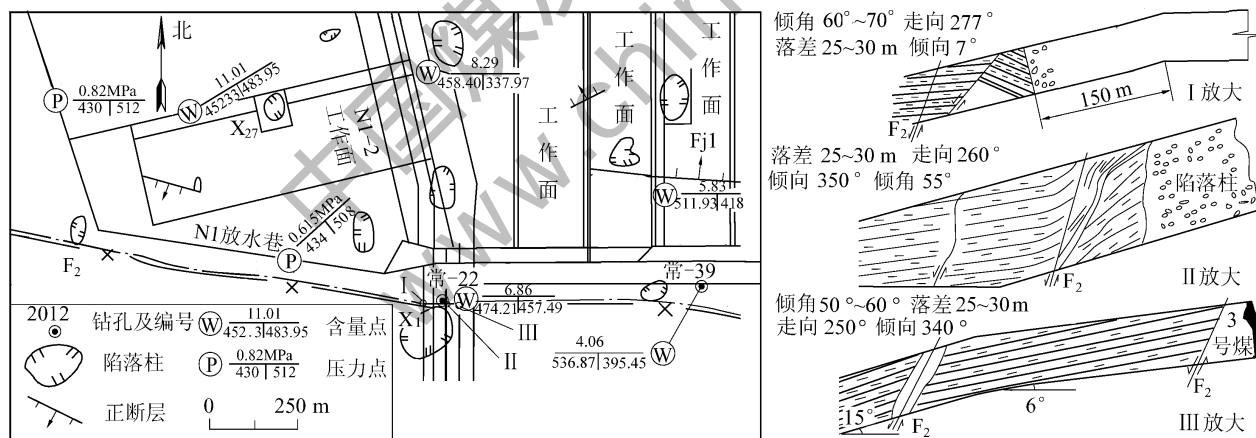


图 2 F₂断层展布特征及观测点位置

在观测点 I 处断层面宽 200 ~ 300 mm,断层面平滑,伴有滴水现象;观测点 II 处断层带内煤成破碎状无层理,粉砂岩块成角砾状,断层带有滴水现象;观测点 III 处断层面宽 200 ~ 300 mm,为角砾状,断层泥充填。总体上 F₂断层附近构造煤发育且厚,这与孙文卿等^[13]通过分析构造煤测井曲线的响应特征得出常-25 钻孔和常-22 钻孔构造煤厚大于 3.0 m 的结论相吻合。另外,3 号煤层上距 S₄含水层

8.97 ~ 27.68 m,下距 K₇含水层 5.81 ~ 21.60 m,而 F₂断层落差 18 ~ 25 m,这容易导通邻近含水层,通过观察断层带内有滴水现象,证实其与邻近含水层联通,在 F₂断层附近所测的瓦斯含量和压力也比正常地点小,如图 2 所示,由此判断其为开放性断层,不利瓦斯赋存。

当 NEE、近 EW 向和 SEE 向断层不足以切割煤层或导通邻近含水层时,加之顶底板为透气性差的泥岩造成瓦斯增多,这类断层通常会成为瓦斯赋存

的有利场所。如 KF23 断层, 走向 NEE, 落差 0 ~ 60 m, 该断层不利于瓦斯赋存, 在 S5-2 工作面轨道巷距离开切眼 20 m 处测得的瓦斯含量为 $1.03 \text{ m}^3/\text{t}$, 而轨道巷和轨道下山交汇处所测的瓦斯含量为 $4.16 \text{ m}^3/\text{t}$, 其伴生构造断层 KJ69, 断距 0.1 ~ 0.8 m, 断面清晰无水, 类似的还有 Fj71、Fj72、Fj74、Fj76、Fj88 等, 如图 3 所示。这类断层通常有利于瓦斯保存, 图 4 为距 KF23 断层不同距离时瓦斯涌出情况, 靠近 KF23 断层时, 瓦斯涌出量不足 $2 \text{ m}^3/\text{t}$; 遇断层 Fj74 (距 KF23 约 100 m), 瓦斯涌出量增幅变大; 到断层 Fj88 (190 m) 时, 瓦斯涌出量再次增大, 此后维持一段距离, 过断层 Fj71 (290 m) 后瓦斯涌出量有所降低, 但随之又逐步增大。由此判断 NEE—近 EW 向落差 1 m 左右的断层对瓦斯的影响距离 30 ~ 40 m, 落差 50 m 左右, 影响距离为 130 ~ 140 m。

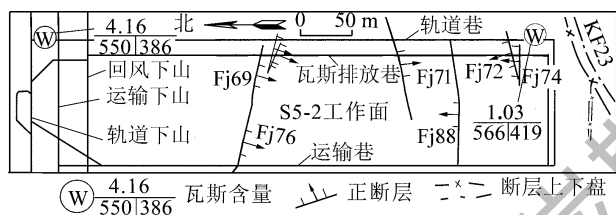


图 3 KF23 断层及其伴生构造

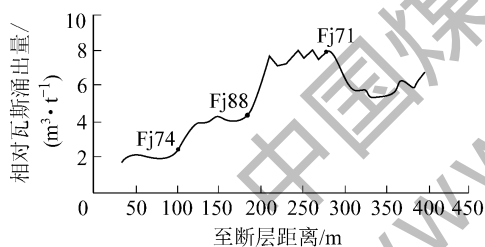


图 4 距 KF23 断层不同距离瓦斯涌出情况

通过对断层 F₂ 和 KF23 的研究并结合构造演化可以得出 NEE、近 EW 和 SEE 向的断层前期受挤压剪切作用, 附近构造煤发育, 后期构造应力场反转, 造成了现今地堑、地垒和阶梯构造的发育。落差大的断层容易导通邻近含水层, 加之现今构造应力场

的影响, 使其处于张扭状态, 这类断层易于形成开放性断层。而此方向的小断层不足以切割煤层或导通邻近含水层, 加之煤层顶底板岩性透气性差, 则通常成为瓦斯赋存的有利部位。

在 F₃ 逆断层附近布置 3 个观测点, 各观测点处 F₃ 断层的地质剖面如图 5 所示。在观测点 IV 处, 断层面较明显, 可见约 15 cm 厚的断层泥; 在观测点 V 处, 断层面宽 0.3 ~ 0.5 m, 煤层破碎; 在观测点 IV 处, 断层面宽 0.3 ~ 0.5 m, 煤层破碎, 可见煤层滑动面及挤压褶曲。由此可知, F₃ 断面平滑且有小的挤压褶曲发育, 断层附近煤体破碎, 其形成以来一直处于压扭状态, 对瓦斯保存有利。

通过逆断层 F₃ 的研究并结合构造演化可知, 近 SN、NNW 向的断层形成以来一直处于压扭状态, 构造煤发育, 加之现今构造应力场使挤压、剪切活动较强, 造成断层封闭性较好, 利于瓦斯保存。

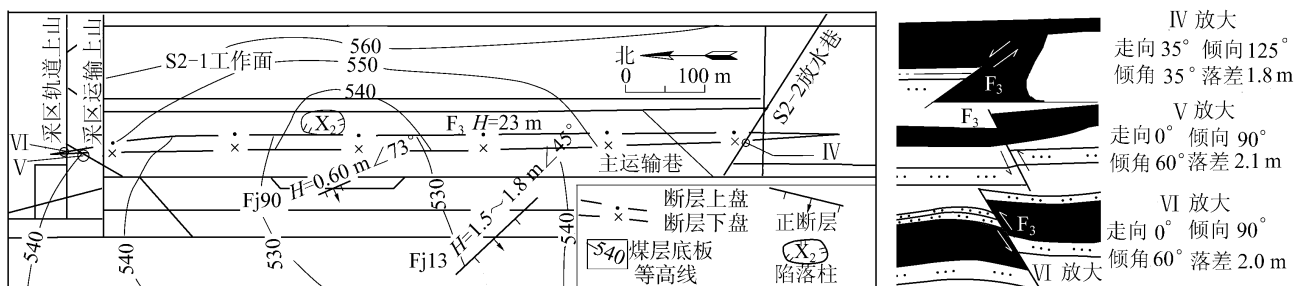
4 褶皱构造对瓦斯的影响

褶皱构造的中和面对煤层逸散程度有重要影响^[14], 由于中和面上下层岩层的受力情况不同, 可分为向斜褶皱上层聚集型和下层逸散型、背斜褶皱上层逸散型和下层聚集型 4 种^[15]。

4.1 向斜构造对瓦斯赋存的影响

处于姬村向斜轴部的 S3-6 工作面, 在回采期间瓦斯涌出量可达 $15.35 \text{ m}^3/\text{min}$; 在同处轴部的 S3-9 工作面煤层最大瓦斯含量 $10.95 \text{ m}^3/\text{t}$, 瓦斯压力 1.36 MPa; 而处在翼部的 S3-3 工作面回采期间, 产煤量相当时的瓦斯涌出量为 $9.42 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

另外 2 个方向的向斜构造复合部位, 也是瓦斯赋存条件最好的部位, 瓦斯含量大、压力高。N₁ 采区处在姬村向斜和近 EW 向小向斜的构造复合部位, 该处 N₁₋₄ 工作面瓦斯涌出量可达 $26.71 \text{ m}^3/\text{t}$, 日产量平均 3 000 t, 只有正常产量的 30%, 大幅影响了煤矿生产。

图 5 F₃ 断层展布特征及观测点位置

4.2 背斜构造对瓦斯赋存的影响

路村背斜位于姬村向斜西侧,近 SN—NW 向,全长约 10 km,倾角 $4^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 。该背斜轴东、西两翼瓦斯含量与煤层上覆基岩厚度最为密切,东翼比西翼的瓦斯梯度大,核部的瓦斯含量比两翼要低的多,如图 6 所示。类似的还有曲庄和郭庄背斜,曲庄背斜东翼煤层埋深在 448.60、474.38、484.90 m 处,瓦斯含量分别为 4.38、7.20、7.54 m^3/t 。郭庄背斜东翼煤层埋深在 342.15 和 451.31 m 处瓦斯含量分别为 3.94 和 13.09 m^3/t ;西翼煤层埋深在 412.28、448.62、551.28 m 处,瓦斯含量分别为 4.15、6.48、15.55 m^3/t 。

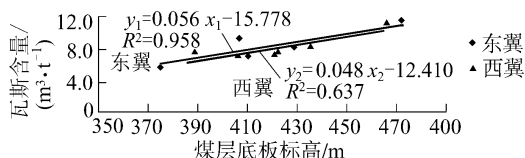


图 6 路村背斜两翼瓦斯含量与煤层上覆基岩厚度关系

通过以上分析,井田内褶曲主要为向斜褶皱上层聚集型、背斜褶皱上层逸散型。

5 陷落柱对瓦斯的影响

瓦斯可以沿着柱体运移,通过地表、透气性好的岩层或含水层逸散,其保存与否取决于陷落柱上覆盖层和导水情况。3 号煤层均为带压煤层,承受的最大水头压力约 2.2 MPa^[16],通过 20 个陷落柱钻孔观测显示,只有陷落柱 X₆ 含水,即使含水的 X₆ 的水源也只是上部砂岩含水层的水^[17],说明 3 号煤层下部含水层未经陷落柱导通至煤层。据三维地震勘探资料,目前未发现有坍塌至地表的陷落柱,井田内陷落柱的 3 号煤层以上部位具有良好的封闭性。

陷落柱形成过程中因周围煤岩体应力释放,煤层中吸附的瓦斯会解吸到柱体内,封闭性好的陷落柱有利于聚集瓦斯,如陷落柱 X₂₇ 的长轴 70 m、短轴 50 m,在 N1-2 工作面轨道巷 262 m 处揭露,图 7 为 N1-2 轨道巷掘进期间瓦斯涌出情况,接近该陷落柱时瓦斯涌出量明显增大。

陷落柱在形成过程中会产生大量节理、裂隙和小断层,如果这些伴生裂隙与含水层、导水断层或开放性断层相通,陷落柱就不容易聚集瓦斯。陷落柱 X₆ 处在 F₂ 断层伴生构造附近,前面谈及 NEE 向、近 EW 和 SEE 向大落差断层易形成开放性断层,发育在这类断层附近的陷落柱通常与其导通而使得封闭

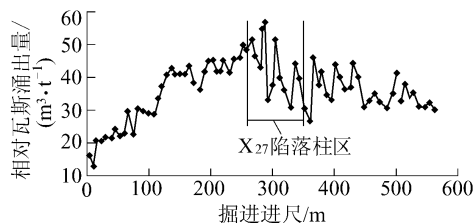


图 7 N1-2 轨道巷掘进过 X₂₇ 陷落柱期间瓦斯涌出变化性差,不利于瓦斯赋存。

6 结 论

1) 通过矿区构造及应力场的演化,对井田内构造成因进行分析,潞安矿区受控于晋获断裂带,燕山期构造活动对该区影响很大,井田内产生一系列的 NNE、NE 向构造,同时由于受沁水断块的核心基底的阻挡,在井田西部近 SN 向的褶曲相间发育。古近纪的 2 次裂谷运动,造成了许多 NNE、NE 向的老构造复活形成一系列的地堑、地垒和阶梯构造。

2) 结合典型断层构造的断层面地质特征,分析其附近瓦斯含量、压力和涌出量等情况后得出 NEE、近 EW 和 SEE 的大落差断层容易导通邻近含水层,加之现今构造应力场使其处于张扭状态,这类断层易形成开放性断层,当落差为 50 m 时,其影响范围 130 ~ 140 m,而小断层则通常成为瓦斯赋存的良好场所,落差为 1 m 时的影响范围 30 ~ 40 m;近 SN 和 NNW 向断层一直处于压扭状态,封闭性较好,利于瓦斯保存,这些地方挤压、剪切活动较强,构造煤发育,控制着煤与瓦斯突出分布。

3) 褶皱构造中和面对煤层逸散程度有重要影响,通过对井田背斜向斜两翼的瓦斯情况研究,认为井田内褶曲对瓦斯的控制类型为向斜褶皱上层聚集型、背斜褶皱上层逸散型。

4) 陷落柱对瓦斯的赋存取决于其封闭性,井田内大多陷落柱封闭性好,但发育在 NEE、近 EW 向和 SEE 向大落差断层附近的陷落柱,封闭性通常较差,不利于瓦斯赋存。

参考文献:

- [1] 安明燕,杜泽生,张连军. 2007—2010 年我国煤矿瓦斯事故统计分析 [J]. 煤矿安全, 2011, 42(5): 177-179.
- [2] 张宝山. 瓦斯防治: 扼住煤矿“第一杀手” [J]. 中国人大, 2012(3): 40-41.

(下转第 18 页)

纹应力最大值要大于拉扭弯模式,而且当剪切力和弯曲方向不同时,应力云图也相差较大。由图 6a 可知,当剪切力和弯曲方向相同时,此时螺纹表面应力最大应力并不是在第 1 和第 2 个螺纹牙底间,而是在剪切力施加的螺纹牙底处,螺纹牙纵向截面应力由于受到剪切力的影响,在剪切力下面形成应力增高区,此区域和弯曲应力相重合,造成上表面螺纹表面应力较大。当剪切力和弯曲方向相反时,螺纹表面应力有所降低,上表面螺纹应力由于受到剪切力的影响,分布相对比较均匀,变化梯度较小(不同于拉弯扭),而且螺纹纵向截面的力,剪切力造成的牙底应力增高区和弯曲应力不重合,说明在一定程度上,剪切力反而降低了螺纹上表面的弯曲应力值,螺纹横截面上的应力也相对较小。说明此时螺纹受力效果要好于拉扭弯模式,但螺纹不可避免受到剪切力的集中作用。

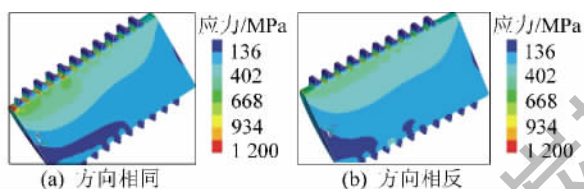


图 6 剪切力和弯曲方向对锚杆尾部螺纹应力的影响

4 结 语

锚杆杆尾螺纹段受力状态复杂,存在多种应力状态。笔者对比分析了锚杆螺纹段在拉伸、扭转、弯曲、剪切、拉扭组合、拉弯组合、拉扭弯组合以及拉弯扭剪组合 8 种不同载荷条件下锚杆螺纹段内部应力

场分布特征。在外载荷作用下,锚杆杆尾螺纹在牙底处均出现应力集中,应力集中受载荷的大小和类型不同而变化。拉弯扭是锚杆尾部螺纹井下最常见的受力模式,研究结果表明要避免锚杆尾部螺纹段承受过大弯曲角度和转矩。

参考文献:

- [1] 鞠文君,康红普.我国煤矿巷道锚固新技术[C]//中国岩石力学与工程学会第七次学术大会论文集.北京:中国科学技术出版社,2002:592-594.
- [2] 康红普,王金华.煤巷锚杆支护理论与成套技术[M].北京:煤炭工业出版社,2007.
- [3] 康红普,王金华,林健.煤矿巷道支护技术的研究与应用[J].煤炭学报,2010,35(11):1809-1814.
- [4] 吴拥政.全长预应力锚固强力支护系统的应用研究[J].煤炭科学技术,2011,39(11):27-30,35.
- [5] 康红普,吴建星.锚杆托板的力学性能与支护效果分析[J].煤炭学报,2012,37(1):8-16.
- [6] 康红普,吴拥政,李建波.锚杆支护组合构件的力学性能与支护效果分析[J].煤炭学报,2010,35(7):1057-1065.
- [7] 林健,康红普.螺纹钢树脂锚杆的研究现状与趋势[J].煤矿开采,2009,14(4):1-4.
- [8] 程蓬,鞠文君.高强度锚杆尾部螺纹断裂受力分析[J].煤矿开采,2011,16(2):20-22.
- [9] 范明建,康红普.锚杆预应力与巷道支护效果的关系研究[J].煤矿开采,2007,12(4):1-3.
- [10] 张镇,康红普,王金华.煤巷锚杆-锚索支护的预应力协调作用分析[J].煤炭学报,2010,35(6):881-886.
- [11] 赵建明.复合应力状态下的锚杆杆体强度变化[J].矿业安全与环保,2002,29(S1):78-83.
- [12] 杨双锁,曹建平.锚杆受力演变机理及其与合理锚固长度的相关性[J].采矿与安全工程学报,2010,27(1):1-7.
- [13] 张玉贵.构造煤演化与力化学作用[D].太原:太原理工大学,2006.
- [14] 崔洪庆,姚念岗.不渗透断层与瓦斯灾害防治[J].煤炭学报,2010,35(9):1486-1489.
- [15] 孙文卿,傅雪海,曾庆华.常村矿3#煤构造煤分布及其成因探讨[J].煤矿安全,2011,42(2):140-142.
- [16] 叶建平,秦勇,杨大力.中国煤层气资源[M].徐州:中国矿业大学出版社,1999.
- [17] 康继武.褶皱构造控制煤层瓦斯的基本类型[J].煤田地质与勘探,1994,22(1):30-32.
- [18] 河南省煤炭地质勘察研究院.常村煤矿生产矿井地质报告[R].郑州:河南省煤炭地质勘察研究院,2004.
- [19] 张壮路.常村煤矿N2-7陷落柱及其水源分析[J].西安科技学院学报,2004,24(2):159-161.
- [20] 张子敏.瓦斯地质学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009.
- [21] 曹代勇,张杰林,关英斌,等.潞安矿区构造格局及构造演化[J].煤炭学报,1995,20(2):174-178.
- [22] 马永明.潞安-长治矿区地质构造形成机制探讨[J].中国煤田地质,2005,17(1):1-3.
- [23] 曹代勇,关英斌.晋-获断裂带分段模式研究[J].大地构造与成矿学,1997,21(4):323-329.
- [24] 白海波,缪协兴.潞安矿区奥陶系岩溶演化主控因素分析[J].采矿与安全工程学报,2008,25(1):17-21.
- [25] 李祥根.中国新构造运动概论[M].北京:地震出版社,2003.
- [26] 白海波,缪协兴,王庄-常村断裂带新生性及其控水作用[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2006,25(S0):25-27.
- [27] 张书林,张子敏,王运革,等.潞安常村井田陷落柱分布规律与成因初探[J].河南理工大学学报:自然科学版,2011,30(3):283-287.

(上接第 96 页)