

# 沁水盆地樊庄区块构造对煤层气富集的控制作用

梁宏斌<sup>1</sup>, 张璐<sup>2</sup>, 刘建军<sup>1</sup>, 张鹏豹<sup>1</sup>, 刘莉薇<sup>1</sup>

(1. 中国石油天然气股份有限公司 华北油田勘探开发研究院, 河北 任丘 062552;

2. 山东科技大学 地质科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

**摘要:**在对樊庄区块褶皱形成力学机制研究基础上,从煤层气藏构造演化史的角度,结合樊庄区块煤层气排采实际资料,建立了沁水盆地樊庄区块三种类型煤层气成藏模式,即原生型、调整型和改造型,其中改造型又可分为原生改造型和调整改造型,旨在研究沁水盆地樊庄区块构造对煤层气富集的控制作用,为认识局部微小构造对煤层气藏的控制作用提供参考。本区煤层气开发实践表明,不同成因的气藏宜采用相应的勘探开发策略。

**关键词:**沁水盆地;樊庄区块;煤层气田;构造特征;成藏模式

中图分类号:P618.11

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2012)01-0001-09

## Control Action of Structure in Fanzhuang Block of Qinshui Basin on Coal-bed Gas Field Enrichment

LIANG Hongbin<sup>1</sup>, ZHANG Lu<sup>2</sup>, LIU Jianjun<sup>1</sup>, ZHANG Pengbao<sup>1</sup>, LIU Liwei<sup>1</sup>

(1. North China Institute of Petroleum Exploration and Development, China National Petroleum Corporation, Renqiu, Hebei 062552, China;

2. College of Geological Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:**Based on mechanical mechanism of fold formation in Fanzhuang block, Qinshui basin and from the view-point of the history of coal-bed gas field structure evolution and also combining with the actual data of coal-bed gas field mining in the block, three types of coal-bed gas field enrichment modes were established, i. e. primary type, revise type and reform type of which the reform type can be divided into primary reform type and revise reform type, aiming at the study of the control action of the structure in Fanzhuang block, Qinshui basin on coal-bed gas field enrichment. The practice of the coal-bed gas field exploitation in this area indicated that different gas reservoirs should be explored and exploited with different strategies, providing the reference for the study of control action of partial small structures on the coal-bed gas field reservoir.

**Key words:**Qinshui basin;Fanzhuang block;coal-bed gas field;structural feature;oil enrichment mode

沁水盆地作为华北大盆地内保存最完整、连片面积最大的石炭—二叠煤系含煤区,蕴含了十分丰富的煤层气资源,是我国重要的煤层气资源区。作为一个构造残留型的富煤盆地,盆地性质决定了构造在煤层气田富集控制因素中的重要地位。部分学者强调了燕山运动对沁水盆地构造格局的形成及对煤层气成藏的影响以及新生代以来欧亚板块碰撞的远程效应对其产生的改造作用<sup>[1-2]</sup>,但关于局部微小构造对煤层气藏控制作用的研究却较少。在前人研究基础上<sup>[3-5]</sup>,对沁水盆地的构造特征及其形成的力学机制进行了较深入研究,并着重阐述了构造对沁水盆地尤其是樊庄区块煤层气富集的控制作用,对认识煤层气富集过程中的构造影

收稿日期:2011-11-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41172108);国家油气专项“十二五”课题(2011ZX05033-04)

作者简介:梁宏斌(1963—),男,河南西峡人,教授,主要从事油气资源勘查方面的研究。E-mail:yjy\_lhb@petrochina.com.cn

响有一定理论意义。

## 1 区域构造及其演化特征

沁水盆地是华北板块吕梁—太行断块上的一个最大的次级构造单元。盆地东部与太行山隆起相接,西部以霍山隆起为界,其北为五台山隆起带,其南与中条隆起带毗邻(图 1)。沁水盆地与山西北部的大同一静乐凹陷带组成一个雁行排列的巨型复式向斜带(中央坳陷带),夹持于吕梁山与太行山两隆起带之间。

### 1.1 盆地构造特征

沁水盆地作为一个复式向斜构造,主要定型于燕山期,在喜山期构造形态又得到加强及一定程度的改造<sup>[3-4]</sup>。其现今的基本构造特征主要可概括为以下三个方面(图 1)。

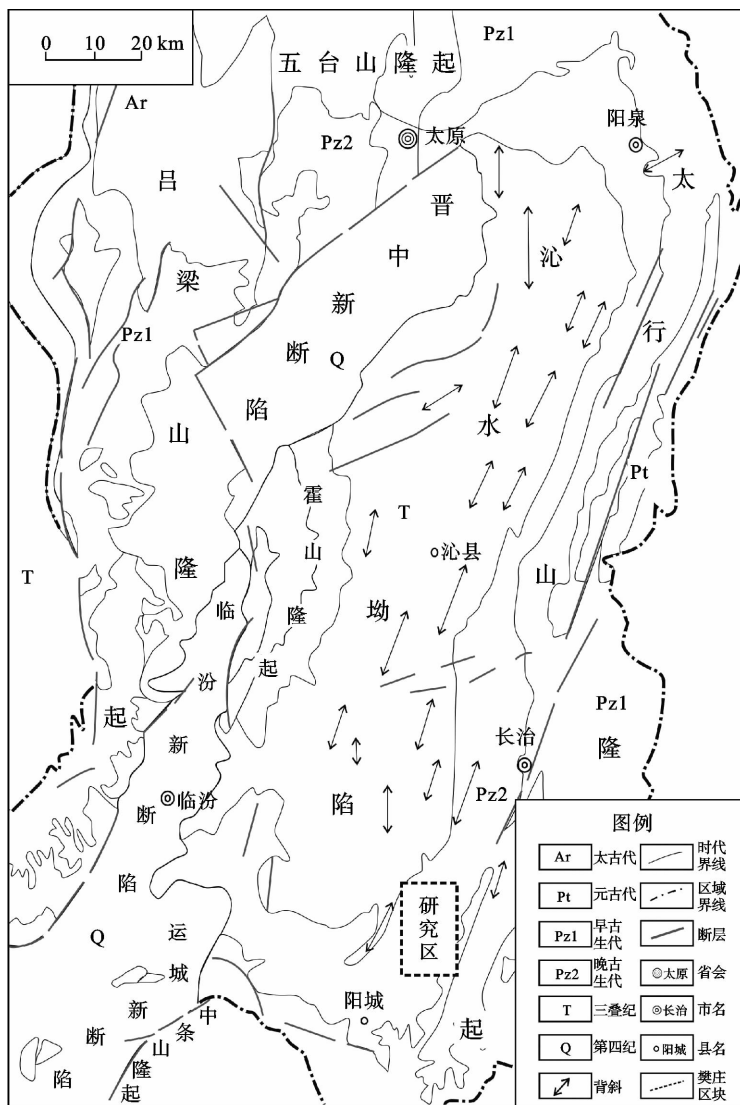


图 1 沁水盆地构造纲要图

Fig. 1 Sketch of structure in Qinshui basin

1) 基本面貌为宽缓复式向斜,主向斜轴位于榆社—北寨—沁县—王必一线,走向 NNE,东西两翼倾角分别平均为  $4.2^\circ$  和  $4^\circ$ 。盆地南、北两端稍宽,中部略窄。其西北部边缘带因喜山期断裂及断陷活动影响受到了一定扭曲。

2) 沁水盆地内褶皱基本为平行褶皱,且大多数为典型的长轴线性褶皱,但褶皱的幅度、面积一般均较小;背斜中有 80% 翼部倾角小于  $10^\circ$ ,约 70% 构造幅度小于 50 m,80% 以上的面积小于  $5 \text{ km}^2$ 。背、向斜褶皱构造在分布上具有一定的等间距性,较为均匀、广泛地布满整个盆地区,表明是在较均匀、缓慢的挤压作用下形成的产物。

3) 断层多,且以小型断层为主。沁水盆地内大型断层不十分发育,但小规模断裂构造却广泛分布。断层组系多,SN、EW、NNE、NE、NW、NNW 向均有分布;类型多,逆断层、平移断层、正断层均有发育<sup>[5]</sup>。

上述构造特征孕育并造就了沁水盆地的基础成气条件,同时也直接控制了煤层气的生成、运移、储存与成藏等过程。

## 1.2 盆地构造演化史

沁水盆地的演化历史同华北古地台一样,经历了地槽、地台和地台活化三个发展阶段,但地台活化阶段的演化特征独具特色。

太古代—早元古代为地槽阶段,阜平、五台、滹沱三期重要的褶皱变质运动,使沁水盆地所在的华北地台逐步固结,太古界和下元古界形成地台的结晶基底。

中元古代—中生代三叠纪属地台阶段,形成了稳定的地台型沉积。

自侏罗纪燕山运动开始,沁水盆地进入了构造运动较为强烈的地台活化阶段。沁水盆地及其邻区中生代各组地层的接触关系表明,燕山期的构造活动十分频繁,至少有过三期以上的褶皱运动,即  $J_1$  末、 $J_2$  末和  $J_3$  末,其中以  $J_2$  末的褶皱运动最为强烈。而由沁水盆地内线性延伸的背向斜构造带具有多方向相互叠置交切以及不同走向的断层力学性质普遍有过转换过程等现象分析,燕山期确有过多期且应力方向不同的构造活动。新生代喜山期以来,沁水盆地主要表现为强烈的上升及剥蚀活动<sup>[6]</sup>。在此构造背景下,构造活动具有明显的不均衡性:一方面,在西缘区形成了剧烈沉降的汾渭断陷系,其中晋中断陷穿越了沁水盆地西北端区,破坏了沁水盆地完整性;另一方面,广大的上升区存在有多次上升活动,这由第四系黄土层的展布及保存现状可得以证实。

## 2 沁水煤层气田樊庄区块构造特征

从沁水煤层气田内构造体系所卷入的地层及其相互关系来看,区内主要由沁河复式向斜、晋东南山字型构造和沁水帚状断裂带(寺头—后城腰断裂带)组成。各类构造生成的时间有早有晚,近南北向构造沁河复式向斜萌生较早(T 末),成熟于燕山晚期;晋东南山字型构造(图 2)和沁水帚状构造形成于燕山—喜山期。

晋东南山字型构造位于晋豫两省相邻地区,西起山西绛县一带,东至河南辉县附近,北至山西安泽、屯留,南到河南济源、沁阳一带。东西长约 220 km,南北宽约 100 km。山字型构造的前弧主要展布在济源和沁阳县之间,前弧西翼展布至绛县、阳城县,东翼展布至辉县、淇县,脊柱分布在安泽、屯留、长子、沁水等县。脊柱南北长约 56 km,北部宽约 25 km,为向南变窄的楔形褶皱带,北部褶皱较密集,向南逐渐减少,于郑村北消失。脊柱楔形带的中南端位于研究区内,以燕山期形成的 SN 向宽缓褶皱为主,褶皱幅度和面积都较小,西翼稍偏 NNW,东翼稍偏 NNE,据南邻河南省资料,晋东南山字型构造的前弧影响至第三系说明喜山期还有活动。

### 2.1 褶皱特征

沁水煤层气田位于沁水盆地南部端区,褶皱在平面上往往是孤立的,不具带状分布特点,多属于短轴背斜,长短轴之比一般小于 4。盆地的基底呈刚性,构造主体区较平缓,翼部倾角  $4^\circ \sim 7^\circ$ ,而且由于这些圈闭多位于单斜背景上的鼻状挠曲带上,表现出复向斜一侧较陡,而近隆起一侧较缓。

### 2.2 断裂特征

沁水煤层气田断层不太发育,以 NNE 和 NNW 方向正断层为主。具有断距小,倾角大,延伸短的特点。

寺头断层是正断层,为樊庄区块西部边界断层,形成于燕山晚期—喜山期。断层南端走向  $NE 60^\circ$ ,向北转为  $NE 1^\circ \sim 25^\circ$ ,倾向 NW,倾角  $70^\circ \sim 75^\circ$ 。上盘为刘家沟组、石千峰组,下盘为上石盒子组。断距南端(潘庄井田)为 190~250 m,往北一般为 50~60 m,断层带较宽。该断层规模较大,全长约 40 km,向南西延伸至

寺头一带,向北到圪堆上东侧消失。据区域资料分析,寺头正断层具走滑平移断层性质,与后城腰断层组成走滑消减带。正是这个消减带的存在,使得成庄—潘庄区块一带保存条件变好,出现一批产气量高的煤层气井。

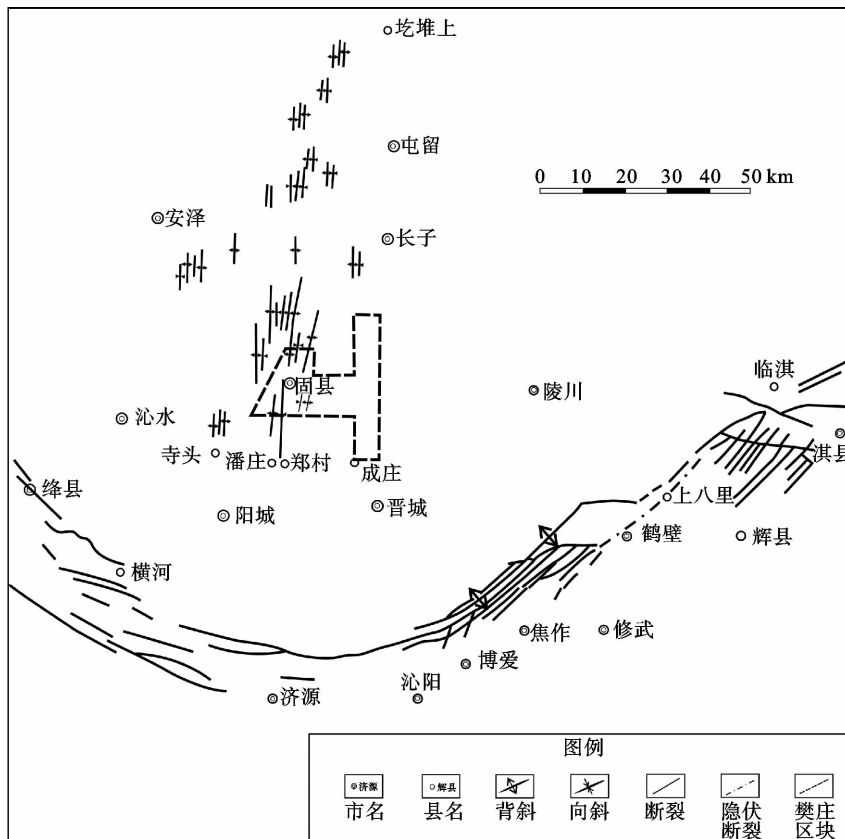


图 2 晋东南山字型构造示意图

Fig. 2 Sketch of hill-type structure in southeastern of Shanxi province

### 2.3 樊庄区块构造特征

樊庄区块位于晋东南山字型构造(脊柱)南端。由沁水煤层气田樊庄区块构造纲要图(图 3)可以看出,研究区褶皱构造以燕山期 NNE、近 SN 向和喜山期形成的 NW 向褶曲为主。总体上东南高,西北低,发育一系列与走向斜交,向西北倾伏的裙边式鼻状挠曲构造,改变了以往对该区平板斜坡的认识;研究区位于端氏状断裂构造带沁水帚状构造的发散端,以 NNE 和 NWW 方向正断层为主,具有断距小,倾角大,延伸短的特点。

## 3 应力场与褶皱形成的力学机制

### 3.1 沁水煤层气田构造应力场特征

燕山期 NWW—SEE 方向水平挤压应力场所产生的 NEE 向褶皱最为发育,遍及全区,规模较大,一般长 10~30 km,自南向北褶皱走向呈规律性变化(图 4)。喜马拉雅运动期间,区内基本保持了中生代形成的构造格局,但其构造应力场发生了数次重大改变。首先是喜山早期由于印度次大陆向西北方向运动,区内表现为 NE—SW 方向挤压应力场;其次是喜山中期,库拉-太平洋板块回卷,形成 NW—SE 向拉张应力场,随后微地块回弹又使引张应力场变为压性;在喜山中后期又恢复到 NE—SW 向挤压应力场,长治一带形成了一些规模不大的断陷盆地,石炭—二叠纪煤系和三叠系等地层继续遭受剥蚀,并在西北部和东南部因拉张形成北东向正断裂,致使沁水盆地定型于现今状态<sup>[4]</sup>。

现今构造应力场总体上继承了古近纪至第四纪以来的构造应力场特征,最大挤压应力呈近水平展布,表现为 NEE—SWW 向水平挤压应力场<sup>[7]</sup>。

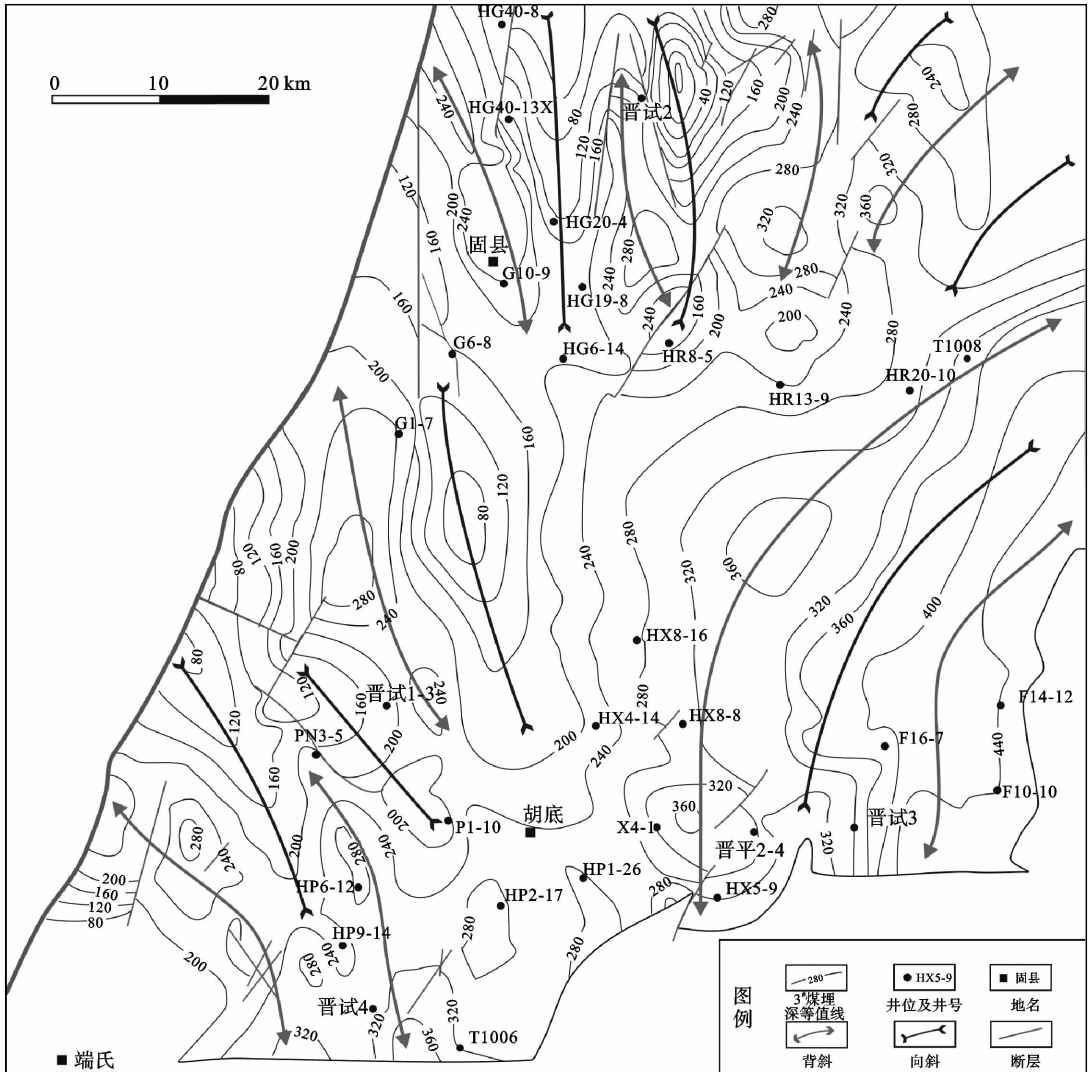


图 3 樊庄区块构造纲要图

Fig. 3 The structural outline map of Fanzhuang block

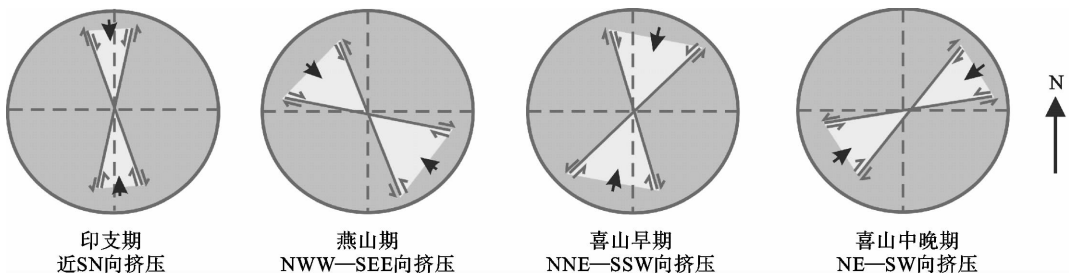


图 4 沁水盆地南部构造应力期次划分图

Fig. 4 The stage division of tectonic stress in south of Qinshui basin

### 3.2 樊庄区块现今褶皱形成的力学机制

根据兰姆赛对叠加褶皱类型的分类<sup>[8]</sup>,可以将樊庄区块西部 NW 向褶皱加以解释(图 5)。燕山期由于太平洋板块的推挤,对该区产生了 NW 向挤压应力,形成 NE 向褶皱;喜山期 NE 向挤压应力叠加在先期褶皱之上,根据叠加褶皱理论,形成 NW 向背斜、向斜及鞍部等构造,但是此时褶皱带整体的延伸方向仍然是 NE 向。

## 4 构造对煤层气的富集控制作用

导致沁水盆地煤层气不同地域富集程度不同的主要因素是燕山期异常古地热场的出现、构造型式以及水动力环境的影响。这三种地质因素在不同级次上发挥作用,其中构造因素是最基本也是最主要的控制因素,它控制形成了沁水盆地樊庄区块煤层气不同的地质聚集模式。

构造样式是在构造应力作用下产生构造变形的几何形态。不同构造样式所处的边界条件、岩石力学性质、受力方式不同,因而必然对樊庄区块的煤层气富集呈现出不同的控制作用<sup>[6]</sup>。

### 4.1 褶皱复合叠加带

在喜山早期 NE—SW 向挤压作用下,燕山期 NNE—SSW 向褶皱遭受改造,叠加新一期构造变形,新形成的圈闭既是原来的气藏,又接受来自原型气藏因构造变动引起的游离气再分配的气源,形成第二期成藏。气藏的规模主要取决于新一轮构造变形叠加后气藏的规模。

在樊庄区块,在总体向西倾的单斜构造上发育了走向 NW 向和近南北向的褶曲构造,与盆地主体 NNE 向褶皱复合叠加。叠加带煤储层构造裂隙较发育,煤储层渗透率增大。

### 4.2 向斜轴部

由于沁水盆地向斜轴部埋藏较深,其含气量明显高于向斜两翼。随着向斜轴部煤层埋深增大,上覆盖层厚度增大,有利于维持一定的地层压力,并且向斜核部裂隙发育程度变差,使得煤层气的扩散极为困难。另外,处于同一构造部位的煤层处于同一水动力压力系统,构造低部位水体大、压降慢,短期内难以达到解吸压力,出气晚。根据渗透率与埋深的经验关系,可推断出在复向斜轴部地层深处,地应力对煤储层渗透率影响较显著,煤储层渗透率普遍较低,不利于开采<sup>[3]</sup>。地下水处于弱径流状态或滞流状态,因地下水流动而引起的煤层气损失量小,同时地下水在流向向斜轴部的方向上还可形成水力封闭,阻止了煤层气的散失。因此,沁水盆地煤层相对平缓的轴部地带煤层气的聚集条件较好。

### 4.3 单斜带

一般来说单斜带成煤期后构造改造较弱,煤层结构较完整,裂隙不发育,煤储层渗透率较低。但樊庄区块东部距离寺庄一下村煤层露头线较近,既是樊庄煤层气田的构造边界,也是地层水补给边界,从而成为煤层气逸散边界。这也是樊庄一成庄区块东部井区煤层产气量低的原因。

### 4.4 断层

樊庄区块排采实践表明,断层对煤层气有解吸作用,造成煤层含气量低,但解吸范围有限,一般 50~200 m。断层的另一个破坏作用是断层的导水性,除了地表水向深部各含水层的补给外,主要表现为“奥灰水”向煤系含水层、煤层进行灌注与补给,在局部断层及陷落柱发育地段,各含水层沟通,交替作用明显,使各地层中钙质沉淀增加堵塞孔隙,孔隙度减小,导致煤层渗透率降低,进而影响产气量。

### 4.5 裂陷带

不同断块差异升降运动以及第三、四纪局部快速沉降,对煤储层压力和煤层气含气量、饱和度产生显著

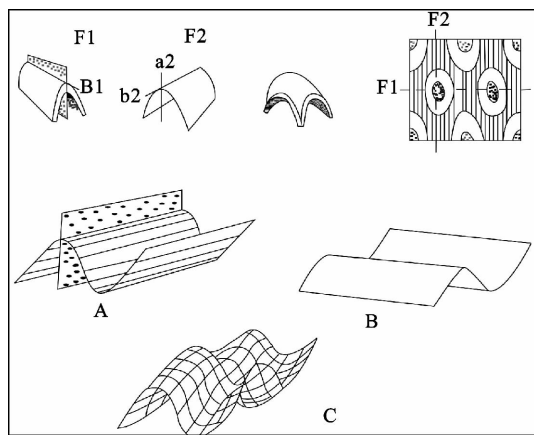


图 5 樊庄区块 NW 向褶皱形成机制示意图  
Fig. 5 Sketch of the formation mechanism of NW folds in Fanzhuang block



影响。裂隙区断裂构造较发育,在煤层中形成很多外生裂隙,形成煤层气储集或运移的通道,使得煤层气向某一地段富集或散失,对煤层气的局部赋存产生再分配。同时,裂隙地区的快速沉降,使煤层的埋深加大,有利于煤层气的继续保存和煤化作用的发展。特别是在水动力封闭地区,利于煤层气的聚集<sup>[9]</sup>。

#### 4.6 陷落柱

区内局部存在环状陷落构造,又称柱状陷落或喀斯特陷落,其形状一般为圆形、椭圆形,使得陷落柱内煤层缺失、岩层产状紊乱直至破碎。陷落柱构造的不利因素:使岩层破碎,乃至缺失,不利于煤层气的形成和保存。

### 5 沁水盆地樊庄区块煤层气成藏模式

沁水盆地樊庄区块煤层气成藏模式有多种划分方案。本研究根据目前的勘探程度和近期指导煤层气勘探开发工作的需要,按照气藏成藏过程及其后生演化建立成藏模式,划分出原生型、调整型和改造型三种成藏模式。不同成藏模式下形成的煤层气藏具有不同的特点,采取的勘探策略也要相应变化。

#### 5.1 原生型煤层气藏

原生型煤层气藏主要形成于燕山期一期成藏,在该区表现为 NNE 向构造和近东西向构造,煤系地层烃源岩形成的烃类气体大规模运聚,在先于或同期形成的构造或岩性圈闭中聚集成藏,其后气藏基本上没有显著变化,煤层气藏的规模取决于烃类气体的补充和扩散、水溶、氧化等引起的散失之间的相对强度,总体上气藏自燕山期以来变化不大。

这类气藏的典型代表包括盆地南部 TL007 背斜和中部蒲池南背斜。以前者为例,TL007 背斜(图 6)走向近北东,形成于燕山早期。在其后地质历史时期受寺头—后城腰走滑断裂消减带的保护,气藏基本上没有显著变化,目前日产气量平均 4 000 m<sup>3</sup> 以上。

#### 5.2 调整型煤层气藏

调整型煤层气藏至少包括燕山期、喜山早期两期。其中,燕山期第一次成藏与原生型模式成藏相同,只是在喜山早期 NE—SW 向挤压作用下,燕山期 NE—SW 向褶皱遭受改造,叠加了新一期构造变形,新形成的圈闭既是原来的气藏,又接受了来自原型气藏因构造变动引起的煤层气再分配的气源,形成第二期成藏。气藏规模主要取决于新一轮构造变形叠加后圈闭的规模。

这类气藏的典型代表是固县背斜和 TL006 西背斜。以前者为例(图 7),背斜走向 NNW,形成于燕山晚期—喜山期。受寺头左旋走滑断层的影响,燕山期 NE—SW 向褶皱背景上遭受调整并叠加了新一期构造变形,气藏的规模主要取决于新一轮构造变形叠加后气藏的规模,显然,固县背斜的面积规模明显小于 TL006 西背斜,日平均产气量 3 000 m<sup>3</sup> 左右。

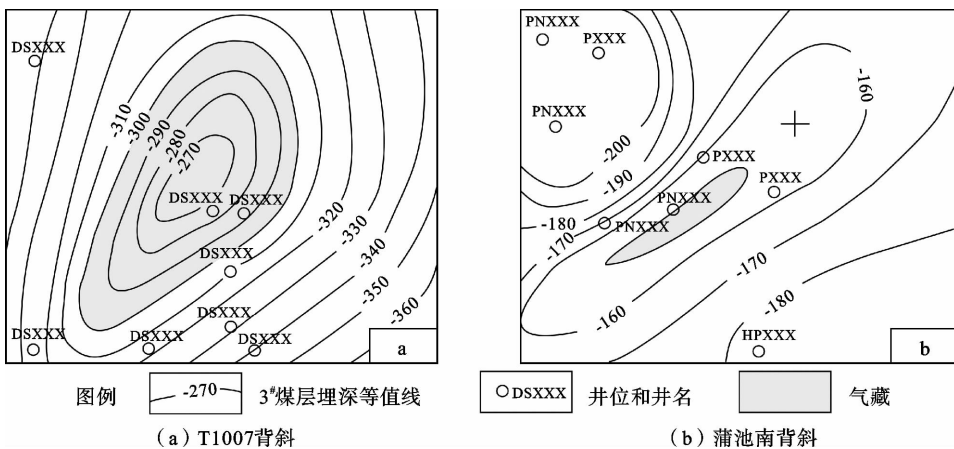


图 6 典型原生型煤层气藏图

Fig. 6 Typical primary type of coal-bed gas field

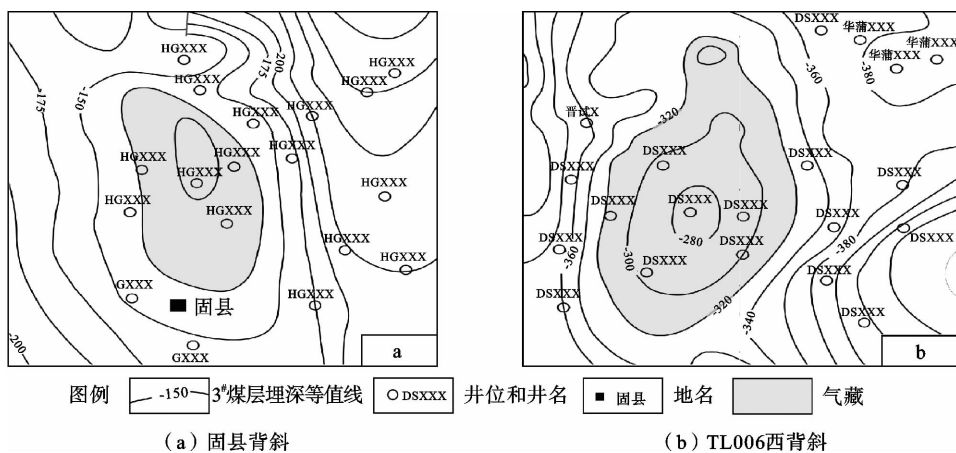


图 7 典型调整型煤层气藏图

Fig. 7 Typical revise type of coal-bed gas field

### 5.3 改造型煤层气藏

即原生型和调整型煤层气藏遭受后期改造,使先成气藏破坏、煤层气大量散失,气藏规模大大减小而最终残留的气藏。因此,这类气藏可细分为:原生—改造型和调整—改造型。其破坏作用既包括断裂、裂隙、“陷落柱”等构造活动引起的散失,也包括水动力、氧化作用对气藏的显著改造。一般这类气藏气源补充不足,散失量显著大于补给,导致气藏规模越来越小。

这类气藏的典型代表为玉溪背斜和樊庄背斜。玉溪背斜走向 NNW(图 8),形成于燕山晚期-喜山期。受寺头左旋走滑断层的影响,燕山期北东-南西向褶皱遭受改造,叠加了新一期 NNW 向构造变形,虽然玉溪背斜的规模比较大,但受断层切割,造成煤层气散失,日产气平均只有几百 m<sup>3</sup>。樊庄背斜位于东部(图 8),距离寺庄一下村煤层露头线较近,既是樊庄—成庄煤层气田的构造边界,也是地层水补给边界和煤层气逸散边界,因此产气量也比较低。

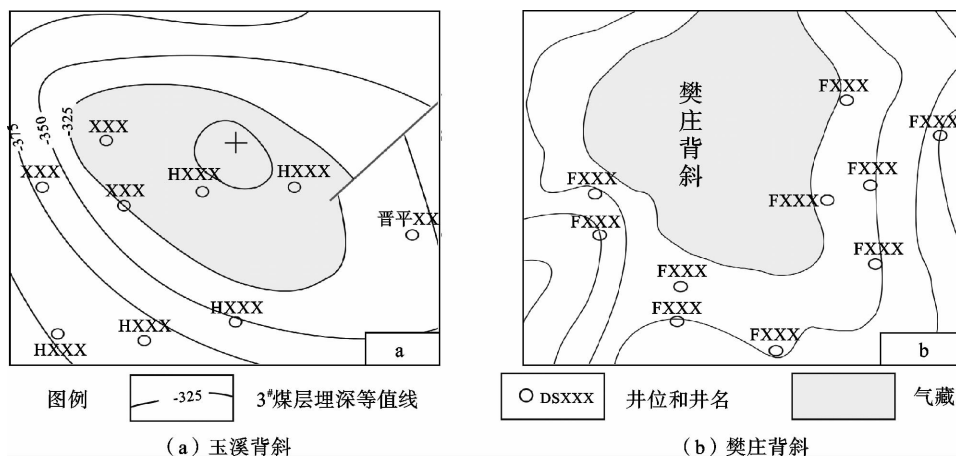


图 8 典型改造型煤层气藏图

Fig. 8 Typical reform type of coal-bed gas field

## 6 结论

1) 沁水盆地樊庄区块经历了多期构造叠加和改造,形成了现今较为复杂的构造格局,决定了构造在其煤层气富集控制因素中的重要地位。



2)受构造运动影响,樊庄区块形成了褶皱、单斜、断层、裂隙和“陷落柱”等构造样式。不同的构造样式对煤层气富集的控制作用不同。如褶皱轴部受力集中,容易形成裂缝导致煤层气散失;断层具有导水性,使孔隙被沉淀阻塞,进而导致煤层渗透率降低,影响产气量;而“陷落柱”使煤岩破碎,不利于煤层气的形成和保存。

3)按煤层气藏成藏过程及其后生演化特征,将沁水盆地樊庄区块煤层气藏分为原生型、调整型和改造型3种类型,并对这3种煤层气藏的特征进行分析。构造作用对煤层气富集具有重要影响,在今后勘探开发实践中,对不同模式的煤层气藏应采取不同的策略。

#### 参考文献:

- [1]傅雪海,秦勇,姜波,等.山西沁水盆地中-南部煤储层渗透率物理模拟与数值模拟[J].地质科学,2003,38(2):221-229.  
FU Xuehai, QIN Yong, JIANG Bo, et al. Physical and numerical simulations of permeability of coal reservoirs in central and southern part of the Qinshui basin, Shanxi[J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(2): 221-229.
- [2]韦重韬,秦勇,傅雪海,等.沁水盆地中南部煤层气聚散史模拟研究[J].中国矿业大学学报,2002,31(2):146-150.  
WEI Chongtao, QIN Yong, FU Xuehai, et al. Simulation of history of CBM concentration-dissipation in middle southern Qinshui basin [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2002, 31(2): 146-150.
- [3]陈金刚,张景飞.构造对高煤级煤储层渗透率的系统控制效应:以沁水盆地为例[J].天然气地球科学,2007,18(1):134-136.  
CHEN Jingang, ZHANG Jingfei. Systematic control effect of structures on permeability of high coal rank reservoirs[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(1): 134-136.
- [4]郭建,韦重韬,李洪波,等.构造和古地热场演化对煤层气扩散控制研究[J].能源技术与管理,2008(4):4-6.
- [5]冀涛,杨德义.沁水盆地煤层气地质条件评价[J].煤炭工程,2007(10):83-86.  
JI Tao, YANG Deyi. The evaluation of geologic conditions of the coalbed methane in Qinshui basin[J]. Coal Engineering, 2007(10): 83-86.
- [6]李德.沁水煤田南部煤层气赋存及开发[J].山西煤炭,2003,23(3):33-61.  
LI De. Coalbed gas preservation and exploration in south Qinshui coalfield[J]. Shanxi Coal, 2003, 23(3): 33-61.
- [7]刘焕杰,秦勇,桑树勋,等.山西南部煤层气地质[M].徐州:中国矿业大学出版社,1998.
- [8]秦勇,张德民,傅雪海,等.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[J].地质论评,1999,45(6):576-583.  
QIN Yong, ZHANG Demin, FU Xuehai, et al. A discussion on correlation of modern tectonic stress field to physical properties of coal reservoirs in central and southern Qinshui basin[J]. Geological Review, 1999, 45(6): 576-583.
- [9]闫宝珍,王延斌,丰庆泰,等.基于地质主控因素的沁水盆地煤层气富集划分[J].煤炭学报,2008,33(10):1102-1106.  
YAN Baozhen, WANG Yanbin, FENG Qingtai, et al. Coalbed methane enrichment classification of Qinshui basin based on geological key controlling factors[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(10): 1102-1106.