

沁水盆地南部煤层气成藏的有效压力系统研究

吴财芳,秦勇,韦重韬,傅雪海,杨兆彪

中国矿业大学资源与地球科学学院,江苏徐州,221008

内容提要:有效压力系统是宏观动力能共同作用于煤储层而形成的压力体系,是联系煤储层地层能量与煤层气成藏的桥梁和纽带。它的主要影响因素为构造应力、地下水水头高度以及地下水矿化度。通过对沁水盆地南部有效压力系统的研究可以发现,影响煤层气藏形成和破坏的关键时期是晚侏罗世—早白垩世末,本阶段有效压力系统处于开放体系和封闭体系不断转换的状态,并因此造成煤储层孔裂隙大量形成,不仅为有效运移系统的形成奠定了基础,而且也为沁水盆地南部区域高煤级煤层气藏的可采性埋下了伏笔。

关键词:煤层气成藏;有效压力系统;演化;沁水盆地

煤层气藏是在一定地层压力下保存有一定数量煤层气的含气地质系统。在系统中,煤层气的富集成藏依赖于地层压力系统的逐步强化,而煤层气保存的基本地质条件是系统内部压力要达到动态平衡。因此,煤层气成藏的过程就是压力系统逐渐调整的地质过程,气藏的形成则是压力系统达到动态平衡的结果。

有效压力系统是指在“四场”(构造应力场、地热场、地下水动力场和地下水化学场)(秦勇,2001)作用下,构造应力、上覆地层压力、热应力、地下水动力等共同构成的煤储层压力体系。有效压力系统是煤层气成藏宏观动力能相互作用的必然结果,是盆地内包括煤储层在内的含煤岩系中地层弹性能的具体表现形式。它与盆地内构造作用紧密相关,宏观上受控于“五史”(构造演化史、地温史、煤化作用史、储层生烃史和地下水演化史)(傅雪海等,2004;秦勇,2001)有效配置关系,微观上受控于储层的弹性能量场,显现形式表现为“四场”的互动关系。其主要表现为:盆地构造背景的复杂性,必然导致煤层气成藏地质过程中各主要因素的时空配置特征复杂化,直接制约着煤层气成藏过程中各种地质场的互动关系,进而导致煤层气富集成藏的规律趋于复杂;盆地及盆内水文地质条件与煤层气富集成藏的关系受控于构造分异条件;热流作用不仅是煤层气生成的直

接动力,而且通过对煤物质结构、盆地流体热物理性质、煤层气藏流体压力的影响直接或间接地控制着煤储层的储集能力、煤层气的聚散特征及煤层气藏能量系统的动态平衡。

1 有效压力系统的影响因素

影响有效压力系统的主要地质因素为构造应力状态、地下水水头高度以及地下水矿化度等。

(1)构造应力的影响:地质构造不仅控制和影响着煤层的埋藏、分布以及封闭条件,而且构造应力的存在直接影响到作用在煤储层流体上的压力大小。一般认为,处于挤压构造应力场背景中的煤储层,其压力值往往偏大,压力梯度偏高;而处于拉张型构造应力场中的煤储层,其压力值往往偏低,压力梯度也较低。如向斜、背斜或单斜构造的含煤区,煤储层的埋藏、封闭条件和煤储层内的压力分布与变化存在明显差异(叶建平,2002)。另外,在抬升地块或逆掩超覆以压扭作用为主的构造部位,构造应力往往是影响储层压力变化的主要因素,甚至产生储层压力异常。晋城地区位于沁水盆地东南部边缘的翘起端,地应力梯度较小,一般为 $9.78\sim 18.30\text{ kPa/m}$,煤储层表现为低压异常状态(表1)。另外,阳泉矿区HG2井的两个煤储层的压力,表现出上下层位反序现象,下部煤层低于上部煤层。3号煤层的最

注:本文为国家“973”项目(编号2002CB211704)、国家自然科学基金重点项目(编号40730422)与面上项目(编号40572095和40802032)、中国矿业大学青年科研基金项目(编号2006A013)和中国矿业大学引进人才基金项目资助成果。

收稿日期:2008-05-07;改回日期:2008-07-24;责任编辑:周健。

作者简介:吴财芳,男,1976年生。博士后,副教授,主要从事煤层气地质,瓦斯地质的研究与教学工作。通讯地址:221008,江苏省徐州市,中国矿业大学资源与地球科学学院;Email: caifangwu@sina.com。

小主应力梯度为 17.32 kPa/m,而 15 号煤层的最小主应力梯度仅有 13.19 kPa/m,这主要可能由于 HG2 井所处部位为构造带,褶皱、断层发育,构造应力的差异造成上下两个煤层的储层压力反序现象。

表 1 沁水盆地部分矿区煤储层压力一览表
(据张延庆等,2001)

Table 1 Coal-bed stratum stress of some mine in Qinshui basin (modified from Zhang Yanqing et al. , 2001)						
矿区	钻孔	煤层	煤层深度 (m)	原始储层 压力 (MPa)	储层压力 梯度 (kPa/m)	储层压力 状态
晋城	JS-1	3	524.50	3.97	7.57	欠压
		3	515.45	2.47	4.80	欠压
		15	628.75	6.11	9.72	基本正常
	乙	3	508.63	3.68	7.23	欠压
		15	619.93	4.39	7.08	欠压
阳泉	HG1	3	511.45	3.98	7.78	欠压
		15	627.28	5.92	9.44	基本正常
	HG2	3	747.17	6.85	9.17	基本正常
		15	868.68	4.81	5.54	欠压
	HG6	3	436.44	3.92	8.98	欠压
		15	553.08	4.68	8.46	欠压

(2)地下水水头高度的影响:地下水水头高度是表征储层压力的直接数据,一般水头越高储层压力就越大。在煤系地层中,由于各个煤层主要含水层之间没有明显的水力联系,往往构成不同的水动力系统,储层压力主要是由储层本身的直接充水含水层的压力水头高度来衡量的。如阳泉矿区的 3 号煤层和 15 号煤层,其直接充水含水层分别为顶底板的砂岩含水层和灰岩含水层,它们之间水力联系微弱,具有相互独立的补排系统。因此,同一钻孔的上下两个煤层具有完全不同的原始储层压力状态,与储层的直接充水含水层的压力水头高度不同有关(叶建平,2002;叶建平等,2002)。

(3)地下水矿化度的影响:储层压力状态是相对于淡水静水压力梯度来判定的,故地下水矿化度是影响储层压力状态的因素之一。地下水矿化度越高,其比重越大,在相同的压力水头高度下,高矿化水比低矿化水的水头压力要相应增大。因此,在封闭、滞流、地下水补排条件较差的高矿化水分布区段,往往出现储层压力的超压异常状态。如在晋城矿区,山西组砂岩含水层中水的矿化度为 0.56~3.5 g/L,太原组灰岩中水的矿化度为 1.26~3.7 g/L,在某些块段存在高压异常状态,除了其他因素影响之外,与块段内地下水矿化度较高有一定关系(张延庆等,2001)。与此相反,阳泉矿区太原组灰岩水

的矿化度为 1.0 g/L,山西组砂岩水的矿化度为 0.30~1.0 g/L,煤储层压力均为低压异常状态,与地下水低矿化度相符。但是,与构造应力相比,水矿化度对储层压力的影响较弱。

2 有效压力系统的能量演化

有效压力系统代表着“四场”的耦合作用关系,不同地质历史时期有着不同的压力系统,可以根据煤层埋藏史和构造演化史的不同阶段进行分析。本文将沁水盆地南部作为研究区,研究结果如下。

(1)第一阶段(早二叠世—三叠世末):本阶段早期,煤层埋深在 800~850 m 之间,煤化程度低,煤储层含气量和压力都很低(韦重韬,1998)。晚期,地壳快速沉降,煤层埋深从不足 1000 m 急剧增加至 3700 m 左右(秦勇等,1999),上覆地层压力使煤储层逐渐形成封闭压力体系。在正常古地热场作用下,煤级有所增高,但储层压力仍然很低。本阶段末期,全区煤层埋深及煤级开始出现轻微分异现象,煤储层压力在区域上的变化趋势与上主煤层煤厚变化趋势基本一致。这种情况表明,煤层厚度的差异可能对本阶段有效压力系统产生了一定影响。研究区储层压力在区域分布上是盆地南部的翘起端压力值较高,最高值位于盆地复向斜轴部一线,向两翼逐渐降低。研究区中部和南部具有相对较高的储层压力,主要由于其煤层厚度大,有机质绝对生气量大。在地质背景相差不大的情况下,只有厚煤层部位具有较高的含气强度,才能保持较高的储层压力。

(2)第二阶段(早、中侏罗世):本阶段对应于燕山运动早期,煤层埋深处于波动状态,波动范围介于 2500~3900 m 之间,埋深分异增加(秦勇等,1999)。中侏罗世末,不同区域间煤层埋深差值最大达到 700 m,煤化作用进展不明显,煤层有机质生气量很少。到本阶段末,煤储层压力总体分布趋势是南高北低,中部最高,高区在中村、潞安一带(图 1),这与煤厚、埋深和煤级在横向上的分异有关。总的来说,本阶段内生成、聚集的煤层气量很低,储层压力也不高,渗流运移作用微弱,储层系统仍属于封闭体系,能量动态因素与第一阶段相同。

(3)第三阶段(晚侏罗世—早白垩世末):随着燕山运动中期高异常古地热场形成,煤层受热温度升高,煤化作用速度加快。在本阶段内,煤层始终处于抬升状态,但速度较慢。由于有机质生气量的大幅度增加,煤储层含气量大幅度上升,储层压力迅速增大,在阶段后期出现了多次盖层突破,主要分布在本

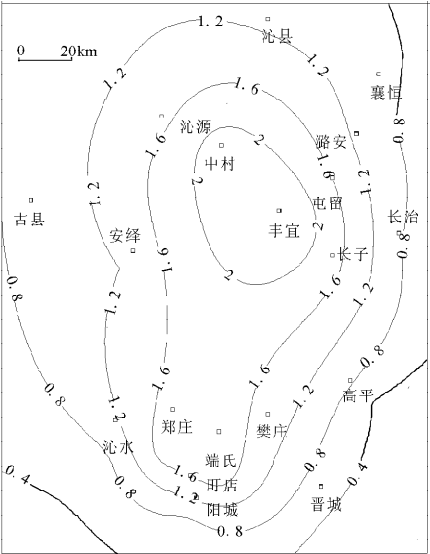


图 1 沁水盆地南部中侏罗世末储层压力(MPa)等值线图(据韦重韬,1998)

Fig.1 Stratum stress (MPa) isolines in late Mid-Jurassic in the southern Qinshui basin (modified from Wei Chongtao, 1998)

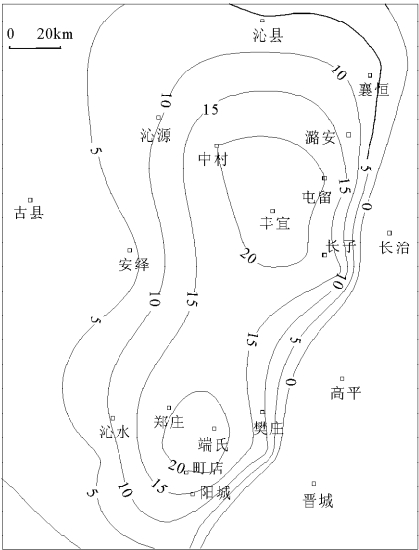


图 2 沁水盆地南部早白垩世末渗流强度(m³/m²)等值线图(据韦重韬,1998)

Fig. 2 Seepage intensity (m³/m²) isolines in late Early Cretaceous in the southern Qinshui basin (modified from Wei Chongtao, 1998)

区中部略偏东的区域,与向斜轴部基本重合。同时,突破强度高区与高煤级区、煤层高埋深区基本重合。这是因为高煤级区具有相对较高的生气量和生气强度,而且煤级增高,煤基块孔隙内表面积增大,吸附气体量增大,导致储层含气量升高;同时,本区的区域性抬升运动存在分异,盆地边缘地区速度快,轴部相对缓慢。这一差异造成上覆岩层厚度出现边缘薄,轴部厚的特点,致使轴部地区扩散逸失作用缓慢,盖层突破作用发育(韦重韬,1998)。此时研究区煤储层孔裂隙系统在本阶段已经形成,虽然中南部构造应力场表现为 WNW—ESE 向近水平挤压特征,但由于煤储层有机质大量生气,气体弹性能大幅度提高,致使系统的裂隙张开,成为开放体系,开始发生以渗流运移为主的散失作用,渗流高区在丰宜—潞安一带(图 2)。渗流运移前的储层压力在 6.41~36.93 MPa 之间,由于储层压力是煤层气渗流运移的动力,压力梯度最大方向即为运移方向。渗流运移后,储层压力下降,孔裂隙系统迅速闭合,开放的压力体系转变为半开放体系。储层压力的分布状态与盆地构造形态高度一致。总之,本阶段内煤层有机质成熟作用进展快速,煤层生烃量大,在扩散作用持续发生的同时,还发生了盖层突破和煤层甲烷的渗流运移作用,致使煤层气快速散失,储层压力迅速下降,最终孔裂隙系统重新闭合。

(4)第四阶段(晚白垩世—现代):在本阶段内,

地壳运动以抬升为主,煤层埋藏深度持续减小,仅局部地区在古近纪和第四纪有小幅沉降。此时,古地热场恢复正常,煤化作用基本停止,煤层有机质不再生烃,煤层气以散失作用为主,储层压力降低。在新近纪初期,古构造应力场由压性暂时转变为拉张,裂隙张开,储层系统再次转变为开放体系,又一次发生大范围内的煤层气渗流运移散失作用。此次的天然裂隙张开主要是由于张性构造应力场作用引起的,在全区范围内发展。由于储层流体经历了整个古近纪的扩散而得不到补充,所以储层压力持续下降,部分地区已下降至静水压力之下。所以,虽然是开放体系,但在这些地区也只有微弱的渗流运移散失作用发生,主要集中在复式向斜轴部的中部区域,而且强度较低。自新近纪以来,研究区中南部产生了 NW—SE 近水平挤压应力场,致使储层孔裂隙系统重新闭合,这种挤压应力场一直持续到现代。第四阶段以来,煤层气能量动态平衡系统包括甲烷气体的吸附、解吸和扩散渗流作用、构造应力作用以及地下水动力作用,并且一直持续至今。研究区目前储层压力的区域分布特征为:高储层压力区位于复向斜轴部,向两翼逐渐降低(图 3)。

3 结论

(1)有效压力系统是宏观动力能共同作用于煤储层而形成的压力体系,它在宏观上受控于“四场”

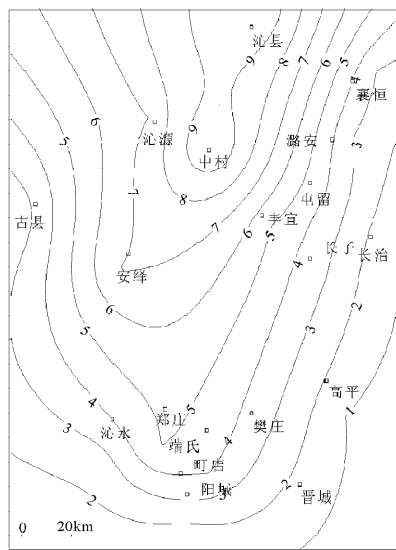


图 3 现今煤储层压力(MPa)等值线图(据韦重韬,1998)

Fig. 3 Stratum stress (MPa) isolines nowadays in the southern Qinshui basin (modified from Wei Chongtao, 1998)

互动过程,微观上于“五史”演化息息相关,是联系煤储层地层能量与煤层气成藏的桥梁和纽带,影响着煤层气藏的成藏性和可采性。

(2)有效压力系统的影响因素包括储层埋藏深度、地下水水头高度或其埋藏深度以及地下水矿化度、储层温度和地应力状态等许多地质条件,其中最

主要的影响因素为构造应力、地下水水头高度或其埋藏深度以及地下水矿化度。

(3)通过对沁水盆地南部有效压力系统的研究可以发现,影响煤层气藏形成和破坏的关键时期是晚侏罗世—早白垩世末,本阶段有效压力系统处于开放体系和封闭体系不断转换的状态,煤层有机质成熟作用进展快速,煤层生烃量大,在扩散作用持续发生的同时,还发生了盖层突破和煤层甲烷的渗流运移作用,并因此造成煤储层孔裂隙大量形成,为后期有效运移系统的形成奠定了基础,也为沁水南部区域高煤级煤层气藏的可采性埋下了伏笔。

参 考 文 献

傅雪海, 秦勇, 姜波, 等. 2004. 高煤级煤储层煤层气产能“瓶颈”问题研究. 地质论评, 50(5): 507~513.

秦勇, 宋党育. 1999. 山西南部煤化作用及其古地热系统——兼论煤化作用的控气地质机理. 北京: 地质出版社.

秦勇. 2001. 中国煤层气地质研究中的若干基础问题. 见: 赵庆波等主编, 中国煤层气研究与勘探进展(一). 徐州: 中国矿业大学出版社, 34~36.

韦重韬. 1998. 煤层甲烷地质演化史数值模拟. 徐州: 中国矿业大学出版社.

叶建平. 2002. 水文地质条件对煤层气产能的控制机理与预测评价研究. 中国矿业大学博士学位论文.

叶建平, 武强, 叶贵钧, 等. 2002. 沁水盆地南部煤层气成藏动力学机制研究. 地质论评, 18(3): 319~323.

张延庆, 唐书恒. 2001. 华北部分矿区煤储层压力研究. 地球学报, 22(2): 165~168.

Effectual Stress System of Coalbed Methane in Southern Qinshui Basin

WU Caifang, QIN Yong, WEI Chongtao, FU Xuhai, YANG Zhaobiao

Institute of Earth Resources and Geosciences, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu, 221008

Abstract

Effectual stress system, as the bridge of relating stratum energy and CBM reservoir formation, is formed by macroscopical dynamical energies which act on coal-bed. The main influencing factors of effectual stress system are tectonic stress, groundwater head height and groundwater mineralization. Researches of the effectual stress system in the southern Qinshui basin reveal that the key phase influencing on CBM reservoir forming and destroying was from the Late Jurassic to late Early Cretaceous, during this period the state of effectual stress system was continually transition between open-system and close-system, and formed a great deal of holes and crannies, which not only established the basis of effectual carrying system, but also foreshadowed the potential exploitation of high rank CBM reservoir in southern Qinshui basin.

Key words: CBM reservoir formation; effectual stress system; evolvement; Qinshui Basin