

燕山期构造热事件对太原西山煤层气 高产富集影响*

刘洪林 王红岩 赵国良 李贵中 杨帆 刘洪建

(中国石油勘探开发研究院廊坊分院天然气地质研究所)

刘洪林等. 燕山期构造热事件对太原西山煤层气高产富集影响. 天然气工业, 2005; 25(1): 29~32

摘要 太原西山煤田是位于沁水盆地西北侧的一个石炭—二叠系煤田, 在燕山期发生的岩浆侵入事件在该煤田形成了异常的古地热场, 使煤级在短暂地质时限内迅速增高。该煤田煤层经历了两次生气过程, 在第二次生烃过程中完成了主要生气历程, 构造热事件大大提高了煤层生气量, 从而给煤层气的富集创造了有利气源条件; 同时中生代地热场具有大地热流量高和瞬时性的特点, 形成了大量岩浆诱发成因的煤层割理, 提高了煤层的渗透率, 使该地区煤层气资源具有很大的勘探潜力。

关键词 煤成气 燕山期 区域构造 热演化 富集 太原

太原西山煤田位于山西省中部吕梁山东麓、沁水盆地西北侧, 是在奥陶系基底上发育起来的石炭二叠系含煤盆地, 南北长约 75 km, 东西宽约 30 km, 面积约 1855 km², 煤质优良, 煤种齐全, 具有丰富煤层气资源, 总资源量达 1500×10^8 m³, 而且具有地质构造简单, 且煤层平均埋深在 400~1000 m, 最大埋深不超过 1200 m, 煤层埋藏相对较浅等有利条件^[1]。其主要构造带为: 东西向构造、南北向构造、北北东—北东向构造以及其它组合构造。这些构造多为燕山运动以来的产物, 它对燕山期以前的构造形迹, 或进行改造、或被继承下来, 使煤田构造形态趋于复杂化, 最终形成西山煤田复式向斜煤盆地现状(图 1)。紧邻太原、石家庄等大型城市以及西气东输管线, 下游条件好。该地区与已发现的位于沁水煤田东南部的沁水煤层气田一样, 在燕山期经历了异常高的古地热场, 煤层生气能力强, 渗透性好, 具有很好的煤层气勘探潜力。

西山煤田的主要含煤地层为山西组和太原组, 共含煤 20 层, 主力煤层山西组的 2[#] 煤和太原组 8[#] 煤, 2[#] 煤厚度 0~9.02 m, 平均 2.30 m, 镜质组含量 73.6%~86.7%。太原组的 8[#] 煤厚 0.40~8.0 m, 平均 3.90 m, 含矸石 1~5 层, 属结构复杂煤层, 庙沟灰岩为其直接顶板^[2]。

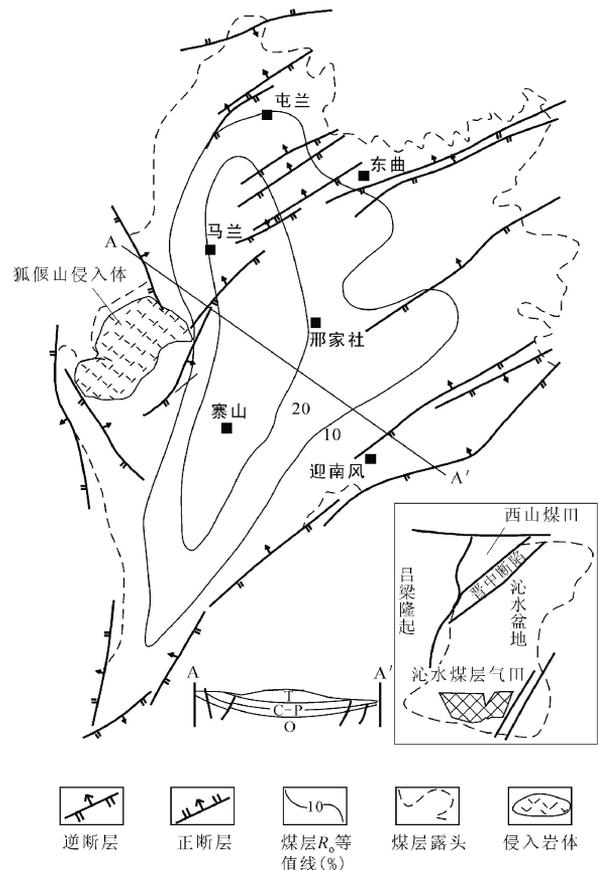


图 1 太原西山煤田区域构造简图及其 8[#] 煤含气量等值线图

* 本成果受“973”国家重点基础研究发展规划项目“中国煤层气成藏机制及经济开采基础研究”(2002CB11700)资助。

作者简介: 刘洪林, 1973 年生, 1995 年毕业于中国矿业大学, 1998 年毕业于石油大学(北京)获硕士学位, 主要从事煤层气勘探开发方面的研究工作。地址: (065007) 河北廊坊市万庄 44 号信箱。电话: (010) 69213236, 13831684241。E-mail: lhlf2001@sohu.com 或 liuhonglin69@petrochina.com.cn

根据煤田内所获煤层含气量资料分析,煤层含气量较小的地方主要分布于煤田西北部、煤田东部边缘地带。而这些地段的构造特点是:北东向张扭性断层比较发育,破坏了地层的完整性,节理裂隙发育,成为煤层气逸散的通道。煤层含气量大的地区主要分布在煤田中南部向斜轴部埋深较大的地区(图1)。

一、西山煤田的构造热事件与煤阶分布

燕山期是煤层沉积后岩浆活动较为活跃的时期,煤田西部的狐偃山岩浆岩体产状以岩床、岩脉为主,另外在西山煤田的东南部,煤田地质钻孔ZK201、ZK304等都曾在石炭—二叠系地层下钻探到燕山期的石英二长岩,重磁资料也证明在西山煤田的东南部存在巨大的隐伏侵入岩体^[3](图2)。

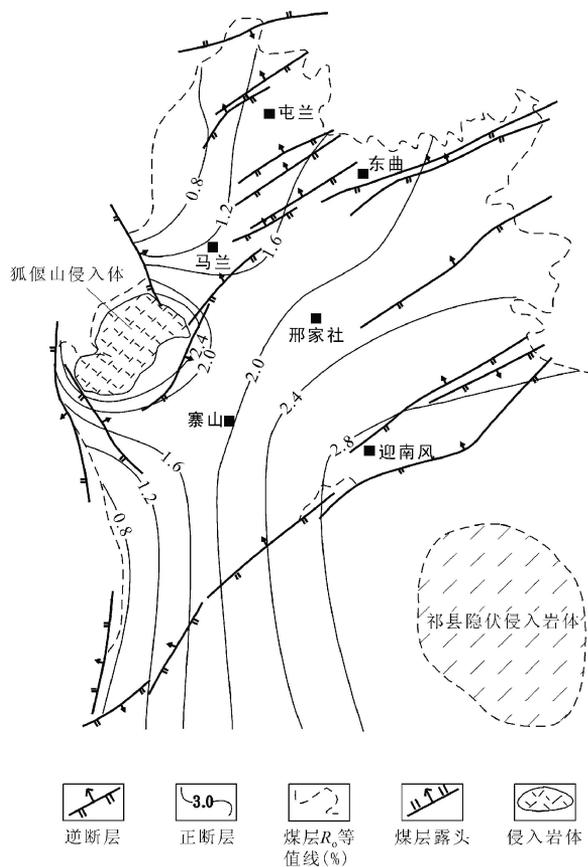


图2 西山煤田岩浆活动及其 R_m 等值线图

地温梯度和大地热流密度是地热场正常与否的最佳判定标志。西山煤田、沁水煤田包裹体均一温度和形成压力的测试结果表明:西山、阳泉晚中生代古地热场的地温梯度普遍超过 $6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,在沁水、沁源等地高达 $9\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 以上;大地热流密度普遍

大于 2.3 HFU ,最高可达 3.6 HFU ^[4]。西山晚中生代地热场的有关参数远高于现代大陆地热场的平均值 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,具有异下地热场的典型特征。正是由于这种古地热场中强大地热流的作用,使上古生界煤层在较短暂的地质时段内迅速演化至现今煤级,并在此过程中生成大量煤层气。

西山煤田煤阶呈北东向条带状,从西北—东南变质程度逐步加深有规律的排列,狐偃山火成岩体周围上下煤组全为环状接触变质带,在变质带外围,呈半环条带分布有无烟煤。

二、构造热事件与煤层的两次生气过程

古地热场鼎盛期持续时限的长短与有机质的生气效率密切相关,在一定的煤级范围内,短时高温的热力作用有利于烃类的生成。例如,在美国圣胡安盆地、中国河东煤田柳林气田等地区,区域岩浆热变质作用都是煤层气富集高产的主要地质因素之一。数值拟合结果表明^[5],沁水盆地、西山煤田晚中生代异常古地热场鼎盛期持续的时间仅有 10 Ma 左右,是一种典型的瞬时地热场。

煤层总体上是一种以Ⅲ型有机质为主的气源,太原西山煤的生烃作用几乎只发生在埋藏—热演化史中的两个阶段。第一阶段为快速沉降—缓慢增温阶段,历经石炭纪、二叠纪和三叠纪;第二阶段为快速抬升—快速增温阶段,主要发生在晚侏罗世至早白垩世。本文采用褐煤视煤气发生率热模拟实验,可得出西山不同地区上古生界煤在不同阶段中的生烃演化特征和阶段生气量(表1)。

在生烃演化的第一阶段,区内煤层普遍经历了生物气阶段。在该阶段结束时的晚三叠世末期,普遍进入了湿气阶段,但基本上未达到湿气生成的高峰时期,煤的生烃特征与三叠系原始厚度的区域分布特征一致,显然受控于印支期地壳沉降的幅度,是深埋作用或深成变质作用的结果。

在生烃演化的第二阶段,不同地区煤层的生烃作用明显分异。迎南风地区煤的生烃作用进展最大,历经湿气生成高峰和干气生成高峰阶段,至阶段末期基本上经历了煤化作用历史中的整个生烃过程。邢家社地区的煤经历了湿气阶段,并在阶段末期开始进入干气高峰阶段。东曲地区的煤经历了湿气阶段,开始生成干气,屯兰和马兰地区煤的生烃作用在此阶段进展最小,明显落后于其它地区,阶段末期仅达湿气生成的中期阶段。该阶段生烃作用在地区之间的差异性是由燕山中期构造分异作用和异常古

表1 西山煤田不同地区古生界煤生烃演化历程及生气量

典型地区	地质时代	热演化阶段	阶段末 R_o (%)	煤层气生成阶段	阶段生气量 (m^3/t)	累计生气量 (m^3/t)
迎南风	C_3-T_3	HM~QM	0.69	生物气—湿气初期	47.56	47.56
	J_3-K_1	QM~WY	2.60	湿气初期—干气末期	311.54	359.10
邢家社	C_3-T_3	HM~QM	0.69	生物气—湿气初期	47.56	47.56
	J_3-K_1	QM~PM	2.11	湿气初期—干气中期	205.52	253.08
东曲	C_3-T_3	HM~QM	0.69	生物气—湿气初期	47.56	47.56
	J_3-K_1	QM~SM	1.85	湿气初期—干气初期	147.02	194.58
屯兰	C_3-T_3	HM~QM	0.69	生物气—湿气初期	47.56	47.56
	J_3-K_1	QM~JM	1.65	湿气初期—湿气中期	73.25	120.81
马兰	C_3-T_3	HM~QM	0.69	生物气—湿气初期	47.56	47.56
	J_3-K_1	QM~FM	1.10	湿气初期—湿气中期	50.30	97.86

注:HM—QM为褐煤—气煤;QM—WY为气煤—无烟煤;QM—SM为气煤—瘦煤;QM—PM为气煤—贫煤;QM—JM为气煤—焦煤。

区之间的差异性是由于燕山中期构造分异作用和异常古地热场空间分布非均一性的必然结果,主要取决于煤的区域岩浆热变质作用。西山一次生烃作用的生气量总在生气量中的相对比例只有32%,后者则达68%,前者显著弱于后者。因此可以认为,二次生烃作用的特征是影响煤层现今含气性的最为重要的因素之一。

三、构造热事件与煤层气富集成藏

1. 二次生烃作用与煤层气富集成藏

控制西山煤田煤层气相对富集的生气因素是二次生烃作用的历程、程度以及后来的埋藏历史。

根据上述因素,可将区内煤层气相对富集的条件分为以下3种类型(表2)。

表2 太原西山煤田上古生界煤层气富集条件评价

地区	二次生烃作用的特征			煤层埋深 小于800m的 持续时间(Ma)	富集条件 评价(相对)
	历程长短	生气高峰	中止阶段		
迎南风	最长	湿气,干气	干气末期	30~45	较好
东曲	较长	湿气	干气初期	30~45	较好
邢家社	长	湿气,干气	干气中期	0	较好
马兰	短	无	湿气中期	20~30	较差
屯兰	较短	湿气	湿气中期	30~45	较差

第一种类型为煤层气生成和保存条件相对较好的地区,包括东曲—原相—邢家社—寨山和山庄头一带,煤层埋藏较深,煤阶为瘦煤贫煤中高煤阶区带,其二次生烃作用的历程长,经历了1~2个生气高峰阶段,煤化作用停止时已达干气阶段,煤层在煤层气逸散带中停留的时间短或从未暴露于煤层气逸

散带中,故煤层气的保存条件最好。

第二种类型是煤层气富集条件中等的地区,主要分布在西山矿区的深部和清交矿区,其二次生烃作用的历程较长,经历了1~2个生气阶段,煤化作用停止时已进入干气阶段,煤层在煤层气逸散带中停留的时间相对较长,从而导致煤层气可能已有较大程度的逸散。

第三种类型是煤层气富集条件较差的地区,主要分布在西山煤田西部及西南部一带,其二次生烃作用的历程短,没有经历过生气高峰阶段或仅进入第一个(湿气)生气高峰阶段,煤化作用中止于湿气的早期—中期阶段,煤层在煤层气逸散带中停留的时间长,大面积煤层中的气体基本上已逸散殆尽,仅局部地带煤层气的保存相对较好。

2. 构造热事件与煤储层渗透性

煤层基质孔隙和裂隙的形态、大小、多少、连通性等,决定了煤层气的储集、运移和产出。岩浆侵入时,由于温度压力作用,提高了煤层的孔隙与裂隙度,改善了煤层的渗透性,提高了煤层的储运能力,美国圣胡安盆地煤层气高产就得益于圣胡安侵入岩体。

西山晚中生代地热场具有大地热流量高和瞬时性的地质特点,使西山煤田的煤阶在短时间内发生跃进,生成了大量的煤层气。煤层割理中的自生伊利石矿物K/Ar同位素测年表明,煤层中有数量众多的割理形成时间与燕山期构造热事件是同期的,这种类型割理的形成进一步提高了煤层的渗透率。

岩浆的热力烘烤,使煤中有机质挥发,留下很多密集成群的浑圆状或管状气孔,提高了储层的孔隙度、储藏空间;煤基质收缩,产生收缩裂隙;岩浆侵入

的动力挤压,产生的外生裂隙与内生裂隙(割理)叠加,使煤层裂隙性质、规模发生变化,裂隙度提高,渗透性增强。尤其是靠近侵入体的天然焦,柱状节理密集发育,增大了煤层气的储藏空间,使大量的煤层气运移储集在接近侵入体的煤层空隙中。越靠近侵入体,节理越发育,破碎越严重,孔隙度与裂隙度越高,如靠近弧偃山侵入体的马兰井田天然焦裂隙密度 $\mu=122$ 条/m,高变质煤裂隙密度 $\mu=52$ 条/m。储气空间增大,运移通道变宽,大量的煤层气聚集在低压的孔隙与裂隙中,该井田发生过8次煤层气突出,有6次发生在侵入体附近,说明岩浆侵入对煤层气的储藏作用具有显著的影响。

四、结 论

由于燕山期构造热事件的影响,上地幔热流物质上升和局部岩浆活动形成了区域性的异常高的热力场条件,造成西山煤田煤的热演化程度普遍较高,由东南向西北方向,变质程度逐渐降低, R_0 由2.6%降低为1.2%,大部分地区煤层经历了二次生气,生气量高达 $350 \text{ m}^3/\text{t}$,这使得该地区煤层含气量普遍升高。

构造热事件的动力挤压及热力变形,增加和扩展了围岩及煤层的裂隙构造,为煤层气的聚集成藏提供了通道和空间,大大提高了煤层的渗透率。所以该地区与已发现的位于沁水煤田东南部的沁水煤层气田一样,在燕山期经历了异常高的古地热场,生成了大量的煤层气,并改善了储层渗透性,因而具有很好的煤层气勘探潜力。

参 考 文 献

- 1 张建博,王红岩等.中国煤层气地质.北京:地质出版社,2000:15~30
- 2 韩德馨,杨起编.中国煤田地质学.北京:煤炭工业出版社,1984:387~407
- 3 山西地质矿产局编.山西区域地质志.北京:地质出版社,1989:50~57
- 4 刘焕杰,秦勇编.山西南部煤层气地质.徐州:中国矿业大学出版社,1998:55~69
- 5 秦勇,宋党育.山西南部晚古生代煤的煤化作用及其控气特性.煤炭学报,1997;22(3):230~250

(收稿日期 2004-09-22 编辑 黄君权)