

沁水盆地石炭—二叠系煤层气成藏期研究

肖 晖 任战利 崔军平

(西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

摘要:根据储层的成岩序次、油气包裹体特征及含烃盐水包裹体均一温度, 自生伊利石 K-Ar 同位素年龄, 结合构造热演化史及裂变径迹资料, 对沁水盆地石炭—二叠系煤层及顶板砂岩煤层气成藏期次进行了综合研究。认为该气藏主要有两大油气充注过程: 第一期发生在三叠纪末—早侏罗世, 山西组、太原组主力煤层普遍处于成熟阶段, 主要生成液烃、气液烃包裹体; 第二期发生在晚侏罗世—早白垩世, 对应于干酪根裂解气阶段, 为煤层气大量生成阶段, 是石炭—二叠系煤层气的主要成藏期。山西组顶板砂岩样品自生伊利石年龄约为 191Ma, 表明早侏罗世, 伴随盆地抬升, 从煤层中解吸附的油气向砂岩储层充注的最早时间。

关键词: 油气包裹体; 自生伊利石 K-Ar 测年; 构造热事件; 成藏期次

中图分类号: P618.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)03-0490-07

沁水盆地为一大型复向斜盆地, 东西两侧分别为太行隆起和吕梁隆起, 面积约 30000 km²。本区石炭—二叠系含煤地层为主力富煤区, 现今埋藏浅、煤质高、煤层气资源丰富, 是中国煤层气勘探有利地区。近十年来, 沁水盆地煤层气逐渐成为研究热点地区, 不同学者在盆地古地温恢复、构造热事件、煤化控制因素、煤层气赋存和富集规律方面取得了一些新的成果^[1-9], 而在成藏期方面却有不同的认识^[9-10], 笔者试图通过煤层和砂岩顶板中流体包裹体和自生伊利石测年, 结合岩浆活动及热液活动, 裂变径迹等来探讨煤层气储层的成藏期。

1 地质背景及样品分布

沁水盆地为在中朝准地台上, 山西台背斜中南部的一个燕山运动以来所形成的巨型复式向斜。盆地除西北边缘外, 四周下古生界地层多已出露地表, 向盆地内部依次出露上古生界及中生界。由于新生界地层较薄, 保存了中生代盆地演化和地热场的信息, 是研究中生代盆地性质和古地热场的理想地区。

沁水盆地石炭—二叠系煤系地层是主要气源层。太原组沉积了一套海陆交互的滨海—浅海相沉积地层, 岩性为暗色泥岩、煤岩、灰岩, 煤层厚 50~135 m^[9]; 山西组整合沉积在太原组地层之上, 分层标志为 K7 砂岩层底部, 为沼泽相沉积地

层, 岩性主要为泥岩、页岩、岩屑砂岩及煤岩, 煤层厚 60~160 m。煤层又是储集层, 煤层气主要以吸附状态赋存在煤层孔隙当中。沁水盆地石炭—二叠系煤系地层热演化程度高, 镜质体反射率普遍大于 1.5%, 盆地南北两侧大于 2.5%, 晋城、翼城一带热演化程度达到 4.0%。如此高的热演化程度, 使煤层大量裂解生气, 沁水盆地南部晋试 1 井山西组 3# 煤层气藏含气量为 22~27.2 m³/t, 含气饱和度达到 87%~98%^[11]。

共计 26 块样品, 样品分布见图 1, 覆盖了沁水盆地主要矿区石炭—二叠系主力煤层, 包裹体样品主要为方解石脉、顶板砂岩及煤岩。

2 实验方法

2.1 流体包裹体

20 世纪 90 年代以来, 流体包裹体在成藏年代学中得到广泛的应用, 取得了大量研究成果。储层油气包裹体是在储集岩裂缝、孔、洞充填物和胶结物等结晶生长过程中捕获储层中油气流体而形成的, 是地质流体的化石记录。在油气运移、充注圈闭的过程中, 储集岩层发生了明显的成岩作用, 水、油、气等流体以包裹体的形式被成岩矿物捕获, 这些流体包裹体记录了盆地油气生成、运移和演化的信息^[12, 13]。

2.1.1 油气包裹体及荧光特征

本次研究的流体包裹体主要是煤岩方解石脉中的原生

收稿日期: 2007-04-06; 改回日期: 2007-05-17

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2002CB211704, 2003CB214605)资助。

作者简介: 肖晖, 男, 1980 年生, 博士生, 主要从事盆地热演化史与油气成藏研究; E-mail: xiaohui_4787@163.com。

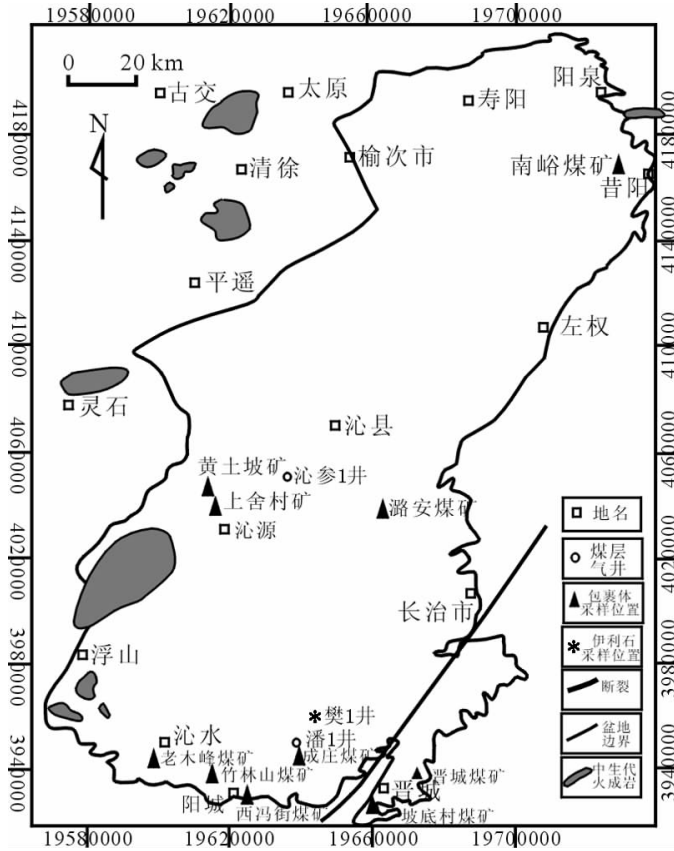


图 1 沁水盆地地理位置及样品分布

Fig.1 Geographical location of the Qinshui basin and distribution of samples

表 1 流体包裹体均一化温度分析

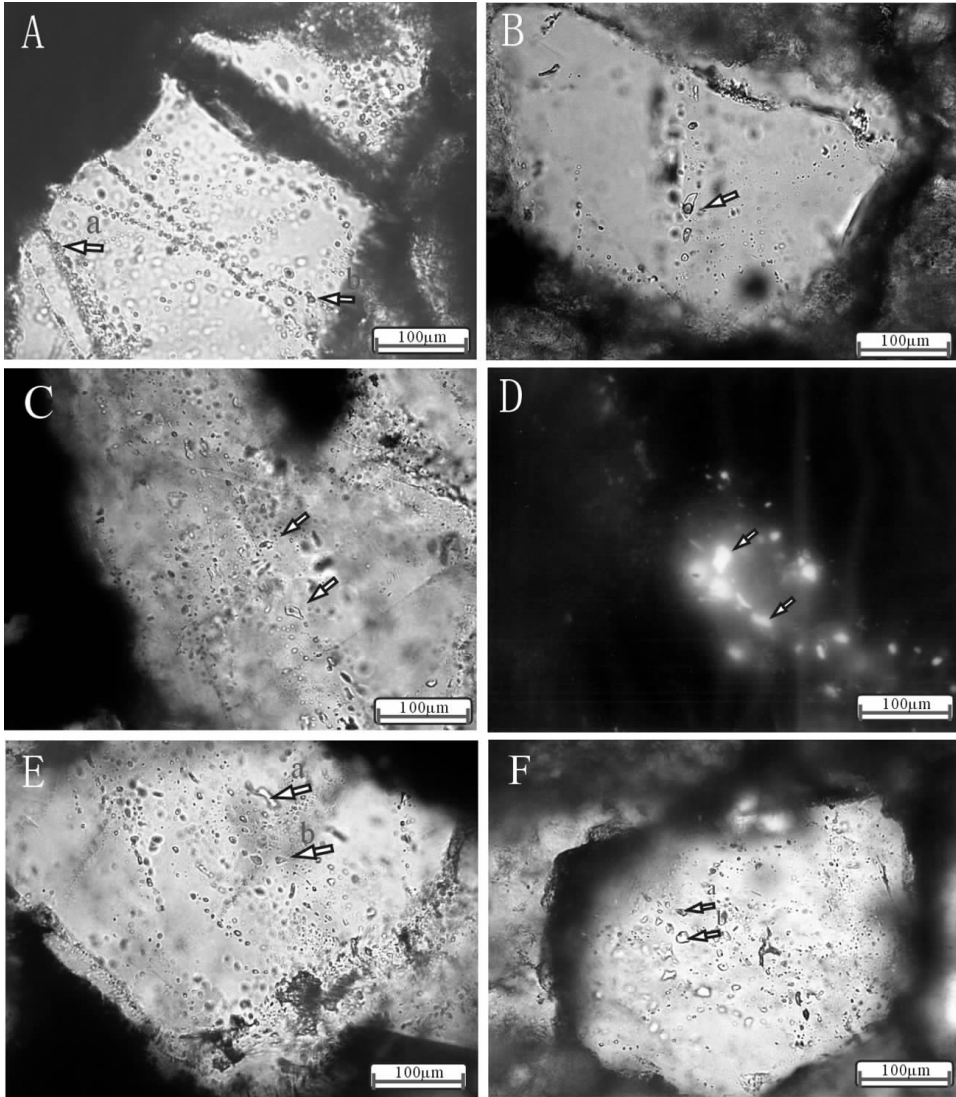
Table 1 Homogenization temperatures of fluid inclusions

| 样号 | 层位 | 时代 | 岩性 | 宿主矿物 | 包裹体类型 | 均一温度(°C) | | 冰点/°C | 盐度(NaCl)/% |
|----------|------|----|-----|------|---------|----------|--------|-------|------------|
| | | | | | | | /测点数 | | |
| Ym-1 | 太原组 | C | 砂岩 | 石英 | 气烃包裹体 | 210.5/5 | -11.0 | 15.76 | |
| QL-1 | 石河子组 | C | 砂岩 | 石英 | 盐水包裹体 | 141.3/4 | -10.00 | 13.94 | |
| Qs-I-01 | 本溪组 | P | 细砂岩 | 石英 | 盐水包裹体 | 137.6/6 | -1.10 | 1.91 | |
| Fz001-L1 | 太原组 | C | 砂岩 | 石英 | 含气液烃包裹体 | 144.0/12 | — | — | |
| XL-1 | 山西组 | P | 砂岩 | 石英 | 气烃包裹体 | 232.1/7 | -5.70 | 8.81 | |
| TL6-1 | 太原组 | C | 砂岩 | 石英 | 含烃盐水包裹体 | 130.2/3 | -3.20 | 3.71 | |
| JL-1 | 石河子组 | P | 砂岩 | 石英 | 含烃盐水包裹体 | 118/8 | -0.7 | 1.23 | |
| XLL-2 | 太原组 | C | 砂岩 | 石英 | 含气液烃包裹体 | 176/15 | -1.31 | 2.24 | |
| JM-2 | 山西组 | P | 煤岩 | 方解石 | 气烃包裹体 | 219.8/6 | -1.40 | 2.28 | |
| QS-I-03 | 山西组 | P | 细砂岩 | 石英 | 含烃盐水包裹体 | 128/5 | -3.50 | 5.71 | |
| | | | | 石英 | 含气液烃包裹体 | 154.6/4 | | | |
| JM-1 | 山西组 | P | 煤岩 | 方解石 | 气烃包裹体 | 186/3 | — | — | |
| Q-I-04 | 山西组 | P | 细砂岩 | 石英 | 气烃包裹体 | 178.4/9 | -2.10 | 3.55 | |
| JL-2 | 山西组 | P | 砂岩 | 石英 | 盐水包裹体 | 115/6 | — | — | |

包裹体和顶板砂岩中沿石英愈合裂隙分布的次生包裹体。在偏光和紫外荧光显微镜下观察,油包包裹体类型主要有含烃盐水包裹体、含气液烃包裹体、气烃包裹体,各种类型的包

裹体发育程度不同且对应于不同的成岩矿物。

早期烃类包裹体多呈灰色或黑褐色,主要赋存于未切穿石英颗粒的微裂隙中,发育程度较低,以含烃盐水包裹体为



图版 I (Plate I)

A—a—分布于石英早期成岩愈合裂隙中的含烃盐水包裹体(第一期),均一化温度 115~128°C;b—切穿石英颗粒、沿愈合裂隙发育的含烃盐水包裹体(第二期),均一温度 138~154°C;老木峰煤矿山西组,3[#]顶板砂岩;透射光。B—呈串珠状分布,发育在石英加大边之后沿愈合裂隙分布的含气液烃包裹体(第三期),均一温度 176°C,南峪煤矿太原组 15[#]顶板砂岩,透射光。C—方解石脉中发育的含气液烃包裹体(第二期),均一温度 155°C,晋城煤矿山西组 3[#]煤中方解石,透射光。D—视域同上,含气液烃包裹体显示黄白色荧光。E—方解石脉中发育的气烃包裹体和盐水包裹体(第三期);a—为气烃包裹体;b—为盐水包裹体,均一温度 219°C,晋城煤矿山西组煤中方解石,透射光。F—成岩后期沿石英愈合裂隙分布的气烃包裹体和盐水包裹体(第三期);a—为气烃包裹体;b—为盐水包裹体,均一温度 210°C,阳城西冯街煤矿太原组顶板砂岩,透射光

A—a—Hydrocarbon-bearing saline fluid inclusions distributed in healed microfractures of early diagenetic quartz (first stage), with homogenization temperatures (HT) of 115–128°C; b—hydrocarbon-bearing saline fluid inclusions developed along healed microfractures in quartz grains (secondary stage), with HT=138–154°C; sampled from roof 3[#]sandstone, Shanxi Formation, Laomufeng coal mine; transmitted light. B—Gas-liquid hydrocarbon-bearing inclusions occurring as beads along quartz healed microfractures generated after quartz overgrowth (third stage), with HT=176°C; sampled from roof 15[#] sandstone, Taiyuan Formation, Nanyu coal mine; transmitted light. C—Gas-liquid hydrocarbon-bearing inclusions developed in calcite veins (second stage), with HT=155°C; sampled from coalbed 3[#], Shanxi Formation, Jincheng coal mine; transmitted light. D—Same viewing field as the above; gas-liquid hydrocarbon-bearing inclusions display yellowish white fluorescence. E—Gas hydrocarbon inclusions and saline inclusions developed in calcite veins of the late diagenetic stage (third stage), with HT=219°C; a—denotes gas hydrocarbon inclusions;b—denotes saline inclusions; transmitted light; sampled from calcite in coals, Shanxi Formation, Jincheng coal mine. F—Gas hydrocarbon inclusions and saline inclusions distributed in healed microfractures of quartz during the late diagenetic stage (third stage); a—denotes gas hydrocarbon inclusions; b—denotes saline hydrocarbon; HT=210°C; sampled from sandstone roof, Taiyuan Formation, Xifengjie coal mine; transmitted light

主(图版 I -A);中期烃类包裹体多赋存于切穿石英颗粒及其加大边的微裂隙或早期方解石脉中,发育程度中等至较高,以含气液烃包裹体为主,投射光下呈浅黄—灰色,荧光下呈现强的黄白色(图版 I -B~D);晚期烃类包裹体成群的分布在石英愈合微裂隙,形成于石英次生加大之后(图版 I -E),或分布在晚期方解石脉中(图版 I -F),发育程度中等偏高,以气烃包裹体为主,荧光下不发光,透射光下呈无色或淡粉红色,个体相对于其他烃类包裹体较大,主要为 5~7 μm,形状多为椭圆形、次圆形。

通过对老木峰煤矿、晋城煤矿山西组 3# 煤层顶板砂岩和西冯街太原组煤岩方解石脉体中油气包裹体镜下统计表明:第一期烃类包裹体的丰度(烃类包裹体个数/烃类包裹体个数与同期的盐水包裹体个数之和)较小,≤5%(图版 I -A),说明煤储层曾发生过油气的运移;第二期烃类包裹体丰度 60%~70%(图版 I -C、D),说明当时煤层发生了大规模的排烃过程;第三期烃类包裹体丰度中等(25%~40%)。需要说明的是,数据的统计受不同期脉体所捕获的气烃包裹体数量有关(图版 I -E、F),从气烃包裹体的产状和特征来看,表明曾发生过气体运移和充注成藏的过程。

2.1.2 包裹体均一温度

包裹体均一温度测定是在 Leica III 型冷热台上进行的,均一法测温精度为±1℃。分析方法依据中华人民共和国核工业行业标准 EJ/T1105-1999《矿物流体包裹体温度的测定》。从样品的包裹体均一温度分析(表 1)。可以明显的看出,沁水盆地石炭—二叠系含煤地层均一温度分为 3 个区段(图 2),分别是 115~130℃、137~154℃和 176~210℃以上,正

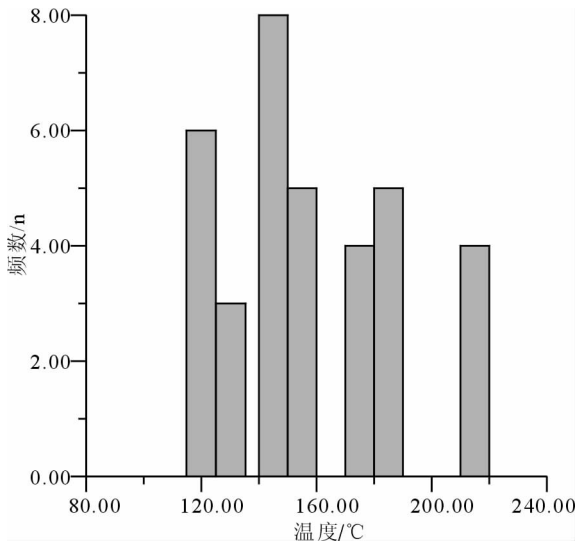


图 2 石炭—二叠系含煤地层煤岩脉体及顶板砂岩包裹体均一温度直方图

Fig. 2 Histogram of homogenization temperatures of fluid inclusions in coal veins and roof sandstone in Carboniferous-Permian coal measures

好与干酪根热催化生石油、湿气和裂解气的阶段相对应,在对应于这些阶段的石油和天然气的大量生成,当浓度达到一定规模时,进入顶板砂岩,形成了不同期次的油气包裹体。通过沁水盆地油气包裹体特征的研究表明,石炭—二叠系煤系地层早期有过煤成油阶段,而热解气和裂解气是煤层气的主要组成部分。

2.2 自生伊利石同位素测年

2.2.1 方法原理

自生伊利石 K-Ar 同位素测年法的基本原理在于砂岩储集层中自生伊利石是烃类充填储集层前最晚形成的,储层中自生伊利石仅在流动的富钾的水介质环境中形成,油气进入储层后伊利石形成过程便会停止^[14]。因此,可用自生伊利石的年龄来判断储层中油气藏形成年龄。从国外油气盆地和国内成岩作用与油气藏关系研究结果来看,油气藏形成时间略滞后于伊利石同位素年龄或基本同步^[14,15]。应用该方法研究油气注入问题,必须具备两个前提条件^[14],一是所研究的砂岩储层中必须有充分发育的伊利石和/或伊利石/蒙皂石(I/S)有序间层,且必须是成岩自生伊利石和/或成岩 I/S 有序间层;二是所研究的砂岩储层中的伊利石成岩作用必须与油气注入事件有成因联系。

样品采自樊庄 1 井山西组煤层顶板砂岩(图 1),扫描电镜分析表明,该样品中丝状伊利石较为发育,X 衍射分析表明伊利石/蒙脱石(I/S)有序间层含量大于 90%且层间比为 15%,所有这些特征都表明该伊利石很可能为成岩自生伊利石。同样来自樊庄 1 井的包裹体样品 Fz001-L1(表 1),其有机包裹体特征为沿愈合石英裂隙分布的含气液烃包裹体,表

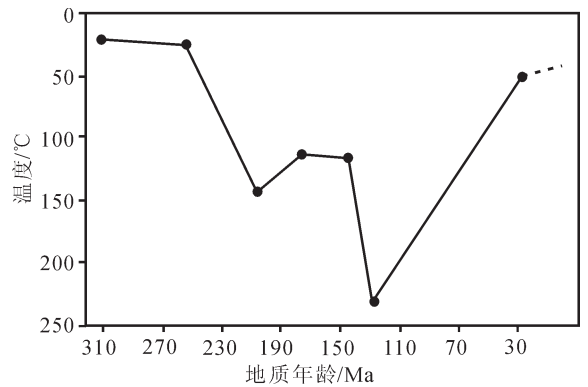


图 3 沁水盆地南部晚古生代煤层温度演化
古地温梯度模式:晚侏罗—早白垩世 5.56℃/100 m²,其他时期为 3℃/100 m,埋藏史资料见参考文献[3]

Fig.3 Temperature-time diagram of Late Paleozoic coal seams in the south of the Qinshui basin.

Paleogeothermal gradient pattern: 5.56.56℃/100 m² for the Late Jurassic-Early Cretaceous, and 3℃/100 m for other periods of time. The data of the burial history from reference[3]

明砂岩储层在成岩作用过程中曾与油气注入事件有联系,从而说明樊庄 1 井的砂岩样品中成岩自生伊利石与油气注入有成因联系。

2.2.2 测试结果及数据分析

实验测定了两种不同粒级的自生伊利石 K-Ar 同位素年龄, 粒级为 0.3~0.15 μm 和 <0.15 μm 自生伊利石 K-Ar 同位素年龄分别为 190.99 Ma 和 195.59 Ma。从自生伊利石年龄成因理论上讲, 细粒级的自生伊利石年龄可能是最晚期形成的自生伊利石, 其年龄才最有可能代表自生伊利石生长作用的中止年龄。而较粗的粒级组分可能会更容易含有细粒碎屑矿物^[14,16], 因而其年龄可能为混合年龄, 误差增大。从不同粒级的年龄特征来看, 出现了相反的情况, 即小粒级自生伊利石年龄大于较大粒级的年龄。但从二者年龄相差不大的情况来看, 结合二叠系地层沉积时的地质构造背景分析, 小粒级自生伊利石年龄不可能为源区构造抬升剥蚀年龄。造成年龄偏小可能是由于样品处理时分离不干净, 混入了细粒碎屑矿物, 也有可能在泡制粘土悬浮液的过程中, 有 K 元素的流失而造成伊利石年龄偏大^[14]。总体来看, 该样品的自生伊利石年龄代表了最晚形成的成岩伊利石年龄, 约为 191 Ma 左右。

樊庄 1 井的砂岩样品中自生伊利石样品年龄远小于地层年龄, 且不同粒级的年龄比较接近。通过以上分析表明, 自生伊利石年龄 191 Ma 可能代表了油气注入的最早时间。

3 煤层气成藏期次分析

沁水盆地石炭—二叠系地层埋藏史表明, 晚古生界煤系地层沉积后, 主要经历了晚石炭世—晚三叠世快速埋藏、早侏罗—中侏罗世稳定波动、晚侏罗世—古新世的埋藏减小和渐新世—中新世的构造抬升阶段。第一阶段煤层在三叠世晚期达到最大埋深, 阳城—翼城一带埋深约为 4300 m^[9], 对应于缓慢增温阶段, 古地温场属于正常古地温, 煤化作用服从深成变质规律。按正常地温梯度每百米 3.0 $^{\circ}\text{C}$ 计算, 石炭—二叠系地层经历的最大古地温不会超过 145 $^{\circ}\text{C}$, R_o 值不会超过 1.0%^[16]; 第二阶段构造演化史研究表明, 沁水盆地未沉积早侏罗世地层, 中侏罗世地层仅在榆社牌坊剖面有残留, 残留最大厚度大于 277 m, 不整合覆盖在晚三叠世地层之上, 山西—太原组煤层埋深稳定, 煤化作用暂停, 地层温度降低; 第三阶段中侏罗世之后, 沁水盆地经历了华北地台晚古生代以来构造演化史上最最重要的转折期, 由区域挤压环境转换为拉张环境。沁水盆地现今地温梯度为每百米 2.8 $^{\circ}\text{C}$, 恢复的燕山晚期古地温梯度每百米可达 5.56 $^{\circ}\text{C}$, 甚至更高^[2,17,18], 如此高的地温梯度反映该盆地存在异常地温场。任战利等^[10]研究认为沁水盆地中生代晚期发生过一次构造热事件, 主峰年龄在 130~140 Ma。石炭—二叠系煤系地层现今热演化程度受控于燕山晚期异常古地温场控制。第四阶段, 煤层埋深减小, 古地温场逐渐恢复正常。第五阶段通过磷灰石裂变径迹研究^[7], 沁水盆地在新生代渐新世—中新世发生大规模抬升冷却, 地层温度较低, 石炭—二叠系煤系地层生烃、成藏过程停止。

通过以上沁水盆地上古生界煤层埋藏史及构造热演化史分析, 可以推测出煤层的生、排烃地质时间。热演化史决定煤层的生烃史^[15], 由石炭—二叠系煤系地层热演化史可知(图 3), 煤层第一个生气阶段发生在三叠纪晚期, 煤层达到最大埋深, 盆地南部煤层温度达到 148 $^{\circ}\text{C}$, 煤层经历了生物气到湿气早期阶段, 并伴有早期煤成油的过程。煤层第二个生气阶段发生于晚侏罗世到早白垩世, 异常古地温受控于岩浆活动和后期热液的活动, 晋城—阳城地区古地温梯度高达 8 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ^[7], 煤层气大量生成, 生气量远大于自身的吸附能力, 并开始向顶板砂岩充注成藏。

包裹体均一温度代表了煤层气解吸附进入煤层夹矸及顶板砂岩过程中的地层温度, 成藏过程中, 不断驱替储层中的孔隙水, 形成含气液烃包裹体并与盐水包裹体、气烃包裹体共生。因此, 这些包裹体形成的时间代表了天然气大规模进入储层的时间。根据盐水包裹体的均一温度, 结合埋藏史、热演化史, 石炭—二叠系煤层气成藏时间可以解释为: 115~154 $^{\circ}\text{C}$ 温度段对应于三叠纪晚期—早侏罗世, 煤层经历了生物气到湿气早期阶段, 地层抬升过程中, 煤储层压力降低, 煤层气解吸附排出, 形成含烃盐水包裹体和含气液烃包裹体; 176~210 $^{\circ}\text{C}$ 以上温度段对应于晚侏罗世—早白垩世, 温度达到裂解气阶段, 煤层气大量生成且达到过饱和, 煤层气充注过程中与岩浆热液相互作用, 形成气烃包裹体与盐水包裹体。由于燕山晚期异常古地温场控制了现今晚古生代煤层煤级展布格局, 且具有强度高(极高的地温梯度)、瞬时性(岩浆活动的高峰时限短)的特点, 因此, 可以认为煤层成藏的贡献主要来自于第二期。

樊庄 1 井砂岩样品自生伊利石 K-Ar 测年结果表明, 山西组砂岩储层最晚形成的丝状成岩伊利石年龄约为早侏罗世。根据埋藏—热演化史研究, 在三叠系晚期石炭—二叠系煤系地层达到成熟演化阶段, 山西、太原组地层普遍进入生油窗, 开始大量排烃。早侏罗世, 由于地层抬升剥蚀, 煤层上覆压力降低, 煤层解吸附排烃, 油气沿断裂向煤层及砂岩顶板注入, 驱替砂岩储层中的富 K 孔隙水, 自生伊利石停止生长, 其最小粒级年龄代表了油气藏注入的时间为 191 Ma。

4 结 论

综上所述, 沁水盆地石炭—二叠系煤系地层自三叠纪以来主要有两次油气充注过程。第一次发生在三叠纪末—早侏罗世。此时, 三叠系到达最大埋深, 古地温场属于正常古地温, 煤化作用服从深成变质规律。山西组、太原组主力煤层处于成熟阶段, 生成的油气开始向煤层及砂岩顶板注入, 形成液烃、气液烃包裹体。自生伊利石年龄代表了早侏罗世以来, 伴随着盆地抬升剥蚀, 煤层上覆压力降低, 原先吸附在煤层中的油气被释放出来, 沿煤层裂隙、节理进入砂岩储层的最早时间。第二次发生在晚侏罗世—早白垩世, 为主要的煤层气成藏期。有机包裹体以气烃包裹体为主, 有机包裹体均一温度达到 176~210 $^{\circ}\text{C}$ 以上。受燕山晚期区域构造热事件影响,

结合气烃包裹体的发育程度,认为第二期是煤层气大量生成阶段,生气量远大于自身的吸附能力,并开始向顶板砂岩充注成藏。

参考文献(References):

- [1] 任战利,肖晖,刘丽,等.沁水盆地新生代抬升冷却事件的确定[J].石油天然气与地质,2005,26(1):109-113.
Ren Zhanli, Xiao Hui, Liu Li, et al. Determination of Cenozoic uplift-cooling event in Qinshui Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1):109-113(in Chinese with English abstract).
- [2] 任战利.沁水盆地沁参1井大地热流值确定[J].地质科学,1998,32(2):251-254
Ren Zhanli. Determination of heat flow in well Qincan 1 in Qinshui Basin, Shanxi province [J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 32(2):251-254(in Chinese with English abstract).
- [3] 秦勇,宋党育.山西南部煤化作用及其古地热系统[M].北京:地质出版社,1998:8-12.
Qin Yong, Song Dangyu. Anthrogenesis and Paleothermal System of the Coal Seam in the South of Qinshui Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988:8-12(in Chinese).
- [4] 方爱民,候泉林,雷家锦,等.煤变质对煤层气赋存和富集的控制——以沁水盆地为例[J].高校地质学报,2003,9(3):378-384.
Fang Aimin, Hou Quanlin, Lei Jiabin, et al. Effects of coalification on the formation and accumulation of coal-bed methane: a study case from Qinshui Basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9(3): 378-384(in Chinese with English abstract).
- [5] 叶建平,武强,叶贵均,等.沁水盆地南部煤层气成藏动力学机制研究[J].地质评论,2002,48(3):319-323
Ye Jianping, Wu Qiang, Ye Guijun, et al. Study on the coalbed methane reservoir-forming dynamic mechanism in the southern Qinshui Basin, Shanxi[J]. Geological Review, 2002, 48(3):319-323 (in Chinese with English abstract).
- [6] 利文阳,马新华,赵庆波,等.中国煤成气地质评论与勘探技术新进展[M].徐州:中国矿业大学出版社,2001
Li Wenyang, Ma Xinhua, Zhao Qingbo, et al. China Coalbed Methane Geological Review and New Progress of Exploration Technics [M]. Xuzhou: Chinese Mining Industry University Press, 2001(in Chinese).
- [7] 任战利,赵重远.鄂尔多斯盆地与沁水盆地中生代晚期地温场对比研究[J].沉积学报,1997,15(2):134-137
Ren Zhanli, Zhao Chongyuan. Late Mesozoic comparative research on the geothermal field of the Ordos Basin and Qinshui Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2):134-137(in Chinese with English abstract).
- [8] 李五忠,王一兵,崔思华,等.沁水盆地南部煤层气田煤层气成藏条件分析[J].煤田地质与勘探,2003,31(2):23-26.
Li Wuzhong, Wang Yibing, Cui Sihua, et al. Analysis of the generation conditions of coalbed gas reservoir, southern Qinshui Basin [J]. Coal Geology & Exploration, 2003, 31 (2):23-26 (in Chinese with English abstract).
- [9] 李伟,张枝焕,朱雷.山西沁水盆地石炭—二叠系煤层生排烃史分析[J].沉积学报,2005,2(23):337-345.
Li Wei, Zhang Zhihuan, Zhu Lei. The history analysis of hydrocarbon expulsion from the coal beds in the carboniferous - Permian in Qinshui Basin, Shanxi [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 2(23):337-345(in Chinese with English abstract).
- [10] 胡国艺,关辉,蒋登文,等.山西沁水煤层气田煤层气成藏条件分析[J].中国地质,2004,31(2):213-217.
Hu Guoyi, Guan Hui, Du Ping, et al. Analysis of conditions for the formation of a coal methane accumulation in the Qinshui coal methane field [J]. Geology in China, 2004, 31 (2):213-217 (in Chinese with English abstract).
- [11] 秦勇,刘焕杰,桑树勋,等.山西南部上古生界煤层含气性研究[J].煤田地质与勘探,1997,25(4):25-38.
Qin Yong, Liu Huanjie, Sang Shuxun, et al. The studies on gas-bearing characteristics of the upper Paleozoic coal seams in the southern Shanxi [J]. China Coal Geology & Exploration, 1997, 25 (4):25-38(in Chinese with English abstract).
- [12] 赵靖舟.油气成藏年代学研究进展及发展趋势[J].地球科学进展,2002,17(3):378-383.
Zhao Jingzhou. Geochronology of petroleum accumulation: new advances and the future trend [J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(3): 378-383(in Chinese with English abstract).
- [13] 李荣西,席胜利,邸领军.用储层油气包裹体岩相学确定油气成藏期次——以鄂尔多斯盆地陇东油田为例[J].石油与天然气地质,2006,27(2):194-199.
Li Rongxi, Xi Shengli, Di Lingjun. Oil-gas reservoiring phases determined through petrographic analysis of hydrocarbon inclusions in reservoirs: taking Longdong oilfield, Ordos basin, as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27 (2):194-199 (in Chinese with English abstract).
- [14] Hamilton P J, Kelly S, Fallick A E. K-Ar dating of illite in hydrocarbon reservoirs[J]. Clay Miner, 1989, 24:215-231.
- [15] 王飞宇,何萍,张水昌,等.利用自生伊利石 K-Ar 定年分析烃类进入储层的时间[J].地质评论,1997,43(5):540-545.
Wang Feiyu, He Ping, Zhang Shuichang, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of diagenetic illites and its application in timing gas emplacement in gas reservoirs [J]. Geological Riview, 1997, 43 (5):540-546 (in Chinese with English abstract).
- [16] 张有瑜,罗修泉.油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素年代学研究现状与展望[J].石油与天然气地质,2004,25(2):231-236.
Zhang Youyu, Luo Xiuquan. K-Ar isotopic chronological study of authigenic illite in reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 231-236(in Chinese with English abstract).
- [17] 秦勇,宋党育,王超.山西南部晚古生代煤的煤化作用及其控气特征[J].煤炭学报,1997,22(3):230-235.
Qin Yong, Song Dangyu, Wang Chao. Coalification of the upper Paleozoic coal and its control to the generation and preservation of coalbed methane in southern Shanxi [J]. Journal of China Coal

Society, 1997, 22(3):230–235(in Chinese with English abstract).

data for the study of tectonic thermal history in Qinshui Basin[]].

[18] Ren Zhanli, Xiao Hui, Liu Li, et al. The evidence of fission-track

Chinese Science Bulletin, 2005, 50 (Supp.):104–110.

Carboniferous–Permian coalbed methane–accumulating stages in the Qinshui basin Shanxi

XIAO Hui, REN Zhan–li, CUI Jun–ping

(*Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China*)

Abstract: According to the diagenetic sequence of the reservoir, characteristics of oil–gas inclusions and homogenization temperatures of hydrocarbon–bearing saline inclusions and isotope dating of authigenic illite, combined with the tectonothermal evolution history and fission–track path data, an integrated study has been performed on the stages of coalbed methane accumulation in Permo–Carboniferous coalbeds and roof sandstone in the Qinshui basin. The authors think that two stages of hydrocarbon injection occurred in the methane accumulation. The first stage occurred in the terminal Triassic to Early Jurassic, when the main coal seams of the Shanxi and Taiyuan formations were in a mature stage and liquid hydrocarbon and gas–liquid hydrogen inclusions formed; and the second stage took place in the Late Jurassic to Early Cretaceous, corresponding to the phase of thermal cracking of kerogen, when large amounts of coalbed methane were produced, so the stage is the main accumulation stage of Permo–Carboniferous coalbed methane. The age of authigenic illite in roof sandstone, Shanxi Formation, is ~191 Ma, which implies that the Early Jurassic was the earliest time for filling of oil/gas desorbed from coalbeds methane in the sandstone reservoir with basin uplift and erosion.

Key words: oil and gas inclusion; K–Ar dating of authigenic illite; tectonothermal event; accumulation stages

About the first author: XIAO Hui, born in 1980, Ph.D candidate, mainly engages in the study of basin thermal evolution history and oil–gas reservoirs; E–mail: xiaohui_4787@163.com.