

文章编号: 1000-0550 (2005) 02-0337-09

山西沁水盆地石炭—二叠系煤层生排烃史分析

李 伟 张枝焕 朱 雷 韩立国 杨永才

(石油大学资源与信息学院 石油天然气成藏机理教育部重点实验室 北京 102249)

摘 要 通过对沁水盆地石炭—二叠系煤层夹矸及煤层顶板砂岩石样品中的包裹体类型、与矿物的共生关系以及包裹体均一化温度研究,结合山西南部上古生界煤层埋藏史及热史演化分析,讨论了太原组和山西组煤层的排烃历史。结果表明,太原组和山西组煤层排烃主要发生在晚三叠世末期煤层抬升释压以来,大体可以分为中侏罗世、早白垩世早期和晚白垩世一直到古新世三期。早期有过煤成油的阶段,并且有一定规模的排油过程;主要的排气阶段正好与热催化生油气阶段和热裂解生凝析气阶段相对应,那么可以认为热解气和热裂解气是煤层气的主要组成部分。煤储层中液态烃与煤层夹矸及顶板岩石中液态烃组成特征存在着明显差别,可能是由排烃过程吸附分馏作用和不同成熟度液态烃的混合作用不同所致。甾烷和藿烷总体组成特征相似,说明煤层、煤层夹矸及顶板砂岩中油气来源于煤层。

关键词 沁水盆地 煤层气 流体包裹体 分馏作用

第一作者简介 李伟 男 1979年出生 在读博士生 石油与天然气地质

中图分类号 TE122.1 **文献标识码** A

1 引言

自 1994 年于沁水盆地发现了中国第一个大型煤层气田——沁水煤层气田以来,人们对沁水盆地煤层气研究逐步深入,许多学者在煤层气成藏领域做了大量的工作,主要涉及到煤层气组份与同位素在空间上的非均质性分布现象及其成因机理,煤层气在煤储层中的解吸、扩散和运移过程中烃类组份与同位素分馏作用研究^[1,2],以及根据煤岩的生储气能力、煤储层渗透率、煤层气保存条件等,研究煤层气高产富集规律^[3,4]。

煤层气是自生自储在多孔固相物质煤层中的一种非常规天然气,其中吸附气占 90% 以上^[5]。由于煤层气成藏过程和成藏机理的特殊性,成藏地球化学这方面的研究工作还十分薄弱,本文试图通过研究煤层夹矸及煤层顶板岩石中的流体包裹体探讨煤层的生排烃历史,希望为沁水盆地煤层气的勘探开发提供有益的信息。

2 样品及地质背景

沁水盆地在山西省中南部,位于北纬 35°15' ~ 38°10',东经 111°45' ~ 113°45' 之间,是我国陆上较大

的含煤盆地之一。本区是以石炭—二叠系含煤沉积为主的富煤区,煤层埋藏深度一般小于 1 000m,煤质好、热演化程度高、含气饱和度高、保存条件好、煤层气资源丰富,是煤层气勘探有利地区^[11]。2001 年国家储量认定部门首次认定通过地面垂直钻井方式获得煤层气的探明储量,在盆地东南部叠合面积为 346.42 km² 范围内,获得煤层气探明储量 754.44 × 10⁸ m³,可采储量为 384.51 × 10⁸ m³,可见盆地内煤层气资源是十分丰富的^[6]。

本区年代地层单位采用了石炭系二分,二叠系三分的方案^[7],含煤地层主要由太原组和山西组构成(图 2)。太原组连续沉积于本溪组之上,主要岩性为砂岩、泥岩、灰岩和煤层,是上古生界主要含煤层段之一。其底界以发育的砂岩层(K1)为分界标志层,顶界位于 K7 砂岩层位底部,厚度 50 ~ 135 m^[8]。山西组位于 K7 砂岩底至 K8 砂岩底,地层厚度为 20 ~ 86 m,是主要含煤层段之一^[9,10]。位于太原组下部的 15[#]煤层和位于山西组中下部的 3[#]煤层在盆地内基本上大面积分布,厚度大且比较稳定,而且 15[#]煤层和 3[#]煤层顶板分别为致密的 K2 灰岩和一套粉砂质泥岩、泥质粉砂岩作为盖层。因此 15[#]煤层和 3[#]煤层为全区煤层气开采的目标层位。沁水煤层气田主力煤

层就是 15#煤层和 3#煤层,煤层含气量一般为 12~23 m³/t,最高 37.34 m³/t,居世界之首,含气饱和度分别为 73%~93%和 90%~98%^[11]。

从沁水盆地的小东沟剖面、凌川剖面、寺河煤矿、辛置煤矿和七一煤矿的煤层和煤层夹矸及煤层顶板中采集了 18 个岩石样品,包括三个煤岩样品(图 1)。样品采集基本上覆盖了本地区几个主要的含煤层系,样品包括煤岩、夹矸或煤层顶板砂岩、灰岩以及方解石脉等(图 2)。

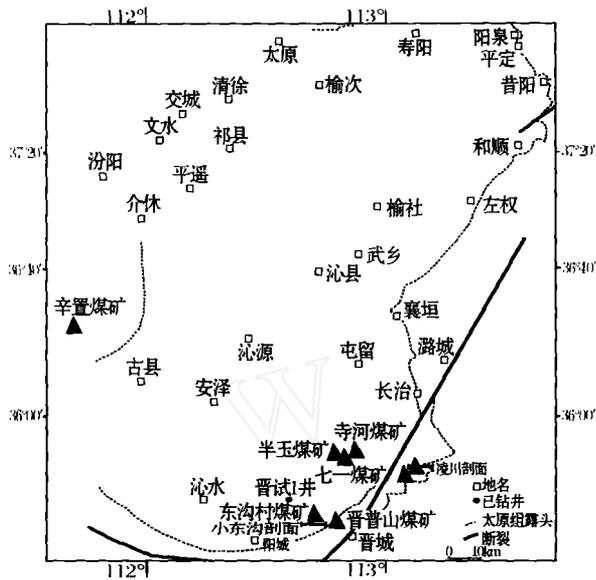


图 1 沁水盆地地理位置和剖面位置图

Fig 1 Location map of Qinshui basin and section position

3 实验分析

3.1 流体包裹体显微测温

利用显微测温术在特制的显微镜载物台(冷热台)上,将流体包裹体加热,对其内部流体相态变化温度进行观测。对于气液两相流体包裹体而言,气泡消失的温度是包裹体被捕获时温度的最低值,即均一化温度,当包裹体中流体冷冻成冰时,冰熔化的温度即冰点可以对流体盐度进行半定量估计,用于区分不同来源的流体包裹体^[12]。均一化温度和冰点的测定必须注意:做好流体包裹体的前期显微观测和描述工作,这包括油气包裹体和盐水包裹体的鉴别,原生包裹体和次生包裹体的区分,次生包裹体的产状研究;测定均一温度是一个非常细致的工作,对一个具体地区往往需要研究多个样品,不同产状的流体包裹体测定多组数据,才能获得满意效果;由于是深部源岩含油气流体向上运移,包裹体在捕获流体时,流体温度

是深部源岩热流体和浅部相对冷的流体的混合温度,进入储集层的含油气流体逐渐冷却,因此捕获的流体温度有一定变化。

主要测定与油气包裹体共生的均相捕获的盐水包裹体的均一化温度,这就需要使用显微镜下,用荧光法进行观察,来甄别出石油包裹体、气体包裹体和盐水包裹体,并且根据各种包裹体的特征和产状,来区分流体包裹体形成的期次和共生关系。分析所用的仪器为德国的 Leica DMRXP 显微镜和英国的 Linkam 3500 型冷热台。

3.2 各种烃类组分的提取、分离

将岩石样品粉碎至 50 目(粒径 0.99 mm 以下),取 200~400 g 装入用滤纸作的袋中,将纸袋放入抽提器的样品室内,通过溶剂回流,将样品中的有机质抽提出。本次实验回流 24 小时,并在样品室中加入铜片以去硫。通过回流,将样品中的有机质抽提出,经溶剂挥发后得氯仿沥青“A”,然后称重。根据有机化合物的结构和性质以及相似相溶的原理,可以把复杂的氯仿沥青“A”利用溶剂分为饱和烃、芳香烃、非烃和沥青质四个组分,并分别称重,得出各组分的百分含量。

采用 Finnigan SSQ-710 色谱-质谱仪,把抽提物中一定量的饱和烃注入到气相色谱仪内,根据组分

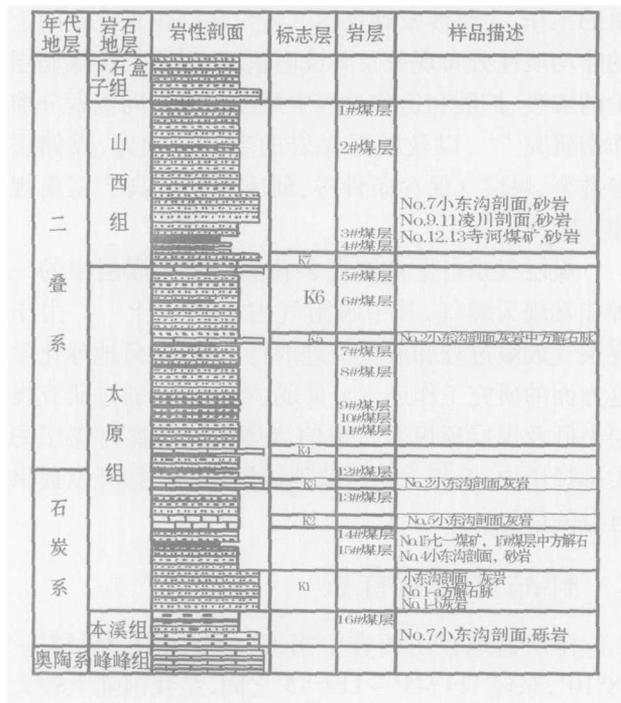


图 2 石炭—二叠系含煤地层及取样位置综合柱状图

Fig 2 Generalized stratigraphy of the Carboniferous-Permian in and sampling site

的挥发性及吸附性的不同,不断被固定相捕获然后释放回流动相,各组分被分离出来,通过传输杆流向质谱仪,由质谱分析,通过电子碰撞离子化,检测特征碎片离子,来判别各种生物标志物。

4 结果与讨论

4.1 流体包裹体特征与均一化温度

流体包裹体是指在矿物结晶生长时,被捕获并且封存在矿物晶格的缺陷或裂隙内的那部分成矿液体^[12],是地质流体的化石记录。在沉积盆地中,由于地质流体的流动对成岩矿物的结晶有很强的控制作用,因此矿物将优先在流体流动带结晶^[13],油气运移过程中特别是油气充注圈闭过程中,矿物周围的地层水、油、气等流体以包裹体的形式被捕获,往往形成在碳酸盐岩和碎屑岩中的方解石脉、石英脉、石英次生加大边、石英颗粒裂缝愈合处或与其同期形成的萤石、硬石膏等自生矿物中。这些流体包裹体记录了盆地油气生成、运移和演化的信息^[14,15]。本次研究试图根据煤层夹矸及煤层顶板砂岩石样品流体包裹体分析测试资料,来推测煤层的排烃历史。

对 14 个煤层夹矸及煤层顶板砂岩石样品中的流体包裹体进行了显微镜观察和描述,鉴别出石油包裹体、气体包裹体和盐水包裹体,并且根据各种包裹体的产状,来区分流体包裹体形成的期次和共生关系。本区流体包裹体有以下几个特征:

(1) 流体包裹体的大小分布不均匀,有些包裹体形状规则,个体较大 15~30 μm,气液比较高 20%~60%,均一化温度较高(超过 200 °C),其流体可能与岩浆热液有关;有些包裹体形状不规则,个体较小(多小于 5 μm),气液比低(3%~15%)。

(2) 砂岩样品中普遍发育石油包裹体,在荧光下发黄色光,可以分出两个期次。第一期呈串珠状分布在石英成岩愈合裂隙中,气液比较小,第二期成群或孤立分布于后期石英成岩愈合裂隙中,气液比较大。二期石油包裹体形成于石英次生加大之前(图版-1, 2)。

(3) 有些石油包裹体和气体包裹体共生,这些气体包裹体含有石油,在荧光下边缘发黄色光(图版-3, 4)。

(4) 大部分气体包裹体多与盐水包裹体共生在一起,在荧光下不发光,形状多呈椭圆或圆形,个体较大,盐水包裹体的气液比较大,均一化温度一般在 180 °C 以上(图版-5, 6)。

(5) 对二叠系山西组 3[#]煤顶板砂岩层的 2 个样品做了 GOI 测定,两个样品 GOI 值都较高,分别为 5% 和 3%。GOI 指标可以表征砂岩储集层含油饱和度,GOI < 1.0% 时,储集层为水层,GOI > 5% 时为油层,1.0% < GOI < 5% 时为油水过渡带^[16]。那么煤层顶板砂岩层中曾经达到过较高的含油饱和度。

在以上研究的基础上,对与油气包裹体共生的不同期次的盐水包裹体,进行了均一化温度的测定。主要样品的流体包裹体均一化温度分析数据见表 1。几乎每个样品(除 3 号样品测点有限外)的流体包裹体均一化温度分布明显存在三个温度集中段。

表 1 样品的流体包裹体均一化温度分析数据
(测自与油气包裹体共生的盐水包裹体)

Table 1 The homogenization temperatures of the coeval aqueous inclusions with petroleum and gas inclusions

样品 编号	层位	年代	岩性	宿主 矿物	均一化温度	均一化温度
					分布范围 /	均值 /
3	本溪组	C	灰岩	方解石	180~192	187
					100~110	108
7	山西组	P	砂岩	石英	130~150	141
					185~205	197
9	山西组	P	砂岩	石英	105~125	114
					140~150	145
11	山西组	P	砂岩	石英	195~250	225
					100~120	113
13	山西组	P	细砂岩	石英	140~150	150
					195	195
15	本溪组	C	方解石脉	方解石	110~130	123
					140~150	148
				煤中	120~130	125
				方解石脉	195~205	204

根据流体包裹体均一化温度的总体分布特征,分别作了 3[#]煤和 15[#]煤夹矸或顶板岩层中流体包裹体均一化温度分布直方图(图 3 和图 4)。也可以明显的看出三个温度集中段分别是 100~130 °C, 140~150 °C 和 180~200 °C 以上。正好与干酪根热催化生石油、湿气和裂解气的阶段相对应,在这些阶段由于石油和天然气的大量生成,当浓度达到一定规模时,

$$\text{GOI}(\%) = \frac{\text{包含含油包裹体的矿物颗粒数目} \times 100}{\text{总矿物颗粒数目}}$$

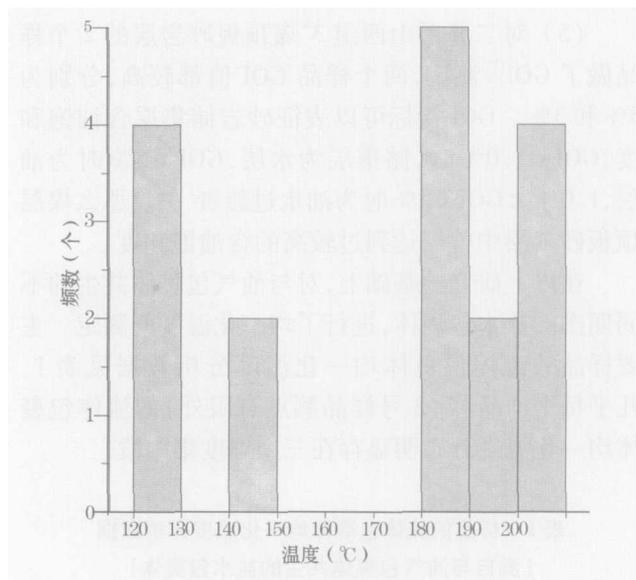


图 3 15[#]煤层夹矸或顶板岩层流体包裹体均一化温度分布直方图

Fig 3 The homogenization temperature distribution of fluid inclusions from the terrane between or above the No. 15 coal beds

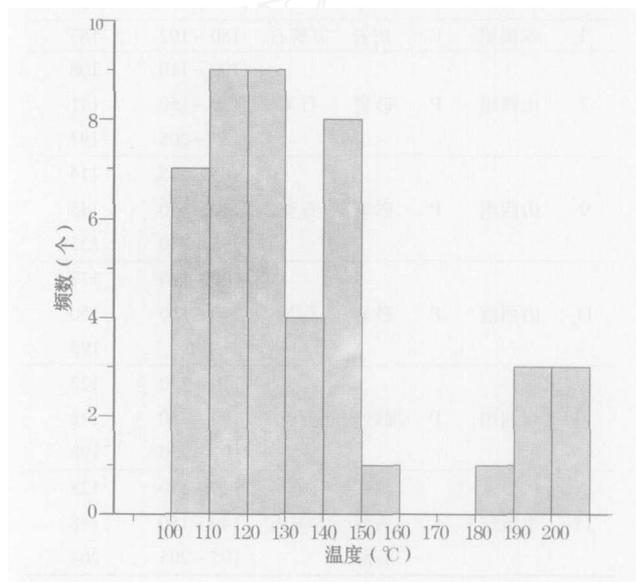


图 4 3[#]煤层夹矸或顶板岩层流体包裹体均一化温度分布直方图

Fig 4 The homogenization temperature distribution of fluid inclusions from the terrane between or above the No. 3 coal beds

进入煤夹矸和顶板岩层,形成了不同期次的油气包裹体。可以认为,山西地区沁水盆地二叠系和石炭系中的煤层,有过煤成油生成阶段,并且有一定规模的排烃过程。热解气和热裂解气是煤层气的主要组成部分。

4.2 煤层生排烃史分析

本区在海西期是华北巨型聚煤盆地的一个组成

部分,构造运动表现为地壳整体缓慢沉降、接受沉积,形成了包括石炭—二叠系含煤岩系在内的上古生界地层,地层厚度在区域上稳定,显示出典型的地台型沉积特征;印支期构造运动继承了海西期的特点,地壳继续沉降,三叠系和二叠系连续沉积,但沉降速率和幅度明显增大;燕山早期区内构造运动具有波动特征,地壳既有抬升接受剥蚀又有沉降接受沉积,构造活动进一步增强,燕山期是包括本区在内的华北地区晚古生代以来构造演化史上的重要转折时期,区域构造应力场由挤压体制转变为拉张体制,构造运动由褶皱差异运动转化为断块差异运动,同时深部物质上涌,岩浆活动强烈;喜马拉雅期以来,区内构造分异进一步加剧,地壳重新发生局部沉降。

山西南部上古生界煤层受热历史受控于构造运动,经历了四个阶段,分别对应于煤层的不同埋藏阶段(图 5)。第一阶段为缓慢增温阶段,对应于煤层在石炭纪到晚三叠世埋藏阶段,煤级缓慢增高,古地热场属于正常古地热场的范畴,煤化作用服从深成变质规律;第二阶段为温度波动阶段,相当于侏罗纪时埋藏史的稳定和波动阶段,煤化作用暂时终止,进展极为缓慢;第三阶段对应于晚侏罗世到早白垩世煤层显著抬升的阶段,是本区煤化作用的主要时期,导致二次生烃作用的广泛出现。由于岩浆活动导致煤层受热温度达 170~280,地温梯度普遍超过 6 /km。煤层在此时期经历了历史最高温度,这个时期的地热场决定了现代煤级的分布格局;第四阶段为温度降低阶段,相当于晚白垩世到现今,地热场正常,煤层快速抬升埋深变浅,煤化作用终止。煤层的受热历史决定了煤层的生气历史,主要可以分为两个生气阶段。第一个生气阶段对应于石炭纪到晚三叠世煤层埋藏阶段,是缓慢增温阶段,区内煤层普遍经历了从生物气到湿气早期阶段。第二个生气阶段发生于晚侏罗世到早白垩世,由于岩浆活动导致煤层受热温度达 170~280,大部分矿区煤层经历了湿气生成高峰和干气阶段,这一阶段生气量大于第一次生气量,是本区主要生气阶段^[17]。

根据山西南部上古生界煤层埋藏史及热史演化剖面图,可以推算出煤层的排烃地质时间。由于山西南部上古生界煤层具有“V”型埋藏模式(图 5),在晚三叠世末期直到现今有一个缓慢抬升的过程,而且煤层的受热历史也比较复杂^[18]。那么,排烃期就有两种解释,第一种解释为 100~150 对应地质年代是晚三叠世,180~200 对应地质年代是晚白垩世;另

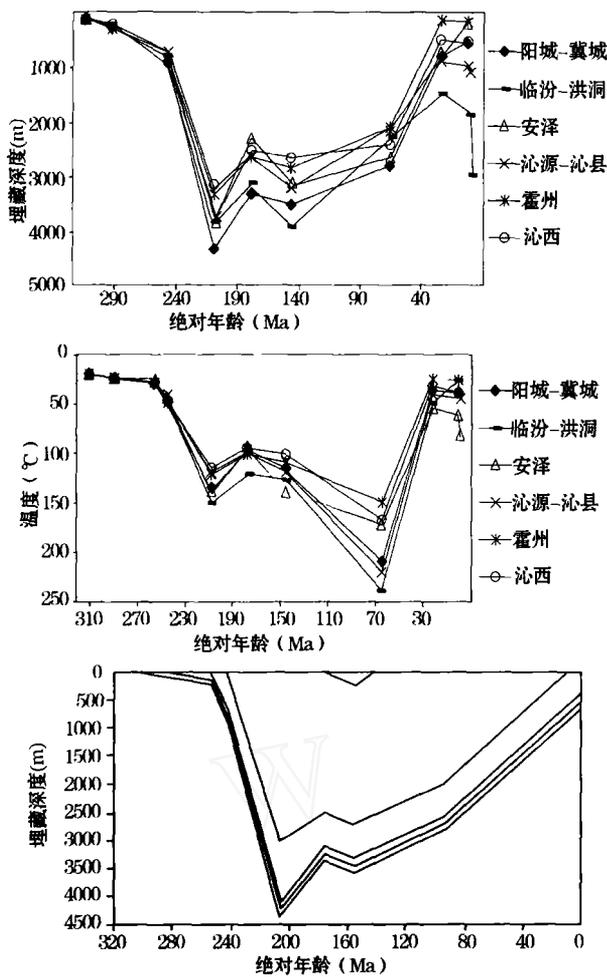


图 5 山西南部上古生界煤层埋藏史 (a、c) 及热史演化剖面图 (b)

Fig 5 The section of burial and thermal history of the coal beds in the Upper Palaeozoic in Qinsui basin

一种解释为 100 ~ 130 对应地质年代是中侏罗世, 140 ~ 150 对应地质年代是早白垩世早期, 180 ~ 200 以上对应地质年代是晚白垩世一直到古新世。

笔者认为第二种解释比较合理, 石炭纪到晚三叠世是煤层埋藏阶段, 缓慢增温, 煤层在晚三叠世达到

最大埋深, 煤层温度达到 150 左右, 这个时期已经达到煤层生油高峰, 对应于煤层的第一个生气阶段, 煤层普遍经历了从生物气到湿气早期阶段, 并伴有煤成油的过程。但是煤层微孔隙发育对油气吸附能力较强, 侏罗纪以来煤层开始缓慢抬升, 上覆地层剥蚀, 煤层储层压力降低, 而且煤层温度有增无减, 油气开始脱附释放到煤层夹矸及顶板砂岩, 可以形成石油包裹体和气体包裹体。到晚白垩世地温达到 180 以上, 晚白垩世到古新世地温持续上升, 已经达到热裂解生气阶段, 然而煤层仍然继续抬升, 伴随天然气大量生成, 发生大规模的天然气的解析扩散, 进入煤层夹矸及煤层顶板砂岩, 形成大量气体包裹体。

4.3 煤岩、煤层夹矸或顶板砂岩显微组分和烃类抽提物组成特征

分别对辛置煤矿、七一煤矿和寺河煤矿的煤岩样品进行显微组分定量 (表 2)。样品的镜质体反射率都较高, R_o (%) 都大于 2.5。显微组分以均质镜质体或基质镜质体为主, 丝质体—半丝质体含量普遍较低, 在荧光下观察, 三个样品的壳质组均不发光, 已经被碳化应归为惰质组, 这些壳质组可能早期生过油。

选取辛置煤矿、七一煤矿和寺河煤矿的煤岩样品及对应层位的煤层夹矸或顶板岩石样品共六个, 做了氯仿抽提和族组分分离。如表 3, 煤储层中液态烃与顶板砂岩液态烃组成特征存在着明显差别, 可能机理包括 (1) 由于排烃过程吸附分馏作用; (2) 液态烃在煤储层中与在砂岩中的热裂解作用不同; (3) 不同成熟度液态烃的混合作用不同, 煤储层中所吸附的液态烃除了经历热裂解作用外, 还存在有机质不同热演化阶段生成烃的混合, 而砂岩中的除了经历热裂解作用外, 主要接受不同时期从煤层中排出的具不同成熟度的烃的混合作用。

所分析的三组样品之间甾烷和藿烷的总体组成特征均不存在明显差别 (图 6、7), 说明煤层夹矸及顶板砂岩中的油气来自于煤层。但二者也存在一定的

表 2 煤岩显微组分定量统计结果

Table 2 The quantitative composition of the macerals of coal

样 品	镜质组 / %					惰质组 / %				矿物 / %	反射率
	T	C1	C2	C3	VD	SF	F	Ma	D	M	R_o / %
辛置煤矿 3#煤		21.8	55.5	5.1	4.5	3.6	1.5	0.4	4.7	2.9	2.57
七一煤矿 15#煤	1.4	52.4	22.1	6.4	2.8	2.2	5.7	0.6	4.3	2.1	2.55
寺河煤矿 3#煤		75.2	1.3	2.3	5.8	1.2	9.5	0.5	1.6	2.6	3.41

注: T 结构镜质体 C1 均质镜质体 C2 基质镜质体 C3 团块镜质体 VD 碎屑镜质体
SF 半丝质体 F 丝质体 Ma 粗粒体 D 碎屑惰质体 M 矿物

表 3 煤样和煤层夹矸或顶板岩石中氯仿抽提物含量及族组成特征

Table 3 Gross composition of coal, sandstone and calcite extracts

岩性	沥青 A / %	沥青质 / %	饱和烃 / %	芳烃 / %	非烃 / %
陵川矿 3 号煤顶砂岩	0.0018	61.54	0.00	7.69	30.77
寺河矿 3 号煤顶砂岩	0.0025	15.38	23.08	46.15	15.38
七一矿 3 号煤中方解石	0.0049	72.73	27.27	0.00	0.00
辛置矿 3 号煤	0.0138	12.50	38.75	22.50	26.25
寺河矿 3 号煤	0.0034	0.00	60.00	20.00	20.00
七一矿 15 号煤	0.0042	27.78	44.44	8.33	19.44

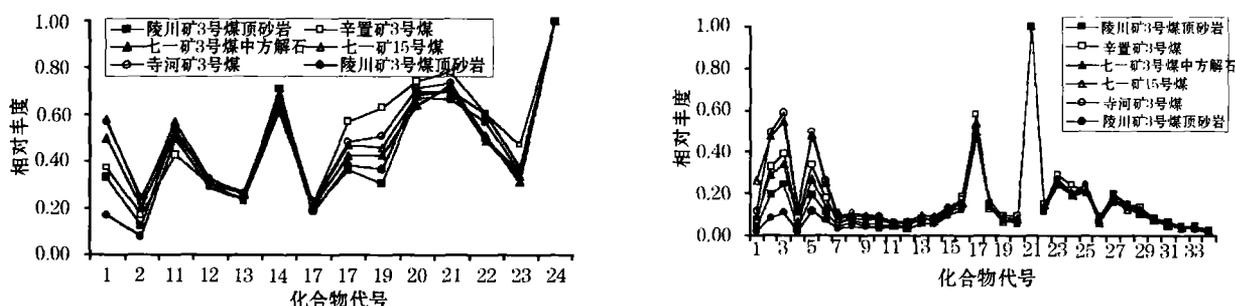


图 6 煤层及煤层夹矸或顶板岩石抽提物甾、萜烷化合物指纹对比图

Fig. 6 Fingerprint comparison of sterane and terpane of coal, sandstone and calcite extracts

a 甾烷: 1. 孕甾烷; 2. 升孕甾烷; 11. $5\alpha, 14\alpha, 17\alpha$ -chol (20S) + 24-M-13 $\alpha, 17\beta$ -diachol (20S); 12. $5\alpha, 14\beta, 17\beta$ -chol (20R) + 24-E-13 $\beta, 17\alpha$ -diachol (20S); 13. $5\alpha, 14\beta, 17\beta$ -chol (20S) + 24-M-13 $\alpha, 17\beta$ -diachol (20R); 14. $5\alpha, 14\alpha, 17\alpha$ -chol (20R); 17. 24-M-5 $\alpha, 14\alpha, 17\alpha$ -chol (20S); 17. 24-M-5 $\alpha, 14\beta, 17\beta$ -chol (20R) + 24-E-13 $\alpha, 17\beta$ -diachol (20R); 19. 24-M-5 $\alpha, 14\beta, 17\beta$ -chol (20S); 20. 24-M-5 $\alpha, 14\alpha, 17\alpha$ -chol (20R); 21. 24-E-5 $\alpha, 14\alpha, 17\alpha$ -chol (20S); 22. 24-E-5 $\alpha, 14\beta, 17\beta$ -chol (20R); 23. 24-E-5 $\alpha, 14\beta, 17\beta$ -chol (20S); 24. 24-E-5 $\alpha, 14\alpha, 17\alpha$ -chol (20R)。 b 萜烷: 1. C_{19} 三环萜烷; 2. C_{20} 三环萜烷; 3. C_{21} 三环萜烷; 4. C_{22} 三环萜烷; 5. C_{23} 三环萜烷; 6. C_{24} 三环萜烷; 7. C_{25} 三环萜烷; 8. C_{24} 四环萜烷; 9. C_{26} 三环萜烷; 10. C_{26} 三环范萜; 11. C_{28} 三环萜烷; 12. C_{28} 三环萜烷; 13. C_{29} 三环萜烷; 14. C_{29} 三环萜烷; 15. $18\alpha(H)-22, 29, 30$ -三降新藿烷 (Ts); 16. $17\alpha(H)-22, 29, 30$ -三降藿烷 (Tm); 17. $17\alpha(H), 21\beta(H)-30$ -降藿烷; 18. $18\alpha(H)-30$ -降新藿烷 (C_{29} Ts); 19. $18\alpha(H)$ -重排藿烷; 20. $17\beta(H), 21\alpha(H)-30$ -降藿烷; 21. $17\alpha(H), 21\beta(H)$ -藿烷; 22. $17\beta(H), 21\alpha(H)$ -藿烷; 23. $17\alpha(H), 21\beta(H)-30$ -升藿烷 (22s); 24. $17\alpha(H), 21\beta(H)-30$ -升藿烷 (22R); 25. 伽马蜡烷; 26. $17\beta(H), 21\alpha(H)-30$ -升藿烷 (20R); 27. $17\alpha(H), 21\beta(H)-30, 31$ -二升藿烷 (22S); 28. $17\alpha(H), 21\beta(H)-30, 31$ -二升藿烷 (22R); 29. $17\alpha(H), 21\beta(H)-30, 31, 32$ -三升藿烷 (22S); 30. $17\alpha(H), 21\beta(H)-30, 31, 32$ -三升藿烷 (22R); 31. $17\alpha(H), 21\beta(H)-30, 31, 32, 33$ -四升藿烷 (22S); 32. $17\alpha(H), 21\beta(H)-30, 31, 32, 33$ -四升藿烷 (22R); 33. $17\alpha(H), 21\beta(H)-30, 31, 32, 33, 34$ -五升藿烷 (22S); 34. $17\alpha(H), 21\beta(H)-30, 31, 32, 33, 34$ -五升藿烷 (22R)

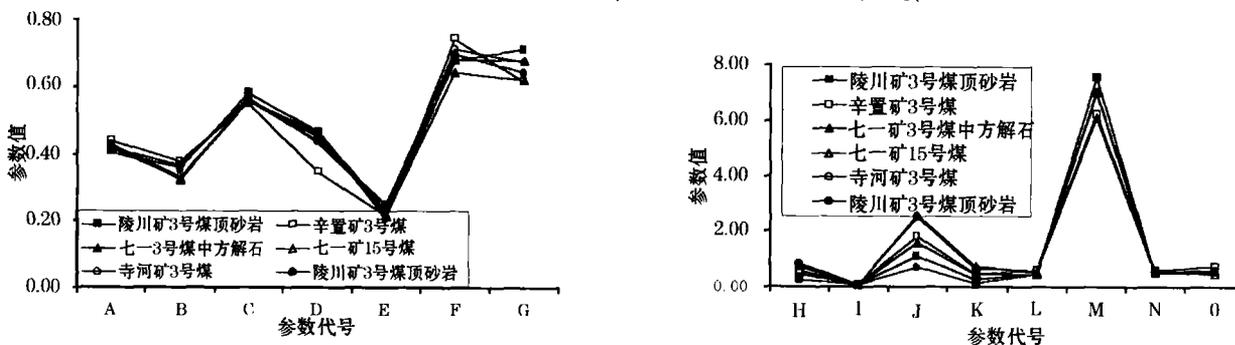


图 7 煤层及煤层夹矸或顶板岩石抽提物甾萜烷分子标志物参数指纹对比图

Fig. 7 Fingerprint comparison of molecular parameters of sterane and terpane of coal, sandstone and calcite extracts

A. $\alpha\alpha\alpha C_{29} 20S / (20S + 20R)$; B. $C_{29} \beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$; C. $C_{31} 22S / (22S + 22R)$; D. Ts / (Ts + Tm); E. 伽马蜡烷 / C_{30} 藿烷; F. $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28} / C_{29}$; G. $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27} / C_{29}$; H. 孕甾烷 + 升孕甾烷 / $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$; I. 升藿烷指数; J. 三环萜烷 / 藿烷; K. $C_{19} + C_{20}$ 三环萜烷 / 藿烷; L. 规则甾烷 / $17(\alpha)H$ -藿烷 [$C_{29} \sim C_{33}$]; M. C_{29} 藿烷 / 藿烷; N. (藿烷 + 藿烷) C_{29} / C_{30} ; O. C_{30} 重排藿烷 / C_{29} Ts

差别,主要差别在于:(1)煤层中 构型甾烷含量相对较高(图 6);(2) C_{19} 、 C_{20} 、 C_{21} 、 C_{23} - 三环二萜烷的差别较大(图 6)。主要是由于液态烃的运移分馏作用和成熟度的差别造成的。

5 结论

(1) 本区煤层的镜质体反射率都较高, R_o (%) 都大于 2.5。煤岩样品中的壳质组在荧光下均不发光,已经被碳化应归为惰质组,这些壳质组可能早期生过油。

(2) 砂岩样品中普遍发育石油包裹体,在荧光下发黄色光,GOI 值都较高,那么煤层有过一定规模的排油过程,顶板砂岩层中曾经达到过较高的含油饱和度。根据流体包裹体均一化温度的总体分布,明显的分出三个温度集中段,分别是 100 ~ 130 , 140 ~ 150 和 180 ~ 200 以上。正好与有机质热催化生石油、湿气和裂解气的阶段相对应,说明热解气和热裂解气是煤层气的主要组成部分。

(3) 根据流体包裹体均一化温度,结合山西南部上古生界煤层埋藏史及热史演化剖面图,推算出煤层的排烃地质时间,主要在晚三叠世煤层抬升释压以来,可以分为三期,分别是中侏罗世,早白垩世早期和晚白垩世一直到古新世。

(4) 煤层中液态烃与煤层夹矸或顶板岩石中液态烃组成特征存在着明显差别,可能由于煤储层和顶板砂岩排烃过程吸附分馏作用不同;液态烃在煤储层中与在砂岩中的热裂解作用不同;不同成熟度液态烃的混合作用不同。甾烷和藿烷的总体组成特征均不存在明显差别,说明煤层夹矸及顶板砂岩中的油气来自于煤层。

致谢 本研究工作得到中国石油勘探与开发研究院(北京)赵孟军同志的支持和帮助,在此表示诚挚感谢!

参考文献 (References)

- 1 张建博,陶明信. 煤层甲烷碳同位素在煤层气勘探中的地质意义——以沁水盆地为例. 沉积学报, 2000, 18(4): 611 ~ 614 [Zhang Jianbo, Tao Mingxin. Geological significances of coal bed methane carbon isotope in coal bed methane exploration. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 611 ~ 614]
- 2 高波,陶明信,等. 煤层气甲烷碳同位素的分布特征与控制因素. 煤田地质与勘探, 2002, 30(3): 14 ~ 17 [Gao Bo, Tao Mingxin, et al. Distribution characteristics and controlling factors of value of coal bed methane. Coal Geology & Exploration, 2002, 30(3): 14 ~ 17]
- 3 宁正伟,陈霞. 华北石炭—二叠系煤化变质程度与煤层气聚集性的

- 关系. 石油与天然气地质, 1996, 17(2): 156 ~ 160 [Ning Zhengwei, Chen Xia. Relations between metamorphism and coal-bed gas reservoir of Carboniferous-Permian in North China. Oil & Gas Geology, 17(2): 156 ~ 160]
- 4 高波,马玉贞,陶明信,等. 煤层气富集高产的主控因素. 沉积学报, 2003, 21(2): 345 ~ 349 [Gao Bo, Ma Yuzhen, Tao Mingxin, et al. Main controlling factors analysis of enrichment condition of coalbed methane. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(2): 345 ~ 349]
 - 5 张建博,王红岩,等. 国外煤层气勘探、开发新进展. 见:李文阳,王慎言,赵庆波主编. 中国煤层气勘探与开发. 江苏徐州:中国矿业大学出版社, 2003. 27 ~ 33 [Zhang Jianbo, Wang Hongyan, et al. Advances of exploration and development of foreign coal-bed methane. In: Li Wenyan, Wang Shenyang, Zhao Qingbo, eds. Exploration and Development of Coal-bed Methane of China. Xu Zhou Jiangsu: China University of Mining and Technology Press, 2003. 27 ~ 33]
 - 6 胡爱梅. 沁水盆地煤层气富集成藏规律探讨. 见:李文阳,王慎言,赵庆波主编. 中国煤层气勘探与开发. 江苏徐州:中国矿业大学出版社, 2003. 150 ~ 159 [Hu Aimei. Analysis of enrichment condition of coalbed methane in the Qinshui coalbed methane field. In: Li Wenyan, Wang Shenyang, Zhao Qingbo, eds. Exploration and development of coal-bed methane of China. Xu Zhou Jiangsu: China University of Mining and Technology Press, 2003. 150 ~ 159]
 - 7 陈世悦,刘焕杰. 含煤建造露头层序地层分析——以太原西山石炭二叠系剖面为例. 煤田地质与勘探, 1995, 23(2): 13 ~ 17 [Chen Shiyue, Liu Huanjie. Sequence stratigraphic analysis of coal-bearing formation outcrop: based on Carboniferous-Permian profile, Xishan, Taiyuan. Coal Geology & Exploration, 1995, 23(2): 13 ~ 17]
 - 8 何锡麟,朱梅丽,范秉恒,等. 山西太原东山晚古生代地层划分对比及古生物研究. 长春:吉林大学出版社, 1995 [He Xilin, Zhu Meili, Fan Bingheng, et al. Research on stratigraphy and paleobiology of the Late Paleozoic in Dongshan, Taiyuan. Changchun: Jilin University Press, 1995]
 - 9 常朝辉. 山西省二叠系顶界——“石千峰”地层时代问题. 山西地质科技, 1977, (2): 22 ~ 39 [Chang Zhaohui. The stratigraphic time of the Shiqianfeng formation: the upper boundary of Permian in Shanxi province. Shanxi Geology Science and Technology, 1977, (2): 22 ~ 39]
 - 10 王志强,王立新. 华北石千峰下部晚二叠世植物化石. 天津地质矿产研究所所刊, 1987, 15: 1 ~ 80 [Wang Zhiqiang, Wang Lixin. The botany fossils of the Late Permian in the Shiqianfeng Formation, South China. Journal of Tianjin Mining Institute, 1987, 15: 1 ~ 80]
 - 11 赵庆波. 中国煤层气地质认识及未来勘探新领域. 见:李文阳,王慎言,赵庆波主编. 中国煤层气勘探与开发. 江苏徐州:中国矿业大学出版社, 2003. 3 ~ 13 [Zhao Qingbo. Geology and new exploration field of coalbed methane of China. In: Li Wenyan, Wang Shenyang, Zhao Qingbo, eds. Exploration and Development of Coal-bed Methane of China. Xu Zhou Jiangsu: China University of Mining and Technology Press, 2003. 3 ~ 13]
 - 12 刘文斌,姚素平,胡文萱,等. 流体包裹体的研究方法及应用. 新疆石油地质, 2003, 24(3): 264 ~ 267 [Liu Wenbin, Yao Suping, Hu Wenxuan, et al. Application and research approaches of fluid inclusions. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(3): 264 ~ 267]

- 13 孙樯, 谢鸿森, 郭捷, 等. 含油气沉积盆地流体包裹体及应用. 长春科技大学学报, 2000, 30(1): 42~45 [Sun Qiang, Xie Hongsen, Guo Jie, *et al*. Fluid inclusions in petroliferous sedimentary basins and their application. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2000, 30(1): 42~45]
- 14 Eadington P J. Fluid history analyses: a new concept for prospect evaluation. The APEA Journal, 1991, 31: 301~310
- 15 李慧莉, 邱楠生, 金之钧, 等. 塔里木盆地克拉 2 气田储层流体包裹体与油气成藏研究. 沉积学报, 2003, 21(4): 648~653 [Li Huili, Qiu Nansheng, Jin Zhijun, *et al*. Study on hydrocarbon entrapment in Kela 2 Gas Field, Tarim Basin: Evidence from reservoir fluid inclusion. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(4): 648~653]
- 16 Eadington P J, *et al*. Identifying oil well sites. United States Patent Application, 1996, 5: 543~6161.
- 17 叶建平, 秦勇, 林大扬主编. 中国煤层气资源. 江苏徐州: 中国矿业大学出版社, 1998 [Ye Jianping, Qin Yong, Lin Dayang, eds. Coalbed methane resources of China. Xuzhou Jiangsu: China University of Mining and Technology Press, 1998]
- 18 刘焕杰主编. 山西南部煤层气地质. 江苏徐州: 中国矿业大学出版社, 1998 [Liu Huanjie. Geology of coalbed methane in Southern Shanxi, China. Xuzhou Jiangsu: China University of Mining and Technology Press, 1998]

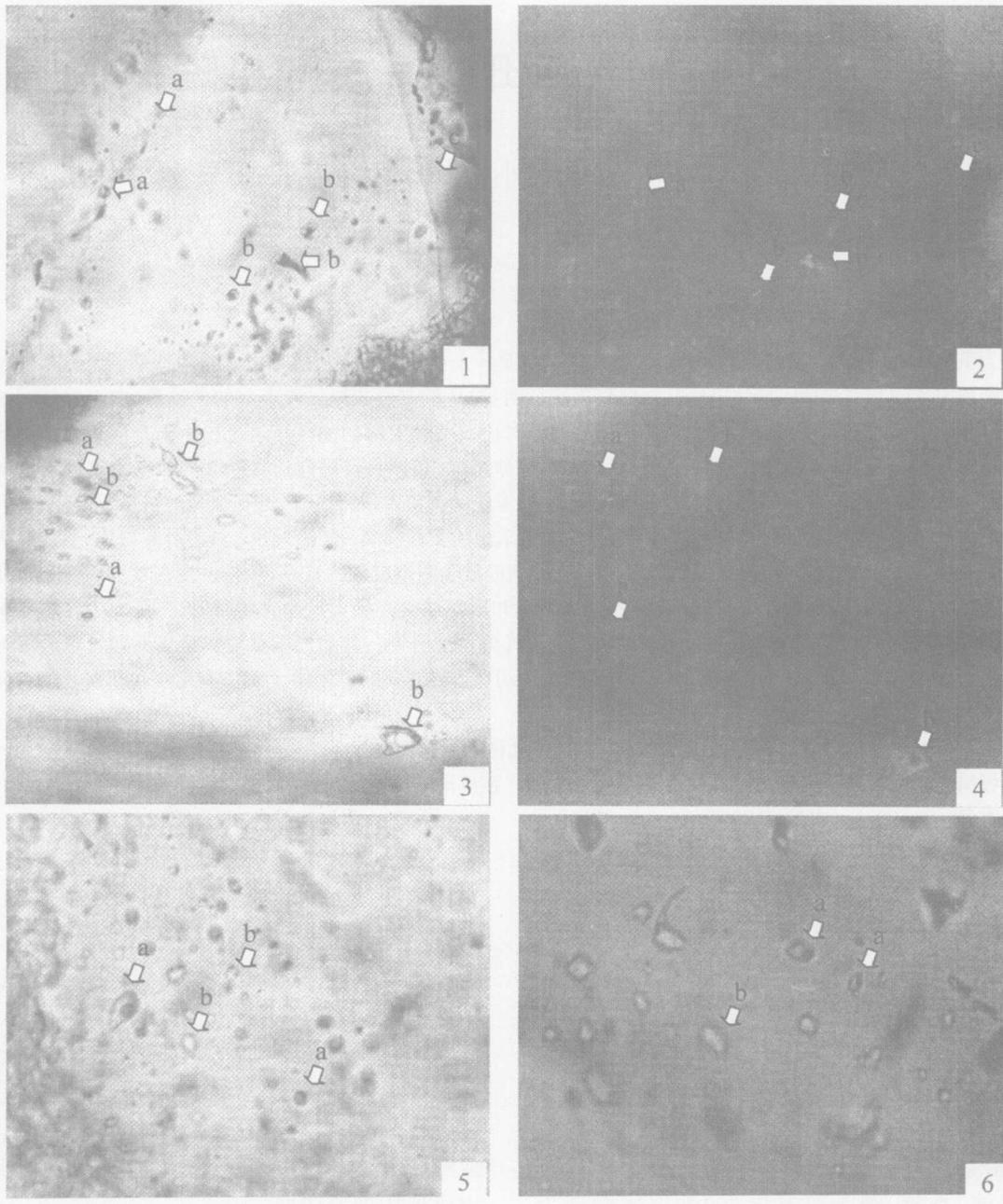
The History Analysis of Hydrocarbon Expulsion from the Coal Beds in the Carboniferous-Permian in Qinshui Basin, Shanxi

LI Wei ZHANG Zhi-huan ZHU Lei HAN Li-guo YANG Yong-cai

(Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Education, Faculty of Natural Resources & Information Technology, University of Petroleum, Beijing 102249)

Abstract Through the synthetically study on the homogenization temperature and occurrence in the authigenic minerals of fluid inclusions in the terrane between or above the coal beds in the Carboniferous-Permian in the Qinshui basin, Shanxi, three stages of expulsion of hydrocarbon from the coal beds were known. Combining with the conclusion of basin evolution, it is deduced that the filling of hydrocarbon happened during J_2 , the early of K_1 and $K_2 \sim E_1$. In the early stage, coal beds produced coal-generating oil. The stages of expulsion of nature gas are corresponding with the phase of thermocatalysis and thermal cracking, respectively. So the coal-bed gas in the Qinshui basin is mostly composed of gas of thermocatalysis and thermal cracking. The extracted hydrocarbon residues of the coal and the sandstones are appreciably different, because of difference of fractional distillation and the filling of different degrees of hydrocarbon in the coal beds and the sandstones.

Key words Qinshui basin, coal-bed gas, fluid inclusions, fractional distillation



图版 说明 1. a串珠状分布于早期成岩愈合裂隙中石油包裹体,均一化温度 $100 \sim 130$;b成群分布于后期成岩愈合裂隙中烃类包裹体,均一化温度 $140 \sim 150$;c石英次生加大边中不发育石油包裹体。寺河煤矿山西组 3#煤顶板砂岩。透射光, $\times 300$ 。2 视域同上,石英成岩愈合裂隙中两期石油包裹体都发淡黄色荧光。寺河煤矿山西组 3#煤顶板砂岩。荧光, $\times 300$ 。3. 孤立或成群分布于石英成岩愈合裂隙中流体包裹体,均一化温度 $140 \sim 150$ 。a石油包裹体;b含油的气体包裹体。凌川剖面山西组 3#煤顶砂岩。透射光, $\times 300$ 。4. 视域同上,a石油包裹体发黄色荧光;b气体包裹体边缘发黄色荧光,气泡不发光。荧光, $\times 300$ 。5. 石英成岩愈合裂隙中发育盐水包裹体(a)和气体包裹体(b)。均一化温度 $180 \sim 200$ 以上。寺河煤矿山西组 3#煤顶板砂岩。透射光, $\times 300$ 。6. 方解石裂隙中发育盐水包裹体(a)和气体包裹体(b)。均一化温度 $180 \sim 200$ 以上。七一煤矿太原组 15#煤中方解石脉。透射光, $\times 300$ 。