

淮南煤田煤层气藏划分及形成机制

张新民 李建武 韩保山 董敏涛

(煤炭科学研究总院西安分院, 西安 710054. E-mail: xmzhang@pub.xaonline.com)

摘要 煤层气藏是煤层气聚集和进行煤层气资源开发的基本地质单元, 煤层气藏的形成条件包括: 煤层厚度、煤变质程度、埋藏深度、盖层、地质构造。在淮南煤田划分煤层气藏主要根据地质构造形态和埋藏深度, 根据阜风推覆体和淮南复向斜的次级构造, 将淮南煤田划分为蔡家岗等7个煤层气藏; 分析了煤层气成藏的动力学机制。煤层气藏所处的构造部位, 对煤层气藏的特征具有重要的控制作用。

关键词 煤层气藏 划分 淮南煤田 推覆体 复向斜 成藏机制

近年来, 在煤层气地质研究和资源勘探开发中, 关于煤层气聚集的基本地质单元及其划分问题逐渐引起人们的重视, 有关煤层气藏的研究和讨论也多起来。但是, 已有的研究成果, 都只是提出煤层气藏的概念和笼统地将煤层气藏划分成若干类型^[1-4], 而具体进行煤层气藏的划分及特征描述的研究成果则鲜有报道; 这是煤层气地质研究中的薄弱环节, 不利于对煤层气勘探开发实践的指导。

对常规天然气聚集而言, 呈游离态(或/和溶解态)的气体在浮力和毛细管力的作用下, 通过不同通道运移到各类圈闭中聚集成藏, 气藏“浮”在水柱之上, 其范围由气-水界面和气藏高度限定, 比较具体明显; 气(聚集)藏在储层内的分布是间断、不连续的。相反, 对煤层气聚集而言, 气体是自生自储, 主要呈吸附态赋存于煤层之中, 基本上是“就地”聚集成藏, 不存在气-水界面; 气(聚集)藏在煤层内的分布是不间断、连续的。因此, 煤层气藏的划分应该区别于常规天然气藏, 有必要对其进行专门的深入研究。

位于安徽省淮北平原南部的淮南煤田, 地跨淮河中游两岸, 石炭-二叠纪煤田隐伏于淮河冲积平原之下, 面积约 2120 km², 煤炭资源丰富, 是中国华东地区重要的煤炭生产基地。煤田内的煤层气资源也十分丰富, 据估算煤层气资源量为 2973×10^8 m³, 资源量密度达 1.4×10^8 m³/km²; 加之优越的经济地理位置, 从 20 世纪 80 年代起, 国内外有关方面就在这里进行煤层气研究和资源勘探开发工作, 揭露了大量煤层气地质现象。作者从 20 世纪 80 年代后期开始, 在淮南煤田进行煤层气地质、资源评价及勘探开发研究工作。本文根据多年来的研究及煤层气勘探开发成果, 将淮南煤田作为一个实例, 具体进行煤层气藏的划分及形成机理的解剖和分析, 并就煤层气藏的

厘定、边界条件、特征描述、形成机理等有关问题, 提出一些初步认识, 以此与同行商榷。

1 煤层气藏的形成条件及划分

在自然界, 煤层及煤层中气体的分布是不均衡的; 由于各种地质因素的综合作用和制约, 形成不同规模和级别的煤层气自然聚集(赋存)单元。由于这种自然单元的存在, 使得人们可以在不同层次上具体地认识和把握煤层气资源。煤层气藏既是自然界煤层气聚集的基本单元, 也是人们认识煤层气、进行煤层气资源勘探和开发的基本地质单元。煤层气藏形成机理及类型的研究, 是煤层气基础地质理论中的核心问题。关于煤层气藏的定义, 不同的学者具有不同的认识^[1-4]。作者给煤层气藏的定义是: 煤层气藏是在地层压力(水压和气压)作用下保存有一定数量气体的同一含煤地层的煤岩体, 具有独立的构造形态; 煤层气藏是进行煤层气勘探和开发的基本地质单元。根据这个定义, 煤层气藏的形成条件包括储集和保存两个方面。储集条件主要指煤层厚度和煤变质程度, 而保存条件主要受盖层和地质构造作用的影响。另外, 由于煤层的埋藏深度对气成分、储层压力、煤储层的渗透性的控制作用, 因而也是煤层气成藏的一个重要因素。归纳起来, 煤层气藏的形成条件包括: 煤层厚度、煤变质程度、埋藏深度、盖层、地质构造这 5 个方面^[4]。

一个煤层气藏应具有独立的构造形态, 煤储层在沉积和构造上是基本连续的, 以保证地层流体(水和/或气)在煤层中的侧向流动是连通的。

从煤层气藏的定义出发, 按照煤层气藏的形成条件, 对煤层气藏进行划分和描述, 具有重要的理论和实用价值。它是分析煤层气富集特征、研究成藏机

理、建立煤层气成藏模式、选择煤层气勘探开发方式、指导煤层气资源开发的基础,也是进行煤层气资源开发规划、计算煤层气储量、进行煤层气生产的基本地质单元;特别是在中国煤田地质条件多样、地质构造复杂多变的情况下,其作用和意义更为突出。这也是我们提出煤层气藏的概念、分析煤层气藏形成条件、进行煤层气藏划分的根本目的。

煤层气藏的划分,就是从煤层气藏的定义和形成条件出发,依据明确的各种边界,具体界定每个煤层气藏的空间范围。在实际工作中,以含煤地层、煤层分布特征(煤层尖灭带、厚度界限等)、构造线(褶曲轴、断层)、瓦斯风化带、煤层埋藏深度界限、煤变质界限等为边界,进行单个煤层气藏的界定。在这些边界中,含煤地层、煤层分布和构造线是划分的主要依据。图 1 反映了对煤层气藏的概念性认识。下面各节,从煤层气藏的定义和概念性认识出发,根据各个边界,对淮南煤田煤层气藏的划分和形成机制等问题进行探讨。

2 淮南煤田煤层气藏划分

在区域地质上,淮南煤田位于华北地台的东南缘,华北板块与华南板块交界的过渡地带,属秦岭-大别山造山带的前陆位置。东以郟庐断裂为界,西以阜阳深断裂为界,北临蚌埠隆起,南面与大别山造山带相距不远;中部的武店断裂将淮南煤田分为东段和西段。东段的石炭-二叠纪煤系深埋于中、新生代合肥盆地的东北缘,埋深超过 2000 m^[5],目前对其工作和认识甚少;西段的石炭-二叠纪煤系埋藏较浅,适

合现有煤炭开采技术,通常所说的淮南煤田即指该部分,本文讨论的范围也局限于广义淮南煤田的西段(见图 2)。

淮南煤田石炭-二叠纪含煤地层,总厚度 910 m;可采及局部可采煤层只发育在二叠系的山西组、下石盒子组及上石盒子组的下部,分布在约 370 m 厚度的地层中。含可采及局部可采煤层 19 层,其中有 5 层(13-1, 11-2, 9-2, 8 和 1 煤层)在整个淮南煤田普遍发育,平均厚度都超过 2 m,它们在全淮南煤田都可作为煤层气开发的主力煤层。煤级为气-焦煤,属低中等变质程度。因此,含煤地层和煤层分布范围、煤变质界限不构成在淮南煤田进行煤层气藏划分的边界;在淮南煤田划分煤层气藏主要根据地质构造形态、瓦斯风化带和煤层埋藏深度。

在构造上,淮南煤田是一个由外来系统、主滑脱面及分支逆冲断层、原地系统构成的对冲式推覆构造体系:其南缘为阜凤推覆体,北缘为上窑-明龙山推覆体,其主体为夹持于两个推覆体之间的淮南复向斜,它是两个推覆体共同的原地系统。淮南复向斜呈近东西向展布,总体上向西扬起、向东倾伏,内部发育一系列次级褶曲和断层(图 2)。特殊的构造背景,复杂的构造样式,是影响淮南煤田煤层气藏划分和特征的最重要的地质因素。

如上所述,淮南煤田由阜凤推覆体、上窑-明龙山推覆体和夹持于两个推覆体之间的淮南复向斜 3 个体系组成,这 3 个体系构成 3 个独立的煤层气聚集单元。卷入上窑-明龙山推覆体的地层主要有太古宇、

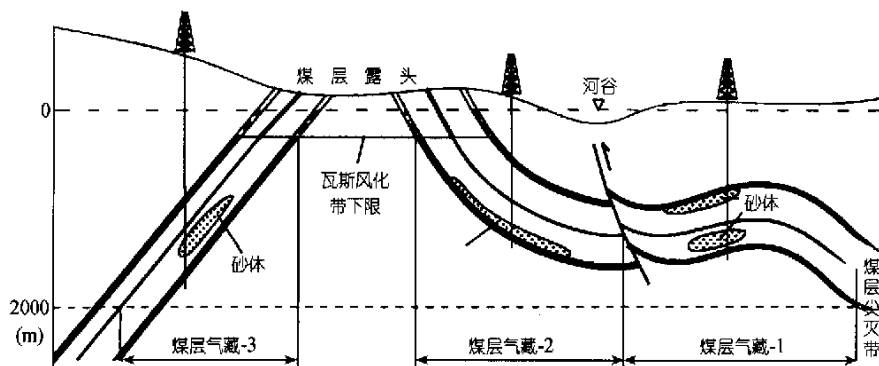


图 1 煤层气藏模式图

图中示意说明煤层气藏的地质、水文背景及各种边界。一个含煤地层中的可采煤层及围岩,属于同一煤层气藏;褐煤—无烟煤 2 号之各种变质程度煤层均可形成煤层气藏。无烟煤 1 号的吸附能力很低,因而不能形成煤层气藏。地下水位以上的煤层被气饱和,地下水位以下的煤层饱含水。瓦斯风化带的煤层含气量低,气成分中甲烷浓度小于 80%;煤层分叉尖灭带,煤层厚度变小以至消失;煤层埋深大于 2000 m 时,在当前技术条件下气体不具备经济开采价值

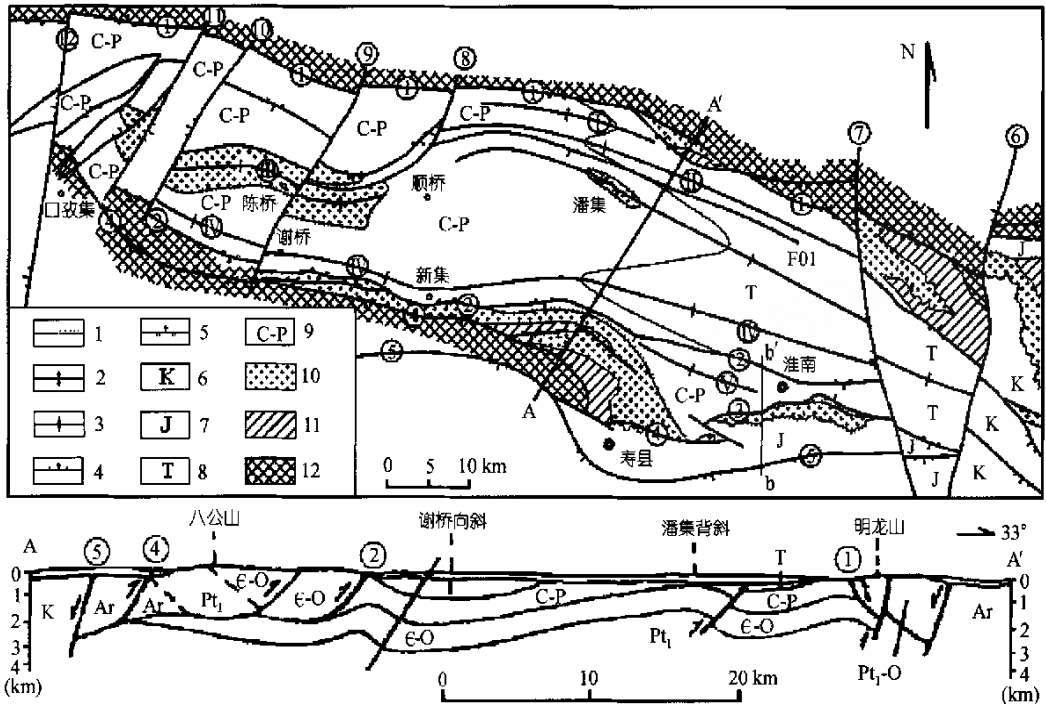


图2 淮南煤田构造地质简图

1.地层界线, 2.背斜, 3.向斜, 4.正断层, 5.逆断层, 6.白垩系, 7.侏罗系, 8.三叠系, 9.石炭-二叠系, 10.寒武-奥陶系, 11.上元古界, 12.太古宇。①上窑-明龙山逆冲断层, ②阜风逆冲断层, ③舜耕山逆冲断层, ④阜李逆冲断层, ⑤寿县-老人仓正断层, ⑥武店断层, ⑦固镇-长丰断层, ⑧顾桥断层, ⑨陈桥断层, ⑩江口集断层, ⑪王胡同断层, ⑫口孜集断层, ⑬朱集-唐集背斜, ⑭尚塘-耿村向斜, ⑮陈桥-潘集背斜, ⑯谢桥-古沟向斜, ⑰陆塘背斜

新元古界及下古生界, 石炭-二叠纪煤系仅在局部位
置残留, 不具备形成煤层气藏的条件。卷入阜风推覆
体的地层除太古宇、新元古界、下古生界外, 石炭-
二叠纪煤系也包括在内; 石炭-二叠纪煤系作为阜风
逆冲断层上盘逆冲岩席的组成部分, 夹在阜风逆冲
断层和舜耕山逆冲断层之间, 分布于凤台至九龙岗
一带, 是淮南矿区生产矿井分布的范围, 主要有李
一、谢一、孔集和八里塘等煤矿。淮南复向斜是淮南
煤田的主体, 主要由石炭-二叠纪煤系及其下伏地层
组成, 被分为谢李深部区、潘谢矿区和新集矿区, 已
建成潘一、潘二、新集、花家湖和张集等现代化大型
煤矿。因此, 阜风推覆体和淮南复向斜是淮南煤田进
行煤层气藏划分的地质单元。

凤台至九龙岗一带浅部的石炭-二叠纪煤系属阜
风推覆体, 地层走向大体呈东西向, 倾向北, 倾角变
化大, 局部直立或倒转。可将阜风推覆体中八公山逆
冲岩席的煤系划分为一个煤层气藏, 命名为蔡家岗
煤层气藏, 其上边界为瓦斯风化带下限, 下边界为煤
系与舜耕山逆冲断层(或阜风逆冲断层)的交面线

(图3)。

淮南复向斜发育一系列次级褶曲, 自南而北依
次为: 陆塘背斜、谢桥-古沟向斜、陈桥-潘集背斜、
尚塘-耿村集向斜和朱集-唐集背斜, 其中陈桥-潘集
背斜和谢桥-古沟向斜的规模最大。尤以陈桥-潘集
背斜隆起幅度最大, 枢纽的波状起伏也最为明显。伴随
次级褶曲发育一系列近东西向断层, 既有正断层, 也
有逆断层。在复向斜西段的扬起部位(顾桥以西), 发
育一系列北北东向正断层, 将其横截成若干个断块,
断层面一般向西倾斜, 构成由东向西的阶梯状构造,
破坏了煤系(煤层)的连续性; 这些褶曲和断层是划分
淮南复向斜煤层气藏的主要依据。于是, 在淮南复向
斜的东段划分为: 新集煤层气藏、潘集煤层气藏、朱
集煤层气藏、马店煤层气藏; 在西段划分为: 刘庄煤
层气藏、展沟煤层气藏。其西端(老庙集一带)位于淮
南复向斜的翘起端, 煤系遭受严重剥蚀, 煤层埋藏
浅, 加之横断层密集, 煤层连续性很差、煤层气资源
价值不大, 因此没有划分煤层气藏。淮南复向斜各煤
层气藏的位置和范围见图4。

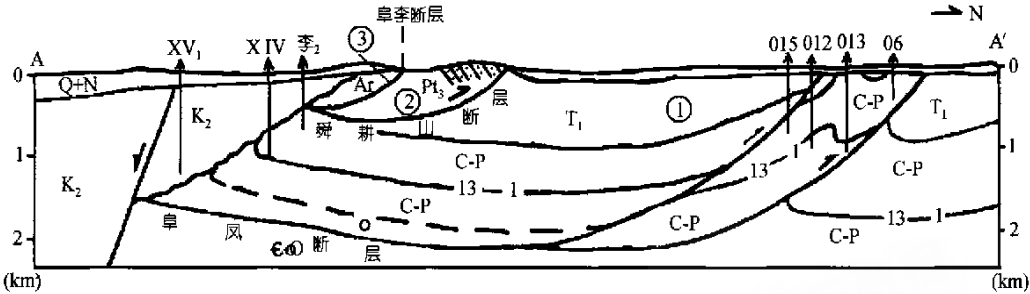


图 3 阜风推覆体与蔡家岗煤层气藏(剖面位置见图 2)
①八公山逆冲岩席; ②舜耕山逆冲岩席; ③寿山逆冲岩席(据安徽煤田地质 147 队资料修改)

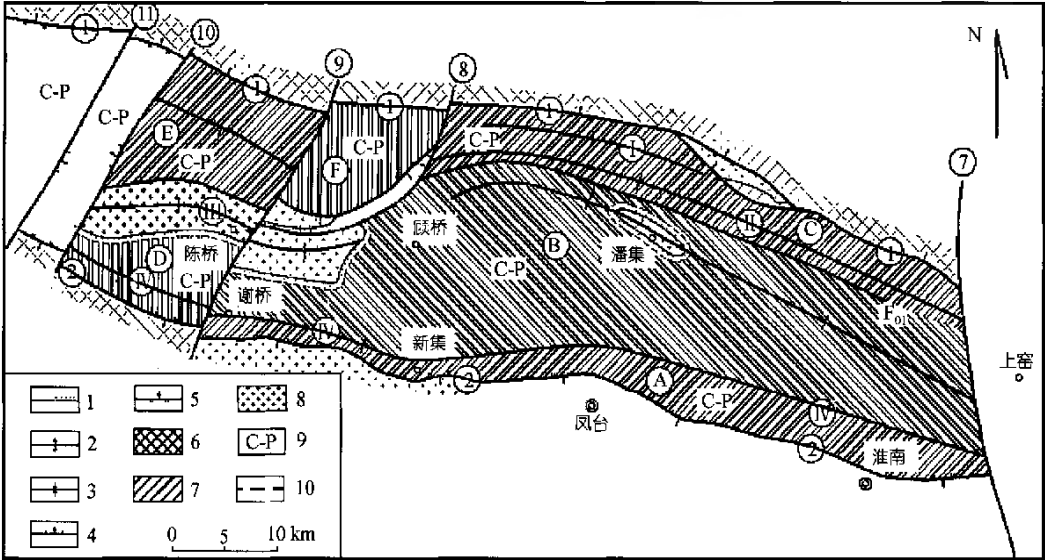


图 4 淮南复向斜煤层气藏的划分 (断层和褶曲的名称同图 2)

1. 地层界线, 2. 背斜, 3. 向斜, 4. 正断层, 5. 逆断层, 6. 太古宇, 7. 上元古界, 8. 寒武-奥陶系, 9. 石炭-二叠系, 10. 瓦斯风化带。④新集煤层气藏(在阜风逆冲断层下盘仍部分存在); ⑤潘集煤层气藏; ⑥朱集煤层气藏; ⑦刘庄煤层气藏; ⑧展沟煤层气藏; ⑨马店煤层气藏

3 淮南煤田煤层气藏的主要地质特征

在煤层气藏划分的基础上, 以气藏为对象, 解剖其地质特征, 是进行气藏形成机制研究、资源潜力评价的基础。煤层气藏的地质特征主要是指构造部位、边界条件、煤层发育情况、产状、煤(储)层构造变形特征、煤变质情况(变质程度和变质作用)、煤层气含量、煤层裂隙(割理)系统的渗透性、储层压力等。

利用各种研究成果及实际生产资料, 进行综合分析归纳, 淮南煤田各煤层气藏的主要地质特征及煤层气资源开发情况如表 1 所示。

在表 1 中, 位于阜风推覆体的蔡家岗煤层气藏, 煤层倾角变化大, 煤层遭受强烈挤压, 煤层气含量高, 渗透性低; 而位于原地系统的新集煤层气藏和潘集

煤层气藏, 煤层倾角平缓, 煤体原生结构保存较好, 煤层渗透性较好。这反映, 在淮南煤田煤层气藏所处的构造位置, 对煤层气藏的特征具有最重要的控制作用。

4 淮南煤田煤层气的成藏机制

淮南煤田各煤层气藏的地质特征、分布位置及其相互关系, 是地质历史中, 沉积、热演化、构造变动、地下水运动等多种地质因素综合作用和影响的结果。

4.1 煤系沉积特征

淮南煤田位于华北石炭-二叠纪聚煤盆地的南缘, 煤系沉积属南华北区。受华北盆地聚煤作用随时间从北向南迁移规律的控制, 淮南煤田主要可采煤层都发育在二叠纪的山西组、下石盒子组及上石盒子组,

表1 淮南煤田各煤层气藏地质特征简表

煤层气藏名称	蔡家岗煤层气藏	新集煤层气藏	潘集煤层气藏	朱集煤层气藏	马店煤层气藏	刘庄煤层气藏	展沟煤层气藏
构造位置	推覆体, 阜风逆冲断层上盘	原地系统, 谢桥古沟向斜南翼	原地系统, 潘集背斜两翼	原地系统, 朱集-唐集背斜东段	原地系统, 朱集-唐集背斜西段	原地系统, 陈桥背斜南翼	原地系统, 陈桥背斜北翼
边 界	上	瓦斯风化带	瓦斯风化带	瓦斯风化带	瓦斯风化带	顾桥断层下盘	瓦斯风化带
	下	阜风逆冲断层面	谢桥-古沟向斜枢纽	南: 谢桥-古沟向斜枢纽, 北: F01 断层	南: F01 断层; 北: 明龙山逆冲断层面	埋深 2000 m	阜风逆冲断层面
边 界	东侧	固镇-长丰断层	固镇-长丰断层	固镇-长丰断层	固镇-长丰断层	顾桥断层	陈桥断层
	西侧	孔集矿转折带	陈桥断层	顾桥断层	顾桥断层	陈桥断层	江口集断层
平均可采煤层总厚度(m)	27	35	29	22	22	23	22
煤层产状	25°~60°, 局部直立倒转	15°~25°	10°~15°	15°~20°	8°~15°	10°~15°	8°~15°
煤层构造	单斜或褶皱, 强烈挤压, 构造煤发育	单斜, 裂隙发育, 构造煤较少	背斜, 小断层多, 裂隙发育	背斜	背斜	单斜	单斜
煤变质	深成变质, 气、肥煤	深成变质, 气、肥煤	深成变质叠加岩浆热变质, 气-焦煤	深成变质, 气煤	深成变质, 气煤	深成变质, 气、肥煤	深成变质, 气、肥煤
煤层气含量 ^{a)} (cm ³ /g)	6.1~14.7/11.9(12)	2.9~10.7/6.4(37)	2.6~14.1/6.9(67)	未勘探	未勘探	4.2~6.1/4.9(3)	未勘探
煤层渗透性 ^{b)} (10 ⁻³ μm ²)	0.03(1)	0.04~0.39/0.18(6)	0.01~1.20/0.42(3)	-	-	-	-
储层压力梯度 (kPa/m)		9.7~11.2/10.3(7)	9.5~12.8/11.0(5)				
煤层气开发	煤矿瓦斯抽放	煤矿瓦斯抽放, 1个地面并组	煤矿瓦斯抽放	未进行	未进行	未进行	未进行

a) 以 13-1 煤层代表, 干燥无灰基(C_{daf}); b) 试井渗透率

是整个华北聚煤盆地山西组、下石盒子组及上石盒子组这 3 个时期富煤区的重要部分^[4]。二叠纪煤系是由碎屑滨岸体系和近海三角洲体系组成的沉积序列, 厚 670 m, 含煤 32~40 层; 可采及局部可采煤层分布在约 370 m 厚度的地层中。其中 13-1, 11-2, 9-2, 8, 1 等主要煤层是在潮坪或上、下三角洲平原过渡带环境下形成的^[6], 煤层间距较小、横向变化不大, 呈席状或毯状, 在上百平方公里或几十平方公里的范围内稳定分布, 这反映了克拉通聚煤盆地在海陆交互沉积环境下所形成的煤层所固有的特征。发育多个厚度大、层位稳定、分布广、在剖面上相对集中分布的煤层, 为各个煤层气藏的形成提供了良好的储层基础。

受潮坪、三角洲成煤环境的控制, 煤储层的围岩一般为泥岩-细砂岩的薄互层组合。其中在上石盒子组中部发育的花斑泥岩层, 具有厚度大、连续性好、延展范围广的特点, 对其下的 13-1 等煤层中的气体具有较好的封闭能力。另外, 煤系中的一些砂岩体常常作为煤层的顶、底板出现, 在平面上呈席状、指状-树枝状, 是主要由分流河道沙组成的三角洲砂岩复

合体; 这些砂岩体有时是伴生“砂岩气”的储层(或含水层), 在煤层气勘探中(新集 XS-02 井)有气显示。

4.2 煤系埋藏及煤层气生成、保存史

淮南二叠纪煤层形成的地质年代大致为 295~253 Ma, 其上被石千峰组和下三叠统覆盖, 均为整合接触关系。由于煤系之上缺失中-晚三叠世、侏罗纪、白垩纪和古近纪地层, 因此无法直接恢复这期间(241~23 Ma 前)的沉积-埋藏史。根据区域地质资料分析, 淮南煤田及其邻区的侏罗和白垩纪地层, 为零散分布、厚度不稳定的冲、洪积相沉积及火山岩, 各地层之间均为角度不整合接触关系, 说明当时的构造运动以断块差异升降为主^[7], 不具备产生厚层大面积广泛分布沉积物的构造-沉积环境。另外, 杨起等人^[8]在研究华北石炭-二叠纪煤变质作用过程中指出, 中生代早期是华北石炭-二叠纪煤经受深成变质作用的阶段, 除山西济源-侯马等个别情况外, 深成变质只能使华北石炭-二叠纪煤变质到长焰煤、气煤或肥气煤阶段^[8]; 在淮南煤田, 除潘集及其周围地区因受岩浆作用煤变质达到焦煤阶段外, 其余地区经受深成

变质作用, 煤变质程度为气煤阶段; 因此, 可以认为, 淮南二叠纪煤层在侏罗纪(205 Ma)前已达到最大埋藏深度. 根据利用磷灰石裂变径迹分析数据并结合沉积-埋藏演化的综合分析, 自煤系埋藏后大致在 240~220 Ma 前、160~120 Ma 前和 80~60 Ma 前先后发生过 3 次构造-热事件, 每次都伴随有地壳的抬升和剥蚀¹⁾. 其中, 第 1 次构造-热事件相当于印支运动早期, 根据区域地质条件和煤变质特征推断, 这期间煤层达到最大埋藏深度; 第 2 次构造-热事件相当于燕山运动中期, 与潘集地区的岩浆侵入有关, 对煤变质影响明显; 第 3 次相当于燕山运动晚期, 虽然也十分强烈, 但对煤变质影响不明显. 淮南煤田的主要抬升发生在 120~23 Ma 前(图 5). 不同的埋藏、构造热演化阶段, 对煤层气的生成和保存具有不同的控制作用.

在 250 Ma 前, 即二叠纪煤层形成不久、埋藏较浅, 古地温低于热成因生气门限, 在生物-化学作用下, 生成生物气; 一般说来, 这种生物气在后来的地

质历程中已全部逸散. 大约在 240~220 Ma 前, 煤系被深埋藏(最大埋深 3200 m 左右), 煤发生深成变质作用; 此后, 盆地虽缓慢抬升, 但直到 120 Ma 前, 二叠纪主要煤层的埋深均保持在 2500~3000 m 之间, 古地温在 80~130℃之间, 使煤化作用得以持续进行, 煤变质程度达到气、肥煤阶段, 同时有大量热成因气体生成. 160~120 Ma 前的热事件在潘集及其周围地区由于岩浆侵入带来的热力, 使这些地区的煤层叠加了岩浆热变质作用, 煤级提高到焦煤(局部已形成天然焦); 这不仅提高该地区煤有机质的热解生气量, 而且对提高煤层的吸附能力和割理发育程度也是十分有利的; 至此, 整个淮南煤田煤变质的格局(实测镜质组 $R_{\max}$ 变化于 0.72%~1.48%)基本确定; 煤的热成因生气作用也在这期间终止.

发生在 120~23 Ma 前的强烈隆升作用和长时期的剥蚀作用, 煤系上覆地层及煤系本身顶卸压, 致使主要煤层的埋深小于 1000 m, 有的地方煤层已出

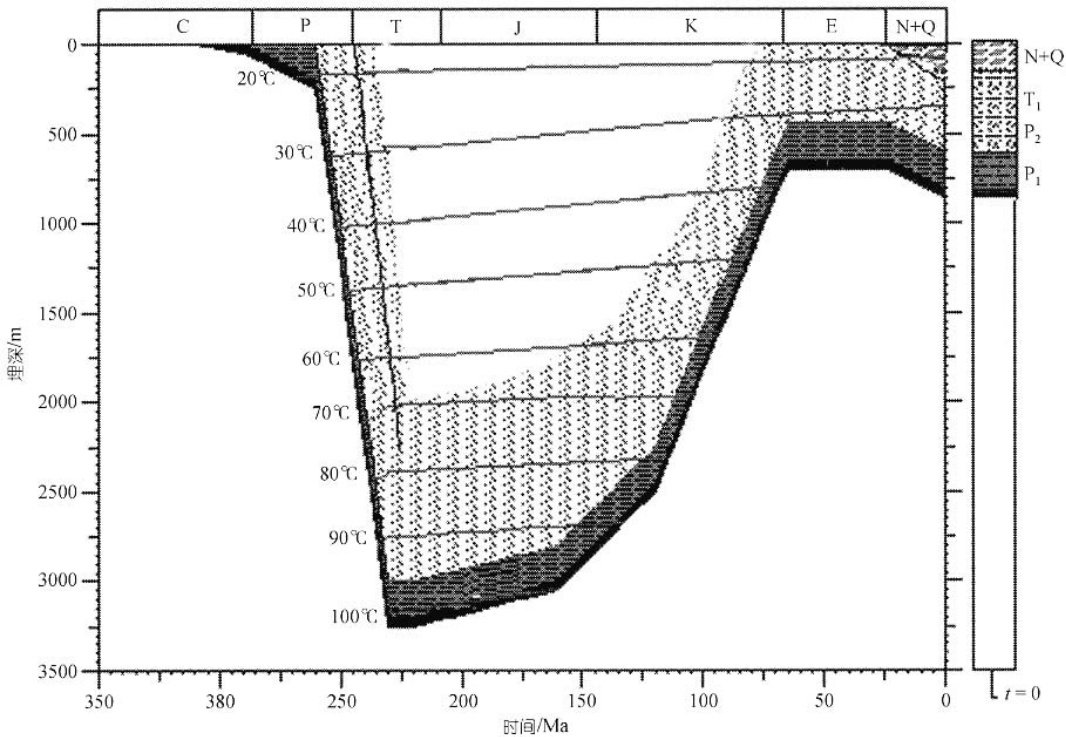


图 5 淮南煤田新集地区 XS-02 井晚古生代以来构造-沉积演化图
(据中国科学院长沙大地构造研究所, 2000 修改)

1) 中国科学院长沙大地构造研究所. 构造-热演化、综合模拟与煤层气开发的有利区块预测. “九五”国家科技攻关项目“新集浅层煤层气示范开发成套工艺技术及专用装备研究”(97-224)子专题报告, 2000

露古地表. 煤系埋藏变浅, 地层压力降低, 煤层中的气体通过解吸、扩散、渗滤等方式大量逸散, 同时与大气、地下水进行物质交换; 对煤层气成藏是十分不利的. 受煤层气垂向分带规律控制, 在煤层露头以下的一定深度内形成瓦斯风化带.

经历强烈抬升和长期剥蚀后, 自 23 Ma 前以来, 淮南煤田再次沉降, 接受了 50~700 m 厚的新近系和第四系沉积, 使二叠纪煤层再次被埋藏. 由于埋藏浅, 主要煤层所处位置的地温都低于 45℃, 不可能叠加二次热生气作用. 但是, 由于大气降水沿露头下渗, 将淡水和甲烷菌带入煤层及围岩, 使煤层气中的重烃及煤中的正构烷烃等有机组分发生生物降解作用, 生成次生生物气^[9,10]; 这已为新集地区煤层气组分和多种同位素资料、煤岩有机地球化学分析成果所证实^[1]. 次生生物气的存在, 对提高淮南煤田煤层气藏的气含量具有一定作用, 形成热成因气与次生生物气共存的现象.

4.3 构造变形

淮南煤田二叠纪煤系形成后, 经历了印支、燕山和喜马拉雅构造运动的多次改造, 其中燕山运动的改造最为强烈. 该煤田地处华北板块南部边缘, 东以郯庐断裂带为界, 南接秦岭-大别山巨型造山带, 大地构造位置十分特殊. 在这样的背景下, 形成了淮南煤田现今的构造变形格局.

煤田南、北两侧为两个近东西向展布的逆冲推覆体, 构成煤层气分布和保存的区域性屏障和边界, 是形成蔡家岗煤层气藏的构造条件. 夹持在两个推覆体之间近东西向延展的淮南复向斜, 是一个独立的煤层气赋存单元. 它发育一系列近于平行排列的次级背斜、向斜; 复向斜内部发育两组主要断裂, 一组为北西西向的走向逆断层及少量正断层; 另一组为与郯庐断裂带大致平行的北北东向横切正断层, 它切割北西西向的褶曲和断裂构造, 对煤层气的封闭性差. 这些次级褶曲和主要断裂, 使煤储层具有不同的构造形态和变形特征, 破坏了煤储层的连续性, 它们有的是淮南煤田的边界, 有的则构成煤层气藏的天然边界.

值得指出的是, 在淮南复向斜的整体挤压体制之下, 存在着许多由东西向正断层、反向断层、滚动

背斜等组成的伸展构造. 这些推覆构造体系中的伸展构造, 是“秦岭-大别山造山带形成时, 其前陆位置的岩石圈大规模弯曲变形导致陆壳上拱边出现伸展作用的必然结果”^[11]. 由于伸展作用, 煤系中张性裂隙比较发育, 这有利于提高煤储层的渗透性. 作者认为, 在新集煤层气藏和潘集煤层气藏都测得相对较高、总体不算很低的煤层渗透率值(参见表 1 中有关渗透率测值), 新集煤层气井组的 XS-03 试验井最高气产量达 3278 m³/d, 3 年之后仍保持在 1000 m³/d 左右; 这些现象与这种张性构造环境下, 煤储层渗透性得以改善具有明显的因果关系.

4.4 水动力条件

根据水文地质条件分析, 淮南煤田有 4 个主要含水层, 即第四系孔隙水含水层、二叠系砂岩裂隙水含水层、太原组岩溶-裂隙水含水层和奥陶系岩溶水含水层, 它们上下叠置, 彼此发生水力联系. 煤系通过第四系孔隙水直接下渗、山前岩溶水的侧向补给、底板奥陶系岩溶水的垂向越流补给、断层使煤系在侧向上与奥陶系灰岩接触等不同水力联系方式获得地下水补给. 总体看, 煤系裂隙水渗透系数小, 地下水动储量不大.

煤田南、北侧的低山丘陵地区, 部分基岩出露, 地下水直接受大气降水补给, 并很快转变为横向径流, 向盆地中心方向流动, 径流条件好. 煤田中部平原地区, 即淮南复向斜展布区域, 为汇水区, 浅层水的水力坡度仅为万分之一; 深部地下水处于滞流状态. 这种水动力条件有利于维持煤层较高的地层压力, 在未受煤矿采煤影响的情况下, 新集、潘集地区煤储层的平均地层压力梯度达 10.7 kPa/m, 略高于静水压力梯度.

4.5 淮南煤田煤层气成藏地质模式

综合上述分析, 归纳出如下淮南煤田煤层气成藏的地质模式:

华北克拉通聚煤盆地南部, 在二叠纪持续出现近海平原沉积聚煤环境, 淮南煤田位于山西组、下石盒子组、上石盒子组 3 个时期富煤区的中心部位. 潮坪或上、下三角洲平原过渡带环境下形成的 13-1 等 5 个主要可采煤层, 在整个煤田范围稳定分布, 成为各煤层气藏的主力煤层; 煤层的围岩为泥岩-细砂岩的

1) 中国科学院兰州地质研究所. 煤层气地球化学研究, “九五”国家科技攻关项目“新集浅层煤层气示范开发成套工艺技术及专用装备研究”子专题报告, 2000. 97~224

薄互层组合,一些砂岩体在平面上呈席状,有时是伴生“砂岩气”的储层(或含水层);煤系中、上部发育的花斑泥岩层,厚度大、连续性好、延展范围广,在大范围内对煤层气具有较好的封闭能力.这些沉积背景使整个淮南煤田煤层气具有相同的生、储、盖基本条件.

二叠纪煤层形成后被连续沉积的上覆地层掩埋,最大埋深 3200 m 左右,直到 120 Ma 前,主要煤层的埋深均保持在 2500~3000 m 之间,煤的深成变质作用持续进行,煤变质程度达到气、肥煤阶段,并有大量热成因气体生成,这些热成因气是淮南煤田煤层气成藏的主要气源.160~120 Ma 前的热事件,使潘集及其周围地区的煤层叠加了岩浆热变质作用,煤级提高到焦煤(局部已形成天然焦),煤层的吸附能力和割理发育程度比其他区域优越.

120~23 Ma 前期间,淮南煤田发生强烈的隆升作用和长时期的剥蚀作用,致使主要煤层的埋深小于 1000 m,有的煤层已出露地表;煤层气赋存的原始平衡条件遭到破坏,气体大量逸散;由于与大气、地下水进行物质交换,在煤层露头以下的一定深度内形成瓦斯风化带.这些变化对煤层气成藏是十分不利的.自 23 Ma 前以来,随着淮南煤田再次沉降,二叠纪煤层被再次埋藏;由于埋藏浅,煤层没有发生两次热生气作用.但是,由于大气降水下渗,使淡水和甲烷菌进入煤层及其围岩,生成次生生物气,使淮南煤田的煤层气藏成为热成因气与次生生物气共存的复合型煤层气藏.

燕山运动产生的由南向北的强烈挤压、推覆作用,使淮南煤田受到深刻的改造,二叠纪煤系的整体性遭到破坏,煤系(煤层)的空间位置及相对关系发生移动、形态改变,这些都深刻地影响着煤层气的赋存及运移.挤压、推覆作用形成的阜风推覆体和淮南复向斜是两个独立的煤层气赋存单元;淮南复向斜内发育的次级背斜、向斜和主要断裂等构造,使煤储层具有不同的构造形态和变形特征、连续性遭到破坏,构成各个煤层气藏的天然边界.在淮南复向斜内的挤压构造环境中,由于存在由早期拉张作用形成的伸展构造,使煤系中张性裂隙比较发育,因而提高了煤储层的渗透性.燕山期的构造变形决定了淮南煤田各个煤层气藏的形态、分布及主要特征.

煤田南、北侧的低山丘陵地区,地下水交替积极,径流条件好,水动力对煤层气的封堵能力很差,煤田中部平原地区,即淮南复向斜展布区域,为汇水区,

浅部地下水力坡度平缓,深部处于滞流状态,使煤层维持较高的静水压力,对煤层气产生有效的水力封堵作用.

5 研究意义

在煤层含气带或煤田范围内进行煤层气藏划分,研究其特征及形成机理,建立具体的成藏模式,可以加深对煤层气成藏富集规律的认识,有利于进行煤层气资源开发选区评价和勘探开发规划.

用上述淮南煤田煤层气成藏地质模式,结合表 1 分析可知,在淮南煤田,潘集煤层气藏的成藏条件最佳,其次是新集煤层气藏和刘庄煤层气藏.潘集煤层气藏位于淮南复向斜的中心,占据了潘集背斜两翼的主体,构造位置优越、地层平缓,张性裂隙较发育,煤层厚度较大;在整个淮南煤田煤变质程度最高,达焦煤;煤层气勘探成果表明,气含量和渗透性在全煤田最高;气藏面积最大,煤层气资源量最多.因此,潘集煤层气藏是淮南煤田煤层气资源开发的最佳对象.

致谢 本文的完成得到安徽理工大学唐修义教授的指点,特致衷心的感谢.本工作为国家重点基础研究发展规划项目(编号:2002CB211700)资助.

参 考 文 献

- 1 李明朝,梁生正,赵克镜.煤层气及其勘探开发.北京:地质出版社,1996.14~18
- 2 钱凯,赵庆波,汪泽成.煤层甲烷气勘探开发理论与试验测试技术.北京:石油工业出版社,1996.30~46
- 3 赵庆波,李五忠,王一兵,等.煤层气勘探现状及重点目标选择.见:赵政璋主编.油公司油气勘探之路.北京:石油工业出版社,1998.203~214
- 4 张新民,庄军,张遂安.中国煤层气地质与资源评价.北京:科学出版社,2002.51~64
- 5 谭明友,陶明信,贾红义,等.合肥盆地地质构造格架演化及油气条件分析.煤田地质与勘探,2003,31(4):1~5
- 6 尚冠雄.华北地台晚古生代煤地质学研究.太原:山西科学技术出版社,1997.105~185
- 7 程裕淇.中国区域地质概论.北京:地质出版社,1994.90~152
- 8 杨起,潘治贵,翁成敏,等.华北石炭二叠纪煤变质特征与地质因素探讨.北京:地质出版社,1988.53~59
- 9 Scott A R, Kaiser W R, Ayers W B, et al. Thermogenic and secondary biogenic gases, San Juan Basin. AAPG Bulletin, 1994, 78(8): 1186~1209
- 10 张枝焕,王霄,陶明信,等.煤层气地球化学特征及其在成藏研究中的意义.见:宋岩,张新民等著.煤层气成藏机制及经济开采理论基础.北京:科学出版社,2005.27~35
- 11 张泓,郑玉柱,郑高升,等.安徽淮南煤田阜风推覆体之下的伸展构造及其形成机制.煤田地质与勘探,2003,31(3):1~4

(2005-03-15 收稿,2005-06-30 收修改稿)

淮南煤田煤层气藏划分及形成机制

作者: [张新民](#), [李建树](#), [韩保山](#), [董敏涛](#)
作者单位: [煤炭科学研究总院西安分院, 西安, 710054](#)
刊名: [科学通报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [CHINESE SCIENCE BULLETIN](#)
年, 卷(期): 2005, 50(z1)
引用次数: 5次

参考文献(13条)

1. 李明朝, 梁生正, 赵克镜 [煤层气及其勘探开发](#) 1996
2. 钱凯, 赵庆波, 汪泽成 [煤层甲烷气勘探开发理论与试验测试技术](#) 1996
3. 赵庆波, 李五忠, 王一兵 [煤层气勘探现状及重点目标选择](#) 1998
4. 张新民, 庄军, 张遂安 [中国煤层气地质与资源评价](#) 2002
5. 谭明友, 陶明信, 贾红义, 史宝光 [合肥盆地地质格架演化及油气条件分析](#)[期刊论文]-[煤田地质与勘探](#) 2003(4)
6. 尚冠雄 [华北地台晚古生代煤地质学研究](#) 1997
7. 程裕淇 [中国区域地质概论](#) 1994
8. 杨起, 潘治贵, 翁成敏 [华北石炭二叠纪煤变质特征与地质因素探讨](#) 1988
9. Scott A R, Kaiser W R, Ayers W B [Thermogenic and secondary biogenic gases, San Juan Basin](#) 1994(8)
10. 张枝焕, 王青, 陶明信 [煤层气地球化学特征及其在成藏研究中的意义](#) 2005
11. 张泓, 郑玉柱, 郑高升, 王绳祖 [安徽淮南煤田阜风推覆体之下的伸展构造及其形成机制](#)[期刊论文]-[煤田地质与勘探](#) 2003(3)
12. [中国科学院长沙大地构造研究所](#) [构造-热演化、综合模拟与煤层气开发的有利区块预测](#) 2000
13. [中国科学院兰州地质研究所](#) [煤层气地球化学研究](#) 2000

相似文献(10条)

1. 学位论文 程东 [煤层气藏可采选区评价系统研究——以沁水煤田南部为例](#) 2001

该研究应用地球科学(GS)与现代信息技术(IT)相结合的产物——地理信息系统(GIS)在对影响该区煤层气生成、富集、开采的因素进行研究(综合评价)的基础上,对煤层气可采性等级进行划分(选区),优选出以樊庄北侧和樊庄、潘庄交界处两块煤层气勘探开发最具前景的地区.通过该文研究,取得以下成果:1.形成了煤层气选区评价较为完整的研究思路;针对沁水煤田南部的地质背景,形成了一套基于GIS的从数据采集——空间数据库建立——评价指标选择——评价模型分析——煤层气可采性等级区划较为完整的煤层气选区评价的研究思路,技术方法和工作流程,应该说这套工作流程和技术方法对于别的地区,特别是华北地区,也有参考借鉴的价值.2.构建了煤层气选区评价的指标体系;该研究采用目标分析方法,构建了具有三层结构的煤层气可采性等级区划(选区)的指标体系.根据评价目标;划分出生气、储集以及开采三个类指标层,并将每一类指标细分到可直接进行量化的基础指标.3.提出了煤层气含量和可采性是煤层气选区的重要指标;通过对煤层气可采性影响因素进行的详细分析,强调指出了煤层气选区评价中煤层气可采性的重要性,得出了含气量结合煤层气可采性进行了煤层气选区的新思路.提出了构造部位作为间接衡量煤储层渗透性能的指标,并通过对该区地质构造研究的成果,根据构造带影响宽度将其量化,在该区煤层气可采性等级区划中取得了实际的效果.4.首次采用了煤层气开采度作为煤层气选区评价的衡量指标;在进行单因素映射分析的研究中,应用多元信息复合技术,首次引入煤层气开采度作为煤层气选区评价(可采性等级区划)的衡量指标,获得了一批表示煤层气可采性的新数据,通过对这些数据进行域的圈定,划分出煤层气可采性有利区、较有利区、不利区三个等级,这些结果较以前的选区结果更合理、更具科学性.5.证实了煤储层孔隙结构的分形特征与煤层气可采性的关系:在对所收集到的煤储层压汞曲线分析中,证实了煤储层孔隙结构的分形特征,折算出反映煤储层孔隙结构复杂性的累积孔容和累积表面积的分形维数,并通过研究区数十个样品的累积孔容与累积表面积分形维数,与受控于煤储层孔隙发育程度的主要参数——渗透率的相关性分析,指出了煤体渗透率主要受裂隙孔隙的发育及其张开程度影响,与基质孔隙关系不大的结论,裂隙孔隙虽仅占煤体总体积很小的部分,但它对渗透率“贡献”值却很大,从而对煤层气渗透机理有了进一步的深入了解.6.提出了煤层气可采性等级区划的层次分析—模糊综合评判方法:将层次分析法引入煤层气选区评价中,把影响煤层气可采性的各因素定量化,易于在实际工作中应用.把层次分析法和模糊数学理论有机地结合起来进行煤层气等级区划,提高了评价结果的可靠性和准确性,为解决煤层气选区评价这类复杂问题提供了一种新的方法和途径.7.建立权重叠加模型和模糊综合评判模型对沁水南部煤层气可采性等级进行划分.采用权重叠加模型和模糊综合评判模型,划分沁水南部煤层气可采性等级.应用结果显示:煤层气可采性有利区位于樊庄区北侧的丁寨村周围,和潘庄、樊庄区交界处,从而优选出煤层气勘探开发最具前景的地区.

2. 期刊论文 赵靖舟, 时保宏 [沁水盆地煤层气富集单元划分](#) -[科学通报](#) 2005, 50(z1)

根据煤层气的特殊性和复杂性,结合中国煤层气的分布情况,将中国煤层气富集单元划分为含气区、含煤层气盆地、富气区、富气带和煤层气藏(田)五级.在这一序列划分方案中首次提出盆地是煤层气富集单元中的重要一级,认为没有煤层就没有煤层气,没有盆地就没有煤层气藏.因此,“盆地”是煤层气藏赋存的重要单元.依据沁水盆地的地质条件和煤层气分布状况将其划分为沁南富气区、东翼斜坡带富气区、西翼斜坡带富气区、西山富气区、高平-晋城富气区等5个富气区.其中沁南富气区是勘探前景较好的富气区.

3. 期刊论文 员争荣 [试论构造控制煤层气藏储集环境](#) -[中国煤田地质](#) 2000, 12(3)

基于构造控煤的概念,对控气构造基本类型进行划分,分析了封闭型和开放型两种主要构造背景的不同控气性.此外,还对煤储层渗透性、储层压力大小的构造控制特点进行了初步剖析.

4. 学位论文 [林晓英](#) [煤层气藏成藏机理](#) 2005

煤层气的勘探开发已有近40年历史,煤层气地质学已基本形成了自身的理论体系与方法体系,但是关于煤层气藏及其成藏机理方面的研究甚少。根据目前国内外煤层气藏的研究历史与现状,分析总结了存在问题及启示。根据煤层气藏的自身特征,首先给出了煤层气藏的定义;并根据其定义,将煤层气藏的边界区分为6类:经济边界、水动力边界、风氧化带边界、物性边界、断层边界及岩性边界,对各类边界的封闭机理进行了探讨;结合边界类型的划分及煤层气藏自身的构造特征,以压力为主线,将煤层气藏分为水动力封闭型和自封闭型两类,前者可进一步区分为水动力封堵型和和水动力驱动型煤层气藏两个亚类。以沁水盆地南部、二道岭-汝箕沟地区、Piceance盆地、阜新盆地的王营-刘家地区、尤塔州中部的Price-Ferron-Emery地区、粉河盆地为例从静态和动态两方面对煤层气藏的成藏机理进行了探讨。其中静态特征包括煤层空间展布、煤层气成分和含气量、储层物性、吸附特征、储层压力、封闭条件;动态特征主要包括盆地演化及煤层气藏的发育史、埋藏史、热史、成熟度史、煤层气成因、含气量变化史、地下水动力条件及对煤层气藏的影响。在上述研究成果的基础上,在最后一部分,从煤层气成因、储层特性、吸附特征、含气量、地下水动力学特征五个成藏条件和成藏过程等方面对高、中、低煤阶已熟和低煤阶未熟煤层气藏成藏的差异性进行了详细的探讨,并指出了各类煤层气藏成藏的主控因素。对煤层气藏成藏机理的研究,不但丰富了煤层气地质学的基本理论,而且对煤层气的勘探开发具有重要的指导意义。

5. 期刊论文 [刘洪林](#),[赵国良](#),[门相勇](#),[王红岩](#),[LIU Hong-lin](#),[ZHAO Guo-liang](#),[MEN Xiang-yong](#),[WANG Hong-yan](#) [煤层气的富集成藏类型初探-辽宁工程技术大学学报](#)2005, 24 (2)

通过对煤层气赋集成藏因素和机理的分析,结合煤层气勘探中有煤层却没有煤层气赋集,有煤层气赋集未必是勘探的有利选区等地质认识,探讨了煤层气藏的概念,并根据煤层气藏的成因和构造形态对煤层气藏类型进行了详细划分,共划分了8种煤层气藏类型,包括了目前所有已经发现煤层气藏类型。并认为只有在含气饱和度较高的煤层气藏,且具有较高的渗透率,才能成为煤层气勘探的有利区块。

6. 期刊论文 [崔思华](#),[刘洪林](#),[王勃](#),[杨泳](#),[宁宁](#),[桑树勋](#),[CUI Si-hua](#),[LIU Hong-lin](#),[WANG Bo](#),[YANG Yong](#),[NING Ning](#),[SANG Shu-xun](#) [准噶尔盆地低煤级煤层气成藏地质特征-现代地质](#)2007, 21 (4)

从煤层气控制因素入手,对准噶尔盆地的煤层气成藏特征和煤层气藏的分布进行了分析,认为准噶尔盆地是西北地区主要的聚煤盆地,煤层厚度大、煤层层数多、煤级低,具有典型低煤级煤层气盆地的特征。准噶尔盆地煤层气资源量很大,南缘无论是井下还是地表,煤层气显示都很活跃。准噶尔盆地低煤级煤层气成藏模式是盆缘陡坡和缓坡模式。通过构造、水文地质特征分析对准噶尔盆地划分出乌鲁木齐河-白杨河煤层气藏、昌吉南煤层气藏、四棵树煤层气藏、小拐煤层气藏、克拉玛依煤层气藏、乌尔禾煤层气藏、彩南-大井煤层气藏,这些区域是开展煤层气勘探的有利区块。

7. 期刊论文 [宋岩](#),[柳少波](#),[赵孟军](#),[苏现波](#),[李贵中](#),[洪峰](#),[秦胜飞](#),[SONG Yan](#),[LIU Shao-bo](#),[ZHAO Meng-jun](#),[SU Xian-bo](#),[LI Gui-zhong](#),[HONG Feng](#),[QIN Sheng-fei](#) [煤层气藏边界类型、成藏主控因素及富集区预测-天然气工业](#)

2009, 29 (10)

如何定义煤层气藏、如何界定气藏边界是认识煤层气藏的关键,要评价煤层气富集区首先要找出控制其成藏的主要因素。为此,结合我国含煤盆地的典型煤层气藏特征,围绕煤层气藏边界类型、成藏主控因素进行了探讨,并预测了沁水、鄂尔多斯、准噶尔盆地的煤层气富集区。结论认为:①煤层气藏的边界是煤层气藏划分的前提,煤层气藏主要有5种地质边界类型:水动力边界、风氧化带边界、物性边界、断层边界和岩性边界;②煤层气藏的形成经历了煤层气的生成和吸附、煤层的吸附能力增加和煤层气的解吸-扩散和保存阶段;③保存阶段是成藏的关键,区域构造演化、水动力条件和封闭条件是主要的成藏控制因素。进而在沁水盆地、鄂尔多斯盆地和准噶尔盆地优选出9个煤层气有利富集区:晋城、阳城、安泽、阳泉、大宁-吉县、韩城、吴堡、淮南、阜康。

8. 期刊论文 [赵靖舟](#),[时保宏](#) [中国煤层气富集单元序列划分初探-天然气工业](#)2005, 25 (1)

煤层气富集单元划分是探索煤层气成藏规律、进行煤层气资源和选区评价、制定科学的煤层气勘探程序、提高煤层气勘探成功率的基础。中国煤层气的形成条件与分布环境十分复杂,因此富集单元研究对中国煤层气的勘探评价尤为重要。据煤层气的特殊性和复杂性,结合我国煤层气的分布情况,建立了我国煤层气富集单元划分系列,将煤层气富集单元划分为含气区、含气盆地、富气区、富气带和煤层气藏(田)五级。

9. 期刊论文 [赵靖舟](#),[时保宏](#) [中国煤层气聚集单元研究现状-新疆石油地质](#)2004, 25 (5)

煤层气聚集单元划分与成藏规律研究是进行煤层气资源和选区评价、制定科学的煤层气勘探程序、提高煤层气勘探成功率的重要基础。中国煤层气的形成条件与分布环境十分复杂,聚集单元研究对中国煤层气的勘探评价尤为重要,但目前对含气区或煤层内部部的聚气单元划分研究还很薄弱,因此,对中国煤层气赋存环境及形成规律、中国煤层气聚集单元的形成、划分、评价方法以及中国煤层气藏的类型、成藏模式等进行深入的研究,不仅对中国煤层气的勘探具有重要的实际指导意义,而且对发展和完善煤层气地质理论也具有科学的意义。

10. 会议论文 [陈振宏](#),[王一兵](#),[张亚蒲](#),[王宪花](#),[杨焦生](#) [煤层气藏储层研究的新方法](#) 2008

煤层气藏储层研究是煤层气藏评价的重要步骤。核磁共振(NMR)测试低渗透流体孔隙方面具有独特的优势。作为全新的尝试,引入核磁共振技术,研究煤层气藏储层,可以为研究煤储层孔隙结构特征提供一种新的思路,大大丰富煤层气藏储层研究的手段。本文利用核磁共振岩样分析技术,对采自大宁、樊庄及郑庄区块的煤样进行试验研究。试验结果表明,不仅核磁共振测试孔隙度及渗透率可信,与常规方法测试的孔隙度及渗透率吻合,并且可流动百分数与T2几何均值反映了煤层气储层物性的特点。同时,煤层气储层T2弛豫时间谱表现出明显的双峰结构特征,特别是右峰代表的可动流体的含量,其面积与煤层气产量有良好的正相关性。因此,核磁共振技术是研究煤层气储层的一种有效方法,能够满足工程上快速划分和评价有效储层的精度要求,可以推广应用。

引证文献(5条)

1. [宋立军](#),[赵靖舟](#) [中国煤层气盆地改造作用及其类型分析](#)[期刊论文]-[地质学报](#) 2009(6)

2. [宋立军](#) [中国大陆区煤层气盆地分类方案](#)[期刊论文]-[煤](#) 2009(3)

3. [张小军](#),[陶明信](#),[王万春](#),[马锦龙](#),[石亚军](#) [淮南潘集、张集煤矿次生生物气地球化学特征](#)[期刊论文]-[天然气工业](#) 2008(07)

4. [彭金宁](#),[傅雪海](#) [潘谢东区块煤层气富集地质控制规律研究](#)[期刊论文]-[天然气地球科学](#) 2007(04)

5. [张小军](#),[陶明信](#),[解光新](#),[王彦龙](#),[史宝光](#) [淮南煤田次生生物成因气的比例及资源意义](#)[期刊论文]-[沉积学报](#) 2007(02)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_kxtb2005z1002.aspx

下载时间: 2010年5月7日