

# 吐哈盆地低煤阶煤层气地质特征 与成藏控制因素研究

刘洪林<sup>1,2)</sup>, 王红岩<sup>2)</sup>, 赵群<sup>2)</sup>, 林英姬<sup>2)</sup>, 桑树勋<sup>3)</sup>, 雍洪<sup>4)</sup>

1) 中国地质大学能源学院, 北京, 100083;

2) 中国石油勘探开发科学研究院廊坊分院, 河北廊坊, 065007;

3) 中国矿业大学, 江苏徐州, 221008;

4) 中国石油天然气集团公司国际事业部, 北京, 100007

**内容提要:**我国低煤阶煤层气资源丰富, 气煤以下的低煤阶煤层气资源量  $15.13 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。迄今为止尚无成功开发先例, 地质成藏基础研究亟待加强。论文通过对吐哈盆地煤层气成藏条件、成藏特征分析, 探讨了地质构造、聚煤作用、煤系特征、生物气形成与保存等低煤阶煤层气成藏控制因素, 初步确定了吐哈盆地煤层气成藏类型及其分布特征, 把吐哈盆地煤层气成藏模式划分为盆内凹陷成藏模式、盆缘陡坡成藏模式和盆缘缓坡成藏模式3种类型, 根据成藏过程的匹配特征把煤层气藏类型划分为储-逸型低压逸散式、储-运-逸型运移储集式两种类型, 该划分方案有助于指导低煤阶煤层气成因研究与资源勘探开发。

**关键词:**煤层气; 勘探; 二次生物气

全国垂深 2000 m 以浅的煤炭资源量为  $55697 \times 10^8 \text{ t}$ , 低煤阶煤占煤炭资源量的 42.5%。低煤阶煤储层形成于早一中侏罗世、早白垩世、第三纪等成煤期, 其中早一中侏罗世、早白垩世是中国重要的成煤期, 早一中侏罗世成煤作用主要发生在西北地区, 新疆准噶尔、吐哈、塔里木盆地是低煤阶煤储层发育典型的大型内陆盆地, 煤层层数多, 煤层厚度大(武汉地质学院, 1981; 钱凯等, 1995)。中国低煤阶煤储层煤层气资源量丰富。据新一轮油气资源评价结果, 中国煤层气资源量  $36.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , 气煤以下的低煤阶煤层气资源量  $15.13 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。吐哈盆地是低煤阶煤储层发育的大型聚煤盆地, 也是目前被认为低煤阶煤层气富集带开发前景最好的低煤阶盆地之一(中国煤田地质总局, 1998; 刘洪林等, 2001)。

## 1 煤层气形成的基本地质条件

吐哈盆地的含煤地层主要分布于盆地北部, 含煤地层为下一中侏罗统八道湾组和西山窑组, 西山窑组除中部呈东西延展的塔克泉隆起和南湖隆起缺失外, 其他地区均有分布, 而八道湾组分布区小于西

山窑组分布区, 分布于北部区的十三间房以西和哈密一带。吐哈盆地位于新疆北部东天山地区, 所属大地构造位置位于哈萨克斯坦、西伯利亚、塔里木三大古板块的汇合部位, 被不同时代和不同性质的构造活动带所环绕。

吐哈盆地在二叠纪、三叠纪呈南深北浅, 而在侏罗纪则呈北深南浅, 构成两套构造层。整体来看, 上、下构造层都是呈东西三分格局, 即西部吐鲁番坳陷、中部了墩隆起和东部哈密坳陷。对侏罗系构造单元而言, 吐鲁番坳陷又进一步分为台北凹陷、托克逊凹陷、布尔加凸起和艾丁湖斜坡。又可以划分为 18 个三级构造单元(图 1)。坳陷中发育厚薄不等的煤系地层, 含煤层数多, 煤层厚度大, 具有形成煤层气富集带的良好物质基础。

吐哈盆地的形成、发展与区域构造演化密切相关, 是控制聚煤作用的重要原生因素。晚古生代末期, 随着觉罗塔格山、哈尔里克山隆起及博格达裂陷褶皱回返, 形成了吐哈盆地作为独立的陆相盆地雏形。早期盆地呈现为充填式分隔性断陷盆地; 到三叠纪末, 区域上受印支运动南北向挤压作用, 吐哈一

注: 本文为国家重大专项项目(编号 2008ZX05018)资助成果。

收稿日期: 2009-04-22; 改回日期: 2009-07-29; 责任编辑: 周健。

作者简介: 刘洪林, 男, 1973 年生。1995 年毕业于中国矿业大学, 主要从事非常规油气勘探开发方面的研究工作。通讯地址: 065007, 河北廊坊市万庄 44 号信箱新能源所; 电话: 010-69213733; Email: liuhonglin69@petrochina.com.cn。

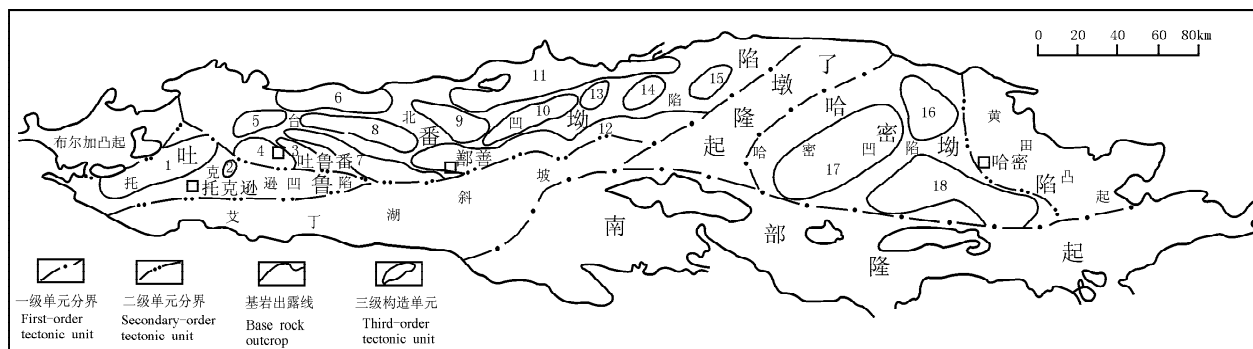


图1 吐哈盆地构造分区图(据袁明生,1998;童崇光,1999 修改)

Fig.1 Tectonic setting map of Tuha basin (modified from Yuan, 1998; Tong, 1999)

1—伊拉湖构造带;2—大墩构造带;3—胜青构造带;4—维木西构造带;5—肯德克构造带;6—煤窑沟构造带;7—火焰山构造带;8—胜北构造带;9—丘陵构造带;10—温吉桑构造带;11—鄯勒构造带;12—七克台构造带;13—小草湖构造带;14—红台构造带;15—十三间房构造带;16—四道沟构造带;17—五堡构造带;18—火石镇构造带

1—Yilahu tectonic belt; 2—Dadun tectonic belt; 3—Shengqing tectonic belt; 4—Weimuxi tectonic belt; 5—Kendeke tectonic belt; 6—Meiyaogou tectonic belt; 7—Huoyanshan tectonic belt; 8—Shengbei tectonic belt; 9—Qiling tectonic belt; 10—Wenjishang tectonic belt; 11—Shanle tectonic belt; 12—Qiketai tectonic belt; 13—Xiaochaohu tectonic belt; 14—Hongtai tectonic belt; 15—Shisanjianfang tectonic belt; 16—Sidaogou tectonic belt; 17—Wupu tectonic belt; 18—Huoshizhen tectonic belt

带逐渐由断陷盆地向坳陷盆地转化,盆地区由整体抬升转为下降,接受沉积,早侏罗世早期,盆地内气候温暖湿润,植被繁茂,河流纵横,湖泊主要分布于坳陷腹地的小区域内,八道湾期的含煤沉积便是在盆地整体下降时所经历的一段填平补齐式沉积,沉积范围局限于北部的东、西坳陷中。到早侏罗世末期,即三工河期,盆地发生大面积湖侵,分布范围扩大,但此阶段吐鲁番与哈密仍为两个相互独立的沉积坳陷,可能沉积区水深度较大,导致盆地内聚煤作用停止。到中侏罗世,盆地仍处于沉降阶段,但下降速度缓慢,经过早侏罗世的填平补齐后,地势已趋于平坦,吐鲁番和哈密两坳陷连为一体,除塔克泉-南湖隆起外,形成南北两大凹陷区,河流发育,三角洲相间分布,并充填凹陷湖泊区,在三角洲的间湾、湖泊边缘等沼泽发育,为盆地再次聚煤提供了良好的条件。西山窑晚期,湖盆坳陷中央沉降加速,周缘山系不断抬升,为盆地沉积提供了丰富的物源,使此前形成的煤层得以保存。

## 2 低煤阶煤层气成因及其类型

煤层气有两种基本成因类型:生物成因和热成因。生物成因煤层气是由各类微生物的一系列复杂作用过程导致有机质发生降解而形成的;而热成因煤层气是指随着煤化作用的进行,伴随温度升高、煤分子结构与成分的变化而形成的烃类气体。生物成因煤层气可形成于煤化作用早期阶段(泥炭—褐煤)

以及煤层形成以后的构造抬升阶段,因此又可分为早期(原生)生物成因煤层气与晚期(次生)生物成因煤层气。

### 2.1 吐哈盆地煤层气的组分与同位素特征

对该盆地艾维尔沟、哈密、沙尔湖等地区的煤层气组分统计数据表明:气体的主要组分为  $\text{CH}_4$ , 另外还有一些少量的重烃和其他气体,干燥系数一般在 0.99 以上。天然气的碳同位素组成主要反映母质类型和演化程度,甲烷受热演化程度的影响较大,而重烃(乙烷和丙烷)的碳同位素主要受母质类型的影响。由于有机成因的天然气是由干酪根或高分子液态烃裂解而成,因而天然气的甲烷及其同系物的碳同位素组成特征受热力学分馏控制,也就是说富集轻碳同位素的基团优先分解成小分子组分。吐哈盆地甲烷碳同位素一般在  $-45\% \sim -65\%$  左右,混合特征比较明显。

### 2.2 成藏要素与成藏过程

生物成因煤层气通常聚集在相对较浅的深度上,它不仅取决于大量天然气的生成,而且取决于它的捕集条件。在由于上覆水柱造成的静水压力较高的情况下,生物成因煤层气呈溶解状态保存于隙间孔隙水中,这种溶解作用构成一种存储机理。当生气量超过溶解度或因静水压力减小而引起离溶作用时,生物成因煤层气呈游离态。当生物成因煤层气在煤层或附近生成时,可以吸附在煤层中形成煤层气富集带。如果生物成因煤层气是在埋藏历史的早

期生成的,早期构造圈闭和地层圈闭的形成对气的捕集相当重要。有效的盖层通常是横向上连续分布的巨厚的塑性岩石,具有较高的毛细进入压力。许多古代的生物成因煤层气聚集蕴藏于浅部,且相对于正常静水压力梯度而言是欠压的,如粉河盆地地层压力梯度为 0.92~0.96 MPa/100 m。这种欠压作用是上覆地层剥蚀、地层冷却、煤岩孔隙裂隙体积扩大及地层温度降低的综合结果。

## 2.3 低煤阶煤层气成藏成因机制

### 2.3.1 断裂对煤层气运聚的控制机制

断裂活动的过程是岩石中地应力逐步集中和释放的过程。在地应力作用下不仅可以形成适于煤层气聚集成藏圈闭,而且地应力本身的变化还会引起流体势场的变化,影响煤层气的运移与聚集。在构造应力场作用下,早先存在有断裂的部位既是弱破裂强度带也是地应力集中带,因此,即便其应变尚未达到破裂变形阶段,只要已处于扩展阶段,就可能成为相对低流体势带(先期断裂再次活动),从而成为煤层气运移的指向。储集层在平行水平最大主应力(垂直最小主应力)的方向上连通性最好,为煤层气运移的主要方向,与最大主应力小角度相交的先期主要断裂方向也可以成为煤层气运移的主要方向。从盆地构造应力场的结构来看,存在 4 个应力差别比较大的层段:底部的不可逆压实带、下部的挤压应力带、中部的剪切应力带和浅部的张裂带。在中部剪切带与挤压带的转换区易形成扩容带,形成深层挤压带侏罗系煤系生成的烃类的主要运移指向区,直接捕捉邻近向斜区生成的煤层气,二次吸附的浅部的侏罗系煤层中形成煤层气富集带(万天丰,1993;张彦平,1996;戴金星,2000)。

### 2.3.2 侏罗系岩石特征及其对晚期生物煤层气富集带的控制作用

盆地主要聚煤作用发生在早一中侏罗世,该套含煤地层中包含有数十层煤,煤层累计总厚达几十米至百米以上。煤系地层沉积期,盆地边界虽然一直处于挤压应力条件下,但在此过程中出现强化期与松弛期的交替转化,从而表现为水体进退的变化和沉积环境的交替变化,造成了煤层赋集的区域变化特征。盆地内主体沉积环境的展布特征表现为:盆地南部、东部持续发育有湖泊三角洲体系,呈裙边状组成盆地边缘的粗碎屑沉积,盆地西北部发育扇三角洲,它们前沿至盆中依序出现滨浅湖—半深湖。聚煤环境为扇三角洲平原沼泽化,三角洲平原沼泽化及冲积扇前洼地沼泽化。沉积组合上表现为盆

缘至盆腹含砂率递减,砂体厚度渐薄特征,细碎屑岩为主的沉积占据盆中腹地广大地区,岩相带呈近环带状展布。由以上特征可得出,碎屑物质来源仍然是四周山地,盆地中心地带充盈水体以湖泊沉积为主。侏罗系的煤层同时充当生物气的源岩层和储集层。西山窑组煤层的总有机碳值为 20.5%~24.0%。煤岩的成熟度低,正如镜质组反射率值所显示的那样,一般在 0.8% 以下。煤岩的孔隙度一般都很低,一般在 6% 以下,但是裂缝大大增加其有效孔隙度和渗透率。裂隙组就成了地下水运动的通道系统,同时又是这个晚期生成生物气含气系统地质构造的重要组成部分。

### 2.3.3 地质构造对晚期生物煤层气富集带的控制作用

吐哈盆地一些煤矿吸附气的天然气同位素资料表明吐哈盆地的一些甲烷气是生物成因的。构造应力场的数值模拟研究和地震资料表明在准噶尔盆地南缘存在复杂构造与大型断块或断裂,局部地区的断裂裂缝发育,它们对地下水流系统非常重要,断裂裂缝对地下水流的影响就是控制生物成因下限深度的因素之一。

在吐哈盆地使用了露头资料、钻井岩芯记录和井筒成像测井资料来描述破裂型式。垂直裂缝的主要方向是北东向和北西向;还有具中等倾角的北东向裂隙组,地面和地下数据组符合得很好。西山窑组和八道湾组的煤层都含有很多裂缝,初步认为破裂型式是区域性的,并不与特定地质构造有关。然而,通过对地下水流系统不同流径的描绘,认为地下水流主要受裂隙组的控制。这意味着裂隙组内的确存在特定的局部裂缝型式,裂隙与小幅度褶皱和区域构造方向有直接的联系。

喜马拉雅期的构造运动以及更新世冰川的前进和后退造成的逐次加载和卸载可能会影响裂缝系统和其中的流体。一般认为吐哈盆地北缘区的超压条件会因背斜、基底断裂引起的渗透率增大带的垂向渗漏而散失。在产气区内,冰川融水可能提供比较淡的水流入由裂缝组成的通道系统,这种地下水的灌注对形成能维持甲烷生成所必需的水文地质条件很重要。矿化度条件使适合微生物生存的环境局限于盆地较浅部位,所以可以确定生物成因气的下限为 1000 m。来自吐鲁番坳陷较深部位的高盐卤水与来自北面地下露头比较淡的水相混,从而在吐鲁番坳陷的北侧形成了很陡的含盐量梯度,同时吐鲁番坳陷深部的热成因煤层气向上倾方向运移,并且

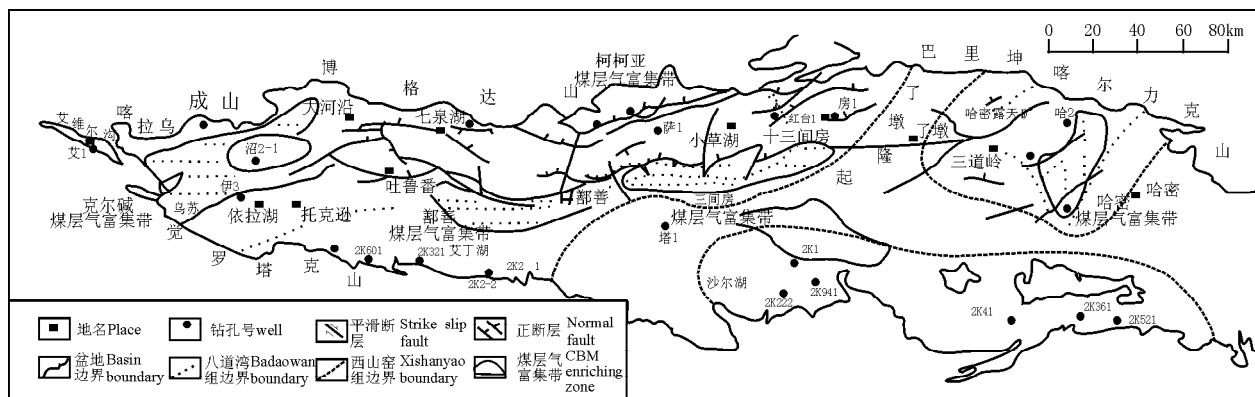


图2 吐哈盆地煤层气富集带的展布图

Fig. 2 Distributive map of coalbed methane enriching zone in Tuha basin

和北部边缘一带生成的生物气相混合,形成混合成因煤层气。

### 3 吐哈盆地煤层气富集带展布特征与成藏特点

根据煤层所处的构造位置、储集状态和运移-逸散特征,可以把吐哈盆地煤层气成藏模式划分为盆内凹陷成藏模式、盆缘陡坡成藏模式和盆缘缓坡成藏模式3种类型。根据生气能力、储集能力和封盖能力可以把成藏要素的组合类型划分为低生-低储-弱封盖型、低生-低储-强封盖性、低生-低储-中封盖性3类,根据成藏过程的匹配特征把煤层气藏类型划分为储-逸型低压逸散式、储-运-逸型运移储集式两种类型。

吐哈盆地在哈密凹陷的煤层气成藏规模较大,形成于盆内凹陷成藏模式,为哈密煤层气富集带(图2)。哈密煤层气富集带位于哈密凹陷的环形斜坡上,煤储层为西山窑组煤层和八道湾组煤层,成藏要素的组合配置类型为低生-低储-强封盖型,成藏过程的匹配类型以储-逸型低压逸散式和储-运-逸型运移储集式为主,煤层气成藏具有中-低含气量、高饱和度的含气性特点,中-高资源丰度、资源量大的资源特点,及中渗透率的开采性特点。

在吐哈盆地台北凹陷的煤层气富集带数量最多,主要形成于盆缘陡坡成藏模式,自西向东依次为十三间房煤层气富集带、柯柯亚煤层气富集带和鄯善煤层气富集带(图2)。十三间房煤层气富集带位于台北凹陷北缘的东部,煤储层主要为西山窑组煤层和八道湾组煤层,成藏要素的组合配置类型主要为低生-低储-中封盖型,成藏过程的匹配类型为储-逸型低压逸散式,煤层气成藏具有中-低含气量、中

饱和度的含气性特点,高资源丰度、资源量大的资源特点,及较低渗透率的开采性特点。柯柯亚煤层气富集带位于台北凹陷北缘中部,煤储层主要为西山窑组煤层,成藏要素的组合配置类型为中生-低储-中强封盖型,成藏过程的匹配类型为储-逸型低压逸散式,煤层气成藏具有中含气量、中饱和度的含气性特点,高资源丰度、资源量大的资源特点,及较低渗透率的开采性特点。鄯善煤层气富集带位于台北凹陷和托克逊凹陷的结合部位,煤储层主要为西山窑组煤层,成藏要素的组合配置类型为低生-低储-中封盖型,成藏过程的匹配类型为储-逸型低压逸散式,煤层气成藏具有低含气量、中饱和度的含气性特点,低资源丰度、资源量大的资源特点,及中-高渗透率的开采性特点。

在吐哈盆地托克逊凹陷煤层气富集带的资源丰度大,形成于盆缘陡坡成藏模式,为柯尔碱煤层气富集带。柯尔碱煤层气富集带位于托克逊凹陷的西北缘,为构造强烈挤压带,煤储层主要为八道湾组煤层,成藏要素的组合配置类型为低生低储强封盖型,成藏过程的匹配类型为储-逸型低压逸散式,煤层气成藏具有中-高含气量、高饱和度的含气性特点,高资源丰度、资源量大的资源特点,及低渗透率的开采性特点。

### 参 考 文 献

- 戴金星. 2000. 中国煤成大中型气田地质基础和主控因素. 北京: 石油工业出版社, 22~27.
- 刘洪林, 王红岩, 张建博, 等. 2001. 中国煤层气资源及其勘探开发潜力. 石油勘探与开发, 28(01): 9~11.
- 钱凯, 赵庆波, 汪泽成, 等. 1995. 煤层甲烷勘探开发理论. 北京: 石油工业出版社, 48~52.
- 童崇光. 1999. 新疆构造演化与吐哈盆地油气地质特征. 成都理工大学

- 院学报,26(01):8~13.
- 万天丰.1993.中国东部中、新生代板内变形构造应力场及其应用.北京:地质出版社,15~21.
- 武汉地质学院.1981.煤田地质学.北京:地质出版社,2~3.
- 袁明生.1998.吐哈盆地油气分布特征及勘探方向.新疆石油地质,19(02):106~111.
- 张彦平.1996.国外煤层甲烷开发技术译文集.北京:石油工业出版社,20~80.
- 中国煤田地质总局.1998.中国煤层气资源.江苏徐州:中国矿业大学出版社,76~120.

## Geological Characteristics of Coalbed Methane and Controlling Factors of Accumulation in the Tuha Coal Basin

LIU Honglin<sup>1,2)</sup>, WANG Hongyan<sup>2)</sup>, ZHAO Qun<sup>2)</sup>, LIN Yingji<sup>2)</sup>,  
SHANG Shuxun<sup>3)</sup>, YONG Hong<sup>4)</sup>

1) *China University of Geology, Beijing, 100083;*

2) *New Energy Institute, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Langfang, Hebei, 065007;*

3) *China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu, 221008;*

4) *International Business Department, PetroChina, Beijing, 100007*

### Abstract

China is abundant in low-rank coalbed methane resources, with a total reserve of over 15.13 trillion cubic meters. Till now, no successful production has been made, and thus basic geological research should be strengthened. Based on the conditions and characteristics of coalbed gas reservoirs in the Tuha basin, this study discussed the geological structures, coal accumulation, coal series features, biogenic gas preservation, etc; determined the type of coalbed methane reservoir in the Tuha basin and distribution pattern; and finally divided the coalbed gas into three types: basin depression reservoir, basin margin steep and mild slope reservoir. Matching characteristics of reservoir formation suggests two reservoir types for low rank coalbed gas: reservoir forming-dissipation and forming-migration-dissipation, which will be useful for guiding the research of low rank coalbed methane genesis and exploration of the coalbed methane.

**Key words:** coalbed methane; exploration; secondary biogenic gas