

文章编号: 1000-0550(2006)04-0502-09

# 山东济阳石炭一二叠系煤成气储层沉积研究<sup>①</sup>

李增学<sup>1,2</sup> 刘 华<sup>3</sup> 余继峰<sup>1,2</sup> 房庆华<sup>1</sup> 李江涛<sup>4</sup> 刘晓丽<sup>3</sup>

(1. 山东科技大学 山东青岛 266510; 2. 山东省油气勘探开发工程技术研究中心 山东青岛 266510;

3. 中国石油化工股份有限公司地质科学研究院 山东东营 257015; 4. 中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

**摘 要** 在建立层序地层格架的基础上进行煤成气储层沉积学研究。储集在二叠系砂岩(属于致密砂岩)储层内的煤成气藏成为重要的天然气藏。济阳地区上石盒子组万山段、奎山段和孝妇河段,发育河流相、湖泊滨岸相为主要特色的砂质沉积,是煤成气主要储集层。主要储层沉积相为河道滞留与边滩组成的河道充填。煤成气储集空间主要是次生孔隙。本区石炭一二叠系砂岩成岩作用强烈,原生粒间孔保存较少,大部分的粒间孔隙是由于后期溶蚀作用形成的。这种次生的粒间孔隙充填在粒间孔隙之间的杂基或胶结物后期经溶蚀作用形成。二叠系气藏的直接盖层主要是下石盒子组的河漫相、山西组及太原组的三角洲平原和湖沼相沉积的泥岩、煤和炭质泥岩。

**关键词** 煤成气 成岩作用 储层沉积 储集空间 济阳拗陷

**第一作者简介** 李增学 男 1954年出生 博士 教授 博士生导师 煤地质学及层序地层学

**中图分类号** TE122.2 P531 **文献标识码** A

## 1 引言

煤成气已经具有相当长的研究实践,国内外研究人员取得了很多研究成果<sup>[1~5]</sup>。致密砂岩作为一种特殊气藏储集层,已在常规天然气勘探开发生产实际中发现并进行了一定的研究,也取得了一些认识和成果<sup>[6~10]</sup>。由于与煤层和煤系有关的除“煤层气”以外的气藏的成藏机制也不同于石油天然气气藏特征,特别是在致密砂岩中成藏,具有特殊性和典型性,因此,深入研究煤成气致密砂岩储层特征及其成藏机理,在理论上和实践上获得突破,具有重要的理论意义和应用价值。储集在致密砂岩中的天然气可能来自煤层,即煤层在煤化作用过程中形成的气相物质运移出来形成;也可能来自煤系中的分散有机质,这些分散有机质在煤系热演化过程中形成的气相物质运移到致密砂岩储层;也可能分别来自煤层和煤系,即由上面两部分组成。作为渤海湾盆地组成部分的山东地区,

古生界煤系发育,尤其是上古生界石炭一二叠系煤系分布范围广、厚度较稳定。同属渤海湾盆地的华北苏桥、大港乌马营及中原文留地区均已发现以古生界煤系地层为烃源岩的煤成气田。济阳探区与这些地区的地质背景相似,具备形成煤成气田(藏)的基本条件。目前已在沾化凹陷渤 93、义 155 井区、惠民凹陷南坡曲古 1 井和孤北区(表 1 和图 1)发现煤成气藏。该地区煤成气具有良好的勘探前景。

储集在二叠系砂岩(属于致密砂岩)储层内的煤成气藏还很少见,其成藏机理还不十分清楚。而且这类煤成气藏的储集层位与源岩之间相隔了多个“砂组”。这样,气的运移通道及其运移机理成为人们关注的问题。因此深入研究致密砂岩储集机理,查明煤成气在致密层系中运、储、盖及成藏的特殊机制,具有十分重要的理论和实际意义。本文以山东济阳地区石炭一二叠系煤层气储层为例,分析煤成气致密砂岩储层沉积及岩石学特点。

表 1 孤北古 1 井天然气组分、轻烃特征

Table 1 Gas composition and light hydrocarbon characteristics of Well GBG 1

组分	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	iC <sub>4</sub>	nC <sub>4</sub>	iC <sub>5</sub>	nC <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> /C <sub>2+</sub>
含量	86.67%	5.44%	1.28%	0.18%	0.22%	0.13%	0.10%	5.45%	0.49%	12.79
烷烃指数	庚烷值	异庚烷值	环烷指数 1	环烷指数 2	甲基环己烷指数	苯指数	MCC6/DMCC5			
%	13.05	1.17	0.79	2.59	59.04	15.06	3.26			

成熟 III 型干酪根

①国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2003CB214608)资助。  
收稿日期:2005-09-08;收修改稿日期:2006-01-19

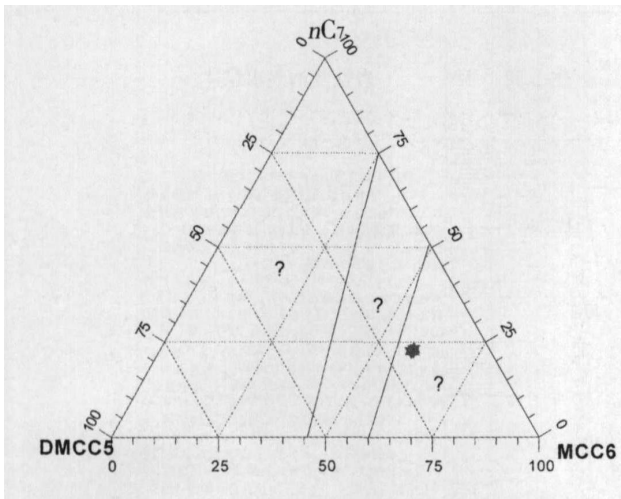


图 1 孤北古 1 井天然气  $C_7$  轻烃三角图

Fig 1 Triangle plot of  $C_7$  light hydrocarbon of gas in Well GBG1

## 2 沉积序列及层序划分

华北二叠系中上二叠统为陆相拗陷盆地沉积,这一巨大的拗陷盆地在沉积上具有明显的特色,即分布面积巨大,盆地为波状拗陷,构成河流—湖泊复合体系,沉积特征上相分带明显。但由于后期的改造,保存比较零散,因此建立层序模式存在较大难度。在济阳地区,石炭—二叠系沉积特点虽然与华北及鲁西从总体沉积上具有相似性,但也具有独特性,如石炭—二叠系下部以障壁泻湖沉积为主,上部地层如山西组和石盒子组以河流体系、湖泊体系及河流湖泊复合沉积为特色。

进行煤成气储层沉积学研究,是在建立层序地层格架的基础上进行的。

层序地层学分析中的关键问题是不同级别的层序界面的识别和对比,陆相盆地分析过程中,层序界面的识别与对比更为突出,难度更大。其难点是如何准确地控制各级层序地层单位的沉积构成及其相互关系、层序界面的发育及对比。在陆相盆地中,各盆地往往相互分隔,盆地内相变又十分复杂,可供对比的等时性标志远不如海相盆地发育和明显,寻找区域性稳定的层序界面是关键问题和难点。但沉积盆地的形成和演化过程仍具有某种相似性,构造运动的区域性特点使构造应力场在地质历史过程中相对稳定的持续一个时期,不管这种时期持续多长,对于盆地来说是控制性的,且是至关重要的。构造属性的变动,构造应力场的改变,都会使盆地的发育、充填发生

改变。重大的构造事件,往往使盆地性质、充填特征发生根本性变化。而沉积盆地内较高级别的层序界面如构造层序、三级层序界面都可能与区域构造事件有关。下面几类界面本区为三级层序的分界面:1)古构造运动面;2)构造应力场转换面;3)大面积侵蚀或冲刷不整合面;4)大面积超覆界面和5)大面积泥炭沼泽化界面。

根据对济阳地区石炭—二叠系沉积特征、沉积序列和沉积体系转换,特别是层序界面的识别,将石炭—二叠系划分出 8 个层序。其中陆表海盆地沉积层序 3 个,陆相层序 5 个。煤成气主要储层多发育在陆相层序中。

为了进一步查明煤成气生、储、盖组合特点,特别是储层骨架砂体的空间展布、储层沉积学特点,结合岩石学、地球物理尤其是测井反映出的储层物性特点、砂岩层的垂向非均质性,进行了局部层段的高分辨层序划分。对奎山砂岩层的高分辨层序划分表明,奎山砂岩关键层段可以划分出 4 个小层序(图 2)。

## 3 典型储层沉积相

上石盒子组了万山段、奎山段和孝妇河段,发育河流相、湖泊滨岸相为主要特色的砂质沉积,是煤成气主要储集层发育层段。典型沉积相有:

### 1) 河床滞留相

在河道冲刷面上发育河床滞留沉积,主要为滞留砾石,其成分比较复杂,多为陆源砾石,如燧石、石英和岩屑砾石等,还见有泥岩和煤块等软岩砾石。常见砾石大小不均,但也有具定向排列呈一定分选的砾石层。经追踪发现,滞留砂砾岩体常呈透镜状,位于河流沉积旋回的底部,往上为边滩和河道充填沉积。在山西组的上部层段、石盒子组中均发育多层河床滞留沉积,底界为明显冲刷界面。

### 2) 边滩相

边滩沉积是河流沉积体系中最常见、最主要的单元(图 3),在研究区的石盒子组及以上地层中均发育边滩沉积。如在淄博地区的山西组、下石盒子组、上石盒子组(万山段、奎山段、孝妇河段)及以上层段中,边滩沉积组合最完整、最具特色。河床滞留和边滩沉积构成了沉积组合的格架,发育大型直线型交错层理、大型槽状交错层理和大型楔形交错层理。从整个研究区看,边滩沉积的层理类型较多,有各种大、中型交错层理及沙纹层理,如槽状交错层理、板状及楔形交错层理、平行层理等。

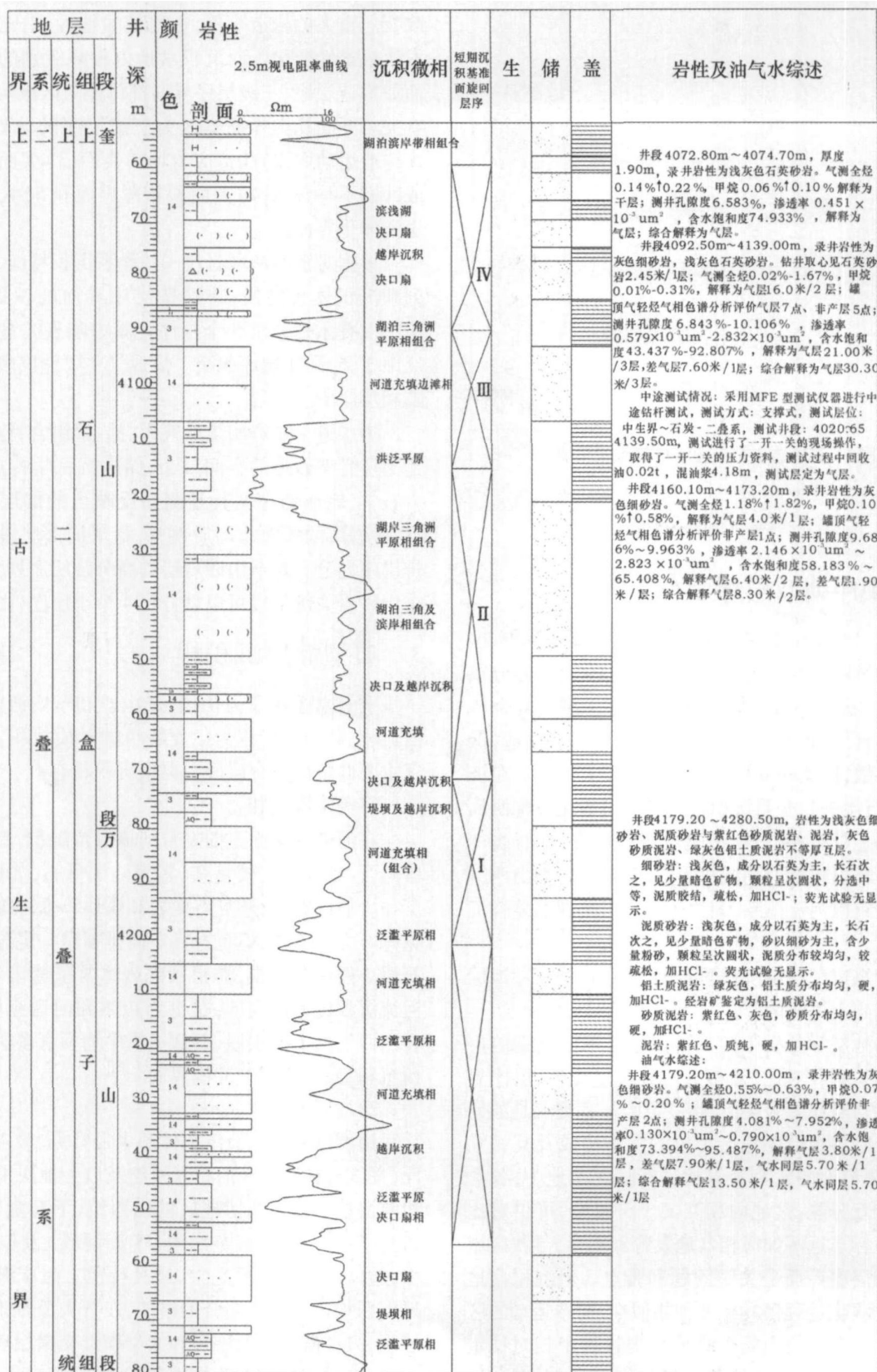


图 2 石炭—二叠系沉积序列、层序划分与煤成气储盖组合(孤北古 1 井, 上石盒子组)

Fig 2 Sedimentary series sequence classification and combination of reservoir and seal of coal-derived gas

in Permian-Carboniferous (Well GBG1, Shangshihezi Formation)

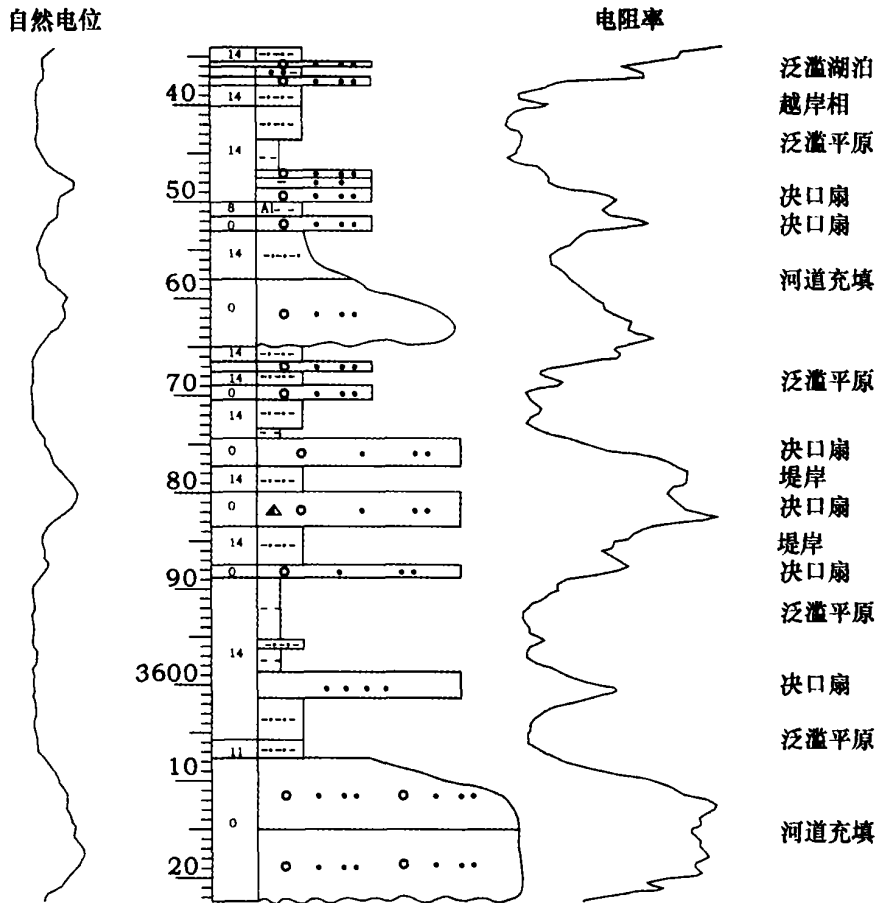


图 3 河流沉积序列及电测曲线特征 (孤北古 2 井, 上石盒子组)

Fig 3 Fluvial series and characteristics of well-logs (Well GBG2, Shangshihezi Formation)

因垂向沉积序列上,层理类型具有自下而上由大型变小型的特点,往往与粒序变化(向上变细)具有相应的规律。边滩沉积砂体呈板状,底部具冲刷面,在冲刷面上往往有滞留砾石沉积。河道滞留沉积与边滩沉积构成河道充填沉积序列的主体。

### 3) 湖泊三角洲与湖泊滨岸复合沉积相组合

主要以大型砂体沉积为特征,砂体主要以河流相边滩侧向加积透镜状空间展布形式为主体,河流—湖泊大型席状体次之。另外还有冲积和决口沉积。如奎山砂岩可能为河流—三角洲—湖泊滨岸带及大型湖泊三角洲沉积,砂体的分布范围比较大,为湖泊三角洲与河道沉积的复合体。

### 4) 决口扇相

主要以砂质沉积为主,中—细粒砂岩,浅灰—灰白色或杂色,成熟度较差,磨圆不好,分选差,层理不发育,可见有粒序层理,底界具侵蚀构造。在垂向上往往出现于一套较细的沉积组合中,如常与堤岸相、泛滥平原或泛滥盆地沉积共生在一起,剖面上呈透镜

状、平面上呈席状分布,总体上具有向泛滥盆地变薄的趋势。决口扇体在垂向上其顶底界面均较清楚,底界面具侵蚀或冲刷面,顶界面则为突变面。

## 4 成岩作用分析

### 4.1 河道充填沉积岩石组合特征

煤成气主要储层沉积相为河道滞留与边滩组成的河道充填。如济阳拗陷孤北区古 2 井 3 519.0~3 520.5 m,揭露岩性为含砾不等粒砂岩,岩石中石英 55%,长石 35%,岩屑 10%,岩石分选差,从细砂级—细砾级不等,砾石含量约为 15%,主要成分为石英、长石、片麻岩、石英岩。其沉积序列特征是:自上而下岩性为粗砂岩或中细砂岩过渡到细砂岩,层理类型由大型槽状交错层理变为小型交错层理、上攀层理、水平层理。粒度与层理变化所显示出的正韵律表明了水动力条件不断减弱的过程。粒度特征:主要为中细砂岩,跳跃组分和悬浮组分的交截点在 2.5~2.0φ 之间,跳跃组分的 C.T 为 0~-1.0φ,跳跃组分的倾

斜在  $60^{\circ}\sim 65^{\circ}$  范围内,具正的偏度和很尖锐的峰态。为河道充填沉积(图 4 中的孤北古 2 井①②);中砂质粗砂岩。跳跃组成分两段,跳跃组分与悬浮组分交截点在  $3.0\sim 2.0\phi$  之间,跳跃组分 C.T 为  $0\sim -1.0\phi$ 。跳跃组分的倾斜在  $45^{\circ}\sim 65^{\circ}$  范围内,具正的偏度和尖锐峰态。为河道充填沉积(孤北古 3 井①②)。为中细砂岩,跳跃组成分两段,跳跃组分与悬浮组分的交截点在  $3.0\phi\sim 2.0\phi$ ,跳跃组分 C.T 为  $0.5\phi\sim 0\phi$ 。跳跃组分的倾斜在  $45^{\circ}\sim 65^{\circ}$  范围内,具正的偏度和很尖锐的峰态。为河道边滩沉积相组合(图 4 中的孤北古 3 井③④)。含中砂粗砂岩,跳跃组成分两段,跳跃组分和悬浮组分的交截点在  $3.0\sim$

$2.5\phi$  之间,跳跃组分 C.T  $0\sim -1.0\phi$ 。跳跃组分的倾斜在  $45^{\circ}\sim 65^{\circ}$  范围内,具正的偏度和尖锐峰态,为河道充填沉积相(图 4 中的孤北古 3 井⑤⑥)。

从电性特征看,河道充填沉积的自然电位曲线呈钟状或箱状负异常,界面曲线形态常是底部突变型和顶部渐变型砂体。砂体形态在横剖面上呈上平下凸的透镜状,基底冲刷面起伏明显。

### 4.2 储层岩石学特征

上石盒子组奎山段储层中以中砂、粗砂为主。通过对粒度分析资料的统计表明,奎山段的砂岩的平均分选系数为  $1.610\sim 2.666$ ,绝大部分为中等分选性。分选性好或差与沉积微相、粒度有关,其规律为:粒度

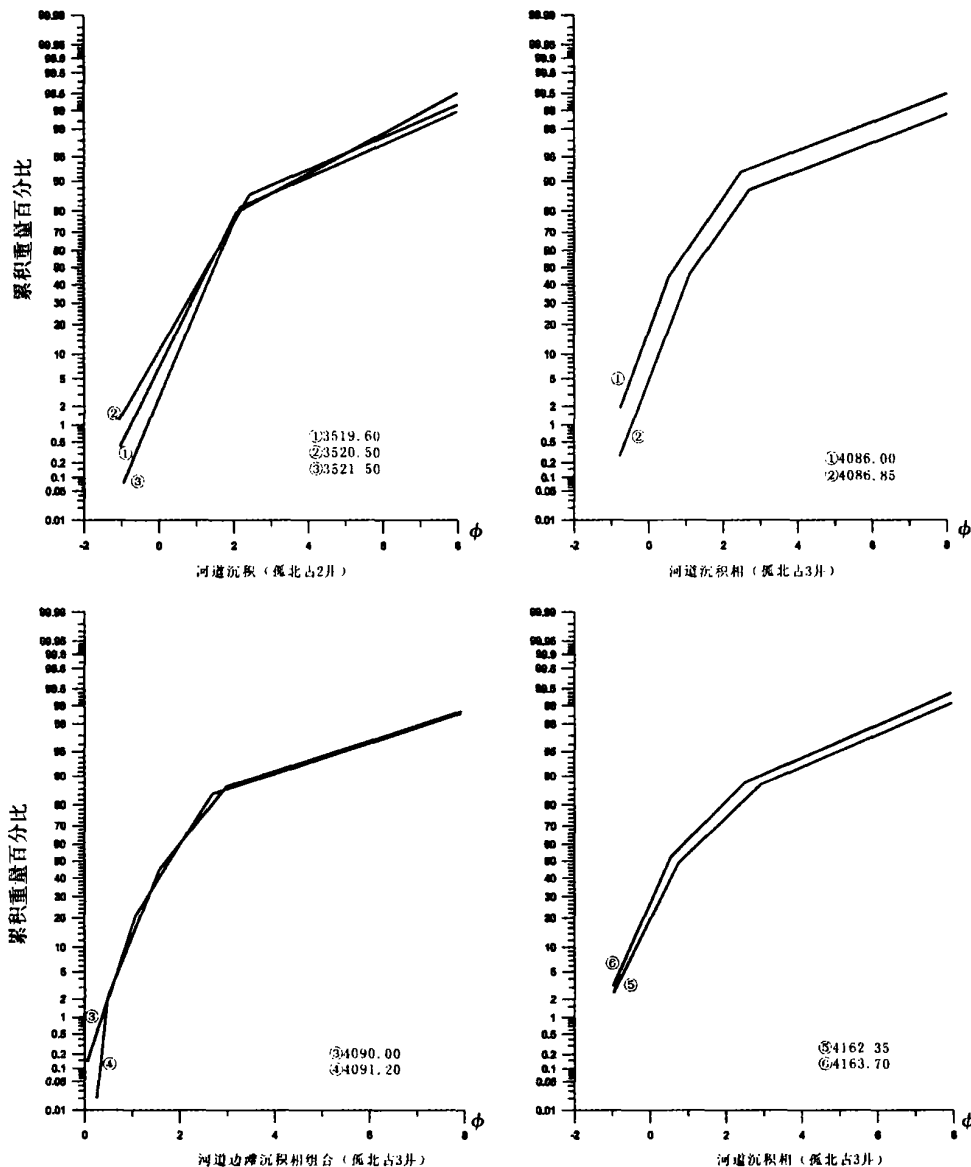


图 4 河道边滩沉积相概率曲线(孤北古 2、3 井,上石盒子组)

Fig 4 Probability curve of sandstone in river channel and point bar(W ell GBG 2, 3, Shangshihezi Fomation)

粗的砂岩较粒度细的砂岩分选较好;河道充填,三角洲平原砂体砂岩较决口与越岸砂体砂岩分选好。砂岩的磨圆度绝大多数为次棱角状,其次为次棱~次圆状。碎屑颗粒间的接触关系直接反映了压实作用的强弱。根据薄片分析表明,主要为线接触以及凹凸—线接触。胶结类型有孔隙型,其次有加大—孔隙型(图 5a),基本未见基底式胶结。

通过储层岩石学特征的研究,可以认为上石盒子组奎山段储层岩性为石英砂岩,硬砂岩,细砂岩与砂质泥岩,含砾砂岩;颗粒分选中等—差,次圆—次棱角状,颗粒支撑方式;胶结类型主要为孔隙式为主,总体上属于低成分成熟度和中等结构成熟度

主要的化学胶结物及自生矿物:(1)方解石:一种是泥晶方解石,与粘土杂基共生,形成于成岩作用早期。另一种是亮晶方解石,结晶较好,局部重结晶成连晶状,成岩后期形成。方解石分布不均匀,常交代石英边缘,为成岩作用的产物。(2)白云石:有两期。早期呈微粒状,自形晶形,均匀分布于碎屑颗粒间并交代碎屑颗粒边缘,为次生白云石。晚期为它形晶,栉壳状沿碎屑边缘分布,起胶结作用,为后期次生白云石,此时白云石作用使孔隙减少。本区的白云石为铁白云石细—微晶结构。(3)菱铁矿:据产出特征可分为三种:a在泥质粉砂岩和粉砂质泥岩中,菱铁矿呈微团块状、条带状集合体产出,泥岩中常见分散状分布;b是细砂岩—粉砂岩粒间孔隙中原杂基被交代呈粒间充填式分布,部分充当胶结物,部分呈假杂基;c沿碎屑颗粒边缘分布,并有零星交代岩屑、石英、长石的现象。(4)自生粘土矿物,据扫描电镜分析,主要是呈书册状、假六方片状晶体高岭石(图 5b),其次为以薄膜状环绕碎屑颗粒分布的伊利石和绿泥石(图 5c)。

#### 4.3 储集空间类型

由铸体薄片、岩矿薄片和电镜资料的分析表明,煤成气储集空间主要是次生孔隙。储集空间类型主要有以下几种:(1)粒间孔隙:粒间孔隙的成因包括原生和次生两种。本区石炭—二叠系砂岩成岩作用强烈,原生粒间孔保存较少,大部分的粒间孔隙是由于后期溶蚀作用形成的如石英颗粒被交代溶蚀呈锯齿状边缘,长石解理被方解石交代,方解石交代长石呈碎屑状假象,碳酸盐矿物交代粘土杂基,自生粘土交代碎屑物质(图 6a),长石碎屑被溶蚀呈蜂窝状、残骸状等。白云石交代粘土杂基后,形成粗大、自形菱形晶体的现象(图 6b),这种现象可能发生于成岩作

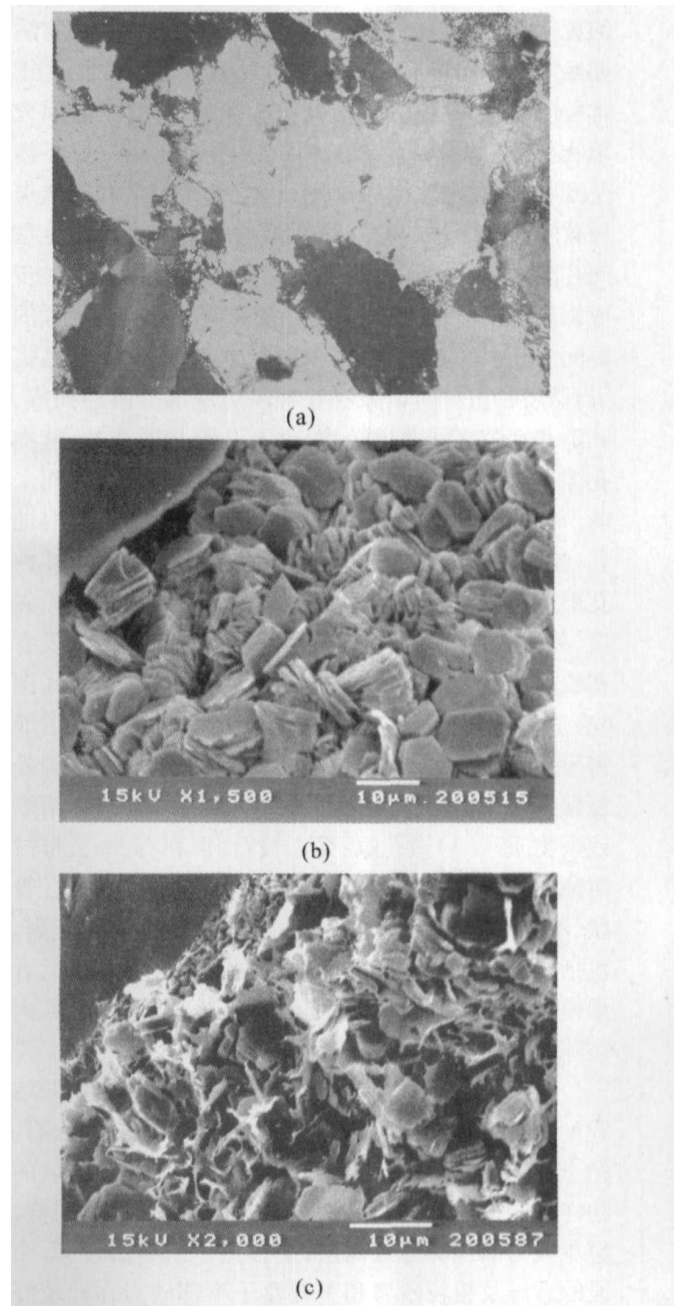


图 5 孤北区二叠系砂岩胶结及粒间自生矿物特征  
(a) 硅质胶结物的次生加大胶结及粒状自生石英边缘趋向平直,正交偏光: $d=1.2\text{ mm}$ ,孤北古 2 井,深度 3 519.8 m;(b) 不等粒石英砂岩中的自生高岭石,六边形片状,书册状集合体孤北古 1 井,深度 4 075.1 m;(c) 自生绿泥石沿碎屑表面分布呈薄膜状,孤北古 3 井

Fig 5 Cementation of Permian sandstone and characteristics of intergranular authigenic minerals in Gubei area

用的晚期。强烈的溶蚀作用可以形成大量的次生粒间和粒内孔隙,从而改善砂岩的储集性能。这种次生的粒间孔隙充填在粒间孔隙之间的杂基或胶结物后

期经溶蚀作用形成。按孔径的大小可分为三种:①正常粒间溶孔:孔隙分布于颗粒和颗粒之间,由粒间充填物(杂基和胶结物)溶蚀而成,溶蚀作用一般不涉及到颗粒,孔隙边缘较规则,孔隙与孔隙之间的喉道较狭窄。②缩小的粒间溶孔结构很象缩小的原生粒间孔隙。次生正常粒间孔隙和粒间孔隙在进一步成岩过程中,较容易变成缩小的粒间溶孔。③扩大的粒间溶孔:孔隙主要分布于颗粒之间,但其范围已扩大到颗粒,由粒间充填物和颗粒边缘部分溶蚀而成,孔隙和孔隙之间喉道较宽,许多孔隙相连成片,这类孔隙是在上一类孔隙的基础上进一步溶蚀演化而来的。按充填物的不同可分为三种:粒间方解石溶蚀孔、粒间白云石溶孔、泥质杂基中的溶孔。(2)粒内孔隙:粒内孔隙全是次生成因。主要由长石、云母、岩屑、菱铁矿等不稳定颗粒内部溶蚀形成的。主要发育在长石碎屑中,使长石颗粒沿解理面溶蚀产生的(图6c)。若颗粒和晶体被完全或几乎完全溶蚀则形成铸模孔,它保留了原来颗粒的外形特征,铸模孔的外源保存了一层泥质包壳,孔隙中间有时残留一些溶解残余物质。(3)微孔隙:系指长石、伊利石、绢云母被溶蚀后,所形成的高岭石之间的微孔隙,有片状、管状、不规则状等形态。(4)裂隙:裂隙均为次生成因,包括岩石内和颗粒内裂隙两种,前者规模较大,后者规模较小,多为微裂隙。可划分为岩石内裂隙和粒内裂隙。

由以上分析可以看出,石炭—二叠系砂岩的胶结程度比较高,尤其胶结物主要是铁方解石、铁白云石、粘土矿物、硅质胶结次之。强烈的胶结作用使砂岩的物性变的很差。太原组和山西组砂岩的孔隙度很低,很难成为油气的有效储层;上石盒子组奎山段、万山段的含砾及粗粒砂岩和下石盒子下部砂岩物性较好稍好,孔隙度在 7%~8%或更高,可以成为油气的储层。

#### 4.4 成岩次序与孔隙演化

根据上述各种成岩作用的特征以各种成岩作用的之间的关系,可以认为本区经历了如下的成岩次序变化:首先经历的是压实作用。致使岩石中的塑性颗粒发生变形(图7a)、紧密线形接触、凹凸接触(图7b),引起大部分原生孔隙消失,接着是自生矿物菱铁矿、方解石的胶结和交代,菱铁矿多交代原杂基,有时也交代岩屑边缘,然后发生压溶作用,岩石颗粒间更紧密的接触从而形成缝和线。使岩石储集性能变差,接着石英(长石)的次生加大现象。石英(长石)

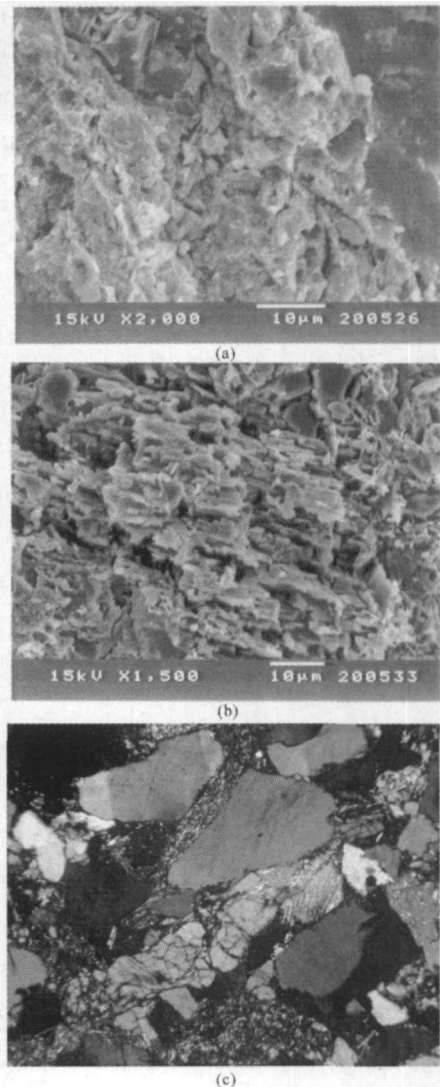


图 6 济阳地区二叠系砂岩储层孔隙特征

(a)粘土矿物交代碎屑颗粒(右),义 136 井;深度 3 721.0 m; (b)碎屑长石被溶蚀成残骸状,形成粒内孔隙,义 136 井;深度 3 708.5 m; (c)正长石被压碎呈碎粒状,形成粒内孔,正交偏光:  $d=2.0$  mm,义 136 井,深度: 3 708.5 m

Fig 6 Pore feature of sandstone reservoir of Permian in Jiyang area

的次生加大之后所残余的孔隙空间出现了方解石的胶结和交代作用,对孔隙的破坏较大,使绝大部分残余的粒间孔被堵塞消失。之后胶结物的和长石岩屑颗粒发生溶蚀作用,大大改善了储层的孔渗性。

随着成岩作用的发展,储层孔隙空间也经历了由高孔隙到孔隙消亡再到孔隙发育的过程。

#### 4.5 煤层气生储盖组合分析

(1)煤成气源岩分布

煤成气源岩主要分布在石炭—二叠系的下部,主

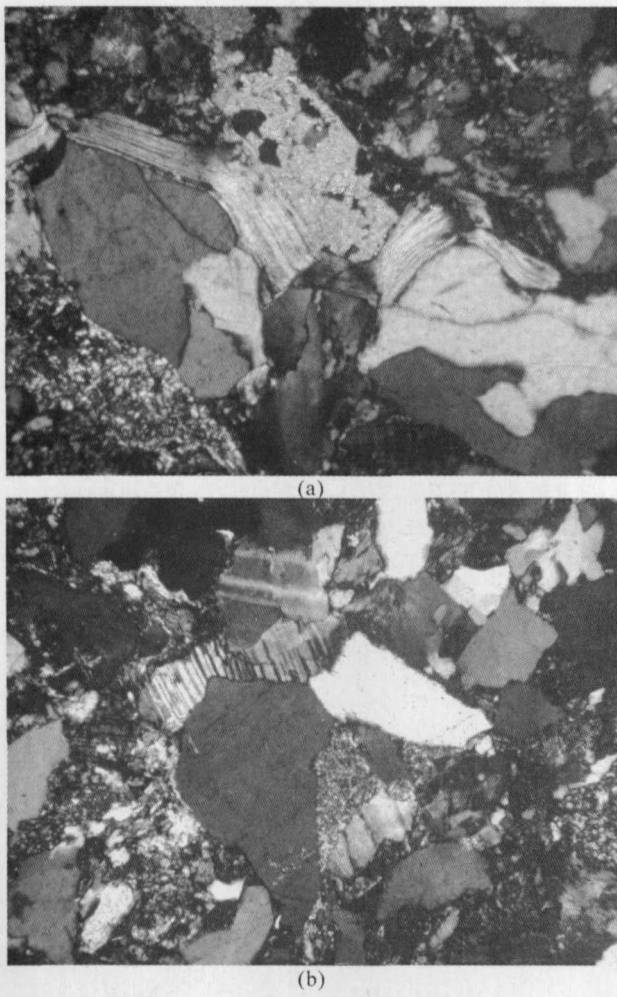


图 7 砂岩颗粒接触特征

(a) 黑云母被压实弯曲、折断,方解石交代长石,呈长石碎屑假象。正交偏光:  $d=1.0\text{ mm}$ , 义 136 井, 深度: 3 704.2 m; (b) 强烈的压实作用,使相邻的刚性岩屑呈凹凸接触。正交偏光:  $d=1.2\text{ mm}$ , 义 136 井, 深度: 3 702.3 m

Fig 7 Grain contact feature in sandstone

要是本溪组、太原组和山西组,下石盒子组也发育一些源岩(见图 1)。源岩主要是煤层和暗色泥岩。石炭—二叠系形成了两套比较明显的沉积组合,下部为陆表海盆地海陆交替型含煤沉积;上部为大型陆相拗陷盆地沉积,含煤性较差。孤北地区源岩主要分布在石炭系本溪组、太原组以及二叠系山西组、下石盒子组的灰色泥岩、碳质泥岩以及煤层,最大厚度约 300 m,煤层 3~21 层,单层最大厚度可达 11.5 m,累积厚度 29 m。

### (2)煤成气储集层分布

石炭—二叠系的上、下石盒子组是煤成气储集层的主要发育层段(见图 1),其下的太原组、山西组,上

部的石千峰组亦有发育,主要储集层有:①潮坪体系中的砂坪,砂岩中以稳定组分为主,分选磨圆度较好,也发育有大中型的交错层理,可以是灰质砂岩或钙质胶结的砂岩,但往往厚度不大,难形成大的气藏;②障壁—泻湖体系中的障壁砂坝(包括障壁坪),常以成熟度较高的中细粒石英砂岩为主体,分选好,磨圆度高,铝质或硅质胶结,具有比较典型的向上变粗(进积)或和向上变细(退积)的沉积层序;③三角洲体系中的分流河道、河口砂坝和决口扇,在研究区,分流河道相主要由中—细粒砂岩组成,底部常为含泥砾的中粗粒砂岩。决口扇主要为砂质沉积物,砂岩以细粒为主,局部为中—粒砂岩,含杂基较多,分选和磨圆度均较差;④河流体系中的河床滞留相、边滩和决口扇,河床滞留相主要为滞留砾石,其成分比较复杂,多为陆源砾石,如燧石、石英和岩屑砾石等,边滩沉积砂体呈板状,底部具冲刷面,在冲刷面上往往有滞留砾石沉积。砾石成分较为复杂,胶结程度较弱,以砂质沉积为主,中—细粒砂岩,浅灰—灰白色或杂色,成熟度较低,磨圆不好,分选差,河流沉积相常规模不大呈条带状或透镜状分布。

### (3)煤成气主要盖层

孤北地区二叠系的盖层主要是泥岩和粉砂质泥岩,尤其是湖泊环境和河流环境的产物。沉积环境的不同,盖层的特征(厚度和展布范围)各不相同,湖泊泥质岩的展布范围较大,是理想的区域盖层;而河流、三角洲的泥质岩一般展布范围小,盖层的作用较弱,主要为气藏的直接盖层和侧向遮挡层。

二叠系气藏的直接盖层主要是下石盒子组的河漫相、山西组及太原组的三角洲平原和湖沼相沉积的泥岩、煤和炭质泥岩。泥岩和煤有机质丰度高,生气能力强,具有物性封闭和烃浓度封闭双重封盖能力,为良好的直接盖层。

从区域范围看,在石盒子组发育一层致密铝土岩,铝土岩在华北一般可作较好的区域盖层,对煤成气具有良好的封盖作用。孝妇河组上部发育多层泥岩,一般呈灰色,厚度大,具有区域分布特点。是煤成气的良好盖层。

### 参考文献 (References)

- 1 Teichmuller M. The Significance of coalification studies to geology: a review. Bulletin Des Centres De Recherches Exploration-Production ELF: A quitaine 1981, 5(2):
- 2 Waiter B. Ayers Jr. Coalbed systems resources and production and a review of contrasting cases from the San Juan and Powder River basins



- AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1853~1891
- 3 戴金星, 戚厚发, 王少昌, 等. 我国煤系的气油地球化学特征、煤成气藏形成条件及资源评价. 北京: 石油工业出版社, 2001. 11 [ Dai Jinxing Qi Houfa Wang Shaochang et al Geochemical Features of Hydrocarbon from Coalmeasures Fomation and Resource Evaluation of Coal-formed Gas Reservoir in China Beijing Petroleum Industry Press 2001. 11 ]
  - 4 杨俊杰, 胡朝元, 石宝衍, 等. 煤成气地质研究. 北京: 石油工业出版社, 1987. 9 [ Yang Junjie Hu Chaoyuan Shi Baoyan et al Symposium on Geological Research of Coal-formed Gas Beijing Petroleum Industry Press 1987. 9 ]
  - 5 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. 12 [ Zhang Xinmin Zhuang Jun Zhang Suian Coalbed Methane Geology and Resource Evaluation in China Beijing Science Press 2002. 12 ]
  - 6 王群, 宋延杰, 张淑梅. 大庆地区深部致密砂岩气层识别方法. 大庆石油学院学报, 1994, 18(2): 22~25 [ Wang Qun Song Yanjie Zhang Shumei The study on the methods used to delineate the deep tight gas bearing sands in Daqing Oil Field Journal of Daqing Petroleum Institute 1994, 18(2): 22~25 ]
  - 7 靳秀菊, 姚合法, 刘振兴, 等. 低渗致密砂岩气田储层损害评价及保护措施. 现代地质, 2002, 16(4): 408~413 [ Jin Xiujie Yao Hefu Liu Zhenxing et al Reservoir damage evaluation and protection for low permeability sand gas field Geosciences 2002, 16(4): 408~413 ]
  - 8 吴志均, 唐红君, 安风山. 川南新场致密砂岩气藏层理缝成因探讨. 石油勘探与开发, 2003, 30(2): 109~111 [ Wu Zhijun Tang Hongjun An Fengshan Causes of bedding fractures of tight sand gas-reservoir in Xinchang West Sichuan Region Petroleum Exploration and Development 2003, 30(2): 109~111 ]
  - 9 陈必孝, 徐炳高. 超致密砂岩储层裂隙与含气性识别. 测井技术, 2003, 27(2): 136~139 [ Chen Bixiao Xu Binggao Identification of fracture and gas-bearing bed in hypercompact sandstone reservoir WLT 2003, 27(2): 136~139 ]
  - 10 王文耀, 曹家玉, 郭光, 等. 江苏龙滩组砂岩孔隙结构和因子分析. 石油实验地质, 1994, 16(2): 164~171 [ Wang Wenyao Cao Jiayu Guo Guang et al Factor analysis on the pore texture of the tight sandstone in the Longtan Formation (Jiangsu). Experimental Petroleum Geology 1994, 16(2): 164~171 ]

## Sedimentary Study on Coal-formed Gas Reservoir of Permian Carboniferous System in Jiyang Area, Shandong

LI Zeng-xue<sup>1,2</sup> LIU Hua<sup>3</sup> YU Ji-feng<sup>1,2</sup>  
FANG Qing-hua<sup>1</sup> LI Jiang-tao<sup>4</sup> LIU Xiao-li<sup>3</sup>

(1. University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510;

2. Shandong Research Center for Petroleum Reservoir Exploitative Engineering, Qingdao, Shandong 266510;

3. Geological Scientific Research Institute of Shengli Oilfield Co., Ltd., SINOPEC, Dongying, Shandong 257015;

4. Guangzhou Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640 )

**Abstract** This paper studies coal gas reservoir sedimentology on the basis of establishing sequence stratigraphy framework. Coal gas pool stored in sandstone (compact sandstone) reservoir of Permian system becomes important natural gas pool. In Jiyang sandy deposit which is mainly featured by river facies and lacustrine coastal facies develops in Wanshan, Kuishan and Xiaofu Member of the Upper Shihezi Formation. And these three members become the main reservoir of coal gas. The main reservoir sedimentary facies is channel fill formed by channel detention and marginal bank. The main reservoir space of coal gas is induced porosity. In this area sandstone diagenesis of Carboniferous-Permian system is very strong and there are less protosomatic intergranular pores. Most intergranular pore space is shaped after corrosion. Matrix or cement filled in intergranular pore space suffered from after-corrosion and then formed such heterogeneous intergranular pore space. The direct cap rock of gas pool of Permian system is mainly fluvial facies of Lower Shihezi Formation, delta plain of Shanxi Formation and Taiyuan Formation and mudstone, coal and carbonaceous shale of limnological facies.

**Key words** coal-formed gas, diagenesis, reservoir sediment, reservoir space, Jiyang sag