

煤成气储层沉积、层序及其空间展布研究 ——以济阳孤北区块为例

李增学^{1,2} 张善文³ 刘 华³ 房庆华¹ 韩美莲¹

(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. 中国石化胜利油田有限公司, 山东 东营 257015)

摘要:进行了高分辨层序地层划分, 济阳地区石炭—二叠系共划分出 7 个层序, 层序 1、2、3 为二元结构层序, 即由海侵体系域和高水位体系域构成; 层序 4~7 为三元结构层序, 由低水位、水进和高水位体系域构成。煤成气主要储层发育在层序 4~7 的低水位和高水位体系域中。主要的骨架砂岩有: 三角洲平原以分流河道为主体的三角洲砂体; 河流体系中的河道充填沉积, 以边滩为主体; 湖泊体系中以湖泊三角洲及湖泊滨岸砂质沉积为主体的分流河道沉积和滨浅湖砂质沉积; 河流—湖泊复合沉积体系中的河道充填沉积和滨岸带砂质沉积; 决口扇沉积也是骨架砂体之一。储集在二叠系砂岩(属于致密砂岩)储层内的煤成气藏为重要的天然气藏。石炭—二叠系砂岩成岩作用强烈, 原生粒间孔隙保存较少, 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和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。

关键词:煤成气; 储层沉积学; 高分辨层序; 空间展布特征

中图分类号: P618.11; P531 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)04-0612-10

华北中、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, 即分布面积广阔, 盆地形态为波状拗陷^[1], 发育河流—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。作为渤海湾盆地组成部分的山东济阳地区, 上古生界煤系发育, 尤其是石炭—二叠系煤系地层分布范围广, 厚度较稳定。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—二叠系的太原组以障壁泻湖沉积为主^[2], 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。

1 储层沉积学特点

1.1 储层层序划分

通过对济阳地区石炭—二叠系生物地层精细划分、沉积特征、沉积微相分布及沉积体系的详细分析, 应用高分辨率层序地层学方法, 对济阳石炭—二叠系进行了高分辨层序地层划分。特别是进行了层序内部小层的划分与对比, 为储层、盖层空间展布规律分析奠定了基础。

由于煤成气储集层主要发育在山西组以上地层中, 本研究的重点放在上、下石盒子组。即二叠系中上部层段, 包括山西组、下石盒子组、上石盒子组、万山段及奎山段和孝妇河段等储集层比较发育的层段。

经对比, 下面几类界面为储层层序的分界面:

(1) 古构造运动面

古构造运动面是陆相盆地充填沉积中最为关键的界面, 它是代表盆地的基底面或湖盆萎缩阶段古风化剥蚀面, 通常代表一定规模的构造运动中所形成的不整合面。这类界面与区域构造事件相吻合, 即区域性不整合面。这类区域性的古构造运动面不仅在同一沉积盆地内具等时性且普遍发育, 而且在相同应力场作用下的同期盆地也普遍发育, 因而具有较好的可比性。如济阳地区石炭—二叠系与奥陶系之间的假整合面在全区发育, 并可以在整个华北对比, 是典型的构造界面。

(2) 构造应力场转换面

由于构造背景的转变, 盆地所处的构造应力场发生变动。如层序 3 的顶界面(图 1), 为陆表海盆地向大型陆相盆地转换的分界面, 海陆交互相沉积基本结束, 海平面变化不再

收稿日期: 2006-10-08; 改回日期: 2006-11-28

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2003CB214608)资助。

作者简介: 李增学, 男, 1954 年生, 教授, 博士生导师, 煤地质学及层序地层学专业; E-mail: lizengxue@263.net。

直接影响盆地的充填沉积。可以看出,构造应力场的转换面在沉积上表现为沉积体系或体系域转换面。因此,本区陆表海沉积与陆相沉积之间即由于华北整体构造转换的结果。

(3)大面积侵蚀或冲刷不整合面

大面积侵蚀或冲刷作用,实际上代表一种事件作用。主要发育在二叠系中,即陆相盆地充填沉积序列中发育这种界面(图1中层序4至层序7的分界面)。这种界面在盆地不同地区表现出不同的特征,如盆缘地带为陆上沉积间断(剥蚀或侵蚀),除出现无沉积作用外(可能为沉积物路过面)还出现明显的大面积侵蚀和冲刷现象,在 seismic 剖面上可见到明显的削截现象。

(4)大面积泥炭沼泽化界面

陆相盆地充填过程中,由于构造机制改变(他成因)或充填沉积本身(自成因)引起盆地废弃,冲积物供应量较少,且水体深度较浅,盆地出现沼泽化进而泥炭沼泽化。济阳地区石炭—二叠系含煤地层中发育区域性对比意义的煤层,是盆地泥炭化事件的产物。这实际上是盆地构造机制变化中的一种特殊情况,即构造活动比较稳定时期,盆地演化达到废弃阶段,大面积沼泽化也可能形成较厚的煤层。这类界面具有等时性,是划分层序的良好界面。

(5)反映层序单元被侵蚀的削截面

在剖面上反映层序单元被削截的界面,实际上与大面积冲蚀或冲刷面具有相似的沉积学意义。地层被削截的结果是某些地层单元由于地层抬生或者由于暴露被侵蚀,实际上是陆相地层重要的沉积间断面,尽管这种界面不及构造运动面规模大,但是它也是划分层序的重要界面。

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,对石炭—二叠系进行高分辨层序划分,并进行了基准面旋回识别与划分。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。

中奥陶统与上石炭统间的假整合面作为第一个具有区域构造意义的层序界面,为层序1的底界面;层序2和层序3的界面都是区域性的海进和大规模海退事件界面;层序3顶界面为盆地转换界面,即由陆表海盆地向大型陆相盆地转换界面,实际上是盆地构造应力场转换面。层序1、2、3是陆表海盆地充填沉积层序,主要是煤成气源岩发育的层序。这3个层序是二元结构层序,即一个层序由两个体系域单元组成。层序4大致相当于山西组(不完全一致)层段,是盆地转换期形成的层序,以三角洲体系发育为特点;下石盒子组、万山段、奎山段到孝妇河段划分出层序5、6、7、8。层序4至层序8为三元结构层序,每个层序还可以划分出低水位体系域、水进体系域和高水位体系域及若干个小层序。

1.2 储层岩石学特点

致密砂岩作为天然气储层越来越受到重视^[3-7],在济阳孤北区孤1井发现的煤型气藏储于二叠系石盒子组砂岩层中。济阳二叠系煤成气储层即属于致密砂岩,因此,针对煤成气勘探实际,重点对二叠系砂岩储层进行剖析。本区砂岩的基本类型主要有:石英砂岩、长石石英砂岩、岩屑石英砂岩、岩屑砂岩和凝灰质砂岩,少量石英杂砂岩、长石石英杂砂岩。石英砂岩以奎山段较发育,长石石英砂岩以山西组发育,岩屑石英砂岩以孝妇河段较发育。

(1)碎屑颗粒的成分

石英:碎屑石英主要为单晶石英,常见多晶石英,少量燧石。单晶石英大部分来自岩浆岩,少量来自沉积岩和变质岩。其标型特征有:含有大量气液包裹体的花岗岩型单晶石英;具港湾状蚀边的火山岩型单晶石英;具磨蚀自生加大边的二轮回沉积岩型单晶石英和普遍发育波状消光的变质岩型

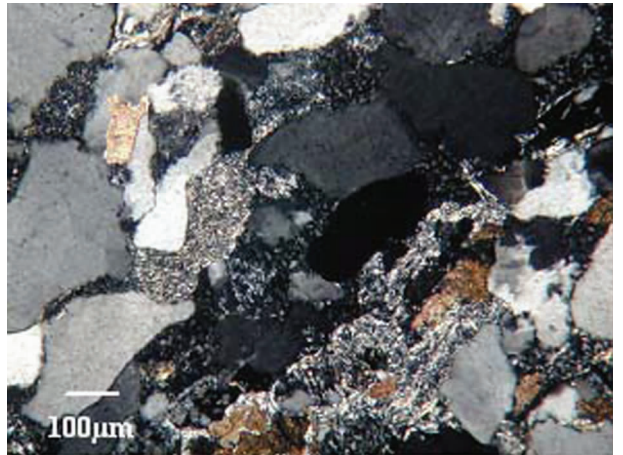
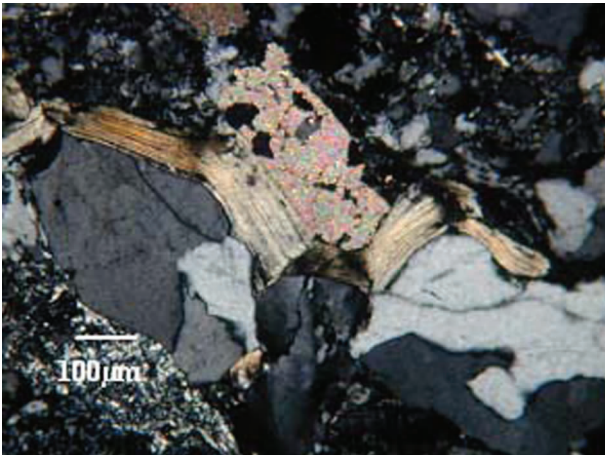


图2 黑云母被压实弯曲、折断,方解石交代长石,呈长石碎屑假象(正交偏光,义136井)

Fig.2 Biotite is curved and broken under compression and calcite replaces feldspar to occur as pseudomorphs of feldspar detritus (crossed nicols; well Yi136)

图3 被挤入刚性碎屑孔隙中呈假杂基状的泥质岩岩屑(正交偏光,孤北古1井)

Fig.3 Muddy lithic fragments squeezed into pores of rigid detritus and occur as pseudo-matrix (crossed nicols; well Gubeigu1)

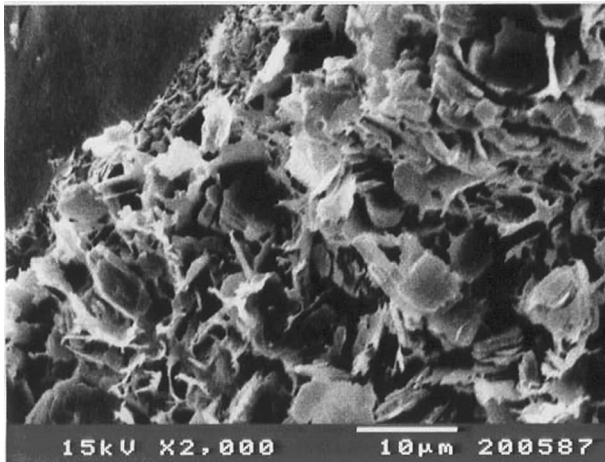


图 4 自生绿泥石沿碎屑表面分布呈薄膜状
(孤北古 3 井)

Fig.4 Authigenic chlorite distributed along surfaces of detritus, occurring as thin films (well Gubeigu3)

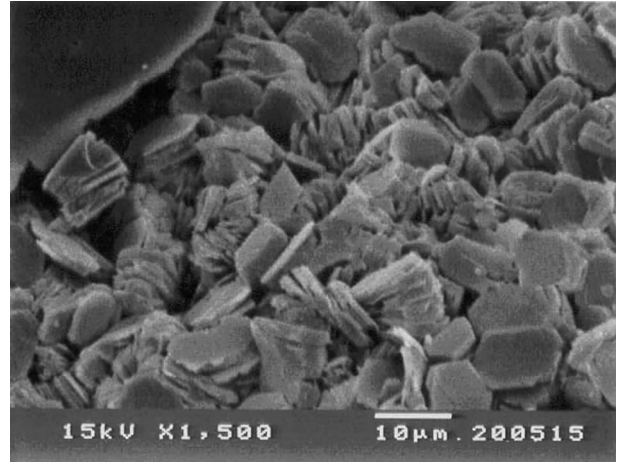


图 5 不等粒石英砂岩中的自生高岭石,六边形片状,书册状集合体(孤北古 1 井)

Fig.5 Authigenic kaolinite in inequigranular quartz sandstone, occurring as hexagonal and book-like aggregates (well Gubeigu1)

单晶石英等;多晶石英主要为变质岩型和脉石英。

长石:砂岩中长石含量一般不太高,所见长石多为钾长石类,如正长石、微斜长石和条纹长石,斜长石主要为来自岩浆岩的中酸性长石。长石常遭受高岭石化、绢云母化和碳酸盐化等次生变化,碳酸盐化强烈的斜长石可全部或大部分发生变化,仅保留长石碎屑的假象(图 2)。长石受压实作用的影响,常发生塑性和脆性变形,表现为双晶弯曲、凹凸接触、破裂成碎粒状等。

岩屑:砂岩中岩屑组分较为复杂,在山西组和下石盒子组,岩屑以燧石最为常见,其次为泥岩岩屑(图 3)。在上石盒子组岩屑成分则以中酸性喷出岩、火山凝灰岩为主;可见变质岩岩屑,以浅变质石英岩、泥板岩的岩屑较为常见。泥岩、粉砂岩岩屑受压实作用影响,有时被挤入刚性碎屑的孔隙中,呈假杂基状。

(2)胶结物的成分

胶结物成分以硅质、钙质和绿泥石质较为常见。硅质胶结物主要呈次生加大、粒状自生石英和微晶-隐晶质玉髓 3 种形式产出;钙质胶结物呈泥晶、细粒粒状和连生结构 3 种形式产出;自生绿泥石则常以薄膜状环绕碎屑颗粒分布(图 4),应属成岩作用早期的产物;自生高岭石在扫描电镜下常呈书册状、假六方片状晶体(图 5)。

1.3 成岩作用特点及孔隙发育特点

1.3.1 砂岩成岩作用特点

(1)压实及碎屑变化特点

经研究,本区岩石遭受的成岩变化主要有压实压溶作用、胶结作用、溶蚀作用、交代作用及粘土转化等作用。

在压实作用下,碎屑发生破裂,产生裂纹、裂隙,甚至破裂成多个小碎块,成碎粒状,其中以长石类碎屑的刚性破裂

最为普遍(图 6)。在较强烈的压力作用下,长石首先沿解理缝、双晶缝发生破裂,进而产生不规则裂隙,直至破碎成碎粒(图 7)。机械的破碎作用可能发生在成岩作用的早期,沉积物埋藏较浅的条件下,由于埋深较浅、温度较低,碎屑矿物脆性,不易发生塑性变形,当上覆沉积物负荷过大时便产生自身破裂。

(2)胶结作用

本区砂岩中的胶结物类型多样,常见的有碳酸盐质、硅质,此外还见少量绿泥石、黄铁矿、菱铁矿等自生矿物,它们分布局限,或呈均匀分散状,或呈斑块状。

硅质胶结:硅质胶结物以次生加大石英、自生粒状石英晶体(图 8)和玉髓 3 种形式产出。次生加大的石英形成较早,为成岩作用早期的产物,其形成作用又可分为早晚两个阶段,第一阶段的次生加大石英,形成于强烈压实作用之前,由于碎屑岩粒间孔隙发育,自生石英有较充足的自由结晶沉淀空间,因此自生石英可沿整个石英碎屑表面沉淀,故形成几乎包围整个石英碎屑表面的次生加大边,有时形成较自形的外形,在薄片可见平直的晶面迹线(图 9)。硅质胶结物晚期的次生加大边形成于主要压实期之后,强烈的压实作用,使岩石的粒间孔隙减小,颗粒由游离状、漂浮状分布变为点状接触、线接触甚至出现凹凸接触,粒间溶液中饱和的 SiO_2 ,或者由于压溶作用产生的 SiO_2 ,就会在颗粒接触处外的粒间孔隙中沉淀,该阶段形成的次生加大边不连续,被紧密接触的碎屑颗粒隔开,其外形一般也不规则,厚度较薄。粒状自生石英和玉髓质胶结物的形成一般晚于次生加大石英,常出现在次生加大边之外的孔隙中,或与水云母等杂基混杂,充填于孔隙之中。

钙质胶结:本区钙质胶结物的成分主要为方解石,胶结物的结构有粉-细晶结构(图 10)和连生结构两种类型。早期

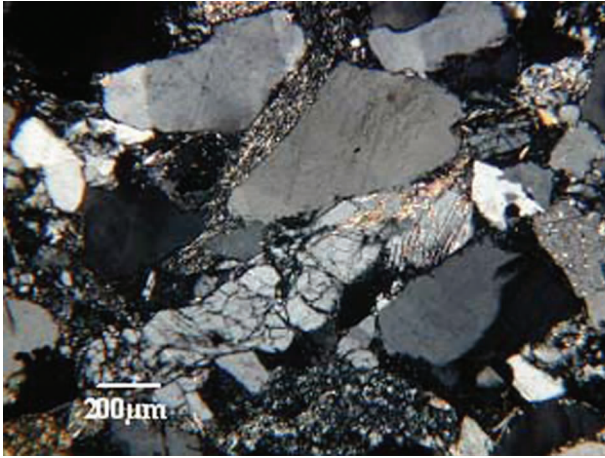


图 6 正长石被压碎呈碎粒状,形成粒内孔
(正交偏光,义 136 井)

Fig.6 Orthoclase grains are crushed as cracked grains, forming intragranular pores (crossed nicols; well Yi136)

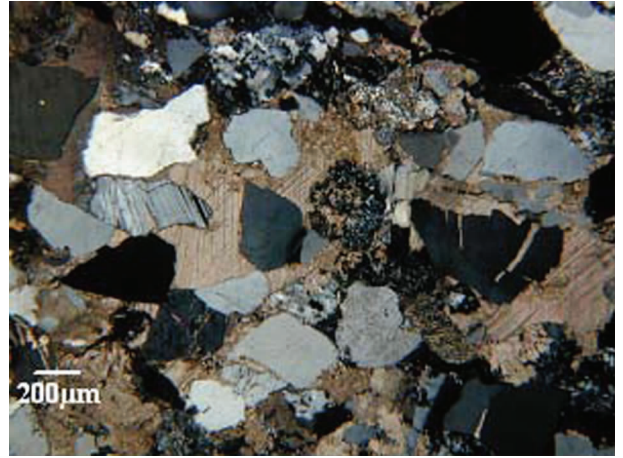


图 7 斜长石受压力作用沿双晶结合面裂开,被后期方解石胶结物充填(正交偏光,义 136 井)

Fig.7 Plagioclase is spitted along composition planes of twins under pressures and filled by late-stage calcite cement

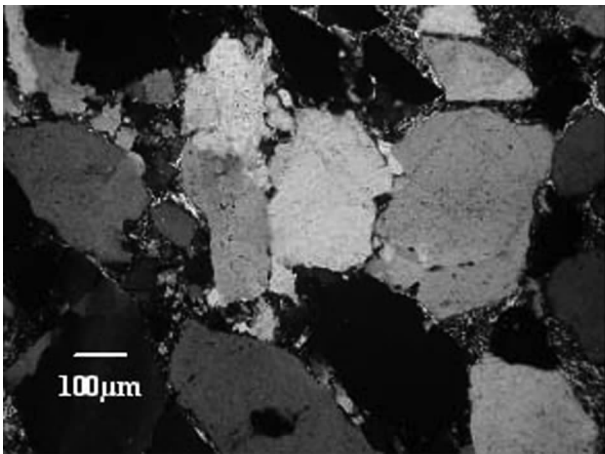


图 8 硅质胶结物的次生加大胶结及粒状自生石英边缘趋向平直(正交偏光,孤北古 2 井)

Fig.8 Secondary overgrowths of siliceous cement and edges of authigenic granular quartz tending to be flat (crossed nicols; well Gubeigu2)

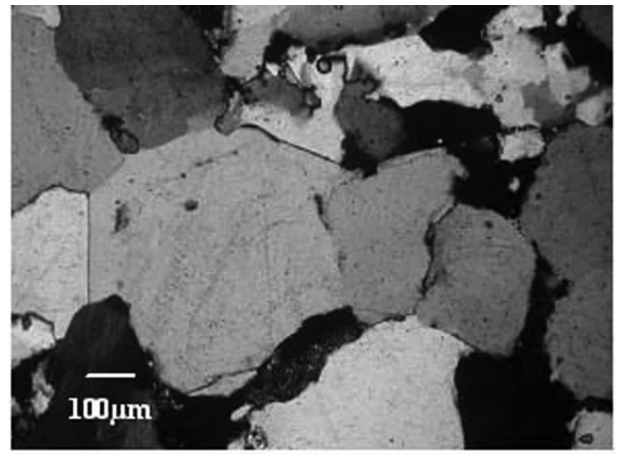


图 9 硅质胶结物的次生加大胶结,形成趋于自形的颗粒边缘(正交偏光,孤北古 2 井)

Fig.9 Secondary overgrowths of siliceous cement, forming edges of euhedral grains (crossed nicols; well Gubeigu2)

方解石胶结物呈连生式胶结,碎屑颗粒呈漂浮状分布于方解石胶结物中,且只有极少量的碎屑石英边部发育次生加大边,早期连生胶结的方解石,可能形成于同生、准同生期孔隙水的化学沉淀上覆沉积物覆盖很少,压实作用没有明显发生之前,后经重结晶作用而成(当然也可能与碎屑物质基本同时形成的碳酸盐质杂基),因此这类砂岩压实作用表现不明显。晚期方解石胶结物胶结方式以孔隙充填为特征,呈不规则状分布在以线状和凹凸状接触为主的碎屑颗粒之间,或者充填在压实作用或构造应力作用形成的裂隙中(图 11)。晚期方解石的沉淀发生于部分溶解作用之后,从早期沉淀到溶解再到晚期沉淀,反映出孔隙水性质的变化是从碱性变酸性再变碱

性的过程。

此外还发现有绿泥石质胶结、铁质胶结、白云石胶结等胶结类型。

(3)交代作用与溶蚀作用

本区砂岩中见到的交代和溶蚀现象主要有:碎屑颗粒的被交代现象,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,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 12),这种现象可能发生于成岩作用的晚期。

强烈的溶蚀作用可以形成大量的次生粒间和粒内孔隙,

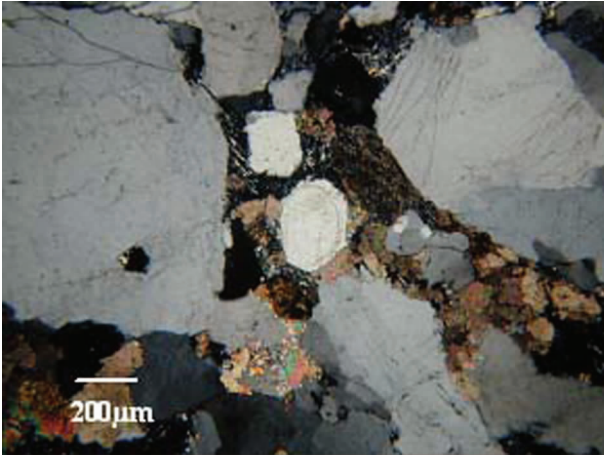


图 10 硅质围绕石英碎屑的次生加大和碳酸盐胶结物的粒状结构(正交偏光,孤北古 1 井)

Fig.10 Secondary overgrowths of quartz detritus surrounded by silica and granular texture of carbonate cement (crossed nicols; well Gubeigu1)

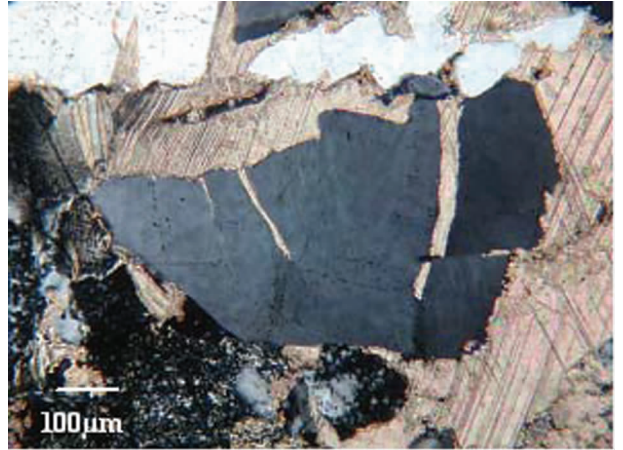


图 11 晚期钙质胶结物,充填压碎的石英裂隙呈连生结构(正交偏光,义 136 井)

Fig.11 Late-formed calcareous cement fills in crushed quartz cracks to form an intergrown texture (crossed nicols; well Yi136)

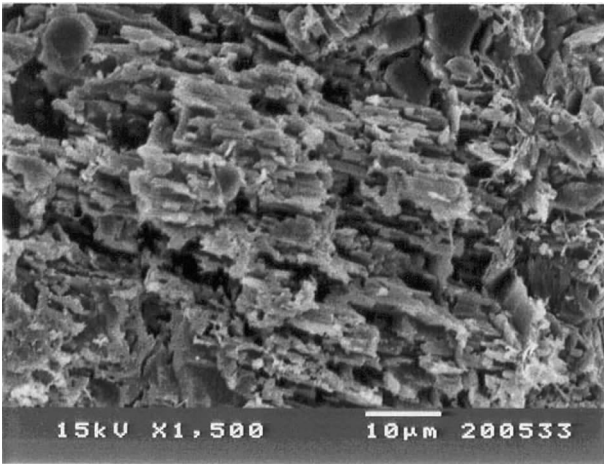
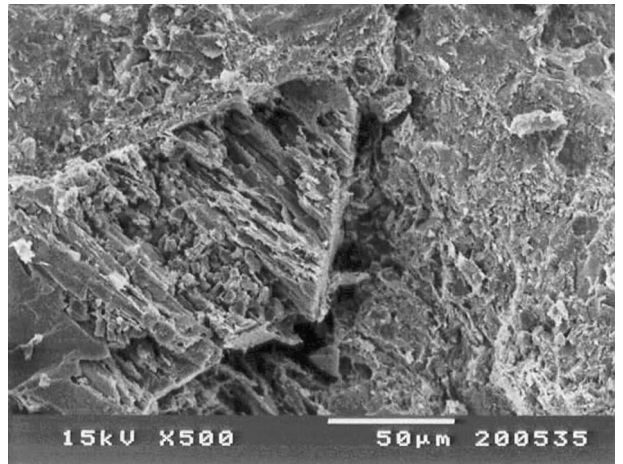


图 12 碎屑长石被溶蚀成残骸状,形成粒内孔隙(义 136 井)

Fig.12 Detrital feldspar is corroded into skeletons to form intragranular pores (well Yi136)



从而改善砂岩的储集性能。

1.3.2 孔隙发育特点及成岩序次

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,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,这种现象可能发生于成岩作用的晚期。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。

(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。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。

根据上述各种成岩作用的特征以及各种成岩作用的之

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、紧密线形接触、凹凸接触,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)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。

2 煤成气孔隙储层典型沉积相

济阳地区砂岩储层主要发育于山西组 and 上石盒子组西山段、奎山段和孝妇河段,典型沉积相如下。

2.1 河床滞留相

在河道冲刷面上面发育河床滞留沉积,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。

2.2 边滩相

边滩沉积是河流沉积体系中最常见、最主要的单元,在研究区的石盒子组及以上地层中均发育边滩沉积。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。

因垂向沉积序列上,层理类型具胡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。

2.3 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。

2.4 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,成熟度较低,磨圆不好,分选差,层理不发育,可见有粒序层理,底部具侵蚀构造。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

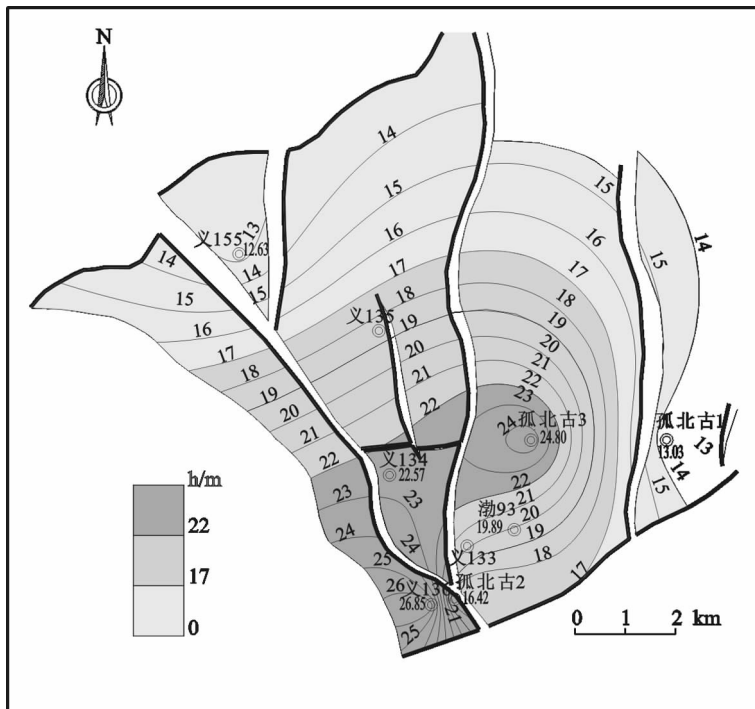


图 13 层序 6 低水位体系域砂岩厚度分布图

Fig.13 Distribution of sandstone thickness of lowstand system tracts in sequence 6

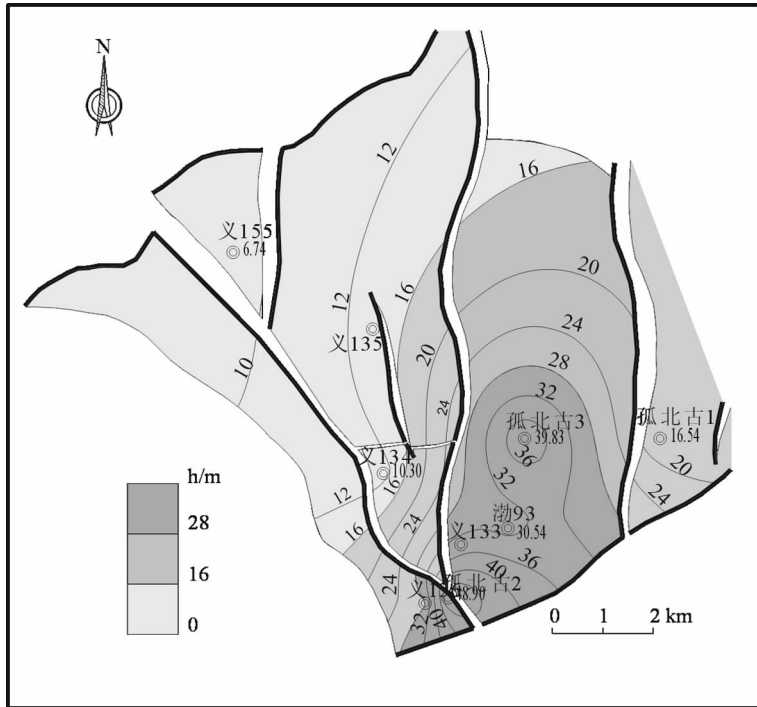


图 14 层序 6 高水位体系域砂岩厚度分布图

Fig.14 Distribution of sandstone thickness of highstand systems tracts in sequence 6

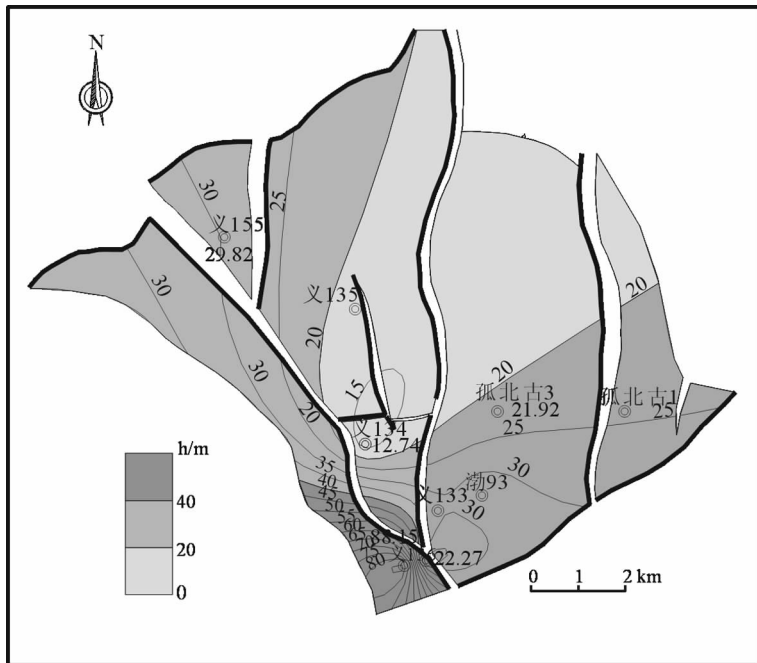


图 15 层序 7 砂岩厚度分区图

Fig.15 Divisions of sandstone thickness of sequence 7

楚,底界面具侵蚀或冲刷面,顶界面则为突变面。

3 砂岩型储层的空间展布特征

以济阳地区孤北区块为解剖重点,研究了煤成气砂岩储

层的空间展布特点。层序 6 和层序 7 为典型的储层层序,即煤成气储集层主要发育于这两个层序的低水位体系域和高水位体系域单元内。层序 6 地层厚度呈现南北向展布、东西分带的规律,地层厚带在孤北区的东部。层序 6 地层与层序 5

地层分布规律基本一致,说明两个层序在沉积上具有继承性特点。但是,层序 6 砂岩的分布与其地层分布的关系比较复杂,呈不同方向的交叉。层序 6 砂岩总厚度分布呈现为南厚北薄的趋势,砂质沉积在地层厚度由薄到厚的过渡带上,厚度较大的区域显示南北呈带状展布的规律,大致反映一种主水道活动的方向。

低水位体系域砂岩的展布呈现一种复杂的分布关系(图 13),总的来看呈现南厚北薄、东厚西薄的规律,可以认为是一种扇形分布特点,反映出低水位时期,湖泊水下扇、湖底扇沉积是好的储集层。

水进体系域砂岩厚度较小砂岩主要分布在南部,孤北区的北部大片没有砂质沉积。反映在水进时期,活动碎屑沉积不活跃,陆源碎屑供应贫乏。

高水位体系域砂岩的分布与层序 6 总的砂岩厚度分布一致(图 14),反映在高水位时期,孤北区有一个主水道活动,是高水位期砂质沉积主要控制水动力条件。

层序 7 为上石盒子储层发育的重要层序,层序 7 厚度变化与前面几个层序厚度分布规律相反,北部厚南部薄,大于 100 m 的厚带在孤北区的北部,呈近东西向展布。砂体的分布也与层序 5、6 不同,砂岩厚度大的区域在西北部、西部和东南部,中间有一个变薄的条带(图 15)。整体上看,层序 7 砂岩厚度较大,而且在孤北区具有广泛分布的特点,因此是储层发育的层序。

4 结 语

通过对济阳地区石炭—二叠系高分辨率层序地层分析,特别是对济阳地区二叠系主要沉积体系骨架砂岩沉积分析、储层岩石学与沉积学分析、煤成气储集空间及成岩序次分析,对济阳地区二叠系煤成气砂岩储层有了清晰的认识,获得如下结论:

(1)高分辨层序地层划分是进行砂岩储层分析的前提,因为在划分了高分辨率层序地层单元,才能确定主要砂岩储层的空间展布特点。研究表明:济阳地区石炭—二叠系共划分出 7 个层序,层序 1~3 为陆表海盆地充填层序,只发育海侵体系域和高水位体系域,层序 4~7 为大型陆相盆地充填层序,由低水位、水进和高水位体系域构成。主要砂岩储层发育于低水位体系域和高水位体系域内。

(2)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。石炭—二叠系砂岩成岩作用强烈,原生粒间孔隙保存较少,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和充填在粒间孔隙之间的杂基或胶结物是在后期经溶蚀作用形成的。

(3)储集空间类型主要有 4 种:即粒间孔隙(包括原生和

次生两种)、粒内孔隙、微孔隙和裂隙,成岩作用是储集空间的主要影响因素,随着成岩作用的发展,储层孔隙空间经历了由高孔隙到孔隙消亡再到孔隙发育的过程。

参考文献(References):

- [1] 陈钟惠, 武法东, 张守良, 等. 华北晚古生代含煤岩系的沉积环境和聚煤规律[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.
Chen Zhonghui, Wu Fadong, Zhang Shouliang, et al. The Depositional Environments and Coal-Accumulation Regularities of Late Paleozoic Coal-Bearing Measures in North China [M]. Wuhan: Press of China University of Geosciences 1993, (in Chinese).
- [2] 曹忠祥, 刘华, 王玉林. 济阳拗陷石炭二叠系沉积与层序地层分析[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2002, 21(2):68-71.
Cao Zhongxiang, Liu Hhua, Wang Yulin. Sedimentation and stratigraphic sequence analysis of Permo-carboniferous system in Jiyang Depression [J]. Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2002, 21(2): 68-71(in Chinese with English abstract).
- [3] 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[J]. 现代地质, 2002, 16(4):408-413.
Jin Xiuju, Yao Hefa, Liu Zhenxing, et al. Reservoir damage evaluation and protection for low permeability sand gas field [J]. Geoscience, 2002,16(4):408-413(in Chinese with English abstract).
- [4] 吴志均, 唐红君, 安凤山. 川南新场致密砂岩气藏层理缝成因探讨[J]. 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 [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(2): 109-111(in Chinese with English abstract).
- [5] 陈必孝, 徐炳高. 超致密砂岩储层裂缝与含气性识别 [J]. 测井技术, 2003, 27(2):136-139.
Chen Bixiao, Xu binggao. Identification of fracture and gas-bearing bed in hypercompact sandstone reservoir [J]. Well Logging Technology, 2003, 27(2):136-139(in Chinese with English abstract).
- [6] 王文耀, 曹家玉, 郭光, 等. 江苏龙滩组砂岩空隙结构和因子分析[J]. 石油实验地质, 1994,16(2):164-171.
Wang Wenyao, Gao Jiayu, Guo Guang, et al. Factor analysis on the pore texture of the tight sandstone in the Longtan Formation (Jiangsu)[J]. Experimental Petroleum Geology, 1994, 16(2):164-171 (in Chinese with English abstract).
- [7] 朱筱敏, 张强, 吕雪雁, 等. 塔里木盆地塔北与塔中地区东河砂岩段沉积特征对比[J]. 中国地质, 2005, 32 (4):648-654.
Zhu Xiaomin, Zhang Qiang, Lv Xueyan, et al. Comparison of the sedimentary characteristics of the Donghe sandstone between the Tabei and Tazhong areas, Tarim basin [J]. Geology in China, 2005, 32(4): 648-654(in Chinese with English abstract).

Deposition, stratigraphic sequences and spatial distribution of coal gas reservoirs—A case study of the Gubei block in Jiyang

LI Zeng-xue^{1,2}, ZHANG Shan-wen³, LIU Hua³, FANG Qing-hua¹, HAN Mei-lian¹

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

2. *Shandong Research Center for Petroleum Exploration and Exploitation Engineering, Qingdao 266510, Shandong, China;*

3. *Shengli Oilfield Co. Ltd, Sinopec, Dongying 257015, Shandong, China)*

Abstract: High-frequency sequence stratigraphic division of the Permian–Carboniferous in the Jiyang area has been made. Seven depositional sequences have been distinguished. Sequence I, II and III are of binary structure, that is, they are composed of transgressive systems tracts and highstand systems tracts. Sequences IV to VII are of tertiary structure, that is, they are composed of lowstand systems tracts, transgressive systems tracts and highstand systems tracts. The main coal gas reservoirs are developed in the lowstand systems tracts and highstand systems tracts in sequences IV to VII. The main frame sandstones are: the deltaic sand body of the deltaic plain dominated by distributary channel deposits; filling deposits of the river channel in the river system which are dominated by point-bar deposits; distributary channel deposits and sandy deposits of lakeshores and shallow lakes of the lake system dominated by lake delta and lakeshore sandy deposits; channel filling deposits and sandy deposits along the shore in the composite river–lake sedimentary system; and also flood fan deposits. The coal gas accumulations occurring in Permian sandstone (compact sandstone) are the most important natural gas accumulations. As the diagenesis of the Permian–Carboniferous sandstone was strong, scarce primary intragranular pores have been preserved and most intragranular pores formed by late-stage corrosion. Such secondary intragranular pores formed by late-stage corrosion of matrix or cement filling between the intragranular pores.

Key words: coal gas; deposition of reservoirs; high-frequency sequences; distribution of reservoirs

About the first author: LI Zeng-xue, male, born in 1954, professor, engages in coal geology and sequence stratigraphy; E-mail: lizengxue@263.net.