井资料高分辨率层序地层学

谢寅符¹,李洪奇¹,孙中春²,罗兴平²

1. 中国石油大学资源与信息学院,北京 102249
 2. 新疆石油管理局勘探开发研究院,新疆克拉玛依 834000

摘要:在准层序中进行层组一级地层单元的识别和对比是高分辨率层序地层学研究的主要难点.提出了一种综合应用并 资料进行层组界面识别和对比的新方法.通过测井曲线形态特征、岩心观察、铸体薄片、X 衍射、扫描电镜分析、FMI 测井资 料,对工区内钙质夹层成因、泥岩电阻率差异、储层电阻率和海拔深度关系进行了研究.结果表明:钙质夹层单层厚度在 0.5~2m之间,靠近风化壳和断层位置单层厚度大,分布在水下分支河道底部和河口坝顶部;低阻泥岩(4~5 Ω • m)和高 阻泥岩(>10 Ω • m)分别来源于不同的沉积物源或者形成于不同的沉积相带;储层电阻率随着海拔深度的增加而增加.因 此,钙质夹层可以作为层组界面识别和对比的标志,利用泥岩电阻率差异可以确定层组的叠置关系,判断储层连通性.据 此,建立了准噶尔盆地石南地区西山窑组含油层段等时地层格架,确定了格架内储层的连通性及油水界面,并且通过 MDT 测井资料进行了验证.在此等时地层格架内,层组的发育顺序、叠置关系、空间展布形态、以及彼此之间的连通性都被定性、 定量的表征出来.

关键词:准噶尔盆地;井资料层序地层学;钙质夹层;泥岩电阻率;电阻率与海拔深度关系;储层连通性. 中图分类号:P618.13 文章编号:1000-2383(2006)02-0237-08 收稿日期:2005-04-18

Logging Data High-Resolution Sequence Stratigraphy

XIE Yin-fu¹, LI Hong-qi¹, SUN Zhong-chun², LUO Xing-ping²

1. Resource and Information Faculty, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. Research Institute of Exploration & Development, XPAB, Karamay 834000, China

Abstract: The recognition and contrast of bed sets in parasequence is difficult in terrestrial basin high-resolution sequence stratigraphy. This study puts forward new methods for bed set boundary identification and contrast on the basis of manifold logging data. This paper considers the formation causes of calcareous interbeds, shale resistivity differences and the relation of reservoir resistivity to altitude, on the basis of log curve morphological characteristics, core observation, founding slice, X-diffraction and scanning electron microscopy. The results show that the thickness of calcareous interbeds is between 0.5 m and 2 m and its thickness is increased on weathering crusts and faults. Calcareous interbeds occur at the bottom of a distributary channel and the top of a distributary mouth bar. Lower resistivity shale $(4-5 \ \Omega \cdot m)$ and higher resistivity shale $(>10 \ \Omega \cdot m)$ reflect differences in sediment fountain or sediment microfacies. Reservoir resistivity increases with altitude. So calcareous interbeds may become a symbol of recognition and isochronous contrast bed sets, and shale resistivity differences may confirm the stack relation and connectivity of bed sets. On the basis, the author founds the high-resolution chronostratigraphic framework of Xi-1 number in Shinan area in Junggar basin, and confirmed the connectivity of bed sets are a qualitative and quantitative token.

Key words: Junggar basin; logging data sequence stratigraphy; calcareous interbeds; shale resistivity; relationship of resistivity to altitude; connectivity of reservoir.

基金项目:国家"十五"重大科技攻关项目(2001BA605A09).

作者简介:谢寅符(1974-),男,在读博士,主要从事测井资料处理解释及测井层序地层学. E-mail: xieyinfu@163. com

0 引言

露头、岩心、测井资料的层序地层学始于 20 世 纪 80 年代早期,是在利用岩石资料来检验地震地层 学方法的基础上发展起来的. 10 多年来,随着研究 的不断深入(Vail, 1987; Posamentier and Vail, 1988; Wagoner *et al.*, 1988, 1990),露头、岩心、测 井资料层序地层学作为层序地层学的一种研究方 法,取得了长足的进步.本文所提出的井资料高分辨 率层序地层学是以层序地层学、岩石物理学、测井学 的基本理论为指导,综合运用大量的测井、录井、钻 井信息并结合其他地质、测试等信息进行层序地层 学研究的方法.

在油田或油藏范围内,高分辨率层序地层学主 要通过关键界面的识别和对比来进行研究.这里的 高分辨率是指等时对比的沉积地层单元达到常规地 震资料无法识别的准层序及层组级次(Aitken and Howell,1996).对于陆相湖盆来说,沉积物供给复 杂,事件性沉积作用多.异旋回作用过程与自旋回作 用过程复杂地交织在一起,高频的关键界面往往被 复杂的自旋回沉积作用(河道冲刷、决口扇及漫滩沉 积)所掩盖,大大地增加了关键界面识别、对比的难 度.为了解决这一难题,本文以准噶尔盆地石南地区 含油层段为例,综合应用井资料对层组及其界面进 行研究,探讨了在陆相油田进行油藏范围内高分辨 率层序地层学研究的方法和技术.

1 地质概况

石南地区位于准噶尔盆地古尔班通古特沙漠腹 地,构造区划属陆梁隆起西段,为一南倾单斜,地层 倾角 1°~3°.整体处于张应力控制之下,发育多条南 西—北东向正断裂,多数由三叠系断至白垩系底部, 倾向为北—西向或南—东向.工区内侏罗系地层自 下而上为:八道弯组(J₁b)、三工河组(J₁s)、西山窑组 (J₂x).其中西山窑组一段(J₂x₁)为工区内的主要含 油层段,以三角洲前缘的河口坝和水下分支河道微 相为主,物性参数孔隙度为 1.6%~19.7%,平均 13.08%;渗透率 0.01 μ m²~4.44 μ m²,平均 4.025×10⁻³ μ m².为低孔隙度、低渗透率,中等排驱 压力,孔隙连通性较好的中等储集层.

石南地区油气藏具有目的层位单一、储层横向

变化快的特点,在前期地震资料预测的储层范围内 部署的几口探井相继落空.另外,该油气藏属层状油 气藏,具有多套油水系统,由于未能很好地识别油水 系统间的隔层(渗流屏障)(朱东亚等,2003),致使一 些砂体的油、水层性质判断失误.导致上述问题的主 要原因是常规的小层对比方法不能适应本区复杂的 地质情况(纵横向相变快、砂体分布复杂、水下分流 河道发育、常规的标志层不明显等),因此不能有效 地建立等时地层单元格架.为此,对该区开展了高分 辨率层序地层学分析.

2 井资料高分辨率层序地层学研究方 法

在准层序中进行层组一级地层单元的划分对比 是高分辨率层序地层学研究的主要难点.前人的研 究多是通过韵律性旋回的转换面来识别的(郑荣才 和彭军,2003).在三角洲前缘亚相,发育完整的层组 包括向上变深和向上变浅2种类型,前者主要发育 在水下分流河道部位,其下部岩性较粗,由具板状交 错层理的砂岩组成,向上渐变为具水平层理的暗色 泥岩,垂向上显示为正韵律特征,自然伽玛曲线表现 为钟型,后者主要发育在河口坝部位,垂向上显示为 反韵律特征,自然伽玛曲线表现为漏斗型.但是,由 于多期水下分支河道的侵蚀冲刷作用,经常导致层 组的保存不完整,泥岩被剥蚀掉,垂向上几个层组表 现为砂与砂的接触关系.这时,钙质夹层可以作为层 组的界面进行识别.

2.1 层组界面的岩心和测井曲线识别

钙质夹层(林承焰等,1996)是指钙质胶结致密 的砂岩.其断面上可见玻璃光泽的碳酸盐矿物晶体, 主要岩石类型是中、细砂岩.填充物中杂基含量 0%~7%,平均3.2%;杂基中以高岭石为主,含量 0%~7%,平均2.4%;其余成分含量0%~5%,平 均0.8%.钙质胶结物含量超过10%,最高可达 18%,主要成分为方解石,还有少量白云石等成分. 这种胶结物是由于成岩作用形成的.胶结类型以孔 隙一压嵌型和压嵌型为主,部分为压嵌—孔隙型和 孔隙型.

取心井钙质夹层段相对应的测井响应值明显不 同于其他岩性段,9条常规测井曲线读值异常.归纳 起来,钙质夹层电性特征如下(图1):(1)自然电位



图 1 钙质夹层的典型测井曲线特征

Fig. 1 Characteristics of logging curves of calcareous interbeds

偏向正异常;(2)井径无扩径现象,钻时值高且变化 小;(3)自然伽玛低值;(4)感应测井的3条电阻率曲 线为高值,其值比油层电阻率值还高很多,并且3条 电阻率曲线基本重叠;(5)密度测井明显高值;(6)中 子测井明显低值;(7)声波时差明显低值,一般小于 21 μ s/m,当夹层厚度大于1.5 m时,声波时差值小 于 18 μ s/m;(8)FMI 图像显示白色.

2.2 钙质夹层的成因分析

石南地区侏罗系西山窑组储集层岩性主要为灰 色、褐灰色细一中粒长石质岩屑砂岩.碎屑成分中石 英含量 18%~37%,平均 28.48%;长石含量17%~ 28%,平均 20.7%;岩屑含量 $40\% \sim 65\%$,平均 50.6%,岩屑成分主要为凝灰岩岩屑,含量 25%~ 43%,平均34%,其次为霏细岩、硅质岩、泥板岩、花 岗岩、安山岩等. 石英含量普遍偏低,长石和岩屑平 均含量非常高.砂岩储层粘土矿物以高岭石为主,其 次为伊/蒙混层,少量伊利石,从粘土矿物类型、组合 及演化可以认为从早成岩期至晚成岩期,包括长石、 岩屑等不稳定组分在粘土杂基含量少的原生孔隙较 发育的储层中发生了溶解和交代作用,形成了高岭 石和蒙脱石等自生粘土矿物(刘宝珺和张锦泉, 1992; Barnes et al., 1992); 与此同时, 在酸性水的 作用下,粘土杂基也向自生高岭石转化,从而为碳酸 盐胶结作用和钙质夹层的形成提供了 Ca²⁺、Mg²⁺ 和 HCO₃-等物质基础. 粘土杂基高岭石化和不稳 定组分溶解、交代作用在前,钙质胶结和钙质夹层形 成在后,其主要证据是:(1)方解石交代长石或岩屑、 石英次生加大(图 2a):(2)部分方解石呈半自形充 填粒间或粒内溶孔;(3)见方解石充填粒间,具杂基 外形,为交代产物:(4)在方解石晶体内见粘土矿物 残余,为粘土矿物被溶蚀及方解石交代后的残余物 (图 2b), 故钙质夹层为不稳定组分溶蚀以后方解石



图 2 石英的次生加大及后期的方解石胶结 Fig. 2 Quartz secondary enlargement & terminal calcspar cementation

a. 方解石胶结,胶结物含量超过 12%,石南 xx 井,J₂x1²,2511 m,钙 质胶结砂岩,透射光,400×;b. 方解石胶结,胶结物含量超过 12%, 石南 xx 井,J₂x1²,2511 m,钙质胶结砂岩,正交偏光,400×

胶结交代的结果. 在碳酸盐胶结物中方解石含量最 高,其次是白云石,它与方解石呈交代关系,为晚期 碳酸盐胶结产物.

无论是不稳定组分的溶解和交代作用,还是碳 酸盐胶结作用,都与酸性水有关,同时需要孔隙水的 不断渗流和交替,否则溶解和胶结作用很快将因处 于相对平衡状态而停止(拜文华等,2002).本文研究 认为,酸性水主要有2种来源:(1)大气酸性水.工区 内的侏罗系西山窑组一段 (J_2x_1) 地层上覆风化壳, 大气水从风化壳垂向渗流到西一段 (J_2x_1) 地层内 (黄思静等,2003),然后进行环流.工区内发育的断 层也是大气酸性水的另一个主要来源(图 3),酸性 水通过断层到达较深的地层(杨威等,2003);(2)地 层水,研究区地层含有多套煤层,地层水呈酸性(郑 浚茂和应凤祥,1997),大多是 NaHCO。型. 另外,地 层水性质的演化和岩石之间的相互作用以及它顺断 层的活动均有可能产生酸性水.不断流动的酸性孔 隙水对不稳定成分进行溶解和蚀变作用,含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO₃ 离子的孔隙水在一定的环境 下进行胶结作用,形成钙质夹层.



图 3 酸性水主要来源及流动示意

Fig. 3 Sketch map of origin and current mode of acidic water

通过对钙质夹层形成机制的探讨看出,钙质夹 层的分布是有规律可循的:(1)在平面上,靠近构造 高部位和断层位置的钙质夹层明显比远离它们的地 层中的钙质夹层单层厚度大. 在构造高部位,由于剥 蚀作用强烈,储集层砂体直接与上伏风化壳接触,中 间缺少泥岩隔层,酸性水流动活跃,导致钙质夹层相 对比较发育,在靠近断层的位置同样如此:(2)在垂 向上,钙质夹层分布在2种位置,①出现在三角洲前 缘水下分支河道底部;②出现在三角洲前缘河口坝 顶部,根据岩心观察结果,钙质夹层形成于特定的岩 性和岩相中,在粒度适中的颗粒支撑中—细砂岩中 较常见,而在较细的细、粉砂岩以及杂基支撑砂、砾 岩中很少见,这是因为孔隙水在地层中流动时,总是 在孔隙条件好的储层中比较活跃.水下分支河道纵 向上呈现下粗上细的正韵律,底部砂岩粒度粗,泥质 含量低,原生孔隙比较发育,孔隙水易于流动,当孔 隙水中碳酸钙浓度达到饱和时,在适当的 pH 值和 Eh 值条件下,碳酸盐矿物发生沉淀,在分支河道底 部形成钙质夹层,河口坝正好与之相反,所以,钙质 夹层可以作为层组单元的界面进行识别。

2.3 层组的等时对比方法

前人对于层组的等时对比研究缺乏明确标准, 随意性较大.通常采用的方法是在已建立的准层序 级等时地层格架的基础上,以准层序为时间单元框 架,将各层组自上而下,或自下而上进行简单的叠 加.对比的结果经常多出或少出一个或几个层组,更 加无法确定哪一个(或几个)层组缺失.本文在将钙 质夹层可以作为层组界面进行识别的同时,通过比



图 4 蒙脱石胶体电阻率随孔隙度、矿化度的变化关系(据 Patchett, 1975)



较保存完整的层组中泥岩电阻率差异和层组中倾角 模式解决了上述难题.

2.3.1 利用泥岩电阻率的差异确定层组沉积的先 后顺序 Patchett(1975)在研究具有高阳离子交换 能力(CEC)蒙脱石胶体和低阳离子交换能力的高岭 石胶体电阻率与孔隙度、介质矿化度关系基础上,推 导出地层条件下泥岩电导率响应方程式.图4显示 随着孔隙度降低,介质矿化度对胶体电阻率的影响减 小,尤其是当孔隙度小于40%时,介质矿化度对粘土 胶体电阻率几乎没有影响.在地层条件下(孔隙度小 于30%)泥岩电导率方程式(Patchett, 1975)为:

$$logCsh = A_{0} + A_{1}log(\Delta t - \Delta t_{m}) + A_{2}logH + A_{3}logCEC + A_{4}T + A_{5}T^{2},$$
(1)
(1)式中: A_{0}, A_{1}, A_{2}, A_{3}, A_{4}, A_{5}为常数; Csh为



图 5 泥岩电阻率对比剖面

Fig. 5 Contrast section of shale resistivity

泥岩电导率 $(s/m);\Delta t$ 为岩石声波时差 $(\mu s/m);\Delta t_m$ 为非粘土(石英)矿物骨架声波时差 $(\mu s/m);H$ 为深 度或负载压力;*CEC* 为阳离子交换能力 $(m \cdot mol/g);T$ 为温度 $(\mathbb{C}).$

石南地区整体处于张应力条件下,目的层的埋 深和温度相差不大,平均孔隙度只有 13.08%,式 (1)中($\Delta t - \Delta t_m$),H,T几项变化很小.因此,阳离子 交换能力(*CEC*)的变化是造成泥岩电阻率差异的主 要因素,泥岩电阻率的这种差异说明泥岩的沉积物 源或沉积相带的不同.先根据相同的泥岩电阻率划 分出相同的泥岩单元,以此来确定层组沉积的先后 顺序.然后在相同的泥岩单元中进行层组的对比.

从利用自然电位、自然 GR、深、浅电阻率 4 条 曲线做的泥岩电阻率对比剖面图 (图 5)中可以看 到,相同电阻率值的泥岩将看上去彼此连通的储层 分隔成不同的单元:在剖面上,顶部的 4~5 Ω •m 的风化壳低阻泥岩(I)在 4 口井中都有分布,这套 泥岩在全区广泛分布,以此为基础,对全区的井资料 进行了标准化处理.底部的 4~5 Ω •m 的低阻泥岩 (III)在 X113、X119、X118 井中有分布,在 X118 井 和 X120 井井间尖灭,X120 井底部的大于 10 Ω •m 的高阻泥岩(II)在 4 口井中都有分布,位于高阻泥 岩之上的层组显然比之下的层组形成时间晚.

同时可以看出,在 X120 井的砂体与 X118 井上 部的砂体向着 X119 井方向歼灭,X118 井下部的砂 体与 X119 井、X113 井的砂体相连通,向着 X120 井 方向歼灭,这 2 套砂体之间有泥岩隔层存在,储层不 连通.实际上,X120 井的目的层位为水层,而其余 3



图 6 利用自然伽玛曲线(GR)和倾角模式(DIP)描绘砂体 形态

Fig. 6 GR curve shapes and DIP patterns help define and delineate sand bodies

口井的目的层位为油层.

2.3.2 利用地层倾角测井资料进行层组对比 处于同一分支河道的不同部位的同一个层组中,倾角模式的种类和数量可能有一些差别,但是地层倾角的蓝模式显示的古水流方向是一致的(图 6).反之,它们应属于不同的层组.此外,还应该注意到砂体上覆泥岩中红模式的出现规律,如 A 井中砂体上覆泥岩中的红模式显示下伏砂体向东展布,B 井中砂体上覆泥岩中的红模式显示下伏砂体向西展布.当 2 口井钻遇到不同的分支河道时,倾角模式也会出现类似的规律可循.

从工区内相邻井的对比图(图 7)可以看出,相 同的层组单元内具有大致相同的古水流方向.有时, 在同一个层组内的倾角模式表现出多个不同古水流





方向,自然伽玛曲线表明砂岩物性很好的曲线段,这 种情况大多出现在层组的下部,这个时候应该把这 些个别的倾角模式解释成交错层理.

3 高分辨率层序地层格架的建立

通过上述对钙质夹层的成因和分布规律、泥岩 电阻率差异、地层倾角测井资料的综合分析,对石南 地区含油层段进行了层组级次的时间地层单元的划 分和对比,建立了该地区高分辨率等时地层格架.该 准层序内可划分出 5 个层组,存在不同程度的缺失 (图 7).X108 井连续沉积第 4 个层组,缺失 3 个层 组;X21 井与 X106 井含有 4 个层组,第 3、第 4、第 5 个层组连续沉积,缺失第 2 个层组;X113 井与 X121 井含有 3 个层组,第 3、第 4 个层组连续沉积,缺失 第 2、第 5 个层组;X120 井连续沉积第 1、第 2 个层 组,缺失 3 个层组.

在此等时地层格架内,层组的发育顺序、叠置关 系、空间展布形态、以及彼此之间的连通性一目了 然.目前,石南油田已经进入早期开发阶段,开发井 井距 300 m.开发井的资料进一步验证了地层对比 的正确性,依据上述的地层对比方案进行的配产配 注取得了非常好的效果.尤其对于层状油藏多套油 水系统性质的判断以及不同油水系统之间的隔层 (渗流屏障)的识别非常准确.同时,为了进一步证明 上述对地层格架内储层连通性判断的正确性,提出 2 种地球物理方法进行检验.

4 地层格架内层组连通性的判断方法

根据石南地区 14 口井 902 组实验数据,经双对 数线性回归得到电阻率增大率计算模型及变 *m* 值 的阿尔奇地层因素模型:

$$I = \frac{1}{(1 - S_0)^{1.94}}, \qquad (2)$$

$$F = \frac{1}{\Phi^m} \,. \tag{3}$$

(2)、(3)式中:*I*. 电阻率增大率,无量纲;*S*₀. 含 油饱和度,小数;*F*. 地层电阻率因素;*m*. 胶结指数, *m*=2.01-1.53 Φ,无量纲;Φ 孔隙度,小数;模型相 关系数为 0.907.

利用 12 口井 98 块样品岩电实验数据建立了下 列含油饱和度模型:

$$S_0 = 0.426 + 0.012 H + 0.0067 \cdot \Phi \cdot \lg K.$$
(4)

(4)式中:*H*. 含油柱高度,单位 m;*K*. 渗透率, 单位 mD;模型相关系数为 0. 826.

将(4)式代入(2)式可得:

$$I = 1/(0.574 - 0.012 H - 0.0067 \cdot \Phi \cdot \lg K)^{1.94}.$$

(5)

当储层的岩性、物性及孔隙结构等基本相同时, Φ 和K均为常数,(5)式可以简化为:

$$I = \frac{1}{(A - B \cdot H)^n} \,. \tag{6}$$

(6)式中:A、B、n均为常数,(6)式代表了一条 递增的抛物线,式中电阻率增大率是含油柱高度的 函数,将含油柱高度换算成海拔深度,便可以直接从 测井曲线上读取电阻率和海拔深度值,建立起电阻



图 8 储层电阻率与海拔深度关系





率与海拔深度的对应关系.在同一油藏单元内,如果 储层的岩性、物性及孔隙结构等基本相同,则随着海 拔深度的增加,储层的含油饱和度和电阻率将有所 增加.

每口井储层采样点的物性基本一致(体积密度为 2.45 g/cm³)(图 8). 从图上可以看出,油层的电 阻率随着海拔深度的增加而增加,反映了在物性基本一致的情况下随海拔深度增加含油饱和度增加的 趋势.水层电阻率随着海拔深度增加略有增加.水层 和油层交点确定的油水界面为-X120 m. 此外,X120 井、L007 井与 X21、X113 等井电阻率差异很大,说明 它们不属于同一个油藏系统,表明储层不连通.

在该地区地层压力剖面图(图 9)上,X120 井与 X21、X113 等井的压力系统有明显的分区,不属于 同一个压力系统,储层不连通.此外,在同一个压力 系统内用压力数据进行了油水界面的解释,确定的 油水界面为-X120m,与利用电阻率与海拔深度确 定的油水界面结果一致.

应用上述方法建立的高分辨率层序地层格架在 油气田开发各阶段都有着广阔的应用前景,不仅可 以用来对储层进行更加有效的三维预测和评价,亦 可以用来对单层进行追踪对比,编制大比例尺的沉 积微相图,也可以用来表征储层结构和储层非均质 性,从而为油气藏精细描述、流体流动单元划分、储 层建模,乃至注采工艺的布置或调整,提供更加可靠 的地质模型.

5 **结论**

(1)钙质夹层的形成与成岩作用关系密切. 钙质 夹层的分布主要受风化壳、断层和沉积微相的控制. 钙质夹层主要分布在三角洲前缘水下分支河道底部 和河口坝顶部,可以作为层组的一种界面类型(六级 层序边界)进行识别和对比,建立油藏范围内的高分 辨率时间地层单元格架;(2)泥岩电阻率的差异与其 本身的粘土矿物成分及粘土矿物的分布关,反映出 泥岩的沉积物源或沉积相带的不同. 利用泥岩电阻 率的差异和地层倾角测井资料可以进行层组的对比, 确定层组的叠置关系;(3) 在同一油藏单元内,如果 储层的岩性、物性及孔隙结构等基本相同,则随着海 拔深度的增加储层的含油饱和度和电阻率将有所增 加. 利用储层电阻率与海拔深度的关系可以准确的确 定等时地层格架内层组的连通性,确定油水界面.

References

- Aitken, J. F., Howell, J. A., 1996. High resolution sequence stratigraphy: Innovations, applications and future prospects. In: Howell, J. A., Aitken, J. F., eds., High resolution sequence stratigraphy: Innovations and application, Geological Society Special Publication, London, 1—9.
- Bai, W. H, Lü, X. M., Li, X. J., et al., 2002. The mode of palaeokarstification and the fine reconstruction of the palaeogeomorphology in the karst basin; Taking Ordovician karst in eastern Ordos basin for example. *Geoscience*, 16 (3): 292 - 299 (in Chinese with English abstract).
- Barnes, D. A., Lundgren, Carl. E., Longman, M. W., 1992. Sedimentology and diagenesis of the St. Peter sandstone, central Michigen basin. AAPG Bulletin, 76(10): 1570-1582.
- Huang, S. J., Wu, W. H., Liu, J., et al., 2003. Generation of

secondary porosity by meteoric water during time of subaerial exposure: An example from Yanchang Formation sandstone of Triassic of Ordos basin. *Earth Science*—*Journal of China University of Geosciences*, 28 (4):419-424 (in Chinese with English abstract).

- Lin, C. Y., Hou, L. H., Dong, C. M., et al., 1996. Study on calcareous interbeds in turbidite reservoir of Sha-3 member of the Liaohe western depression. Acta Sedimentologica Sinica, 14(3): 72-81 (in Chinese with English abstract).
- Liu, B. J., Zhang, J. Q., 1992. Diagenesis in sedimentation. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Patchett, J. G. , 1975. An investigation of shale conductivity. SP WLA Annual Logging Symposium, New Orleans, Jun. 4-7.
- Posamentier, H. W., Vail, P. R., 1988. Eustatic controls on clastic deposition []—Sequence and systems tract models. In:Wilgus, C. K., ed., Sea-level changes: An integrated approach. SEPM Special Publication, 42:125-154.
- Vail, P. R., 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: Seismic stratigraphy interpretation procedure. In: Bally, A. W., ed., Atlas of seismic stratigraphy. AAPG Studies in Geology, 27:1-20.
- Wagoner, Van. J. C., Mitchum, R. M., Campion, K. M., et al., 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: Concepts for high-resolution correlation of time and facies. AAPG Methods in Exploration, Series, 7:55.
- Van Wagoner, J. C., Posamentier, H. W., Mitchun, R. M., et al., 1988. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: Wilgus, C. K., ed., Sea level changes: An integrated approach. SEPM Special Publication, 42:1-45.
- Yang, W., Wei, G. Q., Li, Y. P. , et al., 2003. Characteristics and control factor of Donghe sandstone reservoir in Tazhong 40 oilfield. *Xinjiang Geology*, 21(4): 440 –

446 (in Chinese with English abstract).

- Zheng, J. M., Ying, F. X., 1997. Reservoir characteristics and diagenetic model of sandstone intercalated in coal-bearing strata (acid water medium). Acta Petrolei Sinica, 18(4):19-25 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, R. C., Peng, J., 2003. Analysis and isochronostratigraphic correlation of high-resolution sequence stratigraphy for Chang-6 oil reservoir set in Zhidan delta, northern Ordos basin. Acta Sedimentologica Sinica, 20 (1):92-101 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. Y., Hu, W. X., Cao, X. W., et al., 2003. Classification and distribution of insulating layers in Linnan oilfield. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(2): 211–223 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 拜文华,吕锡敏,李小军,等,2002.古岩溶盆地岩溶作用模式 及古地貌精细刻画——以鄂尔多斯盆地东部奥陶系风 化壳为例,现代地质,16(3):292-299.
- 黄思静,武文慧,刘洁,等,2003.大气水在碎屑岩次生孔隙形 成中的作用——以鄂尔多斯盆地三叠系延长组为例. 地球科学——中国地质大学学报,28(4):419-424.
- 林承焰,侯连华,董春梅,等,1996.辽河西部凹陷沙三段浊积 岩储层中钙质夹层研究.沉积学报,14(3):72-81.
- 刘宝珺,张锦泉,1992. 沉积成岩作用. 北京:科学出版社.
- 杨威,魏国齐,李宇平,等,2003. 塔中 40 油田东河砂岩储层 特征及其控制因素.新疆地质,21(4):440-446.
- 郑浚茂,应凤祥,1997.煤系地层(酸性水介质)的砂岩储层特 征及成岩模式.石油学报,18(4):19-25.
- 郑荣才,彭军,2003. 陕北志丹三角洲长 6 油层组高分辨率层 序分析与等时对比. 沉积学报,20(1):92-101.
- 朱东亚,胡文瑄,曹学伟,等,2003. 临南油田隔层类型划分及 其分布规律研究. 地球科学——中国地质大学学报,29 (2), 211-223.