

文章编号:0253-9985(2012)02-0256-09

低渗透致密砂岩储层成岩相类型及测井识别方法 ——以鄂尔多斯盆地苏里格气田下石盒子组8段为例

张海涛^{1,2}, 时卓¹, 石玉江^{1,2}, 王亮亮³, 贺陆军⁴

(1. 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西西安 710018; 2. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西西安 710018; 3. 中国石油长庆油田分公司第四采气厂, 内蒙古鄂尔多斯 017300; 4. 中国石油新疆油田分公司采气一厂, 新疆克拉玛依 834000)

摘要:鄂尔多斯盆地苏里格气田是低渗透致密砂岩气藏的典型代表, 根据碎屑成分、成岩矿物组合、填隙物成分、成岩作用类型等特征, 将苏里格气田盒8段储层划分为粒间孔+火山物质强溶蚀相、晶间孔+火山物质溶蚀相、晶间孔+岩屑溶蚀相、晶间孔+石英加大胶结相、水云母胶结+岩屑微溶蚀相和压实胶结致密成岩相6种成岩相类型, 分析了不同成岩作用对测井响应的影响。在此基础上, 通过自然伽马、声波时差、密度及深侧向测井等参数与成岩相的对应关系, 建立了连续定量识别储层成岩相的方法。利用该方法对Z65井测井资料进行了处理, 通过与薄片鉴定及压汞结果对比, 验证了方法的准确性。利用单井成岩相判别结果划分苏里格气田盒8段成岩相展布, 其中气田中部主要以粒间孔+火山物质强溶蚀相和晶间孔+火山物质溶蚀相为主, 是有利的成岩相带。

关键词:成岩相类型; 测井识别标准; 致密砂岩储层; 苏里格气田; 鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Diagenetic facies types and logging identification methods for low-permeability tight sandstone reservoirs: a case study on the 8th member of Xiashihezi Formation in Sulige gasfield, Ordos Basin

Zhang Haitao^{1,2}, Shi Zhuo¹, Shi Yujiang^{1,2}, Wang Liangliang³ and He Lujun⁴

(1. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China; 2. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-permeability Oil & Gas Fields, Xi'an, Shaanxi 710018, China; 3. The 4th Gas Production Plant, PetroChina Changqing Oilfield Company, Erdos, Inner Mongolian 017300, China; 4. No. 1 Gas Production Plant, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: Sulige gasfield in Ordos Basin is a typical tight gas reservoir. According to elastic constituents, diagenetic mineral assemblage, interstitial matter, and diagenesis types, et al, we identified 6 diagenetic facies types in the 8th member of Xiashihezi Formation (He8) reservoir of Sulige gas field, including intergranular pore + strong solutional phase of volcanic material, intercrystal pore + solutional phase of volcanic material, intercrystal pore + solutional phase of debris, intercrystal pore + cementation phase of quartz, hydromica cementation + weak solutional phase of debris and compaction + cementation tight phase. In addition, we analyzed the impacts of different diagenesis on log responses. On the basis of these studies, a method for continuously and quantitatively identifying diagenetic facies was established by using gamma ray, interval transit time, density and deep lateral resistivity log data. Logging data of Well Z65 were processed with this method, and a comparison with the thin section data and mercury injection data show that the results are accurate. Based on single well diagenetic facies identification, we

收稿日期: 2011-03-31; 修订日期: 2012-02-20。

第一作者简介: 张海涛 (1977—), 男, 博士, 测井技术与测井地质。

基金项目: 国家科技重大专项 (2011ZX05044); 中国石油股份有限公司科技重大专项 (2010E-2304)。

defined the diagenetic face distribution in He8 reservoirs of Sulige gasfield. The central part of the gas field is dominated by intergranular pore + strong solutional phase of volcanic material and intercrystal pore + solutional phase of volcanic material, which are the favorable diagenetic faces belts.

Key words: diagenetic facies type, logging identification criterion, tight sand reservoir, Sulige gasfield, Ordos Basin

低渗透致密砂岩储层往往经历了复杂的成岩作用过程,尤其是对孔隙保存不利的成岩作用,如压实及胶结作用等^[1-3]。而其中孔、渗条件相对较好的部分往往与有利于原生孔隙保存和次生孔隙形成等成岩作用有关^[4-7]。

鄂尔多斯盆地苏里格气田主力气层二叠系下石盒子组盒8段,岩性主要为三角洲平原分流河道沉积中粗粒石英砂岩、岩屑石英砂岩和岩屑砂岩^[8-10]。储层含气性广泛,但宏观非均质性强,含气丰度变化大^[11-12]。受沉积物源、水动力条件和成岩作用的控制,不同区带、不同微相、不同岩性的储层物性、孔隙结构差异大,储集性能、含气性及产气能力差异显著,综合研究认为,物源和沉积控制岩性、岩性主导成岩作用、成岩相控制天然气富集。由于岩性的主导作用和岩性、物性、含气性变化之间的协调性,使通过测井资料评价成岩相成为可能。

1 成岩相及其测井解释意义

从一般意义上来说,成岩相是在成岩与构造等作用下,沉积物经历一定成岩作用和演化阶段的产物,包括岩石颗粒、胶结物、组构、孔洞缝等综合特征^[13]。成岩相是构造、流体、温压等条件对沉积物综合作用的结果,其核心内容是现今的矿物成分和组构面貌,主要是表征储集体性质、类型和优劣的成因性标志,可借以研究储集体形成机理、空间分布与定量评价。预测有利孔渗性成岩相是储集层研究和油气勘探的重点。储集层质量不仅受到沉积相的控制,而且还受到成岩作用和后期构造作用的强烈影响。对于苏里格气田来说,沉积及构造作用基本明确,低渗透储层形成机制主要受成岩作用控制,成岩相决定了有效储集层的形成和分布,因此成岩相研究对低渗透有利储层的分布预测具有重要指导意义。

总体上,国内目前关于成岩相的研究尚处于初始探索阶段,主要是根据(钻井)岩心样品的相关分析,特别是对能够反映岩心样品微观特征的扫描电镜、铸体薄片以及阴极发光资料的分析来完

成^[14-15],而不能连续地反映储层的成岩相。

测井技术获取的地层信息主要是地层岩石各种(宏观)物理性质,具有连续记录钻遇地层各种岩石物理信息的技术特点,因此,可根据碎屑成分、成岩矿物组合、填隙物成分、成岩作用类型等特征,划分成岩相,并通过测井响应与成岩相的对应关系,建立了测井成岩相判别模型和评价方法,识别有利储层。

2 成岩作用对测井响应的影响

鄂尔多斯盆地北部阴山地区主要发育前寒武纪(太古宙—元古宙)地层,它们在晚古生代是盒8、山西组1段碎屑物质的主要来源。受物源区分布影响,自东向西,储层石英含量呈逐步增高的态势。

2.1 压实作用

苏里格气田盒8段岩屑砂岩粒度细、塑性矿物含量高,尤其以片岩、板岩和千枚岩等低级变质岩屑和陆源杂基、云母等为主,压实作用强。其共同特征是测井自然伽马和补偿中子值都比较高,光电截面指数值也高。因此岩屑压实致密储层具有高自然伽马、高补偿中子、高光电截面指数、高密度、低时差、中高电阻率等特点。

2.2 溶蚀作用

不稳定组分的溶蚀作用是次生孔隙形成的主要因素。盒8段砂岩中火山碎屑、长石等不稳定组分的溶解,使岩石变得“纯净”,因此测井自然伽马、光电界面指数有降低的趋势。由于孔隙度增大,测井声波时差增大、密度降低。由于溶蚀作用的微观非均质性强,与具有同等孔隙度的粒间孔隙储层相比,溶蚀孔隙发育的储层渗透率明显低于前者,表现出高孔低渗的特征,压汞曲线为缓坡形,孔喉分选差。

2.3 胶结作用

在自生矿物方面,苏里格地区盒8储层具有

较高的高岭石和硅质胶结物含量,缺乏早期的碳酸盐胶结物,反映了煤系地层酸性成岩环境的特点。

在石英颗粒骨架支撑下,伊利石和自生高岭石对粒间孔隙的充填使颗粒之间的大孔隙变为晶间微孔隙,增大了无效孔隙空间,分析测定孔隙度虽大,但渗透率很低,压汞曲线显示喉道半径小于 $0.1\ \mu\text{m}$ 的孔隙可达 40% 以上,呈现典型的双孔隙结构特点,测井表现为高时差、低电阻率。

硅质胶结物主要以石英次生加大边的形式存在,是砂岩致密化的重要成岩因素。硅质胶结作用使石英颗粒接触方式从点接触到缝合线及面接触,使声波传播路径发生转变,时差对残余粒间孔的反应不够充分,随胶结程度加深,储层孔隙度逐渐降低,测井呈现低时差、高电阻率特点。

3 苏里格气田盒 8 段成岩相类型及地质特征

成岩相是成岩环境和成岩矿物的综合,它反映了沉积岩目前的面貌。由于储集空间类型及填隙物含量等对于岩石物性具有决定性的影响,因此成岩相的命名采用反映物性的主要储集空间类型和成岩作

用联合命名,根据大量的岩心薄片、压汞等资料将苏里格地区盒 8 储层划分为六种成岩相(图 1,图 2)。

3.1 粒间孔 + 火山物质强溶蚀相

该类成岩相一般见于辫状河三角洲平原分流河道的中粗粒石英砂岩中,是优质储层发育的岩相带。一方面由于石英的抗压能力强,使压实作用的效果相对减弱,有利于原生孔隙的保存。另一方面,砂岩中富含石英、火山岩岩屑以及火山灰,易于形成酸性水介质环境,由于粘土衬边较薄,粒间孔呈开放状态,酸性溶液进入砂岩对长石碎屑、火山岩岩屑等易溶组分进行溶蚀,形成石英加大边和次生粒间溶孔,使砂岩具有良好的储集性能。该岩相带储集空间主要以粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔为主,孔隙度一般大于 10%,渗透率大于 $0.6 \times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$,门槛压力小于 0.5 MPa,中值压力小于 4 MPa,0.1 μm 进汞饱和度大于 60%,孔隙分布比较均匀,具略粗歪度。

3.2 晶间孔 + 火山物质溶蚀相

该类成岩相一般见于辫状河三角洲前缘水下分流河道的中粗粒石英砂岩、岩屑石英砂岩中,是有利储层发育的岩相带。当酸性溶液进入砂岩时,会对长石碎屑、火山岩岩屑等易溶组分进行溶

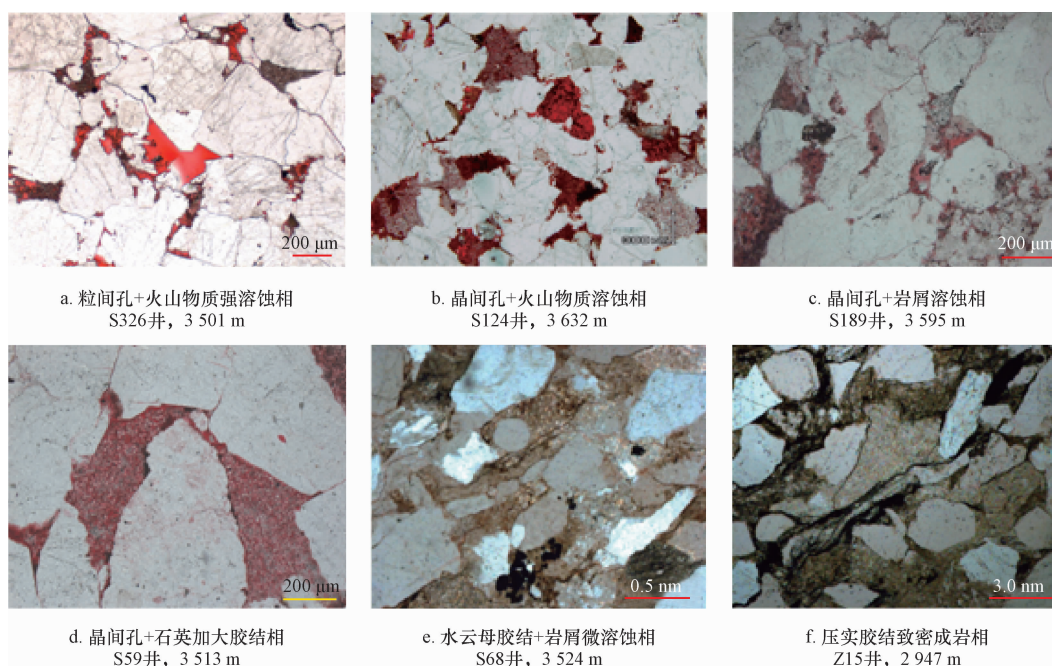


图 1 苏里格气田盒 8 段成岩相特征

Fig. 1 Diagenetic facies characteristics of the He 8 reservoirs in Sulige gasfield

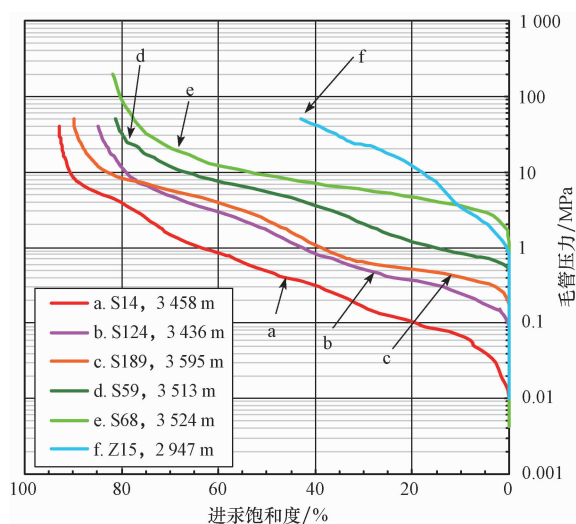


图2 苏里格气田盒8段不同成岩相毛细管压力曲线特征
Fig. 2 Capillary pressure curves for different diagenetic facies of the He 8 reservoirs in Sulige gasfield

蚀,形成晶形普遍较好的自生高岭石及大量高岭石晶间微孔隙,使砂岩具有良好的储集性能。砂岩的孔隙度普遍大于8%,渗透率大于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,门槛压力小于0.7 MPa,中值压力4~10 MPa,0.1 μm 进汞饱和度45%~60%,孔喉分布不均匀,具略粗歪度。

3.3 晶间孔+岩屑溶蚀相

该类成岩相主要出现在三角洲平原分流河道、三角洲前缘水下分流河道的岩屑石英砂岩中,是储集物性较好的岩相带。不稳定的碎屑长石以及火山碎屑普遍发生溶蚀现象,粒内溶孔及相邻粒间孔隙中发育大量晶形较好的、呈分散质点式充填的自生高岭石晶体。储集空间以高岭石晶间微孔、绿泥石和伊利石晶间微孔为主。由于砂岩的抗压能力较强,压实作用容易产生微裂隙,增加了孔隙间的连通性,使砂岩孔渗性能变好。该岩相带砂岩的孔隙度一般大于8%,渗透率小于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,门槛压力小于1 MPa,中值压力10~20 MPa,0.1 μm 进汞饱和度大于35%,孔喉分布不均匀,具略细歪度。

3.4 晶间孔+石英加大胶结相

该类成岩相一般见于河口坝和远砂坝中,岩性主要为石英砂岩和岩屑石英砂岩,是较有利储层发育的岩相带。由于石英的压溶作用、硅酸盐

矿物的溶解以及粘土矿物的相互转化释放出大量 SiO_2 ,它们以石英次生加大边的形式充填于粒间孔隙中,使粒间孔隙明显减少,这些孔隙被后来的自生高岭石所充填,发育少量高岭石晶间孔隙,它们之间通过粒间缝连通起来,局部发生轻微溶蚀现象。砂岩孔隙度普遍在6%~10%,渗透率 $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,门槛压力大于1 MPa,中值压力大于20 MPa,0.1 μm 进汞饱和度大于30%,孔喉分布较均匀,具略粗歪度。

3.5 水云母胶结+岩屑微溶蚀相

该类成岩相主要发育于岩屑砂岩中,是不利的成岩相。砂岩中的混层粘土在封闭条件下转化形成大量水云母,水云母呈搭桥状充填粒间孔隙并交代碎屑颗粒,虽发育有良好的微孔隙,但孔隙间连通性差,储集性能较差。砂岩的孔隙度普遍在5%~8%之间,渗透率 $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,门槛压力1~2 MPa,中值压力20~40 MPa,0.1 μm 进汞饱和度20~40%,孔喉分布不均匀,具细歪度。

3.6 压实胶结致密成岩相

该类成岩相主要见于三角洲平原和前缘细粒岩屑砂岩中,为非储集岩相。由于含较多抗压能力较弱的黑云母、火山碎屑以及千枚岩等变质岩岩屑,在压实作用下导致原生孔隙急剧减少。此外,火山灰转化形成伊/蒙混层和水云母呈纤维状搭桥式充填粒间孔隙,致使孔隙喉道进一步缩小,使砂岩储层几乎完全丧失储集性能。砂岩孔隙度普遍小于6%之间,渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,门槛压力大于2 MPa,中值压力大于50 MPa,0.1 μm 进汞饱和度小于20%,孔喉分布不均匀,具细歪度。

4 不同成岩相测井识别方法

采用深侧向电阻率、声波时差、密度及自然伽马作为参数,考虑到测井系列的差异,在建立定量判识模型之前,须对各井的测井曲线在单位归一的基础上,对全井段的数据标准化处理,以清除各井间变量单位不统一带来的不利,也消除测井仪器造成的随机偏差及系统误差,保证测井数据能更准确的反映地层特征,以及各井之间由于测井

系列不统一所造成的影响。共选取 69 个标准样本点参与判别分析,在贝叶斯准则下,建立了 6 类成岩相的标准化线性多元判别函数。

$$Y_1 = 0.729RLLD + 8.203AC + 2342.195DEN - 1.736GR - 3855.725 \quad (1)$$

$$Y_2 = 0.647RLLD + 8.107AC + 2367.759DEN - 1.677GR - 3891.977 \quad (2)$$

$$Y_3 = 0.617RLLD + 8.071AC + 2363.214DEN - 1.571GR - 3875.909 \quad (3)$$

$$Y_4 = 0.601RLLD + 8.029AC + 2381.720DEN - 1.484GR - 3916.973 \quad (4)$$

$$Y_5 = 0.616RLLD + 7.977AC + 2384.351DEN - 1.292GR - 3925.975 \quad (5)$$

$$Y_6 = 0.572RLLD + 7.915AC + 2399.946DEN - 1.347GR - 3946.774 \quad (6)$$

式中: Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 和 Y_6 分别代表归属不同类别概率值; $RLLD$ 是深侧向电阻率值, $\Omega \cdot m$; AC 为测井声波时差值, $\mu s/m$; DEN 是测井密度值, g/cm^3 ; GR 为自然伽马测井值, API 。

图 3 为判别结果分类图,可见 6 种成岩相具有明显的界限和分类中心,图中, F_1, F_2 为建立的非标准化线性多元判别函数,判别符合率为 82%。

对各成岩相的平均压汞参数、电性参数及物性参数作统计,各参数之间有明显的差异。

1) 粒间孔 + 火山物质强溶蚀相

该成岩相测井响应一般呈现高电阻率、高时差的特点,储层不含水时电阻率大于 $80 \Omega \cdot m$,声波时差大于 $230 \mu s/m$,由于岩性纯,自然伽马值一般小于 45 API 。如图 4a 为 S326 井盒 8 段测井响应图,储层发育灰白色中粗粒石英砂岩,发育粒间

孔和晶间孔组合,分析平均渗透率为 $1.127 \times 10^{-3} \mu m^2$,电阻率为 $95.5 \Omega \cdot m$,声波时差为 $232 \mu s/m$,为粒间孔 + 火山物质强溶蚀相,压裂试气 $8.066 4 \times 10^4 m^3/d$ 。

2) 晶间孔 + 火山物质溶蚀相

由于蚀变高岭石对粒间溶孔的充填形成大量微孔,该成岩相测井响应一般呈现出低电阻率、高时差的特点,电阻率一般小于 $40 \Omega \cdot m$,声波时差大于 $230 \mu s/m$ 。岩性相对较纯,自然伽马值一般小于 50 API 。图 4b 为 S59 井盒 8 段测井响应图,储层发育浅灰色粗粒石英砂岩,以高岭石晶间孔为主,分析平均渗透率为 $1.938 \times 10^{-3} \mu m^2$,电阻率为 $15.9 \Omega \cdot m$,声波时差为 $253 \mu s/m$,为晶间孔 + 火山物质溶蚀相,试气 $5.782 5 \times 10^4 m^3/d$ 。

3) 晶间孔 + 岩屑溶蚀相

该成岩相主要以中等电阻率和中等时差为主,电阻率一般 $50 \sim 80 \Omega \cdot m$,声波时差是 $220 \sim 240 \mu s/m$,由于岩屑含量较高,自然伽马值一般大于 45 API 。图 4c 为 Z16 井盒 8 段测井响应图,储层岩性为岩屑石英砂岩,以晶间孔为主,分析平均渗透率是 $0.58 \times 10^{-3} \mu m^2$,电阻率为 $52.3 \Omega \cdot m$,声波时差为 $227.2 \mu s/m$,为晶间孔 + 岩屑溶蚀相,试气 $2.197 6 \times 10^4 m^3/d$ 。

4) 晶间孔 + 石英加大胶结相

石英次生加大造成该成岩相高电阻率、低时差、低自然伽马的测井响应特点,电阻率一般大于 $90 \Omega \cdot m$,声波时差小于 $215 \mu s/m$,自然伽马值一般小于 45 API 。图 4d 为 E18 井盒 8 段测井响应图,储层发育灰白色粗粒石英砂岩,由于石英次生加大作用,以溶孔、晶间孔为主,分析平均渗透率为 $0.42 \times 10^{-3} \mu m^2$,电阻率为 $97.8 \Omega \cdot m$,声波时差为 $207.8 \mu s/m$,为晶间孔 + 石英加大胶结相,试气 $0.518 5 \times 10^4 m^3/d$ 。

5) 水云母胶结 + 岩屑微溶蚀相

该成岩相一般呈现出中-高电阻率、中-低时差的测井响应特点,电阻率一般大于 $40 \Omega \cdot m$,声波时差为 $210 \sim 220 \mu s/m$,岩屑含量高,自然伽马值一般大于 55 API 。

6) 压实胶结致密成岩相

由于压实作用强,该成岩相主要呈现低时差、高伽马的测井响应特点,声波时差小于 $210 \mu s/m$,自然伽马值一般大于 60 API 。

图 5 为 Z65 井盒 8 段测井成岩相判别图,该

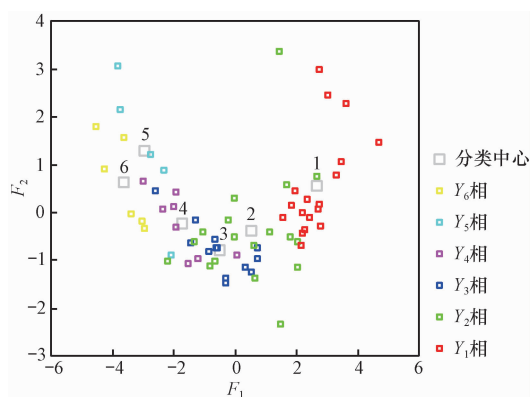


图 3 苏里格气田不同成岩相判别结果示意图

Fig. 3 Sketch map showing diagenetic facies in Sulige gasfield

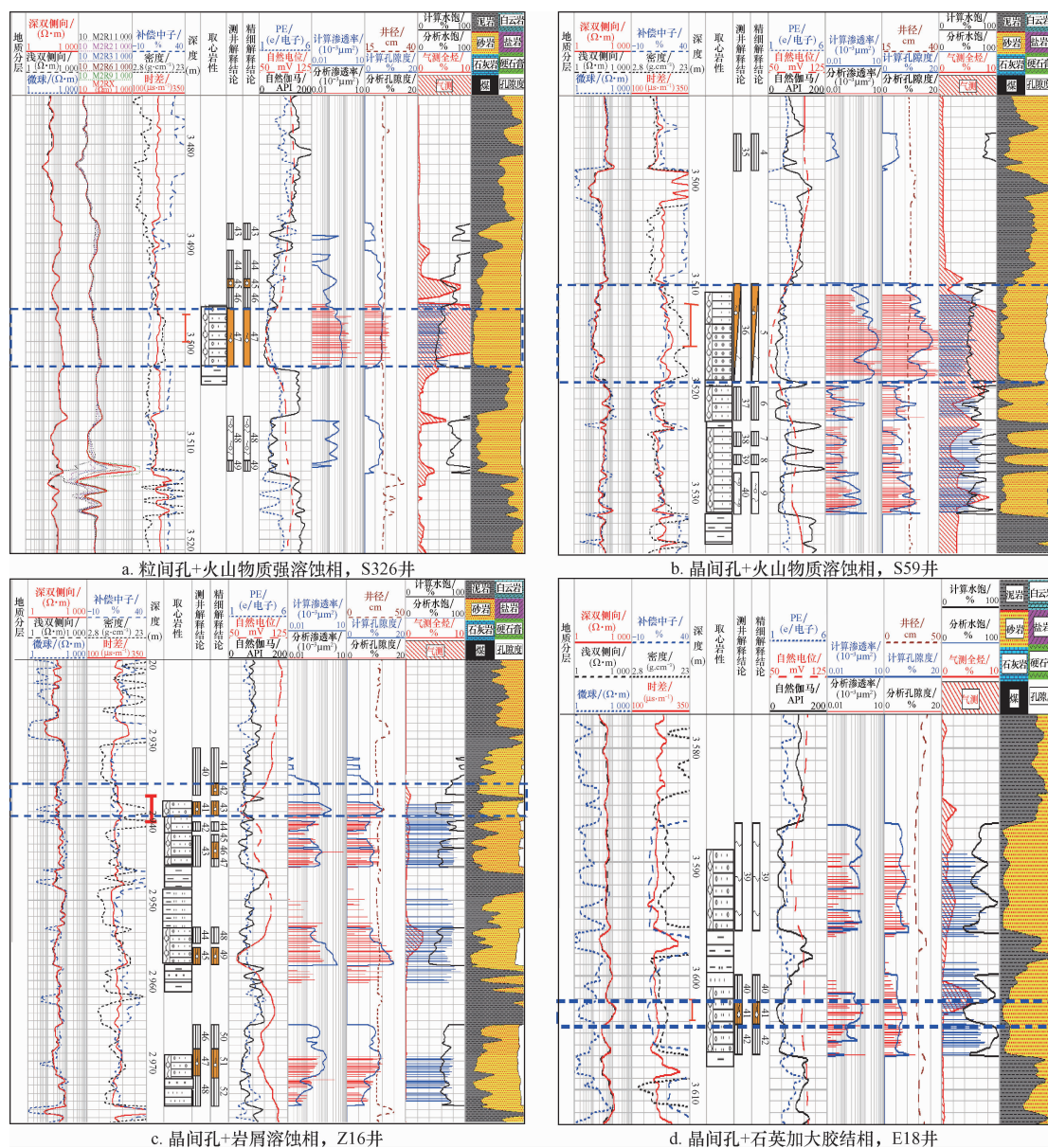


图4 苏里格气田盒8段不同成岩相测井响应特征

Fig. 4 Log response characteristics of different diagenetic facies of the He8 reservoirs in Sulige gasfield

段取心主要以粗砂岩及含砾粗岩屑石英砂岩为主,岩性纯,深侧向电阻率平均为 $20 \Omega \cdot m$,声波时差为 $255 \mu s/m$,呈现低阻高时差的测井响应特点,判别为晶间孔+火山物质溶蚀相,从薄片上看(图6),储层主要发育晶间孔和溶孔组合,毛细管压力曲线显示孔喉分布不均匀,具略粗歪度, $0.1 \mu m$ 进汞饱和度 49.82% ,符合晶间孔+火山物质溶蚀相的特征。压裂试气获井口产量 $4.041 \times 10^4 m^3/d$,取得良好效果。

根据单井成岩相判别结果,对苏里格地区盒8段成岩相进行了测井判别,制作了成岩相图(图7),

其中苏里格气田中部以粒间孔+火山物质强溶蚀相、晶间孔+火山物质溶蚀相为主,是有利的成岩相带,以工业气流井为主,是增储上产的主要区块。

5 结论

1) 根据成岩矿物组合、填隙物成分、成岩作用类型等特征将苏里格气田盒8段划分为6种成岩相,分别是粒间孔+火山物质强溶蚀相、晶间孔+火山物质溶蚀相、晶间孔+岩屑溶蚀相、晶间

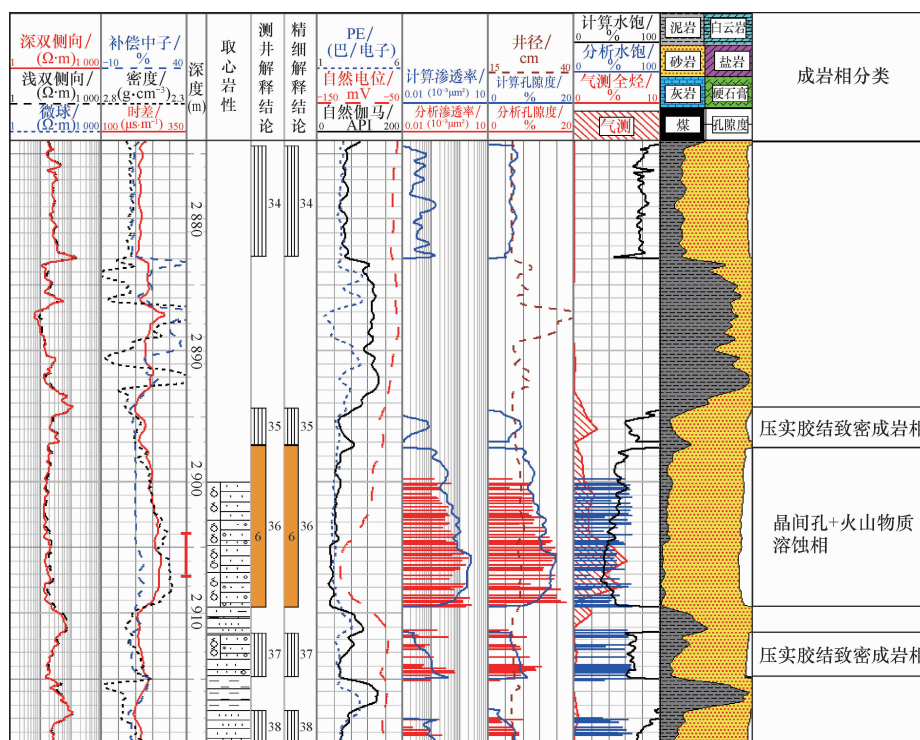


图5 苏里格气田 Z65 井盒 8 段成岩相判别

Fig. 5 Diagenetic facies identified in the He8 reservoirs in Well Z65 of Sulige gasfield

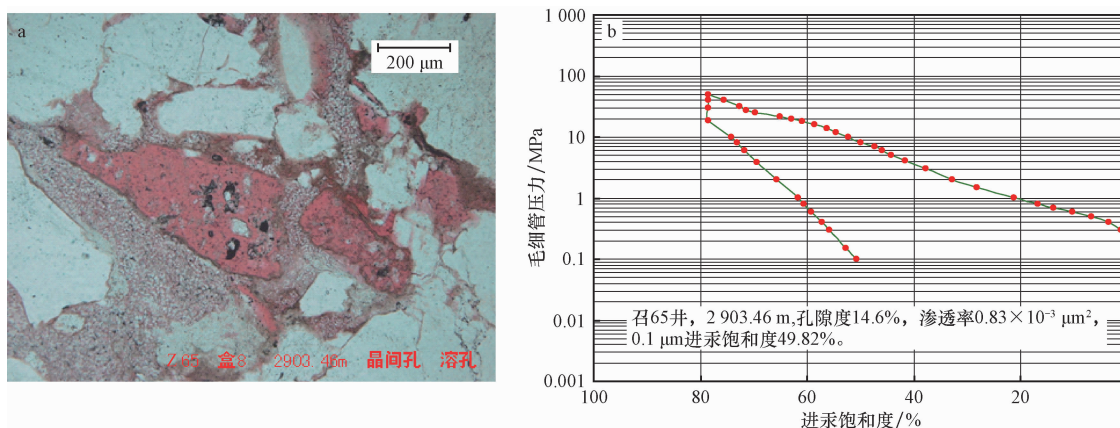


图6 苏里格气田 Z65 井盒 8 段薄片及毛细管压力曲线

Fig. 6 Thin sections and capillary pressure curves of Well Z65 in Sulige gasfield

孔+石英加大胶结相、水云母胶结+岩屑微溶蚀相、压实胶结致密成岩相。

2) 依据不同成岩相地层的岩性、沉积环境差异,成岩作用过程导致储层物性和孔隙结构特征的不同以及其对测井响应的影响,可以利用常规测井资料识别成岩相。采用自然伽马、声波时差、

密度及深浅侧向等测井曲线,建立了成岩相的量化测井识别标准,并总结了不同成岩相测井响应特征。

3) 根据单井成岩相判别结果,识别出了苏里格气田盒 8 段的有利成岩相为粒间孔+火山物质强溶蚀相和晶间孔+火山物质溶蚀相。

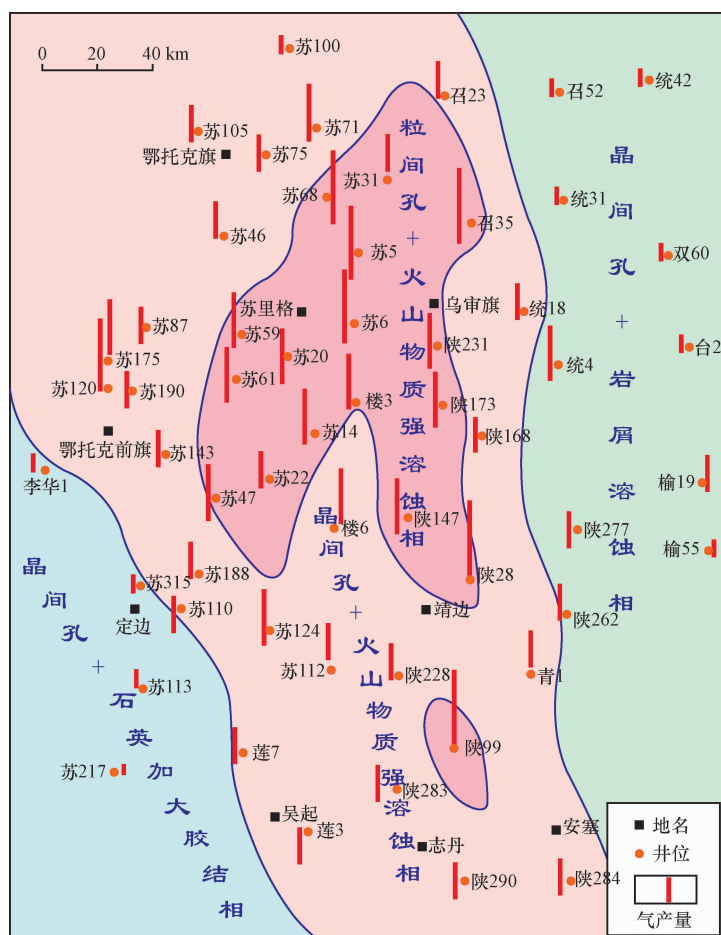


图7 苏里格气田盒8段成岩相分布

Fig. 7 Distribution of diagenetic facies of the He8 reservoirs in Sulige gasfield

参考文献

- [1] 曾允孚,夏文杰. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社,1985:125-153.
Zeng Yunfu, Xia Wenjie. Sedimentary petrography [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 125-153.
- [2] 刘宝珺,张锦泉. 沉积成岩作用[M]. 北京:科学出版社,1992:76-200.
Liu Baojun, Zhang Jinquan. Sedimentary diagenesis [M]. Beijing: Science Press, 1992: 76-200.
- [3] 马中高. 成岩作用和岩石结构对砂岩弹性速度的影响[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 58-63.
Ma Zhonggao. Effects of diagenesis and rock texture on elastic velocity of sand stones [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(1): 58-63.
- [4] 张琴,朱筱敏,陈祥,等. 南华北盆地谭庄凹陷下白垩统成岩相分布及优质储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(4): 472-480.
Zhang Qin, Zhu Xiaomin, Chen Xiang, et al. Distribution of diagenetic facies and prediction of high quality reservoirs in the Lower Cretaceous of the Tanzhuang Sag, the southern North China Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(4): 472-480.
- [5] 刘锐娥,李文厚,拜文华,等. 苏里格庙地区盒8段高渗透层成岩相研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2002, 32(6): 667-671.
Liu Ruie, Li Wenhui, Bai Wenhua, et al. Diagenetic facies studies for the high-permeability reservoirs of He 8 section in Suligemiao Area, Ordos Basin [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2002, 32(6): 667-671.
- [6] 高星,陈洪德,朱平,等. 苏里格气田西部盒8段储层成岩作用及其演化[J]. 天然气工业, 2009, 29(3): 17-20.
Gao Xing, Chen Hongde, Zhu Ping, et al. Diagenesis and evolution of reservoirs in the He8 member, west Sulige gas field [J]. Marine and Petroleum Geology, 2009, 29(3): 17-20.
- [7] 林文姬,汤达祯,徐凤银,等. 苏里格气田盒8段成岩相类型及其测井标志[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(2): 271-273.
Lin Wenji, Tang Dazhen, Xu Fengyin, et al. Diagenesis facies type of H8 reservoir in Sulige gasfield and its logging identification makers [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(2): 271-273.
- [8] 杨华,付金华,魏新善. 鄂尔多斯盆地天然气成藏特征[J]. 天然气工业, 2005, 25(4): 5-8.

- Yang Hua, Fu Jinhua, Wei Xinshan. Characteristics of natural gas reservoir formation in the Ordos Basin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2005, 25(4): 5-8.
- [9] Yang Hua, Fu Jinhua, Wei Xinshan, et al. Sulige Field in the Ordos Basin: Geological setting, field discovery and tight gas reservoirs[J]. Marine and Petroleum Geology, 2008, 25(4/5): 387-400.
- [10] 张海涛, 时卓. 苏里格气田储层含水特征与测井识别方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(2): 447-454.
- Zhang Haitao, Shi Zhuo. Characteristic of water bearing formation and well logging identification method of gas reservoir in Sulige Gas Field[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2010, 40(2): 447-454.
- [11] 陈义才, 林杭杰, 唐波, 等. 苏里格地区石炭-二叠系天然气充注特点及充注能力[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 91-97.
- Chen Yicai, Lin Hangjie, Tang Bo, et al. Characteristics and potential of gas charging in the Permo-Carboniferous of Sulige region[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 91-97.
- [12] 叶成林, 王国勇, 何凯, 等. 苏里格气田储层宏观非均质性——以苏53区块石盒子组8段和山西组1段为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 236-244.
- Ye Chenglin, Wang Guoyong, He Kai, et al. Macro heterogeneity of reservoirs in Sulige gasfield—a case study of the 8th member of the Shihezi Formation and the 1st member of the Shanxi Formation in the Su53 Block[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 236-244.
- [13] 邹才能, 陶士振, 周慧, 等. 成岩相的形成、分类与定量评价方法[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(5): 526-540.
- Zou Caineng, Tao Shizhen, Zhou Hui, et al. Genesis, classification and evaluation method of diagenetic facies[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(5): 526-540.
- [14] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 101-134.
- Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary petrography[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 101-134.
- [15] 杜业波, 季汉成, 吴因业, 等. 前陆层序致密储层的单因素成岩相分析[J]. 石油学报, 2006, 27(2): 48-52.
- Du Yebo, Ji Hancheng, Wu Yinye, et al. Single factor diagenetic facies analysis of tight reservoir in western Sichuan foreland basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(2): 48-52.

(编辑 董立)

(上接第255页)

- [11] Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata[J]. Geoscience, 2000, 7(4): 322-350.
- [12] 徐长贵, 许效松, 丘东洲, 等. 辽东湾地区辽西凹陷中南部古近系构造格架与层序地层格架及古地理分析[J]. 古地理学报, 2005, 7(4): 449-459.
- Xu Changui, Xu Xiaosong, Qiu Dongzhou, et al. Structural and sequence stratigraphic frameworks and palaeogeography of the Paleogene in central-southern Liaoxi Sag, Liaodongwan Bay area[J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(4): 449-459.
- [13] 李维峰, 高振中, 彭德堂, 等. 库车坳陷中生界三种三角洲比较研究[J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 430-434.
- Li Weifeng, Gao Zhenzhong, Peng Detang, et al. Comparative study of fan deltas, braided river deltas and meandering river deltas of Mesozoic in Kuche depression, Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(3): 430-434.
- [14] 姜辉. 浊流沉积的动力学机制与响应[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(4): 428-435.
- Jiang Hui. Dynamical mechanism and depositional responses of turbidity current sedimentation[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(4): 428-435.
- [15] 卓勤功. 断陷盆地注陷带岩性油气藏成藏机理及运聚模式[J]. 石油学报, 2006, 27(6): 19-23.
- Zhuo Qingong. Reservoir-forming mechanism and migration-accumulation mode of lithological pool in deep sub-depression of rift-subsidence basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(6): 19-23.

(编辑 张亚雄)

(上接第247页)

- [17] 刘为付, 刘双龙, 孙立新. 莺山断陷侏罗系火山岩储层特征[J]. 大庆石油地质与开发, 1999, 18(4): 9-11.
- Liu Weifu, Liu Shuanglong, Sun Lixin. Reservoir characteristics of Jurassic system volcanic rock in Yingshan fault depression[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1999, 18(4): 9-11.
- [18] 王璞珺, 郑常青, 舒萍, 等. 松辽盆地深层火山岩岩性分类方案[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(4): 17-22.
- Wang Pujun, Zheng Changqing, Shu Ping, et al. Classification of deep volcanic rocks in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(4): 17-22.
- [19] 刘为付. 松辽盆地徐家围子断陷深层火山岩储层特征及有利区预测[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 115-119.
- Liu Weifu. Reservoir characteristics of deep volcanic rocks and prediction of favorable areas in Xujiaweizi fault depression in Songliao basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 115-119.

(编辑 董立)