

文章编号: 1009-3850(2013)04-0054-06

苏里格气田东部二叠系盒8段储层次生孔隙形成主控因素

石新¹, 欧阳诚¹, 冯明友², 朱萌¹, 黄文明¹, 谢林²

(1. 川庆钻探公司地质勘探开发研究院, 四川 成都 610051; 2. 西南石油大学资源与环境学院, 四川 成都 610500)

摘要: 苏里格气田东部下二叠统石盒子组8段是苏里格气田东部主要含气层位, 其储集空间以各类次生孔隙为主。为明确次生孔隙控制因素, 结合铸体薄片鉴定与定量统计、流体包裹体温度及成分分析等手段, 对研究区盒8段储层次生孔隙特征及主控因素进行了系统研究。结果表明, 苏里格气田东部盒8段储层次生孔隙的形成受有机酸溶蚀、深部热流体作用共同影响; 平面分布受沉积相、构造及油气运移路径复合控制。沿构造鼻隆轴线方向、基底断裂结合部位与厚砂体叠合区附近次生孔隙最发育。

关键词: 苏里格气田东部; 上古生界; 下石盒子组盒8段; 次生孔隙

中图分类号: PT122.2

文献标识码: A

鄂尔多斯盆地为一个古老的克拉通盆地, 其东西两侧主要表现为挤压隆起, 盆地内部较为稳定。构造运动以振荡作用为主, 其形成和演化大致经历了加里东期、印支期、燕山早期、燕山晚期、喜山早期、喜山晚期等6个构造旋回^[1]。盆地内油气资源非常丰富, 是我国油气工业的主力产区之一。苏里格气田位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡西部, 是一个“低压、低渗、低丰度”的致密砂岩气藏, 上古生界下二叠统石盒子组8段是主要含气目的层系^[2]。

研究区位于鄂尔多斯盆地苏里格气田东部(图1), 是“十一五”重点研究区域, 其主要含气层位下石盒子组8段(以下简称“盒8段”)地层厚约80m, 属河流-三角洲沉积。前人研究认为沉积环境及水动力条件、埋藏期成岩作用、油气侵位及构造热事件等对孔隙的形成与演化影响显著^[2-7]。

本文根据铸体薄片鉴定与定量统计、流体包裹体温度及成分分析开展系统研究, 以期探究次生孔隙成因及其分布规律, 为寻找相对高孔、高渗储集地带提供依据。

1 孔隙类型及特征

根据铸体薄片观察与统计, 研究区盒8段储集岩性主要为石英砂岩、岩屑质石英砂岩和岩屑砂岩。砂岩支撑结构以颗粒支撑为主, 胶结方式主要为孔隙胶结及接触胶结, 镶嵌胶结少见。

研究区储集空间类型主要有原生孔隙和次生溶孔。其中, 原生孔隙包括: ①碎屑颗粒被绿泥石、伊利石薄膜或衬边所包裹后的剩余原生粒间孔隙; ②被次生石英加大、微晶石英集合体或早期成岩阶段形成的微晶方解石胶结物充填之后剩余的原生粒间孔; ③被黑云母、泥岩、千枚岩岩屑等塑性颗粒变形后形成的假杂基占据后剩余的原生粒间孔。研究区盒8段砂岩原生粒间孔隙主要为被石英加大胶结物充填的缝状粒间孔隙(图2A)。次生溶孔包括粒间溶孔、粒内溶孔(包括铸模孔)以及填隙物内溶孔等4种: ①粒间溶孔主要分布在绿泥石及水云母衬边中等发育的砂岩中, 形态不规则, 孔径大小和分布不均, 最大孔径可达到200 μm , 常与长石、岩

收稿日期: 2013-08-09; 改回日期: 2013-08-20

作者简介: 石新(1977-), 男, 博士, 高级工程师, 矿产普查与勘探专业。E-mail: fmyswpu@163.com

资助项目: 国家青年科学基金项目资助(41202109); 四川省教育厅面上项目资助(11ZB016)

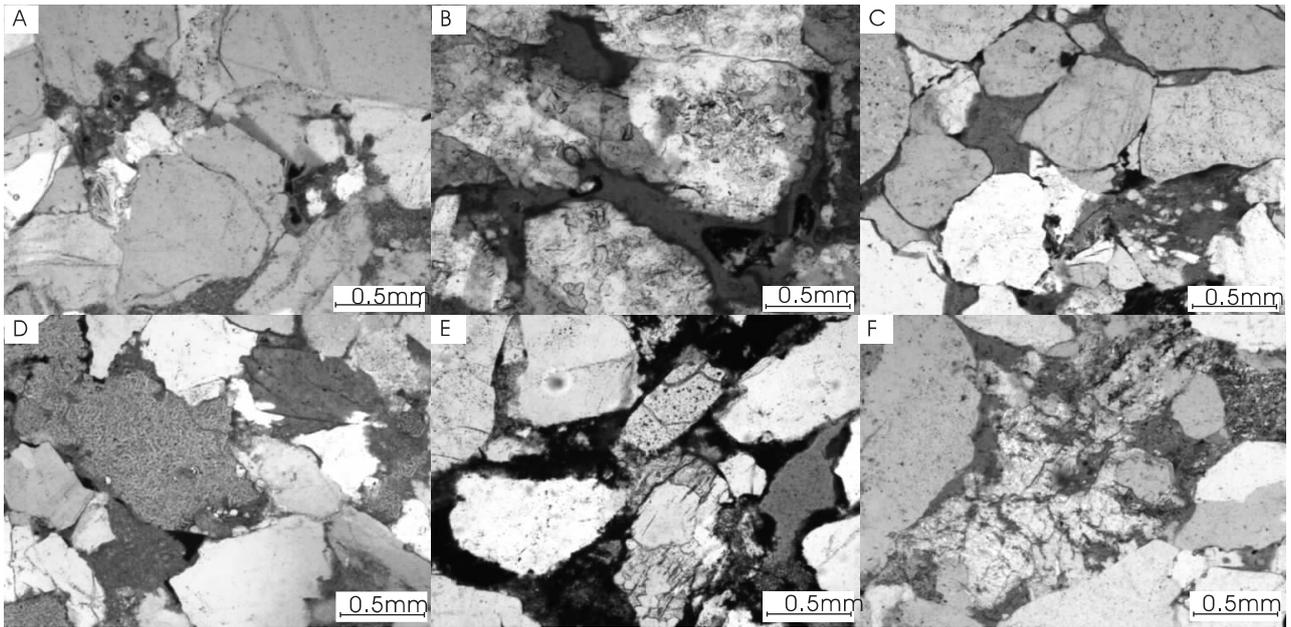


图2 研究区盒8段砂岩孔隙类型显微镜下特征

A. 石英次生加大边发育,残余粒间孔隙,桃7井,3351.7米,单偏光,10×; B. 石英颗粒边缘港湾状溶孔,召17井,3033.91米,单偏光,10×; C. 粒间溶孔与岩屑溶孔连通,统21井,2790.76米,单偏光,10×; D. 高岭石晶间孔,岩屑溶孔及铸模孔,榆31井,2905.99米,单偏光,10×; E. 粒间杂基溶孔,统25井,2802.19米,单偏光,10×; F. 粒间亮晶方解石溶孔,苏25井,3206.87米,单偏光,10×

Fig. 2 Porosity types in the reservoir sandstones from the 8th member of the Shihezi Formation

A. Residual intergranular pores, 3351.7 m, Tao-7 well, plane-polarized light, × 10; B. Embayed solution openings, 3033.91 m, Zhao-17 well, plane-polarized light, × 10; C. Connected intergranular and lithoclastic solution openings, 2790.76, Tong-21 well, plane-polarized light, × 10; D. Intergranular pores of gaolinite, lithoclastic solution openings and moldic pores, 2906.87 m, Yu-31 well, plane-polarized light, × 10; E. Intergranular matrix solution openings, 2802.19 m, Tong-25 well, plane-polarized light, × 10; F. Intergranular sparry calcite solution openings, 32.06.87 m, Su-25 well, plane-polarized light, × 10

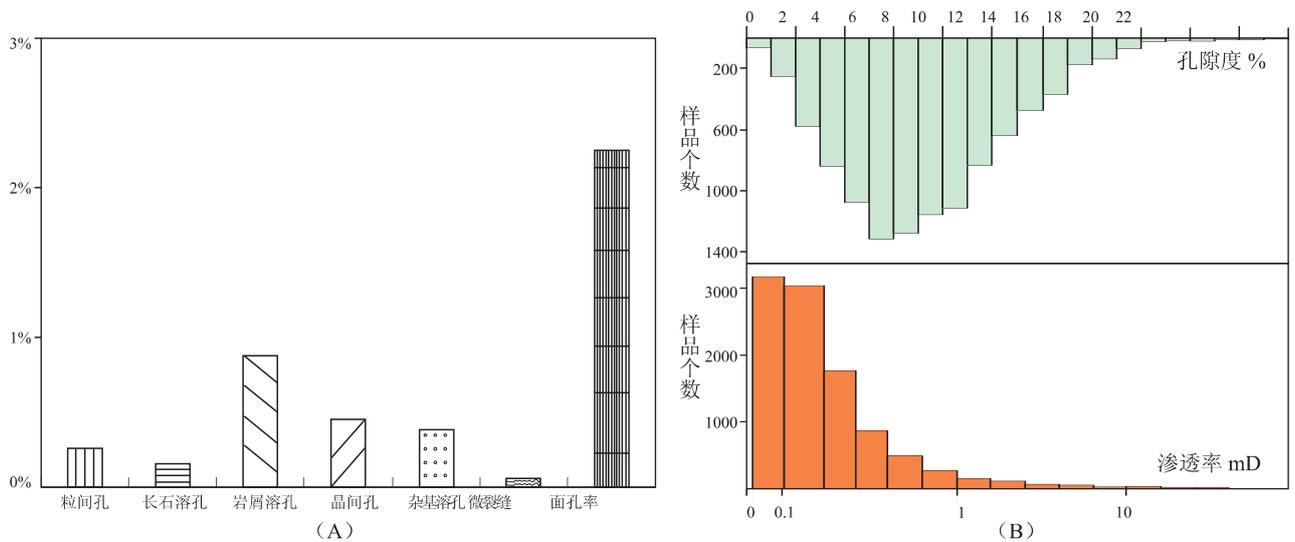


图3 苏里格气田东部盒8段砂岩不同孔隙类型孔隙度直方图及实测孔隙度、渗透率频率图

Fig. 3 Histogram of the porosity types (A) and measured frequency diagram of the porosity and permeability (B) of the reservoir sandstones from the 8th member of the Shihezi Formation

集层中有机酸及二氧化碳酸性水的溶解、深层热对流循环、表生淋滤及断裂带淋滤等3种形成机理^[10,11]。对于第一种机理而言,储集岩一般要具有

较有利的沉积微相。岩石粒度粗,抗压实能力强。在晚成岩期,在酸性水介质条件下,石英次生加大及高岭石发育。煤系地层有机酸浓度高,1g煤中的

表 1 研究区盒 8 储层 CO₂ 三相包裹体温度-密度-压力统计表Table 1 Statistics of the temperature, density and pressure for the CO₂ three phase inclusions from the 8th member of the Shihezi Formation

样号	井号	层位	产状	类型	数量	CO ₂ 部分均一温度	液相密度 ρ_1 g/cm ³	液相密度 ρ_2 g/cm ³	压力 P 10 ⁵ Pa
1	霍 2	盒 8	石英愈合裂缝	CO ₂ 三相	3	23.8	0.72	0.23	62.1
2	陕 140				2	25.6	0.70	0.25	64.8
3	陕 208				4	26.3	0.68	0.26	65.9
4	陕 9				2	24.7	0.71	0.24	63.4
5	榆 26				1	25.5	0.70	0.25	64.7
6	召 22				1	28.1	0.65	0.28	68.6
7	召 25				2	30.0	0.60	0.33	71.4
8	召 29				1	29.4	0.62	0.32	70.5
9	召 48				1	26.6	0.68	0.26	66.0
10	召 53				1	24.2	0.72	0.23	62.5

有机酸可达 11 ~ 95mg (酸性水致使有机酸浓度高)。长石硅酸盐中不稳定矿物的溶解是产生次生孔隙的原因。根据区域构造研究结果,盒 8 段自沉积至今一直深埋于地下,不具备遭受表生淋滤和断裂带淋滤条件,本文主要探讨前两种机理对盒 8 段次生孔隙的控制。

本次研究重点利用荧光显微镜、冷热台以及激光拉曼光谱仪,分析受构造抬升影响较大的、切穿碎屑颗粒的愈合裂缝中的包裹体成分及均一温度特征。根据愈合裂缝中同时共生有大量盐水包裹体、烃类包裹体以及 CO₂ 包裹体,且具较高均一温度的包裹体与具较低均一温度的包裹体密切共生这一现象^[7],认为油气充注、构造运动与次生孔隙分布之间存在着明显的因果联系。

根据实测得与高温盐水包裹体伴生的 CO₂ 包裹体 CO₂ 气相与 CO₂ 液相均一温度值(表 1),利用 Touret(1979) CO₂ 包裹体密度计算公式获得 CO₂ 流体的密度在 0.59 ~ 0.80g/cm³ 之间。再根据 CO₂ 的温度-密度-压力关系表^[12] 推测出 CO₂ 包裹体均一压力在 56.9 ~ 71.4 × 10⁵Pa 之间,平均 66.0 × 10⁵Pa。将各单井均一压力数据投影到平面图上,由西南往东北方向包裹体均一压力逐渐降低,表明流体运移方向主要为南西-北东向(图 4 右)。

烃源岩现今有机质成熟度 Ro 值在 0.8% ~ 2.2%,属于成熟-过成熟阶段,自西向东逐渐降低,表明西部烃源岩先于东部成熟和运移(图 1)。根据前人研究结果可知,鄂尔多斯盆地石盒子组油气充注时间主要发生在燕山晚期(晚侏罗世-早白垩世),

对应时间大约为 140 ~ 100Ma^[13],此时,盒 8 段储层已进入晚成岩期。从烃类充注运移路径与次生孔隙发育带叠合图可知(图 4 右),该期大规模的油气自南西向北东方向充注,造成大量次生孔隙的形成,有利于天然气的二次运移和聚集。这为次生孔隙相对较发育带(次生孔隙含量大于 3%)展布趋势与油气运移路径方向一致的特征所佐证。

因此,对研究区而言,与烃类流体充注相伴生酸性流体溶蚀是盒 8 段次生孔隙形成的主要因素。盒 8 段属河流-三角洲沉积环境,岩石成分成熟度较低,岩屑中以中酸性火山岩岩屑为主,高岭石、伊利石、绿泥石、伊/蒙混层粘土富集,石英次生加大发育,堵塞原生粒间孔隙,导致原生孔隙不发育。在晚成岩期,生烃期携带的酸性水溶解产生的次生孔隙及微缝,以及自生的高岭石等矿物晶间孔明显改善了储层的储、渗性能。

3.3 来自深部的热液溶蚀

研究区位于伊陕斜坡北部中段,局部跨越伊盟隆起,从盒 8 地层现今底面构造特征来看(图 4B),研究区主要呈一平缓的西倾单斜,局部发育宽缓的鼻隆构造,有利于油气自南向北、自西南向东北部构造高部位发生运聚。此外,鄂尔多斯盆地发育多条基底断裂带,对研究区影响最大的是北东向断裂带,该断裂带的发育时间在晚太古代-早元古代,深大断裂的存在为深部热流体的上涌与活动提供了通道^[9],深大断裂的交叉结合部位次生孔隙多发育。同时,包裹体研究方面揭示盒 8 段储层中常具有较高均一温度的包裹体与具较低均一温度的包裹

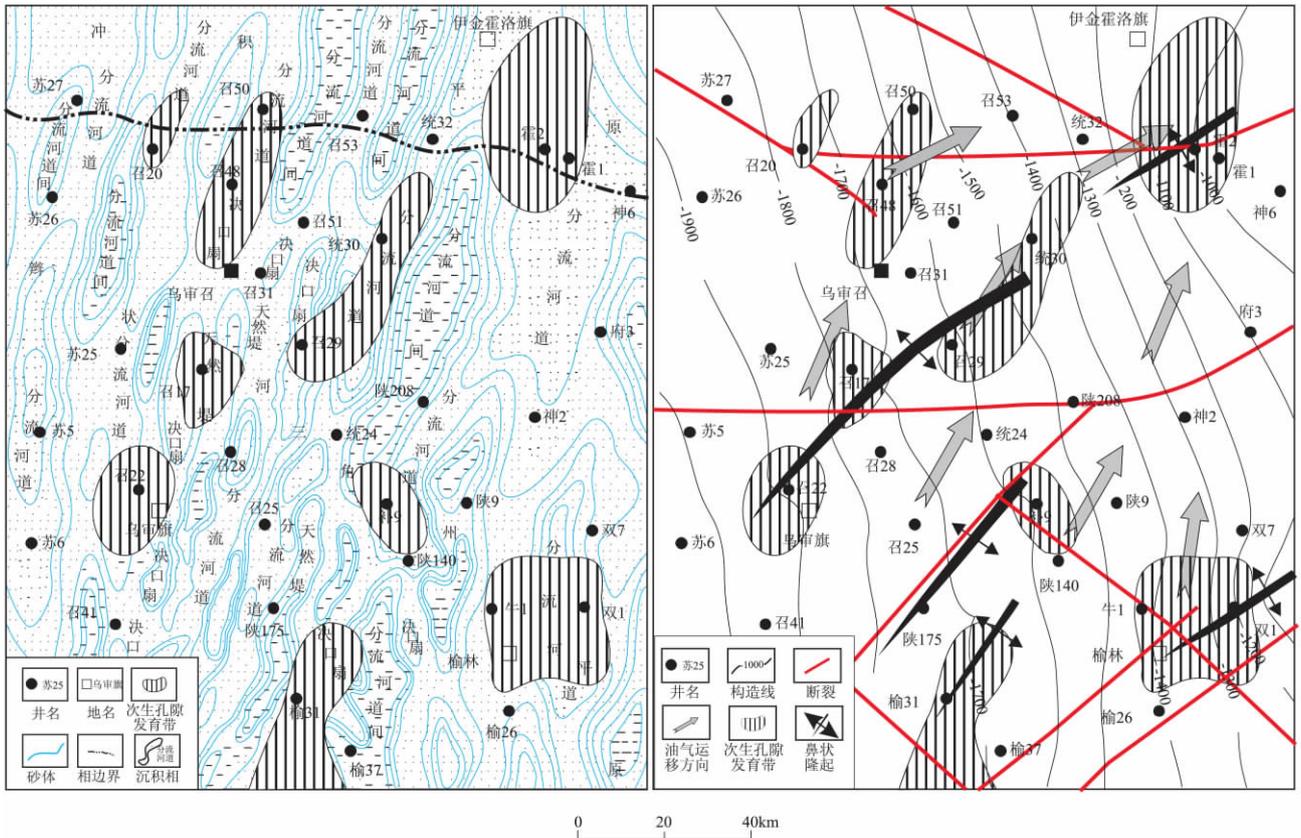


图4 苏里格气田东部盒8段储层次生孔隙发育带与盒8段沉积相及砂体展布关系叠合图(左)及与盒8地层底面构造、油气运移路径及砂体展布关系叠合图(右)

Fig. 4 Diagrams showing the relationship between the secondary porosity development and sedimentary facies and sandstone distribution (left), and basal structures and hydrocarbon migration paths and sandstone distribution (right) in the 8th member of the Shihezi Formation in the Sulige Gas Field

体密切共生这一现象,表明深部热流体与次生孔隙分布之间存在一定的因果联系。同时,断裂走向与构造鼻隆长轴方向一致,有利于深部流体在构造高部位聚集,并对矿物组分进行溶解并形成大量次生孔隙。但总体看来,与基底相关的深部热流体对盒8段次生孔隙的影响相对较小,只起次要作用,研究区深部流体活动与储层之间流体交换研究目前尚不明确。

4 次生孔隙分布规律

乌审召地区下石盒子组盒8段次生孔隙在研究区东北部伊金霍洛旗-神2井一带、召50井-召48井-乌审召一带、统30-召29井一带最为发育,召17井、召20井及召22井区、榆林双1井一带较发育,榆31井一带次生孔隙相对发育。

从沉积相展布看来,以上区域多属南北向带状分布的冲积平原-辫状河三角洲平原分流河道及决口扇发育区(图5),砂体总体发育(平均砂厚35m),次生孔隙也相对发育,有利沉积相是次生孔隙发育

的主要原因。此外,从油气运移路径来看,以上区域(尤以工区中部及东北部)亦多位于有利油气运移路径通道。从构造位置看来,以上地区多位于构造鼻轴线附近及基底断裂结合部位。虽然盒8段次生孔隙形成机理主要为有机酸和CO₂溶蚀,可能具有一定的热流体作用,但溶蚀作用对岩石矿物组分具有一定的要求。因此,整体来看,盒8段次生孔隙平面分布主要受沉积微相控制,油气运移路径、构造等因素对其复合影响。

5 结论

(1) 苏里格气田东部盒8段储层储集空间以次生孔隙为主,原生孔隙不发育。次生孔隙以次生溶孔、高岭石晶间孔为主,平均面孔率分别为1.6%和0.5%。次生孔隙大小不一,直径5~500μm,局部层段微裂缝发育。

(2) 苏里格气田东部盒8段次生孔隙发育程度与沉积微相、烃源岩生排烃伴随的有机酸、构造和基底断裂密切相关,三角洲分流河道分叉及交汇

处、位于油气运移路径上、构造鼻轴线附近及基底断裂结合部位次生孔隙最为发育。

参考文献:

- [1] 田在艺,史卜庆. 中国中生界沉积盆地与油气成藏[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(1): 1-5.
- [2] 杨华,魏新善. 鄂尔多斯盆地苏里格地区天然气勘探新进展[J]. 天然气工业, 2007, 27(12): 6-11.
- [3] 杨斌虎,刘小洪,罗静兰,等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田东部优质储层分布规律[J]. 石油实验地质, 2008, 30(4): 333-339.
- [4] 李会军,张文才,朱雷. 苏里格气田优质储层控制因素[J]. 天然气工业, 2007, 27(12): 16-18.
- [5] 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.
- [6] 朱宏权,张哨楠. 鄂尔多斯盆地北部上古生界储层成岩作用[J]. 天然气工业, 2004, 24(2): 29-32.
- [7] 刘小洪,冯明友,罗静兰,等. 鄂尔多斯盆地乌审召地区盒 8、山 1 段储层流体包裹体特征及其意义[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 360-366, 374.
- [8] 潘爱芳,郝英,黎荣剑,等. 鄂尔多斯盆地基底断裂与能源矿产成藏成矿的关系[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(4): 459-464.
- [9] 罗静兰,魏新善,姚泾利,等. 物源与沉积相对鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气优质储层的控制[J]. 地质通报, 2010, 29(6): 811-820.
- [10] 陈丽华,赵澄林,纪友亮,等. 碎屑岩天然气储集层次生孔隙的三种成因机理[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(5): 77-79.
- [11] 黄洁,朱如凯,侯读杰,阮伟. 深部碎屑岩储层次生孔隙发育机理研究进展[J]. 地质科技情报, 2007, 26(6): 76-82.
- [12] 刘斌,沈昆著. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社, 1999. 78.
- [13] 任战利,张盛,高胜利,等. 鄂尔多斯盆地构造热演化史及其成藏成矿意义[J]. 中国科学 D 辑:地球科学, 2007, 37(增刊): 23-32.

Controlling factors of the secondary porosity of the hydrocarbon reservoirs from the 8th member of the Permian Shihezi Formation in eastern Sulige Gas Field , Ordos Basin

SHI Xin¹, OUYANG Cheng¹, FENG Ming-you², ZHU Meng¹, HUANG Wen-ming¹, XIE Lin²

(1. Research Institute of Geological Exploration and Development, Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd., Chengdu 610051, Sichuan, China; 2. College of Resources and Environments, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China)

Abstract: The 8th member of the Lower Permian Shihezi Formation occurs as important hydrocarbon reservoirs in eastern Sulige Gas Field, Ordos Basin. The secondary porosity and associated controlling factors of the hydrocarbon reservoirs are explored in detail on the basis of thin section examination, quantitative statistics, fluid inclusion thermometry and compositional analysis. The development of the secondary porosity in the 8th member of the Shihezi Formation is believed to be closely correlated to sedimentary microfacies distribution and organic acidic dissolution during the hydrocarbon generation and migration, and deep-seated hydrothermal fluids associated with the basement faulting. On the whole, the planar distribution of the secondary porosity is constrained by sedimentary facies, regional structures and hydrocarbon migration pathways. The secondary porosity tends to be best developed along the axial line of the nose uplift, or near the intersection of the distributary channels and the juncture of the basement faults.

Key words: eastern Sulige Gas Field; Upper Palaeozoic; 8th member of the Lower Shihezi Formation; secondary porosity