

大牛地气田石英次生加大特征及其对储层物性的影响

曲希玉¹, 邱隆伟¹, 宋 璠¹, 张满利¹, 刘 冰²

(1. 中国石油大学 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266555;

2. 中国石油 大庆油田 第十采油厂 肇州分公司, 黑龙江 大庆 166405)

摘要:以大牛地气田太原组、山西组和下石盒子组致密砂岩储层为研究对象,依据石英次生加大的点状式、环边式和多期式形貌,结合流体包裹体均一温度,将石英次生加大分为3期,其中第Ⅱ期在本区发育数量最多,含有一定量的有机包裹体,第Ⅰ期和第Ⅲ期见石英溶解现象。随石英次生加大期次的增加,加大边的宽度逐渐增大,对应的储层物性逐渐变差,但第Ⅲ期对应的孔隙度较前两期明显偏高。当大牛地气田的硅质胶结物含量大于3%时,将以孔隙充填为主,在第Ⅲ期石英次生加大之后,砂岩储层已完全致密化。在整体致密的背景下,碱性溶解作用形成的石英溶解型孔隙,为大牛地气田提供了大量的储集空间,是太原组二段次生孔隙的主要成因。

关键词:次生加大;期次;致密化;碱性溶解;大牛地气田

中图分类号: TE122.2⁺3

文献标识码: A

Characteristics and its effect on reservoir physical property of quartz overgrowth at Daniudi Gas Field

Qu Xiyu¹, Qiu Longwei¹, Song Fan¹, Zhang Manli¹, Liu Bing²

(1. Faculty of Earth Sciences & Technology, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266555, China;

2. Zhaozhou Branch, No.10 Oil Production Company, Daqing Oilfield, PetroChina, Daqing, Heilongjiang 166405, China)

Abstract: The tight sandstone reservoirs from the Taiyuan, Shanxi and Xiashihezi Formations of the Daniudi Gas Field were studied. In view of the punctate type, zonary structure and multistage morphology of quartz overgrowth, and combined with the homogenization temperature fluid inclusions, the quartz overgrowth were divided into three stages, among which the stage II was most developed and contained some organic inclusions. Quartz solution was found in the stages I and III. The corresponding reservoir physical property gradually became poor with the increasing stage of quartz overgrowth and the increasing width of enlargement margin; however, the porosity of the stage III was obviously higher than that of the previous two stages. Pore filling was dominant when the content of siliceous cement was over 3% at the Daniudi Gas Field. After the quartz overgrowth in the stage III, sandstone reservoirs were densified completely. Under the whole compact background, alkalinity dissolution resulted in pores of quartz solution type, which offered reservoir space for the Daniudi Gas Field, and was the main cause for secondary pores in the second member of the Taiyuan Formation.

Key words: secondary enlargement; multistage; densification; alkalinity dissolution; Daniudi Gas Field

石英次生加大是硅质胶结物围绕碎屑石英颗粒生长形成的,两者成分相同,光性方位一致。其形成温度为65~130℃^[1-2],含盐的中性—弱碱性孔隙水有利于其形成^[3]。石英次生加大的分布受孔隙度控制,且与渗流空间和生长空间有关^[4]。在非均质砂岩中,当有充足的硅质来源时,哪里有空间,

次生加大就在哪里进行;如果孔隙分布均匀,且颗粒周围有空间及硅质来源,就会在石英颗粒周围形成比较均匀的生长,加大成自形^[5]。可利用偏光显微镜下原碎屑颗粒边缘的黏土薄膜识别次生加大边^[6];如没有黏土膜,用阴极发光显微镜可识别石英次生加大边与核心石英的界线^[5,7];借助电子

收稿日期: 2013-08-31; 修订日期: 2014-07-08。

作者简介: 曲希玉(1977—),男,博士,副教授,从事流体—岩石相互作用、储层及沉积研究。E-mail: quxiyu@upc.edu.cn。

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05009-002)、国家自然科学基金联合基金重点支持项目(U1262203)、中央高校基本科研业务费专项资金(12CX04004A)联合资助。

探针可以确定石英次生加大的元素微区变化^[2,7-8],从碎屑部分到石英次生加大的外壁,Al₂O₃含量逐渐增加;而石英次生加大边中的流体包裹体则是判断其形成温度和期次的重要手段^[2,9-12]。储层研究中,石英次生加大边可以作为研究古温度、解释储层非均质性、确定油气侵位时间及划分成岩阶段的手段^[3],同时也是储层物性变差的主要原因。那么,是否砂岩储层中出现石英次生加大时储层物性就一定变差,其含量、特征及后期变化对储层物性有什么样的影响呢?本文以大牛地气田太原组、山西组和下石盒子组致密砂岩储层为研究对象,利用偏光显微镜、阴极发光显微镜和流体包裹体测温技术,结合储层物性数据,研究石英次生加大的形貌及期次,探讨石英次生加大与储层致密化和次生孔隙的关系。

1 地质背景及岩石学特征

鄂尔多斯盆地在构造上位于华北地台西部,面积为 33×10⁴ km²,是一个长期发育的多旋回稳定的大型克拉通叠合盆地。在大地构造位置上,它处于中国东部构造稳定区和西部构造活动带之间,现今轮廓为一不对称的矩形向斜盆地。向斜轴部位于天池—环县南北狭窄区域,东翼宽、西翼窄,东为 350 km,西仅 20 km,东翼所辖地区是盆地的主体,为一个西倾的大单斜,倾角不足 1°,称为伊陕斜坡。大牛

地气田就位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡的东北部,地处陕西和内蒙古交界,面积 2 003.71 km²,主要目的层位为石炭系太原组、二叠系山西组和下石盒子组,经历了海相—海陆过渡相—陆相的沉积过程,截至 2008 年,已建成天然气产能 30×10⁸ m³^[13]。

大牛地气田太原组的骨架碎屑成分中石英占 91.7%、长石占 2.0%、岩屑占 8.2%,岩石类型主要为石英砂岩和岩屑石英砂岩(图 1a),主体为中粗粒砂岩。山西组的骨架碎屑成分中石英占 73.9%、长石占 3.8%、岩屑占 22.4%,岩石类型主要为岩屑石英砂岩和岩屑砂岩(图 1b),主体为中粗粒砂岩。下石盒子组的骨架碎屑成分中石英占 74.5%、长石占 4.4%、岩屑占 18.1%,主要岩石类型为岩屑砂岩和岩屑石英砂岩(图 1c),主体为中粒砂岩。

通过 382 个薄片的鉴定与统计,在研究区识别出 6 种填隙物,其中杂基以泥质为主,自生矿物以水云母、石英、方解石和高岭石为主。太原组填隙物中泥质的相对含量为 5.78%,胶结物中石英的相对含量为 26.6%,水云母为 35.5%,含少量的高岭石、方解石和菱铁矿(图 2a)。山西组填隙物中泥质的相对含量为 38%,胶结物中水云母相对含量为 16%,方解石为 14%,含少量的高岭石、菱铁矿和石英(图 2b)。下石盒子组填隙物中泥质的相对含量为 34%,胶结物中方解石的相对含量为 11%,石英为 10%,水云母相对含量为 24%,含少量的高岭石(图 2c)。

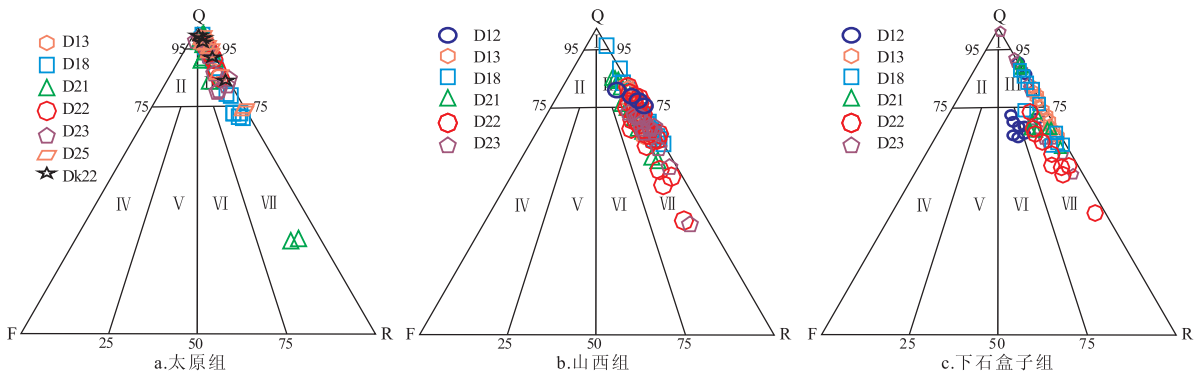


图 1 大牛地气田储层砂岩类型三角图

Fig.1 Triangular diagram of reservoir sandstones at Daniudi Gas Field

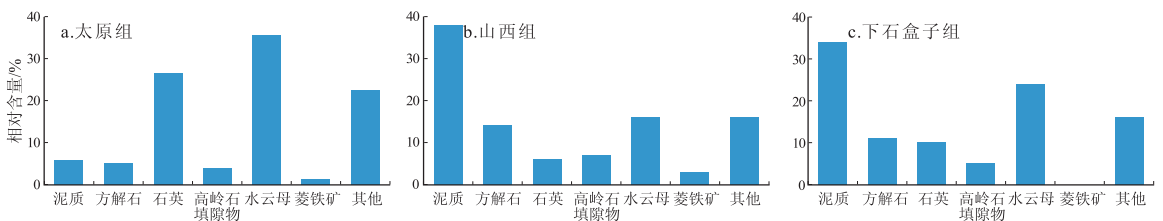


图 2 大牛地气田填隙物相对含量

Fig.2 Relative content of interstitial material at Daniudi Gas Field

2 石英次生加大的特征及期次

2.1 石英次生加大的形貌特征

以11口钻井221个薄片的镜下观察为基础,

根据石英次生加大生长形态,参考柴西南石英胶结的分类模式^[14],将大牛地气田的石英次生加大的形貌特征分为点状式、环边式和多期式(表1)。

点状式是指次生硅质附着在碎屑石英颗粒边

表1 大牛地气田石英次生加大特征统计

Table 1 Characteristics of quart overgrowth at Daniudi Gas Field

井号	深度/m	层位	宽度/ μm	期次	孔隙度/%	特征
大15	2 646.85	$P_1h^{3(1)}$	180	I		单点加大,颗粒边缘见溶蚀现象
大15	2 695.90	$P_1h^{1(3)}$	10	I		局部多点加大
大12	2 677.97	$P_1h^{1(3)}$	30	I	11.22	单点加大
大18	2 624.25	$P_1h^{1(2)}$	50	I	5.90	石英颗粒线接触,加大边受限,在接触线两侧呈两点式加大
大18	2 629.00	$P_1h^{1(1)}$	350	I	5.60	加大边受限呈树杈状胶结
大18	2 636.50	$P_1h^{1(1)}$	20	I	7.60	加大边呈不规则状多点加大
大18	2 691.50	$P_{1s}^{2(1)}$	50	I	7.40	单点加大
大18	2 695.30	$P_{1s}^{2(1)}$	25	I		单点加大
大12	2 747.91	$P_{1s}^{2(1)}$	10	I	4.70	见一侧均匀加大,另一侧受压溶作用与另一颗粒缝合线接触
大21	2 625.60	$P_{1s}^{2(1)}$	5	I		尘线细微,单点加大
大33	2 597.00	$P_{1s}^{2(1)}$	100	I		加大边呈多点式胶结
大21	2 658.60	$P_{1s}^{1(3)}$	20	I	6.80	局部多点加大
大26	2 560.85	$P_{1s}^{1(2)}$	50	I	8.90	见一侧均匀加大,另一侧受压溶作用与另一颗粒缝合线接触
大18	2 745.20	$P_{1s}^{1(1)}$	7.5	I		加大边在颗粒局部均匀生长,宽度极小
大25	2 688.90	$P_{1s}^{1(1)}$	30	I	6.30	局部多点加大
大45	2 597.60	$P_{1s}^{1(1)}$	80	I		加大边呈单点式胶结于原生孔隙之中,与颗粒界限平直
大18	2 774.20	C_2t^2	20	I	8.43	局部多点式加大
大18	2 778.60	C_2t^2	100	I		加大边呈单点式生长,颗粒边缘平直
大21	2 707.55	C_2t^2	25	I	10.40	尘线不清晰,加大边呈多点式胶结
大21	2 708.45	C_2t^2	40	I	12.60	加大边呈多点式胶结
大21	2 717.60	C_2t^2	5	I	1.10	加大边宽度很小,均匀的环绕于颗粒局部
大23	2 797.60	C_2t^2	35	I	8.60	加大边呈多点式胶结
大26	2 599.16	C_2t^2	100	I	11.30	加大边多点式胶结颗粒,充填孔隙
大21	2 762.60	C_2t^1	30	I		单点加大
大15	2 648.00	$P_1h^{3(1)}$	70	II	8.12	尘线不清晰,加大边均匀环绕颗粒生长
大18	2 624.30	$P_1h^{1(2)}$	30	II	5.90	加大边半环绕颗粒生长,尘线清晰
大33	2 572.60	$P_1h^{1(2)}$	100	II		加大边环绕颗粒生长,充填孔隙
大33	2 575.41	$P_1h^{1(2)}$	250	II		加大边环绕颗粒生长,充填孔隙
大9	2 570.60	$P_1h^{1(2)}$	40	II	5.68	加大边环绕颗粒整体加大
大15	2 581.85	P_2s	50	II		颗粒棱角状,加大边环绕颗粒均匀生长
大18	2 625.36	$P_1h^{1(1)}$	20	II	5.90	加大边环绕颗粒生长,充填孔隙
大18	2 633.00	$P_1h^{1(1)}$	60	II		尘线明显,加大边厚度大,且生长均匀
大33	2 578.20	$P_1h^{1(1)}$	25	II		加大边环绕颗粒均匀生长
大26	2 504.60	$P_2s^{2(2)}$	25	II		加大边环绕颗粒生长,见港湾状溶蚀,仅在局部见剩余的次生加大边
DK3	2 658.19		60	II		阴极发光下加大边呈半环边环绕颗粒生长
大9	2 586.56	$P_2s^{2(1)}$	5	II	6.14	加大边环绕颗粒,局部见港湾状溶蚀
大18	2 965.30	$P_2s^{2(1)}$	20	II		仅看到局部的加大,而且厚度不大
大12	2 741.80	$P_2s^{2(1)}$	25	II	1.50	可见加大边在一侧环绕颗粒均匀加大,另一侧发生溶解
大11	2 769.70	$P_2s^{1(3)}$	30	II	7.34	加大边环绕颗粒并充填孔隙
大21	2 668.50	$P_2s^{1(2)}$	40	II	7.70	加大边形态规则,环绕颗粒均匀生长
大21	2 671.10	$P_2s^{1(2)}$	15	II	4.30	加大边形态规则,环绕颗粒生长
大9	2 652.70	$P_2s^{1(1)}$	10	II		加大边不规则环绕颗粒生长
大15	2 849.30	$P_2s^{1(1)}$	20	II	10.17	尘线不明显,仅在局部可见,加大边环绕颗粒均匀生长
大45	2 654.04	$P_2s^{1(1)}$	70	II		石英颗粒间成线接触,加大边充填原生三角形孔隙
大18	2 771.20	C_2t^2	90	II	8.40	加大边环绕颗粒不均匀生长,局部见缝合线接触
大18	2 784.90	C_2t^2	17.5	II		加大边环绕颗粒均匀生长,且厚度不大
大18	2 788.00	C_2t^2	25	II	2.80	加大边环绕颗粒均匀生长,且厚度不大
大18	2 788.50	C_2t^2	5	II	2.80	尘线细小不清晰,颗粒呈棱角状,加大边环绕颗粒生长后,整体呈长柱状
大21	2 704.30	C_2t^2	20	II	2.90	加大边在颗粒一侧半环状均匀生长
大21	2 705.40	C_2t^2	23	II	9.90	加大边在颗粒一侧半环状均匀生长
大23	2 788.50	C_2t^2	20	II	10.00	加大边环绕颗粒不规则生长
大25	2 708.60	C_2t^2	30	II	8.50	加大边环绕颗粒均匀生长,且厚度不大

续表 1

井号	深度/m	层位	宽度/ μm	期次	孔隙度/%	特征
大 12	2 474.80	P_2s	50	Ⅲ		加大边环绕颗粒均匀生长
大 15	2 649.30	$P_1h^{3(1)}$	45	Ⅲ	8.12	加大边环绕颗粒整体加大,局部发生港湾状溶蚀
大 15	2 649.93	$P_1h^{3(1)}$	25	Ⅲ	8.12	见 2 期清晰尘线,加大边半环绕颗粒
大 12	2 676.19	$P_1h^{2(1)}$	75	Ⅲ	11.22	多期加大
大 21	2 542.80	$P_1h^{2(1)}$	15	Ⅲ		多期加大边在一侧保留完好,另一侧发生强烈溶蚀,仅有局部残留
大 18	2 596.50	$P_1h^{1(3)}$	70	Ⅲ	12.30	多期加大后局部发生溶蚀
大 11	2 678.60	$P_1h^{1(1)}$	20		7.20	加大边环绕颗粒生长,在一侧发生溶蚀
大 18	2 666.02	$P_2s^{2(2)}$	70	Ⅲ	7.20	多期加大边环绕颗粒生长,局部见港湾状溶蚀现象
大 12	2 745.40	$P_2s^{2(1)}$	60	Ⅲ	15.30	宽大的加大边出现港湾状溶蚀
大 18	2 686.50	$P_2s^{2(1)}$	70	Ⅲ	10.40	见 2 期清晰尘线,加大边呈椭圆形环绕颗粒,第二期加大微弱溶蚀
大 18	2 698.00	$P_2s^{2(1)}$	35	Ⅲ	4.50	见 2 期清晰的尘线,加大边较干净
大 15	2 821.65	$P_2s^{1(2)}$	200	Ⅲ		加大边宽度较大
大 15	2 575.41	P_2s	150	Ⅲ		见 2 期尘线,第二期加大边局部见压溶作用,与其他颗粒呈缝合线接触
大 18	2 744.00	$P_2s^{1(1)}$	25	Ⅲ	7.60	多期加大,局部见港湾状溶蚀
大 21	2 715.57	C_2t^2	60	Ⅲ	5.10	2 期加大
大 21	2 723.90	C_2t^2		Ⅲ	12.40	见 2 期尘线,第二期尘线干涉色高
大 21	2 723.96	C_2t^2	15	Ⅲ	12.40	加大边均匀生长,且边缘平直
大 21	2 728.00	C_2t^2	70	Ⅲ	7.50	加大边与相邻的石英颗粒缝合线接触
大 21	2 732.00	C_2t^2	100	Ⅲ	1.65	多期加大,局部加大边见港湾状溶蚀
大 23	2 776.80	C_2t^2	25	Ⅲ	8.20	不均匀加大,局部见缝合线接触

缘,呈点状(一个或多个点)或环绕颗粒的薄层,可分为单点式加大和多点式加大 2 种类型。如大 15 井 2 646.85 m 处,加大边呈单点式生长于颗粒的一角,整个颗粒外缘由于溶蚀作用而凹凸不平,仅加大边生长处保留有圆滑的颗粒外形(图版 I);再如大 18 井 2 624.25 m 处的多点式加大,可见石英颗粒呈线状接触,由于颗粒的限制,硅质胶结物于颗粒两侧呈三角形充填原生孔隙(图版 II)。

环边式是指次生硅质连续包裹石英颗粒边缘,可分为环粒加大和半环粒加大 2 种。如大 21 井 2 671.1 m 处,次生加大均匀地环绕整个颗粒生长(图版 III),形态与原始颗粒浑圆的外形一致;再如大 15 井 2 581.85 m 处,颗粒呈次棱角状一次圆状,可见平直的颗粒边缘,加大边沿颗粒边缘半环绕生长,呈方形环边状,厚度较均一(图版 IV);而 DK13 井 2 658.19 m 处的加大边呈浑圆状均匀地半环绕颗粒生长(图版 V)。

多期式是指由附着于碎屑颗粒周围的一期次生硅质加大和粒间孔中的二期次生硅质充填形成的,第二期的次生硅质加大附着于第一期加大部分的外侧。大 18 井 2 686.5 m 处,可见 2 期清晰的尘线,2 期加大均匀地生长于浑圆颗粒外缘,局部由于其他颗粒的限制而不发育加大边,第二期加大边上可见港湾状溶蚀现象(图版 VI)。

2.2 石英次生加大的期次

根据石英次生加大的形貌特征,借助于加大边中流体包裹体均一温度,将大牛地气田的石英次生加大划分为 3 期。

第 I 期石英次生加大边多呈单点式(图版 I)或多点式胶结于碎屑石英颗粒的一侧(图版 II)。由于受其他颗粒限制,第 I 期加大发育局限,宽窄不一,在本区发育数量较少,见港湾状溶蚀现象。I 期加大边内包裹体发育较少,包裹体均一温度为 78 $^{\circ}\text{C}$,拉曼光谱分析表明,包裹体内无有机组分,说明加大边形成时没有进入烃成熟分解阶段,即没有发生烃组分的运移。I 期石英加大边属于早成岩阶段 B 期的成岩压实作用阶段的产物。

第 II 期石英次生加大边环绕石英颗粒,在本区发育数量最多,大多呈环边式(图版 III)或半环边式(图版 IV)均匀生长,加大边宽度较大,阴极发光呈暗棕色(图版 V),含有一定的包裹体,包裹体均一温度平均为 91.6 $^{\circ}\text{C}$,盐度平均为 5.5%。拉曼光谱分析表明,无机组分主要为 SO_2 、 CO_2 、 CO 等,有机组分以 CH_4 和 C_6H_6 为主。

第 III 期石英次生加大边多呈镶嵌状与缝合线状接触,在本区发育数量较多,镜下可见清晰的 2 期尘线(图版 VI),加大边几乎占据了所有的剩余粒间孔隙,宽度多大于 50 μm ,第二期加大边处常见溶蚀现象。包裹体均一温度平均为 112.4 $^{\circ}\text{C}$,盐度平均为 6.2%。拉曼光谱分析表明无机组分和有机组分共存,包括 CO_2 、 SO_2 、 CH_4 、 C_4H_6 等,其中以无机组分为主,有机组分相对较少。

2.3 石英次生加大的宽度

第 I 期石英次生加大由于不规则生长,加大边的宽度大小相差悬殊,最小宽度为 5 μm ,最大达 350 μm (受限生长成树枝状),主体在 50 μm 以下,

排除最大异常点的影响,第 I 期石英次生加大的平均宽度为 38 μm 。第 II 期及第 III 期石英次生加大呈环边式和多期式加大边环绕颗粒生长,与颗粒的原始形态比较接近,自形程度好,厚度较均匀。第 II 期石英次生加大的宽度为 5~250 μm ,主体在 50 μm 以下,平均为 42 μm 。第 III 期石英次生加大的宽度为 15~200 μm ,主体在 50 μm 以上,平均为 62 μm 。整体上,石英次生加大的宽度随加大期次的增加而逐渐增大。

2.4 石英次生加大对应的物性特征

随着次生加大期次的增加,硅质胶结物的宽度逐渐增大,对孔隙的填充度逐渐增强,理论上孔隙度应该逐渐降低,但大牛地气田不同期次的石英次生加大对应的孔隙度却并非如此,可能与硅质胶结之后的碱性溶解作用有关。

第 I 期石英次生加大对应的孔隙度为 1.10%~12.60%,平均值为 7.79%;第 II 期为 1.50%~10.17%,平均值为 6.36%;第 III 期为 1.65%~15.30%,平均值为 8.70%。第 III 期石英次生加大对应的孔隙度较前两期明显偏高(图 3),显然与加大期次增加、胶结作用增强、孔隙度降低的事实不符,这主要与第 III 期石英次生加大之后的碱性溶解作用有关。大牛地气田经历了多期酸性及碱性流体的交替活动,第 I 期和第 III 期石英次生加大对应的酸性流体活动之后是研究区碱性流体最活跃的时期,其中第 III 期石英次生加大之后的碱性溶解作用为研究区提供了大量的次生孔隙。

3 石英次生加大对储层物性的影响

3.1 石英次生加大是砂岩储层致密化的主要因素

硅质胶结物在砂岩储层中主要以石英次生加大的形式产出,与钙质胶结物和泥质胶结物不同,硅质胶结物对储层物性的影响是一把“双刃剑”。

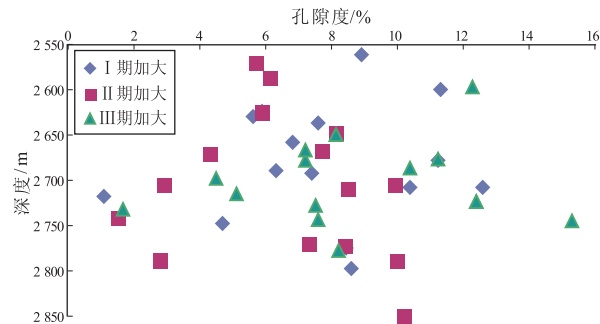


图3 大牛地气田石英次生加大对应的孔隙度随埋深变化
Fig.3 Porosity vs. burial depth corresponding to quartz overgrowth at Daniudi Gas Field

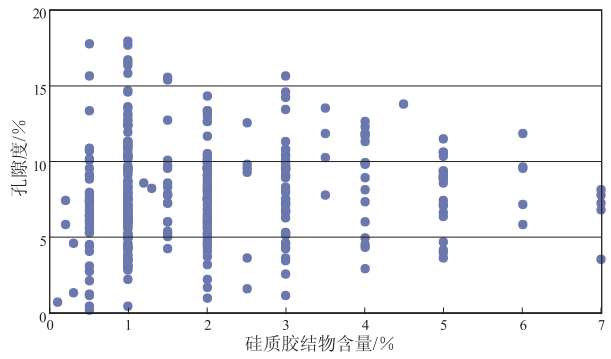


图4 大牛地气田原生石英含量与孔隙度相关性
Fig.4 Authigenic quartz content vs. porosity at Daniudi Gas Field

当硅质胶结物含量较低时,能够增加岩石的抗压强度,保护原生孔隙;随胶结物含量的增加,将以孔隙填充为主,降低储层的孔隙度。通过大牛地气田原生石英含量与孔隙度的关系(图 4)可以看出,当原生石英含量小于等于 3%时,储层孔隙度与原生石英的含量没有相关性;而当原生石英含量大于 3%时,随着原生石英含量的增加,储层孔隙度呈现降低的趋势。因此,在大牛地气田,当硅质胶结物含量小于等于 3%时,将保护原生孔隙;当硅质胶结物含量大于 3%时,将充填孔隙,使砂岩储层致密化。

大牛地气田 3 期石英次生加大的演化过程,反映了研究区成岩演化的历史,即大牛地气田经过了强烈压实阶段、酸碱交替阶段、致密化阶段和致密后阶段。3 期石英次生加大参与了酸碱交替和致密化 2 个成岩阶段的演化,在第 III 期石英次生加大之后,由于强烈的硅质胶结及泥铁质胶结占据了剩余粒间孔隙,砂岩储层已经完全致密化。在大牛地气田致密砂岩形成的过程中,石英次生加大是砂岩储层致密化的主要影响因素,同时又由于第 III 期石英次生加大边中捕获的包裹体组分主要为无机组分,可推断大牛地气田储层含烃流体充注时间早于完全致密化时间,呈现“先生烃、后致密”的特征。

3.2 碱性溶解作用是太二段次生孔隙的主要成因

碱性成岩作用是总体以碱性地层水活动为背景下所形成的,以石英溶解及石英溶解型次生孔隙显著存在为主要特征的成岩作用类型^[15](以下简称碱性溶解作用),作用的结果是形成石英溶解型次生孔隙。典型实例见于泌阳凹陷^[16]和塔西南坳陷^[17],其溶蚀速率随 pH 值增大迅速增大^[18]。大牛地气田的碱性溶解作用比较发育,在第 I 期和第 III 期石英次生加大边中均可见加大边溶解的现象,第 III 期较第 I 期的溶解作用强且普遍,第 III 期石英次生加大对应的孔隙度较前两期明显偏高的原因

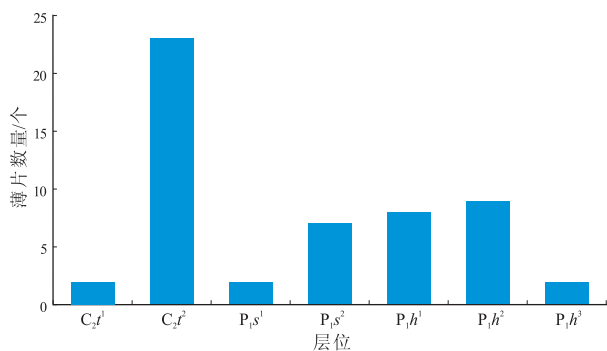


图 5 大牛地气田石英溶解现象层位分布

Fig.5 Horizon distribution of quartz dissolution at Daniudi Gas Field

即碱性溶解作用。除加大边的溶解作用外,还可见石英颗粒的港湾状溶解(图版Ⅶ)和石英溶解“残骸”(图版Ⅷ)。如大 48 井 2 744.7 m 处,颗粒的右上方见典型的港湾状溶解,而右下方该颗粒已被溶掉一角,孔隙另一侧的石英颗粒也发生了溶解,形成了粒间超大孔(图版Ⅶ);再如大 21 井 2 728 m 处,石英颗粒发生强烈的溶解作用,仅剩余部分石英溶解“残骸”,形成了缝状粒间扩大孔(图版Ⅷ),增大了储层的孔隙度和渗透率。通过对大牛地气田 17 口钻井近 200 个薄片的镜下观察和统计,发现石英溶解现象在全区各个层位均有发育,太原组二段是碱性溶解作用最显著、石英溶解型孔隙最发育的层段(图 5)。

统计大牛地气田各层位受碱性溶解作用影响的储层物性数据,发现有石英溶解现象的储层孔隙度、渗透率明显偏高。发育石英溶解现象的储层孔隙度为 6.40%~18.9%,平均为 12.23%,渗透率为 $(0.17 \sim 12.10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $1.90 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;而整个大牛地气田的孔隙度平均值为 6.80%,渗透率平均值为 $0.80 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。石英溶解形成的次生孔隙很好地改善了大牛地气田的储层孔隙度和渗透率,孔隙度的增加量近 6%,渗透率的增加量在 $1.00 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上。说明石英及其加大边的碱性溶解作用为大牛地气田太原组二段提供了大量的储集空间,是该层位次生孔隙的主要成因。

4 结论

(1)大牛地气田石英次生加大的形貌为点状式、环边式和多期式,结合流体包裹体均一温度,将石英次生加大分为 3 期。随石英次生加大期次的增加,加大边的宽度逐渐增大,对应的储层物性逐渐变差,但第Ⅲ期对应的孔隙度较前两期明显偏高。

(2)石英次生加大是大牛地气田砂岩储层致

密化的主要影响因素。当硅质胶结物含量大于 3%时,将以孔隙充填为主,在第Ⅲ期石英次生加大之后,砂岩储层已完全致密化。

(3)第Ⅰ期和第Ⅲ期石英次生加大见石英的碱性溶解现象,碱性溶解作用为大牛地气田提供了大量的储集空间,是太原组二段次生孔隙的主要成因。

参考文献:

- [1] Rezaee M R, Tingate P R. Origin of quartz cement in the Tirrawarra sandstone, southern Cooper basin, South Australia [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1997, 67(1): 168-177.
- [2] 张哨楠, Qing Hairuo, Bjorlykke K. 川西致密砂岩的石英次生加大及其对储层的影响[J]. *地质论评*, 1998, 44(6): 649-656. Zhang Shaonan, Qing Hairuo, Bjorlykke K. Quartz overgrowths and their influence on the reservoir quality of tight sandstone in the Western Sichuan Basin [J]. *Geological Review*, 1998, 44(6): 649-656.
- [3] 于均民, 周晓峰, 刘立. 砂岩中石英胶结物的成因及其研究意义[J]. *世界地质*, 2000, 19(1): 20-25. Yu Junmin, Zhou Xiaofeng, Liu Li. Genesis and significance of quartz cement in sandstones [J]. *World Geology*, 2000, 19(1): 20-25.
- [4] 伏美燕, 张哨楠. 混积型碳酸盐岩中石英的成岩作用及其与储层的关系[J]. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 2011, 33(12): 50-55. Fu Meiyun, Zhang Shaonan. Diagenesis of quartz in mixed clastic-carbonate rock and its relationship with reservoirs [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2011, 33(12): 50-55.
- [5] 王衍琦. 砂岩储层中石英次生变化的研究[J]. *石油勘探与开发*, 1986(4): 39-41. Wang Yanqi. A study on the secondary enlargement of quartz crystals in sandstone [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1986(4): 39-41.
- [6] 赵澄林, 朱筱敏. *沉积岩石学* [M]. 3版. 北京: 石油工业出版社, 2001: 48. Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. *Sedimentary petrology* [M]. 3rd ed. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 2001: 48.
- [7] 方伟. 储集砂岩碎屑石英次生加大边定量分析技术及其演变特征研究[J]. *石油实验地质*, 1992, 14(1): 96-101. Fang Wei. Quantitative analysis techniques of the secondary enlarged pore-fringes in the clastic quartz of reservoir sandstones, and an approach to the evolution characteristics of reservoir sandstones [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1992, 14(1): 96-101.
- [8] 方伟, 薛中州. 电子探针储层中长石、石英成岩演变特征的研究[J]. *石油实验地质*, 1988, 10(3): 241-247. Fang Wei, Xue Zhongzhou. Electron probe analysis on the diagenetic characteristics of feldspar and quartz [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1988, 10(3): 241-247.
- [9] 张哨楠. 四川盆地西部须家河组砂岩储层成岩作用及致密时间讨论[J]. *矿物岩石*, 2009, 29(4): 33-38. Zhang Shaonan. Discussion on the diagenesis and timing of tight sandstone reservoir in Xujiahe formation, Western Sichuan Basin [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2009, 29(4): 33-38.

[10] 时保宏,张艳,张雷,等.鄂尔多斯盆地延长组长7致密储层流体包裹体特征与成藏期次[J].石油实验地质,2012,34(6):599-603.
Shi Baohong,Zhang Yan,Zhang Lei, et al. Hydrocarbon accumulation dating by fluid inclusion characteristics in Chang7 tight sandstone reservoirs of Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment,2012,34(6):599-603.

[11] 曹青,赵靖舟,柳益群.鄂尔多斯盆地蟠龙地区延长组长2、长6段流体包裹体研究[J].石油实验地质,2013,35(4):384-388.
Cao Qing,Zhao Jingzhou,Liu Yiqun. Fluid inclusions of Chang2 and Chang6 sections in Yanchang Formation, Panlong area, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment,2013,35(4):384-388.

[12] 陈顺勇,俞昊,林春明,等.下扬子黄桥地区龙潭组储层流体包裹体特征及油气成藏期研究[J].石油实验地质,2013,35(4):389-394.
Chen Shun Yong,Yu Hao,Lin Chunming, et al. Fluid inclusion features and hydrocarbon accumulation stages of Permian Longtan Formation, Huangqiao area, Lower Yangtze Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment,2013,35(4):389-394.

[13] 赵永刚,常文会,冉利民.大牛地气田低孔低渗碎屑岩储层测井评价[M].武汉:中国地质大学出版社,2010:1-9.
Zhao Yonggang,Chang Wenhui,Ran Limin. Evaluation of reservoir clastic reservoir of low porosity and low permeability in Daniudi gas field [M]. Wuhan: China University of Geosciences

Press,2010:1-9.

[14] 甘贵元,姚熙海,王文弟,等.柴西南区次生加大及交代作用对储集层物性的影响[J].新疆石油地质,2010,31(2):115-117.
Gan Guiyuan,Yao Xihai,Wang Wendi, et al. The effects of secondary outgrowth and replacement on reservoir property[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2010,31(2):115-117.

[15] 邱隆伟,姜在兴.陆源碎屑岩的碱性成岩作用[M].北京:地质出版社,2006:1-7.
Qiu Longwei,Jiang Zaixing. Alkaline terrigenous clastic rock diagenesis[M]. Beijing: Geological Publishing House,2006:1-7.

[16] 邱隆伟,姜在兴,陈文学,等.一种新的储层孔隙成因类型:石英溶解型次生孔隙[J].沉积学报,2002,20(4):621-627.
Qiu Longwei,Jiang Zaixing,Chen Wenxue, et al. A new type of secondary porosity: Quartz dissolution porosity [J]. Acta Sedimentologica Sinica,2002,20(4):621-627.

[17] 邱隆伟,潘耀.柯克亚凝析气田石英的溶解现象及其成因[J].矿物学报,2005,25(2):183-190.
Qiu Longwei,Pan Yao. A study on direct dissolution of quartz and its genesis in the Kekeya Gas Condensate[J]. Acta Mineralogica Sinica,2005,25(2):183-190.

[18] 张思亭,刘耘.不同 pH 值条件下石英溶解的分子机理[J].地球化学,2009,38(6):549-557.
Zhang Siting,Liu Yun. Molecular level dissolution mechanisms of quartz under different pH conditions[J]. Geochimica,2009,38(6):549-557.

(编辑 韩 彧)

图 版

