

四川盆地碳酸盐岩中硅质特征及其对储层的影响

莫静¹,王兴志^{1,2},谢林¹,何施雨³,
梁静⁴,李加利⁵,敖梅⁶,何川⁷

(1.西南石油大学资源与环境学院,成都 610500;2.西南石油大学国家重点实验室,成都 610500;
3.中海油深圳分公司,广东深圳 518000;4.西南油气四川东北气矿勘探开发项目部,四川达州 625000;
5.西南油气四川中油气矿广安采油气作业区,四川广安 638500;
6.西南油气田川西北气矿,四川邛崃 611500;7.长庆第九采油厂,银川 750001)

摘要: 四川盆地碳酸盐岩储层为我国主要海相储层之一。通过分析四川盆地碳酸盐岩中硅质的宏观、微观特征,提出硅质以互层、混积、充填、交代的形式存在于碳酸盐岩中。互层硅质、充填硅质和交代硅质中二氧化硅来源以火山喷发为主,但后期沉积机制不同;混积硅质中二氧化硅来源于陆源碎屑,对物源方向具有一定的指向意义,沉积机制为陆源混积。互层硅质、充填硅质、交代硅质对储层形成具有双重意义,混积硅质对储层形成起严重破坏性作用。

关键词: 碳酸盐岩;硅质;互层;混积;充填;交代;储层;四川省

中图分类号: P588.244 **文献标识码:** A

1 引言

我国海相地层主要为古生代和元古代地层,面积达 $30 \times 10^4 \text{ km}^2$,具有潜在油气远景^[1-4]。四川盆地碳酸盐岩储层是我国主要海相储层之一,其中震旦系到中三叠系发育海相碳酸盐岩,为该区主要储层产出部位;上三叠统、侏罗系、白垩系、新近系等为盆地盖层^[5]。该区碳酸盐岩地层中常见各种形态产出的硅质。

近年来,对硅质研究颇多,但多集中于硅质岩成因方面的研究,对于硅质的产出特征尤其是碳酸盐岩中硅质的产出特征研究较少。康季捷罗夫^[6]将硅质岩分为蛋白岩岩层、硅藻岩岩层、硅藻土岩层、硅质碳酸盐岩层、硅质陆源碎屑岩层、生物成因硅质岩层及火山成因硅质岩层(碧玉岩)。其中,蛋白岩岩层、硅藻岩岩层、硅藻土岩层、生物成因硅质岩层、硅质陆源碎屑岩层多与陆源碎屑沉积岩伴生;硅质碳酸盐岩层、火山成因硅质岩层(碧玉岩)多与海相沉

积碳酸盐岩相关。研究碳酸盐岩中硅质的特征对分析具体区域碳酸盐岩沉积相、储层发育特征有着重要的理论意义。本文将硅质定义为与海相碳酸盐岩伴生的硅质岩以及碳酸盐岩中的石英,意在通过研究硅质在碳酸盐岩中的产出特征,明确各类硅质对碳酸盐岩储层发育的影响。

2 碳酸盐岩中硅质特征与储层关系

四川盆地海相碳酸盐岩地层中常见硅质发育,根据产出特征,将其分为互层硅质、混积硅质、充填硅质和交代硅质。二氧化硅在世界大洋水体中的富集主要由火山作用造成,很少是从陆地搬运过去的^[5-7],因此海相碳酸盐岩中硅质的二氧化硅多被认为源自火山作用。但磨圆分选极好的混积硅质,其二氧化硅则来源于陆源环境,而非火山作用。常规测井呈明显的“两降两升”,即中子、密度降,声波、电阻率升,中子与声波呈“镜像”特征;成像呈致密块状,几乎无高导异常的溶蚀现象(图1)。

收稿日期: 2013-01-15; 改回日期: 2013-08-03; 责任编辑: 赵庆

作者简介: 莫静(1988-),女,硕士研究生,专业方向为沉积学及储层地质学研究。通信地址:四川省成都市新都区西南石油大学硕士11级6班;邮政编码:610500;E-mail:495963082@qq.com

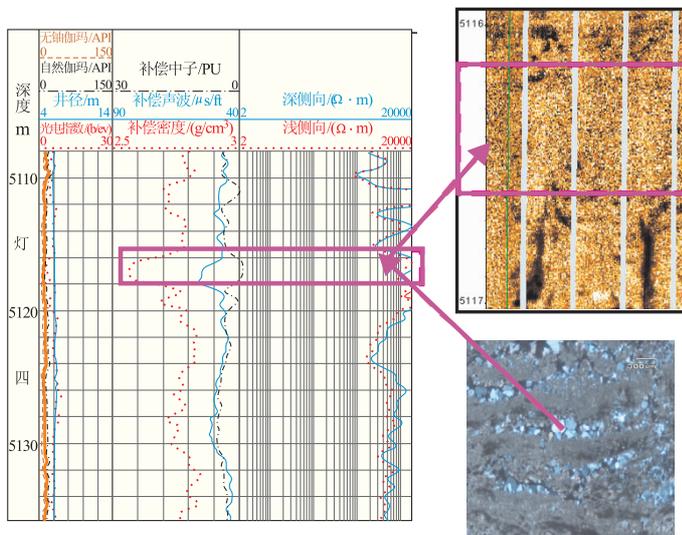


图1 碳酸盐岩中硅质的测井响应特征

Fig. 1 Logging feature of various silica in carbonate

2.1 互层硅质

(1) 二氧化硅来源及沉积机制。互层硅质是指在海相环境中纯化学沉淀形成与碳酸盐岩互层的硅质,是富含二氧化硅的海水在一定温度、pH 值下沉淀二氧化硅形成的产物。火山作用通过各种途径将二氧化硅带入海洋,是形成该类硅质二氧化硅的最直接来源。沉积机制以纯化学作用为主,少见生物化学作用。

(2) 特征。与海相碳酸盐岩相关的互层硅质有硅藻岩岩层、硅藻土岩层、生物成因硅质岩层、碧玉岩。其中,硅藻岩岩层、硅藻土岩层和生物成因硅质岩层通常与陆源岩层共生,少见与海相碳酸盐岩共生;碧玉岩常与海相碳酸盐岩共生。碧玉岩在前寒武纪分布极广,为纯化学沉积物,是碳酸盐岩中互层硅质的典型代表,更是热水喷流成因的典型产物。

四川盆地震旦系灯影组中常见碧玉岩(图 2a, 图 2b),其横向延伸不大,单层厚度变化大。呈灰紫红色,具贝壳状断口、油脂光泽,隐晶-微晶结构,纤维状玉髓的放射状集合体较少。

(3) 与储层关系。一方面,互层硅质较充填硅质、交代硅质沉积厚度大、分布广,对碳酸盐岩储层发育的阻碍作用最为强烈,在四川盆地灯影组可作为隔层阻碍上伏、下覆碳酸盐岩连通的古岩溶作用,使其分隔为 2 层,大大降低了古岩溶作用对储层发育的贡献,直接影响储层有效性,该类硅质对碳酸盐岩储层发育破坏性较大;另一方面,海水中二氧化硅沉淀则指示着碳酸盐岩溶解作用的发生。

2.2 混积硅质

(1) 二氧化硅来源及沉积机制。碳酸盐岩中的混积硅质是由陆源碎屑与碳酸盐组分经混合沉积形成的混积岩(砂质石灰岩、砂质白云岩等)中的石英晶屑。沙庆安^[8]在碳酸盐岩与陆源碎屑混积岩成因讨论时指出,在碳酸盐沉积发育过程中,如果有陆源碎屑的混入,人们会把它当成是海平面下降或海退过程的结果,但实际上有可能是海平面上升或海进过程中的产物。本文对两者混积原因不作深入讨论,而重点在于混积硅质的二氧化硅来源与另外 3 种类型截然不同,其来源于陆源,石英颗粒经过长距离搬运,被保存到滨海相、滨浅湖相,浅海陆棚、陆表海等沉积环境与碳酸盐共同沉积形成混积硅质。显然,混积为该类硅质的沉积机制。

(2) 特征。混积硅质为陆源物质,对寻找物源方向具有一定的指向意义。四川盆地寒武系、震旦系发育混积岩,寒武系混积硅质显微镜下岩石学特征明显,石英晶屑表面粗糙,分选和磨圆极好,少见棱角出现,粒度 0.2~0.5 cm,石英晶屑很少彼此接触,其本身不成薄层或条带状,而是漂浮于碳酸盐岩晶粒(或颗粒)间,石英晶屑与碳酸盐岩晶粒(或颗粒)之间常被黏土等物质充填,略显杂乱(图 2c);震旦系混积硅质石英晶屑粒度为 0.1~0.75 mm,分选、磨圆一般,常见棱角出现(图 2d)。

(3) 与储层关系。混积硅质性硬,抗风化能力强,不易被溶蚀或发生次生变化,导致与碳酸盐岩形成的混积岩岩性致密,成分杂乱,虽时常处于浅水暴露环境,也很难发生溶蚀作用形成次生储集空间,但发育构造、成岩裂缝时,可增强混积岩的渗透性,混积岩或混积岩系一般具有单层厚度薄、平面上分布不稳定、非均质性强等特点^[9-10],故其作为区域盖层或生油层的可能性较小。总体而言,混积硅质的加入,使得碳酸盐岩储集性能变差,起到破坏性作用。

2.3 充填硅质

(1) 成因。充填硅质是指碳酸盐岩储集空间(原生或次生)中化学沉淀形成的自生硅质。火山作用以各种途径把二氧化硅送入世界大洋的水中,喷出携带大量含二氧化硅的火山碎屑物质和水蒸气进入海水,导致海水中二氧化硅浓度增高,在溶蚀孔洞、溶蚀缝、洞穴中化学沉淀形成自生石英。虽其二氧化硅来源、沉淀机制均与互层硅质相似,但两者的发育部位却截然不同。

(2) 特征。四川盆地海相地层中常见充填硅质,

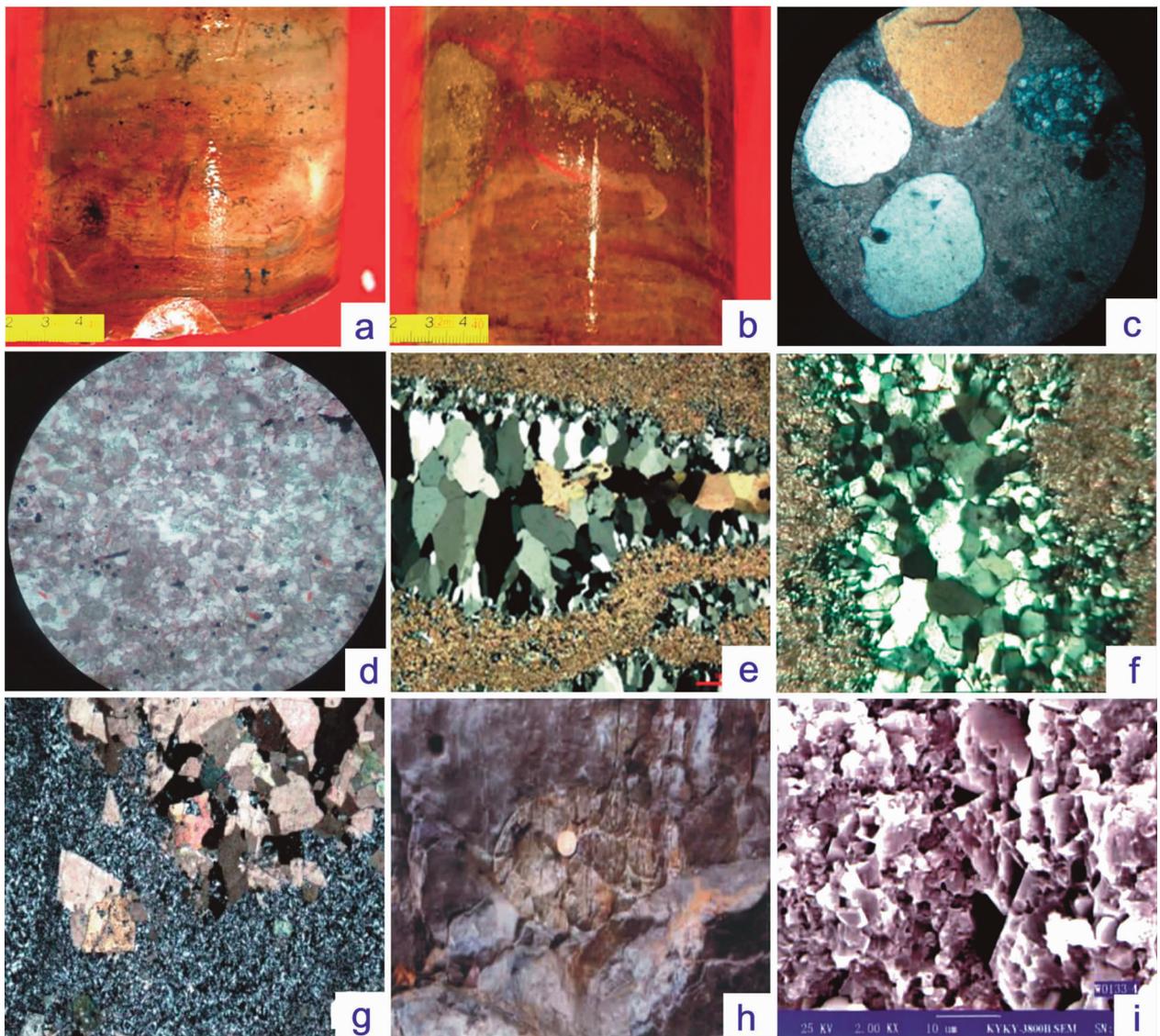


图 2 各类硅质宏观、微观、扫描电镜下特征

Fig. 2 Macroscopic, microcosmic and SEM feature of various kiesel

a. 碧玉岩,灯三段,宏观;b. 碧玉岩,灯三段,宏观;c. 混积岩,浅色为石英砂,深色为隐晶白云石,×40(+);d. 混积岩,浅色为石英砂,深色为隐晶白云石,×40(-);e. 充填硅质,藻白云岩中溶蚀孔洞被两期石英和晶粒白云石全充填,第一期石英为马牙状,第二期石英为长条状、柱状,第三期晶粒白云石为镶嵌状接触,灯四段,×40(+);f. 充填硅质,藻白云岩中溶蚀孔洞被三期石英全充填,第一期石英为马牙状,第二期石英为长条状、柱状,第三期石英为镶嵌状接触,灯四段,×4(+);g. 隐晶质石英,残存白云石晶体,×40(+);h. 结核状硅岩,已白云石化,与围岩突变接触,顺层分布;广元长江沟茅口组 18 层底部,野外照片;i. 灰质硅岩,方解石晶粒边缘被溶蚀呈港湾状,部分晶粒被硅化,广元长江沟大隆组 6 层,扫描电镜照片

宏观上呈六方柱状,与菱形自生白云石区别明显。显微镜下溶蚀孔洞中充填的自生石英表面干净,不具分选磨圆,自生石英彼此直接接触、同自生白云石直接接触(图 2e)或与沥青同时充填于孔洞中,自生石英之间、自生石英与自生白云石之间无其他填充物。根据石英晶形标型特征及矿物沉淀、溶蚀的相互关系,将全充填自生石英分为 3 个期次(图 2f):第一期晶形简单,镜下为马牙状、纤维状自生石英,常

沿孔洞边缘发育;第二期为柱状、长条状自生石英,表面被溶蚀,有高岭石或白云石附生在石英溶蚀面上,或者自形晶完好,无溶蚀现象;第三期为无色块状石英,镜下呈粒状、镶嵌状,偶见溶蚀港湾状晶体边缘。刘永先^[11]通过对充填硅质体形标型及其包裹体研究得出,上述 3 期自生石英随成矿溶液温度的增高,石英晶体形态从简单柱状晶体到复杂锥面柱状体。

(3)与储层关系。碳酸盐岩储集空间是不同期的溶蚀作用和充填作用的综合产物,溶蚀孔洞可充填硅质、方解石、白云石、泥质等。一方面,相对于其他充填物,硅质由于性硬、抗风化能力强,当其充填于溶蚀孔洞中后,不易被再次溶蚀产生有利储集空间,对碳酸盐岩储集层形成起着明显的破坏性作用;另一方面,二氧化硅的沉淀意味着碳酸盐岩的溶解,指示着储集空间的形成。

2.4 交代硅质

(1)二氧化硅来源及沉积机制。原来的矿物和组分被新矿物取代的作用为交代作用。富含二氧化硅的海水作为热液侵入体进入碳酸盐岩,与组成碳酸盐岩的矿物发生化学变化并将其完全或部分转化为硅质,产生新的矿物,形成交代硅质。交代硅质的二氧化硅来源与充填硅质、互层硅质相似,但其不以自生化学作用的沉淀机制来形成,而是与组成碳酸盐岩矿物发生化学反应,将该矿物交代为硅质(图3)。

(2)特征。四川盆地海相碳酸盐岩中常见交代硅质,是同生、成岩、后生各个作用时期的硅化产物,其中以川东地区二叠系团块状、条带状硅质为典型代表。该类型硅质往往继承原岩的颜色和结构,交代具有选择性(优先交代生物遗体、富含有机质部分、孔隙度高的部分、颗粒碳酸盐岩的胶结物部分),在显微镜、扫描电镜、荧光显微镜下可观察硅质以原来矿物或组分的形态存在或残留部分未交代完全的矿物(图2g,图2h,图2i)。川东地区二叠系结核状、条带状及团块状硅质以玉髓和微晶石英为主,镜下

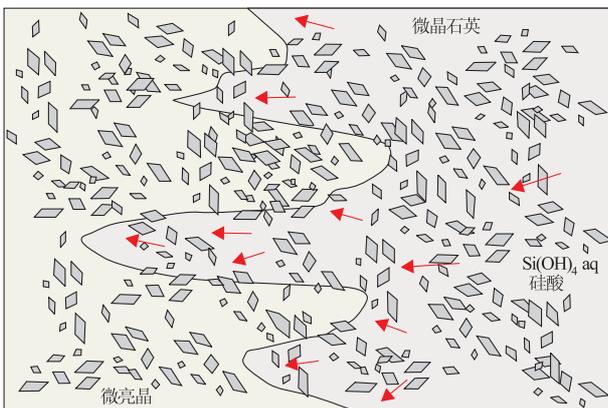


图3 硅质交代(近等体积交代碳酸盐岩)模式图

(据马文辛,2011)

Fig.3 Modal shape of replacement kiesel

部分白云石化亮晶,菱形白云石晶体完好地保存下来

部分硅质呈白云石假晶;扫描电镜显示致密块状结构,原来的方解石晶粒被部分硅化,并出现残余方解石。周新平^[12]通过野外露头观察、室内薄片鉴定以及主量元素、微量元素和稀土元素分析,得出川东地区二叠系硅质为交代成因。

(3)与储层的关系。碳酸盐岩交代作用有白云化作用、去白云化作用、硅化作用、石膏(硬石膏)化等。白云化作用将原来非白云石晶粒交代为白云石晶粒,一方面产生晶间孔,另一方面白云石易发生溶蚀作用,产生溶蚀孔洞,为最有利的交代作用。与白云化的建设性作用相比,硅化作用显然严重阻碍碳酸盐岩储层发育。但当硅化作用进行时,碳酸盐岩溶解硅质沉淀。从某种意义上说,硅化现象是优质埋藏岩溶型碳酸盐岩储层的指示剂,可通过评价不同区域硅化程度来评价区域优质白云岩储层的发育状况^[13-14],并且在国外已发现有热液燧石作储层的气藏^[15-16]。

3 结论

(1)四川盆地海相碳酸盐岩中的硅质根据其产出特征可分为混积硅质、充填硅质、交代硅质、互层硅质(以碧玉岩为主)。混积硅质中二氧化硅来源为陆源,沉积机制为混积;其他3种硅质的二氧化硅来源以火山喷发为主,沉积机制以化学作用为主,少见生物化学作用沉积机制。

(2)互层硅质、充填硅质、交代硅质、混积硅质对储层发育起严重的破坏性作用。而互层硅质、充填硅质、交代硅质均由后期富含二氧化硅的海水在一定条件下通过化学作用或交代作用沉淀二氧化硅形成,该类硅质可作为优质岩溶储层的指示剂。因此,需结合具体区域岩溶程度、储集空间充填情况分析存在的硅质,不能认为硅质的出现对储层只起消极作用。

参考文献:

- [1] 金之钧,庞雄奇,吕修祥. 中国海相碳酸盐岩油气勘探[J]. 勘探家,1998,3(4):66-68.
- [2] 王尚文,张万选,张厚福,等. 中国石油地质学[M]. 北京:石油工业出版社,1983.
- [3] 胡见义. 海相石油天然气地质综论[J]. 海相油气地质,1996(1):4-9.
- [4] 郝石生,高岗,王飞宇,等. 高过成熟海相烃源岩[M]. 北京:石油工业出版社,1996.

- [5] 马文辛. 渝东地区震旦系灯影组硅质岩特征及成因研究[D]. 成都:成都理工大学,2011.
- [6] 康季捷罗夫 B H. 硅质岩发育区的地质测量[M]. 鲍永章,译. 北京:地质出版社,1978.
- [7] 伊海生,曾允孚,夏文杰,等. 扬子地台东南大陆边缘上震旦统硅质岩的超微结构及其成因[J]. 地质学报,1994,68(2):132-141.
- [8] 沙庆安. 混积岩一例——滇东震旦系陡山沱组砂质砂屑白云岩的成因[J]. 古地理学报,2001,3(4):56-61.
- [9] Holm es C W. 1983. Carbonate and siliciclastic deposits on slope and abyssal floor adjacent to southwestern Florida platform [J]. Bulletin of American Association of Petroleum Geologists, 67(3): 484-485.
- [10] 沙庆安. 混合沉积和混积岩的讨论[J]. 古地理学报,2001,3(3):63-66.
- [11] 刘永先. 陕甘宁盆地中部气田奥陶系碳酸盐岩储层溶蚀及充填作用特征[J]. 岩相古地理,1995,15(5):43-51.
- [12] 周新平,何幼斌,罗进雄,等. 川东地区二叠系结核状、条带状及团块状硅岩成因[J]. 古地理学报,2012,14(2):143-154.
- [13] 黄文明. 四川盆地震旦系灯影组储层特征及其形成机制研究[D]. 成都:成都理工大学,2008.
- [14] 陈永权,蒋少涌,周新源,等. 塔里木盆地寒武系层状硅质岩与硅化岩的元素、 $\delta^{30}\text{Si}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 地球化学研究[J]. 地球化学,2010,39(2):159-170.
- [15] Watney W L, Franseen E K, Byrnes A P. Comparison of Middle Mississippian Osagian Shelf and Shelf Margin Chert Deposits in Central Kansas[C] // 2002 Annual GSA Meeting, 2002.
- [16] Packard J J, Ihsan Al-Aasm, Iain Samson, et al. A Devonian Hydrothermal Chert Reservoir; The 225 bcf Parkland Field, British Columbia, Canada [J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(1): 51-84.

Characteristics of silica in carbonate rocks of Sichuan Basin and the impaction to reservoir

MO Jing¹, WANG Xingzhi^{1,2}, XIE Lin¹, HE Shiyu³

LIANG Jing⁴, LI Jiali⁵, AO Mei⁶, HE Chuan⁷

- (1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 2. College of Resources and Environment, Southwest petroleum University, Chengdu 610500, China; 3. CNOOC Shenzhen branch, Shenzhen 518000, Guangdong, China; 4. Project department of Northeast Sichuan gas mine of Southwest oil and gas field, Dazhou 635000, Sichuan, China; 5. Guang'an area of Northeast Sichuan gas mine of Southwest oil and gas field, Guang'an 638500, Sichuan, China; 6. Northwest Sichuan gas mine of Northeast Sichuan gas mine of Southwest oil and gas field, Sichuan, Qionglai 611500, Sichuan, China; 7. The ninth oil production plant of Changqing, Yinchuan 750001, China)

Abstract: Carbonate rock reservoir in Sichuan basin is one of the important marine reservoirs in China. Analysis of macro and micro characteristics of silica materials in carbonate rocks in Sichuan basin show that the silica materials are mainly interbedded, mixed together with the carbonate rock, filled in the carbonate or replace the carbonate. Silica which is interbedded with the carbonate rock, filled in the carbonate rock or replace the carbonate rock is mainly derived from volcanic eruption but the late settlement mechanism is different. Silica mixed together with the carbonate rock is derived from terrigenous debris and is of source indication. The interbedding, filling and metasomatic silica plays both building and destruction role on reservoir but the mixed silica only destruction role.

Key Words: carbonate rock; silica; interbedding diamictic kiesel; infilling kiesel; metasomatic kiesel; reservoir