

文章编号: 1009-3850(2006)01-0030-07

达县—宣汉地区长兴组礁滩白云岩 成岩作用与成岩环境研究

王瑞华^{1,2}, 牟传龙², 谭钦银², 余 谦²

(1. 中国地质科学院, 北京 100037; 2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要: 达县—宣汉长兴组礁滩白云岩主要成岩作用类型有压实作用、压溶作用、胶结作用、白云石化作用、新生变形作用、溶蚀作用、破裂作用和充填胶结作用等, 对研究区储层贡献最大的成岩作用主要是溶蚀作用、新生变形作用和破裂作用。根据岩石中所形成的大量溶蚀孔隙、晶间溶孔和晶间孔以及裂缝的特征, 该套礁滩白云岩储层的良好物性主要形成于中—深埋藏环境。

关键词: 达县—宣汉; 上二叠统; 长兴组; 礁滩白云岩; 成岩作用; 川东北

中图分类号: P588.24⁺⁵

文献标识码: A

研究区位于四川东北部达县—宣汉地区(图 1)。前人对该区的研究较多^[1~3](王身建, 川东铁山特区下三叠统飞仙关组成岩作用与储层研究。2004, 硕士论文; 曾允孚, 碳酸盐岩的成岩后生作用及孔隙演化, 1981), 但是针对上二叠统长兴组礁滩白云岩成岩作用方面的研究并不是很详细, 且多认为该区所发生的混合水白云石化对储层的贡献很大。本文则主要是通过对重点井的岩心详描和室内大量岩石岩心、岩屑薄片, 以及铸体薄片的观察和研究, 对区内长兴组礁滩白云岩储层的成岩作用进行了详细探讨, 尤其是针对毛坝 3 井、普光 6 井岩心、岩屑的大量岩石薄片的详细观察和室内鉴定, 认为对该研究区储层贡献最大的成岩作用主要是发生在中—深埋藏环境下的溶蚀作用、新生变形作用和破裂作用。

1 成岩作用类型及特点

研究区礁滩白云岩的成岩作用主要有压实作用、压溶作用、胶结作用、白云石化作用、新生变形作

用、溶蚀作用、破裂作用和充填胶结作用, 其中主要的是胶结作用、白云石化作用、溶蚀作用、破裂作用以及新生变形作用。胶结作用、充填作用和压实作用属于不利于储集空间形成与演化的成岩作用, 即破坏性成岩作用; 溶蚀作用、新生变形作用、白云石化作用和破裂作用是有利于储集空间形成与演化的成岩作用, 即建设性成岩作用。而不同阶段的压溶作用对储层的贡献各有侧重。

1.1 胶结作用和充填胶结作用

长兴组岩石新生变形作用强烈, 多数胶结作用痕迹已经被破坏改造。但是, 无论后生改造多么强烈, 岩石中仍有保留。胶结作用按成岩阶段可以分为两种类型, 即准同生—早期成岩阶段的胶结作用和晚期成岩阶段的充填胶结作用。

1. 准同生—早期成岩胶结作用

一般的胶结作用发育有 3 期, 依次为泥晶胶结、栉壳状白云石胶结及晶粒白云石胶结。

泥晶胶结物形成于海底成岩环境下, 胶结作用发生时上面没有或者有很少的沉积物覆盖, 温度很

收稿日期: 2006-01-15

第一作者简介: 王瑞华, 女, 1976 年生, 硕士生, 储层沉积学专业。

资助项目: 中石化南方勘探分公司“川东北宣汉—达县地区长兴组—飞仙关组高精度沉积相、层序地层与储层特征研究”。

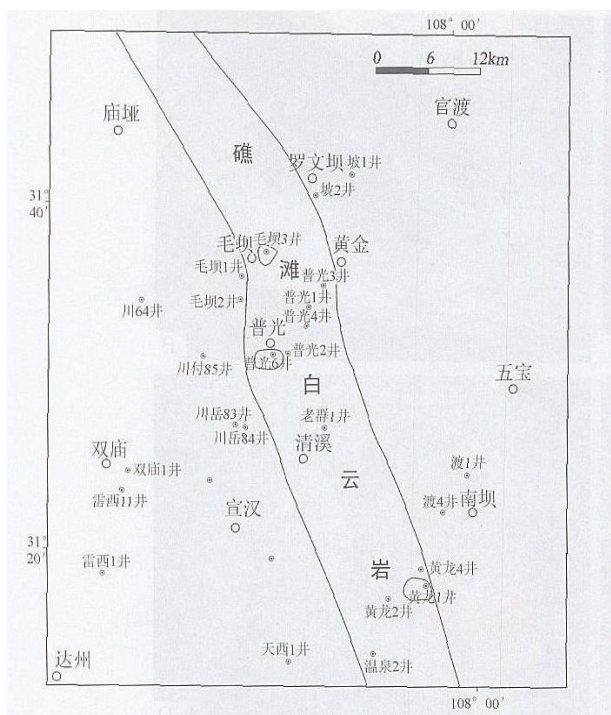


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

低, 泥晶物质沿颗粒边缘生长形成泥晶胶结物。研究层位经过晚期的成岩作用改造后, 泥晶环边保留甚少且很模糊。

栉壳状白云石环边胶结物形成于海底成岩环境, 胶结作用发生时上面有一定的沉积物覆盖, 成岩温度略有升高, 栉壳状白云石晶体沿颗粒边缘生长而形成栉壳环边, 原生粒间孔约减少40%~60%左右。

晶粒白云石胶结物形成于浅埋藏环境下, 上面覆盖了一定厚度的沉积物, 温度较高, 白云石晶体从孔隙水中缓慢沉淀, 形成较为粗大的粒状晶粒白云石, 粒间孔几乎胶结完毕。

以上胶结作用发生过程中, 由于埋藏深度不断增加, 温度逐渐增高, 胶结物晶体从粒间孔边缘向中心有逐渐变粗趋势, 且有由泥晶环边—栉壳状—细晶—中粗晶演化的世代特征。岩石经过3期胶结作用后, 岩石已经固结成岩, 岩石中的原始粒间孔几乎全部消失(图2A)。

2. 晚期成岩充填胶结作用

充填胶结作用形成于深埋成岩环境下晚期成岩阶段。孔隙水溶液中的白云石、方解石或者石英等从液体中沉淀出来, 沿着溶蚀孔或裂缝边缘生长。由于该成岩作用发生于深埋阶段, 温度很高, 因此晶粒比较粗大, 以细晶、中晶为主。显微镜下观察, 淀

晶多为马牙状或细粒状晶体生长在洞壁边缘或以连晶形式充填在溶洞或裂缝中(图2B)。

胶结作用及充填胶结作用对岩石孔隙起破坏作用, 前者主要充填岩石原始孔隙, 后者主要充填岩石后生孔隙。

1.2 新生变形作用

新生变形作用主要发生在埋藏成岩环境, 为晚成岩阶段的产物。根据薄片观察, 长兴组白云岩主要发生了两次明显的新生变形作用。第一期发生于浅埋藏到大量生烃的阶段, 岩石普遍由微晶白云石新生变形为粉晶白云石(图2C)。第二期发生于深埋晚期成岩阶段, 推测发生在烃类进入以后, 由粉—细晶白云石转变为中—粗晶白云石。砾屑白云岩或鲕粒白云岩中的细小晶体发生新生变形, 形成中—粗晶白云石, 白云石晶体中普遍具有环边结构(图2D)。第二期的新生变形作用形成了大量的晶间孔, 晶间孔一方面可以作为有效的储集空间, 另一方面为液体进入岩石提供了通道, 使岩石发生了大量的溶解, 形成更丰富的晶间溶孔及溶洞, 提高了岩石的孔渗性。

1.3 压溶作用

通过岩心详描和室内薄片观察后发现, 研究区长兴组礁滩白云岩储层发生了两期压溶作用。第一期压溶作用主要形成于浅埋藏环境下的早期成岩阶段, 即栉壳环边胶结物形成以后至粒状胶结物形成以前, 形成的压溶缝合线被泥质充填; 第二期发生于中—深埋环境下的成岩后期阶段, 大致形成于烃类进入之前或同时, 形成的压溶缝合线是沥青充填。两期比较, 以第二期占绝对优势(图2E)。

1.4 破裂作用

长兴组碳酸盐岩发生了至少3期破裂作用。第一期为白云石脉裂缝, 形成于浅埋环境, 与早期压溶缝合线几乎同期; 第二期形成于中深埋环境, 形成于烃类进入以前或同时, 裂缝中充填有沥青和淀晶白云石; 第三期裂缝为构造松弛形成的张裂缝, 形成于干气阶段, 其切割第二期裂缝, 裂缝干净, 没有沥青充填物(图2E)。

以上3期裂缝中, 早期裂缝全部被白云石充填, 对储层形成没有多大影响; 第二期和第三期裂缝的形成成为油气的运移聚集提供了通道和场所。

1.5 溶蚀作用

对研究区礁滩白云岩储层物性最有利的成岩作用就是溶蚀作用。研究发现, 该区主要经历了早期成岩阶段和晚期成岩阶段的溶蚀作用, 其中, 晚期成

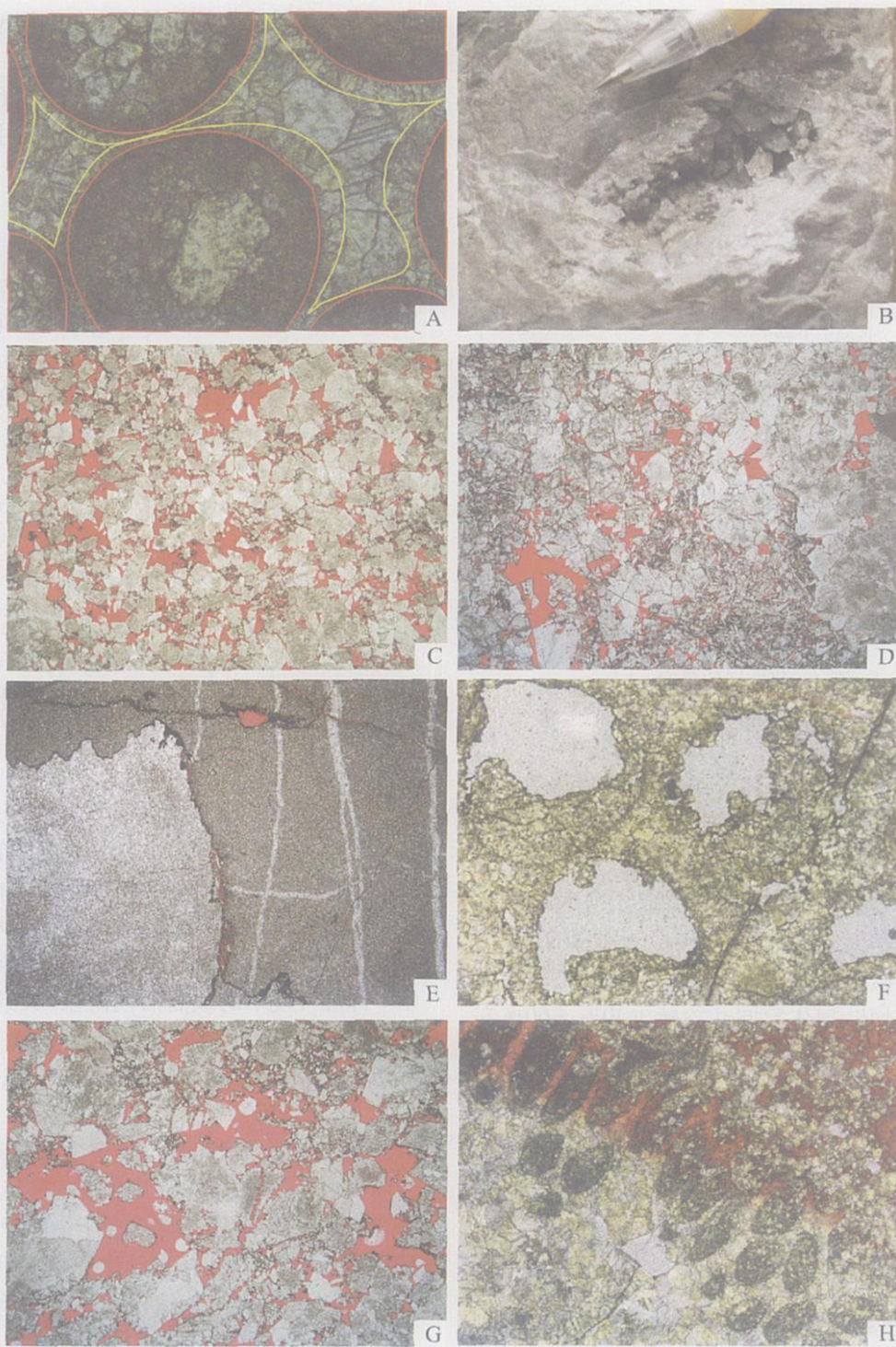


图2 宣汉—达县长兴组礁滩白云岩储层主要成岩作用类型

A. 胶结作用, $\times 100$, 5679~5680m; B. 石英充填在洞壁上, 5275.62~5290.77m; C. 新生变形作用和晶间孔, $\times 25$, 5359.72m; D. 白云石的环边结构, $\times 25$, 5302.39m; E. 晚期沥青充填压溶缝和三期裂缝, $\times 25$, 5280.75m; F. 鲕模孔和示底构造, $\times 25$, 5306.46m; G. 晶间、粒间溶孔, $\times 25$, 5246.63m; H. 混合水白云石化, $\times 25$, 5380.22m

Fig. 2 Main diagenetic types of the reef shoal dolostones from the Changxing Formation in the Daxian-Xuanhan region

A. Cementation, $\times 100$, 5679~5680 m; B. Quartz filled along the pore walls 5275.62~5290.77 m; C. Neomorphism and intercrystal pores $\times 25$, 5359.72 m; D. Rimmed texture in dolomite $\times 25$, 5302.39 m; E. Late pressure solution fissures and three-phase fissures filled by asphalt, $\times 25$, 5280.75 m; F. Oomolds and geopetal structures, $\times 25$, 5306.46 m; G. Intercrystal and intergranular solution openings $\times 25$, 5246.63 m; H. Mixed water dolomitization, $\times 25$, 5380.22 m

岩阶段发生了两期大规模的溶解作用,晚期溶解作用是形成孔隙的主要因素。

1. 早期成岩阶段溶蚀

早期溶蚀作用主要有两种方式,一种是与溶解有关的早期压溶作用,伴随着对岩石的溶解,但几乎对储层没有什么贡献;另一种是在沉积后期准同生成岩阶段,沉积物暴露在大气淡水渗流环境中,大气淡水对岩石进行选择性溶蚀,形成鲕模孔、生物模孔、生物体腔内溶孔、粒内溶孔等,该期孔隙几乎被后期胶结完毕(图 2F)。

2. 晚期成岩阶段溶蚀

晚期成岩经历了两期溶蚀作用,形成了大量溶孔。第一期溶蚀作用发生于烃类进入之前或同时,富含丰富的有机酸、 CO_2 和 H_2S 的水溶液对岩石进行溶蚀,形成各类孔隙,该期孔洞缝壁上多有沥青残余。第二期溶蚀作用发生于气烃阶段。由于构造活动使岩石中的流体发生流动及外来液体的加入,而打破了原来的平衡状态,岩石发生溶蚀,形成各类溶蚀孔,溶孔孔壁较干净。该阶段形成的溶孔是主要的储集空间(图 2G)。

1.6 白云石化作用

白云石化对于改善储集岩孔隙具有重要意义,一方面可以直接产生储集空间,另一方面改变原岩组构,有利于储集物性的进一步改善。研究区长兴组礁滩白云石化主要包括准同生白云石化和混合水白云石化。

准同生白云石化作用是在准同生一成岩早期蒸发-咸化条件下,富 Mg^{2+} 盐水交代灰质沉积物的结果,常形成泥-微白云石。形成的准同生的白云石在埋藏环境下新生变形作用显著,多见白云石的环边结构。晶间孔较发育,改善了储层物性。

混合水白云石化是由于海平面下降导致部分高地貌区如生物礁及浅滩发生暴露,大气淡水与海水混合形成混合水,混合水注入岩石中使之发生白云石化。该混合水白云石化也发生在准同生阶段,属于早期暴露的产物(图 2H)。

2 成岩作用序列与成岩阶段划分

2.1 成岩作用序列

碳酸盐岩的成岩作用序次对恢复储层孔隙发育历史,寻找孔隙的成因及分布规律和对油气勘探及评价都有很重要的意义。长兴组礁滩白云岩储层成岩序次主要有两种演化方式。

第一种成岩演化序列是沉积物沉积—海底泥晶

环边,准同生白云石化—受大气淡水影响的选择性溶蚀,形成生物模孔、鲕模孔和粒内溶孔—白云石栉壳边胶结—浅埋藏期的压溶作用(缝合线内泥质充填)—浅埋藏期的粒状镶嵌状的白云石胶结物,固结成岩—新生变形作用—生烃阶段的非选择性溶蚀作用,大量的溶孔洞和压溶缝合线(有沥青残余存在)—再次溶解作用,形成晚期各种类型的溶孔,干净,未充填—新生变形作用—石英充填物。

第二种成岩演化序列是沉积物相对水体较深,没有受大气淡水的影响或影响较弱。沉积物沉积—海底泥晶化作用,准同生白云石化—早期白云石栉壳边胶结—浅埋藏的压实压溶作用—白云石粒状胶结,固结成岩—新生变形作用,发育晶间孔—生烃阶段的非选择性溶蚀作用,溶孔洞不很发育,但压溶缝合线较发育(有沥青残余存在)—局部剩余的孔隙空间又发生了埋藏期的胶结充填(白云石和有方解石的联晶充填物)—再次溶解作用,形成了很干净的溶孔—新生变形作用—晚期的石英充填物。

2.2 成岩阶段划分

根据薄片成岩矿物的典型标志和自生矿物组合、纵向分布及生成顺序,将研究区礁滩白云岩划分为同生—准同生成岩阶段、早期成岩阶段和晚期成岩阶段(图 3)。

1. 同生—准同生阶段

该阶段原生孔隙发育,其相应的成岩环境既包括了以海水作用和受海水影响为主的海底成岩环境及潮上环境,同时也包括了由于海平面相对下降时沉积物暴露地表,受大气淡水作用或混合水作用的大气淡水成岩环境或者混合水成岩环境。研究区该阶段的岩石学标志有泥晶环边、早期白云石化作用,还有经过早期暴露环境,大气淡水溶蚀作用形成的鲕模孔、生主要成岩作用类型、成岩环境和成岩阶段划分物模孔和粒内溶孔等标志。

2. 早期成岩阶段

沉积物埋藏浅,与海水连通,孔隙水开始过饱和形成第二期栉壳状胶结物。该阶段主要的岩石学标志是第二期栉壳状较细的白云石胶结物,充填了泥质等不溶残余物的压溶缝合线,以及第三期粗粒的白云石粒状胶结物。经过了压实压溶作用,两期大规模的胶结作用之后,岩石中原生粒间孔甚至包括准同生期的暴露选择性溶蚀的粒内溶孔,鲕模孔等几乎全部充填完毕。孔隙度降低到最小。

3. 晚期成岩阶段

在晚期成岩阶段,新生变形作用和溶解作用非

成岩阶段		同生—准同生成岩阶段		早成岩阶段	晚成岩阶段
成岩环境		海 底	大气淡水、混合水	浅埋藏	中—深埋藏
胶结作用	第一期	——			
	第二期		——		
	第三期			——	
白云石化	准同生	——			
	混合水		——		
溶蚀作用	第一期		——		
	第二期				——
	第三期				——
破裂作用	早 期		——	——	
	晚 期				——
压溶作用	早 期		——		
	晚 期			——	
新生变形作用				——	——
泥晶化作用		——			
压实作用		——		——	
胶结充填作用	马牙状				——
	联晶方				——
	石英等				——

图 3 主要成岩作用类型、成岩环境和成岩阶段划分
Fig. 3 Division of diagenetic types environments and stages

常强烈。该阶段主要是发生在中—深埋藏环境下，经历了燕山期到喜马拉雅期的构造运动，同时二叠纪的烃源岩开始达到生烃门限和生气门限，生烃过程中，释放出的有机酸物质对岩石的溶解作用强烈，同时构造作用释放出大量的热液物质，打破了岩石中原有孔隙水的平衡，进而发生了两次大规模的溶蚀作用，相应的在温度和压力都升高的前提下，新生变形作用也非常显著。所以该阶段形成了大量的晶间孔和晶间溶孔以及晶间溶蚀扩大孔和粒间、粒内溶孔等，岩石的孔隙度急剧增加。

3 主要成岩环境及其标志

通过对大量岩心岩石、岩屑薄片的详细观察研究，根据不同成岩作用在岩石中留下的某些痕迹，认为该套礁滩白云岩储层经过了海底成岩环境、大气淡水的渗流成岩环境或混合水成岩环境、浅埋藏成岩环境以及中深埋藏成岩环境等 4 个成岩环境的变化，最后形成了很好的储层。

1. 海底成岩环境

在海底成岩环境中，孔隙水以对流方式运动，海水中离子浓度大，能形成晶核的质点多，引发泥晶化

作用,在颗粒边缘形成泥晶套或泥晶环边等典型标志。从薄片上观察,能保存下来的泥晶套、泥晶环边等比较模糊。但是却可以证明其经过海底成岩环境的变化。

2. 大气淡水渗流的成岩环境或混合水成岩环境

该环境下,孔隙水为活动的大气淡水或大气淡水和海水的混合水,孔隙呈开放状态,孔隙水对岩石主要发生选择性溶蚀作用,易形成粒内溶孔、鲕模孔、生物模孔等,有的呈底构造。

3. 浅埋藏成岩环境

从海底到浅埋藏的过程中,随着早期栉壳边的白云石胶结物的胶结,孔隙水中的碳酸盐离子浓度降低,处于欠饱和状态,又在上覆沉积物不断堆积下,开始发生了早期的压溶作用,形成了早期压溶缝合线,不溶残余物质留在缝合线内。孔隙水的浓度增大,但仍比海水低,胶结物常呈粗大的镶嵌的粒状晶体充填在剩下的原生孔隙内,发生了第二世代的胶结作用。这时,碳酸盐沉积物已经完全固结成岩。

4. 中深埋藏成岩环境

随着岩石的继续埋藏,岩石压力和温度都发生了很大的变化,加上受印支—燕山构造活动的影响,岩石中发育大量微裂缝以及裂缝等,有机质开始达到了生烃的门限值。伴随着烃类生成的过程中,大量的有机酸物质进入到孔隙水中,沿着裂隙开始对岩石进行大规模的溶蚀,形成了非选择性溶孔、溶洞和压溶缝合线,这更增加了岩石的孔渗性。因此,烃类物质就保存在这些空间中,同时,一些没有被烃类充填的部分孔隙空间,又被携带着大量的碳酸盐矿物的孔隙水充填,形成了埋藏期的胶结充填作用。这种胶结充填作用并不普遍,只是占据了很少部分烃类没有占据的孔隙空间。随着埋深的继续增大,温度、压力进一步升高,岩石的新生变形作用非常显著。还形成了白云石晶体的环边结构。晶间孔也非常发育,是后来干气阶段,气的储集场所。之后伴随着另一期的构造活动,又形成了一次很干净的裂缝和溶孔洞。孔、洞、缝壁有石英充填。该成岩环境下的成岩标志主要是:晚期压溶缝合线,被沥青充填;

晚期的充填胶结物(马牙状的白云石晶体,联晶方解石,石英,石膏充填物质等);新生变形现象,白云石晶体的环边结构和雾心亮边结构等。

4 结 论

本文在对盘龙洞、渡口河等野外剖面 and 普光 6 井、毛坝 3 井以及普光 5 井钻井岩心观察精描的基础上,通过对岩心、岩屑薄片详细观察鉴定,对研究区长兴组礁滩白云岩的成岩作用、成岩阶段,以及成岩环境进行了详细的研究,得出如下结论:

(1)研究区礁滩白云岩储层的成岩作用极其复杂,主要有压实作用、压溶作用、胶结作用、白云石化作用、新生变形作用、溶蚀作用、破裂作用、充填胶结作用。其中胶结作用、充填作用和压实作用以及早期压溶作用对储集空间形成与演化起到破坏性作用;溶蚀作用、新生变形作用、白云石化作用和破裂作用以及晚期压溶作用对储集空间形成与演化起到建设性作用。

(2)研究区礁滩白云岩划分为同生—准同生成岩阶段、早期成岩阶段和晚期成岩阶段 3 个成岩阶段。

(3)通过岩石中的主要成岩标志特征,判定研究区礁滩白云岩储层经历了海底成岩环境、大气淡水的渗流成岩环境或混合水成岩环境、浅埋藏成岩环境以及中深埋藏成岩环境等 4 个成岩环境的变化,岩石储集空间的形成主要发生在中—深埋藏环境下形成的大量溶蚀孔洞。

参考文献:

- [1] 牟传龙,马永生,王瑞华,等.川东北地区上二叠统盘龙洞生物礁成岩作用研究[J].沉积与特提斯地质,2005,25(1—2):198—202.
- [2] 钱崢,黄先雄,等.碳酸盐岩成岩作用及储层——以中国四川东部石炭系为例[M].北京:石油工业出版社,2000.19—55.
- [3] 冯增昭,等.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,1993.360—361.

Diagenetic processes and environments of the reef shoal dolostones from the Changxing Formation in the Daxian-Xuanhan region, northeastern Sichuan

WANG Rui-hua^{1, 2}, MOU Chuan-long², TAN Qin-yin², YU Qian²

(1. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

Abstract: The diagenesis of the reef shoal dolostones from the Changxing Formation in the Daxian-Xuanhan region includes compression, pressure solution, cementation, dolomitization, neomorphism, dissolution, fracturing and infilling-cementation, of which dissolution, neomorphism and fracturing serve as most important ones in the study area. Judged from abundant solution openings, intercrystal solution openings, intercrystal pores and fissures and cracks in the reservoir rocks, the good physical properties of the reef shoal dolostone reservoirs should be formed in the moderately and deeply buried environments.

Key words: Daxian-Xuanhan region; Upper Permian; Changxing Formation; reef shoal dolostone; diagenesis; northeastern Sichuan

·书讯·

《中国白垩纪沙漠及气候》出版

《中国白垩纪沙漠及气候》从沙漠的可考性出发, 以中国白垩纪沙漠为研究对象, 重点研究塔里木盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地、思茅盆地、江汉盆地、常桃盆地和苏北盆地, 进而讨论白垩纪全球变化的热点问题。

作者采用沉积学与大气科学相结合的方法, 以大气环流和气候带的关系为纽带, 研究了中国白垩纪沙漠的沉积体系、时空分布及其控制因素, 探讨了当时大气环流性质和气候特征, 重点讨论了白垩纪大气环流样式、强度和气候的非均一性, 为研究温室效应下气候变化提供了直接的地质证据。同时还对沙漠体系划分进行了讨论, 对重要的沉积类型进行了研究, 在一定程度上拓宽了中国沉积学研究的范畴。

本书对中国现代沙漠的研究具有借鉴作用。

20 万字, 22 页图版