

文章编号: 1000-0550(2014)02-0244-09

中上扬子地台中寒武世古地理及白云岩成因^①

余宽宏¹ 金振奎² 苏奎² 张伟² 董晓东² 吕玉珍²
杜宏宇² 张卫丹² 陈英²

(1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院 山东青岛 266580; 2. 中国石油大学(北京)地球科学学院 北京 102249)

摘要 通过中上扬子地区寒武系野外露头实测、踏勘、前人研究成果整理以及盆地腹地露头缺乏地区的钻井资料的分析,研究了中上扬子地区中寒武世的古地理背景。白云岩的成因、平面上以及垂向上的分布特征都受控于古地理。中寒武统整个台地为局限台地,在台地发育咸化潟湖、潮坪、局限潮下、浅滩等次一级的古地理单元。中寒武统的膏岩与白云岩不同程度互层。向台地内部,滩相发育愈少,咸化潟湖、潮坪以及局限潮下越发育;越往台地的边缘,滩相越发育。研究区中寒武统白云岩按照晶体大小可以分为泥粉晶白云岩和砂糖状白云岩。泥粉晶白云岩为潮坪准同生白云岩,机理为蒸发泵作用,白云化流体来自于潟湖浓缩的海水。砂糖状白云岩绝大多数为回流渗透白云化成因,白云化流体主要来自于蒸发泵机理富余的高镁钙比流体。回流渗透白云化过程缓慢,白云石结晶较好。寒武系岩性在垂向上有很好的叠置关系,反映古地貌随地质时代的变迁。

关键词 中上扬子地台 中寒武世 咸化潟湖 白云岩成因

第一作者简介 余宽宏 男 1983年出生 博士 讲师 沉积学、储层地质学 E-mail: yukuanhong1983@126.com

中图分类号 P531 P581 **文献标识码** A

0 引言

白云岩是碳酸盐岩重要的储集岩类型,关于其成因前人做了很多研究。金振奎等^[1]、冯增昭等^[2]通过对华北地台古生代白云岩的研究,将白云岩类型分为泥粉晶白云岩和砂糖状白云岩。泥粉晶白云岩又可进一步分为含膏和不含膏,分别形成于萨布哈和潮坪环境的潮上带;砂糖状白云岩为前期白云岩后期重结晶形成。冯增昭等^[3]通过华北地台奥陶系马家沟组白云岩研究将以上白云岩成岩方式进行了细化。张学丰等^[4]对白云岩成岩模式进行和综合讨论。金振奎等^[5]通过滇东—川西二叠系白云岩的研究提出了玄武岩淋滤白云化作用。

前人建立的白云化成因模式丰富了我们对于白云岩形成机理的认识。尽管前人提出了多种的白云化模式,但总结起来都围绕以下几个问题展开讨论:(1)白云化流体的来源。高 Mg^{2+}/Ca^{2+} 比的流体,需要水体具有一定的盐度,即局限的古地理环境。(2)白云化过程的动力学障碍。以上两点是解释白云化作用机理的基础。

白云岩成因与流体的盐度即流体性质有密不可

分的关系。陆表海环境更能创造有利于白云化作用发生的环境,特别是大规模的潮坪准同生白云化作用和回流渗透白云化作用。中上扬子地区在中寒武统发育大面积的膏岩,说明这一时期水体局限,沉积环境为咸化潟湖。特殊的古地理特征形成了特殊的岩性组合,比如膏岩层与白云岩层或者膏质白云岩互层。

研究发现中上扬子地区寒武系白云岩十分发育,主要集中在分布在下寒武统龙王庙阶、中寒武统以及上寒武统。中上扬子地区寒武系具有和其它同时代的碳酸盐岩盆地一样的特征,如塔里木盆地,膏岩层广泛分布,白云岩成因和寒武纪大规模的海水咸化具有密切的关系。根据大量野外露头剖面实测与观察、岩心观察及分析化验,对中上扬子地区寒武纪古地理进行了系统的作图与分析。在古地理研究基础上,就具有代表性的中寒武统白云岩形成机理进行了系统研究。

1 地质背景

1.1 地理位置及构造分区

中上扬子地区西北至西昌—成都—广元一带,西南至昆明一带,东北至山阳—南阳一带,东南至武汉—铜仁—三都一线,涉及滇、黔、桂、川、渝、陕、豫、

^① 中国石油化工股份有限公司前瞻性科研项目(编号: YPH08015) 资助
收稿日期: 2012-07-16; 收修稿日期: 2013-08-10

鄂、皖等九个省、直辖市及自治区,大体上位于 21°~33° N,100°~114° E,研究区包括龙门山、秦岭—大别山、雪峰山等围限的以四川盆地、江汉盆地为主体的中上扬子台地地区,以及北缘斜坡—盆地部分地区,面积约 50×10⁴ km²(图 1)。

研究区是扬子地区的一部分,由中上扬子大陆区(I)和扬子陆块北缘区(II)组成(图 1)。中上扬子大陆区(I):寒武纪时期,扬子陆块基本上属于稳定的克拉通,但比典型的克拉通活动性大,具有间歇性和幅度不大的断块活动。扬子北部陆缘区(II):扬子北部陆缘区为复杂的被动大陆边缘区,为过渡型地壳[6-14]。

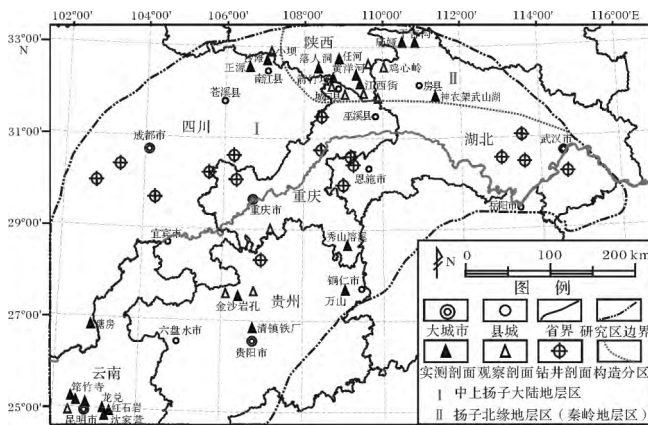


图 1 中上扬子地区地理位置及主要剖面位置

Fig.1 Location of the study area and distribution of outcrop cross-sections and wells

表 1 中上扬子地区中寒武统对比

Table 1 Stratigraphic schemes of the Middle Cambrian in the Middle-Upper Yangtze Plate

一级沉积分区	扬子北缘区(秦岭区)		中上扬子大陆区										过渡区
二级沉积分区	中秦岭南	南秦岭南	西区			中区				东区			黔东—湘西
三级沉积分区	浙川均县	平利紫阳	滇东	永善会理	峨眉	南江—宁强	遵义—贵阳	沿河—瓮安	宜昌—神农架	江口—都匀	黔东—湘西		
上寒武统	固山阶	徐沟	八仙街组	二道水群	洗象池群	娄山关群	后坝组	三游洞组	娄山关群	团山组			
中寒武统	张夏阶	习家店组	毛坝关组	双龙组	西王庙组	石冷水组	平井组	覃家庙组	石冷水组	高台组	杨柳岗组		
	徐庄组	冯家田组											
下寒武统	毛庄阶	冯家田组	箭竹坝组	龙王庙组	太阳坪组	孔明洞组	清虚洞组	石龙洞组	清虚洞组	清虚洞组			

1.2 地层特征

本次研究采用的地层对比原则是基于冯增昭教授《中国南方寒武纪和奥陶纪岩相古地理》^[15]以及中

国地层典中对寒武系的划分方案^[16]。

中上扬子中寒武统中部台地区岩石类型为浅水沉积的碳酸盐岩,以泥晶白云岩、泥质白云岩为主;而北缘则为代表深水沉积的薄层灰泥石灰岩与灰质泥岩互层。发育的地层单位有陡坡寺组、西王庙组、洗象池群、娄山关群、高台组、石冷水组、平井组、孔王溪组、覃家庙群、新坪组、习家店组、立秋湾组。各岩石地层单位发育的地理区域见表 1。

本次研究资料主要来自于野外露头实测、踏勘、前人露头研究资料的整理以及扬子地台内部寒武系未出露地区井资料的分析。实测剖面、观察剖面以及钻井剖面位置如图 1,露头主要分布在四川东北部、陕西西南部、湖北西北部、重庆东北部、重庆南部、云南以及贵州的广大区域。钻井资料主要分布于露头缺乏的盆地腹地。

2 岩相古地理特征

2.1 剖面对比

中上扬子地台中寒武统发育大面积膏岩,呈薄层或者厚层状与白云岩或者灰岩互层产出。图 2 为过咸化潟湖的近于南北向的剖面(剖面位置见图 3)。沙滩剖面陡坡寺组、建深 1 井覃家庙组、鱼 1 井覃家庙组、利 1 井覃家庙组、李 2 井覃家庙组、重庆秀山溶溪剖面高台组和平井组基本上为中寒武统同一时期。在岩性对比中发现膏岩和泥晶白云岩交互发育,膏岩的产出状态可以为含膏的泥晶白云岩,也可以为纯粹的膏岩层。局部地区发育有限的泥坪。高能的浅滩相白云岩化后形成残余鲕粒白云岩,但浅滩发育局限。在咸化潟湖发育的地区还是以低能的潮坪泥晶白云岩为主,只有在台地边缘颗粒滩才逐渐发育(重庆秀山溶溪剖面)。另外在咸化潟湖区还有未被白云岩化的局限朝下灰泥石灰岩,规模也相对较小。

2.2 岩相古地理

古地理制图采用的是冯增昭教授单因素分析、多因素综合作图法。研究过程中分别对中寒武统露头剖面及井的地层厚度(绝对厚度)、粗碎屑岩厚度百分比、浅水碳酸盐岩厚度百分比、深水碳酸盐岩厚度百分比、黑色页岩厚度百分比、薄层硅岩厚度百分比、泥粉晶白云岩厚度百分比、颗粒灰岩厚度百分比以及膏岩厚度(绝对厚度)进行了统计并做平面等值线图,在此基础上综合分析岩相古地理展布。限于篇幅,本文不再赘述,仅以中寒武统泥粉晶白云岩厚度百分比和膏岩厚度等值线图为例说明。准同生白云

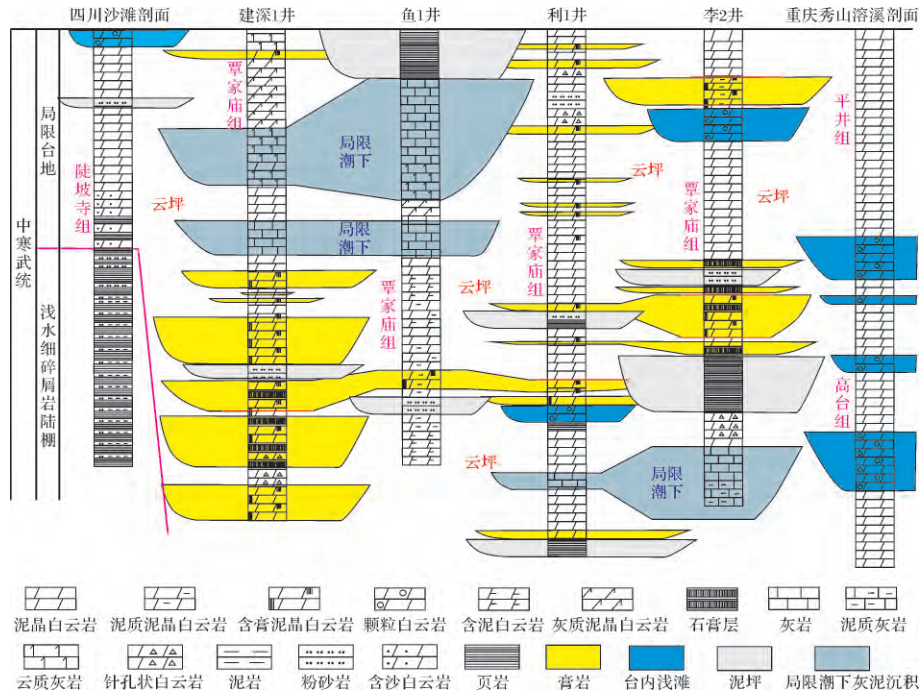


图 2 中上扬子地台中寒武统覃家庙组(陡坡寺组、高台组—平井组)岩相对比图

Fig.2 Lithological correlation of Middle Cambrian Tanjiamiao Group (Douposi Group ,Gaotai-Pingjing Group)

岩和膏岩所分布的范围直接控制了中寒武统白云岩的成因及分布 此特点与下寒武统截然不同。

研究过程中把泥粉晶白云岩含量大于 50% 的地区划分为云坪(图 3 泥粉晶白云岩百分含量等值线)。中寒武世云坪主要发育在贵州大方县、重庆秀山县、湖北武隆县以及湖北京山县等地区。岩石类型主要为泥粉晶白云岩和少量灰泥石灰岩以及砂糖状白云岩,发育叠层石、泥裂、鸟眼等构造。中寒武世浅滩发育较少,局部以台地内相对高地的台地鲕粒滩为主,规模不大,主要发育在湖北西北部以及台地东南部台地边缘区。古地理图中将膏岩厚度大于 20 m 的地区划分为咸化潟湖(图 3 膏岩厚度等值线)。咸化潟湖内局部高地发育潮坪泥粉晶白云岩。该咸化潟湖面积较大,分布跨重庆、湖北、贵州等省,在白云岩形成和储层改造中起着重要的作用。咸化潟湖整体上深度不大,并且内部和潮坪交替发育,这种古地理格局导致了咸化潟湖和潮坪的白云化作用有重要的相关性。中寒武世古地理格局见图 3: 中上扬子地区发育有古陆、碎屑岩陆棚、碳酸盐岩台地、斜坡—盆地、云坪、浅滩、咸化潟湖等古地理单元。

图 4 为过图 3 的 A—B 剖面的沉积模式图。古

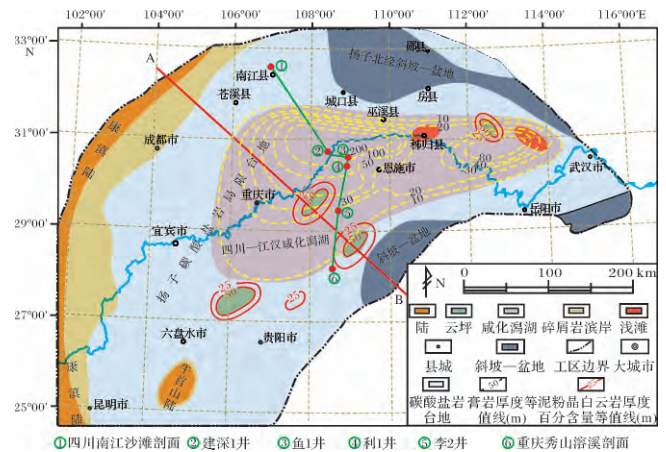


图 3 中上扬子地区中寒武统膏岩厚度、泥粉晶白云岩百分含量等值线图及岩相古地理^①

Fig.3 Contour map of Middle Cambrian gypsum rocks thickness and percentage of micritic dolomites and paleogeography of Middle Cambrian in the Middle-Upper Yangtze plate

陆位于研究区的西北方向,中寒武世古陆低缓,陆源碎屑物质供给量减小,沉积范围有限(图 3 碎屑岩滨岸),且沉积物的粒度细。而这一时期重要的特点是中上扬子地台的腹地大面积水体局限、盐度异常,沉积了大面积的膏岩,整体上为膏岩潟湖和云坪的交

①金振奎.南方寒武系定量岩相古地理研究及油气预测.系中国石油化工股份有限公司海相前瞻性研究项目成果报告,2009

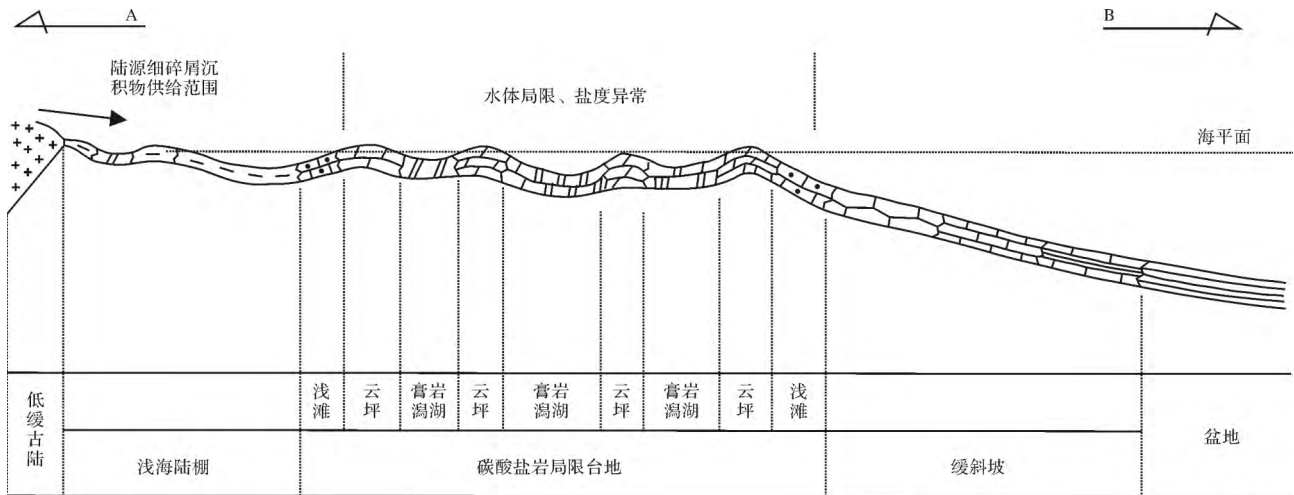


图 4 中上扬子地区中寒武统沉积模式图(对应图 3 中 A—B)

Fig.4 Depositional model of the Middle Cambrian in the Middle-Upper Yangtze plate

互出现。陆表海整体水体较浅,内部多有出露和局限的洼地。出露海面的环境为台地内潮坪 相对低洼的部分为局限台地或者潟湖。很多人在理解潮坪环境时易于受经典模式的左右,认为潮坪发育在靠岸一侧,而实际上只要台地内部的相对凸起的环境出露海面,潮坪环境即形成。古代陆表海的一这一特征易于形成浅水区潮坪与局限台地或者潟湖的交替发育,因此对白云岩的大规模发育是有很好的促进作用。

露出海平面的平缓地带,发育泥粉晶白云岩,为潮坪沉积环境;始终位于海平面以下的为咸化潟湖。局部开阔地带也发育灰泥石灰岩及浅滩环境的颗粒石灰岩,但总体上规模较小。

3 白云岩成因

3.1 岩石学特征

研究区寒武系白云岩可以分为两大类:泥粉晶白云岩及砂糖状白云岩。泥粉晶白云岩宏观上呈薄层状(图 5),含泥质夹层,发育叠层石(图 5),发育水平层理、鸟眼构造常见,反映了水上暴露的富氧环境。泥粉晶白云岩常常和膏岩交互出现,膏岩溶蚀易于形成膏溶角砾岩(图 5)。这一类白云岩晶体细小(图 5),靠近潟湖时富含石膏结核、假晶(图 5)。石膏是强烈蒸发的产物,反映这类白云岩形成于高盐度环境。

砂糖状白云岩晶粒较粗,细晶—中晶为主,自形程度好(图 5)。由于结晶速度的关系,砂糖状白云石自形程度好,镜下观察晶粒多为 0.1~0.5 mm。颜色多灰色、深灰色,未见氧化色。

3.2 地化特征

泥粉晶白云岩与砂糖状白云岩碳氧同位素值也有很大的差别。表 2 样品取自贵州东北部中寒武统铜仁万山剖面中寒武统杨柳岗组。泥粉晶白云岩比砂糖状白云岩碳同位素明显偏高。泥粉晶白云岩中 $\delta^{13}C$ 值为 $0 \sim -1.8\text{‰}$ (PDB),平均 -0.68‰ (PDB); $\delta^{18}O$ 值为 $-5.8\text{‰} \sim -6.9\text{‰}$ (PDB),平均为 -6.39‰ (PDB)。砂糖状白云岩碳同位素值比泥粉晶白云岩值低,砂糖状白云岩中 $\delta^{13}C$ 值为 $0 \sim -3.1\text{‰}$ (PDB); 氧同位素值与泥粉晶白云岩相当 $\delta^{18}O$ 值为 $-5.8\text{‰} \sim -6.9\text{‰}$ (PDB),平均为 -6.93‰ (PDB) (表 2)。

表 2 贵州东北部(铜仁万山剖面)地区中寒武统白云岩碳氧同位素数据

Table 2 Carbon and oxygen isotopic values of Middle Cambrian dolomites in northeast Guizhou province of China(Wanshan section in Tongren)

层位	岩性	$\delta^{13}C\text{‰}$ /PDB	$\delta^{18}O\text{‰}$ /PDB
ϵ_2 (杨柳岗组)	泥粉晶白云岩	-0.4	-6
ϵ_2 (杨柳岗组)	粉细晶白云岩	-0.2	-6.8
ϵ_2 (杨柳岗组)	泥粉晶白云岩	-1.2	-5.8
ϵ_2 (杨柳岗组)	泥粉晶白云岩	-1.3	-7
ϵ_2 (杨柳岗组)	波状叠层石	0	-6.9
ϵ_2 (杨柳岗组)	泥粉晶白云岩	-0.3	-6.1
ϵ_2 (杨柳岗组)	泥晶白云岩	-1.8	-6.2
ϵ_2 (杨柳岗组)	泥粉晶白云岩	-0.3	-6.3
ϵ_2 (杨柳岗组)	细晶白云岩	-1.4	-7.2
ϵ_2 (杨柳岗组)	鲕粒白云岩	0	-6.9
ϵ_2 (杨柳岗组)	鲕粒白云岩	-0.9	-6.5
ϵ_2 (杨柳岗组)	细晶白云岩	-2.3	-7.1
ϵ_2 (杨柳岗组)	残余鲕粒细晶白云岩	-2.1	-6.3
ϵ_2 (杨柳岗组)	含鲕粒泥晶砂屑白云岩	-3.1	-6.7
ϵ_2 (杨柳岗组)	含鲕粒亮晶砂屑白云岩	-1.7	-7.8

3.3 垂向岩性组合特征

在地层剖面上,泥粉晶白云岩常常与砂糖状白云岩交替叠置,或者泥粉晶白云岩、砂糖状白云岩以及膏岩层交替叠置。

图 6 为重庆市秀山县溶溪剖面中寒武统平井组

详细的岩石学特征,泥粉晶白云岩常常与砂糖状白云岩交替叠置。该剖面可以代表台地边缘地区膏岩不发育的局限台地白云岩组合特征。图 6 为箴深 1 井中寒武统和上寒武统顶部的钻井剖面,泥粉晶白云岩、砂糖状白云岩以及膏岩交替叠置。

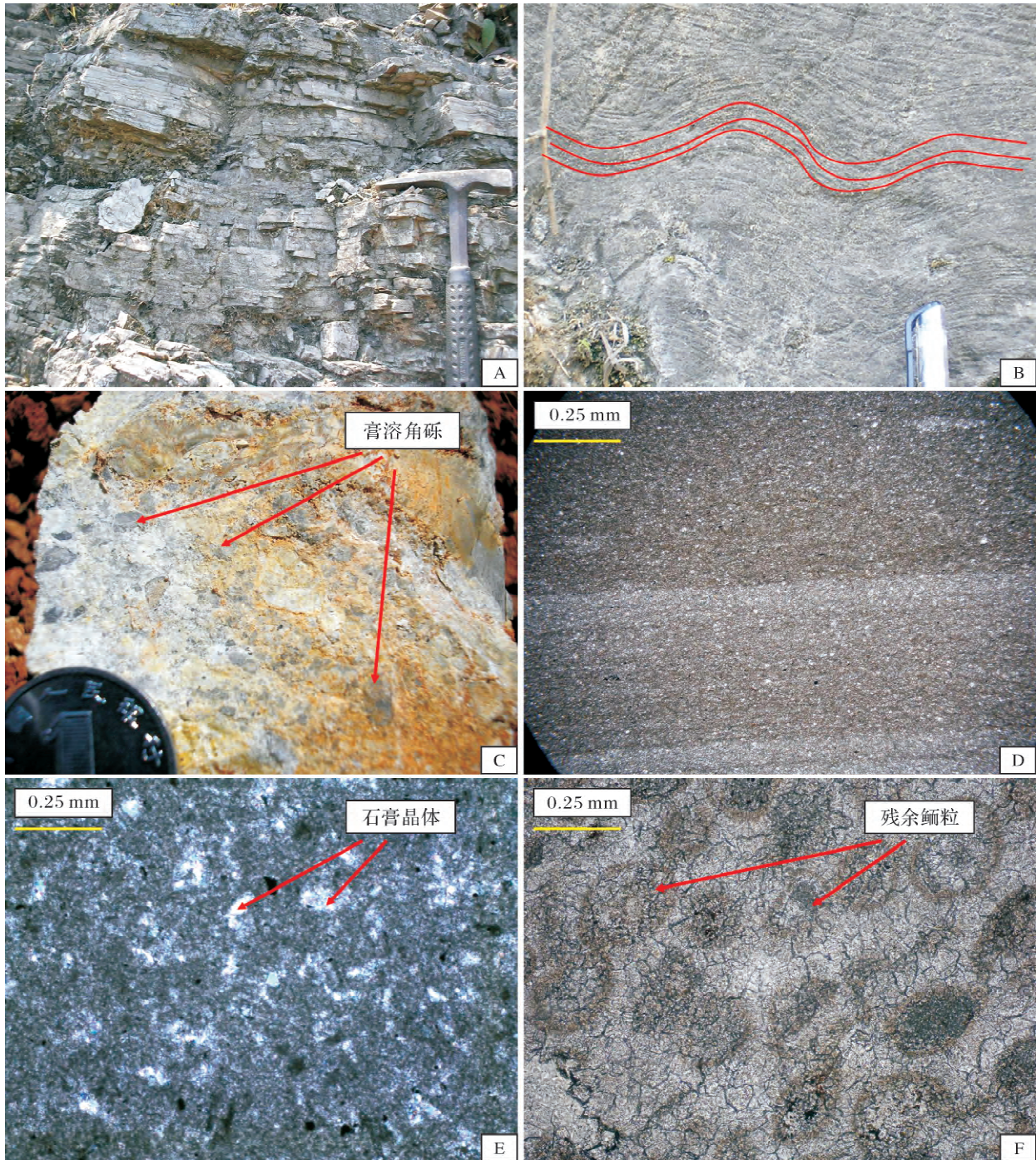


图 5 中上扬子地区中寒武统白云岩岩石学特征

A. 薄层泥晶白云岩,重庆秀山溶溪剖面,中寒武统高台组; B. 叠层石,重庆秀山溶溪剖面中寒武统高台组; C. 膏溶角砾,云南富民县干沟红梁子山剖面中寒武统双龙潭组 野外照片; D. 泥晶白云岩夹薄层深灰色泥岩,沙滩剖面中寒武统陡坡寺组; E. 含硬石膏泥晶白云岩,箴深 1 井 6 560 m 中寒武统; F. 回流渗透残余鲕粒砂糖状白云岩,重庆秀山溶溪剖面中寒武统平井组。

Fig.5 Petrologic features of Middle Cambrian dolomites in the Middle-Upper Yangtze plate

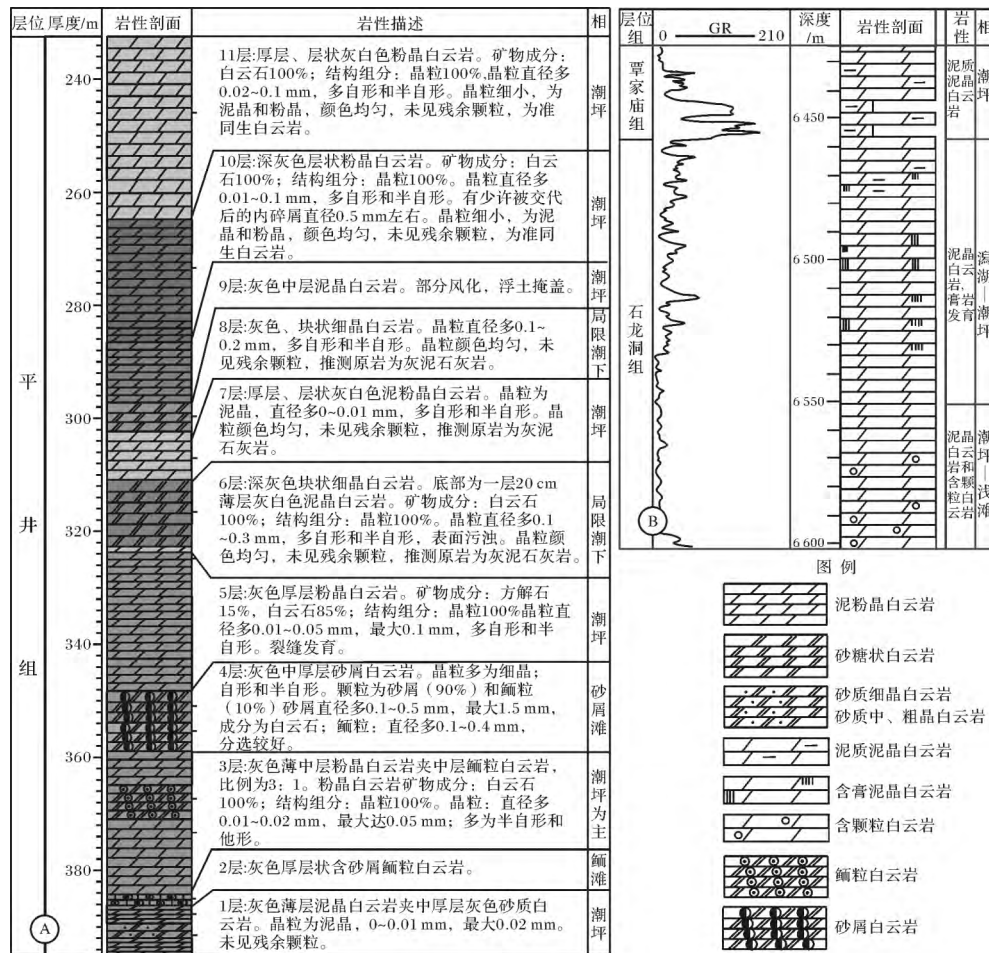


图 6 露头及钻井剖面白云岩特征

A. 重庆市秀山县溶溪剖面中寒武统平井组详细剖面白云岩组合特征; B. 簪深 1 井中寒武统以及下寒武统顶部岩石学特征

Fig.6 Characteristics of different dolomites in outcrops and well

这种岩性垂向上的重复叠置代表了古地理单元随地质时间的变迁,但古地理特征在中寒武世总体上保持图 3 的特征,即整体为局限台地。

3.4 白云化机理及模式

本文依据白云岩的岩石学特征、地球化学特征,结合古地理对白云岩成岩的宏观控制等方面的研究,提出中上扬子地区中寒武统主要的白云化机理是潮坪准同生白云化和回流渗透白云化。中寒武世台地局限,盐度异常,为这两种白云化作用大规模的进行提供了古地理背景。另外,中寒武世这种古地理背景也是解释中寒武统发育大套白云岩的基础。

(1) 潮坪准同生白云化

在广阔的碳酸盐岩台地内部出露的高地,由于水体局限或者是坡度很缓,水体的能量很低,发育为低能的潮坪沉积环境。潮坪的潮上带蒸发导致周围咸化潟湖的高盐度水体以及潮下正常海水通过蒸发泵

的机理向潮上带运移动。浓缩的海水形成高镁钙比的白云化流体,对潮坪环境的沉积的松散灰泥进行白云化,形成潮坪准同生泥粉晶白云岩^[17-19]。白云岩晶粒粗细是判断白云岩成因的重要标志之一^[20-21],具有前文岩石学特征的泥粉晶白云岩晶粒细小,主要为形成于准同生阶段。另外,咸化环境的准同生泥粉晶白云岩碳氧同位素显高值^[22-24],地化资料也支持这一结论。

(2) 回流渗透白云化

潮坪准同生白云化富余的高镁钙比流体回流的过程中对下伏的岩层进行白云化,形成砂糖状白云岩。中上扬子地区中寒武统回流渗透的白云化流体主要为准同生白云化富余流体的回流。回流渗透白云化是漫长的过程,所以首先在晶体形态上区别于潮坪准同生白云岩,另外在同位素特征方面也和后者有典型的差别^[25-28]。

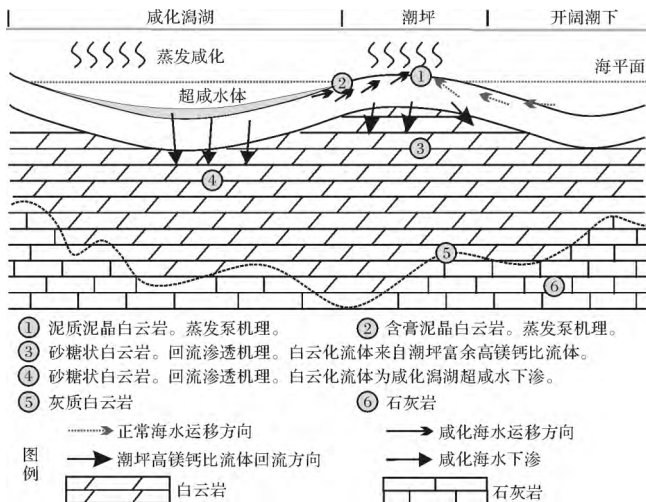


图7 中上扬子地区中寒武统白云岩化综合模式

Fig.7 Origins of Middle Cambrian dolomites in the Middle-Upper Yangtze plate

(3) 白云化综合模式

综合古地理分布特征、白云岩岩石学特征、同位素地球化学资料以及岩相组合关系等方面的因素分析,提出了中上扬子地区中寒武统白云岩化的综合模式(图7)。

台地内相对隆起的地区发育潮坪环境,蒸发泵白云化机理是潮坪上准同生白云岩形成的主要机理。潟湖咸化过程中,膏岩(CaSO_4)发生沉淀, Mg^{2+} 相对富集, $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 增高。这种高 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 的高盐度海水在蒸发泵作用下向潮上带运移,将潮上带松软的沉积物白云化,形成准同生泥粉晶白云岩。富余的白云化流体回流,将下伏地层白云化,形成砂糖状白云岩。在古地理的变迁过程中,台地的古地理单元也随地质时代发生变迁,以前潟湖区可能露出水面形成潮坪环境,潮坪环境下沉形成潟湖环境。这种交替的古地理导致了寒武系在垂向上准同生泥粉晶白云岩、回流渗透砂糖状白云岩以及石膏层的交替叠置。

4 结论

本次研究共取得以下认识:

(1) 中上扬子地区中寒武世发育大面积的碳酸盐岩局限台地。台地之内发育面积巨大的浅水咸化潟湖,膏岩呈不同规模的层状与白云岩交互发育。古地理在宏观上控制了白云岩的形成、平面分布以及垂向发育特征。

(2) 扬子地台寒武系主要发育泥粉晶白云岩和砂糖状白云岩两大类。泥粉晶白云岩形成于准同生

成岩阶段,形成于潮坪环境;砂糖状白云岩主要为回流渗透白云化成因。

(3) 古地理的变迁导致了潮坪与潟湖的交替,形成了寒武系垂向上准同生泥粉晶白云岩、砂糖状白云岩以及膏岩层交替叠置的特征。

参考文献(References)

- 1 金振奎. 华北地台东部下古生界白云岩的类型及储集意义[J]. 沉积学报, 1993, 11(2): 11-19 [Jin Zhenkui. Types of dolostones and their reservoir significances of Lower Paleozoic in eastern of the North China Platform [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1993, 11(2): 11-19]
- 2 Feng Zengzhao, Jin Zhenkui. Types and origin of dolostones in the Lower Palaeozoic of the North China Platform [J]. Sedimentary Geology, 1994, 94(3/4): 279-290
- 3 Feng Zengzhao, Zhang Yongsheng, Jin Zhenkui. Type, origin, and reservoir characteristics of dolostones of the Ordovician Majiagou Group, Ordos, North China Platform [J]. Sedimentary Geology, 1998, 118(1/2/3/4): 127-140
- 4 张学丰, 胡文瑄, 张军涛. 白云岩成因相关问题及主要形成模式[J]. 地质科技情报, 2006, 25(5): 32-40 [Zhang Xuefeng, Hu Wenxuan, Zhang Juntao. Critical problems for dolomite formation and dolomitization models [J]. Geological Science and Technology Information, 2006, 25(5): 32-40]
- 5 金振奎, 冯增昭. 滇东—川西下二叠统白云岩的形成机理—玄武岩淋滤白云化[J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 383-389 [Jin Zhenkui, Feng Zengzhao. Origin of dolostones of the Lower Permian in East Yunnan—West Sichuan—Dolomitization through leaching of basalts [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(3): 383-389]
- 6 罗志立, 雍自权, 刘树根, 等. “峨眉地裂运动”对扬子古板块和塔里木古板块的离散作用及其地学意义[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(1): 1-7 [Luo Zhili, Yong Ziquan, Liu Shugen, et al. Divergent role of “Emei Tafrogeny” on Yangtze Palaeoslab and Tarim Palaeoslab and its significance in geoscience [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2004, 25(1): 1-7]
- 7 蒲心纯, 周浩达, 王熙林, 等. 中国南方寒武纪岩相古地理与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1-491 [Pu Xinchun, Zhou Haoda, Wang Xilin, et al. China Southern Cambrian Lithofacies-paleogeographic and Mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1-491]
- 8 杨家骥, 等. 东秦岭一大巴山寒武纪地层岩相古地理及三叶虫动物群[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 1-492 [Yang Jialu, et al. East Qinling Dabashan Mountain Formation Cambrian Lithofacies-paleogeographic and Trilobites Fauna [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1991: 1-492]
- 9 赵宗举, 俞广, 朱琰, 等. 中国南方大地构造演化及其对油气的控制[M]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2003, 30(2): 155-165 [Zhao Zongju, Yu Guang, Zhu Yan, et al. Tectonic evolution and its control over hydrocarbon in southern China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2003, 30(2): 155-

- 165)
- 10 吴浩若. 下扬子区加里东期构造古地理问题[J]. 古地理学报, 2005, 7(2): 243-247 [Wu Haoruo. Discussion on tectonopalaogeography of Lower Yangtze area during the Caledonian Period [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(2): 243-247]
 - 11 杜远生, 盛吉虎, 顾松竹. 南秦岭勉略构造混杂岩带非史密斯地层系统和地层格架[J]. 地质论评, 1999, 45(6): 563-568 [Du Yuan-sheng, Sheng Jihu, Gu Songzhu. Stratigraphic System and Framework of non-Smith strata in Mianxian-Lueyang tectonic melange belt, South Qinling Mountains [J]. Geological Review, 1999, 45(6): 563-568]
 - 12 李占奎, 丁燕云. 大巴山推覆构造特征的探讨[J]. 物探与化探, 2007, 31(6): 495-498 [Li Zhankui, Ding Yanyun. A tentative discussion on characteristics of the Daba mountain nappe structure [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 31(6): 495-498]
 - 13 张国伟, 程顺有, 郭安林, 等. 秦岭一大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识——兼论中国大陆主体的拼合[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 846-852 [Zhang Guowei, Cheng Shunyou, Guo Anlin, et al. Mianlue paleo-suture on the southern margin of the Central Orogenic System in Qinling-Dabie—with a discussion of the assembly of the main part of the continent of China [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9/10): 846-852]
 - 14 吴世祥, 马永生, 金之钧, 等. 米仓山前陆盆地东段构造演化模式与油气聚集[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 14-16 [Wu Shixiang, Ma Yongsheng, Jin Zhijun, et al. Tectonic evolution and oil and gas accumulation in the east Micangshan foreland basin, Sichuan [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1): 14-16]
 - 15 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国南方寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 13-36 [Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Cambrian-Ordovician lithofacies palaeogeography of South China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001: 13-36]
 - 16 项礼文, 朱兆玲, 李善姬. 中国地层典—寒武系[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 9-15 [Xiang Liwen, Zhu Zhaoling, Li Shanji. China Formation Canon—Cambrian System [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 9-15]
 - 17 郑荣才, 耿威, 郑超, 等. 川东北地区飞仙关组优质白云岩储层的成因[J]. 石油学报, 2008, 29(6): 815-821 [Zheng Rongcai, Geng Wei, Zheng Chao, et al. Genesis of dolostone reservoir of Feixianguan Formation in Lower Triassic of northeast Sichuan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(6): 815-821]
 - 18 张传禄, 张永生, 康祺发, 等. 鄂尔多斯南部奥陶系马家沟群马六组白云岩成因[J]. 石油学报, 2001, 22(3): 22-26 [Zhang Chuanlu, Zhang Yongsheng, Kang Qifa, et al. Dolomite genesis of Ordovician system in Formation Malu, Southern Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(3): 22-26]
 - 19 Cioppa M T, Al-Aasm I S, Symons D T A, et al. Dating pencontemporaneous dolomitization in carbonate reservoirs: Paleomagnetic, petrographic, and geochemical constraints [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(1): 71-88
 - 20 余宽宏, 金振奎. 塔里木盆地东部地区寒武系—奥陶系白云岩特征及成因[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(2): 32-38 [Yu Kuanhong, Jin Zhenkui. Genesis of the Cambrian-Ordovician dolostones in the eastern Tarim Basin, Xinjiang [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2010, 30(2): 32-38]
 - 21 赵俊兴, 陈洪德, 张锦泉, 等. 鄂尔多斯盆地中部马五段白云岩成因机理研究[J]. 石油学报, 2005, 26(5): 38-47 [Zhao Junxing, Cheng Hongde, Zhang Jinquan, et al. Genesis of dolomite in the fifth member of Majiagou Formation in the middle Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(5): 38-47]
 - 22 郑荣才, 党录瑞, 郑超, 等. 川东—渝北黄龙组碳酸盐岩储层的成岩系统[J]. 石油学报, 2010, 31(2): 237-245 [Zheng Rongcai, Dang Lurui, Zheng Chao, et al. Diagenetic system of carbonate reservoir in Huanglong Formation from East Sichuan to North Chongqing area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(2): 237-245]
 - 23 余至伟. 氧、碳同位素在白云岩成因研究中的应用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1999, 18(2): 103-105 [Yu Zhiwei, Application of oxygen and carbon isotope in petrogenesis of dolomite [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1999, 18(2): 103-105]
 - 24 金振奎, 蒋盘良, 冯增昭. 黔东湘西寒武纪碳酸盐斜坡上的风暴沉积[J]. 石油大学学报, 1995, 19(3): 1-6 [Jin Zhenkui, Jiang Panliang, Feng Zengzhao. Cambrian storm deposits on carbonate slope in East Guizhou and West Hunan provinces [J]. Journal of China University of Petroleum, 1995, 19(3): 1-6]
 - 25 Scott Durocher, Ihsan S. Al-Aasm. Dolomitization and neomorphism of Mississippian (Visean) Upper Debolt Formation, Blueberry Field, Northeastern British Columbia: geologic, petrologic, and chemical evidence [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(6): 954-977
 - 26 Gareth D. Jones, Peter L. Smart, Fiona F. Whitaker, et al. Numerical modeling of reflux dolomitization in the Grosmont platform complex (Upper Devonian), Western Canada sedimentary basin [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(8): 1273-1298
 - 27 David W. Morrow, Mengwei Zhao, Lavern D. Stasiuk. The gas-bearing Devonian Presqu'ile dolomite of the Cordova embayment region of British Columbia, Canada: Dolomitization and the stratigraphic template [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(9): 1609-1638
 - 28 陈莉琼, 沈昭国, 侯方浩. 四川盆地三叠纪蒸发岩盆地形成环境及白云岩储层[J]. 石油实验地质, 2010, 32(4): 334-346 [Chen Liqiong, Shen Zhaoguo, Hou Fanghao. Formation environment of Triassic evaporate rock basin and dolostone reservoirs in the Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(4): 334-346]

Paleogeography of Middle Cambrian and Origin of Dolomites in the Middle-Upper Yangtze Plate

YU Kuan-hong¹ JIN Zhen-kui² SU Kui² ZHANG Wei² DONG Xiao-dong²
LÜ Yu-zhen² DU Hong-yu² ZHANG Wei-dan² CHEN Ying²

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580;

2. College of Geoscience, China University of Petroleum, Beijing 102249)

Abstract: Using data of measured and observed outcrop successions, drilling information and predecessors' research achievements, lithofacies palaeogeography and the origin of dolomites of Middle Cambrian in the Middle-upper Yangtze plate were studied. Lithofacies paleogeographic map was plotted based on comprehensive study on outcrops, wells and a series of contour maps, such as thickness of Middle Cambrian, thickness percentage of micritic dolomites, thickness of gypsum rocks and so on. In Middle Cambrian of Middle-upper Yangtze plate, from ancient land to deep sea basin (northwest to southeast) developed shallow fine-grained clastic continental shelf, restricted carbonate platform, slope and deep-sea basin. As the ancient land was low and gentle in Middle Cambrian, the sediments were fine-grained, such as sand, silt and mud. Restricted carbonate platform could be divided into different secondary paleogeography units, such as tidal flats, lagoons, particle beaches and so on. The slope in the east of the study area was gentle and the sediments were mainly micrite carbonate sediments and mud, and sediments in deep sea basin were black chert and mud. Sediments in restricted carbonate platform were gypsum and microcrystalline carbonate sediments. Origin of dolomites, sequences in plane and vertical successions were controlled by paleogeography. Layers of gypsum were interbedded with dolomites, and little particle beach developed in interior platform, while lagoon, tidal flat, restricted subtidal zone developed. At the margin of Middle-Upper Yangtze platform, more particle beaches developed and layers of gypsum decreased. According to crystal sizes of dolomites, micritic dolomites were separated from sugar shaped dolomites (fine-grained dolomites, medium dolomites and coarse-grained dolomites). Micritic dolomites were formed in penecomtemporaneous diagenetic stage in tidal flat environments, with mechanism of evaporative pumping. High salinity fluid with abundant magnesium that dolomitization needed came from concentrated seawater in lagoon and normal salinity water of open platform. Sugar shaped dolomites were formed with the mechanism of seepage reflection, the high salinity fluid of which came from redundant fluid of evaporative pumping and lagoon. Seepage reflection went on slowly and coarse-grained dolomites were formed. In addition, mechanisms of dolomitization combined in three-dimensional space, and vertical sequence changed regularly. From top to bottom, micritic dolomites with no gypsum crystals, micritic dolomites with gypsum crystals, sugar shaped dolomites formed successively, which was affected by paleogeographic changes.

Key words: Middle-upper Yangtze plate; Middle Cambrian; lagoon; origin of dolomites