

南海西沙群岛西科1井上新统-全新统碳酸盐岩微相分析

李晓¹, 刘娜¹, 吴仕玖², 刘才², 徐守立², 刘立¹, 赵爽¹, 于亚苹¹

1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061

2. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司研究院, 湛江 524057

摘要 西科1井为全取心科学钻井。采用定量微相分析方法,通过精细的岩芯观察和系统的薄片分析,对西科1井上新统-全新统碳酸盐岩微相进行精细研究,以阐明各组分类型和微相类型的纵向分布特征。研究表明,研究区碳酸盐岩表现出颗粒含量高,基质和胶结物含量低的特点。根据碳酸盐岩组分的显微特征,识别出19种微相类型,主要为生屑泥粒灰岩、生屑泥粒灰岩、珊瑚骨架灰岩和苔藓动物粘结灰岩。碳酸盐岩微相纵向分布表明:乐东组经历了动荡水沉积—强动荡水与动荡水交互沉积—动荡水与弱动荡水交互沉积。莺歌海组经历了强动荡水沉积、动荡水与弱动荡水交互沉积—动荡水沉积。

关键词 南海;西沙群岛;西科1井;生物礁动;碳酸盐岩;微相

碳酸盐岩储层中油气储量巨大,油气产量约占世界油气总产量的60%,油气探明产量占47%以上^[1],在国内外石油勘探中有重要意义。南海是中国油气勘探的重要地区,目前已发现的30多个生物礁油气田,使生物礁油气田的勘探开发成为南海油气勘探的巨大亮点^[2]。

南海西沙群岛新近纪以来广泛发育生物礁,西沙生物礁是全球罕见的海侵型生物礁,沉积厚度大,连续性好^[3],为生物礁油气储层的研究提供了极佳场所。该区已完成了西永1、西永2、西石1、西琛1等4口钻井,开展了岩石学特征研究^[3,4]、成岩作用研究^[5-7]、白云岩成因研究^[8,9]和生物礁储层研究^[10],但对碳酸盐岩微相的研究相对薄弱,仅张明书等^[3]划分出骨屑灰岩、砂屑灰岩、礁砾屑灰岩、生物礁格架灰岩、泥晶灰岩、叠层石泥晶灰岩和核形石泥晶灰岩,几乎未进行系统的微相研究。微相分析是研究沉积环境及其变化过程的重要环节,同样为储层研究提供基础地质信息,对储层评价有着重要的经济意义。西科1井为全取心科学钻井,总长1268 m的岩心为碳酸盐岩微相的连续研究提供了宝贵的实物资料。本文基于0~374.95 m岩心的岩石学系统研究,采用定量微相分析的方法,揭示碳酸盐岩微相特征。

1 地质背景

西沙群岛位于中国南海西北部陆坡区,主体部分位于北

纬15°43'至17°07',东经111°11'至112°54',岛屿总面积8 km²^[11]。西沙群岛海底地形表现为东西部较高,中间较低^[12]。分为沙岛、礁平台和水下斜坡,其中,礁平台是构成西沙群岛的主体,由珊瑚礁和钙藻类构成^[13]。西科1井位于西沙群岛永兴岛东北部的石岛东侧(图1),全取芯深度达1268 m,按照最新的地层划分,0~374.95 m为上新统-全新统乐东组和莺歌海组地层^[14]。

2 材料和方法

采用定量微相分析的方法,对西科1井上新统-全新统地层展开研究。通过981片铸体薄片分析和374.95 m岩心观察,探讨研究区碳酸盐岩微相特征。

根据镜下识别出的颗粒类型的含量,将其划分为常见(>10%)和少见(<10%)。然后,根据岩石类型的划分结果,按照1:1000比例尺合层,根据合层结果,将各类颗粒划分为常见(>50%的薄片发育)和少见(<50%的薄片发育)。

选取代表性视域,采集镜下照片,进行组分统计。依据Riding^[15]的划分结果,确定待统计组分为颗粒(S)、基质(M)、胶结物(C)3类。其中,颗粒包括生物格架、生物碎屑和内碎屑。对于泥晶化的颗粒、残余泥晶套以及新生变形的骨架都划分为颗粒组分^[16]。基质为泥晶方解石和重结晶方解石。胶结物为亮晶方解石和文石。本次组分统计采用点计

收稿日期:2015-08-16;修回日期:2015-11-19

基金项目:中国海洋石油总公司资助项目(CNOOC-2013-ZJ-01);国家科技重大专项(2011ZX05025-002)

作者简介:李晓,硕士研究生,研究方向为沉积储层,电子信箱:sweetdream1990@163.com;刘立(通信作者),研究方向为储层地质学、砂岩地貌与砂岩成因,电子信箱:liuli0892@vip.sina.com

引用格式:李晓,刘娜,吴仕玖,等.南海西沙群岛西科1井上新统-全新统碳酸盐岩微相分析[J].科技导报,2016,34(7):103-110;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.07.009

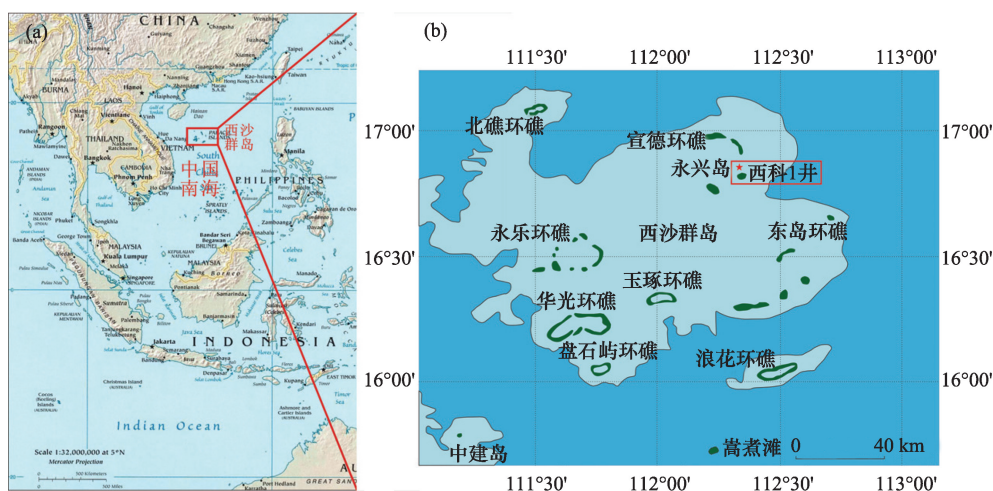


图1 中国南海地理位置(a)及西科1井位置(b)(图a据CIA World Factbook修改)
Fig. 1 Geographical location of South China Sea (a) and the location of Well Xike-1

数法,将等间距的二维坐标网覆盖在待统计照片之上,逐一统计坐标点上各颗粒类型。点计数法统计结果的精确度与统计点数成正比,每个薄片统计300个点,以确保统计结果的精确度。需要指出的是,颗粒的保存状态对统计结果有一定影响,但不会影响最终统计结果的变化趋势^[17]。依据组分统计结果,并结合岩石类型,确定各薄片的微相类型,进一步揭示碳酸盐岩微相的纵向变化特征。

3 碳酸盐岩岩石结构特征

研究区碳酸盐岩颗粒含量高,基质和胶结物含量低。其中,颗粒含量平均67.21%,基质含量平均26.22%,胶结物含量平均6.55%。

红藻和有孔虫最为发育(图2)。其中,0~22.3 m红藻和有孔虫常见,棘皮动物和软体动物少见;22.3~193.06 m红藻和有孔虫常见,珊瑚由常见至少见;193.06~287.77 m有孔虫和苔藓动物常见,红藻、棘皮动物和软体动物少见。随埋深增加,造礁生物珊瑚逐渐消亡,辅助造礁生物苔藓动物得以发展;287.77~374.95 m仅有孔虫常见,红藻、棘皮动物和软体动物少见。未见珊瑚和苔藓动物发育,说明礁体大量死亡,本次成礁期结束。

4 碳酸盐岩微相特征

4.1 微相类型

参考Flügel^[18]的碳酸盐岩微相的研究结果,确定原地石灰岩与异地石灰岩的微相类型鉴定标志。其中,原地石灰岩微型类型按照造礁生物类型来区分,结合岩石组构以及孔隙物类型,划分出5种(MF1~MF5)微相类型;对于异地石灰岩,依据主要的颗粒类型、颗粒完整程度和颗粒百分比,结合岩石组构,划分出11种(MF6~MF12)微相类型。白云岩化石灰

岩依据白云石含量和原岩组构保留程度,划分出3种微相类型(MF13~MF14)。

MF1珊瑚骨架灰岩(图3(a)):由原地生长的珊瑚构成格架,珊瑚形态保存完整,含量一般大于80%。不含或含少量的生物碎屑。基质含量为0~15%。胶结物发育粒状方解石,多充填于珊瑚粒内孔内,含量为0~10%。镜下可见珊瑚骨架部分溶蚀,溶蚀强烈处仅残留隔壁。部分珊瑚文石质骨架新生变形为方解石,新生变形方解石因残留原始文石包体而较浑浊,区别于粒状方解石。

MF2珊瑚-珊瑚藻骨架灰岩(图3(b)):由原地生长的珊瑚和珊瑚藻共同构成生物格架,二者共同起到支撑作用,增强礁体抗浪性。生物格架含量高,一般大于80%。发育少量生物碎屑。基质几乎不发育。胶结物发育粒状方解石,含量一般小于5%。

MF3苔藓动物粘结灰岩(图3(c)):苔藓动物常固着于生物格架或基质之上形成结壳,不具备坚固的抗浪骨架。苔藓动物粒径从毫米级到厘米级不等,含量约为80%~90%。发育少量生物碎屑。基质含量约为10%~20%。胶结物发育粒状方解石和镶嵌状方解石,含量约为5%~12%。

MF4苔藓动物-珊瑚藻粘结灰岩(图3(d)):苔藓动物和珊瑚藻互层生长,共同形成粘结组构。其中,苔藓动物以向外加厚的体壁和体壁内密集排列的虫室为特征;珊瑚藻以纹层状和网格状内部构造为鉴定标志。生物格架含量约为60%~85%。发育少量生物碎屑。基质含量约为5%~20%。胶结物呈粒状和刀刃状,含量约为2%~6%。

MF5珊瑚藻粘结灰岩(图3(e)):珊瑚藻呈纹层状或结壳状发育特征的粘结组构。珊瑚藻粒径可达厘米级,含量一般大于70%。基质含量约为0~10%。胶结物发育粒状方解石,含量约为0~5%。粘结灰岩多产于经常出露海面的礁顶带,

地层系统	层号	岩石类型	底深/m	颗粒类型							颗粒含量平均/%	基质含量平均/%	胶结物含量平均/%		
				珊瑚	红藻	绿藻	有孔虫	棘皮动物	软体动物	苔藓动物				内碎屑	
第四系—上新统	乐东组	1 生物碎屑砂	2.92		●			●	●				98.20	0	1.79
		2 颗粒灰岩	10.88		●			●	●	●			82.35	10.87	6.76
		3 生物碎屑砂	22.3		●			●					66.23	33.76	0
		4 泥粒灰岩夹骨架灰岩	28.44	●	●	●	●	●	●	●			65.47	31.18	3.33
		5 骨架灰岩	41.4	●	●	●	●	●	●				84.25	14.55	1.18
		6 泥粒灰岩	44.05		●	●	●	●	●	●			89.31	5.38	5.29
		7 骨架灰岩	45.47	●	●	●	●	●	●	●			84.55	14.15	1.29
		8 泥粒灰岩	47.28		●	●	●	●	●	●			81.55	17.49	0.94
		9 骨架灰岩	49.19	●	●	●	●	●	●	●			83.20	16.09	0.69
		10 粒泥灰岩夹泥粒灰岩	62.85	●	●	●	●	●	●	●	●		74.19	24.04	1.75
		11 泥粒灰岩	64.21	●	●	●	●	●	●	●			60.82	39.17	0
		12 骨架灰岩	70.24	●	●	●	●	●	●	●	●		76.08	11.62	12.29
		13 泥粒灰岩	77.95	●	●	●	●	●	●	●	●		67.43	20.05	12.51
		14 骨架灰岩	83.38	●	●	●	●	●	●	●	●		59.76	25.39	14.83
		15 泥粒灰岩	92.84		●	●	●	●	●	●	●		46.83	43.63	9.52
		16 骨架灰岩	94.26	●	●	●	●	●	●	●	●		86.69	8.32	4.97
		17 泥粒灰岩	105.7	●	●	●	●	●	●	●	●	●	58.78	32.92	8.28
		18 粒泥灰岩与泥粒灰岩互层	113.99		●	●	●	●	●	●	●		49.25	40.68	10.05
		19 泥粒灰岩	119.64	●	●	●	●	●	●	●	●	●	72.21	23.21	4.57
		20 粒泥灰岩与泥粒灰岩互层	126.85	●	●	●	●	●	●	●	●	●	70.80	20.51	8.67
	21 泥粒灰岩	130	●	●	●	●	●	●	●	●	●	72.34	23.79	3.86	
	22 粒泥灰岩与泥粒灰岩互层	137.57	●	●	●	●	●	●	●	●	●	68.40	28.04	3.55	
	23 泥粒灰岩	140.93	●	●	●	●	●	●	●	●	●	74.41	21.51	4.06	
	24 粒泥灰岩	147.71		●	●	●	●	●	●	●		69.21	26.43	4.35	
	25 粒泥灰岩与泥粒灰岩互层	193.06	●	●	●	●	●	●	●	●	●	72.81	21.67	5.50	
	26 泥粒灰岩	200.41		●	●	●	●	●	●	●		88.50	8.25	3.23	
	27 粒泥灰岩夹泥粒灰岩	220.07	●	●	●	●	●	●	●	●	●	66.21	25.73	7.66	
	莺歌海组	28 粘结灰岩	230.41		●	●	●	●	●	●	●		65.47	23.29	11.24
		29 粒泥灰岩	240.13		●	●	●	●	●	●	●		57.93	35.91	6.16
		30 粘结灰岩	245.5		●	●	●	●	●	●	●		71.87	24.03	4.10
		31 粒泥灰岩	252.23		●	●	●	●	●	●	●		71.32	24.23	4.45
		32 泥粒灰岩	261.46		●	●	●	●	●	●	●		56.45	35.37	8.18
		33 粒泥灰岩	268.92		●	●	●	●	●	●	●		53.97	42.40	3.63
		34 颗粒灰岩	272.36		●	●	●	●	●	●	●		89.72	5.78	4.50
		35 粘结灰岩	275.1	●	●	●	●	●	●	●	●		87.13	3.89	8.99
		36 泥粒灰岩	287.77		●	●	●	●	●	●	●		72.25	25.79	1.96
		37 白云质灰岩	288.91		●	●	●	●	●	●	●	●	28.57	35.22	36.21
		38 白云岩	293.35		●	●	●	●	●	●	●		31.40	44.41	24.19
		39 白云质灰岩	304.25		●	●	●	●	●	●	●		53.74	33.73	12.52
		40 泥粒灰岩	374.95		●	●	●	●	●	●	●		66.94	29.61	3.45

图例 ● 常见 ○ 少见

图2 西科1井上新统-全新统碳酸盐岩石组构纵向变化

Fig. 2 Vertical distribution of carbonate rock fabrics in Pliocene-Holocene, Well Xike-1

风力和波浪作用较强,是较高水能的指示剂^[9]。珊瑚藻广泛发育,基质不发育,都指示其形成于高能环境。

MF6生屑粒泥-泥粒-颗粒灰岩(图3(f)~(h)):研究区最为发育的微相类型,以生物碎屑的大量发育为特征。按照颗粒和基质的含量,划分为3个亚类。

MF6-1生屑粒泥灰岩:发育生物碎屑和少量内碎屑,粒径约为0~1 mm,含量约为10%~50%。基质含量约为30%~60%,镜下显示清晰的基质支撑结构。胶结物主要为粒状方解石,含量约为0~10%。生屑粒泥灰岩中较高的基质含量和较好的磨圆表明其形成于水动力条件较弱的低能环境。

MF6-2生屑泥粒灰岩:生物碎屑粒径为0.2~2 mm不等,含量约为50%~80%,构成颗粒支撑结构。基质含量约为10%~30%。发育粒状方解石、刀刃状方解石和纤维状文石,含量约为5%~10%。

MF6-3生屑颗粒灰岩:生物碎屑种类多样,在含量上无明显差异。生物碎屑粒径为0.1~0.6 mm,含量大于90%,构成颗粒支撑结构。发育特征的新月形和悬垂形胶结物,含量

小于10%。生物碎屑种类多样且磨圆度差,基质不发育,指示其形成于水动力强的高能环境。

MF7有孔虫泥粒灰岩(图3(i)):有孔虫大量发育且形态保存完好。生物碎屑粒径为0.5~2 mm,含量约为60%~85%,构成颗粒支撑结构。基质含量约为10%~20%。胶结物发育粒状方解石和纤维状文石,含量约为5%~15%。

MF8仙掌藻泥粒灰岩(图3(j)):仙掌藻形态完整且含量高,横切面呈近圆形,纵切面呈长条形,可见外部皮质区和内部髓质区。生物碎屑粒径为0.1~1 mm,含量约为50%~70%,构成颗粒支撑结构。基质含量约为25%~35%。仙掌藻多生长于低能环境中,其形成需要一定筛选但又不强的水动力,其完整的形态进一步指示低能环境。

MF9内碎屑粒泥-漂砾灰岩(图3(k)~(l)):以内碎屑的大量发育为特征。按照内碎屑大小,划分为2个亚类。

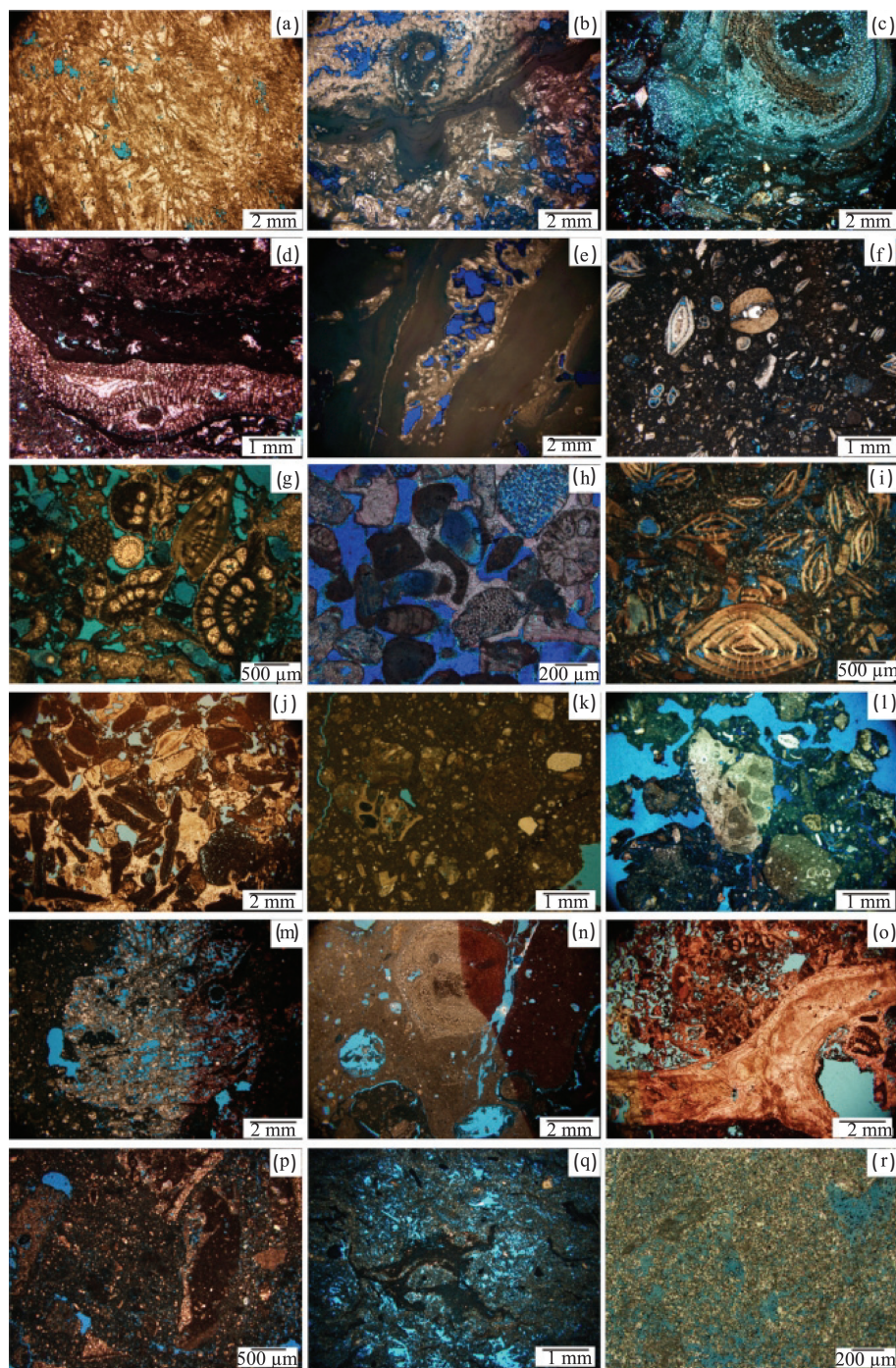
MF9-1内碎屑粒泥灰岩:发育内碎屑和少量生物碎屑。内碎屑成分为生屑粒泥灰岩和生屑泥粒灰岩,粒径为0.2~1 mm,含量约为20%~30%。基质含量约为25%~60%,构成基

质支撑结构。

MF9-2 内碎屑漂砾灰岩:发育内碎屑和少量生物碎屑。
内碎屑成分为生屑粒泥灰岩、生屑泥粒灰岩和生屑颗粒灰

岩。内碎屑粒径为 2~5 mm,含量约为 15%~30%。基质含量大于 40%,形成基质支撑结构。

MF10 珊瑚漂砾灰岩(图 3(m)):珊瑚砾屑呈次棱角状-次



(a) 珊瑚骨架灰岩(104.75 m,单偏光);(b) 珊瑚-珊瑚藻骨架灰岩(134.37 m,单偏光);(c) 苔藓动物粘结灰岩(118.76 m,单偏光);(d) 苔藓动物-珊瑚藻粘结灰岩(145.11 m,单偏光);(e) 珊瑚藻粘结灰岩(67.85 m,单偏光);(f) 生屑粒泥灰岩(328.76 m,单偏光);(g) 生屑泥粒灰岩(158.38 m,单偏光);(h) 生屑颗粒灰岩(7.61 m,单偏光);(i) 有孔虫泥粒灰岩(311.75 m,单偏光);(j) 仙人掌泥粒灰岩(28.27 m,单偏光);(k) 内碎屑粒泥灰岩(171.26 m,单偏光);(l) 内碎屑漂砾灰岩(54.94 m,单偏光);(m) 珊瑚漂砾灰岩(184.32 m,单偏光);(n) 苔藓动物漂砾灰岩(204.35 m,单偏光);(o) 软体动物砾屑灰岩(161.78 m,单偏光);(p) 白云质灰岩(289.36 m,单偏光);(q) 组构保留白云岩(297.13 m,单偏光);(r) 组构未保留白云岩(291 m,单偏光)

图3 西科1井碳酸盐岩微相类型

Fig. 3 The types of carbonate microfacies in Well Xike-1

圆状,为珊瑚破碎后近距离搬运的产物,粒径为2~6 mm,含量约为15%~30%。基质含量约为30%~45%,构成基质支撑结构。胶结物发育粒状方解石,含量约为5%~10%。

MF11 苔藓动物漂砾-砾屑灰岩(图3(n)):以苔藓动物砾屑的大量发育为特征。按照苔藓动物砾屑的含量,划分为2个亚类。

MF11-1 苔藓动物漂砾灰岩:生物碎屑(30%~40%)中见苔藓动物砾屑发育。苔藓动物砾屑多呈次圆状,粒径为2~3 mm。基质含量约为30%~60%,构成基质支撑结构。胶结物发育粒状和晶簇状方解石,含量约为5%~10%。

MF11-2 苔藓动物砾屑灰岩:生物碎屑(65%~85%)中苔藓动物砾屑大量发育,形成支撑结构,但尚未形成生物格架。苔藓动物砾屑多呈次圆状,粒径可达3~5 mm。基质含量约为10%~25%。胶结物以粒状方解石为主,含量约为5%~10%。

MF12 软体动物砾屑灰岩(图3(o)):生物碎屑(50%~70%)中软体动物砾屑大量发育,形成支撑结构,粒径达4~10 mm,镜下可见其完整的形态和交错片状构造。基质含量约为5%~15%。胶结物主要为粒状亮晶方解石,含量约为5%~10%。

MF13 组构保留白云质灰岩(图3(p)):白云石含量为10%~50%。白云岩化程度微弱,原始组构基本保留,原岩内

部组构清晰,容易恢复原岩。未白云石化的组分主要为生物碎屑和泥晶。

MF14 组构保留-组构破坏白云岩(图3(q)~(r)):按照原始组构保留程度不同,划分为2个亚类。

MF14-1 组构保留白云岩:白云石含量大于90%。白云岩化程度强烈,颗粒仅残存外部轮廓,内部结构多被破坏。镜下多见纹层状珊瑚藻和多孔珊瑚强烈白云岩化,仅保留外部轮廓。

MF14-2 组构破坏白云岩:白云石含量大于90%。白云岩化程度强烈,原始组构几乎全部被破坏,颗粒外部轮廓难识别。

4.2 碳酸盐岩微相纵向分布

碳酸盐岩微相能够提供沉积环境宝贵的微观信息。参照 Plumley 等^[19]的研究成果,根据微相所反映的水体能量不同,划分出强动荡水沉积、动荡水沉积和弱动荡水沉积(表1)。其中,莺歌海组二段顶部白云岩化,依据原岩残留的内部组构和外部轮廓进行原岩恢复,确定原岩的微相类型主要为珊瑚藻粘结灰岩和生屑粒泥灰岩,进而判断所指示的沉积环境。

乐东组生物礁发育^[20](图4)。顶部发育生屑颗粒灰岩,颗粒类型为生物碎屑,在较强的水动力条件下受水体改造。颗粒含量高,平均80.01%,指示动荡水沉积;上部发育珊瑚骨

表1 西科1井碳酸盐岩微相类型

Table 1 The types of carbonate microfacies in Well Xike-1

强动荡水沉积	动荡水沉积	弱动荡水沉积
MF1 珊瑚骨架灰岩	MF6-2 生屑泥粒灰岩	
MF2 珊瑚-珊瑚藻骨架灰岩	MF6-3 生屑颗粒灰岩	
MF3 苔藓动物粘结灰岩	MF7 有孔虫泥粒灰岩	MF6-1 生屑粒泥灰岩
MF4 苔藓动物-珊瑚藻粘结灰岩	MF10 珊瑚漂砾灰岩	MF8 仙掌藻泥粒灰岩
MF5 珊瑚藻粘结灰岩	MF11-1 苔藓动物漂砾灰岩	MF9-1 内碎屑粒泥灰岩
MF11-2 苔藓动物砾屑灰岩	MF9-2 内碎屑漂砾灰岩	
MF12 软体动物砾屑灰岩		

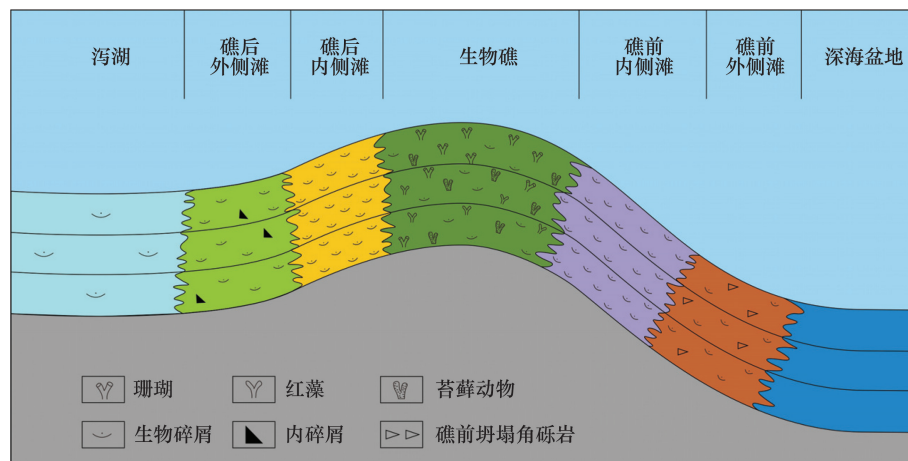
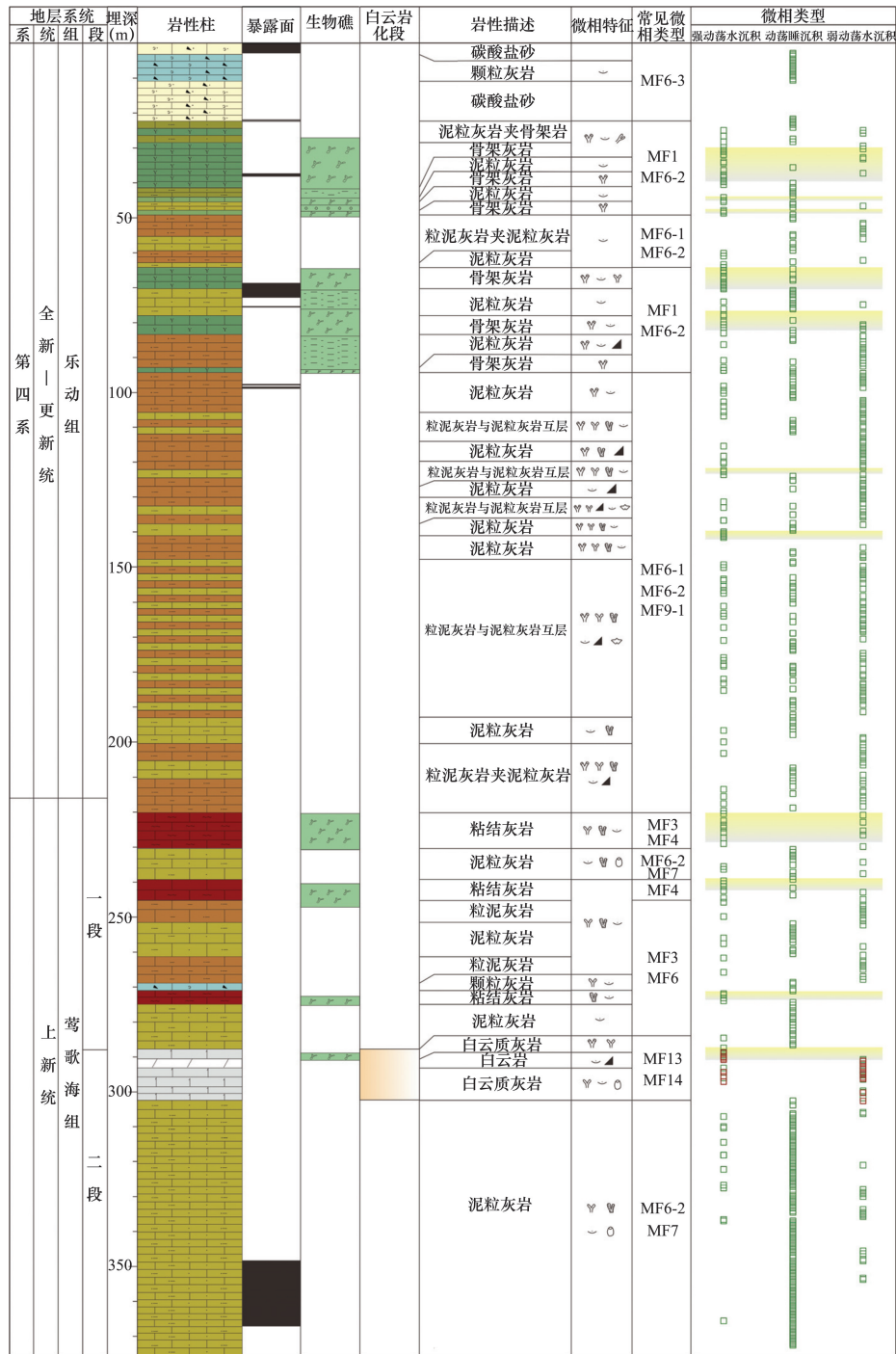


图4 西科1井生物礁沉积模式(据商志垒,2015修改)

Fig. 4 Depositional model of reefs in Well Xike-1

架灰岩夹薄层生屑泥粒灰岩和生屑粒泥灰岩, 颗粒类型以珊瑚骨架和生物碎屑为主。珊瑚礁体多生长于陆棚边缘高波浪和潮汐活动的区域, 确保有充足的海水持续穿过生物格架, 从而增加海水与生物格架相互作用的机会^[21], 指示强动荡

水与动荡水交互沉积; 下部生屑泥粒灰岩与生屑粒泥灰岩不等厚互层, 颗粒类型主要为生物碎屑和内碎屑。颗粒与基质含量变化大, 分别为 16.10%~98.30% 和 0~65.19%。指示动荡水与弱动荡水交互沉积, 局部段为强动荡水沉积(图 5)。



注: 绿色投点代表石灰岩微相类型, 红色投点代表白云岩微相类型。比例尺 1:1000
 图例: 碳酸盐砂, 颗粒灰岩, 泥粒灰岩, 粒泥灰岩, 骨架灰岩, 粘粒灰岩, 白云质灰岩, 白云岩, 骨架礁核, 骨架礁翼, 骨架礁盖, 珊瑚, 红藻, 苔藓动物, 绿藻, 有孔虫, 软体动物, 生物碎屑, 内碎屑

图 5 西科 1 井上新统-全新统碳酸盐岩微相类纵向分布

Fig. 5 Vertical distribution of carbonate microfacies in Pliocene-Holocene, Well Xike-1

微相纵向分布表明,乐东组经历了动荡水沉积—强动荡水与动荡水交互沉积—动荡水与弱动荡水交互沉积。

莺歌海组生屑滩(礁后内侧滩和礁后外侧滩)发育(图4),生物礁主要在一段发育^[20]。一段苔藓动物粘结灰岩、苔藓动物-珊瑚藻粘结灰岩、生屑泥粒灰岩和生屑粒泥灰岩不等厚互层。颗粒类型主要为苔藓动物和珊瑚藻骨架以及生物碎屑。颗粒与基质含量数据显示,二者亦变化较大,分别为27.91%~94.84%和0~67.23%,指示强动荡水沉积、动荡水与弱动荡水交互沉积。二段发育有孔虫泥粒灰岩和生屑泥粒灰岩。颗粒类型以生物碎屑为主。颗粒含量高且粒度大,平均72.41%,基质含量低,平均21.31%,整体为动荡水沉积(图5)。微相纵向分布表明莺歌海组经历了强动荡水沉积、动荡水与弱动荡水交互沉积—动荡水沉积。

5 结论

1) 使用定量分析方法对上新统-全新统碳酸盐岩进行定量分析,得出颗粒、基质和胶结物含量的定量数据。碳酸盐岩具有颗粒含量高,基质和胶结物含量低的特点。其中,颗粒含量平均67.21%,基质含量平均26.22%,胶结物含量平均6.55%。

2) 划分出19种微相类型。其中,生屑泥粒灰岩、生屑粒泥灰岩和珊瑚骨架灰岩大量发育,苔藓动物粘结灰岩次之。珊瑚骨架灰岩、苔藓动物粘结灰岩中造礁生物大量发育,含有丰富的珊瑚和苔藓动物,具有形成优质油气藏的物质基础,是南海油气勘探值得关注的重要因素。

3) 碳酸盐岩微相的纵向分布表明,乐东组经历了动荡水沉积—强动荡水与动荡水交互沉积—动荡水与弱动荡水交互沉积。莺歌海组经历了强动荡水沉积、动荡水与弱动荡水交互沉积—动荡水沉积。

参考文献(References)

- [1] 贾小乐, 何登发, 童晓光, 等. 全球大油气田分布特征[J]. 中国石油勘探, 2011, 16(3): 1-7.
Jia Xiaole, He Dengfa, Tong Xiaoguang, et al. Distribution of global and giant oil and gas fields[J]. China Petroleum Exploration, 2011, 16(3): 1-7.
- [2] 赵强. 西沙群岛海域生物礁碳酸盐岩沉积学研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2010.
Zhao Qiang. The sedimentary research about reef carbonatite in Xisha islands waters[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [3] 张明书. 西沙生物礁碳酸盐沉积地质学研究[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
Zhang Mingshu. The study of quaternary reef carbonate sedimentary geology, Xisha sea area[M]. Beijing: Science Press, 1989.
- [4] 魏喜, 贾承造, 孟卫工, 等. 南海西沙海域西琛1井生物礁的性质及岩石学特征[J]. 地质通报, 2008, 27(11): 1933-1938.
Wei Xi, Jia Chengzao, Meng Weigong, et al. Biogenetic reefs and its petrological characteristics of well Xichen 1, Xisha sea area, China[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(11): 1933-1938.
- [5] 蔡峰, 许红, 郝先锋, 等. 西沙—南海北部晚第三纪生物礁的比较沉积学研究[J]. 沉积学报, 1996, 14(4): 61-69.
Cai Feng, Xu Hong, Hao Xianfeng, et al. Comparative sedimentology of late tertiary organic reefs in Xisha-Northern South China Sea[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(4): 61-69.
- [6] 刘健, 韩春瑞, 吴建政, 等. 西沙更新世礁灰岩大气淡水成岩的地球化学证据[J]. 沉积学报, 1998, 16(4): 71-77.
Liu Jian, Han Chunrui, Wu Jianzheng, et al. Geochemical evidence for the meteoric diagenesis in pleistocene reef limestones of Xisha islands [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(4): 71-77.
- [7] 孙启良, 马玉波, 赵强, 等. 南海北部生物礁碳酸盐岩成岩作用差异及其影响因素研究[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(5): 665-672.
Sun Qiliang, Ma Yubo, Zhao Qiang, et al. Different reef carbonate diagenesis and its influential factors, Northern South China Sea[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(5): 665-672.
- [8] 何启祥, 张明书. 西沙群岛新第三纪白云岩的成因与意义[J]. 海洋地质与第四系地质, 1990, 10(2): 45-55.
He Qixiang, Zhang Mingshu. Origin of neogene dolomites in Xisha Island and their significance[J]. Marine & Quaternary Geology, 1990, 10(2): 45-55.
- [9] 魏喜, 祝永军, 许红, 等. 西沙群岛新近纪白云岩形成条件的探讨:C、O同位素和流体包裹体证据[J]. 岩石学报, 2006, 22(9): 2394-2404.
Wei Xi, Zhu Yongjun, Xu Hong, et al. Discussion on Neogene dolomite forming condition in Xisha islands: Evidences from isotope C and O and fluid inclusions[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(9): 2394-2404.
- [10] 陈亦寒, 刘大猛, 魏喜, 等. 西沙群岛晚新生代生物礁储层特征及控制因素——基于西琛1井钻探资料[J]. 石油天然气学报, 2007, 29(3): 360-363.
Chen Yihan, Liu Dameng, Wei Xi, et al. Reservoir characteristics and its controlling factors of late cenozoic biogenetic reef in Xisha islands of South China Sea: A case study on well Xichen 1[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2007, 29(3): 362-363.
- [11] 朱伟林, 王振峰, 米立军, 等. 南海西沙西科1井层序地层格架与礁生长单元特征[J]. 地球科学, 2015, 40(4): 677-687.
Zhu Weilin, Wang Zhenfeng, Mi Lijun, et al. Sequence stratigraphic framework and reef growth unit of borehole Xike-1 from Xisha Islands, South China Sea[J]. Earth Science, 2015, 40(4): 677-687.
- [12] 魏喜. 西沙海域晚新生代礁相碳酸盐岩形成条件及油气勘探前景[D]. 北京: 中国地质大学, 2006.
Wei Xi. Forming condition of late-cenozoic reef facies carbonate rocks in Xisha Sea Area and their oil and gas exploration potential[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2006.
- [13] 陈俊仁. 我国南部西沙群岛地区第四纪地质初步探讨[J]. 地质科学, 1987, 1: 45-56.
Chen Junren. A preliminary discussion on quaternary geology of Xisha qundao islands of South China[J]. Scientia Geologica Sinica, 1987, 1: 45-56.
- [14] 张道军, 刘新宇, 王亚辉, 等. 西沙地区晚中新世以来碳酸盐岩的沉积演化及储层特征[J]. 地球科学, 2015, 40(4): 606-614.
Zhang Daojun, Liu Xinyu, Wang Yahui, et al. Sedimentary evolution and reservoir characteristics of carbonate rocks since late miocene in Xisha Area of the South China Sea[J]. Earth Science, 2015, 40(4): 606-614.
- [15] Riding R. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: Concepts and categories[J]. Earth Science Reviews,

- 2002, 58(1-2): 163-231.
- [16] Tucker M E, Wright V P, Dickson J A D, et al. Carbonate sedimentology[J]. Blackwell Science Ltd, 2008, 1-26.
- [17] Eriksson M E, Lindskog A, Calner M, et al. Biotic dynamics and carbonate microfacies of the conspicuous Darrivilian (Middle Ordovician) Täljsten interval, south-central Sweden[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2012, 367-368: 89-103.
- [18] Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks[M]. Berlin: Springer, 2004: 1-924.
- [19] Plumley W J, Risley G A, Graves R W, et al. Energy index for limestone interpretation and classification[C]//Ham W E. Classification of Carbonate Rocks. American of Petroleum Geologists Memoir, 1962, 1: 85-107.
- [20] 商志垒, 孙志鹏, 解习农, 等. 南海西科 1 井上新世以来礁滩体系内部构成及其沉积模式[J]. 地球科学, 2015, 40(4): 697-710.
- Shang Zhilei, Sun Zhipeng, Xie Xinong, et al. Internal architecture and depositional model of reef-bank system since Pliocene in Well Xike-1, the South China Sea[J]. Earth Science, 2015, 40(4): 697-710.
- [21] Moore C H. Carbonate diagenesis and porosity[M]. Elsevier Science, 1989.

Analysis of carbonate microfacies in Pliocene-Holocene, in Well XK-1, the Xisha Islang , South China Sea

LI Xiao¹, LIU Na¹, WU Shijiu², LIU Cai², XU Shouli², LIU Li¹, ZHAO Shuang¹, YU Yaping¹

1. Faculty of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, China
2. Research Institute of Zhanjiang Branch, CNOOC, Zhanjiang 524057, China

Abstract Well XK-1, as a fullcoring scientific drilling well, provides an opportunity for comprehensive and systematic study of carbonate. This paper makes a quantitative analysis of carbonate microfacies, through careful observation of core samples and systematic analysis of thin sections, focusing on Pliocene-Holocene component types, microfacies types, and their vertical characteristics. The component of the carbonate has the characteristics of high grain content, as well as low matrix and cement content. The component microfeatures can be seen in 19 different types, mainly including the bioclast packstone, the bioclast wackstone, the coral framestone, and the bryozoa bindstone. The vertical distribution of carbonate microfacies shows that the carbonate experiences an agitated water-alternate deposition in the strongly agitated water and an agitated water-alternate deposition in the agitated water and the weakly agitated water, in Ledong formation; while it experiences the alternate deposition in the strongly agitated water, the agitated water and the weakly water-agitated water in Yingehai formation.

Keywords South China Sea; Xisha Islang; well XK-1; reef; carbonate; microfacies

(责任编辑 陈广仁)