

doi:10.3799/dqkx.2014.081

滨里海盆地 M 区块晚石炭世古地貌 恢复与白云岩储层预测

苗钱友¹, 朱筱敏¹, 李国斌³, 郭洪明², 杨勤林⁴, 张静³, 张亚军³, 洪亮³

1. 中国石油大学地球科学学院, 北京昌平 102249

2. 中油阿克纠宾油气股份公司, 哈萨克斯坦阿克纠宾 030002

3. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃兰州 730020

4. 中国石化石油物探技术研究院, 江苏南京 210014

摘要: 白云岩储层的发育主要受原始沉积岩性和后期溶蚀作用影响, 原始沉积岩性受沉积时古地貌控制, 后期溶蚀作用受溶蚀古地貌控制。滨里海盆地 M 区块石炭世 KT-I 层有利储集岩为溶蚀白云岩, 分布在 KT-I 层顶部, 孔隙类型为晶间(溶)孔、粒内溶孔和生物体腔孔。M 区块石炭系沉积时为“西高东低”古地貌背景, 在二叠世早期地层回返呈“东高西低”特征, KT-I 层顶部遭受剥蚀。通过残余地层厚度法和沉积补偿厚度印模法对 KT-I 层原始沉积古地貌和后期溶蚀古地貌进行了恢复, 指出了 M 区块原始沉积古地貌高地与溶蚀斜坡带叠合区为有效白云岩储层分布区, 提出了 M 区块勘探方向为“向南扩大勘探场面, 向东拓展勘探新区”, 在中—南部和南部建议了 3 口井位, 取得了很好的钻探实效。表明古地貌恢复技术是 M 区块预测白云岩储层的有效方法。

关键词: 白云岩储层; 古地貌恢复; 原始沉积古地貌; 溶蚀古地貌; 滨里海盆地; 石油地质。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2014)07-0871-09

收稿日期: 2013-05-19

Paleogeomorphology Recovery and Reservoir Prediction of Upper Carboniferous in M Block, Pre-Caspian Basin

Miao Qianyou¹, Zhu Xiaomin¹, Li Guobin³, Guo Hongming²,
Yang Qinlin⁴, Zhang Jing³, Zhang Yajun³, Hong Liang³

1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. Aktobe Petroleum Joint Stock Company, China National Petroleum Corporation, Aktobe 030002, Kazakhstan

3. Northwest Branch of Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Lanzhou 730020, China

4. SINOPEC Geophysical Research Institute, Nanjing 210014, China

Abstract: The development of dolomite reservoirs is mainly influenced by primary sedimentary lithology and later dissolution action, whereas the primary sedimentary lithology is controlled by pre-depositional paleogeomorphology and the dissolution action is controlled by karst-geomorphology. In M Block, the favorable reservoir rock of KT-I is dissolution dolomite and is distributed in the upper formation, with its pore types mainly including intercrystalline pores, intercrystalline solution pores, intergranular solution pores and organic visceral pores. The paleogeomorphology in Carboniferous in M Block is featured with “higher in west and lower in east” and “lower in west and higher in east” in Early Permian, with the eroded top formation of KT-I. This study applies residual thickness method and mould method for recovery of the pre-depositional paleogeomorphology and the karst-geomorphology respectively, and suggests the favorable area of dolomite reservoirs occurs in the overlap zone of the pre-depositional paleogeomorphology highland and karst-slope zone, and it is further suggested that exploration area for potential dolomite reservoirs is to be extended southward and eastward. Three appraisal wells in central-southern and southern areas yield good results. The study shows the paleogeomorphology recovery technique is effective for predicting dolomite reser-

基金项目: 中石油海外油气勘探项目(No.2008E-1606); 国家重大油气专项资助项目(No.2011ZX05029-002)。

作者简介: 苗钱友(1970-), 男, 高级工程师, 博士研究生, 主要从事油气田地质勘探与开发研究。E-mail: miaoqianyou@126.com

voir in M Block.

Key words: dolomite reservoir; paleogeomorphology recovery; pre-depositional paleogeomorphology; karst-geomorphology; pre-Caspian basin; petroleum geology.

0 引言

滨里海盆地位于东欧地台东南缘,为克拉通边缘前陆盆地,东部和东南部与乌拉尔褶皱带相邻。从地质结构上大体可划分为北部伏尔加—乌拉尔台背斜和南部滨里海台向斜 2 大构造区(任侗,2002;刘洛夫等,2007;徐可强,2011)。滨里海台向斜可进一步划分为北部断阶带、中部坳陷带、东部隆起带和东南坳陷带等次级构造单元(图 1)。盆地内下二叠统孔谷阶发育一套盐岩层,将盆地内地层纵向上分割成盐上和盐下 2 大油气成藏组合(图 2)。盐下组合主要为石炭统上碳酸盐岩层 KT-I 层和下碳酸盐岩层 KT-II 层,其间为一套区域性泥岩隔层 MKT 层(金之钧等,2007;刘洛夫和朱毅秀,2007)。石炭系地层呈近南北向条带状展布,南北向厚度变化小,东西向厚度变化大,总体呈东厚西薄、向西依次遭受剥蚀、地层厚度逐渐变薄直至尖灭。该套向西剥蚀型尖灭地层,表明石炭统时期该区古构造高点位于西部、地层呈“西高东低”特点;在早二叠世早期,受海西期构造运动作用,该区东部发生强烈抬升,地层发生反转,至晚二叠世末期,区内地层呈“东高西低”古地貌背景(刘东周等,2004)。KT-I 层主要由灰岩和白云岩组成,生物碎屑含量高达 75%~85%,局部地区溶孔溶洞和次生孔隙发育;KT-II 层主要以生物碎屑灰岩为主,白云岩化程度较弱。其中 KT-I 层储集性能优于 KT-II 层,是主要的产油层段。KT-I 层厚度 380~450 m,自北向南有减薄的趋势,从上向下划分为 A 层、B 层和 B 层;A 层进一步划分为 A1、A2 和 A3 小层,本研究区内 A1 被剥蚀仅残留 A2+A3;MKT 层厚 300~400 m,KT-II 层厚度大于 500 m,全区分布稳定。

研究区位于滨里海盆地东部隆起带和东南坳陷带过渡区(图 1 黑色小框),面积约 800 km²,东部近邻乌拉尔褶皱带。该区经过多年勘探,已获重大油气发现,显示出良好的油气勘探前景。但随着精细勘探的深入和向外扩边,外围探井 A56、A57、A58 和 A59 均失利,究其原因主要是对储层控制因素和分布规律认识不清,因此加强白云岩储层预测研究对油田区外围勘探意义重大。

本次研究应用了 56 口井测井及录井资料、4 口

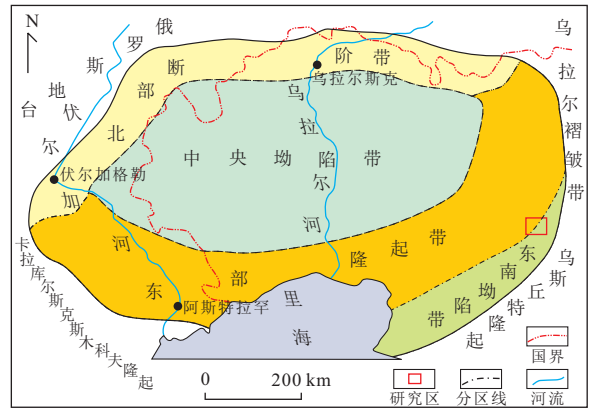


图 1 滨里海盆地构造分区

Fig.1 Structural units of Pre-Caspian basin

统	阶(亚阶、层)	岩性	储层	盖层	
下二叠统 (P ₁)	孔谷阶(P _{1k})	盐岩层			
	阿丁斯克阶(P _{1y})	碎屑岩 (局部含碳酸盐岩)			
	萨克马尔阶(P _{1s})				
	阿舍利阶(P _{1a})				
上石炭统 (C ₂)	格热尔阶(C _{2g})	上碳酸盐岩层(KT-I)			
	卡西莫夫阶(C _{2k})				
	莫斯科阶(C _{2m})	穆亚奇科夫层(C _{2m^{2m}})	泥岩层(MKT)		
		波多尔斯克层(C _{2m^{3m}})			
	下亚阶(C _{2m})	卡什尔层(C _{2m^{2b}})			
		维列依层(C _{2m^{2c}})			
巴什基尔阶(C _{2b})	下亚阶(C _{2b})				
下石炭统 (C ₁)	谢罗普霍夫阶(C _{1s})	普罗特文层(C _{1s^{2p}})	下碳酸盐岩层(KT-II)		
		斯切舍夫层(C _{1s^{2s}})			
	维宪阶(C _{1v})	塔鲁斯克层(C _{1s^{2t}})			
		维里夫斯克层(C _{1v^{2v}})			
	杜内阶	中下亚阶(C _{1v¹⁺²})			
		碎屑岩			

图 2 滨里海盆地盐下层系地层图

Fig.2 Stratum histogram for the pre-salt sediments of Pre-Caspian basin

井岩心分析资料和 10 口井岩屑分析资料,重点从区域沉积构造演化、单井沉积相变化、储层沉积相及微观特征等方面进行了综合研究,提出了“原始沉积古地貌控储层沉积岩性”和“后期溶蚀古地貌控优质白云岩储层分布”的研究思路,通过地震层位标定和解释获取相关层位地层厚度,进而恢复古地貌和有利

储层分布区带预测.

1 沉积相类型和储层特征

岩心、测井、化验分析等资料表明 M 区块 KT-I 层沉积相从下向上依次为斜坡相、开阔台地相和局限台地相.开阔台地主要沉积微相有生屑滩、滩间洼地和台坪,局限台地主要沉积微相有生屑滩、白云坪和滩间洼地,其中局限台地白云坪为储层发育段.以 A4 井为例(图 3),白云坪段岩性主要为泥-粉晶鲕、生屑云岩,含较多的生物铸模孔、壳壁铸模,粒间多为粗粉晶一半自形晶白云石,生物大部分被强烈溶蚀,很多鲕类已被溶蚀成蜂窝状,有些形成壳壁孔、体腔孔,为 M 区产油最好的沉积微相.

M 区块 KT-I 层有利储层段位于顶部局限台地的 A2+A3 小层、距顶部 0~80 m(图 3).储集岩为溶孔溶洞白云岩,岩性主要为残余生屑云岩,粉-细晶结构;储集空间为晶间(溶)孔、粒内溶孔和生物体腔孔(图 4),岩石内溶孔溶洞发育(石新等,2012).晶间孔是白云石晶粒之间的孔隙,是白云石化过程中岩石骨架体积缩小所形成的;晶间溶孔是白云石晶体间残留方解石等易溶组分被溶蚀后形成的.晶

间(溶)孔在 M 区块普遍发育,连通性好,有较强的油气储集能力(刘洛夫等,2002;王连岱等,2004;赵中平等,2009;徐可强,2011).因此白云岩储层控制因素和分布规律研究是本区储层预测的关键所在.

2 古地貌恢复

2.1 古地貌恢复原理及方法

研究表明,次生白云岩储层的发育主要受原始沉积相带(白云岩前驱物)、后期成岩作用(白云石化作用、溶蚀作用等)及断裂等因素影响(Landes, 1946; Hohlt, 1948; Fairbridge, 1957; Sun, 1995; Warren, 2000; 范嘉松, 2005; 潘建国等, 2012).原始沉积相带是白云岩储层发育的物质基础,有利的后期溶蚀作用和白云石化作用是优质储层形成的保证(Flvgl, 1989; 赵澄林和朱筱敏, 2001; 姚泾利等, 2011).原始沉积灰岩中易溶组分及原生粒间孔隙是白云岩化作用和岩溶作用发育的岩性基础,而原始岩性受原始沉积相带控制(赵敏等, 2010),后期溶蚀作用受溶蚀古地貌控制(夏日元等, 1999; 郑荣才等, 2003).

在同等溶蚀条件下,滩相颗粒灰岩和晶粒白云岩比陆棚或潟湖相致密灰岩和微晶白云岩更易被溶蚀改造(张兵等, 2011).另外,碳酸盐岩溶蚀的难易程度与其结构也有重要关系,结构越粗大,灰泥基质越少,岩石溶蚀的速率越大;颗粒灰岩特别是滩、礁相灰岩的溶蚀速率大于泥晶灰岩,是因为颗粒灰岩中的原生孔隙和颗粒中存在某些易溶物质,为水溶液的进入和流通提供了便利条件(贾振远和蔡忠贤, 2004; 姚军等, 2013).如果早期沉积灰岩中泥质含量高或是泥晶、微晶细粒灰岩,则由于岩石内缺少易溶组分或缺乏粒间孔隙而不易遭受溶蚀,就不易白云石化,因此对于 KT-I 层寻找有利的白云岩储层既要考虑后期的溶蚀作用,又要考虑白云岩前驱物的原始组分.台地灰岩原始组分受沉积时的古地貌控制比较明显,在古地形高地所形成滩相颗粒灰岩泥质含量低、原生粒间孔隙保存好,但低洼处泥质含量高、粒间孔隙保存差.

因此要预测白云岩储层,首先要恢复原始沉积古地貌背景以预测有利于发生溶蚀作用的灰岩分布区,然后恢复溶蚀古地貌背景以预测有利于发生溶蚀作用的灰岩区,通过两者结合才能较准确预测白云岩储层发育带.

目前,常用古地貌恢复方法主要有:地层剥蚀厚

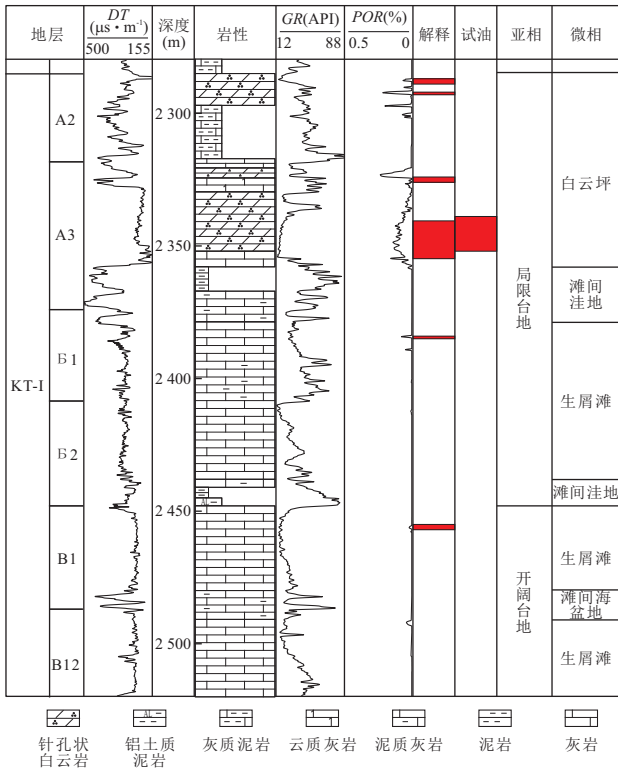


图 3 A4 井 KT-I 层沉积相综合分析

Fig.3 Comprehensive analysis histogram in KT-I of Well A4

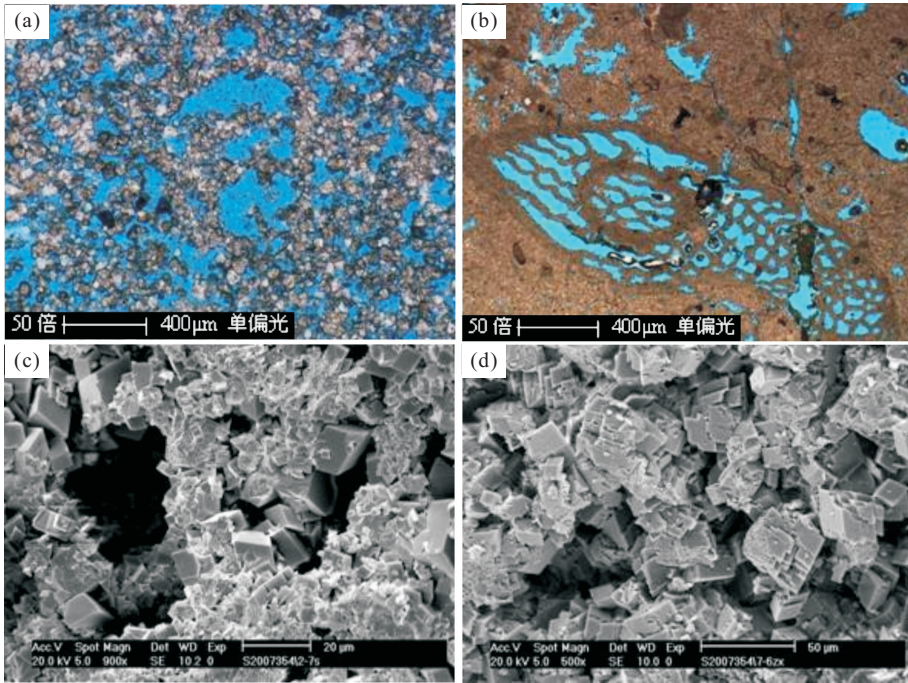


图 4 研究区 KT-I 白云岩薄片特征

Fig.4 Thin section characteristics of dolomite reservoir in KT-I in study area

a.样品编号 6-3s(A-4 井 2 342.81 m),残余生屑(泥)粉晶白云岩,晶间溶孔,生物有 4 种遭受破坏后的类型:①有其外形,但体腔全被溶蚀;②保持壳壁,体内全溶;③壳壁被溶,形成壳模孔;④高岭石充填体腔;b.样品编号 7-31(A-4 井 2 352.92 m),泥晶残余生屑云岩,体腔孔,大部分生屑为被溶蚀后的残余类,虽保持了其外形特征,但内部房室被溶,其他瓣鳃类、腹足类均被溶为铸模孔、壳壁孔;c.样品编号 2-7s(A-4 井),溶蚀孔隙及晶间孔隙发育,溶孔内被菱面体白云石部分充填;d.样品编号 7-6zx(A-4 井),晶间孔隙及溶蚀孔隙发育,见高岭石及伊利石少量分布

度恢复法、地层学恢复法、回剥法、填平补齐法、沉积学分析法和层序地层学恢复法等(赵俊兴等,2001;吴丽艳等,2005)。

地层学恢复方法有残余地层厚度法(残厚法)和沉积补偿厚度印模法(印模法)。残厚法是用侵蚀面至其下伏的水平基准面的残余厚度来大致反映古地貌,残余厚度大的地方即古地貌的高势区,残余厚度小的地方即古地貌的低势区;如图 5a 中,碳酸盐岩地层厚度 $H_2 > H_1 > H_0$,表明 H_2 和 H_1 所在地区为高势区、 H_0 所在地区为低势区,在高势区往往沉积易于白云岩化的颗粒灰岩,是潜在的白云岩储层发育区。印模法是根据沉积补偿原理,用侵蚀面上覆层地层至其上覆层的水平基准面的厚度来镜像反映古地貌的大致形态,厚度大的地方为古地貌的低势区,厚度小的地方为古地貌的高势区;如图 5b 中,上覆碎屑泥岩地层厚度 $H_2 > H_1 > H_0$,表明 H_0 所在地区下伏地层处于高势区、 H_2 所在地区下伏地层处于低势区,介于高势区和低势区二者之间的地区为斜坡区,是溶蚀作用有利发育区。

利用“残厚法”可预测原始沉积相带,即认为残余厚度大的古地貌高势区沉积颗粒灰岩和生屑灰

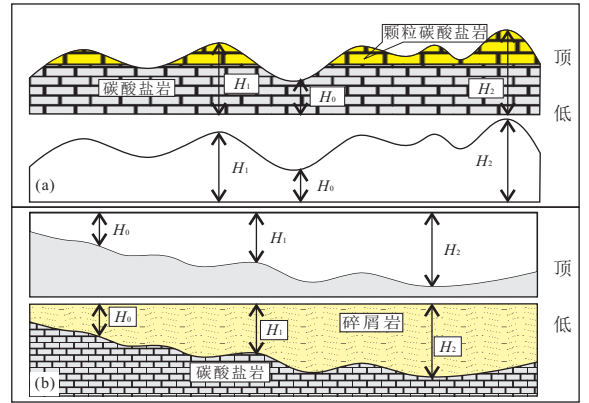


图 5 古地貌恢复模式

Fig.5 The mode pattern of palaeo-geomorphology recovery

岩,岩石中保留有较大的原生粒间空隙且泥质含量低,易于白云石化和发生溶蚀作用,因此古地貌高势区就是最易发生白云石化和溶蚀作用的有利区带,如图 5a 中的高地貌黄色区;而残余厚度小的古地貌低势区则相反,是不易发生白云石化和溶蚀作用的区带。

利用“印模法”可预测溶蚀作用带,即利用侵蚀面上覆地层至其上覆层的水平基准面的厚度来镜像

反映古地貌的大致形态,地层薄的平缓地区为溶蚀高地,地层厚度大的平缓低地为溶蚀洼地,介于二者之间的地区为溶蚀斜坡区,如图5b中的H0至H2之间的斜坡区.由于斜坡区地形坡度变化明显,水流通畅,是淋溶作用最强烈的地区,也是次生孔隙最发育的地带,往往是有效储层发育区.

2.2 古地貌恢复的实现

区域构造分析表明,滨里海盆地东缘构造在石炭纪—早二叠世时期主要经历了2个演化阶段:即石炭统西高东低构造背景下的稳定碳酸盐岩台地沉积和二叠统早期东高西低构造背景下的碎屑岩—泥岩沉积.

在KT-I时期,研究区沉积相从下向上表现为开阔台地—局限台地—蒸发台地,表明水体逐渐变浅或构造持续抬升,但整体上属于稳定的碳酸盐岩台地沉积环境,地层顶部遭受了区域性暴露剥蚀,因此其厚度变化可大致反应沉积时古地貌特征,将地层底拉平后其厚度变化所反映的顶部地形形态可代表原始沉积古地貌背景.

在二叠统早期,受东部乌拉尔褶皱带形成时的挤压作用的影响,滨里海盆地东缘出现了掀斜翘倾及构造回返,构造背景由西高东低变为东高西低,造成二叠统早期靠近乌拉尔褶皱带地区地层呈由东向西“S”形前积叠加,因此二叠统的碎屑岩—泥岩层是在石炭统顶部KT-I之上的填平补齐式沉积,是稳定的区域性标志层,代表了一个沉积等时界面,将其顶拉平后其底部地形变化可镜像反映KT-I层顶部发生溶蚀时的古地貌形态.

在具体古地貌恢复过程中,首先通过单井合成地震记录标定和层位解释,获取全区P1层中top-P1a(阿舍利阶碎屑岩层)、top-KT-I和top-MKT的解释层位,进而获得top-P1a—top-KT-I层(即KT-I上覆碎屑岩层)和top-KT-I—top-MKT(即KT-I层)间的地层厚度,然后通过SMT地震与地质综合解释软件对KT-I层底拉平进行三维立体显示,其顶面地形变化即可代表KT-I顶部地层沉积时的古地貌形态;同样对KT-I上覆碎屑岩层顶拉平进行三维立体显示,其底面地形变化可镜像反映KT-I层顶部发生溶蚀时的古地貌形态.

研究表明,在稳定碳酸盐岩地台区应用“残厚法”和“印模法”进行古地貌恢复、预测有效储层发育区是行之有效的办法(拜文华等,2002).

3 古地貌分析

通过“残厚法”和“印模法”对KT-I层古地貌进行了恢复,所恢复古地貌形态基本反映了原始沉积古地貌和后期溶蚀古地貌背景.

如图6中橘黄色区为高隆起区、青绿色—青色区为台地低凸起区以及淡蓝—深蓝色区为低洼区.从古地貌图看出,KT-I顶部沉积时由西向东呈凸洼相间背景,中部和东南部为凸起区,在凸起区多为台地高能灰岩滩沉积,低洼区多为滩间洼地泥晶灰岩、泥质灰岩和泥岩沉积.高能灰岩滩岩性多为颗粒灰岩、生屑灰岩,颗粒间原生孔隙大、泥质含量低,这种岩性易于发生白云岩化,因此图7中部呈南北向分布的带状凸起区和东南部凸起区是最易发生白云岩化的岩性分布区.实际钻井岩性也说明了这一点.

如图7,A33井位于中部凸起区,A34和A35位于东部低洼区.A33井岩性主要为溶蚀白云岩和灰岩夹薄层泥质灰岩和泥岩,而A34、A35井A2层岩性主要为泥岩、灰质泥岩、泥质灰岩和灰岩薄互层,A34、A35井A3层为泥质灰岩和灰岩互层夹薄层泥岩,A34、A35井泥质含量明显增多.目前所钻探井位大多集中在中部凸起区.

图8中棕红色区代表岩溶高地、黄绿色区代表上岩溶斜坡区、青白色区代表下岩溶斜坡区、淡蓝—深蓝色区代表岩溶洼地.从图8看出,由西向东溶蚀地貌呈阶梯式下降,依次为岩溶高地、岩溶上斜坡、岩溶下斜坡和岩溶洼地4个地貌单元.岩溶高地位于西侧,地势较高、地形相对平缓,该区溶蚀作用较

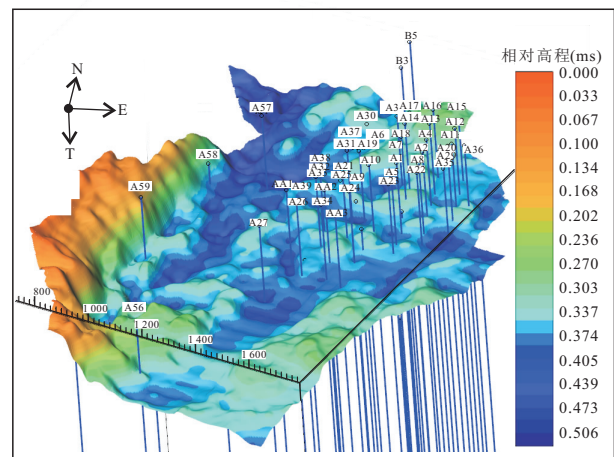


图6 KT-I层原始沉积古地貌

Fig.6 The pre-depositional palaeo-geomorphology of KT-I Formation

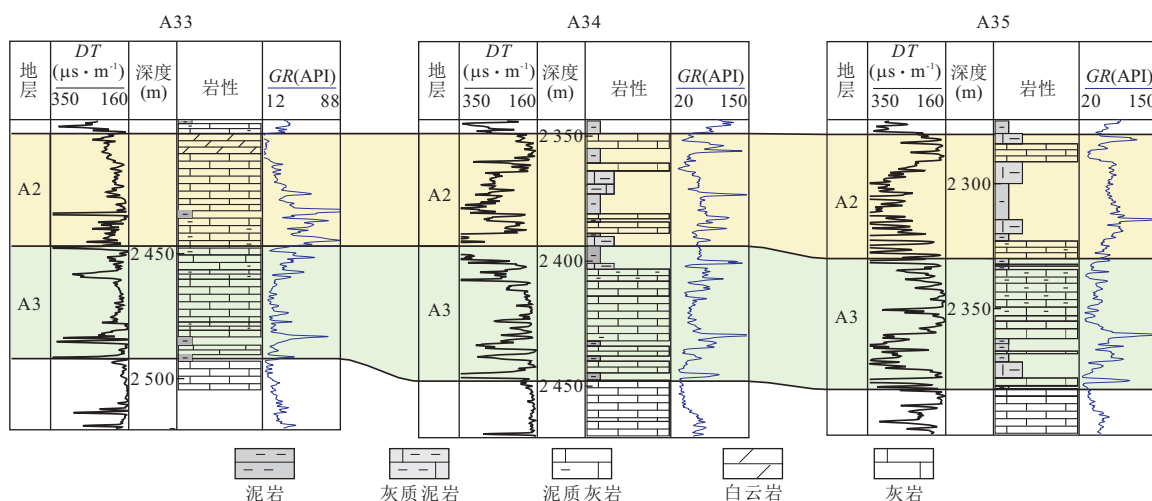


图 7 A33-A34-35 连井 A2+A3 层岩性对比剖面

Fig.7 The lithology correlation section of A2+A3 in wells A33-A34-35

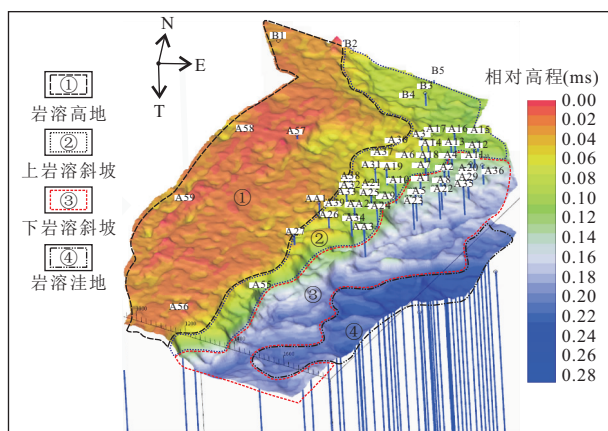


图 8 KT-I 层溶蚀古地貌

Fig.8 The karst-geomorphology of KT-I Formation

弱,储层次生孔隙不发育,在该区的 A57、A58 和 A59 中,均未在 A2+A3 小层中见到有效储层。岩溶上斜坡位于区块中部,位于岩溶高地东侧边缘区(黄绿色区),呈北东-南西向展布,北东方向宽西南方向窄,地形坡度向东倾斜且高低起伏变化较小,是淋溶作用强烈的地区,也是次生孔隙较发育的地带,可进一步识别出溶蚀浅槽、溶蚀坑和溶蚀残丘等次一级地貌形态,该区储层连续性好,是油田有利产区。岩溶下斜坡位于上斜坡区东侧,地势较低,其北东侧地形较陡,主要表现为向东倾斜的溶蚀浅槽、溶蚀坑和溶蚀残丘等次一级地貌形态,地形起伏变化较小,溶蚀作用强,储层连续性好,是油田主要产区;下斜坡中部及西南侧主要表现为向东倾斜的溶蚀阶地、溶蚀残丘、溶梁和溶沟等次一级地貌形态,尤其发育较大规模的溶沟,表明该区有季节性河流和汇水沟

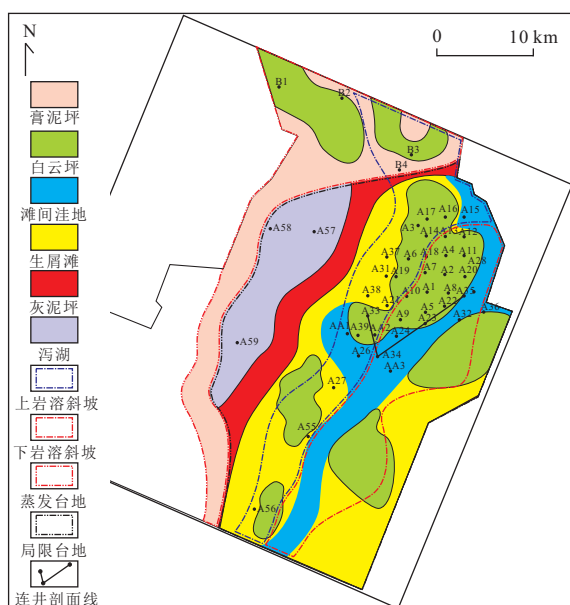


图 9 KT-I 层顶部 A2+A3 沉积相

Fig.9 The sedimentary facies of A2+A3 in KT-I Formation

槽,为岩溶水的排泄提供了通道,该区次生孔隙带主要发育在溶蚀阶地、溶蚀残丘、溶梁,但由于地貌起伏变化大、下切作用强,因此储层连续较差。岩溶洼地位于区块东侧,地势更低、地形相对平缓,周围沟槽或浅洼切割浅,为岩溶汇水区,该区充填、淀积作用强,岩溶空间充填程度较高,由于钙、泥质的充填胶结,形成致密岩性带,影响了储层的储集性能,但该区致密岩性往往是岩溶斜坡带油气成藏的侧向遮挡层(如 A35 井区 A2+A3 层泥岩、泥质灰岩)。

古地貌恢复及储层特征分析表明,研究区中易于白云岩化岩性分布区与岩溶斜坡区位置相一致,

目前所发现油田区主要位于岩溶斜坡区北东侧,结合单井储层岩性和地震属性分析完成了 KT-I 层 A2+A3 层沉积相图(图 9),有效储层分布与原始沉积古地貌中部凸起区(图 6)、溶蚀古地貌斜坡区(图 8)有良好的对应关系。从图 9 中看出,岩溶上斜坡区南部、下斜坡区东部和南部也有白云岩储层分布,是有利的目标勘探区。

综合分析储层特征、古地貌恢复、沉积相分布和试油资料,认为区块南部和东部也是有效储层分布区,因此提出了“向南扩大勘探场面,向东拓展勘探新区”的勘探思路,在 A27 井西南建议了 2 口探井均获得商业油流,在 A56 井南部钻探 1 口探井获日产油 28.8 m³,显示出南部良好的勘探前景,为油气勘探指明了方向。

4 结论

(1) M 区块 KT-I 层有利储集岩为溶蚀白云岩,岩性主要为残余生屑白云岩,粉—细晶结构;储集空间为晶间(溶)孔、粒内溶孔和生物体腔孔,岩石内溶孔溶洞发育。

(2) M 区块白云岩储层发育主要受原始沉积岩性、后期溶蚀作用等因素影响。原始沉积岩性是白云岩储层发育的物质基础,后期溶蚀作用是优质储层形成的保证。通过“残厚法”进行古地貌恢复认为 M 区易于白云岩化的原始沉积岩性分布区主要位于中部近南北向带状凸起区;通过“印模法”进行溶蚀古地貌恢复认为 M 区最有利溶蚀作用带位于中东部南北向带状分布的溶蚀斜坡区。

(3) M 区块有效白云岩储层分布在原始沉积古地貌凸起区与岩溶斜坡带叠合区,呈近南北向带状分布;沉积相研究和储层预测表明,岩溶斜坡区南部和东部也是有效储层分布区,其中上斜坡区南部是油田扩大勘探场面的现实目标区,下斜坡区东部是油田勘探的潜在目标区。

(4) 通过古地貌恢复和沉积相分析,预测了 M 区块有效白云岩储层发育区,指出了下一步勘探方向,并在南部取得了明显的勘探实效,表明古地貌恢复技术是该区储层预测的有效方法。

References

Bai, W. H., Lü, X. M., Li, X. J., et al., 2002. The Mode of Palaeokarstification and the Fine Reconstruction of the Palaeogeomorphology in the Karst Basin: Taking Ordo-

vician Karst in Eastern Ordos Basin for Example. *Geoscience*, 16(3): 292—298 (in Chinese with English abstract).

Fairbridge, R. W., 1957. The Dolomite Question: Regional Aspects of Carbonate Deposition. *Paleontologists and Mineralogists Spec. Publ.*, 5: 125—178.

Fan, J. S., 2005. Characteristics of Carbonate Reservoirs for Oil and Gas Fields in the World and Essential Controlling Factors for Their Formation. *Earth Science Frontiers*, 12(3): 23—30 (in Chinese with English abstract).

Flügel, 1989. Limestone Microfacies. Translated by Zeng, Y. F.. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Hohlt, R. B., 1948. The Nature and Origin of Limestone Porosity. *Colorado School Mines Quart.*, 43(4): 1—51.

Jia, Z. Y., Cai, Z. X., 2004. Carbonate Paleo-Weathered Crust Reservoirs (Body). *Geological Science and Technology Information*, 23(4): 94—104 (in Chinese with English abstract).

Jin, Z. J., Wang, J., Zhang, S. G., et al., 2007. Main Factors Controlling Hydrocarbon Reservoirs and Exploration Directions in the Pre-Salt Sequence in Pre-Caspian Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 29(2): 111—115 (in Chinese with English abstract).

Landes, K. K., 1946. Porosity through Dolomitization. *AAPG Bulletin*, 30(3): 305—318.

Liu, D. Z., Dou, L. R., Hao, Y. Q., et al., 2004. The Origin of Hydrocarbon Accumulation below the Lower Permian Salt Bed and the Prospecting in the East Part of Pre-Caspian Basin. *Marine Origin Petroleum Geology*, 9(1—2): 53—58 (in Chinese with English abstract).

Liu, L. F., Guo, Y. Q., Zhu, Y. X., 2007. Reservoir Characteristics and Oil-Bearing Characters of the Carbonate Reservoir Beds in the Pre-Salt Sediments of Pre-Caspian Basin. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 22(1): 53—58, 63 (in Chinese with English abstract).

Liu, L. F., Zhu, Y. X., 2007. Pre-Caspian Basin and Central Asia Oil & Gas Geological Characteristics. China Petrochemical Press Co. LTD., Beijing (in Chinese).

Liu, L. F., Zhu, Y. X., Hu, A. M., et al., 2002. Petroleum Geology of Pre-Salt Sediments in the Pre-Caspian Basin. *Journal of Southwest Petroleum Institute*, 24(3): 11—15 (in Chinese with English abstract).

Pan, J. G., Wei, P. S., Cai, Z. X., et al., 2012. Reservoir Architectural System in the Middle-Low Ordovician Carbonate Rock of Tazhong Areas in Tarim. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 37(4): 751—761 (in Chinese with English abstract).

- Jl. П. Мстиславская. Ren, Y., Tranlated, 2002. Ancient Tectonic Conditions of Syncline Oil-Gas Accumulation in Southeast Caspian Giant Platform. *Xinjiang Petroleum Geology*, 23(4): 351—354 (in Chinese with English abstract).
- Shi, X., Cheng, X. B., Wang, J., et al., 2012. Geochemical Characteristics of the Carboniferous KT- I Interval Dolostone in Eastern Margin of Coastal Caspian Sea Basin. *Journal of Palaeogeography*, 14(6): 777—785 (in Chinese with English abstract).
- Sun, S. Q., 1995. Dolomite Reservoirs: Porosity Evolution and Reservoir Characteristics. *AAPG Bulletin*, 79(2): 186—204.
- Wang, L. D., Shen, R. F., Lü, F. J., et al., 2004. Petroleum Geology Characteristics and Exploration Direction Analysis of Pre-Caspian Basin. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 23(2): 17—18 (in Chinese with English abstract).
- Warren, J., 2000. Dolomite; Occurrence, Evolution and Economically Important Associations. *Earth-Science Review*, 52(1—3): 1—81. doi: 10.1016/S0012—8252(00)00022—2
- Wu, L. Y., Chen, C. Q., Jiang, C. M., et al., 2005. Paleogeomorphic Restoring Techniques in China's Hydrocarbon Exploration. *Journal of Oil and Gas Technology*, 27(4): 559—560, 586 (in Chinese with English abstract).
- Xia, R. Y., Tang, J. S., Guan, B. Z., et al., 1999. Ordovician Palaeokarst Landform in Ordos Basin and Gas Enrichment Characteristics. *Oil & Gas Geology*, 20(2): 133—136 (in Chinese with English abstract).
- Xu, K. Q., 2011. The Oil & Gas Accumulation Characteristics and Exploration Practice in the Middle Block of Eastern Margin of Pre-Caspian Basin. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Yao, J., Wang, X., Wang, C. C., et al., 2013. The Influence of Carbonate Rocks Reservoir Parameters on Microscopic Flow. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 38(5): 1047—1051 (in Chinese with English abstract).
- Yao, J. L., Wang, L. P., Zhang, Q., et al., 2011. Controlling Factor and Distribution of Paleo-Karst Development in Ordovician of Southern Ordos Basin. *Natural Gas Geoscience*, 22(1): 56—65 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, B., Zheng, R. C., Wang, X. B., et al., 2011. Paleokarst and Reservoirs of the Huanglong Formation in Eastern Sichuan Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 38(3): 257—267 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, C. L., Zhu, X. M., 2001. Sedimentary Petrology. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Zhao, J. X., Chen, H. D., Shi, Z. Q., 2001. The Way and Implications of Rebuilding Palaeogeomorphology—Taking the Research of Palaeogeomorphology of the Ordos Basin before Jurassic Deposition as Example. *Journal of Chengdu University of Technology*, 28(3): 260—266 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, M., Wang, D. Y., Liu, J. F., et al., 2010. Favorable Conditions for Petroleum Accumulation by Paleogeomorphology before Deposition—Taking Lower Jurassic in Ziwuling Area, Ordos Basin as an Example. *Natural Gas Geoscience*, 21(3): 476—481 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. P., Mou, X. Q., Chen, L., 2009. Analysis on Main Diageneses and Controlling Factors of Carboniferous Carbonate Reservoirs in the Eastern Margin of Pre-Caspian Basin. *Geoscience*, 23(5): 828—834 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, R. C., Peng, J., Gao, H. C., 2003. Palaeokarst-Related Characteristics and Cycles of Carbonate Reservoirs in Huanglong Formation, Upper Carboniferous, Eastern Chongqing. *Geology-Geochemistry*, 31(1): 28—35 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 拜文华, 吕锡敏, 李小军, 等, 2002. 古岩溶盆地岩溶作用模式及古地貌精细刻画——以鄂尔多斯盆地东部奥陶系风化壳为例. *现代地质*, 16(3): 292—298.
- 范嘉松, 2005. 世界碳酸盐岩油气田的储层特征及其成藏的主要控制因素. *地学前缘*, 12(3): 23—30.
- Flügel, 1989. 灰岩微相. 曾允孚译. 北京: 地质出版社.
- 贾振远, 蔡忠贤, 2004. 碳酸盐岩古风化壳储集层(体)研究. *地质科技情报*, 23(4): 94—104.
- 金之钧, 王俊, 张生根, 等, 2007. 滨里海盆地盐下油气成藏主控因素及勘探方向. *石油实验地质*, 29(2): 111—115.
- 刘东周, 窦立荣, 郝银全, 等, 2004. 滨里海盆地东部盐下成藏主控因素及勘探思路. *海相油气地质*, 9(1—2): 53—58.
- 刘洛夫, 郭永强, 朱毅秀, 2007. 滨里海盆地盐下层系的碳酸盐岩储集层与油气特征. *西安石油大学学报*, 22(1): 53—58, 63.
- 刘洛夫, 朱毅秀, 2007. 滨里海盆地及中亚地区油气地质特征. 北京: 中国石化出版社.
- 刘洛夫, 朱毅秀, 胡爱梅, 等, 2002. 滨里海盆地盐下层系的油气地质特征. *西南石油学院学报(自然科学版)*, 24(3): 11—15.
- 潘建国, 卫平生, 蔡忠贤, 等, 2012. 塔中地区中—下奥陶统碳

- 酸盐岩孔洞—裂缝储集系统划分及其特征.地球科学——中国地质大学学报,37(4):751—761.
- Л.П.Мстиславская.任俞,译,2002.滨里海巨型台向斜东南部油气聚集的古构造条件.新疆石油地质,23(4):351—354.
- 石新,程绪彬,汪娟,等,2012.滨里海盆地东缘石炭系KT-I油层组白云岩地球化学特征.古地理学报,14(6):777—785.
- 王连岱,沈仁福,吕风军,等,2004.滨里海盆地石油地质特征及勘探方向分析.大庆石油地质与开发,23(2):17—18.
- 吴丽艳,陈春强,江春明,等,2005.浅谈我国油气勘探中的古地貌恢复技术.石油天然气学报:27(4):559—560,586.
- 夏日元,唐健生,关碧珠,等,1999.鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶地貌及天然气富集特征.石油与天然气地质,20(2):133—136.
- 徐可强,2011.滨里海盆地东缘中区块油气成藏特征和勘探实践.北京:石油工业出版社.
- 姚军,王鑫,王晨晨,等,2013.碳酸盐岩储层参数对微观渗流的影响.地球科学——中国地质大学学报,38(5):1047—1051.
- 姚泾利,王兰萍,张庆,等,2011.鄂尔多斯盆地南部奥陶系古岩溶发育控制因素及展布.天然气地球科学,22(1):56—65.
- 张兵,郑荣才,王绪本,等,2011.四川盆地东部黄龙组古岩溶特征与储集层分布.石油勘探与开发,38(3):257—267.
- 赵澄林,朱筱敏,2001.沉积岩石学.北京:石油工业出版社.
- 赵俊兴,陈洪德,时志强,2001.古地貌恢复技术方法及其研究意义——以鄂尔多斯盆地侏罗纪沉积前古地貌研究为例.成都理工学院学报,28(3):260—266.
- 赵敏,王多云,刘军锋,等,2010.沉积前古地貌对油藏成藏的有利条件分析——以鄂尔多斯盆地子午岭地区下侏罗统为例.天然气地球科学,21(3):476—481.
- 赵中平,牟小清,陈丽,2009.滨里海盆地东缘石炭系碳酸盐岩储层主要成岩作用及控制因素分析.现代地质,23(5):828—834.
- 郑荣才,彭军,高红灿,2003.渝东黄龙组碳酸盐岩储层的古岩溶特征和岩溶旋回.地质地球化学,31(1):28—35.