文章编号:1000-0550(2019)05-1044-14

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2019.006

裂后沉降期碳酸盐岩缓坡沉积响应及成储特征 ——以塔里木盆地下寒武统肖尔布拉克组为例

朱永进^{1,2,3},倪新锋^{1,2,3},刘玲利¹,乔占峰^{1,2},陈永权⁴,郑剑锋^{1,2}

1.中国石油杭州地质研究院,杭州 310023

2.中国石油天然气集团公司碳酸盐岩储层重点实验室,杭州 310023

3.中国石油勘探开发研究院,北京 100083

4.中国石油塔里木油田分公司,新疆库尔勒 841000

摘 要 裂后充填阶段的碳酸盐岩缓坡沉积已逐渐成为深层油气勘探的重点领域之一。以塔里木盆地下寒武统肖尔布拉克组为例,基于最新拼接处理42条二维地震大测线、柯坪地区9个剖面点及12口完钻井测井及取芯等资料,系统开展了其沉积前古构造格局及岩相古地理响应特征、储层宏观分布与内部结构差异等研究。结果表明:1)沉积期盆内发育"三隆两洼"古构造格局,对肖尔布拉克期碳酸盐岩缓坡体系(组合)内部分异产生明显控制作用,高能颗粒滩及丘滩带分布在古隆起周缘,古洋流进一步复杂化了沉积物构成,划分出塔西南古隆起北缘颗粒滩为主的坡坪式缓坡、柯坪一温宿低隆起丘滩复合体均斜型缓坡、轮南一牙哈低隆起丘滩复合体孤岛型缓坡;2)古隆起周缘中缓坡高能相带构成了肖尔布拉克组储层发育的重要载体,早期云化作用有效保存了原始孔隙,埋藏期以先期孔隙为基础进一步调整改造,预测规模储层主要分布于三大古(低)隆区周缘高能丘滩带内,面积达9×10⁴ km²。不同类型缓坡体系的储层差异明显,其中坡坪式缓坡的颗粒滩储层以Ⅱ类储层为主、分布稳定为特点,最具规模性,可作为下一步油气勘探的重点关注区带。基于实例解剖认为,裂后沉降期碳酸盐岩缓坡体系分异具明显受构造控制

关键词 裂后沉降期;缓坡;规模储层;肖尔布拉克组;塔里木盆地

第一作者简介朱永进,男,1984年出生,博士,工程师,深层碳酸盐岩沉积储层及风险评价,E-mail:zhuyj_hz@petrochina.com.cn 中图分类号 P618.13 文献标志码 A

0 引言

碳酸盐岩缓坡是地质历史中一类常见的台地类型,具有地形平缓、缺乏障壁的基本特征,可以出现在不同的构造地质背景之中,如拉张盆地、克拉通盆地和被动陆缘等以及不同的构造演化阶段^[11]。然而,地质学家们对其研究远不如镶边型台地和孤立台地,油气勘探中更是如此。随着深层油气勘探的不断推进,缓坡型碳酸盐岩台地的勘探地位日益凸显。例如四川盆地龙王庙组近年获得了控制含气面积1606 km²,储量高达6000×10⁸ m³的重大勘探发现,为一规模、整装、高效的特大型气藏^[2];塔里木盆地塔中隆起区下寒武统肖尔布拉克组内获得日产15.8×10⁴ m³的战略突破,标志着寒武系盐下白云岩层系原生油气藏的发现

及成为重要接替领域的现实性^[3];中东地区阿曼盆地 主要油气产层新元古界一下寒武统的Khufai组、Buah 组及Ara群均为碳酸盐岩缓坡沉积或以缓坡为主,其 优质的缓坡成因储层为大型油气藏的发育提供了重 要载体^[4-5]。不难发现,以上勘探案例中的缓坡型碳酸 盐岩台地在发育背景上具有一个共同特征,即均发育 于裂谷体系相关的小型克拉通盆地之内且以裂后沉 降阶段早期为主。裂后沉降期利于聚集成藏主要受 益于小克拉通自身规模小、构造活动性强的特点^[6],一 方面能够为关键成藏要素的发育提供有利背景条 件^[2,7],如四川盆地震旦系德阳—安岳裂陷槽内充填了 近千米的优质烃源岩,为龙王庙组特大型气藏的发育 提供了重要物质保障,另一方面也使得其后续沉积序 列打上了构造的"印记"。

收稿日期:2018-06-14;收修改稿日期:2019-01-19

基金项目:国家重大科技专项(2016ZX05004-002);中国石油重大科技项目(2018A-0105,2018A-0103)[Foundation: National Science and Technology Major Project, No.2016ZX05004-002; Key Project of the PetroChina Research Program, No. 2018A-0105,2018A-0103]

塔里木盆地下寒武统肖尔布拉克组是震旦—寒 武系区域不整合之上第一套浅水碳酸盐岩沉积,不 仅记录了盆地在受罗迪尼亚(Rodinia)超大陆裂解诱 发裂谷体系的裂后沉降阶段的沉积响应¹⁸¹,而且与下 覆优质玉尔吐斯组烃源岩及上覆中寒武统厚层蒸发 岩构成典型蒸发盐成藏组合,已成为当前油气勘探 亟待重点突破的层系。尽管多位学者已指出塔里木 盆地早寒武世为缓坡一弱镶边台地沉积,肖尔布拉 克组具备发育规模储层潜力[3.9]。然而,随着关键风 险探井新和1井在原塔北"台缘带"回钻揭巨厚泥晶 灰岩及玉龙6井缺失目的层而相继失利,表明肖尔布 拉克期缓坡除具缓坡型碳酸盐岩台地自身"长距离 岸线迁移、高能带具游荡性"特征外,内部亦存在明 显的构造分异性,明确沉积期构造—岩相古地理特 征及相关规模储层分布已成为制约下一步勘探部署 的关键问题之一。本文以肖尔布拉克组碳酸盐岩缓 坡为例,利用最新处理42条二维地震大测线、柯坪地 区9个剖面点及12口完钻井资料等,以勘探需求为 基本出发点,重点讨论了三个方面的问题:肖尔布拉 克组沉积期构造格局及岩相古地理响应特征,规模 储层分布以及裂后沉降阶段碳酸盐岩缓坡沉积—储 层发育模式。

1 区域地质背景

塔里木盆地是一个夹持于北部天山山脉和南部 昆仑山脉之间,东侧以阿尔金断裂带为界的大型含 油气叠合盆地,面积达56×10⁴ km²。塔里木盆地在形 成一演化过程中跨越了多个重大构造变形期,造就 了现今群山环绕、盆内"四隆五坳"的构造格局,各构 造单元基底分异明显,具不同构造一沉积单元演化 史(图1a,b)^[11]。区域构造热事件、沉积地层序列及 古地磁研究成果表明,自南华纪初至下古生界早期, 塔里木盆地经历了一次区域强伸展构造运动,与罗 迪尼亚超大陆及冈瓦纳大陆聚合--裂解事件密切相 关^[8,12-13]。随着罗迪尼亚超大陆裂解,塔里木陆块与 西南的羌塘地块、东北侧的准噶尔地块及北侧的中 天山地块相继分离^[11],板块内部也出现了裂谷相玄武 岩,标志着盆地进入裂谷盆地发育阶段,并先后经历 了裂谷初始发育阶段(南华纪初)→裂谷发育及火山 活跃阶段(南华纪)→裂谷鼎盛及海侵阶段(震旦纪) →裂后沉降克拉通发育阶段(寒武纪)^[14]。裂谷体系 整体呈近北东一南西走向,按照现今位置可以划分

为塔东北裂陷、塔西南裂陷及塔西北裂陷三个分支, 裂陷区与南北两侧高隆带构成"两隆夹一坳"的宏观 构造格局。震旦纪末,受柯坪运动影响,造成盆地范 围内南华一震旦系不同程度的剥蚀,发了震旦一寒 武系之间大型不整合的同时,除塔西北裂陷区明显 抬升外基本保持了前期古构造格局,呈现出南高北 低、西高东低的整体特征^[15]。盆地内则进一步分异出 本文所提"三隆两洼"古构造格局,对早寒武世沉积 产生了重要影响。

塔里木盆地南华系--震旦系沉积了巨厚的以粗 碎屑为主,夹泥岩、碳酸盐岩的地层,期间伴随着多 套火山喷发岩、侵入岩及4套冰碛砾岩,记录了裂谷 体系初始发育---鼎盛阶段构造---沉积响应特征。寒 武纪早期,塔里木盆地进入裂后沉降阶段,广泛发育 碳酸盐岩台地环境,周缘为被动大陆边缘斜坡围绕 (图 1c)^[11]。下寒武统自下而上依次发育玉尔吐斯 组、肖尔布拉克组及吾松格尔组。玉尔吐斯组是一 套黑色泥页岩、含磷质结核薄层硅质泥岩为主,夹薄 层泥晶云岩/灰岩的海泛期深水缓坡,是目前最落实 的一套有效烃源岩[18]。肖尔布拉克组是研究的重点, 区域上可以划分为肖下段和肖上段,构成一个海退 期三级层序。肖下段下部,发育薄层纹层状藻纹层 与凝块岩,局部可见小型微生物丘(如方1井及苏盖 特布拉克剖面);肖下段上部则为薄--厚层状微生物 岩(凝块岩为主),层厚自下向上变大,内部结构出现 凝块状、砾屑状,表明水体能量逐渐增强;肖上段下 段以微生物丘滩体和(藻)砂屑滩发育为主要特征, 为主要储集相发育段,为本文研究重点;肖上段上部 发育泥晶云岩或藻纹层云岩,夹颗粒云岩,见泥裂、 帐篷构造及叠层石,为内缓坡潮坪相。吾松格尔组 整体表现出薄—中层泥质白云岩与泥粉晶白云岩互 层的特征,局部见膏盐岩。随着古气候变的干旱炎 热及台地自身"桶状"结构的发育,中寒武统发育了 广布的厚层蒸发岩,前期洼地处最厚,达400m以上, 构成了区域的优质直接盖层^[9]。

2 构造一岩相古地理特征

依据盆地范围内完钻井、露头区剖面及2D地震 大测线对比结果,提出了肖尔布拉克组沉积前盆内 发育"三隆两洼"古构造格局,并直接控制了缓坡体 系的整体发育特征,尤其是高能储集相的分布(表 1)。所谓"三隆"是指南部的塔西南古隆和北部的柯

构造 背景

岩性 组合 台地 演化

膏盐岩组合

岩性剖面





图 1 塔里木盆地构造分区简图(a);南北向构造一地层结构剖面(TLM-Z250线)(b);

地层综合柱状图(c)(据文献[16-17]修改汇编)

Fig.1 (a) Sketch map of tectonic units in the Tarim Basin; (b) south-north oriented structural-stratigraphic section (Line TLM-Z250); and (c) composite stratigraphic section of Tarim Basin from Precambrian to mid-Cambrian

表1 塔里木盆地下寒武统肖尔布拉克组沉积期各构造单元沉积储层特征

Table 1 Characteristics of sedimentation and reservoirs of different geomorphological units in the Lower Cambrian Xiaoerbulake Formation, Tarim Basin

			-	
	塔西南古隆起北缘	柯坪一温宿低隆	轮南低隆	台内洼地+盆地
古海洋背景	水体交换顺畅	相对局限静水海湾	面向广海	较深水低能区域
古地貌特征	"台阶式"坡降	均斜斜坡	均斜斜坡	复合型
缓坡类型	均斜型+远端变陡型	均斜型	远端变陡+均斜型	/
			或类"孤立台地"	
代表岩性	颗粒云岩(砂屑云岩与	微生物岩(叠层石、凝块石、藻砂屑云岩)	藻黏结云岩与	泥晶灰岩、(含球粒)泥粉晶云岩及层纹
组合	鲕粒云岩为主)		颗粒云岩组合	岩等
垂向序列	向上变浅/变粗	向上变浅/变细	向上变浅变粗/变细	向上云化程度增加
储集空间	粒间孔、粒内溶孔、体腔孔等	藻格架孔、粒间溶孔、晶间孔等	藻格架孔等	/
储层质量	Ⅱ类为主	Ⅰ—Ⅱ较发育	I−II为主	/
储层非	弱	中一弱	中——弱	,
均值性				/
储层发育	带状、片状	块状	块状/条带状	/

坪一温宿低隆、轮南一牙哈低隆;"两洼"是指南北高 隆起之间的台内洼地及东部盆地。需要说明的是, 虽然本文采用了"隆起/低隆"的概念,但特指肖尔布 拉克期平缓宏观地貌中的正向地貌单元,继承于同 裂谷期的古地貌,裂后沉降阶段的差异沉降使之进 一步分异。

第5期

2.1 "三隆两洼"古构造格局

塔西南古隆是肖尔布拉克组沉积前最为落实、规 模最大的古隆起,位于现今盆地西南,划分为东西两 段(图2)。其中,古隆西段为麦盖提东南80km处至 和田一带,长约360km,走向北西一南东;东段则自和 田至且莫,延伸570 km,走向西南一东北。塔西南古 隆起源于前寒武纪,受柯坪运动改造后定型。截至目 前,玉龙6井和塔参1井两口井缺失整个下寒武统地 层(图2),直接由中寒武系进入前寒武系地层,证实了 古隆起的客观存在(图3),而非前人主张的"塔西南洼 地"[19]。地震同相轴追踪结果也有力的支撑了这一观 点(图4),表现出下寒武统沉积地层依次向南超覆尖 灭于古隆侧翼,中寒武统地层则直接披覆沉积于古隆 之上。塔西南古隆北缘整体表现为"台阶式"坡降特 点。一方面具有"大平台"的特征,自东向西平台逐渐 变宽,平均超过30km,至现今巴楚隆起和4井区达到 最大,为115km。平台之上肖尔布拉克组沉积厚度稳 定,以肖上段为主,为39~68 m,在超过200 km的距离 内沉积厚度仅增加20余米,计算坡度小于1°。另一个 方面,古降向台内洼地过渡带则地层厚度迅速增大, 厚度等值线密度明显加大,如图3所示由楚探1井至 和4井,肖尔布拉克组厚度迅速由68m增大至近 230 m,存在一个类似于"坡折带"的地貌(图 3)。

柯坪-温宿低隆位于现今乌恰至阿克苏-带, 走向南西至北东,延伸长度约520 km,宽约80 km, 整体向东、东南方向倾斜,与塔西南古隆和田一且 末段近于平行。本文之所以将柯坪—温宿古隆和 轮南一牙哈古隆定义为低隆区,主要是因为两隆之 上或周缘均发育玉尔吐斯组烃源岩,明显有别于塔 西南古隆区,推测沉积期二者相对位置低于塔西南 古隆区。限于现今柯坪—温宿地区存在多排挤压 推覆构造及复杂地貌等因素,地震资料品质尚不能 够很好的满足沉积地层刻画要求,柯坪地区露头群 剖面是支撑论文观点的主要证据资料(图5)。柯坪 一温宿古隆起的乌西1井至同1井附近,缺失下寒 武统地层,向东则与塔西南古隆北缘类似,被下寒 武统沉积地层超覆。由奥依皮克剖面向其西南方 面的昆盖阔坦剖面,再至方1井对比证实:肖尔布拉 克组沉积稳定,向延伸方向地层逐渐增厚,为120~ 200 m, 无突然增厚的区域, 反映出古隆侧缘具均斜 地貌的特点。本文观点与朱光有等[18]对于下伏玉尔 吐斯期沉积地貌认识不谋而合,自奥依匹克向东南 存在着水体逐渐加深的趋势。最新在奥依匹克剖 面获得的混积样品(图6a)也支持了该时期发育一 古隆起的推测,推翻了前人关于该区域为台前斜坡 的认识[20-21]。





图 3 塔西南隆起带北缘下寒武统沉积地层对比剖面(位置见图 2)

Fig.3 Correlation profile of the Lower Cambrian at the northern margin of the SW Tarim uplift (see Fig.2 for location)



图 4 塔西南古隆区地震地层剖面(位置见图 2) Fig.4 Seismic stratigraphical section of the SW Tarim uplift (see Fig.2 for location)

轮南一牙哈低隆位于现今轮南至牙哈地区,西 以牙哈5至跃南2井一带为界、东至塔深1井区,整体 呈近南北走向,南北长约170 km,东西宽约80 km。 虽然截至目前仅牙哈5井钻揭下寒武统地层,暂无法 准确落实肖尔布拉克组的垂向岩相序列,但丰富的 前积反射为落实古隆起的分布提供了有力的证据。 一方面研究组通过盆内6口碳同位素曲线横向对比 (内部交流,暂未发表)及薄片岩性分析证实了牙 哈5井钻揭富藻层段地层归属为肖尔布拉克组上段 且为藻白云岩(图6i),与周缘的新和1井厚层泥晶灰 岩相比而言,可以合理推测牙哈5井处于一个相对高 的地貌,利于早期云化作用的发生。另一个方面在 牙哈5井一跃南2井处首次刻画出了一条前积反射 带(图7a,b),距离新和1井40~60 km,推翻了以往新和1井为"北部台缘带"的观点^[10,21];同时,东部沿塔深 1井发育前积反射带则已经基本成为共识(图7a),不 再赘述。前积反射带之间区域呈平行一丘状反射, 局部可见前积现象。基于这两个方面的证据,提出 了轮南一牙哈地区在早寒武世发育一控沉积低隆。

南北两高隆带之间的洼地主体位于现今满加尔 坳陷一带,北东一南西走向,目前尚无钻井揭示,主 要依据前积反射带、地貌陡坎及前人地磁异常等证 据界定,厚度普遍超过200m,局部可达260m以上。 在麦盖提附近存在一局部厚度增大区,并且受玛北1 一巴探5的低梁遮挡,厚约120m。另一个洼地则是 现今的东部盆地,沉积厚度稳定,约40~120m。



图 5 柯坪一温宿低隆区典型露头照片(a)及与钻井沉积地层对比剖面(b,位置见图 2)

Fig.5 (a) Photograph of typical outcrop from the Sugaitebulake section, and (b) basic interpretation and correlation profile between seven outcrops and two wells at the marginal area of Keping-Wensu lower uplift (see Fig.2 for location)



图 6 塔里木盆地下寒武统肖尔布拉克组典型岩相宏观与微观照片 a.砂质云岩,陆源石英颗粒分选中等一好,磨圆好,肖尔布拉克组底部,奥依皮克剖面;b.含陆源碎屑泥粉晶云岩, 肖尔布拉克组,6182 m,岩屑片,单偏光;c.帐篷构造,肖尔布拉克剖面,肖尔布拉克组,露头照片;d.(藻)砂屑颗粒 云岩,准层状分布,苏盖特布拉克剖面,肖尔布拉克组,露头照片;e.藻砂屑云岩,苏盖特布拉克剖面,肖尔布拉克组 上段,蓝色铸体;f.藻格架云岩,藻格架孔发育,苏盖特布拉克剖面,肖尔布拉克组,蓝色铸体;g.鲕粒云岩,粒间孔发 育,CT1井,7767.6 m,蓝色铸体,单偏光;h.藻叠层白云岩,ST1井,1885.6 m,蓝色铸体,单偏光;i.藻格架云岩,格架 孔被白云石完全充填,Yh5井,6396.86 m,粉色铸体,单偏光

Fig.6 Photographs and micrographs of typical lithofacies of the Lower Cambrian Xiaoerbulake Formation in the Tarim Basin

2.2 岩相古地理响应特征

依据22口钻井、柯坪露头区10个剖面点及覆盖 全盆地42条最新处理2D地震大测线及部分3D数据 完成了肖尔布拉克组期岩相古地理的恢复重建,发 现"三隆两洼"古构造格局对这一时期岩相古地理的 分异具有明显的控制作用。即便经过了玉尔吐斯组 和肖尔布拉克组沉积期的填平补齐,肖上段的古地 理分异依然具有强烈的"构造印记"(图8),整体表现



 · 店主木盆地下委員先日が希望先星英室地長前状況新時間(位置免留2 a. 过轮南一牙哈低隆区;b.轮南一牙哈低隆西侧;c.塔中32井区

 Fig.7 Progradational reflectance seismic section of the Lower Cambrian
 Xiaoerbulake Formation, Tarim Basin (see Fig.2 for location)

 a. bidirectional progradational reflection crossing the Lunnan-Yaha lower uplift; b. western side of the Lunnan-Yaha lower uplift; c. TZ32 Well area

为具"南高北低、西高东低"宏观特征的大型碳酸盐 岩缓坡体系(组合),内部进一步划分为三个围绕古 隆发育的缓坡,各自特征不尽相同。早寒武世影响 塔里木板块的古洋流方向为自北东向西南方向^[22],受 古构造格局的影响造成体系内部水体能量的差异, 进而影响了三个缓坡的沉积物构成。其中,塔西南 古隆北缘及轮南一牙哈低隆的东侧直接面向洋流 (广海),水体能量较高,以颗粒滩沉积为主;轮南一 牙哈西侧及柯坪—温宿地区能量则相对低,沉积以 丘滩复合体为主。据此,将它们分别命名为塔西南 古隆北缘颗粒滩为主的坡坪式缓坡、柯坪—温宿低 隆丘滩复合体均斜型缓坡及轮南—牙哈低隆丘滩复 合体孤岛型缓坡。

塔西南古隆北缘颗粒滩为主的坡坪式缓坡发育 于塔西南古隆起北缘平缓地貌之上,自古隆带向盆 地方向依次发育了古隆→混积坪→内缓坡潮坪→中 缓坡颗粒滩→台内洼地→中—外缓坡→盆地等(亚) 相带(图3,8),缓坡类型以均斜型为主,局部可见远 端开始变陡的现象(如塔中32井区,图7c)。平缓的 地貌及直接面向广海的地理位置使得中缓坡颗粒滩 相较发育,分布于麦盖提一巴探5井—和4井—线至 塔中32井之间,西宽东窄,宽50~130 km,较古隆略 宽,反映出前期填平补齐及缓坡性台地侧向迁移的 效应,预测面积达4×10⁴ km²。颗粒滩带以鲕粒滩、砂 屑滩沉积为主(图3、图6g),垂向上具单层厚度大、滩 地比高的特征,如楚探1井单层厚度可达10 m,累计 厚度53 m,滩地比77.9 %。局部夹有泥粉晶砂屑云 岩,构成了结构上的向上变粗的变浅旋回。向南部 古隆方向,泥质泥晶云岩的比例增加,开始出现藻云 岩及含陆源碎屑的混积沉积特征(图6b);向台内洼 地方向,鲕粒/砂屑云岩过渡为云灰互层的低能相带, 乃至泥晶灰岩相。

柯坪—温宿低隆丘滩复合体均斜型缓坡是柯坪 —温宿地区均斜的地貌和相对局限的水体动能联合 作用的结果。自古隆向盆地方向依次发育古隆→混 积坪→内缓坡潮坪→中缓坡丘滩复合带→中—外缓



Fig.8 Paleogeographic map of the Lower Cambrian Xiaoerbulake Formation, Tarim Basin

坡→盆地等。中缓坡丘滩复合带是该缓坡体系的特 色,以准层状藻屑滩覆盖于规模不等的微生物丘之 上为主要特征,偶见少数微生物丘嵌于藻屑滩内,表 现出"小丘大滩"组合。柯坪露头区剖面及隆起南缘 钻井均揭示了这套丘滩复合体,尤其以苏盖特布拉 克、昆盖阔坦等露头剖面及舒探1井最为典型 (图6d~f,h),均分布在肖尔布拉克组上段,呈向南进 积趋势(图5、图6c)。微生物丘状体呈上拱丘状,高 7~21 m,宽达50 m;上覆藻屑滩的侧向延伸超出露头 范围,仅在肖尔布拉克剖面已至少超过28 km(露头 长度),预测丘滩复合体面积达3.3×10⁴ km²。

轮南一牙哈低隆丘滩复合体孤岛型缓坡呈"孤岛"状披覆在轮南一牙哈低隆之上,被地势低洼区的中一外缓坡相环绕,缺失内缓坡混积坪—潮坪相带。 该缓坡具有明显的东西分异特征,即东侧边缘面向广海,位于"迎风面"位置,相对较陡,以加积—进积为 主,推测以丘滩复合体为主,具远端变陡的特点,中— 晚寒武世迅速发育成强进积型台缘复合体;西侧亦表 现出一定的加积特征,但是相对平缓,具有均斜缓坡 的特征。结合牙哈5井的藻格架薄片(图6i),推测轮 南一牙哈低隆区西侧以低幅微生物丘为主。东西两 侧之间区域地震反射以丘状为主,局部可见无固定方 向加积—进积特征,可能为微生物丘—丘滩复合体过 渡沉积,预测丘滩复合体面积达1.38×10⁴ km²。

3 储层发育特征

塔里木盆地下寒武统肖尔布拉克组主要发育两 大类储层,分别为颗粒滩储层和藻丘储层,受相控特 征明显(图9)。三大受古(低)隆约束的碳酸盐岩缓 坡体系因沉积响应特征存在明显差异,使得这两大 类储层在它们之中发育程度及特征并不尽相同,主 要体现在储层类型与空间特征、及宏观分布规律和 内部非均质性等方面。

3.1 储层类型与空间特征

塔西南古隆北缘缓坡体系的储层以颗粒滩储层 为主,以楚探1井为例进行阐述其特征。楚探1井在 肖尔布拉克组7725~7798m井段内发育多期厚层颗 粒滩储层,以(残余)鲕粒云岩、砂屑云岩为主,以粒 间(溶)孔为主要储集空间,可见粒内溶孔及生物体 腔孔(图9e),总体以基质孔隙为主,孔隙度2.9%~ 4.8%,平均3.65%。

柯坪一温宿低隆周缘缓坡体系的储层为颗粒滩 储层和藻丘储层的复合体,以柯坪露头区苏盖特布 拉克剖面及舒探1井为例进行介绍,它们均在肖尔布 拉克组上段发育藻丘储层且被颗粒滩储层覆盖。藻 丘储层岩性以藻格架云岩、藻凝块云岩、泡沫棉藻云 岩、叠层石云岩为主。储集空间类型则主要为藻格 架孔,受藻架原始形态控制,典型的原生孔隙



图 9 塔里木盆地下寒武统肖尔布拉克组储层典型宏微观照片 a.藻砂砂屑云岩,粒间孔发育,肖尔布拉克组,1916.6 m,ST1井,岩芯薄片;b.藻砂屑云岩,粒间空发育,肖尔布拉克组,1916.6 m,ST1 井,铸体薄片;c.残余颗粒结晶云岩,晶间溶孔发育,肖尔布拉克组,1916.8 m,ST1井,铸体薄片;d.藻格架岩,格架孔发育,白云石部分 充填,肖尔布拉克组,1885.6 m,ST1井,铸体薄片;e.生屑鲕粒云岩,粒间溶孔、体腔孔发育,局部可见颗粒为线接触,受压实作用改造, 肖尔布拉克组,7767.6 m,CT1井;f.泡沫棉白云岩,球状藻密集发育,膏模孔和鸟眼孔发育,肖尔布拉克剖面,铸体薄片 Fig.9 Photographs and micrographs of typical Lower Cambrian Xiaoerbulake

Formation, Tarim Basin

(图9d-f),孔隙度1.4%~7.5%,平均4%。上覆的颗粒 滩储层与塔西南古隆北缘有所不同,储层岩性以藻 砂屑云岩、黏结颗粒云岩及结晶(残余)颗粒云岩为 代表,粒间(溶)孔及晶间孔为主(图9a~c),孔隙度 1.5%~10.8%,平均4.2%。

轮南一牙哈低隆区中缓坡丘滩储层至今尚无钻 井揭示,但推测与柯坪一温宿低隆去缓坡储层类型 及空间特征相类似。

3.2 储层成因

尽管三大古(低)隆周缘缓坡体系在储层类型及 组合方面存在明显差异,但它们在形成与演化方面 却具有一定相似性,即中缓坡高能沉积相带与早期 白云岩化作用联合控制了有效储层的发育与保存, 并在埋藏期进一步受到调整改造。关于肖尔布拉克 组储层成因的相关研究,尤其是从多参数地球化学 及高温高压岩溶模拟实验角度,研究组已另文发 表^[23-24],不再赘述,仅概述其基本过程及特征。

物质基础提供孔隙:中缓坡颗粒滩相和藻丘相 是储层发育的物质基础。相对高能环境下形成的多 孔沉积物是储层发育的最原始物质基础,孔隙以颗 粒滩的粒间孔和藻丘的藻格架孔为主,它们本身就 是很好的储集空间,更是为后期成岩流体的运移提 供了有效通道。颗粒滩和藻丘的发育又受古地貌、 高频层序旋回等控制,使它们在准同生期易受大气 淡水淋滤的改造。

早期云化保存孔隙:按照发生的先后顺序,白云 岩化可划分为准同生—浅埋藏和中—晚埋藏两个阶 段。第一阶段白云岩化作用具有速度快、晶粒细,往 往能够很好保留原岩结构的特点。无论露头还是井 下,肖尔布拉克组储层绝大多数很好的保留了原始 沉积结构,即便后期彻底云化,原始的颗粒形态仍依 稀可见。多参数地球化学分析也证实了肖尔布拉克 组白云岩形成于准同生—浅埋藏期,主要是回流渗 透白云岩化作用的产物。白云岩良好的抗压实能力 使得原始孔隙得以保存,以粒间孔和藻架孔为主,并 成为目的层主力储集空间类型。

埋藏阶段改造孔隙:高温高压岩溶模拟实验已 证实,在开放一流动体系下,埋藏溶蚀作用以改造先 期储层为主,改造强度对先期物性的依赖度甚至超 过了岩相本身。无论是颗粒滩型还是藻丘型先期有 效储层均为晚期溶蚀提供了改造基础,已在露头和 井下得到充分验证,现今肖尔布拉克组储层多为基 质孔的溶蚀扩大。

3.3 规模储层预测及宏观非均质性

3.3.1 规模储层预测

三大古(低)隆控制了中缓坡高能的颗粒滩和 丘滩复合体的发育,而它们进一步构成了有效储层 的重要物质基础,使得塔里木盆地下寒武统肖尔布 拉克组规模储层的预测成为可能,且能够满足前期 风险勘探的需求。145个样品的物性统计结果表 明:中缓坡各类储集岩相平均孔隙度2.74%~5.5%, 平均渗透率(0.034~1.657)×10⁻³ μm²,以粒间(溶)孔 或晶间孔为主的藻砂屑云岩及细晶云岩表现为中 一高孔、中高渗型储层,其余则主要为中一高孔、低 渗型储层,这也再次反映了储层的孔一喉形态受控 于原始岩石结构(图9d)。外缓坡带的24个样品孔 隙度平均值最大仅为1.18%,明显低于有效储层的 下限阀值1.8%,不构成储层。内缓坡带的33个样 品反映出具备发育有效储层的可能,如黏结藻云岩 的平均孔隙达2.98%,但因其比例较低,亦未构成主 体。综上,研究认为肖尔布拉克组规模储层主要分 布在三大古(低)隆周缘的中缓坡高能相带内,分布 面积超过9×10⁴ km²。

3.3.2 宏观非均质性

虽然分布三大古(低)隆周缘的中缓坡带均具有 发育规模储层的潜力,但因古隆自身特点及古洋流 的影响造就了沉积结构的差异,这使得各中缓坡带 的储层宏观非均质不尽相同。

塔西南古隆北缘的中缓坡储层带以颗粒滩储层 为主,储层质量以Ⅱ类为主,宏观非均质性弱。平面 上,储层发育严格受控于颗粒滩带的分布,于隆起北 缘大平台之上连片发育,整体成带状、片状,预测面 积达4×10⁴ km²。纵向上,高频海平面升降旋回使得 多期次颗粒滩储层与非储层间互发育(图3),单层厚 度最大可达10 m,滩储比高达65%。

5.04 中缓坡 3.79 3.91 (n=6) (n=28) 中缓坡 外缓却 外缓地 . 1.5 平均孔隙度/% ^五均渗透率/×10⁻³ $2.98 \\ n=10$ 0.768 (*n*=28) 1.56 0.366 (n=8) =10) 0.102 0.036 0.007 0.034(n=25) 0.007 (n=6) =10) =10) =10) 球粒泥 泥粉晶云 晶云岩 岩(肖下) 泥粉晶云 黏结藻 岩(肖上) 云岩 藻格架 细晶(砂屑) 层纹岩 云岩 云岩 球粒泥 泥粉晶云 晶云岩 岩(肖下) 泥粉晶云 黏结藻 岩(肖上) 云岩 藻凝块 云岩 叠层石 藻砂屑 云岩 云岩 藻凝块 叠层石 藻砂屑 藻格架 细晶(砂屑) 层纹岩 云岩 云岩 云岩 云岩 图 10 塔里木盆地下寒武统肖尔布拉克组物性统计图 a.平均孔隙度;b.平均渗透率

柯坪—温宿低隆周缘的中缓坡带储层为颗粒滩

储层和藻丘储层的复合体,具"下丘上滩、小丘大滩" 的宏观非均质特征,强度中一弱,I和II类储层均有 发育。平面上,储层发育亦严格受控于岩相的分布, 沿着古隆周缘稳定发育,如肖尔布拉克剖面建模结 果证实至少在28 km范围内储层分布稳定在28.4~ 36.7 m。宏观非均质性主要表现藻丘一丘间一藻丘、 藻丘一颗粒滩等之间的过渡,储层呈块状发育,预测 面积达3.3×10⁴ km²。纵向上,差异最为明显。如图 10所示颗粒滩储层与藻丘储层在孔隙度方面差异仅 1~2倍,然在渗透率方面却存在高达数倍甚至一个数 量级的差异,势必会加剧储层非均质程度,主要表现 为下丘上滩的差异,单层厚度变化较大,储层占丘滩 复合体的厚度比例可达80%。

轮南一牙哈低隆之上的中缓坡带储层尚无钻井 揭示,依据地震剖面揭示沉积结构,推测其宏观非均 质性与柯坪一温宿低隆区储层类似,强度中一弱。 平面上东部"迎风面"建隆带储层呈条带状,西侧"背 风面"则以块状/片状为主,预测面积达1.38×10⁴ km²。

4 裂后沉降期碳酸盐岩缓坡沉积—储 层发育模式

裂谷盆地进入裂谷沉降演化阶段之后,构造整体趋于稳定的同时,继承于同裂谷期的不同构造单 元基底沉降差异依然能够对同期沉积体系的发育特 征产生明显影响,早期阶段更是如此。沉积期地貌 平缓(坡度通常<1°)是碳酸盐岩缓坡体系的典型特 征,正因如此,对其沉积—储层的发育造成两个直接 影响^{[51}:一是平缓的地貌通常伴随着岸线的长距离迁 移,即便海平面升降幅度很小,使得高能沉积相带的 分布具明显的"游走性",给钻前预测增加了难度;二 是高能沉积相带较易于暴露,利于早期白云岩化及 大气淡水淋滤等成岩储层机制的触发。裂后沉降早

Fig.10 Physical properties of the Xiaoerbulake Formation in the Lower Cambrian, Tarim Basin a. average porosity; b. average permeability 期阶段"整体趋于稳定、局部存在差异"的构造活动 特征使得同期碳酸盐岩缓坡体系的高能沉积相带预 测变得有规律可循,即平缓地貌背景下寻找相对高 隆的正向地貌,这些正向地貌单元的周缘或之上往 往就是高能沉积相带发育的有利位置,亦是利于规 模有效储层发育的有利区。

塔里木盆地下寒武统肖尔布拉克组是盆地进 入裂后沉降阶段后第一套浅水碳酸盐岩沉积,台地 类型为缓坡(组合),沉积期受控于低缓斜坡背景下 的"三隆两洼"古构造格局的控制。肖下段沉积期, 塔西南古隆地貌明显高于轮南一牙哈低隆及部分 柯坪一温宿低隆,因此仅在两低隆之上或周缘发育 了低能缓坡沉积(图11a-1、图11b),以暗色泥粉晶 云岩、藻纹层云岩等岩相为主,局部见小型生物丘, 最低洼处甚至发育厚层泥晶灰岩,高能相带不发 育,直接导致了储层很少发育。进入肖上段沉积 期,三大(低)隆起地貌变得更加平缓,随着海平面 的降低,隆起周缘均发育了规模性中缓坡高能颗粒 滩或丘滩复合带,形成了较好的储层发育物质基础 (图11a-2、图11c~e)。同期北东向古洋流与三隆两 洼地貌相互作用使得各隆起区水动力特征存在差 异,进而造就了沉积体系内部结构的不同(图 11c~e),如塔西南古隆北缘中缓坡高能相带以颗粒 滩为主,而柯坪—温宿低隆区则以下丘上滩的复合 体为特征。至海平面下降晚期,大面积的颗粒滩/ 丘滩复合带暴露出地表,在早期白云岩化及淡水淋 滤的作用下发育了肖尔布拉克组规模有效储层 (图11a-2)。

5 结论与认识

(1)塔里木盆地下寒武统肖尔布拉克组沉积期 发育了一套典型裂后沉降碳酸盐岩缓坡体系(组合),岩相古地理分异明显受控于同期"三隆两洼" 古构造格局,北东向古洋流进一步复杂化了沉积物 构成。可划分出塔西南古隆北缘颗粒滩为主的坡 坪式缓坡、柯坪一温宿低隆丘滩复合体均斜型缓坡 及轮南一牙哈低隆丘滩复合体孤岛型缓坡,沉积特 征各不相同。



(2)肖尔布拉克组规模有效储层主要分布于受三 大古(低)隆控制的碳酸盐岩缓坡的中缓坡颗粒滩及 丘滩复合带内,预测面积达9×10⁴ km²。原始沉积相带 与早期云化是储层发育与保存的关键,埋藏期受到进 一步调整。塔西南古隆北缘颗粒滩带以Ⅱ类储层为 主,分布稳定,最具规模性。

(3)裂谷末期的小型克拉通盆地整体处于热沉降 阶段,构造趋于稳定,但前期构造分异特征及沉降差 异依然对碳酸盐岩缓坡体系古地理响应起到明显控 制。深入分析古构造格局继承性与差异性,能够为深 层碳酸盐岩缓坡储层的勘探提供有力钻前预测指导, 值得重视。

参考文献(References)

- Burchette T P, Wright V P. Carbonate ramp depositional systems [J]. Sedimentary Geology, 1992, 79 (1/2/3/4): 3-57.
- [2] 邹才能,杜金虎,徐春春,等.四川盆地震旦系—寒武系特 大型气田形成分布、资源潜力及勘探发现[J].石油勘探 与开发,2014,41(3):278-293. [Zou Caineng, Du Jinhu, Xu Chunchun, et al. Formation, distribution, resource potential and discovery of the Sinian-Cambrian giant gas field, Sichuan Basin, SW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 278-293.]
- [3] 王招明,谢会文,陈永权,等. 塔里木盆地中深1井寒武系 盐下白云岩原生油气藏的发现与勘探意义[J]. 中国石油 勘探,2014,19(2):1-13. [Wang Zhaoming, Xie Huiwen, Chen Yongquan, et al. Discovery and exploration of Cambrian subsalt dolomite original hydrocarbon reservoir at Zhongshen-1 Well in Tarim Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(2):1-13.]
- [4] Cozzi A, Grotinger J P, Allen P A. Evolution of a terminal Neoproterozoic carbonate ramp system (Buah Formation, Sultanate of Oman): Effects of basement paleotopography [J].
 GSA Bulletin, 2004, 116(11/12): 1367-1384.
- [5] Grotzinger J, Al-Rawahi Z. Depositional facies and platform architecture of microbialite-dominated carbonate reservoirs, Ediacaran-Cambrian Ara Group, Sultanate of Oman [J]. AAPG Bulletin, 2014, 98(8): 1453-1494.
- [6] 贾承造,魏国齐,李本亮.中国中西部小型克拉通盆地群的叠合复合性质及其含油气系统[J].高校地质学报,2005,11(4):479-482. [Jia Chengzao, Wei Guoqi, Li Benliang. Superimposed-composite characteristics of micro-craton basins and its bearing petroleum systems, central-western China [J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11(4):479-482.]
- [7] 杜金虎,邹才能,徐春春,等.川中古隆起龙王庙组特大型 气田战略发现与理论技术创新[J].石油勘探与开发,

2014, 41 (3) : 268-277. [Du Jinhu, Zou Caineng, Xu Chunchun, et al. Theoretical and technical innovations in strategic discovery of a giant gas field in Cambrian Longwangmiao Formation of central Sichuan paleo-uplift, Sichuan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41 (3) : 268-277.]

- [8] 邬光辉,李浩武,徐彦龙,等. 塔里木克拉通基底古隆起构造一热事件及其结构与演化[J]. 岩石学报,2012,28(8):2435-2452. [Wu Guanghui, Li Haowu, Xu Yanlong, et al. The tectonothermal events, architecture and evolution of Tarim craton basement palaeo-uplifts[J]. Acta Petrologica Sinica, 28 (8):2435-2452.]
- [9] 刘伟,张光亚,潘文庆,等. 塔里木地区寒武纪岩相古地理及沉积演化[J]. 古地理学报,2011,13(5):529-538. [Liu Wei, Zhang Guangya, Pan Wenqing, et al. Lithofacies palaeo-geography and sedimentary evolution of the Cambrian in Tarim area [J]. Journal of Palaeogeography, 2011, 13 (5): 529-538.]
- [10] 熊益学,陈永权,关宝珠,等. 塔里木盆地下寒武统肖尔 布拉克组北部台缘带展布及其油气勘探意义[J]. 沉积学 报,2015,33(2):408-415. [Xiong Yixue, Chen Yongquan, Guan Baozhu, et al. Distribution of northern platform margin and implications to favorable exploration regions on Lower Cambrian Xiaoerbulake Formation, Tarim Basin[J]. Acta Seimentologica Sinica, 2015, 33(2): 408-415.]
- [11] 林畅松,李思田,刘景彦,等. 塔里木盆地古生代重要演 化阶段的古构造格局与古地理演化[J]. 岩石学报,2011, 27(1):210-218. [Lin Changsong, Li Sitian, Liu Jingyan, et al. Tectonic framework and paleogeographic evolution of the Tarim Basin during the Paleozoic major evolutionary stages [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(1): 210-218.]
- [12] Li Z X, Powell C M. An outline of the palaeogeographic evolution of the Australasian region since the beginning of the Neoproterozoic [J]. Earth-Science Reviews, 2001, 53 (3/4): 237-277.
- [13] 王洪浩,李江海,周肖贝,等. 塔里木陆块在Rodinia超大陆中 位置的新认识:来自地层对比和古地磁的制约[J]. 地球物理 学报, 2015, 58 (2): 589-600. [Wang Honghao, Li Jianghai, Zhou Xiaobei, et al. New opinion on the position of the Tarim block in the Rodinia supercontinent: Constraints from stratigraphic correlation and paleomagnetism[J]. Chinese Journal Of Geophysics, 2015, 58(2): 589-600.]
- [14] Turner S A. Sedimentary record of Late Neoproterozoic rifting in the NW Tarim Basin, China [J]. Precambrian Research, 2010, 181(1/2/3/4): 85-96.
- [15] 杨鑫,李慧莉,张仲培,等.塔里木新元古代盆地演化与下寒 武统烃源岩发育的构造背景[J].地质学报,2017,91(8): 1706-1719. [Yang Xin, Li Huili, Zhang Zhongpei, et al. Evolution of Neoproterozoic Tarim Basin in northwestern China and tectonic background of the Lower Cambrian hydrocarbon source

rocks[J]. Acta Geologica Sinica, 2017,91(8): 1706-1719.]

- [16] Jiang L, Cai C F, Worden R H, et al. Multiphase dolomitization of deeply buried Cambrian petroleum reservoirs, Tarim Basin, north-west China [J]. Sedimentology, 2016, 63(7): 2130-2157.
- [17] 杜金虎,潘文庆. 塔里木盆地寒武系盐下白云岩油气成 藏条件与勘探方向[J]. 石油勘探与开发,2016,43(3): 327-339. [Du Jinhu, Pan Wenqing. Accumulation conditions and play targets of oil and gas in the Cambrian subsalt dolomite, Tarim Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(3): 327-339.]
- [18] 朱光有,陈斐然,陈志勇,等. 塔里木盆地寒武系玉尔吐斯组优质烃源岩的发现及其基本特征[J]. 天然气地球科学,2016,27(1):8-21. [Zhu Guangyou, Chen Feiran, Chen Zhiyong, et al. Discovery and basic characteristics of the high-quality source rocks of the Cambrian Yuertusi Formation in Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(1):8-21.]
- [19] 赵宗举,罗家洪,张运波,等. 塔里木盆地寒武纪层序岩相古地理[J]. 石油学报,2011,32(6):937-948. [Zhao Zongju, Luo Jiahong, Zhang Yunbo, et al. Lithofacies paleogeography of Cambrian sequences in the Tarim Basin[J]. Acta petrolei Sinica, 2011, 32(6):937-948.]
- [20] 陈永权,严威,韩长伟,等. 塔里木盆地寒武纪一早奥陶 世构造古地理与岩相古地理格局再厘定:基于地震证据 的新认识[J]. 天然气地球科学,2015,26(10):1831-1843. [Chen Yongquan, Yan Wei, Han Changwei, et al. Redefinition on structural paleogeography and lithofacies paleogeography framework from Cambrian to Early Ordovician in the Tarim Basin: A new approach based on seismic stratigraphy evidence [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26 (10): 1832-1843.]
- [21] 李保华,邓世彪,陈永权,等. 塔里木盆地柯坪地区下寒

武统台缘相白云岩储层建模[J]. 天然地球科学, 2015, 26 (7): 1233-1244. [Li Baohua, Deng Shibiao, Chen Yongquan, et al. The reservoir modeling of platform margin dolostone of Xiaoerblak Formation, Lower Cambrian, Kalpin area, Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(7): 1233-1244.]

- [22] 李江海,姜洪福.全球古板块再造、岩相古地理及古环境图集[M].北京:地质出版社,2013:1-127.[Li Jianghai, Jiang Hongfu. World atlas of plate tectonic reconstruction, lithofacies paleogeography and plaeoenvironment[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013, 1-127.]
- [23] 沈安江,郑剑锋,陈永权,等. 塔里木盆地中下寒武统白 云岩储集层特征、成因及分布[J]. 石油勘探与开发, 2016,43(3):340-349. [Shen Anjiang, Zheng Jianfeng, Chen Yongquan, et al. Characteristics, origin and distribution of dolomite reservoirs in Lower-Middle Cambrian, Tarim Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(3): 340-349.]
- [24] 赵文智,沈安江,乔占峰,等. 白云岩成因类型、识别特征及储集空间成因[J]. 石油勘探与开发,2018,45(6):
 923-935. [Zhao Wenzhi, Shen Anjiang, Qiao Zhanfeng, et al. The genetic types and distinguished characteristics of dolomite and the origin of dolomite reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(6): 923-935.]
- [25] 陈安清,杨帅,陈洪德,等.陆表海台地沉积充填模式及 内克拉通碳酸盐岩勘探新启示[J]. 岩石学报,2017,33 (4):1243-1256. [Chen Anqing, Yang Shuai, Chen Hongde, et al. The sedimentary filling model of epeiric platform and new inspiration of innercratonic carbonate for oil & gas exploration [J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33 (4): 1243-1256.]

Depositional Differentiation and Reservoir Potential and Distribution of Ramp Systems during Post-rift Period: An example from the Lower Cambrian Xiaoerbulake Formation in the Tarim Basin, NW China

ZHU YongJin^{1,2,3}, NI XinFeng^{1,2,3}, LIU LingLi¹, QIAO ZhanFeng^{1,2}, CHEN YongQuan⁴,

ZHENG JianFeng^{1,2}

1. PetroChina Hangzhou Institute of Geology, Hangzhou 310023, China

2. PetroChina Key Laboratory of Carbonate Reservoir, Hangzhou 310023, China

3. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China

4. PetroChina Tarim Oilfield, Korla, Xinjiang 841000, China

Abstract: Carbonate ramps in the post-rift filling stage have gradually become recognized as areas having the greatest potential for deep hydrocarbon exploration. In the Lower Cambrian Xiaoerbulake Formation in the Tarim Basin, for example, the pre-depositional paleotectonic framework and the lithofacies response to the paleogeography, as well as the regional distribution of reservoirs and the differences in their internal architecture were systematically analyzed from 42 of the most recently processed 2D seismic lines, nine outcrops in the Keping area and data from 12 wells, etc. The results show that (1) the paleotectonic pattern of three uplifts and two sags occurred during the early Cambrian, and exerted obvious control of the sedimentary differentiation in the Xiaoerbulake carbonate ramp system. Highenergy grain shoals and mound-shoal complexes developed around the paleo-highs. Paleocurrents complicated the sediment composition. Three sub-types of ramp are recognized in the Xiaoerbulake Formation: a slope-plateau ramp dominated by grain shoals at the northern margin of the paleo-high of the SW Tarim Basin; a homoclinal ramp dominated by a mound-shoal complex on Keping-Wsu lower high, and an isolated 'island' sub-type in the Lunnan-Yaha lower high. (2) A peripheral high-energy facies belt of the paleo-uplift constitutes an important carrier for the Xiaoerbulake Formation reservoir. Early dolomitization has effectively preserved the original pores throughout the subsequent burial period. The reservoirs are mainly located in the peripheral high-energy facies belts of the three paleo-highs, covering an area of about 9×10^4 km². The reservoirs in the different ramp systems have obvious differences. The grain-shoal dominated type ramp in the SW Tarim uplift shows the greatest potential for future exploration for extra-large-scale Type II reservoirs. From the example anatomy, it is believed that the paleotectonic pattern was the primary control of carbonate ramp formation during the post-rift filling stage, and needs further work to fully understand its influence on the distribution of reservoir facies and internal architecture.

Key words: post-rift period; ramp; large-scale reservoir; Xiaoerbulake Formation; Tarim Basin