

中国海相含油气盆地构造-岩相古地理特征

周进高^{1,2}, 刘新社^{2,3}, 沈安江^{1,2}, 邓红婴^{1,2}, 朱永进^{1,2}, 李维岭^{1,2}, 丁振纯^{1,2},
于洲^{1,2}, 张建勇^{1,2}, 郑剑锋^{1,2}, 吴兴宇^{1,2}, 张茹^{2,4}, 唐瑾^{2,4}

1 中国石油杭州地质研究院; 2 中国石油集团碳酸盐岩储层重点实验室;

3 中国石油长庆油田分公司勘探事业部; 4 中国石油大学(北京)

摘要 构造-岩相古地理是生-储-盖及成藏组合评价的基础,在油气勘探研究中占有十分重要的地位,然而,限于资料和认识程度,我国主要海相含油气盆地已有的相图难以满足深层海相碳酸盐岩快速勘探的需求。应用新的钻井和地震资料,结合岩相识别技术,开展了塔里木盆地、四川盆地和鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩构造-岩相古地理研究,取得以下成果认识:①我国小克拉通海相碳酸盐台地构造-古地理具有隆坳相间、隆控储、坳控源的特点;②构造-岩相古地理具有“多台缘、多滩带和多台盆”的特点;③构造-岩相古地理对早期白云石化的发生和岩溶作用的范围及改造程度具有重要影响,从而控制储层分布;④建立了“多台缘”镶边台地模式并改进“双滩”缓坡沉积模式,揭示我国海相碳酸盐台地内部具备多种有利成藏组合。研究成果深化了我国小克拉通碳酸盐台地构造-岩相古地理共性特点的认识,为深层海相碳酸盐岩油气勘探提供了理论支撑。

关键词 构造-岩相古地理; 沉积模式; 碳酸盐岩; 鄂尔多斯盆地; 四川盆地; 塔里木盆地

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

1 概况

我国海相碳酸盐岩主要发育在古生界和前寒武系,位于叠合盆地下构造层,具有埋藏深、年代老和构造改造复杂的特点,在华北、扬子和塔里木板块均有分布,面积达 $455 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。海相碳酸盐岩油气资源丰富,原油资源量为 $340 \times 10^8 \text{ t}$,天然气资源量为 $24.30 \times 10^{12} \text{ m}^3$,是非常重要的油气勘探领域。我国海相碳酸盐岩油气勘探主要集中在塔里木盆地、四川盆地和鄂尔多斯盆地(图1),这三大海相含油气盆地碳酸盐岩发育层位多、厚度大;四川盆地发育层位包括震旦系—中三叠统(图2a),累计厚度5000~10000m;塔里木盆地主要包括震旦系—奥陶系(图2b),累计厚度5000~7000m;鄂尔多斯盆地则包括长城系—奥陶系(图2c),累计厚度3000~5000m。勘探揭示这三大盆地碳酸盐岩具有巨大的油气勘探潜力,已经发现了塔河、轮南、塔中、靖边、安岳、普光等大型或特大型油气田^[1-5],这些发现支撑了我国近30年来油气储量的持续增长。

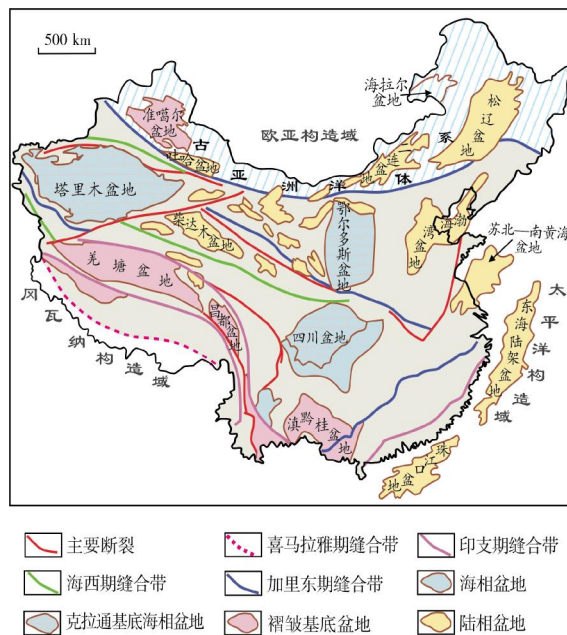


图1 中国三大海相含油气盆地地理位置图

收稿日期: 2019-08-16; 改回日期: 2019-11-10

本文受国家科技重大专项下课题“寒武系—中新元古界碳酸盐岩规模储层形成与分布研究”(编号: 2016ZX05004-002)、中国石油天然气股份有限公司直属院所基础研究和战略储备技术研究基金项目“古老海相碳酸盐岩定年、定温与微量-稀土元素面扫描技术研发及应用”(编号: 2018D-5008-03)和中国石油集团重大专项“长庆油田 5000 万吨持续高效稳产关键技术研究与应用”(编号: 2016E-05)联合资助

第一作者: 周进高, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事碳酸盐岩沉积储层及石油地质研究工作, 发表论文 70 余篇, 出版专著 7 部。通信地址: 310023 浙江省杭州市西溪路 920 号; ORCID: 0000-003-4064-361x; E-mail: zhoujg_hz@petrochina.com.cn

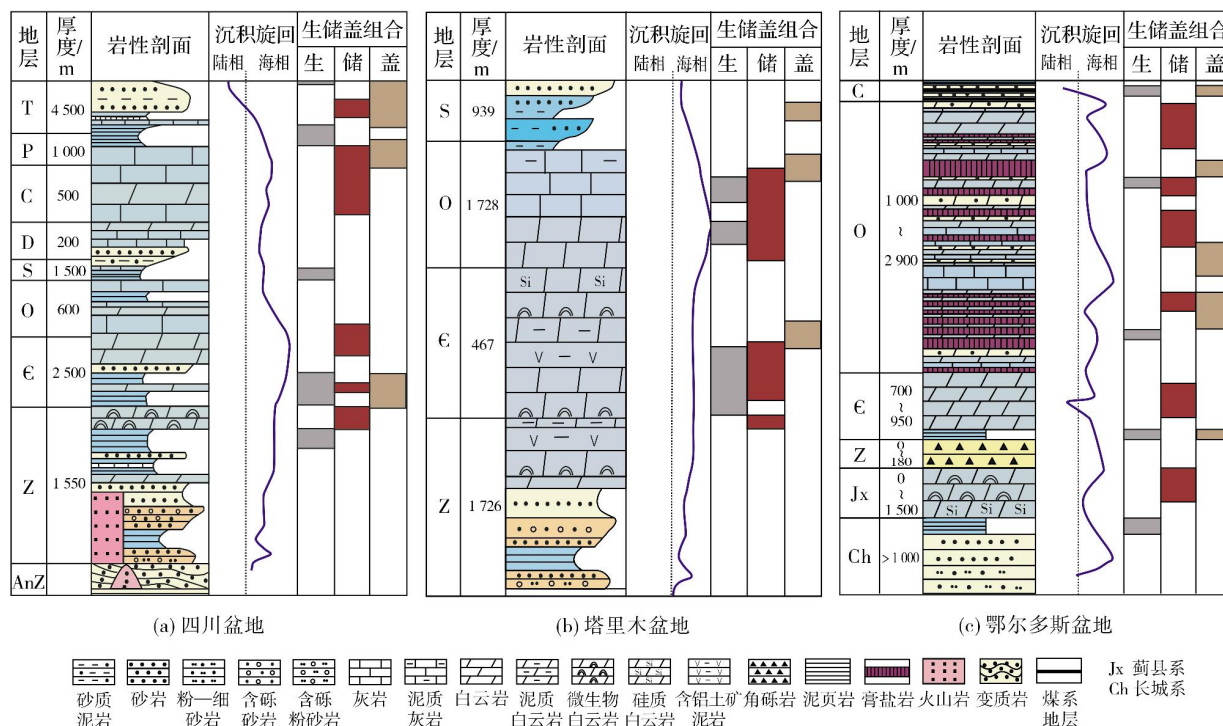


图2 中国三大海相含油气盆地海相地层概况

前人对这三大盆地的岩相古地理开展了大量的研究工作,取得了丰硕成果,这些成果对推动我国海相碳酸盐岩油气勘探和开发发挥了重要作用。20世纪40至80年代,以黄汲清^[6]、刘鸿允^[7]、关士聪^[8]和王鸿祯^[9]等为代表的老一辈地质家对我国岩相古地理开展了卓有成效的工作,奠定了我国陆上区域岩相古地理基本格局。20世纪90年代至21世纪初,刘宝珺等^[10]、冯增昭等^[11-12]、贾承造^[13]、赵文智等^[14]、马永生等^[15]及郑和荣等^[16]开展了以层序地层为基础的岩相古地理研究,指导了塔里木盆地塔中油田和塔河油田、鄂尔多斯盆地靖边气田,以及四川盆地罗家寨气田、铁山坡气田、普光气田等一批油气田的发现。这些研究成果和认识对我国岩相古地理研究具有深远的影响。

近年来,依托国家科技重大专项和中国石油集团科技项目,基于新的钻井和地震资料,应用岩相综合识别技术,对塔里木、四川和鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩开展了新一轮研究,在构造-岩相古地理方面取得了新进展。本文着重探讨我国海相碳酸盐岩构造-岩相古地理的一些共性特点及其对储层发育和分布的控制作用。研究揭示,我国海相碳酸盐岩构造-岩相古地理具有3个显著的共同特点:①普遍

发育古裂(拗)陷、古隆起,具有隆坳相间的构造古地理背景,古裂(拗)陷是烃源岩发育的主要场所,裂(拗)陷边缘和古隆起周缘是有利储集相带发育的主要场所,具有裂(拗)陷控源、古隆控储的特点;②在隆坳构造古地理背景控制下,我国海相碳酸盐岩构造-岩相古地理具有发育“多台缘、多滩带和多台盆”的特点,台缘带和滩带经白云石化、岩溶作用改造而形成优质储层,台盆发育良好烃源岩,两者一起构成多种有利成藏组合;③构造古地理不仅控制了储层发育的物质基础,也控制了白云石化、岩溶作用等成岩改造的范围和改造程度,从而控制了规模储层沿台缘带或古隆周围滩带分布。此外,还建立了“多台缘”镶边台地沉积模式,并改进了“双滩”缓坡模式,为三大海相碳酸盐岩盆地有利储层相带和优质储层分布预测以及有利勘探区带的评价提供了理论支撑,推动了碳酸盐岩领域的勘探发现。

2 构造古地理特征

我国海相碳酸盐岩发育于小克拉通台地背景,隆坳相间的构造古地理格局是其显著的特点,其中的古裂陷和古隆起对碳酸盐岩沉积及相带展布具有重要控制作用。

我国三大海相盆地主要发育4期古裂陷,分别与哥伦比亚、罗迪尼亚、冈瓦纳、潘基亚4期超级大陆裂解相对应^[17-18]。四川盆地主要发育3期裂陷,包括罗迪尼亚期的南华纪裂陷^[19-23]、冈瓦纳期的震旦纪—寒武纪裂陷(如德阳—安岳裂陷)^[24-31]、潘基亚期的二叠纪裂陷(如梁平—开江海槽)^[32-33]。鄂尔多斯盆地主要发育哥伦比亚期裂陷,如长城纪的贺兰裂陷、定边裂陷、晋陕裂陷等^[34-36]。塔里木盆地主要发育罗迪尼亚期裂陷,如南华纪的库满裂陷、塔西南裂陷等^[37]。上述裂陷的识别和分布刻画为构造古地理恢复奠定了基础。

除了古裂陷,三大盆地普遍发育古隆起。迄今已发现多期多个古隆起(这里所说的古隆起是指水下隆起,可能局部有陆或岛屿),如四川盆地震旦纪的川中古隆起^[4]、古生代的乐山—龙女寺古隆起等^[38-39],塔里木盆地古生代的温宿古隆、轮南古隆以及塔西南古隆等^[13,40],鄂尔多斯盆地寒武纪的镇原古隆、横山古隆以及吕梁古隆等^[41-44]。这些古隆起与裂陷共同构成了隆坳相间的古构造地理背景,对我国海相碳酸盐岩沉积具有重要影响。

以四川盆地震旦系灯影组、塔里木盆地寒武系肖尔布拉克组和鄂尔多斯盆地寒武系张夏组为例,具体说明我国海相碳酸盐岩沉积的构造古地理特征。

2.1 四川盆地灯影期构造古地理

灯影组沉积时,四川盆地整体处于扬子地台的西缘,具有“两隆两坳”的古地理背景^[45](图3),发育成都—威远—峨边古台隆和广元—重庆—万州古台隆,及德阳—安岳裂陷和城口—开江坳陷。灯影早期德阳—安岳裂陷主要分布在安岳以北地区,宜宾—长宁一带存在裂陷雏形,但未与北部裂陷沟通(图3a);灯影晚期德阳—安岳裂陷已与长宁裂陷贯通,将四川盆地分割成东西2部分(图3b)。四川盆地范围以外主要是大陆边缘盆地,如与松潘—甘孜海相连的上扬子西大陆边缘盆地、与秦岭洋相连的上扬子北大边缘盆地、与华南洋相连的上扬子东南大陆边缘盆地。灯影组沉积时,台隆演化为碳酸盐台地,裂陷和台坳演化为台内盆地,而外围的大陆边缘演化为深水斜坡—盆地环境。

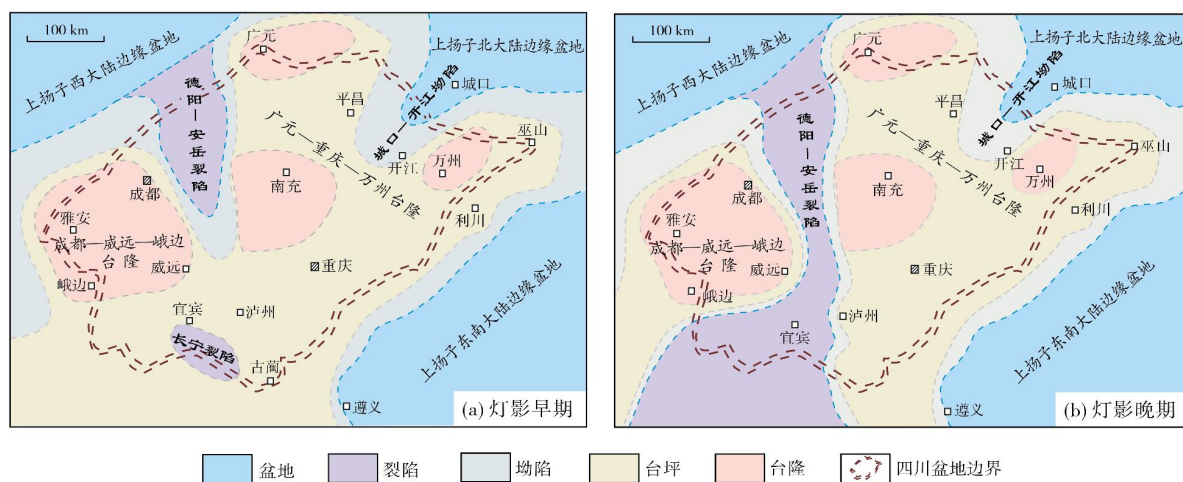


图3 四川盆地震旦系灯影组沉积时期构造古地理背景图

2.2 塔里木盆地肖尔布拉克期构造古地理

肖尔布拉克组沉积时,塔里木盆地具有“四隆两坳”的古地理格局(图4):“四隆”是指盆地南部的塔西南古隆,盆地北部的柯坪—温宿低隆、轮南—牙哈低隆,盆地东部的罗西低隆;“两坳”是指介于南北隆起之间的满西坳陷和库满台盆。塔西南古隆起沿喀什—和田—且末一带呈东西向展布,延伸900km,YL6井和

TC1井揭示古隆起由前寒武系构成;柯坪—温宿低隆位于乌恰至阿克苏一带,呈南西至北东走向展布,延伸长度约520km,宽约80km,整体向东、东南方向倾斜;轮南—牙哈低隆位于现今轮南至牙哈地区,西以YH5井至YN2井一带为界,东至TS1井区,整体呈近南北走向,南北长约170km,东西宽约80km;罗西低隆位于盆地东端,南北延伸约300km。盆地外围是洋盆:北、西为南天山洋,南、东为西昆仑洋—阿尔金洋。

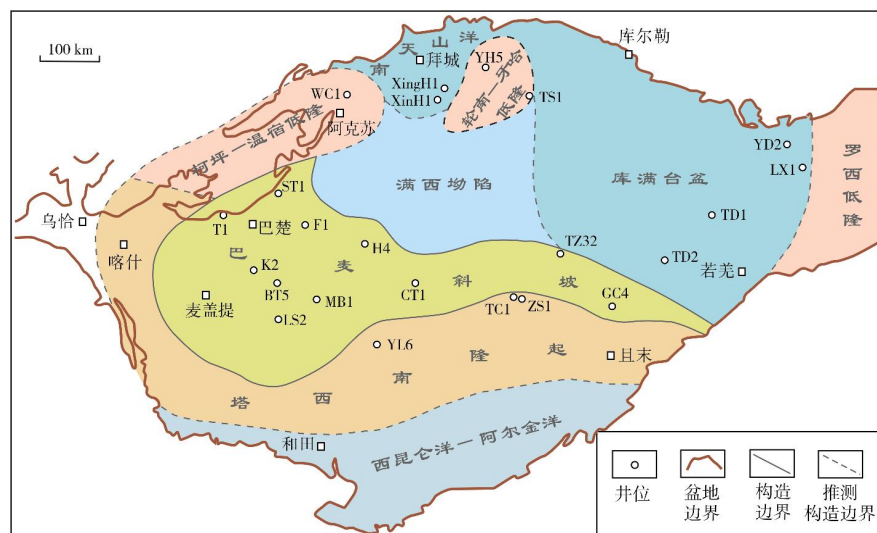


图4 塔里木盆地寒武统肖布拉克组沉积前构造古地理背景图

2.3 鄂尔多斯盆地张夏期构造古地理

张夏组沉积时,鄂尔多斯盆地总体位于华北地台的西缘,北为伊盟古陆,西为与祁连海相连的西部大陆边缘盆地,南为与秦岭洋相连的南部大陆边缘盆地。盆地范围内具有“三隆两拗”构造格局(图5):“三隆”分别是盆地西南缘的庆阳古隆、盆地中部的横山低隆和东部的吕梁低隆;“两拗”分别是东北部的保德拗陷、西南部的黄陵—宜川拗陷。在盆地外围,西部大陆边缘仍继承性发育贺兰裂陷和定边裂陷,南部大陆边缘仍发育晋陕裂陷,它们以深海槽或海湾的形式向台地内部延伸,对张夏组相带的展布具有重要控制作用。

3 构造-岩相古地理特征

在构造古地理背景恢复的基础上,结合露头、井-震岩相识别,对三大海相盆地主要勘探目的层的构造-岩相古地理进行了恢复,揭示我国海相碳酸盐岩以发育“多台缘、多滩带和多台盆”为标志,具有“裂陷控源、古隆控储”的重要特点。下面以四川盆地灯影组二段和塔里木盆地肖布拉克组为例分别介绍“多台缘、多滩带和多台盆”的古地理特征。

3.1 “多台缘”特征

“多台缘”是指多种类型台缘。目前识别出来的台缘类型有3种,即大陆边缘型台缘、裂陷边缘型台缘和拗陷边缘型台缘。四川盆地震旦系灯影组^[45]、二

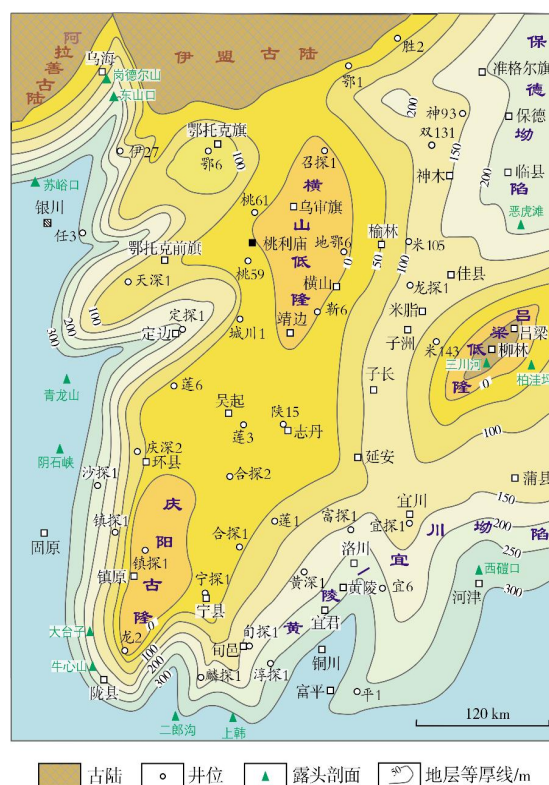


图5 鄂尔多斯盆地寒武系张夏组沉积前构造古地理背景图

叠系长兴组、三叠系飞仙关组^[46],塔里木盆地奥陶系良里塔格组,鄂尔多斯盆地寒武系张夏组等沉积期都具有“多台缘”的特点,其中,四川盆地灯影组二段岩相分异清晰,“多台缘”的特点尤为突出(图6),故以此为例展开论述。

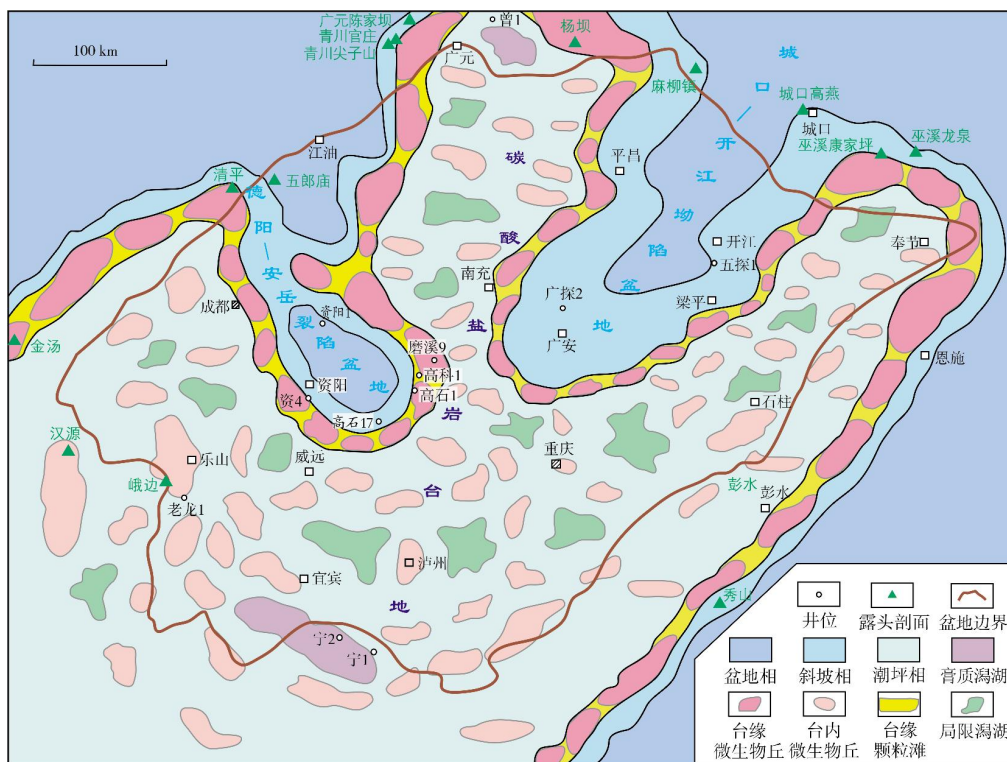


图6 四川盆地震旦系灯影组二段沉积期岩相古地理图

3.1.1 大陆边缘型台缘

大陆边缘型台缘带,主要分布在盆地边界,西缘和北缘已卷入造山带前缘冲断带,东部卷入了川东褶皱带。从广元旺苍、南江杨坝、什邡清平、巫溪康家坪、遵义松林以及金沙岩孔等野外剖面看,大陆边缘型台缘带由大型微生物丘和滩构成,微生物丘滩具备丘状正向地貌特征,由微生物凝块白云岩、微生物叠层白云岩、微生物纹层白云岩组成,构成多个沉积旋回,单个旋回厚2~8 m不等,累计厚度200~280 m,可划分出丘基、丘核、丘盖等微相^[45,47]。滩主要是鲕粒豆粒滩、砂砾屑滩和微生物粘结砂砾屑滩,单层厚0.8~3.5 m,单一旋回5~8 m,纵向发育4~5个旋回。

3.1.2 裂陷边缘型台缘

裂陷边缘型台缘带呈“V”型分布在盆地中西部,环绕德阳—安岳裂陷发育,宽5~10 km,长约500 km,向西在什邡一带、向北在广元附近与大陆边缘型台缘带相接。在高石梯—磨溪地区的高科1井、高石1井、磨溪9井等钻井揭示微生物丘滩体,岩心和成像测井资料显示其与野外观察到的微生物丘滩体具有相同的沉积结构、构造和岩性特点;资阳地区资4井

及高石梯—磨溪地区高科1井、磨溪9井等井也揭示台缘颗粒滩较发育,颗粒滩由砂砾屑白云岩、微生物粘结颗粒白云岩组成,单层厚1~3 m,累计厚达80 m,发育斜层理等沉积构造。钻探揭示,台缘微生物丘滩体是储层发育的基础,优质储层主要沿台缘带规模分布^[48-50]。

3.1.3 坳陷边缘型台缘

坳陷边缘型台缘带发育在盆地东北部,呈“U”型展布,向北西方向在南江一带、向北东在巫溪康家坪一带与被动大陆边缘型台缘带相连,相带宽达20~30 km,长约600 km。城口—开江坳陷可能是继承南华纪低洼地貌形成,坳陷边缘坡度相对平缓。从地震剖面上看,台缘丘滩空白和丘状反射特征明显,台缘与斜坡界线清楚,下超点也较清晰;纵向上可识别出3期丘滩,呈进积迁移方式叠置。与德阳—安岳裂陷边缘丘滩相比,坳陷边缘型台缘丘滩前斜坡角度明显变缓,具有低坡度台缘特点。需要指出的是,也有学者把该区域地震剖面下超点看成是上超,将城口—开江地区称为宣汉古隆起^[51]。因此,该区到底是坳还是隆,台缘是否存在,仍有待钻探和研究进一步证实。

3.2 “多滩带”特征

“多滩带”是指多种类型颗粒滩:镶边台地发育大陆边缘台缘颗粒滩、台内裂陷边缘颗粒滩、台内坳陷边缘颗粒滩和古隆周缘颗粒滩4种类型;缓坡台地发育内缓坡颗粒滩和中缓坡颗粒滩2种类型。但由于多隆起的存在,会发育多个内缓坡或中缓坡颗粒滩带。塔里木盆地奥陶系蓬莱坝组、鹰山组^[52]、鄂尔多

斯盆地奥陶系马家沟组中组合,四川盆地寒武系洗象池组^[56]、二叠系栖霞组和茅口组^[57-58]等层系都是镶边台地“多滩带”沉积的典型实例,而四川盆地寒武系龙王庙组^[53-55]、塔里木盆地寒武系肖尔布拉克组则是缓坡台地“多滩带”沉积的典型。肖尔布拉克组围绕3大古隆起周缘发育了3条规模巨大的滩带(图7)。下文以该组为例阐述“多滩带”沉积和分布的特点。

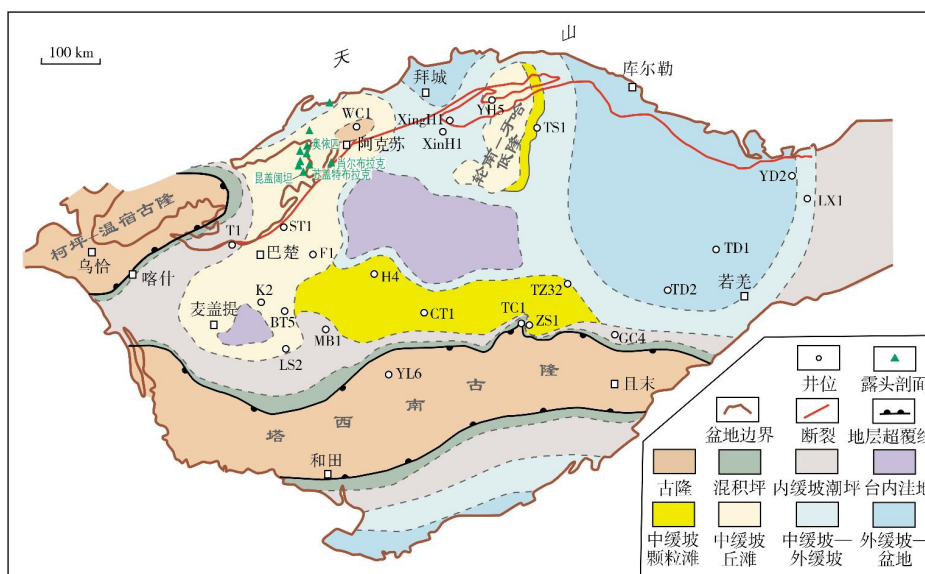


图7 塔里木盆地早寒武世肖尔布拉克期构造-岩相古地理图

3.2.1 塔西南古隆北缘颗粒滩带

该滩带发育在塔西南古隆起北缘平缓的古地貌背景上,位于麦盖提—BT5井—H4井一线至TZ32井之间,宽50~130 km,西宽东窄,反映出受古洋流或信风影响,滩体呈现往西侧向迁移的效应,预测面积达 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。颗粒滩带以鲕粒滩、砂屑滩沉积为主,垂向上单层厚度大、滩地比高,具向上变粗变浅的旋回特征,如CT1井单层厚度可达10 m,滩地比达77.9%。由滩带向古隆方向,相变为混积潮坪,由泥晶白云岩、藻白云岩及含陆源碎屑的白云岩组成;往海方向逐渐过渡到外缓坡—台盆相,主要由泥晶灰岩和泥质灰岩组成。

3.2.2 柯坪—温宿古隆东部丘滩带

柯坪—温宿古隆呈北东方向展布,滩体发育于低隆的东翼,宽150~200 km,北东方向延伸长约500 km。由于坡度平缓并远离外海,该带水体相对

局限、能量偏弱,以发育微生物丘滩为特点。从阿克苏地区苏盖特布拉克、昆盖阔坦等露头剖面及ST1井钻井揭示看,丘滩主要分布在肖尔布拉克组上段,微生物丘呈上拱丘状,高7~21 m,宽达50 m;滩以藻屑滩为主,顶部为砂屑藻屑滩,在肖尔布拉克剖面横向追踪延续超过28 km(露头长度)。该滩带呈现出“小丘大滩”的组合特征,预测面积达 $3.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

3.2.3 环轮南—牙哈低隆丘滩带

轮南—牙哈低隆为一个水下低隆起,在低隆及其周缘发育了丘滩体。丘滩体发育微生物格架岩(图8),地震剖面具有前积反射特点,如在低隆西翼的YH5井—YN2井以及低隆东翼的TS1井一带,均发现了前积反射带,指示为微生物丘-丘滩复合体过渡沉积。预测该丘滩复合体的面积达 $1.38 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

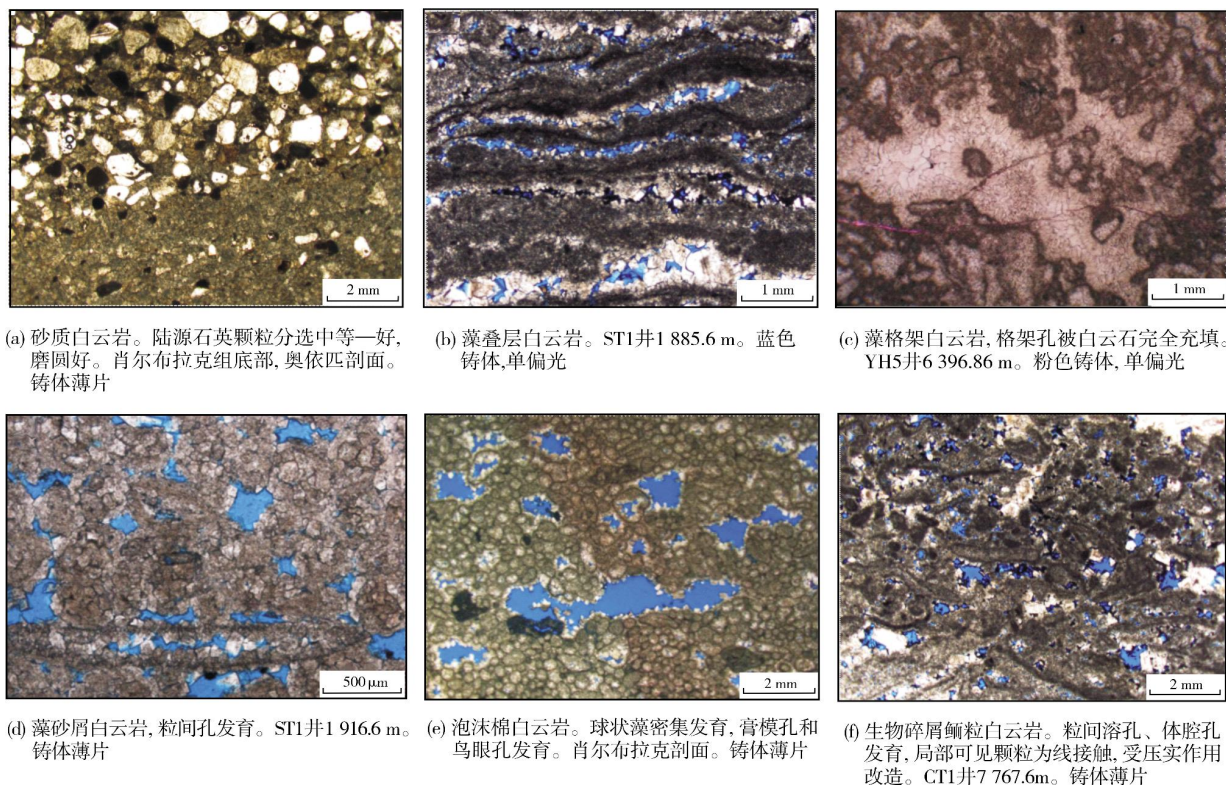


图8 塔里木盆地寒武统肖尔布拉克组典型岩相微观照片

3.3 “多台盆”特征

“多台盆”指多种类型盆地,目前识别出3类盆地,即大陆边缘盆地、台内裂陷盆地(本文称之为裂陷型台盆)、台内坳陷盆地(本文称之为坳陷型台盆)。从水深看,大陆边缘盆地的最深,裂陷盆地次之,坳陷盆地最浅;从分布看,大陆边缘盆地范围最大,常与海洋相连,而后两者位于台地内部,范围相对狭小。由于大陆边缘盆地后期往往卷入造山带而难以保存,故本文主要讨论台内的2类盆地。下面以四川盆地德阳—安岳裂陷型台盆和城口—开江坳陷型台盆为例,讨论这2类台内盆地的特点(图6)。

3.3.1 裂陷型台盆

德阳—安岳裂陷型台盆向北与松潘—甘孜海相连,该台盆相具3个方面的特点^[31,45]: ①地球物理解释显示,由高石梯—磨溪台缘向盆地—斜坡,灯影组厚度明显减薄,地震相由台缘的丘状或杂乱状反射变为高连续、强振幅反射特征。②盆地内具有水体较深、能量较弱的缓慢沉积特点,与台地相比较,地层明显变薄。如裂陷内的高石17井揭示的震旦系厚约170 m,主要岩性为疙瘩状泥质白云岩,泥质含量较

高;资阳1井揭示的震旦系厚度不足100 m,为薄层泥质白云岩夹灰岩。③野外剖面显示发育黑色泥页岩、硅质岩及重力流沉积,如川西北地区青川官庄剖面 and 广元陈家坝剖面。

3.3.2 坳陷型台盆

城口—开江坳陷型台盆向北与秦岭海沟通。该台盆与裂陷型台盆具有相似的特点:地震剖面上显示台盆相为高频连续反射特征;五探1井揭示灯影组厚约300 m,其中,灯影组一段和二段厚度仅60 m,为一套深灰色泥质白云岩夹泥页岩;川北城口高燕剖面显示震旦系为薄层灰岩、泥页岩和硅质灰岩,属较深水沉积。

4 构造-岩相古地理控储特点

构造-岩相古地理至少在以下2个方面对储层的发育和分布具有重要控制作用:一是构造-岩相古地理控制了有利储集相带的发育,为储层形成奠定了物质基础。前面已经讨论了构造-岩相古地理对镶边台地或缓坡台地有利储集相带的控制,对于蒸发台地,有利储集相带也同样受构造-岩相古地理控制:如鄂尔多斯盆地马家沟组含膏白云岩坪相带是主要的储集相带,其环绕古隆起和膏盐湖发育,

这种含膏白云岩坪相带经岩溶作用改造成为有利储集体。二是构造-岩相古地理控制了白云石化和岩溶改造的范围和程度,从而控制储层的分布。下文重点以鄂尔多斯盆地寒武系张夏组为例,讨论构造-岩相古地理对白云石化和岩溶改造的影响。

4.1 构造-岩相古地理对早期白云石化的影响

众所周知,高镁钙比值流体的参与是白云石化发生的重要条件^[59-60],而高镁钙比值流体的形成往往有赖于局限、蒸发的浅水环境,这种环境又通常受古隆起和古障壁等构造-岩相古地理背景的控制。以鄂尔多斯盆地张夏组为例,张夏组沉积时具有“三隆两坳”的古地理格局(图5),白云岩主要分布在镇原—横山—柳林古隆起及其周围,并且由古隆起向坳陷区白云石化逐渐变弱(图9),坳陷区则完全未白云石化,这种分布特点显然受隆坳背景的控制。这也说明,在同等干旱气候条件下,古隆起及周围由于地貌高、水体浅,海水经蒸发作用迅速浓缩,形成高镁钙比值卤水,从而具备准同生白云石化发生的地质条件,促使张夏组鲕粒滩发生白云石化。与此相反,在古隆起外围至坳陷区,由于地貌低、海水深,并与外海水体循环通畅,难以形成准同生白云石化的地质条件,因此远离古隆起区域的张夏组鲕粒滩未发生白云石化。

除了鄂尔多斯盆地张夏组,四川盆地栖霞组白云岩也主要分布在古隆起部位,同样显示出古地理控制白云石化作用发生范围的特点。

4.2 构造-岩相古地理对表生岩溶作用的影响

表生岩溶作用对储层的改造具有重要建设性意义。我国许多重要的油气产层,如四川盆地震旦系灯影组和寒武系龙王庙组^[61]、鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组^[62-64]、塔里木盆地奥陶系鹰山组^[65]等,往往与岩溶作用密切相关。对于以整体抬升暴露为主的古生代碳酸盐台地来说,构造-岩相古地理对岩溶作用的范围和改造强度具有重要控制作用。以鄂尔多斯盆地张夏组为例(图10):寒武纪末,华北板块整体抬升,造成大面积沉积间断,在古隆起及斜坡上部地区三山子组大多被剥蚀殆尽,张夏组直接暴露而遭受淡水淋滤溶蚀,形成大量溶蚀孔洞,这进一步改善了储集性能;而在古隆起斜坡下部,因剥蚀较弱,大多残存三山子组,张夏组未直接暴露地表,受风化淋滤溶蚀程度低,导致孔洞不发育,储集性能明显变差。

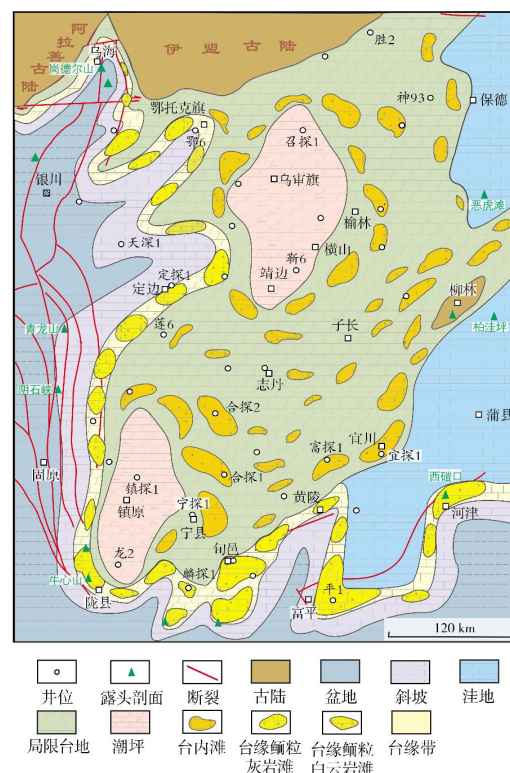


图9 鄂尔多斯盆地寒武纪张夏期构造-岩相古地理图
部分井名、露头剖面名参见图5

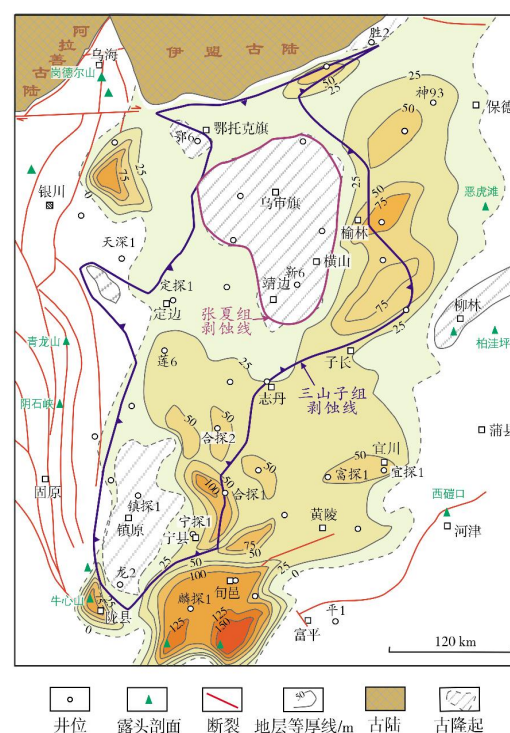


图10 鄂尔多斯盆地寒武系张夏组岩溶作用范围
部分井名、露头剖面名参见图5

四川盆地寒武系龙王庙组储层也具有由古隆向斜坡区溶蚀减弱、储层物性变差的特点。上述讨论表明构造-岩相古地理对储层的形成与改造具有明显控制作用。

5 沉积模式及油气地质意义

以上分析表明,我国海相含油气盆地构造-岩相古地理具有鲜明的中国特色,沉积模式也与经典Tucker等^[66]和Wilson^[67]的模式有很大不同。图11是新建的碳酸盐岩“多台缘”镶边台地沉积模式,该模式包含3类台缘和2种台盆:3类台缘即大陆边缘型台缘、裂陷边缘型台缘和坳陷边缘型台缘;2种台盆即裂陷型台盆和坳陷型台盆。台缘带构成了规模储层发育的物质基础,经准同生溶蚀和晚期岩溶作用改造以及白云石化作用形成优质储层。台盆是烃源岩沉积的有利环境,如四川盆地震旦纪—寒武纪德阳—安岳裂陷型台盆发育了灯三期和早寒武世优质烃源岩,梁平—开江坳陷型台盆发育长兴期烃源岩^[68-69]。该模式的建立揭

示我国小克拉通碳酸盐台地内部存在多种成藏组合,为台内油气勘探提供了理论依据。

图12是碳酸盐岩“双滩”缓坡沉积模式,该模式是对前人缓坡模式^[53-54,70]的改进,有2个特点:一是在内缓坡和中缓坡均发育具有规模的滩带,且内缓坡滩带分布范围极广,如塔里木盆地肖尔布拉克组内缓坡颗粒滩沿塔西南隆起的北部缓坡和柯坪—温宿隆起的东南缓坡大面积分布,又如四川盆地龙王庙组内缓坡颗粒滩围绕川西古隆大面积分布等,这些滩带经白云石化和岩溶作用改造成为良好储层;二是在“双滩”之间发育台盆,如塔里木盆地肖尔布拉克期介于3个古隆之间的满加尔台盆,四川盆地龙王庙期的川东台盆,它们是潜在的烃源岩发育区,与外缓坡烃源岩一起构成供烃系统,并与滩带形成有利成藏组合。目前,该类型成藏组合在四川盆地龙王庙组内缓坡滩带已发现安岳特大型气田,这对具有相似构造-古地理背景的塔里木盆地肖尔布拉克组勘探具有重要的借鉴意义。

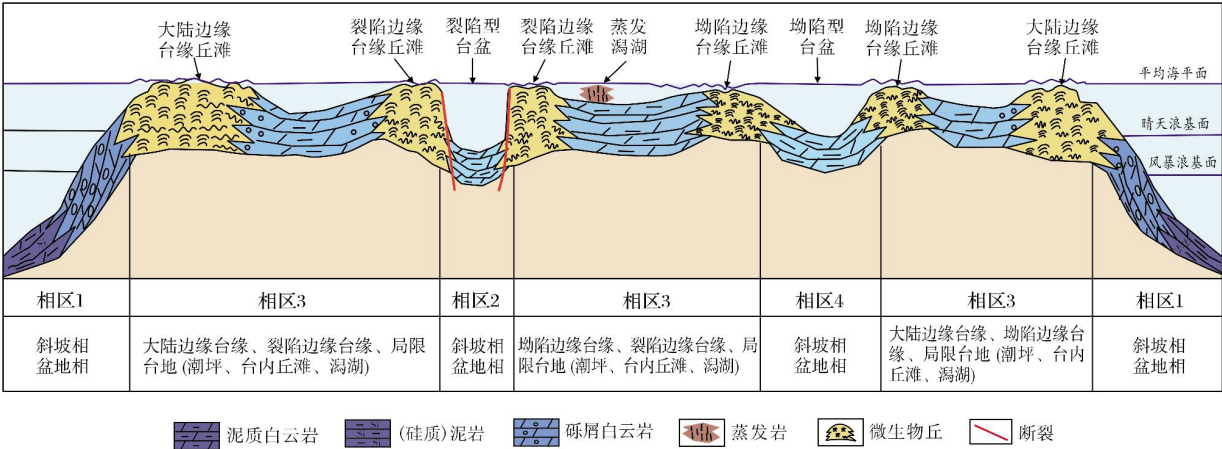


图11 中国海相碳酸盐岩“多台缘”镶边台地模式图

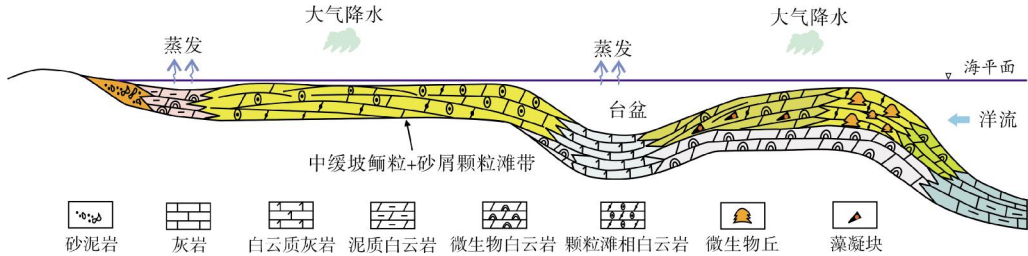


图12 中国海相碳酸盐岩“双滩”缓坡沉积模式

6 结论

我国小克拉通海相碳酸盐台地构造-古地理具

有隆坳相间、隆控储、坳控源的特点,构造-岩相古地理具有“多台缘、多滩带和多台盆”的特点,构造-岩相古地理对早期白云石化的发生和岩溶作用的范围及

改造程度具有重要影响,从而控制储层分布。

建立了“多台缘”镶边台地模式和“双滩”缓坡沉积模式,揭示我国海相碳酸盐台地内部具备多种成藏组合,具有良好勘探潜力。“多台缘”镶边台地模式和“双滩”缓坡沉积模式为台内勘探提供了理论支撑。

参考文献

- [1] 赵文智,汪泽成,王红军,等. 近年来我国发现大中型气田的地质特点与21世纪初天然气勘探前景[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(6): 687-692.
- [2] 冉隆辉,陈更生,徐仁芬. 中国海相油气田勘探实例(之一): 四川盆地罗家寨大型气田的发现和探明[J]. 海相油气地质, 2005, 10(1): 43-47.
- [3] 马永生. 中国海相油气田勘探实例(之六): 四川盆地普光大气田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2006, 11(2): 35-40.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 黄汲清. 中国主要地质构造单位[M]. 中央地质调查所地质专报甲种第20号, 1945年首版英文版.
- [7] 刘鸿允. 中国古地理图[M]. 北京: 科学出版社, 1955: 1-50.
- [8] 关士聪,演怀玉,陈显群,等. 中国海陆变迁、海域沉积与油气(晚元古代—三叠纪)[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [9] 王鸿祯,等. 中国古地理图集[M]. 北京: 地图出版社, 1985: 1-143.
- [10] 刘宝珺,许效松. 中国南方岩相古地理图集(震旦纪—三叠纪)[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [11] 冯增昭,陈继新,张吉森. 鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [12] 冯增昭,鲍志东,吴茂炳,等. 塔里木地区寒武纪岩相古地理[J]. 古地理学报, 2006, 8(4): 427-439.
- [13] 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 1-438.
- [14] 赵文智,张光亚,何海清,等. 中国海相石油地质与叠合含油气盆地[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [15] 马永生,陈洪德,王国力,等. 中国南方层序地层与古地理[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 1-603.
- [16] 郑和荣,胡宗全. 中国前中生代构造—岩相古地理图集[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- [17] 郝杰,翟明国. 罗迪尼亚超大陆与晋宁运动和震旦系[J]. 地质科学, 2004, 39(1): 139-152.
- [18] 戴金星,刘德良,曹高社,等. 华北盆地南缘寒武系烃源岩[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
- [19] 黄汲清,任纪舜,姜春发,等. 中国大地构造及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [20] 罗志立. 中国西南地区晚古生代以来地裂运动对石油等矿产形成的影响[J]. 四川地质学报, 1981, 2(1): 1-22.
- [21] 罗志立. 略论地裂运动与中国油气分布[J]. 中国地质科学院院报, 1984(3): 93-101.
- [22] 宋金民,刘树根,孙玮,等. 兴凯地裂运动对四川盆地灯影组优质储层的控制作用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(6): 658-670.
- [23] 周进高,赵宗举,邓红婴. 合肥盆地构造演化及含油性分析[J]. 地质学报, 1999, 73(1): 15-24.
- [24] 杨雨,黄先平,张健,等. 四川盆地寒武系沉积前震旦系顶界岩溶地貌特征及其地质意义[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 38-43.
- [25] 汪泽成,姜华,王铜山,等. 四川盆地桐湾期古地貌特征及成藏意义[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 305-312.
- [26] 刘树根,孙玮,罗志立,等. 兴凯地裂运动与四川盆地地下组合油气勘探[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(5): 511-520.
- [27] 钟勇,李亚林,张晓斌,等. 四川盆地地下组合张性构造特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(5): 498-510.
- [28] 李忠权,刘记,李应,等. 四川盆地震旦系威远—安岳拉张侵蚀槽特征及形成演化[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(1): 26-33.
- [29] 魏国齐,杨威,杜金虎,等. 四川盆地震旦纪—早寒武世克拉通内裂陷地质特征[J]. 天然气工业, 2015, 35(1): 24-35.
- [30] 刘殊,甯濛,谢刚平. 川西拗陷古坳拉槽的地质意义及礁滩相天然气藏勘探潜力[J]. 天然气工业, 2015, 35(7): 17-26.
- [31] 周进高,沈安江,张建勇,等. 四川盆地德阳—安岳台内裂陷与震旦系勘探方向[J]. 海相油气地质, 2018, 23(2): 1-9.
- [32] 杨雨,王一刚,文应初,等. 川东飞仙关组沉积相与鲕滩气藏的分布[J]. 天然气勘探与开发, 2001, 24(3): 18-21.
- [33] 王一刚,张静,刘兴刚,等. 四川盆地东北部下三叠统飞仙关组碳酸盐蒸发台地沉积相[J]. 古地理学报, 2005, 7(3): 354-372.
- [34] 陈友智,付金华,杨高印,等. 鄂尔多斯地块中元古代长城纪盆地属性研究[J]. 岩石学报, 2016, 32(3): 856-864.
- [35] 管树巍,吴林,任荣,等. 中国主要克拉通前寒武纪裂谷分布与油气勘探前景[J]. 石油学报, 2017, 38(1): 9-22.
- [36] 王坤,王铜山,汪泽成,等. 华北克拉通南缘长城系裂谷特征与油气地质条件[J]. 石油学报, 2018, 39(5): 504-517.
- [37] 冯许魁,刘永彬,韩长伟,等. 塔里木盆地震旦系裂谷发育特征及其对油气勘探的指导意义[J]. 石油地质与工程, 2015, 29(2): 5-10.
- [38] 宋文海. 乐山—龙女寺古隆起大中型气田成藏条件研究[J]. 天然气工业, 1996, 16(S1): 13-26.
- [39] 许海龙,魏国齐,贾承造,等. 乐山—龙女寺古隆起构造演化及对震旦系成藏的控制[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(4): 406-416.
- [40] 何登发,周新源,杨海军,等. 塔里木盆地克拉通内古隆起的成因机制与构造类型[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 207-221.
- [41] 付金华,孙六一,冯强汉,等. 鄂尔多斯盆地地下古生界海相碳酸盐岩油气地质与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2019.
- [42] 冯增昭,鲍志东,康祺发,等. 鄂尔多斯早古生代古构造[J]. 古地理学报, 1999, 1(2): 84-91.
- [43] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- [44] 汤显明,惠斌耀. 鄂尔多斯盆地中央古隆起与天然气聚集[J]. 石油与天然气地质, 1993, 14(1): 64-71.
- [45] 周进高,张建勇,邓红婴,等. 四川盆地震旦系灯影组岩相古地理与沉积模式[J]. 天然气工业, 2017, 37(1): 24-31.
- [46] ZHOU Jingao, DENG Hongying, YU Zhou, et al. The genesis and prediction of dolomite reservoir in reef-shoal of Changxing Formation—Feixianguan Formation in Sichuan Basin[J]. Journal of petroleum science and engineering, 2019, 178: 324-335.

- [47] 李凌,谭秀成,曾伟,等. 四川盆地震旦系灯影组灰泥丘发育特征及储集意义[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(6): 666-673.
- [48] 姚根顺,郝毅,周进高,等. 四川盆地震旦系灯影组储层储集空间的形成与演化[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 31-37.
- [49] 周进高,姚根顺,杨光,等. 四川盆地安岳大气田震旦系—寒武系储层的发育机制[J]. 天然气工业, 2015, 35(1): 36-44.
- [50] 杨威,魏国齐,赵蓉蓉,等. 四川盆地震旦系灯影组岩溶储层特征及展布[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 55-60.
- [51] 谷志东,殷积峰,姜华,等. 四川盆地宣汉—开江古隆起的发现及意义[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(6): 893-904.
- [52] 胡明毅,孙春燕,高达. 塔里木盆地寒武统肖尔布拉克组构造-岩相古地理特征[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(1): 12-23.
- [53] 姚根顺,周进高,邹伟宏,等. 四川盆地寒武统龙王庙组颗粒滩特征及分布规律[J]. 海相油气地质, 2013, 18(4): 1-8.
- [54] 周进高,徐春春,姚根顺,等. 四川盆地寒武统龙王庙组储集层形成与演化[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(2): 158-166.
- [55] 周进高,房超,季汉成,等. 四川盆地寒武统龙王庙组颗粒滩发育规律[J]. 天然气工业, 2014, 34(8): 27-36.
- [56] 李文正,周进高,张建勇,等. 四川盆地洗象池组储集层的主控因素与有利区分布[J]. 天然气工业, 2016, 36(1): 52-60.
- [57] 周进高,姚根顺,杨光,等. 四川盆地栖霞组—茅口组岩相古地理与天然气有利勘探区带[J]. 天然气工业, 2016, 36(4): 8-15.
- [58] 周进高,郝毅,邓红婴,等. 四川盆地中西部栖霞组—茅口组孔洞型白云岩储层成因与分布[EB/OL]. [2019-04-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1328.P.20190402.1443.002.html>.
- [59] ADAMS J E, RHODES M L. Dolomitization by seepage refluxion[J]. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 1960, 44(12): 1912-1920.
- [60] ILLING LV, WELLS A J, TAYLOR J C M. Penecontemporaneous dolomite in the Persian Gulf[C]// PRAY L C, MURRAY R C. Dolomitization and limestone diagenesis. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 13, 1965: 89-111.
- [61] 金民东,谭秀成,童明胜,等. 四川盆地高石梯—磨溪地区灯四段岩溶古地貌恢复及地质意义[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(1): 58-68.
- [62] 任军峰,包洪平,孙六一,等. 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳岩溶储层孔洞充填特征及机理[J]. 海相油气地质, 2012, 17(2): 63-69.
- [63] 周进高,邓红婴,郑兴平. 鄂尔多斯盆地马家沟组储集层特征及其预测方法[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(6): 72-74.
- [64] 吴亚生,何顺利,卢涛,等. 长庆中部气田奥陶纪马家沟组储层成岩模式与孔隙系统[J]. 岩石学报, 2006, 22(8): 2171-2181.
- [65] 张庆玉,梁彬,谈永,等. 塔中北斜坡奥陶系鹰山组岩溶储层特征及古岩溶发育模式[J]. 中国岩溶, 2015, 35(1): 106-113.
- [66] TUCKER M E, WRIGHT V P. Carbonate sedimentology[M]. Oxford: Blackwell scientific publication, 1990: 482.
- [67] WILSON J L. Carbonate facies in geologic history[M]. New York: Springer Verlag, 1975: 471.
- [68] 肖莉,邓绍强. 四川盆地东北部地区构造演化与油气的关系[J]. 内蒙古石油化工, 2010(3): 116-119.
- [69] 王一刚,文应初,洪海涛,等. 四川盆地开江—梁平海槽内发现大隆组[J]. 天然气工业, 2006, 26(9): 32-36.
- [70] 杜金虎,张宝民,汪泽成,等. 四川盆地寒武统龙王庙组碳酸盐缓坡双颗粒滩沉积模式及储层成因[J]. 天然气工业, 2016, 36(6): 1-10.

编辑:黄革萍

The characteristics of tectonic-lithofacies paleogeography of marine petroliferous basins of China

ZHOU Jin'gao, LIU Xinshe, SHEN Anjiang, DENG Hongying, ZHU Yongjin, LI Weiling, DING Zhenchun, YU Zhou, ZHANG Jianyong, ZHENG Jianfeng, WU Xingning, ZHANG Ru, TANG Jin

Abstract: Tectonic-lithofacies paleogeography is the foundation of the evaluation for source-reservoir-cap and reservoir-forming assemblage, which plays a significant role in oil and gas exploration. However, because of the limited data and recognition, the existing facies maps of major marine basins in China can not meet the needs of oil and gas exploration in deep marine carbonate rocks. Based on the new drilling and seismic data, the lithofacies recognition technology was used to restore the marine tectonic-lithofacies paleogeography of Tarim Basin, Sichuan Basin and Ordos Basin. It is concluded that: (1) the tectonic paleogeography of China's marine carbonate platform in small craton is characterized with the alternation of uplift and depression, and uplift controlling reservoir and depression controlling source rocks; (2) tectonic-lithofacies paleogeography is characterized with multiple platform margins, multiple shoal zones and multiple platform basins; (3) tectonic-lithofacies paleogeography plays an important role in the early dolomitization and the range and reconstruction degree of karstification, thus controlling the distribution of reservoir; (4) multiple margin platform model is established and double-shoal sedimentary model of gentle slope is improved, which reveals that there are many favorable reservoir-forming assemblages in the marine carbonate platform of China. The research results deepen the understanding of the common characteristics of China's marine carbonate platform in small craton, and provide theoretical support for oil and gas exploration of deep marine carbonate rocks.

Key words: tectonic-lithofacies paleogeography; sedimentary model; carbonate rocks; Ordos Basin; Sichuan Basin; Tarim Basin

ZHOU Jin'gao, First author: PhD, Professor. Add: PetroChina Hangzhou Institute of Geology, No. 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China