走滑型断溶体形成机制与油气成藏研究进展

王露露[1*]，代宗仰[1]，李阳[1,2]，高洋[1]，任铌[1]，郭子家[1]

1. 西南石油大学地球科学与技术学院，成都 610500；
2. 中国石油辽河油田分公司，辽宁 盘锦 124010

* 通信作者，E-mail：1724663853@qq.com

2024-04-08 收稿；2024-07-28 修回；2024-07-31 接受

基金项目：中国石油–西南石油大学创新联合体项目“深层碳酸盐岩规模储层形成、改造机理及优质储集区带预测”（2020CX010301）

中图分类号：P618.13　　文章编号：2096-8523(2026)01-0095-15　　doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240149

摘　要：断溶体在国内多数盆地普遍发育，其资源量巨大，已经成为地学界研究的热点课题。但由于其埋藏深、勘探难度大，对断溶体的圈闭划分、形成机制、发育控制因素观点不一，亟需形成一致的认识。首先回顾了断溶体的基本概念，指出其具有埋藏深、非均质性强、流体性质差异大等特点，并强调了走滑断层在油气储集和运移中的重要作用。通过对塔里木盆地顺北地区及其他地区的地质数据进行分析，揭示了断溶体的圈闭类型、形成机制及其控藏因素。研究认为走滑断层的分段性、溶蚀流体的活动以及烃类的及时侵位对断溶体油气藏的发育至关重要。此外，研究了大气淡水、热液流体和烃类流体在储层改造中的作用，及如何共同影响断溶体油气藏的形成和分布。总结了断溶体油气藏的成藏模式。本研究有助于开拓新的油气勘探领域和方向。

关键词：断溶体；圈闭类型；形成机制；控藏作用；走滑断层；成藏模式

长期以来，学者们在研究碳酸盐岩缝洞型油气藏时，主要关注于不整合面，而断裂带通常被视为油气输导体系，很少被考虑作为储集体。然而，随着成藏模式认识的演变，每一次理论的突破都直接推动了勘探实践的重大进展[1]。近年来，在塔里木盆地的勘探开发实践中发现了一种特殊类型的碳酸盐岩缝洞型油气藏——断溶体油气藏。这些油藏多数沿大断裂分布[2-4]，表明断裂带不仅作为岩溶流体的运移通道，也是重要的油气储集空间。2013—2016 年间，中石化西北油田分公司生产实践揭示了断溶体油气藏的巨大潜力，其规模大、产能高，估算资源量高达 17 亿 t[5]。此外，在塔里木盆地顺北地区奥陶系一间房组和鹰山组[6]、四川盆地二叠系茅口组[7-9]和川西南震旦系灯影组[10]，也陆续发现了断溶体油气藏。它们都形成于强烈且多期活动的构造背景下的碳酸盐岩中，断溶体油气藏都沿断裂带分布，且受多种岩溶流体改造。

在塔里木盆地勘探发现的断溶体油气藏多发育于 7000 m 以上的超深碳酸盐岩地层中。深埋条件下，勘探难度大，断溶体结构复杂、现有识别技术有限，难以对其进行精细刻画。断溶体形成机制及其影响因素复杂多样，主要是多期构造活动形成复杂活跃的走滑断层，以及后期多种溶蚀流体的叠加改造。但目前深埋条件下溶蚀作用能否有效改造储层尚有一定争议，MAZZULLO 等[11]认为深层流体可沿不整合面、断裂、缝合线等对早期的孔隙进一步溶蚀扩大或形成新的次生孔隙；BJØRLYKKE 等[12-13]认为深埋条件下，溶蚀流体易饱和沉淀充填先存的孔隙而破坏储层。尽管存在争议，但在塔河勘探开发中发现断溶体储层具有特殊性，走滑断层断穿基底延伸至地表，使其具有相对开放的系统，溶蚀流体不易饱和，能使埋藏溶蚀作用持续进行，有效改善储层物性。

基于文献调研，笔者拟在总结断溶体的概念、断溶体的类型及其形成机制基础上，讨论断溶体发育

著录信息：王露露，代宗仰，李阳，等. 走滑型断溶体形成机制与油气成藏研究进展［J］. 地质科技通报，2026，45(1)：95-109.
WANG Lulu, DAI Zongyang, LI Yang, et al. Research progress on formation mechanism and hydrocarbon accumulation of strike-slip fault-karst reservoir[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2026, 45(1): 95-109.

© Editorial Office of Bulletin of Geological Science and Technology. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.　https://dzkjtb.cug.edu.cn

的影响因素及油气成藏模式，为断溶体理论的研究提供参考。

1　断溶体概念

断溶体是由国内学者鲁新便等[4]提出并命名，它是指在巨厚碳酸盐岩地层内部经历多期构造运动，在深大断裂及其衍生的裂缝系统十分发育的区域，由于岩溶水沿断裂方向下渗或上涌（局部热液上涌）而发生一系列的溶蚀–充填作用，导致破碎带内形成不同空间结构的缝洞型储集体；溶蚀作用可形成新的储集空间或是溶蚀扩大先期存在的裂缝和孔洞，其中断裂及其产生的大量伴生裂缝不仅是重要的储集空间，更是岩溶流体纵横向上的运移通道[14-17]（图 1）。断溶体的形成主要受大型断层及次级断裂控制，在一定程度上不遵循岩溶“平面分区，纵向分带”的规律，与表生岩溶有较大差异。油气在地质运移过程中，当其汇聚于断溶体这类缝洞型储集体时，便形成了独特的断溶体油气藏。其属于孔隙型与岩溶缝洞型碳酸盐岩油气藏之外的一种新油气藏[18]。断溶体油气藏沿走滑断层呈条带状分布，具有埋藏深、储层非均质性强、流体性质差异大等特点[19-21]。

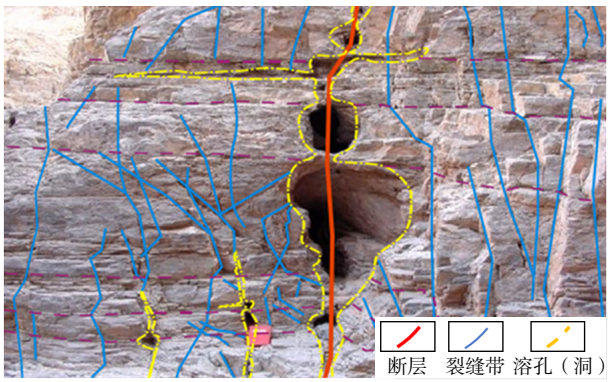


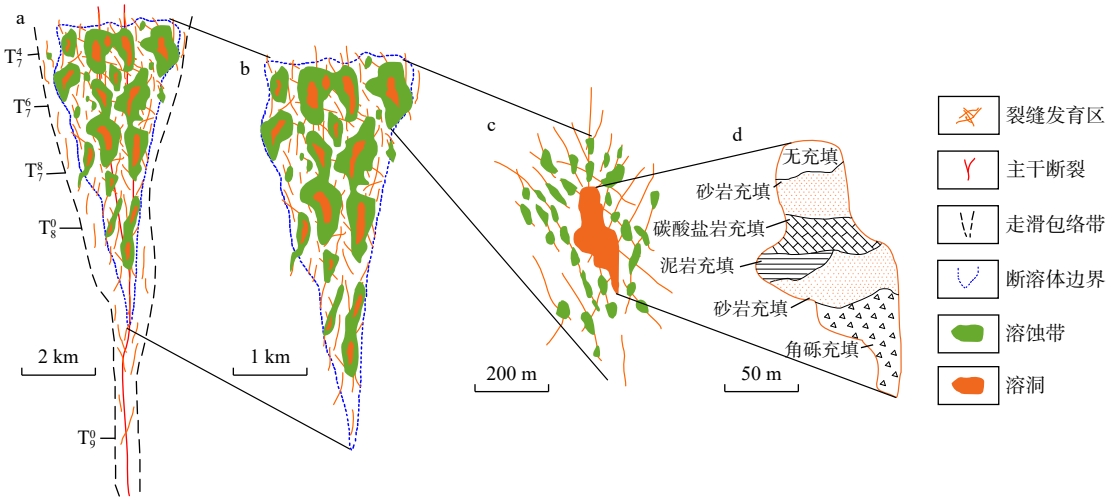
图 1　塔河地区奥陶系断溶体野外露头[4]

Fig. 1　Ordovician outcrop of fault-karst reservoir in the Tahe area

2　断溶体结构特征与圈闭类型

2.1　断溶体结构特征

断溶体形成于复杂强烈的构造背景下，具有复杂的内部结构和显著的纵向延伸特征。由于这些结构主要受后期岩溶作用的改造，其成因与古水系、古地貌和古构造有着不可分割的联系。因此，传统的等时性原则对断溶体结构层次划分不适用[22]。在研究断溶体时，采用成因建模和层次建模原则[23]作为指导，可以更有效地理解和解释这些结构的复杂性。张文彪等[23]基于构造与溶蚀作用过程，以断裂与溶蚀体为关键因素，对断溶体划分出走滑断层破碎带、断溶体、断溶体内部缝洞带和大型洞穴充填 4 个结构层次。第 1 层次为构造作用所产生的走滑断层综合影响的范围，纵向上断裂可断穿基底，顶部为可延伸至地表的花状构造，横向上派生的裂缝体系可绵延 2 km（图 2a）。第 2 层次为上一级框架内破碎程度高、裂缝发育密集、溶蚀作用集中部位（图 2b）。



a. 第 1 层次，走滑断层综合影响下的断溶体范围；b. 第 2 层次，断溶体内破碎程度高、溶蚀作用强的综合影响范围；c. 第 3 层次，断溶体内部缝洞带单元；d. 第 4 层次，大型洞穴内部填充，从下至上依次为角砾充填、砂岩充填、泥岩充填、碳酸盐岩充填、砂岩充填及无充填部分。洞穴内的填充情况十分复杂，在不同的沉积环境下洞穴的填充序列各不相同。 T_7^4. 中奥陶统一间房组顶面地震反射界面；T_7^6. 中–下奥陶统鹰山组顶面地震反射界面；T_7^8. 下奥陶统蓬莱坝组顶面地震反射界面；T_8^0. 寒武系顶面地震反射界面；T_9^0. 震旦系顶面地震反射界面；下同

图 2　塔河油田托甫台区奥陶系断溶体结构层次划分（据文献 [23] 修改）

Fig. 2　Structure division of Ordovician fault-karst reservoir in the Tofutai area, Tahe Oilfield

第 3 层次为断溶体内部缝洞带，由于溶蚀强度差异各要素之间分布具有一定规律性，在三维模型上表现为以大型溶洞为中心，向外依次过渡为缝–洞溶蚀带、裂缝带(图 2c)。第 4 层次为大型洞穴充填，洞穴内充填情况复杂多样，通过地震和测井手段难以分辨洞穴内的充填序列，一般洞穴的底部为垮塌角砾填充，向上可能填充砂岩、泥岩、碳酸盐岩等，在不同的沉积环境下洞穴的填充序列各不相同，可通过野外露头观察和推测其内部结构(图 2d)。

2.2 断溶体圈闭类型

鲁新便等[4, 24]根据断裂的几何形态和级别，将断溶体圈闭划分为条带状、夹心饼状和平板状圈闭 3 类，这种划分方法较为简单，但面对复杂多样的断溶体时，其识别能力有限。为了解决这一问题，程洪等[25]在塔河地区勘探开发实践中，对断溶体圈闭进行了更细致的分类。他们按断裂级别、变形样式将断溶体圈闭划分为主干断溶带圈闭、分支断溶带圈闭和内幕断溶带圈闭 3 大类(Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ)，依据断裂的破碎程度、几何形态及岩溶改造程度等因素进一步划分出 7 小类($Ⅰ_1$，$Ⅰ_2$，$Ⅰ_3$，$Ⅱ_1$，$Ⅱ_2$，$Ⅲ_1$，$Ⅲ_2$)(图 3)。从而为复杂断溶体的识别和研究提供了更为精确的分类框架。

2.2.1 主干断溶带圈闭

主干断溶带圈闭，发育于走滑断层的核部，其特点为纵向发育程度高，横向波及范围广。塔河地区发育的走滑断层在平面上显示出明显的分段性(拉分段、挤压段、平移段)，按走滑断层的分段性将主干断溶带圈闭划分为纺锤状圈闭(图 3 $Ⅰ_1$)和板状圈闭(图 3 $Ⅰ_2$)，其中纺锤状圈闭按走滑断层的受力差异细分为正花状圈闭(挤压应力)和负花状圈闭(张应力)。正花状圈闭在其深部断裂面平直高陡且狭窄，浅部受斜向的压扭应力而发生错段，岩石破碎程度高，向地层顶部隆起(图 4a)；负花状圈闭在其深部同正花状相似，浅部受张扭应力发生错段，形成局部断陷下掉。板状圈闭发育于走滑断层的平移段，断裂面高陡狭窄，剖面上呈单支直立状，平面上呈条带状。

主干断溶带圈闭的储集空间以溶洞型和裂缝–孔洞型为主，在走滑断层核部发育大型溶洞，孔、洞发育程度由断层核部向两侧的破碎延伸带逐渐减小，过渡为裂缝型。主干断溶带圈闭在地震剖面上表现为深层和浅层均为强反射，且沿断裂走向储集体的横向连通性较好。开发实践表明其单井产能高。

2.2.2 分支断溶带圈闭

与主干断溶带圈闭相比，分支断溶带圈闭发育规模和溶蚀程度明显变小。其平面控制范围减小，纵向发育程度降低，断裂破碎带规模减小、溶蚀程度降低，储集空间以孔洞型、裂缝–孔洞型为主。依据构造样式将分支断溶带圈闭划分为“卜”字形圈闭(图 3 $Ⅱ_1$)和夹心饼状圈闭(图 3 $Ⅱ_2$，4b)。分支断溶带圈闭在地震剖面上表现为浅层强反射、深层弱反射的特征。“卜”字形圈闭剖面上呈单支倾斜状，溶蚀作用相对较弱，主要沿断裂溶蚀改造；夹心饼状圈闭呈平行高陡型或雁列状，溶蚀作用弱于主干断裂，储集空间以裂缝–孔洞型为主(图 4b)。根据塔河地区的开发实践表明其单井产能一般。

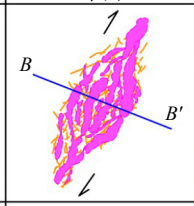
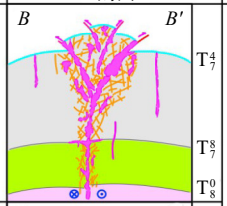
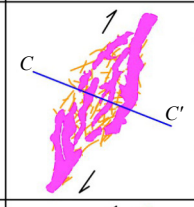
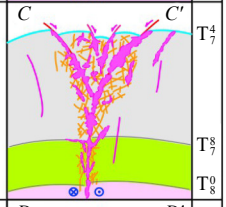
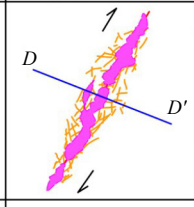
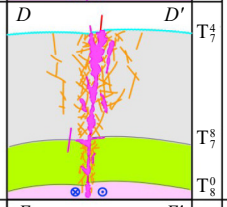
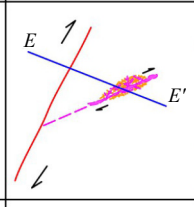
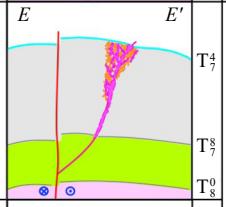
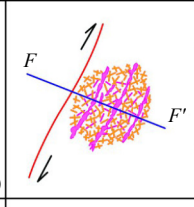
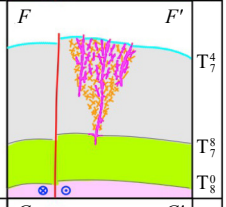
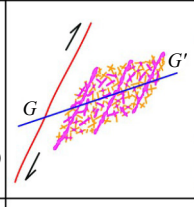
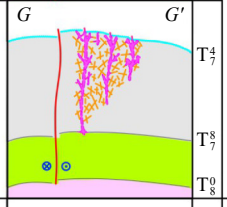
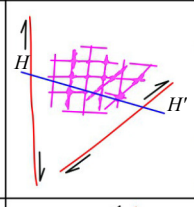
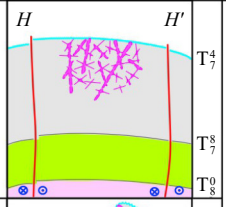
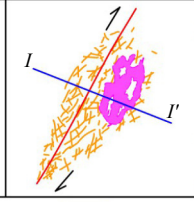
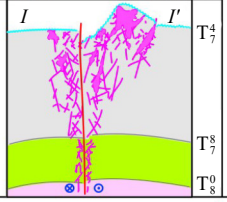
2.2.3 内幕断溶带圈闭

在较强的构造应力作用下，受主干断裂与分支断裂影响，在各个断裂之间形成的网格状断裂。其断裂规模较小、溶蚀作用弱，储集空间以裂缝型为主。按几何形态可将其细分为菱格状圈闭(图 3 $Ⅲ_1$、图 4c)和团块状圈闭(图 3 $Ⅲ_2$)。在地震剖面上表现为浅层呈杂乱或弱反射特征，深层呈连续反射的特征。该类型油气圈闭产能较低。

3 断溶体形成机制

3.1 断裂改造机制

断溶体的形成与断裂活动有着密不可分的联系，鲁新便等[24]在塔河地区的研究中认为断溶体的形成基于多期继承性的断裂活动，随后受到后期溶蚀流体的改造，以及持续循环的岩溶水系统的叠加作用，最终在合适的油气运聚条件下形成断溶体[4]。塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩经历了多期构造运动，裂缝体系十分发育。随地应力的增强，这些裂缝相互交织，形成了网格状的连通体系，这不仅增大了岩溶水的溶蚀范围，而且大大增加了致密碳酸盐岩的渗透性[26-27]，为后期岩溶流体改造提供了先决条件。加里东中–晚期，塔里木盆地发生区域性挤压构造运动[28]，此时断裂发育较少，发生短暂的准同生岩溶作用。到了海西早期，构造运动使塔河地区地层强烈抬升，奥陶系长期遭受风化剥蚀，大气淡水淋滤作用使早期形成的裂缝体系形成以岩溶为主的缝洞体，经多期构造运动使断裂继承性发育，断裂体系的连通性进一步增强，岩溶作用的规模及程度不断增大。最后，在构造沉降过程中，上覆盖层封挡作用使得储集体不再受大气淡水的影响，而深层热液、有机质热解有机酸、岩浆热液等流体沿深大断裂向上运移对储集体进一步改造，最终形成断溶体(图 5a)。周文等[30]认为在构造的主体部位、翼部或地表径流带只要存

类型	亚类	圈闭形态		受控断裂			溶蚀特征	储集体特征	代表钻井
		平面	剖面	断层性质	断开界面	构造样式			
主干断溶带圈闭(Ⅰ)	纺锤状圈闭(I_1)：正花状圈闭(I_{1-1})			走滑	T_7^4–T_8^0	正花状	溶蚀作用强。核部溶蚀强度最强，发育洞穴型缝洞体，向两侧逐渐过渡，溶蚀作用逐步减弱	以溶洞型和裂缝–孔洞型为主，核部发育大型溶洞，向两侧逐步过渡为孔洞、裂缝。地震剖面上由深到浅整体呈强反射，储集体内部连通性较好	TH12325井 TH12340井 TP101X井
	纺锤状圈闭(I_1)：负花状圈闭(I_{1-2})					负花状			TH10275井 TP227X井
	板状圈闭(I_2)					直立状			S97井 TP276H井
分支断溶带圈闭(Ⅱ)	“卜”字形圈闭($Ⅱ_1$)			走滑	T_7^4–T_7^8	单支倾斜状断裂	溶蚀强度整体一般，断裂核部溶蚀作用相对较强，向边部逐步减弱。整体平面上呈强弱交替分布	以孔洞型和裂缝–孔洞型为主，从内部的孔洞、裂缝–孔洞交替分布，逐步过渡到边部为裂缝。地震剖面上浅层呈强反射、深层反射特征较弱，储集体沿伴生断裂的走向分布，内部连通性较好，垂直断裂走向的各缝洞体间连通性差	TK841井
	夹心饼状圈闭($Ⅱ_2$)：平行高陡型圈闭($Ⅱ_{2-1}$)					平行高陡断裂组合			TP267X井
	夹心饼状圈闭($Ⅱ_2$)：雁列状圈闭($Ⅱ_{2-2}$)					雁列状断裂组合			TP302X井 TP303井
内幕断溶带圈闭(Ⅲ)	菱格状圈闭($Ⅲ_1$)			走滑+逆冲	T_7^4–T_8^0	内幕网状	溶蚀强度整体较弱。平面上溶蚀相对较强的部位整体呈菱格状分布；在伴生地质变形体的局部构造高点上常常发育岩溶强的缝洞体	以裂缝型为主，地震剖面上浅层呈弱反射、深层特征不明显，储集体内部连通性较差	TH10283井
	团块状圈闭($Ⅲ_2$)					内幕断裂+低幅构造			T705CH井

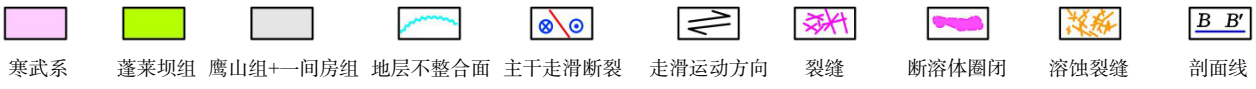


图 3　断溶体圈闭类型及特征[25]

Fig. 3　Trap types and characteristics of fault-karst reservoir

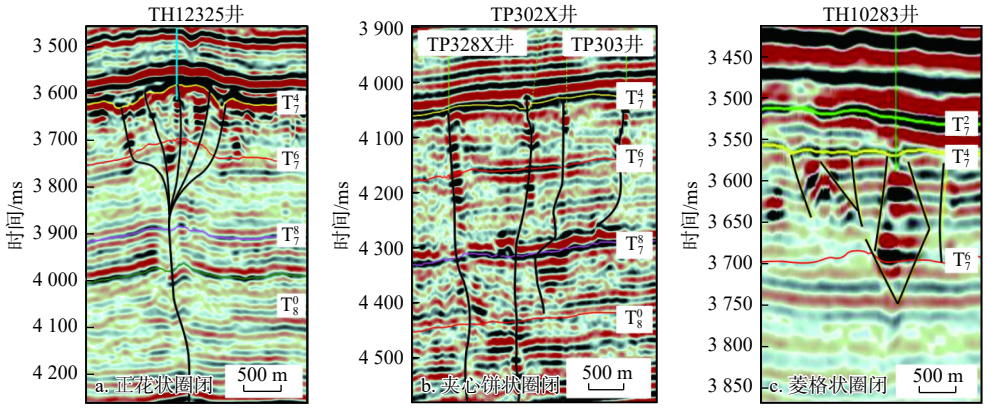
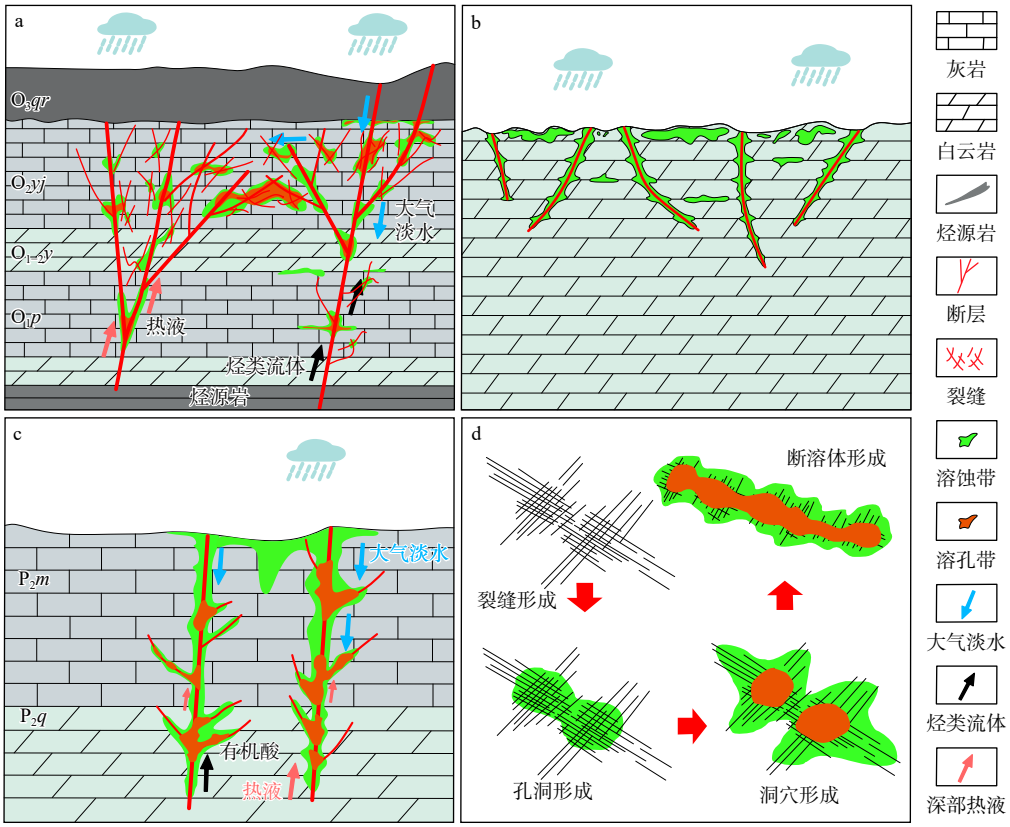


图 4　塔河地区圈闭类型实例（据文献 [25] 修改；T_7^2. 上奥陶统良里塔格组顶面地震反射界面）

Fig. 4　Examples of trap types in the Tahe area



a. 塔河油田奥陶系断溶体形成机制；b. 川西南井研地区灯影组断溶体形成机制；c. 川中地区中二叠统断溶体形成机制；d. 断溶体形成模式。O_3qr. 奥陶系恰尔巴克组；O_2yj. 奥陶系一间房组；$O_{1-2}y$. 奥陶系鹰山组；O_1p. 奥陶系蓬莱坝组；P_2m. 二叠系茅口组；P_2q. 二叠系栖霞组；Є. 寒武系，下同

图 5　断溶体储层形成机制（据文献 [7，10，27，29] 修改）

Fig. 5　Formation mechanism of fault-karst reservoir

在断裂，就可能形成“对环流”，岩溶流体不断补充循环，保证岩溶作用的持续进行，可形成深部岩溶洞穴。王玉伟等[31]认为塔里木盆地顺北地区碳酸盐岩储层经历了 4 期构造运动，由此形成了十分发育的缝网系统；奥陶系储层经历了 5 幕流体活动，溶蚀孔洞的形成与大气淡水、外源热卤水、岩浆热液、地层水和烃类等流体的活动有关，且认为主要经历了 2 种流体−岩石相互作用机制，第 1 种为大气淡水−同生海水重力流演化形成早成岩岩溶作用溶蚀孔洞，第 2 种为岩浆驱使远端热液上涌进入储层后发生岩溶作用形成溶蚀孔洞。

川西南灯影组经桐湾运动抬升剥蚀形成不整合面，后经兴凯地裂运动发育广泛层间裂缝，地表大气淡水沿不整合面和层间裂缝溶蚀形成断溶体[10]（图 5b）。

川中地区二叠世受海西运动影响整体处于拉张环境，茅口组形成了堑垒相间的古地貌格局，大气淡水沿沉积断裂及伴生裂缝不断向下溶蚀，形成深度较浅的溶洞–裂缝型断溶体；随着构造应力的增大，断裂断穿基底，下伏志留系龙马溪组页岩、梁山组煤系地层和茅口组烃源岩埋藏生烃形成的有机酸及深层热液沿断裂上涌并不断溶蚀断层壁及裂缝；二叠世晚期玄武岩喷发拉张，深大断裂继承性发育使断裂带彼此交织且沟通了地表大气淡水，茅口组颗粒岩受大气淡水剧烈改造形成面状溶蚀面[7]。茅口组在深层热液、有机酸及多期大气淡水的共同作用下形成裂缝–溶洞型断溶体(图 5c)。

GAO[32-35]，金强等[36]认为断裂是表层淡水或深部热液的流通通道，在断裂破碎程度高、裂缝发育密集的区域溶蚀作用强烈，逐渐形成大规模的洞穴型储集体；在其周围区域应力减弱，裂缝密度及破碎程度逐渐降低，溶蚀作用也相对减弱形成裂缝–孔洞型储集体；在其最外围裂缝密度和溶蚀强度都很低，发育裂缝型储集体(图 5d)。

断溶体油气藏在不同地质背景下展现出不同的埋藏深度和内部结构复杂性。顺北地区奥陶系一间房组发育的断溶体油气藏埋藏深且内部结构十分复杂，川西南灯影组、川中茅口组发育的断溶体油气藏埋藏较浅且内部结构相对简单。综上所述，不管是顺北地区还是川西南、川中地区，断溶体的形成都与断裂活动有着密不可分的联系。除此之外，烃源岩对断溶体的形成也十分重要，烃类大多只能沿沟通烃源岩的深大断裂向上垂向运移至断溶体油气藏。若烃源岩生排烃能力不足或断层未能断穿烃源岩，不仅油气无法运聚成藏，且烃类热解产生的有机酸等溶蚀流体无法对断层壁及裂缝体系进一步溶蚀扩大。此外，先存的溶蚀流体逐渐过饱和沉淀结晶将破坏储层。如顺南古城墟隆起区走滑断层也较为发育，但庞宏等[37]认为该地区烃源岩厚度薄、成熟度低、生排烃强度低，无法形成类似顺北地区的断溶体油气藏。最后，盖层的形成时间也是一个关键因素，虽然油气可以在彼此交织的裂缝系统的高部位保存下来(致密碳酸盐岩封挡)，但只占一小部分。若盖层的形成在生排烃之后，烃类则可通过断层不断向上逸散，无法汇聚成藏；盖层形成在生排烃之前，则可防止烃类的逸散。

3.2　流体改造机制

3.2.1　大气淡水

大气淡水本身溶蚀性极弱，空气中的 CO_2、土壤中微生物活动及对有机质降解释放的 CO_2 溶于水形成 H_2CO_3 则大大提高了对碳酸盐矿物的溶解性[38-40](见式(1)～(4))。

$$H_2O+CO_2\rightarrow H^++HCO_3^-, \quad (1)$$

$$C_6H_{12}O_6+6O_2\rightarrow 6H_2O+6CO_2, \quad (2)$$

$$CaCO_3(s)+2H^+\rightarrow Ca^{2+}+H_2O+CO_2, \quad (3)$$

$$CaMg(CO_3)_2(s)+4H^+\rightarrow Ca^{2+}+Mg^{2+}+2H_2O+2CO_2。 \quad (4)$$

同生–准同生阶段，大气淡水沿断裂系统向覆盖区域下渗，从上到下依次发育表层岩溶带、垂直渗流带和潜流带[41]。表层岩溶带溶蚀作用强烈，形成较大的孔洞，但容易垮塌充填；垂直渗流带整体以垂向溶蚀为主，发育的高角度溶蚀缝连通表层岩溶带和潜流带；潜流带流体具有流速慢、压力大、水平方向流动等特点，因此多发育地下暗河以及溶洞垮塌堆积物，溶蚀孔缝洞多呈水平状、多层、顺层发育[42]。不断补充的 CO_2 和淡水受重力作用不断沿断裂向深部侵蚀，使得岩溶作用持续进行[43]，扩容增大储集空间。塔河艾丁地区奥陶统碳酸盐岩受大气淡水作用影响较大，海西期强烈的构造抬升使地层剥蚀严重，碳酸盐岩直接暴露在大气淡水成岩环境中，且对加里东期大气淡水作用下形成的缝洞储集体进一步改造，塔河顺北地区奥陶统碳酸盐岩受大气淡水作用影响较小[44-47]。川中二叠系茅口组断溶体主要是大气淡水淋滤作用和大气淡水沿不整合面及高角度断层下行溶蚀改造而形成[7]。

大气淡水沿断裂不断向深部运移，逐渐演化成深循环的地层卤水。但随着温度、压力的不断增大以及溶蚀作用的不断进行，若地层卤水没有持续的补充，它将逐渐由不饱和溶蚀向过饱和沉淀转变[48]，则可能充填先存的储集空间。

3.2.2　热液流体

黄诚等[43]认为一切高于地层温度的地层流体均为热液流体，NAVON 等[49]和 KUMP 等[50]指出深层热液通常携带大量酸性物质，会对碳酸盐矿物不饱和溶蚀，并伴随着一些典型的热液矿物组合[51]。在塔里木顺北地区，岩浆活动冷凝析出的热液和地层热卤水沿深大断裂不断向上运移对断层壁和破碎带进行溶蚀扩大、交代增容、结晶增孔等，众多学者[52-55]指出顺北地区热液流体来源于深部前寒武系–下奥陶统，M 井取心测得石英包裹体最高温度 202.8 ℃，高于正常地温 191.8 ℃，方解石脉的碳、氧、锶同位素显示受到了高温的影响；塔里木玉北地区蓬莱坝组

白云岩的溶蚀和硅化及石英(SiO_2)−重晶石($BaSO_4$)−黄铁矿(FeS_2)热液矿物组合是热液流体改造的重要标志[56](见式(5)～(7)),有效改善了储层的物性;塔里木塔中地区、巴楚地区等奥陶系发育特有的萤石(CaF_2)化储层,其成因为二叠纪发生强烈的岩浆活动,大量富氟热流体沿断裂和裂缝上移并交代围岩改善储层物性[57-63](见式(8)～(9))。

石英−重晶石−黄铁矿组合常于硅酸盐、硫酸盐矿物与热液作用中形成:

$$KAlSi_3O_8(s)+4H^+ \rightarrow K^+ + Al^{3+} + 3SiO_2(s) + 2H_2, \quad (5)$$

$$Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4(s), \quad (6)$$

$$2Fe^{2+} + S^{2-} \rightarrow FeS_2(s)。 \quad (7)$$

萤石矿物在热液作用中的形成:

$$CaCO_3(s) + H^+ \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-, \quad (8)$$

$$Ca^{2+} + 2F^- \rightarrow CaF_2(s)。 \quad (9)$$

另外,鞍形白云石也是盆地内热液活动的产物[64-65],深部富 Mg^{2+}热液流体通过断层、裂缝向上运移对原有灰岩发生交代、重结晶作用,因为白云石比方解石的摩尔体积小,当等摩尔体积的方解石被白云石交代后会产生孔隙[66],但胶结作用强和过度云化作用则会破坏储层。众多学者[67-70]研究认为四川盆地茅口组和栖霞组鞍形白云石均为热液成因,形成了特有的热液白云岩储层。

3.2.3　烃类流体

埋藏条件下,有机质热成熟释放的有机酸、CO_2、H_2S 等酸性物质与地层水溶合形成的不饱和酸性流体是碳酸盐岩次生孔隙形成的主要原因[71-74](见式(10)～(12))。

$$有机质 \rightarrow CO_2 + 有机酸, \quad (10)$$

$$烃类 + SO_4^{2-} \rightarrow CO_2 + H_2S + 2H_2O, \quad (11)$$

$$H_2S + O_2 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}。 \quad (12)$$

MESHRI[75]指出有机酸相较于碳酸具有更强的溶蚀性,其供应 H^+能力是碳酸的 6～350 倍,CO_2 在有机质热成熟的整个过程都有生成,高浓度的 CO_2 在埋藏条件下对碳酸盐岩的改造能力仍然十分可观,富含 H_2S 的烃类流体与富含 O_2 的地层水融合会产生强溶蚀性的 SO_4^{2-} [44];烃类流体溶蚀机理完全不同于大气淡水,因此它们会对早期形成的缝洞体进一步溶蚀或充填。在塔里木盆地构造运动频繁且强烈的区域,断裂断穿基底沟通烃源岩,烃类流体沿断层、裂缝和缝合线等向上运移发生溶蚀、交代、结晶增孔等作用,并对早期形成的缝洞体进一步扩容,是断溶体储层埋藏条件下最主要的流体改造机制[76-78],其产生的次生孔隙以微小孔隙为主,溶洞少且规模很小。

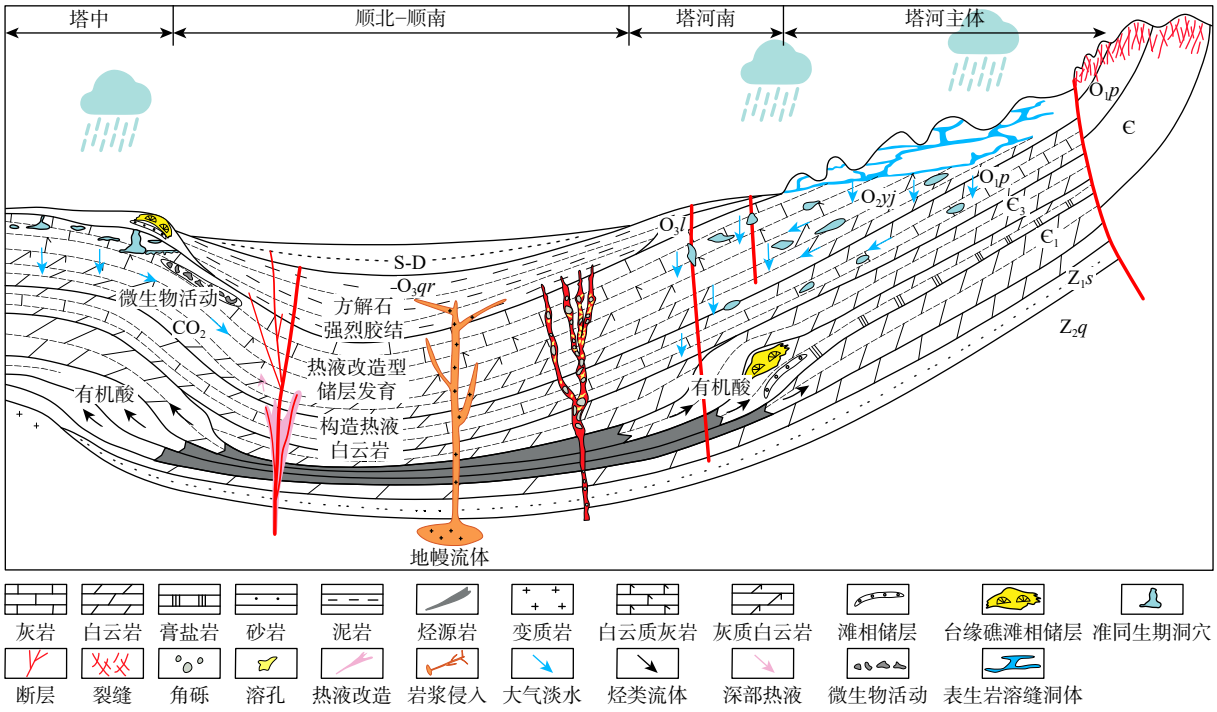
综上,断溶体油气藏的形成受大气淡水、热液流体、烃类流体的综合影响(图 6)。暴露地表及表生成岩环境下,大气淡水沿断裂强烈改造碳酸盐岩大大改善了物性,形成裂缝−溶洞型储层;深成岩环境下,热液流体及烃类流体表现为沿断裂溶蚀并对早期形成的裂缝、孔洞进一步溶蚀扩大。

4　断溶体油气成藏及发育主控因素

4.1　断溶体油气成藏模式

断溶体油气藏是近年来被发现的一种发育于巨厚碳酸盐岩内部的、不连续的、非均质的孔隙−缝洞型油气藏,通常以“体”的形式存在。巨厚致密碳酸盐岩的侧向封挡与上覆非渗透性盖层的封挡为断溶体油气成藏提供了有利条件,油气沿通源断裂不断向上运聚于此形成断溶体油气藏。油气的迁移在纵向上体现出“T”字形特征,其首先沿通源断裂垂向迁移,后遇分支断裂或彼此交织的裂缝系统横向迁移。断层继承性活动形成的新断层及裂缝系统会再次影响油气的迁移,形成新的油藏。它的分布受控于断裂活动,平面上沿断裂带呈条带状分布,垂向上发育深浅不一、油气柱高度大且具有明显穿层的特点。在塔里木盆地多个油田发现的断溶体大多沿走滑断裂发育,表现出分段成藏的特征,即油气富集、含水及连通特征在走滑断裂的不同分段处具有明显差异,具有“一断裂段一单元,一单元一油藏”[79]的特征。

丁志文等[80]在塔河南岸地区奥陶系断溶体油气藏的研究中,按照断溶体油气藏的生储盖组合、储集层的连通关系及油气运聚强度,将断溶体成藏模式划分出 3 类,分别是主干深大通源断裂控制型、次级通源断裂控制型和内幕断裂控制型(图 7a)。杨德彬等[79]根据塔北地区深层海相碳酸盐岩断溶体油气藏的勘探开发实践建立了“层楼状”立体复式聚集成藏模式(图 7b)。二者在不同地区所建立的断溶体成藏模式中表现出一些共性:①都强调了断裂在油气成藏过程中的控制作用;②都强调了断溶体油气成藏是一个多期次、多阶段的过程。当然也存在一些差异:①前者的研究将断溶体成藏模式分为 3 种类型,侧重于断裂的级别和控制作用;而后者的研究则提出了“层楼状”模式,侧重于油气在不同层位上的立体聚集特征;②前者的研究更侧重于单个断溶体油



Z_1s. 震旦系苏盖提布拉克组; Z_2q. 震旦系奇格布拉克组; S-D. 志留系–泥盆系; O_3l. 奥陶系良里塔格组; ϵ_1. 下寒武统; ϵ_3. 上寒武统

图 6　塔里木盆地奥陶系断溶体储层流体改造机制（据文献 [48] 修改）

Fig. 6　Fluid transformation mechanism in the Ordovician fault-karst reservoir of the Tarim Basin

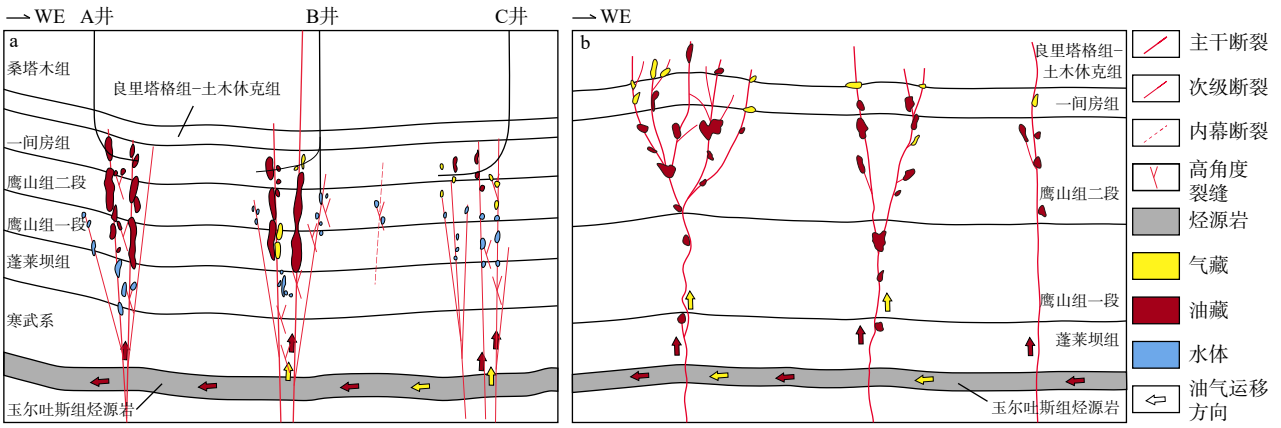


图 7　塔河南岸地区 (a) 和塔北地区 (b) 断溶体成藏模式示意图

Fig. 7　Petroleum accumulation model in the strike-slip fault-karst reservoir of the south bank area of the Tahe River (a) and Tabei area (b)

气藏的形成和油气富集的控制因素，后者的研究则更侧重于描述油气在多层位上的分布和聚集，形成了一种立体的成藏视角。

4.2　走滑型断溶体发育主控因素

4.2.1　走滑断层对断溶体的控制

在强烈的构造运动背景下，可形成断穿基底的走滑断层，这些断层为溶蚀流体提供了垂向上的运移通道。同时，走滑断层顶部的花状构造和断裂所派生的裂缝体系为溶蚀流体提供了横向上的运输通道。这种结构能有效连通大气淡水、热液流体和烃类等流体，促进深部地下水循环，加速溶质运移，增强溶解作用的强度和广度，为断溶体的形成提供了先决条件。朱文剑[81] 认为张扭性断裂的发育有利于流体运移和碳酸盐岩溶蚀。

此外，走滑断层的分段性也控制着储层的发育。由于地层的非均质性和地层受力不均等因素可能导致在同一个走滑断层出现分段性的特征（走滑拉分段、走滑压隆段和走滑平移段）（图 8）。不同分段特性的储层各不相同，控制着优质储层发育位置，断裂的强度和深度影响着溶蚀作用的范围[48]。走滑断层受构造应力越强，其变形强度和滑移距越大，次级断裂及裂缝系统越发育，储集体规模就越大[82]。走滑

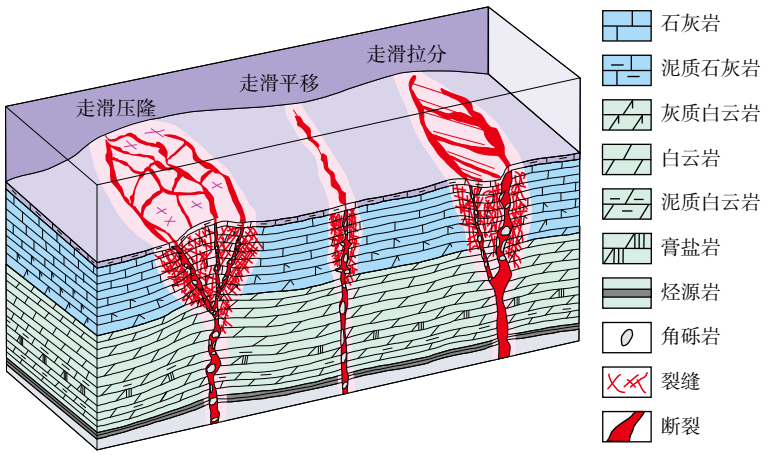


图 8　顺北油田走滑断裂带不同分段样式油气成藏与富集模式（据文献 [14] 修改）

Fig. 8　Petroleum accumulation and enrichment models in the strike-slip fault zone of the Shunbei Oilfield

拉分型以“脱空模式”[48] 为主，内部结构较简单，内部次级断裂、裂缝大多与主断面平行，主要储集空间为破裂空腔和诱导裂缝带；走滑压隆型以“核–带模式”[48] 为主，其断层核部经历了粉碎、溶解、沉淀矿物间的反应等力学–化学过程，储渗性能大大降低，裂缝和诱导裂缝带是其主要储集空间，溶蚀作用弱于走滑拉分型；走滑平移型以剪切破裂为主，裂缝密度远不如走滑拉分型和走滑压隆型。朱文剑[81] 认为走滑拉分型的断溶体储集性能更为优越。与走滑压隆段和走滑平移段相比，走滑拉分段发育的裂缝和溶洞数量更多，且走滑拉分段发育的张性裂缝容易垮塌成洞，有利于溶蚀流体改造；走滑压隆段发育的压剪缝不利于溶蚀流体流动。综上，走滑拉分型断溶体储集性能更优越。

4.2.2　溶蚀流体对断溶体的控制

溶蚀作用贯穿沉积、成岩作用的各个阶段。同生–准同生阶段受大气淡水溶蚀形成较小的粒内、粒间溶孔；表生阶段受构造隆升发生表生溶蚀作用[81, 83]；成岩后期深埋藏条件下有机质热成熟释放 CO_2、H_2S、有机酸沿断裂上涌对早期形成的孔洞进一步溶蚀改造[84]。

王玉伟等[31] 认为火成岩活动驱动的硅质热液能使地层发生较大规模的硅化作用，使得地层脆性增加，一方面构造活动频繁发生更易使地层产生裂缝，另一方面硅质矿物硬度较大，能够有效支撑裂缝的开启性，保证溶蚀流体和油气的运输。雷川等[84] 认为生物降解作用也能产生规模性的有机溶蚀流体，FLOODGATE[85] 列出了海水环境中 25 种可降解烃类的细菌以及 27 种真菌，一般认为 1 种微生物只能降解特定碳数的烃类，多种微生物聚集在一起共同降解复杂的石油可提供充足的 CO_2 和 H_2S，使得岩溶作用持续进行改善储层。

能够持续补充岩溶流体且开放循环的岩溶水系统对断溶体油气藏的发育和保存至关重要。多期的构造破裂作用形成走滑断层及其裂缝系统是断溶体储层形成的主要机制，为后期溶蚀流体改造提供了通道，但深埋藏阶段溶蚀流体流动缓慢且不循环，它将会逐渐向饱和沉淀状态转变，破坏储层。断溶体通过断裂、裂缝等不断扩大至彼此连通，为溶蚀流体提供一个开放循环的系统，溶蚀流体将持续改造储层，大大提高储集空间。另外，烃类的及时侵位能有效抑制方解石的胶结，为储层保存起到了重要的作用[14, 48]。

5　结论与展望

（1）断溶体油气藏是碳酸盐岩经历了多期构造运动，叠加多期岩溶流体改造形成的孔隙–缝洞型的新型油气藏。断溶体油气藏的提出为各个油田的勘探与开发提供了新的方向。

（2）断溶体按断裂级别及断裂的几何形态、破碎和岩溶改造程度将断溶体圈闭划分为纺锤状圈闭（正花状圈闭、负花状圈闭）、板状圈闭、“卜”字形圈闭、夹心饼状圈闭、菱格状圈闭和团块状圈闭 7 类。主干断溶带圈闭的储集空间以溶洞型和裂缝–孔洞型为主；分支断溶带发育规模和溶蚀程度明显变小，储集空间以孔洞型、裂缝–孔洞型为主；内幕断溶带断裂规模较小、溶蚀作用弱，储集空间以裂缝型为主。

（3）断溶体的形成基于多期构造运动形成的深大断裂及其周围派生的裂缝系统，再经多种溶蚀流体改造而形成。彼此交织的裂缝体系对岩溶作用的进行具有重要意义，生储盖组合对断溶体油气藏的

形成也十分重要。

(4)走滑断层的分段性控制着优质储层的分布位置,断裂的强度和深度影响着溶蚀作用的范围。其中走滑拉分型断溶体储层最优,走滑拉分段发育的裂缝和溶洞数量更多,且走滑拉分段发育的张性裂缝容易垮塌成洞,也利于溶蚀流体改造。不同成岩阶段溶蚀流体的改造、溶蚀流体类型、生物降解作用、流体的循环性以及烃类的及时侵位共同影响着断溶体油气藏的发育。

目前,断溶体油气藏的研究仍有很多不足之处:①断溶体储层通常位于地下深处,获取相关数据比较困难,因此现有研究中数据量较少;②目前研究主要依靠钻探和采样等传统方法,这些方法无法全面解析断溶体储层的特性和演化过程,需要结合新的技术手段来加以研究;③断溶体、断缝体储层的形成与演化机理研究不透彻,相关理论仍需要进一步完善和发展;④断溶体储层往往隐藏在地下深处,对其保护意识不足,可能会导致资源浪费和环境破坏。

断溶体油气藏的发现和认识实现了从古隆起、古斜坡向盆地低洼断裂带的拓展,开拓了新的油气勘探领域和方向。走滑断层在我国各个地区广泛分布,通过对其形成机制的分析,断溶体也可能遍及全国,但目前断溶体油气藏的勘探开发工作仅在塔里木盆地广泛展开,根据勘探开发实践证明其资源量十分可观,本研究通过对断溶体油气藏圈闭类型、形成机制及影响因素等方面研究进展的调研与总结以及塔里木盆地的实践为其他地区对断溶体油气藏的勘探开发部署提供了一定的理论依据。

所有作者声明不存在利益冲突。

The authors declare that no competing interests exist.

参考文献:

[1] 漆立新, 云露. 塔里木台盆区碳酸盐岩成藏模式与勘探实践 [J]. 石油实验地质, 2020, 42(5): 867-876.
QI L X, YUN L. Carbonate reservoir forming model and exploration in Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(5): 867-876. (in Chinese with English abstract)

[2] 赵彬, 侯加根, 刘钰铭. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩溶洞型储层三维地质建模与应用 [J]. 石油天然气学报, 2011, 33(5): 12-16.
ZHAO B, HOU J G, LIU Y M. Three dimensional modeling and application of Ordovician carbonate cavity reservoirs in Tahe oilfield[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(5): 12-16. (in Chinese with English abstract)

[3] 刘钰铭, 侯加根, 胡向阳, 等. 塔河油田古岩溶储集体三维建模 [J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2012, 36(2): 34-38.
LIU Y M, HOU J G, HU X Y, et al. 3D modeling of paleokarst reservoir in Tahe oilfield[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2012, 36(2): 34-38. (in Chinese with English abstract)

[4] 鲁新便, 胡文革, 汪彦, 等. 塔河地区碳酸盐岩断溶体油藏特征与开发实践 [J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(3): 347-355.
LU X B, HU W G, WANG Y, et al. Characteristics and development practice of fault-karst carbonate reservoirs in Tahe area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(3): 347-355. (in Chinese with English abstract)

[5] 伍齐乔, 李景瑞, 曹飞, 等. 顺北 1 井区奥陶系断溶体油藏岩溶发育特征 [J]. 中国岩溶, 2019, 38(3): 444-449.
WU Q Q, LI J R, CAO F, et al. Characteristics of fault-karst carbonate reservoirs in the Shunbei No. 1 Well block, Tarim Basin[J]. Carsologica Sinica, 2019, 38(3): 444-449. (in Chinese with English abstract)

[6] 吴丰, 代槿, 姚聪, 等. 塔河油田奥陶系一间房组与鹰山组断溶体发育模式解剖 [J]. 断块油气田, 2022, 29(1): 33-39.
WU F, DAI J, YAO C, et al. Developmental mode analysis of the fault-karst reservoir in Yijianfang Formation and Yingshan Formation of Ordovician in Tahe Oilfield[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2022, 29(1): 33-39. (in Chinese with English abstract)

[7] 徐诗雨, 曾乙洋, 林怡, 等. 川中地区中二叠统茅口组地层水化学特征及成因演化 [J]. 中国石油勘探, 2024, 29(6): 116-129.
XU S Y, ZENG Y Y, LIN Y, et al. Chemical characteristics and genesis and evolution of formation water in the Middle Permian Maokou Formation, Central Sichuan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2024, 29(6): 116-129. (in Chinese with English abstract)

[8] 徐敏, 梁虹, 邓绍强, 等. 川西北 JLS 地区下二叠统茅口组“断溶体”地震预测 [J]. 长江大学学报(自然科学版), 2019, 16(11): 21-26.
XU M, LIANG H, DENG S Q, et al. Seismic prediction of "broken solution" in Lower Permian of JLS area in northwestern Sichuan[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2019, 16(11): 21-26. (in Chinese with English abstract)

[9] 韩冰, 郭帅飞, 刘雅博, 等. 川东北地区茅口组断溶体识别 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(11): 99-100.
HAN B, GUO S F, LIU Y B, et al. Identification of fault solution in Maokou Formation in Northeast Sichuan[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2021, 41(11): 99-100. (in Chinese)

[10] 李一超, 杨飞, 徐天鑫, 等. 川西南井研地区灯影组断溶体形成机制与识别 [J]. 断块油气田, 2020, 27(2): 193-197.
LI Y C, YANG F, XU T X, et al. Forming mechanism and identification of fault-karst carbonate reservoirs of Dengying Formation in Jingyan area, southwestern Sichuan Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2020, 27(2): 193-197. (in Chinese with English abstract)

[11] MAZZULLO S J. Overview of porosity evolution in carbonate reservoirs[J]. Kansas Geological Society Bulletin, 2004, 79(1/2): 20-28.

[12] BJØRLYKKE K, AVSETH P. Petroleum geoscience: From sedimentary environments to rock physics[M]. Berlin: Springer, 2010: 141-200.

[13] EHRENBERG S N, WALDERHAUG O, BJØRLYKKE K. Carbonate porosity creation by mesogenetic dissolution: Reality or illusion? : Reply[J]. AAPG Bulletin, 2013, 97(2): 347-349.

[14] 雷启鸿, 马福建, 何右安, 等. 鄂尔多斯盆地陆相页岩油藏天然裂缝刻画与储层改造对策 [J]. 中国石油勘探, 2024, 29(3)131-145.
LEI Q H, MA F J, HE Y A, et al. Characterization of natural fractures and reservoir reconstruction strategy for continental shale oil reservoir in Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2024, 29(3): 131-145. (in Chinese with English abstract)

[15] 邓兴梁, 乔占峰, 王彭, 等. 埋藏期“断溶体” 的储集特征、成因及发育规律: 以塔中十号带奥陶系良里塔格组岩溶储层为例 [J]. 海相油气地质, 2018, 23(1): 47-55.
DENG X L, QIAO Z F, WANG P, et al. Origin, development and features of the "fault-dissolved body" Reservoir formed in burial stage: A case study of Middle Ordovician Lianglitage Formation in Tarim Basin, Northwest China[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2018, 23(1): 47-55. (in Chinese with English abstract)

[16] LI J Y, WANG Y S, LIU C H, et al. Hydrothermal fluid activity and the quantitative evaluation of its impact on carbonate reservoirs: A case study of the Lower Paleozoic in the West of Dongying Sag, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(3): 395-403.

[17] 吕修祥, 杨宁, 周新源, 等. 塔里木盆地断裂活动对奥陶系碳酸盐岩储层的影响 [J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2008, 38(增刊 1): 48-54.
LYU X X, YANG N, ZHOU X Y, et al. Influence of fault activity in Tarim Basin on Ordovician carbonate reservoir[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2008, 38(S1): 48-54. (in Chinese.

[18] 云露. 顺北东部北东向走滑断裂体系控储控藏作用与突破意义 [J]. 中国石油勘探, 2021, 26(3): 41-52.
YUN L. Controlling effect of NE strike-slip fault system on reservoir development and hydrocarbon accumulation in the eastern Shunbei area and its geological significance, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(3): 41-52. (in Chinese with English abstract)

[19] 庞雄奇, 陈君青, 李素梅, 等. 塔里木盆地特大型海相油田原油来源: 来自深部低 TOC 烃源岩的证据与相对贡献评价 [J]. 石油学报, 2018, 39(1): 23-41.
PANG X Q, CHEN J Q, LI S M, et al. Crude oil sources of giant marine oilfield in Tarim Basin: Evidences and relative contribution evaluation of deep present-day low-TOC source rocks[J]. Acta Petrolei Sinica, 2018, 39(1): 23-41. (in Chinese with English abstract)

[20] 支东明, 何文军, 谢安, 等. 准噶尔盆地深层油气勘探新领域认识与启示 [J]. 中国石油勘探, 2025, 30(3): 1-24.
ZHI D M, HE W J, XIE A, et al. Recognition and enlightenments of new oil and gas exploration fields in deep formations in Junggar Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2025, 30(3): 1-24. (in Chinese with English abstract)

[21] 马安来, 金之钧, 朱翠山. 塔里木盆地顺南 1 井原油硫代金刚烷系列的检出及意义 [J]. 石油学报, 2018, 39(1): 42-53.
MA A L, JIN Z J, ZHU C S. Detection and research significance of thiadiamondoids from crude oil in Well Shunnan 1, Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2018, 39(1): 42-53. (in Chinese with English abstract)

[22] 侯加根, 马晓强, 胡向阳, 等. 碳酸盐岩溶洞型储集体地质建模的几个关键问题 [J]. 高校地质学报, 2013, 19(1): 64-69.
HOU J G, MA X Q, HU X Y, et al. Key issues of 3D geological modeling of paleokarst-cave carbonate reservoir[J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(1): 64-69. (in Chinese with English abstract)

[23] 张文彪, 张亚雄, 段太忠, 等. 塔里木盆地塔河油田托甫台区奥陶系碳酸盐岩断溶体系层次建模方法 [J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(1): 207-218.
ZHANG W B, ZHANG Y X, DUAN T Z, et al. Hierarchy modeling of the Ordovician fault-karst carbonate reservoir in Tuoputai area, Tahe oilfield, Tarim Basin, NW China[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(1): 207-218. (in Chinese with English abstract)

[24] 鲁新便, 杨敏, 汪彦, 等. 塔里木盆地北部“层控” 与“断控” 型油藏特征: 以塔河油田奥陶系油藏为例 [J]. 石油实验地质, 2018, 40(4): 461-469.
LU X B, YANG M, WANG Y, et al. Geological characteristics of "strata-bound" and "fault-controlled" reservoirs in the northern Tarim Basin: Taking the Ordovician reservoirs in the Tahe Oil Field as an example[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2018, 40(4): 461-469. (in Chinese with English abstract)

[25] 程洪, 汪彦, 鲁新便. 塔河地区深层碳酸盐岩断溶体圈闭类型及特征 [J]. 石油学报, 2020, 41(3): 301-309.
CHENG H, WANG Y, LU X B. Classifications and characteristics of deep carbonate fault-karst trap in Tahe area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(3): 301-309. (in Chinese with English abstract)

[26] 李会军, 丁勇, 周新桂, 等. 塔河油田奥陶系海西早期、加里东中期岩溶对比研究 [J]. 地质论评, 2010, 56(3): 415-427.
LI H J, DING Y, ZHOU X G, et al. Study on hercynian and Middle Caledonian karstification of Ordovician in the Tahe oilfield, Tarim Basin[J]. Geological Review, 2010, 56(3): 415-427. (in Chinese with English abstract)

[27] 韩长城, 林承焰, 鲁新便, 等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶斜坡断控岩溶储层特征及形成机制 [J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(5): 644-652.
HAN C C, LIN C Y, LU X B, et al. Characterization and genesis of fault-controlled karst reservoirs in Ordovician carbonate karst slope of Tahe oilfield, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(5): 644-652. (in Chinese with English abstract)

[28] 严威, 王兴志, 张廷山, 等. 塔河油田加里东中期第Ⅲ幕岩溶作用 [J]. 石油学报, 2011, 32(3): 411-416.
YAN W, WANG X Z, ZHANG T S, et al. Investigations of the karst during the episode Ⅲ of the Mid-Caledonian in the Tahe oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(3): 411-416. (in Chinese with English abstract)

[29] 程洪, 张杰, 张文彪. 断溶体储层类型识别、预测及发育模式探讨: 以塔里木盆地塔河十区 TH10421 单元为例 [J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(5): 996-1003.
CHENG H, ZHANG J, ZHANG W B. Discussion on identification, prediction and development pattern of faulted-karst carbonate

reservoirs: A case study of TH10421 fracture-cavity unit in Block 10 of Tahe oilfield, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(5): 996-1003. (in Chinese with English abstract)

[30] 周文, 李秀华, 金文辉, 等. 塔河奥陶系油藏断裂对古岩溶的控制作用 [J]. 岩石学报, 2011, 27(8): 2339-2348.
ZHOU W, LI X H, JIN W H, et al. The control action of fault to paleokarst in view of Ordovician reservoir in Tahe area[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(8): 2339-2348. (in Chinese with English abstract)

[31] 王玉伟, 陈红汉, 曹自成, 等. 顺北地区流体活动对储层形成的控制作用 [J]. 断块油气田, 2023, 30(1): 44-51.
WANG Y W, CHEN H H, CAO Z C, et al. Controlling effects of fluid activity on reservoir formation in Shunbei area[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2023, 30(1): 44-51. (in Chinese with English abstract)

[32] GAO D L. Volume texture extraction for 3D seismic visualization and interpretation[J]. Geophysics, 2003, 68(4): 1294-1302.

[33] GAO D L. Structure-oriented texture model regression: Application to seismic structure visualization and interpretation[C]//SEG Technical Program Expanded Abstracts 2006. Society of Exploration Geophysicists, 2006: 1083-1087.

[34] GAO D L. Application of three-dimensional seismic texture analysis with special reference to deep-marine facies discrimination and interpretation: Offshore Angola, West Africa[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(12): 1665-1683.

[35] GAO D L. Latest developments in seismic texture analysis for subsurface structure, facies, and reservoir characterization: A review[J]. Geophysics, 2011, 76(2): 1-13.

[36] 金强, 田飞. 塔河油田岩溶型碳酸盐岩缝洞结构研究 [J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2013, 37(5): 15-21.
JIN Q, TIAN F. Investigation of fracture-cave constructions of karsted cabonate reservoirs of Ordovician in Tahe Oilfield, Tarim Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2013, 37(5): 15-21. (in Chinese with English abstract)

[37] 庞宏, 庞雄奇, 吴松, 等. 塔北及周缘地区奥陶系碳酸盐岩烃源岩生-残-排烃特征 [J]. 地学前缘, 2023, 30(6): 213-231.
PANG H, PANG X Q, WU S, et al. Hydrocarbon generation, residual hydrocarbon and petroleum expulsion characteristics of Ordovician carbonate source rocks in northern Tarim and its surrounding areas[J]. Earth Science Frontiers, 2023, 30(6): 213-231. (in Chinese with English abstract)

[38] BAKALOWICZ M. 6.15 Epikarst Processes[J]. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences: Treatise on Geomorphology, 2013, 6: 164-171.

[39] JAMES N P, CHOQUETTE P W. Carbonate sedimentology and petrology[M]. Washington, D. C: American Geophysical Union, 1989: 45-78.

[40] 宗劭康, 褚学伟, 张佳欣, 等. 酸性淋滤液对碳酸盐岩的溶蚀损伤试验 [J]. 地质科技通报, 2025, 44(5): 225-233.
ZONG S K, CHU X W, ZHANG J X, et al. Experimental of dissolution damage to carbonate rocks by acidic leachate[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2025, 44(5): 225-233. (in Chinese with English abstract)

[41] 韩长城. 塔河油田奥陶系断控岩溶储集体特征及分布规律研究 [D]. 山东 东营: 中国石油大学(华东), 2017.
HAN C C. Study on characteristics and distribution of Ordovician fault-controlled reservoirs in Tahe oilfield[D]. Dongying Shandong: China University of Petroleum (Huadong), 2017. (in Chinese with English abstract)

[42] 王永辉, 张友浩, 高先志, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷碳酸盐岩潜山表生岩溶储层特征与演化模式 [J]. 地球学报, 2022, 43(5): 676-688.
WANG Y H, ZHANG Y H, GAO X Z, et al. Characteristics and evolvement model of epigenetic karst reservoirs in carbonate buried hill in Weixi'nan Sag, Beibuwan Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2022, 43(5): 676-688. (in Chinese with English abstract)

[43] 黄诚, 云露, 曹自成, 等. 塔里木盆地顺北地区中-下奥陶统"断控"缝洞系统划分与形成机制 [J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(1): 54-68.
HUANG C, YUN L, CAO Z C, et al. Division and formation mechanism of fault-controlled fracture-vug system of the Middle-to-Lower Ordovician, Shunbei area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(1): 54-68. (in Chinese with English abstract)

[44] 陈兰朴. 塔河-顺北地区中下奥陶统断裂带流体活动特征及储层改造效应研究 [D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2022.
CHEN L P. Study on the fluid activity characteristics and reservoir modification effect in fault zones of the Middle-Lower Ordovician in Tahe-Shunbei area[D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan), 2022. (in Chinese with English abstract)

[45] 漆立新, 云露. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶发育特征与主控因素 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 1-12.
QI L X, YUN L. Development characteristics and main controlling factors of the Ordovician carbonate karst in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 1-12. (in Chinese with English abstract)

[46] 俞仁连, 傅恒. 构造运动对塔河油田奥陶系碳酸盐岩的影响 [J]. 天然气勘探与开发, 2006, 29(2): 1-6.
YU R L, FU H. Influence of tectonic movement on Ordovician carbonates of Tahe oilfield[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2006, 29(2): 1-6. (in Chinese with English abstract)

[47] YANG X F, WANG X Z, TANG H, et al. The Early Hercynian paleo-karstification in the Block 12 of Tahe oilfield, northern Tarim Basin, China[J]. Carbonates and Evaporites, 2014, 29(3): 251-261.

[48] 吕海涛, 韩俊, 张继标, 等. 塔里木盆地顺北地区超深碳酸盐岩断溶体发育特征与形成机制 [J]. 石油实验地质, 2021, 43(1): 14-22.
LÜ H T HAN J, ZHANG J B, et al. Development characteristics and formation mechanism of ultra-deep carbonate fault-dissolution body in Shunbei area, Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2021, 43(1): 14-22. (in Chinese with English abstract)

[49] NAVON O, HUTCHEON I D, ROSSMAN G R, et al. Mantle-derived fluids in diamond micro-inclusions[J]. Nature, 1988, 335: 784-789.

[50] KUMP L R, PAVLOV A, ARTHUR M A. Massive release of hydrogen sulfide to the surface ocean and atmosphere during inter-

vals of oceanic anoxia[J]. 2005, 33(5): 397-400.

[51] 金之钧, 朱东亚, 胡文瑄, 等. 塔里木盆地热液活动地质地球化学特征及其对储层影响 [J]. 地质学报, 2006, 80(2): 245-253.
JIN Z J, ZHU D Y, HU W X, et al. Geological and geochemical signatures of hydrothermal activity and their influence on carbonate reservoir beds in the Tarim Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(2): 245-253. (in Chinese with English abstract)

[52] 陈红汉, 鲁子野, 曹自成, 等. 塔里木盆地塔中地区北坡奥陶系热液蚀变作用 [J]. 石油学报, 2016, 37(1): 43-63.
CHEN H H, LU Z Y, CAO Z C, et al. Hydrothermal alteration of Ordovician reservoir in northeastern slope of Tazhong uplift, Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(1): 43-63. (in Chinese with English abstract)

[53] 朱秀, 朱红涛, 陈红汉, 等. 塔里木盆地顺南地区中–下奥陶统深成岩溶特征 [J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(5): 653-662.
ZHU X, ZHU H T, CHEN H H, et al. Characterization of hypogenic karst systems in the Middle-Lower Ordovician of Shunnan area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(5): 653-662. (in Chinese with English abstract)

[54] 鲁子野, 陈红汉, 云露, 等. 塔中顺南缓坡奥陶系热流体活动与天然气成藏的耦合关系 [J]. 地球科学, 2016, 41(3): 487-498.
LU Z Y, CHEN H H, YUN L, et al. The coupling relationship between hydrothermal fluids and the hydrocarbon gas accumulation in Ordovician of Shunnan gentle slope, northern slope of Tazhong uplift[J]. Earth Science, 2016, 41(3): 487-498. (in Chinese with English abstract)

[55] 李培军, 陈红汉, 唐大卿, 等. 塔里木盆地顺南地区中–下奥陶统NE向走滑断裂及其与深成岩溶作用的耦合关系 [J]. 地球科学, 2017, 42(1): 93-104.
LI P J, CHEN H H, TANG D Q, et al. Coupling relationship between NE strike-slip faults and hypogenic karstification in Middle-Lower Ordovician of Shunnan area, Tarim Basin, Northwest China[J]. Earth Science, 2017, 42(1): 93-104. (in Chinese with English abstract)

[56] 朱松柏, 王洪峰, 王胜军, 等. 玉北地区深部热液活动的发现及其储层改造意义 [J]. 岩性油气藏, 2016, 28(3): 42-47.
ZHU S B, WANG H F, WANG S J, et al. Hydrothermal activities of Ordovician and its significance for alteration to carbonate reservoirs in Yubei area[J]. Lithologic Reservoirs, 2016, 28(3): 42-47. (in Chinese with English abstract)

[57] 丁茜, 胡秀芳, 高奇东, 等. 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩热液蚀变类型及蚀变流体的分带特征 [J]. 浙江大学学报(理学版), 2019, 46(5): 600-609.
DING Q, HU X F, GAO Q D, et al. The hydrothermal alteration types and zoning features of Ordovician carbonate in Tarim Basin[J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2019, 46(5): 600-609. (in Chinese with English abstract)

[58] 袁立, 姚君波, 韩杰. 塔中地区奥陶系热液溶蚀作用特征及其对储层物性的影响 [J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2013, 15(4): 1-4.
YUAN L, YAO J B, HAN J. Charatistics of the Ordovician hydrothermal dissolution activity and impact to the reservoir's physical property in Tazhong area[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2013, 15(4): 1-4. (in Chinese with English abstract)

[59] 王嗣敏, 金之钧, 解启来. 塔里木盆地塔中45井区碳酸盐岩储层的深部流体改造作用 [J]. 地质论评, 2004, 50(5): 543-547.
WANG S M, JIN Z J, XIE Q L. Transforming Effect of Deep Fluids on Carbonate Reservoirs in the Well TZ45 region[J]. Geological Review, 2004(5): 543-547. (in Chinese with English abstract)

[60] 张兴阳, 顾家裕, 罗平. 塔中45井萤石成因与油气成藏 [J]. 新疆石油地质, 2004, 25(5): 479-482.
ZHANG X Y, GU J Y, LUO P. Fluorite origin and petroleum reservoir in Well TZ-45 in Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2004, 25(5): 479-482. (in Chinese with English abstract)

[61] 朱东亚, 胡文瑄, 宋玉才, 等. 塔里木盆地塔中45井油藏萤石化特征及其对储层的影响 [J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(3): 205-215.
ZHU D Y, HU W X, SONG Y C, et al. Fluoritization in Tazhong 45 reservoir: Characteristics and its effect on the reservoir bed[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2005, 24(3): 205-215. (in Chinese with English abstract)

[62] 张兴阳, 顾家裕, 罗平, 等. 塔里木盆地奥陶系萤石成因及其油气地质意义 [J]. 岩石学报, 2006, 22(8): 2220-2228.
ZHANG X Y, GU J Y, LUO P, et al. Genesis of the fluorite in the Ordovician and its significance to the petroleum geology of Tarim Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(8): 2220-2228. (in Chinese with English abstract)

[63] 朱东亚, 金之钧, 胡文瑄, 等. 塔里木盆地深部流体对碳酸盐岩储层影响 [J]. 地质论评, 2008, 54(3): 348-354.
ZHU D Y, JIN Z J, HU W X, et al. Effects of deep fluid on carbonates reservoir in Tarim Basin[J]. Geological Review, 2008, 54(3): 348-354. (in Chinese with English abstract)

[64] AL-AASM I. Origin and characterization of hydrothermal dolomite in the western Canada sedimentary basin[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2003, 78: 9-15.

[65] SWART P K, CANTRELL D L, WESTPHAL H, et al. Origin of dolomite in the Arab-D reservoir from the Ghawar field, Saudi Arabia: Evidence from petrographic and geochemical constraints[J]. 2005, 75(3): 476-491.

[66] 何云峰, 陈叔阳, 刘耀宇, 等. 断控缝洞型油气藏储集体建模研究: 以顺北4号断裂带为例 [J]. 地质科技通报, 2025, 44(3): 108-121.
HE Y F, CHEN S Y, LIU Y Y, et al. Reservoir modeling of fault-controlled fractured-cavity reservoirs: A case study of Shunbei fault zone No. 4[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2025, 44(3): 108-121. (in Chinese with English abstract)

[67] 李双建, 杨天博, 韩月卿, 等. 四川盆地中二叠统热液白云岩化作用及其储层改造意义 [J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(6): 1265-1280.
LI S J, YANG T B, HAN Y Q, et al. Hydrothermal dolomitization and its role in improving Middle Permian reservoirs for hydrocarbon accumulation, Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(6): 1265-1280. (in Chinese with English abstract)

[68] 张涛, 林娟华, 韩月卿, 等. 四川盆地东部中二叠统茅口组热液白云岩发育模式及对储层的改造 [J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(1): 132-143.

ZHANG T, LIN J H, HAN Y Q, et al. Pattern of hydrothermal dolomitization in the Middle Permian Maokou Formation, eastern Sichuan Basin, and its alteration on reservoirs herein[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(1): 132-143. (in Chinese with English abstract)

[69] 黎霆, 诸丹诚, 杨明磊, 等. 热液活动对四川盆地中西部地区二叠系茅口组白云岩的影响 [J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(3): 639-651.
LI T, ZHU D C, YANG M L, et al. Influence of hydrothermal activity on the Maokou Formation dolostone in the central and western Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(3): 639-651. (in Chinese with English abstract)

[70] 焦方正. 塔里木盆地顺北特深碳酸盐岩断溶体油气藏发现意义与前景 [J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(2): 207-216.
JIAO F Z. Significance and prospect of ultra-deep carbonate fault-karst reservoirs in Shunbei area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(2): 207-216. (in Chinese with English abstract)

[71] MAZZULLO S J, Harris P M. Mesogenetic dissolution: Its role in porosity development in carbonate reservoirs (1)[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76: 607-620.

[72] BARTH T, BJØRLYKKE K. Organic acids from source rock maturation: Generation potentials, transport mechanisms and relevance for mineral diagenesis[J]. Applied Geochemistry, 1993, 8(4): 325-337.

[73] 朱光有, 张水昌, 马永生, 等. TSR(H_2S)对石油天然气工业的积极性研究: H_2S 的形成过程促进储层次生孔隙的发育 [J]. 地学前缘, 2006, 13(3): 141-149.
ZHU G Y, ZHANG S C, MA Y S, et al. Effectiveness of thermochemical sulfate reduction on oil and gas industry: A H_2S formation accelerating development of the secondary pores in reservoirs[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(3): 141-149. (in Chinese with English abstract)

[74] 胡文瑄, 姚素平, 陆现彩, 等. 典型陆相页岩油层系成岩过程中有机质演化对储集性的影响 [J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(5): 947-956.
HU W X, YAO S P, LU X C, et al. Effects of organic matter evolution on oil reservoir property during diagenesis of typical continental shale sequences[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(5): 947-956. (in Chinese with English abstract)

[75] MESHRI I D. On The reactivity of carbonic and organic acids and generation of secondary porosity[J]. Special Publications, 1986, 38: 123-128.

[76] 李映涛, 漆立新, 张哨楠, 等. 塔里木盆地顺北地区中: 下奥陶统断溶体储层特征及发育模式 [J]. 石油学报, 2019, 40(12): 1470-1484.
LI Y T, QI L X, ZHANG S N, et al. Characteristics and development mode of the Middle and Lower Ordovician fault-karst reservoir in Shunbei area, Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(12): 1470-1484. (in Chinese with English abstract)

[77] 曲占庆, 林强, 郭天魁, 等. 顺北油田碳酸盐岩酸蚀裂缝导流能力实验研究 [J]. 断块油气田, 2019, 26(4): 533-536.
QU Z Q, LIN Q, GUO T K, et al. Experimental study on acid fracture conductivity of carbonate rock in Shunbei Oilfield[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2019, 26(4): 533-536. (in Chinese with English abstract)

[78] 韩俊, 曹自成, 邱华标, 等. 塔中北斜坡奥陶系走滑断裂带与岩溶储集体发育模式 [J]. 新疆石油地质, 2016, 37(2): 145-151.
HAN J, CAO Z C, QIU H B, et al. Model for strike-slip fault zones and karst reservoir development of Ordovician in northern slope of Tazhong uplift, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2016, 37(2): 145-151. (in Chinese with English abstract)

[79] 杨德彬, 鲁新便, 高志前, 等. 塔北深层海相碳酸盐岩断溶体成藏认识及油藏特征 [J]. 地学前缘, 2023, 30(4): 43-50.
YANG D B, LU X B, GAO Z Q, et al. Hydrocarbon accumulation and reservoir characteristics of deep marine fault-karst reservoirs in northern Tarim Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2023, 30(4): 43-50. (in Chinese with English abstract)

[80] 丁志文, 汪如军, 陈方方, 等. 断溶体油气藏成因、成藏及油气富集规律: 以塔里木盆地哈拉哈塘油田塔河南岸地区奥陶系为例 [J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(2): 286-296.
DING Z W, WANG R J, CHEN F F, et al. Origin, hydrocarbon accumulation and oil-gas enrichment of fault-karst carbonate reservoirs: A case study of Ordovician carbonate reservoirs in South Tahe area of Halahatang oilfield, Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(2): 286-296. (in Chinese with English abstract)

[81] 朱文剑. 塔里木盆地阿满过渡带构造演化与断溶体储层特征研究 [D]. 山东 东营: 中国石油大学(华东), 2019.
ZHU W J. Structural evolution and reservoir characteristics of fault-karst in the aman transition zone of the Tarim Basin[D]. Dongying Shandong: China University of Petroleum (Huadong), 2019. (in Chinese with English abstract)

[82] 云露. 顺北地区奥陶系超深断溶体油气成藏条件 [J]. 新疆石油地质, 2021, 42(2): 136-142.
YUN L. Hydrocarbon accumulation of ultra-deep Ordovician fault-karst reservoirs in Shunbei area[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2021, 42(2): 136-142. (in Chinese with English abstract)

[83] 邓尚, 李慧莉, 张仲培, 等. 塔里木盆地顺北及邻区主干走滑断裂带差异活动特征及其与油气富集的关系 [J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(5): 878-888.
DENG S, LI H L, ZHANG Z P, et al. Characteristics of differential activities in major strike-slip fault zones and their control on hydrocarbon enrichment in Shunbei area and its surroundings, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(5): 878-888. (in Chinese with English abstract)

[84] 雷川, 陈红汉, 苏奥, 等. 碳酸盐岩埋藏溶蚀研究进展 [J]. 断块油气田, 2014, 21(2): 165-170.
LEI C, CHEN H H, SU A, et al. Study progress on buried dissolution in carbonate rock[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2014, 21(2): 165-170. (in Chinese with English abstract)

[85] FLOODGATEL G. The fate of petroleum in marine ecosystems[M]. Atlas R M. Petroleum Microbiology. New York: Macmillan Publishing Co, 1984: 355-398.

Summary for “走滑型断溶体形成机制与油气成藏研究进展”

Research progress on formation mechanism and hydrocarbon accumulation of strike-slip fault-karst reservoir

WANG Lulu[1*]，DAI Zongyang[1]，LI Yang[1,2]，GAO Yang[1]，REN Ni[1]，GUO Zijia[1]

1. School of Geoscisence and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China；
2. Liaohe Oilfield of CNPC, Panjin Liaoning 124010, China

* Corresponding author， E-mail：1724663853@qq.com

Abstract：[Significance] Fault-karst systems are widely developed in many basins in China and have become a new hot topic in geoscience due to the huge petroleum resources. However, the reservoirs of fault-karst systems are typically deeply buried and challenging to explore, resulting in an urgent need for a consensus understanding of trap classification, formation mechanisms, and controlling factors. **[Progress and Conclusions]** Based on a comprehensive literature review, this paper deeply discusses the formation mechanism of fault-karst reservoirs, which are fracture-vuggy carbonate systems formed by karstification influenced by multi-stage tectonic activities. First, the basic concept of the fault-karst reservoir is reviewed. The fault-karst reservoirs are characterized by deep burial, strong heterogeneity, and significant variations in fluid properties. Then, the critical role of strike-slip faults in hydrocarbon accumulation and migration is emphasized. Based on the analysis of geological data in the Shunbei area and other regions of the Tarim Basin, this paper reveals the trap types, formation mechanisms, and reservoir-controlling factors of the fault-karst reservoir. The analysis concludes that the segmentation of strike-slip faults, the activity of solvent fluid, and the timely emplacement of hydrocarbons are crucial to the development of fault-karst reservoir. Furthermore, the roles of atmospheric freshwater, hydrothermal fluids, and hydrocarbon fluids in reservoir reconstruction are discussed, illustrating how they jointly affect the formation and distribution of fault-karst reservoir. Finally, the paper summarizes the reservoir-forming models of the fault-karst reservoir. **[Prospects]** The discovery and ongoing research into fault-karst reservoirs have unveiled a new and promising frontier for petroleum exploration.

Key words: fault-karst reservoir； trap type； formation mechanism； reservoir control； strike-slip fault； accumulation model

Received：2024-04-08；Revised：2024-07-28；Accepted：2024-07-31

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240149