

李景瑞,梁彬,于红枫,等. 中古8井区断裂与鹰山组岩溶储层成因关系[J]. 中国岩溶, 2015, 34(2): 147—153.
DOI: 10. 11932/karst20150207

中古8井区断裂与鹰山组岩溶储层成因关系

李景瑞¹, 梁彬¹, 于红枫², 张庆玉^{1,3}, 曹建文^{1,3}, 淡永^{1,4}, 郝彦珍¹, 李杰⁵

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004;

2. 中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000;

3. 中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北 武汉 430074; 4. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059;

5. 中国石油长庆油田分公司第四采油厂, 陕西 靖边 718500)

摘要:塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩地层中蕴藏丰富的油气资源,多期次不同类型岩溶作用叠加改造是形成塔中古岩溶储层的主要动因,断裂是影响岩溶储层发育的重要因素。中古8井区加里东期发育北西—南东逆冲断裂带,海西期发育北东—南西向走滑断裂带,组成网状断裂系统。岩溶储层发育于鹰山组顶面0~120 m深度范围内,类型细分为:孔洞型、洞穴型、裂缝型和裂缝—孔洞型4种,以裂缝—孔洞型和孔洞型为主。加里东至海西期多期、多组断裂及伴生的裂缝网状系统形成良好的流体运移通道,促进缝洞系统的形成与埋藏溶蚀作用及内幕白云岩化的发生,改善了储层的储集性能,形成碳酸盐岩孔—洞—缝复合型储集体。

关键词:岩溶储层; 断裂; 岩溶作用; 鹰山组; 中古8井区

中图分类号: P618.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001—4810(2015)02—0147—07

0 引言

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩地层中蕴藏丰富的油气资源,多期次不同类型的岩溶作用的叠加改造是形成塔中地区古岩溶储层的主要动因^[1-6]。岩溶层组、断裂及裂缝发育情况、古地貌、岩浆热液活动、有机酸溶蚀作用、重结晶作用等对古岩溶储层的形成均有重要影响^[7-12]。断裂带的隆升和压扭作用改善了岩石的透水性,促进了水的输入与排泄,是岩溶作用得以进行的先决条件。断裂还控制岩溶个体形态的发育,各种岩溶负形态(如洼地、消水洞、岩溶谷地或槽谷等)的发育主要与层间裂隙、构造裂隙有关。因此,断裂是影响碳酸盐岩储层发育的重要因素^[13-19]。

1 中古8井区构造演化

1.1 区域地质特征

中古8井区位于塔中地区塔中Ⅰ号坡折带西北

部,奥陶系自上而下分为桑塔木组、良里塔格组、鹰山组,缺失中奥陶统一间房组和上奥陶统底部吐木休克组。其中桑塔木组以灰质泥岩为主,次为泥岩,且厚度大,岩性致密,具有极好的封隔条件,与下面的储层组成良好储盖组合。良里塔格组和鹰山组鹰一段、鹰二段为主要储层段,岩性以砂屑灰岩、泥晶灰岩为主,次为含泥灰岩、少量泥灰岩^[2,7-8,12,18]。

古地貌特征和现今构造特征的对比研究认为,该区具有古地貌控储,现今构造控藏的特点^[7,12,18,23]。塔中Ⅰ号深大断裂、鹰山组岩溶储层、桑塔木组厚层灰质泥岩构成了有利的运移、储集、封堵条件,形成了中古8井区奥陶系鹰山组大型准层状油气藏^[9,11,18,22]。随着勘探工作的不断深入,塔中奥陶系凝析气藏进入开发先期阶段,中古8井区及周边是塔中西部400万吨产能建设的主战场^[8,12,20]。

1.2 构造演化过程

基于研究区三维地震资料断裂解译成果,认为中

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)(2011CB201001);国家自然科学基金青年基金(41302122);国土资源部公益性行业专项(201211082)和中国地质科学院岩溶地质研究所基本科研业务费项目(2014009)

第一作者简介:李景瑞(1987—),男,硕士,主要从事油气古岩溶储层研究与有利区带预测。E-mail:lijingrui@karst.ac.cn。

收稿日期:2014—12—06

古 8 井区发育近 200 条断距不等的断裂。按其形成时间可分为两期断裂(图 1):一期为加里东期平行塔中 I 号坡折带呈 NW—SE 延伸的压扭性逆冲断裂带(图 2);另一期为早海西期近 NE—SW 向延伸的走

滑断裂带(图 3)。主逆冲断裂的平面展布奠定了该区整体构造格局的基本形态,走滑断裂均伴随一些羽状排列的次级走滑断层与主走滑断裂斜交,组成网状断裂系统。

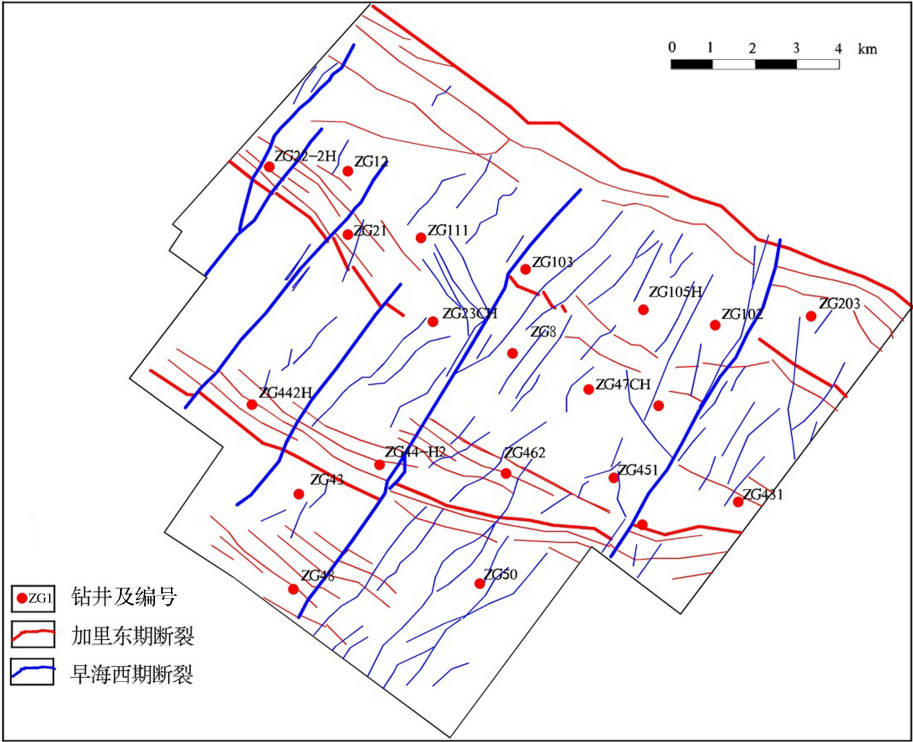


图 1 中古 8 井区断裂系统分期平面图(据塔里木油田 2012,有修改)
注:红色断裂为加里东期逆冲断裂;蓝色断裂为早海西期走滑断裂

Fig. 1 Plane view of faults of varied periods in Medieval No. 8 wellblock(modified from Tarim Oilfield Company, 2012).
Red is Caledonian thrust fault. Blue one is Early Hercynian strike-slip fault.

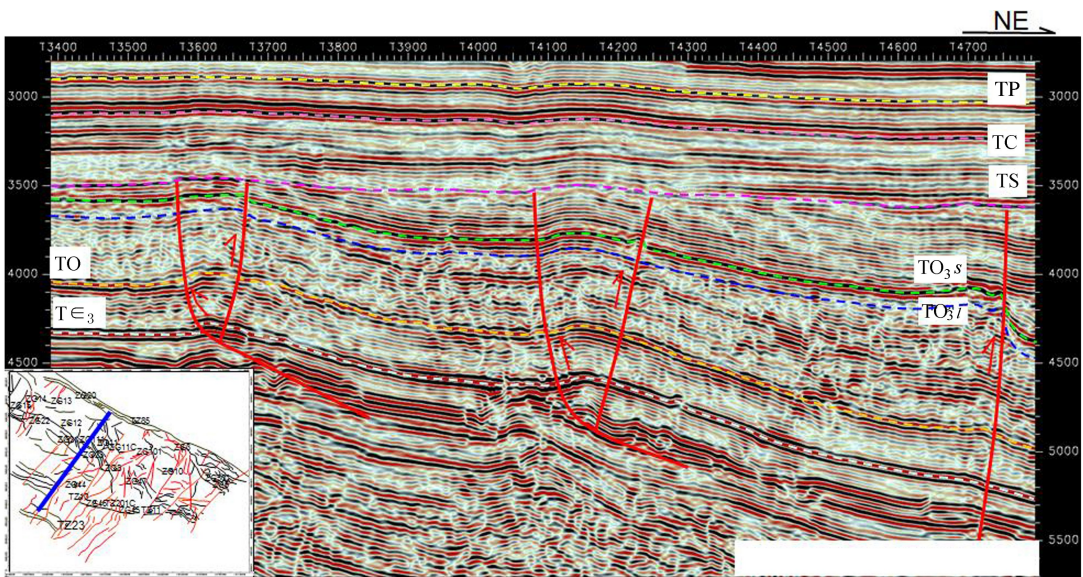


图 2 中古 8 井区 NW 向压扭性逆冲断裂

Fig. 2 Northwest trending compressive-shear thrust faults in Medieval 8 wellblock
TP—二叠系底 TC—石炭系底 TS—志留系底 TO_{3s}—奥陶系桑塔木组底 TO_{3l}—奥陶系良里塔格组底
TO—奥陶系底 Tε₃—寒武系下丘里塔格组底

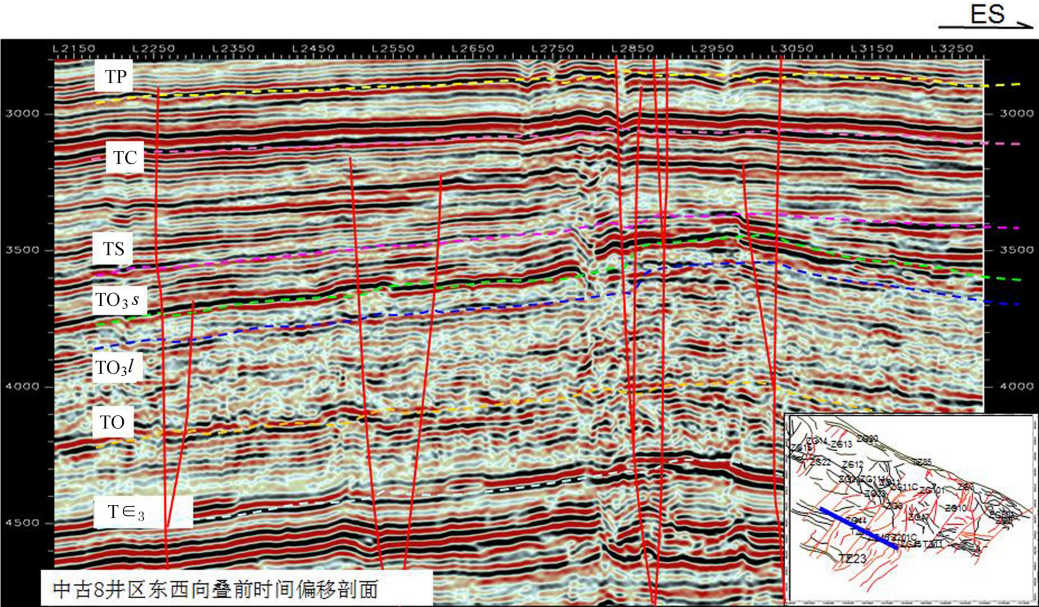


图 3 中古 8 井区 NE 向走滑断裂

Fig. 3 Northeast trending strike-slip faults in Medieval 8 wellblock

TP—二叠系底 TC—石炭系底 TS—志留系底 TO_{3s}—奥陶系桑塔木组底 TO_{3l}—奥陶系良里塔格组底
TO—奥陶系底 Tε₃—寒武系下丘里塔格组底

1.2.1 加里东期逆冲断裂体系

该逆冲断裂体系发育 3 条主断裂,分别为塔中 1 号深大断裂、塔中 10 号断裂和塔中 40 号断裂及由它们控制的Ⅲ级小断裂,断开层位大多为志留系到中寒武系盐层(图 2),断距在 0~85 m 之间,延伸长度从 11 km 到全区范围。早奥陶世末开始活动,奥陶世末以断褶作用为主,奥陶纪以后没有大的断裂活动。

1.2.2 早海西期走滑断裂体系

该走滑断裂体系发育 3 条较大的断裂,分别为中古 15 走滑断裂、中古 8 走滑断裂和中古 10 走滑断裂。纵向上产状直立,断开层位大多为寒武系上统到志留系,延伸长度 10~30 km 左右,平面断距 0~375 m,主要活动期为早海西期,总体为张扭性走滑特征。地震剖面多解释为正断层,而且主干走滑断裂由于走滑作用会形成一系列与之平行或呈一定夹角的小型走滑断裂带和伴生构造(断堑和鼻状构造)(图 3)。

2 鹰山组岩溶储层特征

2.1 岩溶缝洞系统发育特征

据中古 8 井区鹰山组顶面古岩溶地貌,全暴露时期属丘状岩溶缓坡地地貌单元(图 4),区域地势:整体地势向北、北东方向倾斜,地形坡度 0.3°~0.6°,地形相对高程 450~630 m,地形起伏较小,地形相对高差 10~20 m,属微丘洼地地貌。

2.1.1 缝洞系统主要发育层位

缝洞系统主要发育于鹰山组 1 段下部和鹰山组 2 段上部。鹰山组 2 段上部溶洞系统、溶蚀裂缝发育,分布于鹰 2 段上部暴露区,溶洞系统为钙泥质充填,呈高 GR,如 ZG22、ZG21 井。鹰山组 1 段下部溶蚀裂缝、溶蚀孔洞比较发育,局部发育溶洞系统,溶洞段呈高 GR,如 ZG12、ZG111、ZG23、ZG106、ZG10 井。

2.1.2 缝洞系统发育深度

统计研究区已钻井放空、漏失情况(表 1),结合

表 1 中古 8 井区及邻区下奥陶统鹰山组钻井泥浆漏失及钻具放空统计表

Table 1 Statistics of drilling mud leakage and drill emptying in Yingshan formation of lower Ordovician in Medieval No. 8 wellblock and adjacent areas

井号	层位	深度/m	漏失量/m ³	放空/m
ZG1	O _{1y}	6 375.46~6 389.37	125.2	—
ZG3	O _{1y}	6 533.70~6 535.2	1.8	—
ZG 6	O _{1y}	6172.73	118.46	—
ZG 8	O _{1y}	6 130.3~6 140.38	3 776.3	4.3
ZG 9	O _{1y}	6 212~6 214	4.5	—
ZG 10	O _{1y}	6 309.4	—	0.33
ZG 11	O _{1y}	6 459.65~6 460.14	—	0.49
ZG 11	O _{1y}	6 471.41~6 475.61	1196.53	4.2
ZG 12	O _{1y}	6 187.75~6 189.91	2 576.3	2.16
ZG 17	O _{1y}	6 665~6 700	95.84	—
ZG 21	O _{1y}	5 874	12.4	—
ZG 22	O _{1y}	5 736.66	121	—

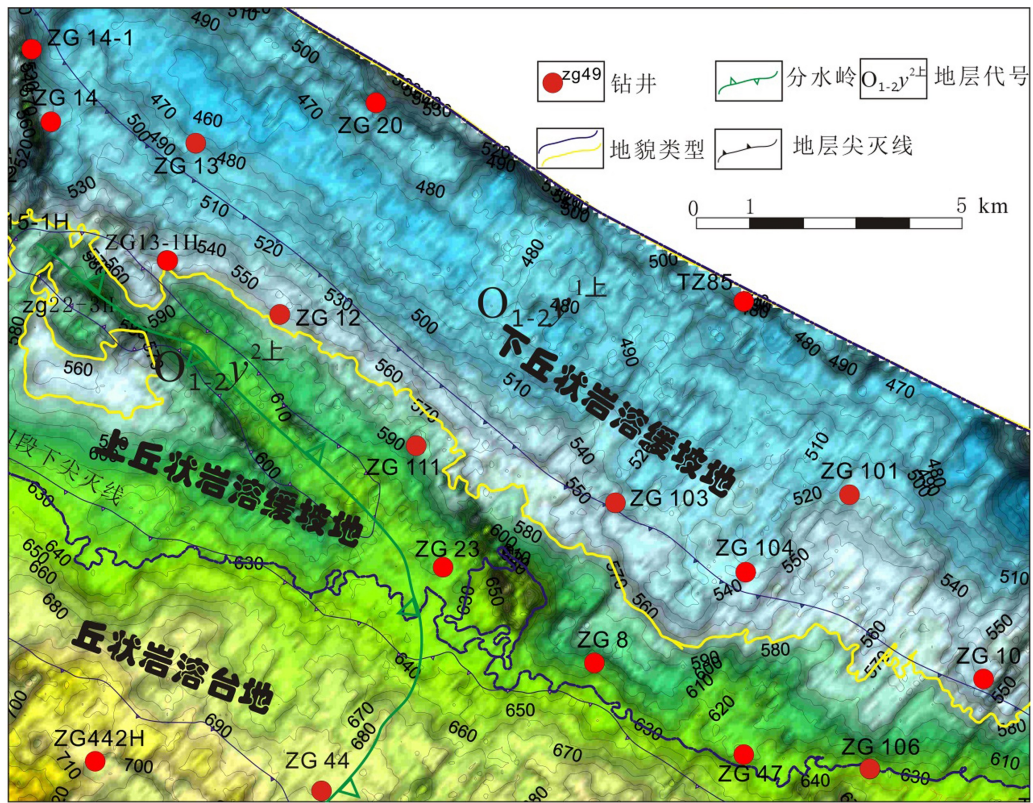


图 4 中古 8 井区鹰山组顶面古岩溶地貌图(全暴露期)

Fig. 4 Ancient karst landform of top Yingshan formation in Medieval No. 8 wellblock (period of complete exposure)

测井资料储层类型解释成果,得出中古 8 井区奥陶系鹰山组岩溶缝洞系统发育段多位于鹰山组顶面以下 0~120 m 深度范围内(图 5)。

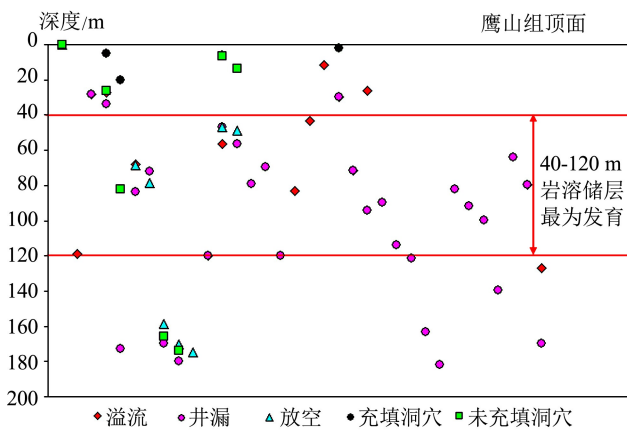


图 5 中古 8 井区钻井放空、漏失和充填洞穴顶界距鹰山组顶面距离示意图

Fig. 5 Schematic diagram of drilling emptying, leakage and distance from filling cavity top to Yingshan formation top in Medieval No. 8 wellblock

2.2 鹰山组岩溶储层类型

中古 8 井区奥陶系储层包括孔、洞、缝 3 种大的

类型。根据其空间组合特征细分为:孔洞型储层、洞穴型储层、裂缝型储层和裂缝—孔洞型储层 4 种。

统计已钻井储层测井解释结果发现,中古 8 井区下奥陶统鹰山组洞穴型储层占 13.27%,孔洞型储层占 32.79%,裂缝—孔洞型储层占 47.07%,裂缝型储层占 6.87%,说明该井区储集层以裂缝—孔洞型和孔洞型储层为主。

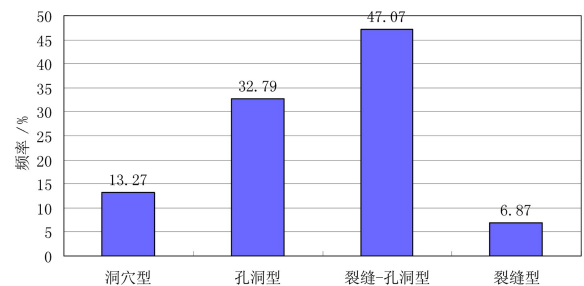


图 6 中古 8 井区奥陶系灰岩测井储层分类统计

Fig. 6 Classification statistics of Ordovician limestone logging reservoirs in Medieval No. 8 wellblock

2.2.1 孔洞型储层

主要分布在塔中 I 号坡折带附近,纵向上分布于高能滩等沉积地貌高处。一般是原生孔隙经过溶蚀改造形成,裂缝欠发育,溶蚀孔、洞是其主要的储集

空间。

2.2.2 裂缝型储层

为本区普遍发育的较重要的储层类型,ZG14、ZG102井等均以此为主。基质孔隙一般不发育,裂缝为主要储集空间和连通渠道,低孔隙度和较高的渗透率。

2.2.3 裂缝—孔洞型储层

裂缝—孔洞型储层为中古8井区为最主要的一种储层类型,ZG11、ZG102、ZG23和ZG111井等均钻遇了这类储层。储层孔洞、裂缝均较发育。孔洞是其主要储集空间,裂缝既可提供部分储集空间,但更为重要的是作为连通渗流渠道。

2.2.4 洞穴型储层

储渗空间主要为大型洞穴,纵向上分布在风化壳附近,平面上分布于断裂发育区。钻进过程中常发生放空、漏失、掉钻等现象,如ZG7、ZG13、ZG8井等。

3 断裂与鹰山组岩溶储层成因关系

3.1 断裂与岩溶缝洞系统关系

构造背景是古岩溶发育的基础,断裂展布型式控制了岩溶地貌分区,断裂和裂缝是岩溶水的主要渗滤通道。不同岩溶地貌类型其水动力条件不同,进而决定着岩溶作用条件及机理的差异性^[5,9,10,16,21,23]。构造运动对岩溶地貌的影响主要是通过断层、构造裂缝和褶皱来控制其发育,其控制作用表现在以下3个方面:

(1) 塔中北西向古隆起(褶皱)对区域地貌格局的控制作用。早奥陶世末期至晚奥陶世早期,南缘造山带及盆内从拉张环境转为挤压环境,塔中地区发生整体隆升,形成北西向古隆起,顶部遭受强烈剥蚀形成下奥陶统鹰山组顶部风化壳。中古8井区位于北西向古隆起北东翼岩溶斜坡,古地势自南西向北东降低,地貌以微丘洼地为主。

(2) 中小型断裂作用对沟谷的控制。区域大型断裂形成的同时常伴有中小型断裂活动,这种断裂对沟谷具有很好的控制作用,此类沟谷比较平直,两侧伴生大量裂缝和溶洞。根据恢复的古岩溶地貌图,可以清楚地观察到良里塔格组沉积前发育的岩溶沟谷与断裂具有明显的关系,地表水沿断裂形成的裂缝下渗,断裂控制了古岩溶微地貌的发育。

(3) 裂缝的控制作用。裂缝是沟最基本形成条件,可谓“逢沟必裂”。裂缝还是形成陡崖和峭壁的主要因素,发育带往往形成沟谷和斜坡,不太发育地区

往往成为山峰或山梁。

3.2 断裂与岩溶储层关系

加里东期生成的大型逆冲断裂及伴生的中小型断裂,容易形成新生裂缝并造成断层与断裂的开启,促进裂缝系统的形成与埋藏溶蚀作用及内幕白云岩化的发生,形成碳酸盐岩孔—洞—缝复合型储集体。

海西期生成的走滑断裂均伴随一些羽状排列的次级走滑断层,与主走滑断裂斜交,组成网状断裂系统。生成的断裂系统为埋藏期深部流体的溶蚀作用提供了有利通道,埋藏溶蚀作用形成的各种串珠状溶蚀孔洞、扩溶缝改善了不整合岩溶所形成的缝洞系统,不但使储层的孔隙度升高、渗透性增强,而且能在构造裂缝发育带形成相当规模储渗体,控制优质储层的发育和油气富集。

对鹰山组裂缝和溶蚀孔洞预测结果叠合图(如图7)分析认为:溶蚀孔洞的发育受北西向断裂影响,多呈条带状分布;而裂缝的分布呈北西向早期裂缝和北东向后期裂缝叠合特征。在塔中10号断裂带周围,溶蚀孔洞和裂缝都比较发育,ZG46、TZ201等高产油气井均发育在该区域。另外,塔中40号断裂带周围也是溶蚀孔洞和裂缝发育区,裂缝与溶蚀孔洞相连,形成大面积发育的片状反射储层。

4 结 论

(1) 中古8井区发育两期断裂系统:加里东期平行塔中1号坡折带呈北西—南东压扭性逆冲断裂带,断距大,延伸远;早海西期近北东—南西向走滑断裂带,产状直立。主逆冲断裂平面展布奠定该区整体构造格局,走滑断裂及伴生的羽状排列的次级走滑断层与主走滑断裂斜交,组成网状断裂系统。

(2) 中古8井区鹰山组顶面属微丘洼地古岩溶地貌单元,缝洞系统主要发育于鹰山组1段下与鹰山组2段上部。多位于鹰山组顶面以下0~120 m深度范围,储层包括孔、洞、缝三种大的类型,可细分为:孔洞型、洞穴型、裂缝型和裂缝—孔洞型四种,该井区以裂缝—孔洞型和孔洞型储层为主。

(3) 溶蚀孔洞的发育受北西向断裂影响,多呈条带状分布;而裂缝的分布则呈现北西向早期裂缝和北东向后期裂缝叠合特征。中加里东至海西期形成的多期、多组断裂及伴生的裂缝网络形成良好的流体优势运移通道,成为各种液体溶蚀改造储层的有利通道,使横向分布相对稳定的储层在垂向上通过网络系统的沟通成为有利的孔洞缝发育集合体。

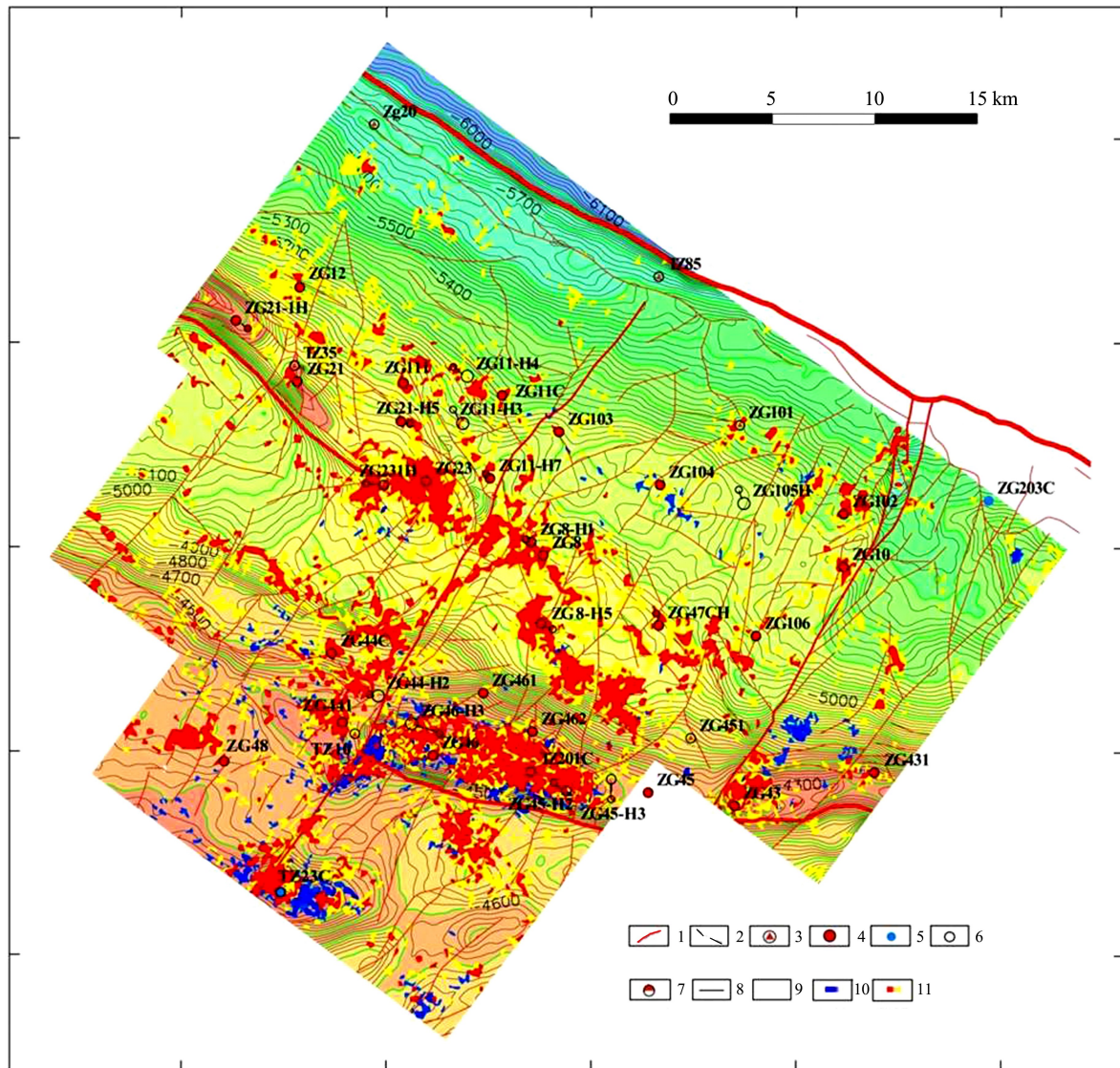


图7 中古8井区鹰山组溶蚀孔洞和裂缝叠合图

(据塔里木油田公司 2012, 有修改)

Fig. 7 Overlapped diagram of solution pores and fissures in Yingshan formation of Medieval No. 8 wellblock of (modified from Tarim Oilfield Company, 2012)

1—断层 2—等值线 3—油气显示井 4—工业油气藏井 5—水井 6—正钻井 7—产油气井
8—探明油气储量区 9—控制油气储量区 10—裂缝 11—溶蚀孔洞

致谢:感谢审稿专家编辑及中国地质科学院岩溶地质研究所邹胜章研究员在本论文修改过程中提出的宝贵意见和建议。感谢塔里木油田勘探开发研究院提供的宝贵参考资料,特此向潘文庆、邓兴梁、张正红等表示感谢。

参考文献

- [1] 夏日元,邹胜章,梁彬,等.塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩缝洞系统模式及成因研究[M].北京:地质出版社,2011,1—10.
- [2] 陈景山,李忠,王振宇,等.塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩古岩溶作用与储层分布[J].沉积学报,2007,25(6):858—868.
- [3] 陈学时,易万霞,卢文忠.中国油气田古岩溶与油气储层[J].沉

积学报,2004,22(2):244—254.

- [4] 张庆玉,秦凤蕊,梁彬,等.塔北隆起轮古7井区奥陶系岩溶地貌及岩溶储层特征研究[J].中国岩溶,2014,33(3):18—22.
- [5] 赵文智,沈安江,胡素云,等.中国碳酸盐岩储集层大型化发育的地质条件与分布特征[J].油气勘探与开发,2012,39(1):1—12.
- [6] Moore H C. Carbonate reservoirs: Porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic frame work [M]. Amsterdam: Elsevier, 2001: 80—122.
- [7] 赵宗举,王招明,吴兴宁,等.塔里木盆地塔中地区奥陶系储层成因类型及分布预测[J].石油实验地质,2007,29(1):40—46.
- [8] 朱光有,张水昌,张斌,等.中国中西部地区海相碳酸盐岩油气藏类型与成藏模式[J].石油学报,2010,31(6):871—878.
- [9] 贾承造主编.中国塔里木盆地构造特征与油气 [M]. 石油工业

- 出版社,1997.185—200.
- [10] 夏日元,唐健生,罗伟权,等.油气田古岩溶与深岩溶研究新进展[J].中国岩溶,2001,20(1):76.
- [11] 郭光辉,琚岩,杨仓,等.构造对塔中奥陶系礁滩型储集层的控制作用[J].新疆石油地质,2010,31(5):467—470.
- [12] 杨海军,韩剑发,孙崇浩,等.塔中北斜坡奥陶系鹰山组岩溶型储层发育模式与油气勘探[J].石油学报,2011,32(2):199—205.
- [13] 袁道先.中国岩溶学[M].北京:地质出版社,1994:1—207.
- [14] 任美镠,刘振中,王飞燕,等.岩溶学概论[M].北京:商务印书馆,1983:1—331.
- [15] 朱学稳,等.桂林岩溶地貌与洞穴研究[M].北京:地质出版社,1988:1—249.
- [16] 马晓强,侯加根,胡向阳,等.塔里木盆地塔河油田奥陶系断控型大气水岩溶储层结构研究[J].地质论评,2013,59(3):521—532.
- [17] Smith L B, Davies G R. Structurally controlled hydrothermal alteration of carbonate reservoirs: Introduction [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(11): 1635—1640.
- [18] 吕修祥,周新源,杨海军,等.塔中北斜坡碳酸盐岩岩溶储层油气差异富集特征[J].中国岩溶,2013,31(4):441—452.
- [19] Davies G R, Smith L B. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An overview: Reply [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(9): 1342—1344.
- [20] 周新源,吕修祥,杨海军,等.塔中北斜坡走滑断裂对碳酸盐岩油气差异富集的影响[J].石油学报,2013,34(4):628—637.
- [21] 黄成毅,邹胜章,潘文庆,等.古潮湿环境下碳酸盐岩缝洞型油气藏结构模式:以塔里木盆地奥陶系为例[J].中国岩溶,2006,25(3):250—255.
- [22] 倪兴峰,杨海军,沈安江,等.塔中地区奥陶系灰岩段裂缝特征及其对岩溶储层的控制[J].石油学报,2010,31(6):933—940.
- [23] 乔占峰,沈安江,邹伟宏,等.断裂控制的非暴露型大气水岩溶作用模式:以塔北英买2构造奥陶系碳酸盐岩储层为例[J].地质学报,2011,85(12):2070—2083.

Genesis relationship between faults and karst reservoirs in the Yingshan formation, Medieval No. 8 wellblock

LI Jing-rui¹, LIANG Bin¹, YU Hong-feng², ZHANG Qing-yu^{1,3},
CAO Jian-wen^{1,3}, DAN Yong^{1,4}, HAO Yan-zhen¹, LI Jie⁵

(1. Institute of Karst Geology, CAGS / Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR&GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000, China;

3. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

4. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

5. No. 4 Oil Production Plant of PetroChina Changqing Oilfield Company, Jingbian, Shaanxi 718500, China)

Abstract There are abundant oil and gas resources in the Ordovician carbonate formation of the Tarim basin. The superposition and transformation in many episodes of different types of karst development are the main driving force of Tazhong ancient karst reservoirs. Faults are an important factor affecting karst reservoirs. The Medieval No. 8 wellblock is situated in a northwest-southeast trending thrust fault zone of the Caledonian period and a northeast-southwest trending strike-slip fault zone of the Hercynian period, which form a network system. The karst reservoirs developed in the subsurface from the top of Yingshan formation to 120 km depth, which are of hole type, cavity type, fissure type and fissure-hole type. Of these, the fissure-hole type and hole-type are dominant. The multi-episode faults and associated fissure network system of the Caledonian to Hercynian period serve as good migration channels for fluids, which promote the development of the fissure-hole system, burial dissolution and dolomitization, improving the performance of reservoirs to become a complex combination of carbonate holes, cavities and cracks.

Key words karst reservoir, fault, karstification, Yingshan formation, Medieval No. 8 wellblock

(编辑 张 玲)