

塔河油田 S80 单元缝洞体分布规律及发育模式

李莹^{1,2}, 王怀洪¹, 巩固¹, 郭涛¹, 宋宇¹, 吕大炜³

(1.山东省煤田地质规划勘察研究院, 山东 泰安 271000; 2.山东科技大学, 山东 青岛 266590;

3.山东科技大学 山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室, 山东 青岛 266590)

摘要: S80单元是横跨塔河油田六区、七区的重要油气开发区块, 采用石油地质学、沉积学与构造地质学交叉思路与方法, 研究了 S80单元缝洞体分布规律及发育模式。以岩溶缝洞体的形成原因及构造形态为依据, 将研究区缝洞划分为落水洞、干流洞、支流洞和末梢洞 4 种类型。4 种类型缝洞在表层岩溶带最为发育, 落水洞沿构造低部位、斜坡带呈串珠状分布; 渗流岩溶带发育一小部分末梢洞, 连通程度受限; 径流岩溶带以干流洞为主, 干流洞主要沿平行或近平行于地层方向发育, 在纵向上叠置分布。表层岩溶发育段分布范围广, 且多表现为顺层发育; 深部缝洞体条带特征明显, 具暗河特征, 与断裂的关系密切。S80单元内缝洞体发育与构造裂缝发育关系密切, 其表层岩溶带内缝洞体发育受构造作用产生的高角度裂缝、网状缝及压溶缝控制。在 S80单元经历的 4 次重要构造变形过程中, 加里东中期, 海西早、晚期的褶皱和断裂作用对该区裂缝的产生和走向及后期溶蚀作用发育方向具有控制作用。据此, 将 S80单元内缝洞体发育模式划分为沉积成岩期、构造挤压期、抬升溶蚀期、溶蚀扩大及回流充填期 4 个阶段。

关键词: 缝洞体 落水洞 干流洞 表层岩溶带 碳酸盐岩油藏 塔河油田

中图分类号: TE344

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)06-0030-03

塔河油田是塔里木盆地重要油气资源产地^[1-2], 主力油气产层集中于中、下奥陶统碳酸盐岩储层内, 孔、缝、洞是主要的油气储集空间^[1-4]。前人针对塔河油田中、下奥陶统储层储集空间结构特征做了大量研究^[1-16], 成果集中于测井资料处理和地震数据体分析等方面^[15-16], 而针对缝洞体单元特征及结构模式的研究较少。笔者对塔河油田 S80单元缝洞体特征进行了研究, 并提出了相应的缝洞发育模式。

1 区域地质概况

塔河油田处于塔里木盆地东北坳陷区沙雅隆起阿克库勒凸起西南, 西邻哈拉哈塘凹陷, 东靠草湖凹陷, 南接满加尔坳陷和顺托果勒隆起, 北为雅克拉凸起^[1]。其奥陶系油藏集中储集于溶洞或溶蚀孔隙中, 缝洞体之间存在连通关系, 但连通方式及其空间特征非常复杂。塔河油田六区、七区奥陶系油藏位于油田的北部, 总面积为 109.5 km², S80单元位于塔河油田六区西南部和塔河油田七区西部, 面积为 11.806 km², 单元内共有 27 口井, 目前为塔河油田六区、七区累积产量最高的区块。随着认识的深

入, S80单元边界划分从单纯依靠生产动态资料到综合单井、井间、地震及实际生产变化等资料, 经过了 4 次主要的变化过程, 形成了现在的缝洞单元边界, 并逐步发展到可以进行较为精细的储集体内部结构刻画^[10]。

2 缝洞体空间分布规律

塔河油田下奥陶统碳酸盐岩储层为双重介质储渗系统^[10], 即基质孔隙系统和裂缝—溶洞系统。依据单元内各井生产层的岩性、裂缝缝合线、孔洞等资料, S80单元内有实际储集意义的空间类型包括裂缝、溶蚀孔洞及部分有机质充填缝合线。其中对油气储集有实际意义的裂缝缝径小于 1 mm, 且多为方解石、有机质及沥青质充填或半充填; 溶蚀孔洞洞径从 1 mm 至 10 m 不等, 多为硅质充填或半充填。缝合线发育较为局限, 对油气储集的贡献不大。

2.1 缝洞类型

根据缝洞发育特征和规模, 可以将研究区缝洞划分为落水洞、干流洞、支流洞和末梢洞 4 种类型(表 1)。落水洞形成于岩溶发育初期地表水流入地

收稿日期: 2014-09-10。

作者简介: 李莹, 女, 博士, 从事能源地质方面的研究。联系电话: 13730982173, E-mail: cuplying@163.com。

基金项目: 国家“973”计划“碳酸盐岩缝洞型油藏开采机理及提高采收率基础研究”(2011CB201001), 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金计划项目“大型陆表海盆地海侵事件沉积及事件古地理特征——以华北板块晚古生代盆地为例”(BS2011SF017)。

表1 塔河油田S80单元缝洞类型

缝洞类型	洞高/m	空间特征	充填物类型	充填程度
落水洞	>15	规模大,多呈竖井状	未充填洞底见少量大型垮塌角砾,半充填或全充填洞见垮塌、沉积、化学沉积物,无明显沉积旋回特征	未充填、半充填或全充填
干流洞	5~15	规模较大,形态不规则	见垮塌、沉积、化学充填,可见多期旋回沉积特征,见复合垮塌沉积,沉积物分选差	未充填、半充填或全充填
支流洞	0.5~5	规模较小,延伸较远,多顺层发育	见垮塌、沉积、化学充填,见明显沉积旋回特征,沉积物粒度较细	未充填、半充填或全充填
末梢洞	0.2~0.5	规模小,多呈近平行条状,顺层发育	多见沉积充填物,充填物粒度较细,无明显沉积旋回特征	未充填、半充填或全充填

下的进口区,由于发生岩溶作用,地表岩溶面积大,向下岩溶面积逐渐缩小,形成了表面形态与漏斗相似的地表及地下岩溶地貌的过渡类型。在潜水面附近的地下水径流沿岩层面、裂隙面或断裂带作近于水平方向的流动,溶蚀岩石使空隙扩大,形成近于水平延伸的洞穴,即溶洞,其中水流汇聚于较大规模的干流区域后形成的大于5 m以上的溶洞体,即为干流洞。支流洞是指因地层暴露地表受地表径流溶蚀或地层沉降埋藏后受地下水剥蚀作用控制,地下暗河支流段侵蚀形成的规模为0.5~5 m的岩溶洞穴。末梢洞一头连在干流洞和支流洞周围,另一头与裂缝相连,也有一些末梢洞连接在干流洞或支流洞之间,规模比支流洞小,一般洞高小于0.5 m。由于溶洞规模小,垮塌角砾比较少,洞内多为沉积碎屑和化学沉淀物充填。

2.2 裂缝及溶洞发育特征

S80单元断裂较为发育,高角度裂缝、网状缝及压溶缝非常发育,普遍发育厚度小于50 mm的小型溶蚀洞,且多被灰质、硅质充填物完全充填。中、下奥陶统顶面断裂全区分布(图1),单元内主要裂缝

为北西、北东向剪切缝体系和北北西—北西向断裂体系。可识别断裂37条,断距最大的断裂发育在TK636H井以东,延伸长度为1.68 km,但单元内断距大于等于20 m的仅有5条,多数断距小、延伸短,在单元北东部更为密集,断裂走向主要为北东、南东向。T80和T90断裂平行于单元东部,沿塔河油田六区、七区构造轴部发育,断裂密度小,平面上连续性强,规模大,最大延伸长度为13.5 km。总体上S80单元断裂普遍发育,多数断裂形成于加里东—海西早期,定型于海西中晚期。这表明在阿克库勒凸起及其周缘地区4次重要的构造变形过程中,加里东中期和海西早、晚期的褶皱与断裂作用对研究区裂缝的产生和走向具有控制作用。

2.3 缝洞体井下分布

S80单元内几乎所有井均发现不同规模溶洞(表2)。钻井识别出的溶洞中,93.65%的溶洞厚度小于5 m,多数位于表层岩溶带,表明单元内溶洞在表层岩溶带更为发育(图2),下奥陶统以下0~60 m的缝洞体延伸范围远,落水洞沿构造低部位、斜坡带呈串珠状分布,以干流洞和支流洞为主,连通性较好。渗流岩溶带溶洞发育一小部分末梢洞,末梢洞主要是沿近垂直地层方向的裂缝溶蚀而成,因而连通程度受限。径流岩溶带以干流洞为主,干流洞主要沿平行或近平行于地层方向发育,在纵向上呈叠置分布。表层溶蚀作用更多表现为顺层发育,且

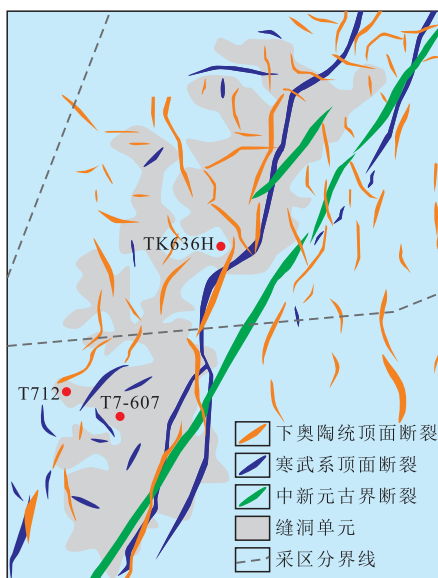


图1 塔河油田六区、七区奥陶系油藏断裂分布

表2 塔河油田S80单元溶洞分带发育特征

岩溶带	溶洞厚度/m	溶洞发育程度	成因	数量	溶洞类型	连通性
表层	10~30	强	溶蚀、冲蚀均强	多	落水洞、干流洞、支流洞	强
渗流	50~100	局部发育	垂向渗流溶蚀	少量	末梢洞	差
径流	30~80	较强	冲蚀为主,溶蚀次之	较多	干流洞、落水洞、支流洞	较强
潜流	>80	基本不发育				

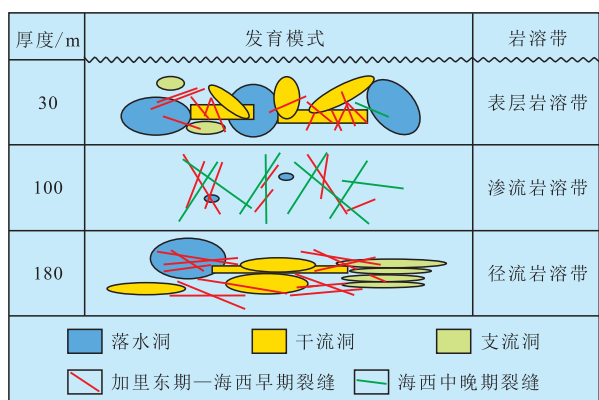


图2 塔河油田S80单元溶洞分带发育模式

发育段分布范围广。深部缝洞体条带特征明显,具暗河特征,与断裂的关系紧密。

2.4 单元内部连通性

示踪剂测试及注水响应结果表明,S80单元内具连通性突破的井组共25对(图3),综合各个动态连通性响应特征可以看出,S80单元可确定具连通性的井组共有11对,平面上连通井组展布方向主要为北东向,单元内连通井组主要展布于中、南部区域;纵向上中部区域TK663,S80和TK636H井存在连通性,呈北东、北西向条带分布。表明连通井组中的单井多分布于单元中南部,连通层位主要分布于表层岩溶发育段,井间缝洞体连通方向主要为北东向,与构造斜坡倾向和单元主构造裂缝的发育有相关关系。

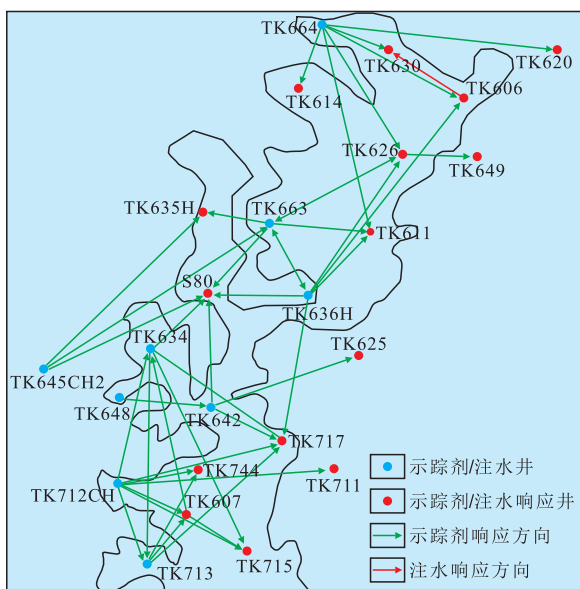


图3 S80单元井间示踪剂响应分布

3 缝洞发育模式

通过对S80单元缝洞体分布规律的研究,提出

了碳酸盐岩储层缝洞体的发育与演化模式,在构造运动非常活跃的碳酸盐岩台地表层岩溶带发育模式可以分为4个阶段:①沉积成岩期。受沉积压实和成岩作用影响,这一时期产生的同生或准同生成岩孔隙,绝大多数被后期胶结充填。②构造挤压期。塔河地区受加里东期和海西期构造运动的影响,主要受北西南东方向和近南北方向的主应力挤压。③抬升溶蚀期。这一时期受构造主断裂影响产生大量次级裂缝、水平缝,古湿润气候产生的大气降水和地表水受裂缝走向、古地貌形态、流体性质、重力等因素控制下渗溶蚀。④溶蚀扩大及回流充填期。这一时期溶蚀作用进一步加剧,暴露地表的地貌高地在风化剥蚀和溶蚀双重作用下剥蚀殆尽,构造轴部断裂极发育部位溶蚀最为发育,易产生近直立落水洞,落水洞规模可以长达数米至数万米,落水洞内部受重力影响发生进一步坍塌,导致新裂缝产生,从而出现新的溶蚀通道,进一步加剧内部溶蚀及地下径流的发育。与此同时,流体沿裂缝走向及构造斜坡下渗产生近似河道的溶蚀通道,这些通道最终汇聚于冲蚀沟谷等构造低部位,使地貌上地势较低的地层反而容易发育较大的溶蚀洞穴,这类洞穴也常见晶形较好的化学充填物。

4 结论

根据缝洞发育特征和规模,将塔河油田S80单元缝洞划分为落水洞、干流洞、支流洞和末梢洞。这4种类型缝洞在表层岩溶带最为发育,落水洞沿构造低部位、斜坡带呈串珠状分布;渗流岩溶带溶洞发育一小部分末梢洞;径流岩溶带以干流洞为主,干流洞主要沿平行或近平行于地层方向发育,在纵向上呈叠置分布。表层溶蚀作用更多表现为顺层发育。深部缝洞体条带特征明显,具暗河特征,与断裂的关系密切。研究区内存在高角度裂缝、网状缝及压溶缝,主要受构造作用控制,裂缝、孔洞充填程度普遍较高,反映出加里东中期,海西早、晚期的褶皱和断裂作用形成的北西、北东向剪切缝体系和北北西—北西向断裂体系对该区缝洞影响很大。S80单元缝洞发育模式包括沉积成岩期、构造挤压期、抬升溶蚀期和溶蚀扩大及回流充填期4个阶段。

参考文献:

[1] 荣元帅,李新华,刘学利,等.塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏多

(下转第36页)