

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

邓兴梁¹, 乔占峰^{2,3}, 王 彭¹, 常少英^{2,3}, 何 军¹, 李维岭^{2,3}, 赵龙飞¹, 李 昌^{2,3}

(1 中国石油塔里木油田分公司; 2 中国石油杭州地质研究院)

(3 中国石油天然气集团公司碳酸盐岩储层重点实验室)

摘 要 埋藏期的“断溶体”是塔里木盆地碳酸盐岩领域重要的储层类型,但对此的研究尚不深入。以塔中十号带为例,基于录井、岩心、薄片、测井和地球物理资料,认识到该带的埋藏期断溶体为缝洞型储层;基于与断溶体相关裂缝充填物的岩石学与地球化学分析,认为断溶体与埋藏溶蚀作用关系密切;据溶蚀模拟实验与断溶体发育特征,断溶体的发育受控于断裂和先期孔隙分布,既具有断控性,同时也具有层控性。断溶体储层的预测应以刻画与不整合面或与岩性结构差异相关的先期孔隙分布带为关键。

关键词 塔里木盆地; 塔中地区; 奥陶纪; 断溶体; 储层特征; 储层成因; 储层发育规律

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

1 “断溶体”的概念与提出

“断溶体”广义上是指大气水或埋藏流体沿断裂对围岩发生溶蚀作用所形成的储集体。断裂作为重要的流体通道,在表生期和埋藏期均发挥着重要的作用^[1-3]。流体在流经断裂的过程中会发生一系列的溶蚀-充填作用,局部的溶蚀作用会导致新储集空间的形成或对先期存在的裂缝和孔隙的溶蚀扩大^[4],而最终形成的储集体的发育分布则表现出与断裂关系密切的特点,故称之为“断溶体”。近些年在对塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩勘探过程中,随着勘探生产的深入和地震成像技术的进步,原先认为岩溶缝洞型储层不发育的内幕区也获得了较大的突破,如塔中十号带、顺北地区、顺南地区^[5]等,勘探领域随之逐渐自潜山区转向了内幕区。有分析认为相当一部分代表缝洞体的“串珠”地震响应的形成和发育分布与断裂存在密切的关系^[6-7],因此,“断溶体”概念的提出,在勘探生产中具有实际的意义。

断溶体可以形成于表生期,大气水沿断裂发生溶蚀作用,如塔河油田、英买2油田、哈拉哈塘油田

等,前人研究证实这些油田的储层受大型不整合面控制,同时受断裂的控制也很明显^[8-11],鲁新便等^[8]对这些与断溶体相关的圈闭和油藏特征进行了分析。

断溶体也可以形成于埋藏期,地下流体沿断裂向上运移,在上覆遮挡层发育的情况下发生溶蚀作用。这种情况下,主要由于层界面上下存在显著的岩性差异(不一定存在长期暴露的不整合面),导致流体沿断裂运移过程中的溶蚀作用表现出层位选择性,故这时的断溶体发育表现出与断裂和层界面关系密切,并可在内幕区规模发育。前人对埋藏期是否可形成“断溶体”以及断溶体的特征尚欠研究,故本文将塔中十号带上奥陶统良里塔格组为例,对埋藏期形成的断溶体的特征、成因和发育规律进行探讨。

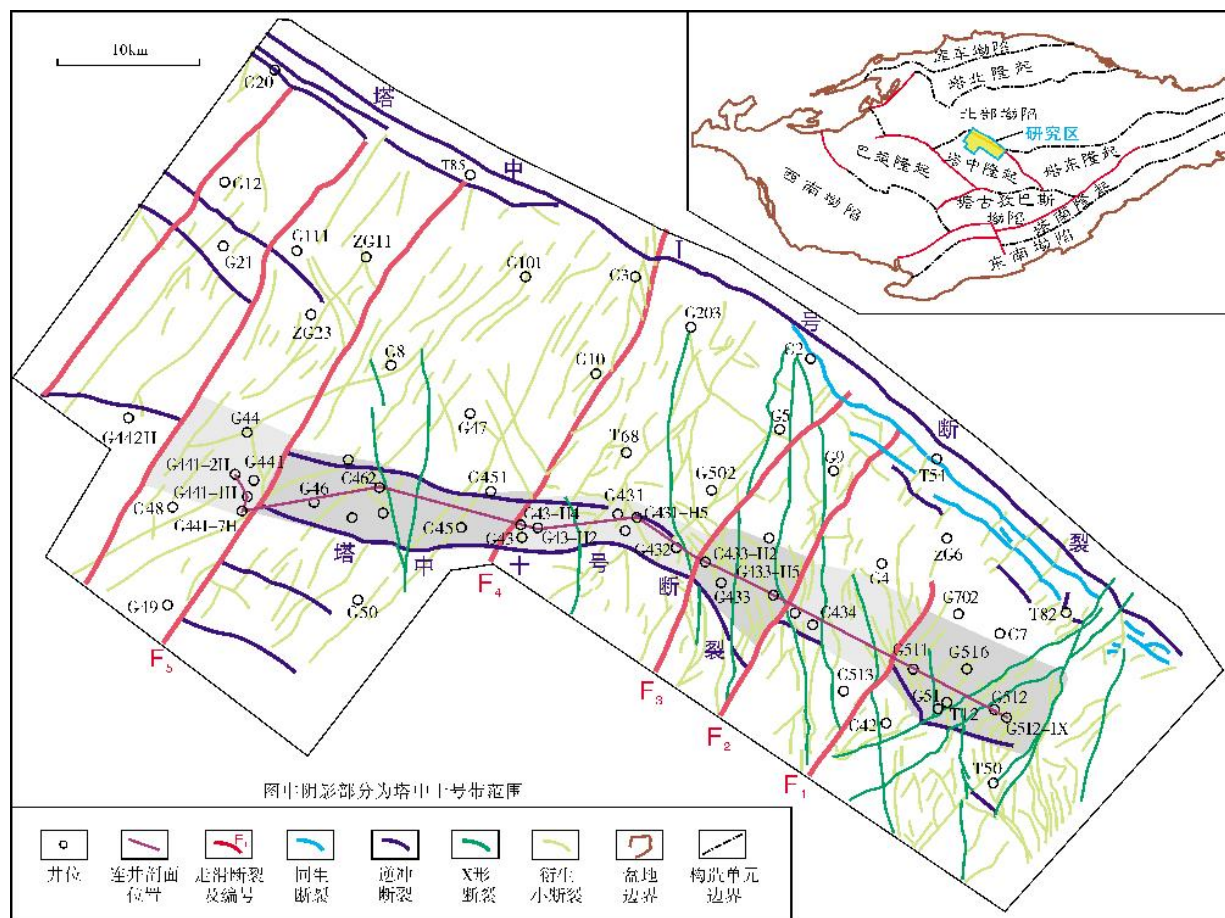
2 地质背景

塔中十号带位于塔里木盆地塔中隆起的北部,塔中 I 号断裂带南侧(图1a),为一北西—南东走向的背斜构造^[12],长约60 km,南以塔中十号断裂为边界,北侧延伸到塔中北斜坡,与塔中 I 号断裂相接。

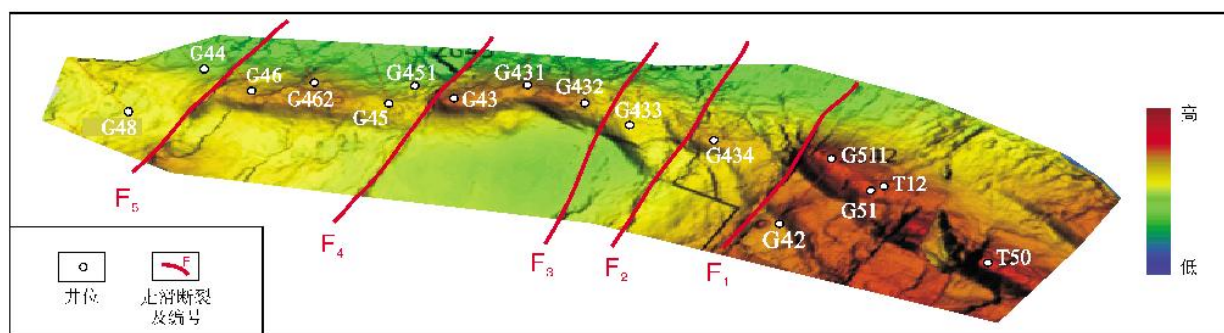
收稿日期: 2017-02-08; 改回日期: 2017-10-05

本文受国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(编号:2016ZX05004)和中国石油重大科技专项“深层油气勘探开发关键技术研究”(编号:2014E-32)资助

邓兴梁: 1969年生,1992年石油大学(华东)石油地质专业毕业,获学士学位,2011年南京大学博士研究生毕业,高级工程师,主要从事碳酸盐岩油气藏开发研究工作。通讯地址: 841000 中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院; E-mail: dxl-tlm@petrochina.com.cn



(a) 塔中北部断裂分布



(b) 塔中十号带良里塔格组顶界三维构造形态

图1 塔中十号带地质背景图

塔中十号带,伴随着塔中隆起的形成,属塔里木板块南部与南昆仑板块在早奥陶世末相撞的产物^[13],由于塔中隆起受力东强西弱^[13],故塔中十号带总体表现为向西倾没(图1b);其后,塔中十号带受到了海西期、印支期、喜马拉雅期等多期次构造运动的改造,并于喜马拉雅期定型。

2.1 塔中十号带断裂发育特点

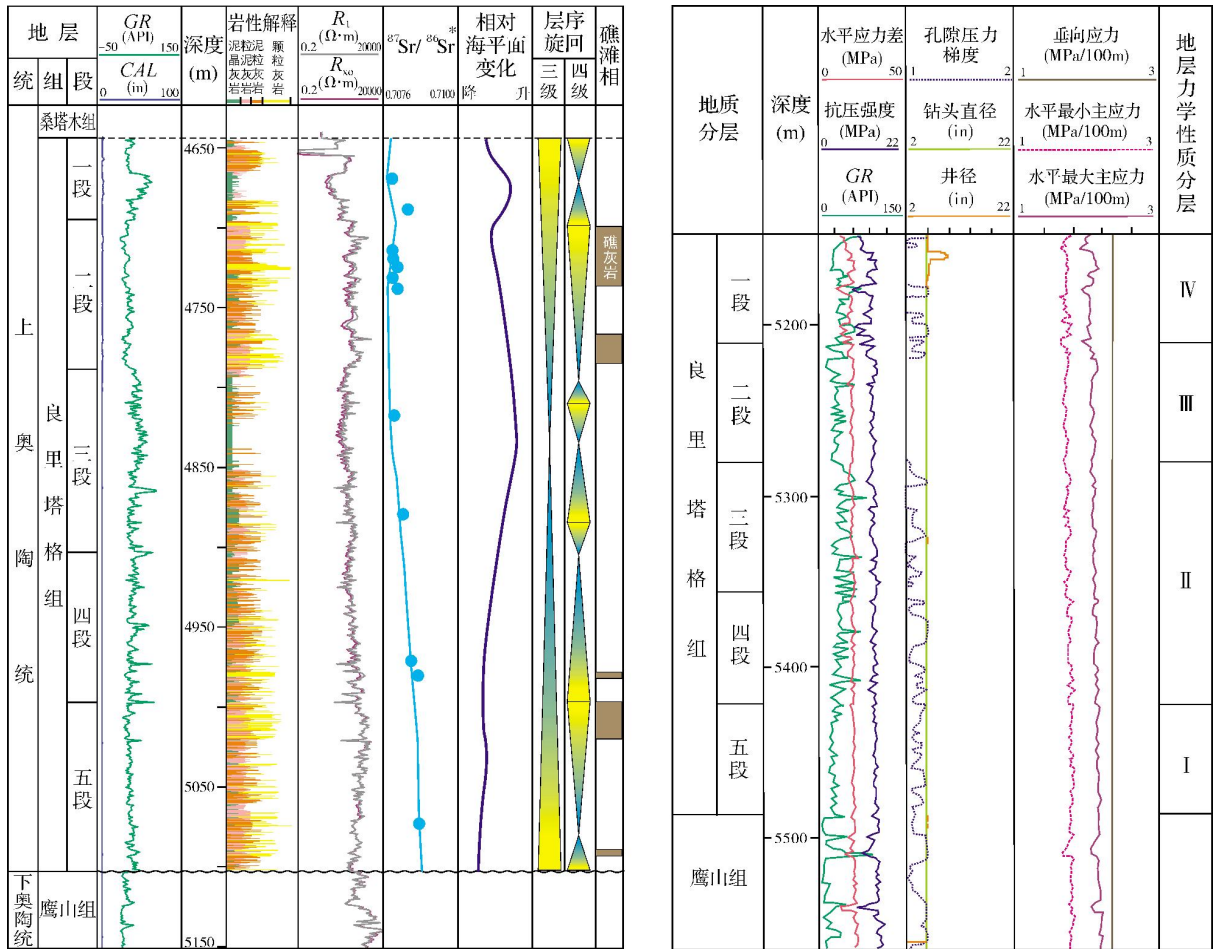
多期构造运动导致研究区断裂发育。根据断裂性质、走向与发育规模,可识别出至少四类断裂(图1a):第一类为逆冲断裂,这些断裂的性质与塔中I号断裂相同,系受加里东期压扭剪切应力而

形成,并伴随着塔中十号构造带的隆起;第二类为北东向的走滑断裂,该类断裂可能始于加里东期并长期活动,自东向西将塔中十号构造带切割成六段;第三类为与走滑断裂相关的X形断裂和在构造顶部发育的衍生小断裂,走向为北西或北东向;第四类为台缘礁滩复合体生长过程中发育的同生断裂,沿塔中 I 号断裂带分布。各期或各级断裂,以及背斜构造,均存在多期活动的特点,并最终定型于喜马拉雅期。

2.2 良里塔格组岩石强度纵向分层

研究区内,良里塔格组底与鹰山组呈平行不整合接触^[13],沉积间断约10~16 Ma;良里塔格组上覆桑塔木组(图2)。良里塔格组划分为五段(图2a),岩性和力学性质上则分成四套(图2b):自下而上,第一套

为良五段,岩性为泥晶灰岩夹砂屑颗粒灰岩,局部夹含泥质泥晶灰岩,总体泥质含量较低,抗压强度较大,且较均匀,岩性和岩石力学性质与鹰山组相近(图2b);第二套为良四段—良三段,岩性为泥质泥晶灰岩,富泥条带发育,泥质含量向上增加,抗压强度相对较小,且表现出频繁互层状;第三套为良二段,以厚层状砂屑或生物碎屑灰岩为主,局部发育生物碎屑藻粘结岩,泥质含量少,抗压强度较大且较均匀;第四套为良一段,为泥质核形石灰岩与核形石生物碎屑灰岩互层,中下部含泥较重,抗压强度偏低,且变化较大。总体上良里塔格组为纯碳酸盐岩和富泥碳酸盐岩互层^[14],相应地,岩石强度具有成层性变化的特点,这导致了良里塔格组在构造变形过程中裂缝的发育类型和分布具有一定的规律性,并且也直接影响着断溶体的分布。



* 锶同位素比值数据来自文献[15]

(a) T12井良里塔格组岩性地层分层

(b) G462井良里塔格组力学性质分层

图2 塔中十号带良里塔格组岩性地层与力学性质分层

3 塔中十号带断溶体发育特征

塔中十号带的断溶体表现为同时具有断控性和层控性,相应地可划分为两种类型:Ⅰ型断溶体和Ⅱ型断溶体。

3.1 Ⅰ型断溶体

Ⅰ型断溶体表现出与走滑断裂及伴生次级断裂具有密切关系,主要发育于构造变形相对较弱区。以 F_5 断裂西侧的G441井区(图3)为典型,如G441-2H、G441-1H、G441-7H井,断溶体多发育在第二套(良四段—良三段),有的断溶体甚至可贯穿良三段—良五段,并表现出与鹰山组缝洞体为同一系统。

3.2 Ⅱ型断溶体

Ⅱ型断溶体具有较强的层控性。在研究区内,Ⅱ型断溶体集中发育于良三段(图3),如 F_1 断裂东侧、 F_2 断裂与 F_4 断裂夹持部位的G43-H4、G43-H2、G431-H5、G433-H2、G433-H5等井(平面位置参见图1a),且强构造变形区内储层明显更为发育,如G43-H2井位于 F_3 断裂与 F_4 断裂夹持的构造高部位(图1a),油气显示段可达82m,累计产油已达1.6t,而位于低部位的G43-H4井油气显示近49m,生产效果较差。总体上,断溶体发育段的钻井漏失量和油气显示厚度均表现出与断裂距离的关系密切(图4),距断裂越远,油气显示厚度和泥浆漏失量越小,这也反映了断裂对该类断溶体储层的重要控制作用。

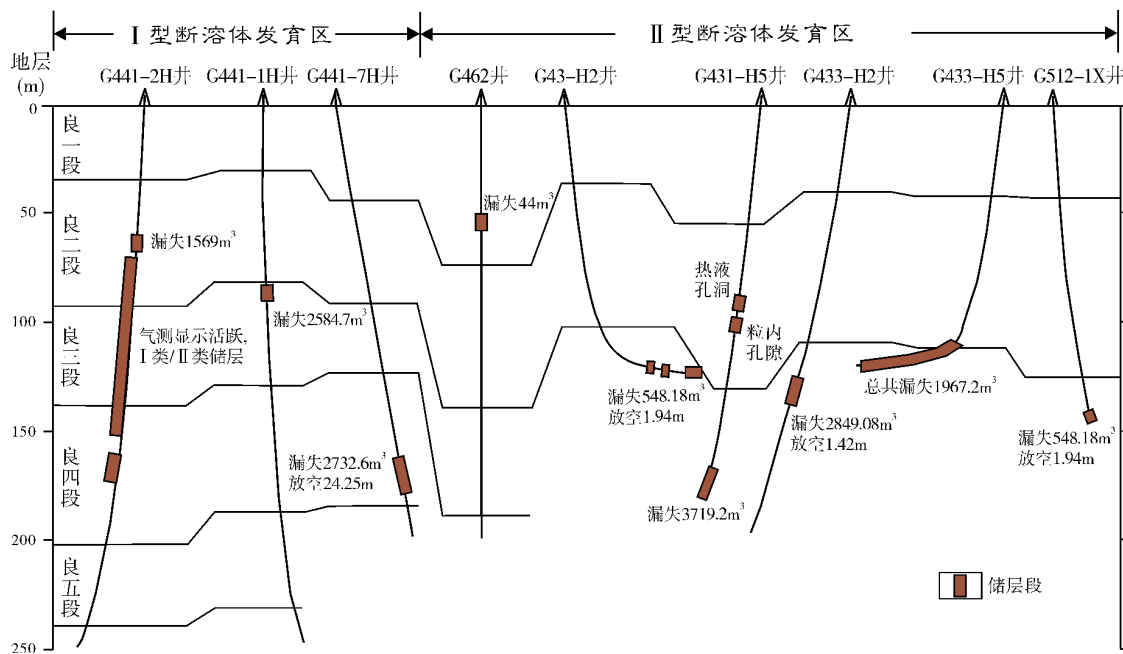


图3 塔中十号带断溶体相关漏失放空段连井对比
连井剖面位置见图1a; 拉平良里塔格组顶界

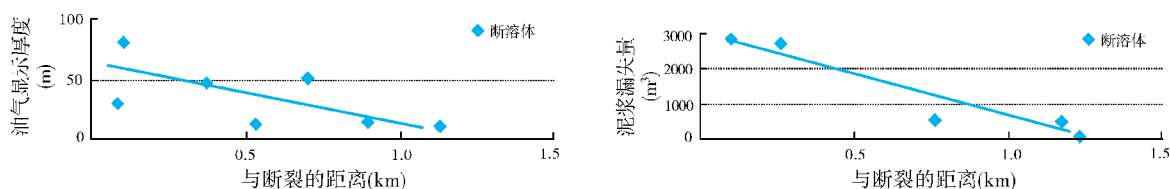


图4 塔中十号带断溶体与断裂关系统计

3.3 断溶体储集空间特征

断溶体的主要储集空间为裂缝(溶缝)和洞穴,

它们在空间上构成缝洞体。

裂缝,根据产状可分为两类:高角度缝或近直立缝,以及层间缝,其成因主要有两个,一是走滑断裂,

二是构造抬升变形。走滑断裂成因的裂缝以高角度缝或直立缝为主(图 5a—5c),主要围绕走滑断裂发育;构造抬升变形可同时形成高角度缝和层间缝,良里塔格组上部张性变形区(良二段纯碳酸盐岩部分)以形成高角度缝或垂直缝为主(图 5a,5b),而薄互层的良三段则多发生层间滑脱而形成层间缝(图 5d, 5e)。总体上良里塔格组以高角度缝更为发育^[16],因

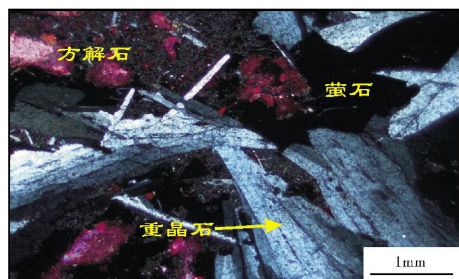
此,这也可以解释了尽管地震相关分析显示出裂缝较发育,但是钻井和岩心上可见的裂缝却相对较少,其原因与裂缝的产状有关。岩心观察可见,高角度缝多发生扩溶作用,后被方解石不完全充填,也有一些可见萤石和重晶石等热液矿物部分充填,或残留孔洞发育(图 5b,5c);层间缝则被方解石充填严重(图 5d)。



(a) 高角度溶缝,方解石完全充填。G431-H5井5146m,良二段。岩心



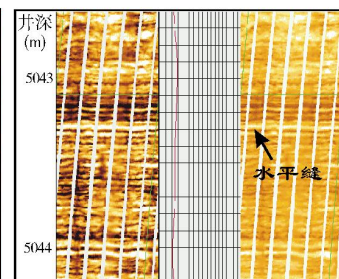
(b) 高角度宽缝中方解石、重晶石和萤石等部分充填,裂缝中发育围岩碎屑。T12井4706m,良二段。岩心



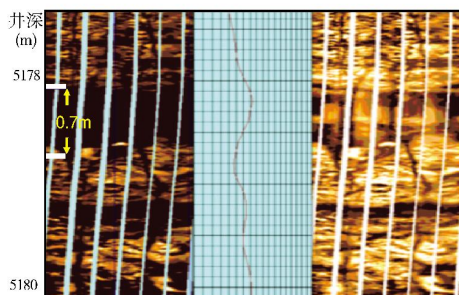
(c) 高角度宽缝中方解石、重晶石和萤石等部分充填,位置参见(b)图。T12井4706m,良二段。正交光



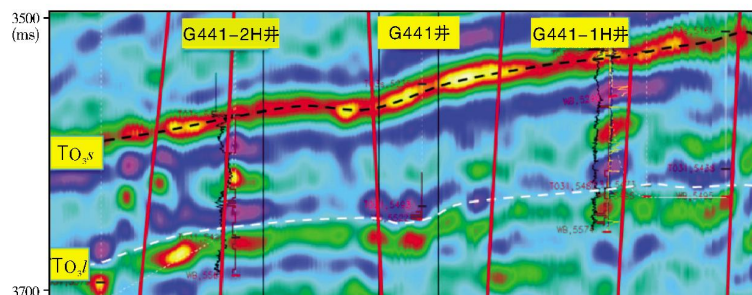
(d) 层间缝,被方解石完全充填。G51井5042m,良三段。岩心



(e) 层间缝发育,被方解石完全充填。G46井,良三段。成像测井



(f) 洞穴发育,被泥质充填,显暗色段,高0.7m。G462井,良一段。成像测井



(g) 洞穴发育,表现为“串珠状”地震响应。地震剖面上,红直线表示断层,黑直线为剖面拼接线。O_{3s}、O_{3l}分别为桑塔木组底及良里塔格组底

图5 塔中十号带良里塔格组断溶体岩心、成像测井和地震响应特征

洞穴,在成像测井上为大段高阻响应(图 5f),在地震剖面上表现为“串珠”(图 5g),在钻井过程中多发生漏失和放空。

裂缝和洞穴在空间上构成缝洞体。在未直接钻

遇洞穴的情况下,由于裂缝的沟通,则会发生大规模漏失。缝洞体常具有较好的油气产能(如G431-H5井)。

生产上,断溶体储层表现出明显的定容的特征,

即开发过程中压力下降较快,注水后则压力有所恢复,这说明缝洞体与周边沟通较差。

4 断溶体储层成因及发育机理

4.1 断溶体相关裂缝充填物地化特征

塔中十号带良里塔格组中断溶体相关裂缝的岩石学特征和地球化学特征揭示,裂缝充填物的形成与埋藏期的溶蚀改造作用密切相关。空间上,与断溶体相关的裂缝或洞穴中可见萤石和重晶石发育(图5c),此为埋藏期热液活动的直接证据^[17]。以G431-H5井为例,岩心可见近垂直溶缝发育(图5a),取心段处于良二段,其下紧邻断溶体漏失段(图3),可以推断该溶缝与断溶体在成因上具有相关性,且其充填物的岩石学特征和地球化学特征对于断溶体中充填物而

言具有一定代表性。

地球化学上,断溶体相关裂缝中充填的方解石,与良里塔格组沉积末期形成的岩溶缝中充填的方解石具有明显的差异(图6)。断溶体相关裂缝方解石(图6中的热液缝方解石)的碳、氧同位素分别为 $-2‰ \sim -2‰$ 和 $-13‰ \sim -8‰$ (图6a),其中氧同位素较当时海水值略偏负,反映出可能受到了高温流体的改造;热液缝方解石的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值分布范围为 $0.7088 \sim 0.7092$,明显高于当时海水值,但是低于良里塔格组沉积末期的岩溶缝方解石(图6b),这排除了壳源锶来源的可能性;热液缝方解石的稀土元素表现出明显的Eu异常(图6c);包裹体测温显示,热液缝方解石的均一温度主要分布于 $120 \sim 160^\circ\text{C}$ (图6d)。以上地球化学指标均指示了断溶体裂缝充填方解石为埋藏流体的沉淀物^[18-22]。

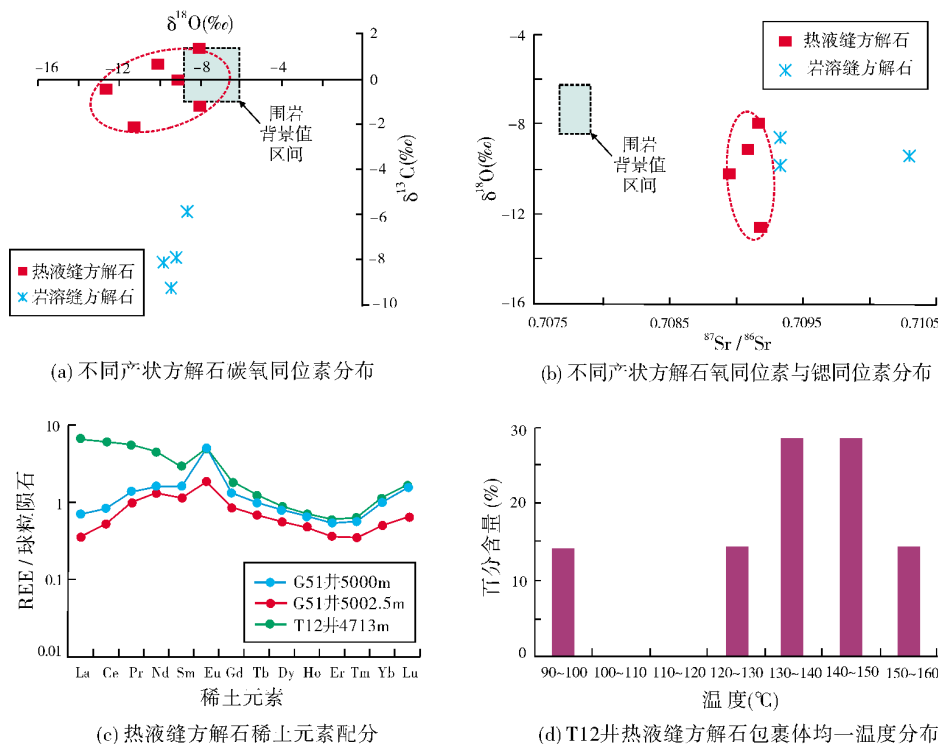


图6 塔中十号带良里塔格组断溶体相关裂缝充填物地球化学特征

4.2 溶蚀模拟实验

为了深刻认识埋藏溶蚀作用的机制与溶蚀产物的发育规律,开展了埋藏溶蚀模拟实验,完整实验参见文献[23]。溶蚀模拟实验在中国石油天然气集团公司碳酸盐岩储层重点实验室开展。实验设定温度从

27°C 升高到 189°C ,同时压力从5 MPa升高到60 MPa。根据塔里木盆地的地温梯度 $2.7^\circ\text{C}/100\text{m}$,实验模拟了地表常温常压环境到约6 000 m深的埋藏环境。实验流体采用2 mL/L的乙酸溶液。流体在开放—流动体系中以流速3 mL/min流动,共开展9个温压点的模拟实验,每个温压点的模拟实验时间为30 min。样品

为中上奥陶统一间房组露头上的棘屑灰岩和泥晶灰岩,发育少量微缝和孔隙。

实验结果显示(图7),随着温度和压力升高,溶蚀量与温度成反比,两个样品的溶蚀量均总体降低,并且在温度达到90℃后,溶蚀量显著下降。实验先后对比显示,溶蚀量显著下降主要取决于两个因素:一是热力学上,溶蚀量与温度成正比;二是温度升高,也使得溶缝形成,流体流动更为通畅,导致溶蚀作用不充分,从而表现出溶蚀量降低。

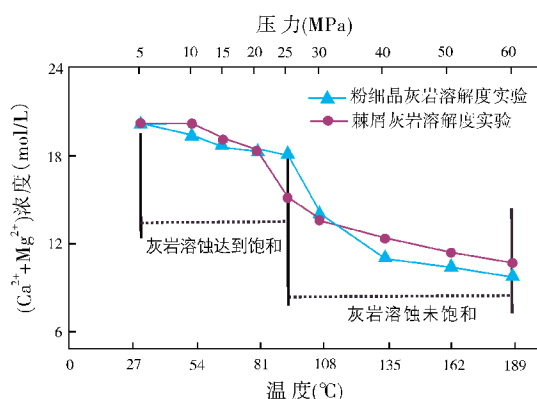


图7 埋藏条件下溶蚀量与温度和压力的关系图
(据文献[23]修改)

该实验事实上模拟了埋藏流体运移的逆向温压演化序列,揭示了埋藏溶蚀作用存在三个特点:一是埋藏溶蚀作用首先需要先驱通道,且为开放体系,否则流体无法运移,溶蚀作用无法进行;二是溶蚀量与流体运移通畅程度关系密切,流体运移越通畅,溶蚀量越小,即埋藏流体运移过程中需要有遮挡,在遮挡处溶蚀更为充分,溶蚀作用更强;三是埋藏溶蚀作用在流体向上运移路径上的强度不同,运移中后段,温度相对降低,且流体运移通畅程度有所降低,故溶蚀量更大。

根据充填物的岩石学和地球化学分析,以及埋藏溶蚀模拟实验结果,笔者认识到虽然以上两种类型断溶体的发育特征略有差异,但是根本上的控制因素是一致的,即主要受控于地层结构和先期孔隙,而地层结构在某种程度上也控制着先期孔隙的发育。

良里塔格组的四套依力学性质划分的层段(图2),决定了存在两个有利埋藏溶蚀改造的层段:良五段和良三段。

首先,地质背景上,鹰山组顶部为埋藏溶蚀作用发生的有利区,这已为很多研究所证实^[24-26]。塔中隆

起北斜坡鹰山组顶部与不整合面相关的岩溶作用导致岩溶缝洞发育,随后经历埋藏、垮塌、充填,但仍保留了一定的孔隙空间^[24],有利于后期改造。另外,良五段岩性上和岩石力学性质上与鹰山组具有较明显的相似性(图2),且被富泥质的良四段所覆盖。在构造变形过程中,良五段和鹰山组顶部具有统一的裂缝体系,而良四段则构成了隔挡层。因此,在鹰山组顶部和良五段的局部位置上(图5g)常可见缝洞型储层发育(I型、II型断溶体均发育),且被埋藏热液矿物充填。

其次,在塔中十号带构造高部位的构造强变形区,缝洞储层(II型断溶体)集中发育于良三段,而不是良二段,这也证明了先期储层对埋藏溶蚀的控制作用:良三段为薄层泥质泥晶灰岩与相对较纯的藻粘结砂屑灰岩互层,良二段为厚层状砂屑灰岩,在构造抬升变形过程中,良三段中发育的层间缝和走滑断裂成因的高角度缝相互切割,构成网状缝,在埋藏流体的改造下,良三段中的网状缝更易于扩溶形成缝洞体,即强溶区(图8)。而良二段由于以发育单一的高角度缝为主(图5a,5b),虽也有溶蚀扩大,但单一产状的垂直缝在埋藏溶蚀条件下,溶蚀量较小,多表现为以裂缝的扩溶为特征,难以形成大规模的洞穴。此外,据良二段中热液溶缝方解石的氧同位素特征(中等偏负且与围岩相近,参见图6a),求取的水岩比值较低,且高温埋藏流体在运移过程中与围岩发生了充分的水-岩反应,到良二段已处于运移末端,故而表现出对溶缝的强烈充填作用(图5a)。在流体运移末端,多以埋藏热液矿物充填溶缝为主要特征,而那些欠缺溶蚀缝洞发育的区域,则称为末端充填区(图8)。

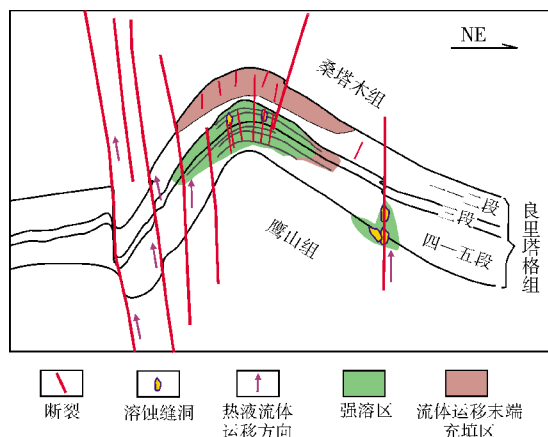


图8 塔中十号带埋藏溶蚀作用相关断溶体形成模式

对于塔中十号带北侧的弱构造变形区,由于先期的储集空间仅能依赖走滑断裂活动过程中所形成的空间或者鹰山组顶部发育的岩溶缝洞,因此埋藏溶蚀作用可沿断裂发育,贯穿良里塔格组和鹰山组(图8)。

5 断溶体的发育规律

虽然塔中十号带两种断溶体的发育部位略有差异,但是所揭示的控制因素是一致的,即断溶体的发育除了受控于走滑断裂之外,关键还受控于先期孔隙的发育,而先期孔隙的发育又与地层结构关系密切,即这些孔隙主要发育在不整合面附近或岩性差异明显的部位,故断溶体储层的预测应以刻画与不整合面或岩性结构差异相关的先期孔隙分布带为关键。

在大型潜山区,不整合面之上的碎屑岩地层可作为遮挡层,不整合面之下的先期孔隙可构成流体运移通道,有利于埋藏流体的侧向运移,并对先期形成的岩溶储层发生改造作用,如陆源碎屑岩覆盖的轮南地区鹰山组和牙哈地区寒武系^[27-28]等潜山岩溶缝洞中均可见热液矿物充填。此种情况,由于先期储层主要形成于与不整合面相关的岩溶作用,而埋藏期的溶蚀仅起到改造作用,故可以按潜山岩溶储层的勘探思路开展工作。

在内幕区,由于碳酸盐岩地层呈旋回性叠置,各地层的岩性特征存在明显差异,且在各层序之间存在不同程度的层间岩溶^[29],因而在多套地层中具有先期孔隙发育的基础,如蓬莱坝组顶、鹰山组三段顶、鹰山组顶、一间房组顶等,均为断溶体发育的有利区,地震剖面上也可见“串珠状”响应发育。

埋藏流体的运移方向总体为自下而上、自坳陷到隆起,因此在流体运移的路径上,断溶体的发育可具有垂向层位多、侧向范围广的特点,这一领域应具有巨大的油气勘探潜力。

6 结 论

对塔中十号带上奥陶统良里塔格组的解剖揭示,埋藏流体成因的断溶体为缝洞型储层,其发育同时具有断控性和层控性特征,断溶体是塔里木盆地碳酸盐岩领域的重要储层类型。

断溶体的发育除受断裂明显控制之外,还受地层岩性结构和先期孔隙发育状况的重要控制。不整

合面(沉积间断面)之下和岩性突变带均为断溶体有利发育区。不整合面或沉积间断面之下的岩溶缝洞和岩性突变面之下的断裂-裂缝带可构成断溶体形成的先期孔隙带。

断溶体储层预测应以刻画与不整合面或岩性结构差异相关的先期孔隙分布带为关键。

参 考 文 献

- [1] 苏劲,张水昌,杨海军,等. 断裂系统对碳酸盐岩有效储层的控制及其成藏规律[J]. 石油学报,2010,31(2):196-203.
- [2] Wu Guanghui, Yang Haijun, He Shu, et al. Effects of structural segmentation and faulting on carbonate reservoir properties: A case study from the Central Uplift of the Tarim Basin, China [J]. Marine and Petroleum Geology, 2016, 71: 183-197.
- [3] Zhang Yanhua, Clennell M B, Claudio D P, et al. Numerical modelling of fault reactivation in carbonate rocks under fluid depletion conditions-2D generic models with a small isolated fault[J]. Journal of Structural Geology, 2016, 93:17-28.
- [4] Li Jiyan, Wang Yongshi, Liu Chuanhu, 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.
- [5] 郑兴平,张友,陈希光,等. 塔里木盆地东部碳酸盐岩储层特征与天然气勘探方向[J]. 天然气地球科学,2016,27(5): 765-771.
- [6] 田雷,崔海峰,张年春,等. 麦盖提斜坡东段奥陶系内幕白云岩储集层分布预测[J]. 新疆石油地质,2016,37(2):152-157.
- [7] 张朝军,贾承造,李本亮,等. 塔北隆起中西部地区古岩溶与油气聚集[J]. 石油勘探与开发,2010,37(3):263-269.
- [8] 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.
- [9] 吴楠,蔡忠贤,杨海军,等. 轮南低凸起油气输导体系格架及输导样式[J]. 地球科学 中国地质大学学报,2012,37(4): 707-718.
- [10] 廖涛,侯加根,陈利新,等. 塔北哈拉哈塘油田奥陶系岩溶储层发育模式[J]. 石油学报,2015,36(11):1380-1391.
- [11] 斯春松,乔占峰,沈安江,等. 塔北南缘奥陶系层序地层对岩溶储层的控制作用[J]. 石油学报,2012,33(增刊 2):135-144.
- [12] 任建业,张俊霞,阳怀忠,等. 塔里木盆地中央隆起带断裂系统分析[J]. 岩石学报,2011,27(1):219-230.
- [13] 林畅松,杨海军,刘景彦,等. 塔里木盆地古生代中央隆起带古构造地貌及其对沉积相发育分布的制约[J]. 中国科学: D 辑 地球科学,2009,39(3):306-316.
- [14] 张振生,李明杰,刘社平. 塔中低凸起的形成和演化[J]. 石油勘探与开发,2002,29(1):28-31.
- [15] 黄思静,刘树根,李国蓉,等. 奥陶系海相碳酸盐岩同位素组成及受成岩流体的影响[J]. 成都理工大学学报:自然科学

- 学版, 2004, 31(1): 1-7.
- [16] 刘春晓, 杨小波, 钱利. 新疆塔中地区奥陶系地层划分与岩性研究[J]. 地层学杂志, 2009, 33(2): 217-224.
- [17] 高达, 林畅松, 杨海军, 等. 塔中地区良里塔格组沉积微相及其对有利储层的控制[J]. 地球科学 中国地质大学学报, 2013, 38(4): 819-831.
- [18] 马中远, 黄苇, 任丽丹, 等. 顺西地区良里塔格组裂缝特征及石油地质意义[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2014, 36(2): 35-44.
- [19] 杨海军, 李开开, 潘文庆, 等. 塔中地区奥陶系埋藏热液溶蚀流体活动及其对深部储层的改造作用[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 783-792.
- [20] 苏中堂, 陈洪德, 徐粉燕, 等. 鄂尔多斯盆地马家沟组白云岩地球化学特征及白云岩化机制分析[J]. 岩石学报, 2011, 27(8): 2230-2238.
- [21] 赵文智, 沈安江, 胡素云, 等. 塔里木盆地寒武—奥陶系白云岩储层类型与分布特征[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 758-768.
- [22] 张永生, 张传录, 康祺发. 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟群块状白云岩的包体研究[J]. 岩石矿物学杂志, 1997, 16(3): 213-219.
- [23] 寿建峰, 余敏, 沈安江. 深层条件下碳酸盐岩溶蚀改造效应的模拟实验研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2016, 35(5): 860-867.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 谢欣睿, 毛健, 王振宇. 塔中北斜坡奥陶系鹰山组岩溶作用与储层分布[J]. 断块油气田, 2013, 20(3): 324-328.
- [27] 华晓莉, 吕修祥, 华侨, 等. 缝洞型碳酸盐岩油气分布规律及成藏条件: 以塔中北斜坡东部鹰山组为例[J]. 现代地质, 2013, 27(2): 346-355.
- [28] 沈安江, 王招明, 郑兴平, 等. 塔里木盆地牙哈—英买力地区寒武系—奥陶系碳酸盐岩储层成因类型、特征及油气勘探潜力[J]. 海相油气地质, 2007, 12(2): 23-32.
- [29] 赵文智, 沈安江, 潘文庆, 等. 碳酸盐岩岩溶储层类型研究及对勘探的指导意义——以塔里木盆地岩溶储层为例[J]. 岩石学报, 2013, 29(9): 3213-3222.

编辑: 董庸

Origin, Development and Features of the “Fault-dissolved body” Reservoir Formed in Burial Stage: A Case Study of Upper Ordovician Lianglitage Formation in Tarim Basin, Northwest China

Deng Xingliang, Qiao Zhanfeng, Wang Peng, Chang Shaoying,
He Jun, Li Weiling, Zhao Longfei, Li Chang

Abstract: The “fault-dissolved body” formed in burial stage is an important reservoir in the exploration of carbonate in Tarim Basin, but it has been studied weakly. Taking Tazhong 10th Belt as an example, based on the analysis of cores, thin-sections, well-logging, and seismic data, it has been known that fault-dissolved bodies formed in burial stage are fracture-cavern reservoirs. Petrographic and geochemical analysis on the fracture-fillings revealed that the fault-dissolved bodies are closely related to the burial dissolution. Simulation experiment on the burial dissolution and distribution of fault-dissolved bodies suggest that the development of them is controlled by faults and pre-existing porous zones, which with both fault-controlled features and strata-controlled features. It has been concluded that the prediction of fault-dissolved reservoir should focus on characterizing the distribution of pre-existing porous zones which related to the unconformities and/or the variable lithologic layers.

Key words: Fault-dissolved body; Reservoir feature; Reservoir origin; Reservoir development; Ordovician; Tazhong area; Tarim Basin

Deng Xingliang: PhD, Senior Geology Engineer. Add: PetroChina Tarim Oilfield, Korla, Xinjiang 841000, China