

塔中北斜坡鹰山组岩溶储层发育规律

张新超¹, 孙赞东¹, 吴美珍²

(1 中国石油大学(北京)地质地球物理综合研究中心; 2 中国石油塔里木油田分公司)

摘要 塔中北斜坡奥陶系鹰山组的岩溶储层具有巨大的油气潜力。随着勘探和开发工作的细化,需要明确鹰山组内岩溶储层在空间上的展布形态。依据三维地震资料的反射特征,认为鹰山组顶部发育了四期次岩溶作用,经历了地层剥蚀—剥蚀与岩溶作用共存—岩溶发育—充填的成岩过程。各期次岩溶作用发生时潜水面逐渐上升,伴随有高构造部位的削蚀。提出了岩溶储层的多期次发育模式。

关键词 塔里木盆地; 塔中北斜坡; 鹰山组; 岩溶储层; 溶蚀特征; 储层发育模式

中图分类号: TE122.2*3

文献标识码: A

塔里木盆地塔中北斜坡奥陶系鹰山组碳酸盐岩岩溶储层极为复杂,岩溶储层分布在鹰山组顶部,距顶面向下最深可达400 m,而且在鹰山组剥蚀强烈区与剥蚀程度较弱区均有发育。前人对该套储层已有较多研究,指出该储层溶蚀孔洞形成的主控因素为断裂活动及其控制下的古地貌,并且列出了储层在后期改造方面的大量证据和基本特征^[1-4]。随着勘探和开发工作的细化,需要明确鹰山组内岩溶储集体在空间上的展布形态及其连通性,总结碳酸盐岩内优质储层的发育规律,确定其分布,并指出有利的勘探和开发目标。

笔者在长期现场工作的基础上,整理了大量岩性、地层、断裂等基础资料,并依据三维地震资料的反射特征,对塔中北斜坡奥陶系鹰山组碳酸盐岩储层的发育规律获得了一些基本认识,认为古地貌影响着淡水淋滤所引起的溶蚀作用的期次和规模,且较深部的岩溶储层多为沿断裂向地层内部溶蚀的结果,古地貌特征可以由三维地震资料进行准确计算。另外,由于钻井过程中在钻遇鹰山组储层时多发生漏失或溢流等工程事故而多未揭示深部储层,这就需要利用三维地震资料中岩溶储层形成的“强串珠”、“强片状”等反射特征来准确地识别储层。

本文从储层发育的地质特征出发,计算并分析古地貌特征在岩溶储层发育过程中的作用;然后根据三维地震资料的反射特征,总结储层发育规律;最后依据碳酸盐岩岩溶储层在发育过程中的规律,指出优质储层的有利目标。对鹰山组岩溶储层发育规律的细化研究,在该区油气生产中有较大的意义。

1 塔中北斜坡地质构造特征

塔中古隆起是塔里木盆地重要的油气富集单元,古隆起在寒武纪—奥陶纪开始逐渐形成,并在志留纪地层沉积前基本定型,其形成过程中经历过多期的构造叠加作用。塔中隆起由塔中I号断裂带、塔中北斜坡带、塔中南斜坡带、中央断垒带、塔中东部潜山带等构造单元所组成。塔中北斜坡位于塔中隆起的东北部,被夹在中央断垒带与塔中I号断裂带之间(图1),本次研究区包含了塔中45平台区、塔中40号构造带和塔中10号构造带的一部分(图1)。

塔中隆起在加里东运动早—中期发生区域隆升并遭受剥蚀,此时奥陶系鹰山组的碳酸盐岩地层出露地表遭受强烈剥蚀,在北斜坡形成了风化壳型的碳酸盐岩古岩溶体系^[5]。奥陶系鹰山组发育深灰色厚层状的泥晶灰岩、含泥灰岩、含云灰岩,且以含云

收稿日期: 2012-12-20; 改回日期: 2013-08-12

张新超: 1979年生,2003年毕业于成都理工大学,现为中国石油大学(北京)在读博士研究生,研究方向为地震储层预测。通讯地址: 102249 北京市昌平区府学路18号地质楼702; 电话: (010)89733352

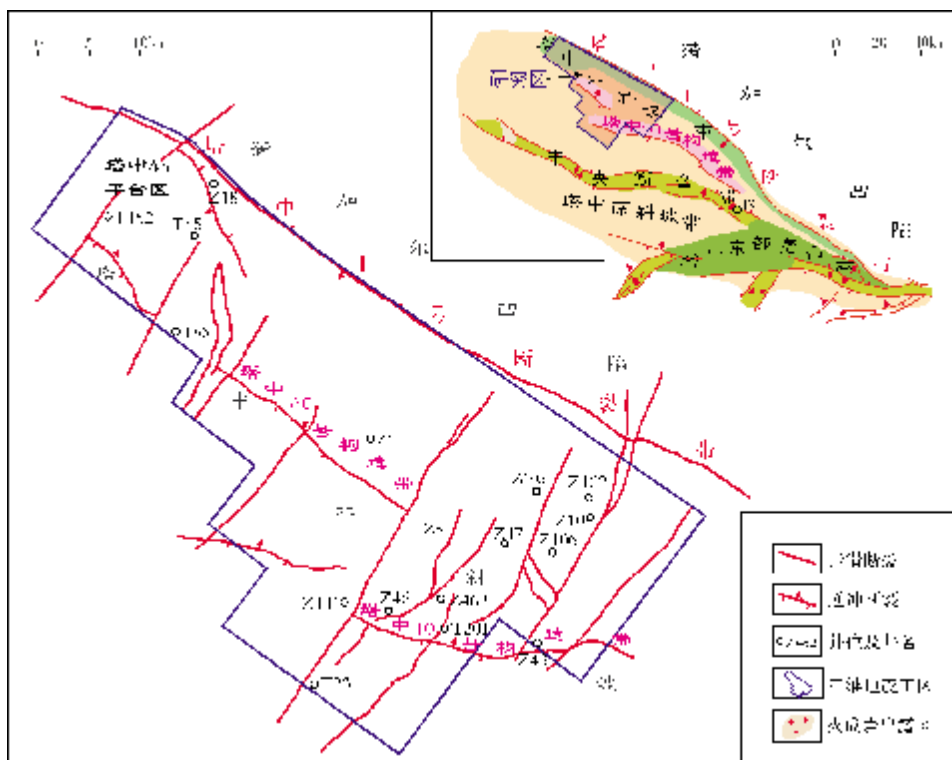


图1 塔中北斜坡构造及研究区位置

灰岩为主(图2),沉积环境为开阔海碳酸盐岩台地,沉积相带则以亮晶—泥晶砂屑滩为主,局部区域根据含泥质程度不同,可进一步划分为滩间海和潟湖亚相。

碳酸盐岩内发育大量原生的晶间孔和微裂缝,在后生溶蚀作用下演化为以溶蚀孔、洞、缝等为主的储集空间,孔隙度在1.8%~21.3%之间。这些后生溶蚀孔洞具有“垂向叠置、横向连片、准层状分布”的特征,在地震剖面上常呈现片状反射、串珠状反射等典型特征^[6-7]。较大规模的岩溶储层区,表现出低于碳酸盐岩围岩的速度和密度,顶底形成强反射界面。规模较小的储层则在地震剖面中表现为反射能量较弱。利用地震剖面中的反射特征,就可以识别较大规模的岩溶储层的分布,而要弄清楚岩溶储层在横向和纵向上的关系,则需要依据储层的发育规律来进行分析。

在前人的研究中已经明确,塔中北斜坡的断裂活动对岩溶储层的发育有着重要的影响^[1-2]。从断裂分布来看,区内主要发育两组断裂:一组主要为加里东晚期形成的北西向逆冲断裂,断距大,延伸远,它们控制了塔中北斜坡的总体构造格局;另一组主要

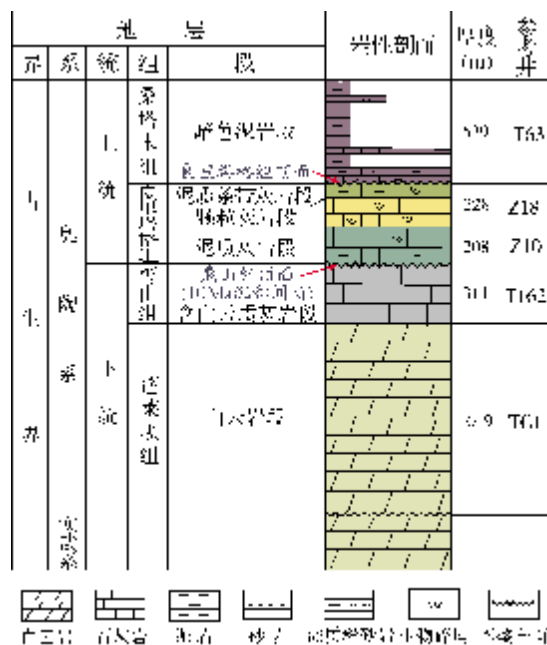


图2 塔中地区奥陶系综合柱状图

是海西期形成的北东向走滑断裂,它们进一步改造了塔中北斜坡的构造面貌。奥陶系鹰山组碳酸盐岩储层形成时,早期发育的一组北西向逆冲断层已经

形成并稳定持续发育,对岩溶储层的发育有着重要的影响。鹰山组顶部的碳酸盐岩储层就是沿着这些北西向断裂及其伴生断裂发育,形成了多个期次的风化壳型岩溶储层。晚期发育的北东向走滑断裂,对塔中北斜坡岩溶储层的形成没有明显影响,但它们仍构成热液运移的良好通道,对前期形成的储层具有一定的改造作用。

2 古地貌对储层发育的影响

2.1 古地貌刻画方法

岩溶储层的发育往往受到古地貌的影响和控制。常用的恢复古地貌的方法为“地层回剥法”。该方法依据地层沉积原理,认为刚刚沉积完成之后的地层顶部总是水平的。由于地层沉积时往往具有填平补齐的作用,因而其地层厚度能够反映沉积前的古地貌特征。这样通过剥蚀校正、压实恢复等过程恢复上覆地层沉积结束时的真实厚度,层层“回剥”至目标层,就能够得到目标层的古地貌特征^[8-9]。由于鹰山组上覆的良里塔格组碳酸盐岩比较致密,受上覆地层和水深的压实作用影响较弱,仅在局部的溶蚀孔洞发育带形成地层塌陷(在三维地震剖面上可以清晰识别)。在精细三维地震层位解释的基础上,忽略上覆地层和海水的沉积压实作用,通过计算上奥陶统良里塔格组残余厚度,就能揭示出鹰山组岩溶储层发育时期的地貌特征。

塔中北斜坡上奥陶统良里塔格组为连续沉积,期间没有较长时间的沉积间断,小层厚度横向变化不大,而且顶面为短期暴露的沉积间断面,剥蚀作用不太强^[10-11],因此其残余厚度可以近似反映地层沉积前的古地貌特征。需要注意的是,这时的古地貌并不是鹰山组刚刚沉积完的古地貌,而是它受构造运动改造、高构造部位遭受风化剥蚀后的古地貌。

2.2 古地貌特征和岩溶区划分

利用精细三维地震层位解释资料,作出了塔中北斜坡鹰山组岩溶古地貌图,并结合前人研究结果^[8]将它划分为岩溶高地、岩溶次高地、岩溶平台区、岩溶斜坡带和岩溶洼地等单元(图3)。

其中,岩溶高地位于研究区的西侧,钻井显示其地层剥蚀程度较强,处于三维地震工区外,根据邻区

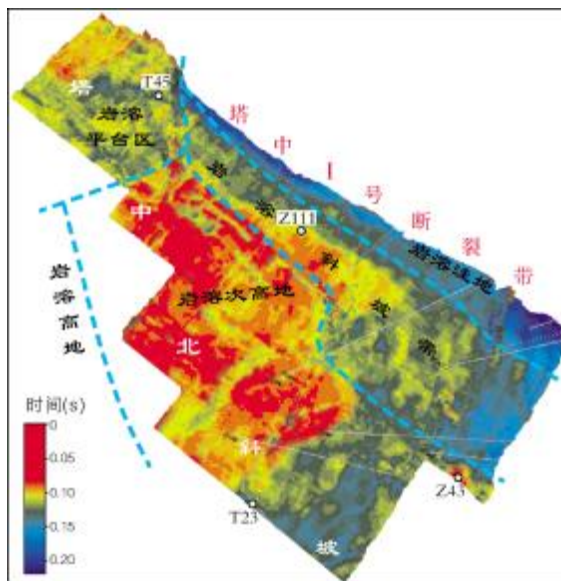


图3 塔中北斜坡鹰山组风化壳岩溶储层形成末期的古地貌图

由于研究区域是整个塔中背斜的一部分,因而岩溶单元均未封闭

(塔北地区)的特征,认为多发育岩峰、沟谷等落差较大的地貌;岩溶次高地位于研究区中部和南部区域,在古地貌中地势较高,但它并没有落差太大的岩峰、沟谷等地貌特征,从而区别于岩溶高地;岩溶斜坡带位于岩溶次高地边缘到岩溶洼地之间,基本以塔中 40 号构造带和塔中 10 号构造带的边缘断裂与岩溶次高地分开,地势陡峭,落差大,西高东低,向东和东北两个方向降落迅速;岩溶洼地主要分布在研究区东北侧靠近塔中 I 号断裂带附近区域,地势较低,为碳酸盐岩岩溶区内潜水的排泄区。另外,在研究区的西北部,主要发育岩溶平台区,地势相对平坦,落差不大。

2.3 古地貌与岩溶储层分布的关系

地震均方根振幅属性揭示了塔中北斜坡奥陶系鹰山组岩溶储层的整体分布(图4)。图中可见储层在全区均有分布,但在塔中 40 号构造带和塔中 10 号构造带附近为集中发育区,在两构造单元之间也发育南东走向的溶蚀带,而其他地区则以局部小范围分布为主。对比古地貌图可以发现,这两个储层集中发育区位于岩溶次高地的边缘到岩溶斜坡带附近,这是因为这些区域的古地形垂直落差最大,是潜水水系能量最强的区域,从而对碳酸盐岩的溶蚀作

用最强, 容易形成大规模分布的岩溶储层。也就是说, 研究区鹰山组储层主要分布在岩溶次高地边缘、岩溶斜坡等区域, 在两者交会区域尤其发育。

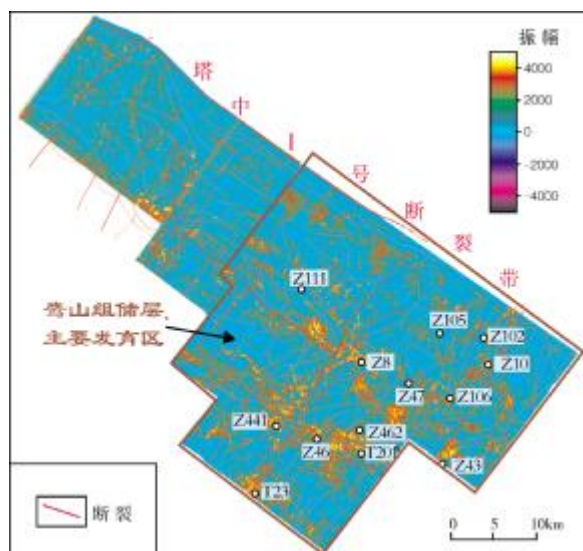


图 4 塔中北斜坡鹰山组顶部均方根振幅属性反映的岩溶储层分布

3 储层多期次发育

杨海军等^[12]对研究区鹰山组储层发育模式进行过详细研究, 指出岩溶储层垂向的分带性并提出储层发育模式, 认为塔中北斜坡鹰山组储层内发育完整的不整合岩溶序列, 从不整合面向下分别为表层岩溶带、垂向渗滤岩溶带、径流岩溶带和深部缓流岩溶带。但是笔者在进一步的精细研究中发现,

鹰山组岩溶储层的发育与鹰山组地层的剥蚀作用是同时进行的, 岩溶储层应该为多个阶段的产物。

钻井显示鹰山组在垂向上发育 2~4 套岩溶储层, 岩溶储层段往往呈现低电阻率值而容易辨识。岩溶储层内由于充填富含各种粒子的流体而使电阻率降低, 储层段顶、底边界外的致密灰岩则表现为高电阻率的特征。横向对比钻井曲线中高电阻率的致密段和低电阻率的储层段, 可以将鹰山组进一步细分为鹰 1 段至鹰 4 段四个层段。但是从对应的自然伽马曲线来看, 虽然在部分储层段顶部有比较薄的高值尖峰, 但并未见较长的箱型或钟形结构, 说明鹰山组各段沉积结束后, 均未见明显的抬升出露或遭受剥蚀。这也说明垂向分布在鹰山组各段内的岩溶储层, 并不是在每段地层沉积之后就被溶蚀形成储层的, 而是在整个鹰山组地层沉积之后长期暴露地表时才被溶蚀形成储层的。由于鹰山组与上覆良里塔格组之间有长达 10 Ma 的沉积间断, 在此期间鹰山组遭受了强烈的风化剥蚀, 所以鹰山组的岩溶储层是在鹰山组地层遭受剥蚀作用的同时所形成的, 而且垂向上可分为多个期次。

在三维地震剖面上, 能够明显看到溶蚀孔洞多期形成的特征。以鹰山组强能量地震反射为目标的钻井, 由于多出现放空或漏失等钻井事故, 因而多未钻遇鹰山组深部的强能量反射目标。在图 5 的各过井地震剖面中, 良里塔格组顶界面为一明显反射界面, 其上覆地层为桑塔木组的泥岩段, 阻抗较弱, 下部为良里塔格组的含泥灰岩段, 阻抗较强, 因而表现为强波峰反射, 在地震剖面上容易识别。

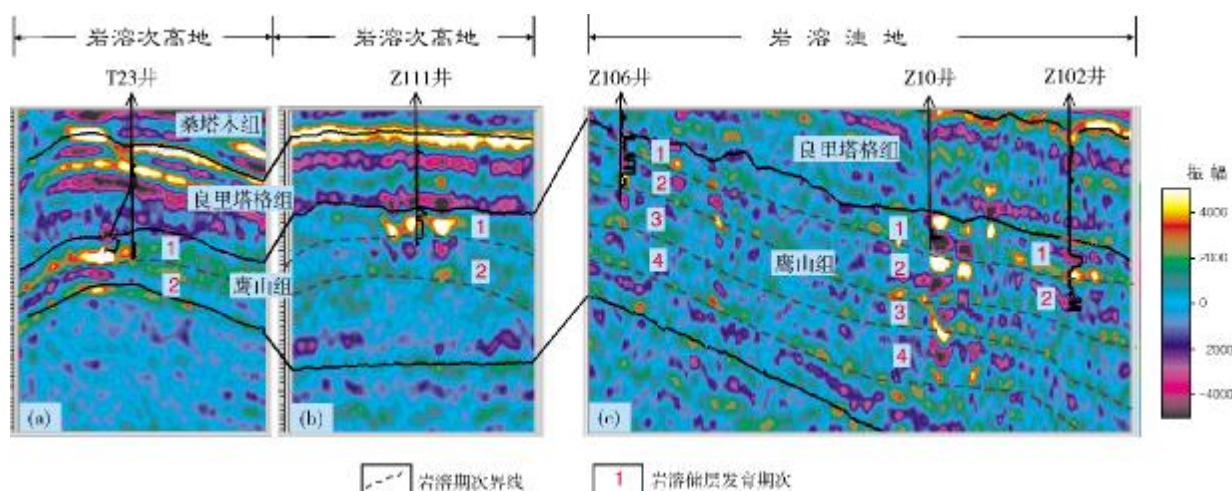


图 5 塔中北斜坡鹰山组岩溶储层发育期次和纵向分布特征

图5中可以清楚地看出表示岩溶储层的“串珠”反射在垂向上对应多个期次。在目前的地震分辨率下,认为一个波峰加上一个波谷是可分辨的一期岩溶,即形成一个完整的“串珠”反射。根据岩溶储层在三维地震资料中的这一特征,对研究区内的岩溶储层划分了期次。图中也可见钻井大多只钻遇鹰山组顶部第1~2期的岩溶,因而需要利用三维地震资料来对比分析鹰山组岩溶储层更多的发育期次和特征。

岩溶次高地的储层多表现为1~2个岩溶期次(图5a、5b),而岩溶洼地中则表现为2~4个岩溶期次(图5c)。虽然在整个区域内,岩溶储层均发育在鹰山组顶面附近,但是在靠近塔中I号断裂带的岩溶洼地地区,岩溶储层在垂向上明显发育更多期次,且发育

的深度也较大。这既可能是由于这里发生过长期的溶蚀作用,也可能是由于岩溶次高地早期的岩溶储层已随地层被剥蚀掉了。

4 古地貌控制下的多期次岩溶发育模式

在上述分析中发现,塔中北斜坡鹰山组岩溶储层的发育,主要受古地貌特征的控制,同时又与地层剥蚀有关。由于钻井大多只钻遇鹰山组浅部储层,因而在总结岩溶储层的发育模式时,需要更多地利用三维地震资料来进行分析。根据构造演化和岩溶期次的分析对比,总结出塔中北斜坡鹰山组顶部岩溶储层的多期次发育模式如图6所示。根据岩溶作用发生时潜水面的变化(研究区内潜水面随海平面升降而变化),在图6a中显示潜水面下降时的

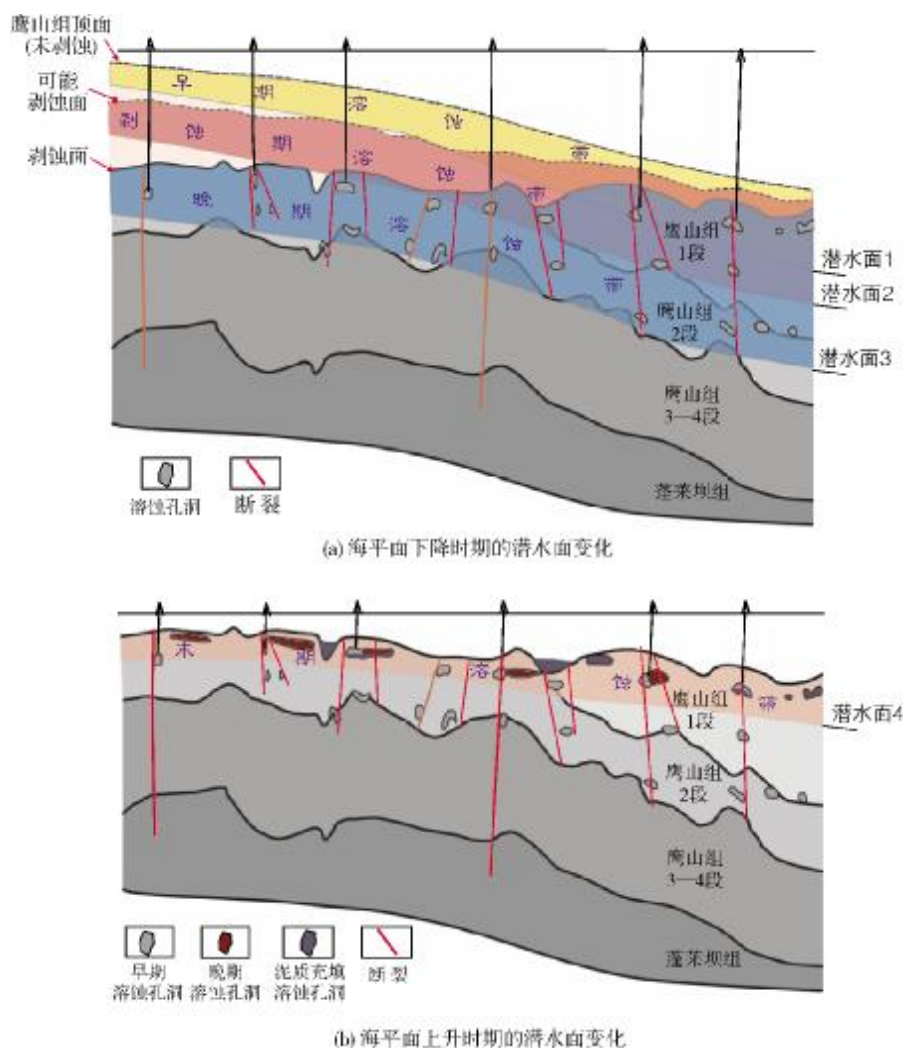


图6 塔中北斜坡鹰山组岩溶储层多期次发育模式示意图

岩溶作用,在图 6b 中显示潜水面上升时的岩溶作用。据图 6a,塔中北斜坡可以划分出早期溶蚀带、剥蚀期溶蚀带及晚期溶蚀带,图 6b 中还给出了末期溶蚀带,它们与第 1 期岩溶、第 2 期岩溶、第 3 期岩溶及第 4 期岩溶相对应,下面对各期岩溶作具体的描述。

4.1 第 1 期岩溶:以地层剥蚀为主,少量岩溶发育

鹰山组顶部风化壳岩溶储层的形成,经历了海平面下降到快速回升的过程。在海平面初步下降时,部分区域地层出露地表并遭受剥蚀,由此发生了第 1 期岩溶,形成了研究区的早期溶蚀带(图 6a)。这些遭受剥蚀的部位往往位于古地貌的岩溶次高地,而较低的岩溶洼地则可能还处于海平面之下。此时溶蚀孔洞主要沿图 6a 中的潜水面 1 发育。虽然在剥蚀区也同时发生了强烈的岩溶作用,但它所形成的岩溶容易在后期的持续剥蚀中被破坏。因此在第 1 期岩溶中,只有发育在岩溶斜坡区的少量溶蚀孔洞才得以保留。

4.2 第 2 期岩溶:剥蚀作用与岩溶作用共存

随着海平面的进一步下降,整个塔中北斜坡均暴露地表,岩溶作用可以在全区发育,主要沿图 6a 中的潜水面 2 发育,构成研究区的第 2 期岩溶,发育了剥蚀期岩溶带(图 6a)。这一时期在古地貌的岩溶次高地发生强烈的剥蚀作用,早期形成的溶蚀孔洞被破坏而难以保留。岩溶斜坡区也可能发生一定程度的剥蚀作用,但较大的地形落差和强烈的淡水淋滤作用,使得早期的岩溶得到进一步扩展,形成横向和纵向均比较发育的岩溶带,岩溶储层的规模也较大,在地震剖面上表现为强能量反射的集合体(图 5b)。岩溶洼地在此阶段也出露地表,并遭受较小程度的剥蚀作用,同时也发生一定程度的岩溶作用,由于岩溶作用时间较长而垂向延伸较深,但又由于地形落差小而导致潜水能量小,故由此形成的岩溶储层也较差,在地震剖面上表现为较弱的“串珠”反射(图 5c)。

4.3 第 3 期岩溶:全区岩溶作用发育,剥蚀程度差

在古地貌的岩溶次高地也发育着浅部和深部

两个期次的岩溶作用(图 5a),表明曾经存在剥蚀程度差而溶蚀作用长期存在的阶段。由于海平面的进一步下降,这一阶段以岩溶作用为主,剥蚀作用较弱,溶蚀沿潜水面 3 发育,为研究区的第 3 期岩溶作用,发育了晚期溶蚀带(图 6a)。从地震剖面(图 5c)上看,该时期在靠近塔中 1 号断裂带的岩溶斜坡—岩溶洼地区,发育了 3~4 期岩溶,表明第 3 期岩溶在全区均有发育,横向上穿过多个小层分布。该时期岩溶作用程度和垂向上涉及的深度均较大。岩溶次高地的岩溶主要在该时期形成,发育深、浅两期次的岩溶储层段,表现为地震剖面上垂向上两套明显的串珠状储层(图 5a、图 6a)。岩溶斜坡—岩溶洼地单元,则因为溶蚀作用长期持续发生而在垂向上可表现为 3~4 个期次的岩溶储层段,不过岩溶斜坡区的溶蚀孔洞规模要大于岩溶洼地区(图 6a)。前者内部常形成规模较大且横向连续性较好的岩溶储集层,在地震剖面上表现为强能量的“串珠”反射(图 5b),后者内部在局部区域也有较强的地震反射,但多表现为较多期次的弱能量的地震反射(图 5c)。

4.4 第 4 期岩溶:末期地表溶蚀并伴随水系泥质充填

第 4 期岩溶形成了末期岩溶带(图 6b),所发育的溶蚀孔洞横向范围较大,几乎遍布整个研究区。该阶段发生在海退期的晚期至海水快速上升时期,气候由干燥变为湿润,地表降水增多,地表淡水发育。此时岩溶作用沿图 6b 中潜水面 4 发育,由于距地面较浅,岩溶作用多发育在鹰山组顶部附近较浅深度内,形成的岩溶储层主要集中在较大的构造带处,规模较大且横向连续性较好,在地震剖面上表现为多分布在鹰山组地震层位顶部附近的连片的“串珠状”和“片状”反射特征,如图 5b 中的 Z111 井和图 5c 中的 Z102 井。

在钻井中发现鹰山组顶部的岩溶储层内往往发育着薄层的泥质充填段,这些充填泥质的层段,其测井信息与上覆地层的差异较大,说明它们不是上覆地层内的沉积物在未固结时下漏形成的。根据钻井中泥质在平面上的分布,认为这些泥质很可能是在海平面上升时,在地表水系或者潮汐沼泽等环境中形成的。鹰山组顶面附近的河道也很可能在此时形成。河流携带大量泥质碎屑,在流经早期岩

溶作用区时沉积下来,从而在局部发生大面积的泥质充填。

5 利用多期次岩溶发育特征识别有利目标

对于鹰山组顶部岩溶储层的发育期次进行划分,能够进一步摸清研究区块的储层形成机理和分布规律,并在生产中发挥指导作用。鹰山组的碳酸盐岩原生孔隙太差,它主要依靠后生溶蚀孔洞才形成有效储层,因而可以依据岩溶发育模式来预判储层的优劣。根据多期次的岩溶发育模式(图6),垂向上多个期次的岩溶储层是岩溶作用在该地区长期作用的结果,因而溶蚀作用形成的孔洞比较发育,而且在垂向上往往具有较好的连通性。这些垂向连通的储层,既有大的断裂沟通底部烃源,又有较好的储集空间,可作为有利目标。循此思路,在地震剖面中,可以根据垂向岩溶储层发育的期次和程

度来预测储层目标的优劣。

图7中的T23、Z8、Z10井,储层较发育,是高产井,Z47井储层则较差,为低产井。从图上可以看出,高产井除了串珠反射能量较强外,岩溶的发育期次也比较完整。T23、Z8井第3期岩溶强烈发育,Z10井发育第1至第4期各期次的岩溶(图5),而Z47井基本不发育第1至第3期岩溶,第四期岩溶的发育也相对较弱。

实际上,由于塔中北斜坡不同期次的岩溶均沿相同的断裂输导热液,因而在后期岩溶的热液运移过程中,也常常沿断裂发生比较强烈的溶蚀作用,在地震剖面上则表现为较强的沿纵向呈长串状分布的“串珠反射”。掌握研究区这一岩溶发育规律,可以帮助我们有效判别出有利的勘探目标。图7是一个连井地震剖面,取每口钻井周围的过井地震剖面来对比,能够凸显各井中储层的地震反射特征。

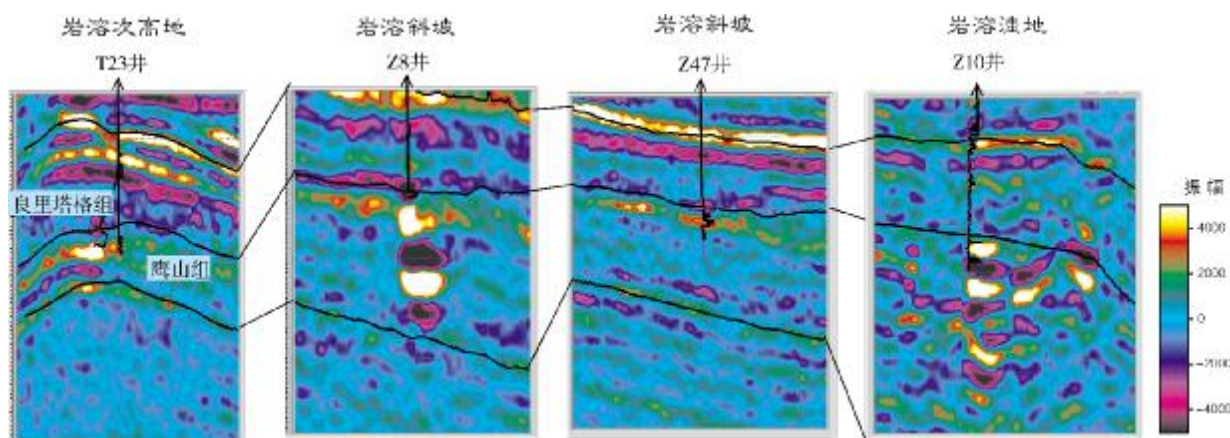


图7 塔中北斜坡奥陶系不同岩溶地貌单元中储层发育期次和储层优劣对比

6 结论

(1)依据三维地震资料对塔中北斜坡奥陶系鹰山组风化壳岩溶储层发育规律的精细分析,认为岩溶储层的发育受古地貌控制,垂向上表现为多期次发育的特征。岩溶作用与地层剥蚀作用同时发生,作用范围在垂向上重叠。结合地层和古地貌特征,依据三维地震资料的反射特征,将鹰山组碳酸盐岩岩溶储层划分出了四个期次的岩溶阶段。

(2)岩溶储层发育的期次与岩溶储层的优劣有一致的关系。由于垂向上多期次发育的储层往往沿同一断裂发生溶蚀,因而也就意味着溶蚀作用

比较强烈,在地震剖面上也常表现为长串状的“串珠反射”。在三维地震资料中识别这些多期次岩溶发育所形成的反射特征,能够识别出储层段的有利目标区域。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 吕修祥,张艳萍,焦伟伟,等. 断裂活动对塔中地区鹰山组碳酸盐岩储集层的影响[J]. 新疆石油地质,2011,32(3):244-249.
- [3] 沈安江,王招明,杨海军,等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳

- 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, 2006, 11(4): 1-12.
- [4] 陈轩, 刘银河, 林年添, 等. 塔中低凸起北斜坡奥陶系碳酸盐岩储层特征及其勘探意义[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(3): 463-470.
- [5] 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.
- [6] 韩剑发, 于红枫, 张海祖, 等. 塔中地区北部斜坡带下奥陶统碳酸盐岩风化壳油气富集特征[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 167-173.
- [7] 赵宗举, 周新源, 陈学时, 等. 塔中地区中晚奥陶世古潜山岩溶储集层特征[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(6): 660-663.
- [8] 张海祖, 张好勇, 刘鑫, 等. 塔中地区奥陶系鹰山组古地貌精细研究[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(3): 250-253.
- [9] 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.
- [10] 王黎栋. 塔中地区 T74 界面碳酸盐岩古岩溶储层形成机理与分布预测[D]. 中国地质大学(北京), 2007.
- [11] 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.
- [12] 杨海军, 韩剑发, 孙崇浩. 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.

编辑: 吴厚松, 金顺爱

Development Regularity of Ordovician Yingshan Karst Reservoirs in Tazhong North Slope, Tarim Basin

Zhang Xinchao, Sun Zandong, Wu Meizhen

Abstract: The Ordovician Yingshan karst reservoirs are of great petroleum potential in Tazhong Northern Slope, Tarim basin. Further petroleum exploration needs to know more accurate spacial distribution of the karst reservoirs. According to reflection characteristics of 3D seismic data, it is shown that a serial of karstification have undergone in the upper part of Yingshan Formation, which is a diagenetic process from denudation through coexisting denudation and karstification to karstification and then filling. Erosional truncation happened in structural highs as water tables rose during every karstification. A multiphase development model of Yingshan karst reservoirs is proposed.

Key words: Ordovician; Yingshan Fm.; Karst reservoir; Karstification; Reservoir development model; Tazhong North Slope; Tarim Basin

Zhang Xinchao: male. DSc degree in progress at China University of Petroleum (Beijing). Add: Lab for Integration of Geology and Geophysics, China University of Petroleum, 18 Xuefu Rd., Changping, Beijing, 102249, China