

塔中 I 号断裂坡折带及其邻区礁滩体发育的区域构造-沉积背景和古地貌控制作用

雷克辉, 钟宇宇

(中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室)

摘要 塔中 I 号断裂坡折带的区域构造-沉积演化为塔中地区上奥陶统礁滩体的发育提供了基本的沉积背景。经历了加里东期、早海西期及晚海西期三期构造运动, 形成三期三种级次的断裂: 一级断裂规模较大, 主要形成于加里东期, 走向北西—南东向; 早海西期形成二级断裂, 规模相对较小, 走向与一级断裂近于垂直; 晚海西期形成的三级断裂, 规模更小, 走向则近于一级断裂。这三期构造运动的应力场方向是来回变化的, 强度则逐渐减弱。这种构造运动特征引起了礁滩体发育环境的反复变化, 因而形成了多期礁滩体, 它们在垂向上出现叠置的现象。古地貌形态对礁滩体的发育具有控制意义, 礁滩体主要发育在古地貌高点上, 并在横向上形成带状分布。在研究区, 以塔中 I 号断裂坡折带中部的礁滩体最为发育, 并呈现出多期发育的特点。

关键词 塔中 I 号断裂带; 碳酸盐岩储层; 构造-沉积背景; 控制作用; 古地貌特征; 塔中地区

中图分类号: TE112.2

文献标识码: A

奥陶系良里塔格组礁滩体是塔里木盆地塔中地区的主要储集体, 蕴藏着丰富的油气资源。目前, 国内许多学者在该区的沉积环境^[1-3]、沉积演化^[4-5]、沉积相类型^[6-7]、构造特征^[8-9]等方面已经做了大量的研究工作, 而塔中 I 号断裂坡折带所控制的礁滩体储层尤为受到重视^[10-14]。良里塔格组灰岩的地质情况十分复杂, 在横向和纵向上均有很强的非均质性, 储集体的类型、规模变化多样, 目前对它的识别和评价仍有较大难度。

本次研究采用地球物理手段, 综合地震资料、钻井资料、测井资料等, 详细探讨了塔中 I 号断裂坡折带礁滩体发育的区域构造-沉积背景和古地貌控制作用。

1 区域地质概况

塔中低凸起位于塔里木盆地中央隆起中部, 西与巴楚凸起相连, 东邻塔东低凸起, 南为塘古孜巴斯凹陷, 北接满加尔凹陷。塔中 I 号断裂坡折带位于塔中低凸起北部边界, 紧邻满加尔凹陷, 它主要由塔中 I 号断裂和其西南侧的相邻构造组成, 地貌上倾向西

南。塔中 I 号断裂带为一近北向逆冲的断裂, 近 NWW 向展布, 略呈波状弯曲, 东西长约 260 km, 宽约 3~10 km(图 1)。该断裂在其东、西两端断面较陡、断距较大, 而其中部断面较缓、断距较小。沿断裂西南侧发育大量派生断层, 它们与主控断裂共同控制背斜或断背斜的形成, 总体构成了塔中 I 号断裂坡折带^[15]。

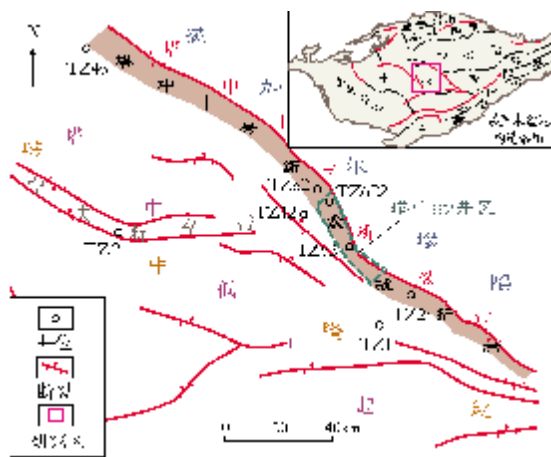


图1 塔中 I 号断裂坡折带的展布特征及位置
(据文献[14]修改)

收稿日期: 2012-05-15; 改回日期: 2012-08-28

雷克辉: 1972 年生, 博士。1994 年毕业于江汉石油学院地球物理勘探专业, 2011 年毕业于中国地质大学(北京)矿产普查与勘探专业, 获博士学位。现为中国石油大学(北京)博士后, 从事油田勘探与开发工作。通讯地址: 100101 北京市朝阳区慧忠里 103 号洛克时代中心 A 座 507; 电话: (010)82322011

研究区钻遇的地层有新生界第四系、新近系、古近系,中生界白垩系、三叠系,古生界二叠系、石炭系、泥盆系、志留系、奥陶系、寒武系,地层较全,仅缺失中生界侏罗系。上奥陶统良里塔格组发育了一套大型礁滩复合体(对应图2中的台内滩和台内礁两个亚相),是该区的主要油气产生层,盖层为上覆桑塔木组厚层灰色、深灰色泥岩段,储盖组合较优越(图2)^[16-17]。

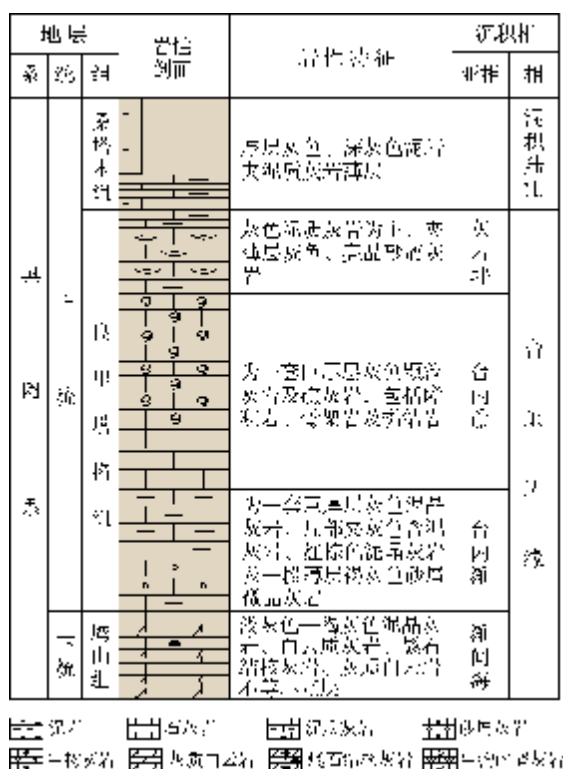


图2 塔中地区奥陶系地层柱状略图(据文献[17]修改)

寒武纪—早奥陶世,塔中与其东侧的满西凹陷是连为一体的碳酸盐岩台地,古构造、古地理呈东西分异^[18]。该台地在早奥陶世末期以断块运动为主,塔中 I 号断裂活动剧烈,主要表现为自西向东逆冲,塔中低凸起开始形成,并奠定了塔中 I 号断裂坡折带的基本构造格局,形成东高西低的斜坡,东西高差达 1 800 m。由于强烈的冲断作用,塔中低凸起抬升并遭受剥蚀,缺失中奥陶统。随着海平面的持续上升,上奥陶统良里塔格组沉积时塔中地区沉入水下接受浅水沉积,在塔中 I 号断裂带处形成高陡的断裂坡折带。沿着该逆冲断裂带上盘,即断裂带西侧的坡折带发育浅水台地边缘礁滩复合体,在该断裂带的下

盘,即断裂带东侧相变为满加尔坳陷桑塔木组深水砂泥岩。随着该凹陷桑塔木组砂泥岩的广泛沉积,塔中低凸起与满加尔坳陷又逐渐连为一体。此后塔中 I 号断裂基本没有发生断裂活动,塔中 I 号断裂坡折带只是随塔中低凸起发生整体升降。

总体而言,塔中 I 号断裂坡折带不仅构成了塔中低凸起的基本构造格局,还控制了塔中上奥陶统台缘礁滩复合体的沉积演化及镶边台地礁滩相的发育^[10]。本文将分别对该礁滩体发育的构造-沉积背景和地貌控制作用进行探讨。

2 礁滩体发育的区域构造-沉积背景

2.1 构造-沉积背景

区域构造运动是影响塔中 I 号断裂坡折带发育的主控因素之一。根据断裂发育特征的研究发现,影响该坡折带发育的构造运动主要为加里东运动,其次是海西运动。

通过对塔中 I 号断裂坡折带地震资料的精细解释,并根据规模大小及形成期次,可将该区的断裂系统划分为一级、二级和三级三种级次。一级断裂形成期以加里东期为主,海西期形成的断裂规模较小,早海西期形成的断裂为二级断裂(图3),晚海西期形成的断裂为三级断裂(图3中未显示,可见后面的图5c)。

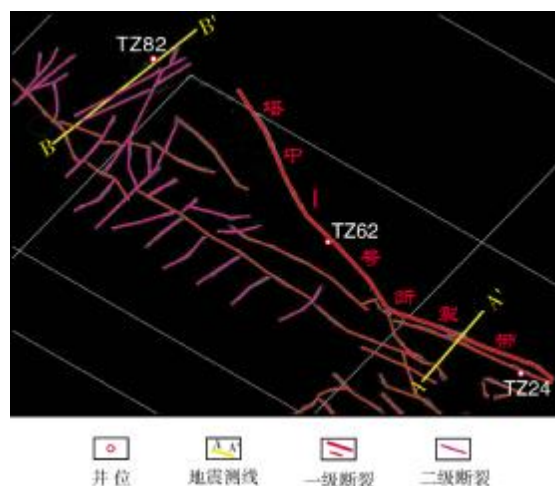


图3 塔中 I 号断裂坡折带及其邻区
一、二级断裂系统分布图

一级断裂主要形成于加里东期,二级断裂主要形成于早海西期

加里东期形成的一级断裂控制了塔中低凸起构造格局的形成,并对沿塔中 I 号断裂坡折带分布的早奥陶世晚期至中—晚奥陶世碳酸盐岩的形成、分布和储层改造起着主要控制作用。一方面,这些一级断裂的活动形成了西南部碳酸盐岩台地和东北部槽盆相的沉积格局,另一方面,这些一级断裂的持续活动,使得塔中低凸起进一步隆升,在早奥陶世晚期至晚奥陶世早期遭受剥蚀,缺失了中—晚奥陶世大湾期—庙坡期的沉积。各一级断裂的断距随着与塔中 I 号断裂的距离增加而变小,推测各一级断裂的形成时间也随着与塔中 I 号断裂的距离增加而向后延迟。

研究区的一级断裂主要为 NW—SE 向延伸,其平面展布特征呈东窄西宽、帚状撒开(图 3)。图中东南部 A—A' 地震测线处构造应力作用较强,形成多条近平行的一级断裂,而于西北部 B—B' 测线位置的应力作用相对减弱,加里东期形成的一级断裂较少。综合分析认为,研究区形成一级断裂的应力强度是由东向西逐渐减小的,这一应力场特征控制了塔中 I 号断裂坡折带的发育,形成了西北宽缓、东南狭长的构造格局。

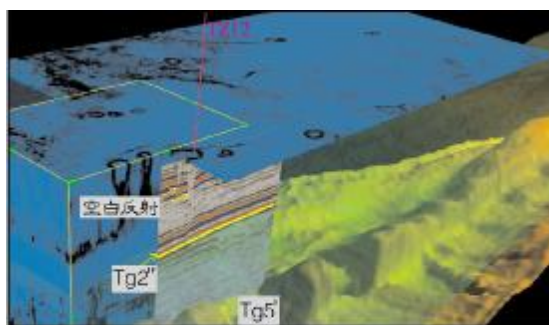
晚奥陶世早期,塔中 I 号断裂带两侧进一步延续了西南侧碳酸盐岩台地和东北侧槽盆相的构造格局。奥陶纪末,志留系沉积前(加里东晚期—早海西期),本区遭受强烈的挤压抬升,塔中 I 号断裂两侧地层以整体抬升为主,断裂活动以剪切走滑为主,相应地发育了局部的小断裂(二级断裂),它们具有一定的左行剪切排列特征,可能反映当时的塔中 I 号断裂主要为左行走滑运动。

晚海西期,随着盆地的整体沉降,志留系普遍沉积,局部还有泥盆系的沉积,此时断裂活动主要继承了奥陶纪末期的格局,在该地区主要表现为 NW—NWW 和 SEE 向断裂的共轭走滑活动,晚海西期沿早期断裂走滑、剪切,形成 NW、NWW 和 SEE 走向的火山侵入条带和小断裂(三级断裂)。

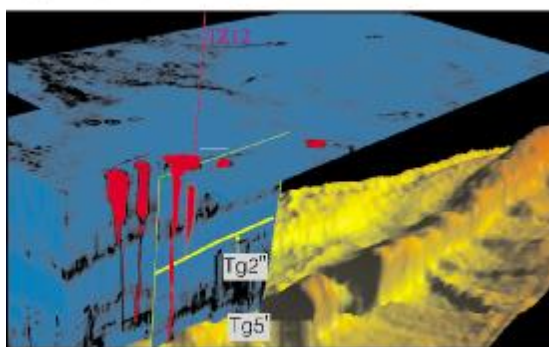
伴随晚海西期的火山侵入活动,上奥陶统也受到了影响,并以小断裂(三级断裂)形式表现出来。海西运动晚期,构造基本定型。

从晚加里东运动开始至随后发生的早海西期、晚海西期运动,在塔中地区都没有再发生过的构造变动,但后期的构造活动往往与早期的断裂有关,并对早期形成的断裂、构造产生不同程度的影响。如

晚海西期火山侵入主要沿袭了晚加里东运动所形成的断裂走向。图 4a 为火山侵入体在相干数据体平面和剖面上的串珠状特征,以及在常规数据剖面上的空白反射特征,层位 Tg2' 和 Tg5' 分别对应石炭系生物碎屑灰岩和奥陶系灰岩的顶面。图 4b 显示,火山侵入体向上刺穿了石炭系生物碎屑灰岩段地层,侵入至二叠系,侵入体的根部为奥陶系灰岩顶面(Tg5')。



(a) 火山侵入体在相干数据体平面和剖面上的串珠状特征



(b) 火山侵入体的产状特征。晚海西期的火山侵入体主要沿加里东晚期形成的断裂走向分布

图 4 塔中 I 号断裂坡折带邻区 TZ12 井区晚海西期火山侵入体在地震三维可视空间的展示

2.2 构造应力场变化特征

从加里东期、早海西期到晚海西期,塔中 I 号断裂坡折带的应力场方向是反复变化的(图 5)。

图 5a 中红色线条所示的为晚加里东期形成的断裂(一级断裂),它们均为逆冲断裂,说明当时的应力场具有挤压性质。这些一级断裂总体上由东向西帚状撒开,说明该应力场兼具左旋性质。综合分析认为,晚加里东期的应力场方向是 NE—SW 向的。

图 5b 中的粉红色虚线表示早海西期形成的走滑、压性断裂,相对较小,属二级断裂,其走向与晚加里东期形成的一级断裂高角度斜交或近于正交,

说明形成早海西期断裂的应力场方向是 NW—SE 向的。

图 5c 中黄色虚线为晚海西期火山侵入体的走向,绿色椭圆内雁列状排列的虚线表示小断裂(三级断裂)展布。可以看出,这些火山侵入体的走向和三级断裂的展布,要么与一级断裂走向一致或低角度斜交,要么发育在两条断裂带之间。因此该时期的构造

作用受晚加里东期所发育的一级断裂控制,构造主应力方向亦与加里东期的相一致,为 NE—SW 向。

在上述三个阶段应力场方向不断变化的过程中,应力场的强度则呈现逐渐减弱的特征。

总之,从晚加里东运动开始至晚海西期,塔中 I 号断裂坡折带是在应力场方向不断变化和应力场强度逐渐减弱的构造背景中演化定型的。

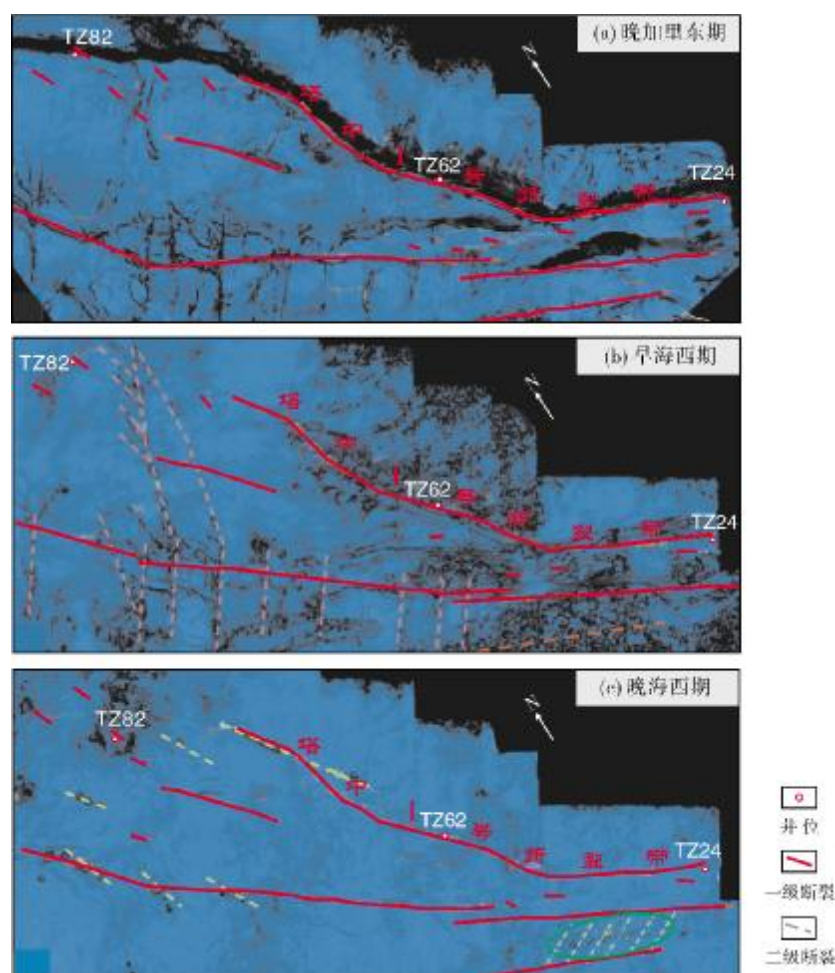


图 5 塔中 I 号断裂坡折带及其邻区不同阶段形成的断裂走向分布图

这是利用地震相干体属性计算得到的图件,黑色表示低相干,代表的是断层、火山侵入体或碳酸盐岩溶洞等。各分图中的红色线条表示晚加里东期形成的一级断裂分布;图 5b 中的粉红色线条表示早海西期形成的二级断裂分布;图 5c 显示晚海西期沿早期走滑断裂形成的火山侵入条带和小断裂,右下角绿色椭圆中黄色虚线为雁列状的小断层(三级断裂);单独黄色虚线或其附近的小黑圆点为火山侵入体位置

3 礁滩体发育演化与古地貌的关系

浅海台地古地貌高部位常常是礁滩体优先生长发育的有利位置,而同时,礁滩体的发育在地貌上又

会形成一个相对高的隆起,因此地貌高点往往代表着礁滩体发育的主体部位^[19]。研究区不同期次、不同方向的构造应力作用引起古地貌不断变化,在相对隆起的高部位,生物大量繁殖而形成生物礁,最终形成了

多期次的礁滩垂向叠置现象和横向带状分布特征^[20]。

根据钻井和地震资料,用桑塔木组泥岩段中一相对稳定反射界面作为区域参考面,再用该参考面至奥陶系灰岩顶面的地层厚度,恢复出本区奥陶系岩溶古地形,可将研究区内的 TZ62—TZ82 井区划分为岩溶高地、岩溶斜坡及岩溶洼地三种地貌分带(图 6)。岩溶高地主要分布于塔中 I 号断裂坡折带附近及该带的西段区域(图 6 上部黄色界线以北的长条带状区域),该构造单元内的岩溶地下水以垂向

运动为主,岩溶形态以漏斗、落水洞、溶隙为主,发育孤立溶洞。岩溶斜坡主要分布于两条黄色界线和两条暗红色界线之间的范围,分为上下两个区域,该构造单元的地下水以垂向渗入及水平运动为主。岩溶洼地被夹持于上下两个岩溶斜坡分布区域之间。研究区的地貌总体上北高南低,西高东低,由北西南东方向地形高差较大。区内古地形最高处位于塔中 I 号断裂坡折带的北侧边缘(尤其是在其西端),最低洼处位于工区东南角。

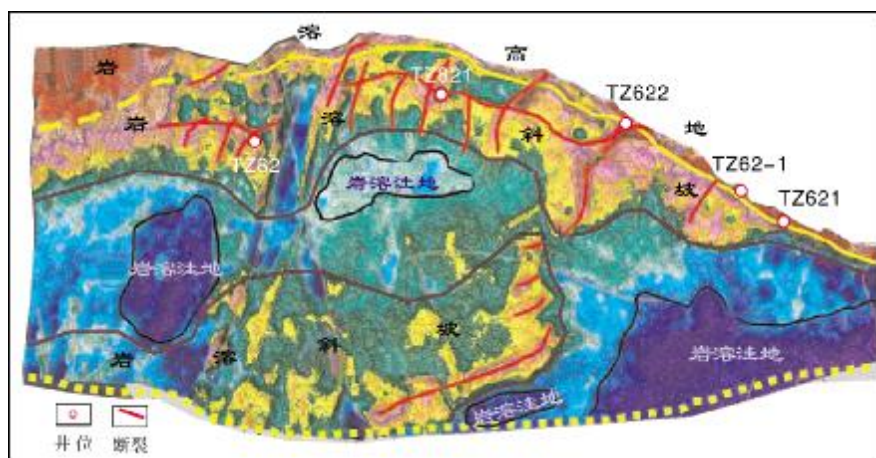


图 6 塔中 I 号断裂坡折带 TZ62—TZ82 井区及其南侧邻区的古地貌单元划分(据文献[21]修改)

在对塔中 I 号断裂坡折带礁滩体的研究过程中发现,碳酸盐岩台地边缘的古地貌分布特征在一定程度上就代表了礁滩体的发育分布规律。古地貌中的山脊特征在剖面上都具有明显的丘状凸起反射(图 7),这些丘状凸起反射是该地区礁滩体发育的典型特征。

图 7a 剖面上箭头 1 所指位置和图 7b 中 2、3、4 三个箭头所指的三个凸起的丘形反射在图 7c 古地貌图上分别对应着四个凸起的山脊 1、2、3、4,这些丘形凸起都代表了晚奥陶世末期礁滩体发育的位置。

罗韧^[21]通过对 TZ62 井区(位置见图 1)上奥陶统礁滩体发育与古地貌关系的研究,得出与本文前述内容相似的结论。本次研究则对 TZ62—TZ82 井区礁滩体发育特征与古地貌的关系作了更为全面细致的探讨。

TZ62—TZ82 井区位于塔中 I 号断裂坡折带的中部位置(图 1,图 8),这里的礁滩体发育具有代表性。在该井区,从东向西方向,在地震剖面上表征

礁滩体发育的丘形凸起,由单一的高凸起(图 8h)向多峰的低凸起(图 8a)演化。从图 8 可以看出,剖面反射波组样式由过 TZ62 井测线的单斜单峰(图 8h)、过 TZ62-1 井测线的单斜双峰(图 8g)过渡到测线 D—D' 的不对称形多峰(图 8d)、以及过 TZ82 井的对称单峰与单斜单峰的复合体(图 8a),说明礁滩体的分布在 TZ622 井以西处于一种很宽泛的范围。再往 TZ82 井以西,礁滩体在平面上还表现出至少两次以上的礁滩体发育期,其分布范围也还比 TZ622 井以东宽阔。从过塔中 I 号断裂坡折带的这些剖面可以看出,礁滩体在工区中部位置的 TZ622—TZ82 井区最为发育,分布范围也较广。另外结合相应的地貌图还可以看出,礁滩体不仅发育于地貌相对较高的塔中 I 号断裂坡折带上,还同时分布在远离该坡折带的古地貌高部位(图 8c, 8i),也就是说,礁滩体的发育虽受坡折带的控制,但也不完全受坡折带的局限,只要是地貌上相对高的部位,均易发育礁滩体。

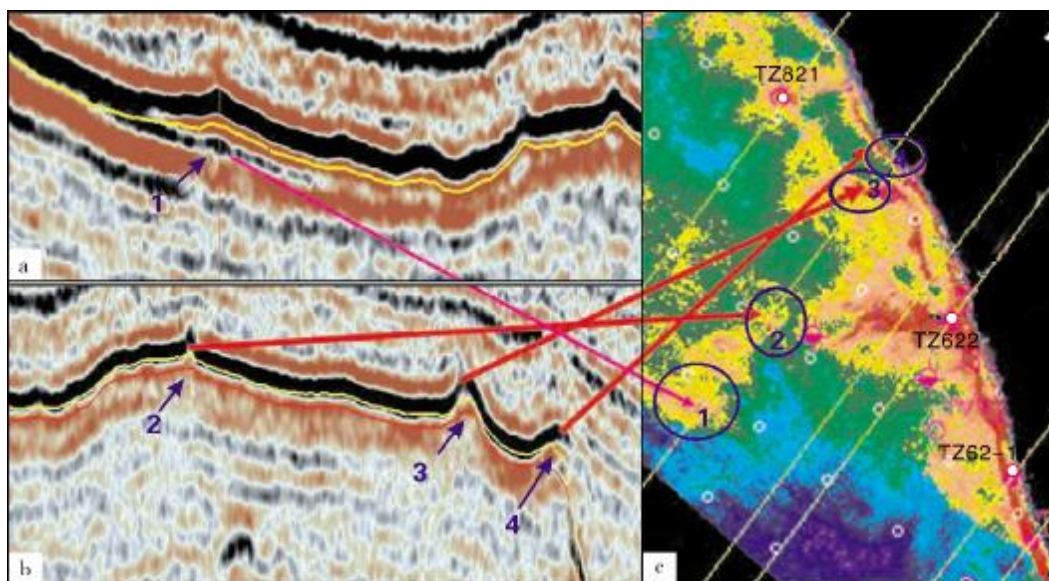


图7 穿过塔中地区某测线的礁滩体反射典型剖面特征及其在地貌图上的对应位置

(a)和(b)为地震剖面,图上标注的1、2、3、4各箭头所指位置是凸起的丘形反射,呈礁滩体发育的典型特征;
(c)为古地貌图,其中的1、2、3、4是山脊上的凸起位置,它们与剖面图中的礁滩体反射相对应,表明地貌高点往往代表着礁滩体发育的部位

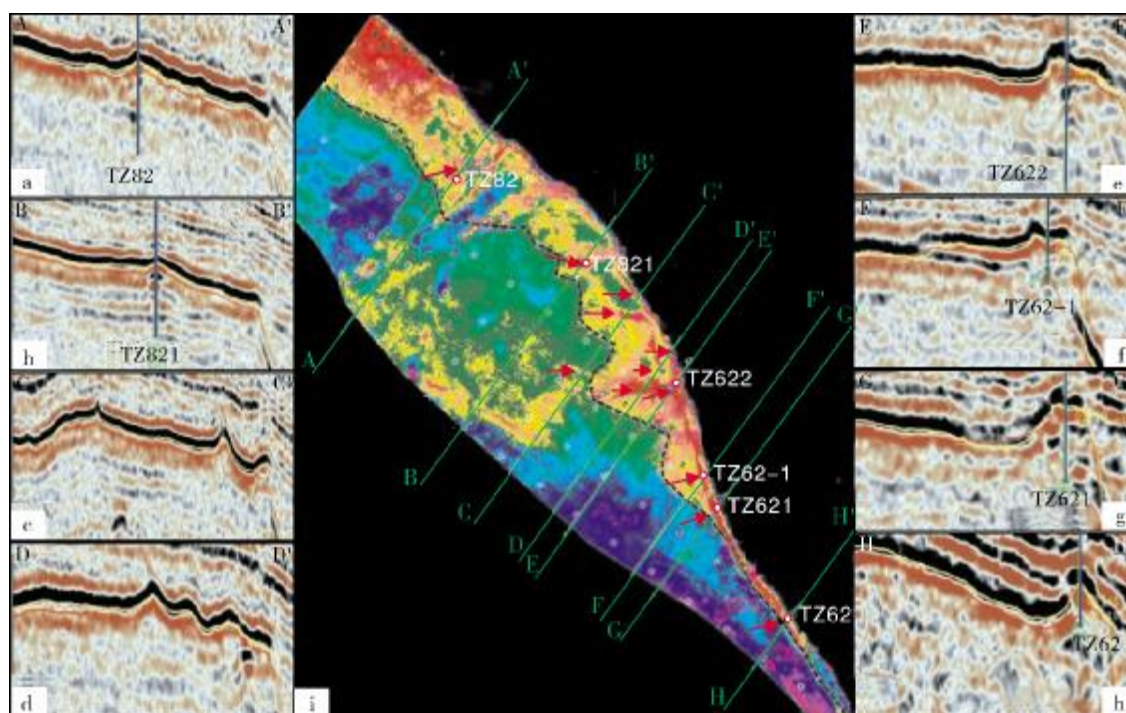


图8 TZ62—TZ82 井区及其南侧邻区的礁滩体在剖面上的反射特征及在地貌图上的位置分布

(a)至(h)分别为穿过塔中 I 号断裂坡折带的 8 条横切剖面,其中(c)亦即图 7b 剖面;
(i)为古地貌图,图中箭头所指位置为对应各剖面上的丘形反射位置,塔中 I 号断裂坡折带仅为很窄的一个条带区域,黑色虚线为其西南侧边界线

4 结 论

(1)塔中 I 号断裂坡折带的区域构造-沉积演化为塔中地区上奥陶统礁滩体的发育提供了基本的沉积背景,其断裂系统可划分为一级、二级和三级三种级次,分别主要形成于加里东期、早海西期和晚海西期。

(2)发育三种级次断裂的应力场方向多次变化,强度则逐渐减弱,引起礁滩体发育的环境也反复变化,由此形成了多期次的礁滩体在垂向上的叠置。

(3)古地貌高点对礁滩体的发育具有控制意义,礁滩体主要发育在古地貌高点上,并在平面上呈带状分布特征。

(4)以塔中 I 号断裂坡折带中部的礁滩体最为发育,并呈现出多期性。

参考文献

- [1] 康玉柱. 塔里木盆地塔河大油田形成的地质条件及前景展望[J]. 中国地质, 2003, 30(3): 315-319.
- [2] 刘文, 李永宏, 张涛, 等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩沉积相及地层学研究[J]. 石油实验地质, 2002, 24(2): 104-109.
- [3] 侯明才, 万梨, 傅恒, 等. 塔河南盐下地区上奥陶统良里塔格组沉积环境分析[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2006, 33(5): 509-516.
- [4] 刘凤, 王振宇, 杨晓东, 等. 中古 3 井区良里塔格组沉积特征及沉积演化[J]. 石油地质与工程, 2010, 24(4): 8-11.
- [5] 何登发, 周新源, 张朝东, 等. 塔里木地区奥陶纪原型盆地类型及其演化[J]. 科学通报, 2007, 52(2): 126-135.
- [6] 钱一雄, 刘忠宝, 蔡习尧, 等. 塔里木盆地塔中南缘中 2 井良里塔格组沉积亚相研究[J]. 石油实验地质, 2010, 32(4): 341-346.
- [7] 朱峰, 樊太亮, 高志前. 顺托果勒西区良里塔格组沉积相及储层特征[J]. 断块油气田, 2010, 17(5): 521-524.
- [8] 李本亮, 管树巍, 李传新, 等. 塔里木盆地塔中低凸起古构造演化与变形特征[J]. 地质论评, 2009, 55(4): 521-530.
- [9] 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.
- [10] 郭光辉, 李启明, 张宝收, 等. 塔中 I 号断裂坡折带构造特征及勘探领域[J]. 石油学报, 2005, 26(1): 27-30.
- [11] 韩剑发, 梅廉夫, 杨海军, 等. 塔中 I 号坡折带礁滩复合体大型凝析气田成藏机制[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(3): 323-326.
- [12] 李宇平, 王振宇, 李文华, 等. 塔中 I 号断裂构造带奥陶系碳酸盐岩圈闭类型及其勘探意义[J]. 地质科学, 2002, 37(增刊): 141-151.
- [13] 周进高, 邓红婴, 范国章, 等. 塔中 I 号断裂带奥陶系良里塔格组礁滩储集体模式与预测[J]. 海相油气地质, 2008, 13(3): 17-23.
- [14] 范国章, 赵宗举, 周进高, 等. 塔中 I 号坡折带奥陶系凝析气田勘探中的古地貌学方法[J]. 海相油气地质, 2006, 11(2): 52-56.
- [15] 郭建军, 陈践发, 段文标, 等. 塔中 I 号构造带奥陶系天然气成因[J]. 天然气地球化学, 2007, 18(6): 793-797.
- [16] 杨海军, 胡太平, 于红枫, 等. 塔中地区上奥陶统礁滩复合体储层地震预测技术[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 230-236.
- [17] 黄擎宇. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层成因机理及主控因素研究[D]. 成都理工大学硕士学位论文, 2010: 27-29.
- [18] 谢晓安, 吴奇之, 卢华复. 塔里木盆地古生代构造格架与沉积特征[J]. 沉积学报, 1997, 15(1): 152-155.
- [19] 贾振远, 李之琪. 碳酸盐岩沉积相和沉积环境[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1989: 67-80.
- [20] 王一男, 阳孝法, 蔡益栋, 等. 塔中 I 号坡折带对塔中隆起北侧礁滩相发育分布的影响[J]. 石油地质与工程, 2010, 24(1): 30-33.
- [21] 罗韧. T262 井区上奥陶统礁滩体储层特征研究[D]. 西南石油大学硕士学位论文, 2006: 84-87.

编辑: 吴厚松

Regional Tectonism-Sedimentation Setting and the Paleogeomorphology Controlling for Developing Upper Ordovician Reef-Shoal in Tazhong-I Fault Slope-break Belt and Its Adjacent Area, Tarim Basin

Lei Kehui, Zhong Ningning

Abstract: The Tazhong I Fault Slope-Break Belt and its adjacent area constitutes the basic tectonic framework of Tazhong Lower Arch, where the regional tectonic-sedimentary evolution provides a basic sedimentary background for the Upper Ordovician reef-shoal development in this area. There were three periods of tectonic movements including the Caledonian, the Early Hercynian and the Late Hercynian movements in Tazhong and consequently different graded fractures formed during each period. The 1st-grade fractures formed during the Caledonian period and usually are NW-SE strikes. The 2nd-grade fractures that are smaller than the 1st ones in scale formed during the Early Hercynian and exhibit an almost vertical strike to the Caledonian fractures. The 3rd-grade fractures which developed during the Late Hercynian show a nearly parallel strike to the 1st-grade fractures. The stress of these three periods of tectonic movement changed frequently in direction and the stress gradually weakened in intensity. The development environment of reef-shoals varies repeatedly, which makes phases of reef-shoals form and superimpose in vertical. The paleo-geomorphology controls the development of reef-shoals, which main develop on morphologic rises and is characterized of zonal distribution in lateral.

Key words: Reef-shoal; Carbonate reservoir; Structural and sedimentary setting; Control effect; Paleogeomorphology; Fault slope-break belt; Tazhong area; Tarim Basin

Lei Kehui, male, Ph.D., Geology Engineer. Add: 507 Room, A Building, Luoke Time Center, 103 Huizhong Li, Chaoyang, Beijing, 100101, China