

塔里木盆地塘古巴斯坳陷北东向断裂带特征、成因及石油地质意义

刘士林¹, 张仲培¹, 云金表¹, 李慧莉¹, 高山林^{1,2}, 李建交¹

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石化油田勘探开发事业部, 北京 100728)

摘要:塔里木盆地塘古巴斯坳陷主要发育东南部基底卷入逆冲断裂和西北部盖层滑脱逆冲断裂两种类型的NE向断裂带, 平面上组成巨型的向NW凸出的弧形断裂系。NE向断层多数为逆冲性质, 少数兼有走滑性质。多数断裂带沿走向具有构造样式的分段特征, 主要表现在主断层逆冲方向及其控制的褶皱形态方面, 主要分布在弧形构造的尾端。在垂向上具有多套构造变形的分层叠加特征, 主变形层集中在上寒武统-奥陶系, 并且西北缘的断层多在中寒武统膏盐岩层内发生滑脱, 其他层系变形微弱。NE向断裂体系的主要形成时期是晚奥陶世晚期-志留纪初期, 是对加里东中期塔里木地块与北昆仑-阿尔金地块碰撞的响应, 是盆地东南缘阿尔金-车尔臣早古生代前陆褶皱冲断体系的组成部分。NE向断裂体系的形成受阿尔金-车尔臣边界大断裂走滑-逆冲应力场、寒武系膏盐岩软弱层分布、基底起伏及边界断裂走向4个因素控制。NE向断裂带局部控制了奥陶系碳酸盐岩溶蚀-缝洞型储层和台缘礁滩型储层的发育。在烃源落实的条件下, 可选择性探索断裂带翼部等有利圈闭目标。

关键词:NE向断裂; 构造样式; 成因机制; 石油地质; 断裂带; 塘古巴斯坳陷; 塔里木盆地

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

NE-trending fault belts in Tanggubasi Depression of the Tarim Basin: Features, genetic mechanism, and petroleum geological significance

Liu Shilin¹, Zhang Zhongpei¹, Yun Jinbiao¹, Li Huili¹, Gao Shanlin^{1,2}, Li Jianjiao¹

(1. Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;

2. Oilfield Exploration & Production Department, SINOPEC, Beijing 100728, China)

Abstract: NE-trending faults are well developed in Tanggubasi Depression, Tarim Basin. Most of them can be divided into either southeastern basement-involved thrusting fault style or and a northwestern cover-decollement thrusting fault style, and present a huge arcuate faulting system bulging northwestward on map view. These NE-trending faults are mostly thrusting faults, but a few are characteristic of both thrust and strike-slip. Many faults show features of structural segmentation along strike, which are mainly displayed by the difference of main faults' thrusting directions and their related folds, and mainly located at the tail end of the arcuate structure. Meanwhile, most faults are characteristic of the layered superposition of multiple structural deformations vertically, and the major deformative layers concentrate in the Upper Cambrian-Ordovician sequences, and faults on the northwestern margin usually detach in the Middle Cambrian gypsolytes, while weak deformations are shown in other strata. The NE-trending fault system, a product of the collision between Tarim massif and North Kunlun-Altyr massif, is mainly developed during the late of Late Ordovician-earliest Silurian, and is an integral part of the Early Paleozoic foreland fold-thrust system of the Altyr-Cherchen faults on the southeastern margin of Tarim Basin. The formation of the NE-trending fault system is controlled by four factors, including the strike-slip and thrusting stress field of the major faults on the margin of Altyr-Cherchen, the distribution of the Cambrian gypsolyte weak layers, basement relief, and boundary fault strikes. The NE-trending fault belt locally controls the development of the Ordovician carbonate reservoirs of dissolution-fracture-cavity type and reef-shoal reservoirs at the platform margins. Favorable trap targets such as the fault

收稿日期: 2018-05-15; 修订日期: 2018-07-18。

第一作者简介: 刘士林(1982—), 男, 博士、高级工程师, 盆地分析与油区构造解析。E-mail: liushilin@sinopec.com。

基金项目: 国家科技重大专项(2017ZX05005-002); 中国科学院A类战略性先导科技专项(XDA14010402); 中石化科技部项目(P15087, P15089)。

zone wings can be selectively explored if the hydrocarbon source conditions are confirmed to be favorable.

Key words: NE-trending fault, structural style, genetic mechanism, petroleum geology, fault belt, Tanggubasi Depression, Tarim Basin

近年来,塔里木盆地碳酸盐岩油气勘探主要与NE向断裂构造带有关,并以奥陶系为主要目的层。以塔中-巴楚隆起带为界,盆地北部的顺托果勒-塔河南地区发现了顺北、顺南和哈拉哈塘等油气田,证实中-下奥陶统断溶体储层规模及有效性与NE向走滑断裂带密切相关^[1-2];盆地南部的麦盖提-塘古巴斯地区主要寻找奥陶系岩溶缝洞型油气藏,与NE向断裂带相关部署的近20口探井,仅发现了YB1和LS2两个中小型油气藏,YB3,YD4和TZ3等井见到油迹显示,而Z3,TB2,TN1,TC1,YB2和YB7等井仅见到荧光或气测异常等弱显示,表明盆地南部NE向断裂带上油气成藏条件差异较大^[3-4]。因此,盆地南部NE向断裂带的特征研究对于该区的油气勘探有重要意义。

盆地南部NE向断裂主要分布在塘古巴斯坳陷及其周缘地区,该坳陷北接巴楚-塔中隆起,西邻麦盖提斜坡,东南部以车尔臣断裂为界与塔东南隆起接壤,呈NEE走向,东端收敛变窄(图1)。坳陷内主要发育有

玛东、塘北、中3-塔中3和塘南等一系列NE向断裂。很多学者从断裂特征、发育史和成因等不同角度做过相关研究^[5-14],尤其对玛东断裂带的研究越来越深入,均认识到玛东断裂带是加里东中期盆地东南部阿尔金-车尔臣走滑-逆冲断裂体系的产物。但由于勘探程度低,受资料所限,对塘古巴斯坳陷区NE向断裂带还缺乏整体性的研究。本文利用地震和钻井资料,较系统地描述了NE向断裂带的构造特征,分析了主活动时期和成因机制,探讨了油气地质意义,以期对下一步勘探有所裨益。

1 区域地质特征

从区域地震及钻井资料看,塘古巴斯坳陷发育近万米厚的沉积层(图2,图3)。寒武系-中奥陶统以厚层碳酸盐岩台地相沉积为主,寒武系还沉积有两套厚层膏盐岩层;上奥陶统下部良里塔格组/却尔巴克组为

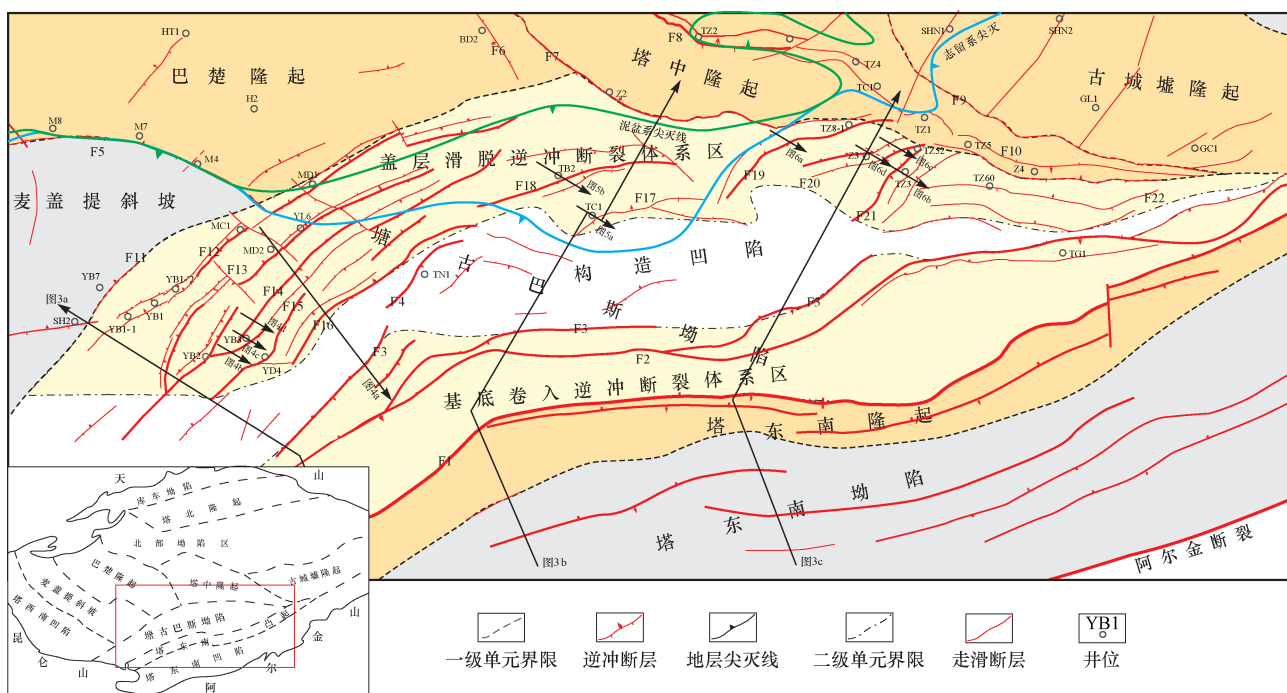


图1 塘古巴斯坳陷及周缘构造区划和断裂带分布

Fig. 1 Tectonic division and fault zone distribution of the Tanggubasi Depression and its peripheral areas, Tarim Basin

F1. 车尔臣断裂带; F2. 塘南1号断裂带; F3. 塘南2号断裂带; F4. 塘南3号断裂带; F5. 玛扎塔格断裂带; F6. 巴东断裂带; F7. 塔中南缘断裂带; F8. 塔中2号断裂带; F9. 塔中1号断裂带; F10. 塔中5号断裂带; F11. YB7井断裂带; F12. 玉北-玛东1号断裂带; F13. 玉北-玛东2号断裂带; F14. 玉北-玛东3号断裂带; F15. 玉北-玛东4号断裂带; F16. 玉北-玛东5号断裂带; F17. 塘北1号断裂带; F18. 塘北2号断裂带; F19. 塔中8-1断裂带; F20. 中3断裂带; F21. 塔中3断裂带; F22. 塔中60井断裂带

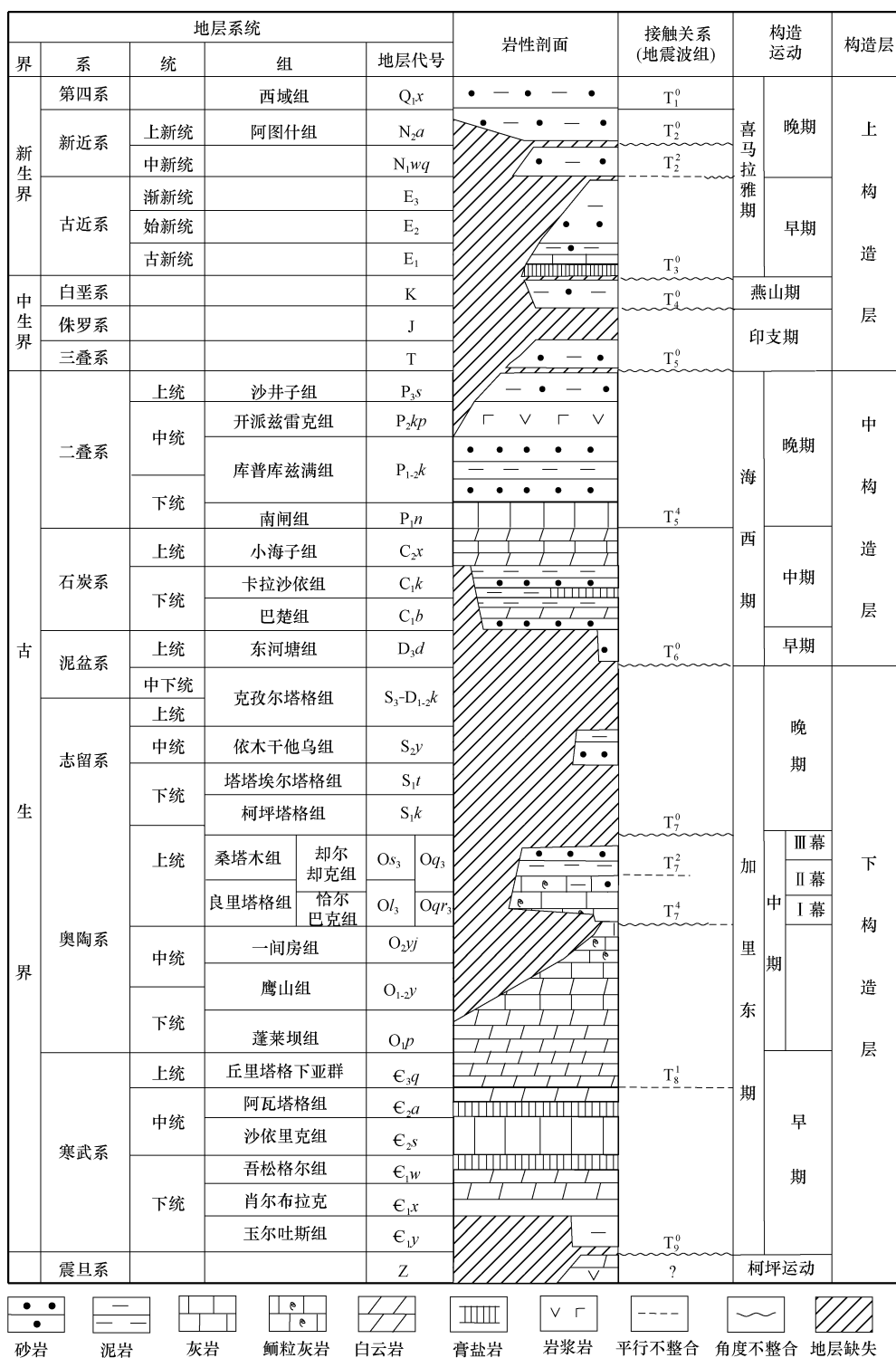


图2 塘古巴斯坳陷构造-地层柱状图

Fig. 2 Simplified tectono-stratigraphic column of the Tanggubasi Depression, Tarim Basin

碳酸盐岩沉积,上部桑塔木组/却尔却克组为混积陆棚碎屑岩沉积;志留系-中泥盆统海相碎屑岩仅在坳陷西北部残存(图1)。上泥盆统-二叠系为一大套海陆交互碳酸盐岩和碎屑岩沉积,连续分布,具有东薄西厚、南薄北厚的特点。中新生界为陆相碎屑岩稳定沉积,侏罗系-白垩系多缺失。

区域地震-地质大剖面解释表明塘古巴斯坳陷主要发育西北部盖层滑脱逆冲断裂体系和东南部基底卷入逆冲断裂体系两大类型的NE向断裂带。两套断裂体系在坳陷的西北部和东南部相互对应,构造变形强,两个体系之间的构造凹陷部位变形较弱,将坳陷三分(图1,图3)。

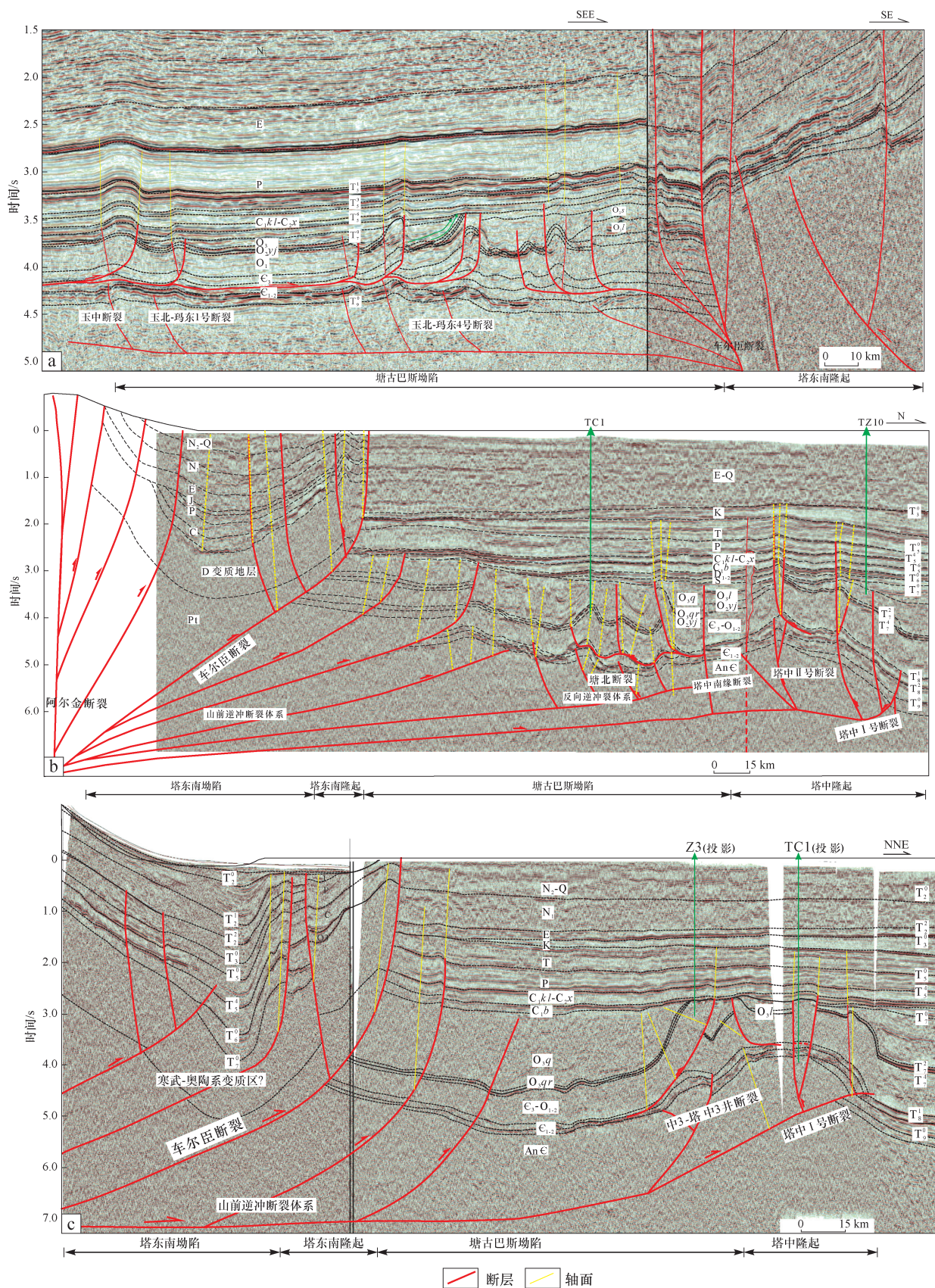


图3 塘古巴斯坳陷区域地震-地质剖面特征(剖面位置见图1)

Fig. 3 Characteristics of regional seismic-geological sections crossing the Tanggubasi Depression, Tarim Basin (see Fig. 1 for the section location)

a. MF03-148 + OGS1200 剖面; b. OGSZ50 剖面; c. OGSZ60 剖面

1.1 西北部盖层滑脱逆冲断裂体系

主要分布在坳陷西北部,自西向东包括玉北-玛东1号—5号、塘北、塔中8-1、中3和塔中3等断裂带,走向由玉北地区的NE 45°~60°逐渐过渡为TC1井附近的NEE 60°~75°,向东至塔中3断裂带又呈NE 30°~50°走向,整体上呈现为一个巨型的向NW凸出的弧形断裂构造系。剖面上具有沿寒武系膏盐岩滑脱逆冲特征,呈现断层转折-传播复合褶皱样式,多数主断层由NW向SE逆冲,少数由SE向NW逆冲。上寒武统-奥陶系是主要变形层,褶皱顶部奥陶系不同程度剥蚀。膏盐岩之下的中-下寒武统发育基底卷入断层,与上覆滑脱逆冲断层具有较好的垂向对应关系,但变形微弱(图3a)。

1.2 东南部基底卷入逆冲断裂体系

分布在坳陷东南部,以基底卷入式逆冲为特征,主断层NW或NNW向逆冲。以车尔臣断裂为代表,主断面上陡下缓,上切至地表,下切入基底并归于基底滑脱层,平面上自西向东沿走向大致分为NE,NEE和NE 3段,断距达2 000 m以上(图3b,c)。同时,反冲断层发育,与主断层相交组成“y”字形,表明车尔臣断裂以逆冲为主,兼有一定的走滑分量。车尔臣断裂以北还发育2~3排与其走向大致相似的基底卷入逆冲断裂(塘南1号—3号断裂),不同之处是断裂均上切止于石炭系,变形集中在寒武系-奥陶系。除此之外,坳陷中南部还发育一些特征类似的小型NE向基底卷入式逆冲断裂,如塘南1井断裂带,李浩武等对其构造特征有详细研究,并认为其活动时期是奥陶纪末—志留纪初期^[8]。

2 主要断裂特征与主活动期

2.1 主要断裂特征

1) 玉北-玛东1号—5号断裂带

地震资料联合解释表明,坳陷西部的玛东与玉北东部两个局部地区的5排NE向断裂带,地质结构一致,空间上连接,应属于一套断裂系统在NE-SW方向上的延伸表现(图1)。总体上看,玉北-玛东1号—5号断裂带具有构造变形的垂向分层和构造样式沿走向的平面分段两个显著特征。

剖面特征显示,玉北-玛东1号—5号NE向断裂带至少有两套构造变形垂向叠加(图4a,b)。第一套以中-下寒武统及基底的微弱变形为主,发育中高角度走滑-逆冲断层,断面多SE倾向,以基底深部软弱

面为滑脱层;第二套为5~6排叠瓦式的断层转折-传播复合褶皱,主断层沿中寒武统膏盐岩滑脱逆冲,多数由NW向SE逆冲,少数由SE向NW逆冲,整体活动强度自NW向SE增强,断距东部大、西部小。与主断层对应,还发育1~2排次级反冲断层,与主断层共同控制褶皱的发育,褶皱多呈不对称箱形,上寒武统-奥陶系卷入构造变形。

要强调的是,沿玉北-玛东1号—4号NE向断裂带走向,构造样式也具有明显的分段性,差异主要体现在主断层的性质、冲断方向及其控制的褶皱形态上(图4a)。如1号断裂带的YB1,YB1-1和YB1-2井段,断裂构造样式不同,走滑特征明显^[7]。3号断裂带的YB3井段及其南北,构造样式变化与1号断裂带相似。YB3井段南部,主断层沿中寒武统膏盐岩自NW向SE逆冲推覆,具有断层转折-传播复合褶皱特点,褶皱不对称箱型,南东翼陡,北西翼缓(图4b);YB3井段构造样式表现为对称的钟形断层相关褶皱特征,系盖层滑脱逆冲断层双向逆冲所致,主冲断层现今倾向SE,在中-下奥陶统内部可见地震反射轴的低角度相交,是层间滑动所致(图4c);YB3井段以北,构造样式与YB3井南段相似,只是主断层逆冲方向相反,向NW主冲,褶皱北西翼陡,南东翼缓,与1号断裂带YB1-2井段特征一致(图4d)。构造样式变化的段与段之间发育NW向的调节断层,较难识别。同一断裂带上不同分段的主断层逆冲方向及褶皱样式有如此明显的变化,表明断裂带受到了局部的走滑应力场影响,推测与弧形断裂带的逆冲差异位移有关。

在局部断裂带上,如玉北-玛东1号和3号断裂带的南部,石炭系-二叠系有低幅褶皱变形,褶皱变形强度自NW向SE减弱,断层不明显。中新界地层平缓,构造稳定。同时,在MD1井和MD2井附近,NW向高角度基底走滑断裂还对NE向断裂有切割改造作用,使得NE向断裂分段性更加明显(图4a)。

2) 塘北断裂带

塘北断裂带特征与玉北-玛东断裂带基本一致,为盖层滑脱逆冲断裂,NEE走向,主断层沿中寒武统膏盐岩向SSE滑脱逆冲推覆,断裂带底部发育膏盐岩蠕动堆积变形、加厚。该断裂带构造样式沿走向没有明显的分段特征(图5)。

3) 塔中8-1—中3—塔中3断裂带

3条断裂带西接NEE走向的塘北断裂带,东临近EW走向的塔中5号断裂带,与周缘断裂走向有别,平面上向NE收敛、SW撒开。剖面构造样式与玉北-玛东、塘北断裂带相似,垂向分层特征明显。下部变形为沿基

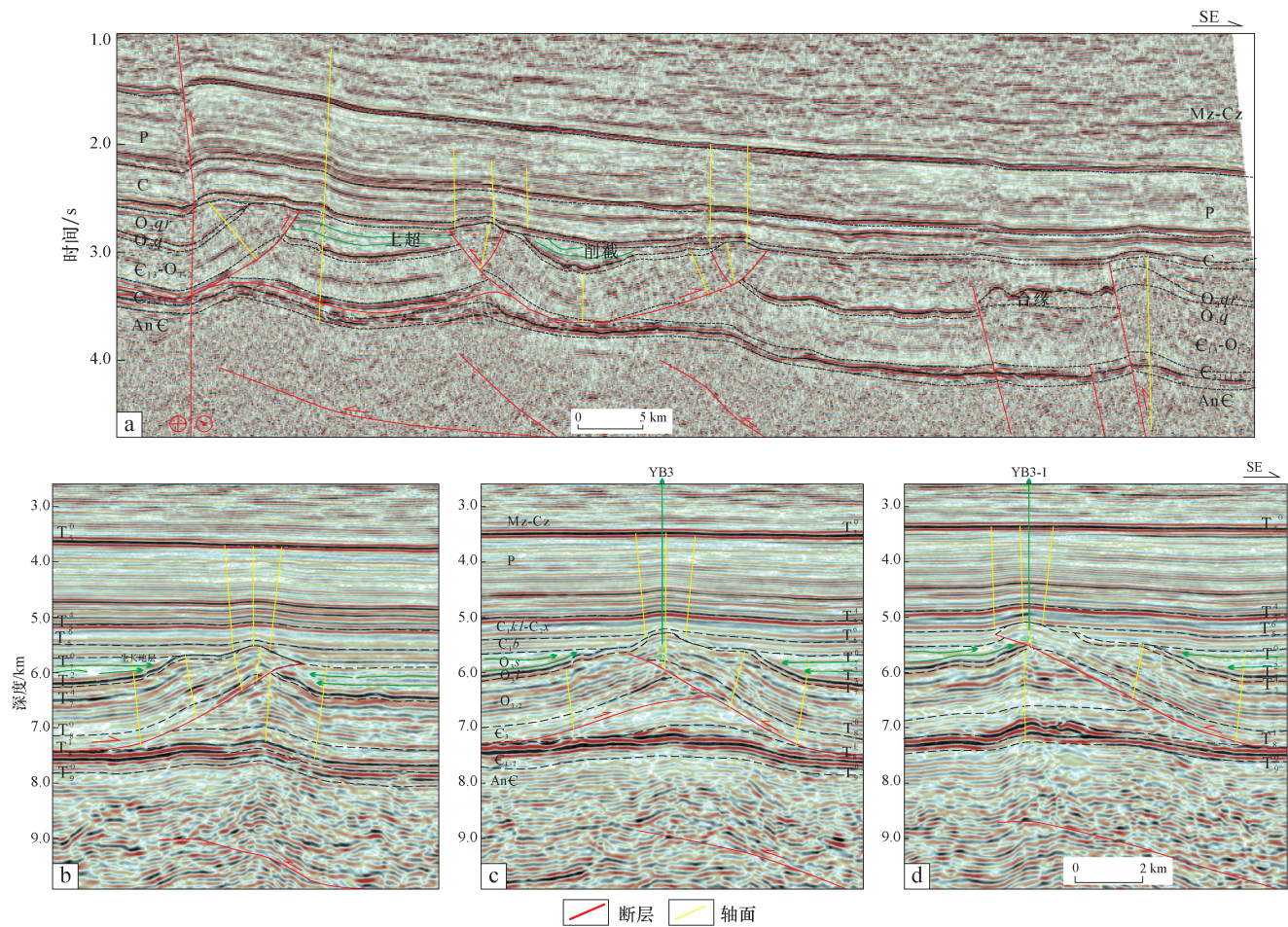


图4 玉北-玛东断裂带典型地震-地质剖面特征(剖面位置见图1)

Fig. 4 Typical features of seismic-geological sections crossing the Yubei-Madong fault zone(see Fig. 1 for the section location)

a. 过玉北-玛东 NE 向断裂带典型剖面; b. YB3 井南段剖面; c. YB3 井段剖面; d. YB3 井北段剖面

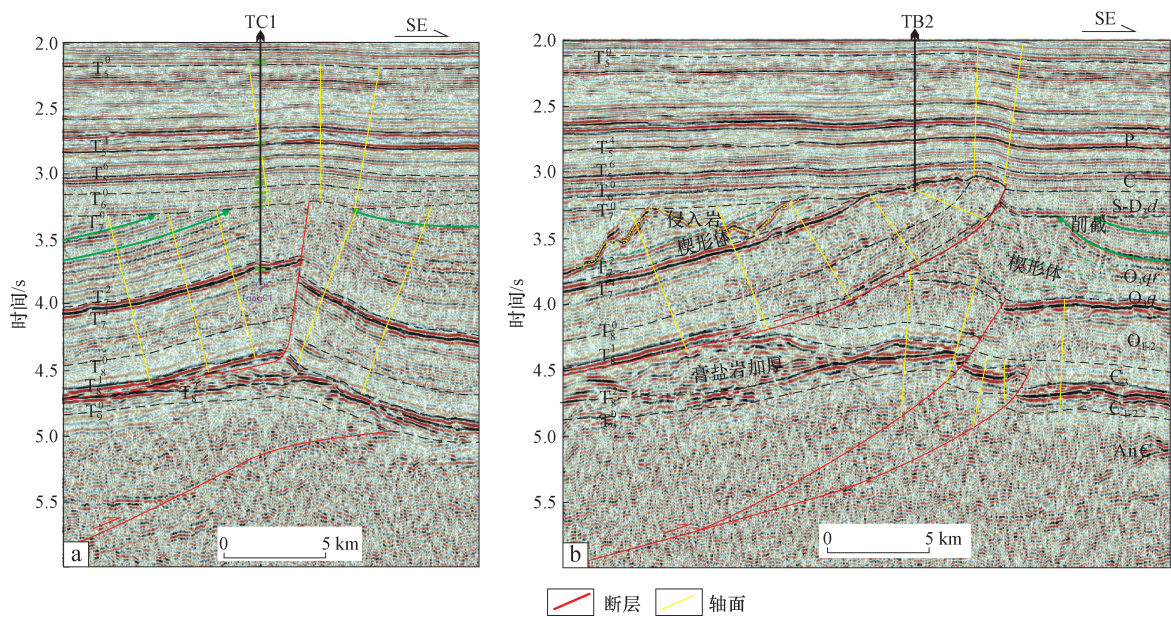


图5 塘北断裂带典型地震-地质剖面特征(剖面位置见图1)

Fig. 5 Typical features of seismic-geological sections crossing the Tangbei fault zone(see Fig. 1 for the section location)

a. 过塘北1号断裂带典型剖面; b. 过塘北2号断裂带典型剖面

底深部软弱层滑脱的断层相关褶皱,断层不切过 T_8^1 面,中-下寒武统褶皱变形总体较弱;上部变形为沿中寒武统膏盐岩滑脱的断层转折-传播复合褶皱,主、次断层均上切止于石炭系底部,上寒武统-奥陶系卷入变形,形成不对称褶皱。3条断裂带主冲断层逆冲方向也有差

异,塔中8-1断裂主体向SE逆冲(图6a),塔中3断裂主体向NW逆冲(图6b),中3断裂北段向SE逆冲(图6c),南段则向NW逆冲(图6d),表明中3断裂带处于北西向走滑-挤压和南东向走滑-挤压应力的交汇区,分段特征明显。

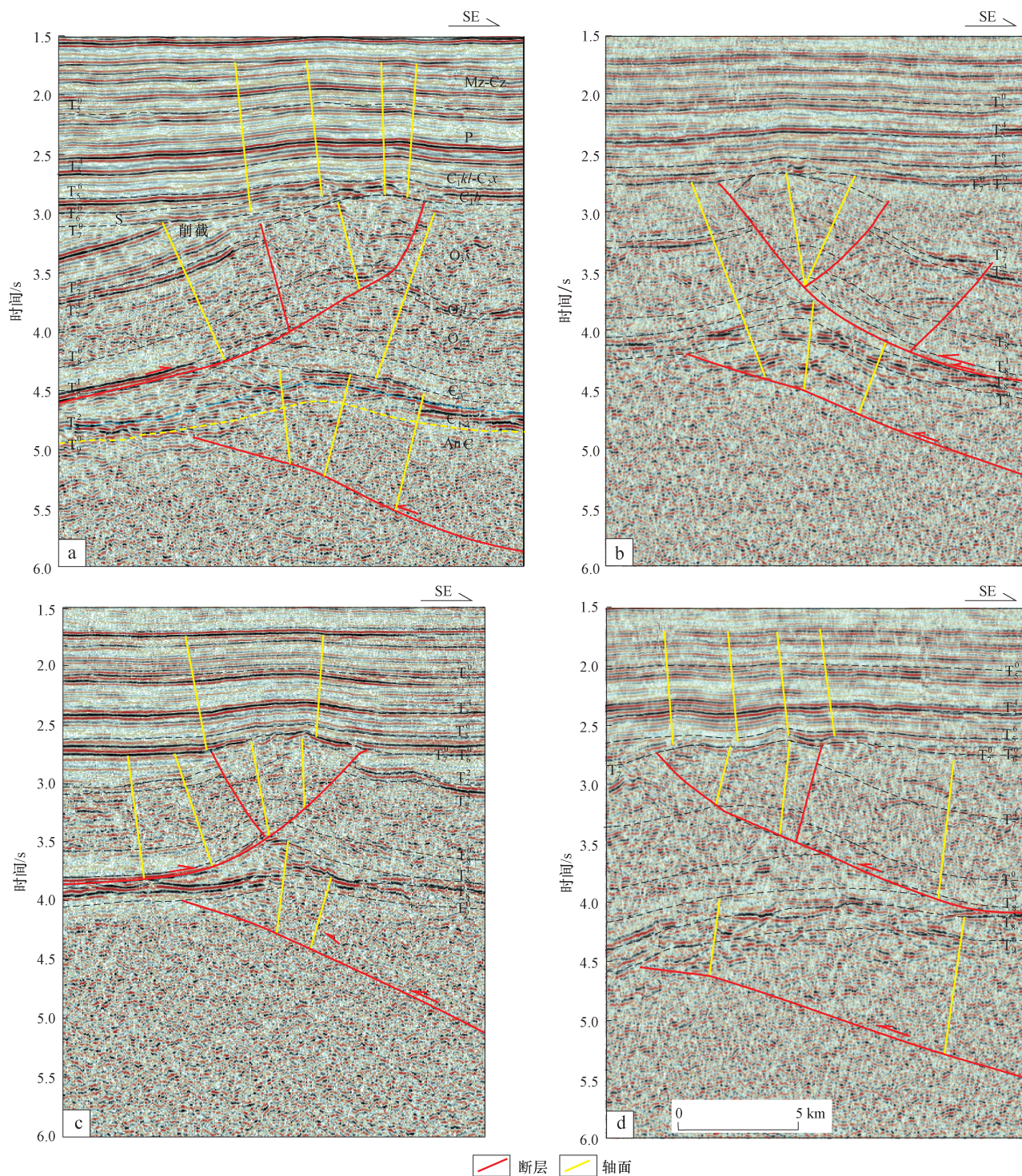


图6 过TZ8-1井—Z3井—TZ3井断裂带典型地震-地质剖面特征(剖面位置见图1)

Fig. 6 Typical features of seismic-geological sections crossing the fault zone where Well TZ8-1 - Z3 - TZ3 are located (see Fig. 1 for the section location)

a. 过TZ8-1井断裂带典型剖面;b. 过TZ3井断裂带典型剖面;c. 过Z3井断裂带北段典型剖面;d. 过Z3井断裂带南段典型剖面

2.2 主活动期

NE向断裂带构造特征研究表明,上寒武统—奥陶系是断层的主切割层位和主要变形层,其变形时期代表了断裂带的主活动期。

从断裂带上不整合特征看。NE向断裂带顶部主要以C/O₁₋₂角度不整合为主,为多期叠加不整合,表明断裂于石炭纪之前停止活动,YB1,YB3,TB2和Z3等井已有揭示,缺失上奥陶统—泥盆系,缺失地层多,不利于判断关键活动时期。但在志留系沉积覆盖区,有MD1和TC1两口关键井提供了有利的证据。玉北—玛东1号断裂带上的MD1井钻揭有80 m厚的中志留统依木干他乌组不整合于上奥陶统泥岩之上,表明形成于奥陶纪末—早志留世^[11]。塘北1号断裂带上TC1井也揭示了下志留统上部地层整体覆盖并角度不整合于上奥陶统之上(图5a),断裂两侧上奥陶统消截反射特征明显,也表明奥陶纪末—早志留世是NE向断裂的主要活动时期,对应于加里东中期Ⅲ幕构造运动。

从断裂带两侧地层反射特征看。玉北—玛东1号—5号断裂带翼部低洼处,可见上奥陶统沿T₂界面(良里塔格组顶面)向断裂带高部位发育生长地层,表明这些NE向断裂带于良里塔格组(盆地相区为却尔巴克组)沉积之后,即晚奥陶世晚期开始发育(图3a,图4)。因此,综合判断NE向断裂带的主要活动时期是晚奥陶世晚期—早志留世。

另外,塘南4号断裂带上TN1井揭示良里塔格组底部发育高能滩沉积,处于塘南台地的台缘相带部位^[15],从这一点推断,该断裂带在中奥陶世末期即有雏形发育,才能以正向地貌控制良里塔格组高能相带的发育。因此,推断东南部基底卷入断裂体系雏形发育在中奥陶世末,与塔中隆起1号断裂带同期形成,西北部盖层滑脱逆冲断裂雏形发育在良里塔格组沉积之后,时间上略晚于前者,代表了走滑—挤压应力自SE向NW的传递过程。

3 成因机制

弧形构造多指沿造山带构造走向地貌形态的弧形弯转,规模多几十至数百公里不等,主控因素包括盆地原型、基底砥柱、大陆边界、走滑断层和区域滑脱层等^[16-17]。塘古巴斯坳陷弧形断裂带的构造变形主要受区域应力场、基底结构、软弱层和边界断层4个因素控制(图7)。

3.1 区域应力场

塘古巴斯坳陷早古生代NE向断裂特征表明挤压应力来自盆地东南方向。诸多研究表明,中—晚奥陶世是塔里木盆地构造格局的重要变革期^[6,18-23],构造环境由伸展转为挤压,构造体制的变化主要受中晚奥陶世盆地南部北昆仑—阿尔金—祁连洋关闭导致的北昆仑—阿尔金地块与塔里木地块的碰撞影响,属于古阿尔金断裂向北挤压左旋扭动形成的挤压收缩构造体系^[24-25]。塘古巴斯坳陷东南部基底卷入逆冲断裂体系与西北部盖层滑脱逆冲断裂体系既具有在断裂走向、主活动时期等方面的高度相似性,也具有断层主冲方向、构造样式及褶皱形态等方面的差异,但总体上表明均是受加里东中晚期北昆仑—阿尔金地块与塔里木板块碰撞造山影响的结果,与中—晚奥陶世阿尔金断裂的强烈走滑—挤压断裂构造变形体系属同一应力体制。两地块的碰撞导致了塔里木台盆区的构造分异,由寒武纪—早奥陶世的“西台东盆”伸展格局转为中—晚奥陶世孤立台盆的南北挤压格局,并且在满加尔—塘古巴斯一带形成周缘前陆盆地系统。东南部基底卷入逆冲断裂体系是阿尔金—车尔臣褶皱前陆冲断体系主体在塔里木盆地内的残余,西北部的弧形盖层滑脱逆冲断裂体系是该前陆褶皱冲断体系在盆地内的反冲构造,二者之间形成构造凹陷。不同于典型前陆盆地系统,锋缘断裂仅在塔中隆起东部的TZ5—Z4井断裂带上较明显,表现为主断层东西走向,由南向北逆冲^[6],也表明塔中—1—中3—塔中3断裂带处于应力转换区,变形复杂。

3.2 软弱层

寒武系膏盐岩软弱层的发育是坳陷东北部盖层滑脱逆冲断裂体系发育的物质基础。寒武系台地相区发育阿瓦塔格组和吾松格尔组两套膏盐岩层,厚度在百米左右,虽然在坳陷内未有井钻遇,但在西北缘断裂带上可见到中寒武统具有明显的堆积加厚等塑性流动特征,是盖层滑脱逆冲推覆断层的主滑脱面(图4b,图5)。坳陷东南部断裂少见滑脱构造,一方面与前陆褶皱冲断带挤压应力强有关,另一方面也与东南缘沉积环境不同、膏盐岩不发育有关,区域剖面上可见中—下寒武统自西向东、自北向南的减薄特征(图3b,图4a),表明沉积环境可能变为斜坡—盆地相区。除此之外,基底深部14~20 km深度,岩石高温高压发生脆—韧性转换,也可以形成基底软弱层,控制上覆地层构造变形,造成塘古巴斯地区NE向断裂带具有多套

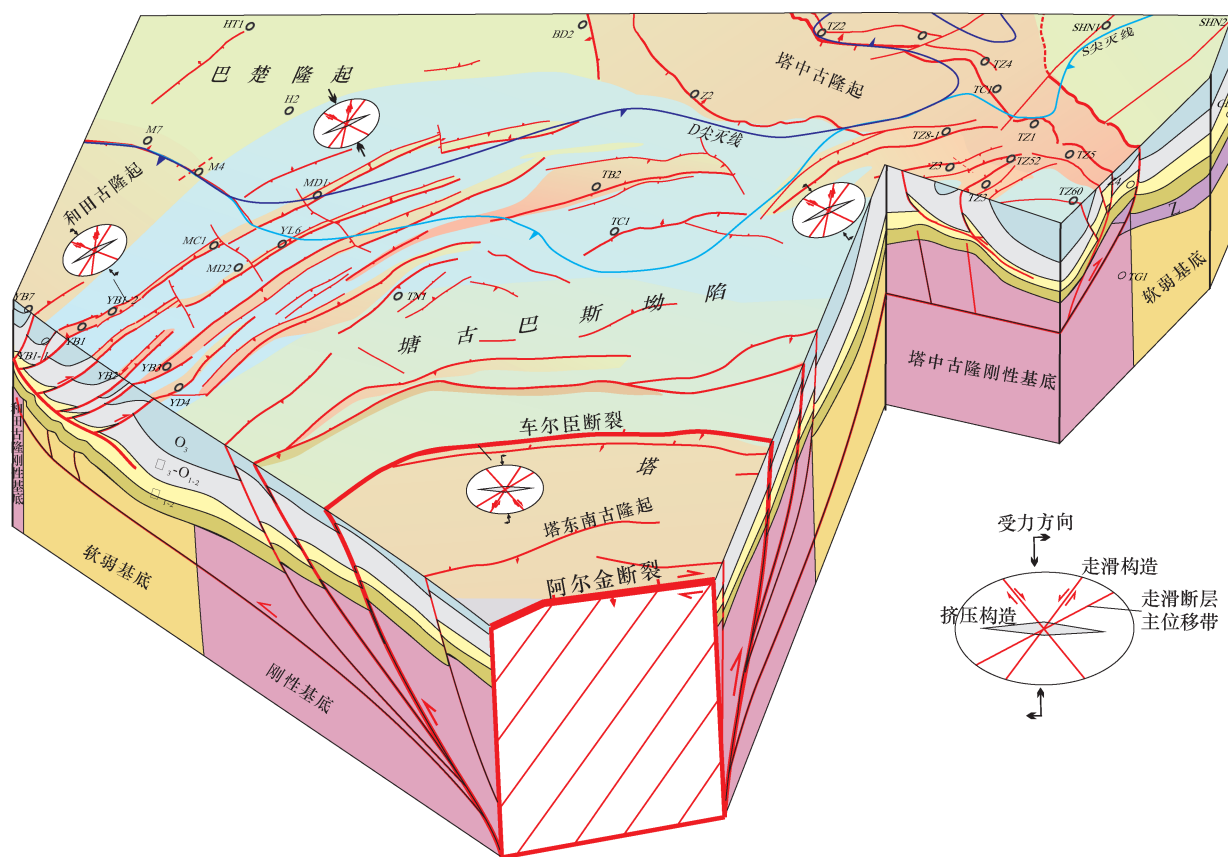


图7 塘古巴斯坳陷早古生代 NE 向断裂成因模式(据文献[6,8,12-13,25]等综合修编)

Fig. 7 Genetic model of the Early Paleozoic NE-trending fault zones in the Tanggubasi Depression, Tarim Basin
(modified after References[6,8,12-13,25])

构造变形垂向叠置特点。

3.3 基底结构

基底结构(地貌起伏、薄弱带、先存基底断裂等)是控制上覆沉积层构造变形的主要因素之一,受研究手段及资料所限,对塔里木盆地基底结构的研究多是以航磁 ΔT_a 特征为依据。诸多研究也表明,盆地南部发育的 NE 向磁异常条带与沉积盖层发育的主要变形带空间对应良好^[7-8,26]。高异常区与加里东中晚期塔中古隆起、和田古隆起及塔东南隆起区对应,反映了火成岩结晶基底发育,并且埋深相对较浅。玉北-玛东-塘北断裂构造带处于低磁异常区,被周缘高异常区所围限,基底结构差异大,相对埋深也大。块体之间的薄弱带为后期 NE 向断裂带的形成奠定了基础。

3.4 边界断层

碰撞造山过程中,当边界断裂发生弧形弯曲时,内部的构造线相应地会发生同步弯曲变形^[16]。平面

上,塘古巴斯坳陷两套断裂体系与车尔臣断裂走向基本一致,表明坳陷内断裂的形成受车尔臣断裂的影响。

综上,塘古巴斯坳陷 NE 向断裂体系的成因模式可以概括为:中奥陶世末,盆地南部受北昆仑-阿尔金-祁连洋盆向塔里木地块俯冲消减影响,在玉北-巴楚-塔中地区形成低幅宽广的大型古隆起,隆起的主体部位在塔中,古隆起区基底相比周缘要高,基底差异大;同时塘南 1 号—4 号断裂雏形发育。晚奥陶世中晚期,盆地东南部持续碰撞造山,来自 SE 方向的走滑-挤压应力自 SE 向 NW 方向传递,在坳陷北缘受到刚性的和田古隆起和塔中古隆起互为犄角的砥柱阻挡,在玉北东部-玛东-塘北地区形成反冲应力,沿寒武系膏盐岩软弱层滑脱逆冲发育了多排断裂-褶皱构造带,由于不平衡逆冲位移作用,在构造的南西和北东两端,具有明显的走滑特征。志留纪-泥盆纪,在东南缘持续碰撞的作用下,NE 向断裂继承性活动,断裂带顶部奥陶系剥蚀较大。二叠纪局部地区断裂微弱再活动。中新生界稳定,局部被 NW 向喜马拉雅期断裂切割进一步复杂化。

4 油气地质意义

NE 向断裂带上,奥陶系油气显示差异较大,除了对盆地南部寒武系 - 奥陶系烃源岩潜力认识不清之外,还与断裂带上的储盖组合差异有关。受加里东期区域构造演化的控制^[18],研究区奥陶系碳酸盐岩主要发育 3 种储 - 盖组合关系(图 8,图 9)。

1) 中 - 下奥陶统鹰山组溶蚀缝洞型储层和石炭系泥岩盖层

该类组合受 NE 向断裂较强的逆冲作用控制,主要分布在褶皱带的高部位,多期不整合叠加发育,地层缺失多,YB1,YB2,YB3,TB2,Z3 和 TZ3 等井均有揭

示。断裂带附近应力集中,易于形成各种裂缝,改造储层,促使中 - 下奥陶统碳酸盐岩的风化淋滤,形成溶蚀缝洞型储层。不利因素是较长时间的风化淋滤不易于风化壳顶部优质储层的保存,这也是玉北 - 玛东断裂带顶部钻井揭示的储层多以溶蚀 - 裂缝为主少见洞的原因^[27]。由于储层形成早,若没有早期油气充注,其充填程度普遍较强。如 Z3 井 3 937.62 ~ 3 946.21 m 井段蓬莱坝组岩心破碎,收获率仅为 58.2%,裂缝较发育,并见中小型溶蚀孔洞 340 个,部分被方解石及泥质充填^[3]。褶皱带的翼部,因剥蚀较弱,则有利于优质储层保存。石炭系巴楚组和卡拉沙依组共发育三套区域性的厚层泥岩,可作为优质盖层(图 9a)。此外,在断裂带的相对低洼部位,会有东河塘组或者巴楚组底

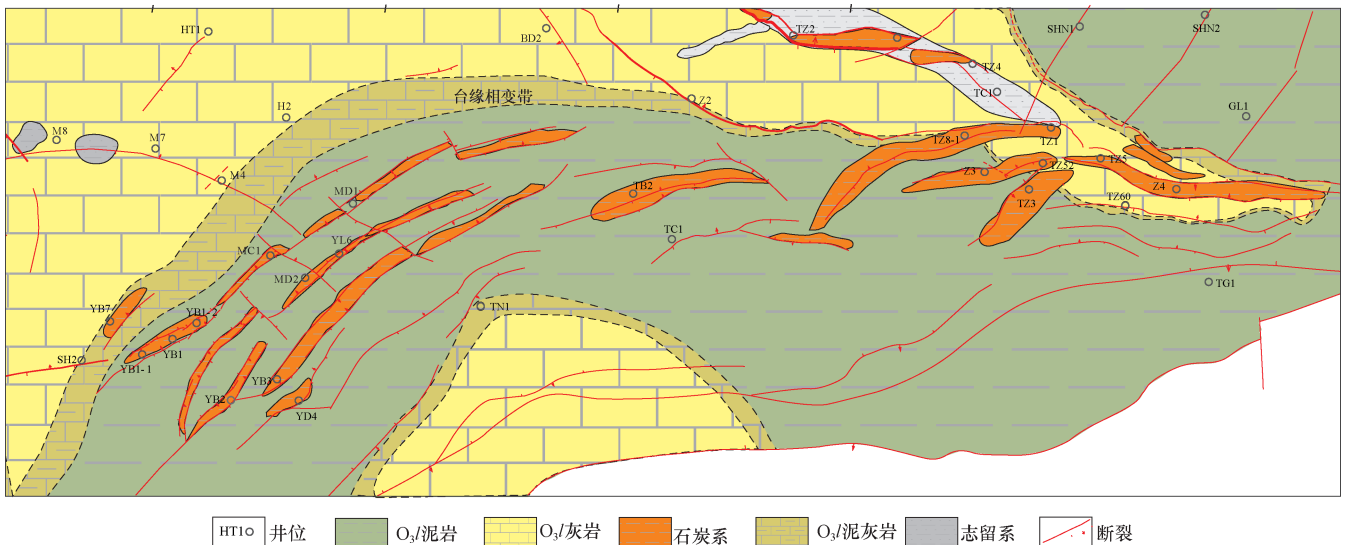


图 8 塘古巴斯坳陷及其周缘中 - 下奥陶统上覆地层平面分布

Fig. 8 Map of the overlying strata on the Middle and Lower Ordovician of the Tanggubasi Depression and its peripheral areas

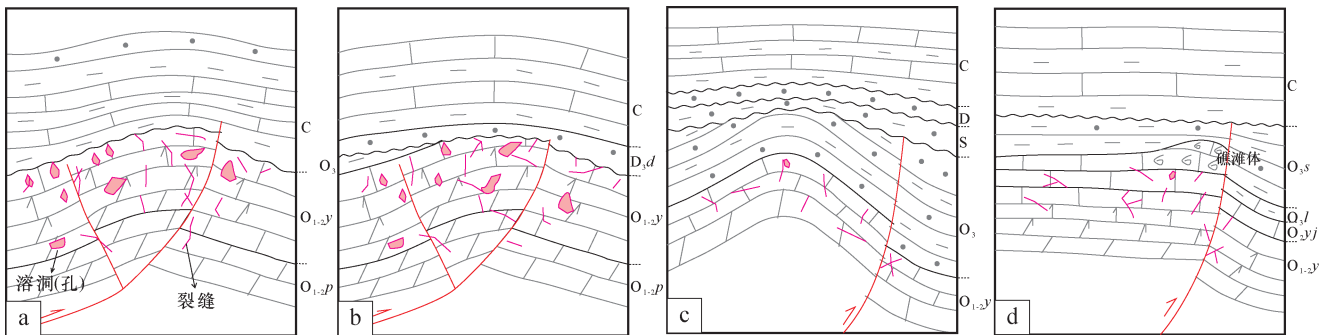


图 9 塘古巴斯坳陷 NE 向断裂带奥陶系碳酸盐岩储 - 盖组合模式

Fig. 9 Assemblage model of the Ordovician carbonate reservoir and seal in the NE-trending fault zones of the Tanggubasi Depression

a. 中 - 下奥陶统鹰山组溶蚀缝洞型储层和石炭系泥岩盖层; b. 中 - 下奥陶统鹰山组溶蚀缝洞型储层和东河塘组或者巴楚组底部砂岩; c. 中 - 下奥陶统鹰山组 - 上奥陶统良里塔格组裂缝型储层和上奥陶统桑塔木组泥岩盖层; d. 中奥陶统一间房组 - 上奥陶统良里塔格组礁滩储层和上奥陶统桑塔木组泥岩盖层

部砂岩充填,直接覆盖在中-下奥陶统鹰山组溶蚀缝洞型储层之上,砂岩不能作为盖层封盖下覆油气(图9b)。如YD4井揭示鹰山组发育5.62 m/6层油迹显示,但风化壳顶部发育的17 m厚石英砂岩不利于油气保存。

2) 中-下奥陶统鹰山组-上奥陶统良里塔格组裂缝型储层和上奥陶统桑塔木组泥岩盖层

以TC1和MD1为代表,油气显示较差。该类断裂带上主要的不整合面是上奥陶统/志留-泥盆系,中-上奥陶统多为连续沉积,缺乏充足的暴露时间,不利于风化溶蚀,储层发育相对较差,多以裂缝为主。桑塔木组发育局部性的厚层泥岩,可作为优质盖层(图9c)。

3) 中奥陶统一间房组-上奥陶统良里塔格组礁滩储层和上奥陶统桑塔木组泥岩盖层

以TN1为代表,处于塘南台地的台缘部位,局部受NE向断裂走向控制,发育良好礁滩储层。同时,沿拗陷西部MD1井西-YB7井一线也发育缓坡型的良里塔格组台缘相带^[18],局部受NE向断裂走向控制,但地层缺失多,还未有井证实(图9d)。

因此,在烃源条件落实的前提下,针对3种组合类型,可优选有利区带进行探索,如构造带翼部的溶蚀缝洞型储层和石炭系泥岩直接覆盖区、近源的台缘礁滩储层和桑塔木组泥岩发育区等。

5 结论

1) 塘古巴斯拗陷发育多排NE向断裂带,在平面上组成巨型的向NW凸的弧形构造,单条断裂带多具有垂向上多套构造变形叠加的分层特点和横向上沿构造走向的样式分段特点,在弧形构造的南端(玉北东部地区)尤为明显,显示了局部走滑应力特征。

2) 塘古巴斯拗陷的NE向断裂带分属于东南部基底卷入逆冲和西北部盖层滑脱逆冲两种类型断裂体系,主要活动时期是晚奥陶世晚期-志留纪初期。构造成因上均属于加里东中晚期北昆仑-阿尔金地块与塔里木地块碰撞引起的SE向挤压应力兼有左旋走滑体制,构造样式受基底结构、寒武系膏盐岩软弱层、阿尔金-车尔臣边界走滑-逆冲大断裂应力场及边界断裂走向4个因素控制。

3) NE向断裂带控制了奥陶系碳酸盐岩3种储盖组合发育。在烃源落实的前提下,拗陷西北部构造带翼部溶蚀缝洞储层和台缘礁滩储层领域,仍值得探索。

得探索。

致谢:感谢中石化西北油田分公司曹自成、岳勇、马海陇、范伟峰和张长健等高级工程师在研究过程给予的资料支持,感谢匿名审稿人对本文提出的建设性修改意见。

参 考 文 献

- [1] 焦方正. 塔里木盆地顺托果勒地区北东向走滑断裂带的油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(5): 831-839.
Jiao Fangzheng. Significance of oil and gas exploration in NE strike-slip fault belts in Shuntuoguole area of Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(5): 831-839.
- [2] 焦方正. 塔里木盆地顺北特深碳酸盐岩断溶体油气藏发现意义与前景[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(2): 207-216.
Jiao Fangzheng. Significance and prospect of oil and gas reservoir discovery in Shunbei ultra-deep carbonate fault in Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(2): 207-216.
- [3] 马庆佑, 曹自成, 吕海涛, 等. 塔里木盆地塔中南坡断裂特征及对油气成藏的控制[J]. 海相油气地质, 2013, 18(3): 1-11.
Ma Qingyou, Cao Zicheng, Lv Haitao, et al. Fault styles and the control on hydrocarbon accumulation in South Slope of Central Uplift Belt, Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2013, 18(3): 1-11.
- [4] 张仲培, 刘士林, 杨子玉, 等. 塔里木盆地麦盖提斜坡构造演化及油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(6): 909-919.
Zhang Zhongpei, Liu Shilin, Yang Ziyu, et al. Tectonics evolution and its petroleum geological significances of the Maigaiti slope, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(6): 909-919.
- [5] 李曰俊, 吴根耀, 孟庆龙, 等. 塔里木西部地区古生代断裂活动的方式和机制[J]. 地质科学, 2008, 43(4): 727-745.
Li Yuejun, Wu Genyao, Meng Qinglong, et al. Active modes and mechanisms of the Paleozoic faultings in western Tarim[J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43(4): 727-745.
- [6] 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.
Ren Jianye, Zhang Junxia, Yang Huaizhong, et al. Analysis of fault systems in the Central uplift, Tarim Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(1): 219-230.
- [7] 云金表, 周波, 王书荣. 塔里木盆地玉北1井背斜带变形特征与形成机制[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 215-219.
Yun Jinbiao, Zhou Bo, Wang Shurong. Deformation characteristics and forming mechanism of the Well Yubei 1 anticline belt in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 215-219.
- [8] 李浩武, 王建君, 鄢光辉, 等. 塔里木盆地塘古孜巴斯拗陷西部中加里东期断裂特征及形成机制[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(12): 4331-4341.
Li Haowu, Wang Jianjun, Wu Guanghui, et al. Features and formation mechanism of middle Caledonian faults in west of Tangguzibasi de-

- pression, Tarim Basin [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, 45 (12): 4331–4341.
- [9] 黄太柱. 塔里木盆地玉北地区断裂系统解析[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35 (1): 98–106.
- Huang Taizhu. Fault system analysis of the Yubei area, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35 (1): 98–106.
- [10] 陈刚, 汤良杰, 余腾孝, 等. 塔里木盆地玉北地区断裂构造差异变形及其控制因素[J]. 地球科学与环境学报, 2015, 37 (3): 42–54.
- Chen Gang, Tang Liangjie, Yu Tengxiao, et al. Differential deformation and control mechanism of fault structures in Yubei area of Tarim Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2015, 37 (3): 42–54.
- [11] 杨海军, 李曰俊, 李勇, 等. 塔里木盆地南部玛东早古生代褶皱–冲断带[J]. 岩石学报, 2016, 32 (3): 815–828.
- Yang Haijun, Li Yuejun, Li Yong, et al. Madong early Paleozoic fold-thrust belt in the southern Tarim Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2016, 32 (3): 815–828.
- [12] 郭颖, 汤良杰, 余腾孝, 等. 塔里木盆地塘古巴斯坳陷玛东构造带断裂特征及成因探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 40 (4): 643–653.
- Guo Ying, Tang Liangjie, Yu Tengxiao, et al. Fault features and formation mechanism of Madong structural belt in Tanggubasi Depression, Tarim Basin [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2016, 40 (4): 643–653.
- [13] Li Yuejun, Wen Lei, Li Huili, et al. The Madong Early Paleozoic fold-thrust belt in southern Tarim Basin [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2016, 115: 247–256.
- [14] 张宇航, 汤良杰. 塔里木盆地麦盖提斜坡东段构造特征与油气聚集关系[J]. 石油实验地质, 2017, 39 (2): 222–229.
- Zhang Yuhang, Tang Liangjie. Tectonic characteristics and hydrocarbon accumulation in the eastern section of Maigaiti Slope, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39 (2): 222–229.
- [15] 张硕. 塔里木盆地塘古坳陷塘南台地奥陶系台缘带构造特征及地质条件研究[D], 中国地质大学(北京)学位论文, 2014.
- Zhang Shuo. Tectonic characteristics of the Ordovician platform-margin facies of the Tangnan Platform in the Tanggubasi depression, Tarim Basin [D]. China university of Geosciences (Beijing) Degree Thesis, 2014.
- [16] Macedo C, Marshak S. Controls on the geometry of fold thrust belt salient [J]. Geological Society of America Bulletin, 1999, 111 (12): 1808–1822.
- [17] 李岩峰, 曲国胜, 张进. 弧形构造研究进展[J]. 地球科学进展, 2007, 22 (7): 708–715.
- Li Yanfeng, Qu Guosheng, Zhang Jin. Developments in research of arcuate structure [J]. Advances in Earth Science, 2007, 22 (7): 708–715.
- [18] 李慧莉, 刘士林, 杨圣彬, 等. 塔中–巴麦地区构造沉积演化及其对奥陶系储层的控制[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35 (6): 883–892.
- Li Huili, Liu Shilin, Yang Shengbin, et al. Tectonic-sedimentary evolution of Tazhong-Bachu-Maigaiti area and its control on the Ordovician reservoir [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35 (6): 883–892.
- [19] 何碧竹, 焦存礼, 许志琴, 等. 阿尔金–西昆仑加里东中晚期构造作用在塔里木盆地塘古兹巴斯凹陷中的响应[J]. 岩石学报, 2011, 27 (11): 3435–3448.
- He Bizhu, Jiao Cunli, Xu Zhiqin, et al. Manifestation of the Middle-Late Caledonian tectonic movement along the Altyn-West Kunlun Orogenic belt in the Tangguzibas depression, Tarim Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011: 3435–3448.
- [20] 何碧竹, 许志琴, 焦存礼, 等. 塔里木盆地构造不整合成因及对油气成藏的影响[J]. 岩石学报, 2011, 27 (1): 253–265.
- He Bizhu, Xu Zhiqin, Jiao Cunli, et al. Tectonic unconformities and their forming: Implication for hydrocarbon accumulations in Tarim basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27 (1): 253–265.
- [21] He Bizhu, Jiao Cunli, Xu Zhiqin, et al. The paleotectonic and paleogeography reconstructions of the Tarim Basin and its adjacent areas (NW China) during the late Early and Middle Paleozoic [J]. Gondwana Research, 2016, 30: 191–206.
- [22] Torsvik T H, Cocks L R M. Gondwana from top to base in space and time [J]. Gondwana Research, 2013, 24 (3): 999.
- [23] Li Chuanxin, Wang Xiaofeng, Li Benliang, et al. Paleozoic fault systems of the Tazhong Uplift, Tarim Basin, China [J]. Marine and Petroleum Geology, 2013, 39 (1): 48–58.
- [24] 许志琴, 李思田, 张建新, 等. 塔里木地块与古亚洲–特提斯构造体系的对接[J]. 岩石学报, 2011, 27 (1): 1–22.
- Xu Zhiqin, Li Sitian, Zhang Jianxin, et al. Paleo-Asian and Tethyan tectonic systems with docking the Tarim block [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27 (1): 1–22.
- [25] 李海兵, 杨经绥, 史仁灯, 等. 阿尔金走滑断陷盆地的确定及其与山脉的关系[J]. 科学通报, 2002, 47 (1): 63–67.
- Li Haibing, Yang Jingsui, Shi Rendeng, et al. The determination of strike slip fault basin of Altyn and its relationship with mountains [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47 (1): 63–67.
- [26] Lin Bo, Zhang Xu, Xu Xuechun, et al. Features and effects of basement faults on deposition in the Tarim Basin [J]. Earth Science Reviews, 2015, 145: 43–55.
- [27] 刘忠宝, 高山林, 岳勇, 等. 塔里木盆地麦盖提斜坡奥陶系储层成因与分布[J]. 石油学报, 2014, 35 (4): 654–663.
- Liu Zhongbao, Gao Shanlin, Yue Yong, et al. Formation and distribution of the Ordovician reservoir in Maigaiti slope, Tarim Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 35 (4): 654–663.