

# 塔里木盆地古城地区古生界垒-扭叠复合断层-裂缝体模型

何光玉<sup>1</sup>,曹自成<sup>2</sup>,姚泽伟<sup>1</sup>,廖天奇<sup>1</sup>,林波<sup>2</sup>

[1. 浙江大学地球科学学院, 浙江 杭州 310027; 2. 中国石化西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011]

**摘要:**塔中地区深层古生界巨厚的碳酸盐岩是当前油气勘探的热点。近年来,在塔中北坡的北西、北东与北东东向断层-裂缝带中取得了油气勘探的重大突破。然而,在其邻近的古城地区断层-裂缝体的研究则一直很薄弱,这一状况严重地制约了该区的油气勘探进程。基于高分辨率三维地震剖面,提出了古城地区古生界垒-扭叠复合断层-裂缝体模型。其要点是:①剖面上,断层-裂缝体的性质不具有继承性。在深部寒武系、中部中-下奥陶统、上部上奥陶统和顶部石炭系依次发育加里东早期伸展断层-张性裂缝带、加里东中期压扭断层-压剪性裂缝带、加里东晚期张扭断层-张剪性裂缝带和海西早期张扭断层-张剪性裂缝带,它们在垂向上依次叠合。②平面上,自下而上断层-裂缝体的走向发生了明显的顺时针和逆时针旋转。在深部寒武系、中部中-下奥陶统、上部上奥陶统和顶部石炭系断层-裂缝体的走向分别为北东东向、北北东向、北东-北东东向和北东向,它们在横向上依次叠合。③剖面上,断层-裂缝体呈现出“上倒锥、下地垒”的形态叠合特点和“上下张性、中间压性”的性质叠合特点。④平面上,断层-裂缝体呈现出“扫帚状”和雁列状的展布特点。

**关键词:**断层-裂缝体模型;走滑断层;古生界;塔中隆起北斜坡;塔里木盆地

**中图分类号:**TE121.2

**文献标识码:**A

## Paleozoic horst-twist superimposed fault-fracture body model in Gucheng area of Tarim Basin

He Guangyu<sup>1</sup>, Cao Zicheng<sup>2</sup>, Yao Zewei<sup>1</sup>, Liao Tianqi<sup>1</sup>, Lin Bo<sup>2</sup>

(1. School of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China;

2. Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** The massive carbonate rocks in the deep Paleozoic of Tazhong area are currently a hot spot for oil and gas exploration. Despite several major breakthroughs in oil and gas exploration made along the NW-, NE-, and NEE-trending fault-fracture zones on the northern slope of Tazhong in recent years, the research on fault-fracture bodies in neighboring Gucheng area is yet to be deepened, which has severely restricted the oil and gas exploration in the area. Based on high-resolution 3D seismic sections, this study proposed a Paleozoic superimposed horst-twist fault-fracture body model in Gucheng area, the features of which are summarized as follows. (1) The fault-fracture bodies are not inherited vertically. From the bottom up, i. e. from the Cambrian, Middle-to-Lower Ordovician, Upper Ordovician to Carboniferous, four zones, including the Early Caledonian extensional fault-fracture zone, the Mid-Caledonian transpressional fault-fracture zone, the Late Caledonian transtensional fault-fracture zone and the Early Hercynian transtensional fault-fracture zone are successively developed and superimposed. (2) Horizontally, the strike of the fault-fracture bodies from bottom to top shows obvious clockwise and counterclockwise rotation with those in the deep Cambrian, Middle-to-Lower Ordovician, Upper Ordovician, and top Carboniferous striking NEE, NNE, NE-NEE and NE, respectively and compositely. (3) The fault-fracture bodies feature a superposition that can be roughly described as “an inverted cone in the upper and a horst in the lower”, and “being tensile in upper and lower, but compressional in the middle” from a sectional view. (4) The fault-fracture bodies are also distributed in a “broom-shaped” and en

收稿日期:2020-12-31;修订日期:2021-04-26。

第一作者简介:何光玉(1968—),男,博士、副教授,构造地质、石油地质与海洋地质。E-mail:hegy@zju.edu.cn。

通讯作者简介:曹自成(1979—),男,高级工程师,油气勘探与开发。E-mail:19695002@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项(2017ZX05005002-002)。

echelon arrangement from a map view.

**Key words:** fault-fracture body model, strike-slip fault, Paleozoic, northern slope of Tazhong Uplift, Tarim Basin

塔里木盆地是中国西北地区非常重要的含油气盆地,油气资源异常丰富,先后发现了塔中、塔河、克拉2等大型油气田。近年来,在塔中隆起北斜坡顺北地区古生界海相碳酸盐岩断层-裂缝带中油气勘探取得了重大突破。同时,在顺南地区古生界海相碳酸盐岩断层-裂缝带中也取得了天然气勘探的重大突破,表明在塔中北坡古生界海相碳酸盐岩断层-裂缝体中油气资源异常丰富,勘探潜力巨大。

位于塔中北坡南部的古城地区,其油气勘探经历了由海相碎屑岩勘探向奥陶系坡折带台缘礁滩体勘探,再向奥陶系台内层间岩溶领域勘探的3个阶段<sup>[1]</sup>。2012年,中国石油在古城6井奥陶系获高产天然气流。随后,又在古城8井和古城9井奥陶系鹰山组含白云岩层系中获得高产气流,并在寒武系台缘丘滩体钻遇气层,表明古城地区古生界海相碳酸盐地层油气资源非常丰富,勘探潜力很大。

然而,目前对于古城地区的油气地质研究,主要集中于古生界海相碳酸盐岩的储层类型<sup>[2-6]</sup>、沉积环

境<sup>[7-8]</sup>与成因机理<sup>[9-12]</sup>等方面,特别是白云岩储层与台缘丘滩体。此外,还有少量断层特征与成因机制<sup>[13]</sup>、走滑断裂与热流体<sup>[14]</sup>、构造演化与油气成藏<sup>[15-17]</sup>等方面的研究。对于该区古生界海相碳酸盐地层中断层-裂缝体的研究,目前尚未见诸于公开报道。

基于以上原因,本文根据古城地区的三维地震剖面,结合钻井和测井资料,依据构造叠加复合分析方法<sup>[18]</sup>,对分布于古城三维地震工区中部的地垒构造带进行研究,提出了古生界垒-扭叠复合断层-裂缝体模型。

## 1 地质背景

古城地区位于塔里木盆地中部北西向的卡塔克隆起与北东东向的古城墟隆起之间,北邻满加尔坳陷,南邻车尔臣断裂(图1),是一个发育于上寒武统一奥陶统台地边缘相带的鼻状隆起,面积约为6 100 km<sup>2</sup>。

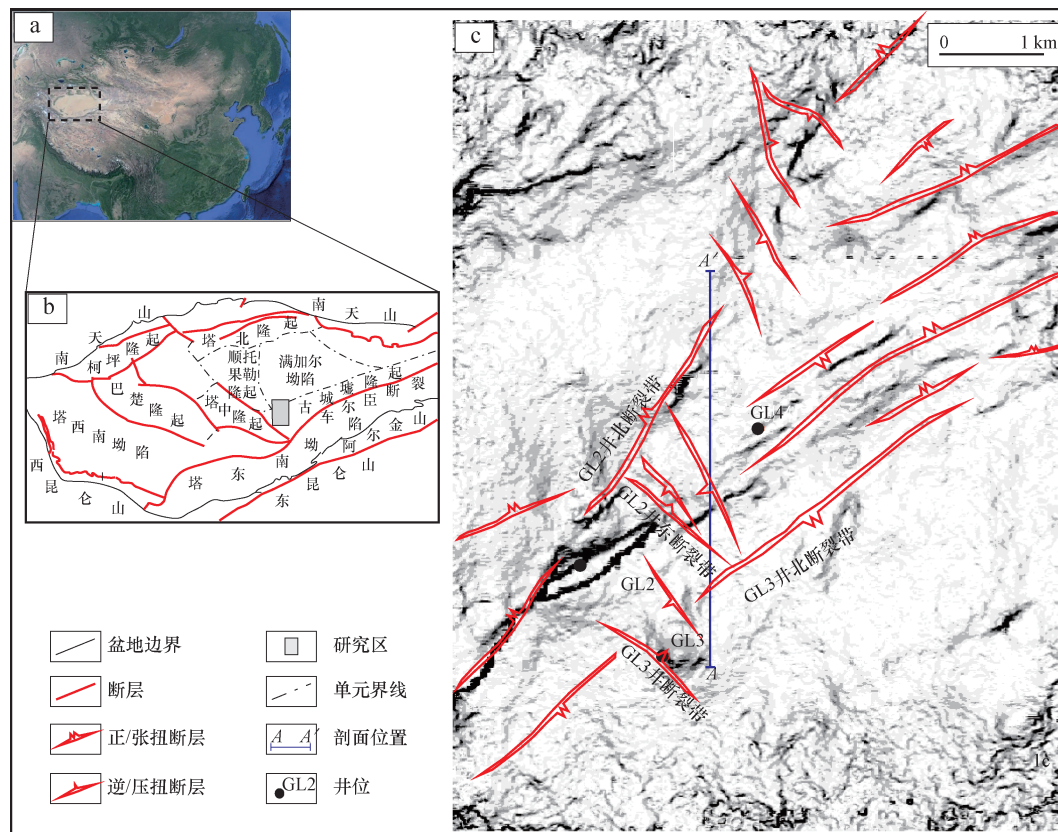


图1 塔里木盆地古城地区构造位置(a,b)及上奥陶统底面断层分布(c)

Fig. 1 Location of the Gucheng area (a,b), and distribution of faults on the bottom of the Upper Ordovician (c), Tarim Basin



古城低凸起为向北西倾的下古生界大型宽缓鼻状构造,包括南、北两个部分。南部受车尔臣断裂影响剧烈,发育一系列复杂冲断构造。北部受车尔臣断裂影响相对较弱,构造相对平缓,局部表现为断背斜构造<sup>[1]</sup>。

古城低凸起自上而下发育新生界第四系、新近系和古近系,中生界白垩系和三叠系,古生界二叠系、石炭系、奥陶系和寒武系<sup>[12]</sup>。缺失中生界侏罗系、上古生界泥盆系和下古生界志留系。

地层分析结果表明,古城低凸起自下而上发育4个角度不整合面:上奥陶统底面角度不整合、石炭系底面角度不整合、三叠系底面角度不整合及白垩系底面角度不整合<sup>[1]</sup>。

古城地区奥陶系分为上、中、下三统:下奥陶统由蓬莱坝组与鹰山组三、四段组成,岩性以白云岩、灰岩互层为主;中奥陶统由鹰山组一、二段与上覆一间房组组成,主要由泥晶灰岩组成;上奥陶统为却尔却克组,主要为巨厚泥岩层<sup>[15]</sup>。

前人研究表明,古城地区深部断层非常发育,主要有北西向、北北东向与北东向三组断裂,主要为走滑断裂<sup>[8]</sup>,分别形成于加里东早期、加里东中期、加里东晚期-海西早期<sup>[13]</sup>。其中,以北北东向和北东向走滑断列为主,主要活动于加里东中期和加里东晚期-海西早期两个主要时期。

## 2 垒-扭叠复合变形特征

本次研究运用 Landmark 地震解释工作站,对古城地区的三维地震资料进行了精细地质分析,获得了古城地区断层剖面特征与剖面地质结构。在此基础上,根据网格状分布的三维地震剖面资料,编制了古城地区断层分布图,并据此确定了断层分布特征及平面地质结构。

上述研究的地震资料来源于中国石化西北油田分公司,地层分层来源于钻井、测井与地震资料的综合研究。涉及的地震分层主要有:三叠系、石炭系、上奥陶统、中-下奥陶统+上寒武统、中-下寒武统。

### 2.1 剖面叠合特征

图2为横穿古城三维地震工区的南北向测线剖面。由图可知,研究区古生界整体为一上倒锥-下地垒叠合构造,发育于寒武系-奥陶系,并依次受到压扭与张扭断层的改造。该叠合构造可以分为上、下两层:下层地垒分布于寒武系-中奥陶统,主要由GL3井北和GL2井北断裂所形成。证据是,在这2条断裂的上盘,中-下寒武统、上寒武统-中奥陶统的厚度明显要大于下盘对应地层的厚度,表明在早-中寒武世与晚寒武世-中奥陶世,这两条断层都发生过明显的伸展活动。

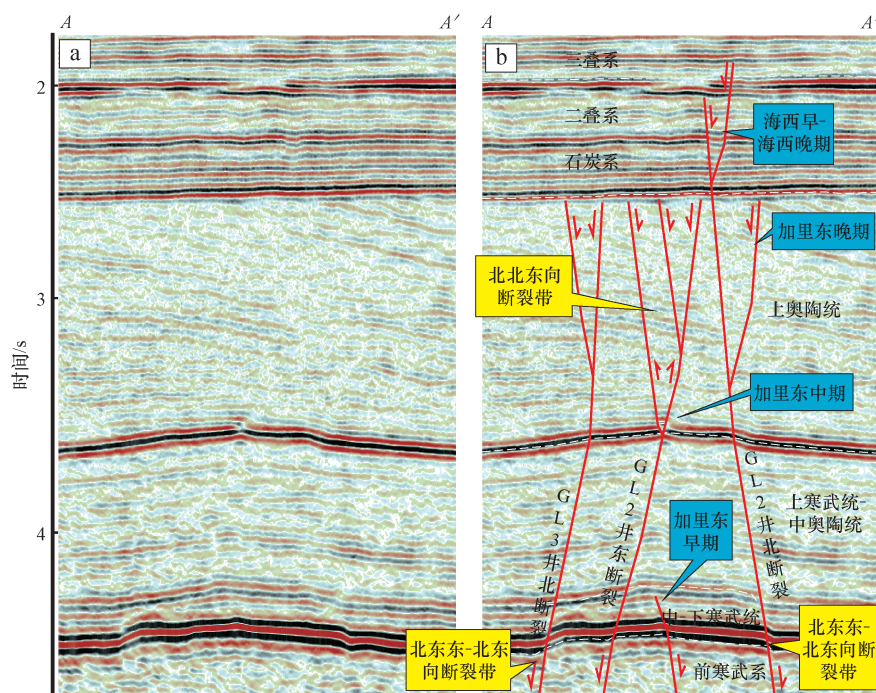


图2 塔里木盆地古城地区AA'三维地震测线剖面(剖面位置见图1)

Fig.2 3D seismic section A-A' in Gucheng area, Tarim Basin (see Fig.1 for the section location)

a. AA'三维地震剖面;b. AA'三维地震剖面解释

图2表明,上层倒锥构造分布于上奥陶统之中,主要由GL3井北、GL2井东和GL2井北等断裂及其派生断层张扭活动所形成。证据是:①在GL3井北和GL2井北断裂的上盘,上奥陶统的厚度明显要大于下盘对应地层的厚度;②GL3井北、GL2井东和GL2井北等断裂带均为半花状构造<sup>[19-21]</sup>;③图1中GL3井北和GL2井北之间的断裂形成了走滑变形特有的“扫帚状”构造。因此,这些断裂都发生过张扭活动。

至于张扭活动的时间,应该发生于加里东晚期,即志留纪。这是因为:①图2中上奥陶统底面发育冲断构造;②发生冲断的GL2井东断裂带具有走滑活动特有

的半花状变形特征,表明加里东中期为压扭变形期;③邻近顺北、顺南两地志留纪具有张扭变形特征<sup>[22-25]</sup>。

此外,图2还表明,上述地垒构造还受到过海相早期张扭断裂、印支期伸展断裂的改造。因此,纵向上具有垒-扭叠加的特征。

## 2.2 平面复合特征

进一步的研究表明,古城不同地质时期的断层表现出了明显的复合特点。图3表明,在加里东早期,研究区发育北东东—近东西走向的正断层,相背倾斜,平行排列,整体为一向北东东方向延伸的地垒。在加

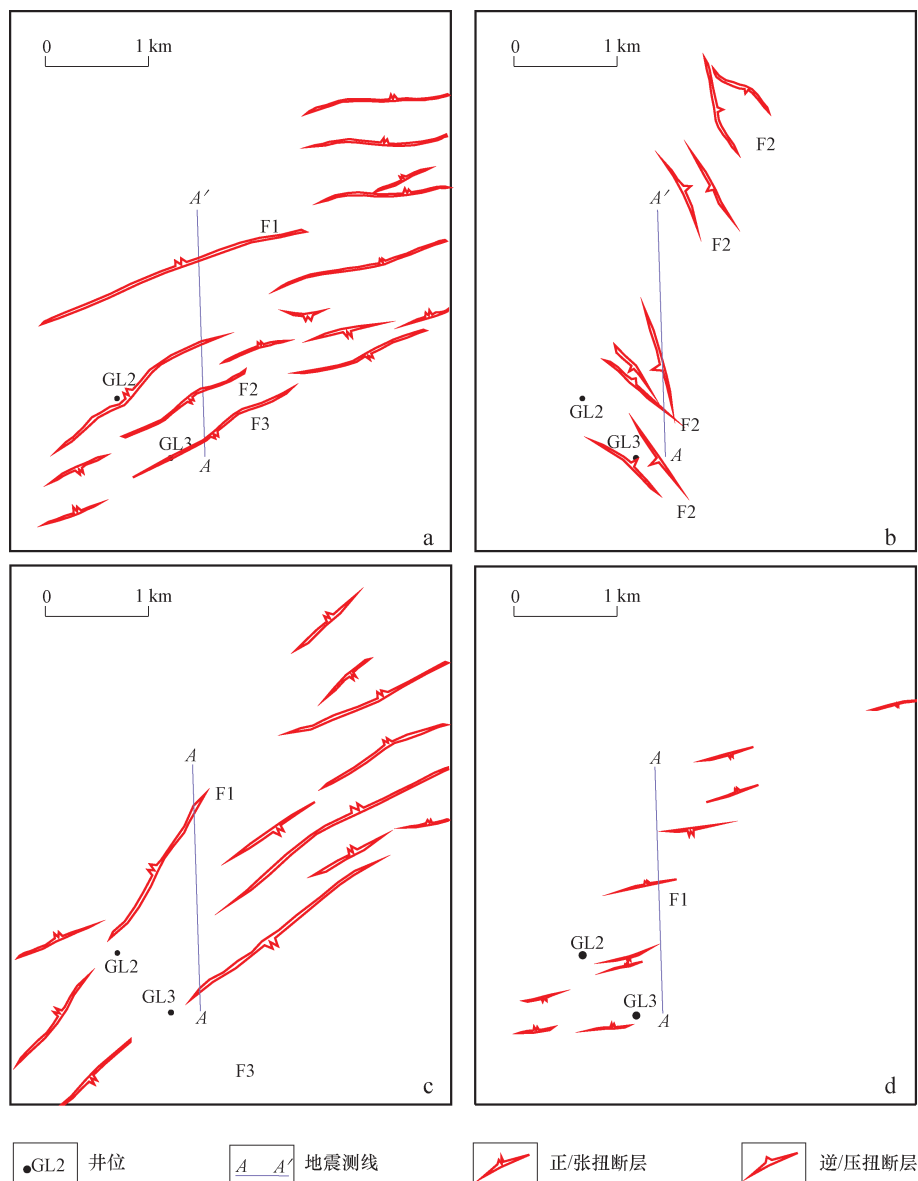


图3 塔里木盆地古城地区不同地质时期断层分布

Fig. 3 Fault distribution during different geological periods in Gucheng area, Tarim Basin

a. 加里东早期(下寒武统底面); b. 加里东中期(上奥陶统底面); c. 加里东晚期(上奥陶统底面); d. 海西早期(石炭系底面)

F1. GL2 井北断裂; F2. GL2 井东断裂; F3. GL3 井北断裂

里东中期,研究区发育北西—北北西走向的压扭断层,整体上沿着北北东方向雁列;在加里东晚期,研究区发育北东—北东东向张扭断层,整体上具有“扫帚状”展布的特点。而在海西早期,研究区发育的北东东向断层,整体上具有沿着北东方向雁列的特点。

### 3 垒-扭叠复合断层-裂缝体模型

#### 3.1 岩心与镜下裂缝发育状况

基于 GL2 井与 GL3 井的岩心分析表明,研究区中-下奥陶统碳酸盐岩裂缝发育,部分被方解石充填,

部分被沥青质充填(图4)。其中, GL3 井在 6 062 ~ 6 162 m 井段见微裂缝,但被方解石充填。GL2 井在 5 984 ~ 5 985 m 见直立微裂缝,未被充填。同时,镜下观察在 GL3 井 5 907 ~ 6 236 m 井段处发现微裂缝,但被方解石充填。GL2 井 5 754.97 ~ 5 783.42 m 井段处发现微裂缝,但被沥青质充填。

#### 3.2 地震剖面上裂缝发育状况

图5表明,研究区至少发育有4期构造裂缝。从早至晚依次为加里东早期、加里东中期、加里东晚期和海西早期。其中,加里东早期分布于寒武系-中奥陶

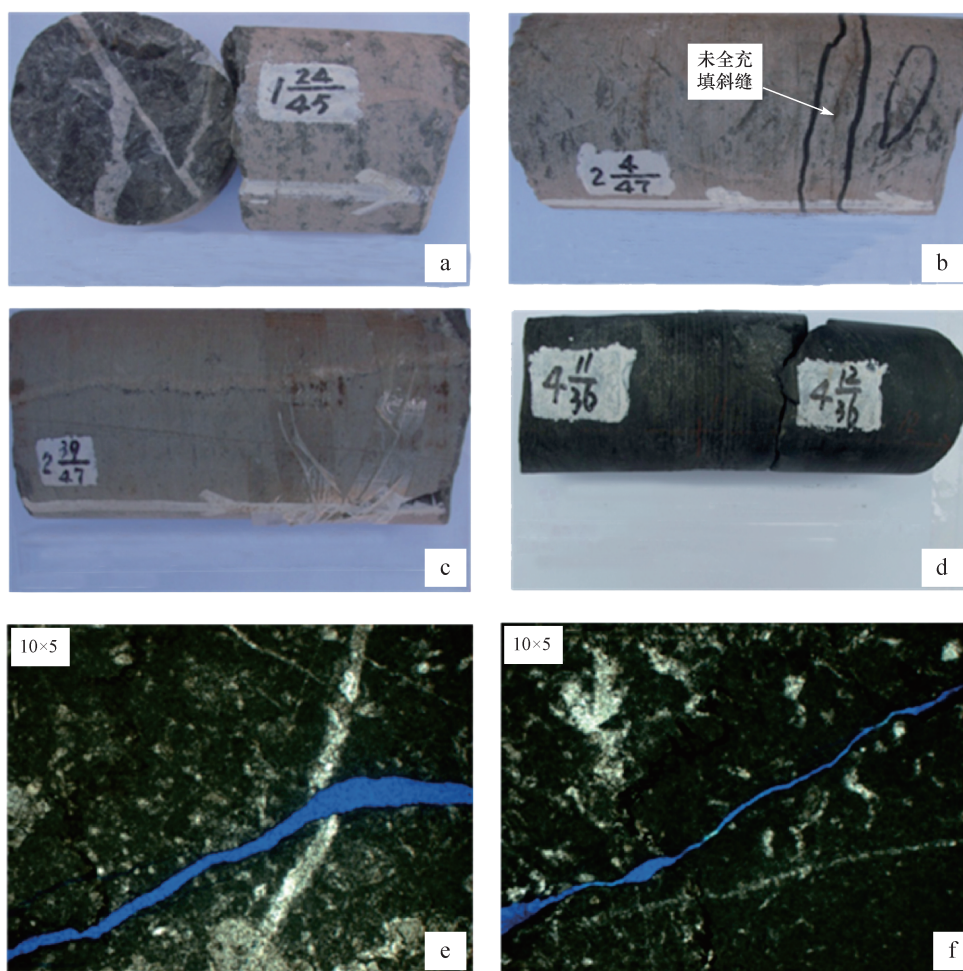


图4 塔里木盆地古城地区钻井岩心与镜下裂缝分布<sup>①</sup>

Fig. 4 Drilling core images and fractures in the cores under microscope, Gucheng area, Tarim Basin<sup>①</sup>

a. GL2 井,埋深 5 757.88 ~ 5 758.03 m,  $O_2y_j$ , 浅黄灰色泥晶灰岩,见 3 条交错立缝,缝长 15 cm,宽约 3 ~ 8 mm,被晶簇状自形晶方解石全填充;b. GL2 井,埋深 5 783.21 ~ 5 783.32 m,  $O_2y_j$ , 黄灰色砂屑灰岩,见 2 条斜缝,缝长 5 ~ 8 cm,宽约 2 mm,1 条被黑色有机质及晶簇自形晶方解石填充,另 1 条被晶簇状自形晶方解石全填充;c. GL2 井,埋深 5 789.49 ~ 5 789.79 m,  $O_2y_j$ , 黄灰色砂屑泥晶灰岩,见 2 条平行立缝,缝长 30 cm,宽约 3 mm,被晶簇状自形晶方解石全填充;d. GL3 井,埋深 6 162.18 ~ 6 162.40.03 m,  $O_1-2y_j$ , 灰色砂屑泥晶灰岩,见 1 条立缝,缝长 5 cm,宽 0.5 ~ 1.0 mm,被黑色沥青质和白色结晶方解石全填充,见 1 条斜缝,缝长约 4 cm,缝面见黑色沥青质和白色结晶方解石;e. GL2 井,埋深 5 754.97 m,  $O_2y_j$ , 泥晶灰岩,见一条裂缝 0.1 mm,缝合线发育,内充填黑色沥青;f. GL2 井,埋深 5 783.42 m,  $O_2y_j$ , 泥晶砂屑灰岩,见一条裂缝 0.01 ~ 0.04 mm,缝合线发育,内充填黑色沥青

① 中石化西北油田研究院. 塔中北坡井资料[R]. 中石化西北油田研究院, 2013.



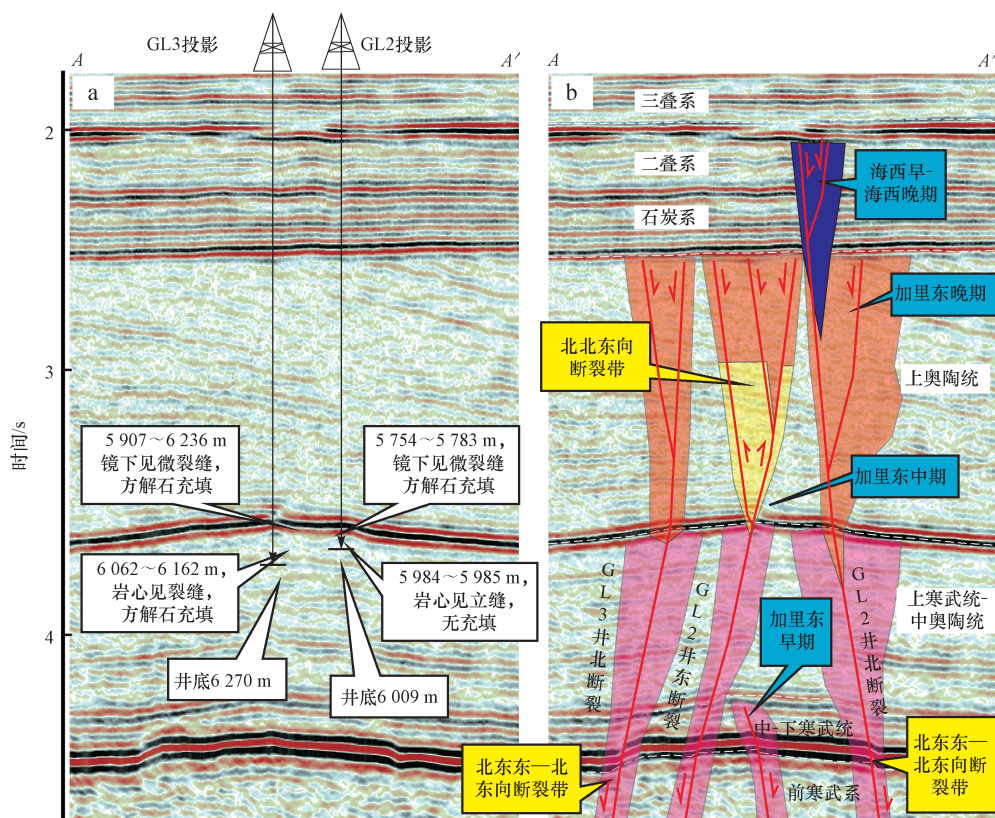


图5 塔里木盆地古城地区AA'三维地震测线断层-裂缝体剖面(剖面位置见图1)

Fig. 5 Fault-fracture bodies on 3D seismic section A-A' in Gucheng area, Tarim Basin (see Fig. 1 for the section location)

a. 钻井裂缝在地震剖面上的投影; b. 断层-裂缝体剖面

统,主要为张性裂缝。加里东中期主要分布于中带中奥陶统顶部-上奥陶统中部,主要为压性裂缝。加里东晚期主要分布于研究区南带与北带的中奥陶统顶部-上奥陶统,主要为张性裂缝。另外,还分布于中带上奥陶统上部,也主要为张性裂缝。海西早期的断层-裂缝体主要分布于北带的石炭系,也主要为张性裂缝。

上述各期构造裂缝的分布总体上具有下窄上宽、呈倒锥状展布的特点,这与走滑变形的花状或半花状的形态特征是一致的。

### 3.3 垒-扭叠复合断层-裂缝体模型

在上述分析的基础上,建立了如图6所示的垒-扭叠复合断层-裂缝体模型。

图6表明,该模型具有如下特点:①剖面上,断层-裂缝体的性质不具有继承性。深部寒武系、中部中-下奥陶统、上部上奥陶统和顶部石炭系中依次发育加里东早期伸展断层-张性裂缝带、加里东中期压扭断层-压剪性裂缝带、加里东晚期张扭断层-张剪性裂缝带和海西早期张扭断层-张剪性裂缝带,它们在垂向上依次叠合;②平面上,自下而上断层-裂缝体的走向发生了明显的顺时针和逆时针旋转。深部寒武

系、中部中-下奥陶统、上部上奥陶统和顶部石炭系中断层-裂缝体的走向分别为北东东向、北北东向、北东-北东东向和北东向,它们在横向上依次复合;③剖面上,断层-裂缝体整体上呈现出“上倒锥、下地垒”的形态特点和“上、下张性,中间压性”的性质特点;④平面上,断层-裂缝体整体上呈现出“扫帚状”和雁列状的特点。

## 4 结论

1) 古城地区古生界至少发育加里东早期、加里东中期、加里东晚期和海西早期等4期断层-裂缝体,它们在垂向上依次叠置。其中,除加里东中期为压性外,其余均为张性。

2) 古城地区古生界发育的上述4期断层-裂缝体的走向明显不同,它们在横向上具有不同时期、不同方向的断层-裂缝体依次复合的特征。

3) 古城地区古生界发育垒-扭叠复合的断层-裂缝体。根据断层-裂缝体的形态,可以分为上、下两层,下层为地垒状,由早期伸展变形形成,上层为倒锥状,由后期走滑变形形成。



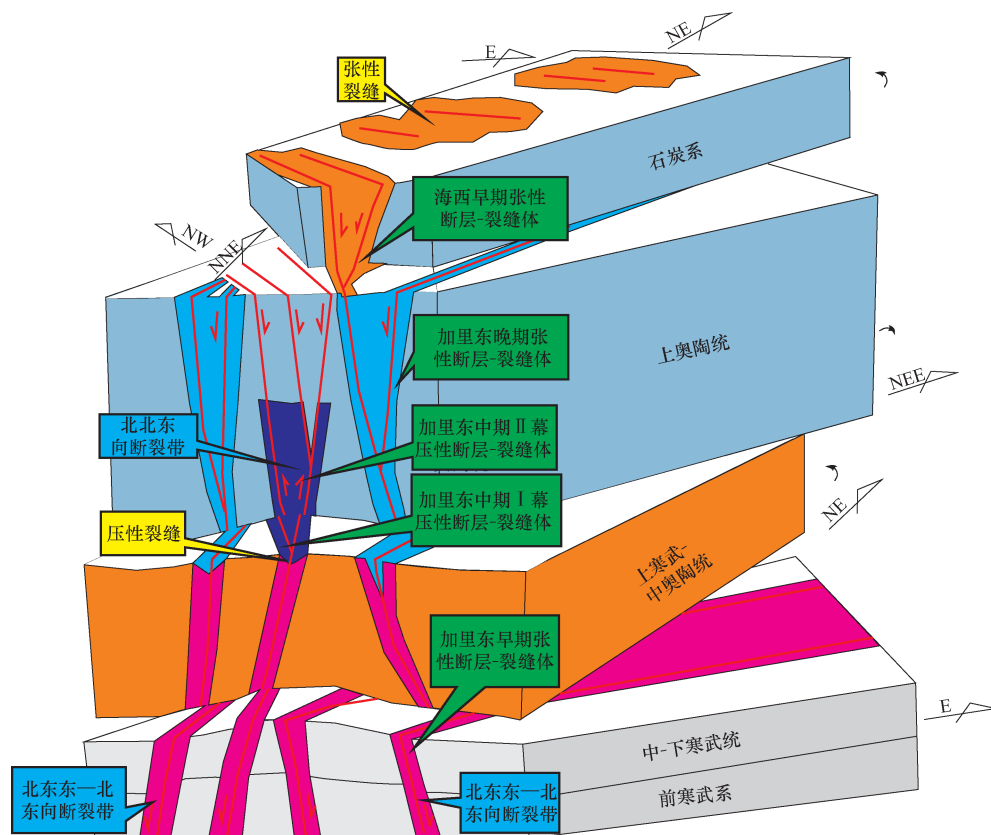


图6 塔里木盆地古城地区垒-扭叠复合断层-裂缝体模型

Fig. 6 Horst-twist superimposed fault-fracture body model for Gucheng area, Tarim Basin

## 参 考 文 献

- [1] 王招明,杨海军,齐英敏,等.塔里木盆地古城地区奥陶系天然气勘探重大突破及其启示[J].天然气工业,2014,34(1):1-9.  
Wang Zhaoming, Yang Haijun, Qi Yingmin, et al. Ordovician gas exploration breakthrough in the Gucheng loweruplift of the Tarim Basin and its enlightenment[J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(1): 1-9.
- [2] 闵磊.塔里木盆地古城低凸起上古生界碳酸盐岩沉积储层特征研究[D].北京:中国地质大学(北京),2010.  
Min Lei. The characteristics of Carbonatereservoirs in the Lower Paleozoic of Gucheng Low Uplift, Tarim Basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2010.
- [3] 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.  
Zheng Xingpin, Zhang You, Chen Xiguang, et al. Natural gas exploration domains and analysis of carbonate reservoir characteristics in the east of Tarim Basin, NW China[J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(5): 765-771.
- [4] 尹晓贺,姜宏宇,王玉珊,等.优选属性预测古城地区白云岩储层[C]//中国石油学会石油物探专业委员会.中国石油学会2015年物探技术研讨会论文集.北京:中国石油学会,2015:563-565.  
Yin Xiaohu, Jiang Hongyu, Wang Yushan, et al. Prediction of dolomite reservoirs in Gucheng area by optimizing attributes[C]//Professional Committee of Petroleum Geophysical Prospecting of China Petroleum Institute. Proceedings of 2015 Geophysical Prospecting Technology Seminar of China Petroleum Institute. Beijing: China Petroleum Institute, 2015: 563-565.
- [5] 朱可丹,张友,林彤,等.基于CT成像的白云岩储层孔喉非均质性分析——以塔东古城地区奥陶系GC601井鹰三段为例[J].石油与天然气地质,2020,41(4):862-873.  
Zhu Kedan, Zhang You, Lin Tong, et al. Pore-throat heterogeneity in dolomite reservoirs based on CT imaging: A case study of the 3rd member of the Ordovician Yingshan Formation in Well GC601 in Gucheng area, eastern Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(4): 862-873.
- [6] 尤东华,曹自成,徐明军,等.塔里木盆地奥陶系鹰山组多类型白云岩储层成因机制[J].石油与天然气地质,2020,41(1):92-101.  
You Donghua, Cao Zicheng, Xu Mingjun, et al. Genetic mechanism of multi-type dolomite reservoirs in Ordovician Yingshan Formation, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(1): 92-101.
- [7] 王小敏.塔里木盆地中下奥陶统层序-岩相古地理和储层预测[D].北京:中国地质大学(北京),2012.  
Wang Xiaomin. Sequence stratigraphy and lithofacies paleogeography and carbonate reservoirs evaluation of the Lower-Middle Ordovician in Tarim Basin [D]. Beijing: China University of Geoscience (Beijing), 2012.
- [8] 倪新锋,沈安江,陈永权,等.塔里木盆地寒武系碳酸盐岩台地类型、台缘分段特征及勘探启示[J].天然气地球科学,2015,(7):1245-1255.  
Ni Xinfeng, Shen Anjiang, Chen Yongquan, et al. Cambrian carbonate platform types, platform margin segmentation characteristics and ex-

- ploration enlightenment in Tarim Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(7): 1245–1255.
- [9] 张亚金, 张湘娟, 张振伟, 等. 古城地区奥陶系鹰山组白云岩储层特征及其控制因素[J]. *大庆石油地质与开发*, 2020, 39(4): 1–8.  
Zhang Yajin, Zhang Xiangjuan, Zhang Zhenwei, et al. Characteristics and their controlling factors of Ordovician dolomite reservoir in Yingshan Formation in Gucheng area[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2020, 39(4): 1–8.
- [10] 王向荣, 李潮流, 邓继新, 等. 塔里木盆地鹰山组致密碳酸盐岩地震岩石物理特征[J]. *大庆石油地质与开发*, 2020, 39(5): 117–126.  
Wang Xiangrong, Li Chaoliu, Deng Jixin, et al. Seismic petrophysical properties of Yingshan-Formation tight carbonate rock in Tarim Basin[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2020, 39(5): 117–126.
- [11] 吴斌, 何登发, 孙方源. 塔里木盆地古城低凸起下古生界的断裂特征及成因机制[J]. *天然气地球科学*, 2015, 26(5): 871–879.  
Wu Bin, He Dengfa, Sun Fangyuan. Fault characteristic and genetic mechanism of the Lower Paleozoic in Gucheng Lower Uplift, Tarim Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(5): 871–879.
- [12] 陈永权, 关宝珠, 熊益学, 等. 复式盖层、走滑断裂带控储控藏作用——以塔里木盆地满西—古城地区下奥陶统白云岩勘探为例[J]. *天然气地球科学*, 2015, 26(7): 1268–1276.  
Chen Yongquan, Guan Baozhu, Xiong Yixue, et al. Compound cap rocks and slide faults controlling mechanism on reservoir and reserves: An example on Lower Ordovician dolostones exploration in Manxi-Gucheng area, Tarim Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(7): 1268–1276.
- [13] 李昂, 鞠林波, 张丽艳. 塔里木盆地古城低凸起古—中生界构造演化特征与油气成藏关系[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2018, 48(2): 545–555.  
Li Ang, Ju Linbo, Zhang Liyan. Relationship between hydrocarbon accumulation and paleo-mesozoic tectonicevolution characteristics of Gucheng Lower Uplift in Tarim basin[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2018, 48(2): 545–555.
- [14] 田明峰, 夏桂兰, 丛培泓, 等. 塔里木盆地古城地区寒武—奥陶系走滑断裂特征及其控油作用[C]//中国石油学会石油物探专业委员会. 中国石油学会2015年物探技术研讨会论文集. 北京: 中国石油学会, 2015: 563–565.  
Tian Mingfeng, Xia Guilin, Cong Peihong, et al. Characteristics of Cambrian-Ordovician strike-slip faults and their role in controlling oil in Gucheng area, Tarim Basin[C]//Petroleum Geophysical Prospecting Committee of China Petroleum Institute. Proceedings of China Petroleum Society 2015 Geophysical Prospecting Technology Symposium. Beijing: China Petroleum Institute, 2015: 563–565.
- [15] 吕修祥, 陈佩佩, 陈坤, 等. 深层碳酸盐岩差异成岩作用对油气分层聚集的影响——以塔里木盆地塔中隆起北斜坡鹰山组为例[J]. *石油与天然气地质*, 2019, 40(5): 957–971.  
Lyu Xiuxiang, Chen Peipei, Chen Kun, et al. Effects of differential diagenesis of deep carbonate rocks on hydrocarbon zonation and accumulation: A case study of Yingshan Formation on northern slope of Tazhong uplift, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2019, 40(5): 957–971.
- [16] 王斌, 赵永强, 何生, 等. 塔里木盆地顺北5号断裂带北段奥陶系油气成藏期次及其控制因素[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(5): 965–974.  
Wang Bin, Zhao Yongqiang, He Sheng, et al. Hydrocarbon accumulation stages and their controlling factors in the northern Ordovician Shunbei 5 fault zone, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(5): 965–974.
- [17] 何治亮, 罗传荣, 龚铭, 等. 塔里木多旋回盆地与复式油气系统[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001: 21–62.  
He Zhiliang, Luo Chuanrong, Gong Min, et al. Multicycle basin and complex petroleum system in Tarim, China[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2001: 21–62.
- [18] 王燮培, 谢德宜. 中国含油气盆地中花状构造的发现及其石油地质意义[J]. *地质科技情报*, 1989, 8(2): 59–66.  
Wang Xiepei, Xie Deyi. Discovery of flower-like structures in petroliferous basins in China and their petroleum geological significance[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1989, 8(2): 59–66.
- [19] Beidinger A, Decker K. 3D geometry and kinematics of the Lasse flower structure: Implications for segmentation and seismotectonics of the Vienna Basin strike-slip fault, Austria[J]. *Tectonophysics*, 2011, 499(1–4): 22–40.
- [20] Sylverster A G. Strike-slip faults[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1988, 100(11): 1666–1703.
- [21] 邓尚, 李慧莉, 韩俊, 等. 塔里木盆地顺北5号走滑断裂中段活动特征及其地质意义[J]. *石油与天然气地质*, 2019, 40(5): 990–998+1073.  
Deng Shang, Li Huili, Han Jun, et al. Characteristics of the central segment of Shunbei 5 strike-slip fault zone in Tarim Basin and its geological significance[J]. *Oil & Gas Geology*, 2019, 40(5): 990–998+1073.
- [22] 黄太柱. 塔里木盆地塔中北坡构造解析与油气勘探方向[J]. *石油实验地质*, 2014, 36(3): 257–267.  
Huang Taizhu. Structural interpretation and petroleum exploration targets in northern slope of middle Tarim Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36(3): 257–267.
- [23] 李海英, 洪才均, 等. 顺北油田断溶体储层地震响应特征及描述技术[J]. *断块油气田*, 2020, 27(1): 45–49.  
Wen Shanshi, Li Haiying, Hong Caijun, et al. Technology of seismic response characteristics and description of fault-karst reservoir in Shunbei Oilfield[J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2020, 27(1): 45–49.
- [24] 赵锐, 赵腾, 李慧莉, 等. 塔里木盆地顺北油气田断控缝洞型储层特征与主控因素[J]. *特种油气藏*, 2019, 26(5): 8–13.  
Zhao Rui, Zhao Teng, Li Huili, et al. Fault-controlled fracture-cavity reservoir characterization and main-controlling factors in the Shunbei hydrocarbon field of Tarim Basin[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2019, 26(5): 8–13.
- [25] 张峭楠, 黄柏文, 隋欢, 等. 古城地区鹰山组储层特征及成岩孔隙演化[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2019, 41(1): 33–46.  
Zhang Shaonan, Huang Bowen, Sui Huan, et al. The reservoir characteristics and the pore evolution of yingshan formaton in Gucheng Region, Tarim Basin[J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science and Technology Edition)*, 2019, 41(1): 33–46.