

# 塔里木盆地库车凹陷克拉苏构造带 典型构造样式与变形机理分析

孙家振<sup>1</sup>, 李兰斌<sup>1</sup>, 周新源<sup>2</sup>, 皮学军<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学 石油系, 湖北 武汉 430074; 2. 中国石油 新疆塔里木油田股份公司, 新疆 库尔勒 841000)

**摘要:** 克拉苏构造带是库车坳陷天然气最富集的区域之一。受发育含盐层系的影响, 表现为盐上层与盐下层构造变形上下不协调, 具双重逆冲构造特征。盐上层发育有低缓倾角的逆冲推覆型牵引构造、陡倾角的逆冲推覆型牵引构造和陡倾角的块体上冲型构造; 盐下层以发育叠置的冲断构造为主要特征。根据岩石力学性质分析, 逆冲断裂的产状和盐上层构造样式的变化与塑性盐岩层发育的厚度和分布范围等因素有关; 同时, 由于盐岩层为高质量的天然气盖层, 其厚度和连续性的变化也是造成克拉 2、克拉 3 构造天然气差异性聚集的关键因素。

**关键词:** 差异聚集; 变形机理; 构造样式; 库车坳陷; 塔里木盆地

**中图分类号:** TE121. 2

**文献标识码:** A

克拉苏构造带是库车坳陷天然气最富集的区域, 已发现克拉 2、大宛其、克拉 3 等含气构造。这些含气构造地质背景和变形历史相同, 但含气量和气藏规模差异巨大。如克拉 2 与克拉 3 构造相邻, 在成藏条件和聚气要素基本相同的条件下, 前者盐下层形成大气藏, 后者盐下层基本不含气, 造成这种差异性聚气的主控因素目前尚无明确的认识。近年来, 先后有崔可锐(1995)<sup>[1]</sup>、卢华复(2000)<sup>[2]</sup>、赵林(1999)<sup>[3]</sup>、刘志宏(1999)<sup>[4]</sup>、田作基(1999)<sup>[5]</sup>、周新源(2000)<sup>[6]</sup>等分别从天然气成藏条件、构造特征和聚气模式等方面进行了探讨。

本文重点以克拉 2、克拉 3 构造为例, 试图通过对其构造变形样式、卷入变形的地层结构和岩性构成以及岩盐的发育程度的详细解剖, 并结合岩石力学性质与变形机理等方面的类比分析, 来探讨克拉苏构造带差异性聚集形成大型气藏的主控因素。这对于该地区有效圈闭的评价及提高勘探成功率具有重要意义。

## 1 基本地质概况

克拉苏构造带位于库车坳陷北部, 夹持在巴什基其克断裂与库姆格列木断裂之间, 向西倾没于拜城凹陷, 向东与依奇克里克构造带呈过渡关系。该

构造带平面上呈 NEE 向展布, 南北宽约 16km, 东西长约 200km, 面积约 3 200 km<sup>2</sup>(图 1)。

根据库车坳陷岩石力学性质和地层结构特征可以分为 3 套各具特点的层系, 即盐上层系、含盐层系和盐下层系。盐上层系包括有苏维依组(E<sub>3</sub>-N<sub>1s</sub>)、吉迪克组(N<sub>1j</sub>)、康村组(N<sub>1-2k</sub>)和库车组(N<sub>2k</sub>+Q), 主要为一套辫状河道-洪泛平原沉积, 岩性变化较大, 底部夹膏质泥岩和石膏层; 含盐层系以库姆格列木组(E<sub>1-2k</sub>)为主, 为泥灰岩、泥岩膏泥岩与盐岩、石膏层不等厚互层; 盐下层系主要是由下白垩统厚层块状砂岩组成。这 3 套层系岩石力学性质差异较大: 盐下层在侏罗系含煤岩系以上以刚性的冲断变形为特征; 含盐层系以塑性流动为特征, 大宛齐发育巨厚的盐岩层, 即为岩盐塑性流动增厚所致; 盐上层系介于两者之间, 以褶皱变形为特点。

## 2 典型构造样式

关于库车坳陷构造特征与形成机理先后有塔里木石油勘探开发研究院(1998)和南京大学(1998)等单位作了一系列的研究工作, 并从地面构造观察出发建立了与逆冲断裂活动有关的地质模型。涉及到克拉苏构造带的变形样式, 中国石油北京勘探开发研究院(1999), 提出了盐下变形构造层和盐上变形

构造层的概念。本文根据库车坳陷岩石力学性质和地层结构特征分为盐上层、含盐层和盐下层。含盐层系的底面既是逆冲断层面或滑脱面，又是下白垩统顶部的剥蚀面。正是岩盐的塑性流动性质，才造成在相同的挤压应力作用下，盐上下层构造变形明显不协调。盐上层以冲断牵引褶皱为特点，盐下层则以叠置的逆冲断片造成的低幅度隆起为特点。具体表现为3种不同的构造样式，即在克拉苏构造带西段为缓倾角逆冲推覆型牵引构造，中段为陡倾角逆冲推覆型牵引构造，东段为陡倾角上冲型块体构造。

### 2.1 缓倾角逆冲推覆型牵引构造

在构造带西段的哈北、克拉1均属这类构造，其中以克拉2构造最为典型，具双重逆冲构造变形特点。该类构造以含盐层底面为界，上下构造变形特征明显不同。盐上层沿含盐层底面向南逆冲或滑动，推覆距离相对较远，并形成牵引褶皱，从图2中可以看出，断面倾角除在断层前锋相对较陡外，总体上为缓倾角，约25°左右。盐下层在构造核部为陡倾角逆冲片体迭置构成的隆起，主要断层倾角在40°以上，推覆距离明显较盐上层短，由于强烈的挤压作用，逆冲断片进一步挤压破裂，形成一系列向上发散的小型逆冲断块，前人叫突破构造。

### 2.2 陡倾角逆冲推覆型牵引构造

该类构造以克拉3构造最为典型，同样具双重逆冲构造变形特点。由于在克拉3构造范围仅发育薄的盐岩夹层，含盐层厚度大大减小，在相同的自北而南的侧向挤压应力作用下，其上覆地层构造变形与克拉2有较大的差异。表现为盐上层逆冲断层的

倾角较陡，在35°以上，水平推覆距离较短，显示向上逆冲的特点；盐下层为叠瓦式逆冲断块叠置而形成的隆起，逆冲断层倾角较陡，达40°以上(图3)。

### 2.3 陡倾角上冲型块体构造

以克拉苏构造带东段巴什基其克附近构造最为典型，明显与克拉2、克拉3构造有较大的差异，卷入的变形地层具有一致性。从图4可以看出，逆冲断层向下延伸到侏罗系薄弱岩层中，白垩系以上地层以块体整体向上逆冲，断层水平位移距离不大，倾角较陡，达45°以上，断层两盘地层变形具相似性。

## 3 构造变形机理分析

从上述典型的构造样式分析结合本区卷入变形地层的结构特点，笔者认为造成本区盐上层与盐下层构造变形不协调及逆冲断裂倾角与构造变形样式变化的主要原因与卷入变形地层的岩石力学性质和含盐层系相关的滑脱作用有关。世界油气勘探资料揭示，在前陆盆地冲断-褶皱构造带普遍发生滑脱作用(d•collement)，滑脱面是一个不连续面或带，使上下层系形成独立的变形系统。这些滑脱带常常沿软弱塑性层发育，如石膏、岩盐或页岩等。四川盆地嘉陵江组的蒸发岩层和伊朗第三系发尔斯组的石膏层起到了滑脱面的作用<sup>[7]</sup>。由此可见，只要有塑性岩层存在，在挤压应力作用下就可能有滑脱作用的发生。

此外，根据岩石破裂实验<sup>[8]</sup>，在单向挤压应力作用下，岩石的抗压和抗张强度大于抗剪强度，总是在最大剪切应力处发生断裂，表现为刚性岩石的断裂

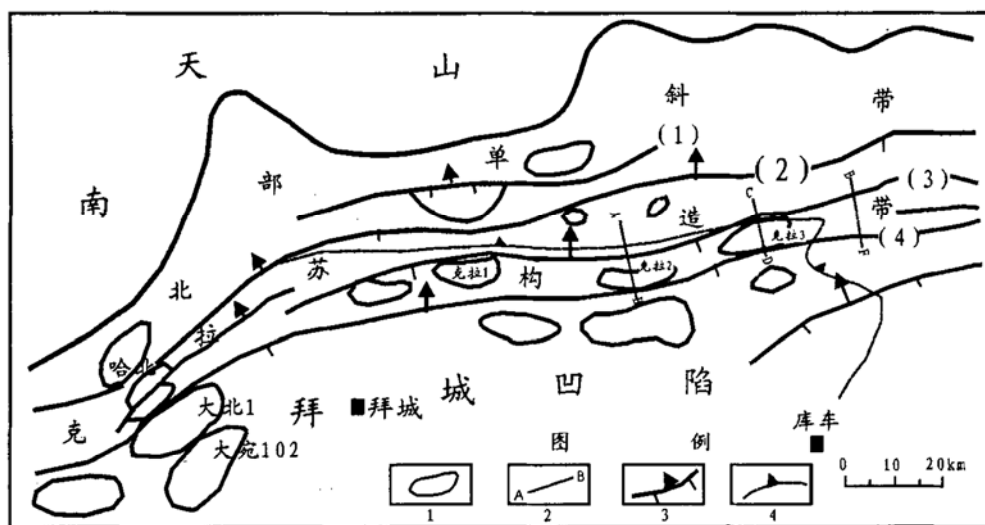


图1 克拉苏构造带构造范围与主要构造位置

1. 构造范围; 2. 剖面位置; 3. 逆冲断层; 4. 膏盐尖灭线

(1) 黑英山断裂; (2) 巴什基其克断裂; (3) 库姆格列木断裂; (4) 喀桑托开断裂

Fig. 1 Structural range and major structural location of the Kelasu tectonic zone

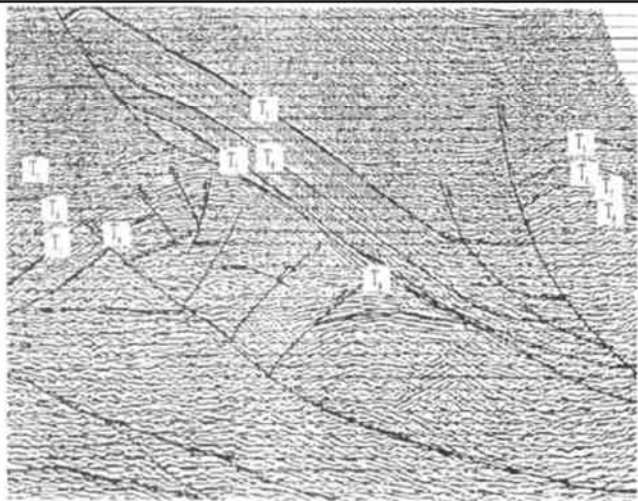


图2 缓倾角逆冲推覆型牵引构造典型剖面  
(剖面位置见图1, A—B)

Fig. 2 Typical profile of the thrust-nappe-typed drag structure with gentle dipping angles

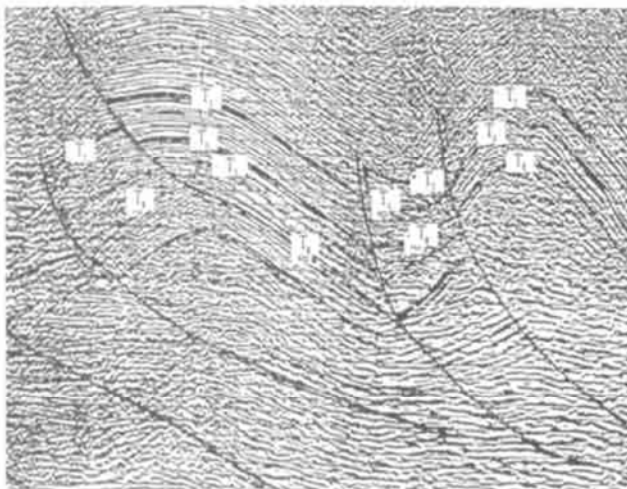


图3 陡倾角逆冲推覆型牵引构造典型剖面  
(剖面位置见图1, C—D)

Fig. 3 Typical profile of the thrust-nappe-typed drag structure with deep dipping angles

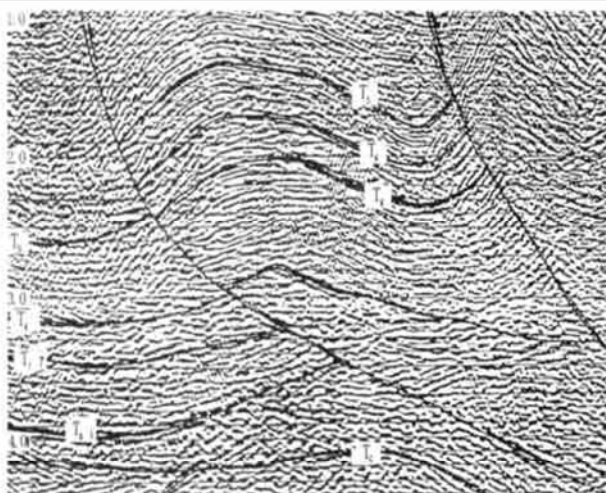


图4 陡倾角块体上冲型构造典型剖面  
(剖面位置见图1, E—F)

Fig. 4 Typical profile of the mass-upthrusting structure with deep dipping angles

面一般与最大主压应力方向呈  $45^\circ$  夹角; 随着岩石刚性降低, 延展性和塑性增强, 岩石的断裂面与最大主压应力方向的夹角逐渐变小。实际测定表明盐岩是不可压缩的, 不论埋藏多深其密度均为  $2.2\text{g}/\text{cm}^3$ 。但盐岩随温度和压力增高其性状发生改变: 即浅层盐岩为固态; 当埋深超过  $1500\text{m}$  以后(地层温度高于  $50^\circ\text{C}$ ), 盐岩呈胶体状态; 当其埋深  $3000\text{m}$  左右(地温  $100^\circ\text{C}$ ) 时, 岩盐像黄油一样柔软<sup>[9]</sup>, 在差异负荷或挤压作用下发生流动。

对比克拉2与克拉3井剖面, 克拉2构造区盐岩单层厚度大, 可达几十米, 且分布稳定, 含盐层系表现为塑性。正是由于岩盐的延展性和流变性, 在挤压应力作用下使剪切断裂面与主应力的夹角变小, 且擦阻力减小, 故形成推覆距离相对较远的缓倾角逆冲推覆型牵引构造。与之相对应, 在克拉3构造区仅发育几米盐岩夹层, 在巴什基其克以东地区无岩盐, 地层结构总体上表现为刚性, 随卷入变形岩层刚性增强断裂角度逐渐变陡, 形成高角度逆冲或陡倾角上冲型块体构造。

由此可见, 本区的构造变形是在相同侧向挤压应力作用下, 卷入变形的盐上层沿滑脱面(含盐层系)或断层面发生滑动并形成褶皱; 与之相对应, 卷入变形的盐下层由于具刚性, 则以逆冲断片为特点, 在构造核部形成叠置的低幅度隆起(图5)。在岩盐较发育且厚度大的地区, 由于岩盐的塑性流动形成挤压背景下的盐隆构造, 本区地表出露的盐丘构造<sup>[10]</sup>——大宛齐构造核部含盐层系增厚即是岩盐塑性流动的最好例证(图6)。

## 4 与油气聚集的关系

一般来说, 盐岩和石膏构成的盖层是高质量的盖层, 世界上  $33\%$  的大油田和  $35\%$  的天然气储量都与盐岩和含石膏层有关<sup>[11]</sup>。

盐岩之所以能成为高质量的天然气盖层, 主要与其塑性性质有关。实验表明, 盐岩的扩散系数(对天然气)为  $5.15 \times 10^{-13}\text{m}^2/\text{s}$ , 普通泥岩为  $5.01 \times 10^{-11} \sim 6.32 \times 10^{-11}\text{m}^2/\text{s}$ , 二者相差两个数量级<sup>[12]</sup>。由此可见, 含盐层系地层结构的差异性不仅影响断裂产状与构造变形样式, 而且对天然气聚集具有重要的控制作用。对比克拉2与克拉3构造, 其油源、储集等成藏条件基本相同, 但天然气藏的富集程度差异巨大。克拉2盐下层下白垩统顶部构造形成大型气藏, 克拉3盐下层下白垩统顶部构造基本不含气。分析造成这种天然气差异聚集的原因, 主要与

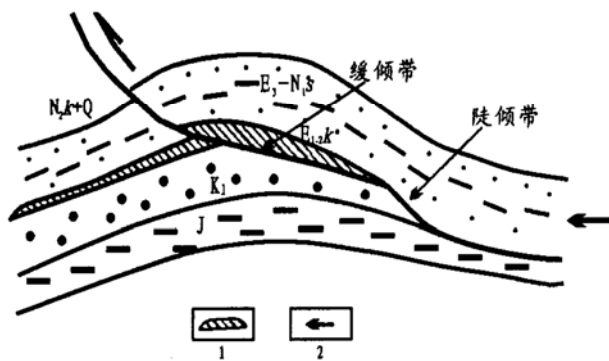


图5 克拉苏构造带典型断裂构造变形模式  
1. 含盐层系; 2. 挤压动力

Fig. 5 Deformation pattern of typical fault structures in the Kelasu tectonic zone

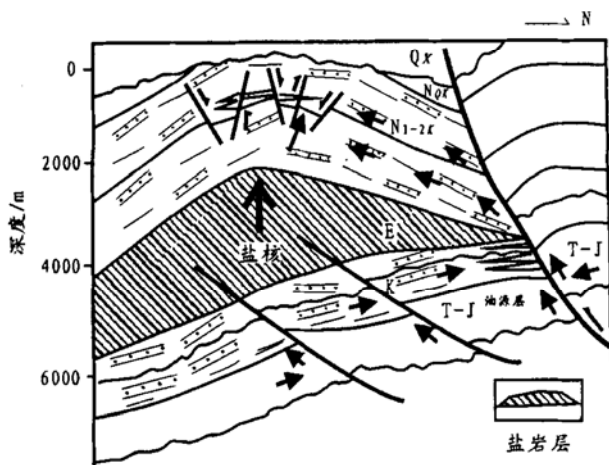


图6 大宛其中幅度盐丘构造剖面特征

Fig. 6 Profile features of the Dawanqi medium-range salt structure

气藏上覆盖层含盐层系岩盐发育程度有关。

研究表明, 由于天然气具有分子小、密度小、分子结构简单特点, 更容易发生散失, 因此对盖层的要求比油要高。世界油气勘探实践证明高压天然气藏一般发育良好的封盖层, 其中以分布广泛、稳定发育的岩盐层为最好的封盖层<sup>[10]</sup>。由此可见, 发育厚度大、分布广泛且具有良好封盖性的岩盐层是形成

大型高压天然气藏的重要条件。由于克拉2气藏上覆盖层库姆格列木组盐岩发育且分布稳定, 起到了重要的封盖作用; 同时, 由于岩盐的可塑性使其在断裂活动中形成三角形挤入构造, 阻止天然气沿断裂进一步向上运移。与之相对应, 克拉3构造上覆盖层盐岩不发育, 缺乏良好的封盖层, 天然气可以向上运移并聚集在薄岩盐夹层中, 只能形成小型气藏。可以认为, 正是由于克拉2与克拉3构造含盐层系岩石性质和地层结构的不同, 造成其封闭天然气能力的不同, 这是造成天然气差异性聚集的关键要素。

参考文献:

- [1] 崔可锐, 丁道桂. 库车拜城前陆盆地的构造变形与油气领域 [A]. 中国塔里木盆地石油地质文集 [C]. 北京: 地质出版社, 1995. 146- 153.
- [2] 卢华复, 陈楚铭, 刘志宏. 库车再生前陆逆冲带的构造特征与成因 [J]. 石油学报, 2000, 21(3): 18- 24.
- [3] 赵林, 秦胜飞. 库车坳陷天然气藏成藏条件分析 [J]. 石油实验地质, 1999, 21(4): 307- 312.
- [4] 刘志宏, 卢华复, 贾承造, 等. 库车前陆盆地克拉苏构造带的构造特征与油气 [J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(3): 215- 221.
- [5] 田作基, 宋建国. 塔里木库车新生代前陆盆地构造特征及形成演化 [J]. 石油学报, 1999, 20(4): 9- 13.
- [6] 周新源, 皮学军, 廖涛. 塔里木盆地库车坳陷油气聚集模式 [J]. 勘探家, 2000, 5(2): 18- 20.
- [7] 张朝军, 田在艺. 塔里木盆地库车坳陷第三系盐构造与油气 [J]. 石油学报, 1999, 19(1): 6- 10.
- [8] 陈子光. 岩石力学性质与构造应力场 [M]. 北京: 地质出版社, 1986. 90- 137.
- [9] 博歇特 H, 缪尔 R O. 蒸发岩的力学性质 [A] 盐类矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1976. 187- 202.
- [10] 陈荣林, 范明, 马红强. 塔里木盆地北部第三系盐类沉积和油气勘探 [J]. 新疆地质, 2001, 19(2): 107- 110.
- [11] 周兴熙. 库车坳陷第三系盐膏质盖层特征及其对油气成藏的控制作用 [J]. 古地理学报, 2000, 2(4): 51- 57.
- [12] 郝石生. 盖层与蒸发岩系 [A]. 碳酸盐岩油气形成和分布 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1989. 322- 324.

## ANALYSIS ON THE TYPICAL STRUCTURAL STYLES AND DEFORMATION MECHANISM OF THE KELASU TECTONIC ZONE IN THE KUQA DEPRESSION OF THE TARIM BASIN

SUN Jiar zhen<sup>1</sup>, LI Lar bin<sup>1</sup>, ZHOU Xir yuan<sup>2</sup>, PI Xue jun<sup>2</sup>

(1. Petroleum Department, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;  
2. Tarim Petroleum Exploration and Development Bureau, CNPC, Kuerle, Xinjiang 841000, China)

**Abstract:** The Kelasu tectonic zone located in the Kuqa Depression of the Tarim Basin is rich in natural gas. Affected by salt-bearing measures, the structural deformation of salt-above layers is not consistent with that of salt-under layers, and it has the features of dual thrust structures. The thrust-nappe-typed drag structure with gentle or deep dipping angles, and the mass-upthrusting structure with deep dipping angles were developed in salt-above layers. And salt-under layers are characterized by developing superimposed thrust structures. According to the analysis of lithomechanical properties, the occurrence of thrust faults and the change of structural patterns in salt-above layers are related to the developing thickness and distributive range of plastic saltrock layers. Meanwhile, as saltrock layers are high-quality caprocks for natural gas, their thickness and continuous changes are also key factors to result in the differential accumulation of natural gas in the Kelar-2 and Kelar-3 structures.

**Key words:** differential accumulation; deformation mechanism; structural pattern; the Kuqa Depression; The Tarim Basin

(continued from page 246)

## APPLICATION OF SEISMIC FREQUENCY SPECTRAL RATIO TO THE PREDICTION OF CHANNEL SANDBODIES

ZHAO Li-min<sup>1</sup>, PENG Su-ping<sup>1</sup>, KANG Hong-quan<sup>2</sup>, ZHANG Chao-wen<sup>2</sup>

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Huabei Oilfield, CNPC, Renqiu, Hebei 062552, China)

**Abstract:** With the development of seismic prospecting and processing technologies, using the seismic information correlated to lithology and oil potential to predict reservoir sandbodies and distinguish oil potential has become one of the important means to increase success ratio of petroleum exploration. But in many cases, geologists can't distinguish the changes of seismic records being resulted from stratigraphy, lithology, or from outside conditions. The seismic frequency spectral ratio technology makes full use of the features that seismic data include rich information. It carefully depicts the transverse variation of seismic frequency spectrum, and can better eliminate the noise influences in seismic records resulted from exciting and receiving conditions so as to project the transverse changing characteristics of lithology and hydrocarbon. It can be applied to distinguish lithology and predict reservoirs. In this paper, the Dawangzhuang oil pool in the Raoyang Say of Central Hebei Province was taken as an example to introduce the prediction of channel sandbodies and lithologic reservoirs by means of the seismic frequency spectral ratio method. Two drilling well sites were determined according to predicted results, and industrial oil flow was obtained by drilling practice.

**Key words:** channel sandbody; lithologic reservoir; convolution principle; seismic frequency spectral ratio