

# 库车前陆褶皱冲断带前缘滑脱层内部变形特征

汤良杰<sup>1,2</sup> 余一欣<sup>1,2</sup> 杨文静<sup>3</sup> 彭更新<sup>3</sup> 雷刚林<sup>3</sup> 金文正<sup>1,2</sup> 万桂梅<sup>1,2</sup>

(1. 中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249;  
2. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249;  
3. 中国石油总公司塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

**提要:**古近系库姆格列木组和新近系吉迪克组膏盐层构成了库车前陆褶皱冲断带的区域滑脱层。在褶皱冲断带前缘, 膏盐层发生塑性流动, 其内部形成多种构造样式。根据野外考察、地震剖面解释和钻井资料识别出的膏盐层内部构造变形样式主要包括盐枕、盐墙、盐推覆、鱼尾构造、盐焊接(断层焊接)、盐缩颈、透镜状增厚和盐垛等盐构造。盐构造在形成时间上具有一定的演化序列, 库车前陆褶皱冲断带总体表现为由北向南迁移, 前缘秋里塔格构造带则是从西向东迁移, 盐推覆、盐焊接、盐枕等构造形成时间较早, 盐墙形成较晚, 东秋地区的盐构造形成时间整体较西段和中段晚, 规模也较小。

**关键词:**滑脱层; 盐构造; 盐枕; 盐墙; 库车前陆褶皱冲断带

**中图分类号:** P542      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2006)05-0944-08

受外力作用影响, 盐层或其他蒸发岩层在构造变形过程中可成为良好的区域滑脱层, 从而影响上覆层的构造变形过程。但上覆层一般都是作为一个逆冲岩席整体发生变形, 其内部较少发生形变, 构造变形作用主要集中在位于逆冲岩席之下的滑脱层内<sup>[1-3]</sup>。盐层滑脱层内部变形可以形成盐枕、盐底辟、盐株、盐滚、盐墙、盐盖、盐蘑菇、盐茎、盐冰川、盐焊接和断层焊接等一系列盐构造<sup>[4-5]</sup>。尽管对盐冰川、盐丘和盐底辟等盐构造的内部构造特征作过一些研究<sup>[6-9]</sup>, 但针对整个含盐层系滑脱层内部构造变形特征的研究还较少<sup>[10]</sup>。

库车前陆褶皱冲断带新生代滑脱层主要为古近系库姆格列木组和新近系吉迪克组膏盐层。这两套膏盐层的分布区域及厚度展布特征均有所不同, 大致以库车河为界, 其西部主要为古近系库姆格列木组膏盐层, 东部为新近系吉迪克组膏盐层。膏盐层厚度在克拉苏构造带和秋里塔格构造带最大, 在拜城凹陷最薄。位于库车前陆褶皱冲断带前缘的秋里塔格构造带西段库姆格列木组膏盐层厚 200~4 000 m, 东段吉迪克组膏盐层厚 200~1 300 m。在构造变形过程中, 这两套膏盐层均发生了较为明显的塑性流动, 其底部构成了区域滑

脱面, 并影响了上覆层的构造变形过程, 形成了丰富多样的内部构造变形样式和盐相关构造。由于盐构造与油气聚集关系密切<sup>[11-12]</sup>, 近年来已针对该地区盐相关构造样式、平衡剖面、物理模拟、盐构造与油气关系等进行了较多研究<sup>[13-29]</sup>, 但针对不同规模的膏盐层内部构造变形特征及其形成演化过程开展的研究还较少。笔者以最新地震剖面解释结果为主, 结合野外露头 and 钻井资料, 对库车前陆褶皱冲断带前缘秋里塔格构造带膏盐层内部构造变形特征及其形成演化过程进行初步分析研究。

## 1 区域地质背景

库车前陆褶皱冲断带位于塔里木盆地北部, 北倚天山造山带, 南与塔北隆起毗邻, 面积约 2.8×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>, 是塔里木盆地油气资源最丰富、盐构造最为发育的构造单元之一。库车前陆褶皱冲断带与其两侧的天山造山带和塔北隆起密切相关, 而其形成和发展演化又各具特色。受天山造山带分段差异变形等多种因素影响, 库车前陆褶皱冲断带具有分段性、分带性、分层性和交叉性等显著特点。从北向南, 可将库车前陆褶

收稿日期: 2006-01-10; 改回日期: 2006-02-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(40472107、40172076)、石油天然气成藏机理教育部重点实验室(中国石油大学)开放基金项目(2003-02)、国家 973 项目(2005CB422107、G1999043305)和塔里木油田公司项目(41004050009)资助。

作者简介: 汤良杰, 男, 1957 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事盆地构造分析和石油地质研究; E-mail: tanglj@cup.edu.cn。

皱冲断带分为北部单斜带、克拉苏—依奇克里克构造带、拜城—阳霞凹陷、秋里塔格构造带和前缘隆起等 5 个二级构造带。根据盐层展布特征,在剖面结构上可分为 3 个构造-地层层序,即盐下层序、盐层层序和盐上层序。盐层层序是库车前陆褶皱冲断带一套非常特殊的层序,由盐岩、膏岩及间夹的碎屑岩和碳酸盐岩组成,塑性流动明显,构成库车前陆褶皱冲断带构造变形的主滑脱层系,也是形成盐构造的最主要层系。

秋里塔格构造带位于库车前陆褶皱冲断带前缘,地表表现为一向南凸起的弧形构造带,走向从西向东依次由 NW 变为 NEE 和近 EW。秋里塔格构造带西段由南、北秋里塔格背斜组成,往东逐渐合并靠拢,到库车塔吾背斜处发生明显的弧形转弯,两者合二为一,构成两翼陡立、顶部平缓的构造带(图 1)。秋里塔格构造带沉积的膏盐层一般厚 200~1 500 m,最厚可达 4 000 m 以上。构造变形过程中,膏盐层内部发生了较明显的塑性变形活动,形成了库车前陆褶皱冲断带最为壮观的盐构造。

## 2 盐层内部构造变形特征

根据野外露头、地震剖面和钻井资料,在库车前陆褶皱冲断带前缘秋里塔格构造带滑脱层内部识别出的盐构造样式主要包括盐枕、盐墙、盐推覆、鱼尾构造、盐焊接(断层焊接)、盐缩颈、透镜状增厚和盐垛构造等。

### 2.1 盐枕

盐枕构造是库车前陆褶皱冲断带最为发育的一类盐构造,可分为稳态盐枕、非稳态盐枕和残留盐枕 3 类<sup>[7]</sup>。秋里塔格构造带西段却勒地区主要发育稳态盐枕(图 2)。在 seismic 剖

面上,稳态盐枕呈 NEE 向延伸 60 km 以上,宽 10~20 km,长宽比约为 5:1。这种盐枕构造底平上凸,其滑脱面为古近系库姆格列木组膏盐层底面,盐枕内部由库姆格列木组膏盐层充填。在挤压应力和差异负载作用下,盐体向背斜核部流动,盐体上涌形成盐拱。盐枕中心部位膏盐层厚度较大,最厚可达 4 000 m 以上,往两侧迅速减薄。盐上为被断层复杂化,但形态还相对完整的宽缓背斜,盐刺穿特征并不明显(图 2)。

### 2.2 盐推覆构造

盐推覆构造主要形成于库车前陆褶皱冲断带前缘秋里塔格构造带南侧山前地区(图 3),沿 NEE 方向延伸 200 km 以上。盐推覆构造前缘由库姆格列木组膏盐层组成,逆冲断层断面北倾,倾角较缓。滑脱逆冲断层之上的推覆体由库姆格列木组、苏维依组、吉迪克组、康村组和库车组组成,下盘为库姆格列木组膏盐层充填的盐核背斜(图 4)。上覆层产状与滑脱断层基本平行,膏盐层则沿逆冲断层形成薄板状分布的外来盐席。QC-1 井也钻遇多套重复地层,证实时代较老的库姆格列木组膏盐层是逆冲推覆在时代较新的地层之上(图 4)。

### 2.3 盐墙

盐墙主要发育在秋里塔格构造带中段西秋地区,在 seismic 剖面上表现为顶部下凹,底部凹凸不平(图 5)。沿 NEE 向延伸近 40 km,宽约为 20 km,长宽比约为 2:1。盐墙中部库姆格列木组膏盐层最厚可达 4400 m,顶部下凹部位与地表南、北秋里塔格背斜之间的谷地基本对应,盐体刺穿特征较盐枕构造更加明显。在盐墙两侧,库姆格列木组顶面发育有两条滑脱断层。上覆层受其影响,发生远距离滑脱逆冲变形,分别在

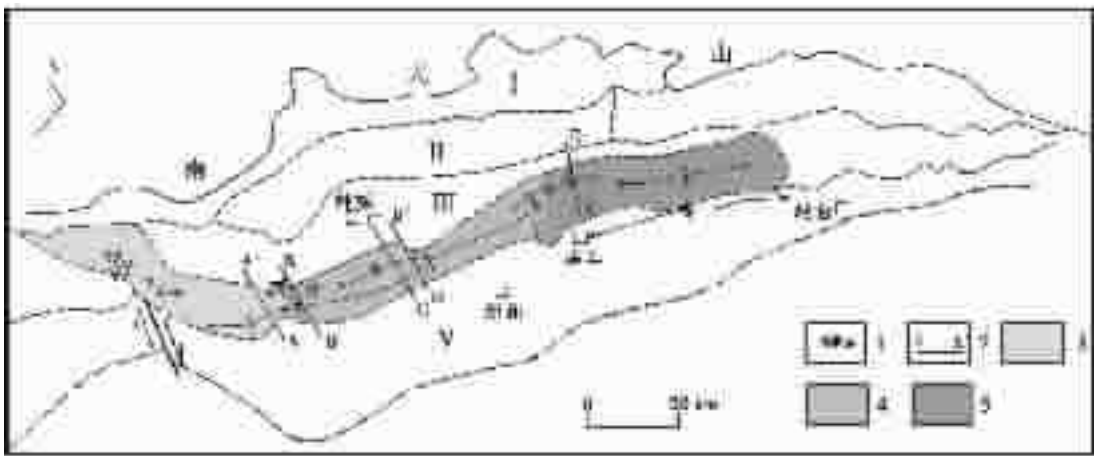


图 1 库车坳陷秋里塔格构造带地质示意图

1—背斜;2—剖面线;3—却勒区带;4—西秋区带;5—东秋区带

I—北部单斜带;II—克拉苏—依奇克里克构造带;III—拜城—阳霞凹陷带;IV—秋里塔格构造带;V—前缘隆起

Fig.1 Schematic geological map of the Qiulitag structural belt

1—Anticline; 2—Section line; 3—Quele zone; 4—Xiqiu zone; 5—Dongqiu zone; I—Northern monocline; II—Kelasu—Yiqikelike structural belt; III—Baicheng—Yangxia sag belt; IV—Qiulitag structural belt; V—Frontal bulge



图 2 秋里塔格构造带盐枕构造示意图(剖面位置见图 1)

Q+N<sub>2</sub>k—第四系+上新统库车组;N<sub>1</sub>k—中新统康村组;N<sub>1</sub>j—中新统吉迪克组;E<sub>2-3</sub>s—渐新统苏维依组;  
E<sub>1-2</sub>km—古新统一始新统库姆格列木组;K—白垩系;pre-K—前白垩系

Fig.2 Schematic map of salt pillows in the Qiulitag structural belt (see Fig. 1 for the section location)

Q+N<sub>2</sub>k—Quaternary+ Pliocene Kuqa Formation;N<sub>1</sub>k—Miocene Kancun Formation;N<sub>1</sub>j—Miocene Jidik Formation;  
E<sub>2-3</sub>s—Oligocene Suweiyi Formation;E<sub>1-2</sub>km—Paleocene—Eocene Kumugeliemu Formation;K—Cretaceous;pre-K—pre-Cretaceous



图 3 秋里塔格构造带盐推覆构造(照片 a 镜头朝向 5°,照片 b 镜头朝向 100°,代码见图 2)

Fig.3 Salt nappes in the Qiulitag structural belt

(in Photo a the camera lens points to 5° and in Photo b the camera lens points to 100°, symbol same as in Fig.2)

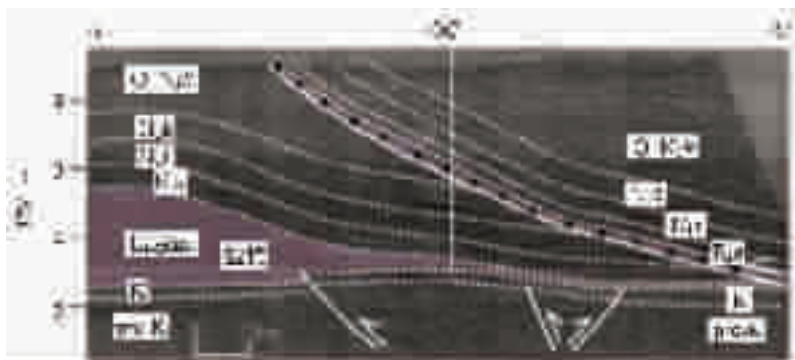


图 4 秋里塔格构造带盐推覆构造示意图(图中黑点代表盐推覆构造,剖面位置见图 1,代码见图 2)

Fig.4 Schematic map of salt nappes in the Qiulitag structural belt (see Fig. 1 for the section location, symbol same as in Fig.2)

地表山系南、北两侧形成倒转背斜和断层传播褶皱(图 5)。

2.4 盐垛构造

在秋里塔格构造带东段地区,含盐层系主要为新近系吉迪克组。与构造带中、西段相比,东段膏盐层厚度明显变薄,其纯度也有所降低,塑性流动变形强度也随之变弱。盐下主要发育断层转折褶皱,受其影响,吉迪克组膏盐层顶部形成断面南倾的滑脱断层,将康村组和库车组逆冲推覆至地表(图 6)。吉迪克组膏盐层在南倾反冲断层下盘聚集增厚,并叠置在深层断层转折褶皱(fault-bend fold)之上,形成盐垛构造(图 6)。

2.5 鱼尾构造、盐缩颈、透镜状增厚与盐焊接(断层焊接)

由于膏盐层塑性流动而形成的鱼尾构造、盐缩颈、透镜状增厚与盐焊接等现象在地震剖面上也表现得十分明显(图 7)。鱼尾构造一般位于盐枕或盐墙构造的两侧盐体急剧减薄

处,形似鱼尾,而盐缩颈与透镜状增厚体基本上是相连在一起(图 7)。由于盐体朝某一特定方向发生塑性流动,其运移路径上的部分原地盐体就会减薄或是增厚,盐层顶、底面就会下凹或上凸,从而形成盐缩颈和透镜状增厚体。如果原地盐体被运移殆尽的话,则原先被盐层分割的上覆层和下伏层就会焊接在一起,形成盐焊接构造。盐焊接构造可分为 3 类,即由于原地盐体抽空而形成的盐焊接,陡立底辟抽空而形成的盐焊接和微倾斜外来底辟抽空而形成的盐焊接构造<sup>[4]</sup>。秋里塔格构造带发育的盐焊接明显属于原地盐体抽空而形成的盐焊接。如果沿焊接面存在较明显的断层作用,则称之为断层焊接<sup>[4]</sup>。在北秋里塔格山系之下的滑脱断层末端发育有断层焊接构造(图 7)。由于底部膏盐层的抽空,拜城凹陷沉积有较厚的新生代地层,表现为“初次周缘凹陷”特征。

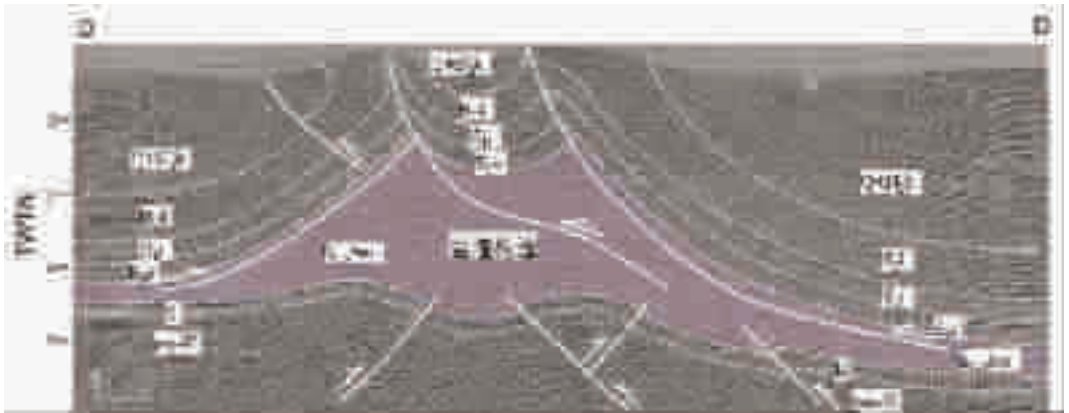


图 5 秋里塔格构造带盐墙构造示意图(剖面位置见图 1,代码见图 2)

Fig.5 Schematic map of salt walls in the Qiulitag structural belt (see Fig. 1 for the section location, symbol same as in Fig.2)

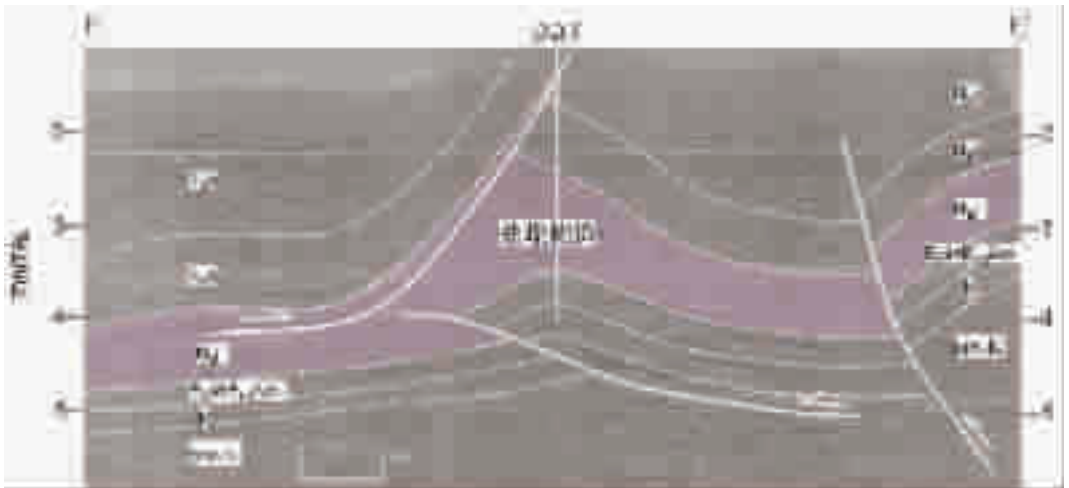


图 6 秋里塔格构造带盐垛构造示意图(剖面位置见图 1,代码见图 2)

Fig.6 Schematic map of salt stacks in the Qiulitag structural belt (see Fig. 1 for the section location, symbol same as in Fig.2)

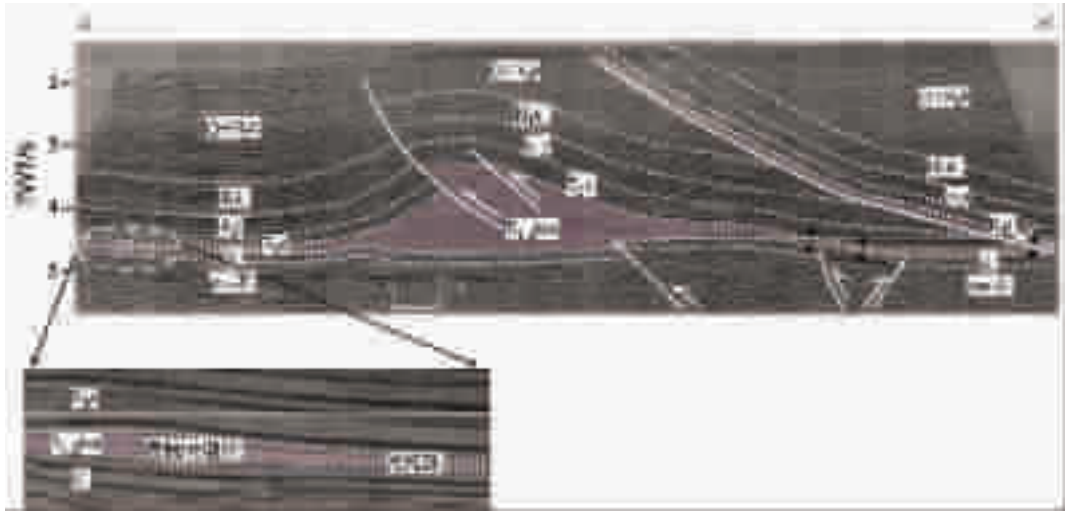


图7 秋里塔格构造带膏盐层塑性流动特征示意图(图中黑点代表盐焊接构造,剖面位置见图1,代码见图2)  
 Fig.7 Schematic map showing the feature of plastic flow of the evaporite layer in the Qiulitag structural belt (black dots denote salt welds; see Fig. 1 for the section location, symbol same as in Fig.2)

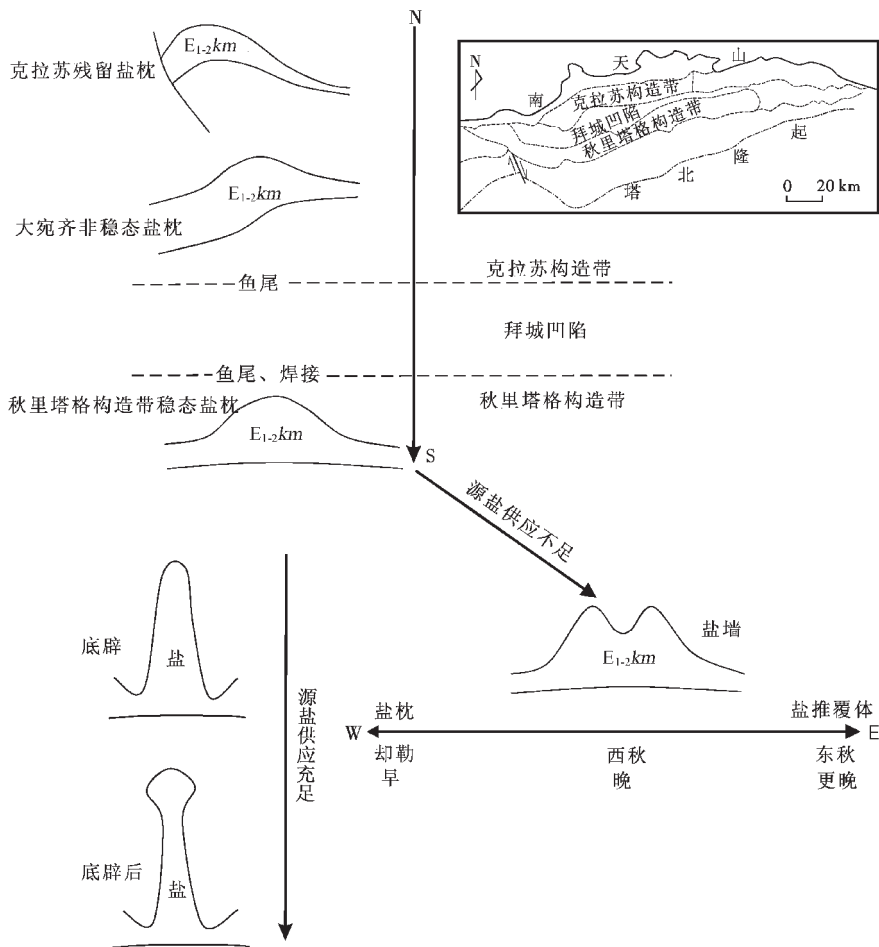


图8 库车前陆褶皱冲断带盐构造形成演化序列示意图  
 Fig.8 Schematic map showing the formation and evolutionary sequence of salt structures in the Kuqa foreland fold-thrust belt

### 3 盐构造形成演化序列

库车前陆褶皱冲断带膏盐层内部塑性变形形成的众多盐构造,它们并非是同时形成的,而是表现为一定的演化序列,如盐枕构造的演化序列就有由北往南迁移的特点<sup>[7]</sup>。北部克拉苏构造带盐枕构造形成时间较早,规模较小,稳定性也较差,主要表现为残留盐枕和非稳态盐枕特征。而南部秋里塔格构造带盐枕形成较晚,规模巨大,稳定性较好,表现为稳态盐枕。盐枕构造的这种演化序列性质与库车前陆褶皱冲断带的构造和沉积等地质背景是紧密联系在一起。

位于库车褶皱冲断带前缘的秋里塔格构造带发育有最壮观的盐构造,这些盐构造的发育演化也表现出一定的序列性(图8)。首先表现为构造带东段膏盐层沉积时期较晚,目前形成的盐构造规模也较西段小,所以东秋地区盐构造的形成时间整体要比却勒和西秋地区晚。其次,在浮力、沉积差异负载和构造挤压应力等因素影响下,拜城凹陷古近系底部的膏盐层向秋里塔格构造带发生塑性流动,在两构造单元的相接过渡处形成鱼尾构造和盐焊接(断层焊接)构造等。第三,部分盐体在运移过程中由于受到盐下前古近系断坡的阻挡,会改变其运移方向,从而发生远距离逆冲推覆,形成盐推覆构造。而部分盐体则会继续向秋里塔格构造带聚集,并在古隆起顶部增厚,形成盐枕构造。最后,如果在盐枕构造隆升过程中能得到充足的源盐供应,就会朝底辟和底辟后阶段演化<sup>[2]</sup>。但对秋里塔格构造带而言,由于源盐供应有限,到某一阶段,盐枕构造就会停止生长,此时地层剥蚀速率就会超过盐体隆升速率,盐体顶部就会下凹,形成盐墙构造(图8)。从地震剖面也可以看出,却勒区带与拜城凹陷相接过渡部位还有一定厚度的膏盐层存在,而西秋区带与拜城凹陷的相接过渡部位由于盐岩已几乎运移消失殆尽,发育有盐焊接构造。所以从源盐供应状况来推测,秋里塔格构造带中段的盐上向斜将会继续变大,而西段的地表背斜也有可能演变为向斜构造。

综上所述,秋里塔格构造带盐构造演化序列具体表现为:却勒和西秋地区整体较东秋地区早;在却勒和西秋地区,盐推覆、鱼尾构造和盐焊接构造形成较早,盐枕次之,盐墙则是最晚(图8)。但需要注意的是,上述说明只是针对盐构造可能具有的演化序列而言,不同地区盐构造的开始形成时间目前还很难确定。

### 4 结论

(1) 库车前陆褶皱冲断带沉积有较厚的膏盐层,主要分布在古近系库姆格列木组和新近系吉迪克组。这两套膏盐层在构造变形过程中充当了库车前陆褶皱冲断带的主滑脱层,其内部同时也发生明显的塑性变形。位于褶皱冲断带前缘的秋里塔格构造带膏盐层内部的塑性变形形成了库车前陆褶皱冲断带最壮观的盐构造。膏盐层内部构造变形样式主要包括盐枕、盐墙、盐推覆、鱼尾构造、盐焊接(断层焊接)、盐缩

颈、透镜状增厚和盐垛构造等。

(2) 库车前陆褶皱冲断带盐构造表现出一定的演化序列,总体表现为由北向南迁移。在前缘秋里塔格构造带,东段盐构造形成时间整体较西段和中段晚,却勒和西秋地区盐推覆、鱼尾构造和盐焊接构造形成较早,盐枕次之,盐墙形成时间则是最晚。但不同地区不同类型盐构造开始形成的具体时间还有待于进一步研究探讨。

**致谢:**研究工作得到了马宗晋院士、贾承造院士、张一伟教授、金之钧教授、王清晨教授、吕修祥教授、王清华高级工程师和谢会文高级工程师的指导和帮助,并承蒙塔里木油田分公司勘探开发研究院提供地震剖面与钻井资料,一并致以深切的谢意。

### 参考文献(References):

- [1] Jordan P, Nuesch R. Deformation structures in the Mushelkalk anhydrites of the Schafirsheim (Jura Overthrust, Northern Switzerland)[J]. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 1989, 82(3): 429~454.
- [2] Malavielle J, Ritz J F. Mylonitic deformation of evaporites in decollements: examples from the southern Alps, France [J]. *Journal of Structural Geology*, 1989,11(5): 583~590.
- [3] Marcoux J, Brun J P, Burg J P, et al. Shear structure in anhydrite at the base of thrust sheets (Antalya, Southern Turkey) [J]. *Journal of Structural Geology*, 1987, 9(5-6): 555~561.
- [4] Jackson M P A. Retrospective salt tectonics[A]. In: Jackson M P A, et al (eds.), *Salt Tectonics, A Global Perspective* [C]. Oklahoma: AAPG, 1995. 1~28.
- [5] Jackson M P A, Talbot C J. External shapes, strain rates, and dynamics of salt structures[J]. *GSA Bulletin*, 1986,97(3): 305~323.
- [6] Kupfer D H. Relationship of internal to external structure of salt domes [A]. In: Braunstein J, et al (eds.). *Diapirism and Diapirs*[C]. Oklahoma: AAPG, 1968. 79~89.
- [7] Kupfer D H. Shear zones inside Gulf Coast stocks help delineate spines of movement[J]. *AAPG Bulletin*, 1976,60(9): 1434~1447.
- [8] Talbot C J. Fold trains in a glacier of salt in southern Iran[J]. *Journal of Structural Geology*, 1979,1(1): 5~18.
- [9] Talbot C J, Jackson M P A. Internal kinematics of salt diapirs[J]. *AAPG Bulletin*, 1987,71(9): 1068~1093.
- [10] Sans M, Sanchez A L, Santanach P. Internal structures of a detachment horizon in the most external part of the Pyrenean fold and thrust belt (northern Spain) [A]. In: Alsop G I, Blundell D G, Davison I (eds.). *Salt Tectonics* [C]. London: The Geological Society, 1996. 65~76.
- [11] Edgell H S. Salt tectonism in the Persian Gulf basin [A]. In: Alsop G I, Blundell D G, Davison I (eds.). *Salt Tectonics* [C]. London: The Geological Society, 1996. 129~151.
- [12] 唐祥华. 世界含盐盆地中的油气资源 [J]. *中国地质*, 1990,24(7): 27~28.  
Tang Xianghua. Oil and gas in saliniferous basins of the world [J]. *Geology in China(Chinese Geology)*, 1990, 24(7): 27~28(in Chinese).

- [13] 陈书平, 汤良杰, 贾承造, 等. 库车坳陷西段盐构造及其与油气的关系[J]. 石油学报, 2004,25(1): 30~34.  
Chen Shuping, Tang Liangjie, Jia Chengzao, et al. Salt tectonics in the western Kuqa depression and its relation to oil and gas distribution[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004,25(1): 30~34(in Chinese with English abstract).
- [14] 胡剑风, 刘玉魁, 杨明慧, 等. 塔里木盆地库车坳陷盐构造特征及其与油气的关系[J]. 地质科学, 2004,39(4): 580~588.  
Hu Jianfeng, Liu Yukui, Yang Minghui, et al. Salt structure characteristics and its relation to hydrocarbon accumulation in the Kuqa depression, Tarim basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2004,39(4): 580~588(in Chinese with English abstract).
- [15] 吕修祥, 金之钧, 周新源, 等. 塔里木盆地库车坳陷与膏盐岩相关的油气聚集[J]. 石油勘探与开发, 2000,27(4): 20~21.  
Lu Xiuxiang, Jin Zhijun, Zhou Xinyuan, et al. Oil and gas accumulation related to evaporite in Kuqa depression of Tarim basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000,27(4): 20~21(in Chinese with English abstract).
- [16] 秦胜飞, 贾承造, 陶士振. 塔里木盆地库车坳陷油气成藏的若干特征[J]. 中国地质, 2002,29(1): 103~108.  
Qin Shengfei, Jia Chengzao, Tao Shizhen. Some characteristics of oil and gas accumulation in the Kuqa depression, Tarim basin[J]. Geology in China, 2002,29(1): 103~108(in Chinese with English abstract).
- [17] 汤良杰, 贾承造, 金之钧, 等. 库车前陆褶皱带中段第三系盐枕构造[J]. 地质科学, 2003,38(3): 281~290.  
Tang Liangjie, Jia Chengzao, Jin Zhijun, et al. Tertiary salt pillow structures in the central sector of the Kuqa foreland fold- and-thrust belt, Tarim basin, northwest China [J]. Chinese Journal of Geology, 2003,38(3): 281~290(in Chinese with English abstract).
- [18] 汤良杰, 贾承造, 皮学军, 等. 库车前陆褶皱带盐相关构造样式[J]. 中国科学(D辑), 2003,33(1): 38~46.  
Tang Liangjie, Jia Chengzao, Pi Xuejun, et al. Salt-related structural styles of Kuqa foreland fold belt, northern Tarim basin[J]. Science in China (Ser. D), 2003,33(1): 38~46(in Chinese).
- [19] 王子煜. 库车坳陷秋立塔克盐构造形成过程物理模拟[J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 2002,17(6): 1~3.  
Wang Ziyu. Physical modeling of the evolution of Qiulitake salt structure in Kuche depression [J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition), 2002,17(6): 1~3(in Chinese with English abstract).
- [20] 邬光辉, 刘玉魁, 罗俊成, 等. 库车坳陷盐构造特征及其对油气成藏的作用[J]. 地球学报, 2003,24(3): 249~254.  
Wu Guanghui, Liu Yukui, Luo Juncheng, et al. Salt structures in the Kuqa depression and their role in the formation of oil and gas accumulations[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2003,24(3): 249~254(in Chinese with English abstract).
- [21] 邬光辉, 王招明, 刘玉魁, 等. 塔里木盆地库车坳陷盐构造运动学特征[J]. 地质论评, 2004,50(5): 476~483.  
Wu Guanghui, Wang Zhaoming, Liu Yukui, et al. Kinematics characteristics of the Kuqa depression in the Tarim basin [J]. Geological Review, 2004,50(5): 476~483(In Chinese with English abstract).
- [22] 余一欣, 汤良杰, 王清华, 等. 受盐层影响的前陆褶皱-冲断带构造特征分析——以库车秋立塔克构造带为例 [J]. 石油学报, 2005,26(4): 1~4.  
Yu Yixin, Tang Liangjie, Wang Qinghua, et al. Structural features of foreland fold-thrust belt influenced by salt beds --taking Qiulitake structural belt as an example [J]. Acta Petrotia Sinica, 2005,26(4): 1~4(in Chinese with English abstract).
- [23] 余一欣, 汤良杰, 王清华, 等. 库车坳陷盐构造与相关成藏模式[J]. 煤田地质与勘探, 2005,33(6): 5~9.  
Yu Yixin, Tang Liangjie, Wang Qinghua, et al. Salt structures and forming models of hydrocarbon pools in the Kuqa depression [J]. Geology and Exploration, 2005,33(6): 5~9 (in Chinese with English abstract).
- [24] Chen Shuping, Tang Liangjie, Jin Zhijun, et al. Thrust and fold tectonics and the role of evaporite in deformation in the western Kuqa foreland of Tarim basin, northwest China [J]. Marine and Petroleum Geology, 2004,21(8): 1027~1042.
- [25] Tang Liangjie, Jia Chengzao, Jin Zhijun, et al. Salt tectonic evolution and hydrocarbon accumulation of Kuqa foreland fold belt, Tarim Basin, NW China[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2004,41(1-3): 97~108.
- [26] Hossack J R, McGuinness D B. Balanced sections and the development of fault and salt structures in the Gulf of Mexico (GOM)[J]. GSA Abstract with Programs, 1990,22(7): A48.
- [27] Seni S J, Jackson M P A. Evolution of salt structures, East Texas diapir province, part 1: sedimentary record of halokinesis[J]. AAPG Bulletin, 1983,67(8): 1219~1244.

## Internal deformation features of detachment layers in the front of the Kuqa foreland fold–thrust belt

TANG Liang–jie<sup>1,2</sup>, YU Yi–xin<sup>1,2</sup>, YANG Wen–jing<sup>3</sup>, PENG Geng–xin<sup>3</sup>,  
LEI Gang–lin<sup>3</sup>, JIN Wen–zheng<sup>1,2</sup>, WAN Gui–mei<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism of the Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

3. Research Institute of the Tarim Oilfield, Korla 840000, Xinjiang, China)

**Abstract:** The evaporite beds of the Paleogene Kumugeliemu Formation and Neogene Jidike Formation form regional detachment layers in the Kuqa foreland fold–thrust belt. In the front of the Kuqa foreland fold–thrust, the evaporite bed underwent plastic flow and various structural styles formed inside the detachment with plastic flow of evaporite beds. Based on the field observations, seismic and well data, the deformation structures recognized inside the evaporite bed in the Qiulitag structural belt include salt pillows, salt walls, salt nappes, fish–tail structure, salt welds (fault welds), salt neckening, lentoid thickening and salt stacks. The formation and evolution of various salt structures have a certain sequence. On the whole, the salt structures in the northern part of the Kuqa foreland fold–thrust belt formed earlier than those in the south, while the salt structures in the western Qiulitag structural belt also formed earlier and are of larger size, whereas in the eastern portion the salt structures developed later, with smaller size. The salt structures such as salt nappes, salt welds and salt pillows developed in the Qiulitag structural belt formed earlier than salt walls.

**Key words:** detachment; salt structure; salt pillow; salt wall; Kuqa foreland fold–thrust belt

---

**About the first author:** TANG Liang–jie, male, born in 1957, Ph. D and professor, specializes in basin structural analysis and petroleum geology; E–mail: tanglj@cup.edu.cn.