

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

库车前陆褶皱—冲断带前缘大型盐推覆构造

汤良杰^{1,2)} 金之钧^{1,3)} 贾承造⁴⁾ 皮学军⁵⁾ 陈书平^{1,2)} 谢会文⁵⁾ 王子煜¹⁾

1) 教育部石油天然气成藏机理重点实验室, 北京, 102249; 2) 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京, 102249

3) 中国石油化工集团公司勘探开发研究院, 北京 100083; 4) 中国石油天然气股份有限公司, 北京, 100011

5) 中国石油塔里木油田分公司, 新疆库尔勒, 840000

内容提要 塔里木盆地北部库车前陆褶皱—冲断带构造—地层层序可划分为中生界盐下层序、古新统一始新统盐上层序和渐新统一第四系盐上层序。盐岩层序的岩性主要为灰白色、浅灰色盐岩、膏岩、泥灰岩和紫红色碎屑岩, 厚110~3000 m。盐岩层的存在使库车前陆褶皱—冲断带发育一系列盐相关构造, 其中最引人注目的是盐推覆构造。野外地质调查、地震资料解释、遥感资料和钻井资料揭示, 沿库车前陆褶皱—冲断带前缘西秋立塔克山发育大型盐推覆构造, 总体呈近东西走向, 并略呈往西南凸出的弧形展布, 沿走向延伸超过200 km, 由北往南逆冲推覆距离达30 km以上。主断层沿古新统一始新统盐岩层发育, 外来推覆体由古新统一始新统盐上层序和渐新统一第四系盐上层序组成, 表现为受断层控制的单面山, 逆冲推覆在原地中生代—新生代地层之上。地质分析和剖面复原结果表明, 盐推覆构造主要形成于新近纪末期以来的喜马拉雅晚期阶段, 现今仍具有强烈的活动性。由于不均匀推覆作用, 在盐推覆构造的不同地段, 逆冲推覆距离、冲断层产状、外来岩系和原地岩系的叠置关系以及盐相关构造的发育都有较大差异, 显示出走向上分段性特点。库车前陆褶皱—冲断带前缘盐推覆构造的形成演化受区域挤压作用、重力滑动和重力扩展作用控制。

关键词 盐推覆构造 逆冲断层 库车前陆褶皱—冲断带前缘 塔里木盆地

库车前陆褶皱—冲断带位于塔里木盆地北部, 夹持在南天山造山带和塔北隆起之间。库车前陆褶皱—冲断带中生代—新生代地层发育齐全, 厚达10000 m以上, 受印度—欧亚大陆碰撞远程效应的影响, 强烈的挤压作用导致形成褶皱—冲断带, 地表构造表现为狭窄的背斜和宽缓的向斜相间排列。库车前陆褶皱—冲断带构造变形与滑脱层的存在密切相关, 古新统一始新统库姆格列木组($E_{1-2}km$)盐层层序控制了库车前陆褶皱—冲断带新生代地层的变形。库车前陆褶皱—冲断带构造变形样式极为复杂, 发育多种类型的逆冲断层、反冲断层、三角带、叠瓦冲断带和双重构造等, 前人对此作了大量研究工作(Nishidai et al, 1990; 汤良杰, 1992, 1996; McKnight, 1993; 刘和甫等, 1994; 张光亚等, 1994; 何登发等, 1996; 贾承造等, 1995, 2000, 2001; Jia et al, 1998; 陈楚铭等, 1999; 卢华复等, 2000; 范湘涛等, 2000; 陈剑等, 2002; 汤良杰等, 2003a, b), 建立了

逆冲断层及其相关褶皱(断弯褶皱、断展褶皱和断滑褶皱)构造模式, 对构造性质和变形时间进行了探讨(Yin et al, 1998; 卢华复等, 1999; 汪新等, 2002)。在该区开展油气勘探和寻找钾盐, 库姆格列木组($E_{1-2}km$)盐层层序都曾重要研究对象, 由于研究手段限制, 很长时间对地下盐构造形态特征一直了解不多, 曾将沿西秋立塔克山出露的盐体看作为盐丘构造或盐刺穿构造(魏斌贤等, 1984; 汤良杰等, 1986), 或根据盐体形态将盐构造类型分为丘形、喇叭形、劈形、拱形和脊形等(张朝军等, 1988), 总体来看对库车前陆褶皱—冲断带新生代盐构造的研究比较薄弱。我们的问题是: ① 沿库车前陆褶皱—冲断带前缘西秋立塔克山绵延分布的盐构造, 是否属于大型盐推覆构造? 其主要特征是什么? ② 这种大型盐推覆构造是何时形成的, 其推覆距离有多大? ③ 如果这些盐体是推覆成因的, 那么其成因机理是什么? ④ 西秋立塔克山绵延200 km以上, 相对高差达

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40172076)、国家重点基础研究发展规划“973”项目(编号 G19990433)和国家“九五”重点科技攻关项目(编号99-111)资助的成果。

收稿日期: 2003-03-27; 改回日期: 2003-07-02; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 汤良杰, 男, 1957年生, 博士, 构造地质学专业。现为石油大学(北京)盆地与油藏研究中心教授, 博士生导师, 主要从事盆地构造分析和石油地质研究。通讯地址: 102249, 北京昌平区, 石油大学盆地与油藏研究中心; Email: tanglj@bpeu.edu.cn。

1300 m 以上,在前陆褶皱—冲断带的前缘出现如此规模的山系,是受深部构造背景控制,还是受盐岩滑脱层控制的“无根山系”?上述问题的探讨,有可能展示我国西部地区一种新的推覆构造类型和新的山系成因模式,有助于揭示库车前陆褶皱—冲断带构造总体面貌和成因机制。本文试图根据最新的野外地质调查、遥感探测、地球物理探测和钻井资料,应用剖面复原等方法,探讨库车前陆褶皱—冲断带一种特殊的构造类型——盐推覆构造。

1 地质背景

库车前陆褶皱—冲断带位于塔里木盆地北部,总体呈近东西向展布,面积约 $2.85 \times 10^4 \text{ km}^2$,构造上属于南天山山前的前陆坳陷,南与塔北隆起毗邻。以古近系古新统一始新统库姆格列木组盐岩层系为标志层,可以将库车前陆褶皱—冲断带划分为3个构造—地层层序:① 盐下层序,主要由三叠系、侏罗系和下白垩统组成,厚达4000 m 以上,为一套陆相砾

岩、砂岩、泥岩沉积,其中,上三叠统一中、下侏罗统发育煤系地层。② 盐层层序,主要由古近系古新统一始新统库姆格列木组组成,从沉积组合和对构造变形控制作用上,盐层层序是库车前陆褶皱—冲断带一套非常特殊的层序,以含盐(膏)地层为特征,塑性流动明显,构成库车前陆褶皱—冲断带主滑脱层。库姆格列木组($E_{1-2} \text{ km}$)盐层层序在库车前陆褶皱—冲断带前缘西秋立塔克山断续出露于地表,主要岩性为灰白色、浅灰色盐岩、膏岩、灰岩、泥灰岩、泥岩和砂岩、砂砾岩,平行不整合于下伏下白垩统之上,厚110~3000 m,局部有异常增厚现象。③ 盐上层序,由渐新统一第四系陆相红色碎屑岩地层组成,最厚达5000 m 以上,其中渐新统苏维依组夹膏岩和盐岩。

库车前陆褶皱—冲断带地层出露良好,从山前带往盆地内部,依次出露三叠系、侏罗系、下白垩统、古近系和新近系,在前陆褶皱带中段形成宽缓的向斜和紧闭的背斜相间排列(图1)。在库车前陆褶皱—

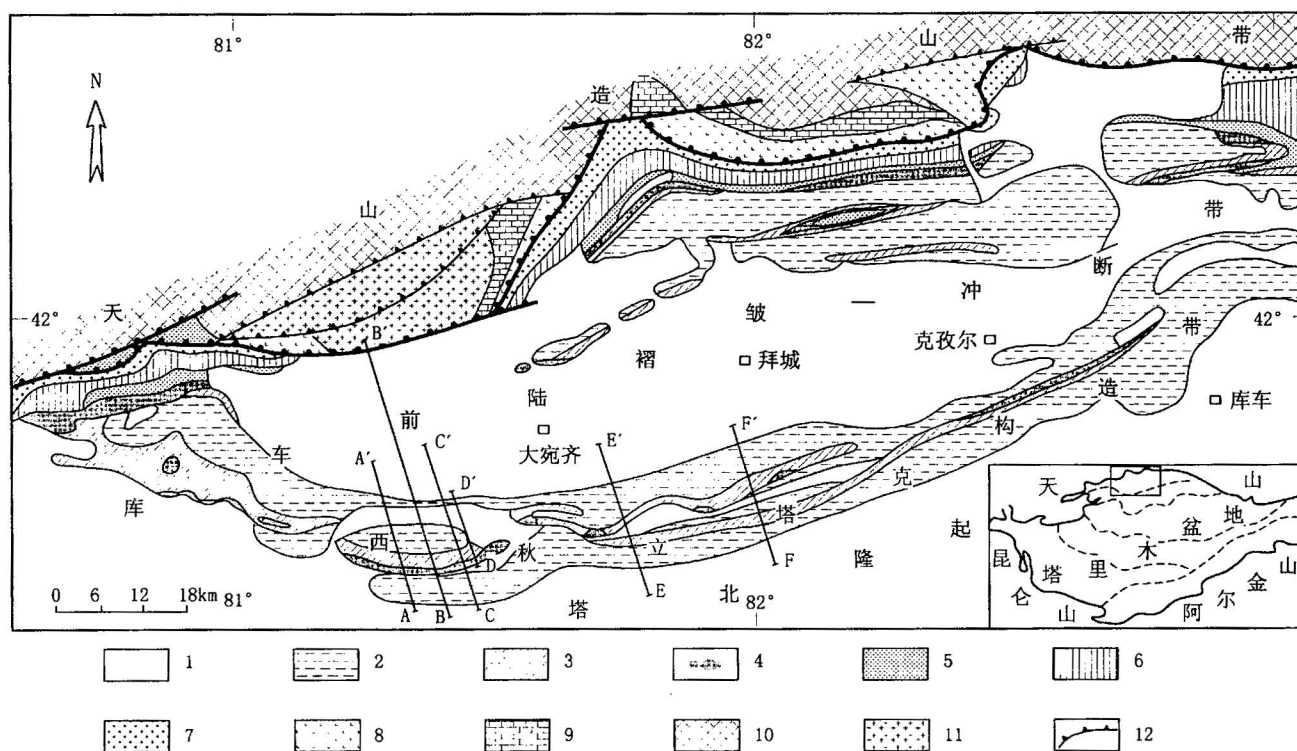


图1 库车前陆褶皱—冲断带中段地质略图

Fig. 1 Sketch geologic map of the mid-segment Kuqa foreland fold-thrust belt

- 1—第四系; 2—上新统; 3—中新统; 4—古近系含盐层系; 5—下白垩统; 6—侏罗系; 7—上二叠统一三叠系; 8—下二叠统火山岩;
9—石炭系; 10—志留系—泥盆系; 11—前震旦系; 12—逆冲断层
- 1—Quaternary; 2—Pliocene; 3—Miocene; 4—salt sequence of Paleogene; 5—Lower Cretaceous; 6—Jurassic; 7—Upper Permian
—Triassic; 8—Lower Permian volcanic rock; 9—Carboniferous; 10—Silurian—Devonian; 11—pre-Sinian; 12—thrust fault

冲断带中段的前缘(前锋)部位,形成一个绵延200 km以上、宽仅8~20 km的壮观山系,称为西秋立塔克山,最高海拔达2300 m,相对高差达1300 m以上。在该山系的前缘和核部,断续分布古新统一渐新统库姆格列木组盐层层序,有一系列盐矿和石膏矿在开采,它们是沿大型逆冲断层推覆到地表上的,形成极为特殊的盐推覆构造(图1)。

2 盐推覆构造主要特征

2.1 盐推覆构造的位置、规模和产状

盐推覆构造位于库车前陆褶皱—冲断带前缘(前锋)部位的西秋立塔克构造带,呈近东西向延伸200 km以上,总体呈向南西方向凸出的弧形展布(图1,图版I)。秋立塔克构造带是一个复杂的冲断构造带,地表出露库姆格列木组($E_{1-2}km$)、苏维依组(E_3s)、吉迪克组(N_1^1)、康村组(N_1^2)、库车组(N_2)和第四系,发育一系列冲断层、反冲断层、断层相关褶皱、盐枕构造、三角带构造和单面山,其中最引人注目的是盐推覆构造,其产状要素表现为:逆冲前缘由库姆格列木组($E_{1-2}km$)盐层层序组成,逆冲断层断面北倾,断面倾角较缓,顺盐层滑脱逆冲,其上为由第三系构成的单面山,在库车前陆褶皱—冲断带南缘形成蔚为壮观的山系,其核部发育流动聚集增厚的巨厚盐层。

2.2 野外地质调查揭示的盐推覆构造特征

野外地质调查发现,组成盐推覆构造的逆冲断层沿库姆格列木组($E_{1-2}km$)盐层层序滑脱层系发

育,逆冲断层之上的推覆体(外来岩系)由库姆格列木组($E_{1-2}km$)、苏维依组(E_3s)、吉迪克组(N_1^1)、康村组(N_1^2)和库车组(N_2)组成,呈现为往北倾斜的单斜断片或单面山。推覆体前缘出露最老地层为库姆格列木组($E_{1-2}km$)盐层层序和苏维依组(E_3s)含膏盐碎屑岩,在西秋立塔克构造带呈线状或串珠状断续分布(图1),逆冲推覆在第四系之上(图版II-1),局部有流动的“盐冰川”(图版II-2)和“盐溪”(图版II-3)形成,沿逆冲前缘带有一系列盐矿和石膏矿采矿点。由于盐岩层的溶蚀作用,发育大量溶蚀沟(图版II-4)或溶蚀坑等盐构造地貌标志。

2.3 盐推覆构造在地震反射剖面上的反映

地震反射资料揭示了盐推覆构造的剖面形态特征(图2):以库姆格列木组($E_{1-2}km$)盐层层序为滑脱层,形成大型逆冲断层,逆冲断层之上的“外来”推覆体表现为大型单斜断片,由盐上层序组成,其产状与逆冲断层基本平行。沿逆冲断层带本身,形成呈薄板状分布的“外来”盐体,厚度分布不均匀,数米至数百米,由北部深层的盐层层序远距离推覆而来,在逆冲断层活动期间,盐层沿断层发生塑性流动和运移,并充填断层造成的空间。被逆冲断层带掩覆的“原地岩系”为渐新统一上新统碎屑岩,与逆冲带呈截切关系(图2)。

2.4 钻井资料揭示的盐推覆构造特征

在盐推覆体前锋部位钻探的秋参1井,于2635 m深处进入古新统一始新统库姆格列木组($E_{1-2}km$)盐岩层系,共钻遇含盐(膏)地层915 m(2635~3550

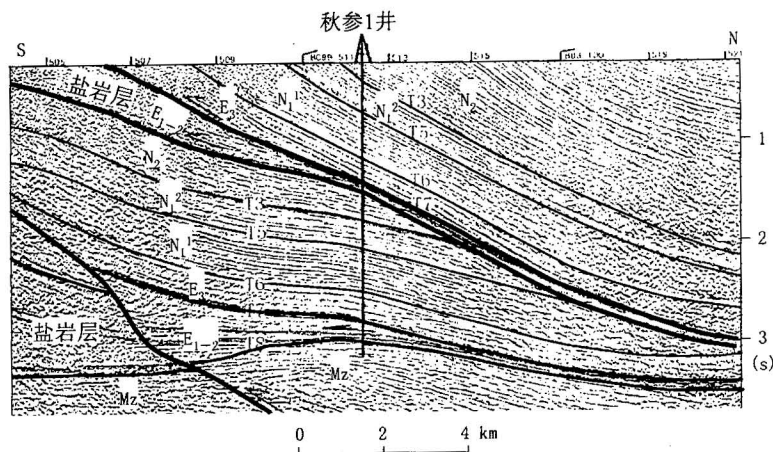


图2 库车前陆褶皱—冲断带前缘盐推覆构造地震剖面(剖面位置见图1中D-D')

Fig. 2 Seismic profile of the salt nappe complex in the leading edge of the Kuqa foreland fold—thrust belt (see Fig. 1 D-D' for the location of line)

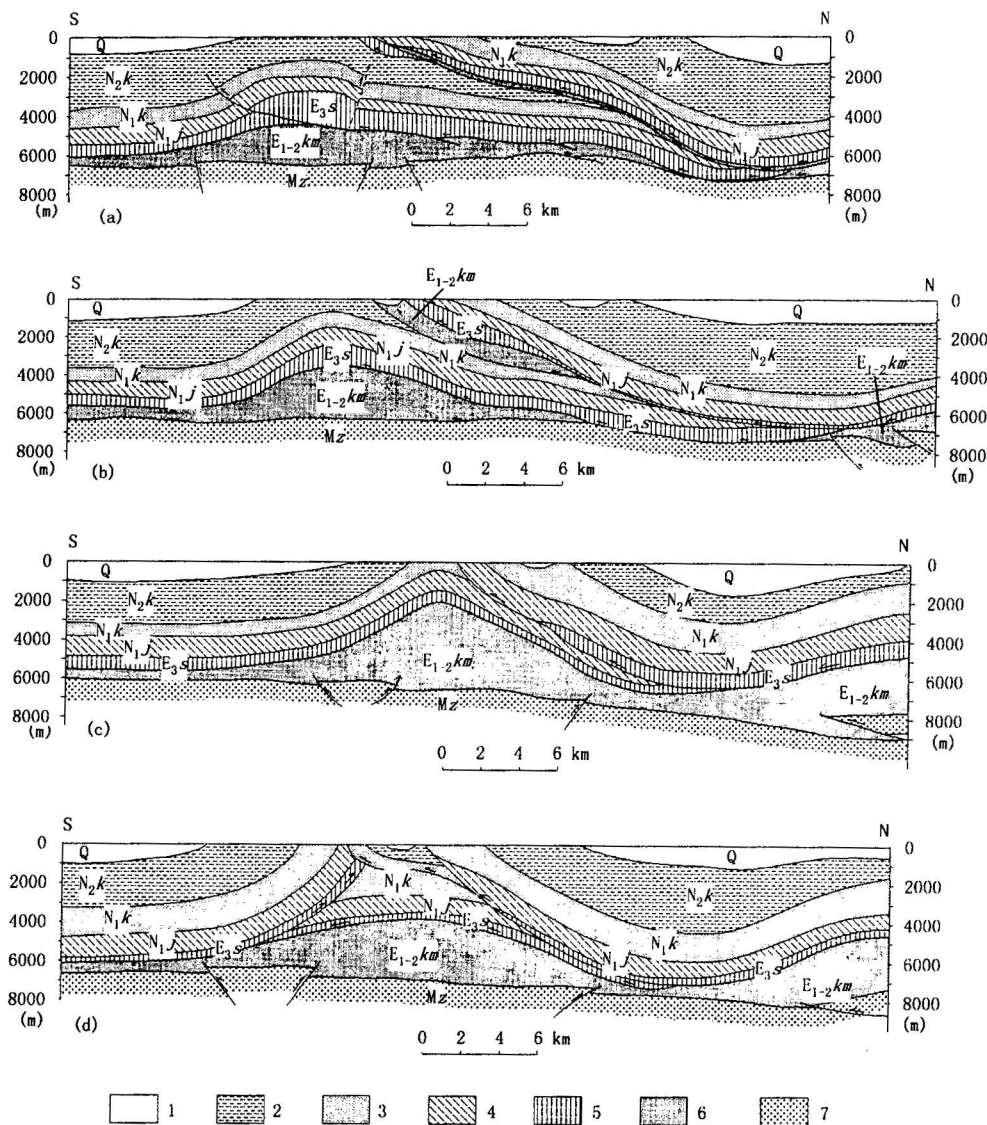


图3 库车前陆褶皱—冲断带前缘盐推覆构造横剖面图

Fig. 3 Cross-sections of salt nappe complex in the leading edge of the Kuqa foreland fold—thrust belt

剖面位置: (a)—图1A-A'; (b)—图1C-C'; (c)—图1E-E'; (d)—图1F-F'; 1—第四系; 2—上新统库车组; 3—中新统康村组;

4—中新统吉迪克组; 5—渐新统苏维依组; 6—古新统一始新统库姆格列木组; 7—中生界

Location of the cross-sections: (a)—Fig. 1 A-A'; (b)—Fig. 1 C-C'; (c)—Fig. 1 E-E'; (d)—Fig. 1 F-F'; 1—Quaternary; 2—Kuqa Formation of the Pliocene; 3—Kangcun Formation of the Miocene; 4—Jidike Formation of the Miocene; 5—Suweiyi Formation of the Oligocene; 6—Kumugeliemu Formation of the Paleocene—Eocene; 7—Mesozoic

m), 于3550 m 钻穿逆冲断层进入下盘, 钻遇中新统吉迪克组碎屑岩, 表明时代较老的盐岩层系逆冲推覆在时代较新的地层之上(图2)。

2.5 遥感地质显示出的盐推覆构造特征

从库车前陆褶皱—冲断带的卫星照片(图版 I)可以看出, 库姆格列木组($E_{1-2}km$)盐层层序在秋立塔克褶皱—冲断前锋带出露地表, 盐体在影像上呈灰白色, 表现出清晰的线性或带状分布的特征, 而不

是象盐丘构造那样表现为浑圆形态。

2.6 盐推覆构造的分段性

库车前陆褶皱—冲断带盐推覆构造在沿前锋带走向方向上, 不同地段的推覆距离是不均一的, 在盐推覆构造带的西段, 推覆距离较大, 盐岩层出露地表较多, 盐推覆体主要由库姆格列木组($E_{1-2}km$)盐层层序组成(图3a, b); 往东推覆距离明显减小, 有的盐岩层没有冲断到地表, 推覆体主要由苏维依组

(E_{3s})含膏盐地层组成,可以形成隐推覆构造(图3c, d)。这种盐推覆构造的分段性主要受横向断层控制,从卫星照片上可以清楚地显示出来(图版I)。

3 盐推覆构造活动时限和推覆距离的估算

对库车前陆褶皱—冲断带变形时限已进行过较为深入的探讨,提出变形可能主要始发生于中新世,

一直延续到现今仍在活动(Yin et al., 1998; 卢华复等, 1999; 汪新等, 2002)。本文利用挤压区盐构造分层复原方法,用弯滑机理的层长平衡法复原盐上层序和盐下层序,用面积平衡法复原盐层层序,将盐层层序和盐上层序、盐下层序分别进行复原,然后进行合并,在保持面积平衡的基础上,使盐层层序长度与盐上层序、盐下层序的长度相等,由此构建研究区典型盐推覆构造的平衡剖面(图4),进而分析盐推

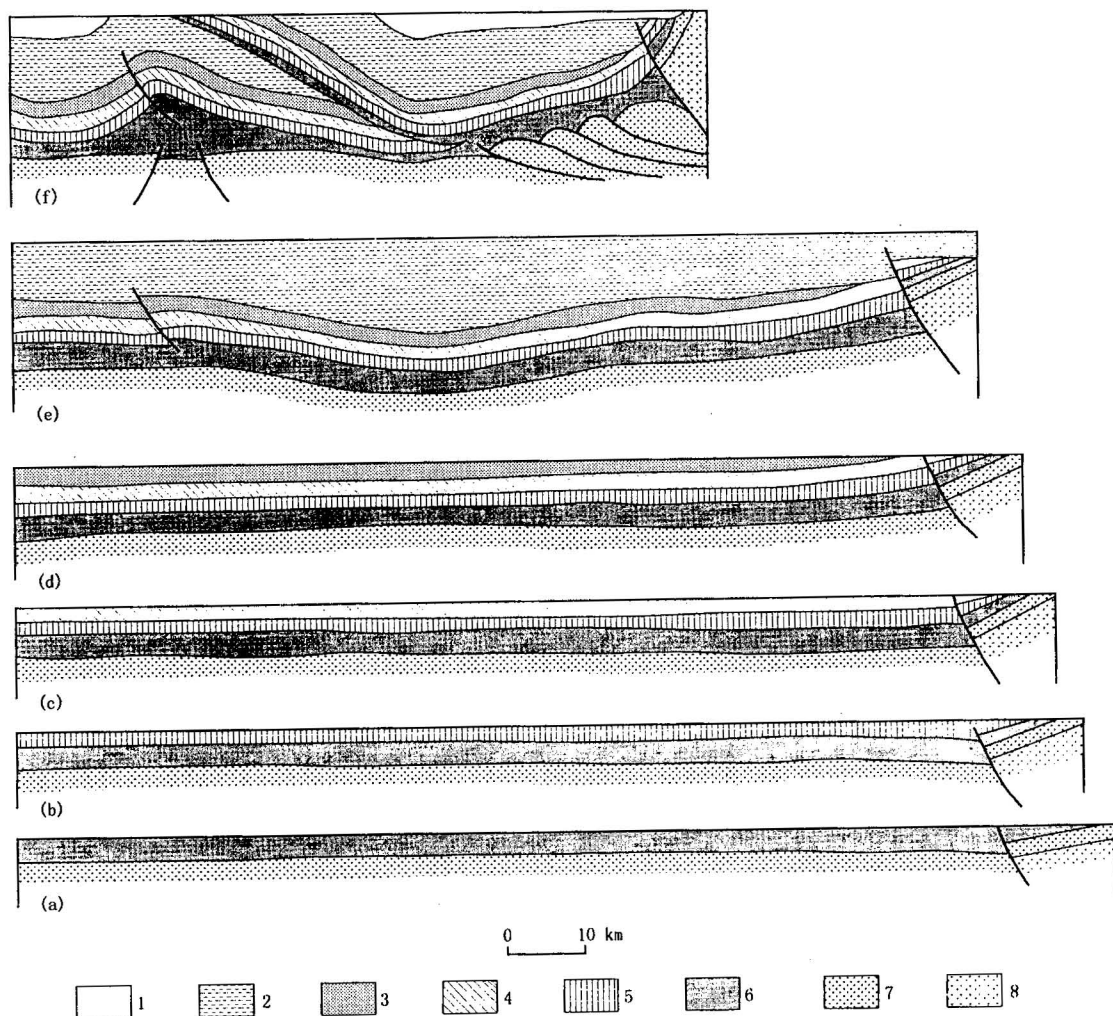


图4 库车前陆褶皱—冲断带西段盐推覆构造复原剖面(剖面位置见图1B-B')

Fig. 4 Restoration cross-sections of the salt nappe complex in the west-segment of the Kuqa foreland fold-thrust belt
(a)—库姆格列木组(E_{1-2km})稳定沉积期末; (b)—苏维依组(E_{3s})稳定沉积期末; (c)—吉迪克组(N_{1j})稳定沉积期末; (d)—康村组(N_{1k})稳定沉积期末; (e)—库车组(N_{2k})快速沉积期末; (f)—第四纪强烈褶皱—冲断推覆期; 1—第四系; 2—上新统库车组; 3—中新统康村组; 4—中新统吉迪克组; 5—渐新统苏维依组; 6—古新统一始新统盐层层序; 7—中生界; 8—古生界
(a)—The end of stable deposition epoch of the Kumugeliemu Formation (E_{1-2km}); (b)—the end of stable deposition epoch of the Suweiyi Formation (E_{3s}); (c)—the end of stable deposition epoch of the Jidike Formation (N_{1j}); (d)—the end of stable deposition epoch of the Kangcun Formation (N_{1k}); (e)—the end of rapid deposition epoch of the Kuqa Formation (N_{2k}); (f)—intense folding-thrusting epoch of Quaternary; 1—Quaternary; 2—Kuqa Formation of the Pliocene; 3—Kangcun Formation of the Miocene; 4—Jidike Formation of the Miocene; 5—Suweiyi Formation of the Oligocene; 6—salt sequence of the Paleocene—Eocene; 7—Mesozoic; 8—Paleozoic

覆构造的活动时限并估算推覆距离。盐推覆构造平衡剖面分析表明,古近纪—中新世康村期为盐层层序及盐上层序下部稳定沉积阶段,盐构造变形非常微弱,属于构造平静期(图4a,b,c,d)。上新世库车期为盐构造初始活动阶段(图4e),形成机理为重力滑动作用和由于密度倒置引起的浮力作用,构造缩短量仍然很小;新近纪末期以来为盐推覆构造强烈活动期,盐构造的形成机理为山前带构造挤压隆升,往前陆方向重力滑动和重力扩展,在褶皱—冲断前锋带发生逆冲推覆(图4f)。由此可见,库车前陆褶皱—冲断带大型盐推覆构造主要形成于新近纪末期以来的喜马拉雅晚期阶段,现今仍具有强烈的活动性。平衡剖面分析结果还表明,库车前陆褶皱—冲断带盐推覆构造的逆冲推覆距离可达30 km 以上,考虑到盐岩溶解、塑性流动和地表剥蚀等因素,实际逆冲推覆距离可能更大。在大于30 km 的缩短量中,新近纪末期以来发生的缩短量就达24 km 以上,约占总缩短量的80 % 以上,说明新近纪末期以来的喜马拉雅晚期运动是库车前陆褶皱—冲断带最强烈的构造运动期(汤良杰等,2003)。

4 盐推覆构造形成机理

已经提出了多种盐构造驱动机制(Jackson, 1995; Letouzey et al., 1995): ① 浮力: 取决于盐层与上覆层之间的密度差; ② 差异负荷; ③ 热对流作用; ④ 重力滑动和重力扩展作用。对于推覆构造,一般认为挤压力和重力滑动往往起重要作用。库车前陆褶皱—冲断带盐推覆构造的形成是受何种机制控制呢? 从图5可以看出,盐推覆构造的前锋带北翼,其上盘断坡已出露地表或遭受剥蚀,而上盘断坪一直延续到拜城凹陷的北翼。再往北,盐层层序位置明显抬升很高。因此可以认为,库车前陆褶皱—冲断带盐推覆构造的形成,首先是由于天山造山带隆升(见图5天山挤压隆升带),导致山前带抬升较高,使盐层层序滑脱层形成往南倾斜的斜坡,滑脱层之上的地质体在重力作用下发生滑动,其结果是在南天山山前形成滑覆构造(见图5重力滑动和重力扩展带),这一滑覆体一直往南滑动,最终在滑覆体的前缘发生逆冲运动,沿西秋立塔克山形成盐推覆构造(见图5盐推覆构造带)。在野外地质调查过程中,于南天山山前地带找到了发生重力滑动的直接证据,在海拔

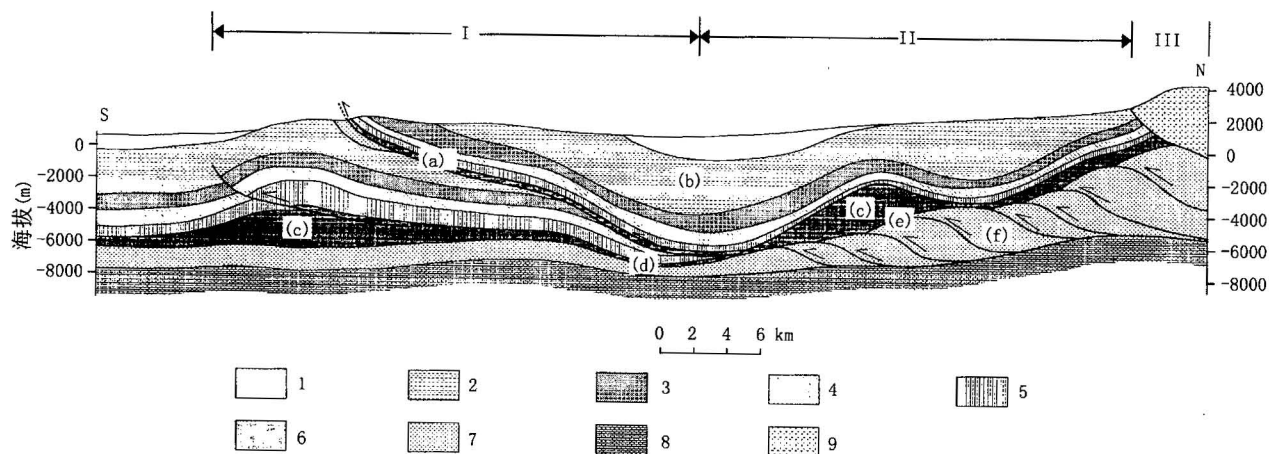


图5 库车前陆褶皱—冲断带盐推覆构造形成机制示意图

Fig. 5 Sketch map showing the formation mechanism of the salt nappe complex in Kuqa foreland fold-thrust belt
(a)—盐推覆构造; (b)—与重力扩展和盐缩颈有关的拜城凹陷; (c)—盐枕构造; (d)—与重力扩展有关的盐缩颈或盐焊接构造; (e)—区域重力滑动面; (f)—调节盐岩层缩短量的盐下双重构造; I—盐推覆构造带; II—重力滑动和重力扩展带; III—天山造山带; 1—第四系; 2—上新统库车组; 3—中新统康村组; 4—中新统吉迪克组; 5—渐新统苏维依组; 6—古新统一始新统盐层层序; 7—中生界; 8—古生界; 9—造山带地层
(a)—Salt nappe; (b)—Baicheng sag related to gravitational spreading and salt necking; (c)—salt pillow; (d)—salt necking or salt welding associated to gravitational spreading; (e)—regional gravitational sliding plane; (f)—subsalt duplex structure accommodating the salt bed shortening; I—salt nappe complex; II—gravity sliding and spreading belt; III—Tianshan orogenic belt; 1—Quaternary; 2—Pliocene Kuqa Formation; 3—Miocene Kangcun Formation; 4—Miocene Jidike Formation; 5—Oligocene Suwei Formation; 6—Paleocene—Eocene salt sequence; 7—Mesozoic; 8—Paleozoic; 9—sequence of the orogenic belt

2700 m 的山前陡坡上,观察到沿滑脱层发育的一系列大型重力滑动面和滑动构造,其位置比拜城凹陷滑脱层最大埋深处(海拔高度为-6000 m)高出8000 m 以上,从山前滑动带到滑脱层最大埋深处的水平距离不足30 km,区域重力滑动面的坡度竟达20°。由于这一较大坡度的存在,盐层层序及盐上层序在重力势能的作用下,可以在后缘发生重力滑动作用或滑覆作用,而在其前缘则发生强烈逆冲推覆作用,形成盐推覆构造(图5)。导致盐推覆构造形成的另一要素是差异负荷导致的重力扩展作用,在拜城凹陷沉积中心部位,盐上层巨厚的沉积物作用在盐层之上,使盐层本身向两侧流动,成为秋立塔克构造带盐推覆构造形成的触发机制之一。同时使得盐层在克拉苏构造带和秋立塔克构造带聚集加厚,导致在这两个构造带形成盐枕构造。重力扩展的结果还造成“盐缩颈”及其相关的凹陷,在盐层急剧减薄至消失的地方形成盐焊接构造(图5)。

喜马拉雅晚期强烈的挤压作用是盐推覆构造形成的又一重要因素,这期构造运动不仅导致天山强烈隆升,而且造成区域挤压应力场,使得库车前陆坳陷发生强烈褶皱、断裂、逆冲推覆和隆升改造,为盐推覆构造的形成创造了挤压环境(图5)。西秋立塔克山的形成明显与库车前陆褶皱—冲断带前锋带盐推覆构造的形成密切相关,从图3和图5可以看出,相对高差超过1300 m 的西秋立塔克山系,其形成可能不受深部构造背景的控制,而是属于受盐层层序冲断推覆和塑性流动聚集增厚控制的“无根山系”。

5 结论和讨论

野外地质调查、地球物理探测、遥感资料和钻井资料均揭示,在库车前陆褶皱—冲断带前缘发育大型古近系—新近系盐推覆构造,主逆冲断层沿古新统一始新统库姆格列木组盐层层序发生推覆,外来岩系主要包括古近系库姆格列木组、苏维依组,新近系吉迪克组、康村组和库车组,其走向延伸可达200 km 以上。平衡剖面分析和构造复原结果表明,盐推覆构造的最大推覆距离可达30 km 以上,主要发生于新近纪以来的喜马拉雅晚期。库车前陆褶皱—冲断带前缘秋立塔克山的形成可能与盐推覆作用有关,属于“无根山系”。该区盐推覆构造的形成可能与重力滑动、重力扩展和喜马拉雅期强烈挤压作用有关。

盐推覆构造是库车前陆褶皱—冲断带一种特殊的构造类型,与盐层层序的发育及特定的区域挤压

构造环境有关,由于推覆作用的不均一性,不同地段的推覆距离、逆冲断层的产状、外来岩系和原地岩系的叠置关系以及与盐推覆作用相关的构造,都有较大的差异。此外,盐推覆构造的形成在很大程度上改变了该区的构造面貌,无疑会对油气的形成、运移和聚集成藏产生影响。

致谢:本文撰写过程中得到了马宗晋院士、张一伟教授、贝丰教授、李思田教授、王清晨研究员、林畅松教授和吕修祥教授的热情指导和帮助,一并致以深切谢意。

参 考 文 献

- 陈楚铭, 卢华复, 贾东, 贾承造. 1999. 塔里木盆地北缘库车再生前陆褶皱逆冲带中丘里塔格前缘带的构造与油气. 地质论评, 45(4): 423~433.
- 陈剑, 卢华复, 王胜利. 2002. 库车断层相关褶皱的切角检验. 地质论评, 48(1): 74~79.
- 范湘涛, 卢华复, 郭华东, 邵芸. 2000. 库车冲断带新构造遥感分析. 地质论评, 46(5): 499~506.
- 何登发, 李德生. 1996. 塔里木盆地构造演化与油气聚集. 北京: 地质出版社, 1~173.
- 贾承造, 魏国齐, 姚慧君, 等. 1995. 塔里木盆地构造演化与区域构造地质. 北京: 石油工业出版社, 1~174.
- 贾承造, 何登发, 雷振宇, 等. 2000. 前陆冲断带油气勘探. 北京: 石油工业出版社, 1~351.
- 贾承造, 胡云杨, 田作基, 等. 2001. 塔里木盆地库车坳陷大气田勘探. 见: 高瑞祺, 赵政璋主编. 中国油气新区勘探(第一卷). 北京: 石油工业出版社, 1~254.
- 刘和甫, 梁慧社, 蔡立国, 等. 1994. 天山两侧前陆盆地冲断系构造样式与前陆盆地演化. 地球科学, 19(6): 727~741.
- 卢华复, 贾东, 陈楚铭, 刘志宏, 王国强, 贾承造. 1999. 库车新生代构造性质和变形时间. 地学前缘, 6(4): 215~221.
- 卢华复, 陈楚铭, 刘志宏, 等. 2000. 库车再生前陆逆冲带的构造特征与成因. 石油学报, 21(3): 18~24.
- 汤良杰, 林忠民. 1986. 塔里木盆地构造样式与油气聚集. 新疆地质, 4(3): 75~82.
- 汤良杰. 1992. 塔里木盆地多层次滑脱构造与含油气远景探讨. 地质学报, 66(2): 97~107.
- 汤良杰. 1996. 塔里木盆地演化与构造样式. 北京: 地质出版社, 1~136.
- 汤良杰, 贾承造, 皮学军, 陈书平, 王子煜, 谢会文. 2003a. 库车前陆褶皱—冲断带盐相关构造样式. 中国科学, 33(1): 38~46.
- 汤良杰, 贾承造, 金之钧, 皮学军, 陈书平, 谢会文. 2003b. 塔里木盆地库车前陆褶皱带中段盐相关构造特征与油气聚集. 地质论评, 49(5): 501~506.
- 汪新, 贾承造, 杨树锋, Aurelia H F, John S. 2002. 南天山库车冲断褶皱带构造变形时间. 地质学报, 76(1): 55~63.
- 魏斌贤, 刘群, 许德明. 1984. 新疆库车盆地地下第三系盐层对比和含盐系划分. 地质论评, 30(1): 59~68.
- 张朝军, 田在艺. 1998. 塔里木盆地库车坳陷第三系盐构造与油气.

石油学报, 19(1): 6~10.

张光亚, 陈发景, 汪新文. 1994. 塔北地区变形样式及其分布规律. 地球科学, 19(6): 755~768.

References

- Chen C M, Lu H F, Jia D, Jia C Z. 1999. Structures and petroleum accumulation in the Qiulitag thrust front of the Kuqa rejuvenated foreland fold—thrust belt on the northern margin of the Tarim basin. *Geological Review*, 45(4): 423~433 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jian, Lu Huaifu, Wang Shengli. 2002. Testing of cut-off angles of the Kuqa fault-related folds. *Geological Review*, 48(1): 74~79 (in Chinese with English abstract).
- Fan Xiangtao, Lu Huaifu, Guo Huadong, Shao Yun. 2002. Neotectonic analysis of the Kuqa foreland thrust belt by using remote sensing data. *Geological Review*, 46(5): 499~506 (in Chinese with English abstract).
- He D F, Li D S. 1996. *Tectonic Evolution and Petroleum Accumulation of Tarim Basin*. Beijing: Geological Press, 1~173 (in Chinese with English abstract).
- Jackson M P A. 1995. Retrospective salt tectonics. In: Jackson M P A, Roberts D G, Snelson S, eds. *Salt Tectonics, A Global Perspective*. AAPG Memoir 65, 1~28.
- Jia C Z, Wei G Q, Yao H J, et al. 1995. *Tectonic Evolution and Regional Structural Geology*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1~174 (in Chinese).
- Jia C Z, He D F, Lei Z Y, et al. 2000. *Petroleum Exploration in Foreland Thrust Belts*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1~135 (in Chinese).
- Jia C Z, Hu Y Y, Tian Z J, Wang H J, Zhang G Y, Xiao C W, Zhang F X, Duan S F. 2001. Exploration of the large gas field in Kuche depression of Tarim basin. In: Gao Ruiqi, Zhao Zhengzhang, eds. *The Frontier Petroleum Exploration in China*, vol. 1. Beijing: Petroleum Industry Press, 1~254 (in Chinese).
- Jia D, Lu H F, Cai D S, Wu S M, Shi Y S, Chen C M. 1998. Structural features of northern Tarim basin: implications for regional tectonics and petroleum traps. *AAPG Bulletin*, 82(1): 147~159.
- Letouzey J, Colletta B, Vially R, et al. 1995. Evolution of salt-related structures in compressional settings. In: Jackson M P A, Roberts D G, Snelson S, eds. *Salt Tectonics, A Global Perspective*. AAPG Memoir 65, 41~60.
- Liu H F, Liang H S, Cai L G, Xia Y P, Liu L Q. 1994. Evolution and structural style of Tianshan and adjacent basins, northwestern China. *Geosciences*, 19(6): 727~741 (in Chinese with English abstract).
- Lu H F, Jia D, Chen C M, et al. 1999. Nature and timing of the Kuqa Cenozoic structures. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 215~221 (in Chinese with English abstract).
- Lu H F, Chen C M, Liu Z H, et al. 2000. Structural characteristics and origin of Kuqa reactivated foreland thrust belts. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 18~24 (in Chinese with English abstract).
- McKnight C L. 1993. Structural styles and tectonic significance of Tianshan foothill fold-thrust belts, northwest China. Ph. D. thesis. Waco, Texas, Baylor University.
- Nishidai T, Berry J L. 1990. Structure and hydrocarbon potential of the Tarim basin (NW China) from satellite imagery. *Journal of Petroleum Geology*, 13(1): 35~58.
- Tang L J, Lin Z M. 1986. Structural styles of Tarim basin and its oil & gas accumulation. *Xinjiang Geology*, 4(3): 75~82 (in Chinese).
- Tang L J. 1992. Multi-level detachments and petroleum potential of the Tarim basin. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 5(4): 327~338.
- Tang L J. 1996. *Tectonic Evolution and Structural Styles of Tarim Basin, Northwest China*. Beijing: Geological Publishing House, 1~136 (in Chinese with English abstract).
- Tang L J, Jia C Z, Pi X J, Chen S P, Wang Z Y, Xie H W. 2003a. Salt-related structural styles of Kuqa foreland fold—thrust belt, northern Tarim basin. *Science in China*, 33(1): 38~46 (in Chinese).
- Tang Liangjie, Jia Chengzao, Jin Zhijun, Pi Xuejun, Chen Shuping, Xie Huiwen. 2003b. Salt-related structural characteristics and hydrocarbon accumulation in the middle segment of the Kuqa foreland fold belt in the Northern Tarim basin, NW China. *Geological Review*, 49(5): 501~506 (in Chinese with English abstract).
- Wang X, Jia C Z, Yang S F, Aurelia H F, John S. 2002. The time of deformation on the Kuqa fold-and-thrust belt in the southern Tianshan—based on the Kuqa river area. *Acta Geologica Sinica*, 76(1): 55~63 (in Chinese with English abstract).
- Wei B X, Liu Q, Xu D M. 1984. Correlation of the Paleogene salt beds and division of the saline sequence in the Kuqa basin, Xinjiang. *Geological Review*, 30(1): 59~68 (in Chinese with English abstract).
- Yin A, Nie S, Craig P, et al. 1998. Late Cenozoic tectonic evolution of the southern Chinese Tian Shan. *Tectonics*, 17: 1~27.
- Zhang C J, Tian Z Y. 1998. The Tertiary salt structures and petroleum in Kuqa depression, Tarim basin. *Acta Petrologica Sinica*, 19(1): 6~10 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G Y, Chen F J, Wang X W. 1994. Deformation styles and distribution of the northern Tarim basin. *Geosciences*, 19(6): 755~768 (in Chinese with English abstract).

图版说明

图版 I

库车前陆褶皱—冲断带前缘盐推覆构造在卫星照片上的特征。阿瓦特河剖面、西盐水沟剖面和秋参1井剖面附近的灰白色影象为出露的盐体,呈狭窄条带状沿山前带延伸,沿盐推覆构造带发育一系列走滑断层,将其切割成不同规模的段落。

图版 II

库车前陆褶皱—冲断带前缘盐相关构造样式野外照片。

1. 盐推覆构造带前缘特征, 示古近系盐岩层系推覆到第四系之上, 镜头朝350°, 照片位置位于图版 I 西盐水沟剖面附近。
2. 盐冰川, 镜头朝46°, 照片位置位于图版 I 阿瓦特河剖面附近。
3. 盐溪, 镜头朝15°, 照片位置位于图版 I 阿瓦特河剖面附近, 盐溪由北向南延伸可达数千米。
4. 盐溶蚀沟, 镜头朝80°, 照片位置位于图版 I 秋参1井剖面附近。

A Large-scale Salt Nappe Complex in the Leading Edge of the Kuqa Foreland Fold-Thrust Belt, Tarim Basin, Northwest China

TANG Liangjie^{1,2)}, JIN Zhijun^{1,3)}, JIA Chengzao⁴⁾, PI Xuejun⁵⁾,
CHEN Shuping^{1,2)}, XIE Huiwen⁵⁾, WANG Ziyu¹⁾

1) Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation in Petroleum University, Ministry of Education, Beijing, 102249

2) Basin and Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing, 102249

3) Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Beijing, 100083

4) PetroChina Company Limited, Beijing, 100011

5) Tarim Oilfield Company, PetroChina Company Ltd., Korla, Xinjiang, 840000

Abstract

The tectono-stratigraphic sequences of the Kuqa foreland fold-thrust belt, northern Tarim basin, Northwest China, can be divided into the Mesozoic sub-salt sequence, the Paleocene—Eocene salt sequence and the Oligocene—Quaternary supra-salt sequence. The salt sequences are mainly composed of light gray halite, gypsum and marl and brown clastics. A variety of salt-related structures have developed in the Kuqa foreland fold-thrust belt, in which the most fascinating structure is the salt nappe complex. Based on field observations, seismic interpretation and drilling data, a large-scale salt nappe complex has been identified. It trends approximately east—west for over 200 km and occurs along the western Qiulitag Mountain. Its thrusting displacement is more than 30 km. The salt nappe complex occurs as an arcuate zone projecting southwestward along the leading edge of the Kuqa foreland fold-thrust belt. The major thrust fault is developed along the salt beds of the Paleocene—Eocene. The allochthonous nappes are large N-dipping faulting monoclines composed of Paleocene—Pliocene sediments, thrusting on the autochthonous Meso-Cenozoic successions. According to the geological analysis and cross-section restoration, the salt nappes were mainly formed in the late Himalayan stage since the end of Neogene and are still active intensively at present. Because of the inhomogeneous thrusting, there are great differences in the displacement and occurrence of the thrust, the superimposition of the allochthonous and autochthonous sequences, and the development of the salt-related structures, indicating a feature of segmentation along the salt nappes. The salt nappe complex in the Kuqa foreland fold-thrust belt is controlled by regional compression, and gravitational gliding and spreading.

Key words: salt nappe; thrust fault; the leading edge of the Kuqa foreland fold-thrust belt; Tarim basin

