

Research on “Scaly” Faults in Keshen Area of Kuqa Depression

Nengxue Gao^{1,2} Xianjun Gao² Yong Fang² Xiaoguang Liu² Lu Yu²

1.School of Geoscience and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

2.BGP Inc., CNPC, Zhuozhou, Hebei, 072750, China

Abstract

Keshen area is located in the east section of Kelasu structural belt in Kuqa depression. It belongs to foreland thrust belt. The discovered gas reservoirs are mainly imbricate fault block gas reservoirs, and the fault structures between and within different fault blocks are extremely complex. The study of this area for many years shows that the faults in this area show the characteristics of north-south zoning on the plane, that is, the faults between different fault blocks are the boundary faults controlling the size of fault blocks and the scale of gas reservoirs, which are mostly distributed in east-west or near east-west directions; A series of associated faults of boundary faults are developed in the fault block, which plays a role in the transformation of the reservoir. However, with the deepening of the research on the faults in this area, it is found that the faults in this area are not distributed in a very regular north-south zoning, but show the characteristics of “scale” distribution on the plane. Through the analysis of the plane and section characteristics of faults in this area, this paper defines the spatial structural style of faults in this area, discusses its genesis, and further deepens the understanding of structures and faults in Keshen area.

Keywords

Kuqa depression; “scaly” fault; fracture pattern; genesis analysis

库车坳陷克深地区“鳞”状断裂模式研究

高能学^{1,2} 高现俊² 方勇² 刘晓光² 于璐²

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 中国·陕西 西安 710065

2. 中国石油东方地球物理公司研究院, 中国·河北 涿州 072750

摘要

克深地区位于库车坳陷克拉苏构造带的东段,属于前陆冲断带,已发现气藏主要以叠瓦状断块型气藏为主,不同断块间及断块内的断裂结构极其复杂。多年来对该区的研究表明该区断裂在平面上表现为南北分带的特征,即不同断块间的断层即为控制断块大小及气藏规模的边界断层,多呈东西向或近东西向展布;断块内部则发育一系列边界断层的伴生断层,起到对储层的改造作用。但随着对该区断裂研究的不断深入,发现该区断裂并非极规律地呈南北分带的分布,而是在平面上表现出“鳞”状展布的特征。论文通过对该区断裂平特征的分析,明确了该区断裂的空间构造样式,并对其成因进行了探讨,进一步深化了对克深地区构造及断裂的认识。

关键词

库车坳陷; “鳞”状断层; 断裂模式; 成因分析

1 引言

塔里木盆地天然气的绝大部分产量来自于库车坳陷,其中克拉、迪那、大北、克深等气藏年产气规模约180亿,占塔里木油田天然气总产量约80%,而克拉苏构造带的天然气产量又占到了库车山前带的83%以上。克拉苏构造带东段的克深地区先后发现了克拉2、克深2、克深8等大型特大型气藏,是库车地区建成的首个万亿方大气区,也是“西气东输”工程的主要气源地之一。但在滚动勘探开发的实践过程中,随着井震资料的增多,构造研究的不断深入,

发现对克深地区乃至整个克拉苏构造带断裂模式的认识还存在一些问题。在勘探和评价的初期,由于地震资料信噪比,钻井地质等资料相对较少,为了简化构造模型,对该区断裂模式进行了大量的简化,在此基础上形成的认识已经不再适用于当前不断细化的勘探开发工作需求,因此论文以资料品质良好、构造模式典型的克深区块为例,对克深地区的断裂发育模式展开了较为详细的研究。

2 区域地质概况

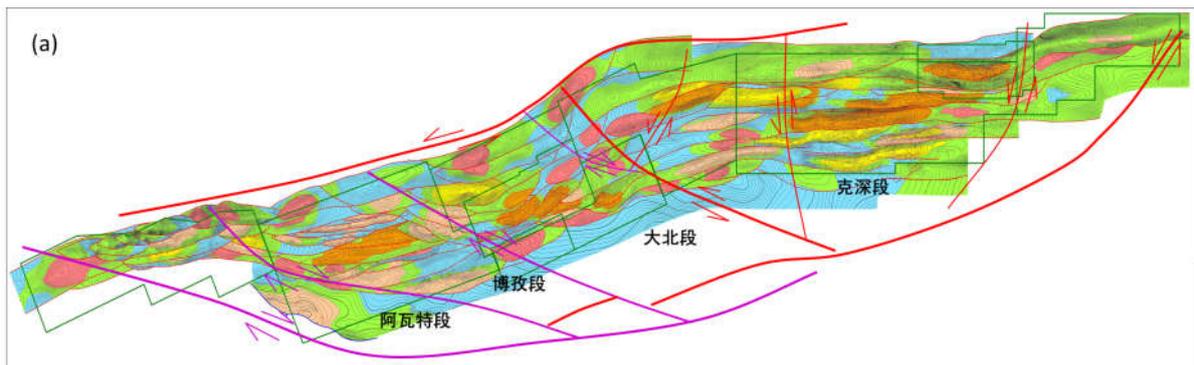
该区的构造模式属于典型的双滑脱构造,早期认为克拉苏地区盐上及盐下构造自西向东是被区域走滑断层划分为多个次级构造段的,呈现东西分段、南北分带的平面展布特征(见图1a)。支撑这个观点的证据主要有两点,一

【作者简介】高能学(1986-),男,中国河北枣强人,本科,工程师,从事地震资料处理解释一体化综合研究。

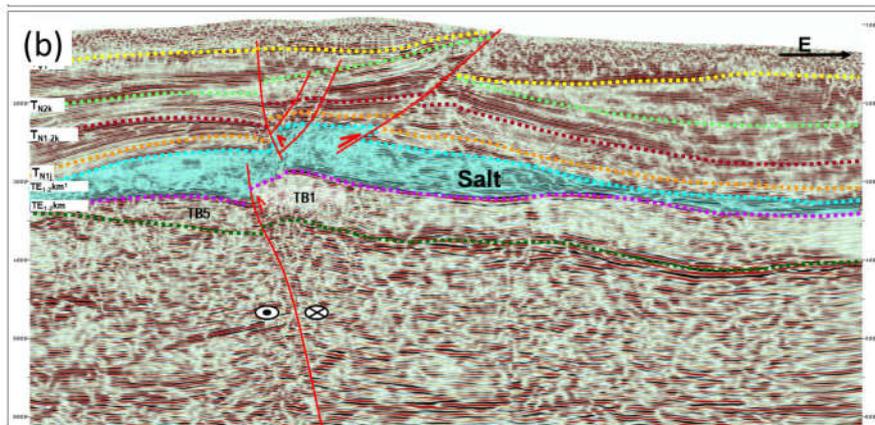
是该区某些地震剖面上由深至浅发育一系列花状断层，且这些断层具有一定的走滑特征（见图 1b）；二是现阶段地表发育的一系列走滑断层，且重磁电等非地震资料也在这些部位显示出各种异常，证实了在这些部位确实存在一些断裂响应（见图 1c）。但近年来随着对克拉苏构造带研究的不断深入，发现原有构造模式与克深段的实际资料存在较大差异，如 K9 构造南翼断层的断距自西向东时大时小，按照前期认识难以实现构造细节及其断裂系统的精细落实，无法满足新区评价和老区开发的生产需求^[1]。

克拉苏构造带的断裂发育模式可能远非前期认识那么

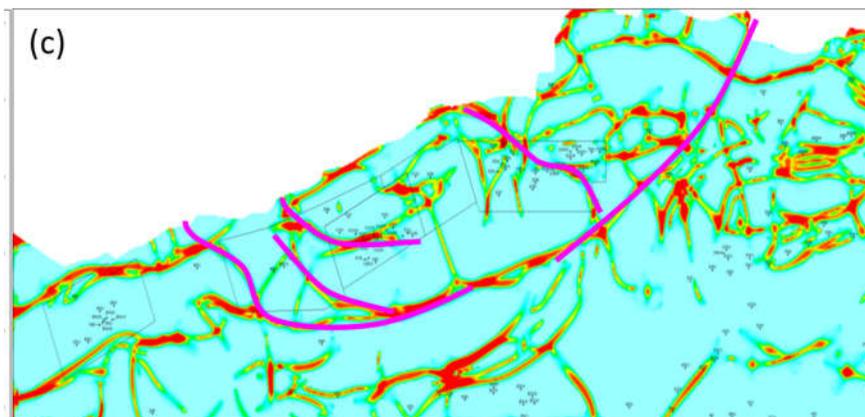
简单，原因在于该区发育古近系膏盐岩和侏罗系煤系两套强塑性地层，属于典型的双滑脱构造样式。盐上和盐下地层的应力场环境与构造变形机制差异巨大，构造发育模式与展布特征必然存在较大不同。地表观察到的走滑断层不能代表盐下构造模式，非地震数据的精度又比较低，特别是对盐下地层的反应可靠性不高，据此推断盐下构造模式说服力不强。另外该区地震资料整体较差，信噪比低、同相轴连续性差，地震剖面也存在较大多解性，且断层平面组合样式多变，都使问题更加复杂化，如果要获得盐下地层的构造模式需要更加可靠的数据来验证真实的地下地质情况^[2]。



(a) 克拉苏构造带勘探成果图



(b) 克拉苏断裂模式剖面



(c) 库车坳陷布格重力异常图

图 1 克拉苏构造带早期认识

3 构造样式建立与应用

近年来随着物探技术的不断更新,宽方位、高密度的地震采集技术在库车山前带的应用更加广泛,推动复杂山前带地震资料品质不断提高。如博孜地区采集的“两宽一高”地震资料的白垩系地层信噪比与成像质量较老资料均有明显改善,从博孜地区南北向和东西向的叠前深度偏移剖面均可清晰地识别出古近系库姆格列木群的顶底界面,且构造内部的断裂系统也清晰可见,能够据此实现对构造和断裂的精细落实(见图2)。

本次研究以该区新采集的多块高信噪比资料为基础,通过地震地质综合解释研究,实现了对博孜气藏构造与断裂特征的精细落实,其构造模式与前期认识发生较大变化(见图3)。原来博孜气藏的构造为较完整的背斜构造,重新落实后内部被一系列弧形展布的断层切割为三个次级断块,原来南北两条边界断层实际是由多条不同的断层组合而成。气藏内不同井实测压力也证实了不同井区之间确实存在压力差异,说明内部断层的存在确实对气藏内流体的分布与调整产生了一定影响^[3]。

正是根据这种认识的转变,在克拉苏构造带的研究中,引入了斜断坡模式来支持该区的构造研究工作。所谓斜断坡是断坡的一种,逆断层由断坪与断坡组成,上、下盘岩层产状与逆冲断层产状一致的区段,为断坪;上、下盘岩层产状与逆冲断层产状交切,其断层切层部位,为断坡。根据断坡走向与逆冲断层位移方位的关系,断坡可分为前断坡、侧断坡和斜断坡。斜断坡是断坡走向与逆冲方向斜交的断坡,兼具走向滑动与倾向滑动,处于压剪性应力状态,是背斜构造的易发部位^[4]。

克拉苏构造带正处于压剪应力环境下的构造结合部位,在南天山推覆作用下开始发育一系列斜列式断层。斜列式断层的斜断坡对构造发育起到阻挡作用。随着推覆距离的增加,斜断坡上用来吸收地层缩短量的距离减小,因此容易在斜断坡上盘形成背斜构造,所以斜断坡上盘是背斜构造的易发部位。以此为切入点,将这种模式运用在克深地区,开展了新一轮的构造精细解释,以K13气藏为例。其中,图4为K13气藏东西向叠前深度偏移剖面,原解释成果认为白垩系顶面不存在较大断层,但在构造高点位置地层突然增厚,无法从沉积模式进行解释。故修改其模型为中间存在一条较大规模的“U”型断层,而“U”型断层正是斜断坡模型的典型剖面特征,其平面特征为“鳞”状或“波浪”状^[5]。

通过对K13气藏构造与断裂的精细解释,得到K13气藏的构造图,其构造被多条“鳞”状连接的断层切割(见图5),这种平面呈“鳞”状展布的断裂模式,是因为多个断块在东西向上逐渐变窄消失的,使得构造剖面特征变得异常复杂,如K9A井附近(见图6a),原来认为K9气藏与K13气藏直接接触,它们之间资料品质差,导致K9气藏南翼不清楚,实际是对构造模式的认识错误,K9气藏下盘是K21气藏断块逐渐消失的位置,构造模式变复杂,加大了解释难度。再比如K13气藏东西高点交接部位(见图6b),过去以为没有断层就没有断层,实际是该断距较小,并且这种斜向的断层具有一定的走滑性质,导致剖面断层特征不明显造成的,断层难以识别。过K13气藏关键部位的东西向剖面(见图6c)显示各个断块间的关系非常清楚,构造属于“鳞”状构造。故推测克深地区的“鳞”状构造应该广泛发育,在后期的勘探开发中要充分考虑断层对气藏的影响^[6]。

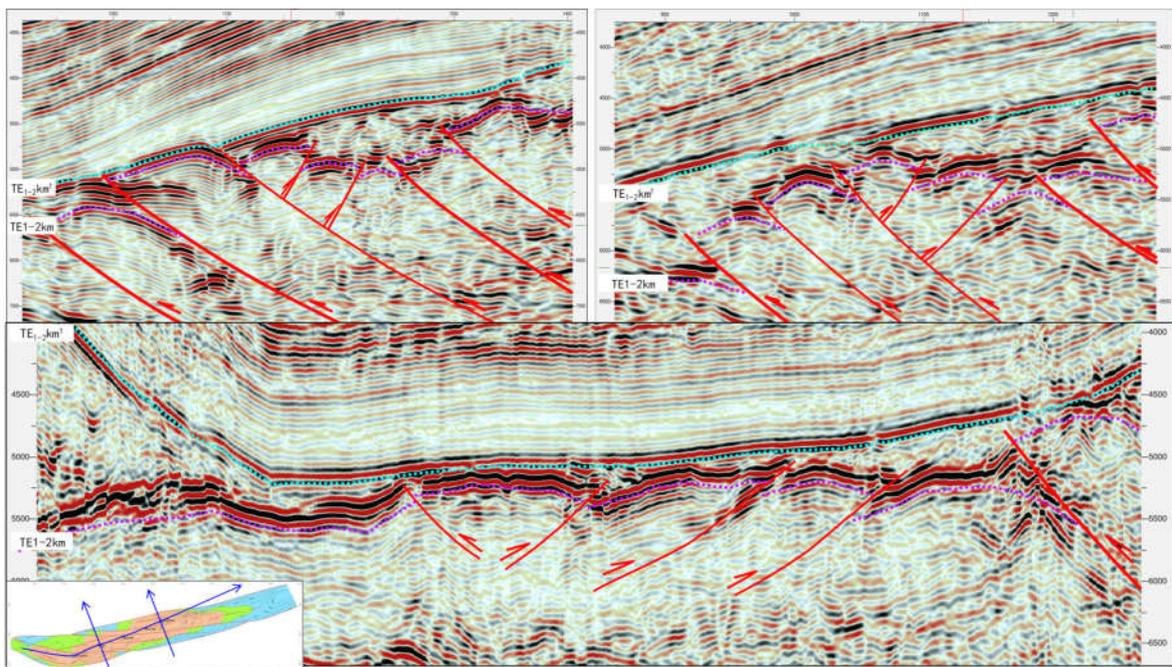


图2 博孜地区地震剖面

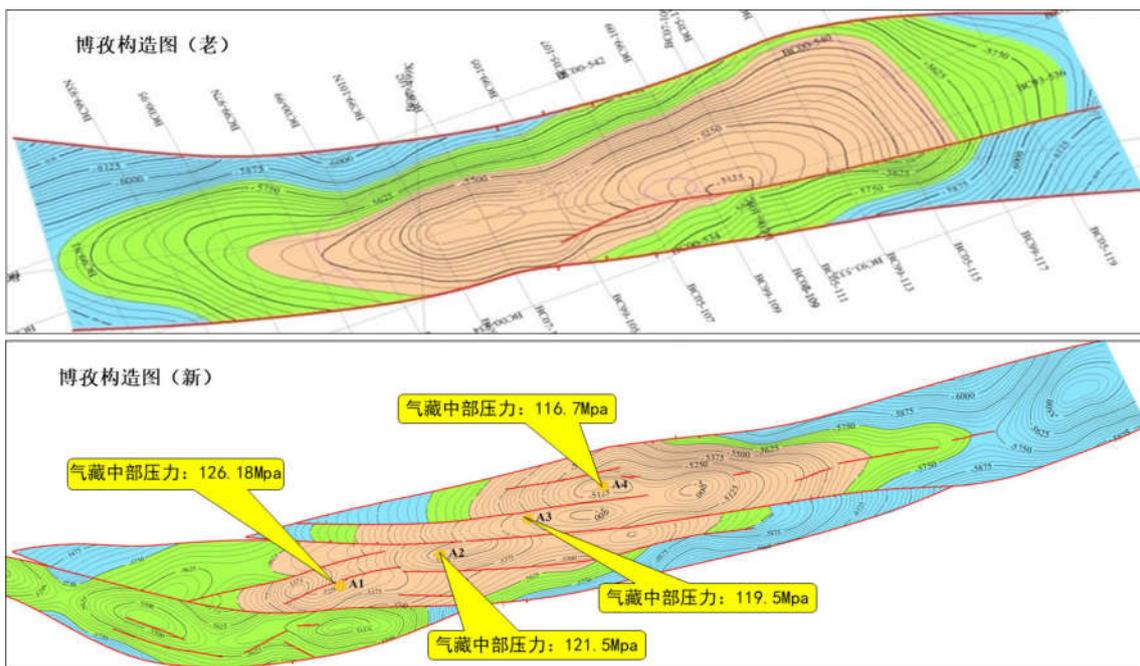


图3 博孜地区新老构造图对比

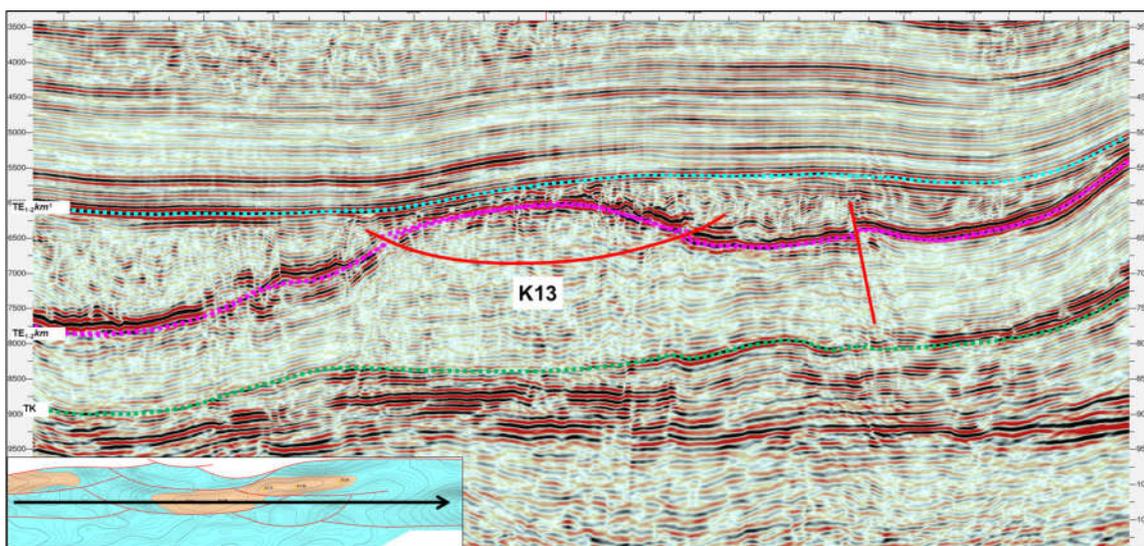


图4 K13气藏东西向叠前深度偏移剖面

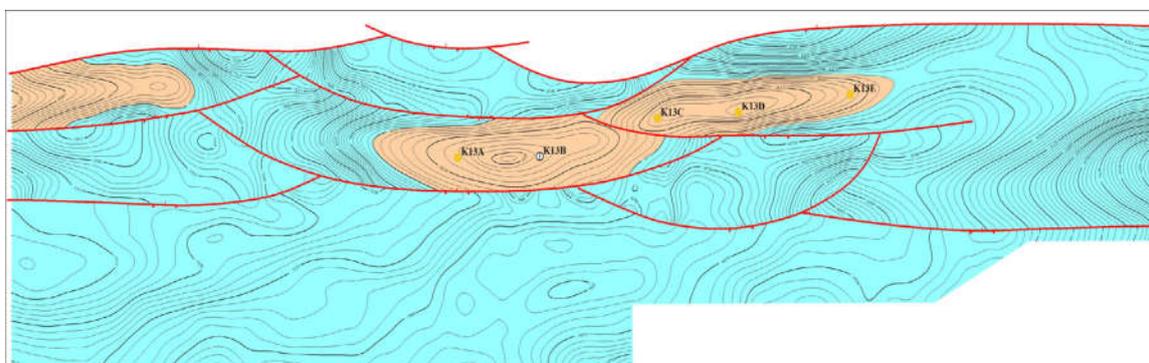


图5 K13气藏白垩系顶面构造图

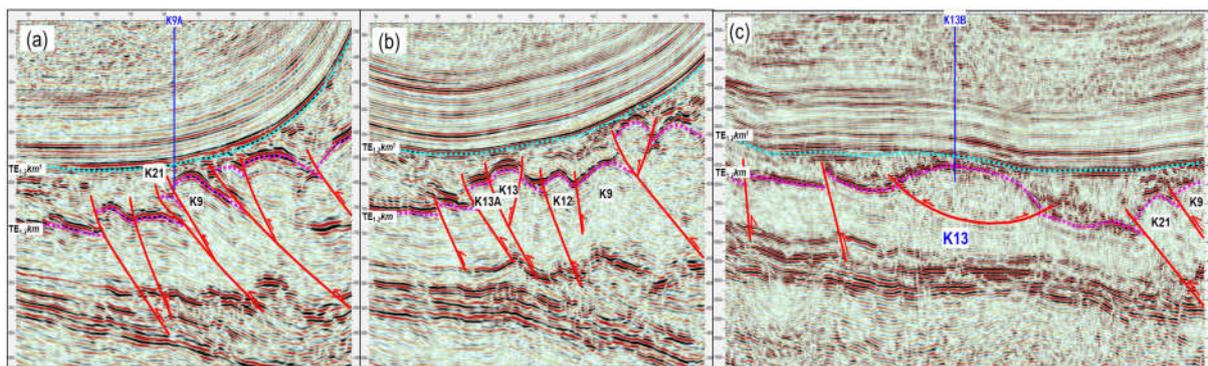


图6 过K13气藏关键部位剖面

4 构造成因分析

克深地区之所以形成“鳞”状构造模式，其关键原因在于该区盐上和盐下构造均形成于新近系康村组沉积末期开始的天山造山运动，此次运动使克拉苏构造带整体经历了一期长距离的不均衡推覆。克拉苏构造带东西长约200公里，东西向不同段之间以及段内不同部位都存在明显的缩短量差异，物理模拟实验表明长距离的不均衡推覆，会形成大量平行或不平行的小型断层和褶皱，断层可以是同向或者对向。然后随着构造运动的进一步加剧，不同的断层和褶皱之间开始发生横向的生长和连接，最终形成鳞片状叠至的构造格局（见图7）。

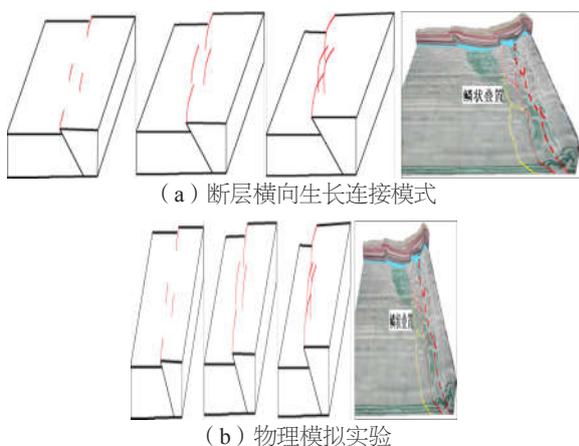


图7 断层横向生长连接模式和物理模拟实验

这种现象在伊拉克东北部的札格罗斯地区以及北疆准

噶尔盆地都是非常发育的，札格罗斯地区和克深地区的沉积模式和构造演化模式都极度相似，Simon Higgins 等人在2007年即提出相似的构造演化模式。准噶尔盆地南部的北天山冲断带、西北冲断带、东北冲断带都发育大量类似克深地区的断层或构造，其平面展布特征为“鳞”状或“波浪”状（见图8），与克深地区的构造模式基本一致^[7]。

中国和其他国家的多个盆地都存在和克深地区类似的构造模式，究其成因就是构造发育早期的小断层和褶皱不断生长、发育，在横向上相互连接，发生构造的软连接和硬连接，最终形成在平面上的“鳞”状或“波浪”状构造。

5 结论

在未来很长时间内，克拉苏构造带的白垩系巴什基奇克组依然是库车坳陷的主战场，虽然其目前的勘探程度已经很高，但目前对盐下构造模式还存在较大的认识误区，限于地震资料的品质及分辨率问题，很难给出确定性答案。通过充分分析并借鉴国际学者的研究成果，综合本区的资料总结出以下两点认识：

- ①克深地区存在大量的“鳞”状连接的断层和构造，并且这种类型的构造模式可能在克拉苏地区广泛发育。
- ②这种“鳞”状断层对构造及气藏具有明显的控制作用，特别是对气藏的规模与边底水分布产生较大影响，在勘探开发工作中要引起注意。

在克拉苏构造带的后期研究过程中应该加强构造建模研究，重视断裂系统研究，明确该区的断裂发育特征以及它们对构造的控制作用和对气藏开发的影响，在勘探评价阶段

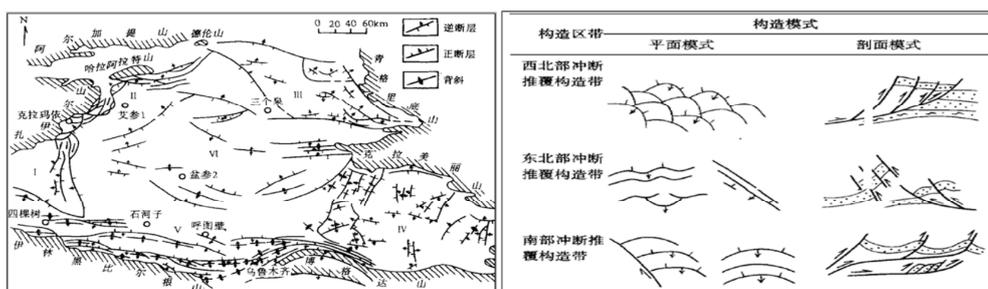


图8 准噶尔盆地断层平面组合样式

要为后期的油气开发提前做好准备,达到精细落实构造和油气高效开发的目的。

参考文献

- [1] 孙家振,李兰斌,周新源,等.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[J].石油实验地质,2003(3):247-251.
- [2] 冯建伟,孙建芳,张亚军,等.塔里木盆地库车坳陷断层相关褶皱对裂缝发育的控制[J].石油与天然气地质,2020,41(3):543-557.
- [3] 王伟锋,王毅,陆诗阔,等.准噶尔盆地构造分区和变形样式[J].地震地质,1999(4):324-333.
- [4] 王伟锋,王乾,单新建.库车前陆冲断带横断层发育特征及其形成机制[J].中国地质,2018,45(3):493-510.
- [5] 孟庆芬,徐朝晖,徐怀民,等.准噶尔盆地西北缘百口泉区前陆冲断带撕裂断层特征及控藏作用[J].中国石油大学学报(自然科学版),2008(5):18-21+27.
- [6] 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:地球科学),2003(1):38-46.
- [7] Yaghoub Jalili, Ali Yassaghi, Mohammad Mahdi Khatib, et al. Effect of transverse faults on fracture characteristics and borehole instability in the Asmari reservoir of Zagros folded belt zone, Iran[J].Journal of Petroleum Science and Engineering,2020,188(2C):32-35.