

文章编号: 1000-0550(2000)02-0302-08

塔里木盆地北部隆起牙哈断裂带 负反转过程与油气聚集^①

汤良杰 金之钧

(石油大学盆地与油藏研究中心 北京昌平 102200)

摘要 采用地层厚度分析、“零点”分析、位移/距离曲线分析和断层生长指数分析等方法,讨论了牙哈负反转断裂带的几何学和运动学特征、主反转期及控油作用。结果表明牙哈主断裂主反转期为早白垩世,负反转活动结束于中新世康村期—上新世库车期。牙1号断裂主反转期为中新世苏维依期,牙2号断裂主反转期为晚白垩世—老第三纪,二者都于中新世康村期结束反转活动。牙哈断裂带油气聚集和分布与断裂的负反转活动有关。

关键词 负反转断裂 主反转期 位移/距离曲线 油气聚集 塔里木盆地

第一作者简介 汤良杰 男 1957年出生 教授级高级工程师 博士后 主要研究领域为盆地分析和石油地质
中图分类号 P618.130.2 P542+3 **文献标识码** A

1 前言

近年来,反转构造(inversion tectonics)研究已经成为含油气盆地分析中的重要研究课题之一^[1~3]。对于中国西北地区多旋回构造演化盆地来说,明显表现出多期次反转。这些反转过程大都以正反转为主,造成盆地或区域范围的断裂、褶皱、隆升和剥蚀。但在特定条件下,也有较大规模的负反转作用形成,如在塔里木盆地北部隆起(以下简称“塔北隆起”)的情形。塔北隆起负反转断裂带沿库车拗陷和塔北隆起交界部位延伸,由轮台主断裂、牙哈主断裂、牙1和牙2号断裂以及一系列次级断裂组成^[4,5],延伸长达200 km以上,宽10~30 km,具有“先逆后正”(剖面上表现为下逆上正)的特征。如此规模的负反转断裂带不仅在塔里木盆地,而且在整个中国西北所谓“压扭性盆地”中也极为罕见。更为重要的是,沿牙哈负反转断裂带形成了规模油气聚集。深入研究塔北隆起反转断裂的判别标志、反转期和反转速率、形成机制、发育规律及其控油作用具有重要意义。本文主要讨论牙哈负反转断裂带的反转过程及其控油作用。

2 牙哈负反转断裂带几何学和运动学特征

牙哈负反转断裂带主要由牙哈主断裂、牙1号断裂和牙2号断裂组成,构成塔北隆起的北界,是塔北隆起和库车拗陷分界断裂带,走向NEE,断续延伸200 km以上,其中牙哈主断裂所在的部位可以确切地揭

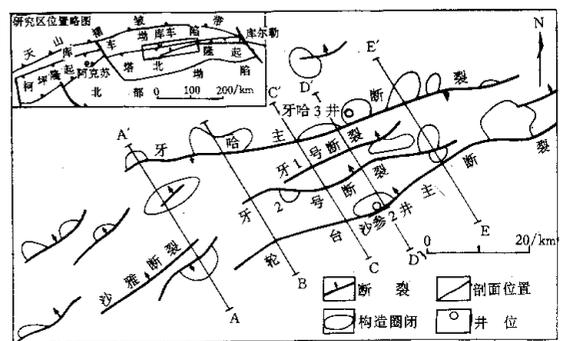


图1 牙哈断裂带展布特征示意图

Fig. 1 Sketch map showing the location of Yaha fault belts

示该断裂带的负反转特征(图1)。

长期以来,对牙哈主断裂的性质在认识上存在分歧,主要分歧点有(1)断裂北盘是否存在震旦纪—早古生代地层?(2)断面产状是北倾还是南倾,是否与轮台断裂构成背冲断块组合?钻探资料揭示牙哈主断裂北盘有下古生界碳酸盐岩存在,其中牙哈5井在白云岩中获工业油气流。现在可以比较准确地描述牙哈主断裂几何学和运动学特征:牙哈主断裂断面南倾,倾角上陡下缓,呈铲状形态,是在先存基底断裂带或软弱带基础上发育起来的,与轮台断裂带构成背冲断裂系,控制着背冲断块构造的发育,其不同段落横剖面形态特征如图2所示。早期南盘往北逆冲推覆,基底顶面剥蚀残余垂直断距可达700 m以上。

^① 中国博士后科学基金项目 and “八五”国家科技攻关项目(85-101)资助

牙哈负反转断裂带冲断运动一直持续到燕山中 发生负反转运动,转化为生长正断层。牙哈主断裂运
期,可能从白垩纪开始,牙哈断裂带沿先存断面下滑, 动学特征沿走向发生变化,不同部位断距和切割层位

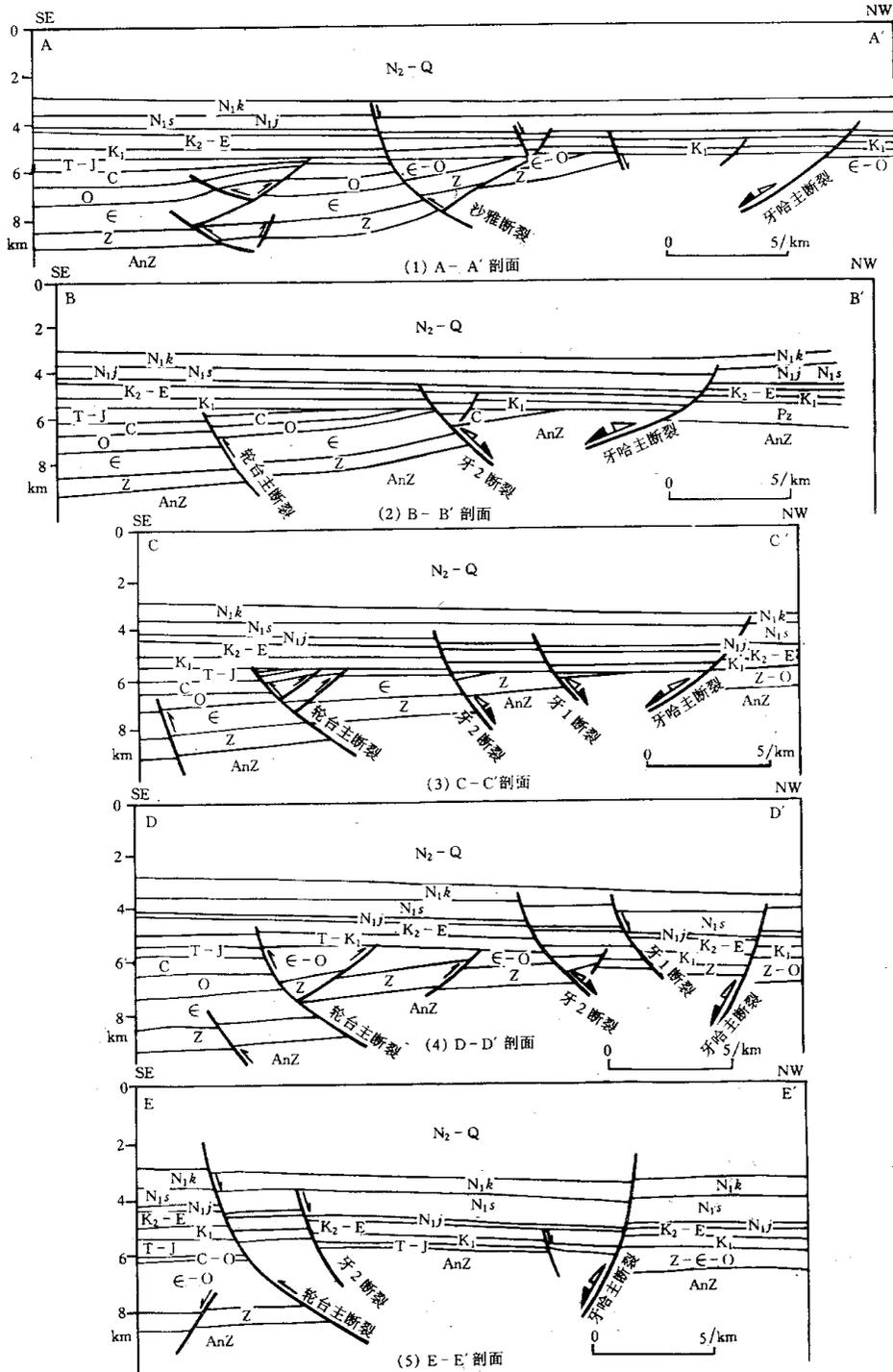


图 2 过牙哈负反转断裂带横剖面图(剖面位置见图 1,图中空心箭头示早期逆断层活动,实心箭头示晚期正断层活动)

Fig.2 Cross sections through Yaha negative inversion fault belts (See Fig.1 for the location of lines)

表 1 牙哈主断裂不同部位断距、切割层位及断层性质变化简表

Table 1 Change of vertical separation, faulted sequence and fault character from different segments of main Yaha fault

地层代号	E—E'		D—D'		C—C'		B—B'		A—A'	
	垂直断距 /m	断层性质								
K ₂ k—Q	60	正								
K ₁ k	129	正	151	正	110	正	66	正		
K ₁ j	231	正	162	正	192	正	257	正	44	正
K ₁ s	234	正	188	正	188	正	274	正	51	正
K ₂ —E	359	正	290	正	155	正	253	正	88	正
K ₁	246	正	372	正	92	正	448	正	89	正
T—J										
C—P										
S—D										
€—O										
Z										
AnZ	680	逆	425	逆	795	逆	310	逆	620	逆

均有差别(表 1),主要表现为:

(1)由东往西断层往上切割层位减少,如图 2(5)(图 3b),其主要特征如下:

E—E'剖面牙哈主断裂切穿康村组(N₁k)进入库车组

(1)同生逆断层序(contemporaneous thrust

(N₂k)往西 A—A'剖面牙哈主断裂往上只断入吉迪克组(N₁j)图 2(1);

(2)由东往西断距有减小的趋势;

(3)中、新生界各层位均表现为正断层性质,仅前震旦系基底顶面表现为逆冲断层性质。

与牙哈主断裂相伴出现的牙 1 号断裂位于牙哈主断裂南约 4 km 处,与牙哈主断裂近于平行延伸,长约 35 km,断面北倾,断层切割层位由东往西减少。牙 2 号断裂位于牙哈主断裂南约 8 km 处,与牙哈主断裂近于平行延伸,长约 38 km,断面北倾。牙 1 和牙 2 号断裂均属于负反转断裂,它们与牙哈主断裂一起控制着“地堑式”断块体的发育。牙 1 号断裂和牙 2 号断裂在不同部位的断距和切割层位也有明显差异(表 2),反映了断裂活动的复杂性。

3 牙哈主断裂主反转期和生长指数

3.1 位移/距离曲线

图 3a 为负反转断裂剖面模式,以图 3a 层序 5 顶部断层停止活动的点作为参考点,以断层上盘各层序距离参考点的距离(平行于断面度量)为纵座标,以各层序位移性质(引张位移或收缩位移)和位移量大小为横座标进行投点,可以得到负反转断裂位移/距离曲线

表 2 牙 1 和牙 2 号断裂不同部位断距、切割层位及断层性质变化简表

Table 2 Change of vertical separation, faulted sequence and fault character from different segments of Ya No.1 and No.2 fault

地层代号	牙 1 号 断 裂						牙 2 号 断 裂					
	B—B'		C—C'		D—D'		C—C'		D—D'		E—E'	
	垂直断距 /m	断层性质	垂直断距 /m	断层性质	垂直断距 /m	断层性质	垂直断距 /m	断层性质	垂直断距 /m	断层性质	垂直断距 /m	断层性质
N ₂ k												
N ₁ k			152	正	63	正	80	正	82	正		
N ₁ j	64	正	171	正	112	正	86	正	131	正	205	正
N ₁ s	132	正	67	正	205	正	175	正	133	正	201	正
K ₂ —E	135	正	46	正	118	正	45	正	184	正	216	正
K ₁					122	正			141	正	117	正
T—J												
C—P												
S—D												
€—O												
Z	847	逆					573	逆	346	逆		
AnZ	796	逆	423	逆	208	正	656	逆	608	逆	100	正

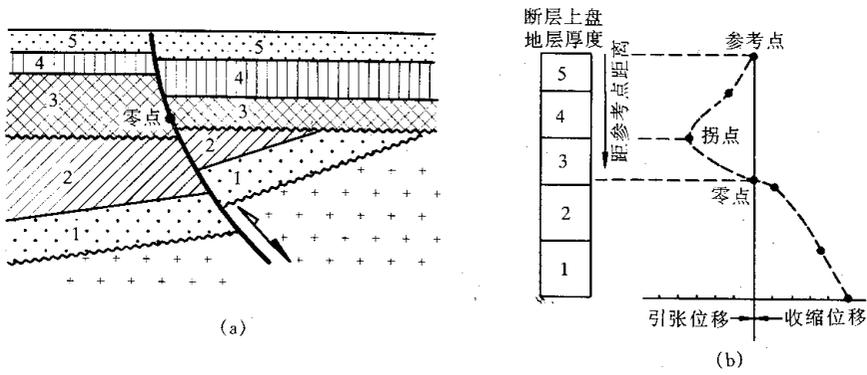


图 3 负反转断裂剖面模式 (a) 及位移/距离曲线 (b)

Fig. 3 Sketch section and displacement/distance plot of a negative inversion fault

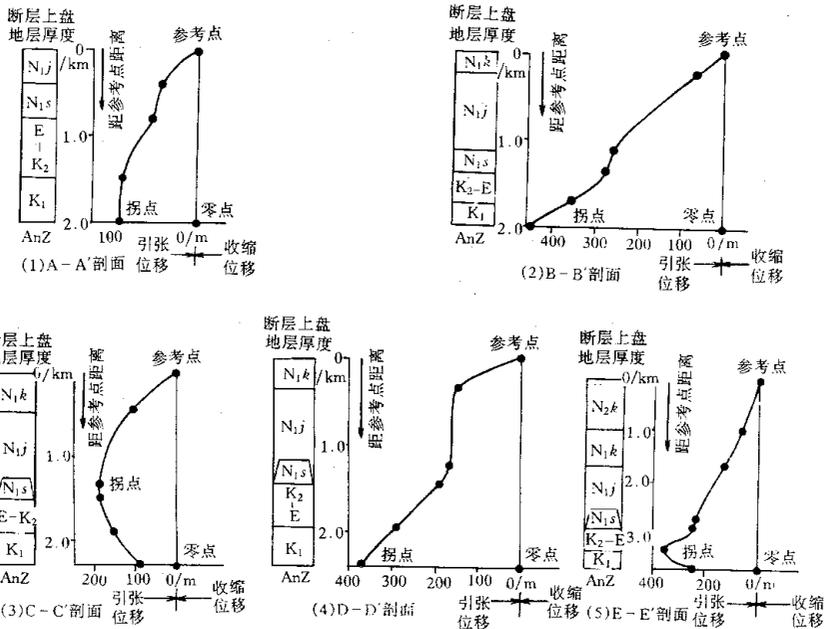


图 4 牙哈负反转断裂位移/距离曲线

Fig. 4 Displacement/distance curve of Yaha negative inversion fault

sequence) 在负反转过程中, 总有一个特定的“点”, 其断层两侧的标志层在形式上未被断开。该点的上部层序表现为净引张状态, 下部层序表现为净收缩状态。这种断层上从净引张转化为净收缩的点称为“零点” (null point)^[6]。随着负反转作用的增强, 零点的位置逐渐从层序 3 的顶部往下位移到层序 3 的下部;

(2) 位移/距离曲线的拐点为断层由冲断活动向负反转活动转化的转折点。拐点至零点曲线段所代表的层位虽然现今表现为引张位移, 但在地史时期中它们最初发生的是冲断活动, 现今的引张位移是负反转作用的结果。因此, 可以根据拐点的位置判断负反转活动的起始时间;

(3) 位移/距离曲线拐点所对应地层的地质时代代表了最大主反转期;

(4) 拐点至参考点曲线段是负反转期间正断层活动的结果。

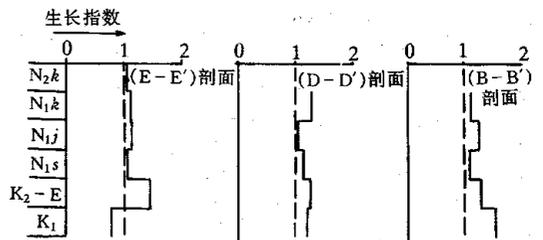


图 5 牙哈负反转断裂生长指数曲线

Fig. 5 Growth index curve of Yaha negative inversion fault

3.2 牙哈主断裂主反转期

根据牙哈主断裂剖面演化序列,表明该断裂在前白垩纪时期主要表现为多次冲断活动,从早白垩世开始,断裂大部就发生负反转运动。这种负反转活动有的部位结束于中新世吉迪克期(N_2^1) (图 2(1)A—A'剖面),大部结束于中新世康村期(N_3^1),在断裂东段可能到上新世库车期(N_2)才结束负反转活动。

3.3 牙哈主断裂位移/距离曲线

牙哈负反转断裂的位移/距离曲线如图 4 所示,可以看出以下几点:

(1)除 C—C'和 E—E'剖面外,曲线拐点均位于下白垩统底部,反映该断裂负反转活动主要开始于早白垩世初期;

(2)早白垩世为牙哈断裂主反转期(图 4(1)(2)和(4)),此后反转活动逐渐减弱,在晚白垩世—老第三纪、中新世苏维依期(N_1^1)和中新世康村期(N_3^1)有次级反转期存在(图 4(3)(4)和(5));

(3)由于牙哈主反转断裂上盘白垩系直接不整合于前震旦系变质岩系之上,其间缺失了大套地层,使得曲线“零点”均位于坐标原点,反映该界面作为白垩系底界具有确定的引张位移,而作为前震旦系基底顶界则具有较大的收缩位移,指示了同一地层界面具有引张和收缩的双重构造性质。

3.4 牙哈负反转断裂生长指数

同生正断层活动时,断层上、下盘相应地层的厚度比值称为生长指数,用代号 E_i 表示。 $E_i=1$ 时,反映断层上、下盘地层厚度相等,表明断层没有发生引张活动; $E_i>1$ 时,反映断层上盘地层厚度大于下盘相应地层的厚度,表明断层发生同生正断层活动, E_i 值越大,断层生长越快,引张作用越强烈。如图 5 所示,白垩纪—老第三纪牙哈主断裂负反转作用较强,断层生长指数 E_i 值达 1.44~1.54。中新世苏维依期(N_1^1)反转活动微弱,断层生长指数 E_i 值仅为 1.02~1.14。中新世吉迪克期(N_2^1)和康村期(N_3^1)仍有一定的引张作用, E_i 值可达 1.25~1.28。

4 牙 1 和牙 2 号断裂反转期和生长指数

4.1 牙 1 和牙 2 号断裂反转期

据剖面演化序列分析,牙 1 号断裂负反转活动主要开始于中新世苏维依期(N_1^1),结束于中新世吉迪克期(N_2^1)和康村期(N_3^1)。牙 2 号断裂负反转活动开始于晚白垩世—老第三纪(K_2 —E)早期,西段结束于中新世苏维依期(N_1^1),东段结束于中新世康村期(N_3^1)。

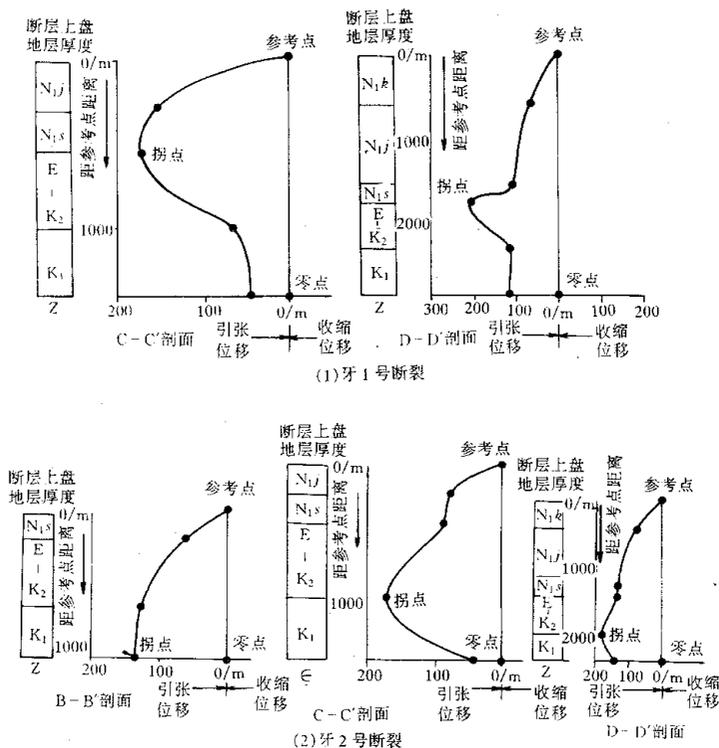


图 6 牙 1 和牙 2 号断裂位移/距离曲线

Fig. 6 Displacement/distance plots of Yaha No. 1 and No. 2 fault

表 3 塔北隆起烃源岩演化与成藏期

Table 3 The source rock evolution and reservoir-forming time of the north Tarim uplift

烃源岩层位	寒武系-下奥陶统	中-上奥陶统	石炭系	三叠系-侏罗系
主要生油阶段	海西晚期	喜马拉雅期	喜马拉雅期	喜马拉雅期
高成熟阶段	海西晚期			
成藏期	自供	海西晚期以来	喜马拉雅期	喜马拉雅期
	它源	加里东中期以来	喜马拉雅期	喜马拉雅期
	二次生油	喜马拉雅期		

4.2 牙 1 和牙 2 号断裂位移/距离曲线

牙 1 号断裂位移/距离曲线(图 6(1))拐点位于苏维依期组(N_{1s})底部,反映该断裂负反转活动开始于中新世苏维依期(N₁)。中新世苏维依期(N₁)为牙 1 号断裂主反转期。曲线“零点”位于座标原点,反映同一地质界面引张位移和收缩位移双重属性。

牙 2 号断裂位移/距离曲线(图 6(2))拐点位于上白垩统一下第三系底界,表明该断裂负反转活动开始于晚白垩世—老第三纪(K₂—E)。晚白垩世—老第三纪为牙 2 号断裂主反转期。曲线“零点”位于座标原点,反映白垩系底界(或震旦系顶界)兼具引张和收缩位移双重属性。

4.3 牙 1 和牙 2 号断裂生长指数

牙 1 号断裂最大引张活动期为中新世苏维依期(N₁)断层生长指数 E_i 值达 1.1~1.69。牙 2 号断裂晚白垩世—老第三纪引张活动较强,断层生长指数 E_i 值为 1.1~1.18。中新世吉迪克期(N₁²)也具有一定的生长活动,E_i 值为 1.06~1.14。

5 牙哈负反转断裂带油气聚集

牙哈断裂带经历了早期(海西晚期—燕山早期)逆冲、晚期(燕山晚期—喜马拉雅期)上盘下掉张性正断的负反转活动过程,导致沿断裂带发育了众多不同类型的局部构造,主要有断块、断鼻、断背斜、断块潜山和披覆背斜等,其主形成期为白垩纪—第三纪,与牙哈负反转断裂带的主反转期一致,反映沿该断裂带发育的圈闭构造主要受反转正断层控制(图 7)。

“八五”国家科技攻关项目研究表明^①,塔北隆起发育寒武系一下奥陶统、中—上奥陶统、石炭系和三叠系—侏罗系等 4 套烃源岩,库车坳陷发育以三叠系—侏罗系为主的烃源岩,成熟度研究反映除寒武系一下奥陶统烃源岩外,主要生油阶段都发生在喜马拉雅期,油气成藏期也主要集中在喜马拉雅期(表 3),与牙哈断裂带负反转活动期和沿该带发育的圈闭构造形成期一致。

藏、单斜断块油气藏和断块潜山油气藏等,单个圈闭面积较小,一般数平方公里—数十平方公里,闭合幅度较低,一般小于 100 m,这主要与该区负反转作用的强度较弱有关,油气藏沿断裂带呈狭窄条带状分布,油气充

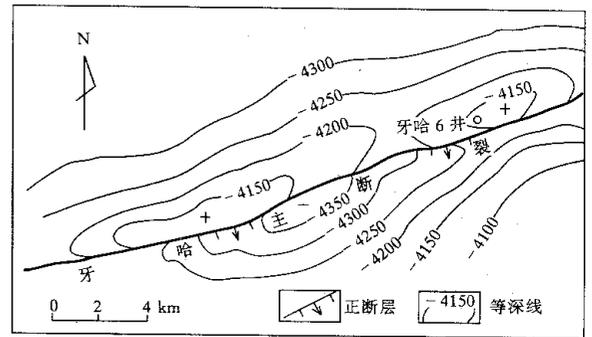


图 7 沿牙哈主断裂典型圈闭构造示意图

(中新统苏维依组底砂岩面),反映北盘圈闭构造受反转正断层控制

Fig. 7 Sketch contour map of the top of Suwiyi Formation bottom sandstone(N₁) showing the traps controlled by inversion normal fault

满度较高,以凝析气藏为主。

6 结论

(1)对于负反转断裂,可以通过位移/距离曲线的“拐点”和“零点”分析以及断层生长指数分析,来研究其几何学、运动学特征、主反转期和反转过程。牙哈主断裂的主反转期为早白垩世,牙 1 号断裂的主反转期为中新世苏维依期(N₁),牙 2 号断裂的主反转期为晚白垩世—老第三纪(K₂—E),表明不同断裂其主反转期是不同的。位移/距离曲线研究表明同一条断裂不同段落的主反转期也不一致,反映了反转过程的不均一性和复杂性;

① “八五”国家科技攻关项目研究成果报告.新疆塔里木盆地油气资源.地矿部西北石油地质局.1995

(2) 牙哈主断裂的负反转活动结束于中新世康村期(N_1^3)—上新世库车期(N_2), 而牙 1 和牙 2 号断裂均于中新世康村期(N_1^3)结束反转活动, 也反映了反转过程的不均一性。牙哈断裂带主反转期与圈闭形成期、油气运聚成藏期有着良好的配置关系, 沿断裂带发育成排分布的圈闭构造, 因而具有较优越的油气聚集条件;

(3) 越来越多的资料证实, 同一个断裂带中不同单个断裂的活动期、活动强度、切割层位及断距大小是有很大差别的, 甚至同一条断裂的不同段落其活动性也不一样。从本文图 2 和图 4 可以看出, 牙哈主断裂的主反转期大部发生在早白垩世, 但在 E—E' 剖面处发生在晚白垩世—老第三纪, C—C' 剖面处发生在中新世吉迪克期(N_1^3), 表明在不同地段反转期存在差异。其控制因素可能与应力集中部位、作用时间、岩石强度和基底控制程度有一定关系, 但造成这一现象的动力学机制还有待于进一步探讨;

(4) 牙哈断裂带的负反转作用可能与其特殊的构造部位有关, 在中—新生代区域挤压构造环境下, 库车前陆拗陷快速挠曲沉降, 塔北前陆隆起与前陆拗陷接触的一翼发生翘起作用, 引起局部引张构造应力场, 从而导致负反转活动, 形成整体呈北东东向分布的反转正断层体系, 同时还受到先存构造形迹的控制;

(5) 关于轮台断裂带, 轮台断裂带和牙哈断裂带都是塔北隆起负反转断裂带的重要组成部分, 在空间展布和成因特征上有着紧密的联系(图 1 和图 2)。本文只讨论牙哈负反转断裂带, 主要是基于以下原因: a. 牙

哈断裂带(包括牙哈主断裂、牙 1 号断裂和牙 2 号断裂)地层发育程度与轮台断裂明显不同, 前者地层缺失较多, 而后者地层发育相对齐全。b. 从剖面形态特征看, 轮台主断裂和牙哈主断裂各有一套与其相匹配的次级断裂(图 2(3)和(4)), 前者往往形成潜山—披覆背斜组合, 后者控制着“地堑式”断块体的发育, 二者有显著差别。c. 研究表明, 牙哈主反转断裂和牙 1、牙 2 号负反转断裂的位移/距离曲线型式一致, 轮台主反转断裂的位移/距离曲线型式与之有很大差异。对于轮台断裂带的负反转特征, 我们于另文加以阐述。

研究过程中得到了王鸿祯院士、张一伟教授、刘和甫教授和陆克政教授的热情指导, 黄太柱和康志宏等参加了研究工作, 一并致以深切的谢意。

参 考 文 献

- 1 Cooper M A, Williams G D, eds. Inversion tectonics[C]. Geological Society, London, Special Publication, 1989. 44
- 2 Coward M P. Inversion tectonics[A]. In Hancock P L ed. Continental Deformation[C]. Pergamon Press, 1994. 280~304
- 3 Buchanan J G, Buchanan P G, eds. Basin inversion[C]. Geological Society, London, Special Publication, 1995. 88
- 4 汤良杰. 塔里木盆地演化与构造样式[M]. 北京: 地质出版社, 1996
- 5 贾承造, 魏国齐, 姚慧君等. 盆地构造演化与区域构造地质(塔里木盆地油气勘探丛书) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995
- 6 Williams G D, Powell C M, Cooper M A. Geometry and kinematics of inversion tectonics[A]. In Cooper M A, Williams G D, eds. Inversion tectonics[C]. Geological Society, London, Special Publication, 1989, 44: 3~15

Negative Inversion Process and Hydrocarbon Accumulation of Yaha Fault Belt in Northern Uplift, Tarim Basin

TANG Liang-jie JIN Zhi-jun

(Basin and Reservoir Research Center, Petroleum University, Changpin Beijing 102200)

Abstract

The Yaha negative inversion fault belt, which include main Yaha fault, Ya No. 1 fault and Ya No. 2 fault, is located at the north uplift of Tarim basin. The fault belt is the boundary between the north Tarim uplift and Kuche depression. The main Yaha fault, elongating more than 200 km, is a listric fault that trends NEE and dips southward and the dip angle of the fault plane is steep in the shallow strata and become flat in the deep strata. Ya No. 1 fault, dipping northward and elongating 35 km, is on the south of main Yaha fault. Ya No. 2 fault, dipping northward and elongating about 38 km, is on the south of main Yaha fault and Ya No. 1 fault. Ya No. 1 and No. 2 faults are also negative inversion faults, controlling "graben-type" fault-blocks with main Yaha fault. Yaha fault belt is developed along pre-existing basement faults or weak zones. The evolution of the fault belts has the characteristics of thrustion in the early phase (pre-Cretaceous) and negative inversion in the late stage (Cretaceous-Tertiary).

The characteristics of geometry, kinematics, main inversion phase and hydrocarboncontrolling of Yaha negative inversion fault belt, north Tarim uplift are discussed in this paper according to the analysis of sequence thickness, displacement - distance plot, inflection point, null point and fault growth index. The point of change from thrusting to negative inversion faulting in the displacement - distance plot is the inflection point which represents the main inversion phase. And the point of transformation from net compression to net extension is the null point. The inflection point of displacement - distance plot of main Yaha fault is at the bottom of Lower Cretaceous, indicating that the negative inversion of main Yaha fault began at the initial Early Cretaceous. The main negative inversion phase is at the Early Cretaceous, henceforth the negative inversion weakens gradually. The secondary inversion phases exist in the late Cretaceous - Paleogene, Suwiyi and Kanchun epoch of Miocene. Fault growth index of main Yaha fault in the main inversion phase of Lower Cretaceous is about 1.44~1.54. And the growth index in the secondary inversion phase is about 1.25~1.28. The negative inversion terminates at the Kanchun epoch of Miocene and Kuche epoch of Pliocene.

The inflection point of displacement - distance plot of Ya No. 1 fault is at the bottom of Suwiyi Formation of Miocene, indicating that the main inversion phase of the fault is at the Suwiyi epoch of Miocene, and the growth index of the fault at this time is about 1.1~1.69.

The inflection point of displacement - distance plot of Ya No. 2 fault is at the bottom of Upper Cretaceous - Lower Paleogene, indicating that the main inversion phase of the fault is at the Late Cretaceous - Paleogene, and the growth index of the fault at this time is about 1.1~1.18.

A series of local structures, including fault - blocks, fault - anticlines and buried - hill - drapes, are developed along Yaha fault belts. The formation of these structures has a relationship to negative inversion of the fault belt at the late Yanshan and Himalayan. The Yaha fault belt has the excellent hydrocarbon accumulation conditions because of matched time of main inversion, trap formation, petroleum migration and accumulation.

Key words negative inversion fault main inversion phase displacement - distance plot hydrocarbon accumulation Tarim basin