

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.565>



构造枢纽带的确定、类型划分及其油气意义

云金表^{1,2}, 金之钧^{1,2}, 宁飞^{1,2}, 刘士林², 罗吉²

1.页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室, 北京 100083

2.中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要:中国中西部发育大量的叠合盆地, 中深层纵向上形成了隆起、凹陷、正向叠加(古隆起)、负向叠加(凹陷或洼陷)、跷跷板式等叠加样式。它们对于油气的富集与保存有着不同的作用。跷跷板式叠加作用是盆地边缘最为常见的叠加样式。分析表明, 在盆地垂向调整、改造过程中构造枢纽带是必然产物, 是调整范围的一部分, 是新的构造圈闭区范围。向盆地区也存在调整区, 地层产状变缓, 但方向没有改变。构造枢纽带后方, 下部层位产状发生极性变化。构造枢纽带位置在地质历史是变化的。随着造山带向盆地的推进, 枢纽带有不断向盆内推进的趋势, 形成继承型、新生和反转型(废弃)3种类型的构造枢纽带。其中晚期继承型最有利油气的富集保存; 晚期新生构造枢纽带有利油气聚集; 反转型(废弃)构造枢纽带不利于油气的保存。

关键词:叠合盆地; 跷跷板运动; 构造枢纽带; 范围含油气性; 石油地质。

中图分类号: P542

文章编号: 1000-2383(2018)03-0827-08

收稿日期: 2017-10-05

Boundary Determining and Type Dividing of Tectonics Hinge Zone for Oil & Gas Significance

Yun Jinbiao^{1,2}, Jin Zhijun^{1,2}, Ning Fei^{1,2}, Liu Shilin², Luo Ji²

1.State Key Laboratory of Shale Oil and Gas Enrichment Mechanisms and Effective Development, SINOPEC, Beijing 100083, China

2.Exploration and Production Research Institute of SINOPEC, Beijing 100083, China

Abstract: Superposed basins are well developed in West China. There are uplift (or ancient uplift) and depression, positive superposition, negative superposition or sag, and seesaw styles. Different superposed styles have different roles for enrichment and preservation of oil and gas. Seesaw type is the most common in edge of basin superimposed style. Analysis shows that in the process of basin vertical adjustment, the transformation of tectonic hub is the inevitable product and part of the adjusting range, it includes area which is a new structure trap area. There are adjusted to basin region area, stratigraphic trend slow, but the direction has not changed. Behind the hinge zone structure, the lower strata trend change polarity. The position of the tectonics hinge zone is variational with basin history. The tectonics hinge zone constantly advanced within the basin evolution, three types of structure were formed that were inheritance tectonics hinge zone, the new tectonics hinge zone, and inversion (abandoned) tectonics hinge zone. Late inherit tectonics hinge zone is the most favorable for oil and gas enrichment; Late tectonic new tectonics hinge zone is favorable for oil and gas accumulation; Reverse tectonics hinge zone (abandoned tectonics hinge zone) is unfavorable for oil and gas preservation.

Key words: superimposed basin; seesaw move; adjust; tectonics hinge zone; petroleum geology.

基金项目:中国科学院 A 类战略性先导科技专项(No.XDA14010402); 国家科技重大专项(No.2017ZX05005001-001); 中石化科技部项目(No.P15089); 国家自然科学基金项目(No.41602158); 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(No.2012CB412800)。

作者简介:云金表(1962-), 男, 教授级高工, 博士, 从事油气构造研究与勘探工作。ORCID:0000-0002-7143-0468.E-mail: yunjb.syky@sinopec.com

引用格式:云金表, 金之钧, 宁飞, 等, 2018.构造枢纽带的确定、类型划分及其油气意义.地球科学, 43(3):827-834.

1 基本概念

1.1 构造枢纽带概念

在多期叠合盆地中,目的层不同形式的沉降,造成不同的演化模式.通常较为常见的可分为对称与不对称叠加(或称为跷跷板式活动),二者又都可分为同向叠加与反向叠加.关于正向叠加前人做了许多工作,如塔里木盆地古隆起埋藏沉降演化分析,通过古隆起在沉降过程面积与幅度分析,将古隆起分为稳定古隆起、残余古隆起、消亡古隆起和活动古隆起(贾承造等,2007).负向叠加在构造地质学称为反转构造,分为正反转与负反转两类构造(吕修祥和胡素云,1998).

关于不对称叠加(即跷跷板式活动)也是盆地构造调整的重要类型.目的层在后期构造过程的跷跷板式活动过程,必然导致圈闭发生幅度、面积等的变化,从而使已有油气藏发生调整、改造与再聚集.因此目的层的构造位置是叠合盆地早期油气富集保存条件评价十分重要的指标.为此在 20 世纪 90 年代已引起石油地质学界的关注(吕修祥和胡素云,1998),提出了构造枢纽带的概念.构造枢纽带原意是指在盆地后期叠加过程中相对稳定的区域,是油气富集保存的有利区.如塔里木塔北隆起、麦盖提斜坡奥陶纪—志留纪处于上倾的高部位,是碳酸盐岩岩溶储层发育的有利区.中新生代以来处于构造调整的相对稳定区,有利于早期形成油气藏的保存(吕修祥和胡素云,1998;霍志鹏等,2016).与此类似的地区还有鄂尔多斯中部(杨华和郑聪斌,2000;郑聪斌和张军,2001)、四川盆地西缘(汪泽成等,2002;赵文智和张光亚,2002;Zhang *et al.*, 2015),甚至中东波斯湾(刘和甫等,2003).由此构造枢纽带的概念也得到了广泛的应用(周新源等,2004;金之钧等,2009;金之钧,2010;刘全有等,2012;汪泽成等,2012).

由前述概念定义可知,构造枢纽带指的是早期处于隆起部位,是碳酸盐岩层暴露区,易于岩溶缝洞型、孔洞型储层发育;同时它是后期叠合过程中,又处于相对稳定构造区域,有利油气保存.然而具体评价过程中,如何确定构造枢纽带的范围、类型及其对油气保存中的作用评价,并没有确切的定义,甚至在概念上也有歧义:

首先构造枢纽带不同于通常枢纽带概念.通常枢纽带指重要的部分,事物相互联系的中心环节.《辞海》解释为“比喻冲要的地点,事物的关键之处”.在构造地质学中,在褶皱的各个横剖面上,同一褶皱

面的各最大弯曲点的连线叫做枢纽(带),也不同于沉积学中指的“引起沉积特征发生转变的地方成为沉积枢纽带”(林畅松等,2000).构造枢纽带仅指构造叠加的稳定区(带).

其次构造枢纽带最突出的问题是:一是尽管目前关于构造枢纽带概念得到了广泛应用,但由于构造枢纽带概念内涵不清,其范围圈定一直没有确切的标准,在油气远景评价上难以应用;二是构造枢纽带是历史演化的产物,故应具有时代性,并非所有构造枢纽带具有油气富集意义.不同类型的构造枢纽带其含油确有很大差别,如何确定构造枢纽带的类型与演化史也没有方法与标志.为此本文在分析了构造枢纽带成因、演化的基础上,提出了构造枢纽带的确切定义、范围确定,构造枢纽带类型与活动史方法,并进行了含油性问题分析.这对海相碳酸盐岩层系“源—盖控烃、斜坡—枢纽控聚”叠合盆地油气选区思路与评价体系(金之钧,2010),提供了评价标准.

1.2 范围确定

(1)调整范围.如前所述,构造枢纽带是后期构造在垂向调整的一种形式.而发生垂向调整的范围包括山前一沉积尖灭点(线).

在没有水平应变前提下,后期盆地沉降特点是自山前到上覆沉降尖灭点,区域都发生了垂向调整,且自山前到沉积尖灭点沉降幅度逐渐减小(如图 1 所示).

(2)构造枢纽带.在发生垂向调整范围区,从山前到沉降尖灭点可分为 3 段:后翼(又称反转型构造枢纽带);范围包括构造枢纽带至山前.地层倾角发生反转,而且变为单斜;构造枢纽带(又称继承型构造枢纽带,主要是区别后者,以便应用术语):包括与上覆层同向倾斜与反向倾斜两部分,是目的层形成两翼反倾区域的流体汇聚区,或者为低势能区.可以是背斜构造圈闭带,或鼻隆构造带,以相反倾向向最低

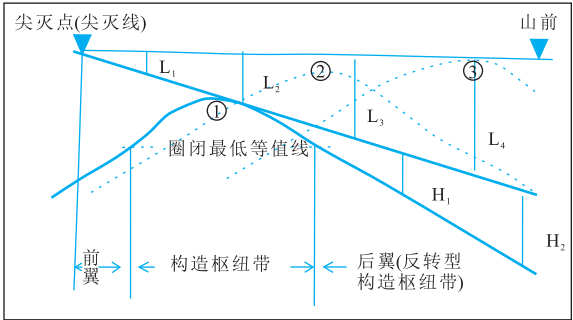


图 1 构造枢纽带剖面

Fig.1 Profile of tectonics hinge zone

L、H 分别为两期沉降幅度;①、②、③代表不同期目的层沉降特征

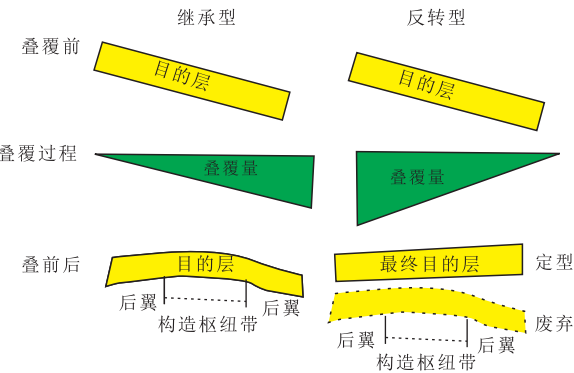


图 2 构造枢纽带类型
Fig.2 Types of tectonics hinge zone

构造等值线为界;前翼:范围包括沉积尖灭点(线)至构造枢纽带,地层仍保持原来特征。

1.3 构造枢纽带类型

1.3.1 时代性 构造枢纽带的形成与盆地发生构造运动的时间有关,其中早古生代盆地在晚加里东、晚海西、燕山一喜山期等后期盆地反转改造中都有形成的可能性.如塔里木盆地古生代盆地主要构造定型期为中晚加里东,因此晚海西期一印支期、中新世都是构造枢纽带的发育期.即使是同一构造期,由于叠加演化的不断推进,构造枢纽带也是迁移的.如图 1 在目的层发育后,反向叠合第一层序(H),最终构造枢纽带在靠近山前,如虚线所示③.当第二层序(L)沉降时,由于沉降幅度不同,构造枢纽带位置不同,早期构造枢纽带在②位置,现今到达①位置.由成油期而言,只有形成于主成藏期之后,而且没有发生后期改造的构造枢纽带才具有价值。

1.3.2 构造枢纽带演化过程与类型划分 从沉降规律分析,在一个构造期,构造枢纽带是一个由山前逐渐向盆地方向迁移的构造部位(图 1).即在盆地进一步沉降,调整范围进一步扩大,早期的前翼逐渐转化为构造枢纽带,早期的构造枢纽带进而变成后翼,发生废弃,当沉降量足够大的时候,整个目的层的倾向发生反转.由此结合构造枢纽带的两个特性,可将其进一步分类。

- (1)历史类型.与主成藏期比,构造枢纽带分为 3 种类型,分别是早期型、同期型、晚期型。
早期型:形成于主要成藏之前的某个地质历史时期,是一个早期的相对隆起;同期型:主要成藏期;晚期型:形成于主要成藏期之后。

- (2)相对储集层段.如前所述,构造枢纽带是在反向沉降过程中形成的,因此初期的枢纽带部位,应是下部目的层上倾延伸的高部位,目前的构造枢纽带仅是暂时的.由此可将构造枢纽带分为继承型与反转型构造枢纽带两种类型(图 2)。

继承型构造枢纽带:指目前构造枢纽带仍处于早期隆起未发生负反转的区域。
反转型构造枢纽带:指曾经是构造枢纽带,但目前已处于早期隆起发生了负反转的区域.早期的构造枢纽带被后期的构造枢纽带后翼所替代。

2 资料来源

如前所述,中国古生代海相盆地在新生代以来再次沉降过程中,广泛遭受了叠合过程.塔里木盆地

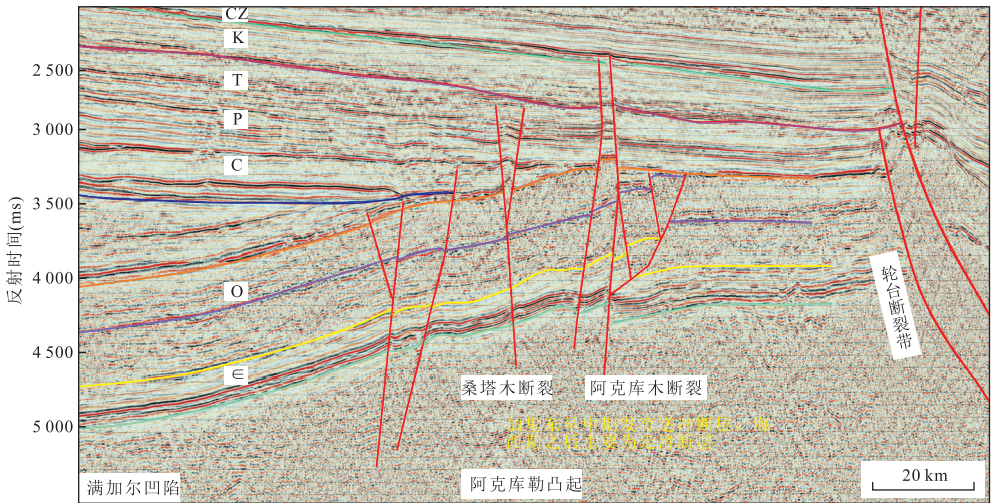


图 3 过阿克库勒凸起南北向地震剖面
Fig.3 Seismic profile of north to south direction across Akekulie uplift

下古生界不仅经历了晚古生代盆地的叠合—改造,也经历了中生代的叠合—改造,而且后期构造变动产生的变形,主要发育于盆地边缘,台盆区主要的表现以垂向的叠覆改造为主,是开展盆地后期垂向改造分析及其与油气富集、保存较为有利的区域。

本次研究资料包括研究区二维、三维地震资料、钻井资料和区域二维地震剖面,其中区域地震资料为原有地震剖面拼接,在钻井层位控制下重新处理的成果,与 1989 年区域地震剖面相比,信噪比更高,地质结构更为清晰,其次,所分析的实例区,充分利用了中石化塔河地区连片三维地震及其钻井资料和塔西南麦盖提地区 1996 年和 2009 年两批二维地震资料,并进行了一致性处理,层位标定利用了区内 18 口钻井资料。

基于上述资料,通过“十一五、十二五”两期国家

油气重大专项和 2011 年启动的“973 中国碳酸盐岩层系油气形成条件与富集规律研究”、中石化科技攻关项目(见资助项目),开展了区域构造样式、成因与演化史和基于地层延伸和波动法剥蚀恢复的塔里木盆地深层古构造埋藏史、塔北阿克库勒凸起中下奥陶统顶面埋藏史、塔西南地区中下奥陶统埋藏史分析,同时开展了研究区油气藏解剖和富集规律的研究,从而为深层海相层系叠覆演化及其油气富集关系分析奠定了基础。

3 实例分析

3.1 塔河油田

(1)基本特征.塔河油田是目前盆地内发现的最

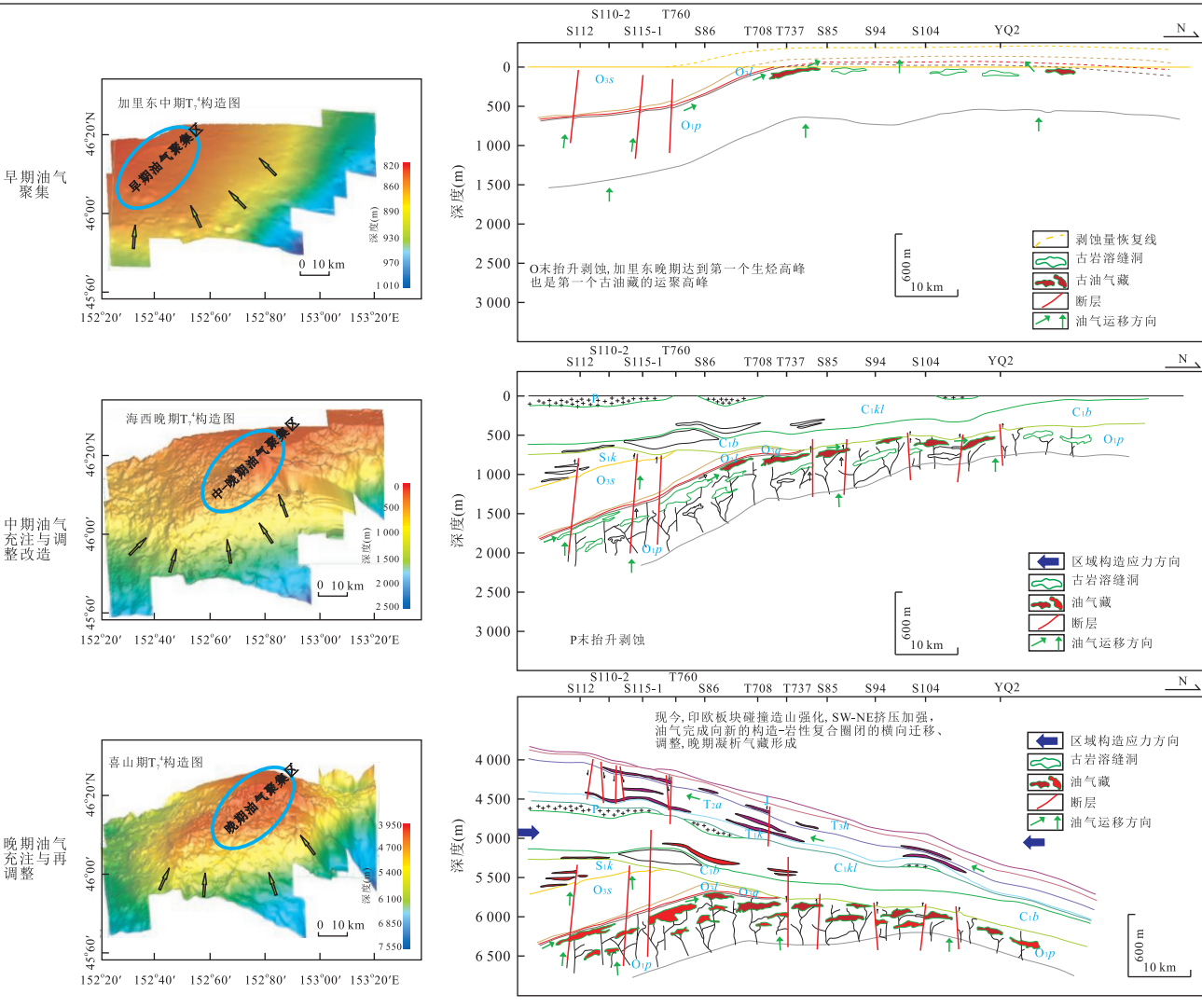


图 4 阿克库勒凸起及塔河地区古构造演化剖面

Fig.4 Paleo-structural evolutionary profile of Akekule uplift and Tahe area

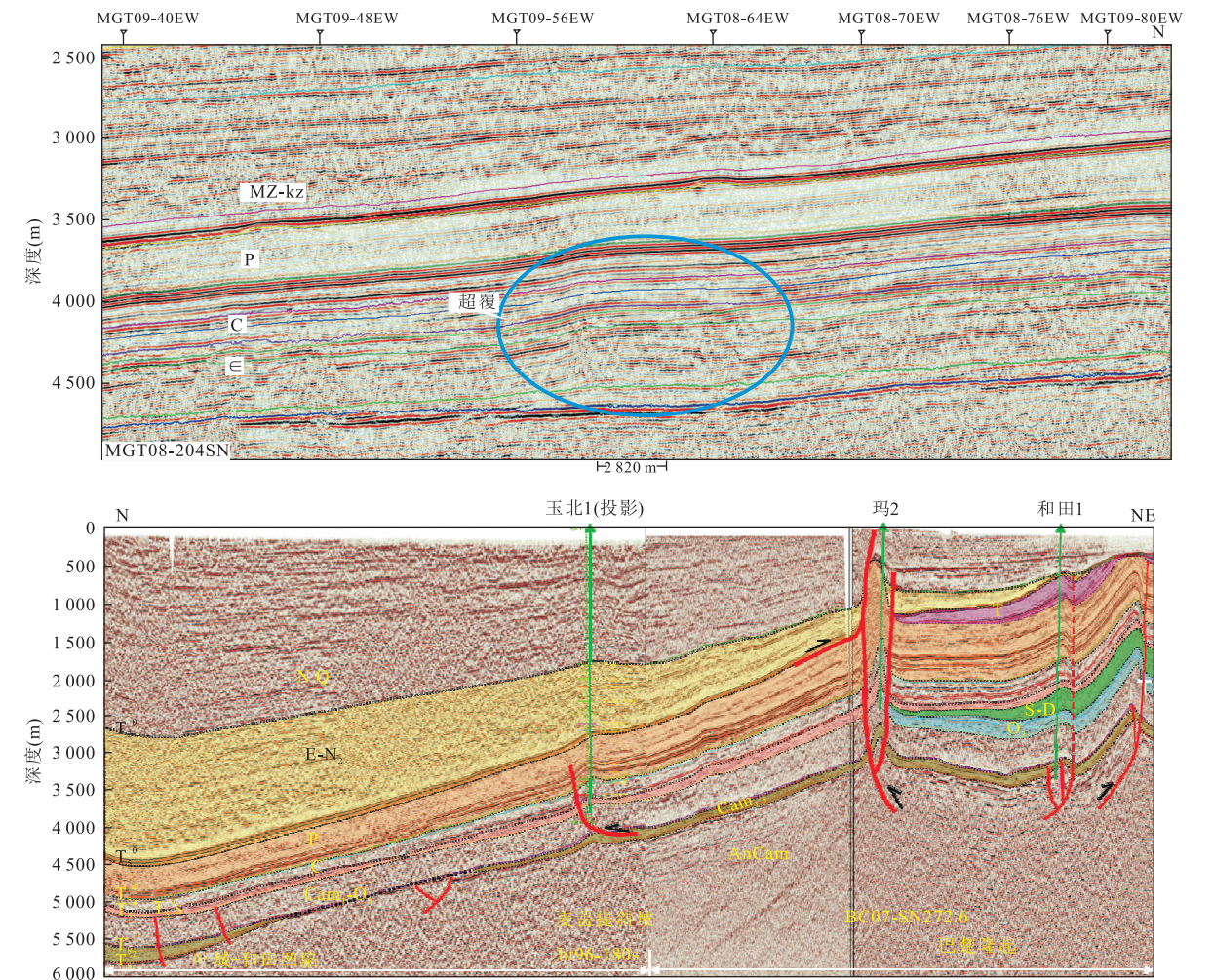


图 5 塔西南—巴楚及玉北地区地震剖面(OGZ30+272.6)
Fig.5 Seismic profiles of southwest Tarim,Bachu and Yubei area
剖面位置见图 6

大油田,主力产层为中下奥陶统灰岩风化壳缝洞型储层.其次为上部石炭系、三叠系、白垩系、古迈系碎屑岩次生油气藏.由区域分析,油田位于塔北隆起阿克库勒鼻凸南部(图 3),下古生界地层与上古生界、中生界地层倾斜方向明显相反.是一个明显的构造枢纽带,因此下古生界油气藏在中新代时期,只有侧向的再聚集.同时调整只是向上运移.这也与塔河油田油气富集与分布是一致的.

(2)塔北构造枢纽带演化.由井震资料分析,塔北隆起是受基底控制的继承性古隆起,大约经历了 3 个构造发育阶段(图 4).早古生代时期塔北地区属于塔里木台地发育区,中奥陶世中晚期由于向北仰冲,形成了塔北隆起带,地层主要以向南倾斜.隆升风化剥蚀形成缝洞型储层.晚奥陶世—志留纪、晚古生代—三叠纪,发生了继承性的两次改造过程.也是油气藏的两期主要聚集期.

中新代以来,受天山造山带挤压—隆升的影响,区域沉降幅度逐渐向南推进.侏罗纪尽管区域构造已发生倾向反转,但调整范围仅仅达到了塔北隆起边缘,构造枢纽带主要发育于库车坳陷.整个塔北隆起没有明显垂向调整,白垩纪—新生代是盆山体系作用最为强烈的时期.表现在地层向盆地区覆盖面积的大幅增加,白垩时期是第一次大规模的垂向调整,阿克库勒凸起地区最大相对沉降量达 1 000 m 以上,已处于枢纽带部位,但处于调整前缘与枢纽带初期.新生代以来构造减弱,继承了早期特征,而且南北地层厚度差异巨大,北部库车地层厚度达 8 000 m 以上,而阿克库勒凸起约 3 500~4 000 m.垂向调整量是中生界的 3~4 倍.由此表明,新生代以来构造沉降最为强烈,塔北构造枢纽带就是该区形成的.同时它正好与早期隆起斜坡区重叠,因此既是塔河油田主力产层大规模聚集的时期,也是油气向

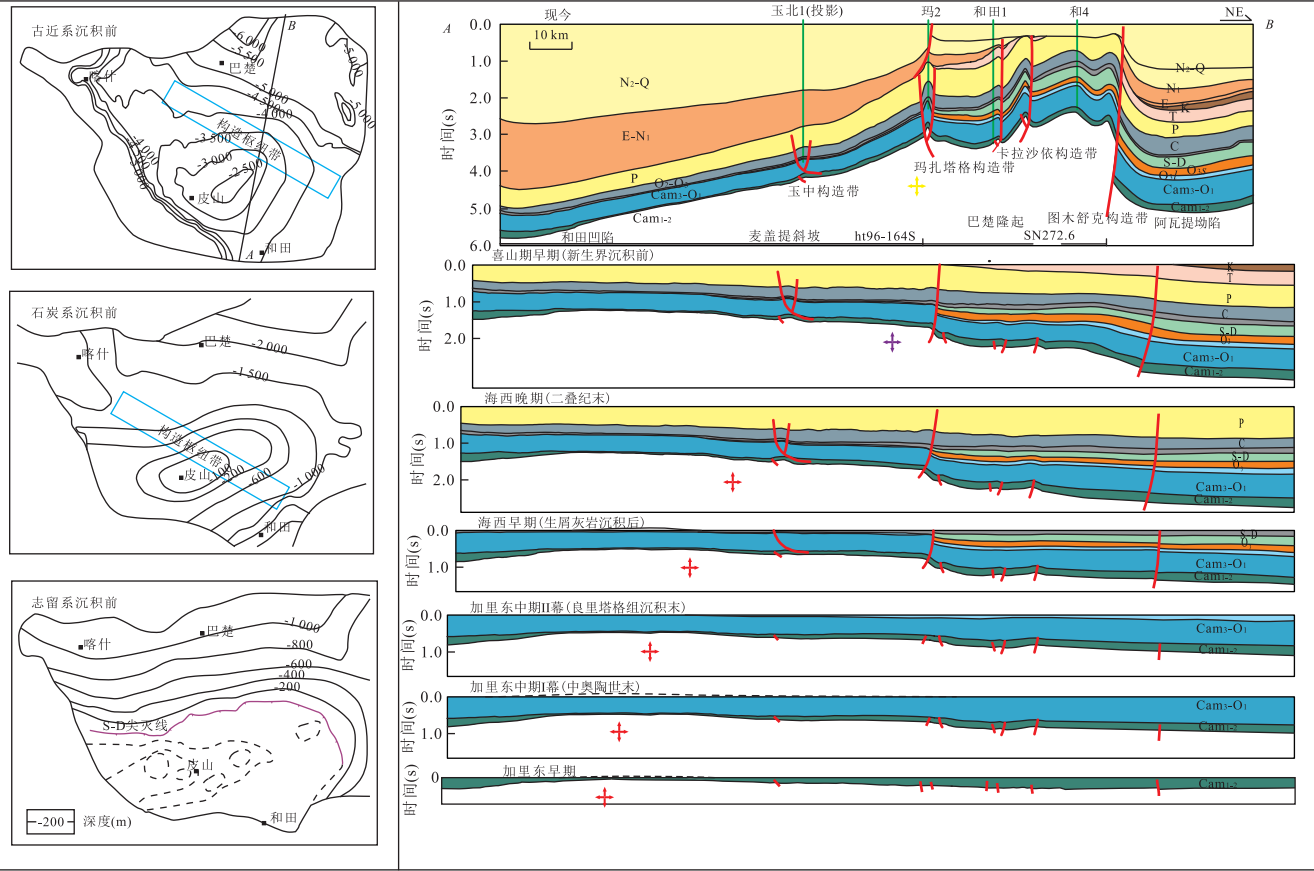


图 6 和田古隆起及玉北地区古构造演化图

Fig.6 Paleo-structural evolutionary map of Hetian paleo-uplift and Yubei area

上调整的重要时期。

3.2 玉北 1 井油气藏

3.2.1 基本特征 玉北地区玉北 1 井油气藏发现后,在背斜区、向斜区、东南西北钻探了一批探井,但全部落空.玉北 1 井油气藏位于塔西南凹陷麦盖提斜坡玉北 1 井断裂—背斜带上.麦盖提斜坡目前总体为向南倾斜的斜坡,玉北 1 井断裂—褶皱带走向呈北北东向延伸.油气分布在构造带高点,中下奥陶统顶部不整合风化壳部位,储层以裂缝—孔洞型储层.石炭系泥岩盖层发育较好。

3.2.2 构造枢纽带演化 地质资料表明,玉北地区及麦盖提斜坡,在加里东中晚期由于受到南部及东南部区域板块汇聚的作用,形成了南高北低的构造格局,隆起高点在玉北南部,以东西向展布为特征.晚加里东一致继承性发育.晚古生代以来,由于西南部拉开沉降反转,区域倾斜发生反转.由沉积地层分析,石炭纪沉积时期,枢纽带高点在玉北地区(图 5a),此后高点向北迁移,至古近系沉积时期枢纽带到达巴楚南缘玛扎塔格构造带一线(图 5b).南段古生代地层倾斜方向已与上覆地层近于一致,进入了

反转构造枢纽带发育阶段。

由图 5 分析可知,该区跷跷板过程经历了主要有 3 个阶段,即晚古生代时期、古近纪时期和晚近纪时期.特别是新生代以来,发生了剧烈翘倾,南部最大相对沉降量在 8 000 m 以上,而巴楚地区相对沉降量在 200~100 m.晚古生代时期构造枢纽带或构造高点应在玉中—玉北一带(图 6).古近纪时期向北迁移至玛扎塔格断裂南侧,末期转至玛扎塔格断裂带,一直至今.因此玉北地区现今已处于枢纽带的后缘,目的层发生正反转,已发育成了反转型枢纽带,对油气保存十分不利.由此可见,只有晚古生代时期是枢纽带所在部位,是油气聚集、保存的有利区.进入新生代以来进入剧烈调整构造区域.这也是该区圈闭条件良好,油气显示普遍,但仅仅表现出残余油藏的重要原因。

4 结论

(1)构造枢纽带是指叠合改造过程中,反倾向叠加改造最为稳定的区域.即两侧地层方向倾斜的“背

形”构造带,是流体的低势能区,因此是早期油气再聚集、保存相对有利区域。垂向调整区由构造枢纽带、调整前翼部分和反转型构造枢纽带(后翼部分)共同组成。构造枢纽带部分的调整主要表现在垂向调整,即埋深的加大,没有高差变化,因此也是次生油气藏发育区。前翼有沉降,但向构造枢纽带方向降低,油气运聚指向为构造枢纽带。后翼的调整最大,而且有反向倾向的趋势。因此出现相向倾斜“背形”带(区)是构造枢纽带发育的范围。随构造变动发生变化,没有统一的埋藏深度,是动态调整变化的。

(2)构造枢纽带具有时空性,只有最后构造定型期发育的构造枢纽带是目的层油气聚集最有利的区域。它与早期聚集区的叠加区是早期油气藏保存的最佳有利区。早期的构造枢纽带,随着调整的加剧,逐渐废弃、消失,形成不同历史阶段的“构造枢纽带”——继承性隆起、残余古隆起、消亡古隆起。不同类型的构造枢纽带(或古隆起)对于已有油气藏的调整、破坏不尽相同,不能一概而论所有构造枢纽带都是油气富集保存的有利区。同时通过上覆地层尖灭线及地层厚度分析,可以追溯古构造枢纽带的历史,这对古构造含油性分析具有重要意义。

通过上述构造枢纽带概念、形成机理、演化过程及其实例解剖分析,明确了叠合盆地深层构造枢纽带的范围、分带性和类型,对于叠合盆地古构造在地质历史过程中规模、空间形态变化精确描述奠定了科学依据。其次,构造枢纽带演化类型分析表明,构造枢纽带在不同地质历史的叠覆—改造过程中都有可能形成,它应是当时油气聚集、保存的有利区。这是追溯叠合盆地油气藏形成演化和寻找古老原生油气藏的重要依据。

References

Huo, Z. P., Jiang, T., Pang, X. Q., et al., 2016. Evaluation of Deep Carbonate Source Rocks with Low TOC and Contribution to Oil-Gas Accumulation in Tazhong Area, Tarim Basin. *Earth Science*, 41(12): 2061—2074, 2087 (in Chinese with English abstract).

Jia, C. Z., Li, B. L., Zhang, X. Y., et al., 2007. Formation and Evolution of the Chinese Marine Basins. *Chinese Science Bulletin*, 52(Suppl.1): 1—8 (in Chinese).

Jin, Z. J., 2010. Petroliferous Features of Marine Carbonate Strata and Hydrocarbon Resource Prospects in China. *Frontier Science*, 4(1): 11—23 (in Chinese with English abstract).

Jin, Z. J., Yun, J. B., Zhou, B., 2009. Types and Characteristics of Slope Zones in Tarim Basin and Their Relationship

with Oil Accumulation. *Oil & Gas Geology*, 30(2): 127—135 (in Chinese with English abstract).

Lin, C. S., Pan, Y. L., Xiao, J. X., et al., 2000. Structural Slope-Break Zone: Key Concept for Stratigraphic Sequence Analysis and Petroleum Forecasting in Fault Subsidence Basins. *Earth Science*, 25(3): 260—266 (in Chinese with English abstract).

Liu, H. F., Li, X. J., Liu, L. Q., 2003. Analogue of Petroleum Exploration of Persian Gulf and the Mid-Western Part of China. *Geoscience*, 17(2): 187—193 (in Chinese with English abstract).

Liu, Q. Y., Jin, Z. J., Wang, Y., et al., 2012. Gas Filling Pattern in Paleozoic Marine Carbonate Reservoir of Ordos Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 28(3): 847—858 (in Chinese with English abstract).

Lü, X. X., Hu, S. Y., 1998. The Formation and Distribution of Oil and Gas Reservoirs in Tarim Basin. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).

Wang, Z. C., Jiang, H., Liu, W., et al., 2012. Types of Tectonic Hinge Zone and Its Effect on Hydrocarbon Accumulation in Carbonate Reservoirs of Cratonic Basins in China. *Acta Petrologica Sinica*, 33(Suppl.2): 11—20 (in Chinese with English abstract).

Wang, Z. C., Zhao, W. Z., Zhang, L., et al., 2002. The Natural Gas Exploration and Structural Sequence in Sichuan Basin. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Yang, H., Zheng, C. B., 2000. Geological Characteristic of Nature Gas Accumulation of Ordovician in Lower Palaeozoic in Ordos Basin. *Low Permeability Oil & Gas Fields*, 5(3): 6—19 (in Chinese with English abstract).

Zhang, B., Yin, C. Y., Gu, Z. D., et al., 2015. New Indicators from Bedding-Parallel Beif Veins for the Fault Valve Mechanism, Tarim Basin. *Science China Earth Sciences*, 58(8): 1320—1336.

Zhao, W. Z., Zhang, G. Y., 2002. Marine Petroleum Geology and Superimposed Petroliferous Basins in China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Zheng, C. B., Zhang, J., 2001. Characteristics of Natural Gas Accumulation and Distribution Law of Gas Reservoir in Ordovician of Ordos Basin. *China Petroleum Exploration*, 6(4): 5—12 (in Chinese).

Zhou, X. Y., Lü, X. X., Jin, Z. J., et al., 2004. Accumulation of Petroleum in the Carbonate Rocks in the Pivot Positions of Structural Activities in Talimu Basin. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 19(4): 19—23 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

霍志鹏, 姜涛, 庞雄奇, 等, 2016. 塔中地区深层低丰度碳酸盐

- 岩有效烃源岩评价及其对油气藏贡献.地球科学,41(12):2061—2074,2087.
- 贾承造,李本亮,张兴阳,等,2007.中国海相盆地的形成与演化.科学通报,52(增刊1):1—8.
- 金之钧,2010.我国海相碳酸盐岩层系石油地质基本特征及含油气远景.前沿科学,4(1):11—23.
- 金之钧,云金表,周波,2009.塔里木斜坡带类型、特征及其与油气聚集的关系.石油与天然气地质,30(2):127—135.
- 林畅松,潘元林,肖建新,等,2000.“构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念.地球科学,25(3):260—266.
- 刘和甫,李小军,刘立群,2003.波斯湾油气风云与中国中西部油气开发.现代地质,17(2):187—193.
- 刘全有,金之钧,王毅,等,2012.鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩层系天然气成藏研究.岩石学报,28(3):847—858.
- 吕修祥,胡素云,1998.塔里木盆地油气藏形成与分布.北京:石油工业出版社.
- 汪泽成,姜华,刘伟,等,2012.克拉通盆地构造枢纽带类型及其在碳酸盐岩油气成藏中的作用.石油学报,33(增刊2):11—20.
- 汪泽成,赵文智,张林,等,2002.四川盆地构造层序与天然气勘探.北京:地质出版社.
- 杨华,郑聪斌,2000.鄂尔多斯盆地古生界奥陶系天然气成藏地质特征.低渗透油气田,5(3):6—19.
- 赵文智,张光亚,2002.中国海相石油地质与叠合含油气盆地.北京:地质出版社.
- 郑聪斌,张军,2001.鄂尔多斯盆地奥陶系天然气成藏特征及气藏分布规律.中国石油勘探,6(4):5—12.
- 周新源,吕修祥,金之钧,等,2004.塔里木盆地构造活动枢纽部位碳酸盐岩油气聚集.西安石油大学学报(自然科学版),19(4):19—23.