

# 地质过程中的跷跷板运动及对油气成藏的影响

孟庆洋<sup>1</sup>, 庞雄奇<sup>2</sup>, 马行陟<sup>1</sup>

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083
2. 中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心, 北京 102249

**摘要** 跷跷板运动是一种地质过程中由于应力场的变化而导致同一地区在不同地质时期发生交替差异升降的运动形式。跷跷板运动对烃源岩的生排烃、储层的发育和改造、油气的运移和保存等油气成藏条件有重要的控制作用, 而构造平衡带是跷跷板运动过程中处于相对稳定的地区, 也是最有利于油气保存的部位。为了定量研究构造平衡带分布范围的确定方法, 本文以塔里木盆地为例, 用地层平均剥蚀厚度表征构造平衡带, 通过统计不同目的层地层平均剥蚀厚度与探井日产量的关系发现: 平均剥蚀厚度在 50—250m 的地区, 最有利于油气藏的保存, 而平均剥蚀厚度太大或太小时都对油气成藏不利。在恢复不同成藏期地层平均剥蚀厚度的基础上, 识别出了不同成藏期构造平衡带的分布范围, 对塔里木盆地台盆区的油气勘探具有一定的指导作用。

**关键词** 跷跷板运动; 塔里木盆地; 构造变动; 剥蚀厚度; 油气成藏

中图分类号 TE121

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.33.007

## Seesaw Movements in Geological Process and Its Effect on Hydrocarbon Accumulation

MENG Qingyang<sup>1</sup>, PANG Xiongqi<sup>2</sup>, MA Xingzhi<sup>1</sup>

1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China
2. Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

**Abstract** Seesaw movement is the alternatively differential elevation and subsidence movement that happened under different stress field in the same place during geologic history. The seesaw movement controls the multiple hydrocarbon expulsion of source rocks, the development and reconstruction of reservoir quality, the migration and preservation of hydrocarbon. The kinematic equilibrium belt is the relatively stable areas and also favorable for hydrocarbon accumulation during seesaw movements. In order to identify quantitatively the boundary of kinematic equilibrium belt, in this paper, Tarim Basin is taken as an example to identify kinematic equilibrium belt using average erosion thickness. After statistic analyzing the relation between average erosion thickness and daily production of exploration wells of main target layers, it is found that the average erosion thickness between 50m and 200m is the most favorable range for hydrocarbon accumulation. When the average erosion thickness is too large or too small, it is not favorable for hydrocarbon accumulation. On the basis of recovering the average erosion thickness, the kinematic equilibrium belt of Tarim basin is identified in different hydrocarbon accumulation periods. Most of the hydrocarbon occurrence is closely related to kinematic equilibrium belt.

**Keywords** seesaw movements; Tarim Basin; tectonic movements; erosion thickness; hydrocarbon accumulation

### 0 引言

跷跷板运动是地质体在地质过程中受外力影响而产生

的一种运动形式。对于不同规模的地质体(板块、盆地或者构造层等)由于受到来自不同方向的外力作用,而发生类似于

收稿日期: 2011-06-16; 修回日期: 2012-10-09

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2006CB202308)

作者简介: 孟庆洋, 工程师, 研究方向为油气成藏机理及分布规律研究, 电子信箱: mqy5948@petrochina.com.cn

跷跷板两侧交替升降的运动。多期次构造变动是导致跷跷板运动的主要原因,而国内许多的复杂叠合盆地往往都具有多期构造变动的特点<sup>[1]</sup>。因此,研究跷跷板运动对复杂叠合盆地的油气成藏与分布具有重要意义<sup>[2-5]</sup>。构造平衡带是指跷跷板运动的“支点”附近受构造变动破坏相对较弱的部位,也是最有利于油气的富集和保存的部位。目前的研究往往只能定性确定构造平衡带的分布范围,难以找到有效的参数表征构造平衡带与油气分布的关系并明确构造平衡带控制的有利油气分布范围。本文以塔里木盆地为研究对象,通过采用地层平均剥蚀厚度作为表征构造平衡带的参数,在恢复关键成藏期的平均剥蚀厚度的基础上,实现了定量确定关键成藏期构造平衡带控制的有利油气富集和分布的范围,对油气勘探具有一定的指导意义。

## 1 跷跷板运动产生的动力学分类

假设某一地质体的初始状态是水平的,根据使之产生跷跷板运动的外力方向,可以将跷跷板运动分为以下3种类型:(1)来自地质体上部外力迁移导致的跷跷板运动(图1(a))。以太平洋地壳为例,赤道信风使暖水集中在赤道西太平洋,冷水集中在赤道东太平洋,温差为3—6℃,高差为40cm。当厄尔尼诺到来时,情况发生逆转<sup>[6-7]</sup>。由于地壳均衡原理和水均衡作用,东西太平洋地壳在厄尔尼诺前后将分别升降13cm。由厄尔尼诺引发的地壳均衡运动具有东西太平洋地壳反向升降的特点,来自上部外力的变化是导致太平洋地壳跷跷板运动的主要原因。(2)来自地质体侧向外力迁移导致的跷跷板运动(图1(b))。中国大陆构造的动力学演化就具有明显的跷跷板运动的特征。古生代末期—侏罗纪,在中国大陆形成时,中国西部属特提斯洋,当时地壳薄,地势低;而中国东部却地势高,有些地层受剥蚀而缺失。新生代期间,特提斯

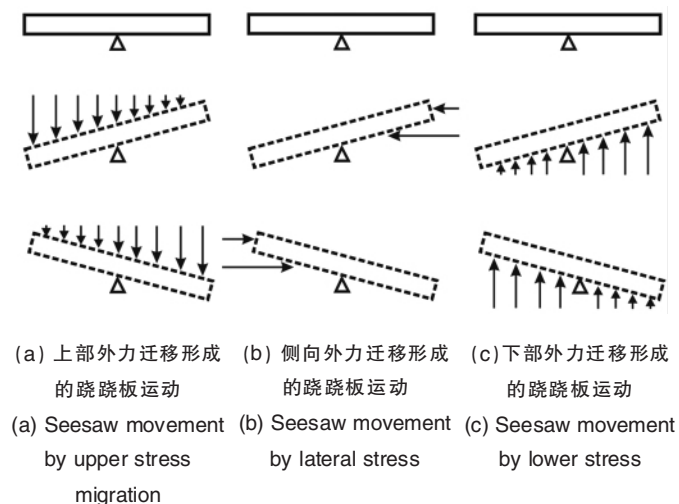


图1 跷跷板运动动力学分类概念模式

Fig. 1 Concept model of dynamic classification for seesaw movements

域的演化形成青藏高原,地壳遭受强烈挤压,厚度增大,地势增高。随后,滨太平洋域受到拉张,地壳减薄,在重力均衡补偿作用下,地势降低。这样中国大陆就像一个巨大的跷跷板,以鄂尔多斯—四川为轴部,古生代末—侏罗纪期间西低东高;古近纪以后,西高东低<sup>[8]</sup>。(3)来自地质体下部外力迁移导致的跷跷板运动(图1(c))。中朝板块在早寒武世—早奥陶世末期35Ma旋回周期里,受来自地球内部能量场的作用,发生了以东西为轴向的早期向南倾、后期向北倾的跷跷板运动<sup>[9]</sup>,是受地质体下部外力导致跷跷板运动的一个典型实例。

## 2 跷跷板运动对油气成藏条件的影响

### 2.1 跷跷板运动导致源岩多期生排烃

塔里木盆地发育了多套烃源岩,由于跷跷板运动导致这些烃源岩产生了交替排烃的效果。当烃源岩处于跷跷板的低部位时,则接受沉积,并随着埋深的不断增加而进入排烃门限开始大量排烃;而随着外力方向的不断迁移,原来处于跷跷板高部位的剥蚀区也会逐渐转为沉积区,当烃源岩埋深达到了门限深度就会开始向外排烃。因此,多期次的跷跷板运动也就造成了烃源岩的多期生排烃,尤其是最近一次的喜马拉雅运动造成的库车前陆冲断带侏罗系烃源岩快速深埋,为天然气晚期成藏提供了良好的物质基础。

### 2.2 跷跷板运动改善了储层的质量

对于塔里木盆地奥陶系碳酸盐储层来说,由于整体的隆起抬升或冲断推覆作用而出露地表遭受风化剥蚀形成风化壳<sup>[10]</sup>,而风化壳附近由于长时间的淋滤溶蚀过程会形成大量的溶蚀孔洞和溶蚀缝,这都将有效改善碳酸盐储层的储集空间,提高储层的质量。跷跷板运动也会使地层随之产生一些断裂,而这些断裂的产生会加快大气淡水渗入碳酸盐储层内部,以达到改善储层质量的效果。同时由于跷跷板运动也会随之带来一些深部流体的活动,也会对储层的改造起到至关重要的作用<sup>[11]</sup>。

### 2.3 跷跷板运动控制了油气运移的方向

侧向运移是塔里木盆地油气运移的一种重要方式<sup>[12]</sup>。而跷跷板运动往往会形成多个不整合面,油气在浮力的作用下,会沿着不整合面由跷跷板的低部位向高部位运移。当跷跷板的两端发生反转时,油气依然会由低部位向高部位运移。因此,无论发生几次反转,跷跷板的枢纽部位都是油气运移的有利指向区。

### 2.4 跷跷板运动制约了油气的后期保存

由于塔里木盆地经历了多期的油气成藏、调整改造和破坏作用,对于早期形成的油气藏来说,后期的保存条件就尤为重要<sup>[13-14]</sup>。对于轮南奥陶系碳酸盐岩油气藏,早期形成的油气往往聚集在风化壳的高部位。但是跷跷板运动的高部位往往随着地层抬升而遭受剥蚀,因此早期的油气聚集会遭受破坏,无法保留至今。而构造斜坡部位处于跷跷板运动的稳定部位,并未遭到大规模剥蚀,往往能够保存下来<sup>[15-16]</sup>。

### 3 跷跷板运动对油气分布的影响

跷跷板运动不仅控制了油气成藏的各种地质因素及其演化,同时还对油气藏的分布具有很好的控制作用。周新源等<sup>[10]</sup>提出塔里木盆地构造活动枢纽部位控制了碳酸盐油气聚集,并确定了塔中、塔北和巴楚地区等几个构造活动枢纽部位。唐玄等<sup>[17]</sup>通过对塔中地区下奥陶统构造调整的定量研究,指出了在构造调整幅度图上绝对值小于0.2的区域为构造幅度调整较小的区域,是构造调整枢纽带,即油气成藏的有利区。田丰华等<sup>[18]</sup>通过对国内外64个沉积的剥蚀次数和剥蚀量进行统计,得出了平均累计剥蚀量在500m左右是最常见的,也是有利于油气聚集的结论。

### 4 塔里木盆地构造平衡带分布

庞雄奇等<sup>[19]</sup>在对塔里木盆地台盆区多期构造变动进行研究的基础上,提出了构造平衡带的概念,并指出多次差异升降运动中受构造变动影响最小的地区,也即构造平衡带是塔里木盆地最有利于油气富集的地区。本文在前人利用地震资料进行地层回剥,恢复塔里木盆地不同构造层剥蚀厚度的基础上<sup>[20]</sup>,统计了塔里木盆地不同成藏期平均剥蚀厚度与探井日产量的关系(图2),可以发现:地层剥蚀厚度在50—250m为最有利油气富集成藏的地区,也就是构造平衡叠合带分布

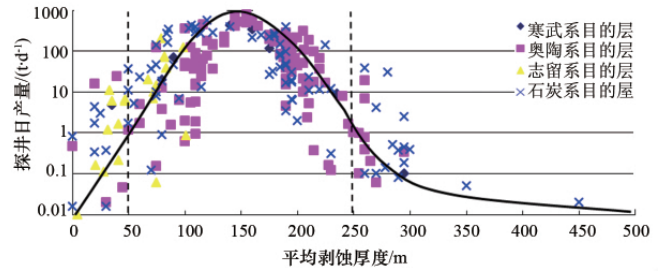


图2 塔里木盆地主要目的层平均剥蚀厚度与探井日产量的关系

Fig. 2 Relation between average erosion thickness and daily production of exploration wells of main target layers in Tarim Basin

的范围;当剥蚀厚度在0—50m和250—500m的范围内,可以形成一些中小规模的油气聚集或者发现大油气田的概率较低;当单一成藏期地层平均剥蚀厚度大于500m时,发现大油气田的概率几乎为0。

在以上统计关系基础上,通过恢复塔里木盆地4个成藏期<sup>[21]</sup>地层平均剥蚀厚度,就可以分别确定不同成藏期构造平衡带的分布范围(图3)。第1期(寒武纪—奥陶纪)构造平衡

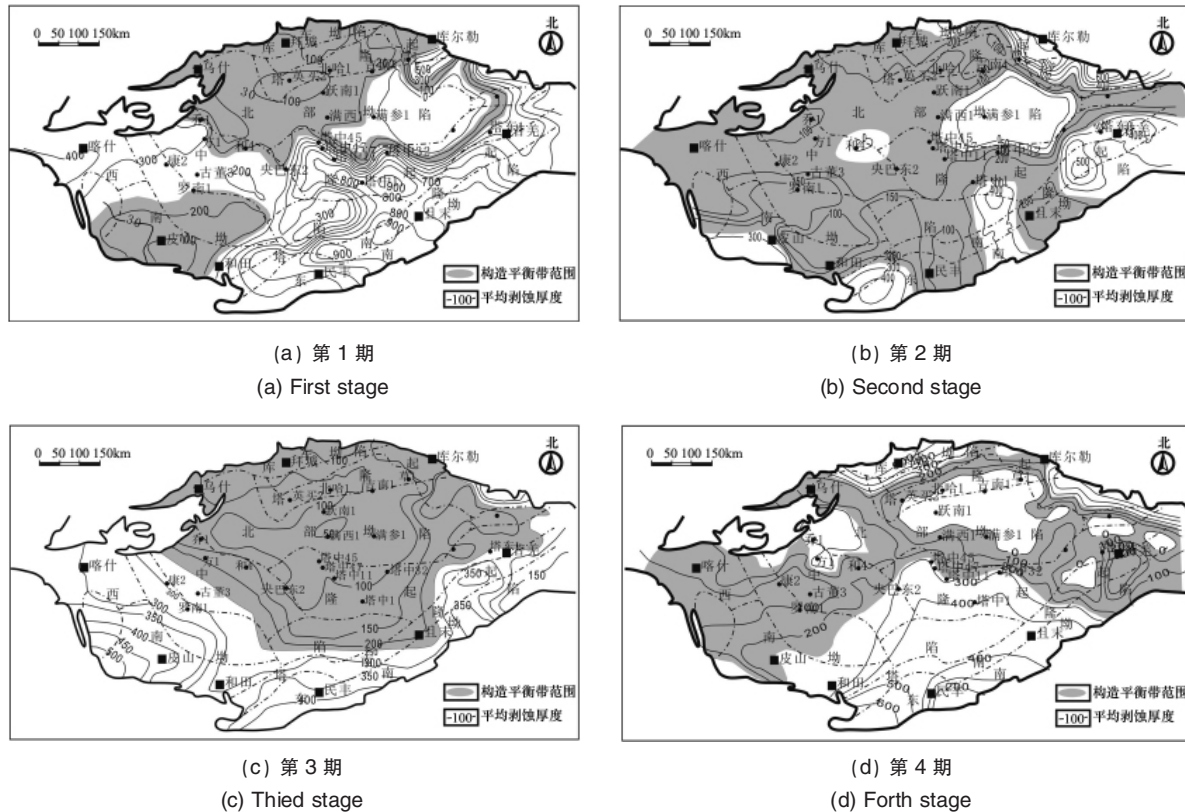


图3 塔里木盆地不同成藏期平均剥蚀厚度及构造平衡带的分布

Fig. 3 Distribution of kinematic equilibrium belt and average erosion thickness in different hydrocarbon accumulation period of Tarim Basin

带主要分布在库车、塔北、塔西南等地区,第2期(志留纪-泥盆纪)构造平衡带主要分布除满加尔凹陷、塔东部分地带之外的大部分地区,第3期(石炭纪-二叠纪)构造平衡带主要分布除塔东、塔西南等之外的大部分地区,第4期(白垩纪-现今)构造平衡带主要分布在库车、塔北、塔西南和塔东等地区。通过将4期平衡带叠加后可以发现:库车、塔北、塔中等地区在4期均处在平衡带的范围内,是油气最有利于成藏的地区,而塔西南、巴楚和环满加尔凹陷周围处于3期构造平衡带的叠加范围,是较有利的成藏区。

## 5 结论

(1) 跷跷板运动根据其外力来源,可以划分为受上部外力、下部外力和侧向外力3种形式的跷跷板运动。

(2) 跷跷板运动对塔里木盆地源岩多期生排烃、储层质量的改善、油气运移方向和后期保存条件都有很好的控制作用,同时还控制了油气的空间分布。

(3) 通过统计关系发现:平均剥蚀厚度在50—250m范围内是最有利于油气成藏的范围,在恢复了不同成藏期平均剥蚀厚度的基础上识别出了不成藏期构造平衡带的分布范围,并指出了库车、塔北和塔中等地区是构造平衡带多期叠加的有利成藏区。

## 参考文献 (References)

- [1] 贾承造. 塔里木盆地构造特征与油气聚集规律 [J]. 新疆石油地质, 1999, 20(3): 177-185.  
Jia Chengzao. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1999, 20(3): 177-185.
- [2] 刘国臣, 张一伟. 从波动观点看塔里木盆地的成藏演化史 [J]. 石油学报, 1999, 20(2): 7-13.  
Liu Guochen, Zhang Yiwei. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20(2): 7-13.
- [3] 梁宏斌, 朱光有, 张水昌, 等. 冀中拗陷晋县凹陷下第三系断陷湖盆的演化与烃源岩的形成 [J]. 石油实验地质, 2005, 27(6): 583-588.  
Liang Hongbin, Zhu Guangyou, Zhang Shuichang, et al. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(6): 583-588.
- [4] 邓军, 王庆飞, 黄定华, 等. 鄂尔多斯盆地基底演化及其对盖层控制作用 [J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 91-100.  
Deng Jun, Wang Qingfei, Huang Dinghua, et al. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(3): 91-100.
- [5] 王震亮, 刘林玉, 于轶星, 等. 松辽盆地南部腰英台地区青山口组油气运移成藏机理 [J]. 地质学报, 2007, 81(3): 419-428.  
Wang Zhenliang, Liu Linyu, Yu Yixing, et al. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(3): 419-428.
- [6] 杨学祥. 海平面振荡产生的地壳跷跷板运动 [J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 190.  
Yang Xuexiang. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(3): 190.
- [7] 杨学祥. 大洋地壳的跷跷板现象 [J]. 科学技术与工程, 2003, 3(1): 28-29.  
Yang Xuexiang. *Science Technology and Engineer*, 2003, 3(1): 28-29.
- [8] 刘光鼎. 中国大陆构造格架的动力学演化 [J]. 地学前缘, 2007, 14(3): 39-47.  
Liu Guangding. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(3): 39-47.
- [9] 孟祥化, 葛铭. 中朝板块旋回层序、事件和形成演化的探索 [J]. 地学前缘, 2002, 9(3): 125-141.  
Meng Xianghua, Ge Ming. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(3): 125-141.
- [10] 周新源, 吕修祥, 金之钧, 等. 塔里木盆地构造活动枢纽部位碳酸盐岩油气聚集 [J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2004, 19(4): 19-26.  
Zhou Xinyuan, Lv Xiuxiang, Jin Zhijun, et al. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2004, 19(4): 19-26.
- [11] 吕修祥, 杨宁, 周新源, 等. 塔里木盆地断裂活动对奥陶系碳酸盐岩储层的影响 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38(S1): 48-54.  
Lv Xiuxiang, Yang Ning, Zhou Xinyuan, et al. *Science in China, Series D: Earth Sciences*, 2008, 38(S1): 48-54.
- [12] 魏垂高, 姜立辉, 孙杰, 等. 塔里木盆地构造控油特征 [J]. 西部探矿工程, 2006, 12(4): 129-133.  
Wei Chuigao, Jiang Lihui, Sun Jie, et al. *West-China Exploration Engineering*, 2006, 12(4): 129-133.
- [13] 孟庆洋, 庞雄奇, 高剑波. 塔里木盆地台盆区寒武系大油气田有利勘探区预测 [J]. 大庆石油学院学报, 2008, 32(3): 5-8.  
Meng Qingyang, Pang Xiongqi, Gao Jianbo. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2008, 32(3): 5-8.
- [14] 庞雄奇, 姜振学, 左胜杰. 叠合盆地构造变动破坏烃量研究方法探讨 [J]. 地质论评, 2002, 18(4): 384-391.  
Pang Xiongqi, Jiang Zhenxue, Zuo Shengjie. *Geological Review*, 2002, 18(4): 384-391.
- [15] 李建交, 吕修祥, 范秋海, 等. 叠合盆地构造活动枢纽部位形成及其控油气原理——以塔里木盆地为例 [J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(2): 160-166.  
Li Jianjiao, Lu Xiuxiang, Fan Qiuhai, *Geotectonica et Metallogenia*, 2009, 33(2): 160-166.
- [16] 曹成润, 韩春花, 郑大荣. 构造变动对油气藏保存的影响 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(4): 95-99.  
Cao Chengrun, Han Chunhua, Zheng Darong. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2003, 23(4): 95-99.
- [17] 唐玄, 张金川, 边瑞康, 等. 塔里木盆地中央隆起带下奥陶统构造调整定量研究及其对油气成藏的影响 [J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 253-260.  
Tang Xuan, Zhang Jinchuan, Bian Ruikang, et al. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(2): 253-260.
- [18] 田丰华, 姜振学, 张晓波, 等. 地层抬升剥蚀对油气成藏贡献初探 [J]. 地质学报, 2007, 81(2): 273-280.  
Tian Fenghua, Jiang Zhenxue, Zhang Xiaobo, et al. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(2): 273-280.
- [19] 庞雄奇, 高剑波, 吕修祥, 等. 叠合盆地“多元复合-过程叠加”成藏模式及其应用——以塔里木盆地奥陶系油气勘探研究为例 [J]. 石油学报, 2008, 29(2): 159-166.  
Pang Xiongqi, Gao Jianbo, Lu Xiuxiang, et al. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(2): 159-166.
- [20] 庞雄奇, 王英民, 吕修祥, 等. 塔里木盆地台盆区非背斜油藏形成条件与勘探方向 [R]. 北京: 中国石油大学, 2004: 76-80.  
Pang Xiongqi, Wang Yingmin, Lu Xiuxiang, et al. *Tarim basin area non anticline reservoir forming conditions and exploration direction* [R]. Beijing: China University of Petroleum, 2004: 76-80.
- [21] 庞雄奇, 高剑波, 孟庆洋. 塔里木盆地台盆区构造变动与油气聚散关系 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(5): 594-603.  
Pang Xiongqi, Gao Jianbo, Meng Qingyang. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(5): 594-603.

(责任编辑 刘志远)