

# 柴达木盆地北缘油气分布的构造控制作用

曾联波<sup>1</sup> 金之钧<sup>1</sup> 汤良杰<sup>1</sup> 李京昌<sup>1</sup> 由福报<sup>2</sup> 张兵山<sup>2</sup>

(1. 石油大学地球科学系, 北京 102200; 2. 青海石油管理局研究院, 敦煌 736202)

**摘要:** 该区中新生代形成了伸展构造、扭动构造、逆冲—褶皱构造等构造样式。早、中侏罗世形成的正断层组合构造样式, 可形成一些小规模油气藏。老第三纪形成的压扭性构造对油气的聚集有重要控制作用。而新第三纪—第四纪形成的逆冲—褶皱构造的含油气性差异很大, 在早期断层基础上发育的逆冲—褶皱构造有利于油气分布, 而新形成的逆冲—褶皱构造, 通常不利于油气聚集。构造应力对油气的运移聚集有重要影响, 构造应力变化速率引起的应力驱动, 是油气沿断层垂向运移的主要动力, 在断层附近应力值适中、岩石扩容量较大、微裂缝发育的区域, 是油气聚集的有利场所。

**关键词:** 构造样式; 构造应力场; 油气分布; 柴达木盆地北缘。

中图分类号: P618.130.2 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)01-0054-05

**作者简介:** 曾联波, 男, 副教授, 1967年生, 1992年获中国地质大学(北京)构造地质学专业硕士学位, 主要从事构造地质学方面的科研与教学工作。

## 0 引言

位于祁连山前的柴达木盆地北缘块断带属于盆地一级构造单元(图1), 是多年来勘探证实的寻找侏罗系和第三系油气藏的重点区块<sup>[1,2]</sup>。该区具有良好的生油和储集条件, 侏罗系和第三系良好的储盖组合以及与沟通烃源岩断层有关的圈闭构造, 一般都具有较好的含油气性。从目前已发现的油气藏看, 它们均为构造油气藏, 反映油气分布主要受构造控制。因此, 研究该区构造对油气的控制作用, 对其油气勘探具有重要的指导作用。

根据成藏过程研究, 该区油气主要来自侏罗系烃源岩, 侏罗系油气聚集为自生自储, 它们受岩性、断块和褶皱构造控制; 第三系油气藏分布受不整合面和沟通烃源岩断层等油气运移通道的限制。渐新世末侏罗系开始进入生油门限, 中新世末达到生油高峰期, 上新世末—更新世强烈的挤压作用使油气发生再运移, 形成次生油气藏。油气的形成分布与构造密切相关, 主要表现在构造样式及构造应力场对油气分布的控制作用, 本文将从这两个方面来进行

## 论述。

## 1 构造样式与油气分布

柴达木盆地北缘在早、中侏罗世为裂陷阶段, 晚侏罗世—白垩纪为挤压阶段, 老第三纪为挤压走滑阶段, 新第三纪—第四纪为挤压推覆阶段<sup>[3]</sup>。在该区相应地形成了伸展构造、扭动构造、逆冲—褶皱构造等构造样式<sup>[3,4]</sup>。

### 1.1 伸展构造样式

伸展构造主要表现为该区早、中侏罗世断层呈平面式或铲式正断层组合样式, 它们控制了该时期断陷型沉积特征。虽然这些断层目前表现为逆断层(图2, A), 但若遵循平衡构造剖面的原理, 恢复侏罗系和白垩系剥蚀量后再编制构造发育史图, 就会发现它们在早、中侏罗世为正断层组合; 它们在晚侏罗世(至白垩纪)反转, 表现为逆断层性质<sup>[3,4]</sup>。

分布在下、中侏罗统中的正断层组合构造样式, 虽然其断层规模小, 但它们具有良好的油源条件, 断层两侧在伸展过程中的掀斜运动, 可使反向正断层上升盘在断层面附近形成高部位, 即使它们在后期挤压应力场作用下发生反转成为逆断层, 这种构造格局依然存在。断层的遮挡可形成屋脊式断块油气

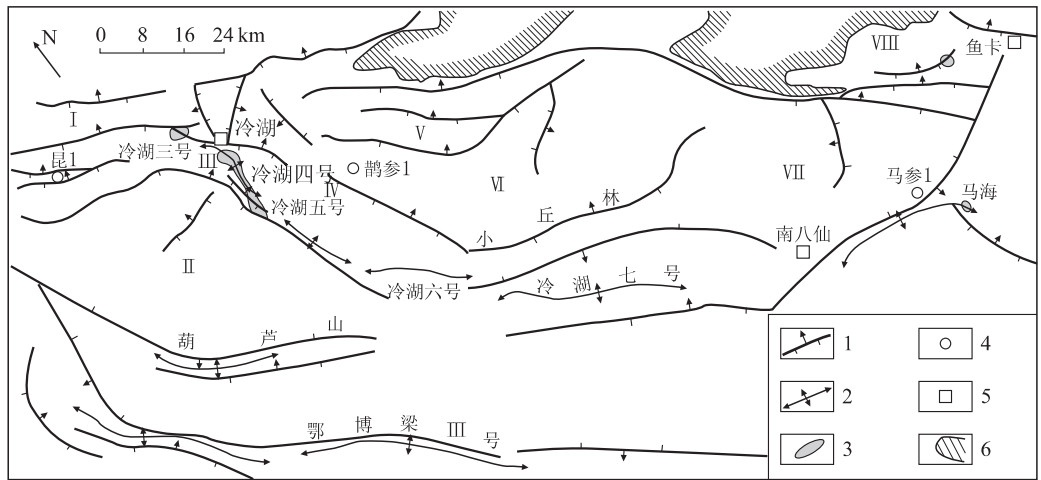


图 1 研究区构造分布(据青海石油管理局资料简化)

Fig. 1 Sketch of structure in the study area

1. 逆断层; 2. 背斜轴迹; 3. 油气田; 4. 探井; 5. 地名; 6. 周边山系; I. 呼通诺尔凸起; II. 昆特依凹陷; III. 冷湖构造带; IV. 潜西斜坡带; V. 驼南构造带; VI. 丘村构造带; VII. 赛什腾凹陷; VIII. 鱼卡断陷

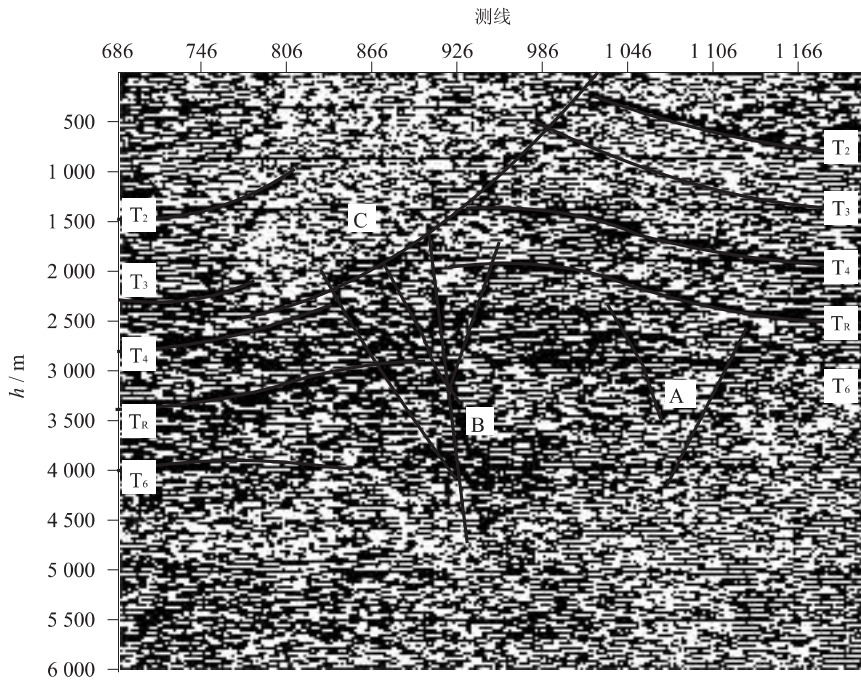


图 2 柴达木盆地北缘 94314 测线地震剖面

Fig. 2 Seismic section along 94314 line on the northern margin of Qaidam basin

藏和断鼻油气藏等一些小规模油气藏。

### 1.2 扭动构造样式

扭动构造样式在冷湖构造带表现明显, 并常与压缩构造叠置在一起, 表现为老第三纪时期的挤压扭动构造组合。扭动构造样式最典型的为正花状构造, 断层上缓下陡, 呈直立状延伸至基底, 向上分叉呈花朵状, 并伴有背形弯曲(图 2, B)。盆地中常见的

“两断夹一隆构造<sup>[1]</sup>”, 一部分属于挤压推覆构造中夹于主冲断层和反冲断层之间的冲起构造, 一部分属于花状构造中的背形弯曲隆起部分。从冷湖背斜构造带的右阶雁形式排列, 反映了该时期主要为右行走滑活动。在北西向逆断层右行走滑活动过程中, 在该区还形成了受这些断层控制的呈左阶雁形排列的近 NS 向小正断层。

扭动构造样式的形成早于油气的主要运移期,这些断层切割深度较大,断层的长期活动提供了油气运移通道,断层往上终止于上第三系中,其盖层条件较好。因此,扭动构造样式对该区油气聚集有重要控制作用,雁列式背斜构造、花状构造的背形部位、派生雁列式正断层构成的断块、不同走向断层相交构成的“天窗式”断块都是有利的构造圈闭。此外,在扭动断裂带附近,裂缝发育,岩石的容量体积较大以及孔渗性较好,它们也是油气良好的储集场所。

### 1.3 逆冲—褶皱构造样式

逆冲—褶皱构造分布广泛,主要表现为新第三纪—第四纪发育的叠瓦式逆冲断层、反冲断层、冲起构造以及在逆冲断层上盘所伴生的褶皱构造(图 2, C)。盆地地表的不对称线性紧闭褶皱即为逆冲推覆作用下形成的一种断展褶皱或断滑褶皱。断展褶皱下部对应分布有明显的逆冲断层,而断滑褶皱下部无明显逆冲断层,它们主要是由于顺层滑脱、位移减小或消失而引起。

新第三纪以来形成的逆冲—褶皱构造的含油气性有较大差别。在早期断层基础上发育的逆冲断层及其伴生褶皱,由于断层产状陡、切割深,沟通烃源岩,因而这类逆冲断层上盘的背斜构造、断块构造和冲起构造一般都是有利的油气圈闭构造。该时期新形成的逆冲断层及其背斜构造,它们形成于油气运移期后,断层产状较缓,断层往下切割深度有限,往上刺穿地层,剥蚀严重,油气来源较少,保存条件较差,不利于油气储集。只有当其逆冲推覆距离较小,往上刺穿地层少,而又有其他断层与之沟通,提供油气运移的通道时,此时期构造活动的改造和再聚集作用可在其断层上盘的背斜构造中形成次生油气藏。

## 2 构造应力场与油气分布

构造应力是岩石变形的主要动力,同时也是油气成藏的主要作用力<sup>[5~9]</sup>。构造应力对油气分布的影响主要表现在三个方面:(1)构造应力产生岩石变形,改变了岩石的渗透性能,形成的裂缝、断层和不整合面提供了油气运移的通道,而各种圈闭构造提供了油气的聚集场所;(2)在构造强烈活动期,构造应力的变化速率是油气运移的重要驱动力;(3)应力状态影响岩石多孔介质的有效应力,从而影响介质中的渗流场分布。当构造应力发生改变时,这种作

用力的变化一部分转移到孔隙流体压力上,使某一瞬间渗流场改变,从而影响了油气的运移和聚集。因此,可以从岩石的扩容量、破裂值、应力大小及其影响的流体势等方面来综合分析构造应力对油气运移和聚集的影响。

根据构造应力场研究,柴达木盆地早、中侏罗世的区域构造应力场以 NS 向伸展为特征,晚侏罗世—白垩纪为近 NS—NNW 向水平挤压,老第三纪—中新世为区域 NS 向水平挤压作用下的向东伸展,上新世—第四纪为 NNE 向水平挤压<sup>[8]</sup>。在区域应力场分析的基础上,运用有限元方法对该区新第三纪油气成藏期构造应力场进行了数值模拟,从而分析构造应力场对油气的运聚效应。

数值模拟的地质模型依据地质构造图来建立,目的层平均厚度 700~1 000 m,马仙断裂以西小于 100 m,处理断层 26 条,划分单元 2 116 个,节点 2 084 个。边界条件的受力方向依据区域构造应力场及其三维光弹模拟结果确定<sup>[3,9]</sup>,受力大小通过声发射法测量的古应力大小确定。水平挤压力作用在四周 140 个边界受力节点,其中北侧受力略大于南侧,西侧受力略大于东侧,反映祁连山的向南挤压推覆和阿尔金断裂带左行走滑的影响。

在建立地质、力学和数学模型的基础上,根据各单元内所赋予的实际岩石力学参数和边界受力条件,经过 100 多个方案的正反演,按线弹性理论计算出各单元内应力的分布。从数值模拟结果看,该区已知油气藏主要分布在最大主压应力和最大剪切应力较大、最小主压应力较小、岩石应变能、扩容量和破裂值较大的部位(图 3, 4)。在构造应力作用下,这些部位断层渗透性和开启性好,是油气运移的良好通道。在应力驱动下,油气沿断层呈“幕式”作垂向运移,至其附近岩石扩容量较大、微裂隙和剪切破裂发育的部位,由于岩石裂隙空间扩大,孔隙流体压力和流体势能降低,油气聚集成藏。

岩石的应变决定了油气聚集的空间分布,岩石中的应力状态和应力大小影响着油气的运移与聚集。当岩石处于两向挤压、一向拉伸的应力状态时,有利于油气的运移;当岩石处于从三向挤压应力状态到两向挤压、一向拉伸应力状态,岩石的应变较大时,有利于油气聚集。在应力值较高的部位,岩石中孔隙流体压力较大,流体势较高,有利于油气运移;在应力值较低的部位,岩石应变和扩容小,不利于油气聚集;而在应力值适中,岩石应变和扩容量较大

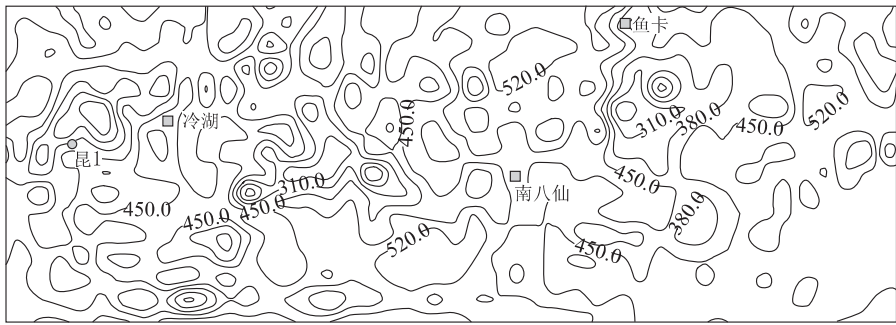


图3 柴达木盆地北缘第三纪末期最大剪切应力等值线(等值线单位:MPa)

Fig. 3 Contour diagram of maximum shear stress at the end of Tertiary on the northern margin of Qaidam basin

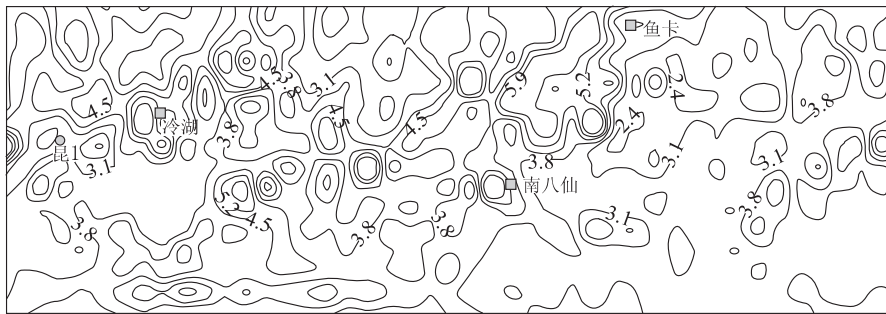


图4 柴达木盆地北缘第三纪末期岩石应变能等值线(等值线单位:MPa)

Fig. 4 Contour diagram of strain energy of rocks at the end of Tertiary on the northern margin of Qaidam basin

的部位,有利于油气聚集分布。

综上所述,构造应力对该区油气运移和聚集影响的模式为:(1)在构造应力作用下,由于岩石应力积累,应变增加,使岩石的扩容量增大,并产生破裂,一方面使该区沟通烃源岩的断层开启性好,成为油气的主要运移通道,同时还使断层附近岩石裂隙体积增大,它们成为油气聚集的有利场所;(2)在应力驱动下,油气沿断层向上垂向运移,在断层附近有利部位,由于岩石孔隙流体压力和流体势能下降,油气聚集成藏;(3)在构造强烈活动期,构造应力变化速率引起的应力驱动对油气运移起主导作用;在构造相对平静期,构造应力是影响流体势的因素之一,它主要通过流体势来影响油气的运移和聚集。在“突发式”成藏过程中<sup>①</sup>,构造应力是油气运移的主要驱动力。

### 3 结论

柴达木盆地北缘在不同地质历史时期构造应力

场作用下形成的构造样式的含油气性相差较大,其中老第三纪形成的扭动与挤压叠加构造样式对油气分布最为有利。这些区域具有沟通烃源岩的断层及相关圈闭构造,断层的开启性好,其最大主压应力和最大剪切应力一般中等,最小主压应力较小,岩石应变能、扩容量和破裂值都较大。在构造应力变化速率引起的应力驱动下,油气沿断层垂向运移,在这些部位由于孔隙流体压力和流体势降低而聚集成藏,它们是该区油气分布的有利区。早、中侏罗世形成的伸展构造,可形成一些小规模断块型油气藏,而新第三纪—第四纪形成的逆冲—褶皱构造的含油气性差异很大。在早期断层基础上发育的逆冲—褶皱构造有利于油气分布,而新形成的逆冲—褶皱构造不利于油气分布。

### 参考文献:

- [1] 青藏油气区石油地质编写组. 中国石油地质志(卷十四)[M]. 北京:石油工业出版社,1990.
- [2] 王明儒,胡文义,彭德华. 柴达木盆地北缘侏罗系油气前景[J]. 石油勘探与开发,1997, 24(5): 20~24.
- [3] 金之钧,张明利,汤良杰,等. 柴达木盆地中生代构造演化[J]. 地球学报,1999, 20(增刊): 68~72.

<sup>①</sup>金之均. 柴达木盆地构造演化及其对油气分布控制作用. 中国石油天然气集团公司“九五”油气勘探科技项目成果报告,1998.

- [4] 狄恒恕,王松贵. 柴达木盆地北缘中生代构造演化探讨[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1991, 16(5): 533~539.
- [5] Rochet J H. Stress field, a key to oil migration[J]. AAPG Bull, 1981, 65(1): 74~85.
- [6] Hooper E D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments [J]. J Petrol Geo, 1981, 4(4): 161~180.
- [7] 华保钦. 构造应力场、地震泵和油气运移[J]. 沉积学报, 1995, 13(2): 77~85.
- [8] 曾联波,田崇鲁. 构造应力场在隐蔽性油气藏勘探中的应用[J]. 现代地质, 1998, 12(3): 401~405.
- [9] 黄庆华,黄汉纯,马演生. 柴达木盆地构造、三维应力与聚油模式[M]. 北京:地质出版社, 1996.

## STRUCTURAL CONTROLS OF PETROLEUM AND GAS DISTRIBUTION ON NORTHERN MARGIN OF Q AidAM BASIN, CHINA

Zeng Lianbo<sup>1</sup> Jin Zhijun<sup>1</sup> Tang Liangjie<sup>1</sup> Li Jingchang<sup>1</sup> You Fubao<sup>2</sup> Zhang Bingshan<sup>2</sup>

(1. Department of Geosciences, University of Petroleum, Beijing 102200, China; 2. Research Institute of Qinghai Petroleum Administration Bureau, Dunhuang 736202, China)

**Abstract:** Three kinds of structural patterns present on the northern margin of the Qaidam basin in the Mesozoic and Cenozoic are shown in this paper as follows: the extensional structure, the torsional structure, and the thrust-fold structure. The structural pattern of the normal fault assemblage that occurred in the Early and Middle Jurassic may have initiated some small-scale petroleum and gas pools. The compressive torsional structure that occurred in the Early Tertiary may have controlled the accumulation of petroleum and gas. However, the petroleum and gas-bearing properties vary greatly in the thrust-fold structure that occurred in the Late Tertiary—Quaternary. The thrust-fold structure that have developed from the early fault is favorable for the distribution of petroleum and gas. On the other side, the newly-formed thrust-fold structure is usually not favorable for the accumulation of petroleum and gas. The structural stress has an important effect on the migration and accumulation of petroleum and gas. The stress caused by the change in the structural stress rate is the main driving force for the vertical migration of the petroleum and gas along the fault. Near the fault, the stress value is moderately medium, the lithological dilation is relatively great, and the micro-cracks develop well. Such a region is favorable for the accumulation of petroleum and gas.

**Key words:** structural pattern; structural stress field; petroleum and gas distribution; northern margin of Qaidam basin.