

文章编号: 0253-2697(2003)03-0011-05

# 坳陷型湖盆层序地层特征与隐蔽油气藏勘探

——以松辽盆地为例

袁选俊<sup>1,2</sup> 薛良清<sup>2</sup> 池英柳<sup>2</sup> 陈章明<sup>3</sup> 渠永宏<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 3. 大庆石油学院 黑龙江大庆 163318)

**摘要:** 坳陷型湖盆沉积的陆源碎屑沉积物由湖盆四周的河流和冲积扇供给,三角洲沉积集中于一个或多个沉积中心。湖盆由水退与水进沉积层段交替充填。最大洪泛期沉积的湖相泥岩为坳陷型盆地重要的生油岩和区域性封盖层。2个最大洪泛期沉积的湖相泥岩所夹持的砂岩体是寻找隐蔽油气藏的最主要目标。在2个最大洪泛期之间,存在着湖平面升降变化的多次一级旋回。这种频繁的湖平面升降与沉积物供应速率的变化,导致岸线的迁移与三角洲朵叶体的摆动,使得大型三角洲前缘相带成为岩性油气藏发育的有利地区。坳陷型湖盆中发育的隐蔽油气藏,大都具有面积大、渗透率和储量丰度低的特点,但有构造背景配合,就可以形成富集高产区块。松辽盆地白垩统青山口组、姚家组、嫩江组含油层段为这种油气藏的一个典型实例。

**关键词:** 坳陷型湖盆;层序地层;隐蔽油气藏;松辽盆地;勘探

**中图分类号:** TE113.3 **文献标识码:** A

## Sequence stratigraphic and subtle-trap characteristics of lacustrine depression basin

YUAN Xuan-jun<sup>1,2</sup> XUE Liang-qing<sup>2</sup> CHI Ying-liu<sup>2</sup> CHEN Zhang-ming<sup>3</sup> QU Yong-hong<sup>3</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 3. Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, China)

**Abstract:** The lacustrine depression basin is one type of the most important petroliferous basins in China. The terrigenous clastic sediments in the lacustrine depression basin were supplied by fluvial and alluvial fan systems around the basins. The delta system was concentrated on one depocenter or several depocenters. The lacustrine basin was alternately filed with regressive and transgressive depositional intervals. The lacustrine mudstone deposited during the maximum flooding period was the important two maximum flooding periods were the most important targets for searching the subtle traps. There were many high-order cycles of lacustrine level changes between two major maximum flooding periods. Such frequent changes of lacustrine level and sediment supply resulted in shoreline migration and delta-lobe shifting. Thus, the delta front belts became the favorable areas for searching lithologic oil reservoirs. The subtle oil reservoirs in the lacustrine depression basins were generally characterized by wide distribution, low permeability, and low richness. The high-accumulative and high-productive blocks may be formed due to matching of subtle oil reservoirs with the favorable structural settings. The oil-bearing interval of Qingshankou, Yaojia, and Nenjiang (QYN) formations in the Songliao Basin may be illustrated as one typical example of subtle oil reservoir.

**Key words:** lacustrine depression basins; sequence stratigraphy; mudstone; sandstone; subtle oil reservoir; Songliao Basin

我国大型陆相坳陷型盆地主要发育于中生代,在我国东部、中部、西部各大含油气区均有分布,它是我国重要的含油气盆地类型之一。近50年来,针对中生代陆相坳陷盆地的油气勘探,发现了大量的油气储量,建成了大庆、长庆、新疆等油气生产基地。近年来勘探成果表明,这类盆地仍有较大的剩余油气资源潜力,特别是松辽、鄂尔多斯、准噶尔盆地隐蔽油气藏的勘探,是近几年来储量增长的重要组成部分。

根据盆地形成的大地构造背景,我国中生代陆相坳陷型盆地大体上可以分为3种类型:①叠加在断陷之上的坳陷盆地,如松辽盆地,在早期相互分离的断陷基础之上,早白垩世泉头组至嫩江组时期的热衰减作用,形成了湖盆面积逾 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的大型坳陷盆地;②在古克拉通基础上发育起来的坳陷盆地,如鄂尔多斯盆地,印支期华北陆块南北陆缘抬升,陆块中央大面积挠曲沉降,形成开阔的三叠纪坳陷盆地;③在前寒武

**基金项目:** 中国石油天然气股份有限公司科技攻关项目“陆相盆地层序地层学技术方法研究”(No. 010203-4)的部分成果。

**作者简介:** 袁选俊,男,1963年1月生,1984年毕业于西南石油学院,1987年获中国石油勘探开发研究院硕士学位,现为地质大学(北京)在读博士,中国石油勘探开发研究院地质所高级工程师,主要从事中国东部含油气盆地石油地质综合与沉积储层研究工作。

和海西期双重稳定基底结构基础上发育起来的拗陷盆地,如准噶尔盆地。

虽然上述3种拗陷盆地类型的基底性质和成盆动力学机制有所不同,但是,它们的原始盆地构造样式和沉积层序特征有许多共性:①盆地面积较大,在盆地稳定沉降阶段常形成厚度不大但分布广泛的湖相生油岩,生烃潜力巨大,如松辽盆地的下白垩统青山口组、鄂尔多斯盆地上三叠统延长组等;②原始沉积地形平缓,湖平面升降变化频繁且影响面积大,常在纵向上形成多旋回、多级别层次的生、储、盖组合;③以大型三角洲沉积体系发育为主,砂岩分布面积广,有利于形成大面积叠合连片的油气聚集区带。笔者以松辽盆地下白垩统青山口组、姚家组、嫩江组(QYN)含油层段为例,分析这种拗陷型湖盆的层序地层特征和油气分布规律。

### 1 区域层序框架及盆地主要烃源岩和盖层

松辽陆相盆地是一个面积达  $26 \times 10^4 \text{ km}^2$  的大型产油盆地。松辽盆地初始阶段由三叠纪至中侏罗世时期的张性断裂作用形成,随后是晚侏罗世至早白垩世早期的断陷阶段。早白垩世的中、晚期至晚白垩世为拗陷阶段,晚白垩世晚期至新生代为持续的萎缩阶段。早白垩世拗陷期沉积的青山口组、姚家组、嫩江组(QYN)是盆地的主要产油层段。

在QYN组沉积时期,盆地周缘有3个主要物源区,分别形成了北、西和西南3个大型三角洲体系(图1)<sup>[1]</sup>。北部三角洲体系与西南部保康三角洲体系为长轴河流三角洲沉积,规模巨大,分布范围广。西部为一系列短轴河流三角洲组成的三角洲复合体。以姚家组底部的不整合面及对比整合面为界,可将QYN组划分为2个不完整的沉积层序(图2)<sup>[2]</sup>,或称之为2

个不完整的超层序<sup>[3]</sup>。

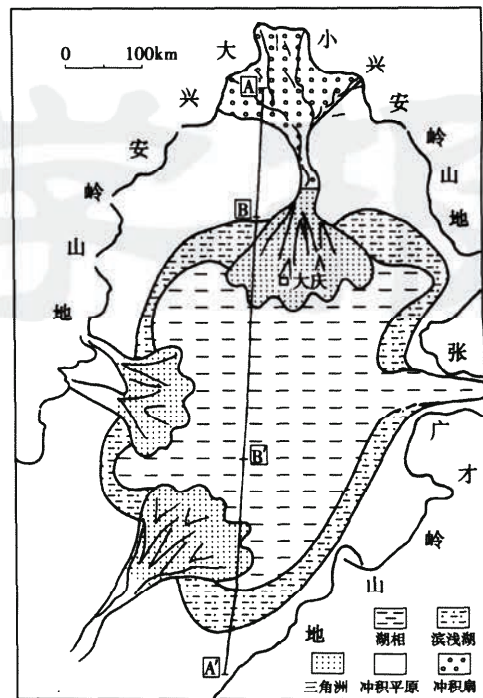


图1 松辽盆地青山口组沉积体系示意图

Fig. 1 Depositional system of the Qingshankou Formation in Songliao Basin

青山口组一段中下部是最大洪泛期的沉积物,湖盆范围急剧扩张至  $8.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,水体迅速变深,沉积了广泛分布的有机质丰富的深湖相暗色泥岩,为松辽盆地主力生油层(表1)。青山口组主体部分为高位体系域(HST)的沉积产物。湖盆范围逐渐缩小,水体变浅。盆地边缘发育一系列三角洲沉积体系,自北、西、西南3个方向向湖盆中心推进,在纵向上形成进积型沉积序列。青二段总体沉积环境与青一段类似,沉积中心仍发育深湖—半深湖沉积,但湖相泥岩分布范围较小,砂体分布范围扩大。青三段沉积环境发生较大

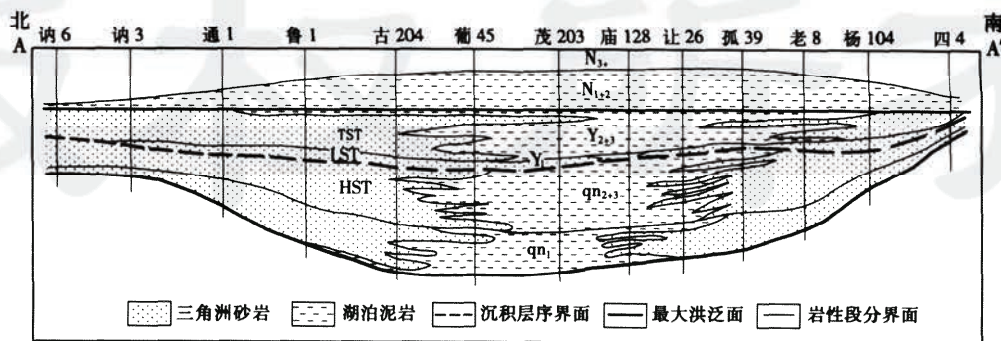


图2 松辽盆地QYN层序地层剖面

Fig. 2 The sequence stratigraphic section of QYN Formation in Songliao Basin

表 1 QYN 组生油岩特征<sup>[3]</sup>  
Table 1 QYN source rock characterization

产油层段	有机碳/%	有机质/%	总烃/%	干酪根含量/%	残留烃 S <sub>1</sub> /%	裂解烃 S <sub>2</sub> /%	生烃潜力
嫩一段	2.402	0.2804	0.1682	2.258	0.184	2.465	优
姚二、三段	1.185	0.1124	0.0790	1.126	0.140	0.042	—
姚一段	0.426	0.0418	0.0099	0.306	0.002	0.047	—
青二、三段	0.707	0.1500	0.0900	0.654	0.038	0.489	中等
青一段	2.207	0.5330	0.1612	2.068	0.159	1.164	优

变化,湖盆水体退缩更加明显,盆地主体演变为滨浅湖环境。青山口组顶部广泛发育的不整合面,代表了 QYN 下部沉积层序的结束和上部沉积层序的开始。

姚家组一段为上部层序低位体系域(LST),湖盆水体较浅,湖盆范围缩小,仅为 10000km<sup>2</sup> 左右。盆地北部发育大型三角洲沉积体系,三角洲分流河道与前缘相大规模地向盆地中心迁移(图 2);盆地南部陆源碎屑物质供给不足,发育了大面积浅水泥岩沉积。姚家组二段至嫩江组一段为水进体系域(TST)的产物,湖盆分布面积逐渐扩大,水体深度增加。姚家组二段和三段为水进早期沉积,主要为浅水湖相泥岩和三角洲砂岩沉积,分布在盆地北部和西部。嫩一段为水进晚期至最大洪泛期的沉积,湖盆范围急剧扩张,除三角洲砂体分布局限在松辽盆地北缘外,其广泛发育厚层深湖一半深湖相泥岩,主要为黑色泥页岩和油页岩,为松辽盆地另一套主要生油层(表 1)。

青一段与嫩一、嫩二段沉积物除为盆地的主要生油层外,还是松辽盆地中重要的区域性盖层。这两套区域性盖层在纵向上将松辽盆地分成了 3 套含油组合(图 3)。最大洪泛期沉积分布广泛的嫩一、嫩二段湖

的 78.1% 和 14.8%,它们共同组成的中部含油组合探明石油储量占总储量的 92.9%。以青山口组一段为主的另一区域盖层封盖了下部含油组合(包括扶余和杨大城子油层—FY),约占盆地探明石油储量的 6.9%。嫩一段以上的上部含油组合探明的石油储量仅为盆地储量的 0.2%<sup>[4]</sup>。近年来的勘探实践也基本符合这一规律。须指出的是,最近的勘探成果表明,在松辽盆地南部,青一段区域盖层起着更为重要的作用,封盖了盆地南部石油储量的 67%;嫩一段区域盖层封盖了盆地南部探明石油储量的 30.6%;嫩一段区域盖层之上石油探明储量仅为 2.42%<sup>[5]</sup>。这是因为盆地南部只在泉头组沉积时期有大面积河流—三角洲砂体分布,储集层发育良好,使青一段下伏的泉头组成为盆地南部的的主力油层。

综上所述,青一段和嫩一、嫩二段两次最大洪泛期沉积物控制了松辽盆地的生、储、盖组合和油气分布。这两次最大洪泛期形成的湖相泥岩富含有机质,是松辽盆地的主要生油岩,同时也是重要的区域盖层。由此可见,识别最大洪泛期沉积物、判别有关的高质量生油岩与盖层以及圈定与最大洪泛事件有关的下伏沉积体系,是坳陷型湖盆油气勘探的最重要目标<sup>[6]</sup>。

## 2 高频层序特征与生、储、盖组合

松辽湖盆在 QYN 沉积时期,主要受到北部、西部、西南部三大水系的影响,各个时期发育了规模不等的三角洲砂体。QYN 层段下部有青一段生油岩供油,顶部有嫩一段区域性盖层封盖,使 QYN 含油组合成为盆地油气最富集的组合。

测井资料与高分辨率地震资料分析表明,在青一段与嫩一、嫩二段两个最大洪泛期沉积层之间还存在着湖平面升降变化的高频旋回的记录。这种频繁的湖平面变化与沉积物供应速率的变化,相应地导致湖岸线和三角洲朵叶体的频繁摆动,因而在纵向上形成砂、泥岩频繁交互(特别是三角洲前缘相带区),组成多个次一级储、盖组合。加之三角洲前缘水下分流河道及

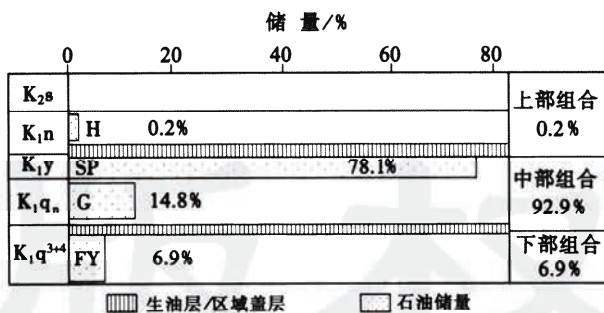


图 3 松辽盆地各含油组合石油储量分布

Fig. 3 Petroleum reserves distribution of each oil-bearing combination of the Songliao Basin

相泥岩为松辽盆地最重要的区域盖层。据统计,嫩一、嫩二段区域性盖层封盖了上部的姚家组含油层段(包括萨尔图和葡萄花油组—SP)和青山口组含油层段(包括高台子油组—G),分别占盆地已探明石油储量

河口坝砂体在空间上分布的局限,因此有利于岩性圈闭的形成。

松辽盆地北部 QYN 层段由 16 个短期基准面旋

回的沉积产物(四级层序或准层序)组成,可以合并成 3.5 个三级层序(中期基准面旋回)(图 4)。青山口组高位体系域(HST)具有巨厚的前三角洲和三角洲前缘

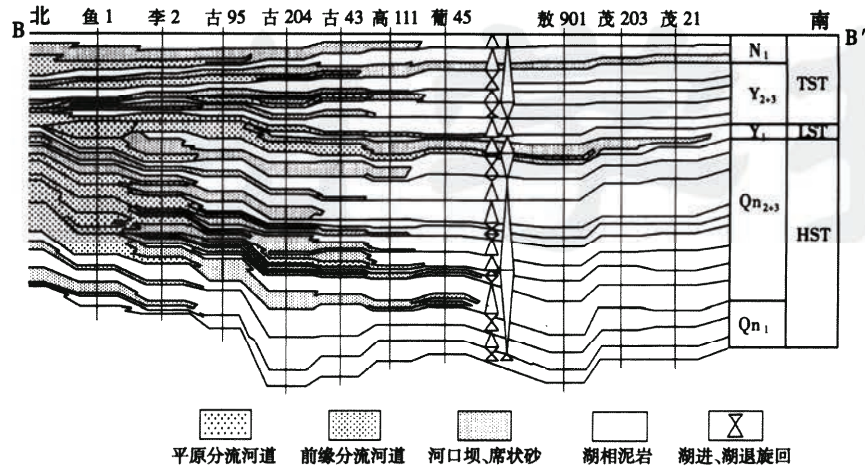


图 4 松辽盆地北部沉积体系高频层序地层剖面

Fig. 4 High-frequency sequence stratigraphic section of the northern system of the Songliao Basin

相以及陡倾的前积斜坡的特征,河口坝和三角洲前缘席状砂十分发育,但分支河道砂岩不发育。在青山口组高位体系域中可以识别出 10 个左右的高频湖进—湖退旋回层,它们组成了次一级的生储盖组合,形成了高台子油层。姚一段低位体系域(LST)是由构造掀斜所致的湖平面迅速下降和强制水退以及随后的早期湖平面相对上升的沉积产物<sup>[6]</sup>。姚一段三角洲体系中河口坝、三角洲前缘和前三角洲相很不发育;相反,由于沉积环境的快速迁移,分支河道砂岩则普遍发育,且在一些地区直接覆盖在前三角洲或湖相泥岩之上(图 3),形成的葡萄花油层厚度大、产量高。姚二、姚三段水进体系域(TST)是由沉积于相对湖平面上升期向陆后撤的三角洲朵叶体组成。分支河道砂体和再改造沉积的席状砂体是主要的骨架砂体,具有良好的储集条件,形成了萨尔图油层。嫩一段沉积时,在盆地北部边缘存在三角洲体系,为良好的储集层,上、下均为湖相泥岩,构成良好的生储盖组合,是萨尔图油层的组成部分。简言之,在青一段与嫩一段两个最大洪泛期之间,湖盆阶段性地扩张和收缩,形成了青山口组高位体系域三角洲、姚一段低位体系域三角洲和姚二、姚三段水进三角洲砂体,它们分别又由若干次一级的湖进—湖退高频层序构成,形成了良好的生、储、盖组合,使 SPG 油层成为盆地的主力产层。

### 3 有利构造背景与隐蔽油气藏勘探

松辽盆地经过几十年的勘探,取得了巨大成果,发

现了若干个大型背斜构造与三角洲主砂体匹配而形成的大油田,如大庆长垣油田<sup>[7]</sup>。近 10 多年来,对该地区的勘探已逐渐进入寻找隐蔽油气藏阶段。三角洲主砂体向湖盆延伸部分是有利的岩性油气藏发育区。虽然其含油气丰度及富集规模与主体背斜油气藏部位相差很大,但仍有很大的勘探潜力且勘探风险较低。

良好的烃源岩条件和三角洲前缘砂体有效配置是形成大面积岩性油藏的物质基础。在松辽盆地主力生烃凹陷中广泛分布的三角洲前缘砂体,有利于油气短距离运移从而形成岩性油藏。目前松辽盆地在大庆长垣以西的三肇凹陷其岩性油藏勘探程度较高,已探明储量达  $10 \times 10^8 \text{t}$ 。通过对已有岩性油藏的分析,松辽盆地岩性油藏具有大面积叠合连片、低丰度、低渗透等特点。储量丰度一般为  $(30 \sim 50) \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$ ,砂岩储层孔隙度为  $10\% \sim 20\%$ ,渗透率一般为  $(0.5 \sim 2) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。油气藏类型大都为构造背景下的岩性油气藏,平面上富集程度差异较大,其中与有利构造匹配好的岩性油藏其油气富集高产。

大庆长垣和华子井阶地以西的齐家—古龙与长岭凹陷具备丰富的油气资源,不同体系域的三角洲砂体分布其中,在平面上基本上满凹分布(图 5),具备了形成大面积岩性油藏的良好条件,是松辽盆地下一步的重点勘探领域。砂体与鼻状构造叠置区为重点勘探目标。

松辽盆地北部体系以姚家组低位( $Y_1$ )与水进( $Y_{2+3}$ )砂体分布较广,其中姚一段低位砂体覆盖了齐

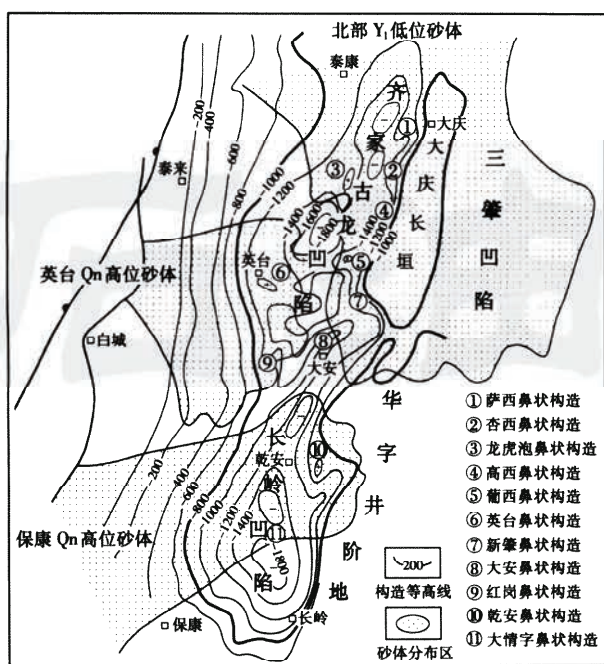


图5 松辽盆地三角洲砂体与构造叠加状况

Fig.5 Stacking map of deltaic sandstones and structures in the Songliao Basin

家—古龙凹陷的北部与东部地区(图5)。它们与大庆长垣油田西翼的萨西、杏西、高西、葡西、新肇以及龙虎泡等鼻状构造组成了良好配置,是下一步勘探的有利区带,有望形成大面积连片的岩性油气藏群。

西部英台沉积体系青山口组高位三角洲砂体发育,三角洲前缘砂体分布在古龙凹陷西部地区。它们与英台、红岗、大安等鼻状构造组成了良好配置,其中构造围斜部位是进一步进行岩性油气藏勘探的有利地区。

西南保康体系青山口组高位三角洲砂体发育,三角洲砂体覆盖了长岭凹陷中北部地区。它们与大情字井、乾安等构造带组成了良好配置。大情字井和乾安油田周边及结合部位是下一步继续进行岩性油气藏勘探的有利地区,有望形成 $3 \times 10^8$ t级储量规模的大型岩性油气藏富集区带。

致谢 本研究工作得到刘德来、关德师同志的支持和帮助,在此表示诚挚感谢!

#### 参考文献

- [1] 翟光明. 中国石油地质志(卷2)[M]. 北京:石油工业出版社,1993:278-293.
- [2] 薛良清. 层序地层学在湖相盆地中的应用探讨[J]. 石油勘探与开发,1990,17(6):29-34.
- [3] 高瑞祺,蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,1997:47-180.
- [4] 童晓光,牛嘉玉. 区域盖层在油气聚集中的作用[J]. 石油勘探与开发,1989,16(4):1-8.
- [5] 王永春. 松辽盆地南部岩性油气藏的形成和分布[M]. 北京:石油工业出版社,2001:131-177.
- [6] Xue Liangqing, Galloway W E. Genetic sequence stratigraphic framework, depositional style, and hydrocarbon occurrence of the Upper Cretaceous QYN formations in the Songliao lacustrine basin, northeastern China[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(10):1792-1808.
- [7] 杨万里. 陆相大油田形成的模式[A]. 见:杨万里. 松辽陆相盆地石油地质[M]. 北京:石油工业出版社,1985:285-298.

(收稿日期 2002-06-07 改回日期 2002-10-15 编辑 张怡)

(上接第5页)

- effect of the India-Asia collision[J]. Geology, 1994, 22(6): 487-490.
- [5] O'Sullivan P B, Parrish R R. The importance of apatite composition and single-grain ages when interpreting fission track data from plutonic rocks: a case study from the Coast Ranges, British Columbia [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1995, 132(2): 213-224.
  - [6] Hendrix M S. Sedimentary record and climatic implication of recurrent deformation in the Tian Shan: Evidence from Mesozoic strata of the Tarim, south Junggar, and Turpan basin, northwest China[J]. Geol. Soc. Am. Bull., 1992, 104(1): 53-79.
  - [7] Graham S A, Hendrix M S. Collisional successor basins of western China: Impact of tectonic inheritance on sand composition[J]. Geological Society of America Bulletin, 1993, 105(3): 323-344.
  - [8] Zhou D. The evolution of Tien Shan and its uplift process [D]. Stanford University, Ph. D. dissertation, 1997.
  - [9] Gleadow A J W, Duddy I R, Green P F, et al. Confined fission track lengths in apatite: A diagnostic tool for thermal history analysis [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1986, 94(4): 405-415.
  - [10] Parrish R R. Cenozoic thermal evolution and tectonics of the Coast Mountains of British Columbia, 1. Fission-track dating, apparent uplift rates, and patterns of uplift[J]. Tectonics, 1983, 2(2): 601-632.
  - [11] 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征和油气[M]. 北京:石油工业出版社,1997:348-364.
  - [12] 贾承造,杨树锋,陈汉林,等. 特提斯北缘盆地群构造地质与天然气[M]. 北京:石油工业出版社,2001:136-143.

(收稿日期 2002-01-17 改回日期 2002-06-27 编辑 张占峰)