

文章编号: 1001-6112(2006)06-0590-05

调整改造型隐蔽油气藏形成与分布模拟实验研究

——以准噶尔盆地腹部地区为例

史建南¹, 郝芳^{1,2}, 邹华耀¹, 曾斌辉¹, 李平平²

(1. 中国石油大学 油气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249;

2. 中国地质大学 资源学院 石油系, 武汉 430074)

摘要:受多期构造叠加、多期生烃和多期成藏的影响, 准噶尔盆地腹部地区多数油气藏经历了不同程度的调整改造, 形成了有成因联系的一系列调整改造型隐蔽油气藏。分析古油藏中原油残留、残余、散失或再聚集成藏的主控因素, 查明油气藏再分布规律, 是油气勘探的根本保证, 二维模型物理模拟实验较好地再现了不同类型隐蔽油气藏调整过程中原油的再分布情况。实验结果表明: 1) 油气藏调整过程中, 物性较好的储层部分含油饱和度降低明显, 甚至由油层变为水层, 而物性较差的储层含油饱和度变化较小, 呈现出差异残留或差异再运移的特征; 2) 同向与反向调整型油气藏其形成与再分布规律有一定差别; 3) 调整后的油气藏呈分散状、小规模分布, 其成藏类型由以构造圈闭为主变成以地层/岩性圈闭为主。

关键词:调整改造; 油气形成; 油气分布; 隐蔽油气藏; 模拟实验; 准噶尔盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

1 问题的提出

随着勘探程度的提高, 隐蔽油气藏勘探向复杂条件拓展。由于多期构造叠加、多期生烃和多期成藏, 叠合盆地很多油气藏经历了不同程度的调整改造, 形成了有成因联系的一系列调整改造型隐蔽油气藏。研究晚期构造与早期构造的叠加方式、探究调整改造型隐蔽油气藏的形成和分布规律已成为当今隐蔽油气藏勘探和成藏机理研究的难点与前沿^[1~8]。准噶尔盆地腹部地区构造演化历史复杂^[9~11], 形成于中一晚燕山期的车—莫古隆起在喜山期整体向南掀斜, 导致其南北两翼早期形成的油气藏储层产状发生明显变化, 具体可划分出同向调整(南翼)、反向调整(北翼)2种端元类型。同向调整指在储层倾向基本保持不变, 但倾角发生明显变化的构造运动中, 已形成油气的调整过程; 反向调整则指在使储层倾向发生相反变化的构造运动中, 已聚集油气的调整过程。准噶尔盆地腹部某油气藏提供了调整型隐蔽油气藏的典型实例(图1), 该油藏油层的含油饱和度相对较低, 且油层、含水油层和水层间互分布, 油水界面复杂、储层含油性与其物性无明显相关性。流体包裹体资料分析表明, 该油藏的一些水层与油层和含水油层具有同样高(均高于5%)的包裹体颗粒指数(GOI), 表明

现今的水层曾有原油聚集。究其原因可知, 此油藏位于车—莫古隆起的北翼, 新近纪以前(车—莫古隆起发育期)地层北倾, 新近纪以后发生的构造掀斜作用导致地层产状发生反向变化, 致使油藏发生反向调整, 部分油层中的原油发生再运移, 形成具有高GOI的水层或含油饱和度相对较低的含水油层。

既然如此, 那么已聚集于车—莫古隆起轴部或南翼的油气藏是不是在构造活动中也会发生一定调整或改造? 同向与反向调整型油气藏其形成与再分布规律有何异同? 何种类型油气藏在调整后能保存、残留、残余或散失? 调整改造后的油气藏会再聚集于何处? 这些不仅是理论上的科学问题, 更是勘探生产实践中的当务之急。实际上, 在叠合盆地的发育演化过程中, 不同时期的构造运动可以具有不同的方向, 晚期构造与早期构造进行叠加、干涉, 储层的产状可能发生复杂的变化, 因此隐蔽油气藏的调整实际上是非常复杂的, 反向和同向调整仅仅是2种简单情况。针对上述理论问题, 结合准噶尔盆地腹部地区实际地质特征与勘探现状, 构建了水动力条件下调整改造型隐蔽油气藏形成与分布的物理模拟实验。试图再现油藏调整过程中原油再分布的情况, 总结调整改造型油藏中原油残留、残余、散失、再聚集成藏的控制因素, 目的在于

收稿日期: 2005-10-13; 修订日期: 2006-10-08。

作者简介: 史建南(1975—), 男(汉族), 辽宁盘锦人, 博士生, 从事油气成藏机理与分布研究。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40238059)和教育部科学技术研究重大项目(10419)。

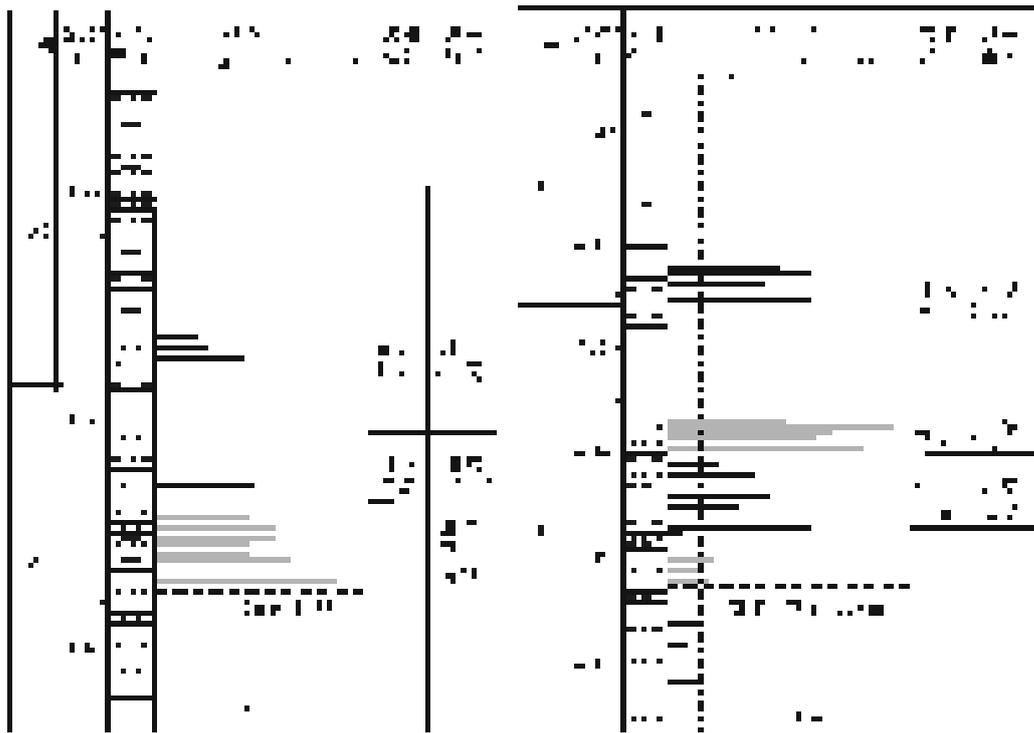
图1 准噶尔盆地储层 GOI 随深度的变化及古油水界面的识别^[1]

Fig. 1 Variation of GOI with depth in the Junggar Basin, Northwest China

查明调整改造型油藏现今的分布规律,进而指导有利目标区带的优选。

2 实验模型与方法

本次实验应用中国石油大学油气成藏机理教育部重点实验室自行研制的油气运移、聚集二维模型^[12~15](50 cm×30 cm×3 cm),选取过准噶尔盆地腹部车—莫古隆起脊线南北两翼的 Y1—ZH3 井剖面(新近纪调整前/后)为地质模型(图 2),并以此为样本设计实验模型(图 3)。其中实验模型中各层段代表意义、形态及厚度分别为:1 号砂体 7 cm 等厚,低幅度背斜状;2 号砂体透镜状尖灭,边部厚约 4 cm,顶部厚 2.5 cm;3 号砂体透镜状尖灭,

右边厚度约 5 cm,顶部厚 4 cm;5 号砂体楔状尖灭,边部厚 3 cm;9 号底砾岩砂体厚 5 cm;7 号泥岩粘土层,中间厚 1.5 cm,边部厚 3 cm;4 号和 6 号砂体为 3 号、5 号砂体顶部的优质砂岩层,厚 3 cm;8,10 号砂体为粘土层下部风化淋滤少、物性较差砂体,厚 3 cm。各砂体之间物性存在差异(粒径/mm,渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$),1,4,6 号砂体物性最好(0.2~0.25, 3 746);8,10 号砂体物性最差(0.05~0.1,416);2,3,5,9 号砂体物性居中(0.1~0.15,1 156);断层(忽略断距,为正断层)物性同 1,4,6 号砂体。进口为 A,B,C,D 4 个;出口为 a,b,c,d,e 5 个,出口管长度相同。受实验设备的限制(油水混合注入口只有 2 个),将实验拆分为 2 组进行。开始将 1,2 号砂体

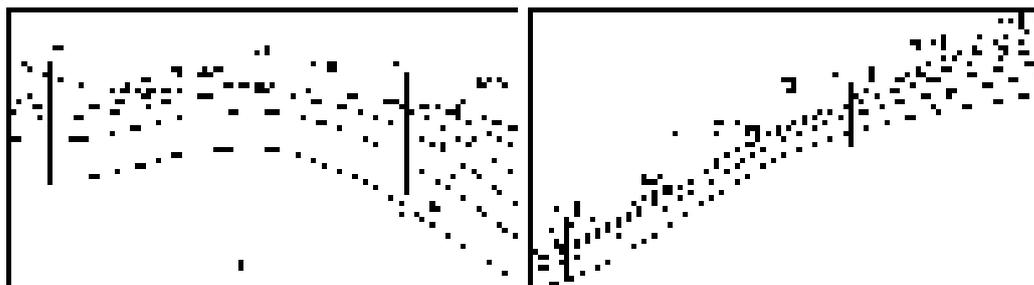


图2 准噶尔盆地 Y1—ZH3 井剖面地质模型

a. 新近纪前;b. 新近纪后

Fig. 2 Y1—ZH3 section of geological model in the Junggar Basin, Northwest China

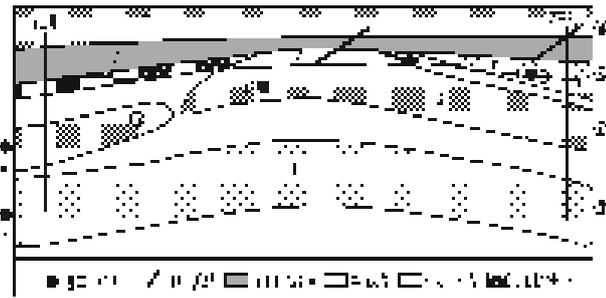


图3 油水两相连续(稳态)充注下油藏调整再分布实验模型
Fig.3 Experiment model of oil-water injection in relation to the adjustment of petroleum accumulation

以80%和60%的油水比例配置好装入模型,并静止2160 min。第一组:以40%的含油饱和度从A和B入口连续(稳态)充注油水,期间分别调整模型至 5° , 10° , 15° (3次调整),调整过程中充注的流量和油水比例不变;观察1,2号砂体和a,e出口在调整过程中原油调整再分布及排液情况。第二组:以20%的含油饱和度从C和D入口连续(稳态)充入油水,分别调整模型至 5° , 10° , 15° (3次),调整过程中充注的流量和油水比例不变;观察3,4,5,6,8,9,10号砂体含油性及断层沟通性和b,c,d出口的排液情况,同时每隔60 min记录注入量、注入压力、注入时间及排液量。颜色深浅表示含油饱和度的高低。

3 实验结果与讨论

物理模拟实验过程与结果如图4,5所示。第一组实验(图4)可见,在油水混相连续(稳态)充注下模型经3次不同角度的调整,底部1号物性较好砂体颜色逐渐变浅,即含油饱和度逐渐降低(从开始80%降到50%);而2号砂体储层物性一般,在调整过程中砂体颜色也出现了变浅现象,但变化程度不大(从60%降低到50%左右)。在排液方面,a出口溢出油较多,e出口则溢出的水较多。第二组实验(图5)可见(由于空气的混入使得实验效果不十分明显,但基本现象均有所呈现),随着油水的连续注入和模型角度的不断调整,原油较快速地沿断层向9号砂体汇入,同时b,c,d排液口均有原油排出,8,10号砂体含油饱和度最低(5%)。在多次调整过程中,砂体中原油有不同程度的散失,体现在各砂体颜色的变浅,但残余量多少不一。具体而言,3,4,5,6号砂体含油饱和度分别从60%降为45%,40%,50%和50%;9号砂体含油饱和度为50%。3号砂体的油从b,d口溢出;4号砂体的油从d口排出;5,6号砂体的部分原油垂向上沿断

层、侧向上沿物性较好砂体从d,c口溢出,油残留量较多。

准噶尔盆地腹部地区晚期的构造运动致使油气发生再次运移,本次实验再现了不同储层物性、不同封盖条件及不同输导能力下油藏的调整过程及改造结果。调整后的腹部油气藏呈分散、小规模分布,油气藏类型由以构造圈闭(低幅背斜)为主变成以地层/岩性圈闭为主。同向与反向调整过程中油的散失方向和再分布规律有一定差别。油藏保存主要受砂体连通性、储层物性的差异影响^[16,17],连通性好、物性好的砂体(调整前为主要储层)在调整改造过程中容易破坏、散失;连通性、物性相对较差的砂体(调整前为次要储层)在调整过程中相对不易被破坏,而得以保存。调整型隐蔽油气藏的储层物性—含油气性关系非常复杂,这是由油气聚集期的差异充注和油气藏调整期的差异残留或差异再运移共同造成的。本次模拟实验证明了这一点,即物性较好的储层部分的含油饱和度明显降低甚至由油层变为水层,而物性较差的储层含油饱和度的变化较小。总之,在储层产状不断变化、油气藏发生调整的过程中,油气藏的调整可导致多种成因的油气层共生:在三维空间被封闭的油气层(如砂岩透镜体油层)中的油气可得到保存,形成调整保存型油气层;在构造圈闭中油层的一部分变为水层,靠近构造高部位的储层部分中的油气能得到保存,形成调整残留型油气层;一些孔隙度、渗透率相对较低、侧向连通性相对较差的储层中的部分油气再运移能力较差,储层中仍具有一定的含油饱和度,形成调整残余型油层;另外,散失的部分油气在调整前的水层中可聚集形成调整再聚集型油层。

4 结论

1)叠合盆地中调整改造型隐蔽油气藏具有复杂的聚集历史,含油气性—储层物性关系和油/气、气/水界面复杂。

2)调整后的油气藏多呈分散状、小规模分布,其类型由以构造圈闭为主变成以地层/岩性圈闭为主,物性较好的储层部分含油饱和度明显降低,而物性较差的储层含油饱和度的变化较小,呈现出差异残留或差异再运移的特征,因此具有较大的勘探预测难度。

致谢:在成文过程中,得到中国石油大学油气成藏机理教育部重点实验室王洪玉实验师的指导与帮助,在此深表感谢。

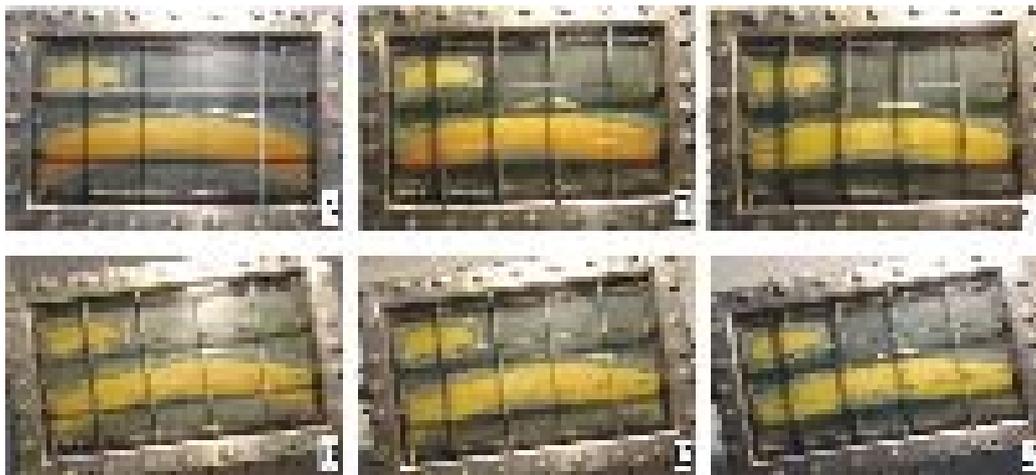


图4 低幅背斜和上倾尖灭型调整/改造油藏在水动力和浮力作用下再分布示意

- A. 角度 0° , 静止 2 160 min;
 B. 角度 5° , A/B 口注液量 200/190 mL, 注液压力 16/2 kPa, a/e 口排液量 0/0 mL, 注液时间 5 min;
 C. 角度 5° , A/B 口注液量 90/66 mL, 注液压力 220/35 kPa, a/e 口排液量 110/80 mL, 注液时间 700 min;
 D. 角度 10° , A/B 口注液量 60/61 mL, 注液压力 265/1 kPa, a/e 口排液量 40/42 mL, 注液时间 737 min;
 E. 角度 10° , A/B 口注液量 130/130 mL, 注液压力 500/13 kPa, a/e 口排液量 63/70 mL, 注液时间 1 000 min;
 F. 角度 15° , A/B 口注液量 120/122 mL, 注液压力 560/27 kPa, a/e 口排液量 75/75 mL, 注液时间 1 120 min

Fig. 4 Adjustment sketch of the anticline and punch-out reservoirs by hydraulic and buoyancies

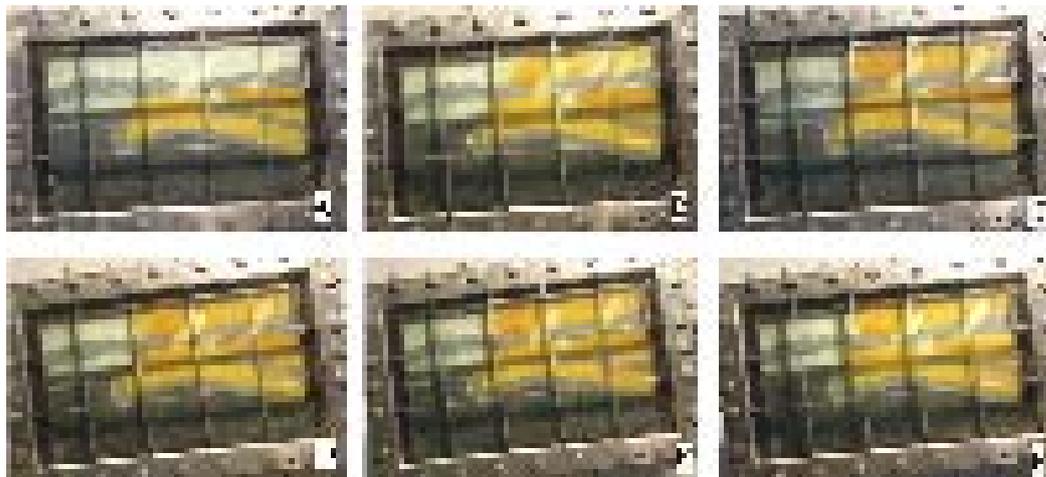


图5 与不整合、断裂有关的调整/改造油藏在水动力和浮力作用下再分布示意

- A. 角度 5° , C/D 口注液量 150/150 mL, 注液压力 8/10 kPa, b/c/d 口排液量 8/9/77 mL, 注液时间 270 min;
 B. 角度 5° , C/D 口注液量 180/180 mL, 注液压力 52/40 kPa, b/c/d 口排液量 35/7/3 mL, 注液时间 450 min;
 C. 角度 10° , C/D 口注液量 140/140 mL, 注液压力 175/150 kPa, b/c/d 口排液量 46/52/63 mL, 注液时间 750 min;
 D. 角度 15° , C/D 口注液量 140/140 mL, 注液压力 215/190 kPa, b/c/d 口排液量 46/59/68 mL, 注液时间 1 050 min;
 E. 角度 15° , C/D 口注液量 170/170 mL, 注液压力 250/200 kPa, b/c/d 口排液量 47/37/35 mL, 注液时间 1 450 min;
 F. 角度 15° , 停止充注, 静止时间 1 440 min

Fig. 5 Adjustment sketch of the unconformity and fracture reservoirs by hydraulic and buoyancies

参考文献:

- 郝芳, 邹华耀, 方勇. 隐蔽油气藏研究的难点与前沿[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 481~488
- 譙汉生, 王明明. 渤海湾盆地隐蔽油气藏[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 497~506
- 李丕龙, 张善文, 曲寿利. 陆相断陷盆地油气地质与勘探 卷四 陆相断陷盆地油气成藏组合[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 367
- 金之钧, 张一伟, 王捷等. 油气成藏机理与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 369
- Martinsen R S. Depositional remnants, part 1: Common components of the stratigraphic record with important implications for hydrocarbon exploration and production[J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(12): 1869~1882
- Martinsen R S. Depositional remnants, part 2: Examples from the Western Interior Cretaceous basin of North America[J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(12): 1883~1909
- 翟光明, 王建君. 论油气分布的有序性[J]. 石油学报, 1998, 21

- (1):1~9
- 8 关德范,王国力,张金功等. 成烃成藏理论新思维[J]. 石油实验地质,2005,27(5):425~432
- 9 蔡忠贤,陈发景. 准噶尔盆地的类型和构造演化[J]. 地学前缘,2000,7(4):431~439
- 10 何治亮,顾 忆,高山林. 中国西部多旋回演化与油气聚集[J]. 石油实验地质,2005,27(5):433~438
- 11 陈建平,查 明,柳广弟等. 准噶尔盆地西北缘斜坡区不整合面在油气成藏中的作用[J]. 石油大学学报(自然科学版),2000,24(4):75~78
- 12 曾澹辉,金之钧. 油气二次运移和聚集物理模拟[M]. 北京:石油工业出版社,2000. 243
- 13 曾澹辉,王洪玉. 层间非均质砂层石油运移和聚集模拟实验研究[J]. 石油大学学报(自然科学版),2000,24(4):108~111
- 14 尚尔杰,金之钧,丁文龙等. 断裂控油的物理模拟实验研究:以准噶尔盆地西北缘红车断裂带为例[J]. 石油实验地质,2005,27(4):414~418
- 15 张善文,曾澹辉. 断层对沾化凹陷馆陶组石油运移和聚集影响的模拟实验研究[J]. 地球科学,2003,28(2):185~188
- 16 Larter S R, Aplin A C. Reservoir geochemistry: methods, applications and opportunities[A]. In: Cubitt J M, England W A, eds. The geochemistry of reservoirs: Geological Society Special Publication No 86[M]. London: The Geological Society, 1995. 5~32
- 17 Peters K E, Martin G F. Applications of petroleum geochemistry to exploration and reservoir management[J]. Organic Geochemistry, 2002, 33(1):5~36

MODEL EXPERIMENT STUDY OF FORMATION AND DISTRIBUTION OF ADJUSTED SUBTLE OIL-GAS RESERVOIRS —TAKING THE HINTERLAND IN JUNGGAR BASIN AS AN EXAMPLE

Shi Jiannan¹, Hao Fang^{1,2}, Zou Huayao¹, Zeng Jianhui¹, Li Pingping²

(1. Key Lab for Hydrocarbon Accumulation Mechanism in the Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Department of Petroleum Geology, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: In superimposed basins, such as hinterland of Junggar Basin, the formerly accumulated subtle reservoirs usually have undergone adjustment due to the stack of multiple-stage tectonic movements, generation and accumulation. Studying mainly control factors of adjustment for formerly accumulated reservoirs and understanding their re-distribution rules, which are a primary guaranty of petroleum exploration. 2-D physical model experiment ideally recurred adjustment process and result of variously adjusted subtle oil-gas reservoirs. The following results have been obtained: 1) Due to reservoirs adjustment, the oil saturation of reservoir depressed obviously for its fine physical property. Some reservoirs turned into water layers indeed; while, the oil saturation of the one for bad physical property depressed less. The characteristic of different remain or different migration has been presented; 2) The complexion of formation and distribution of concordant and converse adjusted reservoirs exists some difference; 3) The adjusted reservoirs are dispersed and small-area distribution, and their trap types are mainly stratigraphic and lithologic traps instead of structural traps.

Key words: adjustment and alteration; oil-gas formation; oil-gas distribution; subtle oil-gas reservoirs; model experiment; the Junggar Basin