

文章编号: 1001- 6112(2004) 03- 0308- 05

构造模拟实验在构造研究中的应用

——以桩西潜山为例

王颖^{1,2}, 王英民^{1,2}, 赵锡奎³

(1. 教育部石油天然气成藏机理重点实验室, 北京 昌平 102249; 2. 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 昌平 102249; 3. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 构造模拟实验是构造研究的一个重要方面, 曾取得一系列理论上和实践上的重要成果, 但对于褶皱的模拟实验仍然没有取得很好的效果。因此, 采用何种方法和手段来实现对褶皱的模拟是目前需要亟待解决的一个问题。桩西潜山是济阳拗陷内典型的褶皱型潜山, 本次研究在充分认识桩西潜山形成的边界条件的基础上, 充分考虑了各个时代地层岩性特征, 对实验材料进行了严格、精确的配方, 以相似理论为指导, 首次采用物理模拟实验的方法, 模拟了济阳拗陷内构造最为复杂的褶皱型潜山—桩西潜山的形成过程。通过 4 个阶段的模拟实验, 得出的实验结论与理论分析取得了较好的拟合结果, 成功解决了复杂潜山演化过程中理论研究的多解性问题, 为褶皱的物理模拟提供了一个良好的实例。

关键词: 古潜山; 构造演化; 模拟实验

中图分类号: TE121. 2

文献标识码: A

渤海盆地济阳拗陷的桩西潜山由于受多期构造运动的影响, 构造特征比较独特, 是济阳拗陷典型逆断层发育区, 其潜山内幕极其复杂, 使其成为了济阳拗陷内最为复杂的潜山构造。鉴于以上原因, 笔者对桩西潜山的形成演化过程设计了模拟实验, 以期能够根据模拟实验以及理论分析结果, 真正了解桩西潜山具体的形成过程, 为进一步开展油气勘探工作提供依据。

1 背景

桩西潜山位于东营市北部黄河入海口北侧, 构造位置位于济阳拗陷内沾化凹陷的东北部(图 1), 勘探面积百余平方千米, 地处济阳拗陷、渤中拗陷和埕宁隆起 3 大构造单元的交汇处。西为老河口油田, 东北为埕岛油田和渤海海域, 南临五号桩油田^[1]。

从老到新包含的地层为下古生界寒武系和奥陶系, 上古生界石炭系和二叠系, 中生界侏罗系和白垩系, 以及新生界第三系及其上覆的第四系。

笔者在前人研究的基础上, 重新对桩西潜山形成演化进行了分析, 根据理论分析的结果认为主要分为以下几个阶段: 第一个阶段是海西期, 为轻微褶

皱期, 这个阶段为桩西古潜山的形成奠定了基础; 第二个阶段发生于印支期, 为褶皱逆断期, 在这个时期发生的褶皱逆断作用使桩西潜山内出现逆断层及挤压背斜构造; 第三个阶段出现在燕山期, 为断裂期, 这个时期是断层极其发育的时期, 燕山期的构造运动使桩西潜山的内幕更加复杂; 第四个阶段为喜山期, 是潜山定型期。

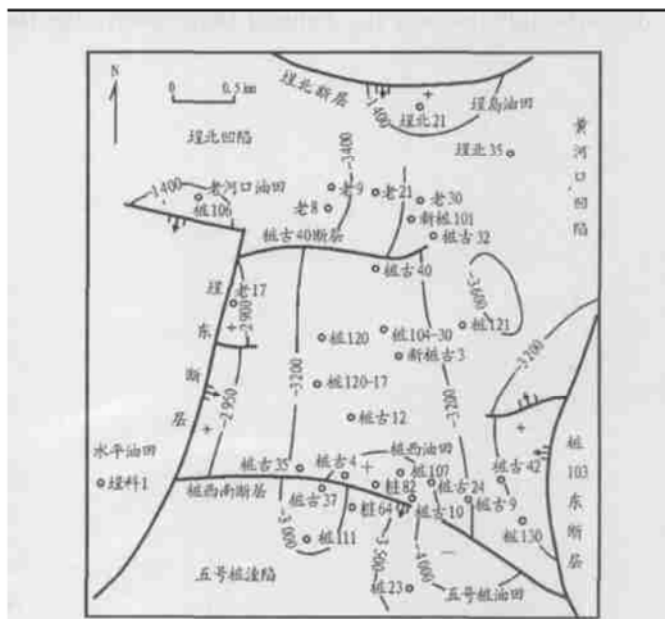


图 1 桩西潜山构造位置图^[1]

Fig. 1 Location map of Zhuangxi buried hill

收稿日期: 2002- 10- 20; 修订日期: 2004- 04- 26.

基金项目: 国家“973”项目(G 1999043305) 和国家科技攻关项目(2001BA605A09).

作者简介: 王颖(1976—), 女(汉族), 黑龙江延寿人, 在读博士研究生, 石油地质专业.

2 模拟实验研究现状

构造模拟实验是构造研究的一个重要方面。前人通过模拟实验,曾取得一系列理论上和实践上的重要成果,给人们以重要启迪^[2]。褶皱模拟实验早在19世纪初就已经进行,但是直到20世纪初期以前,几乎没有取得值得称道的进展。50年代, Hall(1951), Bridgman(1952), Parker, McDowell(1955)和 Jeager(1956)等运用多种材料对褶皱、尤其是盐丘进行了模拟研究,取得了一定的理论成果。50年代末期到60年代末期,褶皱模拟实验和理论研究进展巨大,主要代表学者有 Biot, Ramberg, Paterson, Bayly, Currie, Ghosh, Dieterich, Bridwell, de Capparais, Ore Stepbansson 等^[3]。到目前为止,作为最主要构造类型之一的褶皱,虽然理论上形成了以“主波长理论”为中心的比较系统的理论,但由于理论的边界条件要求严格,适用范围窄,而野外实际的地质环境千变万化,因此,仍然存在较大的误差,模拟实验尚未取得预期的成果,仍是模拟实验的一大难题。

3 模拟实验简介

本次研究工作,在充分认识桩西潜山形成的边界条件的基础上,充分考虑了各个时代地层岩性特征,对实验材料进行了严格、精确的配方,以相似理论为指导,模拟了潜山的形成过程。

3.1 模拟实验相似原理简介

在构造模拟实验中,若想使得实验结果更真实的反映地层构造运动实际情况,就必须尽可能地模拟地层构造运动特征。然而,在模拟实验中,要完全模拟影响地层构造变形的因素是不可能实现的,但模拟部分影响因素则是可以实现的^[4]。大量实验证明^[4~9],对于一项模拟实验,在实验过程中,对于影响实验结果的重要因素必须完全模拟,而对实验结果没有影响或影响相当小而且不产生蝴蝶效应的因素可以不完全模拟。为了解决这些问题,往往采用相似原理作为衡量模拟实验结果真实性的标准。为了使本次实验尽可能的逼近构造运动对地层构造演化的真实影响,本次实验是建立在相似原理的基础之上进行研究的,具体模拟实验过程中,满足如下的相似原理束缚条件:

a) 几何相似,实验模型与原型满足几何相似条件。在实验设计过程中,模拟区域地层的长度、不

同时代地层的厚度以及模拟区域的面积、体积等均充分考虑到了相似原理中几何相似的束缚条件。

b) 运动相似,模型与原型满足运动相似条件。

c) 动力相似,模型与原型对应点处受力方向相同,受力大小相似。在模拟实验过程中,为了满足动力相似,综合考虑了模型的受力大小和材料性质对模拟地层形变的影响与实际的相似性。

3.2 仪器简介

本次实验通过构造模拟系统实验仪(G-M-Y[®])进行的(图2)。该仪器可以模拟自然界地质构造褶皱、节理、断层的形成、发展及其组成关系,本仪器经过反复实验验证,其变形结果与理论分析和野外实际现象基本一致,实验结果可靠。

该仪器由3部分组成:a) 液压站,以液压系统作为动力源,压力大、稳定,并能控制压力大小的变化和变形速度的变化,适用多种软硬实验材料。b) 一对活动的挤压板。两挤压板相互垂直,其间距为450 mm,仪器的支架上在水平方向分别有一油缸带动挤压板。c) 底板。底板规格为450 mm × 250 mm,由活动板与升降板两部分组成。活动板位于两相互垂直的挤压板之间,分为3块,中间的活动板之下为一块150 mm × 250 mm的升降板,由直立的油缸推动。

3.3 实验材料简介

本次实验根据各个时代岩性的不同,对不同的层位采用不同的配方。通过对济阳坳陷的不同时代地层矿物组成、岩性及其硬度的分析,对本次实验中模拟地层的材料组成设计的配方方案如表1所示。

4 模拟实验结果及分析

4.1 实验第一阶段

利用液压站通过右侧的油缸对右侧的挤压板进行加压,初始压力为0.5 MPa,在模式右侧,地层

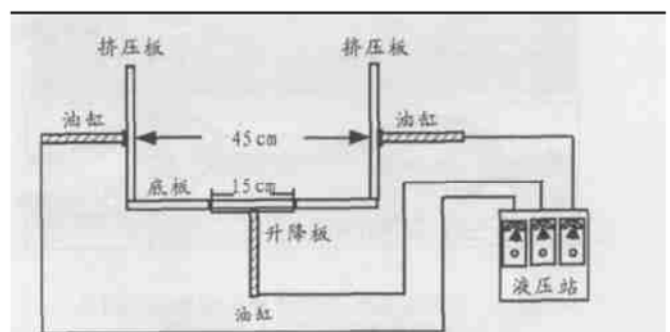


图2 构造模拟系统实验仪(G-M-Y[®])示意图

Fig. 2 Sketch map of apparatus for structural simulation

表1 模拟实验材料配方方案

Table 1 The materials used in simulation experiment

序号	地层	材料组成	厚度/cm	相对硬度
iv	寒武系	砂+ 凡士林+ 石蜡+ 煤油及黄色粘土+ 水(36% ~ 40%)	3.5	相对第一硬度
㊸	奥陶系	白色石膏+ 水(30% ~ 35%)	1.5	相对第二硬度
㊹	石炭系	红色滑石粉+ 白乳胶(20%)	1	相对第三硬度
㊺	二叠系	黑色煤粉+ 水(38%)	1	相对第三硬度
㊻	中生界	砂(50%)+ 粘土(50%)+ 水(35%)	2	相对第四硬度
v	新生界	砖红色粘土+ 水(50%)	2	相对第五硬度

逐渐发生形变,形成轻微的褶皱。这时,通过油缸对左侧的挤压板进行挤压,随着两侧挤压板压力的增加,地层形变作用增强,在模型的左侧也出现了地层的隆起,并伴随有逆断层 1, 2 的出现(图 3A, a),其中断层 1 倾角约 60°,断层 2 下部倾角较大但向上倾角变小。在断层 1 的下盘, iv 层内同时生成了一共轭断层 5, 6。随着压力的增大,背斜隆起的幅度逐渐增大,当压力加到 0.7 MPa 时,左右两背斜隆起幅度达到最大值(图 3B, b),在背斜的核部分别出现共轭断层 3, 4 和 7, 8, 左侧剪切角约 40°,右侧较小,约 30°,并在断层 1 的翼部出现断层 9,其断层倾向与地层倾向相反。

4.2 实验第二阶段

此时左右两侧的油缸同时对挤压板进行加压,压力达到了整个实验阶段的最大值 0.8 MPa,强烈的挤压力使地层强烈隆起,根据实际资料分析得出的桩西潜山演化情况,人工模拟了地层受剥蚀的状态,将顶部的地层剥掉(图 4A)。经过处理后在背斜的顶部,地层 ㊸露出“地表”,左侧背斜剥蚀严重,零星可见地层 ㊹出露“地表”。由于地层 ㊸在挤压过程中,相对地层 iv, ㊸ ㊹硬度最小,所以变形最严重,厚度明显变大。此时没有明显大断层的生成,但第一阶段形成的断层倾向均发生了改变,以断层 1 最明显,断层 1 的倾角由下至上发生明显的改变(图 4a)。而且从图 4A 中可以发现,断层 1 的走向呈现出反“S”的形态。

4.3 实验第三阶段

进入实验的第三阶段,在第二阶段的基础上,重新加上一层厚度为 2 cm 的新地层,代表中生界地层的沉积(图 5A, a)。此时两侧的油缸同时对挤压板进行减压,地层处于拉张状态,同时液压站通过下部

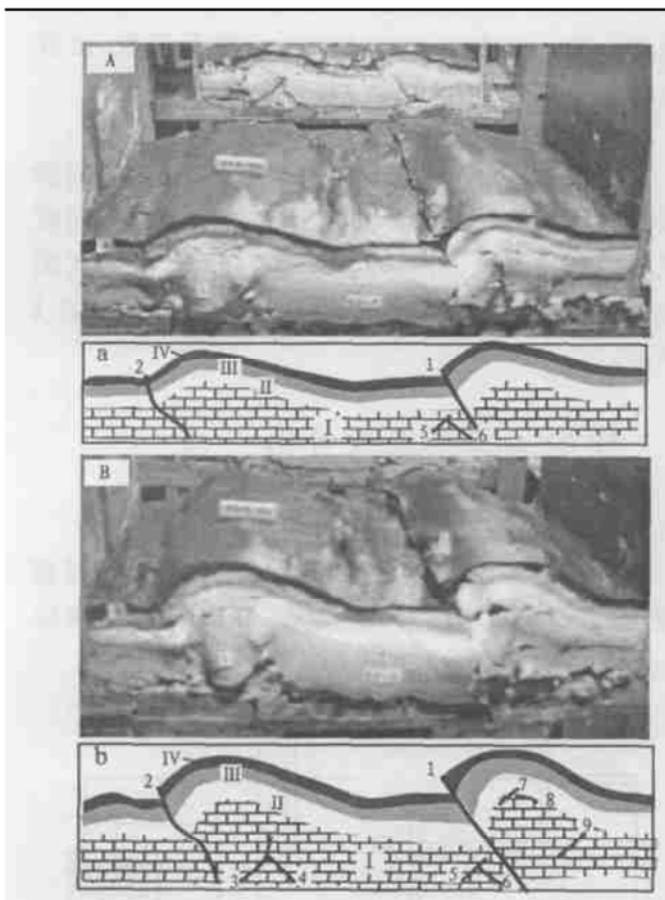


图3 桩西潜山形成演化模拟实验第一阶段
A, B 为实验照片; a, b 为示意图

Fig. 3 The first stage of simulation experiment for structural evolution of Zhuangxi buried hill
A, B. photos; a, b. sketch maps

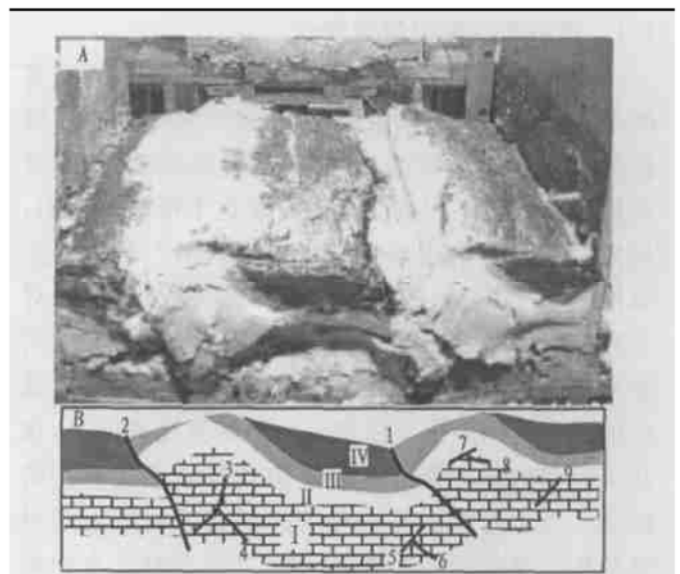


图4 桩西潜山形成演化模拟实验第二阶段
A 为实验照片; B 为示意图

Fig. 4 The second stage of simulation experiment for structural evolution of Zhuangxi buried hill
A. photos; B. sketch maps

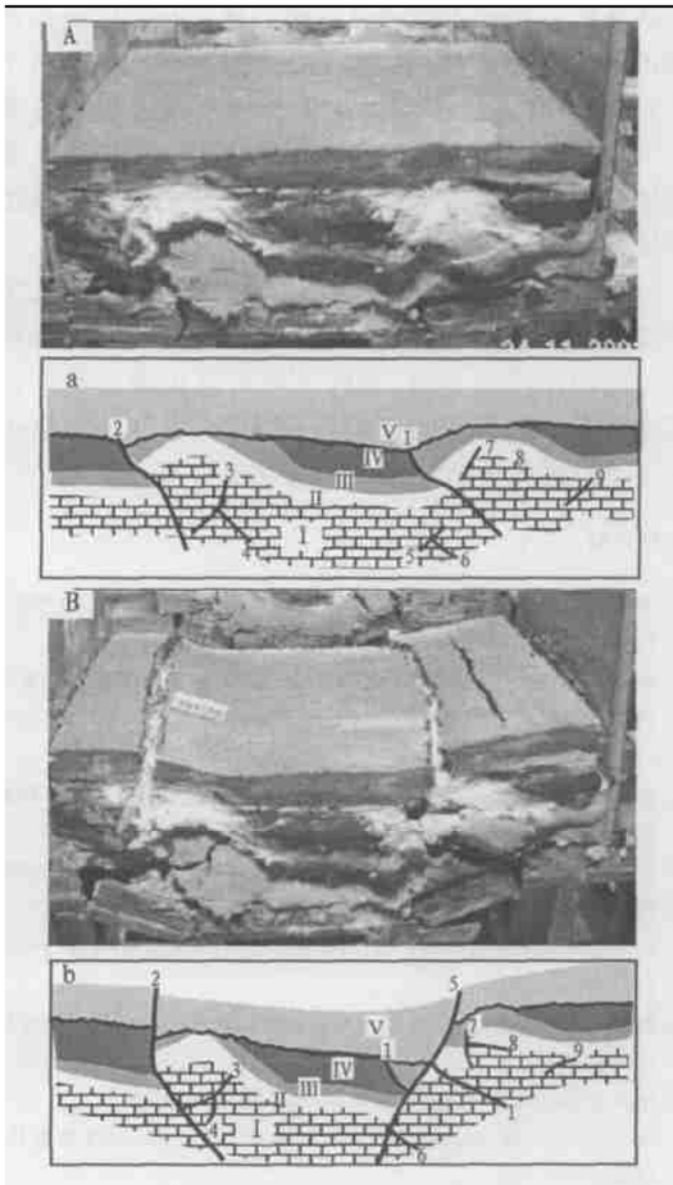


图 5 桩西潜山形成演化模拟实验第三阶段
A, B 为实验照片; a, b 为示意图

Fig. 5 The third stage of simulation experiment for structural evolution of Zhuangxi buried hill
A, B. photos; a, b. sketch maps

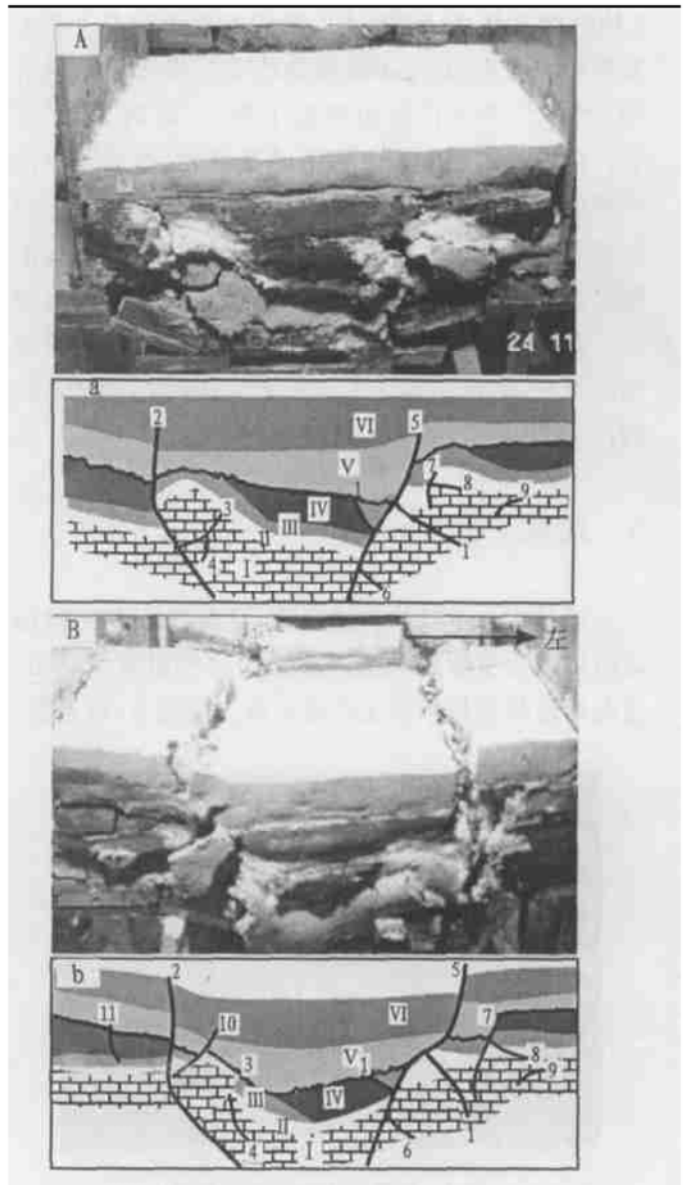


图 6 桩西潜山形成演化模拟实验第四阶段
A, B 为实验照片; a, b 为示意图

Fig. 6 The fourth simulation experiment for structural evolution of Zhuangxi buried hill
A, B. photos; a, b. sketch maps

的油缸对升降板进行加压, 压力为 0.5 MPa, 升降板匀速下降, 而使底部的活动板下陷, 当左右两侧的压力降至 0.6 MPa, 地层 ⑨ 出现断裂, 随着进一步的减压, 当降至 0.5 MPa 时, 断裂最为明显(图 5B), 从示意图 5b 中可以看出, 左侧的“古生代形成的逆断层”上延, 上部表现为正断层, 而右侧“古生代形成的逆断层”则被新形成的正断层切割, 形成“错动构造”, 在这个时期形成的正断层为沿“古生代形成的断层 5 上延而形成的”, 倾向与断层 1, 2, 4, 6, 8 相反。由于地层由早期一、二阶段的挤压状态变为拉张状态, 所以断层均发生明显的倾向变化。最为明显的为断层 2, 3, 4, 7, 8, 而且断层 7 在此阶段继续发育, 上延至地层 ⑩ ⑪。从图 5B 可以看出, 在地层的顶面, 断层 1 的右侧, 有一个明显的大型张裂缝, 走向与断

层 1, 2 基本一致, 但由于断裂没有将整个地层 ⑨ 断开, 所以在模型的侧面不能观察到此断裂。

4.4 实验第四阶段

进入实验第四阶段以后, 重新加了一层厚 2 cm 的地层 v, 代表新生代地层的沉积(图 6A)。在这个阶段两侧挤压板与底部升降板的运动与第三阶段的一致, 底部的油缸继续以 0.5 MPa 的压力使升降板匀速下降, 两侧的油缸压力继续下降, 当两侧的挤压力降至 0 时, 桩西潜山的形成演化模拟实验结束, 地层拉张量与下降幅度均达到最大值(图 6B 照片为从另一侧拍摄)。从示意图 6b 中可以看出, 断层 2, 5 均继续发育, 延至“地表”, 断层 5 的倾向由下至上发生明显变化, 其中下段倾角约 60°, 中段倾角只有 30°, 而断层的上段倾角则近于直立, 达到了 85°左

右。断层2由于断层上盘下降幅度大,而使古生代形成的逆断层在这个阶段转变为正断层。逆断层1被错开的两段,距离增大,但仍然保留为逆断层,断层7在此阶段继承性发育,断穿第⑤层,直到剥蚀面。在断层2的右侧此阶段伴生了正断层10,断至地层v内,而且在断层2的左侧也有新生正断层11的产生。

5 结论

通过4个阶段的物理实验,笔者发现,桩西潜山之所以成为了济阳拗陷内独特的一种褶皱型潜山,这与潜山早期处于挤压环境有很大的关系,桩西潜

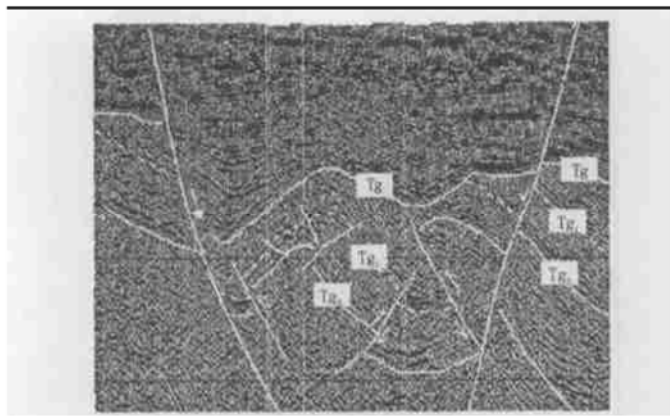


图7 桩西潜山地震剖面解释

Fig. 7 An interpreted seismic profile profile of Zhuangxi buried hill

山演化模拟实验得到的最终模型通过与实际的桩西潜山地震剖面解释的结果相比较(图7),表现出了良好的相似性,这说明本次模拟实验的过程是可靠的。通过本次研究不但解决了桩西潜山构造演化难以解释和多解性的问题,而且对于褶皱的物理模拟无疑也提供了一个良好的实例。

因此,在以充分了解地质背景的基础上,以扎实的理论为指导,利用精密的仪器,通过物理模拟和理论分析相结合的方法,是解决构造演化理论研究过程中存在的多解性问题的良好手段,而且还可以进一步论证理论分析结果的可行性及可靠性。

参考文献:

- 1 李万选,王离迟. 桩西复式油气田地质特征[J]. 复式油气田, 1996, (9): 6~ 11
- 2 刘树根,罗志立,赵锡奎等. 龙门山造山带——川西前陆盆地系统的动力学模式及模拟研究[J]. 石油实验地质, 2003, 25(5): 432~ 438
- 3 叶柏龙,何绍勋,彭恩生. 褶皱构造模拟实验及理论研究的历程和发展趋向初探[J]. 地质科技情报, 1993, 12(2): 21~ 25
- 4 曾佐勋,刘立林. 构造模拟[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992
- 5 P, G, Ellis Listric, K R McClay. extensional fault systems ——results of analogue model experiments[J]. Basin Research, 1988, (1): 55~ 70
- 6 靳彦欣,张立红,赵 丽. 相似理论在微观物理模拟实验中的应用可行性分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(4): 410~ 412
- 7 李四光. 地质力学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1973
- 8 张文佑,钟嘉猷. 构造物理模拟实验图册[M]. 北京: 科学出版社, 1985
- 9 张玉兰,王伟锋,马宗晋. 准噶尔盆地南缘构造物理模拟实验[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2003, 27(3): 1~ 5

APPLICATION OF SIMULAION EXPERIMENT TO THE STUDY OF STRUCTURAL EVOLUTION —AN EXAMPLE OF THE ZHUANGXI BURIED HILL

WANG Ying^{1,2}, WANG Ying-min^{1,2}, ZHAO Xr-kui³

(1. Oil and Gas Mechanism Laboratory of Education Ministry, Beijing 102249, China; 2. Basin Research Center of the University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Structure simulation experiment is one of important parts in the study of structures. It has gained many important results in the past decades, but many questions are remained for the research of fold. So it is important to find some means to realize fold simulation. Zhuangxi buried hill is a typical fold in Jiyang depression. On basis of clear understanding of the formation boundary condition and lithological sequences of Zhuangxi buried hill, the experiment materials are elaborately selected. According to similarity criteria, formation of Zhuangxi buried hill was simulated in a designed physical model. After four phases experiments, the result is coincided with the theory analysis and some propositions for structural evolution of complicated buried hill are proved. It provided a good example for fold physical simulation .

Key words: buried hill: structural evolution: simulation experiment