

渤海河流相油田剩余油形成与分布研究

马 栋,赵汉卿,杨 明,何 芬,余元洲

(中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津 300459)

摘要:渤海河流相油田具有储层厚度薄,砂体横向连通性差,分布不稳定,边底水较发育的特点,储层剩余油的形成原因和分布复杂。渤海A油田明下段V油组1708砂体为典型曲流河沉积,是依托单砂体水平井开发的构造-岩性油气藏。投产后,平面水驱不均,层内矛盾突出,东北一侧自喷高产且不含水,西南部产量相对较低且含水快速突破到80%以上。结合地震、测井、钻井等静态资料和生产动态、数值模拟等动态资料综合分析认为,A9井自喷主要是高部位平面上边部能量供给,A12H井自喷受平面上边部能量供给和顶部气层的双重影响;而结合砂体纵向韵律性认为A15H井和A16H井是由于边水突破形成次生底水,平面上和垂向上储层非均质性差异导致该砂体南北侧出现明显层内矛盾。在此基础上,阐述了该砂体的剩余油形成及分布规律。

关键词:渤海油田 曲流河沉积 层内矛盾 剩余油

中图分类号:TE327 **文献标志码:**A

Formation and distribution of remaining oil in fluvial facies reservoirs in Bohai Oilfield

MA Dong, ZHAO Hanqing, YANG Ming, HE Fen, YU Yuanzhou

(Tianjin Branch of CNOOC Limited, Tianjin 300459, China)

Abstract: The fluvial facies in Bohai Oilfield has characteristics of thin reservoir, poor lateral connectivity of sandbody, unstable distribution, and relatively developed edge-bottom water, and it is complex the formation and distribution of residual oil in the reservoir. The 1708 sandbody of Lower Minghuazhen Formation in Bohai A Oilfield, which is a typical meandering fluvial deposition, is a structural-lithological hydrocarbon reservoir developed by horizontal wells in single sandbody. After the oilfield putting into production, the dynamic performance showed that the waterflooding front is uneven in plane, and the interference in layers is serious. The oil wells in the northeastern part are high flowing productions without water, but ones in the southwestern part are low yields and water-cut rapidly rising to 80%. According to static data of seism, well logging, and drilling, and dynamic data of production performance and numerical simulation, it was concluded that the flowing production of A9 well was mainly affected by edge water drive in the plane of higher part, the flowing production of A12H well was mainly controlled by the dual effect of gas cap and edge water drive in the plane. Combined with the vertical rhythm of the sandbody, A15H and A16H wells in the southwestern part were rapid water-cut rising due to secondary bottom water formed by quick breakthrough of edge water. Therefore, the areal and vertical heterogeneity leads to obvious contradiction of dynamic production performances between southern and northern parts. On this basis, it was described the formation and distribution of remaining oil in this area.

Key words: Bohai Oilfield; meandering fluvial deposits; interference in layers; remaining oil

渤海河流相油田具有储层厚度薄,砂体横向连通性差,分布不稳定,边底水较发育的特点,储层剩余油的形成原因和分布复杂。特别是主要依托水平井开发的油田,难以深入认识砂体垂向结构和动静态矛盾。通过新增过路井,分析砂岩展布和储层结

构,并结合地震、测井、钻井和生产动态、数值模拟等

收稿日期:2018-08-19;改回日期:2018-09-17。

第一作者简介:马栋(1987—),硕士,工程师,现从事油气田开发及油气藏数值模拟工作。E-mail:madong4@cnooc.com.cn。

动静态资料,分析水驱平面矛盾和层间矛盾的原因,查清影响开发效果的动静态因素,阐述储层剩余油形成与分布机理,为后续开发治理奠定基础。

1 地质背景

渤海 A 油田位于渤海湾盆地黄河口凹陷^[1-4],主力油层全部位于浅层新近系明化镇组(N_1m),其中明下段 V 油组 1708 砂体是 A 油田的主力油层之

一,为曲流河沉积,是该油田开发得最深的砂体,由于埋深 1 700 m 以下,地震资料分辨率相对较低,对该砂体储层结构认识尚不清楚,且该砂体主要依托水平井开发,水平井主要钻遇储层的中上部,砂体精细研究存在困难。利用临近 B 油田的 8 口深层井(目的层为沙河街组(E_2s)油层,路过该砂体)(见图 1),对该砂体的储层平面展布和纵向结构进行更深入的认识和更精细的研究^[5-10]。

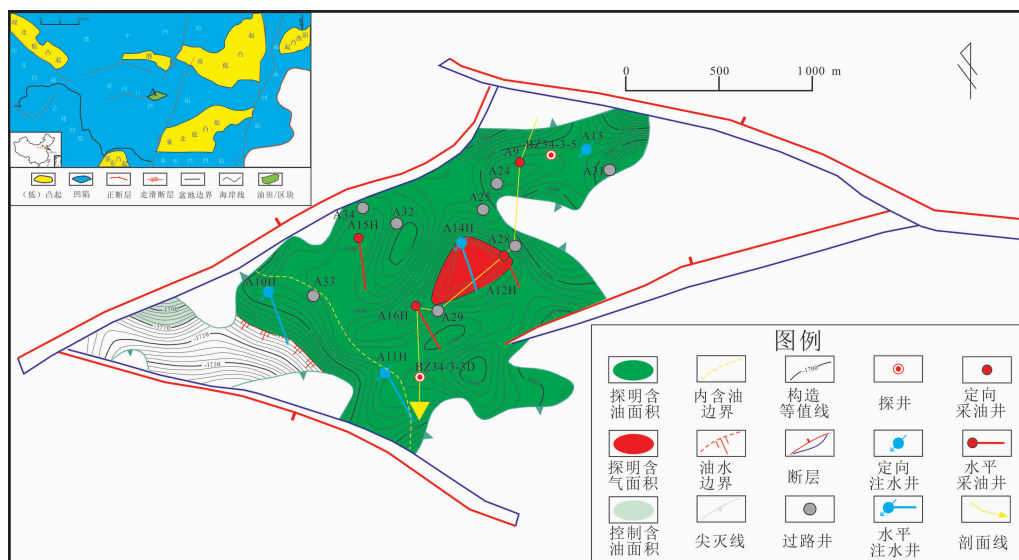


图 1 1708 砂体含油面积

2 开发状况分析

1708 砂体原油地质储量 $321 \times 10^4 \text{ m}^3$,采用注水开发,部署 4 注 4 采共 8 口井,除 A9 井和 A12H 井注采井组为定向井外,其他 3 个注采井组均为水平井开发。2015 年年中投入开发,投产初期发挥了水平井采油速度高的优势,日产油 629 m^3 ,初期采油速度 6.3%。

油田投产一段时间后,平面开发差异明显,东北一侧 A9 井、A12H 井自喷生产,产量高,平均单井日产油 150 m^3 以上,且几乎不含水(见图 2);而南侧 A15H 井、A16H 井却在投产 7~11 个月后水快速突破,含水率呈台阶式增长,迅速达到 80% 以上,产量快速递减,平均单井日产油量由见水突破前的 100 m^3 下降到突破后的 20 m^3 (见图 2)。砂体水驱不均匀,层内水驱矛盾突出,严重影响了油田的开发效果。

3 砂体展布及内部非均质性

油田投产后,临近的 B 油田陆续有 8 口井路过该砂体,这 8 口过路井分布于砂体的不同部位,为研

究该砂体提供了丰富的资料。

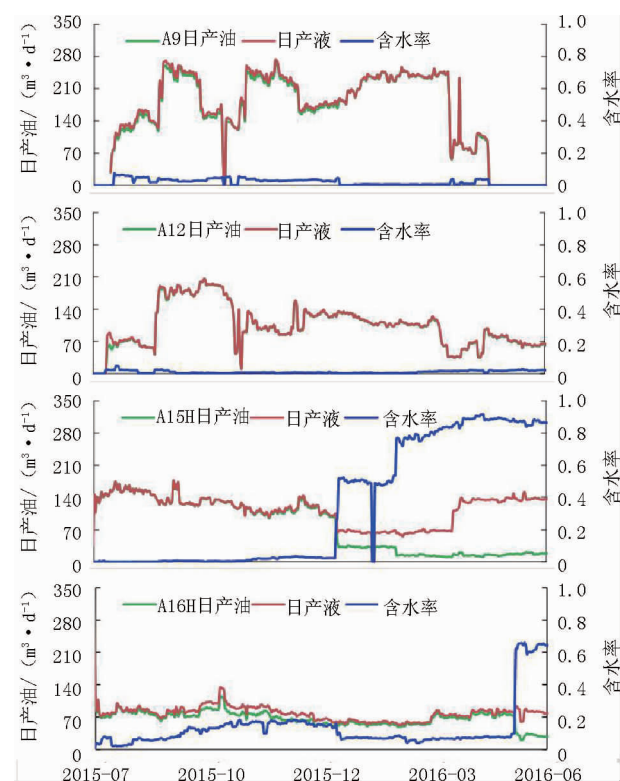


图 2 1708 砂体采油井生产动态曲线

为了弄清 A9 井、A12H 井自喷生产能量来源和 A15H 和 A16H 含水快速上升的原因,本文对该砂体垂向上、平面上储层结构进行细致研究,揭示了该砂体的储层展布规律和垂向渗透率的变化规律。

3.1 砂体展布研究

1708 砂体为河流相沉积,可细分为两期河道,在勘探开发初期,认为两期河道展布范围大致相当,但一期可达 8~10 m,而二期仅 1~4 m(见图 3)。

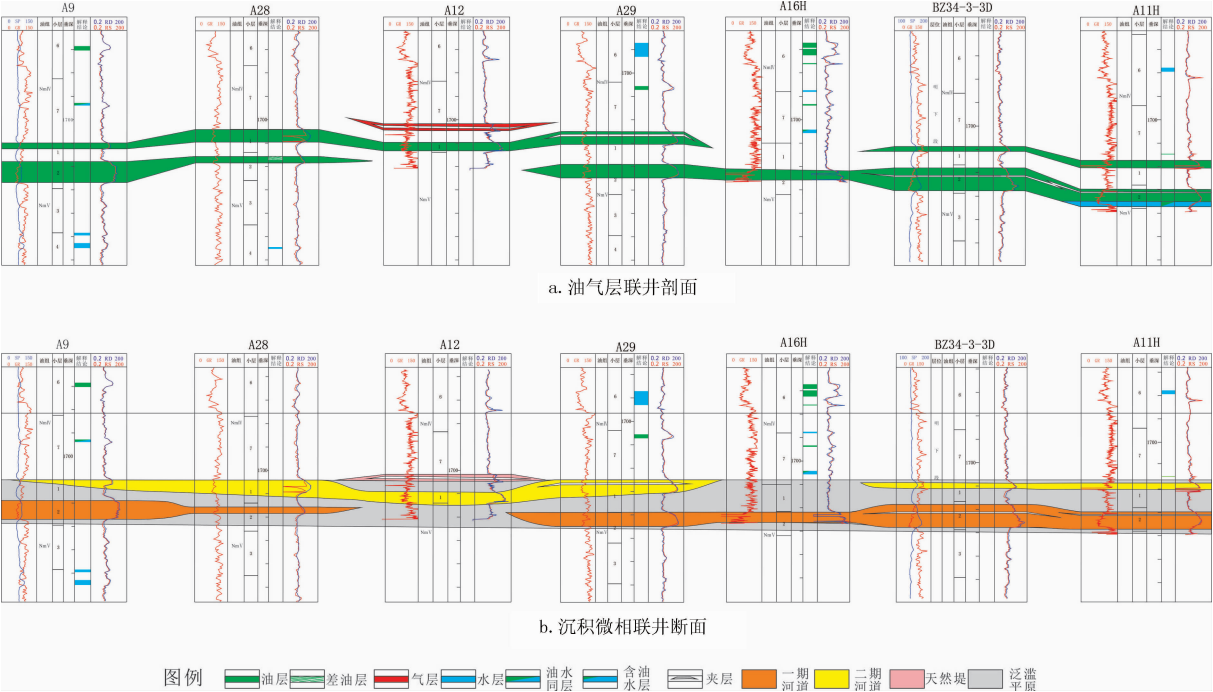


图 3 1708 砂体两期河道剖面(剖面方向见图 1)

在新增过路井后,对所有井重新进行了河道期次划分(见表 1、表 2),发现一期河道相对较厚,A9 井位于相对构造高部位,因而自喷(见图 4a);二期河道除

在 A28 - A12H 井区相对较厚,在其他区域基本不发育,A12H 井在二期河道生产,纵向上发育局部气顶,双重作用导致 A12H 井自喷(见图 4b)。

表 1 探井及过路井两期河道期次划分

井别	探井				开发井					
井号	BZ34 - 3 - 3D	BZ34 - 3 - 5	A24	A25	A28	A29	A31	A32	A33	A34
河道期	2	2	2	-	2	2	-	-	-	2
次划分	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1

表 2 开发井两期河道期次划分变化

井号	A9	A10H	A11H	A12	A13	A14H	A15H	A16H
现期次	2	2	2	2	-	2	-	-
划分	1	1	1	-	1	1	1	1
原期次	2	2	2	-	-	1	2	-
划分	1	1	1	1	1	IV - 7	-	1

3.2 储层内部非均质性研究

A15H 井投产 7 个月后至 2016 年年初见水, A16H 井投产 11 个月后至 2016 年年中见水,且均出现台阶状快速含水突破。

为了确认产出水的来源,对 A15H 井和 A16H 井进行了多次水样分析,氯离子化验结果表明产出水为地层水,而非注入水,表明其含水来源于地层水(见表 3)。

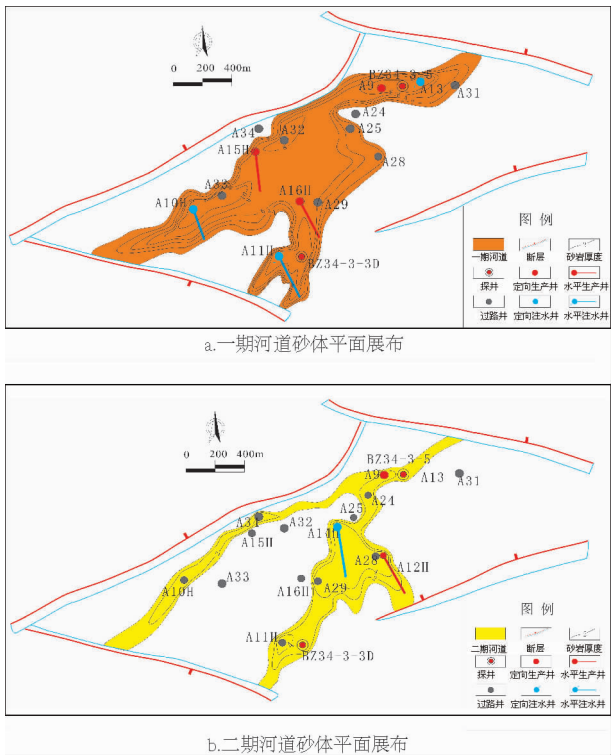


图 4 1708 砂体沉积微相及砂岩厚度

表 3 A15H 井和 A16H 井水分析结果

井号	氯根含量/(mg · L ⁻¹)		
	第一次	第二次	第三次
A15H	673	689	902
A16H	885	968	2 040

结合相邻探井 BZ34 - 3 - 3D 井的渗透率测试,其正韵律特征明显,1708 砂体顶底渗透率级差可达 2 ~ 5 倍(见图 5)。

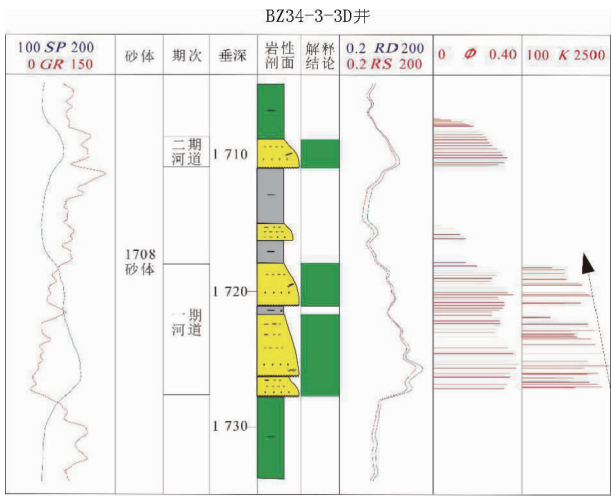


图 5 储层纵向非均质性特征

结合井点测井解释平均渗透率,可以看出 A15H - A16H 井区处于特高渗区域,其渗透率在(1

000 ~ 1 500) × 10⁻³ μm²(见图 6),因而 A15H、A16H 生产时成为高渗泄压区,边水能量向此供给;渗透率级差等值线图表明渗透率级差分布在 1.5 ~ 5,而西南一侧靠近边水的高级差条带范围则在 4 ~ 5(见图 7),研究表明是边水沿高级差条带向高渗透区突破形成次生底水,进而形成暴性水淹(见图 8)。

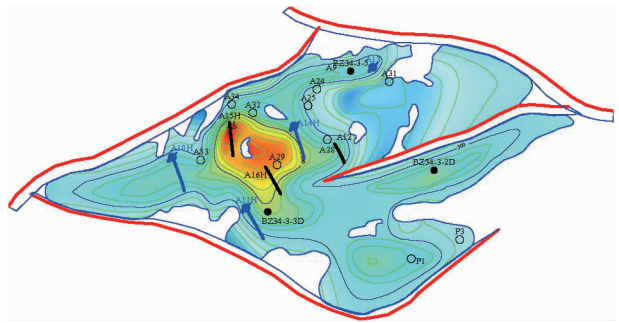


图 6 1708 砂体渗透率平面等值线图

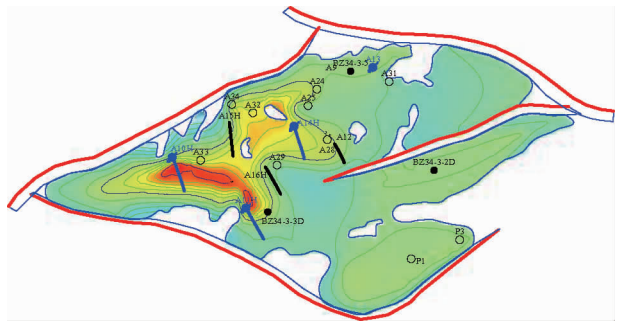


图 7 1708 砂体渗透率级差平面等值线图

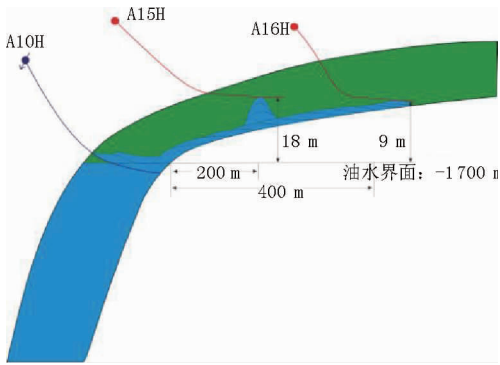


图 8 边水突破形成次生底水示意

4 剩余油的形成与分布

在储层展布和储层物性研究的基础上,对该砂体的剩余油开展研究,数值模拟结果表明,1708 砂体剩余油的形成主要是由于构造、边水、储层平面和层内非均质性引起,在平面上,受构造和边水影响西南一侧的边水快速突破,而在东南一侧构造高部位形成了剩余油富集;在砂体层内,由于河流相的正韵律和重力作用,导致边水和注入水沿砂体底部推进,

形成“油层底部水淹形成次生底水,而中上部剩余油富集”的特征(见图 9)。

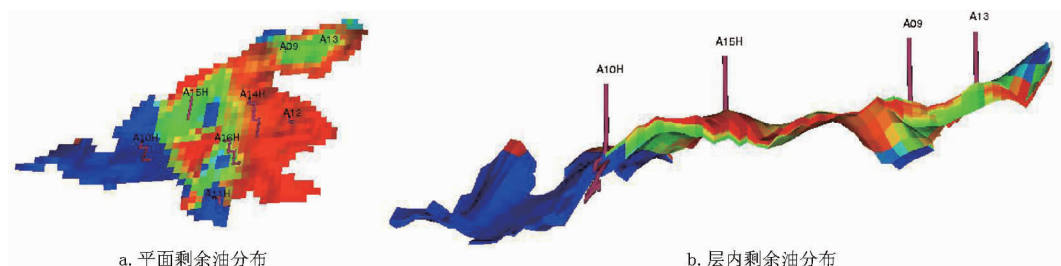


图 9 剩余油分布模式

5 结论与认识

(1) 1708 砂体发育两期河道, A9 井自喷能量来源于平面上能量供给, 而 A12 井自喷则受平面上能量供给和纵向上局部气顶的双重影响。

(2) A15H 和 A16H 的快速水淹是由于单砂体天然能量低, 边水沿底部高渗透层快速突破到高渗区形成次生底水。

(3) 1708 砂体剩余油的形成平面上受构造、边水影响, 形成“低部位连片水淹、高部位富集”的分布规律, 层内主要受韵律性和重力作用的影响, 形成“油层底部水淹形成次生底水, 油层中上部剩余油富集”的分布规律。

参考文献:

- [1] 张建民, 王西杰, 江远鹏. 海上河流相油田井震一体化储层精细构型技术与应用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版): 2015, 17(3): 1-4.
- [2] 朱伟林, 李建平, 周心怀, 等. 渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探[J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 575-582.
- [3] 吴小红, 吕修祥, 周心怀, 等. BZ34 油区明下段浅水三角洲沉积特征及其油气勘探意义[J]. 东北石油大学学报, 2009, 33

(5): 32-36.

- [4] 徐长贵, 姜培海, 武法东, 等. 渤中坳陷上第三系三角洲的发现、沉积特征及其油气勘探意义[J]. 沉积学报, 2004, 20(4): 588-594.
- [5] 李晨, 樊太亮, 江越潇. 辽河西部凹陷曙一区杜 84 块兴 I 组油层分布特征及成藏控制因素[J]. 大庆石油地质与开发, 2016, 35(1): 32-36.
- [6] 朱卫红, 吴胜和, 韩涛, 等. 海相砂岩小层单元内部砂体精细地质研究——以塔中 16 油田巴楚组东河含砾砂岩段为例[J]. 新疆石油地质, 2015, 36(5): 515-520.
- [7] 耿丽慧, 侯加根, 李宇鹏, 等. 多点地质统计学 DS-MPS 算法在储层沉积相建模中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2015, 34(1): 24-29.
- [8] 乔雨朋, 邵先杰, 接敬涛, 等. 远源砂质辫状河储层构型及控制因素——以秦皇岛 32-6 油田为例[J]. 油气地质与采收率, 2016, 23(1): 46-52.
- [9] 刘波, 赵翰卿, 李广月, 等. 储层砂质辫状河的识别——以大庆喇嘛甸-萨尔图油田西部 P I₂(2~3) 为例[J]. 石油学报, 2002, 23(2): 43-47.
- [10] 党胜国, 权勃, 闫建丽, 等. 小气顶低幅构造强底水油藏剩余油分布主控因素[J]. 油气地质与采收率, 2016, 23(1): 129-133.

(编辑 谢 葵)

(上接第 41 页)

方向时, 最大、最小主应力的幅值分别在 -10 ~ 6 MPa 和 -6 ~ 4 MPa。当交叉角中轴线沿最大主应力方向时, 最大、最小主应力的幅值分别在 -20 ~ 5 MPa 和 -2 ~ 5 MPa。

(3) 引起交叉点附近地层最大主应力改变最大的交叉角为 45° 和 135°, 且随着夹角的增加, 主应力由减小变为增大, 而引起交叉点附近主应力方向改变最大的交叉角为 90°。

参考文献:

- [1] 宋胜利, 吴田忠. ANSYS 曲壳模型计算复杂断块现今地应力场[J]. 石油钻采工艺, 2004, 26(5): 13-15.

- [2] 卫星, 任燕, 贺玉龙, 等. 有限元分析软件 ANSYS 融会与贯通[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 333-347.
- [3] 张熙, 单钰铭, 冉令波, 等. 有限元法在地应力研究中的应用[J]. 石油规划设计, 2011, 22(3): 14-17.
- [4] 许江, 彭守建, 陶云奇, 等. 天府三汇一矿地应力场三维有限元分析及其分布特征[J]. 重庆大学学报, 2010, 33(5): 105-113.
- [5] 沈海超, 程远方, 王京印, 等. 断层对地应力场影响的有限元研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(2): 34-37.
- [6] 沈海超, 程远方, 赵益忠, 等. 基于实测数据及数值模拟断层对地应力的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(增 2): 3985-3990.

(编辑 谢 葵)