

文章编号: 1673-9469 (2017) 02-0074-06

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2017.02.015

鄂尔多斯盆地差异压实作用及其石油地质意义

杨满平, 王翠蛟, 王 倩, 张凌峰
(燕山大学 石油工程系, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 通过对鄂尔多斯盆地沉积及油气成藏特征的详细分析, 该地区差异压实作用过程可分为压实排水、压实排烃、弹性压实三个阶段; 差异压实作用不仅受到砂泥比等沉积物类型及含量的影响, 古地貌也是重要的影响因素; 差异压实与岩性、区域构造、古地貌等因素的共同作用可形成不同的有利圈闭类型, 对差异压实作用及其有利圈闭类型的认识, 有利于深入寻找油气资源及合理开发油气藏。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 差异压实; 砂泥比; 圈闭

中图分类号: TG333.17

文献标识码: A

Differential compaction in Ordos Basin and its petroleum geological significance

YANG Manping, WANG Cuijiao, WANG Qian, ZHANG Lingfeng
(Department of petroleum engineering, Yanshan University, Hebei Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: Ordos Basin is an important oil and gas exploration and development area in china, Oil and gas structures are formed by compaction in multiple horizons. By the influence of the ancient landform, the differential compaction structure and other structures combine to form various types of oil and gas reservoirs, which are rich in oil and gas resources. Based on the detailed analysis of sedimentary and hydrocarbon accumulation characteristics in Ordos basin, the process of differential compaction in this region can be divided into three stages: compaction and drainage, compaction and hydrocarbon expulsion and elastic compaction; The effect of differential compaction is not only affected by the type and content of sand and mud, but also by the paleogeomorphology; Different types of favorable traps can be formed by the combination of differential compaction and lithology, regional structure and paleogeomorphology. The understanding of differential compaction and favorable trap types is beneficial to the deep exploration of oil and gas resources and the rational development of oil and gas reservoirs.

Key words: Ordos basin; differential compaction; sand-shale ratio; trap

鄂尔多斯盆地位于中国东部稳定区和西部活动带间的结合部位, 是一个整体沉降、拗陷迁移、构造简单的发育于稳定克拉通盆地之上的中生代盆地叠加的大型多旋回克拉通叠合盆地^[1-6]。差异压实是因沉积物组合比例差异及各组分压实形变差别而引起沉积物厚度发生改变的成岩作用^[7]。关德范^[8]就大庆长垣构造提出了差异压实与构造及油气生成关系; 裴亦楠^[9]等根据入湖三角洲模式提出了差异压实与大油气田形成关系; 陆明德^[10]等对松辽盆地

宋芳屯油田的差异压实古背斜及其找油意义进行了探讨; 孟祥超^[7]等以高台子地区扶杨油层为例对差异压实作用中同沉积小断层成因进行探讨。鄂尔多斯盆地作为我国第二大沉积盆地, 存在许多与差异压实作用有关的储油气微构造以及差异压实构造与其它构造结合形成的有效油藏。因此, 在当今油气资源异常紧张的时代, 对鄂尔多斯盆地差异压实构造的研究, 对于油气目标区的寻找及开发有着重要的意义。

收稿日期: 2017-04-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (E0403-50804041)

作者简介: 杨满平 (1974-), 男, 湖南永州人, 博士, 教授, 现从事油气田开发领域内的教学和科研工作。

1 差异压实作用形成过程及类型

1.1 砂泥岩差异压实作用过程

砂泥岩性质差异造成其压实作用的差异。现代生油理论认为泥岩中的有机物,经系列作用过程形成油气,砂岩经压实作用成为有效储层。受沉积环境影响,砂泥岩在沉积初期呈液体状态,压实过程中排出水、烃等物质,根据压实过程主要排出物的不同,将砂泥岩的差异压实过程分为三个阶段。

1.1.1 压实排水阶段。

该阶段对于砂泥岩来说均是减小孔隙度,排出孔隙水,由液体状态变为固体状态。泥岩主要成分为粘土,可塑性强,经压实作用发生塑性变形,形成强结合结构,当孔隙度由80%左右降至30%时,粘土颗粒完全结合,厚度锐减。砂则发生弹性形变,其孔隙度变化主要由砂粒形状和分选性造成,故孔隙度变化小,当孔隙度由50%降到20%时,完成该阶段,厚度变化相对较小。

1.1.2 压实排烃阶段。

该阶段主要是针对粘土矿物进行的,是烃类物质生成和排出的关键阶段,砂质沉积物变化不大。此时泥和砂的颗粒结构易动,压实主要表现在泥、砂颗粒本身的变形和破碎上,颗粒结构发生明显变化。随地温增加、压力增大,泥质沉积物中的粘土矿物及层间结构再一次演变,粘土矿物经压实及重结晶作用脱水,烃类物质初次运移,泥质沉积物的

孔隙度再次下降,大约到10%以下。

1.1.3 弹性压实阶段。

泥砂质沉积物的孔隙度分别降到10%和20%以下时完全成岩,岩石形变已不明显,虽在垂向上受很大压力,甚至产生裂缝,但因被自生结晶颗粒充填,结合结构反而更牢固^[8]。

1.2 差异压实作用类型

鄂尔多斯盆地属于入湖模式形成的内陆盆地,因此这里只讨论该模式的差异压实作用类型。

1.2.1 类型一:同一水平面差异压实

由砂泥岩的差异压实作用过程可知,泥岩属于塑性压实,变化过程不可逆,压实过程孔隙度变化幅度大;砂岩属于弹性变形,上覆压力减小时可恢复到一定的原始状态,其孔隙变化幅度较泥岩小很多。水平面上同时期不同沉积地区的砂泥岩比例不同是造成差异压实作用的关键,不易压缩沉积物砂泥比例相对偏高,易压缩且厚度变化程度大,沉积物砂泥比例相对偏低。

如图1(a),由A地到B地砂泥比逐渐下降,经差异压实作用后整体厚度减小,但B地相对于A地变化程度大,则形成鼻状构造;若由A到B砂泥比由低到高,再由高到低,则形成图1(b)所示的背斜构造;若由A到B砂泥比由高到低,再由低到高,则形成图1(c)所示的向斜构造。在鄂尔多斯盆地就发育有鼻状隆起有效储层。

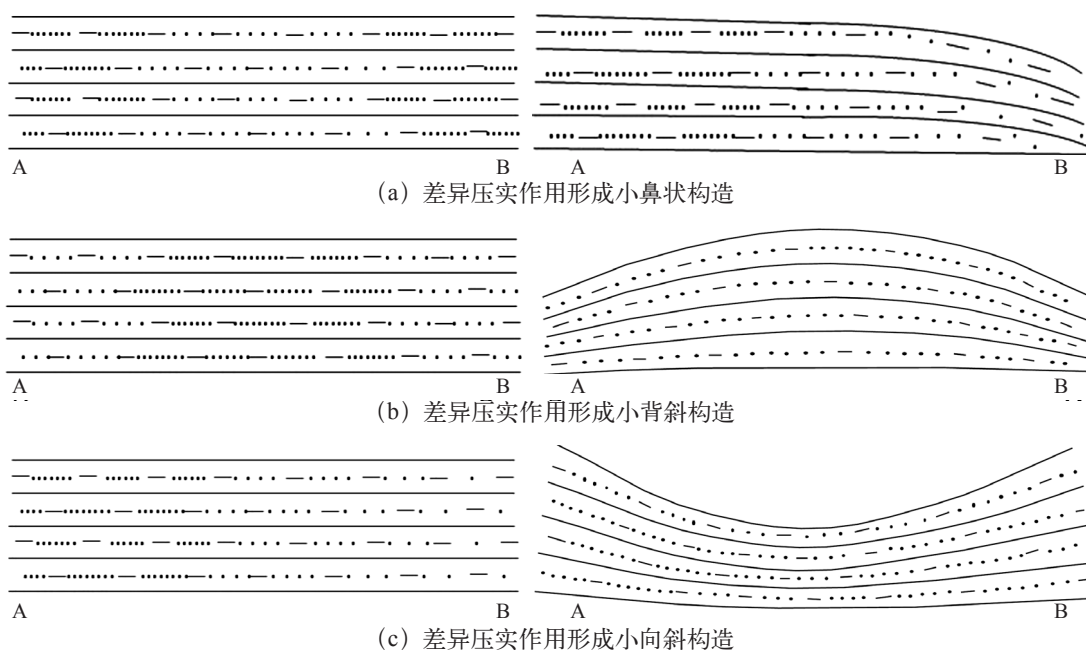


图1 差异压实作用形成构造

Fig.1 Structure of differential compaction

1.2.2 类型二：起伏变化面上差异压实

对于砂泥比基本相同的沉积物来说，同一时期不同地区的沉积环境不同，沉积作用必受影响。沉积初期，新老地层的组合会使新地层顶部趋于水平，但压实过程存在差异：沉积厚度大的区域压实厚度大，厚度变化幅度大，反之则变小。造成低洼地带经差异压实仍为低洼地带，构造高点仍为构造高点，各层构造具有明显的继承性，但由下到上地层起伏影响范围及幅度逐渐减小^[11]，如图2所示。

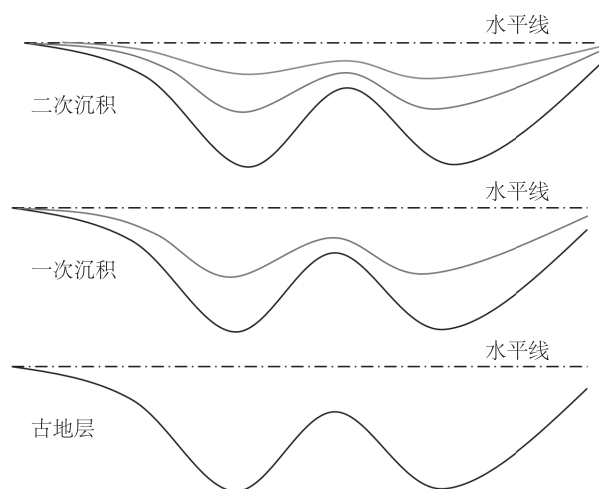


图2 受古地形影响差异压实变化图

Fig.2 Variation of differential compaction with the ancient landform

三叠系末期，鄂尔多斯盆地在印支运动的作用下地层全部抬高，因此延长组顶部遭到风化剥蚀作用，形成了沟壑交错、河流遍布、丘陵起伏的古地貌景象。延10+富县组沉积之后，基本上把延长组顶侵蚀面填平补齐，差异压实作用使得古地貌的正地形形成构造高点，负地形对应构造低点。鼻状隆起构造发育，油藏的形成受鼻状隆起构造的控制。

砂泥比差异较大的沉积物，会受到古地形和砂泥岩可压缩性差异的共同影响，如下图3所示，砂

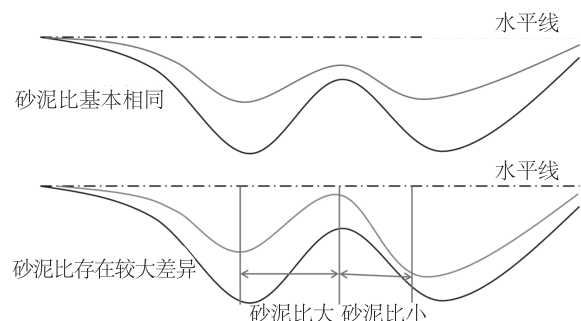


图3 砂泥比与古地形共同影响下的差异压实

Fig.3 Differential compaction under the common influence of sand to mud ratio and ancient landform

泥比相差较大，则可能不再规律性地继承古地貌，而是依据沙泥比大小来决定其压缩性大小，进而改变沉积厚度。鄂尔多斯盆地沉积时间长，沉积环境复杂，沙泥比易出现较大差异，形成差异压实。

2 差异压实作用的石油地质意义

压实作用为油气生成提供必要的压力、温度等。烃类物质生成后，经压实从烃源岩排出，差异压实造成砂岩孔隙度大于泥岩，若烃源岩周围沉积物砂泥比较大，则油气易排出。鄂尔多斯盆地中古河道、古斜坡等是油气运移的主要通道，同时地层沉积成岩过程中砂岩和泥岩的差异压实作用本身也能形成多种有利构造或圈闭，最终形成有效的油气聚集。对鄂尔多斯盆地北部侏罗系地层进行详细研究后，总结了以下几种与差异压实作用相关的圈闭类型，并能通过这些圈闭的形成特点指导寻找油气资源。

2.1 圈闭类型

差异压实作用形成的构造属非构造运动作用成因的压实构造^[11]，是在沉积过程中形成的起伏形态具有构造特征的沉积体^[12]，很多区域能形成由差异压实作用造成的微构造^[13]，这些微构造与区域构造共同作用，形成大量的构造岩性圈闭。通过对鄂尔多斯盆地侏罗系地层中油藏圈闭类型的分析，受差异压实作用影响的圈闭类型主要包括以下三种类型。

2.1.1 区域构造主控型

这种圈闭类型最为常见，由区域构造、岩性和差异压实共同作用形成圈闭，其中以区域构造为主控，差异压实加强了圈闭的形成，如图4所示，在河道发育处，由于泥岩与砂岩的岩性差异造成差异压实，使构造发生微幅变化，并与区域构造相结合形成比较有利的圈闭，油气运移至此聚集成藏，而泥岩起到了有效的遮挡作用。

2.1.2 差异压实主控型

由于局部地区砂体比较发育，而邻近地区则砂体欠发育，差异压实作用明显，砂岩发育地区的压实程度低而形成比较明显的微构造，与区域构造背景的综合控制下，在砂体发育区的顶部形成有利圈闭，如图5所示，油气生成后向上运移聚集形成油气藏。

2.1.3 古地貌主控型

三叠系末期受印支运动影响，形成许多古山脊、

古斜坡等古地貌，受古地貌影响，差异压实作用明显。沉积初期，上层沉积物将古地貌填平补齐，但经过压实作用后在古山脊起伏区便出现压实差异，如图 6 所示，差异压实与古山脊共同作用下形成有效圈闭。

2.2 寻找油气资源

砂泥岩差异压实构造的形成受沉积物类型、构造、古地貌等多种因素影响。通过圈闭类型分析表明，厚砂体顶部，砂体纵向集中发育地区顶部的砂体，

古构造的隆起区或古山脊、古斜坡等地易发生差异压实作用，并容易形成有利圈闭，是寻找油气资源的主要目标。以下为差异压实作用成藏的实例分析。

黄 310 井位于盐池地区的南部，在延 3₁ 油层段发现油层（图 7（a）），由于砂岩相对泥岩或煤层压实程度低，所以发育有局部隆起微幅构造（图 7（b）），下部砂体发育，炭质泥岩或煤层是有效的生油层。测井解释油层 8.6 m，含油面积 1.92 km²，预测储量 89.48 万 t。含油砂体孔隙度 15.4%，渗透率 $8.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，含油饱和度 0.46，储层为油层，

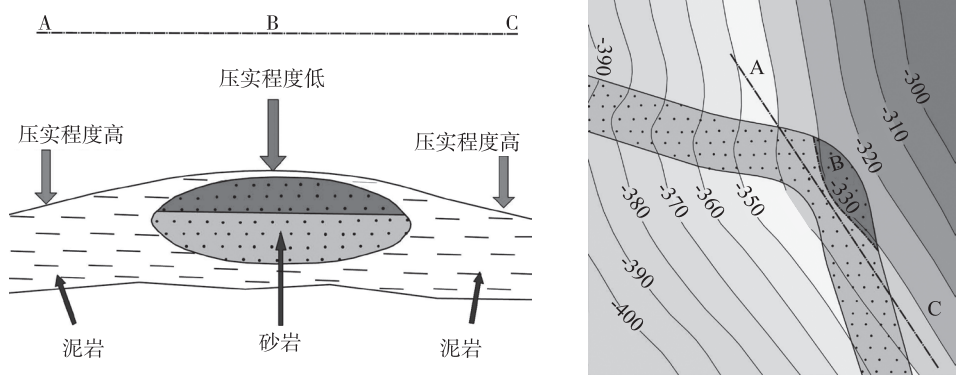


图 4 岩性、构造与差异压实控制圈闭类型图
Fig.4 Type of trap controlled by lithology, structure and differential compaction

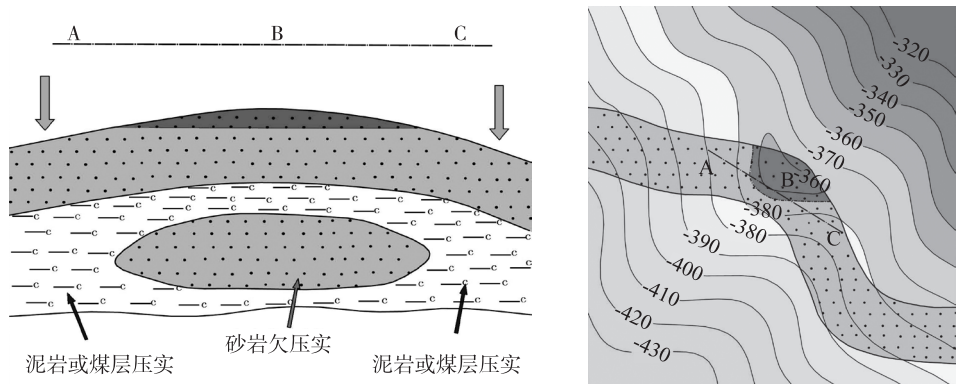


图 5 岩性与差异压实控制圈闭类型图
Fig.5 Type of trap controlled by lithology and differential compaction

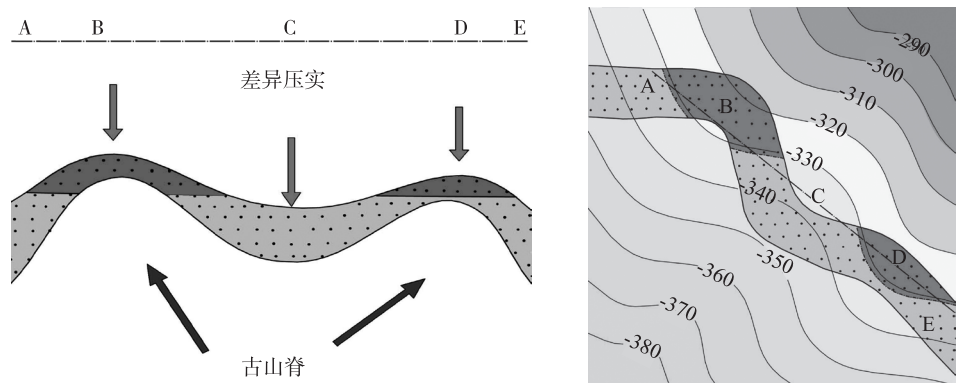


图 6 古地貌与差异压实控制圈闭类型图
Fig.6 Type of trap controlled by paleogeomorphology and differential compaction

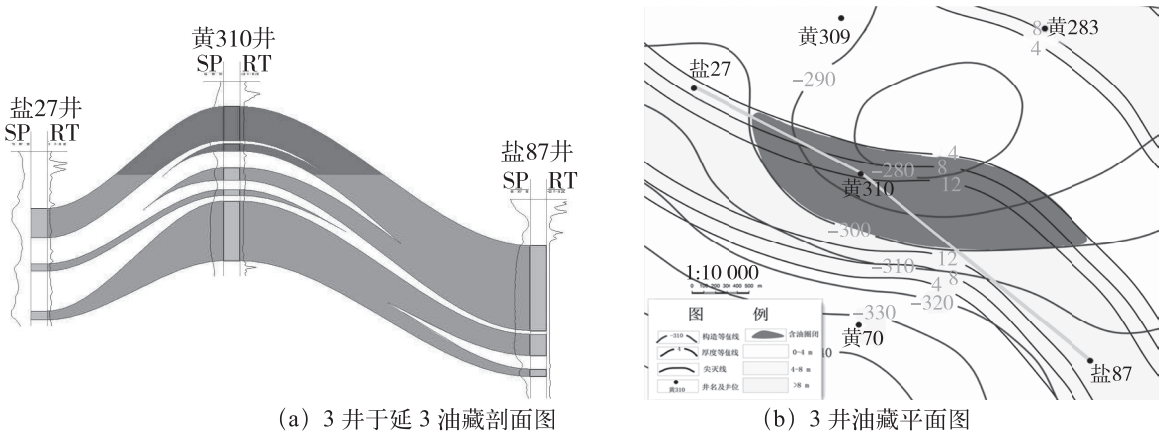


图7 盐27井-黄310井-盐87井延3油藏剖面图及平面图

Fig.7 Reservoir profile and the plan graph of Yan27 well-Huang310 well-Yan87 well in Yan 3

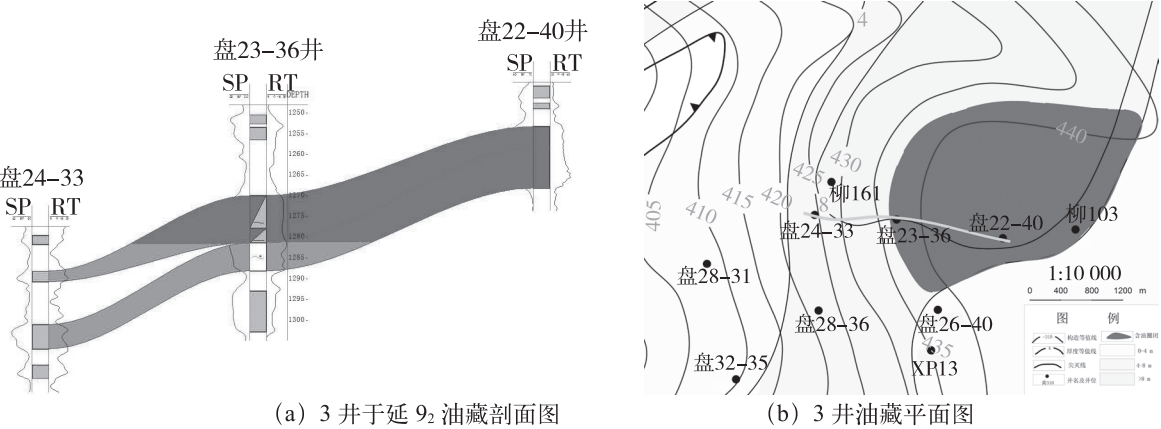


图8 盘24-33井-盘23-36井-盘22-40井延9₂油藏剖面图及平面图

Fig.8 Reservoir profile and the plan of Pan24-33well-Pan22-36well-Pan22-40well in Yan 9₂

录井显示为油斑,表明黄310井区延3₁油层段含油气资源前景较好。

盘22-40井区(图8)位于靖安-吴起地区东部,砂体较厚。图8(a)右侧盘22-40井两油层中上部为延9₂油层,下部延9₃油层由西向东逐渐抬升,受其起伏变化影响,差异压实造成延9₂油层分布差异。该区含油面积5.25 km²,中间盘23-36井测井解释为油层11.4 m,孔隙度17.19%,渗透率为19.76×10⁻³ μm²,含油饱和度0.56,右侧盘22-40井测井解释为油层5.2 m,孔隙度为14.43%,渗透率为7.56×10⁻³ μm²,含油饱和度0.47。井区物性较好,预测储量80万t,为含油气富集区。

3 结论

- 1) 差异压实作用过程可分为压实排水、压实排烃、弹性压实三个阶段。
- 2) 差异压实作用不仅受到砂泥比等沉积物类型及含量的影响,古地貌也是重要的影响因素。差异

压实作用可以形成小背斜、小向斜及小鼻状构造,在古构造的隆起区或古山脊、古斜坡等地区则能形成构造幅度更大的鼻状隆起及背斜构造。

3) 岩性、构造、古地貌等因素在特定情况下与差异压实共同作用可形成不同的圈闭类型,主要的有利圈闭类型可分为区域构造主控、差异压实主控和古地貌主控三种类型。

4) 差异压实作用对油气生成与运移、有利圈闭类型的形成、寻找油气资源及合理开发油气藏等具有重要意义。

参考文献:

- [1]杨俊杰.鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M].北京:石油工业出版社,2002.
- [2]何自新.鄂尔多斯盆地演化与油气[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [3]郭少斌,杜佳,林小云.鄂尔多斯盆地三叠系延长组长2油层组次生孔隙控制因素及有利区预测[J].石油天

然气学报, 2006, 28(4): 236-238.

[4]姚素平, 张科. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积有机相[J]. 石油与天然气地质, 2009(1): 74-84.

[5]王守则, 郑孟林, 张发. 鄂尔多斯盆地中、新生代后期改造[J]. 世界地质, 2005, 24(4): 356-362.

[6]赵俊兴, 陈洪德, 傅锁堂. 等. 鄂尔多斯盆地侏罗系层序地层与盆地充填演化耦合关系[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2007(5): 511-518.

[7]孟祥超, 韦学锐, 韩维哲. 等. 差异压实作用中的同沉积小断层成因探讨 - 以高台子地区扶杨油层为例[J]. 大庆石油地质与开发, 2007(6): 20-23.

[8]关德范. 差异压实、构造、油气[J]. 大庆石油学院报, 1982(1): 17-25.

[9]裘亦楠, 王衡鉴, 曹文富. 差异压实与大油气田[J]. 石油勘探与开发, 1981(1): 4-15.

[10]陆明德, 郭占谦, 杨开清. 松辽盆地宋芳屯油田的差异压实古背斜及其找油意义[J]. 地球科学, 1986(3): 243-250.

[11]王定一, 刘池阳, 姜传书. 恢复地层当初沉积厚度方法的探讨及在研究压实构造中的初步应用[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 1978(1): 12-22.

[12]谢丛姣, 刘明生, 杨俊红. 微构造与油气聚集关系初探[J]. 断块油气田, 2001(4): 4-7.

[13]李兴国. 油层微型构造对油井生产的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 1987, 14(2): 53-59.

(责任编辑 王利君)

(上接第69页)

参考文献:

[1]韩芳. 我国可再生能源发展现状和前景展望[J]. 可再生能源, 2010, 28(4): 137-140.

[2]刁乃仁, 方肇洪. 埋管式地源热泵技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

[3]KAVANAUGH S P. Field tests for ground thermal properties-methods and impact on ground-source heat pump design[J]. ASHRAE Transactions, 2000, 106(1): 851-855.

[4]于明志, 方肇洪. 现场测量深层岩土热物性方法[J]. 工程热物理学报, 2002, 23(3): 354-356.

[5]王书中, 由世俊, 张光平. 热响应测试在土壤热交换器设计中的应用[J]. 太阳能学报, 2007, 28(4): 405-410.

[6]郑强, 晋华, 刘虎, 等. 孔隙率与含水率对砂质土样导热系数的影响[J]. 水电能源科学, 2015, 33(12): 125-128.

[7]刘虎, 晋华, 邢述彦, 等. 地下水渗流对地埋

管换热器周围温度场的影响[J]. 水电能源科学, 2012, 30(12): 117-119.

[8]KATSURA T, NAGANO K, TAKEDA S, et al. Development of a design and performance prediction tool for the ground source heat pump system[J]. Apply Thermal Engineering, 2006(26): 1578-1592.

[9]BOTH P, GEORGIEV A, BUSSO A, et al. First in situ determination of ground and borehole thermal properties in Latin America[J]. Renewable Energy, 2004, 29(12): 1947-1963.

[10]WITTE H J L, VAN GELDER A J. Geothermal response tests using controlled multi power level heating and cooling pulses: quantifying groundwater effects on heat transport around a borehole heat exchange[C]//Proc. the Tenth International Conference on Thermal Energy Storage. New Jersey: Pomona NJ, 2006: 37-46.

(责任编辑 王利君)