

文章编号: 1001-6112(2008)03-0302-05

烃类垂向微渗漏近地表显示与运移通道的关系

——以苏北盆地盐城凹陷朱家墩气田为例

王国建^{1,2}, 程同锦², 卢丽², 任春², 陈红宇²

(1. 中国地质大学 资源学院, 武汉 430074;

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要: 烃类垂向微渗漏是油气化探的理论基础, 在地表形成的化探异常形态和特征受油气分布、盖层、断裂与裂隙系统、储层流体属性等因素影响。为了研究油气藏中烃类垂向微渗漏近地表异常显示的主要受控因素, 在苏北盆地盐城凹陷朱家墩气田上方近地表开展了以游离烃、顶空气法为主的地球化学勘探研究。结果显示, 这些活跃的烃类指标异常分布与下伏气藏上方的优势运移通道具有良好的响应关系, 表明油气藏中的烃类垂向微渗漏至地表是客观存在的事实。通过对已知气藏封盖条件和运移通道的分析, 认为对该气田上方烃类垂向微渗漏的近地表异常显示起主控作用的是断层、盖层中的裂缝发育带和地层中的微裂缝系统。试验结果为今后研究油气藏上置化探异常模式及成因机理提供了较好的证据。

关键词: 微渗漏; 近地表显示; 盖层条件; 运移通道; 朱家墩气田; 盐城凹陷; 苏北盆地

中图分类号: TE132.4

文献标识码: A

RELATIONSHIP BETWEEN NEAR-SURFACE EXPRESSIONS OF HYDROCARBON MICROSEEPAGE AND MIGRATION PATHWAYS

—A CASE STUDY IN THE ZHUJIADUN GAS FIELD,
THE YANCHENG SAG, THE NORTHERN JIANGSU BASIN

Wang Guojian^{1,2}, Cheng Tongjin², Lu Li², Ren Chun², Chen Hongyu²

(1. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: Hydrocarbon vertical microseepage is the theoretical foundation of surface geochemistry exploration. Surface geochemical anomalies are dominated by oil-and-gas distribution, cap rock, faults and fractures system as well as reservoir fluid property. In order to learn the dominating factors of surface expressions from hydrocarbon microseepage, surface geochemical explorations with free gas and head-space gas methods have been made over the Zhujiadun Gas Field, the Yancheng Sag, the northern Jiangsu Basin. It has been found out that, hydrocarbon index anomalies are in good response to favorable migration passages over gas fields, proving hydrocarbon vertical microseepage to surface. Analyzing sealing conditions and migration pathways of known gas accumulations, it has been concluded that fracture system in faults and cap rocks and microfracture system in strata are the controlling factors for near surface anomalies of hydrocarbon vertical microseepage. The results are good evidences for further studies of anomaly pattern and mechanism over oil and gas accumulations.

Key words: microseepage; near surface expression; cap rock condition; migration pathway; the Zhujiadun Gas Field; the Yancheng Sag; the northern Jiangsu Basin

油气藏的地下地质条件相当复杂, 但是对于地表化探而言, 圈闭类型、封盖条件、运移通道是最受关注的几个因素^[1,2]。笔者针对油气化探应用中较为薄弱的问题——地表显示与深部油气藏

收稿日期: 2007-07-11; 修订日期: 2008-04-10。

作者简介: 王国建(1972—), 男, 博士生, 高级工程师, 主要从事油气地球化学及石油地质研究。E-mail: wgj@mail.wuxisuo.com。

基金项目: 中国石油化工集团公司科技开发项目(P05069)。

之间的响应关系的主控因素,从微渗漏通道机理上进行分析,考虑关键要素,结合相关石油地质条件,剖析了苏北盆地盐城凹陷朱家墩气田上方烃类垂向微渗漏近地表显示与运移通道的关系,提高了油气化探异常的可信度。

1 油气微渗漏通道

毫无疑问,油气之所以能够成藏,绝大多数情况下必定具有较好的盖层条件。但是从分子的微观层次来说,只要驱动力源及运移方式合适,则所有的盖层都是可渗透性的。而盖层的毛管排替压力主要是针对宏观的油珠、气泡而言的,在分子的微观层次上盖层不具备阻挡能力^[3]。因此,油气藏中的烃类分子在合适的迁移形式下可以 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ 级浓度透过盖层的孔隙、微裂缝、裂缝、断层等通道到达近地表。

1.1 孔隙喉道

大多数烃类分子大小比泥岩盖层的最小孔隙要大,但大致等于中等大小孔隙的尺度,水、甲烷、链烷烃、芳烃分子可以通过泥岩的小—中等尺度的孔隙^[4]。另外,孔隙喉道的连通性决定了盖层对烃类的封盖。烃类通过盖层微孔隙和喉道的扩散速度和通量较小,短时期内不会形成化探异常。

1.2 裂缝

对于油气微渗漏的裂缝而言,按其张开度可分为裂缝(大于 $100 \mu\text{m}$)和微裂缝(小于 $100 \mu\text{m}$)^[5]。

受地下构造应力等各种物理、化学因素的影响,地下普遍存在定向裂缝,不但可以成为油气聚集的场所,还可能成为油气运移的通道,也自然成为烃类垂向微渗漏的通道。

微裂缝广泛而普遍发育于所有不同岩性、不同深度的岩层中。摄影地质学家和地貌学家研究认为,与基底有关的解理和微裂缝分布在上覆岩层中重复出现,并在整个沉积剖面中都保留其特征^[6],为油气藏中的烃类微渗漏至地表提供了通道。微裂缝产状一般是直立缝或近于直立缝^[7]。对大庆头台油田水平井和相应层位的直立井中的岩心裂缝密度的研究发现,直立缝线密度大大高于水平缝,并据此提出水平井可大大提高油气产能^[7]。微裂缝的大量存在是客观事实,为烃类垂向微渗漏提供了良好的通道。

1.3 断层

断层是构造运动的产物,对于油气一次、二次运移而言,断层可以作为天然气运移的主要通道,储集层可以作为侧向运移通道。油气藏形成后,断层带本身的封闭机理包括粘土涂层、颗粒碎裂、成岩愈合。虽然断层封闭好对石油天然气保存较为有利,但是对于微渗漏而言,断层仍可能是优势通道,对于烃类微渗漏的近地表显示有时会有很大贡献。如南襄盆地泌阳凹陷东缘下二门油田、南阳凹陷魏岗油田近地表化探异常均与断层具有较好的对应关系。

另外,地层条件下的微渗漏通道还有不整合面、节理、劈理、层面网络等,这里不一一列述。

2 研究区位置及化探剖面

朱家墩气田位于盐城凹陷南洋次凹深凹带,是由盐二、盐三2条北掉断层夹持的断背构造(图1)^[8]。在朱家墩气田上方近地表化探采用剖面测量。试验剖面共5条,200个测点,点间距200m。

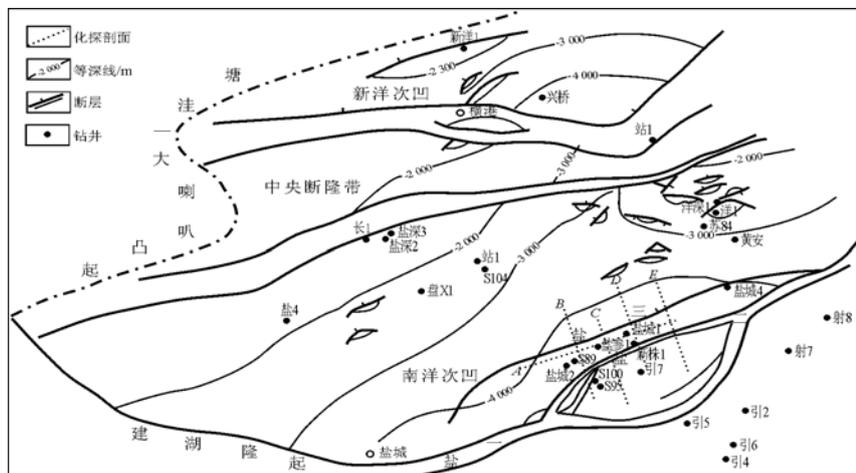


图1 苏北盆地盐城凹陷构造区划^[8]及化探测量剖面

Fig. 1 Tectonic division and geochemical exploration profiles in the Yancheng Sag, the northern Jiangsu Basin

其中 B, C, D, E 剖面垂直于构造走向, A 剖面沿近气田走向, 与 B, C, D, E 剖面垂直相交。采集了游离烃、顶空气(1.2~1.5 m)样品。

3 研究区盖层特征及微渗漏通道

3.1 盖层特征

朱家墩构造位于盐城凹陷南洋次凹深凹带, 其良好的盖层条件是天然气成藏的优势之一。参照中古生界油气藏盖层评价标准^[9], 根据本地区阜宁组、浦口组泥岩的孔、渗特点(图 2, 可见含有裂缝)^[9], 确定适合本区古近系盖层封盖能力的评价标准^[10]。其中, I 类盖层为好的有效盖层, 对天然气具有好的封盖能力; II 类盖层为较好的有效盖层。阜宁组二段与一段上部为 I 类盖层^[11]。从泰州组二段的地质岩性来看, 其主要差异是较好的泥岩和泥灰岩段只有 40~60 m 左右, 其余为较不纯的含砂、砂质泥岩。从盖层厚度上分析稍差, 可归于 II 类盖层^[10]。

3.2 气藏上方的微渗漏通道

盐城凹陷阜二段为一套半深湖—深湖相暗色泥岩、含云灰质泥岩, 夹薄层泥灰岩、白云岩, 含少量黑色油页岩层, 是凹陷的主力生油层和区域盖层。通过对盐城 1 井阜二段取心井段的泥岩岩心观察, 可以看到发育有小型垂直微裂缝和较大的垂直高角度裂缝^[12]。江苏油田为了获得朱家墩气田构造处阜二段及泰州组地层的裂隙发育信息, 利用横波源四分量 VSP 资料检测了盐城凹陷地下的裂缝, 在朱家墩气田盐城 1 井附近发现地下从泰一段至阜三段均存在裂缝发育带(图 3)^[13]。王建等^[14]则应用异常流体压力方法对盐城凹陷阜二段泥岩裂缝发育带进行了预测, 亦发现了裂缝发育带(图 4)。

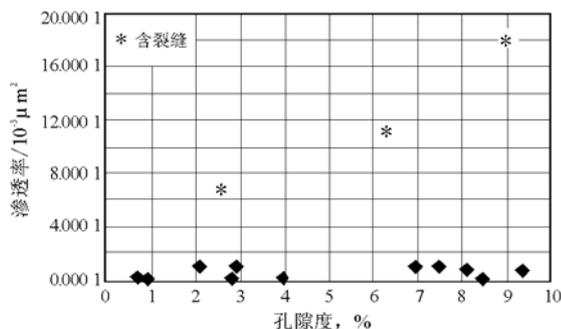


图 2 苏北盆地盐城凹陷朱家墩气田阜宁组泥岩、泥灰岩孔—渗交会图^[9]

Fig. 2 Crossplot of porosity and permeability of mudstone and marl from the Funing Formation in the Zhujiadun Gas Field, the Yancheng Sag, the northern Jiangsu Basin

以上盖层研究表明, 烃类除可能通过孔隙喉道、微裂缝微渗漏外, 朱家墩气藏盖层泥岩中存在的裂缝发育带, 一方面可能作为油气聚集的场所, 另一方面又是烃类运移的通道, 裂缝的存在使得烃类微渗漏速度加快、通量增加。

另外, 朱家墩构造是被盐二、盐三断层夹持的断鼻构造^[8](图 5), 根据天然气运移指标、流体包裹体分析及断层演化特征研究, 盐二断层是天然气向上运移的主要通道, 储集层是侧向运移通道, 运移方向总体是由下向上、由南向北, 主要成藏期为盐城组沉积时期(中新世)。气藏的形成与断层作用密切相关, 得益于断层活动性减弱。虽然后期断层活动停止或减弱对天然气保存较为有利, 但是对

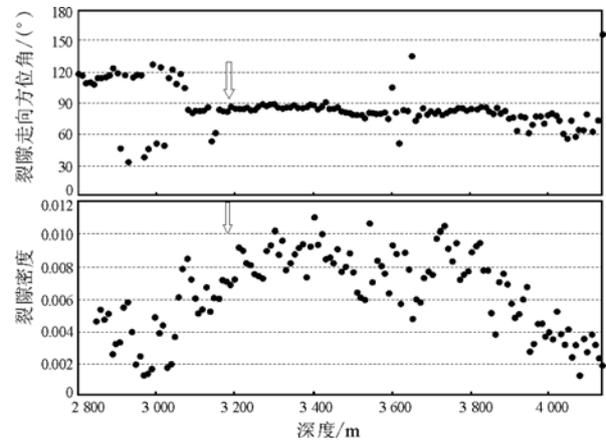


图 3 苏北盆地盐城凹陷朱家墩气田盐城 1 井裂隙发育方位与裂隙密度^[13]

图中箭头指示处为裂隙储层位置; 裂隙密度是指单位体积内裂缝条数和裂隙平均半径立方的乘积

Fig. 3 Fissure generation orientation and density in Well YC-1 in the Zhujiadun Gas Field, the Yancheng Sag, the northern Jiangsu Basin

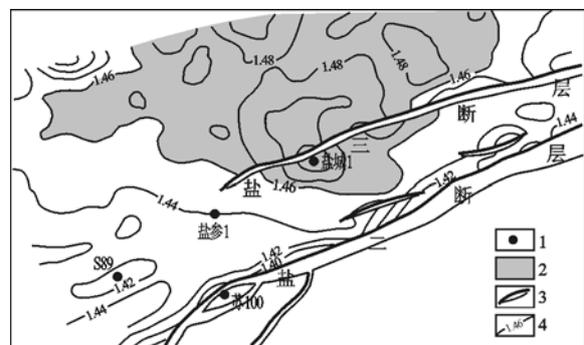


图 4 苏北盆地盐城凹陷朱家墩地区阜二段裂缝段异常压力系数平面等值线^[14]

1. 井号; 2. 裂缝发育带; 3. 断层; 4. 异常压力系数等值线

Fig. 4 Plane chorogram of abnormal pressure coefficient in fissure generation zone of the 2nd member of Funing Formation in the Zhujiadun area, the Yancheng Sag, the northern Jiangsu Basin

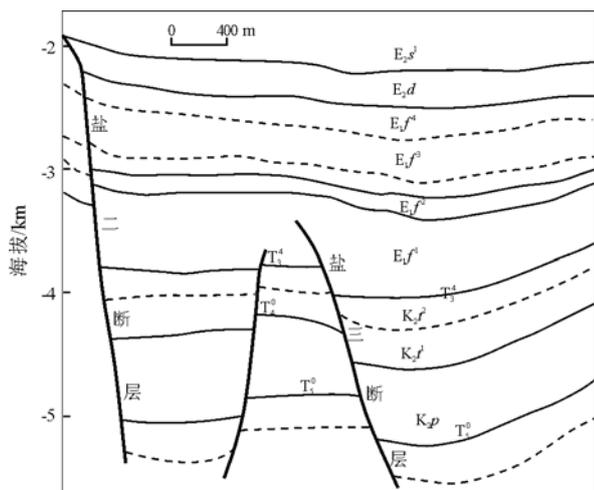


图5 苏北盆地盐城凹陷朱家墩气田构造示意
Fig. 5 Tectonic profile of the Zhujiadun Gas Field, the Yancheng Sag, the northern Jiangsu Basin

于微渗漏而言,断层仍可能是优势通道,因此盐二、盐三断层对于烃类微渗漏的近地表显示仍会有贡献。

4 烃类微渗漏的近地表显示

地表化探中的游离态烃类检测主要包括土壤游离烃法和顶空气法^[15]。游离烃主要是指土壤孔隙中呈游离状态的烃类气体;顶空气法检测的是土壤孔隙空间中的游离态烃和被土壤颗粒表面弱吸附态烃类。2种方法的理论基础仍是油气微渗漏,烃类气体组分运移至地表,导致土壤中烃类气体浓度出现异常。由于这2种烃类在油气化探中被认为主要反映的是深部烃类的现代补偿性活跃微渗漏,具有直接、受干扰少的特点,所以也被认为是油气化探中的经典方法。根据本次试验分析的游离烃、顶空气测试数据,在抑制干扰因素的前提下,结合盖层条件及微渗漏通道,对朱家墩气田烃类微渗漏的近地表显示进行了研究。

4.1 游离烃

图6是朱家墩气田上方测量的近地表游离烃甲烷、游离烃重烃指标剖面图,其中气田范围及断层均为地震 T_4^0 反射层(下同)。可以看到近地表游离烃分布特征:D剖面在气田上方没有明显异常显示,但在北部背景区却有高强度异常,可能与阜二段泥岩盖层中的裂缝发育带有关(图4)^[14]。其余4条剖面在气田上方均呈现高值异常,为顶部晕。其中A,C剖面异常幅度最高,在地震 T_4^0 反射层盐二、盐三断层南部均有高强度游离烃异常。从图5上看,盐二断层向南延伸到盐城组二段,烃类可能以盐二断层为微渗漏通道,再垂向渗漏到地表,出现高强度异常。同样盐三断层也有类似情况。另外,A剖面沿近气田走向,在气田上及边界均有高强度异常。

经多年油气化探研究认为,游离烃甲烷易受近地表因素干扰,而 C_2-C_5 重烃在地表很难生成,主要反映的是微渗漏烃类的信息。从图6可以看到,游离烃甲烷与重烃相关性较好,变化趋势近于一致,说明其来源一致,均可以反映朱家墩气田微渗漏在地表的显示。

4.2 顶空气

图7是朱家墩气田上方近地表顶空气甲烷、重烃指标剖面图。可以看到,A,C,D,E剖面顶空气甲烷指标在沿盐三断层处均有高值异常,显示与断层有较好的相关性。另外,A剖面在气田顶部(东)有较好的异常,其他部位异常不明显。而顶空气重烃异常在A,B,D,E剖面除与盐三断层有相关性外,B,D,E剖面在气田上方的点仍有高值异常。C剖面在盐二断层南有重烃异常,显示与盐二断层有关。顶空气重烃在D剖面的北部背景区也有高强度异常,类似于游离烃指标,同样可能与阜二段泥岩盖层中的裂缝发育带有关(图4)。顶空气甲

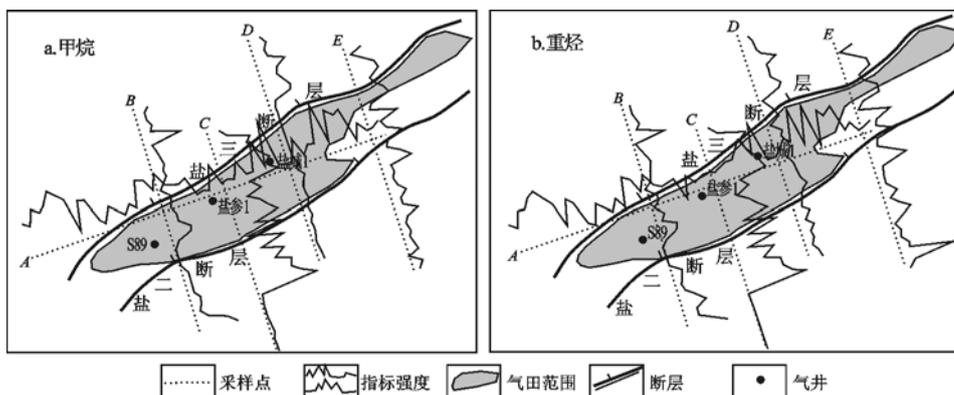


图6 苏北盆地盐城凹陷朱家墩气田近地表土壤游离烃异常剖面

Fig. 6 Free hydrocarbon in soil near-surface in the Zhujiadun Gas Field, the Yancheng Sag, the northern Jiangsu Basin

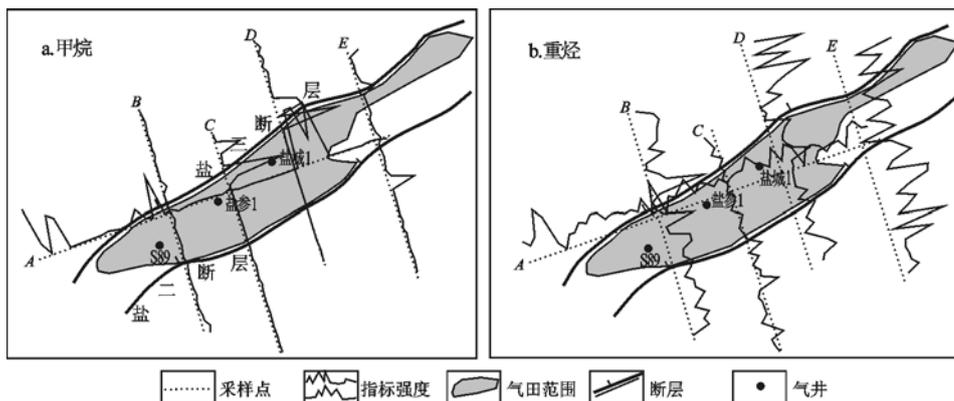


图7 苏北盆地盐城凹陷朱家墩气田近地表土壤顶空气指标异常剖面

Fig. 7 Abnormal index of headspace gas in soil near-surface in the Zhujiadun Gas Field, the Yancheng Sag, the northern Jiangsu Basin

烷与重烃的相关性差的原因可能是由于朱家墩地区水网发育,取样过程中样品较为潮湿,导致甲烷散失不均一。

5 结论

1)朱家墩气田上方近地表游离烃、顶空气轻烃的异常显示与地下盖层条件、运移通道密切相关,表明深部烃类运移至地表是客观存在的现象,并遵循优势通道原则,微渗漏强度较大的是断层、裂缝发育带、微裂缝系统等。

2)从朱家墩气藏的近地表烃类显示结果来看,优势运移通道可能是油气藏上置化探异常模式及成因的主控因素。

3)在油气化探异常的解释过程中,充分研究烃类垂向微渗漏的近地表显示与相关石油地质特征的关系,可以大大提高油气化探异常的可信度。

4)反映烃类现代补偿性活跃微渗漏的方法技术(如游离烃、顶空气等),在地表条件合适的勘探地区应当普遍推广。

参考文献:

1 赵克斌,孙长青. 油气化探精查中的矿置异常特征与模式识别[J]. 石油实验地质,2005,27(5):539~542
 2 夏响华,胡凯,秦建中等. 油气化探轻烃指标间关系与烃运移地表显示:以松辽盆地东南隆起区十屋断陷为例[J]. 石油实验地质,2006,28(6):586~589

3 姜洪训,刘生福,李英武等. 综合地质物探化探多参数直接探测油气理论方法与效果[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1995. 16~17
 4 Matthews M D. Migration—a view from the top[A]. In: Schumacher D, Abrams M A, eds. Hydrocarbon migration and its near-surface expression: AAPG Memoir 66 [G]. Tulsa: AAPG, 1996. 139~55
 5 程同锦,王者顺,吴学明等. 烃类运移的近地表显示与地球化学勘探[M]. 北京:石油工业出版社,1999. 82~87
 6 Saunders D F, Burson K R, Thompson C K. Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alterations [J]. AAPG Bulletin,1999,83:170~185
 7 刘站立,王俊魁. 头台油田天然裂缝特征[J]. 大庆石油地质与开发,1996,15(1):8~11
 8 陈安定,王文军,岳克功等. 盐城朱家墩气田气源及发现意义[J]. 石油勘探与开发,2001,28(6):45~49
 9 毛凤鸣,张金亮,许正龙. 高邮凹陷油气藏地球化学[M]. 北京:石油工业出版社,2002
 10 李云,陈佳梁,王建. 盐城凹陷朱家墩天然气成藏特征[J]. 石油天然气学报,2005,27(3):300~301
 11 马力,钱基. 苏北南黄海盆地的构造演化和烃类生成[J]. 南京大学学报,1993,5(2):56~59
 12 邱兰军,陆梅娟,朱煜. 用地球物理方法研究 ZJD 地区阜二段泥岩裂缝[J]. 特种油气藏,2002,9(1):23~25
 13 董良国,马在田,丁建荣. 利用横波源四分量 VSP 资料检测盐城凹陷地下裂缝[J]. 石油地球物理勘探,2000,35(4):517~525
 14 王建,李云. 应用异常流体压力方法预测裂缝发育带[J]. 勘探地球物理进展,2005,28(6):414~415
 15 任春,夏响华. 典型气藏上方地表化探特征分析:以四川孝泉—新场气田为例[J]. 石油实验地质,2006,28(2):182~186

(编辑 韩 或)