

# 孤岛油田南区馆1+2砂层组细分对比标志特征

乐大发<sup>1</sup>, 陈清华<sup>2</sup>, 张福利<sup>3</sup>

(1 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司 孤岛采油厂, 山东 东营 257231;

2 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555; 3 中国石油化工

股份有限公司胜利油田分公司 物探研究院, 山东 东营 257022)

**摘要:** 基于沉积学和储层地质学理论, 以孤岛油田南区馆1+2砂层组高弯曲流河沉积为例, 充分利用密井网条件下的测井资料, 研究储层细分对比中的标志类型、特征、分布及其应用。首先, 介绍了馆1+2砂层组的测井响应、地震反射等宏观特征; 接着, 利用感应电导率曲线、自然电位曲线的响应特征寻找细分对比标志; 然后, 将选取的标志联合使用得到孤岛油田南区馆1+2砂层组的顶部构造图。结果表明: 研究区缺少全区性标志, 但存在局部性标志; 局部性标志有泥岩类、砂岩类、“钙质尖”类、砂泥组合类等4类; 泥岩类标志表现出高感应电导率特点, 砂岩类标志表现为低电阻率, 自然电位曲线呈“箱形”或小型的“钟形”, “钙质尖”类标志表现为高电阻、高微电阻、低声波时差, 低自然电位值的尖峰, 砂泥组合类标志表现为感应曲线特征的对比性强; 泥岩类和砂岩类标志分布面积较大, 呈局部连片状; “钙质尖”类和砂泥组合类标志分布面积较小, 呈条带状; 上述4类标志在平面上的叠合分布完全覆盖研究区。总之, 充分利用好局部性标志, 同样能够很好地进行类似地区的储层细分对比。

**关键词:** 孤岛油田; 馆1+2砂层组; 河流相; 对比标志; 分布模式; 地层界线

**中图分类号:** TE122; P618.130.2<sup>+</sup>1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)01-0084-05

## Characteristic of Markers for the Stratigraphic Correlation and Subdivision of Guan 1+2 Sand Member in the South Block of Gudao Oilfield

LE Da-fa<sup>1</sup>, CHEN Qing-hua<sup>2</sup>, ZHANG Fu-li<sup>3</sup>

(1. Gudao Oil Production Factory, Shengli Oilfield Branch Company, China Petroleum and Chemical Corporation,

Dongying 257231, Shandong, China; 2. School of Geo-resources and Information, China University of Petroleum,

Qingdao 266555, Shandong, China; 3. Institute of Geophysical Research, Shengli Oilfield Branch Company,

China Petroleum and Chemical Corporation, Dongying 257022, Shandong, China)

**Abstract:** Based on the theories of sedimentology and reservoir geology, taking Guan 1+2 sand member in the south block of Gudao Oilfield as an example, using the logging data in the condition of dense well patterns sufficiently, the type, characteristic, distribution and application of the markers for stratigraphic correlation and subdivision were studied. Firstly, the macro feature of the Guan 1+2 sand member included logging response, seismic section, etc.; secondly, the marker for stratigraphic correlation and subdivision was confirmed according to the response characteristics of induction conductivity and natural potential curves; thirdly, the confirmed markers were used to obtain the structural contour map of the top boundary of the Guan 1+2 sand member in the south block of Gudao Oilfield. The results showed that the regional marker was lack, but the local markers developed; the local markers included mudstone, sandstone, carbonate, and sand-mudstone combination; the characteristic of mudstone marker was high induction conductivity, sandstone marker was low resistivity and “box-shape” or small “bell-shape” spontaneous potential, carbonate marker was high resistivity and microresistivity, low interval transit time and spontaneous potential, sand-mudstone combination marker was strong comparability of the induction logging curves; the distributed areas of mudstone and sandstone were large, usually connected body; the distributed areas of carbonate and sand-mudstone combination markers were small, usually striped body; the composite distribution of

收稿日期: 2010-11-15

基金项目: 国家重大科技专项项目 (2008ZX05042-001)

作者简介: 乐大发(1966-), 男, 福建大田人, 高级工程师, 从事油藏管理研究。E-mail: gdlf@slof.com

the above four kinds of markers were all around the studied area. In general, the local markers could be used for the stratigraphic correlation and subdivision in similar area completely if the regional marker was lack.

**Key words:** Gudao Oilfield; Guan 1+2 sand member; fluvial facies; correlation marker; distributed model; stratigraphic boundary

## 0 引言

随着油藏进入高含水期, 孤岛油田的开发方向也逐渐由均质、中高渗透油藏向非均质、低或特低渗透油藏转变, 对储层的划分与对比工作提出了更高的要求。同时, 孤岛油田馆陶组地层属于河流相沉积, 此类储层砂体变化复杂, 通常缺少标志层、标准层, 难以大面积追踪, 储层细分对比难度非常大<sup>[1-9]</sup>。上述问题都直接影响着小层划分对比的准确程度。在前人研究的基础上, 通过探讨研究区测井资料及岩性资料, 发现一些可以小范围内准确划分对比的标志, 这些标志为全区的划分与对比提供了重要信息。通过分析对比标志的特征, 总结出4种类型的对比标志, 并通过对比标志的综合运用, 建立了一个相当于标志层的标志联合体系。

## 1 研究区概况

孤岛油田位于山东省东营市, 构造上隶属渤海湾盆地济阳拗陷沾化凹陷, 为发育在孤岛凸起之上的以新近系馆陶组地层为主要储油层系的大型披覆背斜油田, 石油储量大, 产量高, 是世界著名油田之一, 分为南区、西区、中区和东区。该油田馆陶组分为馆下段和馆上段, 其中馆上段又分为馆1+2砂层组和馆3砂层组—馆6砂层组。馆下段为辫状河沉积, 馆3砂层组—馆6砂层组为曲流河沉积, 馆1+2砂层组为高弯曲流河沉积, 其上明化镇组为高弯曲流河沉积。研究区为孤岛油田南区的部分区域(图1)。

目前, 孤岛油田南区馆1+2砂层组是孤岛油田

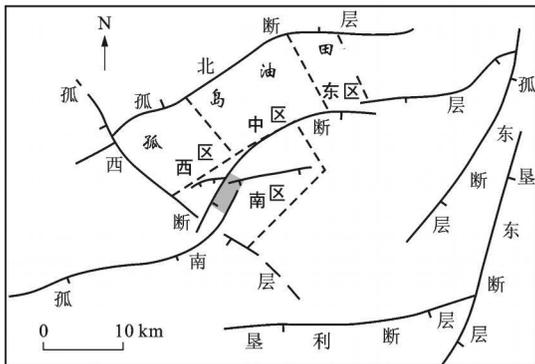


图1 孤岛油田区域位置

Fig. 1 Location of Gudao Oilfield

油气增产稳产的主力层系之一, 其储层细分对比是重要的基础工作<sup>[1-5]</sup>。就孤岛油田南区馆1+2砂层组储层细分对比工作而言, 前人做了许多有益工作, 但仍存在许多尚未解决的问题<sup>[6-10-19]</sup>。在这些尚未解决的问题中, 一个关键问题是在缺少标志层、标准层的情况下如何实现对馆1+2砂层组顶界的精细划分与对比。因为其下的河流相储层划分与对比所使用的许多方法, 如等高程、等厚切片、下切对比、叠加砂体划分等, 都是以此地层的顶界为基准的<sup>[20-23]</sup>。

## 2 宏观标志

### 2.1 电性特征

研究区明化镇组主要为浅棕色砂质泥岩、泥岩夹砂岩透镜体, 整体以“弓形”电阻为特征; 该组近底部常出现厚层砂岩, 自然电位曲线呈“箱形”或“钟形”, 此砂岩底部常伴有“钙质尖”出现<sup>[1]</sup>。馆陶组馆下段为块状砂岩、砾质砂岩、砾岩夹薄层泥岩, 电阻率值较高, 自然电位曲线呈大型“箱形”负异常; 馆上段馆3砂层组—馆6砂层组为砂岩、粉砂岩夹泥岩或与泥岩互层, 以笔架状电阻为特征, 馆1+2砂层组为泥岩夹细砂岩、粉砂岩, 以较平直的自然电位曲线(基线)上出现指状响应为特征<sup>[1]</sup>。上述特征可以作为精细划分对比研究区馆1+2砂层组顶界的重要参考。

### 2.2 地震反射特征

由于岩性特征不同, 研究区明化镇组和馆陶组的地震反射特征不同, 并存在能够宏观反映明化镇组与馆陶组地层分界的地震反射层<sup>[6]</sup>。该特点也可以作为精细划分对比研究区馆1+2砂层组顶界的重要参考。

## 3 细分对比标志

对于缺少标志层和标准层的储层细分对比工作, 寻找分布范围相对较广、特征相对较明显的对比标志则成为关键问题。综合利用地质、测井与地震等资料, 通过反复比较与研究, 总结出研究区明化镇组和馆陶组4类8个对比标志。对比标志确定的基本原则是至少15口井同时存在。

### 3.1 泥岩类标志

在明化镇组近底部发育厚层砂岩的井区, 该厚

层砂岩的上、下泥岩均表现出高感应尖峰的对比标志(图 2a)。在参与划分对比的 230 口井中,有 116 口井发育该厚层砂岩之下的泥岩感应尖峰标志, 占总井数的 50.4% (图 3a); 有 83 口井发育该厚层砂岩之下的泥岩感应尖峰标志, 占总井数的 36%。

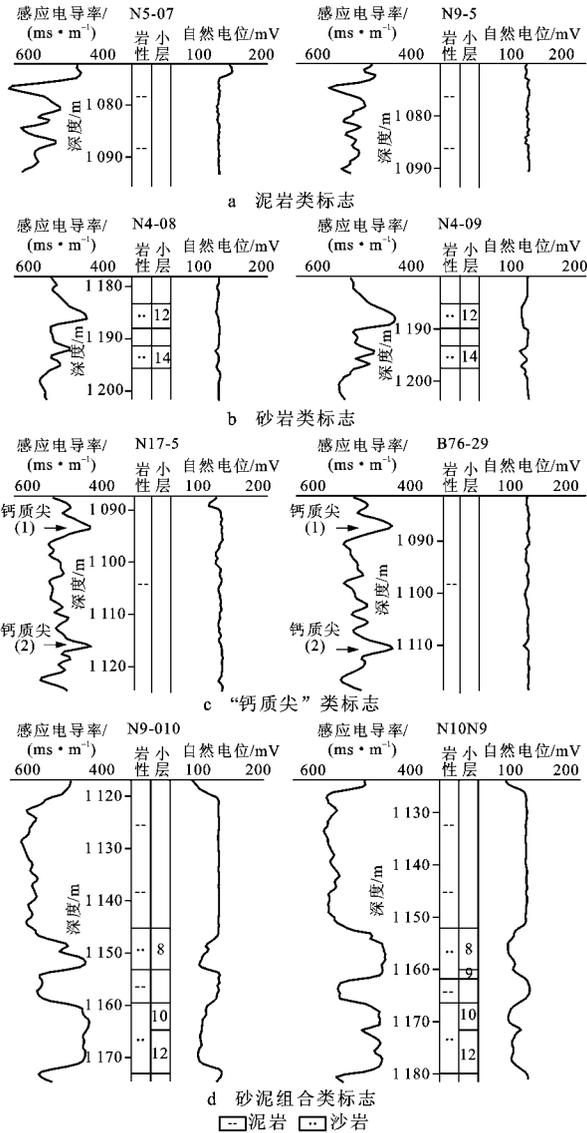


图 2 四种类型标志电性特征

Fig. 2 Logging Response Characteristics in Four Types of the Markers

在馆陶组上部发育一泥岩高感应尖峰标志, 该泥岩北部厚度大, 向南减薄。有 34 口井发育该泥岩尖峰标志, 占总数的 14.8%。

### 3.2 砂岩类标志

馆陶组下部发育两个相邻的低阻砂岩标志, 测井相应特征为低电阻率, 自然电位曲线呈“箱形”或小型的“钟形”, 感应曲线的可对比性很强(图 2b)。有 120 口井发育该低阻砂岩标志, 占总数的 56%。

其分布范围如图 3b。

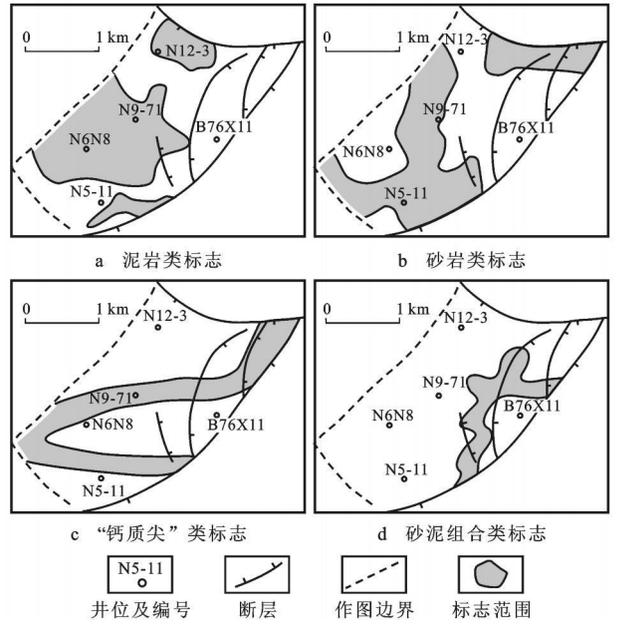


图 3 馆 1+2 砂层组发育的 4 种类型标志分布范围

Fig. 3 Distribution of Four Types of the Markers Developed in Guan 1+2 Sand Member

馆陶组中部发育韵律性厚层砂岩标志, 部分井中该厚层砂岩自然电位曲线表现出明显的韵律性, 感应、电阻率等曲线的可对比性也很强。有 70 口井发育该韵律性厚层砂岩标志, 占总井数的 30.4%。

### 3.3 “钙质尖”类标志

“钙质尖”即钙质夹层, 是陆相储层重要夹层之一, 是钙质胶结的致密砂岩、砾岩, 在电性特征上具有高电阻、高微电阻、低声波时差、低自然电位值特征。地层真电阻率、冲洗带电阻率、0.5 m 梯度视电阻率的极高值甚至比油层电阻率值还高, 表现为正方向凸起的“高尖峰”状。声波时差明显低值, 表现负方向凸起的“尖峰”。自然电位负异常, 负方向凸出。一般碳酸盐含量越高, 上述特征越明显, 故又称“钙质尖”。

普遍认为在酸性水作用下, 黏土杂基向自生高岭土转化, 长石、岩屑和碳酸盐矿物等不稳定组分发生溶解和蚀变作用, 为碳酸盐胶结作用的发生和钙质夹层的形成提供  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  和  $HCO_3^-$  等离子, 从而形成“钙质尖”; 简而言之, 首先发生层内黏土杂基高岭石化和不稳定组分及邻近碳酸盐层的溶解、蚀变作用, 进而形成钙质胶结和钙质夹层<sup>[24-28]</sup>。

“钙质尖”主要分布在具有下粗上细的正韵律特征的砂体(如河道砂体)底部, 或具有下细上粗的反韵律特征的砂体(如河口坝砂)顶部。这是由于这些部位砂体储层物性最好, 砂体粒度粗, 泥质含量低,

原生孔隙比较发育,孔隙水易于流动。因此酸性地表水通过风化壳或断层以及酸性地层水等进入砂体内部后可以产生流动,进而形成钙质胶结或钙质夹层。由于孔隙水的流动是在同一期河道底部进行的,所以“钙质尖”的形成具有等时性,可以作为非常好的等时对比标志<sup>[24]</sup>。

研究区内发现的“钙质尖”主要特征是层薄、电阻率高,感应曲线特征表现为高电阻率尖峰。根据这些特征共有两处“钙质尖”分布被发现。

(1)明化镇组近底部之厚层砂岩的中下部(图2c)。全区有27口井发育该标志,占总井数的11.7%。

(2)馆陶组上部薄层砂岩(图2c)。全区有19口井发育此标志,占总井数的8.3%。通过统计发育“钙质尖”标志井的数目,在研究区划出了“钙质尖”平面分布范围(图3c),其平面分布形态基本上反映了同一期河流作用的整体形态。

### 3.4 砂泥组合类标志

馆陶组内部发育有可对比性很强的砂泥组合类标志,感应曲线的可对比性很强(图2d)。N17-5井的1094~1116m井段与B76-29井的1088~1100m井段的感应曲线具有明显可对比性。有22口井发育该砂泥组合类标志,占总井数的9.6%(图3d)。

## 4 标志使用

研究区总结出的4类8个对比标志,这些标志的平面发育范围大小悬殊;但是,把这些标志的平面范围叠加在一起,可以覆盖整个研究区。这是综合应用对比标志、实现全区划分对比的重要基础。图3表明,只存在一个对比标志的平面分布范围是不能覆盖全区的,但大部分区域都具有3个及3个以上的对比标志可供同时使用,从而在剖面对比中实现对层位的控制。

根据发育对比标志数量的密度分布,可以更好地选择对比剖面,让对比剖面尽可能通过对比标志高密度区,使用尽可能多的标志控制对比关系和结果。

遵循上述工作方法步骤,本研究首次实现了孤岛油田南区馆1+2砂层组顶界的精细划分对比。实践表明,孤岛油田南区馆1+2砂层组顶面构造能非常合理地反映构造对油气分布的控制规律(图4)。

## 5 结语

(1)对于河流相沉积,缺少全区分布的标准层、标志层的储层细分对比工作,应当认真总结可能存在的对比标志,综合应用对比标志可以很好地解决

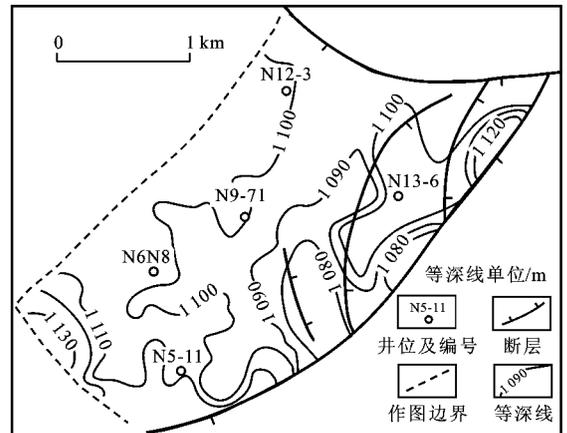


图4 孤岛油田南区馆1+2砂层组顶面构造

Fig. 4 Structural Contour Map of the Top Boundary of Guan 1+2 Sand Member in the South Block of Gudao Oilfield

储层细分对比问题。

(2)共总结出4类8个对比标志:泥岩类标志;砂岩类标志;砂泥组合类标志;“钙质尖”类标志。其中,泥岩类标志有3个标志,砂岩类标志有2个,砂泥组合类标志有1个,“钙质尖”类标志有2个,共8个对比标志。

(3)通过综合应用标志,绘制了各个标志在研究区域内的分布范围。统计研究区标志的叠加数量,分析标志发育的有利区域,对于研究区的储层划分与对比工作有重要的指导意义。

(4)首次实现了孤岛油田南区馆1+2砂层组顶界的划分对比,并完成了该区馆1+2砂层组的储层细分对比工作。

### 参考文献:

- [1] 陆先亮,束青林,曾祥平. 孤岛油田精细地质研究[M]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [2] 王秉海,钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 东营:石油大学出版社,1992.
- [3] 王夕宾,钟建华,贾萍,等. 孤岛油田馆1+2地层划分对比与沉积模式[J]. 应用基础与工程科学学报,2004,12(1):33-40.
- [4] 王夕宾,钟建华,薛照杰,等. 孤岛油田馆1+2砂层组沉积模式及其对剩余油分布的控制[J]. 石油大学学报:自然科学版,2004,28(6):16-20.
- [5] 罗水亮,曾流芳,李林祥,等. 多油层复杂断块油藏开发层系细分研究[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2010,32(6):98-102.
- [6] 陈清华,刘池阳,李琴. 胜利油区孤岛油田新近系辅助标志层研究[J]. 地层学杂志,2003,27(1):46-49.
- [7] 单敬福,纪友亮,史榕,等. 曲流河道单砂体驱油效率主控因素[J]. 地球科学与环境学报,2007,29(2):170-173.
- [8] 吴诗勇,李自安. 精细地质研究现状及发展趋势[J]. 地球科学与环境学报,2006,28(2):58-64.

- [ 9 ] 王 蛟, 束青林. 孤岛油田西南缘馆下段断层封闭性与油气成藏[ J ]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(5): 47-53.
- [ 10 ] 李继红, 陈清华. 孤岛油田馆陶组油层微型构造研究[ J ]. 西北地质, 2001, 34(2): 54-58.
- [ 11 ] 李双应, 李 忠, 王忠诚, 等. 胜利油区孤岛油田馆上段沉积模式研究[ J ]. 沉积学报, 2001, 19(3): 386-393.
- [ 12 ] 束青林, 张本华, 徐守余. 孤岛油田河道砂储集层油藏动态模型及剩余油研究[ J ]. 石油学报, 2005, 26(3): 64-67.
- [ 13 ] 李兴国, 周宪城. 孤岛油田两类河流相储集层及其开发效果分析[ J ]. 石油勘探与开发, 1982, 9(2): 44-51.
- [ 14 ] 冯伟光. 孤岛油田南区东部曲流河沉积结构单元分析[ J ]. 海洋石油, 2008, 28(3): 31-35.
- [ 15 ] 张伟峰, 刘守军, 李拥安, 等. 孤岛馆陶组注水开发储层性质动态变化特征研究[ J ]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(2): 51-53.
- [ 16 ] 戴启德, 国景星, 狄明信. 孤岛油田中二区馆陶组上段第三砂层组沉积微相研究[ J ]. 石油大学学报: 自然科学版, 1998, 22(3): 31-34.
- [ 17 ] 徐德军, 张连社, 张家营, 等. 孤岛油田  $Ng^{1+2}$  油层低产能治理[ J ]. 江汉石油学院学报, 2002, 24(1): 72.
- [ 18 ] 刘建民, 徐守余. 河流相储层沉积模式及对剩余油分布的控制[ J ]. 石油学报, 2003, 24(1): 58-62.
- [ 19 ] 王代流, 王 蛟. 孤岛油田馆陶组湖相沉积认识及应用[ J ]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(2): 41-44.
- [ 20 ] 渠 芳, 陈清华, 连承波. 河流相储层细分对比方法探讨[ J ]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2008, 23(1): 17-21.
- [ 21 ] 渠 芳, 陈清华, 连承波, 等. 河流相储层细分与对比中存在的问题[ J ]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 27(1): 49-53.
- [ 22 ] 胡光明, 王 军, 纪友亮, 等. 河流相层序地层模式与地层等时对比[ J ]. 沉积学报, 2010, 28(4): 745-751.
- [ 23 ] 李 阳. 河流相储层沉积学表征[ J ]. 沉积学报, 2007, 25(1): 48-52.
- [ 24 ] 谢寅符, 李洪奇. 准噶尔盆地钙质夹层成因及层序地层学意义[ J ]. 石油学报, 2005, 26(5): 24-27.
- [ 25 ] 高玉飞, 钟建华, 王志坤, 等. 利用钙质夹层判断层组界面的可行性探讨[ J ]. 特种油气藏, 2008, 15(1): 32-35.
- [ 26 ] 田 洋, 卢宗盛, 权英哲, 等. 辽河盆地大民屯凹陷 95 区块砂岩储层中钙质夹层研究[ J ]. 岩石矿物学杂志, 2009, 28(2): 152-160.
- [ 27 ] 林承焰, 侯连华, 董春梅, 等. 辽河西部凹陷沙三段浊积岩储层中钙质夹层研究[ J ]. 沉积学报, 1996, 14(3): 72-80.
- [ 28 ] 黄 东, 戴鸿鸣, 杨跃明, 等. 邳西地区须家河组二段钙质夹层特征与成因[ J ]. 天然气工业, 2009, 29(6): 31-32.

(上接第 83 页)

- [ 2 ] 华北石油勘探开发设计研究院. 潜山油气藏[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1982.
- [ 3 ] 翟光明. 中国石油地质志卷五: 华北油田[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1988.
- [ 4 ] 阎敦实, 王尚文, 唐 智. 渤海湾含油气盆地断块活动与古潜山油、气田的形成[ J ]. 石油学报, 1980, 1(2): 1-10.
- [ 5 ] 程 超, 杨洪伟, 周大勇, 等. 蚂蚁追踪技术在任丘潜山油藏的应用[ J ]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(2): 48-52.
- [ 6 ] 卓勤功, 宁方兴, 荣 娜. 断陷盆地输导体系类型及控藏机制[ J ]. 地质论评, 2005, 51(4): 416-422.
- [ 7 ] 张卫海, 查 明, 曲江秀. 油气输导体系的类型及配置关系[ J ]. 新疆石油地质, 2003, 24(2): 118-120.
- [ 8 ] 李宇志, 梁书义, 刘克奇. 塔中地区早古生代单源三位油气成藏体系[ J ]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 45-48.
- [ 9 ] 张照录, 王 华, 杨 红. 含油气盆地的输导体系研究[ J ]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 133-135.
- [ 10 ] 赵忠新, 王 华, 郭齐军, 等. 油气输导体系的类型及其输导性能在时空上的演化分析[ J ]. 石油实验地质, 2002, 24(6): 527-532.
- [ 11 ] 付 广, 薛永超, 付晓飞. 油气运移输导系统及其对成藏的控制[ J ]. 新疆石油地质, 2001, 22(1): 24-26.
- [ 12 ] 藏明峰, 吴孔友, 崔永谦, 等. 冀中拗陷潜山油气藏输导体系及运移方式[ J ]. 特种油气藏, 2009, 16(6): 22-25.
- [ 13 ] 吴孔友. 准噶尔盆地乌夏地区油气输导体系与成藏模式[ J ]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(5): 25-30.
- [ 14 ] 田世峰, 查 明, 吴孔友, 等. 饶阳凹陷潜山油气分布特征及富集规律[ J ]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(4): 143-150.
- [ 15 ] 刘传虎. 潜山油气藏概论[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- [ 16 ] 杜春国, 郝 芳, 邹华耀, 等. 断裂输导体系研究现状及存在的问题[ J ]. 地质科技情报, 2007, 26(1): 51-56.
- [ 17 ] 梁狄刚, 曾宪章, 王雪平, 等. 冀中拗陷油气的生成[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [ 18 ] 邹伟宏, 张 放, 崔占堂, 等. 冀中油气区中元古—古生界及沉积环境[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [ 19 ] 张克银, 艾华国, 吴亚军. 碳酸盐岩顶部不整合面结构层及控油意义[ J ]. 石油勘探与开发, 1996, 23(5): 16-19.
- [ 20 ] 王艳忠, 操应长, 王淑萍, 等. 不整合空间结构与油气成藏综述[ J ]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(3): 326-330.
- [ 21 ] 吴孔友, 查 明, 洪 梅. 准噶尔盆地不整合结构模式及半风化岩石的再成岩作用[ J ]. 大地构造与成矿学, 2003, 27(3): 270-276.
- [ 22 ] 李晓燕, 蒋有录, 陈 涛. 古风化壳孔隙与裂缝发育特征及其油气地质意义[ J ]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(1): 60-64.
- [ 23 ] 何登发. 不整合面的结构与油气聚集[ J ]. 石油勘探与开发, 2007, 34(2): 142-149.
- [ 24 ] 陈中红, 吴孔友, 查 明, 等. 准噶尔盆地陆梁地区断裂—不整合面输导体系与油气运聚[ J ]. 地球学报, 2006, 27(1): 63-68.
- [ 25 ] 吴永平, 杨池银. 渤海湾盆地北部奥陶系潜山[ M ]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [ 26 ] 何碧竹, 焦存礼, 贾斌峰, 等. 塔里木盆地塔中西部地区奥陶系岩溶作用及对油气储层的制约[ J ]. 地球学报, 2009, 30(3): 395-403.
- [ 27 ] 付 广, 段海凤, 孟庆芬. 不整合及输导油气特征[ J ]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(1): 13-16.
- [ 28 ] 郭建华, 郭原草, 王连山. 冀中拗陷廊固凹陷河西务构造带潜山储集层特征[ J ]. 石油勘探与开发, 2009, 36(6): 701-708.
- [ 29 ] 田建章, 张锐锋, 李先平等. 冀中拗陷北部天然气成藏系统及勘探方向[ J ]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(3): 67-74.