

doi:10.3799/dqkx.2011.116

南襄盆地泌阳凹陷深水湖底扇厘定 及碎屑锆石 U-Pb 年代学物源追踪

张建光^{1,2}, 姚光庆^{1,2}, 陈亚兵^{1,2}, 樊中海³, 林社卿³, 杨永利³

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 中国石油化工股份有限公司河南油田分公司石油勘探开发研究院, 河南南阳 473132

摘要: 针对南襄盆地泌阳凹陷程店深水湖底扇沉积体, 进行了岩心、粒度、薄片、重矿等测试资料、砂体结构及地球物理响应的综合分析。结果发现, 湖底扇砂体横向与平面结构呈现孤立特征, 岩性总体偏细, 具粗粒岩性, 以块状岩相为主体, 显示出砂质碎屑流流态特点, 含波状层理和交错层理的层理发育的岩相, 2类岩相具分异粒度特征。湖底扇沉积体显示出明显重力流性质, 兼具牵引流特点, 为复合式搬运机制, 其发育受控阵发性洪水作用、盆地幕式旋转掀斜作用及沉积缓倾斜坡因素, 是深水背景下洪水成因湖底扇沉积。为追踪其物源, 分别从侯庄三角洲与湖底扇区选取砂岩样品, 进行碎屑锆石 U-Pb 定年分析, 结果显示: 程店湖底扇与侯庄三角洲区砂岩碎屑锆石测点年龄分布具相似特征, 碎屑锆石表面年龄分布显示单峰特征, 集中在166~115 Ma, 该年龄段锆石类型以岩浆成因绝对主体, 含少量变质锆石; 同时在247~210 Ma、475~412 Ma、813~663 Ma、3489~1692 Ma几个主要年龄区间亦具一定数量碎屑锆石分布。综合多方面资料, 结合区域地质背景, 初步得出如下结论: 程店湖底扇砂体与北部侯庄三角洲砂体为同物源沉积组合, 源岩主体形成时代为中侏罗世一早白垩, 对应燕山构造阶段, 主体物源岩系为宽坪—陶湾群构造岩相带中南侧发育的燕山期岩浆岩系, 同时, 前晋宁期、晋宁期、加里东期及印支期热事件形成的变质岩系或岩浆岩亦可能具不同程度的贡献。

关键词: 湖底扇; 锆石 U-Pb 年龄; 物源; 南襄盆地; 泌阳凹陷; 沉积作用。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2011)06-1105-14

收稿日期: 2011-01-29

Sub-Lacustrine Fan of Chengdian and Zircon U-Pb Ages and Constraint on Its Provenance in Biyang Depression, Nanxiang Basin, China

ZHANG Jian-guang^{1,2}, YAO Guang-qing^{1,2}, CHEN Ya-bing^{1,2}, FAN Zhong-hai³, LIN She-qing³, YANG Yong-li³

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Research Institute of Exploration and Development of Henan Oilfield, Branch Company of SINOPEC, Nanyang 473132, China

Abstract: Aiming at Chengdian deep water sandstone in Biyang depression of Nanxiang basin, we analyzed the core, the particle size, thin section, heavy minerals testing materials, structure of sandbody and the geophysical response of sedimentary sandbody, and found that the sub-lacustrine fan is an isolated body with fine and coarse lithology which consists of mainly massive lithologic facies with the characteristics of sandy debris flow sediments, but wavy bedding and cross bedding lithologic facies, two lithologic facies have its own particle-size feature, which shows the feature of turbidity current and tractive current. It's controlled by the paroxysmal flood, the revolving tilted effect and a gentle slope, we define it as a flood cause sub-lacustrine fan of composite transportation. In order to trace its provenance using clastic zircons dating analysis of sandstone samples, we selected samples from Chengdian sub-lacustrine and the Houzhuang delta area. The result shows: zircons microarea apparent ages of Chengdian sub-lacustrine and Houzhuang delta mainly similarly distribute between 115 Ma and 166 Ma with single peak and the magmatic zircons occupy the main part, with a few metamorphic zircons. Also, there are some different type zircons dis-

基金项目: 中国石油化工股份有限公司河南油田分公司石油勘探开发研究院课题(No. G0503-09-ZS-093).

作者简介: 张建光(1983-), 男, 博士研究生, 主要从事沉积学及储层地质学方面研究. E-mail: eduzjg@163.com

tributing in the age populations of 247—210 Ma, 475—412 Ma, 813—663 Ma and 3 489—1 692 Ma. In combination with regional geological settings and detritus zircon ages and heavy minerals composition, the authors come to the following preliminary conclusions; the sub-lacustrine sandbody derived from Houzhuang delta and its source rocks formation period is early Cretaceous to middle Jurassic, corresponding to Yanshan tectonic stage. Moreover, the source area is mainly Yanshanian granite in Kuanping-taowan tectonic rock facies belt, including Yanshanian metamorphic rocks and the metamorphic rocks or magmatic rocks of Prejinningian period, Jinningian period, Caledonian period and Indosinian period may offer contributions to different degree.

Key words: sub-lacustrine fan; zircon U-Pb ages; provenance; Nanxiang basin; Biyang depression; sedimentation.

南襄盆地横跨秦岭褶皱带和扬子地台北缘断块带,以丹凤—内乡—桐柏断裂为界,北部基底属秦岭褶皱带,南部基底为扬子地台。泌阳凹陷位于南襄盆地的东北部,是我国东部中生代南断北超的箕状断陷湖盆(李纯菊,1998),深水湖底扇体发育广泛,已有不少学者提出泌阳南部赵凹、安棚、下二门及毕店等地区发育洪水(或滑塌)浊积扇的观点(李纯菊,1998;鲜本忠等,2001;陈亮等,2006;陈萍,2006;温志新等,2006;彭勇民等,2008)。由于其油气勘探潜力及特殊的地震地质特点,已成为科学攻关研究热点。湖底扇概念源自海底扇,针对海底扇沉积模式,其分类、形态结构、沉积过程及成因模式等方面已有丰富研究(Normark,1978;Walker,1978;Abreu *et al.*,2003;Beaubouef,2004;Adeogba *et al.*,2005;Mayall *et al.*,2006;Giresse *et al.*,2009)。1981年,刘孟慧结合我国陆相湖盆特色提出湖底扇,经不断沿革,深水湖底扇沉积体研究经历了一个认识轮回,大部分学者倾向于定义其为重力流沉积体系,认为其为洪水重力流与滑塌重力流2种类型的成因系统(刘孟慧和赵澄林,1981;赵澄林和刘孟慧,1984;吴崇筠,1986;Weimer and Link,1991;Varnai,1998;柳成志等,1999;Bouma and Stone,2000;Elliott,2000;Prins and Postma,2000;刘宪斌等,2003;崔周旗等,2005;蔺连第等,2005)。然而,随深水异地沉积研究深入,深水沉积记录逐渐显现多种流态成因机制(Faugères *et al.*,1993;Marani *et al.*,1993;Howe,1996;Shanmugam,1996;张兴阳等,2001)和复杂沉积演化过程,湖盆中存在的深水牵引流无法强硬解释为浊流,深水沉积流态和沉积模式受到了严重挑战(Curray and Moore,1971;Walker,1992;Shanmugam and Moiola,1995;Shanmugam,1997,2000;邹才能等,2009)。笔者认为湖盆基底差异沉降、湖海沟通通道开启、基底掀斜旋转、湖盆地貌和微地貌变化及深水循环底流等不同尺度的动力过程均可造成牵引流沉积砂体,构造活跃的湖盆沉积区可能由湖水循环底流形

成牵引流型沉积体,湖盆深水沉积体全部解释为重力流成因系统有失妥当,深水系统极其复杂,没有一个模式可能解释复杂深水环境下所有变化,需要结合实际地质特征加强对深水沉积物观察和形成机理进行研究。本文聚焦的程店湖底扇古湖盆具幕式旋转掀斜作用,沉积物显示重力流和牵引流兼具的双重流态,不能笼统地解释为重力流沉积。同时,程店物源区存在北部和东部的争论,亟待重新审视和深入研究其物源—搬运—沉积演化过程。本文拟深入探讨湖底扇沉积期流态特征、宏观结构、成因机制及物源供应,试图为该区复合流态的湖底扇成因及其物源争论问题提供佐证。

1 地质背景

南襄盆地是一个位于中国板块薄弱带上燕山运动晚期发育起来的中、新生代断坳陷型陆相含油气盆地。盆地内部可划分出3个凹陷和4个凸起,即泌阳凹陷、南阳凹陷、襄枣凹陷、新野凸起、师岗凸起、社旗凸起和唐河低凸起。其中,泌阳凹陷位于比较活动的秦岭褶皱带上,秦岭褶皱带内部分4个构造岩相带:自北向南为宽坪—陶湾群构造岩相带、大河群构造岩相带、秦岭群构造岩相带和信阳群构造岩相带,各带均以重要断裂为界(图1)。宽坪—陶湾群构造岩相带以卢氏—确山断裂与华北地台分开,该带主要由太古界的太华群、中元古界的熊耳群、汝阳群及洛峪群的一套变质岩、火成岩及碎屑岩组成,下元古界的宽坪—陶湾群变质岩系和燕山期花岗岩主要分布在该带中南侧。大河群构造岩相带主要分布在栾川—方城—明港断裂与朱阳关—夏馆—大河断裂之间,由下古生界大河群的变细碧角斑岩夹碎屑岩组成,加里东期和海西期的花岗岩分布也比较广泛。秦岭群构造岩相带位于朱阳关—夏馆—大河断裂与商南—镇平—松扒断裂之间,由太古界秦岭群的大理岩、片岩和片麻岩组成。信阳群构造岩相带以丹凤—内乡—桐柏断裂为界与扬子地台为邻,主要由上

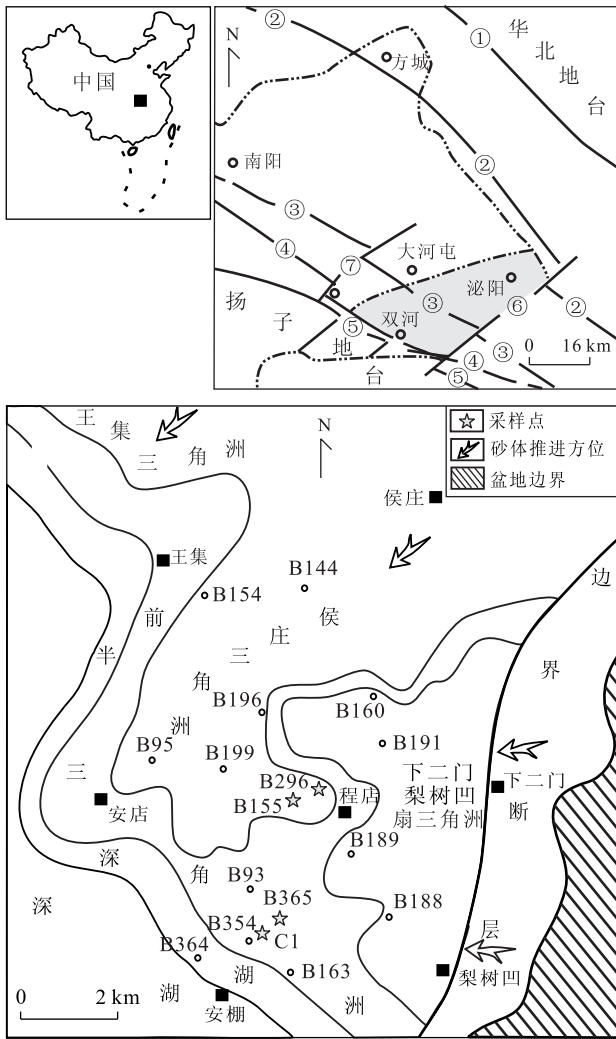


图 1 南襄盆地大地构造位置、基底结构及泌阳凹陷核三上亚段沉积背景

Fig. 1 The location and basement structure of Nanxiang basin and the sedimentary settings of H₃U member of Biyang depression

①卢氏一确山断裂;②栾川一方城一明港断裂;③朱阳关一夏馆一大河断裂;④商南一镇平一松扒断裂;⑤丹凤一内乡一桐柏断裂;⑥下二门断裂;⑦曲洼断裂

古生界信阳群、刘岭群为代表的云母片岩、石英片岩组成(王定一等,1987)。

南襄盆地中泌阳凹陷在平面上呈端部北指的扇形展布,剖面上构成南深北浅的箕状凹陷。自北至南可分为 3 个构造单元,即北部斜坡带、中部深凹带和南部陡坡带,其中北部斜坡带为继承性单斜区,坡度缓,几乎占整个凹陷面积一半以上。核三段沉积期相对近物源的辫状河三角洲分布于凹陷的东北部,主要有侯庄、王集 2 个辫状河三角洲体系,其中沿泌阳凹陷长轴方向展布的侯庄辫状河三角洲规模较大,一直可推进至深湖区,凹陷沉降中心位于东南部边

界断裂交汇处的安棚一程店一带(图 1)。

2 湖底扇沉积体特征

2.1 岩石沉积学特征

2.1.1 沉积构造 碎屑岩沉积构造受沉积环境、运载流体流态因素控制。要解剖其成因过程,需通过沉积体主体岩性的沉积构造及岩性组合关系研究。为深入分析该湖底扇沉积期流态特征,对湖底扇发育区 B365、C1 及 C2 井取心段进行了系统地观察分析。结果显示,该套砂岩垂向上夹持于大段深灰一黑色泥页岩(图 2a、2b)及白云质泥岩中(图 4),暗示深水背景;岩心序列中主要为块状砂岩(中、粗砂岩与细砂岩岩性均可出现),部分粗粒岩性含(泥)砾,略显定向排列。粗砂一粉细砂岩层理类型可出现平行层理(图 2c)、洼状交错层理(图 2d)、波状层理(图 2e 上部)及槽状交错层理,且槽状交错层理砂岩底部出现了明显的冲刷界面(图 2f),反映深水牵引流的存在。因为重力流向牵引流转化过程中形成的粉细砂岩交错、波状交错层理等层理发育的砂岩底部并不具牵引流沉积产物所显示的冲刷界面,同时该区出现流线线模(图 2g),亦暗示牵引流流态。

该区湖底扇主体发育的块状岩相不具正递变粒序段,这说明其与浊流成因机制分异,因为只有正递变粒序段,即鲍马序列 A 段,才是紊流支撑一悬浮搬运机制浊流沉积的表现(Shanmugam and Moiola, 1995; Shanmugam, 1997, 2000; 邹才能等, 2009)。另外,通过岩心观察发现,块状砂岩岩相可根据砂质和泥质在岩相中的分布划分为 3 类:(1)砂质以分散状、夹层块体或条带状形式分布的砂质泥岩一泥岩;(2)泥质以均匀分散、块体及不规则片状形式分布的泥质粉一细砂岩;(3)泥质几乎无显示,主要为砂粒(粗、中、细或粉砂粒)与砂粒(或砾)构成的均一块状砂岩体。

其中,第 1 类由粉砂质泥岩一泥岩构成,泥质含量高,砂粒的大小、分布方式可由岩层记录清晰显示出,多以夹层块体或条带状形式出现(图 2h),表明为含砂泥质碎屑流成因,由于泥质杂基剪含量高,不具储集意义。

第 2 类由泥质粉一细砂岩构成,泥质含量较高,泥质可以以均匀分散、块体及不规则片状形式分布于泥质粉一细砂岩(图 2i),这是由于泥一砂混合碎屑流中泥部分抗剪切强度为砂质部分的 1/6~1/12 (Johnson, 1970),泥质部分易产生塑性变形,泥质可

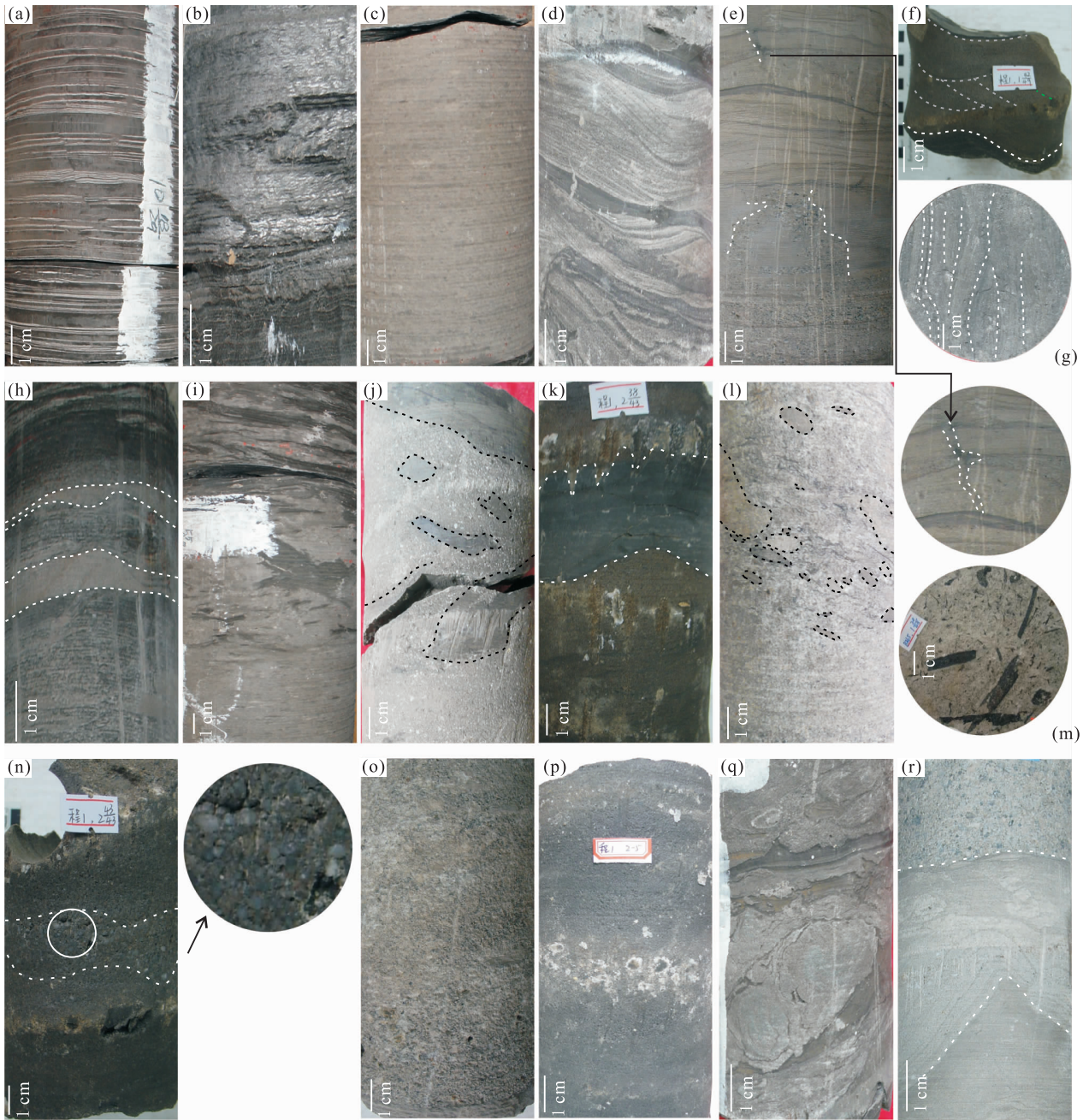


图 2 泌阳凹陷湖底扇沉积体典型沉积构造岩心

Fig. 2 Typical sedimentary structures of the sub-lacustrine fan deposition in Biyang depression

a. 深灰色水平纹理钙片页岩, C2 井, 2 811.08 m; b. 黑色页岩, 深水背景沉积产物, 岩心中也可见白云质泥岩等深湖环境产物, C2 井, 2 780.22 m; c. 灰色平行层理中粗砂岩, C2 井, 2 794.6 m; d. 深棕色含油细砂岩, 洼状交错层理, 暗示了牵引流态, C1 井, 2 760.85 m; e. 灰色粉细砂岩, 上部波状层理, 伴生物遗迹构造, 下部液化脉构造, 暗示了古沉积期液化作用的存在, 岩心序列中偶见, B365 井, 2 716.22 m; f. 褐色含油细砂岩, 小型槽状交错层理, 底部与泥岩冲刷接触, 冲刷与交错层理的结合反映了牵引流的存在, C1 井, 2 764.5 m; g. 砂质泥岩表面线模构造, 水流较强时形成, C1 井, 2 766.2 m; h. 黑色泥岩夹薄层砂, C2 井, 2 749.12 m; i. 下部灰色粉砂岩, 上部各种各样泥碎屑以各种不同的形状分布于砂岩中, 显示泥成塑性态于砂岩, C2 井, 2 789.54 m; j. 上部泥砾呈漂浮状, C1 井, 2 758.8 m; k. 褐色含油细砂岩夹 3~4 cm 黑色泥岩, C1 井, 2 764.05 m; l. 灰白色粗砂岩, 含泥砾屑, 略显定向排列, B365 井, 2 710.90 m; m. 碳化植物碎屑, 赋存于粉—细砂岩, 密集成层分布, 侧面上显现为层理, 系碎屑流悬浮负载沉积产物, B365 井, 2 713.50 m; n. 褐色含油中砂岩过渡到砂砾岩, 中部石英颗粒呈漂浮状, C1 井, 2 768.20 m; o. 块状砂砾岩, 系碎屑流沉积产物, B365 井, 2 713.2 m; p. 褐色含油块状层理细砂岩, C1 井, 2 764.80 m; q. 灰色细砂岩, 包卷变形层理, 记录了沉积时期的液化作用和液化层的侧向流动的沉积过程, 岩心序列中偶见, C1 井, 2 760.52 m; r. 顶部灰白色疏松含砾粗砂岩, 中部冲刷面, 底部液化变形构造, B365 井, 2 717.90 m

以以均匀分散、块体及不规则片状等不同的形式分布(Giresse *et al.*, 2009),为含泥砂质碎屑流成因,由于泥质含量较高,沉积岩体中杂基含量较高,孔隙性差。

第3类主要以块状含砾砂岩—中细砂岩构成,块状粗砂岩顶部层附近有漂浮的泥砾碎屑集中存在(图2j、2k、2l),部分略显定向排列(图2l);同时砂岩中可见漂浮的植物碳屑(图2m)和石英颗粒(图2n),为典型的砂质碎屑流上部层序沉积成因(Shanmugam and Moiola, 1995; Shanmugam, 1997);其下部碎屑流低于上覆水体和上部碎屑抗剪切强度,为层状流动,多沉积块状砂岩(图2o、2p)(Johnson, 1970; Shanmugam, 2000; Marr *et al.*, 2001). 该种砂质碎屑流成因岩相具备较好的孔隙性,砂质碎屑流实验也证明这种流态可形成低泥质含量砂岩(邹才能等, 2009),程店区日产油60 t的B354井产油层段主要发育这种块状砂岩. 常规观念认为碎屑流沉积不能作为储层考虑,需要我们从新的视角来研究分析。

同时岩心序列中偶见粉细砂岩伴生包卷变形层理(图2q、2r)、液化脉构造(图2e),这佐证了古沉积期液化沉积作用的存在. 综上可以看出沉积物具有明显的重力流性质,但也具有某些牵引流的特点,是一种复合式搬运机制条件下的沉积. 为了进一步探究块状砂岩、层理发育砂岩沉积期流态特征,对不同岩石相类型粒度进行化验分析,为其流态机制提供进一步的佐证(见粒度结构特征部分)。

2.1.2 粒度结构特征 针对湖底扇块状砂岩与波状层理、交错层理等层理发育的砂岩进行了粒度分析,在显微镜下测量薄片颗粒直径,并换算成 φ 值,按1/4间隔分组,计算各组内颗粒百分数. 每片统计300~400颗粒,得出粒度数据,其粒度概率曲线可分3种类型,与岩石相类型有密切关系,块状砂岩粒度曲线为一段式曲线,滚动、跳跃、悬浮总体不易划分,该类型反映了高密度碎屑流沉积特征(图3a)。

交错层理发育的砂岩岩相粒度概率曲线主要由2到3折线段组成,部分粗砂岩具弧形过渡(图3b),中细砂岩岩相悬浮、跳跃与滚动组分分异明显,跳跃组分含量高,细截点 φ 值多在3~4,斜率较大(图3c);中粗砂岩细截点 φ 值多在1~2,不同岩相类型细截点差异明显. 由于为薄片粒度数据,部分粗尾组分未进入统计,滚动组分可能要多些,这种分段式概率曲线类型说明搬运过程中出现分异作用,为牵引流流态特点。

另外,以岩性韵律层为单元,进行了C-M图分

析. B365井C-M图形为Q-R形,而C1井显示N-P-Q-R形. B365井投点样品多为不发育层理的块状构造岩相,这使得投点为沿平行C=M线分布的Q-R形,显示悬浮搬运机制;而C1井投点样品中部分段发育交错层理,投点形式为N-P-Q-R形(图3d),反映存在牵引总体,这与粒度概率累积曲线反映一致,显示兼具重力流和牵引流沉积物特点,为复合式搬运机制的响应特征。

同时为进一步探讨层理发育的砂岩流态特征,实验中利用矩法获得了各项粒度参数,通过萨胡判别式得到一系列取样测试点对应的萨胡值(表1). 结果表明,层理发育的砂岩岩相判别值均大于9.84,反映层理发育的砂岩具牵引流流态特点。

2.1.3 砂岩岩屑组分及重矿物组合 为从微观角度分析沉积砂岩组成及母岩构成,对C1、B365井块状砂岩岩相薄片,利用显微镜进行了观察和统计. 结果显示,该湖底扇砂岩主要为长石砂岩、长石岩屑砂岩. 其中石英平均含量30.6%,长石平均含量为62.6%,岩屑平均含量为6.83%. 岩屑以火成岩为主,含少部分变质岩岩屑(图4),反映了母岩构成为火成岩的特征。

同时重矿物组合为母岩成分的重要指示剂. 根据湖底扇砂岩25个重矿物分析数据统计分析,重矿物含量介于1%~3%之间,反映酸性岩浆岩母岩重矿物组合的锆石+榍石+锡石组合占据主体,含量均超过60%,且反映变质岩母岩岩系的石榴石矿物含量均不超过5%(图4),指示该湖底扇物源母岩以岩浆岩为主体。

2.2 测井相及横向响应结构

湖底扇体沿物源方位多成楔状,地震反射特征上内部具前积结构(Vail, 1987). 但此湖底扇体规模小,地震剖面上砂体响应特征不明显,仅地震相呈现出由S型前积至透镜—丘状的特征(图5a),细节特征未能揭示,而钻井资料更能揭示砂体横向结构的变化. 联井剖面对比显示湖底扇区H₃IV₂~H₃III₁层段大段灰黑色泥页岩或白云质泥岩于B163~B354井间部位夹持2期孤立状砂体发育,测井响应显著,呈现正旋回河道测井响应特征,并由SW方位至B163井处已减薄,表明砂体横向延伸距离短;而往NE侯庄三角洲方位演化为反旋回薄层状砂体或尖灭,表明至程店深凹陷区侯庄辫状河三角洲已近三角洲前缘末端或前扇三角洲发育位置(图6)。

2.3 地震响应特征

该区核三段地震资料品质较好、信噪比高、波阻

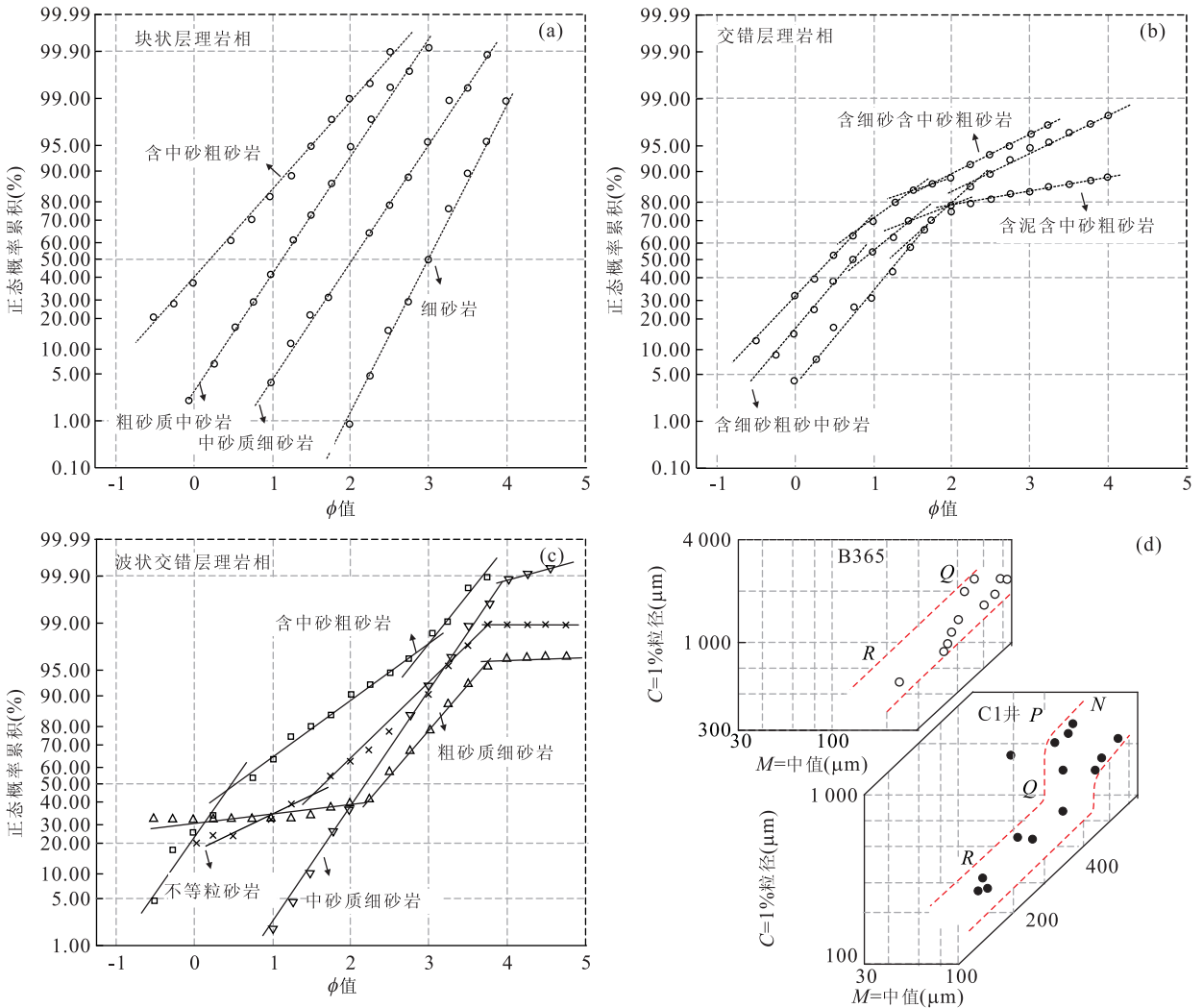


图 3 湖底扇砂岩粒度概率累积曲线与 C-M 图(N、P、Q、R 为粒度段)

Fig. 3 Probability cumulative frequency curve and C-M diagram of the sub-lacustrine fan sandstone

表 1 湖底扇发育地层发育砂岩样品粒度参数

Table 1 Sandstone grain parameters of sub-lacustrine fan deposition

井号	深度(m)	ϕ 平均值	标准偏差	偏度	尖度	萨胡值
B365	2 718.60	0.6	1	0.77	2.99	16.37
B365	2 719.75	-0.16	0.98	0.56	2.12	11.09
B365	2 720.90	0.05	0.89	0.17	1.94	10.09
C1	2 765.97	2.18	0.59	0.06	2.83	16.45
C1	2 767.62	0.72	0.94	0.63	2.92	16.04
C1	2 767.97	1.72	1.97	0.61	4.18	22.21
C1	2 762.42	1.99	0.56	0.32	2.53	14.92
C1	2 763.00	2.81	0.43	-0.19	3.48	20.24
C1	2 764.37	1.49	1.44	2.8	13.98	76.12
C1	2 764.72	1.34	1.57	0.41	4.81	25.71
C1	2 768.77	2.08	2.95	1.39	3.28	16.29

特征清晰,断裂系统不发育,对沉积研究的整体性没有较大破坏,可通过地震属性解释湖底扇砂体展布。

由于地层切片能很容易地拾取振幅型或结构异常型沉积体,且地层切片比时间切片和沿层切片更接近于地质时间界面,能更真实地反映原始沉积面貌(Vail,1988).为刻画湖底扇发育地层沉积体的平面形态,通过地层切片来刻画砂体平面展布,图 5b 是 H₃ III 湖底扇发育期典型地层切片,图中强的负振幅区(红色)代表厚层砂岩,弱的负振幅值区代表薄层砂岩或泥质砂岩,而正的振幅值(黑色)对应的是泥岩层. H₃ III 层段地层切片显示东北部侯庄辫状河三角洲沉积厚层砂体发育,程店深凹陷区发育孤立状砂体,与侯庄三角洲连片厚层砂体具分割状态,显示典型深湖背景下湖底扇体发育结构。

2.4 成因机制

一般认为触发机制、地形坡度和滞水环境是深水湖底扇形成的基本条件,且其物质来源主要有 2 个途径:岸上洪水或沿岸浅水地区沉积物的滑塌再

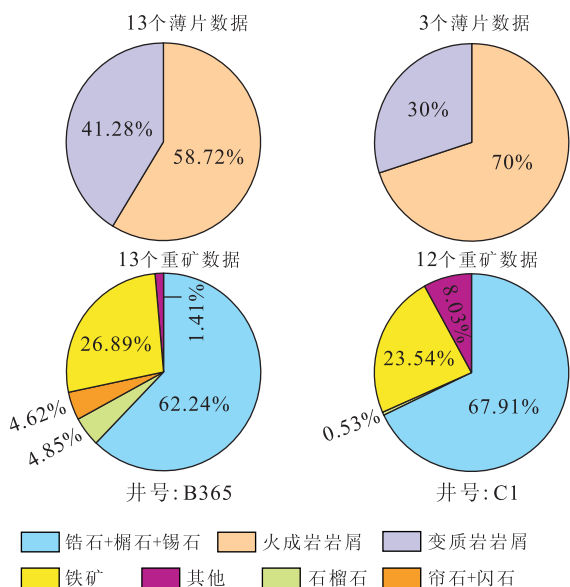


图 4 湖底扇砂岩岩屑成分及重矿物组成

Fig. 4 Detritus and heavy minerals composition of the sub-lacustrine fan sandstone

搬运,海相重力流来源主要是后者,湖相重力流的来源主要是前者(吴崇筠等,1998)。结合湖盆中心区背景、地球物理响应结构、岩心观察分析及粒度微观结构特征分析,将该沉积体系厘定为具明显重力流性质,兼牵引流特点,复合式搬运机制条件下的洪水型湖底扇沉积,依据如下。

(1)泌阳湖盆为一小型山间箕状盆地,南部发育盆缘生长深断裂,北侧为无坡折缓倾斜坡,构造坡折带不发育,面积小,湖盆毗邻高山,阵发性山间河流可携带大量碎屑;同时该区湖底扇发育于湖盆北缘缓倾带,为程店湖底扇提供物源的为东北部侯庄近源辫状河三角洲。三角洲前缘的底形坡度为形成滑塌湖底扇体的关键,如果不具备坡度,即使前缘液化滑塌也只是使得底部砂岩上涌,也不能向前运移而脱离主滑塌沉积体,侯庄辫状河三角洲前缘处于北部无坡折缓倾带,并不具备滑塌发育的基础地形条件。

(2)通过沿物源方位侯庄三角洲—湖底扇区连井剖面发现,继基准面下降期的进积作用之后,Ⅲ2-Ⅳ2小层处于连续上升的基准面旋回期,湖盆连续扩张,洪水作用发育,使得向盆缘方向上可容空间增大。三角洲进积时期发生加积或过路沉积的位置被退积三角洲前缘或三角洲平原分支河道所替代,在湖盆方向上,湖水动力及洪水作用等对基准面下降期的三角洲前缘及三角洲平原沉积物进行侵蚀冲刷,并往深水区运载,这可为深水沉积提供物质来源。

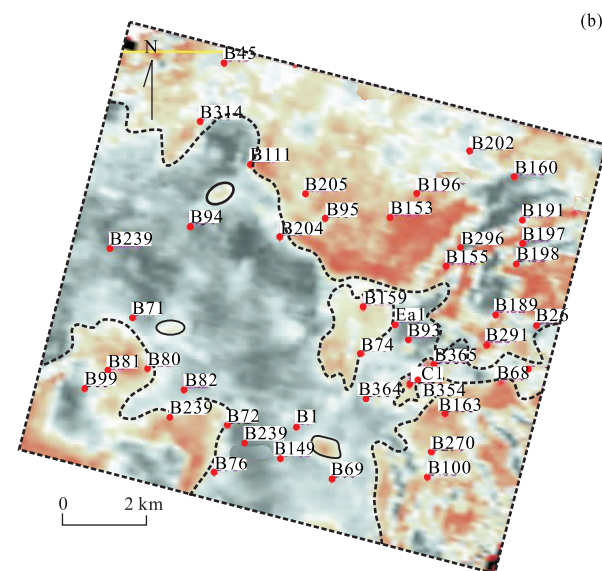
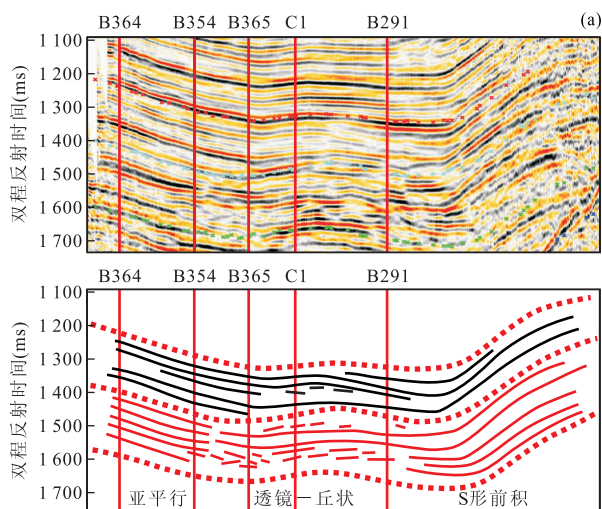


图 5 湖底扇沉积体地震相特征及湖盆中心区地层切片
Fig. 5 Seismic facies of sub-lacustrine fan and stratal slicing from the center of lake basin

(3)岩心观察发现该区无论大规模还是小规模准同生滑塌变形构造都不发育,变形构造局限,偶见几厘米薄层包卷,未出现众多滑塌变形构造。偶见的粉细砂岩中的变形层理是类似于液化流侧向流动造成的,其主体成因与滑塌再搬运沉积产物特征分离,滑塌成因的解释欠缺。

(4)块状砂岩中含粗粒岩性,且岩心中发现大量植物碳屑,如果沉积物是由侯庄辫状河三角洲前缘沉积物滑塌再搬运造成,大量的植物碳屑及粗碎屑的出现与三角洲前缘沉积物性质矛盾显现。实际上,植物碳屑的发育与粗粒岩性沉积组合现象应与高水位期洪水携带三角洲平原沉积物进入湖盆中心的联系更紧密。

可以看出,该区湖底扇沉积体并非三角洲前缘

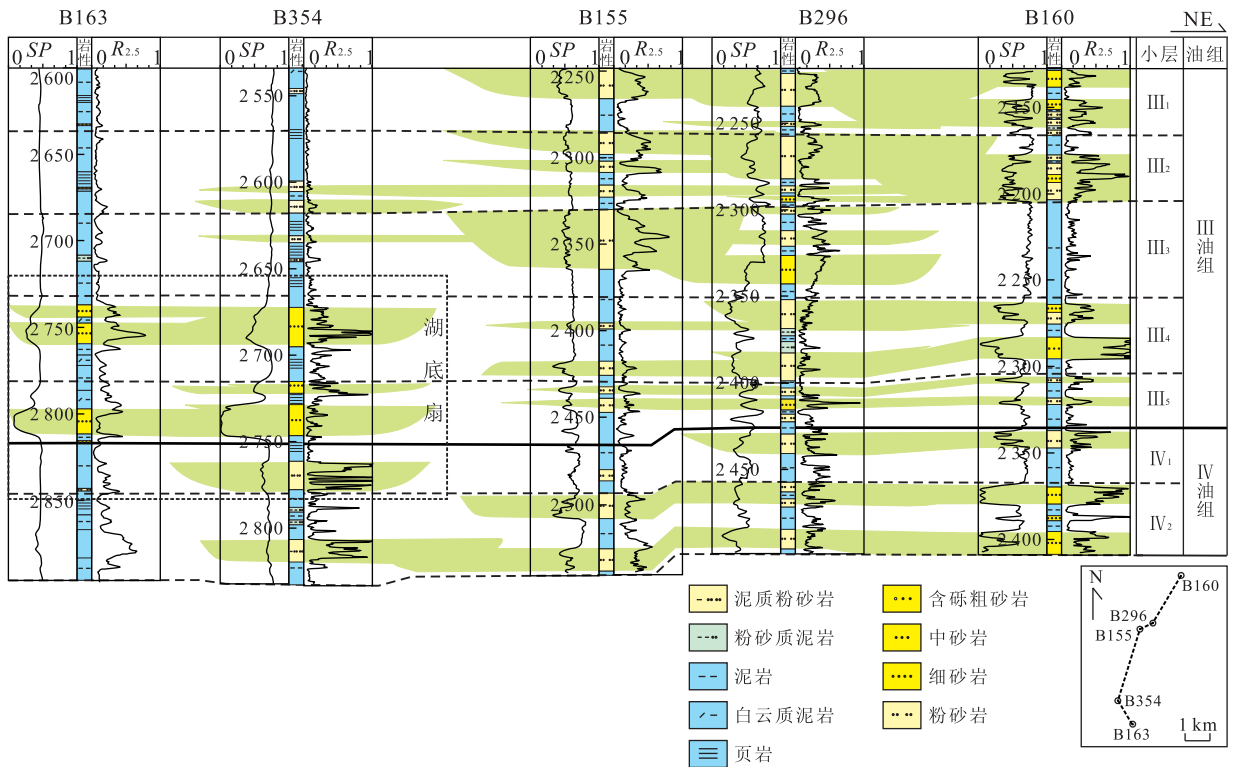


图 6 沿物源方位湖底扇沉积体联井剖面

Fig. 6 Wells profile of the sub-lacustrine fan deposition along the direction of provenance

滑塌再搬运沉积产物,而更类似于与洪水作用携带大量陆源碎屑形成密度流直接进入半深湖—深湖区形成的碎屑岩沉积体特征。洪泛事件造成了泥砂砾以高密度混合流形式迅速沿缓坡带形成深水砂体输送通道,这成为北部缓倾斜坡带深水区砂屑输送的主要机制。

本质上程店深水区的深水输砂机制、砂体复合式特殊搬运流态特征是盆地动力学响应。由于湖盆核三段沉降期边界断层上盘发生幕式旋转掀斜作用,旋转掀斜枢纽点处于北缘缓倾斜坡区,幕式旋转掀斜作用致使湖盆可容空间的变化出现非统一性(Jiang *et al.*, 2005; 姜在兴等, 2008),盆地不同时期和不同部位可容空间的变化性质和变化量上出现差异。离开转换点远离湖盆的北东侧出现负沉降,可容纳空间增加值为负(即减小)。而离开转换点向湖盆一侧出现加速沉降,可容纳空间加速增长,进积时期发生加积或过路沉积的位置被退积三角洲前缘或三角洲平原分支河道所替代,且向湖盆方向,湖水动力及洪水作用等对基准面下降期的三角洲前缘及三角洲平原沉积物进行侵蚀冲刷,将其运载往深水区。

该区湖底扇沉积物呈现复合搬运机制特点,一定程度上显示了幕式旋转掀斜作用导致的盆内流体

运动的响应。幕式旋转掀斜作用使湖盆北缘斜坡区坡角增大,北缘流体向下重力分量增加,盆内南北两侧流体势能分异,湖盆流体平衡态被打破。流体发生再分配,导致由北至南、浅层向深层的活跃流体流,流体受边界的阻挡作用,发生震荡反复运动流体流。湖盆内活跃流体底流与阵发性洪水形成的密度流,这一双重作用成就了重力流—牵引流复合搬运机制下的湖底扇沉积体的沉积序列,成因模式见图 7。

3 沉积体物源追踪

3.1 样品描述与处理

为明确程店湖底扇与侯庄三角洲在物源上的联系,对湖底扇区 C1、B365 井和侯庄三角洲区 B155、B296 井进行采样,具体见表 2。首先粗碎剔出脉体并粉碎,用 200 目细筛分选,经重、磁选后,镜下挑选锆石颗粒。经环氧树脂制靶抛光后,进行反射光、透射光和阴极发光图像分析,选取测点位置,为获得准确年龄信息,尽量避开内部裂隙和包裹体。锆石阴极发光与 U-Pb 同位素分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室分别采用 JXA-8100 电子探针显微分析系统与激光剥蚀—

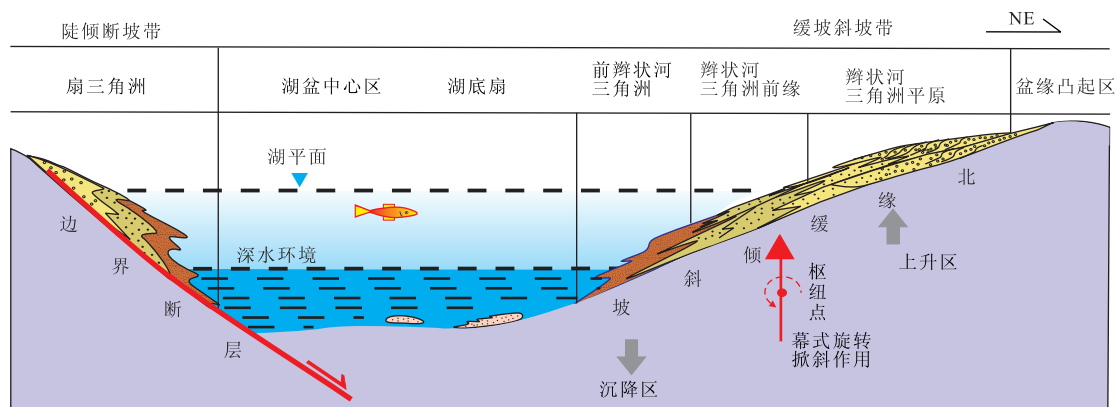


图 7 泌阳凹陷深水背景湖底扇成因模式

Fig. 7 Genetic model of the sub-lacustrine fan in deep water of Biyang depression

表 2 南襄盆地泌阳凹陷取样数据

Table 2 Samples data from Biyang depression of Nanxiang basin

取样区	样品编号	井号	深度(m)	层位	岩性	打点数
湖底扇	BY-1	C1	2763.12	H3IV1	细砂岩	45
	BY-2	C1	2768.77	H3IV1	细砂岩	15
	BY-3	B365	2708.0	H3III5	细砂岩	48
	BY-4	B365	2716.0	H3III5	粗砂岩	20
侯庄三角洲	BY-5	B155	2480.19	H3IV1	粉砂岩	45
	BY-6	B296	2412.76	H3III5	细砂岩	45

电感耦合等离子体质谱仪 (GeoLas2005-Agilent7500a) 分析。激光束斑直径为 32 μm, 以 He 作为剥蚀物质的载气。

样品靶测试前, 先测定 1 个 NIST610 标准样, 2 个 91500 标准样, 2 个 GJ-1 标准样。每 5 个测点测定 2 个 91500、1 个 GJ-1 标准样, 每 15 个测点测定一次 NIST SRM610, 每个样品靶测试完后, 再测定 2 个 91500 标准样、2 个 GJ-1 标准样和 1 个 NIST610 标准样。年龄计算以 91500 作为外标标准物质, 元素含量以 NIST610 为外标、²⁹Si 作内标进行计算。所给定的同位素比值和年龄误差 (标准偏差) 在 1σ 水平, 样品的同位素比值及元素含量计算采用 Glitter 程序完成, 普通 Pb 校正采用 ComPb Con# 3-151 完成, 年龄计算及谐和图绘制采用 Iso-plot 3.0 软件完成, 去掉不谐和度超过 20% 的锆石颗粒分析点来进行碎屑锆石年龄谱分析 (谢静等, 2007)。

3.2 年龄数据结构

根据碎屑锆石表面年龄分布范围, 小于 1 000 Ma 的样品, 一般无 Pb 丢失, 且 Pb 积累较少, 普通 Pb 校正具不确定性, 因而采用更为可靠的

²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄。对大于 1 000 Ma 的样品, 由于含大量放射性成因 Pb, 采用 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄。南襄盆地泌阳凹陷核桃园侯庄三角洲与湖底扇区砂岩样碎屑锆石谐和图及年龄分布见图 8~9, 年龄值分布范围宽 (从 115 ± 2 ~ 3 489 ± 12 Ma), 两区锆石年龄分布具相似性, 均显示单峰特征。

3.2.1 166~115 Ma (中侏罗世至早白垩世) 该年龄段侯庄三角洲与湖底扇区碎屑锆石 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄数据均呈现集中分布的特点 (图 9), ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄分别为 49、84 点, 该年龄段两区样品锆石均显示 2 组类型。第 1 组类型锆石占绝对主体, 分别具 36、64 点, 样品 CL 图像具明显岩浆锆石所特有的规则韵律生长环带, 突出的化学特征是具有较高 Th/U 比值, 介于 0.21~2.94, 分析样品的锆石颗粒 ²⁰⁷Pb/²³⁵U-²⁰⁶Pb/²³⁸U 比值落于或靠近谐和线 (图 8)。该组样品碎屑锆石测点 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄值在误差范围内分布非常集中, 一致性强, 表明它们应属于同一期岩浆事件结晶产物, 不可能为偶然事件, 否则锆石结晶后 Pb 丢失严重或所测数据存在继承性放射性成因 Pb, ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄数据将可能分散 (Sun *et al.*, 2002)。第 2 组类型锆石分别具 13、20 点, 分析样品呈半自形-自形晶形, CL 图像未见环带现象, 部分边部可见薄增生边, 表明为变质成因。

3.2.2 247~210 Ma (三叠纪) 该年龄段两区锆石分析样点较少, 分别为 2、3 点, 但两区样品年龄分布亦具对应性, 两区锆石样品 CL 图像均以半自形-自形为主, 未见生长环带, 具薄增生边, 部分出现明显边部重结晶现象, Th/U 值介于 0.005~0.180, 暗示变质成因。

3.2.3 475~412 Ma (奥陶纪至泥盆纪) 该年龄

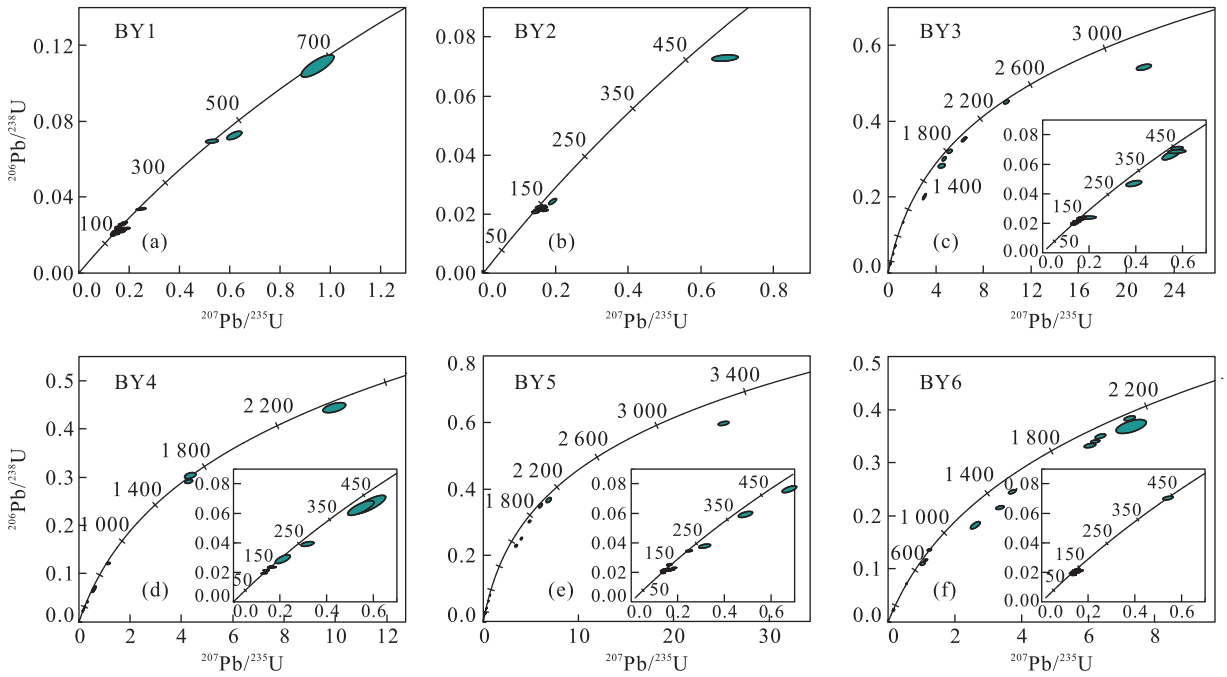


图 8 南襄盆地泌阳凹陷砂岩碎屑锆石的²⁰⁷Pb/²³⁵U-²⁰⁶Pb/²³⁸U 谐和图

Fig. 8 ²⁰⁷Pb/²³⁵U-²⁰⁶Pb/²³⁸U Concordia plots of sandstone detrital zircons of Biyang depression in Nanxiang basin

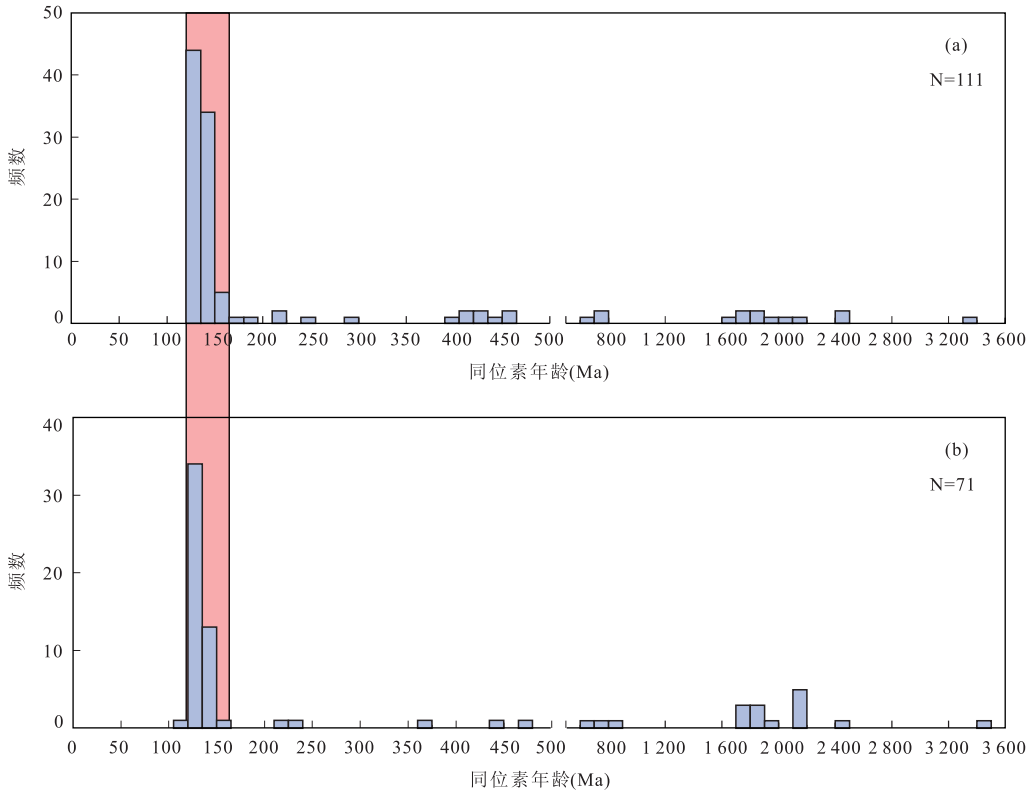


图 9 南襄盆地泌阳凹陷砂岩样品中碎屑锆石年龄分布

Fig. 9 Detrital zircons age distribution of standstones from Biyang depression in Nanxiang basin

段两区样品锆石 CL 图像与年龄结构均显示 2 组类型,第 1 组锆石(6 粒)呈半自形-自形晶形,具有核

边结构,核部具细微振荡生长环带,表明其为岩浆成因;Th/U 比值介于 0.44~1.00,亦证明此点. 位于

谐和线附近的 5 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 416~475 Ma 之间,平均年龄为 441 Ma,可能反映锆石的结晶年龄,对应周边精确岩浆活动事件需更丰富的年龄数据支持.第 2 组锆石(3 粒)呈半自形,不具生长环带,边部显示增生边,Th/U 比值为 0.13~0.35,暗示变质成因.宋子季曾报道宽坪群较多的 589.0~507.3 Ma 和 486.35~387.50 Ma 2 组年龄反映加里东期构造变质热事件(宋子季和周青山,1988),推测其可能为加里东期变质事件的响应.

3.2.4 813~663 Ma(晚元古代) 此组年龄两区均具 3 粒锆石,均落于 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和线或靠近谐和线位置(图 8).Th/U 比值介于 0.71~1.60,测点 CL 图像均显示具核边结构,部分核部显示弱生长环带特征,表明核部岩浆成因.在 1σ 误差范围内,6 个核部测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄可分为 3 组,其加权平均值分别为 666、715、804 Ma,其可能为变质作用扰动前三期岩浆活动的产物,由于年龄数据较分散且数量少,精确限定其年龄地质意义需进一步资料的支持.

3.2.5 3 489~1 692 Ma(太古代至早元古代) 该年龄段两区碎屑锆石样品分别具 11、14 分析点,除 BY3-40 与 BY5-43 锆石测点年龄显示 3 384、3 489 Ma 外,其余 24 点全部集中在古元古代.两区锆石 CL 图像均显示 2 组成因类型,第 1 组锆石呈核边结构,变质增生边与原岩残留锆石间有清晰的接触界限,锆石核部可见振荡环带,核部分析点 Th/U 值介于 0.44~1.33,表明了岩浆成因;第 2 组锆石自形程度低,呈浑圆状,内部结构复杂,具扇形分带、面状分带、斑杂状分带和无分带等类型,Th/U 值介于 0.02~0.20,显示变质成因特征.

3.3 物源分析

本次碎屑锆石 U-Pb 定年结果显示侯庄三角洲与程店湖底扇年龄分布具相似特征,峰期年龄分布区间均为 166~115 Ma,该年龄段碎屑锆石以岩浆锆石为绝对主体,同时在 247~210 Ma、475~412 Ma、813~663 Ma 及 3 489~1 692 Ma 几个主要年龄区间亦具一定数量不同类型碎屑锆石对应分布.与湖盆周边岩系对比发现,南部扬子地台、信阳群构造岩相带,对应的主要为云母片岩、石英片岩等变质岩,与湖底扇区岩浆岩为主的母岩类型不对应;东部物源岩相带为太古代秦岭群的大理岩、片岩和片麻岩及下古生代变质岩,包含加里东期和海西期花岗岩,而湖底扇区锆石年龄以中侏罗—早白垩世为主,东部物源花岗岩与该区 U-Pb 年龄分析结果亦不一

致.湖盆北部宽坪—陶湾群构造岩相带中南侧发育的侏罗纪—早白垩世花岗岩体与该区锆石以岩浆锆石为主、年龄集中在中侏罗—早白垩世的分析结果极其一致,同时湖底扇区砂岩岩屑成分及重矿物组合亦显示火成岩母岩类型,这反映湖底扇母岩与其具备亲缘性关系.

综上所述,程店湖底扇与北部侯庄三角洲砂体为同物源沉积组合,源岩主体形成时代为中侏罗世—早白垩,对应燕山构造阶段.主体物源岩系为宽坪—陶湾群构造岩相带中南侧发育的燕山期岩浆岩系.同时前晋宁期、晋宁期、加里东期及印支—燕山期热事件形成的变质岩系或岩浆岩亦可能有不同程度的贡献.

4 结论

(1)泌阳凹陷程店区核三段 III~IV 油组地层间发育一幕深湖背景的湖底扇,沉积结构分异显著,地球物理响应上呈孤立体.该沉积体系具明显的重力流性质,具牵引流特点,发育受控于阵发性洪水、盆地幕式旋转掀斜作用以及沉积缓倾斜坡因素,为洪水成因复合搬运机制的湖底扇.

(2)通过碎屑锆石定年分析确定了泌阳凹陷侯庄三角洲与程店湖底扇区砂岩碎屑的年代学结构,两区碎屑锆石年龄分布呈现相似特征,碎屑锆石表面年龄主要集中分布在 166~115 Ma,显示单峰特征,该年龄段碎屑锆石以岩浆锆石为主,含少部分变质成因锆石.同时在 247~210 Ma、475~412 Ma、813~663 Ma 及 3 489~1 692 Ma 几个主要年龄区间亦具一定不同成因的碎屑锆石对应分布.

(3)程店湖底扇与侯庄三角洲为同物源沉积组合,两区主体物源均属宽坪—陶湾群构造岩相带中南侧发育的燕山期岩浆岩系,物源主体形成时代为中侏罗—早白垩世,同时前晋宁期、晋宁期、加里东期及印支—燕山期热事件形成的变质岩系或岩浆岩亦可能具不同程度的贡献.

References

- Abreu, V., Sullivan, M., Pirmez, C., et al., 2003. Lateral accretion packages (LAPs): an important reservoir element in deep water sinuous channels. *Marine and Petroleum Geology*, 20(6-8): 631-648. doi:10.1016/j.marpetgeo.2003.08.003
- Adeogba, A. A., McHargue, T. R., Graham, S. A., 2005.

- Transient fan architecture and depositional controls from near-surface 3-D seismic data, Niger Delta continental slope. *AAPG Bulletin*, 89(5): 627–643. doi: 10.1306/11200404025
- Beaubouef, R. T., 2004. Deep-water leveed-channel complexes of the Cerro Toro Formation, Upper Cretaceous, southern Chile. *AAPG Bulletin*, 88(11): 1471–1500. doi: 10.1306/06210403130
- Bouma, A. H., Stone, C. G., 2000. Fine-grained turbidite systems. *AAPG Memoir 72/SEPM Special Publication*, 68: 1–19.
- Chen, L., Wang, H., Han, J. Y., et al., 2006. Sequence stratigraphy and stratum-lithology trap prediction of the Eh3 upper member of Hetaoyuan Formation in south Xia'ermen oilfield, Biyang sag. *Petroleum Exploration and Development*, 33(1): 26–31 (in Chinese with English abstract).
- Chen, P., 2006. Sand reservoir prediction of steep slope zone in Biyang sag. *Petroleum Exploration and Development*, 33(2): 198–200 (in Chinese with English abstract).
- Cui, Z. Q., Li, W. H., Wu, J. P., et al., 2005. The depositional characteristics of conglomerate bodies and exploration in subtle oil pools of sublacustrine fan facies in slope zone, Wuliyasitai sag. *Acta Sedimentologica Sinica*, 23(1): 21–28 (in Chinese with English abstract).
- Curray, J. R., Moore, D. G., 1971. Growth of the Bengal deep-sea fan and denudation in the Hinalayas. *Geological Society of America*, 82(3): 563–572. doi: 10.1130/0016-7606(1971)822.0.CO;2
- Elliott, T., 2000. Megaflute erosion surfaces and the initiation of turbidite channels. *Geology*, 28(2): 119–122. doi: 10.1130/0091-7613(2000)28<119: MESATI>2.0.CO;2
- Faugères, J. C., Mézerais, M. L., Stow, D. A. V., 1993. Contourite drift types and their distribution in the North and South Atlantic Ocean basins. *Sedimentary Geology*, 82(1–4): 189–203. doi: 10.1016/0037-0738(93)90121-K
- Giresse, P., Pauc, H., Déverchère, J., et al., 2009. Sedimentary processes and origin of sediment gravity-flow deposits on the western Algerian margin during Late Pleistocene and Holocene. *Marine and Petroleum Geology*, 26(5): 695–710. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2008.03.011
- Howe, J. A., 1996. Turbidite and contourite sediment waves in the northern Rockall trough, North Atlantic Ocean. *Sedimentology*, 43(2): 219–234. doi: 10.1046/j.1365-3091.1996.d01-1.x
- Jiang, Z. X., Lu, H. B., Yu, W. Q., et al., 2005. Transformation of accommodation space of the Cretaceous Qingshankou Formation, Songliao basin, NE China. *Basin Research*, 17(4): 569–582. doi: 10.1111/j.1365-2117.2005.00275.x
- Jiang, Z. X., Zhang, L., Lin, W., et al., 2008. Research on the accommodation space transformation system in the E₃ member of the Gu'nan sag. *Earth Science Frontiers*, 15(2): 26–34 (in Chinese with English abstract).
- Johnson, A. M., 1970. Physical processes in geology. Cooper Company, San Francisco.
- Li, C. J., 1998. Flooding turbidity current deposit in faulted subsidence lake basin of Biyang. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Lin, L. D., Lang, Y., Jin, H., et al., 2005. Early Cretaceous sublacustrine fan in Wuliyasitai sag, Erlian basin. *Petroleum Exploration and Development*, 32(3): 27–32 (in Chinese with English abstract).
- Liu, C. Z., Huo, G. J., Zhang, D. L., 1999. Fan delta-sublacustrine fan sedimentary models of S3 Members in Lengjia oilfield in Liaohe basin. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 23(1): 1–5 (in Chinese with English abstract).
- Liu, M. H., Zhao, C. L., 1981. Sedimentary features of the sublake fan of Eocene system in Bohai bay. *Journal of Huadong Petroleum Institute*, (3): 223–235 (in Chinese with English abstract).
- Liu, X. B., Wan, X. Q., Lin, J. C., 2003. Continental turbidite deposition system and hydrocarbon. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(1): 61–66 (in Chinese with English abstract).
- Marani, M., Argani, A., Roveri, M., et al., 1993. Sediment drifts and erosional surfaces in the central Mediterranean; seismic evidence of bottom-current activity. *Sedimentary Geology*, 82(1–4): 207–220. doi: 10.1016/0037-0738(93)90122-L
- Marr, J. G., Harff, P. A., Shanmugam, G., et al., 2001. Experiments on subaqueous sandy gravity flows; the role of clay and water content in flow dynamics and depositional structures. *Geological Society of America Bulletin*, 113(11): 1377–1386. doi: 10.1130/0016-7606(2001)113<1377:EOSSGF>2.0.CO;2
- Mayall, M., Jones, E., Casey, M., 2006. Turbidite channel reservoirs—key elements in facies prediction and effective development. *Marine and Petroleum Geology*, 23(8): 821–841. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2006.08.001
- Normark, W. R., 1978. Fan valleys, channel, and depositional

- lobes on modern submarine fans; characters for recognition of sandy turbidite environments. *AAPG Bulletin*, 62(6):912—931.
- Peng, Y. M., Huang, H. D., Luo, Q., 2008. Sublacustrine fans and sedimentary gravity flows within the 3rd Member of Hetaoyuan Formation in Bidian area of Biyang sag. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 27(1):32—38 (in Chinese with English abstract).
- Prins, M. A., Postma, G., 2000. Effects of climate, sea level, and tectonics unraveled for last deglaciation turbidite records of the Arabian Sea. *Geology*, 28(4):375—378. doi:10.1130/0091-7613(2000)28<375:EOCSLA>2.0.CO;2
- Shanmugam, G., 1996. High-density turbidity currents: are they sandy debris flows? *Journal of Sedimentary Research*, 66(1):2—10.
- Shanmugam, G., 1997. The Bouma sequence and the turbidite mind set. *Earth Science Reviews*, 42(4):201—229. doi:10.1016/S0012-8252(97)81858-2
- Shanmugam, G., 2000. 50 years of the turbidite paradigm (1950s—1990s): deep-water processes and facies models—a critical perspective. *Marine and Petroleum Geology*, 17(2):285—342. doi:10.1016/S0264-8172(99)00011-2
- Shanmugam, G., Moiola, R. J., 1995. Reinterpretation of depositional processes in a classic flysch sequence (Pennsylvanian Jackfork Group), Ouachita Mountains, Arkansas and Oklahoma. *AAPG Bulletin*, 79(5):672—695.
- Song, Z. J., Zhou, Q. S., 1988. The characteristics of regional metamorphism of the Kuanping group. *Geology of Shanxi*, 6(2):21—32 (in Chinese with English abstract).
- Sun, W. D., Williams, I. S., Li, S. G., 2002. Carboniferous and Triassic eclogites in the western Dabie Mountains, East-Central China: evidence for protracted convergence of the North and South China blocks. *Journal of Metamorphic Geology*, 20(9):873—886. doi:10.1046/j.1525-1314.2002.00418.x
- Vail, P. R., 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. In: Bally, A. W., ed., Atlas of seismic stratigraphy. *AAPG Studies in Geology*, 27:1—10.
- Vail, P. R., 1988. Seismic stratigraphy interpretation procedure. *AAPG Studies in Geology*, 27:1—10.
- Varnai, P., 1998. Three-dimensional seismic stratigraphic expression of Pliocene-Pleistocene turbidite systems, northern Green Canyon (offshore Louisiana), northern Gulf of Mexico. *AAPG Bulletin*, 82(5B):986—1012.
- Walker, R. G., 1978. Deep-water sandstone facies and ancient sub-marine fans; models for exploration for stratigraphic traps. *AAPG Bulletin*, 62(6):932—966.
- Walker, R. G., 1992. Turbidites and submarine fans. Geological Association of Canada, Canada.
- Wang, D. Y., Che, Z. C., Zhang, S. T., et al., 1987. Characteristics of tectonic evolution and formation mechanism in the Nanxiang basin. *Oil And Gas Geology*, 8(4):363—372 (in Chinese with English abstract).
- Weimer, P., Link, M. H., 1991. Seismic facies and sedimentary processes of submarine fans and turbidite systems. Springer-Verlag, New York.
- Wen, Z. X., Wang, H. M., Chen, C. Q., et al., 2006. Formation and distribution of subtle reservoirs in the southern steep slope zone in the Biyang sag of the Nanxiang basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 28(2):117—122 (in Chinese with English abstract).
- Wu, C. J., 1986. Sandbodies in lake basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 4(4):1—27 (in Chinese with English abstract).
- Wu, C. J., Li, C. J., Liu, G. H., et al., 1998. Turbidite in faulted subsidence-lake basin. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Xian, B. Z., Jiang, Z. X., Cao, Y. C., et al., 2001. Discovery of incised valley in southeast of Biyang depression and its significance. *Oil & Gas Geology*, 22(4):304—308, 318 (in Chinese with English abstract).
- Xie, J., Wu, F. Y., Ding, Z. L., 2007. Detrital zircon composition of U-Pb ages and Hf isotope of the Hunshandake sandland and implications for its provenance. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2):523—528 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. Y., Luo, S. S., He, Y. B., 2001. Deposit assemblage of gravity flow and traction current in deep water: a study of the multiple interpretation of the Bouma Sequence. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 23(1):1—4 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, C. L., Liu, M. H., 1984. Facies model of the sublake fan and its application to oil and gas exploration. *Journal of Huadong Petroleum Institute*, (4):323—334 (in Chinese with English abstract).
- Zou, C. N., Zhao, Z. Z., Yang, H., et al., 2009. Genetic mechanism and distribution of sandy debris flows in Terrestrial Lacustrine basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(6):1065—1075 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈亮,王华,韩晋阳,等,2006.泌阳凹陷下二门地区南部核三上亚段层序地层特征及地层—岩性圈闭预测.石油勘探与开发,33(1):26—31.
- 陈萍,2006.泌阳凹陷陡坡带砂砾岩体预测.石油勘探与开发,33(2):198—200.
- 崔周旗,李文厚,吴健平,等,2005.乌里雅斯太凹陷斜坡带湖底扇相砾岩体沉积特征与隐蔽油藏勘探.沉积学报,23(1):21—28.
- 姜在兴,张乐,吝文,等,2008.孤南洼陷古近系沙三段中亚段可容空间转换系统研究.地学前缘,15(2):26—34.
- 李纯菊,1998.泌阳断陷湖盆中的洪水浊流沉积.碎屑岩沉积相研究.北京:石油工业出版社.
- 蔺连第,朗艳,金蕙,等,2005.二连盆地乌里雅斯太凹陷早白垩世湖底扇.石油勘探与开发,32(3):27—32.
- 柳成志,霍广君,张冬玲,1999.辽河盆地西部凹陷冷加油田沙三段扇三角洲—湖底扇沉积模式.大庆石油学院学报,23(1):1—5.
- 刘孟慧,赵澄林,1981.渤海湾地区下第三系湖底扇的沉积特征.华东石油学院学报,(3):223—235.
- 刘宪斌,万晓樵,林金逞,等,2003.陆相浊流沉积体系与油气.地球学报,24(1):61—66.
- 彭勇民,黄捍东,罗群,等,2008.泌阳凹陷毕店地区核三段湖底扇与重力流沉积.岩石矿物学杂志,27(1):32—38.
- 宋子季,周青山,1988.宽坪群区域变质作用特征.陕西地质,6(2):21—32.
- 王定一,车自成,张树田,等,1987.南襄盆地构造发育特征及形成机制.石油与天然气地质,8(4):363—372.
- 温志新,王红漫,陈春强,等,2006.南襄盆地泌阳凹陷南部陡坡带隐蔽油气藏形成与分布.石油实验地质,28(2):117—122.
- 吴崇筠,1986.湖盆砂体类型.沉积学报,4(4):1—27.
- 吴崇筠,李纯菊,刘国华,等,1998.断陷湖盆中的浊积岩.碎屑岩沉积相研究.北京:石油工业出版社.
- 鲜本忠,姜在兴,操应长,等,2001.泌阳凹陷东南部下切谷的发现及其意义.石油与天然气地质,22(4):304—308,318.
- 谢静,吴福元,丁仲礼,2007.浑善达克沙地的碎屑锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成及其源区意义.岩石学报,23(2):523—528.
- 张兴阳,罗顺社,何幼斌,2001.沉积物重力流—深水牵引流沉积组合——鲍玛序列多解性探讨.江汉石油学院学报,23(1):1—4.
- 赵澄林,刘孟慧,1984.湖底扇相模式及其在油气预测中的应用.华东石油学院学报,(4):323—334.
- 邹才能,赵政璋,杨华,等,2009.陆相湖盆深水砂质碎屑流成因机制与分布特征——以鄂尔多斯盆地为例.沉积学报,27(6):1065—1075.