

鄂尔多斯盆地子长油田杨家园则探区长 6 物源分析

赵俊英¹ 罗静兰¹ 雷晓岚² 郭德运² 王永东³ 樊万红³ 夏惠萍⁴

(1.大陆动力学国家重点实验室(西北大学),陕西 西安 710069; 2.延长油矿管理局,陕西 永坪 717208;
3.延长油矿管理局子长油田,陕西 子长 717208;4.新疆石油管理局 地球物理勘探研究所,新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:通过对鄂尔多斯盆地东北部子长油田杨家园则探区长 6 砂岩的骨架矿物、重矿物、阴极发光、泥岩的稀土元素特征等的研究,并结合盆地东北缘典型露头剖面的古水流方向实测,分析了长 6 沉积期的古水流与主要物源方向,探讨了源区母岩性质。结果表明,研究区长 6 沉积期的古水流与主要物源方向来自北东方向。源区母岩以变质岩为主,其次少量火成岩。该研究结果对鄂尔多斯盆地东北部延长组砂体时空展布分析、有利油气聚集区带预测以及对研究区下一步的油气勘探部署都具有重要的理论意义和实际参考价值。

关键词:古水流与物源方向;源区母岩性质;杨家园则探区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:P588.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)03-0422-08

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组属于低孔、低渗油层^①。近年来,对延长油矿各含油区块内的延长组进行了多方面的科研协作研究和滚动式勘探和开发,取得了令人瞩目的油气勘探成果。研究区杨家园则探区隶属于延长油矿子长油田,2002 年完钻的两口探井在长 6 地层中发现了较好的油气显示。2003—2004 年完钻探井 16 口,在长 6、长 4+5 地层均见到油气显示。由于该区为一新的勘探开发区,目前的研究程度总体较低。长 6 沉积相与物源方向、砂体的空间展布等问题不甚清楚,从而制约了该区油气勘探与开发的进程。针对杨家园则探区东部钻井较少的实际情况,笔者对研究区外围的典型延长组露头剖面进行了地质调研和古水流方向测定,在此基础上,室内利用砂岩薄片显微镜下骨架矿物鉴定与定量统计、重矿物分析、阴极发光测定、泥岩的稀土元素等分析测试手段,分析了杨家园则探区长 6 沉积期的物源方向,旨在为研究区长 6 砂体展布与有利油气聚集地带的预测及下一步的油气勘探部署提供理论依据。

1 地质概况

杨家园则探区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡的东部(图

1),地层倾角只有 0.5°,区内断裂极少,仅发育一些小型鼻状构造^②。主力油层为中生界上三叠统延长组长 6 油层组,单层厚度较小,油层较稳定,储集层物性相对较差(平均孔隙度与渗透率分别为 7.2%和 $0.71 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),属于低孔、低渗—特低渗的岩性圈闭油气藏。该圈闭的形成主要取决于沉积相带与砂体展布、上倾方向岩性的遮挡条件及下倾方向低幅度的鼻状构造。前期研究表明^③,杨家园则探区长 6 油层组为三角洲平原亚相沉积,砂岩主要为浅灰色细砂岩,其次为中细砂岩、粉细砂岩和粉砂岩,可见槽状交错层理、板状交错层理、楔形交错层理和少量平行层理。深灰色—灰黑色泥岩、深灰色粉砂质泥岩及黑色炭质泥岩常与砂岩、粉砂岩成互层状产出或以厚层、块状产出。平面上,长 6 砂体呈 3 个北东—南西方向展布的高砂/地比值带(砂/地比 >0.6)与 3 个低砂/地比值带(砂/地比 <0.6)相间分布。该高砂/地比值带即为三角洲平原亚相的 3 个分流河道,低砂/地比值带为三角洲平原亚相的 3 个分流河道间。

2 样品及分析方法

本研究对鄂尔多斯盆地东北缘延长组(子洲大理河剖

收稿日期:2007-05-22;改回日期:2007-05-28

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB214603)、教育部长江学者和创新团队发展计划项目(IR T0559)资助。

作者简介:赵俊英,女,1982 年生,硕士生,从事储层地质学研究;E-mail:zjy200521346@126.com。

①张成立,等.子长油田(杨家园则区块)综合地质研究.西北大学/延长油矿管理局,2006。

面、绥德准宁河剖面、延长县延河剖面)3 条露头剖面(图 1)的长 6 地层进行了包括相标志提取、岩石相、沉积序列等研究及古水流方向测量。古水流方向主要测量砂岩的各种交错层理的前积层及其所在地层的产状。共测得古流向点 7 处,获得 151 个古流向数据。利用 PC99 古流向数据分析软件,将实测古流向数据输入,以 10°为间隔自动生成古流向玫瑰图。

对研究区 13 口钻井、70 块长 6 砂岩样品和盆地东北缘剖面 13 个长 6 砂岩样品的铸体薄片进行了偏光显微镜下鉴定及碎屑矿物定量统计。对采自盆地东北缘剖面 9 个样品、杨家园则探区 16 个长 6 砂岩样品的重矿物和 14 个砂岩阴极发光样品在长庆油田勘探开发研究院中心实验室进行了分析测定。重矿物分析方法是称取样品 20 g,粗粉碎后用 10%的盐酸溶液浸泡 24 h 后再煮 10~15 min,用蒸馏水冲洗干净并烘干,然后粉碎为原样品颗粒大小(如细砂岩即磨成细砂级粒度),再用重液进行分离。将分离后的样品用 α -溴代钠粘在薄片上,晾干后在双筒实体显微镜下鉴定。阴极发光分析是将砂岩磨制成厚约 30 μ m 的两面抛光薄片,用环氧树脂粘在标准载玻片上,利用中国科学院仪器厂生产的 YF-2 型阴极发光仪照射薄片(束电压 12~18 kV,束电流 400~600 μ A),配有 Olympus BH-2 型发光显微镜及自动照相系

统进行鉴定。

3 结果与讨论

3.1 野外古流向及其变化规律

古流向是判断沉积物搬运方向的常用方法,通过古流向参数可以确定物源方向,并进一步推断盆地的构造演化^[4]。野外露头剖面古流向实测结果表明:

子洲大理河剖面长 6 古水流型式主要为双峰型式,少量为多峰型式。古流向主要以 SW190~259°方向为主(占 40%),NW280~349°方向次之(占 30%)(图 2)。

绥德准宁河剖面长 6 古水流型式主要为双峰型式和单峰型式,次为多峰型式。主要的古水流方向为 SW190~259°方向(占 40%);其次 NW280~349°(占 30%)和近正 W260~279°方向(占 15%)(图 2)。

延长县延河剖面长 6 古水流型式为单峰型式。古流向主要为 NW280~349°方向(占 63%),少量正 N350~9°方向(占 21%)和 SW 向 190~259°(占 4%)(图 2)。

由于杨家园则探区紧邻子洲大理河剖面和绥德准宁河剖面,因此,该二剖面的长 6 沉积期由北东→南西方向的古水流方向则代表了研究区长 6 沉积期的主要物源方向。

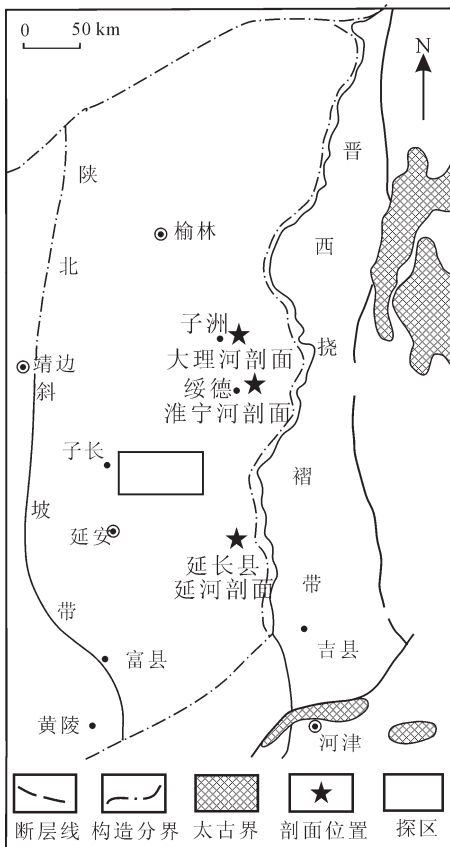


图 1 研究区与野外露头剖面构造位置图
Fig.1 Schematic map showing the locations of the study area and the section of outcrops

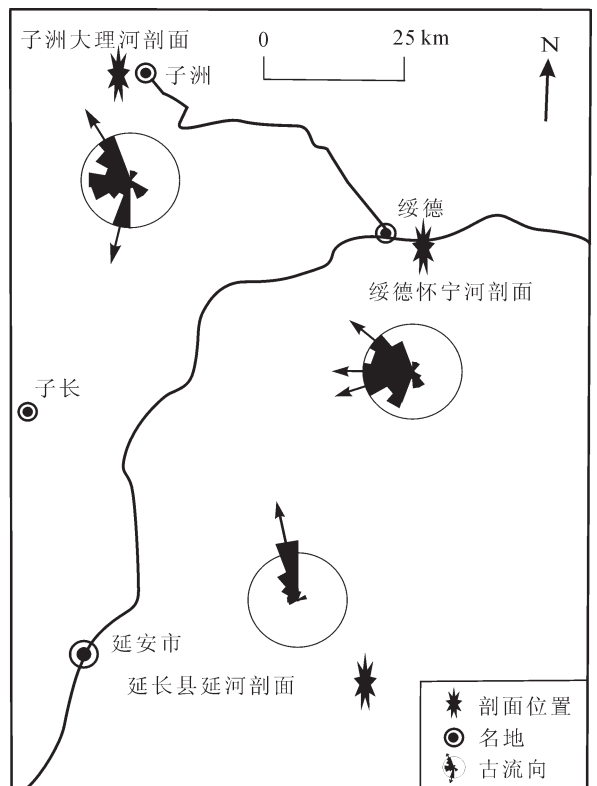


图 2 盆地东北缘长 6 古水流方向示意图
Fig.2 Schematic map showing the direction of paleocurrents of the Sixth Member of the Yanchang Formation from outcrops on the northeastern margin of the Ordos basin

3.2 砂岩的骨架矿物组成及其特征

砂岩是陆源碎屑岩的主要岩石类型,其碎屑物质主要来源于母岩机械破碎的产物,是反映物质来源的重要标志^①。对该区长6砂岩铸体薄片的显微镜下观察和定量统计结果显示,杨家园则探区长6砂岩的岩石类型为长石砂岩(图3)。砂岩的碎屑成分主要为长石(平均含量53.9%),其次是石英(平均含量22.7%)和少量岩屑(平均含量9%)。长石主要为碱性长石,其中以正长石为主,少量条纹长石和酸性斜长石。岩屑以变质千枚岩和硅质岩为主(平均含量5.6%),其次为沉积泥岩(平均含量2.9%),岩浆岩主要为侵入花岗岩,含量极少(平均含量0.5%)。砂岩主要以细砂岩为主,含量为84.5%,中砂岩含量约为9.5%,少量粉细砂岩及粉砂岩约占砂岩总量的6.0%。

盆地东北缘剖面长6砂岩主要为长石砂岩(图3),长石平均含量较高为57.5%、石英平均含量为21.9%、岩屑含量较低,平均为10.2%。长石主要为碱性长石(以正长石为主,有少量条纹长石)和酸性斜长石。岩屑以变质岩(平均5.6%,主要为千枚岩、片岩和硅质岩)和沉积岩(平均3.8%,主要为泥岩和泥质粉砂岩)为主,岩浆岩含量较少(平均0.8%,主要为花岗岩)。

盆地东北缘剖面长6砂岩与杨家园则探区长6砂岩的骨架颗粒成分、含量及其特征,特别是岩屑种类十分相似。因此,推测二者具有共同的母岩源区。杨家园则探区长6砂岩中的岩屑含量略低于、石英含量略高于盆地东北缘剖面,可能指示了由盆地东北缘至研究区砂岩经历了一定距离的搬运^②。

3.3 砂岩的重矿物组合及其分布规律

砂岩中重矿物的物性如颜色、形态、粒度、硬度、稳定性等能够较多地保留其母岩的特征,利用其光学特征、耐磨蚀性、稳定性强等特点及其组合关系与分布特征可作为物源区分析的重要依据^③。

砂岩的重矿物组合特征测定结果(表1)表明,盆地东北缘3个剖面长6砂岩以淡红色石榴石为主,含量为23%~49%,无色石榴石含量16%~20%、楣石含量11%~16%、绿帘石含量8%~12%、锆石5%~7%,另外还有微量白钛矿和磁铁矿。

杨家园则探区长6砂岩地层以淡红色石榴石为主,平均含量为48%,少量无色石榴石平均含量为21%左右、楣石含量为9%、绿帘石含量为9%、锆石为10%。与盆地东北缘野外露头剖面长6砂岩中的重矿物具有较强的一致性,说明长6沉积期物源主要来自盆地东北部。相比而言,研究区砂岩中的较稳定重矿物锆石含量稍高,这一事实说明,与盆地东北缘剖面相比,杨家园则探区离物源区稍远^④。

根据重矿物分析结果所作的长6重矿物饼状平面分布图显示^⑤,不稳定重矿物中淡红色石榴石由北向南西方向逐渐

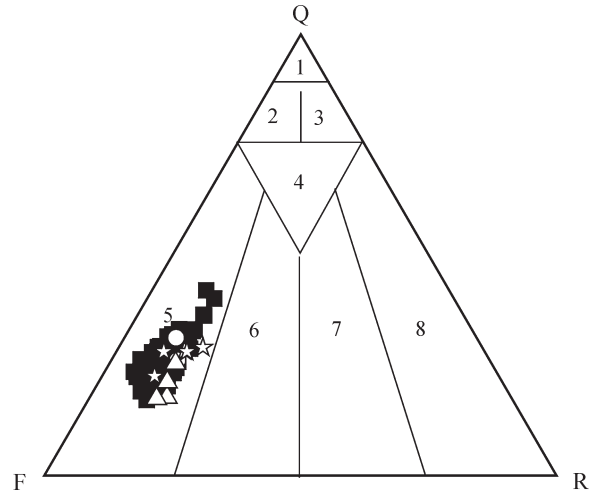


图3 盆地东北缘剖面和研究区长6砂岩类型图
1—石英砂岩;2—长石质石英砂岩;3—岩屑质石英砂岩;
4—长石岩屑质石英砂岩;5—长石砂岩;6—岩屑质长石砂岩;
7—长石质岩屑砂岩;8—岩屑砂岩
■—杨家园则探区;○—子洲大理河剖面;△—绥德淮
宁河剖面;☆—延长县延河剖面

Fig 3 Types of sandstone in the Sixth Member of the Yanchang Formation in the study area and the section on the northeastern margin of the Ordos basin
1—Quartzose sandstone;2—Arkosic sandstone;3—Sublitharenite;
4—Lithic subarkose;5—Arkose;6—Lithic arkose;7—Feldspathic litharenite;8—Litharenite
■—Yangjiayuanze prospect area;○—Dalihe section in Zizhou;
△—Huaininghe section in Suide;☆—Yanhe section in Yanchang

表1 鄂尔多斯盆地东北缘延长组长6砂岩重矿物测定结果(%)

Table 1 Quantitative statistics of heavy minerals in sandstones of the Sixth Member of the Yanchang Formation on the northeastern margin of the Ordos basin

各地区剖面	样品数	淡红色石榴石	无色石榴石	锆石	绿帘石	楣石	白钛矿	磁铁矿
子洲大理河剖面	1	23	20	5	8	13		31
绥德淮宁河剖面	4	41~55/49	15~16/16	6~7/7	6~16/12	12~16/11	0~1/1	0~1/1
延长延河剖面	4	39~49/46	15~25/19	5~7/6	11~13/12	14~17/16		1~1/1
杨家园则探区	16	10~53/48	13~33/21	5~13/10	6~16/9	4~14/9	0~5/2	0~1/1

注:41~55/49:分布范围及平均值。

①张成立,等.子长油田(杨家园则区块)综合地质研究图册.西北大学/延长油矿管理局,2006.

减少,无色石榴石在南部稍有增加的趋势;稳定重矿物锆石则由北向南西方向逐增加;绿帘石在东北部含量稍高于西南部,其他重矿物榍石、白钛矿与磁铁矿无明显分布规律。

故可认为,研究区长 6 地层沉积期间,物源主要来自东北方向。

3.4 阴极发光及物源特征

对岩石中主要造岩矿物发光性的研究不仅有助于判别沉积环境和岩石的成因,而且可用来查明物源区的母岩类型^[4]。砂岩碎屑岩中石英、长石常随源区母岩性质变化而具有不同的发光特征,依此可判别它们的成因类型。

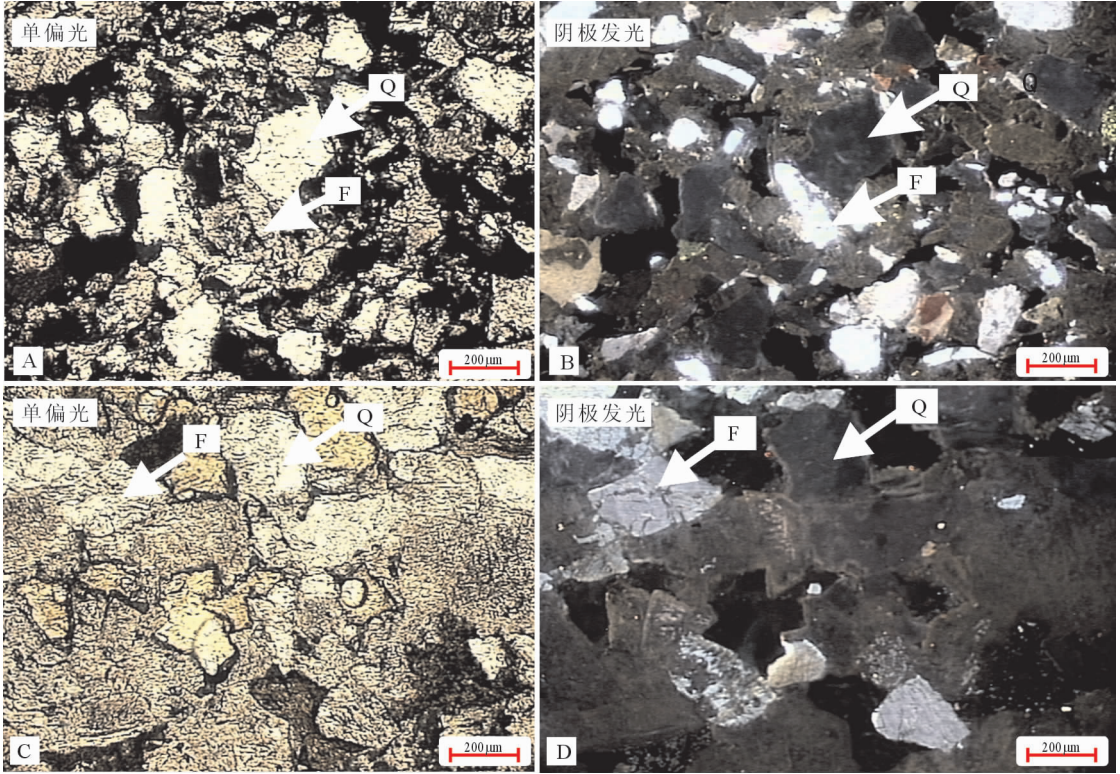


图 4 石英、长石的显微镜下及阴极发光特征
A,B—长 6 砂岩中石英与长石特征,Z139-9 井,671.5m;C,D—长 6 砂岩中石英与长石特征,绥德准宁河剖面;F—长石;Q—石英

Fig.4 Microscopic and cathodoluminescence features of quartz and feldspars in sandstone in the Sixth Member of the Yanchang Formation in the study area

A, B—Features of quartz and feldspars, under the plane-polarized light (A) and cathodoluminescence light (B); well Z139-9, 671.5 m; C, D—Features of quartz and feldspars under the plane-polarized light (C) and cathodoluminescence light (D) Huaininghe section, Suide; F—feldspar; Q—quartz

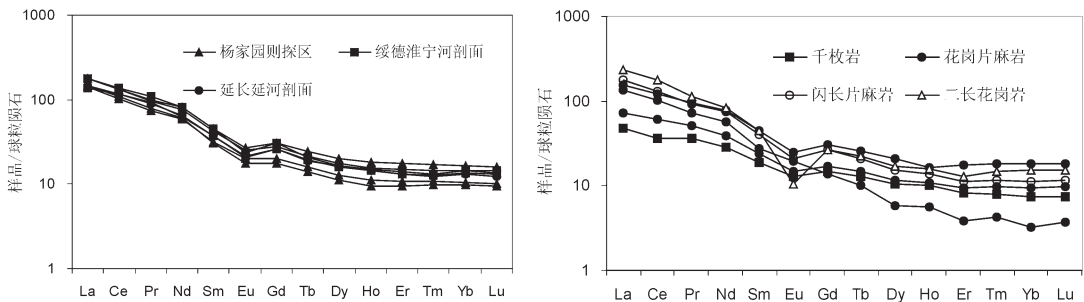


图 5 研究区长 6 泥岩和盆地东北缘源区太古代岩石的 REE 分配模式

Fig.5 REE distribution patterns for mudstone in the Sixth Member of the Yanchang Formation in the study area and Archean igneous and metamorphic rocks in the provenance on the northeastern margin of the Ordos basin

表 2 鄂尔多斯盆地东北缘和杨家园则探区岩石中稀土元素成分 (10⁻⁶)
 Table 2 REE composition (10⁻⁶) of rocks in the study area and the Archean basement of the provenance on the northeastern margin of the Ordos basin

采样区	杨家园则探区				淮宁河剖面		延河剖面		阴山、吕梁山地区						
	长6	长6	长6	长6	长6	长6	长6	泥岩	泥岩	千枚岩	花崗片麻岩	闪长片麻岩	花崗片麻岩	花崗片麻岩	二长花崗岩
层位	长6	长6	长6	长6	长6	长6	长6	泥岩	泥岩	泥岩	花崗片麻岩	闪长片麻岩	花崗片麻岩	花崗片麻岩	二长花崗岩
岩石类型	泥岩	泥岩	泥岩	泥岩	泥岩	泥岩	泥岩	泥岩	泥岩	泥岩	花崗片麻岩	闪长片麻岩	花崗片麻岩	花崗片麻岩	二长花崗岩
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
样品号	Z139-A	Z139-E	Z163-E	6204-C	HN-A	HN-D	YH-E	W2	W6	H3	L1	M1	WD2		
La	54.9	44.6	45.7	54.5	42.9	55.6	45.6	14.80	41.96	55.70	22.68	48.63	71.94		
Ce	106	83.8	89.5	108	95.3	111	92.7	29.20	83.30	106.90	49.55	99.62	143.50		
Pr	11.6	9.06	9.68	11.9	11.2	13.5	11.1	4.37	8.79	11.40	6.20	11.46	13.68		
Nd	45.7	35.0	36.6	48.1	37.9	49.2	39.0	17.27	34.47	44.37	23.35	45.84	49.62		
Sm	8.24	6.11	5.95	8.95	7.20	8.75	7.22	3.62	5.32	7.89	4.64	8.75	8.74		
Eu	1.84	1.45	1.27	1.96	1.59	1.73	1.52	0.96	1.42	1.53	1.10	1.82	0.77		
Gd	7.08	5.20	4.59	7.84	6.84	8.03	6.68	3.79	3.60	6.78	4.44	7.95	7.01		
Tb	1.02	0.75	0.66	1.15	0.91	0.99	0.90	0.62	0.48	0.99	0.70	1.22	1.07		
Dy	5.63	4.11	3.55	6.48	5.10	5.34	5.24	3.35	1.90	5.00	3.75	6.72	5.48		
Ho	1.10	0.80	0.69	1.29	1.03	1.07	1.04	0.72	0.40	1.00	0.79	1.16	1.12		
Er	3.13	2.28	1.99	3.64	2.80	2.95	2.77	1.73	0.82	2.39	1.99	3.65	2.74		
Tm	0.47	0.35	0.31	0.55	0.42	0.43	0.40	0.26	0.14	0.38	0.32	0.58	0.48		
Yb	2.99	2.19	2.02	3.45	2.82	3.03	2.75	1.57	0.68	2.36	1.97	3.75	3.15		
Lu	0.44	0.32	0.31	0.51	0.42	0.47	0.40	0.24	0.12	0.37	0.31	0.58	0.50		
ΣREE	249.8	196.1	202.8	258.2	216.4	261.7	217.3	82.5	183.40	247.06	121.79	241.73	309.80		
(La/Yb) _N	12.39	13.69	15.24	10.66	10.24	12.35	11.17	6.36	41.60	15.91	7.76	8.74	15.40		
δ Eu	0.72	0.77	0.72	0.70	0.68	0.62	0.66	0.79	0.94	0.62	0.73	0.40	0.69		
w(Gd/Yb)	2.37	2.37	0.70	2.27	2.42	2.65	2.42	2.41	5.29	2.87	2.25	2.12	0.50		
LREE/HREE	10.43	11.26	13.36	9.37	9.64	10.73	9.76	5.72	21.53	7.10	7.53	12.24	13.38		

注: 序号 1~7 由西北大学大陆动力学国家重点实验室分析, 序号 8~13 引自长庆油田分公司勘探开发研究院。

在阴极射线照射下,具有标准成因意义的石英发光颜色有3种类型:(1)发蓝紫色的石英形成于深成岩、火山岩或接触变质岩中,在大于573℃高温条件下快速冷却形成;(2)发红棕、棕色光的石英形成于温度为300~573℃区域变质岩中,冷却速度比较“慢”;受成岩作用中中压溶、温度、压力的影响,自生石英也可能发浅棕色光;(3)不发光石英是成岩作用过程中形成温度一般小于300℃时形成的自生石英^[12]。

碱性长石以蓝色阴极发光为主,其中正长石发微红-蓝色光,微斜长石发蓝-淡蓝色光,钾长石发浅褐-浅蓝色光,条纹长石以发淡蓝色光居多。自生长石不发光^[13]。

研究区长6砂岩中的长石以发亮蓝色光的碱性长石为主,石英主要发蓝紫色光,少量发红棕色光(图4-B),暗示石英可能主要来自变质岩和火成岩。盆地东北缘剖面长6砂岩中的石英、长石发光特征与杨家园则探区相似(图4-D),说明它们来自相同的母岩源区。

3.5 稀土元素特征及物源分析

碎屑岩的稀土元素(REE)及其含量主要受控于其物源区成分^[14-15]。因为REE地球化学性质稳定,不可溶,沉积岩中的REE主要是呈颗粒物搬运,基本不受后期风化作用、成岩作用和蚀变作用的影响。轻、重稀土元素比值(LREE/HREE)_N在一定程度上反映了样品的轻、重的分异状况,相同岩石中该数值越大表明重稀土亏损越明显,因此,能间接反映物质来源。(La/Yb)_N反映了球粒陨石标准化图中曲线的斜率^[16]。所以,岩石中稀土元素含量及其特征能够反映物质来源区的地球化学特征^[17-18]。

(1) 盆地东北缘剖面

绥德准宁河剖面和延长县延河剖面延长组长6地层样品的稀土元素(表2)特征为:∑REE=216.4×10⁻⁶~261.7×10⁻⁶;LREE/HREE=9.64~10.73;(La/Yb)_N=10.24~12.35;δEu=0.62~0.68;Gd/Yb=2.42~2.65。其REE分配模式见图5-A。

(2) 杨家园则探区

杨家园则探区延长组长6地层样品(表2),其稀土元素特征为:∑REE=196.1~258.2×10⁻⁶;LREE/HREE=9.37~13.36;(La/Yb)_N=10.66~15.24;δEu=0.70~0.77;Gd/Yb=2.27~2.37。其REE分配模式见图5-A。

稀土元素特征表明,研究区长6段与盆地东北缘准宁河剖面和延河剖面长6段的稀土元素分配模式类似(图5-A),均表现出轻稀土元素富集、重稀土元素亏损、Eu负异常的特征,呈现了类似于大陆地壳的右倾稀土模式,说明源区主要与分异较好的陆壳物质有关。

由于Gd、Yb在沉积过程中受地质作用的干扰较小,一经封闭到沉积地层中,它们的含量就很难改变,因而可用它们判别母岩的特性。另一方面,由于地球演化初期阶段岩石中Gd的含量一般较高,随时间演变和元素的分馏作用,Gd的含量趋于降低,Gd/Yb比值则随地层时代的变新而逐渐变小。因此,太古界的Gd/Yb比值一般多大于2.0;而后太古代的年轻地层则小于2.0^[19]。杨家园则探区样品的Gd/Yb比值

与盆地东北部准宁河剖面的Gd/Yb比值相当,两者的Gd/Yb比值均大于2.0,表明杨家园则探区与盆地东北部剖面长6段属于同一物源,源区母岩主要来自太古代及其相关地层;此外,其REE分配模式与盆地东北缘太古界结晶基底岩石的REE分配模式类似(图5-B),暗示研究区与盆地东北缘剖面6段的物源均来自盆地东北方向,母岩主要为盆地东北缘太古界结晶基底岩石,以变质岩为主,少量火成岩。这与阴极发光结论一致。

4 结论

(1)鄂尔多斯盆地杨家园则探区长6地层沉积期间,古水流与物源方向主要来自盆地东北方向。

(2)稀土元素特征表明,研究区长6地层与盆地东北缘太古界结晶基底岩石具有相似的稀土元素特征,都呈现了轻稀土元素富集、铕负异常的类似于大陆地壳的右倾稀土模式,其物源与分异较好的陆壳物质有关。砂岩的碎屑矿物与岩屑成分、重矿物特征及碎屑石英与长石的阴极发光特征及稀土元素特征显示,杨家园则探区长6地层的母岩主要来自盆地东北缘太古界变质岩和火成岩。

致谢:在野外地质工作中,得到了延长油矿各领导的指导和帮助;在室内实验中得到了长庆油田勘探室尹鹏工程师的大力帮助,在此表示衷心的感谢!

参考文献(References):

- [1] 魏斌,魏红红,陈全红,等.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组物源分析[J].西北大学学报(自然科学版),2003,33(4):447-450.
Wei Bin, Wei Honghong, Chen Quanhong, et al. Sediment provenance analysis of Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Northwest University Journal (natural science), 2003, 33 (4):447-450(in Chinese).
- [2] 张岳桥,廖昌珍.晚中生代-新生代构造体制转换与鄂尔多斯盆地改造[J].中国地质,2006,33(1):28-40.
Zhang yueqiao, Liao changzhen. Transition of the Late Mesozoic-Cenozoic tectonic regimes and modification of the Ordos basin [J]. Geology in China,33(1):28-40(in Chinese with English abstract).
- [3] Hugh.Pollison. 岩石地球化学[M].杨学明,杨晓勇,陈双喜译.合肥:中国科学技术大学出版社,2000:108.
Hugh.Pollison. Rock Geochemistry [M]. Translated by Yang Xueming, Yang Xiaoyong, Chen Shuangxi Translate. Hefei:China Science and Technology University Press, 2000:108.
- [4] 李文厚,梅志超,陈景维,等.富平地区中-晚奥陶世沉积的古斜坡与古流向[J].西安地质学院学报,1991,13(2):36-41.
Li Wenhou, Mei Zhichao, Chen Jingwei, et al. Palaeoslope and palaeocurrent of Middle-Late Ordovician sedimentation in Fuping area [J]. Xi'an Geology College Journal, 1991, 13 (2):36-41(in Chinese).
- [5] 刘宝珺,曾允孚.岩相古地理基础和工作方法[M].北京:地质出版社,1985.

- Liu Baojun, Zeng Yunfu (eds.). Basics of Lithofacies Palaeogeography and Work Method [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985(in Chinese).
- [6] 聂永生, 田井春, 夏青松, 等. 鄂尔多斯盆地白豹-姬塬地区上三叠统延长组物源分析[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(5):4-6.
- Nie Yongsheng, Tian Jingchun, Xia Qingsong, et al. Source analysis of Yanchang formation in Baibao-Jiyuan region, Ordos basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11 (5):4-6(in Chinese with English abstract).
- [7] 周建文, 宋丽红, 孙峥嵘, 等. 博湖坳陷侏罗系重矿物特征及物源探讨[J]. 河南地质, 2002, 6(1):20-22.
- Zhou Jianwen, Song Lihong, Sun Zhengrong, et al. Heavy minerals character and provenance discussion of Jurassic in Bohu basin [J]. Henan Geology, 2002, 6(1):20-22(in Chinese).
- [8] 李珍, 郑红菊, 黄骅坳陷高柳地区重矿物物源分析 [J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(6):5-7.
- Li Zhen, Zheng Hongju. Heavy minerals and provenance analysis of Gaoliu area Huanghua basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 25 (6):5-7(in Chinese).
- [9] Andrew Cmorton, Claire R Hallsworth. Processes of controlling composition of heavy mineral assemblage in sandstones [J]. Sedimentary Geology, 1999, 124 (issue 1-4):3-29.
- [10] Hilmavon Eynatten, Reinhard Gaupp. Provenance of Cretaceous synorogenic sandstones in the Eastern Alps: constraints from framework petrography [J]. Heavy Mineral Analysis and Mineral Chemistry, 1999, 124 (1/4):81-111.
- [11] 王英华, 张绍平, 潘荣胜. 阴极发光技术在地质学中的应用[M]. 北京:地质出版社, 1990.
- Wang Yinghua, Zhang Shaoping, Pan Rongsheng. The Application of Cathodoluminescence Technology in Geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990.
- [12] 张本琪, 余宏忠, 姜在兴, 等. 应用阴极发光技术研究母岩性质及成岩环境[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(2):117-120.
- Zhang Benqi, Yu Hongzhong, Jiang Zaixing, et al. Characteristics and diagenetic environments of source rocks by cathodoluminescence [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(2):117-120(in Chinese).
- [13] 程峰, 于少勇, 邢德敬, 等. 阴极发光在储层研究中的应用[J]. 断块油气田, 1998, 5(6):17-19.
- Cheng Feng, Yu Shaoyong, Xing Dejing, et al. The application of cathodoluminescence technology in studying oil and gas reservoirs[J]. Complex Fault-Block Oil & Gas Fields, 1998, 5(6):17-19(in Chinese).
- [14] Fleet A J. Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements[C]//Henderson P(ed.). Rare Earth Element Geochemistry, Elsevier, 1984:343-373.
- [15] McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes[C]//Lipin B R, et al(ed.). Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements[J]. The Mineralogical Society of America, Washington, D.C, 1989:169-200.
- [16] 朱如凯, 郭宏莉, 何东博, 等. 中国西北地区石炭系泥岩稀土元素地球化学特征及其地质意义[J]. 现代地质, 2002, 16(2):131-132.
- Zhu Rukai, Guo Hongli, He Dongbo, et al. The REE geochemical characteristics of Carboniferous mudstone in northwest area[J]. Geoscience, 2002, 16(2):131-132(in Chinese).
- [17] Rollinson H R. Using geochemical data: evaluation, presentation and interpretation. computers & geosciences [J]. New York, 1993, 21(issue3):439-441.
- [18] 卢成忠, 颜铁曾, 董传万, 等. 浙江沐尘岩体与西山头组火山岩的岩浆同源性分析[J]. 中国地质, 2006, 33(1):146-152.
- Lu Chengzhong, Yan Tiezeng, Dong Chuanwan, et al. Magmatic consanguinity analysis of the Muchen intrusion and Xishantou Formation volcanic rocks in Zhejiang [J]. Geology in China, 2006, 33(1):146-152(in Chinese with English abstract).
- [19] McLennan S M, Hemming S, McDaniel M J, et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics [C]//Jonhanson M J, et al. (ed.), Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments, Boulder, Colorado [J]. Geological Society of America Special Paper, 1993, 284:21-40.

Provenance analysis of the Sixth Member of the Yanchang Formation in the Yangjiayuanze oil prospect area, Zichang oilfield, Ordos basin

ZHAO Jun-ying¹, LUO Jing-lan¹, LEI Xiao-lan³, WANG Yong-dong³,
FAN Wan-hong³, XIA Hui-ping⁴

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;

2. Yanchang Petroleum Administration, Yongping 717208, Shaanxi, China;

3. Zichang Oilfield, Yanchang Petroleum Administration, Zichang 717208, Shaanxi, China;

4. Institute of Geophysical Exploration, Xinjiang Petroleum Administration Bureau, Ürümqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: The authors analyzed the directions of paleocurrents and main sediment sources and features of parent rocks in the provenance during the deposition of the Sixth Member of the Yanchang Formation and studied the features of the parent rocks of the provenance based on the framework grains, heavy minerals, cathodoluminescence of framework grains and REE features of sandstone in the strata in the Yangjiayuanze oil prospect area, Zichang oilfield, northeastern Ordos basin, combined with measurements of the paleocurrent direction on typical outcrops located on the northeastern margin of the Ordos basin. The study shows that the paleocurrents and main sediment source were derived from the northeast during the deposition of the Sixth Member of the Yanchang Formation. The parent rocks of the provenance are mainly metamorphic rocks with a small amount of igneous rocks. The study is of great theoretical and practical significance for an analysis of the tempo-spatial distribution of sandstones of the Yanchang Formation in the northeastern Ordos basin, evaluation of favorable hydrocarbon accumulation areas and arrangement of further hydrocarbon exploration in the study area.

Key words: paleocurrent and source direction; parent rocks of provenance; Yangjiayuanze prospect area; Ordos basin

About the first author: ZHAO Jun-ying, female, born in 1982, postgraduate student, mainly engages in the study of reservoir geology; E-mail: zjy200521346@126.com.