

姜雪, 肖晓光, 王宇. 多手段厘定东海西湖凹陷花港组物源体系[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(6): 55-64.

JIANG Xue, XIAO Xiaoguang, WANG Yu. Multiple approach to the provenance system of Huangang Formation in Xihu Sag, East China Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(6): 55-64.

多手段厘定东海西湖凹陷花港组物源体系

姜雪, 肖晓光, 王宇

(中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335)

摘要: 西湖凹陷花港组物源体系研究薄弱, 严重制约了对于油气储层及有利油气相带的预测。此次研究综合利用西湖凹陷新钻井的重矿物及黏土矿物等常规分析化验资料, 结合锆石 U-Pb 定年及 FMI 成像测井等手段, 综合分析西湖凹陷花港组物源体系。结果表明, 西湖凹陷花港组共有 4 大物源区, 物源呈现分段发育特征: 东部断阶带受东侧钓鱼岛隆褶带物源影响明显; 西斜坡以海礁隆起点物源为主; 中央反转带主要接受虎皮礁物源供给, 往南海礁隆起影响逐渐加大; 西湖凹陷南部主要接受西部渔山东低隆起物源供给。

关键词: 西湖凹陷; 锆石 U-Pb 定年; 重矿物; 物源体系; 东海

中图分类号: P736; P744.4

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2022.002

0 引言

物源分析是石油地质学中重要的研究内容, 在油气勘探过程中, 碎屑物的性质、源区方向以及供给量的确定, 对于油气储层及有利油气相带的预测具有十分重要的意义, 且物源区对盆地内沉积体系的类型及其发育规模有重要决定作用。但西湖凹陷花港组分析化验资料分布层位不均, 加上西湖凹陷四周露头难寻, 过去对花港组的物源争议颇多。随着西湖凹陷勘探的深入, 针对花港组物源补做了各类分析化验, 本文在已有的分析基础上, 采用重矿物、岩石学、地质年代学、元素地球化学、地球物理学和黏土矿物学方法等多种手段综合分析西湖凹陷花港组物源^[1-7]。

1 地质概况

西湖凹陷位于东海陆架盆地东北部, 是隶属于东海陆架盆地的次级构造单元, 呈 NNE 向展布, 东

临钓鱼岛隆褶带, 西临海礁隆起, 北部为虎皮礁隆起。自西向东可划分出西部斜坡带、中央反转构造带以及东部断阶带等构造区块^[8-13](图 1)。其中, 西部斜坡带由北到南可划分为 H 斜坡、P 斜坡和 T 斜坡; 中央反转带包含北部 D 构造、L 构造、中部 Z1—Z5 构造、南部 X、W 和 C 构造。

西湖凹陷新生代经历基隆运动、甌江运动、玉泉运动、龙井运动和冲绳海槽运动, 将新生代自下而上分为断陷期、拗陷期和区域沉降期三大构造演化阶段, 发育始新统平湖组、渐新统花港组、中新统龙井组、玉泉组、柳浪组、上新统三潭组与更新统东海群等地层^[13-18]。本研究的主要目的层位为渐新统花港组, 可细分为花上段和花下段。

2 实验数据及分析

2.1 锆石 U-Pb 定年对物源区的定位

由于燕山期火山活动频繁, 西湖凹陷及周边是在元古宙变质岩基底上叠合发育了一套燕山期火成岩, 根据火山分布的不同, 火成岩分布范围和厚度存在差异。西湖凹陷西边海礁隆起和渔山东低隆起, 基底为元古宙变质岩叠加中生代火成岩; 北部虎皮礁隆起基底为元古宙变质岩和中生界上白垩统及侏罗系火成岩; 东部钓鱼岛隆起基底岩石年

收稿日期: 2022-01-05

资助项目: “十四五”国家科技重大专项“海上深层/超深层油气勘探技术”(KJGG2022-0402); 中海油公司科研项目“西湖凹陷西部地区勘探开发关键技术研究”(CNOOC-KJ135ZDXM39SH01)

作者简介: 姜雪(1988—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事沉积储层方面的研究工作。E-mail: jiangxue3@cnooc.com.cn

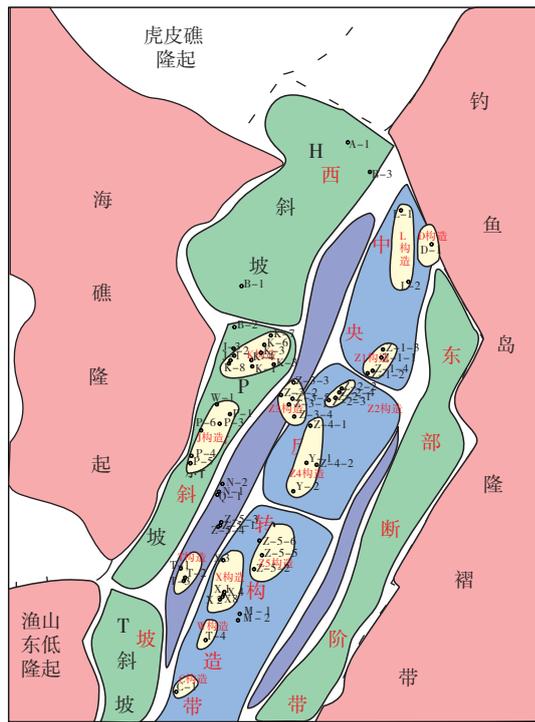


图1 西湖凹陷构造图

Fig.1 Regional tectonic setting of the Xihu Sag

代为晚古生代与中生代^[19-20]。各物源区锆石年龄均呈现多峰型,但峰值处略有不同,海礁隆起以前寒武纪锆石为主,中生代锆石占比相对较高;渔山东低隆起处以古元古代(2 000 Ma)为主,花港组中生代占比较高;虎皮礁隆起具有丰富的古元古代锆石,中生代占比低;而钓鱼岛隆褶带以古元古代及太古宙为主,古生代占比相对较高。以上这些基底岩性在不同的隆起区为西湖凹陷不同地质历史时期的沉积充填提供了丰富的物源。

本文在西湖凹陷已钻井岩芯、岩屑观察基础上,选择西湖凹陷典型构造的11口井共30个样品进行锆石定年分析,30个样品均匀分布于花上段和花下段地层(表1)。

表1 西湖凹陷花港组锆石样品数据

Table 1 Zircon sample data from Huagang Formation of the Xihu Sag

井名	层位	取样数/个	井名	层位	取样数/个
A-1	花上段	3	T-3	花下段	3
Z-3-2	花上段	2	X-2	花下段	4
Z-5-2	花上段	2	J-2	花下段	4
D-1	花上段	2	T-4	花下段	3
Z-1-3	花上段	2			
Y-1	花上段	2			
C-1	花上段	3			

通过分析锆石阴极发光照片认为,西湖凹陷花港组存在前寒武纪、古生代和中生代锆石。前寒武纪锆石颗粒阴极发光暗,相对均一,显示U、Th、REE元素含量较高;颗粒大小不一,粒径多在6~150 μm,个别甚至达到200 μm;部分颗粒发育环带,周边发育变质增生边,反映前寒武纪变质岩基底。古生代锆石发光暗,同时具有岩浆成因和变质成因的加大边,磨损溶蚀作用弱,代表短距离搬运特征;中生代锆石环带较为发育,颗粒较小,磨损溶蚀强烈,显示搬运距离较远,反映燕山期岩浆运动。

从年龄组成来看,花港组以元古宙锆石为主,中生代锆石和古生代锆石含量相当。其中花下段元古宙锆石占比64%~80%,中生代锆石占比6%~19%,古生代锆石占比9%~23%;花上段元古宙锆石占比62%~74%,中生代锆石占比14%~16%,古生代锆石占比10%~22%。南部W构造T-4井花下段和C构造C-1井中生代锆石相对较高(图2)。因此认为,西湖凹陷母岩年龄主要以元古代时期为主,伴有中生代和晚古生代年龄,局部地区如北部H斜坡,南部T构造、W构造、P斜坡局部则呈现混源特征。

2.2 重矿物特征

碎屑重矿物作为沉积物的重要组成部分之一,能够根据其自身独特的结构外形特征、矿物组合特征、ZTR指数、稳定系数等各类重矿物比率来追踪沉积物源区的岩石类型、物源方向以及距离等^[21]。

西湖凹陷花港组岩壁芯、岩屑样品中共发现15种主要重矿物,分别为金红石、锆石、白钛矿、锐钛矿、磁铁矿、赤褐铁矿、石榴石、电气石、帘石类、绿泥石、楣石、十字石、尖晶石、黄铜矿、云母。

(1) 重矿物组合

西湖凹陷花港组下段重矿物组合特征具有分带性,西斜坡重矿物组合为以石榴石为主、含少量锆石和钛铁矿,主要为变质岩母岩。中央反转构造带重矿物组合为锆石、钛铁矿、石榴石和电气石,主要为岩浆岩母岩;个别井如B-1井钛铁矿含量明显高于西斜坡带其他井,说明有岩浆岩物源的影响,而L-2井主要以石榴石为主,说明主要受变质岩母岩供给(图3)。

西湖凹陷花上段西斜坡带重矿物组合变化不大,仍以石榴石为主、含少量锆石和钛铁矿,主要为变质岩母岩,特别是B-1井钛铁矿含量继续占据主

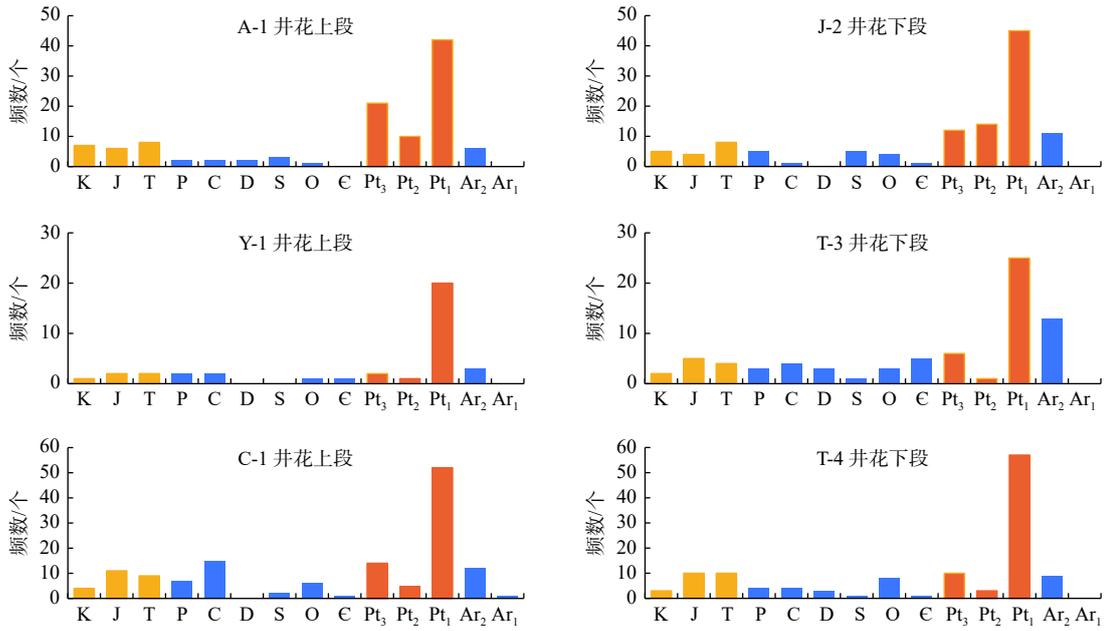


图 2 花港组锆石年龄特征

Fig.2 Age characteristics of zircons from Huagang Formation

导, 岩浆岩和变质岩来源相当, 反映整个西斜坡带花港组时期物源供给稳定; 中央反转构造带重矿物组合变化较大, 北部 L-1 井矿物组合以石榴石、磁铁矿为主, 含少量锆石、帘石类, 指示物源为岩浆岩和变质岩母岩区; Z1、Z2、Z3、Z4 和 Z5 地区则以石榴石为主, 钛铁矿和锆石次之, 以变质岩母岩为主, 南部 C 和 W 构造仍以石榴石、钛铁矿、锆石为主, 含少量帘石类, 母岩岩浆岩和变质岩来源相当或岩浆岩略多(图 4)。

(2) ZTR 指数

统计西湖凹陷花港组 55 口井的 2 306 余块样品重矿物资料, 通过整理归纳并计算了各口井的 ZTR、ATI、MZI 和 GZI 指数。由于花港组中金红石、锆石和电气石分布稳定, ZTR 指数在研究区平面分布稳定且具代表性, 能够确定不同物源区的矿物组合变化特征。

西湖凹陷花下段重矿物 ZTR 指数的分布具有区带性(图 5a)。最北部 A-1(0.06)最小, 说明为近物源沉积, P 斜坡带 K 构造及周边 B-2(0.08)、K-7(0.13)、K-2(0.18)、K-1(0.21), J 构造及周边 P-6(0.13)、P-5(0.16)、N-2(0.96)、Z-5-3(2.06)、Z-5-4(4.4)、T 和 X 构造周边 T-2(0.45)、C-1(0.53)、M-2(0.61)ZTR 小于中央反转构造带中北部各井, 从西到东依次增大的趋势明显, 反映物源为西部近源。中央反转构造带中北部 Z1 构造 Z-1-3(1.53)、Z-1-2(2.18), Z2 构造 Z-2-4(1.28)、Z-2-2(1.38)ZTR 值

较大, 从 NE 到 SW 方向增大, 与前面分析的来自东部岩浆岩物源来源相符; Z-3-2(0.35)、Z-3-5(0.7)、Z-3-1(2.2)、Z-4-1(2.95)、Z-4-2(4.9)在轴向上依次增大, 追根溯源可以和 K 地区趋势连成一片, 但又存在差异, 参考古地形图, Z4 构造附近为一个沉积中心, 存在轴向物源, 认为此处应是来自西部短轴物源与轴向物源共同控制(表 1)。

花上段 ZTR 值整体变小, 但变化趋势相对稳定(图 5b)。最北部 A-1(0.05)仍然最小, 说明为近物源沉积供给稳定; P 斜坡带 K 构造及周边 J-3(0.09)、K-3(0.14)、K-4(0.15)、K-1(0.33), J 到 X 地区 P-4(0.11)、N-2(0.28)、N-1(0.29)、Z-5-1(0.32)、Z-5-4(0.34)、X-1(0.46))ZTR 变大趋势明显, 说明有来自西部的物源, 另外 T-3(0.26)说明可能有来自渔山东低隆起的物源, X 构造附近为一个汇砂中心; 中央反转构造带中北部 Z1 构造 Z-1-1(0.69)、Z-1-4(0.86), Z2 构造 Z-2-2(0.64)、Z-2-3(1.8)ZTR 值从 NE 到 SW 方向增大, 东部岩浆岩物源来源不变; Z-3-5(0.09)、Z-3-1(0.09)、Z-3-4(0.13)、Z-4-1(0.35)、Z-4-2(0.48), Z3 构造 ZTR 值明显小于附近构造, 说明西侧物源影响减弱, 轴向物源的影响增强(表 1)。

2.3 成分成熟度特征对物源的响应

重矿物 ZTR 和岩矿成分成熟度是西湖凹陷最丰富也是最能代表物源变化的 2 类参数。花港组

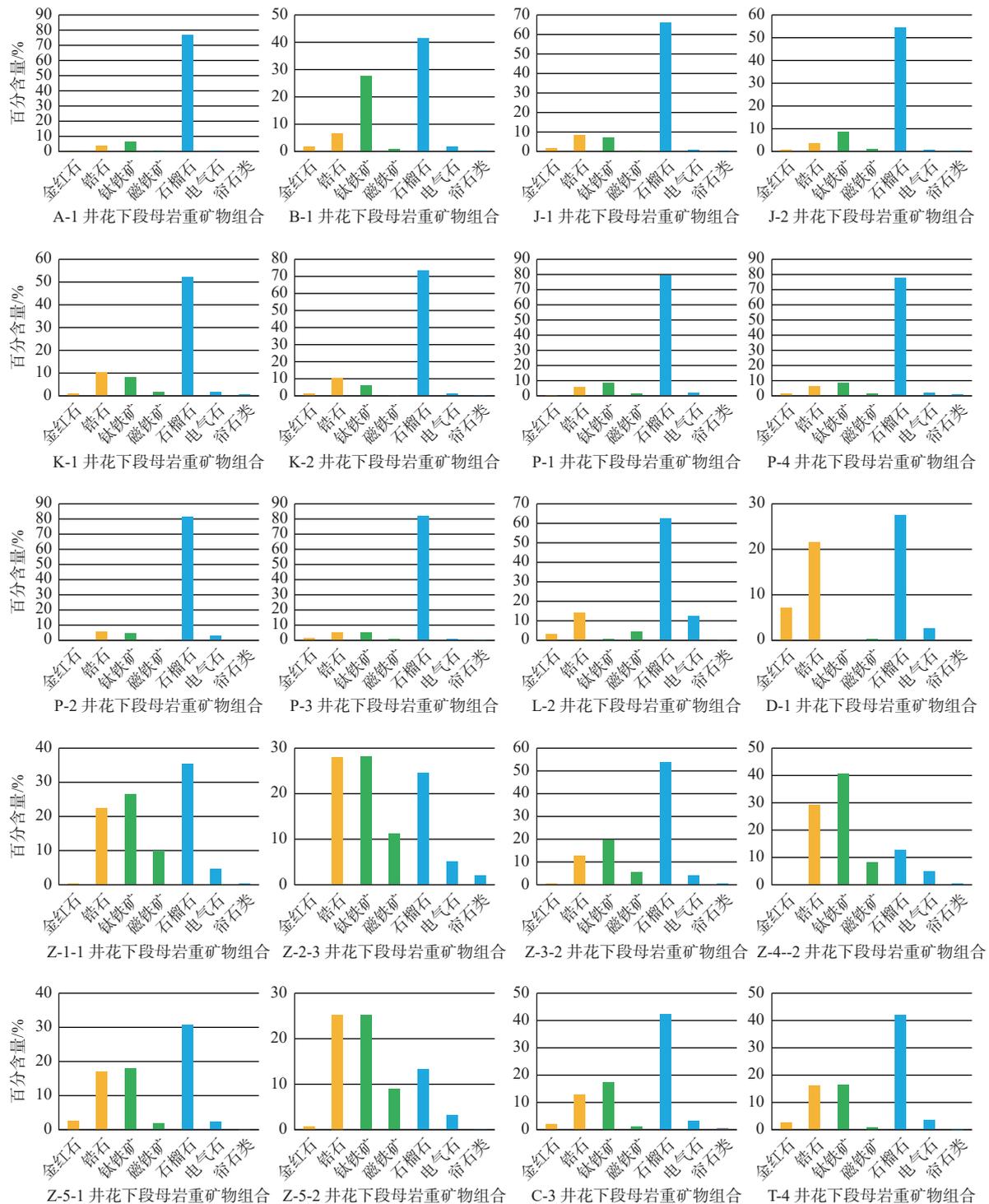


图3 西湖凹陷花下段重矿物组合特征

Fig.3 Characteristics of heavy mineral assembly in the Lower Member of Huanggang Formation in the Xihu Sag

岩矿薄片鉴定取样主要集中在中央反转构造带, 西斜坡带样品较少, 从图 6a 可以看出, 花下段西湖凹陷北部 B-3(2.5)、D-1(2.6)、L-2(2.3) 普遍大于其他井, 说明物源有别; 中央反转构造带中北部 Z1 构造 Z-1-3(1.74)、Z-1-4(1.81), Z2 构造 Z-2-4(2.03)、Z-2-1(1.72) 成分成熟度从 NE 到 SW 方向增大, 物源

来自东部趋势明显, 而 Z3 构造到 Z4 构造 Z-3-3(1.78)、Z-3-2(1.78)、Z-3-1(1.82)、Z-4-1(2.05) 顺轴向依次增大, Z3 构造的成分成熟度小于周边构造但差异不大, 说明轴向物源影响明显, 不排除短轴物源影响; 南部 Z4 地区 Z-4-3(1.6)、Z-4-1(2.0)、Z-4-5(2.2), T 构造 T-1(1.89)、T-2(2.18)、T-3(3.8) 都

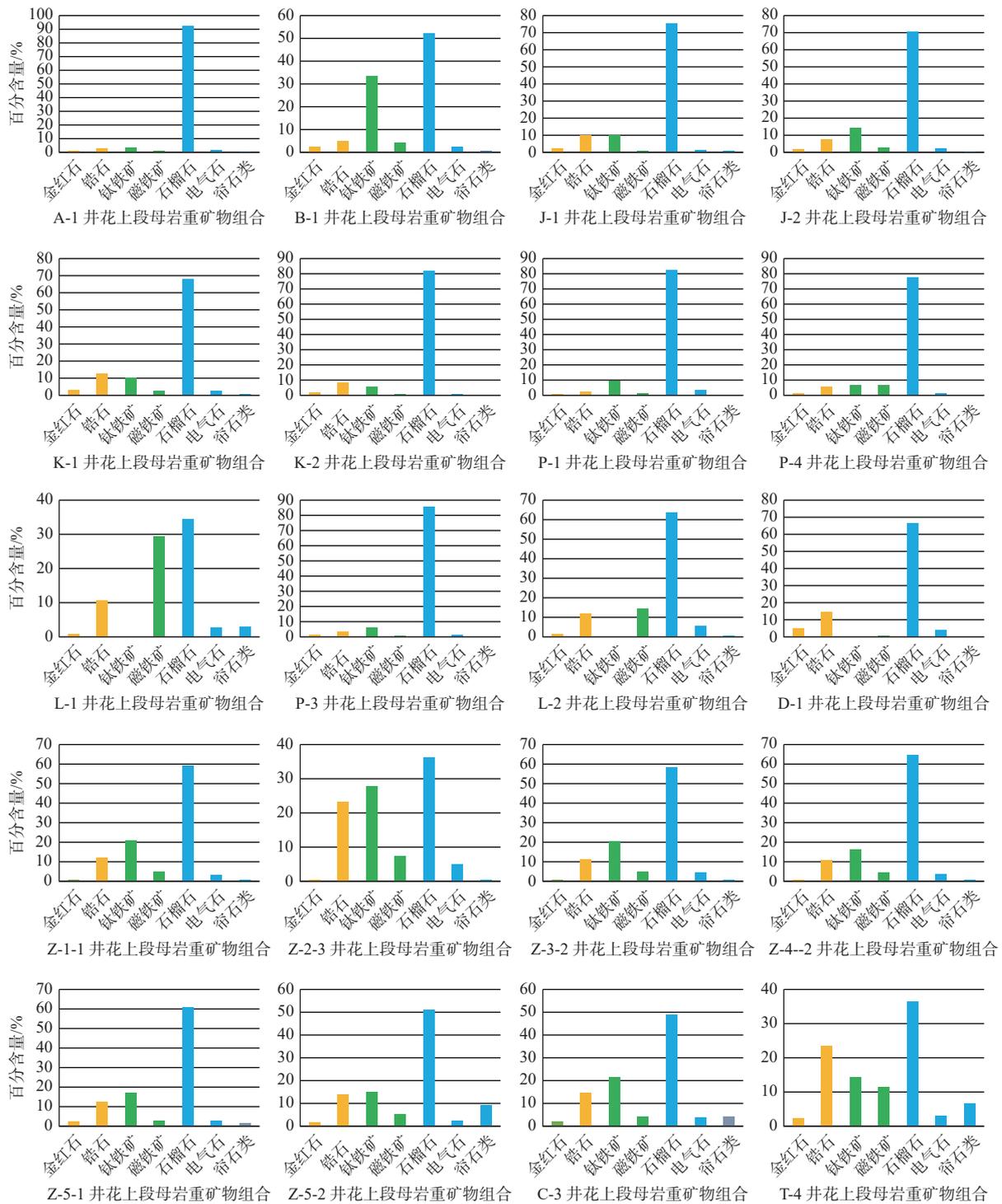


图 4 西湖凹陷花上段重矿物组合特征

Fig.4 Characteristics of heavy mineral assembly in the Upper Member of Huangang Formation in the Xihu Sag

显示物源来自西部海礁隆起, T-3 明显高于附近井, 可能有渔山东低隆起物源的影响(表 1)。

从图 6b 可以看出, 花上段西湖凹陷北部 B-3(2.4)、D-1(2.4)、L-2(2.4) 普遍大于其他井, 说明北部几口井物源自成一体系; 中央反转构造带中北部 Z1 构造 Z-1-1(1.79)、Z-1-4(1.80), Z2 构造 Z-2-4(1.72)、Z-2-1(1.85)、Z-2-3(1.89) 成分成熟度构造

范围内变化不大, 但可以看出从 NE 到 SW 方向增大趋势, 说明物源来仍然来自东部, 而 Z3 构造到 Z4 构造 Z-3-3(1.75)、Z-3-2(1.76)、Z-3-4(1.81)、Z-4-1(1.99)、Y-1(3.19)、Y-2(3.96) 顺轴向依次增大, 且 Z3 构造的成分成熟度大于 NB14-7-1(1.51), 而小于 Z2 构造, 说明 Z3 构造为西部短轴和北部长轴物源混源, 侧向物源来源加强; 南部 P、Z4 地区 H-

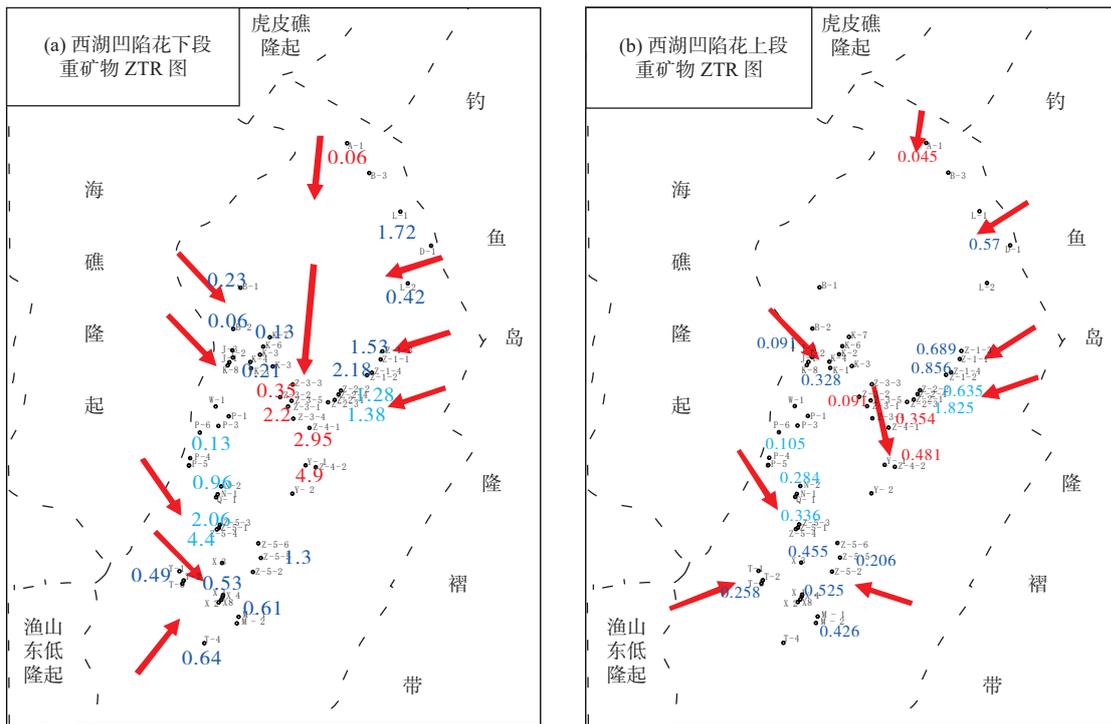


图5 西湖凹陷花港组 ZTR 指数分布

Fig.5 ZTR index distribution of Huagang Formation in the Xihu Sag

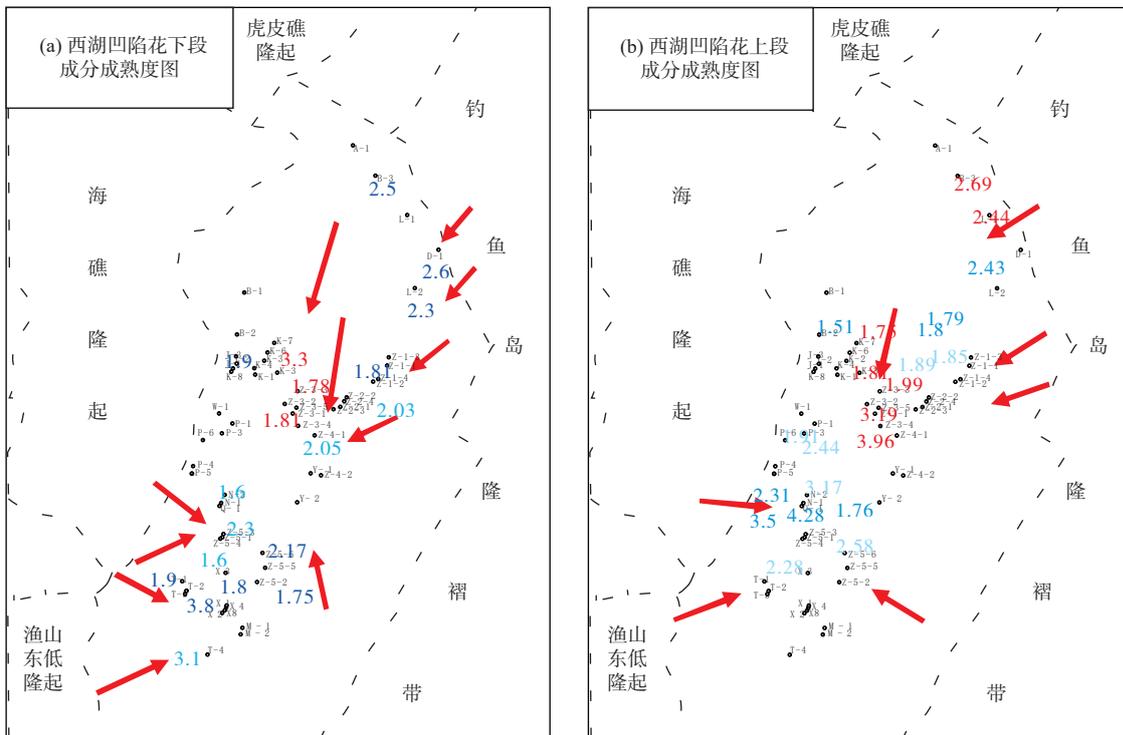


图6 西湖凹陷花港组成分成熟度分布

Fig.6 The component maturity of Huagang Formation in the Xihu Sag

6(1.91)、Q-1(2.44)、Z-5-1(3.17)、T 构造 T-1(2.31)、T-3(3.8)、X-1 (4.28), 都显示物源来自西部海礁隆起, 而 Z-5-5(1.62)、Z-5-2(1.76)可能有钓鱼岛隆褶带物源的影响(表 2)。

2.4 黏土矿物特征对物源的响应

西湖凹陷花港组储层黏土矿物主要类型为高岭石、伊利石和绿泥石。从图 7a 上可以看到, 花下

表 2 西湖凹陷花港组 ZTR 与成分成熟度值

Table 2 ZTR and component maturity of Huagang Formation in the Xihu Sag

构造	井名	ZTR		成分成熟度		构造	井名	ZTR		成分成熟度		构造	井名	ZTR		成分成熟度	
		花上段	花下段	花上段	花下段			花上段	花下段	花上段	花下段			花上段	花下段	花上段	花下段
西斜坡	K-1	0.32	0.21	1.51	1.9	中央反转带	Z-1-1	0.689	0.84	1.79	1.81	中央反转带	X-1	0.525	0.46	4.28	
	K-2	0.13					Z-1-2	0.556	2.18	1.9	1.83		X-4	0.526	0.53	3.73	
	K-3	0.18	0.13	1.75	3.3		Z-1-3	0.306	0.53	1.78	1.74		M-1	0.61			
	K-6	0.25	0.23				Z-1-4	0.856		1.8			M-2	0.426		2.58	
	K-7	0.17	0.13	3.69	2.7		Z-2-1	0.648		1.85			T-4	0.78	0.64	2.28	3.1
	K-8	0.18	0.18				Z-2-2	0.635		1.73	1.72		L-1	0.42		2.69	
	J-1	0.19	0.18				Z-2-3	0.638	1.38	1.72			D-1	0.57	1.72	2.44	2.6
	J-2	0.18	0.09				Z-2-4	1.825	1.28	1.72	2.03		L-2	0.38	0.42	2.43	2.3
	J-3	0.09	0.12				Z-3-1	0.354	2.2	1.81	1.81						
	B-2	0.12	0.06				Z-3-2	0.068	0.35	1.76	1.78						
	B-3			2.5			Z-3-3			1.76	1.78						
	P-3	0.07	0.1				Z-3-4	0.127		1.81							
	P-4	0.1	0.12				Z-3-5	0.092	0.7	1.81	1.82						
	P-5	0.09					Z-4-1	0.354	2.95	1.99	2.05						
	P-6	0.33	0.13				Z-4-2	0.481	4.9	3.88	1.82						
	T-1	0.27	0.46	1.89			Y-1			3.19							
	T-3	0.25	0.49	3.8			Y-2			3.96							
	A-1	0.04	0.06				Z-5-1	0.323	2.67	1.75							
	B-1	0.22	0.23	2.4			Z-5-2	0.334	7.2	1.76	1.75						
N-1	0.28	0.15	1.91		Z-5-3	0.389	2.06	2									
N-2	0.29	0.96	1.6		Z-5-4	0.336	4.4	3.76									
W-1	0.07				Z-5-6	0.405	0.8	1.63	2.17								

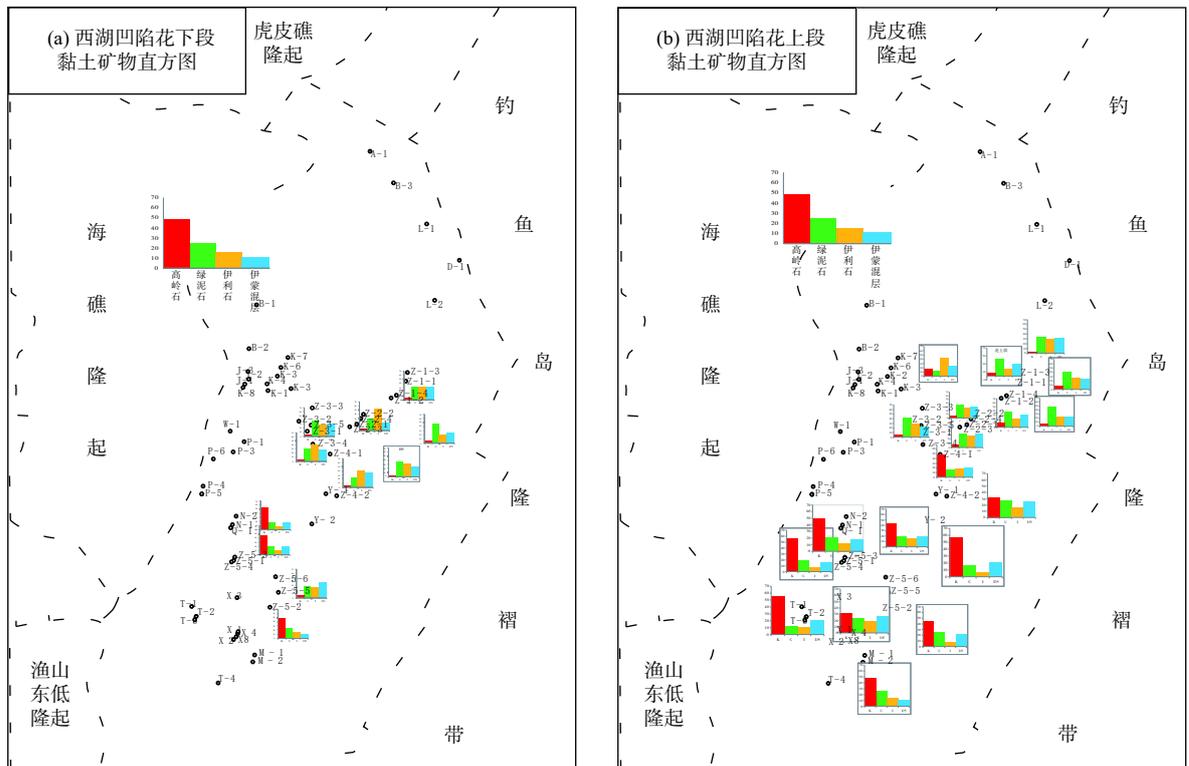


图 7 西湖凹陷花港组黏土矿物含量分布

Fig.7 Distribution of clay minerals of Huagang Formation in the Xihu Sag

段高岭石含量普遍较低,这与花下段所处的成岩演化阶段有关,大部分地区花下段成岩演化进入中成岩B期,虽然在早期沉积时受物源类型和搬运距离的影响,高岭石、伊利石的含量有规律分布,但随着成岩演化高岭石向伊利石转化,其含量越来越少,这种规律开始变得不明显。但从图上仍然可以看出,西湖凹陷中北部地区高岭石的含量明显低于南部地区,说明北部经过长途搬运,距离物源区较远,而南部地区受短轴物源影响明显。

花上段高岭石还没有大量转化为伊利石,从图7b上可以看到高岭石含量P斜坡K-3(18.4%),中央反转构造带中南部Z-4-1(47.2%)、Z-5-3(44.2%)、Z-5-2(31.3%)、N-1(49.0%)、M-2(48.5%)高于中央反转构造带中北部Z-1-1(7.5%)、Z-3-1(5.3%)和Z-2-1(7.0%),反映P斜坡、中央反转构造带中南部主要为近物源,而中央反转构造带中北部物源来源相对较远,特别Z4附近虽然是汇砂中心,但大部分时间短轴物源的影响强于轴向远物源。

2.5 古水流特征

古水流是物源分析方法中重要的参数之一^[22-23]。在本次研究中,选取了Z1、Z2和Z3构造的倾向测井资料进行古水流分析。可以很清楚的看到,大部分井的数据展示的古水流方向均为SE、SW和S向,也就是说,西湖凹陷主水流方向为从N向S。虽然每个数据都来自西湖一口井的单个数据,古水流方向并非一成不变的,而是具有变向性,如Z-1-3井中,古水流流向先从SW转为SE,而Z-1-4井从SE转为SW,充分反映了河流小范围的摆动性(图8),但多口井数据集中来分析,还是具有一定参考价值。

2.6 物源体系讨论

通过利用锆石、重矿物、黏土矿物、古水流方向等资料综合分析,在“源-汇”理论指导下,结合西湖凹陷花港组古地形(图9),厘定工区物源发育特征。西湖凹陷花港组存在4个物源区:北部虎皮礁隆起供给的轴向物源,西侧海礁隆起和渔山东低隆起提供的点物源,以及钓鱼岛隆褶带的东部物源。

不同物源区对西湖凹陷供给能力不一,北部虎皮礁隆起为主物源方向,输砂能力强,供给范围大,中央反转构造带中北部接受虎皮礁轴向物源影响,至Y-2井附近逐渐减弱。轴向物源搬运距离远,输

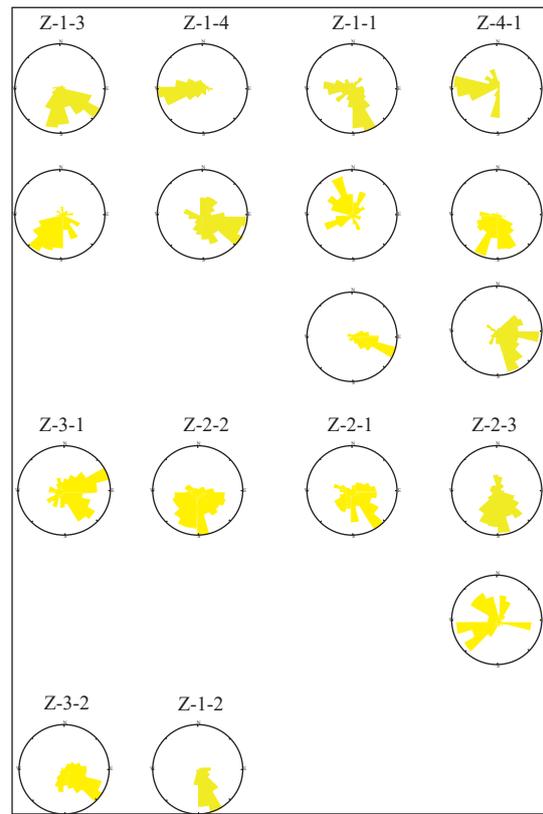


图8 西湖凹陷部分井花港组古水流方向

Fig.8 Characteristics of heavy mineral assembly of Huangang Formation in the Xihu Sag

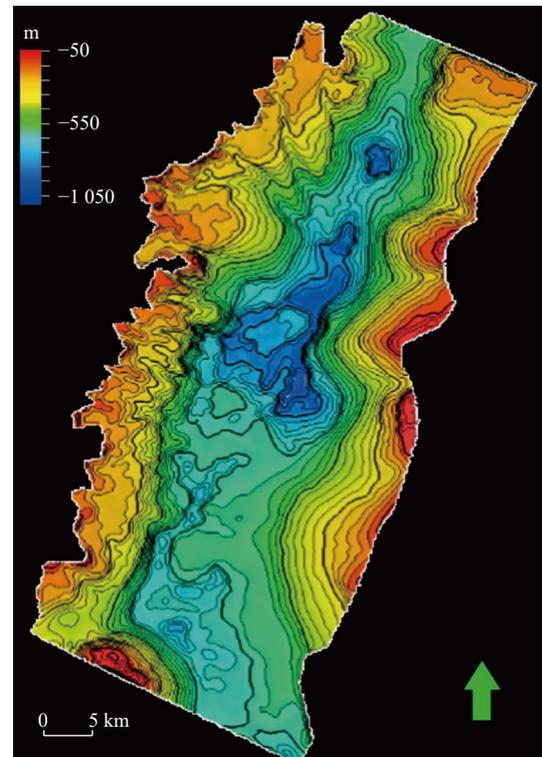


图9 西湖凹陷花港组古地貌

Fig.9 Ancient geomorphology of Huangang Formation in the Xihu Sag

砂量大, 中央反转构造带整体呈现大型厚砂特征, 在 Z4 构造为一个汇砂中心。西侧海礁隆起的点物源主要供给西斜坡及 Z 构造南部 Z5 构造以北地区, Z5 构造呈现明显的混源特征。西斜坡地震剖面上可见多个沟谷体系(图 10), 沟谷自 S 向 N, 由 W 型

或 V 型向深 U 型转变, 其宽深比逐渐增大, 反映西部物源供给逐渐增强, 易于形成大规模储层。而西湖凹陷 C 构造和 X 构造则主要接受西部渔山东低隆起的点物源供给(图 11); 东部钓鱼岛隆褶带物源影响相对有限, 主要供给北部 D 构造和 L 构造。

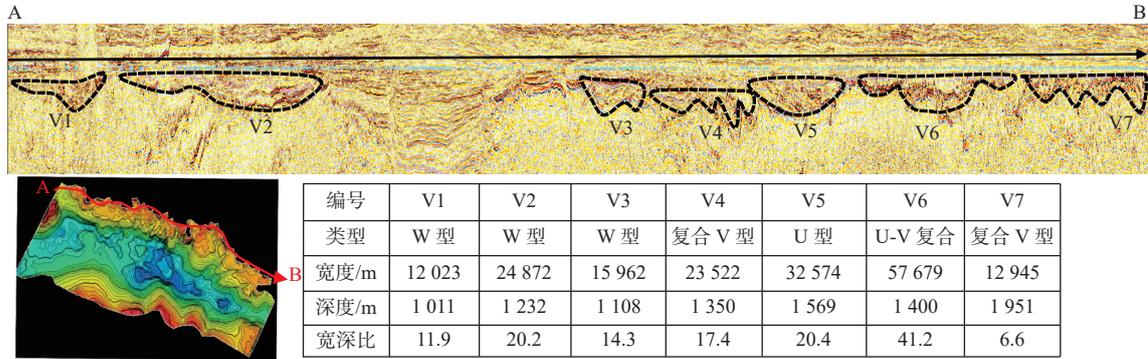


图 10 西湖凹陷西斜坡沟-谷体系识别

Fig.10 Identification of gully-valley system in the western slope of the Xihu Sag

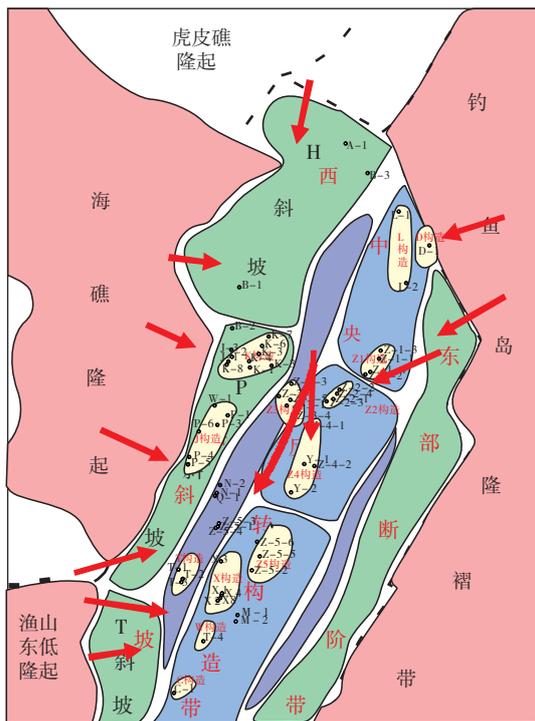


图 11 西湖凹陷物源特征

Fig.11 Provenance characteristics of the Xihu Sag

3 结论

(1) 西湖凹陷花港组沉积时期, 接受虎皮礁隆起、海礁隆起、渔山东低隆起及钓鱼岛隆褶带 4 个物源区混合物源供给, 各物源区供给能力不一。

(2) 锆石定年分析认为, 西湖凹陷母岩年龄主

要以元古宙时期为主, 伴有中生代和晚古生代年龄, 表明具有丰富元古宙锆石的虎皮礁隆起和中古生代锆石为主的海礁隆起为西湖凹陷主要物源来源, 古生代占比高的钓鱼岛隆褶带和中生代为特征的渔山东低隆起影响相对有限。

(3) 重矿物资料及成分成熟度特征分析认为, H 斜坡和 P 斜坡主要接受西侧海礁隆起物源供给, T 斜坡及以南受渔山东低隆起物源供给; 中央反转构造带 Z4 构造以北接受虎皮礁隆起物源供给, 南部受海礁隆起影响逐渐增强; 钓鱼岛隆褶带物源主要供给东部断阶带。

(4) 西斜坡 P 斜坡带及中央反转构造带中南部高岭石含量高, 说明 P 斜坡、中央反转构造带中南部距离物源较近, 特别是 Z4 附近虽然是汇砂中心, 但大部分时间短轴物源的影响强于轴向远物源。

参考文献:

[1] 何昕锴, 李晓龙, 赵洪, 等. 东海西湖凹陷碎屑岩物源聚类分析[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(6): 11-19.

[2] 汪正江, 陈洪德, 张锦泉. 物源分析的研究与展望[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(4): 104-110.

[3] 徐平, 关鸿. 激光探针等离子体质谱用于锆石 Pb-Pb 定年的分析和校正方法的进一步探讨[J]. 地球化学, 2002, 23(3): 257-261.

[4] 赵洪, 蒋一鸣, 沈文超, 等. 西湖凹陷花港组物源特征及对储层的影响研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(2): 65-72.

[5] 张威, 蒙珍, 许淑梅, 等. 从陆内到陆缘: 中国东部古近纪断陷盆地的深部背景及沉积特征[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(7): 1-10.

- [6] 钟韬, 李键, 曹冰, 等. 西湖凹陷花港组储层致密化及其与油气成藏的关系[J]. *海洋地质前沿*, 2018, 34(1): 20-261.
- [7] 武法东, 陆永潮, 阮小燕, 等. 东海西湖凹陷 T-H 地区平湖-花港组物源分析[J]. *科学技术与工程*, 2013, 22(13): 6549-6552.
- [8] 王果寿, 周卓明, 肖朝辉, 等. 西湖凹陷春晓区带下第三系平湖组、花港组沉积特征[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(3): 257-261.
- [9] 张银国. 东海西湖凹陷花港组油气地质条件与油气分布规律[J]. *石油实验地质*, 2010, 32(3): 223-226.
- [10] 鲁法伟, 陈忠云, 王建平, 等. 西湖凹陷油气录井技术识别与评价[J]. *海洋石油*, 2012, 32(1): 79-82, 96.
- [11] 苏奥, 贺聪, 陈汉红, 等. 构造反转对西湖凹陷中部油气成藏的控制作用[J]. *特种油气藏*, 2016, 23(3): 75-78.
- [12] 梁若冰, 李玉珍, 李纯洁, 等. 平湖油气田地质特征与勘探方向[J]. *海洋石油*, 2008, 28(2): 7-13.
- [13] 钟志洪, 张建培, 孙珍, 等. 西湖凹陷黄岩区地质演化及断层对油气运聚的影响[J]. *海洋石油*, 2003, 21: 30-35.
- [14] 郝乐伟, 刘畅, 王琪, 等. 西湖凹陷古近系花港组物源区特征分析[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(2): 315-323.
- [15] 徐杰, 姜在兴. 碎屑岩物源研究进展与展望[J]. *古地理学报*, 2019, 16(3): 379-396.
- [16] 董春梅, 赵仲祥, 张宪国, 等. 西湖凹陷中北部花港组物源及沉积相分析[J]. *东北石油大学学报*, 2018, 42(5): 25-34.
- [17] 张国华, 刘金水, 秦兰芝, 等. 西湖凹陷渐新统花港组大型辫状河沉积体系特征[J]. *中国海上油气*, 2018, 30(3): 10-18.
- [18] 刘金水, 陆永潮, 秦兰芝. 源-汇系统分析方法在大型储集体研究中的应用: 以西湖凹陷中央反转带花港组为例[J]. *石油实验地质*, 2019, 41(3): 303-310.
- [19] 张世奇, 纪友亮, 石占中. 河北黄骅坳陷沈家铺地区孔一段火成岩油气特征[J]. *高校地质学报*, 2001(4): 466-474.
- [20] 秦兰芝, 刘金水, 李帅, 等. 东海西湖凹陷中央反转带花港组锆石特征及物源指示意义[J]. *石油实验地质*, 2017, 39(4): 498-504, 526.
- [21] 刘金水, 邹玮, 李宁, 等. “储保耦合”控藏机制与西湖凹陷大中型油气田勘探实践[J]. *中国海上油气*, 2019, 31(3): 11-19.
- [22] 赵珂, 杜学斌, 杨盼, 等. 西湖凹陷平湖斜坡带的物源分析: 来自碎屑锆石 U-Pb 年代学及重矿物的证据[J]. *地质科技通报*, 2020, 39(3): 68-76.
- [23] 刘新宇, 邵磊, 史德峰, 等. 西沙西科1井元素地球化学特征与海平面升降的关系[J]. *海洋地质前沿*, 2021, 37(6): 8-17.

Multiple approach to the provenance system of Huagang Formation in Xihu Sag, East China Sea

JIANG Xue, XIAO Xiaoguang, WANG Yu

(Shanghai Branch of CNOOC (China) Ltd., Shanghai 200335, China)

Abstract: Provenance analysis is an important mean in petroleum geology. In the oil and gas exploration, the determination of clastic properties, source area direction, and supply amount is important for the prediction of oil and gas reservoirs and favorable oil and gas facies zones. Study of the provenance area provides key information for determining the types and development scale of sedimentary systems in a basin. Xihu Sag is one of the key areas for oil and gas exploration in the East China Sea shelf basin. In recent years, the exploration target of the Xihu Sag has gradually shifted to the Huagang Formation. However, due to the limited data available and the lack of systematic research on provenance system of the Huagang Formation, the prediction of oil and gas reservoirs and favorable oil and gas facies zones is seriously restricted. We comprehensively analyzed the provenance system of the Huagang Formation in the Xihu Sag by using conventional analytical data such as heavy minerals and clay minerals obtained from new drilling into the Xihu Sag in combination of zircon U-Pb dating and FMI imaging logging, and provided a basis for further exploration and development of the Xihu Sag. Result shows that there are four provenance areas in the Huagang Formation of the Xihu Sag, and the provenance is characterized by subsection development. The eastern fault-step belt is obviously influenced by the provenance of the Diaoyudao uplift fold belt to the east. The western slope is dominated by the Haijiao uplift provenance, while the central inversion zone is mainly supplied by the Hupijiao uplift provenance, and the influence of the Haijiao uplift gradually increases southward. The C and X structures in the south of the Xihu Sag were supplied by the Yushandong low uplift to the west.

Key words: Xihu Sag; zircon U-Pb dating; heavy mineral; provenance system; East China Sea