

文章编号: 1000-0550(2014)02-0228-10

# 莺歌海盆地东北部邻区 7 条主要入海河流重砂矿物特征及其地质意义<sup>①</sup>

王 策<sup>1,2</sup> 梁新权<sup>1</sup> 童传新<sup>3,4</sup> 刘 平<sup>4</sup> 裴健翔<sup>4</sup> 付建刚<sup>1,2</sup> 蒋 英<sup>1,2</sup> 周 云<sup>1,2</sup>

(1.中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室 广州 510640; 2.中国科学院大学 北京 100049;

3.中国地质大学 武汉 430074; 4.中海石油有限公司湛江分公司 广东湛江 524057)

**摘 要** 海南岛西部(琼西)是莺歌海盆地东北部的物质来源之一。本文对琼西 7 条主要河流入海口的现代河砂进行了重矿物含量、重矿物组合以及相关特征指数等分析,发现其重矿物含量、磨圆度、组合以及相关重矿物指数从北到南明显不同,反映出碎屑物质搬运距离和源区岩性也明显不同。北部珠碧江重矿物以钛铁矿、电气石、锆石、绿帘石和透闪石为主,磨圆度较差,反映物源主要为近距离的酸性至基性—超基性岩浆岩和变质岩;昌化江重矿物以钛铁矿、磁铁矿、锆石和榍石为主,磨圆比较好,物源可能主要为远距离的酸性和基性岩浆岩;中部北黎河和通天河重矿物以钛铁矿、电气石、锆石、石榴石和透闪石为主,基本没有磨圆,物源主要来自近源区,为未经远距离搬运的变质岩、酸性岩浆岩和基性火山岩;感恩河重矿物以磨圆度差的锆石、钛铁矿、榍石、电气石和褐铁矿等稳定—极稳定重矿物为主,反映源区主要为近距离搬运的岩浆岩;南部望楼河和宁远河重矿物以钛铁矿、磁铁矿、褐铁矿和绿帘石等稳定—不稳定矿物为主,反映的母岩主要为酸性岩浆岩、变质岩和中—基性岩浆岩。这些主要河流入海口的重矿物特征存在明显差异,这与其发源地、流经区域以及流经区域所发育的岩石类型相一致。通过研究琼西地区从北到南不同流域的重矿物组合体系,有助于开展莺歌海盆地源汇对比分析,建立不同区域油气储层碎屑物质来源的识别标志,对该盆地天然气储层物源识别具有重要的地质意义。

**关键词** 重矿物 物源分析 地质意义 莺歌海盆地

**第一作者简介** 王 策 男 1988 年出生 博士研究生 构造地质学 E-mail: wangce@gig.ac.cn

**通讯作者** 梁新权 E-mail: liangxq@gig.ac.cn

中图分类号 P736 文献标识码 A

## 0 引言

重矿物是物源区的重要标志<sup>[1]</sup>,指碎屑岩中密度大于 2.86 g/cm<sup>3</sup> 的陆源碎屑矿物,因其稳定性强,且具有耐磨蚀的特征,能够较多的保留母岩的特征<sup>[2,3]</sup>,加上矿物的多样性和一些因素对矿物组合的影响,使得重矿物分析作为最重要的方法广泛应用于砂岩物源的确定<sup>[4-7]</sup>。

莺歌海盆地大地构造位置上处于印支地块、华南地块与中国南海大陆架交接处,呈北西向展布,属红河断裂带在海域的延伸部位<sup>[8-10]</sup>,其形成和演化受控于红河断裂走滑与南海扩张作用的双重影响<sup>[9-11]</sup>。该盆地具有双重结构,即下第三系为断陷,上第三系为坳陷,为典型的快速沉降和沉积的高温高压型盆地<sup>[12]</sup>。现已钻探 25 个构造,发现多个浅层气田和含油气构造<sup>[13]</sup>,如 DF1-1 大气田和 LD22-1 大气

田,储量在 1 000×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 和 300×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 以上<sup>[11]</sup>。因其特殊的构造背景、巨厚的沉积盖层、强烈的泥底辟构造以及丰富的天然气资源等奇特的地质现象,已成为国内外学者研究的热点<sup>[8,14]</sup>。

物源体系识别是莺歌海盆地油气勘探的重要问题之一,已经受到广泛的关注。莺歌海盆地拥有多个物源体系,包括越南北部、越南中南部以及海南岛西部(琼西)。琼西作为莺歌海盆地重要物源区之一,由一系列大小不一的河流为盆地带来碎屑物质,这些河流从北到南包括珠碧江、昌化江、北黎河、通天河、感恩河、望楼河和宁远河等。前人对海南岛方面的物源进行过一些研究<sup>[9,15-18]</sup>。武凤良<sup>[16]</sup>通过层序地层学分析指出,莺歌海盆地上渐新统凌水组以上的地层一般有三个物源方向,分别为红河三角洲的长源物源、海南隆起以及推测昆嵩隆起的短源物源;何家雄等<sup>[17]</sup>认为莺歌海泥底辟带的物源主要来自盆地西北

<sup>①</sup>国家科技重大专项(编号:2011ZX05023-004-11)与国家自然科学基金(编号:41072081,40872080)联合资助

收稿日期:2012-12-27;收修改稿日期:2013-03-19

部越南方向远距离的红河大物源体系,但也不能完全排除和低估海南岛近物源体系的复合重叠的重大影响,一定有南海近物源体系对莺歌海底辟带的快速输入;谢玉洪等<sup>[9,13]</sup>对盆地地震剖面、古地貌形态和钻井岩心(岩屑)重矿物资料进行研究,结果显示盆地不同油气构造区物源体系均有所不同,即使同一构造区在不同沉积层也存在差异,在盆地东部同一沉积层反映海南岛物源的重矿物含量和组合在不同构造区也有明显变化,并指出盆地东部物源主要来自海南岛诸河流;Yan Y *et al.*<sup>[18]</sup>对盆地物源的碎屑锆石 U-Pb 年龄研究后得出了海南岛是莺歌海重要且持久物源的结论;裴健翔等<sup>[15]</sup>在阐述中深层勘探面临的主要问题时指出,盆地内同期发育的沉积体系相互交错、相互影响,造成各物源控制的沉积体系识别困难。显然,已有研究成果表明,海南岛物源对莺歌海盆地有重要影响,是其主要物质来源,但目前尚缺乏对莺歌海盆地物源一个系统性的综合研究,包括海南岛和越南等源区重矿物和地球化学分析及对比,这样限制了对莺歌海盆地物源分析的准确性。

本文对莺歌海盆地东北部邻区海南岛西南部主要河流入海口重砂矿物研究成果,旨在建立从北到南不同流域的重矿物组合体系,为莺歌海盆地储层物质来源分析提供在重砂矿物方面有效的识别标志。

## 1 莺歌海盆地东北部邻区主要河流特征及其发育地质背景

海南岛位于莺歌海盆地东北部邻区,在大地构造上处于华南地块和印支地块之间,具有复杂的地质构造演化历史<sup>[19]</sup>,是联系印支半岛和华南陆块构造演化的重要地区之一<sup>[20]</sup>。岛内地层发育较全,自中元古界至第四系,除缺失蓟县系、泥盆系以及侏罗系外,其它地层均有分布<sup>[21]</sup>,岛内岩浆岩分布广泛,且具有多期次活动特征。海南岛西部现代主要入海河流发源位置及其地质背景如图1所示。

北部珠碧江发源于海南白沙县中部的南高岭,自南向北流至巷后折向西北流,进入儋州市海头镇注入南海。珠碧江干流全长约86 km,流域面积约1 100 km<sup>2</sup>。流经区域广泛出露早古生代基性火山岩和晚古生代—中生代的黑云二长花岗岩、黑云花岗闪长岩和花岗斑岩,以及古生界细碎屑沉积岩或浅变质碎屑沉积岩,如千枚岩、板岩、变质粉砂岩、细砂岩等。

昌化江,也称昌江,是海南岛的第二大河流,它发源于海南琼中黎母山林区的空示岭,横贯海南岛的中

西部,河流自东北向西南流过琼中五指山,在乐东县转向西北,最后从东方市穿过昌江县的昌化港西流入南海,在入海口冲出一个广阔的喇叭口。昌化江干流全长232 km,流域面积5 150 km<sup>2</sup>,总落差1 270 m。流经区域广泛出露晚古生代—中生代花岗岩和前寒武系—中生界变质岩和碎屑沉积岩,如前寒武系云母石英片岩、石英岩、斜长片麻岩和混合片麻岩,上古生界石英岩、绢云板岩、砂砾岩、灰岩和基性火山岩,中生界砂岩、泥岩、砂砾岩,以及前寒武纪片麻状二长花岗岩和片麻状花岗闪长岩,晚古生代的黑云二长花岗岩,中生代黑云正长花岗岩、黑云二长花岗岩、花岗斑岩、流纹岩以及安山岩等。

北黎河位于东方市北东向10 km,它发源于探贡水库一带,向西经过南尧、唐马园和北黎村,最终通过墩头港入海,河流全长22 km。流经区域出露前寒武系变质岩和前寒武纪—中生代岩浆岩,如前寒武系云母石英片岩、长石石英岩、斜长片麻岩、混合片麻岩和片麻状花岗闪长岩,以及晚古生代—中生代黑云二长花岗岩。

通天河位于东方市南13 km处,发源于湾溪水库和柴头水库一带,向西经过新龙镇,通过通天港入海,河流全长16 km。流经区域主要出露前寒武系—古生界变质岩和古生代—中生代岩浆岩,如前寒武系云母石英片岩和长石石英岩,下古生界千枚岩、变质砂岩、板岩以及基性火山岩,晚古生代—中生代斑状英云闪长岩和含斑黑云二长花岗岩。

感恩河又称雨龙河、城东河,发源于海南省东方市山猪岭,上游由南向北,后折向西流,流经陀烈谷地和陀兴水库至感城港出海。河长63 km,流域面积37 km<sup>2</sup>。流经区域出露古生界变质岩、碎屑沉积岩以及中生代岩浆岩,如下古生界千枚岩、变质砂岩、板岩、粉砂岩和绢云板岩,上古生界砾岩、灰岩、砂岩和板岩,以及中元古代—中生代黑云二长花岗岩、斑状黑云正长花岗岩等。

望楼河又名乐罗溪,发源于乐东县尖峰岭,向东流至坡毛园后折向西南,于乐东县乐罗镇注入南海。河流全长87 km,流域面积827 km<sup>2</sup>,途径长茅水库和石门水库。流经区域广泛出露前寒武系—中生界变质岩和碎屑沉积岩,如云母石英片岩、斜长片麻岩、混合片麻岩、砂岩、泥岩、粉砂岩等,以及古生代—中生代黑云二长花岗岩、角闪黑云花岗闪长岩和安山—英安质火山岩。

宁远河发源于海南保亭黎族苗族自治县西部毛

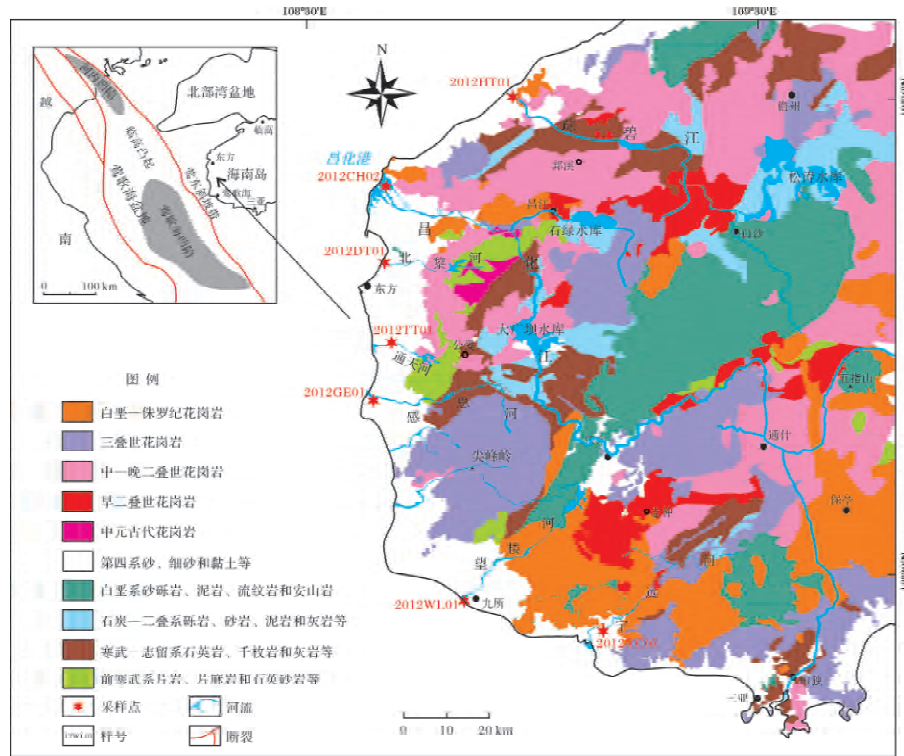


图 1 莺歌海盆地东北部邻区主要河流发源位置、地质背景及采样点

Fig.1 Water systems , geological setting and sampling position in adjacent area of northeastern Yinggehai Basin

感乡仙安石林南麓,在三亚崖城镇注入南海。河流全长 84 km,流域面积 1 020 km<sup>2</sup>。流经区域出露古生界变质岩和碎屑沉积岩,如变质砂岩、千枚岩、石英岩、砾岩、砂岩、板岩和灰岩,晚古生代和中生代黑云二长花岗岩、角闪黑云花岗闪长岩、花岗斑岩、流纹岩、安山岩以及玄武岩。

## 2 样品采集与处理

研究以莺歌海盆地东北部邻区主要河流为向导,在海南岛西部的珠碧江、昌化江、北黎河、通天河、感恩河、望楼河和宁远河 7 大河流体系的入海口处采集 7 个现代河砂样品(采样点见图 1),采样深度为地表 10~20 cm,面积约 10~15 m<sup>2</sup>范围,重量不少于 4 kg,将得到的样品进行重砂矿物分析鉴定,实验步骤如下:

(1) 取原样用去离子水和双氧水浸泡 2 d,筛选出 0.27~0.063 mm 粒级沉积物样品,用去离子水清洗 2~3 遍,然后进行低温(<60℃)烘干称重。

(2) 将烘干的样品放入装有三溴甲烷(密度为 2.88 g/cm<sup>3</sup>)的定制分离仪器中,充分搅拌、静置,进行轻重矿物分离,分离后的重矿物用酒精冲洗 2~3 次后放入 60℃ 恒温箱中烘干称重。

(3) 将重矿物铺在玻璃板上进行磁选,分离出的磁性矿物和无磁性矿物,分别称重后记录。

(4) 经上述三个步骤样品被分成轻矿物和重矿物(磁性组和无磁性组),分别进行双目镜鉴定、每个样品的镜下鉴定 > 600 粒矿物,计算每个样品中每种矿物的颗粒百分比。对细粒、无晶形者比较难认矿物,配合油浸法进行有效鉴别。

### 2.1 重矿物含量鉴定结果

各样品重矿物分析鉴定结果见表 1 和图 2。根据对河砂的沉积环境及源区的分析,将其重矿物分为以下几类组合:(1) 稳定矿物组合,主要包括锆石、电气石、金红石、锐钛矿和白钛石;(2) 较稳定矿物组合,主要包括石榴石和磷灰石;(3) 不稳定矿物组合,主要为角闪石、绿帘石和辉石;(4) 沉积指相矿物,包括褐铁矿和黄铁矿。

北部珠碧江样品(2012HT01)以钛铁矿、绿帘石和透闪石为主,占 45.8%;次为电气石、锆石和榍石,占 22.5%;其它重砂矿物占 31.6%。其中稳定矿物占到 27.0%,不稳定矿物占 17.9%。重矿物组合为钛铁矿+绿帘石+透闪石+电气石+锆石+榍石。

北部昌化江样品(2012CH01)以钛铁矿、锆石和磁铁矿为主,占 58.7%;次为榍石、白钛石和褐铁矿,

占22.0%;其它重砂矿物占19.2%。其中稳定矿物占30.9% 不稳定矿物占8.7%。重矿物组合为钛铁矿+锆石+磁铁矿+榍石+白钛石。

中部北黎河(2012DT01)和通天河样品(2012TT01)以钛铁矿、电气石和锆石为主,分别占45.7%和38.6%,平均42.1%;次为磁铁矿、透闪石、白钛石和锐钛矿,分别占24.6%和20.7%,平均22.7%。其中稳定矿物分别为37.9%和44.6%,平均41.3%,不稳定矿物分别为13.3%和3.4%,平均8.3%。重矿物组合为钛铁矿+电气石+锆石+磁铁矿+透闪石+白钛石+锐钛矿。

中部感恩河样品(2012GE01)重矿物含量与组合相对北部和南部河流变化较大,以锆石、褐铁矿和榍石为主,占69.8%;次为磁铁矿、钛铁矿和电气石,占20.6%。其中稳定矿物占53.9%,不稳定矿物占2.7%。重矿物组合为锆石+褐铁矿+榍石+磁铁矿+电气石+钛铁矿。

南部望楼河样品(2012WL01)和宁远河样品

(2012YC01)以磁铁矿、锆石、榍石和钛铁矿为主,分别占66.5%和53.5%,平均59.9%;次为绿帘石、褐铁矿和辉石,分别占20.8%和29.7%,平均25.3%。其中稳定矿物分别为20.6%和25.2%,平均22.9%,不稳定矿物分别为15.1%和19.2%,平均17.1%。重矿物组合为磁铁矿+锆石+榍石+钛铁矿+绿帘石+褐铁矿。

## 2.2 重矿物颗粒特征鉴定结果

在对样品不同矿物颗粒进行分析统计的基础上,镜下观察重矿物颗粒特征,主要包括矿物颜色、晶体形态、磨圆度以及晶体大小。各河流样品重砂矿物特征描述见表2。

从表2可以看出,北部珠碧江重矿物中稳定矿物多为棱角状、粒状和柱状,少数次滚圆状,磨圆度相对较差。锆石呈黄色、白色等,以柱状为主,少量还含有包体,且多具裂纹;金红石呈褐红、黑色,粒状为主,个别为柱状,延长系数为1.5~2.0;电气石为褐色、绿色,多为棱角状,少数具有磨圆。不稳定矿物晶型较

表1 莺歌海盆地东北部邻区主要河流重矿物组成含量百分比及特征指数

Table 1 Composition percentage content, ATi, MZi, GZi and ZTR of heavy minerals of main water systems in adjacent area of northeastern Yinggehai Basin

河流 样品编号	珠碧江 2012HT01	昌化江 2012CH01	北黎河 2012DT01	通天河 2012TT01	感恩河 2012GE01	望楼河 2012WL01	宁远河 2012YC01
锆石	9.7	20.5	15.6	5.7	44.4	15.0	17.7
金红石	2.0	0.6	1.6	2.6	0.6	1.7	1.9
电气石	7.6	0.4	7.3	18.4	6.5	0.5	0.5
锐钛矿	3.3	2.8	5.0	10.9	1.9	1.3	1.9
白钛石	4.6	6.6	8.4	7.0	0.6	2.2	3.3
榍石	7.8	10.5	1.2	5.4	12.6	21.3	5.5
铬尖晶石	0.7	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
钛铁矿	17.9	20.6	22.8	14.5	6.5	14.7	7.8
磁铁矿	2.6	17.6	1.3	13.9	7.7	15.6	22.4
蓝晶石	0.5	0.4	0.6	2.2	0.0	0.0	0.0
独居石	0.7	0.1	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0
石榴石	3.5	2.2	6.6	5.8	1.1	1.4	0.9
磷灰石	1.2	0.2	0.2	0.9	1.0	0.2	0.4
褐铁矿	4.8	4.9	5.2	2.0	12.8	7.6	12.7
透闪石	14.9	2.2	10.0	6.1	0.6	3.2	2.3
绿帘石	13.1	3.3	3.7	0.9	2.2	8.5	12.2
辉石	2.0	2.2	4.4	2.0	0.5	4.7	4.8
角闪石	2.8	3.3	5.2	0.5	0.0	1.9	2.1
黄铁矿	0.6	1.7	0.4	0.7	1.2	0.3	3.7
特征指数							
ATi	14.0	28.6	2.6	4.6	13.1	27.3	46.7
MZi	6.9	0.4	1.2	7.7	0.0	0.0	0.0
GZi	26.4	9.6	29.9	50.5	2.3	8.8	4.8
ZTR	19.2	21.5	24.5	26.7	51.4	17.1	20.0

注:所有重矿物数值均为颗粒数量相对百分比,特征指数引用Morton, A.C.<sup>[7]</sup>(1994)的算法:ATi=100×磷灰石/(磷灰石+电气石);MZi=100×独居石/(独居石+锆石);GZi=100×石榴石/(石榴石+锆石);ZTR为锆石、金红石和电气石的百分含量。

表 2 不同河流重矿物颗粒特征

Table 2 Particle characteristics of heavy mineral in different rivers

河流 样号	珠碧江 2012HT01	昌化江 2012CH01	北黎河 2012DH01	通天河 2012TT01	感恩河 2012GE01	望楼河 2012WL01	宁远河 2012YC01
锆石	柱状为主, 粒状次之; 晶体大小主要为0.05~0.25 mm	次滚圆粒状, 柱状次之; 晶体大小主要为0.05~0.25 mm	多为长、短柱状, 次滚圆柱状次之; 晶体主要为0.06~0.25 mm	次棱角柱状至次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.05~0.1 mm	棱角到次棱角柱状为主; 粒状次之; 晶体主要为0.05~0.1 mm	棱角到次棱角柱状, 粒状次之; 晶体大小主要为0.1~0.13 mm	棱角到次棱角柱状, 粒状次之; 晶体大小主要为0.1~0.13 mm
金红石	褐色、黑色; 粒状为主, 个别柱状; 晶体大小主要为0.07~0.2 mm	红色、褐色; 次滚圆粒状, 个别柱状; 晶体大小为0.08~0.25 mm	褐色、黑色; 粒状为主, 少量柱状; 晶体主要为0.08~0.25 mm	红色、黑色; 次棱角柱状、粒状, 偶见屈膝双晶	黑红色; 次棱角柱状; 晶体大小主要为0.08~0.15 mm	红色、黑红色; 粒状; 晶体大小主要为0.1~0.14 mm	红色、黑色; 粒状; 晶体大小主要为0.1~0.14 mm
电气石	褐色、绿色; 多为棱角状, 少数滚圆粒状及柱状	绿色; 次滚圆粒状, 个别柱状, 晶体大小主要为0.1~0.33 mm	绿色、褐色; 次滚圆柱状、柱状, 晶体主要为0.07~0.25 mm	茶褐色; 次滚圆柱状、柱状, 晶体大小主要为0.18~0.3 mm	茶褐色; 次滚圆柱状、粒状; 晶体大小主要为0.1~0.15 mm	茶绿色; 次滚圆柱状、粒状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm	茶褐色; 次滚圆柱状、粒状; 晶体大小主要为0.08~0.12 mm
锐钛矿	黄色和灰蓝色; 粒状和双锥状为主; 晶体大小为0.05~0.18 mm	黄色、灰蓝色; 粒状和双锥状为主; 晶体大小为0.05~0.25 mm	黄色、灰蓝色; 粒状、双锥状; 晶体大小主要为0.05~0.18 mm	灰蓝色、黄色; 不规则粒状、双锥状; 主要为0.15~0.25 mm	黄色、灰蓝色; 不规则粒状、双锥状; 晶体大小为0.08~0.15 mm	黄色、灰黄色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm	灰蓝色、黄色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.05~0.12 mm
白钛石	白色、灰黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.08~0.35 mm	白色、灰黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.08~0.35 mm	黄色、白色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.1~0.35 mm	灰白色、土黄色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.2~0.37 mm	灰白色; 呈次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm	灰白色、土黄色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.15~0.25 mm	灰白色、土黄色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm
楣石	黄棕色; 不规则圆角状; 晶体大小主要为0.08~0.35 mm	黄色、灰白色; 不规则圆角状; 晶体大小主要为0.08~0.35 mm	浅黄色; 扁圆粒状、柱状; 晶体大小为0.1~0.25 mm	黄色; 不规则扁圆角状; 晶体大小主要为0.1~0.25 mm	黄色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm	黄色; 不规则扁圆角状; 晶体大小主要为0.15~0.25 mm	黄色; 不规则粒状、球扁平信封状; 晶体大小为0.12~0.2 mm
锆尖晶石	铁黑色; 棱角状, 顶角和晶棱均有浑圆现象。	铁黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.05~0.28 mm	黑色; 多呈棱角状, 晶体大小主要为0.1~0.2 mm	铁黑色; 不规则扁圆粒状、棱柱状; 晶体大小为0.07~0.15 mm	铁黑色; 呈不规则扁平粒状、棱角状; 晶体大小为0.1~0.15 mm	铁黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm	铁黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.08~0.15 mm
钛铁矿	铁黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.05~0.28 mm	铁黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.05~0.28 mm	铁黑色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.05~0.25 mm	铁黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.08~0.12 mm	铁黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.10~0.18 mm	铁黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.13~0.25 mm	铁黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm
磁铁矿	铁黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.07~0.25 mm	铁黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.07~0.25 mm	铁黑色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.07~0.25 mm	白色; 次棱角柱状; 晶体大小主要为0.25~0.55 mm	白色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.05~0.1 mm	白色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.08~0.25 mm	白色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.08~0.25 mm
蓝晶石	主要为无色; 板柱状; 晶体大小主要为0.45~0.65 mm	无色; 圆角状、板柱状; 晶体大小主要为0.15~0.4 mm	白色; 圆角状、板柱状; 晶体大小主要为0.25~0.55 mm	白色; 次棱角柱状; 晶体大小主要为0.25~0.55 mm	白色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.05~0.1 mm	白色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.08~0.25 mm	白色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.08~0.25 mm
独居石	黄色; 扁圆粒状; 晶体大小主要为0.07~0.15 mm	黄色; 粒状, 个别柱状; 晶体大小主要为0.08~0.25 mm	金黄色; 扁圆及椭圆粒状; 晶体大小主要为0.08~0.25 mm	黄色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.05~0.1 mm	淡粉色; 不规则棱角状; 晶体大小主要为0.15~0.3 mm	淡粉色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm	淡粉色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.1~0.15 mm
石榴石	橙红色; 棱角状; 晶体大小主要为0.1~0.35 mm	玫瑰色; 多为棱角状, 少数稍滚圆; 晶体大小主要为0.12~0.35 mm	橙黄色; 多为不规则圆角状, 少数棱角状	淡粉色; 不规则棱角状; 晶体大小主要为0.15~0.3 mm	淡粉色; 呈不规则棱角状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm	淡粉色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm	淡粉色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.1~0.15 mm
磷灰石	无色; 次滚圆粒状、柱状; 晶体大小主要为0.1~0.35 mm	白色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.07~0.2 mm	无色; 圆角柱状; 晶体大小主要为0.1~0.15 mm	白色; 次滚圆粒状、粒状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm	白色; 次滚圆短柱状; 晶体大小主要为0.06~0.1 mm	无色; 次滚圆粒状、柱状; 晶体大小主要为0.08~0.14 mm	白色; 次滚圆粒状、柱状; 晶体大小主要为0.1~0.14 mm
褐铁矿	红褐色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.08~0.3 mm	红褐色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.08~0.3 mm	红褐色; 次滚圆粒状; 晶体大小主要为0.07~0.35 mm	红褐色; 不规则扁圆粒状、棱角状; 主要为0.07~0.15 mm	褐红色; 呈不规则粒状; 主要晶体大小为0.12~0.2 mm	褐红色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.1~0.2 mm	褐红色; 呈不规则粒状; 晶体大小主要为0.12~0.15 mm
透闪石	白色; 柱状; 晶体大小主要为0.12~0.45 mm	白色、无色; 圆角柱状; 晶体大小主要为0.15~0.35 mm	白色, 颜色分布不均匀; 圆角柱状, 有斑点状至条带状;	白色、浅黄色; 次棱角柱状; 晶体大小主要为0.2~0.35 mm	白色; 次棱角柱状; 主要晶体大小为0.15~0.25 mm	白色; 次棱角柱状; 晶体大小主要为0.15~0.2 mm	白色; 次棱角柱状; 晶体大小主要为0.15~0.2 mm
绿帘石	黄绿色; 滚圆粒状为主, 个别柱状; 晶体大小主要为0.12~0.45 mm	黄绿色; 粒状, 个别柱状; 晶体大小主要为0.15~0.43 mm	黄绿色; 粒状, 个别柱状; 晶体大小主要为0.08~0.3 mm	黄绿色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm	黄绿色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.1~0.15 mm	黄绿色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.15~0.25 mm	黄绿色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.15~0.25 mm
辉石	绿色; 呈柱状; 晶体大小主要为0.12~0.25 mm	绿色; 棱角至次棱角柱状; 晶体大小主要为0.12~0.25 mm	深绿色; 棱角至次棱角柱状; 晶体大小主要为0.1~0.38 mm	绿色; 次棱角柱状; 晶体大小主要为0.15~0.3 mm	绿色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.15~0.2 mm	绿色; 呈次棱角柱状; 晶体大小主要为0.2~0.35 mm	绿色; 呈次棱角柱状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm
角闪石	深绿色; 次棱角柱状; 晶体大小主要为0.12~0.35 mm	墨绿色; 棱角至次棱角柱状; 晶体大小主要为0.15~0.35 mm	墨绿色; 棱角至次棱角柱状; 晶体大小主要为0.15~0.4 mm	墨绿色; 次棱角柱状; 晶体大小主要为0.2~0.3 mm	墨绿色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.05~0.15 mm	墨绿色; 次棱角柱状; 晶体大小主要为0.2~0.35 mm	墨绿色; 次棱角柱状; 晶体大小主要为0.12~0.2 mm
黄铁矿	黄铜色; 粒状, 个别立方体; 晶体大小主要为0.05~0.15 mm	暗黄色; 球霉状, 晶体大小主要为0.05~0.15 mm	黄铜色; 棱角状, 个别球状; 晶体大小主要为0.05~0.15 mm	黄铜色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.05~0.15 mm	黄铜色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.07~0.12 mm	黄铜色; 不规则粒状; 晶体大小主要为0.1~0.14 mm	黄铜色; 不规则粒状、球状; 晶体大小主要为0.05~0.1 mm

好 辉石、角闪石等多呈柱状, 反映出未经过长距离搬运的特征。矿物特征颗粒特征显示该河流样品为近距离物源。

北部昌化江矿物磨圆度较好, 多呈次滚圆状、粒状, 部分为圆角状(表 2)。锆石、金红石和电气石等稳定矿物均有磨圆, 且以次滚圆粒状为主; 楣石为黄色、灰白色, 呈现不规则的圆角状, 显示出较好的磨圆度。不稳定重矿物含量低且有磨圆。矿物颗粒特征表明昌化江流域样品经历了长距离的搬运, 为远距离

物源。

中部北黎河和通天河稳定矿物多为柱状、粒状、小部分见磨圆(表 2)。锆石呈白色、浅玫瑰色, 以柱状为主, 少数颗粒有裂纹发育; 金红石为褐色、红色和黑色, 次棱角柱状到粒状。绿帘石、辉石和角闪石等不稳定矿物含量较高, 多为棱角至次棱角柱状, 磨圆较差。矿物颗粒特征反映北黎河和通天河样品物源主要来自近源区, 未经历远距离搬运。

中部感恩河稳定矿物含量高, 但稳定矿物晶型较

好,磨圆度差(表 2)。锆石、金红石和电气石等稳定矿物多呈棱角到次棱角柱状,反映未经历远距离搬运的特征。锆石以黄色、红色为主,少量浅玫瑰色,偶见包体存在。不稳定矿物含量低,多为粒状、柱状。矿物颗粒特征反映中部感恩河样品为近距离物源。

南部望楼河和宁远河稳定矿物晶型较好(表 2),锆石呈黄色、浅玫瑰色,以棱角到次棱角状为主,多数晶体内部含浅色包体,晶体大小集中在 0.10~0.13 mm;金红石、电气石、锐钛矿和白钛石主要呈柱状和粒状,磨圆较差。不稳定矿物绿帘石、辉石等含量高,且磨圆差,矿物成熟度相对低。矿物颗粒特征反映两条河流样品搬运距离均不远,应以近距离物源为主。

### 3 物源分析

#### 3.1 重矿物组合及物源

砂岩中重矿物组合的成分可能很大程度上受风化、搬运、沉积和成岩作用过程的影响<sup>[7]</sup>,通过重矿

物组合特征,可以判断物源区母岩类型及其形成背景,推测物源搬运距离<sup>[5,7,22]</sup>。根据表 1 做重矿物颗粒百分含量柱状图(图 2)。

一般认为金红石、蓝晶石和石榴石是中高级变质岩中的主要矿物,存在于金红石大理岩和蓝晶石片麻岩中;铬尖晶石与基性—超基性侵入岩有关;钛铁矿与辉长—辉绿岩或二长花岗岩有关;磁铁矿、钛铁矿、锐钛矿、辉石和角闪石是基性岩浆岩存在的标志<sup>[23]</sup>;锆石存在于不同的岩石类型(碎屑沉积岩、变质岩和岩浆岩)中,但锆石的磨圆度能反映物源搬运的相对距离。

ZTR 指数(表 1)用于判断重矿物成熟度,由 Hubert<sup>[4,24]</sup>首次提出,指锆石、金红石和电气石的透明矿物的百分含量,系统的分析可用于判断物源距离和方向<sup>[3,6,7,25~28]</sup>。

(1) 北部珠碧江,锆石、电气石、金红石和榍石含量高,是典型的酸性岩浆岩的产物,可能主要由流经

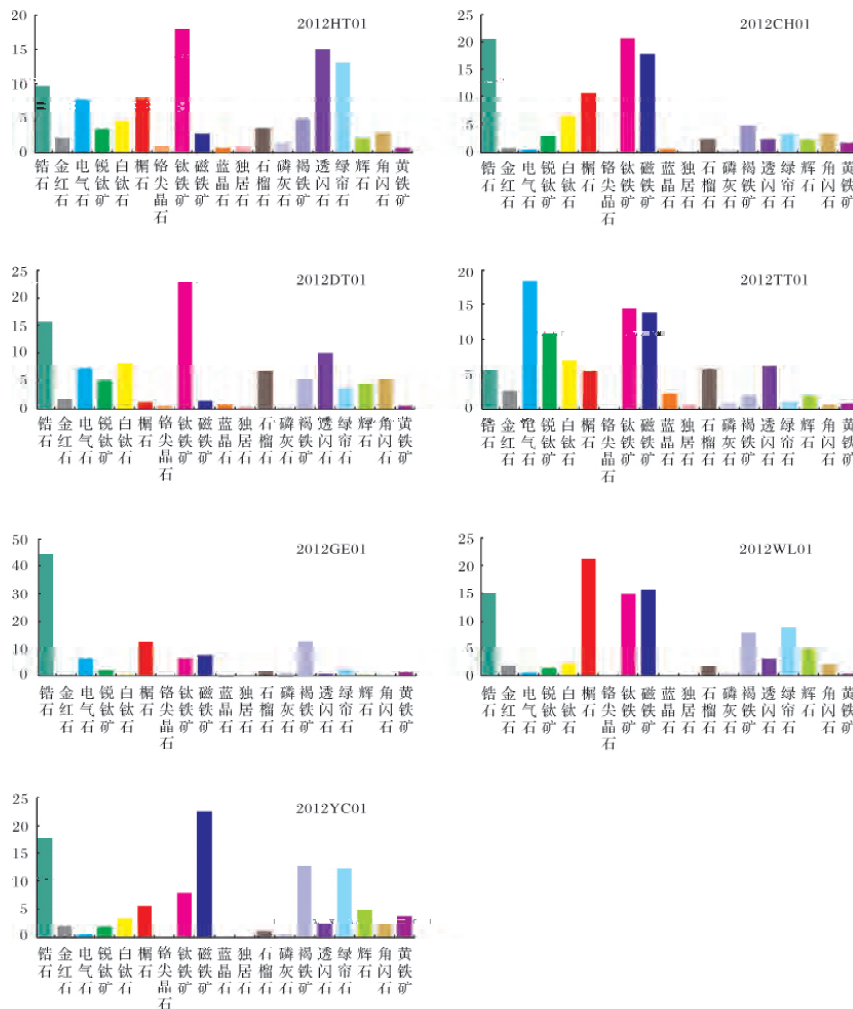


图 2 主要河流体系重矿物百分含量柱状图

Fig.2 Content histogram of heavy minerals from main water systems

区域的红岭和娥黄岭一带所出露的晚古生代—中生代花岗岩<sup>[31]</sup>风化剥蚀提供; 钛铁矿、磁铁矿和铬尖晶石是中—基性火成岩存在的标志, 可能为该流域邦溪—雅星—珠碧江农场一带所出露的奥陶纪基性火山岩提供的碎屑物质<sup>[30, 31]</sup>; 绿帘石是蚀变或变质作用的产物, 可以从斜长石、辉石和角闪石中析出而形成绿帘石族矿物, 在绿片岩相中有广泛发育。此外, 绿帘石也为基性岩浆岩动力变质的常见矿物。绿帘石与石榴石和蓝晶石通常反映了变质岩的物源。邦溪—雅星—珠碧江农场一带早古生代基性火山岩都发生了中—高级变质作用<sup>[30, 31]</sup>。样品稳定矿物磨圆较差, 不稳定矿物晶型好, 反映物源以近源为主。其 ZTR 指数偏低, 为 19%(表 1), 反映沉积物重矿物的成熟度低, 可能是来自不同岩石类型和不同距离的各种密度的碎屑矿物大量堆积, 稀释了稳定重矿物的相对含量, 而导致重矿物成熟度降低。

(2) 北部昌化江显示锆石、榍石、钛铁矿、磁铁矿和白钛石等重砂矿物含量高, 反映该组合母岩主要为酸性和基性岩浆岩, 其次为沉积岩和变质岩。这与流域在通什和昌江地区大面积出露的晚古生代—中生代花岗岩, 乐东到昌江段前寒武系—中生界碎屑沉积岩、变质岩和中—基性火成岩密切相关<sup>[21]</sup>。锆石作为稳定矿物产于各类火成岩、变质岩和碎屑沉积岩中, 可以通过不同距离搬运富集<sup>[25]</sup>。主要矿物磨圆度较好, 不稳定重矿物含量低且部分有磨圆, 说明物源主要来自远源区。昌化江样品 ZTR 指数与珠碧江的相似, 约为 21%(表 1), 可能反映沉积物中来自不同岩石类型和不同距离的各种密度的碎屑矿物大量堆积, 稀释了稳定重矿物的相对含量。

(3) 中部北黎河和通天河重矿物组合中, 电气石和锆石主要来自区域大规模出露的酸性岩浆岩, 应为河流东部中元古代和中部晚古生代花岗岩风化剥蚀的结果。钛铁矿、磁铁矿和锐钛矿组合反映基性火山岩的母岩特征。此外, 还有变质岩母岩的存在, 这与北黎河和通天河流经区域公爱 and 抱板等地区分布的前寒武系变质岩和早古生代中—基性火成岩相一致。稳定矿物磨圆较差, 不稳定矿物含量一般, 但晶型较好。样品 ZTR 指数亦偏低, 只有 24%~26%, 反映重矿物成熟度不高, 有大量其它密度碎屑物质的加入。

(4) 中部感恩河重矿物含量与组合相对北部和南部河流变化比较大。重矿物以稳定—极稳定矿物为主, 锆石、榍石和电气石含量高反映源区主要为酸性岩浆岩, 其次还有中—基性岩浆岩。物源应来自尖

峰岭一带中生代花岗岩和区域中—基性侵入岩岩脉<sup>[21]</sup>。该河流 ZTR 指数大, 为 51%(表 1), 显示矿物成熟度高。但锆石等稳定矿物大都呈棱角到次棱角柱状, 磨圆较差, 反映出物源大都为近距离来源的酸性岩浆岩。

(5) 南部望楼河和宁远河重矿物组合表明母岩物源复杂, 含量较高的锆石、榍石、金红石主要来自区域大面积出露的晚古生代—中生代酸性岩浆岩(如花岗岩); 磁铁矿、钛铁矿、辉石、角闪石和锐钛矿反映出基性岩浆岩的母岩类型, 与高峰和豪岗岭等地出露的中生代中—基性岩浆岩有关; 绿帘石和辉石则来自毛感西部一带下古生界变质岩, 白钛石、褐铁矿以及磨圆度好的锆石、金红石可能与毛感、高峰等地区中生界沉积岩相关。稳定矿物晶型较好, 不稳定矿物含量高, 两条河流的 ZTR 指数较小(表 1), 反映成熟度相对比较低, 源区岩石多样, 搬运距离不远, 应以近距离物源为主。

### 3.2 重矿物指数分析

单颗粒重矿物含量比值具有一定的源区意义<sup>[3]</sup>。由于一些特殊重矿物之间的比值能够抵抗在沉积循环过程中的变化, 因此可以很好的反应母岩的特征<sup>[7]</sup>, 常采用的比值包括 ATi、MZi 和 GZi。ATi 可以指示层序是否受到酸性地下水循环的影响<sup>[6]</sup>, 常用于判断火山岩中磷灰石的风化程度; MZi 用于指示深埋物源的数量和特征; GZi 可以判断石榴石的稳定性和其变质岩物源特征。琼西主要河流的 ATi、MZi 和 GZi 特征指数见表 1。

ATi 指数除中部北黎河、通天河低(<5)外, 其它南、北部河流都出现比较高(>13)的变化特征(表 1)。中部北黎河、通天河 ATi 指数低, 可能与母岩成分中磷灰石含量少或磷灰石经历了强烈的风化作用有关。北部珠碧江、昌化江和南部的感恩河、望楼河、宁远河 ATi 指数相对中部河流样品高, 显示出这三条河流流经区域源区火成岩风化程度较弱。

MZi 指数在琼西河流中普遍较低(平均 2.3), 南部地区三条水系(感恩河、望楼河、宁远河)均为 0(表 1), 推测这三条河流没有或很少有深源物质的加入。北部河流样品中 MZi 指数虽然不高, 但在样品中出现说明其对应河流中酸性深成侵入岩的类型较为普遍。

GZi 指数呈现出北部和中部高(平均 23.7)而南部低(平均 6.8)的变化特征(表 1), 说明北部和中部地区来自变质岩的物源多于南部。珠碧江、北黎河和

感恩河很高的 GZi 值表明这三条河流流域变质岩母岩的存在更为普遍,这与北部和中部地区出露较多的前寒武系变质岩和上古生界碳酸盐岩在受到后期岩浆活动发生热变质和接触变质作用形成较多的变质矿物有关。

ATi 与 GZi 指数相关性分析对于准确判断源区岩石类型十分有利<sup>[25-27]</sup>。琼西主要河流体系重矿物 ATi 指数和 GZi 指数相关性分析结果见图 3。

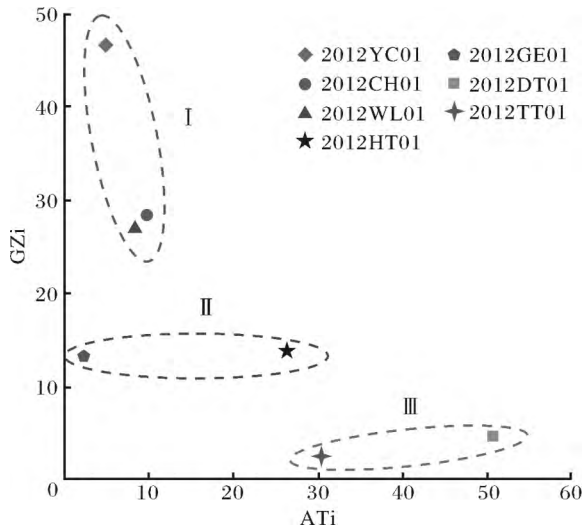


图3 重矿物 ATi 指数和 GZi 指数相关性图

Fig.3 ATi and GZi correlation of heavy minerals

如图 3 所示,琼西主要河流主要受三类不同的母岩组合类型控制。

第一类 ATi 指数较低而 GZi 指数均>25(图 3 中 I)表明石榴石含量相对较高,而磷灰石含量相对低。对应的河流为宁远河、望楼河和昌化江,与宁远河和望楼河的重矿物组合分组相对应。母岩来自昌化江流域和南部地区出露大面积酸性岩浆岩、前寒武系一下古生界变质岩以及区域出露的中一基性火山岩和沉积岩。

第二类 GZi 指数与 ATi 指数相对接近,GZi 值在 10~20 之间(图 3 中 II),对应感恩河和珠碧江,反映相似的母岩类型,主要为酸性和中一基性岩浆岩,这与区域出露的黑云母二长花岗岩、中一基性侵入岩相对应。

第三类 ATi 指数较高而 GZi 低(图 3 中 III),表明磷灰石含量相对高,而石榴石含量相对低。对应河流为北黎河和通天河,母岩为流域出露酸性岩浆岩和前寒武系一下古生界变质岩、上古生界碳酸盐岩受区域岩浆作用形成的低级变质岩等。

ATi 与 GZi 指数相关性分析与根据重矿物组合特征分组得到的结果基本一致,进一步验证了同一组河流物源的相似性。

## 4 结论

对琼西七条河流样品重矿物含量、组合类型以及特征指数研究,得到以下结论:

(1) 琼西主要河流砂岩重矿物组合在不同流域之间存在明显差异,可分为五组,分别对应不同的重矿物组合和母岩类型。北部珠碧江重矿物组合为钛铁矿+透闪石+绿帘石+锆石+榍石+电气石;北部昌化江为钛铁矿+锆石+磁铁矿+榍石+白钛石;中部北黎河和通天河为钛铁矿+电气石+锆石+磁铁矿+透闪石+白钛石+锐钛矿;中部感恩河为锆石+褐铁矿+榍石+磁铁矿+电气石+钛铁矿;南部望楼河和宁远河为磁铁矿+锆石+榍石+钛铁矿+绿帘石+褐铁矿。

(2) 重矿物颗粒、含量以及其 ZTR 指数与区域岩石出露特征等表明昌化江样品以远距离物源为主,其它河流以近距离物源为主。ATi 指数、MZi 指数和 GZi 指数分析表明河流砂岩的母岩中多有火山物质的加入,并在中部地区经受了较强烈的风化。北部和中部河流母岩中有深源物质的存在,中酸性深成侵入岩的类型较为普遍,且来自变质岩的物源多于南部。这与海南岛地表出露的岩石以及河流的发源、流经区域相一致。

(3) 由于莺歌海盆地东北部邻区不同水系的重矿物组合和反映的物源特征存在较大差异,且重矿物特征与其源岩性质有较好的响应,因此研究结果对开展莺歌海盆地物源对比分析具有重要意义,可作为该盆地天然气储层分析的物源依据。

致谢 感谢两位评审专家的宝贵意见,同时感谢中海石油有限公司湛江分公司在研究过程中提供的帮助。

## 参考文献(References)

- 1 和钟铎,刘招君,张峰.重矿物在盆地分析中的应用研究进展[J].地质科技情报,2001,20(4):29-32 [He Zhonghua, Liu Zhaojun, Zhang Feng. Latest progress of heavy mineral research in the basin analysis [J]. Geological Science and Technology Information, 2001, 20(4): 29-32]
- 2 姜建伟,张家博,吴官生,等.下二门地区重矿物特征与物源分析[J].石油天然气学报,2011,33(12):17-22 [Jiang Jianwei, Zhang Jiabo, Wu Guansheng, et al. Analysis for heavy mineral characteristics and sources in Xiaermen area of Biyang sag [J]. Journal of Oil and Gas



- Technology, 2011, 33(12): 17-22]
- 3 赵红格, 刘池洋. 物源分析方法及研究进展[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 409-415 [Zhao Hongge, Liu Chiyang. Approaches and prospects of provenance analysis [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 409-415]
  - 4 Hubert J F. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstone [J]. Geology Journal of Sedimentary Petrology, 1962, 30(3): 440-450
  - 5 Pettijohn F J, Potter P E, Siever R. Sand and Sandstone [M], Springer, 1987
  - 6 Morton A C, Hallsworth C R. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones [J]. Sedimentary, 1999, 124(1/2/3/4): 3-29
  - 7 Morton A C, Hallsworth C R. Identifying provenance-specific features of detrital Heavy mineral assemblages in sandstones [J]. Sediment Geol, 1994, 90(3/4): 241-256
  - 8 万志峰, 夏斌, 徐力峰, 等. 莺歌海盆地构造演化动力学机制探讨[J]. 海洋通报, 2010, 29(6): 654-657 [Wan Zhifeng, Xia Bin, Xu Lifeng, et al. Study on the dynamic mechanism of tectonic evolution in Yinggehai Basin [J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(6): 654-657]
  - 9 谢玉洪, 范彩伟. 莺歌海盆地东方区黄流组储层成因新认识[J]. 中国海上油气, 2010, 22(6): 354-359 [Xie Yuhong, Fan Caiwei. Some new knowledge about the origin of Huangliu Formation reservoirs in Dongfang area, Yinggehai Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2010, 22(6): 354-359]
  - 10 钟志洪, 王良书, 夏斌, 等. 莺歌海盆地成因及其大地构造意义[J]. 地质学报, 2004, 78(3): 302-309 [Zhong Zhihong, Wang Liangshu, Xia Bin, et al. The dynamics of Yinggehai Basin formation and its tectonic significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(3): 302-309]
  - 11 朱伟林, 张功成, 高乐. 南海北部大陆边缘盆地油气地质特征与勘探方向[J]. 石油地质, 2008, 29(1): 1-9 [Zhu Weilin, Zhang Gongcheng, Gao Le. Geological characteristics and exploration objectives of hydrocarbons in the northern continental margin basin of South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(1): 1-9]
  - 12 金博, 刘震, 李绪深. 莺歌海盆地天然气底辟优势聚集规律及勘探意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2009, 39(2): 196-203 [Jin Bo, Liu Zhen, Li Xushen. The dominant principle on natural gas accumulation of mud-fluid diapirs and significance on exploration in Yinggehai Basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2009, 39(2): 196-203]
  - 13 谢玉洪. 构造活动型盆地层序分析及天然气成藏模式——以莺歌海盆地为例 [M]. 北京: 地质出版社, 2009 [Xie Yuhong. The sequence stratigraphy analysis in a tectonically active basin and accumulation conditions and models of natural gas—A case study in Yinggehai Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009]
  - 14 郭令智, 钟志洪, 王良书, 等. 莺歌海盆地周边区域构造演化[J]. 高校地质学报, 2001, 7(1): 1-12 [Guo Lingzhi, Zhong Zhihong, Wang Liangshu, et al. Regional tectonic evolution around Yinggehai Basin of South China Sea [J]. Geological Journal of China University, 2001, 7(1): 1-12]
  - 15 裴健翔, 于俊峰, 王立峰, 等. 莺歌海盆地中深层天然气勘探的关键问题及对策[J]. 石油学报, 2011, 32(4): 573-579 [Pei Jianxiang, Yu Junfeng, Wang Lifeng, et al. Key challenges and strategies for success of natural gas exploration in mid-deep strata of the Yinggehai Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(4): 573-579]
  - 16 武凤良. 莺歌海盆地天然气成藏条件探讨[J]. 天然气工业, 1997, 17(6): 6-10 [Wu Fengliang. Discussion on the formation conditions of gas reservoirs in Yinggehai Basin [J]. Natural Gas Industry, 1997, 17(6): 6-10]
  - 17 何家雄, 夏斌, 刘宝明, 等. 琼西莺歌海盆地中深层天然气成藏条件分析及其与浅层成藏条件的比较[J]. 地质通报, 2005, 24(1): 9-15 [He Jiaxiong, Xia Bin, Liu Baoming, et al. Analysis of conditions of formation of middle-and deep-level gas accumulations in the Yinggehai Basin west of Hainan Island and their comparison with those of shallow-level gas accumulations [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(1): 9-15]
  - 18 Yan Y, Carter A, Palk C, et al. Understanding sedimentation in the Song Hong-Yinggehai Basin, South China Sea [J]. Geochem Geophys, 2011, 12(6): 1-15
  - 19 张业明, 谢才富, 付太安, 等. 海南岛地质构造演化刍论[J]. 科学技术与工程, 2005, 5(20): 1485-1487 [Zhang Yeming, Xie Caifu, Fu Taian, et al. Tectonic evolution of Hainan Island [J]. Science Technology and Engineering, 2005, 5(20): 1485-1487]
  - 20 陈新跃, 王岳军, 范蔚茗, 等. 琼西南NE向韧性剪切带构造特征及其<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年代学约束[J]. 地球化学, 2006, 35(5): 479-488 [Chen Xinyue, Wang Yuejun, Fan Weiming, et al. Microstructure characteristics of NE trend ductile shear zones of southwestern Hainan: Constraints from <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar geochronology [J]. Geochimica, 2006, 35(5): 479-488]
  - 21 海南省地方志办公室. 海南省地质矿产志 [M]. 上海: 南海出版公司, 2004 [Hainan province office of local chronicles. The Records of Geology and Mineral Resources of Hainan Province [M]. Shanghai: Nanhai Publishing Company, 2004]
  - 22 邵磊, 李长安, 张玉芬, 等. 长江川江段现代沉积物的重矿物组合特征[J]. 地质科技情报, 2010, 29(3): 49-54 [Shao Lei, Li Chang'an, Zhang Yufen, et al. Heavy mineral assemblages in modern sediments of the Chuanjiang River [J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(3): 49-54]
  - 23 钱一雄, 何治亮, 蔡习尧, 等. 塔中西北部上泥盆统东河砂岩与志留系砂岩中重砂矿物特征与地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(2): 147-154 [Qian Yixiong, He Zhiliang, Cai Xiyao, et al. Characteristics of heavy minerals from Upper Devonian Donghe sandstone and Silurian sandstone in western Tazhong area, Tarim Basin, and their geological implications [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2007, 26(2): 147-154]
  - 24 Hubert J F. Syngenetic Bleached Borders on Detrital Red Beds of the Fountain Formation, Front Range, Colorado [J]. Geological Society America Bulletin, 1960, 71(1): 95-98
  - 25 向绪洪, 邵磊, 乔培军, 等. 珠江流域沉积物重矿物特征及其示踪

- 意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(6): 27-35 [Xiang Xuhong, Shao Lei, Qiao Peijun, *et al.* Characteristics of heavy minerals in Pearl River sediments and their implications for provenance [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31(6): 27-35]
- 26 王中波, 杨守业, 李萍, 等. 长江水系沉积物碎屑矿物组成及其示踪意义[J]. 沉积学报, 2006, 24(4): 570-578 [Wang Zhongbo, Yang Shouye, Li Ping, *et al.* Detrital mineral compositions of the Changjiang River sediments and their tracing implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(4): 570-578]
- 27 康春国, 李长安, 王节涛, 等. 江汉平原沉积物重矿物特征及其对三峡贯通的指示[J]. 地球科学, 2009, 34(3): 419-427 [Kang Chunguo, Li Chang'an, Wang Jietao, *et al.* Heavy minerals characteristics of sediments in Jiangnan Plain and its indication to the forming of the Three Gorges [J]. Earth Science, 2009, 34(3): 419-427]
- 28 王国茹, 陈洪德, 朱志军, 等. 川东南—湘西地区志留系小河坝组砂岩中重矿物特征及地质意义[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2011, 38(1): 7-14 [Wang Guoru, Chen Hongde, Zhu Zhijun, *et al.* Characteristics and geological implications of heavy minerals in Lower Silurian Xiaoheba Formation sandstones in Southeast Sichuan-West Hunan [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2011, 38(1): 7-14]
- 29 汪啸风. 海南岛地质(二) 岩浆岩[M]. 北京: 地质出版社, 1991 [Wang Xiaofeng. Geology of Hainan(2) Magmatic Rocks [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991]
- 30 许德如, 范蔚茗, 梁新权, 等. 海南岛元古宙变质基底性质和地壳增生的Nd、Pb同位素制约[J]. 高校地质学报, 2001, 7(2): 146-157 [Xu Deru, Fan Weiming, Liang Xinquan, *et al.* Characteristic of proterozoic metamorphic basement in Hainan island and its implication for crustal growth Nd and Pb isotope constraints [J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7(2): 146-157]
- 31 张业明, 付建明, 赵子杰, 等. 海南岛西部变质性火山岩的岩石特征及Sm-Nd同位素定年[J]. 矿物岩石, 1998, 15(1): 79-84 [Zhang Yeming, Fu Jianming, Zhao Zijie, *et al.* Petrographic characteristics and Sm-Nd isotopic dating of the metamorphic basic volcanic rocks in western part of Hainan island [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1988, 15(1): 79-84]

## Characteristics and Geological Implications of Heavy Minerals from Seven Rivers in Adjacent Areas of Northeastern Yinggehai Basin

WANG Ce<sup>1,2</sup> LIANG Xin-quan<sup>1</sup> TONG Chuan-xin<sup>3,4</sup> LIU Ping<sup>4</sup>  
PEI Jian-xiang<sup>4</sup> FU Jian-gang<sup>1,2</sup> JIANG Ying<sup>1,2</sup> ZHOU Yun<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. China University of Geosciences, Wuhan 430074;

4. CNOOC China Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524057)

**Abstract:** Hainan located in adjacent areas of northeastern Yinggehai Basin, it is one of important sources of sediment to basin filling. In this paper, we analyzed the content, assemblages and index of heavy minerals in sediments which come from the mouth of the seven rivers in western Hainan. The study revealed that heavy minerals content, roundness, assemblages and index are obviously different from the north to south, reflecting the transport distance and parent rocks also different. The northern Zhubijiang mainly for near distance source, including a provenance of acid rocks with some metamorphic and basic-ultrabasic rocks, the dominated heavy minerals are ilmenite, tourmaline, zircon, epidote and tremolite; The northern Changhuajiang river is mainly for the long distance transportation of acid to basic rocks, the dominated heavy minerals are ilmenite, magnetite and zircon; The central Beilihe and Tongtianhe rivers are mainly from near distance source, the acid, basic and metamorphic rocks without long distance transporting, and the dominated heavy minerals are ilmenite, tourmaline, zircon, garnet and tremolite; The central Ganenhe mainly for stable-very stable minerals, they are zircon, ilmenite, titanite, tourmaline and limonite; The southern Wanglouhe and Ningyuanhe are from near transporting parent rocks, including a provenance of acid, basic and metamorphic rocks, the heavy minerals mainly for ilmenite, magnetite, limonite and epidote. Different characteristics of heavy minerals in different rivers are closely related to its source, the areas of transport and the rock types. By studying the different assemblages system of heavy minerals in different rivers, it can help to carry out source-sink comparison and analysis of Yinggehai Basin, to establish the identification signs of different detrital source area of oil and gas reservoir, and has an important geological significance for provenance identification of natural gas in different reservoir.

**Key words:** heavy minerals; provenance; geological implications; Yinggehai Basin