

文章编号: 1000-0550(2012)02-0251-13

# 广东海丰地区下侏罗统长埔组浅海沉积与前陆构造背景

于振锋<sup>1</sup> 程日辉<sup>1</sup> 许中杰<sup>1</sup> 王嘹亮<sup>2</sup> 张莉<sup>2</sup> 李飞<sup>1</sup>

(1. 吉林大学地球科学学院 长春 130061; 2. 广州海洋地质调查局 广州 510075)

**摘要** 广东省海丰地区是下侏罗统长埔组良好的出露区。长埔组为一套浅海碎屑岩沉积,主要为陆棚泥质沉积背景下的临滨砂坝和浊流沉积。粒度分析显示临滨砂坝沉积的概率累积曲线为两段式,频率直方图为单峰。浊流沉积的概率累积曲线为三段式,频率直方图为双峰。岩相序列为海进—海退过程的岩相组合,砂岩层向上变厚。海进—海退的序列显示出长埔时期海丰地区总体上经历了两次海平面变化。浅海泥质沉积和浊流沉积构成一套复理石序列。马尔科夫链分析显示长埔组具有明显的向上变粗序列。地球化学数据显示长埔组沉积物兼具被动大陆边缘性质和活动大陆边缘性质。砂岩样品成分的 Dickinson 图解显示,沉积物来源于再旋回造山带,与岩浆弧造山带和俯冲带杂岩体有关,海丰地区靠近逆冲造山带。因此早侏罗世盆地处于挤压下的弧后前陆构造背景,沉积物受再旋回造山带和陆块双物源控制。

**关键词** 弧后前陆 浅海沉积 下侏罗统 长埔组 粤东

**第一作者简介** 于振锋 男 1986年出生 博士 石油地质学 E-mail: yzf860206@sina.com

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

南海北部地区是我国重要的海上石油产地,勘探的目的层一直是古近系和新近系。随着对油气资源的需求和勘探开发的进展,中生界已经得到极大的关注。研究显示南海北部中生界是存在的<sup>[1]</sup>,但是以中生界为目的层的钻井却只有 LF35-1-1<sup>[2]</sup>。南海北部陆缘地区中生界广泛发育,而且露头出露良好。广东福建地区中生界岩相古地理研究显示从晚三叠世—早侏罗世发育一个大致呈 NE 走向的“粤东海盆”<sup>[3]</sup>。关于粤东海盆向现今海域中的延伸,郝沪军等<sup>[4,5]</sup>做了深入的研究,认为粤东海盆向海域延伸到珠江口盆地东部,这一认识是根据区域地质和地震资料得出的。虽然证实了南海北部中生界和粤东海盆的存在,然而陆上中生界能否与海域中生界对比还需要深入的研究。目前面临的问题是:1) 陆上盆地与海域盆地是否是同一盆地;2) 区域构造特征和盆地的性质;3) 盆地的充填特征和油气地质特征。显然,广东福建地区早侏罗世盆地性质和盆地充填特征的研究是重要的,盆地地质模型的建立对于由陆及海的研究至关重要。然而目前对于广东福建地区早侏罗世盆地性质的研究仍然没有统一的认识,分歧是盆地处于拉张构造背景<sup>[6]</sup>还是挤压构造背景<sup>[7,8]</sup>。早侏罗世粤闽地区广泛海侵,出现半深海沉积<sup>[3]</sup>,长埔组浅海沉积属于海退序列,其相及相序列、砂岩矿物

成分和地球化学特征研究对于确定盆地类型和海退的构造背景具有指示意义。本文主要讨论长埔组沉积和构造背景,为确定早侏罗世广东福建地区盆地性质和海进—海退过程提供沉积学和地球化学的证据。

## 1 地层特征

### 1.1 剖面地层

海丰青年水库剖面位于广东省海丰县城西,地理坐标是 N22°57′6.6″,E115°15′53.1″(图1),出露地层为下侏罗统的蓝塘群。蓝塘群从下而上依次发育银瓶山组(T-J<sub>1y</sub>)、上龙水组(J<sub>1s</sub>)、长埔组(J<sub>1c</sub>)和吉水门组(J<sub>1j</sub>)。粤东的蓝塘群可与粤中、粤北等地的金鸡组对比<sup>[11]</sup>。

银瓶山组是以灰白、灰黄、紫灰色岩屑砂岩、长石石英砂岩与粉砂岩为主夹泥岩、砂质泥岩的地层,厚387.1 m。上龙水组是以灰黑色泥岩、泥岩与微薄层状泥质粉砂岩为主,夹中细粒长石石英砂岩与岩屑砂岩的地层,厚761.3 m,与银屏山组整合接触。长埔组是一套以灰白、浅灰色细粒长石石英砂岩为主,夹岩屑砂岩、粉砂岩和泥岩的地层,厚741.5 m,与上龙水组整合接触。吉水门组是以浅灰、灰黑色泥岩为主,夹细砂岩和粉砂岩的地层,以含磷质、黄铁矿质、硅质结核及条带为特征,厚419 m,与长埔组整合

收稿日期: 2011-01-20; 收修改稿日期: 2011-04-21

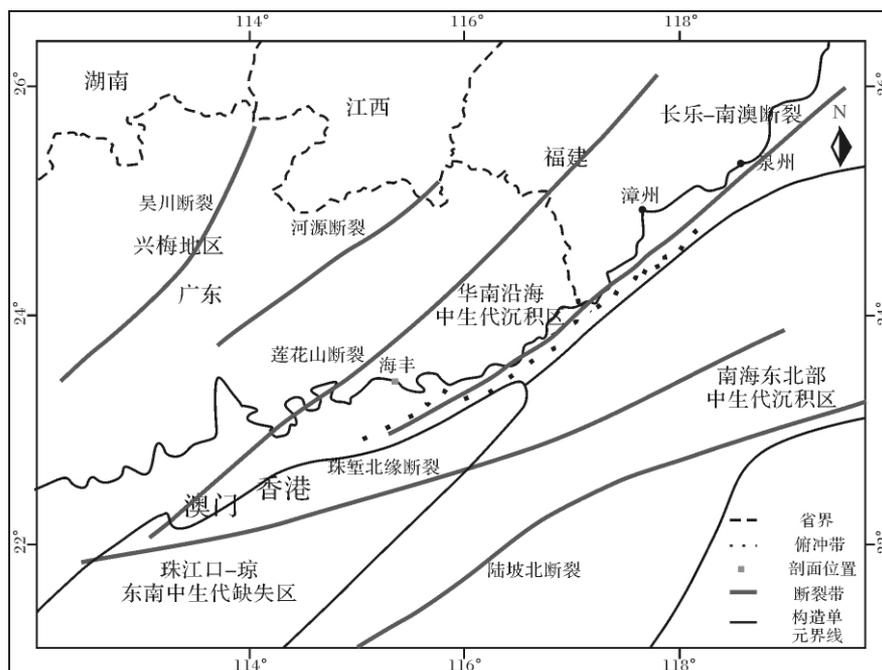


图1 南海北部陆缘断裂构造纲要图(据文献[7-9]简略)

Fig. 1 The Structural outline of the northern margin of the South China Sea

接触。

## 1.2 长埔组岩性特征

长埔组主要分布于广东惠东、海丰、陆丰、惠来、博罗等地。本组岩性由四个岩性段组成,分别是:1)砂岩和粉砂岩互层段、2)下砂岩段、3)泥岩段和4)上砂岩段(图2)。

**砂岩和粉砂岩互层段:**岩性主要为灰白色、浅紫色厚层状细粒长石石英砂岩、灰白色薄层状粉砂岩以及深灰色薄层状含炭质页岩,呈互层产出,厚292 m。整体粒度向上变粗,泥岩单层厚度向上变厚。砂岩、粉砂岩以及泥岩主要在中下部互层,向上粉砂岩出现频率降低。

**下砂岩段:**岩性主要为厚层状细粒长石石英砂岩,偶夹深灰色薄层状含炭质页岩。厚216.4 m。此段整体粒度向上变粗,砂岩单层厚度向上变厚,泥岩单层厚度向上变薄。

**泥岩段:**岩性主要为深灰色厚层状页岩,中部夹一层紫灰色细粒长石石英砂岩,底部夹一层浅灰色含泥粉砂岩。整体粒度向上变细。厚48.3 m。

**上砂岩段:**岩性主要为深灰色厚层状细粒长石石英砂岩和中厚层状深灰色页岩,呈互层产出,厚184.8 m。此段整体粒度向上变粗,砂岩单层厚度向上变厚。泥岩单层厚度向上逐渐变薄。

## 2 长埔组岩相与岩相序列

### 2.1 岩相

#### 2.1.1 沉积微相类型

长埔组为浅海相地层,广东省地质矿产局<sup>[10]</sup>、杨静<sup>[11]</sup>、Sun Shu<sup>[28]</sup>以及陈金华<sup>[29]</sup>等认为在其中发育菊石(*Asteraceras* sp.)和双壳类(*Astarte* sp., *Meleagrinnella* sp., *plifex*, *Otapiria* sp., *Camplonectes* cf. *pumcalissimas*, *Chlamys* sp., *Hiatella* sp.)化石。根据岩性和岩性组合可识别出三种微相,分别是:1)静水泥、2)临滨砂坝、3)浊流。生物化石组合显示本区长埔组为海相地层,临滨砂坝沉积反映了沉积环境靠近滨海,发育浊流微相说明沉积环境的水体较深。因此认为本区长埔组为浅海陆棚相沉积,为静水泥质沉积与浊积和临滨砂质沉积组合。

**静水泥** 颜色以灰色和深灰色为主,岩性主要为薄层状—厚层状泥岩(图版I-1)或者页岩。发育水平层理或者页理,是悬浮沉积物缓慢沉积,片状粘土矿物定向排列形成的。含有菊石和双壳类等化石<sup>[9]</sup>。植物叶片多分布于层理面上,说明水体比较安静。泥岩或者页岩中常夹有细砂岩薄层和泥质粉砂岩层。砂岩层前积结构发育,说明水流为牵引流性质。此套顶部具冲刷构造,而底部与下伏岩层呈渐变接触。

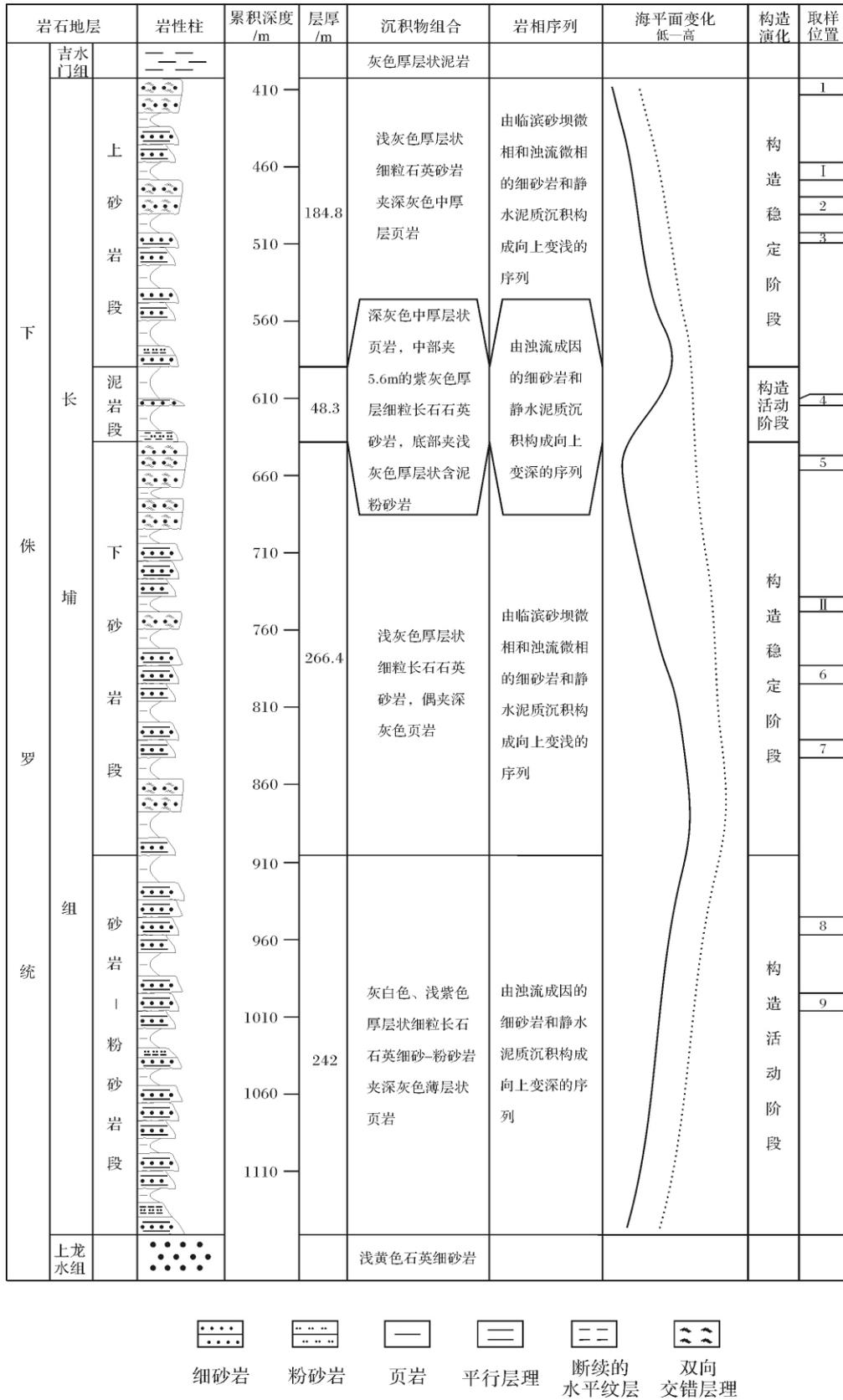


图 2 海丰青年水库剖面下侏罗统长埔组沉积综合柱状图

Fig. 2 The deposition-composite column of the Lower-Jurassic Changpu Formation in the Qingnian reservoir geological section of Haifeng area

临滨砂坝 岩性主要为浅灰色、深灰色厚层状细粒长石石英砂岩。部分细砂岩下部发育粉砂岩,与细砂岩呈连续过渡,共同组成临滨砂坝沉积。整体砂岩分选好,粒度向上变粗。细砂岩发育双向低角度交错层理(图版 I-2)和平行层理,平行层理位于交错层理的下部,两者呈过渡关系。粉砂岩发育微波状层理(图版 I-3)。砂岩层底部常发育冲刷面。垂向上常与紫色泥岩或者页岩互层,说明水体较浅。生物化石较少,仅发育少量化石碎片。化石碎片多分布于砂坝的底部,是水流冲刷下伏岩层,将水流流经区域发育的碎片携带到此处沉积。

粒度分析结果显示临滨砂坝的概率累积曲线显示为两段式,具有代表性的样品粒度分析特征值结果如表 1 所示。

所选取的具有代表性的样品位于距长埔组顶 80.3 m 处,岩性定名为中细粒石英砂岩。频率直方图(图 3A)显示为单峰,尖度为 1.35,为尖锐的范围;偏度为 0.27,属于正偏态,粒度偏粗,为中砂级—细砂级;标准偏差为 0.42,分选较好。概率累计曲线(图 3B)显示跳跃总体直线段的斜率为 50°左右,同样反映了样品分选较好。悬浮总体直线段的斜率为 35°左右,主要为粉砂级。此样品缺少滚动搬运组分,跳跃总体含量在 80%左右,悬浮总体含量约 20%,悬浮总体含量偏高。

此砂岩样品的粒度分析显示其为临滨砂坝沉积,样品整体受波浪作用影响,分选较好。跳跃总体的分选好,说明有牵引流作用的影响,粒度偏粗反映流速较快。悬浮总体含量达到 20%,说明虽然经过波浪作用的改造,但是持续时间较短,同时砂体堆积速度快,砂岩没有完全分选。此样品应代表流速较快的水流携带的砂快速堆积,同时又受到波浪作用的改造,缺少滚动或者推移组分,由于改造时间短,造成悬浮含量偏高。

浊积岩岩性主要为浅紫色、灰白色厚层状细粒长石石英细砂—粉砂岩。粒度向上变细。细砂岩发育平行层理(图版 I-3)或者粒序层理。粉砂岩发育断

续的水平纹层(图版 I-4),厚度较薄。未发育完整的鲍玛序列,以 B、D 和 E 段的组合为主。发育粒序层理的 A 段仅有少量分布,其底部常含有砾石层。砂岩层底部常发育冲刷面。化石碎片较少,多分布于浊积岩的底部和顶部。分布于底部的化石碎片成因与临滨砂坝相同。分布于顶部的化石碎片反映了由浊积微相向静水泥微相过渡时水动力降低,生物开始活动。

粒度分析结果显示浊积岩的概率累积曲线显示为三段式,具有代表性的样品粒度分析特征值结果如表 1 所示。

所选取的具有代表性的样品位于距长埔组底 158.7 m 处,岩性定名为中细粒石英砂岩。频率直方图(图 5A)显示为双峰,分别在粒度区间 1~1.5 $\phi$  和 2~2.5 $\phi$  显示为峰值。整体尖度为 0.84,为平坦的范围。偏度为 0.17,属于微正偏态。粒度概率累积曲线(图 4B)表现为三段式,分别是一个跳跃次总体,一个悬浮总体和一个过渡总体,缺少滚动搬运组分。相邻两直线的斜率均相差不到 10°,三段直线的倾斜角在 30°~50°之间,反映了样品分选差。跳跃总体的含量在 25%左右,过渡总体 35%,悬浮总体含量最高约 40%。 $\phi$  值在 1.0~3.5 之间的粒度含量在 15%以上,说明粒度分布范围较大。

此砂岩样品的粒度分析显示其为浊流沉积。分选差、双峰和含量高达 40% 的悬浮总体是浊流的主要特征。偏度为正偏,说明水流的能量也较大。缺少滚动或推移组分,说明此样品发育位置不在浊流体的前锋位置。此样品应代表浊流前部沉积,相当于鲍玛序列 A 段上部沉积,因此缺少明显的滚动或推移组分。

## 2.2 岩相序列

### 2.2.1 岩相序列

剖面沉积微相组合的分段与岩性分段相对应,自下而上为:1) 浊积段(砂岩—粉砂岩互层段)、2) 临滨砂坝—浊积段(下砂岩段)、3) 静水泥—浊流段(泥岩段)、4) 浊积—临滨砂坝段(上砂岩段)。

表 1 海丰青年水库剖面长埔组具有代表性的 2 个样品粒度分析的特征值  
Table 1 The grain size analysis of the two representative samples of Changpu Formation in the Qingnian Reservoir section of Haifeng area

样品	$\phi_1$	$\phi_5$	$\phi_{16}$	$\phi_{25}$	$\phi_{50}$	$\phi_{75}$	$\phi_{84}$	$\phi_{95}$	Sk	$\sigma$	K
两段式	0.82	1.01	1.26	1.37	1.55	1.83	2.03	2.52	0.27	0.42	1.35
三段式	0.70	0.78	0.98	1.14	1.58	2.11	2.38	2.77	0.17	0.65	0.84

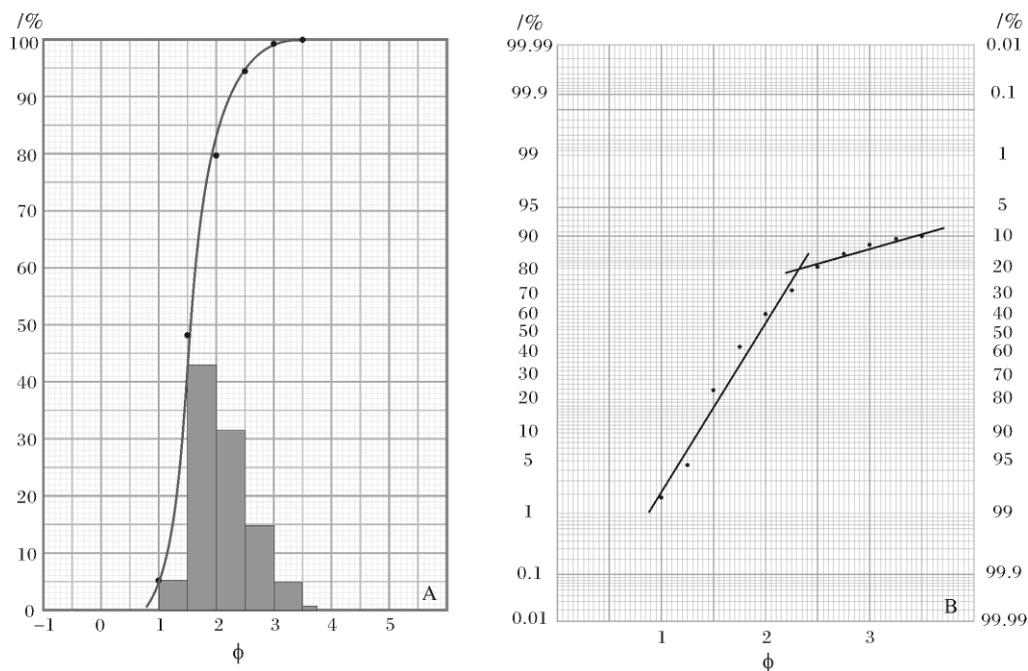


图 3 临滨砂坝两段式粒度分析曲线图

A. 直方图与累计频率曲线图; B. 概率累积曲线图

Fig. 3 The curve diagram of two-stage grain size analysis of shoreface barrier

A. The diagram of cumulative frequency curve and the histogram; B. The probability cumulative curve diagram

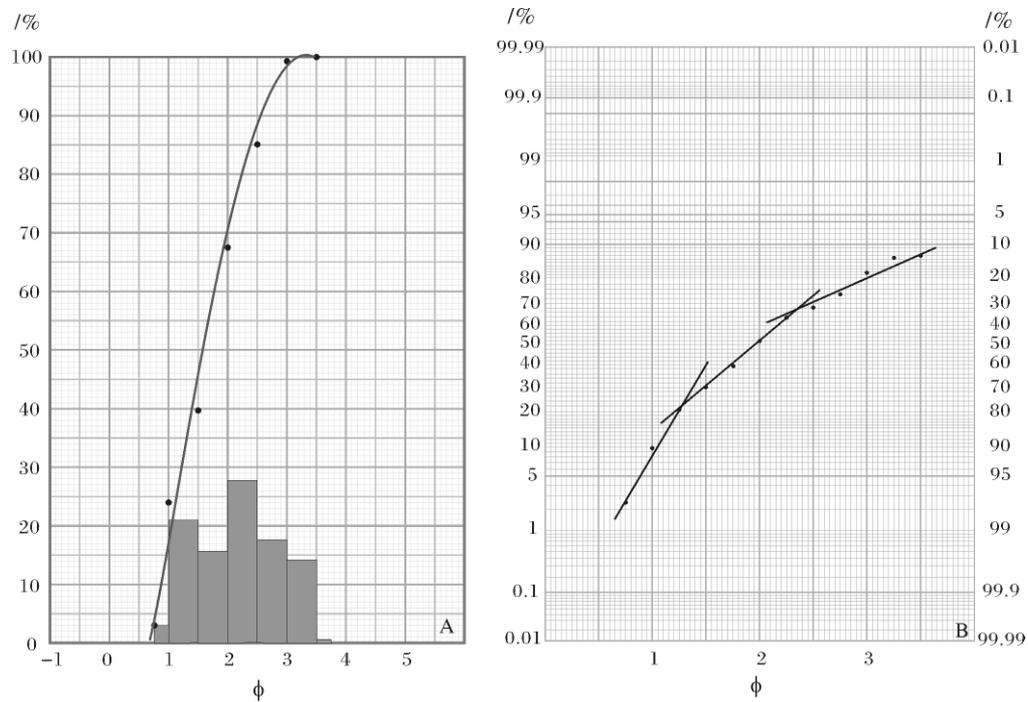


图 4 浊积三段式粒度分析曲线图

A. 直方图与累计频率曲线图; B. 概率累积曲线图

Fig. 4 The curve diagram of three-stage grain size analysis of turbidity current

A. The diagram of cumulative frequency curve and The histogram; B. The probability cumulative curve diagram

浊积段 由浊流成因的细砂岩—粉砂岩与静水泥质沉积共同组成向上变深的旋回。每个韵律均为向上变粗的序列。整体上粒度向上逐渐变粗。砂岩层单层厚度向上逐渐变厚,反映了浊流作用强度逐渐增大。泥岩层单层厚度向上逐渐变厚,反映了水深逐渐加大。整体说明物源供给充足,构造处于活动阶段。

临滨砂坝—浊积段 由临滨砂坝微相和浊流微相的细砂岩与静水泥质沉积共同组成了向上变浅的旋回,每个韵律均为向上变粗的序列。砂岩层厚度与一段相比明显变厚,且单层厚度向上逐渐变厚,缺少粉砂质沉积。向上砂岩逐渐以临滨砂坝沉积为主,反映了构造活动从下到上逐渐趋于稳定。静水泥质沉积多做为厚层砂岩中的夹层出现,单层厚度向上逐渐变薄,说明水体逐渐变浅,临滨砂坝反映了砂体沉积位置接近浪基面。

静水泥—浊积段 由静水泥质沉积和浊流成因的细砂岩共同组成了向上变深的旋回,单个韵律为向上变粗的序列。沉积物主要为泥质沉积,中部夹一层6.5 m的浊流成因的细砂岩,底部夹浅灰色含泥粉砂岩。该段反映构造处于活动阶段。水深与浊流—临滨砂坝段相比明显变深。

浊积—临滨砂坝段 与第二段的临滨砂坝—浊积段相似,由临滨砂坝微相和浊流微相的细砂岩与静水泥质沉积共同组成了向上变浅的旋回,每个韵律均为向上变粗的序列。砂岩层单层厚度向上变厚。与第二段的浊积—临滨砂坝段相比,泥岩厚度相对较厚,一般为中—厚层状,向上单层厚度逐渐变薄。该段下部以浊流沉积为主,上部以临滨砂坝沉积为主,

反映了构造向上逐渐趋于稳定,水体逐渐变浅,砂体沉积位置接近浪基面。

总体上本区长埔时期经历了两次海平面变化。每次海平面变化均为水体向上逐渐变深,而后逐渐变浅,直至接近浪基面。每次海平面变化所形成的沉积微相组合表现为由下部的浊积—静水泥向上逐渐过渡为临滨砂坝—静水泥,浊流与静水泥构成复理石序列。构造由活动逐渐变得趋于稳定。

### 2.2.2 马尔科夫链与充填序列

对长埔组发育的所有岩性进行分析归类,共选择了9种岩性,分别是灰色泥岩、灰色页岩、浅灰色细砂岩、深灰色细砂岩、灰色粉砂质泥岩、灰色粉砂岩、黄色粉砂岩、灰白色细砂岩和紫色页岩,标示为A、B、C、D、E、F、G、H和I。根据岩性将该组划分为91层。统计出它的理论推测模式和转移概率模式,经过矩阵转换做差最终得到海丰青年水库长埔组地层的差数数值模式(表2),表中数据为各岩层相互上覆的转移概率与理论概率的差值,左侧第一列为下伏岩层,第一行为上覆岩层。

根据差数数值模式各正值元素,绘制出各微相的旋回进程线路图,组成一个“马尔柯夫链”式的结构模式(图5)。

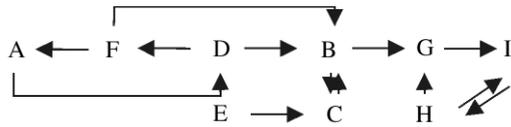
根据结构式的箭头次序,画出简化沉积剖面岩性柱状图如图6所示。

根据简化沉积剖面岩性柱状图可以看出海丰青年水库剖面长埔组由三种基本类型的沉积旋回所组成:1) A、D与F之间的沉积旋回(图6a)、2) B与C的闭旋回(图6b)、3) G、H与I之间的沉积旋回(图6c)。

表2 海丰青年水库剖面长埔组浅海陆棚相地层差数数值模式

Table 2 The margin numerical models on the shallow-marine shelf facies stratum of the Changpu Formation in the Qingnian Reservoir Section of Haifeng area

差数数值模式	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	0	0.28	-0.21	0.10	-0.01	0.23	-0.13	-0.02	-0.11
B	-0.04	0	0.27	-0.01	-0.02	0.04	0.13	-0.01	-0.12
C	-0.05	0.53	0	0.03	-0.01	-0.12	-0.15	0.03	-0.14
D	-0.04	-0.38	-0.2	0	-0.01	0.9	-0.12	-0.02	-0.11
E	-0.04	-0.38	0.8	-0.02	0	-0.1	-0.12	-0.02	-0.11
F	0.17	0.37	-0.22	-0.02	-0.01	0	-0.13	-0.02	-0.12
G	0.04	-0.25	-0.23	-0.03	-0.01	-0.11	0	0.02	0.51
H	-0.04	-0.38	-0.2	-0.02	-0.01	-0.1	0.06	0	0.11
I	-0.05	-0.12	-0.22	-0.02	-0.01	-0.11	0.56	0.12	0



A 灰色泥岩, B 灰色页岩, C 浅灰色细砂岩, D 深灰色细砂岩, E 灰色粉砂质泥岩, F 灰色粉砂岩, G 黄色粉砂岩, H 灰白色细砂岩, I 紫色页岩

图 5 海丰青年水库剖面长埔组的浅海陆棚相“马尔科夫链”式的结构模式

Fig. 5 The models of Markov chain structure on the the shallow-marine shelf facies of the Changpu Formation in the Qingnian Reservoir Section of Haifeng

A. gray mudstone; B. gray shale; C. light gray fine sandstone; D. heavy gray fine sandstone; E. gray silty mudstone; F. gray siltstone; G. yellow siltstone; H. gray-white fine sandstone; I. purple shale

**A、D 与 F 之间的沉积旋回** 当状态由 A 转移至状态 D 时, 状态 D 只能向状态 F 转移, 就构成了 A→D→F→A 的旋回。岩性序列为灰色泥岩—深灰色细砂岩—灰色粉砂岩—灰色泥岩, 显示单个沉积旋回向上变粗。细砂岩与粉砂岩的组合说明砂岩层具有向上变细的粒序层理。结合野外剖面的岩性与沉积相的对应关系, 认为该沉积旋回为浊流—静水泥沉积旋回。

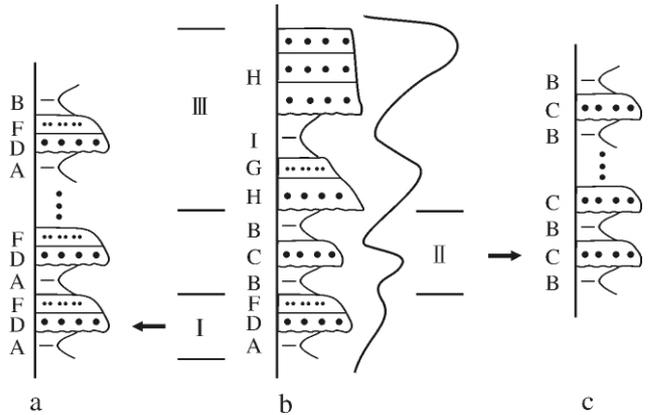
**B 与 C 的闭旋回** 状态 B 转出的方向有两个, 分别是状态 G 和状态 C, 当由状态 B 转移至状态 G 时, 不会有状态的返回, 那么 B 与 C 构成的闭旋回就不可能发育, 因此, B 与 C 构成的闭旋回应为第二个岩性组合。状态转移顺序为 B→C→B, 相应的岩性序列为灰色页岩—浅灰色细砂岩—灰色页岩, 单个沉积旋回显示为向上变粗, 结合野外剖面认为该段的细砂岩为浊流成因。该沉积旋回依然为浊流—静水泥沉积旋回。当状态由 B 转移至 G 时第二个旋回结束, 进入第三个沉积旋回。

**G、H、I 之间的沉积旋回** 在该旋回中主要有两种形式: ①状态 G、H 与 I 构成的旋回, 状态转移顺序为 I→H→G→I, 相应的岩性序列为紫色页岩—灰白色细砂岩—黄色粉砂岩—紫色页岩。岩性组合显示单个沉积旋回向上变粗。细砂岩与粉砂岩的组合说明砂岩层具有向上变细的粒序层理。结合野外剖面的岩性与沉积相的对应关系, 认为该沉积旋回为浊流—静水泥沉积旋回; ②H 与 I 构成的闭旋回。状态转移的顺序为 I→H→I, 相应的岩性序列为紫色页岩—灰白色细砂岩—紫色页岩, 单个旋回向上变粗。结合野外剖面认为该段的细砂岩为临滨砂坝沉积, 单层厚

度向上逐渐变厚。该沉积旋回为临滨砂坝—静水泥沉积旋回。

马尔科夫链所得结果与野外剖面的岩性分段相比, 缺少岩性分段的泥岩段, 岩性分段中的下砂岩段和上砂岩段重新划分。下砂岩段下部的浊积—静水泥段做为一个旋回类型, 下砂岩段上部的浊积—临滨砂坝—静水泥段与上砂岩段的浊积—临滨砂坝—静水泥段合并为一个旋回类型。这是由于泥岩段的泥岩没有与其它岩性构成岩性旋回, 故在马尔科夫链分析中被舍弃。而下砂岩段上部的浊积—临滨砂坝—静水泥段又与上砂岩段的浊积—临滨砂坝—静水泥段沉积旋回相似, 因此在数学转化中会被合并。

从马尔科夫链所得出的岩性序列结果来看, 下部岩性组合为浊积岩与泥岩频繁互层组成的韵律, 是典型的复理石建造。向上逐渐转变为临滨砂坝微相的细砂岩与静水泥质沉积的组合。粉砂质沉积向上逐渐较少, 粒度向上逐渐变粗。泥岩颜色从下部的灰色变化为上部的紫色反映水体逐渐变浅。



A. 灰色泥岩; B. 灰色页岩; C. 浅灰色细砂岩; D. 灰白色细砂岩; E. 灰色粉砂质泥岩; F. 灰色粉砂岩; G. 黄色粉砂岩; H. 深灰色细砂岩; I. 紫色页岩

图 6 海丰青年水库剖面长埔组浅海陆棚相沉积剖面岩性柱状图

(I、II、III 分别为三种类型的基本沉积旋回, a 为旋回 I 岩性柱状图, b 为长埔组整体岩性柱状图, c 为旋回 II 岩性柱状图)

Fig. 6 The litho-column of the shallow-marine shelf sedimentary sections of the Changpu Formation in the Qingnian reservoir Section of Haifeng area

A. gray mudstone; B. ray shale; C. light gray fine sandstone; D. gray-white fine sandstone; E. gray silty mudstone; F. gray siltstone; G. Yellow siltstone; H. gray-white fine sandstone; I. Purple shale

### 3 物源区与构造背景分析

本文主要采用元素地球化学分析和 Dickinson 图

版<sup>[12]</sup>法对剖面长埔组进行物源区与构造背景分析。

### 3.1 元素地球化学分析

长埔组泥岩 用于元素地球化学分析的泥岩样品 2 个, 编号为 I 和 II (图 2)。测试在吉林大学测试中心完成。常量元素分析在吉林大学实验测试中心采用化学分析法中的滴定法完成, 分析精度优于 5%。微量、稀土元素用 ICP—MS 质谱仪测定, 标准样品和空白样品所测元素的线性较好, 分析误差小于 5%, 质谱仪测试检出限小于  $0.5 \times 10^{-6}$ 。测试结果如表 3 和表 4。分析方法有三种:  $K_2O/Na_2O-SiO_2$  构造背景判别图解法、Zr—Th、La—Th—Sc 和 Th—Co—Zr/10 判别图解法以及稀土元素特征值法。

#### 3.1.1 常量及微量元素特征

样品的  $K_2O/Na_2O$  的值分别为 12.53 和 14.42,  $SiO_2$  含量分别为 65.66% 和 63.06%。将分析数据投于  $K_2O/Na_2O-SiO_2$  构造背景判别图解中, 样品均落于被动大陆边缘范围内, 点位比较靠近活动大陆边缘与被动大陆边缘的分界线(图 7)。

将分析数据投于 Zr—Th 判别图解中。位于长埔组中部(下砂岩段)的样品落于被动大陆边缘的区域内, Th 为  $16.75 \mu g/g$  Zr 为  $252.6 \mu g/g$ 。另一个(长埔组顶部, 上砂岩段)落在活动大陆边缘区域的界线附近, 点位与被动大陆边缘区域和岛弧区域均比较靠近(图 8 左), Th 为  $14.49 \mu g/g$  Zr 为  $177.1 \mu g/g$ 。

La—Th—Sc 图解中样品落在大陆岛弧与陆缘(活动陆缘与被动陆缘未区分)的界线附近(图 8 中)。Th—Co—Zr/10 图解中, 中部样品(下砂岩段)落于被动陆缘的界线附近, 顶部样品(上砂岩段)落于活动陆缘、被动陆缘以及大陆岛弧范围之间, 这两个样品相差不远(图 8 右)。综合这四个构造背景判

别图解, 沉积物的点位不统一, 既不完全落于被动大陆边缘构造背景, 也不完全落于大陆岛弧构造背景, 因此需要进行稀土元素特征值法进行研究。

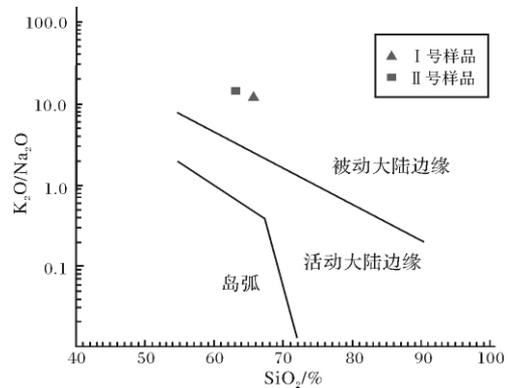


图 7  $K_2O/Na_2O-SiO_2$  判别图解(底图据文献[14])

Fig. 7 The discrimination diagram of  $K_2O/Na_2O-SiO_2$  (the base map is from reference [14])

#### 3.1.2 稀土元素特征值法

为了与 Bhatia<sup>[16]</sup>总结出的判别沉积盆地构造环境的稀土元素特征对比, 需要对所测泥岩的 REE 特征值进行校正。在相同构造背景下, 由于泥岩的  $\Sigma REE$  含量要比杂砂岩的  $\Sigma REE$  含量高 20% 左右<sup>[17]</sup>, 所以需要用所测泥岩的 REE 特征值除以 1.2 以得到相当于同期沉积的杂砂岩的  $\Sigma REE$  含量, 即表 5 中的校正后含量。

将测试样品的 REE 特征值与 Bhatia 总结的判断沉积盆地构造背景的 REE 特征值进行比较, (Eu 数据与活动大陆边缘和被动大陆边缘的 (Eu 数据相近, 呈现中度亏损。切割的岩浆弧、上隆的基底以及克拉通内部构造高地的原岩均为花岗质的岩石类型。从

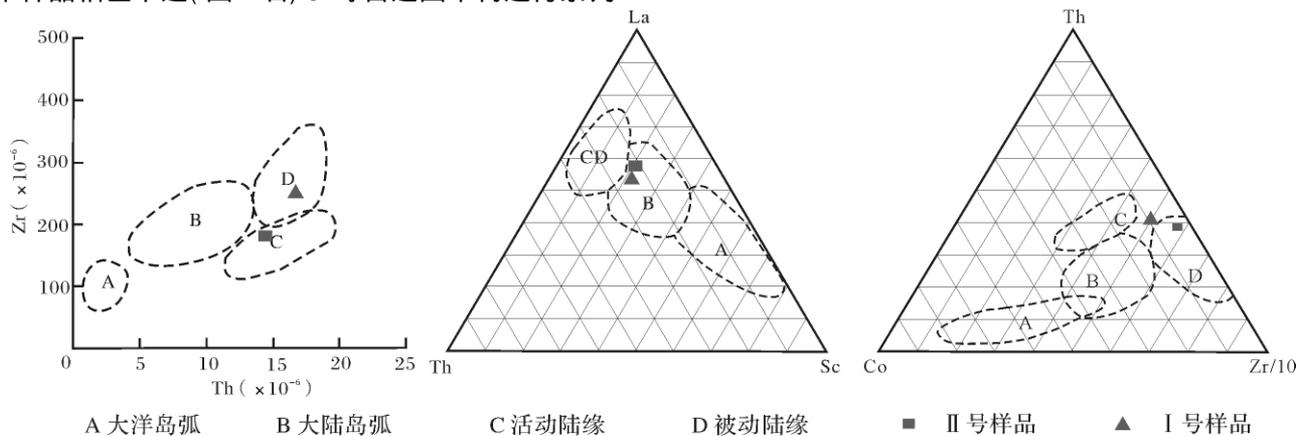


图 8 La—Th—Sc 和 Th—Co—Zr/10 判别图解(底图据文献[15])

Fig. 8 The discrimination diagram of La—Th—Sc and Th—Co—Zr/10 (the base map is from reference [15])

表 3 海丰青年水库长埔组泥岩样品的常量、微量、稀土元素含量及特征值(1)

Table 3 The content and eigenvalue of the major elements, the microelement and the REE of the mudstone sample of Changpu Formation in the Qingnian reservoir of Haifeng(1)

样品号	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Zr	Th	Sc	Co	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
I	65.66	4.26	0.34	252.6	16.75	15.52	1.56	37.36	78.92	8.11	30.94	6.15	1.43
II	63.06	5.19	0.36	177.1	14.49	14.61	3.19	40.88	56.71	8.55	31.72	5.36	1.18

注: 常量元素(%); 微量元素及稀土元素(μg/g)

表 4 海丰青年水库长埔组泥岩样品的常量、微量、稀土元素含量及特征值(2)

Table 4 The content and eigenvalue of the major elements, the microelement and the REE of the mudstone sample of Changpu Formation in the Qingnian reservoir of Haifeng(2)

样品号	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	HREE	δEu	La/Yb	(La/Yb) <sub>N</sub>	LREE/HREE
I	6.85	0.83	6.92	1.39	3.89	0.54	3.45	0.5	187.28	24.37	0.68	10.83	7.03	6.68
II	4.83	0.33	4.04	0.83	2.47	0.35	2.42	0.36	160.03	15.63	0.72	16.89	10.97	9.24

注: δEu = Eu / [(Sm<sub>N</sub>) (Gd<sub>N</sub>)]<sup>1/2</sup> (据文献[18]), 下标 N 为球粒陨石标准化值, 球粒陨石标准均采用 Wakita 等测定的数据平均值, 常量元素(10<sup>-2</sup>); 微量元素及稀土元素(μg/g)。

表 5 不同构造背景与研究区样品的 REE 特征值

Table 5 The REE sample eigenvalue in different tectonic setting and the study area

构造背景	源区类型	w(La) / 10 <sup>-6</sup>	w(Ce) / 10 <sup>-6</sup>	w(REE) / 10 <sup>-6</sup>	w(La/Yb)	La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	δEu
大洋岛弧*	未切割的岩浆弧	8(1.7)	19(3.7)	58(10)	4.2(1.3)	2.8(0.9)	1.04(0.11)
大陆岛弧*	切割的岩浆弧	27(4.5)	59(8.2)	146(20)	11(3.6)	7.5(2.5)	0.79(0.13)
活动大陆边缘*	上隆的基底	37	78	186	12.5	8.5	0.6
被动大陆边缘*	克拉通内部构造高地	39.0	85	210.0	15.9	8.5	0.56
研究区平均值		39.12	67.815	173.66	13.86	9	0.7
校正后 REE 及比值		32.60	56.513	144.71	11.55	7.5	0.5833

注: 括号内数据为标准偏差, \* 数据据文献[16] δEu = Eu / [(Sm<sub>N</sub>) (Gd<sub>N</sub>)]<sup>1/2</sup> (据文献[18]), 下标 N 为球粒陨石标准化值, 球粒陨石标准均采用 Wakita 等测定的数据平均值。

花岗质的来源来看, 来源于上地壳的花岗岩普遍具有 Eu 中度亏损<sup>[13]</sup>。说明沉积物来源与壳源花岗岩有关, 而克拉通内部高地的原岩为典型的壳源花岗岩。切割的岩浆弧和上隆的基底受到俯冲带的影响, 地幔岩浆上涌与地壳混染形成壳幔型花岗岩, 只具有 Eu 轻度亏损。因此沉积物来源与大陆高地有关。

从其余数据来看, 由于砂岩与泥质岩石相比轻稀土富集<sup>[13]</sup>, 因此实际的轻稀土含量值要比校正后的轻稀土含量值要高, 向被动大陆边缘的值靠近, 而不是与大陆岛弧值吻合。代表轻稀土与重稀土比值的 La/Yb 的比值也因为轻稀土值的降低而降低, 实际的 La/Yb 的比值应该高于大陆岛弧值。因此实际沉积物的稀土元素值并没有与大陆岛弧或者被动陆缘吻合, 而是介于大陆岛弧值和被动陆缘值之间。

与构造背景判别图解法相结合, 沉积物来源不仅与克拉通有关, 而且与大陆岛弧有关。

### 3.2 Dickinson 图版法

利用 Dickinson 图版来了解物源区的特征及所处

的大地构造背景的方法<sup>[19, 20]</sup>已得到广泛利用。长埔组用于 Dickinson 图版法的砂岩样品 9 个。通过统计薄片中的砂岩骨架颗粒含量得到 Dickinson 图版(图 9)。QFL 图解中, 石英含量很高, 位于再旋回造山带物源区, 而在 QmFLt 图中点的位置与 QFL 图中的相比, 并没有明显变化。在 QpLvLs 图中点位主要落在两个位置, 分别是靠近岩浆弧造山带物源区与俯冲带杂岩体区之间的区域、俯冲带杂岩体区的区域, 这反映了海丰地区靠近俯冲杂岩体区和岩浆弧区。受到太平洋构造域俯冲影响<sup>[11]</sup>, 前期形成的岩浆弧基底和俯冲带杂岩体整体受逆冲推覆作用向陆块方向逆冲抬升后遭受剥蚀而在盆地中沉积下来。在 QmPK 图中石英含量增加, 表明岩浆弧深切割组分的增加。

### 3.3 构造背景讨论

对于晚三叠—早侏罗世南海北部构造背景有着不同的认识, 夏戡原等<sup>[6]</sup>认为其为古特提斯海域的东沿。徐嘉炜等<sup>[21]</sup>认为南海北部在晚三叠—中侏罗世时期为被动大陆边缘阶段, 中侏罗—早白垩世为转

换大陆边缘阶段。郭令智等<sup>[22]</sup>通过对区域大地构造研究认为西太平洋大陆边缘在中侏罗世时大陆边缘开始转化,燕山期为安第斯型活动大陆边缘。杨静等<sup>[11]</sup>认为南海北部在早侏罗世受太平洋B型俯冲控制。郝沪军<sup>[4]</sup>等则认为晚三叠—早侏罗世本区是古特提斯和太平洋构造域的交替复合作用阶段。那么大陆边缘开始转化究竟是从中侏罗世开始还是在早侏罗世就开始转化呢?粤东海丰地区在早侏罗世的构造背景是怎样的呢?

从地质构造上,中生代时期南海北部位于欧亚大陆的东南缘,其东面是古太平洋,受古太平洋俯冲的影响,在南海北部地区形成俯冲带和断裂带<sup>[3]</sup>。海丰地区位于莲花山断裂与长乐—南澳断裂之间,沉积物受这两条断裂控制。其中南澳断裂构造带为俯冲带,在加里东期该俯冲带就已存在<sup>[27]</sup>。印支期其逆

冲推覆构造发育,而莲花山印支期为造山带隆起,这两者是研究区的主要物源区<sup>[26]</sup>。从地球化学分析结果上看,样品或落在大陆岛弧靠近被动陆缘的区域,或落在被动陆缘靠近大陆岛弧的区域,异或这两者之间的区域。说明沉积物既不完全属于大陆岛弧构造背景,也不完全属于被动陆缘构造背景。稀土元素特征值法显示沉积物与大陆克拉通有关。Dickinson图版显示海丰地区靠近岩浆弧区和俯冲杂岩体区,岩浆弧和俯冲杂岩体受到逆冲推覆作用向陆块方向逆冲抬升形成再旋回造山带。结合地球化学分析认为长埔时期海丰地区受双重物源控制,分别是再旋回造山带物源和陆块物源。在Dickinson图版中的QFL图和QmFLt图中并没有落在岩浆弧物源区是由于来源于克拉通的沉积物具有高的单晶石英含量,使得沉积物的单晶石英含量相对增加,点位脱离了岩浆弧物源区。

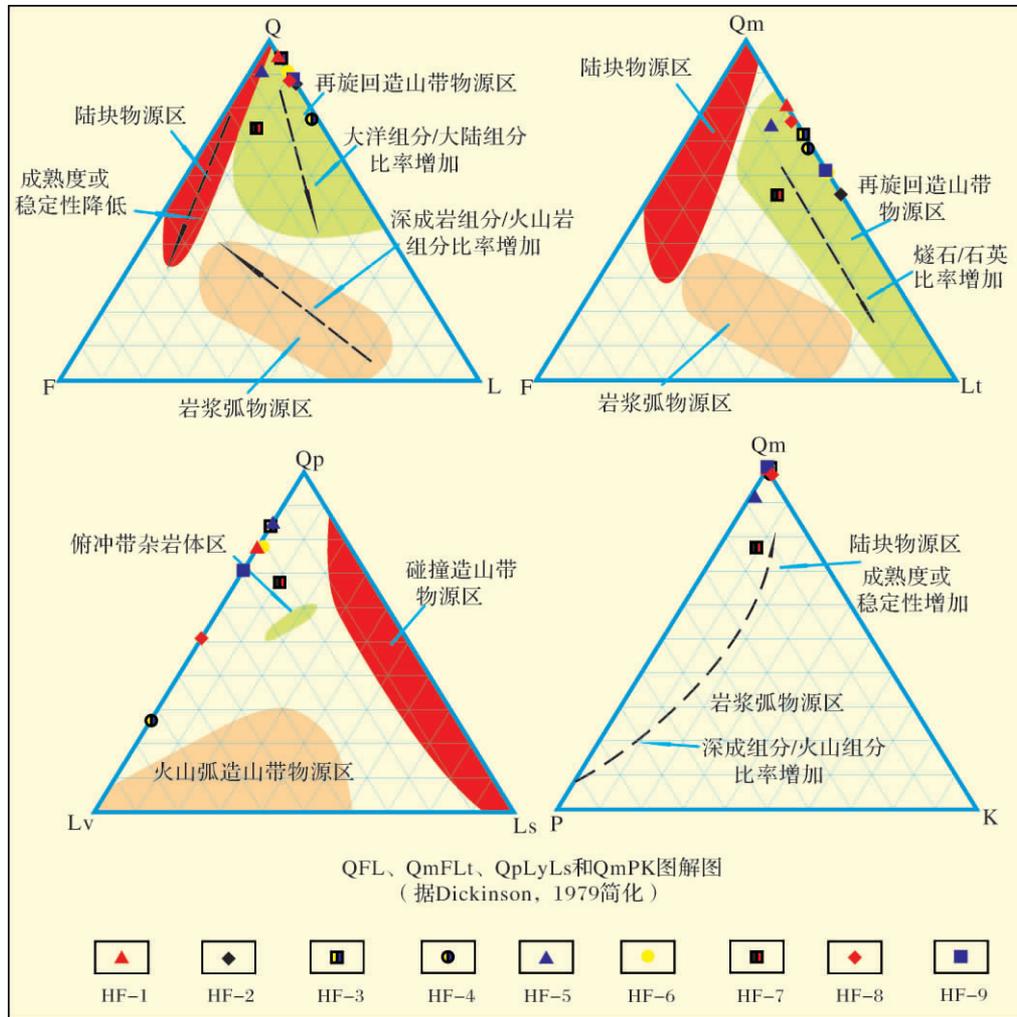


图9 长埔组 QFL、QmFLt、QpLvLs 和 QmPK 图解  
(据 Dickinson 图版, 1979 年简化)

Fig. 9 The QFL, QmFLt, QpLvLs and QmPK diagram of the Changpu Formation  
(Dickinson Chart Board, simplified in 1979)

莲花山断裂带的早侏罗世以及早侏罗世之前的地层在中侏罗世遭受压扭变质作用<sup>[23]</sup>, 长乐—南澳断裂的岩石的年龄数据在 165 Ma(中侏罗世)有一次相对集中, 被认为是太平洋岩石圈朝华南俯冲而形成的岩浆热事件<sup>[24]</sup>。位于莲花山断裂西部的吴川—四会断裂的左旋走滑时间为晚侏罗世—早白垩世<sup>[25]</sup>, 明显晚于莲花山断裂和长乐—南澳断裂。也就是说构造活动是从华南东部开始, 而后向西部传递的。结合地球化学分析和 Dickinson 图版分析认为南海北部长埔时期为活动大陆边缘, 在莲花山断裂以东发育岛弧和俯冲杂岩体。长乐—南澳断裂为俯冲带<sup>[27]</sup>。莲花山断裂以西为稳定陆块。海丰地区位于俯冲带和稳定陆块之间, 受逆冲推覆作用, 岛弧与俯冲杂岩体向陆块方向逆冲抬升成为再旋回造山带, 迫使其与陆块之间的岩石圈下拗形成盆地。盆地沉积物以长石英砂岩为主, 含有少量石英砂岩。石英砂岩为构造短暂间歇期克拉通做为主要物源的产物, 结合复理石建造综合分析认为其为挤压背景下的弧后前陆盆地, 沉积物受再旋回造山带和陆块双物源控制。QFL 图大洋组分没有增加, 表明海丰地区水体变浅。

## 4 结论

(1) 粤东地区长埔组是浅海陆棚沉积。相根据岩性和岩性组合可识别出临滨砂坝、浊流和静水泥三种沉积微相。

(2) 临滨砂坝的概率累积曲线显示为两段式, 频率直方图为单峰。浊流沉积的概率累积曲线显示为三段式, 频率直方图为双峰。

(3) 长埔组从下到上粒度逐渐变粗, 主体沉积为浊积岩与静水泥质沉积的互层, 为复理石建造。

(4) 粤东地区长埔时期经历了两次海平面变化。每次海平面变化均为水体向上逐渐变深, 而后逐渐变浅, 直至接近浪基面。

(5) 南海北部长埔时期为挤压背景下的弧后前陆盆地, 沉积物受再旋回造山带和陆块双物源控制。

## 参考文献 (References)

- 周蒂. 台西南盆地和北港隆起的中生界及其沉积环境[J]. 热带海洋学报, 2002, 21(2): 51-57 [Zhou Di. Mesozoic strata and sedimentary environment in SW Taiwan basin of NE South China Sea and Peikang high of the western Taiwan [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2002, 21(2): 51-57]
- 郝沪军, 施和生, 张向涛, 等. 潮汕拗陷中生界及其石油地质条件—基于 LF35-4-1 探索井钻探结果的讨论[J]. 中国海上油气: 地质, 2009, 21(3): 151-156 [Hao Hujun, Shi Hesheng, Zhang Xiangtao, et al. Mesozoic sediments and their petroleum geology conditions in Chaoshan sag: A discussion based on drilling results from the exploratory Well LF35-4-1 [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2009, 21(3): 151-156]
- 周蒂, 孙珍, 陈汉宗, 等. 南海及其围区中生代岩相古地理和构造演化[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 204-218 [Zhou Di, Sun Zhen, Chen Hanzong, et al. Mesozoic lithofacies, paleo-geography, and tectonic evolution of the South China Sea and surrounding areas [J]. Earth Science Frontiers: China University of Geosciences, Beijing, 2005, 12(3): 204-218]
- 郝沪军, 林鹤鸣, 杨梦雄, 等. 潮汕拗陷中生界—油气勘探的新领域[J]. 中国海上油气: 地质, 2001, 15(3): 157-163 [Hao Hujun, Lin Heming, Yang Mengxiong, et al. The Mesozoic in Chaoshan depression: a new domain of petroleum exploration [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2001, 15(3): 157-163]
- 郝沪军, 汪瑞良, 张向涛, 等. 珠江口盆地东部海相中生界识别及其分布[J]. 中国海上油气, 2004, 16(2): 84-88 [Hao Hujun, Wang Ruiliang, Zhang Xiangtao, et al. Mesozoic marine sediment identification and distribution in the eastern Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2004, 16(2): 84-88]
- 夏戡原, 黄慈流. 南海中生代特提斯期沉积盆地的发现与找寻中生代含油气盆地的前景[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 227-238 [Xia Kanyuan, Huang Ciliu. The discovery of meso-tethys sedimentary basins in the South China Sea and their oil and gas perspective [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 227-238]
- 陈冰, 王家林, 钟慧智, 等. 南海东北部的断裂分布及其构造格局研究[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(2): 42-50 [Chen Bing, Wang Jialin, Zhong Huizhi, et al. A study on fault distribution and tectonic framework in northeastern South China Sea [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2005, 24(2): 42-50]
- 姚伯初, 曾维军, 陈艺中, 等. 南海北部陆缘东部中生代沉积的地震反射特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(1): 81-89 [Yao Bochu, Zeng Weijun, Chen Yizhong, et al. Seismic reflective characteristics of Mesozoic sediments on the eastern continental margin in the north of the South China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1995, 15(1): 81-89]
- 姚伯初, 万玲, 曾维军, 等. 中国南海海域岩石圈三维结构及演化[M]. 北京: 地质出版社, 2006 [Yao Bochu, Wan Ling, Zeng Weijun, et al. 3-D Structure and Evolution of Lithosphere in South China Sea [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006]
- 广东地质矿产局. 广东省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996, 134-135 [Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangdong. The Lithostratigraphy of Guangdong Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996: 134-135]
- 杨静, 冯晓杰, 范迎风, 等. 南海东北部中晚中生代构造、古地理背景及油气远景分析[J]. 中国海上油气: 地质, 2003, 17(2): 89-103 [Yang Jing, Feng Xiaojie, Fan Yingfeng, et al. An analysis of middle-late Mesozoics tectonics, paleogeography and petroleum potential in the northeastern South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2003, 17(2): 89-103]

- 12 Dickinson W R, Suczek C A. Plate tectonics and sandstone compositions [J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(2): 2164-2182
- 13 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1989: 212-278 [Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, *et al.* Rare Earth Elements Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1989: 212-278]
- 14 Roser B P, Korseem R J. Determination of tectonic setting of sandstone mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio [J]. The Journal of Geology, 1986, 94(5): 635
- 15 Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1986, 92: 181-193
- 16 Bhatia M R. Rare earth elements geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: provenance and tectonic control [J]. Sedimentary Geology, 1985, 45: 97-113
- 17 许中杰, 程日辉, 李飞, 等. 粤西高明地区晚三叠世小坪组元素地球化学特征 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40(2): 305-313 [Xu Zhongjie, Cheng Rihui, Li Fei, *et al.* Elemental geochemical characteristics of the Xiaoping Formation in Late Triassic Epoch in Gaoming area of the Western Guangdong Province [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40(2): 305-313]
- 18 Taylor S R, McLennan S E. The Continental Crust: its composition and evolution [C]. Oxford: Blackwell, 1985: 1-312
- 19 Brijraj K D, Al-Mikhlaifi A S, Kaur P. Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2006, 26: 649-668
- 20 She Zhenbing, Ma Changqian, Mason R, *et al.* Provenance of the Triassic Songpan-Ganzi flysch, West China [J]. Chemical Geology, 2006, 231: 159-175
- 21 徐嘉炜, 朱光, 马国锋. 东亚大陆边缘演化的若干认识 [M]. 北京: 地震出版社, 1993: 25-30 [Xu Jiawei, Zhu Guang, Ma Guofeng. Some Understanding of the Evolution of Northeast Asia Continental Margin [M]. Beijing: Earthquake Publishing House, 1993: 25-30]
- 22 郭令智, 施央申, 马瑞士. 西太平洋中、新生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化 [J]. 地质学报, 1983, (1): 11-21 [Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Ma Ruishi, *et al.* On the formation and evolution of the Mesozoic-Cenozoic active continental margin and island arc tectonics of the western Pacific ocean [J]. Acta Geologica Sinica, 1983, (1): 11-21]
- 23 邱元禧, 邱津松, 李建超, 等. 广东莲花山断裂带中、新生代多期复合变形变质带的基本特征及其形成机制的探讨 [C]. 中国地质科学院地质力学研究所所刊, 1991: 94-105 [Qiu Yuanxi, Qiu Jinsong, Li Jianchao, *et al.* Deformational and metamorphic features of Lianhuashan fault zone during Meso-Cenozoic time and mechanism of their formation [C]. Bulletin of the Institute of Geomechanics CAGS, 1991: 94-105]
- 24 舒良树, 于津海, 王德滋. 长乐—南澳断裂带晚中生代岩浆活动与变质—变形关系 [J]. 高校地质学报, 2000, 6(3): 368-378 [Shu Liangshu, Yu Jinhai, Wang Dezi. Late Mesozoic granitic magmatism and its relation to metamorphism-ductile deformation in the Changle-Nan'ao Fault Zone, Fujian Province [J]. Geological Journal of China Universities, 2000, 6(3): 368-378]
- 25 舒良树, 周新民, 邓平, 等. 南岭构造带的基本地质特征 [J]. 地质论评, 2006, 52(2): 252-265 [Shu Liangshu, Zhou Xinmin, Deng Ping, *et al.* Principal geological features of Nanling Tectonic Belt, South China [J]. Geological Review, 2006, 52(2): 252-265]
- 26 邹和平, 王建华, 丘元禧. 广东南澳和莲花山韧性剪切带<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄及其地质意义 [J]. 地球学报, 2000, 21(4): 356-364 [Zou Heping, Wang Jianhua, Qiu Yuanxi. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages of the Nan'ao Shear Zone and the Lianhuashan Shear Zone in Guangdong Province and their geological significance [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2000, 21(4): 356-364]
- 27 高天均, 黄辉, 林知勋. 中国东南沿海两条重要的地体边界 [J]. 福建地质, 1991, 1: 1-15 [Gao Tianjun, Huang Hui, Lin Zhixun. Two significant terrane boundaries in the southeastern coast of China [J]. Geology of Fujian, 1991, 1: 1-15]
- 28 Sun Shu, Li Jiliang, Chen Hailong, *et al.* Mesozoic and Cenozoic sedimentary history of South China [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(10): 1247-1269
- 29 陈金华, 徐克定, 徐柔远. 中国南方三叠纪和侏罗纪的生物地理区系问题 [J]. 古生物学报, 1998, 37(1): 97-107 [Chen Jinhua, Xu Keding, Xu Rouyuan. On some problems of Triassic and Jurassic biogeography in south China [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1998, 37(1): 97-107]

## Shallow Marine Deposits and the Foreland Tectonic Setting of Changpu Formation of Lower Jurassic in Haifeng, Guangdong

YU Zhen-feng<sup>1</sup> CHENG Ri-hui<sup>1</sup> XU Zhong-jie<sup>1</sup>

WANG Liao-liang<sup>2</sup> ZHANG Li<sup>2</sup> LI Fei<sup>1</sup>

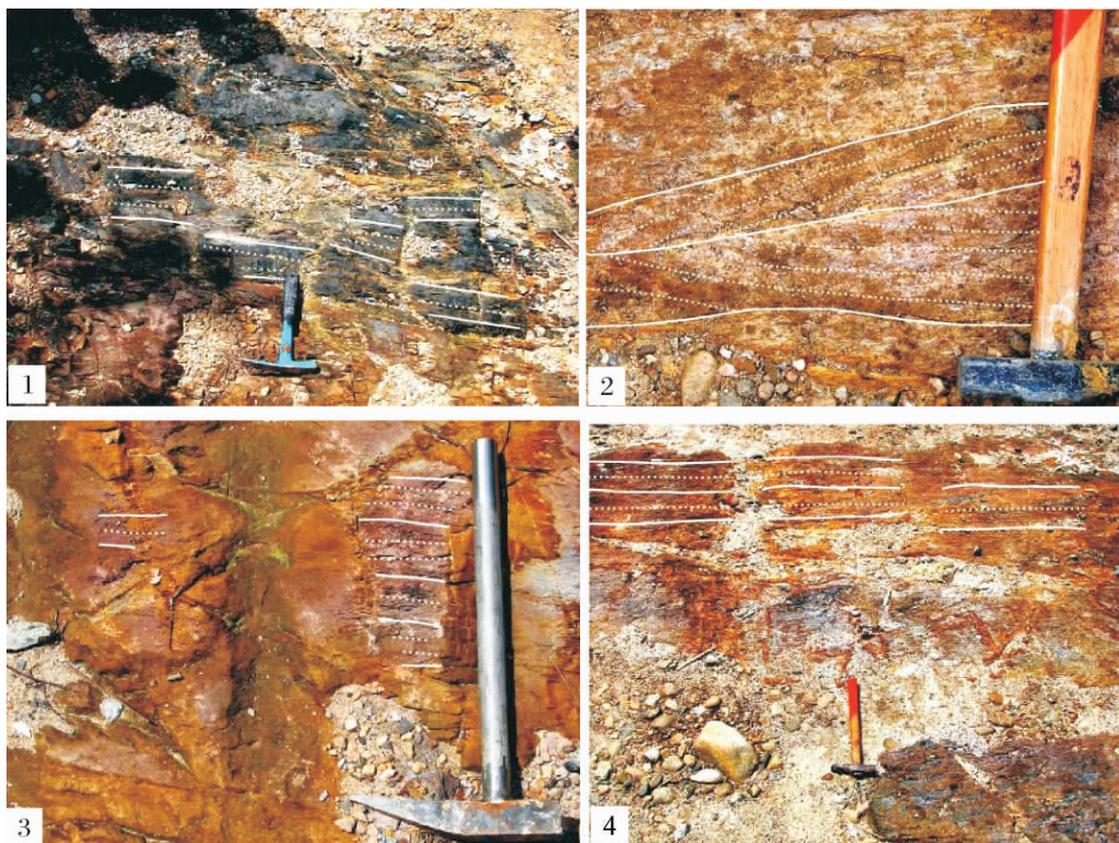
(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061;

2. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075)

**Abstract:** Changpu Formation of lower Jurassic outcropped in Haifeng, Guangdong province is a set of shallow marine clastic deposits, composed of shoreface sandstones and turbidite deposits in the muddy shelf environment. The particle

size analysis of sandstones shows that the probability cumulative curve of shoreface sandstone represents two-stage and the frequency histogram is a single peak, and cumulative probability curve of turbidite represents three-stage and the frequency histogram is bimodal. The litho-facies succession of Changpu Formation is a rock association indicating the transgressive-regressive processes with the thickening upward of sandstone layers. The transgressive-regressive succession indicates that two eustatic sea level change occurred during development of Changpu Formation. The shallow muddy and turbidite deposits constitute a flysch succession. Markov chain analysis shows that it is a significant coarse-upward succession. Geochemical data reveal that sediments of Changpu Formation have features of both passive continental margin and active continental margin. The sediments were from the recycled orogen related to the magmatic arc orogen and subduction complex after analysis of the Dickinson Graphic of sandstone composition. Haifeng region was close to the thrust fault zone. The sedimentary basin developed under a tectonic setting of compressional retro-arc foreland during the early Jurassic, and the basin provenances were both of recycled orogen zone and continental block.

**Key word:** retro-arc foreland; shallow-marine sediment; Lower Jurassic; Changpu Formation; Eastern Guangzhou province



图版 I 说明 1. 静水沉积的野外照片距长埔组底 268.7 m 砂岩和粉砂岩互层段, 黑色泥岩, 水平层理; 2. 临滨砂坝沉积的野外照片 距长埔组顶 73.6 m 上砂岩段, 浅灰色细砂岩 交错层理; 3. 浊流沉积的野外照片, 距长埔组底 320.5 m 下砂岩段, 浅紫色细砂岩 平行层理; 4. 浊流沉积的野外照片, 距长埔组底 158.7 m 砂岩和粉砂岩互层段, 浅紫色粉砂岩 断续的水平纹层。