

文章编号: 1000-0550(2009) 06-1147-08

南海北部陆缘早侏罗世海平面变化的古盐度记录¹

许中杰¹ 程日辉¹ 王嘹亮² 李飞¹ 张莉²

(1. 吉林大学 长春 130061; 2. 广州海洋地质调查局 广州 510075)

摘要 早侏罗世南海北部陆缘粤东地区发生大规模海侵。古盐度的变化记录了海平面的变化。反映古盐度变化的 Sr/Ba 和 B/Ca 比值与海平面升降有关,前者为正相关,后者为负相关。本区 m 曲线 ($m = MgO / Al_2O_3 \times 100$) 与 B/Ca 曲线相似,但在幅度方面有差异。结合沉积充填序列、沉积环境、沉积相演变,确定了本区海平面变化经历了两次海侵和一次海退。早侏罗世南海北部陆缘构造背景相对活动,前陆再旋回造山带或前陆隆起成为物源区,海丰地区具有周缘前陆盆地的性质。古盐度记录揭示的海平面变化可能受古特提斯闭合的影响。

关键词 南海北部陆缘 早侏罗世 海丰地区 海平面变化 古盐度

第一作者简介 许中杰 男 1984 年出生 博士研究生 石油地质和地震解释 E-mail zhongjiexu@yahoo.cn

中图分类号 P534.52 **文献标识码** A

0 引言

南海北部陆缘(包括广东沿海的陆上地区和相邻的海域)在早侏罗世遭受过大规模海侵。周蒂^[1]和陈汉宗等^[2]系统分析了华南地区中生界时代、岩性和岩相及其对比关系,讨论在闽西南—粤东—粤北—粤中晚三叠—早侏罗世的“粤东海盆”的存在,海侵时间为晚三叠—早侏罗世。郝沪军等^[3,4]通过地震解释也证明了“粤东海盆”在南海东北部的存在。相关的研究显示早侏罗世南海北部陆缘为浅海相碳酸盐岩—碎屑岩建造和海陆交互相含煤碎屑建造^[5],半深海相类复理石建造^[6]。这无疑也留下地球化学纪录,古盐度就是这一纪录的重要反映^[7,8]。早在 20 世纪中期,Walker 等^[9]就建立了古盐度定量计算的基础,Adam 等^[10]和 Couch 等^[11]提出了古盐度的计算方法。沉积地球化学元素研究及古盐度分析,因精确示踪和高分辨率的独特性^[12],同时对地质作用过程标定,成为古环境研究的重要手段^[13]。南海北部陆缘区下侏罗统随时间的古盐度变化,可用于标定海平面变化及其控制的沉积作用过程,这不仅对恢复和重建(古)沉积环境,而且对海陆变迁的构造背景的认识具有意义。无疑早侏罗世的海平面变化和“粤东海盆”的存在在地史上是重要的,因为中侏罗世以后广东及其以北的华南大部分地区脱离了海的背景转变为陆地。本区古盐度和海平面变化分析

的意义还在于对正在兴起的南海北部海域中生界油气勘探提供借鉴。

本文旨在提供南海北部陆缘早侏罗世古盐度记录,分析海平面变化和编制海平面变化曲线。结合物源区和构造背景分析,讨论本区海平面变化的构造控制。

1 沉积环境特征

对粤东地区 4 个下侏罗统出露良好的剖面进行了实地考察,分别是惠州黄洞剖面、惠东上龙水剖面、揭西灰寨剖面和海丰青年水库剖面。其中海丰青年水库剖面地层相对完整,厚度较大,本文重点研讨此剖面。

1.1 海丰剖面岩石地层和沉积环境

海丰剖面出露的下侏罗统自下而上为银瓶山组、上龙水组、长埔组和吉水门组(图 1)。

1.1.1 银瓶山组

银瓶山组总厚度 387.1 m,下部为灰白色细粒长石石英砂岩,局部夹泥质粉砂岩和含泥砾石英砂岩。中部以浅灰色粉砂质泥岩为主,夹灰色细粒长石石英砂岩。上部以细粒、中粒石英砂岩为主,夹灰色泥岩。砂岩中发育波状层理和交错层理。由泥岩和砂岩组成了向上变粗的 5 级旋回序列,该组由 9 个 5 级旋回构成,叠置成 4 个 4 级旋回和 1 个 3 级旋回(相当于 6 级层序)。砂岩粒度的标准偏差反映分选

¹ 国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号:2006CB701403)和《全国油气资源战略选区调查与评价》国家专项(XQ-2007-03)资助。

收稿日期:2008-12-16 收修改稿日期:2009-01-08

较好, 偏度近对称, 跳跃组分 (80%) 大于悬浮组分 (20%), 缺少滚动组分, 反映是在波浪作用下形成的面状砂和席状砂沉积。泥质沉积或泥质粉砂沉积代表相对稳定的静水泥沉积, 该组是浅海相的沉积组合。

1.1.2 上龙水组

上龙水组厚度达到 761.1 m。下部以紫色、灰色、深灰色厚层泥岩为主, 夹粉砂岩。中上部为灰色、深灰色泥岩和灰色、灰白色粉砂岩不等厚互层, 泥砂比为 3:1~2:1。顶部为深灰色粉砂岩夹泥质粉砂岩。该组与银瓶山组整合接触。该组由 35 个 5 级旋回构成, 叠置成 4 个 4 级旋回和 1 个 3 级旋回。这是一套半深海相的沉积组合, 由深水静水泥和浊流沉积构成。

1.1.3 长埔组

长埔组厚度达到 741.5 m, 岩性为灰色、浅紫色长石英细砂岩夹深灰色炭质泥岩, 含双壳类化石和植物化石碎片。该组与上龙水组整合接触。该组由 27 个 5 级旋回构成, 叠置为 6 个 4 级旋回和 1 个 3 级旋回。与上龙水组相比, 本组粒度总体变粗, 砂岩层变厚, 每个韵律层呈向上变粗的层序。这是浅海环境下由波浪形成的沉积组合。相对银瓶山组有水体变浅的趋势。

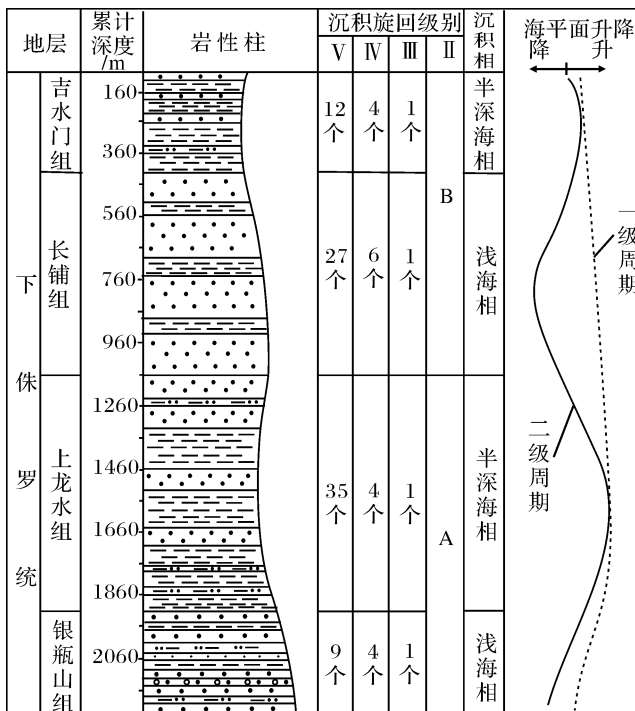
1.1.4 吉水门组

吉水门组厚度达到 419 m。中下部为深灰色泥岩, 夹灰白色泥质粉砂岩。上部为灰白色细砂岩与深灰色泥岩不等厚互层, 水平层理发育。该组与长埔组整合接触。该组由 12 个 5 级旋回构成, 叠置为 4 个 4 级旋回和 1 个 3 级旋回。泥和砂比从中下部 4:1 变为顶部的 1:2。本组是由中下部半深海相沉积和上部浅海相沉积构成的组合。

1.2 海平面变化物质表现

海平面变化在沉积地层中留下物质记录, 本区海平面变化物质表现为: 1) 沉积层序的粒度变化, 5 级—4 级旋回呈现向上变粗 (代表向上变浅), 3 级旋回基本为粗—细—粗的变化; 2) 岩性由页岩、粉砂岩向砂岩的转变代表了 5 级旋回的构成, 从更大的尺度看, 银屏山组和长埔组为砂岩而上龙水组和吉水门组为页岩, 代表了 2 级旋回的岩性变化; 3) 沉积物颜色由深灰色变为灰色、浅紫色, 反映水体变浅和氧化性增强; 4) 层理构造由水平层理变为波状层理和交错层理, 说明水动力条件增强, 水体变浅; 5) 从银屏山组到上龙水组到长埔组到吉水门组, 岩相上由浅海变

为半深海相再变为浅海相又转化为半深海。物质记录显示早侏罗世本区经历了两次海侵。



图例

图 1 海丰早侏罗世沉积旋回、沉积相与海平面变化

Fig. 1 The sedimentary cycle, sedimentary facies and sea level change of Haifeng area in Early Jurassic

2 古盐度与海平面变化

2.1 样品与测试

对海丰剖面实地考察, 从底到顶逐层依次采集样品, 共取样品 52 块。根据岩性、层位、分布和新鲜程度等综合考虑, 精选 11 块泥岩、炭质泥岩样品测试。样品均采集未受风化作用影响的新鲜样品。其中 25 号样品采自吉水门组中部, 26、31 号样品采自长埔组上部和中部, 37、38、1、2 和 3 号样品采自上龙水组底部至上部, 而 4、19 和 20 号样品采自银瓶山组中部和上部。对样品用玛瑙球磨机破碎, 保留小于 200 目样品, 一部分进行全岩分析, 另一部分样品浸泡、提纯, 用双氧水 (H_2O_2) 除去有机质, 提取小于 0.002 mm 的粘土矿物^[14], 采用电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 进行微量和稀土元素分析, 测试在吉林大学测试中心完成。各标准样品及空白样品所测元素的线性较好, 分析误差小于 5%。相同样品测试结果基本一致, 质谱仪测试检出限小于 0.5×10^{-6} ^[15]。Li, Be,

Sc V、Cr Co Ni Cu Zn Ga Rb Sr Zr Mo Cs Ba 和 Pb 检测限为 0.01~0.2 μg/L; 对 Y、Nb Hf Ta 和 REE 检测限为 0.001~0.005 μg/L。各测试样品最终结果取 3 次测定平均值。

2.2 盐度变化反映的海平面变化

常量、微量元素在海平面变化时迁移与富集而形成的特殊纪录(表 1)能说明古盐度变化,进而反映古水深变化。古水深变化间接反映了海平面变化(图 2)。

常量元素镁铝含量的比值 m ($m = 100 \times \text{Mg}/\text{Al}_2\text{O}_3$)对海水盐度变化很敏感。一般认为,低盐度沉积环境 $m < 1$,半咸水沉积环境 $1 < m < 10$,正常盐度水体环境 $10 < m < 500$ ^[16]。本区 m 值在 2.2~1.19

之间,处在半咸水沉积环境中(表 1)。 m 值变化反映出银瓶山组顶部和上龙水组下部盐度有所降低,向上至长铺组顶部海水盐度又逐渐升高。

2)微量元素 R/Ga 是两种化学性质不同的元素,硼酸盐溶解度大,能迁移,只有当水蒸发后才析出;Ga 的活动性低,易于沉淀。研究区 B/Ga 比值的增大指示古盐度降低。银瓶山组 B/Ga 比值最高,到银瓶山组上部 and 上龙水组下部时逐渐降低,说明古水体介质的盐度逐渐升高,古水深逐渐增加,在上龙水组下部达到最深。从上龙水组上部到长铺组上部, B/Ga 比值逐渐升高,古盐度降低,古水深逐渐变浅。长铺组到吉水门组 B/Ga 比值逐渐降低,古盐度增加,古水深逐渐变深。

表 1 海丰地区地球化学元素含量、比值和特征参数

Table 1 The content ratio and characteristic parameters of geochemical elements in Haifeng area

层位	吉水门组	长铺组	上龙水组					银瓶山组				
样品号	HF-25	HF-26	HF-31	HF-37	HF-38	HF-1	HF-2	HF-3	HF-4	HF-19	HF-20	
常量元素 /10 ⁻²	Fe	4.04	3.06	2.26	10.38	6.17	7.12	6.42	6.79	3.48	2.74	2.03
	Mn	0	0	0.01	0.02	0.03	0	0.01	0	0	0	0
	Ca	0.05	0.04	0.06	0.09	0.13	0.06	0.22	0.06	0.12	0.19	0.11
	Mg	0.35	0.44	0.43	0.37	0.32	0.31	0.34	0.37	0.4	0.24	0.46
微量元素 /10 ⁻⁶	B	107.2	218.6	212.3	-	103.3	103.3	110	-	92.05	174.9	187.1
	Sr	103.5	125.6	114.9	95.88	119.4	154.6	187.8	331.6	144.1	89.16	168.8
	Ga	26.47	24.39	28.52	23.16	22.68	23.64	23.09	35.88	20.3	15.19	28.92
	Ba	611.5	956.2	1262	573.5	571.7	747.9	735.9	1147	613.5	398.3	106.5
稀土元素 /10 ⁻⁶	La	33.99	37.36	40.88	53.86	58.3	24.11	27.68	35.88	32.55	22.87	67.76
	Ce	83.86	78.92	56.71	121.7	109.9	49.76	63.18	77.18	67.86	44.05	142.9
	Pr	7.49	8.11	8.55	10.95	12.36	5.44	6.51	8.24	7.49	5.02	15.93
	Nd	28.32	30.94	31.72	38.48	45.47	20.82	25.06	32.01	28.99	19.31	61.44
	Sm	5.43	6.15	5.36	6.62	8.25	4.0	4.63	6.12	5.71	3.70	10.85
	Eu	1.18	1.43	1.18	1.35	1.65	0.92	0.98	1.37	1.18	0.79	1.98
	Gd	5.62	6.85	4.83	5.85	6.78	4.50	4.46	5.90	6.24	3.99	8.72
	Tb	0.51	0.83	0.33	0.51	0.48	0.37	0.32	0.57	0.60	0.27	0.86
	Dy	5.16	6.92	4.04	4.85	4.68	4.74	4.41	6.12	5.53	3.84	6.97
	Ho	1.04	1.39	0.831	0.97	0.87	0.99	0.95	1.35	1.07	0.79	1.39
	Er	2.97	3.89	2.47	2.81	2.45	2.85	2.89	4.25	2.93	2.26	4.02
	Tm	0.41	0.54	0.35	0.39	0.34	0.42	0.43	0.64	0.4	0.31	0.56
	Yb	2.69	3.45	2.42	2.61	2.23	2.74	2.92	4.43	2.57	2.10	3.71
	Lu	0.40	0.50	0.36	0.39	0.32	0.41	0.44	0.66	0.38	0.31	0.55
元素比值和特征参数	m	1.6	2.21	1.92	2.06	1.71	1.49	1.66	1.19	1.77	1.56	1.43
	Fe/Mn/10 ⁻⁴	-	-	2.26	5.19	2.05	-	6.42	-	-	-	-
	Ca/Mg	0.14	0.09	0.14	0.24	0.41	0.19	0.65	0.16	0.3	0.79	0.24
	Sr/Ba	0.16	0.13	0.09	0.16	0.20	0.20	0.25	0.28	0.23	0.22	0.15
	B/Ga	4.04	8.96	7.44	-	4.55	4.36	4.76	-	4.53	11.51	6.46
	ΣREE	179.07	187.28	160.03	251.34	254.08	122.07	144.86	184.72	163.5	109.61	327.64
	dEu	0.66	0.68	0.72	0.67	0.68	0.67	0.67	0.7	0.61	0.63	0.63
La/Yb	12.64	10.83	16.89	20.64	26.14	8.8	9.48	8.1	12.67	10.89	18.26	
样品新鲜程度	新鲜	新鲜	新鲜	新鲜	新鲜	新鲜	新鲜	新鲜	新鲜	新鲜	新鲜	

注: 下标 N 表示元素相对球粒陨石标准化值, $Eu = Eu_N / (Sm_N \times Gd_N)^{1/2}$, 球粒陨石标准均采用 Wakita 等测定的数据平均值; 样品由吉林大学测试中心分析。

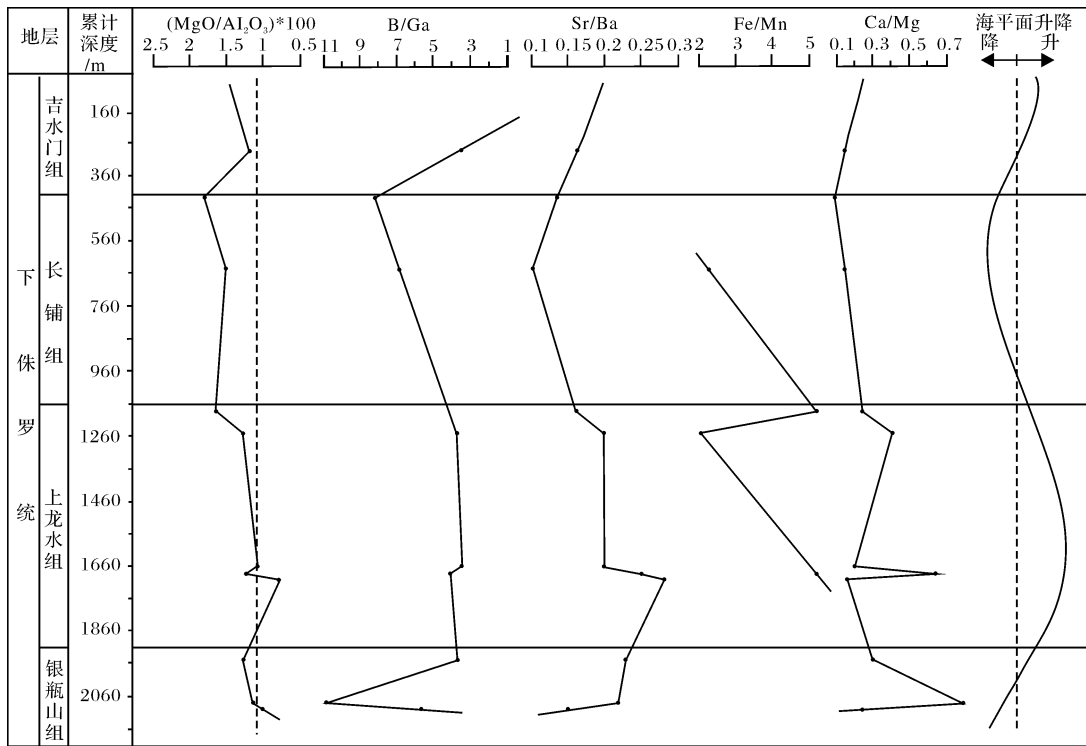


图 2 海丰早侏罗世常量、微量元素的古盐度纪录

Fig 2 The paleosalinity records to the main elements and trace elements of Haifeng area in Early Jurassic

3) Sr/Ba 两种元素特性表现在, 当淡水与海水相混合时, 淡水中的 Ba^{2+} 与海水中的 SO_4^{2-} 首先结合生成 $BaSO_4$ 沉淀, 由于 Sr 的迁移能力比 Ba 的迁移能力强, $SrSO_4$ 的溶度积很大, 可以继续迁移到远海, 通过生物途径沉淀下来。Sr/Ba 值随着远离海岸而逐渐增大, 可指示古水深变化, 从而间接反映古盐度的变化。从瓶山组上部到上龙水组下部 Sr/Ba 值增加, 指示古水深变深, 反映古盐度增加, 在上龙水组下部达到最深。从上龙水组上部到长铺组上部, Sr/Ba 值逐渐降低, 指示古水深变浅, 反映古盐度逐渐降低。长铺组到吉水门组 Sr/Ba 值又逐渐增加, 指示古水深再度变深。Sr/Ba 值的变化与海平面变化呈正相关。

4) Fe 与 Mn 的地球化学性质的差异, 决定了二者在搬运过程中的分异作用, Fe 元素是微弱迁移的元素(惰性元素), 而 Mn 元素是迁移元素。Fe 的化合物易在滨海地带发生聚集, Mn 则多被迁移到半咸水—咸水的泥岩中。Fe/Mn 比值增高指示水体 pH 值降低、Eh 值增加、古盐度升高、古水体深度增加。上龙水组由下至上 Fe/Mn 比值逐渐减小, 到顶部时变大, 向上至长铺组又逐渐变小。说明古水深在上龙水组下部最深, 向上逐渐变浅, 到顶部又变深, 到长铺组古水深逐渐变浅。

5) 海水中钙和镁元素常以钙盐和镁盐形式存在, 它们的溶解度不同, 镁盐要比钙盐难于沉淀, 而且 Ca 沉淀受介质酸碱性影响更明显。Ca/Mg 比值变小, 水体 pH 值增加、古盐度降低, Ca 沉淀变小, 古水深变浅。对 Ca/Mg 比值纵向观察, 银瓶山组古水深由深变浅, 到银瓶山组顶部和上龙水组水体又逐渐变深。从上龙水组顶部至长铺组, Ca/Mg 比值逐渐变小, 古水深逐渐变浅。向上至吉水门组水体又逐渐变深。每个组内部也有曲线有较大幅度变化, 反映早侏罗世存在较大规模海平面变化背景下的波动。

整体来看, Sr/Ba 和 B/Ga 比值曲线所反映的海平面变化与沉积相反映的海平面变化相一致, 只是前者为正相关, 后者为负相关。同时 m 曲线 ($m = 100 \times MgO / Al_2O_3$) 与 B/Ga 曲线相似, 但在幅度方面有差异。

3 物源分析

南海北部陆缘中生界露头古盐度记录反映了该区早侏罗世的海平面变化, 但海平面变动的原因仍需要进一步探讨。研究区岩石类型主要为泥岩、粉砂岩和石英砂岩。对海丰青年水库剖面采集的早侏罗世砂岩样品进行室内显微观察, 挑选受成岩作用影响较小的样品进行 Dickinsson 图解^[17] (图 3) 分析, 反映出

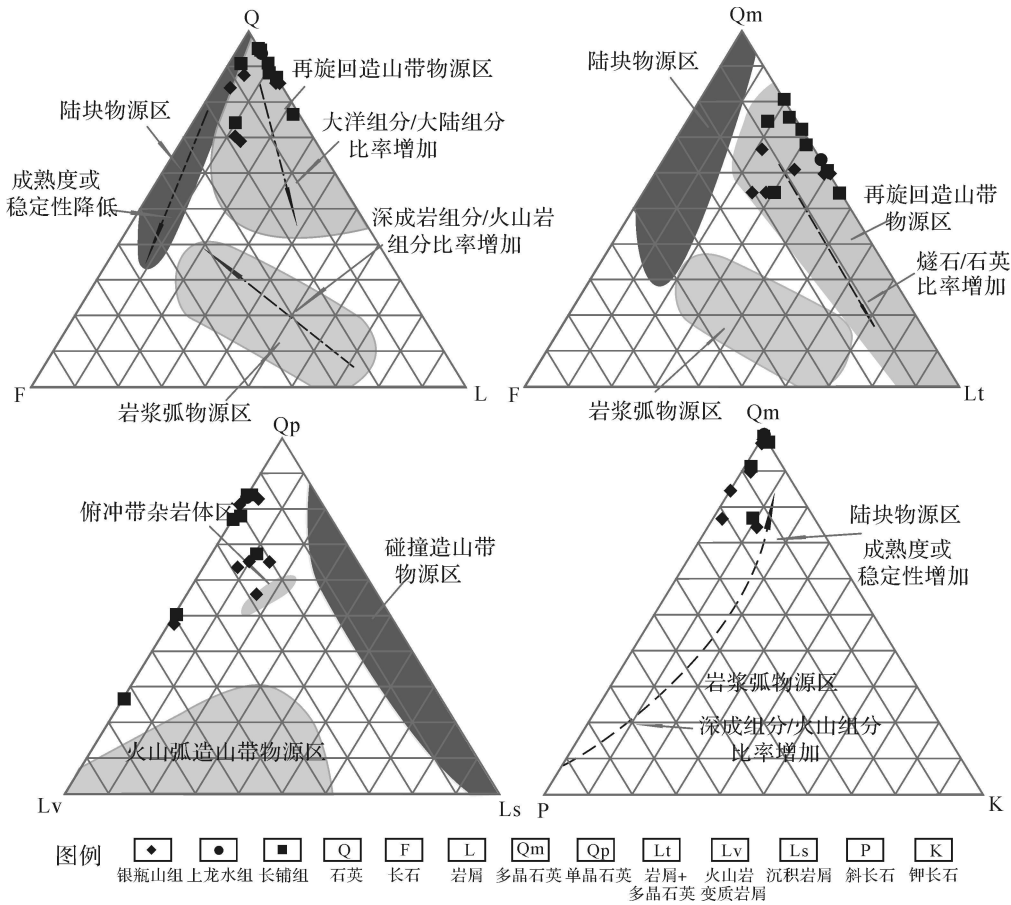


图 3 海丰青年水库剖面早侏罗世砂岩样品迪金森图解

Fig 3 The Dickinson graphy of the sandstones of Early Jurassic of the outcrop profile of Haifeng Qingshan reservoir

本区物源区特征。Q—F—L 图解中石英含量较高，表明沉积物质经历了较长距离搬运，属于再旋回造山带物源区。在 Qm—F—Lt 图中点向 Lt 方向有明显变化，反映了多晶石英（燧石）含量增加，大洋组分有所增加。Qp—Lv—Ls 图中其点远离岩浆弧造山带物源区，却接近俯冲带杂岩体区，而 Qm—P—K 图解中的投点在陆块源区，岩石成熟度和稳定性很高。因此物源区为陆块源区和俯冲带杂岩体区的复合地带，具有前陆性质，此间发育的盆地具有周缘前陆盆地的性质。前面已经提到对泥岩进行了稀土元素分析，现在对这些数据进行稀土元素标准化分析 Boynton $WV^{[18]}$ ，稀土分布模式明显表现为轻稀土富集、重稀土亏损型，且 Eu 处出现一个明显“V”形，存在 Eu 负异常，说明其物质主要来源于上地壳。稀土元素配分模式曲线在垂向上几乎平行地上下移动，整体形态没有发生明显变化，且具有相似性，表明沉积物的物源较为一致，物源供应相对稳定。沉积岩对其母岩的稀土

元素具有很强的继承性。平均值 0.66 (表 1) 的 Eu 负异常表明沉积岩源岩多来自花岗岩 (图 4)。同时根据 La/Yb 比值与 ΣREE 数据 (表 1) 投点，数据点多落于花岗岩区 (图 5)。

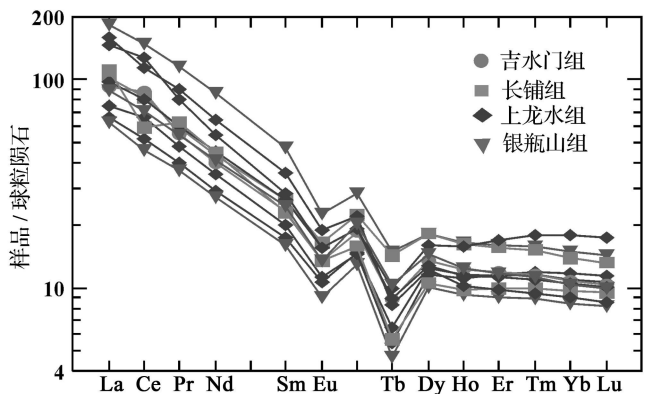


图 4 海丰地区泥岩稀土元素分布模式

Fig 4 The REE distributing pattern to mudstone of Haifeng area

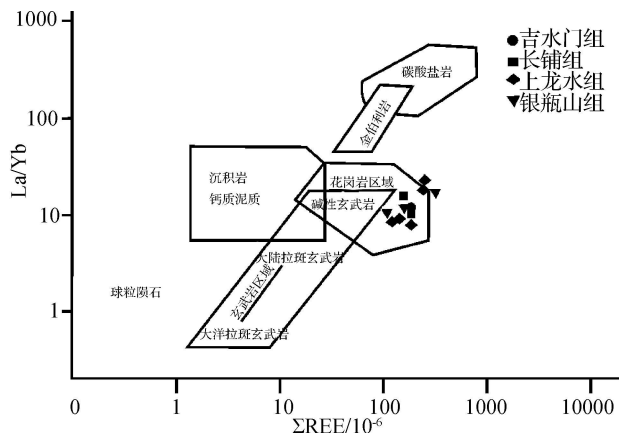


图5 海丰地区泥岩源岩判别图

(底图据 Allegre and Minster, 1978)

Fig 5 The source rock discriminant graphic to mudstone

(base maps based on Allegre and Minster 1978)

4 讨论

早侏罗世盆地是在晚三叠世开始的印支运动所塑造的盆地基础上发育的。对于晚三叠—早侏罗世“粤东海盆”的构造域归属尚有不同意见,或认为是古特提斯海域的东延^[5],或认为受太平洋板块B型俯冲的控制^[19]。南澳和莲花山两条NE向构造带对本区控制显著。其中南澳断裂构造带为俯冲带,加里东期南澳俯冲带就已存在,印支期其逆冲推覆构造发育。而莲花山为造山带隆起^[20],是研究区的主要物源区。海丰地区正位于这两个构造带之间,明显地受其控制。在这种挤压背景下本区也由晚三叠世的弧前盆地逐渐转变为早侏罗世的残余海盆和周缘前陆盆地。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^[6],但古特提斯正逐渐闭合。在周缘前陆盆地背景下,太平洋构造域使得莲花山造山带隆起,这时山间有大量河流入海,同时南澳逆冲推覆构造发育,使得太平洋对海丰地区直接影响变弱,这些均导致本区海水古盐度为半咸水。盆地基底在挤压条件下挠曲变深,受到太平洋海域海侵影响^[19],最终在挤压下“粤东海盆”消失。在海侵大规模发生阶段南澳构造带也淹没于海平面之下,莲花山断裂带北东向和北西向的两组断陷,控制着本区晚三叠世—早侏罗世海相沉积^[21]。海平面变化导致沉积环境的变化,而沉积物和海水盐度记录了海平面变化。

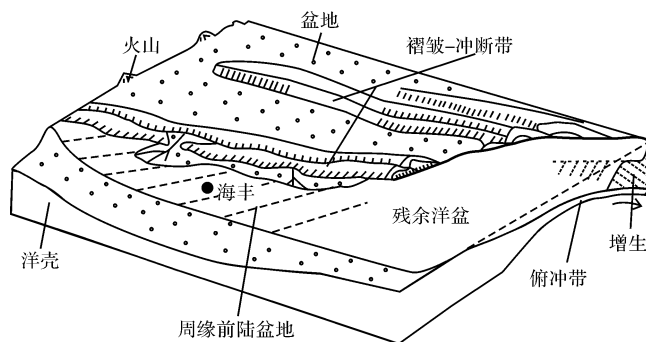


图6 海丰早侏罗世构造背景模式图

(模型据 E in se le, 2000样式修改)

Fig 6 Tectonic setting pattern of Haifeng in Early Jurassic

(revised based on E in se le's model, 2000)

5 结论

(1) 记录古盐度变化的 Sr/Ba和 B/Ga比值与海平面升降有关,前者为正相关,后者为负相关, m 曲线 ($m = MgO / Al_2O_3 \times 100$) 与 B/Ga曲线相似,但在幅度方面有差异。

(2) 根据古盐度记录,结合沉积充填序列、沉积环境和沉积相,确定海丰地区经历了两次海进和一次海退。

(3) 早侏罗世南海北部陆缘构造背景相对活动,海丰地区具有周缘前陆盆地的性质,前陆再旋回造山带或前陆隆起成为主要物源区。

致谢 感谢王璞珺老师对本文的写作提供了宝贵的建议和热心的帮助!

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): 50-57 [Zhou Di Mesozoic strata and sedimentary environment in SW Taiwan Basin of NE South China Sea and Peikang Uplift of western Taiwan] [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2002, 21(2): 50-57]
- 陈汉宗, 孙珍, 周蒂. 华南中生代岩相变化及海相地层时空分布 [J]. 热带海洋学报, 2003, 22(2): 74-82 [Chen Hanzong, Sun Zhen, Zhou Di Distributions of Mesozoic lithofacies and marine strata in South China] [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2003, 22(2): 74-82]
- 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]
- 郝沪军, 林鹤鸣, 杨梦雄, 等. 潮汕坳陷中生界——油气勘探新领

- 域 [J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(3): 157-163 [Hao Hujun Lin Hening Yang Mengxiang *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]
- 5 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]. 地质前缘, 2000, 7(3): 227-238 [Xia Kan Yuan, Huang Ciliu. The discovery of Mesozoic Tethyan sedimentary basins in the South China Sea and their oil and gas perspective [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 227-238]
 - 6 周蒂, 孙珍, 陈汉宗, 等. 南海及其周区中生代岩相古地理和构造演化 [J]. 地质前缘, 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, 2005, 12(3): 204-218]
 - 7 李进龙, 陈东敬. 古盐度定量研究方法综述 [J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(5): 1-3 [Li Jinlong, Chen Dongjing. Summary of quantified research method on paleosalinity [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003, 10(5): 1-3]
 - 8 文华国, 郑荣才, 唐飞, 等. 鄂尔多斯盆地耿湾地区长 6 段古盐度恢复与古环境分析 [J]. 矿物岩石, 2008, 28(1): 114-120 [Wen Huaguo, Zheng Rongcai, Tang Fei *et al*. Reconstruction and analysis of paleosalinity and paleoenvironment of the Chang 6 member in the Gengwan Region, Ordos Basin [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2008, 28(1): 114-120]
 - 9 Walker C T, Price N B. Departure curves for computing paleosalinity from boron in illites and shales [J]. AAPG Bulletin, 1963, 47(5): 833-841
 - 10 Adams I D, Haynes J R, Walker C T. Boron in Holocene illites of the dovey estuary wales and its relationship to paleosalinity in cyclothem [J]. Sedimentology, 1965, 4: 189-195
 - 11 Couch E L. Calculation of paleosalinities from boron and clay mineral data [J]. AAPG Bulletin, 1971, 55(10): 1829-1837
 - 12 傅强. 微量元素分析在高邮凹陷近纪湖泊演化中的应用 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2005, 33(9): 1219-1239 [Fu Qiang. Rare elements utility in paleo-lake evolution and significance of Lower Tertiary Funing Formation, Gaoyou Sag, Subei Basin [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2005, 33(9), 1219-1239]
 - 13 韩永林, 王海红, 陈志华, 等. 耿湾—史家湾地区长 6 段微量元素地球化学特征及古盐度分析 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(4): 20-16 [Han Yonglin, Wang Haihong, Chen Zhihua *et al*. Paleosalinity analysis and trace element geochemistry of Chang 6 member in Gengwan-Shijian area, Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(4): 20-16]
 - 14 Liu S L, He M, Hu S H. Precise determination of trace elements in geological samples by ICPMS using compromise conditions and fine matrix-matching strategy [J]. Analysis Science Journal, 2000, 16(1): 290-296
 - 15 于炳松, 陈建强, 李兴武, 等. 塔里木盆地肖尔布拉克剖面下寒武统底部硅质岩微量元素和稀土元素地球化学及其沉积背景 [J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 59-66 [Yu Bing Song, Chen Jianqiang, Li Xingwu *et al*. Rare earth and trace element patterns in Bedded-cherts from the bottom of the Lower Cambrian in the Northern Tarim Basin, Northwest China: Implication for depositional environments [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 59-66]
 - 16 王海峰, 俞剑华, 方一亭. 皖南赣北宁国组 and 胡乐组沉积环境的古盐度特征及其地质意义 [J]. 地层学杂志, 1994, 18(1): 10-16 [Wang Haifeng, Yu Jianhua, Fang Yiting. The paleosalinity and its geological significance of the depositional environment of the Ningkuo and Hulo Formations from South Anhui and North Jiangxi [J]. Journal of Stratigraphy, 1994, 18(1): 10-16]
 - 17 Dickinson W R. Plate Tectonics and Sedimentation [J]. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 1974b, 22: 1-27
 - 18 Boynton W V. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies [C] // Henderson P, ed. Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984, 91
 - 19 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): 89-92 [Yang Jing, Feng Xiaojie, Fan Yingfeng *et al*. Late Mesozoic structure, paleogeography and hydrocarbon potential of northeastern South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(2): 89-92]
 - 20 邹和平, 王建华, 丘元禧. 广东南澳和莲花山韧性剪切带 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义 [J]. 地球学报, 2000, 21(4): 356-364 [Zou Heping, Wang Jianhua, Qiu Yuanxi. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 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]
 - 21 丘元禧, 邱津松, 李建超, 等. 广东莲花山断裂带中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 [J]. 中国地质科学院地质力学研究所所刊, 1991, 14: 93-106 [Qiu Yuanxi, Qiu Jinsong, Li Jianchao *et al*. Deformational and metamorphic features of Lianhuashan fault zone during Mesozoic time and mechanism of their formation [J]. Bulletin of the Institute of Geomechanics CAGS, 1991, 14: 93-106]

Paleosalinity Records to Sea Level Change of the Northern Margin of the South China Sea in Early Jurassic

XU Zhong-jie¹ CHENG Rihui¹ WANG Liao-liang² LI Fei¹ ZHANG Li²

(1 College of Earth Sciences, University, Changchun 130061; 2 Guangzhou Bureau of Marine Geology Survey, Guangzhou 510075)

Abstract A large-scale transgression occurred in early Jurassic in the eastern Guangdong Province, the continental margin of South China Sea. The sea level change is recorded by the variation of paleosalinity. The ratios of Sr/Ba and B/Ga reflecting the paleosalinity changes are coincident with the sea level changes, the former is a positive correlation and the latter is a negative correlation. In this area, the curves of m ($m = \text{MgO} / \text{Al}_2\text{O}_3 \times 100$) values and B/Ga are similar but different in ranges. According to variation of paleosalinity together with the filling succession, evolution of sedimentary environments and facies, two transgressions and one regression for sea level change are recognized in this area. The tectonic setting of the northern margin of the South China Sea in early Jurassic was active relatively. The recycled foreland orogenic belt or the foreland uplift became the source provenance, and the basin developed in this region including Haifeng area had some characteristics of the peripheral foreland basin. The sea level change of early Jurassic revealed by the records of paleosalinity variation may be affected by the paleotectonic closure.

Key words the continental margin of South China Sea; Early Jurassic; Haifeng area; sea level change; paleosalinity