

南海北部陆架北部湾盆地古湖泊与烃源条件*

朱伟林 吴国 黎明碧

(同济大学海洋地质开放实验室 上海 200092)

(中国海洋石油勘探开发研究中心 北京 100027)

摘要 利用地震资料对整个盆地的追踪和对比,结合钻井资料,对北部湾古湖进行分析发现:古湖发育始于古新世,到始新世流沙港期进入鼎盛时期,湖泊规模最大达 5000km²,沉积了巨厚沉积物,最大沉积厚度达 4700m。井资料分析显示,在始新统流沙港三段、二段各古湖沉积物中浮游藻类和沉积有机质含量高,说明该两段具有较高的生物生产力;流一段和涠洲组沉积物中仅在涠西南古湖和乌石古湖内浮游藻类和沉积有机质具有较高的含量,因此涠西南与乌石具有更好的烃源条件。

关键词 古湖泊,烃源条件,高生产力

中图分类号 P736

通过古湖泊之间的比较分析,研究富生烃凹陷形成的条件,从源头上和成因上分析盆地烃源岩的整体分布,不仅具有理论意义,而且具有非常现实的商业价值。特别是中国近海的盆地,烃源岩埋藏深,凹陷数量多,钻探成本高,如何能通过少量的岩心资料预测更大范围的烃源岩的信息,是油田勘探中急需解决的问题,而古湖泊学的研究则提供了一条便利的途径。作者在充分应用北部湾盆地已有的区域地质资料、地震资料和钻井资料的基础上,通过对北部湾盆地古湖泊进行系统的分析研究,揭示了其发生、发展等演变规律,探讨了湖相烃源岩形成、保存条件及其时空展布特征。同时,将古湖泊学和传统有机地球化学相结合,将使地球化学有机相的研究实现从点到面,甚至到体的跨越。在理论上为陆相生油研究提供了新的研究思路和方法,在实践上更有效、更直接地为油气勘探服务。

北部湾盆地是位于中国南海北部陆架的西部,面积约为 3.8 万 km²。盆地是一个在古生代基底之上发展起来的典型的新生代陆内裂谷盆地,与中国东部和近海的其他裂谷盆地一样发育有明显的双层结构(图 1),其中裂谷阶段的半地堑湖泊沉积为盆地内主要烃源岩。烃源岩发育的质量主要取决于沉

积时期湖泊的规模和大小、生物生产力的发育(生物的丰富程度)、湖泊的氧化还原条件(湖底是否存在缺氧条件)以及沉积物沉积后的保存条件。因此,研究盆地的古湖泊对于了解盆地的烃源条件,从而指导盆地的油气勘探有着十分重要的意义。

1 北部湾盆地的油气勘探和基本地质概况

北部湾盆地已经历了几十年的油气勘探。盆地内已钻探几十口井,大部分井集中在盆地的西北部的涠西南凹陷内,在这凹陷中已发现一系列油气田和含油气构造,其中一部分油田已投入开发,成为南海北部陆架之上的一个重要的油气生产区,展示出这一盆地良好的油气勘探前景。

盆地在裂谷阶段由一系列北东和北东东向控制的裂谷湖泊组成。在早第三纪北部湾盆地可以分为 6 个古湖,这些古湖分别与目前研究的凹陷相对应,为涠西南、海中、迈陈、乌石、福山和海头北等古湖(图 2)。事实上,每一古湖又可能由若干个湖泊所组成,尤其是在盆地发育的早期,为了研究和分析方便,仅以上述古湖的名称来加以讨论。

中国海洋石油勘探开发研究中心北部湾盆地钻井资料揭示:盆地内发育最早的地层为古新世—始新世的长流组地层,为盆地早期快速充填的杂色

* 国家自然科学基金九五重点资助项目“南海北部边缘盆地的活动热流体和成藏动力学及地质背景”,49732005 号。朱伟林,教授, E-mail: zhuwl@cnoc.com.cn

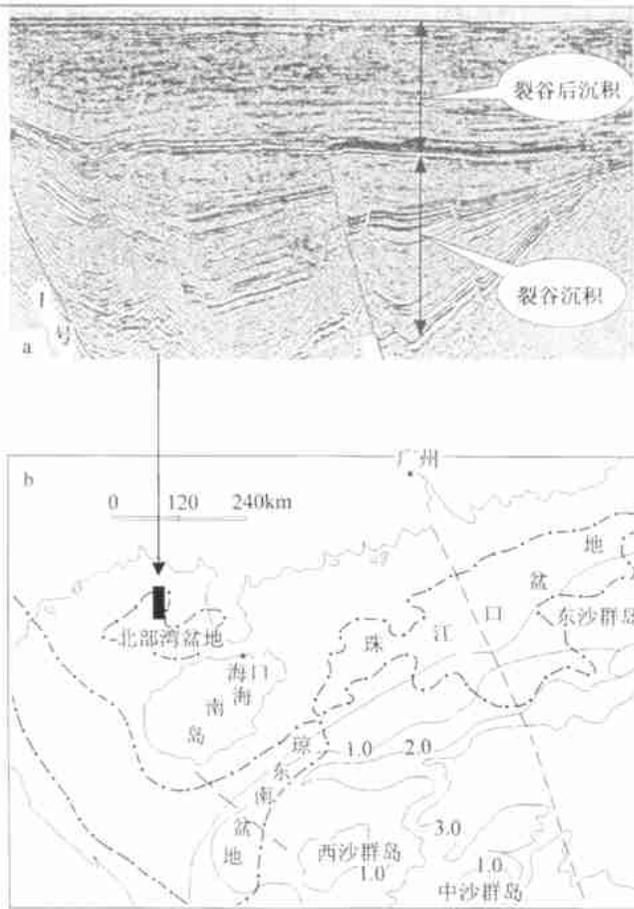


图 1 北部湾盆地位置图

Fig. 1 Location map of Beibu Gulf Basin

a. 展示盆地结构的地震剖面; b. 盆地和剖面位置

碎屑岩和棕色砂泥岩沉积; 始新世流沙港组是在湖泊鼎盛时期发育的一套以暗色泥岩沉积为主的地层, 为盆地内主要的烃源岩; 渐新世涠洲组是在湖泊萎缩时期沉积的地层, 浅湖砂岩成为盆地内重要的储层。另外, 涠洲组沉积期尽管湖水变浅, 但湖面变宽, 有利于区域泥岩盖层的发育(图 3)。由此可见, 北部湾盆地的古湖泊的发育过程造就了盆地良好的生储盖组合条件。

2 北部湾盆地古湖泊

早第三纪北部湾盆地处于热带潮湿气候区。它的北部陆缘十万大山与云开大山的南端沿海地区基岩为古生界与中生界地层, 其岩性除了碎屑岩和硅质岩系外, 还存在相当数量的碳酸岩系的沉积, 尤其是海相碳酸盐岩为主的上古生界地层有广泛的分布。岩浆侵入与喷发活动不发育。这种源区地质背景与其东部同处南海北部陆架上的珠江口盆地的情况有很大的不同, 珠江口盆地的北部为万山隆起区, 由下古生界的变质岩、混合花岗岩等组成, 其中特别以酸性岩浆岩居多, 它的南部和东、西部也主要以各类变质岩为主。此外, 珠江口盆地早第三纪曾发生多次活跃的火山喷发事件, 发育有凝灰质砂岩夹层。由于这两个盆地的源区地质背景的差异造成了早第三纪古湖内水体含钙量的变化, 北部湾盆地的含钙量稍大于珠江口盆地, 并且在某些层段出现富集的碳酸盐岩层(表 1), 其水体的矿化度也相对较高。

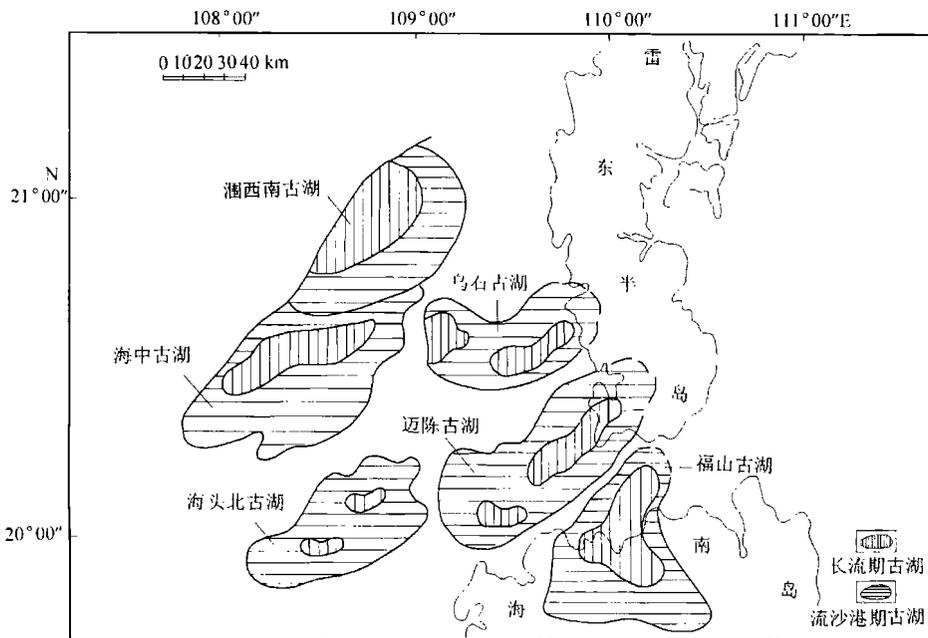


图 2 北部湾盆地古湖泊分布

Fig. 2 Distribution of Palaeo-lakes in Beibu Gulf Basin

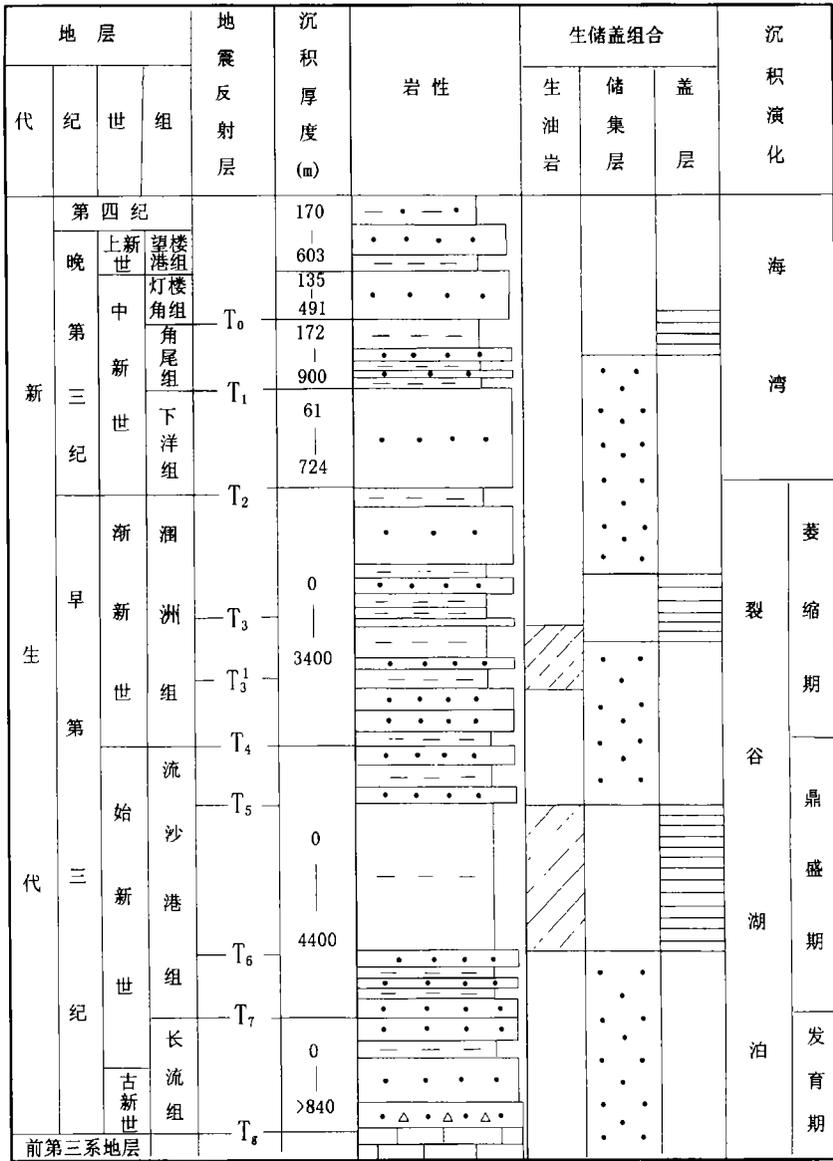


图 3 北部湾盆地地层发育剖面图

Fig. 3 Stratigraphic profile of Beibu Gulf Basin

岩性图例: — · — · 含泥砂岩; · · · 砂岩; --- 泥岩; · Δ · 砂砾岩

表 1 珠江口与北部湾盆地早第三纪不同水体及其标志

Tab. 1 Early Tertiary water masses and their indexes for Zhujiang River Mouth and Beibu Gulf Basins

盆地	水体类型	浮游藻类 / 孢粉类	碎屑有机质	钙质微体化石	碳酸岩盐沉积特征	其它化石
珠江口	淡水软化	< 40%	藻质无定形为主	无	CaCO ₃ 极低, 平均 < 40%	
北部湾	淡水硬化	可达 50%	藻质无定形为主	陆相介形虫轮藻 形虫轮藻	一般含量低 (5%), 但可见 若干碳酸盐层段	腹足类 瓣鳃类

另外, 在北部湾盆地的早第三纪地层内发现了较多的介形虫化石。从介形虫化石组合来看, 介形虫主要以华花介为主, 另有分枝介和玻璃介等。玻

璃介一般认为是淡水陆相介形虫, 而以华花介为特征的介形虫群被认为是微咸水至半咸水的化石群。华花介与分枝介均属绝灭类型, 并无现生介形虫可

供推断生态环境,但这二属在形态上与现生的湖花介极为相似,可以借助现生湖花介的生态要求进行推断。现代湖花介系淡水至咸水的陆相介形虫,以湖花介为特征的介形虫群常常生活在有一定矿化度的湖水中。据调查,现生的玻璃介生活的水体矿化度范围在 0.02‰—15.7‰,而湖花介则在 0.5‰—205.5‰的范围内。同是淡水湖,现代贝加尔湖矿化度低到不足 0.1‰,玻璃介一类占优势;而矿化度接近 1‰的南美洲的喀喀湖,介形虫群中以湖花介最为丰富(赵泉鸿等,1993)。与湖花介、华花介相似的介形虫在现代云贵高原的断陷湖中广泛分布,如新华花介、真华花介、抚仙湖花介等,见于滇池、泻海、抚仙湖等矿化度略高于 0.2‰的淡水湖中,但是这些湖泊的现代介形虫群中仍是玻璃介类占主要地位(中国科学院南京地理与湖泊研究所,1989、1990)。有趣的是南美洲的喀喀湖南部,近河流入口处矿化度不同使介形虫群也不相同:矿化度低于 0.3mm/L 处以玻璃介为主,而矿化度达到 3mm/L 处,便以湖花介为主。因此综合考虑,北部湾盆地早第三纪古湖泊应仍属淡水湖泊,但有一定的矿化度,很可能像现代的喀喀湖那样接近淡水的上限,即

近 1‰,而不同于珠江口盆地低矿化度和 pH 值的淡水湖(吴国等,1995;朱伟林等,1997)。

北部湾盆地淡水腹足类化石和个别轮藻化石的出现也证明了这一推断。轮藻受精卵只有钙化才能在地层中保存,而钙化要求在碳酸钙饱和的水体中进行。因此,北部湾盆地古湖泊的湖水是具有一定矿化度的硬水,为硬水淡水湖。

3 北部湾古湖的规模和大小

利用地震资料对整个盆地从上到下的地层进行了追踪和对比,结合钻井资料确定了层序界面,对下第三系不同时期的古湖规模进行了分析。北部湾古湖的发育始于古新世,早期的山间湖泊规模较小,而且相互分割,从图 2 中可以看出长流期湖泊的分布范围很受局限。随着湖泊的发育,湖泊规模不断扩大。至始新世流沙港期,湖泊的面积达到一定的规模,最主要的是这一时期深湖范围广。流沙港期最大湖盆范围时涠西南古湖与海中古湖已经相通,地震上识别的最大残余面积达 5000km²,福山和迈陈等古湖的面积都超过了 2000km²(表 2,图 2),湖盆持续时间较长,沉积了巨厚的沉积物,始新世流沙港期的最大沉积厚度达 4700m。

表 2 北部湾盆地流沙港组湖泊分布最小面积

Tab. 2 Palaeo-lake area represented by Liushagang Formation in Beibu Gulf Basin

湖泊名称	福山	迈陈	海头北	乌石	海中+ 涠西南
面积(km ²)	2530	2350	2000	1540	2900+ 2100= 5000

4 北部湾古湖的生产力

研究古湖泊的主要目的是为了能更清楚地了解沉积物沉积时期的环境变化,尤其是沉积有机质的发育情况,从而来帮助有效地判别烃源条件。事实上,反映沉积有机质最直接的方法是研究和分析保留在沉积记录中的浮游藻类化石,同时它也是研究生物生产力的有效手段。研究过程中由于钻井和样品所限,仅对盆地内的 4 个古湖(涠西南、海中、迈陈及乌石)的井资料作了分析(图 2),主要的分析重点放在能反映古湖条件和生产力的孢粉型的组合特征上。由于浮游藻类在湖泊内以其数量多、生长繁殖速度快而成为水域内部原地植物群的最重要组分。尽管浮游藻类遗体的耐分解和抗破坏能力较低,通常只有孢质的藻体部分才作为化石保存于沉积物中,但这部分藻类就成为研究古环境的重要基础。同时,浮游藻类与孢粉的比值又被作为反映古湖泊生物生产力的重要标志(Tyson,1993)。另外,沉积

物中碎屑有机质在某种程度上也能反映生物生产力,尤其是无定形有机质,因为它主要来源于水域内原生植物群,其含量的丰度往往与浮游植物发育和缺氧的底部水有关,特别是与具有高生产力区域的底部水体有关。

在北部湾盆地早第三纪湖泊沉积中既发现有盘星藻、葡萄藻等淡水浮游藻类,又有属于非海相沟鞭藻的百色藻和属于疑源类的球藻以及绿藻。

4.1 涠西南古湖

在研究过程中选取了钻入古新世长流组和始新世流沙港组地层的典型井进行分析。对涠 12-1 井的浮游藻类和碎屑有机质分析结果表明,凹陷内浮游藻类含量较高的地层是流沙港组和涠洲组,最高达 52.8% (图 4a),藻类属种少,主要有百色藻、盘星藻、光面球藻和粒面球藻等。从浮游藻类的分布特征看,百色藻和盘星藻的含量都较高,不同的是百色藻在近流一段底部的样品中含量最高;而盘星藻的

含量最高值部位在涠洲组上部。球藻的含量明显低于上述二种类型的藻类,在流沙港组的含量略高于涠洲组。

4.2 乌石古湖

乌石 21-1 井钻入涠洲组及流一段顶部,凹陷东部的乌石 16-1 井钻入流沙港组一、二、三段和长流组地层。根据乌石 16-1 井的分析结果(图 4b),长流组样品极少含孢粉型。流沙港组大多数样品含较丰富的孢粉型,其中浮游藻类的含量自上而下有增多趋势,主要属种类型有百色藻、盘星藻、光面球藻、粒面球藻等。浮游藻类含量最高值(33.3%—44.6%)的部位处于流二段上部到流一段下部。

碎屑有机质分析表明,长流组至流二段下部碎屑有机质组合中极少含无定形体,各样品的木质植屑含量普遍高于非木质植屑。木质植屑中,不透明的煤质体与半透明的植屑含量交替形成优势。流二段中部起无定形体含量形成优势;流二段上部无定形体含量最高,可达 85.5%。流一段至涠洲组的碎屑有机质组合中无定形体含量明显低于流二段,并出现较多植屑占优势的层段,取代无定形体而成优势的是壳质体。

4.3 迈陈古湖

迈陈古湖中有代表性的井主要是乌石 29-1A-1,它位于古湖的东部,揭示了涠洲组、流一段和流二段地层。除了流一段样品(仅一份)因极少含有机质而无可鉴定内容外,其余样品均含较多孢粉型。从含量上看,流二段浮游藻类明显多于涠洲组,与涠西南和乌石古湖流沙港组浮游藻类的特征相同;乌石 29-1A-1 井的流二段浮游藻类含量自上而下有增多趋势,含量最高值(20.6%—32.7%)处于流二段上部,主要浮游藻类有盘星藻、葡萄藻、百色藻、光面球藻和粒面球藻等,其中含量最高者是盘星藻,百色藻其次,球藻较少,葡萄藻仅零星见到。

乌石 29-1A-1 井碎屑有机质分析表明,流二段中部和上部有过两个无定形体含量占优势的层段。从植屑分布特征看,流二段煤质体含量普遍较低,壳质体形成优势。涠洲组的植屑由下部的煤质体占优势向上变为木质体占优势(图 4c)。

4.4 海中古湖

海中古湖中钻井仅揭示渐新世地层,并且研究过程中只对涠 22-3-1 和涠 16-1 井的 5 个零星样品作了分析。从分析结果(表 3)可以看出,各样品中碎屑有机质组合中植屑的含量居多。无定形体在涠 22-3-1 井涠洲组样品中出现高值。

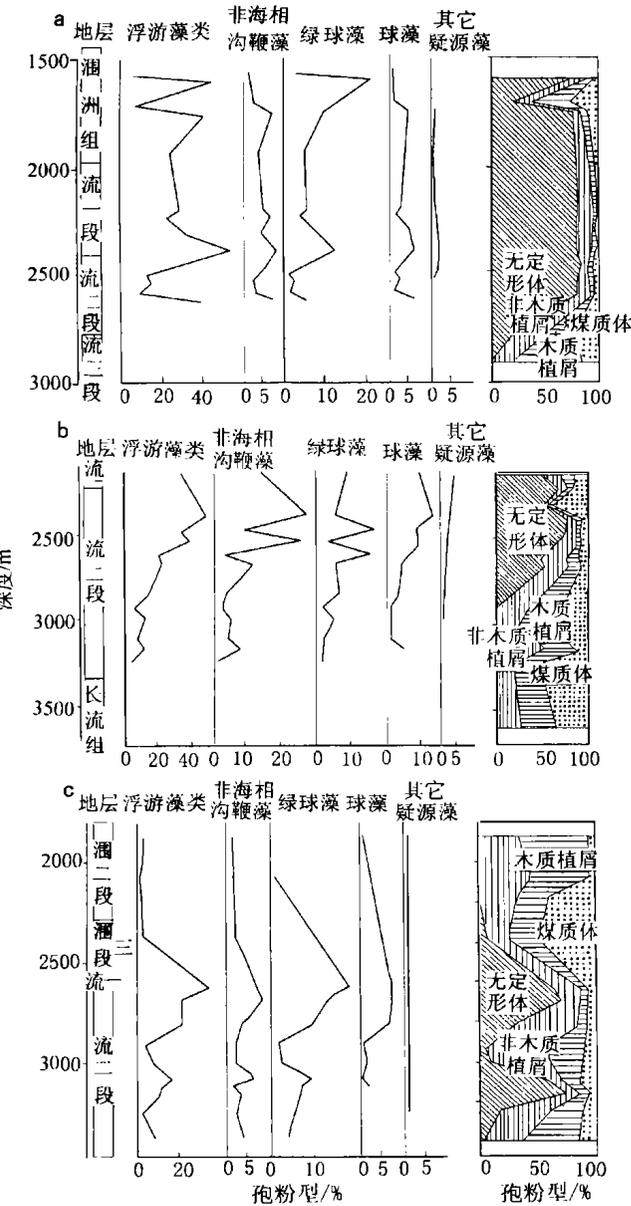


图 4 浮游藻类含量与碎屑有机质组合对应关系

Fig.4 The content of planktonic algae and clastic organic matters

涠西南古湖内下第三系各组段碎屑有机质的分布特征是:长流组至流二段底部碎屑有机质以植屑为主,长流组的煤质体含量较高;无定形体在流一段和涠洲组下部的样品中形成明显优势。这一特征与浮游藻类含量的变化具有良好的对应关系。涠洲组上部具有无定形体与植屑交替形成优势的特征。

表 3 海中古湖碎屑有机质组份含量(%)

Tab. 3 Content (%) of clastic organic matters in Haizhong Palaeo lake

井号	地层	深度(m)	木质体	煤质体	角质体	孢质体	壳质体	无定形体
涠 16-1-1	涠洲组	1799	37	10	2	10	36	5
		1853	52	12		5	27	4
涠 22-3-1	涠洲组	2454	19	10	6	4	29	32
		2456	28	13		14	35	10
		2457	16	39	1	10	21	13

综上所述, 北部湾盆地各古湖早第三纪生产力的差异在浮游藻类含量特征上的表现是明显的。涠西南古湖流二段至涠洲组始终是浮游藻类含量较高, 可超过 50%。乌石古湖早第三纪浮游藻类含量最高的部位是流二段上部至流一段下部, 为 33.3%—44.6%, 而涠洲组藻类含量明显低于涠西南古湖的涠洲组, 均不足 20%。迈陈古湖流二段浮游藻类含量可超过 30%, 但流一段和涠洲组含量较低。海中古湖涠洲组浮游藻类含量很低。因此, 北部湾盆地各古湖在流二段沉积时普遍高生产力, 而流一段及涠洲组沉积期间, 生产力较高的区域仅限于涠西南古湖和乌石古湖。

5 古湖泊与烃源条件

从烃源物质的角度看, 浮游藻类体本身就是良好的生烃物质。陆相沉积中, 藻质无定形体富集层段是古湖高生产力和湖底贫氧条件的产物, 反映良好的烃源条件。具备这一条件的古湖发育阶段, 有利于富烃有机质的堆积、保存和改造。藻质无定形体富集层段就是好的生油层段。

在北部湾盆地中, 早第三纪浮游藻类由北往南出现的含量变化以及百色藻、盘星藻相对含量的变化, 可以是水体深度和矿化度差异的反映。早第三纪北部湾古湖在涠西南部位略深且矿化度略高, 同时, 纵向上、下第三系由下往上浮游藻类中, 百色藻和盘星藻含量的变化, 可以解释为从流沙港组到涠洲组形成时, 古深度变浅和湖水矿化度逐渐弱化的变化趋势。

从涠 12-2-1、乌石 16-1-3、乌石 21-1-1 和乌石 29-1A-1 井浮游藻类含量在碎屑有机质组合对应关系

图式上看, 它们分别反映了在由北到南的各个古湖内, 早第三纪古湖都有过浮游藻类繁盛的高生产力期和有利于藻类无定形体形成的湖底缺氧条件, 但发育程度和持续时间各不相同, 盆地西北的涠西南古湖发育显然好于其它古湖。事实上, 目前北部湾盆地内主要的油气都发现于涠西南, 这与它的古湖泊条件和烃源条件有很重要的关系。从古湖泊条件分析来看, 其它古湖都有一定的烃源条件, 只要坚持这些地区的勘探将会有新的油气发现。

参 考 文 献

- 中国科学院南京地理与湖泊研究所等, 1989. 云南断陷湖泊环境与沉积. 北京: 科学出版社, 513
- 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 1990. 抚仙湖. 北京: 海洋出版社, 317
- 朱伟林, 黎明碧, 汪品先等, 1997. 珠江口盆地珠三拗陷古湖泊与油气. 中国海上油气(地质), 11(1): 13—18
- 汪品先, 1991. 开展含油气盆地的古湖泊学研究. 古湖泊学译文集. 北京: 海洋出版社, 1—14
- 何承全, 1981. 北部湾沿岸地区第三纪盘星藻属和葡萄藻属. 古生物学报, 20(2): 115—126
- 吴国, 赵泉鸿, 1995. 早第三纪东营与珠三两个古湖泊的比较研究. 同济大学学报, 23(增刊): 154—160
- 吴国, 朱伟林, 黄正吉等, 1998. 湖相沉积浮游藻类及有机质类型与烃源研究. 同济大学学报, 26(2): 176—179
- 赵泉鸿, 汪品先, 1993. 非海相介形虫的古环境意义. 含油气盆地古湖泊学研究方法. 北京: 海洋出版社, 124—176
- 黄正吉, 朱伟林, 吴国等, 1996. 珠江口盆地(西部)早第三纪古环境分析. 中国海上油气(地质), 10(4): 215—220
- Tyson, R V, 1993. Palynofacies analysis. In: Jenkins D G ed. Applied Micropaleontology. Kluwer Academic Publishers, 153—191

PALAEOLIMOLOGY AND HYDROCARBON POTENTIAL IN BEIBU GULF BASIN OF SOUTH CHINA SEA

ZHU Wei-Lin, WU Guo-Xuan, LI Ming-Bi

(Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, 200092)

(China National Offshore Oil Exploration and Development Research Center, Beijing, 100027)

Abstract Using seismic data and correlating cores between wells, we studied paleogeography of the Beibu Gulf Basin. This basin is located on the northern shelf of the South China Sea. Tectonically, it is a rift or graben developed on the Paleozoic basement. A series of half-grabens appeared during the Paleogene rifting stage, which formed paleo lakes, including six paleo lakes: Weixinan, Wushi, Maichen, Haizhong, Fushan and Haitoubei. These ancient lakes initiated in Paleocene, maximized in Liushagang Stage of Eocene in scale, with the area of 5000km² and 4700m thick sediments. Core analysis showed that there were high contents of planktonic algae and sedimentary organic matter in Members 2 and 3 of the Eocene Liushagang Formation, indicating a high hydrocarbon potential. Higher organic concentration was found in Member 1 of Liushagang Formation and Weizhou Formation in Weixinan Paleo lake and Wushi Paleo-lake; therefore, better hydrocarbon resource can be predicted.

Key words Paleo lake, Hydrocarbon exploration, Beibu Gulf, South China Sea