

珠江口盆地新近系钙质超微化石研究综述*

祝幼华¹⁾ 陈芳²⁾

1) 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008
2) 国土资源部广州海洋地质调查局, 广州 510760

摘要 根据珠江口盆地新近系钙质超微化石研究文献,综述了研究内容及发展过程。纵观二十多年来珠江口盆地新近系钙质超微化石的研究历史,大致可分成两个阶段:(1)上世纪 80 年代初至 90 年代初,侧重于化石带的报道及主要化石属种的描述;(2)上世纪 90 年代中后期至今,主要为高分辨率钙质超微生物地层研究阶段。评述了以往研究中存在的问题,明确了今后研究的方向与任务。

关键词 钙质超微化石 新近系 珠江口盆地

1 前言

珠江口盆地位于南海北部大陆架东部,面积约 175 000 km²。它由三个构造单元组成:北部坳陷带

(由珠一坳陷和珠三坳陷组成)、中央隆起带(由神狐暗沙隆起、番禺低隆起和东沙隆起组成)以及南部坳陷带(由珠二坳陷和潮汕坳陷组成)(图 1)。盆地基底为前古近系,之上沉积了厚达数千米至上万米的始新世至上新世地层,上覆以更新统和全新统。

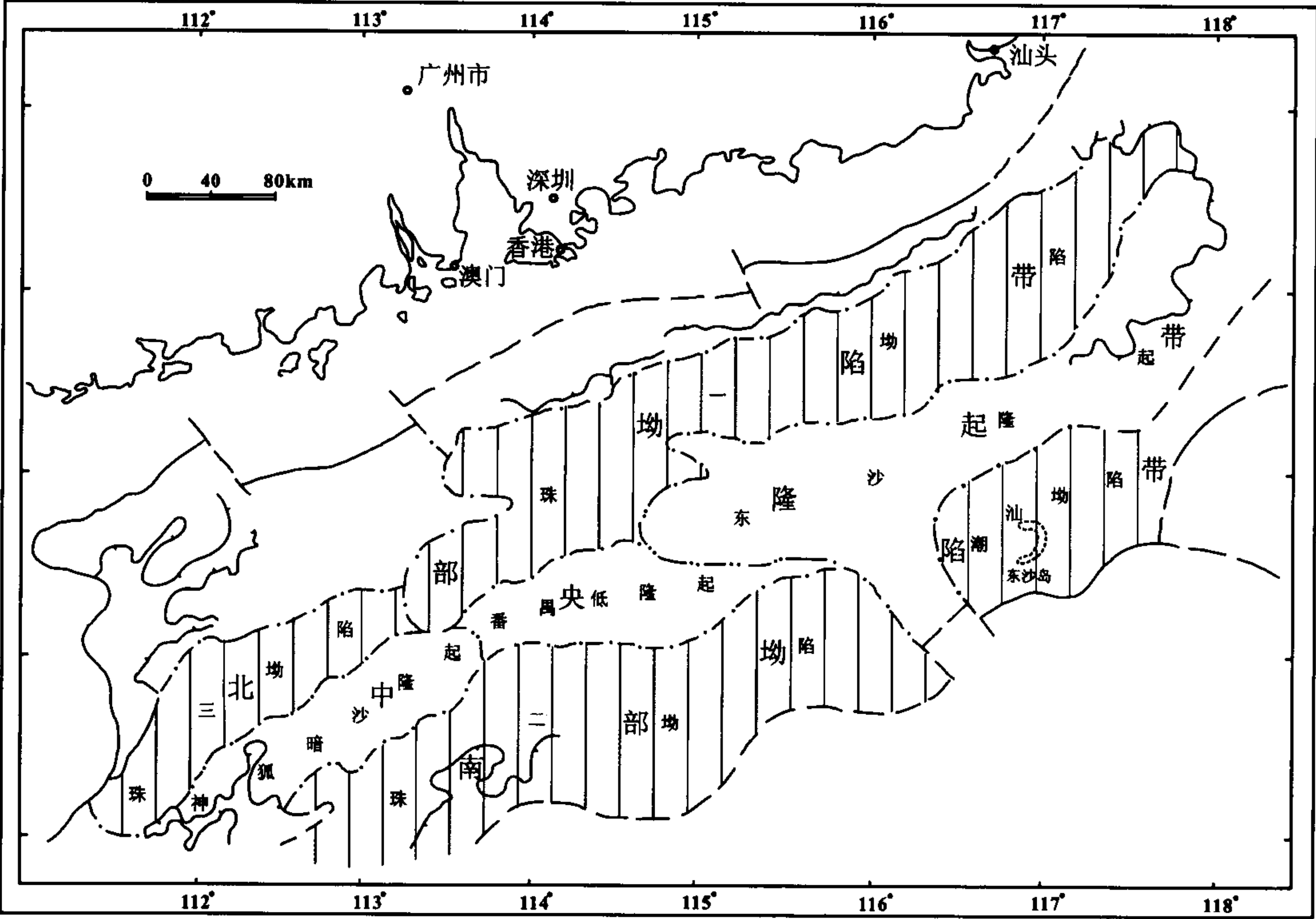


图 1 珠江口盆地构造图

Fig. 1 Tectonic map of the Pearl River Mouth Basin

* 国家自然科学基金(No. 40372005)资助项目。
收稿日期 2006-12-11,修改稿收到日期 2006-12-21

珠江口盆地是国际上新近纪海相沉积较为发育和典型的地区,也是我国海洋石油勘探开发的主战场之一。钙质超微化石以其属种时限分布短,演化迅速等特点,成为中、新生代海相地层划分及对比的主导化石门类,在珠江口盆地新近纪海相地层划分中发挥了重要的作用,是解决井下高分辨率地层划分和对比的关键手段之一。二十余年来,不少学者对该地区的钙质超微化石生物地层进行了研究,相继有成果报道(段威武,1982,1985;段威武、雷作淇,1984;段威武、黄永样,1989,1991;黄虑生、钟碧珍,1992;黄虑生,1996,1999;徐钰林,1996;Huang, 1997;姜仕军,1999)。钙质超微生物地层学在珠江口盆地钻井地层划分中得到了广泛的应用。

在国外,新近系钙质超微化石的研究程度较高。Martini(1971)提出了适用于热带至温带近岸浅海大陆架地区的钙质超微化石生物带,把新近系自下至上共分出 18 个化石带,即 NN1—NN18 带;Bukry (1973)提出了低纬度区钙质超微化石生物地层带,Okada 和 Bukry (1980)又进一步把新近系划分出 12 个化石带,自下而上为 CN1—CN12。根据上述分带模式,进行全球钙质超微化石生物地层的划分和对比。我国钙质超微化石的研究起步较晚,始于上世纪 80 年代初,在应用和基础研究方面较国际先进水平有一定差距。最早的文献是郝诒纯(1981)介绍国外钙质超微化石的研究概况、侏罗系至第四系钙质超微化石分带、主要类型的特征及地质时代分布等。

随着我国石油工业的迅速发展,钙质超微化石研究进展很快,并广泛应用于中、新生代生物地层的划分对比及古环境恢复等领域。尤其是在海相新近纪地层广泛发育的南海北部大陆架地区,已发展到以有孔虫和钙质超微等微体化石丰度和分异度变化为基础来划分地层层序,识别层序界线和最大海泛面等。本文简要介绍珠江口盆地新近系钙质超微化石研究成果,分析研究现状和存在的问题,指出今后研究工作的方向。

2 珠江口盆地新近系钙质超微研究简况

珠江口盆地新近系钙质超微化石的研究大致分成两个阶段:(1)上世纪 80 年代初至 90 年代初,研究主要集中于重要化石属种的描述和化石带的初步划分;(2)上世纪 90 年代中后期至今,主要为高分辨

率钙质超微化石生物地层研究阶段。

2.1 化石属种描述及化石带研究阶段

段威武(1982)最早研究了珠江口盆地新近系钙质超微化石,文中根据 5 个钻井 50 个岩样的分析,鉴定了钙质超微化石 15 属 51 种,依据各井中化石的垂直分布情况,从早中新世晚期至晚上新世早期分为 8 个钙质超微组合带(亚带),分别是 *Discoaster tamalis* 亚带;*Reticulofenestra pseudoumbilica*-*Discoaster asymmetricus* 组合带;*Ceratolithus rugosus*-*Ceratolithus primus* 组合亚带;*Discoaster berggrenii*-*Discoaster neorectus* 组合亚带;*Discoaster bellus*-*Catinaster coalitus* 组合带;*Discoaster kugleri*-*Sphenolithus heteromorphus* 组合带;*Helicosphaera ampliaperta* 带;*Sphenolithus belemnus* 带。随后,段威武和雷作淇(1984)对珠江口盆地的第三纪地层进行了研究,按新近系的珠江组、韩江组、粤海组和万山组四个地层单元,讨论了各地层单元的钙质超微化石重要分子,在新近纪共识别出 8 个钙质超微化石带,分别为万山组 *Discoaster tamalis* 和 *Sphenolithus abies* 带;粤海组 *Amaurolithus amplificus* 和 *Discoaster quinquerramus* 带;韩江组 *Catinaster coalitus*, *Triquetrorhabdulus rugosus* 带;珠江组 *Helicosphaera ampliaperta* 和 *Sphenolithus belemnus* 带。段威武(1985)研究了珠江口盆地新近纪钙质超微化石,识别出 9 个钙质超微化石带,即除上述 8 个化石带外,还增加了中中新统底部的 NN5 带即 *Sphenolithus heteromorphus* 带。王崇友等(1986)分析研究了珠江口盆地 W 孔中新世底钙质超微化石,描述 6 属 12 种,其中老种 7 个,未定种 4 个,新种 1 个。划分出 5 个化石组合,认为化石组合恰与 5 个岩性段相对应,反映了不同的相带,根据钙质超微化石属种面貌与丰度的变化分析了沉积环境的演变。段威武和黄永样(1991)对南海北部包括珠江口盆地、北部湾及琼东南盆地第三纪钙质超微化石生物地层进行了较为详细的研究,共识别出新近纪钙质超微化石带 16 个,从上到下分别为 *Discoaster brouweri*, *D. pentaradiatus*, *D. surculus*, *Reticulofenestra pseudoumbilica*, *Amaurolithus tricorniculatus*, *Discoaster quinquerramus*, *D. calcaris*, *D. hamatus*, *Catinaster coalitus*, *Discoaster kugleri*, *D. exilis*, *Sphenolithus heteromorphus*, *Helicosphaera ampliaperta*, *Sphenolithus belemnus*, *S. conicus* 带。黄虑生和钟碧珍(1992)研究了珠江口盆地渐新统一更新统钙质超微

化石生物地层事件,文中根据若干新钻井剖面的钙质超微化石分析鉴定结果,落实了该区第三系中重要的钙质超微化石生物地层事件及其与各岩石地层单元的关系,并重点讨论了珠江口盆地的上、下第三系分界以及珠江口盆地渐新统至上新统与邻区同时期地层的对比关系。提出了在珠江口盆地新近纪地层划分和对比中生物地层事件和有意义的种共 23 个,其中用来划分化石带的有 16 个,从上到下为 *Discoaster brouweri*, *D. pentaradiatus*, *D. surculus*, *Reticulofenestra pseudoumbilica*, *Amaurolithus tricorniculatus*, *Ceratolithus acutus*, *Discoaster quinquerramus* (末现面), *D. quinquerramus* (初现面), *D. hamatus* (末现面), *D. hamatus* (初现面), *Catinaster coalitus* 或 *Discoaster kugleri*, *Cyclicargolithus floridanus*, *Sphenolithus heteromorphus*, *Helicosphaera ampliaperta*, *Sphenolithus belemnus*, *Triquetrorhabdulus carinatus*。

从上述研究成果来看,在这十几年的研究历程中,珠江口盆地新近系钙质超微化石的研究进展非常迅速,从最初的 8 个化石组合带(亚带)到研究后期的 16 个化石带,研究程度不断加深,化石分带更加精细,划分地层更加精确,而且对珠江口盆地新近纪常见的属种进行了详细的描述。但是,总的来说,还停留在常规的生物地层研究阶段,即侧重于在钻孔剖面中寻找用来确定化石带的标志种在地层中出现的最高层位和最低层位,采用定性或半定量研究方法,未开展定量研究,因而对于研究区沉积环境未能进行详细分析,更难以满足高分辨率生物地层及层序地层研究的需要。

2.2 高分辨率钙质超微生物地层研究阶段

徐钰林(1996)详细研究了珠江口盆地第三纪钙质超微化石分带及古海洋环境,文中对 BY7-1-1 及 PY33-1-1 两口钻井 578 个样品进行了钙质超微化石的统计、鉴定,根据属种的丰度、简单分异度、辛普森指数、复合分异度和暖水、凉水分子的含量变化,将珠江口盆地第三纪的古海洋环境划分出 7 个演变阶段 4 次海侵旋回。该研究采用了 Okada 和 Bukry (1980)的分带方案,将新近纪钙质超微化石分成 8 个带,分别是 CN1b 亚带-CN3 带、CN4 带、CN5 带、CN6 带、CN7 带、CN8-CN9 带、CN10-CN11 带和 CN12。黄虑生(1996)介绍了珠江口盆地渐新统一上新统高分辨率生物地层学研究方法,对钻孔岩屑样品按 10m 深度的采样间距,统计出每个样品中指

示不同相的有孔虫、钙质超微化石、沟鞭藻、微有孔虫和孢粉化石的丰度和分异度资料,据这些定量分析资料推断各个样品的沉积环境,并据研究剖面中所有样品环境的连续变化来判断沉积环境的演变周期,由此识别出海平面升降旋回。把每个旋回内浮游生物的丰度和分异度的最高值视为最大海泛面;把双气囊花粉和红树花粉的高值以及浮游生物稀少处作为层序边界,识别了珠江口盆地渐新统一上新统的三级层序、层序边界年龄及最大海泛面年龄,从而把生物地层和层序地层有机地结合起来。秦国权(1996,2002)分别在《微体古生物在珠江口盆地新生代晚期层序地层学研究中的应用》及《珠江口盆地新生代晚期层序地层划分和海平面变化》文献中论述了有孔虫及钙质超微等微体古生物在珠江口盆地新生代晚期海相地层层序地层学研究中的应用,编制了本区钙质超微生物事件、化石带与三级层序年龄的对照图。陈中强等(1998)以珠江口盆地惠州凹陷 Hz23-1-1 井为例,对微古生物在高分辨率层序地层中的应用进行了研究,认为微古生物钙质超微和浮游有孔虫的最高出现面能为层序地层提供精确可靠的年代地层格架,它们的丰度、分异度的峰值能指示沉积层序中不同的界面特征,通常钙质超微和浮游有孔虫丰度、分异度的最大峰值与层序中最大海泛面凝缩段对应;而丰度、分异度的低谷往往出现在层序界面附近。黄虑生(1999)通过对钻井生物地层资料的分析,识别出珠江口盆地新近系 15 个钙质超微化石带或联合化石带,提出了珠江口盆地可与不同大陆和大洋热带—亚热带区生物地层对比的钙质超微生物地层框架。姜仕军(1999)用定量统计分析方法,对珠江口盆地 PY27-2-1 井进行了高分辨率钙质超微生物地层及层序地层研究,共识别出 18 个生物事件,划分出 17 个化石带(或联合带)和 18 个三级层序,并根据 Haq 等(1988)的标准标定了生物事件面的年龄值,建立了该井钙质超微化石生物地层及层序地层框架。

综观近十年来的研究,钙质超微化石的研究从传统的属种鉴定、划分化石带,过渡到高分辨率生物地层学研究。通过定量分析方法,得到化石百分含量变化曲线,同时结合钙质超微等微体化石生物事件的年龄、沉积环境以及岩性、地震等资料进行综合分析,识别层序边界与最大海泛面,初步建立了珠江口盆地相对海平面升降旋回图。

3 存在的问题

二十多年来,虽然珠江口盆地新近纪钙质超微化石研究取得了不少成果,生物地层分带已较为详尽,但仍存在两个突出而关键的问题:一是岩屑污染造成部分化石带划分困难,二是新近系的底界即新近系与古近系的界线仍存在较大争议。这两个问题的存在使该地区油气生产实际应用中的地层划分常常存在争议,也给区域地层对比和全球对比带来困难。

迄今已发表的珠江口盆地钙质超微化石文献,研究采用的样品大部分为岩屑,缺乏岩心或井壁心样品,由于下部地层样品难以避免上覆岩层掉下来的岩屑所污染,造成化石的初现面比实际出现位置低,严重影响了研究精度和可信度。根据 Martini (1971)标准钙质超微化石分带,新近纪共划分 18 个钙质超微化石带,其中 NN1, NN6, NN7, NN8, NN10, NN12, NN13 等 7 个带是根据化石的初现面来划分的,这给以岩屑样品为主的珠江口盆地钙质超微化石带的划分带来很大的困难。在实际工作中,研究人员根据工作需要,采用联合带或者用其他非国际对比的标志种划分化石带。虽然解决了地层分层工作的实际需要,但其可靠性还有待于进一步研究。

新近系的底界即新近系与古近系界线问题是珠江口盆地新生代生物地层研究中一个关键性问题,也是长期争议的一个问题。新近系与古近系的界线即渐新统与中新统的界线一般放在超微化石 NP25 带与 NN1 带之间,与 *Sphenolithus ciperoensis*, *Helicosphaera recta*, *Ericsonia fenestrata* 和 *Zygrhablithus bijugatus* 等末次出现基准面一致 (Martini & Müller, 1986)。因而,这些化石种在地层中的消失成为划分古近系和新近系界线的依据。Okada 和 Müller (1980) 把 *Dictyococcites bisectus* 末次出现面作为渐新世和中新世界线标志种之一。而 Martini 和 Müller (1986) 研究表明, *Dictyococcites bisectus* 在澳大利亚、菲律宾及赤道太平洋地区消失于 NP23—NP24 带;在西南太平洋地区则延续到中新统最下部。由于珠江口盆地是近海沉积盆地,渐新世到早中新世时期为浅海—滨海相沉积环境,出现了厚度不等的钙质超微化石贫乏段,再沉积现象比较普遍。因而,标志种有时难以发现,例如, BY7-1-1 井 (徐钰林, 1996) 未发现 *Sphenolithus ci-*

peroensis, 以 *Dictyococcites bisectus* 的末现面来划分渐新统与中新统的界线。PY27-2-1 井 (姜仕军, 1999) 同时发现了 *Sphenolithus ciperoensis*, *Dictyococcites bisectus* 和 *Zygrhablithus bijugatus*。另外,不同研究人员在同一口井的不同深度发现同一标志种 (雷作淇, 1999), 会造成界线的不一致。在同一口井的不同深度发现不同的标志种,如 *Sphenolithus ciperoensis*, *Zygrhablithus bijugatus* 与 *Dictyococcites bisectus* 在同一口井中的不同深度出现 (雷作淇, 1999), 有些研究人员把界线置于 *Dictyococcites bisectus* 的绝灭面,有些采用 *Sphenolithus ciperoensis* 和 *Zygrhablithus bijugatus* 末次出现基准面,研究人员的不同认识会造成界线的不同。此外,不同化石门类研究人员之间认识上的差别也会影响界线的确定,如用钙质超微化石确定的新近系底界与有孔虫等其它微体化石的界线有时也难以统一。

4 结束语

鉴于以上存在的问题,我们认为可从如下几个方面着手:一是改进取样方式,尽可能取岩心和真岩屑样品进行微体古生物分析,最好能有地层发育齐全的取心钻孔进行系统的生物地层研究,以便建立一个完整的可供该区生物地层对比的标准剖面;二是进一步加强化石带的定量研究,特别是层序地层的研究;三是利用珠江口盆地大量的钻孔资料,进行详尽的地层对比和地层追踪;四是综合利用岩石地层,地震地层,沉积相和测井曲线资料进行对比研究。只要微体古生物各门类研究者加强合作,深入交流,一定能解决好这些长期争议的问题。

总之,珠江口盆地新近纪钙质超微化石研究已取得一定的成果,发表了近二十篇论文,为该区新近纪海相地层划分提供了重要依据,较好地解决井下地层的精细划分和对比。珠江口盆地既是我国新近纪海相地层较为发育和典型的地区,也是国际上该时期海相地层发育比较齐全的地区,对于开展海相化石门类的研究具备丰富的化石材料,通过我国钙质超微研究工作者二十余年的努力,虽取得一定成果但仍有很多工作要做,特别是与国际先进水平相比还有一定的差距。今后除了钙质超微化石生物地层学研究外,还应该加强钙质超微化石在古地理、古环境和古生态学方面的研究。

参考文献

- 王崇友,曹寅,奚可棠,1986. 珠江口 W 孔中新世钙质超微化石初步研究. 中国地质科学院地质研究所所刊,第 14 号:160—172
- 陈中强,钟石兰,杨少坤,许仕策,廖宁,孙息春,1998. 微古生物在高分辨率层序地层学中的应用——以珠江口盆地惠州凹陷层序地层分析为例. 微体古生物学报,15(2):134—143
- 段威武,1982. 珠江口盆地新第三纪钙质超微化石的分布及其地质意义. 石油实验地质,4(3):168—175
- 段威武,1985. 珠江口盆地上第三系钙质超微化石. 古生物学报,24(1):94—110
- 段威武,雷作淇,1984. 珠江口盆地第三纪地层. 石油与天然气地质,5(2):102—112
- 段威武,黄永祥,1991. 南海北部第三纪钙质超微化石生物地层学研究. 地质学报,65(1):86—98
- 段威武,黄永祥,1989. 南海北部陆缘中、晚第三纪古地理、古环境研究. 地质学报,63(4):363—372
- 姜仕军,1999. 珠江口盆地 PY27-2-1 井高分辨率钙质超微生物地层和层序地层学研究. 中国海上油气(地质),13(3):189—195
- 徐钰林,1996. 珠江口盆地第三纪钙质超微化石分带及古海洋环境. 见:郝诒纯、徐钰林、许仕策等,南海珠江口盆地第三纪古生物及古海洋学研究. 北京:中国地质大学出版社. 74—87
- 郝诒纯,1981. 钙质超微型化石及其研究现状. 地球科学(武汉地质学院学报),1:16—31
- 秦国权,1996. 微体古生物在珠江口盆地新生代晚期层序地层学研究中的应用. 海洋地质与第四纪地质,16(4):1—18
- 秦国权,2002. 珠江口盆地新生代晚期层序地层划分和海平面变化. 中国海上油气(地质),16(1):1—10
- 黄虑生,钟碧珍,1992. 珠江口盆地渐新统一更新统钙质超微化石生物地层事件. 石油学报,13(2):170—176
- 黄虑生,1996. 珠江口盆地渐新统一上新统高分辨率生物地层学研究方法. 海相油气地质,1(4):13—20
- 黄虑生,1999. 珠江口盆地第三系生物地层框架. 中国海上油气(地质),13(6):406—415
- 雷作淇,1999. 关于珠江口盆地 BY7-1-1 井上、下第三系界线的讨论. 地层学杂志,23(2):146—151
- BUKRY D, 1973. Low-latitude coccolith biostratigraphic zonation. Initial Report. Deep sea drilling project. 15:685—703
- CHEN Zhongqiang, ZHONG Shilan, YANG Shaokun, XU Shice, LIAO Ning, SUN Xichun, 1998. The application of Micropalaeontology in sequence stratigraphy: An example from the Huizhou Depression in South China Sea. Acta Micropalaeontologica Sinica, 15(2): 134—143
- DUAN Weiwu, 1982. Distribution of Neogene calcareous nannofossil in Pearl River Mouth Basin and its Geological significance. Experimental Petroleum Geology, 4(3):168—175
- DUAN Weiwu, 1985. Neogene calcareous nannofossils from the Zhujiangkou Basin. Acta Palaeontologica Sinica, 24(1): 94—110
- DUAN Weiwu, LEI Zuoqi, 1984. Tertiary stratigraphy of Zhujiangkou Basin. Oil & Gas Geology, 5(2): 102—112
- DUAN Weiwu, HUANG Yongyang, 1989. Middle and late Tertiary Palaeogeography and Palaeoenvironments on the Northern continental margin of the South China Sea. Acta Geologica Sinica, 63(4): 363—372
- DUAN Weiwu, HUANG Yongyang, 1991. Tertiary calcareous nannofossil biostratigraphy in the North part of the South China Sea. Acta Geologica Sinica, 65(1):86—98
- HAO Yichun, 1981. Calcareous nannofossils and their present status of study. Earth Science (Journal of the Wuhan College of Geology, 1: 16—31
- HAQ H B, HARDANBOL J, VAIL P R, 1988. Mesozoic and Cenozoic chronostrgraphy and cycles of sea-level change. In: Wilgus C K *et al.*, Sea-Level Changes: An Integrated Approach, Society of Economic Paleontologists and Mineralogist, Special Publication, 42:71—108
- HUANG Lüsheng, ZHONG Bizhen, 1992. Calcareous nannofossil bio-events in the Oligocene—Pleistocene the Pearl River Mouth Basin. Acta Petrolei Sinica, 13(2):170—176
- HUANG Lüsheng, 1996. High resolution biostratigraphy from Oligocene to Pliocene of Pearl River Mouth Basin. China offshore oil and gas Geology, 1(4):13—20
- HUANG Lüsheng, 1997. Calcareous nannofossil biostratigraphy in the Pearl River Mouth Basin, South China Sea, and Neogene reticulofenestrid coccoliths size distribution pattern. Marine Micropaleontology, 32:31—57
- HUANG Lüsheng, 1999. Tertiary biostratigraphic framework of Pearl River Mouth Basin. China offshore oil and gas(Geology), 13(6):406—415
- JIANG Shijun, 1999. High resolution calcareous nannofossil biostratigraphy and sequence stratigraphy of Well PY27-2-1 Pearl River Mouth Basin. China offshore oil and gas(Geology), 13(3):189—195
- LEI Zuoqi, 1999. Discussion on the Upper-Lower Tertiary Boundary in Well BY7-1-1 of the Pearl River Mouth Basin. Journal of Stratigraphy, 23(2):146—151
- MARTINI E, 1971. Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In: Farinacci A. (ed.), Proceedings II Conference Roma, 1970, 2: 739—785
- MARTINI E, MLLER C, 1986. Current Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton stratigraphy and correlation. Newsletters on Stratigraphy, 16(2):99—112
- OKADA H, BUKRY D, 1980. Supplementary modification and introduction of code number to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation. Marine Micropaleontology, 5: 321—325
- QIN Guoquan, 1996. Application of Micropaleontology to the sequence stratigraphic studies of late Cenozoic in the Zhujiang River Mouth Basin. Marine Geology & Quaternary Geology, 16(4): 1—18
- QIN Guoquan, 2002. Late Cenozoic sequence stratigraphy and sea-level changes in Pearl River Mouth Basin south China Sea. China offshore oil and gas(Geology), 16(1):1—10
- WANG Chongyou, CAO Yin, XI Ketang, 1986. A preliminary

study on Miocene calcareous nannofossils collected from Zhujiangkou W Hole. Bulletin of the Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences, No. 14:160—172

XU Yu-lin, 1996. Tertiary calcareous nannofossil zones and paleoce-

anic environments of Pearl River Mouth Basin. In: Research on micropalaeontology and paleoceanography in the Pearl River Mouth Basin, South China SEA. Beijing: China University of Geology Press. 74—87

REVIEW OF THE NEOGENE CALCAREOUS NANNOFOSSIL RESEARCH OF THE PEARL RIVER MOUTH BASIN, SOUTH CHINA

ZHU You-hua¹⁾ and CHEN Fang²⁾

1) *Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*

2) *Guangzhou Marine Geological Survey Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510760*

Abstract Based on the researches of Neogene calcareous nannofossils from the Pearl River Mouth Basin, this paper briefly reviews the researching and developing process. The study of Neogene calcareous nannofossils from the Pearl River Mouth Basin in the last two decades could be subdivided into two stages: (1) from the beginning period of the 80's to early 90's of the last century, the studies focused on the calcareous nannofossil zones and the descriptions of main genera and species; (2) from the middle and late period of the 90's of the last century to the present, the researches concentrated on the high-resolution calcareous nannofossil biostratigraphy. Both a review and a perspective of the study on Neogene calcareous nannofossils of this region are given.

Key words calcareous nannofossils, Neogene, Pearl River Mouth Basin