

南海东北部中生界岩石学特征及沉积环境

邵磊¹⁾, 尤洪庆^{1,2)}, 郝沪军²⁾, 吴国瑄¹⁾, 乔培军¹⁾, 雷永昌²⁾

1) 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海, 200092;

2) 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东深圳, 518067

内容提要:南海东北部潮汕坳陷发现中—晚侏罗世到白垩纪的海相中生代地层,由泥岩、砂岩、放射虫硅质岩夹鲕粒灰岩及火山岩构成。岩石组合及沉积特征反映出,从中—晚侏罗世到白垩纪沉积水深经历了由浅到深,然后又转为陆地的一个完整旋回,沉积环境则经历了由滨海海相到深海相,又到滨海过渡相和陆相河湖体系的演变过程,在深海相与滨海陆地过渡相之间存在一个明显的环境突变,为沉积环境缺失所致。与深海相放射虫硅质岩相伴,则夹有玄武岩(细碧岩)层。沉积反应的气候条件从中—晚侏罗世—早白垩世的温暖湿润气候环境过渡到晚白垩世的炎热干旱气候环境。这套海相中生代地层的存在对解释南海北部中生代大地构造演化以及古特提斯洋和太平洋的关系具有重要意义。

关键词:南海;海相;沉积岩;中生界;沉积环境

南海东北部地区位于欧亚板块、太平洋板块和菲律宾海板块交汇拼合地带,构造演化十分复杂。近年来许多专家学者根据对周边陆地构造带发育特征及地球物理资料分析研究,推测该地区应发育有海相中生界,但是对其与特提斯洋和太平洋的关系却提出了截然不同的看法(黄汲清等,1987;黄梅英等,1993;曾麟等,1995;陈玲等,1995;张渝昌等,1997;王平等,2000;夏戡原等,2000;杨静等,2003;周蒂等,2005)。一种意见认为南海的海相中生界是特提斯的东延部分(夏戡原等,2000),另一种意见认为南海东北部的海相中生界主要受太平洋的影响,其古地理和古气候特征与特提斯域并不相同(杨静等,2003;周蒂等,2005)。根据南海周边地区中生界的沉积特点及演变规律,众多研究者推断在南海东北部地区存在中生代的俯冲增生带,但对其具体发育位置存在不同看法(李唐根等,1992;周祖翼,1992;姚伯初等,1994,1995;Zhou et al.,1995,2006;周蒂等,2005)。郝沪军等依据南海东北部地球物理资料识别出海相中生界在潮汕坳陷厚度就达7000m以上,并与上覆的新生代地层为角度不整合关系(郝沪军等,2001,2004;陈隽等,2002)。但是由于缺乏钻井资料的证实,这套地层的真实时代、岩石学组成特点及沉积环境一直是个未解之谜。

2003年9月台南—潮汕石油作业有限公司在珠江口盆地东南部的潮汕坳陷北坡实施了MZ-1-1井的钻探。这是首次在南海东北部以揭示中生界性质为目的而进行的钻探。探井取得了大量可供微体古生物学和岩石学研究的实际材料。微体古生物学研究发现这套地层属于中生代侏罗纪—白垩纪,与事先预测基本一致(吴国瑄等[●])。同时,该探井的岩石组合及反映的沉积环境对于探讨和认识南海东北部大陆边缘地质构造演化、回答中生代特提斯洋和太平洋的关系等科学问题具有十分重要的意义。

1 材料与方法

MZ-1-1井位于潮汕坳陷北坡,探井钻入中生代地层厚约1500m,钻井位置如图1所示。分析样品分为井壁取芯和岩屑样品两类。井壁取芯样品以大约50m的间距取样52个。岩屑样品则每3m取一个样品,共计500个样品。样品处理鉴定完成于同济大学海洋地质国家重点实验室。

样品制成薄片,采用正交偏光显微镜进行矿物及岩石学鉴定工作。重点鉴定岩石中主要矿物组成,含量,经历的主要成岩作用,进行岩石准确定名,分析沉积环境。

对于砂岩的分类采用Folk(1968)的三角图

注:本文为国家自然科学基金资助项目(批准号40238060,40276019),国家重点研究专项经费资助项目(批准号2000078500)的成果。

收稿日期:2006-03-10;改回日期:2006-08-16;责任编辑:章雨旭。

作者简介:邵磊,男,1960年生。教授,博导,主要从事沉积岩石学及沉积地球化学研究。Email:Lshaok@online.sh.cn。

解,确定的三端元组分为:① 石英(Q);② 长石(F);③ 云母+岩屑+燧石(R),分类偏重于母岩类型和矿物成熟度两个因素。

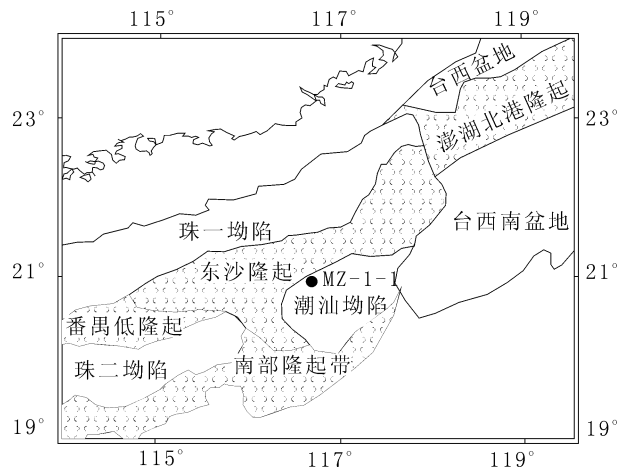


图 1 南海东北部 MZ-1-1 井地理位置图

Fig. 1 The location map of Drill MZ-1-1, northeast of the South China Sea

2 岩石类型

MZ-1-1 井所揭示的中生代地层岩石类型组成丰富,共有 12 种岩石类型,分属岩浆岩、沉积岩及变质岩三大类岩石。

岩浆岩含喷出岩及侵入岩两大类。喷出岩以基性喷出岩为主,少量为中性及酸性喷出岩,具体可分为玄武岩(细碧岩)、安山岩、流纹岩以及凝灰岩。

玄武岩(细碧岩)具典型粗玄结构、交织结构,在不规则排列的斜长石长条状微晶所形成的间隙中充填着磁铁矿等暗色矿物颗粒。岩石普遍具有气孔—杏仁构造。部分玄武岩基质中含有火山玻璃,构成玻基玄武岩;部分基性喷出岩矿物成分由钠长石、绿泥石、绿帘石及方解石等组成,长柱状钠长石组成格架,间隙中充填着绿泥石、绿帘石,为典型细碧岩。

安山岩具斑状结构,玻晶交织结构,玻基斑状结构等,气孔—杏仁构造发育。斑晶由具环带构造的自形一半自形的中长石组成,常见熔蚀结构,常经钠长石化而具有洁净的钠长石净边。基质为浅灰色玻璃质,具隐晶结构。

流纹岩具斑状结构,岩石由酸性火山玻璃及火山尘组成,含石英、长石斑晶,常具熔蚀结构。部分流纹岩不具有流纹构造,岩石中常含有放射虫等生物化石。

侵入岩主要为花岗岩及花岗闪长岩,部分为闪

长岩。样品中正长岩极少,仅发现一个样品,可能为脉状侵入体,岩石由具文像结构的正长石组成,呈镶嵌状,半自形—他形粒状结构为主,文像结构极发育。

本钻并沉积岩类型丰富、数量众多、构成分析样品的主体部分。既有内源碳酸盐岩沉积、放射虫硅质岩沉积,也有正常陆源碎屑沉积,以及与火山喷出岩过渡的沉凝灰岩沉积。

陆源碎屑沉积范围广泛,包括砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩以及沉火山碎屑岩。砂岩是分析样品中数量较大的岩石类型,共占分析样品的 23% 左右。在对 126 个砂岩样品进行的统计中(图 2),发现砂岩主要为岩屑砂岩,其次为长石岩屑砂岩,部分为岩屑长石砂岩和长石砂岩,反映其成分成熟度较差。按碎屑粒径可分为粗粒砂岩、中粒砂岩以及细粒砂岩。相当一部分砂岩杂基含量大于 15%,为杂砂岩类,分选较差,表现出较低的结构成熟度。

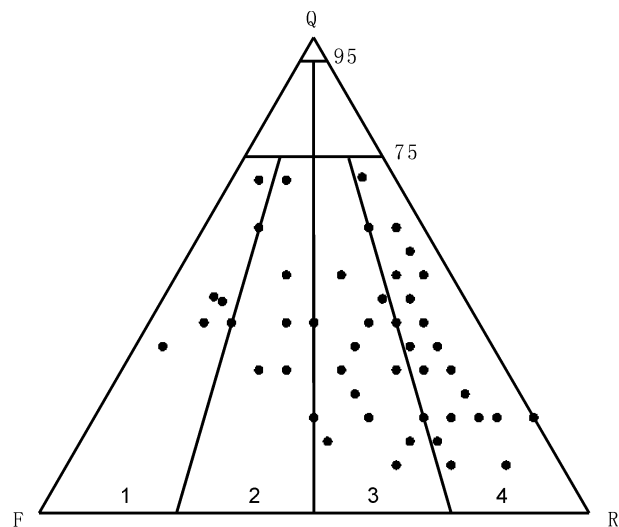


图 2 南海东北部 MZ-1-1 井砂岩成分分类 (分类据 Folk, 1968)

Fig. 2 Composition classification of the sandstone from the Drill MZ-1-1, northeast of the South China Sea (after Folk, 1968)

砂岩碎屑颗粒多数以次棱—次圆状为主,岩屑以各种火山岩碎屑和泥岩、粉砂岩岩屑为主,发育少量板岩、片岩、石英岩及大理岩等变质岩岩屑。杂基主要由绿泥石和粘土矿物组成,构成孔隙、基底式胶结,岩屑常构成杂基。胶结物以碳酸盐胶结物为主,可形成连晶式胶结,石英次生加大常见。在中生界

顶部5~200 m左右发育石膏连晶式胶结,另有少量白云母、绿泥石等粘土组成栉壳式胶结。在1300 m以下,岩石压溶作用普遍,形成镶嵌式胶结。

粉砂岩中碎屑含量大于50%,常含有一定泥级颗粒或泥质粘土矿物。砂粒粒径介于0.1~0.05mm之间。砂粒中除石英、长石、云母外,常含有少量绿帘石、楣石、绿泥石。颗粒为次棱一次圆状,少数为棱角状。岩石主要为基底式胶结,常与泥岩互层,颗粒定向排列,具层理构造。具生物扰动构造,有时富含有机质碎屑,岩石常发生碳酸盐化。

泥岩以粉砂质泥岩及纹层状泥岩为主,有少量为含火山碎屑泥岩,纹层构造常见,在776~1420 m层段,泥岩中普遍含有有机质碎片,岩石常发生碳酸盐化,可见方解石细脉。

含火山碎屑泥岩一般含较多的火山玻璃碎屑(约10%),火山玻璃常发生脱玻化作用,由微晶—细晶状石英组成,另含少量长石单晶颗粒,常发生方解石化及绿泥石化。

纹层状泥岩主要由石英及粘土矿物组成,岩性均一细腻,基本不含粉砂质碎屑,富含有机质碎屑,纹层发育。岩石常发生碳酸盐化,发育少量方解石细脉。部分泥岩中含大量海绿石矿物,有聚集出现的现象,同时,岩石中含较多粉砂级Fe质颗粒。

硅质岩,样品中硅质岩分为两类,一种为主要由硅质生物化石组成,主要为硅质放射虫化石,另一种质纯不含杂质,由隐晶质玉髓组成。

由硅质生物化石组成的硅质岩,主要为硅质放射虫化石,化石壳体由玉髓组成,岩性细腻,岩内常含火山碎屑物质。部分岩石发生弱的变质作用,具定向排列。不含生物化石的硅质岩质纯,不含粉砂质,但含较多粘土级火山碎屑,具弱的脱玻化作用,由隐晶质玉髓组成。

沉火山碎屑岩,岩石由火山碎屑物质组成,在粘土级火山玻璃中包含较多石英、长石单晶颗粒,这些颗粒呈棱角状,未经过磨蚀搬运作用,常见熔蚀结构,岩石含有少量生物化石,一般具弱的层理构造,常发生碳酸盐化,火山玻璃常发生脱玻化作用。

样品中碳酸盐岩可分为三种类型:泥晶灰岩、微晶灰岩及鲕粒灰岩。泥晶灰岩中常含有少量长石、石英碎屑,碎屑多呈次棱角—棱角状,岩石中细粒部分为泥晶质方解石。微晶灰岩中矿物主要由微—细晶质方解石组成,含少量石英及长石碎屑(约2%),具纹层,未见生物化石。鲕粒灰岩由颗粒和基质两部分组成,颗粒部分主要为鲕粒,呈椭圆状到圆状,

可见密集的同轴纹层,部分鲕粒具核心,为生物壳碎片,鲕粒同心纹层主要由泥晶方解石组成,粒径1~2mm。鲕粒之间由微晶方解石胶结,岩石中常含少量石英、长石碎屑。

变质岩类型比较单调,数量较少,以低级变质作用形成的石英岩、大理岩以及板岩为特征,主要发育在花岗岩侵入体的附近,应为接触变质作用的产物。

3 岩石组合特征

本钻孔岩石类型在时间分布上有一定的规律,从所钻遇的中生界顶部往下具体可以分为以下六个组合:

(1) 5~300 m:紫红色泥岩、粉砂岩及砂岩夹少量泥灰岩组合,砂岩中石膏连晶式胶结发育。

(2) 300~461m:灰色纹层状泥岩、粉砂岩及砂岩组合,含较丰富的有机质碎屑,无石膏连晶式胶结。

(3) 461~720 m:基性火山喷出岩夹少量流纹岩与泥岩、砂岩、砾岩以及泥灰岩互层。基性火山喷出岩以玄武岩、玻基玄武岩为主。岩石中含少量正长岩侵入体(脉)。

(4) 720~940 m:硅质岩夹玻基玄武岩(细碧岩)、灰黑色纹层状泥岩及泥质粉砂岩,含少量泥晶灰岩。硅质岩中含丰富的放射虫化石,岩性细腻,化石壳体由玉髓组成,岩石内含较多火山碎屑物质。

(5) 940~1423 m:灰黑色纹层状泥岩及泥质粉砂岩夹砂岩、灰岩,泥岩中富含有机质碎屑,在986~1028 m段以及1421 m处发育鲕粒灰岩。玄武岩及流纹岩以层状夹层产出。在1300~1423 m左右岩石受到低级变质作用,出现少量低级变质岩,相应产出的砂岩也发生较强的压溶作用,应为接触变质作用所致。

(6) 1423~1500 m:为花岗岩、花岗闪长岩侵入体,夹闪长岩体。

4 沉积物源及环境

在地层剖面上随时间由老到新,本区沉积环境经历了盆地扩张下沉—>深海沉积—>火山喷发—>陆相回返的一个完整的沉积旋回(图3)。即在剖面所揭示的地层底部(940~1423 m)首先接受了一套富含有机质碎屑的砂—泥岩互层沉积,间夹火山喷出岩及鲕粒灰岩,部分泥岩中含有孔虫等海相生物化石。从砂岩中常含有海绿石、灰岩中鲕粒发育、含海相生物化石以及富含有机质来分析,当时沉

积环境总体应为水深不大的滨浅海相环境。

剖面底部为花岗岩侵入岩体,采用⁴⁰Ar/³⁹Ar法测定所得同位素年龄为 102Ma 左右,为白垩纪侵入的产物。在接近侵入岩体附近发育有变质程度不高、具粒状变晶结构、无面理至弱面理化构造的石英

岩、大理岩等变质岩,应为岩浆岩侵入时造成原已存在的岩石发生接触交代变质作用所致。

在 940~720 m 左右,海水深度进一步加深,本地区主要接受了放射虫硅质岩、纹层状泥岩夹基性喷出岩沉积。从所含生物化石均为硅质壳体来看,

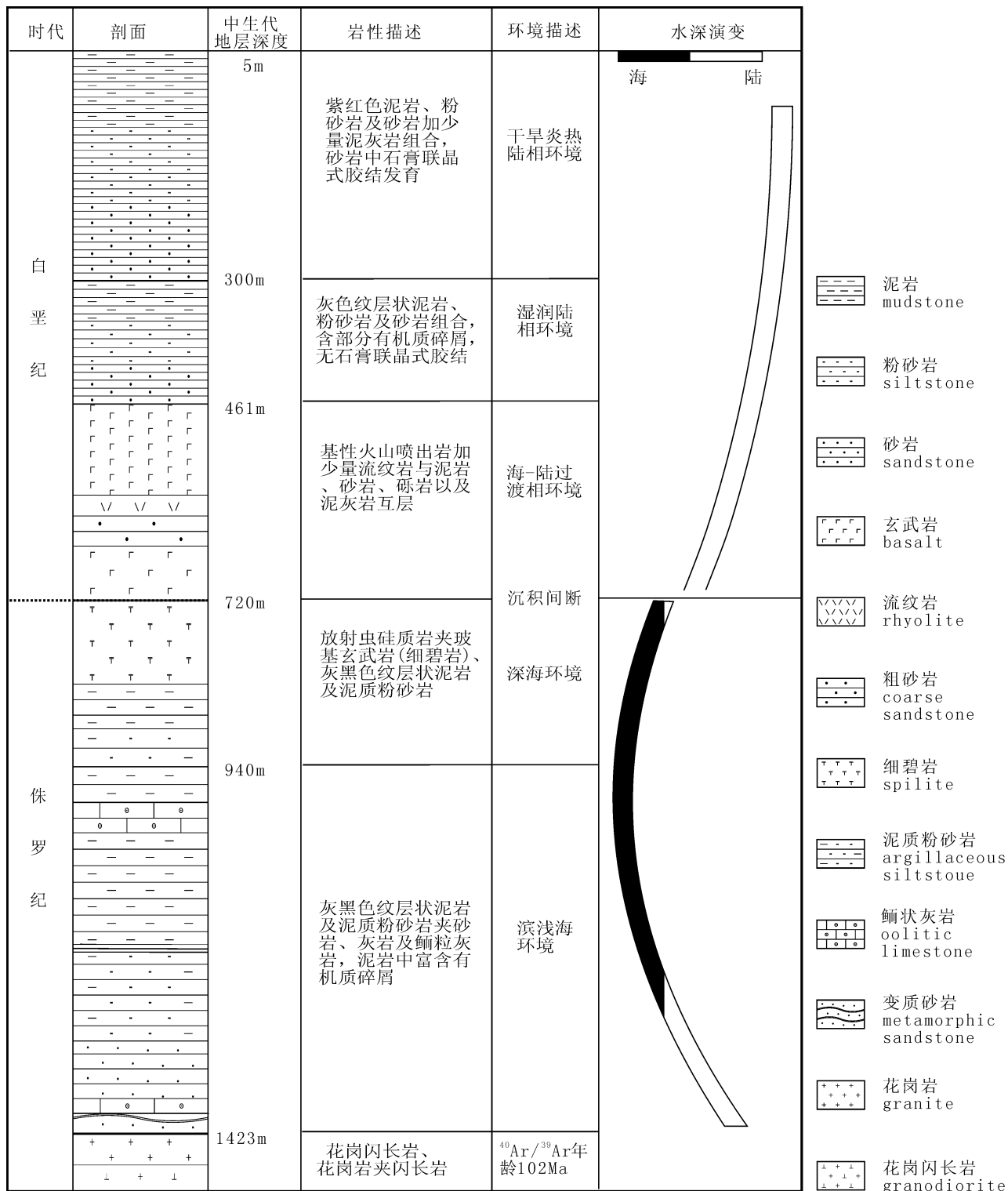


图 3 南海东北部 MZ-1-1 井中生界综合柱状图

Fig. 3 The comprehensive Mesozoic stratigraphic section of the Drill MZ-1-1, northeast of the South China Sea

当时海水深度较大,超越 CCD 补偿深度,造成碳酸盐质生物化石不易保存。

在 720~461 m 左右,本区发生了频繁的火山喷发活动,发育了一套以基性火山岩为主,夹中酸性火山岩和陆源碎屑岩的沉积建造。从岩石组合及沉积特征看,沉积环境应为水深不大的海陆过渡环境,与下部地层在沉积环境上存在一个沉积缺失。

从 461~5 m 本区沉积岩由灰绿色、紫红色、灰紫色、灰白色,构成一个次级沉积旋回,总体应为陆相河流—湖泊环境下的沉积产物。在上部(5~350 m)紫红色、灰紫色岩层中夹有灰白色沉积,含有石膏胶结物质,反映当时为干旱蒸发环境下的沉积产物。下部(350~461 m)以灰绿色、灰白色沉积物为主,砂岩中粘土杂基胶结为主,含少量碳酸盐连晶式胶结,不发育石膏胶结物,反映沉积环境相对湿润。

从样品中陆源碎屑岩主要以成分成熟度较低的火山岩岩屑为主,其次为泥岩及粉砂岩岩屑来看,可以认为本区陆源碎屑沉积物源区主要为火山岩及沉积岩,沉积物为就近快速剥蚀搬运的产物。在整个演化过程中,未发现经较大河流长距离分选搬运而成的结构成熟度、成分成熟度均较高的砂岩沉积。

5 讨论及结论

南海东北部中生界性质及形成环境一直是人们关心的热点问题,它对于正确解释特提斯洋和太平洋的关系、恢复当时的构造环境至关重要。众所周知,放射虫硅质岩主要属半深海—深海相沉积环境(Kennett,1982),只有极少数在浅海环境被发现(同济大学海洋地质系,1989)。研究表明,放射虫硅质岩夹纹层状泥岩和基性喷出岩(细碧岩)沉积组合则主要产出于深海—岛弧环境(Sano et al.,1992;Matsuoka,1992;Vishnevskaya,1992)。但是,典型蛇绿岩建造则由底部橄榄岩—辉长岩侵入体和上部的玄武岩状熔岩及放射虫硅质岩等远洋沉积物组成(Stern et al.,1992;Snow et al.,2003;Shervais et al.,2005)。对比起来,南海东北部 MZ-1-1 井所揭示的沉积物组合并非典型完整的蛇绿岩建造,但其岩性组合仍然反映了晚侏罗世时的深海—岛弧环境。地球物理资料研究表明,南海东北部地区在晚中生代存在大洋俯冲构造带,但对其具体位置、时代和俯冲方式还存在不同认识(李唐根等,1992;周祖翼,1992;姚伯初等,1994,1995;Zhou et al.,1995,2006;周蒂等,2005)。该探井所揭示的地层及岩石组合对于合理解释这些问题具有重要意义。

综合岩石组合、沉积构造以及沉积物中包含的生物组合特征,可以看出,南海东北部地区从中—晚侏罗世到白垩纪水深经历了由浅到深,然后又转为陆地的一个完整旋回,沉积环境则经历了由滨浅海相到深海相,又到滨海过渡相和陆相河湖体系的沉积环境。在深海相与滨海陆地过渡相之间存在一个明显的环境突变,可能为沉积缺失所致。广东沿海地区中生代气候存在一个由温暖湿润转变为炎热干旱的过程(刘本培等,1996),潮汕坳陷的沉积环境特征同样反映出,当时的气候条件从中—晚侏罗世—早白垩世的温暖湿润气候环境过渡到晚白垩世的炎热干旱气候环境,与本地区同期大的区域气候环境演变相同。

注释

① 吴国璋,王汝建,郝沪军,邵磊.南海东北部中生界微体化石的首次发现及其意义.热带海洋,(评审中).

参考文献 / References

- 陈隽,郝沪军,林鹤鸣.2002.潮汕坳陷地震资料的改善及中生界构造的新发现.中国海上油气(地质),16(4):271~278.
- 陈玲,彭学超,缪宛岑.1995.南海北部陆坡区地震地层学解释.见:广州海洋地质调查局.编.南海地质研究(七).武汉:中国地质大学出版社,92~107.
- 郝沪军,林鹤鸣,杨梦雄,薛怀艳,陈隽.2001.潮汕坳陷中生界——油气勘探的新领域.中国海上油气(地质),15(3):157~163.
- 郝沪军,汪瑞良,张向涛,薛怀艳,陈照光.2004.珠江口盆地东部海相中生界识别及分布.中国海上油气,16(2):84~88.
- 黄汲清,陈炳蔚.1987.中国及邻区特提斯海的演化.北京:地质出版社,1~78.
- 黄梅英,李舫尧,李平鲁.1993.珠江口盆地东部前第三纪—早第三纪注陷特征及含油气前景.中国海上油气(地质),7(3):1~9.
- 李唐根,邱燕,姚永坚.1992.大地构造特征.见:刘光鼎.主编.中国海区及邻域地质地球物理特征.北京:科学出版社,248~271.
- 刘本培,全秋琦.1996.地史学教程.北京:地质出版社,207~226.
- 同济大学海洋地质系.1989.古海洋学概论.上海:同济大学出版社,1~316.
- 王平,夏戡原,黄慈流.2000.南海东北部中生代海相地层的分布及其地质地球物理特征.热带海洋,19(4):28~35.
- 夏戡原,黄慈流.2000.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.地学前缘,7(3):227~238.
- 杨静,冯晓杰,范迎风,朱淑芬.2003.南海东北部中晚中生代构造、古地理背景及油气远景分析.中国海上油气(地质),17(2):89~103.
- 姚伯初,曾维军,陈艺中.1994.南海北部陆缘东部的地壳结构.地球物理学报,37(1):27~35.
- 姚伯初,曾维军,陈艺中,张锡林.1995.南海北部陆缘东部中生代的地震反射特征.海洋地质与第四纪地质,15(1):81~89.
- 张渝昌,张荷,孙肇才,等.1997.中国含油气盆地原型分析.南京:南京大学出版社,27~415.
- 周蒂,孙珍,陈汉宗,丘元禧.2005.南海及其围区中生代岩相古地

- 理和构造演化. 地学前缘, 12(3): 204~218.
- 周祖翼. 1992. 闽东沿海构造带. 见:刘光鼎. 主编. 中国海区及邻域地质地球物理特征. 北京: 科学出版社, 320~326.
- 曾麟, 苏乃容, 李平鲁. 1995. 珠江口盆地东部中生代凹陷地质特征. 中国海上油气(地质), 9(4): 228~236.
- Folk R L. 1968. Petrology of sedimentary rocks. Austin, Tex.: Hemphill's Book Store.
- Kennett J P. 1982. Marine Geology. New York: Prentice-Hall, 1~318.
- Matsuoka A. 1992. Jurassic—Early Cretaceous tectonic evolution of the Southern Chichibu terrane, southwest Japan. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 96: 71~88.
- Sano H, Yamagata T, Horibo K. 1992. Tectonostratigraphy of Mino terrane: Jurassic accretionary complex of southwest Japan. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 96: 41~57.
- Shervais J W, Murchey B, Kimbrough D L, et al. 2005. Radioisotopic and Biostratigraphic Age Relations in the Coast Range Ophiolite, Northern California: Implications for the Tectonic Evolution of the Western Cordillera. Geological Society of America Bulletin, 117(5~6): 633~653.
- Snow C A, and Shervais J W. 2003. Contrasting volcanic styles in the Cuesta Ridge ophiolite remnant; evidence for SSZ formation and ridge collision. Abstracts with programs, GSA, 35(4): 79.
- Stern R J, Bloomer S H. 1992. Subduction zone infancy; examples from the Eocene Izu—Bonin—Mariana and Jurassic California arcs. Geological Society of America Bulletin, 104: 1621~1636.
- Vishnevskaya V. 1992. Significance of Mesozoic radiolarians for tectonostratigraphy in Pacific rim terranes of the former USSR. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 96: 23~39.
- Zhou Di, Ru Ke, Chen Han Zong. 1995. Kinematics of Cenozoic extension on the South China Sea continental margin and its implications for the tectonic evolution of the region. Tectonophysics, 251(1): 161~177.
- Zhou Di, Wang Wanyin, Wang Jialin, Pang Xiong, Cai Dongsheng, Sun Zhen. 2006. Mesozoic subduction—accretion zone in northeastern South China Sea inferred from geophysical interpretations. Science in China (Series D), 49(5): 471~482.

Petrology and Depositional Environments of Mesozoic Strata in the Northeastern South China Sea

SHAO Lei¹⁾, YOU Hongqing^{1,2)}, HAO Hujun²⁾, WU Guoxuan¹⁾, QIAO Peijun¹⁾, LEI Yongchang²⁾

1) State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092;

2) CNOOC Ltd. -Shengzhen, Shenzhen, 518067

Abstract

Mesozoic marine facies sedimentary rocks recently found in the Chaoshan Depression from the northeastern South China Sea consist of mudstone, sandstone, radiolarian siliceous rock, interbedded oosparite, and volcanics of Middle Jurassic to Cretaceous age. Their petrologic and sedimentary characteristics indicate that depositional environments shifted from shallow marine to deep marine, before returning back to continental facies. There was a sharp break between deep marine and continental facies, indicating a sedimentation hiatus. Thin basalt (spilite) layers are often interbedded in those deep marine radiolaria-bearing siliceous rocks. Paleoclimate turned from humid in the Middle Jurassic to Early Cretaceous to arid in the Late Cretaceous. The existence of these Mesozoic marine strata is very important for interpreting the tectonic evolution of this region and the influence of the Tethys tectonic domain on the Pacific tectonic domain during the Mesozoic.

Key words: South China Sea; marine facies; sedimentary rocks; Mesozoic; sedimentary environments

