中国科学: 地球科学 2012 年 第 42 卷 第 11 期: 1634 ~ 1646
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文

塔里木盆地西南地区古近系卡拉塔尔组龙介类化石及其古生态

杨海军[②], 沈建伟[①*], 张丽娟[②], 李猛[②], 黄智斌[②], 王月[①]

① 中国科学院边缘海地质重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301;
② 中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司勘探开发研究院, 库尔勒 841000
* 联系人, E-mail: jwshen@scsio.ac.cn

收稿日期: 2012-01-18; 接受日期: 2012-05-25
国家自然科学基金(批准号: 40872078)、中国科学院南海海洋研究所知识创新工程领域前沿项目(编号: LYQY200806)和中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司基础研究项目(编号: 041009080051)资助

摘要 多毛类龙介虫是三叠纪晚期到现代海洋中广泛分布的管状蠕虫生物, 它们可以造岩、造礁或为港口和海湾内重要污损生物. 塔里木盆地西南地区古近系卡拉塔尔组的碳酸盐沉积中产有丰富的龙介类化石, 其与牡蛎化石一起构成卡拉塔尔组的特征生物化石组合, 其他常见生物化石有双壳类、腹足类、介形虫、棘皮类和苔藓虫, 产龙介类化石的岩性主要有泥晶生屑灰岩、(含)砂质灰岩和介壳灰岩, 指示了一种中到低能的半局限到开阔浅海环境. 本文在化石门类学、群落生态学和埋葬学研究的基础上, 对卡拉塔尔组中龙介类化石的种类、产出、分布和形态特点以及古生态特征进行了研究和分析, 识别出卡拉塔尔组中龙介类的 2 个群落组合, 一个是造岩的 *Ditrupa* 龙介类群落, 另一个是成簇的 *Propomatoceros* 龙介类群落. 前者主要分布在西昆仑山前的滨岸环境, 少泥和砂质的硬底质上, 在泻湖和潮坪环境很少见到; 后者主要分布在南天山前离岸的碳酸盐中缓坡环境和西昆仑山前滨外陆棚的环境中. 根据产出围岩、保存状态和共生生物情况分析, 认为卡拉塔尔组的龙介类主要生长在海底的牡蛎贝壳或硬质物上, 没有形成生物礁或生物丘.

关键词
龙介类化石
古生态
卡拉塔尔组
古近系
塔西南盆地

塔里木盆地西南部是我国仅有的三个古近纪海相地层露头分布区域之一, 古新世、始新世和渐新世的海相沉积地层均有发育和出露, 保存完好, 且在始新世卡拉塔尔组已钻获凝析油和天然气. 该区是研究我国海相古近纪地层、沉积相和环境及古生物和古生态的重要地区, 也是石油勘探的重要靶区, 但研究程度很低. 塔西南盆地山前始新世卡拉塔尔组盛产牡蛎及其他双壳类化石, 此外, 龙介类也是该组中的特征化石. 龙介类是世界各地海相中、新生代地层中常见的化石类型[1~4], 是中侏罗世至现代海洋环境中最为常见的造岩钙质多毛类生物[5], 其中 *Glomerula* (*Sabellidae*)是欧洲管状蠕虫组合中最常见的钙质虫管[6]. 从晚侏罗世到早白垩世起, 龙介类灰岩在世界各大陆的海洋中趋于常见[5,7,8]. 现代海洋中, 在世界各地温带到热带的大陆架上都有龙介虫(特别是 *Ditrupa*)形成的滩或介壳堆积的报道[5].

英文引用格式: Yang H J, Shen J W, Zhang L J, et al. Serpulids and their paleoecology of the Paleogene Kalatar Formation in southwest Tarim Basin of China. Science China: Earth Sciences, 2012, 55: 1087–1100, doi: 10.1007/s11430-012-4415-2

中国海相古近系仅见于塔里木西缘、喜马拉雅山区和东海陆架(台湾岛), 研究程度较低, 对其中的龙介类化石报道和研究的实例也很少[9]. 在上世纪 70 年代末的苏北石油钻探中, 在盆地和凹陷古近系钻取的岩芯中发现大量的“管状化石”, 经俞昌民和王惠基研究[10,11], 认为其属于环节动物门, 多毛纲, 隐居亚纲, 龙介虫目, 简称龙介类. 苏北地区古近系含龙介类化石的地层是在与海水有联系的环境下沉积的, 这是我国最早研究海相龙介类化石的论文. 李钟模和江宗龙[12]在山东平邑卞桥测制古近系地层剖面时亦发现了很多中间空、两端开孔、外形似珊瑚又没有床板, 似层孔虫又没有支柱的管状化石, 经研究认为其属于龙介类化石, 通过对龙介类动物的生态研究及化石的分布规律, 肯定了龙介类属海相生物, 是近海湖相盆地的新成员. 唐天福等[13]报道了塔里木盆地西南古近系地层中的龙介类化石, 认为这些龙介类生物具有造礁功能, 在一些层段形成龙介类生物礁, 但他们的研究跨越白垩纪到古近纪地层, 涵盖面积很大, 采样随机, 所以只是初步认识了龙介类生物的产出、分布、生态和造礁功能. 本文在详细测制塔西南盆地山前古近纪卡拉塔尔组沉积层序、观察和研究井下卡拉塔尔组岩石和生物化石及显微镜下大量薄片(露头和岩芯标本)分析的基础上, 对其中的龙介类化石的种类、产出、分布和形态特征以及古生态特征进行了详细研究和分析, 识别出卡拉塔尔组龙介类生物的 2 个群落, 并根据产出围岩、保存状态和共生生物情况的分析, 认为卡拉塔尔组的龙介类主要生长在海底的牡蛎贝壳或硬质物上, 没有形成生物礁或生物丘.

1　地质背景

卡拉塔尔组是塔西南盆地(塔西南坳陷)古近纪始新世的一个地层单元[14]. 塔西南凹陷是塔里木盆地西南部的一个重要构造单元, 是在前古生代基底上发展起来的北西向展布的, 由古生界克拉通盆地和中、新生界前陆盆地组成的大型叠合盆地[15]. 塔西南地区具有前陆盆地的基本结构单元, 山前冲断褶皱带(铁克里克断隆)、前缘凹陷(喀什凹陷、叶城凹陷以及和田凹陷)、前陆斜坡(麦盖提斜坡)、前缘隆起(巴楚断隆)以及隆后凹陷(阿瓦提凹陷)构成了一个完整的前陆盆地系统[16].

当时海侵来自特提斯海的北支, 在白垩纪-古近纪, 特提斯海水多次经西部的阿莱依海峡向东大规模侵入到塔里木盆地内部, 沉积物源主要是盆地北部南天山褶皱带和盆地南部的昆仑山褶皱带, 沉积中心为塔西南坳陷的西部, 形成了白垩纪-古近纪巨厚的海相沉积层. 塔西南盆地在始新世时总体上为向东封闭而向西开口的海湾环境[17], 而更次一级的亚相和微相的划分主要依据滨岸-陆棚沉积模式和碳酸盐岩缓坡沉积模式; 高能带的沉积以中缓坡的滩相和近岸潮间带的滩相为特征. 塔西南凹陷古近系主要沿南天山及昆仑山山前分布(图 1). 由于昆仑山陆源碎屑注入和南天山岸带的影响, 加之当时炎热和干燥的亚热带气候及构造活动的影响, 研究区古近系卡拉塔尔组岩石类型繁多, 成因复杂, 既有陆源碎屑岩, 又有碳酸盐岩, 还有陆源碎屑岩和碳酸盐岩混合沉积形成的混积岩; 另外, 源于干旱环境所形成的蒸发岩类也是卡拉塔尔组常见的岩石类型. 卡拉塔尔组的主要岩性分为上、中、下三段(图 2), 在昆仑山前, 下段为鲕粒灰岩和颗粒灰岩, 中段为泥岩、砂岩和膏岩, 上段为介壳灰岩, 泥岩和砂岩. 在南天山前标准岩相区内, 下段为砂质灰岩、泥质灰岩、灰岩、粉砂质泥岩、钙质和泥质粉砂岩、细砂岩和膏泥岩或石膏层, 中段全部为灰色块状生屑灰岩、介壳灰岩, 上段主要为泥岩. 卡拉塔尔组与下伏和上覆地层均为整合接触.

始新世中期的卡拉塔尔组沉积时期, 塔里木盆地为正常浅海和咸化泻湖交互环境, 生物化石也表现出正常浅海和半咸水或半局限的海洋环境的特征, 主要有牡蛎、双壳类、薄壳双壳类、腹足类、薄壳介形虫、厚壳介形虫、成簇龙介虫管、造岩龙介虫管、棘皮类、苔藓虫、有孔虫、软体动物、红藻和蓝绿藻和单体珊瑚. 其中古近纪主要的造礁生物珊瑚、珊瑚红藻和大型有孔虫在塔西南地区卡拉塔尔组中都不常见, 珊瑚和大形有孔虫几近于无, 珊瑚红藻虽有新的发现, 有些也形成粘结岩, 但没有达到造礁的规模.

塔西南山前卡拉塔尔组中牡蛎化石特别丰富, 个体完整, 纹饰清晰, 密集堆积, 经常与之相伴产出的是腹足类、海胆、苔藓虫、有孔虫、介形虫、藻类和虫管. 不同剖面所产牡蛎化石差异明显, 同一剖面

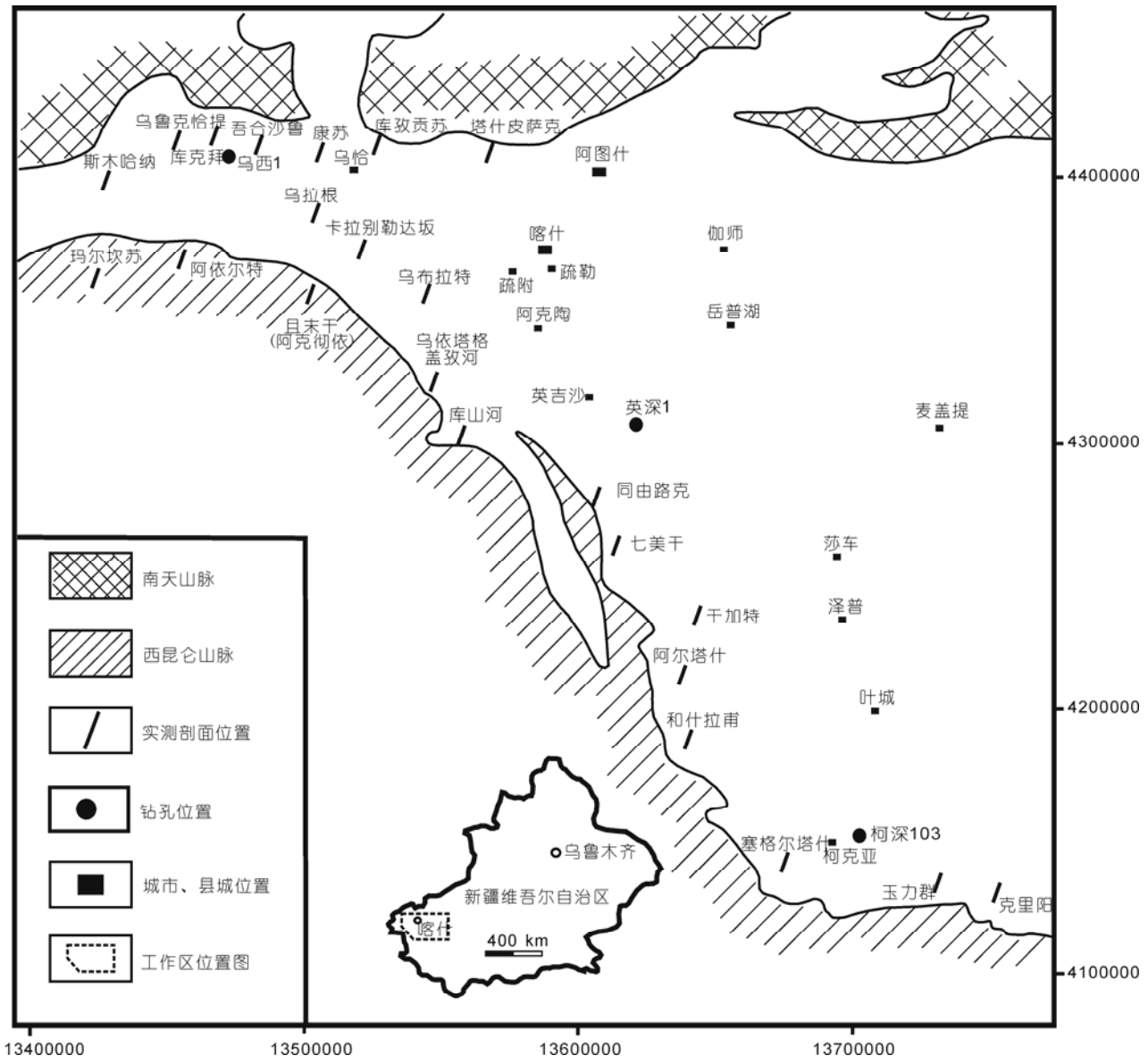


图 1　塔西南地区古近系卡拉塔尔组研究剖面和钻井位置图

由下向上, 不同大小的牡蛎层交替出现, 在昆仑山前与泥岩或砂岩互层出现; 在南天山前与生屑亮晶灰岩或生屑泥晶灰岩呈互层产出. 总体来看, 不同岩石中所产牡蛎(双壳类)群落有一定差异. 卡拉塔尔组牡蛎沉积的古生态学、沉积体形态学、沉积岩石学和成岩作用特征表明牡蛎层为海湾环境低能、受泥砂注入影响的沉积, 牡蛎(双壳类)生物化石主要形成介壳滩和介壳层, 没有建造成真正意义上的生物礁.

2　卡拉塔尔组中的龙介类化石

卡拉塔尔组的龙介类化石在露头和井下、近岸和浅海、滨岸-陆棚和碳酸盐缓坡环境中都有产出, 但主要以开阔环境为主, 局限和半局限的环境中, 几乎没有见到龙介类化石. 龙介类化石也主要分为 2 类, 单管形和多管成簇生长形的, 这 2 种生长类型通常生长在不同的环境中和底质上.

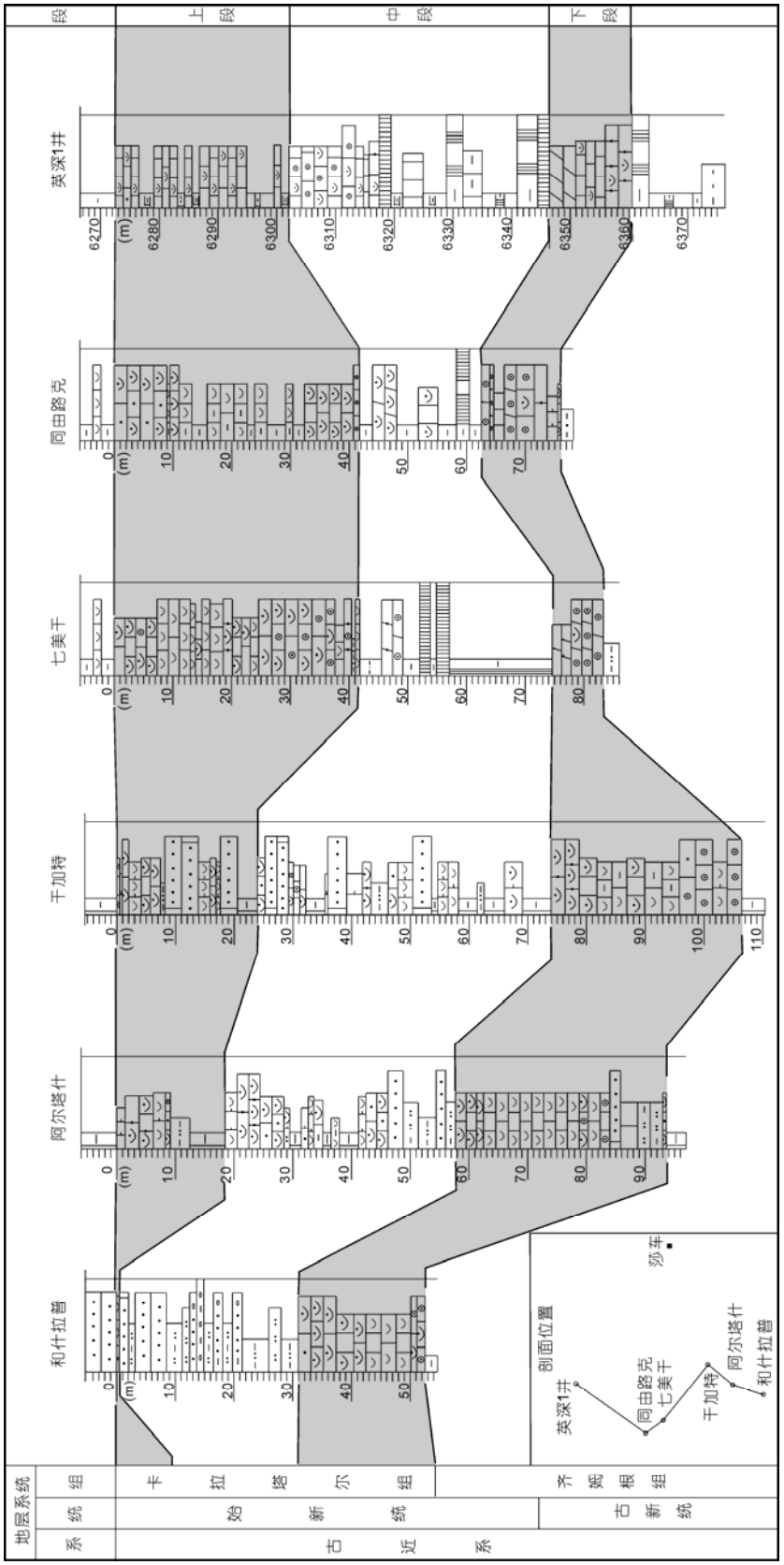


图 2　塔西南地区昆仑山前古近系卡拉塔尔组地层对比

2.1 龙介虫生物的一般特征

龙介虫是一类固着定居的蠕虫生物,属于环节动物门多毛纲隐居目的海洋生物. 龙介虫圆柱形, 后端尖, 蠕虫的身体分为头部(金川鳃冠)和躯干部分(数量有限的胸段以及身体的最大部分——腹部). 头部口前叶不明显, 多退化, 常与围口节或体前几节愈合成漏斗状的触手冠(鳃冠)围绕着口, 具滤食和呼吸功能,附肢也常特化为滤食和呼吸的鳃冠. 鳃冠由两个半圆形或螺旋形叶片组成, 其上具有许多有沟的丝状鳃丝, 鳃丝上常具两排小羽枝(鳃羽枝或纤毛羽片的触角), 体背中线一个鳃丝的末端常特化成壳盖, 具保护的功能, 当身体缩回管内时, 鳃盖就关闭钙质管. 躯干分为胸区和腹区. 胸区较短, 至少 5 节有胸膜, 第 1 刚节多扩展成能翻折的领, 领具有钙分泌腺, 背刚毛为翅毛状或枪刺状, 腹刚毛为齿片状(梳状齿片); 腹区较长, 体节多, 刚毛的分布恰与胸区相反, 背刚毛为齿片状, 腹刚毛为翅毛状或喇叭状等(图 3).

龙介虫超科可以分为有延长管的龙介虫科(Serpulida)和形成右旋或左旋卷曲管的螺旋虫科(Spirorbidae). 龙介虫科包括丝管虫亚科(Filograninae)和龙介虫亚科(Serpulinae)近 50 个属(尚不包括从中独立出来的螺旋虫科 Spirobidae). 鳃丝和壳盖的结构是重要的鉴别特征, 如原管虫属无壳盖, 线管虫属的全部鳃丝前端膨大, 球盖虫属仅 1 个鳃丝前端膨大,龙介虫属膨大处为漏斗状, 盘管虫属漏斗上方具冠状上层.

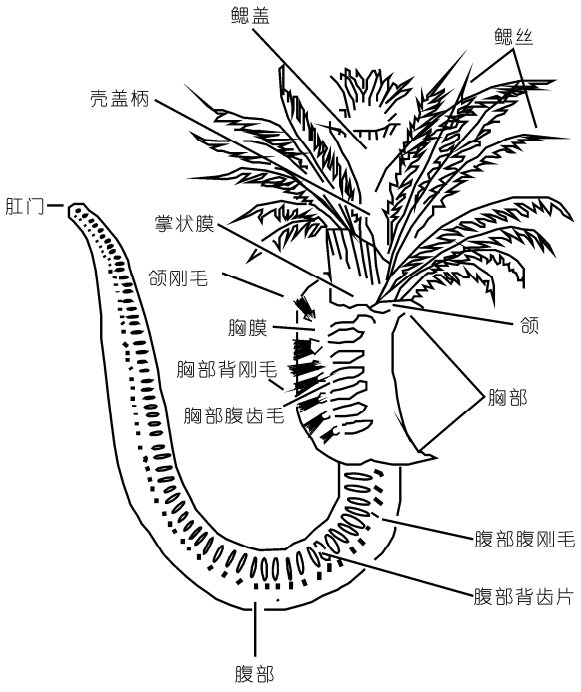


图 3 龙介虫结构图(据文献[18])

多毛类环节动物是软底质中最常见的动物类群, 广泛分布于潮间带至深海各处; 龙介虫常见于离岸沙坝环境, 营滤食悬浮物质为生, 分泌石灰质管, 管栖或附着生活. 一旦固定下来, 新出现的蠕虫就分泌产生出供身体居住的钙质小管, 钙质管一直随着蠕虫的生长而加长, 这就是为什么它们被称为管状蠕虫. 具鳃冠龙介虫等以滤食水中的微小生物和碎屑为生. 现代的龙介虫主要生活在港口地区, 绝大多数栖居和生活在岩石、混凝土建筑及金属表面[19,20], 除自由生活的角管虫外, 龙介虫多附于贝类、珊瑚、海藻叶片、岩石、船只、码头或其他硬物上. 其中尤以盘管虫属危害最大, 如内刺盘管虫是中国北方长期停靠码头的船底上的优势种; 华美盘管虫则在中国南北内湾海域极为常见, 是世界性的重要污损生物, 而且危害贝类养殖, 可使牡蛎大量减产.

2.2 卡拉塔尔组龙介类化石特征

龙介类是一种分离生长或互相缠绕的管状钙质壳的蠕虫, 在古近纪高度多样化且分布广泛. 塔西南古近系卡拉塔尔组中的龙介虫管化石主要有 2 种, 一种是呈单个碎片产出, 另一种是呈簇团出现. 虽然有大量薄片, 但是缺少手标本上的特征, 所以单凭镜下观察很难在龙介虫科下准确地鉴定出属种, 但这些生物化石的外形、大小、两管层的出现、空腔的特征和管壁上发育的龙骨构造都可归为龙介类, 分别属于 *Ditrupa* 属和 *Propomatoceros* 属. 根据对 429 个岩石薄片的镜下观察和统计, 有 71 个灰岩薄片中见到龙介类化石, 这些灰岩薄片主要来源于 7 种灰岩类型(图 4), 再对这些灰岩中的龙介类化石产出情况进行分类统计, 可以看出龙介类化石主要分布在泥晶生屑灰岩、含砂或砂质灰岩和介壳灰岩中, 泥晶灰岩中产出较少,而在亮晶颗粒灰岩和泥质灰岩中含量更少, 在红藻粘结岩中虽可见到龙介类化石, 但基本都是红藻粘结的少量龙介类碎片. 根据所产化石的岩性归类和这些岩石所属的沉积相分析, 卡拉塔尔组的龙介类化石主要产出在滨岸和碳酸盐缓坡的灰岩沉积中.

龙介类化石由于为形态细小管状, 在露头上和

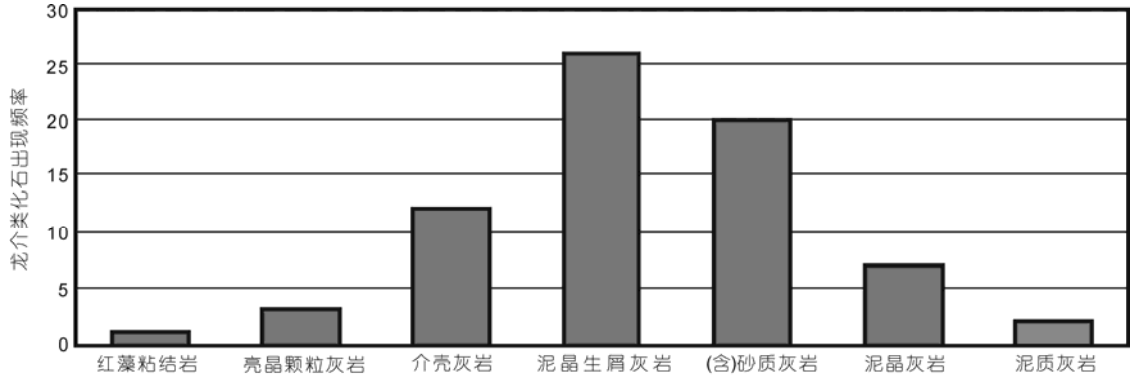


图 4　卡拉塔尔组龙介类化石产出频率与岩石类型的关系

井下岩芯标本上用肉眼不易观察到, 在手标本上一般呈细管状成簇产出, 而单个的锥形龙介虫管化石在手标本上很难辨认. 显微镜下, 可以识别出两种龙介类化石, 一种是单个产出并且呈管锥状形态的 *Ditrupa* 龙介虫属, 另一种是成簇产出并且呈细管状的 *Propomatoceros* 龙介虫属.

单体管的 *Ditrupa* 管体或长或短, 圆柱形, 缓弓状, 微弯曲, 两端打开, 一端粗, 另一端细, 两端均开口. 细端的横截面圆形, 直径很小; 粗端的横面也呈圆形(图 5(a), (b)), 直径增至 1.5~2.0 mm, 直径随生长增大. 在虫管外凸一面的中部, 经常可见长度、宽度和深度不等的细长沟. 有时, 这些细沟在口缘切面下面可以延伸相当的长度, 但是也可以不连续, 表现为连续沿直线发育, 或偏斜而不连续发育. 切过虫管上细生长沟的横切面说明了这种细长沟形成的方式, 有些外层的细片在这里尖灭, 细生长沟的深浅就是由尖灭细片的数量决定的. 内层没有参与细生长沟的形成过程, 因此内层的厚度在整个虫管长度内是均一的. 大多数的管壁都保存完好, 少量管壁因搬运和磨蚀后呈现破碎状. 管壁由内外两个管层构成(图 5(a), (b)), 外管层呈灰白色, 厚度 0.08~0.13 mm, 隐晶质, 内管层褐色, 厚度 0.03~0.08 mm, 由方解石组成, 横切面上可以见到斜交管壁斜纹. 虫管的纵切面显示中间为空腔, 为暗色的泥晶方解石、白色的亮晶方解石充填或生物屑充填(图 5(c), (d)).

栖管的双层构造在纵向和横向切面上都能观察到. 内外层都是由许多细片构成, 这些细片在外层排列成抛物线形式, 抛物线的顶点指向管孔径方向,内层的细片与虫管的外壁平行. 很多横切面都可以见到大管套着一个管径稍小的管体(图 5(e), (f)), 一个管体的腔内又存有另一个小管, 两者的管层特征相似, 都由内外两个管层组成. 但这种大管套小管的现象并不是在每一个横切面上都出现. 由虫管体纵切面的特征可以发现, 这种大管套小管的现象可能是由于管体的拔节伸展所致. 在某些管体的中上部或近口部处, 紧贴管体的内管层伸出一个新的管体, 它与老管体是平行伸展的, 而不是分叉的. 这种形态可与收音机上的拉杆天线的形状作形象比拟[9]. 这样的生长方式就使得新老管体的交接处的横面就显示管中套管的特殊形态, 其余部位的横面就只表现为单管的形态. 每个虫管可以拔节生长一次到二次, 但最常见的都是一次. 管壁由内外两层管层组成, 外层稍厚, 内外两层之间有的有一圈空隙, 有的则没有空隙. 据俞昌民和王惠基[9]对保存外壁的管体描述, 这类龙介虫都在虫管外壁上发育规则整齐的环状生长纹, 较粗的突出壁上可称环脊, 较细的凹入壁内称环纹, 它们之间的距离不等, 但总的分布比较密集.

群体产出的 *Propomatoceros* 龙介虫管化石由弯曲或近乎直的细单管相互缠绕或平行排列成簇状(图 6(a)~(c)), 或堆聚叠积成块状体, 为群体型栖管, 横切面上, 虫管一般都以一定的间距分离(图 6(a)), 少量虫管紧密接触或连在一起(图 6(c)). 单管微弯或微弯成弓形, 一端开口, 一端收缩而闭合呈陀螺锥状, 整个单管粗细均匀, 只是在端口突然收缩闭合, 长 6~9 mm; 横截面为圆形或椭圆形, 纵切面为中空的管状, 有的弯曲似豆角状, 两端似乎都闭合, 直径 0.6~0.9 mm(图 6(d)), 管壁厚 0.1 mm; 管层有两层, 外层由相对较薄、暗黑色和隐晶质的物质构成, 内层则由灰白色或白色的方解石构成(图 6(e), (f)), 呈微细的纤状结构, 似乎与管壁垂直, 管层之间无空隙,

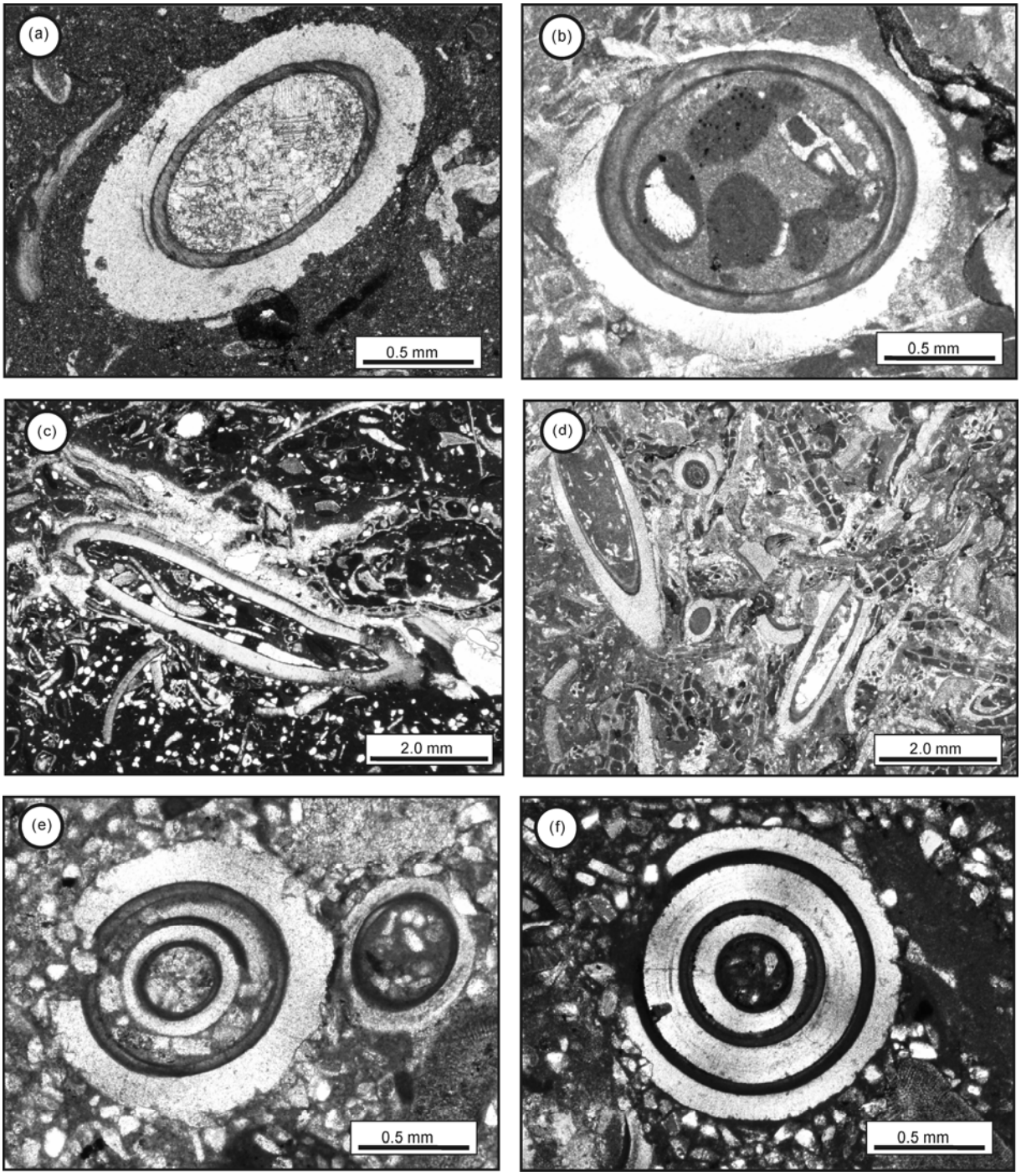


图 5　卡拉塔尔组滨岸-陆棚环境中单管状或平旋状的 *Ditrupa* 龙介属

(a) 横切面, 和什拉甫剖面, HS-9, 单偏光; (b) 横切面, 英深 1 井, YS1-1, 正交; (c) 纵切面, 和什拉甫剖面, HS-15, 单偏光; (d) 纵切面, 干加特剖面, GGT-4, 单偏光; (e) 横切面, 大管套小管, 柯深 103 井, KS103-12, 正交; (f) 横切面, 大管套小管, 柯深 103 井, KS103-12, 正交

全为单管, 没有见到管内套管的现象, 管与管之间也未见联通现象. 虫管暗黑色的外壁有的厚度均匀, 有的则薄厚不均, 外管壁结构似棘皮碎屑, 可能也是由方解石构成, 横切面上可以见到斜交管壁斜纹.

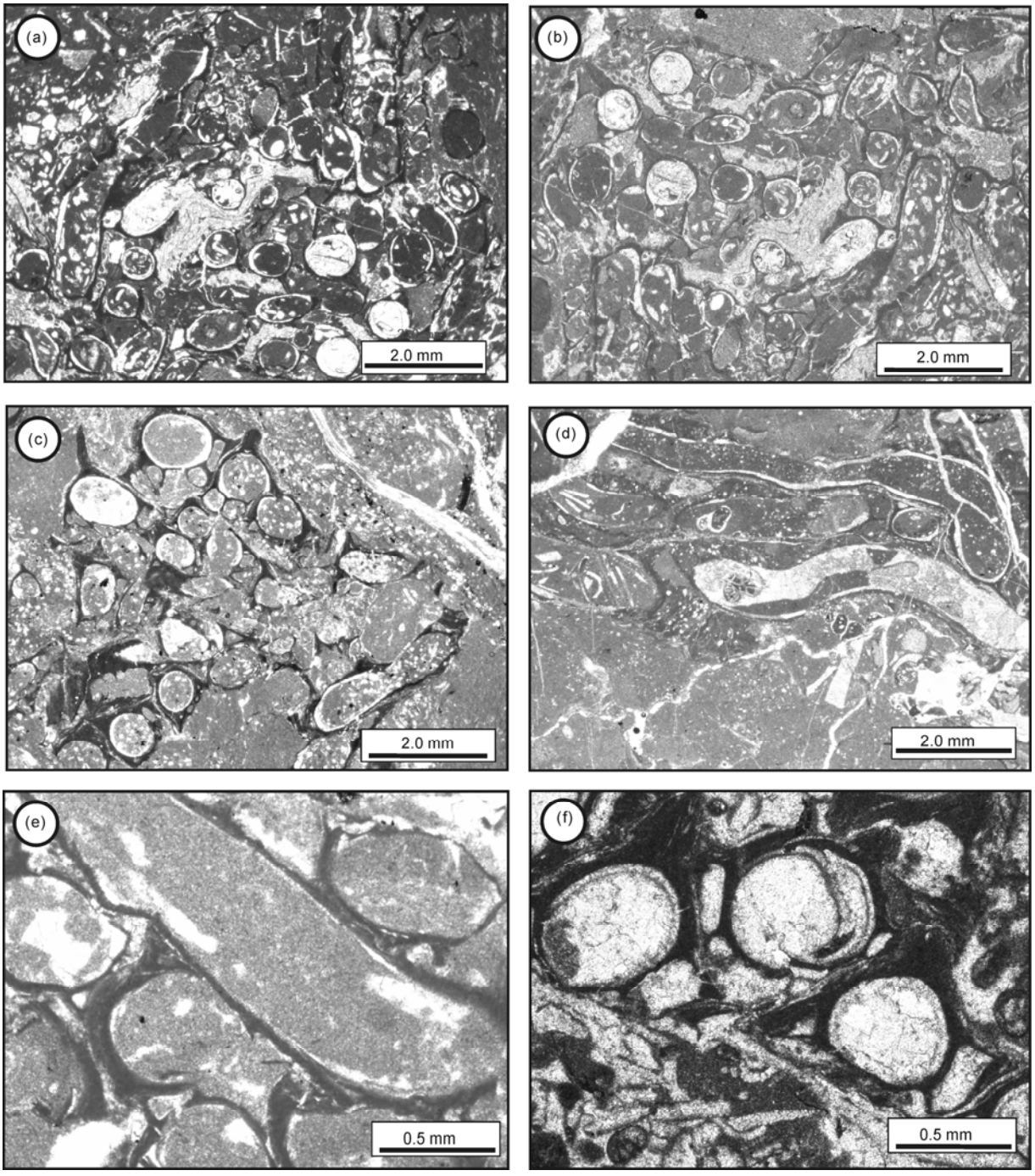


图 6　卡拉塔尔组碳酸盐缓坡(中缓坡)环境中成簇生长的 *Propomatoceros* 龙介属

(a) 横切面, 康苏剖面, KS-26, 单偏光; (b) 库克拜剖面卡拉塔尔组中成簇产出的龙介虫管, KKB-26, 单偏光; (c) 乌布拉特剖面卡拉塔尔组中成簇产出的龙介虫管, WB-39-2, 单偏光; (d) 纵切面, 乌布拉特剖面, WB-30, 单偏光; (e) 放大的龙介虫管的纵切面和横切面, 库克拜剖面, KKB-11, 单偏光; (f) 放大的龙介虫管的横切面, 库克拜剖面, KKB-29-3, 正交

在虫管的横切面上, 可见到管壁之间的连接物(图 6(c)), 但不是连管, 连接物的成分和管壁的外层一样, 也是由暗黑色和隐晶质的物质构成, 这种起支撑作用的连接物长短不一, 在横切面上如管壁上长

出来的棘刺. 虫管空腔内充填有黑色泥晶方解石, 也有的充填为白色亮晶方解石(图 6(e), (f)), 前一种为沉积时即充填, 后一种为成岩阶段充填.

2.3 卡拉塔尔组龙介虫类的古生态

现代的多毛纲环节动物主要生活于海洋环境中, 一般喜正常浅海环境, 有一些广盐性属种, 能生活于半咸水中, 还有少数属种能生活在内陆的淡水水域. 绝大多数多毛纲动物营底栖生活, 在海底自由爬行或隐居管内, 或附着于其他硬物之上. 现代海洋中的龙介虫在底栖动物的生物量中占绝对优势, 有些群栖密集于软质海底, 有些为港口和海湾海洋污损生物之一, 附着在船体或岩石上生长. 多毛纲的龙介虫在我国近海常见, 以南海最多, 黄海和东海较少, 是附着生物主要类群之一, 多产于近海沿岸的潮间带至潮下带内, 少数种可在河口生长.

据统计, 现代龙介类生活在潮汐带至深达 950 m 的海水, 绝大多数种生活在 3~65 m 的浅海[21]. 多毛纲在世界各大洋的近海沿岸也广泛分布. 印度报道的龙介虫产于斯里兰卡的滨海潮间带以及某些泻湖与海相通的河口、江口、江湾内; 在英国海岸的岩石坑及混浊的河口中也有报道. 对现代广盐性的多种多毛纲动物生态分布统计表明, 属于多毛纲隐居亚纲的动物, 绝大多数生存在近海沿岸的咸水环境, 少数能生存在与海相通的河口、江湾、泻湖等半咸水环境中, 只有个别的种能生活在淡水中[10].

与现代的龙介虫管比较, 塔西南卡拉塔尔组中的龙介虫管化石可以分为两类, *Ditrupa* 属和 *Propomatoceros* 属. *Propomatoceros* 属可能生活于清澈的浅水硬底质环境, 管壁较薄, 经常覆生在牡蛎或双壳类壳面上, 成簇产出, 主要分布在南天山前, 在西昆仑山前的临滨外带也可见到, 如乌布拉特剖面和柯深 103 井(图 1), 经常产于介壳灰岩中, 胶结物主要为泥晶灰岩; 而 *Ditrupa* 属主要产于西昆仑山前的滨岸环境, 管壁较厚, 可见大管套小管的现象, 这一类可能生长于沿岸的基岩上, 多被风浪打碎, 分散在其他生物碎屑中一起沉积在近岸较高能的环境中, 推测这些龙介类主要生长在牡蛎的壳上和海底的岩石和硬底质上.

已报道的具钙质管体的龙介类化石主要产于海相的碳酸盐沉积物中, 如泥灰岩、泥晶灰岩、生物碎屑灰岩和其他类型的颗粒灰岩, 也有些见于滨海相细碎屑沉积物中, 而在粗碎屑的海侵层中很少见到. 其他多毛类的管状蠕虫化石也产于陆相地层中, 如产于石炭纪地层中和法国孚日山区(Vosges), 中生代杂色砂岩层中 *Spirorbis pusillus* Martin, 后者属于半咸水环境的沉积[10]. 古近纪龙介类化石主要见于欧洲的一些沉积盆地, 如意大利的维森丁盆地(Vicentin),包括维琴察(Vicenza)与维罗纳(Verona)地区, 奥地利的维也纳盆地(Wien), 法国巴黎盆地, 西班牙盆地, 此外, 在丹麦, 英国伦敦粘土层(London clay)、德国北部以及东欧地区, 都见零星描述和报道[22]. 上述各盆地和地区在古近纪时都是北方的北海与南方的古地中海海侵所到之处, 产龙介类化石的地层均属海相沉积, 有的可能属半咸水的河口式沉积.

塔西南古近系卡拉塔尔组的龙介类化石也主要产于碳酸盐岩中. 由于沉积盆地毗邻昆仑山前和南天山山前, 受昆仑山陆源碎屑注入和南天山岸带的影响, 加之当时构造活动及炎热和干燥的亚热带气候, 始新世卡拉塔尔组岩石类型反映出明显的陆源碎屑与盆内碳酸盐沉积的混积特征, 在山前近岸海域碳酸盐岩中普遍混有陆源石英砂和岩屑, 而在离岸近滨外带和陆棚环境则发育碎屑岩和碳酸盐岩的混合沉积, 表现为碎屑岩沉积中出现碳酸盐岩组份, 主要由牡蛎和其他生物原地死亡堆积而成. 在滨岸-陆棚环境, 龙介类化石主要以 *Ditrupa* 的生物碎屑和碎片产于泥晶生屑灰岩和砂质泥晶生物碎屑灰岩中, 而在亮晶鲕粒灰岩和亮晶生物碎屑灰岩则没有见到可鉴别的 *Ditrupa* 生屑. 而在泥晶鲕粒灰岩、鲕粒泥晶生屑灰岩和红藻粘结岩中也可见少量 *Ditrupa* 生屑. 另外在滨外陆棚的生屑钙质粉砂质细粒岩屑石英砂岩、生屑含钙质泥质粗粉砂岩和泥质细砂岩中也见有少量 *Ditrupa* 生屑. 与这些龙介类碎屑产出在一起的其他生物碎片有双壳类、苔藓虫、棘皮类、腹足类、软体动物、有孔虫和珊瑚红藻. 卡拉塔尔组包含 *Ditrupa* 化石的岩石类型和产出在一起的生物碎屑种类说明这些龙介类喜欢生活在水体较清澈、水能量不大的环境中, 有些龙介类还喜欢砂质的底质, 而水能量中到高能的环境和泥质物含量高的浑水环境都不利于 *Ditrupa* 生活, 在后面这种环境中, *Ditrupa* 多以碎屑产出或作为鲕粒的核产出. 成团或成簇的 *Propomatoceros* 虫管化石主要产于泥晶介壳灰岩、泥质介壳灰岩、泥晶生屑灰岩和砂质泥晶生屑灰岩中,

而且主要是产出在碳酸盐缓坡沉积环境中, 以中缓坡的沉积物中最常见, 但从岩性特征来看, 应该是中低能的环境, 虽然可以在泥晶鲕粒生屑灰岩中出现, 但在高能的亮晶鲕粒灰岩、亮晶砂屑灰岩和亮晶生屑灰岩中几乎绝迹. 此外, 这类龙介类化石最常出现在以牡蛎和双壳类为主要成分的介壳灰岩中, 这类常与介壳共生和成簇产出的龙介类可能着床在牡蛎或双壳类的壳表面生活.

因此, 根据产龙介类化石的岩性特征、岩相特征、共生生物类型以及龙介类自身的结构特征和生态习性, 塔西南卡拉塔尔组的龙介类可以识别出两个群落, 一个是造岩的 *Ditrupa* 龙介类群落, 另一个是成簇的 *Propomatoceros* 龙介类群落. 前者以厚壁、虫管双层和多层的龙介类化石为特征, 主要分布在西昆仑山前的滨岸环境, 如少泥和砂质的硬底质上, 在泻湖和潮坪环境很少见到; 后者以薄壁和单层的虫管化石为特征, 一般都是成群和成簇出现, 主要分布在南天山前离岸的缓坡灰岩和西昆仑山前临滨到滨外陆棚的环境中(图 7).

3　讨论

在现代海洋硬底上往往生活着很多多毛类龙介虫生物. 龙介虫在地质历史上是一种重要的包壳生物[5]. 龙介虫(Serpulidae 科)通常居住在由文石、方解石或由文石和方解石混合构成的碳酸钙(石灰质)的栖管内[4,23]. 除龙介虫(Serpulid)外, 多毛类的缨鳃虫(*Sabellid*, 属 Sabellidae 科) 的一个种(*Glomerula piloseta*)和环节虫(*Cirratulids*, 属 Cirratulidae 科)的一些种也都形成钙质管[3,4], 但不同的是龙介虫可以在全球范围内分布, 而缨鳃虫和环节虫只生活在热带和亚热带地区[5,24,25]. 龙介虫很可能是第一个产生生物矿化管的多毛类的管状蠕虫, 最早出现的时间应该是在中三叠世[2,3,26]. 接着在早侏罗世出现钙质的缨鳃虫, 如 *Glomerula*)[3,27], 在渐新世出现钙质的环节虫 Cirratulids[25]. 也有一些文献报道了寒武纪和奥陶纪的龙介虫生物, 但是都没有给出这些龙介虫和钙质多毛类明确的骨骼特征. 因此, 它们最有可能是属于古生代的管栖疑源生物[28]. 简而言之, 多毛类的

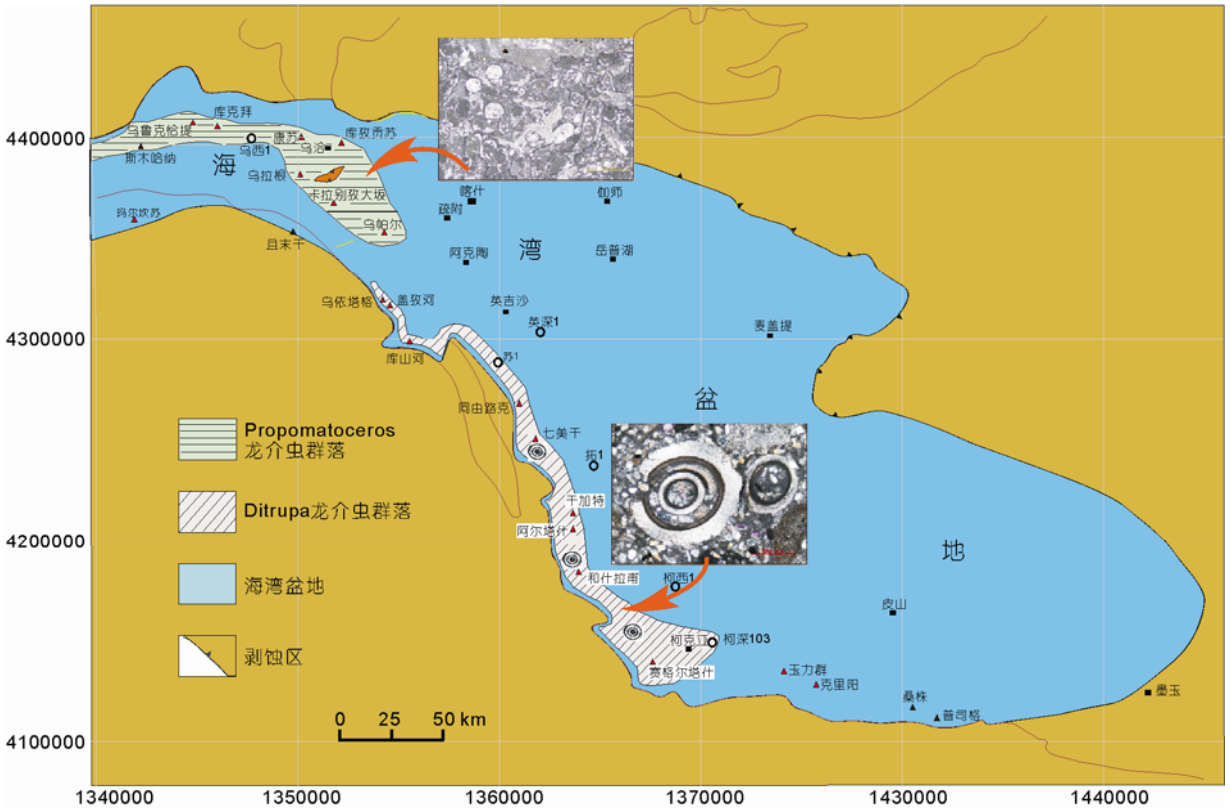


图 7　塔西南地区古近系卡拉塔尔组龙介类群落分布图

龙介虫生物是最早出现于中三叠世, 并一直生活至现代的海洋生物, 它们与古生代的管状蠕虫和其他疑源蠕虫属于不同的演化类型.

在古生代有疑问的管状蠕虫和钙质多毛类管状蠕虫之间存在一个显著的形态趋同现象, 这包括: (1) 包壳、基质胶结和非螺旋的虫管, 比如中奥陶世的cornulitids[29]和三叠纪到现代的龙介虫[30]; (2) 基质胶结的直立虫管, 比如奥陶纪的 Tymbochoos[31], 志留纪到三叠纪的 microconchids, 三叠纪到现代的龙介虫[30], 和渐新世到现代的 cirratulids[25]; (3) 平旋虫管, 比如奥陶纪到侏罗纪的 microconchids 和侏罗纪到现代的龙介虫 (Serpulidae, 属 Spirorbidae 科)[32]; (4) 基质胶结、螺旋状、直立和圆锥的壳, 如志留纪到泥盆纪的 Anticalyptraea[33] 和白垩纪的 Orthoconorca[34]; (5) 假丛体分支虫管, 如志留纪到二叠纪的 hederelloids[35]和三叠纪到现代的 filogranids (Serpulidae)[30,36]. 这种形态的融合可能是源于骨骼常见的管栖结构配置的相似性.

除了形态趋同, 古生代有疑问的管状蠕虫和钙质多毛类管状蠕虫在生态上也有相似性. 两者都是悬浮滤食生物, 但浮游的竹节石可能是个例外. 此外, 有疑问的管状蠕虫(如 Cornulites, 见 Richards[37], 竹节石也可能属于此种类群)和钙质多毛类(如 *Ditrupa*[38]; *Rotularia*, *Glomerula*[39])中也有一部分为自由生活形式. 内共生的生态类型以一些有疑问的管状蠕虫, 如志留纪的 Cornulitids[40], 泥盆纪的 trypanoporids[41]和侏罗纪到现代的多毛类龙介类[28]为代表. 造礁群居生态类型以一些有疑问的管状蠕虫, 如奥陶纪的 Tymbochoos, 泥盆纪到石炭纪的 microconchids[42], 晚三叠纪到现代的多毛类龙介虫[5]和渐新世到现代的多毛类 Cirratulids[25]为代表. 淡水环境的生态类型主要有石炭纪到三叠纪的 microconchids[32], microconchids 广泛分布并且比钙质多毛类更成功的殖生于淡水环境. 龙介虫 (Marifugia cavatina) 是现代仅有一个生活在淡水环境中的多毛类, 生活在黑塞哥维那(Herzegovina)的洞穴里[30]. 但是必须指出的是, 有疑问的管状蠕虫和钙质多毛类管状蠕虫成员之间的生态差异也是很明显的, 比如浮游生活方式的竹节石[43]和钙质多毛类就没有可类比的生态类群.

在现代钙质多毛类管状蠕虫中, 龙介虫和环节虫(cirratulid)可以形成生物礁[5,25]. 最早的龙介类造礁是在欧洲的晚三叠纪(Norian)地层中[5,44,45], 而最早的环节类形成的生物礁产出在墨西哥渐新世的地层中[25]. 龙介类造礁也出现在西班牙三叠系和侏罗系的界线附近[46], 西班牙东南部的中侏罗世[47], 西班牙中新世和上新世[5]及阿根廷中全新世地层中[48]. 龙介虫造礁在现代海洋中比较常见, 几乎在浅水环境的所有气候带都有发现[5,49,50]. 最早的 cirratulid 礁产出在墨西哥的渐新世地层中[25], 其后出现在俄勒冈州和加利福尼亚的上新世与更新世地层中[5]. 现代的环节虫点礁则出现在墨西哥加勒比海尤卡坦半岛[5]. 古近纪始新世龙介类造礁的实例没有报道, 虽然唐天福等[13]认为塔西南古近纪地层中的龙介类可以造礁, 但是卡拉塔尔组中的龙介类化石一般都保存在低能的泥晶灰岩中, 而且有些包含龙介类化石的灰岩含5%~20%的陆源石英砂, 单管状的龙介类化石都是分散保存, 大多以生物屑的形式出现, 而且多见于砂泥底质的滨岸和陆棚环境, 只能造岩不能成礁. 多管成簇状成长的龙介类虽然有造礁的潜力, 但它们基本都产于泥晶灰岩或泥质灰岩中, 而且大都是泥晶或泥质介壳灰岩, 说明水能量不高, 而且与牡蛎或大型双壳类的关系密切, 多半是生长在牡蛎或大型双壳类壳壁上. 卡拉塔尔组的牡蛎灰岩基本都是成层产出, 未见丘状隆起于地层中, 牡蛎排列不紧密, 基本没有方向, 牡蛎之间为含泥质灰泥充填, 砂质沉积含量高, 岩石胶结疏松, 未见叠生和胶结在一起的牡蛎, 因而没有形成生物礁的刚性抗浪格架. 个体完整的牡蛎产出在成层很好的泥岩中, 上下岩层均为层状, 牡蛎化石个体间以泥质、含粉砂泥质和粉砂胶结, 岩石疏松, 牡蛎易剥落, 没有形成坚固岩体. 上述特征说明卡拉塔尔组的牡蛎没有形成生物礁, 而与牡蛎关系密切、营附生在牡蛎壳壁上生活的龙介虫也不可能有单独成礁的能力.

4 结论

(1) 塔里木盆地西南地区古近系卡拉塔尔组的碳酸盐沉积中产有丰富的龙介类化石, 龙介类的种类、产出、分布和形态特征以及产出围岩、保存状态和共生生物情况的研究有助于准确分析和解释卡拉塔尔组的古生态、沉积相和古环境.

(2) 卡拉塔尔组中的龙介类和牡蛎化石一起构成卡拉塔尔组的特征生物组合, 其他常见生物有双

壳类、腹足类、介形虫、棘皮类和苔藓虫, 产龙介类化石的岩性主要有泥晶生屑灰岩、(含)砂质灰岩和介壳灰岩, 指示了一种中到低能的半局限到开阔浅海环境.

(3) 卡拉塔尔组中的龙介虫管化石主要有两种生物类型, 一种是单个产出并且呈管锥状形态的 *Ditrupa* 属, 另一种是成簇产出并且呈细管状的 *Propomatoceros* 属. 管状的 *Ditrupa* 大多以生物屑的形式出现, 分散保存, 多管状的 *Propomatoceros* 成簇或者成团产出, 以碎片为主.

(4) 与现代的龙介虫管比较, 塔西南卡拉塔尔组中的龙介虫管化石可以分为两类, 分别以 *Ditrupa* 群落和 *Propomatoceros* 群落为代表, 前者主要分布在西昆仑山前的滨岸环境, 如少泥和砂质的硬底质上, 在泻湖和潮坪环境很少见到, 后者主要分布在南天山前离岸的碳酸盐中缓坡环境和西昆仑山前滨外陆棚的环境中.

(5) *Ditrupa* 多见于砂泥底质的滨岸和陆棚环境, 以碎屑为主, 只能造岩不能成礁. *Propomatoceros* 虽然有造礁的潜力, 但它们基本都产于泥晶灰岩或泥质灰岩中, 而且主要是泥晶或泥质的介壳灰岩, 说明水能量不高; *Propomatoceros* 与牡蛎关系密切、营附生在牡蛎壳壁上, 和卡拉塔尔组的重要生物牡蛎一样, 也没有形成生物礁.

致谢 感谢审稿专家提出的宝贵意见.

参考文献

1 Wrigley A. Some Eocene Serpulids. Proc Geol Ass, 1951, 62: 177–202
2 Stiller F. Polychaeta (Annelida) from the Upper Anisian (Middle Triassic) of Qingyan, south-western China. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, 2000, 217: 245–266
3 Vinn O, Hove H A T, Mutvei H. On the tube ultrastructure and origin of calcification in sabellids (Annelida, Polychaeta). Palaeontology, 2008, 51: 295–301
4 Vinn O, Hove H A T, Mutvei H, et al. Ultrastructure and mineral composition of serpulid tubes (Polychaeta, Annelida). Zool J Linnean Soc, 2008, 154: 633–650
5 ten Hove H A T, van den Hurk P. A review of recent and fossil serpulid 'reefs: Actuopalaeontology and the Upper Malm' serpulid limestone in NW Germany. Geologie en Mijnbouw, 1993, 72: 23–67
6 Jäger M, Schubert S. Das Ober-Pliensbachium (Domerium) der Herforder Liasmulde; Teil 2, Serpuliden (Kalkröhrenwürmer). Geologie und Palaeontologie in Westfalen, 2008, 71: 47–75
7 Palma R M, Angeleri M P. Early Cretaceous serpulid limestones: Chachao Formation, Neuquen Basin, Argentina. Facies, 1992, 27: 175–178
8 Kiessling W, Scasso R, Aberhan M, et al. A Maastrichtian microbial reef and associated limestones in the Roca Formation of Patagonia (Neuquén Province, Argentina). Fossil Record Mitteilungen aus dem Museum für Naturkunde, 2006, 9: 183–197
9 吴宝铃, 陈木. 中国淡水和半咸水多毛类环节动物研究的初步报告. 海洋与湖沼, 1963, 5: 18–29
10 俞昌民, 王惠基. 江苏北部下第三系的管状化石. 古生物学报, 1981, 20: 406–417
11 俞昌民, 王惠基. 多毛纲栖管化石. 古生物学报, 1983, 22: 706–708
12 李钟模, 江宗龙. 山东平邑卞桥剖面龙介类化石的发现及其古地理意义. 古生物学报, 1987, 26: 576–585
13 唐天福, 杨恒仁, 蓝琇, 等. 塔里木盆地西部晚白垩世-早第三纪海相地层及含油性. 北京: 科学出版社, 1989. 39–119
14 新疆维吾尔自治区区域地层表编写组. 西北地区区域地层表新疆维吾尔自治区分册. 北京: 地质出版社, 1981. 1–496
15 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社, 1997. 1–438
16 金之钧, 吕修祥. 塔西南前陆盆地油气资源与勘探对策. 石油与天然气地质, 2000, 21: 110–117
17 雍天寿, 单金榜, 张振春, 等. 古特提斯海北支塔里木古海湾岩相古地理. 北京: 科学出版社, 1989. 1–129
18 Nelson-Smith A. Catalogue of Main Marine Fouling Organisms. Vol. 3, Tubeworms. Paris: O.E.C.D, 1966
19 Belal A H. Ecological studies on the polychaetes in the Suez Bay. Ph.D. thesis. Zagazig: Zagazig University, 2001. 1–295
20 Guobashy A F, Ghobashy M A F. Marine fouling studies in Egypt A-Serpulids. Egypt J Aquac Res, 2005, 31: 89–102
21 Götz G. Bau und Riologie fossiler Serpullden Neues Jahrb, für Mineral Geo1. und Palaont. Beilage-Band Abt B, 1931. 1–66
22 Gatto R, Radwanska U. Serpulid opercula (Annelida: Polychaeta) from the Upper Eocene of Possagno, NE Italy: Taxonomy, taphonomy and palaeobiological significance. Acta Geol Polon, 2000, 50: 343–354

23 Bornhold B D, Milliman J D. Generic and environmental control of carbonate mineralogy in serpulid (polychaete) tubes. J Geol, 1973, 81: 363–373
24 Perkins T H. Calcisabella piloseta, a new genus and species of Sabellinae (Polychaeta: Sabellidae). Bull Mar Sci, 1991, 48: 261–267
25 Fischer R, Pernet B, Reitner J. Organomineralization of cirratulid annelid tubes—Fossil and recent examples. Facies, 2000, 42: 35–50
26 Vinn O, Jäger M, Kirsimäe K. Microscopic evidence of serpulid affinities of the problematic fossil tube Serpula etalensis from the Lower Jurassic of Germany. Lethaia, 2008, 41: 417–421
27 Jäger M. Serpulidae und Spirorbidae (Polychaeta sedentaria) aus Campan und Maastricht von Norddeutschland, den Niederlanden, Belgien und angrenzenden. Geologisches Jahrbuch A, 2004, 157: 121–249
28 Vinn O, Mutvei H. Calcareous tubeworms of the Phanerozoic. Estonian J Earth Sci, 2009, 58: 286–296
29 Vinn O, Mutvei H. Observations on the morphology, and affinities of cornulitids from the Ordovician of Anticosti island and the Silurian of Gotland. J Paleont, 2005, 79: 726–737
30 Hove H A T, Kupriyanova E K. Taxonomy of Serpulidae (Annelida, Polychaeta): The state of affairs. Zootaxa, 2009, 2036: 1–126
31 Vinn O. Tentaculitoid affinities of the tubeworm-like fossil Tymbochoos sinclairi (Okulitch, 1937) from the Ordovician of North America. Geobios, 2006, 39: 739–742
32 Taylor P D, Vinn O. Convergent morphology in small spiral worm tubes (Spirorbis) and its palaeoenvironmental implications. J Geol Soc London, 2006, 163: 225–228
33 Vinn O, Isakar M. The tentaculitid affinities of Anticalyptraea from the Silurian of Baltoscandia. Palaeontology, 2007, 50: 1385–1390
34 Jäger M. Das Maastricht in Nordwestdeutschland. Geologisches Jahrbuch A, 1983, 68: 213–219
35 Taylor P D, Wilson M A. Morphology and affinities of hederelloid bryozoans. In: Hageman S J, Key M M, Jr J E, et al, eds. Bryozoan Studies 2007: Proceedings of the 14th International Bryozoology Conference. Boone, North Carolina, July 18, 2007. Virginia Museum of Natural History Special Publication, 2008. 301–309
36 Senowbari-Daryan B, Link M. Filograna (colonial serpulid worm tubes) from Upper Triassic (Norian) reef boulders of Taurus Mts. (southern Turkey). Facies, 2005, 51: 454–459
37 Richards P R. Ecology of the Cornulitidae. J Paleont, 1974, 48: 514–523
38 Hove H A T, Smith R S. A re-description of *Ditrupa gracillima* Grube, 878 (Polychaeta, Serpulidae) from the Indo-Pacific, with a discussion of the genus. Rec Aust Mus, 1990, 42: 101–118
39 Seilacher A, Olivero E B, Butts S H, et al. Soft-bottom tube worms: from irregular to programmed shell growth. Lethaia, 2008, 41: 349–365
40 Vinn O, Mõtus M A. The earliest endosymbiotic mineralized tubeworms from the Silurian of Podolia, Ukraine. J Paleont, 2008, 82: 409–414
41 Weedon M J. Microstructure and affinity of the enigmatic Devonian tubular fossil Trypanopora. Lethaia, 1991, 24: 223–227
42 Dreesen R, Jux U. Microconchid buildups from the Late Famennian peritidal-lagoonal settings (Evieux Formation, Ourthe Valley, Belgium). Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, 1995, 198: 107–121
43 Larsson K. Silurian tentaculitids from Gotland and Scania. Fossils Strata, 1979, 11: 1–180
44 Berra F, Jadoul F. Norian serpulid and microbial bioconstructions: Implications for the platform evolution in the Lombardy Basin (Southern Alps, Italy). Facies, 1996, 35: 143–162
45 Cirilli S, Iannace A, Jadoul F, et al. Microbial-serpulid build-ups in the Norian-Rhaetian of the western Mediterranean area: Ecological response of shelf margin communities to stressed environments. Terra Nova, 1999, 11: 195–202
46 Braga J C, López-López J R. Serpulid bioconstructions at the Triassic-Liassic boundary in southern Spain. Facies, 1989, 21: 1–10
47 Navarro V, Reolid M, Molina J M, et al. Slope breccias colonized by bivalves and serpulids during the Middle Jurassic (Subbetic, SE Spain). Facies, 2008, 54: 403–415
48 Ferreroa L, Obenatb T S, Záratec M A. Mid-Holocene serpulid build-ups in an estuarine environment (Buenos Aires Province, Argentina). Palaeogeogr Palaeoclimat Palaeoecol, 2005, 222: 259–271
49 Ramos A, San Martín G. On the finding of a mass occurrence of Serpula narconensis Baird, 1885 (Polychaeta, Serpulidae) in South Georgia (Antarctica). Polar Biol, 1999, 22: 379–383
50 Smith A M, McGourty C R, Kregting L, et al. Subtidal Galeolaria hystrix (Polychaeta: Serpulidae) reefs in Paterson Inlet, Stewart Island, New Zealand. New Zealand J Mar Freshwater Res, 2005, 39: 1297–1304