中国科学: 地球科学 2016 年 第 46 卷 第 7 期: 963 ~ 975
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文

内蒙古林西县及邻区晚二叠世生物礁和环境意义

田树刚[①*], 张永生[②], 宫月萱[③], 李子舜[①], 高联达[①], 翟大兴[②], 朱常伟[②]

① 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;
② 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
③ 中国地质科学院科技处, 北京 100037
* E-mail: sgtian@cags.ac.cn

收稿日期: 2015-12-04; 接受日期: 2016-03-16; 网络版发表日期: 2016-06-28
国家自然科学基金项目(批准号: 41472027)和中国地质调查项目(编号: 1212011120927)资助

摘要 在内蒙林西县及邻区首次观察到大量晚二叠世台缘礁和丘状礁. 初步研究证实, 兴-蒙地区当时为开放海槽环境. 本文首先分析林西官地林西组四、五段沉积相和相序叠置, 再造晚二叠世晚期林西-九台裂陷带的稳定沉降-缓慢抬升-迅速闭合过程; 并且利用多门类化石的属种延续和丰度分布, 确定含生物礁地层的地质时代和划分对比, 为生物礁研究奠定基础. 然后详细研究多类造礁生物, 即海绵、苔藓虫和钙藻等的形态功能和造礁机制, 恢复各门类的生态条件和造礁环境, 划分出 6 个造礁生物组合. 综合沉积相、地层和生物古生态研究成果, 识别出晚二叠世晚期 2 类陆棚边缘, 即丘状礁缓坡陆棚边缘和障壁礁陡坡陆棚边缘. 从而论证生物礁的线状分布标志中朝板块北缘及兴蒙-海槽内林西-九台裂陷带在晚二叠世末期闭合.

关键词 生物礁, 造礁环境, 古生态, 晚二叠世, 内蒙古

1 引言

近年来, 兴-蒙地区晚二叠世构造古地理环境出现激烈争论. 前人(内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 金玉玕等, 2000)依据植物和双壳类化石, 普遍认为中朝板块与西伯利亚板块间(兴-蒙海槽)于中二叠世末期闭合, 晚二叠世变成残留陆相湖盆. 杨桂林等(1991)和何政军等(1997)在上二叠统下部发现海扇类和“咸水”双壳化石并结合灰岩炭氧同位素分析, 认为区内晚二叠世早, 中期为海槽-封闭内海盆地, 晚期转变成淡水湖盆. 田树刚等(2012)和张永生等(2013)在上二叠统上部找到苔藓虫, 海绵骨针和海百合等海相化石, 提出晚二叠世整体属正常海槽环境.

最近, 笔者等又在内蒙林西县官地、克什克腾旗北大山、巴林右旗幸福之路和阿鲁科尔沁旗陶海营子等地, 上二叠统上部首次发现大量古生物礁. 通过以林西官地剖面(图1)为重点的初步研究, 表明生物礁为多种类型的台缘礁(障壁礁)和丘状礁. 造礁生物主要包括苔藓虫, 海绵, 钙藻和蓝绿藻等. 造礁格架主要为苔藓虫-古石孔藻包覆造架, 海绵混生群居造架,

中文引用格式: 田树刚, 张永生, 宫月萱, 李子舜, 高联达, 翟大兴, 朱常伟. 2016. 内蒙古林西县及邻区晚二叠世生物礁和环境意义. 中国科学: 地球科学, 46: 963–975, doi: 10.1360/N072015-00147
英文引用格式: Tian S G, Zhang Y S, Gong Y X, Li Z S, Gao L D, Zhai D X, Zhu C W. 2016. Environmental and tectonic significance of Late Permian reefs in the Linxi and adjacent areas in Inner Mongolia of China. Science China Earth Sciences, 59: 1463−1476, doi: 10.1007/s11430-016-5306-8

© 2016《中国科学》杂志社

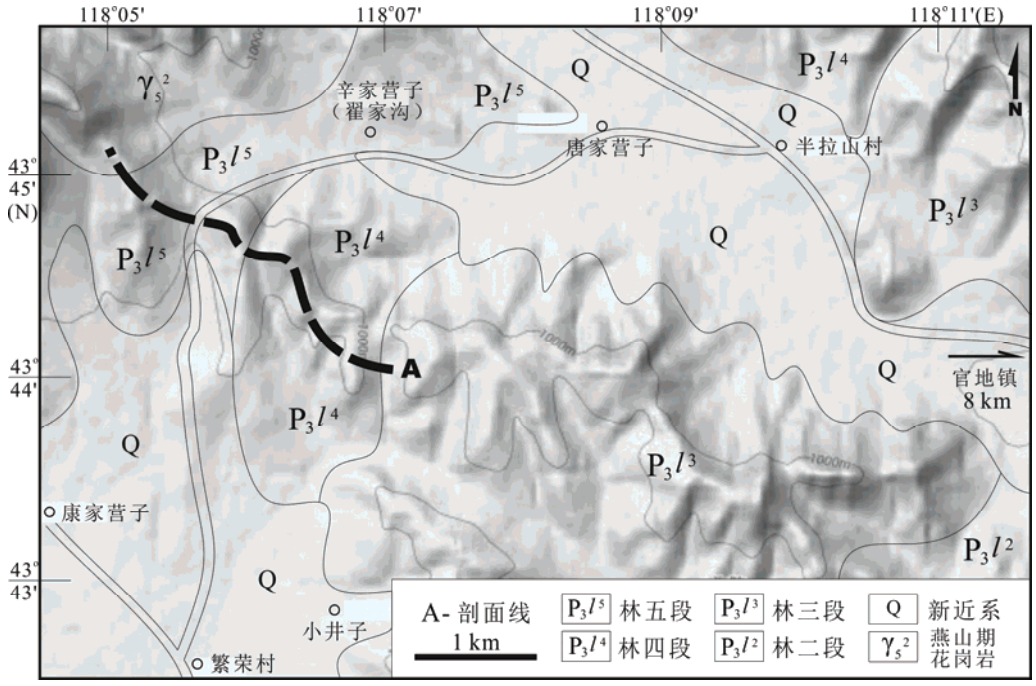

图 1　林西县官地生物礁剖面位置和地质略图

层状或丛状苔藓虫障积造架, 直管藻-古石孔藻包覆造架和叠层石建造等. 生物礁发育进一步证实兴-蒙地区晚二叠世始终为开放通畅海槽环境, 并指示晚二叠世末期中朝板块北缘位置和林西-九台裂陷带的存在. 生物礁的发现不仅解决上述争论问题, 而且对兴-蒙地区晚二叠世构造古地理研究及"页岩气"普查勘探具有重要意义.

2　林西官地礁相地层

在林西县官地, 生物礁出露在林西组命名剖面的林四、五段(即前人C、D段). 该套地层经笔者等重新详细实测, 并系统采集岩石样品和各类化石(图2). 其中林四段厚826m, 属层序地层学的半层序(CS~HST), 以发育丘状礁的泥砂坪相为特征, 反映盆地稳定沉降-缓慢抬升过程. 林五段厚705m, 属构成完整的三级层序(TST~CS~HST), 以发育障壁礁的板块边缘碳酸盐台地为特征, 反映盆地短暂沉降后又迅速抬升.

2.1　林四段层序与沉积相

据岩性, 化石和造礁特征, 林四段自下而上明显划分成盆地相, 远滨相(过渡带)和近滨相. 下部(1~3层)属三角洲之前的深水沉积(盆地相), 主要为深灰色, 灰黑色页岩与薄板状泥岩和粉砂质泥岩不等厚互层, 夹深灰色, 灰绿色透镜状中细粒杂砂岩, 及灰黑色泥砂质同生角砾岩透镜体. 页岩和板状泥岩中鲍马序列发育, 发现深水遗迹化石和细小波痕. 砂岩成分以长石和岩屑为主, 断面见到低角度斜层理, 呈现重力流沉积特征. 层面采到零星叶肢介*Palaeolimnadia* sp.、*Huanghestheria* sp.、*Pemphicyclus* cf. *trochoides*等.

林四段中部(4~6层)属近滨-盆地间的过渡沉积(远滨相), 细粉砂岩和砂岩明显增多. 主要为灰色, 灰绿色薄-中层状或透镜层状凝灰质胶结中细粒杂砂岩, 粉砂岩和粉砂质泥岩, 夹页岩和细粒砂岩透镜体. 砂岩具低角度斜层理和粒序, 说明重力流成因. 砂岩层面和零星小灰岩透镜体见到纤细枝体苔藓虫*Thamniscus* sp.、*Polypora* sp.、*Fistulipora* sp. 泥岩中分离出孢粉化石*Vitreisporites signatus*、*Sulcatisporites ovatus*、*Rhizomaspora radiata*等.

林四段上部属近滨相(7~11层), 以富产丘状礁的砂坪亚相为主. 砂坪亚相岩性为灰色, 灰绿色, 灰白色薄层板状粉砂质泥岩和泥质粉砂岩, 夹中-厚层状细

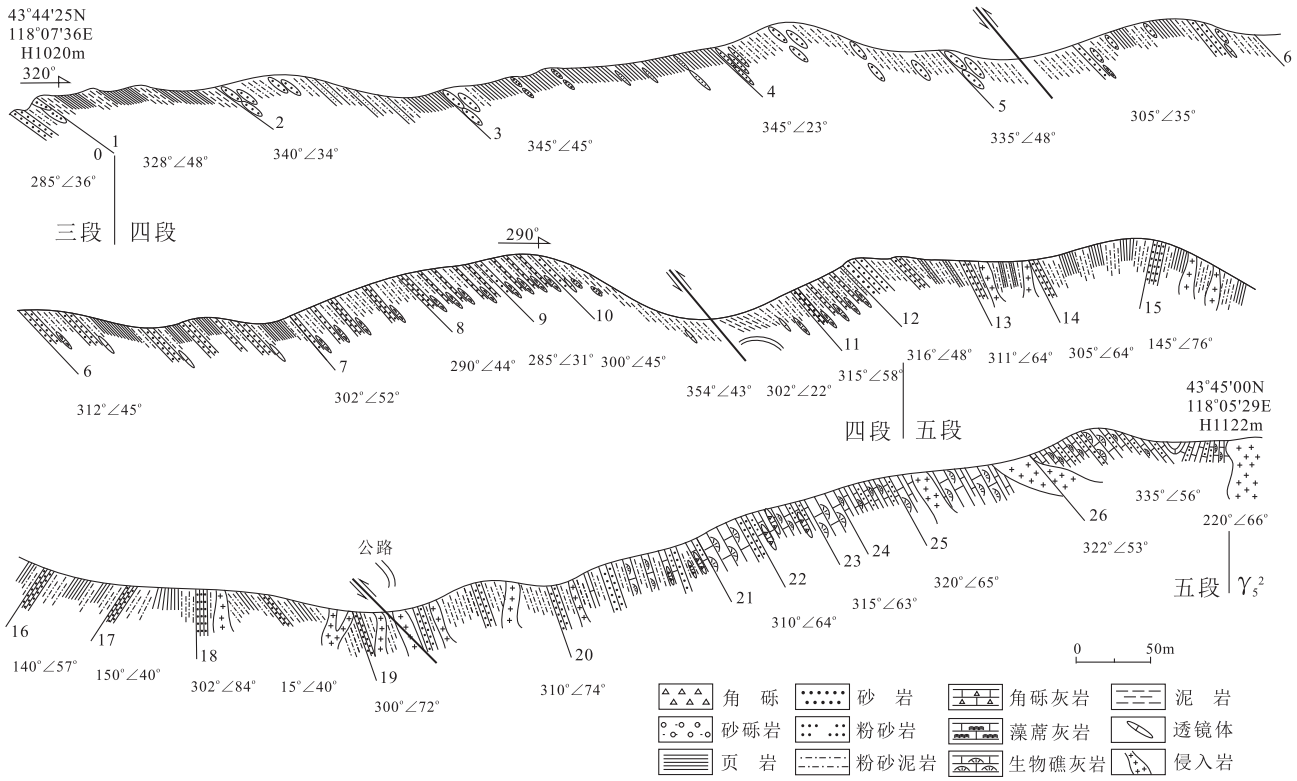

图 2　内蒙林西县官地林西组四、五段实测剖面

砾杂砂岩, 泥质角砾岩和灰岩透镜体(丘状礁). 砂岩层见到低角度斜层理, 层11见有灰色竹叶砾灰岩透镜体. 造礁生物主要有海绵*Amblysophonella specialis*、*Peronidella beipeiensis*., 苔藓虫*Fenestella* sp.、*Rhombocladia* sp.、*Thamniscus* sp.、*Fistulipora* sp.、*Stenodiscus* sp., *Fistulimamus* sp., 钙藻*Monostysisyrix circularis*、*Sphaeroporella minima*、*Archaeolithoporella hidensis*, 叠层藻*Baicalia* sp., 双壳类*Palaeanodonta* sp.、*Palaeomutela soronensis*、*P.* cf. *trigonalis*及孢粉*Vitreisporites signatus*、*Sulcatisporites ovatus*、*Rhizomaspora radiata*等.

2.2　林五段层序与沉积相

林五段以碎屑含量明显增加和水体变浅为特征, 自下而上分成临滨相-近滨相, 远滨-盆地相, 台前斜坡相和碳酸盐台地相(图3). 下部(12~13层)属临滨相(潮坪)-近滨相. 剖面上两种沉积仅是颜色差别. 岩性为紫红色, 灰褐色, 灰色, 灰绿色厚-薄层板状泥质胶结中细粒杂砂岩, 粉砂岩和粉砂质泥岩. 厚层砂岩具有楔状交错层理和生物扰动的钻孔发育, 粉砂岩和粉砂质泥岩具有平行板状层理, 采到零星双壳类化石*Palaeanodonta* sp.

中部(14~19层)属远滨-盆地相, 两种相沉积交互出现. 岩性为灰色, 灰绿色中厚层泥质胶结细砂岩与薄层板状泥质粉砂岩, 夹粉砂质泥页岩. 砂岩中见有低角度斜层理, 风化后呈板片状. 泥页岩中产孢粉和疑源类化石*Vitreisporites signatus*、*Sulcatisporites ovatus*、*Rhizomaspora radiata*、*Cordiatina* sp.、*Micrhystridium* sp., 还见有零星双壳类*Palaeanodonta* sp.

上部(20~26层)由台前斜坡相和碳酸盐台地相组成, 以夹台缘礁和块状为特征. 台前斜坡相岩性为灰色, 深灰色中-厚层状粉细砂岩, 薄层板状泥质粉砂岩和粉砂质泥岩, 夹薄-中层状粉砂屑灰岩和泥质角砾岩透镜体.

碳酸盐台地相由礁前亚相, 礁侧亚相, 礁核亚相和礁后亚相组成. 礁前亚相与礁侧亚相为深灰色薄-中层状泥质粉细砂岩和粉砂屑灰岩夹礁屑角砾岩透镜体, 层面见有稀疏枝状苔藓虫*Stenodiscus* sp. 礁核亚相为灰色, 灰褐色, 灰黑色巨厚层块状硅化粉砂屑

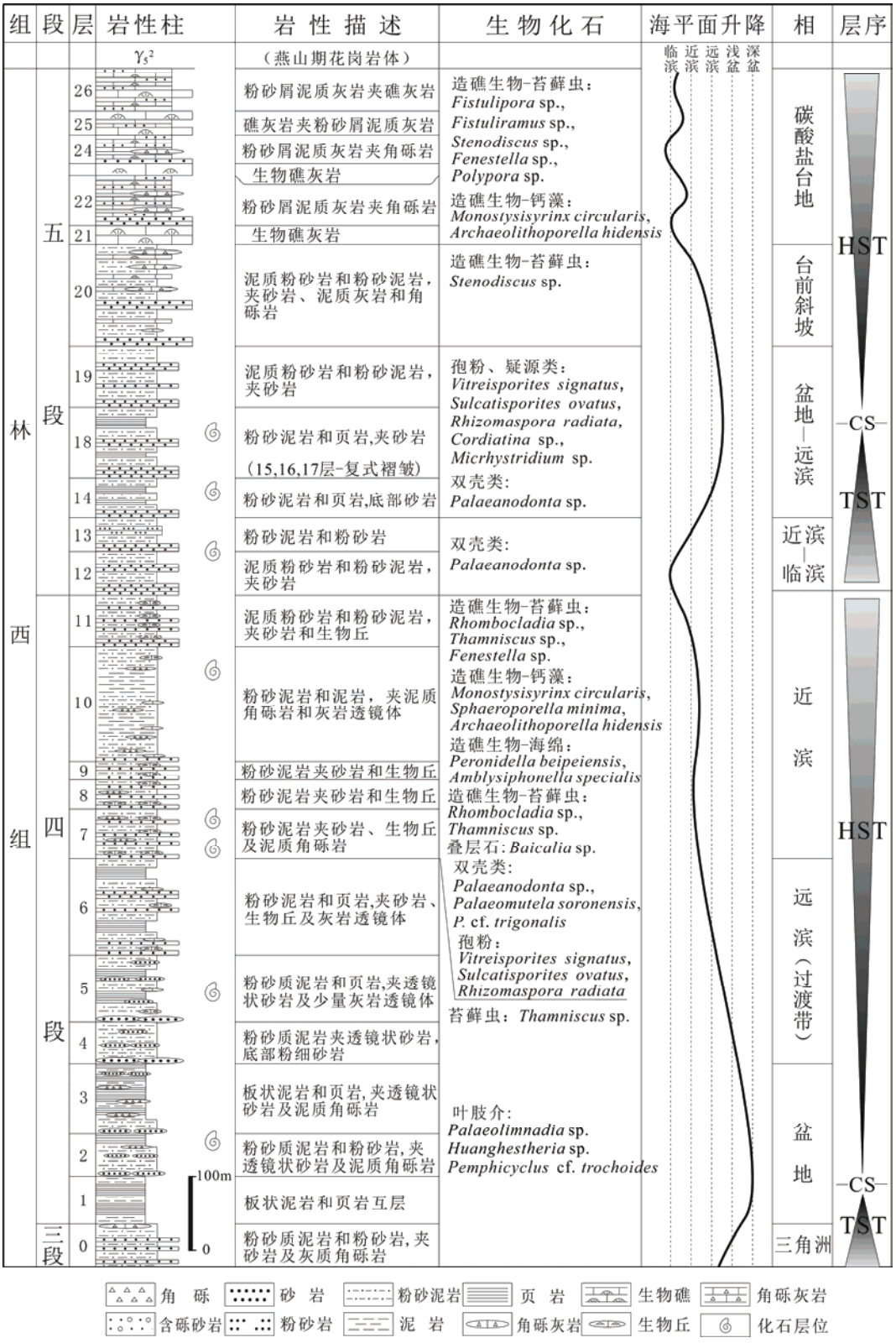

图 3　内蒙林西县官地翟家沟林西组四、五段综合柱状图

苔藓虫格架灰岩, 夹灰色厚层中细粒石英砂岩和同生角砾岩透镜体. 造礁生物主要为苔藓虫*Fistulipora* sp.、*Fistuliramus* sp. 及起包裹粘结作用的古石孔藻 *Archaeolithoporella hidensis*. 砂岩见有交错层理, 显示高能滩成因. 同生角砾岩砾径一般1~6cm, 成分砂质,灰质和泥质等混杂. 粉砂充填和灰质胶结. 礁后亚相岩性复杂, 为灰黑色, 黑色薄-中层硅化泥质灰岩和粉砂屑泥质灰岩, 夹厚层生物格架灰岩及同生角砾岩和竹叶状砾岩透镜体. 造礁生物主要有苔藓虫*Stenodiscus* sp.、*Fenestella* sp.、*Polypora* sp., 并见有钙藻*Monostysisyrinx circularis*、*Archaeolithoporella hidensis*等.

3 生物礁地层时代

目前林西组四、五段的时代归属存在不同意见. 顾国寅等(1982)曾将林西组四、五段称为C、D段, 与陶海营子组对比, 属晚二叠世. 何政军等(1997, 1998)认为林西组五段(D段)属陆相沉积, 应归入早三叠世. 本文依据造礁生物(海绵、苔藓虫、钙藻)和其他化石(孢粉和头足类)的属种延续及繁盛分布, 坚持将该套生物礁地层划归林西组, 其时代属晚二叠世晚期.

3.1 造礁生物时代

林西组造礁海绵主要为特殊钝管海绵(*Amblysophonella specialis*)和北碚小领针海绵(*Peronidella beipeiensis*). 两个化石种目前大量报道于华南重庆北碚、湖北利川、湖南慈利等地晚二叠世晚期长兴组(范嘉松, 1996; Rigby等, 1994; 田树刚等, 2002), 并在礁相灰岩中形成造礁优势. 尽管两种的“始现”层位尚待进一步研究, 但“消失”在二叠纪末期, 至今没有见于三叠纪的报道. 它们的造礁优势可以证明林西组生物礁形成于晚二叠世晚期.

目前苔藓虫化石分类研究有待深入(杨敬之等, 1962、1965), 分属乃至更高级分类强调生物的内部结构和微细构造特征较为可信. 种的识别偏重依据硬体形态, 而硬体形态易受环境影响多变, 产生大量生态种或形态种. 因此各属均积累了百余种至数百种, 难于对比使用. 为方便论述, 本文对造礁苔藓虫暂时仅划分到属. 苔藓虫化石大多保存在较纯灰岩中, 以致于前人多用切片方法研究. 现存的研究方法单一和未能直接观察化石整体特征, 或许是造成苔藓虫化石分类研究不能深入的主要原因. 林西及邻区的苔藓虫保存在细-粉砂屑泥质灰岩中, 礁岩的差异风化使化石微细特征也能立体显现, 容易鉴定到属. 苔藓虫各属*Fenestella*、*Rhombocladia*、*Thamniscus*、*Fistulipora*、*Stenodiscus*、*Fistulimamus*、*Polypora* 时代延续为志留纪-二叠纪, 大部分为石炭纪-二叠纪, 但未见延续到三叠纪, 证明林西及邻区的礁相地层时代不晚于二叠纪.

钙藻化石主要包括*Monostysisyrix circularis*、*Sphaeroporella minima*、*Archaeolithoporella hidensis* 和 *Anthracoporella spectabilis*. 各属种均聚集组成丛状格架障积造礁, 为华南各地二叠纪碳酸盐建造中常见属种(穆西南, 1981; 吴亚生, 1991).

3.2 孢粉和头足类时代

林西县及邻区林西组四、五段含有丰富的孢粉和疑源类化石(图4). 这些化石中主要分子有*Vitreisporites signatus*、*Sulcatisporites ovatus*、*Rhizomaspora radiata*、*Cordiatina* sp.、 *Micrhystridium* sp. 等, 其中*Vitreisporites signatus*最早发现于德国晚二叠世鎂灰岩, 是世界分布的晚二叠世典型种. *Cordiatina*属建于俄罗斯乌拉尔地区二叠系, 主要见于中二叠世亚丁斯克阶(Artinskian)至空谷阶(Kungurian). 而在中国华北地区, 该种大量产于晚二叠世上石盒子组, 并形成建带优势, 其他均为中国华北和华南等地区二叠纪常见属种(高联达, 2008).

笔者等最新工作中在内蒙林西官地林西组三段砂屑泥质板岩中发现大量菊石和角石(鹦鹉螺类)化石. 采到的菊石标本保存较差, 它们仅被鉴定为菊石属种未定(Ammonoidea gen. et sp. indet.), 而大量菊石发现进一步确定林西组上部为正常海相沉积. 角石标本保存较好, 定为广德乐平角石*Lopingoceras guangdeense* Zhao, Liang et Zheng. 该种原建立在我国安徽广德独山上二叠统长兴组(赵金科等, 1978), 与乐平乐平角石*Lopingoceras lopingense* (Stoyanov)同为华南上二叠统长兴阶头足类组合重要组成分子, 证明林西组生物礁地层属晚二叠世晚期.

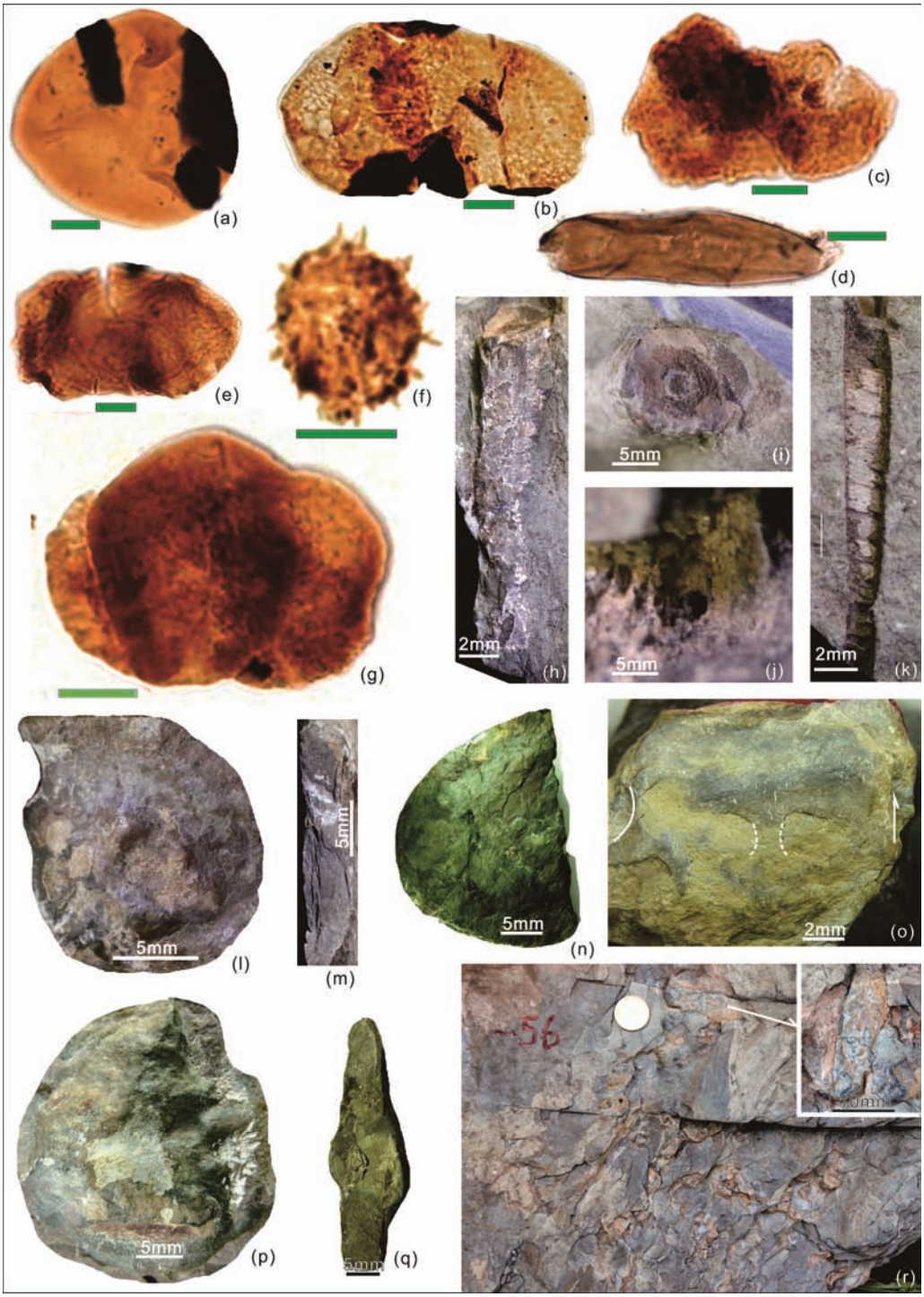

图 4　内蒙林西县官地林西组孢粉、疑源类和头足类

(a)~(g) 林西组四、五段孢粉和疑源类化石(比例尺为 5μm). (a) *Gulisporites cochlearis* Imgrund, 1960, 采集号: 2013LG-74-2-1; (b) *Sulcatisporites ovatus* (Balme and Hennelly) Balme, 1970, 采集号: 2013LG-74-3-1; (c) *Vitreisporites signatus* Leschik, 1957, 采集号: 2013LG-74-2-1; (d) *Leiofusa* sp., 采集号: 2013BACH-5-2-1; (e) *Rhizonaspora radiata* Wilson, 1962, 采集号: 2013LG-74-4-1; (f) *Micrhystridium* sp., 采集号: 2013LG-74-4-1; (g) *Alisporites shanxiensis* Gao, 1984, 采集号: 2013LG-74-3-4. (h)~(r) 林西组三段头足类化石 (采集号全部为: 2014-LGD-6). (h)~(k) *Lopingoceras* cf. *guangdeense* Zhao, Liang et Zheng, 1978. (l)~(r) 菊石(Ammonoidea gen. et sp. indet.)

4 造礁生物形态与功能

4.1 海绵

海绵属原始多细胞动物, 动物体基本结构为多层细胞围绕一个中央腔. 泡状细胞具有入水口, 出水口和领状鞭毛, 与中央腔共同组成水流系统. 随鞭毛不断摆动, 滤食营养和排出废物. 海绵造礁主要为钙质海绵, 群体躺卧或固着在浅海基底上. 林西组四段的海绵化石为*Amblysophonella specialis*和*Peronidella beipeiensis*(图5a~d). 二种均呈倒锥形或角状, 以初始芽苞固着在中细砂质基底上, 混生群居形成丘状礁, 反映当时水流(沿岸流和循环流)通畅但动能不强的陆棚缓坡砂坪环境.

4.2 苔藓虫

苔藓虫群体生活, 固着在硬质基底或附着其他物体上漂浮. 大部分苔藓虫分泌坚固硬体(虫室), 能保存为化石. 虫体靠口围触手或纤毛摆动而被动捕食, 需要流动或动荡的水体. 现代苔藓虫生态适应较强, 从潮下浅水到深海5500m都有分布, 在赤道暖水到极区冷水中均能生存. 大多数繁盛在盐度正常、清洁、温暖浅海的浪基面-透光带. 中国内蒙古、北美、德国和俄罗斯西伯利亚石炭-二叠纪冷水区域均有大量苔藓虫为主造礁的报道(贺克尔等, 1989; 田树刚等, 2011). 苔藓虫硬体形态易受环境影响而变化, 为很好的指相化石. 林西及邻区苔藓虫硬体形态可归纳为4类, 反映不同的造礁环境.

(1) 纤细枝状硬体类型(图5i). 产于林西官地林西组四段中部和阿鲁科尔沁旗陶海营子陶海营子组上部薄板状粉砂质泥岩夹粉细砂岩中, 包括*Fistulipora* sp.、*Thamniscus* sp.和*Polypora* sp.等. 苔藓虫化石呈小规模纤细枝状, 零星分布在砂岩层面, 或形成小型灰岩透镜体格架. 它们固着聚集成丛状生活在低能流动水体, 代表陆棚缓坡下部环境.

(2) 层状格架硬体类型(图5e~g). 出露在林西官地林西组四段上部, 大多数苔藓虫硬体呈立体层状格架铺盖在粉细砂岩上. 层状格架由规则网格枝体在底膜上倾斜生长, 上覆保护层(*Rhombocladia* sp.)或由不规则分枝硬体在底膜上叠加生长形成(*Thamniscus* sp.). 层状格架硬体显示对一定强度水流的适应, 说明陆棚缓坡上部砂泥坪浅水环境.

(3) 根瘤-扇状硬体类型(图5j, 6f、g). 指林西官地林西组四段顶部和林西组五段上部的*Fenestella* sp., *Polypora* sp.等. 这类苔藓虫硬体均发育粗大根瘤或假根, 整体呈扇状或粗枝状, 但没有被古石孔藻包覆. 它们产于含竹叶砾灰岩透镜体或薄-中层状角砾屑粉砂质灰岩, 用根瘤或假根固着在动能较高的礁前或礁侧环境.

(4) 粗管状-枝状硬体类型(图6a~e, 7a~d、f、h). 林西官地及邻区林西组五段或相当层位巨厚-块状粉砂屑灰岩, 产*Fistulipora* sp.、*Stenodiscus* sp.、*Fistulimamus* sp.等. 这类苔藓虫具粗大管状或枝状硬体, 多数被古石孔藻包裹黏结成丛状格架, 建造大型台缘礁或块状礁. 硬体通常外壁加厚, 或具隔壁和泡沫组织, 从而加固自身, 适应动荡高能的台地边缘环境. 在阿鲁科尔沁旗陶海营子, 陶海营子组上部发现粗管状*Fistulipora* sp. 它们保存于深水薄层纹层理沉凝灰岩, 堆积成中-厚层状, 但粗壮管柱体完整. 显然, 这些化石经过短途搬运, 说明附近浅水处造礁群体繁盛.

4.3 钙藻

钙藻地史上和现代均属重要的造礁生物, 丛状聚集或相互缠绕包裹造礁. 它们主要属绿藻和红藻, 固着在清洁的浅海基底, 最大生存水深约60m(透光带), 大多数繁盛在强光带(水深20~30m以内)靠光合作用生存. 林西及邻区的钙藻化石主要包括圆形直管藻(*Monostysisyrinx circularis*)、微小球孔藻(*Sphaeroporella minima*)、海德古石孔藻(*Archaeolithoporella hidensis*)、醒目炭孔藻(*Anthracoporella spectabilis*)和贝加尔叠层石(*Baicalia* sp.). 它们造礁需要不同的环境条件.

直管藻(图5k、l, 6h)属绿藻, 顾名思义呈圆管状, 不分叉; 直立固着在坚实基底上, 聚集成丛状障积造礁. 为抗拒水流和海浪冲击, 常常被古石孔藻包裹粘结. 林西及邻区的直管藻化石包括二类, 矮小纤细类株高5~10cm, 直径约0.5cm, 形成小型丘状礁体格架, 产于林西组四段顶部具一定动能的浅水砂坪相. 高大粗壮类株可高数米, 直径约1.5~3cm, 产于林西组五段上部厚层块状粉砂屑礁灰岩, 属动能较高的礁核或礁侧环境.

球孔藻(图5m)属绿藻, 枝体由藻球串连成串珠

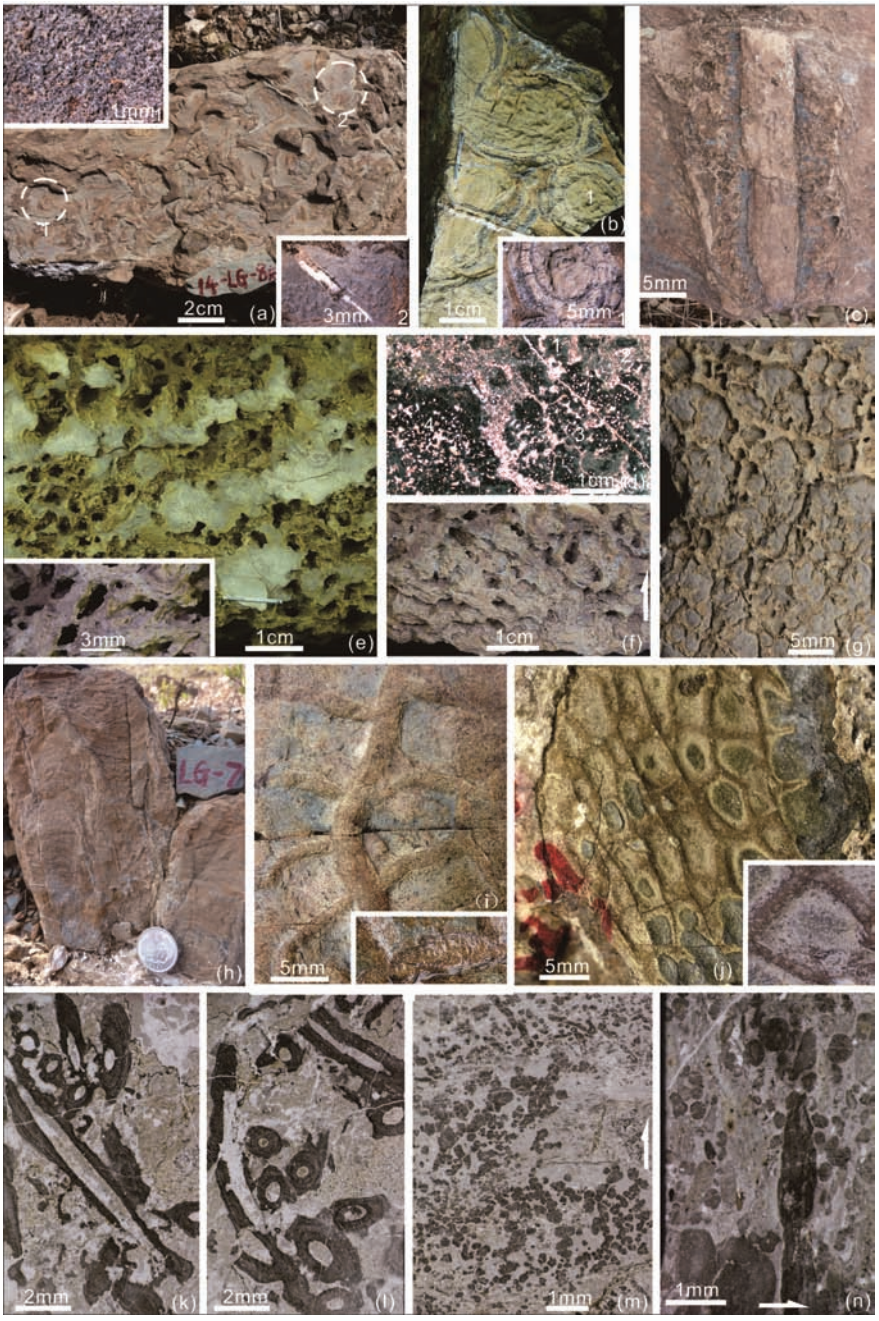

图 5　内蒙林西县官地林西组四段生物礁

(a)、(b) 小领针海绵-钝管海绵(*Peronidella-Amblysiphonella*)混生群居造礁, 采集号:14-LG-8; (c) *Amblysiphonella specialis* Rigby, Fan et Zhang, 1989, 纵切风化面, 采集号: 14-LG-9; (d-1)、(d-2) *Peronidella beipeiensis* Rigby, Fan and Zhang, 1989, 横切面, 采集号: 14-LG-9; (d-3)、(d-4) *Peronidella regulara* Rigby, Fan et Zhang, 1989, 横切面, 采集号: 14-LG-9; (e)、(f) 菱板苔藓虫 *Rhombocladia* sp.的层面, 示网格状硬体和顶部保护网, 采集号: 14-LG-8; (g) 灌木苔藓虫 *Thamniscus* sp.的不规则网状硬体, 采集号: 14-LG-8; (h) 贝加尔叠层石 *Baicalia* sp. 弧形明暗微细层理和分枝的断面, 采集号: 14-LG-7; (i) 笛苔藓虫*Fistulipora* sp.的圆柱状近对生分枝, 采集号: 14-LG-5; (j) 窗格苔藓虫*Fenestella* sp.规则的窗格状扇形硬体, 采集号: 14-LG-11; (k)、(l)直管藻-古石孔藻(*Monostysisyrina-Archaeolithoporella*)丛状障积造礁, 示 *Monostysisyrinx circularis* Wu, 1991 丛状生长和 *Archaeolithoporella hidensis* Endo, 1959 的包裹层纹, 采集号: 14-LG-11; (m) 球孔藻(*Sphaeroporella*)丛状障积造礁, 及 *Sphaeroporella minima* Wu, 1991 串珠状枝体, 采集号: 14-LG-11; (n) 球孔藻(*Sphaeroporella*)生物滩, 及 *S. minima* 球状颗粒与灰质竹叶砾岩的杂乱堆积, 采集号: 14-LG-11

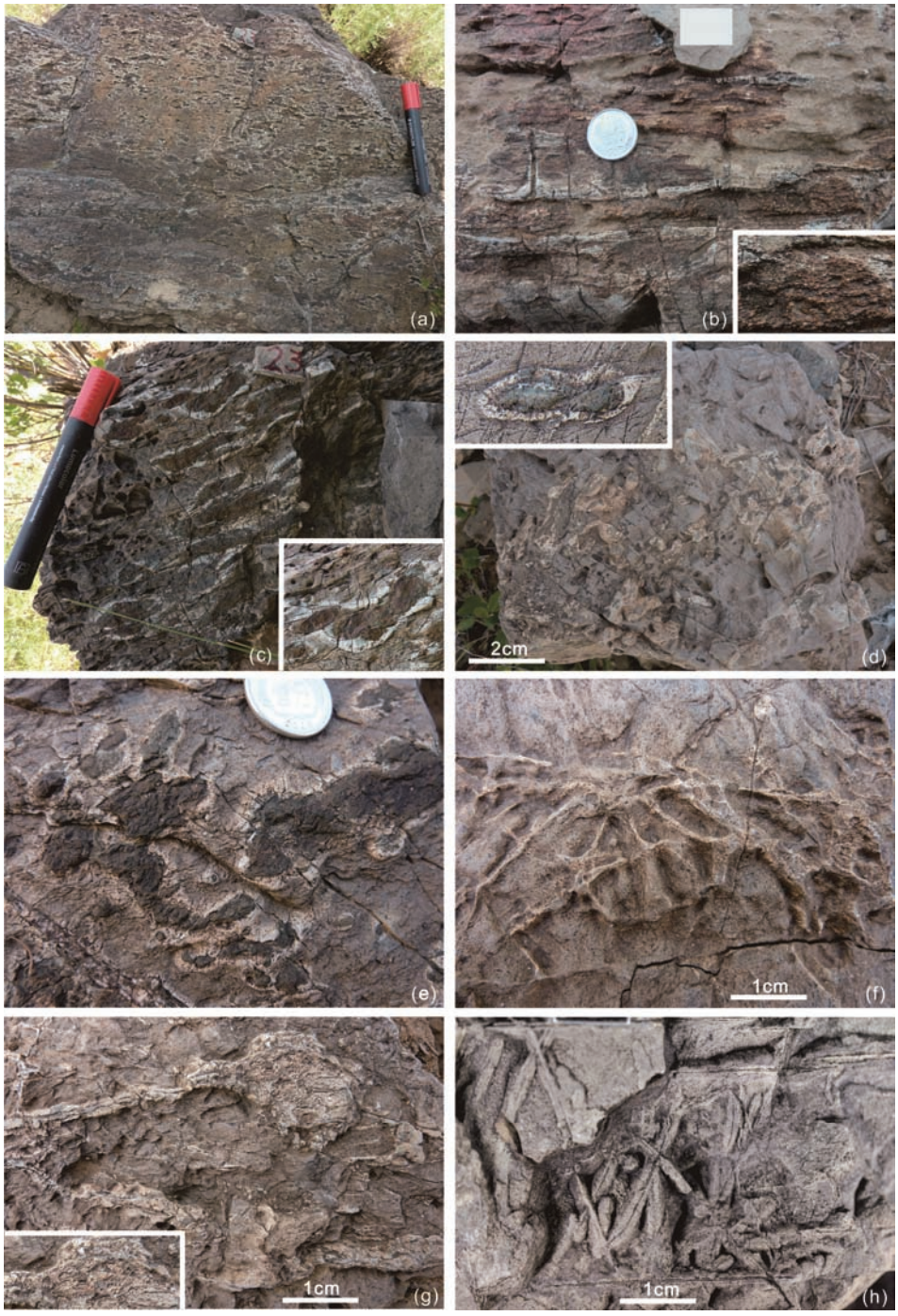

图 6　内蒙林西县官地林西组五段生物礁

(a)~(c) 笛苔藓虫-古石孔藻(*Fistulipora-Archaeolithoporella*)丛状障积造礁, 示 *Archaeolithoporella hidensis* Endo, 1959 包裹 *Fistulipora* sp.的倒伏堆积, 采集号: 14-LG-23; (d) 窄板苔藓虫-古石孔藻(*Stenodiscus-Archaeolithoporella*)丛状障积造礁, 示 *Stenodiscus* sp.的枝状硬体和 *Archaeolithoporella hidensis* Endo, 1959 包覆状态, 采集号: 14-LG-21; (e) 笛枝苔藓虫-古石孔藻(*Fistuliramus-Archaeolithoporella*)丛状障积造礁, 示 *Fistuliramus* sp.的枝状硬体和 *Archaeolithoporella hidensis* Endo, 1959 包覆状态, 采集号: 14-LG-21; (f) 窗格苔藓虫 Fenestella sp. 扇形窗格状硬体、中棱和根瘤, 采集号: 14-LG-21; (g) 多孔苔藓虫 *Polypora* sp. 网状硬体、多行虫室和较大根瘤, 采集号: 14-LG-24; (h) 直管藻-古石孔藻(*Monostysisyrina-Archaeolithoporella*)丛状障积造礁, 示 *Monostysisyrinx circularis* 丛状生长和 *Archaeolithoporella hidensis* Endo, 1959 包覆呈不均匀的纹层, 采集号: 14-LG-24

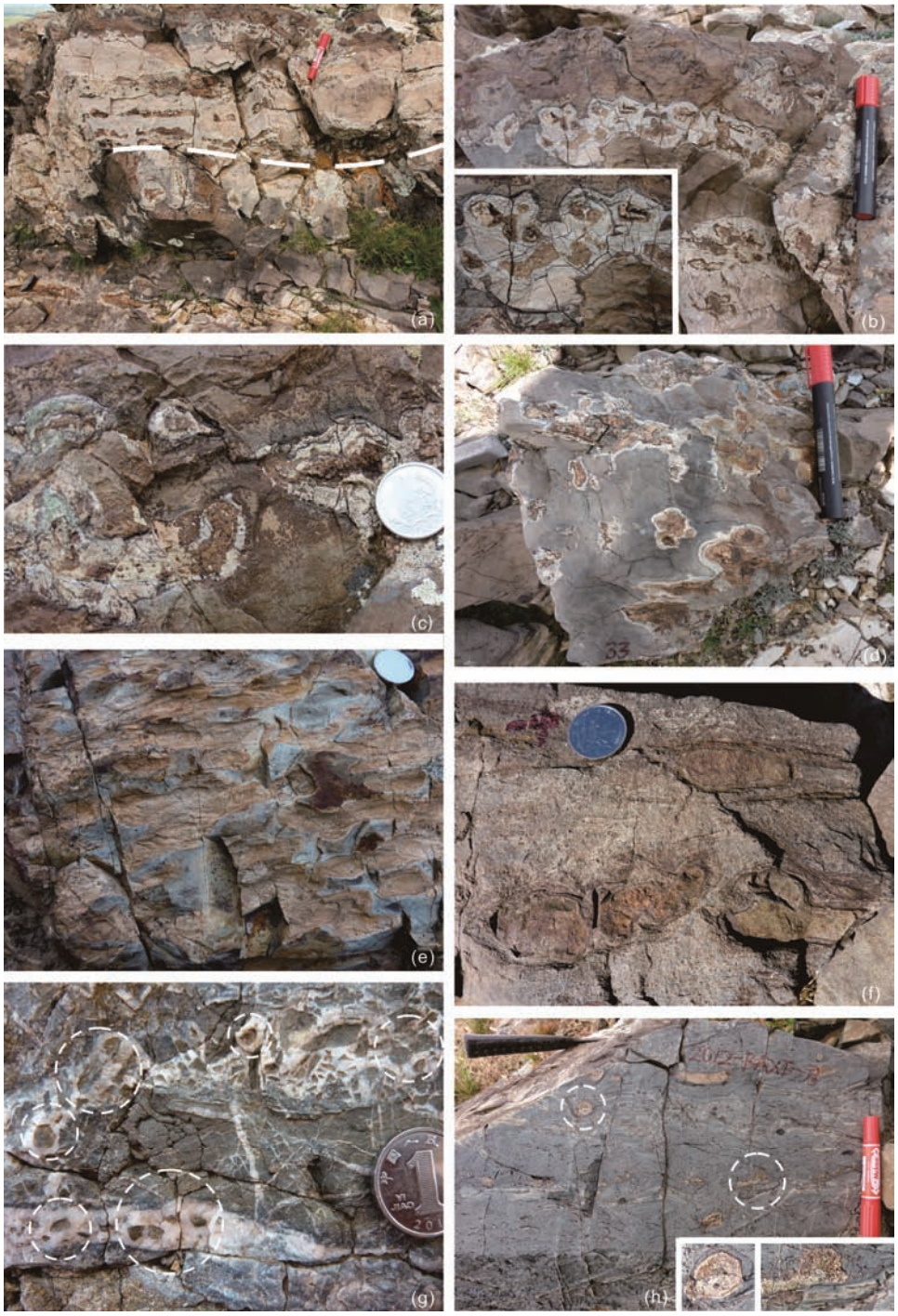

图 7　内蒙林西县邻近地区晚二叠世晚期生物礁

(a)~(d) 克什克腾旗北大山北大山组(上二叠统)上部的生物礁. (a) 造礁层序, 下部为笛枝苔藓虫-古石孔藻(*Fistuliramus-Archaeolithoporella*)包裹障积造礁, 上部为笛苔藓虫-古石孔藻(*Fistulipora-Archaeolithoporella*)包裹障积造礁; (b) *Fistulipora* sp.的局部放大; (c)、(d) *Fistuliramus* sp.的局部放大; 采集号: 14-KBB-33. (e)~(g) 阿鲁科尔沁旗陶海营子陶海营子组(上二叠统)生物礁. (e) 笛苔藓虫(*Fistulipora* sp.)短距搬运堆积, 采集号: 09-ALT-52; (f) 笛苔藓虫(*Fistulipora* sp.)丛状障积造礁, 采集号: 09-ALT-36; (g) 醒目炭孔藻 (*Anthracoporella spectabilis* Pia, 1920)丛状障积造礁, 采集号: 09-ALT-5. (h) 巴林右旗幸福之路林西组上部生物礁, 示笛苔藓虫(*Fistulipora* sp.)丛状障积造礁(具纹层波痕), 采集号: 14-XFZL-10

状, 聚集丛生障积灰泥造礁, 形成小型丘状礁体骨架. 藻球随枝体生长变大, 直径0.1~0.8cm不等, 切面显示微细放射管状构造. 枝状丛生的球孔藻产于林西官地林西组四段第10层水体安静的泥坪相. 而产于第11层砂坪相含同生砾灰岩的球孔藻球体呈分离状, 说明水体变浅和动能增强使藻体散乱分布.

藻叠层石(图5h)为纹层状沉积建造. 蓝绿藻具黏液的丝状体或叶状体粘结细粒沉积物的差异, 形成纹层明暗带的叠覆. 其整体形态和纹层明暗变化反映当时动能强度和水深(霍夫曼, 1976). 林西及邻区林西组四段上部的藻叠层石属贝加尔叠层石(*Baicalia*)型. 枝体圆柱状, 直径1.2~2cm, 少有分叉, 密集排列; 纹层穹形拱曲. 纹理不甚清晰; 枝体间充填粉砂质灰泥. 整体呈大小不一的丘状礁体, 最高32cm, 最长1.6m. 特征显示它们建造于潮下浅水具一定动能的砂坪环境.

炭孔藻(图7g)属绿藻, 在阿鲁科尔沁旗陶海营子产于陶海营子组下部. 藻体多数两分叉, 侧枝直径小于主枝; 叉枝圆柱形, 直径3.5~5.1mm, 钙质壁厚0.7~1.5mm, 切面可见微细管状构造. 陶海营子的炭孔藻化石呈倒伏状态, 保存在粉细砂屑灰岩透镜体中, 说明它们聚集生长在浅水具一定动能的砂坪环境, 组成小型丛状障积格架.

5 造礁生物组合与陆缘特征

依据地形坡度、水动力强弱和成礁类型 (何镜宇等, 1987; 陈建强等, 2004), 生物礁发育的陆棚边缘一般被划分三种基本类型, 即灰泥丘静水陆棚边缘, 圆丘礁缓坡陆棚边缘和骨架礁陡坡陆棚边缘、后二者分别与本文林西组四段和林西组五段反映的造礁环境类似(图8).

5.1 林西组四段缓坡陆棚边缘

林西县官地林西组四段沉积相序, 丘状礁发育和造礁生物古生态分析, 证明当时该地属缓坡陆棚边缘环境. 林西组四段以主要发育潮下浅水的砂坪、泥砂坪(丘状生物礁坪)为特征. 该陆棚边缘平缓倾斜向海槽盆地, 最大倾角可能小于约15°, 较为适宜丘状礁生长. 礁坪水体流动受沿岸流和循环流控制为主, 动能低、中等. 礁坪水深不超过藻类生长的强光带(潮下20~30m). 三种造礁组合序列反映自下而上水体逐渐变浅和动能由弱变强.

*Thamniscus-Polypora*造礁组合分布动能低的丘状礁坪前缘, 组合分子还有纤细枝状*Fistulipora*. *Rhombocladia-Amblysiphonella*造礁组合占据动能中等的丘状礁坪大部, 组合分子还有*Peronidella*、层状*Thamniscus*和*Baicalia*. *Fenestella-Monostysisyrina*造礁组合生长在丘状礁坪的最浅水部位, 总体动能还归中等, 水体已受波浪搅动. 在地形起伏变化增大, 有些低洼区域出现低能的微小球孔藻(*Sphaeroporella minima*).

5.2 林西组五段陡坡陆棚边缘

林西县官地林西组五段属陡坡陆棚边缘环境, 以发育台缘生物礁为特征, 其最陡倾斜可达约45°. 陡坡上部台缘礁发育区段, 受沿岸流、循环流、潮汐和波浪搅动的综合影响, 水体高能动荡. 局部地形起伏变化显著, 沉积类型复杂, 可分为礁核相、礁前相、礁侧相和礁后相. 以下造礁组合反映了各礁相带的环境特征.

Fenestella-Polypora 造礁组合分布在水体动能中等的礁前, 礁侧和礁后环境, 组合分子还包括*Monostysisyrina*等. *Fistuliramus-Stenodiscus*造礁组合繁盛在陡坡上部礁核环境, 水体动荡高能及波浪搅动. *Fistulipora-Archaeolithoporella*造礁组合则出现在礁核顶部准暴露环境, 礁岩局部呈红褐色证明这一推论.

6 生物礁古地理环境意义

生物礁的不同形态特征指示特定古地理环境, 即大陆架边缘或深大断裂上升盘(台缘礁和块状礁), 大陆缓坡或陆表海盆地(丘状礁和点礁)及海洋岛屿周缘(环礁和塔礁)(巩恩普等, 2013). 内蒙林西县及邻区台缘礁, 块状礁和丘状礁呈带状出露, 沿克什克腾旗北大山-林西县官地-巴林右旗幸福之路-阿鲁科尔沁旗陶海营子一线延伸(图9). 造礁生物以苔藓虫和钙藻为主, 形成大型障壁格架或小型丛状格架. 台缘礁和块状礁在各剖面发育巨厚, 北大山总厚148m, 官地总厚275m. 礁岩横向分布稳定, 可见断续延伸数百米. 丘状礁呈规模较小圆丘体, 一般直径

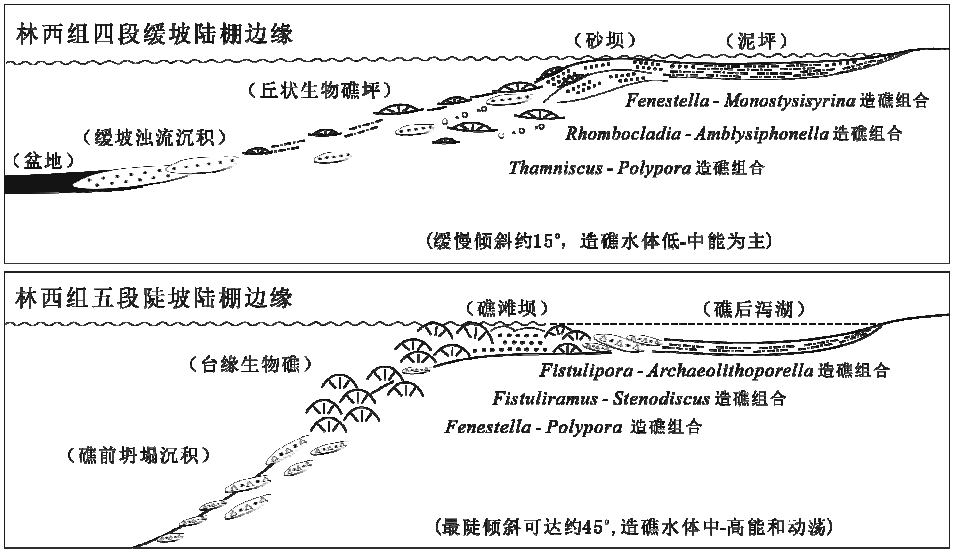

图 8　林西官地林西组四、五段造礁陆棚边缘

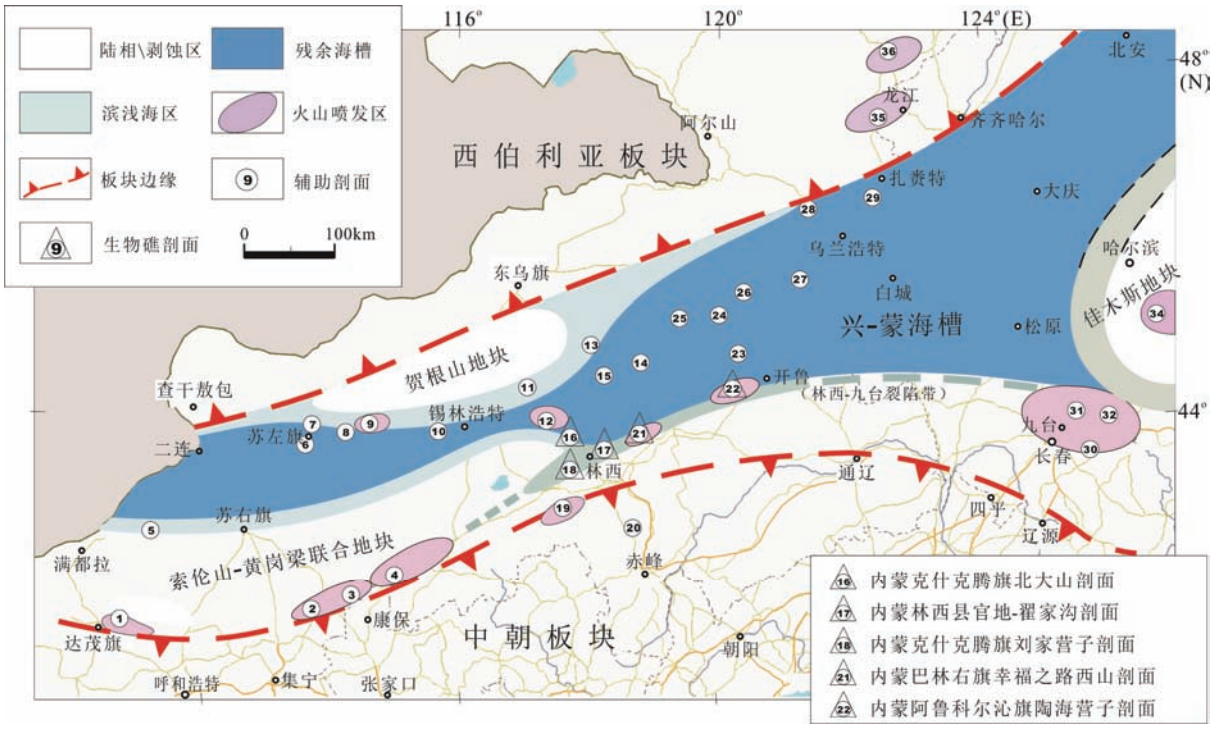

图 9　内蒙东部及邻区晚二叠世末期古地理略图和生物礁剖面位置

20~60cm，个别可达数米.

林西县及邻区晚二叠世生物礁与华南同期生物礁存在二点不同. 其一，前者出现在灰质细粉砂岩或粉砂屑泥质灰岩中，格架以充填细粉砂屑和灰泥为主，后者造礁生物寓于单一钙质灰泥中. 其二，前者以苔藓虫造礁为主，夹少量海绵丘状礁，而后者主要海绵造礁，珊瑚次之. 发育和保存的差异主要因为古气候和构造古地理环境不同. 林西县及邻区生物礁建造于温凉气候和板块边缘. 温凉气候使碳酸盐溶解度升高，碳酸盐析出减少，再加上板块边缘陆源碎

屑物质丰富, 就形成了砂屑和灰泥混合沉积. 而华南生物礁为温暖气候和陆表海碳酸盐台地造礁, 高温利于碳酸盐析出沉淀, 并且板块内部陆表海缺少碎屑物来源.

古气候条件推论主要来源于古生物地理分区资料(王鸿祯等, 1980). 苔藓虫为主造礁显示冷水条件, 属温凉气候的北方安加拉区; 而海绵-珊瑚为主造礁表现暖水条件, 属温暖气候的华南特提斯区. 林西及邻区生物礁内含少量海绵礁丘, 再次证实该区在晚二叠世处于两大古生物地理区的过渡带(黄本宏, 1993).

林西及邻区生物礁诸多特征表明, 兴-蒙海槽于中二叠世末期发生局部“碰合”后, 晚二叠世早期再次裂开. 沿内蒙正镶白旗-林西县-阿鲁科尔沁旗-吉林九台县, 发育一条EW向呈楔形延伸的海槽裂陷带(成果另文发表), 即林西-九台裂陷带. 晚二叠世晚期海槽裂陷带开始稳定抬升到闭合, 出现深水盆地-丘状礁缓坡陆棚边缘(林西组四段). 晚二叠世末期随着中朝板块推移加剧, 出现碎屑浅水盆地-台缘礁陡坡陆棚边缘环境(林西组五段), 海槽裂陷带最终闭合. 生物礁线状排列指示海槽裂陷带闭合时期中朝板块的北缘(图9).

致谢　中国地质科学院地质研究所刘桂芳研究员鉴定头足类化石, 中国地质科学院矿产资源研究所邢恩袁、王猛、吴菲蒙和蒋苏扬等参加野外工作, 在此一并致谢.

参考文献

陈建强, 周洪瑞, 王训练. 2004. 沉积学及古地理学教程. 北京: 地质出版社. 1–278

范嘉松, 主编. 1996. 中国生物礁与油气. 北京: 海洋出版社. 1–329

高联达. 2008. 山西晚二叠世微古植物-孢子花粉组合基本特征. 地球学报, 29: 18–30

巩恩普, 张永利, 关长庆. 2013. 中国地质历史中的生物礁. 冯增昭主编: 中国沉积学(下). 北京: 石油工业出版社. 1118–1219

顾国寅, 胡泽瑾. 1982. 林西组地层特征及时代. 内蒙古区域地质, 10: 28–34

何镜宇, 孟祥化. 1987. 沉积岩和沉积相模式及建造. 北京: 地质出版社

和政军, 刘淑文, 任纪舜, 王 瑜. 1997. 内蒙古林西地区晚二叠世-早三叠世沉积演化及构造背景. 中国区域地质, 16: 403–409

和政军, 刘淑文, 王瑜, 任纪舜. 1998. 内蒙古巴林右旗三叠纪化石的新发现. 地层学杂志, 22: 293–295

贺克尔 P H, 雅布隆斯基 D. 1989. 生物礁及其他碳酸盐建隆. 见: 古生物学百科全书(下册). 何心一, 译. 北京: 地质出版社. 804–821

黄本宏. 1993. 大兴安岭地区石炭、二叠系及植物群. 北京: 地质出版社. 1–141

金玉玕, 尚庆华, 侯静鹏, 李莉, 王玉净, 朱自力, 费淑英. 2000. 中国地层典——二叠系. 北京: 地质出版社. 75–101

穆西南. 1981. 贵州西部上二叠统的钙藻化石. 古生物学报, 20: 33–48

内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报, 第25号. 北京: 地质出版社. 1–697

田树刚, 范嘉松. 2002. 东昆仑早-中二叠世生物礁建造特征. 地质学报, 76: 145–154

田树刚, 张永生, 王俊涛, 牛绍武. 2011. 兴安-内蒙古地区晚古生代生物礁及其构造和油气意义. 中国科学: 地球科学, 41: 493–503

田树刚, 李子舜, 王俊涛, 詹立培, 牛绍武. 2012. 内蒙古东部及邻区石炭纪-二叠纪构造地层格架与形成环境. 地质通报, 31: 1554–1564

王鸿祯, 主编. 1985. 中国古地理图集. 北京: 地图出版社. 1–143

吴亚生. 1991. 广西隆林祥播中二叠世生物礁的钙藻化石. 古生物学报, 30: 750–767

杨桂林. 1991. 赤峰北部白音勿拉-碧流台地区上二叠统“林西组”地层特征及时代的初步探讨. 内蒙古地质, 2: 9–18

杨敬之, 胡兆珣. 1962. 中国的苔藓虫. 中国各门类化石. 北京: 科学出版社. 1–89

杨敬之, 陆麟黄. 1965. 苔藓虫化石. 北京: 科学出版社. 1–174

张永生, 田树刚, 李子舜, 宫月萱, 邢恩袁, 王卓卓, 翟大兴, 曹洁, 苏奎, 王猛. 2013. 兴蒙地区二叠系乐平统林西组上部发现海相化石. 科学通报, 58: 3429–3439

赵金科, 梁希洛, 郑灼官. 1978. 华南晚二叠世头足类. 中国古生物志, 总字第154册. 1–194

Hoffman P. 1976. Stromatolite morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. Devel Sedimen, 20: 261–271

Rigby J K, Fan J S, Zhang W, Wang S H, Zhang X L. 1994. Sphinctozoan and Inozoan sponges from the Permian reefs of South China. BYU Geol Studies, 40: 43–109