

北方造山带内蒙古中、东部地区二叠纪放射虫的发现及意义

尚庆华

(中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008. E-mail: qhshang@jlonline.com)

摘要 华北北部边缘区的二叠纪地层过去多认为是海相浅水沉积。从内蒙古中部哲斯地区和东部锡林浩特地区二叠纪哲斯组泥岩中发现的放射虫化石等证据表明, 该区中二叠统主体应为深水海相沉积。北方造山带内蒙古中、东部地区中二叠世深水海相地层的确定, 进一步证实华北板块与西伯利亚板块的最终拼合至少发生在瓜德鲁普世末之后, 同时根据含放射虫地层的分布和相关生物群的古地理分区推断拼合的位置应位于贺根山蛇绿岩带以南的林西地区。

关键词 放射虫 二叠纪 内蒙古 北方造山带 深水沉积

华北板块与西伯利亚板块(蒙古微板块)碰撞形成的中国北方造山带, 属巨型中亚造山带(CAOB)的东南部分, 长期以来一直是研究华北北缘构造演化历史的关键地区。

有关华北板块与西伯利亚板块之间俯冲碰撞的时间, 缝合带的具体位置, 板块及微板块(或岛弧)的渐次拼贴过程历来争议颇多^[1-8]。根据构造体系、地层层序和生物地理区系的不同, 传统的大地构造分区倾向于将南部林西附近的蛇绿岩带作为两大板块的缝合带^[1,9,10]。由于超基性岩及岛弧型火山岩, 甚至洋中脊(MORB)型蛇绿岩的发现, 一些地质学家推断缝合带位于贺根山地区^[4,7,11,12]。而另一些学者通过构造演化分析认为最后的缝合带位于更北的南蒙古混杂带^[13-15]。有关板块拼合的时间也有中泥盆世^[2,5]、晚泥盆世至早石炭世^[3,16]、二叠纪与三叠纪之交^[1,4,6,8,17-19]以及中生代中期^[7]等观点。导致这些不同观点的原因一方面是由于造山带本身相当复杂, 野外露头局限, 同时也似为缺乏多学科的系统研究。例如, 迄今为止确定板块碰撞时代主要依据同位素测年的结果, 而可以指示古亚洲洋沉积的古生物及年代地层证据则很少^[20,21]。地层古生物资料的匮乏, 以及对一些重要地质历史时期, 尤其是晚古生代末期沉积环境认识的不一致性, 阻碍了对该区构造演化历史的深入了解。

本文作者在开展内蒙古二叠纪生物地层研究过程中, 从被广泛认为是海相浅水沉积的二叠纪哲斯组获得了指示较深水沉积环境的放射虫等化石。该发现为进一步了解内蒙古中部和东部地区中二叠世晚

期的沉积环境提供了新的信息, 并为探讨华北板块与西伯利亚板块拼合的时间及确定可能的缝合带的位置提供了新的依据。

1 采样位置及其地质背景

内蒙古中、东部地区二叠纪地层分布零散, 出露多不连续, 主要集中在达尔罕茂明安联合旗北部、苏尼特左旗北部、锡林浩特市东部、西乌珠穆沁旗以及林西等地(图 1)。其中尤以中二叠统的哲斯组分布最广, 代表一套“以碎屑岩为主, 夹灰岩透镜体”的沉积。由于哲斯组的命名地点哲斯敖包主体是厚层灰岩, 含有丰富的腕足类、珊瑚、筴类、海绵等浅海相生物群, 为人们确定哲斯组的时代和沉积环境提供了较充分的证据, 多数研究者认为其代表了浅水的沉积环境^[22-28]。事实上, 迄今为止已知的哲斯组古生物化石均产自碎屑岩所夹灰岩透镜体、薄层灰岩以及钙质砂岩中, 鲜有来自泥页岩的化石信息。由于泥页岩层中古生物化石的匮乏, 虽然其在内蒙古各地哲斯组地层中占据很大的比例, 却一直未开展较深入的研究。这种忽视导致了哲斯组沉积环境认识的偏差。本文报道的二叠纪放射虫化石正是产自泥页岩相的哲斯组地层。

1.1 内蒙古中部地区

内蒙古达尔罕茂明安联合旗满都拉苏木的哲斯敖包是二叠纪哲斯组的命名地, 产非常丰富的海相生物化石。早在 20 世纪 30 年代初 Grabau^[23]就曾对该区地层和其中的腕足动物化石进行了较详细的描述, 20 世纪 70~80 年代多家研究单位对这套碎屑岩夹灰岩沉积地层及所含生物群进行了较系统的研究^[24,27,28]。近

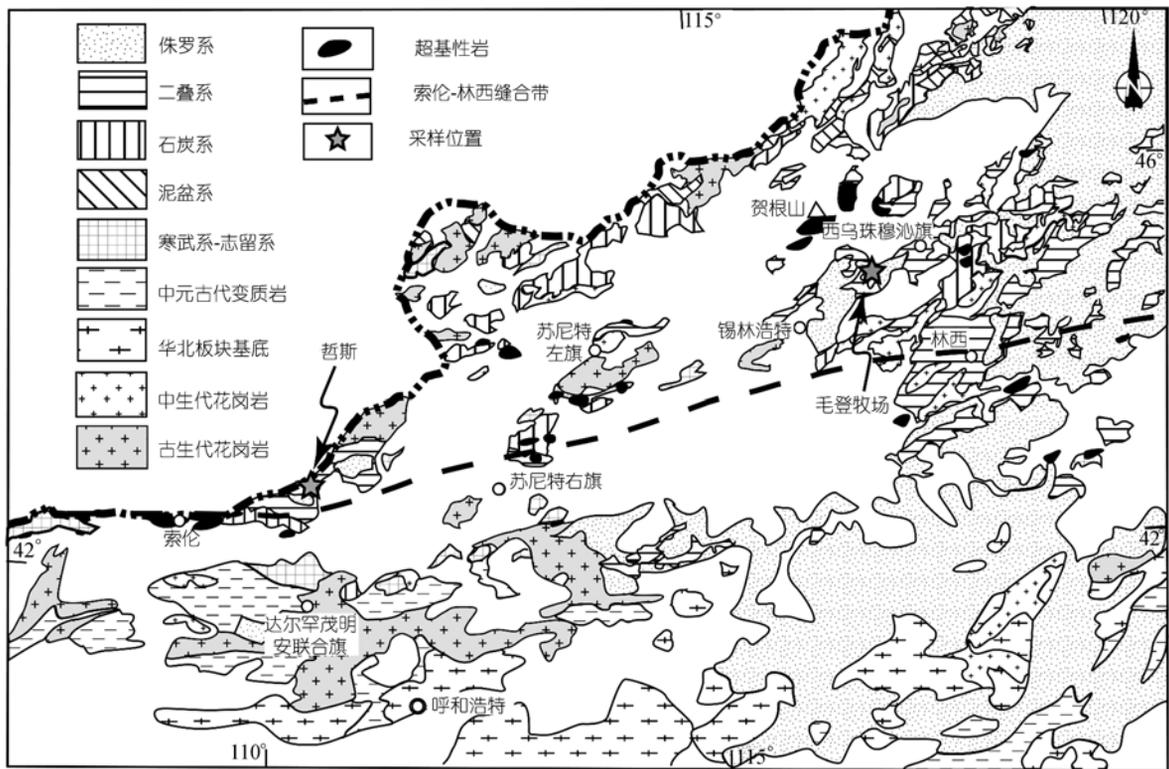


图 1 内蒙古中东部地质简图(修改自文献[1, 22])和二叠纪放射虫采样位置

些年有关该区的研究,除地层古生物学外,还涉及了沉积环境和古地理等[25,26,29]。由于构造复杂,岩层之间多为断层接触,加之地表覆盖严重,关于该区地层的划分和对比、砂—泥岩互层的碎屑岩与厚层灰岩的层位关系以及沉积环境等一直未取得共识。

内蒙古中部的采样点位于哲斯敖包北部约 1000 m 处的洼地(N42°39'50"; E110°18'33")。虽然该区地势平坦、植被茂盛,但在一些冲沟处仍可见出露较好的韵律状互层的砂岩-泥岩,同时夹数层薄层状砂屑灰岩和生物碎屑砂岩。主体沉积层为近东西向延伸,并以高角度向北倾,局部可见小型褶皱及断层。一些露头处可见零星分布的块状生物碎屑灰岩。这些灰岩块体含大量珊瑚、腕足类、苔藓虫、软体动物和瓣类化石等,多为典型的造礁生物分子,时代为二叠纪中期的茅口亚世[24,29]。由于野外观察和认识的不同,有关哲斯敖包北部的这套砂泥岩夹薄层灰岩地层曾相继被确定为哲斯(哲斯洪格尔)组上部[23,30,31]、三面井组[27]、义和乌苏组[24]和布勒格组[29]。对其沉积环境有近岸开阔浅海[25,26]和快速补偿型断陷凹地(rapid compensated subsidence)[29]等不同的结论。

1.2 内蒙古东部地区

采样点位于内蒙古锡林浩特市东北部的毛登牧场一分场(E116°33'49"; N44°09'03")。该区哲斯组泥页岩夹砂岩沉积地层发育于火山岩之间,且上下与火山岩接触关系不明。过去曾将其做为火山岩夹层与火山岩一同归为二叠纪达里诺尔组。岩石地层清理时,将这套碎屑岩单独划归哲斯组[31]。

沉积岩层主体向南倾,以页岩为主。下部为含硅质泥岩结核的页岩,向上结核数量变少,且主体由页岩层逐渐过渡为粉砂岩夹页岩,最上部为粗碎屑砂岩。岩层片理化强烈,石英脉非常发育。岩层出露的总体厚度约 200 m。页岩所含硅质泥岩结核中产菊石 *Daubichites* sp.等,其面貌与阿巴嘎旗红格尔庙哲斯组菊石动物群相同,时代为二叠纪茅口亚世[22]。野外工作中发现,硅质泥岩结核中不仅保存了许多菊石内模化石,同时富含放射虫。

2 放射虫化石的产出层位、保存状况及时代

2.1 内蒙古中部地区

内蒙古达茂旗哲斯地区所发现的放射虫化石,

主要产于哲斯组生物屑砂岩所含泥质团块和泥岩层所含钙质泥岩结核中。实测剖面上可观察到十余个由泥岩和生物碎屑砂岩构成的旋回。生物碎屑砂岩位于旋回的底部，厚10~30 cm，多为单层沉积。它与砂屑灰岩常常较难区分，岩性变化通常是渐变的。风化面上可见粒径较粗的由生物骨屑构成的颗粒，骨屑有海绵、苔藓虫、腕足类等多个门类。近半数的生物屑砂岩中夹杂着泥质团块。这些团块大小不等(最大的可达15 cm宽)、次棱角状，分布无规律。其主要由微晶质的粘土矿物和隐晶质的火山灰组成，含有分散保存的放射虫及海绵骨针等。

层序上部的一些页岩中常发育有钙质泥岩结核，这些结核含有与上述泥岩团块所含生物门类相同的微体化石，但页岩本身未发现任何化石。

标本经氢氟酸处理后，从泥岩团块和结核中获

得了放射虫、海绵骨针和少量有孔虫类的实体化石，但它们保存均非常差。放射虫主要以球型类型为主，含*Hegleria mammilla* (Sheng et Wang), *Hegleria* sp., *Entactinosphaera?* sp., *Staurolonche?* sp.以及*Ishigaum?* sp., *Pseudoalbaillella?* sp. 等(图2)。其中*Hegleria mammilla* (Sheng et Wang) 主要分布于中二叠世晚期地层中，常见于华南二叠纪孤峰组、北美西部Texas和Oregon、意大利西西里岛、泰国东南部等地的瓜德鲁普统硅质岩中，同时它也是西拉木伦河北部蛇绿岩带中发现的中二叠世放射虫动物群的主要分子^[21]。其它属种虽然地质时代分布较长，但主要以二叠纪最为常见。根据放射虫生物群本身指示的地质年代，同时结合同层砂屑灰岩产出的大量茅口亚世苔藓虫、腕足类和筴类^[24,29]，可以确定该放射虫动物群的时代为二叠纪茅口亚世。

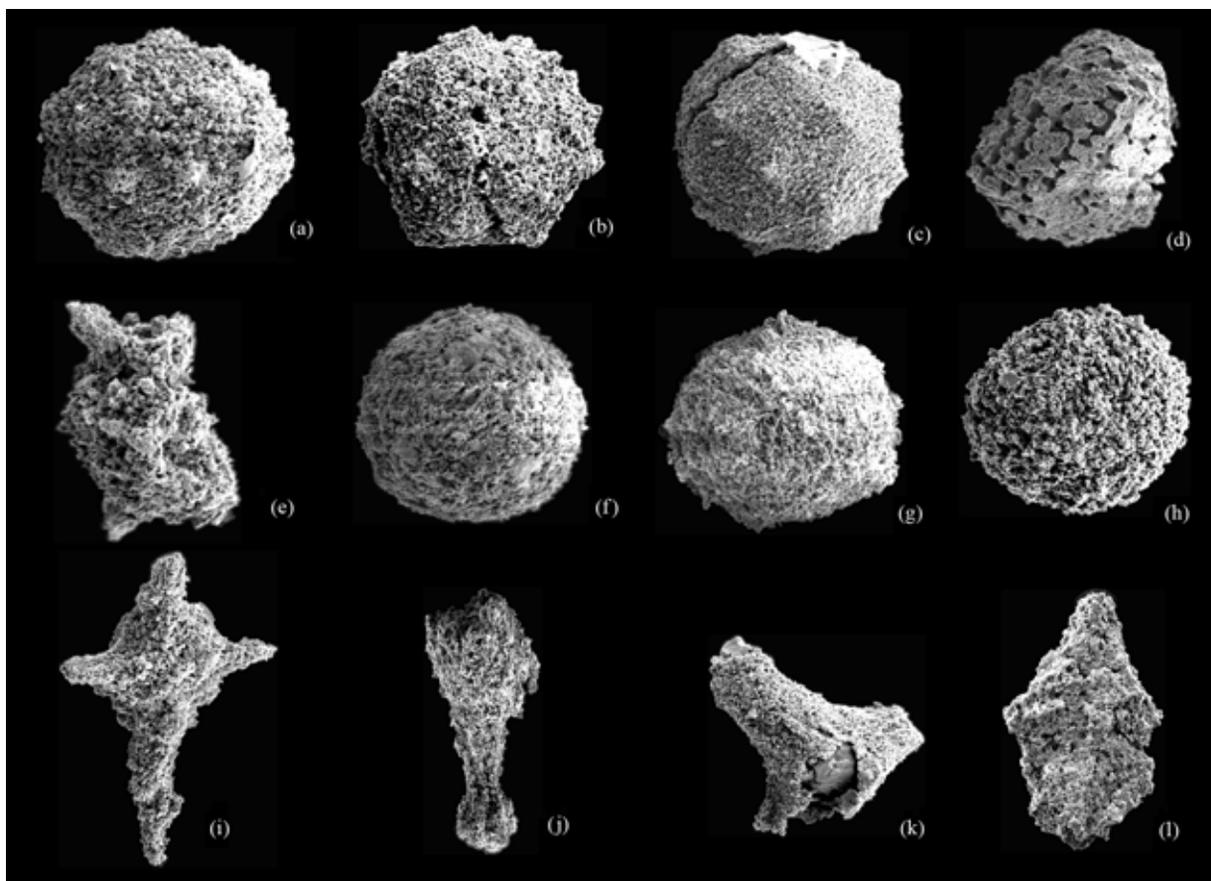


图2 内蒙古达茂旗哲斯敖包北部哲斯组放射虫化石

(a) *Hegleria mammilla* (Sheng et Wang), $\times 120$. (b), (c) *Hegleria?* sp. (b) $\times 120$, (c) $\times 100$. (d), (f)~(h) *Radiolaria incertae sedis*, (d) $\times 210$, (f) $\times 180$, (g) $\times 170$, (h) $\times 200$. (e) *Entactinosphaera?* sp., $\times 160$. (i) *Staurolonche?* sp., $\times 200$. (j), (k) *Ishigaum?* sp. (j) $\times 240$, (k) $\times 220$. (l) *Pseudoalbaillella?* sp., $\times 170$

2.2 内蒙古东部地区

锡林浩特市东北部毛登牧场二叠纪哲斯组地层中的放射虫化石也是首次发现。放射虫化石主要产于硅质泥岩结核中，丰度非常高，但由于受后期成岩作用的影响和改造，其保存非常差。化石种类主要以球型为主。样品在实验室用氢氟酸处理后，获得大量无壳饰的球型分子，多数无法鉴定，仅少数似为 *Copiellintra?* sp., *Copicyntra?* sp., 同时也发现少量无法鉴定到种的假阿尔拜虫类(*Pseudoalbaillella*) (图 3)。岩石薄片显微镜下观察，放射虫多被交代溶蚀，只保留外壳层，壳饰和内部结构多被破坏。除菊石外，与放射虫化石伴生的有少量海绵骨针和有孔虫，但也大多被后期交代溶蚀，无法鉴定。假阿尔拜虫主要见于世界各地的早中二叠世地层中，它的存在从放射虫方面证明该套地层的地质时代不会晚于中二叠世

晚期。结合伴生的菊石化石，该放射虫动物群的时代也应为二叠纪茅口亚世。

3 讨论

3.1 哲斯组的沉积环境

内蒙古二叠纪地层过去一直被认为是一套浅海相沉积。中部哲斯地区和东部锡林浩特地区二叠纪哲斯组地层中放射虫化石的相继发现，为我们重新认识哲斯组的沉积环境提供了新的证据。

有关放射虫的指相意义，已有许多专家讨论过 [32,33]。富含放射虫的岩石可以沉积在沿岸盆地、大陆边缘、大陆斜坡、浅水和深水洋盆等多种环境。其指示的沉积深度虽没有以前人们所认为的那样深(大于 3000 m)，但现生的证据表明放射虫岩沉积盆地的深度一般至少大于 300~500 m [33]。此次发现的放射虫，均保存在泥质结核或团块中，相伴生的仅有海绵

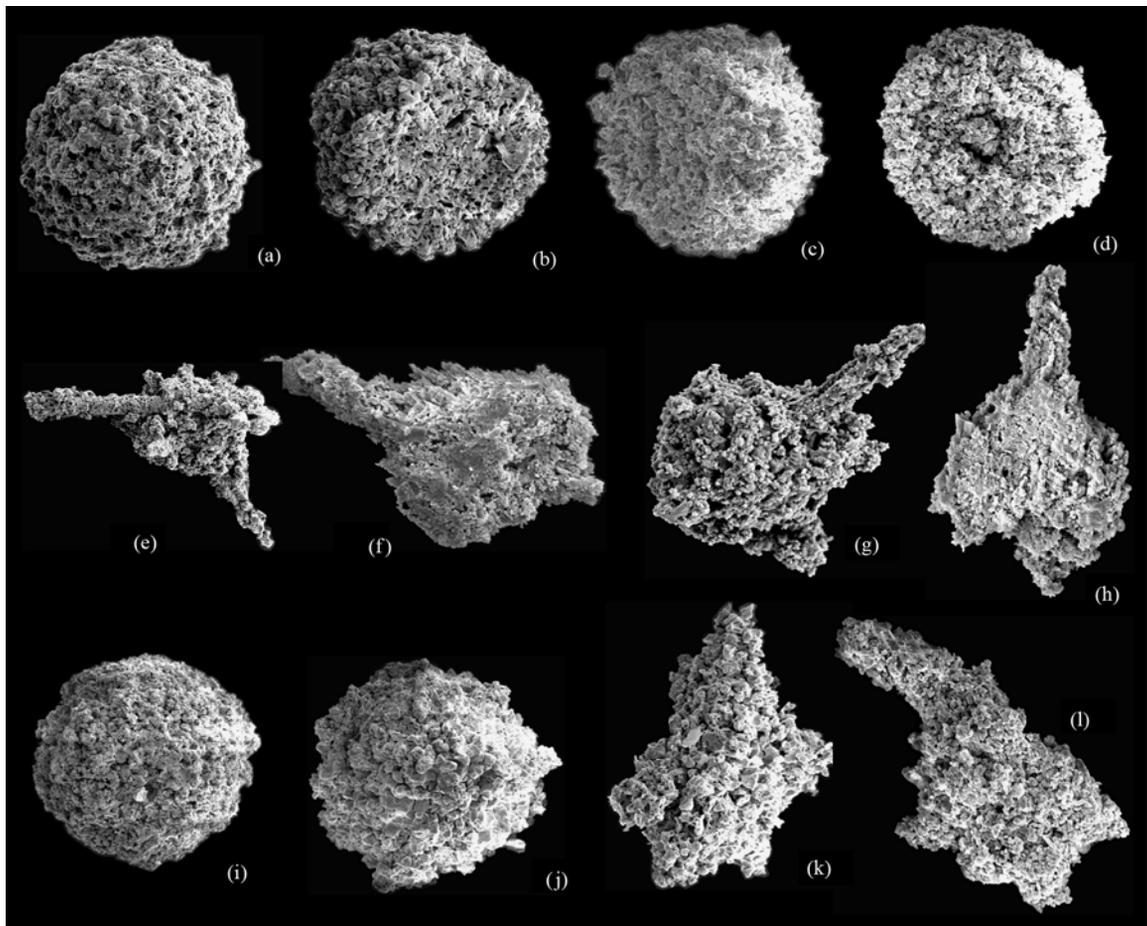


图 3 内蒙古锡林浩特毛登牧场哲斯组放射虫化石

(a)~(e), (i), (j) *Radiolaria incertae sedis*, (a) × 180, (b) × 150, (c) × 180, (d) × 250, (e) × 280, (i) × 150, (j) × 230. (f) *Copiellintra?* sp., × 300. (g), (h) *Copicyntra?* sp. (g) × 250, (h) × 300. (k), (l) *Pseudoalbaillella* sp. (k) × 240, (l) × 230

骨针、菊石及少量有孔虫类,它们均是漂浮或游泳的分子,可以出现在多种环境中。与之相反,在哲斯等地浅海相生物碎屑大量富集的灰岩透镜体中,从未发现任何的放射虫分子。因此,两者应形成于不同的沉积环境,含放射虫的碎屑岩相哲斯组应该沉积于较深水的陆缘盆地或大陆斜坡。

哲斯敖包北部的哲斯组,页岩与生物碎屑砂岩呈韵律状互层,递变层理发育。从岩石薄片上观察,生物碎屑砂岩中生物骨屑占40%~50%,生物种类有海绵、苔藓虫、腕足类等,没有分选,杂乱堆积,室腔内多充填泥质物质。生物骨屑间主要充填着石英(单体或复体)颗粒,其次为长石,少量方解石、火山岩屑颗粒,分选较差,次棱角状。岩石结构基本上是颗粒支撑,局部为泥质胶结。包含在生物碎屑砂岩中的泥质团块,大小不等、次棱角状,数量很多但分布无规律。泥岩主要由微晶质的粘土矿物和隐晶质的火山灰组成,除含有分散保存的放射虫外,尚有海绵骨针等。生物化石碎屑的保存状态及门类构成表明,该生物碎屑砂岩是由多种物源的外来物质经过搬运后快速堆积而成,可能是海底浊流成因。海绵、苔藓虫、腕足类等生物碎屑来源于浅水的生物礁;石英、长石、火山碎屑物质来源于大陆或火山岛弧。含放射虫的泥岩团块,应来源于深水沉积的泥岩层。

根据野外的观察,哲斯敖包北出露的大部分灰岩块体多是经过搬运的外来体。这些灰岩体大小不等、形状各异,多含大量珊瑚、苔藓虫、腕足类等生物化石。灰岩附近可见一些角砾岩块,岩性组成既有灰岩也有砂岩^[28]。所有这些表明,这些灰岩块和角砾岩块也是再沉积的。哲斯敖包北部的深水相砂页岩地层与哲斯敖包厚层灰岩应为同期异相沉积,它们可能由于构造原因混杂在一起。

毛登牧场的哲斯组未见灰岩夹层或灰岩透镜体,页岩中递变层理发育,由粉砂岩至页岩构成多个韵律旋回。化石除放射虫外,尚有菊石、有孔虫和海绵骨针。虽然具体的沉积学、岩石学工作还有待于进一步深入,但根据古生物化石所指示的环境特征可以初步认为这套地层应代表较深水沉积。此外,我们还在西乌珠穆沁旗西部发现,该地区出露的哲斯组硅质岩均为海绵骨针硅质岩。虽然海绵骨针硅质岩所指示的海水深度要浅于放射虫硅质岩,但多沉积于陆棚边缘或大陆斜坡的位置。

内蒙古中、东部地区二叠纪地层野外观察、岩石

薄片分析及放射虫的发现表明“哲斯组”形成于多种沉积环境,具有构造混杂堆积的特点,因此不能仅用传统地层学的方法来分析和研究。

3.2 二叠纪中期深水相地层发现的大地构造意义

内蒙古二叠纪中期深水沉积地层的发现,为研究华北北缘的构造演化提供了新的证据。由于过去研究者认为内蒙古中二叠世地层是一套浅海相或海陆交互相沉积,中、上二叠统及其下部的晚古生代地层常被解释为板块拼合后的浅海沉积盖层或磨拉石建造^[2,3,5,34,35]。如锡林浩特东部的石炭系~二叠系砂岩、页岩、灰岩和火山岩地层,许靖华等人^[15]认为是一套磨拉石沉积,代表了碰撞后前陆盆地中最老的沉积物,并由此认为苏尼特左旗弧与华北板块的碰撞发生在晚泥盆世或早石炭世。Wang等人^[1]虽然提出了索伦-林西蛇绿岩带为二叠纪末闭合的最终缝合带,但基于当时的认识,只能描述该缝合带西部的中二叠统为海相磨拉石建造,不整合覆盖于中上石炭纪之上,而东部的中二叠统则为复理石沉积。由此可见,关于中二叠统沉积环境的认识,在很大程度上影响了人们对该区构造演化历史的分析结果。

北方造山带二叠纪含放射虫深水沉积的发现,证明直至二叠纪瓜德鲁普世末(Guadalupian)古亚洲洋仍未封闭,即华北板块与西伯利亚板块的最终拼合应晚于二叠纪茅口亚世末。该结论同样得到构造、岩石、地球化学及同位素年代学的结果证实^[1,4,6,17-19]。Xiao等人^[8]根据安第斯型岩浆岩在晚二叠世的广泛分布,认为可能到二叠纪末古亚洲洋仍然存在。

哲斯组所含的生物群虽具有北方型和特提斯型混生的特点,但总体上主要以北方类型占优势。从生物古地理分区分析,内蒙古中、东部的二叠纪哲斯组所含的生物群应当发育于西伯利亚板块南缘。本文报道的二叠纪放射虫产地均分布于索伦至锡林浩特一线的北侧。索伦经苏尼特左旗至锡林浩特的索伦带(Solonker zone),曾被许多研究者确认为华北板块和西伯利亚板块的最后缝合线^[2,4,18]。但有关该缝合带东端的位置,至今仍有很大争议,是贺根山蛇绿岩带还是林西蛇绿岩带?根据此次在贺根山蛇绿岩带以南地区发现的二叠纪中期深水海相地层的分布,推测缝合线的位置应在锡林浩特的南部。由于在林西的西拉木伦河北岸蛇绿岩套硅质岩中曾发现了中二叠世远洋型放射虫^[21],因此华北板块与蒙古微板块之间的最后拼合带可能位于林西一带。这种构造

演化模式似乎更能合理地解释为什么早、中二叠世时西拉木伦河北侧的安加拉植物群和南侧的华夏植物群没有出现混生现象和过渡分子^[36,37].

4 结论

北方造山带内内蒙古中、东部地区二叠纪瓜德鲁普世晚期放射虫的发现表明,该时期华北板块与西伯利亚板块间仍存在深水盆地. 其从古生物学上进一步证实两大板块的最终拼合至少发生在瓜德鲁普世末以后. 同时,分布于索伦至锡林浩特一线的哲斯组深水沉积,指示了两大板块最后拼合的位置应位于贺根山蛇绿岩带以南的林西地区.

致谢 感谢内蒙古地矿局李文国高工和南京地质古生物研究所研究生李文忠协助完成野外工作. 感谢金玉珩院士对研究工作的精心指导. 本工作受国家重点基础研究发展规划项目(G2000077704)和国家自然科学基金(批准号:40102003)资助.

参 考 文 献

- 1 Wang Q, Liu X Y. Paleoplate tectonics between Cathaysia and Angaraland in Inner Mongolia of China. *Tectonics*, 1986, 5(7): 1073~1088
- 2 Tang K D. Tectonic development of Paleozoic foldbelts at the north margin of the Sino-Korean craton. *Tectonics*, 1990, 9(2): 249~260
- 3 邵济安. 中朝板块北缘中段地壳演化. 北京: 北京大学出版社, 1991. 1~136
- 4 Sengor A M C, Natal'in B A, Burtman V S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 1993, 363: 299~307[DOI]
- 5 徐备, 陈斌. 内蒙古北部华北板块与西伯利亚板块之间中生代造山带的结构与演化. *中国科学, D 辑*, 1997, 27(3): 227~232
- 6 Robinson P T, Zhou M F, Hu X F, et al. Geochemical constraints on the origin of the Hegenshan Ophiolite, Inner Mongolia, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 1999, 17: 423~442[DOI]
- 7 Nozaka T, Liu Y. Petrology of the Hegenshan ophiolite and its implication for the tectonic evolution of northern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 202: 89~104[DOI]
- 8 Xiao X J, Windley B F, Hao J, et al. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt. *Tectonics*, 2003, 1069: 1~21
- 9 任纪舜, 姜春发, 张正坤等. 中国大地构造和演化——1:400 万中国大地构造图简要说明. 北京: 科学出版社, 1980. 89~104
- 10 李春昱, 王荃. 我国北部边陲及邻区的古板块构造与欧亚大陆的形成. *中国北方板块构造文集(1)*. 沈阳: 中国地质科学院沈阳地矿所出版, 1983. 3~16
- 11 Zhang Z M, Liu J G, Coleman R G. An outline of the plate tectonics of China. *GSA Bull*, 1984, 95: 295~312
- 12 曹从周, 杨芳林, 田昌裂, 等. 内蒙古贺根山地区蛇绿岩和中朝板块和西伯利亚板块之间的缝合带位置. *中国北方板块构造论文集, 第 1 集*. 北京: 地质出版社, 1986. 64~86
- 13 Zonenshain L P, Kuzmin M I, Natapov L M. *Geology of the USSR: A Plate-tectonic synthesis*. American Geophysical Union, Washington DC, 1990. 1~242
- 14 Nie S Y, Rowley D B, Ziegler A M. Constraints on the locations of Asian microcontinents in Palaeo-Tethys during the Late Palaeozoic. In:

- McKerrow W S, Scotese C R, eds. *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*. Geological Society Memoir, 1990, 12: 397~409
- 15 许靖华, 孙枢, 王清晨, 等. 中国中生代大地构造相图(1:400 万). 北京: 科学出版社, 1996. 1~155
- 16 Hong D W, Huang H Z, Xiao Y J, et al. Permian alkaline aranytes in central Inner Mongolia and their geodynamic significance. *Acta Geol Sin*, 1995, 8: 27~39
- 17 Ruzhentsev S V, Pospelov I I, Badarch G. Tectonics of the Indosinides of Mongolia. *Geotectonics*, 1989, 6: 13~27
- 18 Chen B, Jahn B M, Wilde S, et al. Two contrasting paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and tectonic implications. *Tectonophysics*, 2000, 328: 157~182[DOI]
- 19 Badarch C, Cunningham W D, Windley B F. A new terrane subdivision for Mongolia: Implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 21: 87~110[DOI]
- 20 Yao A. Occurrence of Paleozoic radiolarians from eastern Inner Mongolia. In: Ishii K, Liu X Y, Ichikawa K, et al, eds. *Pre-Jurassic Geology of Inner Mongolia, China*. China-Japan Cooperative Research Group, 1991. 175~180
- 21 王玉净, 樊志勇. 内蒙古西拉木伦河北部蛇绿岩带中二叠纪放射虫的发现及其地质意义. *古生物学报*, 1997, 36(1): 58~69
- 22 内蒙古地质矿产局 (BGMIRM). 内蒙古自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1991. 189~223
- 23 Grabau A W. The Permian of Mongolia—a report of the Permian fauna of the Jisu Honguer limestone of Mongolia and its relations to the Permian of other parts of the world. New York: America Museum of Natural History, 1931. 1~665
- 24 丁蕴杰, 夏国英, 段承华, 等. 内蒙古哲斯地区早二叠世地层及动物群. *中国科学院天津地质矿产研究所所刊*, 10. 北京: 地质出版社, 1984. 1~44
- 25 刘鹏举, 郭伟. 内蒙古哲斯地区早二叠世地层的新认识. *世界地质*, 1998, 17(2): 1~5
- 26 王惠, 陈志勇, 杨万容. 内蒙古满都拉二叠纪海绵生物丘的发现及意义. *地层学杂志*, 2002, 26(1): 33~38
- 27 李良芳. 内蒙古达茂旗哲斯敖包早二叠世地层的研究. *长春地质学院*, 1980, 10(3): 21~32
- 28 夏国英. 内蒙古早二叠世含铀地层及分带. 见: *中国古生物学会第 12 届学术年会论文选集*. 北京: 科学出版社, 1981. 116~126
- 29 Leven, E Ya, Grunt T A, Lin Y D, et al. Upper Permian stratigraphy of the Zhesi Honguer area (North China). *Stratigraphy and Geological Correlation*, 2001, 9(5): 441~453
- 30 盛金章. 中国的二叠系. *全国地层学术报告汇编*. 北京: 科学出版社, 1962. 1~93
- 31 李文国, 李庆富, 姜万德. 内蒙古地区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 1~344
- 32 吴浩若. 放射虫岩及其地质意义. *国外地质*, 1986, 7: 1~4
- 33 De Wever P, Dumitrica P, Caulet J P, et al. Radiolarians in the Sedimentary Record. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 2001. 1~463
- 34 陈斌, 徐备. 内蒙古苏左旗地区中生代两类花岗岩类的基本特征和构造意义. *岩石学报*, 1996, 12(4): 546~561
- 35 高德臻, 蒋干清. 内蒙古苏尼特左旗二叠系的重新厘定及大地构造演化分析. *中国区域地质*, 1998, 17(4): 403~411
- 36 Huang B H. Biogeography of Late Paleozoic floras of Northeastern China. In: Ishii K, Liu X Y, Ichikawa K, et al, eds. *Pre-Jurassic Geology of Inner Mongolia, China*. China-Japan Cooperative Research Group, 1991. 159~174
- 37 黄本宏. 安加拉植物群在我国石炭纪、二叠纪的分布及其与华夏植物群的关系. 见: 李星学主编. *中国地质时期植物群*. 广州: 广东科技出版社, 1995. 174~189

(2004-05-24 收稿, 2004-09-02 收修改稿)