中国科学: 地球科学 2014 年 第 44 卷 第 10 期: 2238 ~ 2246
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文

西准噶尔伊尼萨拉蛇绿混杂岩中奥陶纪放射虫的发现及意义

纵瑞文[①], 王仔章[①], 龚一鸣[①*], 王国灿[②], 肖龙[②], 王志宏[①], 范若颖[①]

① 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 武汉 430074;
② 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 武汉 430074
* 联系人, E-mail: ymgong@cug.edu.cn

收稿日期: 2013-11-23; 接受日期: 2014-03-24; 网络版发表日期: 2014-09-23
新疆 1∶25 万铁厂沟镇幅(L45C002001)与克拉玛依市幅(L45C003001)区调修测项目(编号: 1212011120502)、国家自然科学基金项目(批准号: 41072252, 41290260)和高等学校博士学科点专项科研基金项目(编号: 20120145110012)资助

摘要 伊尼萨拉蛇绿混杂岩带位于西准噶尔谢米斯台山南侧, 由基性岩、超基性岩、硅质岩、大理岩(大理岩化灰岩)及火山碎屑岩组成, 均呈断片形式产出. 首次在硅质岩岩片中发现了丰富的放射虫和海绵骨针化石, 放射虫共 2 科 6 属(包括 1 未定属种): Inaniguttid gen. et sp. Indet., *Inanigutta* sp., *Inanibigutta* sp., *Inanihella bakanasensis* (Nazarov), *Triplococcus acanthicus* (Danelian et Popov), *Antygopora* sp., 所指示的时代为早奥陶世晚期-中奥陶世, 代表了伊尼萨拉蛇绿混杂岩带形成时代的上限; 硅质岩的结构、构造及其中的深水相化石表明蛇绿岩套发育在早寒武世-中奥陶世的古大洋环境中, 大洋的水深应在碳酸盐补偿深度面(CCD)之下. 形成时代的一致性, 支持将伊尼萨拉蛇绿混杂岩带、塔尔巴哈台蛇绿混杂岩带和洪古勒楞蛇绿混杂岩带连成一套统一俯冲增生杂岩系的可能, 并可以继续向东延伸至准噶尔东部. 早寒武世-中奥陶世, 准噶尔北部应存在一条贯通东西的古大洋.

关键词
西准噶尔
伊尼萨拉蛇绿混杂岩带
放射虫
奥陶纪
硅质岩

西准噶尔位于西伯利亚、哈萨克斯坦和塔里木三个板块的交汇处(张弛和黄萱, 1992), 是中亚古生代俯冲-增生复合造山带的主要组成部分(肖序常等, 1992; 李锦轶, 2004; 李锦轶等, 2006; 肖文交等, 2006). 区内出露塔尔巴哈台、洪古勒楞(洪古勒楞-和布克赛尔)、达尔布特(达拉布特)、克拉玛依、玛里鸦(玛里雅)、唐巴勒、玛依勒(玛依拉)、巴尔雷克等多条蛇绿混杂岩带(图 1(a)), 前人对此已做了大量的工作(冯益民, 1986, 1987; 白文吉等, 1986, 1995; 董守杰和王庆明, 1990; Jian 等, 2005; 徐新等, 2006; 朱永峰和徐新, 2006; 何国琦等, 2007; 朱永峰等, 2008; 辜平阳等, 2009; 张元元和郭召杰, 2010; 陈石和郭召杰, 2010; 张继恩等, 2010; 杨高学等, 2012), 这些蛇绿岩带均形成于古生代, 受后期构造变动的破坏较大, 大多数蛇绿岩带被强烈肢解, 并以蛇绿混杂岩的形式产出, 仅保存下来古洋壳残片的极小部分, 零星

中文引用格式: 纵瑞文, 王仔章, 龚一鸣, 等. 2014. 西准噶尔伊尼萨拉蛇绿混杂岩中奥陶纪放射虫的发现及意义. 中国科学: 地球科学, 44: 2238–2246
英文引用格式: Zong R W, Wang Z Z, Gong Y M, et al. 2014. Ordovician radiolarians from the Yinisala ophiolitic melange and their significance in western Junggar, NW China. Science China: Earth Sciences, doi: 10.1007/s11430-014-4974-5

分布在构造带附近, 而且出露很不完整, 有些甚至缺少典型的枕状熔岩及蛇纹岩(朱永峰和徐新, 2006), 这对确定蛇绿岩的形成时代以及蛇绿岩的对比连接带来了很大难度(张元元和郭召杰, 2010).

对于蛇绿岩形成时代的确定, 何国琦等(2000)认为, 蛇绿岩下部组分所给出的同位素年龄信息往往较为分散, 而蛇绿岩上部组分(伴生组分)的微体化石却能给出较集中的时代信息, 因此, 如果能将构造原因混入蛇绿岩带的所谓前蛇绿岩岩块和后蛇绿岩岩块剔除, 蛇绿岩上部组分所给出的时代, 可被认为是该蛇绿岩所代表的古洋形成和发育的上限时代. 其中, 蛇绿岩带硅质岩中的放射虫、牙形刺时代意义较重要, 可代表蛇绿岩带的形成时代及生成环境(霍有光和冯益民, 1990; 韩宝福和何国琦, 1993; 王玉净和舒良树, 2001), 这一方法已在蛇绿岩研究工作中得到广泛应用(肖序常等, 1992; 周辉等, 1998; Liu, 2001; 舒良树和王玉净, 2003; Liu 和 Hao, 2006; 何国琦等, 2007; 舒良树等, 2007).

2011 年进行 1∶25 万《铁厂沟镇幅》修测工作时在西准噶尔谢米斯台山南侧伊尼萨拉蛇绿混杂岩带硅质岩岩片中发现了丰富的放射虫化石, 限定了该混杂岩带的形成时代及生成环境, 并对西准噶尔地区蛇绿岩带的连接提出了新认识.

1　区域地质特征

伊尼萨拉蛇绿混杂岩带位于西准噶尔谢米斯台山南侧伊尼萨拉及查王陶盖勒一带(图 1(b)), 最先在 1:20 万《乌尔禾幅》区域地质调查报告中被当作华力西期中期(石炭纪)的超基性侵入岩[1)], 之后在一些文献内的西准噶尔蛇绿岩带分布图中, 虽将其当做蛇绿混杂岩带处理(白文吉等, 1995; 徐新等, 2006), 但对其形成时代及归属尚无人提及. 直到最近赵磊等(2013)才根据其中的辉长岩锆石 U-Pb 年龄认为其形成于早-中寒武世. 该混杂岩带呈近东西向的带状分布, 出露长度约 18 km, 最宽处近 2 km, 以断片方式侵位于志留系火山岩中, 该套火山岩在 1∶20 万《乌尔禾幅》中被划为中泥盆统呼吉尔斯特组[1)], 孟磊等(2010)和 Shen 等(2012)对其中的流纹岩进行锆石 U-Pb 测年, 结果为(422.5±1.9)~(411.2±2.9) Ma, 本次工作中对这套火山岩中的粗面质流纹岩、流纹岩和晶屑凝灰岩 3 个样品进行锆石 U-Pb 测年, 其加权平均年龄分别为(421.7±5.8), (428.3±6.2)和(436±13) Ma, 相当于志留纪兰多维列世-普里道利世. 蛇绿混杂岩带以南为中泥盆统呼吉尔斯特组及上泥盆统朱鲁木特组含陆相植物化石的砂砾岩组合、上泥盆统-下石炭统洪古勒楞组碳酸盐岩及碎屑岩组合, 受后期构造运动影响, 各地层单元之间均呈断层接触关系(图 1(b)). 蛇绿混杂岩南北两侧的火山岩地层具有很好的对比性, 在混杂岩带及志留系火山岩北部分布有与南侧相同的泥盆纪砂砾岩及泥盆-石炭纪碳酸盐岩, 说明伊尼萨拉蛇绿混杂岩带同西准噶尔地区大部分蛇绿混杂岩带一样, 在晚古生代不具备板块缝合线或地层分区界线的性质(冯益民, 1986; 陈石和郭召杰, 2010).

伊尼萨拉蛇绿混杂岩带中超基性岩、基性岩及放射虫硅质岩均有出露, 以断片(岩片)的形式产出, 由于后期构造-热事件的强烈改造, 很难在同一地点见到上述三类岩石. 实测剖面上除了枕状熔岩和辉绿岩墙外基本包含了蛇绿岩套中的各种组分, 主要类型有: 放射虫硅质岩、大理岩化灰岩(大理岩)、辉长岩、蛇纹岩; 除此之外, 作为蛇绿混杂岩带, 带内卷入了安山岩、安山玢岩、闪长岩、珍珠岩、碎裂化角闪花岗岩、蚀变角闪二长岩、蚀变绢云母化绿泥石化变粒岩、花岗糜棱岩、糜棱岩及凝灰质砂砾岩、凝灰岩、火山角砾岩等多种组分(图 2). 各组分间呈断层接触关系, 各岩片混杂堆积, 连续性较差(图 3(a)), 并有侵入岩和后期的火山碎屑岩的嵌入, 具有典型蛇绿混杂岩的特征, 与北疆甚至中亚地区的古生代蛇绿混杂岩带相似(何国琦和李茂松, 2000).

2　放射虫硅质岩特征及样品处理

伊尼萨拉蛇绿混杂岩带中的硅质岩均呈断片或构造透镜体的形式产出, 与其他岩片呈断层接触(图 1(b)和 3(c)). 在实测剖面上可见 4 段硅质岩岩片(图 2), 硅质岩呈紫红色, 少量呈浅灰绿色, 薄-中层状(图 3(b)), 岩石裂隙发育, 局部已发生轻微石英岩化. 对 4 段硅质岩均采集了放射虫样品, 每件样品重量约 2 kg, 部分样品在新鲜面上可见分布密集的浅灰色斑

1) 新疆维吾尔自治区地质局, 1979. 1∶20 万中华人民共和国区域地质调查报告《乌尔禾幅》. 11–16, 74–78

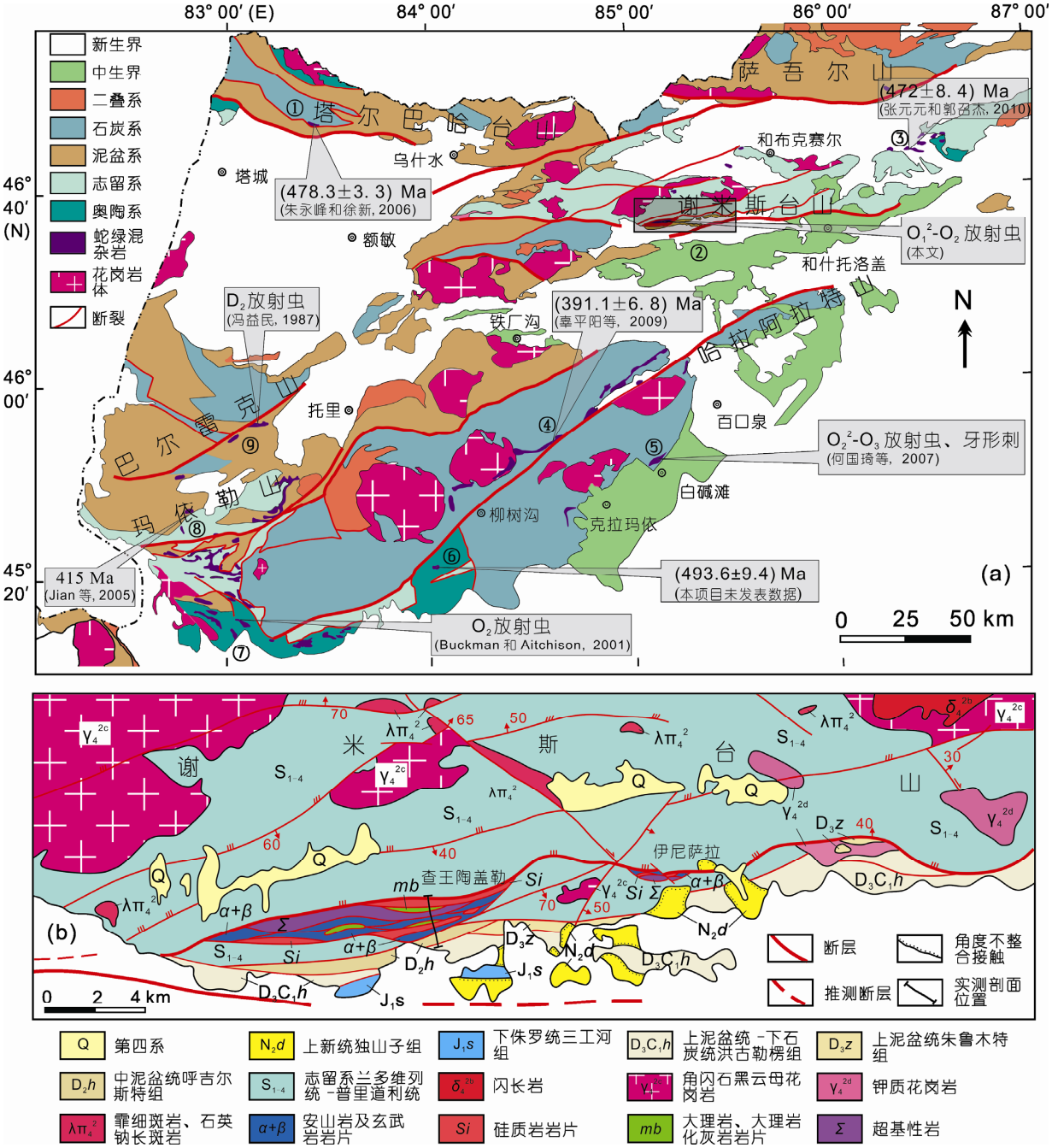

图 1　西准噶尔地区蛇绿混杂岩带分布与研究区位置图

(a) 据 1∶20 万地质图 [2], 董守杰等(1990), 徐新等(2006), 朱永峰等(2007)及 1∶25 万《克拉玛依市幅》和《铁厂沟镇幅》野外资料改编; (b) 据 1∶20 万《乌尔禾幅》地质图及 1∶25 万《铁厂沟镇幅》野外资料改编. ① 塔尔巴哈台山蛇绿混杂岩带; ② 伊尼萨拉蛇绿混杂岩带; ③ 洪古勒楞蛇绿混杂岩带; ④ 达尔布特蛇绿混杂岩带; ⑤ 克拉玛依蛇绿混杂岩带; ⑥ 玛里鸦蛇绿混杂岩带; ⑦ 唐巴勒蛇绿混杂岩带; ⑧ 玛依勒蛇绿混杂岩带; ⑨ 巴尔雷克蛇绿混杂岩带

2) 新疆维吾尔自治区地质局(地质矿产局). 1966~1986. 1∶20 万中华人民共和国地质图《塔城幅》、《阿西勒幅》、《裕民幅》、《额敏幅》、《塔勒艾勒克幅》、《托里幅》、《博乐幅》、《艾比湖幅》、《塔克台幅》、《和布克赛尔幅》、《托斯特幅》、《白杨河幅》、《乌尔禾幅》、《夏子街幅》、《克拉玛依幅》

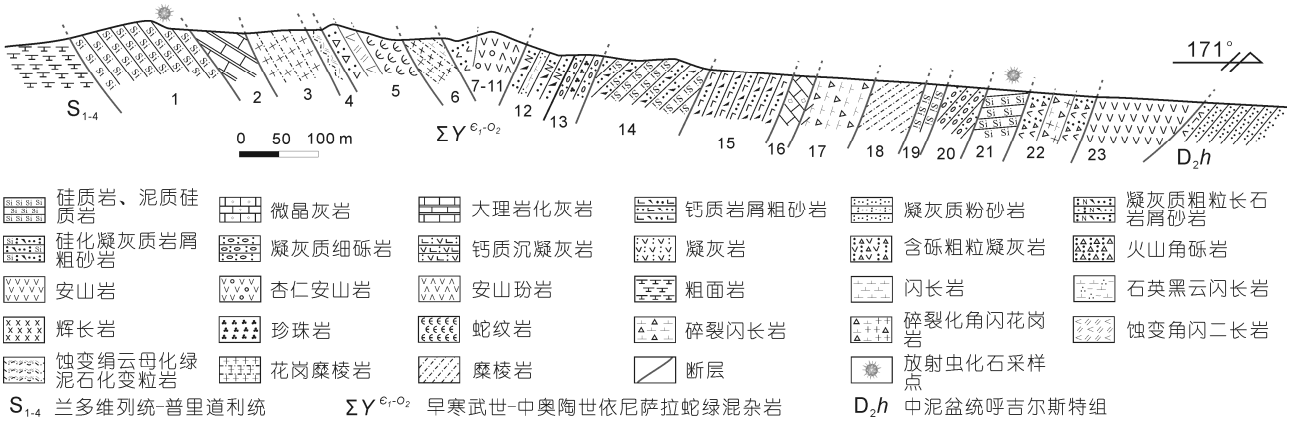

图 2　西准噶尔查王陶盖勒地区伊尼萨拉蛇绿混杂岩带实测地质剖面

点, 疑为放射虫化石. 经显微镜薄片观察, 在剖面第 1 层和第 21 层硅质岩(样品号: TP11-1-Ff, TP11-21-Ff)中发现大量圆形或近圆形物, 直径多在 0.05~0.25 mm 之间, 应为放射虫化石(图 3(d)~(f)), 遂对这 2 层的硅质岩样品采用氢氟酸酸泡处理. 其过程为: (1) 将硅质岩样品破碎成直径 1~3 cm 的碎块, 并放入盛有氢氟酸体积分数为 5%溶液的烧杯中, 浸泡 24 h 后将残液缓缓倒掉, 然后用清水将溶蚀下来的泥状物轻轻冲洗; (2) 如此反复 1 周, 直至溶蚀完原样, 将集中起来的泥状物用 300 目的洁净筛子淘洗, 最后烘干. 结果这两件样品均处理出来了丰富的放射虫及硅质海绵骨针化石, 其中样品 TP11-21-Ff 由于发生了重结晶作用, 放射虫内部构造未能很好保存, 无法鉴定其属种名称; 样品 TP11-1-Ff(采样点 GPS: 46°33′57″N, 85°12′10″E)中的放射虫保存较好, 结构特征明显.

3　放射虫化石组合与时代讨论

对处理好的放射虫化石进行扫描电子显微镜照相及鉴定, 共包括 Inaniguttid gen. et sp. Indet., *Inanigutta* sp., *Inanibigutta* sp., *Inanihella bakanasensis* (Nazarov), *Triplococcus acanthicus* (Danelian et Popov), *Antygopora* sp., 与放射虫共生的还有大量六射海绵骨针 Hexactinellida (图 4). 该放射虫动物群分异度较低, 由 2 科 6 属(包括 1 未定属种)组成, 主要以棒状主刺发育的 Inaniguttidae 科为主, 其面貌与哈萨克斯坦的 Arenigian-Llanvirnian 期(Floian-Darriwilian 期)、我国宁夏同心县克里摩里组 Llanvirnian 期(Darriwilian 期)及甘肃平凉地区平凉组的放射虫动物群较为接近, 其中 *Inanigutta*, *Inanibigutta* 和 *Inanihella* 属最为重要, 前两个属在世界上主要见于奥陶-志留纪, 我国华北地区主要产在奥陶纪(何世平等, 2004), *Inanihella* 是奥陶纪常见的属, 在我国宁夏同心县、甘肃平凉县、北秦岭及哈萨克斯坦的奥陶纪地层中都有过报道(王玉净, 1991; Wang, 1993; 崔智林等, 2000; Danelian 和 Popov, 2003), 模式种 *Inanihella bakanasensis* 见于哈萨克斯坦 Arenigian 早期(Floian 期)地层(Danelian 和 Popov, 2003)及我国宁夏同心县克里摩里组 Llanvirnian 期 *Amplexograptus confertus* 笔石带(Darriwilian 期)中(王玉净, 1991). *Triplococcus* 是 Danelian 等(2003)建立的新属, 其模式种 *Triplococcus acanthicus* 仅在哈萨克斯坦 Akzhal 山脉奥陶纪 Arenigian 早期(Floian 期)地层中有过报道(Danelian 和 Popov, 2003), *Antygopora* 属是 Maletz 等(2005)以斯匹次卑尔根群岛 Svalbard 地区下奥陶统顶部 *Didymograptellus bifidus* 笔石带内的放射虫材料建立的新属, 随后在同一地区的早-中奥陶世的地层中(Maletz 和 Bruton, 2007, 2008)及加拿大纽芬兰岛早奥陶世地层中(Maletz, 2007)被大量发现. Inaniguttid gen. et sp. Indet. 虽难以鉴定到具体属种, 但与新疆西准噶尔中奥陶世晚期唐巴勒蛇绿混杂岩带中所发现的材料极为相似(Buckman 和 Aitchison, 2001). 综合判断, 伊尼萨拉蛇绿混杂岩带中放射虫硅质岩岩片的时代应为早奥陶世晚期-中奥陶世, 相当于 Floian 期至 Darriwilian 期.

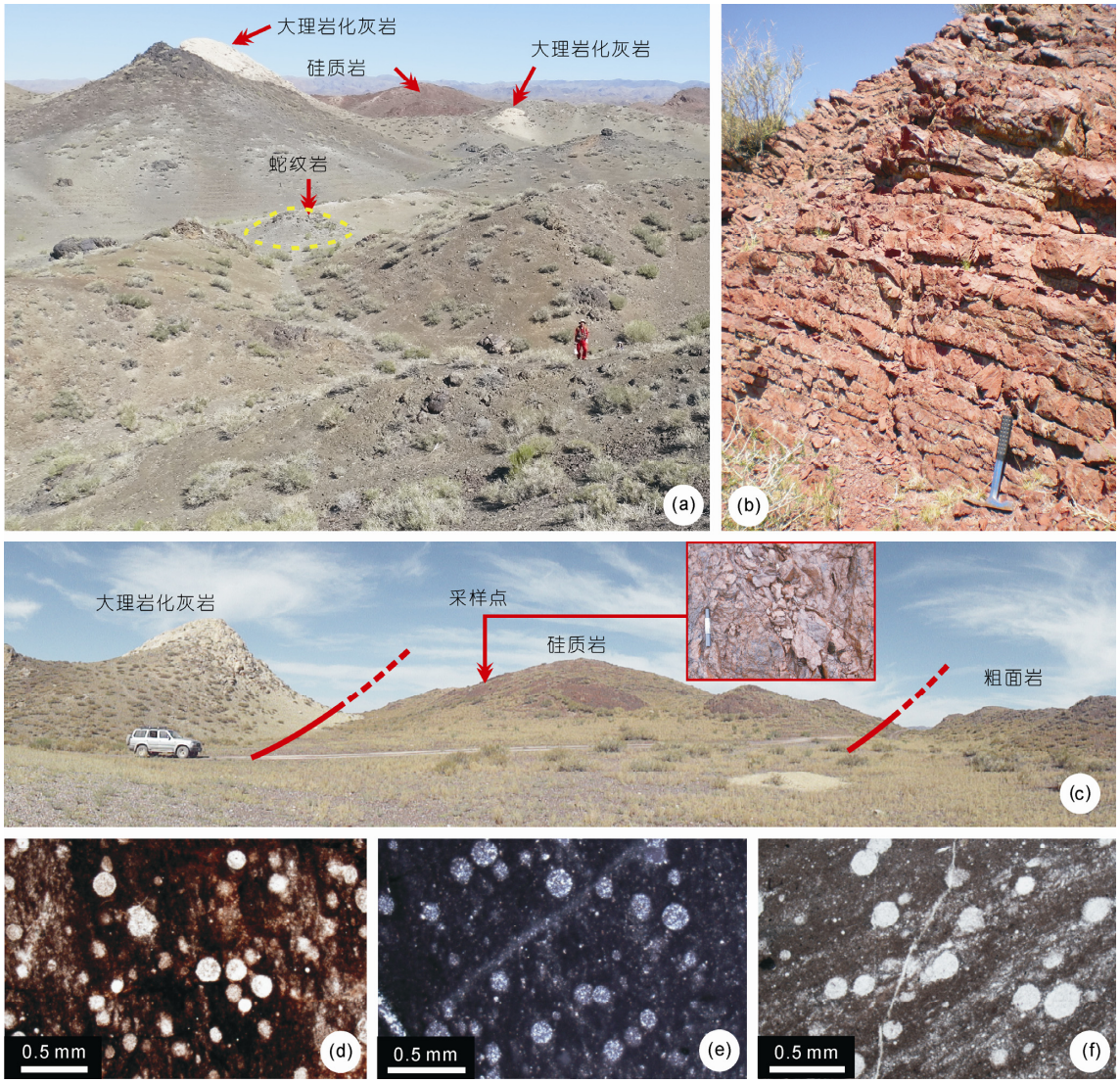

图 3　伊尼萨拉蛇绿混杂岩带及放射虫硅质岩特征

(a) 伊尼萨拉蛇绿混杂岩带野外露头景观; (b) 剖面第 21 层薄-中层状放射虫硅质岩; (c) 硅质岩的产状及放射虫采样点; (d), (e) 剖面第 1 层硅质岩薄片中的放射虫化石((d)为单偏光镜下, (e)为正交偏光镜下); (f) 剖面第 21 层硅质岩薄片中的放射虫化石, 单偏光镜下

4　讨论

4.1　对伊尼萨拉蛇绿混杂岩带时代及古大洋性质的限定

对于用硅质岩中的微体化石来约束蛇绿岩形成时代的问题, 王玉净等(2001)认为只有紧贴在蛇绿岩套上部单元的枕状熔岩之上的放射虫硅质岩属于真正的洋壳残余, 才能代表蛇绿岩的形成时间; 何国琦等(2007)认为只有在与蛇绿混杂岩带变形程度一致的、强塑性变形的硅质岩岩块中采样, 才有可能获得反映蛇绿岩形成时代上限的微体古生物组合. 这两种意见对于组分齐全、“层序”完整的蛇绿岩较适合, 而对那些“原始层序”已被肢解破坏、缺少典型枕状熔岩的蛇绿混杂岩难以适用. 伊尼萨拉蛇绿混杂岩带即属于后一种情况, 由于受后期构造作用的影响, 各岩片均受到不同程度的变质变形, 原始的“基本层序”被构造肢解破坏, 各岩片混杂堆积, 同时又缺少典型的枕状熔岩, 因此难以采集到符合上述两种情况的放射虫硅质岩. 另外, 尽管剖面第 21 层中的放射虫由于重结晶作用难以鉴定到具体属种, 但其特

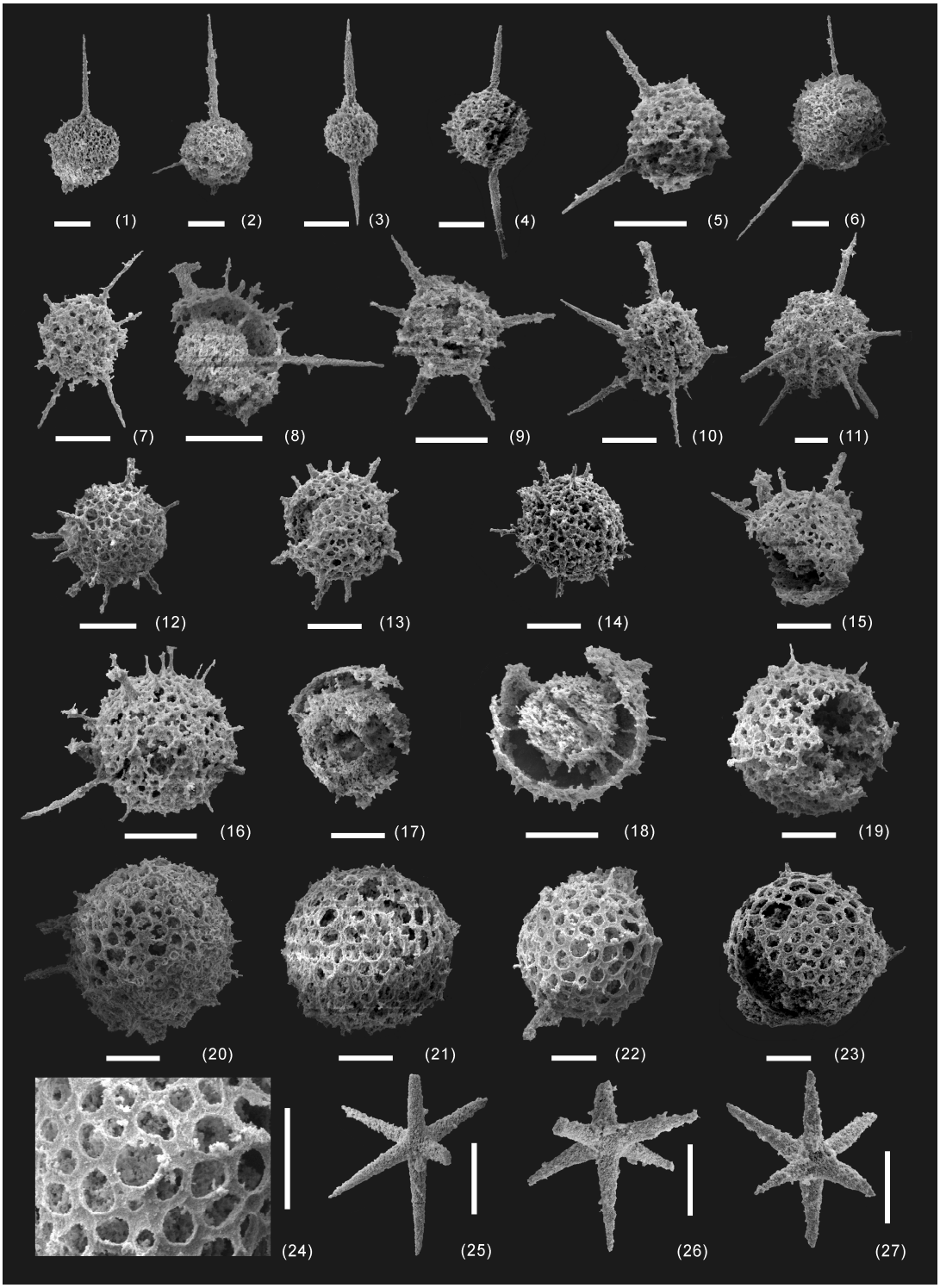

图 4　伊尼萨拉蛇绿混杂岩带硅质岩岩片中的放射虫及硅质海绵骨针化石

(1)~(6)示 Inaniguttid gen. et sp. Indet.; (7)~(11)示 *Inanibigutta* sp.; (12)~(18)示 *Triplococcus acanthicus* (Danelian and Popov); (19)~(21)示 *Inanihella bakanasensis* (Nazarov); (22)~(24)示 *Antygopora* sp., (24)为(22)的局部放大; (25)~(28)示海绵骨针 Hexactinellida. 所有标本均采自伊尼萨拉蛇绿混杂岩带剖面第 1 层紫红色硅质岩中, 标本保存在中国地质大学(武汉)地球科学学院, 线条比例尺长度均为 100 μm

征仍与第 1 层中的相似, 为棒状主刺发育的 Inaniguttidae 科, 说明了不同硅质岩片中的放射虫所指示的时代是相同的, 而且在邻区又无奥陶纪含放射虫硅质岩地层的分布(图 1). 这些证据表明伊尼萨拉蛇绿混杂岩带中的放射虫硅质岩岩片的时代可以代表蛇绿岩的形成上限时代, 其时代为早奥陶世晚期至中奥陶世.

伊尼萨拉蛇绿混杂岩带中的放射虫硅质岩多呈薄-中层状产出(图 3(b)), 层面平整, 可见水平层理, 无碎屑岩及碳酸盐岩夹层. 一般认为层状放射虫硅质岩形成于远离陆源区的 CCD 面附近或以下的深水环境(Jones 和 Murch, 1986), 可出现在大洋、岛弧、大陆边缘、深水裂陷等构造环境(崔智林等, 1995). 在镜下观察, 硅质岩呈隐晶-微晶结构, 无陆源碎屑及火山碎屑, 放射虫化石含量较高, 局部放射虫骨架相互支撑, 含量可达 75%以上, 类似于现在远洋放射虫软泥; 与放射虫共生的除了大量深水相的六射海绵骨针外, 未见任何钙质生物化石碎屑; 硅质岩中也缺乏任何浅水沉积标志. 以上证据均反映该硅质岩形成于碳酸盐补偿深度面(CCD)之下的深水环境. 结合赵磊等(2013)对其中的辉长岩进行锆石 U-Pb 测年的结果((517±3)~(519±3) Ma), 说明了伊尼萨拉蛇绿岩套发育在早寒武世-中奥陶世的古大洋环境中, 大洋具有相当的规模和水深, 属于中亚及天山地区新元古代裂解形成、晚古生代封闭的古亚洲洋(Xiao 等, 2003; 李锦轶等, 2006, 2011; Windley 等, 2007)的重要组成部分, 为古亚洲洋在西准噶尔地区的存在提供了确凿的古生物依据. 同时, 也说明了研究区陆壳破裂形成洋盆的时间应比早寒武世要早, 可能在寒武纪初期或新元古代末期就已经开始. 这一推论与准噶尔及邻区古陆在震旦纪开始裂解, 古洋经寒武纪至早奥陶世发展到最大规模的意见基本吻合(何国琦和李茂松, 2001).

4.2 与邻近蛇绿混杂岩带连接问题的讨论

准噶尔地区蛇绿混杂岩分布零散, 对不同的蛇绿混杂岩进行合理的对比连接将为准噶尔及邻区古生代构造格局的重建和区域构造的对比划分提供重要的材料. 何国琦等(2007)根据克拉玛依蛇绿混杂岩带中微体化石的时代, 认为可将唐巴勒、克拉玛依和洪古勒楞蛇绿混杂岩带连成一体, 它的南西段被北西走向的艾比湖右行走滑断裂所改造, 构成了北西走向的玛依拉蛇绿混杂岩带和从北西转为北东走向的唐巴勒蛇绿混杂岩带所组成的“L”形, 继续向北东延伸, 通过石奶闸(或称玛里鸦或玛里雅)和克拉玛依-白碱滩-百口泉, 最后与近纬向的成吉斯-塔尔巴哈台蛇绿混杂岩带相交于洪古勒楞地区; 张元元等(2010)通过对准噶尔北部塔尔巴哈台、和布克赛尔-洪古勒楞以及扎河坝-阿尔曼太蛇绿混杂岩的形成时代、区域地质以及地球物理特征等方面的综合对比研究, 认为它们是一条贯穿东、西准噶尔的蛇绿混杂岩带. 伊尼萨拉蛇绿混杂岩带位于塔尔巴哈台蛇绿混杂岩带与洪古勒楞蛇绿混杂岩带之间, 与洪古勒楞蛇绿混杂岩带的最近距离不到 40 km. 关于洪古勒楞蛇绿混杂岩带的形成时代, 白文吉等(1986)根据与蛇绿岩伴随的中奥陶世地层, 以及穿切堆晶岩的角闪玢岩中角闪石的 K-Ar 年龄值(410~412 Ma), 将蛇绿岩形成时代定为中奥陶世; 张元元等(2010)根据蛇绿岩中堆晶辉长岩的 SHRIMP U-Pb 定年, 得出辉长岩年龄为(472±8.4) Ma, 推断洪古勒楞蛇绿混杂岩形成时间为早奥陶世. 伊尼萨拉蛇绿混杂岩带的形成上限时代为早奥陶世晚期-中奥陶世, 与白文吉等(1986)、张驰等(1992)、张元元等(2010)所测得的洪古勒楞蛇绿混杂岩带的形成时代相一致, 且二者均构造侵位于早古生代的地层中, 可进行对比连接. 朱永峰等(2006)通过对塔尔巴哈台蛇绿混杂岩带中的蚀变辉长岩进行锆石 SHRIMP 年代学研究, 得出的结果为(478.3±3.3) Ma, 说明了塔尔巴哈台蛇绿岩套形成于早奥陶世. 因此, 本文认为伊尼萨拉蛇绿混杂岩带与洪古勒楞蛇绿混杂岩带、塔尔巴哈台蛇绿混杂岩带可以对比连成一套蛇绿混杂岩带. 该带向西可能与位于哈萨克斯坦的西塔尔巴哈台、札乌尔蛇绿混杂岩带相连; 向东与东准噶尔的扎河坝-阿尔曼太蛇绿混杂岩带相连(张元元和郭召杰, 2010). 可能构成了统一的早古生代增生杂岩带.

5 结论

(1) 首次在西准噶尔伊尼萨拉蛇绿混杂岩带硅质岩岩片中发现了丰富的放射虫化石, 所指示的时代为早奥陶世晚期-中奥陶世, 相当于 Floian 期至 Darriwilian 期, 代表了伊尼萨拉蛇绿混杂岩带的形成上限时代. 蛇绿岩套发育在早寒武世-中奥陶世已具

相当规模的古大洋环境中, 为古亚洲洋的重要组成部分; 研究区陆壳裂解成洋盆的时间应在早寒武世之前.

(2) 伊尼萨拉蛇绿混杂岩带与邻近的塔尔巴哈台蛇绿混杂岩带、洪古勒楞蛇绿混杂岩带的形成时代基本一致, 支持将三者连成一套统一俯冲增生杂岩系的可能. 早寒武世-中奥陶世, 准噶尔北部应存在一条横贯东西的古大洋.

致谢 感谢审稿专家提出的宝贵意见和建议. 参加野外工作的还有中国地质大学(武汉)地球科学学院杨维、张雷、阮佳萍、韩非等同学, 中国地质大学(武汉)冯庆来教授审核了放射虫化石鉴定名单, 特此致谢.

参考文献

白文吉, Robinson P, 杨经绥, 等. 1995. 西准噶尔不同时代蛇绿岩及其构造演化. 岩石学报, 11: 62–72
白文吉, 任有祥, 王书蓉, 等. 1986. 新疆洪古勒楞蛇绿岩的岩石学、矿物学和铬铁矿成因研究. 中国地质科学院地质研究所所刊, (14): 1–60
陈石, 郭召杰. 2010. 达拉布特蛇绿岩带的时限和属性以及对西准噶尔晚古生代构造演化的讨论. 岩石学报, 26: 2336–2344
崔智林, 华洪, 宋庆原. 2000. 晚奥陶世北秦岭弧后盆地放射虫组合. 地质学报, 74: 254–258
崔智林, 孙勇, 王学仁. 1995. 秦岭丹凤蛇绿岩带放射虫的发现及其地质意义. 科学通报, 40: 1686–1688
董守杰, 王庆明. 1990. 西准噶尔柳树沟西南玛里鸦蛇绿岩地质特征. 新疆地质, 8: 219–230
冯益民. 1986. 西准噶尔蛇绿岩生成环境及其成因类型. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, (13): 37–45
冯益民. 1987. 西准噶尔古板块构造特征. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, (18): 141–160
辜平阳, 李永军, 张兵, 等. 2009. 西准噶尔达尔布特蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年. 岩石学报, 25: 1364–1372
韩宝福, 何国琦. 1993. 利用硅质岩中的牙形石确定蛇绿岩的时代——对哈萨克斯坦蛇绿岩考察体会. 中国区域地质, 12: 167–172
何国琦, 李茂松. 2000. 中亚蛇绿岩带研究进展及区域构造连接. 新疆地质, 18: 193–202
何国琦, 李茂松. 2001. 中国新疆北部奥陶-志留系岩石组合的古构造、古地理意义. 北京大学学报(自然科学版), 37: 99–110
何国琦, 刘建波, 张越迁, 等. 2007. 准噶尔盆地西缘克拉玛依早古生代蛇绿混杂岩带的厘定. 岩石学报, 23: 1573–1576
何世平, 周会武, 姚文光, 等. 2004. 甘肃北山中泥盆统砾岩中放射虫的发现及其地质意义. 西北地质, 37: 24–28
霍有光, 冯益民. 1990. 西准噶尔放射虫硅质岩类型、环境及地质意义. 西北地质, 23: 1–7
李锦轶. 2004. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变. 地质论评, 50: 304–321
李锦轶, 何国琦, 徐新, 等. 2006. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨. 地质学报, 80: 148–168
李锦轶, 张进, 刘建峰, 等. 2011. 古亚洲洋构造域与北亚造山区: 定义、结构与演变. 中国地质学会 2011 年学术年会. 14–16
孟磊, 申萍, 沈远超, 等. 2010. 新疆谢米斯台中段火山岩岩石地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石学报, 26: 3047–3056
舒良树, 王博, 朱文斌. 2007. 南天山蛇绿混杂岩中放射虫化石的时代及其构造意义. 地质学报, 81: 1161–1168
舒良树, 王玉净. 2003. 新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫化石. 地质论评, 49: 408–412
王玉净. 1991. 中国古生代放射虫十年来研究的进展. 微体古生物学报, 8: 237–251
王玉净, 舒良树. 2001. 中国蛇绿岩带形成时代研究中的两个误区. 古生物学报, 40: 529–532
肖文交, 韩春明, 袁超, 等. 2006. 新疆北部石炭纪-二叠纪独特的构造成矿作用: 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约. 岩石学报, 22: 1062–1076
肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 1992. 新疆北部及邻区大地构造. 北京: 地质出版社. 104–123
徐新, 何国琦, 李华芹, 等. 2006. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息. 中国地质, 33: 470–475
杨高学, 李永军, 杨宝凯, 等. 2012. 西准噶尔巴尔雷克蛇绿混杂岩带中玄武岩地球化学特征及大地构造意义. 地质学报, 86: 188–197
张弛, 黄萱. 1992. 新疆西准噶尔蛇绿岩形成时代和环境的探讨. 地质论评, 38: 509–524
张继恩, 肖文交, 韩春明, 等. 2010. 西准噶尔石炭纪洋中脊俯冲岩浆活动: 以玛里雅蛇绿岩为例. 岩石学报, 26: 3272–3282
张元元, 郭召杰. 2010. 准噶尔北部蛇绿岩形成时限新证据及其东、西准噶尔蛇绿岩的对比研究. 岩石学报, 26: 421–430
赵磊, 何国琦, 朱亚兵. 2013. 新疆西准噶尔北部谢米斯台山南坡蛇绿岩带的发现及其意义. 地质通报, 32: 195–205
周辉, 李继亮, 侯泉林, 等. 1998. 西昆仑库地蛇绿混杂带中早古生代放射虫的发现及其意义. 科学通报, 43: 2448–2451
朱永峰, 徐新. 2006. 新疆塔尔巴哈台山发现早奥陶世蛇绿混杂岩. 岩石学报, 22: 2833–2842
朱永峰, 徐新, 陈博. 2008. 西准噶尔蛇绿混杂岩演化. 矿物岩石地球化学通报, 27: 293–294
Buckman S, Aitchison J C. 2001. Middle Ordovician (Llandeilan) radiolarians from West Junggar, Xinjiang, China. Micropaleontology, 47: 359–367

Danelian T, Popov L. 2003. Ordovician radiolarian biodiversity: Insights based on new and revised data from Kazakhstan (in English with French abstract). Bull Soc Géol Fr, 174: 325–335

Jian P, Liu D Y, Shi Y R, et al. 2005. SHRIMP dating of SSZ ophiolites from northern Xinjiang Province, China: Implications for generation of oceanic crust in the Central Asian orogenic belt. In: Sklyarov E V, ed. Structural and Tectonic Correlation Across the Central Asia Orogenic Collage: North-Eastern Segment. Guidebook and Abstract Volume of the Siberian Workshop IGCP–480. Irkutsk: Institute of the Earth Crust, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. 246–250

Jones D L, Murch B. 1986. Geologic significance of Paleozoic and Mesozoic radiolarian chert. Ann Rev Earth Planet Sci, 14: 455–492

Liu Y. 2001. Early Carboniferous radiolarian fauna from Heiyingshan South of the Tianshan Mountains and its geotectonic significance. Acta Geol Sin, 75: 101–108

Liu Y, Hao S G. 2006. Evolutionary significance of pylentonemid radiolarians and their Late Devonian species from southwestern Tianshan, China. Acta Geol Sin, 80: 647–655

Maletz J. 2007. The early Ordovician *Beothuka terranova* (Radiolaria) faunal assemblage in western Newfoundland. Palaontol Z, 81: 71–82

Maletz J, Bruton D L. 2005. The *Beothuka terranova* (Radiolaria) assemblage and its importance for the understanding of early Ordovician radiolarian evolution. Geol Mag, 142: 711–721

Maletz J, Bruton D L. 2007. Lower Ordovician (Chewtonian to Castlemainian) radiolarians of Spitsbergen. J Syst Palaeontol, 5: 245–288

Maletz J, Bruton D L. 2008. The middle Ordovician *Proventocitum procerulum* radiolarian assemblage of Spitsbergen and its biostratigraphic correlation. Palaeontology, 51: 1181–1200

Shen P, Shen Y C, Li X H, et al. 2012. Northwestern Junggar Basin, Xiemisitai Mountains, China: A geochemical and geochronological approach. Lithos, 140-141: 103–118

Wang Y J. 1993. Middle Ordovician radiolarians from the Pingliang Formation of Gansu Province, China. Micropaleontol Spec Publ, 6: 98–114

Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, et al. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. J Geol Soc London, 164: 31–47

Xiao W J, Windley B F, Hao J, et al. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the Central Asian Orogenic Belt. Tectonics, 22: 1069–1088