

# 西藏雅鲁藏布江缝合带中段中生代放射虫硅质岩成因及其大地构造意义\*

朱 杰 杜远生\*\* 刘早学 冯庆来 田望学 李金平 王昌平

( 中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074; 湖北省地质调查院, 武汉 430030)

**摘要** 雅鲁藏布江缝合带中段硅质岩中发现三个放射虫动物群组合, 其地质时代分别为中、晚三叠世, 晚侏罗世-早白垩世和早白垩世. 硅质岩为生物成因. 中、晚三叠世硅质岩和晚侏罗世-早白垩世硅质岩 $\text{SiO}_2$ 平均含量分别为 90.24%和 92.58%,  $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 平均值分别为 0.75 和 0.74,  $\text{MnO}/\text{TiO}_2$ 平均值分别为 0.36 和 1.24,  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$ 平均值分别为 1.15 和 1.03,  $\text{La}_\text{N}/\text{Ce}_\text{N}$ 平均值均为 0.85 和 0.93, 为生物成因大陆边缘型硅质岩. 早白垩世硅质岩 $\text{SiO}_2$ 含量为 94.12%,  $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 比值 0.59,  $\text{MnO}/\text{TiO}_2$ 比值 4.30,  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$ 为 0.60,  $\text{La}_\text{N}/\text{Ce}_\text{N}$ 平均值 1.59, 为生物成因远洋型硅质岩. 中、晚三叠世放射虫硅质岩、浊积岩组合及硅质岩地球化学特征, 表明雅鲁藏布江地区中、晚三叠世存在强烈裂陷海盆构造环境; 晚侏罗世-早白垩世放射虫硅质岩和层状玄武岩组合代表藏南特提斯初始洋盆环境; 早白垩世放射虫硅质岩及共生的枕状玄武岩代表藏南特提斯成熟洋盆.

**关键词** 放射虫 硅质岩 地球化学 中生代 雅鲁藏布江缝合带 西藏

雅鲁藏布江缝合带中段位于西藏南部昂仁-吉定-仁布一带, 长 200 余 km, 沿雅鲁藏布江谷地近东西向展布(图 1), 是藏南特提斯洋最终闭合和印度板块与拉萨地块俯冲-碰撞的产物<sup>[1-8]</sup>. 大量研究表明, 藏南特提斯早期拉张运动始于三叠纪, 特提斯洋壳的发育是从晚侏罗世开始, 经历晚侏罗世-早白垩世洋脊扩张, 到早白垩世中、晚期开阔的大洋<sup>[2,4-8]</sup>. 雅鲁藏布江中段在晚白垩世进入洋壳俯冲及大洋闭合阶段, 最终碰撞造山时间为白垩纪与古近纪之

交<sup>[2,4-9]</sup>. 近 20 多年来, 对于雅鲁藏布江缝合带放射虫研究成果有一些报道<sup>[9-14]</sup>, 但是, 对作为洋底或深海沉积物重要标志的放射虫硅质岩(生物成因)的岩相学和沉积地球化学特征及其构造背景等方面尚未进行深入研究.

近年来进行的 1:25 万拉孜幅区域地质调查和专题研究, 在雅鲁藏布江缝合带中段西部发现了中、晚三叠世, 晚侏罗世-早白垩世和早白垩世三套放射虫动物群组合, 提供了该地区深水动物群新资料. 放

2004-10-10 收稿, 2005-05-20 收修改稿

\* 国土资源部 1:25 万拉孜县幅区域地质调查项目(批准号: 19991300009221)和国家自然科学基金项目(批准号: 40372061)资助

\*\* 联系人, E-mail: [dxyyz@cug.edu.cn](mailto:dxyyz@cug.edu.cn)

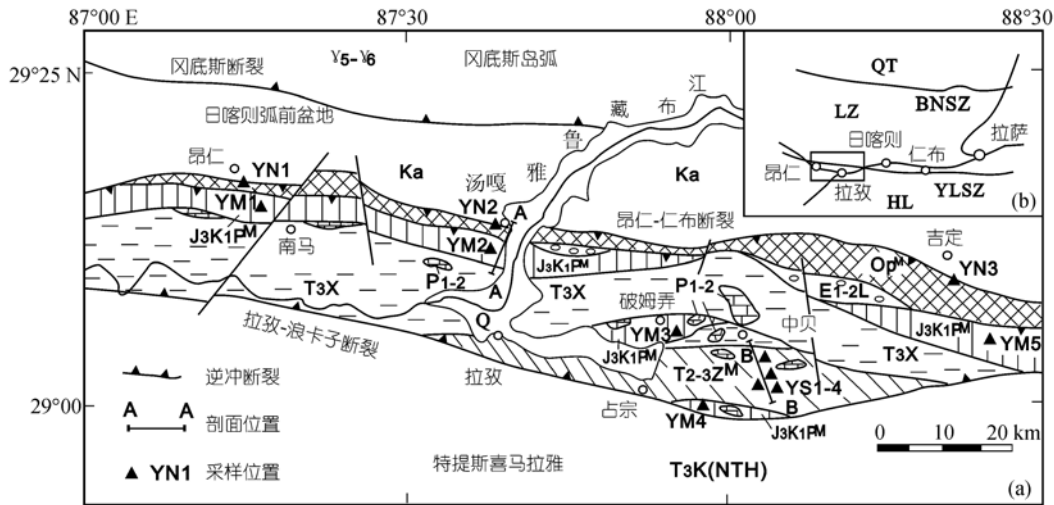


图1 雅鲁藏布江缝合带中段地质简图

Q. 第四系; E<sub>1-2</sub>L. 古新世-始新世柳区群磨拉石; Ka. 白垩纪弧前盆地昂仁组复理石; Op<sup>M</sup>. 蛇绿混杂岩; J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>P<sup>M</sup>. 晚侏罗世-早白垩世破姆弄混杂岩; T<sub>3</sub>K(NTH). 特提斯喜马拉雅北缘晚三叠世-白垩纪海相沉积; T<sub>3</sub>X. 晚三叠世修康群; T<sub>2-3</sub>Z<sup>M</sup>. 中、晚三叠世中贝混杂岩; P<sub>1-2</sub>. 早、中二叠世灰岩; γ<sub>5-γ<sub>6</sub></sub>. 燕山晚期-喜山期花岗岩; QT. 羌塘地块; BNSZ. 班公-怒江缝合带; LZ. 拉萨地块; YLSZ. 雅鲁藏布江缝合带; HL. 喜马拉雅地块

射虫动物群及硅质岩沉积地球化学的研究, 加深了雅鲁藏布江缝合带中段地质构造演化认识。

## 1 地质背景和放射虫硅质岩样品特征

雅鲁藏布江缝合带中段是由藏南特提斯洋闭合, 板块俯冲碰撞和造山作用而形成的复杂的构造带, 缝合带南北两侧分别以昂仁-仁布断裂和拉孜-浪卡子断裂为界, 地层体组成包括蛇绿混杂岩和泥砂质混杂岩, 以及有序地层体<sup>[2,15-18]</sup>(图 1), 其中混杂岩包括中贝混杂岩(T<sub>2-3</sub>Z<sup>M</sup>)、破姆弄混杂岩(J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>P<sup>M</sup>)和蛇绿混杂岩(Op<sup>M</sup>)<sup>[15-17]</sup>。

中贝混杂岩(T<sub>2-3</sub>Z<sup>M</sup>)是由原修康群解体出的泥砂质混杂岩<sup>[12]</sup>, 亦称为“中贝混杂堆积”<sup>[15]</sup>。基质主要为灰色杂色强劈理化硅、泥质板岩、砂板岩、中薄层砂岩、泥灰岩和灰紫色硅质岩。砂岩具底模和粒序层等浊积岩特征, 板岩与泥灰岩含 *Daonella indica* 和 *Halobia bukovinensis* 等中-晚三叠世化石<sup>[15]</sup>。基质中嵌有大量剪切错动和石香肠化的菱形和透镜状砂岩和硅质岩, 构成混杂岩原地岩块<sup>[2,15-17]</sup>, 其中单个硅质岩岩块厚度一般 5~20 m。外来岩块包括二叠纪灰岩、白垩纪硅质岩、火山岩和灰岩等<sup>[15]</sup>, 其中灰岩岩块呈透镜状, 厚几米至数百米不等, 与围岩断裂接

触, 部分残留滑塌沉积迹象。灰岩岩块含有菊石 *Medlicottia* sp., *Timoritos sinense*; 蠕类 *Yangchinia* sp., *Pseudodoliolina* sp.; 珊瑚 *Amplexoxarina* sp., *Lytvolasma ellipticum* 等化石, 时代为早-中二叠世。在拉孜县中贝乡剖面(图 2(b))上的硅质岩(样品 YS1, YS2, YS3, YS4)获得放射虫化石。

有序地层体主要为修康群<sup>[18]</sup>(T<sub>3</sub>X), 分布于缝合带南部混杂岩中。岩性以灰色页岩、板岩、细砂岩、石英砂岩为主, 夹杂色泥灰岩和硅质岩。下部岩性组合由页岩、泥灰岩组成韵律层, 向上逐渐过渡为中-厚层状长石石英砂岩。在下部泥灰岩中采获大量双壳类 *Halobia* sp., *H.cf.xizhangensis*, *H.convexa*; 腕足类 *Mentzlia* sp. 等化石, 其地质时代为晚三叠世。此外, 蛇绿混杂岩南侧还可见古新世-始新世柳区群(E<sub>1-2</sub>L.) 红色磨拉石。

破姆弄混杂岩(J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>P<sup>M</sup>)呈岩片分布于蛇绿混杂岩带南侧, 岩片宽度一般 10 km。混杂岩基质成分主要为杂色、紫红色劈理化泥硅质岩、板岩、薄层状放射虫硅质岩和层状玄武岩。外来岩块包括二叠系灰岩、块状玄武岩、变辉长辉绿岩和蛇纹石化橄榄岩<sup>[15-17]</sup>。放射虫硅质岩在该混杂岩北部分布广泛。采自南马样品 YM1 和采自吉定样品 YM5 为紫红色块状硅质

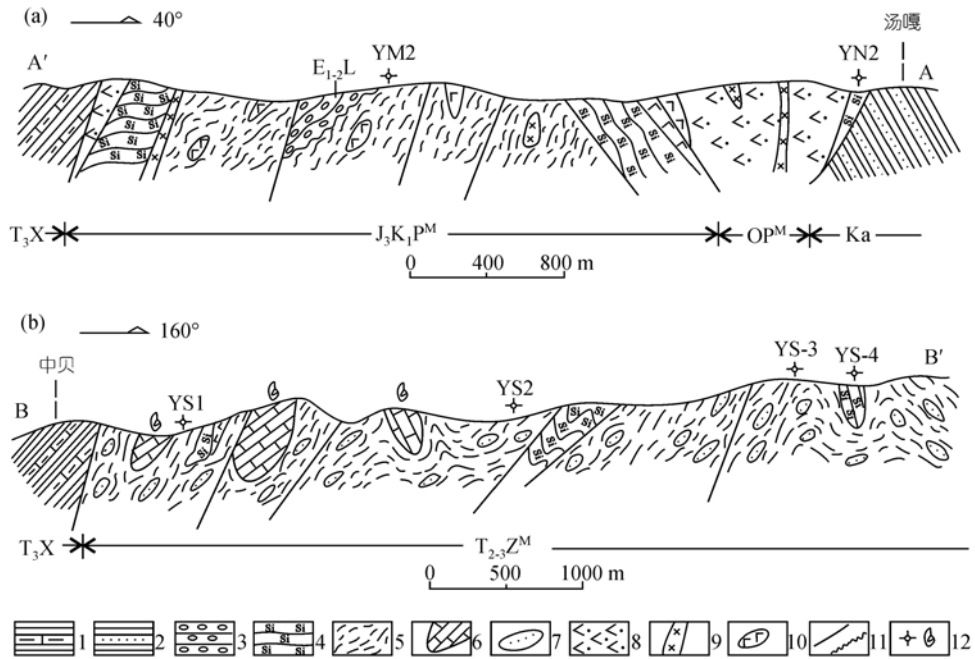


图 2 雅鲁藏布江缝合带中段混杂岩实测剖面

(a) AA'汤嘎剖面; (b) BB'中贝剖面; 1. 页岩夹泥灰岩; 2. 页岩与砂岩互层; 3. 砾岩; 4. 硅质岩; 5. 劈理化杂色硅泥岩板岩; 6. 生物碎屑灰岩(二叠纪外来岩块); 7. 砂岩; 8. 蛇纹石化橄榄岩; 9. 变辉长(辉绿)岩; 10. 玄武岩; 11. 逆断层、角度不整合; 12. 放射虫、动物化石采样点; E<sub>1-2</sub>L. 古新世-始新世柳区群磨拉石; Ka. 白垩纪昂仁组复理石; Op<sup>M</sup>. 蛇绿混杂岩; J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>P<sup>M</sup>. 晚侏罗世-早白垩世破姆弄混杂岩; T<sub>3</sub>X. 晚三叠世修康群; T<sub>2-3</sub>Z<sup>M</sup>. 中、晚三叠世中贝混杂岩

岩, 采自汤嘎样品 YM2(图 2 (a))、采自破姆弄样品 YM3 和采自占宗样品 YM4 为杂色薄层状硅质岩。

蛇绿混杂岩(Op<sup>M</sup>)分布于缝合带北部, 呈带状展布, 宽度 2~10 km. 主要由蛇纹石化橄榄岩、变辉长(辉绿)岩、玄武岩、灰绿色紫红色放射虫硅质岩和上部蛇绿质碎屑岩组成, 野外出露以蛇纹石化橄榄岩为主. 放射虫硅质岩分布在蛇绿混杂岩北部. 在吉定(样品YN3)灰绿色-深灰色放射虫硅质岩与下部枕状玄武岩整合接触, 出露厚度约 30 m. 在昂仁(样品YN1)和汤嘎(样品YN2, 图 2(a))一带, 受后期构造影响, 紫红色放射虫硅质岩出露厚度 10~20 m, 与蛇纹石化橄榄岩断层接触。

雅鲁藏布江缝合带三个混杂岩带中硅质岩及其放射虫含量有所不同: 蛇绿混杂岩(Op<sup>M</sup>)中硅质岩为灰绿色、紫红色, 致密块状构造, 显微薄片微粒石英及硅质物含量 95%~98%, 水云母及粘土矿物含量 1%~3%, 铁质物含量 1%~2%, 部分样品放射虫含量

40%~60%。破姆弄混杂岩(J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>P<sup>M</sup>)中硅质岩为杂色、紫红色, 有块状和层状两种类型: 块状硅质岩微晶结构, 微粒石英和硅质物 88%~96%, 水云母及粘土矿物 2%~10%, 铁质物 < 0.5%; 层状硅质岩单层厚度约 10 cm, 显微镜下具有显微粒序层构造, 放射虫含量不等, 最多可达 45%。中贝混杂岩(T<sub>2-3</sub>Z<sup>M</sup>)硅质岩为杂色和紫红色, 微粒石英和硅质物含量最低(84%~94%), 水云母及粘土矿物较高 5%~15%, 铁质物 < 0.1%; 放射虫含量 < 30%, 并见有海绵骨针。

## 2 放射虫动物群特征

对于藏南地区的放射虫, 吴浩若等<sup>[10-12,15]</sup>、王玉净等<sup>[13,14]</sup>曾经进行过研究. 其中吴浩若等研究了本文研究区的中贝(接掌山)、吉定(纳虾)及相邻的冲堆、下鲁等地的放射虫, 认为“中贝混杂堆积”基质为大面积的三叠系, 中贝接掌山、纳虾及相邻的冲堆一带的硅质岩岩块放射虫指示的地层时代为早白垩世末晚

阿尔比期-晚白垩世赛诺曼早期及晚白垩世土伦期<sup>[10,15]</sup>, 下鲁一带的硅质岩时代为晚侏罗世晚启莫里期到早白垩世晚凡兰吟期<sup>[11]</sup>. 王玉净等研究了雅鲁藏布江东段泽当朗杰学群的放射虫, 认为放射虫的时代为中、晚三叠世拉丁期到卡尼期<sup>[13]</sup>.

笔者对雅鲁藏布江缝合带中段不同时代硅质岩中采样 74 件, 通过室内硅质岩切片和氢氟酸处理, 发现近 50%样品含有放射虫, 但大多原始结构遭破坏, 为重结晶残骸, 仅 17%样品放射虫壳饰保存良好. 本文选用了其中 12 件典型硅质岩样品作了放射虫分析, 9 件样品进行了常量元素和稀土元素分析. 在所选择的 12 件硅质岩样品中, 获得了大量保存完好的放射虫化石, 共鉴定出 49 种, 组合时代分别 T<sub>2-3</sub>, J<sub>3</sub>-K<sub>1</sub>和K<sub>1</sub>, 寄存于三类混杂岩中.

昂仁、汤嘎和吉定等地的蛇绿岩混杂岩中硅质岩含放射虫化石丰富, 所鉴定属种有: 样品YN1 含 *Thanarla brouweri* Tan(图 3-1), *Dictyomitra pulchra* Squinabol, *Dictyomitra undata* Squinabol, *Crolanium puga* Schaaf(图 3-3), *Dictyomitra gracilis* Squinabol (图 3-4), *Acaeniotyle longispina* Squinabol, *Cenosphaera* sp., *Pseudodictyomitra* sp.; 样品YN2 含 *Archaeodictyomitra excellens* Tan, *Archaeodictyomitra pseudomulticostata* Tan (图 3-5), *Thanarla conica* Squinabol, *Pseudodictyomitra lanceoloti* Schaaf, *Pseudodictyomitra lilyvae* Tan, *Pseudodictyomitra* sp.; 样品YN3 含 *Xitus spicularius* Aliev, *Xitus robustus* Wu, *Xitus elongans* Squinabol, *Pseudodictyomitra carpatica* Lozyniak, *Archaeodictyomitra leptocostata* Wu and Li, *Archaeodictyomitra masirahensis* Dumitrica (图 3-2), *Archaeodictyomitra tumandae* Dumitrica, *Thanarla lacrimula* Foreman, *Thanarla pacifica* Nakaseko and Nishimura, *Ristola altissima* Ruest, *Acaeniotyle longispina* Squinabol, *Tetrapaurinalla staurus* Dumitrica, *Pseudoeucyrtis zhamoidai* Foreman, *Crucellal gavalai* Dumitrica, *Praeconosphaera sphaeroconus* Ruest, *Godia coronata* Tumanda 等. 根据与吴浩若在同一混杂岩带纳虾的放射虫研究对比, 雅鲁藏布江蛇绿岩上部硅质岩中放射虫时代为早白垩世<sup>[10,19-21]</sup>.

蛇绿混杂岩南侧破姆弄混杂岩中样品YM1 和

YM2 包括 *Pseudodictyomitra lilyvae* Tan (图 3-6), *Pseudoxitus laguncula* Dumitrica, *Archaeodictyomitra primigena* Pessagno and Whalen(图 3-11), *Godia coronata* Tumanda, *Archaeodictyomitra* sp. (图 3-10), *Archaeodictyomitra tumandae* Dumitrica(图 3-12), *Thanarla conica* Aliev(图 3-13), *Pseudodictyomitra lanceoloti* Schaaf(图 3-14), *Paronaella* sp., *Archaeocenosphaera* sp.和*Pseudoeucyrtis* sp.分子, 地质时代为早白垩世<sup>[10,19-21]</sup>, 样品YM5 中*Archaeodictyomitra pseudomulticostata* Tan, *Ristola cf.altissima* Ruest, *Svinitzium cohimmarium* Jud, *Tethysetta cf.cohimma* Ruest, *Archaeodictyomitra* sp., 其中 *Ristola cf.altissima* Ruest为晚侏罗世晚期重要分子, 组合地质时代为晚侏罗世-早白垩世<sup>[11,19-21]</sup>; 样品YM3 和 YM4 含*Archaeodictyomitra pseudomulticostata* Tan, *Archaeodictyomitra mitra* Dumitrica, *Xitus* sp., *Pseudodictyomitra* sp. (图 3-7, 8), *Ditrabs* sp., *Pseudoeucyrtis* sp., *Pantanellium* sp., *Pseudocrolanium* sp. (图 3-9)和*Homoeoparonaella* sp.等, 地质时代为晚侏罗世-早白垩世<sup>[11,19-21]</sup>.

中贝混杂岩带 4 块样品中样品YS1 放射虫化石保存较好, 含有: *Oertlispongus inaequispinosus* Dumitrica, Kozur and Mostler (图 3-15), *Muelleritortis expansa* Kozur and Mostler (图 3-16), *Pseudostylosphaera compacta* Nakaseko and Nishimuru (图 3-17), *Triassocampe* sp. (图 3-18), 该组合*Muelleritortis expansa* 为欧洲阿尔卑斯晚 Longobardian 早期 *Muelleritortis cochleata* 带的重要分子, 组合地质时代为拉丁晚期<sup>[13,21,23-26]</sup>. 其它样品发现放射虫种属为: YS2 含*Paratriassostrum omegaense* Carter (图 3-19), *Triassocampe* sp., *Pseudostylosphaera* sp. (图 3-20); 样品YS3 和YS4 放射虫包括*Triassocampe* sp., *Eptingium* sp. (图 3-21), *Pseudostylosphaera* sp. (图 3-22), *Muelleritortis* sp., *Archaeocenosphaera* sp. (图 3-23)以及 *Oertlispongus inaequispinosus* Dumitrica, Kozur and Mostler, *Baumgartneria retrospina* Dumitrica (图 3-24). 根据吴浩若<sup>[15]</sup>的先前研究与本次研究结果<sup>[17]</sup>, 认为中贝混杂岩基质中放射虫时代为中、晚三叠世.

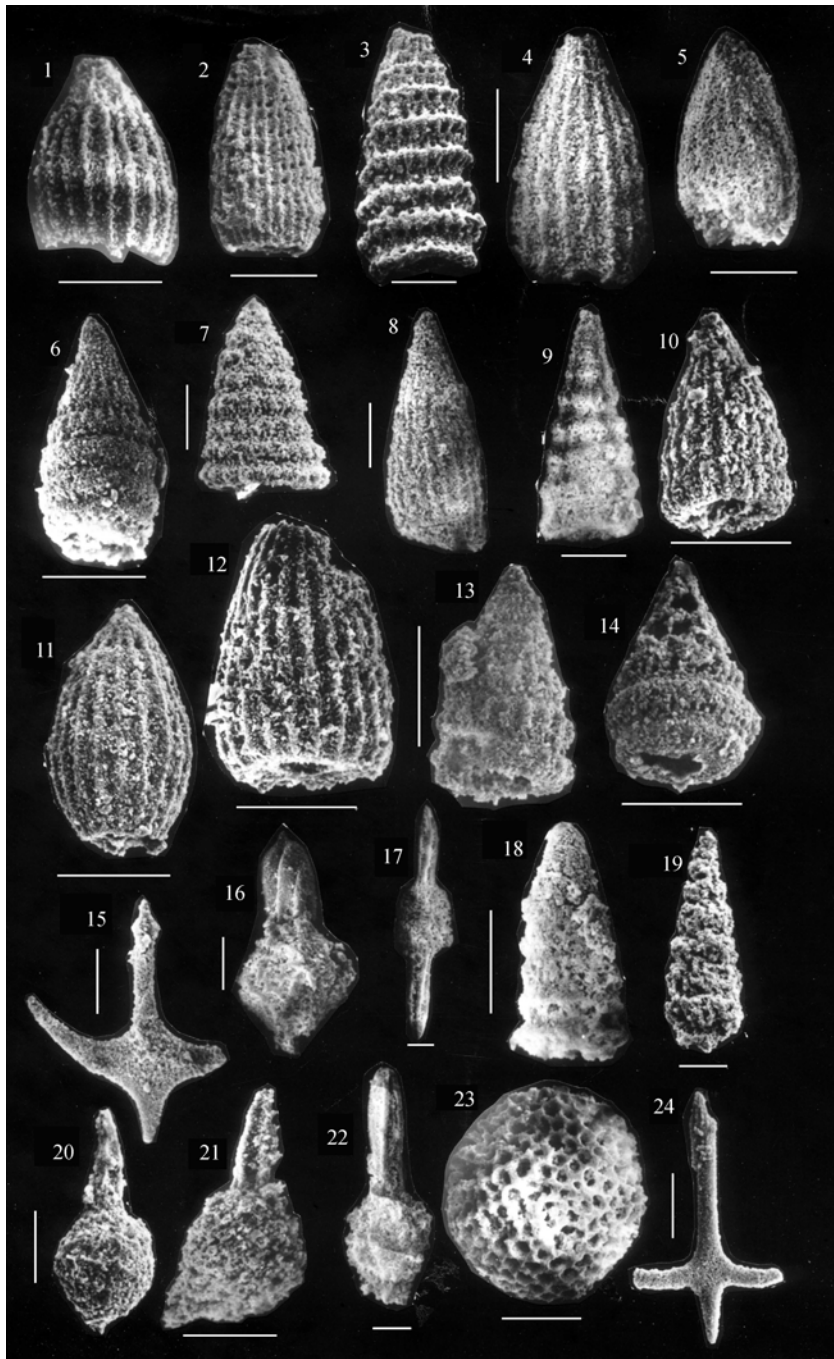


图 3 雅鲁藏布江缝合带中段中生代放射虫化石(图中标尺: 50  $\mu\text{m}$ )

1~5 采自蛇绿混杂岩带: 1. *Thanarla brouweri* Tan(YN1); 2. *Archaeodictyomitra masirahensis* Dumitrica(YN3); 3. *Crolanium puga* Schaaf(YN1); 4. *Dic-tyomitra gracilis* Squinabol(YN1); 5. *Archaeodictyomitra pseudomulticostata* Tan(YN2). 6~14 采自破姆弄混杂岩带: 6. *Pseudodictyomitra lilyae* Tan(YM1); 7, 8. *Pseudodictyomitra* sp.(YM3, YM4); 9. *Pseudocrolanium* sp.(YM4); 10. *Archaeodictyomitra* sp.(YM1); 11. *Archaeodictyomitra primigena* Pessagno and Whalen(YM1); 12. *Archaeodictyomitra tumandae* Dumitrica(YM1); 13. *Thanarla conica* Aliev(YM1); 14. *Pseudodictyomitra lanceoloti* Schaaf(YM1). 15~24 采自中贝混杂岩带: 15. *Oertlispongus inaequispinosus* Dumitrica, Kozur and Mostler(YS1); 16. *Muelleritortis expansa* Kozur and Mostler(YS1); 17. *Pseudostylosphaera compacta* Nakaseko and Nishimuru(YS1); 18. *Triassocampe* sp.(YS1); 19. *Paratriassostrum omegaense* Carter(YS2); 20. *Pseudostylosphaera* sp.(YS3); 21. *Eptingium* sp.(YS3); 22. *Pseudostylosphaera* sp.(YS3); 23. *Archaeocenosphaera* sp.(YS4); 24. *Baumgartneria retrospina* Dumitrica (YS4)

### 3 放射虫硅质岩地球化学特征及沉积环境

#### 3.1 常量元素

9 件硅质岩样品的分析结果(表 1)表明, 采自蛇绿混杂岩带的硅质岩的样品 YN1 其  $\text{SiO}_2$  含量 94.12%, 陆缘泥质沉积物含量极少, 属于纯硅质岩的范畴<sup>[27]</sup>; 而破姆弄混杂岩 4 件样品和中贝混杂岩 4 件样品硅质岩  $\text{SiO}_2$  含量相对较低, 陆缘泥质沉积物含量稍高, 与其产出的地质背景一致。

主量元素 Fe, Mn, Al 的含量对于区分热液成因硅质岩与生物成因硅质岩具有重要意义。硅质岩中 Fe, Mn 的富集主要与热液的参与有关, 而 Al 的富集则与陆源物质的介入有关。Bostrom 等<sup>[28]</sup>提出, 海相沉积中  $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$  比值是衡量沉积物中热液沉积物含量的标志, Adachi<sup>[29]</sup> 和 Yamamoto<sup>[30]</sup> 指出这个比值在 0.01(纯热液成因)到 0.60(纯生物成因)之间变化。从表 1 中可以看出  $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$  比值 0.59~0.88 之间, 表明本区放射虫硅质岩属生物成因。Adachi<sup>[29]</sup> 和 Yamamoto<sup>[30]</sup> 在拟定了 Al-Fe-Mn 三角图解进行判别, 发现所有热液成因硅质岩比值均落于图解富 Fe 端, 生物成因硅质岩比值均落于图解富 Al 端。把研究区样品的 Al, Fe 和 Mn 数据投入该图(图 4)中, 所有投点都落在生物成因岩硅质岩区或附近, 说明本文分析的硅质区属于生物成因, 未受热液活动参与。

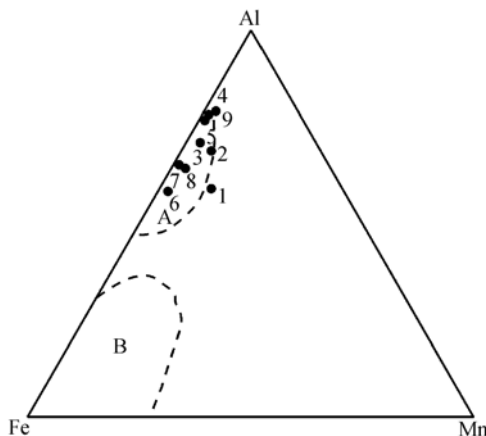


图 4 硅质岩 Al-Fe-Mg 三角图

据文献<sup>[29]</sup>. A—生物成因硅质岩区; B—热液沉积硅质岩区

$\text{MnO}/\text{TiO}_2$  可以作为判断硅质岩来源及沉积盆地古地理位置重要标志, 距离大陆较近的大陆边缘沉积的硅质岩  $\text{MnO}/\text{TiO}_2$  比值偏低, 一般均小于 0.5, 而开阔大洋中的硅质沉积物的比值则比较高, 可达 0.5~3.5<sup>[31]</sup>. 表 1 所列本区硅岩  $\text{MnO}/\text{TiO}_2$  值, 中贝混杂岩 4 件硅质岩样品  $\text{MnO}/\text{TiO}_2$  比值为 0.06~0.64(平均值为 0.36), 破姆弄混杂岩中 4 件硅质岩样品  $\text{MnO}/\text{TiO}_2$  比值为 0.12~3.13(平均值为 1.24), 蛇绿岩混杂岩中硅质岩 YN1 样品  $\text{MnO}/\text{TiO}_2$  比值分别为 4.30. 表明了中、晚三叠世中贝混杂岩硅质岩为典型的大陆边缘成因, 晚侏罗世-早白垩世破姆弄混杂岩硅质岩形成接近于大陆边缘—洋盆的过渡环境, 早白垩世蛇绿岩混杂岩硅质岩形成于远离陆缘物源区远洋深海盆地环境。

#### 3.2 稀土元素(REE)

前人研究结果表明, 稀土元素的  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  值和用北美页岩标准化  $\text{La}_N/\text{Ce}_N$  值, 是判别硅质岩沉积环境的有效标志。自大洋中脊、大洋盆地至大陆边缘等不同构造背景形成的硅质岩, 从负异常变为无异常, 甚至正异常<sup>[32-36]</sup>. 洋脊附近硅质岩的  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  为  $0.3 \pm 0.13$ ,  $\text{La}_N/\text{Ce}_N$  约为 3.5; 大洋盆地硅质岩的  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  为  $0.60 \pm 0.13$ ,  $\text{La}_N/\text{Ce}_N$  为 1.0~2.5; 大陆边缘硅质岩的  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  为  $1.09 \pm 0.25$ ,  $\text{La}_N/\text{Ce}_N$  为 0.5~1.5<sup>[27,33,35]</sup>.

雅鲁藏布江缝合带放射虫硅质岩稀土元素分析结果于表 1, 用北美页岩<sup>[36]</sup> 标准化的 REE 分布形式见图 5. 分析结果表明, 本区中贝混杂岩带 4 件硅质岩样品显弱正异常,  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  值均  $> 1$ (平均值 1.15),  $\text{La}_N/\text{Ce}_N$  比值为 0.78~0.90(平均值 0.85); 破姆弄混杂岩 4 件硅质岩样品除 YM1 显弱负异常外, 其他样品均显弱正异常,  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  值变化范围 0.90~1.13(平均值 1.03),  $\text{La}_N/\text{Ce}_N$  比值为 0.85~1.07(平均值 0.93), 两者均为大陆边缘成因。但破姆弄混杂岩硅质岩  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  值比中贝混杂岩硅质岩  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  值相对较低,  $\text{La}_N/\text{Ce}_N$  比值相反较高, 表明破姆弄混杂岩硅质岩更接近于大陆边缘—洋盆的过渡沉积环境。蛇绿混杂岩硅质岩样品 YN1 有负异常,  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  值为 0.60,  $\text{La}_N/\text{Ce}_N$  比值分别为 1.59, 与大洋盆地硅质岩 REE 特征相类似。

表 1 硅质岩常量元素(%)和稀土元素( $\mu\text{g/g}$ )含量表<sup>a)</sup>

样品	YN1	YM1	YM2	YM3	YM5	YS1	YS2	YS3	YS4
层位	0p <sup>M</sup>	J <sub>3</sub> K <sub>1</sub> P <sup>M</sup>	J <sub>3</sub> K <sub>1</sub> P <sup>M</sup>	J <sub>3</sub> K <sub>1</sub> P <sup>M</sup>	J <sub>3</sub> K <sub>1</sub> P <sup>M</sup>	T <sub>2-3</sub> Z <sup>M</sup>	T <sub>2-3</sub> Z <sup>M</sup>	T <sub>2-3</sub> Z <sup>M</sup>	T <sub>2-3</sub> Z <sup>M</sup>
产地	昂仁	南马	拉孜	破姆弄	吉定	中贝	中贝	中贝	中贝
SiO <sub>2</sub>	94.12	92.34	93.38	90.20	94.41	89.24	92.26	93.84	85.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.59	3.05	2.8	4.09	1.89	3.7	2.67	2.67	6.72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47	0.6	0.11	0.48	0.68	0.79	0.61	0.28	0.65
FeO	0.68	1.02	0.87	1.17	0.33	1.93	1.35	0.73	1.77
CaO	0.26	0.10	0.32	0.20	0.13	0.04	0.09	0.10	0.15
MgO	1.00	0.58	0.39	0.80	0.71	0.89	1.02	0.35	0.17
K <sub>2</sub> O	0.18	0.62	0.31	0.72	0.19	0.44	0.28	0.42	1.08
Na <sub>2</sub> O	0.37	0.17	0.14	0.41	0.40	0.43	0.33	0.40	0.75
TiO <sub>2</sub>	0.1	0.16	0.14	0.33	0.08	0.33	0.14	0.17	0.35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.04	0.04	0.04	0.05	0.07	0.02	0.03	0.06
MnO	0.43	0.19	0.07	0.04	0.25	0.19	0.09	0.01	0.02
H <sub>2</sub> O	0.51	0.97	1.32	1.30	0.79	1.43	0.95	0.84	1.03
CO <sub>2</sub>	0.05	0.02	0.07	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02
	99.88	99.86	99.96	99.76	99.93	99.50	99.86	99.86	99.83
Al <sup>*b)</sup>	0.59	0.71	0.79	0.78	0.69	0.65	0.65	0.79	0.88
MnO/TiO <sub>2</sub>	4.3	1.19	0.50	0.12	3.13	0.58	0.64	0.06	0.06
La	11.3	4.42	4.39	9.98	5.23	10.43	5.10	6.32	15.33
Ce	16.5	10.99	11.68	26.77	11.12	26.39	13.57	16.51	44.73
Pr	3.19	1.15	1.35	2.67	1.38	2.92	1.20	1.70	3.93
Nd	12.74	3.18	4.93	9.15	5.16	10.32	4.05	4.99	12.96
Sm	2.70	0.98	1.03	1.90	1.23	2.44	0.82	1.10	2.47
Eu	0.66	0.21	0.24	0.42	0.27	0.72	0.18	0.22	0.47
Gd	2.73	0.97	0.88	1.72	1.24	2.43	0.71	0.88	2.02
Tb	0.42	0.20	0.13	0.26	0.21	0.34	0.11	0.16	0.31
Dy	2.48	0.99	0.73	1.49	1.27	1.99	0.63	0.78	1.85
Ho	0.49	0.20	0.17	0.28	0.27	0.34	0.132	0.16	0.36
Er	1.34	0.64	0.41	0.83	0.76	0.93	0.33	0.46	1.08
Tm	0.19	0.10	0.06	0.14	0.12	0.14	0.05	0.07	0.18
Yb	1.17	0.60	0.38	0.83	0.70	0.77	0.34	0.46	1.13
Lu	0.17	0.09	0.06	0.12	0.11	0.10	0.05	0.07	0.17
Y	15.24	5.63	4.08	7.96	8.08	10.38	3.38	4.26	10.49
REE	71.38	30.99	30.59	64.62	30.16	70.69	30.66	38.12	97.48
Ce/Ce <sup>*c)</sup>	0.60	1.06	1.04	1.13	0.90	1.04	1.19	1.10	1.26
La <sub>N</sub> /Ce <sub>N</sub>	1.59	0.92	0.86	0.85	1.07	0.90	0.86	0.87	0.78

a) 测试单位：湖北省地质实验研究所，常量元素采用用 X 荧光分析，稀土元素采用 ICP-AES 分析，用北美页岩(Haskin, 1968)标准化。b) Al<sup>\*</sup>表示 Al/(Al+Fe+Mn)。c) Ce/Ce<sup>\*</sup>为 Ce 异常，由 La 和 Pr 北美页岩标准值插值求得

#### 4 结论和讨论

不同类型的放射虫硅质岩的产出，是雅鲁藏布江缝合带中段的重要标志之一，这些放射虫硅质岩形成背景从一个侧面反映了缝合带构造演化过程：

雅鲁藏布江缝合带南部中贝混杂岩(T<sub>2-3</sub>Z<sup>M</sup>)放射虫硅质岩中放射虫种属可与中、晚三叠世动物群对比，地质时代代表硅质岩及共生浊积岩沉积时代。硅质岩地球化学特征显示大陆边缘深水沉积成因。地层建

造上，从滑塌堆积成因的早、中二叠世生物灰岩岩块来看，研究区在早、中二叠世应处于较稳定的浅海环境，说明雅鲁藏布江中段特提斯洋开启应在中三叠世之前，晚于中二叠世。而这种滑塌堆积二叠纪岩块可能是在藏南特提斯裂开初期滑落到中、晚三叠世沉积盆地<sup>[1,2,4]</sup>，三叠纪复理石为正在分裂的板块边缘的增生楔沉积<sup>[4]</sup>。推测此时的新特提斯为一种大陆边缘的裂隙海盆。

雅鲁藏布江缝合带中部破姆弄混杂岩(J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>P<sup>M</sup>)放

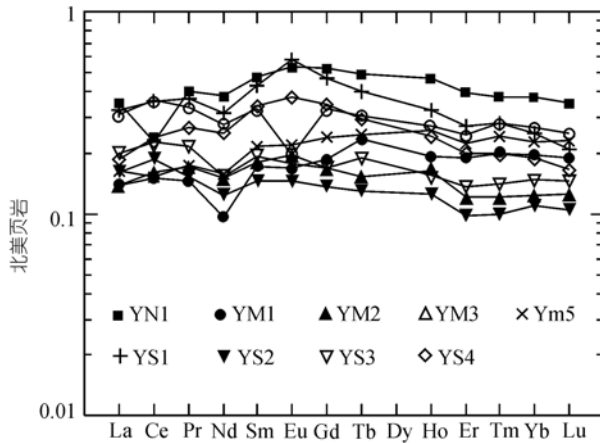


图 5 硅质岩稀土配分模式图

北美页岩REE值引自文献[36]

射虫硅质岩中放射虫种属相当于晚侏罗世-早白垩世动物群，其时代与其共生层状玄武岩时代一致。放射虫硅质岩地球化学特征指示生物成因，形成于深水相大陆边缘沉积环境。层状玄武岩具低 $\text{CaO}/\text{TiO}_2$  (比值 2~7) 和  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  (比值 7~15)、高  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.706~0.707) 和轻稀土富集特点，形成于大洋发育初期的大洋板内玄武岩<sup>[6,37]</sup>。这种层状硅质岩与层状玄武岩组合，表明沉积时相对稳定的初始洋盆沉积环境。

雅鲁藏布江缝合带北部蛇绿混杂岩( $\text{Op}^M$ )中放射虫硅质岩直接与蛇绿岩上部枕状玄武岩接触，放射虫动物群地质时代为早白垩世，代表玄武岩及其蛇绿岩作为洋壳形成时代。放射虫硅质岩地球化学特征指示生物成因，深水远洋沉积环境，玄武岩属洋脊型拉斑玄武岩<sup>[6,37]</sup>。两者共生，指示形成于扩张的宽阔洋盆环境。

综上所述，雅鲁藏布江缝合带代表的特提斯洋于中三叠世已经开裂，并形成藏南离散型大陆边缘的构造环境，晚侏罗世-早白垩世硅质岩、层状玄武岩组合和早白垩世硅质岩与枕状玄武岩<sup>[5~7,37]</sup>、蛇绿岩，代表了藏南特提斯由初始洋盆发展为成熟洋盆，早白垩世晚期-晚白垩世昂仁组是洋壳俯冲消减阶段日喀则弧前盆地形成的复理石建造<sup>[5~7,38]</sup>，古近纪柳曲群磨拉石表明古近纪印度板块与拉萨地块碰撞以及陆内造山开始，表明雅鲁藏布江缝合带新特提斯

阶段沉积-板块构造旋回。

## 参 考 文 献

- 1 常承发. 雅鲁藏布江缝合带地质构造特征及其演化. 见: 李光岑, Mercier J L 主编. 中法合作喜马拉雅考察 1980 成果. 北京: 地质出版社, 1984. 327~345
- 2 肖序常, 万子益, 李光岑, 等. 雅鲁藏布江缝合带及其邻区构造演化. 地质学报, 1983, 2: 205~212
- 3 Dewey J F, Shasklton R M, 常承发, 等. 青藏高原构造演化. 见: 北京: 青藏高原地质演化. 科学出版社, 1990. 384~415
- 4 肖序常, 李廷栋. 青藏高原的构造演化与隆升机制. 广州: 广东科学技术出版社, 2000. 38~121
- 5 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社, 1997. 172~184
- 6 余光明, 王成善. 西藏特提斯沉积地质. 北京: 地质出版社, 1990. 108~141
- 7 王成善, 刘志飞, 李祥飞, 等. 西藏日喀则弧前盆地与雅鲁藏布江缝合带. 北京: 地质出版社, 1999. 147~200
- 8 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原大地构造及盆地演化. 北京: 科学出版社, 2001. 115~122
- 9 丁林. 西藏雅鲁藏布江缝合带古新世深水沉积和放射虫动物群的发现及对前陆盆地演化的制约. 中国科学, D 辑, 2003, 33(1): 47~58[摘要][PDF]
- 10 吴浩若. 西藏南部白垩纪深海沉积地层——冲堆组及其地质意义. 地质科学, 1984, 1: 26~31
- 11 吴浩若. 西藏南部雅鲁藏布江蛇绿岩带下鲁硅岩中的侏罗、白垩纪放射虫化石及其地质意义. 见: 中国科学院地质研究所集刊(3). 北京: 科学出版社, 1988. 119~212
- 12 吴浩若. 西藏南部下鲁硅岩晚侏罗世罩笼虫(放射虫)新材料. 现代地质, 2000, 14:301~306
- 13 Wang Y J, Yang Q, Matsuoka Atsushi, et al. Triassic radiolarians from the Yarlung Zangbo suture zone in the Jinlu area, Zetang County, Southern Tibet. Acta Micropaleontologica Sinica, 2002, 19: 215~227
- 14 Yang Q, Matsuoka Atsushi, Wang Y J, et al. Progress in radiolarian micropaleontological studies in Southern Tibet. Acta Micropaleontologica Sinica, 2002, 19: 105~111
- 15 吴浩若, 尹集祥, 孙亦因. 西藏南部拉孜县中贝地区的混杂堆积. 见: 中国科学院地质研究所. 地质成果选集(1), 北京: 文物出版社, 1988. 35~41
- 16 高延林, 汤耀庆. 西藏南部的构造混杂岩. 见: 喜马拉雅地质文集编辑委员会. 喜马拉雅地质. 中法合作喜马拉雅考察 1981 成果之一. 北京: 地质出版社, 1984. 27~44
- 17 朱杰, 刘早学, 杜远生, 等. 拉孜县幅区域地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 2004, 23: 471~474
- 18 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 312~331
- 19 Jud R. Biostratigraphy and systematics of Early Cretaceous Radiolaria of the western Tethys. Mem Geol (Lausanne), 1994, 19: 1~147



- 20 Tumanda F. Cretaceous Radiolaria biostratigraphy in the Eashi Mountain area, northern Hokkaido, Japan. *Sci Rep Inst Geosci. Univ Tsukuba*, 1989, 10: 1~44
- 21 Dumitrica P. Mesozoic radiolarian biostratigraphy from Masirah Ophiolite, Sultanate of Oman. *Bulletin of the Nation Museum of Natural Science*, 1997, 9: 1~106
- 22 Nakaseko K, Nishimura A. Upper Jurassic and Cretaceous Radiolaria from the Shimanto Group in southwest Japan. *Sci Rpts Coll Gen Educ Osaka Univ*, 1981, 30: 133~203
- 23 Kozur H, Mostler H. Anisian to Middle Carnian radiolarian zonation and description of some stratigraphically important radiolarians. *Geologisch-Palaeontologische Mitteilungen Innsbruck, Sonderband 3*, 1994. 39~199
- 24 Dumitrica P. The Oertlispongidae (Radiolaria) from the Middle Triassic of Masirah Island (Oman). *Revue de Micropaleontologie*, 1999, 42(1): 33~42[DOI]
- 25 Carte E S. Biochronology and Paleontology of Uppermost Triassic (Rhaetian) radiolarians, Queen Charlotte Islands, British Columbia, Canada. *Mem Geol Lausanne*, 1993, 11: 1~175
- 26 Nakaseko K, Nishimura A. Upper Triassic Radiolaria from Southwest Japan. *Sci Rep Col Gen Educ Osaka Univ*, 1979, 28(2): 61~109
- 27 Murray R W, Buchholtz T B M R, Gerlach D C, et al. Rare earth, major and trace element composition of Monterey and DSDP chert and associated host sediment: Assessing the influence of chemical fractionation during diagenesis. *Geochim Cosmochim Acta*, 1992, 56: 2657~2671[DOI]
- 28 Bostrom K, Peterson M N A. The origin of Al-poor ferromagnesian sediments in areas of high heat flow on the East Pacific Rise. *Mar Geol*, 1969, 7: 427~447
- 29 Adachi M, Yamamoto K, Sugisaki R. Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the Northern Pacific, their geological significance as indication of ocean ridge activity. *Sedimentary Geology*, 1986, 47: 125~148[DOI]
- 30 Yamamoto K. Geochemical characteristics and depositional environments of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto Terranes. *Sedimentary Geology*, 1987, 52: 65~108[DOI]
- 31 王安东, 陈瑞君. 雅鲁藏布江缝合带硅质岩的地球化学成因标志及其地质意义. *沉积学报*, 1995, 13: 27~31
- 32 Shimizu H, Masuda A. Cerium in chert as indication of marine environment of its formation. *Nature*, 1977, 266(5600): 346~348
- 33 Murray R W, Buchholtz ten Brink M R, Jones D L, et al. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale. *Geology*, 1990, 18(3): 268~271[DOI]
- 34 丁 林, 钟大赉. 滇西昌宁-孟连带古特提斯洋硅质岩稀土元素和铈异常特征. *中国科学, B 辑*, 1995, 25(1): 93~100
- 35 Murray R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications. *Sediment Geol*, 1994, 90: 213~232[DOI]
- 36 Haskin L, Haskin M A, Frey F A, et al. Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. In: Ahrens L H. ed. *Origin and Distribution of the Elements*. Pergamon: Oxford, 1968. 889~912
- 37 鲍佩声, 王希斌. 从雅鲁藏布江蛇绿岩带中的两套火山岩探讨中生代特提斯洋壳的演化. *中国科学, B 辑*, 1986, (5): 531~541
- 38 罗建宁, 王小龙, 李永铁, 等. 青藏特提斯沉积地质演化. *沉积与特提斯地质*, 2002, 22: 7~15