西藏南部始新世早期放射虫动物群及其对特提斯闭合时间的约束

李亚林[①] 王成善[①] 胡修棉[②] M. Bak[③] 王进军[④] 陈蕾[②] 李祥辉[④]

(① 中国地质大学(北京)青藏高原地质研究中心, 北京 100083; ② 南京大学地球科学系, 南京 210093; ③ Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, Krakow, Poland; ④ 成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059. E-mail: liyalin@cugb.edu.cn)

摘要 始新世早期放射虫动物群发现于萨嘎地区泥砂质混杂堆积中, 包括: *Amphisphaera coronata* (Ehrenberg); *Buryella hannae Bak & Barwicz-Piskorz; Buryella clinata Foreman*; *Buryella tetradica Foreman*; *Calocycloma ampulla* (Ehrenberg); *Lamptonium fabaeforme constrictum Riedel and Sanfilippo*; *Lamptonium pennatum Foreman*; *Lithomespilus coronatus Squinabol*; *Lamptonium* (?) *colymbus Foreman*等分子, 属始新世早期典型生物组合, 放射虫动物群时代和沉积环境表明, 研究区在始新世早期特提斯洋并未完全关闭, 印度与欧亚板块之间仍存在深水盆地, 板块的全面拼合造山作用至少发生在始新世早期之后.

关键词 西藏 放射虫 深水沉积 始新世早期 特提斯

特提斯洋最终关闭与印度-欧亚板块碰撞的时间是特提斯-喜马拉雅造山带和青藏高原研究的热点问题, 但迄今为止对于该问题还存在较大的争议, 主要存在 70~65 Ma[1~4], 55~50 Ma[5~8]和 45~30 Ma[9~11]等认识. 造成这些分歧的主要原因一方面是由于这一演化过程本身的复杂性, 不同地区、不同构造位置在时间和空间上可能存在差异; 另一方面是可以限定年代的生物标志及年代地层证据较少, 导致对特提斯演化历史难以获得准确的认识. 特提斯的最终关闭和板块全面碰撞造山作用, 在沉积学和地层学意义意味着残留洋盆的消失和海水完全退出, 因此, 确定西藏特提斯的最终关闭时间, 实际上也就是确定最高海相沉积的层位和时代. 在过去的几十年中, 地层学及沉积学工作者一直致力于雅鲁藏布江地区最高海相层的研究, 并对特提斯洋闭合时限提出了不同的时间约束[1~2,12~15].

作者在萨嘎地区工作过程中, 在雅鲁藏布江缝合带南部泥砂质混杂岩中获得了始新世早期放射虫化石组合, 为进一步了解特提斯构造演化提供了新信息, 并为探讨印度-欧亚板块拼合时间提供了新的证据.

1 地质背景与采样位置

萨嘎地区位于西藏南部、雅鲁藏布江构造带中段, 该区自北而南包括弧前盆地、雅鲁藏布江缝合带和特提斯喜马拉雅北亚带 3 个构造单元(图 1), 各构造单元间为逆冲断层接触. 其中, 雅鲁藏布江构造带又可进一步划分为北部的蛇绿质混杂岩带和南部的泥砂质混杂岩带 2 个次级构造单元[1)], 泥砂质混杂岩带位于蛇绿质混杂岩带和特提斯喜马拉雅北带之间, 宽 20~30 km, 基质主要由三叠系—古近系泥砂质岩石组成, 构造岩块包括晚古生界—古近系砂岩、灰岩、硅质岩以及基性玄武岩和辉长岩—辉绿岩岩块, 不同时代沉积岩层在带内分布杂乱, 表现为局部有序、整体无序的巨大的泥砂质混杂岩带, 本次发现的桑单林放射虫动物群就位于该带. 盛金章[16]和尹集祥等人[17]把桑单林一带含放射虫硅质岩沉积时代定为三叠纪"吉隆群"; 李红生[18]将其定为始新统—中新统; 丁林[5]认为该套沉积代表了古新世欧亚大陆逆冲加载到印度被动大陆边缘产生的前陆盆地沉积, 并将其定名为桑单林组; 1∶25 万《萨嘎幅》将其命名为古近系登岗组[19], 而构造和变形研究则表明, 该套沉积属于板块俯冲过程中在雅鲁藏布江缝合带前缘产生的典型构造混杂堆积[20,21].

采样点位于萨嘎县南部的桑单林北西(图 1), 实测剖面与上覆地层和下覆地层接触关系不清, 岩石变形强烈, 岩层主体向北倾, 剖面内包含一倒转向斜

2007-01-22 收稿, 2007-04-25 接受

国家自然科学基金(批准号: 40672086, 40332020)和国家重点基础研究发展计划(编号: 2006CB701400)资助项目

1) Bédard É, Hébert R, Guilmette C, et al. Geochemistry of mafic and ultramafic rocks from Saga and Sangsang ophiolites, Yalung zangbo Suture Zone, Southern Tibet. Workshop Abstract Volume 22nd HKTW, Hong Kong, 2007

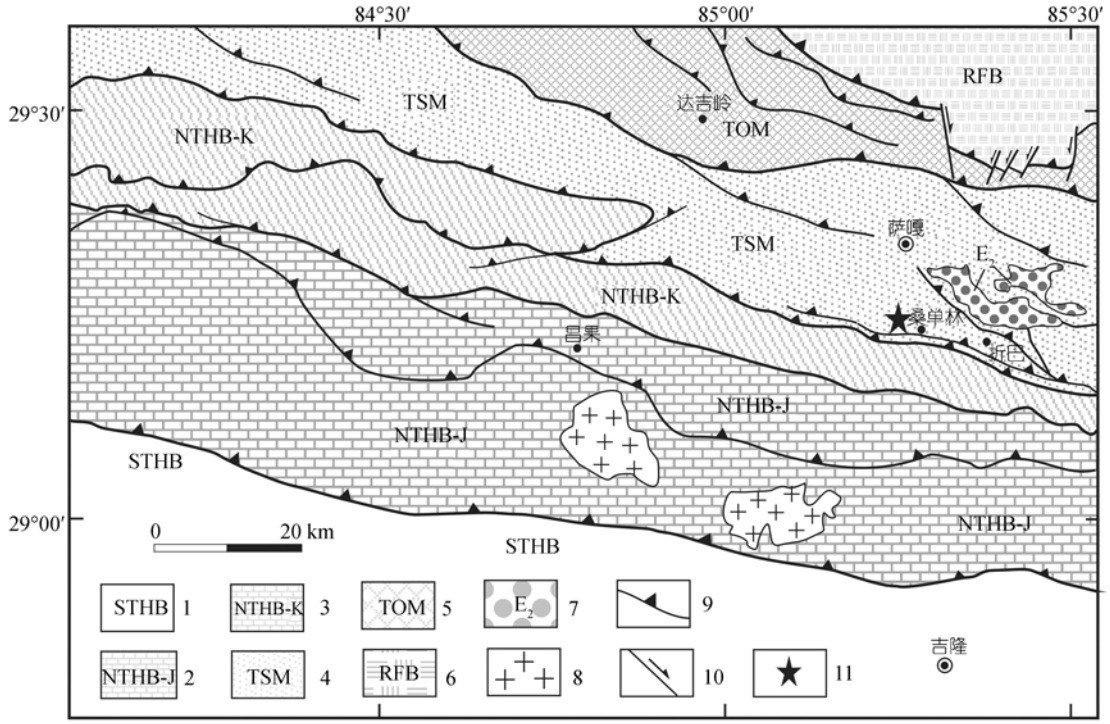

图 1 研究区地质略图和放射虫化石点位置

1. 喜马拉雅南亚带沉积; 2. 喜马拉雅北亚带侏罗系沉积; 3. 喜马拉雅北亚带白垩系沉积; 4. 泥砂质混杂岩; 5. 蛇绿质混杂岩; 6. 弧前盆地沉积; 7. 始新世陆相沉积; 8. 花岗岩; 9. 逆冲断层; 10. 走滑断层; 11. 放射虫样品采集点

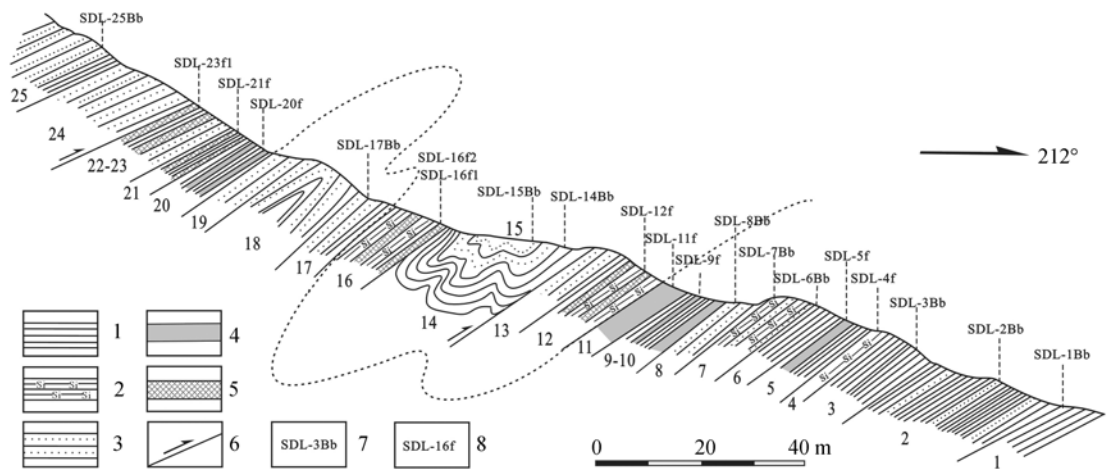

图 2 桑单林化石点地层断片实测剖面图

1. 页岩; 2. 硅质页岩; 3. 石英砂岩; 4. 灰绿色硅质岩; 5. 紫红色硅质岩; 6. 逆断层; 7. 岩石薄片采样点; 8. 放射虫化石采样点

和倒转背斜构造，并且发育 2 条产状平行于原始层理的逆冲断层(图 2). 由于岩层中未见能够指示岩层顶底的沉积构造，使得剖面整体顶底不明. 详细的岩石学研究表明，剖面南段以灰色-灰绿色页岩为主，局部夹厚度不大的石英细砂岩，向上至剖面中段逐渐过渡为灰绿色页岩、紫红-灰绿色硅质岩、硅质页岩和灰白色石英砂岩组合，向上砂岩含量增加，至最北段为中粒石英砂岩，剖面岩层出露的总体厚度约 230 m，考虑到地层的重复，估计原始厚度约为 85~90 m.

2 样品处理过程与放射虫组合

野外共采集放射虫微体化石样品 10 件(图 2)，所

采样品由波兰Jagiellonian大学M. Bak教授分析鉴定. 样品处理过程如下: 首先每块标本碎成 1~2 cm 大小, 并在 105℃下烘干后用 10%的氢氟酸浸泡 48 h, 溶后残余物通过 61 μm 筛, 然后先在显微镜下进行初选, 对于保存较好的放射虫再通过扫描电子显微镜照相, 本次分析中共完成 2000 余张电镜照相与鉴定. 经过上述分析处理, 在剖面第 16 层灰绿色硅质页岩(SDL-16f 2)和 11 层灰绿色硅质岩中(SDL-11f)发现了保存较好的放射虫化石(图 3).

第 11 层灰绿色硅质岩中放射虫包括以下分子: *Spongosaturninus* sp. cf. *S. ellipticus* Campbell & Clark; *Pseudoaulophacus riedeli* Pessagno; *Orbiculiforma sacramentoensis Pessagno* 和 *Patellula planoconvexa* (Pessagno)等(图 3, 1~5), 其组合与Pessagno[22]所划分的晚白垩世 *Crucella easpartoensis* 放射虫带中 *Phaseliforma carinata* 亚带相同, 属于晚白垩世Campanian期放射虫动物群.

第 16 层灰绿色硅质页岩中放射虫保存相对较好, 主要分子有: *Amphisphaera coronata* (Ehrenberg); *Buryella hannae* Bak & Barwicz-Piskorz; *Buryella clinata* Foreman; *Buryella tetradica* Foreman; *Calocycloma ampulla* (Ehrenberg); *Lamptonium fabaeforme constrictum* Riedel 和 Sanfilippo;

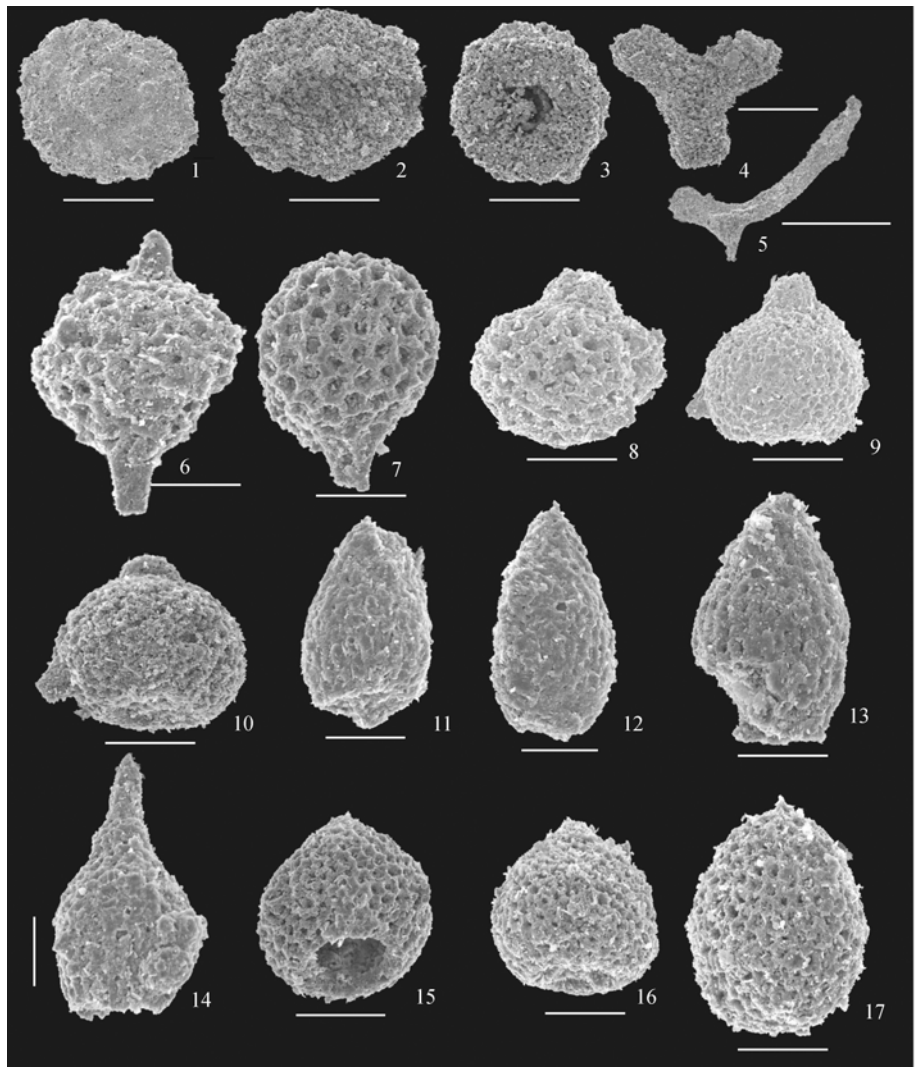

图 3 桑单林放射虫化石

1, 2. *Patellula planoconvexa*, SDL11-1, ×200; 3. *Orbiculiforma sacramentoensis*, SDL11-1, ×300; 4. *Pseudoaulophacus riedeli*, SDL11-1, ×200; 5. *Spongosaturninus* sp. cf. *S. ellipticus*, SDL11-1, ×200; 6, 7. *Amphisphaera coronata*, SDL16-2, ×250; 8. *Calocycloma ampulla*, SDL16-2, ×300; 9, 10. *Bekoma* sp., SDL16-2, ×250; 11. *Buryella hannae*, SDL16-2 ×300; 12. *Buryella clinata*, SDL16-2, × 300; 13. *Buryella tetradica*, SDL16-2, ×500; 14. *Lamptonium fabaeforme constrictum*, SDL16-2, ×300; 15. *Lamptonium pennatum*, SDL16-2 ×250; 16. *Lamptonium* (?) *colymbus*, SDL16-2 ×250; 17. *Lithomespilus coronatus*, SDL16-2, ×250

Lamptonium pennatum Foreman; *Lithomespilus coronatus* Squinabol; *Lamptonium* (?) *colymbus* Foreman 以及 *Amphisphaera minor minor* (Clark & Campbell); *Lamptonium sanfilippoae* Foreman; *Lithelius minor* Jorgensen等(图 3, 6~17). 根据目前放射虫分类与生物地层年代, *Buryella clinata* Foreman; *Buryella tetradica* Foreman; *Calocycloma ampulla* (Ehrenberg); *Lamptonium sanfilippoae* Foreman; *Lamptonium fabaeforme constrictum* Riedel 和 Sanfilippo; *Lamptonium pennatum* Foreman; *Lamptonium*?(?) *colymbus* Foreman等主要为低纬度地区始新世下部放射虫组合, 常见于地中海塞浦路斯 [23] 地区和墨西哥湾地区 [24]硅质岩中, 按照Foreman[24]和 Riedel 等人 [25]的分类, 属于始新世早期 *Buryella clinata-Thursocyrtis ampla*带, 尽管缺少其中一些典型分子, 但上述放射虫的共同出现反映出其时代为始新世早期.

另外, 在桑单林剖面北东 6~7 km 处还发育一套不整合于泥砂质混杂岩之上的陆相磨拉石沉积(图 1), 厚度 294 m, 岩石组合以紫红色-灰绿色含砾砂岩、中-粗砂岩和砾岩为主, 本次研究在其硅质岩砾石中发现大量早白垩世 Barremian 期放射虫化石, 包括 *Praeconosphaera sphaeroconus* (Rust); *Mictyoditra thiensis* (Tan); *Archaeodictyomitra leptocostata* (Wu & Li); *Thanarla brouweri* (Tan); *Hiscocapsa uterculus* (Parona)等, 表明特提斯早白垩世海相沉积岩系为磨拉石沉积的重要物源, 沉积环境、硅质岩砾石组成和时代以及与下伏泥砂质混杂岩角度不整合接触关系表明, 该磨拉石建造为碰撞造山后的山间盆地沉积. 同时, 利用 ESR 法获得了磨拉石沉积底部砂岩 41.2~46.2 Ma(鲁帝特期)的 ESR 沉积成岩年龄, 该时代不仅可以较好地约束该区特提斯洋盆沉积的上限, 而且表明始新世早期海相沉积的存在是可信的.

3 讨论

3.1 放射虫化石产出层位与沉积环境

西藏雅鲁藏布江地区中三叠世(安尼期)—晚白垩世(土仑期)放射虫在不同地区均有发现 [26], 但古新世和始新世放射虫较为少见. 前人对于桑单林剖面放射虫时代与分布存在较大争议, 李红生 [18]根据显微薄片分析报道了该区存在古新世—中新世放射虫, 并建立了 5 个组合; 但由于所采用的样品和鉴定手段有限, 并未被引起足够重视, 以至于对该区是否存在始新世—中新世放射虫存在疑义 [5], 本次研究在该区再次发现了始新世早期放射虫组合, 化石种类和丰度大大超出前人的研究结果. 分析与鉴定显示其时代为始新世早期, 表明该套海相沉积至少可以持续到始新世早期.

现代生存环境表明放射虫主要是一种远洋或半远洋浮游生物, 其生活范围水深变化很大, 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), 但深度一般至少大于 300~500 m[27], 甚至更深, 并且常与硅质岩伴生. 含放射虫层状硅质岩一般被认为形成于远离陆源区的深水环境, 可以出现在大洋、岛弧、深水裂谷等构造环境, 并且常与蛇绿岩共生, 成为蛇绿岩和古洋盆年代的重要的生物年代学约束.从本区放射虫产出环境来看, 放射虫主要存在于灰绿色薄层状硅质岩和硅质页岩中, 薄层硅质岩与泥岩呈互层状, 其中水平层理发育, 缺乏任何浅水环境沉积标志, 并且除放射虫外尚未发现任何其他门类生物化石, 据此可推测其形成于深水环境.

3.2 含放射虫化石沉积岩系的构造属性

含放射虫化石沉积岩系的构造属性, 直接影响到对本区区域构造演化的认识. 即该沉积岩系属于混杂堆积中的构造岩片(块)还是前陆盆地正常沉积 [5]有着不同的大地构造意义. 从本次野外调查和已有研究结果来看, 在组成上, 桑单林剖面及桑单林一带硅质岩所含放射虫时代反映出其时代可能包括三叠纪、白垩纪、古新世—始新世不同时代的沉积 [5,16,18], 据此前人根据放射虫化石时代对其有着不同的命名, 如三叠系"吉隆群"[16]或古新世"桑单林组"[5], 本次研究又在硅质岩中发现了始新世放射虫化石, 表明其组成复杂, 包含有不同时期、不同性质的沉积, 具有造山带典型非史密斯地层特点. 另外, 该沉积岩系变形复杂, 在其内部普遍发育紧闭同斜-无根褶皱以及逆冲断层, 表明该岩石组合经历了强烈的构造改造, 并且其构造变形样式与缝合带南部的构造混杂岩具有一致性 [20,21]. 如在桑单林剖面(图 2), 褶皱变形反映出在 200 m范围内地层至少发生 2 次倒转, 并且发育顺层断层. 因此, 放射虫硅质岩组成特点和变形特征反映出, 含始新世早期放射虫化石的桑单林剖面为该区雅鲁藏布江缝合带南部泥砂质混杂岩带内一构造岩片(块).

丁林 [5]认为本区以富硅质岩的桑单林组和砂泥岩为主的者雅组组成的折巴群代表了古新世前陆盆地沉积, 本次研究中我们除在桑单林剖面发现始新世早期放射虫化石外, 同时在桑单林剖面东侧折巴

地区原古新世折巴群硅质岩中发现了大量早白垩世Barremian晚期- Aptian早期期放射虫，主要分子包括: *Archaeodictyomitra lacrimula* (Foreman), *Archaeodictyomitra leptocostata* (Wu & Li), *Archaeodictyomitra mitra* Dumitrica, *Hiscocapsa grutterinki* (Tan), *Praeconosphaera sphaeroconus* (Rust), *Pseudodictyomitra lanceloti* Schaaf, *Pseudodictyomitra lodogaensis* Pessagno, *Thanarla brouweri* (Tan), *Thanarla pacifica* Nakaseko & Nishimura 等，进一步证实折巴群由不同时代的沉积岩系组成. 同时野外实测剖面研究发现，代表前陆盆地沉积建造的桑单林组硅质岩和者雅组碎屑岩沉积层序的上下关系并不明确，两者常表现为断层接触，在沉积结构上不存在前陆盆地“楔形”结构特点. 而且从地层学角度来看，前陆盆地沉积一般表现出正常的沉积层序，而本区“折巴群”包含了不同时代的沉积、且变形复杂，更多表现出非史密斯地层特点. 上述特点表明，本区含放射虫化石沉积岩系应为构造混杂岩带内无根岩片(块)，是构造混杂岩带重要组成部分，并与蛇绿质混杂岩配套，代表了特提斯洋洋俯冲-碰撞造山过程中的增生残余，指示沿雅鲁藏布江缝合带存在消失了的特提斯古洋盆. 另外，从区域上来看，有孔虫等化石组合研究表明，在研究区西部仲巴地区发育始新世早期加拉孜组海相沉积 [28]，其上为始新世中期之后的冈底斯群不整合覆盖；同时在研究区东部的定日地区遮普惹山也存在始新世中-晚期 (50~40 Ma)海相沉积 [14]，并且其空间位置处于同一构造带，由此我们推测始新世早期沿仲巴—萨嘎—定日一线可能存在一定规模的特提斯海盆.

4 结论

萨嘎地区桑单林剖面始新世早期放射虫动物群的存在和进一步确定，表明这套沉积建造不是单一组成的岩石地层单元，而是经过后期改造的构造混杂堆积. 同时，从古生物学和沉积学上证实，萨嘎地区始新世早期印度板块与欧亚板块间仍存在深水盆地，特提斯洋在古新世早期并未完全封闭，印度和欧亚两大板块的全面碰撞造山作用在该区至少发生在始新世早期以后. 这一发现为全面认识特提斯洋的最终关闭以及印度与亚洲板块的全面碰撞时间、过程提供了新的证据.

致谢 博士研究生魏玉帅、伍新和和王立成参加了野外调查工作, X. X. Zhao 和 Réjean Hébert 教授审阅了文稿，并提出建设性意见，在此一并深表谢意.

参 考 文 献

1 Willems H, Zhou Z, Zhang B, et al. Stratigraphy of the Upper Cretaceous and Lower Tertiary Strata in the Tethyan Himalayas of Tibet (Tingri area, China.). Geol Rundsch, 1996, 85: 723—754

2 Rowley D B. Age of initiation of collision between India and Asia: A review of stratigraphic data. Earth Planet Sci Lett, 1996, 145: 1—13[DOI]

3 Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen. Annu Rev Earth Planet Sci, 2000, 28: 211—280[DOI]

4 Klootwijk C, Gee J, Peirce J, et al. An early India-Asia contact: Paleomagnetic constraints from Ninetyeast Ridge, ODP Leg 121. Geology, 1992, 20: 395—398[DOI]

5 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其对前陆盆地的约束. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33(1): 47—58

6 Patzelt A, Li H M, Wang J D, et al. Palaeomagnetism of Cretaceous to Tertiary sediments from southern Tibet: Evidence for the extent of the northern margin of India prior to the collision with Eurasia. Tectonophysics, 1996, 259: 259—284[DOI]

7 Beck R A, Burbank D W, Sercombe W J, et al. Stratigraphic evidence for an early collision between northwest India and Asia. Nature, 1995, 373: 55—58[DOI]

8 Besse J, Courtillou V, Possi J P. Paleomagnetic estimates of crustal shortening in the Himalayan thrusts and Zangbo suture. Nature, 1984, 311: 621—626[DOI]

9 Patriat P, Achache J. India-Eurasia collision chronology has implications for crustal shortening and driving mechanism of plates. Nature, 1984, 311: 615—621[DOI]

10 Hodges K V. Tectonics of the Himalaya and southern Tibet from two perspectives. Geol Soc Am Bull, 2000, 112 (3): 324—350[DOI]

11 Aitchison J C, Davis A M. Evidence for the multiphase nature of the India-Asia collision from the Yarlung Tsangpo suture zone, Tibet. In: Malpas J, Fletcher C J N, Ali J R, et al, eds. Aspects of the Tectonic Evolution of China. Spec Publ Geol Soc Lond, 2004, 226: 217—233

12 Searle M P, Windley B F, Coward M P, et al. The closing of Tethys and tectonics of the Himalaya. GSA Bull, 1987, 98: 678—701

13 Deway J F, Robert F R S, Shackleton R M, et al. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau. Philos Trans R Soc London, 1988, A327: 379—413

14 李祥辉, 王成善, 胡修棉, 等. 朋曲组 —— 西藏南部最高海相层位一个新的地层单元. 地层学杂志, 2000, 24(3): 243—248

15 李国彪, 万晓樵, 刘文灿, 等. 雅鲁藏布江缝合带南侧古近纪海相地层的发现及其构造意义. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2004, 34(3): 228—240

16 盛金章. 珠穆朗玛峰地区吉隆群的放射虫动物群. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966~1968), 古生物(二). 北京: 科学出版社, 1976. 125—136

17 尹集祥, 孙晓兴, 闻传芬, 等. 西藏南部吉隆县党拉至萨嘎县(加加)地段中生代地层. 中国科学院地质研究所所刊(3). 北京: 科学出版社, 1988. 80—95

18 李红生. 藏南古近纪放射虫的发现 —— 一个迟到的发现报告. 见: 第三届全国地层会议论文集. 北京: 地质出版社, 2002. 354—358
19 河北省地质调查研究院. 1∶25 万《萨嘎幅》区域地质调查报告. 2003
20 陈国铭, 曲景川, 朱志直. 北喜马拉雅褶皱带的洋壳和混杂堆积主要特点. 青藏高原地质文集(1). 北京: 地质出版社, 1982. 124—138
21 钱定宇. 西藏扎扎拉发现混杂堆积. 青藏高原地质文集(7). 北京: 地质出版社, 1982. 166—167
22 Pessagno E A. Radiolarian zonation and stratigraphy of the upper Cretaceous portion of the Great Valley Sequence, California Coast Ranges. Micropaleontology Special Publication, 1976, (2): 1—95
23 Sanfilippo A, Hakyemez A, Tekin U K. Biostratigraphy of Late Paleocene-Middle Eocene radiolarians and foraminifera from Cyprus. Micropaleontology, 2003, 49(1): 47—64[DOI]
24 Foreman H P. Radiolaria of Leg 10 with systematics and ranges for the families Amphipyndacidae, Artostrobiidae, and Theoperidae. In: Worzel J L, Bryant W, eds. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Washington DC: US Government Printing Office, 1973, 10: 407—474
25 Riedel W R, Sanfilippo A. Stratigraphy and evolution of tropical Cenozoic radiolarians. Micropaleontology, 1978, 24: 61—96
26 Yang Q, Matsuoka A, Wang Y J. Progress in radiolarian micropaleontological studies in southern Tibet. Acta Micropalaeontologica Sin, 2002, 19 (2): 105—111
27 De-Wever P, Dumitrica P, Caulet J P, et al. Radiolarians in the Sedimentary Record. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 2001. 1—463
28 万晓樵, 丁林, 李建国, 等. 西藏仲巴地区白垩纪末期 —— 始新世早期海相地层. 地层学杂志, 2001, 25(4): 267—272