

广西东攀剖面二叠纪末期牙形石动物群: 浅水相与深水相的对比

罗根明^{①②}, 赖旭龙^{①②*}, 冯庆来^{①③}, 江海水^{①②}, Paul Wignall^④, 张克信^{①③}, 孙亚东^②, 吴俊^{①②}

① 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 武汉 430074;

② 中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074;

③ 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;

④ School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds, LS2 9JT, UK

* 联系人, E-mail: xllai@cug.edu.cn

收稿日期: 2008-06-12; 接受日期: 2008-08-23

国家自然科学基金(批准号: 40621002, 40232025)、长江学者和教育部创新团队发展计划(编号: IRT0546)、“111”项目(编号: B08030)和中国石油化工海相油气勘探前瞻性项目(编号: G0800-06-ZS-319)资助

摘要 对华南的广西东攀剖面二叠纪末期至三叠纪早期的牙形石进行了系统的研究, 并在二叠纪末期同沉积的灰岩透镜体中(第 3 层和第 5-2 层)获得了丰富的牙形石. 共鉴定出牙形石 P1 分子 1 属 8 种, 包括一新种: *Neogondolella dongpanensis* sp. nov. 该剖面牙形石产出的特点表明这些牙形石属于 *Neogondolella yini* 带, 且该剖面的第 3-5 层相当于煤山剖面的 24 层. 根据牙形石资料 and 前人已发表的放射虫资料, 认为东攀剖面的 *Neobaillella optima* 带至少延伸到了 *N. yini* 牙形石带的上部.

关键词

东攀剖面

二叠纪末期

牙形石动物群

地层对比

二叠纪-三叠纪之交发生了显生宙以来最大的一次生物灭绝, 导致了 90% 以上种一级别的海洋生物^[1,2]和 70% 左右属一级别的陆相脊椎动物的灭绝^[3-5]. 对这次最大的生物灭绝事件的原因、过程以及之后的生物复苏过程的探讨是全世界地质学家所关注的热点之一. 以牙形石 *Hindeodus parvus* 的首现作为三叠纪开始^[6]的全球界线层型剖面于 2001 年建立于中国浙江长兴煤山 D 剖面, 该层型剖面的确立为这一事件的研究提供了一个很好的时间地层格架, 对这一事件的研究具有重大的促进作用^[7,8]. 对这次事件的认识也已经有重大的进步(见文献^[9-13]), 但是在很多方面还存在很大的分歧和未知的地方.

对各种不同相区剖面, 如陆相、海陆交互相、浅

海和深水相剖面的二叠纪-三叠纪生物危机期间, 进行详细的生物和环境危机研究, 对系统探讨此次灭绝事件的过程和原因有很大的帮助^[14,15]. 作为一条重要的二叠-三叠纪之交深水相剖面, 东攀剖面位于广西西南部, 晚二叠世至早三叠世为一套连续的沉积, 近年来各项研究工作也取得了很好的成果, 为研究深水相二叠纪-三叠纪之交生物危机提供了丰富的材料. 该剖面晚二叠世化石非常丰富, 发现了大量的放射虫^[16-20]、腕足类^[21,22]、双壳类^[23]、头足类^[24]、有孔虫^[25]和介形虫^[26]等化石. 蒙有言等^[27]在该剖面 12 层内发现了华南长期的常见双壳类分子 *Claraia liuqiaoensis*, *Euchondria jingxianensis*, *Posidonia* sp., *Nuculopsis* sp., *N. cf. yangtzeensis* 和晚二叠世菊石

Huananoceras cf. *H. perornatum*, *Laibinoceras* cf. *compressum*, *Qianjiangoceras* sp., 而在 13 层发现了 *Claraia dieneri*, *Palaeoneilo* sp., *Bakevella* sp., *Posidonia* sp., *Eumorphotis* sp. 等早三叠世的双壳类, 且在 13 层底部发现了 *Ophiceras* sp., 13-6 和 13-7 出现大量的 *Ophiceras tingi*, 因此将二叠-三叠纪的界线置于 12~13 层之间. Feng 等^[28]对该剖面二叠纪末期高分辨率放射虫的研究认为, 在二叠纪末期放射虫经历了两次灭绝事件. He 等^[29]对该剖面二叠纪末期腕足类大小的研究发现, 在二叠纪末期腕足类存在明显的小型化现象. Zhang 等^[30]在该剖面第 10 层发现了明显的有机碳同位素负漂移. 然而, 由于缺乏牙形石资料, 该剖面与其他研究得较为深入的浅水相剖面, 特别是与二叠纪-三叠纪界线层型的煤山剖面很难进行高分辨率的对比. 这就导致了该剖面所发生的这些事件是否具有全球性, 如果是全球性的事件, 这些事件又该如何与其他剖面所发生的危机事件相对比的问题,

因而阻碍了对深水相区生物与环境协同演化的研究.

牙形石是二叠纪-三叠纪之交地层对比的标准化石, 然而前人在该剖面的工作一直未报道过牙形石材料. 虽然其他门类化石对确定该地层的时代及其与其他剖面进行大致对比起着很大的作用, 然而该剖面与其他剖面在二叠纪-三叠纪界线附近的高精度对比工作还一直没有得到解决. 本次工作在该剖面第 3 层的同沉积灰岩透镜体和第 5 层的同沉积硅质灰岩透镜体中发现了较为丰富的牙形石, 其中含有一些重要的带化石分子, 为解决该剖面与同时期的其他剖面进行准确对比问题提供了有利的帮助.

1 地质背景

东攀二叠系-三叠系界线剖面位于广西壮族自治区扶绥县柳桥镇东北约 4 km 处, 隶属华南地层大区的东南地层区右江地层分区^[31](图 1). 在古地理方面,

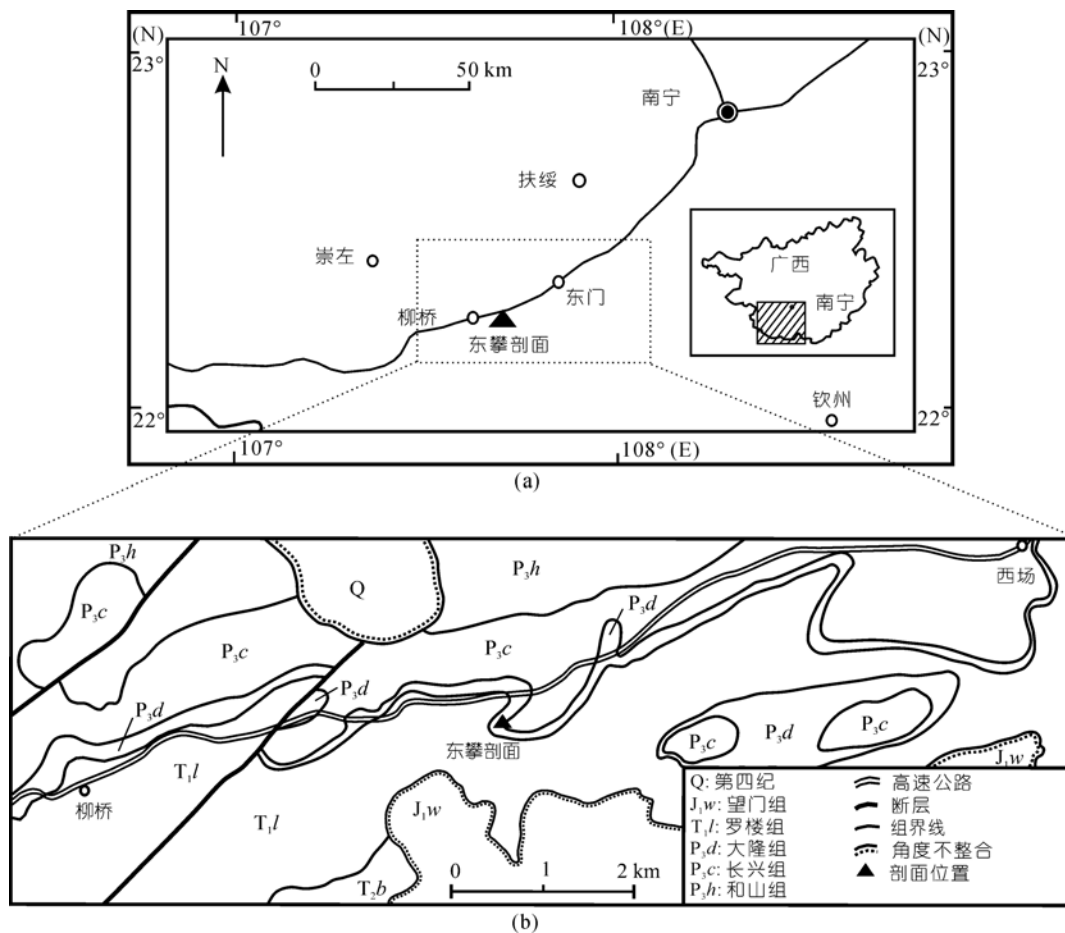


图 1 研究区交通位置图和地质图(据Feng等^[28])

东攀剖面受柳桥地区裂陷槽沉积控制, 该裂陷槽为右江古洋盆的一部分或者在当时很可能与桂西的广海远洋环境相通^[32]. 该剖面二叠系-三叠系界线地层包括大隆组上部至罗楼组底部. 大隆组为剖面的 2~12 层, Feng 等^[28]将该组划分两个岩性段. 下部(2~5 层)岩性为灰黑色薄层状硅质岩、泥质硅质岩、泥岩夹灰白色黏土岩和少量的灰岩透镜体, 透镜体横向上相变为泥质灰岩. 经过区域对比研究, 顾松竹等^[25]认为这些灰岩夹层可能是来源于台地的灰质浊流沉积, 其与硅质岩系的沉积具有同时性. 该段产腕足类、双壳类、菊石、有孔虫、薄壳介形虫和相当丰富的放射虫, 放射虫以深水相的 *Albaillellaria* 目和 *Latentifistularia* 目的分子为主, He 等^[21]认为其水深大约为 200~500 m. 第 6 层为黏土岩夹薄层硅质岩, 产放射虫化石. 第 7 层主要为硅质泥岩. 上段(8~12 层)岩性为泥岩夹黏土岩, 产双壳类和头足类化石. 三叠纪早期的罗楼组(13~14 层)为黄色泥岩和粉砂质泥岩, 产双壳类和菊石化石.

2 材料和方法

为解决二叠纪-三叠纪之交深水相剖面与浅海碳酸盐岩剖面准确的生物地层对比, 本文选择了研究程度较高的广西东攀剖面进行高精度的牙形石研究. 在二叠纪-三叠纪界线附近(3~14 层)采集了 19 个样品, 每个样品约 15 kg. 在室内泥岩及黏土岩首先用 10% 的醋酸泡解, 然后再用自来水泡解; 硅质岩及硅质泥岩用 5% 的氢氟酸泡解, 每 24 h 内洗一次; 灰岩直接用 10% 醋酸泡解直至样品泡解完毕. 样品泡完之后用 20 目和 160 目的筛子洗干净, 取介于两者之间的颗粒物, 风干之后用由丙酮和三溴甲烷配成密度为 2.81 g/mL 的重液进行重力分选, 取下部物质, 风干之后在体视显微镜下挑选. 由于泥岩、硅质岩溶解非常慢, 所以该剖面大部分样品还未处理完, 第 3 层的灰岩透镜体样品全部处理完, 第 5-2 层硅质灰岩样品处理 2/3 左右, 第 6-1 层黏土岩处理了一半左右, 其他的样品只处理了 1/4~1/3 左右. 在第 3 层和第 5-2 层获得了较为丰富的牙形石, 本文的讨论也主要集中在这两层的牙形石上. 另外, 在第 6-1 层获得了一枚分枝形分子和一枚鱼牙.

3 东攀剖面牙形石的产出特征

本工作所获得的牙形石主要是在第 3 层和第 5 层的灰岩透镜体中. 对于该牙形石的同时期性有以下两点证据: (1) 沉积学证据. 顾松竹等^[25]通过对该剖面沉积学的研究认为, 这些灰岩夹层是来源于台地的灰质浊流沉积, 其与硅质岩系的沉积具有同时性; (2) 相对年代学证据. 如果这些牙形石是来自斜坡上老地层中牙形石的再沉积, 则该套地层的年龄更加年轻, 这与其他化石资料相矛盾. 基于以上两点证据, 本文认为本次工作所获得的牙形石与其围岩具有同时性.

本次工作在东攀剖面获得的牙形石主要为 *Neogondolella* 的齿台形分子, 以及少量的分子形分子. 没有发现 *Hindeodus* P1 分子, 这与以往研究深水相牙形石学者得到的结论相一致^[33,34].

第 3 层灰岩透镜体产出非常丰富的牙形石, *Neogondolella* P1 分子共 8 种(图 2), 分枝形分子(P2 和 S1 分子)也较丰富. 该层牙形石主要为二叠纪末期的牙形石组合, 以 *Neogondolella changxingensis*, *N. dongpanensis* sp. nov., *N. yini*, *N. postwangi*, *N. deflecta* 为主, 其次还有 *N. carinata*, *N. subcarinata*, *N. cf. zhejiangensis*. *N. yini* 是二叠纪末期的典型带化石分子. 在煤山剖面上, 以 *N. meishanensis* 的首现确定的 *N. yini* 牙形石带的上限位于 24 层的顶部^[35,36]. *N. changxingensis* 和 *N. deflecta* 是典型的二叠纪末期的牙形石^[35-39]. 然而, 这两者都延伸到了三叠纪早期^[36]. Mei 等^[35]认为在煤山剖面, 牙形石 *N. yini* 于 25 层底部, 即 *N. meishanensis* 牙形石带的下限, 开始演化成 *N. zhejiangensis*. 由长兴阶第一个带化石分子 *N. wangi*^[40] 演化而来的 *N. postwangi* 在二叠纪末期也非常繁盛^[35]. 牙形石分子 *N. sp. A* 的齿台轮廓与 *N. yini* 非常相似, 然而, 其主齿后面发育显著的后边缘(二叠-三叠纪之交牙形石的一个重要特征), 这与 *N. taylorae* P1 分子非常相似. 基于这两点, 本文认为该种是一由 *N. yini* 向 *N. taylorae* 过渡的分子.

第 5 层的牙形石较为单调, 丰度和分异度较第 3 层明显减小, 主要以 *N. changxingensis* 和 *N. dongpanensis* sp. nov. 为主. 由于该层破碎的牙形石较多, 不容易鉴定, 因此大部分分子暂时定为未定种.

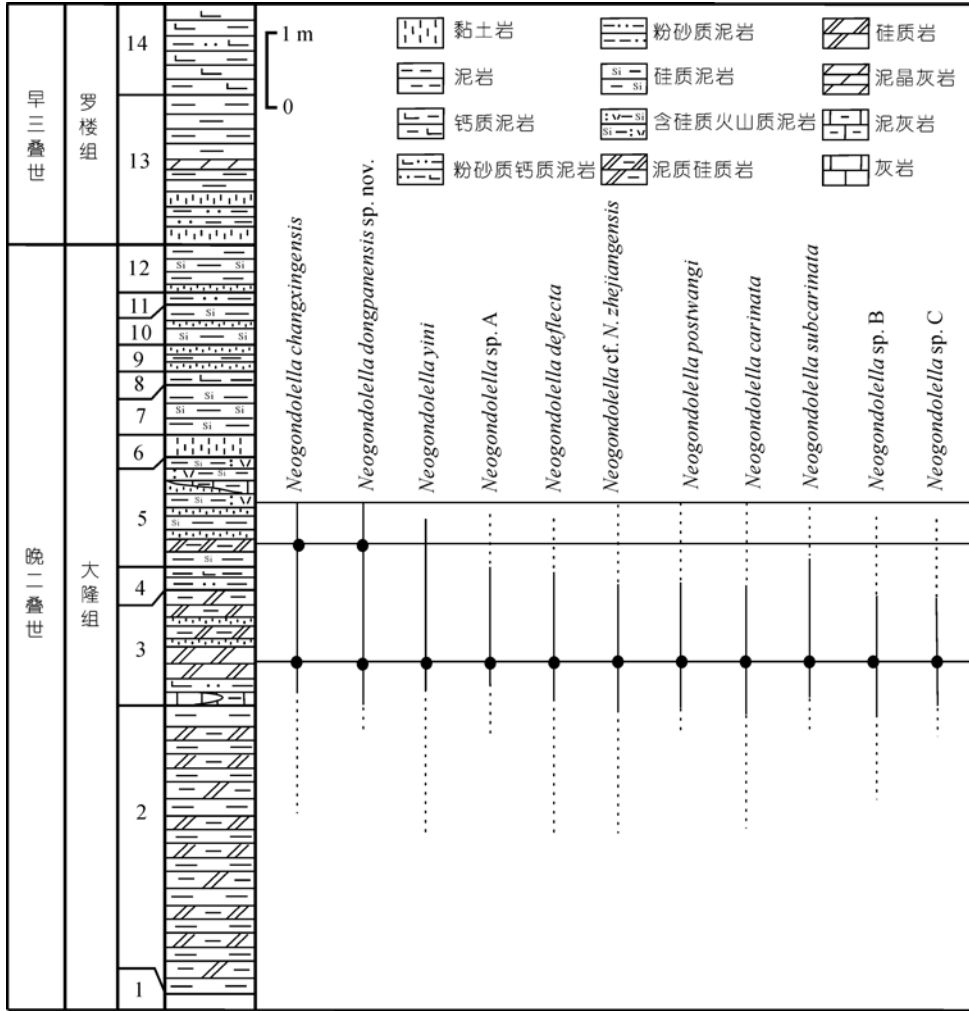


图 2 广西东攀剖面牙形石分布延限

4 东攀剖面的生物地层及时代讨论

以前东攀剖面的生物地层学工作主要集中在放射虫方面^[16-20,28], 其次有腕足类^[21,29]、双壳类^[23]和头足类^[24]等生物。Jin等^[20]和Zhang等^[30]研究认为, 东攀剖面的2~5层属于*Neobaillella optima*带, 并且发现了*Albaillella yaoi*分子, 说明这段地层属于二叠纪晚期。而第6层往上没有见到*Albaillellidae*分子(除第6层发现一个种), 第6~12层以Entactinaria目放射虫为主, 13层往上未发现放射虫。头足类的研究在2~12层发现了长兴期菊石带*Pseudotirolites-Rotodiscoceras*的共生化石, 而在第13-1A~16层发现了早三叠世菊石化石带*Ophiceras-Lytophiceras*的带化石*Lytophiceras*和*Ophiceras*, 因而将二叠纪-三叠

纪界线置于12~13层之间^[24,27]。上述生物地层资料对二叠-三叠纪转折期地层的划分有很大的帮助, 然而仅以这些生物地层资料要实现该剖面与全球层型剖面的精确对比还存在很大的困难。

东攀剖面产出的牙形石是典型的二叠纪末期分子, 包括*Neogondolella yini*, *N. changxingensis*, *N. deflecta*, *N. carinata*, *N. subcarinata*, *N. postwangi*, *N. dongpanensis* sp. nov. *N. yini*是二叠纪末期*N. yini*牙形石带的带化石分子。另外, 本次工作在第3层发现的牙形石*N. sp. A*是由*N. yini*分子向*N. taylorae*分子过渡的分子。在煤山剖面, *N. taylorae*是跨越了二叠-三叠纪界线的化石带*N. taylorae*带的带化石^[36]。因此, 本文认为东攀剖面的第3层至第5层相当于*N.*

yini 带.

由于放射虫的演化速度较慢, 整个长兴阶只建立了一个放射虫组合带, 即 *Neobaillella optima* 组合带^[41], Xia 等^[42]认为 *N. optima* 总的延限带相当于 *N. optima*-*A. laota* 带, *A. angusta*-*A. flexa* 带, *A. triangularis* 带和 *A. yaoi* 等 4 个带. 另外, 由于深水相剖面牙形石产出较少, 牙形石带和放射虫带的对比很难进行. Yao 等^[34]对日本西南部的 Gujo-hachiman 剖面放射虫和牙形石的研究认为, *Neobaillella optima* 带包含了 *Neogondolella zhangii* 牙形石带, 并

且可能也包括了 *N. meishanensis* 带. 而 Xia 等^[42]认为 *Albaillella yaoi* 带, 即 *Neobaillella optima* 带的顶部相当于黄石剖面的 *Neogondolella changxingensis*-*N. deflecta* 组合带, 或者煤山剖面的 *N. changxingensis*-*N. postsubcarinata*-*N. postwangi*-*N. deflecta* 组合带. 但其建立的牙形石带和放射虫带的材料来源于两个不同的剖面. 本文根据所获得的该剖面的牙形石材料, 结合该剖面前人的放射虫资料, 认为放射虫带 *Neobaillella optima* 至少延伸到了牙形石 *N. yini* 带 (图 3).

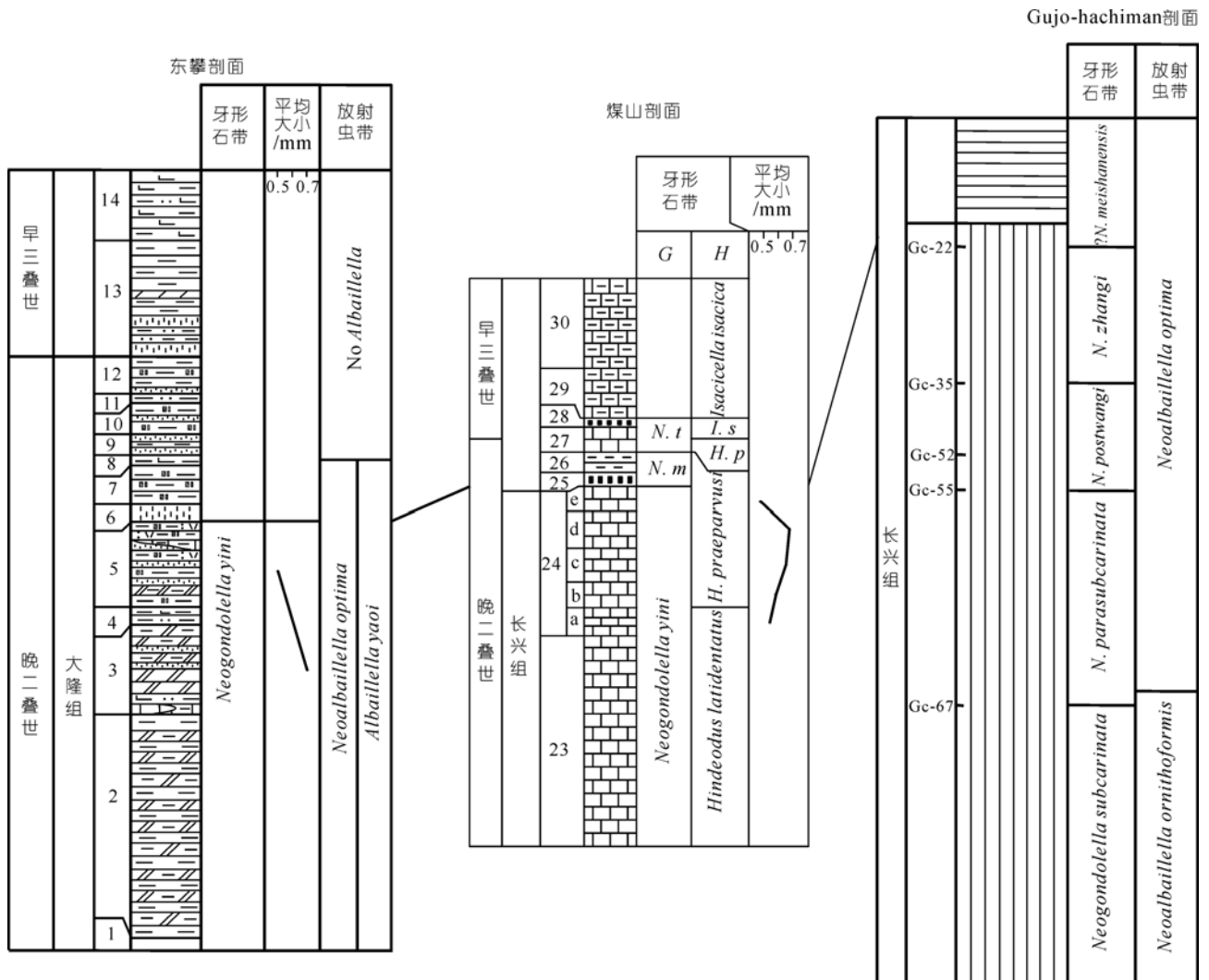


图 3 华南东攀剖面、煤山剖面、日本西南部 Gujo-hachiman 剖面的生物地层对比以及牙形石带和放射虫带之间的对比

N. m = *Neogondolella meishanensis*, *N. t* = *Neogondolella taylorae*, *H. p* = *Hindeodus parvus*, *I. s* = *Isarcicella staeschei*, *G* = *Gondolellid*, *H* = *Hindeodid* (据 Jin 等^[20], Jiang 等^[36]和 Yao 等^[34])

5 东攀剖面和煤山剖面的对比

5.1 东攀剖面与煤山剖面之间牙形石动物群的对比

与煤山剖面相比, 东攀剖面的牙形石动物群也包括一些常见的晚二叠世分子, 如 *Neogondolella changxingensis*, *N. yini*, *N. postwangi*, *N. deflecta*, *N. carinata* 和 *N. subcarinata*。然而东攀剖面牙形石也具有自己的独特方面: 一是东攀剖面的牙形石齿脊愈合的分子较多, 典型的分子如 *N. dongpanensis* sp. nov.; 二是许多分子在主齿后端存在一个明显的齿台后缘(brim), 如本文描述的 *N. sp. A*, *N. sp. B*, *N. sp. C* 等。

东攀剖面第 3 层所产出的牙形石主要是成年个体, 标本完整, 齿体厚实, 细齿粗壮(见图 4)。标本大小在 0.6~0.9 mm 之间, 平均大小约为 0.7 mm。与第 3 层产出的牙形石标本相反, 第 5 层产出的牙形石标本主要为幼年个体, 大部分标本均较破碎, 齿体较为单薄, 为半透明的琥珀色, 齿脊上的细齿较为脆弱(见图 5 中 P1 分子)。由于该层标本大部分破碎, 个体大小没有经过精确的测量, 标本的估测值主要集中在 0.4~0.7 mm 之间, 平均大小约为 0.5 mm。也就是说从第 3 层到第 5 层, 牙形石的个体明显变小了。在煤山剖面, 牙形石 *Neogondolella*, *Hindeodus-Isarcicella* 和鱼牙(未发表资料)在 24d 和 24e 之交(*N. yini* 带上部)也发生了明显的小型化现象^[43,44]。在煤山剖面, 牙形石 *Neogondolella* 和 *Hindeodus* P1 分子分别由 24d 层的 0.688 mm 减小为 24e 层的 0.490 mm, 0.534 mm 减小为 0.436 mm。

东攀剖面牙形石小型化的发现表明二叠纪-三叠纪之交, 牙形石的小型化至少是一个区域性的事件, 在不同的相区和不同的古地理位置都有表现, 如上斜坡相的煤山剖面, 下斜坡相的上寺剖面和较深水相的东攀剖面。罗根明等^[43]对二叠纪末期牙形石“小型化”的研究认为, 牙形石的个体变小是由环境危机导致的并且支持一次生物危机。东攀剖面牙形石的个体减小现象表明, 该时期也存在一次环境的恶化, 且可能导致一些生物的灭绝。

5.2 东攀剖面与煤山剖面之间的生物地层对比

由于前人在该剖面一直未找到牙形石, 使得东攀剖面与煤山剖面之间的高分辨率对比也就一直没有得到解决。一些学者尝试用化学地层和岩石地层对比来解决此问题^[30]。Zhang 等^[30]研究了东攀剖面的岩石地层和化学地层并认为东攀剖面的第 10 层相当于煤山剖面的 26 层。然而, Feng 等^[28]根据放射虫的演化特点认为, 东攀剖面第 5 层的放射虫事件对应于煤山剖面的 24d 层顶部, 这可能是由于放射虫是一种浮游型生物, 对环境的响应要滞后于其他生物。过去由于东攀剖面的牙形石生物地层工作迟迟没有突破, 因此, 东攀剖面与煤山剖面之间的生物地层对比工作一直没有得以实现。东攀剖面的岩性出露特征要比煤山剖面复杂, 在界线附近出现了数个黏土岩与泥岩的互层(或多层“三明治”结构)^[27], 而煤山剖面界线附近仅有一个“三明治”结构, 这使得通过岩性地层来实现两个剖面之间的对比, 特别是高分辨率的对比有很大的困难。这些不同点使得这两个剖面之间的对比, 特别是二叠-三叠纪之交高分辨率的对比非常困难。

东攀剖面第 3 层和第 5 层的牙形石属于 *N. yini* 带, 相当于煤山剖面的 24 层。第 3 层到第 5 层的牙形石个体变小现象与煤山剖面 24d 和 24e 之间牙形石的小型化相一致(图 3)。这一现象表明东攀剖面的第 5 层可能相当于煤山剖面的第 24e 层。由 *N. yini* 向 *N. taylorae* 过渡的牙形石 *N. sp. A* 的发现也支持了这种对比。

Feng 等^[28]研究了该剖面高分辨率的放射虫演化特点, 发现放射虫经历了两幕灭绝过程, 分别发生在该剖面的第 5 层和第 7 层顶部, 认为分别对应于煤山剖面的 24d 和 24e 层顶部。这就意味着由牙形石和放射虫所得的对比存在一点错位, 这可能是由生活在不同生境中的生物对环境危机响应时间不同而导致的。

牙形石的工作表明东攀剖面的“事件层”(第一次生物危机至 PTB)厚达 5 m 之多, 而在煤山剖面这段地层却只有 28 cm。这进一步说明煤山剖面是一个非常凝缩的剖面, 深水相的东攀剖面可能记录了比煤山剖面更加丰富、完整的信息, 为深入探讨二叠-三叠纪之交生物危机的地球生物学过程提供了一个好的载体。

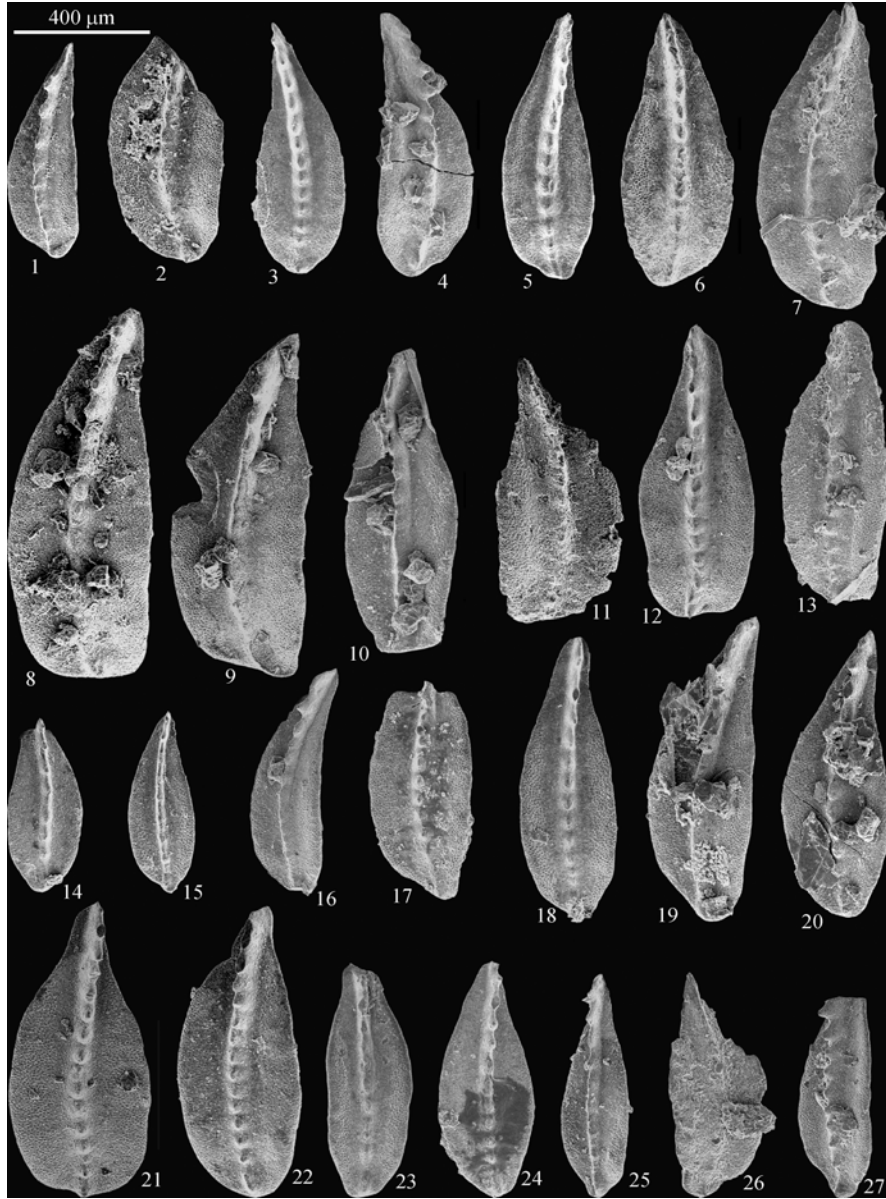


图 4 广西东攀剖面第 3 层牙形石

所有标本均保存于中国地质大学(武汉)地球科学学院微体古生物室; 1, 3, 15. *Neogondolella yini* P1 分子, Mei, Zhang and Wardlaw, 1998, 均为口视, 1. 幼年, 登记号: lgm_2_019, 3. 成年, 登记号: lgm_2_027, 15. 青年, 登记号: lgm_2_037; 2. *Neogondolella* sp. P1 分子, 口视, 成年, 登记号: lgm_2_038; 4. *Neogondolella* sp. A P1 分子, 口视, 成年, 登记号: lgm_2_022; 5, 6, 13, 14, 18, 27. *Neogondolella changxingensis* P1 分子, Wang and Wang, 1981, 5. 口视, 成年, 登记号: lgm_2_017, 6. 口视, 成年, 登记号: lgm_2_016, 13. 斜口视, 成年, 登记号: lgm_2_028, 14. 口视, 成年, 登记号: lgm_2_020, 18. 口视, 成年, 登记号: lgm_2_025, 27. 斜口视, 成年, 登记号: lgm_2_035; 7. *Neogondolella* cf. *N. zhejiangensis* P1 分子, 口视, 成年, 登记号: lgm_2_032; 8, 9, 11, 12. *Neogondolella deflecta* P1 分子, Wang and Wang, 1981, 均为口视, 8. 成年, 登记号: lgm_2_021, 9. 成年, 登记号: lgm_2_018, 11. 青年, 登记号: lgm_2_013, 12. 成年, 登记号: lgm_2_015; 10. *Neogondolella* sp. B P1 分子, 口视, 成年, 登记号: lgm_2_024; 16, 19, 25. *Neogondolella dongpanensis* P1 分子, 16. 斜口视, 青年, 登记号: lgm_2_031, 19. 斜口视, 青年, 登记号: lgm_2_029, 25. 斜口视, 幼年, 登记号: lgm_2_033; 17. *Neogondolella* sp. P1 分子, 口视, 成年, 登记号: lgm_2_036; 20, 24. *Neogondolella postwangi* P1 分子, Tian, 1993, 均为口视, 20. 成年, 登记号: lgm_2_030, 24. 成年, 登记号: lgm_2_023; 21. *Neogondolella subcarinata* P1 分子, Sweet, 1973, 口视, 成年, 登记号: lgm_2_014; 22. *Neogondolella* sp. C P1 分子, 口视, 成年, 登记号: lgm_2_012; 23. *Neogondolella* sp. P1 分子, 口视, 成年, 登记号: lgm_2_026; 26. *Neogondolella carinata* P1 分子, Clark, 1959, 口视, 成年, 登记号: lgm_2_034

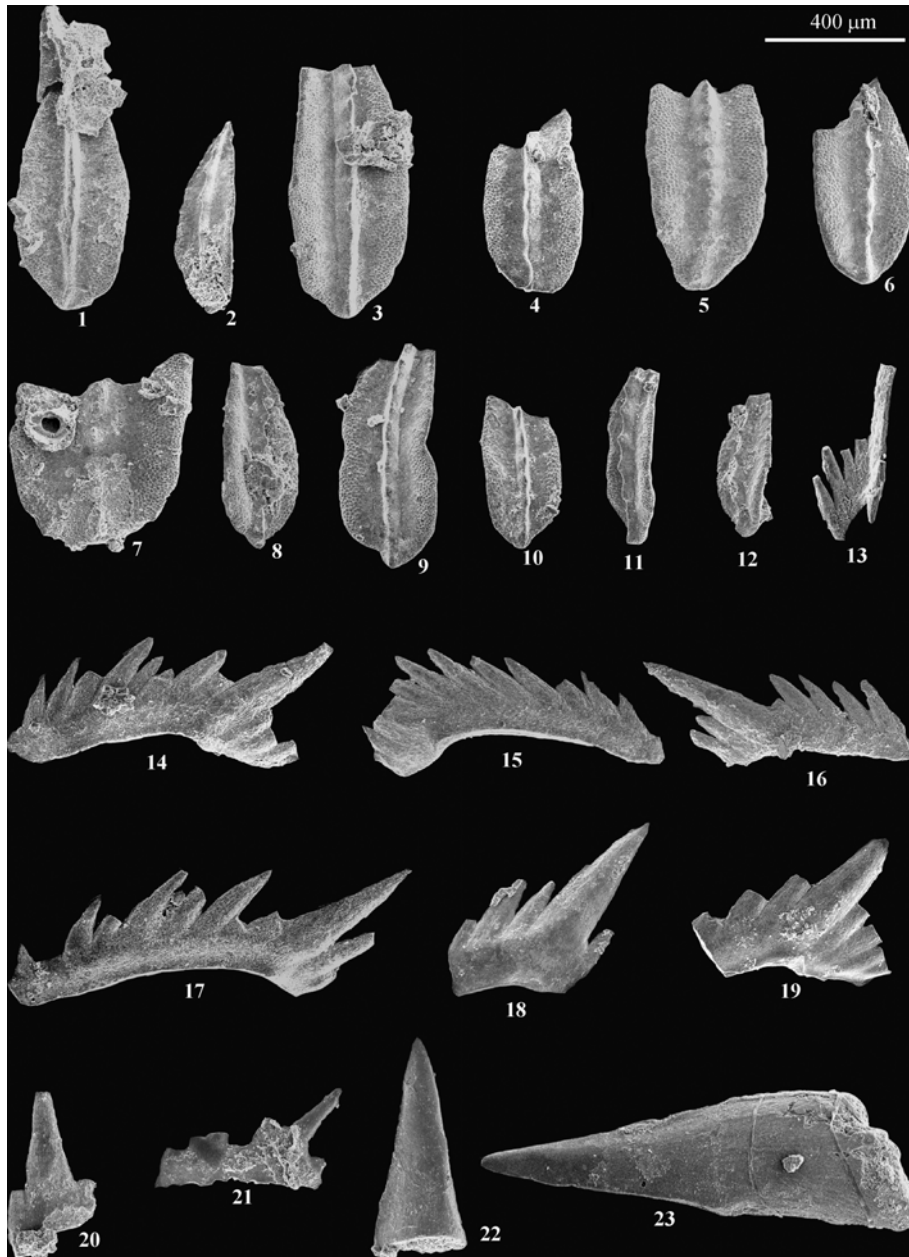


图 5 广西东攀剖面牙形石

除特别说明, 所有标本都来自第 5-2 层; 所有标本均保存于中国地质大学(武汉)地球科学学院微体古生物室. 1, 2. *Neogondolella dongpanensis* P1 分子, 1. 口视, 青年, 登记号: lgm_1_004, 2. 斜口视, 幼年, 登记号: lgm_1_003; 3, 10. *Neogondolella* sp. P1 分子, 3. 口视, 成年, 登记号: lgm_1_005, 10. 口视, 青年, 登记号: lgm_1_012; 4. *Neogondolella* sp. P1 分子, 口视, 青年, 登记号: lgm_1_006; 5. *Neogondolella* sp. P1 分子, 口视, 成年, 登记号: lgm_1_007; 6, 8, 11, 12. *Neogondolella changxingensis* P1 分子, Wang and Wang, 1981, 6. 口视, 青年, 登记号: lgm_1_008, 8. 斜口视, 幼年, 登记号: lgm_1_010, 11. 侧视, 幼年, 登记号: lgm_1_013; 12. 斜口视, 幼年, 登记号: lgm_1_014; 7. *Neogondolella* sp. P1 分子, 口视, 成年, 登记号: lgm_1_009; 9. *Neogondolella* sp. P1 分子, 口视, 青年, 登记号: lgm_1_011; 13. *Neogondolella* S2 分子, 侧视, 登记号: lgm_2_042, 产出层位: 东攀剖面第 3 层; 14, 16. *Neogondolella* P2 分子, 14. 侧视, 登记号: lgm_2_040, 16. 侧视, 登记号: lgm_2_043, 产出层位: 东攀剖面第 3 层; 15. *Neogondolella* P2 分子, 侧视, 登记号: lgm_2_041, 产出层位: 东攀剖面第 3 层; 17. *Neogondolella* P2 分子, 侧视, 登记号: lgm_2_039, 产出层位: 东攀剖面第 3 层; 18, 19. *Neogondolella* P2 分子, 18. 侧视, 登记号: lgm_1_016, 19. 侧视, 登记号: lgm_1_017; 20, 21. *Neogondolella* P2 分子, 20. 侧视, 登记号: lgm_1_018, 21. 侧视, 登记号: lgm_1_019; 22, 23. 鱼牙化石

6 系统古生物学

Neogondolella dongpanensis sp. nov. Luo, Lai, Jiang

图 4 中 16, 19, 25; 图 5 中 1, 2

正模: 图 4 中 16; 副模: 图 5 中 1

种名词源: 以首次发现产地广西东攀(Dongpan)命名.

描述: *Neogondolella dongpanensis* sp. nov. P1 为齿台型片状(segminiploante)分子. 齿脊非常愈合, 向齿台后方逐渐变低. 主齿位于齿台最后部, 不明显. 齿台呈水滴状, 窄圆形或点状的齿台后端. 最大宽度位于齿台后端的 1/4 处, 向前后逐渐缩小. 大部分标本的齿脊向内侧弯曲, 少量标本齿脊笔直. 自由齿片不发育. 基坑浅.

比较与讨论: 本种与*Neogondolella changxingensis* Wang and Wang, 1981^[45]的特征非常相似, 不同的地方是齿脊的特征, 前者齿脊高度愈合, 而后者的细齿是分离的.

产出层位: 广西东攀剖面上二叠统大隆组 3~5 层.

Neogondolella sp. A

图 4 中 4

描述: *Neogondolella* sp. A P1 为齿台型片状(segminiploante)分子. 其以水滴状的齿台和主齿后部明显的齿台后缘而区别于其他种. 齿台后部宽且平, 最大宽度位于齿台的后端. 齿脊前部由 4~5 个半愈合的细齿所组成, 向后细齿逐渐变小变低至主齿, 主齿直立或稍向后倾斜. 无自由齿片, 近脊沟浅但较宽. 主齿后端有一明显的齿台后边缘.

比较与讨论: 该种与*Neogondolella praetaylorae* Kozur, 2004^[39]非常相似, 但前者的齿台轮廓呈水滴状, 最大宽度位于齿台后端, 齿脊后端细齿较为愈合, 主齿直立且明显; 而后者齿台轮廓为透镜状, 最大宽度位于齿台中部或中部稍偏后, 齿脊后端细齿分离, 主齿直立但不是很明显. 该种与*Neogondolella yini* P1 分子, Mei, Zhang and Wardlaw, 1998 非常相似, 两者的齿台轮廓一致, 区别是前者主齿后端存在一显著的齿台后边缘. 该种主齿后端明显的齿台后边缘与*Neogondolella taylorae* Orchard, 1998 非常相似. 因

此, 本文认为该种可能是*Neogondolella yini*向*Neogondolella taylorae*演化的中间过渡种, 与*Neogondolella praetaylorae* Kozur, 2004 的时代大致相同.

产出层位: 广西东攀剖面上二叠统大隆组.

Neogondolella sp. B

图 4 中 10

描述: *Neogondolella* sp. B P1 为齿台型片状(segminiploante)分子, 齿台呈透镜状, 最大宽度位于齿台中部, 向齿台前端均匀收缩, 向后端缓慢收缩, 在靠近齿台后边缘处, 齿台边缘有明显的收缩, 然后又扩大至齿台后缘. 齿台后缘呈截切状. 愈合的齿脊前部由 4~5 个半融合的细齿组成, 较高, 向后逐渐变低但细齿非常融合, 无自由齿片, 齿脊后段略向内侧弯曲. 主齿较小、直立, 位于齿台后部, 主齿后端有一明显的后边缘. 反口面隆脊低, 约占整个反口面的 1/3~1/2, 主齿下基坑较小.

比较与讨论: 本种以其特有的齿台轮廓而区别于其他种. 本种与*Neogondolella dongpanensis* sp. nov. 的齿脊特征非常相似, 但前者的齿台轮廓以及主齿后端的齿台后边缘不同于后者.

产出层位: 广西东攀剖面上二叠统大隆组第 3 层.

Neogondolella sp. C

图 4 中 22

描述: *Neogondolella* sp. C P1 为齿台型片状(segminiploante)分子, 齿台呈中等长度的椭圆形, 齿台后端呈宽圆形, 最大宽度位于齿台中部, 向齿台前端和后端逐渐变窄, 但在齿台前端的 1/5~1/6 处急剧变窄. 齿台两侧近平行. 不具自由齿片, 但前齿片较高, 由 3~4 个细齿半融合而成, 向后细齿逐渐变小、变低, 齿脊中后部的细齿分离, 主齿显著, 与最后一个细齿融合在一起, 且与倒数第 2 个细齿之间有较大的间隔. 主齿后端有一明显的后边缘(brim). 近脊沟较浅但很宽. 反口面隆脊低, 主齿之下基坑较小, 隆脊占整个反口面的 1/3 左右.

比较与讨论: 本种与*Neogondolella taylorae* Orchard, 1994^[46]和*N. zhejiangensis* Mei, 1996^[47]很相似. 与前者的区别是该种齿台呈中等长度的椭圆形, 近

脊沟浅且宽, 齿台最前端急剧变窄, 主齿与最后一个细齿融合, 而与倒数第 2 个细齿间隔较大; 与后者的区别是该种齿台呈中等长度的椭圆形, 主齿与最后一个细齿融合, 有一个明显的齿台后边缘。

产出层位: 广西东攀剖面上二叠统大隆组第 3 层。

7 结论

本文提供了二叠纪-三叠纪之交深水相剖面(东攀剖面)和浅水相剖面(煤山剖面)之间对比的牙形石资料。在东攀剖面第 3 层和第 5 层的同沉积的硅质灰岩透镜体中获得了较为丰富的牙形石化石, *Neogondolella* P1 分子共 1 属 8 种, 其中 1 新种。东攀剖面的

牙形石动物群属于 *N. yini* 牙形石带的上部。根据牙形石带的资料, 以及东攀剖面第 5 层的牙形石个体大小突然变小这一特点, 本文认为东攀剖面第 3 到第 5 层相当于煤山剖面的第 24 层。而且本文认为放射虫的危机可能滞后于其他生物。同时, 本文的牙形石资料表明, 东攀剖面的 *Neoalbaillella optima* 放射虫带至少延伸到了 *Neogondolella yini* 牙形石带的顶部。

东攀剖面和煤山剖面之间牙形石资料的对比表明, 东攀剖面二叠纪-三叠纪之交的“事件层”远比煤山剖面的要厚, 这可能意味着相对于浅水相剖面, 深水相剖面记录了更多的二叠纪-三叠纪重大转折期生物与环境协同演化的信息。

致谢 殷鸿福教授对二叠-三叠纪转折期提出指导和建议, 两位审稿专家为本文的修改提出了很宝贵的意见, 这在很大程度上提高了本文的质量, 在此深表感谢。

参考文献

- 1 Stanley S M, Yang X. A double mass extinction at the end of the Paleozoic Era. *Science*, 1994, 266: 1340—1344[DOI]
- 2 Bambach R K, Knoll A H, Wang S C. Origination, extinction, and mass depletions of marine diversity. *Paleobiology*, 2004, 30: 522—542[DOI]
- 3 Benton M J. Mass extinctions in the fossil record of reptiles: paraphyly, patchiness, and periodicity (?). In: Larwood G, ed. *The Extinction and Survival in the Fossil Record*. Syst Assoc Spec Vol, 1988, 34: 269—294
- 4 King G M. Terrestrial tetrapods and the end Permian event: a comparison of analyses. *Hist Biol*, 1991, 5: 239—255
- 5 Maxwell W D. Permian and Early Triassic extinction of non-marine tetrapods. *Palaeontology*, 1991, 35: 571—583
- 6 Yin H F, Yang F Q, Zhang K X, et al. A proposal to the biostratigraphy criterion of Permian/Triassic boundary. *Mem Soc Geol Ital*, 1988, 34: 329—344
- 7 Yin H F, Zhang K X, Tong J N, et al. The Global stratotype section and point (GSSP) of the Permian-Triassic boundary. *Episodes*, 2001, 24: 102—114
- 8 Yin H F, Tong J N, Zhang K X. A review on the global stratotype section and point of the Permian-Triassic boundary. *Acta Geol Sin*, 2005, 79: 801—840
- 9 Erwin D H. Impact at the Permo-Triassic boundary: a critical evaluation. *Astrobiology*, 2003, 3: 67—74[DOI]
- 10 Wignall P B. The end-Permian mass extinction—how bad did it get? *Geobiology*, 2007, 5: 303—309[DOI]
- 11 Tong J N, Zhang S X, Zuo J X, et al. Events during Early Triassic recovery from the end-Permian extinction. *Glob Planet Change*, 2007, 55: 66—80[DOI]
- 12 Xie S C, Pancost R D, Huang J H, et al. Changes in the global carbon cycle occurred as two episodes during the Permian-Triassic crisis. *Geology*, 2007, 35: 1083—1086[DOI]
- 13 Yin H F, Feng Q L, Lai X L, et al. The protracted Permo-Triassic crisis and the multi-act mass extinction around the Permian-Triassic boundary. *Glob Planet Change*, 2007, 55: 1—20[DOI]
- 14 殷鸿福. 二叠系-三叠系界线研究进展. *地球科学进展*, 1994, 9: 1—9
- 15 叶玫, 冯庆来. 深海二叠系-三叠系界线研究现状. *地质科技情报*, 1997, 16: 47—51
- 16 Feng Q L, Gu S Z, Jiang M L, et al. Two new radiolarian genera from the uppermost Permian of southern China. *Rev Micropaléontol*, 2004, 47: 135—143
- 17 Feng Q L, Gu S Z, He W H, et al. Latest Permian Entactinaria (Radiolaria) from southern Guangxi, China. *J Micropalaeontol*, 2006, 25: 1—18
- 18 Feng Q L, He W H, Gu S Z, et al. Latest Permian Spumellaria and Entactinaria (Radiolaria) from South China. *Rev Micropaléont*, 2006, 49: 21—43[DOI]
- 19 Feng Q L, He W H, Zhang S X, et al. Taxonomy of order Latentifistularia (Radiolaria) from the latest Permian in southern Guangxi, China. *J Paleontol*, 2006, 80: 826—848[DOI]

- 20 Jin Y X, Feng Q L, Meng Y Y, et al. Albaillellidae (Radiolaria) from the latest Permian in southern Guangxi, China. *J Paleontol*, 2007, 81: 9—18[DOI]
- 21 He W H, Shen S Z, Feng Q L, et al. A late Changhsingian (Late Permian) deep-water brachiopod fauna from the Dalong Formation at the Dongpan section in southwestern Guangxi, South China. *J Paleontol*, 2005, 79: 927—938[DOI]
- 22 He W H, Shi G R, Feng Q L, et al. Discovery of late Changhsingian (latest Permian) brachiopod *Attenuatella* species from South China. *Alcheringa*, 2007, 31: 271—284[DOI]
- 23 He W H, Feng Q L, Weldon E A, et al. A Late Permian to Early Triassic bivalve fauna from the Dongpan Section, southern Guangxi, South China. *J Paleontol*, 2007, 81: 1012—1022
- 24 卜建军, 吴顺宝, 张宏亮, 等. 广西东攀剖面二叠-三叠系界线附近头足类动物群与地质时代讨论. *地质科技情报*, 2006, 25: 47—51
- 25 顾松竹, 彭凡, 何卫红, 等. 桂西南柳桥地区二叠纪末期浅水相小有孔虫动物群. *微体古生物学报*, 2005, 22: 163—172
- 26 Yuan A H, Crasquin-Soleau S, Feng Q L, et al. Latest Permian deep-water ostracods from southwestern Guangxi, South China. *J Micropalaeontol*, 2007, 26: 169—191
- 27 蒙有言, 冯庆来, 何卫红, 等. 桂西南柳桥地区深水相二叠系-三叠系界线剖面. *地层学杂志*, 2005, 29: 323—332
- 28 Feng Q L, He W H, Gu S Z, et al. Radiolarian evolution during the latest Permian in South China. *Glob Planet Change*, 2007, 55: 177—192[DOI]
- 29 He W H, Shi G R, Feng Q L, et al. Brachiopod miniaturization and its possible causes during the Permian-Triassic crisis in deep water environments, South China. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 2007, 252: 145—163[DOI]
- 30 Zhang F, Feng Q L, He W H, et al. Multidisciplinary stratigraphy across the Permian-Triassic boundary in deep-water environment of the Dongpan section, South China. *Norwegian J Geol*, 2006, 86: 125—131
- 31 殷保安. 广西壮族自冶区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 1—5, 145—165
- 32 吴浩若, 邝国敦, 咸向阳, 等. 桂南晚古生代放射虫硅质岩及广西古特提斯的初步探讨. *科学通报*, 1994, 39(9): 809—812
- 33 Orchard M J, Krystyn L. Conodonts of the Lowermost Triassic of Spiti, and new zonation based on *Neogondolella* successions. *Riv Ital Paleontol Stratigr*, 1998, 104: 341—368
- 34 Yao J X, Yao A, Kiyoko K. Upper Permian biostratigraphic correlation between conodont and radiolarian zones in the Tamba-Mino Terrane, Southwest Japan. *J Geosci, Osaka City Univ*, 2001, 44: 97—119
- 35 Mei S L, Zhang K X, Wardlaw B R. A refined succession of Changhsingian and Griesbachian neogondolellid conodonts from the Meishan section, candidate of the global stratotype section and point of the Permian-Triassic boundary. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 1998, 143: 213—226[DOI]
- 36 Jiang H S, Lai X L, Luo G M, et al. Restudy of conodont zonation and evolution across the Permian-Triassic boundary at Meishan Section, Changxing, Zhejiang. *Glob Planet Change*, 2007, 55: 39—55[DOI]
- 37 张克信, 赖旭龙, 丁梅华, 等. 浙江长兴煤山二叠-三叠系界线层牙形石序列及其全球对比. *地球科学——中国地质大学学报*, 1995, 20: 669—677
- 38 Ding M H, Lai X L, Zhang K X. Conodont sequences and their lineages in the Permian-Triassic boundary strata at the Meishan Section, South China. In: Wang N W, Remane J, eds. *Stratigraphy: Proceeding of the 30th International Geological Congress*. Brill Academic Publishers, 1997. 153—162
- 39 Kozur H W. Pelagic uppermost Permian and the Permian-Triassic boundary conodonts of Iran. Part 1: taxonomy. *Hallesches Jahrb Geowiss*, 2004, 18: 39—68
- 40 Jin Y G, Wang Y, Henderson C M, et al. The global boundary stratotype section and point (GSSP) for the base of Changhsingian Stage (Upper Permian). *Episodes*, 2006, 29: 175—182
- 41 Kuwahara K. Phylogenetic lineage of late Permian *Albaillella* (Albaillellaria, Radiolaria). *J Geosci, Osaka City Univ*, 1999, 42: 85—101
- 42 Xia W C, Zhang N, Wang G Q, et al. Pelagic radiolarian and conodont biozonation in the Permo-Triassic boundary interval and correlation to the Meishan GSSP. *Micropaleontology*, 2004, 50: 27—44
- 43 罗根明, 赖旭龙, 江海水, 等. 浙江长兴煤山剖面二叠纪末牙形石 *Neogondolella* 大小变化及其意义. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2006, 36(4): 316—325
- 44 Luo G M, Lai X L, Shi G R, et al. Size variation of conodont elements of the *Hindeodus-Isarcicella* clade during the Permian-Triassic transition in South China and its implication for mass extinction. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 2008, 264: 176—187
- 45 王成源, 王志浩. 浙江长兴二叠纪龙潭组和长兴组牙形石及其地层和古生物学意义. 第 1 届中国微体古生物学会交流. 北京: 科学出版社, 1981. 114—120
- 46 Orchard M J, Nassichuk W W, Rui L. Conodonts from the Lower Griesbachian *Otoceras latilobatum* bed of Selong, Tibet and the position of the Permian-Triassic boundary. *Canadian Soc Petrol Geol*, 1994, 17: 823—843
- 47 Mei S L. Restudy of conodonts from the Permian-Triassic boundary beds at Selong and Meishan and the natural Permian-Triassic boundary. In: Wang H, Wang X, eds. *Centennial Memorial Volume of Prof. Sun Yunzhu: Paleontology and Stratigraphy*. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996. 141—148