

华南石炭纪杜内-维宪界线期牙形石演化和层型标志^{*}

田树刚^{①**} M. Coen^②

(① 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; ② Louvian University of Belgium, B-1348 Louvian-la-Neuve)

摘要 据华南牙形石系统研究成果, 提出石炭纪杜内阶-维宪阶候选全球界线层型剖面、剖面点和化石标志. 选择代表扬子板块边缘和内部, 及不同沉积相型的剖面, 分析各剖面的沉积微相和旋回(层序)构成, 统计牙形石在剖面上的分异度和丰度, 研究各类(属)牙形石相分布和生态环境. 从而确定在分布广泛、浮游生存的 gnathodids 类中选择化石标志. 完善和建立杜内-维宪过渡期各类(属)牙形石演化谱系, 划分早石炭世牙形石发展阶段, 即 *Siphonodella* 阶段, *Gnathodus typicus* 阶段和 *Gnathodus bilineatus* 阶段, 进一步选定 *praebilineatus* 带的底界是两个发展阶段的转换面. 最后提出了石炭系杜内阶-维宪阶全球界线候选层型为台盆相广西柳州碰冲剖面, 界线点为层 58 的底, 界线层型的牙形石标志定在 *Gnathodus semiglaber* 支系中 *Gnathodus praebilineatus* 的首现.

关键词 杜内阶-维宪阶界线 全球层型 牙形石演化

华南广泛发育石炭纪杜内-维宪(即中国岩关-大塘)界线过渡期连续沉积地层, 最有希望建立该界线的全球层型(GSSP). 由于该界线附近全球发生广泛的海平面下降, 沉降幅度可达 150 m^[1], 导致沉积间断、相突变和生物演化谱系脱节的普遍发生, 使界线划分对比存在激烈争论(表 1). 第六届国际石炭系会议曾将界线定在比利时狄南盆地 Bastion 剖面第一层黑灰岩(层 141)的底部, 层位与牙形石 *Paragnathodus homopunctatus* 和有孔虫 *Eoparastaffella* 在该剖面上的首现相吻合. 后来研究证明这一物理界面是穿时

的, 二类化石在演化谱系上的首现均低于这一层位^[2].

Lane 等^[3]综合西欧和北美的牙形石资料, 将界线定在 *Gnathodus taxanus* 的首现, 但方案缺乏具体连续剖面上演化谱系的验证. Sevastopulo^[4]报道界线工作组的成果, 提出另外存在的二种界线划分方案, 即牙形石 *Scaliognathus anchoralis* 的首现和有孔虫原始盘虫类(archaediscusids)的首现. 这二种方案分别位于现在各国使用的杜内阶上部和维宪阶中部, 层位上太低或太高, 没有引起多数专家的赞同.

2004-06-09 收稿, 2004-11-02 收修改稿

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 40242001)

** E-mail: sgtian@cags.net.cn

www.scichina.com

密集层段为划分沉积旋回(层序)提供了可靠依据, 它们的出现往往代表海平面下降期, 海水才能把台地内碎屑带到台盆内。台盆只是碳酸盐地台中的低洼地带, 与周邻台区的坡度相当平缓, 还不具备重力滑塌的浊积岩或混杂堆积条件。剖面中产出牙形石组合的生态分析也证明是原地群落(见下面论述)。碰冲剖面共识别出 4 个层序, 岩层内富含牙形石、有孔虫、介形虫、单体珊瑚和腕足介壳等。

1.3 云南施甸鱼硐剖面

剖面位于云南保山施甸县城北约 20 km 公路旁。所测界线地层剖面以台缘缓坡相为主, 可划分为 2 个三级旋回(层序), 其相序构成自下而上为近岸浅水相-混积缓坡相-碳酸盐缓坡相-远岸浅水相。下伏近岸浅水相为灰色、土黄色粉砂泥岩夹深灰色、黄灰色薄-中层砂屑泥灰岩、白云质灰岩和灰岩, 含牙形石、小单体珊瑚和腕足化石; 牙形石富集, 但有混杂现象; 属泥质潮坪-潮下环境。

下部混积缓坡相属泥质-白云质混积缓坡环境。岩性为土黄色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩与黄灰色薄层泥灰岩、泥质灰岩互层, 富含小单体珊瑚和 gnathodids 类牙形石。中部变为碳酸盐缓坡, 岩性以灰色、深灰色薄-中层泥晶灰岩夹大量硅质条带、团块为特征, 牙形石丰富, 属种繁多。剖面上覆远岸浅水相, 岩性为灰色、深灰色中-厚层夹薄层内屑粉-细晶灰岩, 含单体珊瑚和腕足化石, 牙形石属种单调, 数量较少。

1.4 牙形石相分布和界线标志类型

对早石炭世牙形石相分布和生态模式已多有论述^[12~14], 认为牙形动物均是在海水表层分带浮游生存的。据上述碳酸盐微相分析和各剖面牙形石产出统计结果^[6], 本文认为部分类别分布明显受局部沉积环境的控制, 应该属近岸游泳生存; 不同类别的牙形动物具不同的生活方式。

(1) gnathodids 类。这类牙形石包括 3 属 *Protognathodus*, *Gnathodus* 和 *Paragnathodus*, 在海水表层浮游生存, 分布可谓“无处不在”。它们在深水台盆相独占优势, 标本数量占总数的 70%~90%, 种数

占 50%; 在浅水的高能浅滩相中, 标本数量占 40%~60%, 种数占 40%; 甚至在混浊的水体中(泥质-白云质混积缓坡相), 标本数量占 40%~50%, 种数占 60%; 上述其他微相中更是种类繁多。

(2) *Siphonodella* 属。在杜内早、中期极度繁盛之后, 到杜内晚期仅残存了一类口面饰满纵脊的类型 *Siphonodella* sp.. 它们见于柳江龙殿山剖面和施甸鱼硐剖面的浅水台地及碳酸盐缓坡相中, 似应属游泳生存。

(3) *Scaliognathus* 属和 *Doliognathus* 属。世界性广泛分布。在华南主要出现于台缘缓坡相(碳酸盐缓坡相和混积缓坡相)及浅水台地相, 在浅滩相和台盆相中也能见到零星个体。显然与 gnathodids 类相同, 也是在海水表层浮游生存, 只是数量明显较少。*Doliognathus* 属个体目前仅见于板块边缘的鱼硐剖面, 可能不太适应板块内部局限海域的生存。

(4) *Polygnathus* 属。与 gnathodids 类相同, 也是在海水表层浮游生存, 分布广泛。在深水台盆相较 gnathodids 类标本数量少, 占总数的 20%~30%, 只见 3 种; 在浅水的高能浅滩相中, 标本数量占 30%~50%, 只见 1 种; 在混浊的水体中(泥质-白云质混积缓坡相), 标本数量占 20%~30%, 见有 2 种; 其他微相中也有一定数量。

(5) *Pseudopolygnathus* 属。该属主要见于碳酸盐缓坡相和浅水台地相, 数量可以占到 30%; 在浅滩相也产出少量个体。但在混积缓坡相和台盆相中罕见, 碰冲剖面产出的 1 个标本来自碎屑流成因的厚层内屑灰岩。可能它们游泳生存, 属于游泳能力较强的类型。

(6) *Finognathodus* 属和 *Dollymae* 属。二属具相同的岩相分布。它们主要集中出现在浅滩相和浅水台地相, 尤其是在滩缘相地层中分异明显, 数量可占到 30%~50%。这类牙行动物可能营底栖游泳生活, 游泳能力不强。

确定全球界线层型的古生物标志, 一定要选择分布广泛、含量丰富和特征明显的生态类型才具有普遍的代表性。通过上述剖面碳酸盐微相分析和牙形石相分布的研究, gnathodids 类浮游生存, 分布不受局部环境的限制, 可用于最广泛的地层划分对比。石

炭纪杜内-维宪界线牙形石标志应该在 gnathodids 类中选择.

2 杜内-维宪界线期牙形石演化

2.1 牙形石演化谱系

通过各剖面系统采集和对牙形石丰度、分异度的数理统计^[6], 以及研究属种间形态的相似性, 建立牙形石演化谱系, 为分类及地层划分对比提供依据. 前人对石炭纪杜内-维宪界线期牙形石演化研究较为深入, 多数属的演化谱系已经建立^[3,15-17]. 由于工作不是以多种相型的连续剖面系统研究为基础, 在化石种的首现、绝灭层位和演化关系等方面存在许多疑问. 本次研究在诸多方面取得进展.

(1) gnathodids 类谱系- 这类牙形石的 *Protognathodus* 属和 *Gnathodus* 属关系密切. 前者最早在泥盆纪末期从 *Spathognathodus stabilis* 演化而来, 在杜内早-中期分异和数量均较少(*Protognathodus meischeri*,

P. collinsoni, *P. kockli*, *P. kuehni*). 只是在杜内中期结束的 *lower crenulata* 带才从 *Protognathodus kockeli* 分化出 *Protognathodus praedelicatus*; 再由后者在 *upper crenulata* 带底部辐射分化出 *Gnathodus* 属的 3 个种, 即 *Gnathodus delicatus*, *G. typicus* 和 *G. punctatus*. 据华南的资料, 种 *Gnathodus cuneiformis* 是在 *typicus-cuneiformis* 带的底部从 *Protognathodus praedelicatus* 分化出来的, 为地层分带提供了证据(图 3).

Gnathodus semiglaber 在接近 *typicus-cuneiformis* 带的底部从 *Gnathodus punctatus* 分化出来, 形成重要支系. 该支系的演化趋势是宽大的外齿台逐渐增加瘤或瘤列, 内齿台围脊向后延伸近齿台后端. 不仅 *Gnathodus pseudosemiglaber* 和 *G. praebilineatus* 的首现具有地层分带意义, 而且还迎来了牙形石 *Gnathodus bilineatus* 演化阶段.

Paragnathodus 属显然与 *Protognathodus* 属和

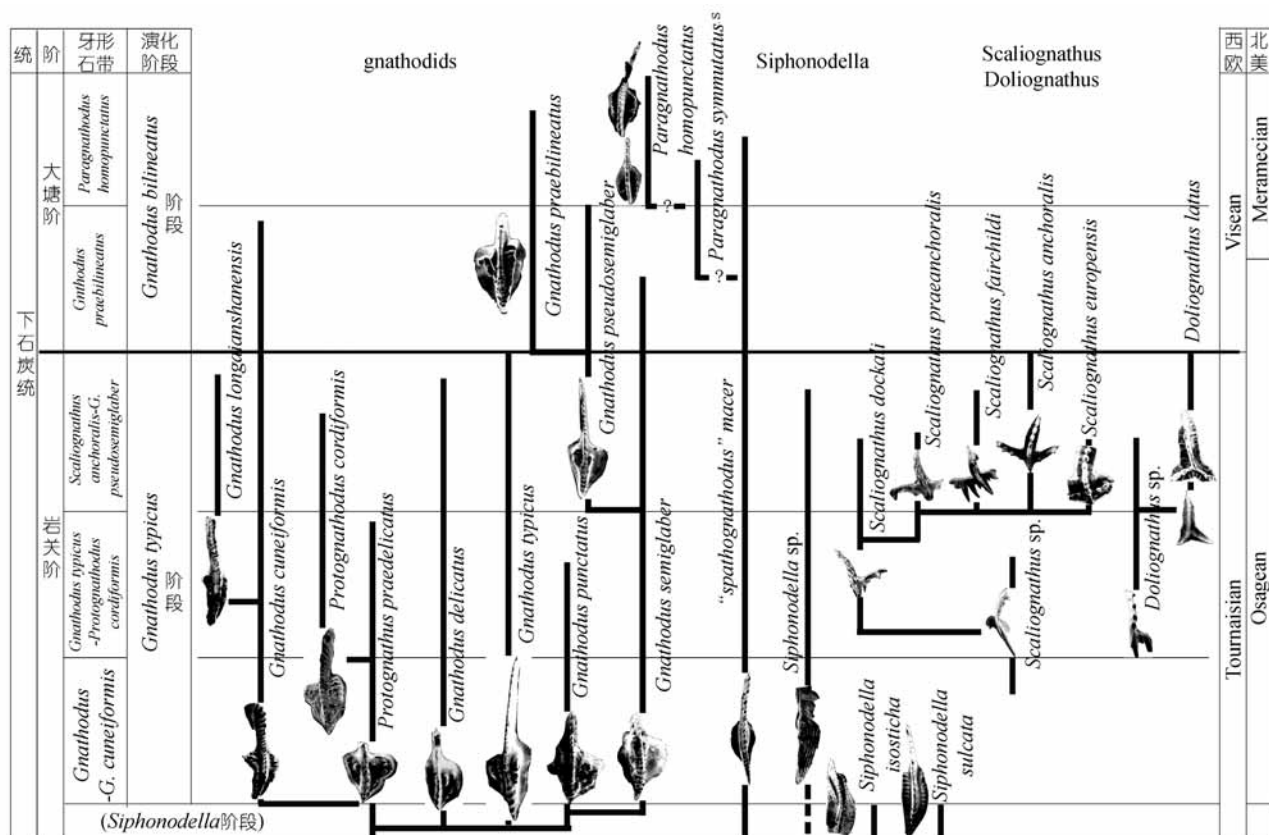


图 3 石炭纪杜内-维宪界线期牙形石演化图

产出数量零星. 华南在浅水台地型剖面系统产出了大量该属标本, 本文建立了该属的演化谱系. 该属的演化趋势主要是齿台装饰经历瘤刺-瘤脊-线脊-网脊的过程, 齿台轮廓呈圆形-椭圆-展翼状. 本文同意 Grossens 的意见, 该属是从 *Eotaphrus bultincki* 演化来的. 在 *typicus-cordiformis* 带的底部, 通过在圆形齿台上发育粗壮瘤刺和齿脊后部向前收缩成粗大瘤刺, 演变出 *Dollymae spinosa*. 各地报道的 *Dollymae bouckaerti* 是在 *typicus-cordiformis* 带中部分化出来的. 至 *anchoralis -pseudosemiglaber* 带的底部 *Dollymae linearata* 出现时, 齿台形成了分叉的线脊装饰. 齿台具有网脊装饰的 *Dollymae reticulata* 出现在 *anchoralis -pseudosemiglaber* 带的中部, 使该属的演化达到顶峰. 在华南该属的标本尚未在上覆的 *praebilineatus* 带内发现.

(5) *Pseudopolygnathus* 属谱系- 本文图内所列该属的谱系被 Lane 等^[3]称为“*P. multistriatus* group”. 此次研究的进展是重新确定了各种的首现和绝灭层位. 在华南 *P. pinnatus* 和 *P. oxypageus* 均首现在 *typicus-cuneiformis* 带(相当于 lower *typicus* 带)内, 其中 *P. pinnatus* 出现在该带的上部, *P. oxypageus* 出现在该带的下部. *P. pinnatus* 的延续向上可以超越 *praebilineatus* 带.

(6) *Polygnathus* 属谱系- 该属中 *Polygnathus longiposticus* 的首现和延续有重要地层意义. 它首现在 *anchoralis -pseudosemiglaber* 带的底部, 延续至 *praebilineatus* 带的上部.

2.2 牙形石发展阶段

(1) *Siphonodella* 阶段- 杜内早-中期牙形石 *Siphonodella* 属, 从分布范围、个体数量和种分异度均占有绝对优势. 杜内早期即已辐射分化出至少 9 个支系或种系(Lane & Ziegler, 1983), 已识别化石种或形态型(morphotype)超过 30 个; 并据演化谱系建立了公认的 6 个地层分带. 从杜内晚期牙形石 *typicus-cordiformis* 带底部开始, *Siphonodella* 属绝大多数种绝灭, 仅残存个别类型(*Siphonodella* sp.)延续到 *anchoralis -pseudosemiglaber* 带的顶部.

(2) *Gnathodus typicus* 阶段- 杜内晚期从

typicus-cordiformis 带开始, 以 *gnathodids* 类明显占优势. 仅就华南的资料, 在 *typicus-cordiformis* 带至 *anchoralis -pseudosemiglaber* 带内, *gnathodids* 类的种数约占总数的 1/4; 在各种沉积微相中, 标本数量均接近或超过 50%. 尤其 *Gnathodus* 属在杜内晚期出现, 即能迅速辐射繁盛. 另外首现在杜内晚期并形成优势的属种还有 *Scaliognathus*, *Doliognathus*, *Finognathodus*, *Dollymae*, *Pseudopolygnathus multistriatus* group, *Mestognathus*, *Hindeodus* 等. 它们构成了与下伏牙形石动物群显著不同的组合面貌.

(3) *Gnathodus bilineatus* 阶段- 牙形石 *praebilineatus* 带向上的组合面貌又发生了显著变化, 标志着以 *Gnathodus bilineatus* 为代表的牙形石动物群开始形成. 据前人资料^[23~25], 该阶段仍以 *gnathodids* 类占优势, 动物群组成变化较大. 优势属 *Gnathodus* 和 *Paragnathodus* 的种数为 7~12 个, 约占总数的 50%; 标本产出数量超过 60%. 其中 *Gnathodus bilineatus* 数量多、特征明显, 可作为这一阶段的代表. 其他共生属还有 *Cavusgnathus*, *Ade-tognathus*, *Mestognathus*, *Spathognathodus*, *Hindeodus* 等.

3 杜内-维宪阶界线与层型标志

从图 3 和 4 可以看出, *praebilineatus* 带的底界是两个牙形石演化发展阶段的转换面. 界面之下以 *Gnathodus typicus* 为代表, 大量属 *Gnathodus*, *Protognathodus*, *Scaliognathus*, *Doliognathus*, *Finognathodus*, *Dollymae*, *Pseudopolygnathus*, *Polygnathus* 等的繁盛为特征. 大多数种在此界面之下绝灭, 大约 29 个种的延续没有跨越此界面, 约占杜内晚期种总数的 70%. 本文选择这一界面作为石炭系杜内-维宪阶的分界.

界面之上的 *praebilineatus* 带和 *homopunctatus* 带内牙形石组合明显具有动物群演化萌发期的特征, 属种较少, 类型单调. 新出现属种仅有 *Gnathodus praebilineatus*, *Paragnathodus* 和 *Cavusgnathus*, 其他共生的 9 种都是从下部延伸上来的. 新生种 *Gnathodus praebilineatus* 的出现具重要意义, 作为在维宪期极度繁盛的 *Gnathodus bilineatus* 的先驱种, 分

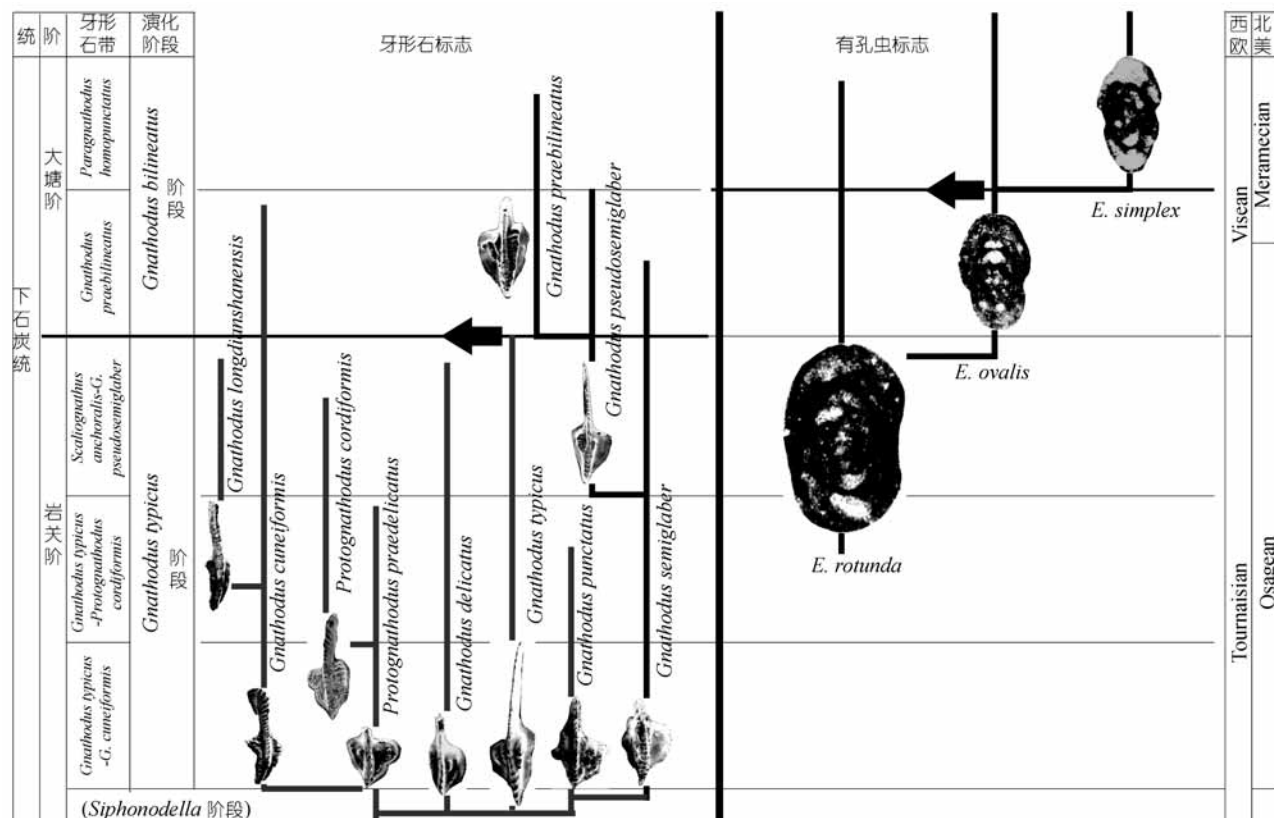


图5 石炭纪杜内-维宪阶界线层型的化石标志

布广泛, 产出层位稳定, 演化特征明显, 来源谱系清楚, 最适合选作杜内-维宪阶全球界线层型的化石标志.

Cavusgnathus 属在北美首现于 Meramecian 界上部(高于 *homopunctatus* 带), 其产出种类多、数量大, 一直被认为是 Meramecian 阶~Chesterian 阶(密西西比系上部)的特征类型^[24]. 但该属在广西碰冲剖面 *praebilineatus* 带的底界与 *Gnathodus praebilineatus* 共同出现, 只是目前所获标本甚少, 难以确定是否为首现层位. Lane 等^[3]曾建 *Gnathodus texanus* 带代表相当 *praebilineatus* 带和 *homopunctatus* 带的层位, 并以 *Gnathodus texanus* 的首现作为杜内-维宪阶分界标志. 但在华南没有发现原定义特征的该种标本. 该种的鉴定特征限定不严谨, 鉴定者难于掌握; 演化来源争议较大, 不能选作全球界线层型标志.

Paragnathodus homopunctatus 的出现层位与第六届国际石炭系会议定的界线相吻合,同时也相当

于最近^[5]提出的有孔虫 *Eoparastaffella simplex* 的标志层位。但该种的演化来源不明确, 被一些人认为是它的前驱种的 *Paragnathodus symmutatus* 在华南尚未找到, 不能确定其“首现”层位; 另外该种在剖面上的出现高于上述发展阶段的转换面。所以从牙形石地层学角度, 该种的出现层位不宜作为石炭系杜内-维宪阶分界。

综上所述, 据目前牙形石的研究成果, 石炭系杜内-维宪阶全球界线候选层型推荐台盆相的广西柳州碰冲剖面, 界线点为层 58 的底, 界线层型的牙形石标志定在 *Gnathodus semiglaber* 支系中 *Gnathodus praebilineatus* 的首现(图 5). 该界线点的位置低于有孔虫 *Eoparastaffella simplex* 标志的界线.

参 考 文 献

- 1 Lees A, Hallet V, Hibo D. Facies variation in Waulsortian Build-ups, Part 1: A model from Belgium. *Geol Jour*, 1985, 20: 133~158
- 2 Conil R, Groessens E, Laloux M, et al. La limit Tournai-

- sian-Visean dans le region-type. *Annals de la Societe Belge de Geologique de Belgique*, 1989, 112: 177~189
- 3 Lane H R, Sandberg C A, Ziegler W. Taxonomy and phylogeny of some Lower Carboniferous conodonts and preliminary standard post-*Siphonodella* zonation. *Geol Et Palaeontol*, 1980, 14: 117~164
 - 4 Sevastopulo G. Report of the Working Group to establish a boundary close to the Lower Carboniferous. *Newsletter of International Subcommission on Carboniferous Stratigraphy*, 1993, 18: 6
 - 5 侯鸿飞, Devuyst F X. 石炭纪杜内阶-维宪阶界线定义介绍. *地层学杂志*, 2002, 26(4): 293~296
 - 6 田树刚, Coen M. 华南石炭纪岩关-大塘期界线地层牙形石分带. *地质通报*, 2004, 23(8): 737~749
 - 7 Hance L, Muchez P H, Hou H F, et al. Biostratigraphy, sedimentology and sequence stratigraphy of the Tournaisian-Visean transitional strata in South China (Guangxi). *Geological Journal*, 1997, 32: 337~357[DOI]
 - 8 广西地质矿产局. 广西壮族自治区区域地质志, 北京: 中国地质出版社, 1985
 - 9 云南地质矿产局. 云南省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1990
 - 10 云南区域地层表编写组. 西南地区区域地层表 云南省分册. 北京: 地质出版社, 1978
 - 11 Austin R L. Evidence from Great Britain and Ireland concerning west European Dinantian conodont paleoecology. In: Barnes, C R, ed. *Conodont paleoecology*, the Geological Association of Canadaspecial paper, 1976, 15: 201~224
 - 12 von Bitter P H. Paleoeology and distribution of Windsor Group (Visean-? Early Namurian) conodonts, Port Hood Island, Nova Scotia, Canada. In: Barnes C R, ed. *Conodont paleoecology*, the Geological Association of Canadaspecial paper, 1976, 15: 225~241
 - 13 Sandberg C A, Gutschick R C. Guide to conodont biostratigraphy of Upper Devonian and Mississippian rocks along the Wasatch Front and Cordillera Hingeline, Utah. In: Sandberg C A, Clark D L, eds. *Conodont biostratigraphy of the Great Basin and Rocky Mountains*. Brigham Yang University Geology Studies, 1979, 26(3): 107~134
 - 14 Rhodes F H T, Austin R L. Carboniferous conodont faunas of Europe. In: Sweet W C, Bergstrom S, eds. *Symposium on conodont biostratigraphy*. *Mem Geol Soc Amer*, 1971, 127: 317~352
 - 15 Wang zhihao. Conodont zonation of the Lower Carboniferous in South China and phylogeny of some important species. *Courier Forsch -Inst Senckenberg*, 1990, 130: 41~46
 - 16 Lane H R, Ziegler W. Taxonomy and phylogeny of *Scaliognathus* Branson & Mehl, 1941(conodonta, Lower Carboniferous). *Senckenbergiana Lethaea*, 1983, 64(2/4): 199~225
 - 17 Voges A. Conodonten aus dem Unterkarbon I und II (Gattendorfia-und Pericyclus-Staufe) des Sauerlandes. *Palaont Zeitschr*, 1959, 33 (4): 226~314
 - 18 Groessens, E. Les conodontes du Tournaisian superieur de la Belgique. *Service Geologique de Belgique*, 1971, 4: 1~29
 - 19 Belka Z. Lower Carboniferous conodont biostratigraphy in the northeastern part of the Moravia-Silesia Basin. *Acta Geologica Polonica*, 1985, 35 (1-2): 33~59
 - 20 Butler M. Lower Carboniferous conodont faunas from the Eastern Mendips, England. *Palaeontology*, 1973, 16(3): 477~517
 - 21 Austin R L, Groessens E. Thr origin and evolution of the middle Dinantian conodont genera *Doliognathus*, *Dollymae*, *Scaliognathus* and *Staurognathus*, and related forms. *Ann Soc Geol Belgique*, 1972, 95: 229~238
 - 22 Austin R L, Husri S. Dinantian conodont faunas of County Clare, County Limerick and County Leitrim. An appendix. *International Symposium on Belgian Micropaleontological Limits from Emsian to Visean, Namur*, *Geol Surv Belgium Pub*, 1974, 3: 18~69, 15
 - 23 Lane H R, Straka II J J. Late Mississippian and Early Pennsylvanian conodonts Arkansas and Oklahoma. *Geol Soc Amer*, 1974, *Special Paper* 152: 1~143
 - 24 杨式溥, 田树刚. 贵州水城滥坝纳缪尔期牙形石带及平台分子的种系演化. *地层古生物论文集*, 1988, 20: 47~75