

安徽巢湖平顶山西坡剖面印度阶与奥伦尼克阶界线层高分辨率牙形石生物地层

赵来时¹, 童金南¹, 孙志明¹, 常德峰², 张克信¹, 张素新¹, Mike J. Orchard³

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 山东水利职业学院建筑工程系, 山东日照 276826

3. Geological Survey of Canada, 101-605 Robson St., Vancouver, B.C., V6B 5J3, Canada

摘要: 下三叠统印度阶与奥伦尼克阶全球候选层型剖面之一的中国安徽省巢湖市平顶山西坡剖面界线层, 经连续不间断采样获得大量牙形石化石并进行详细的分带工作, 建立了该界线层牙形石生物地层。由下往上划分为: 1. *Neospathodus dieneri* 带; 2. *N. waageni* 带。前者依次分为 3 个亚带: *N. dieneri* Morphotype 1 亚带, *N. dieneri* Morphotype 2 亚带和 *N. dieneri* Morphotype 3 亚带。牙形石带可与该界线层的菊石带进行很好的对比; 在详细区分牙形石 *Neospathodus* 属内各种特征的基础上, 结合地层分布情况, 跨越印度阶与奥伦尼克阶界线, 演化谱系十分明显, 牙形石 *N. dieneri* Morphotype 3 在奥伦尼克阶之底即 Smithian 初期演化为: *N. dieneri* Morphotype 3 → *N. waageni* → *N. pingdingshanensis*, *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 → *N. waageni*(细齿直立型) → *N. n. sp. R* 和 *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 → *N. pakistanensis*。从谱系演化的观点出发认为: *N. waageni* 的首现点作为奥伦尼克阶底界是合理的, 并在该剖面确定了印度阶与奥伦尼克阶界线位于第 24—16 层, 距剖面大隆组与殷坑组界线 40.49 m 处。

关键词: 牙形石; 演化谱系; 下三叠统; 印度阶与奥伦尼克阶界线; 安徽巢湖。

中图分类号: P534.51

文章编号: 1000-2383(2007)03-0291-12

收稿日期: 2006-10-22

High-Resolution Conodont Biostratigraphy in the Induan-Olenekian Boundary Strata at West Pingdingshan Section, Chaohu, Anhui Province

ZHAO Lai-shi¹, TONG Jin-nan¹, SUN Zhi-ming¹, CHANG De-feng²

ZHANG Ke-xin¹, ZHANG Su-xin¹, Mike J. Orchard³

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Department of Architectural Engineering, Shandong Water Polytechnic, Rizhao 276826, China

3. Geological Survey of Canada, 101-605 Robson St., Vancouver, B.C., V6B 5J3, Canada

Abstract: Repeated (more than ten times) conodont analyses have recovered thousands of conodont specimens which are especially rich in the Induan-Olenekian boundary strata, at the West Pingdingshan Section located in Chaohu City, Anhui Province, a candidate GSSP of the Induan-Olenekian boundary. The most distinctive forms are the conodonts of the *Neospathodus dieneri* group and *N. waageni* group, as well as some new elements. Based on the general characteristics of the *Neospathodus* species and their biogeographic distribution, an evolutionary lineage of the species is proposed: *N. dieneri* Morphotype 3 → *N. waageni* → *N. pingdingshanensis*, *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 → *N. waageni*(upright denticles) → *N. n. sp. R* and *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 → *N. pakistanensis*. The first occurrence of *N. waageni*, which is regarded as the indicator of the Induan-Olenekian boundary, is situated at 40.49 m above the boundary between the Dalong and Yinkeng formations. The recognition of this evolutionary lineage of *Neospathodus* is of great importance for a better un-

基金项目: 国家自然科学基金项目 (Nos. 40325004, 40574028, 40621002); 中国地质调查局重大基础研究项目 (No. 1212010610103); GPM R 国家重点实验室开放课题 (No. GPM R200606)。

作者简介: 赵来时 (1966—), 男, 博士, 教授, 现主要从事三叠纪地层和牙形石古生物学研究。E-mail: lszhao@cug.edu.cn

derstanding and definition of the Lower Triassic conodont zonation.

Key words: conodont; evolutionary lineage; Lower Triassic; Induan-Olenekian boundary; Chaohu of Anhui Province.

0 引言

近年来,国际地层学研究的重点是关于年代地层界线层型剖面和点(Global Stratotype Section and Point,简称 GSSP)的选定问题并要求在 2008 年前完成显生宙所有年代地层(阶)界线 GSSP 的选定工作.其中,印度阶与奥伦尼克阶界线的划分一直是国际地层学研究中一个有争议的问题,其原因在于下三叠统下部的印度阶的界线层型位于特提斯区.下三叠统上部奥伦尼克阶是唯一出自于高纬度北方生物区者.如果将该阶的界线层型选择在北方区,势必对当时占主体的低纬度沉积区的地层划分对比造成很大困难.鉴于此,各国学者都在致力于推荐印度阶与奥伦尼克阶界线层型候选剖面工作.目前国际上该界线提出的候选层型有 4 个,其中 2 个

位于俄罗斯远东地区,分别是 Tree Kamnya Cape Ravine 剖面(Zakharov, 1994)和 Abrek Bay(Zakharov *et al.*, 2000)剖面;第三条是中国安徽省巢湖市平顶山西坡剖面(图 1, Tong *et al.*, 2003, 童金南等, 2005c);第四条是印度 Spiti 地区的 Muth 剖面(Krystyn *et al.*, 2005).但中国的巢湖剖面名列首位,并被列为重点候选层型(Zakharov, 2004).

该地区地层学研究有近 30 年的历史,尤其是近 10 年来,为了争取在我国建立下三叠统印度阶—奥伦尼克阶界线的全球层型剖面和点,以童金南教授为首的研究组与加拿大、丹麦、俄罗斯、美国等三叠系地层工作者开展广泛而富有成效的国际合作,对安徽巢湖平顶山西坡剖面作了大量的综合地层学研究,取得了丰硕的成果(Tong *et al.*, 2003, 2005a, 2006;童金南等, 2005b, 2005c;赵来时等, 2003,

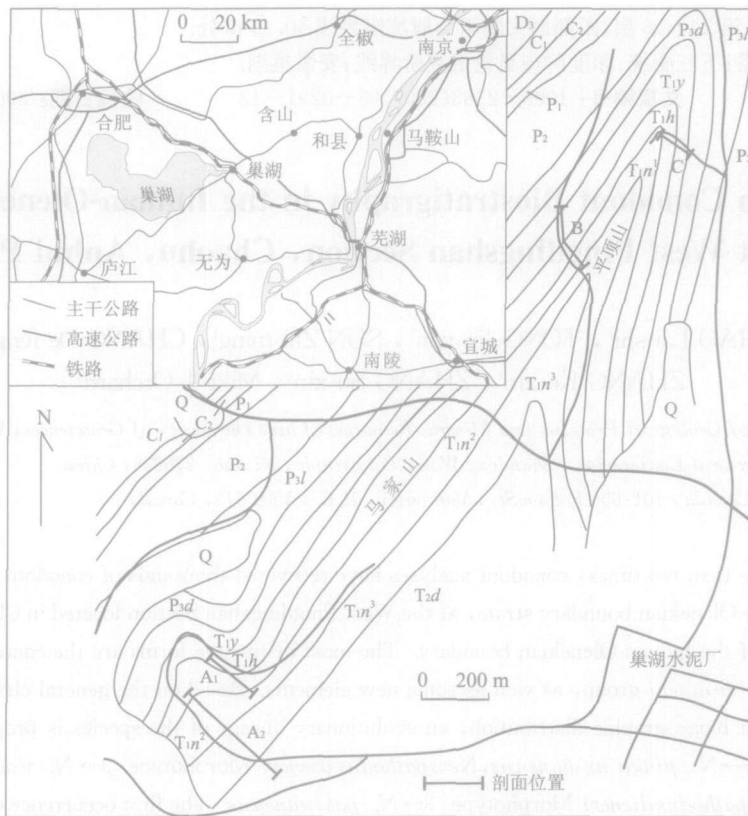


图 1 安徽巢湖交通位置和研究区地质简图(童金南等, 2005)

Fig. 1 Traffic location and brief local geological map of Chaohu, Anhui Province

D₃. 上泥盆统; C₁. 下石炭统; C₂. 上石炭统; P₁. 下二叠统; P₂. 中二叠统; P_{3l}. 龙潭组; P_{3d}. 大隆组; T_{1y}. 殷坑组; T_{1h}. 和龙山组; T_{1n¹}. 南陵湖组下段; T_{1n²}. 南陵湖组中段; T_{1n³}. 南陵湖组上段; T_{2d}. 东马鞍山组; Q. 第四系; A₁+A₂. 马家山南剖面; B. 平顶山西坡剖面; C. 平顶山北剖面

2005a; Zhao *et al.*, 2004, 2005b, 2007; Zuo *et al.*, 2006), 并将安徽巢湖平顶山西坡剖面提议为全球印度阶—奥伦尼克阶界线的候选层型剖面之一 (Tong *et al.*, 2003; Zhao *et al.*, 2004, 2005b; 董金南等, 2005c,)。

在三叠系生物地层研究中, 牙形石的生物地层学研究在近年来愈来愈被重视, 并在许多年代地层界线定义中被作为首选标志。在实际工作中常被作为年代地层标定的重要或首选标志, 具有广泛的洲际对比意义。该区的牙形石已有良好的研究基础。丁梅华(1983)研究了该剖面的牙形石, 共描述了6个牙形石带: *Clarkina carinata* 带、*Neospathodus dieneri* 带、*N. cristagalli* 带、*N. waageni* 带、*I. collinsoni* 带和 *N. anhuiensis*—*N. homeri* 带。王成源(1993)研究了下扬子地区的牙形石, 将下扬子地区早三叠世牙形石划分为 *H. parvus* 带、*I. isarcica* 带、*Ng. carinata* 带、*N. kummeli* 带、*N. dieneri* 带、*N. cristagalli* 带、*N. waageni* 带、*Platyvillosus costatus* 带、*I. collinsoni* 带、*N. homeri* 带和 *N. anhuiensis* 带。这些构成了本区下三叠统生物地层和年代地层格架的基础。2000年以后, 笔者等对安徽巢湖的牙形石作了大量的工作, 获得了丰富的牙形石并进行详细的分带工作, 尤其对安徽巢湖平顶山西坡剖面的牙形石进行了深入的研究并建立了8个牙形石化石带(表1)(赵来时等, 2003, 2005a; Zhao *et al.*, 2004, 2005b, 2007)。在此基础上, 笔者对印度阶与奥伦尼克阶界线附近的6.14 m 地层不间断采集样品, 包括牙形石、菊石和双壳类化石, 通过形态功能比较和地层产出关系识别出 *Neospathodus* 属内几个重要分子的谱系演化关系并建议以 *Neospathodus waageni* 的首现点作为印度阶与奥伦尼克阶界线的标志, 确定了印度阶与奥伦尼克阶界线在安徽巢湖平顶山西坡剖面的位置, 澄清了印度阶与奥伦尼克阶界线附近牙形石化石带与菊石化石带的层位关系(Tong *et al.*, 2003; 赵来时等, 2003, 2005a)。

1 牙形石分布及分带

平顶山西坡剖面印度阶与奥伦尼克阶界线附近牙形石分布图图2, 详细地层剖面描述见 Tong *et al.*, 2003。根据目前牙形石的产出与分布情况综合研究, 界线上下的牙形石可分为2个牙形石带, 由上往下依次为: 2. *Neospathodus waageni* 带; 1. *Neospathodus dieneri* 带。印度阶与奥伦尼克阶界线之上

为 *Neospathodus waageni* 带, 界线之下为 *Neospathodus dieneri* 带。

1.1 *Neospathodus dieneri* 带

Neospathodus dieneri 带分布于距剖面大隆组与殷坑组界线 32.36~40.49 m, 剖面第20—4亚层—第24—16亚层(Tong *et al.*, 2005a; 董金南等, 2005b, 2005c; 赵来时等, 2005a; Zhao *et al.*, 2007), 以 *Neospathodus kummeli* 的绝迹点为其底界, 以 *Neospathodus waageni* 的首现为其顶界。根据该化石 P1 分子主齿与相邻牙齿的长短关系, 将该化石分为3个形态亚种, 并以此形态亚种命名为3个亚带。由下至上依次为 *Neospathodus dieneri* Morphotype 1 亚带, *N. dieneri* Morphotype 2 亚带和 *N. dieneri* Morphotype 3 亚带。从剖面上化石分布来看, *Neospathodus dieneri* 3种类型是在剖面纵向上连续的, 且分布层位稳定并都上延到 *N. waageni* 带, 具有良好的地层划分和对比意义。

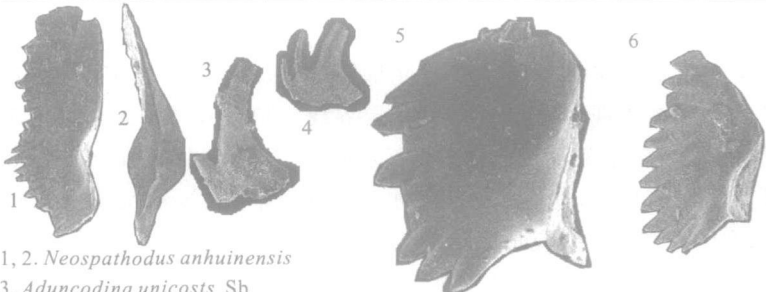

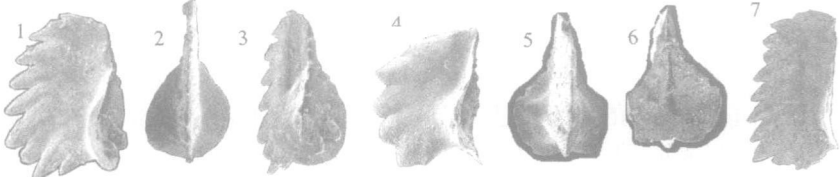
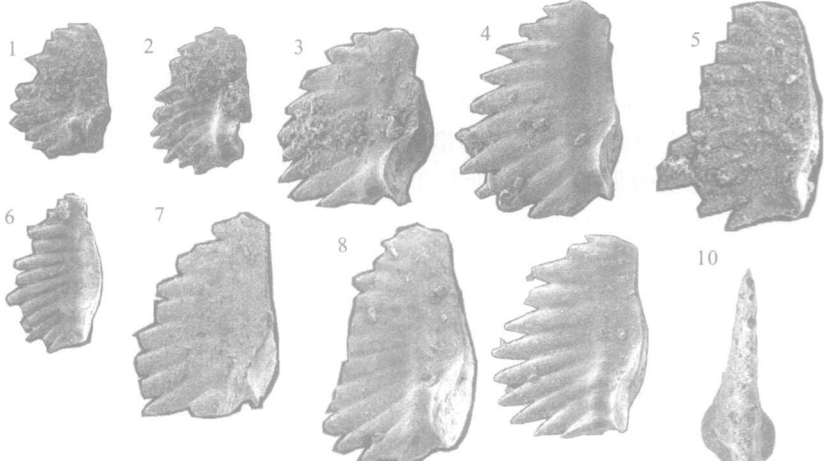
Neospathodus dieneri Morphotype 1 亚带分布于距剖面大隆组与殷坑组界线 32.36~33.29 m, 剖面第20—4亚层—第21—1亚层(Zhao *et al.*, 2004, 2005b, 2007)。该带的下限是以 *Neospathodus kummeli* 绝迹为底界, 而其上限是以 *N. dieneri* Morphotype 2 的首现为顶界。该带的主要特征 *Neospathodus kummeli* 的绝迹和 *N. dieneri* Morphotype 2 出现及 *N. dieneri* Morphotype 1 由下面带延续上来, 分异度较低。

Neospathodus dieneri Morphotype 2 亚带分布于距剖面大隆组与殷坑组界线 33.29~35.4 m, 剖面第21—1亚层—第22—3亚层(Zhao *et al.*, 2004, 2005b, 2007), 分别以 *Neospathodus dieneri* Morphotype 2 和 *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 的首现点为底界和顶界。该带的主要特征 *N. dieneri* 3种类型共存和枝形分子等, 分异度较低。

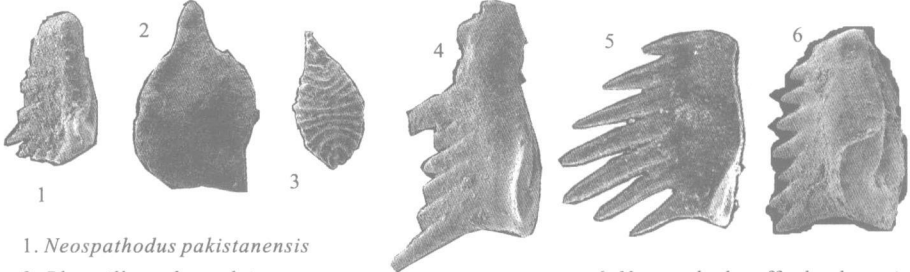
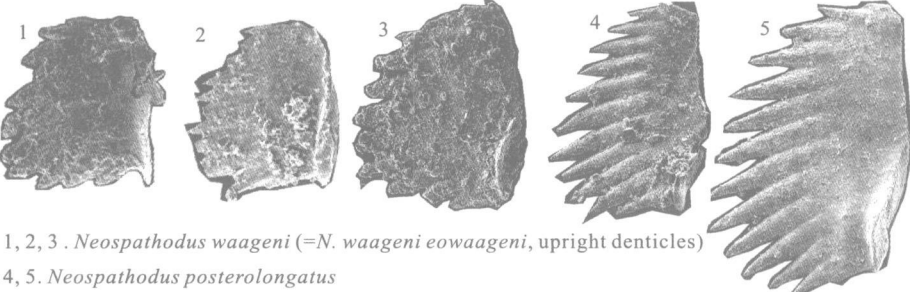


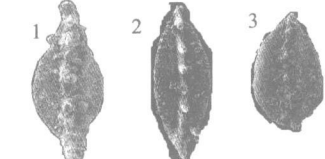
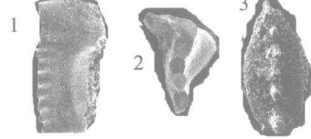
Neospathodus dieneri Morphotype 3 亚带分布于距剖面大隆组与殷坑组界线 35.4~40.49 m, 剖面第22—3亚层—第24—16亚层(Zhao *et al.*, 2004, 2005b, 2007), 分别以 *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 的首现点和 *N. waageni* group 的首现点为其底界和顶界。主要特征是 *Neospathodus* 属十分繁盛, 其分异度逐渐达到高峰, 接近该带的顶部其分异度快速降低。

需要指出的是, 经过多次反复采样处理, 在 *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 亚带中也发

表 1 安徽巢湖早三叠世牙形石带及其关键化石
Table 1 Lower Triassic conodont zonation and the key fossils in Chaohu

Stage	Conodont Zone	Index fossils
Olenekian	<i>Neospathodus anhuiensis</i> 1, 2, 6 200 mm 3, 4, 5 100 mm	 <p>1, 2. <i>Neospathodus anhuiensis</i> 3. <i>Aduncodina unicosts</i> Sb 4. <i>Aduncodina unicosts</i> Sc 5. <i>Neospathodus brevissimus</i> 6. <i>Neospathodus symmetricus</i></p>
	<i>Neospathodus homeri</i> 1, 2, 3, 4 200 mm 5, 6, 7 100 mm	 <p>1. <i>Neospathodus homeri</i> 3. <i>Iriospathodus collinsoni</i> 2. <i>Neospathodus eotriangularis</i> 4, 5. <i>Neospathodus</i> n. sp. O 6, 7. <i>Neospathodus</i> n. sp. R</p>
	<i>Neospathodus pingdingshanensis</i> 1, 2, 3, 4 200 mm 5, 6, 7 100 mm	 <p>1, 2, 3. <i>Neospathodus pingdingshanensis</i> 4, 5, 6. <i>Neospathodus orchardi</i> 7. <i>Neospathodus</i> aff. <i>abruptus</i></p>
	<i>Neospathodus waageni</i> Upper <i>Neospathodus waageni</i> Zone 1, 2, 6, 7, 10, 11 200 mm 3, 4, 5, 8, 9 100 mm	 <p>1, 2. <i>Neospathodus waageni</i> (lengthen form with platform growth) 3, 4, 9, 10. <i>Neospathodus waageni</i> (nomal inclined equidimensional denticles) 5, 6, 7, 8. <i>Neospathodus waageni</i> (radiating posterior denticles)</p>

续表 1

Stage	Conodont Zone	Index fossils
Olenekian	<p><i>Neospathodus waageni</i></p> <p>Upper <i>N. waageni</i> Zone</p> <p>1, 2, 4 200 mm</p> <p>3, 5 100 mm</p>	 <p>1. <i>Neospathodus pakistanensis</i> 2. <i>Platyvillosus hamadai</i> 3. <i>Platyvillosus costatus</i> 4. <i>Neospathodus concavus</i> 5. <i>Neospathodus tongi</i> 6. <i>Neospathodus</i> aff. <i>chaohuensis</i></p>
	<p>Lower <i>N. waageni</i> Zone</p> <p>1, 2 100 mm</p> <p>3, 4, 5 200 mm</p>	 <p>1, 2, 3. <i>Neospathodus waageni</i> (= <i>N. waageni eowaageni</i>, upright denticles) 4, 5. <i>Neospathodus posterolongatus</i></p>
Induan	<p><i>Neospathodus dieneri</i></p> <p>1, 2, 3, 4 200 mm</p> <p>5, 6, 7</p>	 <p>1. <i>Neospathodus dieneri</i> M 3 2. <i>Neospathodus dieneri</i> M 2 3. <i>Neospathodus dieneri</i> M 1 4. <i>Neospathodus</i> aff. <i>crisagalli</i> 5, 6. <i>Neospathodus crisagalli</i> 7. <i>Neospathodus chaohuensis</i> 8. <i>Neospathodus chii</i></p>
	<p><i>Neospathodus kummeli</i></p> <p>200 mm</p>	 <p>1. <i>Neospathodus kummeli</i> 2. <i>Neospathodus dieneri</i> M 1</p>
	<p><i>Neogondolella krystyni</i></p> <p>1, 2. 200 mm 3. 400 mm</p>	 <p>1. <i>Neogondolella krystyni</i> 2. <i>Neogondolella orchardi</i> 3. <i>Neogondolella planata</i></p>
	<p><i>Hindeodus typicalis</i></p> <p>1, 2, 3. 100 mm</p>	 <p>1. <i>Hindeodus typicalis</i> 2. <i>Isarciella</i> sp. 3. <i>Neogondolella planata</i></p>

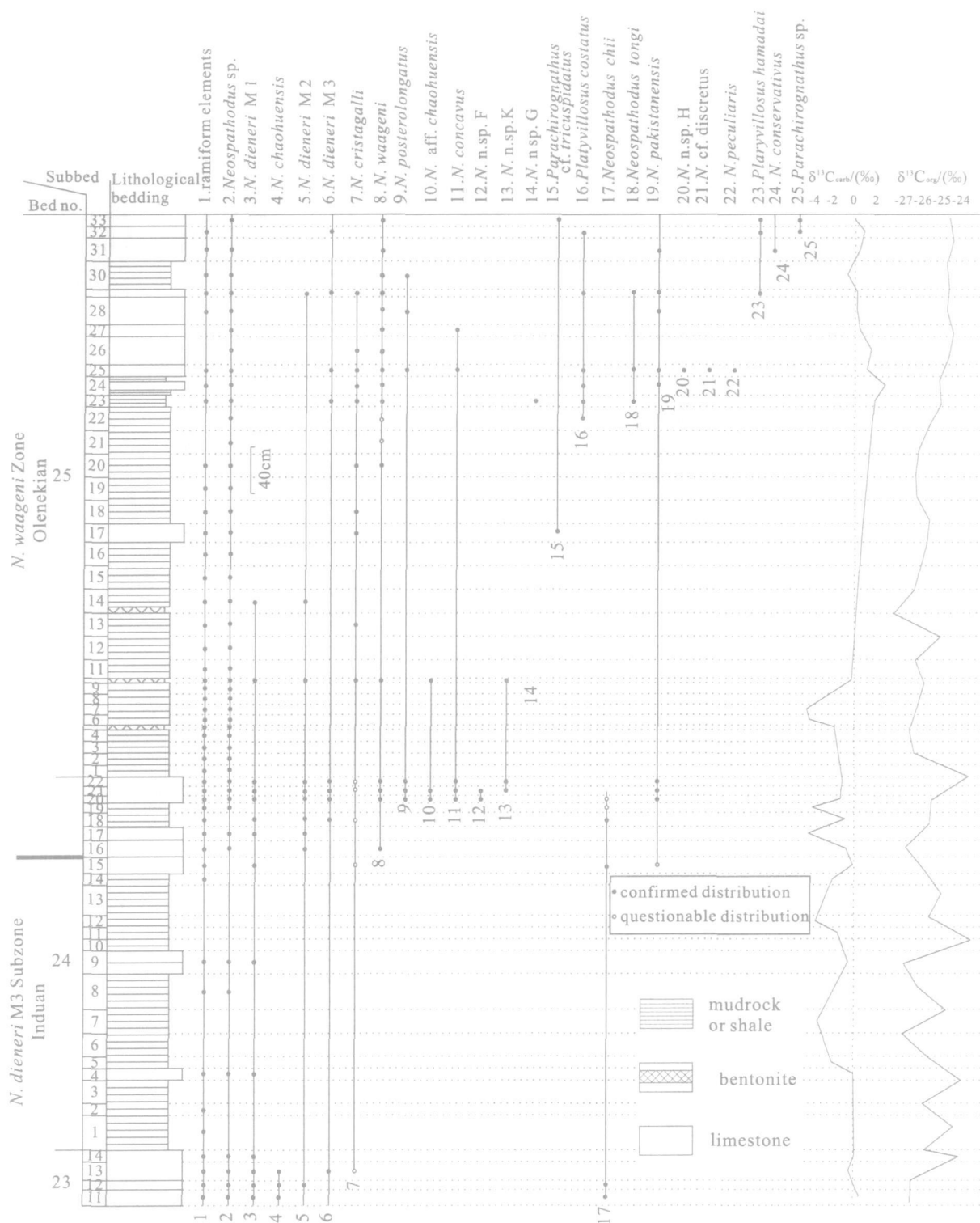


图 2 安徽巢湖平顶山西坡剖面印度阶—奥伦尼克阶界线处地层柱状图

Fig. 2 Stratigraphical column at the Induan-Olenekian boundary of the West Pingdingshan Section, Chaohu

现了 *Neospathodus cristagalli* 分子 (剖面第 23—4 亚层), 其首现点较 *N. dieneri* Morphotype 3 晚, 但分布时限也较 *N. dieneri* Morphotype 3 短, *N. dieneri* Morphotype 3 在剖面纵向上连续, 且分布层位稳定, 故本文建立 *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 亚带, 并与丁梅华(1983), 王成源(1993)

所建立的 *N. dieneri* 带上部及 *N. cristagalli* 带相当。需要补充的是 *N. dieneri* Morphotype 3 与 *N. cristagalli* 有明显的区别, 前者的基腔是圆—亚圆型, 后者为椭圆型—哑铃型, 且主齿侧面为三角型。另外, McTavish (1973) 和 Matsuda (1982) 报道 *N. cristagalli* 带的有效性是可疑的和 *N. cristagalli* 很难与 *N. dieneri* 及上覆地层中的 *N. discretus* 和 *N. conservativus* 区别开来, McTavish (1973) 认为 *N. cristagalli* 带是不能解决问题的, 建议对它做分类学的修正, 基于上述理由及国际相关早三叠世牙形石资料综合研究, 在本文拟建立 *Neospathodus dieneri* 带的 3 个亚带。

1.2 *Neospathodus waageni* 带

笔者等曾对巢湖地区印度阶—奥伦尼克阶界线地层牙形石研究表明, *Neospathodus waageni* 种存在明显的种内变异, 可以区分为 3 个亚种, 分别命名为 *Neospathodus waageni eowaageni*, *N. waageni elongata* 和 *N. waageni waageni*. (Zhao *et al.*, 2004, 2005b; 赵来时等, 2005a). 近年来根据国际相关早三叠世牙形石资料和巢湖资料再次深入研究, *Neospathodus waageni* 种群至少可以区分为 4 种形态型更为合理, 分别是细齿直立型(= *N. waageni eowaageni*, Zhao *et al.*, 2005b, 2007)、正常型 (Sweet, 1970 鉴定的模式种)、加长型和放射型。4 种形态型的共同特征是都具备 *Neospathodus waageni* 的基本特征: 齿片状, 扇形, 侧视为正方形或长方形, 底部基腔为圆型—亚圆型等。其他区别鉴定特征分别是: 细齿直立型为前后细齿基本直立, 底部边缘前方平面向后轻微向上倾斜, 基角为 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 或底部边缘为向口面弯曲成弧形; 细齿正常型为 Sweet (1970) 鉴定的模式种; 细齿加长型为齿片状, 横向加长的扇形, 侧视长方形; 细齿放射型为齿片状的扇形, 前后细齿分别向前后倾斜。4 种形态型之间在垂向上大体有产出层位差异次序。其中下部以 *N. waageni* (细齿直立型)、*N. waageni* (细齿正常型) 为主, 中部以 *N. waageni* (细齿加长型)、*N. waageni* (细齿正常型) 和 *N. waageni* (细齿放射型) 为主, 而上部则以 *N. waageni* (细齿直立型) 和 *N. waageni* (细齿正常型) 为主。该带分布于距剖面大隆组与殷坑组界线 40.49~93.43 m, 剖面第 24—16 亚层—第 52—1 亚层 (董金南等, 2005; 赵来时等, 2003; 2005a; Zhao *et al.*, 2007)。值得注意的是 Zhao *et al.* (2004) 定义的 *Neospathodus waageni*

elongata 亚种经过进一步考证, 底部基腔与 *Neospathodus waageni* group 明显不同而命名为 *Neospathodus posterolongatus* 种 (Zhao *et al.*, 2007)。

Neospathodus waageni 带包括 *Neospathodus waageni eowaageni* 亚带、*Neospathodus waageni elongatus* 亚带和 *Neospathodus waageni waageni* 三个亚带 (Zhao *et al.*, 2004, 2005b; 赵来时等, 2003, 2005a)。该带以 *Neospathodus waageni* 的首现为其底界, 以 *N. pingdingshanensis* 的首现为其顶界, 主要特征是 *Neospathodus* 属的分异度剧增且十分繁盛和伴随新种的出现, 分异度达到高峰有产出层位差异次序。该属的多数分子如 *Neospathodus chaohuensis* 在此带消失, *N. chii*, *N. dieneri* Morphotype 1 数量大大减少, 取而代之以 *N. waageni* 的 4 种形态型大量出现。 *N. dieneri* Morphotype 2 在距剖面大隆组与殷坑组界线 40.8~40.89 m 达到顶峰; *N. dieneri* Morphotype 3 和 *Platyvillosus costatus* 在距剖面大隆组与殷坑组界线 42.48~42.66 m 达到顶峰, *N. waageni* 的 4 种形态型, *N. cristagalli*, *N. aff. cristagalli* 和 *N. tongi* 在 42.61~42.66 m 达到顶峰。 *Neospathodus posterolongatus* (距剖面大隆组与殷坑组界线 (40.77 m), *N. concavus* (40.77 m), *N. n. sp. F* (40.77 m) 和 *N. n. sp. K* (40.8 m), *N. tongi* (42.48 m), *N. n. sp. G* (42.48 m), *N. n. sp. H* (42.48 m) 等新种的出现。本带其他分子如 *Neospathodus dieneri* 三种形态种, *N. cristagalli*, *N. chii* 及枝形分子等, 它们都是从下面的带延续而来。该带常见分子还有 *Neospathodus spitiensis*, *N. discretus*, *N. aff. discretus*, *N. pakistanensis*, *N. alberti*, *N. peculiaris*, *N. aff. chaohuensis*, *N. aff. waageni*, *Platyvillosus costatus*, *Pl. hamadai*, *Parachirognathus* sp., *Pachycladina* sp., *Cratognathodus* sp., *Aduncodina uncosta*。

该带在距剖面大隆组与殷坑组界线 52.29 m (剖面第 28—3 亚层) 至 68.35 m (剖面第 34—2 亚层) 到 93.43 m (剖面第 52—1 亚层) 之间分异度呈逐渐降低再缓慢增高的趋势。

2 牙形石带与菊石带及其对比

全球候选层型剖面之一的安徽巢湖平顶山西坡剖面的印度阶—奥伦尼克阶界线层的牙形石带、菊石带可与国际其他地区的牙形石带、菊石带对比。

根据目前资料,童金南等(2004)通过对巢北平顶山和马家山一带上二叠统顶部和下三叠统多条剖面的系统研究,建立了在华南乃至低纬度特提斯地区具有代表性的、以属级分类单位为基础的下三叠统菊石生物地层序列(从下而上):*Ophiceras-Lytophyceras* 带、*Gyronites-Prionobolus* 带、*Flemingites-Euflemingites* 带、*Anasibirites* 带、*Columbites-Tirolites* 带和 *Subcolumbites* 带。在安徽巢湖平顶山西坡剖面中,*Flemingites-Euflemingites* 带之首现点位置(40.75 m, 剖面第 24—21 亚层)较牙形石 *Neospathodus waageni* 首现点(40.49 m, 剖面第 24—16 亚层)高出 0.26 m, 因此,菊石 *Flemingites-Euflemingites* 带之底与牙形石 *Neospathodus waageni* 首现点比较接近,以牙形石 *Neospathodus waageni* 的首现点作为国际奥伦尼克阶之底第一生物标志,而菊石 *Flemingites-Euflemingites* 带可作为国际奥伦尼克阶界线主要辅助标志,具有全球对比意义。

本文在该剖面所建立的印度阶与奥伦尼克阶界线附近牙形石带具有广泛的对比意义。笔者等详细阐述了新建立的 *Neospathodus dieneri* 三种类型在全球具有广泛的分布性和洲际对比意义(Zhao *et al.*, 2004, 2005b; 赵来时等, 2005a)。同样,根据 *Neospathodus waageni* group 鉴定特征,该种也同样具有广泛的分布性和洲际对比意义,它见于马来西亚 Guong Kering 剖面(样品 M261, 图版 VI 图 27, *N. cf. waageni* = *N. waageni* (细齿直立型); 图 24, *N. dieneri* = *N. waageni* (细齿直立型), Koike, 1982); 卡米米亚 Guryul Ravine 剖面 *N. waageni* 带(剖面 87a 层, 图版 2, 图 4, *N. waageni* (细齿加长型), Matsuda, 1982; *N. dieneri*-*N. cristagalli* 带, 样品 No. Bu 5008a, 图版 9. 图 b, f, *N. cristagalli* = *N. waageni* (细齿加长型), Budurov and Gupta, 1988); 加拿大西部盆地(样品 S0 (细齿直立型和正常型), Henderson, 2005)和印度 Spiti 地区 Muth 剖面(为 *Neospathodus waageni* 种的 4 种形态型; Krystyn *et al.*, 2005 及 Orchard, 2007 通信)。Krystyn *et al.* (2005)提议的全球印度阶—奥伦尼克阶候选层型剖面之一印度 Spiti 地区 Muth 剖面,印度阶与奥伦尼克阶界线层的牙形石带(从下而上): *Neospathodus cristagalli* 带、*Chengyuania nepalensis* 带、*N. eowaageni* 带、*N. waageni* 和 *Gondolella milleri* 带。本文所建立的

N. dieneri Morphotype 3 亚带相当于 Krystyn *et al.* (2005) 的 *Neospathodus cristagalli* 带和 *Chengyuania nepalensis* 带; *N. waageni* 带相当于 Krystyn *et al.* (2005) 的 *N. eowaageni* 带、*N. waageni* 带和 *Gondolella milleri* 带。

需要指出的是在 *Neospathodus waageni* 带中 *Neospathodus posterolongatus* 分子,首现点距剖面大隆组与殷坑组界线 40.77 m, 剖面第 24—20 亚层,比 *Flemingites-Euflemingites* 带之首现点低 0.03 m, 它也广泛见于马来西亚 Guong Kering 剖面(样品 M261, 图版 VI 图 27, 29 *N. cf. dieneri* = *N. posterolongatus*, Koike, 1982); 加拿大西部盆地(样品 S4, Henderson, 2005)和印度 Spiti 地区 Muth 剖面(样品 14B; Krystyn *et al.*, 2005),也具有定义国际奥伦尼克阶之底第一生物标志的潜力。

3 印度阶与奥伦尼克阶界线层附近的 *Neospathodus* 属内关键种的演化趋势

国际上对三叠纪平台型牙形石演化研究较多(Mosher, 1968; McTavish, 1973; Solien, 1979; Orchard, 1995, 2007)。Mosher(1968)根据美国西部盆地和欧洲材料识别出三类,即 Gondolellid, *Neospathodid* 和 Gladigondolellid。Neospathodid 在早三叠纪早期是没有平台的(Mosher, 1968; Text-fig. 3; Pl. 119, figs. 11—13, 15, 19)。McTavish(1973)强调底部边缘后部向上翘 *N. waageni*(Smithian)到平直 *N. novae-hollandiae* 再到底部边缘后部向下倾 *N. triangularis*(Spathian)是一个演化系列,他认为平直的和底部边缘在后部向上翘起的 *Neospathodus* 分子是 Smithian 特征,而平直的和底部边缘在后部向下倾斜的 *Neospathodus* 分子是 Spathian 特征。Solien(1979)提出 *Neospathodus* 存在两个演化趋势,其一是底部边缘在后部向上翘起(Smithian),其次是底部边缘在后部向下翘起,所有的 Smithian 晚期的 *Neospathodus* 分子可能来自同一个祖先并沿着底部边缘后部向下翘起的一个相似的演化方向进行,同时指出底部边缘在后部向上翘起是 Smithian 分子的特征。Orchard(1995)对 *Neospathodus* 分子的鉴定特征和演化进行了概述, Spathian 分子是以底部边缘大体直到向下倾斜和细齿相对融合,缺乏十分明显的主齿特征;而 *cristagalli*, *dieneri*, *waggeni*, *pakistanensis* 分子有清楚的

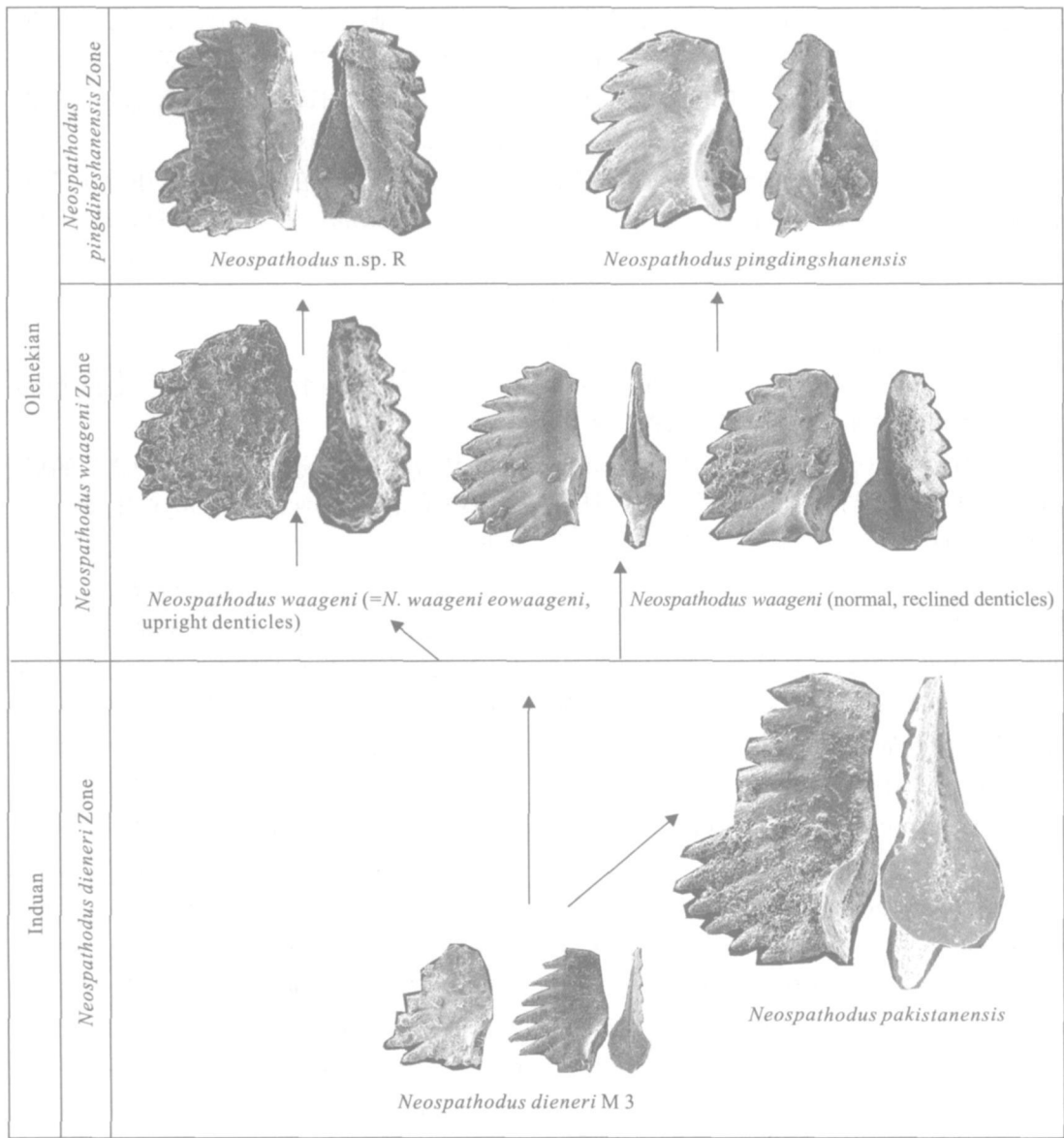


图 3 印度阶—奥伦尼克阶界线附近牙形石演化谱系

Fig. 3 Conodont lineages across Induan-Olenekian boundary

向下倾斜的后底部边缘和明显的主齿特征, *kummeli*, *conservativus* 和 *discretus* 有不同的向上翻转来的后部齿突, 相对分离的细齿和窄的底部基腔. Orchard (2007, 通信)介绍了 *krystyni-discreta-kummeli* 序列, *Neospathodus dieneri* 种群、*Neospathodus cristagalli* 种群、*Neospathodus pakistanensis* 种群和 *Neospathodus waageni* 种群的鉴定和演化简况. 本文根据大量的标本研究, 试论述牙形石 *Neospathodus* 属的分子在印度阶与奥伦尼克阶附近的演化趋势.

印度阶与奥伦尼克阶界线层连续取样, 可得到鉴定的 *Neospathodus* 属的分子数千余枚, 主要

Neospathodus 属的特征分子 *N. dieneri* Morphotype 1, *N. dieneri* Morphotype 2, *N. dieneri* Morphotype 3, *N. cristagalli*, *N. spitiensis*, *N. tongi*, *N. waageni* 种群的 4 种型态和 *N. posterolongatus*, *N. pakistanensis* 等. 各种之间存在地层发生顺序和形态特征两方面的连续变化, 存在着若干中间过渡分子, 构成了演化谱系关系 (图 3). 跨越印度阶与奥伦尼克阶界线, 两种演化谱系十分明显, 一种是分子 *N. dieneri* Morphotype 3 在奥伦尼克阶之底即 Smithian 初期演化出特征明显的 *N. waageni* (细齿直立型、正常型和加长型), 随着 *N.*

waageni 型态的发展, 在 *Spathias* 期初分别演化出 *N. pingdingshanensis* 和 *N. n. sp. R*, 另一种是分子 *N. dieneri* Morphotype 3 在印度阶上部演化成 *N. pakistanensis*. 具体理由如下:

(1) *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 → *N. waageni* (细齿直立型) → *N. n. sp. R*.

Neospathodus dieneri Morphotype 3 → *N. waageni* (细齿直立型) → *N. n. sp. R*. 形态比较如下: A. 基腔呈现出连续的变化, 由圆型—亚圆型发展成向前膨大, 占下部边缘的 1/3 到 1/2 或 2/3, 底部基坑由浅发展到中等深度再发展到较深; 向两侧及后方张开, 向前收缩成窄沟延伸至前方; B. 底部边缘前方平直, 向后方延伸变平直, 基角 39° , 且有逐渐变小的趋势 ($0^\circ \sim 15^\circ$); C. 侧视面片状, 由三角形到正方形再发展到长方形, 齿体有横向加长的趋势; D. 细齿薄片状, 顶部由尖变钝, 除前后 1~2 个细齿稍短以外, 中间细齿长度有基本一致的趋势, 形成 *N. n. sp. R* 齿片特征. 此外, 其共同特征为细齿形态基本一致, 底部基腔都是圆型, 细齿从 *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 → *N. waageni* (细齿直立型) → *N. n. sp. R* 向前后细齿直立发展的趋势.

(2) *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 → *N. waageni* (细齿正常型) → *N. pingdingshanensis*. 中间过渡分子的发现, 剖面中发现了由 *N. dieneri* Morphotype 3 → *N. waageni* (细齿正常型) 演化的过渡类型, 其他地点也有类似分子发现 (Buryi, 1979, Plate 7, Figs. 9—10; Plate 8, Figs. 3—4). 基腔圆型—亚圆型, 底部边缘向前平直, 向后方延伸 1/3 到 1/2 处明显向上翘起, 基腔向两侧及后方张开, 向前收缩成窄沟延伸至前方是其共同特征. 而侧视面片状, 基腔有由浅变深的趋势, 齿体高: 长约 1 : 1.2, 比率逐渐变为 1 : 1 的趋势演化形成正方形. 细齿薄片状, 顶部由尖变钝, 有逐渐向两侧膨胀加厚及侧中脊明显的趋势, 形成 *N. pingdingshanensis* 齿片特征 (Buryi, 1979, Plate 6, Fig. 8, *Neospathodus* sp. A = *N. pingdingshanensis*; Plate 15, Figs. 2, *N. aff. triangularis* = *N. pingdingshanensis*; 3, *N. aff. waageni* = *N. pingdingshanensis*).

(3) *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 → *N. pakistanensis* 中间过渡分子的发现, 剖面中发现了由 *Neospathodus dieneri* Morphotype 3 → *N. pa-*

kistanensis 演化的过渡类型. 其演化理由如下: 有相同的片状细齿形态, 顶部由尖变钝, 圆型的底部基腔等, 而侧视面横向逐渐加长及后部细齿逐渐向后倾斜演化成 *N. pakistanensis*.

(4) 地层分布在剖面上, 上述分子 *Neospathodus pingdingshanensis* 起始点总是晚于 *N. waageni* (4 种形态型). *N. pakistanensis*、*N. waageni* (4 种形态型) 起始点总是晚于 *N. dieneri* Morphotype 3.

4 关键带分子时限确定及其地层意义

Neospathodus waageni 种群内之间的形态变化, 较早期 Matsuda (1982) 研究印度克什米尔地区的早三叠世牙形石时, 根据 *Neospathodus waageni* 形态的变化分为 3 种形态种; 笔者等 (Zhao *et al.*, 2004, 2005b) 根据其变化, 把它划分为 3 个亚种; Orchard (2007, 通信) 根据其变化, 把它归纳为 6 个形态型; 本文根据大量的标本, 综合吸收前人材料, 根据 *Neospathodus waageni* 形态的变化至少归并为 4 种形态型, 即细齿直立型、正常型 (Sweet, 1970 鉴定的模式种)、加长型和放射型, 它们之间的变化都在同一个种内发生. 细齿直立型相当于 Orchard (2007, 通信) *Neospathodus waageni* Morphotype 3 及 Zhao *et al.* (2004, 2007) *Neospathodus waageni eowaageni*; 正常型 (Sweet, 1970 鉴定的模式种) 相当于 Orchard (2007, 通信) *Neospathodus waageni* Morphotype 2; 加长型相当于 Orchard (2007, 通信) *Neospathodus waageni* Morphotype 1; 放射型相当于 Orchard (2007, 通信) *Neospathodus waageni* Morphotype 4, 5, 6.

Neospathodus waageni 种群总体特征为 P1 分子齿体扇形片状. 10—12 齿大部分融合, 底部边缘前部平直, 向后平直或向口面弯曲成弧形或 1/3 处轻微向上翘起, 基腔位于后端, 圆型—亚圆型, 向前收缩成窄沟延伸至前方. 该分子特征明显, 分布广泛 (Koike, 1982; Matsuda, 1982; Budurov and Gupta, 1988; Yang *et al.*, 1999; Henderson, 2005; Krystyn *et al.*, 2005; 赵来时等, 2005a; Orchard, 2007, 通信), 地层层位稳定, 具有广泛的分布性和洲际对比意义. 同时其演化清晰, 位于 *N. dieneri* Morphotype 3 → *N. waageni* → *N. pingdingshanensis* 或 *N. n. sp. R* 演化的中间阶段, 祖先和后裔明确. 目前研究表明 *N. waageni* 的首现点位于传统以菊石 *Flemingites-Euflemingites* 带之底

作为印度阶与奥伦尼克阶界线低 0.26 m。在印度阶与奥伦尼克阶界线附近, 即 *Neospathodus dieneri* Morphotype 1 亚带和 *N. dieneri* Morphotype 2 亚带, *N. dieneri* Morphotype 3 亚带到 *N. waageni* 带, 分异度由低到高, 然后又突然变低的演化历程, 分异度在 *Neospathodus dieneri* Morphotype 1 亚带和 *N. dieneri* Morphotype 2 亚带较低, 但到了 *N. dieneri* Morphotype 3 亚带似乎达到高峰, 在印度阶与奥伦尼克阶界线上, 分异度突然降低, 随后分异度剧增, 该属的多数分子如 *Neospathodus chaohuensis* 在界线之下消失, *N. chii*, *N. dieneri* Morphotype 1 数量大大减少, 界线以上, *Neospathodus* 属的新生分子如 *N. posterolongatus*, *N. cancavus*, *N. n. sp. F* 等大量出现, 显示了 *Neospathodus* 在该界线上下发生了一次演化上的突变。因此, 从牙形石生物地层学的角度出发, *N. dieneri* Morphotype 3 亚带和 *N. waageni* 带之间应该是该界线的理想位置。这也符合国际界线层型剖面 and 点位的选择要求(界线应在单相连续剖面、连续谱系中)。

References

- Budurov, K. J., Gupta, V. J., 1988. Triassic conodont stratigraphy of some sections of Kashmir Himalaya. *Bulletin of Indian Geologist Association*, 21(1): 21–39.
- Buryi, G. V., 1979. Lower Triassic conodonts in the southern Primorye. *Moskva, Nauka*, 1–69 (in Russian).
- Ding, M. H., 1983. Lower Triassic conodonts from the Mountain Majiashan in Anhui Province and their stratigraphic significance. *Earth Science—Journal of Wuhan College of Geology*, 9(2): 37–48 (in Chinese with English abstract).
- Henderson, C. M., 2005. Correlation of the proposed base–Olenekian GSSP from Chaohu, China to western Canada. *Albertiana*, (Part II) 33: 39–40.
- Krystyn, L., Om, N. B., Devendra, K. B., 2005. Muth (Spiti, Indian Himalaya)—A candidate Global Stratigraphic Section and Point (GSSP) for the base of the Olenekian Stage. *Albertiana* (Part II) 33: 51–53.
- Koike, T., 1982. Triassic conodont biostratigraphy in Kedah, West Malaysia. *Geol. Paleont. Southeast Asia*, 23: 9–51.
- Matsuda, T., 1982. Early Triassic conodonts from Kashmir, India. Part II. *Neospathodus* 1. *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, 25: 87–102.
- McTavish, R. A., 1973. Triassic conodont faunas from western Australia. *N. Jb. Geol. Palaeont., Abh.*, 143: 275–303.
- Mosher, L. C., 1968. Triassic conodonts from western North America and Europe and their correlation. *J. Paleontol.*, 42: 895–946.
- Orchard, M. J., 1995. Taxonomy and correlation of Lower Triassic (Spathian) segminate conodonts from Oman and revision of some species of *Neospathodus*. *J. Paleontol.*, 69: 110–122.
- Orchard, M. J., 2007. Conodont diversity and evolution through the latest Permian and Early Triassic upheavals. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (in press).
- Solien, M. A., 1979. Conodont biostratigraphy of the Lower Triassic Thaynes Formation, Utah. *J. Paleontol.*, 53: 276–306.
- Sweet, W. C., 1970. Uppermost Permian and Lower Triassic conodonts of the salt range and trans-Indus ranges, West Pakistan. In: Kummel, B., Teichert, C., eds., *Stratigraphic boundary problems: Permian and Triassic of West Pakistan*. Univ. Kansas Dept. Geol. Spec. Publ., 4: 207–275.
- Tong, J. N., Hansen, H. J., Zhao, L. S., et al., 2005a. High-resolution Induan-Olenekian boundary sequence in Chaohu, Anhui Province. *Science in China (Series D)*, 48(3): 291–297.
- Tong, J. N., Hansen, H. J., Zhao, L. S., et al., 2005b. A GSSP candidate of the Induan-Olenekian boundary stratigraphic sequence of the West Pingdingshan Section, in Chaohu, Anhui Province. *Journal of Stratigraphy*, 29(2): 205–212 (in Chinese with English abstract).
- Tong, J. N., Qiu, H. O., Zhao, L. S., et al., 2002. Lower Triassic inorganic carbon isotope excursion in Chaohu, Anhui Province, China. *Journal of China University of Geosciences*, 13(2): 98–106.
- Tong, J. N., Zakharov, Y. D., Orchard, M. J., et al., 2003. A candidate of the Induan-Olenekian boundary stratotype in the Tethyan region. *Science in China (Series D)*, 46: 1182–1200.
- Tong, J. N., Zakharov, Y. D., Wu, S. B., 2004. Early Triassic ammonoid succession in Chaohu, Anhui Province. *Acta Palaeontologica Sinica*, 43(2): 192–204 (in Chinese with English abstract).
- Tong, J. N., Yin, H., Zhang, J., et al., 2001. Proposed new Lower Triassic stages in South China. *Science in China (Series D)*, 44(11): 961–967.
- Tong, J. N., Zhao, L. S., Zuo, J. X., et al., 2005c. The integrated Lower Triassic sequence in Chaohu, Anhui Province. *Earth*

- Science—Journal of China University of Geosciences*, 30 (1): 40–46 (in Chinese with English abstract).
- Tong J. N., Zhou X. G., Erwin, D. H., et al., 2006. Fossil fishes from the Lower Triassic of Majiashan, Chaohu, Anhui Province, China. *J. Paleontol.*, 80: 146–161.
- Wang, C. Y., 1993. Conodonts of Lower Yangtze Valley—An index to biostratigraphy and organic metamorphic maturity. Science Press, Beijing, 235–249 (in Chinese).
- Yang S. R., Wang X. P., Hao, W. C., et al. 1999. Triassic conodont sequences from different facies in China. In: Yao, A., Ezaki, Y., Hao, W. C., et al., eds., Biotic and geological development of the paleo-Tethys in China. Peking University Press, Beijing.
- Zakharov, Y. D., 1994. Proposals on revision of the Siberian standard for the Lower Triassic and candidate Stratotype section and point for the Induan-Olenekian boundary. *Albertiana*, 14: 44–51.
- Zakharov, Y. D., Shigeta, Y., Popov, A. M., et al., 2000. The candidates of global stratotypes of the boundary of the Induan and Olenekian stages of the Lower Triassic in southern Primorye. *Albertiana*, 24: 12–26.
- Zakharov, Y. D., 2004. The global stratigraphic section and point 2 (GSSP) of the base of the Olenekian stage (Lower Triassic). *Albertiana*, 29: 38–40.
- Zhao, L. S., Orchard, M. J., Tong, J. N., 2004. Lower Triassic conodont biostratigraphy and speciation of *Neospathodus waageni* around the Induan-Olenekian boundary of Chaohu, Anhui Province, China. *Albertiana*, 29: 41–43.
- Zhao, L. S., Orchard, M. J., Tong, J. N., et al., 2007. Lower Triassic conodont sequence in Chaohu, Anhui Province, China and its global correlation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (in press), doi: 10.1016/j.palaeo.2006.11.032
- Zhao, L. S., Tong J. N., Orchard, M. J., et al., 2005a. Lower Triassic conodont zonation in Chaohu, Anhui Province and its global correlation. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30 (5): 623–634 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, L. S., Tong J. N., Orchard, M. J., 2005b. Study on the Lower Triassic conodont sequence and the Induan-Olenekian boundary in Chaohu, Anhui Province. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1–169.
- Zhao, L. S., Tong J. N., Zuo, J. X., 2003. Lower Triassic conodonts of West Pingdingshan Section in at Chaohu, Anhui Province, China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(4): 414–418 (in Chinese with English abstract).
- Zuo, J. X., Tong J. N., Qiu, H. O., et al., 2006. Carbon isotope composition of the Lower Triassic marine carbonates, Lower Yangtze Region, South China. *Science in China (Series D)*, 49(3): 225–241.

附中文参考文献

- 丁梅华, 1983. 安徽巢县马家山早三叠世牙形石及其地层意义. 地球科学——中国地质大学学报, 9(2): 37–48.
- 童金南, Hansen, H. J., 赵来时, 等, 2005b. 印度阶—奥伦尼克阶界线层型候选剖面——安徽巢湖平顶山西坡剖面地层序列. 地层学杂志, 29(2): 205–214.
- 童金南, Zakharov, Y. D., 吴顺宝, 2004. 安徽巢湖地区早三叠世菊石序列. 古生物学报, 43(2): 192–204.
- 童金南, 赵来时, 左景勋, 等, 2005c. 安徽巢湖地区下三叠统综合层序. 地球科学——中国地质大学学报, 30(1): 40–46.
- 王成源, 1993. 下扬子地区牙形刺——生物地层与有机变质成熟度的指标. 北京: 科学出版社.
- 杨守仁, 王新平, 郝维城, 等, 1999. 中国三叠纪不同相区的牙形石序列. 见: 八尾昭, 江崎洋一, 郝维城, 等, 中国古特提斯生物及地质变迁. 北京: 北京大学出版社.
- 赵来时, 童金南, Orchard, M. J., 等, 2005a. 安徽巢湖地区下三叠统牙形石生物地层分带及其全球对比. 地球科学——中国地质大学学报, 30(5): 624–634.
- 赵来时, 童金南, 左景勋, 2003. 安徽巢湖平顶山下三叠统牙形石生物地层序列. 地球科学——中国地质大学学报, 28(4): 414–418.