

doi: 10.12029/gc20160402

陈奋宁, 计文化, 张海军, 等. 唐古拉地区拉卜查日组牙形石的发现、锶同位素组成及地层学意义[J]. 中国地质, 2016, 43(4): 1139–1148.

Chen Fenning, Ji Wenhua, Zhang Haijun, et al. The discovery of conodonts fossils and the strontium isotope composition of Labuchari Formation in Tanggula Range and their stratigraphic significance[J]. Geology in China, 2016, 43(4): 1139–1148(in Chinese with English abstract).

## 唐古拉地区拉卜查日组牙形石的发现、锶同位素组成及地层学意义

陈奋宁<sup>1</sup> 计文化<sup>1</sup> 张海军<sup>2</sup> 陈守建<sup>1</sup> 辜平阳<sup>1</sup> 杜兵盈<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

**摘要:**首次在唐古拉地区晚二叠世—早三叠世拉卜查日组中获得牙形石化石, 其分子为 *Hindeodus typicalis*、*H. eurypyge* 和 *H. praeparvus*。根据其地层意义并结合层序地层学及海平面变化研究, 最终将研究区二叠系与三叠系界线的可能位置定在实测剖面的 29 层顶、30 层底。基于此, 作者系统测试了拉卜查日组中的碳酸盐岩  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值, 结果表明, 二叠系/三叠系界线附近  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值为 0.707017~0.707032, 显著小于国内外其他地区二叠系/三叠系界线附近  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值。造成这种差异的主要原因, 可能是由于唐古拉地区二叠系/三叠系界线附近存在广泛的火山活动以及上扬子地区二叠纪广泛的玄武岩喷发等地方性事件。此外, 剖面上锶同位素演化曲线与海平面变化曲线对比显示,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的最小值与初始海泛面基本一致, 锶同位素演化曲线与海平面变化曲线有着很好的一致性, 说明全球海平面变化是其最主要的控制因素。

**关键词:** 唐古拉地区; 拉卜查日组; 锶同位素; 牙形石; 相对海平面变化

中图分类号: Q913.85; P597 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)04-1139-10

## The discovery of conodonts fossils and the strontium isotope composition of Labuchari Formation in Tanggula Range and their stratigraphic significance

CHEN Fen-ning<sup>1</sup>, JI Wen-hua<sup>1</sup>, ZHANG Hai-jun<sup>2</sup>, CHEN Shou-jian<sup>1</sup>,  
GU Ping-yang<sup>1</sup>, DU Bing-ying<sup>2</sup>

(1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Conodont fossils were found for the first time in the Late Permian Labuchari Formation in the Tanggula Range. The conodonts include *Hindeodus typicalis*, *H. eurypyge* and *H. praeparvus*. According to their significance and the investigation of sequence stratigraphy and sea-level changes, the Permian/Triassic boundary may be determined between the top of 29 and the bottom of 30 of the measured section. Here, the carbonatite  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios of Labuchari Formation were determined. At the Permian/

收稿日期: 2015-07-17; 改回日期: 2015-11-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41101073、40872084)和中国地质调查局项目(12120113028800)联合资助。

作者简介: 陈奋宁, 女, 1983 年生, 硕士, 助理研究员, 从事沉积学及古生物学与地层学研究; E-mail: fenningc@163.com。

Triassic boundary,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios are from 0.707017 to 0.707032, which are significantly lower than those in other areas. The main reasons for the remarkable difference might be the existence of extensive volcanic activities in Tangula Range at the Permian/Triassic boundary and the basalt eruptions in Yangtze region during the late Permian. In addition, the comparison between the strontium isotope curve and sea-level curve shows that the minimum  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio has a good consistency with the data of the first flooding surface, suggesting that global sea level change was the main factors controlling the strontium isotope.

**Key words:** Tangula Range; Labuchari Formation; strontium isotope; conodont; corresponding sea level change

**About the first author:** CHEN Fen-ning, female, born in 1983, engineer, majors in sedimentology, stratigraphy and paleontology; E-mail: fenningc@163.com.

**Fund support:** Supported by Project for Researching the Sedimentary Basin of the East Part of East Kunlun for the Early Triassic Hongshuichuan Group in Qinghai Province (No. 41102073) and Project for Studying Middle-Upper Permian Unconformity Geological Significance in the North of the Qinghai-Tibet Gangdise and its Adjacent Region (No. 40872084) and China Geological Survey's National Qinghai-Tibet Special Project (No. 12120113028800).

地质历史中海水的锶同位素组成是时间的函数,其随时间的变化主要受2个来源锶的控制:(1)由大陆古老的硅铝质岩石化学风化作用通过河流向海水提供的相对富放射性成因的锶,具有较高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,全球平均值为0.7119<sup>[1]</sup>; (2)由洋中脊热液系统向海水提供的相对贫放射性成因的锶,具较低的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,全球平均值为0.7035<sup>[2]</sup>。现代海水的锶同位素比值是这两个来源锶平衡的结果,其平均值为 $0.709073 \pm 0.000003$ <sup>[3]</sup>,超过100个现代贝壳的锶同位素组成平均值。因此,代表原始海水组成的海相内源沉积物(主要是碳酸盐、硫酸盐和磷酸盐等)锶同位素的组成和变化是全球等时对比的重要手段<sup>[4-11]</sup>,并可作为海相地层的定年工具之一<sup>[7,9,11-17]</sup>,这就是锶同位素地层学的基本原理。

前人对昌都地块唐古拉地区乌丽群已做了大量的研究,这些研究主要集中于生物地层学<sup>[18-21]</sup>、地层学<sup>[22]</sup>、粒度分析<sup>[23]</sup>以及煤田地质<sup>[24]</sup>等方面。然而到目前为止,有关昌都地块晚二叠世—早三叠世碳酸盐的锶同位素组成及演化特征的研究仍是空白。昌都地块唐古拉地区乌丽群拉卜查日组碳酸盐岩地层发育较好,因此本文以唐古拉地区拉卜查日组剖面为研究对象,通过对拉卜查日组海相碳酸盐锶同位素组成变化研究,并结合牙形石化石组成特点,探讨昌都地块拉卜查日组的地层时代、锶同位素组成及其地质意义。

## 1 区域地质概况

研究区位于青藏高原腹地(图1),区域上将班

公湖—怒江缝合带和西金乌兰—金沙江缝—哀牢山结合带之间的地区称之为羌塘—昌都地块<sup>[25]</sup>,或羌塘—三江造山系<sup>[26]</sup>。再以龙木错—双湖—类乌齐结合带(Pz-T)和乌兰乌拉湖—北澜沧江结合带(D-T<sub>2</sub>)为界,自北向南依次划分为昌都—兰坪地块和北羌塘—甜水海地块以及南羌塘弧盆系三个二级构造单元<sup>[26-27]</sup>。本区即位于乌兰乌拉湖—北澜沧江断裂以北昌都—兰坪地块内的开心岭—杂多—竹卡陆缘弧带内。

研究区出露主要主体地层为开心岭群扎日根组、诺日巴尕日保组、九十道班组,乌丽群那益雄组、拉卜查日组,结扎群甲丕拉组、波里拉组和巴贡组。其中扎日根组为一套台地相碳酸盐岩建造,诺日巴尕日保组为浅海—次深海相泥砂质复理石—岛弧火山岩建造,九十道班组具礁灰岩特征,那益雄组为海陆过渡相的含煤碎屑岩沉积,拉卜查日组为台地相碳酸盐岩建造,甲丕拉组为一套滨—浅海相红色碎屑岩建造,波里拉组一套岩性较单一斜坡相碳酸盐岩建造,巴贡组为一套滨—浅海相碎屑岩建造。

## 2 剖面位置、样品及实验方法

研究剖面位于青海省沱沱河地区开心岭煤矿一带(图1),是昌都地块乌丽群的经典剖面之一,剖面构造简单,地层连续,露头良好。乌丽群那益雄组为一套碳酸盐岩、陆源碎屑岩夹煤层的海陆过渡沉积环境,拉卜查日组为一套碳酸盐岩台地相沉积环境。

为了保证所获得的样品尽可能地代表原始海

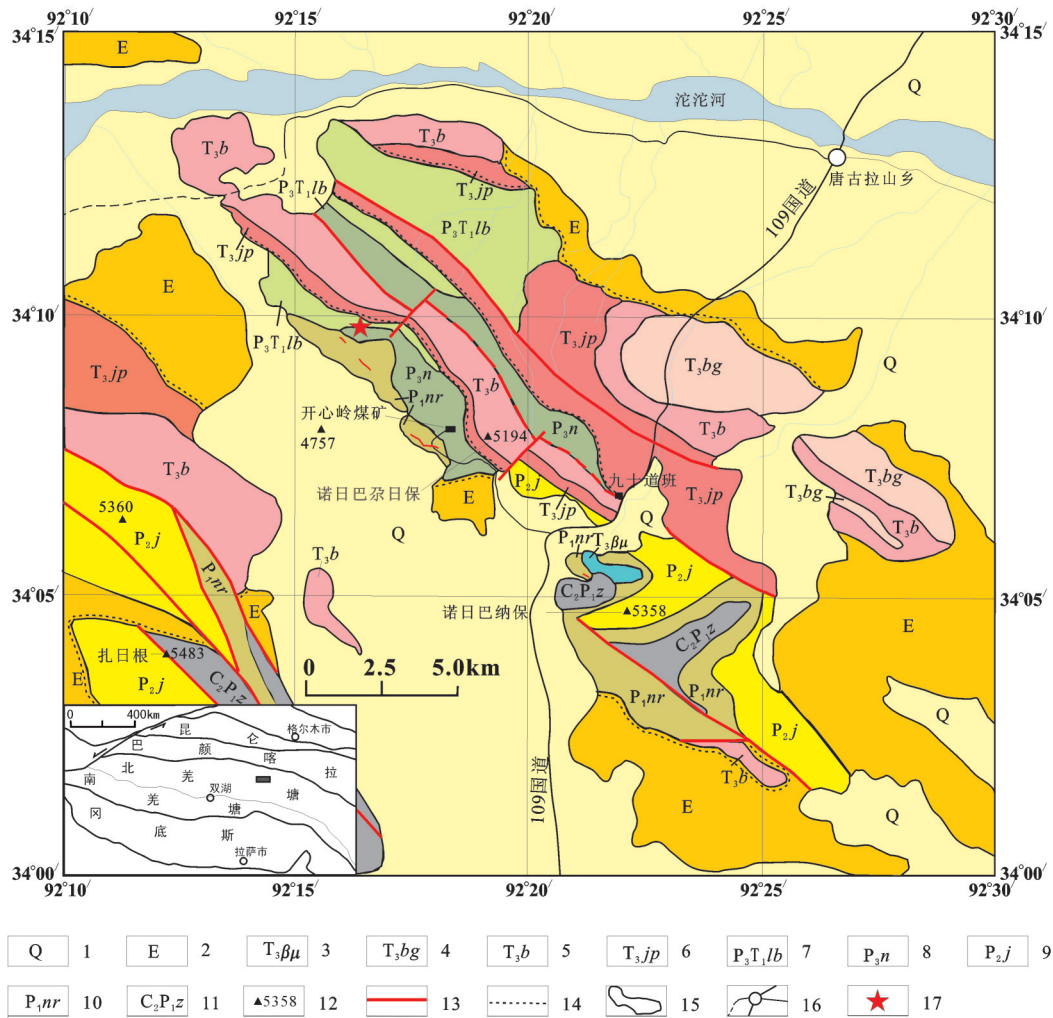


图1 研究区区域地质和交通图

1—第四系; 2—古近系; 3—上三叠统侵入岩; 4—上三叠统巴贡组; 5—上三叠统波里拉组; 6—上三叠统甲丕拉组; 7—上二叠统—下三叠统拉卜查日组; 8—上二叠统那益雄组; 9—中二叠统九十道班组; 10—下二叠统诺日巴尕日保组; 11—上石炭统—下二叠统扎日根组; 12—山峰及海拔高程; 13—断层; 14—地层不整合接触面; 15—地质体; 16—地名、主要公路、次要公路和季节性公路; 17—实测剖面位置

Fig.1 Geological map of the study area

1—Quaternary sediments; 2—Paleogene sediments; 3— Late Triassic intrusive rocks; 4—Late Triassic Bagong Formation; 5—Late Triassic Bolila Formation; 6—Late Triassic Jiapila Formation; 7—Late Permian– Early Triassic Labuchari Formation; 8—Late Permian Nayixiong Formation; 9—Middle Permian Jiushidaoban Formation; 10—Early Permian Nuoribagaribao Formation; 11—Late Carboniferous–Early Permian Zharigen Formation; 12— Mountain and elevation above sea level; 13—Fault; 14—Stratigraphic unconformity; 15—Geological body; 16—Place names, major highways, secondary highways and seasonal highways; 17—Location of measured geological section

水的同位素组成,采样过程中没有采集亮晶胶结的各种颗粒灰岩和结晶灰岩,而采集了发生重结晶的泥晶—微晶灰岩、泥晶颗粒灰岩、

颗粒泥晶灰岩和腕足类生物壳体。所有样品都在偏光镜和阴极发光下进行了检测,并做了铁氰化钾溶液染色。对具强烈阴极发光的样品未予利用,所使用的样品均不具阴极发光或只具极弱的阴

极发光,且不被铁氰化钾溶液染色,这样的样品基本代表了原始海水的同位素组成而不是成岩作用的结果。碳酸盐样品的锶同位素分析由中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室同位素分析室完成,仪器为MAT-261质谱仪,2.5 mol/L的盐酸溶样,铷、锶经装有AG-50W X 8树脂的离子交换柱分离和纯化。每盘样品都插入

NBS987标准, 8件标准样测量平均值为0.71027+0.000042, 全部分析数据的标准偏差在0.00016-0.000284的范围内。

### 3 生物地层对比

唐古拉地区二叠纪广泛分布碳酸盐沉积, 其中赋存着十分丰富的古生物化石, 乌丽群拉卜查日组富含筴类、腕足类、双壳类、苔藓虫等化石。

刘广才<sup>[22]</sup>较系统的论述了开心岭地区拉卜查日组中的动物群。其中筴类动物群称之为 *Palaeofusulina-Perigeyerella costellata* 组合带, 计有 *Palaeofusulina* cf. *fusiformis*, *Sphaerulina* cf. *zizongzhengensis*, *Reichelina changhsigensis* 等7属5种, 均为华南长兴期标准分子或重要成员; 腕足有 *Perigeyerella costellata*, *Squanularia grandisa* 等3属2种; 前者是华南长兴期 *Enteletina sinensis-Spinomarginifera hueichouensis alpha* 组合带的重要伴生者, 后者见于浙江长兴、江西东平及贵州平越、桐梓等地的上二叠统。该2种在本区普遍存在, 是个很有特色的生物群落; 双壳类有 *Pernopecten sichamensis*, *Palaeomeilo quizhouensis*, *Stutchburia* cf. *variabilis* 与 *Palaeofusulina* 等筴类共生。

青海省1:25万赤布张错幅区域地质调查报告<sup>①</sup>描述, 赤布张幅贡日等地拉卜查日组上部的灰岩中产出 *Gallowayinella meitienensis-Palaeofusulina sinensis* 筴类动物群。主要分子有: *Gallowayinella meitienensis* Chen, *G.* cf. *meitienensis* Chen, *G. guidingensis* Liu, Xiao et Dong, *G.* Sp.,

*Palaeofusulina sinensis* Sheng, *P. nana* Likharev, *P. fusiformis* Sheng, *P. mutabilis* Sheng, *P. subcylindrica* Sheng et Nie, *P. parafusiformis* Lin, *Panananlingella laxa* Sheng, *P. acervula* Sheng et Rui 等。该生物群的特征是化石属种单调, 分异度低, 但 *G. meitienensis* 个体极丰富。*Gallowayinella* 属最早发现于湖南宜章梅田, 为该区晚二叠世特有的一个筴类化石<sup>[28-29]</sup>。与下部长兴早期化石带对比, 该组合中的分子壳体明显增大, 属种相对增多, 尤其是特征分子 *Palaeofusulina sinensis* 隔壁褶皱较强烈, 结构复杂, 代表了古筴发展的高级阶段, 该种在中国南方分布相当广泛, 其与 *P. nana*, *P. fusiformis*, *P. subcylindrica* 等构成长兴中晚期生物群面貌。

本次通过对唐古拉地区开心岭地区拉卜查日组进行了系统的剖面测制, 自上而下逐层采集了22件牙形石样品并进行室内分析处理, 首次在拉卜查日组中采集到了牙形石化石。经鉴定为 *Hindeodus praeparvus*, *Hindeodus typicalis* 和 *Hindeodus eurypyge* (图2)。

在确立煤山剖面二叠/三叠系界线的全球界线层型剖面 and 点 (GSSP) 的过程中, 许多学者讨论了二叠系/三叠系界线附近牙形石的演化谱系问题。Kozur (1989)<sup>[30]</sup> 首先提出了 *Hindeodus typicalis-H. latidentadus-H. turgidus-Isarcicella isarcica* 多形态的演化谱系。Ding et al.<sup>[31-32]</sup> 基于煤山剖面研究, 提出了 *Hindeodus latidentadus-H. parvus-Isarcicella-turgida(H. turgidus)-I. isarcica* 的谱系。Wang<sup>[33]</sup> 提出以 *H. latidentatus-H. parvus Morphotype 1-I.*

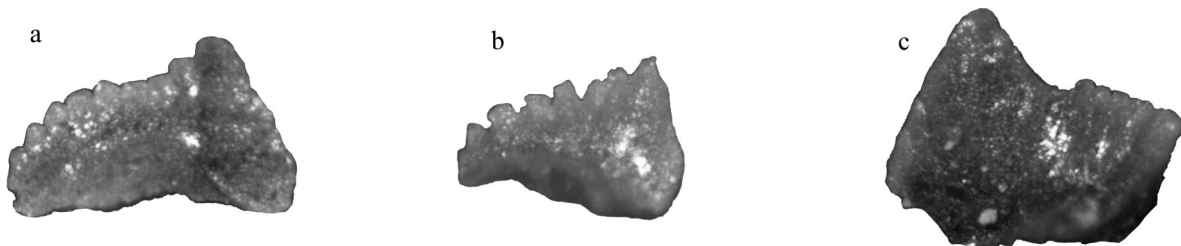


图2 青海省唐古拉地区拉卜查日组典型牙形石化石

Fig.2 Representative photographs of Conodon from Labuchari Formation in Tanggula Range, Qinghai Province  
a—*Hindeodus praeparvus*, 侧视, 产出层位: 青海唐古拉地区拉卜查日组; b—*Hindeodus typicalis*, 侧视, 产出层位: 青海唐古拉地区拉卜查日组;  
c—*Hindeodus eurypyge*, 侧视, 产出层位: 青海唐古拉地区拉卜查日组 (以上化石放大倍数均为140)

①姚华舟, 段其发. 中华人民共和国区域地质调查报告1:25万赤布张错幅(I46C003001)[R].2004.



表1 青海唐古拉地区乌丽群拉卜查日组海相碳酸盐 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 测试结果

Table 1  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  composition of marine carbonate of Late Permian Labuchari Formation in Tanggula Range, Qinghai Province

序号	样号	岩性	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$2\sigma_m$
1	100818-29R-1	生物壳体	0.707039	0.000005
2	100818-29R-3	生物壳体	0.707052	0.000004
3	100818-29R-4	生物壳体	0.707047	0.000006
4	100818-29-5	生物壳体	0.707075	0.000007
5	100818-29R-6	生物壳体	0.707032	0.000008
6	100818-29-7	生物壳体	0.707029	0.000008
7	100818R30-1	生物壳体	0.707017	0.000005
8	100818R30-2	生物壳体	0.707033	0.000007
9	100818R31-2	生物壳体	0.707356	0.000006

*Staeschei*-*I. isarcica* 谱系代替 *latidentatus*-*parvus*-*turgida*-*isarcica* 谱系。Tian<sup>[34]</sup> 和 Mei<sup>[35]</sup> 认为 *H. parvus* 演化自 *H. typicalis*。

最近, Jiang<sup>[36]</sup> 在浙江长兴煤山剖面 P/T 之交由老到新建立了 *Hindeodus latidentams* 带 (24a 层以下), *Hindeodus praeparvus* 带 (24a~25 层), *Hindeodus changxingensis* 带 (26~27b 层), *Hindeodus parvus* 带 (27c~27d 层) 和 *Isarcicella staeschei* 带 (28~29a 层) 6 个牙形石带。在匈牙利 Bükk 山 P/T 之交剖面发现的牙形石资料中也识别出了 *H. praeparvus* 带 (1~7 层) 及 *H. parvus* 带 (8 层及以上)。作者对 P/T 之交 *Hindeodus*-*Isarcicella* 的演化谱系进行新的假设: *H. praeparvus* 被假定为 *Isarcicella* 分子及 *H. parvus* 的祖先。*H. parvus* 最先从 *H. praeparvus* 演化而来, *H. parvus* 又演化出 *I. lobata* 和 *H. turgidus*, *I. lobata* 又演化出 *I. inflata*。陈军等<sup>[37]</sup> 首次系统采集浙江黄芝山剖面二叠/三叠系界线附近的牙形类化石,

共鉴定 2 属 16 种, 建立了 5 个牙形类化石带, 其中 *H. eurypyge*, *H. parvus* 分别在第 18 层底部、第 18 层中部依次出现, 据此将该剖面二叠/三叠系界线确定在 18 层之底。

上述研究表明 *Hindeodus typicalis*, *Hindeodus praeparvus* 和 *Hindeodus eurypyge* 均与 *Hindeodus parvus* 亲缘关系密切, 且时代极为接近。众所周知,

*Hindeodus parvus* 是国际二叠系/三叠系界线的标志分子, 其出现标志着三叠纪的开始。在唐古拉山地区开心岭煤矿拉卜查日组剖面上, 上述牙形石产出层位在该组中上部, 距离其顶界约 57 m。因此, 唐古拉山地区开心岭煤矿该剖面上晚二叠世乌丽群顶部地层从时代上看不排除三叠系的可能性, 极有可能在唐古拉山地区存在三叠纪最早期的沉积。

从层序地层学的观点来看, 华南二叠/三叠系之交三级层序界面是一个 II 型界面。在浙江长兴煤山剖面上, 下三叠统第 1 个层序由长兴阶顶部 (第 24e~27b 层, 厚约 30 cm) 和 Griesbachian 阶构成。二叠/三叠系生物地层-年代地层界线稍高于这个 II 型层序的初始海泛面。陆架边缘体系域 (SMST) 所含的生物群是衰退了的长兴期生物群, 均为典型的二叠纪动物群, 而含 *H. parvus* 的三叠纪生物群则是从海进体系域 (TST) 开始出现的。*H. parvus* 带是初始海泛面之上第 1 个广泛分布的牙形石带, 其底界仅比初始海泛面高 8 cm, 以 *H. parvus* 带底界作为二叠/三叠系界线的定义是非常理想的<sup>[38]</sup>。据此, 可以利用二叠/三叠系界线附近的三级层序的初始海泛面作为寻找二叠/三叠系界线的一个重要参考。

综上所述, 我们在详细剖面测量的基础上, 对拉卜查日组进行了层序地层及海平面变化研究。应用综合地层学研究的思路, 在生物地层格架的基础上, 根据海平面变化等地质事件, 最终指出了研究区二叠系/三叠系界线的可能位置为实测剖面的 29 层顶, 30 层底 (图 3), 牙形石 *Hindeodus praeparvus*, *Hindeodus typicalis* 和 *Hindeodus eurypyge* 的产出时代应该是晚二叠世最晚期—早三叠世初期 (张克信, 个人通讯)。

## 4 锶同位素演化与对比

昌都地块唐古拉地区乌丽群拉卜查日组锶同位素研究开辟了青藏高原地区碳酸盐岩锶同位素地层研究的先例。近年来, 国际上公布的二叠纪/三叠纪之交海相碳酸盐的锶同位素分析数据或演化曲线表明<sup>[15, 39]</sup>, 我国昌都地块唐古拉地区拉卜查日组的锶同位素分析结果较好地代表了原始海水的锶同位素组成。

### 4.1 锶同位素组成

由于本文涉及剖面中一些关键层位的定年问

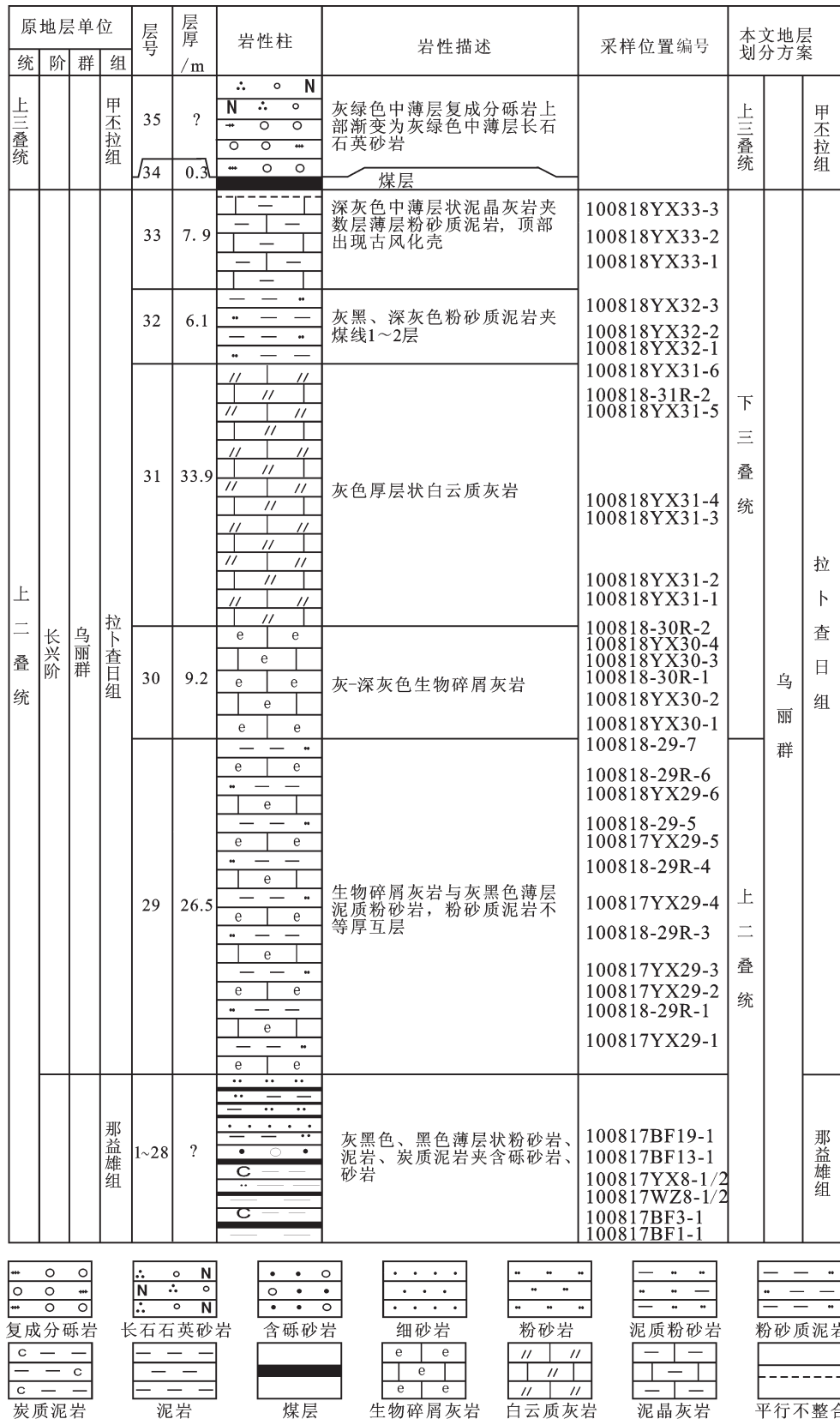


图3 青海省唐古拉地区晚二叠世—早三叠世拉卜查日组柱状图

Fig.3 Geological column of Late Permian Labuchari Formation in Tanggula Range, Qinghai Province

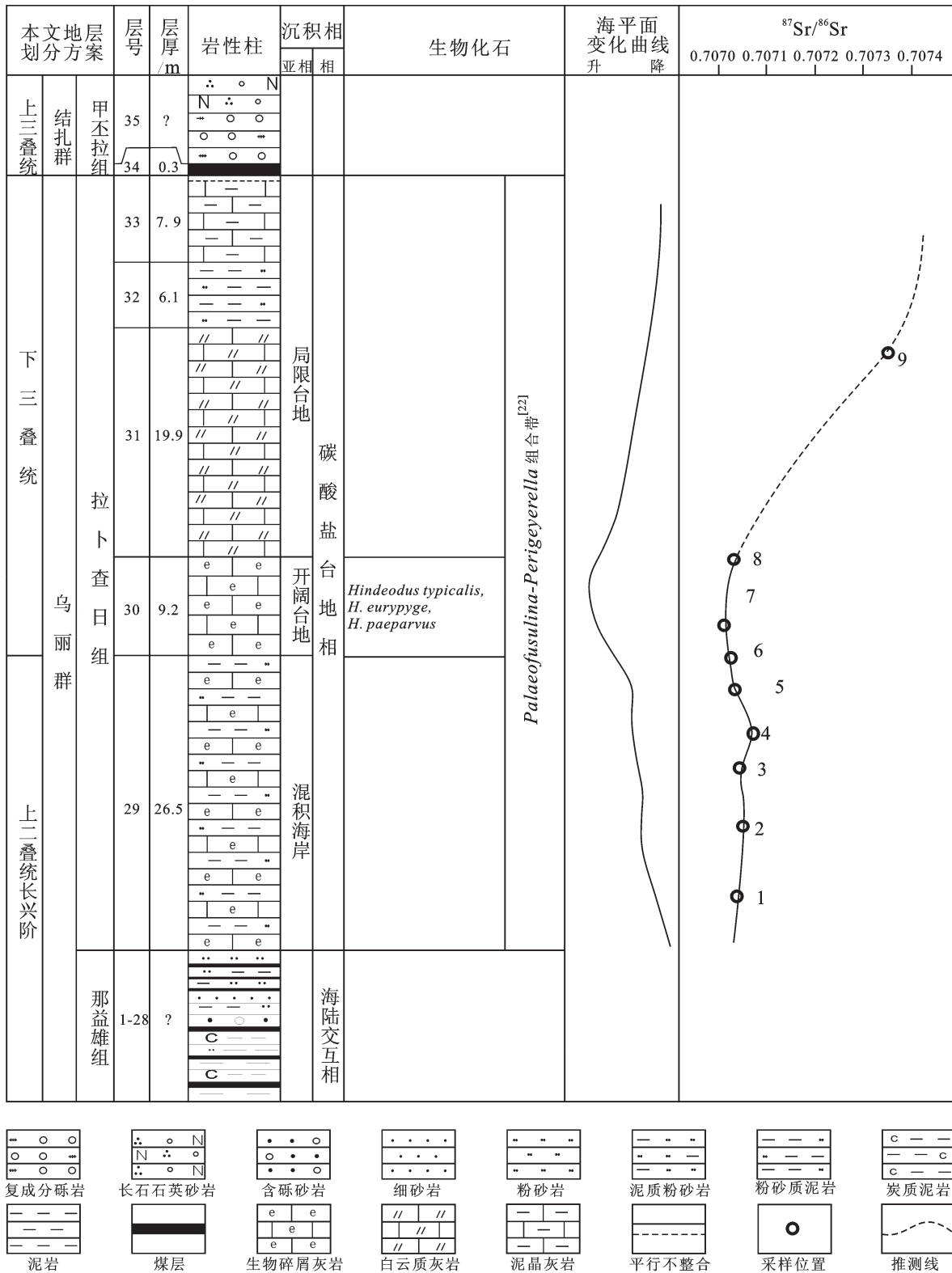


图4 青海省唐古拉地区晚二叠世—早三叠世拉卜查日组锶同位素演化曲线和相对海平面变化曲线  
Fig.4 Strontium stratigraphy and corresponding sea level change curves of Late Permian Labuchari Formation in Tanggula Range, Qinghai Province

题,因而在给出基础数据(表1)的同时,也给出了这些数据在剖面中的位置及相应的地层学资料(图3)从而使其他相关研究可以更方便地使用这些数据。

分析结果显示,研究区拉卜查日组海相碳酸盐岩的锶同位素组成有如下特点:

简单统计可以看出拉卜查日组海相碳酸盐岩锶同位素组成变化主要受地质时代控制。拉卜查日组碳酸盐岩中的锶同位素组成在0.707017~0.707356变化,且变化幅度较大(图4)。

上述锶同位素组成的变化范围与Jasper<sup>[40]</sup>报道过世界其他地区晚二叠世—早三叠世锶同位素演化总体趋势一致,说明全球地质事件是海相碳酸盐岩锶同位素组成最主要的控制因素。

#### 4.2 锶同位素演化特点

依据笔者所确定的研究区二叠系/三叠系界线,界线附近<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比值变化在0.707017~0.707032(图4)。重庆中梁山地区二叠系/三叠系界线附近<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比值变化在0.707122~0.707189,意大利西西里岛二叠系/三叠系界线附近6个牙形石数据的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比值变化在0.707270~0.707485。唐古拉地区二叠系/三叠系界线附近的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比值显著小于重庆中梁山二叠系/三叠系界线附近的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比值及意大利西西里岛的6个牙形石数据,更小于McArthur等<sup>[21]</sup>拟合曲线中的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比值(约0.75075)。我们难于评价哪一个<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比值更能代表二叠系/三叠系之交全球海水的锶同位素组成,但造成这种差别的原因可能有:(1)4条曲线所涉及的界线并不完全等时;(2)成岩蚀变的影响,无论是大气水的影响还是孔隙流体的影响,多数情况下都会带来放射性成因的锶并造成样品的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比值增加,因而我们样品所受到的成岩蚀变的影响可能相对较小;(3)地方性事件的影响,由于唐古拉地区二叠系/三叠系界线附近存在发生广泛的火山活动以及上扬子地区二叠纪广泛的玄武岩喷发等地方性事件,可能是造成唐古拉地区二叠系/三叠系界线附近<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比值小于国内外其他地区的主要原因。

从锶同位素演化曲线来看,锶同位素比值在界线之下整体变化幅度较小,界线之上锶同位素比值总体上呈单调上升趋势。对比该剖面海平面变化曲线发现,剖面上锶同位素比值的最小值与初始海泛面基本一致,锶同位素演化曲线与海平面变化曲

线有着很好的一致性,说明全球海平面变化是其最主要的控制因素。

## 5 结 论

首次在唐古拉地区开心岭煤矿晚二叠世—早三叠世拉卜查日组中获得牙形石。经鉴定为*Hindeodus typicalis*,*H. eurypyge*和*H. praeparvus*,结合层序地层学及海平面变化研究,最终指出了研究区二叠系与三叠系界线的可能位置为实测剖面的第29层顶,30层底。

唐古拉地区拉卜查日组锶同位素演化与Jasper<sup>[37]</sup>报道过世界其他地方晚二叠世—早三叠世锶同位素演化总体趋势一致,说明全球地质事件是海相碳酸盐岩锶同位素组成最主要的控制因素。

唐古拉地区二叠系/三叠系界线附近<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比值变化在0.707017~0.707032,显著小于国内外其他地区二叠系/三叠系界线附近<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比值,造成这种差异的主要原因可能是地方性事件的影响,主要为唐古拉地区二叠系/三叠系界线附近存在广泛的火山活动以及上扬子地区二叠纪发生广泛的玄武岩喷发等地方性事件。

剖面上锶同位素演化曲线与海平面变化曲线对比显示,<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比值的最小值与初始海泛面基本一致,锶同位素演化曲线与海平面变化曲线有着很好的一致性,说明全球海平面变化是其最主要的控制因素。

#### 参考文献(References):

- [1] Palmer M R, Edmond J M. The strontium isotope budget of the modern ocean[J]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 1989, 92: 11–26.
- [2] Palmer M R, Elderfield H. Sr isotope composition of sea water over the past 75 Myr[J]. *Nature*, 1985, 314: 526–528.
- [3] Denison R E, Koelpnick R B, Burke W H, et al. Composition of the Mississippian, Pennsylvanian and Permian Seawater <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr curve[J]. *Chem. Geol.*, 1994, 112: 145–167.
- [4] Montanez I P, Osleger D A, Banner J L, et al. Evolution of the Sr and C isotope composition of Cambrian oceans[J]. *GSA Today*, 2000, 10: 1–7.
- [5] Verzer J, Ala D, Azmy K, et al. <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr, <sup>13</sup>C and <sup>18</sup>O evolution of Phanerozoic seawater[J]. *Chem. Geol.*, 1999, 161:59–88.
- [6] Denison R E, Koelpnick R B, et al. Construction of the Cambrian and Ordovician seawater <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr curve[J]. *Chem. Geol.*, 1998, 152:325–340.
- [7] Denison R E, Kirkland D W, Evans R. Using strontium isotopes to



- determine the age and origin of gypsum and anhydrite beds[J]. *J. Geol.*, 1998, 106:1–17.
- [8] Allegre C J, Gaillardet J, Meynadier L. The evolution of sea water strontium isotope in the last hundred million years: Reinterpretation and consequence for erosion and climate models. *Eos. Transactions, American Geophysical Union*, 1996, 77(46, Suppl.): 325.
- [9] Ebneth S, Diener A, Buhl D, et al. Strontium isotope systematic of conodonts: Middle Devonian, Eifel Mountains, Germany[J]. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 1997, 132:79–96.
- [10] Dingle R V, McArthur J M, Vroon P. Oligocene and Pliocene interglacial events in the Antarctic Peninsula dated using strontium isotope stratigraphy[J]. *J. Geol. Soc. Lond*, 1997, 154: 257–264.
- [11] Diener A, Ebneth S, Veizer J, et al. Strontium isotope stratigraphy of the Middle Devonian: Brachiopods and conodonts[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1996, 60:639–652.
- [12] Hess J, Bender M L, Schilling J G. Evolution of the ratio of Strontium-87 to Strontium-86 in sea water from Cretaceous to present [J]. *Science*, 1986, 231: 979–984.
- [13] Miller K G, Feigenson M D, Wright J D, et al. Miocene isotope reference section, deep sea drilling project site 608: An evaluation of isotope and biostratigraphic resolution[J]. *Paleoceanography*, 1991, 6:33–52.
- [14] McArthur J M, Kennedy W J, Chen M, et al. Strontium isotope stratigraphy for the Late Cretaceous time: Direct numerical calibration of the Sr- isotope curve based on the U. S. Western Interior[J]. *Palaeogeogr Palaeoclim Palaeoecol*, 1994, 108: 95–119.
- [15] McArthur J M, Howarth R J, Bailey T R. Strontium isotope stratigraphy: LoWESS Version 3: Best fit to the marine Sr- isotope curve for 0–509 Ma and accompanying look-up table for deriving numerical age[J]. *J. Geol.*, 2001, 109:155–170.
- [16] Howarth R J, McArthur J M. Statistics for strontium isotope stratigraphy: A robust LOWESS fit to marine Sr- isotope curve for 0 to 206 Ma, with lookup table for derivation of numeric age[J]. *J. Geol.*, 1997, 105:441–456.
- [17] 王曦, 万晓樵, 李国彪. 西藏冈巴晚白垩世—古近纪早期锶同位素地层[J]. *中国地质*, 2008, 35(4): 598–607.  
Wang Xi, Wan Xiaqiao, Li Guobiao. Late Cretaceous to early Paleogene strontium isotopic stratigraphy in the Gamba area, Tibet[J]. *Geology in China*, 2008, 35(4): 598–607(in Chinese with English abstract).
- [18] 马丽艳, 白云山, 牛志军, 等. 长江源各拉丹冬地区晚三叠世火山岩锶、钕同位素地球化学特征及其意义[J]. *中国地质*, 2004, 31(2): 174–178.  
Ma Liyan, Bai Yunshan, Niu Zhijun, et al. Sr and Nd isotope geochemistry of Late Triassic volcanic rocks at Geladaindong in the source region of the Yangtze River and its significance[J]. *Geology in China*, 2004, 31(2): 174–178(in Chinese with English abstract).
- [19] 牛志军, 马丽艳, 曾波夫. 长江源各拉丹冬地区晚二叠世乌丽群的腕足类生物组合[J]. *地球学报*, 2003, 24(4):343–348.  
Niu Zhijun, Ma Yanli, Zeng Bofu. Late Permian Brachiopod Faunas from Wuli Group of Geladaindong Mountain area in the source region of the Yangtze River[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2003, 24(4):343–348(in Chinese with English abstract).
- [20] 牛志军, 姚华舟, 曾波夫, 等. 长江源各拉丹冬地区晚二叠世乌丽群瓣类生物组合[J]. *地层学杂志*, 2004, 28(3): 270–276.  
Niu Zhijun, Yao Huazhou, Zeng Bofu, et al. Late Permian Fusulinid assemblages from Geladaindong in the source region of Yangtze River Qinghai[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2004, 28(3): 270–276(in Chinese with English abstract).
- [21] 廖卓庭, 徐均涛. 青海格尔木市乌丽晚二叠世乌丽群下部的腕足化石群及 Waagenites 的地理分布[J]. *古生物学报*, 2002, 41(1): 130–136.  
Miao Zhouting, Xu Juntao. Late Permian Brachiopods from the Lower part of the Wuli Group, southwestern Qinghai and the geographic distribution of Waagenites[J]. *Palaeontologica Sinica*, 2002, 41(1): 130–136(in Chinese with English abstract).
- [22] 刘广才, 田琪. 青海唐古拉山中段二叠纪地层新资料[J]. *中国区域地质*, 1993, (2):113–120.  
Liu Guangcai, Tian Qi. New data of Permian strata in the central sector of the Tanggula mountains, Qinghai[J]. *Regional Geology of China*, 1993, (2):113–120(in Chinese with English abstract).
- [23] 季长军, 伊海生, 夏国清. 图像分析技术在碎屑岩粒度分析中的应用[J]. *地质科技情报*, 2012, 31(3): 122–127.  
Ji Changjun, Yi Haisheng, Xia Guoqing. Image—Analysis technique to measure grain—size variation in thin sections of clastic sediments[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2012, 31(3): 122–127(in Chinese with English abstract).
- [24] 张发德, 岳天祥, 宋令莉. 通天河上游墩日含煤岩系地层时代的新认识[J]. *青海地质*, 1998, 6–10.  
Zhang Fade, Yue Tianxiang, Song Linli. New recognition on the stratigraphic age of dunri coal—bearing rock series in the upper reaches of Tongtian River[J]. *Qinghai Geology*, 1998, 6–10(in Chinese with English abstract).
- [25] 程裕淇. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社, 1994, 280–290.  
Cheng Yuqi. China's Regional Geological Survey[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 280–290(in Chinese with English abstract).
- [26] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. *中国地质*, 2009, 36(1):1–28.  
Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian et al. Subdivision of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 2009, 36(1):1–28(in Chinese with English abstract).

- [27] 潘桂棠, 丁俊, 姚东生, 等. 青藏高原及邻区地质图说明书[M]. 成都地图出版社, 2000: 8-10.  
Pan Guitang, Ding Jun, Yao Dongsheng, et al. Geological map Specification of The Tibetan Plateau and Its Adjacent Area[M]. Chengdu: Map Publishing House of Chengdu, 2000: 8-10.
- [28] 林甲兴. 论加罗威蜓(*Gallowayinella*)的时代及其地层意义[J]. 中国地质科学院院报宜昌地质矿产研究所分刊, 1980, 1(2): 37-45.  
Lin Jiaying. Discussing age and stratigraphical significance of *Gallowayinella*[J]. Journal of Chinese Academy Of Geological Sciences, Part of Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, 1980, 1(2): 37-45.
- [29] 盛金章, 芮琳. *Gallowayinella*的时代——兼论长兴阶与吴家坪阶的分界[J]. 地层学杂志, 1980, 4(3): 233-235  
Sheng Jinzhang, Bin Lin. Age of *Gallowayinella* and Wuchiapingian Changhsingian boundary[J]. Journal of Stratigraphy, 1980, 4(3): 233-235(in Chinese with English abstract).
- [30] Kozur H. The taxonomy of the gondolellid conodonts in the Permian and Triassic[J]. Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 1989, 116: 409-469.
- [31] Ding Meihua, Lai Xulong, Zhang Kexin. Conodont sequences and their lineages in the Permian-Triassic boundary strata at the Meishan section, south China[C]//Wang N, Remane J (eds.). Proceedings of 30<sup>th</sup> International Geological Congress. Vol. 11. Netherland: VSP. 1997: 153-162.
- [32] Ding Meihua, Zhang Kexin, Lai Xulong. Evolution of Clarkinal lineage and Hindeodus-Isarcicella lineage at Meishan Section, South China. In: Yin Hong-fu (ed.), The Palaeozoic Mesozoic Boundary Candidates of Global Stratotype Section and Point of the Permian-Triassic Boundary[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996: 65-71.
- [33] Wang Chengyuan, Kozur H, Ishiga H et al. Permian-Triassic boundary at Meishan of Changxing County, Zhejiang Province, China—a proposal on the Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of Triassic[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 1996, 13(2): 109-124.
- [34] Tian Shugang. Evolution of conodont genera *Neogondolella*, *Hindeodus* and *Isarcicella* in northwestern Hunan, China[J]. Stratigraphy and Palaeontology of China, 1993, 2: 173-191
- [35] Mei Shilong, Zhang Kexin, 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[J]. Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology, 1998, 143: 213-226.
- [36] Jiang Haishui, Lai Xulong, Luo Genming, et al. Restudy of conodont Zonation and evolution across P/T Boundary at Meishan Section, Changxing, Zhejiang, China[J]. Global and Planetary Changes. 2007, 55: 39-55.
- [37] 陈军, Charles M Henderson, 沈树忠. 浙江黄芝山剖面二叠-三叠系界线附近的牙形类序列及其地层对比[J]. 古生物学报, 2008, 47(1): 91-114.  
Chen Jun, Charles M Henderson, Shen Shuzhong. Conodont succession around the Permian-Triassic Boundary at The Huangzhishan Section, Zhejiang and its stratigraphic correlation[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2008, 47(1): 91-114 (in Chinese with English abstract).
- [38] 王训练, 苏文博. 选择全球界线层型剖面点的一个重要参考标准[J]. 科学通报, 1999, 44(18): 2008-2016.  
Wang Xunlian, Su Wenbo. An important reference standard of selecting the global boundary stratotype section (GSSP). Chinese Science Bulletin[J]. 1999, 44(18): 2008-2016(in Chinese).
- [39] Korte C, Jasper T, Kozur H W, et al. <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr record of Permian seawater[J]. Paleogeogr Paleoclimatol Paleoecon, 2006, 240: 89-107.
- [40] Jasper T. Strontium, Sauerstoff, Kohlenstoff Isotopische Entwicklung des Meerwassers: Perm[D]. Ph.D. Thesis. Ruhr-Universität Bochum. 1999.