

# 西藏南部晚白垩世厚壳蛤的 锶同位素年龄标定

黄思静, 石 和, 张 萌, 武文慧, 沈立成, 黄成刚

成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川成都 610059

**摘要:** 沉积岩样品年龄的直接标定是沉积学与地层学研究的难点之一. 由于锶在海水中的残留时间( $\approx 106$  a)大大长于海水的混合时间( $\approx 103$  a), 因而同一时间全球海水的锶元素在同位素组成上是均一的, 并造成地质历史中海水的锶同位素组成是时间的函数, 这是锶同位素地层学(SIS)的基本原理和利用锶同位素地层学进行海相地层定年的理论基础. 本文根据锶同位素地层学的基本原理, 测试了西藏南部岗巴剖面上白垩统宗山组上段地层中厚壳蛤化石的锶同位素组成, 尝试对这些化石进行了年龄标定, 4个样品分别位于剖面累计厚度 381, 362, 358 和 296 m 处, 其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值分别为 0.707 832, 0.707 769, 0.707 768 和 0.707 695, 年龄的标定结果分别是 65.68, 69.34, 69.39 和 72.32 Ma, 定年的平均误差为 $\pm 1$  Ma 左右. 研究表明, 锶同位素地层学在海相地层定年方面具有潜在价值.

**关键词:** 西藏南部; 晚白垩世; 厚壳蛤; 锶同位素地层学; 海相地层定年.

中图分类号: P53

文章编号: 1000-2383(2005)04-0437-06

收稿日期: 2004-11-29

## Strontium Isotope Age Calibration of Rudist Bivalves from Late Cretaceous Section in Southern Tibet

HUANG Si-jing, SHI He, ZHANG Meng, WU Wen-hui, SHEN Li-cheng, HUANG Cheng-gang

State Key Laboratory of Oil/Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

**Abstract:** The direct numerical age calibration for sedimentary rocks is more difficult in sedimentology and stratigraphy. The long oceanic residence time of Sr ( $\approx 106$  a) and the rapid mixing rate of the oceans ( $\approx 103$  a) have caused the strontium isotope ratio of seawater to be globally homogeneous at any given time, as documented by identical  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios for coeval marine carbonates, and therefore, the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios are the function of geological time which is the fundamental principle of strontium isotope stratigraphy (SIS) and the theoretical basis of dating marine sediments using SIS. In this paper,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios of 4 rudist bivalves collected from a sedimentary section of the Late Cretaceous in the southern Tibet were measured. Based on the very low Mn/Sr ratio (average 0.01) of the samples, it is thought that they contain information on the original seawater strontium isotope composition. The ages of the fossils were calibrated according to the principle of strontium isotope stratigraphy. The 4 samples are located at 381, 362, 358 and 296 m, respectively, with the accumulation thickness in the section. Corresponding  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios are 0.707 832, 0.707 769, 0.707 768 and 0.707 695, respectively, and the ages calibrated are 65.68, 69.34, 69.39 and 72.32 Ma, respectively. The average error for dating by strontium isotope stratigraphy is approximately  $\pm 1$  Ma. The research shows a potential value of SIS in dating marine rocks.

**Key words:** southern Tibet; Late Cretaceous; rudist bivalve; strontium isotope stratigraphy; dating marine sediment.

锶同位素地层学 (McArthur *et al.*, 2000, 2001; Howarth *et al.*, 1997) 由瑞典地质学家 Wickman (1948) 提出, 其基本含义是: 由于锶在海水中的残留时间 ( $\approx 10^6$  a) 大大长于海水的混合时间 ( $\approx 10^3$  a), 因而任一时代全球范围内海水锶元素在同位素组成上是均一的, 从而导致地质历史中海水的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值是时间的函数. 20 世纪 80 年代以前, 海相碳酸盐锶同位素以及锶同位素地层学研究没有获得长足的发展, 这与人们对海相碳酸盐矿物成岩蚀变的认识、仪器的分析与测量精度以及数据的积累程度等因素有关. Burke *et al.* (1982) 和 Kopeck *et al.* (1985) 在设备改善和较多数据积累的基础上, 证明了显生宙以来海水  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值是随时间而变化的, 用海相沉积物的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值来确定其年龄和进行对比是完全可行的; Burke *et al.* (1982) 的论文也使人们对样品的成岩蚀变问题有了进一步的理解, 从而使海相碳酸盐锶同位素研究以及锶同位素地层学进入实用阶段. 总的说来, 我国海相地层的锶同位素研究还主要集中在对其控制因素的研究上, 如锶同位素组成和海平面变化以及与其他地质事件的关系等 (孙志国, 2003; 江茂生等, 2002; 黄思静等, 2001, 2002a). 在利用锶同位素组成和演化曲线进行海相地层定年方面, 国内尚处于初级阶段, 已有人作过有益的尝试, 如杨杰东等 (2001) 利用锶 (也包括碳) 同位素对苏皖北部上寒武系的时代作了界定; 潘家华等 (2002) 根据太平洋海山磷酸盐的锶同位素组成确定了其形成年代; 黄思静等 (2002b) 利用锶同位素确定了四川龙门山泥盆系剖面 Frasnian/Famennian 阶以及泥盆/石炭系的界线, 黄思静等 (2004) 利用锶同位素标定了西藏南部岗巴剖面 Campanian/Santonian 阶和 Maastrichtian/Campanian 阶界线. 利用海相碳酸盐锶同位素组成确定沉积岩的年龄涉及到: (1) 锶同位素的分析精度; (2) 对成岩蚀变的认识; (3) 锶同位素数据的积累程度. 目前, 国际上已建立了供定年使用的全球锶同位素—年龄数据库 (Howarth and McArthur, 1997; McArthur *et al.*, 2001), 并已有大量成功定年的实例 (Walter *et al.*, 2000; Melezhik *et al.*, 2001; Gleason *et al.*, 2002; Ray *et al.*, 2003). 在本文中, 笔者试图根据锶同位素地层学的原理和西藏南部岗巴剖面上白垩统宗山组上段地层中厚壳蛤化石样品的锶同位素组成, 对其年龄进行标定.

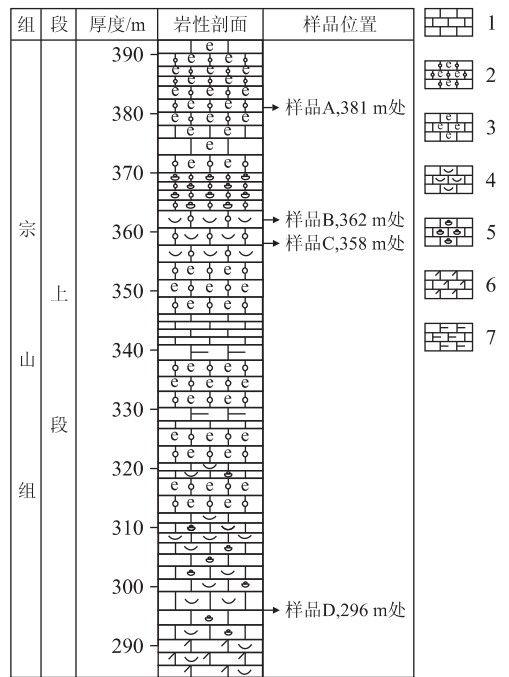


图 1 样品在剖面中的位置

Fig. 1 Column of Gamba Section showing the sampling locations

1. 微晶灰岩; 2. 颗粒灰岩或微晶颗粒灰岩; 3. 颗粒微晶灰岩或含颗粒微晶灰岩; 4. 厚壳蛤灰岩; 5. 有孔虫灰岩; 6. 白云石化灰岩; 7. 泥灰岩



图 2 厚壳蛤横截面磨光面 (样品 C 取自编号 1 处)  
Fig. 2 Polished cross section of the rudist bivalve

## 1 样品与分析结果

样品采自西藏南部岗巴县 (剖面位置见黄思静等, 2004), 前人在该地区有过较多的研究, 最早的研究可追溯到 20 世纪初 (Hayden, 1912). 万晓樵 (1985) 对该地区宗山剖面进行了详细的地质划分; 万晓樵等 (2000) 又在前人研究的基础上对宗山剖面上白垩统的划分做了厘定, 进一步建立了晚白垩世 12 个浮游有孔虫化石带; 赵文金 (2001) 对该地区晚白垩世有孔虫动物群与海平面变化的关系作了研究; 赵文金和万晓樵 (2001) 又研究了该地区晚白垩

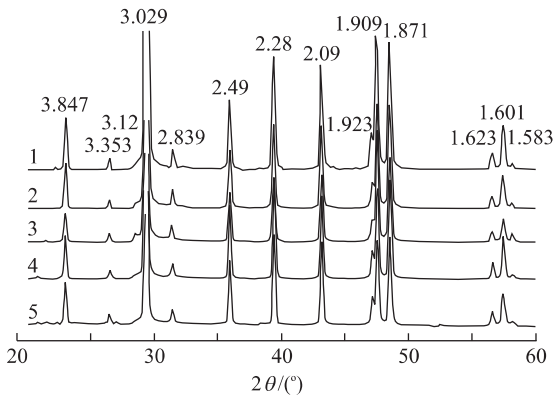


图 3 厚壳蛤不同壳层以及体腔充填物和围岩的 X 射线衍射曲线

Fig. 3 XRD profiles for different shell layers, celom filling and surrounding rock of the rudist bivalve 1~3. 与图 2 对应的厚壳蛤的不同壳层; 4. 体腔充填物, 成分为微晶灰岩; 5. 厚壳蛤样品周围的微晶灰岩

世生物的绝灭及有孔虫的复苏; 胡修棉等(2001)报道了该剖面碳酸盐的碳同位素组成; 黄思静等(2004)报道了该剖面晚白垩世海相碳酸盐的锶同位素组成。

用于锶同位素分析的厚壳蛤样品在剖面中的位置如图 1 所示, 分别位于累积厚度 381, 362, 358 和 296 m 处, 都具有较大的个体(10 cm 以上, 图 2), 目

前仍保存有良好的多层结构(图 2), 靠近外部的 2 个壳层较好地保留了软体动物的原始柱状结构(图 2 中的第 1 和第 2 层), 而靠内的壳层则因重结晶而具晶粒结构(图 2 中的第 3 层), 厚壳蛤的体腔则由微晶方解石和生物碎屑充填(图 2 中的第 4 层)。

取样时回避了厚壳蛤具晶粒结构的壳层和体腔充填物, 4 个样品均为具原始柱状结构的壳层, 标本上显示微晶结构(图 2)。X 射线衍射分析表明, 厚壳蛤的所有壳层都已蚀变为方解石, 并且由很纯的方解石组成(图 3); 由于样品具很低的 Mn 含量、较高的 Sr 含量和很低的 Mn/Sr 比值(都在 0.30 以下, 平均值仅为 0.01), 显著小于 Kaufman *et al.* (1992, 1993) 建议的海相碳酸盐锶同位素地层学研究样品 Mn/Sr 比值的上限(2~3), 因而可以认为这些样品较好地保留了海水的原始信息。

锶同位素分析由中国科学院地质与地球物理研究所完成(一个用于外检样品的分析由加拿大萨斯喀彻温大学完成)。具体分析方法是: 取 70 mg 左右粉碎至 200 目的样品, 用 0.8 mol/L 的 HCl 于 Teflon 杯中溶样(2 h), 离心后的清液通过 AG50W×8(H<sup>+</sup>) 阳离子交换柱, 以 HCl 作淋洗剂, 分离出纯净的 Sr, Sr 同位素测量在 VG354 固体同位素质谱计上进行。全流程空白本底约为(2~5)×10<sup>-10</sup> g, 误差以 2σ(±)表示。

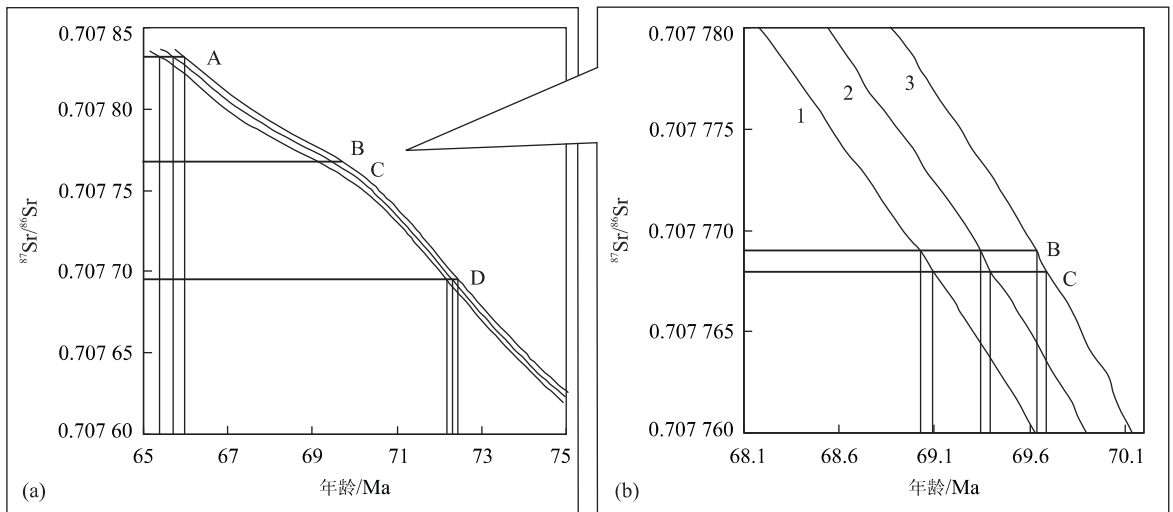


图 4 (a) 65~75 Ma 海水的锶同位素演化曲线, 由 Howarth and McArthur(1997)的锶同位素比值-年龄数据表作出, A, B, C, D 为本文所讨论的 4 个厚壳样品的编号; (b) 图(a)中样品 B 和 C 所在部位的局部放大, 1 为年龄置信区间下限值, 2 为最佳年龄值, 3 为年龄置信区间上限值

Fig. 4 (a) Variations in <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr values of sea water for 65 to 75 Ma (the data are from the look-up table version 8/96 of Howarth and McArthur, 1997). A, B, C and D are the sample numbers for the 4 rudist bivalves studied here. (b) The magnification of the location of samples B and C. 1 is lower confidences limit on age, 2 is the best fit on age, and 3 is upper confidences limit on age

表 1 样品的采样位置, Mn、Sr 含量, Mn/Sr 比值,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值和对应的年龄值Table 1 Sampling locations, concentrations of Mn and Sr, ratios of Mn/Sr and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , and corresponding ages of the samples

样号	累积厚度/ m	Mn/ $10^{-6}$	Sr/ $10^{-6}$	Mn/Sr	分析单位 1		分析单位 2		年龄/Ma		
					$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$2\sigma(\pm)$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$2\sigma(\pm)$	下限	最佳值	上限
A	381	15.0	573.3	0.026 16	0.707 832	0.000 019			65.38	65.68	65.96
B	362	UD	723.0	0.006 92	0.707 769	0.000 018	0.707 769	0.000 004	69.03	69.34	69.64
C	358	UD	769.5	0.006 50	0.707 768	0.000 019			69.09	69.39	69.69
D	296	UD	510.7	0.009 79	0.707 695	0.000 014			72.19	72.32	72.45

分析单位 1: 中国科学院地质与地球物理研究所; 分析单位 2: 加拿大萨斯喀彻温大学; UD 代表低于检测限, 相应的 Mn/Sr 比值按 Mn 的检测限  $5 \times 10^{-6}$  计算。

表 2 研究样品锶同位素定年误差的评估

Table 2 Evaluation for error of dating fossil samples studied here by strontium isotope age

样号	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	年龄最佳值/ Ma	置信区间引起的年龄误差/Ma		$2\sigma$ 值引起的年龄误差/Ma		累积年龄误差(按国内分析)/Ma		
			+	-	国内分析( $\pm$ )	国外分析( $\pm$ )	+	-	
A	0.707 832	65.68	0.28	-0.30	0.90			1.18	-1.20
B	0.707 769	69.34	0.30	-0.31	0.85	0.19		1.15	-1.16
C	0.707 768	69.39	0.30	-0.30	0.90			1.20	-1.20
D	0.707 695	72.32	0.13	-0.13	0.66			0.79	-0.79
	平均值		0.25	-0.26	0.83			1.08	-1.09

Mn 和 Sr 含量分析由四川攀枝花地矿检测中心完成, 原子吸收光度法测试, 检测限分别为  $5 \times 10^{-6}$  和  $42 \times 10^{-6}$ , 误差分别为 13% 和 14%。

## 2 样品年龄的标定

样品年龄的标定利用了 Howarth and McArthur(1997)的锶同位素比值—年龄数据表, 该表提供了 206 Ma 以来综合的海水锶同位素演化曲线(图 4), 以及通过加强的 LOWESS 法(即局部加权回归散点修匀法)对数据进行拟合所获得的锶同位素比值—年龄数据库, 该数据库是利用锶同位素数据进行海相地层定年所必不可少的基础资料。

4 个样品的锶同位素比值在 Howarth and McArthur(1997)海水的锶同位素演化曲线中的位置如图 4 所示, 所获得的年龄数据及其变化范围列于表 1 中, 这样便获得了剖面累积厚度 381, 362, 358 和 296 m 处的绝对年龄值。

按照 Howarth and McArthur. (1997)的锶同位素比值—年龄数据表所给出的置信区间的年龄值的范围, 4 个样品年龄的误差范围基本上在  $\pm 0.3$  Ma 的范围内, 平均值大致为  $\pm 0.26$  Ma, 但这里没有考虑锶同位素分析过程中  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值测试结果中的  $2\sigma$  值。4 个样品  $2\sigma$  的平均值为  $\pm 0.000 0175$  (国内分析的  $2\sigma$  值), 那么由此引起的年龄误差大致在  $\pm 0.66$  Ma 到  $\pm 0.90$  Ma 之间(按图 4a 曲线的平均

斜率计算), 平均值为  $\pm 0.83$  Ma, 但国外分析样品的该数据只有  $\pm 0.19$  Ma ( $2\sigma$  值仅为 0.000 004)。按照国内目前锶同位素的分析水平, 累积误差的平均值大致为  $\pm 1$  Ma (表 2)。当然这里没有考虑样品成岩蚀变所引起的误差, 相信本文所采用的晚白垩世的化石样品可能具有较低的由成岩蚀变造成的误差, 古生代及更老地层中的样品则可能有相对较大的成岩蚀变造成的误差。

## 3 结论

(1) 西藏南部岗巴剖面上白垩统宗山组上段地层中厚壳蛤具有较高的 Sr 含量、很低的 Mn 含量和 Mn/Sr 比值, 因而较好地保存了原始海水的信息。(2) 岗巴剖面位于累积厚度 381, 362, 358 和 296 m 处 4 个厚壳蛤化石的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值分别为 0.707 832, 0.707 769, 0.707 768 和 0.707 695, 利用锶同位素地层学获得的年龄值分别是 65.68, 69.34, 69.39 和 72.32 Ma, 定年的误差的平均值大致为 1 Ma。(3) 锶同位素地层学在海相地层定年方面具有潜在价值, 对于晚白垩世这样的较新地层来说, 除  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  一年龄数据库本身的误差外, 样品的分析测试精度是造成定年误差的主要原因。

致谢: 本文定年中使用了由 McArthur 博士提供的 0~206 Ma 的锶同位素比值—年龄数据表(版本 8/96), 对此表示感谢。

## References

- Burke, W. H., Denison, R. E., Hetherington, E. A., et al., 1982. Variation of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  throughout Phanerozoic time. *Geology*, 10: 516—519.
- Gleason, J. D., Moore, T. C., Rea, D. K., et al., 2002. Ichthyolith strontium isotope stratigraphy of a Neogene red clay sequence; Calibrating eolian dust accumulation rates in the central North Pacific. *Earth and Planetary Science Letters*, 202: 625—636.
- Hayden, H. H., 1912. The geology of Spiti. *Mem. Geol. Surv. Indian*, 36: 1—144.
- Howarth, R. J., McArthur, J. M., 1997. Statistics for strontium isotope stratigraphy: A robust LOWESS fit to marine Sr-isotope curve for 0 to 206 Ma, with look-up table for derivation of numeric age (look-up table version 8/96). *J. Geol.*, 105: 441—456.
- Hu, X. M., Wang, C. S., Li, X. H., 2001. Carbon stable isotopes and the event of paleo-dissolved oxygen of marine Cretaceous in southern Tibet. *Progress in Natural Science*, 11(7): 721—728 (in Chinese with English abstract).
- Huang, S. J., Shi, H., Mao, X. D., et al., 2002a. Evolution of Sr isotopes of the Cambrian sections in Xiushan, Chongqing, and related global correlation. *Geological Review*, 48(5): 509—516 (in Chinese with English abstract).
- Huang, S. J., Shi, H., Shen, L. C., et al., 2005. Global correlation for strontium isotope curve in the Late Cretaceous of Tibet and dating marine sediments. *Science in China (Series D)*, 18(2): 199—205.
- Huang, S. J., Shi, H., Zhang, M., et al., 2002b. Global correlation of strontium isotope evolution curve of Devonian in Longmen mountain and dating marine sediments. *Progress in Natural Science*, 12(9): 945—951 (in Chinese with English abstract).
- Huang, S. J., Shi, H., Zhang, M., et al., 2001. Strontium isotope evolution and global sea-level changes of Carboniferous and Permian marine carbonate, upper Yangtze Platform. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(4): 481—487 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, M. S., Zhu, J. Q., Chen, D. Z., et al., 2002. Carbon and strontium isotope variations and responses to sea-level fluctuations in the Ordovician of the Tarim basin. *Science in China (Series D)*, 32(1): 36—42 (in Chinese).
- Kaufman, A. J., Jacobsen, S. B., Knoll, A. H., 1993. The Vendian record of Sr- and C-isotopic variations in seawater; Implications for tectonics and paleoclimate. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 120: 409—430.
- Kaufman, A. J., Knoll, A. H., Awramik, S. M., 1992. Biostratigraphic and chemostratigraphic correlation of Neoproterozoic sedimentary successions: Upper Tindir Group, northwestern Canada, as a test case. *Geology*, 20: 181—185.
- Koepnick, R. B., Burke, W. H., Denison, R. E., et al., 1985. Construction of the seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  curve for the Cenozoic and Cretaceous; Supporting data. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 58: 55—81.
- McArthur, J. M., Howarth, R. J., Bailey, T. R., 2001. 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. Geol.*, 109: 155—170.
- McArthur, J. M., Morton, M., Thirlwall, M. F., 2000. Strontium isotope stratigraphy of the Aalenian/Bajocian auxiliary stratotype point at Berreraig, Isle of Skye, NW Scotland. *GeoRes. Forum.*, 6: 137—144.
- Melezhik, V. A., Gorokhov, I. M., Fallick, A. E., et al., 2001. Strontium and carbon isotope geochemistry applied to dating of carbonate sedimentation; An example from high-grade rocks of the Norwegian Caledonides. *Precambrian Research*, 108: 267—292.
- Pan, J. H., Liu, S. Q., Yang, Y., et al., 2002. Sr isotopic compositions and age dating of marine phosphates from Pacific seamounts. *Mineral Deposits*, 21(4): 350—355 (in Chinese with English abstract).
- Ray, J. S., Veizer, J., Davis, W. J., 2003. C, O, Sr and Pb isotope systematics of carbonate sequences of the Vindhyan Supergroup, India: Age, diagenesis, correlations and implications for global events. *Precambrian Research*, 121: 103—140.
- Sun, Z. G., 2003. Shell strontium isotopic chemistry of the cheniers in the Yellow River delta. *Marine Geology Letters*, 19(7): 19—22 (in Chinese with English abstract).
- Walter, M. R., Veevers, J. J., Calver, C. R., et al., 2000. Dating the 840—544 Ma Neoproterozoic interval by isotopes of strontium, carbon, and sulfur in seawater, and some interpretative models. *Precambrian Research*, 100: 371—433.
- Wan, X. Q., 1985. Cretaceous strata and foraminifera of Gangba region, Xizang (Tibet). Contribution to the geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau (16). Geological Publishing House, Beijing, 203—228 (in Chinese).
- Wan, X. Q., Zhao, W. J., Li, G. B., 2000. Restudy of the Up-

- per Cretaceous in Gamba, Tibet. *Geoscience*, 14(3): 281—285 (in Chinese with English abstract).
- Wickman, F. E., 1948. Isotope ratios; A clue to the age of certain marine sediments. *J. Geol.*, 56: 61—66.
- Yang, J. D., Zheng, W. W., Wang, Z. Z., et al., 2001. Age determining of the Upper Precambrian system of northern Jiangsu-Anhui by using Sr and C isotopes. *Journal of Stratigraphy*, 25(1): 44—47 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, W. J., 2001. Late Cretaceous foraminiferal faunas and eustatic change in Gamba area, southern Tibet. *Geological Journal of China Universities*, 7(1): 106—117 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, W. J., Wan, X. Q., 2001. Recovery of foraminifera from the Late Cretaceous Cenomanian-Turonian mass extinction in Gamba, southern Tibet. *Acta Palaeontologica Sinica*, 40(2): 189—194 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 胡修棉, 王成善, 李祥辉, 2001. 藏南海相白垩纪碳酸盐碳稳定同位素演化与古海洋溶解氧事件. *自然科学进展*, 11(7): 721—728.
- 黄思静, 石和, 毛晓冬, 等, 2002a. 重庆秀山寒武系锶同位素演化曲线及全球对比. *地质论评*, 48(5): 509—516.
- 黄思静, 石和, 沈立成, 等, 2004. 西藏晚白垩世锶同位素曲线的全球对比及海相地层的定年. *中国科学(D辑)*, 34(4): 335—344.
- 黄思静, 石和, 张萌, 等, 2001. 上扬子石炭—二叠纪海相碳酸盐的锶同位素演化与全球海平面变化. *沉积学报*, 19(4): 481—487.
- 黄思静, 石和, 张萌, 等, 2002b. 龙门山泥盆纪锶同位素演化曲线的全球对比及海相地层的定年. *自然科学进展*, 12(9): 945—951.
- 江茂生, 朱井泉, 陈代钊, 等, 2002. 塔里木盆地奥陶纪碳酸盐岩碳、锶同位素特征及其对海平面变化的响应. *中国科学(D辑)*, 32(1): 36—42.
- 潘家华, 刘淑琴, 杨忆, 等, 2002. 太平洋海山磷酸盐的锶同位素成分及形成年代. *矿床地质*, 21(4): 350—355.
- 孙志国, 2003. 黄河三角洲贝壳堤的锶同位素特征. *海洋地质动态*, 19(7): 19—22.
- 万晓樵, 1985. 西藏岗巴地区白垩纪地层及有孔虫动物群. *青藏高原地质文集(16)*. 北京: 地质出版社, 203—228.
- 万晓樵, 赵文金, 李国彪, 2000. 对西藏岗巴上白垩统的新认识. *现代地质*, 14(3): 281—285.
- 杨杰东, 郑文武, 王宗哲, 等, 2001. Sr、C 同位素对苏皖北部上寒武系时代的界定. *地层学杂志*, 25(1): 44—47.
- 赵文金, 2001. 西藏岗巴晚白垩世有孔虫动物群与海平面变化. *高校地质学报*, 7(1): 106—117.
- 赵文金, 万晓樵, 2001. 西藏南部岗巴地区晚白垩世 Cenomanian-Turonian 集群灭绝事件后有孔虫动物群的复苏. *古生物学报*, 40(2): 189—194.