

西沙珊瑚礁中青藏高原隆升的锶同位素记录

孙志国¹ 蓝先洪¹ 刘宝柱² 张训华¹
鞠连军¹ 吴建政¹ 韩春瑞¹ 郭卫东¹

(¹ 地质矿产部海洋地质研究所 青岛 266071)

(² 青岛海洋大学海洋地球科学学院 266003)

提要 南海珊瑚礁(尤其是西沙珊瑚礁)记录了青藏高原隆升、古季风、南海板块构造运动、火山喷发作用等方面的信息,是独特的古环境记录类型。本文着重探讨了上新世以来青藏高原隆升与西沙珊瑚礁海水锶同位素演化的关系,并建议大洋钻探计划在西沙珊瑚礁上钻探,系统识别和提取珊瑚礁中高分辨率的古环境记录。如能实现在西沙珊瑚礁设立大洋钻探计划航次,就可望为揭示青藏高原隆升、南海构造演化以及全球环境变迁的机理做出突破性的贡献。

关键词 大洋钻探,青藏高原隆升,西沙珊瑚礁,锶同位素记录

1 引言

印度板块与欧亚板块的碰撞,致使青藏高原隆起,从而影响到全球古环境演变。因此,青藏高原隆起一直受到国内外关注^[1~5,13,17]。以往国内主要从青藏高原及周边地区地貌、湖泊沉积序列、冰川沉积序列、河流沉积序列、黄土沉积序列中提取晚新生代青藏高原隆起的信息^[1~3],大洋钻探计划(ODP)研究过孟加拉扇与青藏高原隆升的关系^[13,17],国内则刚开始从南海沉积物中寻找青藏高原隆起的记录。于津生等(1994)将南沙群岛“南永1井”第四纪珊瑚礁地层中第I段⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值升高及正的 $\Delta^{87}\text{Sr}$ 峰值解释为喜马拉雅山脉上升的结果^[4]。汪品先(1995)认为,南海北部陆架的莺歌海盆中巨厚的海相沉积系来自红河三角洲,也应是青藏高原隆升的结果^[5]。孙志国等(1996)发现西沙群岛“西琛一井”孔深0~210m范围内锶同位素存在16个负异常带(N1~N16),并认为这16个锶同位素负异常带是南海1.9Ma B. P.以来16次相当大规模的断块活动和火山喷发事件的记录,提出青藏高原隆起控制西沙水域海水锶同位素演变。18个正异常带(P1~P18)是陆源物质大量输入的记录^①。本文研究“西琛一井”第四系和上新统中青藏高原隆升的锶同位素记录,并建议大洋钻探计划(ODP)对西沙珊瑚礁钻探。

① 孙志国等,1996.西沙珊瑚礁锶同位素特征及其古环境意义。科学通报(印刷中)。

收稿日期:1996年3月13日

2 地质背景及样品分析方法

^{14}C 年龄资料和自旋电子测年(ESR)资料^[6]以及“西琛一井”的岩性、沉积间断面与“南水 1 井”的对比研究^[7],证实“西琛一井”中存在全新统,全新统(Q_4)与上更新统(Q_3)的分界在孔深 16.91m 处。浮游有孔虫 *Globorotalia margaritae* 在“西琛一井”出现在 300~320m 之间,其中 319.05m 孔深处为沉积间断面^[8]。浮游有孔虫带 *G. margaritae* 带出现时间为 5.1Ma B. P.,是上新世与中新世的分界^[9]。因此,“西琛一井”中,上新统(N_2)与中新统(N_1)分界在 319.05m 处。上新统(N_2)与下更新统(Q_1)的界限、下更新统(Q_1)与中更新统(Q_2)的界限、中更新统(Q_2)与上更新统(Q_3)的界限分别在孔深 218.00m、98.36m、30.60m 处,其对应的时间分别为 2.48Ma B. P.、0.73Ma B. P.、0.125Ma B. P.^[8]。

依据有孔虫资料,“西琛一井”中 210m 处界限对应时间为 1.9Ma B. P.^[8]。按 210m 和 98.36m 处两个界限和沉积速率,本文推断 1.4 Ma B. P. 的界限在孔深 162.29m 处。

“西琛一井”中的岩性特征: Q_4 (0~16.91m)为未胶结的珊瑚砾块和生物砾砂屑,主要矿物为文石和高镁方解石; Q_3 (16.91~30.60m)为灰白色礁格架灰岩; Q_2 (30.60~98.36m)主要为泥灰岩、泥粒灰岩、礁格架灰岩; Q_1 (98.36~218.00m)主要为藻屑泥灰岩、礁格架灰岩; N_2 (218.00~319.05m)主要为泥灰岩、藻屑灰岩、格架灰岩、白云石化粒泥灰岩。

本次研究共取样 154 个,平均取样间距为 2.07m。每个样品称 20~50mg,考虑到样品属纯碳酸盐,采用稀盐酸溶样,用阳离子交换柱分离 Rb 和 Sr;在 VG-354 质谱计上进行 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值测量,分析精度好于 0.01‰。

3 “西琛一井”锶同位素组成特征

为了讨论的方便,模仿轻同位素的分馏定义 $\Delta^{87}\text{Sr}$:

$$\Delta^{87}\text{Sr} = \left[\frac{(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{样品}}}{(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{标准海水}}} - 1 \right] \times 10^3$$

其中现代标准海水锶同位素组成引用 Elderfield(1986)所采用的值 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70920$ ^[14]。

如图 1 所示,“西琛一井”第四系和上新统中,锶同位素成分变化很大, $\Delta^{87}\text{Sr}$ 在 -0.18~0.83 之间,平均 0.15,标准差 0.20,变异系数为 1.33。各统的锶同位素分布特征如表 1。如图 1、表 1 所示,上更新统(Q_3)的放射性成因稳定同位素 Sr 较其他各统富集, $\Delta^{87}\text{Sr}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的平均值分别高达 0.33 和 0.70943。

孙志国等(1996)根据“西琛一井”的地质背景和样品的锶同位素组成,将 0~210m 范围内 ^{87}Sr 的富集程度分为 3 级。其中 I 级($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \geq 0.70943$ 、 $\Delta^{87}\text{Sr} \geq 0.33$); $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和 $\Delta^{87}\text{Sr}$ 大于或等于“西琛一井”上更新统的平均值,比其他各统(Q_1 、 Q_2 、 Q_4)的平均值高得多, ^{87}Sr 相对富集, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和 $\Delta^{87}\text{Sr}$ 为正异常。

大洋海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 总体上呈上升趋势,上新世海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比现代低得多^[15]。因此,本文将“西琛一井”上新统中样品 $\Delta^{87}\text{Sr}$ 值比同期大洋海水^[15] 高 0.33 者定为 ^{87}Sr 相对富集, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和 $\Delta^{87}\text{Sr}$ 为正异常。

“西琛一井”第四系和上新统中锶同位素分布存在 26 个正异常带(P1~P26)(图 1)。

表 1 西沙珊瑚礁“西琛一井”锶同位素分布特征

Tab. 1 Distribution of strontium isotope in Xichen-1 well from Xisha Islands

地层	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$						$\Delta^{87}\text{Sr}$				
	N ₂	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q	N ₂	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄
最大值	0.709 50	0.709 79	0.709 68	0.709 64	0.709 57	0.709 79	0.42	0.83	0.68	0.62	0.52
最小值	0.709 10	0.709 07	0.709 11	0.709 32	0.709 10	0.709 07	-0.14	-0.18	-0.13	0.17	-0.14
极差	0.000 40	0.000 72	0.000 57	0.000 32	0.000 47	0.000 72	0.56	1.01	0.81	0.45	0.66
平均值	0.709 29	0.709 28	0.709 30	0.709 43	0.709 34	0.709 31	0.12	0.11	0.14	0.33	0.19
标准差	0.000 10	0.000 16	0.000 13	0.000 08	0.000 14	0.000 15	0.14	0.23	0.18	0.12	0.20
变异系数	0.00114	0.000 23	0.000 18	0.000 11	0.000 20	0.000 2	1	1.17	2.09	1.29	0.36
样品数	35	50	43	12	14	119	35	50	43	12	14

4 古老硅铝质组分对锶同位素的贡献(S)

生物骨骼生长时记录了当时海水的锶同位素成分^[14~16]。

生物碳酸盐骨骼中 Rb/Sr 比值极低,而⁸⁷Rb 衰变的半衰期较长(4 880Ma),对于地质年代上较年轻的生物碳酸盐岩,沉积以后 Rb 的衰变作用可忽略不计。因此,“西琛一井”第四纪珊瑚礁锶同位素记录仍能反映骨骼生长时海水的锶同位素组成。

海水锶同位素受古老硅铝质岩(S)、年轻玄武质火山岩(V)和海洋碳酸盐岩(M)这 3 种不同来源的锶同位素的混合所控制^[16]。本文按 Faure(1986)所提出的三元混合模式,计算出“西琛一井”中古老硅铝质岩对锶同位素贡献(S)变化较大,在 16.69~21.19%之间,平均值 18.16%,标准差 0.87,变异系数为 0.05(图 1、表 2)。

表 2 古老硅铝质组分对西沙珊瑚海水锶同位素的贡献(S)(%)

Tab. 2 Contribution of strontium isotope of old silicic rocks

地质时代	N ₂	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q	N ₂ ~Q ₄
最大值	19.38	21.19	20.50	20.25	19.81	21.19	21.19
最小值	16.88	16.69	16.94	18.25	16.88	16.69	16.69
极差	2.50	4.50	3.56	2.00	2.93	4.50	4.50
平均值	18.05	18.00	18.14	18.96	18.36	18.20	18.16
标准差	0.61	1.03	0.80	0.52	0.89	0.94	0.87
变异系数	0.03	0.06	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05
样品数	35	50	43	12	14	119	154

5 青藏高原隆升与西沙珊瑚礁锶同位素的关系

南海海水的锶同位素组成与青藏高原隆起有关。于津生等(1994)发现南沙群岛“南永 1 井”第四纪珊瑚礁地层中第 I 段⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值升高及 $\Delta^{87}\text{Sr}$ 为正的峰值,并认为这是喜马拉雅山脉上升的结果^[4]。

南海北部陆架的莺歌海盆地,沉积速率在近 3Ma 前突然增高,其中乐东 30-1-1 井揭示的海相

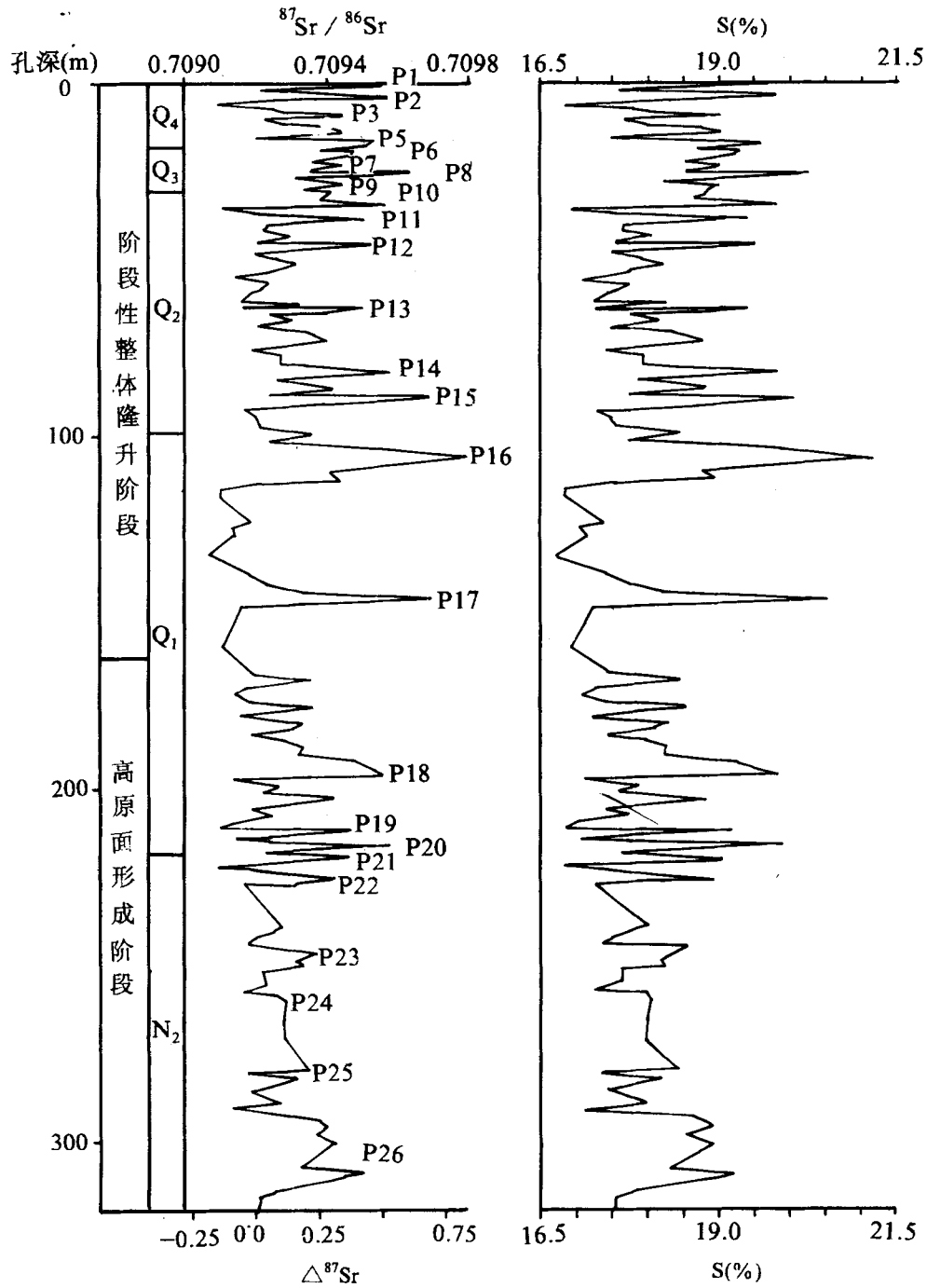


图1 上新世以来青藏高原隆升阶段与西沙珊瑚礁海水锶同位素组成的对比

Fig. 1 Relationship between the uplift of the Tibetan Plateau and the strontium isotope compositions of Xichen-1 well 第四系厚逾 2 000m^[10]。

汪品先(1995)认为现代红河集水盆地不大,难以提供莺歌海盆地的巨厚沉积体,推测红河集

水盆地原来曾在青藏高原,约 3Ma 前的沉积速率增大可能是青藏高原隆升区向东伸展的结果^[5]。青藏高原隆升向东伸展,在莺歌海盆地沉积巨厚的陆源物质,势必会致使南海海水的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr、 $\Delta^{87}\text{Sr}$ 、S 增高,西沙群岛珊瑚礁中必将留下相应的记录。陆源物质输入南海,主要通过河流搬运作用,也可通过风的搬运作用(孙志国等,1996)。

上世纪以来,大洋海水⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值均匀上升^[14~16]。然而,“西琛一井”资料表明,上新世以来(尤其是第四纪)西沙海域海水的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值、古老硅铝质组分的贡献(S)较大,波动幅度也很大,明显不同于同期的大洋海水,这是因为南海是一个半封闭的边缘海,而且又有红河以及汇水流域包括青藏高原的湄公河注入。和南沙相比,西沙水域更靠近中国大陆,更远离南海与太平洋的通道,致使“西琛一井”的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 和 $\Delta^{87}\text{Sr}$ 总体上明显高于南沙群岛的“南永 1 井”相应层位的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 和 $\Delta^{87}\text{Sr}$ ^[4]。

西沙海域海水锶同位素波动与青藏高原隆起相关。不同地质历史时期西沙海域海水中 $\Delta^{87}\text{Sr}$ 、⁸⁷Sr/⁸⁶Sr、古老硅铝质组分对锶的贡献(S)波动有明显的不同:布容期(Q₂~Q₄)波动频率高,幅度低,尤其是晚更新世(Q₃);松山期(Q₁)的晚期则以波动频率低、幅度高为特点,松山期(Q₁)的早期波动频率高、幅度低,上新世(N₂)波动频率较低,幅度较低。之所以有这样的特点是因为青藏高原隆升阶段不同的缘故。晚中新世以来青藏高原隆起分 3 个主要阶段:(1)晚中新世末期的强烈构造运动阶段;(2)上新世~早更新世的高原面形成阶段;(3)早更新世末以来的阶段性整体隆升阶段^[3]。吴锡浩等(1992)认为,早更新世(大约 1.4Ma B. P. 前后)开始了青藏高原阶段性整体隆升^[3]。

大洋海水中上新世以来⁸⁷Sr/⁸⁶Sr、 $\Delta^{87}\text{Sr}$ 是呈上升趋势,上新世⁸⁷Sr 较第四纪富集得多^[15]。而“西琛一井”上新统(N₂)的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 和 $\Delta^{87}\text{Sr}$ 、S 很高,比下更新统(Q₁)高,仅弱低于第四系的平均值(图 1、表 1、表 2)。该统的 35 个样品有 15 个为正异常值,正异常值样品百分数高达 42.86%,仅小于 Q₃(38.33%),比 Q₄(35.71%)、Q₂(16.30%)、Q₁(20.00%)、Q(24.37%)均高,Q₁ 锶正异常值百分数比 Q₂ 高。青藏高原高原面形成阶段(5.1~1.4 Ma B. P.),西沙珊瑚礁海水⁸⁷Sr/⁸⁶Sr、 $\Delta^{87}\text{Sr}$ 、S 的值和波动频率均高于阶段性整体隆升阶段的早期(1.4~0.73Ma B. P.)(图 1)。这是因为 5.1~1.4 Ma B. P. 是青藏高原高原面形成阶段,大量的陆源物质被剥蚀,输入南海所致。

青藏高原整体隆升速率越高,“西琛一井”中锶同位素正异常出现的频率越高。从高原整体隆升开始以来各阶段的隆升速率来看,大致表现为年代越轻,速率越大,即 1.3~0.9Ma B. P. 为 1.0mm/a;0.9~0.5Ma B. P. 为 1.9mm/a;0.5~0.1Ma B. P. 为 1.7 mm/a;0.1~0.008Ma B. P. 为 5.4mm/a,最近 8Ka 隆升速率高达 18.8mm/a^[3]。而第四纪以来,“西琛一井”第四系地层中锶同位素正异常出现频率越来越高,Q₁ 有 5 个正异常带(P16~P20),频率为 2.9 个/Ma;Q₂ 有 6 个正异常带(P10~P15),频率为 9.9 个/Ma;Q₃ 有 5 个正异常带(P5~P9),频率为 43.5 个/Ma;Q₄ 有 4 个正异常带(P1~P4),频率高达 400 个/Ma。

6 大洋钻探与南海珊瑚礁

业治铮、汪品先(1992)指出,尽管与深海古海洋学相比,珊瑚礁古海洋学的研究方法不够成熟,但是在提供古海洋学信息方面已无疑有其不可替代的作用,大洋钻探计划第 133 航次对大堡礁区的钻探就是证明^[11]。

和大堡礁不同,南海珊瑚礁(尤其是西沙珊瑚礁)受大洋海水影响较小,是独特的区域性古环

境信息库。青藏高原隆起,南海板块构造运动,控制了南海及其周边区域的过去环境演变,从而影响到南海珊瑚礁水的生态系统中海水同位素组成和微量元素成分。生物钙化作用直接记录了海水微量元素和同位素组成,因此,南海珊瑚礁存在丰富的古环境信息。

新生代较连续的高分辨率的陆相沉积序列很难建立,第四纪陆相沉积物横向相变较大。海洋中砾、砂、粉砂、粘土等沉积物的化学组分存在明显的粒度效应。粒度效应严重干扰了其古环境的化学记录信号。陆源碎屑物的化学成分主要反映物质来源,受沉积环境的水化学方面的环境因子影响小。除南海珊瑚礁外,在中国海域几乎无法建立新生代较连续的以自生沉积物为主体的沉积序列。

与氢、碳、氧、硫等元素的轻稳定同位素不同,锶铅钨等元素的稳定同位素原子之间的相对质量差较小,在自生沉积物中,其同位素组成主要由生成时环境中水体的同位素成分和沉积后母体同位素的放射性衰变所控制,而同位素分馏作用(同位素热力学分馏、同位素动力学分馏、同位素生物效应)的影响极小,可不予考虑^[12,16]。其母体同位素的半衰期很长,在较年轻的地质体中衰变作用可忽略不计。

珊瑚礁中沉积物的化学成分为碳酸盐,样品的有些化学组成差异不大,锶铅钨等同位素及某些微量元素所记录的古环境信号受噪音干扰很小。

因此,ODP选择对西沙珊瑚礁钻探,利用锶铅钨同位素地球化学资料,并结合微量元素,系统识别和提取西沙珊瑚礁中有关青藏高原隆升、古季风作用、南海板块构造运动、火山作用、热液活动、陆海相互作用等方面的高分辨率的记录,是非常合适的。

参考文献

- [1] 中国科学院青藏高原综合科学考察队,1981.青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题。科学出版社。
- [2] 李吉均等,1979.中国科学 9(6):608~616。
- [3] 吴锡浩等,1992.黄土·第四纪地质·全球变化(刘东生、安芷生主编)。科学出版社,1~13。
- [4] 于津生等,1994.中国科学(B辑) 24(7):757~765。
- [5] 汪品先,1995.地球科学进展 10(3):254~257。
- [6] 业渝光等,1991.中国海陆第四纪对比研究。科学出版社,224~231。
- [7] 赵焕庭等,1992.南沙群岛水署礁第四纪珊瑚礁地质。海洋出版社。
- [8] 张明书等,1989.西沙生物礁碳酸盐沉积地质研究。科学出版社。
- [9] 同济大学海洋地质系,1989.古海洋学概论。同济大学出版社,16~17。
- [10] 汪品先等,1991.地质学报 65(2):176~187。
- [11] 业治铮、汪品先,1992.南海晚第四纪古海洋学研究。青岛海洋大学出版社。
- [12] 沈渭洲等,1987.稳定同位素地质。原子能出版社。
- [13] Cochran J. R., 1990. Proc. Ocean Drilling Program, *Scientific Results*. 116:397-414.
- [14] Elderfield H., 1986. *Palaeo Palaeo Palaeo* 57: 71-90.
- [15] Farrell W. J., et al., 1995. *Geology* 23(5): 403-406.
- [16] Faure G., 1986. Principles of Isotope Geology (second edition) (New York). John Wiley and Sons.
- [17] Klootwijk C T et al., 1992. *Palaeo Palaeo Palaeo* 95: 95-110.

STRONTIUM ISOTOPE RECORDS OF TIBETAN PLATEAU UPLIFT IN XICHEN-1 WELL FROM XISHA ISLANDS

Sun Zhiguo¹ Lan Xianhong¹ Liu Baozhu² Zhang Xunhua
Ju Lianjum¹ Wu Jianzheng¹ Han Chunrui¹ Guo Weidong

(¹*Institute of Marine Geology, MGMR, Qingdao, 266071*)

(²*College of Marine Geosciences, Ocean University of Qingdao, 266003*)

Received: Mar. 13, 1996

Key Words: ODP, Tibetan Plateau, Coral reef, Xisha Islands, Sr isotope

Abstract

The coral reefs of the South China Sea, especially Xisha Islands, which contain a lot of information on the uplift history of the Tibetan Plateau, the tectonism, volcanic activity and palaeoenvironmental changes of the South China Sea, are a special kind of palaeoenvironmental record. Strontium isotope compositions in Xichen-1 well (16°27'N, 111° 42'E) differ from the oceans, detailedly recorded the uplift of the Tibetan Plateau. A research endeavor combining the Tibetan Plateau investigations with the Ocean Drilling Program (ODP) in Xisha Islands will be most promising in breaking through to reveal the mechanism behind the regional and global environmental changes. ODP's drilling in the coral reefs is of great scientific significance for China and the world.