

边缘海与大洋的相似度

霍 明 远*

(中国科学院南海海洋研究所, 广州)

摘 要

本文初次运用 Fuzzy 数学方法, 对边缘海与大洋的地壳性质进行了对比研究, 定量地给出了它们之间的相似程度。

相似度的计算结果表明, 边缘海与大洋的相似度约为 0.7。将大洋研究成果用于边缘海时, 应进行相似度校正, 方法如下:

校正值 = 计算值 $\pm$ [计算值 $\times$ (1 - 相似度)]。

校正后的南海中央盆地生成年龄为 41.6—12.4 百万年。该年龄的上限即 12.4 百万年已被深海拖网取样的同位素年龄测定所证实。

西太平洋一系列边缘海位于大洋与大陆之间, 张文佑称之为过渡型地壳构造域^[1]。在该域中既有洋壳分布, 也有陆壳分布, 地貌反差大, 地壳分割性强, 结构复杂, 活动强烈。国内外越来越多的文章谈到边缘海洋壳具有小洋盆地的特点, 与大洋具相似性。本文在定性描述它们相似的基础上利用 Fuzzy 数学方法, 对相似度进行定量的计算, 并对计算结果做了相应的地质解释。

本文选用地壳厚度、地震波速度、地热流值、磁异常值、磁异常形态、布格重力异常值、沉积物厚度和水深等八个参数, 将三个具有陆壳的陆架海(渤海、黄海、东海——仅陆架部分, 不包括冲绳海槽, 下同); 将三个具有过渡壳的海槽(西沙北海槽、冲绳海槽、巴拉望海槽)和六个具有洋壳的边缘海盆地(鄂霍茨克海盆、日本海盆、南海海盆、菲律宾海盆、苏禄海盆、苏拉威西海盆)分别作为一个有限集, 利用模糊综合评判方法, 求取它们与西太平洋的相似度。计算结果表明, 边缘海与大洋的相似度为 0.697, 将大洋的研究成果应用于边缘海的研究时要进行相似度校正, 并给出了相似度校正方法。

一、基本 原 理

为了简单, 设 U, V 均为有限集,

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\},$$

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\},$$

此时, U 上的模糊子集可表示为 n 维向量。若按 Zadeh's 记法

本文 1984 年 5 月 3 日收到, 1984 年 11 月 22 日收到修改稿。

* 作者目前在中国科学院自然资源综合考察委员会工作。

$$\underline{A} = a_1/u_1 + a_2/u_2 + \cdots + a_n/u_n,$$

则亦可记为

$$\underline{A} = (a_1, a_2, \cdots, a_n) \quad (0 \leq a_i \leq 1).$$

同样, V 上模糊子集

$$\underline{B} = b_1/V_1 + b_2/V_2 + \cdots + b_m/V_m,$$

可表示为

$$\underline{B} = (b_1, b_2, \cdots, b_m) \quad (0 \leq b_j \leq 1).$$

设 R 是从 U 到 V 的一个模糊关系, R 是一个矩阵

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

则根据矩阵的复合运算, 由 R 确定了一个变换:

任给 U 上模糊子集 $\underline{A}$, 便可确定 V 上一个模糊子集 $\underline{B}$, $\underline{B} = \underline{A} \circ R^{[2]}$.

二、计算过程

第一步: 取 $U = \{\bar{H}, \bar{Z}, \bar{r}, \bar{B}, \bar{C}, \overline{CX}, \overline{Ch}, S\bar{h}\}$.

第二步: 若先考虑地壳厚度为特别注意条件, 以下依次类推, 则着眼点的权数分配依次为:

$$\underline{A} = (0.5, 0.1, 0.1, 0.04, 0.01, 0.1, 0.05, 0.1).$$

第三步: 评价结果用等级形式表示, 把相似度分为四个等级, 记为

$$V = \{\text{强相似}, \text{相似}, \text{弱相似}, \text{不相似}\}.$$

第四步: 以西太平洋的地质-地球物理参数值做为标准值, 给出它们的隶属函数为:

$$(1) \mu(\bar{H}) = \begin{cases} \frac{1}{1 + a\bar{H}|\bar{H} - 8.0|}, & 6.0 \leq \bar{H} \leq 8.0, a\bar{H} = 0.1; \\ 0, & \bar{H} < 6.0, \bar{H} > 8.20. \end{cases}$$

$$(2) \mu(\bar{Z}) = \begin{cases} \frac{1}{1 + |\bar{Z} - 8.1|}, & 8.30 \geq \bar{Z} \geq 8.1, \\ 0, & \bar{Z} < 8.05, \bar{Z} > 8.4. \end{cases}$$

$$(3) \mu(\bar{r}) = \begin{cases} \frac{1}{1 + |\bar{r} - 1.5|}, & 4.24 \geq \bar{r} \geq 1.5, \\ 0, & \bar{r} < 1.4, \bar{r} > 4.24. \end{cases}$$

$$(4) \mu(\bar{B}) = \begin{cases} \frac{1}{1 + a\bar{B}|\bar{B} - 365|}, & 260 \leq \bar{B} \leq 365, a\bar{B} = 0.01, \\ 0, & \bar{B} < 260, \bar{B} > 400. \end{cases}$$

$$(5) \mu(\bar{C}) = \begin{cases} \frac{1}{1 + a\bar{C}|\bar{C} - 250|}, & 190 \leq \bar{C} \leq 250, a\bar{C} = 0.01, \\ 0, & \bar{C} < 190, \bar{C} > 270. \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
 (6) \quad \mu(\overline{Cx}) &= \begin{cases} \frac{1}{1 + |\overline{Cx} - 1|}, & 0.5 \leq \overline{Cx} \leq 1, \\ 0, & \overline{Cx} < 0.5, \overline{Cx} > 1.1. \end{cases} \\
 (7) \quad \mu(\overline{Ch}) &= \begin{cases} \frac{1}{1 + a\overline{Ch}|\overline{Ch} - 1500|}, & 350 \leq \overline{Ch} \leq 1500, a\overline{Ch} = 0.01, \\ 0, & \overline{Ch} > 3000, \overline{Ch} < 350. \end{cases} \\
 (8) \quad \mu(\overline{Sh}) &= \begin{cases} \frac{1}{1 + a\overline{Sh}|\overline{Sh} - 5650|}, & 2000 \leq \overline{Sh} \leq 5650, a\overline{Sh} = 0.001, \\ 0, & \overline{Sh} < 2000, \overline{Sh} > 6500. \end{cases}
 \end{aligned}$$

图 1 是西太平洋隶属函数图象。

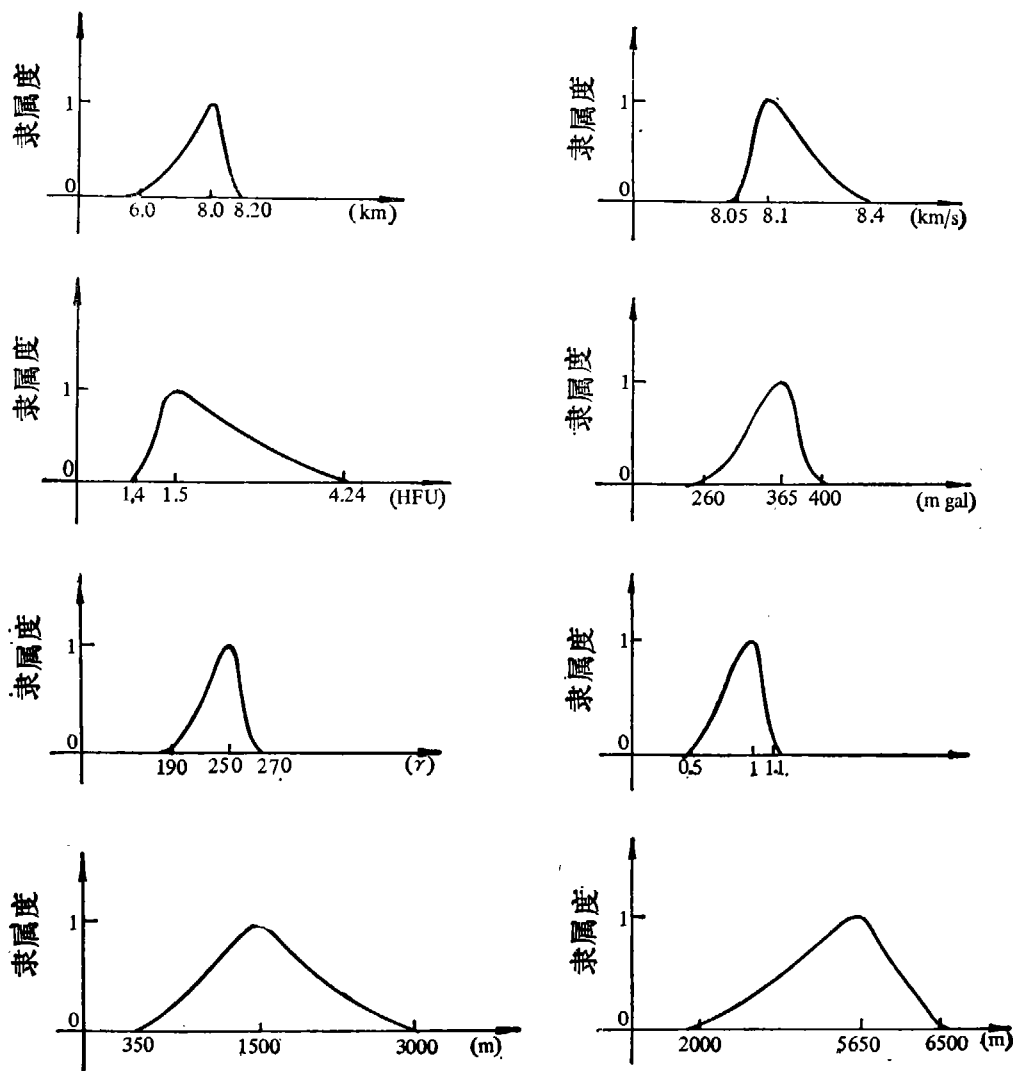


图 1 西太平洋隶属函数曲线

第六步: 利用隶属度值规定

$0.85 \leq \mu \leq 1$, 为强相似,

$0.75 \leq \mu < 0.85$, 为相似,

$0.5 < \mu < 0.75$, 为弱相似,

$\mu \leq 0.5$, 为不相似。

第七步: 从单因素评判入手, 建立 U 到 V 的模糊关系 R 。 R 是单因素评判所组成的矩阵。 R 中的每一个元素是各因素即每个陆架海、海槽和边缘海盆地的隶属度对应于 V 中各等级的个数在该因素中所占的百分率。

第八步: 综合评判为 $B = A \circ R$ 。

第九步: 相似度 $S = \sum_{i=1}^{n-1} B_i / \sum_{i=1}^n B_i$ 。

相似度的计算结果列于表 3。

表 3 相似度数值表

名称 \ 相似度	数 值
陆壳的陆架海	0.000
过渡壳的海槽	0.286
洋壳的边缘海盆地	0.697

三、计算结果的地质解释

1. 相似度在边缘海与大洋的成因理论上的意义

从表 3 的结果可以看出, 对大洋相似程度的不同, 反映出边缘海与大洋在成因上的差异。有关边缘海的成因探讨, 国内外学者纷纷著文^[3-14], 分别从不同的角度和观点出发, 利用地质-地球物理和钻井资料对边缘海盆地的成因进行了不同程度的研究。在前人工作的基础上, 本文作者(1983)^[1]提出了边缘海演化的一般规律即 V 字型边缘海演化旋回(图 2)。

陆壳地堑(陆架海)→拉张型过渡壳地堑(海槽)→拉张型洋壳地堑(边缘海盆地)→拉张-挤压型洋壳地堑(边缘海盆地)→挤压型洋壳地堑(边缘海盆地)→挤压型过渡壳地堑(海槽)→断褶带(岛弧), 完成了边缘海一个演化旋回, 如此螺旋式上升演变, 每一次演化都增添进新的内容, 不断地向前发展。

将这个边缘海演化的 V 字型旋回与著名的 Walshon 提出的有关大洋演化的旋回相比较, 结合相似度运算基本数据表(表 1), 可以得出以下关于边缘海与大洋在成因上的共性与差异性。

(1) 它们都与陆壳关系密切, 每一旋回都从陆壳拉张开始, 可发育的部位不一样。大洋发育在大陆板块内部岩石圈断裂带内, 而边缘海发育在破碎性大陆板块的边缘。

(2) 它们都是地幔物质沿岩石圈断裂上涌并在海底进行扩张形成洋壳, 但边缘海的扩张

1) 霍明远, 1983, 贴近度与边缘海演化旋回, 地质科学(待刊)。

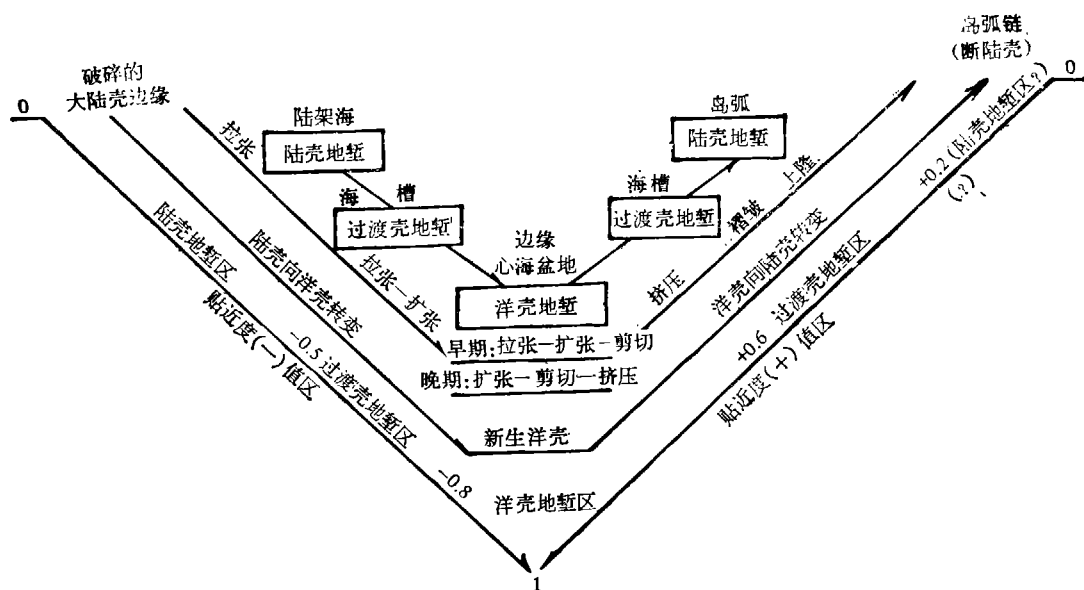


图2 边缘海演化旋回的V字型模式

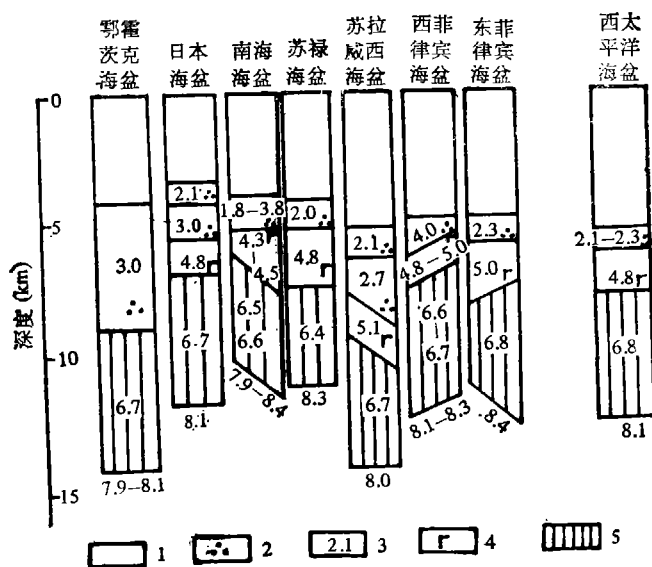


图3 边缘海洋壳与大洋洋壳结构柱状对比图

(1——水体, 2——沉积物, 3——层速度 (km/s), 4——层2, 5——层3)

规模小, 郭令智称之为“微型扩张”^[13], 而且该种扩张具有多期、多轴、不对称等特点¹⁾。

(3) 边缘海洋壳和大洋地壳具有相同的三层结构 (图3), 都由沉积层—层2—层3组成。但边缘海洋壳的各层密度比大洋的要低。边缘海洋壳在形成过程中对大陆硅铝层的同化与混合作用^[15]可能是密度降低的原因之一。

1) 霍明远, 1982, 南海中央盆地的地壳结构及其形成机制, 研究生毕业论文。

(4) 它们都与地壳运动关系密切。大洋与大陆的转变发生在造山期和造陆期, 而边缘海与岛弧的转变则发生在地台活化区。

(5) 边缘海与大洋的演化都具有阶段性和旋回性。边缘海的演化周期短, 而大洋的演化周期长。它们都是以渐变与突变相结合的方式进行演化, 但边缘海渐变与突变的规模比大洋的要小。图 4 是标有边缘海与大洋相似度的演化旋回模式对比图。

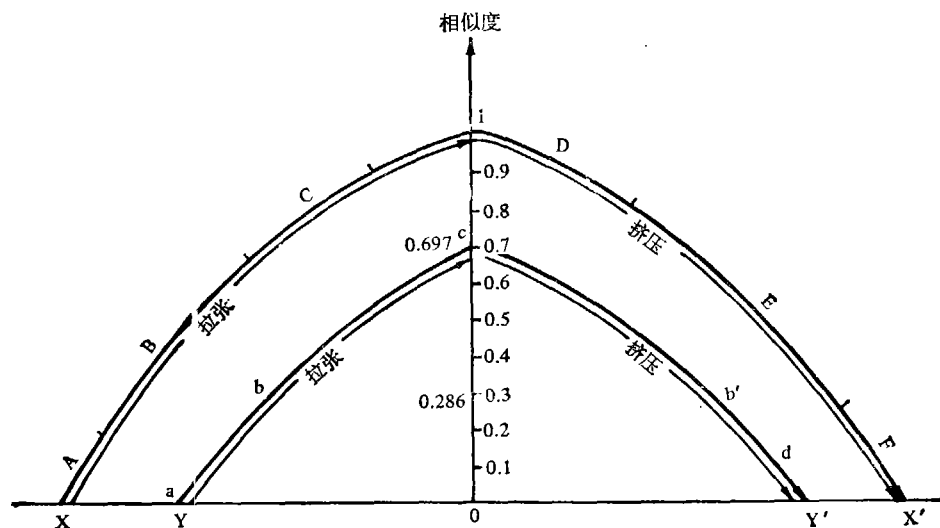


图 4 边缘海与大洋的相似度

(X—X'——大洋演化旋回, Y—Y'——边缘海演化旋回, X——大陆板块内部岩石圈断裂, Y——大陆板块边缘破碎带岩石圈断裂, A——东非裂谷阶段, B——红海-亚丁湾阶段, C——大西洋阶段, D——太平洋阶段, E——地中海阶段, F——喜马拉雅阶段, a——陆壳地堑阶段(陆架海), b, b'——过渡壳地堑阶段(海槽), c——洋壳地堑阶段(边缘海), d——断褶带阶段(岛弧))

(6) 边缘海洋壳的重、磁异常均呈高值(表 1), 与大洋地壳重、磁异常值相接近。

(7) 边缘海洋壳的厚度普遍地要比大洋地壳薄(表 1), 这说明边缘海洋壳下面的异常上地幔抬升幅度比大洋的要高, 造成这种现象的原因至今仍是谜。而比陆壳要薄得很多, 又是它们的共性。

(8) 边缘海的地热流比大洋和大陆的都高(表 1)。这可能是异常上地幔抬升, 热量散发大所造成的。

(9) 边缘海的磁异常条带状不明显, 而大洋的线性磁异常相当规则和明显。边缘海的磁条带甚至不如现在正在进行海底微型扩张的拉张型过渡壳地堑(例如冲绳海槽)的明显, 这可能是由边缘海的多期、多轴、不对称的微型扩张所造成的。

(10) 边缘海在沉积物厚度上与大洋的相似程度不大, 它有厚有薄。厚的可达 5000m (鄂霍茨克海), 薄的仅 350m (菲律宾海), 也有和大洋的相接近的, 比如苏拉威西海和日本海(表 1)。

(11) 边缘海的水深一般在 3000—6000m 之间, 没大洋的深(表 1)。

将以上(1)—(11)的定性描述, 同边缘海与大洋相似度计算的结果(表 3)相对照, 可以看

出它们是比较吻合的。

从表 3 中我们还可以看出陆架海、海槽与边缘海盆地的内在联系: 对大洋的不同的相似度, 正好反映出边缘海演化的不同阶段。相似度的增加, 表明边缘海演化阶段的提高 (上升)。图 4 表明边缘海对大洋的相似度的增加极限是 0.7, 说明边缘海可能永远转变不成大洋, 这是边缘海与大洋有不同的成因所决定的。

2. 相似度在进行边缘海研究中应用大洋研究成果上的意义

从陆架海、海槽、边缘海盆地对西太平洋的相似度 (表 3) 可知, 陆架海与大洋的相似度为零, 大洋的研究成果不能用于具有陆壳结构的陆架海的研究; 过渡壳的海槽与大洋的相似度为 0.286, 把大洋的研究成果运用于海槽时应持慎重态度; 具有洋壳的边缘海盆地与大洋的相似度接近 0.7, 所以大洋的研究成果基本上可以用于边缘海的研究, 由于有差别存在, 因此要进行相似度校正。

相似度校正方法:

校正值 = 计算值 $\pm$ [计算值 $\times$ (1 - 相似度)]。其中 + 为上校正, - 为下校正。

[例] 1980 年, Brian Taylor 等人用磁异常条带计算出来的南海中央盆地的生成年龄为 32—17 百万年^[9]。1981 年, 夏戡原、陈雪用热传导半无界空间方程^[16]:

$$Q(\bar{r}) = K \left. \frac{\partial T}{\partial Z} \right|_z = T_0 \left[\left(\frac{K\rho c}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{\sqrt{t}} \right] + Kr,$$

$$t = T_0^2 \left(\frac{K\rho c}{\pi} \right) \frac{1}{[Q(\bar{r}) - Kr]^2},$$

求出南海中央北盆地生成年龄为 24.9 百万年, 中央南盆地生成年龄为 15.1 百万年。1983 年, 刘昭蜀、陈雪仍用该方程求出南海中央盆地各小区的平均年龄为¹⁾:

中央北盆地西区: 13.8 百万年;

中央北盆地东区: 25.3 百万年;

中央海山区: 17.7 百万年;

中央南盆地: 12.2 百万年。

经相似度校正后, 结合在南海地区钻井所获取的地层古生物资料^[7,9], 南海海盆的实际生成年龄应该是 41.6—12.4 百万年。

1979—1980 年, 中美联合调查南海地质时, 曾对中央海山区进行深海拖网取样, 样品经中国科学院地球化学研究所 (1983) 鉴定为玄武岩, 最老的同位素年龄测定为 13 ± 1 百万年, 因此该年龄的上限正被证实。

据边缘海相似度计算的结果, 对 Brian Taylor (1980) 所说南海中央盆地存在着“东西向的, 非常标准的线性磁异常”^[9] 的结论提出质疑, 预计两者线性磁异常的相关系数不会大于 0.7。

本文是在刘昭蜀、陈森强、杨树康、夏戡原、刘祖惠、刘以宣等诸位导师指导下完成的, 还曾得到北京师范大学数学系汪培庄教授、南京大学地质系施央申教授的支持与帮助, 谨此一并致谢。

1) 刘昭蜀、陈雪, 1983, 南海中央盆地的地热特点与年龄 (待刊稿)。

参 考 文 献

- [1] 张文佑主编, 中国海区及邻域大地构造图(1:500 万)说明书, 科学出版社, 1983.
- [2] 汪培庄, 模糊数学简介, 数学的实践与认识, 1980, 2: 49—59.
- [3] Hayes, D. E. & Ludwig, W. J., The manila Trench and West Luzon Trough, II. gravity and magnetics measurements, *Deep, Sea Res.*, **14**(1970), 454—560.
- [4] 上田诚也, 新地球观, 科学出版社, 1981 年版, 常子文译, 109—111.
- [5] Гнибиденко, Г. С., *Тектоника дна Окраинных Морей Дальнего Востока*, Издат. Науки, 1979, С. 95—109.
- [6] 陈森强、刘祖惠、刘昭蜀等, 中国南海中部和北部的重磁异常特征及其地质解释, 中国科学, 1981, 4: 477—486.
- [7] 唐鑫, 从板块观点论南海的成因, 地球物理学报, **24**(1981), 4: 427—435.
- [8] 张文佑、张抗、杨树康, 中国东部及相邻海域中、新生代地壳演化与盆地类型, 海洋地质研究, **2**(1982), 1: 1—14.
- [9] Taylor, B., & Hayes, D.E., The tectonic evolution of the South China Basin, in the *Tectonic and Geologic, Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, Geophy. Monogr. Ser.* (Ed. Hayes D. E.), Vol. 23, 1980, 89—104, AGU, Washington, D. C.
- [10] Parker, M. L. et al., Structural framework of continental margin in South China Basin, *Bull. AAPG.*, **55** (1971), 723—751.
- [11] Emery, K. O. & Ben-Avraham, Z., Structure and stratigraphy of the China Basin, *ibid.*, **56** (1972), 839—859.
- [12] Ben-Avraham, Z. & Uyeda, S., The evolution of the China Basin and the Mesozoic palaeogeography of Borneo, *Earth and Planets Science Letters*, **18**(1973), 356—376.
- [13] 郭令智、施央申、马瑞士, 华南大地构造格架和地壳演化, 国际交流学术论文集第一册 1979, 109—114.
- [14] 姚伯初、王光宇, 南海海盆的地壳结构, 中国科学 B 辑, 1983, 2: 177—186.
- [15] 从柏林, 岩浆活动与火成岩组合, 地质出版社, 1979, 207.
- [16] 夏戡原、陈雪, 1981, 南海中央盆地热流值的初步分析, 海洋学报, **3**(1981), 3: 423—459.