

西太平洋边缘海封闭程度定量化的尝试*

黄 维 汪品先

(同济大学海洋地质国家教委开放研究实验室, 上海 200092)

摘 要 西太平洋边缘海由于地形特征存在着巨大的差异, 它们与开放大洋以及相互之间的联通程度很不相同, 用三个比值即: 海槛深度与海盆最大深度的比值(S/B)、海峡通道宽度与海区面积的比值(P/A)以及通道截面积与海盆体积的比值(C/V)来描述它们的封闭程度。结果表明, 日本海在西太平洋边缘海中封闭程度最高, 而爪哇海和东海的封闭程度最低, 而不同封闭程度的边缘海对冰期旋回的反应有显著的不同。

关键词 封闭程度 边缘海 冰期旋回 西太平洋

在世界上最大的大陆(亚洲)与大洋(太平洋)之间, 由北至南分布着一串边缘海(图 1)。全世界 75% 的边缘海盆地都集中在西太平洋海区^[1], 成为古环境研究中不容忽视的重要因素。这些边缘海的外形轮廓各不相同, 水体深浅不一, 与开放大洋(太平洋、印度洋)的联通程度也不相同, 因此这些边缘海对于冰期旋回的反应也就很不相同。为了探讨这种差别, 有必要对边缘海进行分类。

1 边缘海分类的定量标准

早在 1970 年, Seibold^[2]就根据边缘海所处地区的气候状况, 将边缘海划分为两大类: 潮湿类型与干旱类型。此类划分具有重要意义, 不过所有现代的西太平洋边缘海都属于潮湿类型, 需要用其他原则分类, 而封闭程度是最明显的差异。

边缘海之间封闭程度的差异, 取决于其自身的地形特征, 这是由于边缘海与开放大洋之间的水体交换主要是通过其周围的通道(海峡)进行的, 通道的宽窄、深浅决定了水体交换是否通畅。最简单的办法是根据边缘海的断面形态——海盆最大深度(B)、海槛深度(S)及二者比值(S/B)来判断边缘海与开放大洋联通程度(图 2), 据此西太平洋边缘海可分为三类: 浅滩型边缘海(如黄海、渤海)、开放型边缘海(如东海)和半封闭型边缘海(如南海、日本海)^[3]。 S/B 比值的一个最大的缺点是只考虑两个最大值, 难以反映边缘海盆地的地形特征, 需要在二维、三维空间的角度对边缘海的地形特征进行全面分析。

为此选择了边缘海的面积(A)、通道的宽度(P)以及二者的比值(P/A); 海盆的体积(V)、通道截面的面积(C)和二者的比值(C/V)。通道的宽度(P)是指海盆与其它海区、开放

* 国家自然科学基金资助项目(第 49291100 号)

第一作者简介: 黄维, 男, 25 岁, 硕士, 海洋地质学专业, E-mail: huangwk@online.sh.cn

收稿日期: 1998-01-14 张光威编辑

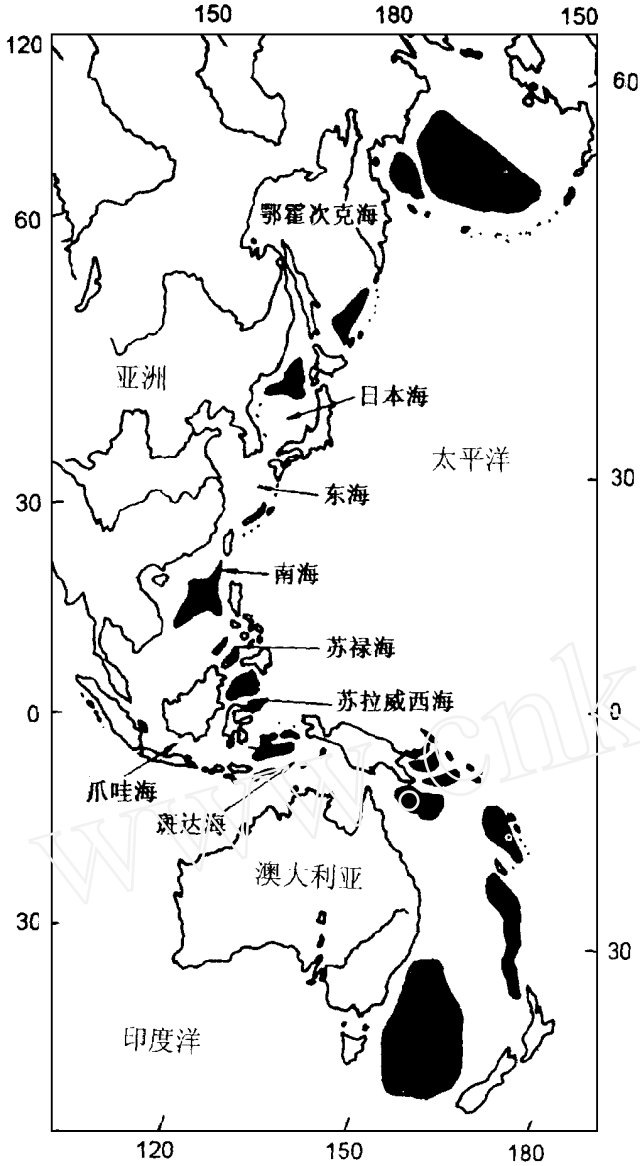


图1 西太平洋边缘海

(黑色为具洋壳的盆底, 开放程度过大者如菲律宾海等未予示出)

Fig. 1 West Pacific marginal seas with marginal basins (black area) (Marginal basins without clear geographic expression are not shown)

大洋之间的所有通道(一般来说,就是各海区之间的分界线,见图3)的最小宽度之和(在图3为 $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6$);通道截面的面积(C)是海盆与其它海区、开放大洋间所有通道的最小截面积之和(图4)。 S/B 值、 P/A 值或 C/V 值越大,表示边缘海越开放,反之则越封闭。而这三个比值也有各自不同的意义: S/B 比值是两点(海盆最深点与通道最深点)之间的比较; P/A 比值是线(通道宽度)与面(面积)的比较; C/V 比值是面(通道截面面积)与体积之间的比较。这三个比值可以更加合理地体现各边缘海的封闭程度,结合海区水文条件(流速、流量等)就可以反映边缘海与大洋或其他海区水体交换的情况。

2 结果与讨论

本文所分析的八个边缘海是:南海、东海、鄂霍次克海、日本海、苏禄海、苏拉威西海、爪哇海、班达海。各海区的地形数据以及所得计算结果均见表1和图5。

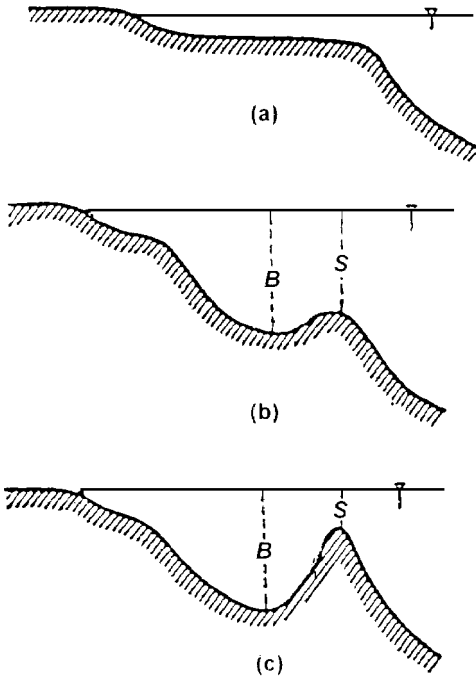


图 2 三类边缘海的剖面示意图^[3]

(a) 浅滩型, (b) 开放型, (c) 半封闭型
B. 海盆深度, S. 海槛深度

Fig. 2 Schematic profiles of three types of marginal seas

(a) Shallow bank type, (b) Open basin type, (c) Semi-enclosed basin type
B—Basin depth, S—Sill depth

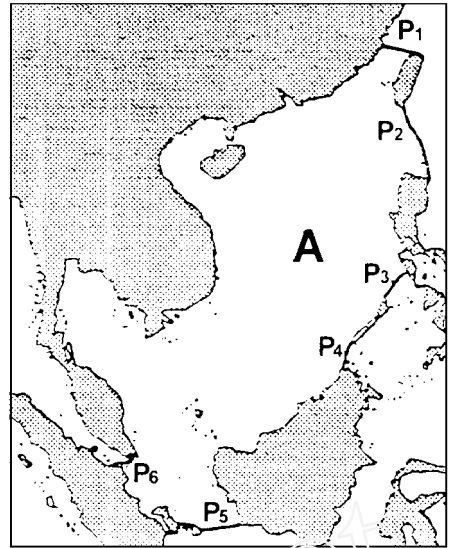


图 3 边缘海形态的平面定量特征示意图 (以南海为例)

A. 面积, P. 通道宽度 ($P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6$)

Fig. 3 Diagram showing the measurement of morphological feature of a marginal sea (an example of the South China Sea)

A—surface area, P—passage length
($P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6$)

表 1 西太平洋北部八个边缘海的地形数据表

Table 1. Topographic data of eight marginal seas in the north of the West Pacific

边缘海	海盆深度 B (m) *	海槛深度 S (m) *	S/B 值 *	面积 A (10^{12}m^2) **	通道宽度 P (10^5m)	P/A 值 (10^{-7}m^{-1})	体积 V (10^{15}m^3) **	通道面积 C (10^8m^2)	C/V 值 (10^{-7}m^{-1})
日本海	4 049	130	0.03	0.978	1.37	1.40	1.713	0.09	0.05
南海	5 377	2 600	0.48	3.500	9.49	2.71	4.242	4.92	1.16
鄂霍次克海	3 374	~ 2 000	0.59	1.590	4.55	2.86	1.365	1.84	1.35
苏禄海	5 580	420	0.08	0.348	5.28	15.16	0.553	0.88	1.59
苏拉威西海	6 200	1 400	0.23	0.435	6.48	14.89	1.586	4.54	2.86
班达海	7 440	3 130	0.42	0.695	10.93	15.72	2.129	7.30	3.43
东海***	2 719	> 2 000	0.74	1.228	9.81	7.99	0.303	3.21	10.60
爪哇海	1 720	1 720	1.00	0.480	11.75	24.48	0.022	4.16	188.95

* 数据引自汪品先(1995)

** 数据引自海洋手册(1984)

*** 包括黄海、渤海

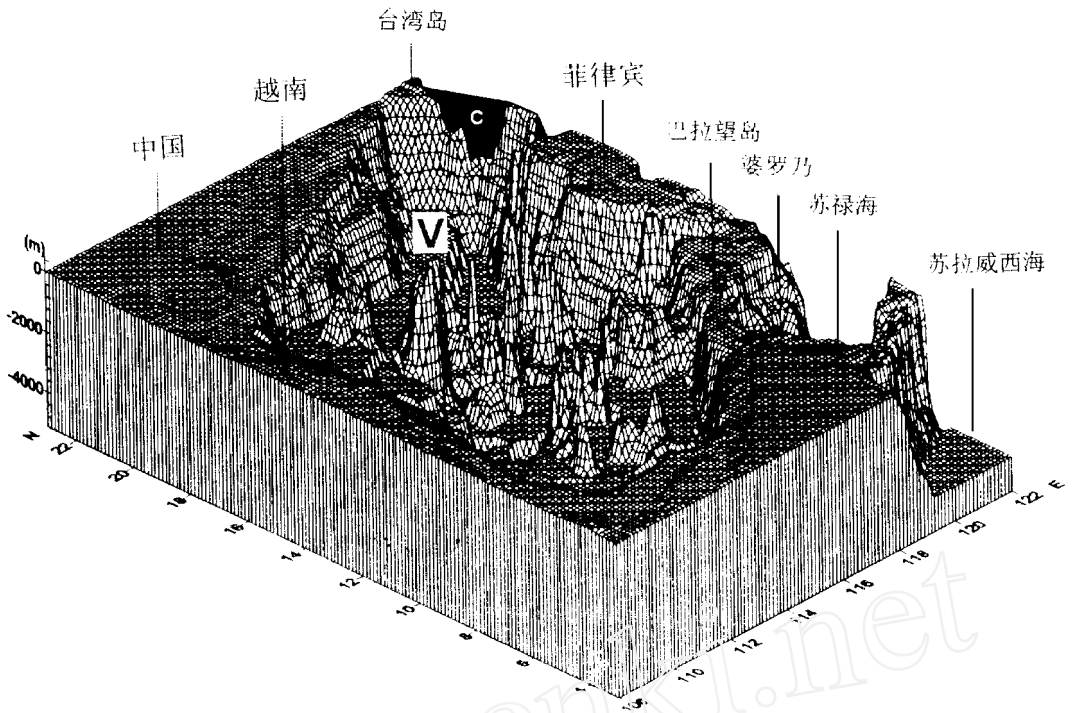


图4 边缘海形态的三维空间定量特征示意图

V—海盆体积, C—通道截面面积(黑色, 仅示出巴士海峡, 其余通道由于太浅而无法示出)

Fig 4 Diagram showing the measurement of three-dimensional features of a marginal sea (an example of the South China Sea)

V—basin volume, C—area of connecting section (in black. Only the Bashi Strait is shown, all the other passages are too shallow to be visible in the diagram)

从计算结果看, 日本海的封闭程度是最高的。其 S/B 比值为 0.03, P/S 比值为 $1.40 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$, C/V 比值为 $0.05 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$, 均远远低于其它海区。而爪哇海的开放性最为明显, S/B 比值、 P/A 比值和 C/V 比值分别为 1.00, $24.48 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$, $188.95 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$ 。从构造意义上来讲, 爪哇海并不是真正的边缘海, 因为其绝大部分海域属于陆架浅海, 深海区面积极少, 在此不作更深入的探讨。由图 5 可见, 三类比值基本上是相互对应的, 东海的 S/B 、 C/V 比值高于除爪哇海以外的其它边缘海, 但其 P/A 比值却低于班达海、苏拉威西海和苏禄海。东海的 P/A 比值比较低的原因是计算中将其陆架延伸区的渤海和黄海包括在内, 使得海区面积加大但海区周围的通道宽度变小造成 P/A 降低, 但这对 S/B 及 C/V 比值几乎没有影响, 因此东海也是较为开放的边缘海。南海和鄂霍次克海的 S/B 比值也比较高, 仅次于东海, 但是它们的 P/A 和 C/V 比值却相当低, 略高于日本海。这两个边缘海面积十分广阔, 海盆深度与体积较大, 同时具有与开放大洋相通的较深的海槛, 但通道宽度有限, 应属于半封闭类型。苏禄海虽具有较高的 P/A 比值, 但 S/B 和 C/V 比值很低, 其主要通道是与南海之间的民都洛海峡(在末次盛冰期时这是唯一通道), 因此苏禄海也是一个半封闭的边缘海。班达海、苏拉威西海的三个比值处于中等水平, 它们是比较开放的边缘海。总之, 按封闭程度

由强至弱, 八个边缘海的顺序应是: 日本海、南海、鄂霍次克海、苏禄海、苏拉威西海、班达海、东海、爪哇海。

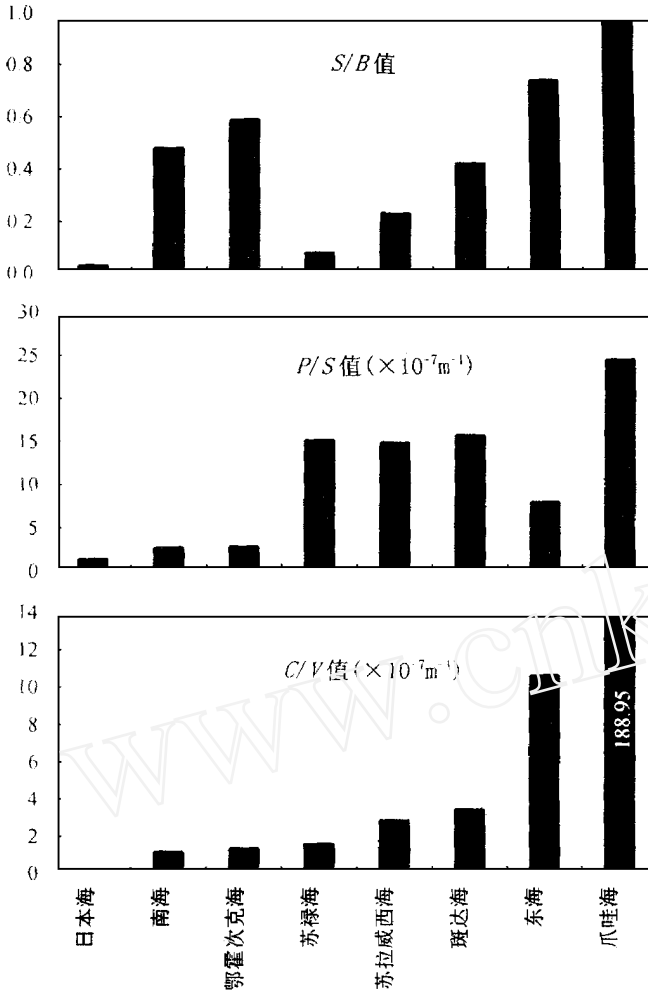


图 5 西太平洋北部八个边缘海形态特征的定量比较

Fig 5 Quantitative comparison of the morphological features of eight marginal seas in the north of the West Pacific

边缘海的地形特征, 特别是封闭程度, 与边缘海的深层水有密切的关系, 进而对其沉积特征也产生了巨大的影响。日本海作为最封闭的边缘海, 目前它的周围只有 4 个海峡与太平洋或其它边缘海相连, 而在冰期时只有 2 个海峡(津轻海峡和对马海峡)分别与太平洋和东海相通, 但其海槛的最大深度只有 130m 左右, 接近末次盛冰期海平面的最大降幅, 因此在末次盛冰期时日本海与外界几乎隔绝。现代日本海 200~ 300m 以深的海水为性质均一的“狭义日本海水 (the Sea of Japan Proper Water)”^[5], 由冬季日本海北部表层冷水下沉而成^[6], 而不是太平洋的深层水。因此日本海的深层水比较年轻, 大约只需 120 年的时间, 就会更新一次, 但底层水温仅 0~ 1℃, 所以溶跃面和 CCD 极浅 (分别为 1 200 ~ 1 400m 和 1 400 ~ 1 600m 左右)^[6], 使得日本海沉积物中的碳酸盐含量极低。冰期时日本海的封闭, 使日本海的海水分层, 表层海水淡化, 底层海水缺氧, 出现纹层沉积^[7]。

日本海的冰期碳酸盐旋回有着自己独特的特点, CaCO₃ 的峰值出现在相对冷的冰期, 但不与蛋白石或有机碳的高值相对应^[8]。

南海的封闭程度也比较高, 与日本海不同的是, 南海有一个海槛深达 2 600m 的巴士海峡, 因此尽管冰期时南海与太平洋之间只有这一个通道, 但并不阻碍两者之间深层水的交换, 也不会造成水柱的分层。南海的深层水来源于西太平洋的深层水, 底层水温在 2℃ 左右, 当然南海的碳酸盐的保存条件要优于日本海, 而且冰期碳酸盐溶解旋回也与西太平洋保持一致^[9]。南海末次冰期与冰后期的最大差异是表层洋流的改变。由于南海的封闭性, 当冰期海平面下降时, 现在穿越海盆的洋流系统变为半封闭的洋流系统, 使得南海冬季表层水温的

南北梯度远较现代为高^[10]。

苏禄海的封闭程度已如前述,与其它海区的联系主要是通过深度为 420m 左右的民都洛海峡与南海相通,因此苏禄海的深层水来自南海的次表层水,水温可达 10℃,所以碳酸盐的保存条件比南海好得多,溶跃面与 CCD 均比南海深 1 000 余米^[11]。由于浊流发育,底层水的供氧比较充分,冰期时即便近于封闭也不形成纹层^[12],因此苏禄海在冰期旋回中的变化远不如日本海。

至于东海等封闭程度不高的边缘海,冰期旋回中的变化主要体现为广阔陆架出露,黑潮也可能在低海面时东移。有关变化以前曾作讨论^[3],与封闭程度关系不大。

3 结论

本文选择了三个定量标志分析了八个西太平洋边缘海的封闭程度,它们分别是海槛深度与海盆最大深度的比值(S/B)、海峡通道宽度与海区面积的比值(P/A)以及通道截面积与海盆体积的比值(C/V),这三个地形标志可以充分反映边缘海的封闭程度。计算表明,日本海是最为封闭的边缘海,它对冰期旋回的反应也最为敏感。南海、苏禄海等边缘海的封闭程度次之,东海、爪哇海的封闭程度最低,边缘海的封闭程度在很大程度上决定了它们对冰期旋回反应的形式。

参 考 文 献

- 1 Tamaki K, Honza E. Global tectonics and formation of marginal basins: Role of the western Pacific Episodes, 1991, (14): 224~ 2230
- 2 Seibold E. Nebenmeere in humiden und ariden Klimabereich. Geologische Rundschau, 1970, 60: 73~ 105
- 3 汪品先. 西太平洋边缘海对我国冰期干旱化影响的初步探讨. 第四纪研究, 1995, (1): 32~ 42
- 4 郭琨. 海洋手册. 北京: 海洋出版社, 1984. 11
- 5 Sudo H. A note on the Japan Sea Proper Water. Progr Oceanogr, 1986, 17: 313~ 336
- 6 Chen A C-T, Wang S-L, Bychkov A S. Carbonate chemistry of the Sea of Japan. J. Geophys Res, 1995, 100(C7): 13737~ 13745
- 7 Gorbarenko S A. Paleogeography of the Japan Sea during the late Pleistocene and Holocene. Izvestia AN U SSR, Seria Geografitscheskaya, 1987, 6: 106~ 113 (in Russian)
- 8 Gorbarenko S A. Stratigraphy of late Quaternary sediments in Seas of Japan and Okhotsk and their paleoceanographic conditions. CCOP/TP, 1991, 22: 11~ 24
- 9 汪品先. 西太平洋边缘海的冰期碳酸盐旋回. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(1): 1~ 11
- 10 汪品先, 李荣凤. 末次冰期南海表层环流的数值模拟及其验证. 科学通报, 1995, 40(1): 51~ 53
- 11 Linsley B K, Thunell R C, Morgan C, Williams D F. Oxygen minimum expansion in the Sulu Sea, western equatorial Pacific, during the last glacial low stand of sea level. Marine Micropaleontology, 1985, 9: 395~ 418
- 12 Volbrecht R, Kudrass H R. Geological results of a pre-site survey for ODP drill sites in the Sulu Basin. ODP Proceedings, Initial Reports, 1990, 124: 105~ 111