

东昆仑地区早二叠世礁岛海的沉积模式*

王永标 徐桂荣 林启祥 龚淑云

(中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

摘要 通过 4 年的野外调查, 在东昆仑山南坡早二叠世灰岩山之间前人认为是早三叠世池塘群中发现了较深水相的中薄层状灰岩及鲕灰岩, 其中的鲕类化石有 *Schwagerina* sp., *Neoschwagerina* sp. 及 *Verbeekina* sp.. 与此同时, 在阿尼玛卿山地区也发现了早二叠世深水相的放射虫硅质岩. 据此认为本区早二叠世灰岩山与其周围盆地相的中薄层灰岩及放射虫硅质岩为同期异相沉积. 本区早二叠世同期异相沉积主体上可分为浅水碳酸盐建隆相、盆地相及介于两者之间的过渡相三大类型. 碳酸盐建隆相、盆地相和过渡相内部又可进一步划分出次一级的沉积类型. 其中碳酸盐建隆沉积可分为块状生物碎屑灰岩及生物礁灰岩; 盆地相可分为中薄层或极薄层灰岩、蓝绿色深海软泥、紫红色深海软泥及与之相伴生的放射虫硅质岩; 过渡相可分为礁麓相和台裙相两类. 根据不同相带在空间上的展布和组合, 认为东昆仑地区早二叠世时属于一种礁岛海沉积环境. 礁岛海的主要特点是礁岛或碳酸盐建隆与盆地相间列、海底地形复杂、相变剧烈, 并发育有大量的生物礁.

关键词 礁岛海 早二叠世 东昆仑

大量的早二叠世灰白色灰岩块体或灰岩山散布在其周围的砂板岩基质中是东昆仑南坡及阿尼玛卿地区地貌上的一大特色(图 1). 长期以来, 青海省地质矿产局^[1]、姜春发等人^[2]、边千韬等人^[3]及殷鸿福等人^[4]在东昆仑地区进行过大量的研究工作. 但由于出露等自然条件的限制, 人们对这些灰岩块体(或灰岩山)的成因有着不同的看法. 一些人认为这些灰岩块体为造山过程中形成的推覆体^[2, 5]. 也有人认为这些灰岩块体可能为同沉积时的灰岩掉块^[1].

通过近几年的野外调查, 我们在东昆仑山南坡二叠纪灰岩山之间前人认为是早三叠世池塘群中发现了较深水相的中薄层状灰岩及鲕灰岩, 局部发现盆地相紫红色板岩与极薄层灰岩相伴生. 在其中的鲕灰岩中发现了大量的 *Schwagerina* sp., *Neoschwagerina* sp. 及

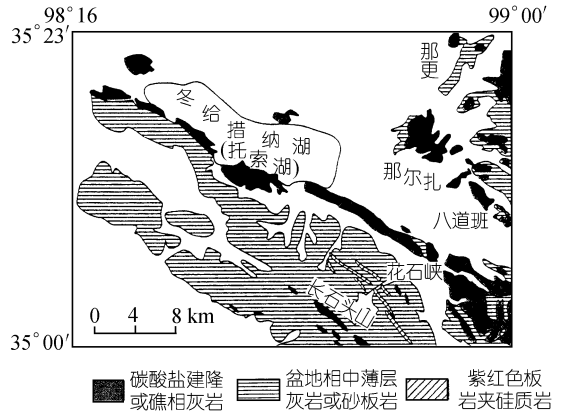


图 1 研究区早二叠世地层分布简图

据 1:25 万及 1:5 万野外填图资料简编. 盆地相砂板岩的时代可能跨越了二叠纪与三叠纪, 但目前尚难将它们分开

Verbeekina sp. 化石. 与此同时, 在阿尼玛卿山地区, 位于长石头山与花石峡灰岩条带之间的大套砂板岩中也发现了早二叠世的深水盆地相放射虫硅质岩, 其中的放射虫化石主要为 *Pseudoalbaillella elogans* Ishiga 和 Imoto, *P. scalprata postscalprata* Ishiga 和 *P. scalprata scalprata* Ishiga^[6].

这些新的发现大大丰富了本区早二叠世古海洋的沉积类型, 同时也说明, 东昆仑地区早二叠世块状灰岩、中薄层灰岩、紫红色板岩及放射虫硅质岩等应属于同期异相沉积. 综合野外资料和室内分析, 可将本区早二叠世沉积类型主体上划分为浅水的生物碳酸盐建隆相、盆地相及介于两者之间的过渡相三大沉积类型. 每一大类型内部又可进一步划分出次一级的沉积类型. 其中生物碳酸盐建隆相沉积可分为块状生物碎屑灰岩及生物礁灰岩; 盆地相可分为灰黑色中薄层或极薄层灰岩、蓝绿色深海软泥、紫红色深海软泥及与之相伴生的放射虫硅质岩; 过渡相可分为礁麓相和台裙相两类. 这些沉积类型及其具有时代意义的化石的发现也是本文赖以建立礁岛海沉积模式的重要的事实依据.

1 礁岛的沉积序列

从大量的野外调查来看, 东昆仑地区典型的礁岛沉积由下部的礁岛基座和上部的生物碳酸盐建隆两大部分组成(图 2). 礁岛基座主要由一套复成分的砾岩夹凝灰岩、砂砾岩及硬砂岩组成. 复成分砾岩中可见大量中酸性的火山角砾, 但这些角砾在再沉积过程中均遭受到不同程度的磨圆. 在砂岩及砂砾岩中发育有大量的平行层理和交错层理, 反映出浅水动荡的沉积环境. 礁岛基座这种浅水动荡的环境为后来在其上形成生物碳酸盐建隆创造了条件. 因为当时礁岛周围的同期沉积均为较深水相的黑色薄层灰岩及红色、蓝绿色软泥沉积, 在这样一种深水盆地环境中没有一个基座将造礁生物“托起”在浅水环境中是很难形成碳酸盐建隆或生物礁建造的. 基座之上的碳酸盐建造以块状生物碎屑灰岩和礁灰岩为主. 生物碎屑灰岩中以大量的藻类、有孔虫、棘皮动物的碎片、钙藻及腕足等生物为主. 礁灰岩分粘结石和骨架岩, 粘结石以古石孔藻、管壳石等为主, 造架生物以钙质海绵、柱状苔藓虫、水螅及管孔藻等为主.

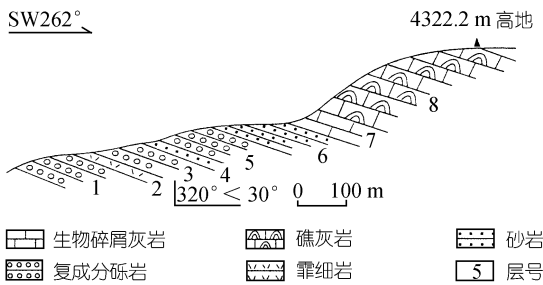


图 2 青海省玛多县花石峡那尔扎地区早二叠世礁岛相的沉积序列

生物“托起”在浅水环境中是很难形成碳酸盐建隆或生物礁建造的. 基座之上的碳酸盐建造以块状生物碎屑灰岩和礁灰岩为主. 生物碎屑灰岩中以大量的藻类、有孔虫、棘皮动物的碎片、钙藻及腕足等生物为主. 礁灰岩分粘结石和骨架岩, 粘结石以古石孔藻、管壳石等为主, 造架生物以钙质海绵、柱状苔藓虫、水螅及管孔藻等为主.

从礁岛沉积的总体序列来看, 礁岛基座的下部以复成分砾岩为主, 同时夹凝灰岩, 向上砾岩成分逐渐减少, 以砂岩为主. 基座之上的碳酸盐建隆在沉积序列上也存在一定的变化, 下部一般以生物碎屑灰岩或含泥质的生物碎屑灰岩为主, 向上才逐渐发育礁灰岩. 在一些出露好的地方, 可见砂砾岩基座与碳酸盐岩之间还有过渡型的钙质砂岩、粉砂岩及泥灰岩沉积. 在粉砂岩中还夹有 60~100 cm 的苔藓虫骨架岩. 所以从整个序列上看, 碎屑岩向上逐渐减少, 颗粒逐渐变细, 碳酸盐岩向上逐渐增多, 并最终形成礁灰岩. 这种沉积序列上的变化也反映出海水清澈度的逐渐提高, 为最终造礁生物的生长发育创造了条件.

2 礁岛海的沉积类型

2.1 浅水相生物碳酸盐建隆沉积

2.1.1 浅水生物碎屑灰岩建造 这是一种分布很广的沉积类型, 沉积物主要由灰白色或灰色厚层至块状生物碎屑灰岩所组成。生物碎屑灰岩中生物种类较多, 比较典型的类型有**筳**、海百合茎碎片、海胆碎片、腕足类、苔藓虫、海绵、钙藻及其各类生物的碎片, 同时内碎屑含量也较高。尽管生物种类繁多, 但常常缺乏大型的生物化石及原地生长的生物。浅水生物碎屑灰岩的颜色多呈灰白色, 这与骨架岩的颜色较类似, 但与盆地相灰黑色色调的岩石形成显明的对比。从本区情况来看, 浅水相生物碎屑灰岩的沉积环境与生物礁相的沉积环境较类似, 在生物礁发育的纵向序列上经常间歇性地穿插有生物碎屑灰岩沉积, 从而形成礁的生长发育旋回。

2.1.2 生物礁建造 本区生物礁从形态上可分为“点礁”和“带状礁”两种。“带状礁”主要分布在托索湖至花石峡一线(图 1), 长可达几十公里。该礁带的南北两侧生物礁多呈短轴状, 可称为点礁。从已测制的剖面来看, 生物礁的开始发育至最终消亡的时间均局限在早二叠世茅口期中, 因为从礁相剖面的底部到顶部均发现有 *Neoschwagerina* sp. 及 *Verbeekina* sp. **筳**类化石。本区礁相沉积中的造礁生物以钙质海绵、苔藓虫、水螅、红藻及 *Tabulozoa* 为主; 粘结生物以层纹状的蓝绿藻、苔藓虫及部分纤维海绵为主; 居礁生物种类繁多, 包括有孔虫、腕足、棘皮动物及钙藻等, 造礁生物群面貌与我国扬子地区基本一致^[7]。

2.2 过渡相沉积

2.2.1 礁麓相沉积 这是位于礁岛与礁间盆地之间的过渡相带, 是一种无论在相上还是在地貌上都呈突过渡的沉积类型(图 3), 这种沉积类型在研究区东北部的那更一带发育最好(图 1)。由于岛礁相沉积与深水盆地间地势急剧变陡, 被风浪打碎的礁角砾及其崩塌物在岛礁与盆地过渡的坡脚地带堆积形成倒石堆。倒石堆中的石块大小不一, 小的只有几厘米, 大的可达几米, 个别的甚至可达几十米。这些石块有生物骨架灰岩, 也有一般的生物碎屑灰岩。从岩性特征上看, 与邻近的礁相沉积相一致, 因此应来源于周围的岛礁相沉积。库兹涅佐夫^[8] 将这些巨大的滑落灰岩块称为“飞来峰”, 当然这种“飞来峰”不是指构造成因的灰岩块。这种巨大的灰岩块在高加索白垩纪碳酸盐复理石中是很出名的。在卡皮坦礁斜坡上, 发现的礁岩块厚度达 12 m 以上。在东昆仑的那更地区(图 1), 在礁麓相倒石堆与盆地相交处, 常常可见一些几厘米大小的海绵骨架岩碎块沿陡坡滚入到盆地的过程中被盆地相的钙质泥岩或泥灰岩所包裹的现象(图 3)。

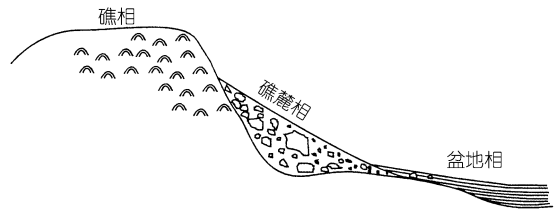


图 3 礁相-礁麓相-盆地相之间的组合关系

需要说明的是, 由于研究区点礁十分发育, 而点礁所处的特殊的古地理位置决定了它与带状的堤礁有所不同, 点礁的四周均发育礁角砾或倒石堆堆积。因此, 很难区分出前后左右, 所以本文用礁麓相来代替礁前相。但是在本区的托索湖至花石峡礁带中, 情况却不相同。该礁

带的南侧有礁角砾及倒石堆堆积, 而其北侧则没有. 因此, 在该礁带上, 礁角砾在相带上的分布具有明显的方向性, 可称为礁前斜坡相. 托索湖至花石峡礁带中礁前相的分布特点同时也说明了当时的古水流主要来自该礁带的南侧——阿尼玛卿洋.

2.2.2 台裙相沉积 与礁麓相沉积相比, 台裙相属于一种渐变型的沉积. 它是指浅水碳酸盐建隆与深水相之间的一种过渡沉积, 在地势上呈一缓坡. 在这种情况下, 岩相和岩性都呈渐变过渡关系, 缺乏倒石堆堆积. 这种类型的过渡关系在七道班东侧和坦地克借的东南表现得十分清楚. 在七道班东侧出露最好, 从碳酸盐建隆相-台裙相-深水盆地相, 岩石类型依次为: 灰白色厚层至块状含少量生物碎屑灰岩-灰色中厚层状含生物碎屑灰岩-灰黑色中薄层状泥晶灰岩-黑色板岩夹极薄层状灰岩(局部为紫红色板岩). 比较典型的过渡相岩石主要为灰色、灰黑色中厚层状的含生物碎屑灰岩, 局部也夹有碳酸盐碎屑流沉积, 但这些碎屑流中的碎屑颗粒较细, 多为 2~8 mm 左右的砾屑灰岩. 过渡相区中厚层灰岩中的生物主要为一些瓣、非瓣有孔虫及棘皮动物碎屑, 深水盆地相极薄层灰岩内则几乎看不到生物痕迹, 但在阿尼玛卿地区深水盆地相硅质岩中却含有大量的放射虫化石.

2.3 盆地相沉积

盆地相沉积是指位于礁岛或生物碳酸盐建隆周围的深水或较深水相沉积, 主要沉积类型有中薄层或极薄层碳酸盐岩沉积、红色软泥沉积、蓝绿色软泥沉积及放射虫硅质岩沉积.

2.3.1 深水相灰岩沉积 沉积物以灰黑色或黑色的中薄层或极薄层状的泥晶或细晶灰岩为主. 与台裙相中厚层状灰岩不同的是, 盆地相中薄层或极薄层灰岩多夹在黑色碳质板岩中, 颜色较深. 灰岩层厚度自十几厘米至几厘米不等, 在邻近板岩的地方甚至不到一厘米厚. 在一些中薄层灰岩中可见少量的有孔虫、小型瓣化石、海绵碎片、海百合茎碎片及钙藻碎片等. 这些生物碎片绝大部分是从浅水碳酸盐建隆上搬运而来的, 因为一方面它们多呈碎片状, 另一方面很多碎片被包裹在泥晶砾屑中. 而在极薄层灰岩中则几乎没有生物化石或碎屑, 此外这种极薄层状灰岩常常与灰黑色板岩呈互层产出, 或与紫红色板岩相邻近. 这说明这种灰岩沉积深度相对较大, 估计已接近当时当地的碳酸盐沉积补偿深度. 极薄层灰岩中 Mn 元素的含量达 1246×10^{-6} , 与深海碳酸盐沉积物中 Mn 的平均含量 1000×10^{-6} [9]很接近.

2.3.2 深水相紫红色软泥沉积 这种沉积物经成岩后形成紫红色的板岩, 推测其原岩相当于现代深海中的红色软泥. 这种推测的证据有两点. 首先, 经过对这种紫红色板岩的稀土和微量元素化学分析, 发现其特点与现代深海粘土几乎一致. 其次, 这种紫红色板岩在花石峡至长石头山之间的公路边有广泛的分布, 且与放射虫硅质岩呈互层或夹层状产出. 通过对放射虫硅质岩的生态分析, 其形成环境应为深水相^[10], 因此紫红色板岩也应为深水相沉积, 两者在沉积水深上应该相差无几.

2.3.3 深水相蓝绿色软泥沉积 蓝绿色深海软泥经轻变质后形成蓝绿色的板岩. 蓝绿色软泥在七道班东南和坦地克借一带有分布. 在七道班东南蓝绿色深水相软泥与紫红色软泥共生在一起, 因此认为它们在沉积水深上应该较接近. 但由于这两种软泥在颜色上的截然不同, 所以还是将它们分开.

2.3.4 深水相放射虫硅质软泥沉积 放射虫硅质软泥经成岩后为放射虫硅质岩, 主要分布在长石头山至花石峡一带(图 1). 放射虫硅质岩多呈紫红色或灰褐色, 夹在紫红色板岩之中,

单层厚度一般在几厘米左右, 也有几毫米的。显微镜下可见放射虫硅质岩中放射虫含量极高, 可达 85% 以上。放射虫化石不但数量多, 而且种类也较丰富, 个体大小不一, 保存完好。其中的放射虫主要为泡沫虫类和阿尔巴虫类, 属于深水盆地相沉积^[10], 时代为早二叠世。放射虫硅质岩是由放射虫软泥成岩而成的, 现代海洋中的放射虫软泥主要分布在赤道附近的东太平洋地区^[11]。放射虫硅质岩所指示的这种古纬度位置与本区广泛发育的生物礁所指示的古纬度是基本吻合的, 因为现代生物礁也主要分布在赤道两侧南北纬 28° 的范围内, 属低纬度地区。

需要说明的是, 本区盆地相沉积总体上可以托索湖-花石峡礁带为界分为两个大区(图 1)。该礁带以北的盆地相主体以薄层及极薄层灰岩沉积为主, 偶夹少量红色及蓝绿色软泥; 而礁带以南则主要以紫红色硅质软泥及放射虫硅质岩或泥质硅质岩沉积为主。从沉积物的地球化学分析来看, 南区红色软泥及放射虫硅质岩或泥质硅质岩中 Mn 元素的含量一般在 2000×10^{-6} 以上, 与现代太平洋及大西洋深海粘土中 Mn 的含量^[12] 比较接近(表 1); 而北区盆地相红色及蓝绿色软泥中 Mn 元素的含量只在 200×10^{-6} 左右, 与现代深海粘土中 Mn 的含量相差很大, 而与近岸的泥质沉积物中 Mn 的含量处在同一个数量级上, 近岸泥质沉积物中 Mn 的含量在 850×10^{-6} 左右^[9]。与此相反, Ti 元素在北区盆地相沉积物中的含量则比南区盆地相的要高(表 1)。将南北两区盆地相沉积物中 Mn 元素与 Ti 元素的含量进行比较, 结果发现, 南区的比值比北区的要大得多。日本的杉崎隆等人^[13]曾对采自大陆陆棚、陆缘海及深的洋底等不同环境中 700 多个泥质沉积物的样品进行过地球化学分析。结果表明, 随着水深的变大和沉积环境的远离陆地, MnO/TiO₂ 的含量比值总体上呈逐渐升高的趋势。因此, 本研究中, 南北两区盆地相中 Mn 和 Ti 元素含量的差异从另一个角度上也反映出南边的盆地水深比北区的要大。

表 1 花石峡—托索湖南北两盆地相硅质泥质沉积物中 Mn 和 Ti 的元素含量

样品号	0764-1	0764-3	HUZ-A	HUZ-B	HUZ-C
采样位置	北区一七道班	北区一七道班	南区一十一道班	南区一十一道班	南区一十一道班
岩性	红色硅质泥岩	蓝绿色硅质泥岩	红褐色泥质硅质岩	红褐色泥质硅质岩	红褐色泥质硅质岩
Mn	219	201	5414	7414	2415
Ti	3399	3868	1236	1086	1060

3 礁岛海的沉积模式

通过综合分析, 东昆仑南坡和阿尼玛卿地区在早二叠世时为一种地形上极其复杂的礁岛海沉积环境, 而不是一种平坦的陆棚或深水盆地。在这样一种礁岛海环境中, 同期沉积物的类型是极其多样的, 浅水相生物碳酸盐建隆沉积(含礁相沉积)、台裙相沉积、礁麓相沉积、盆地相较深水的碳酸盐沉积、深水盆地相红色软泥沉积、深水盆地相绿色软泥沉积及深水放射虫硅质岩沉积等不同沉积类型相间排列出现是本区早二叠世礁岛海沉积的一大特点(图 4)。

礁岛海中浅水相碳酸盐建造在横向上变化不大, 均为块状的生物碎屑灰岩或礁灰岩。但礁灰岩在托索湖—花石峡礁带及其以北地区最为发育, 该礁带以南地区礁灰岩相对不发育, 目前只在长石头山一带发现有苔藓虫、管孔藻及纤维海绵骨架灰岩。礁麓相主要发育在托索湖—花石峡礁带以北的那更及那尔扎地区, 而礁前斜坡相则主要分布在托索湖—花石峡礁带的南侧。盆地相在横向上变化较大, 托索湖—花石峡礁带以北盆地相主体以薄层灰岩沉积为主, 而在该礁带的南侧则以红色深海硅质软泥及放射虫硅质岩沉积为主。

另外, 经分析和统计, 发现不同沉积类型在区域组合上具有一定的规律性。突变过渡类

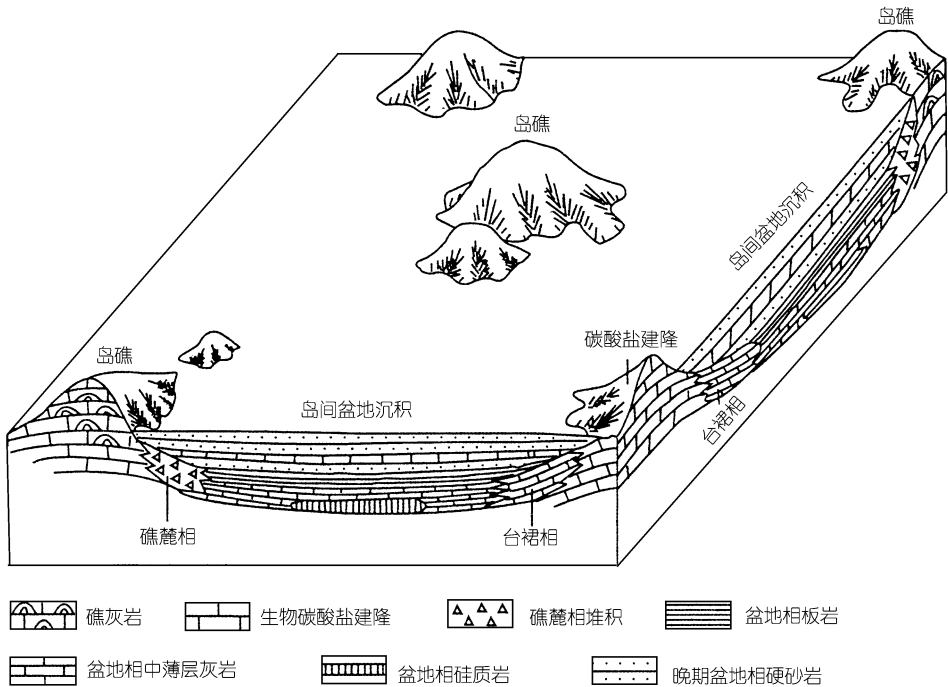


图 4 东昆仑地区早二叠世礁岛海的沉积模式

型的礁麓相往往出现在礁相沉积与深水相沉积之间；而渐变过渡型的台裙相则多出现在碳酸盐建隆中一般的生物碎屑灰岩相与深水盆地相之间。这说明礁相沉积与深水盆地间在地势上高差较大，且较陡；而一般的生物碎屑碳酸盐建隆与深水盆地之间在地势常为缓坡过渡。从碳酸盐建隆相或礁相沉积-台裙相沉积-盆地相碳酸盐沉积-盆地相红色软泥沉积、绿色软泥沉积及放射虫硅质岩沉积，沉积物中碳酸盐成分逐渐减少而硅泥质含量逐渐升高，生物量及生物种类也逐渐减少。此外，从碳酸盐建隆相到盆地相，岩石层厚由块状—厚层状—中层状—薄层状变化，反映出沉积速率随着水深的加大而降低。

本区礁岛海沉积属于类似于多岛洋的沉积环境。多岛洋国内最早主要由刘本培等人^[14]首先提出，但从其所介绍的多岛洋来看，多岛洋中的岛的规模一般较大，甚至可以是一个中间地块。从本区的具体情况来看，本研究区从宏观上可属于多岛洋的一部分，考虑到本研究所涉及的范围有限，因此用“海”来替代“洋”，因为一般来说“洋”比“海”的范围更加广阔。另外考虑到本区发育有大量的生物礁，因此本文暂用“礁岛海”一词来概括本区早二叠世古海洋的沉积特征。“礁岛海”与“多岛洋”的关系可理解为：礁岛海是广阔的多岛洋中生物礁相对发育的一些海域；与多岛洋相比，礁岛海是指离古陆相对较近的水深相对较浅的区域，可类似地比作现代的南海或澳大利亚东北部地区；多岛洋中的岛的规模一般较大，甚至可以是一个中间地块，但本区礁岛海中的岛的规模并不大，在东昆仑山南坡地区多呈一些小型的孤立的小岛，长度一般在几百米到几公里左右，但向南在阿尼玛卿地区，礁岛规模较大，礁岛长度可达几十公里(如托索湖—花石峡礁带)，但这些礁岛的宽度并不大，多呈狭长的条带状。

致谢 肖诗宇同志参加了本项目的野外研究工作; 参加与本研究有关的前期野外工作的还有中国地质大学的殷鸿福、张克信、陈能松、侯光久、王国灿、朱云海、张志、李长安、黄继春、田军、骆满生、梁斌、张天平及青海省地质调查研究院的拜永山等同志. 作者在此向他们表示深挚的谢意.

参 考 文 献

- 1 青海省地质矿产局. 青海省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 135 ~ 137
- 2 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 昆仑开合构造. 地质专报, 1992, 第 12 号. 北京: 地质出版社, 1992. 8 ~ 217
- 3 边千韬, 罗小全, 李红生, 等. 阿尼玛卿山早古生代和早石炭—早二叠世蛇绿岩的发现. 地质科学, 1999, 34(4): 523 ~ 524
- 4 殷鸿福, 张克信. 东昆仑造山带的一些特点. 地球科学, 1997, 22(4): 339 ~ 342
- 5 王国灿, 张克信, 梁斌, 等. 东昆仑造山带结构及构造岩片组合. 地球科学, 1997, 22(4): 352 ~ 356.
- 6 张克信, 黄继春, 骆满生, 等. 东昆仑阿尼玛卿混杂岩带沉积地球化学特征. 地球科学, 1999, 24(2): 111 ~ 115
- 7 Wang Yongbiao, Zhang Kexin, Gong Yiming, et al. The discovery of early Permian reef belt in east Kunlun and its significance. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(11): 947 ~ 950
- 8 库兹涅左夫, B. Г. 李建温译. 礁地质学及礁的含油气性. 北京: 石油工业出版社, 1983. 24 ~ 39
- 9 赵其渊, 海洋地球化学. 北京: 地质出版社, 1989. 155
- 10 冯庆来. 放射虫古生态的初步研究. 地质科技情报, 1992, 11(2): 41 ~ 46
- 11 陈宗镛, 海洋科学概论. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 282 ~ 284
- 12 贾振远, 李之琪. 碳酸盐沉积相和沉积环境. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 41
- 13 Ryuichi Sugisaki, Koshi Yamamoto, Manoru Adachi. Triassic bedded cherts in central Japan are not Pelagic. Nature, 1982, 298 (5875): 644 ~ 647
- 14 刘本培, 冯庆来, 方念乔. 滇西南昌宁—孟连带和澜沧江带古特提斯多岛洋构造演化. 地球科学, 1993, 18(5): 529 ~ 538