

青海南部二叠纪罗甸期火山岛沉积相模式 及对筳类动物群分布的制约

牛志军*, 徐安武, 王建雄, 段其发, 赵小明, 姚华舟

中国地质调查局宜昌地质矿产研究所, 宜昌 443003

* E-mail: ycnzhijun@cgs.gov.cn

收稿日期: 2007-10-17; 接受日期: 2007-12-08

中国地质调查局基础地质调查项目(编号: 200213000003)资助

摘要 二叠纪罗甸期是青藏高原东特提斯构造域泛裂谷化活动的鼎盛期。由于火山物质的喷发及陆源物质的影响, 造就青海南部治多-杂多地区复杂的海底火山-沉积地貌, 出现 4 种沉积类型, 呈北西向西向展布的以台地相火山岩-灰岩型为中心, 围绕其分布的是浅水斜坡相(沉)凝灰岩型, 向两侧为岛间洼地相砂泥岩型, 最外侧则是深水斜坡相(角)砾屑灰岩型。综合地质填图结果分析, 基于研究区主要剖面研究, 识别出 7 种沉积相类型, 建立了火山岛沉积相模式。该模式揭示出由于强烈的中基性火山喷发, 在昌都地块内部快速而间歇地构建一些呈链状展布的火山岛。在火山活动相对宁静期, 火山岛缘发育小型碳酸盐礁、浅滩、台地, 深水斜坡、洼地相沉积围绕着火山岛链分布。在火山岛的不同部位出现 3 种筳类生物组合, 火山岛之上或其边缘为台地相 *Misellina-Schwagerina* 组合, 火山岛的侧翼斜坡相中见异地 *Pseudofusulina-Schwagerina* 组合, 水体较深的火山岛之间产洼地相 *Parafusulina* 组合。研究表明, 昌都地块内部在泥盆纪至二叠纪初期为较稳定的浅海相沉积建造, 自罗甸期开始出现陆壳基底的(火山)岛海相间的古地理格局。在祥播期之后, 构成统一的较稳定的浅水碳酸盐台地, 显示裂陷盆地活动性明显减弱。孤峰晚期呈现分异, 裂谷盆地的不稳定性又有所增加。晚二叠世整个昌都地块进入裂谷闭合回返阶段。

关键词

火山岩
沉积相
沉积模式
筳类
二叠纪
青海

青海南部大地构造上属东特提斯构造域, 处于金沙江结合带与澜沧江结合带间的昌都地块中西部^[1]。二叠纪地层出露广泛, 沉积类型复杂, 筳类化石丰富, 自早二叠世 *Schwagerina cushmani* 动物群至晚二叠世 *Palaeofusulina sinensis* 动物群均有见及。早二叠世是东特提斯构造域地质演化的重要阶段, 其中有一个非常突出的地质事件, 即该时期泛裂谷化达到鼎盛, 火山活动十分强烈, 以罗甸期规模最大, 火山岩分布广, 厚度大, 相变快^[2-5]。在火山活动间歇期沉积碳酸盐岩、碎屑岩。青海南部的杂多组/诺日巴组/日巴组火山岩层位是该时期典型的代表。

火山岩的大地构造背景研究对于探讨昌都地块及两侧的金沙江缝合带和龙木错-澜沧江缝合带的构造演化研究具有重要意义, 然而无论火山岩产于何种构造环境, 它们在影响沉积古地理方面作用不容忽视。火山岩-碳酸盐岩构成的双层式序列近年来受到越来越多的重视而成为研究热点, 而前人的研究或多集中于火山岩的岩石学及其大地构造属性; 或集中于碳酸盐岩中生物群^[6-12], 将二者结合起来的火山-沉积学研究相对较少。我国西南地区义敦岛弧带, 火山堆积造成海槽、海盆、海岭和海山相间的格局, 侯立玮等^[13]建立和总结了火山喷发-沉积体系及其沉

积特征, 胡世华等 [14] 则更强调构造背景和岩浆活动对古环境的影响, 提出义敦岛弧带的堑-垒体系和火山槽-岭体系及相应的次级单元, Mángano 和 Buatois [15,16] 研究了阿根廷西北部 Famatina 山脉奥陶纪 Suri 组与火山岛弧相关的中浅海相事件沉积和陆坡裙沉积. 王永标等 [17-19] 近年来对青海巴颜喀拉及邻区中二叠世深水洋盆中的古海山进行了系统的结构解剖研究, 划分出 3 种结构类型 5 个演化阶段, 建立了礁岛海沉积模式. Petterson 和 Trelor [20] 通过研究巴基斯坦北部 Kohistan 弧区的火山沉积层序, 建立岛弧、弧后盆地和板内构造位置的火山作用下不同的古地理沉积模式.

由于火山物质的大量喷发, 伴随着陆源碎屑物质的影响, 造就复杂的海底火山-沉积地貌, 导致沉积类型的复杂化, 大量对环境较为敏感的筳类动物群产于火山岩系内, 复杂的古地形必将引起筳类动物群生态类型、埋藏类型多样化, 这些在前人建立的沉积相模式不能很好地给予解释.

笔者等 2002~2005 年在青海南部治多-杂多县境内开展 1/25 万区域地质调查, 对二叠纪火山岩地质时代、生物群、区域对比等进行了研究. 本文在沉积类型划分的基础上, 建立火山岛沉积模式, 探索动物群对火山事件响应关系, 揭示出昌都地块二叠纪与火山活动相关的沉积古地理格局及大地构造属性.

1 地层序列

青海南部二叠纪地层研究始于 1956 年, 在 1/100 万、1/20 万、1/25 万区域地质调查基础上. 经过几代学者的努力, 岩石地层序列基本建立 [21-27]. 早、中二叠世由于火山活动强烈, 沉积类型复杂, 在以沉积岩为主的地区和以火山岩为主的地层序列略有不同. 研究区处于火山岩与沉积岩的过渡区, 两种地层序列均可见(表 1). 本文重点研究治多-杂多地区早二叠世扎日根组、诺日巴日保组和尕笛考组.

1.1 扎日根组(P_{1z})(厚度>698.49 m)

以灰岩的大量出现与消失作为底、顶界的划分标志, 与原始定义 [23] 基本一致, 呈北北西向分布于玛日啊达州至尕白一带. 浅灰色厚层状-块状泥亮晶含砾屑砂屑生物碎屑灰岩、粉细晶化泥晶含砂屑生物

表 1 青海南部二叠系地层序列

统	阶	沱沱河地区	治多-杂多地区	
			沉积岩 为主区	火山岩 为主区
乐平统 (上统)	长兴阶	拉卜查日组	未见	
	吴家坪阶	那益雄组		
瓜德鲁普 统(中统)	冷坞阶	九十道班组	索加组	
	孤峰阶		尕日扎仁组	
乌拉尔统 (下统)	祥播阶	诺日巴日保组	九十道班组	
	罗甸阶			
	隆林阶	扎日根组	扎日根组 (仅见罗甸期)	
	紫松阶			

碎屑灰岩、厚层状苔藓虫格架灰岩夹暗红色薄层状含放射虫硅质岩, 中部夹暗红色中-薄层状含钙质水云母质微晶白云岩、含钙质含水云母含菱铁矿细粒岩屑砂岩等, 未见底, 下部产筳类 *Misellina-Schwagerina* 组合和非筳有孔虫、珊瑚等.

1.2 诺日巴日保组(P_{1n}) (厚度 405.76 ~2460.85 m)

以碎屑岩的大量出现与消失作为底、顶界的划分标志, 与正层型剖面相比 [23], 碎屑岩的成分相对减少, 以泥岩为主, 灰岩及火山岩相对增多. 岩性组合为深灰色泥岩、灰绿色沉凝灰岩、凝灰岩夹灰色中厚层状砾屑灰岩、碳酸盐角质砾岩、含砾粗砂岩、岩屑杂砂岩、玄武岩等, 间夹少量浅灰色中厚层状细晶白云岩、暗红色薄层状含水云母硅质岩, 见少量的燧石结核, 下部层位具重力流沉积的砾岩与砾屑灰岩, 滑塌构造发育, 产异地 *Pseudofusulina-Schwagerina* 组合及原地 *Parafusulina* 和 *Pseudofusulina* 等、非^{AA}筳有孔虫、珊瑚、腕足类、炭化植物碎片等. 与下伏扎日根组呈整合接触.

1.3 尕笛考组(P_{1g}) (厚度 1082.38~2431.94 m)

以火山岩的大量出现与消失作为底、顶界的划分标志 [26]. 岩性组合以灰绿色块状火山集块岩、火山角砾岩、灰绿色块状玄武岩夹灰色厚层状生物碎屑灰岩、深灰色薄层状粉砂质泥岩、灰色中层状细粒岩屑石英砂岩、灰绿色凝灰岩等, 未见底. 所夹的灰岩生物碎屑磨蚀明显, 为异地埋藏, 颗粒支撑, 亮晶充填

为主, 呈“漂砾”状分布于玄武岩基质中, 具重力滑塌构造. 产异地瓣类 *Schwagerina-Pseudofusulina* 组合、非瓣类有孔虫、珊瑚类、海绵化石等. 由于罗甸期火山活动较为强烈, 导致了沉积地形差异明显, 上覆的九十道班组与尕笛考组形成两种不同的接触关系——整合接触和似整合接触 [26].

2 沉积类型

罗甸期裂谷型火山岩的喷发, 对研究区的沉积古地理格局形成明显的制约, 沉积类型复杂, 根据岩石组合, 划分出 4 种沉积类型, 剖面间精细对比难度较大, 研究区内不同沉积类型的分布, 基本上反映了古地理格局(图 1), 简述如下.

2.1 深水斜坡相(角)砾屑灰岩型

以研究区南部杂多县阿日永剖面诺日巴组为代表, 岩石类型为深灰色砂岩、泥岩、灰岩及碳酸盐质角砾岩夹玄武岩, 典型特点是发育厚度较大的重力流沉积, 下部以角砾屑灰岩、滑塌角砾岩为特征(图 2(a)), 上部以砾屑灰岩为特征, 灰岩呈漂砾状产于凝灰岩的基质中, 部分层位则见凝灰质岩石混杂于灰岩中, 角砾岩的砾石棱角-次圆状, 成分以灰

岩为主, 少量的凝灰岩或玄武岩等, 常见滑塌构造, 灰岩角砾最大者可达数米, 填隙物为沉凝灰质、粗砂质等为主, 颗粒支撑, 横向分布不稳定; 砾屑灰岩(图 2(b))位于重力流层序的底部, 产异地瓣类 *Pseudofusulina-Schwagerina* 组合, 瓣类化石可构成一种砾屑, 见于砾屑灰岩或碳酸盐质角砾岩的底部, 化石个体略有分选, 局部层位分异度低, 瓣类化石破损少, 无变形.

2.2 岛间洼地相砂泥岩型

分布于研究区中部左支-娘扎赛里(果哇通)一线. 岩石类型为深灰色泥岩为主(图 2(c)), 夹灰色中厚层状岩屑砂岩、凝灰质砂岩、灰岩及玄武岩等, 灰岩泥质高, 生物碎屑种类多. 产瓣类 *Parafusulina* 组合.

2.3 浅水斜坡相(沉)凝灰岩型

以研究区中部的玛日阿达州剖面和北部的西恰赛素曲剖面的诺日巴组(包括下部的扎日根组)为代表, 分布范围也限于这两个地区, 典型特征是(沉)凝灰岩(图 2(d))与碳酸盐岩互层. 岩石类型为灰绿色中薄层状凝灰岩、沉凝灰岩、凝灰岩质砂岩与浅灰色厚层状碳酸盐岩呈大套互层, 夹少量玄武岩, 碳

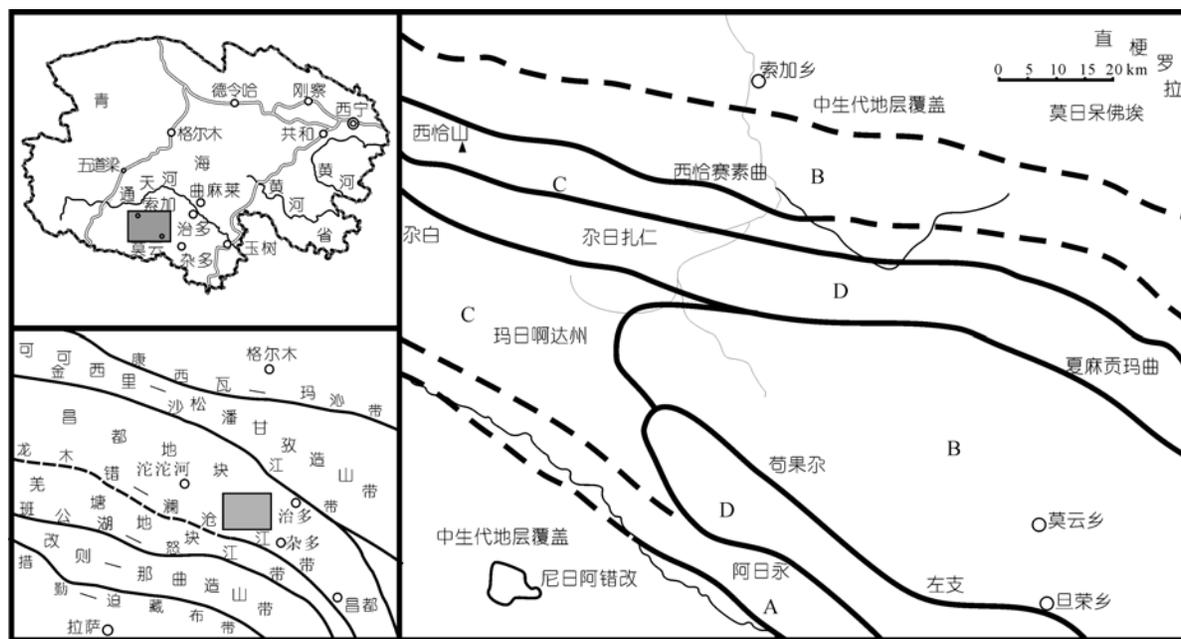


图 1 研究区二叠纪罗甸期沉积类型分布图

A, 深水斜坡相(角)砾屑灰岩型; B, 岛间洼地相砂泥岩型; C, 浅水斜坡相(沉)凝灰岩型; D, 台地相火山岩-灰岩型. 虚线代表二叠系被覆盖而推测部分, 大地构造划分据文献 [1].



图 2 罗甸期沉积类型典型岩性野外照片

(a) 深水斜坡相(角)砾屑灰岩型, 具滑塌构造的角砾岩, 诺日巴尕日保组, 杂多县阿日永; (b) 深水斜坡相(角)砾屑灰岩型, 角砾屑灰岩, 诺日巴尕日保组, 杂多县阿日永; (c) 岛间洼地相砂泥岩型, 泥岩夹灰岩, 诺日巴尕日保组, 杂多县左支; (d) 浅水斜坡相(沉)凝灰岩型, 沉凝灰岩, 诺日巴尕日保组, 杂多县玛日啊达州; (e) 台地相火山岩-灰岩型, 火山集块岩, 尕笛考组, 治多县尕日赛瑙贡玛; (f) 台地相火山岩-灰岩型, 含筴类灰岩“漂浮”于玄武质的基质中, 尕笛考组, 治多县尕日赛瑙贡玛

酸盐岩以灰岩为主, 颗粒支撑, 亮晶充填, 部分层位见砂、砾屑, 生物碎屑种类多. 产瓣类 *Misellina-Schwagerina* 组合.

2.4 台地相火山岩-灰岩型

以研究区孕日赛瑙贡玛、夏麻贡玛曲、苟果孕、当朗赛剖面孕笛考组为代表, 分布范围为中部的孕日扎仁-夏麻贡玛曲一线和南部的苟果孕-当朗赛一线. 典型特征是火山岩发育, 厚度巨大, 岩石类型为灰黑色、灰绿色块状火山集块岩(图 2(e))、火山角砾岩、玄武岩为主, 夹凝灰岩、灰岩(图 2(f))及砂岩等, 典型特点是火山岩极发育, 厚度大. 灰岩夹层中产丰富的瓣类化石, 包括两个组合, 在孕日赛瑙贡玛剖面下部见异地 *Pseudofusulina-Schwagerina* 组合, 上部见原地 *Misellina-Schwagerina* 组合.

上述 4 种沉积类型所产的瓣类化石表明其地质时代为罗甸期, 生物组合的差异是由沉积环境的不同而造成的. 从其在研究区的空间展布上看, 在研究区中部和南部呈 NWW 向展布的台地相火山岩-灰岩型为中心, 靠其最近且一般围绕其分布的是凝灰岩为主的浅水斜坡相(沉)凝灰岩型, 向两侧为岛间洼地相砂泥岩型, 而最外侧则以滑塌堆积为主的深水斜坡相(角)砾屑灰岩型. 后者在研究区分布不广, 可能与其需要特殊的地形及沉积环境有关.

3 沉积相

火山岩对沉积盆地的充填引起了沉积底形分异. 火山堆积体(包括火山熔岩、火山集块岩、火山角砾岩和火山凝灰岩)本身既是物源区, 又是沉积区, 对沉积格架有举足轻重的影响. 综合地质填图结果分析, 从图 1 上可以看出, 二叠纪罗甸期诺日巴孕日保组沉积围绕着孕笛考组分布, 即正常海相为主的沉积围绕火山岩大量发育形成的正底形区展布, 考虑到研究区局部地区这种厚度巨大的穹窿状火山地貌出露海平面成为岛屿, 本文认为以火山岛一词更能代表由于火山喷发-堆积作用形成的高于或伏于之下的海平面、呈条带状或链状分布的正地貌.

本文对沉积相的含义为“沉积环境的古代产物”^[28], 通过对研究区主要剖面沉积相分析, 识别出 7 种沉积相类型. 由于沉积相的划分与火山岛关系密切, 前缀“岛(火山岛的简称, 英文简写为 V)”以示与

典型的沉积相类型区别.

3.1 岛间洼地相(VD)

在空间上位于火山岛之间的以泥岩为主的沉积相类型, 仅见于岛间洼地相砂泥型中, 分布于研究区中部左支-娘扎赛里(果哇通)一线的诺日巴孕日保组中, 岩石类型为深灰色泥岩为主, 夹灰色中厚层状岩屑砂岩、凝灰质砂岩、灰岩及玄武岩等. 灰岩生物碎屑种类多达 10 种, 泥质含量高, 填隙物为泥晶方解石、炭质、微晶石英等, 颗粒支撑, 泥晶充填为主, 局部灰泥支撑, 产瓣类原地 *Parafusulina* 组合、非瓣有孔虫、腕足类 *Martinia cf. lopingensis* Chao, *Neoplicatifera* sp., *Squamularia cf. waageni* (Loćzy)等. 瓣类生物群特征反映出海水能量较低, 水体较混浊的沉积背景.

3.2 岛缘局限台地相(VRP)

在空间上围绕着海相火山喷发所构筑的火山岛边缘, 见于浅水斜坡相(沉)凝灰岩型中, 仅在玛日阿达州剖面扎日根组下部和诺日巴孕日保组中上部见及, 岩性主要为含钙质水云母质微晶白云岩、含残余生物碎屑细晶白云岩、细晶白云岩, 常见弱硅化现象.

扎日根组的白云岩呈暗红色, 呈中-薄层状, 含钙质水云母质, 见少量棘皮屑、腕足屑、介形屑、苔藓虫屑等, 陆源碎屑颗粒为棱角-次棱角状石英. 其上为灰绿色薄层状粉砂质泥岩、中层状含钙质含水云母含菱铁矿细粒岩屑砂岩, 反映有陆源碎屑的影响及淡水的注入.

诺日巴孕日保组的白云岩为浅灰色中厚层状, 细晶结构, 具弱硅化, 夹少量泥晶灰岩, 含零星残余生物碎屑(双壳屑、腕足屑、棘皮类等), 产腕足类 *Cathaysia* sp., *Transennatia gratiosa* (Waagen), *Squamularia* sp., *Terebratuloida* sp., *Haydenella* sp., *Cruithyris* sp.等.

3.3 岛缘开阔台地相(VOP)

主要见于火山岛边缘, 也见于超覆于火山岛之上, 远离火山岛部位则见于剖面上部, 特点是横向分布不稳定. 见于除砂泥岩型外的其他三种类型中, 分布广, 但厚度变化大, 主要的岩石类型有深灰色中层状含生物碎屑砾砂屑粉晶化泥晶灰岩、生物碎屑泥晶

灰岩、泥晶生物碎屑灰岩, 局部层位含较多燧石结核, 颗粒分选性中等到差, 砂砾屑多为次棱角状-半圆状-长条状, 生物碎屑种类多达 9 种, 主要为有孔虫、棘皮屑、苔藓虫屑、双壳屑、腕足屑、介形屑、绿藻屑等。生物群主要为筳类 *Misellina-Schwagerina* 组合、有孔虫 *Pachyphloia-Cribrogenerina-Nodosaria* 组合、珊瑚 *Wentzellophyllum-Szechuanophyllum* 组合、腕足类 *Tylopecta nankingensis* 组合、双壳、菊石等。

3.4 岛缘台地浅滩相(VS)

在空间上位于火山喷发所构筑的火山岛向海一侧边缘, 具有碳酸盐台地边滩相的一般特征。见于浅水斜坡相(沉)凝灰岩型中, 该沉积相仅发育于距火山岛较近的玛日啊达州剖面, 岩性主要为亮晶生物碎屑含砾屑砂屑灰岩和亮晶砂屑生物碎屑灰岩, 岩石中可见有成岩期形成的燧石结核, 颗粒为泥晶灰岩砂砾屑、生物碎屑(双壳屑、三叶虫屑、腕足屑、棘皮屑), 产少量筳类 *Schubertella* sp.; 非筳有孔虫: *Glomospira*, *Palaeotextularia*, *Endothyra*, *Plectogyra*, *Pachyphloia*; 珊瑚: *Wentzelella* cf. *salinaria* (Waagen et Wentzel)等, 岩石成层厚、颗粒支撑、亮晶充填粒间孔, 反映沉积时沉积物具有很好的分洗作用。

3.5 岛缘生物礁相(VR)

在空间上位于火山岛之上或岛边缘的沉积相类型, 见于浅水斜坡相(沉)凝灰岩型中的扎日根组中下部和诺日巴尕日保组上部层位, 岩性为浅灰色亮晶苔藓虫格架灰岩(图 3), 造礁生物为苔藓虫, 伴生少量棘皮屑和绿藻屑, 见少量灰岩砂砾屑, 呈次棱-半圆粒状, 成分为粉-粗晶化泥晶砂屑灰岩, 颗粒支撑, 亮晶充填, 亮晶栉壳状构造发育, 下部含少量燧石结核。块状构造, 岩石中孔隙发育, 孔隙中被贴面生长及栉壳状亮晶方解石充填; 产腕足类 *Linoproductus* sp., *Haydenella kiangsiensis* (Kayser), *Spinomarginifera* sp.等。

3.6 岛前浅水斜坡相(VSS)

靠近火山岛分布, 见于台地相火山岩-灰岩型、浅水斜坡相(沉)凝灰岩型中, 岩石类型为暗红色、灰至灰绿色火山凝灰岩、沉凝灰岩、岩屑砂岩、长石岩屑砂岩夹钙质泥岩、砂质含生物碎屑泥晶灰岩、泥晶含



图 3 苔藓虫格架灰岩

生物格架结构, 亮晶方解石充填, 视域宽 4.95 mm(-); 扎日根组, 杂多县玛日阿达州, 薄片号: MA-11b1

粉细砂生物碎屑砾屑灰岩及凝灰质泥岩无序组合。凝灰岩中晶屑呈棱角状, 以石英、斜长石为主, 另见少量玻屑、中基性熔岩屑, 填隙物以微晶-细晶方解石为主, 微晶长英矿物次之。灰岩中见异地的筳类 *Pseudofusulina-Schwagerina* 组合、非筳有孔虫等, 泥岩见炭化植物碎片。

3.7 岛前深水斜坡相(VDS)

在空间上距离火山岛稍远, 在时间上应为火山岛火山活动较弱、构造相对稳定、岛缘碳酸盐岩沉积发育时间, 同时也受古地形的影响, 常见重力流层序。见于除岛间洼地相砂泥岩型外的其他三种类型中, 主要在阿日永诺日巴尕日保组中下部层位特别发育, 另在尕日赛瑙贡玛的尕笛考组下部层位、玛日啊达州剖面扎日根组上部、诺日巴尕日保组也有少量出现。

岩石类型灰-灰黑色薄层状泥岩、灰绿色薄-中层状沉凝灰岩、含灰岩角砾凝灰质泥岩、灰色厚-中层状亮泥晶-泥亮晶含生物碎屑砾屑灰岩、砂屑灰岩、生物碎屑灰岩、生物碎屑砂屑泥晶灰岩夹少量含生物碎屑细粒岩屑石英砂岩和含放射虫硅质岩(图 4)。

该沉积相中常见重力流层序, 层序底部为含异地生物角砾屑灰岩或含角砾沉凝灰岩、含砂屑生物碎屑灰岩, 砾石成分以碳酸盐质为主, 另见有玄武质、凝灰质、硅质、砂质等, 呈次棱角状, 大小混杂, 具重力滑塌构造。局部层位可见灰岩角砾最大者可达 1~2 m, 其中产筳类化石, 另见少量玄武岩角砾, 灰岩“漂浮”于沉凝灰质、玄武质的基质中, 显示出混杂

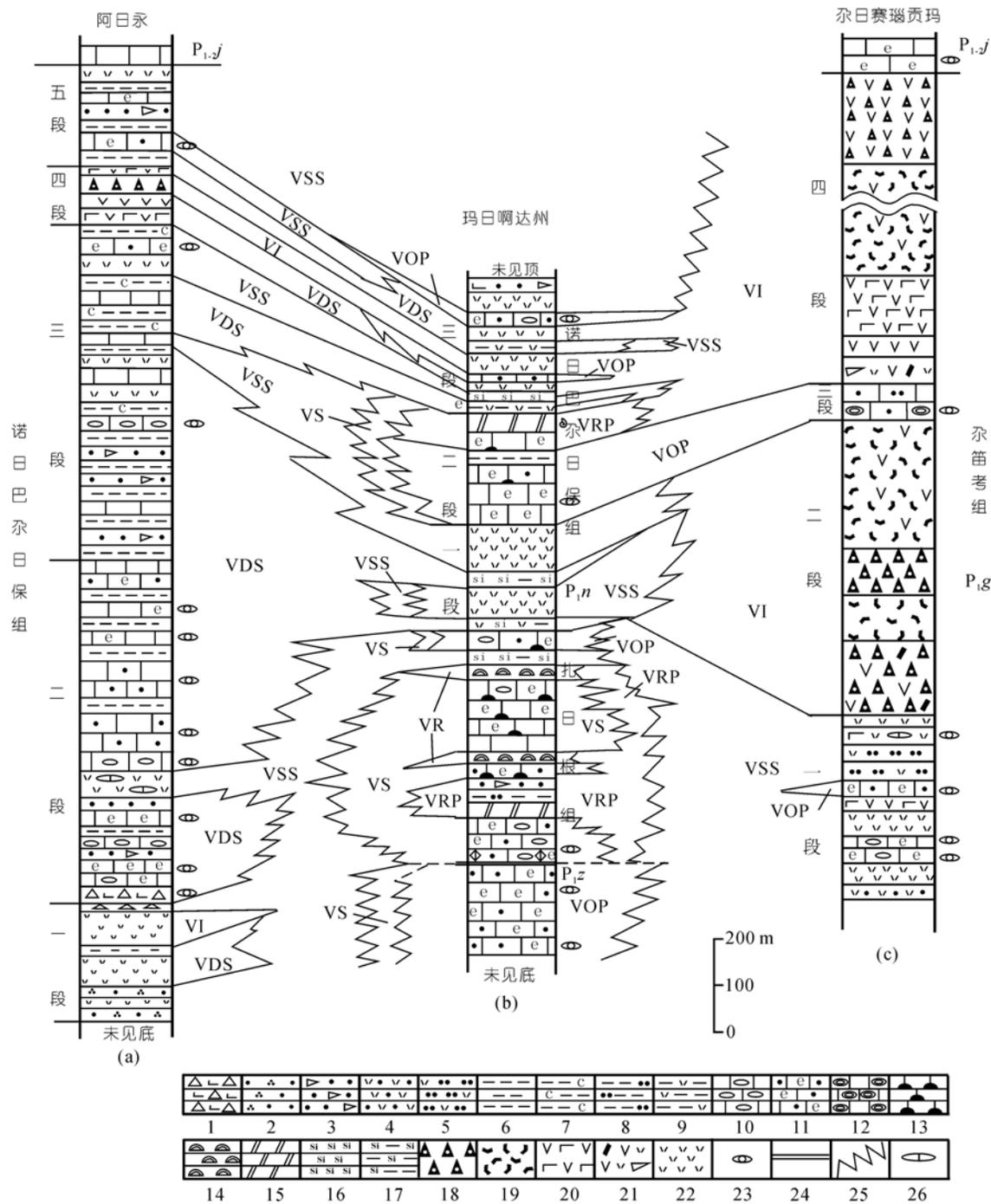


图 4 青海南部二叠纪罗甸期沉积相对比图

1. 碳酸盐质角砾岩; 2. 石英砂岩; 3. 岩屑砂岩; 4. 凝灰质砂岩; 5. 凝灰质粉砂岩; 6. 泥岩; 7. 炭质泥岩; 8. 粉砂质泥岩; 9. 凝灰质泥岩; 10. 砾屑灰岩; 11. 砂屑生物碎屑灰岩; 12. 核形石灰岩; 13. 燧石灰岩; 14. 生物礁灰岩; 15. 白云岩; 16. 硅质岩; 17. 硅质泥岩; 18. 火山角砾岩; 19. 集块岩; 20. 安山玄武岩; 21. 安山质岩屑晶屑凝灰岩; 22. 凝灰岩; 23. 筳类化石; 24. 断层接触; 25. 沉积相变线; 26. 灰岩透镜体。 (a) 深水斜坡相(角)砾屑灰岩型; (b) 浅水斜坡相(沉)凝灰岩型; (c) 台地相火山岩-灰岩型; VI, 火山岛。 沉积相代号见正文

堆积特点. 在尕日赛瑙贡玛可见灰岩与凝灰岩呈现“互相包裹”的现象. 砾屑灰岩、砂屑灰岩颗粒成分有陆源碎屑物、生物碎屑、次棱角-半圆状-长条状灰岩砂屑, 分选性和圆度低. 颗粒支撑, 以亮晶充填为主, 陆源碎屑与盆屑、植物碎片与海相化石共生, 底部常可见正粒序层理. 暗绿色中层状含火山角砾粗砂岩、含生物碎屑细粒岩屑石英砂岩, 粗砂岩底部含砾石, 多顺层分布, 磨圆中等到差, 平行层理发育. 发育的重力流沉积和存在有大型滑塌构造及角砾屑灰岩中常见异地的瓣类 *Pseudofusulina-Schwagerina* 组合.

各主要沉积相类型在剖面上的分布见图 4, 其间对比考虑到几方面, 一是生物化石(重点是瓣类化石)的横向及纵向的对比, 二是火山岩层可作为一个很好地事件对比标志, 三是对于斜坡相的沉积大体对应于厚度较大且较为邻近的台地相或礁相碳酸盐岩沉积.

4 沉积相模式

该模式综合反映了研究区早二叠世所见各种沉积相类型、相组合, 并表明了各岩石地层单位在该模式中的部位, 揭示出二叠纪罗甸期由于强烈的基性火山喷发, 在昌都地块内部快速而间歇地构建一些呈链状展布的火山岛, 使得沉积相时空变化十分剧烈(见图 5).

从相模式图上可以看出研究区罗甸期沉积具如下几个特征:

(1) 火山岛在研究区分布范围较小, 火山岛形成期间常出露海面之上或隐没于海平面之下, 前者表现为一些沉积层中见陆生植物化石并常见炭化植物碎片或在火山岩顶部见砾石层, 而后者在火山岛上可出现海相沉积层, 多以泥岩为主.

(2) 位于火山岛边缘以海相沉积占优势的剖面明显表现出浅水碳酸盐台地沉积相组合与火山凝灰岩、沉凝灰岩为代表的浅水斜坡相多次交替, 这种交替可能是火山岛快速成长期(后者)与相对稳定期(前者)沉积的响应, 据此可以重塑火山岛成长历史或火山岛火山喷发期次.

(3) 岛缘开阔台地相灰岩在区域上横向分布不稳定. 在玛日啊达州剖面诺日巴尕日保组顶部的灰色块状弱硅化泥晶含生物碎屑含砾屑砂屑灰岩, 向上为灰色中-薄层状泥晶含生物碎屑含砾屑砂屑灰岩, 向西约 6 km, 则相变为岛缘生物礁相的浅灰色块状苔藓虫格架灰岩, 厚达 100 余米. 在尕日赛瑙贡玛岛缘开阔台地相灰岩自东而西厚度逐渐变小, 以至于尖灭于火山岩层中, 在娘扎赛里可见灰岩向两侧厚度明显减小, 颜色渐变为深灰色, 夹于泥岩层中, 相变为岛间洼地相.

(4) 火山岛形成早期岛前地形坡度较陡, 表现在阿日永剖面中下部深水斜坡相中常见重力流和滑塌

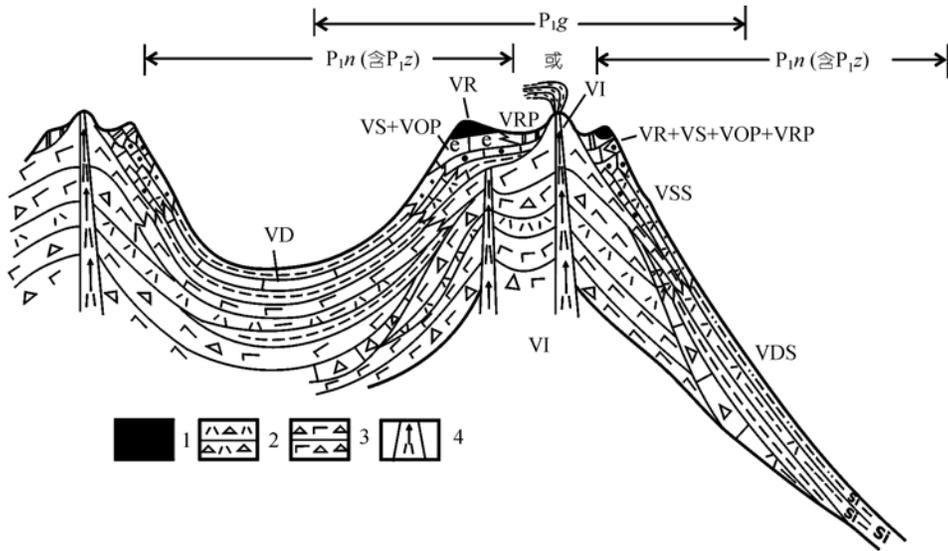


图 5 二叠纪罗甸期火山岛沉积相模式图

1. 生物格架灰岩; 2. 含灰岩角砾沉凝灰岩; 3. 火山集块岩及角砾岩; 4. 火山喷发通道. 其余符号见图 4, 沉积相代号见正文

沉积,但在研究区北部并不发育,在南侧分布也不如洼地相、浅水斜坡相稳定,这可能与其需要特殊的古地形条件有关。中晚期地形坡度明显减小,反映在阿日永剖面上部依次为浅水斜坡相→开阔台地相,并且有灰色厚层状核形石灰岩的出现,表明火山岛构筑中晚期地形起伏明显减小,岛间沉积水体明显变浅。

5 对筳类动物群分布的影响

由于火山物质的喷发和陆源物质的影响,导致沉积类型的复杂化,沉积相变快,大量的筳类动物群产于火山岩系内,筳类是对环境变化较为敏感的生物,复杂的古地形必将引起其生态类型、埋藏类型多样化。据实测剖面,首先确定不同埋藏类型差异的化石组合,即区分开异地和原地埋藏组合,其次对于后者基于不同的生物群面貌、沉积环境再划分为不同的生物组合,由此本文划分出 3 种不同类型的化石组合,即异地 PS 组合、台地相 MS 组合和洼地相 Pa 组合,分别出于火山岛的不同部位。关于组合的概念,本文更强调其生态学意义,对于后二者原地埋藏的化石组合(群落),考虑到其与生物地层学的组合概念在物质内容及地层分布上并没有本质区别^[29],本文则统一称之为组合。

5.1 异地 *Pseudofusulina-Schwagerina* 组合(PS 组合)

见于阿日永的诺日巴日保组(深水斜坡相角砾屑灰岩型)和日赛瑙贡玛的杂笛考组下部层位(台地相火山岩-灰岩型),筳类化石产于砾屑灰岩、碳酸盐质角砾岩底部。以数量较多的属种命名为 *Pseudofusulina-Schwagerina* 组合,该组合中 *Schwagerina* 和 *Pseudofusulina* 属不仅数量多,而且种的分异度也相对较高,计有: *Schwagerina crassitectoria* Dunbar et Skinner, *Sch. ex gr. crassitectoria* Dunbar et Skinner, *Sch. cushmani longa* Zhou, *Sch. ex gr. cushmani* Chen, *Sch. tschernyschewi* Schellwien, *Sch. sp.*, *Pseudofusulina krafftii magna* Toriyama, *Pf. krafftii* Schellwien, *Pf. vulgaris globosa* Schellwien, *Pf. danrongensis* Niu., *Pf. ex. gr. vulgaris* (Schellwien), *Pf. sp.* 等,另见少量 *Parafusulina australis* Thompson et Miller, *Pa. elliptica* Sheng, *Pa. cf. elliptica* Sheng,

Pa. cf. splendens Dunbar et Skinner, *Kahlerina sp.*, *Pamirina sp.*, *Nankinella quasihunanensis* Sheng, 个体较小的一些属也较多,如 *Schubertella giraudi* (Deprat), *S. rara* Sheng, *S. simplex* Lange, *S. umbilicata* Lin, *Boultonia sp.*, *Dunbarula sp.*, *Minojapanella minuta* Sheng, *Toriyamaia sp.* 等。

该组合中 *Schwagerina* 属种均为华南地区 *Schwagerina cushmani* 动物群的分子,产出层位相当于早二叠世隆林阶 *Darvasites ordinatus* 带^[30,31],该带分子在阿日永与层位略高的 *Misellina* 属共生,产出层位具明显的混杂,但这种混杂在时限上是短暂的,实际上只是上、下层位化石带的混合。同时考虑到前述沉积学方面的证据,则混杂生物群则更具说服力。

PS 组合属种分异度大,形态多样、丰度高,显示出开阔台地的生态类型,产该组合的(角)砾屑灰岩显示出近源的高密度钙质碎屑流沉积特征,空间位置上处于距离火山岛穹窿或台地边缘较近的深水斜坡相,可见筳类因重力滑塌作用明显远离其生活区,属于异地型化石组合。砾岩层及砾屑灰岩部分层位可见塑性变形构造,显示出近源快速堆积的特点。结合上述筳类组合虽有混杂,但地质时代相近,这些更支持了快速的沉积特点。形成机制一是火山喷发时将沉积于其上的早期台地相灰岩破碎而混合堆积于基质中,二是在火山爆发间歇期火山岛缘台地相灰岩沿火山岛斜坡向下滑动而形成,所见以第二种为主。

5.2 台地相 *Misellina-Schwagerina* 组合(MS 组合)

见于玛日啊达州的扎日根组、诺日巴日保组(浅水斜坡相沉凝灰岩型)和苟果杂、日赛瑙贡玛、夏麻贡玛曲的杂笛考组灰岩夹层中(台地相火山岩-灰岩型),计有: *Misellina sphaerica* Chang, *M. cf. claudiae* (Deprat), *Schubertella rara* Sheng, *S. simplex* Lange, *S. umbilicata* Lin, *S. pseudogiraudi* Sheng, *S. cf. giraudi* Deprat, *Dunbarula sp.*, *Kahlerina sp.*, *Pisolina sp.*, *Minojapanella minuma* Sheng, *Wutuella wutuensis* (Kuo), *Yangchienia sp.*, *Parafusulina splendens* Dunbar et Skinner, *Pa. cf. splendens* Dunbar et Skinner, *Pa. yunnanica* Sheng, *Pa. cf. yunnanica* Sheng, *Pa. gruperensis* Thompson et Miller, *Pa. cf. yabei* Hanzawa, *Pa. cf. subextensa* Chen, *Pseudofusulina vulgaris* (Schellwien), *Pf. cf. vulgaris* (Schellwien), *Pf.*

kueichowensis obesa Sheng, *Pf.* cf. *kueichowensis* Sheng, *Pf.* cf. *postpedissequa* Rauser, *Pf.* *sparsivoluta* Zhang, *Pf.* *inuitata* Liu, Dong et Xiao, *Pf.* *danrongensis* Niu, *Schwagerina cushmani* Chen, *Sch.* *tschernyschewi* (Schellwien), *Sch.* cf. *tschernyschewi* Schellwien, *Sch.* *chihsiaensis* Lee, *Sch.* *compacta* White 等为主。该组合中一是以拟旋脊发育的 *Misellina* 属最为特征, 其具有地质时代意义, 同时也具有生态学意义, 但属种相对较为单调; 二是个体较大的 *Schwagerina* 属数量较丰富。

筳类产于浅灰色-灰色中厚层状生物碎屑泥晶灰岩、亮晶颗粒灰岩中。灰岩颗粒支撑, 泥晶或亮晶充填, 部分层位见砂、砾屑, 生物碎屑种类多, 除筳类、有孔虫外, 还有绿藻屑、腹足屑、三叶虫屑、钙球、棘皮屑、双壳屑、介形屑、苔藓虫屑等。

该组合个体大小不一, 但以壳体相对较大者 *Pseudofusulina*、*Schwagerina* 属为主。壳体类型丰富, 计有长纺锤形、厚纺锤形、球形等, 隔壁以强烈褶皱者为主, 但同时亦见有较多的隔壁平直、微褶皱者。拟旋脊发育的 *Misellina* 属并不多, 可能与该属呈近球形体有关, 不适宜于动荡的环境, 尽管其以拟旋脊发育来增加其自身的重量。 *Pseudofusulina* 和 *Schwagerina* 属壳体呈长纺锤形, 壳体因蜂巢层的发育而变厚, 隔壁褶皱发育, 这些均利于水体相对较浅的动荡环境。在野外可发现该生物组合多产于凝灰岩或玄武岩层之上的碳酸盐岩层的中下部, 即碳酸盐岩台地建造早期, 或海侵面之上, 而向上至岛缘台地浅滩、岛缘礁相及局限台地相时, 该生物组合则不发育。

5.3 洼地相 *Parafusulina* 组合(Pa 组合)

分布于左支-萨日喀钦-娘扎赛里一线的诺日巴尕日保组中(砂泥岩型), 主要分子有: *Parafusulina* cf. *yabei* Hanzawa, *Pa.* *splendens* Dunbar et Skinner, *Pa.* cf. *subextensa* Chen, 另见少量个体较小的 *Schubertella rara* Sheng, *S.* sp., *Dunbarula* sp., *Minojapanella* sp., *Nankinella quasihunanensis* Sheng, *N.* sp., *Parafusulina zadoiensis* Niu sp. nov. 等。以个体较大的 *Parafusulina* 属数量最为丰富, 未见具时代意义的 *Misellina* 属。

化石产于深灰色中层状灰岩中, 上、下层位多为

泥岩或砂岩层, 多以前者为主, 灰岩多不纯, 泥质成分高, 生物碎屑种类多, 属海水相对较深的岛间洼地相, 向两侧相变为火山岛或碳酸盐岩台地形成的高地, 在台地相中见 MS 组合。

组合中 *Parafusulina* 属丰度高, 分异度低, 个体细长, 长轴平行于层面, 缺少定向性, 壳体完整, 反映出水体能量低, 生物原地生长埋藏的特点。王立亭 [32] 等研究认为长纺锤形壳体的筳类稳定性大, 抗浪性强, 适应高能量的水动力环境, 一般见于开阔台地相区。研究区 Pa 组合的组成分子虽可见于高能开阔台地相, 但在该组合中并不能反映出高能量环境的特征。岩性组合及古地形特征揭示出沉积时水动力相对较低, 海水较为平静, 水体混浊, 含较多泥质, 另外其间还可夹有火山物质及砂质, 向两侧为火山岛或碳酸盐岩台地, 与外界畅通性差。Pa 组合的分子呈细长壳形, 实际上表明水体深度的增加, 细长的壳体便于提高抗阻能力, 同时单调而繁盛的生物群面貌是 *Parafusulina* 属对这种低能混水环境的特殊适应。这种水体显然不适合于需要清水环境、壳壁较薄的 *Misellina* 属, 同时也不适合于轴率较大的 *Schwagerina* 属。美国得克萨斯上宾夕法尼亚期的筳类组合中, 某些细长壳形的 *Triticites* 属与不纯的泥质石灰岩和细粒至中粒的砂质沉积物关系密切 [33]。

总体来看, 3 种筳类组合出现在火山岛的不同部位(图 6), 这种差异是筳类生物群受不同的沉积地形分异引起的, 在火山岛之上或其边缘台地相 MS 组合, 而在火山岛的侧翼在基座向盆地内部伸展的斜坡相中发育崩塌堆积, 这种异地再沉积的砾岩、砾屑灰岩产 PS 组合, 在地形相对较缓、水体较深的火山岛间产洼地相 Pa 组合, 因而青海南部地区的二叠纪火山-沉积序列是研究动物群属种组成、空间分布、演化对火山事件响应关系的良好场所。

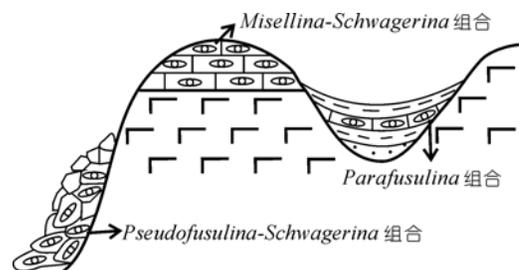


图 6 罗甸期筳类组合与火山岛关系示意图

6 二叠纪古地理格局

研究区所在的昌都地块在晚古生代处于古特提斯的构造演化阶段, 大地构造演化与两侧的澜沧江带、金沙江带有密切的联系, 经历了从裂解而后又拼合的整个过程. 综合区域资料, 泥盆纪-石炭纪在昌都地块内部是稳定的浅海相沉积建造, 石炭纪开始出现板内裂谷型火山岩夹层, 表明在稳定的地块内部开始出现拉张活动, 而南北两侧的澜沧江带、金沙江带自泥盆纪始出现裂谷型火山活动, 成为拉张活跃中心 [4,5].

青海南部沱沱河地区的扎日根组浅灰色中厚层状的碳酸盐岩产丰富的筴类化石, 计有 *Eoparafusulina*, *Zellia*, *Nagatoella*, *Boultonia*, *Pseudofusulina*, *Schwagerina*, *Rogosofusulina*, *Sphaeroschwagerina*, *Schubertella*, *Quasifusulina*, *Triticites*, *Montiparus*, *Darvasites*, *Robustoschwagerina* 等属 [23,24]. 从所列述的名单来看, 包含了晚石炭世至早二叠世几个化石带的分子. 在治多-杂多地区, 阿日永剖面的异地型 *Pseudofusulina*-*Schwagerina* 组合中, 可见有早二叠世隆林阶 *Darvasites ordinatus* 带的分子存在. 总体来看, 研究区及邻近地区在早二叠世早期为较稳定的碳酸盐岩台地沉积.

青藏高原早二叠世罗甸期为“泛裂谷化”的鼎盛时期 [2,4], 研究区沉积古地理面貌发生明显改变, 地层沉积厚度大, 早二叠世最大沉积速率可达 320 m/Ma [4], 火山活动强, 厚度大, 岩性、岩相变化复杂. 如前所述, 可划分为 4 种沉积类型, 各沉积类型在空间上围绕台地相火山岩-灰岩型呈带状展布, 各有其特征的岩性组合和生物群. 从平面分布来看, 构成北西-近东西向的火山喷发主轴线, 显示火山岛链特征. 火山岛链由多个喷发中心组成, 在火山岛之上或其两侧则产出浅灰色厚层状碳酸盐礁、浅滩、开阔台地相等. 围绕着火山岛链发育斜坡, 在火山岛间为深水洼地, 总体构成陆壳基底的(火山)岛海相间的古地理格局.

火山岛基座与边缘或上覆的碳酸盐岩为主沉积共同构成类似于海山沉积序列. 海山的定义是建立在洋岛之上的, 高出洋底 1 km 以上的火山称为海山, 若其峰顶露出水面则称洋岛 [8,34]. 沉积相及火山岩的

地球化学分析结果显示, 研究区基底为陆壳性质, 这种能否称为海山, 还需斟酌, 但类似于海山的双层式结构在研究区是明显的.

碳酸盐岩台地盖层与下伏的火山岛之间的接触关系较为复杂. 一是整合接触, 即灰岩与火山岩接触界面较为平直, 岩层产状一致, 二者之间或为直接接触, 如玛日啊达州一带, 而更多的是灰岩与火山岩间为泥岩层(如苟果尕的泥岩层厚约近百米), 表明火山喷发之后存在一个平静期, 水体能量低, 或水体略深, 泥质沉积物大量覆于火山基座之上, 为浅水碳酸盐岩台地的沉积奠定了基础. 二是似整合接触, 在孕日赛瑙贡玛, 地质图及卫星遥感照片上可清晰地显示出九十道班组灰岩覆于孕笛考组火山岩的不同层位之上. 灰岩与火山岩的岩层产状并不一致, 表明灰岩沉积于火山岛的侧翼或岛顶, 同时火山岩并未露出水面. 在杂多县宰木通, 在九十道班组的底部可见厚约 17 m 的砾岩层, 表明火山岛露出于水面, 接受剥蚀, 但间断时间应较短.

在戛金雪山地区, 在生物碎屑灰岩层与下伏拉斑玄武岩层之间可见过渡的条带状火山碎屑灰岩 [10]. 青海省玛多县花石峡那尔扎地区, 礁岛相的沉积序列中, 生物碎屑灰岩、礁灰岩之下为砂砾岩, 代表了一个浅水动荡的环境, 为形成生物碳酸盐岩建造创造了条件 [18]. 这些与研究区可很好地对比.

在祥播期之后, 主要为一套厚层状生物碎屑灰岩, 即九十道班组, 代表火山活动暂时停止后的浅水碳酸盐台地沉积. 该套灰岩层在青海南部分布较广, 向西至沱沱河地区, 厚达 338 m [23]. 但从筴类生物群来看, 其明显晚于研究区, 具穿时现象, 向东在西藏昌都地区则略为复杂, 灰岩、砂岩沉积均可见, 但均反映出了一种较为稳定的浅海相沉积. 研究区在罗甸期复杂的古地理格局, 至此则构成统一的较稳定的浅水碳酸盐台地, 显示裂陷盆地活动性明显减弱, 向稳定地块方向的转化. 这种稳定的台地相沉积在孤峰晚期呈现分异, 在西部沱沱河地区仍以台地相沉积为主, 而治多-杂多一带则沉积了一套混合陆棚相为主的砂、泥质沉积, 间夹裂谷型火山岩 [27], 索加组底砾岩的出现说明该套陆棚相沉积物后期由于地壳抬升而露出水面, 接受剥蚀, 但时间较短, 继而又为台地相灰、泥岩所覆盖. 海水进退的频繁表明治多-

杂多地区在孤峰期晚期至冷坞期裂谷盆地的不稳定性又有所增加。

晚二叠世整个昌都地块进入裂谷闭合回返阶

段^[35], 仅局部地区沉积乌丽群。乌丽群顶部的角度不整合宣告了裂谷演化阶段的终结, 自晚三叠世进入盆山转化构造演化阶段。

参考文献

- 1 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明. 北京: 地质出版社, 1999. 1—50
- 2 张以菲. 可可西里-巴颜喀拉及邻区特提斯海的特征. 青海地质, 1991, (1): 1—17
- 3 尹集祥, 邓万明, 文世宣, 等. 青藏高原及邻区中间过渡陆块前侏罗纪构造演化. 见: 潘裕生, 孔祥儒, 主编. 青藏高原岩石圈结构演化和动力学. 广州: 广东科学技术出版社, 1998. 217—332
- 4 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原大地构造特征及盆地演化. 北京: 科学出版社, 2001. 102—106
- 5 王成善, 伊海生, 李勇, 等. 西藏羌塘盆地地质演化与油气远景评价. 北京: 地质出版社, 2001. 1—249
- 6 Wu H R, Boulter C A, Ke B J, et al. The Changning-Menglian suture zone: a segment of the major Cathaysian-Gondwana divide in Southeast Asia. *Tectonophysics*, 1995, 242: 267—280^[DOI]
- 7 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社, 1997. 1—218
- 8 张海清, 孙晓猛, 陈先兵. 洋岛、海山碳酸盐岩的沉积特征及其古地理意义. 地质科技情报, 1997, 16(1): 29—33
- 9 Roberston A. Rift-related sedimentation and volcanism of the north-Indian margin inferred from a Permian-Triassic exotic block at Lamayuru, Indus suture zone (Labakh Himalaya) and regional comparisons. *J Asian Earth Sci*, 1998, 16: 159—172^[DOI]
- 10 何龙清, 陈开旭. 金沙江板块缝合带夏金雪山地区灰岩块体的成因. 华南地质与矿产, 1998, (1): 20—25
- 11 Feng Q L. Stratigraphy of volcanic rocks in the Changning-Menglian Belt in southwestern Yunnan, China. *J Asian Earth Sci*, 2002, 20: 657—664^[DOI]
- 12 Ueno K, Wang Y J, Wang X D. Fusulinoidean faunal succession of a paleo-Tethyan oceanic seamount in the Changning-Menglian Belt, west Yunnan, southwest China: an overview. *Isl Arc*, 2003, 12: 145—161^[DOI]
- 13 侯立玮, 戴炳春, 俞如龙, 等. 四川西部义敦岛弧碰撞造山带与主要成矿系列. 北京: 地质出版社, 1994. 6—16
- 14 胡世华, 罗再文, 曾宜君, 等. 川西义敦岛弧的火山-沉积作用. 北京: 地质出版社, 1992. 27—99
- 15 Mángano M G, Buatois L A. Shallow marine sedimentation in a volcanic arc-related setting: the Ordovician Suri Formation, Famatina Basin, northwest Argentina. *Sediment Geol*, 1996, 105: 63—90^[DOI]
- 16 Mángano M G, Buatois L A. Slope-arc deposition in an Ordovician arc-related setting: the Vuelta de Las Tolos Member (Suri Formation), Famatina Basin, northwest Argentina. *Sediment Geol*, 1997, 109: 155—180^[DOI]
- 17 王永标. 巴颜喀拉及邻区中二叠世古海山的结构及演化. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, 35(12): 1140—1149
- 18 王永标, 徐桂荣, 林启祥, 等. 东昆仑地区早二叠世礁岛海的沉积模式. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2001, 31(3): 243—249
- 19 王永标, 杨浩. 东昆仑-阿尼玛卿-巴颜喀拉早二叠世生物古地理. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33(8): 775—780
- 20 Petterson M G, Trelor P J. Volcanostratigraphy of arc volcanic sequences in the Kohistan arc, North Pakistan: volcanism within island arc, back-arc-basin, and intra-continental tectonic settings. *J Volcanol Geother Res*, 2004, 130: 147—178^[DOI]
- 21 青海省地层表编写小组. 西北地区区域地质表: 青海省分册. 北京: 地质出版社, 1980. 222—242
- 22 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1991. 1—121
- 23 刘广才, 田琪. 青海唐古拉山中段地区二叠纪地层新资料. 中国区域地质, 1993, (2): 113—120
- 24 刘广才. 唐古拉山中段开心岭群乌丽群的时代定义问题. 青海地质, 1993, 2(1): 1—9
- 25 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. 220—239
- 26 牛志军, 段其发, 王建雄, 等. 青海南部治多-杂多一带二叠纪筴类考组. 地层学杂志, 2006, 30(2): 44—50
- 27 牛志军, 段其发, 王建雄, 等. 青海省南部治多-杂多地区二叠系阳新统上部层位的发现及原日扎仁组和索加组的建立. 地质通报, 2006, 25(1-2): 176—182
- 28 Selley R C. *Ancient Sedimentary Environment*. London: Chapman and Hall, 1976. 1—237
- 29 姚华舟. 造山带区调填图中综合地层学实践. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994. 60—79
- 30 周祖仁. 湘东南早二叠世栖霞期早期的 *Schwagerina cushmani* 筴类群. 古生物学报, 1982, 21(2): 225—251
- 31 张遵信. 论奥灰岩(Swine Limestone). 地层学杂志, 1983, 7(3): 184—190
- 32 王立亭, 董文兰, 叶念曾, 等. 试论筴的古生态与古水动力的关系——以贵州早二叠世栖霞期晚期为例. 石油与天然气地质, 1982, 3(3): 231—239
- 33 盛金章, 张遵信, 王建华. 筴类. 北京: 科学出版社, 1988. 1—240
- 34 Robertson A. Rift-related sedimentation and volcanism of the north-Indian margin inferred from a Permian-Triassic exotic block at Lamayuru, Indus suture zone (Ladakh Himalaya) and regional comparisons. *J Asian Earth Sci*, 1998, 16(2-3): 159—172^[DOI]
- 35 沙金庚, 张遵信, 罗辉, 等. 论可可西里晚古生代裂谷的消亡时代. 微体古生物学报, 1992, 9(2): 177—182