

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2026.05.013

日喀则弧前盆地昂仁组海底扇朵叶体构型研究

沈超, 安慰, 孔思琪

(合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要:白垩系昂仁组是藏南日喀则弧前盆地的主体, 沉积于深水盆地、海底扇、海底峡谷、斜坡等环境, 是研究海底扇朵叶体沉积的理想对象。文章选取交通方便、出露良好的恩贡寺剖面进行剖面实测和沉积学观察, 基于岩石组合和沉积构造识别出砾岩相、无构造砂岩相、砂岩相、条带砂岩相、泥石流沉积相、砂岩/粉砂岩组合相、粉砂岩相、泥岩/灰岩相等岩相, 根据岩相的组合确定恩贡寺剖面昂仁组为深水海底扇朵叶复合体沉积, 是7期朵叶体叠置的产物。不同的微相组合关系表明, 不同期次的朵叶体沉积过程不同, 可能主要受控于源区的构造活动。

关键词:日喀则弧前盆地; 昂仁组; 沉积环境; 朵叶体构型

中图分类号:P534.53;P736.213

文献标志码:A

文章编号:1003-5060(2026)05-0662-07

Architecture of submarine lobe from the Ngamring Formation, Xigaze forearc basin

SHEN Chao, AN Wei, KONG Siqu

(School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The Cretaceous Ngamring Formation constitutes the main body of the Xigaze forearc basin, southern Xizang. It was deposited in deep-water basin, submarine fan, submarine canyon and slope environments, which provides a good opportunity to study the architecture of submarine lobe. This study conducts stratigraphic and sedimentologic analyses on the easily-accessible, well-outcropped Engongsi section of the Ngamring Formation. Different lithofacies have been described based on lithologies and sedimentary structures, including conglomerate, structureless sandstone, structured sandstone, banded sandstone, debrites, heterolithic packages, siltstone and claystone/limestone. Microfacies of lobe axis, off-axis, fringe and distal fringe have been identified according to assemblages of lithofacies, indicating that the strata were deposits of submarine lobe complex with seven periods of superposed lobes. Different arrangements of microfacies suggest sedimentological variability of each lobe, probably due to the tectonic activities in the source areas.

Key words: Xigaze forearc basin; Ngamring Formation; sedimentary environment; lobe architecture

海底扇是发育在大陆斜坡或深海盆地内由沉积物重力流形成的复合沉积体^[1], 是由陆到海“源—汇”系统最末端的沉积单元^[2], 记录了剥蚀区的抬升剥蚀信息, 也是深海油气的重要富集相带^[3], 是深水沉积研究的热点之一。海底扇可划分为上扇、中扇和下扇^[4-5], 主要包括水道、天然

堤—溢岸、朵叶体等沉积单元^[6]。其中, 朵叶体是由深海重力流作用形成的扇状或朵状的沉积体, 是海底扇中最早发现和研究的沉积单元之一。近年来, 随着对海底扇朵叶体概念和沉积模式的认识不断深入, 研究人员将朵叶体系分为不同的构型级次^[7-8], 为深水沉积的沉积环境研究和油气勘

收稿日期: 2024-03-12; 修回日期: 2024-05-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41972106)

作者简介: 沈超(1999—), 男, 安徽芜湖人, 合肥工业大学硕士生;

安慰(1988—), 女, 安徽太和人, 博士, 合肥工业大学副教授, 硕士生导师, 通信作者, E-mail: anwei@hfut.edu.cn.

探开发提供了重要的理论指导。

拉萨地体南缘的日喀则弧前盆地是白垩纪—古近纪新特提斯洋向拉萨地体俯冲及随后的印度—亚洲大陆碰撞的产物^[9]。弧前盆地主体昂仁组是一套深海浊流沉积,前人将其沉积环境识别为斜坡—海底扇—深海盆地体系^[4,9-13],日喀则地区昂仁组的沉积环境以海底峡谷和海底扇朵叶体体系为主^[14],是研究海底扇朵叶体沉积的理想对象。然而,前人的研究重点是水道体系的形成与演化,关于朵叶体的工作相对较少。本文选取交通方便、出露良好的日喀则东山恩贡寺剖面进行沉积学研究,观察分析朵叶体的岩相组合和沉积特征,识别不同微相及其构型级次,并初步探讨朵叶体的沉积过程。

1 地质概况

新特提斯洋向欧亚大陆的俯冲及随后的印度与亚洲大陆碰撞,是中生代以来地球上最重要的地质事件之一,形成了喜马拉雅造山带和青藏高原。在我国藏南地区,新特提斯洋俯冲产生的沟弧体系

包括冈底斯岩浆弧、日喀则弧前盆地、雅鲁藏布江蛇绿岩套和修康增生杂岩^[15-20],如图1所示^[21]。

日喀则弧前盆地沿雅鲁藏布江呈东西向展布,长约550 km,宽约25 km,连续沉积了早白垩世—始新世的海相和非海相地层^[9-10]。日喀则弧前盆地地层划分为日喀则群和错江顶群;日喀则群划分为冲堆组、桑祖岗组和昂仁组^[22-24];错江顶群划分为帕达那组、曲贝亚组、曲下组和加拉孜组,仅保存于仲巴地区^[25-26]。

昂仁组作为日喀则弧前盆地沉积的主体地层,出露于日喀则—仲巴一带。该组主要为薄—厚层砂岩与页岩韵律性互层,夹少量砾岩、灰岩及泥灰岩;东西走向上沉积时代和地层厚度有所差异,整体表现为东部沉积早而西部沉积晚^[25-27]。前人对日喀则以西的昂仁组开展了详细的沉积学工作,其环境从早期的斜坡裙沉积演化至海底扇上扇水道体系、中扇—外扇水道—朵叶体沉积^[14,25],其碎屑物质主要来自北部的冈底斯岩浆弧和中拉萨地体^[14,22-25],少量可能来自南侧的蛇绿岩和硅质岩^[23]。

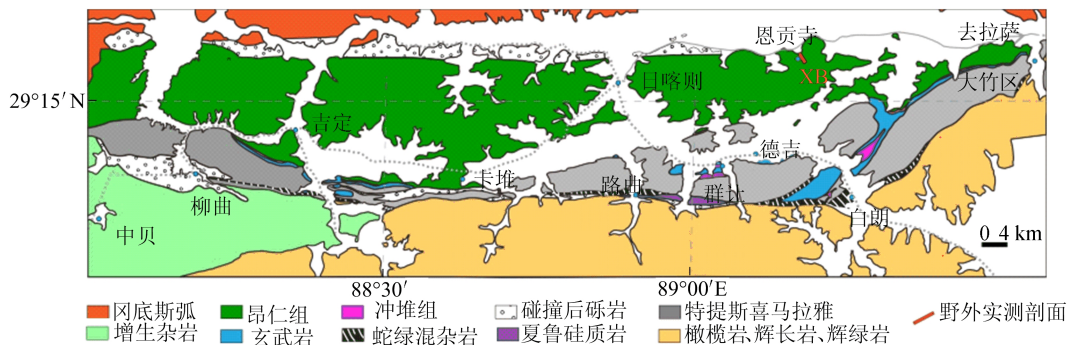
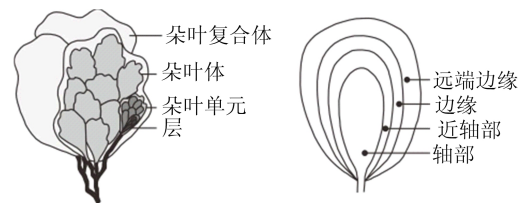


图1 日喀则弧前盆地地质简图

2 海底扇朵叶体构型

自然界的沉积体系通常由不同级次、不同规模的沉积单元在空间上复合叠置而成,依据不同的层次开展沉积构型分布研究有利于揭示不同尺度下的沉积演变过程^[8]。海底扇朵叶体沉积体系受海平面升降、沉积物供给和构造运动等大尺度因素及地形地貌、重力流体性质等小尺度因素影响^[28]。由于沉积体系的复杂性,海底扇朵叶体的构型级次单元存在多种划分方案。朵叶体模式如图2所示。海底扇朵叶体的沉积体系通常划分为朵叶复合体、单一朵叶、朵叶单元和层—层组4个级次,如图2a所示^[7],其中:“层”或“层组”代表单一沉积事件,是组成朵叶体的最小单位;朵叶单元

由1层或多个同类型岩层组成,形成于相同的沉积条件下,是一段时间内水动力相对稳定的水流条件下的产物;而朵叶体由多个岩性(成分、结构)基本一致或性质不同但成因上有联系的朵叶单元叠置而成;朵叶复合体则由多个不同期次朵叶体叠置形成。



(a) 朵叶不同级次平面视图 (b) 朵叶微相简化模型

图2 朵叶体模式

文献[29]基于前人的工作对朵叶体沉积体系的术语进行修订,绘制的朵叶微相简化模型如图 2b 所示,并详细阐述了其沉积特征。由图 2b 可知,朵叶单元包括朵叶体轴部、朵叶体近轴部、朵叶体边缘和朵叶体远端边缘。朵叶体轴部和近轴部为朵叶体的核心,自轴部至远端边缘砂岩含量递减。朵叶体轴部以不发育沉积构造的厚层砂岩为主,可含少量平行层理砂岩或条带砂岩;该微相中砂岩含量可达 85%~100%,可见砂岩层融合现象,底面常具冲刷面,砂岩层侧向延伸较好,可达数百米,高度融合的砂岩层可以向两侧过渡至近轴部微相的多层砂岩。朵叶体近轴部以中层砂岩为主,砂岩含量为 50%~85%;砂岩多呈板

状,侧向延伸好。朵叶体边缘侧向延伸可达数千米,岩石组成较复杂,包括厚层砂岩、混合沉积层、碎积岩、砂岩/粉砂岩组合等;该微相砂岩含量为 25%~50%,砂岩层厚度通常为 0.1~2.0 m,砂岩层可能呈现侧向尖灭或透镜状。朵叶体远端边缘以薄层粉砂岩为主,可含极细粒砂岩夹层,砂岩含量少于 20%。

3 恩贡寺剖面昂仁组的相分析

3.1 岩相

此次工作剖面位于日喀则市东部恩贡寺下的盘山公路附近,实测昂仁组厚 1 249 m,剖面地层柱状图如图 3 所示。

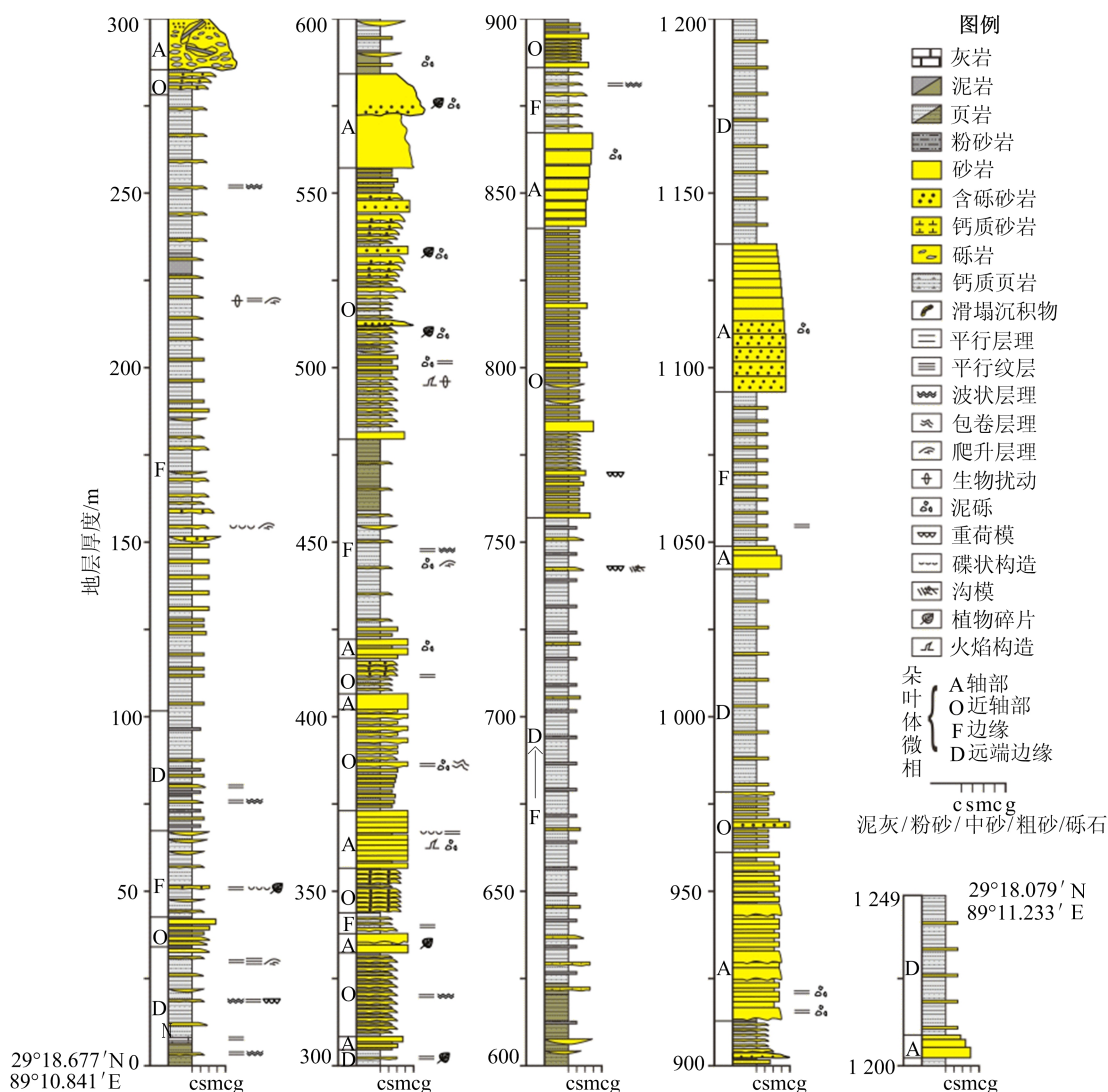


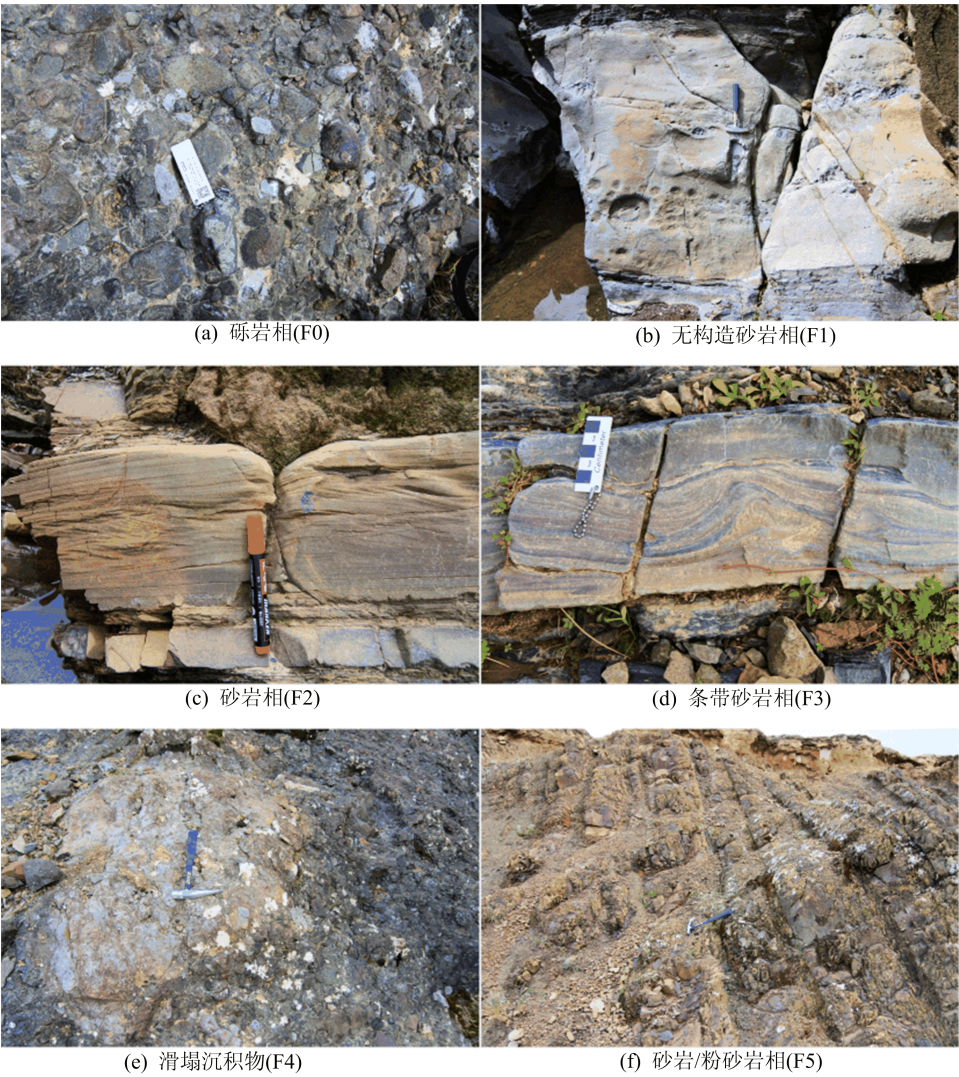
图 3 恩贡寺剖面地层柱状图

基于实测剖面与沉积构造观察,可识别出 8 种岩相,即砾岩相、无构造砂岩相、砂岩相、条带砂岩相、泥石流沉积相(滑塌沉积物)、砂岩/粉砂

岩组合相、粉砂岩相、泥岩/灰岩相,岩相沉积描述及沉积环境见表 1 所列^[29],岩相野外照片如图 4 所示。

表 1 恩贡寺剖面岩相、沉积过程及沉积环境

岩相	岩层厚度/m	沉积描述	成因解释	沉积环境
砾岩相(F0)	16.00	颗粒支撑砾岩过渡至含砾粗砂岩,正粒序	高密度浊流快速沉积	朵叶体轴部或水道
无构造砂岩相(F1)	0.05~4.50	具有突变的、侵蚀或底模的底面;常见槽痕和工具模;岩层的高度融合;底部常见脱水构造;基质中泥砾和碳质含量可达5%	沉积速率高的高密度浊流	常为朵叶体轴部,朵叶体边缘也可发育
砂岩相(F2)	0.02~2.00	平行、流水波痕、低角度爬升或波纹层理;正粒序;底面突变或具底模;顶面突变,平直或波状;顶部可能含有碳质物质	低密度浊流沉积	朵叶体近轴部
条带砂岩相(F3)	0.20~1.00	暗带和亮带的组合;亮带由“干净的”砂岩组成;暗带富含泥质,可由泥砾和碳质物质组成;带厚度0.2~1.0 cm不等;侧向上连续或不连续	过渡流沉积	朵叶体轴部与近轴部边界
滑塌沉积物(F4)	未成层,不计厚度	砾岩中见大小不一的灰岩、砂岩岩块	滑塌沉积	没有环境指示意义
砂岩/粉砂岩组合相(F5)	0.05~0.30	砂岩层发育平行、波纹、水流波痕及爬升层理;粉砂岩无沉积构造或水平纹层;正粒序;底面突变,顶面具波痕	远端、低密度浊流	朵叶体边缘
粉砂岩相(F6)	0.01~0.20	沉积构造不发育,砂质层中见水平或波纹层理;常见生物扰动	稀释的浊流沉积	朵叶体远端边缘
泥岩/灰岩相(F7)	0.01~0.20	粉砂质泥岩或泥灰岩;可见结核层半深海沉积	悬浮沉积	朵叶体远端边缘



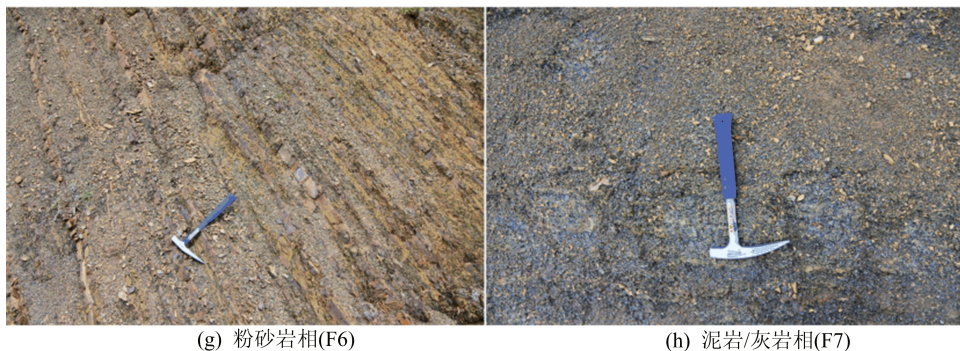


图 4 朵叶体内岩相野外照片

砾岩相(F0)仅出现在剖面约 300 m 处,为块状颗粒支撑砾岩,向上过渡为块状含砾砂岩(图 4a);砾石平均粒径为 3~5 cm,最大可达 20 cm,分选一般、磨圆一次磨圆状,呈微弱的正粒序;砾石成分以中酸性火山岩、侵入岩为主,见灰岩、硅质岩砾石;厚度约 16 m。

无构造砂岩相(F1)多次出现在剖面的中上部,为块状—中厚层砂岩夹少量薄层砂岩(图 4b),可含极少量泥岩;块状砂岩中可含细砾、泥砾,发育碟状构造、砂枕构造、侵蚀面和岩层融合现象,为高密度浊流的产物。

砂岩相(F2)在剖面中多次出现,为中厚层砂岩夹少量薄层砂岩、泥岩(图 4c);砂岩中见正粒序、平行层理、植物印痕、虫管和生物遗迹化石,薄层砂岩中发育波状层理、爬升层理等沉积构造,为低密度浊流的产物。

条带砂岩相(F3)表现出富砂亮层和富泥暗层的组合(图 4d),纹层厚度小于 1 cm,可水平或波状展布,由牵引流和低密度浊流共同沉积形成。

滑塌沉积物(F4)仅在剖面下段与砾岩相共生,表现为 0.7 m 的砂岩岩块或 1.5 m 的礁灰岩岩块(图 4e),推测为陆棚或上斜坡的地层在重力作用下滑塌而成。

砂岩/粉砂岩组合相(F5)在剖面中多次出现,薄层砂岩与粉砂岩互层(图 4f),砂岩中可发育正粒序、平行、波纹、爬升层理等,粉砂岩中见水平纹层,顶面见波痕,为低密度浊流的产物。

粉砂岩相(F6)为泥岩夹厘米级粉砂岩(图 4g),偶见厘米级砂岩,砂岩中可见水平或波纹层理,常见遗迹化石,为稀释的浊流沉积的产物。

泥岩/灰岩相(F7)为粉砂质泥岩或泥灰岩(图 4h),偶夹极薄层钙质粉砂岩,可含结核,为半远洋悬浮沉积的产物。

3.2 沉积环境分析

本文根据岩相组合将单一朵叶体划分为轴

部、近轴部、边缘和远端边缘 4 个微相,野外图片如图 5 所示。图 5a 中,箭头所示为多个朵叶体复合成的集合体。朵叶体轴部的岩相包含 F0、F1、F2、F3、F4,表现为块状颗粒支撑的砾岩向上过渡为块状含砾砂岩(F0)夹滑塌沉积(F4),中厚层砂岩夹少量的泥页岩或不含泥页岩(F1);或块状砂岩向上过渡为中薄层砂岩的互层(F2)。轴部岩层厚度在 3~50 m 之间,可能代表多个朵叶体内发育的不同规模的轴部沉积。朵叶体近轴部的岩相包含 F1、F2、F3、F5,表现为薄—厚层砂岩与泥岩不等厚互层,多为砂岩层夹泥页岩;近轴部的厚度在 8~80 m 之间。朵叶体边缘的岩相包含 F1、F2、F5、F6、F7,表现为薄层砂岩与泥页岩互层,偶见透镜状中层砂岩,通常砂泥比小于 1:1;单个微相厚度为 14~140 m。朵叶体远端边缘的岩相包含 F1、F2、F3、F5、F6、F7,表现为泥岩夹薄层粉砂岩,以及少量薄层砂岩或薄层灰岩,整体泥砂比大于 10:1;厚度为 4~180 m。

剖面中连续变化的朵叶体微相组合为单一朵叶体,主要由单一水道在稳定供给的情况下形成,每期朵叶体的规模大小不一,可能反映了碎屑物质的供给存在差异;多个单一朵叶体叠加构成一期朵叶复合体。朵叶复合体之间为朵叶体远端边缘或背景沉积,代表浊流衰退期或休止期的悬浮沉积。基于实测剖面、岩石组合和沉积构造特征,本文认为恩贡寺剖面昂仁组为深水海底扇中叠置的朵叶复合体,其中包含 7 期朵叶复合体(图 3、图 5a),每期的厚度有所不同。

此外,剖面上可观察到不同的微相接触关系(图 3、图 5)。250~300 m 处轴部微相在远端边缘微相之上出现,指示轴部微相发育时高密度浊流具有较强的侵蚀能力,侵蚀改造了浊流衰退期或休止期的悬浮沉积。

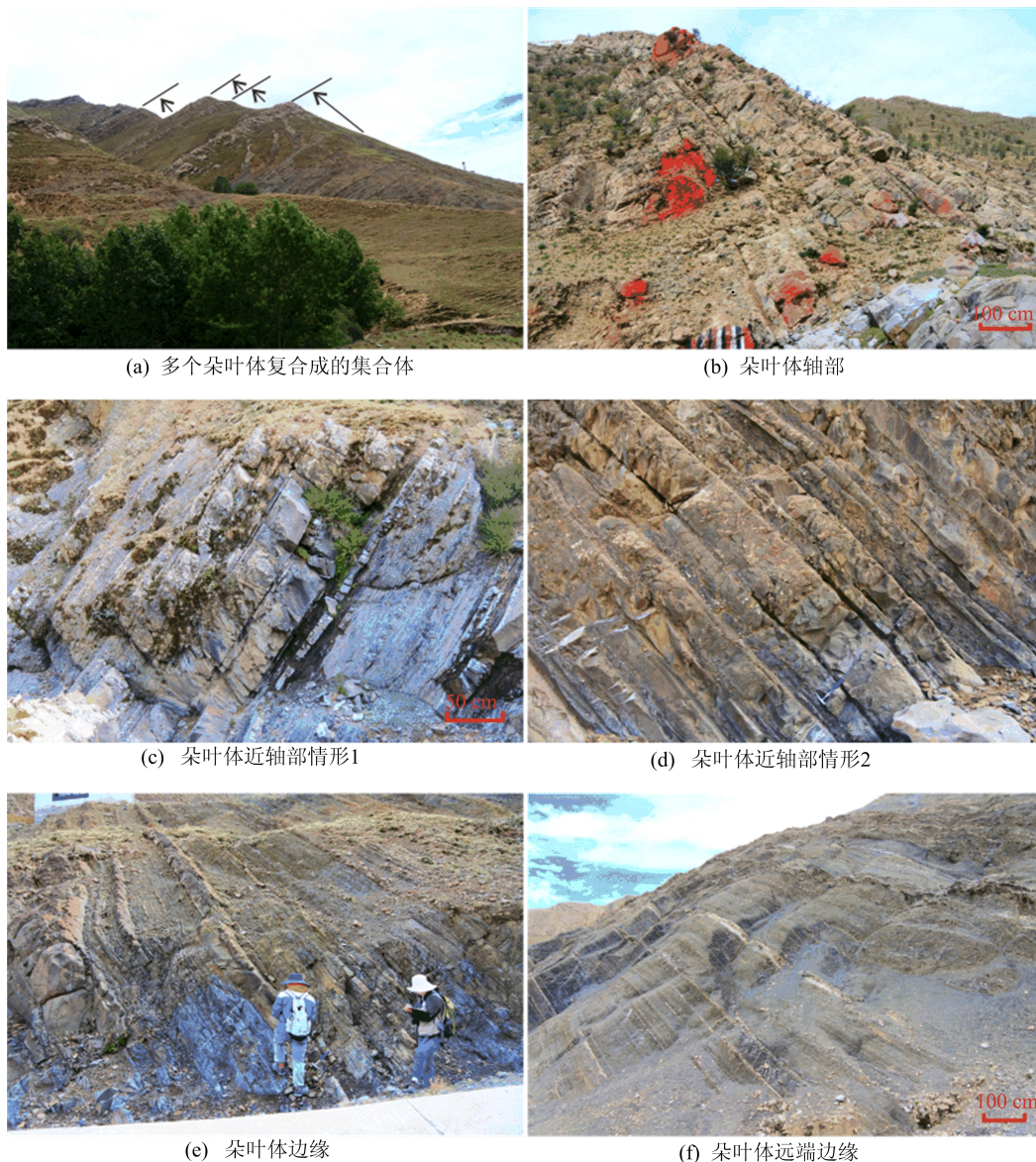


图5 朵叶体微相野外图片

300~400 m 处可见轴部微相和近轴部微相交替出现,可能指示朵叶体内水道快速的侧向迁移。450~750 m 处可见边缘微相向上过渡至近轴部微相、轴部微相,之上快速过渡至近轴部微相、边缘微相,至远端边缘微相,代表了一期朵叶体出现至快速消亡的完整过程,指示一期浊流事件的发育和平息。不同的微相组合关系表明不同期次的朵叶体沉积过程不同,推测可能与碎屑物质的供给、源区的构造活动等因素有关。

4 结 论

恩贡寺剖面昂仁组沉积环境为深水海底扇中叠置的朵叶复合体,基于岩相组合和沉积构造识别出7期朵叶复合体。朵叶体由轴部、近轴部、边缘和远端边缘4种微相组成,包括砾岩相、无构造

砂岩相、砂岩相、条带砂岩相、泥石流沉积相、砂岩/粉砂岩组合相、粉砂岩相、泥岩/灰岩相8种岩相,符合文献[7,29]提出的沉积相模式。

[参 考 文 献]

- [1] SHANMUGAM G, MOIOLA R J. Submarine fan models: problems and solutions[M]//BOUMA A H, NORMARK W R, BARNES N E. Submarine fans and related turbidite systems. New York:Springer,1985:29-35.
- [2] RICHARDS M, BOWMAN M, READING H. Submarine-fan systems I: characterization and stratigraphic prediction[J]. Marine and Petroleum Geology, 1998, 15: 689-717.
- [3] PORTNOV A, COOK A E, SAWYER D E, et al. Clustered BSRs: evidence for gas hydrate-bearing turbidite complexes in folded regions, example from the Perdido Fold Belt, northern Gulf of Mexico[J]. Earth and Planetary Science

- Letters, 2019, 528: 115843.
- [4] MUTTI E, LUCCHI F R. Turbidites of the northern Apennines: introduction to facies analysis[J]. *International Geology Review*, 1978, 20(2): 125-166.
 - [5] NORMARK W R. Fan valleys, channels, and depositional lobes on modern submarine fans: characters for recognition of sandy turbidite environments[J]. *AAPG Bulletin*, 1978, 62(6): 912-931.
 - [6] 谈明轩, 吴峰, 马皓然, 等. 海底扇沉积相模式沉积过程及其沉积记录的指示意义[J]. *沉积学报*, 2022, 40(2): 435-449.
 - [7] PRÉLAT A, HODGSON D M, FLINT S S. Evolution, architecture and hierarchy of distributary deep-water deposits: a high-resolution outcrop investigation from the Permian Karoo Basin, South Africa[J]. *Sedimentology*, 2009, 56(7): 2132-2154.
 - [8] 张佳佳, 吴胜和. 海底扇朵叶沉积构型研究进展[J]. *中国海上油气*, 2019, 31(5): 88-106.
 - [9] EINSELE G, DÜRR S, FRISCH W, 等. 西藏日喀则白垩纪弧前盆地: 沉积物和盆地演化[J]. *岩相古地理*, 1993, 13(1): 3-31, 56.
 - [10] 刘成杰, 尹集祥, 孙晓兴, 等. 西藏南部日喀则弧前盆地非复理石型海相上白垩统一第三系[M]//中国科学院地质研究所集刊·第3号. 北京: 科学出版社, 1988: 134-148.
 - [11] MIALD A D. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary[M]//MIALD A D. *Fluvial sedimentology*. Calgary: Geological Survey of Canada, 1977: 597-604.
 - [12] LOWE D R. Sediment gravity flows: II. depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1982, 52(1): 279-297.
 - [13] MUTTI E. Turbidite sandstones[M]. San Donato Milanese: Agip S.p.A., 1992: 28-38.
 - [14] DÜRR S B. Provenance of Xigaze fore-arc basin clastic rocks (Cretaceous, south Tibet) [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1996, 108: 669-684.
 - [15] ORME D A, LASKOWSKI A K. Basin analysis of the Albian-Santonian Xigaze forearc, Lazi region, south-central Tibet [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2016, 86: 894-913.
 - [16] TAPPONNIER P, MERCIER J L, PROUST F, et al. The Tibetan side of the India-Eurasia collision [J]. *Nature*, 1981, 294: 405-410.
 - [17] 常承发. 雅鲁藏布江缝合带地质构造特征及其演化[M]//李光岑, MERCIER J L. 中法合作喜马拉雅考察 1980 成果. 北京: 地质出版社, 1984: 327-345.
 - [18] 尹集祥, 孙晓兴, 闻传芳. 西藏日喀则弧前盆地复理石沉积-日喀则群[M]//中国科学院地质研究所集刊·第3号. 北京: 科学出版社, 1988: 96-118.
 - [19] WU F Y, JI W Q, LIU C Z, et al. Detrital zircon U-Pb and Hf isotopic data from the Xigaze fore-arc basin: constraints on Transhimalayan magmatic evolution in southern Tibet [J]. *Chemical Geology*, 2010, 271: 13-25.
 - [20] AITCHISON J C, XIA X P, BAXTER A T, et al. Detrital zircon U-Pb ages along the Yarlung-Tsangpo suture zone, Tibet: implications for oblique convergence and collision between India and Asia [J]. *Gondwana Research*, 2011, 20: 691-709.
 - [21] DAI J G, WANG C S, ZHU D C, et al. Multi-stage volcanic activities and geodynamic evolution of the Lhasa terrane during the Cretaceous: insights from the Xigaze forearc basin [J]. *Lithos*, 2015, 218/219: 127-140.
 - [22] EINSELE G, LIU B, DÜRR S, et al. The Xigaze forearc basin: evolution and facies architecture (Cretaceous, Tibet) [J]. *Sedimentary Geology*, 1994, 90: 1-32.
 - [23] WANG C S, LI X H, LIU Z F, et al. Revision of the Cretaceous-Paleogene stratigraphic framework, facies architecture and provenance of the Xigaze forearc basin along the Yarlung Zangbo suture zone [J]. *Gondwana Research*, 2012, 22: 415-433.
 - [24] AN W, HU X M, GARZANTI E, et al. Xigaze forearc basin revisited (south Tibet): provenance changes and origin of the Xigaze Ophiolite [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2014, 126(11/12): 1595-1613.
 - [25] ORME D A, CARRAPA B, KAPP P. Sedimentology, provenance and geochronology of the upper Cretaceous-lower Eocene western Xigaze forearc basin, southern Tibet [J]. *Basin Research*, 2014, 27(4): 387-411.
 - [26] HU X M, WANG J G, BOUDAGHER-FADEL M, et al. New insights into the timing of the India-Asia collision from the Paleogene Quxia and Jialazi formations of the Xigaze forearc basin, south Tibet [J]. *Gondwana Research*, 2016, 32: 76-92.
 - [27] WANG J G, HU X M, GARZANTI E, et al. The birth of the Xigaze forearc basin in southern Tibet [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2017, 465: 38-47.
 - [28] 赵晓明, 刘飞, 葛家旺, 等. 深水水道沉积构型单元分级与结构样式[J]. *沉积学报*, 2023, 41(1): 37-51, 341.
 - [29] SPYCHALA Y T, HODGSON D M, PRÉLAT A, et al. Frontal and lateral submarine lobe fringes: comparing sedimentary facies, architecture and flow processes [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2017, 87: 75-96.

(责任编辑 张淑艳)