

# 老挝古特提斯构造不同阶段的中酸性 岩浆活动与成矿

张羽佳<sup>1</sup>, 吴承泉<sup>2\*</sup>, 徐进鸿<sup>2</sup>, 李溪遥<sup>2</sup>, 靳子茹<sup>2</sup>, 张正伟<sup>2</sup>

(1. 河南省地质研究院, 河南 郑州 450016, 2. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 50081)

老挝北部是一个古特提斯多地体汇聚拼合的连结区域, 周边分布有暹罗马苏、华南和印支地块, 其间夹持有会晒-素可泰、思茅-丰沙里、琅勃拉邦-黎府、长山地体以及沱江微地体。在这些地体的相互拼合过程中, 由于俯冲-碰撞作用致使分阶段发育钙碱性岩浆岩、过铝质岩浆岩和亚碱性火山-侵入杂岩以及碱性岩。在这些中酸性火山-侵入岩中, 除了少量的前泥盆纪和后侏罗纪形成的岩浆岩外, 大量的岩石形成于二叠纪-三叠纪, 这个时期是古特提斯汇聚过程中的构造转换主期, 相应地形成一套与中酸性岩浆活动相关的内生金属成矿系统。根据构造-岩浆发育阶段可划分以下成矿组合:

1) 俯冲弧岩浆热液成矿组合, 形成与初始俯冲相关的钙碱性岩浆岩, 已被识别的岩石证据包括 Phu Kham 和 Puthep 埃达克岩(Kamvong et al., 2014)。其中 Phu Kham 岩体位于长山地体并于晚石炭世侵位(ca. 306-304 Ma), 它可能代表哀牢山-松马洋壳的初始俯冲(Song Ma suture)。然而, Puthep 岩体位于黎府地体并于中三叠世侵位(ca. 244-241 Ma), 它可能代表难河-程逸洋或古特提斯主洋壳的初始俯冲(Nan-Uttaradit suture or Chiang Mai suture?)。有关的成矿类型主要有斑岩 Cu-Au 矿床、矽卡岩和浅成低温热液 Cu-Au 矿床, 主要矿床有 Phu Kham Cu-Au 矿床, Sepon 矽卡岩 Cu-Au 矿床(Cromie et al., 2018)和 Puthep Cu-Au 矿床;

2) 弧-陆碰撞岩浆热液成矿组合, 形成与弧-陆碰撞相关的钙碱性斑岩 Cu-Au 矿床以及弧后伸展背景的碱性斑岩和浅成低温热液 Cu-Au 矿床。已被识别的岩石证据包括 Phu Long、Pha Lek、PhaYinshui 和 Bulao 次火山-深成侵入岩, 它们分别位于琅勃拉邦-黎府地体、长山地体和会晒-素可泰地体(Shi et al., 2015; Wang et al., 2018)。有关的成矿组合主要有斑岩-矽卡岩型 Fe-Cu-Au 矿床以及浅成低温热液 Au-Ag 多金属矿床(Salam et al., 2014; Manaka et al., 2014; Leaman et al., 2019)。其中, 爬立山铁矿是一个矽卡岩型磁铁矿矿床, 成矿母岩为形成于 280Ma 的二长花岗岩, 其构造背景被推测为弧陆碰撞早期形成的陆缘成矿系统。Bulao 铁矿床赋存于中-下三叠统的中酸性火山-次火山岩及火山碎屑沉积岩, 其构造背景被限定为岛弧-弧后盆地沉积环境, 受后期花岗斑岩有关的岩浆热液交代形成接触带变质矽卡岩型磁铁矿床。具有 Fe-Cu-Au 成矿组合特征的矿床主要包括 Pang Kham Cu-Au(Fe)矿床, Long Vi Au-Cu (Fe) 矿床, 以及 Phu Long Cu-Fe (Au)矿床。浅成低温热液 Au-Ag 多金属矿床主要包括 Long Chieng Track, Ban Houayxai 和 Chatree 等地区;

3) 碰撞造山岩浆热液成矿组合, 形成于早三叠世-中三叠世的高铝质岩浆岩, 产出造山型和构造蚀变岩型以及热液脉型的 Au-Pb-Zn(Ag)-Fe-Cu 矿床。在老挝北部主要发育早三叠世-中三叠世的同碰撞高铝质岩浆岩类(Qian et al., 2016; Wang et al., 2018), 形成与亲石元素相关的造山型和构造蚀变岩型以及热液脉型的 Au-Pb-Zn(Ag)-Fe-Cu 矿床。其中最重要的当属造山型金矿, 主要矿产地包括 Xiangkok、Phapon、Ban Sakai 等, 成矿类型属于受构造蚀变带控制的岩浆期后低温热液型金矿床(Chen et al., 2010; Guo et al., 2019)。另外, 受盆山转换构造和岩浆热驱动作用形成热液型 Pb-Zn(Ag)矿床, 主要包括 Pha Luang Pb-Zn(Ag) 矿床和 Pha Van San Pb-Zn 矿床 (Kanvong, 2013), 以及 Phou Thung 和 Ban NaMo 沉积-改造型 Cu-Pb-Zn 矿床;

4) 造山期后伸展构造-热液成矿组合, 形成于晚三叠世-早侏罗世的伸展构造背景的钙碱性-中碱性斑岩和矽卡岩 Cu-Mo-Sn 矿床、浅成低温热液 Cu-Au 矿床, 以及与亚碱性火山-侵入杂岩有关的热液型和卡林型的 Cu-Pb-Zn 和 Au-Sb-Hg 矿床。伸展构造型式主要包括三叠纪的素可泰伸展盆地、兰江张性构造带、长山地体边缘拗陷带以及桑怒裂谷带等(Thassanapak et al., 2017; Rossignol et al., 2018)。已被识别的岩石证据包

基金项目: 国家自然科学基金项目(批准号: No. 9195209; U1603245)

第一作者简介: 张羽佳, 女, 1985 年生, 硕士, 主要从事旅游地质与文创研究。

括 A 型花岗岩和石英斑岩类,与此有关的矿床主要包括 Nam Pathene 锡钨矿床、Ban Namthong Pb-Zn 矿床、Sepon 斑岩 Cu-Mo 矿床和沉积岩容矿的金矿床 (Cromie et al., 2018; Zhang, et al., 2020)。

古特提斯汇聚是该区域最重要的一次地质成矿事件(Zaw et al., 2014)。古特提斯汇聚初期通常被认为发生在晚古生代-早中生代,碰撞造山及后碰撞伸展发生在晚中生代。构造时序已被确认为印支地块先与华南地块碰撞,然后再与暹罗马苏地块碰撞。内生金属成矿作用除了与构造-岩浆阶段相关外,也与不同地体的基底物质属性有一定联系。老挝北部的地质构造行迹可以被识别为北东向的苏克泰地体和黎府地体与北西向的长山地体和沱江地体,中间夹持思茅地体和昆嵩地块,它们构成一个“λ”字型的构造框架。其中长山地体有古老的基底和盖层,黎府地体是在陆块边缘褶皱带基础上发展起来的构造单元,苏克泰地体是一个古特提斯弧地体,思茅地体是一个基于晚古生代洋壳上的沉积褶皱和中生代断陷盆地,沱江地体是原来自华南地块边缘的碎块,这些地体被拼合是由于古特提斯汇聚的结果。在古特提斯汇聚过程中,从洋壳初始俯冲、弧-陆碰撞、陆内造山到后碰撞伸展构造阶段,相应的发育一套中酸性岩浆成矿系统。由于古特提斯汇聚过程中不同地体被俯冲的初始时间有一定差异,故而在弧岩浆活动时间上也有差异。但在总体上,不同构造-岩浆阶段与成矿组合之间具有明显的制约关系。

### 参考文献:

- Chen, Y.Q., Liu, J.L., Feng, Q.L., 2010. Geology and Ore Deposits Associated with Granites in Indo-China Peninsula of Southeastern Asia. Geological Publishing House, Beijing, 12, pp. 46-49 (in Chinese with English abstract).
- Cromie P., Makoundi C., Zaw K., Cooke C., White N., and Ryan C., 2018. Geochemistry of Au-bearing pyrite from the Sepon Mineral District, Laos DPR, Southeast Asia: Implications for ore genesis. *Journal of Asian Earth Science*, 164: 194-218.
- Guo, L., Liu, S., Hou, L., Wang, J., Shi, M., Zhang, Q., Nie, F., Yang, Y., Peng, Z., 2019. Fluid Inclusion and HO Isotope Geochemistry of the Phapon Gold Deposit, NW Laos: Implications for Fluid Source and Ore Genesis. *Journal of Earth Science*, 30(1): 80-94.
- Kamvong T., Zaw K., Meffre S., Maas R., Stein H., Lai C.K., 2014. Adakites in the Truong Son and Loei fold belts, Thailand and Laos: Genesis and implications for geodynamics and metallogeny. *Gondwana Research*, 26(1): 624-633.
- Kamvong, T., 2013. Geology and Genesis of Porphyry-skarn Cu-Au Deposits of the Northern Loei and Truong Son Fold Belts. Unpublished Ph.D. thesis, University of Tasmania, pp. 1-169.
- Leaman P., Manaka T., Jarical K., Villar M., and Libao J. B., 2019. The geology and mineralization of the Long Chieng Track(LCT) subvolcanic Au-Ag-Cu-Pb-Zn deposit, Laos PDR. *Ore Geology Reviews*, 106: 387-402.
- Manaka, T., Zaw, K., Meffre, S., Vasconcelos, P.M., Golding, S.D., 2014. The Ban Houayxai epithermal Au-Ag deposit in the Northern Lao PDR: Mineralization related to the Early Permian arc magmatism of the Truong Son Fold Belt. *Gondwana Research*, 26(1): 185-97.
- Qian, X., Feng, Q., Wang, Y., Chonglakmani, C., Monjai, D., 2016. Geochronological and geochemical constraints on the mafic rocks along the Luang Prabang zone: Carboniferous back-arc setting in northwest Laos. *Lithos*, 245: 60-75.
- Qian, X., Wang, Y., Zhang, Y., Zhang, Y., Senebottalath, V., Zhang, A., He, H. 2019. Petrogenesis of Permian-Triassic felsic igneous rocks along the Truong Son zone in northern Laos and their Paleotethyan assembly. *Lithos*, 328: 101-114.
- Rossignol, C., Bourquin, S., Hallot, E., Poujol, M., Dabard, M.P., Martini, R., Villeneuve, M., Cornee, J.J., Brayard, A., Roger, F., 2018. The indosinian orogeny: A perspective from sedimentary archives of north Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, 158: 352-380.
- Salam, A., Zaw, K., Meffre, S., McPhie, J., Lai, C. K., 2014. Geochemistry and Geochronology of the Chatree epithermal gold-silver deposit: Implications for the tectonic setting of the Loei Fold Belt central Thailand. *Gondwana Research*, 26: 198-271.
- Shi, M.F., Lin, F.C., Fan, W.Y., Deng, Q., Cong, F., Tran, M.D., Zhu, H.P., Wang, H., 2015. Zircon U-Pb ages and geochemistry of granitoids in the Truong Son terrane, Vietnam: Tectonic and metallogenic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 101: 101-120.
- Thassanapak, H., Udchachon, M., Feng, Q., Burrett, C., 2017. Middle Triassic radiolarians from cherts/siliceous shales in an extensional basin in the Sukhothai fold belt, Northern Thailand. *Journal of Earth Science*, 28(1): 9-28.
- Wang, Y.J., Qian, X., Cawood, P.A., Liu, H.C., Feng, Q.L., Zhao, G.C., Zhang, Y.H., He, H.Y., Zhang, P.Z., 2018. Closure of the East Paleotethyan Ocean and amalgamation of the Eastern Cimmerian and Southeast Asia continental fragments. *Earth-science reviews*, 186: 195-230.
- Zaw, K., Meffre, S., Lai, C.K., Burrett, C., Santosh, M., Graham, I., Manaka, T., Salam, A., Kamvong, T., Cromie, P., 2014. Tectonics and metallogeny of mainland Southeast Asia-A review. *Gondwana Research*, 26: 5-30.
- Zhang Z.W., Shu Q., Wu C.Q. et al., 2020. The endogenetic metallogenic assemblages in North Laos and its relation to the intermediate-felsic rocks at different stages of the Paleotethyan tectonics. *Ore Geology Reviews*, 113(<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103582>).