国家自然科学基金委

“特提斯地球动力系统”重大研究计划重点支持项目

2018 年度进展报告

项目名称：中生代冈底斯弧的岩浆成因与地壳演化

负 责 人：朱弟成

项目编号：91755207

执行时间：2018.01 - 2021.12

承担单位：中国地质大学（北京）

2019 年 01 月 10 日

一、重要研究进展

1. 野外工作进展

根据项目任务书，对冈底斯岩浆带东部桑日到米林一带的 7 条南北向岩浆岩大剖面开场了野外工作（图 1），南北向剖面路线总长度 314 km，共定点 417 个，采样 702 件，其中含锆石 U-Pb 定年样品 491 件。

在加查县剖面 2 和剖面 3、朗县剖面 4 和剖面 5 以及米林县剖面 7 共五条剖面中均发现片麻状花岗岩。这些片麻状花岗岩大多出露于剖面的南段（即冈底斯岩基南部），东西延伸超过 150 km（东经 92°40 到 94°10′），被不同岩性所侵入。这些野外观察证实冈底斯岩基东部很可能存在基底物质，不支持冈底斯岩基东部形成于洋内弧的观点。

在加查县剖面 2 和剖面 3、朗县剖面 4 和剖面 5、米林县剖面 6 和剖面 7，共 6 条剖面中均发现了角闪石岩。这些角闪石岩分布在冈底斯岩基南缘，东西延伸近 160 km，南北跨度达 20 km。所有剖面中，角闪石岩均以捕虏体的形式侵位于片麻状花岗岩或片麻状闪长岩中。野外露头上，角闪石岩常与角闪辉长岩或辉长闪长岩伴生，二者呈机械混杂状态，显示二者可能具有成因联系。

在剖面 3—7 多个观察点，均发现了二云母花岗岩，多以沿脉的形式产出，侵位在黑云母二长花岗岩、片麻状花岗岩和片麻状闪长岩中，东西跨度达 130 km（东经 92°50′到 94°10′）；其中在朗县北侧的剖面 4 发现了多个岩株，南段、中段和北段都有发育，南北向跨度达 50 km，单个岩株面积约 10—20 km²，与黑云母花岗岩伴生。这些现象表明，冈底斯岩基部分样品，要么经历了高程度分异，要么来源于变沉积岩的部分熔融。

2. 研究工作进展

在 Geological Society, London, Special Publications 发表论文 1 篇（已接受，第一资助），在 Lithos 发表论文 2 篇（第二资助），投稿 Journal of Petrology 论文 1 篇（Awaiting Final Decision，第一资助）。

（1）综合整理了南部拉萨地体的岩浆岩资料，论证了 120 Ma 以来印度—亚洲汇聚过程及其驱动机制（Zhu et al., 2018, GSL）

（a）重新定义了冈底斯岩浆带和冈底斯弧：目前在南部拉萨地体报道的岩浆活动时代，最早已前溯至中晚三叠世（火山岩约 237 Ma；花岗岩类约 210 Ma），与早期研究提及的白垩纪冈底斯弧或冈底斯岩基在时代上存在极大差别，同时在地球动力学背景的解释上也存在明显争议。在这种背景下，本项目重新定义了冈底斯岩浆带和冈底斯弧，即：将南部拉萨地体广泛分布的 240–10 Ma 岩浆岩（包括冈底斯岩基和同期火山岩），称之为冈底斯岩浆带（Gangdese magmatic belt）；

将可能直接与新特提斯和印度大陆俯冲有关的年龄小于 140 Ma 的岩浆岩（包括冈底斯岩基和同期火山岩），称之为冈底斯弧（Gangdese arc）。

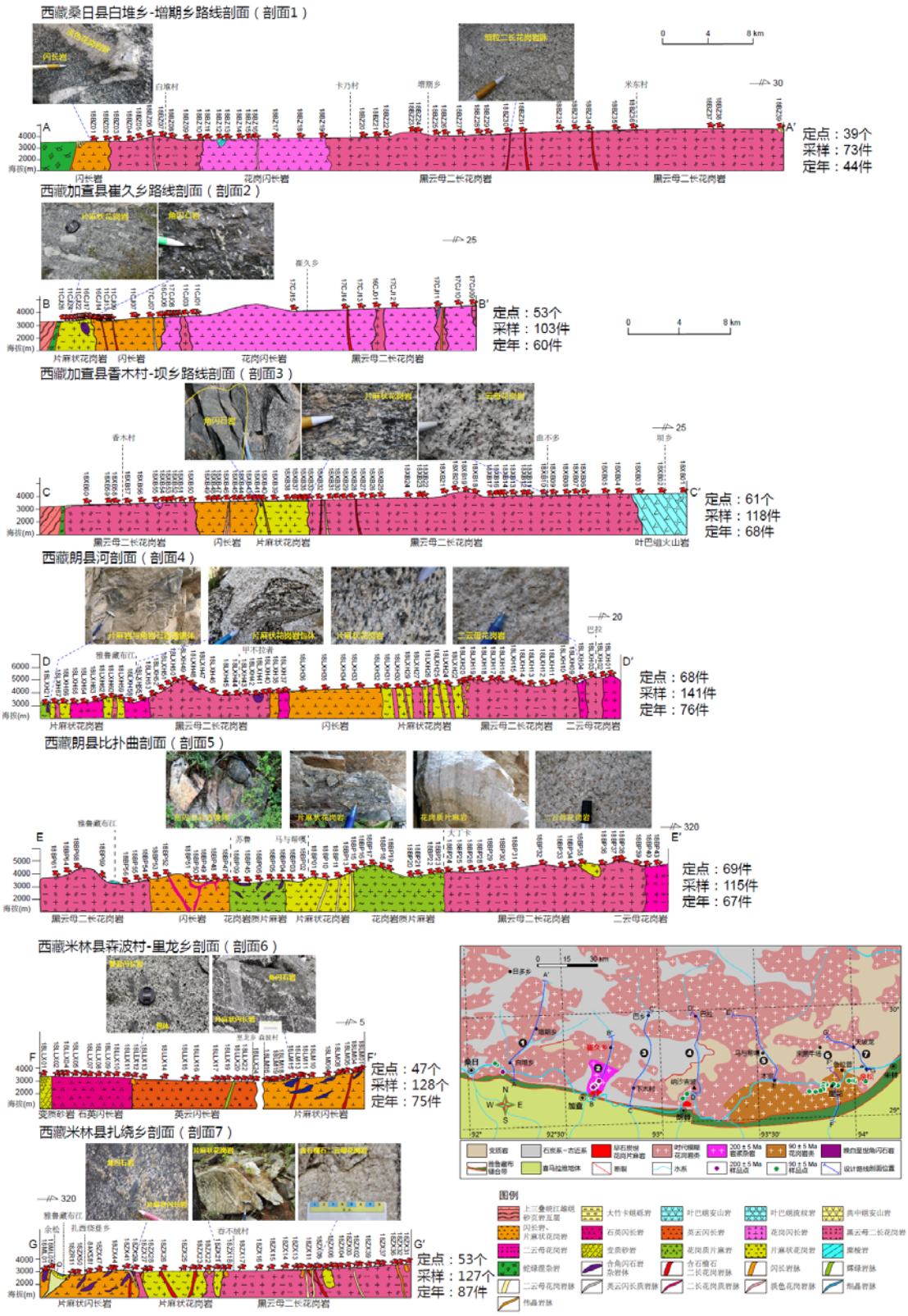

图 1 项目 2018 年在冈底斯岩浆带东部开展的 7 条南北向岩浆岩剖面总结简图

（b）重建了印度—亚洲汇聚带 120 Ma 以来的汇聚过程：基于对板块构造驱动力和岩浆产生机制的分析，根据冈底斯弧岩浆活动的时空迁移特点和成分变化趋势，提出 120-95 Ma 具有正常汇聚速率的印度—亚洲汇聚由新特提斯洋的正常俯冲驱动，洋脊俯冲发生在约 95–85 Ma,从 90–84 Ma 到 84-67 Ma 汇聚速率的降低由洋脊俯冲之后扩张脊南侧年轻的热的洋壳俯冲驱动，67–51 Ma 汇聚速率的增加由 Deccan 地幔柱活动和新特提斯洋的板片回转驱动，在约 51 Ma 的急剧减速由新特提斯洋的板片断离引起，约 50 Ma 以后的印度—亚洲汇聚由高密度印度大陆岩石圈的俯冲下沉引起（图 2）。

（c）提出板片堆叠模型（Slab stacking hypothesis）来解释印度—亚洲汇聚带 50 Ma 以来的岩浆产生机制和印度陆壳的运动学行为：如果板片断离发生在约 51 Ma，需要回答的问题是，在 51-45 Ma 期间，为何俯冲下去达 600 km 的印度板块（假定印度—亚洲汇聚速率为 80-100 mm/yr）没有阻止 51-45 Ma 冈底斯弧岩浆作用的产生？如何解释印度—亚洲汇聚带上千公里的地壳缩短量？根据汇聚速率、古地磁和地震层析成像研究成果，提出在 110-50 Ma 新特提斯洋壳一直在相对固定的位置（21±4°N）发生俯冲，并因重力下沉到深部地幔，现今才能在 1100-1600 km 深度通过地震层析成像检测到；约 50 Ma 以来增厚的印度下地壳和拆沉的印度岩石圈地幔持续俯冲下沉（并堆叠到地幔内部），促使印度板块北向运动。在约 25 Ma 由于印度板块北向运动的拖拽，俯冲的印度大陆岩石圈板片发生断离，随后持续俯冲到拉萨地体之下。在 50–25 Ma 之间，俯冲下沉的印度大陆岩石圈堆叠在地幔深度，使得现今在印度大陆下面的下地幔顶部到过渡带之间的深度能够通过地震层析成像检测到（图 2）。

（2）提出约 200 Ma 的冈底斯地壳主要由岩浆分异过程构建（Xu and Zhu et al., 2018, JP, Awaiting Final Decision）

大陆边缘岩浆弧地壳究竟由部分熔融+岩浆混合还是岩浆分异形成，一直是国际学术界关注的热点科学问题。研究难度在于缺乏确凿的岩石学和地球化学证据。本项目在野外详细调研基础上，重点对南部拉萨地体冈底斯岩浆带东部加查地区直接侵位于晚泥盆世—早石炭世片麻状花岗岩中的崔久火成杂岩（图 3）进行了细致深入的岩石学和地球化学研究，取得下述新进展和新认识：

（a）厘定了崔久火成杂岩的岩性组成：崔久火成杂岩岩性丰富，由堆晶和非堆晶两大岩石系列组成，其中的堆晶系列包括单斜辉石角闪石岩、角闪石岩、角闪辉长岩和英云闪长岩（图 4）；非堆晶系列由角闪辉长岩、辉长-闪长岩、闪长岩、英云闪长岩和二长花岗岩脉组成（图 5）。锆石和榍石 U–Pb 定年均显示这些不同岩性具有一致的结晶年龄（约 200 Ma）。

（b）查明了崔久火成杂岩的岩石成因：非堆晶系列起源于受俯冲相关的流体交代的地幔楔部分熔融，随后经历了以角闪石为主的分离结晶作用形成的一套连续岩浆演化序列，而堆晶系列是上述分离结晶作用过程中形成的成分互补的堆晶岩组合。

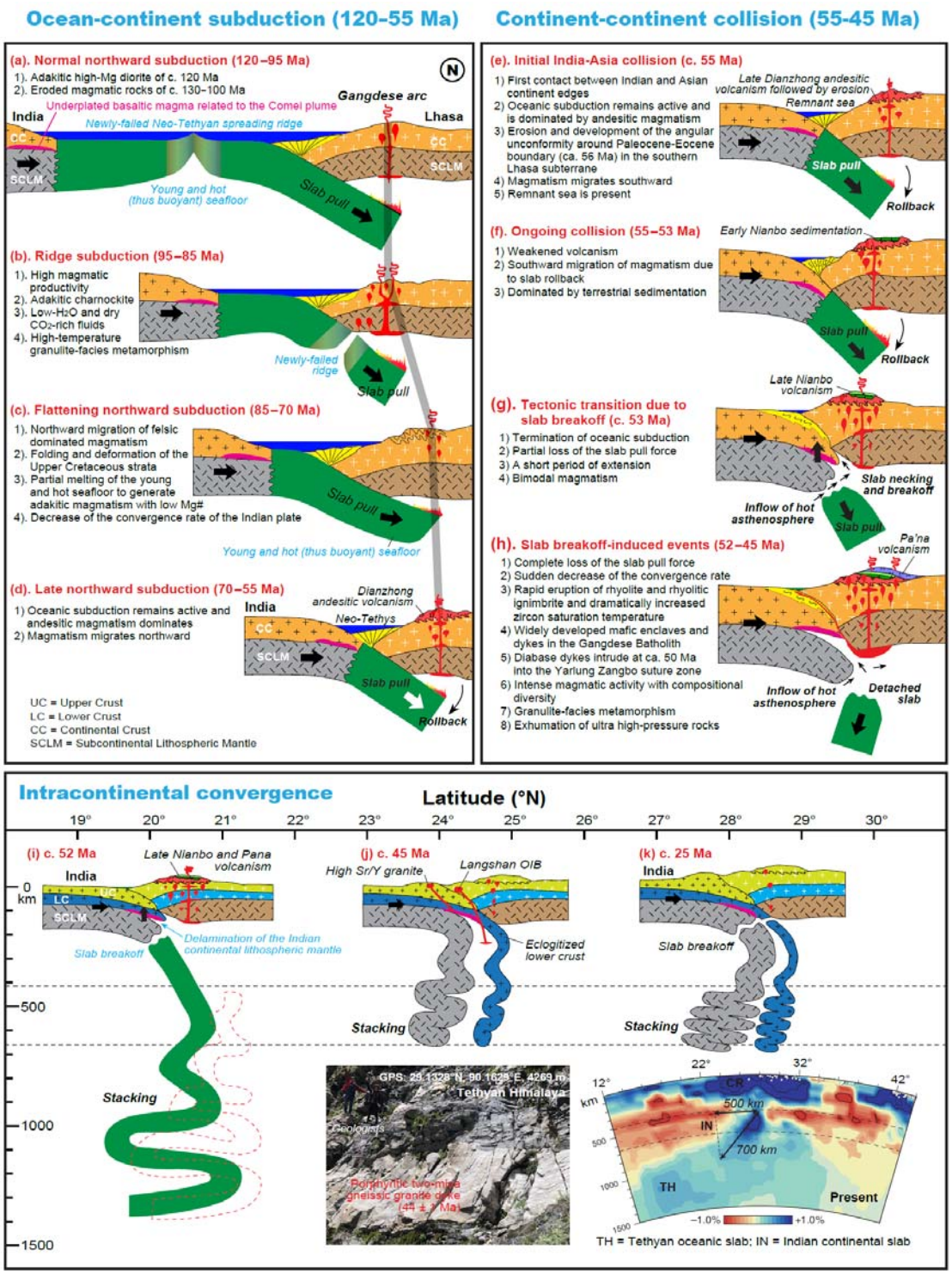

图 2 项目提出的 120 Ma 以来印度—亚洲汇聚过程和板片堆叠模型示意图

（c）论证了约 200 Ma 冈底斯地壳的形成过程：统计分析了冈底斯岩浆带已发表的约 200 Ma 岩浆岩数据，提出此时期冈底斯地壳的形成受控于岩浆分异过程（图 6a）：慢源玄武质岩浆经历中压（<10 kbar）分离结晶和少量围岩同化混染，形成低 SiO_2 富角闪石堆晶岩和中—酸性派生岩浆。这些派生岩浆在上升和运移过程中进一步经历分离结晶和少量混染，最终固结于中—上地壳形成此时期的冈底斯岩基，而部分岩浆则喷出地表形成同期火山岩。

（d）构建了约 200 Ma 冈底斯岩浆带的地壳成分结构：角闪石 Al 压力计计算结果表明约 200 Ma 冈底斯岩浆带具有正常的地壳厚度（约 35 km），中—下地壳（35–20 km）以超基性—基性堆晶岩为主、中—上地壳（20–4 km）以厚的花岗质成分为特征，基底岩石由晚泥盆世—早石炭世片麻状花岗岩和时代更老的其它岩性组成，上部地壳火山沉积盖层覆盖（约 4 km）（图 6b）。

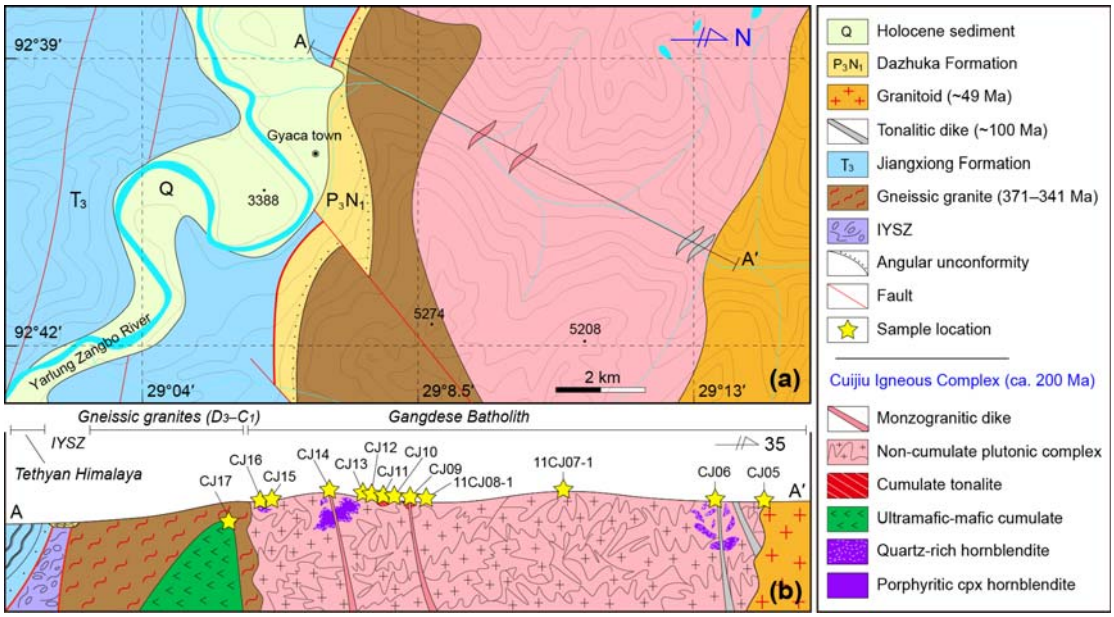

图 3 加查地区地质简图和崔久火成杂岩图切剖面图

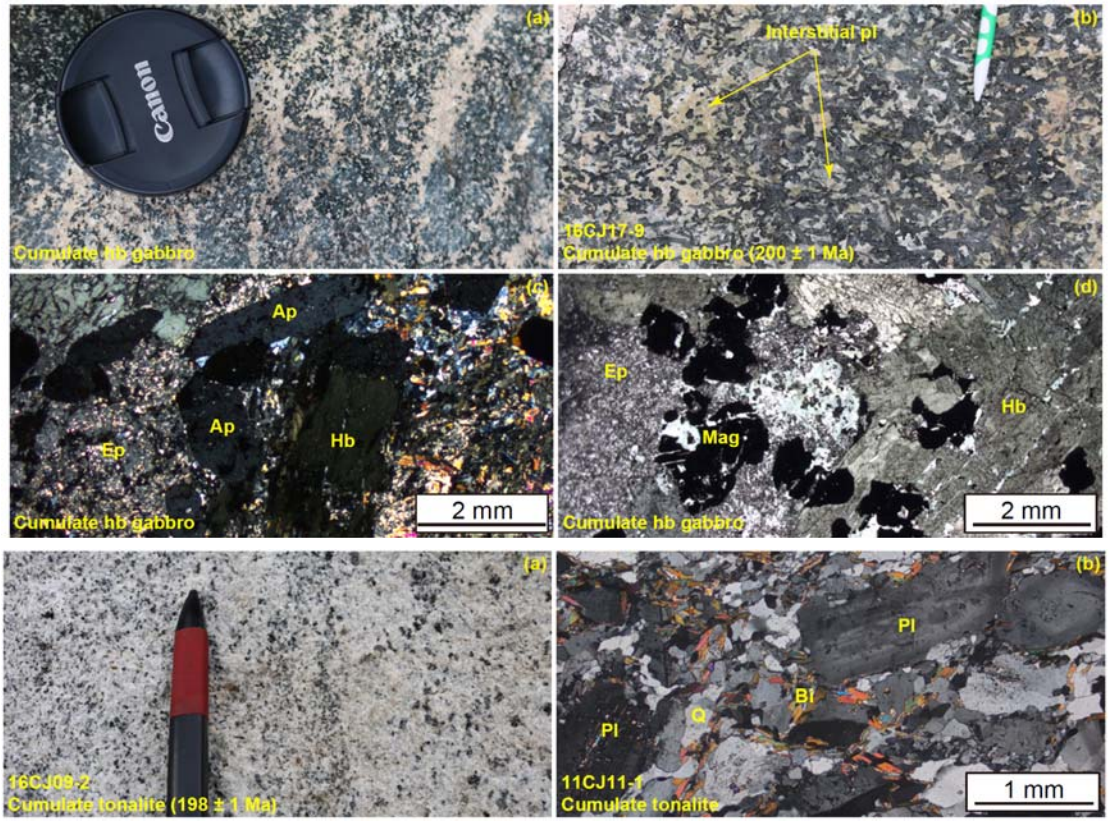

图 4 加查地区崔久火成杂岩中的堆晶岩系列

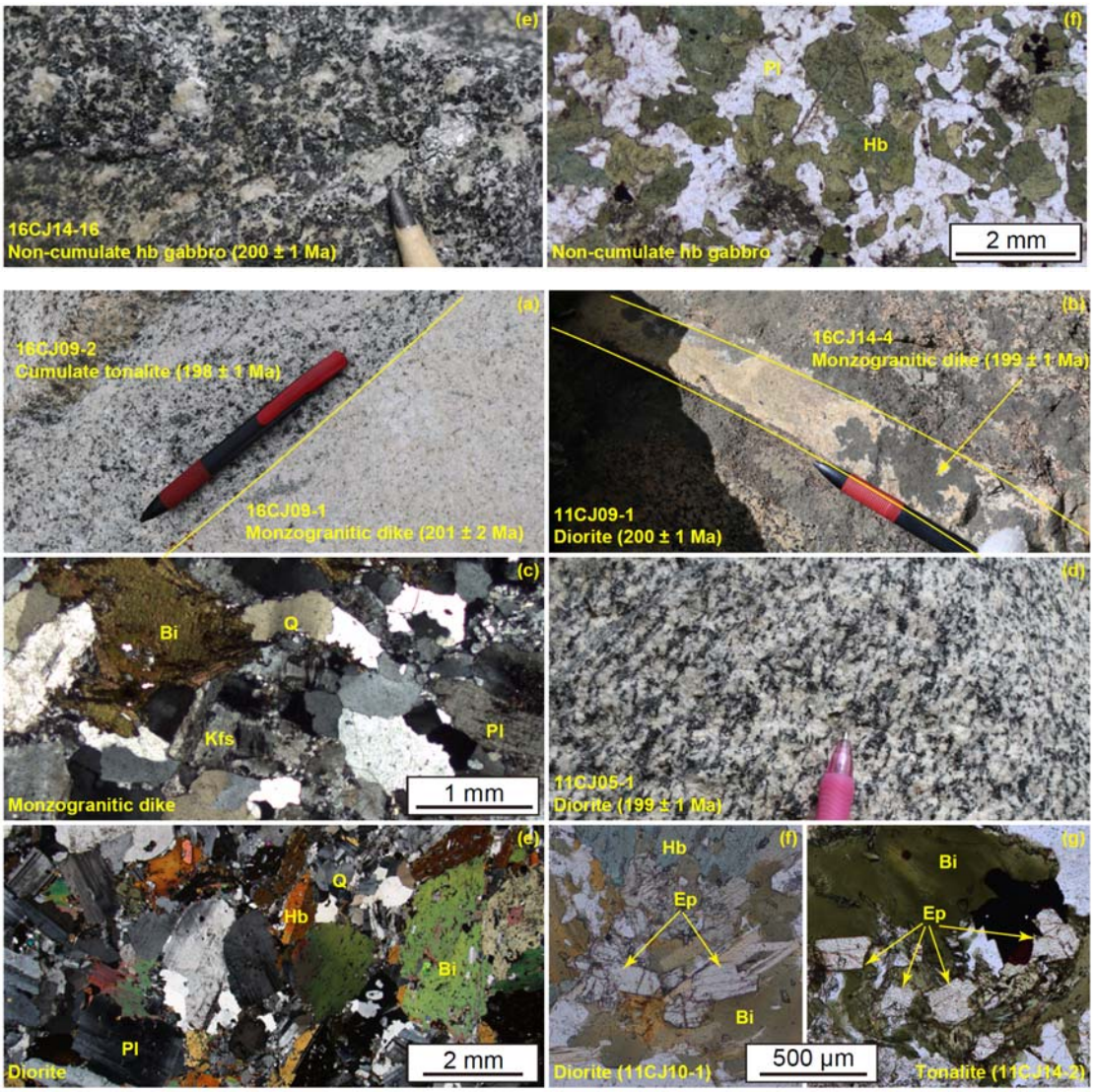

图 5 加查地区崔久火成杂岩中的非堆晶岩系列

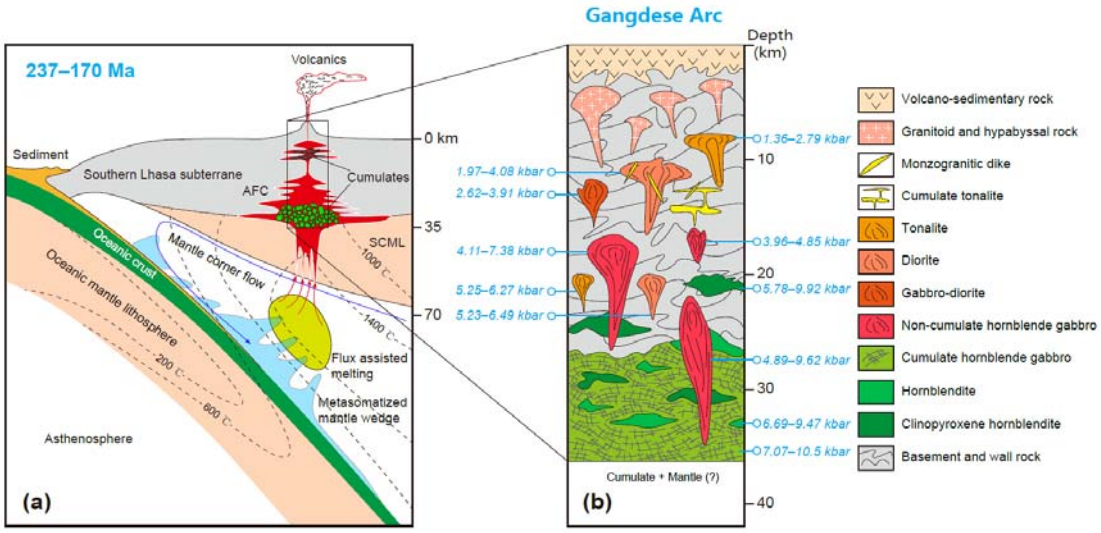

图 6 约 200 Ma 冈底斯地壳的形成过程和垂向成分结构剖面示意图

二、存在的问题及解决方法

抓紧开展相关实验分析测试，及时获得数据，尽快发表相关研究成果。

三、其他需要说明的情况

无。

论文清单

Zhu, D.C.*, Wang, Q., Chung, S.L., Cawood, P.A., Zhao, Z.D., 2018. Gangdese magmatism in southern Tibet and India-Asia convergence since 120 Ma. TRELOAR, P.J. & SEARLE, M.P. (eds.) Himalayan Tectonics: A Modern Synthesis. *Geological Society, London, Special Publications* 483, https://doi.org/10.1144/SP483.14（第 1 资助）

Wang, Q.*, Zhu, D.C., Liu, A.L., Cawood, P.A., Liu, S.A., Xia, Y., Chen, Y., Wang, H., Zhang, L.L., Zhao, Z.D., 2018. Survival of the Lhasa Terrane during its collision with Asia due to crust-mantle coupling revealed by ca. 114 Ma intrusive rocks in western Tibet. *Lithos* 304-307, 200–210（第 2 资助）

Liu, A.L., Wang, Q.*, Zhu, D.C., Zhao, Z.D., Liu, S.A., Wang, R., Dai, J.G., Zheng, Y.C., Zhang, L.L., 2018. Origin of the ca. 50 Ma Linzizong shoshonitic volcanic rocks in the eastern Gangdese arc, southern Tibet. *Lithos* 304-307, 374–387（第 2 资助）

Xu, W., Zhu, D.C.*, Wang, Q., Weinberg, R.F., Wang, R., Li, S.M., Zhang, L.L., Zhao, Z.D., 2018. Constructing the Early Mesozoic (237–170 Ma) Gangdese crust in southern Tibet by magmatic differentiation. *Journal of Petrology*, Awaiting Final Decision（第 1 资助）