

# 西藏喜马拉雅成矿带东段嘎波伟晶岩型锂矿的发现及其意义

李光明, 付建刚, 郭伟康, 张 海, 张林奎, 董随亮, 李应栩, 吴建阳,  
焦彦杰, 金灿海, 黄春梅

(中国地质调查局 成都地质调查中心 矿产地质室, 四川 成都 610081)

**摘要:** 库拉岗日穹窿位于西藏喜马拉雅成矿带的东段, 北邻拉隆穹窿。通过 1:5 万矿产地质填图和稀疏地表工程控制, 在库拉岗日穹窿东部的嘎波地区新评价一处伟晶岩型锂矿。含矿锂辉石伟晶岩脉整体上顺层出露在穹窿滑脱系大理岩中, 单条脉长 1~1 200 m 不等、宽 0.8~40 m 不等, 主要含锂矿物有锂辉石、锂电气石和锂云母等。目前通过 5 个地表工程控制识别出 2 条主要矿化带, 其中 I 号矿化带长约 2 km, 圈出主矿体 2 条 ( $K_1$ 、 $K_2$ ), II 号矿化带长约 700 m, 圈出主矿体 1 条 ( $K_3$ )。  $K_1$  矿体长约 1 200 m, 厚 5~40 m, 平均约 20 m。  $K_2$  和  $K_3$  矿体呈大透镜状产出, 走向延伸 >100~600 m, 厚 15~50 m, 其中  $K_2$  矿体总厚度 45.3 m,  $Li_2O$  平均品位为 1.11%、 $Rb_2O$  平均品位为 0.064%、 $BeO$  平均品位为 0.047%。新发现的嘎波锂矿以锂为主, 共生铍、铷, 伴生铌、钽、铯、钨、锡等有益组分, 初步分析有望达到大型规模, 进一步找矿潜力巨大。嘎波锂矿的发现是喜马拉雅成矿带稀有金属找矿取得的又一重大突破, 对深入认识喜马拉雅新生代构造-岩浆演化与稀有金属成矿作用, 进一步丰富和完善青藏高原南部碰撞造山与成矿理论具有十分重要的指导意义。

**关键词:** 伟晶岩型锂矿; 库拉岗日穹窿; 新发现; 喜马拉雅成矿带; 嘎波

中图分类号: P618.71

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2022)06-1109-11

## Discovery of the Gabo granitic pegmatite-type lithium deposit in the Kulangri Dome, eastern Himalayan metallogenic belt, and its prospecting implication

LI Guang-ming, FU Jian-gang, GUO Wei-kang, ZHANG Hai, ZHANG Lin-kui, DONG Sui-liang, LI Ying-xu,  
WU Jian-yang, JIAO Yan-jie, JIN Can-hai and HUANG Chun-mei

(Mineral Geology Department, Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** The Kulangri Dome is located at the eastern part of the Himalayan metallogenic belt. Based on the 1:50 000 mineral geological mapping and sparse surface engineering, the Gabo pegmatite-type lithium deposit was firstly found at the eastern part of the Kulangri Dome. Ore-bearing spodumene pegmatite dikes are generally hosted by the marble in the middle unit of the dome, with length ranging from 1 m to 1 200 m, and width ranging from 0.8 m to 40 m. The main lithium containing minerals in the spodumene pegmatite are spodumene, elbaite and lepidolite. At present, two main Li mineralization zones are controlled by 5 surface engineering. The mineralization zone I is about 2 km long, and includes 2 main orebodies ( $K_1$  and  $K_2$ ). The mineralization zone II is about 700 m long, and include one main orebody ( $K_3$ ). The  $K_1$  orebody is about 1 200 m long and 5~40 m thick, with

收稿日期: 2022-09-05; 接受日期: 2022-10-20; 编辑: 尹淑苹

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFC2901903); 第二次青藏高原综合科学考察(2019QZKK0806); 国家自然科学基金项目(91955208); 中国地质调查局地质调查项目(DD20190147, DD20221690)

作者简介: 李光明(1965-), 男, 研究员, 主要从事矿产资源勘查与评价、区域成矿规律与成矿预测, E-mail: 13982257109@163.com。

an average thickness of about 20 m. The  $K_2$  and  $K_3$  orebodies occur as the large lenticular shape, with strike extension  $>100\sim 600$  m and thickness 15~50 m. The total thickness of  $K_2$  orebody is 45.3 m. The average grade of  $Li_2O$ ,  $Rb_2O$  and  $BeO$  is 1.11%, 0.064% and 0.047%, respectively. The newly discovered Gabo lithium deposit is dominated by Li, Be and Rb, associated with Nb, Ta, Cs, W and Sn. Based on the geological survey results, the Gabo lithium deposit is large in scale, and showing considerable potential for further prospecting in the area. The discovery of Gabo lithium deposit is another breakthrough in the exploration of rare metals in the Himalayan metallogenic belt, which is of great significant role in further understanding of the tectono-magmatic evolution and rare metal mineralization in the Cenozoic Himalaya, and further enriching the theory of collisional orogenesis and mineralization in the southern Qinghai-Tibet Plateau.

**Key words:** pegmatite-type lithium deposit; Kulagangri Dome; new discovery; Himalayan metallogenic belt; Gabo  
**Fund support:** Ministry of Science and Technology Program(2021YFC2901903); The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program (2019QZKK0806); National Natural Science Foundation of China (91955208); China Geological Survey Program(DD20190147, DD20221690)

喜马拉雅造山带发育世界上最大规模的淡色花岗岩带,主体的形成时代为中新世,该淡色花岗岩带以藏南拆离系为界可分为高喜马拉雅和北喜马拉雅2条亚带。北喜马拉雅淡色花岗岩亚带几乎整体位于我国境内,岩体主要侵入于呈东西向展布的各穹窿构造中(吴福元等,2015)。吴福元等(2015)通过研究发现该带属于具高度岩浆分异特征的淡色花岗岩后,喜马拉雅带与高度岩浆分异有关淡色花岗岩的稀有金属矿的成矿潜力引起了极大的关注。

李光明等(2017)通过研究和勘查评价,在喜马拉雅带东段的错那洞穹窿首次报道了具大型以上找矿潜力的矽卡岩型铍钨锡重大找矿发现,揭开了喜马拉雅带稀有金属找矿发现的序幕,随后不同研究者陆续报道了在该带发现的与淡色花岗岩有关的Li、Be、Nb、Ta、W、Sn、Rb等稀有金属矿床或矿化线索。付建刚等(2020,2021)报道了北喜马拉雅东段拉隆穹窿中存在3种稀有金属矿化类型,分别是矽卡岩型Be-Nb-Ta矿化、钠长石花岗岩型Be-Nb-Ta矿化和构造-热液型W-Cu-Pb-Zn矿化;谢磊等(2021)报道了喜马拉雅西段夏如穹窿中淡色花岗岩具有铌钽钨的矿化;秦克章等(2021)和赵俊兴等(2021)分别报道了在卓奥友峰西侧普士拉山口的琼嘉岗一带存在数十条锂辉石伟晶岩脉,样品分析结果显示 $Li_2O$ 含量已达到工业品位,认为矿化规模大,具有大型以上的找矿前景;刘小驰等(2021)和刘晨等(2021)也报道了在珠峰热曲和前进沟地区存在锂辉石伟晶岩和锂电石、锂云母的伟晶岩;周起凤等(2021)报道了喜马拉雅东段库曲岩体的锂铍矿化。这些重要发现显示出北喜马拉雅淡色花岗岩具有

Li、Be、Nb、Ta、W、Sn、Rb等稀有金属矿化的巨大潜力。但是目前喜马拉雅带的伟晶岩型锂矿仅发现在西段的珠峰地区,东段是否能找到大规模的伟晶岩型锂矿值得期待。

库拉岗日穹窿位于北喜马拉雅带东段的洛扎县境内,北邻拉隆穹窿。2019~2021年,作者通过西藏洛扎地区1:5万矿产地质调查和综合研究,在库拉岗日穹窿东北段的嘎波地区,新发现了大规模的锂辉石伟晶岩脉。通过稀疏地表工程控制,初步证实这些锂辉石伟晶岩脉的 $Li_2O$ 含量均达一般工业品位要求,同时锂辉石伟晶岩脉具有条数多、走向延伸稳定、厚度大的特征,显示出巨大的资源潜力。本文对嘎波锂矿的发现过程、地质背景、矿体特征和资源潜力进行总结,并初步探讨了该矿床的发现对推动喜马拉雅带稀有金属找矿方面的重要意义。

## 1 地质背景

大地构造上喜马拉雅碰撞造山带可划分为4个主要的地质构造单元,由北向南依次为:特提斯喜马拉雅(THS)、高喜马拉雅(GHS)、低喜马拉雅(LHS)和次喜马拉雅(SHS),其构造边界依次为雅鲁藏布江缝合带(ITSZ)、藏南拆离系(STDS)、主中央逆冲断裂(MCT)、主边界逆冲断裂(MBT)和主前锋逆冲断裂(MFT)(Burg and Chen 1984; Lee *et al.*, 2011)。特提斯喜马拉雅通常又称北喜马拉雅,位于雅鲁藏布江缝合带(ITSZ)和藏南拆离系(STDS)之间(图1),除穹窿中发育有少量的元古界和古生

界地层外, 该带主体出露一套具低级变质特征或未变质的三叠纪-白垩纪沉积岩系, 以发育近东西走向展布的北喜马拉雅片麻岩双穹窿带(NHGD)、多

条近东西向和南北向区域性断裂构造为典型特征(张进江, 2007; 张进江等, 2011; Fu *et al.*, 2021)。

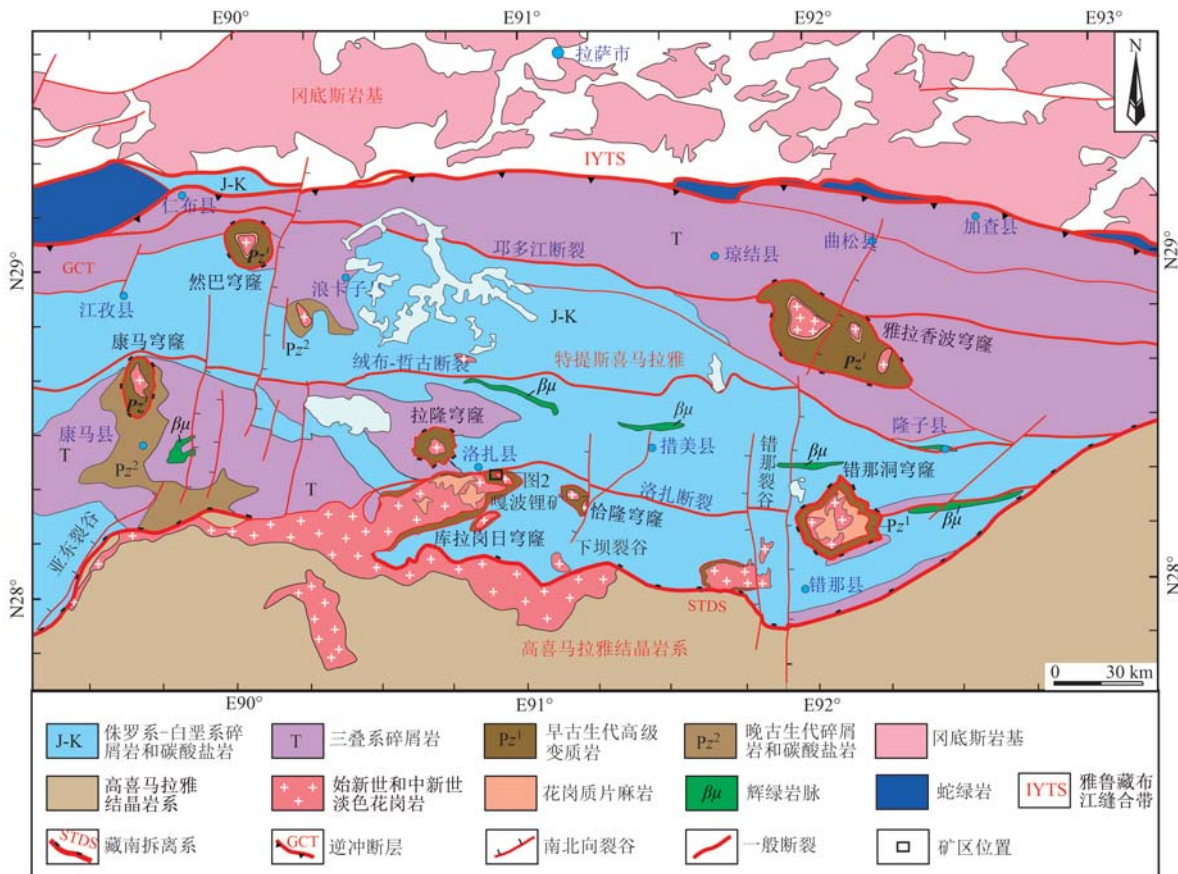


图 1 喜马拉雅成矿带东段构造地质简图(据付建刚等, 2020 修改)

Fig. 1 Schematic map of tectonics and geology of eastern Himalayan metallogenic belt(after Fu Jiangan *et al.*, 2020)

北喜马拉雅“双穹窿”构造带包括南带和北带, 南带(简称 S-NHGD)主要由近年来新识别的错那洞、库局、恰隆、拉隆、库拉岗日穹窿和西段的萨尔和吉隆穹窿等组成; 北带(简称 N-NHGD)即前人研究程度相对较高的拉轨岗日穹窿带, 自东向西依次有雅拉香波、康马、然巴、岗巴、麻布迦、拉轨岗日和马拉山等穹窿(付建刚等, 2018, 2020)。库拉岗日穹窿位于北喜马拉雅片麻岩穹窿带东段, 属于穹窿南带, 空间上介于拉隆穹窿和恰隆穹窿之间, 嘎波锂矿即位于库拉岗日穹窿的东北端, 洛扎县城东南约 8 km(图 2)。

库拉岗日穹窿整体呈北东东向展布, 南部被藏南拆离系切割, 在我国境内的延伸长度大于 80 km, 是整个北喜马拉雅片麻岩穹窿中出露规模和面积最大的穹窿构造。作者带领的团队在前人认为的库拉

岗日岩体基础上, 通过 1:5 万矿产地质调查, 发现库拉岗日具有穹窿构造特征, 厘定库拉岗日穹窿具有典型的 3 层结构, 由内向外依次为核部(下部单元)、滑脱系(中部单元)和盖层(上部单元)。核部主要为具深变质特征的花岗质片麻岩, 有大量呈岩株状的片麻状花岗岩、二云母花岗岩、白云母花岗岩、电气石白云母花岗岩、黑云母花岗岩、钠长石花岗岩和伟晶岩侵入, 通过锆石和独居石 U-Pb 定年, 获得花岗质片麻岩的锆石年龄为 498 Ma、片麻状花岗岩的独居石年龄为 28.1 Ma、电气石白云母花岗岩的独居石年龄为 19.3 Ma, 黑云母花岗岩的锆石年龄为 14.2 Ma(另文发表)。滑脱系主体由一套具中级变质程度的下古生界-上古生界地层组成, 主要岩性有云母石英片岩、含石榴子石十字石云母片岩及少量中薄层状大理岩、矽卡岩等, 其中矽卡岩由多



层构成,单层厚度在10~30 m之间,总体表现为上盘下滑的大型韧性剪切带特征,受强烈剪切作用的影响,侵入其中的花岗岩和伟晶岩脉常呈“布丁”

状产出。盖层主要由三叠系-侏罗系低级变质的千枚状板岩或未变质的粉砂质泥岩、灰岩等组成(图2)。

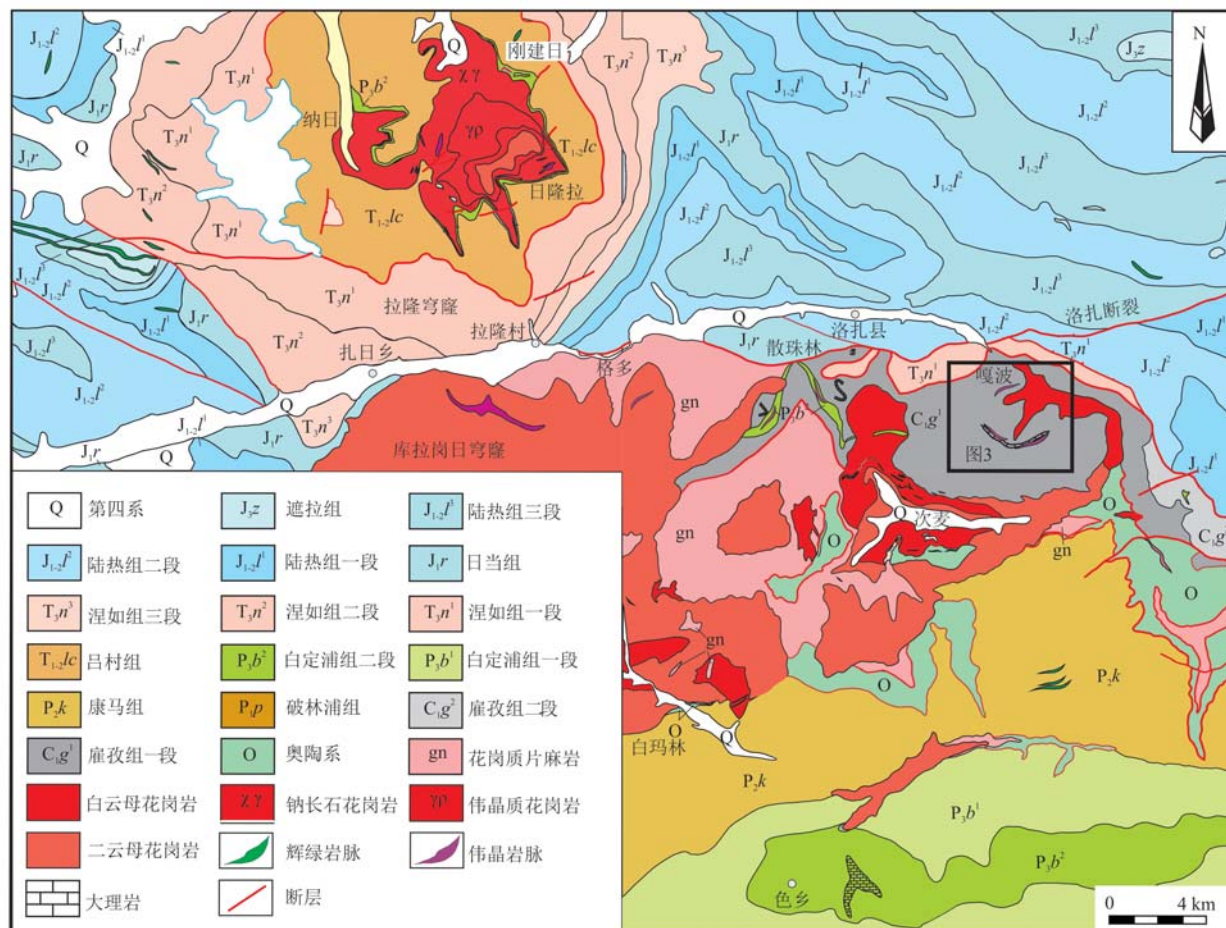


图2 西藏洛扎县库拉岗日穹窿地质简图

Fig. 2 Geological schematic map of the Kulugangri Dome, Luozha area, Tibet

## 2 矿床发现过程

2016~2018年,成都地质调查中心开展的地质调查和科研工作,在错那洞穹窿内首次发现并初步评价了错那洞具超大型潜力的铍钨锡多金属矿床,揭开了喜马拉雅成矿带稀有金属找矿勘查的序幕,在此基础上,提出“穹窿构造-高分异淡色花岗岩-稀有金属成矿”的喜马拉雅带稀有金属成矿新模型,指导了西藏洛扎地区后续的地质找矿工作(李光明等,2017;梁维等,2021)。2019~2021年,通过蒙达、洛扎、蛇区和当巴等4个图幅的面积性1:5万矿产地质调查工作,厘定并精细解剖了拉隆、库拉岗日和恰隆3个穹窿构造,查明各穹窿的岩石-构造

单元物质组成、构造变形、变质作用特征和岩浆活动期次,并进一步提出洛扎地区的穹窿中均发育中新世的高分异淡色花岗岩组合。如在拉隆穹窿中从下向上,依次发育有二云母花岗岩→白云母花岗岩→钠长石花岗岩和伟晶岩的岩石分带,结晶分异程度依次增高(付建刚等,2021,2022),确定了区内以Li、Be、Nb、Ta、Sn、W等稀有金属为主的找矿方向。随后通过评价,发现了相应的矿化线索,圈定了找矿靶区,提出了工作区内存在矽卡岩型铍钨钽多金属矿(拉隆穹窿)、花岗岩伟晶岩型锂矿(库拉岗日穹窿)、钠长石花岗岩型铍钨钽多金属矿(拉隆穹窿)、构造-热液型钨锡矿和铅锌矿(拉隆和库拉岗日穹窿)、构造蚀变岩型金矿(木村)5种不同的矿化类型,其中花岗伟晶岩型锂矿以嘎波地区最具代

表性。

Li、Be等稀有金属通常与高分异淡色花岗岩密切相关,岩浆结晶分异程度越高, Li、Be等稀有金属越富集,嘎波锂矿的发现是作者提出的“穹窿构造-高分异淡色花岗岩-稀有金属成矿”新成矿理论模型找矿的典型实例。库拉岗日穹窿出露有29~14 Ma的淡色花岗岩,从二云母花岗岩→白云母花岗岩→电气石白云母花岗岩→钠长石花岗岩,其分异程度逐渐升高,在具超高分异特征钠长石花岗岩的顶部可能存在锂辉石伟晶岩,同时明确了拆离带的滑脱系是锂辉石伟晶岩最有利的成矿部位的找矿思路。在成矿理论的指导下,项目组在1:5万矿产地质填图的过程中,优先选取嘎波地区分异程度较高的花岗岩区及拆离断层带等有利位置部署地质调查路线,在野外调查中注意采集岩石、矿石捡块样,并与其他地区典型锂辉石伟晶岩进行对比,通过野外观察、室内显微镜研究以及矿物原位微量元素分析,最终确定伟晶岩中的条板柱状矿物为锂辉石,捡块样分析结果也显示,锂辉石伟晶岩中 $\text{Li}_2\text{O}$ 含量品位最高可达2.4%,远高于勘查规范中推荐1.0%的工业品位指标,表明嘎波地区锂辉石伟晶岩具有工业价值,进一步坚定了找矿的信心。

2022年,作者带领团队针对锂辉石伟晶岩分布区开展1:1万矿产地质填图,并配合稀疏地表剥土工程控制和高密度电法等物探工作,发现在嘎波地区锂辉石伟晶岩产于库拉岗日穹窿的滑脱系中,初步圈定出锂辉石伟晶岩脉50余条,单条脉长1~1200 m,厚0.8~40 m,通过5个地表取样工程对3条规模较大的锂辉石伟晶岩脉进行了控制,分析结果证实了嘎波地区锂辉石伟晶岩具有厚度大、延伸较长、品位较高的特征,具有较大的找矿潜力。

### 3 矿床地质特征

嘎波锂矿区位于库拉岗日穹窿东北段,主体出露穹窿中上部的滑脱系和盖层。滑脱系主要由多条规模较大的韧性剪切带组成,其主要岩性由云母石英片岩、变形花岗岩和伟晶岩、矽卡岩、大理岩和含石榴子石十字石云母片岩组成,其中锂辉石伟晶岩脉主要出露在滑脱系的大理岩中。盖层主要由低级变质的千枚状板岩和弱变质或未变质的粉砂质板岩组成,二云母花岗岩、白云花岗岩、电气石白云母花岗岩、钠长石花岗岩、伟晶岩等呈岩株或岩脉状侵入

于滑脱系中。

#### 3.1 地层

该区出露地层相对较简单,在滑脱系出露出一套片岩系,类比为石炭系雇孜组( $C_{1g}$ ),岩石整体遭受了强烈的韧性剪切作用,变形强烈。可分为两段,其中一段( $C_{1g}^1$ )的主要岩性有石英云母片岩、含石榴子石十字石云母片岩,局部夹薄层变砂岩;二段( $C_{1g}^2$ )主体为浅灰色中薄层状大理岩夹石英云母片岩组合,锂辉石伟晶岩脉主要产于雇孜组二段中。涅如组一段( $T_3n^1$ )出露于矿区南部,由浅变质的千枚状板岩和粉砂质板岩组成,属于穹窿的盖层构造单元(图3)。

#### 3.2 构造特征

调查与构造解析发现,库拉岗日穹窿经历了4期构造变形,分别是第1期由北向南逆冲挤压构造、第2期由南向北伸展剪切构造、第3期成穹构造和第4期脆性变形。

第1期构造变形主要发育于库拉岗日穹窿的盖层和滑脱系中,特别是在盖层中保存较好,以发育一系列的“M”或者“W”型复式褶皱为特征,是早期逆冲挤压过程中地壳增厚的记录,石英透镜体和复式小褶皱特征综合显示早期向南逆冲的性质。第2期构造变形在库拉岗日穹窿滑脱系中广泛发育,以石英透镜体、眼球状构造、斜卧紧闭褶皱以及大量鞘褶皱等强烈的韧性剪切变形为特征,含十字石石榴子石云母片岩中发育大量的斜卧紧闭褶皱、石英脉透镜体、石榴子石的旋转斑晶、S-C组构;糜棱岩化的大理岩中发育强变形的伟晶岩脉,呈大小不等的肠状构造、透镜体和“石香肠”构造,其拖尾特征明显;矽卡岩和矽卡岩化大理岩整体以一系列的透镜体产出,透镜体规模变化较大,其中较大的长轴可达20 m,长轴方向基本平行于大理岩或者含十字石石榴子石云母片岩的面理,野外判断其运动方向为向北伸展的顺层韧性剪切。第3期构造变形主要对应于库拉岗日穹窿相对晚期岩体的侵位,对应于成穹过程,库拉岗日穹窿东南部,晚期岩体侵位于矽卡岩大理岩和含石榴子石云母片岩中。第4期构造变形主要是一套穹窿形成之后的脆性断层,主要分为近北东向断层和近东西向断层两组,均为破穹构造。

#### 3.3 岩浆岩

矿区岩浆岩主要有白云母花岗岩、电气石白云母花岗岩、钠长石花岗岩和伟晶岩。白云母花岗岩出露较少,呈独立的小岩株产出,与伟晶岩接触界

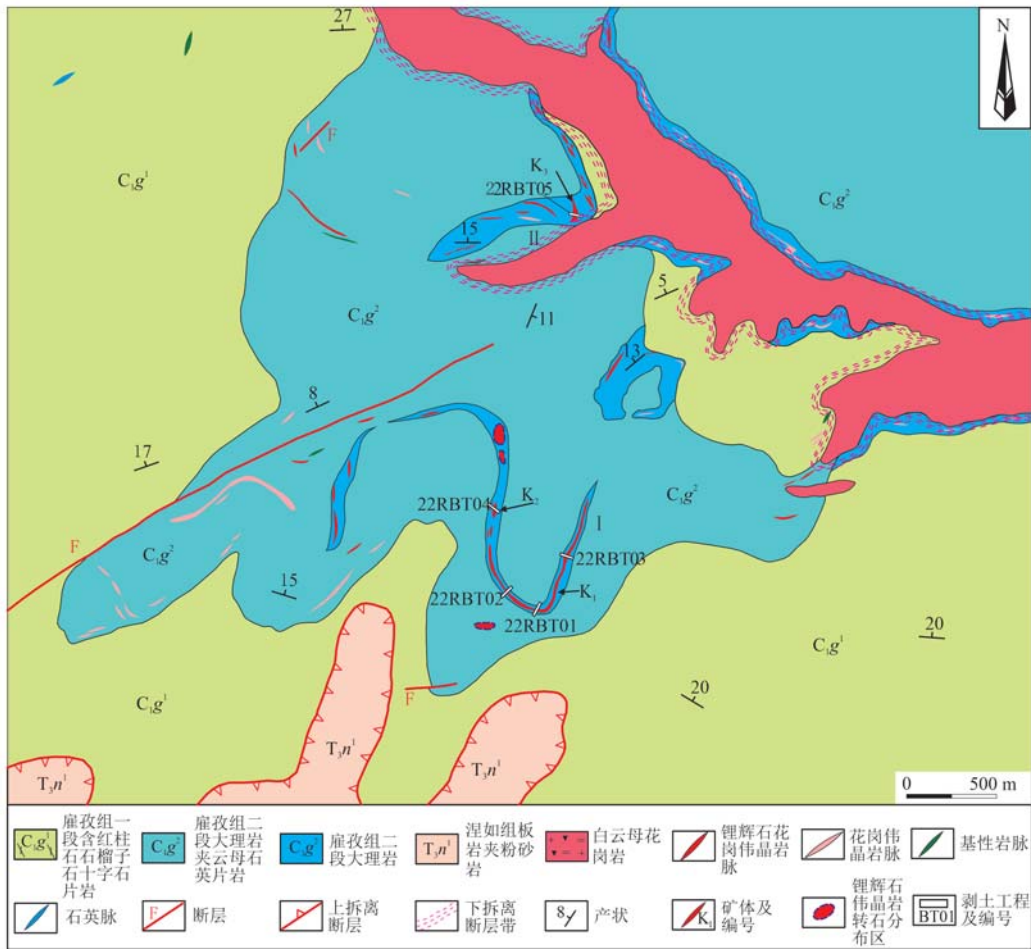


图3 西藏洛扎县嘎波锂矿地质略图

Fig. 3 Geological map of the Gabo lithium deposit in the Luozha area, Tibet

线明显,主要矿物有长石、石英、白云母、石榴子石和少量电气石,副矿物有锆石、独居石、磷钇矿和铌钽铁矿等。电气石白云母花岗岩在矿区北部广泛出露(图4a、4c),主要矿物组成有长石、石英、白云母、电气石,少量石榴子石和黑云母,副矿物有锆石、独居石、磷钇矿和铌钽铁矿等,独居石 U-Pb 测试结果显示电气石白云母花岗岩的结晶年龄为 19.3 Ma(未发表数据)。钠长石花岗岩仅在电气石白云母花岗岩顶部局部出露,厚度较薄,一般仅几十厘米到几米,主要矿物有钠长石、石英和少量的白云母、石榴子石(图4a、4b),钠长石呈细粒状,为更长石,含量大于 60%,白云母含量较少,呈鳞片状产出。伟晶岩在矿区分布较广,可分为含矿伟晶岩(锂辉石伟晶岩)和不含矿伟晶岩(图4d)两类,锂辉石伟晶岩(图5a)主要产于滑脱系的大理岩中或电气石白云母花岗岩的顶部,主要矿物有石英、钾长石、钠长

石、白云母、锂辉石、锂电气石、锂云母、绿柱石、电气石和少量黑云母,独居石的 U-Pb 测试结果约束锂辉石伟晶岩的时代介于 23~21 Ma 之间(未发表数据),属中新世早期。

### 3.4 变质作用

矿区主要发育 3 类变质作用:区域巴洛式变质作用主要分布在穹窿的滑脱系和盖层中,由内向外呈现出相对完整的变质矿物分带:蓝晶石变质矿物带、十字石变质矿物带、石榴子石-黑云母变质矿物带、硬绿泥石-堇青石变质矿物带。热接触变质作用主要分布在穹窿滑脱系中含石榴子石云母片岩和盖层中千枚状板岩中,以发育大量的红柱石为典型特征,红柱石单个晶型长约 1~25 cm,宽约 0.5~3 cm,颜色呈黄褐色和粉红色。接触交代变质作用发育于电气石白云母花岗岩或伟晶岩与雇孜组二段大理岩的接触部位,形成弱的矽卡岩化。



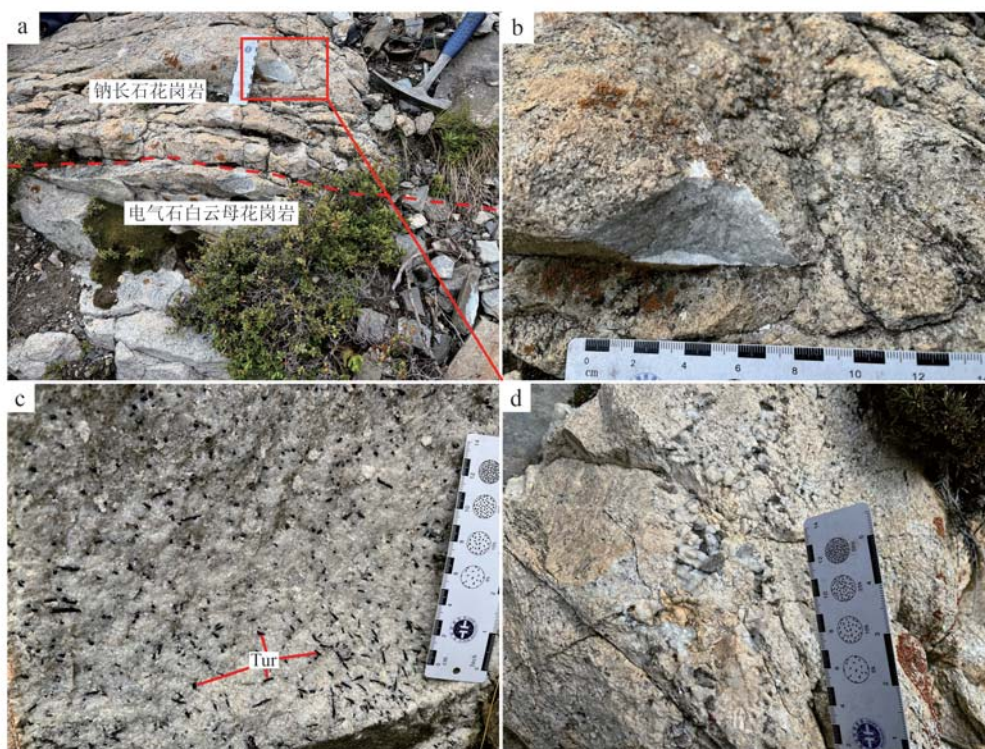


图4 西藏洛扎县嘎波锂矿花岗岩野外照片

Fig. 4 Field photos of granites in the Gabon lithium deposit in the Luozha area, Tibet

- a—电气石白云母花岗岩和钠长石花岗岩的野外关系; b—钠长石花岗岩, 图4a的放大; c—电气石白云母花岗岩; d—伟晶岩;  
Tur—电气石  
a—field relationship between tourmaline muscovite granite and albite granite; b—albite granite, enlargement of Fig. 4a; c—tourmaline muscovite granite; d—pegmatite; Tur—tourmaline

#### 4 矿体地质特征及潜力分析

填图工作初步圈出50多条锂辉石伟晶岩脉,均顺层产于滑脱系的大理岩夹片岩地层中,呈缓倾角顺拆离带产出,与具韧性剪切变形的拆离断层的产状基本一致,总体产状为 $342^{\circ}\angle 11^{\circ}$ ,略小于地形坡度。单条脉长约1~1200m不等、宽约0.8~40m不等,形态有脉状、透镜状和囊状等,矿体顶部围岩主要为矽卡岩化大理岩、底部围岩亦为大理岩或片岩,显示出锂矿化与拆离带和大理岩层位具有较密切的空间关系。矿区锂辉石伟晶岩脉出露的最低海拔为3760m,最高为4600m,具有900m的高差。

地表工作发现2条主要矿化带。其中I号矿化带位于矿区中部(图3),东西长约2km,圈出主矿体2条( $K_1$ 、 $K_2$ ),II号矿化带位于矿区北部,长约700m,其中圈出主矿体1条( $K_3$ )。  $K_1$ 矿体呈大脉

状,长约1200m,厚度5~40m,平均约20m。  $K_2$ 和  $K_3$ 矿体为呈大透镜状产出,追索走向延伸长分别为100m和600m,厚度15~50m(图3)。嘎波锂矿化类型为伟晶岩型,以锂为主,共生铍、伴生铌、钽、铯、锡等有益组分。

锂辉石伟晶岩(图5b~5e)主要矿物有石英、钠长石、钾长石、白云母、锂辉石、锂电气石、锂云母、透锂长石、石榴子石和电气石等,副矿物有锆石、独居石、磷灰石、金红石、锡石、铌钽铁矿等。嘎波锂矿以含有粉红色或绿色的锂电气石为特色,个别锂电气石晶体为粗大,长度>8cm,直径>1cm,透明度较好,可达宝石级(碧玺)(图5f)。主要含锂矿物有锂辉石、锂电气石、锂云母和透锂长石等,其中锂辉石呈淡绿色,板柱状晶型,在伟晶岩脉中主要呈细晶-中晶产出,粗晶及巨晶少见,单个晶型长约1~8cm。锂辉石在伟晶岩中的含量不均匀,一般介于15%~30%之间,个别含量可达40%~50%之间。伟晶岩中主要含铍矿物为绿柱石,部分绿柱石晶型较

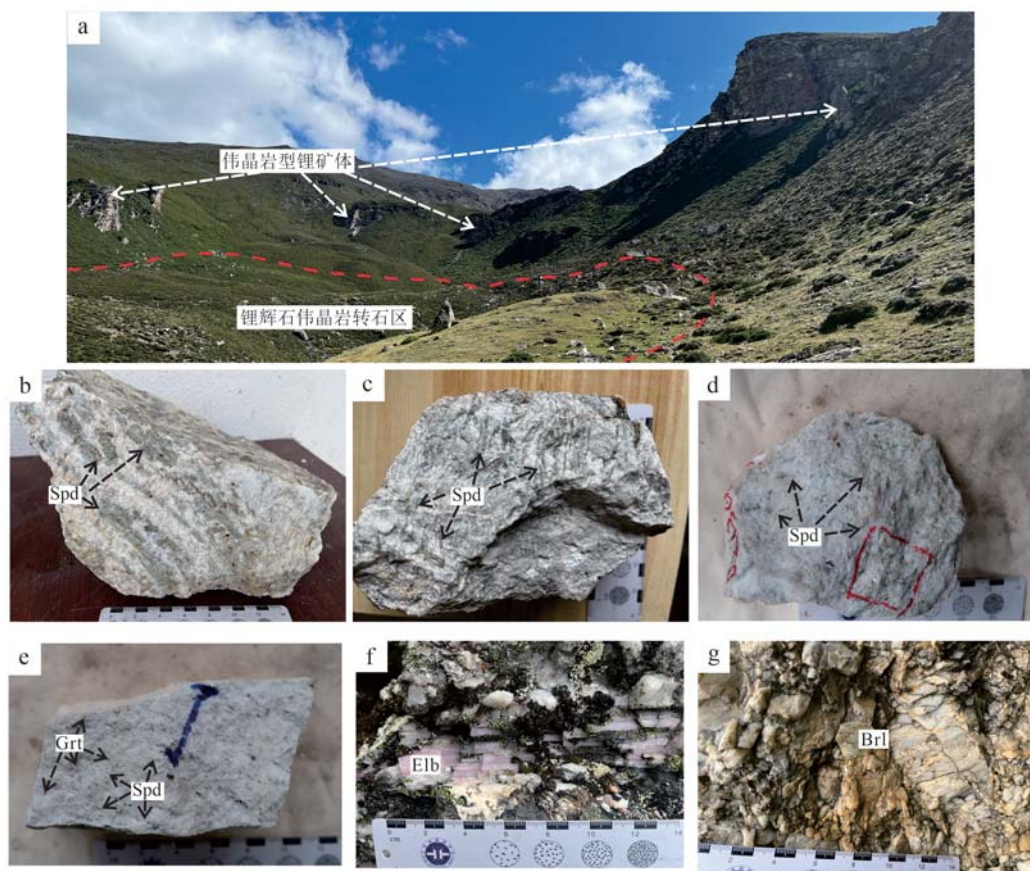


图5 西藏洛扎县库拉岗日穹窿嘎波锂矿野外照片

Fig. 5 Field photos of the Gabo lithium deposit in the Kulagangri Dome in the Luozha area, Tibet

a—嘎波锂矿含矿锂辉石伟晶岩脉野外宏观特征；b、c—粗粒锂辉石伟晶岩，锂辉石呈淡绿色；d、e—细粒钠长石锂辉石伟晶岩，含石榴子石和电气石；f—锂电气石锂辉石伟晶岩，锂电气石呈粉红色；g—含绿柱石伟晶岩；Spd—锂辉石；Elb—锂电气石；Brl—绿柱石；Grt—石榴子石

a—field macroscopic photo of ore-bearing spodumene pegmatite dikes in Gabo lithium deposit; b, c— coarse-grained spodumene pegmatite, spodumene is light green; d, e—fine-grained albite-podumene pegmatite, with containing garnet and tourmaline; f—elbaite pegmatite, elbaite is pink; g—beryl-bearing pegmatite; Spd—spodumene; Elb—elbaite; Brl—beryl; Grt—garnet

好,呈典型的六方柱形(图5g)。矿石构造主要为块状构造,矿石结构主要有自形结构、文象结构、交代结构、粒状结构等。

嘎波锂矿锂辉石伟晶岩脉发育弱分带现象,根据现有认识可大致分为两个带:细粒钠长石锂辉石带(I带)(图5d、5e)和粗粒微斜长石锂辉石带(II带)(图5b、5c)。I带主要分布于伟晶岩脉的边部,以细糖粒状钠长石、石英、锂辉石、石榴子石、电气石和白云母为特征,其中锂辉石显微镜下呈典型的辉石解理(近正交两组解理)特征(图6a、6b),副矿物有锆石、独居石、磷灰石、铌钽铁矿等。II带主要分布在脉体的内部,以粗粒微斜长石、中-粗粒锂辉石、绿柱石、锂电气石、白云母、黑云母、石英和钠长

石为特征,副矿物包括锆石、独居石、磷灰石、铌钽铁矿等。

施工槽探5条,对 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 号伟晶岩型锂矿体进行了初步控制,采集样品206件,采样方法为刻槽法,规格为 $10\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ ,单样长度不超过1.5 m。样品测试分析由中国地质调查局成都地质调查中心实验测试中心完成。

$K_1$ 号矿体由3个工程控制(22RBT01、22RBT02和22RBT03),间距约300 m,其中22RBT01控制矿体厚度为24 m,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位0.83%,伴生 $\text{Rb}_2\text{O}$ 为0.068%、 $\text{BeO}$ 为0.033%,矿体中夹有透镜状的大理岩夹石,厚度一般为40 cm~1.2 m左右;22RBT02控制矿体厚度为13.2 m,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位为



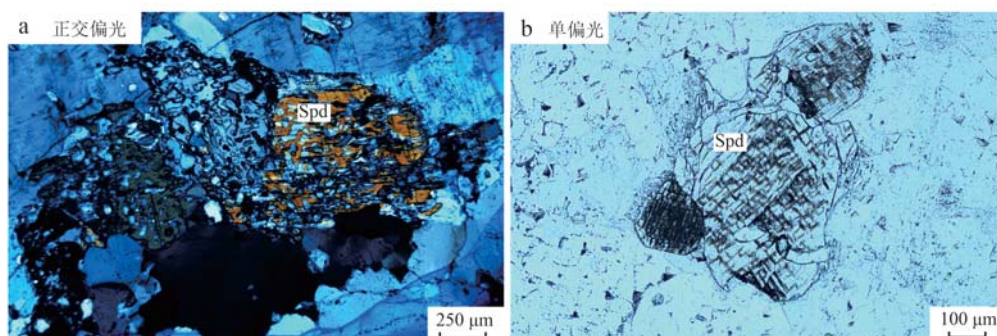


图6 西藏洛扎县嘎波锂矿锂辉石伟晶岩中锂辉石的显微镜下照片

Fig. 6 The microscopic photos of spodumene from spodumene pegmatite in the Gabon lithium deposit, Tibet

Spd—锂辉石  
Spd—spodumene

0.62%，伴生  $Rb_2O$  为 0.09%、 $BeO$  为 0.041%；22RBT03 控制矿体厚度为 16.9 m， $Li_2O$  平均品位为 0.64%，伴生  $Rb_2O$  为 0.088%、 $BeO$  为 0.047%。

$K_2$  号矿体为 22RBT04 单工程控制，矿体厚度 45.3 m，矿体  $Li_2O$  平均品位为 1.11%、伴生  $Rb_2O$  为 0.064%、 $BeO$  为 0.047%。 $K_3$  号矿体由单工程 22RBT05 控制，矿体厚度 13.2 m，矿体  $Li_2O$  平均品位为 1.10%、伴生  $Rb_2O$  为 0.061%、 $BeO$  为 0.078%。

嘎波矿区锂辉石伟晶岩分布范围近  $15 \text{ km}^2$ ，目前已发现矿脉 50 余条，矿脉出露海拔介于 3 760~4 600 m 之间，高差近 900 m，存在有厚大的主矿体 ( $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  等)，矿脉呈似层状或大透镜状缓倾角产出，受拆离断层控制，矿化较连续，目前取样工程揭示的  $Li_2O$  品位介于 0.42%~1.65% 之间，厚度 6~45 m。目前嘎波锂矿刚被发现，处于最初级的草根勘查阶段，根据现有地表控制程度，仅对  $K_1$  号矿体按长 900 m，平均厚 20 m，推断延伸 300 m，平均  $Li_2O$  品位按 1.00% 进行资源潜力预测，该矿体预测的潜在矿产资源即可达 10 万吨以上，预测整个矿区应具大型以上找矿潜力，后续具有极大的找矿空间的找矿潜力。

## 5 意义探讨

锂是新能源、航天航空、太阳能、化工、医学等重要高新技术领域不可或缺的关键金属，近年来尤其在新能源领域的需求急剧攀升，被誉为“21 世纪的能源金属”、“白色石油” (王登红等, 2017; 王登红, 2019)，是我国目前急缺的战略性矿产，对外依存度

达 75% (翟明国等, 2019; 侯增谦等, 2020)。中国的锂矿资源虽然较丰富，但大部分是盐湖型锂矿，尽管资源储量较大，但开发利用技术尚待发展 (王登红等, 2022)。以伟晶岩型为代表的硬岩型锂矿具有品位高、易于开采、加工工艺成熟等特点，目前我国主要开发的锂资源约 80% 来自于硬岩型锂矿。

嘎波伟晶岩型锂矿是喜马拉雅成矿带东段首个被发现和报道的伟晶岩型锂矿，该矿床的新发现具有重要的理论意义和实际价值。

(1) 我国伟晶岩型锂矿主要集中分布于华南、川西、阿尔泰和西昆仑 4 个带中，喜马拉雅带嘎波、琼嘉岗等伟晶岩型锂矿的发现，进一步展现了喜马拉雅东段高分异花岗岩锂铍等稀有金属成矿的巨大潜力，确立喜马拉雅是我国一条新的锂铍等稀有金属成矿带。

(2) 打开了喜马拉雅东段伟晶岩型锂矿的找矿窗口。嘎波锂矿具有锂辉石伟晶岩脉条数多、规模大，延伸稳定、品位较高等特点，成矿元素以锂为主，共生铍、铷，伴生铈、钽、铊、锡等有益组分，资源潜力巨大，进一步证实喜马拉雅东段的山南地区是一个以锂铍、锡钨等稀有金属矿产的资源富集区，拓展了新的找矿领域和找矿空间，对带动喜马拉雅成矿带区域找矿有重要的指导意义。

(3) 嘎波锂矿是“穹窿构造-高分异淡色花岗岩-稀有金属成矿”成矿新模型指导喜马拉雅带稀有金属矿勘查实践的成功范例，进一步丰富和完善了青藏高原碰撞造山成矿理论，同时矿区靠近洛扎县城，国道 219 线从矿区北部通过，交通便利，不涉及

自然保护区,对促进山南地区战略性矿产资源接续基地建设具有重要意义。

## 6 结论

(1) 嘎波锂矿位于库拉岗日穹窿东北部,属伟晶岩型,成矿与中新世具高分异特征的淡色花岗岩密切相关,主要含锂矿物为锂辉石,次为锂电气石和锂云母,穹窿滑脱系具韧性剪切变形特征的拆离断层和大理岩控制了矿体的产出,矿脉成群分布,超高分异的淡色花岗岩与穹窿构造的滑脱系上部是重点找矿方向。

(2) 嘎波锂矿具有矿化伟晶岩条数多、矿化集中,主矿体厚度大,延伸稳定、品位较高的特点,已展现出大型以上矿床的找矿前景,同时矿体出露海拔介于3 700~4 600 m之间,存在近900 m的高差,后续找矿空间及找矿潜力极大。

(3) 嘎波锂矿是继错那洞锡铍钨矿、拉隆铍钽钼矿和琼嘉岗锂铍矿之后的又一找矿新发现,丰富了喜马拉雅东段的矿床类型,进一步证实喜马拉雅带是我国一条新的铍钨等稀有金属成矿带。

**致谢** 感谢中科院地质与地球物理研究所吴福元院士、秦克章研究员和中国地质科学院矿产资源研究所杨竹森研究员在野外的指导,中国地质调查局成都地质调查中心的石洪召、梁生贤、马国桃对野外工作给予了大力帮助,两位审稿专家对本文提出了建设性的修改意见,在此一并表示衷心的感谢。

## References

- Burg J P and Chen G M. 1984. Tectonics and structural zonation of southern Tibet, China[J]. *Nature*, 311(5 983): 219~223.
- Fu Jiangang, Li Guangming, Dong Suiliang, *et al.* 2020. Identification and its significances of the Lalong Be-Nb-Ta-bearing albite granite in the Northern Himalaya, Tibet[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 40(2): 91~103(in Chinese with English abstract).
- Fu Jiangang, Li Guangming, Dong Suiliang, *et al.* 2022. Mineral chemistry of garnet and its implication for the magmatic-hydrothermal transition in rare metal leucogranites in the Lalong dome, southern Tibet, China[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 42(2): 288~299(in Chinese with English abstract).
- Fu Jiangang, Li Guangming, Wang Genhou, *et al.* 2018. Establishment of the North Himalayan double gneiss domes: Evidence from field identification of the Cuonadong dome, south Tibet [J]. *Geology in China*, 45(4): 783~802(in Chinese with English abstract).
- Fu Jiangang, Li Guangming, Wang Genhou, *et al.* 2021. Geological characteristics and metallogenic types of Be-Nb-Ta rare metals in the Lalong Dome, Southern Tibet, China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 45(5): 913~933(in Chinese with English abstract).
- Fu J G, Li G M, Wang G H, *et al.* 2021. Structural and thermochronologic constraints on skarn rare-metal mineralization in the Cenozoic Cuonadong Dome, Southern Tibet[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 205: 104612.
- Hou Zengqian, Chen Jun and Zhai Mingguo. 2020. Current status and frontiers of research on critical mineral resources[J]. *Chinese Science Bulletin*, 65(33): 3 651~3 652(in Chinese with English abstract).
- Lee J, Christian H, Simon R W, *et al.* 2011. Middle to late Miocene extremely rapid exhumation and thermal re-equilibration in the Kung Co rift, southern Tibet[J]. *Tectonics*, 30(2): 1~26.
- Li Guangming, Zhang Linkui, Jiao Yanjie, *et al.* 2017. First discovery and implications of Cuonadong superlarge Be-W-Sn polymetallic deposit in Himalayan metallogenic belt, southern Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 36(4): 1 003~1 008(in Chinese with English abstract).
- Liang Wei, Li Guangming, Basang Yuandan, *et al.* 2021. Metallogenesis of Himalaya gneiss dome: An example from Cuonadong gneiss dome in Zhaxikang ore concentration area[J]. *Mineral Deposits*, 40(5): 932~948(in Chinese with English abstract).
- Liu Chen, Wang Rucheng, Wu Fuyuan, *et al.* 2021. Lithium mineralization in Qomolaangma: First report of elbaite-lepidolite subtype pegmatite in the Himalaya leucogranite belt[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 37(11): 3 287~3 300(in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaochi, Wu Fuyuan, Wang Rucheng, *et al.* 2021. Discovery of spodumene-bearing pegmatites from Ra Chu in the Mount Qomolangma region and its implications for studying rare-metal mineralization in the Himalayan orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 37(11): 3 295~3 304(in Chinese with English abstract).
- Qin Kezhang, Zhao Junxing, He Changtong, *et al.* 2021. Discovery of the Qiongiagang giant lithium pegmatite deposit in Himalaya, Tibet, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 37(11): 3 277~3 286(in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong. 2019. Study on critical mineral resources: Significance of research, determination of types, attributes of resources, progress of prospecting, problems of utilization, and direction of exploitation [J]. *Acta Geologica Sinica*, 93(6): 1 189~1 209(in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Dai Hongzhang, Liu Shanbao, *et al.* 2022. New pro-



- gress and trend in ten aspects of lithium exploration practice and theoretical research in China in the past decade[J]. *Journal of Geomechanics*, 28 (5). doi:10.12090/j.issn.1006-6616.20222811.
- Wang Denghong and Wu Xishun. 2017. The 21st century energy metal—the mystery of lithium[J]. *Science Popularization and Culture of Land and Resources*, (4): 22~27(in Chinese with English abstract).
- Wu Fuyuan, Liu Zhichao, Liu Xiaochi, *et al.* 2015. Himalayan leucogranite: Petrogenesis and implications to orogenesis and plateau uplift[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(1): 1~36(in Chinese with English abstract).
- Xie Lei, Wang Rucheng, Tian Ennong, *et al.* 2021. Oligocene Nb-Ta-W-mineralization related to the Xiaru leucogranite in the Himalayan Orogen[J]. *Chinese Science Bulletin*, 66(35): 4 574~4 591(in Chinese with English abstract).
- Zhai Mingguo, Wu Fuyuan, Hu Ruizhong, *et al.* 2019. Critical metal mineral resources: Current research status and scientific issues[J]. *China Science Foundation*, 33(2): 106~111(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jinjiang. 2007. A review on the extensional structures in the northern Himalaya and southern Tibet[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(6): 639~649(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jinjiang, Yang Xiongying, Qi Guowei, *et al.* 2011. Geochronology of the Malashan dome and its application in formation of the Southern Tibet detachment system (STDS) and Northern Himalayan gneiss domes (NHGD)[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(12): 3 535~3 544 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Junxing, He Changtong, Qin Kezhang, *et al.* 2021. Geochronology, source features and the characteristics of fractional crystallization in pegmatite at the Qongjiagang giant pegmatite-type lithium deposit, Himalaya, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 37(11): 3 325~3 347(in Chinese with English abstract).
- Zhou Qifeng, Qin Kezhang, He Changtong, *et al.* 2021. Li-Be-Nb-Ta mineralogy of the Kuqu leucogranite and pegmatite in the Eastern Himalaya, Tibet, and its implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 37(11): 3 305~3 324(in Chinese with English abstract).
- 付建刚, 李光明, 董随亮, 等. 2020. 西藏北喜马拉雅拉隆穹隆含 Be、Nb、Ta 钠长石花岗岩的识别及意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 40(2): 91~103.
- 付建刚, 李光明, 董随亮, 等. 2022. 西藏拉隆穹隆淡色花岗岩中石榴子石矿物学研究及对岩浆-热液过程的指示[J]. *沉积与特提斯地质*; 42(2): 288~299.
- 付建刚, 李光明, 王根厚, 等. 2018. 北喜马拉雅双穹隆构造的建立: 来自藏南错那洞穹隆的厘定[J]. *中国地质*, 45(4): 783~802.
- 付建刚, 李光明, 王根厚, 等. 2021. 西藏拉隆穹隆地质特征和 Be-Nb-Ta 稀有金属矿化的厘定及其战略意义[J]. *大地构造与成矿学*, 45(5): 913~933.
- 侯增谦, 陈 骏, 翟明国. 2020. 战略性关键矿产研究现状与科学前沿[J]. *科学通报*, 65(33): 3 651~3 652.
- 李光明, 张林奎, 焦彦杰, 等. 2017. 西藏喜马拉雅成矿带错那洞超大型铍锡钨多金属矿床的发现及意义[J]. *矿床地质*, 36(4): 1 003~1 008.
- 梁 维, 李光明, 巴桑元旦, 等. 2021. 喜马拉雅带片麻岩穹隆成矿作用——以扎西康矿集区错那洞穹隆为例[J]. *矿床地质*, 40(5): 932~948.
- 刘 晨, 王汝成, 吴福元, 等. 2021. 珠峰地区锂成矿作用: 喜马拉雅淡色花岗岩带首个锂电气石-锂云母型伟晶岩[J]. *岩石学报*, 37(11): 3 287~3 300.
- 刘小驰, 吴福元, 王汝成, 等. 2021. 珠峰地区热曲锂辉石伟晶岩的发现及对喜马拉雅稀有金属成矿作用研究的启示[J]. *岩石学报*, 37(11): 3 295~3 304.
- 秦克章, 赵俊兴, 何畅通, 等. 2021. 喜马拉雅琼嘉岗超大型伟晶岩型锂矿的发现及意义[J]. *岩石学报*, 37(11): 3 277~3 286.
- 王登红. 2019. 关键矿产的研究意义、矿种厘定、资源属性、找矿进展、存在问题及主攻方向[J]. *地质学报*, 93(6): 1 189~1 209.
- 王登红, 代鸿章, 刘善宝, 等. 2022. 中国锂矿十年来勘查实践和理论研究的十个方面新进展新趋势[J]. *地质力学学报*, 28(5): 743~764. doi: 10.12090/j.issn.1006-6616.20222811.
- 王登红, 吴西顺. 2017. 21 世纪的能源金属——锂的奥秘[J]. *国土资源科普与文化*, (4): 22~27.
- 吴福元, 刘志超, 刘小驰, 等. 2015. 喜马拉雅淡色花岗岩[J]. *岩石学报*, 31(1): 1~36.
- 谢 磊, 王汝成, 田恩农, 等. 2021. 喜马拉雅夏如渐新世淡色花岗岩铍钨成矿作用[J]. *科学通报*, 66(35): 4 574~4 591.
- 翟明国, 吴福元, 胡瑞忠, 等. 2019. 战略性关键金属矿产资源: 现状与问题[J]. *中国科学基金*, 33(2): 106~111.
- 张进江. 2007. 北喜马拉雅及藏南伸展构造综述[J]. *地质通报*, 26(6): 639~649.
- 张进江, 杨雄英, 戚国伟, 等. 2011. 马拉山穹隆的活动时限及其在藏南拆离系-北喜马拉雅片麻岩穹隆形成机制的应用[J]. *岩石学报*, 27(12): 3 535~3 544.
- 赵俊兴, 何畅通, 秦克章, 等. 2021. 喜马拉雅琼嘉岗超大型伟晶岩锂矿的形成时代、源区特征及分异特征[J]. *岩石学报*, 37(11): 3 325~3 347.
- 周起凤, 秦克章, 何畅通, 等. 2021. 喜马拉雅东段库曲岩体锂、铍和铈钨稀有金属矿物研究及指示意义[J]. *岩石学报*, 37(11): 3 305~3 324.

## 附中文参考文献