

青藏高原南部的主要战略性矿产:勘查进展、 资源潜力与找矿方向

李光明, 张林奎, 张 志, 夏祥标, 梁 维, 侯春秋

(中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要:当今世界处于百年未有之大变局中,各国对战略性矿产资源的需求显著增加。加强国内战略性矿产勘查,保障战略性矿产资源的安全供给,成为了目前的紧迫任务。东特提斯成矿域内的冈底斯-喜马拉雅造山系位于青藏高原南部边缘,是解剖和理解新特提斯洋俯冲消亡、亚洲-印度大陆碰撞与大规模成矿作用的关键地区。本文在综合分析高原南部冈底斯-喜马拉雅造山系地质构造演化与大规模成矿作用的基础上,对冈底斯、雅鲁藏布江和喜马拉雅等重点成矿带战略性矿产的种类与主要类型以及近年来的地质找矿工作取得的主要进展进行了系统总结,提出新生代以来大规模的壳幔相互作用与构造-岩浆演化过程导致了高原南部以铜、铬、金和铍稀有金属等为特色的战略性矿产资源高度富集,并认为该地区在我国急缺战略性矿产资源的资源配置中居重要地位,形成了驱龙-甲玛、朱诺、罗布莎、扎西康等多个大型矿集区,是建设我国未来战略性矿产资源接续基地的重点地区。通过对该地区各战略性矿产资源潜力的分析,提出了下一步找矿工作的重点和方向,除开展矿集区深部及外围找矿外,还应该加强新类型与新矿种的寻找。

关键词:青藏高原南部;战略性矿产;勘查进展;资源潜力;找矿方向

中图分类号: P618

文献标识码: A

人类文明进步与金属矿产资源利用的进程息息相关。我国目前90%以上的一次性能源、70%的农用生产资料、80%的工业原材料来自于矿产资源(郭娟等,2020)。进入21世纪后,中国迈入了工业化进程的高速增长期,很多矿产消耗的增加速度已经接近甚至超过中国国民经济的整体发展速度,矿产品供需矛盾日益尖锐,集中表现在矿产消耗的增长超过储量的增长,一些重要矿产品进口量急剧增加,一些重要矿产资源储量的保证度急剧下降。战略性矿产是支撑我国战略性新兴产业快速可持续发展的重要原材料保障。数据显示,近年我国铁矿石对外依存度升至88.7%,铜精矿对外依存度超过70%,对外依存度超过40%的战略性矿产种类达20余种,供需形势异常严峻(王安建等,2019)。为确保我国战略性矿产资源安全保障,党中央提出了要加快构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相

互促进的新发展格局,要求加强我国短缺型战略性矿产勘查,进一步提升我国主导型和富有型战略性矿产的国际话语权,充分利用两种资源和两个市场。

位于我国西部的青藏高原,因地势高峻,四周被一系列高大山系所环绕,平均海拔达4000米以上,被称为“世界第三极”,总面积约260万平方千米,涉及西藏、青海、四川、甘肃、新疆和云南等省区,约占我国陆域面积的四分之一。从青藏高原向外奔流出了长江、黄河、湄公河、恒河、印度河、雅鲁藏布江等多条世界上著名的大江大河,因此还具有“亚洲水塔”之誉。

目前科学家普遍认为,青藏高原的形成隆升与亚洲和印度大陆板块在65 Ma发生的强烈碰撞作用密切相关。青藏高原南部地区的冈底斯-喜马拉雅造山系主体位于西藏自治区,是亚洲-印度大陆板块正向碰撞作用发生的主要区域,也是新特提斯

收稿日期: 2020-12-29; **改回日期:** 2021-02-09

作者简介: 作者简介:李光明(1965—),研究员,长期从事青藏高原成矿规律与成矿预测研究。E-mail: liguangming@163.com

资助项目: 国家自然科学基金重点基金(91955208)、青藏高原二次科考(2019QZKK0806)与地质调查二级项目(DD20190147, DD20160015)联合资助

异,并且随着时代发展以及各国之间关系、需求、供应变化而发生变化,因此可以说关键矿产不是一个科学名词,而是一个政治名词(毛景文语)。战略性矿产的提出,具有显著的中国特色,是指对我国经济、国防和战略性新兴产业发展至关重要的矿产资源,包括了我国资源优势可以调控国际市场的矿产资源(可卡别人脖子),和我国资源短缺存在较大安全隐患的矿产资源(可被别人卡脖子)。根据我国铜、铁、锰、铝、锂、钴、镍、锆、铌、钽、钼族等战略性矿产的对外依存度均超过了 70% 的严峻资源形势与现状,我国多数学者建议明确使用“战略性矿产”一词,而不使用“战略新兴矿产”和“关键矿产”,同时建议将我国的战略性矿产区分为特别紧缺战略性矿产和优势战略性矿产 2 类(毛景文等,2019b)。

随着我国目前经济社会进入高质量发展阶段,习近平总书记、李克强总理等党和国家领导人高度重视战略性矿产的资源安全,多次进行批示,明确提出要保障能源资源安全,提高战略性矿产的掌控能力和国际话语权。2020 年中央十九届五中全会通过的“关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议”也明确提出要“确保国家经济安全,加强经济安全风险预警、防控机制和能力建设,实现重要产业、基础设施、战略资源、重大科技等关键领域安全可控;确保粮食安全,保障能源和战略性矿产资源安全”。

我国目前尚未最后发布我国战略性矿产的目录。自然资源部以原国土资源部 2016 年发布的战略新兴矿产名录为基础,根据目前国内的资源现状和供需形势,为确保我国未来新兴高技术产业高质量发展可持续发展的要求,对其中的部分矿种进行了调整,初步厘定出了包含有 36 种战略性矿产的清单,其中包括有能源矿产 6 种(石油、天然气、页岩气、煤炭、煤层气、铀);金属矿产 25 种(铁、锰、铬、铜、铝、金、钨、锡、钼、锑、镍、钴、锂、钒、钛、稀土、锆、铪、铌、钽、铍、铋);非金属矿产 5 种(磷矿、钾盐、晶质石墨、萤石、硼),并将其中的铁、铜、铝、锰、油气、铬、钴、铌、钽、锆、锂、镍等 12 种矿产列为我国特别紧缺战略性矿产。关于我国的战略性矿产目录,目前国家正在组织专家进行论证,最后确定的战略性矿产也将于近期公布。

2 青藏高原南部是我国战略性矿产资源的重要富集区

由亚洲-印度大陆正向碰撞作用形成的冈底

斯-喜马拉雅造山系雄居青藏高原南部,在行政区划上涉及西藏自治区的拉萨、山南和日喀则市,往南与印度、尼泊尔、不丹等国相邻。在大地构造位置上冈底斯-喜马拉雅造山系位于东特提斯构造域中西段,是新特提斯洋壳俯冲消减、印度与亚洲大陆正向碰撞作用发生的主要区域,包括了冈底斯-念青唐古拉晚古生代—中生代复合岛弧带、雅鲁藏布江结合带、特提斯喜马拉雅被动大陆边缘和高喜马拉雅结晶岩系等主要的次级构造单元(潘桂棠等,2006)。

自古生代以来,该地区经历了古生代—中生代特提斯洋演化过程中的拉萨地块南向增生和新生代以来印度-亚洲大陆正向碰撞与随后的青藏高原强烈隆升等多个构造演化阶段。在大陆增生与印度-亚洲大陆碰撞过程中,区内发生大规模洋陆转换,地壳不同圈层间相互作用,导致了拉萨地块强烈加厚,大量幔源物质加入形成新生下地壳(侯增谦等,2006a, 2006b;侯增谦和杨志明,2009;黄勇等,2011),壳幔物质和能量发生多次交换与运移,为区内大规模的金属成矿作用创造了十分有利的成矿地质条件,促进了一系列大型—超大型斑岩铜矿、蛇绿岩型铬铁矿、造山型金矿以及与淡色花岗岩有关的铍稀有金属矿等矿床的形成,在空间上组成了青藏高原南部地区的冈底斯、雅鲁藏布江和喜马拉雅等重要的大型成矿带。

冈底斯、雅鲁藏布江和喜马拉雅等成矿带在矿种上,以高度富集铜矿、铬铁矿、金和铍、锡钨和萤石等我国目前急缺的战略性矿产为主要特色。在空间分布上,系列大型—超大型矿床高度集中,组成了朱诺、雄村、厅宫-冲江、驱龙-甲玛、努日、朱诺罗布莎和扎西康等 7 个大型矿集区(图 1),是我国建设战略性矿产资源接续基地的重点地区。

冈底斯铜多金属成矿带以发育斑岩铜矿、岩浆热液型锡钨矿及其共伴生的金、钼、铍、铌、钽等战略性矿产为特色。目前带内已发现了多个著名的大型—超大型斑岩铜(钼)矿床,组成了朱诺、雄村、厅宫-冲江、驱龙-甲玛和努日等 5 个重要的矿集区。主要的矿床类型为斑岩型,包括与特提斯洋壳俯冲作用有关的俯冲型斑岩型铜矿(雄村式)和与大陆碰撞作用有关的碰撞型斑岩型铜矿(驱龙式、甲玛式等)两类,其中代表性的大型—超大型矿床有驱龙铜矿、甲玛铜多金属矿、雄村铜矿、厅宫铜矿和帮浦铜钼矿等。科学家对冈底斯斑岩铜矿床的斑

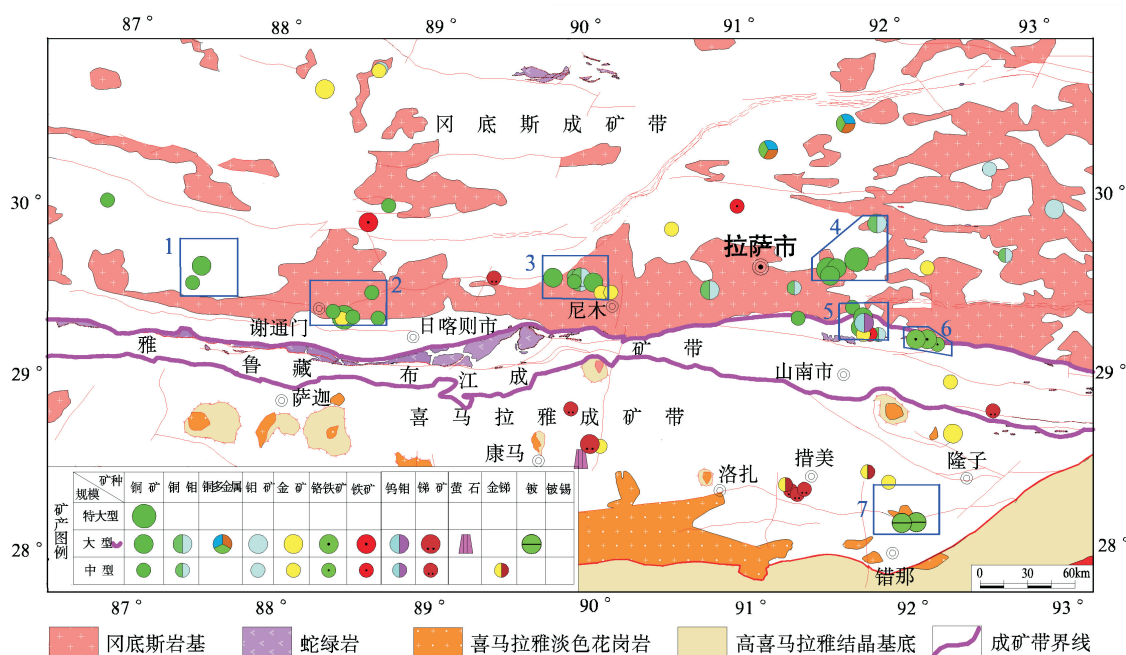


图1 青藏高原南部地区主要成矿带战略性矿产与大型矿集区分布图

1—朱诺 Cu 多金属矿集区;2—雄村 Cu-Au 矿集区;3—厅宫-冲江 Cu 多金属矿集区;4—驱龙-甲玛 Cu 多金属矿集区;5—努日 Cu-W-Mo 矿集区;6—罗布莎铬铁矿集区;7—扎西康 Be, Sn 矿集区

Fig.1 Distribution of strategic mineral deposits and large ore concentration areas in the main metallogenic belts in the southern Qinghai-Tibet Plateau

岩岩浆起源与成矿作用、成矿地质特征与深部及外围资源潜力等进行了深入研究,认为雄村铜矿形成于特提斯洋壳俯冲的洋内弧背景,洋壳俯冲板片脱水产生的流体交代地幔楔,发生局部熔融形成的岩浆是大洋俯冲型斑岩型铜矿的物质来源,成矿时代为中侏罗世(黄勇等,2011)。驱龙、甲玛等斑岩铜(钼)矿床的形成与碰撞后伸展背景下大量幔源物质加入导致加厚新生下地壳发生局部熔融形成的埃达克质岩浆密切相关(侯增谦等,2006a, 2006b;侯增谦和杨志明,2009;侯增谦,2010),成矿时代为中新生代。冈底斯南缘的俯冲增生杂岩系与火山岩浆弧是加厚新生下地壳的重要物质组成,为后期的斑岩成矿提供了高背景铜的深部储库(朱弟成等,2018;张泽明等,2019;李光明等,2020)。目前的勘查与研究显示,在冈底斯带上和各大型斑岩铜矿区的深部还具有巨大找矿潜力(杨志明等,2008a;李光明等,2009;唐菊兴等,2013;Tang et al., 2021)。

根据笔者对近年来取得的最新勘查成果统计,目前在冈底斯成矿带东段的墨竹工卡县—尼木县—谢通门县一带近 20000 平方千米的范围内,探获的铜资源量与储量已超过 4500 万吨,约占我国探

获铜资源储量的 50%,而获得中国“铜山”的美誉。另外在冈底斯成矿带中西段还发育有与第四纪盐湖沉积有关的扎布耶大型硼锂矿床,近年来该成矿带的地质调查工作还取得了锡钨矿、铍铌钽矿等一些重要的矿化线索(李应栩等,2018,2019),因此可以说冈底斯铜多金属成矿带的斑岩矿床不仅规模巨大,而且分布集中,资源禀赋与开发条件均较好,是建设我国千万吨级铜矿资源后备接续基地的理想地区(李光明等,2017a)。

雅鲁藏布江铬-金成矿带发育于雅鲁藏布江结合带内,总体沿雅鲁藏布江一线呈东西向展布,以集中产出与新提斯洋俯冲形成的镁铁-超镁铁质蛇绿岩有关的豆荚状铬铁矿和增生杂岩带内的系列大中型造山型金矿为特色。该成矿带东段曲松县发育的罗布莎-香嘎山铬铁矿是我国目前规模最大的铬铁矿床,占我国铬铁矿资源储量的 80% 以上,近年来该成矿带的造山型金矿找矿工作也取得了很大的进展,先后发现了西藏仁布县念扎金矿、加查县邦布金矿等大型金矿床,是我国最重要的铬铁矿资源勘查、开发基地。

喜马拉雅铍锡稀有金属矿-铅锌锡金成矿带

主体位于青藏高原南部边缘的特提斯喜马拉雅带中,该成矿带前期由于只发现多个中、小型金矿或金锑矿床,在西藏的资源分布格局中居次要地位。由于近年来发现了扎西康大型铅锌锑矿床之后,又相继发现了祥林、色秀等多个具大型潜力的铍锡钨和萤石矿产地,而逐渐倍受重视。近年来开展的地质调查与研究工作中发现,该带在特提斯演化阶段主体属于印度大陆北缘的被动陆缘环境,在大陆碰撞与青藏高原隆升过程中,沿高喜马拉雅和特提斯喜马拉雅带有一系列淡色花岗岩产出,特提斯喜马拉雅带的淡色花岗岩主要就位于伸展作用形成的大型穹窿构造中。它们多形成于中新世早中期(21~14 Ma),并且多具有高度岩浆分异特征,为区内稀有金属矿的形成创造了良好的地质条件(吴福元等,2015;王汝成等,2017;张志等,2017;黄勇等,2019;付建刚等,2020)。目前的地质调查与矿产勘查成果显示,在位于隆子县、错那县和错美县交界地带面积约1000平方千米的扎西康矿集区内,铍锡钨等稀有金属矿、铅锌锑金等金属矿产资源高度聚集,成矿作用与矿床类型独特,进一步找矿潜力巨大,可望成为我国又一个十分重要的以铍锡稀有金属矿和金锑为特色的战略性矿产资源储备基地。

3 近年战略性矿产勘查取得的主要新成果

近年来特别是“十三五”以来,青藏高原南部地区的冈底斯、雅鲁藏布江和喜马拉雅等重点成矿带战略性矿产勘查与调查评价工作取得了突出的新进展,大量新矿产地的发现与重要矿区深部找矿成果的取得,进一步夯实了在该地区建设我国西部地区新的战略性矿产资源接续基地的资源基础。

3.1 与斑岩铜矿及有关的战略性矿产勘查进展

驱龙-甲玛矿集区是冈底斯成矿带内最重要的铜矿资源富集区,驱龙和甲玛2个与中新世碰撞型岩浆作用有关的斑岩铜矿床均已达到超大型规模(杨志明等,2008b; Yang et al., 2009, 2015, 2016; Hou et al., 2012, 2015; 唐菊兴等,2012; Zhao et al., 2016; Li et al., 2017; 林彬等,2019),并伴生钼、金等战略性矿产(王艺云等,2017)。继前期找矿工作取得重大找矿突破后,近年来,在驱龙和甲玛2个矿床的深部又取得重要新进展。

多个深度超过2000 m的钻孔揭示,驱龙矿区在

2000 m深部仍然存在硅化-绢云母化-硬石膏化带与硅化-钾长石-硬石膏化带的叠加,铜矿化仍然在深部较为连续,主要的富铜矿体主要产于绢英岩化与钾硅酸盐化的叠加复合部位(杨志明等,2008b; Yang et al., 2015),探获的资源量继续扩大,深部还具有进一步的找矿潜力。根据西藏巨龙铜业公司2020年提交的资源储量核实报告显示,目前在驱龙矿区探获的推断以上级别的铜资源量达1027.06万吨,伴生钼为56.76万吨。

甲玛为斑岩-矽卡岩复合型矿床,2013年西藏华泰龙矿业公司提供的储量核实报告显示推断以上资源量铜为752.35万吨,钼为69.99万吨,铅锌174.9万吨,伴生金17.45吨,银1085.37吨。近年来通过持续的深部找矿,在矿区深部相继发现新的厚大高品位矽卡岩型矿体与隐伏的斑岩型矿体(唐菊兴等,2012;郑文宝等,2012; Yang et al., 2015; Zhao et al., 2016; Zheng W B et al., 2016; Li et al., 2017;王艺云等,2017;Zheng S J et al., 2021),展现了深部还具有巨大的找矿空间。值得一提的是2020年在甲玛矿区施工了深度超过3000 m的科学钻探,据中国地质科学院矿产资源研究所官方网站2020年10月26日披露“青藏高原首个固体矿产勘查领域3000米科学深钻胜利竣工”的有关报道,科学钻探在深部又揭示出厚达234.34 m的角岩型铜钼矿体和厚度超过298 m的矽卡岩型铜钼金银矿体,其中铜品位大于0.7%的富铜矽卡岩矿体厚度达44.12 m,铜平均品位1.17%,钼平均品位0.04%,伴生金平均品位0.63g/t,伴生银平均品位20.12g/t。据科学钻探首席科学家唐菊兴研究员介绍,目前该矿区已探获的铜资源量累计已超过1100万吨。

在朱诺矿集区,朱诺斑岩铜矿前期已探获铜资源量为230万吨(Sun et al., 2018, 2020, 2021),达大型矿床规模。最近由中央财政和西藏地勘基金投入的勘查工作在朱诺大型斑岩铜矿外围的北姆朗矿区又取得斑岩型铜矿找矿新突破,多个钻孔揭露深部铜矿(化)体的厚度达470 m,其中达最低工业品位以上矿体厚度89 m,平均品位Cu 0.46%;Mo矿体厚度210 m,平均品位0.0326%,初步估算北姆朗矿区推断级别的铜资源量约50万吨,预测潜在的铜资源量220万吨(吕志成,地质调查十三五总结报告),展现了该矿集区又一个大型铜矿床的雏形。

经笔者初步统计,目前为止,冈底斯带东段仅

驱龙、甲玛、雄村、朱诺、厅宫、帮浦等多个斑岩铜矿区已探获的铜资源储量达到 4500 万吨以上,同时这些斑岩矿床中还常富含丰富的钼、金、铼等伴生战略性矿产资源,经济与战略意义十分巨大。除甲玛矿床外,驱龙亦即将建成大型绿色矿山,是我国最重要的铜矿资源接续基地。

3.2 与蛇绿岩有关的铬铁矿勘查进展

雅鲁藏布江结合带内的铬铁矿主要产于由地幔超镁铁质岩石组成的“中央含矿岩系”中,矿体多呈豆荚状或透镜状产出,罗布莎-香嘎山矿集区近年来铬铁矿的勘查工作持续取得重大找矿新突破。继前期在罗布莎矿区发现单矿体资源量为 114.67 万吨的厚大矿体(Cr-80 矿体)后,最近又在香嘎山矿区新发现目前规模最大,资源量大于 130 万吨的呈大透镜状产出的单矿体(Cr-168 矿体),钻孔在深部揭示出该矿体多为稠密-致密块状的高品位矿石,平均品位在 50% 左右(吕志成,地质调查十三五总结报告)。到目前为止,地质找矿工作在罗布莎-香嘎山矿集区累计探获的铬铁矿的资源储量已超过 1000 万吨,占我国该矿种现有资源储量的 80%,进一步巩固了作为我国最大铬铁矿勘查/开发基地的地位。

3.3 造山型金矿勘查进展

青藏高原南部产于雅鲁藏布江结合带及特提斯喜马拉雅带中的造山型金矿的找矿发现与资源潜力长期被广大地质工作者所关注,但过去的找矿工作进展一直不大。通过近年来的深入研究发现,青藏高原南部地区的造山型金矿床主要发育两种类型(Zhang et al., 2020):第一种类型主要产于雅鲁藏布江结合带增生杂岩系中,形成于主碰撞阶段(55~48 Ma)的强烈挤压环境中,以帮布金矿床为代表;第二种类型形成于后碰撞阶段(约 19~16 Ma),主要产于特提斯喜马拉雅南北向裂谷带附近的浅变质碎屑岩系中,与伸展环境的深部过程有关,以明赛金矿床为代表。经勘查实践表明,近年造山型金矿的找矿工作有了重要的新发现,相继发现并评价了以帮布、念扎-明果拉、色普、查拉浦、马扎拉、姐纳各普、色列拉、布主和明赛等为代表的多个大、中型金矿产地,各矿区累计探获的金资源量已近 200 吨^①,初步展现了雅鲁藏布江带及特提斯喜马拉雅带造山型金矿的巨大找矿潜力,通过进一步的工作,雅鲁藏布江带将有望成为青藏高原南部地区一条闪亮的“金腰带”。

3.4 铍锡钨矿与萤石矿勘查进展

喜马拉雅带由于过去仅发育有少量的中小型金锑矿床与铅锌矿床,长期在西藏的重点成矿带中居次要地位,近年来通过调查研究才有了重要的新进展。通过对喜马拉雅带淡色花岗岩的研究表明,喜马拉雅地区发育有世界上规模最大的淡色花岗岩带,出露于特提斯喜马拉雅内的变质穹窿和高喜马拉雅结晶岩系中。这些淡色花岗岩多具有高分异特征,从源区部分熔融到目前的就位经过了长距离运移,其良好的稀有金属矿的找矿潜力应该得到重视(吴福元等, 2015; 王汝成等, 2017; 张志等, 2017; 黄春梅等, 2018; 高利娥等, 2019)。

近年来笔者带领中国地质调查局成都地质调查中心的调查与研究团队,通过实施的多个地质调查项目,在错那洞穹窿、拉隆和库拉岗日等穹窿中相继发现并评价了祥林、日纳、刚建日等多个铍锡多金属稀有金属矿产地,取得了新的找矿突破(李光明等, 2017b; 梁维等, 2018; 夏祥标等, 2019)。通过进一步的调查研究发现,喜马拉雅带的铍锡等稀有矿床存在伟晶岩型 Be-Nb-Ta 矿化、矽卡岩型 W-Sn-Be 矿化、锡石-石英脉型 Sn-W 矿化、似层状或脉状锡石-硫化物型 Sn-Be 矿化和脉状萤石-白钨矿石英脉等多种矿化类型,淡色花岗岩锆石和独居石 U-(Th)-Pb 同位素精确定年,认为矿区存在 19~17 Ma 和 15~14 Ma 两个主要阶段的岩浆活动,与锡石 U-Pb 定年获得的成矿年龄相一致,表明错那洞及喜马拉雅带的锡钨铍稀有金属和铅锌矿成矿与中新世高分异淡色花岗岩密切相关(Zeng et al., 2015; Xie et al., 2017; 李光明等, 2017b; 梁维等, 2018; 夏祥标等, 2019)。在空间上伟晶岩型铍矿、矽卡岩型铍钨矿、锡石硫化物型锡钨铍矿、独立萤石矿、脉状铅锌矿“五位一体”,具有明显的复合成矿特征。

中国地质调查局成都地质调查中心对错那洞穹窿内的祥林西、日纳和昌明 3 个矿区进行了初步评价,估算矽卡岩型铍矿预测的潜在铍资源量约 5.55 万吨^②。2019—2020 年,针对矽卡岩型铍矿目前较难以利用的现状,我们重点加强了对穹窿北部祥林矿区锡石硫化型矿体的评价,又取得了重要的新发现:在祥林矿区圈出锡石硫化型矿体 11 条,对其中的 1 条主矿体(Z6 矿体)进行了初步评价,估算该矿体预测潜在资源 Sn 7.38 万吨,平均品位 1.75%,WO₃ 1.99 万吨,平均品位 0.36%,BeO 3100

吨,平均品位 0.14%,表现出矿区的锡石硫化型矿体具有矿化集中,矿体规模大,锡、铍品位富的特点。根据祥林矿区发现的锡石硫化型矿体较多,规模大,工作程度低的特征,预测矿区锡石硫化型矿体的 Sn 资源潜力大于 30 万吨,已展现出超大型矿床的雏形,进一步找矿潜力极大。同时开展的选矿试验研究发现,该类型矿石以锡铍共生,共伴生钨、金、萤石等有益组分为特点,铍主要赋存于绿柱石中,锡和钨分别赋存于锡石与白钨矿中,矿石的可利用性能佳。另外,地质调查工作在相邻的拉隆、库拉岗日穹窿还圈出了拉隆南、纳日、刚建日、乃村、次麦等多个重要的铍铌钽矿和锡钨矿的找矿靶区,展现出带上巨大的资源潜力。

康马县色秀大型萤石矿产地的发现与初步评价,是近年来喜马拉雅战略性矿产找矿工作的又一项新成果,地质调查工作在该矿区圈出萤石矿体 4 条,对其中的 1 个矿体进行了初步评价,估算预测潜在资源量 372.52 万吨,平均品位 64.32%,展现了大型的前景。另外,祥林矿区也发现了多条独立的高品位萤石矿体,具有进一步的评价价值。

错那洞穹窿内祥林、日纳等铍锡钨矿的发现与初步评价,结合喜马拉雅带上的找矿新发现,证实喜马拉雅带与中新世高分异淡色花岗岩有关的稀有金属的成矿潜力巨大,喜马拉雅除传统的金锑外,还是继华南和新疆阿尔泰等大型稀有金属成矿省后,我国一条新的稀有金属成矿带,通过进一步的工作,可望成为我国一个新的以铍锡钨和铌钽矿为主要特色的稀有金属矿后备资源基地。

4 资源潜力分析与找矿方向

青藏高原南部地区是我国重要的战略性矿产资源富集区,并以铜、铬、金、铍、锡等矿种为特色,在我国的资源配置中与内地相比具有很强的互补性。根据区内大规模成矿的地质背景与优越的成矿地质条件,结合目前取得的勘查进展与新成果,本文综合分析认为,区内的铜、金、铍稀有金属等战略性矿产还具有巨大的资源潜力,找矿目标的针对性应该更加明确。

冈底斯带的铜矿资源还具有巨大的潜力可挖。主要表现在:(1)一些主要的大型—超大型斑岩铜矿区目前的勘查深度均较浅,通过深部及外围找矿有望不断取得新成果。如在甲玛矿区深部及外围的则古朗北部新发现存在有隐伏的成矿斑岩体与

可能的矿化中心,暗示该矿区深部进一步找矿的潜力十分巨大;驱龙矿区施工少量勘查深度超过 2000 m 的钻孔揭示深部仍发育绢云母带叠加在钾硅酸盐化带之上,还存在高品位的铜矿体;朱诺矿区外围的北姆朗等地区近年来取得重大找矿新发现,暗示着围绕这些已有的大型斑岩铜矿床开展深部及外围的找矿工作,仍然具有巨大的找矿空间。(2)冈底斯西段工作程度极低,有若干斑岩铜矿与浅成低温热液型铜金矿的找矿线索,近年来还新发现有三叠纪时期与俯冲作用有关的鲁尔玛斑岩铜矿点(刘洪等,2019),值得在区域上开展进一步的找矿评价工作。(3)下一步针对性的找矿工作,应该在已有的矿集区内加强大型斑岩铜矿床深部及外围的勘查与增储工作,同时在冈底斯南缘的俯冲增生杂岩带中注意寻找与大洋俯冲作用有关的“雄村式”斑岩铜矿床,另外应该通过加强斑岩—矽卡岩—浅成低温热液成矿系统成矿理论研究(李光明等,2005a),通过成矿系列的“缺位”找矿预测理论,在斑岩矿区预测并评价浅成低温热液型等新类型的铜、金矿体。可以相信通过进一步的找矿工作,在不远的将来可以将冈底斯带探获的铜资源量提高到 6000 万吨以上,进一步巩固冈底斯作为我国未来千万吨级大型铜矿资源接续基地的“领头羊”地位。

青藏高原南部造山型金矿取得重大找矿突破的时机与条件已经基本成熟。雅鲁藏布江带与喜马拉雅带发育挤压型与伸展型两类造山型金矿床,以前由于工作程度偏低,缺乏有效的成矿与预测理论支撑矿产勘查工作,导致目前发现的大型金矿床偏少。但随着研究工作的深入,目前综合分析认为,青藏高原南部地区是新特提斯增生造山与大陆碰撞造山作用发生的主域,造山型金矿的成矿条件十分优越,冈底斯带还发现了弄如日等浅成低温热液型金矿床(李光明等,2005b)。近年来通过加强成矿理论的研究与指导,在雅鲁藏布江带和特提斯喜马拉雅带陆续发现并评价了多个大中型的金矿床,展现了区内巨大的金矿潜力。下一步的找矿工作应该加强重要大中型金矿区深部及外围的勘查工作,进一步扩大资源远景,同时结合工作程度低的现状,加强区域上的调查评价,提供更多的找矿靶区,可以相信在不远的将来在青藏高原南部可以找到超大型的造山型金矿床。

错那洞穹窿内祥林、日纳等具大型甚至超大型

铍稀有金属矿产地的发现,打开了喜马拉雅带稀有金属矿的找矿窗口,特别是系列铍矿的发现,可望改变我国的铍稀有金属分布格局(李建康等,2017;林博磊等,2018),意义重大。通过目前的评价与研究工作,喜马拉雅带的稀有金属矿产以铍锡为主,共伴生有钨、萤石和铌钽等战略性矿产。除错那洞穹窿外,近年来还在喜马拉雅带上的拉隆穹窿、库拉岗日穹窿以及高喜马拉雅结晶岩系中发现了与中新世淡色花岗岩有关的铍等稀有金属矿化线索,展现出喜马拉雅带是我国一条新的稀有金属成矿带。此外,近年来的找矿工作在冈底斯中西段也发现了与白垩纪高分异花岗岩和林子宗群火山-次火山岩有关的钨、锡、铌、钽、铍等稀有金属矿产的矿化线索,揭示出青藏高原南部除喜马拉雅成矿带外,冈底斯中西段也有稀有金属成矿的潜力。

针对喜马拉雅带的铍锡稀有金属矿的找矿工作,下一步应该在加强区域性调查评价,寻求找矿新发现,提交新靶区的基础上,重点加强祥林矿区锡石硫化型矿体、萤石矿体和拉隆矿区花岗岩型铌钽矿体的普查工作,并开展重点地段的详查,通过对矿体的深部控制,提交推断或控制以上的资源量,夯实资源基础,进一步了解矿区深部的找矿潜力。同时加强不同矿石类型,特别是开展难选冶矿石的节约与综合利用技术攻关研究,提升矿产资源开发利用效率与水平。

结合西藏自治区“十四五”期间确立的“东铜西锂”矿业发展战略,以推进青藏高原南部大型矿产资源接续基地建设为目标,开展战略性矿产资源基地资源潜力、技术经济可行性和环境影响“三位一体”综合评价,开展大型矿产资源基地地区划研究,科学划定资源基地的范围与开发边界,推动资源核心供给区建设,支撑服务国土空间规划与矿产资源基地勘查开发布局优化和绿色矿业发展。

致谢:在论文的撰写过程中受到了中国地质调查局发展研究中心吕志成研究员、中国地质科学院矿产资源研究所唐菊兴研究员和中国地质调查局成都地调中心李文昌教授级高工等的学术指导,审稿人对论文提出了建设性的修改意见,一并谨致谢忱。

特别敬佩中国地质调查局成都地质调查中心潘桂棠先生半个世纪持续坚持青藏高原地质构造演化与成矿研究,恰逢纪念潘桂棠先生从事地质工

作60周年之际,笔者也将此文献给尊敬的潘桂棠先生,祝贺他为推动青藏高原地质理论创新所做出的卓越贡献,也感谢他长期以来对笔者的关心和支持,祝福潘桂棠先生永远健康!

注释:

- ①成都地质调查中心,2019,冈底斯-喜马拉雅铜矿资源基地调查二级项目成果报告成都
- ②成都地质调查中心,2020,西藏山南地区铍锡多金属矿调查评价年度报告

参考文献(References):

- European Union, 2018. Critical raw materials and the circular economy [R]. Affiliation: European Commission.
- Gulley A L, Nassar N T, Xun S A, 2018. China, the United States, and competition for resources that enable emerging technologies [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 115(16): 4111-4115.
- Hou Z-Q, Duan L-F, Lu Y-J, et al., 2015. Lithospheric architecture of the Lhasa terrane and its control on ore deposits in the Himalayan-Tibetan Orogen [J]. Economic Geology, 110(6): 1541-1575.
- Hou Z-Q, Zheng Y-C, Zeng L-S, et al., 2012. Eocene-Oligocene granitoids in southern Tibet: constraints on crustal anatexis and tectonic evolution of the Himalayan orogen [J]. Earth and Planetary Science Letters, 349-350: 38-52.
- Li Y, Selby D, Condon D, et al., 2017. Cyclic magmatic-hydrothermal evolution in porphyry systems: High-precision U-Pb and Re-Os geochronology constraints on the Tibetan Qulong porphyry Cu-Mo deposit [J]. Economic Geology, 112(6): 1419-1440.
- Schulz K J, DeYoung J H Jr, Bradley D C, et al., 2017. Critical mineral resources of the United States-Economic and environmental geology and prospects for future supply [R]. Reston: U. S. Department of the Interior, U. S. Geological Survey.
- Sun X, Hollings P, Lu Y-J, 2021. Geology and origin of the Zhunuo porphyry copper deposit, Gangdese belt, southern Tibet [J]. Mineralium Deposita, 56(3): 457-480.
- Sun X, Leng C B, Hollings P, et al., 2020. New $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and (U-Th)/He dating for the Zhunuo porphyry Cu deposit, Gangdese belt, southern Tibet: implications for pulsed magmatic-hydrothermal processes and ore exhumation and preservation [J]. Mineralium Deposita, doi: 10.1007/s00126-020-01020-5.
- Sun X, Lu Y J, McCuaig T C, et al., 2018. Miocene ultrapotassic, high-Mg dioritic, and adakite-like rocks from Zhunuo in southern Tibet: implications for mantle metasomatism and porphyry copper mineralization in collisional orogens [J]. Journal of Petrology, 59(3): 341-386.
- Tang J X, Yang H H, Song Y, et al., 2021. The copper polymetallic deposits and resource potential in the Tibet Plateau [J]. China Geology, 4: 1-16.

- Xie Y L, Li L M, Wang B G, et al., 2017. Genesis of the Zhaxikang epithermal Pb-Zn-Sb deposit in southern Tibet, China: Evidence for a magmatic link[J]. *Ore Geology Reviews*, 80: 891–909.
- Yang Z M, Goldfarb R, Chang Z S, 2016. Generation of postcollisional porphyry copper deposits in southern Tibet triggered by subduction of the Indian continental plate[M]//Richards, Jeremy P. *Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt*. Littleton: Society of Economic Geologists. 279–300.
- Yang Z M, Hou Z Q, White N C, et al., 2009. Geology of the post-collisional porphyry copper-molybdenum deposit at Qulong, Tibet [J]. *Ore Geology Reviews*, 36(1–3): 133–159.
- Yang Z M, Lu Y J, Hou Z Q, et al., 2015. High-Mg diorite from Qulong in southern Tibet: implications for the genesis of adakite-like intrusions and associated porphyry Cu deposits in collisional orogens [J]. *Journal of Petrology*, 56(2): 227–254.
- Zeng L S, Gao L E, Tang S H, et al., 2015. Eocene magmatism in the Tethyan Himalaya, southern Tibet[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 412(1): 287–316.
- Zhang Z, Li G-M, Zhang L-K, et al., 2020. Genesis of the Mingsai Au deposit, southern Tibet: Constraints from geology, fluid inclusions, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology, H-O isotopes, and in situ sulfur isotope compositions of pyrite [J]. *Ore Geology Reviews*, 122: 103488.
- Zhao J X, Qin K Z, Xiao B, et al., 2016. Thermal history of the giant Qulong Cu-Mo deposit, Gangdese metallogenic belt, Tibet: constraints on magmatic-hydrothermal evolution and exhumation[J]. *Gondwana Research*, 36: 390–409.
- Zheng S-J, Zhong H, Bai Z-J, et al., 2021. High-sulfidation veins in the Jiama porphyry system, South Tibet[J]. *Mineralium Deposita*, 56(2): 205–214.
- Zheng W B, Tang J X, Zhong K H, et al., 2016. Geology of the Jiama porphyry copper-polymetallic system, Lhasa Region, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 74: 151–169.
- 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(02): 91–103.
- 高利娥, 曾令森, 胡古月, 等, 2019. 藏南拿日雍措片麻岩穹窿淡色花岗岩稀有金属的富集[J]. *地球科学*, 44(6): 1860–1875.
- 郭娟, 崔荣国, 闫卫东, 等, 2020. 2019 年中国矿产资源形势回顾与展望[J]. *中国矿业*, 29(1): 1–5.
- 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 等, 2006a. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(4): 337–358.
- 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等, 2006b. 青藏高原碰撞造山带: III. 后碰撞伸展成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(6): 629–651.
- 侯增谦, 杨志明, 2009. 中国大陆环境斑岩型矿床: 基本地质特征、岩浆热液系统和成矿概念模型[J]. *地质学报*, 83(12): 1779–1817.
- 侯增谦, 2010. 大陆碰撞成矿论[J]. *地质学报*, 84(1): 30–58.
- 黄春梅, 李光明, 张志, 等, 2018. 藏南错那洞淡色花岗岩成因: 来自全岩地球化学和锆石 U-Pb 年龄的约束[J]. *地学前缘*, 25(6): 182–195.
- 黄勇, 唐菊兴, 郎兴海, 等, 2011. 雄村铜金矿床 II 号矿体侵入岩—火山岩的地球化学特征: 对岩石成因及构造背景的约束[J]. *矿床地质*, 30(2): 361–373.
- 黄勇, 付建刚, 李光明, 等, 2019. 藏南拉隆穹隆的厘定及其稀有多金属成矿作用新发现[J]. *地球科学*, 44(7): 2197–2206.
- 李光明, 刘波, 屈文俊, 等, 2005a. 西藏冈底斯成矿带的斑岩—矽卡岩成矿系统: ——来自斑岩矿床和矽卡岩型铜多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄证据[J]. *大地构造与成矿学*, 29(4): 482–490.
- 李光明, 曾庆贵, 雍永源, 等, 2005b. 西藏冈底斯成矿带浅成低温热液型金锑矿床的发现及其意义——以西藏弄如日金锑矿床为例[J]. *矿床地质*, 24(6): 595–602.
- 李光明, 余宏全, 张丽, 等, 2009. 西藏冈底斯铜多金属成矿带基于 MRAS 资源评价系统的成矿预测[J]. *地质与勘探*, 45(6): 645–654.
- 李光明, 段志明, 黄勇, 等, 2017a. 西藏冈底斯—喜马拉雅地质与成矿[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 0–256.
- 李光明, 张林奎, 焦彦杰, 等, 2017b. 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): 1003–1008.
- 李光明, 张林奎, 吴建阳, 等, 2020. 青藏高原南部洋板块地质重建及科学意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 40(1): 1–14.
- 李建康, 邹天人, 王登红, 等, 2017. 中国铍矿成矿规律[J]. *矿床地质*, 36(4): 951–978.
- 李应翔, 黄永高, 韩飞, 等, 2018. 西藏中冈底斯成矿带中段铍矿化体的发现与意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 38(4): 62–67.
- 李应翔, 李光明, 黄永高, 等, 2019. 西藏中冈底斯成矿带晚三叠世铍钼稀有金属矿化: 独居石 U-Pb 年代学证据[J]. *地球科学*, 44(7): 2379–2393.
- 梁维, 张林奎, 夏祥标, 等, 2018. 藏南地区错那洞钨锡多金属矿床地质特征及成因[J]. *地球科学*, 43(8): 2742–2754.
- 林彬, 唐菊兴, 唐攀, 等, 2019. 斑岩成矿系统多中心复合成矿作用模型——以西藏甲玛超大型矿床为例[J]. *矿床地质*, 38(6): 1204–1222.
- 林博磊, 尹丽文, 崔荣国, 等, 2018. 全球铍资源分布及供需格局[J]. *国土资源情报*(1): 13–17.
- 刘洪, 张林奎, 黄瀚霄, 等, 2019. 冈底斯西段鲁尔玛斑岩型铜(金)矿成矿流体性质及演化[J]. *地球科学*, 44(6): 1935–1956.
- 毛景文, 杨宗喜, 谢桂青, 等, 2019a. 关键矿产——国际动向与思考[J]. *矿床地质*, 38(4): 689–698.
- 毛景文, 袁顺达, 李通国, 等, 2019b. 21 世纪以来中国关键金属矿产找矿勘查与研究新进展[J]. *矿床地质*, 38(5): 935–969.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等, 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. *岩石学报*, 22(3): 521–533.
- 唐菊兴, 多吉, 刘鸿飞, 等, 2012. 冈底斯成矿带东段矿床成矿系列及找矿突破的关键问题研究[J]. *地球学报*, 33(4): 393–410.
- 唐菊兴, 郑文宝, 陈毓川, 等, 2013. 西藏甲玛铜多金属矿床深部斑岩矿体找矿突破及其意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 43(4): 1100–1110.

- 王安建, 王高尚, 邓祥征, 等, 2019. 新时代中国战略性关键矿产资源安全与管理[J]. 中国科学基金, 33(2): 133–140.
- 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): 1189–1209.
- 王汝成, 吴福元, 谢磊, 等, 2017. 藏南喜马拉雅淡色花岗岩稀有金属成矿作用初步研究[J]. 中国科学: 地球科学, 47(7): 871–880.
- 王艺云, 郑文宝, 陈毓川, 等, 2017. 西藏甲玛斑岩成矿系统铜钼元素分离机制探讨[J]. 岩石学报, 33(2): 495–514.
- 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.
- 夏祥标, 李光明, 张志, 等, 2019. 北喜马拉雅错那洞穹隆铍稀有金属矿床地质特征及找矿方向[J]. 矿床地质, 38(3): 586–598.
- 杨志明, 侯增谦, 夏代洋, 等, 2008a. 西藏驱龙铜矿西部斑岩与成矿关系的厘定: 对矿床未来勘探方向的重要启示[J]. 矿床地质, 27(1): 28–36.
- 杨志明, 侯增谦, 宋玉财, 等, 2008b. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床: 地质、蚀变与成矿[J]. 矿床地质, 27(3): 279–318.
- 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.
- 张泽明, 丁慧霞, 董昕, 等, 2019. 冈底斯岩浆弧的形成与演化[J]. 岩石学报, 35(2): 275–294.
- 张志, 张林奎, 李光明, 等, 2017. 北喜马拉雅错那洞穹隆: 片麻岩穹隆新成员与穹隆控矿新命题[J]. 地球学报, 38(5): 754–766.
- 郑文宝, 唐菊兴, 汪雄武, 等, 2012. 西藏甲玛铜多金属矿床金矿床地质特征及成矿作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 42(S1): 181–196.
- 朱弟成, 王青, 赵志丹, 等, 2018. 大陆边缘弧岩浆成因与大陆地壳形成[J]. 地学前缘, 25(6): 67–77.

New exploration progresses, resource potentials and prospecting targets of strategic minerals in the southern Qinghai-Tibet Plateau

LI Guangming, ZHANG Linkui, ZHANG Zhi, XIA Xiangbiao, LIANG Wei, HOU Chunqiu
(Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: In recent one hundred years, the world has been undergoing great changes and the demand for strategic mineral resources has increased significantly. At present, an urgent task for China is to strengthen domestic strategic mineral exploration and ensure the supply of strategic mineral resources safely. The Gangdise-Himalayan orogenic belt, located at the southern edge of the Qinghai-Tibet Plateau, is the key area for understanding the subduction of the Neo-Tethys oceanic crust, and the continental collision and large-scale metallogenesis between Asian and Indian plates. With the aid of analysis of the geologic and tectonic evolution and large-scale mineralization of the Gangdise-Himalayan orogeny, this study has systematically summarized the main types of strategic minerals and the important progresses of mineral prospecting in key metallogenic belts in Gangdise, Yarlung Zangbo Suture zone and Himalaya. The large-scale crust-mantle interaction and tectonic-magmatic evolution since the Cenozoic have resulted in the high enrichments of strategic mineral elements such as Cu, Cr, Au and Be. The Gangdise-Himalayan orogenic belt will play an important role in the resource allocation of strategic mineral resources of China, and several large ore concentration areas such as Qulong-Jiama, Junuo, Luobusha and Zhaxikang, are delineated as the key areas for the construction of strategic mineral succession resources bases in China. The emphasis of the future exploration should be on the exploration of new ore types and new mineral species in the deeper levels of existing deposits and the peripheries of the ore concentration areas.

Key words: Southern Qinghai-Tibet Plateau; strategic minerals; new progress; resource potential; prospecting direction