

# 冈底斯构造带斑岩型铜矿找矿突破探讨

平措松格 仁青旺久 朗色坚赞

西藏自治区地质矿产勘查开发局第六地质大队

DOI:10.32629/gmsm.v8i6.2375

**[摘要]** 冈底斯构造带作为青藏高原南部重要的斑岩铜矿成矿带,其形成与新特提斯洋俯冲至印度—亚洲大陆碰撞的完整构造旋回密切相关。本文系统梳理了该带区域构造环境、岩浆岩特征及沉积—变质岩背景,总结了斑岩型铜矿的地质特征与成矿机制,提炼了综合找矿标志。研究表明,碰撞背景下构造—岩浆—流体的高效耦合是成矿关键,矿床以浅成埃达克质斑岩为核心,具典型“多位一体”矿化样式与蚀变分带。未来找矿突破应聚焦深部与新区,深化成矿系统认识,集成创新勘查技术方法,构建三维综合找矿模型,实现新一轮资源发现。

**[关键词]** 冈底斯构造带; 斑岩型铜矿; 找矿突破; 成矿机制; 找矿标志

**中图分类号:** P578.2+1 **文献标识码:** A

## Discussion on the Breakthrough of the Porphyry-type Copper Ore Prospecting in the Gangdise Tectonic Zone

Songge Pingcuo Wangjiu Rinchen Gyantse Lamse

The Sixth Geological Team of the Tibet Autonomous Region Bureau of Geological and Mineral Exploration and Development

**[Abstract]** The Gangdise Tectonic Zone, a key porphyry copper deposit belt in southern Tibet, is closely associated with the complete tectonic cycle of the Neo-Tethyan Ocean subduction and Indian-Asian continental collision. This study systematically examines the regional tectonic environment, magmatic characteristics, and sedimentary-metamorphic background of the zone, summarizes the geological features and ore-forming mechanisms of porphyry-type copper deposits, and identifies comprehensive exploration indicators. Research demonstrates that efficient coupling of tectonic, magmatic, and fluid processes under collisionary conditions is critical for mineralization. The deposits are centered on shallow-edacite porphyries, exhibiting a typical "multi-stage integrated" mineralization pattern and alteration zoning. Future exploration should focus on deep-seated and new areas, deepen understanding of the ore-forming system, integrate innovative exploration technologies, and develop three-dimensional comprehensive exploration models to achieve new resource discoveries.

**[Key words]** Gangdise tectonic belt; porphyry-type copper deposit; prospecting breakthrough; metallogenic mechanism; prospecting indicator

### 引言

冈底斯构造带是我国重要的斑岩—矽卡岩型铜多金属矿集区,资源潜力巨大。随着浅表矿体日趋减少,找矿工作亟待向深部与新区拓展。尽管前人研究已奠定良好基础,但如何在新一轮找矿突破中集成创新理论与技术,实现资源接替,仍是当前关键问题。本文旨在系统总结该带地质背景与成矿特征,探讨其成矿机制与找矿标志,以期为勘查实践提供参考。

### 1 西藏冈底斯构造带地质背景

1.1 区域构造环境。冈底斯构造带位于青藏高原南部,是特提斯—喜马拉雅构造域的核心组成部分,其构造演化主导了区域的成

矿格局。该带在新特提斯洋向北俯冲于拉萨地块之下的过程中,形成了大规模的火山-岩浆弧及弧后盆地系统,为斑岩铜矿的初步孕育提供了热源与流体。随着印度-欧亚大陆的全面碰撞与持续的陆内俯冲,构造环境由俯冲岩浆弧转变为碰撞造山带,引发了强烈的构造-岩浆-热液活动。这一碰撞造山过程不仅促使先期形成的矿化发生活化、迁移与再富集,更直接导致了巨量含矿斑岩体的侵位与就位。西藏冈底斯带是全球著名的岩浆岩与斑岩铜矿带,其经历了从新特提斯洋板片俯冲到印度-欧亚大陆碰撞的全过程<sup>[1]</sup>。

1.2 岩浆岩特征。近年来,找矿勘查成果发现在西藏冈底斯斑岩铜矿带北部存在一条近EW向的铅多金属矿带,即西藏冈底斯北

缘铅多金属矿带<sup>[2]</sup>,冈底斯构造带内的成矿斑岩体主要沿近东西向的区域性深大断裂带呈串珠状分布,岩石类型以花岗斑岩和花岗闪长斑岩为主,含少量二长花岗斑岩,普遍具有斑状结构,斑晶以石英、长石和黑云母为特征。巨型斑岩-矽卡岩铜-金矿床亦可产于大陆碰撞造山系(如西藏冈底斯、玉龙铜矿带),与新生下地壳的部分熔融密切相关<sup>[3]</sup>。这些斑岩体的形成与中新世(约10-25Ma)印度-亚洲大陆碰撞后的陆内构造-岩浆活动高峰期紧密相关,其岩浆源区被认为是增厚下地壳的部分熔融,并可能混入了富集地幔或古老地壳物质,其高氧化、富水和高硫的特征是成矿的关键控制因素。从地球化学上看,成矿斑岩普遍表现出高硅、富钾、高Sr/Y比值和轻重稀土分异明显的埃达克质岩亲和性,以及富含成矿相关的挥发分(如Cl、S)和铜族金属元素。其Sr-Nd-Pb-Hf同位素组成指示了岩浆源于古老拉萨地壳下地壳与新生幔源组分的混合,这种混合过程不仅触发了大规模的金属预富集,也为后期岩浆热液系统提供了运移和沉淀铜等成矿元素的充足流体与硫配体。

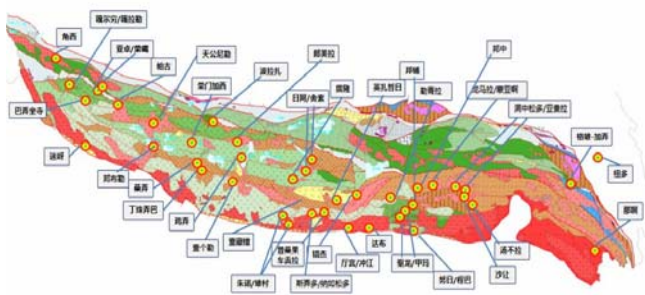


图1 冈底斯成矿带

1.3 沉积岩与变质岩环境。冈底斯构造带内沉积岩系统记录了其从被动大陆边缘到活动陆缘的完整历史,主要发育石炭-二叠纪至白垩纪的浅海相碳酸盐岩、碎屑岩及中生代弧前盆地沉积序列。这些沉积岩系,特别是富含有机质或火山物质的层位,可能在成矿过程中扮演了重要的“矿源层”角色,为后期岩浆热液系统提供了部分成矿物质。区域变质作用以中生代以来的区域低温动力变质和接触变质为主,变质程度普遍较低,多为低绿片岩相。接触变质作用围绕大规模中生代侵入岩体发育,形成范围广泛的角岩化、矽卡岩化带,这不仅是重要的找矿标志,更为斑岩成矿系统的热液流体与围岩(特别是碳酸盐岩)之间发生物质交换、沉淀成矿提供了有利的物理化学界面和赋矿空间。在西藏冈底斯斑岩铜矿带,都利用Ce<sup>4+</sup>/Ce<sup>3+</sup>值进行了含矿岩体的相对氧逸度研究,均得出了含矿岩体的氧逸度明显高于不含矿岩体的氧逸度结论,充分证明高氧逸度对于斑岩型铜、金成矿更有利<sup>[4]</sup>。

2 冈底斯构造带斑岩型铜矿地质特征

2.1 矿体特征。冈底斯构造带内斑岩型铜矿床的矿体形态主要受含矿斑岩体及接触带构造控制,呈现出以斑岩体为核心、在三维空间上立体展布的特征。其主要形态为大型的筒状、透镜状或陡倾的板状体,往往沿主要断裂或岩体接触面产出。矿化在平面上多呈环状或半环状,在垂向上则具有显著的分带性,从深部中心的斑岩型铜(钼)矿体,向上及向外侧可过渡为矽卡岩型或热

液脉型铜多金属矿体,构成典型的“多位一体”矿化样式。矿体规模巨大,走向延伸常达数百至上千米,延深可达数百米,厚度数十至数百米,且通常在岩体顶部和内外接触带最为富厚。矿石中铜的品位分布不均,总体呈现中心相对富集、边部渐贫的趋势,全矿床平均铜品位多在0.4%至0.8%之间,局部富矿段品位可超过1%,并常伴生有可观的钼、金、银等有益组分,经济价值显著。

表1 冈底斯成矿带地质与成矿特征简表

项目	主要内容
构造位置	冈瓦纳大陆边缘,岩浆弧/陆块结合带
主要岩石组成	古生界:碎屑岩、火山岩、灰岩;岩浆岩:JKE及其分带
典型成矿地段	角西、帕古、巴弄坐寺、桑弄、驱龙、甲玛、雄村等(多地名)
成矿带划分	分为西段、中段、东段,包含多个矿床(点)
成矿岩体	中新世花岗岩、成矿斑岩体
成矿作用	加厚地壳熔融、新生地壳熔融、陆缘岩浆弧活动
蚀变分带	钾硅化带→绢英岩化带→硅化粘土化带→青磐岩化带
主要矿化类型	细脉浸染型、矽卡岩型、氧化富铜型、角砾岩型、脉状铅锌银型

2.2 矿石特征。冈底斯带斑岩型铜矿床的矿石矿物组成以黄铜矿和黄铁矿最为普遍,辉钼矿是重要的共(伴)生矿物,常与黄铜矿共生或独立呈鳞片状、薄膜状产出。此外,矿石中普遍含有可回收的金和银,它们多以显微-次显微包裹体形式赋存于硫化物中或呈独立的银金矿、自然金等矿物形式存在。矿石结构主要为自形-半自形粒状结构和交代结构,构造则以细脉浸染状和浸染状最为典型,代表了斑岩系统典型的网脉状矿化特征,局部在构造裂隙或接触带可形成块状或脉状构造的富矿体。西藏冈底斯成矿带的矽卡岩型铁铜矿床、铅锌矿床和钨矿床的成矿岩体<sup>[5]</sup>,在地表浅部及地下水作用活跃区,原生硫化物矿石会经历氧化淋滤,形成褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿等组成的氧化带,其下则可能发育次生硫化物(如辉铜矿、铜蓝)富集带。氧化带的铁帽和特征蚀变矿物是直接的地表找矿标志,而次生富集带的存在能显著提升矿床的经济价值,并指示其下可能存在规模巨大的原生矿体,因此在勘查中需予以特别重视。

2.3 围岩蚀变特征。冈底斯斑岩铜矿的围岩蚀变具有典型而强烈的中心式分带特征,是成矿热液系统演化的直接产物。由成矿斑岩体中心向外,依次发育以钾长石化和黑云母化为代表的钾化带(核心),向外过渡为以石英、绢云母、黄铁矿为主的绢英岩化带(矿化主体),最外侧则是以绿泥石、绿帘石、方解石为标志的青磐岩化带。此外,强烈的硅化常叠加于各蚀变带之上,尤其在矿化中心部位最为显著。蚀变分带与矿化在空间和成因上紧密共生:钾化带通常与细脉浸染状的铜、钼矿化核心对应,是金属初始沉淀的高温环境;其外的绢英岩化带是黄铜矿等硫化物的主要富集部位,构成了工业矿体的主体;而青磐岩化带则标志着成矿热液

的影响边界。蚀变矿物不仅是热液活动的“化石”记录,其本身也常含有分散的成矿元素,例如钾化带黑云母中的铜、绢云母中的金等,系统研究蚀变分带是指导深部找矿预测的关键依据。

### 3 成矿机制探讨

3.1 成矿流体来源与演化。冈底斯斑岩铜矿的成矿流体是一个以岩浆水为主导的、多来源、演化的热液系统。其初始流体主要来源于深部高氧化、富挥发分(Cl, S, H<sub>2</sub>O)的成矿斑岩岩浆出溶,高温(可达>500°C)、高盐度(常>40wt% NaCl equiv)的岩浆热液是成矿物质的主要载体。在流体自岩体中心向上向外运移的过程中,随着温度、压力的降低以及围岩(特别是大气降水和建造水的加入)相互作用,流体性质发生剧变。流体的混合、沸腾以及pH值的升高(因长石水解等水岩反应)是导致金属硫化物沉淀的关键机制。成矿流体与围岩(如碳酸盐岩、碎屑岩)发生广泛的交代作用,不仅形成了前述的蚀变分带,更从围岩中淋滤出部分成矿物质,共同参与成矿。最终,铜等金属元素与流体中的氯络合物解离,在适宜的温度-压力-化学梯度下,与还原硫结合,以黄铜矿、斑铜矿等形式在岩体顶部及接触带的裂隙系统中大规模沉淀富集。

3.2 成矿元素富集机制。铜等成矿元素在冈底斯斑岩系统中的富集是一个从岩浆源区预富集到热液阶段最终沉淀的链式过程。在岩浆演化早期,由于斑岩母岩浆高氧化、富氯和硫的特性,铜倾向于在残余熔体中富集,而不被早期结晶的硅酸盐矿物所捕获。随着岩浆结晶分异和流体出溶,绝大部分铜元素优先分配进入高盐度的岩浆热液中,并以氯的络合物形式进行高效迁移。当这些富含金属的流体上升到岩体浅部时,物理化学条件的突变,尤其是流体沸腾导致的温度与压力骤降、气相逸失及盐度剧增,以及流体与围岩反应(如钾化)引发的pH值升高,共同破坏了金属络合物的稳定性。同时,流体与富铁镁质围岩(如矽卡岩)相互作用,围岩中的铁质组分被热液活化,为硫化物的沉淀提供了必需的还原硫源和沉淀场所。围岩不仅作为化学反应介质促使金属沉淀,其自身的裂隙系统和化学不均一性也控制了矿体的最终定位与局部富集。

表2 冈底斯成矿带部分矿床资源量简表

矿床名称	统计年份	铜金属量(吨)	平均品位(%)	伴生组分(金/银/钨)
知不拉	2019年备案	476,451.08	未详	金 9,233.12kg 银 369.32t
荣木措拉	2008年	562,109.52(主)	0.45	钨 29,270.85t
浪母家果	2010年	11,560.66	0.87	钨 52.85t

### 4 找矿标志总结

4.1 地质体标志。在冈底斯构造带寻找斑岩型铜矿,一系列关键地质体构成了直接的找矿标志。首要标志是具特定特征的成矿斑岩体本身,其多呈岩株或岩枝状产出,岩石类型主要为中新世的中酸性花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩,具有全岩矿化及细粒斑状结构,侵位深度相对较浅(通常1-3公里)。围绕斑岩体发育的强烈而规整的面型热液蚀变带,是另一核心标志,其由内而外清晰的钾化(钾长石、黑云母)-绢英岩化(石英、绢云母、黄

铁矿)-青磐岩化(绿泥石、绿帘石、碳酸盐)蚀变分带,直接圈定了矿化中心与范围。此外,特定的围岩环境也具有重要指示意义,例如,岩体与侏罗纪-白垩纪碳酸盐岩或富钙质碎屑岩的接触带,常因强烈的接触变质和交代作用形成大规模的矽卡岩化带,这不仅是寻找矽卡岩型富矿体的直接标志,也预示着其深部可能存在斑岩型矿体,构成了“上矽卡岩下斑岩”的典型找矿模式。

4.2 地球物理标志。地球物理标志是探测和圈定冈底斯斑岩铜矿系统,特别是深部与隐伏矿体的关键手段。磁法测量方面,成矿斑岩体常因含磁性矿物(如磁铁矿、黑云母)而呈现明显的高磁异常,其形态多呈团块状或椭圆形,高值中心往往对应岩体或强蚀变带位置,是快速圈定成矿岩体的有效方法。重力场特征则与区域地壳结构和岩体密度密切相关,大型斑岩铜矿系统常位于区域重力梯级带或局部低重力异常区,反映了深部存在低密度的中酸性岩基或构造薄弱带。在各种方法中,电法(特别是激发极化法和电阻率法)的指示最为直接:矿化带及富含黄铁矿的绢英岩化蚀变带因金属硫化物含量高,通常呈现显著的高极化率(IP)和低电阻率(RES)异常。这种“高极化、低电阻”的电性组合异常,与特定的磁异常和重力异常相套

### 5 结语

冈底斯斑岩铜矿的找矿突破,关键在于深化碰撞造山背景下成矿系统的理解,并有效集成地质、地球物理与地球化学等多学科勘查手段。未来应重点向已知矿床深部、侧伏端及成矿带东西两翼等新区段拓展,加强覆盖区与复杂构造区的探测技术攻关。唯有坚持理论引领与技术驱动,方能实现该带找矿工作的持续突破,提升国家资源保障能力。

### 【参考文献】

- [1]张利强.西藏冈底斯南缘东嘎乡杂岩体岩石地球化学特征、成因及其对斑岩铜矿的指示意义[D].东华理工大学,2024.
- [2]解惠,张辉,张庆松,等.西藏冈底斯南缘铅多金属矿化带若措铅多金属矿点成矿闪长岩U-Pb同位素年龄及找矿意义[J].西北地质,2025,58(06):247-260.
- [3]张智宇,侯增谦,潘小菲,等.地壳增生和多源性再造与巨量斑岩-矽卡岩铜-金/铁、钨-钼成矿:以长江中下游中段及邻区为例[J].中国科学:地球科学,2025,55(06):1766-1791.
- [4]杨爱雪,吕水,许曼,等.冀东高家店岩体锆石年代学和微量元素地球化学特征及其地质意义[J].吉林大学学报(地球科学版),2025,55(02):503-524.
- [5]陈曦.藏东那阿钨矿床成矿作用和成矿模式研究[D].成都理工大学,2023.

### 作者简介:

平措松格(1997--),男,藏族,西藏当雄人,本科,助理工程师,研究方向:地质矿产。

仁青旺久(1994--),男,藏族,西藏那曲人,大学本科,水工环地质助理工程师。

朗色坚赞(1994--),男,藏族,本科,工程师,研究方向:地质测绘(测量)。