

安第斯带斑岩型铜（金-钼）矿床时空分布特征

赵宏军, 邱瑞照, 陈秀法, 张 潮

(中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘 要: 南美安第斯带斑岩型铜（金-钼）矿床受板块持续俯冲作用影响, 呈线性多条带状分布, 以中安第斯段的矿床数量多、分布集中、矿床规模巨大为特征; 成矿时代有晚古生代冈瓦纳造山旋回两期和中—新生代安第斯造山旋回 4 期, 以始新世晚期—渐新世和中新世中期—上新世最为重要。

关键词: 安第斯带; 斑岩型铜（金-钼）矿床; 时空分布; 南美洲

中图分类号: P618

文献标识码: A

THE TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTION OF PORPHYRY CU (AU-MO) DEPOSITS IN THE ANDES BELT

ZHAO Hongjun, QIU Ruizhao, CHEN Xiufa, ZHANG Chao

(Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: This article relies on the “Global Mineral Resources Information System” and related projects of the China Geological Survey. The spatial and temporal distribution characteristics of the porphyry Cu (Au-Mo) deposit in the Andean orogenic belt of South America is summarized: Influenced by the continuous subduction of the plate, the porphyry Cu (Au-Mo) deposit in the Andean belt is linear and multi-banded. It is characterized by a large number of deposits, concentrated distribution and large scale of deposits in the Central Andes section. At the age of mineralization, there were two periods of the Late Paleozoic Gondwana orogenic cycle and and four periods of the Mesozoic-Cenozoic Andean orogenic revolving cycle. The most important is the late Eocene-Oligocene and Miocene mid-Pliocene. It provides a reference for understanding the ore-forming geological characteristics and metallogenic regularity of porphyry deposits in the Andean belt.

Key words: Andes belt; porphyry Cu (Au-Mo) deposit; temporal and spatial distribution; South America

0 引言

斑岩型矿床是世界上铜、钼和铼等金属最重

要来源, 环太平洋地区是世界上最主要的斑岩铜矿带^[1-2], 仅南美洲安第斯带的智利、秘鲁就拥有 El Teniente, Chuquibambilla、Río Blanco-Los Bronces、La Escondida、Los Pelambres-El Pachón、Rosario、

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (121201004000150009, 1212011220912, DD20160118); 国家国际科技合作专项 (2011DFA22460)

作者简介: 赵宏军 (1969-), 男, 教授级高工, 从事地质矿产普查找矿及成矿规律研究。E-mail: zhaohongjun2008@126.com

引用格式: 赵宏军, 邱瑞照, 陈秀法, 等. 安第斯带斑岩型铜（金-钼）矿床时空分布特征 [J]. 地质力学学报, 2019, 25 (S1): 135-139 DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.023

ZHAO Hongjun, QIU Ruizhao, CHEN Xiufa, et al. The temporal and spatial distribution of porphyry Cu (Au-Mo) deposits in the Andes belt [J]. Journal of Geomechanics, 2019, 25 (S1): 135-139 DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.023

Radomiro Tomic、El Salvador、Toki、La Granja、Cujaone、Cerro Casala、Minas Congas 等众多千万吨以上的巨型斑岩铜(金)矿, 探明储量超过 2.6 亿吨, 占全球铜探明储量的 37.7%, 产量占全球铜产量的 39% (世界矿产资源年评, 2014), 其中 El Teniente 铜储量约为 9 千多万吨, 且含金超过 2500 吨^[2-7]。对安第斯带斑岩型矿床的研究, 一直是地质学家研究的热点。

文章依托中国地质调查局“全球矿产资源信息系统”和有关项目, 试图通过总结南美安第斯带斑岩型铜(金-钼)矿床的时空分布特征, 为认识安第斯带斑岩型矿床成矿地质特征、成矿规律等提供参考。

1 安第斯带斑岩型铜(金-钼)矿床时空分布

斑岩型矿床是南美安第斯带最重要的铜(金-钼)矿床类型。斑岩铜矿原指产于强烈绢云母化

和石英化中酸性斑岩里的细脉浸染型铜矿, 目前多数学者认为斑岩铜矿是指与花岗质斑状侵入岩相关的, 且钾质硅酸盐蚀变普遍发育于岩体内部, 岩浆期后热液形成的细脉浸染状和角砾状硫化物矿床, 还包括部分矽卡岩矿体^[8], 也包括与斑岩型矿床有密切时空和成因联系的叠加其上的浅成低温热液金银铜矿床^[9]。

根据基底组成、构造-岩浆演化、板块俯冲形式和成矿作用的不同, 安第斯造山带自北而南划分为 3 个次级构造单元, 即: 北安第斯带、中安第斯带和南安第斯带, 北、中安第斯带构造分界约在 5°S 左右的厄瓜多尔的瓜亚基尔湾, 中、南安第斯带构造分界为 39°S 左右的智利南部的瓦尔迪维亚 (Valdivia)^[10-11]。

在整个安第斯带上, 斑岩型铜矿带长约 6000 km, 呈线性多条带状分布, 与安第斯造山带平行 (图 1), 每个斑岩铜成矿带的发育都受限于不同的成矿期^[12]。从目前勘探和开发情况看, 中安第斯段一直是铜矿勘探和开采的热点地区, 特

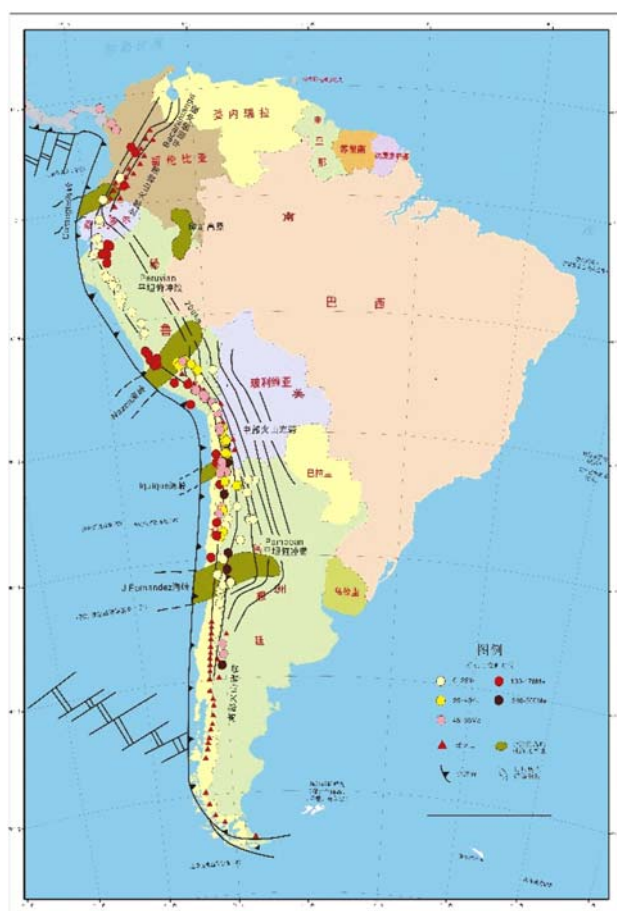


图 1 安第斯带斑岩铜(金-钼)矿床分布图 (底图来自参考文献 [14])

Fig. 1 Distribution map of porphyry copper (Au-Mo) deposits in the Andes belt (Base map from reference [14])

别是秘鲁南部—智利中北部和阿根廷西北部地区, 发现了一大批具有巨型规模的斑岩铜矿; 北安第斯段的斑岩铜矿也逐渐受到重视, 南安第斯段的斑岩铜潜力很小^[1,13]。

1.1 北安第斯段

明显分出三条斑岩铜矿带, 北部主要分布在 $6^{\circ}\text{N} \sim 9^{\circ}\text{N}$ 之间, 以哥伦比亚的 Acandi、Pantanos-Pegadorcito、Murindo 等为代表, 成矿时代在 $48.7 \sim 42 \text{ Ma}$, 属于始新世; 向南 (在 $5^{\circ}\text{N} \sim 5^{\circ}\text{S}$ 之间) 形成大致与造山带平行的两条斑岩铜矿带, 西侧以厄瓜多尔的 Junin、Gaby-Papa Grande 及秘鲁的 Rio Blanco 等为代表, 成矿时代在中新世 ($20 \sim 6.5 \text{ Ma}$); 东侧以厄瓜多尔的 Mirador、Panantza 等为代表, 成矿时代是中晚侏罗世 ($150 \sim 170 \text{ Ma}$)。

1.2 中安第斯段

1.2.1 秘鲁中北部 ($5^{\circ}\text{S} \sim 12^{\circ}\text{S}$ 之间)

该区存在一条长 1200 km , 宽 $50 \sim 100 \text{ km}$ 的斑岩型铜 (金-钼) 矿带, 沿西科迪勒拉延伸, 成矿时代为中新世-上新世 ($20 \sim 5 \text{ Ma}$)。该带著名的巨型斑岩铜 (金-钼) 矿床有 Toromocho、El Galeno、Minas Conga 及矽卡岩型铜 (金) 矿床 Antamina。

1.2.2 秘鲁南部 ($12^{\circ}\text{S} \sim 18^{\circ}\text{S}$ 之间)

该区存在 3 条斑岩铜矿带, 沿海岸科迪勒拉延伸的以 Zafranal、Almacen、Anita de Tibilos 等为代表, 带宽在 30 km 左右, 成矿时代为晚侏罗世—早白垩世 ($160 \sim 100 \text{ Ma}$); 第二条带分布在 $14^{\circ}\text{S} \sim 16^{\circ}\text{S}$ 之间, 成矿时代是始新世晚期—渐新世 ($40 \sim 20 \text{ Ma}$), 以 Las Bambas、Tintaya、Chalcobamba 等为代表; 第三条带分布在 $16^{\circ}\text{S} \sim 18^{\circ}\text{S}$ 之间, 成矿时代为古新世 ($62 \sim 50 \text{ Ma}$), 这是秘鲁最著名的铜矿集中区, 象 Cuajone、Quellaveco、Toquepala、Cerro Verde/Santa Rosa 等巨型斑岩矿床都分布在这里。

1.2.3 秘鲁南部—智利中北部 (含阿根廷西北部) ($12^{\circ}\text{S} \sim 39^{\circ}\text{S}$ 之间)

这是安第斯带斑岩型铜 (金-钼) 矿床发现数量多、分布相对最集中、矿床规模达巨型数量也最多的地段, 有 5 条斑岩铜矿带, 以古新世—早始新世带、中始新世—早渐新世带和中新世—早上新世带最为重要。

(1) 成矿时代最老 ($250 \sim 292 \text{ Ma}$) 的斑岩铜矿出现在二叠纪, 沿智利和阿根廷西部边界分布

($20^{\circ}\text{S} \sim 40^{\circ}\text{S}$), 矿床规模不大。

(2) 中生代晚期 ($100 \sim 160 \text{ Ma}$) 的斑岩铜矿发育在 $13^{\circ}\text{S} \sim 34^{\circ}\text{S}$ 的海岸科迪勒拉, 断续延长 2300 km , 带宽在 30 km 左右, 该带以众多铁氧化物型 Cu-Au 矿床和曼陀型 (Manto) 铜矿床为主, 主要有 Raul-Condestable、Manto verde 和 Michilla、Mantos Blancos、El Soldado、Lo Aguirre 等。

(3) 古新世—早始新世 ($45 \sim 65 \text{ Ma}$) 的斑岩铜矿主要产于 $16^{\circ}\text{S} \sim 32^{\circ}\text{S}$, 位于西科迪勒拉西侧斜坡, 铜矿带平均宽度为 $30 \sim 50 \text{ km}$ 。该带最著名的矿床有秘鲁的 Cerro Verde-Santa Rosa、Cuajone、Quellaveco、Toquepala 及智利的 Cerro Colorado、Spence 矿床, 以高 Mo, 低 Au 为特征。

(4) 中始新世—早渐新世 ($45 \sim 30 \text{ Ma}$) 的斑岩铜矿带从秘鲁南部的 $13^{\circ}30'\text{S}$ 向南一直延伸到智利北部 31°S , 全长约 2500 km , 在秘鲁南部带宽约 130 km , 在智利北部变为 $30 \sim 50 \text{ km}$ 宽, 而在 24.6°S 的阿根廷西北部该带宽约 150 km 。在秘鲁南部矿带位于东、西科迪勒拉之间的坳陷地带, 矿化与 Andahuaylas-Yauri 钙碱性岩基有时空关联, 典型矿床有 Antapaccay、Coroccohuayco、Tintaya、Los Chancas 和 Cotabarnbas 等; 在智利北部, 从 $20^{\circ}\text{S} \sim 26^{\circ}\text{S}$ 之间, 该带长 $> 1000 \text{ km}$, 产于 Domeyko 科迪勒拉, 斑岩铜矿床位于 Domeyko 断裂系统之上或附近, 受该断裂体系控制明显^[15-18], 典型矿床有 Chuquicamata、Potrerillos、El Salvador、Escondida、Quebrada Blanca、Zaldivar、Radomiro Tomic、El Abra 等。

(5) 中新世—早上新世 ($23 \sim 4 \text{ Ma}$) 的斑岩铜矿带位于智利中部—阿根廷中部之间, 可细分三个亚带: 智利中部亚带位于 $32^{\circ}\text{S} \sim 35^{\circ}\text{S}$ 之间, 沿主科迪勒拉延伸约 400 km , 矿床形成时代约 $12 \sim 4 \text{ Ma}$, 主要矿床有 Los Pelambres、Rio Blanco-Los Bronces 和 El Teniente; Maricunga-El Indio 亚带位于智利中部亚带北部, $26^{\circ}\text{S} \sim 31^{\circ}\text{S}$ 之间, 矿床形成时代约 $12 \sim 4 \text{ Ma}$, 以斑岩铜金矿为主, 如 Cerro Casale 等; Farallon Negro 亚带位于阿根廷西北部的安第斯山脉前陆地带, $24^{\circ}\text{S} \sim 26^{\circ}\text{S}$ 之间, 矿床形成时代约 $10 \sim 5 \text{ Ma}$, 以斑岩铜 (金-钼) 矿为主, 如 Bajo dela Alumbreira、Agua Rica 和 Los Pelambres-El Pachon 等。

在中安第斯段, 从秘鲁南部—智利中部斑岩型铜 (金-钼) 矿床分布看, 铜矿带的成矿时代具

有向东逐渐年轻的倾向,这可能是由于在大陆边缘受一系列长期大洋板块俯冲作用的影响^[19~21]。

从安第斯带斑岩型铜(金-钼)矿床时空分布看,矿床成矿时代大体可分为6期,其中,晚古生代冈瓦纳造山旋回2期:二叠纪(300~250 Ma)和中晚侏罗世(175~145 Ma);中—新生代安第斯造山旋回4期:早白垩世(140~100 Ma)、古新世—始新世(65~50 Ma)、始新世晚期—渐新世(43~31 Ma)和中新世中期—上新世(12~4 Ma)。冈瓦纳造山旋回的两期斑岩铜矿化规模都较小,分布局限,其中,二叠纪的斑岩铜矿仅发育在智利东部和阿根廷西北部^[19];中晚侏罗世的斑岩铜矿主要发育在厄瓜多尔和哥伦比亚一带。

安第斯造山旋回是该区斑岩型铜矿形成的主要时期,最主要的是始新世晚期—渐新世(43~31 Ma)和中新世中期—上新世(12~4 Ma)时期,主要产在中安第斯段,以秘鲁南部—智利中北部(含阿根廷西北部)为主。

1.3 南安第斯段

该段中—新生代火山-岩浆活动强度比中安第斯段相对较弱,岩性多偏基性,以玄武质或玄武安山质为主^[10]。成矿作用也与中安第斯段存在较大差异,基本没有斑岩型矿床存在^[12],矿床类型以浅成低温热液型的金、银矿床和喷流沉积型(Sedex) Zn-Pb-Ba-Ag 多金属矿床为主。

2 安第斯带斑岩型铜矿床形成时期

安第斯带已知斑岩铜矿床的铜资源量为5.9亿吨(表1),其中,始新世—渐新世形成的斑岩铜矿为2.69亿吨,约占已发现铜资源量的45.4%,中新世—上新世形成的斑岩铜矿为1.949亿吨,约占已发现铜资源量的32.9%,这两期形成的斑岩铜矿占已发现的全部铜资源量的78.3%,表明始新世—渐新世、中新世—上新世是南美最主要的2个斑岩铜矿形成时期。

3 结论

南美安第斯带是全球斑岩型铜(金-钼)矿床赋存最丰富的地区,矿带呈线性多条带状分布,与安第斯造山带平行。秘鲁中南部—智利中北部

表1 安第斯带各斑岩铜矿成矿期已发现的铜资源量

Table 1 Copper resources discovered during the ore-forming period of various porphyry copper deposits in the Andes belt

	成矿时代	铜资源量(万吨)占已发现资源量的比例	
新生代	中新世—上新世	19490	32.9%
	渐新世—中新世	5110	8.6%
	始新世—渐新世	26900	45.4%
	古新世—始新世	6500	11.0%
中生代	早白垩世	155	0.3%
	中晚侏罗世	900	1.5%
古生代	二叠纪	200	0.3%
合计		59255	100%

资料来源:USGS Open-File Report 2008-1253^[22]

(含阿根廷西北部)为安第斯带斑岩型铜(金-钼)矿床发现数量最多、分布最集中、矿床规模达巨型数量最多的地段。斑岩矿床成矿时代有晚古生代冈瓦纳造山旋回两期和中—新生代安第斯造山旋回4期,以始新世晚期—渐新世和中新世中期—上新世最为重要。

致谢:文章图件由中国地质大学(北京)硕士研究生郑瑜林清绘完成,在此深表谢意。

参考文献/References

- [1] SILLITOE R H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1997, 44 (3): 373–388.
- [2] COOKE D R, HOLLINGS P, WALSH J L. Giant porphyry deposits: Characteristics, distribution, and tectonic controls [J]. Economic Geology, 2005, 100 (5): 801–818.
- [3] MUTSCHLER F E, LUDINGTON S, BOOKSTROM A A. Giant porphyry-related metal camps of the world, a database [R]. Open-File Report 99 – 556, Menlo Park, CA: U. S. Geological Survey, 2010.
- [4] REICH M, PARADA M A, PALACIOS C, et al. Adakite-like signature of Late Miocene intrusions at the Los Pelambres giant porphyry copper deposit in the Andes of central Chile: Metallogenic implications [J]. Mineralium Deposita, 2003, 38 (7): 876–885.
- [5] OYARZUN R, M? RQUEZ A, LILLO J, et al. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: Adakitic versus normal calc-alkaline magmatism [J]. Mineralium Deposita, 2001, 36 (8): 794–798.
- [6] COOKE D R, HOLLINGS P, WALSH J L. Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls [J]. Economic Geology, 2005, 100 (5): 801–818.

- [7] 孙卫东, 凌明星, 杨晓勇, 等. 洋脊俯冲与斑岩铜金矿成矿 [J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40 (2): 127–137.
SUN Weidong, LING Mingxing, YANG Xiaoyong, et al. Ridge subduction and porphyry copper-gold mineralization: An overview [J]. Science China Earth Sciences, 2010, 53 (4): 475–484.
- [8] SINGER D A, BERGER V I, MORING B C. Porphyry copper deposits of the world: Database, map, and grade and tonnage models [M]. U. S. Geological Survey Open-File Report 2005–1060, Menlo Park, CA: U. S. Geological Survey, 2005: 1060.
- [9] GAMMONS C H, WILLIAMS-JONES A E. Chemical mobility of gold in the porphyry-epithermal environment [J]. Economic Geology, 1997, 92 (1): 45–59.
- [10] 卢民杰, 朱小三, 郭维民. 南美安第斯地区成矿区带划分探讨 [J]. 矿床地质, 2016, 35 (5): 1073–1083.
LU Minjie, ZHU Xiaosan, GUO Weimin. Division of Andean metallogenic domain in South America [J]. Mineral Deposits, 2016, 35 (5): 1073–1083. (in Chinese with English abstract).
- [11] 赵宏军, 卢民杰, 邱瑞照, 等. 浅谈安第斯成矿带铜矿时空分布规律 [C] //2014 年中国地球科学联合学术年会论文集. 北京: 中国地球物理学会, 中国地质学会, 2014: 2604–2607.
ZHAO Hongjun, LU Minjie, QIU Ruizhao, et al. Discussion on the temporal and spatial distribution of copper deposits in the Andean metallogenic belt [C] //China Earth Science Joint Academic Annual Meeting. 2014: 2604–2607. (in Chinese)
- [12] SILLITOE R H, PERELLÓ J. Andean copper province-tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery. In: HEDENQUIST J W, THOMPSON J F H, GOLDFARB R J, et al. Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume, 1905–2005. Littleton: Society of Economic Geologists, 2005: 845–890.
- [13] CHARRIER R, RAMOS V A, TAPIA F, et al. Tectono-stratigraphic evolution of the Andean Orogen between 31–37°S (Chile and Western Argentina) [J]. Journal of South American Earth Sciences, 2015, 38: 13–30.
- [14] RAMOS V A, FOLGUERA A. Andean flat-slab subduction through time [M] //MURPHY J B, KEPPIE J D, HYNES A J. Ancient Orogens and Modern Analogues. The Geological Society, Special Publication, London, 2009, 327: 31–54.
- [15] MAKSAEV V, ZENTILLI M, REYNOLDS P H. 40Ar/39Ar geochronology of porphyry copper deposits of the northern Chilean Andes [J]. Congreso Geológico Chilena, 5th, Santiago Aetas, 1998, 1: 8109–8133.
- [16] REUTTER K J, SCHEUBER E, HELMCKE D. Structural evidence of orogen-parallel strike slip displacements in the Precordillera of northern Chile [J]. Geologische Rundschau, 1991, 80 (1): 135–153.
- [17] REUTTER K J, SCHEUBER E, CHONG G. The Precordilleran fault system of Chuquicamata, northern Chile: Evidence for reversals along arc-parallel strike-slip faults [J]. Tectonophysics, 1996, 259 (1–3): 213–228.
- [18] LINDSAY D O, ZENTILLI M, ROJAS DE LA RIVERA J. Evolution of an active ductile to brittle shear system controlling mineralization at the Chuquicamata porphyry copper deposit, northern Chile [J]. International Geology Review, 1995, 37 (11): 945–958.
- [19] MPODOZIS C, RAMOS V. The Andes of Chile and Argentina [J]. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, 1990, 11: 59–90.
- [20] STERN C R. Role of subduction erosion in the generation of Andean magmas [J]. Geology, 1991, 19 (1): 78–81.
- [21] HASCHKE M, SIEBEL W, G? NTHERR A, et al. Repeated crustal thickening and recycling during the Andean orogeny in north Chile (21°–26° S) [M]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107 (B1): 6–1–6–18.
- [22] Cunningham, C. G., Zappettini, E. O., Vivallo S., Waldo, Celada, C. M., Quispe, Jorge, Singer, D. A., Briskey, J. A., Sutphin, D. M., Gajardo M., Mariano, Díaz, Alejandro, Portigliati, Carlos, Berger, V. I., Carrasco, Rodrigo, and Schulz, K. J., 2008, Quantitative mineral resource assessment of copper, molybdenum, gold, and silver in undiscovered porphyry copper deposits in the Andes Mountains of South America: U. S. Geological Survey Open-File Report 2008–1253, 282 p. Available on CD–ROM and online at <https://pubs.usgs.gov/of/2008/1253/>.