

doi: 10.12029/gc20170402

崔敏利, 张作伦, 陈玉明, 陈方戈. 2017. 南美洲大型-超大型金矿地质特征与成矿作用研究[J]. 中国地质, 44(4): 642-663.

Cui Minli, Zhang Zuolun, Chen Yuming, Chen Fangge. 2017. Geology and metallogenic process of large and super-large gold deposits in South America[J]. Geology in China, 44(4): 642-663(in Chinese with English abstract).

# 南美洲大型-超大型金矿地质特征与成矿作用研究

崔敏利<sup>1</sup> 张作伦<sup>2</sup> 陈玉明<sup>1</sup> 陈方戈<sup>3</sup>

(1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 2. 中国非金属矿工业协会, 北京 100831;  
3. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘要:**金是南美洲仅次于铜的优势矿种, 据美国地质调查局统计, 2016年秘鲁金矿储量2800 t, 巴西金矿储量2400 t, 智利仅公布到2014年金矿储量3900 t。通过对南美安第斯成矿带和南美地台金矿地质背景分析, 根据对31个大型-超大型金矿的综合研究, 剖析斑岩型、浅成低温热液型、IOCG型、造山型等不同类型金矿床的时空分布、地质特征, 梳理重要成矿区特征, 摸清区域构造岩浆-成矿作用演化的关系, 为以后在南美洲金矿的勘查开发提供科学依据。在安第斯成矿带, 金成矿作用与太平洋板块向南美大陆板块的俯冲密切相关, 大型-超大型金矿类型主要是以浅成低温热液型, 以及与铜共生的斑岩型、IOCG型矿床为主, 大规模金成矿作用集中在新生代, 形成了众多世界著名的金矿床。南美地台成矿带位于亚马孙陆块边缘, 受古元古代(2.5~1.8 Ga)Trans-Amazonian旋回影响, 经历了反复俯冲造山运动, 大型-超大型金矿以造山带型金矿为主, 主要成矿期在太古宙-新元古代。南美的金资源相当丰富, 未来具有巨大的勘查开发潜力。

**关键词:**金矿床; 南美; 成矿作用; 超大型矿床; 安第斯成矿带

**中图分类号:** P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2017)04-0642-22

## Geology and metallogenic process of large and super-large gold deposits in South America

CUI Minli<sup>1</sup>, ZHANG Zuolun<sup>2</sup>, CHEN Yuming<sup>1</sup>, CHEN Fangge<sup>3</sup>

(1. Development Research Center, CGS, Beijing 100037, China; 2. China Non-Metallic Minerals Industry Association, Beijing 100831, China; 3. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Gold is a dominant mineral species in South America, whose importance is only second to that of copper. According to gold reserves statistics from the USGS, the gold reserves were 2800 tons in Peru and 2400 tons in Brazil in 2016, and 3900 tons in Chile in 2014. The main 31 large and superlarge gold deposits were comprehensively studied in this paper on the basis of the geological background analysis of gold deposits in South American Andean metallogenic belt and South American platform. The spatial and temporal distribution and geological characteristics of gold deposits, such as porphyry copper-gold deposits, epithermal

收稿日期: 2017-07-18; 改回日期: 2017-08-06

基金项目: 中国地质调查局项目“海上丝绸之路重点地区有色金属资源潜力评价”(DD20160118)和“一带一路”矿产资源信息采集与综合研究”(DD20160119)联合资助。

作者简介: 崔敏利, 男, 1981年生, 博士, 高级工程师, 主要从事境外地质矿产研究; E-mail: cuiminli5189@163.com。

gold deposits, IOCG gold deposits, and orogenic gold deposits, were analyzed in detail. The authors rearranged the characteristics of the metallogenic region and found out the relationship between regional tectonic magmatic and mineralization evolution, with the purpose of providing scientific basis for future exploration and exploitation of gold mines in South America. In the Andean metallogenic belt, the gold mineralization was closely related to the subduction of the Pacific plate to the South American Plate. The large and superlarge gold deposits are mainly porphyry copper-gold deposits, epithermal gold deposits, IOCG gold deposits and so on. The main gold mineralization is concentrated in the new generation, forming a number of famous gold deposits in the world. In the South America platform, the gold metallogenic belt is located at the edge of the Amazonian block and was influenced by the Trans-Amazonian cycle in Paleoproterozoic (2.5-1.8 Ga), which had undergone repeated subduction and orogeny. The large and superlarge gold deposits are main orogenic gold deposits. The metallogenic period is mainly the Archean - Late Proterozoic period. The gold resources are quite rich in South America, and it has great potential for exploration and exploitation in the future.

**Key words:** gold deposit; South America; mineralization, superlarge gold deposit; Andean metallogenic belt

**About the first author:** CUI Minli, male, born in 1981, doctor, senior engineer, mainly engages in research on mineral deposits abroad; E-mail: cuiminli5189@163.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey Programs(No. DD20160118, No. DD20160119).

## 1 引言

南美地区铜、钼、金、银等有色金属和贵金属资源丰富,产有一系列世界级大型-超大型多金属矿床,是世界上最重要的找矿研究与开发投资热点地区之一(瞿泓滢等,2013;卢民杰等,2016)。南美大陆的金矿床大地构造上主要位于安第斯造山带和南美地台两个一级成矿带中,地理分布上金矿床主要位于巴西、秘鲁、智利、委内瑞拉、哥伦比亚等国家。据美国地质调查局2017年报道,2016年秘鲁金矿储量2800 t,年产量约150 t;巴西金矿储量2400 t,年产量80 t(USGS,2017);智利仅公布到2014年金矿储量3900 t,年产量50 t。从整体来看,南美金矿储量约占全球的15%(USGS,2017),这些国家除了巴西外,金矿勘查开发程度普遍不高,未来具有巨大的勘查开发潜力。

国际上前人对南美的金属成矿与大陆地质构造演化研究认为,成矿作用与超大陆和造山带演化密切相关(Petersen, 1970; Zappettini, 2005; Teixeira, 2007),国内学者从区域地质构造的角度,将安第斯造山带和南美地台成矿区带划分出Ⅱ级和Ⅲ级成矿带(董永观等,2015;卢民杰等,2016;张潮,2017)。本文是在前人研究基础上,以金矿种为主或者金与其他金属共生的大型-超大型矿床为研究对象(金作为伴生金属的矿床不在此范围内),运用板块构造理论、地球动力学理论和区域成矿学理论,选取31个大型-超大型金矿床综合研究,结合南

美地质背景、安第斯成矿带、南美地台区金矿成矿地质特征和典型矿床分析,梳理了8个金矿主要成矿区地质与成矿特征,为研究学者提供南美金矿地质背景信息。

## 2 地质背景

南美洲大陆由两个一级大地构造单元组成,东部是稳定的南美地台,西部是活动的安第斯造山带(Zappettini et al., 2005)。南美地台可进一步划分为3个次一级大地构造单元,即3个古老的前寒武纪地盾和3个陆内凹陷盆地,地盾分别为西北部的圭亚那地盾、中部的中巴西地盾和东部的大西洋地盾(董永观等,2015);盆地分别为亚马孙盆地、帕纳伊巴盆地和巴拉那盆地。安第斯造山带可划分为北安第斯造山带、中安第斯造山带和南安第斯造山带(卢民杰等,2016)。各构造单元均有其独特的沉积作用、火山-岩浆作用和构造(图1)。

安第斯成矿带呈南北向展布于南美洲大陆西海岸,是环太平洋成矿带的重要组成部分,是世界上最重要的金属成矿带,面积约500万km<sup>2</sup>(卢民杰等,2016),安第斯造山带出露的古生代地层面积较广,沿安第斯造山带发育,在中安第斯造山带出露面积最大,出露的太古宇和中元古界较少,中-新生代地层主要发育于各类沉积盆地内。安第斯造山带自前寒武纪至新生代均有岩浆活动,以中-新生代岩浆活动最为强烈。安第斯成矿带位于南美洲大陆板块活动边缘,从晚古生代以来就遭受洋陆

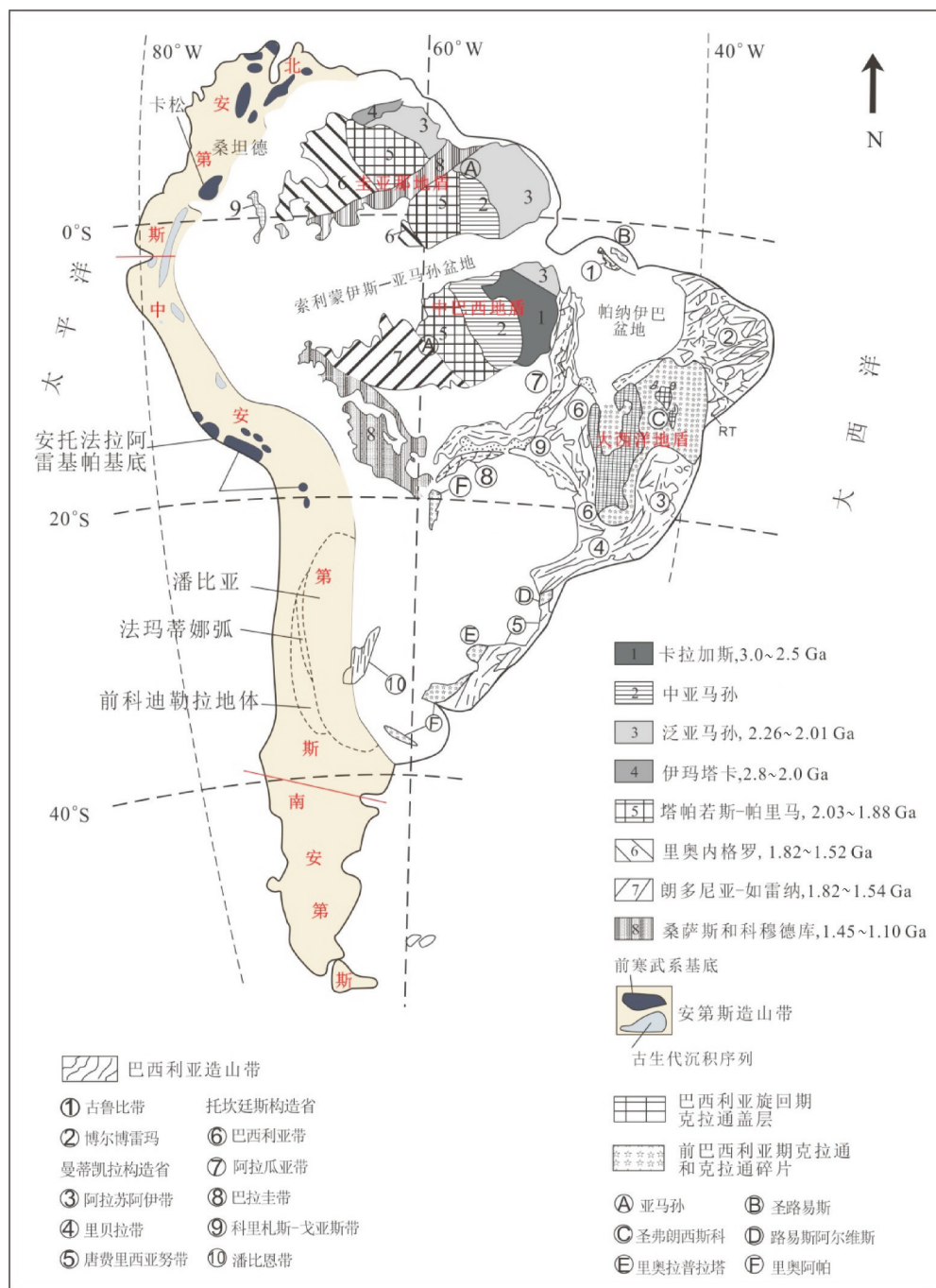


图1 南美地质构造分区略图(转引自张潮,2017)

Fig.1 Sketch map showing division of tectonics in South America

俯冲汇聚作用的影响,形成了一系列近乎连续的钙碱性岩浆岩和造山事件(Sillitoe, 1988; Qyarzun et al., 2001; 候增谦等, 2003)。特别是中—新生代以来由于大规模的构造岩浆活动,其中段地壳明显增厚,并伴随构造岩浆活动,在该带形成大量的金属矿床,其中有巨量的钼、金、银相伴生的大型、超大

型斑岩型铜矿床(Behn et al., 2001; Bouzari et al., 2002; Cannel et al., 2005)。

南美地台区位于南美大陆中东部,面积约1200万 $\text{km}^2$ ,其广泛出露有太古宇和古元古界;地盾与盆地边缘主要以古生代地层为主,中—新生代地层多出露于沉积盆地内。南美地台岩浆活动主要集中



在前寒武纪,以元古宙火山-岩浆活动最为强烈,古生代以来,岩浆活动较弱。南美地台构造格局概略称为“三盾三盆”,这些地盾之上分布古老的陆核区和元古宙造山带,陆核主要由结晶的片麻岩、麻粒岩和紫苏花岗岩以及部分绿岩带等组成,分布于北部的圭亚那地盾的里约布朗库地区,南东部大西洋地盾上的圣弗郎西斯科地区和中巴西地盾上的塔帕若斯地区。在地盾上还分布有元古宙造山带,包括中巴西地盾上的托坎廷斯造山带,大西洋地盾上的博尔马造山带和曼蒂凯拉造山带(Grainger et al., 2008)。陆核和元古宙造山带共同组成地盾,分布有大量金属矿产,其中金、银成为与之相关的重要特色矿种,主要形成于古元古代亚马孙构造旋回,少量发育在新元古代巴西利亚构造旋回和新生代南大西洋旋回(Netunovillas, 2001;董永观等,2015)。

### 3 主要成矿类型及典型矿床

南美安第斯成矿带与南美地台成矿区,聚集了众多世界级的大型-超大型金矿床,成矿类型相当丰富,主要的成矿类型有:

(1)浅成低温热液型矿床。这种类型的金矿床发育在断层处,与岩浆热液关系密切,赋矿围岩为不同时代的地层或岩浆岩。矿体呈网脉状,金常赋存在石英脉体中。其中高硫型浅成低温热液型矿床多产在钙碱性的安山岩-英安质岩体内,少数产在中生代地层中,矿化与火山岩-沉积岩组合密切相关,矿体以脉状、层状形式存在,如智利的埃尔印第奥(El Indio)金矿床、秘鲁卡哈马卡省亚纳科查(Yanacocha)大型金矿。而低硫型浅成低温热液型矿床规模相对较小,常产于火山岩和石英斑岩体中,以热液角砾和热液脉状形式矿化,金产在石英-碳酸盐脉中,如厄瓜多尔波特沃勒铜-金矿床(Portovelo)。

(2)斑岩型矿床。这类矿床与岩浆活动关系密切,常产在碳酸盐岩、泥岩地层或岩浆岩中,以网脉状矿体为主,主要发育铜、金共生矿床,如智利埃尔特尼恩特(El Teniente)铜-金矿床。在智利中部,发育斑岩-矽卡岩型金矿和与侵入体有关的金矿,矿体与安山岩-英安岩关系密切,如智利塞罗卡塞尔(Cerro Casale)铜-金矿床。

(3)铁氧化物铜-金(IOCG)矿床。该类矿床以

矿石中含有大量的铁氧化物(磁铁矿或赤铁矿)且伴有很强的区域性钠质、钙质和钾质蚀变为特征,此类型矿床具有规模大、品位高、元素多、埋藏浅和易采选等特点。在中安第斯成矿区海岸科迪勒拉成矿带,特别是秘鲁南部-智利北部一带,呈狭长的带状展布,如智利坎德拉利亚(Candelaria)铜-金矿床。南美地台拥有地球上最早的IOCG型矿床,位于巴西的Carajas地区,其形成时代为新太古代,时间为2.35~2.75 Ga(Tazava, 2000)。

(4)造山型金矿。该类型矿床在空间上严格受构造系统的控制,且金矿的分布格局和矿体的定位及矿体的空间组合样式与造山作用有关,产于蚀变或变质的基性火成岩带中。其中包括绿岩带型矿床,通常指前寒武纪地盾中呈条带状分布的变质基性岩地区赋存的矿床,如苏里南罗斯贝尔(Rosebel)金矿、巴西莫罗韦洛(Morro Velho)金矿;还有一类矿床赋存在条带状铁建造(BIF)中,矿体以层状-网脉状产出,如巴西奎雅巴金矿;剪切带型矿床,该类型矿床发育在韧性剪切带内部,与变基性火山岩和沉积岩关系密切,矿体以脉状产出,如巴西塞拉佩拉达(Serra Pelada)金矿。

此外,巴西中部发育有以铜、铅、锌、金共生的VMS型金矿床,但金非主要金属矿产,其规模较小,还有发育于河漫滩及冲积扇地区的砂岩型金矿床,虽然在南美分布较广,年产量较高,但不属于原生矿床,这里暂不做讨论。

本文结合金矿床类型、地理位置、矿床规模(金储量大于100 t)以及文献资料详细程度等因素选取31个大型-超大型金矿床,对其时空分布及地质特征进行了综合研究(表1,图2),并选择代表性矿床进行详细介绍。

#### 3.1 造山型金矿——巴西莫罗韦洛金矿床(Morro Velho)

莫罗韦洛(Morro Velho)金矿位于巴西“铁四角”地区北部的诺沃利马(Nova Lima)镇,距米纳斯吉拉斯(Minas Gerais)州府贝洛奥里藏特市(Belo Horizonte)东南方位12 km。矿床主要赋存在太古宙里约达斯韦利斯(Rio das Velhas)绿岩带基底岩石中。

莫罗韦洛矿床位于圣弗郎西斯科克拉通最南端,结晶基底由太古宙似花岗片麻岩构成,分为两个地层单元,分别为:太古宙绿岩带里约达斯韦利



表1 南大型—超大型典型金矿床(储量大于100 t)  
Table 1 List of typical large and superlarge gold deposits in South America

序号	矿床名称	所在国家	坐标		围岩	矿床类型	成矿时代	成矿区带	规模(储量,品位)*	参考文献
			纬度	经度						
1	乔科, Choco	委内瑞拉	7° 18' 36" N	61° 57' 0" W	太古宙绿岩带	造山型	南美地台成矿区	346 t, 1.74 g/t	Padoan et al., 2014	
2	梅里安, Merian	苏里南	5° 7' 48" N	54° 32' 60" W	元古宙绿岩带	造山型	南美地台成矿区	209 t, 1.09 g/t	mining-technology 矿山数据库	
3	罗斯贝尔, Rosebel	苏里南	5° 4' 48" N	55° 9' 36" W	元古宙绿岩带	造山型	南美地台成矿区	197 t, 0.97 g/t	Daoust et al., 2001	
4	古鲁皮, Gurupi	巴西	2° 17' 24" S	46° 16' 12" W	新元古代变质 火山沉积岩	造山型	南美地台成矿区	115 t, 无	Klein et al., 2006; Klei et al., 2005	
5	卡拉加斯, Carajas	巴西	5° 48' 0" S	49° 57' 0" W	太古宙火山岩及 沉积岩系	IOCG型	南美地台成矿区	110t, 15.2 g/t	曾勇等, 2013	
6	塞拉佩拉达, Serra Pelada	巴西	5° 56' 24" S	49° 39' 36" W	新太古代变质 火山沉积岩	造山型	南美地台成矿区	500 t, 12.23 g/t	Cabral et al., 2002; Moroni et al., 2001	
7	索西戈, Sossego	巴西	6° 25' 12" S	50° 4' 12" W	新太古代变质 火山沉积岩	造山型	南美地台成矿区	249 t, 0.2 g/t	Monteiro et al., 2008; Monteiro et al., 2008	
8	莫罗韦洛, Morro Velho	巴西	19° 35' 24" S	43° 30' 36" W	太古宙绿岩带	造山型	南美地台成矿区	400 t, 已闭坑	Vial et al., 2007	
9	诺瓦利马, Novalima	巴西	19° 58' 12" S	43° 49' 48" W	新太古代变质 火山沉积岩	造山型	南美地台成矿区	810 t, 无	Lobato et al., 1998; Gair et al., 1962	
10	马尔托尔, Marmato	哥伦比亚	5° 28' 48" S	75° 35' 60" W	新生代火山碎屑岩与石英 二长岩花岗岩闪长岩接触带	浅成低温热液	安第斯成矿带	465 t, 0.9 g/t	Tassinari, C. C. G., 2008	
11	波特沃勒, Portovelo	厄瓜多尔	3° 43' 12" S	79° 36' 36" W	中新世安山质岩系	浅成低温热液	安第斯成矿带	120 t, 6.8 g/t	Thourmout et al., 1996	
12	加莱诺, Galeno	秘鲁	6° 58' 12" S	78° 19' 12" W	古近纪安山质火山岩	斑岩型	安第斯成矿带	131 t, 0.14 g/t	Davies et al., 2005; Marinov et al., 2011	
13	亚纳科查, Yanacocha	秘鲁	6° 59' 24" S	78° 31' 48" W	古近纪安山质火山岩	浅成低温 热液型	安第斯成矿带	355 t, 0.48 g/t	Longo et al., 2010; Goldie et al., 2002	
14	北拉古纳斯, Lagunas Norte	秘鲁	7° 57' 0" S	78° 14' 24" W	古近纪安山质火山岩	浅成低温 热液型	安第斯成矿带	103 t, 1.66 g/t	Cerpa et al., 2013; Montgomery et al., 2012	
15	皮里纳, Pierina	秘鲁	9° 27' 0" S	77° 35' 24" W	古近纪安山质火山岩	浅成低温热液	安第斯成矿带	224 t, 0.37 g/t	Rainbow et al., 2005; Fifišek et al., 2005	
16	夸霍内, Cuajone	秘鲁	17° 2' 24" S	70° 42' 36" W	古近—新近纪 石英二长斑岩	斑岩型	安第斯成矿带	1234 t, 0.47 g/t	Goyzueta et al., 2015	
17	塞拉戈达, Sierra Gorda	智利	22° 51' 0" S	69° 20' 24" W	古近纪安山质火山岩	斑岩型	安第斯成矿带	102 t, 0.06 g/t	Shaver et al., 2009	

续表1

序号	矿床名称	所在国家	坐标		围岩	矿床类型	成矿时代	成矿区带	规模(储量,品位)*	参考文献
			纬度	经度						
18	埃尔佩尼翁, El Penon	智利	24° 24' 36" S	69° 30' 0" W	古近纪安山质火山岩	浅成低温热液型	新生代	安第斯成矿带	128 t, 6.17 g/t	Warren et al., 2008; Warren, 2005; 高乾兰, 1991
19	拉科伊帕, La Coipa	智利	26° 49' 48" S	69° 15' 36" W	三叠纪黑色页岩、砂岩, 晚渐新世到早中新世凝灰岩、凝灰角砾岩	浅成热液型	第四纪	安第斯成矿带	992 t, 无	Bissig and Cooke, 2014; Oviedo et al., 1991
20	隆伯马尔特, Lobo-Marté	智利	27° 13' 48" S	69° 1' 48" W	古近纪安山质火山岩	浅成低温热液型	新生代	安第斯成矿带	220 t, 1.18 g/t	缪卫东, 1993
21	坎德拉利亚, Candelaria	智利	27° 31' 12" S	70° 17' 24" W	古近纪安山质火山岩	IOCG 型	新生代	安第斯成矿带	113 t, 0.13 g/t	Ryan et al., 1996; Ryan et al., 1994; 方维萱等, 2012
22	马里昆加, Maricunga	智利	27° 33' 0" S	69° 17' 60" W	古近纪安山质火山岩	浅成低温热液型	新生代	安第斯成矿带	209 t, 0.7 g/t	Vila et al., 1991; Muntean et al., 2000
23	坎佩切, Caspiche	智利	27° 40' 48" S	69° 17' 60" W	古近纪安山质火山岩	斑岩型	新生代	安第斯成矿带	780 t, 0.49 g/t	Sillitoe et al., 2013; Sanematsu K., 2011
24	塞罗卡塞尔, Cerro Casale	智利	27° 47' 24" S	69° 17' 60" W	古近纪安山质火山岩	斑岩型	新生代	安第斯成矿带	1014 t, 0.51 g/t	Palacios et al., 2001
25	帕斯卡拉玛, Pascua Lama	智利	29° 19' 12" S	70° 1' 12" W	古近纪安山质火山岩	浅成低温热液型	新生代	安第斯成矿带	710 t, 1.42 g/t	Deyell et al., 2005; Aronson et al., 2014;
26	帕斯卡, Pascua	智利	29° 19' 12" S	70° 1' 48" W	三叠纪花岗岩、中新世角砾岩管	低温热液型	第四纪	安第斯成矿带	499 t, 1.98 g/t	Annick Chouinard, 2005; Bissig and Cooke, 2014
27	埃尔印迪奥, El Indio	智利	29° 46' 12" S	69° 58' 48" W	新近纪安山岩、流纹岩英安岩、花岗斑岩	斑岩型	新生代	安第斯成矿带	140 t, 10.9 g/t	Jannas et al., 1990; Janna et al., 1999; 佐藤兴平等, 1984
28	洛斯佩拉姆布雷斯, Los Pelambres	智利	31° 43' 12" S	70° 29' 24" W	古近纪安山质火山岩	斑岩型	新生代	安第斯成矿带	342 t, 0.06 g/t	Reich et al., 2003; Sillitoe et al., 1973
29	埃尔特尼恩特, El Teniente	智利	34° 4' 48" S	70° 22' 48" W	古近-新近纪安山岩、辉长岩、闪长岩和黑云母角砾岩	斑岩型	新生代	安第斯成矿带	437 t, 0.04 g/t	瞿泓澄等, 2013; 毛景文等, 2012
30	阿伦布雷拉, Alumbreira	阿根廷	27° 19' 48" S	66° 36' 36" W	古近纪玄武质安山岩	斑岩型	新生代	安第斯成矿带	489 t, 0.35 g/t	Profitt, 2003; Harris et al., 2004; 斯顿等, 1998
31	贝拉德罗, Veladero	阿根廷	29° 22' 12" S	69° 57' 0" W	古近纪火山岩和火山碎屑岩	浅成低温热液型	新生代	安第斯成矿带	265 t, 0.78 g/t	Charchafie et al., 2007; Holley et al., 2012

注:\*储量和品位是本身动态数据,表中的数据是在文献中提到的数值,这里仅供参考。

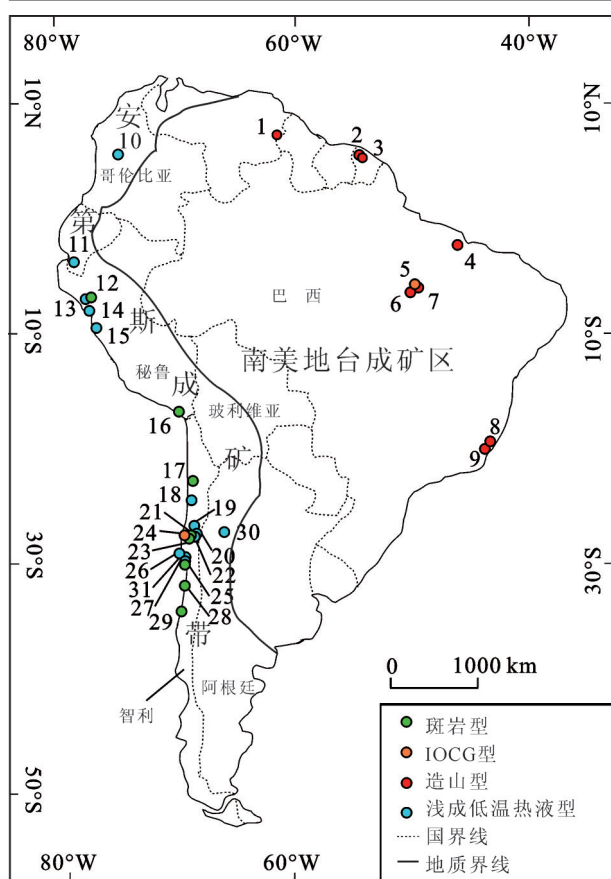


图2 南美大型-超大型典型金矿床分布示意图

- 1—乔科;2—梅里安;3—罗斯贝尔;4—古鲁皮;5—卡拉加斯;  
6—塞拉佩拉达;7—索西戈;8—莫罗韦洛;9—诺瓦利马;  
10—马尔托尔;11—波特沃勒;12—加莱诺;13—亚纳科查;  
14—北拉古纳斯;15—皮里纳;16—夸霍内;17—塞拉戈达;  
18—埃尔佩尼翁;19—拉科伊帕;20—隆伯马尔特;21—坎德拉利亚;  
22—马里昆加;23—坎佩切;24—塞罗卡塞尔;25—帕斯卡拉  
玛;26—帕斯卡;27—埃尔印迪奥;28—洛斯佩拉姆布雷斯;  
29—埃尔特尼恩特;30—阿伦布雷拉;31—贝拉德罗

Fig.2 Sketch map of distribution of typical large and superlarge gold deposits in South America

- 1—Choco;2—Merian;3—Rosebel;4—Gurupi;5—Carajás;6—Serra Pelada;7—Sossego;8—Morro Velho;9—Novalima;10—Marmato;  
11—Portovelo;12—Galeno;13—Yanacocha;14—Lagunas Norte;  
15—Pierina;16—Cujajone;17—Sierra Gorda;18—El Penon;  
19—La Coipa;20—Lobo-Marte;21—Candelaria;22—Maricunga;  
23—Caspiche;24—Cerro Casale;25—Pascua Lama;26—Pascua;  
27—El Indio;28—Los Pelambres;29—El Teniente;  
30—Alumbrera;31—Veladero

斯(Rio das Velhas)超群和古元古代—中元古代变质沉积米纳斯(Minas)超群,众多金矿床赋存于绿岩带内里约达斯韦利斯超群的褶皱系中(图3)。金的富集通常与硫化物相关,自然金在石英脉中普遍存在,金矿化硫化物和石英矿体沿碳酸盐岩和块状到

片状的多种热液蚀变岩石(以矿物结晶再结晶和线性片状结构为特征)集中分布。莫罗韦洛(Morro Velho)矿床有Main、NW、X和South四个矿体。最重要的为Main矿体,从地表到采矿区底部深度连续>4.8 km,厚度从2~20 m不等(平均5 m),长度约300 m,其位于复杂的Z形褶皱带;NW矿体位于褶皱E-W方向的一翼,包含两个主要的富硫化层位,北层位厚度为0.5~6 m,长约525 m,南层位厚1.0~3.5 m,长约300 m;X矿体是矿山底部的块状硫化带,在上层,它过渡为石英-碳酸盐-白云母-绿泥石-斜长石,灰绿色硬绿泥石(LSmi)含有浸染硫化物(<5vol%),它占据转折端和翼带,在25号平面,这一矿体厚度达20 m(平均厚度6 m),水平长约450 m;South矿体平面形状为Z形,平均厚度4.5 m,水平长约120 m(Vial D S et al. 2007,图4)。金在黄铁矿、磁黄铁矿或砷黄铁矿等硫化物中形成细颗粒包体,产状呈片状、片理平面或间隙中,局部产出自然金。硫化物由磁黄铁矿、砷黄铁矿、黄铁矿和黄铜矿组成,此外还有闪锌矿、方铅矿、黝铜矿和铋硫镍矿。脉石矿物包括白云母、绿泥石、黑云母、钠长石、安山岩、电气石、滑石、绿帘石、斜黝帘石、楣石和黑硬绿泥石。碳酸盐矿物有白云石、铁白云石、菱铁矿和方解石。氧化物包括磁铁矿、钛铁矿、金红石和白钛石等。

莫罗韦洛(Morro Velho)金矿具有以下特征:

- (1)成矿空间和时间与里约达斯韦利斯造山运动相关;(2)围岩变质程度达到绿片岩相;(3)后期构造和后变质作用使成矿作用达到峰值;(4)成矿作用多期叠加;(5)Au、Ag、As三者相关;(6)近矿围岩蚀变:云母-碳酸盐-Fe的硫化物(黄铁矿/磁黄铁矿)。这表明莫罗韦洛(Morro Velho)矿床是造山运动生成的成矿热液在构造控制下的产物(Vial et al., 2007)。莫罗韦洛(Morro Velho)矿石中独居石晶体测年获得 SHRIMP U-Pb 年龄( $2672 \pm 14$ ) Ma (Lobato et al., 2007)。

### 3.2 高硫型浅成低温热液型金矿——智利的埃尔印第奥(El Indio)金矿床

埃尔印第奥(El Indio)金矿床位于智利安第斯山区,北距圣地亚哥约50 km,东距拉塞雷纳180 km,处于崎岖的山脉阶地内,有些矿山巷道达海平面上4400 m。



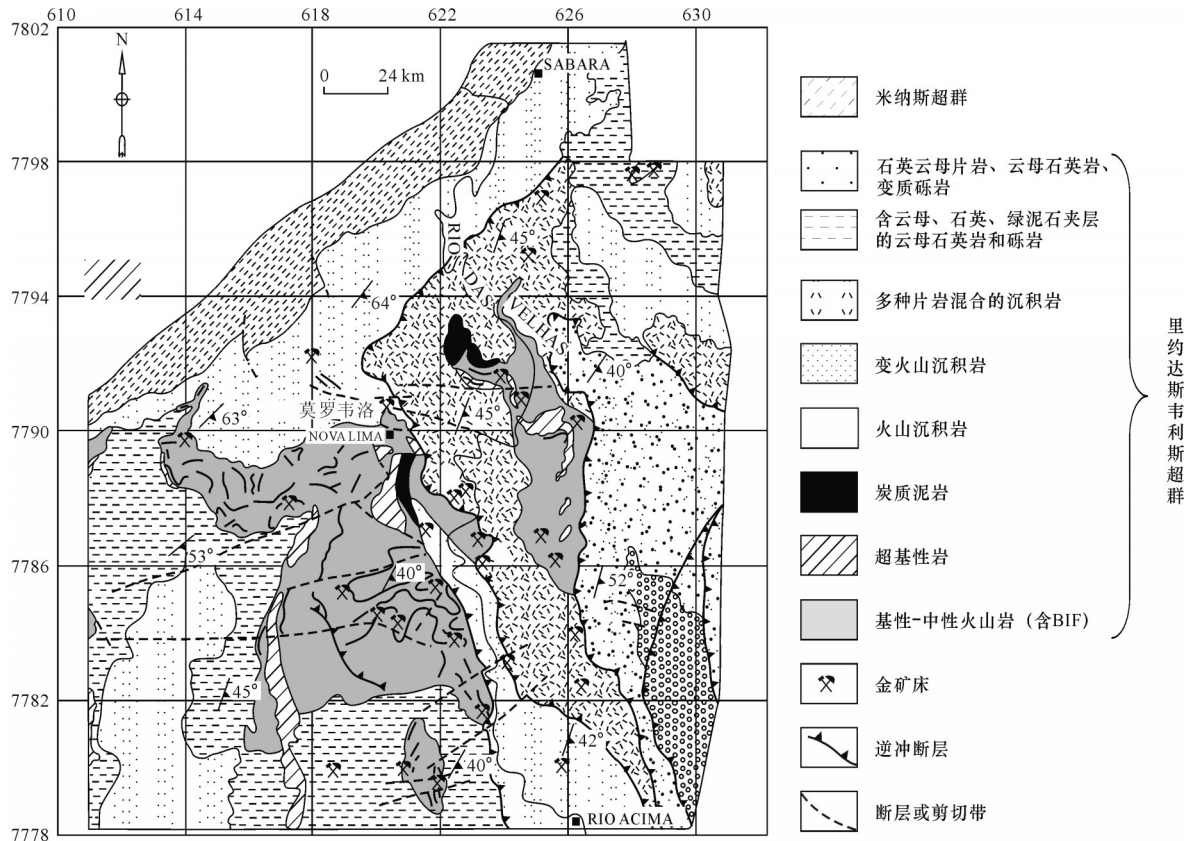


图3 莫罗韦洛(Morro Velho)金矿区域地质图(据 Vial et al., 2007)  
Fig.3 Regional geological map of Morro Velho gold mine (after Vial et al., 2007)

矿体分布于古近纪火山岩,与安第斯山脉方向平行,向南北广泛延伸分布,中新世晚期花岗岩体贯穿其中。含矿的火山岩类,主要由安山质-流纹质组成的凝灰岩和火山块集岩,在邻近矿床处遭受热液蚀变。热液蚀变带以埃尔印第奥(El Indio)为中心,宽1~10 km,南北达200 km,断续可见(图5)。金银铜矿体呈脉状、网状脉和角砾岩体形,含矿岩相为蚀变英安质凝灰岩,部分(块状)硫化物脉赋存在青磐岩化蚀变安山质火山岩中。矿石矿物为硫砷铜矿、黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、砷黝铜矿、斑铜矿、辉铜矿、铜蓝和蓝辉铜,含少量闪锌矿和方铅矿等,脉石矿物主要为石英。原生金矿化有两大基本类型:一类为自然金石英脉型,另一类为含金块状硫化物石英脉或网脉。后者在近地表处受到强烈风化淋滤。围岩和矿化作用表现出表生矿床的典型特征,如蚀变作用、火山作用类型、泉华、热液角砾岩化作用等。金与石英和重晶石有明显的亲缘关系,并偶尔与硫砷铜矿、黄铁矿有关。金主要

是自然金,呈微粒产出,其次以碲化物存在;自然银很少,而是在碲化物和硫酸盐,含硫砷铜矿脉中,富集在印加带及邻近岩脉内部(Siddeley et al., 1989)。

成矿流体在地下处于“过压”条件下的气液流体,在上升过程中,特别是经过断裂系统时突然降压引起热液流体沸腾。沸腾作用发生的地点分散在多处,其部位与该区的弧形环状构造吻合。沸腾作用具有间歇性,多次重复发生。沸腾作用使热液流体中的成矿物质快速沉淀富集而形成受断裂和岩性双重控制的矿体(包括富矿体)。岩石的多孔可渗透性或脆性岩石中发育的次级裂隙,易于使矿液流通渗透而沉淀。该矿床属浅成低温热液型矿床,成矿物质及热液主要源自侵入火山-次火山围岩中的花岗闪长岩的岩浆热液,部分源自围岩,部分可源自天水或晚期火山-次火山热液(佐藤兴平等,1984)。

### 3.3 低硫型浅成低温热液型金矿——厄瓜多尔波特沃勒铜-金矿床(Portovelo)

波特沃勒金矿位于厄瓜多尔南西,距马查拉

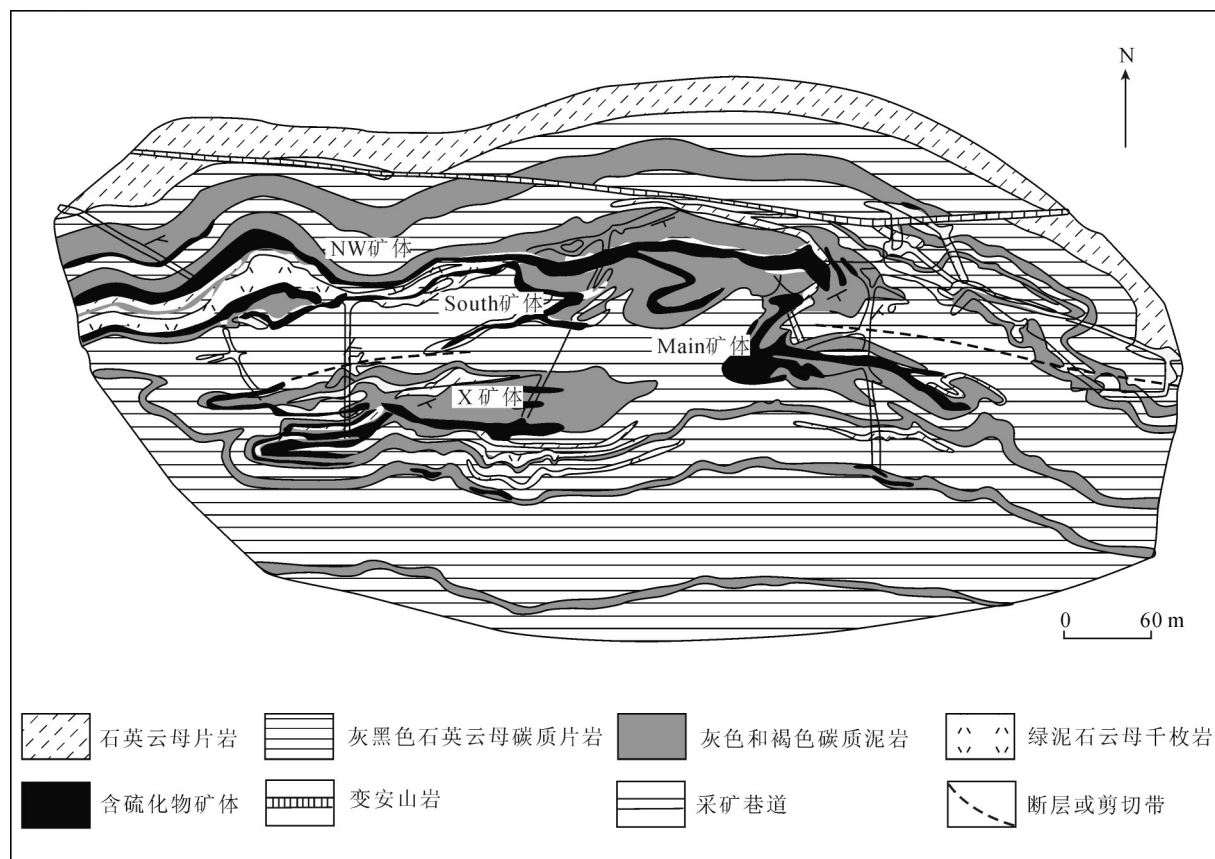


图4 莫罗韦洛(Morro Velho)矿区第25号水平开采面截面图(据 Vial et al., 2007)

Fig.4 Horizontal section of level 25 of the Morro Velho gold mine (after Vial et al., 2007)

(Machala)港约 100 km,属低温热液型金矿。波特沃勒矿区一直是厄瓜多尔的采矿中心。1950年以前,由南美开发公司(South American Development Co.)开采。矿石品位:铜 1.09%,锌 1.74%,金 6.8 g/t,银 63 g/t。矿床迄今已开采出 120 多吨黄金和 250 多吨白银。

波特沃勒地区在中新世火山活动形成了一套安山质岩系,随后发生塌陷,之后流纹质岩浆活动形成了强烈的蚀变矿化,从而形成了矿脉带(图6),控矿、赋矿主体为安山岩系内的南北向张性断裂带。在空间上,矿化分布在3个矿带中(图7)。在1号矿带内,黄铁矿化呈浸染状分布在细脉中。它强烈发育与大面积硅化有关,在圣达巴巴拉和扎鲁马乌克山一带的网脉状、板状、碎裂状、角砾状石英脉中常见黄铁矿化;2号矿带含有大量硫化物的含金石英脉和石英-冰长石脉出现在一个弧形矿带中,包括波特沃勒-扎鲁马一带和圣达巴巴拉山地区的最北部;3号矿带含金石英脉和石英-冰长石脉含

有大量硫化物和少量硫酸盐,位于以硫化物带为中心的一个大接触变质带上。从矿床在矿化、蚀变和流纹岩密切的共生组合和空间展布,显示流纹岩体对成矿的控制和发生扮演着一个重要角色。斑岩及其相关的矿化之间的关系表明火山活动后期发生塌陷并伴有岩浆和热液活动(Thournout et al.1996)。

该矿床主要矿化与古近纪火山活动相关,矿体受火山构造控制,这类矿床发育于从南到北整个南美大陆西海岸带,与后期斑岩体的穿切关系,表明板块后碰撞岩浆活动引发了火山热液的上涌带来了大量的成矿物质在火山构造中沉淀富集成矿,该矿床属于低硫型浅成低温热液型矿床。

### 3.4 铁氧化物型(IOCG)铜金矿床——智利坎德拉利亚(Candelaria)铜-金矿床

坎德拉利亚铁铜氧化物矿床位于智利北部的阿塔卡马省,矿床地处滨海科迪勒拉山脉,在科皮亚波市(Capiapol)以南 20 km,沿着科皮亚波岩基的东部边

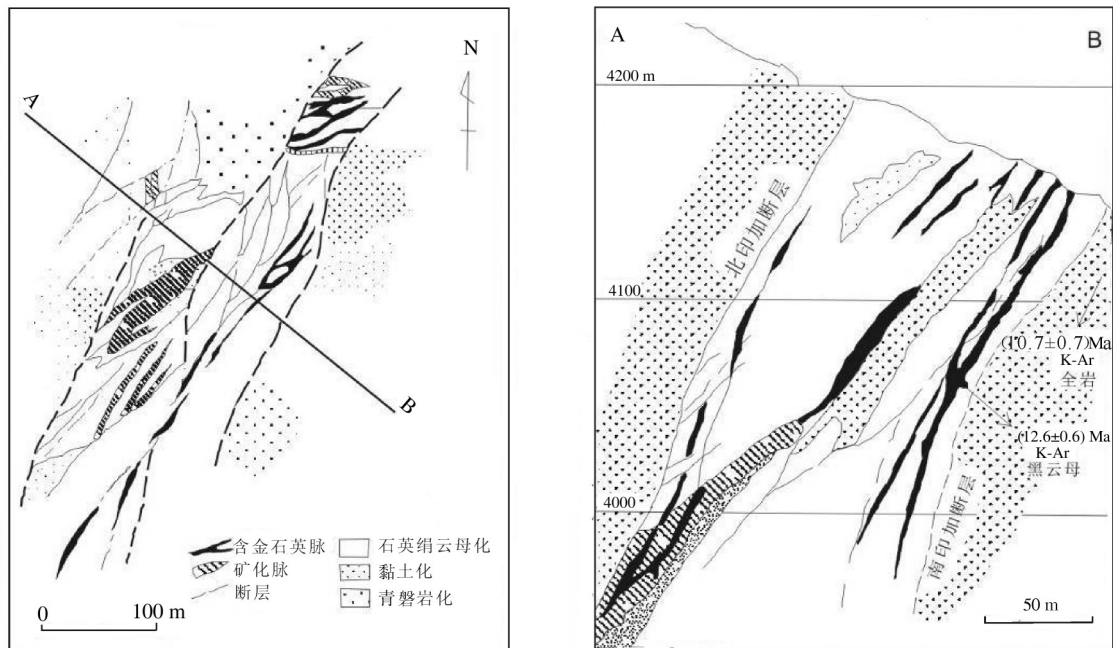


图5 智利埃尔印第奥(El Indio)金矿地质与剖面图(引自卢民杰等,2013<sup>9</sup>)

Fig.5 Geological map and geological section of the El Indio gold mine (after Lu et al., 2013)

缘,多个IOCG型矿床分布呈不连续矿带,坎德拉利亚是其中最大的一个矿床(图8)。其矿石储量约为470 Mt,铜品位为0.95%,金品位为 $0.22 \times 10^{-6}$ 。

铜-金矿化出现在早白垩世以熔岩和火山碎屑岩为主的安山质岩石中,隐伏在一套石灰岩之下。矿体位于北西向脆性断裂带与块状火山岩、火山碎屑岩相接触的部位,受北西西向的断裂以及一条北东向韧性剪切带所控制。铜-金矿在细脉中以块状硫化物的形式存在,在基质中主要是热液角砾形式,在热液蚀变岩中以不连续的纤维状或者网脉状、顺层透镜状产出,其围岩主要为蚀变火山岩或者火山碎屑岩(图9)。北西向与北北西向脆性断层的交点处,控制矿区内绝大多数的大型矿体。矿物组成上,黄铜矿是唯一的含铜矿物。铜金矿石以典型的富磁铁矿和(或)赤铁矿以及Ag、Zn、Mo和轻稀土元素的局部富集为特征。金属矿物基本是由磁铁矿-赤铁矿、黄铁矿、黄铜矿组成,局部由磁黄铁矿、闪锌矿,微量的辉钼矿和毒砂组成,自然金一般为微粒包裹体存在于黄铜矿中;脉石矿物由石英和硬石膏组成,还有钾长石、绢云母、黑云母、钠长石、绿泥石、阳起石、方解石和电气石。

成矿作用主要在挤压构造特征的古大陆边缘俯

冲带(各类岩浆弧)或具有张性构造特点的克拉通盆地(裂谷、张裂带),硫同位素特征表明物质来源主要为岩浆源,也有少数来自矿体外围岩石,即蒸发沉积岩类;氧同位素表明,矿化与岩浆热液为主要组分的流体有关,矿化作用发生在相对强氧化的条件下,以镜铁矿的形成成为特征(毛景文等,2012)。

### 3.5 斑岩型金矿——智利埃尔特尼恩特(El Teniente)铜-金矿床

埃尔特尼恩特(El Teniente)铜-金矿床位于智利中部奥伊金斯省(Ohiggins),首都圣地亚哥西南34 km处。目前已探明铜金属量9435万t,金金属量437 t,钼金属量250万t,平均品位分别为0.63%, $0.035 \times 10^{-6}$ 和0.02%,是目前世界上最大的地下开采矿床(毛景文等,2012)。

从大地构造位置上看,埃尔特尼恩特矿床位于安第斯造山带内活动南火山带的北端弧前环境中,区域上与一系列新近纪钙碱性、酸性至中性的侵入岩(12~7 Ma)有密切的时空分布关系。该矿床容矿围岩为晚中新世镁铁质杂岩体,岩石类型有安山玢岩、辉长岩、闪长玢岩、安山岩脉和黑云母角砾岩(图10)。铜、金、钼矿化在安山质杂岩体内呈网脉状产出,矿化带走向北西,长2800 m,宽1900 m,向



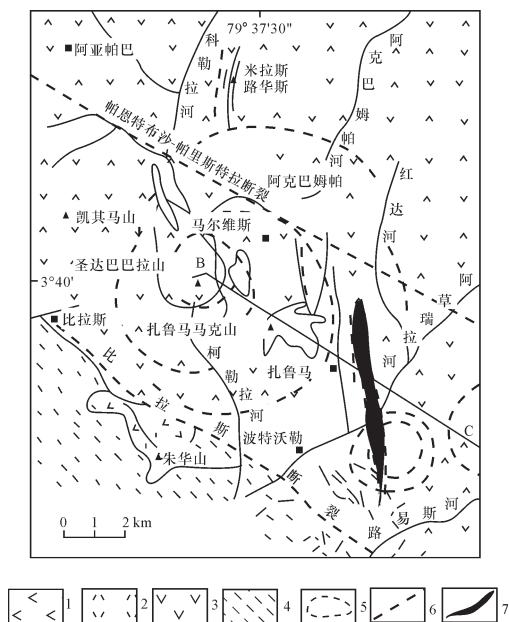


图6 波特沃勒地区岩石构造图(Thournout et al., 1996)  
1—酸性熔岩及碎屑岩; 2—流纹岩; 3—安山岩类; 4—变质岩类;  
5—环状构造; 6—断裂; 7—矿化带

Fig.6 Petrologic-tectonic map of Portovelo district (after Thournout et al., 1996)  
1—Acid lava and clastic rocks; 2—Rhyolite; 3—Andesite; 4—Metamorphic rocks; 5—Circular structures; 6—Fault; 7—Mineralized zone

下延伸超过1800 m。组成矿石的金属矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、砷黝铜矿、黝铜矿、辉钼矿等,脉石矿物有石英、硬石膏、阳起石、电气石、重晶石、黏土矿物和碳酸盐等。

埃尔特尼恩特矿床为斑岩型矿床,矿化作用与连续的长英质岩浆侵入活动密切相关,矿化年龄为5.9~4.4 Ma,具有多阶段成矿的特点(Cannell et al., 2005; Vry et al., 2010)。

### 3.6 铁氧化物型铜金(IOCG)矿床——巴西卡拉加斯(Carajás)铜—金矿床

卡拉加斯地区位于巴西太古宙亚马逊克拉通盆地的东南部边缘,其东邻托坎廷斯—巴西利亚褶皱带和马拉尼昂盆地,南部与Rio Maria花岗岩—绿岩地体相接,西部被广泛分布的元古宙沉积地层覆盖,北部为亚马逊地区中元古代和新生代的沉积岩。本区的IOCG矿床发现于20世纪70年代,也是世界上成矿最早的IOCG成矿区。

卡拉加斯地区的IOCG矿床产出环境为岩石圈地幔边缘古老的俯冲带内,卡拉加斯克拉通盆地或

裂谷带中,其容矿围岩为新太古代Itacaiúnas超群下部的火山岩—火山沉积岩系或其附近的接触带,与成矿作用有关的岩浆岩主要是新太古代晚期的碱性—A型花岗岩,矿床严格受卡拉加斯断层带控制,在不同的深度成矿(图11)。矿体表现出不同的产出形态,是由于各矿床中矿体均受到构造的控制,有圆形的圆顶状、受变形拉长的带状、板状或脉状,构成长1~2 km、宽几十至数百米的矿带。Salobo矿区铜金—磁铁矿体呈不规则的透镜状(图11),大多数的矿体平行BIF建造中的变质杂砂岩,顺韧—脆性剪碎带产出,倾角接近垂直。IOCG矿体主要由角砾岩型、网脉型、浸染型、裂隙充填型铜—金矿石构成,金属矿物主要有磁铁矿和黄铜矿—斑铜矿、自然金及沥青铀矿,地表发育次生含铜矿物富集带,热液蚀变最主要为钾化、钠化、阳起石(绿泥石化)和碳酸盐化,蚀变随成矿深度分带明显。成矿元素组合主要为大量富集铁氧化物和铁硅酸盐或铁碳酸盐,二氧化硅含量较低,富集轻稀土元素,伴生As、Co、F(±Cl)和Mo、P、Th、U、Cu、Au,成矿流体包含低温流体和高温流体两类,其稳定同位素特征表现为岩浆流体和地表非岩浆流体的混合为主,成矿时代主要在2.57 Ga。

通常认为其成矿作用与卡拉加斯带内2.57 Ga的碱性—A型花岗岩杂岩体有关,矿化的Salobo花岗岩、Itacaiúnas花岗岩的年龄均在2.57~2.56 Ga间。其成矿事件发生于岩石圈最深部,来自地壳深部的碱性的富挥发组分的岩浆上涌,形成富含挥发分的角砾岩管和岩体,大型铁氧化物Cu—Au—U矿群发育于这些岩体中或其上部的蚀变带内,顺卡拉加斯断层带发生的剪切作用也是其成矿的重要因素。古元古代1.88 Ga时期,由于南美地台板块内的热扩张,地壳上拱引起的碱性—A型花岗岩侵入事件,大部分由地壳经过深熔作用形成,岩浆侵入到地壳中较高的层位,在花岗岩内部和外部区域发生广泛的热液蚀变,对本区IOCG矿床进一步改造富集(曾勇等, 2013)。

### 3.7 高硫型浅成低温热液型金矿——秘鲁亚纳科查铜—金矿床(Yanacocha)

亚纳科查(Yanacocha)金矿床位于秘鲁北部卡哈马尔卡(Cajamarca)市以北20 km,平均海拔标高4270 m。现保有金资源量382 t,银2923 t。该矿由

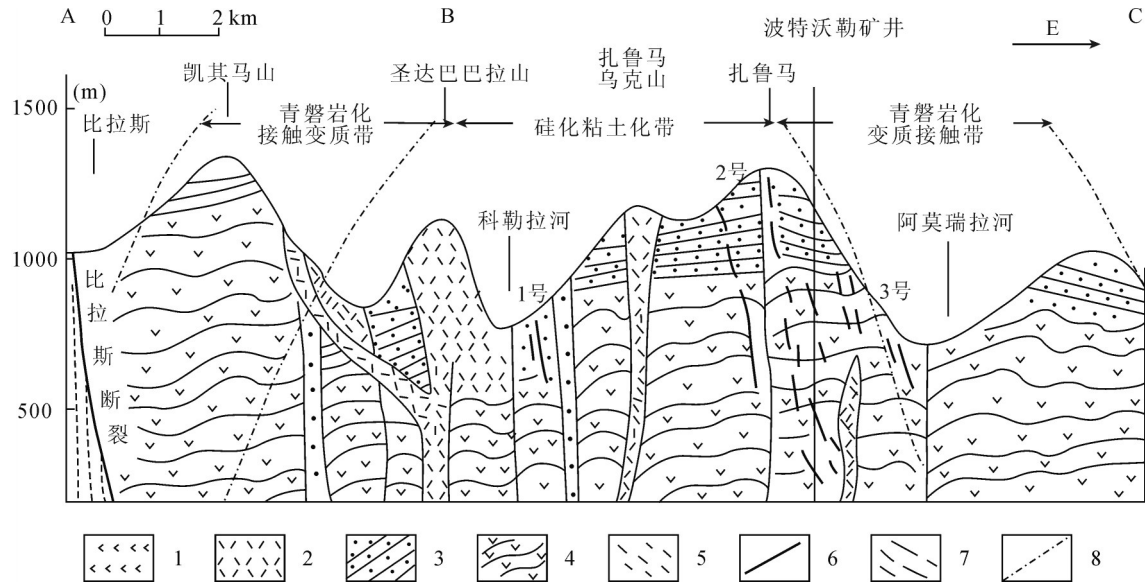


图7 波特沃勒地区地质剖面图(Thournout et al., 1996)

1—酸性熔岩流和火山碎屑岩;2—流纹岩体;3—三叠纪安山岩;4—塞里克组;5—变质岩;6—断裂;7—矿化带;8—主要蚀变带界线

Fig.7 Geological section of Portovelo district (after Thournout et al., 1996)

1—Acidic lava flows and pyroclastic rocks;2—Rhyolitic rocks;3—Triassic andesite;4—Celica formation;5—Metamorphic rocks;6—Fault;7—Mineralized zone;8—Boundary of main alteration zone

Newmont 矿业公司控股与运营,所占股比 51.35%,该项目于 1993 年第三季度投产,目前处于正常生产状态,开采方式为露天开采。主要金属产品为金、银、铜。

矿区处于安第斯山中段,是世界主要的金富集地之一,具有大储量和高产量、低成本的特征(图 12)。赋存围岩为长期活动的大片火山杂岩,成分为中等钾含量的安山质-英安质-流纹质岩石。矿体由一系列高硫型浅成低温热液型 Au 矿床和一个富金冲积矿床(La Quinua)构成,这些矿床呈 NE 向展布,岩金矿床赋存于呈 NE 走向的中新世亚纳科查(Yanacocha)火山杂岩单元中。区域矿化分布在横贯安第斯山脉的 NE 向 Chicama-Yanacocha 构造带内(Turner, 1997),NW 向的安第斯区域断裂与该构造带相交汇,这两个构造方向形成该区主要构造格架,控制着角砾岩、侵入体和金矿化的分布。不是很连续的 EW 向破碎带被认为是张性的,其对局部上控制金矿化起到重要作用(Teal et al., 2010)(图 13)。

亚纳科查金矿为产于火山碎屑岩中的高硫型浅成低温热液型矿床,形成时间介于 13.6~8.2 Ma (Longo et al. 2005),并与两个形成在 10 Ma 的超大

型斑岩型矿床(Minas Conga Cu-Au 矿和 La Granja Cu-Mo 矿)位于同一成矿带上。这些矿床在时间上约 4 Ma(Noble et al. 1999)最终停止的与秘鲁板片平板俯冲有关的岩浆活动密切相关。

## 4 讨论

### 4.1 安第斯成矿带金矿成矿作用

在安第斯成矿带,铜、金多金属成矿作用与太平洋板块向南美大陆板块的俯冲密切相关,形成了有规律的成矿时空分布。

从成矿时代看,不同时代地层及岩浆岩赋矿形式及规模有明显差异。前寒武纪和古生代的地层及岩石中,所产出的金矿床多为造山型矿床,矿体赋存在绿岩带中,多为石英脉,或受韧性剪切带控制(卢民杰等, 2016);中生代金矿床(点)类型较多,大多与火山活动、构造运动密切相关,矿床类型同样为造山型,含矿地层为安山质熔岩、安山质火山角砾岩、熔结凝灰岩、凝灰岩、流纹岩和英安岩等。新生代是一个重要的金成矿时期,尤其始新世晚期-渐新世(43~31 Ma)和中新世中期-上新世(12~4 Ma)(Sillitoe et al., 2005)是最重要的两个成矿期,成矿规模较大,主要有斑岩型和 IOCG 型,安山岩-英

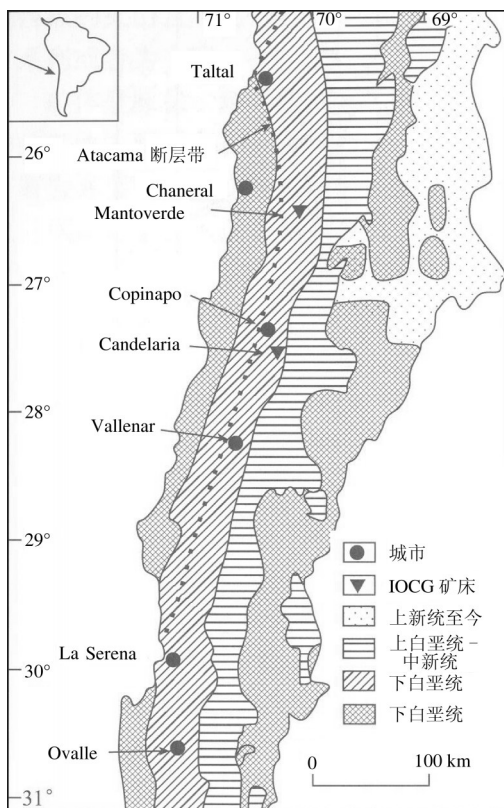


图8 坎德拉利亚区域地质简图(据毛景文等,2102)

Fig.8 Regional geological sketch map of Candelaria (after Mao et al., 2012)

安岩类和花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩侵入体是主要含矿岩石(Behn et al., 2001; Bouzari et al., 2002; Cannel et al., 2005)。同时,新生代是砂金矿床重要成矿期。

从空间分布看,北安第斯具有太平洋板块向南美板块仰冲或陡倾斜俯冲特征,在火山弧的外侧存在有洋壳增生体,且具有火山-岩浆活动时期自东向西逐渐变新的趋势,成矿类型主要是浅成低温热液型为主(唐尧,2014),如哥伦比亚西部区;中安第斯太平洋板块向南美板块俯冲倾角逐渐变缓,火山-岩浆作用主要以钙碱性的安山质-英安质、流纹质为主(Cabello, 1986),火山岩带向东越来越年轻,成矿类型主要为斑岩型、IOCG型矿床(Sillitoe, 1991),如秘鲁北部区、秘鲁南部区、智利北部区;南安第斯成矿作用与中生代火山-岩浆活动以钙碱性为主,成矿类型主要为低硫型浅成低温热液金-银矿床(卢民杰等,2016),规模相对前二者较小。

成矿模式主要有金成矿作用与火山机构及次

火山岩密切相关,矿化多呈细脉浸染状(爆破角砾岩型),与铜、银矿伴生关系密切;金成矿作用与杂岩体相关,杂岩体经多期次构造破坏,形成大面积硅化,伴有大量的金矿化;而最重要的是金成矿作用与侵入岩体相关,此类岩体主要为石英闪长岩、花岗闪长岩、二长斑岩、石英二长岩、石英斑岩、英安斑岩等各类浅成-超浅成中-酸性钙碱系列的小侵入体,生成了大量规模巨大的斑岩型、IOCG型金矿床、铜金矿床。

#### 4.2 南美地台金成矿作用

南美地台区的金矿资源非常丰富,南美地台成矿带位于亚马逊陆块边缘,经历了反复俯冲造山运动(Zappettini, 2005)。

从成矿时代看,金矿主要形成于古元古代(2.5~1.8 Ga)Trans-Amazonian旋回(董永观等,2015),南美地台区主要的克拉通陆核形成后以造山运动为特征,以造山型金矿为主,矿体呈脉状产于变基性火山岩和碎屑岩中,围岩蚀变有碳酸盐化、绢云母化等。

从成矿空间看,金矿床主要位于镁铁质、超镁铁质岩石分布区,与绿岩带密切相关,直接赋存于其中,或出现在其改造后的建造中,个别产于太古宙的花岗闪长岩体、英云闪长岩体或糜棱岩带中(Bernasconi, 1985)。由于太古宙末巴西利亚运动之后一直处于较弱的热地质时期的环境之下,金矿床主要产于前寒武系圭亚那地盾、中部的中巴西地盾和东部的大西洋地盾三个地盾中,并有成矿有利区集中分布。

主要的成矿作用时空分布特征如下:(1)太古宙,南美的北部圭亚那地盾发育造山型金矿,与绿岩带密切相关(Bernasconi, 1985)。在圭亚那,金主要分布在石英闪长岩中的石英-碳酸盐矿脉里,矿脉厚度从几毫米到1.5 m不等,矿脉延伸至数百米,如欧迈(Omai)、费那尔(Fennell)矿床;在苏里南金赋存于含金石英、石英-碳酸盐矿脉,受岩性、褶皱、剪切带控制,如罗斯贝尔(Rosebel)金矿;(2)新太古代(一新元古代),在巴西卡拉加斯地区产出与索塞戈(Sossego)和波茹卡(Pojuca)等花岗质岩侵入体有关的IOCG型(曾勇等,2015),如萨洛博(Salobo)矿床;(3)古元古代的泛亚马逊(2.1~2.0 Ga)造山运动和新元古代一早古生代巴西利亚/泛非造山运动



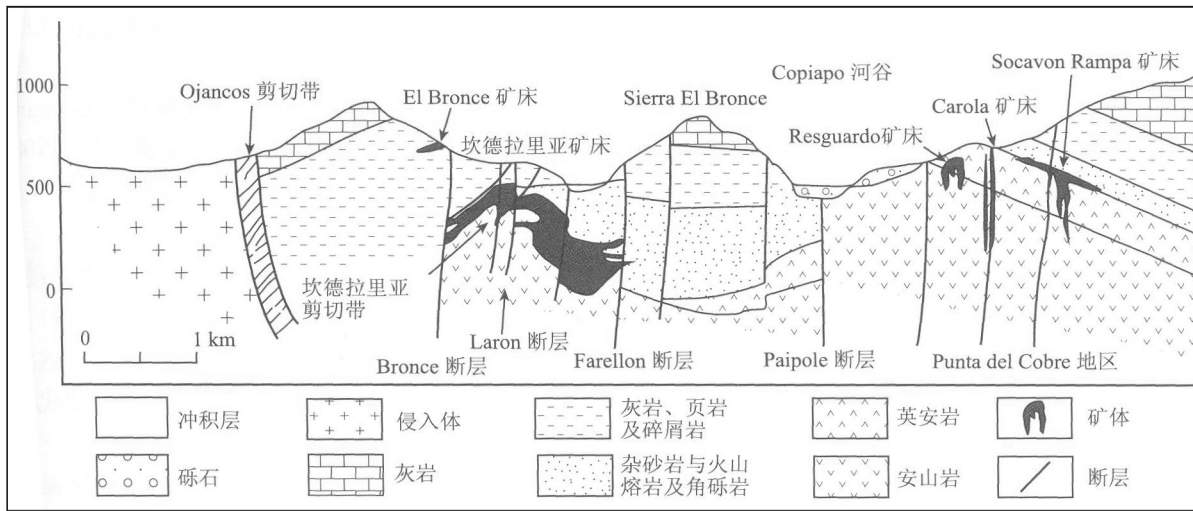


图9 坎德拉利亚剖面示意图(据毛景文等,2102)

Fig. 9 Sketch map of geological section of Candelaria (after Mao et al., 2012)

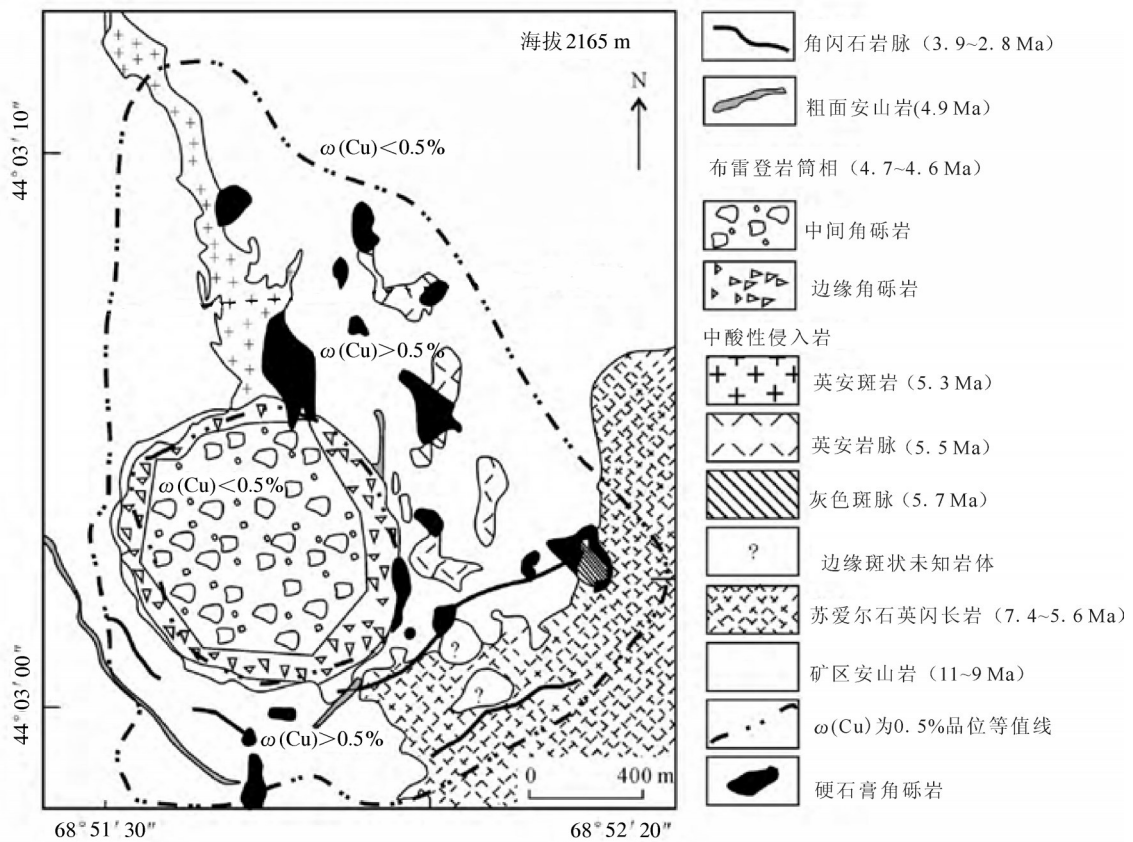


图10 埃尔特尼恩特铜-金矿床地质简图(据王佳新等,2015)

Fig.10 Geological sketch map of the El Teniente Cu-Au mine (after Wang et al., 2015)

(0.65~0.50 Ga)对大西洋地盾米纳斯吉拉斯州“铁四角”地区影响较大,沉积后构造演化过程复杂,金赋存在条带型磁铁矿中(Bernasconi, 1985; 李上森,

1996),如巴西莫罗韦洛(Morro Velho)金矿。此外,新元古代,在巴西迪亚曼蒂那(Chapada Diamantina)地区产出与Mara Rosa岩浆弧演化相关的斑岩型铜

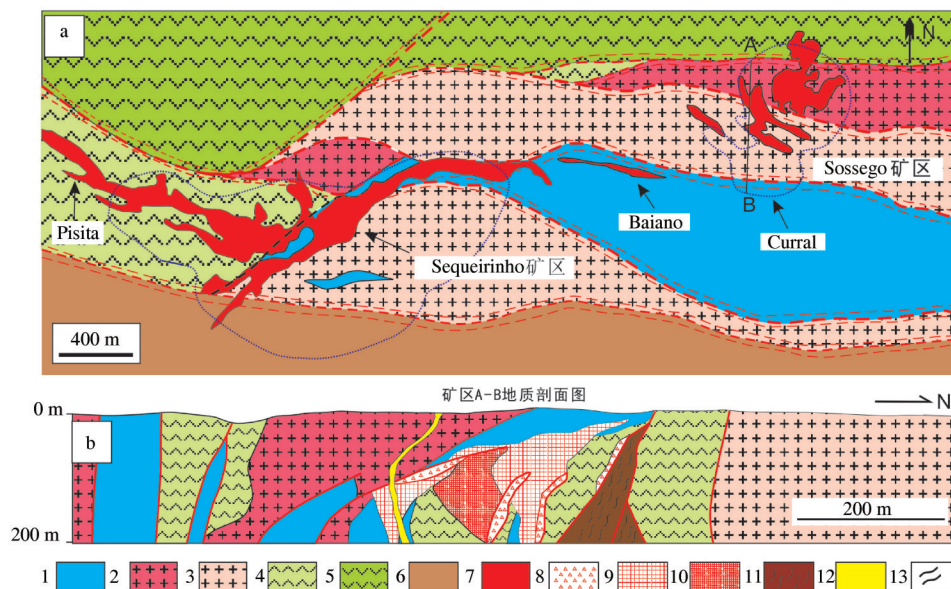


图 11 巴西卡拉加斯地区 Sossego/Sequerinho 矿区地质图(a)及地质剖面图(b)(据曾勇等, 2013)

1—辉长岩; 2—环斑花岗岩; 3—花岗岩; 4—长英质变质火山岩; 5—铁镁质变质火山岩; 6—混合花岗岩—片麻岩杂岩; 7—矿化带投影区; 8—矿化角砾岩带; 9—阳起石(角闪石—绿帘石相)矿化蚀变带; 10—磁铁矿矿化蚀变带; 11—黑云糜棱岩; 12—石英脉; 13—断层

Fig. 10 Geological sketch map (a) and geological section (b) of the Sossego/Sequerinho mine in Carajás (after Zeng et al., 2013)

1—Gabbro; 2—Rapakiwi granite; 3—Granite; 4—Felsic metavolcanics; 5—Mafic metavolcanics; 6—Migmatitic granite and gneiss complex; 7—Mineralized zone projection area; 8—Mineralized breccia belt; 9—Actinolite (amphibolite—epidote facies) mineralization alteration zone; 10—Magnetic mineralization alteration zone; 11—Biotite mylonite; 12—Quartz vein; 13—fault

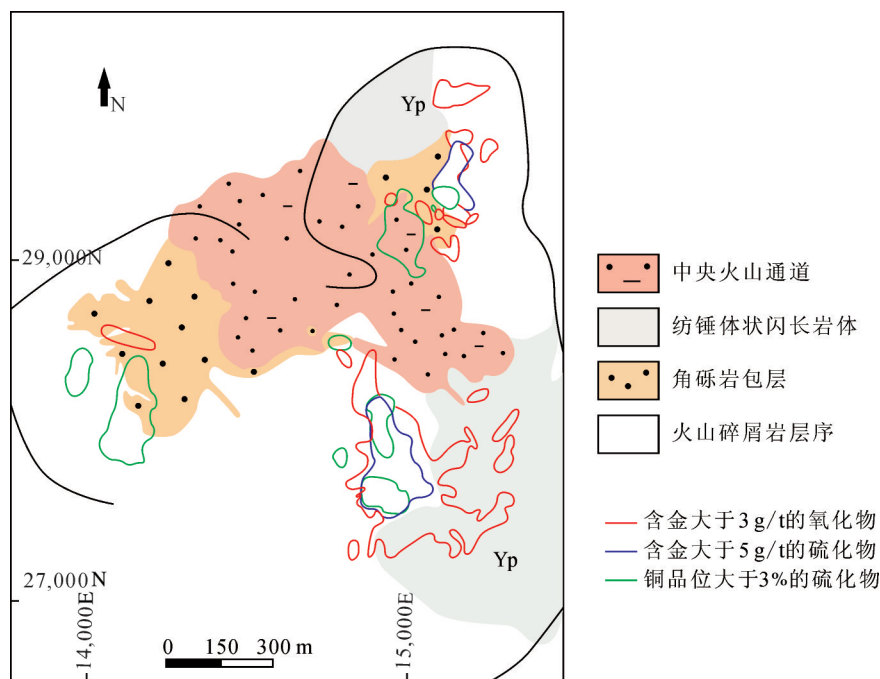


图 12 亚纳科查矿床地质图(据 Teal et al., 2010)

Fig. 12 Geological sketch map of Yanacocha mine (after Teal et al., 2010)

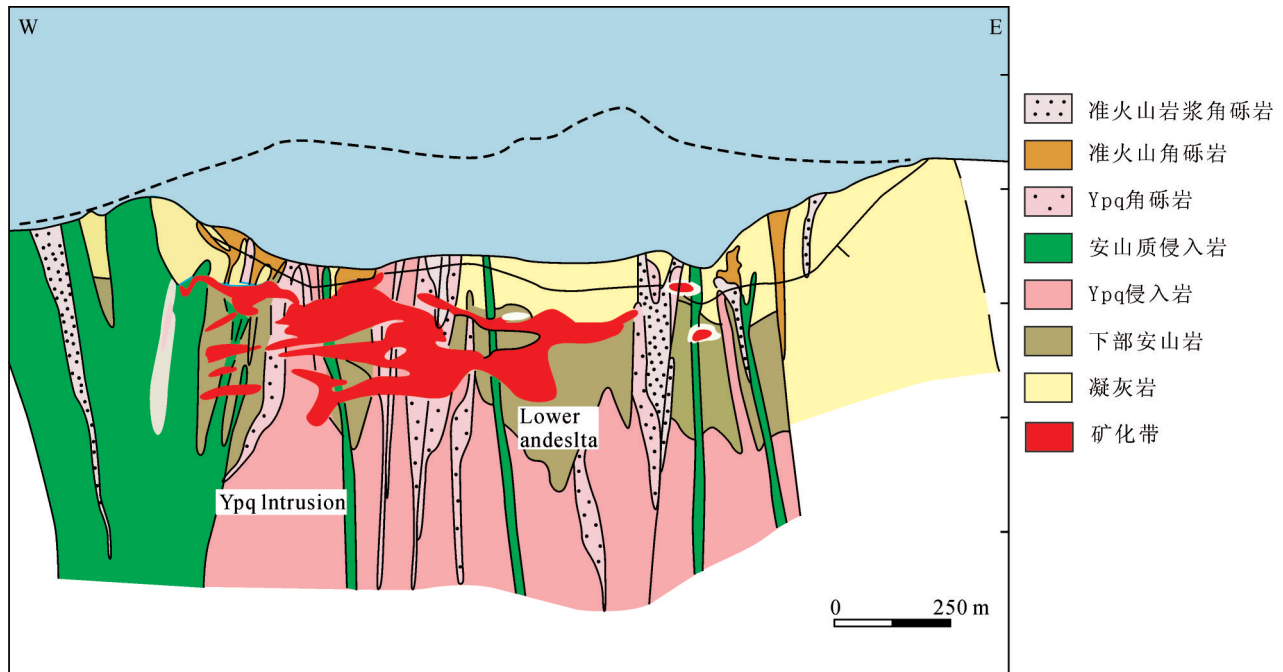


图13 亚纳科查矿床地质剖面图(据 Teal et al., 2010)

Fig.13 Geological section of the Yanacocha mine (after Teal et al., 2010)

(金)矿床,如巴西沙帕达(Chapada)铜金矿(de Oliveira, 2016),也有学者认为该矿床是火山成因块状硫化物矿床(VMS型)矿床(Richardson et al., 1988; Kuyumjian, 1995; 周德安, 1993)。

#### 4.3 重要成矿区带与成矿特征

基于成矿地质构造背景、成矿类型和典型矿床的综合研究,结合成矿作用特征,对南美地区金矿重要成矿区带与成矿特征进行了梳理(图14)。

(1)哥伦比亚西部区,属于安第斯成矿带的北段,主要位于科尔多瓦省、安蒂奥基亚省、玻利瓦尔省交界处,以砂矿和脉型矿为主,盛产金、银。金矿属于雷亚尔Cu、Au、Pb、Zn成矿带和皮诺—达瓜—乔科Au—多金属成矿带,包括哥伦比亚中科迪勒拉和厄瓜多尔安第斯裂谷,原生矿与侏罗纪—新近纪浅成岩浆岩侵入到古生代变质岩及古近纪—新近纪火山沉积岩系中有关,在科多帕希火山活动事件中形成了上新世—更新世钙碱性流纹质熔结凝灰岩,发育自然硫矿床和浅成低温热液金矿床,大型矿床有哥伦比亚布瑞蒂卡(Buritica)金矿、马麦托(Marmato)金银矿等。

(2)秘鲁北部区,位于厄瓜多尔南端、秘鲁西北部兰考莱斯(Lancones)河谷流域的西南区裂隙构造

中,金矿属于安第斯前陆盆地Au、Ag成矿带北部和查查波亚斯—库斯科Au、Fe、Ag、Pb、Zn、重晶石成矿带的北部区,矿化产于火山岩与碳酸盐岩接触部位,矿体以网脉状分布,与区域内晚白垩世花岗闪长岩侵入有关,大型矿床有厄瓜多尔康多尔(Condor)金矿、秘鲁康加(Conga)金矿。

(3)秘鲁南部区,金矿床赋存于秘鲁南部西部山脉的火山岩中,矿化与中新世—上新世的岩浆活动有关。其中金矿属于查查波亚斯—库斯科Au、Fe、Ag、Pb、Zn、重晶石成矿带南部和、西科迪勒拉Cu、Au、Ag、Fe多金属—硫—盐类成矿带的北部地区,除了个别矿床为低硫化和中硫化热液型外,此矿带多高硫化热液型金矿,大型典型矿床有秘鲁的科塔巴姆巴斯(Cotabambas)金矿、秘鲁贝伦格拉(Berenguela)银铜矿等。

(4)智利北部区,位于安第斯褶皱成矿带中段,为西太平洋板块向南美板块之下俯冲形成的典型陆缘火山弧,由西向东依次可分为海岸安第斯、前安第斯(弧间盆地)、西安第斯、安第斯(普纳)高原区、东安第斯、次安第斯等六个构造带,这些地带成矿地质条件十分优越,铜、钼、铅锌、金、多金属成矿作用强烈,找矿潜力巨大,尤其以斑岩型铜金矿



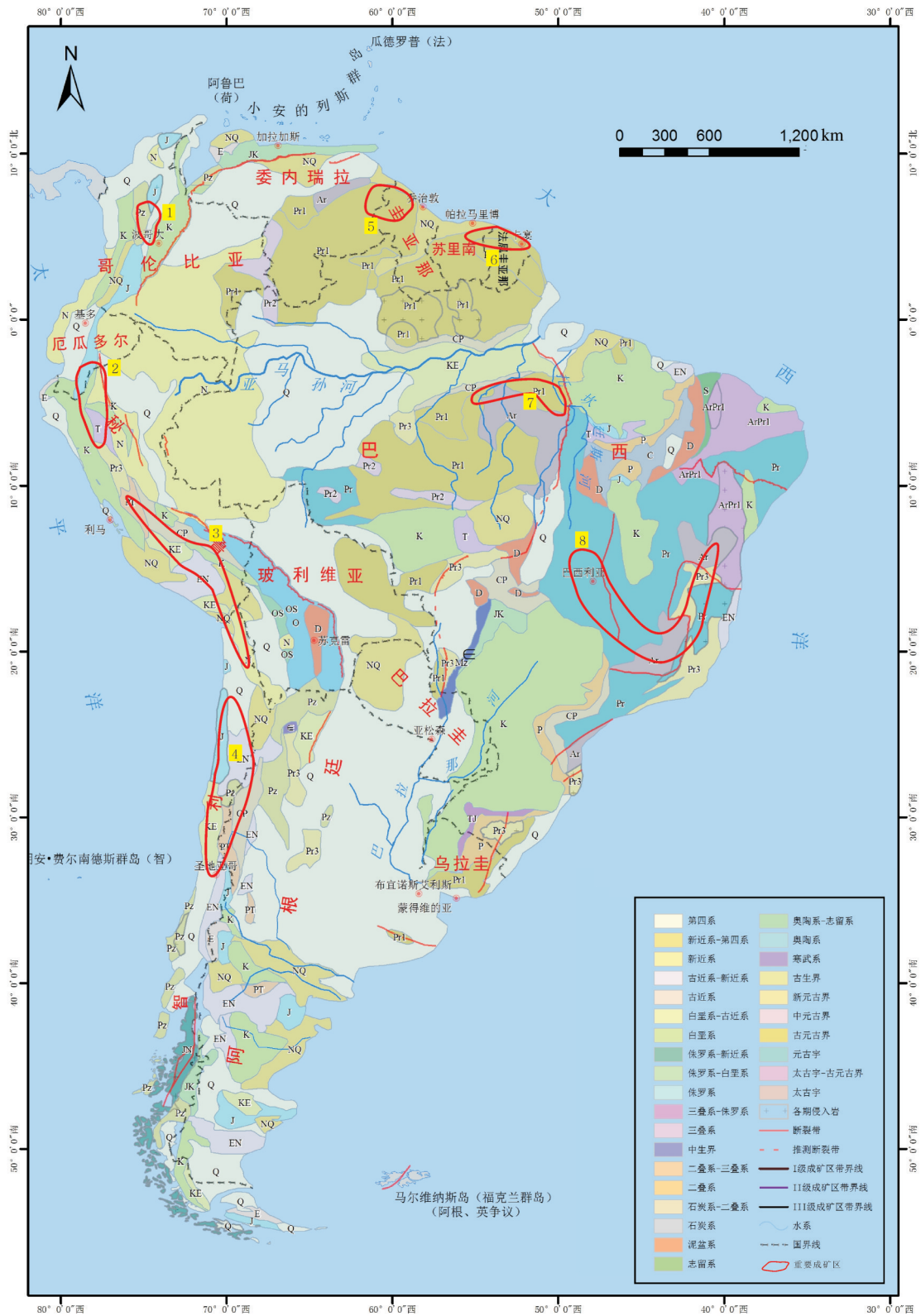


图 14 南美重要金矿成矿区示意图

Fig.14 Sketch map of important metallogenic areas of gold deposits in South America

著称,成为全球最重要的铜、钼、金、多金属成矿带,大型典型矿床有阿根廷的阿伦布雷拉(Alumbreira)金矿、智利的帕斯卡拉马(Pascua Lama)金银铜矿。

(5)委内瑞拉东部区,位于委内瑞拉、圭亚那两国交界处,南美大陆的北部,属于冈瓦纳古陆的一部分,圭亚那地盾的北段。金矿主要与前寒武纪的古老地层有关,大多数富金的岩石都受到低硫金-石英细脉的韧性剪切变形作用的影响,主要矿物自然金、黄铁矿以及少量的黝铜矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿、白钨矿和闪锌矿等,都是赋存在石英细脉中最典型的金属矿物,大型典型矿床有圭亚那的托罗帕鲁(Toroparu)金银铜矿、委内瑞拉的拉斯克里斯蒂纳斯(Las Cristinas)金铜矿。

(6)苏里南东北区,位于苏里南、法属圭亚那两国交界处,金矿主要与前寒武纪的古老地层有关。金矿床分布与东西向延伸的剪切带有关,虽然与太古宙绿岩带关系密切,但是容矿围岩以火山岩占优势。大型典型矿床有苏里南的梅里安(Merian)金矿、苏里南的罗斯贝尔(Rosebel)金矿。

(7)巴西北部区,位于中巴西地盾的北端,主要包括卡拉加斯成矿区、Tapajos 金成矿区及 Alto Guapore 金成矿区,金矿赋存在前寒武纪地层中,以古元古代造山型金矿为主,矿体以脉状产于变基性火山岩和碎屑岩中,主要在黄铁矿富集的石英细脉中发现一些细小的金矿脉或者呈浸染状分布的金。其次与花岗闪长岩的侵入活动有关的斑岩型 Au、Cu、Bi、Mo 矿床、铁氧化物铜金矿(IOCG)矿床、浅成低温热液型 Au-PGE 矿床等。大型典型矿床有巴西的塞拉佩拉达(Serra Pelada)造山型金矿、巴西的卡拉加斯(Carajás)IOCG 矿床。

(8)巴西中部区,位于大西洋地盾的周缘,研究开发程度较高,包括矿业最为发达的米拉斯吉拉斯州(铁四边形)铁矿区,主要以造山型(绿岩带型金矿和剪切带型金矿)为主,矿体受断裂控制明显。矿化发生在绿岩带火山岩-沉积岩组合中。本区的圣弗朗西斯科陆核上产有世界著名的“铁四边形”铁金矿带。大型典型矿床有巴西的诺瓦利马(Novalima)金矿、巴西的莫罗韦洛(Morro Velho)金矿。

## 5 结 论

安第斯成矿带金成矿作用与太平洋板块向南

美大陆板块的俯冲密切相关,大型-超大型金矿类型主要是以浅成低温热液型,以及与铜共生的斑岩型、IOCG 型矿床为主,大规模金成矿作用集中在新生代,形成了众多世界著名的金矿床。

南美地台成矿区位于亚马逊陆块边缘,受古元古代(2.5~1.8 Ga)Trans-Amazonian 旋回影响,经历了反复俯冲造山运动,大型-超大型金矿造山型为主,主要成矿期在太古宙-新元古代。

南美的金资源相当丰富,在世界占有重要地位。秘鲁、巴西、智利的金资源储量列世界前茅,是未来支持全球金资源供应的重要基地。但是目前地质工作程度不高,矿产勘查开发程度较低,已介入开发的矿业公司主要以欧美跨国矿业企业为主,未来具有巨大的勘查开发潜力。

**致谢:**在成文过程中,与中国地质调查局发展研究中心邱瑞照研究员、陈秀法教授级高级工程师、张潮博士进行了有益的讨论;非常感谢审稿专家提出了宝贵建议,使本文表述更加严谨,内容更加充实,在此一并表示衷心感谢。

## 注释

①卢民杰,曾勇. 国外矿产资源风险勘查专项《拉美地区安第斯成矿带成矿规律与优势矿产资源潜力分析》项目报告. 2013.

## References

- Arenson L U, Jakob M, Wainstein P. 2014. Effects of dust deposition on Glacier Ablation and Runoff at the Pascua-Lama Mining Project, Chile and Argentina[C]. *Engineering Geology for Society and Territory*, 27-32.
- Behn G, Camus F, Carrasco P, Ware H. 2001. Aeromagnetic signature of porphyry copper systems in northern Chile and its geologic implications [J]. *Economic Geology*, 96: 239-248.
- Bernasconi A. 1985. Archaean gold mineralization in central eastern Brazil: a review [J]. *Mineralium Deposita*, 20(4):277-283.
- Bissig T, Cooke D R. 2014. Introduction to the special issue devoted to alkalic porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits[J]. *Economic Geology*, 109(4): 819-825.
- Bouzari F, Clark A H. 2002. Anatomy, evolution, and metallogenic significance of the supergene orebody of the cerro Colorado porphyry copper deposit, I Region, Northern Chile [J]. *Economic Geology*, 97: 1701-1740.
- Cabello J. 1986. Precious metals and cenozoic volcanism in the Chilean Andes[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 25(1-2):1-

- 19.
- Cabral A R, Lehmann B, Kwitko R, Costa C H C. 2002. The Serra Pelada Au–Pd–Pt Deposit, Carajas Mineral Province, Northern Brazil: Reconnaissance mineralogy and chemistry of very high grade Palladian gold mineralization[J]. *Economic Geology & the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 97(5): 1127–1138.
- Cannell J, Cooke D R, Walshe J L, Stein H. 2005. Geology, mineralization, alteration, and structural evolution of the El Teniente porphyry Cu–Mo deposit [J]. *Economic Geology*, 100: 979–1003.
- Cerpa L M, Bissig T, Kyser K, McEwan C, Macassi A, Rios H W. 2013. Lithologic controls on mineralization at the Lagunas Norte high–sulfidation epithermal gold deposit, northern Peru[J]. *Mineralium Deposita*, 48(5): 653–673.
- Charchaflie D, Tosdal R M, Mortensen J K. 2007. Geologic framework of the Veladero high–sulfidation epithermal deposit area, Cordillera Frontal, Argentina[J]. *Economic Geology*, 102(2): 171–192.
- Chouinard A, Paquette J, Williams–Jones A E. 2005. Crystallographic controls on trace–element incorporation in Auriferous pyrite from the Pascua epithermal high–sulfidation deposit, Chile–Argentina[J]. *Canadian Mineralogist*, 43(3): 951–963.
- Daoust C, Voicu G, Brisson H, Gauthier M. 2011. Geological setting of the Paleoproterozoic Rosebel gold district, Guiana Shield, Suriname[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(3): 222–245.
- Davies R C, Williams P J. 2005. The El Galeno and Michiquillay porphyry Cu–Au–Mo deposits: geological descriptions and comparison of Miocene porphyry systems in the Cajamarca district, northern Peru[J]. *Mineralium Deposita*, 40(5): 598–616.
- De Oliveira C G, de Oliveira F B, Della Giustina M E S, Marques G C, Dantas E L, Pimentel M M, Buhn B M. 2016. The Chapada Cu–Au deposit, Mara Rosa magmatic arc, Central Brazil: Constraints on the metallogenesis of a Neoproterozoic large porphyry–type deposit[J]. *Ore Geology Reviews*, 72, 1–21.
- Deyell C L, Leonardson R, Rye R O, Thompson J F H, Bissig T, Cooke D R. 2005. Alunite in the Pascua–Lama High–Sulfidation Deposit: Constraints on Alteration and Ore Deposition Using Stable Isotope Geochemistry[J]. *Economic Geology*, 100(1): 131–148.
- Dong Yongguan, Zeng Yong, Yao Chunyan, Gao Weihua, Guo Weimin. 2015. Geological tectonic evolution and mineralization of metallic minerals in the South America platform[J]. *Resources Survey and Environment*, 36(2): 116–122(in Chinese with English abstract).
- Fang weixuan, Li jianxu. 2012. The distribution, control factors and mineralization evolution of iron–oxide copper gold deposits in Chile[C]//Conference on Intelligence Professional Committee of Science and Technology, Geological Society of China (in Chinese).
- Fifarek R H, Rye R O. 2005. Stable–isotope geochemistry of the Pierina high–sulfidation Au–Ag deposit, Peru: influence of hydrodynamics on SO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>S sulfur isotopic exchange in magmatic–steam and steam–heated environments[J]. *Chemical Geology*, 215(1): 253–279.
- Gair J E. 1962. Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil[M]. Washington: Vsgovt. Print. Off.
- Gao Qianlan. 1991. Metallogenic characteristics and types of low temperature hydrothermal gold deposits in Chile [J]. *Gold Science and Technology*, (7): 20–21 (in Chinese with English abstract).
- Goldie M. 2002. Self–potentials associated with the Yanacocha high–sulfidation gold deposit in Peru[J]. *Geophysics*, 67(3): 684–689.
- Goyzueta C J S. 2015. O pórfiro de Cu Cuajone, Perú: geoquímica, petrologia e evolução da alteração hidrotermal e sua relação com a fase fluída[J]. *Biblioteca Digital De Teses E Dissertações Da Universidade De São Paulo*.
- Grainger C J, Groves D I, Tallarico F H B, Fletcher I R. 2008. Metallogenesis of the carajás mineral province, southern amazon craton, brazil: varying styles of archean through paleoproterozoic to neoproterozoic base– and precious–metal mineralisation[J]. *Ore Geology Reviews*, 33(3): 451–489.
- Harris A C, Allen C M, Bryan S E, Campbell I H, Holcombe R J, Palin J M. 2004. ELA–ICP–MS U–Pb zircon geochronology of regional volcanism hosting the Bajo de la Alumbrera Cu–Au deposit: implications for porphyry–related mineralization[J]. *Mineralium Deposita*, 39(1): 46–67.
- Holley E A. 2012. The Veladero High–sulfidation Epithermal Au–Ag Deposit, Argentina: Volcanic Stratigraphy, Alteration, Mineralization, and Quartz Paragenesis[M]. *Dissertations & Theses – Gradworks*.
- Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Gao Yongfeng, Gu Xiaoming, Meng Xiangjin. 2003. Adakite, A Possible Host Rock for Porphyry Copper deposits : Case studies of Porphyry Copper belts in Tibetan Plateau and in Northern Chile[J]. *Mineral Deposits*, 22(1): 1–12(in Chinese with English abstract).
- Jannas R R, Beane R E, Ahler B A, Brosnahan D R. 1990. Gold and copper mineralization at the El Indio deposit, Chile[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 36(1): 233–266.
- Kerrick R, Goldfarb R, Groves D, Garwin S, Jia Y. 2000. The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces[J]. *Chinese Science: Earth Science*, 43(s1), 1–68.
- Klein E L, Harris C, Giret A, Moura C A V, Angélica R S. 2005.



- Geology and stable isotope (O, H, C, S) constraints on the genesis of the Cachoeira gold deposit, Gurupi Belt, northern Brazil[J]. *Chemical Geology*, 221(3/4): 188–206.
- Kuyumjian R M. 1995. Diversity of fluids in the origin of the Chapada Cu–Au deposit, Goiás [J]. *Brazilian Journal of Geology*, 25(3): 203–205.
- Lapoint D. 2012. Gold exploration methods in deeply weathered environments: A comparison of southeastern US and suriname[C]// 2012 GSA Annual Meeting in Charlotte.
- Li shangsen. 1996. Gold deposit in Precambrian iron formation, Brazil[J]. *Precambrian Geology Abroad*, (4): 32–36 (in Chinese).
- Liao weidong. 1993. Marte porphyry gold deposit in northern Chile[J]. *World Nuclear Geoscience*, (03): 99(in Chinese with English abstract).
- Lobato L M, Vieira F W R, Ribeiro–Rodrigues L C, Pereira L M M, Menezes M G, Junqueiraet P A, Pereira S L M. 1998. Styles of hydrothermal alteration and gold mineralization associated with the Nova Lima Group of the Quadrilátero Ferrífero: Part I, description of selected gold deposits[J]. *Revista Brasileira De Geociencias*, 28(3): 339–354.
- Lobato L M, Santos J O S, Mcnaughton N J, Fletcher I R, Noce C M. 2007. U–Pb Shrimp monazite ages of the giant morro velho and cuiabá gold deposits, rio das velhas greenstone belt, quadrilátero ferrífero, minas gerais, brazil[J]. *Ore Geology Reviews*, 32(3), 674–680.
- Longo A A, Dilles J H, Grunder A L, Duncan R. 2010. Evolution of calc–alkaline volcanism and associated hydrothermal gold Deposits at Yanacocha, Peru[J]. *Economic Geology*, 105(7): 1191–1241.
- Longo A A, Teal L. 2005. A summary of the volcanic stratigraphy and the geochronology of magmatism and hydrothermal activity in the Yanacocha gold district, northern Peru[C]. *Symposium*, 797–808.
- Lu minjie, Zhu xiaosan, Guo weimin. 2016. Division of Andean metallogenic domain in South America[J]. *Mineral Deposits*, 35(5): 1073–1083(in Chinese with English abstract).
- Mao jingwen. 2012. Major foreign odeposit types, characteristics and prospecting exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Marinov D. 2011. Re–Os dating of molybdenite mineralisation from Michiquillay and Galeno porphyry copper deposits, Cajamarca, Perú[C]. *Biennial Meeting, Sga 2011 Antofagasta, Chile*.
- Monteiro L V S, Xavier R P, Carvalho E R D, Hitzman M W, Johnson C A, Souza C R D, Torresi F. 2008. Spatial and temporal zoning of hydrothermal alteration and mineralization in the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil: paragenesis and stable isotope constraints[J]. *Mineralium Deposita*, 43(2): 129–159.
- Monteiro L V S, Xavier R P, Carvalho E R D, Hitzman M W, Juliani C, Filho C R D S, Carvalho E D R. 2008. Mineral chemistry of ore and hydrothermal alteration at the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil[J]. *Ore Geology Reviews*, 34(3): 317–336.
- Montgomery A T. 2012. Metallogenic controls on miocene high–sulphidation epithermal gold mineralization, Alto Chicama district, La Libertad, northern Perú. [J].
- Moroni M, Girardi V A, Ferrario A. 2001. The Serra Pelada Au–PGE deposit, Serra dos Carajás (Pará State, Brazil): geological and geochemical indications for a composite mineralising process[J]. *Mineralium Deposita*, 36(8): 768–785.
- Muntean J L. 2000. Porphyry gold deposits of the Refugio District, Maricunga Belt, Northern Chile[J]. *Economic Geology*, 95(7): 1445–1472.
- Netunovillas R, Santos M. 2001. Gold deposits of the carajás mineral province: deposit types and metallogenesis[J]. *Mineralium Deposita*, 36(3/4): 300–331.
- Noble D C, and McKee E H. 1999. The Miocene metallogenic belt of central and northern Peru[M]. *Society of Economic Geologists Special Publication*, 7: 155–193.
- Oviedo L, Fuster N, Tschischow N, Ribba L, Zuccone A, Grez E, Aguilar A. 1991. General geology of La Coipa precious metal deposit, Atacama, Chile[J]. *Economic Geology*, 86(6): 1287–1300.
- Padoan M, Rossetti P, Rubatto D. 2014. The Choco 10 gold deposit (El Callao, Bolivar State, Venezuela): Petrography, geochemistry and U–Pb geochronology[J]. *Precambrian Research*, 252(5): 22–38.
- Palacios C, Herail G, Townley B, MaksaeV, Sepulveda F, Parseval D P, Rivas P, Lahsen A, Parada M. 2001. The composition of gold in the cerro casale gold–rich porphyry deposit, maricunga belt, Northern Chile[J]. *Canadian Mineralogist*, 39(3): 907–915.
- Petersen U. 1970. Metallogenic provinces in south America[J]. *Geologische Rundschau*, 59(3): 834–897.
- Proffett J M. 2003. Geology of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper–gold deposit, Argentina[J]. *Economic Geology*, 98(8): 1535–1574.
- Qu Hongyin, Pei Rongfu, Mei Yanrong, Wang Haolin, Li Jinwen, Wang Yonglei. 2013. Metallogenic characteristics of superlarge and exceptional superlarge Cu deposit abroad[J]. *Geology in China*, 40(2): 371–390 (in Chinese).
- Rainbow A, Clark A H, Kyser T K, Gaboury F, Hodgson C J. 2005. The Pierina epithermal Au–Ag deposit, Ancash, Peru: Paragenetic relationships, alunite textures, and stable–isotope geochemistry[J]. *Chemical Geology*, 215(1): 235–252.
- Reich M, Parada M A, Palacios C, Dietrich A, Schultz F, Lehmann B.

2003. 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*, 38(7): 876–885.
- Richardson S V, Jones L M, Kesler S E. 1988. Strontium isotopic geochemistry of Pan-African/Brasiliano rocks, Chapada copper deposit, Goiás, Brazil[J]. *Geologische Rundschau*, 77(3): 763–770.
- Ryan P J, Lawrence A I, Jenkins R A, Matthews J P, Zamora J C, Marino E, Urqueta I. 1994. The Candelaria copper-gold deposit, Chile: Congreso Geológico Chileno, 7 th, Concepción[J]. *Actas*, 2: 1616–1617.
- Ryan P J. 1996. The Candelaria copper-gold deposit, Chile[M]. University of the Witwatersrand, Economic Geology Research Unit.
- Sanematsu K. 2011. Caspiche porphyry Au-Cu deposit in the Maricunga belt, northern Chile[J]. *Resource Geology*, 61:VII–VIII.
- Shaver S A. 2009. The Sierra Gorda porphyry Cu-Mo(Au) deposit, region II, northern Chile, part 2: intrusive relations and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and Re-Os molybdenite geochronology of the Catalina and 281-zone mineralization centers[J]. Portland GSA Annual Meeting. Paper: No. 26–7.
- Siddeley G, Araneda R, Tian shuwen. 1989. El Indio gold mine, Chile [J]. *Geological Survey and Research*, (1): 61–74 (in Chinese).
- Sillitoe R H, Perello J. 2005. Andean Copper Province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery[J]. *Economic Geology*, 100: 845–890.
- Sillitoe R H, Tolman J, Kerkvoort G V. 2013. Geology of the Caspiche Porphyry Gold-copper deposit, Maricunga belt, northern Chile[J]. *Economic Geology*, 108(4): 585–604.
- Sillitoe R H. 1973. Geology of the Los Pelambres Porphyry Copper Deposit, Chile[J]. *Economic Geology*, 68(1): 1–10.
- Sillitoe R H. 1988. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits [J]. *Economic Geology*, 67: 184–197.
- Sillitoe R H. 1991. Gold metallogeny of Chile- an introduction [J]. *Economic Geology*, 86(6):1187–1205.
- Stump N, Fang Jiansheng, Gui Yuli. 1998. Alumbra Cu-Au deposit[J]. *Mineral Engineering Research*, (6): 12–14 (in Chinese).
- Tassinari C C G, Pinzon F D, Ventura J B. 2008. Age and sources of gold mineralization in the marmato mining district, nw colombia: A miocene- pliocene epizonal gold deposit[J]. *Ore Geology Reviews*, 33(3), 505–518.
- Tazava E, de Oliveira C G. 2000. The Igarape Bahia Au-Cu (REE-U) deposit, Caraja mineral province, North Brazil, geochemistry and monazite geochronology[J]. *Mineralogical Magazine*, 71: 347–363.
- Teixeira J B G, Misi A., da Silva M D G. 2007. Supercontinent evolution and the Proterozoic metallogeny of South America[J]. *Gondwana Research*, 11(3): 346–361.
- Thournout F V, Salemink J, Valenzuela G, Merlyn M, Boven A, Muchez P. 1996. Portovelo: a volcanic-hosted epithermal vein-system in Ecuador, South America[J]. *Mineralium Deposita*, 31(4): 269–276.
- U.S. Geological Survey. 2017. Mineral Commodity Summaries [R].
- Vial D S, Dewitt E, Lobato L M, Thorman C H. 2007. The geology of the Morro Velho gold deposit in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil[J]. *Ore Geology Reviews*, 32(32): 511–542.
- Vila T, Sillitoe R H, Betzhold J, Viteri E. 1991. The porphyry gold deposit at Marte, northern Chile[J]. *Economic Geology*, 86(6): 1271–1286.
- Vry Helen V. 2010. Geological and Hydrothermal Fluid Evolution at El Teniente, Chile[D]. Imperial College London.
- Wang Jiaxin, Nie Fengjun, Zhang Xueni, Liu Chunhua, Song Chongyu, Duan Peixin, Yu Miao. 2015. El Teniente porphyry Cu-Mo deposit in Chile[J]. *Mineral Deposits*, 34(1):200–203(in Chinese with English abstract).
- Warren I, Archibald D A, Simmons S F. 2008. Geochronology of epithermal Au-Ag mineralization, magmatic-hydrothermal alteration, and supergene weathering in the el penon district, northern Chile [J]. *Economic Geology*, 103(4): 851–864.
- Warren P I. 2005. Geology, geochemistry, and genesis of the El Peñón epithermal Au-Ag deposit, northern Chile: Characteristics of a bonanza-grade deposit and techniques for exploration[J]. *Health Technology Assessment*, 9(7): 1–238, iii–iv.
- Zappettini E O. 2005. Metallogeny of South America [M]. Beenos Aires: Servico Geologico Minero Argentino, 1–274.
- Zeng Yong, Guo Weimin, Xiang Hongli, Yao Chunyan, Dong Yongguan. 2015. Massive Fe-Cu-Au polymetallic deposits metallogenesis in Carajás mineral province of Brazil[J]. *Mineral Deposits*, 34(4): 828–841(in Chinese with English abstract).
- Zeng Yong, Guo Weiming, Yao Chunyan, Xiang Hongli, Xing Guangfu, Dong Yongguan. 2013. Research Progress on Iron Oxide-Cu-Au Deposit in Carajás, Brazil[J]. *Geological Science and Technology Information*, (05): 72–78(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chao. 2017. Division of Metallogenic Units and Geological Characteristics in South America[D]. Postdoctor Report, 1–147(in Chinese with English abstract).
- Zhou Dean. 1993. Hydrothermal exhalation genesis of Chapada Cu-Au deposit[J]. *World Nuclear Geoscience*, (2): 140–142(in Chinese with English abstract).
- Zuo Tengxinping, Bai Hua. 1984. El intao gold deposit, in Andes Mountains, Central Chile[J]. *Geological Science and Technology Information*, (1): 104–107 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 曾勇, 郭维民, 姚春彦, 项红莉, 邢光福, 董永观. 2013. 巴西卡拉加斯地区氧化铁型铜-金矿床研究进展[J]. 地质科技情报, (5): 72-78.
- 曾勇, 郭维民, 项红莉, 姚春彦, 董永观. 2015. 巴西卡拉加斯地区大规模铁-铜-金多金属矿床的成矿作用[J]. 矿床地质, 34(4): 828-841.
- 董永观, 曾勇, 姚春彦, 高卫华, 郭维民. 2015. 南美地台地质构造演化与主要金属矿产成矿作用[J]. 资源调查与环境, 36(2): 116-122.
- 方维萱, 李建旭. 2012. 智利铁氧化物铜金矿床分布规律、控制因素与成矿演化[C]. 中国地质学会科技情报专业委员会学术研讨会.
- 高乾兰. 1991. 智利低温热液金矿床的成矿特征及类型[J]. 黄金科学技术, (7): 20-21.
- 候增谦, 莫宣学, 高永丰, 曲晓明, 孟详金. 2003. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例[J]. 矿床地质, 22(1): 1-12.
- 李上森. 1996. 巴西前寒武纪含铁建造中的金矿床[J]. 国外前寒武纪地质, (4): 32-36.
- 卢民杰, 朱小三, 郭维民. 2016. 南美安第斯地区成矿区带划分探讨[J]. 矿床地质, 35(5): 1073-1083.
- 毛景文. 2012. 国外主要矿床类型、特点及找矿勘查[M]. 北京: 地质出版社.
- 缪卫东. 1993. 智利北部 Marte 斑岩金矿床[J]. 世界核地质科学, (03): 99.
- 瞿泓滢, 裴荣富, 梅燕雄, 王浩琳, 李进文, 王永磊. 2013. 国外超大型-特大型铜矿床成矿特征[J]. 中国地质, 40(02): 371-390.
- 斯顿普 N, 房俭生, 硅誉漓. 1998. 阿伦布雷拉铜金矿[J]. 矿业工程, (6): 12-14.
- Siddeley G, Araneda R, 田书文. 1989. 智利的埃尔印第奥-坦博金矿床[J]. 地质调查与研究, (1): 61-74.
- 王佳新, 聂凤军, 张雪施, 刘春花, 宋崇宇, 段培新, 于森. 2015. 智利埃尔特尼恩特斑岩型铜-钼矿床[J]. 矿床地质, 34(1): 200-203.
- 张潮. 2017. 南美洲成矿区带划分及其地质矿产特征. 博士后出站报告. 1-147.
- 周德安. 1993. 巴西 Chapada 铜-金矿床热液喷气成因[J]. 世界核地质科学, (02): 140-142.
- 佐藤兴平, 白桦. 1984. 安第斯山中部智利的埃尔印第奥金矿床[J]. 地质科技情报, (01): 104-107.