

南美安第斯地区成矿区带划分探讨^{*}

卢民杰¹ 朱小三^{1**} 郭维民²

(1 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

摘 要 南美安第斯成矿带是世界上最著名的 Cu、Au、多金属巨型成矿带, 产有一系列大型-超大型 Cu、Au、多金属矿床, 是目前世界上最重要的找矿投资热点地区之一。文章在系统收集资料和综合研究的基础上, 依据安第斯成矿带的基底组成、构造-岩浆演化、板块俯冲形式、成矿作用以及主要成矿类型的差异, 将安第斯地区自北而南划分为 3 个 II 级成矿省和 14 个 III 级成矿带, 并对各成矿区带的地质与成矿特征进行了概要阐述, 为安第斯地区区域成矿规律研究提供了基础, 也为中国企业在该地区的矿产勘查、开发投资提供了指导信息。

关键词 地质学 构造-岩浆演化 成矿区带划分 成矿类型 安第斯

中图分类号: P617

文献标志码: A

Division of Andean metallogenic domain in South America

LU MinJie¹, ZHU XiaoSan¹ and GUO WeiMin²

(1 Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

Abstract

The Andean metallogenic belt is a worldwide famous giant metallogenic belt for copper, gold and polymetals. There are a series of large-superlarge copper, gold and polymetallic deposits in Andean belt. It is hence one of the most important places for prospecting investment at present. In this paper, the authors divided the Andean metallogenic domain into three metallogenic provinces, i. e., north Andean, middle Andean and south Andean metallogenic provinces, based on the basement composition, tectono-magmatic evolution, plate subduction, difference of mineralizations and major metallogenic types of the Andes. The authors also divided the 3 metallogenic provinces into 14 metallogenic belts and briefly elaborated their geological backgrounds and metallogenic characteristics. The north Andean, the middle Andean and the south Andean metallogenic provinces were divided into six, five and three metallogenic belts, respectively. The fine division of the Andean metallogenic belt provides basic information for the further sub-division of the Andean metallogenic belt and the summarization of the regional metallogenic regularities. This study also provides the guiding information for Chinese companies' mineral exploration and development investment in the Andes.

Key words: geology, tectono-magmatic evolution, division of metallogenic domain, metallogenic type, Andes

安第斯(Andes)成矿带呈南北向展布于南美洲 大陆西海岸, 西濒太平洋, 东接南美洲高原, 北以巴

^{*} 本文得到中国地质调查局境外地质调查项目(编号: 12120114010301)和国家自然科学基金(编号: 41404070)联合资助

第一作者简介 卢民杰, 男, 1955 年生, 研究员, 长期从事前寒武纪地质和矿产地质研究。Email: luminjie55@aliyun.com.

^{**} 通讯作者 朱小三, 男, 1980 年生, 副研究员, 从事地球物理、矿床地质和三维地质建模研究。Email: zhuxiaosan@yahoo.com

收稿日期 2015-10-26; 改回日期 2016-08-01。苏 杭编辑。

拿马运河为界,南隔德雷克海峡与南极洲相望。全长达 8900 km,东西最宽处 350 ~ 550 km,面积 5 000 000 km²。穿越委内瑞拉、哥伦比亚、厄瓜多尔、秘鲁、玻利维亚、智利和阿根廷等 7 个国家(图 1)。

安第斯成矿带矿产资源丰富,是世界最著名的 Cu、Au 多金属成矿带。其 Cu 储量约占世界 Cu 总储

量的 40 % 以上,Au、Ag、Pb、Zn、Sn、V、Sb、Bi、Li 等储量也在世界上占有重要位置。安第斯各国地质工作与研究程度不一,虽然各国对涉及到本国区段的成矿区带进行过划分,但从整体上对安第斯成矿带进行统一的划分和各国间的对比研究比较少(Moore et al., 1995; Cordani et al., 2000)。

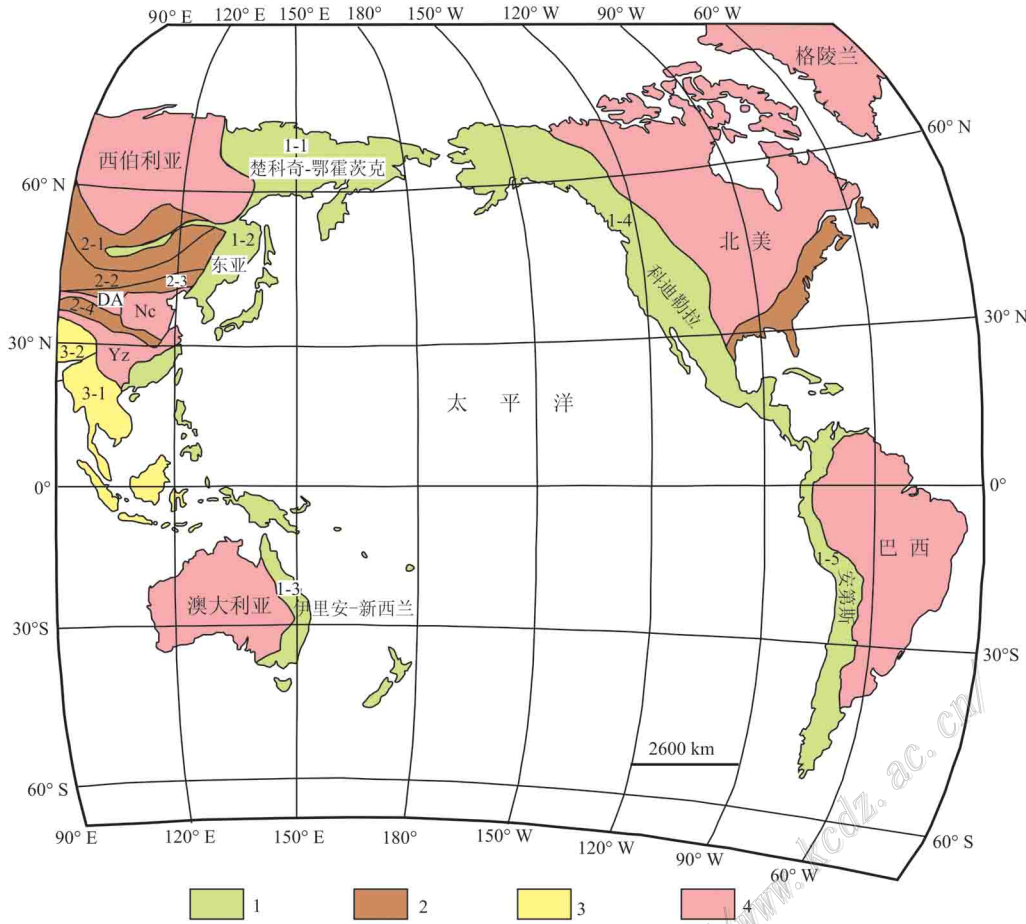


图 1 环太平洋成矿域分布图(修改于裴荣富等,2005;梅燕雄等,2009;瞿泓滢等,2013)

1—环太平洋成矿域;2—与潘吉亚大陆形成有关成矿域;3—特提斯成矿域;4—前华南尼克拉通(成矿域)

DA—敦煌-阿拉善;Nc—华北;Yz—扬子

环太平洋成矿域:1-1—楚科奇-鄂霍茨克;1-2—东亚;1-3—伊里安-新西兰;1-4—科迪勒拉;1-5—安第斯
乌拉尔-蒙古-中国巨型成矿域:2-1—环蒙古-鄂霍茨克;2-2—阿尔泰-南蒙古-大兴安岭;2-3—北山-燕山;2-4—祁连-昆仑-秦岭
特提斯巨型成矿域:3-1—中南半岛;3-2—喜马拉雅

Fig. 1 Locations of the giant metallogenic belts of Circum-Pacific Ocean (modified after Pei et al., 2005; Mei et al., 2009; Qu et al., 2013)

1—Circum-Pacific metallogenic domain; 2—Metallogenic domains related to the formation of Pangea; 3—Tethyan metallogenic domain;
4—Former Southern China craton (Metallogenic domain)

DA—Dunhuang -Alashan; Nc—North China; Yz—Yangtze

Circum-Pacific giant metallogenic domain: 1-1—Chukchi-Okhotsk; 1-2—East Asia; 1-3—Irian- New Zealand; 1-4—Cordillera; 1-5—Andes
Ural—Mongolia-giant metallogenic domain of China: 2-1—Mongolia Circum-Okhotsk; 2-2—Altay-southern Mongolia-Da Hinggan Mountains;
2-3—Beishan-Yanshan; 2-4—Qilian-Kunlun-Qinling

Giant Tethyan metallogenic domain: 3-1—Indo-China Peninsula; 3-2—Himalaya

本文在系统收集资料和综合研究的基础上,依据基底组成、构造-岩浆演化、板块俯冲形式、成矿作用以及主要成矿类型的差异,自北向南将安第斯地区划分为 3 个Ⅱ级成矿省和 14 个Ⅲ级成矿带,对各成矿区带的地质与成矿特征进行了概要阐述与对比研究。

1 地质背景

安第斯成矿带属环太平洋成矿域的重要组成部分,位于环太平洋成矿域的东南部(裴荣富等,2005;梅燕雄等,2009;瞿泓滢等,2013),是一条复杂的中生代—古近纪成矿带(图 1)。其成矿作用和成矿构造环境主要与太平洋板块向南美板块的俯冲碰撞有关,为中生代-新生代活动陆缘增生造山带。

安第斯成矿带的形成始于中生代。自晚三叠世开始,由劳伦(Lauren)古陆、冈瓦纳(Gondwana)大陆、西伯利亚和巴塔哥尼亚(Patagonia)聚合的潘基亚(Pangea)超大陆发生裂解,导致了南美大陆独立(BritoNeves et al., 1999; Keppie et al., 1999; Ramos, 2000; Ramos et al., 2000; 琚亮等, 2011; 谢寅符等, 2012)。随着大西洋的逐渐打开,南美大陆向西漂移,太平洋纳斯卡(Nazca)板块向南美板块俯冲,使安第斯带转化成活动大陆边缘。强烈的挤压分别发生于晚侏罗世、早白垩世末和晚白垩世末,形成强烈褶皱和逆冲断层,岩浆活动主要以侵入作用为主(任爱军等,1993; Bahlburg et al., 1997; Franzese et al., 2001)。新生代纳斯卡板块继续向南美板块俯冲,但倾角逐渐变缓,相应地火山-岩浆活动前锋由沿海向东发展,岩浆酸度和碱度随之增加,整体上安第斯带形成于挤压环境(Mpodozis et al., 1990)。这个时期安第斯带急剧上升,是断裂和强烈火山活动时期,其间发育了山间盆地和大陆边缘盆地。始新世—早渐新世构造活动达到顶峰(Ramos et al., 2000)。晚中新世—晚上新世以后盆地消失,安第斯山链开始具有现代地貌的雏形。伴随着俯冲作用,产生强烈而广泛的火山-岩浆活动,构成了世界著名的火山-岩浆岩带,同时也为 Cu、Au、Fe、多金属矿的形成提供了良好的成矿条件,造就了世界著名的 Cu、Au、多金属成矿带。

自北而南,由于安第斯造山带基底组成的差异和板块俯冲形式、俯冲角度的不同,其构造-岩浆演化和成矿环境也有一定的差异,对矿产资源形成了

不同程度制约。具有南北分段,东西分带的总体成矿构造格局。

2 成矿区带划分

依据基底组成、构造-岩浆演化、板块俯冲形式,以及成矿构造环境、主要成矿类型的不同,可将安第斯成矿带南北向划分为 3 个Ⅱ级成矿省,在每个成矿省内再根据主要成矿矿种、成矿类型和成矿作用的不同,划分为若干个Ⅲ级成矿带(表 1),其中,北安第斯成矿省可进一步划分为 6 个Ⅲ级成矿带,中安第斯成矿省可进一步划分为 5 个Ⅲ级成矿带,南安第斯成矿省可划分为 3 个Ⅲ级成矿带。

2.1 北安第斯成矿省

北安第斯成矿省位于安第斯成矿带北段,大致以位于厄瓜多尔南部(南纬 3°)的瓜亚基尔(Grijalva)断裂带为界,与中安第斯成矿省相分,包括厄瓜多尔中北部、哥伦比亚西部和委内瑞拉西北部。根据地球物理资料,瓜亚基尔(Grijalva)断裂为一条重要的板块断裂。在瓜亚基尔湾,瓜亚基尔(Grijalva)断裂将太平洋纳兹卡大洋板块分为 2 个部分。断裂以北,目前俯冲的大洋板块年龄为 23~10 Ma(中新世),洋底深度在海平面以下 2800~3500 m,大多数厄瓜多尔-哥伦比亚海沟深度低于 4000 m。而在断裂以南俯冲的大洋板块年龄为 50~30 Ma(始新世—早渐新世),深度在 4000~5600 m,秘鲁-智利海沟深度达到 6600~7500 m,局部达到 8055 m(南纬 23°)。

表 1 安第斯成矿带成矿区带划分表
Table 1 Division of the Andean metallogenic domain

Ⅱ级成矿省 编号及名称	Ⅲ级成矿带编号及名称
Ⅱ-1 北安第斯成矿省	Ⅲ-1 海岸安第斯 Fe、Cu、Ni、贵金属、多金属成矿带
	Ⅲ-2 西安第斯 Cu、Mo、Au、Fe、U 多金属成矿带
	Ⅲ-3 中安第斯 Cu、Ni、Co、Cr、贵金属、多金属成矿带
	Ⅲ-4 东安第斯 Cu、Mo、Au、Ag 多金属与能源矿产成矿带
	Ⅲ-5 梅里达有色金属与煤、磷矿产成矿带
	Ⅲ-6 加勒比海岸 Fe、Cu、Ni、Ti 成矿带
Ⅱ-2 中安第斯成矿省	Ⅲ-7 海岸安第斯 IOCG 型 Fe、Cu、Au 成矿带
	Ⅲ-8 西安第斯斑岩铜矿、Au 多金属成矿带
	Ⅲ-9 东安第斯 Au、Ag 多金属成矿带
	Ⅲ-10 次安第斯成矿带
	Ⅲ-11 安第斯中部高原钾盐-锂-硝石成矿带
Ⅱ-3 南安第斯成矿省	Ⅲ-12 海岸安第斯 Pt、Au 多金属成矿带
	Ⅲ-13 主安第斯 Au、Ag、Cu 多金属成矿带
	Ⅲ-14 次安第斯成矿带

而且根据火山岩地球化学资料可知,北安第斯区的中生代火山岩主要为玄武安山质-安山质,且有大量的由蛇绿混杂岩组成的洋壳残片(增生楔)的存在;而中安第斯的火山岩主要为安山质-英安质。地球物理和地球化学资料的研究均证实了这一分界线的存在。

北安第斯成矿省基底由多个前寒武纪—古生代地体构成,具有多级俯冲的地体增生模式。地质构造上,表现为一系列呈 NNE-NE 走向的火山岩带和发育在火山岩带之间的山间盆地,且由东向西,火山-岩浆作用的时代逐渐变新,并在火山岩带西侧

(火山弧外侧)存在有一系列洋壳增生体,如加勒比地体、乔科(Choco)地体、皮诺-达瓜(Pinon-Dagua)地体等(图 2),发育有拉斑玄武岩和多条蛇绿混杂岩堆积。该成矿省 Cu、Pb-Zn 多金属矿化较弱,斑岩铜矿规模小,而 Fe 和 Ni 成矿具有一定规模。其中,多金属 VMS 型矿床、Fe-Ti-V 岩浆矿床和红土型 Ni 矿等具有较好找矿前景。在沉积盆地中油气和煤等能源矿产资源丰富(据亮等,2011;田纳新等,2011)。

依据成矿构造环境和成矿类型,北安第斯成矿省自西而东可依次分为海岸安第斯、西安第斯、中安

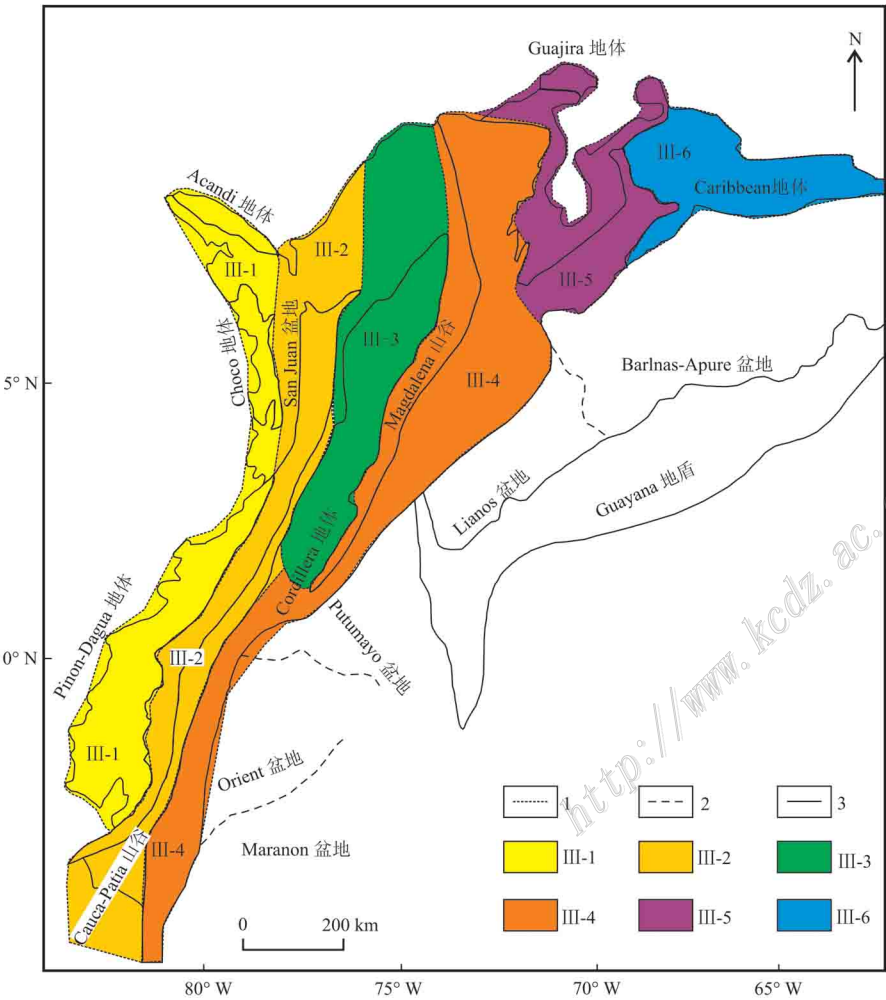


图 2 北安第斯成矿省Ⅲ级成矿带划分图

1—成矿带边界; 2—盆地边界; 3—地体边界

Ⅲ-1—海岸安第斯; Ⅲ-2—西安第斯; Ⅲ-3—中安第斯; Ⅲ-4—东安第斯; Ⅲ-5—梅里达安第斯; Ⅲ-6—加勒比安第斯

Fig. 2 Map of the third class metallogenic belts in the north Andean metallogenic province

1—Metallongenic boundary; 2—Basin boundary; 3—Terrain boundary

Ⅲ-1—Coastal Andes; Ⅲ-2—West Andes; Ⅲ-3—Middle Andes; Ⅲ-4—East Andes; Ⅲ-5—Merida Andes; Ⅲ-6—Caribbean Andes

第斯、东安第斯和梅里达(Merida)加勒比(Caribbean)等6个Ⅲ级成矿带(图2)。

海岸安第斯成矿带是以岛弧和弧前环境为特征的Fe、Cu、Ni、贵金属、多金属成矿带(图2),主要成矿类型为与蛇绿岩有关的Cu-Ni-Co-Mn矿床、VMS型Fe+Cu±Au矿床、Fe-Ti和PGM-Au砂矿以及与侵入岩有关的低温热液矿床贵金属、多金属矿床等。

西安第斯成矿带位于海岸安第斯成矿带的东侧(图2),是以岛弧和弧后环境为特征的Cu、Mo、Au、Fe、U、多金属成矿带,成矿类型主要以斑岩型、浅成低温热液型及氧化铁型(IOCg)等为主。带内火山-岩浆活动主要在白垩纪—古近纪,中新世还有岩体侵入。在哥伦比亚(Columbia)境内,西安第斯成矿带可进一步划分为图马科(Tumaco)成矿亚带、科克(Careoa)成矿亚带、温吉亚布加(Valledupar)成矿亚带和塞纽-圣贾斯通区成矿亚带。

中安第斯成矿带由中安第斯火山岩带和山间拗陷构成(图2),带内火山-岩浆活动广泛,主要在中生代—古近纪,上覆古近纪沉积岩和火山岩。其间发育有大量的古生代—渐新世的外来增生杂岩及陆壳碎片(Peltetec-Palenque混杂岩)岛弧和俯冲杂岩体(弧前-岛弧-弧后)。该带为Cu、Ni、Co、Cr、贵金属、多金属成矿带。成矿类型多样,有与蛇绿岩和超镁铁质岩有关的矿床,与花岗岩类侵入体有关的热液型、矽卡岩型Cu、多金属矿床,与斑岩和角砾岩有关的Cu-Mo±Au±Zn±Bi矿床,角砾岩型矿床Sn-W,低温热液型Au+Ag-Cu+As+Sb+Hg矿床和VMS型Fe+Cu+Pb+Zn+Ag+Au矿床等。在厄瓜多尔境内,该带由西往东可依次划分为以铁矿为主的黑色金属成矿亚带,以Cu(含Au、Mo)为主的有色金属成矿亚带,以Cu、Pb、Zn、Ag为主的多金属成矿亚带和以Sn(含W、Ag、Bi)为主的有色金属成矿亚带。在哥伦比亚境内本带可进一步分为上-马格莱德(Magdalena)成矿亚带、下马格莱德成矿亚带、卡塔通博(Catatumbo)成矿亚带、赛泽尔-押切瑞亚(Sozer-Oshikiri Rhea)成矿亚带、瓜亚基尔(Guayaquil)成矿亚带和巴兰卡韦梅哈-拉多拉达(Barrancabermeja-La Dorada)成矿亚带等。

东安第斯成矿带为Cu、Mo、Au、Ag、多金属与能源矿产成矿带,以弧后及岛弧环境为特征(图2),多是与三叠纪—侏罗纪克拉通内裂谷盆地、侏罗纪岛弧岩浆岩(扎马拉(Zamara)岩基)及陆相和海相火

山-沉积岩有关的矿床。固体矿产包括斑岩型Cu-Mo和Cu-Au矿床、与矽卡岩有关的Au±Bi+Te和Fe+Cu±Zn矿床、低温热液型Au+Ag±Zn+Pb矿床、沉积型U矿、始新世古砂金矿和第四纪砂金矿等。在哥伦比亚,该带位于哥伦比亚东部,是哥伦比亚最重要的油气聚集区。区内上白垩统主力烃源岩生烃潜力大、成熟度高,已处于成熟-过成熟阶段,产生了大规模的油气富集(叶德燎,2007;据亮等,2011),其中天然气约占油气总资源量的20%~30%。该带也是著名的祖母绿宝石成矿带。已知的祖母绿矿区有葛查拉(Gochala)乌巴拉(Oubala)和齐伯尔(Zieber),其中重要的矿床有齐伯尔、布埃纳维斯塔(Buena Vista)新世界、埃尔迪亚曼特(El Diamante)拉斯克鲁塞斯(Las Cruces)埃尔多罗(El DorothyHamm)和普罗维登斯(Providence)等。

梅里达(Merida)成矿带为中生代的煤、P、有色金属成矿带,以弧后环境为特征(图2)。成矿类型多为沉积型或层控型为主。区内P矿床主要分布在加勒比海多山体系西部、塔奇拉(Táchira)地区中部和东南部以及佩里哈山脉地区中北部,3大地区成矿规模依次递减,分别为大型、中型和小型,均为层控型矿床。

加勒比海岸成矿带为Fe、Cu、Ni、Ti成矿带。成矿大多与中生代超镁铁质岩有关(图2),以发育与中生代超镁铁质岩有关的红土型Ni矿、Ti-Fe矿-磁铁矿矿床为特征。其中,由超镁铁质岩石风化而成的红土型Ni矿床中以洛马德耶罗(Roma de Hierro)矿床为最大,Ni储量为5000万吨,矿石品位为1.5%;在雍拉贵州北部的斜长岩和斜长辉石岩中发现了原生和次生的Ti-Fe矿-磁铁矿矿床,Ti储量为3900万吨,w(TiO₂)为6.55%。

2.2 中安第斯成矿省

中安第斯成矿省位于安第斯成矿带中段地区(南纬3~39°),其北界大致以瓜亚基尔(Grijalva)断裂带与北安第斯成矿省相分,南界以智利南部的瓦尔迪维亚(Valdivia)断裂带为界与南安第斯成矿省相分。地理区划上包括厄瓜多尔南部、秘鲁全境、智利中北部、玻利维亚西部和阿根廷西部-西北部。根据地球物理资料,南部边界的瓦尔迪维亚(Valdivia)断裂是太平洋纳斯卡板块与南极洲板块分界断裂,在该断裂带,发育有一系列的洋底转换断层。其北部属纳斯卡板块,向南美大陆的俯冲角度相对较平缓,为25~30°左右(Bourgeois et al.,1996),俯冲速率

大概为 8 cm/a; 南部属南极洲板块, 俯冲速度较慢, 大概为每年 2 cm, 俯冲角度尚不清楚。反映在火山-岩浆活动特点上, 表现为其南北两侧发育有不同类型的活动火山弧, 北部有更活跃的火山-岩浆活动等, 显示了这一分解断裂的存在。

中安第斯成矿省基底主要由新元古代—早古生代增生在原始冈瓦纳大陆上的阿雷吉帕-安托法拉(Arequipa-Antofalla)、库亚尼亚和智利尼亚等准原地地体构成, 是西太平洋板块向南美板块俯冲形成的典型陆缘火山弧。中安第斯成矿省具有太平洋板块向南美板块俯冲倾角逐渐变缓的俯冲模式, 火山-岩浆作用主要以钙碱性的安山质、英安质和流纹质为主。在其演化过程中, 伴随洋壳俯冲角度逐渐变缓, 岩浆弧逐渐向东迁移, 火山岩带自西向东越来越年轻。该成矿省成矿地质条件十分优越, 是安第斯成矿带中 Cu、Mo、Pb-Zn、Au、多金属矿成矿作用最为强烈、资源最为丰富、找矿潜力最大的地区。区内产有一系列世界著名的大型-超大型 Cu、Au、多金属矿床。

依据成矿构造环境和成矿类型, 中安第斯成矿省可划分为海岸安第斯、西安第斯、中部高原安第斯、东安第斯和次安第斯等 5 个Ⅲ级成矿带(图 3)。

2.2.1 海岸安第斯 IOCG 型 Fe、Cu、Au 成矿带

位于中安第斯成矿省中南段西侧(图 3), 其主体部分位于秘鲁南部—智利北部一带, 总长度大于 2000 km。其形成与洋壳俯冲背景下岛弧造山带的拉伸环境有关, 主要为火山弧、弧前(内)盆地和弧后盆地的构造环境, 矿床主要赋存在火山-沉积岩系中。成矿类型主要以中生代 IOCG 型 Fe、Cu、Au 矿床为特征(Gerardo et al., 2001; Francisco, 2005; 赵文津, 2007; 李建旭等, 2011a; 2011b; 贺明生等, 2014), 并有少量的富金斑岩型 Cu 矿和浅成低温热液型矿床等。

在秘鲁, 该带被称为海岸山带中生代 Fe-Cu-Au 成矿带, 成矿时代为中生代的中-晚侏罗世和早白垩世, 可被进一步划分为中-晚侏罗世 Fe-Cu-Au (IOCG)成矿亚带和早白垩世 Fe-Cu-Au (IOCG)成矿亚带。区内主要金属矿产为 IOCG 型 Fe、Cu 和 Au, 其中以早白垩世形成的马尔科纳-胡斯塔(Marcona-Mina Justa)矿床最为典型。

在智利, 该带被称为科迪勒拉海岸山 Fe、Cu、Au 和 Ag 成矿带。位于南北向阿塔卡玛(Atacama)断裂西侧, 长约 1000 km。并可进一步分为前侏罗纪弧前

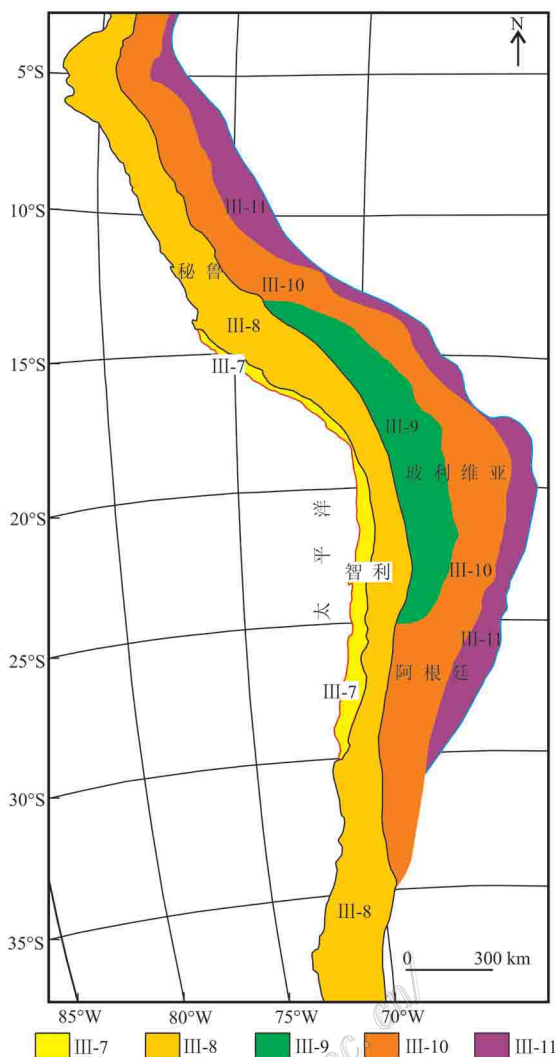


图 3 中安第斯成矿省Ⅲ级成矿带划分图

Ⅲ-7—海岸安第斯; Ⅲ-8—西安第斯; Ⅲ-9—中部高原安第斯;
Ⅲ-10—东安第斯; Ⅲ-11—次安第斯

Fig. 3 Map of the third class metallogenic belts in the middle Andean metallogenic province

Ⅲ-7—Coastal Andes; Ⅲ-8—West Andes; Ⅲ-9—Central plateau Andes; Ⅲ-10—East Andes; Ⅲ-11—Minor Andes

增生楔与造山型 Au-Cu 成矿亚带、侏罗纪—白垩纪主火山岛弧 IOCG 和热液型 Au-Cu 成矿亚带以及弧盆反转构造带中 IOCG 和浅成低温热液型 Au-Ag 多金属以及斑岩 Cu-Au 成矿亚带 3 个Ⅳ级成矿亚带(张立新等, 2010; 李建旭等, 2011a; 李建旭等, 2011c; 方维萱等, 2014;)。典型矿床主要有坎德拉里亚(Candelaria)Cu 矿床(116~114 Ma)、曼陀贝尔德(Mantoverde)Cu 矿床(117~123 Ma)和埃索达多(El Soldado)Cu 矿床((103±2) Ma)等。

2.2.2 西安第斯斑岩型 Cu、Au 多金属成矿带

位于中安第斯成矿省西侧, 平行太平洋海岸线

呈NW—近SN向展布,从厄瓜多尔南部向南穿越秘鲁、玻利维亚西部、阿根廷西北部并一直延伸到智利南部(图3)。其成矿地质背景为中生代—新生代岛弧环境的构造-岩浆岩带,是中安第斯成矿省中最重要斑岩型Cu、Au、多金属成矿带。

在秘鲁,该带被称为西安第斯中生代—新生代Cu-Mo-Au-Ag成矿带,带内主要金属矿产为Cu、Mo、Au、Ag、Pb和Zn,主要矿床类型为斑岩型Cu(Mo、Au)矿床,如塞罗巴贝尔德(Cerro Verde)、夸霍内(Cuajone)、盖伊拜科(Quellaveco)、托克帕拉(Toquepala)、拉格兰哈(La Granja)和特罗莫克(Toromoch)等十几个超大型矿床;以及属于斑岩型成矿系统的热液型Au-Ag矿床和矽卡岩型多金属矿床,如亚纳科查(Yanacocha)和安塔米纳(Antamina)矿床等;此外,还有与侵入岩相关的多金属矿床,如塞罗德帕斯科(Cerro de Pasco)和卡斯特罗维雷纳(Castrovirreyna)矿床等,以及与火山岩有关的块状硫化物矿床。

可进一步划分出15个Ⅳ级成矿亚带:中侏罗世斑岩型Cu-Mo成矿亚带;晚侏罗世阿尔比阿勒(Albiano)火山块状硫化物成矿亚带;晚白垩世与侵入岩体有关的Au-Pb-Zn-Cu成矿亚带;晚白垩世斑岩型Cu-Mo成矿亚带;晚白垩世—古新世火山块状硫化物Pb-Zn-Cu成矿亚带;晚白垩世—古新世热液型Au-Ag成矿亚带;古新世—始新世斑岩型Cu-Mo和与侵入岩有关的多金属成矿亚带;始新世与侵入岩有关的Au-Cu-Pb-Zn成矿亚带;始新世—渐新世斑岩—矽卡岩型Cu-Mo(Au、Zn)和与侵入岩有关的Cu-Au-Fe成矿亚带;始新世热液型Au-Ag和始新世—渐新世—中新世多金属成矿亚带;渐新世热液型Au-Ag成矿亚带;中新世斑岩型Cu-Mo-Au、矽卡岩型Pb-Zn-Cu-Ag和与侵入岩有关的多金属成矿亚带;中新世热液型Au-Ag成矿亚带;中新世与侵入岩有关的W-Mo-Cu成矿亚带;中新世—上新世热液型Au-Ag成矿亚带。

在智利,该带被称为主科迪勒拉成矿带,呈近南北走向沿智利海岸延长约2000 km,是智利最重要的Cu、Mo、Au多金属成矿带。智利的大型—超大型斑岩型Cu-Mo、Cu-Au矿床几乎都分布在该带上,如丘基卡马塔(Chuquicamata)铜储量6637万吨、埃尔特尼恩特(El Teniente)铜储量9435万吨、萨尔瓦多(Salvador)铜储量1129万吨、安迪纳(Andina)、埃斯康迪达(Escondida)铜储量3249万吨、里

奥布兰卡(Ferdinand)、洛斯布隆塞斯(Los Bronces)、迪斯普塔达(Disputada)、楚基北(Chuqui Norte)铜储量1655万吨)和曼萨米纳(Nansa Mina)铜储量845万吨)矿床等。根据新生代火山-岩浆弧和斑岩成矿带特征,进一步分为5个Ⅳ级成矿亚带:北部火山-深成岩浆弧斑岩型Cu-Au-Mo为主浅成低温热液型Au-Ag多金属成矿带;南部火山-深成岩浆弧斑岩型Cu-Au-Mo为主浅成低温热液型Au-Ag多金属成矿带;智利前科迪勒拉造山带斑岩型Cu-Au-Mo为主浅成低温热液型Au-Ag多金属成矿带;智利Maricunga斑岩Au成矿带;造山型Au-Ag多金属成矿带。

2.2.3 安第斯中部高原钾盐-Li-硝石成矿带

发育于中安第斯成矿省的中部,分布于玻利维亚中西部、智利中北部和阿根廷西北部一带(图3)。主要由侏罗纪—早白垩世弧后沉积岩、晚白垩世—古新世火山岩和沉积岩、新近纪—第四纪凝灰岩和山麓沉积物构成,其间发育有一系列新近纪—第四纪的盐湖。由于新生代强烈的火山作用为盐湖提供了丰富Li、K、Na、B和Mg等盐类资源,高原强烈的蒸发作用,使湖水中K、Li、B、Mg等资源富集形成矿产。

该带在玻利维亚被称为玻利维亚高原和西科迪勒拉蒸发岩成矿带,带内分布有众多的盐湖,常含有丰富的B、K、Li、Mg和其他蒸发盐类矿物。其中乌尤尼(Uyuni)为世界上最大含Li盐湖,盐湖面积约为10 000 km²,湖中Li资源量可达890万吨,还含有K为19 400万吨、B为770万吨和Mg为21 100万吨。科伊帕萨(Coipasa)盐湖是玻利维亚第二大盐湖,面积达2500 km²,估算K资源量320万吨和Li资源量20万吨。

在阿根廷,该带分布于阿根廷西北部的普纳(Puna)高原区,被称为拼合后湖相蒸发盐型石膏-岩盐-钾盐-硼酸盐成矿带。在普纳地区分布有一系列盐湖,如胡胡伊(Jujuy)省的萨利纳斯格兰德(Salinas Grande)、胡胡伊和萨尔塔(Salta)省的翁布雷姆埃托(Ombu REM Peurto)、林孔(Rincon)、萨尔塔省的塔卡塔卡(Taka Taka)、森特纳里奥(Centenario)和里奥格兰德(Playa de Genipabu)等。在不同的盐湖中,各种盐的富集比例不同,有氯化物、硼酸盐、硫酸盐,还有Na、Mg、K、Ca和Li等。萨利纳斯格兰德盐湖富含硼酸盐与食盐;翁布雷姆埃托和林孔盐湖富含硼酸盐、食盐和丰富Li;塔卡塔卡富含食盐;森特纳

里奥富含硼酸盐以及萨尔塔的里奥格兰德盐湖富含硫酸盐等。B和Li与当地的火山热液活动有关,从而导致这里盐的成分与次安第斯地区明显不同。

在智利称为中央盆地盐湖卤水型钾盐-Li-硝石成矿带,分布于智利北部中央(弧间)盆地内,主要为K、Li和硝石等非金属矿产,其中硝石资源十分丰富。

2.2.4 东安第斯金、银、多金属成矿带

位于中安第斯成矿省东侧(图3),走向与西安第斯等其它成矿带相同,亦呈NW—近SN向展布。从厄瓜多尔南部向南穿越秘鲁、玻利维亚和阿根廷,沿智利-阿根廷边界延伸到智利南部,并在此处与西安第斯成矿带合并。成矿地质背景为中生代—新生代岛弧及弧后环境的构造-沉积-岩浆带。成矿金属主要有Au、Ag、Pb、Zn、Cu、Mo、Sn、Sb和W,矿化类型主要为浅成热液型、沉积型、矽卡岩型及斑岩型等。其中,Sn、Ag、Au、W和Sb资源丰富,形成多个世界级的Sn、Ag、Pb、Zn多金属矿床。

在秘鲁,该带呈NW-SE向展布于秘鲁中部,带内主要金属矿产为Au、Cu、Mo、Ag、Pb、Zn、Sn和W,成矿作用时代和矿床类型复杂多样,包括东科迪勒拉造山广泛分布的早古生代沉积型Au矿床,如拉林科纳达(La Rinconada)矿床;中部高山区的石炭纪—二叠纪造山型Au矿床,如莱达马斯-帕考伊(Retamas-Parcoy)矿床;中部的二叠纪矽卡岩型矿床,如科布雷萨(Cobrixa)Cu-Ag矿等。在秘鲁本带可进一步划分为5个Ⅳ级成矿亚带:奥陶纪和志留纪—泥盆纪沉积岩型Au矿床成矿亚带;石炭纪—二叠纪造山带型Au-Pb-Zn-Cu成矿亚带;二叠纪斑岩-矽卡岩型Cu-Mo-Zn和与侵入岩体有关的Au-Cu-Pb-Zn成矿亚带;晚侏罗世斑岩和矽卡岩型Cu-Au成矿亚带;渐新世—中新世与侵入岩有关的Sn-Cu-W和热液型Ag-Pb-Zr(Au)成矿亚带。

本带呈近NW-SN向弧形展布于玻利维亚西部,是玻利维亚最重要的成矿带,以产有丰富的Sn、Ag、Sb、Pb、Zn和Au等矿产著名。典型矿床有波托西塞罗里科(Cerro Rico)Sn-Ag矿、亚亚瓜(Llallagua)Sn矿和卡尔玛(Kharma)Sb-Au矿等。在玻利维亚本带可进一步分为锡成矿亚带、Au-Sb成矿亚带和Pb-Zn成矿亚带等3个Ⅳ级成矿亚带。

在阿根廷,该带分布于阿根廷西部,呈南北向带状展布,是阿根廷最重要Cu、Ag、Pb、Sn、Mo、Mn和U等矿产分布区。依据成矿时代、成矿构造环境和

成矿组合,可进一步划分为15个Ⅳ级成矿亚带:早古生代与蛇绿岩有关的Fe、Ni、Cu成矿亚带;早古生代Cu-Pb-Zn稀有金属成矿亚带;早古生代Pb-Zn-Ag-Au-Sb成矿亚带;早古生代Pb-Zn-Ag成矿亚带;早古生代W-Sn多金属与稀有金属成矿亚带;早古生代铁矿成矿亚带;中生代沉积型Cu、U成矿亚带;晚古生代Cu-Mo-Au多金属成矿亚带;侏罗纪Cu成矿亚带;白垩纪Cu-Mo-Au多金属成矿亚带;新近纪Cu-Mo-Au多金属成矿亚带;古近纪Cu-Mo-Au多金属成矿亚带;古近纪Cu-Mo-Au多金属成矿亚带;白垩纪Cu-U成矿亚带;白垩纪U成矿亚带。

2.2.5 次安第斯成矿带

分布于中安第斯成矿省最东侧(图3),由古生代的海相硅质碎屑沉积岩和中生代、古近纪陆相沉积岩组成。带内成矿作用主要以火山-沉积成矿作用为主,矿化类型主要为密西西比河谷型(MVT),浅成低温热液型和沉积型(Au-Ag贵金属和Cu-Pb-Zn多金属矿为主)。

在秘鲁,本带位于秘鲁中北部地区克迪勒拉造山带东边的山脚,主要矿床类型为MVT铅锌矿,规模普遍不大,如索罗科(Soloco)铅锌矿床,此外沿沟谷和水系有砂金矿床分布。可划分为始新世—中新世MVT型Pb-Zn成矿亚带和砂金矿亚带。

在玻利维亚,本带发育在玻利维亚中南部的次安第斯(Subandean)一带,主要集中在奎沃(Cuevo)盆地,有MVT型Zn-Ag矿和Cu矿。在贝尼(Beni)河流的部分支流盆地中具有来自晚中新世和上新世Tutumo组砾岩侵蚀的冲积型砂金矿,如代盖亥(Tequeje)河和玛尼革(Maniqui)河。在堆赤(Tuichi)河中还可能存在冲积型金刚石砂矿。

在阿根廷中部,特别是在圣-胡安(San Juan)和门多萨(Mendoza)的山区,有喷流沉积型(Sedex)Zn-Pb-Ba($\pm$ Cu)矿床和浊积岩中的Au-Sb矿床,以及脉状及角砾岩中的Sb矿床(不同成因的)等,可能还存在二叠纪—三叠纪与碰撞后花岗岩和陆地流纹岩有关的斑岩型Cu($\pm$ Mo $\pm$ Au)矿床等。

2.3 南安第斯成矿省

南安第斯成矿省位于瓦尔迪维亚(Valdivia)断裂(大致南纬39°)以南,包括智利和阿根廷的南部,成矿省基底由属巴塔哥尼亚(Patagonia)地体的前寒武纪—古生代变质岩组成。中生代—新生代火山-岩浆活动比中安第斯构造区相对较弱,且岩性较为偏基性,主要以玄武质或玄武安山质为主(任爱军等,

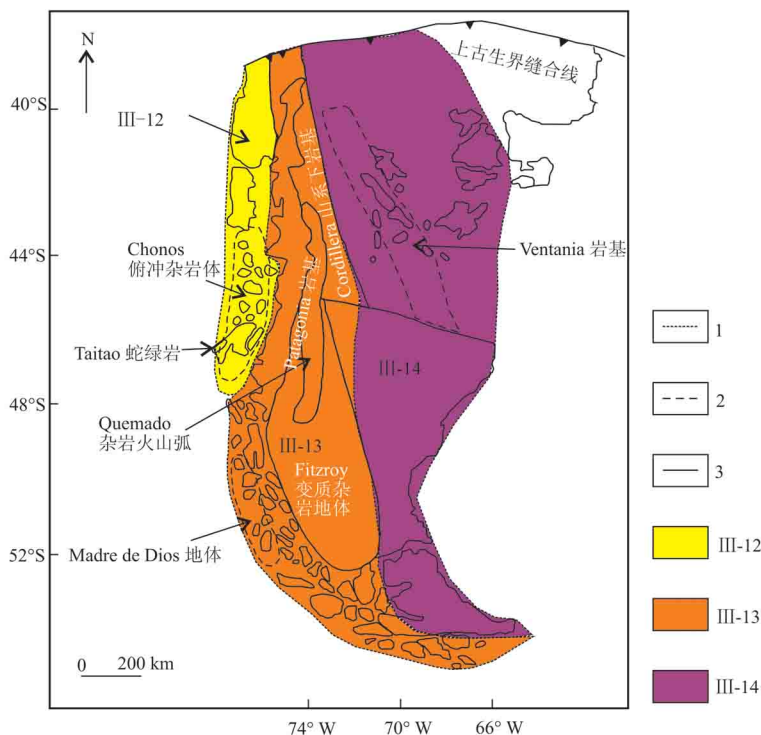


图 4 南安第斯成矿省Ⅲ级成矿带划分图

1—成矿带边界; 2—盆地边界; 3—地体边界; Ⅲ-12—海岸安第斯; Ⅲ-13—主安第斯; Ⅲ-14—次安第斯

Fig. 4 Map of the third class metallogenic belts in south Andean metallogenic province

1—Metallongenetic boundary; 2—Basin boundary; 3—Terrain boundary; Ⅲ-12—Coastal Andes; Ⅲ-13—Major Andes; Ⅲ-14—Minor Andes

1993; 任爱军, 1993)。成矿作用也与中安第斯有很大差异, 基本没有斑岩型矿床存在, 浅成低温热液型的 Au、Ag、多金属矿床是本区重要的矿床类型, 并且是石油、天然气、煤和铁等矿产富集区。

主要成矿类型有: 与元古代变质基岩有关的喷流沉积型(Sedex)Zn-Pb-Ba-Ag 矿床和 Ba 矿床; 志留纪—泥盆纪与被动陆缘沉积有关的层状铁矿床和喷流沉积型 Zn-Pb-Ba-Ag 矿床; 二叠纪—三叠纪与碰撞后花岗岩和陆地流纹岩有关的浅成低温热液型 Mn 矿床、浅成低温热液硫化物型 Au-Ag-Cu 矿床、火山成因 U 矿床、破碎带型 Bi-Cu-Au 矿床和脉状及角砾岩中(不同成因的)的萤石矿; 侏罗纪—白垩纪与裂谷火山活动有关的浅成低温热液型 Au 矿床; 古近纪—新近纪与热水沉积有关的沉积型 Ba 矿床、沉积型层状 Ba-Sr 矿床和沉积型层状 Cu 矿床等。

由于南安第斯成矿省地质研究工作程度相对较低, 成矿分带特征相对北安第斯和中安第斯来说不明显, 依据构造环境和成矿特征, 大体上可将南安第斯成矿省自西而东划分为 3 个Ⅲ级成矿带(图 4): 海岸安第斯成矿带、主安第斯成矿带和次安第斯成矿

带。海岸安第斯主要是 Pt、Au 多金属成矿带, 主安第斯主要是 Au、Ag 多金属成矿带, 而次安第斯主要是 Fe 和能源矿产成矿带。

3 小 结

根据安第斯带基底组成、构造-岩浆演化、板块俯冲形式的差异, 以及安第斯成矿带主要成矿作用特征和成矿类型的不同, 将安第斯带自北而南划分为 3 个Ⅱ级成矿省: 北安第斯成矿省、中安第斯成矿省和南安第斯成矿省, 并在北安第斯成矿省中划分出 6 个Ⅲ级成矿带, 中安第斯成矿省划分出 5 个Ⅲ级成矿带, 南安第斯成矿省划分出 3 个Ⅲ级成矿带, 部分Ⅲ级成矿带在区域内是南北贯穿的, 同时对一些Ⅲ级成矿带进一步划分出Ⅳ级成矿亚带。本文为安第斯地区成矿区带的进一步划分和区域成矿规律的总结研究提供了基础性信息, 也为今后中国能更好地开发和利用安第斯地区矿产资源提供了技术支持。

志 谢 衷心地感谢 3 位评审专家和责任编辑对本稿件的评审并提出了宝贵的意见和建议! 这些意见和建议对稿件的进一步完善提供了极大的帮助! 感谢首钢地质勘查院地质研究所滕正双工程师在图件绘制方面提供的帮助! 同时, 也在此对参与该项地质调查项目所有人员表示诚挚的感谢!

References

- Bahlburg H and Herve F. 1997. Geodynamic evolution and tectonostratigraphic terranes of northwestern Argentina and northern Chile [J]. Geological Society of America Bulletin, 109: 869-884.
- Bourgeois J, Martin H, Lagabriele Y, Le M J and Frutos J J. 1996. Subduction erosion related to spreading-ridges subduction: Taitao peninsula (Chile margin triple junction area) [J]. Geology, 24: 723-726.
- Brito-Neves B B, Campo Neto M C and Fuck R A. 1999. From Rodinia to western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage [J]. Episodes, 22: 155-166.
- Cordani U, Milani E J, Thomaz-Filho A and Campos Neto M C. 2000. Tectonic evolution of South America [M]. Rio de Janeiro. 53-70.
- Fang W X and Li J X. 2014. Metallogenic regulations, controlling factors, and evolutions of iron oxide copper and gold deposits in Chile [J]. Advances in Earth Science, 29(9): 1011-1024 (in Chinese with English abstract).
- Francisco C. 2005. The Andean porphyry systems: Super porphyry copper & gold deposits: A global perspective [J]. PGC Publishing Adelaide, 1: 45-63.
- Franzese J R and Spalletti L A. 2001. Late Triassic-Early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: Tectonic segmentation and pre-break-up rifting [J]. Journal of South American Earth Sciences, 14: 57-270.
- Gerardo B, Camus F, Carrasco P and Ware H. 2001. Aeromagnetic signature of porphyry systems in northern Chile and its geologic implication [J]. Econ. Geol., 96: 239-248.
- He M S, Tang K and Zou G S. 2014. Geological characteristics and metallogenic regularity of the porphyry copper deposits in Chile [J]. Geology and resources, 23(3): 305-310 (in Chinese with English abstract).
- Ju L, Zhang G Y, Wen Z X and Wang W G. 2011. Segmentation of sub-Andean retro-arc foreland basins in western South America [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 33(4): 431-441 (in Chinese with English abstract).
- Keppie J D and Ramos V A. 1999. Odyssey of terranes in the Iapetus and Rheic oceans during the Paleozoic [M]. Geological Society of America (GSA). 267-276.
- Li J X, Fang W X and Liu J J. 2011a. Types and characteristics of regional tectonic and ore-field structures of iron oxide-copper-gold deposits in Chile [J]. Geology and Exploration, 47(2): 323-332 (in Chinese with English abstract).
- Li J X, Zheng H Y and Gao H O. 2011b. Geological characteristics and ore marks for prospecting of Los Quilos copper deposit in Chile [J]. Contribution to Geology and Mineral Resources Research, 26(1): 85-59 (in Chinese with English abstract).
- Li J X and Fang W X. 2011. Control of structure and magma for iron oxide copper gold and porphyry copper gold deposits [J]. China Mining Magazine, 20(10): 57-61 (in Chinese with English abstract).
- Mei Y X, Pei R F, Yang D F, Da Z F, Li J W, Xu C R and Qu H Y. 2009. Global metallogenic domains and districts [J]. Mineral Deposits, 28(4): 383-389 (in Chinese with English abstract).
- Moore E and Twiss R J. 1995. Tectonics [M]. New York. 122-150.
- Mpodozis C and Ramos V A. 1990. Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources [M]. United States: Houston. 59-90.
- Pei R F, Li J W and Mei Y X. 2005. Metallogeny of continental margin [J]. Geotectonica et Metallogenia, 29(1): 24-34 (in Chinese with English abstract).
- Qu H Y, Pei R F, Mei Y X, Wang H L, Li J and Wang Y L. 2013. Metallogenic characteristics of superlarge and exceptional superlarge Cu deposits abroad [J]. Geology in China, 40(2): 371-390 (in Chinese with English abstract).
- Ramos V A. 2000. Tectonic evolution of South America: The southern central Andes [M]. Rio de Janeiro. 561-604.
- Ramos V A and Aleman A. 2000. Tectonic evolution of the Andes [M]. Rio de Janeiro. 635-685.
- Ren A J. 1993. Review and prospecting of the comparing study between the southern Andes and the southern pole [J]. Volcanology and Mineral Resources, 14(4): 60-67 (in Chinese).
- Ren A J, Jin Q M, Jing F J and Liang Y. 1993. Mesozoic tectonic evolution of southern Andes [J]. Volcanology and Mineral Resources, 14(4): 12-26 (in Chinese with English abstract).
- Tian N X, Chen W X, Yin J Y and Ma Y S. 2011. Hydrocarbon accumulation and main controlling factors in typical foreland basins in pediment of the Andes [J]. Xinjiang petroleum geology, 33(6): 692-695 (in Chinese with English abstract).
- Xie Y F, Liu Y M, Ma Z Z and Zhang Z W. 2012. Petroleum geology and exploration of the foreland in southern America [M]. Beijing: Petroleum Industry Press. 7-25 (in Chinese).
- Ye D L, Xu W M and Chen R L. 2007. Oil-gas resources and exploration and development potential of south America [J]. China Petroleum Exploration, 12(2): 70-75 (in Chinese with English abstract).
- Zhao W J. 2007. Deep tectono-magmatic setting for metallogenesis of large porphyry copper deposits [J]. Geology in China, 34(2): 179-

205 (in Chinese with English abstract).

Zhang L X, Zhou J and Jia C S. 2010. The Mesozoic stratabound type copper (silver) deposits in the coastal range of middle and northern Chile [J]. Mineral Exploration, 1(4):393-399 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

方维萱, 李建旭. 2014. 智利铁氧化物铜金型矿床成矿规律、控制因素与成矿演化 [J]. 地球科学进展, 29(9):1011-1024.

贺明生, 唐珂, 邹赣生. 2014. 智利斑岩型铜矿地质特征及成矿规律 [J]. 地质与资源, 23(3):305-310.

据亮, 张光亚, 温志新, 汪伟光. 2011. 南美西部次安第斯弧后前陆盆地分段特征 [J]. 新疆石油地质, 32(4):431-441.

李建旭, 方维萱, 刘家军. 2011a. 智利铁氧化物-铜-金矿床区域定位构造——矿田构造类型与特征 [J]. 地质与勘探, 47(2):323-332.

李建旭, 郑厚义, 高海鸥. 2011b. 智利劳斯奎洛斯 (Los Quilos) 铜矿床地质特征及找矿标志 [J]. 地质找矿论丛, 26(1):85-89.

李建旭, 方维萱. 2011c. 铁氧化物铜-金矿床与斑岩铜矿的构造控制及岩浆作用 [J]. 中国矿业, 20(10):57-61.

梅燕雄, 裴荣富, 杨德凤, 戴自希, 李进文, 徐丛荣, 瞿泓滢. 2009. 全球成矿域和成矿区带 [J]. 矿床地质, 28(4):383-389.

裴荣富, 李进文, 梅燕雄. 2005. 大陆边缘成矿 [J]. 大地构造与成矿学, 29(1):24-34.

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(2):371-390.

任爱军. 1993. 南安第斯—南极半岛对比研究的现状回顾和展望 [J]. 火山地质与矿产, 14(4):60-67.

任爱军, 金庆民, 荆福建, 梁勇. 1993. 南安第斯中生代构造演化 [J]. 火山地质与矿产, 14(4):12-26.

田纳新, 陈文学, 殷进垠, 马亚松. 2011. 安第斯山前典型前陆盆地油气成藏特征及主控因素 [J]. 新疆石油地质, 32(6):692-695.

谢寅符, 刘亚明, 马中振, 张志伟. 2012. 南美洲前陆盆地油气地质与勘探 [M]. 北京:石油工业出版社. 7-25.

叶德燎, 徐文明, 陈荣林. 2007. 南美洲油气资源与勘探开发潜力 [J]. 中国石油勘探, 12(2):70-75.

赵文津. 2007. 大型斑岩铜矿成矿的深部构造岩浆活动背景 [J]. 中国地质, 34(2):179-205.

张立新, 周佳, 贾长顺. 2010. 智利中北部海岸山脉中生代层控型铜(银)矿床 [J]. 矿产勘查, 1(4):393-399.