doi: 10.12029/gc20170404

赵宏军, 卢民杰, 周尚国, 叶锦华, 陈秀法, 张潮, 郭维民, 黄费新, 姚春彦. 2017. 南美洲铁矿重要成矿区带与成矿规律研究[J]. 中国地质, 44(4): 690-706.

Zhao Hongjun,Ye Jinhua, Chen Xiufa, Zhang Chao, Chen Yuming, Wang Liangliang, Chen Xifeng, Cui Minli. 2017. A study of key metallogenetic zones and principal metallogeic regularities of iron ore resources in South American countries[J]. Geology in China, 44(4): 690–706(in Chinese with English abstract).

南美洲铁矿重要成矿区带与成矿规律研究

赵宏军1卢民杰2周尚国3叶锦华1陈秀法1张潮1郭维民4黄费新3姚春彦4

(1.中国地质调查局发展研究中心,北京100037;2.中国地质科学院地质研究所,北京100037;3.中国冶金地质总局矿产资源研究院,北京101300;4.中国地质调查局南京地质调查中心,江苏南京210016)

提要:南美洲铁矿资源丰富、分布广泛、矿床规模大、矿石品位高、类型较齐全。从南美洲大地构造格架分析,分布在 克拉通地盾区或其边缘的沉积-变质型铁矿和分布在安第斯海岸造山带的火山成因型铁矿最为重要,沉积-变质型 铁矿主要形成于太古宙一元古宙,火山成因型铁矿主要形成于中新生代。综合研究分析,圈出10个铁矿重要成矿 区带,主要分布在委内瑞拉的玻利瓦尔州,巴西的阿马帕州、帕拉州、米纳斯吉拉斯州、北里奥格兰德州、巴拉伊巴 州、巴伊亚州、南马托格罗索州,玻利维亚的圣克鲁斯州,秘鲁的伊卡—阿雷基帕海岸带和智利的卡拉马—圣地亚哥 海岸带等。通过对重要成矿区带内典型矿床的剖析,并采用统计分析方法总结南美洲铁矿成矿时空分布规律,为未 来在该区寻找更多的铁矿资源提供参考。

关键 词:南美洲;铁矿;资源特征;成矿区带;成矿规律

中图分类号:P618.31 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2017) 04-0690-17

A study of key metallogenetic zones and principal metallogeic regularities of iron ore resources in South American countries

ZHAO Hongjun¹, LU Minjie², ZHOU Shangguo³, YE Jinhua¹, CHEN Xiufa¹, ZHANG Chao¹, GUO Weimin⁴, HUANG Feixin³, YAO Chunyan⁴

(1. Development and Research Center of China Geological Survey, 100037, Beijing, China; 2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. Institute of Mineral Resources Research, China Metallurgical Geology Bureau, Beijing 101300, China; 4. Nanjing Center of China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

Abstract: South America is rich in iron ore resources, which are characterized by widely distributed world-class iron deposits, high grade of orebodies, and a variety of deposit types. An analysis of tectonic framework of South America shows that the most important types of iron deposits include sedimentary metamorphic type which is distributed in cratonic shield area and its edge, and volcanic origin type which is distributed in Andean coastal orogenic belt. The former mainly formed in the Archean Proterozoic, whereas the latter mainly formed in Mesozoic and Cenozoic. The results of comprehensive studies show that 10 important iron

http://geochina.cgs.gov.cn 中国地质, 2017, 44(4)

收稿日期:2017-07-20;改回日期:2017-08-20

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(121201004000150010、:121201004000150009、1212011220912)及国家国际科技合作专项 (2011DFA22460)联合资助。

作者简介:赵宏军,男,1969年生,教授级高级工程师,主要从事境外成矿区带和黑色金属资源潜力研究;E-mail:zhaohongjun2008@126.com。

metallogenic zones can be delineated: Bolivar iron zone of Venezuela, Amapa iron zone of Brazil, Para iron zone of Brazil, Minas gerais iron zone of Brazil, Rio Grande do Norte iron zone of Brazil, balaiba iron zone of Brazil, Bahia iron zone of Brazil, Mato Grosso do Sul iron zone of Brazil, Santa Cruz iron zone of Bolivia, Ika- Arequipa iron zone of Peru, and Calama-Santiago coastal iron zone of Chile. Based on an analysis of typical deposits in important metallogenic zones and statistical analysis methods, the authors have summarized the temporal and spatial distribution regularities of iron mineralization in South America with the purpose of providing references so as to find more iron ore resources in this area in the future.

Key words: South America; iron ore; important iron ore forming area; metallogenic regularity

About the first author: ZHAO Hongjun, male, born in 1969, professor, mainly engages in the offshore metallogenic belt and ferrous metal resources potential research; E-mail: zhaohongjun2008@126.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Project (No. 121201004000150010, No. 121201004000150009, No. 1212011220912) and National International Scientific And Technological Cooperation Project (No. 2011DFA22460).

1 引 言

南美洲以铜、铁、锂、金、银等闻名于世(陈玉明 等,2017)。其铁矿类型多样、资源丰富,在全球铁 矿成矿规律研究、资源开发和贸易中占有举足轻重 的地位。该洲铁矿床主要类型有沉积-变质型和火 山成因型铁矿,主要分布于委内瑞拉的玻利瓦尔 州,巴西的阿马帕州、帕拉州、米纳斯吉拉斯州、北 里奥格兰德州、巴拉伊巴州、巴伊亚州、南马托格罗 索州,玻利维亚的圣克鲁斯州,秘鲁的伊卡一阿雷 基帕海岸带和智利的卡拉马—圣地亚哥海岸带等 (郭维民等,2013;曾勇等,2015;方维萱等,2014;姚 春彦等,2014;陈玉明等,2017,待出版)。南美洲已 成为中国第二大铁矿石来源地,目前年进口铁矿石 量超过2.2亿t,主要进口于巴西、秘鲁、委内瑞拉等 国(中国海关信息网,2017)。

近10年来,中国地质调查局在南美洲开展了多 项国际合作项目,系统收集、积累了大量南美洲地 质矿产资料,是"全球地质矿产信息系统"的重要组 成部分。国内外学者虽对南美洲铁矿床开展过一 些研究,多集中于典型铁矿床成岩成矿年代学、矿 床成因,重要成矿带铁矿成矿规律等研究(郭维民 等,2013;曾勇等,2015;方维萱等,2014;姚春彦等, 2014),而对南美洲不同成因类型的铁矿床时空分 布规律尚缺系统的总结和梳理。为此,本文依托 "全球矿产资源信息系统",通过对收集的南美洲铁 矿地质资料的整理和综合研究,首次系统分析总结 了南美洲铁矿资源及禀赋特征、区域成矿背景、主 要矿床类型,圈出铁矿重要成矿区带10个,并采用 统计分析方法研究了铁矿的时空分布规律,对全面 了解认识南美洲铁矿地质特征、成矿规律和指导找 矿提供参考。

2 南美洲铁矿资源、禀赋特征

2.1 铁矿资源概述

南美洲铁矿资源丰富,根据美国地质调查局 (USGS 2017年)公布的数据,该洲铁矿石储量(系经 过可行性及预可行性研究,并对经济、开采、选冶、 环境、法律、市场、社会和政府等因素进行了修改后 表明在当时是经济的和可开发利用的那部分资源 量)超过300亿t,占世界铁矿石总储量(1700亿t)的 17.6%以上。南美洲铁矿资源主要分布在巴西、玻 利维亚、委内瑞拉、智利、秘鲁等国。其中,巴西铁 矿资源量(系指查明的铁矿资源的一部分和潜在资 源的总和,包括经可行或预可行性研究证实为次边界 经济的铁矿资源及经过勘查而未进行可行或预可行 性研究的内蕴经济的铁矿资源,以及经过预查后预测 的资源)927亿t(SNL数据库),约占南美洲铁矿资源 量的53.68%,全球铁矿资源量的11.33%;玻利维亚铁 矿资源量为402.9亿t(SNL数据库),在南美洲位列第 二,占全球铁矿资源总量的4.93%(表1)。

南美洲是全球铁矿勘查开发的热点地区之一, 特别是巴西,在2008年以前一直是全球最大的铁矿 石生产国(从2008年澳大利亚铁矿石产量开始超过 巴西)。2016年南美洲铁矿石年产量在4.5亿t,占全 球总产量的1/5强,铁矿石出口量约3.7亿t,占全球 铁矿石出口贸易量的1/4强(陈玉明等,2017)(表1)。 在南美洲铁矿资源处于第二位的玻利维亚,由

中

于身处内陆,缺少出海口,加之国内基础设施薄弱, 铁矿资源还处于未开发阶段;委内瑞拉、秘鲁和智 利尽管铁矿资源也都很丰富,从每年的产量看,开 发潜力巨大。

2.2 铁矿资源禀赋特征

南美洲铁矿资源丰富,是全球重要的铁矿石生 产和销售地,在世界铁矿石贸易中占有重要地位, 其铁矿资源禀赋特征如下:

(1)铁矿类型较齐全,沉积-变质型是最重要类型

南美洲铁矿类型较齐全,已发现的铁矿床类型 在南美洲均有发现。铁矿资源84%来自沉积-变质 型,15%来自火山成因型(我国典型的是产于南京 一芜湖地区的中生代陆相火山岩的玢岩型铁矿, 国外典型的有形成于古元古代的瑞典基鲁纳 (Kiruna)铁矿及形成于上新世一早更新世的智利 埃尔拉科(El.laco)铁矿),5%来自接触交代-热液型 (矽卡岩型),沉积型鲕状赤铁矿(少量)属难选冶类 型,本区并未开发(陈玉明等,2017,待出版)。

(2)铁矿分布广泛集中

南美洲铁矿资源也与其他地区一样,分布相对 集中,具有分布不均匀性。从大地构造环境看:主 要分布在南美地台的地盾区(董永观等,2013; Zappettini et al.,2005;Cordani,2000),其次是安第 斯造山带海岸科迪勒拉中段的秘鲁中南部一智利 北部(方维萱等,2014;肖荣,2013;席振,2011; Sillitoe.2003)。从地理位置看,主要分布在巴西的 米纳斯吉拉斯州、帕拉州、北里奥格兰德州、巴伊亚 州等,委内瑞拉的玻利瓦尔州,玻利维亚的圣克鲁 斯州,秘鲁的伊卡—阿雷基帕海岸带,智利的卡拉 马—圣地亚哥海岸带等。 (3)铁矿数量多,大型、超大型矿区资源量占主 导地位

根据SNL数据库资料统计,南美已发现具有一定规模的铁矿床(点)255处,其中超大型(>10亿t) 矿床有36处,大型(>1亿t,<10亿t)63处,中小型 (<1亿t)157处。大型、超大型铁矿数量不仅多,占 总发现数的38.7%,其资源量更占总量的99.33%,而 中小型矿区资源量仅占总量的0.67%。

(4)铁矿石品位高,多数矿石可直接入炉或易选

南美洲铁矿床大部分是赤铁矿,系前寒武纪含 铁建造在地质演化过程中遭受表生氧化和风化淋 滤作用而形成的(在风化作用下,脉石组分部分或 全部溶解和带走,金属矿物部分或全部转变成针铁 矿或赤铁矿,伴随淋滤作用,下渗的地表水溶解并 带走二氧化硅,使铁残留富集而成)(沈承珩等, 1995)。铁品位高,平均为62%,加工后成品粉矿品 位一般为65%~66%,块矿品位一般为64%~67%, 有害杂质少,属可直接入炉的高品位矿石;而磁铁 矿矿石一般铁品位也在45%~60%,易于采用磁选+ 浮选获得高品位(>66%)铁精粉。

(5)部分铁矿伴生有益组分较多,综合回收利 用潜力大

南美安第斯造山带海岸科迪勒拉中段的秘鲁中 南部一智利北部的火山成因型铁矿床中常含有铜、 金、铅锌、钴等伴生有益组分(方维萱等,2014;尚潞军 等,2017;Sillitoe et al.,2003),地盾区的沉积-变质型 铁矿中,锰、金、铜等元素含量也都较高(曾勇等, 2013,2015; 郭维民等,2013; 姚春彦等,2014; Monteiro,2008a,b),一些学者将该类型铁矿还称为铁 氧化物性铜、金矿床(IOCG型)(方维萱等,2014;曾勇

	14	ole i Sullillarj	of non ore resor	ii ees iii soutii i	interreu	
国别	铁矿资源量/亿 t	占世界比例/%	铁矿石产量/Mt	占世界比例/%	铁矿石出口量/Mt	占世界比例/%
巴西	927.0	11.33	410.4	20	344.4	24.7
秘鲁	75.9	0.93	12.2	0.6	11.6	0.8
智利	169.7	2.07	17.7	0.9	14.1	1.0
阿根廷	2.75	0.03	0.45	0.022		
哥伦比亚	1.5	0.02	0.20	0.01		
委内瑞拉	146.57	1.79	12	0.6	2.9	0.2
玻利维亚	402.9	4.93				
乌拉圭	0.53	0.006				
南美洲	1726.85	21.11	452.95	22.1	373	26.7
全球	8180.38	100	2049.73	100	1396.37	100

表1 南美洲各国铁矿资源概况 Table 1 Summary of iron ore resources in South America

注:资料来源于SNL数据库。

等,2013,2015),其综合回收利用潜力巨大。

3 区域成矿地质背景和主要矿床 类型

3.1 区域成矿地质背景

南美洲地处冈瓦纳成矿域与环太平洋成矿域 交汇部位,位于冈瓦纳成矿域西部的南美地台成矿 区,成矿地质构造背景以前寒武系地块及叠加其上 的显生宙沉积盆地和构造带占绝对优势(董永观 等,2013; Zappettini et al., 2005; Cordani et al., 2000),而位于环太平洋成矿域东环南段的安第斯



图 1 南美地质构造分区略图(据 Cordani et al. 2000) AM—亚马孙克拉通;SF—圣弗朗西斯科克拉通;RP—拉普拉塔克拉 通;SL—圣路易斯克拉通残片;LA—路易斯阿尔维斯克拉通残片; T—托坎廷斯造山带;B—博博尔马造山带;M—曼蒂凯拉造山带 Fig. 1 Sketch map of division of tectonics in South America (after Cordani et al., 2000)

AM-Amazonian craton; SF-Sao Francisco craton; RP-Rio de la Plata craton; SL-Sao Luis cratonic fragment; LA-Luis Alves cratonnic fragment; T-Tocantins orogenic belt; B-Borborma orogenic belt; M-Mantigueira orogenic belt 成矿区,成矿地质构造背景主要是显生宙造山带, 成矿时代以中新生代占绝对优势[•](卢民杰等, 2016)。在这两种截然不同的成矿构造背景下形成 了丰富的铁矿资源(图1)。

3.1.1 南美地台区铁矿成矿地质背景

南美地台主要由亚马孙、圣弗朗西斯科、拉普 拉塔克拉通等及小的克拉通残片(或陆核)组成 (Zappettini et al,2005;Cordani et a.l,2000),总体表 现为"三盾三盆"。"三盾"即圭亚那地盾、中巴西地 盾及大西洋地盾(又称圣弗朗西斯科地盾或巴西滨 海地盾),圭亚那地盾和中巴西地盾两者基底是相 连的,统称为亚马孙克拉通。"三盆"是指地盾之间 发育有三个沉积盆地,即亚马孙盆地、巴尔纳伊巴 盆地和巴拉纳盆地(图1)。

南美地台的这些地体在新元古代末期,在巴西 利亚一系列碰撞造山旋回作用下,才最终拼合,基 本形成现今的南美地台(Cordani et al., 2000; Santos et al., 2003)。受构造碰撞、拼贴作用影响,克 拉通之间或周边发育一系列构造活动带(如中巴西 地盾上的托坎廷斯造山带(Tocantins),大西洋地盾 上的博博尔马造山带(Borborma)和曼蒂凯拉造山 带(Mantigueira))。这些多期次复杂的构造岩浆活 动为该区众多大型超大型铁矿的形成创造了条件。 3.1.2 安第斯带铁矿成矿地质背景

安第斯成矿带是环太平洋成矿域的组成部分, 位于环太平洋成矿域的东南部,呈S-N向展布于南 美洲大陆西缘(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 中一新生代活动陆缘增生造山带(卢民杰等, 2016)。

安第斯带铁矿床主要分布在中安第斯岩浆弧一弧后盆地,盆地内充填的是侏罗纪和早白垩世的 火山沉积物及海-陆相沉积物,矿体受区内拉张环 境下形成的与海沟近平行的深大断裂控制。

3.2 成因类型

南美洲铁矿床类型以分布在地盾区的沉积-变 质型最为重要,约占铁矿总量的85.5%,其次是分布 在秘鲁中南部到智利中部圣地亚哥地区的火山成 因型铁矿床,约占10%;接触交代-热液型约占 4.5%,此外还有少量的海相沉积型铁矿床。

地盾区沉积-变质型铁矿按形成时代可以划分

中

为3组:①古太古代(3.7~3.4 Ga),如圭亚那地盾伊 玛塔卡杂岩体内的铁矿床(Zappettini et al.,2005;沈 承珩,1995);②新太古代(2.8~2.5 Ga),如巴西米纳 斯一吉拉斯和卡拉加斯地区(曾勇等,2013;郭维民 等,2013;姚春彦等,2014;Monteiro et al.,2008a,b; 沈承珩,1995);③新元古代,如巴西和玻利维亚交 界处的穆通一乌鲁库姆地区的铁矿床(沈承珩, 1995)。

与火山成因有关的铁矿床主要分布在从秘鲁 中南部到智利中部的圣地亚哥长约2000 km的安第 斯海岸带,主要矿床有秘鲁的马尔科纳铁矿、邦沟 铁矿,智利的科罗拉多铁矿、罗梅拉尔铁矿等[●] (Chen et al., 2010a,b)。

4 重要铁矿成矿区带及典型矿床(区) 地质特征

4.1 重要铁矿成矿区带

在综合已知铁矿床(点)类型及分布特征、容矿 岩体或火山-沉积岩展布特点、大地构造背景、铁矿 成矿地质条件连续性、找矿标志分布特点、遥感、航 磁、地球化学异常分布特点等,本文在南美洲共圈 出10个重要铁矿成矿区带(图2,表2)。

4.2 典型矿床(区)地质特征

4.2.1 巴西铁四角铁矿区

铁四角矿区位于巴西东南部米纳斯吉拉斯州 贝洛奥里藏特(Belo Horizonte)市南部,面积约 15000 km²。因其在平面上大致呈四边形,且赋存有 丰富的高品位铁矿石,所以最早被Dorr(1969)称为 "铁四角"。区内发现的铁矿床有数十个,资源量达 250亿t,是巴西最大的铁矿区之一。

4.2.1.1 大地构造背景

铁四角地区位于圣弗朗西斯科克拉通的南缘,其 核部为克拉通,周围是巴西利亚旋回(0.8~0.6 Ga)形 成的造山带。该区构造演化复杂,至少遭受古元古代 的泛亚马逊运动(2.1~2.0 Ga)和新元古代—早古生代 的巴西利亚—泛非运动(0.65~0.50 Ga)两次造山作用 的影响:泛亚马逊造山早期使该区形成NE-SW走向 的褶皱,之后又叠加了近NW-SE向的构造,形成大 规模走滑、逆冲断裂及褶皱;太古宙花岗质刚性地体 在泛亚马逊造山时期没有受到褶皱作用的影响,但经 历了再活化作用,有年轻的花岗岩体侵入,形成穹隆 构造;巴西利亚造山作用在区域上主要发育逆冲、走 滑断裂构造,其次为紧闭、等倾褶皱和韧性剪切带,并 对古老的大型向斜构造进行改造。

4.2.1.2 区域地质

质

铁四角地区出露的地层主要是克拉通结晶基 底,包括太古宙中一高级变质地体及花岗-绿岩组 合,另外还有古元古代的表壳岩及各种不同组成的 侵入岩。区内存在3个变质杂岩体:邦芬 (Bomfim)、贝洛奥里藏特(Belo Horizonte)及坎波 贝洛奥里(Campo Belo),均由TTG岩系及一些镁铁 质和超镁铁质侵入岩和绿岩带组成,这些变质杂岩 体构成了里奥达斯维尔哈斯(Rio das Velhas)超群; 米纳斯吉拉斯(Minas Gerais)超群不整合上覆于里 奥达斯维尔哈斯超群之上(Spier et al.,2007; Rosiere et al., 2008)。

米纳斯吉拉斯超群由下部的卡拉卡(Caraca)群 碎屑沉积岩、伊塔比拉(Itabira)群化学沉积岩及上部 的皮拉西卡巴(Piracicaba)和撒巴拉(Sabara)群碎 屑-化学混合沉积岩组成。伊塔比拉群下部为卡维 (Caue)组,由石英和白云质条带状铁建造(铁英岩)和 少量白云岩、页岩组成,是本区铁矿床最主要的赋矿 层位。卡维组在垂向及侧向上过渡为巨厚白云岩和 叠层石岩组成的甘达列拉(Gandarela)组(图3)。

铁四角地区遭受多期岩浆的侵入作用:新太古 代早期岩浆以英云闪长岩—奥长花岗岩—花岗闪 长岩TTG岩系为特点,晚期以铁镁质—超铁镁质杂 岩为特征;古元古代晚期受泛亚马孙造山作用的影 响,在陆核碰撞过程中,本区又发育了大量的花岗 质岩石。

铁四角地区东部和西部,变质作用程度和变形 强度存在明显差异。从北西到南东,变质程度逐渐 增强,在变质泥岩和铁英岩中,矿物颗粒逐渐增大, 变质作用从低级绿片岩相逐渐过渡到中一低级角 闪岩相。因此,铁四角地区又划分为西部低应变带 和东部高应变带2个变形变质带(Rosiere et al., 2004)。低应变带主要为铁闪石和镁铁闪石变质 带,表现为保存完好的巨型向斜构造;高应变带主 要为阳起石、透闪石-直闪石变质带,主要为逆冲、 走滑剪切带,形成紧闭等斜褶皱和糜棱岩带。

区内褶皱、断裂构造发育,主体构造线方向为 北西-南东向,也发育一些北东-南西向次级褶皱和



图2 南美洲重要铁成矿区带分布图

1—委内瑞拉伊玛塔卡铁成矿区带;2—巴西阿马帕铁成矿区带;3—巴西卡拉加斯铁成矿区带;4—巴西北里奥格兰德—巴拉伊巴铁成矿区带;
 5—巴西巴伊亚中部铁成矿区带;6—巴西米纳斯吉拉斯州"铁四角"及邻区铁成矿区带;7—玻利维亚—巴西边界木通—乌鲁库姆铁成矿区带;
 8—秘鲁中南部安第斯海岸带铁成矿区带;9—秘鲁安第斯造山带中部铁成矿区带;10—智利中北部安第斯海岸带铁成矿区带
 Fig. 2 Important metallogenic zones of iron in South America

1-Imataka iron ore zone of Venezuela; 2-Amapa iron ore zone of Brazil; 3-Carajas iron ore zone of Brazil; 4-Rio Grande do Norte-Paraiba iron ore zone of Brazil; 5-Central of Bahia iron ore zone of Brazil; 6-QuadrilateroFerrifero and adjacent areas in Minas Gerais iron ore zone of Brazil;
7-El Mutun iron ore zone of Bolivia-Urucum iron ore zone of Brazil; 8-Andean Coastal iron ore zone of Central and southern in Peru; 9-Andean orogenic belt iron ore zone of Central in Peru; 10-Andean Coastal iron ore zone of Central and s North in Chile

http://geochina.cgs.gov.cn 中国地质, 2017, 44(4)

			中	国 地 质		
	参考文献	姚春彦等,2014 SNL 数据库	Zappettini et al. 2005 SNL 数据库	姚春彦等, 2012 曾勇等, 2015 SNL 数据库	周尚国等, 2013 SNL 数据库	Zappettini et al,2005 SNL 数据库
	资源量/ 亿t	146	23	122	26	112
规模	范围/km	长约 500, 宽 80~100	长约 500, 宽约 200	长约 700, 宽约 100	长约 1000, 宽约 150	长约 700, 宽约 150
	成矿时代	古太古代— 新元古代	新大古代 晚期	古元古代	新元古代	古元古代
田智光	♥ /^ // // // // // // // // // // // //	沉积-变质 型(苏必利 尔型)	沉积-变质 型(阿尔戈 马型)	汽視-変质 裡(以求必 利尔裡方 士, 还有阿 介戈马型)	沉积-变质 型(苏必利 尔型)	沉积-变质 型(苏迩利
	简要地质特征	处于圭亚那地盾的北西边缘,条带状含铁建造 GBF)碱存在伊玛塔卡杂岩体角闪岩和麻粒岩带 (古太古代)内,大部分露头表现为薄层、连续的纹层状构造,具有典型化学沉积的特征。一 般地表形成由细粒赤铁矿和硬的次生针铁矿组成的盖帽,高品位铁矿床的形成一般都经历了断 层、褶皱构造作用及后期表生风化淋滤作用,矿石矿物主要为赤铁矿和磁铁矿	处于圭亚那地盾的东南缘与马罗尼一伊塔卡尤纳斯(Maroni-Itacaiumas)造山带的结合部,铁矿 赋存在一套主要为火山-沉积岩组成的伊塔卡尤纳斯超群中的帕拉群中部含铁建造中,含铁建造 上、下部为海底拉斑玄武质火山岩,铁矿层的展布受近东西向的复向斜制约,高品位铁矿体经 历了风化、淋滤和去硅富集作用,矿石矿物以赤铁矿组成的红富矿石为主,仅含少量磁铁矿; 本区还存在铁氧化物铜-金一轴矿床(IOCG),但并未按铁矿开发	处于亚马孙克拉通东南部边缘,其东邻托坎廷斯一巴西利亚褶皱带和马拉尼昂盆地,南部与里 奥玛丽亚似花岗岩-绿岩地体相接,西部被广泛分布的元古宿地层覆盖,北部被中元古代和新生 代沉积岩覆盖。铁矿床主要赢存在靠近北部的伊塔卡尤纳斯构造省的伊塔卡尤纳斯超群下部的 帕拉群中部火山岩-火山沉积岩系(卡拉加斯铁建造)中,矿层的展布受NWW 向复向斜控制。 高品位铁矿体经历了风化、淋滤和去硅富集作用。矿体表部为受强烈风化淋积(局部为冲、坡 积)形成的铁角砾岩及峰滨状铁帽,矿物为赤铁矿、针铁矿等,下部为赤铁矿组成的红富矿石, 多空洞,矿层厚度数十米至200m,再向下为由赤铁矿、石英(碧玉)毫米级互层组成,含少量 磁铁矿的铁英岩层。本区还存在铁氧化物铜金-铀矿庆(IOCG),但并未按铁矿开发	处于圣弗朗西斯科克拉通与博尔博雷马造山带的结合部,铁矿床赋存在一套以长英质的变火山 岩和泥顶变沉积岩组成的片麻岩为主,且有双峰弧火山岩和花岗质岩石侵入的互层片岩中,矿 体上部以受风化淋滤而成的赤铁矿为主,下部为层纹状的赤铁矿和磁铁矿	处于圣弗朗西斯科克拉通中东部,受区域裂谷.逆冲构造影响,在一些盆地或地堑内充填有古 中元古代 Espinhaco 超群及各种中基性侵入杂苦,狭矿体就赋存在这套火山"沉积岩中
	所在地区	委内瑞拉玻利瓦尔 州,沿奥里诺科河南 岸东西向展布	巴西阿马帕州东南 部, 亚马孙河入海口 的北岸, 近东西向展 布	巴西中部帕拉州东 南部,呈近南北向带 状展布	巴西东部的北里奥 格兰德州、巴拉伊巴 州和塞阿拉州, 呈弧 形展布	巴西东南部的巴伊 亚州中部,近南北向
	成矿区带名称	委內瑞拉伊玛塔 卡铁成矿区带	巴西阿马帕铁成 矿区带	巴西卡拉加斯铁 成矿区带	巴西北里奥格兰 德-巴拉伊巴铁 成矿区带	巴西巴伊亚中部 铁成矿区带
신	tΨ	-	0	5	4	2

表2 南美洲铁矿重要成矿区带

696

http://geochina.cgs.gov.cn 中国地质, 2017, 44(4)

2017年

								续表2
1				田代社会		规模		
t ur	成矿区带名称	所在地区	简要地质特征	♥	成矿时代	范围/km	资源量/ 亿 t	参考文献
¢	巴西米纳斯吉拉 斯州"铁四角"及 邻区铁成矿区带	位于巴西东南部米 纳斯吉拉斯州贝洛 奥里藏特(Belo Horizonte)市南部, 呈北东向展布	处于弗朗西斯科克拉通的离端,受早期泛亚马孙造山运动影响,形成NE-SW 向的褶皱,之后又 叠加了巴西利亚造山运动近NW-SE向的构造,形成大规模走滑、逆冲断裂及褶皱。铁矿体赋存 在米纳斯吉拉斯 (Minas Gerais) 超群,其是由下部的卡拉卡 (Caraca) 群碎屑沉积岩、伊塔比 拉 (Itabira) 群化学沉积岩及上部的皮拉西卡巴 (Piracicaba) 和糖巴拉 (Sabara) 群碎屑一化学 混合沉积岩组成。伊塔比拉群下部为卡维 (Caue) 组,由石英和白云质条带状铁建造(铁英岩) 和少量白云岩、页岩组成,是本区铁矿床最主要的赋矿层位。矿体受褶皱和断裂抢制明显,总 体沿北西-南东向展布, 但区内发育的北东海西向次级褶皱和断层对矿体的定也起着重要作 用,决定矿体的形态和空间展布。表生风化淋滤作用对石英质铁英岩和白云质铁英岩铁质富集 起决定作用,是高品位快矿石形成的最重要成矿作用	近視-変质 裡(赤必利 示型)	古元古代	长约 400, 宽约 150	586	郭維民等,2013 SNL数据库
Γ	玻利维亚—巴西 边界木通—乌鲁 库姆铁成矿区带	位于玻利维亚的圣 克鲁斯省与巴西南 马托格罗索省交界 处	处于亚马孙克拉通西南部。铁矿主要赋存层位为新元古代Jacadigo群的Corrego das Pedras 组(粒 状含铁建造)和 Banda Alta 组(条带状含铁建造)。Banda Alta 组由含薯玉铁质岩和锰矿夹层组 成、厚约 300 m、含铁层为条带状氧化物相岩石,由极细粒赤铁矿的薄层与氧化硅的薄层组成	沉积-变质 型(苏必利 尔型)	新元古代	长约 300 多, 宽约40	458	周尚国等,2013 SNL 数据库
∞	秘鲁中南部交第 斯海岸带铁成矿 区带	位于秘鲁中南部纳 斯卡省—奠克瓜省 安第斯海岸带,呈北 西-南东走向,与海 岸带平行	位于秘鲁中南部安第斯海岸带,受太平洋板块向南美板块确冲作用影响,铁矿与中生代晚株罗 世一早白垩世构造岩浆活动关系密切,铁矿床主要赋存于古生代海相沉积岩及中生代的海陆交 互相沉积岩一火山碎屑岩系列中,受断裂构造控制明显。矿体呈层状、似层状产出,走向上连续 稳定。铁矿体普遍具有明显的垂直分带特点,由地表到深部分为氧化带、过液带和原生带,氧 化带和过波带一般不超过40m厚。原生带矿石以磁铁矿为主,富含有铜、钻、镍、锌等多种金 属元素。有学者将其称为接触交代热淡型铁矿或IOCG型矿床	火山成因 型铁矿	晚侏罗世— 早白垩世	长约 600, 宽约 50	8	卢民杰等,2013 尚諧军等,2017 SNL 数据库
6	秘鲁安第斯造山 带中部铁成矿区 带	位于秘鲁安第斯高 原区中部,从Ancash 延伸到 Puno,呈北西 -南东走向	位于秘鲁安第斯造山带中部,受太平洋板块向南美板块俯冲作用影响,形成呈北西南东走向的 铁矿带。铁矿与中—新生代中酸性岩浆活动关系密切,矿体主要赋存在古生代碳酸盐岩与酸性 侵入岩接触带中,矿床规模较大,矿体呈似层状、透镜状,铁矿石以磁铁矿为主,硫化物较少	接触交代- 热液型铁 矿床	中生代	长约 600, 宽约 150	ø	卢民杰等,2013 席振.2011. SNL 数据库
10	褶利中北部安第 斯海岸带铁矿成 矿区带	位于智利首都圣地 亚哥以北至卡拉马 安第斯海岸带,近南 北走向	位于智利中北部交第斯海岸带,受太平洋板块向南美板块确冲作用的影响,铁矿与晚俄罗世一早 白垩世构造岩浆活动关系密切。铁矿床的围岩多为安山岩和安山粗面岩,磁铁矿含量较高,矿 石的常见组合为阳起石-方柱石-磷灰石-磁铁矿,富含铜、金等多金属元素。有学者将其称为 IOCG 型矿床	浅成低温 热液	晚侏罗世— 早白垩世	长约 1000, 宽约 100	170	卢民杰等, 2013 方维萱等, 2014 SNL 数据库

http://geochina.cgs.gov.cn 中国地质, 2017, 44(4)

第44卷第4期

赵宏军等:南美洲铁矿重要成矿区带与成矿规律研究

697



图 3 巴西铁四角地区地质简图(据郭维民等,2013修改)

Fig.3 Simplified geological map of the Quadrilatero Ferrifero (modified after Guo Weimin et al,2013)
 AB-Aboboras; AC-AguasClaras; AG-Alegria; AL-AguaLimpa; AN-Andrade; BA-Bau; BO-Bocaina; CA-Cau; CF-CorregodoFeijao; BR-Brucutu; CM-CapitaodoMato; CE-Capanema; CN-Conceicao; CO-Corregodo Meio; CP-CasadePedra; CX-CapaoXavier;
 DC-DoisCorregos; ES-Esperanca; B-Fabrica; GL-Galinheiro; FN-FabricaNova; FZ-Fazendao; IT-Itatiaiucu; JG-Jangada; MA-MorroAgudo; MT-Mutuca; MZ-MarAzul; OF-OuroFino; PI-Pico; PR-Pires; RA-RetiroDasAlmas; SP-Sapecado; TA-Tamandua; TB-Timbopeba

断层,在西部低应变区以巨型向斜构造为主,而东 部高应变区则主要发育逆冲、走滑剪切带和紧闭等 斜褶皱和糜棱岩带。

4.2.1.3 矿区地质

铁四角地区铁矿均产于米纳斯吉拉斯超群中 部伊塔比拉群下部的卡维组铁英岩中,根据铁英岩 中矿物成分、变质程度不同又将其划分为石英铁英 岩、白云质铁英岩和角闪质铁英岩3种类型。石英 铁英岩分布最为广泛,主要由互层的石英和赤铁矿 组成,石英多由燧石重结晶而成;白云质铁英岩也 呈细条带状,由互层的红一白碳酸盐岩和灰黑色赤 铁矿组成,主要矿物为白云石、赤铁矿和少量石英、 方解石、滑石、绿泥石等;角闪质铁英岩分布局限, 露头以大量的针铁矿和假象角闪石、绿泥石为特 征,角闪石分布具定向性,平行于层理分布,显示构 造变质叶理和矿物线理。

在西部低应变区铁矿床主要分布在毛叶达 (Moeda)向斜东翼和库拉尔(Curral)山脉西侧。毛 叶达向斜东翼的大型铁矿床,包括Tamandua、 CapitaodoMato、Aboboras和Sapecado等,主要受沿 穆图卡(Mutuca)断裂展布的北西-南东向褶皱控 制;在库拉尔山脉西侧分布的大型高品位铁矿床有 Jangada、Esperanca和Itatiaiucu等,这些矿床受沿库 拉尔山脉展布的北东-南西向褶皱和断层控制。

东部高应变区铁矿床主要有Timbopeba、 Alegria、Fazendao、Brucutu、Andrade及Itabira矿床 等。矿床展布主要受Agua Quente断裂及相关次级 断裂控制。

4.2.1.4 矿石特征

铁四角地区铁品位大于 62%的铁矿石为高品 位矿石, TFe为30%~60%称为低品位矿石,高品位 矿石依物理特性划分为硬矿石和软矿石(Spier et al.,2007,2008)。高品位硬矿石的外观特征变化较 大,从块状、条带状到片状,块状矿石致密,而条带 状矿石多发育孔洞,矿石呈灰色一蓝色,由赤铁矿、 假象赤铁矿、假象磁铁矿和少量镜铁矿组成。硬铁 矿体形态受条带状铁建造和构造控制明显,呈不规 则状产于褶皱核部,或以透镜状呈层状分布;软矿 石多产出在硬矿石的外围,呈残余条带状、角砾状 或粉状,由高品位赤铁矿形成软的、多孔、易碎矿 体,该类型矿体多由白云质铁英岩中碳酸盐矿物的 风化淋滤作用形成。

4.2.1.5 控矿因素

总结铁四角铁矿区有以下几方面控矿因素:

(1)条带状含铁建造(BIF)控矿:铁四角地区铁 矿均产于米纳斯吉拉斯超群中部伊塔比拉群下部 的卡维组石英铁英岩、白云质铁英岩和角闪质铁英 岩中,铁矿床受岩性的控制十分明显。

(2)褶皱、断裂构造控矿:矿体受褶皱和断裂控 制明显,总体沿北西-南东向展布,但区内发育的北 东-南西向次级褶皱和断层对矿体的定位也起着重 要作用,决定矿体的形态和空间展布。褶皱枢纽节 理的发育提高了岩层的渗透性,深大断裂为流体运 移提供通道,为本区高品位铁矿石形成创造了有利 条件。

(3)变形变质作用控矿:铁四角地区变形变质 作用分区明显,西部低应变带高品位铁矿石和铁英 岩受到的氧化作用相对较弱;变质程度(绿片岩相) 和变形强度也较低;东部高应变带铁矿石矿物结晶 粒度变粗大,含有大量镜铁矿和花岗变晶状赤铁 矿,镜铁矿经数次变形作用而形成了显著的片理, 对铁矿进一步富集有重要作用。

(4)表生风化淋滤控矿:在铁四角地区,表生风 化淋滤作用对石英质铁英岩和白云质铁英岩铁质 富集起决定作用,是本区高品位铁矿石形成的最重 要成矿作用。

4.2.1.6 成矿模式

铁四角地区大型铁矿床的形成经历了多阶段 的成矿作用。第一阶段,在新太古代一古元古代形 成原始的条带状铁建造(卡维组石英铁英岩、白云 质铁英岩和角闪质铁英岩);第二阶段,受与泛亚马 孙等造山运动有关的热液流体作用、变质作用等的 影响,条带状铁建造原岩发生脱水、矿物发生重结 晶、铁质等发生活化、迁移,进行再富集,形成部分 高品位铁矿体;第三阶段,石英质铁建造和白云质 铁建造在地下水、大气降水等表生风化淋滤作用下 (Eichler J.1968),硅质和碳酸盐物质被淋滤带走,磁 铁矿和富铁白云石在氧化作用下形成高品位赤铁 矿一假象赤铁矿矿体。有利的构造部位,反复的热 液流体作用是该区形成巨大高品位铁矿石的重要 因素。

4.2.2 首钢秘鲁马尔科纳铁矿区

秘鲁马尔科纳(Marcona)铁矿区位于首都利马 东南520 km处,行政隶属伊卡大区,纳斯卡省,圣胡 安市管辖。矿区分布在一东西长15 km,南北宽10 km范围内,海拔800 m左右,为滨海荒漠区,已发现 铁矿体、矿化点117个(图4),截至2012年底,矿区 铁矿资源量近22.5亿t。

4.2.2.1 大地构造背景

秘鲁马尔科纳铁矿位于安第斯造山带中北部 的海岸科迪勒拉带,形成于大洋板块向南美板块俯 冲背景下的岛弧造山带的拉伸环境。

秘鲁中南部一智利北部的海岸科迪勒拉带,位 于安第斯山脉西侧与东太平洋海岸岩基带的过渡 部位,为与中酸性岩浆有关的大陆边缘弧。安第斯 山脉是中新生代太平洋板块向南美板块俯冲作用 形成的造山带,带内构造岩浆活动强烈,成矿条件 优越,属于环太平洋多金属成矿带的重要组成部 分。在该海岸科迪勒拉带,已发现包括马尔科纳铁 矿在内的数十个大型火山成因型的矿床。

4.2.2.2区域地质

秘鲁中南部的海岸岩基带,出露最古老的地层 为前寒武纪结晶基底,以片岩、片麻岩、花岗岩和混 合岩为主,上覆新元古界和古生界的沉积岩,再向 上是中生界火山岩和沉积岩。

古生界奥陶系的马尔科纳组是一套发生低变 质的海相沉积岩地层,厚度超过1500 m。

中生界主要有侏罗系塞里托斯组和白垩系 Copara组。早一中侏罗世塞里托斯组地层以断层 接触覆盖在古生代马尔科纳组地层之上,两者产状



图4首钢秘鲁马尔科纳铁矿地质图⁽据尚潞军等,2017) a一矿区位置图;b一矿区地质构造图

1-第四系;2-下一中侏罗统塞里托斯组(J_{1→2}c);3-志留一泥盆系马尔科纳组(S—Dm);4-古元古界洛马斯杂岩(Pt₁Lm^e);5-花岗闪长岩; 6-基性岩;7-安山玢岩;8-英安岩;9-铁矿体;10-主干断裂;11--般断裂

Fig.4 Geological map of the Marcona iron deposit (modified after Lu shangjun et al., 2013)

a-Location of mining area; b-Geological structural map of mining area

1-Quaternary sediments; 2-Lower-Middle Jurassic Celitos Formation(J₁₋₂c); 3-Silurian-Devonian Marcona Formation(S-Dm);

4-Paleoproterozoic Lomas Complex(Pt₁Lm); 5-Granite diorite; 6-Basic rock; 7-Andesitic;

8-Dacite; 9-Iron deposit; 10-Main fault; 11-Fault/fracture

基本一致,为一套海陆交互相的火山一沉积岩系, 分布于本区的中北部,厚度大于2000 m;白垩纪 Copara组与下伏岩石为不整合接触,由互层状的泥 质页岩、钙质沉积岩、凝灰岩和安山质熔岩组成,厚 度约1000 m,主要分布在本区东北部。

古近一新近纪由黏土岩、砂岩和浅黄色砾岩组成的Pisco组地层以角度不整合覆盖在其他地层之上。

该区岩浆活动强烈,火山岩主要为侏罗纪喷发 的基性—中基性—中酸性火山岩,岩石类型为玄武 岩、玄武安山岩、英安岩、安山玢岩和英安斑岩。岩 浆岩分布范围广泛,为多期侵入作用形成。早期奥 陶—泥盆纪主要为侵位于前寒武纪结晶基底的粗 粒黑云母钾长花岗闪长岩、辉长岩墙、岩脉等;早中 侏罗世和白垩纪—古近纪以大规模的中性闪长岩 岩基、中酸性岩脉和辉长岩脉为主。 受纳斯卡大洋板块向南美板块俯冲作用的影响,区内断裂构造发育,主体构造线方向与安第斯山脉走向一致,主要由巨大的北西向断裂带组成,这些北西向断裂一般倾向北东,倾角较陡,是大洋板块向南美板块俯冲的强烈挤压应力作用下形成的,早期为挤压性质,造山期后受伸展构造控制,形成一系列北东一北东东向及近东西向具张性特征的断裂,该组断裂对铁矿体的空间展布控制明显。 4.2.2.3矿区地质

秘鲁马尔科纳铁矿,主要赋存在古生代马尔科 纳组和中生代塞里托斯组两套地层中,马尔科纳组 地层是一套以海相白云质灰岩、泥质灰岩、砂页岩 等经热变质而形成的大理岩、角页岩、角岩、千枚 岩、石英岩岩系,塞里托斯组地层是一套由砂岩、泥灰 岩、角砾岩、凝灰岩、安山熔岩组成的火山—沉积岩



图 5 首钢秘鲁马尔科纳铁矿 14号矿体E320线剖面图 Fig.5 Geological section along E320 line of No.14 orebody of Marcona in Shougang Hierro Peru SAA

系。铁矿沿断裂或层间断裂贯入,呈层状和似层状产出,与围岩整合接触(图5)。单个矿体走向延长最大可达2000~2700 m,厚度100~300 m,倾向延伸长度为200~1000 m。矿体主要受北东、北东东向的雷佩替松断裂控制,走向北东或近东西向,倾向北西或北。

铁矿矿石矿物以磁铁矿为主,其次是黄铁矿、磁 黄铁矿、黄铜矿,偶见方铅矿、镁菱铁矿;脉石矿物以 阳起石、透闪石为主,其次是石英、长石、绿帘石、绿泥 石、方解石、石膏等。矿石结构多为中细一中粒粒状 变晶结构,少数为细粒结构。矿石构造为块状构造。

一般矿体上部有10~20m厚的氧化带,以赤铁 矿、假象磁铁矿、褐铁矿及孔雀石为主,是原生矿石 表生风化作用的产物。

4.2.2.4 成矿模式

秘鲁马尔科纳铁矿成矿模式大致经历以下3个阶段:第一阶段,三叠纪一早白垩世大洋板块向南 美板块俯冲,地壳深部发生重熔,形成广泛的火山-岩浆活动,产生大量岩浆熔融体,沿俯冲带NNW向 的深大断裂上升,大量火山物质喷溢到地表;第二 阶段:深部重熔岩浆侵位过程中,携带大量成矿物 质并产生高温相流体向浅部迁移,沿围岩层间或断 裂带贯入,形成层状矿体;第三阶段:岩浆演化后 期,随着成矿物质进一步迁移、活化,铁质得以相对 富集,以贯入、充填等方式形成规模矿体,同时,富 含挥发分的多金属成矿物质和残余岩浆沿不同期 次的断裂和裂隙侵位,形成类型各异的岩脉群和铜 等多金属硫化物矿床。

5 铁矿时空分布规律

南美洲铁矿主要有沉积-变质和火山成因两种 类型,有关这两种类型铁矿的成矿规律研究较多, 也比较成熟,本文不再论述,仅对其时空分布规律 进行论述。

- 5.1 空间分布规律
- 5.1.1 不同类型铁矿空间分布

沉积-变质型铁矿主要分布在南美克拉通地盾

中

区或其边缘,主要有5个铁成矿带:委内瑞拉伊玛塔 卡成矿带、巴西卡拉加斯成矿带、巴西铁四角成矿 带、巴西乌鲁库姆成矿带、玻利维亚穆通成矿带。

火山成因型铁矿主要分布在秘鲁中南部一智 利北部的安第斯海岸带,以秘鲁的马尔科纳铁矿、 邦沟铁矿及智利的洛斯科罗拉多斯、埃尔罗梅拉尔 等铁矿为代表(沈承珩,1995)。

接触交代-热液型(砂卡岩型)铁矿主要分布在 秘鲁安第斯带库斯科一阿普里马克一带(肖荣, 2013;席振,2011)。

海相沉积型(鲕状赤铁矿)铁矿主要分布于阿 根廷西北部(形成于早志留系海侵时期)和哥伦比 亚与委内瑞拉中部边界一带(形成于始新世早期的 海侵时期),规模及经济意义不大。

5.1.2不同时代铁矿的空间分布

南美洲古太古代一古元古代铁矿为沉积-变质型铁矿,主要分布在地盾区,古太古代铁矿分布在委内瑞拉伊玛塔卡杂岩体成矿带(Zappettini et al, 2005;姚春彦,2014);新太古代铁矿主要分布在巴西卡拉加斯成矿带和巴西铁四角成矿带;新元古代铁矿分布在巴西乌鲁库姆成矿带和玻利维亚穆通成矿带。古生代海相沉积型铁矿主要分布在阿根廷西北部。中生代早侏罗世一晚白垩世火山成因型铁矿主要分布在秘鲁中南部一智利北部的安第斯海岸带。中生代末期的接触交代-热液型(矽卡岩型)铁矿主要分布在秘鲁安第斯带库斯科一阿普里马克一带。新生代始新世早期铁矿为海相沉积型,分布在哥伦比亚与委内瑞拉中部边界一带。第四纪更新世火山成因型铁矿是智利北部的埃尔拉科铁矿。

5.2 时间分布规律

5.2.1 与铁矿成矿有关的重大地质事件

与南美铁矿成矿有关的重大地质事件共有6 期,分别是古太古代一古元古代火山喷发-沉积事 件、元古宙克拉通裂解事件、古生代海侵事件、中生 代安第斯构造-岩浆事件、新生代早期海侵事件和 新生代安第斯构造-岩浆事件,其中以元古宙克拉 通裂解事件对南美铁矿的形成影响最大。

(1)太古宙一古元古代火山喷发-沉积事件:古 太古代-新元古代时期,亚马孙克拉通和圣弗朗西 斯科克拉通遭受多期次造山旋回作用,在克拉通内 部或周边形成多条岩浆弧带和构造活动带,受来自 地幔的基性一超基性岩浆大面积喷发或侵入影响, 形成众多条带状铁建造(BIF)等变质杂岩体 (Grainger et al., 2008; Monteiro et al.,2008a,b; Dreher et al., 2008; Gibbs et al., 1986),后经区域变 质改造,形成沉积-变质型铁矿,该类铁矿常常形成 众多大型或超大型矿床。如卡拉加斯成矿带N4、 N5、Serra Leste、Trindade North等铁矿主要产于太 古代 Itacaiunas 超群的 Grao Pará群中,而 Grao Pará 群是由玄武岩、沉积岩、铁矿建造和流纹岩所组成 的变质杂岩体(曾勇等,2013;2015)。

(2)元古宙克拉通裂解事件:元古宙,受全球性 裂解事件的影响,在圣弗朗西斯科克拉通中部产生 了规模不一的裂谷、裂陷槽或坳拉槽,沉积了巨厚 的碎屑岩和碳酸盐岩,并伴随有不同规模的火山喷 发,形成各种规模的含铁建造(Spier et al., 2007; 2003; Rosiere et al.,2004; 2008)。如铁四角成矿带 Aboboras、Alegria、Andrade、Apolo、Brucutu、 Capanema、Capitao do Mato、Casa de Pedra等铁矿主 要产于米纳斯吉拉斯超群,而米纳斯吉拉斯超群则 是由下部的Caraca群火山碎屑沉积、Itabira群化学 沉积及上部的Piracicaba和Sabara群火山碎屑-化 学混合沉积组成(Klein et al., 2000)。Itabira群下部 为Caue组,由石英和白云质条带状铁建造(铁英岩) 和少量白云岩、页岩组成,是铁矿床最主要赋矿层 位(Machado et al., 1992;郭维民等, 2013)。

古太古代一新元古代时期形成的沉积-变质型 铁矿床查明的资源储量占南美洲的85.5%左右。

(3)古生代海侵事件:古生代早志留世,在阿根 廷西北部发生海侵事件,由北向南随海侵方向,含 矿层位逐渐升高,鲕状赤铁矿在一定范围内沉积, 形成海相沉积型铁矿(Linares et al.,1999)。

(4)中生代安第斯构造-岩浆事件:中生代早侏 罗世一晚白垩世受太平洋板块向南美板块俯冲作 用影响,在安第斯秘鲁中南部一智利北部的海岸科 迪勒拉发生大规模火山喷发与岩浆侵入活动(方维 萱等,2014;尚潞军等,2017),形成火山成因型铁 矿。秘鲁的马尔科纳铁矿、邦沟铁矿和智利的埃尔 罗梅拉尔等铁矿均与这一构造-岩浆事件有关。

秘鲁安第斯带库斯科一阿普里马克的白垩纪 碳酸盐岩受中生代末期酸性侵入岩作用(肖荣, 2013;席振,2011),形成的接触交代-热液型(矽卡 岩型)铁矿也与该构造-岩浆事件有关。

(5)新生代早期海侵事件:新生代始新世早期 在哥伦比亚与委内瑞拉中部边界一带发生一次海 侵事件(Linares et al., 1999),有鲕状赤铁矿沉积,形 成海相沉积型铁矿。

(6)新生代安第斯构造-岩浆事件:智利北部的 埃尔拉科铁矿形成于第四纪更新世(沈承珩等, 1995),其与新生代安第斯带发生的大规模构造-岩 浆活动关系密切。

5.2.2不同类型铁矿床

南美洲铁矿床从太古宙一直到新生代均有生成,但不同类型铁矿床具有明显的时代特点,与其 所处的地质构造背景有密切的成因联系(图6)。

太古宙一元古宙是南美洲铁矿的最主要形成 期,为沉积-变质型铁矿;古生代有少量沉积型铁矿 生成;中生代是南美洲铁矿成矿的又一重要时期, 铁矿以火山成因和接触交代-热液型为主,与中生 代大规模构造-岩浆活动有关;新生代有少量的沉 积型和火山成因型铁矿形成。

5.2.3不同时代的铁矿规模

南美洲已发现具有一定规模的铁矿床(点)255 个,按不同时代统计的大型超大型铁矿床中,太古 宙一元古宙的在数量上是最多的,超大型(≥10亿t) 矿达30个,查明资源量也最大,达1162.42亿t,占南 美铁矿资源总量的73.1%,大型(<10亿t,≥1亿t) 矿有45个,资源量为174.47亿t,占南美铁矿资源总 量的10.97%;其次为中生代,超大型、大型铁矿达23 个,主要为火山成因型和接触交代一热液型铁矿



图 6 南美洲不同类型铁矿床数量和资源量占比分布柱状图 (对 255 个矿床点的统计)

Fig. 6 Different types of iron deposits and the proportion of resources that account for the distribution of histograms in South America (statistics on 255 ore spots)

床,查明资源量为240.92亿t,占南美铁矿资源总量的15.15%;第四纪有1个大型铁矿床,其他时代几乎没有形成大型铁矿床(图7)。

5.2.4不同时代的铁矿石类型

南美洲铁矿石类型以赤铁矿石为主,其次是磁铁矿石和混合铁(赤铁矿石、镜铁矿石、褐铁矿石、 磁铁矿)矿石。

赤铁矿矿石以太古宙—元古宙最多,主要产于 沉积-变质型铁矿的上部,是目前主要开发的矿石 类型,古生代和新生代形成的沉积型鲕状赤铁矿分 布局限,量也较少。

磁铁矿矿石主要产于太古宙—元古宙沉积-变 质型铁矿的下部,目前开发的较少;中生代火山成 因型和接触交代-热液型铁矿床以磁铁矿为主,查 明的资源量也较大,是目前主要开发的矿石类型。

含有赤铁矿、镜铁矿、褐铁矿、磁铁矿等的混合 铁矿石形成于淋滤带,在各时代均有产出。

6 结 论

(1)南美洲铁矿床主要有沉积-变质和火山成 因两种类型,沉积-变质型铁矿主要分布在南美克 拉通地盾区或其边缘,主要形成于太古宙一元古 宙,且多以大型超大型矿为主;火山成因型铁矿主 要分布在秘鲁中南部一智利北部的安第斯海岸造 山带,主要形成于中新生代。

(2)根据铁矿床(点)类型及分布特征、容矿岩 体或火山-沉积岩展布特点、大地构造背景、铁矿成



图7南美洲不同时代大型超大型铁矿床数量及资源量分布柱 状图(对255个矿床点的统计)

Fig. 7 Distribution of the number and resource distribution of large-sized iron deposits in different ages in South America (statistics on 255 ore spots)

http://geochina.cgs.gov.cn 中国地质, 2017, 44(4)

矿地质条件连续性等特点,在南美洲共圈出10个铁 成矿区带:委内瑞拉伊玛塔卡铁成矿区带、巴西阿 马帕铁成矿区带、巴西卡拉加斯铁成矿区带、巴西 北里奥格兰德一巴拉伊巴铁成矿区带、巴西巴伊亚 中部铁成矿区带、巴西米纳斯吉拉斯州"铁四角"及 邻区铁成矿区带、玻利维亚一巴西边界木通一乌鲁 库姆铁成矿区带、秘鲁中南部安第斯海岸带铁成矿 区带、秘鲁安第斯造山带中部铁成矿区带、智利中 北部安第斯海岸带铁成矿区带。

(3)在南美克拉通地盾区或其边缘部位,存在 深大断裂和(或)褶皱枢纽节理发育地段,条带状含 铁建造在地下水、大气降水等表生风化淋滤作用 下,硅质等物质被淋滤带走,易形成高品位赤铁矿-假象赤铁矿矿体。即有利的构造部位、反复的热液 流体作用是形成巨大高品位铁矿石的重要因素,是 找寻高品位富铁矿的重点勘查区。在秘鲁中南部 一智利北部的安第斯海岸造山带,在平行海岸带深 大断裂的次级断裂是火山成因类型铁矿的主要赋 存部位,是未来找矿的主要靶区。

致谢:本文得到了国土资源部科技成果奖评审 委员肖庆辉研究员,国土资源部咨询研究中心李裕 伟研究员、国土资源部信息中心马建民研究员,首 钢地质勘查院施性明教授,中国地质调查局发展研 究中心邱瑞照研究员、陈玉明、王靓靓、张振芳、陈 喜锋、崔敏利、张新元、张伟波、李娜、何学洲、王杨 刚等同仁精心指导和帮助,中国地质大学(北京)硕 士生刘洋、郑瑜林在图件清绘上的辛苦工作,成文 后审稿专家和编辑都提出了很好的建设性意见,谨 此一并表示诚挚的感谢!

注释

● 卢民杰, 曾勇, 赵宏军. 2013.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综合研究报告[R].

2周尚国, 卢民杰, 黄费新. 2013.全球铁矿资源分布规律与战略选区研究成果报告[R].

Shougang Hierro Peru S A A. .2008. Historia y geologia del distrito minero de Marcona. Marcona: Shougang Hierro Peru S A A.

References

BahiburgH,Furlang K D. Lithospheric. 1996. Modeling of the Ordovician foreIand basin in NW Argentina on the influence of arc loading on foreIand basin formation[J]. Tectonphysics, 259: 245– 258.

- Beukes N J, Gutzmer J, Mukhopadhyay J. 2003. The geology and genesis of high-grade hematite iron ore deposits[J]. Applied Earth Science, 112: 18–25.
- Chen Yumin, Wang Kaitian. 2008. Lithogeochemical Characteristics of the Justa Copper Deposit In Peru and the ore- prospecting effect[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2008, 32(2): 126–130. (in Chinese with English abstract).
- Chen H, Clark A H, KyserT.K. 2010. Evolution of the Giant Marcona– Mina Justa Iron Oxide– Copper– Gold Distrct, South– Central Peru[J]. Economic Geology, 105: 155–185.
- Chen H, Clark A H, Kyser T. K. 2010. The Marcona magnetite deposit, Ica, South–Central Peru: A product of hydrous, iron–oxide–rich melts?[J]. Economic Geology, 105: 1441–1456.
- Chen Yuming, Zhang Chao, Chen Xiufa. 2017. Geology and Mineral Resources and Mining Development of South America[M].Wuhan: China University of Geosciences, 277–304. (in Chinese).
- Dong Yongguan, Yao Chunyan, Zeng Yong, Gao Weihua, Guo Weimin. 2013. Geological Evolution and Mineralization Characteristics of South America[J]. Acta Mineralogica Sinica. Supplement: 1041– 1042. (in Chinese with English abstract).
- Cordani U G, Milani E J, Thomaz Filho A. 2000. Tectonic evolution of South America[D]. Rio de Janerio: 31#International Geological Congress: 1–856.
- Dorr J V N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the QuadrilateroFerrifero, MinasGerais, Brazil[J]. United States Geological Survey Professional Paper, 641–A.
- Earth Science Dictionary, Applied Science Volume[M]. 2005. Geological Publishing House, 641-645(in Chinese).
- Eichler J.1968. O enriquecimento residual e supergenico dos itabiritos atraves do intemperismo[J]. Geologia, 1: 29-40.
- Fang Weixuan, Li Jianxu. 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).
- Gibbs AK, Wirth K R, Hirata W K. 1986. Age and compositon of the Grao Para Group volcanic, Serra dos Carajas, Para, Brazil[J]. RevistaBrasileira de Geociencias, 16: 201–211.
- Gross G A. A classification of iron formations based on depositional environments[J]. The Canadian Mineralogist, 18: 215–222.
- Groves D I, Bierlein F P, Meinert L D. 2006. Iron Oxide–Copper–Gold (IOCG) Deposits through Earth History: Implications for Origin, LithosphericSetting, and Distinction from Other Epigenetic Iron Oxide Deposits[J]. Economic Geology, 2010, 105: 641–654.
- Groves D, Goldfard R, Da Silva C.2001. Gold Deposits of Brazil[J]. Mineralium Deposita. 36(3-4): 205-376.
- Guo Weimin, Dong Yongguan, Xing Guangfu, Zeng Yong. 2013. New Research Progress on Iron Deposits in Quadrilatero Ferrifero District, Brazil[J]. Geological Science and Technology information. 32 (5): 79–85. (in Chinese with English abstract).

- Linares E, Cordani U. G, and Munizaga F. 1999. Magmatic evolution of the Andes[J]. Earth Science Reviews, 18: 303–332.
- 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).
- Machado N, Noce C M, Ladeira E A. 1992. U–Pb geochronology of Archean magmatism and proterozoic metamorphism in the QuadrilateroFerrifero, southern Sao Francisco Craton, Brazil[J]. Geological Society of America Bulletin, 104: 1221–1227.
- Ministry of Metallurgical Information Standards Institute. 1976. Abroad Precambrian BIF Weathering leaching type iron ore[M]. Metallurgical Industry Press. (in Chinese).
- Monteiro L V S, Xavier R P, Emerson R C. 2008. Spatial and temporal zoning of hydrothermal alteration and mineralization in the Sossego iron oxide– copper– gold deposit, Carajas Mineral Province, Brazil: Paragenesis and stable isotope constraints [J]. Mineralium Deposita, 43: 129–159.
- Monteiro L V S, Xavier R P, Hitzman M W. 2008. Mineral chemistry of ore and hydrothermal alteration at the Sossego iron oxide– copper– gold deposit, Carajas Mineral Province, Brazil[J]. Ore Geology Reviews,3 4(3): 317–336.
- Pires F R M. 1995. Textural and mineralogical variations during metamorphism of the Proterozoic Itabira iron formation in the QuadrilateroFerrifero, MinasGerais, Brazil[J]. Anais da Academia Brasileira de Ciencias, 67: 77–105.
- Ramos V A. 1989. The birth of southern South America: American Scientist. v. 77: 444–450.
- Report about the iron ore deposit of Zapla- Puesto Viejo Cerro Labrado Santa Barbara and Unchine in Jujuy and Santa Provinces[R]. 2006.
- Rosiere C A, Spier C A, Rios F J. 2008. The itabirites of the QuadrilateroFerrifero and related high—grade iron ore deposits: An overview[J]. Reviews in Economic Geology, 15: 223–254.
- Rosiere C A, Spier C A, Rios F J. 2004. The origin of hematite in high—grade ores based on infrared microscopy and fluid inclusion studies: The example of Conceigao mine Quadrilatero Ferrifero, Brazil[J]. Economic Geology, 99: 611–624.
- Santos J O S. 2003. Geotectonica dos escudos das Guianas e Brazil– Central[C] // Bizzi L A, Schobbenhaus C, Vidotti R M. Geologia, tectonica e recursos minetais do Brazil, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Brasilia, ISBN 85–230–0790–3. 169–226.
- Shang Lujun, Teng Zhenshuang, Zhang Ping. 2017. Geological characterististics and metallogenic model of iron orebody No.9& 10 in Marcona Mine Shougang Hierro Peru[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Reseach, 32(2) : 340–350. (in Chinese with English abstract).
- Shen Chengheng, WangShoulun, ChenSenhuang. 1995. Black Metallic Mineral Resources in the World[M]. Beijing: Geoligical Publishing House, 1–130(in Chinese).

- Sillitoe R H. 2003. Iron oxide- copper- gold deposits: an Andean view[J]. Mineralium Deposita. 38: 787-812.
- Sillitoe R H. 2008. Major Gold Deposits and Belts of the North and South American Cordillera: Distribution, Tectonomagmatic Settings, and Metallogenic Considerations[J]. Economic Geology. 103: 663–678.
- Sillitoe R H. Perello J. 2005. Andean Copper Province: Tectonomagmatic Settings, Deposit Types, Metallogeny, Exploration and Discovery[J]. Economic Geology. 100: 845–890.
- Spier C A,Oliveira S M B,Rosiere C A. 2003. Geology and geochemistry of the Aguas Claras and Pico Iron Mines, QuadrilateroFerrifero, Minas Gerais, Brazil[J]. Mineralium Deposita[J]. 38: 751–774.
- Spier C A, Oliveira S M B, Rosiere C A. 2008. Mineralogy and trace element geochemistry of the high—grade iron ores of the AguasClaras Mine and comparison with the Capao Xavier and Tamandua iron ore deposits,QuadrilateroFerrifero, Brazil[J]. Mineral Deposita, 43: 229–254.
- Spier C A,Oliveira S M B,Sial A N. 2007. Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Caue Formation, QuadrilateroFerrifero, Minas Gerais, Brazil[J]. Precambrian Reserch, 152: 170–260.
- Tolbert G E, Tremaine J M, Melcher G C. 1971. The recently discovered Serra dos Carajas Iron Deposits, Northern Brazil[J]. Economic Geology, 66: 985–994.
- U. S. Geological Survey. 2017. Mineral commodity summaries 2017,
 U. S. Geological Survey: 91, 197—198.http:// www.
 SNLMetalsEconomics.com; SNLinfo@snl.com.
- Xiao Rong. 2013. Characteristics and Prospecting Prediction of Polymetallic Deposits In the southern Acari region of Peru [D]. Central South University. 2013. (in Chinese with English abstract).
- Xi Zhen.2011. Characteristics of Mineral Deposits, Metallogenic Laws and Exploration Prospects in Southern Peru[D]. Central South University. 2011. (in Chinese with English abstract).
- Yao C. Y, Dong Yongguan, Zeng Yong, Guo Weimin. 2014. Hydrothermal Genesis of High — grade Iron Deposits in North Ore Belt of Caracas Mines, Brazil[C]. China Earth Science Federation Annual Conference: 1137—1138. (in Chinese with English abstract).
- Yao Chunyan, Dong Yongguan, Zeng Yong, Guo Weimin. 2014. Ore control factors of the high-grade BIF of the Carajás iron Province in Brazi[J].ActaGeologicaSinica(English Edition), 88(Supp.2) : 130–131.
- Yao Chunyan, Dong Yongguan, Zeng Yong, Guo Weimin. 2014. Study on Mineralization Characteristics and Prospecting of Iron Ore Belt in Imataka of Venezuela[J]. Mineral Deposits. 33 : 1137—1138. (in Chinese with English abstract).
- ZappettiniE O, Kilibarda C R and Schobbenhaus C. 2005. Metallogenicmap of South America at the scale of 1: 5000000[M].

Buenos Aires: The Commission for the Geological Map of the World. 1–274.

- Zeng Yong, Guo Weimin, Xiang Hongli,Yao Chunyan. 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 Weimin, Yao Chunyan, Xiang Hongli. 2013. Research Progress on Iron Oxide- Cu- Au Deposit in Carajás, Braliz, Geological Science and Technology information[J]. 32(5): 72-78. (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chao. 2017. Metallogenic beit and Characteristics of Geology and Mineral Resources of South America[D]. 1–144. (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈玉明, 王开天. 2008. 秘鲁胡斯塔铜矿原生晕地球化学特征及找矿 效果[J]. 物探与化探[J], 2008, 32(2): 126-130.
- 陈玉明,张潮,陈秀法.2017.南美洲地质矿产与矿业开发[M].武汉: 中国地质大学出版社,277-304.
- 地球科学大词典,应用科学卷[M]. 2005. 地质出版社.641-645.
- 董永观, 姚春彦, 曾勇, 高卫华, 郭维民 2013. 南美地台地质演化与成 矿特征[J]. 矿物学报. 增刊: 1041-1042.
- 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.

- 郭维民, 董永观, 邢光福, 曾勇. 2013. 巴西铁四角地区铁矿床研究进 展[J]. 地质科技情报. 32 (5): 79-85.
- 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.
- 沈承珩, 王守伦, 陈森煌. 1995. 世界黑色金属矿产资源[M]. 北京: 地 质出版社, 1-130.
- 肖荣. 2013. 秘鲁南部 Acari 地区多金属矿床特征及找矿预测[D]. 中 南大学. 2013.
- 席振. 2011. 秘鲁南部铁矿床特征、成矿规律及勘查远景研究[D]. 中 南大学. 2011.
- 姚春彦, 董永观, 曾勇, 郭维民. 2014. 委内瑞拉伊玛塔卡铁矿带成矿 特征及找矿选区研究[J]. 矿床地质, 增刊, 33: 1137-1138.
- 姚春彦, 董永观, 曾勇, 郭维民. 2014. 巴西帕拉州卡拉加斯成矿带北 矿带高品位铁矿床的热液成因[C]. 中国地球科学联合会学术年 会: 1137-1138.
- 冶金部情报标准研究所. 1976. 国外前寒武纪铁硅建造风化淋滤型 富铁矿[M]. 冶金工业出版社.
- 曾勇,郭维民,姚春彦,项红莉.2013.巴西卡拉加斯地区氧化铁型铜 一金矿床研究进展[J].地质科技情报.32(5):72-78.
- 曾勇,郭维民,项红莉,姚春彦.2015.巴西卡拉加斯地区大规模铁一 铜一金多金属矿床的成矿作用[J].矿床地质.34(4):828-841.
- 张潮. 2017. 南美洲成矿区带划分及其地质矿产特征[D].1-144.