

墨西哥中—新生代成矿系列和成矿带划分及其大地构造意义

王翠芝¹, 雷 华², 姚仲友³, 赵珍梅², 谢其锋¹, 王力圆¹, 林木森¹,
范明森⁴, 陈丽华⁵

WANG Cuizhi¹, LEI Hua², YAO Zhongyou³, ZHAO Zhenmei², XIE Qifeng¹, WANG Liyuan¹,
LIN Musen¹, FAN Mingsen⁴, CHEN Lihua⁵

1.福州大学紫金矿业学院,福建福州 350108; 2.中国冶金地质总局矿产资源研究院,北京 101300;
3.中国地质调查局南京地质调查中心,江苏南京 210016; 4.南京大学地球科学与工程学院,江苏南京 210046;
5.紫金矿业集团紫金山铜金矿,福建龙岩 304200

1. *Zijin Mining College of Fuzhou University, Fuzhou 350108, Fujian, China;*
2. *Institute of Mineral Resources Research, China Metallurgical Geology Bureau, Beijing 101300, China;*
3. *Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China;*
4. *School of Earth Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210046, Jiangsu, China;*
5. *Zijinshan Copper and Gold Mine of Zijin Mining Group, Longyan 304200, Fujian, China*

摘要:墨西哥是矿产资源大国,其中产量最高的包括银、铜、铁、铅锌等。这些矿产的生成主要源于多种多样的矿床类型和各式各样的矿化类型,其中浅成低温热液型、斑岩型、矽卡岩型、IOCG(铁氧化物铜金)型是最突出的矿床类型。这些矿床的形成与北科迪勒拉山系的形成有关,体现了联合大陆长期积聚或解体的某些阶段,尤其是中新生代成矿带的空间展布特征与其形成的大地构造环境密切相关。划分的9个构造-岩浆-成矿带,分别形成3个俯冲成矿系列,即从沿海到内陆依次发育的IOCG型铁铜金成矿带→斑岩型铜钼金成矿带→浅成低温热液型银金多金属成矿带,分别代表太平洋古板块、法拉隆板块和科科斯板块向北美板块从俯冲、挤压到碰撞后伸展的板块构造岩浆成矿环境。这类俯冲边界型成矿系统的主体部分是西马德里造山带岩浆弧中的斑岩型铜钼成矿系统和盆岭省中的火山岩控制的浅成低温热液型银金成矿系统。

关键词:墨西哥;中—新生代;成矿系列;成矿带;大地构造

中图分类号:P534.5;P534.6;P612 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2017)12-2116-08

Wang C Z, Lei H, Yao Z Y, Zhao Z M, Xie Q F, Wang L Y, Lin M S, Fan M S, Chen L H. Classification of the Mesozoic-Cenozoic metallogenic series and belts in Mexico and its tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(12):2116-2123

Abstract: Mexico is a great production country in mineral resources such as in silver, copper, iron, lead and zinc with the highest output of these resources. The generation of these minerals is mainly attributed to a variety of types and all kinds of mineralization types of ore deposits. Among these types, the epithermal type, porphyry type, skarn type, IOCG type are the most prominent types. The formation of these deposits is related to the formation of the cordilleras, which embodies some stages of long-term accumulation or disintegration of the united continent. The spatial distribution characteristics of Mesozoic-Cenozoic metallogenic belts, in particular, are closely related to the tectonic environment. The authors recognized nine tectonic-magmatic metallogenic belts, which respectively form three subductional metallogenic serie: from the coast to the inland, they are the IOCG iron-copper mineralization zone,

收稿日期:2017-03-20;修订日期:2017-09-19

资助项目:中国地质调查局项目《全球主要矿产资源分布与潜力分析研究》(编号:1212011120327)、《墨西哥岩浆-成矿事件研究》(编号:中地调研[2015]314)和《海上丝绸之路大洋洲和南美洲矿产资源潜力评价》(编号:DD20160110)

作者简介:王翠芝(1965-),女,博士,教授,从事矿床成矿规律及矿产开发利用研究。E-mail: wcuizhi@163.com

the porphyry gold-copper-molybdenum mineralization zone and the epithermal gold-silver polymetallic metallogenic belt, which represent the plate tectonic magmatic metallogenic environment from subduction, extrusion to post-collision stretching of the Pacific plate, Farallon plate and Cocos plate towards the North American plate. Mexican subduction boundary metallogenic systems are mainly reflected in the porphyry copper-molybdenum metallogenic system of the magmatic arc in the west Madre orogenic belt and the silver-gold hypothermal metallogenic system controlled by volcanic rocks in the basin-ridge province.

Key words: Mexico; Mesozoic-Cenozoic; metallogenic series; metallogenic belts; tectonic

1 区域地质概况

墨西哥大地构造位置上位于太平洋科科斯(Cocos)板块与大西洋加勒比板块之间,属于双向俯冲带之间的隆起地块(图1),其南以左旋走滑断裂带与加勒比板块相邻,西北以转换断层和东太平洋部分洋脊与太平洋板块相接,西南以科科斯板块和里维拉(Rivera)板块洋壳岩石圈俯冲断层为界,西南近海区内部发育复杂的太平洋板块、科科斯板块和里维拉板块的构造边界三联点^[1]。墨西哥大陆主要由墨西哥造山带(南科迪勒拉褶皱带)和墨西哥湾向斜盆地两大构造单元组成(图2)。西部的墨西哥造山带明显受太平洋板块的中新生代俯冲碰撞活动的影响,地貌上大多表现为雄伟的山脉与高原,形成墨西哥国土的主体,发育多种多样的火成岩、沉积岩和变质岩,包括许多碱性和基性侵入岩体,以及大型蒸发岩盆地,盆地内发生过强烈的火山喷发,并伴有热液活动;而东部的墨西哥湾盆地则受北美板块与南美-非洲板块拼合及中新生代裂解作用的控制,自中生代以来长期处于稳定大陆边缘的构造位置,接受了大量的陆相和海相沉积,地貌上表现为低平狭长平原和台地。同时,北美板块与南美-非洲板块之间的一系列微板块的运动和变化也影响着该地区的构造演化,特别是墨西哥湾盆地的形成。墨西哥大陆位于北美板块西南区,小部分靠近危地马拉,其中下加利福尼亚半岛位于太平洋板块内。

墨西哥大陆格局是由古陆基底残片和古洋壳地体不断增生融合形成的。墨西哥东部拉张作用活跃,西部俯冲消减作用仍在发展。因此,墨西哥可能是北美范围内最适合研究2个不同构造单元相互作用的区域。

2 中—新生代成矿系列和成矿带的划分

墨西哥特殊的大地构造环境造就了境内特征性的岩浆活动,相应地造就了与岩浆事件有关的特征性的成矿作用、成矿系列及成矿带。

2.1 成矿期

通过对墨西哥境内矿产种类特征及471个矿产地的成矿年龄统计,发现墨西哥的成矿作用主要发生在中—新生代(图3),时代明显分布在晚侏罗世、早白垩世、晚白垩世、古新世、始新世、渐新世、中新世。这与Clark等^[3]对墨西哥的成矿历史确定的几个成矿期的划分基本一致。

2.2 主要成矿期矿床类型

中—新生代与岩浆活动有关的矿床类型主要有浅成低温热液型矿床、矽卡岩型矿床、斑岩型矿床、与火山相关的块状硫化物(VMS型)矿床、铁氧化物铜金(IOCG型)矿床、火山型锡矿床及火山型铀矿床,这些矿床在时间和空间上重叠^[4]。根据矿床的时空分布特征及主要类型,中、新生代可以确定7个成矿时空段:①中侏罗世—早白垩世,位于墨西哥西南部,主要为VMS型矿床;②白垩纪,在墨西哥西南部及太平洋地区,主要是与基性-超基性岩有关的矿床;③古新世—始新世早期,位于墨西哥西北部及太平洋地区,主要为斑岩型矿床,也有IOCG型矿床和随时间推移而增加的矽卡岩型矿床;④早—晚始新世,在墨西哥西北部和中部,主要为矽卡岩型矿床和热液型矿床;⑤渐新世的矿床分布广泛,主要为低温热液型矿床、云英脉型锡矿床(中央高原南部)和一些矽卡岩型矿床;⑥渐新世末—中新世早期,在墨西哥西南部和中部,以浅成低温热液型矿床为主;⑦中中新世—现在,矿床分布广泛,含有多种矿床类型。大多数矿床和多数已测年的矿床都与不同种类的岩浆作用有关,并就位于地壳的不同深度。

2.3 成矿系列

墨西哥境内几乎所有的地壳单元都存在岩浆侵位,不同区域具有不同的构造演化特征及岩浆岩系列,也形成与之相关的特殊的成矿系列。具有经济开采价值的矿床绝大部分赋存于中生代晚期及新生代岩浆岩集中区,岩浆活动主要沿太平洋板块与北美大陆汇聚带分布。二叠纪开始,大洋岩石圈大规模向东俯冲于墨西哥西缘之下,导致墨西哥大陆发生大量的岩浆构造事件。持续的俯冲



图1 全球板块分布示意图^[1]

Fig. 1 Sketch map of global plates distribution

作用使大陆碎块、岛弧和陆间盆地增生,导致大陆向西和向南生长,与俯冲相关的弧岩浆作用向南和向西迁移。根据矿床成矿年龄及相关岩体形成时代,结合板块构造活动特征,墨西哥中生代以来的矿床可以划分为3个成矿系列(9个亚系列),分别代表古太平洋板块、法拉隆板块和科科斯板块与北美板块之间从俯冲、碰撞到伸展的演化过程。

2.3.1 古太平洋板块俯冲、碰撞到伸展演化成矿系列

二叠纪开始,古太平洋大洋岩石圈大规模向东俯冲于墨西哥陆块西缘之下,这时钙碱性岩浆作用

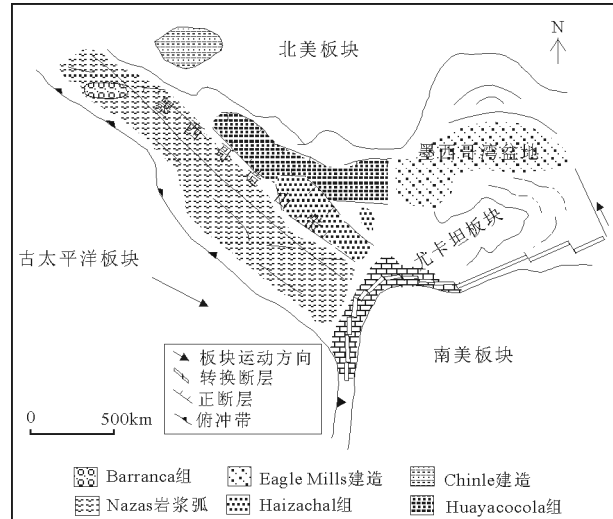


图2 墨西哥及墨西哥湾盆地板块构造图^[2]

Fig. 2 Tectonic plates of Mexico and the gulf of Mexico basin

主要分布于东部的科阿韦拉地体(Coahuiltecano)和马雅(Maya)地体,但存在露头较少,成矿意义不大。晚三叠世—晚侏罗世,北美洲和南美洲之间发生不均一的伸展作用,导致墨西哥东部及相邻地区的地壳厚度和基底深度不均一分布,表现为联合大陆(Pangea)裂解,即北美洲和南美洲克拉通之间的侏罗纪伸展(仅限于墨西哥湾区域),形成裂谷环境下海相火山岩VMS型铜-铅-锌矿,与中基性、基性岩有关的IOCG型铁(铜金)矿、岩浆弧斑岩型铜

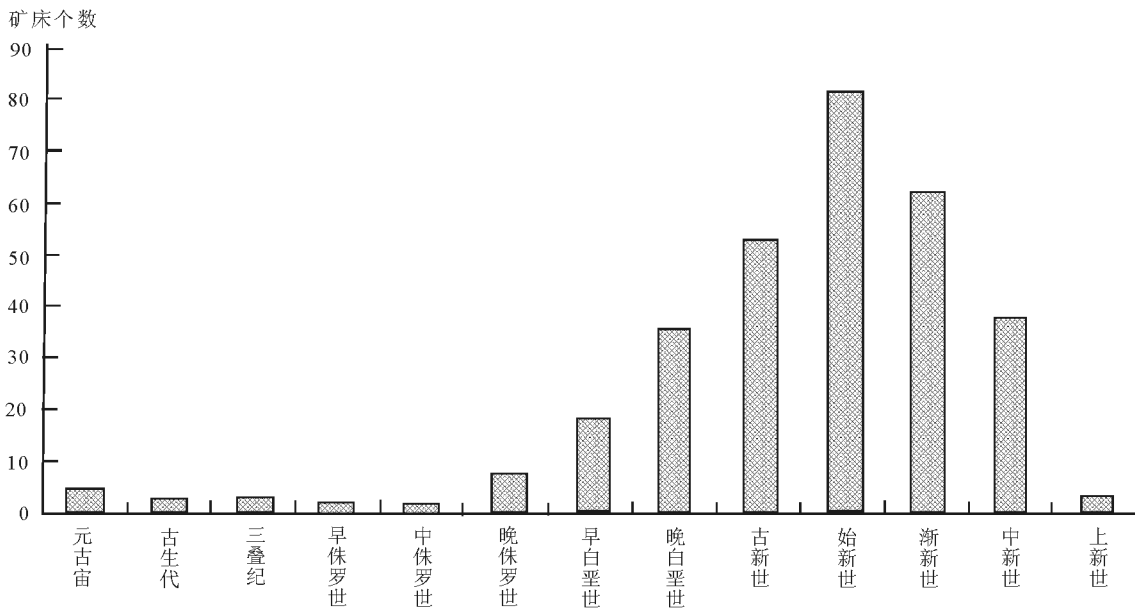


图3 墨西哥与岩浆活动有关的矿床成矿时代统计

Fig. 3 Statistics of metallogenic epochs related to magmatic activities in Mexico

(钼)矿等3个成矿亚系列。

(1)侏罗纪,与海相火山岩有关的VMS型铜-铅-锌矿(178~145Ma)主要分布在格雷罗地体中,代表性矿床主要有墨西哥州蒂萨帕(Tizapa)铜-铅-锌矿床^[5]、萨卡特卡斯圣尼古拉斯(San Nicolas)铜-铅-银-金矿床。

(2)与侏罗纪岩浆弧有关的斑岩型铜矿,主要分布于下加利福尼亚区,代表古太平洋板块俯冲而形成的海洋弧,代表性的矿床为EI Arco铜矿^[6]。

(3)早白垩世与中基性、基性岩浆有关的IOCG型铁-金-铜矿(大约110Ma),主要分布在下加利福尼亚海岸线上,可以代表古太平洋板块俯冲、碰撞后短暂的裂谷环境伸展过程中的产物,这个时期形成的IOCG型铁-金-铜矿规模均小,如下加利福尼亚区西部沿海Mixzy、La Grulla、San Isidro等一系列的铁-金-铜矿^[7]。

2.3.2 法拉隆板块俯冲、碰撞到伸展演化成矿系列

(1)晚白垩世—始新世,与钙碱性岩浆有关的斑岩型铜-钼-金矿、与中性岩有关的IOCG型铁-金-铜矿及少量矽卡岩型的钨-钼-铅-锌矿,主要集中在80~50Ma,其中斑岩型铜-钼-金矿及少量矽卡岩型钨-钼-铅-锌矿主要分布在索诺拉州及锡纳罗州,IOCG型铁-金-铜矿主要分布在南部沿海,为拉腊米期法拉隆板块向北美板块俯冲的产物。斑岩型铜-钼-金矿中代表性的矿床有索诺拉州的卡纳内阿铜矿^[8]、拉卡里达铜钼矿。矽卡岩型钨-钼-铅-锌矿中,代表性的矿床主要有中央高地的圣路易斯波托西查尔卡斯铅锌矿和东北部的圣弗朗西斯科德尔奥罗-圣巴巴拉-格拉纳德纳铅-锌-多金属矿。IOCG型铁-金-铜矿,主要有高原南部的Las Truchas铁矿、科利马州的Pena Colorada铁矿^[9]。

(2)始新世,与酸性火山岩有关的浅成低温热液型银-金矿、火山热液型铀矿、流纹岩中的锡矿、矽卡岩型铅锌铜矿(56~23Ma),均为拉腊米期间法拉隆板块经俯冲、碰撞后早期伸展作用的产物。浅成低温热液型银金矿(主要集中的48~40Ma)主要分布在墨西哥西马德里西部局部地区,代表性矿床如Batopilas矿、Topia矿^[10]。火山热液型铀矿主要分布在奇瓦瓦州,代表性矿床如谢拉佩尼布兰卡铀矿^[11]。矽卡岩型铅锌铜矿主要分布在墨西哥中央台地区,萤石矿在中央台地区和东北部科阿韦拉州也有局部分布。

(3)渐新世,与火山活动有关的浅成低温热液型银金矿(主要集中在36~27Ma)、与流纹岩伴生的锡矿、矽卡岩型铁铜铅锌矿和少量IOCG型铁氧化物铜金矿,为拉腊米期间法拉隆板块经俯冲、碰撞后晚期伸展作用过程中的产物。浅成低温热液型银金矿在墨西哥中部,呈北西向带状展布,主要分布在古地体边界上,渐新世为浅成低温热液型银金矿形成的主要时期。IOCG型铁氧化物铜金矿在东北部的科阿韦拉州局部分布。

(4)渐新世,南马德里造山带中少量钙碱性斑岩有关的铜岩型铜矿,代表法拉隆板块俯冲于墨西哥大陆下,局部伴随岩浆侵入活动。代表性矿床如La Verde(32Ma)铜矿^[12]。

2.3.3 科科斯板块俯冲、碰撞到伸展演化成矿系列

(1)中新世,横贯墨西哥火山带南北两侧的浅成低温热液型银金矿(主要集中的23~18Ma),是科科斯板块俯冲与地幔柱联合作用的产物,代表性矿床主要有哈利科斯科州的博拉尼奥斯(Bolanos)银矿^[13]、辛科纳斯(Cinco minas)银金矿^[11]。

(2)中上新世,分布于南马德里造山带中的少量钙碱性岩浆与斑岩型铜矿,如Toliman(5.75Ma)、Ixhuatan(2.8Ma),代表科科斯板块俯冲作用的产物^[6]。

墨西哥中生代以来的上述3个成矿系列(9个亚系列)主要是按时代和地质环境划分的,它们在空间上叠加,主要表现在斑岩型铜(钼)矿主要分布在北部太平洋沿海一带,VMS型铅锌铜矿受控于格雷罗地体,矽卡岩型铁铜铅锌矿主要分布在东北地区,IOCG型铁铜金矿主要分布在下加利福尼亚和南部沿海地区,而浅成低温热液型银金矿分布广泛,受火山岩带控制,主要分布在中部地区,且往往与其他类型(斑岩型、矽卡岩型等)重叠。

2.4 构造-岩浆-成矿带的重新厘定

根据墨西哥地体构造格架及墨西哥地质调查局的资料,王磊等^[14]划分了6个成矿带(图4)。在此基础上,本次研究系统收集了墨西哥境内的地质矿产资料。按照墨西哥主要构造分区,采用统一格式,整理了墨西哥岩浆岩同位素年龄和岩石化学数据,建立了重要岩体(中生代)成岩年龄和岩石地球化学数据表,通过不同构造单元(8个重点三级构造单元)中9个地区66个重要岩体的成岩时代及相关的431组岩石地球化学数据及367组成岩年龄数

据,分析了不同构造单元的岩浆活动特征。

在墨西哥岩浆岩活动特征研究的基础上,又重点研究了与中生代以来与岩浆活动有关的矿床的时空分布,采用统一格式,建立了矿床成矿年龄和重要矿产信息数据表。通过471个矿产地的矿产信息(其中大型80个、中型95个、小型255个、铜远景区41个),重点综合对比了其中的大中型矿床不同构造单元的矿产组合和典型矿床,分析了不同构造单元的主要成矿时代、主要矿床类型、优势矿产,厘定了墨西哥重要成矿事件;对17个不同成因类型的典型矿床进行研究,重点研究了矿床地质特征、成矿地质条件、主要控矿因素、成岩成矿时代等。

对矿床成矿年龄和重要矿产信息数据表中的相关信息进行标准化处理后,利用ArcGIS软件将相关矿床的名称、地理坐标、矿种、矿床类型、规模等重要信息标注到1:100万地理底图中,再套合同比例尺的大地构造划分图、地质图,发现本次研究涉及到的矿床分布总体趋势与前人研究结果(图4)一致,但个别地区有新的矿产及矿产类型,主要体现

在下加利福尼亚造山带西部沿海分布一系列的IOCG型铁-铜-金矿床,形成年龄约为110Ma;南马德里造山带分布少量形成时代较新的斑岩型铜-钼-金矿,形成年龄为5~3Ma。另外,前人划分的斑岩型铜-钼-金成矿带,矿床形成年龄跨度较大,如下加利福尼亚造山带斑岩型铜-钼-金成矿带中的矿床形成年龄主要在160Ma左右,而西马德里造山带及西部盆岭区斑岩型铜-钼-金成矿带中矿床的形成年龄主要为80~50Ma,考虑到区域构造环境的不同,显然将其作为成矿带处理不合适。因而,本次结合区域构造、岩浆岩、成矿作用、成矿年龄等特点,提出九大构造-岩浆-成矿带方案(图5):①下加利福尼亚造山带西部沿海IOCG型铁-铜-金成矿带;②下加利福尼亚造山带斑岩型铜-钼-金成矿带;③西马德里造山带及西部盆岭区斑岩型铜-钼-金成矿带;④中部火山岩带岩浆热液型、浅成低温热液型金-银-铜成矿带;⑤中部高原及东部盆岭砂卡岩型锌-铅-银-铜成矿带;⑥横贯墨西哥火山带格雷罗古地体中VMS型金-银-锌-铜-铅成矿带;⑦南马德里造山带斑岩型铜-钼-金成矿带;⑧南马

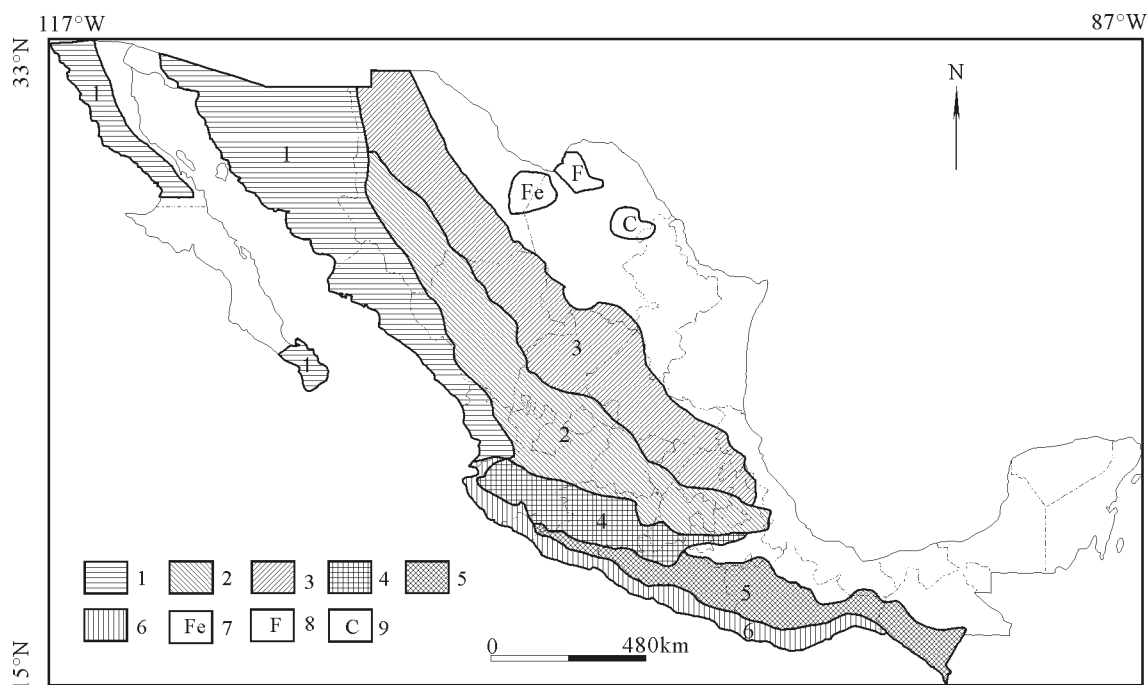


图4 墨西哥重要成矿区带划分^[14]

Fig. 4 The division of important metallogenic belts in Mexico

- 1—浸染状、斑岩型及角砾岩型铜-钼-金成矿带;2—浸染状、脉状及网脉状铜-金-银成矿带;
3—层状、喷流型及脉状铅-锌-铜-金成矿带;4—块状硫化物型铜-铅-锌-金-银成矿带;
5—碱性金属和贵金属成矿带;6—IOCG型铁矿床成矿带;7—铁矿;8—萤石矿;9—石墨

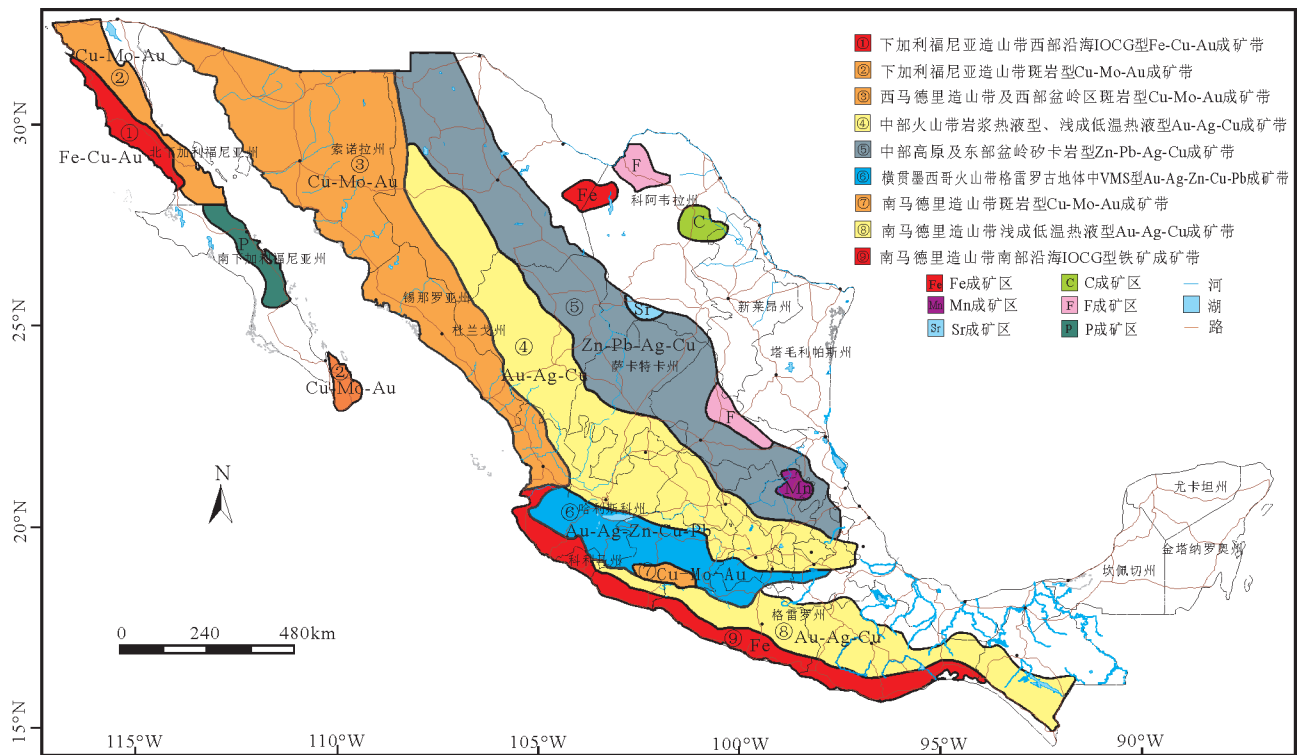


图 5 墨西哥区域成矿带分布

Fig. 5 Distribution of regional metallogenic belts in Mexico

德里造山带浅成低温热液型金-银-铜成矿带;⑨南马德里造山带南部沿海 IOCG 型铁矿成矿带。

3 大地构造意义

墨西哥成矿作用主要与中生代太平洋板块向北美大陆俯冲作用有关。本次划分出的 9 个构造-岩浆-成矿带,分别形成 3 个俯冲成矿系列,即从沿海到内陆依次发育的 IOCG 型铁铜金成矿带→斑岩型铜钼金成矿带→浅成低温热液型银金多金属成矿带,分别代表古太平洋板块、法拉隆板块和科科斯板块向北美板块从俯冲、挤压到碰撞后伸展的板块构造岩浆成矿环境^[15-16](图 6、图 7)。尽管太平洋板块从俯冲、挤压到碰撞后伸展等板块运动阶段的构造岩浆活动特征被后期改造表现得不完整,但其与之后能较完整地体现法拉隆板块和科科斯板块构造运动的构造岩浆岩一起,在空间和时间上,充分体现了板块成矿理论的构造岩浆成矿环境,有利于成矿规律总结和资源潜力分析。尤其是其中的 IOCG 型矿床的空间分布特征对大地构造环境的指示作用更有意义。对于 IOCG 型矿床的成岩

成矿环境,方维萱等^[17]论述了全球 IOCG 型矿床的 3 类大陆动力学背景与成矿模式,认为智利北部-秘鲁南部 IOCG 型矿主要与洋壳俯冲背景下岛弧造山带的拉伸环境有关。墨西哥西、南沿海的 IOCG 型矿床形成环境与智利北部-秘鲁南部 IOCG 型矿床的大地构造背景相似,也与太平洋洋壳俯冲背景下形成的北科迪勒拉造山带的拉伸环境有关。陈华勇等^[16]也认为,墨西哥西缘加利福尼亚半岛的矿化类型显然与北部北美西缘成矿带有显著区别,这些中生代富铁氧化物铜金矿床与南美安第斯中生代矿床表现出较多的一致性。对于这种形成于洋壳俯冲背景下岛弧造山带的 IOCG 型矿床在俯冲带中的位置并非只有弧后盆地边缘一种(图 7),还可以形成在弧前盆地与弧中盆地中^[17]。本次研究的 IOCG 型成矿带在洋壳俯冲背景下岛弧造山带中主要分布于弧前盆地中,其成岩成矿环境与一般俯冲边界环境岛弧造山带的成岩成矿环境一致,处于抬升状态的中基性、基性岩石(火成岩或侵入岩)均能为 IOCG 型矿床的形成提供充足的铁氧化物物源。

墨西哥(包括整个北美西部)为环太平洋俯冲

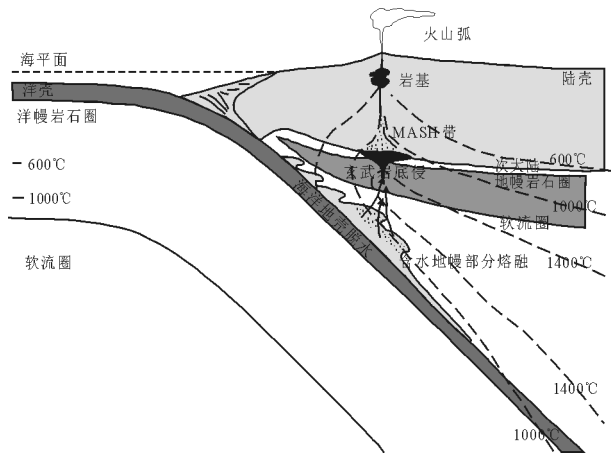


图6 板块俯冲边界大陆岩浆弧^[15]

Fig. 6 Continental magmatic arc in subduction boundary

型成矿带东部带的一部分。墨西哥大陆境内分布着一系列的微地体^[18],如墨西哥西北地区的北美克拉通型奇瓦瓦(Chihuahua)地体和索诺拉州的Caborca地体^[19],中东部地体主要有Coahuila(科阿韦拉)地体^[20]、Maya(马雅)地体^[21]、东马德雷地体,西部和南部地体主要有Parral(帕拉尔)地体、Cortez(科尔特斯)地体^[22]、Guerrero(格雷罗)复合地体^[18]、Las Ollas(拉斯·奥利亚斯)杂岩、Mixteca(米斯特克)地体、Oaxaca(瓦哈卡)地体^[23]、Juarez(华瑞兹)地体^[24]、Xolapa地体^[25], Baja California半岛主要分布2个地体,分别为北部的Alisitos地体和南部的Vizcaino地体。自180Ma开始,随着太平洋板块向东北的俯冲作用,这些地体依次拼在北美板块上,形成地体之间一系列近平行的北西向深大断裂,这些深大断裂控制了区域地层建造、岩浆岩带及褶皱带轴部呈北西向展布的基本构造格架,同时也作为区域性控矿和导矿构造,控制了墨西哥主要成矿带呈北西—南东向展布的基本空间分布特征。中中新世以后,墨西哥西部洋壳俯冲作用减弱,板块活动以太平洋板块和科科斯板块左行走滑为主,在北西向深大断裂构造之间形成一系列呈雁行式分布的北东向断裂构造,这组构造与北西向断裂构造同期或稍晚形成,为规模较小的次级脆性断裂,常作为容矿构造控制矿(化)体的展布方向。随后伴随加利福尼亚海湾的打开,形成一系列北西向张性断裂带,对早期形成的矿体具有一定的破坏作用。

墨西哥大陆西部最主要的成矿标志是西马德

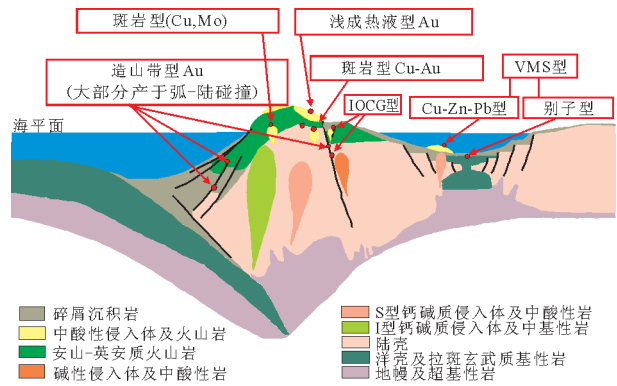


图7 板块俯冲边界主要矿床类型^[16]

Fig. 7 Main types of ore deposits in subduction boundary

里造山带岩浆弧中的斑岩型铜钼矿成矿系统和盆岭省中的火山岩控制的浅成低温热液型矿床,其中代表性岩体(如下加利福尼亚造山带的埃尔阿尔科岩体、西马德里造山带的锡那罗亚岩基,南马德里造山带的阿卡普尔科岩体等)均属钙碱性岩浆系列,具有较高的大离子亲石元素和高场强元素比率,显示与俯冲相关的熔融岩浆的典型特征^[26]。

4 结论

(1)墨西哥大地构造位置上位于太平洋的科科斯板块与大西洋的加勒比板块之间,属双向俯冲带之间的隆起地块,是北美范围内最适合研究不同构造单元相互作用的区域。

(2)9个构造-岩浆-成矿带,分别形成3个俯冲成矿系列,即从沿海到内陆依次发育的IOCG型铁铜金成矿带→斑岩型铜钼金成矿带→浅成低温热液型银金多金属成矿带,分别代表古太平洋板块、法拉隆板块和科科斯板块向北美板块从俯冲、挤压到碰撞后伸展的板块构造岩浆成矿环境。

(3)墨西哥西部造山带为环太平洋成矿带东部带的一部分。自180Ma开始,随着太平洋板块向北美西缘的俯冲作用,形成俯冲边型成矿系统,其主体为西马德里造山带岩浆弧中的斑岩型铜钼矿成矿系统和盆岭省中的火山岩控制的浅成低温热液型银金矿成矿系统。

致谢:中国地质调查局发展研究中心邱瑞照研究员、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肖庆辉研究员、中国地质科学院地质研究所卢民杰研究员、中国地质调查局科技外

事部刘大文研究员、中国地质调查局发展研究中心向运川、李玉龙、葛佐研究员等对本次研究进行了指导和建议,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- [1]王军,曹锦元,智铎强.墨西哥哈利斯科州 Cinco Minas 银金矿区构造与成矿关系[J].矿产勘查,2014,1:90-95.
- [2]Bartolini C, Lang H, Spell T. Geochronology, geochemistry, and tectonic setting of the Mesozoic Nazas arc in north central Mexico, and its continuation to northern South America[C]//Bartolini C, Buffer R T, Blickwede J. The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics. *Aapg Memoir*, 2003, 79: 427-461.
- [3]Clark K F, Fitch D C. Evolución de Depósitos Metálicos en Tiempo y Espacio en México[C]//Clark K F, Salas-Pizá G, Cubillas-Estrada R. *Geología Económica de México*, 2nd ed. Servicio Geológico Mexicano & Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, 2009: 62-133.
- [4]Camprubi A. Major metallogenic provinces and epochs of Mexico[J]. *Society for Geology Applied to Mineral Deposits*, 2009, (25): 1-30.
- [5]Mortensen J K, Hall B V, Bissig T, et al. Age and paleotectonic setting of volcanogenic massive sulfide deposits in the Guerrero Terrane of central Mexico: Constraints from U-Pb age and Pb isotope studies[J]. *Economic Geology*, 2008, 103(1): 117-140.
- [6]Valencia V A, Barra F, Weber B, et al. Re-Os and U-Pb geochronology of the El Arco porphyry copper deposit, Baja California Mexico: Implications for the Jurassic tectonic setting[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 2006, 22: 39-51.
- [7]Cruise M, Hitzman M, Lopez G. Baja California, Mexico--new IOCG discoveries in a frontier district[C]//Proceedings of the Ores & Orogenesis Symposium, Arizona Geological Society, abstract, 2007: 97.
- [8]Rio-Salas R D, Ochoa-Landín L, Valencia-Moreno M, et al. New U-Pb and Re-Os geochronology of Laramide porphyry copper mineralization along the Cananea lineament, northeastern Sonora, Mexico: Contribution to the understanding of the Cananea copper district[J]. *Ore Geology Reviews*, 2017, 81(3): 1125-1135.
- [9]Rivas-Sanchez M L, Alva-Valdivia L M, Arenas-Alatorre J, et al. Berthierine and chamosite hydrothermal: genetic guides in the Peña Colorado magnetite-bearing ore deposit, Mexico[J]. *Earth Planets and Space*, 2006, 58: 1389-1400.
- [10]Camprubi A, Ferrari L, Cosca M A, et al. Ages of epithermal deposits in Mexico: Regional significance and links with the evolution of Tertiary volcanism[J]. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 2003, 98: 1029-1038.
- [11]George-Aniel B. 墨西哥奇瓦瓦州谢拉佩尼亚布兰卡矿区火山成因钼矿化——三种成因模式[J]. *Economic Geology*, 1991, 86(2): 233-248.
- [12]USGS. Porphyry Copper Assessment of Mexico[M]. USGS, 2010.
- [13]李杰美,王美娟,朝银银,等.国外与火山-次火山岩有关的银矿床[C]//黄金地质专题信息编辑之十八,2009.
- [14]王磊,柳玉龙,李丰收,等.墨西哥成矿分带及与侵入岩相关矿床分布规律[J].矿产勘查,2014,5(4):663-671.
- [15]Richards J P. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation[J]. *Econ. Geol.*, 2003, 98: 1515-1533.
- [16]陈华勇,肖兵.俯冲边界成矿作用研究进展及若干问题[J].地学前缘,2014,21(5):13-22.
- [17]方维萱,柳玉龙,张宁林,等.全球铁氧化物铜金型(IOCG)矿床的3类大陆动力学背景与成矿模式[J].西北大学学报(自然科学版),2009,39(3):404-413.
- [18]Centeno-García E, Guerrero-Suastegui M, Talavera-Mendoza O. The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: Collision and subsequent rifting in a supra-subduction zone[C]//Draut A, Clift P D, Scholl D W. Formation and Applications of the Sedimentary Record in Arc Collision Zones. *Geological Society of America Special Paper*, 2008, 436: 279-308.
- [19]Anderson T H, Nourse J A. Pull-apart basins at releasing bends of the sinistral Late Jurassic Mojave-Sonora fault system[J]. *Geological Society of America Special Papers*, 2005, 393: 97-122.
- [20]Denison R E, Burke W N, Hetherington E A, et al. Basement rock framework of parts of Texas, southern New Mexico and northern Mexico[C]//Seewald K, Sundeen D. The geologic framework of the Chihuahua tectonic belt. *West Texas Geological Society, Midland, TX*, 1971: 3-14.
- [21]Ramirez-Espinosa J. Tectono-magmatic evolution of the Paleozoic Acatlán Complex in southern Mexico, and its correlation with the Appalachian system[D]. Unpubl. Ph.D. thesis, University of Arizona, 2001: 1-170.
- [22]Sedlock R L, Ortega-Gutiérrez F, Speed R C. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico[J]. *Geological Society of America Special Papers*, 1993, 278: 1-153.
- [23]Keppie J D. Terranes of Mexico revisited: A 1.3 billion year odyssey[J]. *International Geology Review*, 2004, 46(9): 765-794.
- [24]Carfanta J C. Les ensembles géologiques du Mexique méridional. Evolution géodynamique durante le Mésozoïque et le Cénozoïque[J]. *Geofísica Internacional*, 1983, 22: 9-37.
- [25]Guerrero J, Silver L, Anderson T. Estudios geocronologicos en el Complejo Xolapa[M]. IV Convencion geologica nacional, Mexico, Resumenes, 1978.
- [26]Ortega-Gutiérrez F, Elías-Herrera M, Morán-Zenteno D J, et al. A review of batholiths and other plutonic intrusions of Mexico[J]. *Gondwana Research*, 2014, 26(3/4): 834-868.