

304-317

碧口古岛弧带构造演化与成矿^①秦克令^②

金浩甲

赵东宏

(地矿部西安地质矿产研究所)

p612

p736.14

摘 要 通过论述中—晚元古代碧口火山岛弧岩浆建造(喷发、侵入)特征、成岩成矿时代、成矿作用类型,探讨了碧口地体古岛弧岩浆带构造演化与成矿作用类型和矿床成矿系列的关系。中—晚元古代碧口火山岛弧构造演化期,约为10亿年。可以分为武陵期(1 800~1 400Ma)、四堡期(1 400~1 000Ma)和晋宁期(1 000~8 00Ma)。碧口地体经过这三个时期完成了从岩浆岛弧的形成与发展,到板块俯冲和碰撞造山的连续演化过程。武陵期是该区岛弧火山岩带的发育期,生成与蛇绿岩有关的铬铁矿、熔离硫化镍矿床及与细碧-角斑岩有关的块状硫化物矿床。四堡期,主要表现为中酸性深成岩体与钠质辉绿岩的侵入活动,生成岩浆热液及接触交代型铁、铜矿床。晋宁期为碧口地体与扬子板块强烈碰撞造山期,除了生成与中酸性岩浆活动有关矿床外,主要生成与韧性剪切、构造动力变质热液成矿作用有关的金、银矿床。

关键词 碧口火山岛弧,构造演化,成矿系列,碧口地体

碧口地体位于陕、甘、川交界处摩天岭区,呈西宽东窄的楔形嵌于扬子板块、松潘—甘孜褶皱系与秦岭褶皱系等三个一级大地构造单元之间,均以大断裂为界。分布其上的地层为碧口群。经笔者等^①研究,将广义的碧口群解体为三部分:①下伏基底——晚太古界鱼洞子群^②,②中—晚元古界碧口群(狭义);③上覆盖层——上震旦统一寒武统(表1)。

碧口地体主要由上述三部分组成,鱼洞子群为其古老结晶基底,碧口群为火山岛弧增生带,分布面积较大,在陕、甘、川三省交界处遍布于摩天岭区。在中—晚元古代时期发育有完整的沟—弧—盆体系,并经过漫长的地质构造演化,发育有海底火山喷发—沉积岩,经过俯冲消减及碰撞造山,并伴之有壳—幔岩浆活动、高温高压变质作用和高压低温变质作用。因此产生了多种类型的成矿作用,在该区形成了丰富的矿产资源。

1 中晚元古代碧口火山岛弧岩浆序列及构造环境分析

碧口群为中—晚元古代(1 800~800Ma)的火山岛弧,经历了复杂的构造演化过程,其内

① 本文属秦巴重点片地质找矿科技攻关项目的“陕西勉略宁地区碧口群海相火山岩系对金、铜和含金银多金属矿产的控矿因素、成矿规律及找矿标志成矿预测研究”课题,编号 85—01—018—07

② 作者简介:秦克令,男,57岁,1962年毕业于长春地质学院,副研究员,从事同位素地质及区域矿床研究。邮编 710054,西安市友谊东路166号

部构造、岩浆演化具突出的特点。

表1 碧口地体地层表

Table 1 Stratigraphical sequence of the Bikou Terrain

界	统	地方性 地层名称	主要岩性	地质年龄值(Ma, 本文测定)		
				成岩	变质	侵入岩
古生界	下寒武统	干沟组	含碳板岩、硅质岩夹白云岩透镜体。见海绵骨针、三叶虫刺	561±20		
元古界	上元古界	上震旦统	临江组 白云岩、硅质条带白云岩、微晶灰岩、硅质灰岩、下部夹粉砂板岩及硅质条带灰岩			
	中元古界	碧口群	上岩组 含叠层石白云岩(Pt_2bM^{-2}) 下岩组 海相火山碎屑岩、浊流相(Pt_2bM^{-1})	1 565±16	1 044±22	
			上岩组 海相火山碎屑岩、浊流相(Pt_2bM^{-2}) 中岩组 海相火山岩(Pt_2bM^{-2}) 下岩组 海相火山碎屑岩(Pt_2bM^{-1})			
	下元古界					
上太古界		鱼洞子群	斜长角闪岩、浅粒岩、绿泥阳起片岩、阳起磁铁矿岩、干枚状浅粒岩、条带状磁铁矿岩、混合岩化斜长角闪岩、混合岩化浅粒岩、条带状角闪混合岩		2 657±9	2 038±30

1.1 碧口群不同岩石组合的构造环境分析

本文将碧口群划分为两个亚群五个岩组,下亚群下岩组(Pt_2bM^{-1})和中岩组(Pt_2bM^{-2})主要分布于碧口地体东部和南部地区,其岩石组合主要是细碧—角斑岩为主的火山熔岩和碎屑岩,并沿地体南部边缘构成北东东向展布的火山岩带。在勉略宁区,这些火山岩系与基性、超基性岩及中酸性岩体(闪长岩、石英闪长岩、斜长花岗岩)构成了特殊的“三位一体”(图1)

碧口群下亚群上岩组分布于碧口地体火山岩带北部地区,北部以岸门口—荷叶坝断裂为边界,总体形状呈半个巨大的扁豆体。其岩石组合主要是巨厚的重力流沉积,其中尤以浊积岩最为发育,由多个鲍马序列组成。其形成环境为典型的弧后盆地复理石沉积。

碧口群上亚群主要分布于宝成铁路以东的勉略阳(阳平关)区,与碧口群下亚群火山岩系呈角度不整合。其底部岩性为一套由砾岩、砂岩和板岩组成的浊积物,物质来源于岛弧火山岩。其上部为厚层含叠层石白云岩,属于浅海相沉积。其中测得含锰层位的蔷薇辉石同位素年龄为 $1\ 044\pm 22\text{Ma}^{(1)}$ 。上述表明,碧口群上亚群与下亚群之间并非为同一构造层的组合,而是呈覆盖关系。但两构造层内部的褶皱样式及构造线方向又互相吻合,这些特点说明两者共同经历了四堡期(1 000Ma)构造运动的改造。因此,碧口群上亚群是在下亚群火山岩岛弧发育过程中弧前盆地或海沟环境下沉积的产物,其上部碳酸盐岩则是盆地或海沟闭合上升时的礁体沉积。

1.2 碧口火山岛弧岩浆演化序列

碧口火山岛弧岩浆岩带是各种类型岩浆岩发育比较齐全的岩浆活动带。其中包括超镁铁质岩和镁铁质岩系列、细碧角斑岩和钠质辉绿岩系列以及中酸性侵入岩系列。在岩浆活动带的不同部位,岩石组合有较大差异。其成因与中晚元古代板块构造运动有极密切的关系。

1.2.1 蛇纹岩组合中的基性、超基性岩特征及其构造意义

本区蛇纹岩中的基性、超基性岩沿碧口地体的南北呈两个带分布(图1)。南带主要分布于碧口地体南缘弧形展布的火山岩带地区(勉略宁区),并产于碧口群火山岩中。基性、超基性岩呈北东方向展布,与区域构造基本一致。此带宽约10km,由数十个大小不等的岩体组成。其中较大的岩体有黑木林岩体、峡口驿岩体和煎茶岭岩体。岩体产状大都呈长条形或层状、扁豆状和菱形块状。钻探资料证实岩体无根,并与围岩的构造片理产状一致。部分层状岩体与围岩共同发生同斜倒转褶皱,说明其形成时间与火山岩系的形成时间相同或相近。大部分岩体与围岩之间具有明显的构造接触关系:岩体内部及两侧具糜棱岩结构和塑性变形特征,构造片理极为发育,蛇纹石化强烈,其围岩普遍具有动热变质显示。这些特点均表明岩体为构造侵位。

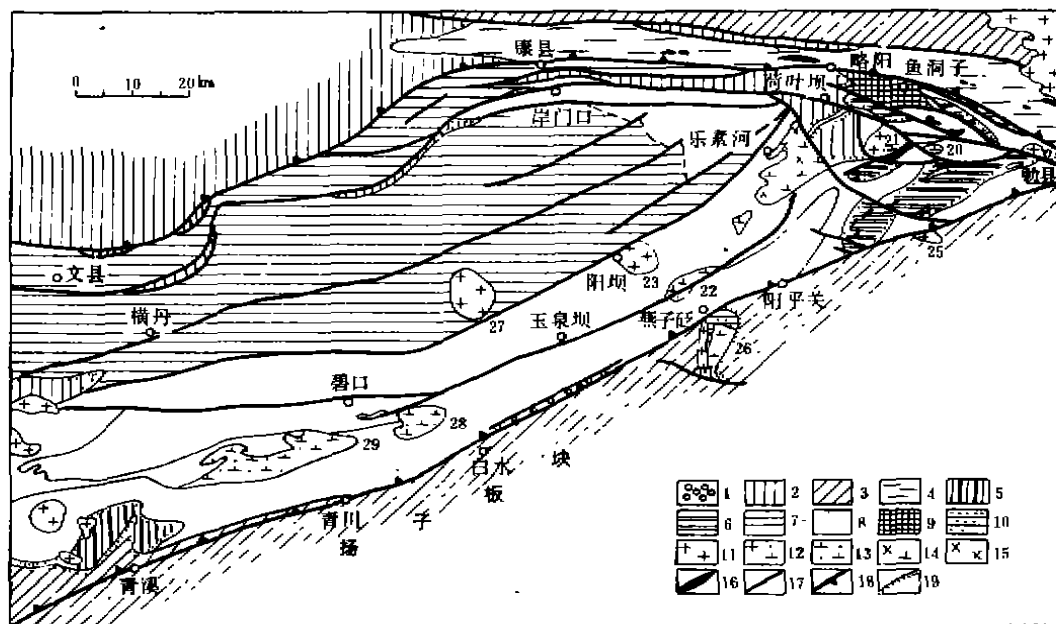


图1 碧口地体地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the Bikou Terrain

1—侏罗系;2—泥盆系;3—志留系;4—早古生界增生带;5—震旦系;6—碧口群上亚群;7—碧口群下亚群上岩组浊积岩系;8—碧口群下亚群中、下岩组火山岩系;9—鱼洞子群花岗岩—绿岩建造;10—刘家坪群变火山岩、沉积岩;11—花岗岩;12—斜长花岗岩;13—石英闪长岩;14—辉石闪长岩;15—辉长辉绿岩;16—超基性岩;17—断层;18—边界断裂;19—不整合界线
20—铜厂岩体;21—金紫山岩体;22—关口堰岩体;23—阳坝岩体;24—七里沟岩体;25—大安岩体;26—刘家坪岩体;27—鹰咀山岩体;28—西沟岩体;29—坪头山岩体

超镁铁质岩石的主要岩石类型有纯橄岩、斜辉橄岩、二辉橄岩和辉石岩,大部分超镁铁岩发生了强烈的蛇纹石化和滑石菱镁岩化等,铬铁矿体呈豆荚状出现。镁铁质岩石有辉长辉绿岩、辉长岩、辉石闪长岩和钠质辉绿岩等。除钠质辉绿岩呈独立的岩脉状产出外,其他类型

的镁铁质岩石大部分与超镁铁质岩石共生而构成层状杂岩体, 如峡口驿岩体(图2)。

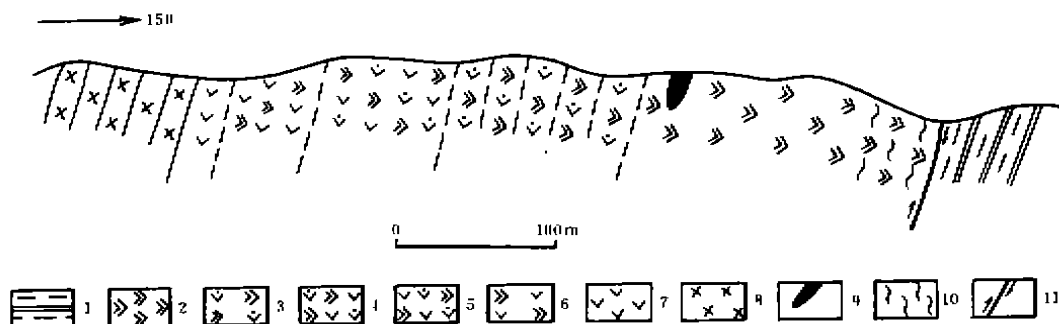


图2 峡口驿岩体剖面图

Fig. 2 Geological section of ultramafic mass in Xiakouyi

- 1—硅质泥质岩; 2—纯橄岩; 3—斜辉橄岩; 4—二辉辉橄岩; 5—二辉橄岩; 6—单辉橄岩; 7—单辉辉石岩;
8—辉长岩; 9—铬铁矿体; 10—片理化; 11—逆断层

北部超基性岩带分布于碧口地体北缘康县—略阳一带, 呈东西向展布。带宽约4~6km, 其内由数十个岩体(群)组成, 包括西三岔岩体群, 跌莽崖岩体、大茅台岩体和鞍子山岩体等。岩体形态以层状为主, 与地层产状一致, 并与围岩共同发生褶皱。岩体的主要围岩为酸性火山岩、碎屑岩和碳酸盐岩。该岩带主要以富镁的变质橄辉岩为主, 层状杂岩较少, 其他特征与南带相同。但在形成时间和空间上两者有别, 可能为早古生代的蛇绿岩。

1.2.2 火山岩的岩石化学特征及构造环境

该区火山岩主要沿碧口地体的南、北边缘呈两个带状展布(图1)。南部火山岩带分布于碧口地体南缘平武—青川—阳平关—勉县一线之北, 全长约230km, 宽约20~30km。带内由一套海相火山岩, 包括细碧岩、角斑岩、石英角斑岩和火山碎屑岩等构成火山喷发韵律。其东部的勉略阳区, 火山熔岩较为发育, 向西经阳坝到青川、平武一带, 火山熔岩逐渐减少。现分以下三区叙述:

(1) 勉略宁区火山岩特征

该区系指碧口地体南部火山岩带宝成铁路以东地区。火山岩与蛇绿岩组合的岩石共生。区内火山熔岩广泛发育, 由细碧岩、角斑岩、石英角斑岩组成, 并伴有钠质辉绿岩, 安山玄武玢岩等次火山岩, 均呈长条状或透镜状产出, 与区域构造线方向一致。

细碧岩大部分具枕状构造, 依其岩石化学成分(表略)所作的 $\text{FeO}^*-\text{FeO}^*/\text{MgO}$ 图解(图3)和 $\text{SiO}_2-\text{FeO}^*/\text{MgO}$ 图解中, 所有基性岩样品都投入拉斑玄武岩一侧, 其中细碧质枕状熔岩大部分落入大洋中脊拉斑玄武岩区, 部分落入岛弧拉斑玄武岩区。在FAM图(图4)上, 大部分基性火山岩投在拉斑玄武岩区, 角斑岩、石英角斑岩和少量细碧岩投入钙碱性岩区, 并具连续演化的特点。钠质辉绿岩与细碧岩有相近的化学成分, 其侵入时期略晚于火山作用, 并非蛇绿岩组合的席状岩墙群。微量元素资料证明钠质辉绿岩、细碧岩、角斑岩和石英角斑岩具有同源性^[3]。

(2) 碧口—青川—平武区火山岩特征

本区系指宝成铁路以西, 从阳坝一带经白水—姚渡直至平武黄羊地区, 沿阳平关—平武大断裂北侧呈北东东向带状分布。带内火山岩特征为: 自东向西熔岩所占比例逐渐减少, 凝灰质

岩石、碎屑岩渐增,其火山岩类型比较单调,以基性岩为主,主要为细碧岩、碳酸盐化细碧岩和变玄武岩,而中酸性火山岩较少,仅见少量的石英角斑岩。

本区火山岩化学成分(表略)在 FAM 图解中,基性火山岩主要分布于拉斑玄武岩区,在 $FeO^*/MgO-TiO_2$ 图解(图5)中, $SiO_2 < 50\%$ 的基性岩全都落入洋中脊拉斑玄武岩区,而 $SiO_2 > 50\%$ 的基性岩则都投在岛弧拉斑玄武岩区, $TiO_2-K_2O-P_2O_5$ 三角图解(图6)中,除少数样品(3和7)外,基性—中基性岩样品都落入洋中脊拉斑玄武岩区。其稀土配分型式为平坦型(图11),与洋中脊拉斑玄武岩相同。上述岩石化学特征表明,本区的基性火山岩大部分是洋中脊环境下形成的,可能代表中元古代洋壳碎片,而中酸性火山岩则是岛弧环境火山喷发的产物。

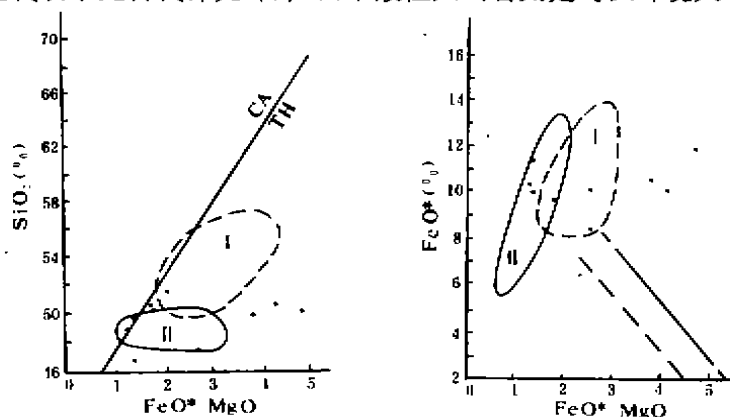


图3 勉略阳基性火山岩 SiO_2-FeO^*/MgO 和 FeO^*-FeO^*/MgO 图解

Fig. 3 SiO_2-FeO^*/MgO diagram and FeO^*-FeO^*/MgO diagram of basic volcanic rocks in Mianlueyang region

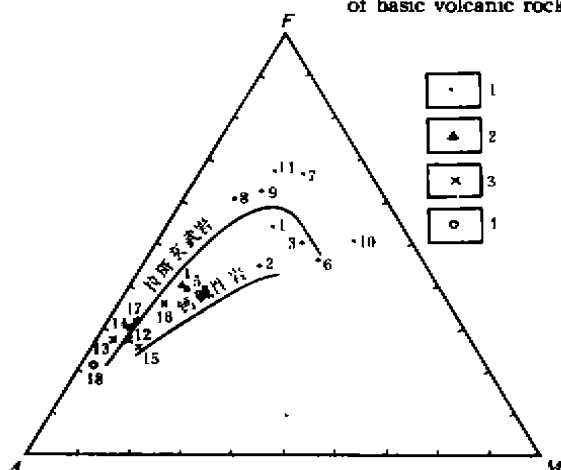


图4 勉略宁区火山岩 AFM 图解

Fig. 4 AFM diagram of volcanic rocks in Mianluening region

1—细碧岩, 2—角斑岩, 3—石英角斑岩, 4—流纹岩

(3) 康县—略阳区火山岩特征

该区位于碧口地体的北部边缘,与碧口群下亚群上岩组复理石建造之间,为断层接

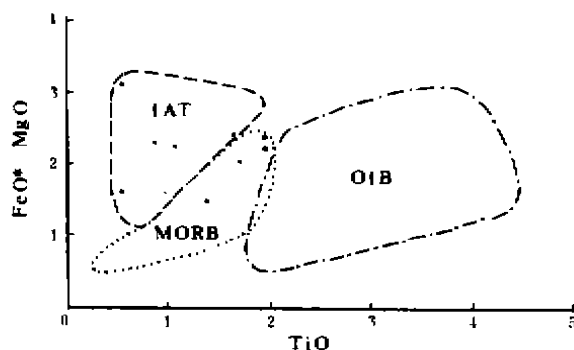


图5 碧口—青川—平武区基性火山岩 $FeO^*/MgO-TiO_2$ 图解(据 Glassiey, 1974)

Fig. 5 $FeO^*/MgO-TiO_2$ diagram of basic volcanic rocks in Bikon-Qingchuan-Pingwu region
MORB—洋中脊拉斑玄武岩, IAT—岛弧拉斑玄武岩, OIB—洋岛玄武岩

触。该火山岩带从康县岸门口至略阳荷叶坝一线以南呈东西向带状分布,宽约5km左右,由于复式向斜转折端的原因,此带在乐素河以西形成一个膨大部位。其中超基性岩较少,但无中酸性深成岩与之伴生。在火山岩组合上,本区与勉略阳区和碧口—青川—平武区有较大差别,其特点是,火山熔岩在带内所占比例较少,并呈长透镜状分布。岩石系列主要为玄武岩—安山岩—英安岩—流纹岩,其中基性火山岩较少。

在FAM图解(图7)中,所有的样品均投在钙碱性岩区内,在里特曼—戈蒂里图解(图8)中,样品均落入造山带和岛弧火山岩区。因此,火山岩组合特征和化学成分特征上均反映本区为典型的古火山岛弧。

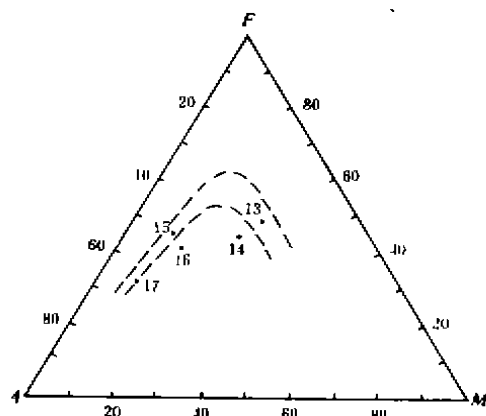


图7 康县—略阳区火山岩FAM图解
Fig. 7 FAM diagram of volcanic rocks in Kangxian-Lueyang region

$A = K_2O + Na_2O$; $F = FeO + 0.9 \times Fe_2O_3$

$M = MgO$

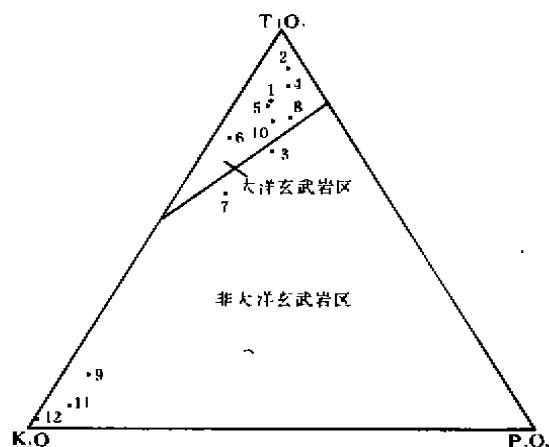


图6 碧口—青川—平武区基性火山岩
 $TiO_2-K_2O-P_2O_5$ 图解(据Pearce等,1975)

Fig. 6 $TiO_2-K_2O-P_2O_5$ diagram of basic volcanic rocks in Bikou-Qingchuan-Pingwu region

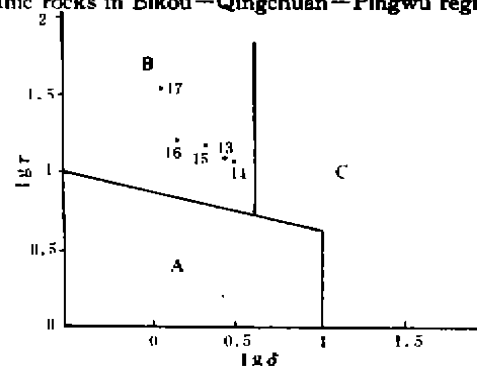


图8 康县—略阳区火山岩里特曼—戈蒂里图解
Fig. 8 Rittmann-Gottili diagram of volcanic rocks in Kangxian-Lueyang region

$\delta = (K_2O + Na_2O)^2 / (SiO_2 - 43)$; $r = (Al_2O_3 + Na_2O) / TiO_2$

A区—非造山带火山岩; B区—造山带及岛弧火山岩;

C区—A、B区有关的碱性、偏酸性火山岩

1.2.3 中酸性深成岩的侵入时代及构造环境

本文论述的几个中酸性岩体,除刘家坪和大安两个岩体位于阳平关—平武大断裂以南的扬子板块北缘区以外,其他各岩体均分布于碧口地体南缘北东东向展布的火山岛弧区内,构成了碧口地体南缘特征的岛弧岩浆岩带。

区内中酸性岩体的岩石类型主要为闪长岩、石英闪长岩、斜长花岗岩和花岗岩。其中闪长岩和石英闪长岩体有铜厂岩体、关口垭岩体和阳平关断裂之南的刘家坪岩体等,向西在甘、川交界处有坪头山岩体及西沟岩体等。斜长花岗岩体有金紫山岩体和大安岩体。花岗岩体有阳坝岩体、丁家坝岩体和七里沟岩体等。从总的分布趋势来看,中性岩体都分布于火山岩带的南

侧,而酸性岩体则分布于火山岩带的北侧,反映出横向上由南向北岩浆活动酸性程度逐渐增高的趋势。这一空间上的分布规律表明中酸性岩浆活动与岛弧火山岩带及板块间相互作用有极为密切的关系,这种岩浆岩组分的变化,与板块俯冲带深度呈函数关系,同位素年代学资料⁽⁴⁾(表 2)表明,该俯冲造山期的岩体成岩时代均为中元古代。

表 2 碧口地体侵入岩分期一览表

Table 2 Stages of the intrusive rocks in the Bikou Terrain

岩体名称	岩性	代号	同位素年龄(Ma)				围 岩	期 次
			$\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}$	$\frac{\text{Ar}}{\text{K}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		
大安	黑云斜长花岗岩	γ_1			141.2		扬子板块北缘志留系	燕山—印支期
花严沟	黑云二长花岗岩	γ_2			207.1	209.4	碧口群下亚群	燕山—印支期
七里沟	黑云二长花岗岩	γ_3			445.3	467.1	碧口群下亚群	加里东期
丁家坝	花岗闪长岩	γ_3^{-2}			616	649	刘家坪群	晋宁晚期
金紫山	黑云斜长花岗岩	γ_3^{-2}			691.9	629.6	碧口群下亚群	晋宁晚期
刘家坪	石英闪长岩	δo_3^{-1}			728	809	刘家坪群	晋宁早期
阳坝	黑云二长花岗岩	γ_3^{-2}	1 235	223	194	230	碧口群下亚群	四堡—武陵晚期
关口垭	石英闪长岩	δo_3^{-1}			841.8	839.6	碧口群下亚群	四堡—武陵早期
铜厂	石英闪长岩	δo_3^{-1}	1 335	494.8	705	633	碧口群下亚群	四堡—武陵早期
西沟	石英闪长岩	δo_3^{-1}			703	742	碧口群下亚群	四堡—武陵早期
何家沟	角闪岩		2 038				鱼洞子群	

注:①晋宁期地质年龄 800~1 000Ma

②四堡—武陵期地质年龄 1 000~1 800Ma

③西沟岩体在甘肃境内

④何家沟岩体 2 038Ma 为 K-Ar 稀释法

⑤ $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄值为锆石 U-Pb 法

该区中酸性岩体的化学成分,除加里东期的七里沟花岗岩体和印支—燕山期的花严沟岩体之外,其他所有岩体的 Na_2O 含量普遍较高, K_2O 大部分 $<1\%$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 2$, 在化学成分上与本区的火山岩极为相似。为了对比和探讨本区基性岩、超基性岩、细碧岩、角斑岩及石英角斑岩等与中酸性深成岩的内在联系,将上述几种岩石化学分析结果分别投影在 $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 图(图 9)中,发现本区的超镁铁质岩石部分落入蛇绿岩套中的变质橄榄岩区和超镁堆积岩区,镁铁质岩石包括与超镁铁岩共生的层状堆晶杂岩、辉绿岩、细碧玢岩和细碧岩等绝大部分投在蛇绿岩镁铁堆积岩区。中性岩体包括铜厂和关口垭两岩体有两个点投在蛇绿岩镁铁堆积区,向 Al_2O_3 端员组分方向过渡到阳坝岩体和金紫山岩体。从超镁铁岩到镁铁质岩到酸性岩投影点总的趋势来看, MgO 的含量逐渐降低而 Al_2O_3 的含量逐渐增高,并且投影点呈连续的弧形,从基性到酸性沿斯科加尔德液体趋势演化线依次变化,清楚地反映出本区中酸性岩体与基性、超基性岩(蛇绿岩)岩浆来源的同源性以及分异演化的规律。

在 FAM 图解(图 10)中,中—晚元古代中酸性岩体的投影点位置大都集中于拉斑玄武岩演化趋势曲线与钙碱性曲线之间的区域内,部分在钙碱性演化曲线的下方,与大陆花斑岩和流纹岩的位置明显不同。金紫山岩体的投影点则与大洋斜长花岗岩投影点相吻合。在总的趋势

上,从基性岩到中酸性岩具有连续演化的特点,因而进一步说明本区中—晚元古代中酸性岩体与细碧岩、角斑岩和石英角斑岩属同一岩浆演化系列的产物。

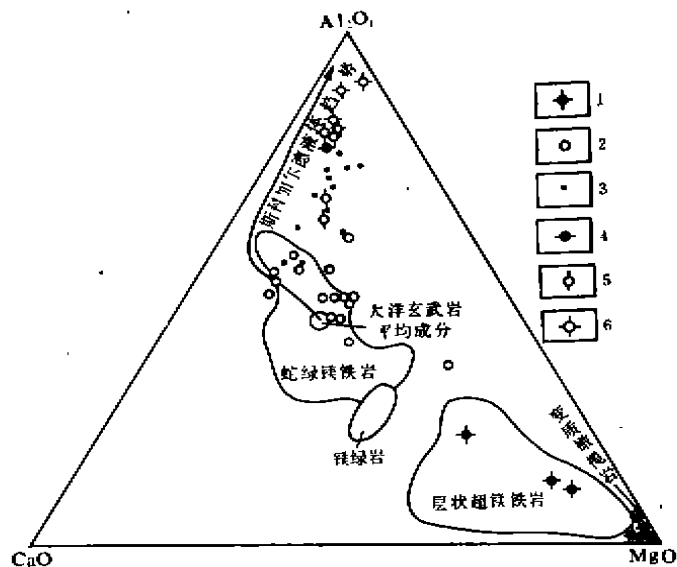


图9 勉略宁区岩浆岩 Al_2O_3 — CaO — MgO 图解(据 Coleman, 1977)

Fig. 9 Al_2O_3 — CaO — MgO diagram of magmatic rocks in Mianluening region (after Coleman, 1977)

1—超基性岩; 2—基性杂岩; 3—钢厂岩体; 4—阳坝岩体; 5—关口堰岩体; 6—金紫山岩体

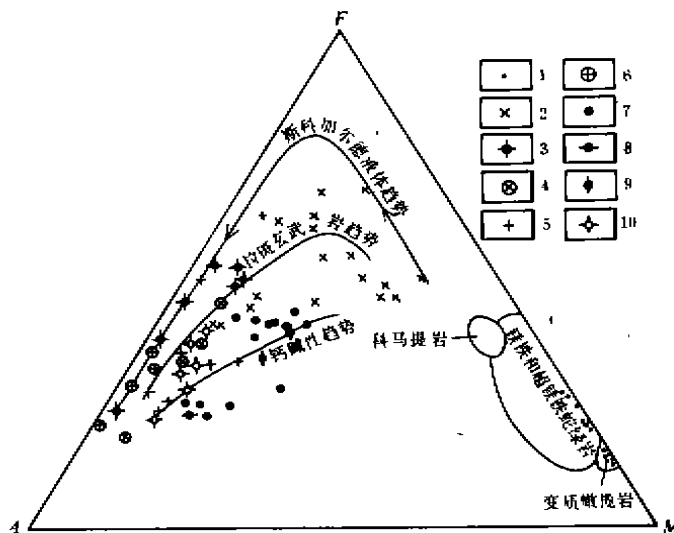


图10 勉略宁区岩浆岩 AFM 图解(对比资料据 Coleman, 1977)

Fig. 10 AFM diagram of magmatic rocks in Mianluening region (after Coleman, 1977)

1—超基性岩; 2—基性火山岩; 3—大陆花斑岩; 4—大洋斜长花岗岩; 5—石英角斑岩; 6—流纹岩; 7—钢厂岩体; 8—阳坝岩体; 9—关口堰岩体; 10—金紫山岩体

超基性岩、中酸性岩体与中基性火山岩的稀土元素配分型式见图11。中—晚元古代的中酸性岩体包括关口垭岩体、铜厂岩体、阳坝岩体和金紫山岩体的稀土总量基本与细碧岩、角斑岩的稀土总量相近。稀土配分型式为轻稀土右倾富集、重稀土为平坦型或略亏损。 δEu 接近于1,基本无异常。其标准化图式与大洋斜长花岗岩和大陆花岗岩^[5](Coleman, 1977)有明显不同,说明本区花岗岩没有经过富钙斜长石的分离结晶作用,不是洋壳蛇绿岩套的组成部分。在图11中可以看出,中酸性岩的稀土配分型式与角斑岩、石英角斑岩及部分细碧岩基本相同,说明它们是同一岩浆源的不同相的产物。

综上所述,本区闪长岩和斜长花岗岩虽然在岩石化学成分上类似于大洋斜长花岗岩,但成因上有明显的不同。本区中酸性岩从侵入特点、岩浆极性以及化学成分等特点表明它们形成于岛弧环境,是洋壳俯冲到一定深度时发生熔融作用所形成的岩浆上侵的产物,与岛弧中酸性火山岩套属同一岩浆源。

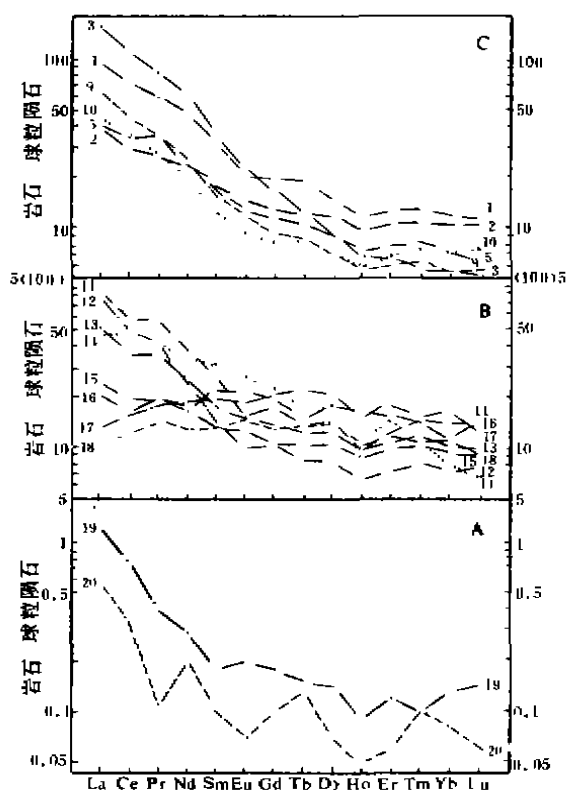


图11 勉略宁区中酸性岩体与中基性火山岩、超基性岩稀土元素配分型式对比图

Fig. 11 Diagram of correlation for distribution pattern of REE of intermediate-acidic intrusive rocks, intermediate-basic volcanic rocks and ultrabasic rocks in Mianluening region
A—超基性岩; B—细碧—角斑岩; C—中酸性岩体

2 碧口地体火山岛弧构造演化

根据本区地层层序、岩石学、同位素年代学资料,碧口群火山岩及中酸性岩体的形成发育过程可划分为武陵期(1 800~1 400Ma)、四堡期(1 400~1 000Ma)和晋宁期(1 000~800Ma)。在不同时期,碧口地体经历了从岩浆岛弧的形成与发展到板块的俯冲和碰撞的连续演化过程(图12)。

2.1 武陵期沟—弧—盆体系

碧口群不同层位的岩石组合代表着不同的成岩构造环境。其下亚群—中岩组、上岩组和上亚群(表1)分别是火山岛弧、弧后盆地和弧前盆地或海沟的产物。

火山岛弧的岩石组合为:构造侵位变质橄榄岩和基性—超基性层状杂岩、钠质辉绿岩、基性—中酸性火山岩(细碧岩—角斑岩—石英角斑岩系列),中酸性深成侵入岩以及泥硅质岩等。其中基性火山岩在勉略阳地区既有洋中脊拉斑玄武岩又有岛弧拉斑玄武岩,而在碧口—青川—平武区则以洋中脊拉斑玄武岩为主,中酸性火山岩为岛弧钙碱性系列。这些岩石组合构成了类似于科迪勒拉型^[6]岛弧区蛇绿岩套。根据Miyashiro(1975)对蛇绿岩类型与成因环境的划分,碧口—青川—平武区为不成熟岛弧或过渡区,勉略阳地区为成熟岛弧,两者共同之处是

碱性系列岩石不发育。

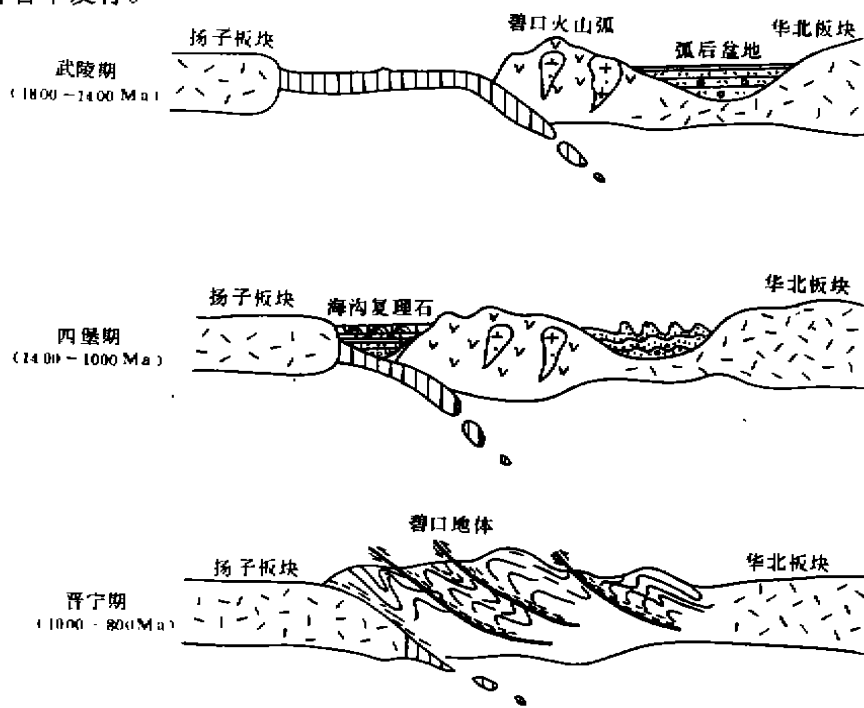


图 12 碧口地体构造演化模式图

Fig. 12 Pattern of tectonic evolution of the Bikou Terrain

碧口群下亚群上岩组为一套含砾凝灰质碎屑岩和砂板岩等组成的浊流堆积,其构造环境相当于弧后盆地的复理石建造,与岛弧火山岩带在时空演化上具有一致性。

本区从武陵期(1 800~1 400Ma)开始,洋壳板块由南向北俯冲,部分洋壳碎块在下插时局部仰冲到岛弧之上而构成带状分布的蛇绿岩套。部分洋壳俯冲到一定深度发生重熔在岛弧区上侵和喷发而形成东西展布的岛弧岩浆岩带。其横向上岩浆岩的极性特点反映了该区板块俯冲和运动方向。

2.2 四堡期

进入该期之后,洋壳板块继续向碧口南缘火山岛弧之下俯冲。在勉略阳成熟岛弧区内发育一套底部为不成熟的浊积岩,上部为含藻碳酸盐岩组成的碧口群上亚群不整合覆盖在火山岛弧之上,它们可能代表弧前盆地或海沟的位置。其下部浊积岩为富含火成岩屑的复理石,上部含藻碳酸盐岩是复理石建造隆起上升时形成的生物礁体或碳酸盐台地,同位素资料表明,岛弧复理石及碳酸盐的变质年龄为 1 000Ma,代表古海闭合上升的年龄。

本期岩浆活动与武陵期基本上是连续的,但主要以中酸性深成岩体侵入和钠质辉绿岩脉的活动为特征。

2.3 晋宁期造山运动

本区造山活动发生于 1 000Ma 以后的晋宁运动,扬子板块与碧口岩浆岛弧发生了强烈的碰撞,碧口群上、下亚群同时发生区域构造线一致的倒转褶皱。晋宁晚期由于碧口地体与扬子板块之间进一步挤压作用使其发生推覆,形成区内一系列北东东走向的韧性剪切带,并穿切早

期的中酸性岩体。

3 中晚元古代成矿作用与成矿期

在碧口火山岛弧造山演化与成矿关系的诸多问题中,这里仅重点分析不同构造活动期的成矿作用类型与构造演化及岩浆活动的关系(表3)。从表3中可见,不同的构造演化阶段,不同期次和类型的岩浆作用所伴随的矿床类型及成矿系列有很大差别,这种差别主要反映了造山演化的不同阶段对成矿作用类型间的制约关系。

表3 碧口地体古火山岛弧构造演化及成矿作用一览表

Table 3 The mineralization-tectonism relation of Paleovolcanic arc of the Bikou Terrain

时 期	成岩类型	构造活动	中酸性侵入岩	成矿作用	矿床及矿点
武陵期	蛇绿岩、岛弧火山岩、弧后盆地复理石建造	洋壳由南向北俯冲于碧口岛弧之下,并在一定深度下熔融	岩体以石英闪长岩侵入为主,构成北东岩浆岩带	形成碧口中元古代含金矿源层和有关铬、镍矿与超基性岩	煎茶岭镍矿 峡口驿铬矿(点)
四堡期	弧前盆地或海沟复理石和碳酸盐台地	洋壳持续俯冲到末期结束,扬子板块与碧口地体开始碰撞		岩浆热液交代型铜、铁矿成矿作用	黑木林铁矿 铜厂铁矿、铜矿
晋宁期		碰撞造山,大型韧性逆冲断层同斜倒转褶皱	刘家坪石英闪长岩,丁家坝花岗闪长岩等	动力变质热液型金矿(剪切带金矿)	八海旧房聚金矿床 黑林木石棉矿 煎茶岭石棉矿
加里东期	在碧口地体北缘形成由蛇绿岩、火山岩和碎屑岩组成的增生带	略阳—康县岛弧与碧口地体俯冲碰撞地体北缘断裂活动,内部形成大型东西向褶皱	大陆黑云母二长花岗岩沿断裂上侵(七里沟岩体)	动力变质热液型金矿	大坪沟金矿点 煎茶岭金矿
燕山期		脆性断裂活动,多继承早期断裂	大陆奥长花岗岩(大安岩体)	动力变质热液型金矿	铜厂沟金矿床

3.1 武陵期成矿作用

武陵期是本区岛弧火山岩带的发育时期,其中包括蛇绿岩的构造侵位和基性—中酸性岛弧火山岩的喷发。不同岩石组合伴随有不同成因和类型的成矿作用。与蛇绿岩有关的矿床类型包括超基性岩中的豆荚状铬铁矿体、熔离型硫化镍矿和石棉矿等。与中基性火山岩有关的矿床或矿化类型以多金属硫化物矿床为主,其中包括铜、铅、锌、金、银等。在矿产分布图上,它们均分布于碧口古岛弧火山岩带中。该带的基性火山岩的含金背景值明显高于其他岩石类型,说明是中元古代武陵期形成的含金矿源层。

3.2 四堡期成矿作用

本期主要表现为中酸性深成岩体和钠质辉绿岩的侵入活动。中酸性岩体中的矿床大部分

为岩浆热液交代型矿床。其矿床类型为铁矿和以铜为主的多金属硫化物矿,成矿时代基本上与中酸性岩体的成岩时代和侵入时代相同,其中包括铜厂岩体中岩浆期后热液交代型铁矿、铜矿、金紫山岩体岩浆热液交代型铁矿(白崖沟铁矿)以及关口垣岩体内的铜矿化。

3.3 晋宁期成矿作用

晋宁期是碧口地体与扬子板块之间强烈的碰撞造山期,但相应的岩浆活动不发育。强烈的推覆造山作用在碧口地体内部形成一系列与区域构造线平行的韧性逆冲型变形带。在碧口岛弧火山岩带中,韧性剪切作用所产生的构造热液使其基性火山岩中的金发生富集而成矿,该类型金矿最典型的是八海旧房梁金矿床。

4 地体形成后的构造演化及成矿作用

晋宁期碧口地体与扬子板块碰撞造山之后,本区基本上进入稳定抬升阶段。震旦纪及其以后各时代的沉积地层均属碧口地体的沉积盖层。震旦系—寒武系在碧口地体南、北边缘地区零星分布,东部地区分布在何家岩—茶店一带,西部地区水晶—青溪一带及文县北部一带。除此之外,其他广大地区均无该时代的盖层,说明震旦纪和早古生代本区一直处于上升剥蚀阶段。志留系盖层出现于西部青溪—水晶一带与扬子板块的志留系和泥盆系为连续的同一层位。

晋宁期造山作用形成的统一古中国大陆,在早古生代早期发生分裂而产生古秦岭海槽,从而进入秦岭造山带的演化阶段。加里东期在略阳康县以北由于秦岭古洋壳俯冲作用而形成由蛇绿岩、火山岩及碎屑岩组成的碧口地体北缘的增生带。碧口地体的边缘则受到强烈的改造,使其构造线与加里东褶皱带一致,两者岩石也相互混杂在一起而难以区分。加里东期造山活动对碧口地体的影响主要表现在其北缘的大型东西向断裂的发育和七里沟花岗岩侵入。七里沟花岗岩体的化学成分与其他比较,其特点是 K_2O 含量较高, $K_2O/Na_2O > 1$, CaO 含量较低。稀土配分型式为右倾富集型,具强的 Eu 负异常,锆石 $U-Pb$ 年龄为 467Ma,表明七里沟岩体为加里东期碧口地体内部的花岗岩,其岩浆属下地壳重熔型。

由于受古生代秦岭海槽的影响,碧口地体的北缘在海西期较大面积沉积了泥盆系石炭系盖层,这些盖层受边缘断裂系控制,呈东西向带状展布。其岩性为一套陆源碎屑岩和碳酸盐岩。碧口地体的南部则缺失该套地层。

印支、燕山期主要表现为脆性断裂活动,并伴随有花岗岩浆的侵入。如花严沟岩体和大安岩体。两者均属下地壳重熔型岩浆类型。

本区的大部分断裂具有多期复活的特征,活动期从晋宁期直到燕山期,但各时代断裂的表现形式不同,晋宁期以推覆构造为主,表现为一系列的倒转褶皱和韧性逆冲剪切带,并形成韧性剪切带型金矿床。加里东期和印支—燕山期主要表现为北东东和东西走向的继承性断裂,这些多期活动的复合断裂亦与金、银等成矿作用有密切关系。

5 结语

(1) 碧口火山岛弧岩浆带分布于碧口地体南缘,呈北东东向展布,自平武—青川—阳平关—勉县大断裂向北,宽约 20~40km 不等(图 1),由海相火山岩系与基性、超基性岩和中酸性岩

体(闪长岩、石英闪长岩、斜长花岗岩)等岩浆岩所组成,称为特殊的“三位一体”。

(2)中一晚元古代时期碧口火山岛弧岩浆带构造演化时间较长(约 10 亿年),发育有完整的沟—弧—盆体系及经过俯冲→碰撞造山,于晋宁运动晚期最后完成碰撞、隆升成为元古造山带。扬子区的震旦—寒武系是它的上覆盖层。

(3)在中一晚元古代的 10 亿年(1 800~800Ma)间,它经历了复杂的构造演化过程,可以分为较大的三个演化时期:武陵期(1 800~1 400Ma)为碧口地体火山岛弧的形成和发展阶段;四堡期(1 400~1 000Ma)为俯冲造山阶段,伴随有中酸性岩浆侵入活动;晋宁期(1 000~800Ma)为碧口地体与扬子板块强烈碰撞期,火山岛弧岩浆带强烈挤压,造山隆升,内部褶皱不断加剧,形成同斜倒转、强片理化带及韧性剪切带发育,构造置换较强烈。

(4)伴随岛弧火山岩浆带构造演化的各阶段,都发育有每个阶段特有的岩浆岩组合及特有的成矿作用以及因此而生成专属性的矿床类型和成矿系列。武陵期是该区岛弧火山岩带的发育期,生成了与蛇绿岩有关的铬铁矿床、熔离型硫化镍矿床以及与细碧—角斑岩系有关的块状硫化物矿床及其成矿系列。四堡期构造演化的特点是以俯冲造山为主,与之相伴的产生中—酸性岩浆的上侵及与之相关的成矿作用,生成了岩浆热液及接触交代型铁、铜矿床及其成矿系列。晋宁期为强烈碰撞造山期,除了生成与中酸性岩浆活动有关的矿床外,则主要是生成与韧性剪切、构造动力变质热液有关的金、银矿床。

(5)加里东期及印支—燕山期的构造运动,属于后地体阶段的构造运动,主要是对碧口地体进行叠加改造作用,尤其是地体的南北边缘更加强烈。多期活动的复合断裂在古老块体一侧易形成改造、再造和转生型金、银矿床,如铍厂沟金矿,煎茶岭金矿等。

参 考 文 献

- 1 秦克令等. 陕、甘、川交界处摩天岭区碧口群层序、时代划分. 西安地矿所所刊第 30 号, 1990
- 2 秦克令等. 西秦岭鱼洞子群的建立和时代归属. 见: 刘国惠、张寿广主编. 秦岭—大巴山地质论文集, (一) 变质地层. 北京, 北京科学技术出版社, 1990
- 3 夏祖春等. 南秦岭碧口群海相火山岩岩石学研究. 西安地矿所所刊第 25 号, 1989
- 4 秦克令等. 碧口地体同位素地质年代学及其意义. 西北地质科学. 1992, 13(2)
- 5 Coleman R G. Ophiolites. Springer—verlag Berlin. Heidelberg, 1977
- 6 Arth J G. Some trace elements in trondhjemites—their implications to magma genesis and palaeotectonic setting. Development in petrology, 1979(6)

TECTONIC EVOLUTION AND MINERALIZATION IN BIKOU ACCIENT ISLAND ARC BELT

Qin Keling Jin Haojia Zhao Donghong

(Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources)

Abstract

By the detailed description of features of the magmatic formation, the ages of diagenesis and mineralization, and the mineralizing types, the relationship between tectonic evolution of the accient island arc magmatic belt in Bikou Terrain and the types and sequence of mineralization has been profoundly discussed in this paper. The age of tectonic evolution has elonged about 1,000Ma, which can be divided into Wuling period (1,800—1,400Ma), Sipu period (1,400—1,000Ma) and Jinning period (1,000—800Ma). Through the three periods, Bikou Terrain completed the continuously evolutional process from the formation and development of magmatic island arc to plate subduction and orogenics. There are different rock assemblages, mineralization—tectonism relations, and then the different deposit types and mineralizing sequence in every period. Wuling period is the widespresdingly developing period of island arc volcanic rocks, in which forms the chromite deposits and nickel sulfide deposits related to ophiolites, and massive sulfide deposits related to spilite—keratophyre sequence. of Sipu Period is characterized by the intrusions of intermediate—acid plutons and sodic diabase, and by the formation of magmatic hydrothermal type and contact metasomatic type of iron and copper deposits. Jinning period is the time of strong collision between Bikou Terrain and Yangzi plate, in which mainly forms the gold and silver deposits related to dynamo—hydrothermal mineralization in ductile shear zone as well as forms the deposits associated with intermediate—acid magma activity.

Key words Bikou volcanic island arc, tectonic evolution, mineralizing sequence