

青龙—阜新花岗岩成矿模式

王吉珺 余和勇

(冶金部地质研究院, 天津)

摘要: 青龙—阜新构造岩浆成矿带, 展布 2 类 5 型中生代花岗岩 27 处, 分 5 次侵入, 燕山期第 2 序 I 型细粒二长花岗岩与成矿直接有关。两大矿源层——建平群中的钼铜金硫和长城系中的铅锌锰铁。壳源重熔花岗岩浆以多种方式将多源成矿物质汇集成为多种类型的多金属矿床, 在空间上形成紧密共生有规律展布的花岗岩成矿系列。在水平方向上以花岗岩体为中心划分出四个成矿带和相应的三套围岩蚀变组合。火山机构中由下而上呈现两层楼成矿模式。

关键词: 花岗岩成矿系列 矿质来源 成因类型及成矿模式

青龙—阜新构造岩浆多金属成矿带位于河北省和辽宁省的北部, 带内以钼矿为主, 兼有铜金铅锌矿和少量锰铁矿, 共有矿床 41 处, 矿点 167 处, 其中钼矿床 11 处 (大型 3 处, 中型 2 处, 小型 6 处) 铜矿床 10 处, 均属小型的金矿床 2 处, 小型锰铁矿床 3 处, 研究证实这些矿床的金属是多源的, 由于重熔花岗岩浆的分异和对围岩的改造导致有益组分富集成矿, 形成花岗岩的多金属成矿系列, 在空间上呈现有规律的共生配套。

1 区域地质背景

该多金属成矿带形成在燕辽沉降带与山海关—医巫闾古隆起之间的青龙—阜新大断裂带和与之平行的石门寨—锦县断裂中, 呈北东向带状延展。

1.1 地层

建平群、长城系、蓟县系及青白口系的片麻岩、麻粒岩、变粒岩、片岩、千枚岩、板岩、大理岩、白云岩、结晶灰岩、砾岩、石英岩、砂岩和页岩; 古生界的砾岩、砂岩、页岩、灰岩、凝灰岩和煤层。中生界的砾岩、砂岩、页岩、玄武岩、安山岩、流纹岩、火山碎屑岩和煤层。

1.2 构造

从围场到辽东湾, 莫霍面由深变浅, 大陆壳厚度从 44 km 减薄为 32 km, 该成矿带恰位于莫霍面的陡坡带上, 这一重力不平衡部位必然导致上部地壳构造活动的增强。前古生代古亚洲大陆板块与西伯利亚板块遥相对应, 其间的古蒙古大洋板块的扩张和俯冲, 古亚洲板块北缘形成一系列古岛弧和 EW—NEE 向线型构造, 直至晚古生代两个大陆板块闭合方告结束。中生代以来承受太平洋板块的推挤, 一则导致古断裂的复活, 二则广泛形成 NNE 和近 SN 向断裂, 例如青龙—阜新古断裂被新生成的 NNE 和 SN 向断裂切割, 由西向东分段依次北移形成边幕状展布。沿断裂带发生广泛的岩浆侵入和火山喷发, 并伴有多金属矿床的生成。

1.3 花岗岩类

关于该区花岗岩问题作者已在《辽西中生代花岗岩成因类型及找矿意义》^[1]一文中做了详细讨论, 在此仅将与成矿有关的问题简述如下:

(1) 花岗岩侵入期次: 区内主要花岗岩体 27 处, 共有五次侵入: ①印支期, K-Ar 年龄为 $214 \times 10^6 \sim 209 \times 10^6$ a, 如碱厂黑云二长花岗岩, 河坎子二长花岗岩; ②燕山期第一序, K-Ar 等时线年龄为 $186.3 \times$

王吉珺, 男, 58 岁, 高级工程师, 从事矿床学和矿相学研究。邮政编码: 300061

1991-09-05 收到稿件, 1992-07-31 改回

表 1 各类花岗岩特征对比

Table 1. Characteristics of various sorts of granites

	重熔花岗岩类			交代花岗岩类	
	I 型	A 型	S 型	富钾型	富钠型
岩石组合	闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩	钠钾碱性花岗岩、钠碱性花岗岩	二长花岗岩	石榴黑云二长花岗岩、黑云二长花岗岩	黑云二长花岗岩、花岗闪长岩
接触关系	侵入	侵入	侵入	渐变, 偶侵位	渐变, 偶侵位
残留体	角闪-闪长岩质		变沉积岩	片麻岩、磁铁石英岩	片麻岩、磁铁石英岩
岩石构造	块状、冷凝边、流动状	块状、冷凝边、流动状、晶洞状	块状、冷凝边、流动状	片麻状	片麻状
岩石结构	似斑状、斑状和等粒状	似斑状、斑状、花斑状、微文象状	似斑、环斑、等粒状	交代、熔蚀、变斑、应变和蠕英结构	交代、熔蚀、变斑、应变和蠕英结构
标型主矿物	条纹长石、正长石	微斜长石、钠闪石、霓辉石	条纹长石、环斑状正长石	微斜长石、微斜条纹长石、黑云母、白云母	微斜长石、微斜条纹长石、黑云母、白云母
标型副矿物	氟磷灰石、长柱状锆石、硫化物多	褐钨矿、曲晶石、白钨矿	金红石、钛铁矿、短柱状锆石	锰铝榴石、榍石、锆石(二个世代)	锰铝榴石、榍石、锆石(二个世代)、磁铁矿多
黑云母	富 Mg	富 Mg, Na	富 Fe, Al	富 Fe, Mn	富 Fe, Ti, Al
磁铁矿	富 Mg, Ni, Co, Cr	富 Mg, Ni	富 Al, Ca	富 Mn, Ti, Cu	富 V, Ti, Cu
$\Sigma LREE/\Sigma HREE$	6.8	1.0	2.7	10.6	8.2
δEu	0.20	0.14	1.50	0.33	0.40
$\delta^{18}O(\text{‰})$	+7.4	+6.7	+10.3	+8.1	+7.6
$\delta^{34}S(\text{‰})$	-1.9~+7.9	+0.7~+3.1	+1.5~5.9	+5.2~+7.1	+4.8~+6.7
$(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$	0.7031				
暗色指数	32~2.3	7.9~1.4	8.9~6.3	13~3.4	7.5~4.4
A/CNK	0.85~1.02	0.83~0.93	1.11~1.28	1.04~1.07	1.03~1.09
Na ₂ O/K ₂ O	0.67~3.57	0.61~1.11	0.04~0.91	0.82~0.91	1.10~2.24
Na ₂ O+K ₂ O	7.38~8.83	9.18~9.38	8.26~8.75	8.22~9.56	7.92~8.12
Rb/Sr	0.07~1.94	1.47	0.35~0.89	8.06	5.60
微量元素	富 Mo, Cu, Co, Ni	富 Th, U, La	富 Ba, Sr, Pb	富 U, Th, Rb	富 Ba
含矿性	Mo, Cu, Au	Cu, Au	不明显	(Cu), (Au)	(Cu), (Au)
实例	虹螺山、杨家杖子、大石柱岩体	后石湖山、响山、天桥厂、白塔峪岩体	旧门和大黑山岩体	山岳沟、石山、兰家屯岩体	医巫闾山和碱厂岩体

$10^6 \sim 180 \times 10^6 \text{a}$, 如虹螺山、杨家杖子和大石柱粗粒二长花岗岩, 旧门花岗闪长岩和二长花岗岩, 圣宗庙二长花岗岩; ③燕山期第二序, Rb-Sr 和 K-Ar 等时线年龄为 $172 \times 10^6 \sim 154.06 \times 10^6 \text{a}$, 如虹螺山、杨家杖子和旧门粗粒花岗岩基中的细粒二长花岗岩和二长花岗斑岩, 是钼矿的主要成矿母岩。还有山岳沟、医巫闾山和石山片麻状二长花岗岩、片麻状花岗闪长岩和闪长岩; ④燕山期第三序, K-Ar 年龄值为 $143.9 \times 10^6 \sim 134.1 \times 10^6 \text{a}$, 如大石柱花岗岩基中的细粒二长岩, 锦县细粒二长花岗岩, 昌黎二长花岗岩和二长花岗斑岩, 有时生成金矿或钼矿; ⑤燕山期第四序, $118.6 \times 10^6 \sim 110 \times 10^6 \text{a}$, 主要是碱性花岗岩和少量正长斑岩, 如后石湖山、响山和西卧龙岗钠碱性花岗岩, 天桥厂钠碱性花岗岩, 大阴坡富英碱性花岗斑岩, 有时生成金矿和多金属矿。

(2) 花岗岩成因类型: 分为两类五型列于表 1。各类型花岗岩在空间上呈现有规律分布, 交代成因花岗岩(片麻状)集中在古隆起一侧呈 NE 向带状分布, 与变质岩系呈渐变接触, 偶有穿插关系。岩浆成因的 I 型和 S 型花岗岩集中在古隆起与沉降带之间的断裂带内, 而 I 型闪长岩较 I 型花岗岩更靠近沉降带一侧。A 型花岗岩仅在山海关隆起东南缘, 与富碱的燕山期火山岩系紧密相伴。其中 I 型花岗岩成矿最佳, 主要与钼矿、其次与铜金矿有关。A 型花岗岩偶与铜金矿有关。S 型花岗岩未见明显成矿作用。

(3) 花岗岩物质来源和成岩方式: 根据花岗岩地质、岩石学、残留体、微量元素、稀土元素和同位素研究确认^[1], 上述各类花岗岩除 A 型花岗岩起源较深(有某些幔源特点)外, 均属壳源花岗岩, 尤其在这些岩体中发现广泛含有宇宙尘^[2]。宇宙尘有二类: ①铁质球状宇宙尘(包括空心的和有锥纹石核心的两种); ②硅酸盐玻璃质宇宙尘。岩体中宇宙尘的发现为该区花岗岩的地壳起源又提供一个有力佐证。根据残留体、化学组成和同位素(表 1)判断, I 型花岗岩的源岩可能以正变质岩为主, S 型花岗岩的源岩可能是以变沉积岩为主, 经过选择重熔而成。交代花岗岩是在壳源重熔花岗岩浆气液作用下, 强烈交代改造基底变质岩系形成的。总之, 上述各类花岗岩基本上是在同一源区和同一地质作用下, 由不同岩性的源岩以不同方式(重熔和交代)改造而成。

(4) 岩浆演化与成矿的关系: I 型花岗岩成矿最好, 而 A 型、S 型和交代型花岗岩成矿很差或无显示。I 型花岗岩分异良好, 总的演化趋势是: 闪长岩→花岗闪长岩→花岗岩, 在产状上有深成岩基、浅成岩株和次火山岩相的岩颈, 分异愈好成矿愈明显, 如杨家杖子、虹螺山和柏杖子岩体, 由早而晚依次分异出: 闪长岩→粗粒二长花岗岩(主体岩石)→细粒二长花岗岩和二长花岗斑岩; 岩石组构从粗粒到细粒, 从等粒到斑状; 暗色矿物含量由多到少。化学组分上随着 SiO_2 的增加(从 49.8%→73.6%→75.6%), K_2O 亦明显增高(从 2.3%→4.7%→5.0%), MgO 不断降低(从 5.4%→0.26%→0.12%), Rb/Sr 比值从 0.07 增高到 1.21→1.94, δEu 从 0.24→0.20→0.12 逐次降低, 挥发组分和 Mo、Cu、Au 也随着岩浆分异愈来愈富集, 直到燕山期第二序花岗岩浆活动时造成该区成矿作用的鼎盛期。该序的细粒二长花岗岩和二长花岗斑岩形成斑岩型钼矿、斑岩型金矿、热液型和火山热液型多金属矿。

2 矿床类型

2.1 斑岩型矿床

例如兰家沟钼矿、老虎洞钼矿、仁虎山沟钼矿、柏杖子金矿、对面山金铜矿、陈杖子和范杖子铜矿。特点是: ①矿体产在燕山期第二序的 I 型细粒二长花岗岩和二长花岗斑岩中; ②矿石呈细脉浸染状, 伴有含矿石英脉, 矿体与围岩呈渐变关系; ③金属矿物以黄铁矿分布最普遍, 其次有黄铜矿、辉钼矿或自然金, 伴有少量铜铅锌硫化物; ④围岩蚀变强烈, 并有一定的分带性, 早期有面型钾化, 主要分布在矿体外围和其下部, 晚期又叠加有线型近矿蚀变, 由矿体内部依次向外大致为: 伊利石化→绢英岩化→绿泥石化以及无规律分布的碳酸盐化, 有的矿区在岩体接触带上还发育有矽卡岩化。斑岩型钼矿和金矿在成因上有密切联系, 但也有一定差异:

(1) 兰家沟钼矿: 赋存在杨家杖子复式花岗岩基内的细粒二长花岗岩岩株中, 呈细脉浸染状和含钼石

英脉,主要有黄铁矿、2H型辉钼矿,少量闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黝铜矿、 β 砷铜矿和白铁矿。围岩蚀变强^[6],早期钾化(面型)有三种形式:①微斜长石沿着钠-更长石(001)解理交代,最后形成一系列平行条纹状钠-更长石残余,并保持同消光位,暂称其为微斜交代条纹长石;②微斜长石在更长石外缘交代成反应边状及粒间填充状;③微斜长石沿隙填充成细网脉。在钾化基础上又叠加有晚期线型近矿蚀变,并略有分带性,由内向外为:(A)石英-伊利石化带是钼矿主要富集带;(B)绢英岩化带,有时伴有萤石和白钨矿,多在钼矿体的外缘和上盘;(C)绿泥石化带,在矿体外围,常伴有浸染状黄铁矿;(D)钾化带,在矿体的最外围,即未被近矿蚀变叠加改造的部位。

(2) 柏杖子斑岩型金矿,伴有铜和钼,与复式花岗岩体中的晚期似斑状二长花岗岩有关,由内向外分三个矿化带:①岩体内部为细脉浸染状辉钼矿带,伴有黄铜矿和自然金;②岩体顶部和边部为含金自然金黄铁矿细脉带,是金矿主要富集部位;③在接触带和围岩中形成含金石英脉带。在岩体内广泛发育早期面型钾化,之后又有线型绢英岩化带的叠加,并形成钼、金矿化。在岩体接触带上形成透辉石石榴石矽卡岩,岩体外围经常发生绿泥石化和碳酸盐化。

2.2 接触交代型矿床

在I型粗粒或细粒二长花岗岩与前寒武系碳酸盐岩的接触带上形成接触交代型磁铁矿体、含铜磁铁矿体和菱锰矿体,这些矿体与矽卡岩相伴,例如张家沟铁矿、黑鱼沟铁矿以及马家沟锰矿,一般规模较小。

2.3 热液交代型矿床

例如岭前钼矿是个大型矿床,与杨家杖子复式岩体有关,该岩体有二期侵入:早期I型粗粒二长花岗岩呈岩基状侵入在蓟县系和下古生界碳酸盐岩中,接触带上形成透辉石石榴石矽卡岩;晚期I型细粒二长花岗岩和二长花岗斑岩分别沿着粗粒二长花岗岩体的边缘和NNE向断裂侵入,呈岩枝状和岩舌状,由其派生的含矿热液对其周围的寒武系、奥陶系灰岩、页岩和矽卡岩互层进行广泛交代形成热液交代型钼矿床,并伴有少量铅锌矿。前人曾将该钼矿划属矽卡岩型矿床,其实不然:①矽卡岩受早期粗粒二长花岗岩制约,而被晚期细粒二长花岗岩和二长花岗斑岩穿插或呈角砾状包裹;②矽卡岩中金云母K-Ar年龄 183×10^6 a,与早期粗粒二长花岗岩K-Ar年龄 186.3×10^6 a基本一致,而2H型辉钼矿的Re-Os年龄 138×10^6 a与晚期细粒二长花岗岩的Rb-Sr年龄 142×10^6 a非常近似。由此结论,钼矿明显晚于矽卡岩,而是由晚期细粒二长花岗岩和二长花岗斑岩派生的热液成矿。该钼矿实质上是斑岩型钼矿的一种过渡形式,与矽卡岩无成因关系。

2.4 热液填充型矿床

例如八家子铅锌矿、南松树岭铅锌矿、偏道子铅锌矿和兴隆沟石英脉型金矿,都产在远离花岗岩体的地层中,铅锌矿多产在长城系-蓟县系中,金矿多产在建平群变质岩中,以填充方式沿断裂和层间破碎带成矿,没有明显交代现象,矿体呈透镜状和脉状产出。此类矿床实质上是层控矿床之一种,在区内分布较广,部分达到中型规模。

2.5 火山热液型矿床

主要集中在石门寨-锦县断裂带上,成矿与I型花岗岩浆演化后期的次火山岩侵入、火山喷发作用有关。在火山机构的上部角砾岩筒、放射状和环状断裂中形成火山热液型金和多金属矿体,在下部的次火山岩体或浅成岩体的膨大部位形成斑岩型钼矿或铜钼矿,构成二层楼成矿模式。围岩发生钾化、硅化、绢英岩化和青磐岩化。如老虎洞多金属矿,在火山机构上部角砾岩筒中形成铜铅锌多金属硫化矿体,下部I型二长花岗斑岩中形成斑岩型钼矿,在岩体与碳酸盐岩接触带上形成菱锰矿体。此外,牛心山火山机构上部火山角砾岩筒和接触带上有铜铅锌矿化,而在花岗细晶岩-二长花岗斑岩岩颈中形成斑岩型钼矿,还有小孤山、西双山含金多金属矿和夹山含铜石英脉均属火山热液型金属矿床。

3 成矿物质来源

区内各种类型矿床中的Mo、Cu、Au、Ag、Pb、Zn、Fe、Mn等成矿物质是多源的,而且是多种形式

富集成矿的。

(1) 区域结晶基底主要由建平群变质岩系组成，其中正变质岩约占70%左右，正变质岩中含钼相当地壳平均丰度的3~6倍，铜相当1~3倍，金相当2~10倍，铅锌略高些，其他金属元素偏低(表2)。建平群结晶基底构成该区Mo、Cu、Au的区域地球化学场或矿源层。

表2 建平群变质岩金属元素含量(10⁻⁶)

Table 2. Metallic element content of metamorphic rocks of Jianping Formation (10⁻⁶)

岩石类型	Mo	Cu	Au	Pb	Zn	Sn	Co	Ni	V	Cr
片麻岩类(正变质)	6.0	31.60	0.050	31.6	100	10	10.0	10.0	20.0	10
混合花岗岩类(正变质)	4.0	1.31	0.007	15.8	57	5	7.7	7.2	61.5	46
角闪岩类(正变质)	7.1	153.00	>0.010	22.0	200	21	18.0	119.0	82.5	57
片麻岩类(副变质)	0.1	50.80	0.002	23.8	71	7	13.6	14.6	49.6	42

(据冶金部天津地质研究院和杨家杖子矿务局)

(2) 钼铜和部分金是由I型重熔花岗岩浆直接派生成矿，其证据是：①Mo、Cu随着岩浆的分异而富集，杨家杖子和虹螺山岩体中早期粗粒二长花岗岩含Mo 2.4×10⁻⁶，Cu 26.8×10⁻⁶；晚期细粒二长花岗岩含Mo增高为96×10⁻⁶，Cu增高为31×10⁻⁶。②细粒二长花岗岩中的氟磷灰石和磁铁矿包含辉钼矿雏晶(<5 μm)，磁铁矿含有乳滴状黄铁矿，表明花岗岩浆中富含Mo和S，所以在成岩期就有独立的辉钼矿和黄铁矿晶出。③铜钼矿化有原始分带晕，即钼矿倾向在岩体内部富集，铜倾向在岩体外部富集。④细粒二长花岗岩Rb-Sr等时年龄(154.06±14.65)×10⁶a，辉钼矿的Re-Os年龄138×10⁶a，很明显成岩和成矿是相继发生的，一部分金矿也生成在花岗岩体中与钼矿共生，由此证明I型细粒二长花岗岩是钼铜和一部分金的成矿母岩。

(3) 各类矿床中方铅矿的铅同位素组成和主要参数相当一致(表3)。据K S Cannon ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb图解和B R Doe ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb(或²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb)-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb图解(图均略)可知，均为陆壳或者造山带的古老普通正常B型铅，并且与河北省高板河同生沉积铅锌矿床(似层状产于长城系碳酸盐岩地层中)的铅同位素特征非常近似，它们的μ值均与大陆地壳铅平均μ值(μ=9)极为接近，由此断定该区铅锌矿床的物质来源应当是燕辽沉降带中富含铅锌的长城系沉积岩层。

(4) 硫同位素。据10个矿床77个样品的硫同位素分析(表4)，明显表现出三个特点：①各类矿床

表3 各类矿床中方铅矿铅同位素

Table 3. Lead isotope values of galena from various sorts of ore deposits

产地	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	模式年龄(10 ⁶ a)	μ	W	K ₁	K ₂	K ₃	Th/Pb	U/Pb
老虎喇(火山角砾岩筒)	16.340	15.340	36.503	13.47	8.80	38.0	4.3	567	4.2	0.56	0.13
偏道子(接触外带)	16.299	15.237	36.417	12.74	8.60	36.8	4.3	636	4.2	0.53	0.13
岭前(外带灰岩中)	16.356	15.255	36.946	12.51	8.62	39.4	4.6	625	4.5	0.57	0.13
南松树洞(远外带)	16.317	15.247	36.503	12.71	8.61	37.2	4.3	590	4.2	0.54	0.13
八家子(环形构造中)	16.072	15.186	36.210	13.86	8.54	36.9	4.3	595	4.2	0.54	0.13
高板河(同生沉积)	16.27~16.91	15.25~15.79	36.14~37.70	13.07~13.84	8.70	35.5	4.1	559	4.0	0.51	0.13
澳 Meunt I Sa(层控)	16.22~16.23	15.59~15.62	36.22~36.25	16.57~16.76	9.38	33.3	3.6	490	3.4	0.48	0.14

据冶金部天津地质研究院同位素室测试

表 4 各类矿床硫化矿物 $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$ Table 4. $\delta^{34}\text{S}$ values of sulfide minerals from various sorts of ore deposits

矿床	矿物	样数	$\delta^{34}\text{S}$ 变化	$\delta^{34}\text{S}$ 集中值	$\delta^{34}\text{S}$ 中间值	均方差	变化系数
钢屯	黄铁矿	11	+2.7~+5.9	+3.0~+4.9	+4.23	1.15	27.19
兰家沟	黄铁矿	11	-1.9~+5.9	+3.4~+4.8	+3.75	2.09	55.73
兰家沟	辉钼矿	5	+1.1~+3.0	+2.7~+3.0	+2.22	0.86	38.74
岭前	黄铁矿	3	+1.7~+6.5	+5.0~+6.5	+4.40	2.46	55.96
岭前	辉钼矿	5	+4.5~+6.1	+4.5~+6.1	+5.34	0.67	12.55
松树岭	黄铁矿	6	+1.7~+7.9	+4.8~+6.4	+5.27	2.06	39.10
松树岭	方铅矿	1	+4.8	+4.8	+4.80		
北大山	黄铁矿	6	+1.8~+6.7	+4.8~+6.7	+5.62	0.74	13.17
北大山	黄铜矿	1	+5.5	+5.5	+5.50		
老虎沟	黄铁矿	3	+1.5~+1.9	+1.5~+1.9	+1.67	0.21	12.58
老虎洞	黄铁矿	3	+4.5~+5.9	+4.5~+5.9	+5.23	0.70	13.38
柏杖子	黄铁矿	13	-1.3~+11.9	+1.4~+9.3	+4.25	5.00	110.62
柏杖子	方铅矿	1	+0.8	+0.8	+0.8		
草白沟	黄铁矿	2	+4.6~+4.7	+4.6~+4.7	+4.6		
八家子	黄铁矿	6	-2.8~+5.1	-0.3~+2.8	+1.1	2.57	237.96

据吉林地质研究所同位素室测试

的 $\delta^{34}\text{S}$ 值比较近似, 差值很小。②矿石 $\delta^{34}\text{S}$ 值(+0.8‰~+5.62‰)与基底变质岩 $\delta^{34}\text{S}$ 值(-0.6‰~+2.4‰)比较近似, 仅有较小的正偏离, 这可能由于成矿过程中经过分馏使重硫相对富集所致。这一点从原生成矿带的变化规律上得到证实, 如杨家杖子钼矿田在水平方向上成矿作用从中心向外 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化为: 钢屯4.23‰→兰家沟3.75‰→岭前4.40‰→松树岭5.24‰, 依次增高。在垂直方向上, 由深到浅 $\delta^{34}\text{S}$ 值3.75‰(兰家沟)→5.23‰(老虎洞)→5.62‰(北大山), 有逐渐增高趋势, 这是由于成矿初期 H_2S 相对较多, H_2S 中相对富集轻硫, 而且 H_2S 比较容易散失, 其散失度随着矿液迁移距离的增加而增大。③各类硫化物矿床的硫同位素均具有完整的单峰塔式分布模式, 显示出硫的同源性和单源性。综上所述, 矿石硫是起源于基底变质岩系, 在基底变质岩系被选择重熔的过程中, 由重熔花岗岩浆将源岩析出的硫携带和迁移, 经过分馏使 $\delta^{34}\text{S}$ 发生轻度正向偏离。

(5) 碳同位素 各类钼矿床中经常共生有菱锰矿和方解石, 分别采样测定 $\delta^{13}\text{C}$ 值均在-4.46‰~5.15‰之间, 与岩浆成因碳酸盐矿物 $\delta^{13}\text{C} = -5\text{‰} \sim -8\text{‰}$ 和地热区的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} = -3\text{‰} \sim -5\text{‰}$ 非常相近, 具有岩浆碳的属性, 间接证明与菱锰矿、方解石共生的辉钼矿是同时来源于花岗岩浆, 无疑 CO_2 或 CO 在成

表 5 元古界长城系—蓟县系岩石中成矿元素含量⁽³⁾(10^{-6})Table 5. Metallogenic element content of rocks from Proterozoic Changcheng System-Jixian System (10^{-6})

层位和岩石	样数	Pb	Zn	Mn
雾迷山组(Z_2w)石灰岩	8	30	90	387
杨庄组(Z_2y)石灰岩	9	31	200	420
高于庄组(Z_1g^{3-4})白云岩	157	45	111	810
高于庄组(Z_1g^3)白云岩	38	52	116	1342
高于庄组(Z_1g^2)板岩	39	74	99	815
高于庄组(Z_1g^1)白云岩	77	166	107	2402
大红峪组(Z_1d)砂岩、板岩	9	52	111	511

矿过程中也是重要的矿化剂之一。

(6) 燕辽沉降带的长城系—蓟县系富含 Pb、Zn、Mn、(Fe) (表5), 尤其高于庄组不仅含 Pb、Zn、Mn、(Fe) 较高, 而且广泛形成同生沉积型锰矿和铅锌矿。碳酸盐岩层中含 Pb 相当地壳平均丰度的 3~10 倍, 最高达 13 倍, Zn 相当于 2~5 倍, Mn 相当于 1~3 倍, 高者达 7 倍。为了查明这些地层中成矿元素在花岗岩浆侵入影响下的活化转移情况, 在岩体外围由远而近采集高于庄组白云岩进行分析, Mn 分别为 0.02%~0.33%、0.85%~3.88%, 接触带上白云岩含 Mn 3.8%~12.9%, 而花岗岩含 Mn 仅为 0.018%。白云岩中 Mn 的含量随着趋近岩体而增富, 显然由于花岗岩浆的侵入使围岩(白云岩)中成矿元素(Mn 等)活化转移所致, 即成矿元素以溶滤的方式富集成矿, 由此判断 Pb、Zn、Mn、(Fe) 的来源主要与元古界尤其高于庄组有直接关系。

4 矿床共生系列和成矿模式

上述五类矿床, 虽然成因类型不同, 但都是在矿源层、断裂构造(包括火山机构)和花岗岩的共同控制下生成的。建平群变质岩基底和长城系—蓟县系沉积岩层两大矿源层构成 Mo、Cu、Au、S 和 Pb、Zn、Mn、Fe 的区域地球化学场, 是区内成矿的主要物质来源。中生代, 太平洋板块的活动导致大陆边缘的活化, 强烈的断裂活动和地下热源的影响, 基底发生选择重熔形成重熔花岗岩浆, 研究证实这一作用是发生在 10~20 km 深处, 温度在 610~700°C (根据巴尔特法计算), 其中以 I 型花岗岩成矿最好, 它有两种成矿方式:

(1) 岩浆派生热液成矿, 基底变质岩系选择重熔生成花岗岩浆时, 源岩中的一组新花岗岩元素如 Mo、Cu、Au、S 等被花岗岩浆继承和携带。随岩浆分异派生成矿, 在岩浆演化的中晚期挥发组分相对富集时成矿作用最为明显, 如在细粒二长花岗岩和二长花岗岩中生成一系列斑岩型钼矿、斑岩型铜钼矿和斑岩型金矿, 当残余流体被派生迁移到构造裂隙和火山机构中便形成岩浆热液型或火山热液型的钼铜多金属硫化矿。一般来说钼铜在含水富碱的熔浆中是可溶的, 除少量在岩浆结晶期以类质同象含在长石和云母中外, 大部分溶在残余流体中。在封闭条件下钼易于富集在岩体内部, 相反, 铜往往趋向于岩体外部成矿。

主要铜钼矿体的生成深度: ①成矿岩体均呈斑状—似斑状, 显晶结构, 斑晶被熔蚀, 广泛发育 α -石英和正长石, 暗色矿物很少, 无明显暗化现象; ②成矿原始顶盖厚度约为 1.5~3.6 km; ③ $Fe_2O_3/(Fe_2O_3 + FeO)$ 为 0.28~0.29; ④钠-更长石有序度 0.85~1.00, 属于有序型的, 正长石有序度 0.37~0.42, 以无序型为主。从而推测成矿深度小于 3 km, 最浅到火山颈部成矿。根据石榴石、磁铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、辉钼矿、方铅矿和石英的综合测温结果, 石榴石-磁铁矿期生成温度为 520~290°C, 辉钼矿-黄铁矿期生成温度为 395~153°C, 闪锌矿-方铅矿期生成温度为 225~120°C。

(2) 围岩中成矿元素在花岗岩浆侵入影响下活化富集成矿, 亦即溶滤方式成矿, 这种成矿方式虽非花岗岩浆直接成矿, 但是花岗岩浆的活动是导致成矿的重要地质因素。当花岗岩浆侵入和改造基底变质岩系时, 往往形成脉状钼矿和金矿, 如兴隆沟金矿。当花岗岩浆侵入和改造长城系—蓟县系沉积岩层时, 往往在构造裂隙和接触破碎带上形成铅锌锰铁矿体, 如八家子、南松树岭和偏道子铅锌矿以及马家沟锰矿。岩浆派生热液成矿和围岩中成矿元素活化富集成矿都是在花岗岩浆侵入活动中同时发生的, 只不过是成矿方式和成矿部位不同而已, 前者发生在花岗岩体内部和其附近, 成矿物质是由花岗岩浆直接派生的, 后者是发生在岩体以外的围岩中, 成矿物质来源于围岩, 在花岗岩浆的影响下生成的。

花岗岩浆通过以上两种成矿作用, 将不同来源的多种元素富集在岩体和其周围所影响到的范围内, 形成完整的花岗岩成矿系列, 即在同一岩浆演化和影响下将多源和多元素以多种方式富集在岩体和所涉及范围内, 在各自相应的地质部位上形成有规律分布的多种类型的矿床组合和矿床共生配套规律。从表 6 中清楚可见杨家杖子矿田内以岩体为中心形成各类矿床的共生配套规律。

在垂直方向上, 由深而浅花岗岩浆可依次派生为侵入岩、次火山岩和火山岩, 从而导致成矿类型的规

表6 杨家杖子矿田中各类矿床的空间共生规律
Table 6. Regularity of spatial associations of various ore deposits in the Yangjiazhangzi orefield

部位	矿床	类型	围岩	蚀变	矿石构造
岩体内部分部	铜钼矿	斑岩型	细粒二长花岗岩(似斑状)	钾化、绢英岩化、伊利石化、碳酸盐化、绿泥石化	微细的细脉浸染状
	下兰家沟钼矿	斑岩型	细粒二长花岗岩(似斑状)	钾化、绢英岩化、伊利石化、碳酸盐化、绿泥石化	细脉浸染状、含钼石英中(型)脉
	中兰家沟钼矿	斑岩型	细粒二长花岗岩(似斑状)	钾化、绢英岩化、伊利石化、碳酸盐化、绿泥石化	含钼石英中型脉为主
	上兰家沟钼矿	斑岩型	细粒二长花岗岩(似斑状)	钾化、绢英岩化、伊利石化、碳酸盐化、绿泥石化	含钼石英大脉为主
	北松树砬钼矿	斑岩型	花岗斑岩、细粒二长花岗岩、灰岩、页岩	钾化、绢英岩化、伊利石化、碳酸盐化、绿泥石化、透辉石-石榴石化、绿帘石化	细脉浸染状、脉状
接触带	张家沟铁矿	接触交代型	灰岩、白云岩	透辉石-石榴石、透闪石、蛇纹石、绿帘石和绿泥石化	脉状、条带状、块状
	马家沟锰矿	接触交代型	灰岩、白云岩	碳酸盐化、绿泥石化	块状、条带状
	黄坎山铁铜锌矿	接触交代型	灰岩	透辉石-石榴石、蛇纹石、硅化、绢云母化	脉状
近外带	岭前钼矿	热液交代型	二长花岗斑岩、灰岩、页岩、砂卡岩	①透辉石-石榴石、蛇纹石、透闪石化、 ②钾化、绢英岩、伊利石、碳酸盐、绿泥石化	浸染状、细脉状、网状
远外带	偏道子铅锌矿	热液填充型	灰岩	硅化、绿泥石化、大理岩化	脉状, 不规则状
	南松树砬铅锌矿	热液填充型	灰岩	硅化、绿泥石化	脉状、块状、

律性变化,例如老虎洞和小孤山多金属矿床,在下部花岗岩侵入体和次火山岩中形成斑岩型钼矿或铜钼矿;在接触带上形成交代型铁锰矿或铜钼矿;在上部火山角砾岩筒中形成火山热液型铜金银矿和热液填充型铅锌矿,构成两层楼成矿模式。

中生代花岗岩成矿系列和矿床共生配套规律,汇总成花岗岩成矿模式图(图1),它包含有如下地质意义:

(1) 成矿物质的多源性,一则基底变质岩系中的 Mo、Cu、Au、S,在选择重熔过程中,被重熔花岗岩浆继承和携带,分派生成矿。另则元古代地层中 Pb、Zn、Mn、Fe 借助花岗岩浆的热力和气液作用活化富集成矿。将多源成矿物质富集在各自相应的地质部位上,形成有规律展布的不同类型矿床的共生组合。

(2) 成矿作用直接受断裂、火山机构和花岗岩体的控制。斑岩型矿床形成在侵入岩体的顶部、边部和相对膨大突出部位。热液型矿床均被控制在岩体周围的接触破碎带、断裂和层间错动构造中。火山热液型矿床均产于火山角砾岩筒、环形和放射形断裂中。

(3) 各类矿床以花岗岩体为中心依次向外的分布规律为:斑岩型钼矿、铜钼矿和金矿→接触交代型铁锰矿→热液交代型钼矿→热液填充型多金属矿。在火山机构中,下部为斑岩型钼矿和铜钼矿,上部为火山热液型多金属矿和金矿。

(4) 不同类型矿床有不同的围岩蚀变组合,斑岩型矿床的典型蚀变组合首先是面型钾化,而后叠加有

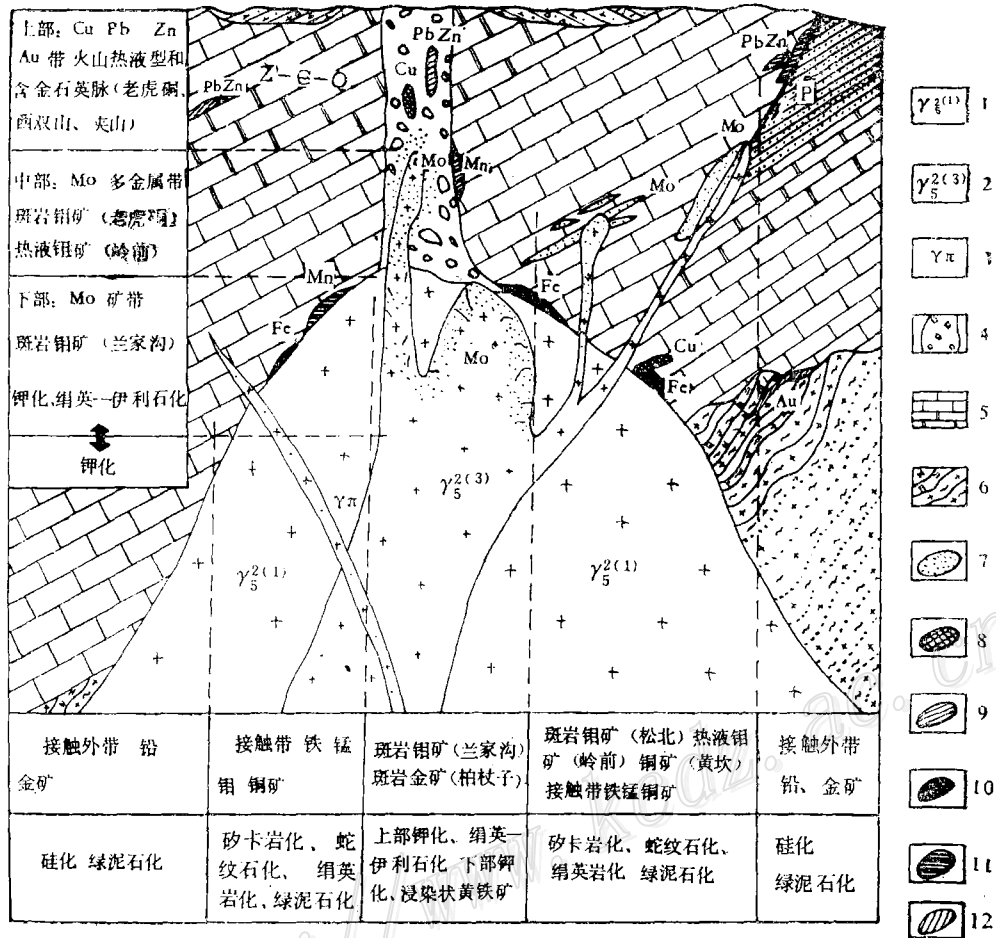


图 1 辽西中生代花岗岩成矿配套模式图

1—粗粒二长花岗岩；2—细粒二长花岗岩；3—花岗斑岩；4—火山爆破角砾岩；5—灰岩、大理岩；6—片麻岩类；7—钼矿；8—铜矿；9—铅锌矿；10—铁矿；11—锰矿；12—金矿

Fig. 1. Serialized metallogenic model of Mesozoic granites in western Liaoning.

1—Coarse-grained adamellite; 2—Fine-grained adamellite; 3—Granite porphyry; 4—Jianshan explosion breccia; 5—Limestone and marble; 6—Gneisses; 7—Molybdenum deposit; 8—Copper deposit; 9—Lead-zinc deposit; 10—Iron deposit; 11—Manganese deposit; 12—Gold deposit.

线型的绢英岩化、伊利石化。接触交代型矿床中有透辉石-石榴石化、蛇纹石化和绿帘石化。热液交代型矿床中有强烈的硅化、碳酸盐化和绿泥石化。热液填充型矿床有轻度的硅化和绿泥石化。火山热液型矿床有强硅化和绢云母化为特点。

(5) 铜钼和部分金矿与 I 型细粒二长花岗岩和二长花岗斑岩有直接的成因关系，但由于这些成矿元素的地球化学性质的某些差异而产生原生分带现象。黄铜矿的生成热、晶格能 (1669.8)、共生序数 (2.4) 均小于辉钼矿 (晶格能 2765.9，共生序数为 3.9)。铜的扩散系数大于钼^[5]，根据柯尔仁斯基等人的理论公式计算，铜的迁移能力明显大于钼，因此，钼主要在岩体内部成矿，而铜和金倾向于岩体外部的围岩中成矿。但有时由于钼或者铜的相对浓度很大时也可以出现相反的情况。

花岗岩成矿模式不仅系统概括了区域成矿机理和成矿规律，对指导找矿也颇有裨益，在详细的区域地质调查的基础上，按照花岗岩成矿系列的共生配套规律，在各自相应的地质部位上，由此及彼的查明各自有关的矿床。

参 考 文 献

- 1 王吉琯等. 辽西中生代花岗岩成因类型及找矿意义. 天津地质调查所所报, 1983, (2)
- 2 王吉琯, 卓肇琨. 花岗岩中宇宙尘的发现及其地质意义. 地质论评, 1989, 35 (6)
- 3 薛永平等. 建昌八家子富银铅锌矿床成因探讨. 辽宁地质学报, 1985, (1)
- 4 南京大学地质系. 地球化学. 北京: 科学出版社, 1979.
- 5 Жуков Н М, Фалимонова Л Е. Метасоматиты и Гипогенное оруденение медно-порфирового месторождения. Актотай, Геология Рудных Месторождений, 1982(2): 102~110

METALLOGENIC MODEL OF QINGLONG-FUXIN GRANITES

Wang Jijun and Yu Huoyong

(Tianjin Institute of Geology, Ministry of Metallurgical Industry, Tianjin)

Abstract

Along the Qinglong-Fuxin tectonomagmatic belt there are 27 Mesozoic granites belonging to 2 groups composed of 5 types, which were intruded in 5 times with the fine-grained adamellite of Series 2 and Type I directly related to mineralization. The area has mainly molybdenum deposits and subordinate copper, gold, lead, zinc, manganese and iron deposits, which might be assigned to 5 genetic types. There exist 2 large source beds, as a result of metatexis, Mo, Cu, Au and S in Jianping Group were inherited by crustal anatexitic granitic magma and then, through differentiation and derivation, formed ore deposits; lead, zinc, manganese and iron in Changcheng System were mobilized and concentrated into ore deposits under the action of granitic magmatic gas and liquid. In several ways granitic magma concentrated multi-source ore-forming substances into various types of polymetallic deposits, which formed at their corresponding geologic positions regularly-distributed and closely-associated deposits making up granitic metallogenic series. Centering on the granite body, ore deposits are arranged outwards in order of porphyry type molybdenum deposits, copper-molybdenum deposits and gold deposits→contact metasomatic type iron-manganese deposits and copper-iron deposits→hydrothermal metasomatic type molybdenum deposits and copper deposits→hydrothermal filling type lead-zinc deposits of the distant outer zone. In the volcanic apparatus, a two-storeyed metallogenic model is observed, the lower part being porphyry type molybdenum deposits and the upper part being volcanogene hydrothermal type gold and polymetallic deposits. Correspondingly there appear three sets of wall rock alteration: within the rock body there is planar potassic alteration upon which are superimposed linear phyllic alteration, illitization and chloritization; along the contact zone there are intense skarnization, serpentization and epidotization; in the wall rocks of the outer zone there are silicification, carbonatization and chloritization of different intensities. The metallogenic model of granite deposit series not only summarizes the ore-forming mechanism and regional metallogenic regularity but also guides the prospecting for ore deposits in similar areas.