

太行山—燕山造山带与中生代花岗岩有关的 金属矿床成矿系列特征*

刘凤山

石准立

(地质矿产部地质调查局, 北京) (中国地质大学, 北京)

提 要: 在把握成矿系列“三同”基本前提和“五多”基本特征的基础上, 把太行山—燕山造山带与中生代花岗岩有关的矿床划分为6个成矿系列, 并探讨了各成矿系列主要地质特征、稳定同位素特征、成矿热液性质及其物理化学条件, 指出各成矿系列具有不同的特征, 岩浆岩、地层、断裂构造等对成矿系列形成都有控制作用, 成矿物质既来源于围岩, 也来源于花岗质岩浆, 并且在造山作用过程中, 壳幔演化对各成矿系列有不同的贡献。

关键词: 成矿系列 特征 金属矿产 太行山—燕山地区

太行山—燕山地区位于中朝板块中部及其北部边缘, 以铁、铜、钼、金、银、铅、锌、铀等金属矿产为特色, 地质研究程度较高, 许多著名地质学家都曾涉及过这一地区的构造、岩浆作用、变质作用及区域成矿规律等。金属矿产主要形成于中生代, 并且和花岗岩类岩石有密切的关系。成矿系列概念是我国地质学家在长期矿床地质研究和勘查实践中发展起来的, 成矿系列经验性总结概括无疑是区域成矿规律研究重要内容之一。本区前人尚未进行过成矿系列的全面划分工作, 虽有人涉及这一问题, 但主要从岩石系列角度(王吉, 1984)^[1]或花岗岩成因类型角度(河北省综合地质大队, 1990)或侧重于矿种组合(权恒等, 1992)^[2], 因此本文对成矿系列进行划分, 并进一步总结其特征, 以扩大找矿思路, 指导找矿。

1 成矿系列的划分

一个成矿系列的矿床应该具有“三同”基本前提和“五多”基本特征。“三同”即同一地质环境、同一地质时期、同一地质作用, “五多”即多种成矿元素(矿物)、多种矿床类型、多种成矿方式、多种成矿部位、多种成矿阶段。因此在把握“三同”基本前提和“五多”基本特征的基础上, 参照程裕祺等(1983)关于与岩浆作用有关的金属矿床成矿系列的划分^[3], 把本造山带与中生代花岗岩有关的矿床划分为6个成矿系列(表1)。

2 成矿系列主要地质特征

各成矿系列分布在不同的岩基段(岩基段是花岗岩岩石谱系单位中最高一级单位。一个岩

* 地矿部重要基础性研究项目资助(编号: 8502009和8502214)

刘凤山, 男, 1964年生, 博士, 高级工程师, 从事地质矿产勘查与管理工。邮政编码: 100812

1997-09-17收稿, 1998-05-04修改回

河北省综合地质大队, 1990, 河北省花岗岩与成矿

表 1 太行山—燕山造山带中生代矿床成矿系列划分及其特征
Table 1. Division and characteristics of Mesozoic metallogenic series in the Taihangshan-Yanshan orogenic belt

成矿系列及亚系列	矿床式	类型	矿种	地区	成矿花岗岩类	成岩时代 (10 ⁶ a)	成矿时代 (10 ⁶ a)	实例	
I. 与中-酸性(偏酸性)中-浅成岩浆侵入活动有关的 Fe (Au, Cu) 成矿系列	邯邢式	接触交代型	Fe	邯邢岩基段	闪长岩类、二长岩类	171~124	燕山中、晚期	矿山、符山、固镇	
	洪山式	侵入热液型	Au(Cu)	邯邢岩基段	正长岩类	114~109	燕山晚期	洪山	
	I-1: 与中酸性岩浆活动中有关的 Fe、Cu、Mo、Pb、Zn 成矿亚系列	浮图峪式	热液型	Cu	涞源—八达岭岩基段	花岗岩(?)	燕山中、晚期	燕山中、晚期	浮图峪、小立沟
		南赵庄式	接触交代型	Pb, Zn	涞源—八达岭岩基段	石英二长岩	138.9	燕山中、晚期	南赵庄、水关口
		寿王坟式	接触交代型	Fe, Cu	涞源—八达岭岩基段	石英二长岩	燕山中、晚期	燕山中、晚期	铁岭、手城、寿王坟
		支家庄式	接触交代型	Fe	涞源—八达岭岩基段	石英二长岩	138.9	燕山中、晚期	支家庄
	II: 与中性(偏酸性)超浅成岩浆侵入活动有关的 Mo、Cu、Ag、Pb 成矿系列	撤岱沟门式	热液网脉型	Mo	冀北岩基段	二长花岗岩	215.6	201.6~203.6	撤岱沟门
		东三岔式	接触交代型	Fe, Zn, Mo	涞源—八达岭岩基段	闪长岩类	燕山中、晚期	燕山早期	东三岔
		小寺沟式	斑岩-接触交代型	Cu, Mo, Fe	涞源—八达岭岩基段	石英二长闪长岩、石英二长花岗岩	123~135	燕山中、晚期	小寺沟
	II: 与超浅成岩浆侵入活动有关的 Nb、Ta、Li、Be 成矿系列	木吉村式	斑岩型	Cu, Mo	涞源—八达岭岩基段	石英二长斑岩	燕山中、晚期	燕山中、晚期	木吉村
大庄科式		爆发角砾岩型	Mo	涞源—八达岭岩基段	石英二长斑岩	146.6	139~146.6	大庄科、磁上	
大湾东式		斑岩-接触交代型	Mo, Fe, Zn, Ag	涞源—八达岭岩基段	石英二长角砾岩	142	燕山中、晚期	大湾东、三义庄、贾家营、口前、辛坊	
麻地式		岩浆晚期气成热液型	Nb, Ta, Li, Be	冀东岩基段	碱长花岗岩	166.3~171.1	燕山早期	麻地、汉儿庄	
蔡家营式		热液型	Pb, Zn, Ag	冀北岩基段	石英斑岩、花岗岩	102~158	燕山晚期	蔡家营、帝巴岭、兰南	
IV: 与陆相火山-次火山活动有关的 Ag、Pb、Zn、Mn(Au) 成矿系列	相广式	斑岩-热液型	Mn, Ag	冀北岩基段、涞源—八达岭岩基段	花岗岩	118	燕山晚期	相广、银冶岭	
	牛圈式	热泉型	Ag, Pb, Zn (Au)	冀北岩基段			120.66	牛圈、曹房、小扣花、曹、满汉土、姑子沟、曹盖沟	
V: 与陆相超浅成火山活动有关的 U、Mo 成矿系列	460式	斑岩-热液型	U, Mo	冀北岩基段	潜流纹斑岩、流纹岩	126	132~69	460, 543, 781, 355, 470, 433, 434	
	东坪式	钾长石-石英脉型	Au	冀北岩基段	碱长花岗岩	260~328.7	148~181.9	东坪、中山沟、后沟	
	磁耳盘式	石英脉型	Au	冀东岩基段	正长花岗岩	140	大于 135	磁耳盘、茅山、牛心山、舜尖	
VI: 与岩脉热液成矿系统 Au 成矿系列	金厂峪式	石英脉型	Au	冀东岩基段			155~197	金厂峪、三家	
	小营盘式	钾长石-石英脉型	Au	冀北岩基段				小营盘、张全庄、韩家沟、水晶屯	

基段就是在某个地质历史阶段内形成的若干个超单元在一定空间范围内的组合, 不同岩基段在成因、岩石学特征、岩石化学特征、成矿特征等方面具有明显的差异)。太行山—燕山造山带中生代花岗岩类从南到北、从西到东可以分成4个岩基段, 即邯邢岩基段、涞源—八达岭岩基段(又细分为太行山轴部亚岩基段和太行山山前—燕山西段亚岩基段)、冀北岩基段、冀东岩基段(刘凤山, 1995)。第I成矿系列主要分布于邯邢岩基段。该地区主要分布有寒武系、下中奥陶统、石炭系及二叠系等地层, 其中以中奥陶统灰岩分布最广, 在构造变动中形成薄弱带, 为岩浆侵入、矿体形成提供了有利空间。岩体有覆盆状、多层状、筒状等, 控制了矿体的产状、形状和规模。岩体边部发生钠化, 而夕卡岩化主要发生在碳酸盐岩内, 与铁矿关系最密切的是金云母透辉石夕卡岩化和透辉石夕卡岩化。第II成矿系列除撒岱沟门式钼矿分布在冀北岩基段外, 主要发育于涞源—八达岭岩基段, 并且主要分布于太行山轴部亚岩基段。当岩体(主要是石英二长岩)与碳酸盐地层接触时形成各种夕卡岩型矿床(如铁矿、铁铜矿、铁锌银矿、铅锌矿、铜矿)。各矿区出露的地层有太古界角闪斜长片麻岩, 蓟县系高于庄组及雾迷山组白云岩, 寒武系及奥陶系灰岩, 中侏罗统髫髻山组火山岩, 但夕卡岩矿化主要与雾迷山组白云岩以及寒武系、奥陶系灰岩有关。第III成矿系列则仅见于冀东岩基段。此系列矿床极少, 均与过铝质壳型花岗岩有关。第IV成矿系列出现范围较广, 见于冀北岩基段和太行山轴部亚岩基段。主要与陆相火山-潜火山活动有关, 但矿体既可以分布在岩体或火山岩中, 也可以分布在地层中。第V成矿系列主要分布于冀北岩基段, 主要受控于晚侏罗世火山岩和潜火山岩。第VI成矿系列则散布于冀北岩基段和冀东岩基段内。此成矿系列和花岗岩关系不十分密切, 但花岗岩可能是热源供给者, 也可能提供部分成矿物质, 甚至仅是金矿寄主岩, 如东坪式金矿均分布于水泉沟碱性杂岩体的内接触带, 峪耳崖式金矿直接产在花岗岩内, 而小营盘式和金厂峪式均产在老变质岩中。

本区各种内生金属矿床均分布于花岗岩中或其附近, 并按矿床和花岗岩体空间远近程度将矿床分3大类: ①产于花岗岩中的钼矿床、稀有金属矿床。如撒岱沟门式、小寺沟式、木吉村式、大庄科式、大湾东式、460式、东三岔式等钼矿主要分布于中浅成、超浅成各类花岗岩中, 麻地式稀有金属矿化则产于过铝质酸性侵入岩中。某些金矿、铜矿、银矿也属于此类矿化, 如东坪式、峪耳崖式金矿等。②产于花岗岩与围岩接触带中矿床。第I、第II成矿系列中接触交代型铁矿、铁铜矿、铁锌银矿、铅锌矿, 如邯邢式、支家庄式铁矿, 南赵庄式铅锌矿, 寿王坟式铁铜矿, 东三岔式、大湾东式铁锌银矿。某些铜矿也属于此类, 如浮图峪式、小寺沟式铜矿。③远离岩体的矿床。如第VI成矿系列中金厂峪式、小营盘式金矿床, 第V成矿系列除460以外其他钼矿也属于此类。第IV成矿系列情况比较复杂, 一般和花岗岩岩体无关, 而和斑岩脉有关, 分布于老变质岩或火山岩地层中, 因此也可视为第3类矿床。

本区矿化除和花岗岩类岩石有密切关系外, 也和地层有明显关系。不同岩石类型的分布制约了成矿系列的空间分布, 如邯邢地区、涞源—八达岭地区碳酸盐地层较多, 因此第I、第II成矿系列或分布于花岗岩类岩石中或分布于碳酸盐地层中; 冀北地区、冀东地区碳酸盐地层极少, 变火山岩等老地层分布极广, 同时冀北地区还分布有大量中生代火山岩地层, 因此第III、第IV、第V、第VI成矿系列或分布于花岗岩类岩石或分布于老地层、火山岩地层中。

本区矿化同样和断裂构造有密切关系。邯邢地区、涞源—八达岭地区主要受NNE—NE向丰宁-赤城-涞源断裂、昌平-灵寿断裂、平泉-密云-邯郸断裂控制。冀北地区、冀东地区受近EW向、NE向断裂控制，几乎全部矿床在空间上沿这些断裂及其两侧分布，一般离断裂带不超过20 km。小营盘式、金厂峪式金矿则受多期活动的区域性大断裂带附近的韧性剪切带控制。

3 成矿系列稳定同位素特征

同一成矿系列应该有相同的或相似的成矿物质来源和成矿流体来源，稳定同位素作为“示踪原子”无疑是有效的研究方法 (Wolf, 1976; 芮宗瑶等, 1984; 张理刚, 1985; 赵一鸣等, 1990)^[5-7,10]。

3.1 硫同位素

区内许多矿床都进行了矿石硫化物硫同位素测定，其中多为黄铁矿，其次为方铅矿、闪锌矿，辉钼矿、黄铜矿、磁黄铁矿则很少。 $\delta^{34}\text{S}$ 为-14.5‰~16.5‰，多数集中在-14‰~7‰

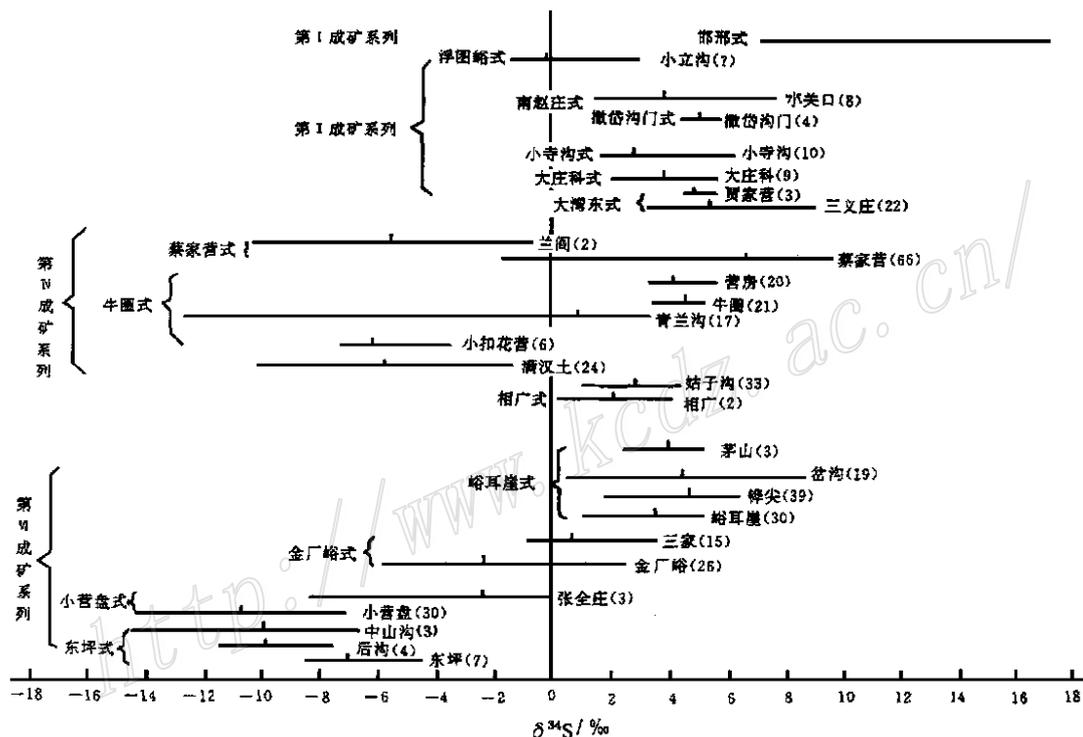


图1 太行山—燕山造山带各成矿系列硫同位素组成及均值
(括号内为样品数; 资料来源: 权恒等, 1992; 河北省第三地质大队, 1990、1986; 余昌涛等, 1989; 于润林等, 1989; 向纲, 1984; 河北省综合研究地质大队, 1981; 河北省区域矿产调查研究所, 1993; 艾永富等, 1984; 冯钟燕等, 1984; 王郁等, 1994; 北京市地质调查所, 1985; 有色514地质队, 1990; 本文)

Fig. 1. Sulfide isotopic compositions and average values of various metallogenic series in the Taihangshan-Yanshan orogenic belt.

之间 (图 1)。共生矿物的 $\delta^{34}\text{S}$ 大体符合巴斯辉钼矿 > 黄铁矿 > 闪锌矿 > 方铅矿的规律, 说明硫同位素基本达到平衡条件, 即区内多金属、金、银矿床中硫化物大体具备了共生环境。

冀北、冀东岩基段各矿床围岩主要是岩浆岩和老地层。老地层硫同位素组成接近于花岗岩 (如金厂峪矿床围岩 11 个样品 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $-1.2\text{‰} \sim 5.2\text{‰}$, 平均为 1.54‰), 其影响不易从矿石硫同位素组成反映出来, 而邯邢岩基段矿床围岩主要是奥陶纪碳酸盐岩, 并多有石膏分布, 矿石中重硫显著增多 ($\delta^{34}\text{S}$ 为 $7.27\text{‰} \sim 16.36\text{‰}$), 明显反映出围岩的物质加入成矿作用。因此成矿物质不仅仅来源于花岗质岩浆, 也来源于围岩。

3.2 铅同位素

在各种热液环境中沉淀的铅矿石及含铅矿物的铅同位素组成可以反映热液中金属来源区的 U-Th-Pb 体系及初始铅同位素特征。本区大多数矿床矿石铅同位素组成都落在上地幔铅同位素演化线和下地壳铅同位素演化线附近 (图 2、图 3、图 4), 表明成矿物质来源于地壳深部 (下地壳、上地幔), 并且和造山作用有直接关系, 但极少数也落在上地壳铅同位素演化线附近, 表明其在岩浆或岩浆热液上升过程中受到上地壳的物质混染。

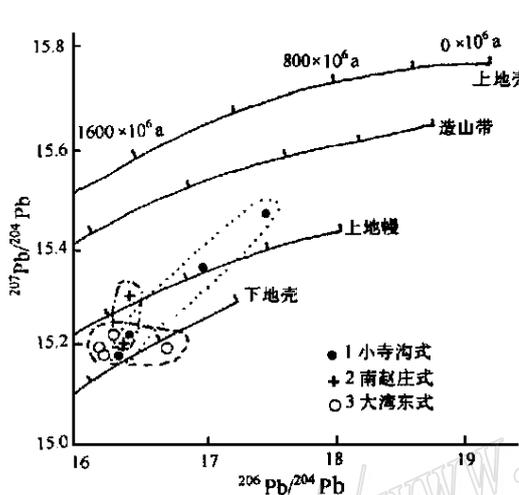


图 2 太行山—燕山造山带第 II 成矿系列矿石铅同位素组成

(据 B R Doe 等, 1979; 原始资料同图 1)

Fig. 2. Lead isotopic compositions of No. II metallogenic series in the Taihangshan—Yanshan orogenic belt.

1—Xiaosigou type; 2—Nanzhaozhuang type; 3—Dawandong type.

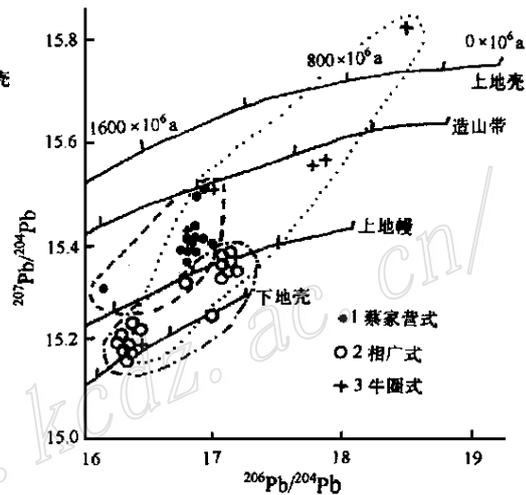


图 3 太行山—燕山造山带第 IV 成矿系列矿石铅同位素组成

(据 B R Doe 等, 1979; 原始资料同图 1)

Fig. 3. Lead isotopic compositions of No. IV metallogenic series in the Taihangshan—Yanshan orogenic belt.

1—Caijiaying type; 2—Xianguang type; 3—Niujuan type.

各成矿系列、各矿床式乃至各矿床的铅同位素组成都是有差别的。第 II 成矿系列铅同位素组成仅落在上地幔和下地壳演化线附近 (图 2), 说明来源较深, 和造山作用无直接关系; 第 VI 成矿系列矿石铅同位素组成落在造山带、上地幔、下地壳演化线附近 (图 4), 说明原始物质来源较深, 并且受到上地壳的混染, 其与造山运动有直接关系; 第 IV 成矿系列则介于两者

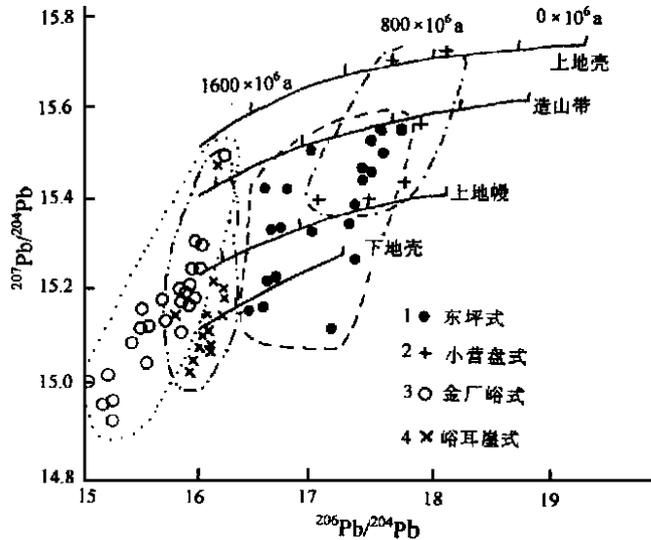


图4 太行山—燕山造山带第VI成矿系列矿石铅同位素组成

(据 B R Doe 等, 1979; 原始资料同图 1)

Fig. 4. Lead isotopic compositions of No. IV metallogenic series in the Taihangshan—Yanshan orogenic belt.

1—Dongping type; 2—Xiaoyingpan type; 3—Jinchangyu type; 4—Yuerua type.

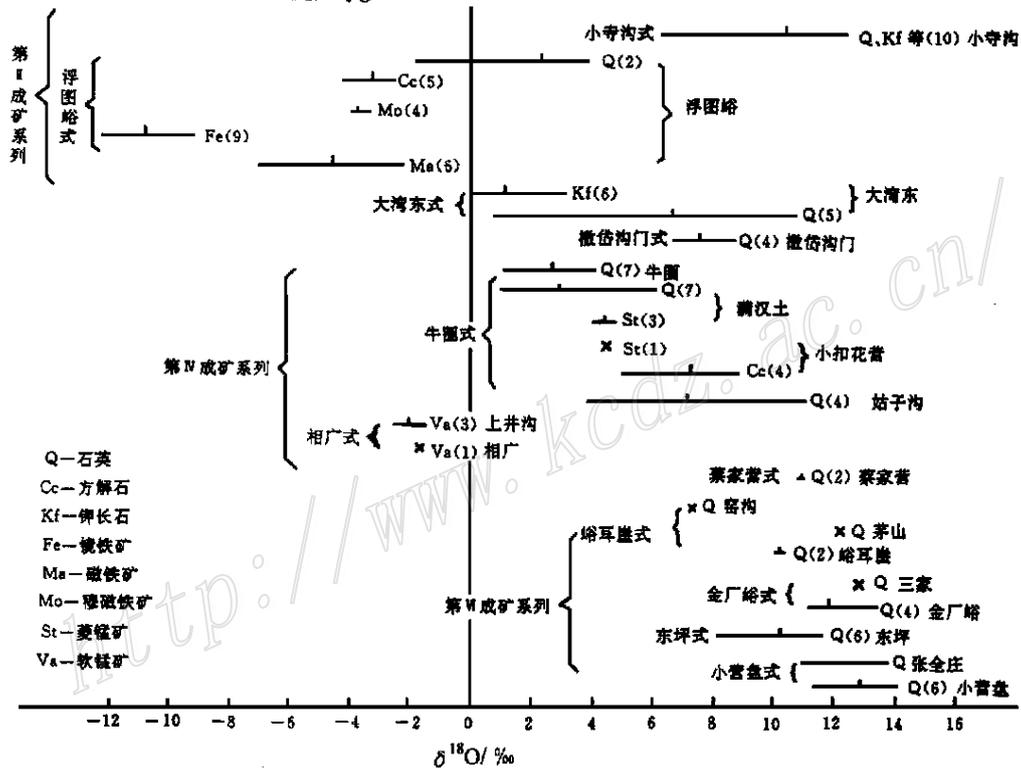


图5 太行山—燕山造山带各成矿系列氧同位素组成

(资料来源: 王郁等, 1994; 余昌涛等, 1989; 权恒等, 1992; 于润林等, 1989; 河北省第三地质大队, 1990; 卢德林等, 1991; 向纲, 1995; 河北省区域矿产调查研究所, 1993; 涂勘, 1986; 冯钟燕等, 1984; 北京市地质调查所, 1985; 林宝钦, 1990)

Fig. 5. Oxygen isotopic composition of various metallogenic series in the Taihangshan—Yanshan orogenic belt.

Q- Quartz; Cc- Calcite; Kf- K-feldspar; Fe- Specularite; Ma- Magnetite; Mo- Mushketovite; St- Rhodochrosite; Va- Pyrolusite.

之间, 或多或少与造山运动有关 (图 3)。壳幔物质交换作用控制着区域成矿特征、各成矿系列的形成 (刘凤山等, 1995)^[8]。

3.3 氢、氧同位素

本区测定氧同位素的矿物主要是脉石矿物石英, 少数为方解石、软锰矿、钾长石、磁铁矿等, 组成范围很宽, $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-13\text{‰} \sim 15\text{‰}$ (图 5)。各成矿系列氧同位素组成范围明显不同, 第 II 成矿系列 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-12.4\text{‰} \sim 12.5\text{‰}$, 平均为 $-10.8\text{‰} \sim 10.4\text{‰}$; 第 IV 成矿系列 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-2.51\text{‰} \sim 11.1\text{‰}$, 平均为 $-2.1\text{‰} \sim 10.9\text{‰}$; 第 VI 成矿系列 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $7.31\text{‰} \sim 13.5\text{‰}$, 平均为 $10.2\text{‰} \sim 12.7\text{‰}$ 。但一些常见区域变质岩 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $6\text{‰} \sim 25\text{‰}$ 。本区变质岩中石英 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $10.7\text{‰} \sim 15.7\text{‰}$, 变质岩 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $6.33\text{‰} \sim 12.44\text{‰}$ (魏菊英等, 1988; 林宝钦, 1990)^[4,9], 这些岩石是本区主要矿化围岩, 特别在冀北、冀东岩基段, 因此可以认为脉石矿物氧同位素组成既来自于围岩, 也来自于中生代中酸性岩浆, 同时受到天水的混合。

成矿热液中水是重要组成部分。本区成矿热液水 δD 的范围为 $-40\text{‰} \sim -120\text{‰}$, 并且主要集中在 $-70\text{‰} \sim -100\text{‰}$ (图 6)。本区 δD 值明显超出典型岩浆水和典型变质水氢同位素组

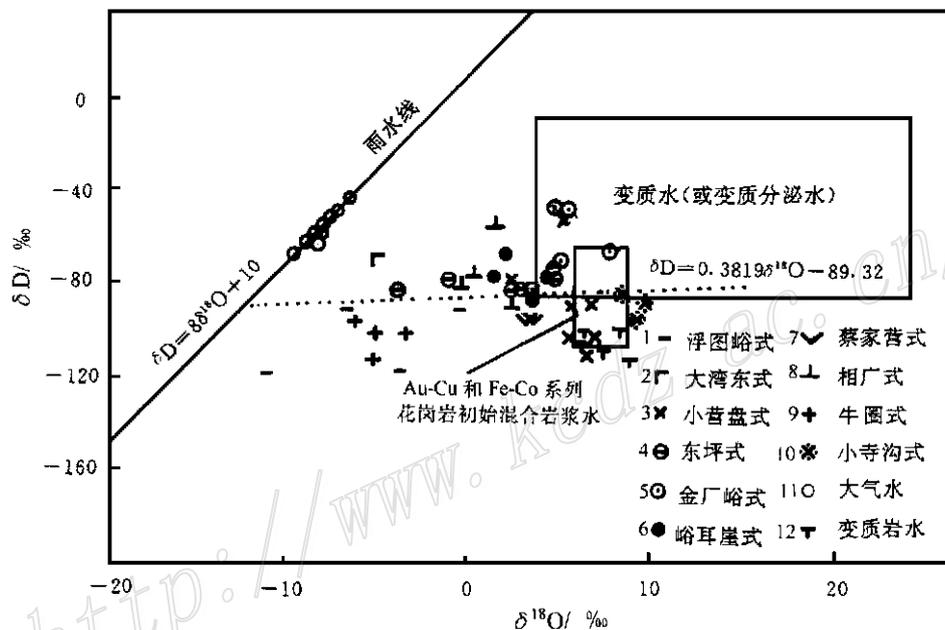


图 6 太行山—燕山造山带含矿热液 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 图解
(资料来源同图 5)

Fig. 6. $\delta^{18}\text{O}$ - δD diagram of ore-bearing hydrothermal fluids in the Taihangshan—Yanshan orogenic belt. 1- Futuyu type; 2- Dawandong type; 3- Xiaoyingpan type; 4- Dongping type; 5- Jinchangyu type; 6- Yueryu type; 7- Caijiaying type; 8- Xiangguang type; 9- Niujuan type; 10- Xiaosigou type; 11- Meteoric water; 12- Metamorphic water.

成范围, 而和张理刚 (1985) 的 Au-Cu 和 Fe-Co 系列花岗岩初始岩浆水氢同位素组成范围 ($-65\text{‰} \sim -110\text{‰}$) 相似^[6], 但比其略宽, 产生这种情况的根本原因是相对贫 D 的变质水和相对富 D 的大气水的混入所致。

成矿热液 $\delta^{18}\text{O}$ 的范围为 $-10\text{‰} \sim 10\text{‰}$ ，且无明显的集中范围，大致沿 $\delta\text{D} = 0.3819\delta^{18}\text{O} - 89.32$ (经最小二乘法拟合) 直线上下分布，许多样品点更接近于雨水线，说明各矿床成矿热液中雨水的混入比例是不同的。

4 成矿热液性质及其物理化学条件

矿物中原生包裹体代表着矿物从中析出的原始溶液，因此通过对原生包裹体的研究，可以了解热液性质等重要信息。

4.1 包裹体成分

本区许多矿床都进行过包裹体研究，主要测试的是石英，另外还有少量的萤石、方解石、石榴石、镜铁矿、黄铁矿等热液矿物。包裹体中阳离子主要是 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} ，其次是 Mg^{2+} ，一般 $\text{Na}^+ > \text{K}^+$ (Na^+/K^+ 为 $1.25 \sim 5.44$)，牛圈矿床 (Na^+/K^+ 为 0.38) 和茅山矿床 (Na^+/K^+ 为 0.36) 除外，并且多为 $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 。阴离子主要是 Cl^- 、 F^- ，并且多为 $\text{Cl}^- > \text{F}^-$ ，但下双台、大湾东、牛圈3个矿床 (Cl^-/F^- 为 $0.06 \sim 0.83$) 除外。 SO_4^{2-} 一般比 F^- 少，并构成 $\text{Cl}^- > \text{F}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 体系。在气相成分中除了水外，主要是 CO_2 ，其为 $0.02 \sim 21.3$ 摩尔百分数，其次是 N_2 、 CH_4 、 H_2 、 CO 。在第VI成矿系列中 CO_2 含量普遍高，为 $0.85 \sim 10.43$ 摩尔百分数，其他两个成矿系列 CO_2 含量则较低，为 $0.02 \sim 2.15$ 摩尔百分数，说明各成矿系列成矿热液性质是有差别的，成矿元素搬运形式以氯络合物、氟络合物等为主。

4.2 盐度

如表2所示，第II成矿系列各矿床式盐度均很高，多在7% NaCl以上，最高可达62% NaCl，第IV成矿系列盐度较低，为0.09% ~ 2.6% NaCl，第VI成矿系列介于中间，为

表2 太行山—燕山造山带各成矿系列物理化学参数

Table 2. Physical-chemical parameters of various metallogenic series in the Taihangshan-Yanshan orogenic belt

成矿系列	矿床式	矿床	$S_{\text{NaCl}}/\%$	$p/(10^5\text{Pa})$	pH 值
VI	金厂峪式	金厂峪	6.21	190	5.79
		三家	8.43	180	7.18
	峪耳崖式	峪耳崖	2.13	125	6.85
		茅山	7.96	75	7.16
	小营盘式	小营盘	9.90		6.25~8.6
东坪式	东坪	0.13	85~700	6.20	
IV	牛圈式	牛圈	2.60	54~97	4.49
		姑子沟	0.09	100	5.80
	满汉土—小扣花营		146~160	5~6	
II	浮图峪式	浮图峪	7~15		7.26
	大湾东式	大湾东	0.3~50	250~350	6.6
	小寺沟式	小寺沟	40~50	300~500	
	大庄科式	大庄科	15~62		

注：原始数据：据余昌涛等 (1989)、孙大中等 (1989)、于润林等 (1989)、权恒等 (1992)、王郁等 (1994)、黄春鹏 (1985)、向纲 (1984)、卢德林等 (1991) 及本文；原始资料经重新计算；牛圈 Ag (Au) 矿测定矿物为石英、萤石，浮图峪铜矿为石榴石、黄铁矿、黄铜矿、方解石，其他矿床均为石英

0.13% ~ 9.9% NaCl。说明盐度的大小与成矿作用有密切关系, 既取决于成矿热液初始盐度, 也取决于成矿热液运移过程中外来组分的加入, 如天水的加入无疑降低成矿热液的盐度。

4.3 压力

包裹体的压力是受温度、密度、深度、裂隙的封闭状态等因素所决定的。本区各成矿系列压力和盐度有相似的规律, 即第II成矿系列压力最大(为 $250 \times 10^5 \sim 500 \times 10^5$ Pa), 第VI成矿系列压力中等(为 $75 \times 10^5 \sim 700 \times 10^5$ Pa), 而第IV成矿系列压力最小(为 $54 \times 10^5 \sim 120 \times 10^5$ Pa)(表 2)。反映出各成矿系列形成深度不同, 第II成矿系列为深成、半深成环境, 第IV成矿系列则为浅成环境, 第VI成矿系列则主要是半深成环境。同时也表明区内成矿压力主要反映流体的静压力, 而静岩压力影响很小, 也就是说含矿裂隙多属于半开放状态(权恒等, 1992)^[2]。从第II成矿系列半封闭状态微裂隙到第VI成矿系列较封闭状态的压性裂隙, 再到第IV成矿系列浅部较开放裂隙、张性开放裂隙中所充填的矿物包裹体压力是递减的。

4.4 pH 值

本区所有成矿作用都是在弱酸—弱碱环境下进行的, 第VI成矿系列主要呈弱碱性(pH 值为 5.79~ 8.6), 这可能和矿物包裹体中含有较多的 CO₂ 有关, 第II成矿系列也是弱碱性(pH 值为 6.6~ 7.26), 而第IV成矿系列则是弱酸性(pH 值为 4.49~ 5.07)(表 2)。由此可见 pH 值控制着成矿元素的沉淀与否。

4.5 成矿温度

本区成矿温度为 95 ~ 610℃, 其显然包括了不同热液阶段的蚀变矿物和硫化物的结晶温度。本区成矿温度主要集中在 200~ 370℃ 范围内, 其中 250~ 320℃ 范围内居多。但不同成矿系列温度范围是不同的: 第VI成矿系列成矿温度为 95~ 390℃, 主要集中在 200~ 370℃ 范围内; 第IV成矿系列成矿温度则比第VI成矿系列略低, 为 11~ 368℃, 主要集中在 160~ 350℃; 第V成矿系列成矿温度更低, 为 150~ 300℃; 第II成矿系列成矿温度变化范围大, 为 120~ 610℃, 并出现较高的成矿温度(表 3)。说明金、银、铀沉淀温度不高, 而斑

表 3 太行山—燕山造山带各成矿系列成矿温度

Table 3. Ore-forming temperature of various metallogenic series in the Taihangshan-Yanshan orogenic belt

成矿系列	矿床式	矿床	样品数	$t_{均-}/^{\circ}\text{C}$	$t_{破裂}/^{\circ}\text{C}$
VI	金厂峪式	金厂峪	55	256~ 370	134~ 325
		三家	23	140~ 376	138~ 320
		蚂蚁沟	14	228~ 348	95~ 204
	峪耳崖式	峪耳崖	12	259~ 390	211~ 305
		茅山	8	246~ 302	173~ 231
	小营盘式	小营盘	36		207~ 344
V	东坪式	东坪		95~ 340	
	460式	460			150~ 300
IV	牛圈式	牛圈	240	160~ 350	
		姑子沟	14		245~ 334
		满汉土	27		245~ 317
		小扣花营	18		200~ 330
		青羊沟	12	270~ 330	
		蔡家营式	蔡家营	50	250~ 350
	相广式	相广	3		114~ 154
	浮图峪式	浮图峪		150~ 400	
南赵庄式	水关口	6		175~ 400	
撒岱沟门式	撒岱沟门		186~ 465		
II	大湾东式	大湾东	3	120~ 460	260~ 370
		辛坊	29		250~ 610
	小寺沟式	小寺沟	150	260~ 400	
	大庄科式	大庄科		280~ 460	
		磴上	19		225~ 315

注: 资料来源同表 2

岩型钼矿成矿温度较高, 接触交代型铜、铅锌、铁铜等成矿温度略低。总体来看, 本区主要为中温—中高温, 中低温次之。

成矿温度差别较大的矿床多是由多期热液活动叠加的结果, 如小寺沟、大湾东、东坪、蔡家营、460等, 造成高温矿物和中、低温矿物共存于一个矿床中, 高温蚀变组合和中、低温蚀变组合共存于一个矿床中, 如中温热液型蔡家营铅锌银矿床常见有毒砂、白铁矿等高温矿物和辉钼矿、硫锑银矿等矿物组合, 又如斑岩-夕卡岩型小寺沟铜钼铁矿床既出现云英岩化、夕卡岩化等高温蚀变组合, 同时也广泛出现硅化、碳酸盐化等低温蚀变组合。

5 结 论

通过对太行山—燕山造山带与中生代花岗岩类岩石有关的矿床成矿系列的划分和各成矿系列特征的探讨, 可以得出以下几点主要结论:

(1) 本造山带与中生代花岗岩类岩石有关的矿床可划分出6个成矿系列, 即与中性(—偏酸性)中—浅成岩浆侵入活动有关的Fe(Au、Cu)成矿系列, 与中性(偏酸性)—酸性中浅成—超浅成岩浆侵入活动有关的MoCuFeZnAgPb成矿系列, 与过铝质酸性岩浆侵入活动有关的NbTaLBe成矿系列, 与陆相火山-次火山活动有关的AgPbZnMn(Au)成矿系列, 与陆相超浅成火山活动有关的UMo成矿系列, 与岩浆热液活动有一定关系的层控-改造型Au成矿系列。

(2) 各成矿系列具有不同的地质特征, 岩浆岩、地层、断裂构造等对成矿系列形成都有控制作用。

(3) 各成矿系列具有不同的稳定同位素特征, 成矿物质既来源于围岩, 也来源于花岗质岩浆, 同时有天水的加入。并且在造山作用过程中, 壳幔演化对各成矿系列有不同的贡献。

(4) 各成矿系列成矿热液性质和物理化学条件也不相同, 各成矿系列的形成需要不同的成矿环境。

参 考 文 献

- 1 王吉. 华北地台北部中生代花岗岩及其成矿系列. 天津地质学会志, 1984, 2(2): 89~96.
- 2 权恒, 韩庆云, 艾永富等. 燕辽地区多金属、金、银成矿远景. 北京: 地质出版社, 1992.
- 3 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣等. 再论矿床的成矿系列问题. 地质论评, 1983, (2): 127~139.
- 4 林宝钦. 初论华北地台金矿成矿作用问题. 见: 沈阳地质矿产研究所编. 金矿地质论文集(第一辑). 北京: 地质出版社, 1990, 52~61.
- 5 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明等. 中国斑岩铜(钼)矿床. 北京: 地质出版社, 1984.
- 6 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液作用及找矿. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985.
- 7 赵一鸣, 林文蔚, 毕承思等. 中国夕卡岩矿床. 北京: 地质出版社, 1990.
- 8 刘凤山, 石准立. 从闪长质岩石包体角度探讨太行山—燕山造山带壳幔成矿作用. 矿床地质, 1995, 14(3): 206~215.
- 9 魏菊英, 王关玉. 同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 1988, 112~134.
- 10 Wolf K H. Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits. Elsevier Scientific Publishing Company. 1976, 2: 363.

MINEROGENIC SERIES OF METALLIC DEPOSITS RELATED TO MESOZOIC GRANITES IN THE TAIHANGSHAN- YANSHAN OROGENIC BELT AND THEIR CHARACTERISTICS

Liu Fengshan

Shi Zhunli

(Bureau of Geological Survey, MGMR, Beijing 100812) (China University of Geosciences, Beijing 100083)

Key words: mineralogenic series, characteristic, metallic ore resource, Taihangshan-Yanshan area

Abstract

Lying in the central part and northern margin of the Sino-Korea plate, the Taihangshan-Yanshan orogenic belt is characterized by iron, copper, molybdenum, gold, silver, lead, zinc and uranium deposits. Based on three "identical" basic prerequisites (the same geological environment, the same geological era and the same geological function) and five "multiple" basic characteristics (multiple ore-forming elements, multiple ore deposit types, multiple ore-forming patterns, multiple ore-forming positions and multiple ore-forming stages) of the metallogenetic series, the authors have divided the ore deposits related to Mesozoic granites in the Taihangshan-Yanshan orogenic belt into six metallogenetic series, viz., the Fe(AuCu) metallogenetic series related to intermediate-shallow-seated magmatic intrusion, the MoCuFeZnAgPb metallogenetic series related to intermediate (slightly acid)-acid intermediate shallow-seated-supercrustal magmatic intrusion, the NbTaLiBe metallogenetic series related to peraluminous acid magmatic intrusion, the AgPbZnMn(Au) metallogenetic series related to continental volcanic-subvolcanic activity, the UMo metallogenetic series related to continental supercrustal volcanic activity, and the stratabound-transformed Au metallogenetic series somewhat related to magmatic-hydrothermal activity. On the basis of such features of various metallogenetic series as the major geological characteristics, the stable isotope characteristics, and the properties of ore-forming hydrothermal fluids as well as their physical-chemical conditions, the authors have reached the following conclusions: (1) the six metallogenetic series have different characteristics; (2) magmatic rocks, strata and faults all played the controlling role in the formation of metallogenetic series; (3) the ore-forming materials were derived from both wall rocks and granitic magma; (4) in the orogenic process, the crust-mantle evolution made different contributions to different metallogenetic series.