

中国科学院地球化学研究所博士后论文集（一）

地质地球化学研究

彭汝明

主 编 王元龙

黄智龙



贵州科技出版社

内 容 简 介

本书是中国科学院地球化学研究所博士后（出站和在站）向地化所所庆三十周年和北京第三十届国际地质大会的献礼。书中汇集了中国科学院地球化学研究所部分博士后近年来在矿床地球化学、岩石地球化学、构造地球化学、深部地球化学及环境地球化学等领域的研究成果，内容涉及许多当代地球科学研究的热点及前沿问题。可供从事地球科学研究的科技人员及研究生参考。

谨以此书献给：

中国科学院地球化学研究所成立 30 周年
及北京第 30 届国际地质大会

中国科学院地球化学研究所博士后流动站
中国科学院矿床地球化学开放研究实验室
中国科学院地球化学研究所

联合资助

活跃在地化所科研工作中的一支生力军

——博士后

我所是首批建立博士后流动站的单位，从1988年开始已接收博士后近40名。博士后在站的两年时间并不长，由于他们来自全国各地高等院校和科研单位，带来多方面的学术思想和研究方法，对我所的综合研究能力、学科建设与发展起了重要作用，在我所科研工作中发挥了积极作用，成为一支重要的科研力量。他们不仅承担和参加各项国家自然科学基金项目、国家重点攻关项目、国家攀登计划项目、中国科学院重大重点项目、国家或部委开放研究室基金项目等研究工作，还通过各种渠道争取科研课题。我所博士后在站期间紧密与科研工作相结合，使他们学位论文期间的研究工作更加深入，因此，他们的成果丰硕，虽然他们在全所总人数中所占比例并不大（不到3%），但他们每年在国内外核心期刊上发表的学术论文数目超过全所发表论文的三分之一；还有不少博士后在站期间就出版了专著或译著。他们精力旺盛，学术思想活跃，积极参加国内外各种学术会议进行学术交流，并获得各种奖励，为提高我所知名度作出了贡献。他们在完成科研工作的同时，还协助培养和指导研究生，为硕士开设学位课程等。充分表现博士后已成为我所科研工作和学科发展的一支不可忽视的力量，也充分体现出博士后制度对青年人才的培养和出成果有深远意义。

我所目前设有环境地球化学国家重点实验室、中国科学院矿床地球化学开放研究实验室、贵州高原喀斯特山区生态环境综合试验站、环境地球化学研究室、矿床地球化学研究室、矿物学研究室、矿物材料研究室、地球深部物质研究室、稀土元素地球化学研究室、国土资源整治和灾害预测遥感开放研究中心、天然矿泉水研究开发中心、非金属材料研究开发中心、有机地球化学研究开发中心、超临界CO₂生物萃取研究开发中心等研究和开发机构，有较先进的分析测试和实验设备。这些均为博士后在站的科研工作创造了良好的条件。热忱欢迎有志于从事地球化学和矿物学研究的博士生到我所作博士后。

在中国科学院地球化学研究所建所三十周年纪念之际，特组织出版我所部分出站和在站博士后在矿床地球化学、岩石地球化学、构造地球化学、深部地球化学及环境地球化学等领域的最新研究成果，以此作为地化所博士后向所庆的献礼。

中国科学院地球化学研究所博士后流动站

1996年6月

目 录

鄂东南地区铁铜等多种金属的矿床系列研究	王元龙 (1)
多变量构造地球化学场分解原理及其在矿产预测中 的应用	孟宪伟, 毛华海 (11)
江西银山多金属矿床成矿分带结构及形成机理探讨	
..... 张德会, 鲍征宇, 岑 况, 唐仲华 (22)	
扬子地块西缘灯影组层控铅锌矿床的成因及形成超大型矿床的潜力	
..... 邵世才, 李朝阳 (35)	
云南镇沅金矿煌斑岩岩石化学	黄智龙, 王联魁 (42)
扬子板块西南部成矿作用时控性的地球化学背景	
..... 于炳松, 裘愉卓, 李 娟 (57)	
湖南省麻阳铜矿自然铜成因标志	肖荣阁 (64)
贵州遵义下寒武统黑色页岩层钙质结核成核作用中元素的 重新分配	李胜荣, 高振敏 (72)
黔西南含砷金矿床 Au、As 空间分带及其制约因素探讨	
..... 何明友, 吴晓铮 (78)	
滇东早寒武世含磷岩系稀土元素地球化学特征及成因	
..... 杨卫东, 漆 亮, 鲁晓莺 (83)	
滇东早寒武世含磷岩系同位素地球化学特征及其环境意义	
..... 杨卫东, 何明友, 鲁晓莺, 叶健骝, 南君亚 (89)	
岩石学混合计算在云南鸡街碱性超基性岩杂岩体研究中的应用 ...	黄智龙 (95)
鄂东南地区中酸性岩浆岩系列及其岩石化学特征	王元龙 (105)
氮、磷、钾营养对水稻钾素同化的影响	吴沿友, 蒋九余, 帅世文 (113)
喀斯特适生模式植物 —— 诸葛菜的研究和开发	吴沿友, 蒋九余, 帅世文, 陈大梅 (118)
块体的拼合级序与镶嵌造山作用——以兴蒙造山带为例	李双林 (123)
拆沉作用及其对壳—幔循环的意义 (以秦岭造山带为例)	
..... 赵志丹, 高山, 张本仁, 骆庭川 (130)	
气体地球化学勘查研究进展与展望	尹冰川, 安国英 (141)
中国矽卡岩型金矿床的勘查、研究现状和前景	陈衍景 (147)

地幔化学不均一性的方法研究

- 兼论中国中东部上地幔的铜丰度及其意义 (摘要) 郑海飞 (154)
- 小兴安岭——张广才岭地区成矿系列研究 尹冰川, 冉清昌 (157)
- 江西德兴斑岩铜矿床的成岩成矿作用动力学机制 (摘要) 高合明 (161)
- 中国陆相火山岩区大型—超大型金矿床基底及分带机制
研究 冉清昌, 周朝宪 (163)
- 中国陆相火山岩区存在大型—超大型金矿床的地球化学判
别方法研究 冉清昌, 尹冰川 (171)
- 陆相热水沉积矿床研究 (摘要) 王京彬 (178)

鄂东南地区铁铜等多种金属的矿床系列研究

王元龙

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

摘 要 应用成矿系列的理论, 根据鄂东南地区成矿作用与岩浆活动和地质构造背景对应关系以及各种矿床类型地质特征, 将成矿区划分为两个矿床系列, 即以铁矿为主的铁铜矿床系列和以铜为主的铜、钨、钼、铁、金矿床系列。在研究两个成矿系列有关矿床类型特征的基础上, 重点进行了区域成岩成矿系列分析, 探讨了成岩成矿物质来源、成岩成矿系列与地质构造环境的关系, 以及成岩成矿系列可能形成的机制。

关键词 成矿系列 岩浆岩系列 铁铜金矿床 鄂东南地区

概 述

鄂东南地区是我国著名的长江中下游铁铜等多种金属成矿带的重要组成部分, 矿床类型众多又颇具特色。在大地构造位置上, 该区属于扬子褶皱拗陷带(二级构造单元)的一个次级构造单元, 介于梁子湖断裂带(北西侧)、广济—襄樊断裂带(北东侧)和广济—咸宁东西向断裂带(南侧)所围限的三角形地块中^[1]。印支运动使本区褶皱形成南部隆起和北部拗陷的基本构造格局, 燕山期本区又受到北北东向构造的叠加, 与原有北西向和北西西向断裂构成复杂的构造网络, 对本区的成岩成矿起到控制作用^[2]。区内地层自震旦系到第四系发育齐全, 层序基本完整, 其中寒武系至三叠系下统分布于大冶—金牛一线以南的隆起区, 是一套海相为主的碳酸—碎屑岩系, 该线以北的拗陷区, 三叠系中统至白垩系的陆相碎屑岩和含煤岩系较为发育。

区内岩浆活动频繁, 岩浆岩分布广泛, 既有大规模的岩浆侵入, 又有强烈的火山喷发, 在该区形成了与铁、铜等金属矿床有密切关系的鄂城、金山店、阳新和殷祖等六大岩体以及铜录山、鸡冠嘴、谢华武、龙角山、姜桥等三十多个小岩体。本区侵入岩以中酸性岩类为主, 包括闪长岩、二长岩、花岗闪长岩和花岗岩, 喷出岩主要有安山岩类和流纹岩类, 岩浆活动时期主要为燕山期。

1 矿床系列及其划分

矿床系列(成矿系列)是指在一定的地质环境中,由一定的主导地质成矿作用形成的,在时间和空间上有密切联系的各种矿种、各种矿床类型的总和。其最大特点是从联系的观点、总体的观点,把一定地质时期中形成的各种矿床在空间上联系起来考虑,研究同一地区不同类型矿床之间的内在联系,注意这些矿床总的地质构造背景及发展历史^[3,6]。自从程裕祺等(1975)提出“矿床系列”的概念以来,矿床系列的研究在矿床学领域引起了国内外地质工作者的广泛重视,相继有许多地质学家在不同矿区进行了矿床系列研究,并在找矿方面取得了较好效果。

鄂东南多种金属成矿区是我国地质研究工作起步较早、研究程度较深的地区,但成矿系列研究工作开展较晚,研究较少。作者根据鄂东南地区成矿作用与岩浆活动和地质构造背景对应关系及各种矿床类型地质特征,将成矿区划分为两个矿床系列,即以铁矿为主的铁铜矿床系列和以铜为主的铜、钨、钼、铁、金矿床系列。

1.1 与铁矿床系列有关的矿床类型

该系列矿床主要分布于本区中生代拗陷区及边缘,有关岩体包括鄂城、铁山、金山店及灵乡岩体,矿体发育在这些岩体与下一中三叠统含石膏的碳酸盐岩接触带或其附近,矿床类型包括矿浆贯入型、接触交代型、矿浆—热液交代过渡型和次火山热液型。

① 矿浆贯入型矿床:这类矿床以鄂城岩体的程潮铁矿和灵乡岩体的小包山铁矿为代表^[6]。矿床受断裂控制,矿体与围岩界线截然突变,矿体多由致密块状矿石组成。矿石的构造类型主要有典型的气孔状、块状、角砾状、条带状,主要矿石矿物为磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿及少量硫化物,成矿温度一般在 $500\sim 700^{\circ}\text{C}$,最高可达 720°C 。可见,成矿温度已超过热液成矿温度的范围。

② 接触交代型(矽卡岩型)矿床:这类矿床以灵乡岩体的广山、刘岱山铁矿床为代表,主要矿体产于接触带,与矽卡岩伴生,矿体与围岩界限一般为过渡关系。矿床形态复杂,矿石构造类型繁多。围岩蚀变发育。成矿温度为 $250\sim 510^{\circ}\text{C}$,属于中—高温热液。

③ 矿浆—热液过渡型矿床:张福山铁矿是这类矿床的典型代表^[7]。本类型矿床兼有前两种矿床类型的成矿特点,矿体与围岩界限部分截然分明,部分渐变过渡。在靠近岩体一端经常发育贯入型矿石,而向围岩的一端为热液交代型矿石,中间呈渐变过渡。围岩蚀变发育,具有分带特点。成矿温度变化范围较大,为 $300\sim 720^{\circ}\text{C}$ 。

此外,本区次火山热液型矿床在火山岩盆地边缘发育,多数为小型矿床。

1.2 与铜矿床系列有关的矿床类型

以铜矿为主的矿床系列主要分布于本区南部中生代隆起区,与矿化有关的岩体主要是阳新、铜山口、丰山洞等岩体,所包括的矿床类型有接触交代型、斑岩型、斑岩型与接触交代复合型以及爆破角砾岩型矿床。矿产类型包括铜矿、铜铁矿、铜金矿、铜钨矿以及铜钼矿等。

① 接触交代型(矽卡岩型)矿床:这类矿床以铜录山铜铁矿为代表,矿体产于矽卡岩中及其附近,矿石矿物以铜和铁的硫化物和氧化物为主,矿石结构繁多,构造类型简单。伴生

元素丰富,矿床原生蚀变和表生氧化分带都较发育,一般来说,热液蚀变越强,种类越复杂,矿化越富集。

② 斑岩型矿床:本类矿床主要与岩株状、脉状的小斑岩岩体相伴生,矿体主要产于斑岩体上部内外接触带,受侵入体形态和产状以及环状裂隙所控制。铜矿化以典型的细脉和浸染状矿石为特征,围岩蚀变广泛,具分带性。

③ 接触交代—斑岩复合型矿床:这类矿床以丰山洞和铜山口矿床为典型代表,兼有斑岩型(包括角砾岩型)和接触交代型矿床的共同特征^[8]。矿体产出部位一般有三种类型,一是岩体内部,以细脉—浸染状和角砾状铜钼矿石为主;二是接触带上交代型矿体,以矽卡岩型铜钼矿石为主;三是围岩中矿体,以层状和网脉状铜钼矿石为主。这三种类型矿体在空间上密切伴生。

2 主要金属矿物特征和主要蚀变类型

2.1 主要金属矿物特征

(1) 通过对灵乡铁矿和铜山口、丰山洞铜钼矿矿石的研究可知本区矿物种类丰富,矿物成分复杂。其中硫化物的种类最多,氧化物次之,铁矿床系列中常见的金属矿物有磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿、黄铁矿等,矿物组合有磁铁矿—黄铁矿、磁铁矿—黄铜矿—黄铁矿等。以铜为主的矿床系列中,常见金属矿物有黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿、磁铁矿、闪锌矿等,矿物组合为黄铁矿—黄铜矿—磁铁矿,黄铁矿—黄铜矿—磁黄铁矿,黄铜矿—斑铜矿—磁铁矿等。

(2) 同一矿物在不同矿床系列矿床中,表现出不同矿石矿物特征。作者着重对贯通矿物黄铁矿、磁铁矿的化学成分进行了研究。

黄铁矿是本区各类矿床中分布最广的矿物,存在于不同成因类型的矿床中。但由于成矿物化条件的不同,在两个矿床系列中,黄铁矿所含微量元素的含量也有所不同。统计结果表明(表1),以铁矿为主的矿床系列中,Co、Ni含量相对较高,Te、Se、Cu含量相对较低,Co/Ni比值介于4.71~17.4之间,Se/Te比值介于2.55~13之间。以铜为主的矿床系列中Te、Se、Cu含量高,Co、Ni含量低,Co/Ni比值在1~1.96,Se/Te比值为11.67~18.9。

不同矿床系列中磁铁矿的化学成分特征不同(表2)。铁矿床系列中磁铁矿的 $TiO_2/TFeO$ 介于0.10~0.23之间,平均0.147, $MgO/TFeO$ 介于0.78~1.39之间,平均1.20,大部分属低钛富镁型。以铜为主的矿床系列中,磁铁矿的 $TiO_2/TFeO$ 比值介于0.01~0.09之间,平均0.04, $MgO/TFeO$ 比值介于0.12~0.94之间,平均0.41,磁铁矿属于低钛低镁型。将不同系列中磁铁矿的化学成分投点在 $\log TiO_2 - \log (TiO_2 + V_2O_5 + Al_2O_3 + MnO)$ 图解(图略)和 $\log TiO_2 - \log V_2O_5$ 图解上(图略),均呈现出独立的群聚域,反映了它们之间磁铁矿化学成分的差异;以铁为主的矿床系列中磁铁矿投点群独立于玢岩铁矿床磁铁矿群聚域和邯邢式接触交代型铁矿床磁铁矿群聚域之间,而以铜为主的矿床系列磁铁矿投点群与邯邢式铁矿床磁铁矿群聚域重合或接近。

表 1 两个矿床系列黄铁矿化学成分对比

Table 1 Chemical compositions of pyrites in two metallogenic series

系列	矿床类型	矿产类型	样数	化学成分(wt%)					Co/Ni	Se/Te
				Co	Ni	Se	Te	Cu		
以铁为主的 矿床系列	矿浆—热液型	铁矿	7	0.296	0.017	0.0023	0.0009	0.025	17.4	2.55
	次火山热液型	铁矿	3	0.107	0.013	0.0013	0.0001	0.13	8.23	13.0
	接触交代型	铁矿	4	0.132	0.028	0.0036	0.0003	0.021	4.71	12.0
	接触交代型	铁铜矿	6	0.106	0.022	0.005	0.00046	0.249	4.82	10.86
	平 均 值		20	0.16	0.02	0.003	0.00036	0.025	8.01	9.47
以铜为主的 矿床系列	接触交代型	铜铁矿	6	0.053	0.027	0.0056	0.00048	0.076	1.961	1.67
	接触交代型	铜矿	5	0.009	0.009	0.013	0.00021	0.074	1.0	61.9
	接触交代型	铜钨矿	5	0.005	0.003	0.007	0.0005	0.624	1.7014	
	接触交代型	铜金矿	3	0.019	0.011	0.013	0.00026	1.036	1.750	
	接触交代—斑 岩复合型	铜钼矿	5	0.056	0.043	0.009	0.0005	0.624	1.3	18
	平 均 值		24	0.028	0.017	0.0102	0.00039	0.374	1.42	35.96

表 2 两个矿床系列磁铁矿部分元素含量对比

Table 2 Some element contents of magnetite in two metallogenic series

系 列	以铁为主的 矿床类型	以铜为主 矿床类型					
矿床类型	矿浆—热液型	次火山热液型	接触交代型		接触交代型		
矿产类型	铁矿	铁矿	铁矿	铁铜矿	铜铁矿	铜钨矿	铜钼矿
样品数	12	4	5	7	19	2	1
TiO ₂	0.09	0.22	0.145	0.096	0.09	0.03	0.06
Al ₂ O ₃	0.79	0.66	0.65	0.63	0.41	0.21	0.12
Fe ₂ O ₃	66.53	69.91	67.8	66.68	71.69	67.95	66.26
FeO	22.54	25.09	25.3	26.64	25.32	35.30	24.80
CaO	1.16	0.62	0.77	0.32	0.40	0.16	0.19
MgO	1.24	0.75	1.14	1.35	0.92	0.18	0.11
MnO	0.16	0.016	0.143	0.198	0.56	0.201	0.19
V ₂ O ₅	0.055	0.063	0.032	0.014	0.012	0.04	0.01
CoO	0.01	0.003	0.006	0.005	0.008	—	—
NiO	0.006	0.004	0.005	0.003	0.001	0.001	0.01
TiO ₂ /TFeO	0.10	0.23	0.15	0.10	0.09	0.04	0.01
MgO/TFeO	1.39	0.78	1.22	1.44	0.94	0.19	0.12

2.2 主要蚀变类型及其特征

鄂东南矿区与成矿关系密切的蚀变类型发育，种类繁多。不同的蚀变类型伴随有不同的矿化类型。在铁矿床系列中，以钠长石化、钠柱石化、钠铁闪石化、透辉石化、金云母化、碳酸盐化为特征；以铜矿为主的矿床系列，以发育钾长石化、硅化、绿帘石化、绿泥石化、碳

酸盐化为特征。蚀变类型及蚀变类型组合对找何种矿具有一定的指示意义。

3 成矿温度和同位素组成

3.1 成矿温度

矿物包裹体测温结果表明, 铁矿床系列矿床中成矿温度范围较宽, 介于 270℃~720℃之间, 成矿至少有三个阶段, 但以氧化物—磁铁矿阶段为主, 成矿温度 350~560℃。以铜矿为主的矿床系列, 矿床的成矿温度主要介于 290~380℃之间, 属于高中温热液硫化物成矿作用。

3.2 同位素组成

鄂东南成矿区铁和铁铜矿床中磁铁矿 $\delta^{18}\text{O}$ 值介于 3.0~6.42‰, 平均值 5.19‰ (16 件样品)。铜 (钨钼) 矿床中含矿石英脉石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 9.53~18.62‰ (5 件样品)。矿床中磁铁矿和黄铁矿的 4 个铅同位素测试结果为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值介于 17.74~18.02 之间, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值介于 15.29~16.18 之间, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值介于 36.64~38.49。成矿区矿石的氧、铅同位素组成与有关岩浆岩的同位素组成相似, 反映了各种矿床系列成矿物质与岩浆岩同源, 主要来源于地幔, 有少部分地壳物质混入, 矿床中硫同位素值在不同矿床系列中有所差异, 在铁矿床系列的铁矿床中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 介于 12.5~18.7‰之间, 一般在 15‰, 铁铜矿床中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 +5~+8‰。而以铜为主矿床系列中, 铜 (钨钼) 矿床硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 在 -0.1~+5‰之间, 铜铁矿床硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 +1~+5‰。在铁矿床系列中 $\delta^{34}\text{S} > 5\text{‰}$, 表明成矿热液具有多源性, 其中一部分重硫值是由于岩浆侵入同化三叠系膏盐层所混染; 以铜为主的矿床系列中 $\delta^{34}\text{S} < 5\text{‰}$, 说明来自幔源成矿物质受混染程度较小。

综上所述, 鄂东南成矿区两个矿床系列地质特征归纳于表 3。

表 3 鄂东南成矿区内内生金属矿床系列特征

Table 3 The features of endogenetic metallogenic series in southeastern Hubei province

地质特征	以铜为主的矿床系列	以铁为主的矿床系列
构造背景	中生代隆起区	中生代拗陷区
岩浆系列①	低碱富钾石英闪长岩—花岗闪长岩	高碱富钠闪长岩—石英二长岩
成矿元素组合	铜、铜铁、铜金、铜钼、铜钨等	铁 (钴)、铁铜
矿床类型	斑岩型、接触交代型、斑岩与接触交代复合型、隐爆角砾岩筒型	矿浆贯入型、接触交代型、矿浆—热液过渡型、次火山热液型
围岩地层	O_2 、 S_1 、 C 、 P_1 、 T_1	T_1 、 T_2 、 K_1
主要矿物组合	黄铜矿—辉钼矿 磁铁矿—黄铁矿—黄铜矿 黄铜矿—辉钼矿—石榴石 黄铜矿—斑铜矿—磁铁矿	磁铁矿—含钴黄铁矿 磁铁矿—赤铁矿 (菱铁矿) 磁黄铁矿—黄铁矿—黄铜矿 磁铁矿—黄铁矿—黄铜矿
成矿温度	380~290℃	610~820℃、270~560℃
$\delta^{34}\text{S}$ (‰) *	<5	>5

① 王元龙 鄂东南地区酸性岩浆岩成矿系列研究 [博士论文] 中国地质大学 (北京) 1990

续表

主要蚀变类型	矽卡岩化、石英绢云母化、青盘岩化、钾长石化、碳酸盐化	矽卡岩化、钠长石化、钠柱石化、石膏化、金云母化、蛇纹石化
矿床伴生元素	Au、Ag、Mo、W、Sc、Te、Ge、Re、Ga、In	Co、Ni、S、Mn、Ti、V、Au、Ag
代表矿床	铜录山、铜山口、石头嘴、丰山洞、龙角山、叶花香、赤马山、白云山、鸡笼山等	程潮、张福山、余华寺、广山、铁山、陈盛、大广山、王豹山

* 测定对象为矿石中的硫化物

4 区域成岩成矿系列分析

4.1 成岩成矿物质来源

根据稳定同位素、稀土元素配分模式,地球化学背景及黑云母矿物化学等方面的综合研究,可以认为,本区成矿岩浆属幔壳同熔型岩浆岩,成矿物质主要来自岩浆本身。主要依据为:① 岩浆岩与矿石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值主要为 6~10‰,铅同位素均属正常铅^[9],铈同位素初始值为 0.705—0.709,表明含矿岩浆成因系列属于深源同熔型岩浆;② 鄂东南矿石和岩浆岩的稀土元素配分模式均为具弱负 Eu 异常—弱正 Eu 异常轻稀土富集型,与赵振华^[10]的同熔型岩浆稀土模式曲线相似;③ 岩浆岩中黑云母的化学分析结果投点于 Ann—PDox—Phl 图解(图略),也表明本区的中酸性岩浆为幔壳混源(MC)型;④ 区域地层地球化学表明,该区地层中除 Pb、S、Cu、Mo 在大多数层位中高于地壳丰度值,在成矿作用中有可能成为某些矿床类型物质来源外,其它成矿元素含量都普遍偏低,不大可能作为主要的“矿源层”存在。而岩浆岩中除个别成矿元素低于或接近地壳同类岩石丰度值外,其它成矿元素含量普遍偏高,形成一个 Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag、W、Mo、Co、Ni 等多种金属富集地球化学背景场,说明岩浆本身有可能成为成矿物质的主要来源。

4.2 成岩成矿系列与地质环境关系

① 从本区铁铜等金属矿床的地质环境来分析,成矿作用与岩浆活动之间有同源、同空间、同时的亲缘关系,成矿物质主要来自岩浆源,含矿岩浆为幔壳混合的同熔型岩浆岩系列,随着岩浆上侵过程中外来物质的加入和同化混染作用,形成两个岩浆岩亚系列,低碱富钾石英闪长岩—花岗闪长岩岩浆岩亚系列对于以铜为主的矿床系列构成成矿专属性,而高碱富钠闪长岩—石英二长岩岩浆岩亚系列则与以铁矿为主的铁铜矿床系列有着密切的成因联系^①。在 $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 关系图及 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} - \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 散点图(图略)上都能清楚地看出,成铁(铁铜)矿床岩体与成铜铁、铜(钨钼)等金属矿床岩体有不同的群聚域。在 $\eta - \text{S}$ 相关图和 $\text{Q} - \text{S}$ 相关图(图略)上〔扎氏主要特征值: $\eta = \text{Na}_2\text{O} \times 100 / (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$; $\text{S} = \text{SiO}_2 - \text{TiO}_2$; $\text{Q} = \text{S} - (3a + 2c + b)$ 〕,铁和铁铜成矿岩体投影点位于根据黎彤(1962)岩浆岩化学数据所作变异曲线的上方,铜(钨钼)成矿岩体投影点群位于变异曲线附近,说明铁和铁铜成矿岩体与相对高碱富钠的岩石类型密切相关。

② 第一岩浆岩亚系列及其有关的以铜为主的矿床系列主要受南部隆起区制约,第二岩浆

① 王元龙. 鄂东南地区中酸性岩浆岩成岩成矿系列研究. [博士论文]. 中国地质大学(北京). 1990.

岩亚系列及与其有关的铁矿床系列主要受北部坳陷区及隆坳过渡区控制。成矿岩体的空间展布是由印支—燕山期形成的北西西向与北北东向复合构造所控制。控制矿体的构造主要是断裂叠加接触带构造,捕虏体接触带构造及褶皱断裂构造等。

③ 从区内各矿床产出的围岩情况统计,与成矿关系密切的层位有奥陶系、志留系、石炭系、二叠系和白垩系,其中与铁铜矿床系列有关的层位主要有中三叠统水河组与下三叠统大冶组,其次有白垩系;与以铜矿床为主矿床系列有关的层位是奥陶系、志留系、石炭系、二叠系和三叠系。成矿最为有利的岩性是碳酸盐类。尤其是分布在北区的含膏盐地层是成铁矿床系列的有利围岩。

④ 两个区域地球化学分区与两个矿床系列构成相互对应关系。北区的亲铁族元素地球化学背景场显然对成铁矿床系列有生成联系,南区的亲铜族元素和钨钼元素地球化学背景场对以铜为主的矿床系列有明显控制作用。

4.3 成岩成矿系列可能的形成机制及成矿模式

① 根据上面对成岩成矿物质来源及其与地质环境关系的分析,本区中酸性侵入岩的岩浆来源是上地幔经过部分熔融所产生的玄武质岩浆,在燕山期区域构造运动的触发下,这一深源岩浆受力上升,对地壳物质进行同化混染,形成同熔岩浆。根据地球物理资料分析,在鄂东南南区,地球重力场表现为负异常区,地壳基性度较低,属江南式基底、偏硅铝质型地壳。在北区,重力场显示为正异常,地壳基性度较高,属于川中式基底,偏铁镁质型地壳^[11]。因此,幔源玄武质岩浆与这两类地壳同化混染,形成了鄂东南区两个不同的岩浆岩亚系列。

② 鄂东南地区铁铜等金属矿床系列是该区燕山期同熔型中酸性岩浆岩系列持续氧化的产物,成矿物质主要来自深源岩浆,少部分矿质通过侵入岩交代围岩提供。成矿流体具有多样性、多源性,按流体性质,形成温度和成矿方式可分为两个成矿流体体系,即以岩浆液态熔离为主要机制的成矿流体体系(富铁熔浆)和以岩浆结晶分异为主要机制的成矿流体体系(含矿气热流体)^[8]。这两种成矿流体系统经过复杂的氧化过程,形成了本区两个矿床系列。

对于铁矿床系列来说,成矿流体的性质主要有矿浆、矿浆—热液过渡型流体和岩浆期后气液流体。

矿浆是深部岩浆在向上侵入过程中,由于外来物质(挥发组分和碱金属)加入,改变了岩浆成分和平衡条件,在岩浆中一方面抑制铁进入早期结晶的硅酸盐晶格中,增加铁在熔浆中的含量,另一方面能降低硅酸盐熔浆的熔点和粘度。随着岩浆结晶温度的下降,氧分压降低,就有富铁熔体从硅酸盐岩浆中熔离出来,分离出来的含铁流体逐渐聚集,最后形成了以铁氧化物为主的分熔矿浆。在高温高压超临界气体的推动下,或是深部构造应力挤压下,向上运移,在压力减小的方向及构造有利的部位贯入成矿。

矿浆—热液过渡型流体则可能是一种介于矿浆和气液之间的过渡性流体,与矿浆相比,除铁的氧化物外,还有更多的挥发分(H_2O 、 Cl 、 F 、 P 、 CO_2 等),其形成或是由矿浆演化而成,或是由附近大气降水加入到矿浆而成,或是岩浆熔离作用的产物,由于尚未见到相应的实验资料,它的成因还有待更深入的研究。

这种成矿流体因含有大量挥发分,在其形成后,由于物质的比重不同,构造—岩石环境的差异,体系内可出现分层,往往含矿气液在上,向下浆液比渐增大,如果它们进入与导矿构造连接的、较封闭的同一成矿构造部位,又有适于交代的围岩(大理岩、矽卡岩、钙质砂

页岩等),就会形成连续交代的从矿浆型矿石带—矿浆—热液交代过渡型矿石带—热液交代型矿石带的矿化分带(如张福山铁矿)。

岩浆期后气液流体是岩浆结晶分异过程中分出的气水溶液,它是本区普遍存在的、也是较为重要的一种成矿流体,一些典型的气液交代型铁矿床,包括矽卡岩型矿床,都是以岩浆期后气液流体为主要的成矿介质。

铁矿浆、矿浆—热液过渡型流体和岩浆期后气液流体,各自在不同构造和围岩条件下形成了不同的矿床类型:矿浆型、接触交代型、矿浆—热液交代过渡型,它们构成了铁矿床系列。

铜矿床系列则与岩浆期后结晶分异为主要机制的含矿流体体系密切相关。这类由岩浆结晶分异而形成的含矿热流体,与矿浆及矿浆—热液过渡型流体相比,具有以下特点:

① 成矿流体的演化对成矿空间的构造—岩石环境依赖性较强。当成矿流体进入构造封闭好、性质活泼的围岩时,成矿流体与围岩长期反应而形成交代型矿床。当成矿流体进入接近地表的开放构造和不活泼的围岩时,随着温度、压力降低,矿质在成矿流体中溶解度降低,在合适的构造环境中,形成以充填为主的矿床,并且可造成多类型矿化共生。

② 含矿流体具有很强的活动性,上升迁移机制除了区域构造为其创造有利的通道外,流体自身还具有较强的内力,可以为自已开辟通道和成矿空间,致使矿化空间上跨度较大,从深部到浅部或从岩体到围岩形成接触交代型、斑岩型和热液充填型等矿床类型。

③ 岩浆期后气液流体活动常具有多期多阶段性,在主矿化期后,晚期气液流体可对早期形成的矿体进行叠加改造。

从鄂东南区成矿特征分析,岩浆期后气液流体除形成一部分气液交代型铁矿床外,它主要形成了以铜为主矿床系列,包括斑岩型、矽卡岩型、脉型和层控型等。

综上所述,鄂东南区中酸性岩浆岩成岩成矿相互关系概况如图 1。

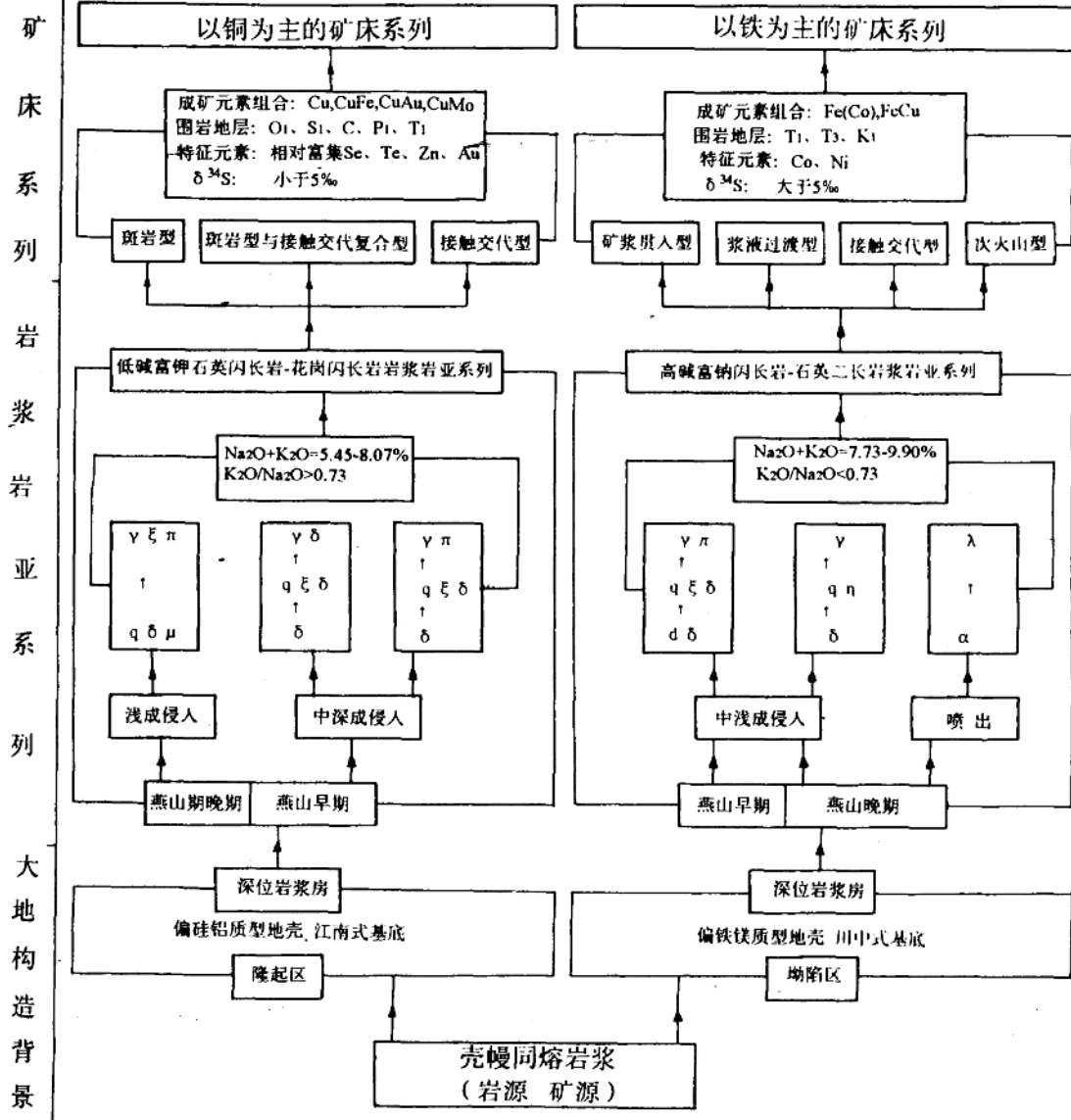


图1 鄂东南区中酸性岩浆岩成岩成矿模式图

Fig.1 The modelled of petrogenetic and metallogenic in southeastern Hubei

参考文献

- 1 薛迪康. 鄂东南地质构造的三角形构造式及意义. 湖北地质, 1987, (1): 1-7
- 2 曹洛华, 葛宗侠. 鄂东南深部地质初步探讨. 湖北地质, 1987, (1): 13-18

- 3 翟裕生, 熊永良. 关于成矿系列的结构. 地球科学, 1987, (4): 375—380
- 4 程裕祺, 陈毓川, 赵一鸣. 初论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报, 1979, 第1号. 32—56
- 5 程裕祺, 陈毓川, 赵一鸣. 再论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报, 1983, 第6号. 1—49
- 6 石准立, 金振民等. 湖北铁山“大冶式”铁矿矿床矿浆成矿问题的初探. 地质科学, 1981, (2): 145—150
- 7 翟裕生. 鄂东南大冶式铁矿成因若干问题. 地球科学, 1982, (3): 239—250
- 8 张洪涛. 丰山洞铜矿床成因探讨. 矿床地质, 1984, (3): 56—65
- 9 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用. 西安: 陕西科技出版社. 1985.
- 10 赵振华. 稀土元素地球化学研究方法. 地质地球化学, 1982 (1): 26—33
- 11 王懋基等. 我国地壳深部构造的区域特征. 物探与化探, 1981, (4): 57—62

METALLOGENIC SERIES OF Fe, Cu ETC. MULTIMETALS IN SOUTH—EASTERN HUBEI

Wang Yuanlong

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica. Guiyang 550002)

Abstract

Two metallogenic series are divided according to the relationship between metallogeny and magmatic activity, geotectonic setting and every kind of geological characteristics of ore deposits types in southeastern Hubei, namely Fe, Cu metallogenic series dominated in Fe ore deposits and Cu, W, Mo, Fe, Au metallogenic series dominated in Cu ore deposits. Metallogenesis is analyzed and the source of ore-forming materials, the relationship between diagenetic and metallogenic series are discussed based on characteristics of ore deposits type related to metallogenic series in this paper.

Key words Metallogenic series; Diagenetic series; Fe, Cu, Au ore deposit; southeastern Hubei

多变量构造地球化学场分解原理 及其在矿产预测中的应用

孟宪伟

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

毛华海

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

摘要 成矿预测的实质就是发现成矿地质异常。从地球化学角度看,成矿地质异常的形成过程就是成矿元素及其伴生元素在不同的地质作用下不断浓集的过程。不同尺度的地质作用对成矿元素的浓集效率并不一致,因此,对于成矿预测而言,把构造地球化学场按不同的空间尺度进行分解,进而根据元素组合的成因专属性,把不同尺度的地质作用赋予成矿意义是必需的。本文在此论述基础上,介绍了多变量构造地球化学场的分解原理和方法,并以川西北道孚—炉霍地区为例说明该原理和方法在区域金矿预测中的应用。

关键词 场分解 空间尺度 成矿预测

引言

大量的研究表明,地壳上地球化学分散(富集)场的形成与构造运动有一定的联系。构造形迹有规律的排列组合构成构造体系;元素在构造体系制约下发生迁移、分散和富集,在宏观上形成了具有一定浓度层次和共生组合的地球化学场。构造形迹与地球化学元素共同显示出来的统一体,便称之为构造地球化学场。

在构造地球化学场中,构造作用过程和地球化学作用过程之间存在着内在的、有机的紧密联系,表现在不同的地壳发展历史阶段进行着不同的地球化学作用;不同的构造序次对应着不同级别的地球化学元素富集域;不同的构造空间对应着不同的地球化学元素共生组合。特别地,在矿田域内,构造体系往往经历了不同期次的构造叠加,增加了成矿作用的复杂性,使得成矿地球化学场也成为复杂场。在复杂的构造地球化学场内,不同尺度的地质作用对成矿元素的浓集效率并不一致,因此,对于成矿观测而言,把构造地球化学场按不同的空间尺度进行分解,进而根据元素组合的成因专属性,把不同尺度的地质作用赋予成矿意义是必需的。