

出版品第5号

第二届 勘查地球化学学术讨论会 论文选编

2nd EXPLORATION GEOCHEMISTRY SYMPOSIUM
SELECTED PAPERS 1982
KUNMING, CHINA



中国地质学会勘查地球化学专业委员会
COMMISSION OF EXPLORATION GEOCHEMISTRY
GEOLOGICAL SOCIETY OF CHINA

1984

第二届勘查地球化学学术讨论会

论文选编

2nd Exploration Geochemistry Symposium

Selected Papers 1982

Kunming, China



编辑

欧阳宗圻

邵跃

李美生

吴昌荣

前 言

一九八二年十月，在云南昆明召开了第二届勘查地球化学学术讨论会。会议共收到地质、冶金、二机部、院校等系统提交的论文摘要195篇，论文题录26篇，其中仅部分论文在会上宣读。

由于篇幅所限，本选编只收集了其中的24篇论文，期望其他论文今后能在有关刊物中陆续发表。

从中国地质学会勘查地球化学专业委员会成立及第一届勘查地球化学学术讨论会（浙江、莫干山，1980）的召开，到第二届勘查地球化学学术讨论会（云南、昆明，1982）的召开，仅在两年多的时间内，我国化探工作取得了很大进展，本论文选编只是在一定程度上反映了这个进展的一个侧面，但从这些文章中足以看出化探在方法技术、基础理论和成果解释方面都取得了新的成就。化探方法在各种自然景观中得到应用，化探基效果日益显著。

第三届勘查地球化学学术讨论会将在一九八五年召开。

欧阳宗圻 邵 跃 李美生 吴昌荣

一九八四年元月

目 录

- 1 成矿——成晕地球化学模式及其研究意义.....刘泉清 欧阳宗圻 (1)
- 2 浙江某地金银矿床的原生地球化学异常特征.....刘英俊 孙承轅 沙鹏 (13)
- 3 山东省招掖地区金矿床的原生地球化学异常特征及找矿方法评述
.....刘汉忠 李富国 张伯春 (23)
- 4 狼山有色金属成矿带层控矿床的地球化学异常模型
.....李 惠 康诵琦 秦国佩 成 智 张庆余 王成祥 (39)
- 5 大冶鸡冠咀地球化学成矿预测及其效果.....周亚特 (51)
- 6 地球化学找矿在熊耳山北麓地区的一次重要突破.....龚启厚 王炳仁 (61)
- 7 化探发现的一个火山岩型铅锌矿.....骆先业 (77)
- 8 内蒙西部干旱荒漠区域化探方法研究
.....任天祥 张 华 杨少平 赵 云 吴长柱 张文聪 (82)
- 9 岩溶区区域化探.....冯济舟 李正策 陈光荣 (101)
- 10 赣东北地区线性、环形构造地球化学的初步探讨及其在成矿预测中的应用
.....刘世芬 (107)
- 11 区域矿化岩石测量在某地找铀矿中的试验及其效果.....张正嘉 (118)
- 12 豫西卢氏——灵宝地区燕山期中酸性小岩体地球化学特征及含矿性初步评价
.....瞿伦全 (126)
- 13 广东西部地区地层、花岗岩类岩体地球化学特征研究
.....朱坚毅 李大德 初绍华 (145)
- 14 鄂东南地区下三迭统大冶群地层元素分布规律及在内生成矿中的作用
.....张德三 李三珍 (160)
- 15 鄂东南区域地球化学疫病预测与效果.....童 霆 (172)
- 16 关于汞在厚层土壤中迁移与富集的探讨.....卫敬生 (177)
- 17 汞在地表水中的迁移富集机制与正确认识汞的原生分散晕.....花永丰 (184)
- 18 区域化探中多变量趋势图的应用.....吴锡生 吴至善 信和培 罗长青 (191)
- 19 区域化探分散流数据判别分类成图的试验研究.....张俊苓 张景波 (201)
- 20 根据原生晕参数估计矿床规模的初步探讨.....徐锡华 (209)
- 21 利用矿石中微量元素的分布特征评价敖岗铅锌矿体的剥蚀水平.....方正康 (220)
- 22 广东阳春小南山钨矿床石英中包裹体地球化学找矿方法试验
.....王继华 冯贵珍 王雅静 区 杏 (225)
- 23 湖南大乘山层控铅锌矿带找矿地球化学研究.....吴悦斌 陈举煦 张国义 (236)
- 24 鄂东南地区铁铜矿床某些地球化学特征与地球化学分类.....周亚特 (252)

成矿—成晕地球化学模式及其研究意义

刘泉清 欧阳宗圻

(冶金部北京地质研究所)

近一、二十年来,地质学中出现了“模式”研究的热潮,尤其是成矿模式的研究十分活跃。这种研究热潮,不能不波及勘查地球化学领域,促进化探成晕地球化学模式的研究。而成晕地球化学模式的建立,反过来又将促进成矿模式的深入,使之日臻完善和提高。这种学科间的互相渗透、交叉、综合,充分显示了近代科学发展的基本特征^[6]。

一、成矿模式研究的进展及启示

“模式”研究的思想萌芽,可追溯到古代中国战国时期,以及中世纪的欧洲。

近代地质学中,最先提出类似成矿模式的矿床带状分布图是W·H·艾孟斯^[8]。他于一九〇七年提出了围绕花岗岩体,矿床呈带状分布的图式。随后的五、六十年,地质成矿模式的研究有了很大的发展。据宋魁昌的统计^[9],主要的模式文献达400多篇。国内近十年发表(包括内部交流)的金属矿床模式图达103个。本文研究搜集到的模式已有90个之多^[10]。表1仅列出地质模式研究的一些概况,而近一、二十年的进展,尤为显著。表现在:

1. 随着勘探和采矿活动的兴盛和发展,积累了大量成矿资料,揭示出某些矿区大致同一时期,不同矿床类型之间的内在联系。使成矿研究得以进行大规模的地区性、全球性的深入对比,使成矿模式跃出单一矿床,孤立研究的作法,而具备更高的综合性、概括性、系统性。因而也大大扩大了模式的代表性和适用性。例如,J·D·洛厄尔提出斑岩矿床理想成矿模式,综合对比了全世界880个斑岩矿床^[9];K·H·乌尔夫提出层控矿床概念模式,综合了十四个国家、五十篇文章,上百个矿床的资料^[11];我国华南钨矿模式的制定,是在研究了1470个矿床(矿点)、39个典型钨矿田的基础上提出来的。图1展示了A·S·布朗根据R·H·西里托模式修改后制定的斑岩矿床成矿的理想模式。图2是参考了上述模式对我国的斑岩矿床进行综合而制定的成矿模式图^[14]。可以看出,这些模式图概括了所有与斑岩成矿有关的矿床并从时间、空间、成因上反映了成矿的内在联系。

我国的矿床学者,根据多年的实践和丰富的资料,提出了“成矿系列”的新概念^[15]。这不仅在区域、矿田、矿区的成矿分区和预测上有着现实的意义,而且奠定了模式研究的新基础,指明了成矿模式系列化研究的新方向。

2. 一张模式图上,既表达了成矿介质、成矿环境的状况,又表达了成矿物质本身

表 1

阶段	序号	模 式 名 称	作 者	时 间
古代找矿模式思辨	1	矿床产出的模式思辨	中国古代《易经》管子《地镜篇》	周朝、战国 公元前700—220年
	2	生物与矿床产出的模式思辨	中国古代颜真卿、段式成	唐代 公元818年
	3	地下水及石油生成的模式思辨	《易经》	周朝 公元前700年
	4	河水中金属分散模式思辨	V·古林古西奥(意大利)	1540年
	5	水化学找矿模式萌芽	R·W·鲍利	1546年
初期概念模式	6	鲍文反应系列概念模式	鲍文	本世纪初期
	7	火成岩与矿产树形相关模式	A·F·巴丁、鲍文	1939
	8	花岗岩基与矿产带状分布模式	W·H·艾孟斯	1907
	9	风化带形成发展图式	И·И·金兹堡	1956
	10	沉积相发展概念模式	H·M·斯特拉霍夫	1940—1950
近 期 成 矿 理 想 模 式	11	地学中的概念模型	K·H·乌尔夫	1960—1970
	12	矿床组合成矿系列模式	程裕琪、陈毓川	1979
	13	岩浆岩演化成矿系列模式	T·施奈德洪 B·И·斯米尔诺夫	
	14	板块构造与成矿模式	郭令智等	1981
	15	斑岩成矿理想模式	J·D·洛厄尔 R·H西里托	1970
	16	火山成矿理想模式	伊腾·石川(日本)	1969
	17	长江中下游铁铜矿床成矿理想模式	翟裕生、李文达	1975—1980
	18	钨矿成矿理想模式	华南钨矿专题组	1980
	19	锡矿成矿理想模式	张志清、严云秀、任治机	1980—1981
	20	金矿成矿理想模式	朱奉三、陆盛鼎	1980—1982
	21	层控矿床成矿理想模式	K·H·乌尔夫等	
	22	模式的定量描述及计算机智能模式	R·W·亨利、斯坦福中心	1978—1981

随成矿作用发展的时、空变化,即既有成矿环境的静态反映,也有成矿过程,成矿机制的动态展示。一张小小的模式图,容纳了成矿的多种参数,浓缩了成矿的多种信息。正如图1斑岩模式上,既反映了成矿物质主要来自浅成岩浆,同时又有地下水淋滤围岩,活化金属的加入;既可以反映残浆溶体和成矿溶液的性质,又反映了成矿时的环境(温度 T ,压力 P)和围岩的渗透性、氧化还原等条件,以及地下水径流的方向、大小,气体散发的方式和结果等。这些参数和信息都与成矿活动密切相关,为将来成矿模式信息化处理准备了条件。

3.成矿模式的系统化和模式表征的信息化,将为模式的定量化研究以及计算机智能模式的建立,准备了条件。美国斯坦福研究所研究出的“找矿者”模式^[16],显示了智能模式的良好前景。通过智能模式,实现大规模的区域或详查区的预测已成为可能。R·W·亨利等对斑岩铜矿流体动力模式的热量和质量平衡进行研究^[17],对地下水流与岩

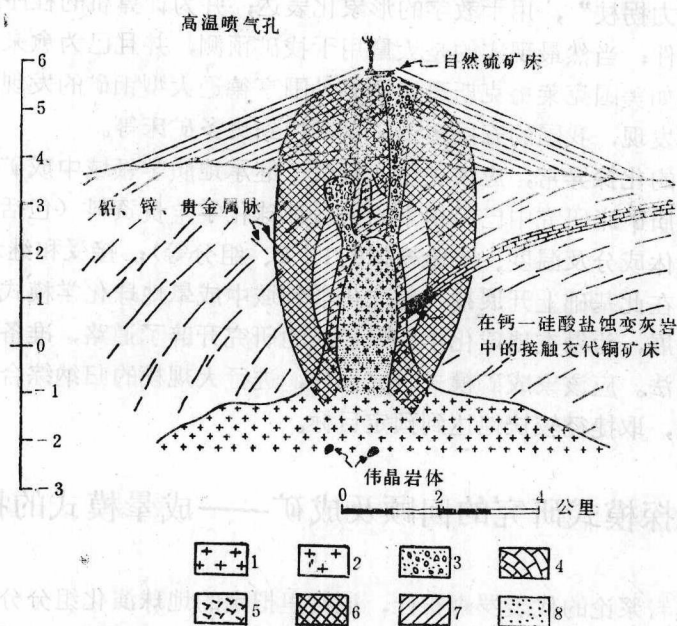


图1 斑岩矿床成矿理想模式

1—斑岩株；2—显晶质花岗岩闪长岩；3—热液浸入角砾；
4—石灰岩；5—砂化泥化；6—浸染矿；7—绢云母化；8—钾化

浆蒸气液两相中，水的质量流量，盐的质量流量，以及压力的分布，能量的转移、热液源深度等，进行一系列演算及相图分析，并对金属矿化就位深度，一定储量规模铜矿体形成所需的时间等进行了定量计算。他们的研究为模式的定量评价开创了先例。

4. 系统化、信息化、定量化的模式研究逐渐为成矿理论的飞跃准备了条件。经过抽象具有理性的模式图，事实上已经是某种新概念、新理论的雏型。图1、2斑岩成矿模式图，实际上是岩浆气团成矿新理论的雏型。类似的还有金属活化转移、定位、再造的层控理论，同源演化、多期多相多阶段成矿理论等。

5. 不仅注意研究和提出某种模式，而且着手进行模式的实验模拟。如斑岩铜矿的气团模式都是建立在充分模拟实验基础上的。自从1937年H·E·Merwin和R·H·Lombard进行Cu—Fe—S系统实验以后，关于硫化物及其成矿的实验，成为实验地质学最为活跃的科目之一，积累了各种体系在200—1000℃的大量实验资料和经验^[14]，为理想模式上升为“理论”准备了良好的实验基础。

总之，现代成矿模式的进展，集中表现在从单一的、局部的矿床模式向成矿系列模式发展；从具体的、孤立的成矿模式向概略模式发展；并且由抽象推理的理想模式，通过实验模拟向理论模式发展。

地质成矿模式研究的进行，给勘查地球化学以深刻的启示，对“模式”的研究有了更深刻的理解。正如K·H·乌尔夫^[11]指出的：模式是理性的类比，脑力的构想，模式帮助我们简化现象，略去细节，选择要素，组合分析，确定联系；模式是实现完整描述体系，达到满意解释现象的一种理想的特定骨架和格式。并指出科学研究的不同阶段使用

模式的好处在于：有利于总结参数，论证关系，发现问题，指明研究方向，可以作为了解复杂问题的“智力拐杖”，用于教学的形象化表达；并为计算机的程序图解、建立数学模型准备基本条件；当然最现实的是大量用于找矿预测，并且已为愈来愈多成功的找矿案例所证实。例如美国克莱梅克斯斑岩铜矿外围亨德逊大型钼矿的发现^[1 9]，克拉玛祖断裂矿体的重新发现，我国的五层楼钨矿模式找到更多矿床等。

为了解释大量的化探异常，应该关注、接受、继承地质学领域中成矿模式的卓越成果；搜集、应用地质矿床研究中已经积累的大量地球化学宝贵资料（包括元素组合、分带、同位素、包裹体成分及温度、实验模拟的T、P、组分等）；接受和继承成矿模式研究的方法和手段，在此基础上开展勘查地球化学领域中成矿地球化学模式的研究。总之，成矿模式的进展，为勘查地球化学成矿模式的研究开辟了道路，准备了基础，也提供了可供参考的方法。应该象成矿模式研究那样，进行大规模的归纳综合，地区性—全国性—全球性对比，取捷径较快地达到预定目标。

二、化探模式研究的回顾及成矿——成晕模式的提出

十九世纪古典岩浆论的代表罗森布什，尼格里拟定的地球演化组分分异图式^[1 7]，以及随后鲍文建立的反应系列，实际上是地球化学的概念模式图解。但是，最早拟定地球化学找矿模式图解的是A·E·费尔斯曼^[1 8]。在他著的“找矿地球化学”一书中，记载了1926~1928年在外贝加尔湖制订的花岗岩、氟石脉、钨矿脉等多金属元素空间分布规律的模式图2，本文研究过程中，搜集了七十多个不同化探模式的研究成果^[1 0]。表2列出了其中的一部分。

从表中可以看出，国外开展工作较多的是苏、美、加、澳等国。在苏联，早期的地球化学家费尔斯曼、金兹堡^[1 9]、柯尔仁斯基^[9]、巴尔舒柯夫^[1 1]等，他们分别提出了花岗伟晶成矿作用、风化、接触交代作用地球化学演化图解，对研究元素在岩浆、风化、蚀变作用中的迁移演化及其成晕的影响，起了指导作用。近一、二十年，以索洛夫夫^[2 0]为代表，研究了次生晕、分散流的成晕机理，从数学物理角度制订了定量模型。

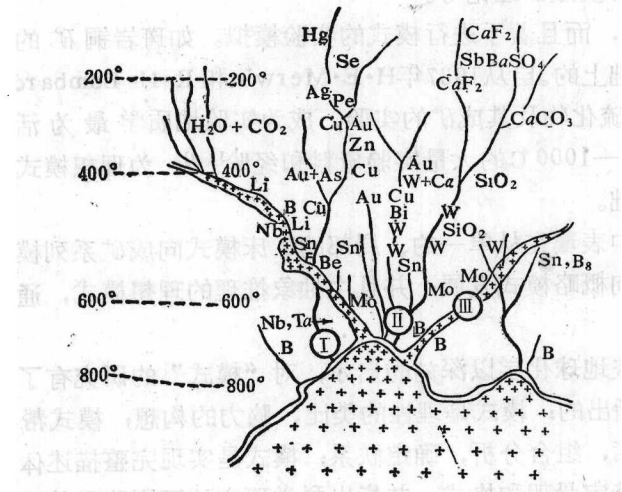


图2 外贝加尔湖花岗岩体地球化学进化图
I—气成硫化物；II—锡、钨与金矿脉；
III—伟晶花岗岩(以小十字表示)

表 2

	序号	模 式 名 称	作 者	时 间
苏 联	1	地球演化组分分类图	罗森布什、尼格里、鲍文	十九世纪
	2	外贝加尔湖花岗岩地球化学进化图	A·E·费尔斯曼	1926—1928
	3	Hg—Sb同心带的地球化学图	A·E·费尔斯曼	1926—1928
	4	Ni Mo Zn的地球化学图解	T·Л·巴尔萨诺夫	本世纪三十年代
	5	接触交代化学模式	Л·С·柯尔仁斯基	本世纪五十年代
	6	Sn的成晕地球化学模式	A·B·巴尔舒柯夫	1967
	7	分散场分散模式及数学描述	A·П·索洛沃夫	1957
	8	原生分散模式及数学描述	E·M·克维亚特科夫斯基	
	9	热液矿床原生晕分带序列及晕的结构	A·H·奥夫钦尼科夫	1975
	10	期后热液矿床内生晕结构模式	A·N·萨弗朗诺夫	
欧、美、加、澳	11	次生分散模式分类及图示	A·E·霍克斯	1950—1960
	12	原生分散模式分类及图示	A·W·罗斯, J·S·韦伯, H·E·霍克斯	1950—1960
	13	金属迁移过程概念模式图示	A·A·莱文森	1950—1960
	14	地球化学理想模式(一)	H·M·D·布雷德肖(加)	七十年代
	15	地球化学理想模式(二)	卡伦(北欧)	七十年代
	16	地球化学理想模式(三)	拉符仑(美)	七十年代
	17	地球化学理想模式(四)	C·R·M·巴特(澳)	八十年代
中 国	18	原生、次生理想模式	谢 学 锦	1950—1970
	19	岩浆期后矿床元素演化序列模式	邵 跃	1950—1970
	20	红旗岭次生分布、斑岩矿床成晕模式	欧阳宗圻等	1960—1975
	21	碱交代成矿地球化学模式	胡 受 奚	1981
	22	德兴斑岩成晕机理模式	於 崇 文	1980
	23	南泥湖斑岩矿床地球化学模式	张 本 仁	1982
	24	Sn、W、Hg—Sb、Pb—Zn、Cu Au、Mo等矿床成晕模式	曹显光、林根芳、班义江、李惠、胡国廉、梁硬干、刘汉中等	1980—1982

而后由克维亚特科夫斯基^[21]扩大到了原生晕定量模型。说明苏联在化探成晕模式研究上已有显著进展。

在美国,最早提出元素分布模式是H·E·霍克斯,他将模式分为次生、原生、同生、后生。并搜集了克拉玛祖等矿床上的应用例案。近十年间,加拿大和澳大利亚相继发表了次生成因的理想地球化学模型,均按一定格式汇集出版(四集)^[22],对综合大量的勘查地球化学数据,进行成晕理论研究有重要意义。

在我国,首先进行次生、原生模式研究的是谢学锦同志。一九六〇年在青城子原生晕研究中提出了原生晕模型,并规定了一套科学术语。近年在他的《区域化探》专著中

又进行了详细分类^[2,3]。邵跃同志提出了岩浆期后热液矿床元素分布序列,用于实际异常评价,取得了很好的找矿效果。与此同时,欧阳宗圻等人在红旗岭、德兴、多宝山等矿区开展了次生(外来运积)、原生晕地球化学特征研究,与矿床地质一起提出了斑岩矿床成矿—成晕理想模式。另外还有个旧、两江、鄂东等许多矿区相继提出或正在深入开展着典型矿床、矿田的化探成晕模式研究。

但是,由于受到各种因素及当时地质理论的局限,已有的化探模式与当前成矿理想模式相比,从发展眼光看尚有某些不足。概括起来:

1. 缺乏大范围的综合归纳类比。大量的勘查地球化学成果,上百万甚至上千万平方公里的分析结果,蕴藏着大量成矿—成晕的信息。但是,尚没有象地质成矿模式研究那样跳出局部的矿区、矿床、矿田,开展大区域的综合归纳。

2. 缺乏与地质成矿的紧密联系和沟通。已有的模式往往只注意展示成晕部分,忽视作为成晕母体—成矿作用这个重要部分。所研究的规模常常是某种特定矿体矿床的单一模式,脱离成矿的整个系统。这种局部模式只能摄取成矿—成晕演化系列中的某些局部“短镜头”,照顾不到全局和整体,使成晕模式的适应性降低,导致以往建立的化探模式只能适应某个局部地区,一离开当地就不能适用。

3. 缺乏多因素、多介质的分析和成果展示。往往在一张模式图上,只有元素分布结果的曲线,而建立不起元素在时间、空间上发展演化的历史图式。缺乏模式应有的高度概括性和综合性。

4. 缺乏内生、次生的勾通联系。往往是表生内生分离,本来是完整的统一演化过程,常人为地分割,得不到统一研究。而现阶段化探生产大量的是次生晕、分散流,因此,生产上急待研究次生模式。

5. 缺乏成晕研究的模拟实验,也有人认为勘查地球化学中没有必要进行模拟实验。

鉴于这些原因,为了适应当前大规模区域化探普查中评价异常的实际需要,在前人模式研究基础上,尤其是某些模式实例(苏联远东锡矿^[1]、个旧、两江、德兴等)的启示下,提出建立“成矿—成晕地球化学理想模式”的设想。

“成矿—成晕地球化学模式”是研究地质成矿和地球化学成晕的统一整体(体系),在地质、地球化学作用过程中运动发展的特征和演化规律,并予高度概括而又形象本质的表达。

我们认为,成矿—成晕是同一物质体系,沿着基本相同的运动途径,经历着大致相同的作用,在不同的介质、环境、时间、空间,以不同的形式表现出来的产物。因此,在考虑建立成矿—成晕模式时,首先应考虑成矿、成晕的统一性。它决定着成矿—成晕可以用大致相同的发展图式加以表达。既要表达地质成矿模式,又要反映地球化学成晕特征,表达出元素(同位素)在不同物化条件下的迁移演化规律。

第二、要考虑多信息、多参数综合分析的原则。既要考虑成矿体系本身的物、化特征,又要考虑介质环境诸参数的影响。这些物化特征和参数包括元素的含量、组合、分带指数、pH、Eh值、热力学参数、温度、压力、同位素、包裹体成分等。

第三、要考虑多来源、多成因、多阶段以及系列化的原则。考虑的范围是一定地质环境中形成的时间、空间、成因上有密切联系的一组矿床类型,即一个系列的成矿—成晕作用。这就从根本上克服了孤立的、单一模式的局限性。

第四、要考虑系统过程的层次原则。事物的系统（整体）由各个局部和环节组成，导致了系统（系列）的不同发展层次^[5]。因此成矿—成晕模式以划分不同的层次，或者称类型。表 3 列出成矿成晕模式的四个层次。我们认为，当前尤其应该注意建立成矿系列地球化学模式，它在勘查地球化学找矿中居重要的地位。

表 3

层 次 (或类型)	研究范畴	适用程度	案 例
(一) 成矿系列 地球化学模式	一个大区域(或全国性、世界性)的成矿系列成晕地球化学研究	区域或区(带)化探的异常评价和预测将收到最佳效果。	我国钨矿五层楼成矿模式在华南的见矿效果。
(二) 矿床(矿田)成晕地球化学模式	成矿系列中某一成矿阶段或类型的成晕地球化学研究	在条件类似的矿区(矿田)进行异常评价和预测,可达到找矿目的。	个旧矿田预测,高峰山矿区见矿。 两江矿区外围找矿预测见矿。
(三) 矿体成晕地球化学模式	成矿—成晕系列中某一矿体及其具体形成作用的地球化学研究	适用于寻找评价盲矿体,并且指出地球化学作用的进程。	克拉玛依断裂失矿体的预测见效。苏联远东锡矿成晕研究并找到盲矿
(四) 原生成晕结构的次生循环模式	原生模式的次生变化包括:次生晕、分散流、水、生物、气晕等次生循环特征及模式。	适用于次生晕分散流等异常评价和找矿预测	国内外见矿案例较多。

成矿—成晕地球化学模式的表达方式，可以沿用成矿模式的图解式、流程图式、概念化表格式、数学模型及公式。并且应该继而创造出适合于勘查地球化学成晕研究要求的表达方式。这些表达式中，应以图解式为主，配以概念化表格。研究程度高，则可以有数学表达式、化学方程式，研究程度低则采用流程图式。

模式图的制作，首先要选择与研究区相适应的成矿系列模式。成矿系列的划分可参照程裕淇和陈毓川的分类表^[18]。模式图的选择主要应考虑能否回答：成矿物质来源，矿质富集机理、稳定成矿条件的造成、富集后的改造作用^[18]等问题。当然这种模式应该是代表性好、信息量大、系统性强、实用性高。其次，搜集成矿地球化学的各种参数以及成矿的地质背景资料和数据。第三，在成矿模式图的基础上加以修改并表达成晕地球化学各种特征，包括晕的分布、规模、组合、分带、介质环境等，在时间、空间、成因上的联系和变化。要允许推理，提出假说，以形成一张理想的成矿—成晕模式图。最后，根据模式图上的推理和假说进行实验模拟（内生、表生），力求定量地、科学地表征成晕作用，使理想模式上升为理论成晕地球化学模式。

三、成矿—成晕模式举例

现以锡矿为例，简要说明成矿—成晕地球化学模式研究及其实际意义。

世界锡矿类型较多。不管谁的分类，基本上可概括为从岩浆分异—伟晶岩化、云英岩化—锡石氧化物形成—接触交代、热液脉、锡石硫化物生成—次生锡石富集，这样一

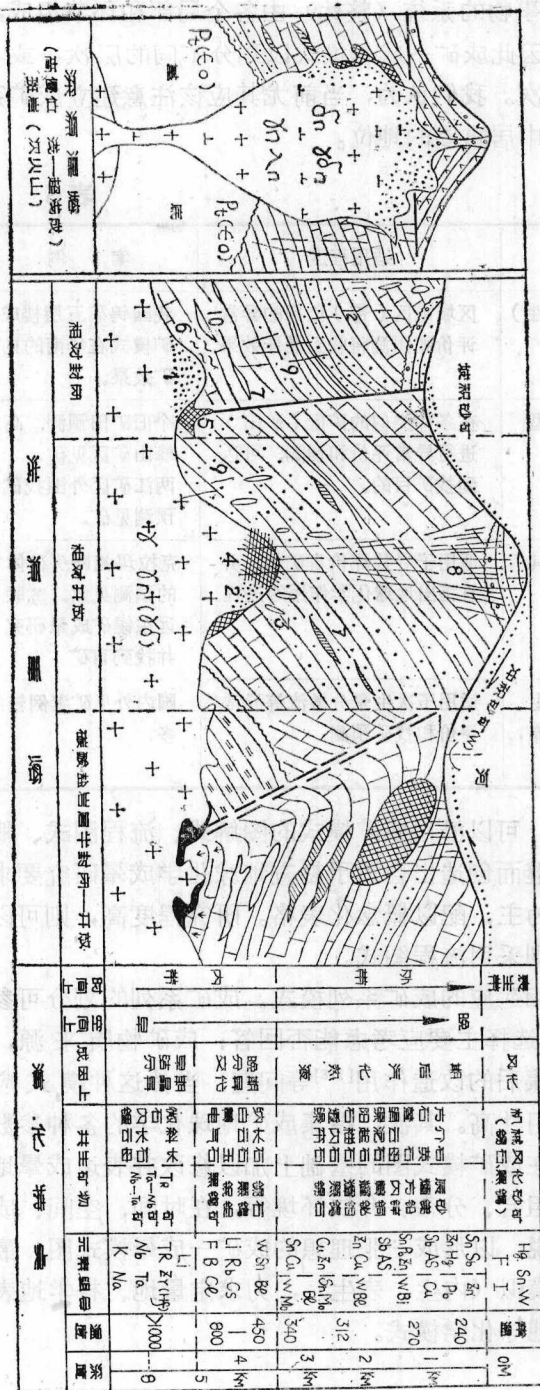


图3 两种不同花岗岩浆演化及Sn—W(或W—Sn)多金属硫化矿床系列地球化学模式图

(根据江西、广西、云南W—Sn矿综合)

- 1—花岗岩型稀士矿床；2—花岗岩型W、Sn、Mo矿床；3—花岗伟晶型Nb、Ta、W、Mo矿床；
- 4—云英岩型W、Sn、Mo、Bi矿床；5—砂卡岩型Sn(W)—多金属(Cu、Pb、Sb、Bi)矿床；
- 6—条纹岩型Be、Li、W、Sn矿床；7—沉积再造砂卡岩W、Sn—多金属矿床；8—大脉、细脉、网脉带Sn、W、Cu、Be充填交代多金属硫化矿床；9—石英—萤石交代型W—Sn矿床；10—层间充填交代多金属矿床；11—断层、层间充填Hg—Sb—Au矿床；12—硫化脉；13—砂矿

个完整的成矿系列。

作为勘查地球化学家，掌握诸类型锡矿床成矿及成晕的地球化学标志，是寻找锡矿的首要任务。我国锡矿资源丰富，类型齐全，找矿案例很多，完全有条件建立起较理想的地球化学指标。下面我们按照成矿—成晕模式建立的和原则分四个层次(类型)粗略说明锡矿模式研究的思想。

(一) 建立锡矿成矿系列地球化学模式

就现阶段锡矿研究的状况来看，这是极为重要的一步。地质上对锡矿模式的研究已达相当深度。目前可见的模式^[3]有：D·J·格罗斯，T·S·麦卡锡编制的深度—浅成花岗岩侵入原地分凝成矿模式；R·U·西里托，C·霍尔·斯，J·N·格里特拟编的斑岩(次火山岩)锡矿成矿模式；汪志芬编制的个旧锡矿模式；C·K·伯顿，V·A·拉尔克塞的重复多旋回锡矿成矿模式(苏联远东)；215队编制的大厂锡矿模式；苏联缅尔涅柯夫编制的卡波采朗锡矿模式；还有一些其它类型的模式。这些模式各具特色，都能表达本矿田和地区范围内锡矿的生成和演化。从勘查地球化学成晕研究角度出发，可在对比现有模式基础上，尽可能以一图一表概括常见的锡矿类型。因此我们综合了图5表达锡矿成矿系列地球化学模式。

这一系列模式综合反映了锡矿成矿系列中具稳定组合的主要成因及工业类型。即花岗岩蚀变浸染型、次火山斑岩型、云英岩型、气成高中温热液

脉型。综合反映了从岩浆结晶、分凝、蚀变、矿化的时空和成因联系。这样的综合图对勘查地球化学家掌握锡矿床的整体特征及元素地球化学演化较为方便。我们可以看图识字，不必阅读冗长的文字说明，就可建立岩浆演化各阶段成矿的过程。即：从岩浆结晶、分异形成含水溶液的顶部熔浆带，并与围岩交代形成矽卡岩，进而随温度下降，形成富含氧及F、B、Cl、OH、CO₂的残浆，随液压的平衡而溢散贯入固结的岩体和围岩，并交代蚀变形成钾化、钠化、电气石化、云英岩化，同时伴有W、Sn、Be (Nb、Ta) 矿化。有时伴有Li、Rb、Cs矿化。进一步冷却逐渐积聚重金属硫化物残浆，（富含Sn、Fe、Cu、Pb、Zn、W、Mo、Bi、As、Sb、Ag等），上升到顶部并交代扩散贯入围岩，蚀变矿化形成具有多组分分带结构的锡石硫化矿床。其表现的沉淀分带为：Cu—W—Sn，Sn—Cu，Cu—Sn—Pb，Zn—Pb，Zn—Sn，Pb—Zn—Mn。总之这一模式综合反映了同一系列、不同矿床在时间、空间上的演化，便于掌握整个锡矿系列的地球化学标志。

这一层次模式的实际意义在于：提供区域地球化学找矿异常评价标志。有这种模式指导，就可能找到不同类型的锡矿床。早在五十年代，我国南岭石人嶂、红岭钨矿，就是类似上述模式的“五层楼”垂直分带模式^[2]，在地表利用Cu、As、F、W、Sn等指示元素，结合石英—云母线矿物标志，找到了深部脉带及浸染型矿床。可以认为是系列模式找矿的例案。

（二）建立锡矿床（矿田）成晕地球化学模式

成矿系列模式只能粗略地显示成矿的总貌，尚不能详细表达矿床成晕地球化学模式。如图4（a，b）为个旧锡矿田马拉格锡矿床元素组合分带模式。这一层次的模式，主要反映了元素地球化学组合和分带的具体特征。其重要意义在于：根据这些分带特

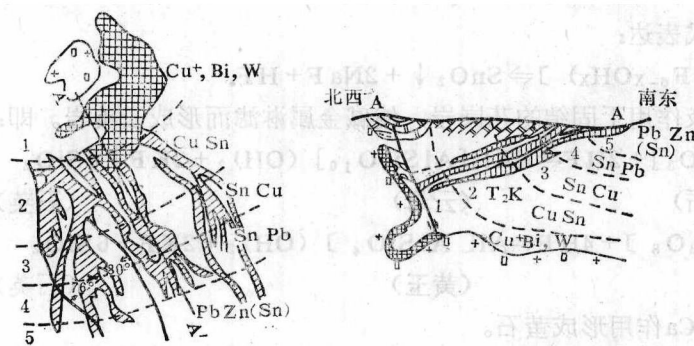


图4 云南个旧马拉格矿床分带剖面示意图

（据云南冶金地质公司308队）

a—水平分带； b—剖面上的分带

征，计算分带指数与矿体（带）分布的相关性，绘制标准回归线，以评价矿床矿带的截面深度。苏联在“共青团城”锡矿的实践^[21]，提供了应用这一模式的成功案例，在个旧锡矿根据E. M. 克维亚特夫斯基方法做了类似“共青团城”锡矿的试验，用分带指数推定的矿体截面深度，与钻探实际见矿深度，基本一致。

(三) 建立锡元素迁移、沉淀、富集成矿的化学机理模式

典型的案例是Б.П. 巴尔舒科夫对苏联远东锡矿的研究^[1]。

首先查明了锡在花岗岩中主要赋存于黑云母。钠化时 Sn 释放出来而转入热液, 因此花岗岩中发现了负异常 (图 5)。

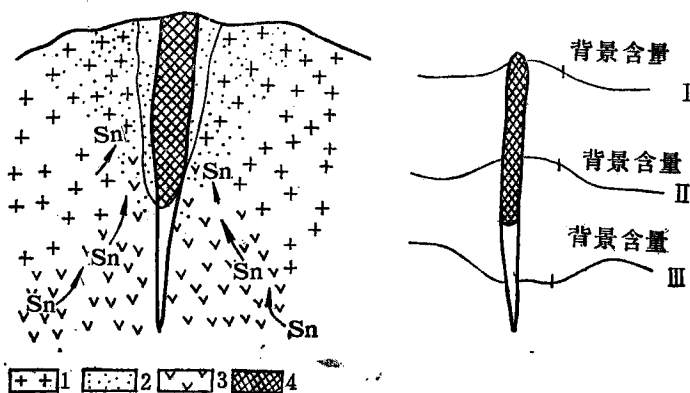


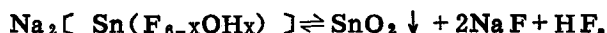
图5—石英脉矿带垂直分带(左)

1—黑云母花岗岩；2—钠长石化和白云母花岗岩；
3—云英岩化岩石；4—锡石矿石

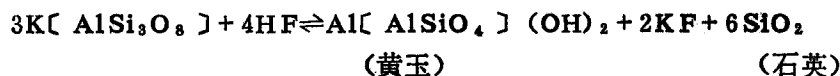
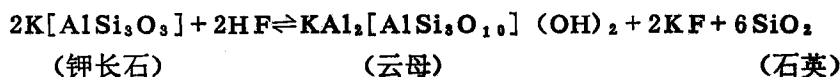
锡石—石英脉矿、矿体旁以及矿下部分析
锡含量变化曲线(右)

I 矿上部分的曲线 (前缘晕) II 矿体
旁线曲 III 矿下部分的曲线 (尾晕)

(2) 通过蚀变矿物成分推测, 热液富含 Sn、Na、K、F、As、B 等。气液包裹体研究证明锡石的形成温度为 $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$, 溶液 pH 值大致在 $6 \sim 8.3$ 。按上述条件进行模拟试验, 证明锡石 (SnO_2) 在 $T = 300^{\circ}\text{C}$, $P = 500$ 大气压, pH 在 $7 \sim 10$ 即溶解成 $\text{Sn}(\text{F}_{6-x}\text{OH}_x)^{2-}$ 型的氟—氢氧络离子。当 pH 下降到 $7.5 \sim 8$ 时, 络离子水解, 锡呈 SnO_2 沉淀。可用化学方程式表达:



强烈酸化的溶液作用于固结的花岗岩，使碱金属淋滤而形成云英岩。即：



HF可与围岩中**Ca**作用形成萤石。

(8) 根据F—Sn的结合和迁移形式,建立F在热液相(以充填脉F含量代表)与固结相(以蚀变岩石F含量代表)之间的分配系数公式:

$$K = A \cdot \frac{F_{Op}}{F_p} + B \cdot \frac{M_p}{M_{Op}} \quad (F_{Op} \text{ 和 } F_p \text{ 分别为 } F \text{ 在晕中和脉中的平均含量, 和 } M_{Op} \text{ 和 } M_p \text{ 分别为晕和脉的厚度})$$

通过实际剖面又确定了 F 的分配系数的倒数 K_p 与下伏锡矿的储量 Q 呈正相关, 相关系数为 0.98。经过回归分析建立了相关式, $Q = 68.5 - 59.3K_p$ 。据此导出了测点到矿体上界的距离 (H) 的公式:

$K_p = 0.6 - 1.0$ 时, $H = 991 - 936$ 米.

$K_p < 0.6$ 时, $H = 200 - 260$ 米。

可以看出这一层次的模式, 必须通过详细的岩矿鉴定和分析, 又经模拟实验才能建立。其表达式, 一是地球化学平衡方程式; 二是数学及热力学公式。其重要意义在于, 对矿床详查、精查阶段的异常, 深入评价并可预测矿化深度及规模。这种模式, 在个旧矿区也有某些尝试。

(四) 建立锡矿的次生循环模式

一般认为 Sn 在次生变化中比较稳定, 常呈机械状态分散于土壤及水系沉积物中。在水中常呈机械悬浮物形式搬运。对锡的次生分散研究, 用布雷德肖的次生理想模型为基础^[22], 并加以修改现阶段是可行的。作为锡矿成矿—成晕整体演化模式, 次生循环的模式, 不能忽视。但限于篇幅, 恕不作深入分析。

通过上述锡矿成矿—成晕地球化学模式的分析, 可以看到从矿床系列—矿田、矿床—矿体及具体成晕过程, 由粗到细, 由浅入深的模式研究内容和表达式。类似锡矿成矿—成晕研究的典型例子, 还有钨矿、斑岩 Cu—Mo 等矿床, 这里不一一列举。

上述成矿—成晕模式的研究, 在实际工作中, 往往按矿体—矿床—矿田系列这样的顺序进行。建立概念模式—理想模式—最终建立理论模式。本文列举的锡矿成矿—成晕地球化学模式, 限于现阶段研究程度, 离真正的成晕地球化学模式还有相当的距离, 尚待今后实践补充完善。

四、几点认识

1. 随着勘查地球化学生产的迅速发展, 成矿—成晕地球化学模式的研究将为更多勘查地球化学家所重视, 理想模式的建立势在必行。正如国内某些学者指出的: “矿床学尤其是在描述的一模式分析的一高度理论概括的过程中, 模式分析是有其生命力的”^[1]。在勘查地球化学生产和科学理论的发展上, 成矿—成晕地球化学理想模式, 同样是有生命力的。

2. 成矿—成晕地球化学模式的研究必须与成矿相结合。这种结合为成晕模式的研究找到了坚实的基础, 正是在这种结合上才有新的发现和飞跃, 在大量而分散的化探数据和资料之间建立起本质的联系。

3. 一项急待完成的艰巨工作是对现有勘查地球化学的大宗资料进行综合。要在大区域、全国性、世界性的规模上进行, 要以现代科学技术方法, 尤其是系统论、控制论、信息论为指导, 充分重视相邻学科的新进展, 实现科学的归纳、类比和综合。

4. 成矿—成晕地球化学理论模式研究, 应该按照如下思维图式进行(图6)。应特别强调科学的综合、模拟实验、科学的推理和假说, 以最终实现成晕理论的飞跃。

本文搜集了来自生产和科研部门的大量实际资料, 得到有关同志的热情帮助, 在此表示衷心的感谢。文中不妥及谬误之处, 敬请批评指正。

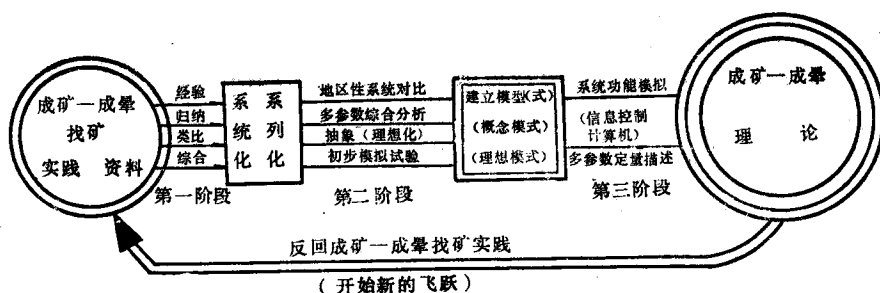


图6 成矿—成晕模式研究思维图式

参 考 资 料

- (1) 秦皇岛冶金地质进修学院: 1981, 现代成矿理论及勘查地球化学汇编, 第一、二、三、四集。
- (2) 冶金部南岭钨矿专题组: 1981, 华南钨矿(内部)。
- (3) 西南冶勘公司地研所: 1980, 锡矿地质参考资料(1—4)集。
- (4) 翟裕生: 1980, 长江中下游内生铁矿床成因类型及成矿系列探讨。
- (5) 魏宏森: 1981, 系统论、信息论、控制论与现代科学方法论。
- (6) 曹添、於崇文、张本仁: 1982, 地球化学, 中国工业出版社。
- (7) A.A. 莱文森: 找矿地球化学入门, 桂林冶金地研所译。
- (8) 冯景兰、袁见齐: 1985, 矿床学原理, 中国工业出版社。
- (9) 宋魁昌: 1982, 关于成矿模式研究与发展趋势(模式讨论会资料)。
- (10) 刘泉清: 1982, 成矿—成晕地球化学模式研究资料和图集(内部)。
- (11) K.H. 乌尔夫: 层控矿床和层状矿床(第一、二、四卷), 地质出版社。
- (12) 林岳生等: 1982, 赣北斑岩矿床成矿模式的探讨(模式会议资料)。
- (13) 程裕祺、陈毓川等: 1979, 初论矿床的成矿系列问题, 中国地质科学院院报第一卷第一号。
- (14) 用于找矿的计算机咨询系统《地质与勘探》1982, №5。
- (15) 地质部华东地质研究所: 斑岩铜矿流体动力模式的热量和质量平衡, 国外地质科技选集第十六集。
- (16) 刘宝璋: 1981, 关于层控矿床研究的评述“现代成矿理论”冶金部成都干部进修学校编。
- (17) 郑明华: 1980, 矿床学现状同近代成矿理论若干问题, 冶金部干部进修学校编。
- (18) A.E. 费尔斯曼: 1957, 地球化学找矿法, 地质出版社。
- (19) 金兹堡: 1962, 地球化学普查方法理论基础, 中国工业出版社。
- (20) A. II 索洛夫夫: 1964, 金属量测量的理论和实践基础, 中国工业出版社。
- (21) E.M. 克维亚特科夫斯基: 1981, 岩石化学找矿方法, 地质出版社。
- (22) P.H.D. 布雷德肖: 1977, 勘查地球化学中的理想模型, 桂林地研所译。
- (23) 谢学锦: 1979, 区域化探, 地质出版社。

CONCEPTUAL MODELS IN ORE—FORMING AND HALO—FORMING PROCESSES

Liu Quangng Ouyang Zhongqi

浙江某地金银矿床的原生地球 化学异常特征

刘英俊 孙承轅 沙鹏

(南京大学地质系)

内容提要

本文对浙江某大型金银矿床的原生地球化学特征进行了初步研究。选择了Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sn、Mo、V、Ti等10种指示元素进行系统处理,结果表明前七个元素是主要的矿床成晕元素。统计的经验分带性自上而下为: Au、Ag—Cu、Pb、Zn—Sn—Mo;从近矿到远矿是Au—Ag—Cu、Pb、Zn—Sn、Mo。异常形态主要受赋矿构造的控制。对元素的相关性及含量分布特征,文中进行了阐述,并讨论了原生异常的形成机制,获得的资料对在本区或邻区找寻类似矿床有一定的参考意义。

浙江某地金银矿为一产于前泥盆系陈蔡群变质岩中的变质—热液成因的石英脉型大型矿床。这一矿床的发现开创了浙江省乃至华东地区寻找金银矿床的新局面,查明该矿床的原生地球化学异常特征,将有助于矿床的评价和开发,同时为寻找相同类型的金银矿床也可提供一定的地球化学指标。

本矿床是借助于地球化学方法而发现的,有关单位对之进行了较深入的地质勘探工作,笔者对矿床地球化学进行了初步的研究,兹将所得到的若干初步认识阐述于后,以供参考。

一、矿区及矿床地质概况

矿区位于斜贯全省的呈北东——南西向的隆起带,隆起东西两侧分别以两大深断裂为界。矿区内主要出露陈蔡群变质岩及上侏罗统磨石山组火山岩,未见大的岩体,但各种脉岩比较发育。矿床的产出明显受地层及构造因素控制,陈蔡群的黑云斜长片麻岩及含石榴石斜长片麻岩构成金银矿床的主要赋存围岩,各矿带的主要矿脉均沿矿区张扭性断裂的方向,呈 145° — $180^{\circ}/\angle 40^{\circ}$ — 50° 的产状产出(图1),矿带在西端露地表,以不大的倾角向东倾伏。

矿体主要由贫硫化物的石英细脉、网脉及脉侧强蚀变的黄铁绢英岩组成,其矿物组合除金银矿物系列外,主要矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等,脉石矿物以石英为主,其次有蔷薇辉石、菱锰矿、绢云母、绿泥石、绿帘石、方解石等。金银矿物以自然金(Au>90%)、金银矿(Ag>50%)、银金矿(Au>50%)、自然银