

矿物共生和矿物共生组合研究与成矿年代学

裴荣富 吴良士

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

成矿年代是成矿学研究的时间域, 是从地质历史分析矿床生成、发展和演化规律的极其重要的科学论据。因而, 30 届国际地质大会将其作为 21 世纪能源矿产和矿产资源专题讨论会的主要内容之一。作为矿床学的基础内容之一的成矿年代学, 早在 18 世纪矿床成因理论的科学革命时期, 即已开始认识了其对解释矿床成因的重要性, 但是一直到 20 世纪中期矿床经典理论建立时期, 对成矿年代的科学认识并未取得与矿床理论认识的同步发展。直到现代矿床成因理论的新发展时期, 由于辩认和鉴定成矿年代的技术方法空前发展, 从而才有条件地重新厘定了很多矿床的成矿年代。这一成功不仅科学地弥补了过去仅靠矿床容矿围岩的地层年代或与成矿有关岩体的同位素年龄间接推定的不足, 更重要的是为重新认识矿床成因提供了理论依据。例如对密西西比型铅锌矿床提出热卤水环流成矿新认识等(裴荣富等, 1993)^[2], 同时, 也为从动态研究金属成矿省的地质历史演化(裴荣富等, 1994)^[3]、矿床多成因(涂光炽, 1985)、矿床因袭成矿(裴荣富等, 1994)^[3]和矿床成矿系列(程裕淇等, 1978)等新的成矿概念提出了科学分析的成矿计时钟(MTT)。

大家知道, 对矿床成矿年代的判定, 必须是在进行大量与成矿有关的地层学、构造学、岩体地质学、同位素地球化学等同步研究的基础上, 有针对性地研究最能直接反映成矿年代的矿床矿物学, 并应用先进技术测试矿物的形成年代, 才能取得可信年龄数据。矿床矿物学主要是研究矿床最基本组成的“矿物组合”(或矿物集合体)(mineral assemblage)(MAG), 更具体的是研究矿物组合的“矿物共生”(mineral paragenesis)(MP)和“矿物共生组合”(mineral association)(MAT)。“矿物组合”(MAG)是泛指一个矿床的矿物组成的通称, 多见于欧洲文献。“矿物共生”(MP)^①是指在一定成矿过程中, 在限定的时间、空间上, 并受一定物理-化学条件控制的、由一定成矿作用形成的、一组共生的矿物(H S Roslen at el, 1969; H G Winklen, 1976; T Nakamura, 1988^[6]; 陈正, 1990^[1]; G Udutlasa, 1986; 裴荣富, 1991), 也是成矿物理、化学条件达到相对平衡态而出现的矿物共生, 也称相对平衡态的矿物组合(P B Barton, 1970, 1979); 在非限定性的非平衡态成矿演化过程中, 可以多次出现相对平衡态, 每一次相对平衡态都表现为一次矿物共生, 例如著称于世的英格兰康瓦尔 Sn-W-Cu 矿床出现七次以上的矿物共生(见表 1), 它是研究矿床成因的最基本组成。“矿物共生组合”(MAT)^②是指不同成矿期、不同成矿阶段和不同成矿作用形成的不同“矿物共生”组合在一起的矿物组合(H S Roslen at el, 1969, T Nakamura, 1988^[6]; 裴荣

① 陈正译为矿物共生组合

裴荣富, 男, 1928 年生, 研究员, 国际矿床成因协会(IAGOD)主席, 兼任协会矿物共生专业委员会(PaC)副主席, 中国地质学会矿床地质专业委员会主任, 长期从事成矿学研究。邮政编码: 100037

1994-11-2 收稿, 1994-12-3 修改回。陶景连编辑

② 陈正译为矿物组合

富, 1991)。例如康瓦尔矿床在不同成矿堆积环境下形成三组“矿物共生组合”(见表1), 其组合形式和组合的结构特征可以为连续产出, 或是相互穿插或是超复和重叠。这些都是研究矿床成因, 随时间推移而演化的重要矿物组合的基础。所以, 在国际矿床成因协会学术组织内部专门设置“矿物共生专业委员会”, 该专业委员会, 自1966年以来已有28年的研究历史, 除发表大量论著外, 提出了全球性的矿床矿物共生和共生组合的对比模式, 如对美国密苏里博斯-比克斯拜 Fe-Cu-Co 矿床与澳大利亚奥林匹克坝 Fe-Cu-Au-U 矿床的对比 (R D Hagni, 1988), 为寻找超大型矿床提供新信息, 特别是1994年在北京召开的第九届国际矿床成因会议上, 解决了粘土粒级的微粒矿物共生问题, 为应用微粒矿物共生研究矿床成因作出了贡献 (R D Hagni, 1994)。

在掌握了上述“矿物共生”和“矿物共生组合”的概念和矿床成因关系后, 就可以定性地看出共生的和共生组合的各种矿物的先后顺序关系, 在定性的判明其生成顺序和成因关系的基础上。采取代表性的矿石矿物样品, 结合脉石矿物和蚀变矿物, 应用先进测试技术测年, 如应用矿物流体包裹体同位素测年 (李华芹, 1992)、Os-Re 法测年 (杜安道, 1993) 等, 并全面结合野外地质观察依据的综合分析是可以正确厘定矿床成矿年代的。

研究矿床的“矿物共生”和“矿物共生组合”是一件十分细致和系统的基础工作。如何判定那些是属于共生矿物呢? 总的来说可以凭借岩石和矿相显微镜、X光衍射 (XRD)、扫描电镜-能量色散光谱分析 (SEM-EDS) 和阴极发光显微镜 (CLM) 技术。共生矿物的晶粒比较均匀, 晶粒间界线为互边接触, 紧密生长, 彼此穿入程度基本相同, 不存在先后结晶和矿物间溶蚀、交代、包晶、穿脉、环带和放射状结构等。这些互边结构是矿物共生的重要标记, 现已在矿物共生研究中普遍采用, 当然, 还要结合相平衡原理和相律分析, (陈正, 1990)^[1]。“矿物共生组合”的研究是在“矿物共生”研究的基础上, 结合脉石矿物和围岩蚀变在成矿过程中的贯通性及其本身结晶习性, 和产出的不同堆积环境划分的。矿物贯通性可分为成矿全过程贯通和阶段过程贯通, 特别是后者可以反映几个“矿物共生”包含在同一“矿物组合”之中, 例如康瓦尔矿床就是根据脉石和蚀变矿物贯通性并结合成矿堆积环境划分出高温气成、高温热液矿脉和低温热液矿脉三个矿物共生组合 (见表1)。从而使康瓦尔矿床的金属矿化分带、主要工业金属组合以及矿物生成顺序有了清晰的框划。在此框划的基础上, 有目的地采样测年, 矿床成矿年代也就能科学的表达了。

上面谈到的矿物共生和矿物共生组合都是在成矿作用的开放体系中成矿流体出现相对平衡态在一定成矿堆积环境下形成的。这一相对平衡态的出现和堆积环境无一不与地质事件有关。研究结果表明这种地质事件有区域性的, 如区域性构造变动、区域大规模火山喷发、区域变质作用等。但与成矿有关的大多是属于区域性派生的地质事件, 如不同期次的岩浆侵入活动, 不同旋回的火山喷发、断裂构造不同期次的脉动等。寻找这种关系是矿物共生组合研究中的重要课题。只有通过系统地质工作, 依据地质现象, 正确判定那些地质事件与矿物共生和共生组合形成有关, 才能使矿床年代学研究建立在可靠的地质基础之上。

关于应用矿物共生和共生组合进行年代学研究目前在一些地区已取得了较好的效果。我们在长江中下游九瑞地区依据矿物共边结构将全区划分了16个矿物共生, 然后通过共生矿物分布的贯通性及其与成矿关系, 选出了六个主要矿物共生组合, 并分述了各个矿物共生组合与地质事件的关系, 同时对其代表性矿物如不同结晶习性的黄铁矿、柘榴石、石英、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿等进行年代测定。在这个基础上将该区成矿作用分为: 与沉积作

Table 1. Mineral parageneses and mineral associations of Sn-W-Cu deposits in Cornwell ore district, England

矿带		形成环境	矿物共生	矿石矿物	脉石矿物	围岩蚀变	工业矿产
铁锑硫盐矿带		岩体脊部垂向 产出、中—低 温矿脉	7	无矿（或黄铁矿）	石英	硅化 赤铁矿化 绿泥石化 高岭石化 电气石化 云英岩化	
			6	赤铁矿 辉锑矿、脆硫锑铅矿 黝铜矿、车轮矿 浓红银矿、菱铁矿 黄铁矿（白铁矿）	燧石、方解石 石英		Fe、Sb
			5 _b	辉银矿、方铅矿 闪锌矿、黄铁矿	燧石、白云石 萤石、石英		Ag、Pb、 Zn、U、Ni、 Co、Bi
			5 _a	沥青铀矿、红砷镍矿 砷钴矿、辉钴矿 自然铋、辉铋矿	燧石、重晶石 萤石、石英		
铜矿带	岩体脊部、水 平产出高温矿 脉	4	黄铜矿、闪锌矿 黑钨矿（白钨矿） 砷黄铁矿、黄铁矿	萤石、赤铁矿、 绿泥石、石英	Cu、W、As		
		3	黄铜矿（黄锡矿） 黑钨矿（白钨矿） 砷黄铁矿、锡石	萤石、赤铁矿、 绿泥石、石英	Sn、W、 Cu、As		
		2	黑钨矿（白钨矿） 砷黄铁矿（辉铜矿） 锡石	电气石 钾长石、石英			
		1	锡石、镜铁矿	电气石、云母、钾 长石、石英			
	岩体最尖顶 部，高温气成 脉	云英 岩期 (G)	砷黄铁矿、黄锡矿 黑锡矿、锡石 辉钼矿	电气石、云母 钾长石、石英	Sn、W、As		
		伟晶 岩期 (P)	砷黄铁矿、黑钨矿 锡石、辉钼矿	钾长石、石英 电气石、云母			

用有关的 (425×10^6 a) 和与岩浆作用有关的 ($165 \times 10^6 \sim 120 \times 10^6$ a) 两个阶段。后者又根据矿石构造和矿物年龄测定分出了如下期次: $190 \times 10^6 \sim 140 \times 10^6$ a 的花岗闪长斑岩侵入活动, $141 \times 10^6 \sim 137 \times 10^6$ a 的含辉钼矿的斑岩成矿作用; $140 \times 10^6 \sim 131 \times 10^6$ a 的矽卡岩形成; $138 \times 10^6 \sim 135 \times 10^6$ a 的铜、硫热液成矿作用; $135 \times 10^6 \sim 128 \times 10^6$ a 的铜、硫、金成矿作用。 $128 \times 10^6 \sim 129 \times 10^6$ a 的铅、锌、硫成矿作用, 120×10^6 a 以后, 可能还有一次热水沉积成矿作用, 形成含金的硅化壳, 通过成矿年代研究, 为该区“多位一体”的成矿作用提出了完整的地质历史演化的计时钟。美国地质调查所赵景德等在白云鄂博 Fe-Nb-

REE 矿床中也开展了同样工作,他在钠铁闪石、独居石、霓石等不同世代矿物年龄测定基础上,依据矿石构造、矿物年龄和化学成分,将全区划分了 14 个矿物共生序列,其中镁质钠铁闪石有四种:于层状白云岩中、于热液脉中、高锰的、高铁的。独居石也有四种:早期独居石、浸染状富铈独居石、条带状矿石中独居石、低铈独居石。成矿时代跨度大,从 $1300 \times 10^6 \sim 390 \times 10^6$ a,从而他们将全区成矿分为四个阶段:中元古代 ($1312 \times 10^6 \sim 1287 \times 10^6$ a);晚元古代 ($820 \times 10^6 \sim 628 \times 10^6$ a);加里东期 $592 \times 10^6 \sim 426 \times 10^6$ a;华力西期 (380×10^6 a)。其中以晚元古代与加里东期为主要成矿期,反映了区域成矿经历了漫长而复杂的过程,也为华北地台北缘及其北侧古生代造山带具有成矿的统一性提供了新的信息。

成矿年代学研究是矿床学研究中重要组成,但也是目前比较薄弱的环节。当前它一方面有待实验技术的提高,另一方面也有赖于扎实的野外地质工作配合,特别是成矿地质环境、成矿主要地质事件,矿石结构构造等,并应尽量使其同步进行,互相验证,不要单一地依赖于实验室数据。此外,成矿年代学研究不仅仅是一个成矿时代的数据,还必须同步开展每个共生矿物形成的物理化学条件研究,以便阐述形成过程中成矿流体的演变。因此,矿物共生和共生组合研究既是矿床年代学研究的桥梁,又是矿床成矿作用研究的基础。

参 考 文 献

- 1 陈正. 论矿物的共生顺序和共生组合. 矿床地质研究所所刊, 1990, (总 23): 58~72
- 2 裴荣富, 吴良士. 金属成矿省的地质历史演化和成矿年代学研究新进展. 矿床地质, 1993, 12 (3): 265~266
- 3 裴荣富, 吴良士. 金属成矿省演化与成矿. 地质前缘, 1994, 1 (3~4): 95~99
- 4 Park C F Jr, MacDiarmid R A, Ore deposits. San Francisco: Freeman. 1975, 112~119, 156~159, 530
- 5 Udubosa G. Parageneses of some opaque minerals in rocks and ores, Theophrastus Publications S. A. Athens. 1986, 56~74
- 6 Nakamura T. Concept of mineral paragenesis and macrostructure in ore veins, Proceedings of the 7th IAGOD Symposium D-7000 Stuttgart. 1988, 179-182