

# 叠加成矿系统与多成因矿床研究

翟裕生<sup>1,2</sup>, 王建平<sup>1,2</sup>, 彭润民<sup>1,2</sup>, 刘家军<sup>1,2</sup>

1. 中国地质大学(北京) 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

2. 中国地质大学(北京) 岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083

Zhai Yusheng<sup>1,2</sup>, Wang Jianping<sup>1,2</sup>, Peng Runmin<sup>1,2</sup>, Liu Jiajun<sup>1,2</sup>

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithoprobeing Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

**Zhai Yusheng, Wang Jianping, Peng Runmin, et al. Research on superimposed metallogenic systems and polygenetic mineral deposits. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(6): 282-290**

**Abstract:** The superimposition between different ore-forming events usually induced the formation of superimposed metallogenic systems in the long and complex ore-forming processes. It is the major cause for the generation of many complex and compound mineral deposits. The special tectonic situation and the specific fabric composition make the Chinese mainland a compound and active continent, so caused the development of superimposed metallogenic systems in China. It is one of the most important features of regional metallogeny of China. On the basis of a brief retrospect on the research history of metallogenic systems, superimposed metallogenic effects (generation of large and rich ore deposits, complex composition of ores, etc.), forming mechanisms and major controlling factors (stable geochemical fields, overlap of ore-forming structural belts, repeated activities of contemporaneous faults, geochemical barriers of some early ore beds, etc.) of superimposed metallogenic systems are discussed in this paper. Also basic types of superimposed metallogenic systems and their temporal-spatial distribution are summarized. Among them the superimposition between earlier sedimentary mineralization and later magmatic hydrothermal mineralization is the most common combination of superimposed metallogenic systems. Complexity of superimposed ore-forming processes caused the complexity of a superimposed metallogenic system. So only through much more detailed and thorough research can we understand better the superimposed metallogenic systems, including their forming mechanisms and processes. Research on superimposed metallogenic systems is very important both in recognizing regional metallogeny of China and in guiding mineral exploration activities.

**Key words:** superimposed metallogenic system; ore-forming event; polygenetic mineral deposit; ore forming mechanism; temporal-spatial distribution

**摘要:**漫长复杂成矿地质过程中多次成矿事件的叠加常形成叠加成矿系统,它是产生多成因矿床的主要原因。中国大陆独特的大地构造时-空特征和特殊的结构组成,造成了中国叠加成矿系统的发育,是中国区域成

收稿日期: 2009-06-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(40234051, 40602010); 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2006CB403503); 地质调查综合研究项目“全国重要矿产和区域成矿规律研究”

作者简介: 翟裕生(1930—), 男, 教授, 博士生导师, 中国科学院院士, 主要从事矿床学、矿田构造和区域成矿学的教学和研究工作。

矿的一个特色。文章回顾了叠加成矿研究历史,分析了长江中下游成矿带等地的叠加成矿作用,探讨了叠加成矿的效应(形成大矿富矿、复杂成分矿石等)、形成机制和控制因素(稳定的地球化学场、重叠的构造带、同生断层多期活动、早期矿层的地球化学障作用),提出了叠加成矿系统的组合类型,其中以广义沉积型-岩浆热液型二者的叠加最为常见,且多形成大矿。随着矿产勘查和矿山开发的深入将可能发现更多叠加成矿现象。叠加成矿研究对于深入认识区域成矿特征和指导找矿勘查有重要理论意义和实用价值。

**关键词:**叠加成矿系统;成矿事件;多成因矿床;形成机制;时空分布

**中图分类号:**P611 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2321(2009)06-0282-09

当前国内外的成矿系统研究正在普及和逐步深化,并在矿产勘查中发挥指导作用。这中间关于早晚不同成矿系统之间的关系已引起关注。已有研究认识到,在全球演化和区域演化的漫长地质过程中,早晚不同的成矿系统之间可出现多种不同形式的关联<sup>[1]</sup>。(1)继承转化关系(继承性):一个早期发生的成矿系统可为另一个晚期发生的成矿系统提供物质来源,即晚期成矿系统继承了早期成矿系统的矿质。(2)裂解关系(离散性):在古老地质时期,控矿因素单纯,金属成矿元素的分异程度不高,能形成多组分共存的巨大成矿系统(例如南非 Bushveld Igneous Complex 成矿系统)。但在以后长期演化过程中,控矿因素多样,一个巨大成矿系统可裂解为几个物质组分较简单的成矿系统,有如大树的分支现象。(3)叠加关系(叠加性):在一些成矿区(带)中,晚期生成的成矿系统叠加在早期成矿系统之上,即时间有早晚、空间上有重叠,形成多成因矿床。这三种关系中以叠加成矿现象发现较多,它是成矿复杂性的一种表现,有重要的理论和实际意义。

## 1 简短回顾

在矿床学研究的萌芽和初期阶段,长期存在同生成因(同生论)与后生成因(后生论)两种观点的争论。直到20世纪中叶,由于工业化发展,大量矿床被开发,新的矿化现象层出不穷,遂开始有新的论点提出。Lovering 在1963年提出<sup>[2]</sup>,某些 Mansfeld 含铜页岩型铜矿中,黄铁矿是同生沉积,而铜则是后期加入的。他称此类矿床为二重成因矿床或叠生矿床(diplogenic deposits)。

涂光炽曾系统研究过层控矿床包括叠加矿床,他在1975发表的《叠加与再造——被忽视了的成矿作用》一文中提出,叠加成矿作用是在原来早期已有矿床的基础上,后来又有新的成矿物质加入<sup>[3]</sup>。他以白云鄂博矿床为例,认为它是晚古生代气成热液

叠加中元古代沉积变质作用的结果,至少有两期成矿作用,矿质多来源,矿床多成因。他是“多成因矿床”研究的主要开拓者。

徐克勤和朱金初在《我国东南部几个断裂拗陷带中沉积(或火山沉积)热液叠加类铁铜矿床成因的探讨》一文中提出<sup>[4]</sup>,对长江中下游、钱塘江—信江、乐平—萍乡等断裂拗陷带中铁铜矿床成因,如用单一的后生论或同生论,均有很大的局限性和片面性,而沉积(火山沉积)-后期热液叠加改造作用则具有普遍性。所谓“后期”系指不同地质时代的“后期”。

陈国达(1979)提出“多因复成矿床”概念<sup>[5]</sup>,即:经历两个或多个大地构造成矿阶段的区域,后阶段的岩浆、变质或其他成矿作用,带来新的成矿物质,或者形成新的矿床,叠加在早阶段的、被作为基础的矿床之上,从而构成多因复成矿床。这类矿床在地洼区最为常见。

叠加成矿作用的提出改变了将同生与后生截然分开的观点,肯定了成矿作用的多样性与复杂性,是矿床学的一个突破性进展,对指导找矿勘探工作有重要意义。

翟裕生自1979年起,重视研究叠加成矿作用,经过对典型矿床解剖和综合研究,概括提出以下几点<sup>[6-9]</sup>:(1)叠加成矿作用(superimposed mineralization)指不同地质时期的成矿作用在空间上互相叠加。例如,铜陵海区西期热水沉积黄铁矿层,又受到燕山期岩浆热液成矿的叠加。它区别于一期成矿作用中多个阶段(例如:氧化物阶段、硫化物阶段、碳酸盐阶段等)矿物组合叠置在一起形成的“套叠”作用(telescoping)。(2)叠加矿床属多成因矿床,成矿物质来源复杂,成矿作用经历多个时期。成矿时间间距大(可达一个纪或一个代)。(3)叠加成矿主要发生在地质构造复杂区域,经历了复杂的地质过程。(4)提出叠加成矿的机理和控制因素。(5)提出叠加成矿的组合类型的新认识,并将矿床叠加作用研究扩展到成矿系统间的叠加作用研究。近年来侯增

谦、蒋少涌、彭润民等分别研究了长江中下游成矿带和狼山成矿带的叠加成矿作用,都有新的发现。通过这些工作,进一步认识到叠加成矿的常见性和重要性。

2 叠加成矿实例

在地质历史悠久、结构比较复杂的成矿区带中,可发生不同时代、不同成矿系统间的叠加现象,常能形成多成因矿床包括层控矿床。由于两次或多次矿化作用的重叠,因而较易形成大型和超大型矿床。

2.1 中国叠加成矿实例

成矿系统叠加一般发生在构造多旋回地区。中国地处三个巨型板块的结合部,壳-幔活动频繁,多旋回的构造、沉积和岩浆活动发育,因此,提供了发生多个成矿系统叠加的条件。通过近年来研究,在中国南方地区已发现多处成矿系统叠加的实例(表1)。

其他叠加成矿实例有:甘肃石青铜多金属矿<sup>[3]</sup>、青海德尔尼钴-铜矿<sup>[10]</sup>、西藏甲马铜多金属矿<sup>[11]</sup>、湖北银洞沟银-金矿<sup>[12]</sup>、内蒙古大井锡多金属矿<sup>[13]</sup>、胶东大尹格庄金矿和平度金矿<sup>[14]</sup>、云南个旧锡-多金属矿<sup>[15]</sup>。

2.2 国外叠加成矿实例

国外实例有南非 Rand 型金-铀砾岩型矿床<sup>[16]</sup>(Kirk 等, 2002),据研究,该巨型矿床的形成有两个阶段:砂矿沉积阶段(2 700 Ma)和热液叠加-改造阶段(2 300 Ma)。加拿大的一些金-铀砾岩矿床也属类似情况。

澳大利亚的 Mt. Isa 多金属矿床<sup>[17]</sup>(Perkins,

1990),先是形成海底喷流沉积型铅-锌矿,后来在矿区深部发现交代成因铜矿体,被认为是另一期成矿的产物,可能属于叠加成矿。

据新近报道,在俄罗斯远东地区的金银多金属矿床中也发育叠加成矿作用<sup>[18]</sup>。

据查,国外有关叠加成矿的报道不多,其原因有待研究。

2.3 长江中下游成矿带的叠加成矿

现以长江中下游成矿带为例,说明晚古生代海底喷流成矿系统与中生代岩浆热液成矿系统相互叠加的景象。长江中下游地区是著名的铁、铜、金、硫成矿带。元古宙及此前时期该带位于扬子陆块边缘,为变质基底形成阶段。古生代—早中生代属板块迁移及沉积盖层发育阶段。中生代初期陆-陆碰撞,构造大转折,显著发育断块构造、岩浆活动和成矿作用。它是一个比较典型的大陆板内成矿带。由于区域地质构造和成岩、成矿的演化,长江中下游地区形成了不同的区域成矿系统,它们是:

(1)早古生代沉积成矿系统:主要产在寒武纪黑色硅泥岩建造中,矿化元素有 U、W、Sn、Mo、Cu、Au、V、P 等,多构成矿源层,有些地段形成了中小型矿床。这一成矿系统出露在断陷构造成矿带的南北边缘,古老结晶基底的外围地区。

(2)晚古生代(海西期)热水沉积成矿系统:主要产在早、中石炭世海底的次级洼地,代表性矿石组合为菱铁矿-黄铁矿组合,其成矿环境和成因机制可能与当时古构造地震引发的热水沉积有关。矿源层和矿床都沿区域性同生断裂带分布。这一成矿系统分布在长江中下游成矿带的中轴部分,广泛出露,但矿化强度不大。

表 1 中国若干叠加成矿系统  
Table 1 Some typical superimposed metallogenic systems in China

区域背景	不同成矿系统间的复合关系	矿床
长江中下游断拗带	海西期热水沉积成矿+燕山期岩浆-热液成矿	武山、铜官山铜矿
长江中下游断拗带	三叠纪蒸发岩成矿+燕山期岩浆-热液成矿	鄂城程潮铁矿
浙赣断拗带	晚石炭世(C <sub>2</sub> h)热水沉积成矿+燕山期岩浆-热液成矿	建德岭后铜矿
粤北晚古生代盆地	中泥盆世东岗岭热水沉积-火山沉积成矿+燕山期岩浆-热液成矿	大宝山铁-铜多金属
桂西北丹池断陷带	中泥盆世东岗岭热水沉积-火山沉积成矿+燕山期岩浆-热液成矿	大厂锡-多金属
扬子西南缘早古生代裂陷槽	中寒武世 SEDEX 成矿+燕山期岩浆-热液成矿	白牛厂银矿
华北地台北缘古裂谷区	中元古代裂谷热水沉积+古生代碳酸岩浆-稀土成矿	白云鄂博铁-稀土
扬子地台边缘断陷盆地潮坪区	早震旦世沉积锰矿+印支期岩浆-热液成矿	宁乡棠山锰矿
华南陆表海沉积区	晚石炭世沉积锰矿+燕山期岩浆-热液成矿	连城庙前锰矿
闽西南断陷带	中泥盆世晚期沉积锰矿+燕山期岩浆-热液成矿	玛瑙山锰矿
羌塘-昌都微陆块东缘	中生代(晚三叠世甲丕拉组)砂岩铜矿+喜山期岩浆-热液成矿	玉龙铜矿
湘南海西-燕山成矿带	晚二叠世煤系+燕山花岗岩接触热变质石墨矿	郴州鲁塘石墨矿

(3)燕山期花岗岩类岩浆热液成矿系统:这一系统在长江中下游地区分布普遍,矿化强度大,形成多个大型矿床。含矿岩体侵位于古生界和三叠系、侏罗系、白垩系的沉积(火山沉积)岩石中,主要形成夕卡岩型、斑岩型、脉型和角砾岩型铁、铜、金、硫矿床,成矿时代在150~90 Ma。矿床集中地产在鄂东南、赣西北、安庆、铜陵、庐枞、宁芜、宁镇等矿集区。

在长江中下游的构造复杂和多发地区,可见到燕山期花岗岩类热液成矿系统叠加在海西期热水沉积成矿系统之上,形成叠加型多成因矿床。例如铜官山、新桥、武山等地。在这些矿床中,既有岩浆热液型矿体,也有早期热水沉积黄铁矿层的证据。这类矿床主要地质特征是:① 含矿层位稳定,矿体呈层状、似层状,产状与围岩一致,同步褶皱;② 在同一矿田中常出现两个成因系列矿物:沉积变质系列(胶黄铁矿→晶质黄铁矿→磁黄铁矿→磁铁矿);热液交代系列(磁铁矿→磁黄铁矿→黄铁矿→黄铜矿);③ 矿石结构复杂,兼有沉积成岩组构(胶状、层纹状、条带状)和热液充填交代组构。在多个矿床的含铜黄铁矿矿石中发现残余的胶状黄铁矿矿石。

除以上地质证据外,在武山、新桥等矿床已有多个范围为350~320 Ma的Rb-Sr等时线年龄(黄铁矿),显示早石炭世的黄铁矿成矿期。此外,岩浆热液型铜-金矿石与层状黄铁矿石的成矿温度、硫同位素、稀土配分模式、铷锶比值等也有明显差别,说明两者是不同时期的成矿产物。

从目前已知的信息看,比较多的研究者认为,在长江中下游成矿带有海西期和燕山期两期成矿作用,而燕山期构造-岩浆活动对矿床的最终定位起主导作用。有待深入研究的问题有:① 对层状黄铁矿体的成因还有不同认识(热泉成因、热水喷流成因即SEDEX型成因及其他),对其形成的地质构造环境

和成矿机理有待深入研究;② 层状黄铁矿体中铜、金的来源和富集作用,是同生来源,或后生来源,还是多来源及其他也有待深入研究。

### 3 叠加成矿效应

(1)叠加成矿是造成多成因矿床的重要因素。代表性的矿床有白云鄂博稀土-铁-铌矿床、大宝山铁-多金属矿床、冬瓜山和狮子山铜多金属矿床等。由于我国特殊复杂的地质构造演化历史,多期多阶段的地质事件和相关成矿作用常出现在同一构造成矿带中,因而生成多成因矿床。

(2)由于多次矿化的叠加,矿质多重富集,所成矿床常呈较富、较大规模,即大型乃至超大型矿床。但在某些矿床中,在叠加成矿过程中也可造成某些矿质的流失,从而使矿石的质量降低。

(3)叠加成矿系统中由于成矿作用复杂而导致成矿物质的复杂多样,既有早期成矿物质,也有在后期带入的新的成矿物质(表2)。我国金属矿床中伴生组分多、难选冶矿石多,叠加成矿是一个重要原因。多元素伴生,这一方面提高了矿床的综合利用价值,另一方面也增加了矿石选冶难度。如世界著名的白云鄂博矿床,含有矿物170余种,而且一些矿物如黄河矿、包头矿、丁道衡矿和张培善矿等几十种矿物不仅是世界上首次发现,也是白云鄂博所独有。

(4)叠加成矿系统的结构构造比较复杂,如矿体的形态和产状、矿化分带、矿石的结构构造等。通常来讲,仅经过一次成矿作用形成的矿床其形态产状相对单一,如沉积矿床常表现为层状,而热液矿床最常见脉状矿体。叠加成因矿床因其成矿作用复杂性导致矿体形态的复杂特征,如大厂锡矿,既有泥盆纪

表2 叠加复合成矿系统中矿质的继承性与新生性			
Table 2 Successiveness and neogenesis of ore-forming materials in a superimposed metallogenic system			
类型	早期成矿组分	晚期成矿组分	矿床实例
I 早、晚矿质基本不一致	SnO <sub>2</sub> , Fe、Zn 的硫化物	Sb、Pb、Zn、W、As	大厂锡多金属矿
	石膏	Fe	鄂城程潮铁矿
II 早期矿质上新矿质的继承与叠加	Fe(REE?)	REE	白云鄂博铁-稀土矿
	Fe-Mn	Pb、Zn	玛瑙山锰矿
	MnCO <sub>3</sub>	MnS <sub>2</sub>	棠甘山锰矿
	黄铁矿	黄铜矿(方铅矿、闪锌矿)	建德岭后铜矿
	黄铁矿、菱铁矿、黄铜矿	辉钼矿、黄铜矿、白钨矿	大宝山铁-钨多金属矿
III 早期矿质的晚期相变	煤层	石墨	郴州鲁塘石墨矿



喷流沉积形成的层状矿体,也有与燕山期岩体侵位有关的脉状矿体。有时叠加成矿作用也会导致特殊的矿化分带,如粤北盆地大宝山矿床、华北地台北缘东升庙矿床等,都是在早期喷流沉积成矿之上叠加了晚期与岩浆热液有关的矿化,也就造成了矿化水平分带(喷流沉积)与垂向分带(岩浆热液)的复合。叠加成矿也常造成多种结构构造矿石同时出现在同一矿床(体)中,如沉积作用形成的细粒条带状、层纹状矿石与热液作用形成的粗粒角砾状、脉状、网脉状矿石共存于同一矿床(体)中。

需要指出的是,叠加成矿不仅表现为多成因金属矿床的形成,我国能源矿产也表现出叠加复合成矿特征。如我国的含油气盆地以经历多次构造与沉积叠加为特征,一般用“叠合盆地”去统称那些由两种或两种以上类型的原型盆地叠加或复合在一起的盆地。这些盆地的特性可概括为“多期成盆、多期改造、多套烃源岩、多次生排烃、多期运聚散”<sup>[19]</sup>。叠合盆地的发育,使得我国油气成藏作用也明显复杂化,如在冀东、彩南、二连等含油盆地中形成了独具特色的“混源油”。

## 4 叠加成矿的机理和控制因素

叠加成矿的机理指后期成矿如何叠加在早期成矿之上,通过对长江中下游、粤北盆地、南岭以及狼山等成矿区带的研究,初步认识到主要有以下的作用:氧化还原作用、气成热液作用(含充填、交代)、区域变质作用、动力变质作用、混合岩化作用、接触热变质作用、构造改造作用和有机质催化作用。

关于成矿系统叠加的控制因素有:

(1)稳定存在的地球化学场。在一些长期稳定存在的地球化学场中,可以多次供应所富含的某些成矿元素,发生多次浓集成矿,从而提供了在同一成矿场中两次(多次)成矿系统相互重叠的物质基础。例如南岭钨、锡地球化学省被认为是钨、锡多期成矿,包括加里东期、海西期、印支期和燕山期成矿的物质来源。

(2)成矿构造带(区)的重叠。每一成矿系统都产在一定的构造环境,称为成矿构造带。若早期成矿构造带又被晚期成矿构造重叠则可造成两个成矿系统的叠加。例如,早期为伸展构造体制如裂谷、裂陷盆地中的沉积(热水沉积)成矿系统,而当其有相当厚的充填堆积物并受深部作用制约上隆回返造山

时,可有深源岩浆热液成矿系统的叠加。又例如中国东部的北北东向构造带与近东西向构造带重叠时也会产生叠加成矿系统,如闽赣粤边界成矿区。

(3)构造-热点的长期存在,为多个成矿系统的形成提供了必要的热动力源。如古大陆边缘构造带一般都具有长期活动历史,陆块之间多次开合关闭,造盆与造山的多次更替,巨型断裂带的多次活动等,形成异常高的地热流,有较强的岩浆热,同时构造运动释放出大量能量。多种热源有利于维持一定规模的古地热异常场,成为驱动成矿物质运动、分异并汇聚成矿的区域热动力背景。

(4)同生断层的多期反复活动。通过对铜陵、大宝山等地同生矿床的研究及与国内外有关多成因成矿床的对比,发现同生断层既是海相沉积喷流矿床(SEDEX型等)的含矿流体通道和部分矿石堆积场地;当它在后期构造动力影响下又重新开裂活动时,又可作为后期岩浆热液的通路和岩浆体及相关矿床的就位场所(图1)。因此,一部分同生断层是沟通早、晚两期成矿叠加的媒介和纽带,对于沉积-改造型叠加矿床的产出起到重要的作用。

(5)早期成矿系统中某些层状矿床的矿石矿物组合可作为晚期含矿流体的地球化学障,从而有利于二者在空间上的重叠。例如,一些地层中的黄铁矿层,有较强的还原能力,当后来的含矿热液与其接触时平衡态失稳,有利于铜等元素的沉淀富集,形成黄铜矿和斑铜矿等矿物组合。长江中下游成矿带的层控铜-多金属矿床就有可能是这种成矿机制。

(6)保存条件良好。这有两层含义。早期成矿系统发生后,有较好的保存条件,并产在适当的深度;当后来成矿系统叠加其上共同形成多成因矿床后,又有良好的保存条件,因而能一直保存至今而被人们发现。

需要说明的是,上述几点原因并不完全,可根据研究进展再加以补充。再有,在自然界中以上几个因素完全具备的情况是少有的,因此叠加成矿系统相对于各单一成矿系统并不多见。

## 5 叠加成矿系统类型及时空分布

叠加成矿系统发生在地质过程复杂地区,包括壳幔作用活跃区,如古大陆边缘构造带、复合造山带、构造体系的叠加带和转换带等。在这些地带中,深成壳幔作用和浅表地质作用都频繁而显著,有多

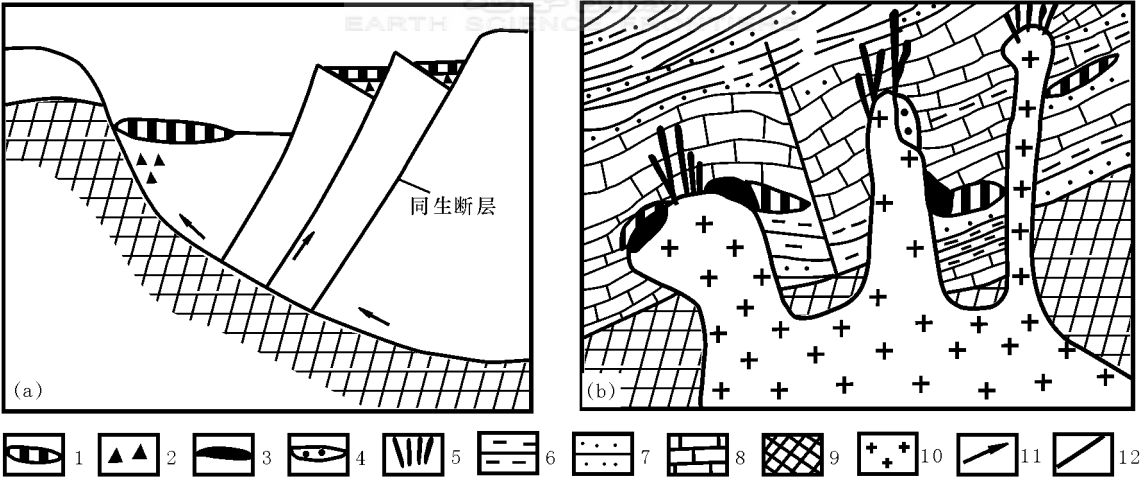


图 1 同生断层与叠加成矿

Fig. 1 Synsedimentary faults and superimposed mineralization

(a)—同生断层控制的喷流沉积层；(b)—同生断层后期再活动与叠加-改造成矿。1—沉积层；2—同沉积角砾岩；3—叠加改造型矿体；4—夕卡岩矿体；5—热液矿脉；6—泥岩；7—砂岩；8—碳酸盐岩；9—基底岩石；10—花岗岩类；11—热液流向；12—断层

旋回的构造、沉积、岩浆和变质作用,出现多种成矿环境和发生多期成矿作用。在早晚不同成矿地段的叠置地区就发生了先后不同成矿系统的叠加。

叠加成矿系统有多种组合类型(表 3),这是一种概念模型,其中沉积-岩浆热液叠加成矿是最常见的一种叠加成矿作用,可有多种组合形式(表 4)。从中国东部研究程度较高的成矿区带看,古生代的(热水-、火山-)沉积成矿系统与中生代(印支、燕山)岩浆-热液成矿系统的叠加复合情况是多见的(表 1,表 4)。其他的组合形式有待关注和进一步的研究。

表 3 叠加成矿系统的基本组合类型

Table 3 Basic combination types of superimposed metallogenic systems

早期成矿系统	晚期成矿系统				
	岩浆型	岩浆-热液型	广义沉积型	构造-热液型	风化型
岩浆型	●	●或○	?	●或○	●
岩浆-热液型	○	○	?	○	●
广义沉积型	○	●●●●	○	●	●
构造-热液型	○	○	?	○	●
沉积-变质型	○	○	?	○	●

注:●●●●—多见;●—确实;○—迹象;○—可能;?—不清楚或待查。

本文所称的沉积-岩浆热液叠合成矿系统中的沉积成矿系统是广义的,包括海相沉积和陆相沉积、火山沉积、热水沉积、蒸发沉积等岩系中的层状矿床及矿源层。这些矿床的形态结构是平面上展开,可达几 km<sup>2</sup> 到几十、几百 km<sup>2</sup>,占地广泛。当它们被

掩埋在地下,并受到后期岩浆-热液成矿系统的叠加时,则形成叠加成矿系统,据已知资料,这是最常见的一类叠加成矿作用类型。

早期为广义沉积类成矿系统,又受到后期构造-热液成矿系统的叠加,也是较常见的叠加成矿类型。例如,在华北地台北缘狼山成矿带的东升庙、炭窑口等矿床中,彭润民等发现层状 SEDEX 型 Pb-Zn 矿石中有后期黄铜矿-黄铁矿等热液型矿石的穿插或包裹,显示前后两期不同成因矿床的叠加作用<sup>[20]</sup>。

另一类叠加成矿系统是早期岩浆或岩浆-热液成矿系统+后期构造-热液成矿系统。可推断的例子有早期花岗岩类中的热液金矿床被后来的剪切带构造-热液金成矿系统叠加。在一些绿岩型金矿区中可能有这样的实例。

还有一些叠合成矿系统可能是早晚两期岩浆成矿系统的叠加。这在多旋回岩浆岩分布区有可能出现。如南岭地区广泛分布燕山期花岗岩,也有加里东期花岗岩和印支期花岗岩。据陈培荣研究,印支期花岗岩中富含铀,当该类花岗岩受后来燕山期花岗岩体侵入叠加时,可能生成燕山期花岗岩铀矿床<sup>[21]</sup>。也即印支期花岗岩型铀矿化与燕山期铀成矿作用的叠加。

这里要说明的是,成矿系统的叠加是广义的,既指早、晚两期矿床间的叠合,也包括早晚两期矿化系统之间的叠加。矿化系统既包括成型矿床,也包括

表 4 早期沉积-晚期岩浆叠加成矿系统的组合形式

Table 4 Combination type of superimposed metallogenic systems between early sedimentary and late magmatic mineralization

岩浆-热液 沉积-火山沉积	1. 太古宙	2. 元古宙	3. 古生代	4. 中生代	5. 新生代
A. 太古宙	?	○	○	⊙	○
B. 元古宙		?	●	●	○
C. 古生代			?	●●●	○
D. 中生代				●	●
E. 新生代					?

注:●●●—多见;●—确实;⊙—迹象;○—可能;?—不清楚或待查。A4—绿岩型金矿;B3—白云鄂博;B4—蒙甘山;C4—武山、铜官山、大宝山、羊腊、岭后;D4—程潮;D5—呷村;A2—BIF 的古老风化壳;A5,B5,C5—早期矿床的表生风化壳。

矿源层,矿胚等暂未达到工业指标要求的矿点。也即此处对成矿系统的理解是广义的。在一个成矿系统中,既包括工业矿床,也包括暂未达到工业要求的矿点、矿源层和矿化岩体等。随着时代前进,科技水平的提高,社会经济对某类矿产需要量大且科学技术能解决采选冶技术时,则该类矿源层、矿化体可升级为矿床和矿体。

6 结论与讨论

叠加成矿是复杂地质过程的一种具体表现,是一个地区内不同地质历史演化阶段不同成矿作用在同一空间上叠加复合而形成的。叠加成矿系统是这种复杂成矿作用的重要产物,成矿作用过程的复杂性造就了叠加成矿系统的复杂性,这种复杂性表现为成矿物质、矿石组构、矿体形态产状、矿床空间结构等多个方面。

形成叠加成矿系统的机理和控制因素是多种多样的,叠加成矿系统类型同样具有多样性特征,其中早期沉积(包括火山沉积和热水沉积)与后期岩浆热液的叠加最为普遍,这可能是由于沉积地层的广泛存在以及此类叠加成矿系统特征明显而相对容易识别造成的。随着矿产资源勘查开发的扩展和研究工作的深入,可以预期将会有更多的叠加成矿系统被我们逐步发现和了解。

成矿系统叠加一般发生在构造多旋回地区,常出现在古陆边缘构造带或陆内活化带。中国大陆由多个小陆块、经多期次拼接而成,同时由于我国地处

印澳板块、太平洋板块与欧亚板块的结合部位,这就造成我国大陆内部结构复杂、外部环境多样的复合大陆构造动力系统。“小陆块,多旋回”的大地构造演化特征决定了中国区域成矿的复杂性和多样性,叠加成矿系统的发育即是这种复杂性的一种具体体现。我国独特的大地构造环境使得中国大陆壳-幔作用频繁,多旋回的构造、沉积、岩浆活动发育,形成众多的多期次复合造山带、叠合盆地、继承盆地,具备发生多个成矿系统叠加的有利条件。这种叠加不仅表现为金属成矿系统,也表现为油气系统,叠加成矿系统发育是中国区域成矿特征之一,是中国地质

的一个特色。

叠加成矿系统虽已引起大家关注,但有关叠加成矿系统形成机制、控制因素、形成过程和主要类型等还需要更加深入的研究。主要的研究内容包括:(1)叠加成矿系统中早期矿化特征的恢复,可以考虑以详细的野外的观测结合同位素示踪等多种手段来进行;(2)叠加成矿的深部背景,以大地构造研究为主,综合区域的地质、地球物理、地球化学信息来探讨叠加成矿发生的深部原因;(3)与国外叠加成矿系统的对比研究,从中发现与我国叠加成矿系统的异同,全面深入认识叠加成矿作用;(4)新类型叠加成矿系统的发现,根据叠加成矿系统发育的条件和控制因素,有意识地预测和发现新的叠加成矿系统类型。

目前叠加成矿系统研究尚处在初步阶段,加强叠加成矿系统研究,进一步了解其发生的背景、机制以及作用过程,对于发展矿床学研究、深入认识中国



区域成矿特征和指导矿产勘查工作有重要的理论意义和实用价值。

## References:

- [1] Zhai Y S. Metallogenic system and its evolution: From preliminary practice to theoretical consideration[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2000, 25 (4): 333-339(in Chinese).
- [2] Lovering T S. Epigenetic, diagenetic, syngenetic, and lithogene deposits[J]. Economic Geology, 1963, 58(3): 315-331.
- [3] Tu G Z. Superimposition and reformation: A neglected ore-forming process[J]. Information of Geoscience and Technology of Hunan Province, 1975: 76-83(in Chinese).
- [4] Xu K Q, Zhu J C. Discussions on the genesis of sedimentary (or volcanic sedimentary)-hydrothermal superimposed Fe-Cu deposits in fault depressions in Southeastern China[J]. Fujian Geological Science and Technology Information, 1978, 4: 1-68(in Chinese).
- [5] Chen G D. Polygenetic compound ore deposits and their origin in the context of crustal evolution regularities[J]. Newsletter of the Geological Society of Hunan, 1979(2): 1-22(in Chinese).
- [6] Zhai Y S. Ore-forming controlling factors and ore-forming regularities[M]//Yuan J Q, Zhu S Q, Zhai Y S. Ore Deposit Geology. Beijing: Geological Publishing House, 1979: 428-430(in Chinese).
- [7] Zhai Y S, Yao S Z, Lin X D. Ore-forming features and metallogenic series of Fe-Cu deposits in the middle and lower reaches of the Yangtze River[G]// Geological Symposium of International Communication, No. 4. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 321-330(in Chinese).
- [8] Zhai Y S, Deng J, Peng R M. Problems pertaining to regional metallogeny of China[J]. Mineral Deposits, 1999, 18(4): 323-332(in Chinese).
- [9] Zhai Y S, Wang J P, Deng J, et al. Temporal-spatial evolution of metallogenic systems and its significance to mineral exploration[J]. Geoscience, 2008, 22 (2): 143-150 (in Chinese).
- [10] Song Z B, Wang X, Ren Y X, et al. Superimposed mineralization of Deer Ni-Co-Cu Deposit, East Kunlun Mountains, NW China[J]. Northwestern Geology, 2007, 40(4): 1-6(in Chinese).
- [11] Ren Y S, Su D K, Zhang J S. Superimposed mineralization of gold in Jiama copper-polymetallic deposit, Tibet[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2002, 32(3): 225-228(in Chinese).
- [12] Lei S H, Tang G Y, Qin Z Y. Geology and mineralization genesis of the Yindonggou silver-gold deposit, NW Hubei [J]. Geology and Prospecting, 1998, 34(4): 12-19(in Chinese).
- [13] Wang C M, Cheng Q M, Zhang S T, et al. Identification of superimposition of exhalative sedimentary and magmatic hydrothermal mineralization of Sn in the Da Hinggan Mountains, China [J]. Geophysical Research Abstracts, 2008, 10: 1607-7962/gra/EGU2008-A-02953.
- [14] Yang F, Liu L D, Chen G H, et al. Preliminary survey of late superimposed mineralization of Pingdu lode No. 1 gold deposit[J]. Gold, 2001, 22(5): 1-5(in Chinese).
- [15] Xu C D, Liu X, Qin D X. The space-time structure model of the Gejiu superlarge tin-copper-polymetallic deposit[J]. Yunnan Geology, 2006(4): 411-413(in Chinese).
- [16] Kirk J, Ruiz J, Chesley J. A major Archean, gold-and crust-forming event in the Kaapvaal craton, South Africa[J]. Science, 2002, 297: 1856-1858.
- [17] Perkins W G. Mount Isa copper orebodies[M]//Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea. Parkville: Australian Institute of Mining and Metallurgy, 1990: 935-941.
- [18] Gamyranin G N, Bortnikov N S, Prokofiev V Y, et al. Major gold and silver deposits of North-Eastern Russia: Descriptive models[C]// Andrew C J. Digging Deeper: Proceedings of the Ninth Biennial Meeting of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits. Dublin, Ireland, 2007: 633-636.
- [19] He D F, Zhao W Z, Lei Z, et al. Characteristics of composite petroleum systems of superimposed basins in China[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 23-37(in Chinese).
- [20] Peng R M, Zhai Y S, Wang J P, et al. Magmatic hydrothermal overprinting in the Mesoproterozoic Dongshengmiao deposit, Inner Mongolia: Geological and fluid inclusion evidences[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(1): 145-152.
- [21] Chen P R. Geodynamic setting of Mesozoic magmatism and its relationship to uranium metallogenesis in southeastern China[J]. Uranium Geology, 2004, 20(5): 266-270(in Chinese).

## 参考文献:

- [1] 翟裕生. 成矿系统及其演化——初步实践到理论思考[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(4): 333-339.
- [3] 涂光炽. 叠加与再造——被忽视了的成矿作用[J]. 湖南地质科技情报, 1975: 76-83.
- [4] 徐克勤, 朱金初. 我国东南部几个断裂拗陷带中沉积(或火山沉积)热液叠加类铁铜矿床成因的探讨[J]. 福建地质科技情报, 1978, 4: 1-68.



- [5] 陈国达. 从地壳演化规律看多成因复合矿床[J]. 湖南地质学会 会讯, 1979(2): 1-22.
- [6] 翟裕生. 成矿控制和成矿规律[M]//袁见齐, 朱上庆, 翟裕生. 矿床学. 北京: 地质出版社, 1979: 428-430.
- [7] 翟裕生, 姚书振, 林新多. 长江中下游地区铁铜矿床的成矿特征和成矿系列[G]//国际交流地质学论文集(4). 北京: 地质出版社, 1985: 321-330.
- [8] 翟裕生, 邓军, 彭润民. 中国区域成矿若干问题探讨[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 323-332.
- [9] 翟裕生, 王建平, 邓军, 等. 成矿系统时空演化及其找矿意义[J]. 现代地质, 2008, 22(2): 143-150.
- [10] 宋忠宝, 王轩, 任有祥, 等. 东昆仑德尔尼矿床中矿床(体)的叠加成矿作用研究[J]. 西北地质, 2007, 40(4): 1-6.
- [11] 任云生, 栗登逵, 张金树. 西藏甲马铜多金属矿床金的叠加成矿[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2002, 32(3): 225-228.
- [12] 雷世和, 唐桂英, 秦正永. 银洞沟银金矿矿床地质特征及成因探讨[J]. 地质与勘探, 1998, 34(4): 12-19.
- [14] 杨锋, 刘连登, 陈国华, 等. 平度 1 号脉金矿晚期叠加成矿初探[J]. 黄金, 2001, 22(5): 1-5.
- [15] 薛传东, 刘星, 秦德先. 个旧锡铜多金属矿床时空结构模型[J]. 云南地质, 2006(4): 411-413.
- [19] 何登发, 赵文智, 雷振, 等. 中国叠合型盆地复合含油气系统的基本特征[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 23-37.
- [21] 陈培荣. 华南东部中生代岩浆作用的动力学背景及其与铀成矿关系[J]. 铀矿地质, 2004, 20(5): 266-270.

## 《地学前缘》网上查询和浏览方法

### 方法一:

(1)登录中国地质大学(北京)网站,网址为:<http://www.cugb.edu.cn>

(2)点击首页右侧“特色网站”栏目下方的“地大(北京)期刊中心”选项

(3)在【刊物】选项选择《地学前缘》,通过篇名、作者、作者单位、关键词、中文摘要、全文、期号 7 个字段输入检索词,最后指定查询年限后点击【检索】按钮

### 方法二:

(1)登录中国地质大学(北京)网站,网址为:<http://www.cugb.edu.cn>

(2)点击首页上部【机构设置】按钮

(3)在“机构设置”中的“辅助单位”中点击“期刊中心”进入期刊中心简介页面

(4)点击【期刊查询】按钮,即可查阅摘要和全文

(5)检索同方法一的(3)步骤

### 方法三:

(1)登录中国地质大学(北京)网站,网址为:<http://www.cugb.edu.cn>

(2)点击首页上侧的【数字图书】按钮

(3)在“数字资源”栏目下方的友情链接中点击“地大(北京)期刊中心”进入地大(北京)期刊中心页面

(4)检索同方法一的(3)步骤

### 方法四:

(1)登录中国地质图书馆网站,网址为:<http://www.cgl.org.cn>

(2)点击首页右侧“资源导航”中的《地学前缘》

(3)在期刊浏览页面,当鼠标放在各期次上时出现该期主题名称,点击各期次可浏览 2006—1999 年各期目录,在目录中选择文章的 PDF 全文浏览文章全文

(4)需要检索服务,向下滚动期刊浏览页面点击 [http://dept.cugb.edu.cn/Science\\_web/qkzhx/display.asp](http://dept.cugb.edu.cn/Science_web/qkzhx/display.asp) 超链接查看详细信息

### 方法五:

(1)登录世界数据中心中国地质科学数据中心网站,网址为:<http://www.wdcgeo.net/>

(2)点击首页右侧“常用链接”中的《地学前缘》期刊

以下两步骤同方法四的(3)、(4)步骤

### 方法六:

(1)登录中国地质科学数据网的“国土资源科学数据共享地质科学数据节点”网站,网址为:<http://www.geoscience.cn/>

(2)点击首页下部“友情链接”中的《地学前缘》期刊

以下两步骤同方法四的(3)、(4)步骤

阅读全文需要安装 Acrobat Reader(PDF)软件