



地质矿产部重点学科生长点基金

“八五”国家和地质矿产部重点攻关项目基金

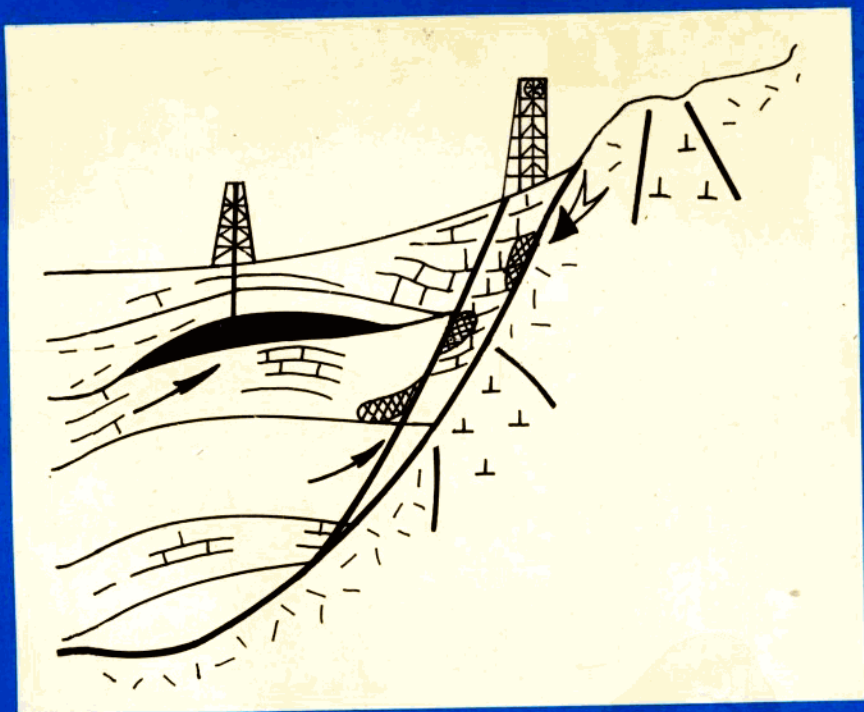
联合资助

中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室基金

生物-有机质-流体成矿系统

——以南京栖霞山铅锌银锰多金属矿床为例

谢树成 殷鸿福 著



中国地质大学出版社

地质矿产部重点学科生长点基金

“八五”国家和地质矿产部重点攻关项目基金

联合资助

中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室基金

生物-有机质-流体成矿系统

——以南京栖霞山铅锌银锰多金属矿床为例

谢树成 殷鸿福 著

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书从发展演化角度,以南京栖霞山铅锌银锰多金属矿床为重点解剖对象,系统地阐述了生物-有机质-流体成矿系统,包括其中的盆地-山脉构造演化子系统、生物-有机质-流体演化子系统和生物成矿作用演化子系统,将当今生物成矿作用与流体成矿作用这两大矿床学前沿结合起来研究。运用了诸多手段,从成矿流体中检测出系列生物标志化合物,为深入探讨区内油气矿床与金属矿床的成因联系奠定了基础,开辟了长江中下游层控多金属矿床研究的新方向。

本书内容丰富,资料翔实,思路新颖,可供从事地学类的科研、教学和生产人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

生物-有机质-流体成矿系统——以南京栖霞山铅锌银锰多金属矿床为例/谢树成,殷鸿福著. —武汉:中国地质大学出版社,1997.9

ISBN 7-5625-1214-0

I. 生…

II. 1 谢…2 殷…

III. 生物-有机质-流体-成矿系统

N. P611

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 李继英 责任校对 冯汉英

印 刷 武汉测绘院印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 8.875 字数 230 千字 图版 2

1997年9月第1版 1997年9月第1次印刷 印数 1—300册

定价: 15.00 元

序

《生物-有机质-流体成矿系统——以南京栖霞山铅锌银锰多金属矿床为例》一书是谢树成博士在殷鸿福院士指导下完成的学位论文，它不是一般的论文，而是一份高水平的科研成果。

作者着眼于当今矿床学领域的前沿，以生物-有机质-流体成矿系统的理论为指导，在区域成矿地质背景分析的基础上，深入研究了栖霞山多金属矿床的成矿作用，通过系统的有机地球化学、稀土和微量元素地球化学以及矿物包裹体的分析，基本查明了成矿流体的性质和来源以及不同时代地层对成矿的贡献，提出了成矿物质和成矿流体多来源以及它们的耦合作用（如去白云岩化过程中演变成的含矿流体与有机流体的耦合）是矿质沉淀富集的关键的认识。特别是作者采用了多项先进的新技术，系统而深入地研究了矿床中的有机包裹体，表明它们随着区域地质的发展和成矿作用的进行而演化，并发现了铅锌矿石的生物标志化合物组成，指出了菌藻类植物在成矿中的重要意义。这些成果大大地丰富了该类层控矿床生物标志物研究的内容，为生物-有机质成矿作用提供了有意义的信息。它代表我国层控矿床有机质研究的新方向和新水平。在上述成矿作用分析的基础上，作者综合区域和矿床的地质演化特点，并结合藻类-有机质-流体对金的成矿模拟实验，分析了成矿物质的活化、转移和沉淀的机制，建立了成矿系统的三个子系统的作用模式，提出了一套比较完整的理论体系，把这类层控矿床的研究推向一个新高度。

栖霞山多金属矿床在长江中下游成矿带的众多矿床中以岩浆活动微弱而独具特色，把它作为研究该成矿带层控矿床中生物成矿和流体成矿作用的突破口，无疑是正确的选择。上述成果中有一些观点，在以往不同研究者的论著中也不同程度地有所反映（如关于成矿物质与含矿溶液的多来源观点，上升水、地层水乃至下降水汇合的观点），但能通过大量实际材料和数据，提出令人信服的科学结论者则首推本书。同时本书还通过栖霞山这一典型矿床的解剖，进而分析了长江中下游C—P—T地层控矿的实质，提出了有机质流体、岩浆作用和构造作用等因素对不同矿种和不同类型矿床的不同控制意义，既强调了有机质流体的重要作用，又客观地全面评估了其他因素的贡献，因而比较切合实际情况，这对于进一步深入开展长江中下游地区成矿分析研究，提供了新的思路和方向，对于该区的找矿工作也有实际指导意义。

总之，本书在多金属矿床生物-有机质-流体成矿领域，已作出了开拓性的贡献。相信它的出版将会受到我国矿床学界的欢迎，并将在这一领域中起促进作用。同时期待作者在已开辟的道路上继续前进，取得更为灿烂的成就。

常印佛

前 言

长江中下游是我国的一个重要工业走廊,经过广大地质工作者的艰苦工作,发现了大量矿产资源,在此基础上已建成十多个大中型钢铁、有色、化工及建材工业基地,构成本区的重要经济支柱。有关这一区域的成矿地质环境、成矿系统、成矿规律、成矿模式、矿床类型和典型矿床等前人都作了系统的研究。尽管本区地质矿产研究很深入,但过去的研究多从岩浆构造成矿的角度进行,仍有不少问题有待完善。一个重要的问题是,在如此广大地区的巨厚盖层中,为什么矿床偏偏赋存于C—P—T这些含油气的碳酸盐岩地层中,而同样是碳酸盐岩的Z—O地层却很少有矿。尽管区内与之有关的沉积、层控、热液叠加已有众多的论述,但地层控矿的实质还是言犹未尽。除了地层的岩性、岩相等性质以外,是否有更重要的地层因素在影响或控制成矿。

与区内有关金属矿床的研究报告、论文纷纷发表的同时,一份份有关长江中下游地区C—P—T油气资源的研究成果不断涌现。这些研究成果都强调本区的油气资源强烈受到与形成金属矿有关的岩浆、构造的改造和破坏。金属矿和油气大有鱼和熊掌不可兼得之势。反过来想,这些岩浆在侵位并成矿过程中也必受到油气的影响。近年流体的研究证实了受岩浆驱动的流体成分主要取决于流体与途经岩石的反应,如此,本区的油气与金属矿床是否有关联。涂光炽先生多次强调了油气矿床和活泼改造型金属矿床的空间和成因联系。

与此同时,以殷鸿福院士为首的生物成矿作用科研组多次讨论酝酿生物成矿作用的研究进展、方向和问题,并由此产生了生物-有机质-流体成矿系统的思想,认为生物、有机质、有机流体成矿作用是相互联系的,是随其他地质作用的发展而发展演化的,但在不同矿床或同一矿床的不同成矿阶段三者的重要性和表现形式是不一样的。该思想最早于1994年《科学》期刊上提出,以后陆续于《地质前缘》和《沉积和层控金矿床的生物成矿作用》上提及,1996年于《当代地质科学技术进展(1995)》上系统论述了这一生物成矿作用的研究思想体系。笔者就是在这种思想指导下对长江中下游地区宁镇山脉的栖霞山多金属矿床进行工作,并进一步来探讨地层的控矿问题的。

研究工作自1992年开始,同年对长江中下游地区的赣西北、铜陵一带的矿床进行工作,1993年在鄂东南一带收集资料,1994—1995年在南京栖霞山矿床进行工作。几年来,为了利用诸多先进手段进行生物成矿作用这一前沿学科的研究,笔者先后赴以下单位完成了有关测试分析。在中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室完成了有机抽提,色谱-质谱(GC-MS)及热模拟实验,利用其中的共聚焦激光扫描显微镜(CLSM)完成了矿石中有机质赋存状态的研究。在清华大学进行了单个有机包裹体的显微傅利叶红外光谱(Micro-FTIR)分析。质子探针分析(PIXE)由上海复旦大学核物理系完成。桂林有色金属工业总公司矿产地质研究院完成了包裹体的成分及同位素分析。有机抽提物的傅利叶红外分析由武汉化工学院测试中心完成。稀土元素分析由湖北省地质研究实验室完成。中国地质大学(武汉)测试中心完成单个有机包裹体的荧光光谱、镜质体反射率及部分碳氮同位素分析;资源学院矿床教研室完成包裹体的均一温度和冰点测试;地球化学研究所完成轻烃分析及成矿元素测试。

本书是在详细的野外工作和室内的诸多测试分析基础上,以生物-有机质-流体成矿系统思想为指导编写成的。主要内容如下:第一章对生物-有机质-流体成矿系统作一简单的介绍,并从面上分析了长江中下游地区C—P—T层控多金属矿床中存在生物-有机质-流体成矿作用的迹象。从第二章开始选择长江中下游地区的南京栖霞山作点上的解剖,并按成矿系统的三大子系统依次展开。第二章介绍了南京栖霞山多金属矿床的基本特征,并讨论了成矿系统的第一个子系统——山-盆构造演化子系统,为下面几章另外两个子系统的研究打下基础。第三章着重分析了矿床的无机地球化学,讨论了区内地层对矿床形成的贡献,这是后两个子系统研究必须涉及的问题。第四章和第五章是介绍成矿系统的第二子系统——生物-有机质-流体演化子系统。第六章是介绍成矿系统的第三个子系统——生物成矿作用演化子系统,最后又从点上研究回到面上去说明问题。

研究工作得到了地质矿产部重点学科生长点基金、八五国家级和地质矿产部重点攻关项目基金和中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室基金的资助,得到了栖霞山铅锌银矿和有色金属工业总公司810地质队^①的协助。本书承蒙叶连俊院士、常印佛院士、杨遵仪院士、刘宝瑞院士、翟裕生教授、李任伟研究员、张文淮教授、周修高教授、胡明安副教授、鲍征宇教授、陈建渝教授、盛国英研究员等的审阅,并提出了宝贵的意见,在此一并致谢。

笔 者

① 以下简称有色810队

目 录

第一章 生物-有机质-流体成矿系统参与形成长江中下游某些 C—P—T 层控多金属矿床的迹象	(1)
§ 1.1 研究思想体系——生物-有机质-流体 (OOF) 成矿系统	(1)
1.1.1 问题的提出	(1)
1.1.2 研究思路	(1)
1.1.3 研究内容	(2)
1.1.4 系统的一些成矿作用	(4)
1.1.5 成矿系统的表现形式	(4)
§ 1.2 长江中下游地区 C—P—T 层控多金属矿床的生物-有机质-流体成矿作用迹象	(5)
1.2.1 沉积-成岩期生物、有机质成矿作用迹象	(5)
1.2.2 热液成矿期的有机质、含有机质流体参与作用的迹象	(6)
第二章 矿床基本特征及山-盆构造演化	(13)
§ 2.1 矿区地质	(13)
2.1.1 地层	(14)
2.1.2 构造	(14)
2.1.3 岩浆岩	(18)
§ 2.2 矿床特征	(18)
2.2.1 矿体规模、形态、产状	(18)
2.2.2 矿石矿物成分、结构构造、矿石类型、围岩蚀变	(18)
2.2.3 控矿地质因素	(18)
2.2.4 成矿期次和成矿阶段	(19)
2.2.5 矿床成因	(19)
§ 2.3 山-盆构造演化	(22)
2.3.1 活动带发展阶段	(23)
2.3.2 准地台发展阶段	(23)
2.3.3 大陆边缘活动带阶段	(25)
第三章 稀土元素、微量元素及同位素地球化学	(28)
§ 3.1 稀土元素地球化学	(28)
3.1.1 区内各地质体稀土标准化模式曲线	(28)
3.1.2 稀土参数	(34)
3.1.3 稀土图解分析	(35)
3.1.4 聚类分析	(37)
§ 3.2 微量元素和同位素地球化学	(40)
3.2.1 微量元素地球化学	(40)

3.2.2 铅同位素地球化学	(44)
第四章 矿床生物、有机质地球化学特征	(46)
§ 4.1 区域地层生物群特征及矿化生物类别	(46)
4.1.1 宁镇地区各主要地层中的生物群特征	(46)
4.1.2 矿化生物特征	(46)
§ 4.2 区域地层有机质特征	(47)
4.2.1 地层有机碳含量、氯仿沥青“A”等特征	(47)
4.2.2 有机质的成熟度	(49)
§ 4.3 矿床有机地球化学	(51)
4.3.1 可溶有机质的研究方法及其条件	(52)
4.3.2 氯仿沥青“A”及族组分特征	(53)
4.3.3 生物标志化合物——烷烃	(53)
4.3.4 非烃和沥青质的红外光谱特征	(63)
4.3.5 有机质成熟度	(65)
4.3.6 小结	(73)
第五章 成矿流体特征	(74)
§ 5.1 流体包裹体的类型	(74)
§ 5.2 流体包裹体的无机成分	(75)
§ 5.3 有机包裹体的光学和谱学特征	(79)
5.3.1 有机包裹体的光学特征	(80)
5.3.2 有机包裹体的谱学特征	(81)
§ 5.4 有机包裹体的成分	(85)
5.4.1 有机包裹体的氯仿沥青“A”及族组成	(85)
5.4.2 有机包裹体中的生物标志化合物——烷烃	(85)
5.4.3 有机包裹体中非烃和沥青质的红外光谱特征	(88)
§ 5.5 流体包裹体的其他物化特征	(89)
5.5.1 成矿流体的温度、盐度和密度等物理特征	(89)
5.5.2 成矿流体的化学特征	(91)
§ 5.6 成矿流体的同位素特征	(93)
5.6.1 矿物的碳、氧、硫同位素	(93)
5.6.2 流体包裹体的碳、氢、氧同位素	(95)
5.6.3 成矿流体的水/岩比值	(97)
5.6.4 小结	(98)
第六章 生物-有机质-流体成矿系统的作用	(100)
§ 6.1 生物-有机质-流体成矿作用的证据及方式	(100)
6.1.1 轻烃组分与 Cu、Pb、Zn 等成矿元素的关系——活化迁移作用证据之一	(100)
6.1.2 质子探针分析——活化迁移作用证据之二	(101)
6.1.3 Cu、Pb、Zn 等成矿元素与有机碳的关系——还原沉淀作用证据	(105)
§ 6.2 藻类-有机质-流体对金和铅锌的成矿作用实验模拟	(109)

6.2.1	材料和方法	(109)
6.2.2	含金软丝藻转变为有机质、流体时金的分配情况	(110)
6.2.3	金等成矿元素在有机质中的结合状态	(113)
§ 6.3	系统的作用模式	(117)
6.3.1	三个子系统的相互作用	(117)
6.3.2	与南北油气田的关系	(117)
§ 6.4	生物-有机质-流体成矿系统的归结	(121)
6.4.1	长江中下游地层控矿的实质	(121)
6.4.2	岩浆作用、构造作用为有机成矿作用创造条件	(122)
6.4.3	不同矿种成矿作用的差异	(122)
6.4.4	找矿方向探讨	(123)
结束语		(125)
参考文献		(126)
外文摘要		(129)
图版说明及图版		(131)

CONTENTS

Chapter 1	Metallogenetic system of organism-organic matter-fluid involving in the strata-bound polymetallic deposits of C—P—T in Lower and Middle Yangtze Valley	(1)
1.1	Ideology for the Research—Metallogenetic system of organism-organic matter-fluid	(1)
1.2	Indication of the metallogenetic system involving in the deposits in Lower and Middle Yangtze Valley	(5)
Chapter 2	General characteristics of Qixiashan deposit in the valley and the structural evolution of orogen-basin	(13)
2.1	Geology of the ore region	(13)
2.2	Characteristics of the deposit	(18)
2.3	Structural evolution of orogen-basin	(22)
Chapter 3	Geochemistry of ores and rocks in the ore region	(28)
3.1	Rare earth elements geochemistry	(28)
3.2	Geochemistry of trace elements and isotope	(40)
Chapter 4	Organism features and organic geochemistry of the deposit	(46)
4.1	Organisms in the rocks and ores	(46)
4.2	Organic geochemistry in the strata in the region	(47)
4.3	Organic geochemistry in the deposit	(51)
Chapter 5	The ore-forming fluid properties	(74)
5.1	Types of the fluid inclusions	(74)
5.2	Inorganic component of the fluid inclusions	(75)
5.3	Optical and spectral characteristics of the hydrocarbon inclusions	(79)
5.4	Component of the hydrocarbon inclusions	(85)
5.5	Other physical and chemical properties of the fluid	(89)
5.6	Isotopic geochemistry of the fluid	(93)
Chapter 6	Roles of the metallogenetic system of organism-organic matter-fluid	(100)
6.1	Metallogenic indication and patterns of the system involving in the deposit	(100)
6.2	Metallogenic simulation of the system	(109)
6.3	Model of the metallogenetic system of organism-organic matter-fluid	(117)
6.4	Summary and application of the metallogenetic system	(121)
Conclusion		(125)
References		(126)
English Summary		(129)
Plate explanation and plates		(131)

第一章 生物-有机质-流体成矿系统 参与形成长江中下游某些 C—P—T 层控多金属矿床的迹象

§ 1.1 研究思想体系——生物-有机质-流体 (OOF) 成矿系统

1.1.1 问题的提出

生物工程的进展,不但在农业、医学、生命科学等领域取得突破,在矿业领域也已有应用,包括生物成矿学、生物选矿技术以及生物找矿技术。生物成矿学说最早由 Seebenthal 于 1915 年提出,但直到 60 年代才引起较多学者的关注。近 30 多年来,很多学者纷纷投入这方面的研究,前期偏重于有机质成矿作用研究,代表性学者有 Saxby、Barton、Macqueen、梶原良道、涂光炽、傅家谟等;后期在研究生物体成矿作用方面有所加强,代表性学者有 Watterson、Nealson、Krumbein、Reimer、叶连俊、刘志礼、陆元法、张爱云等,尽管这一多学科的前沿研究取得了一些进展,但突破性工作却不多。生物成矿作用研究的突破固然与研究手段等硬件的改进有很大关系,但更重要的是要有能反映客观实际的思想体系等软件的指导。回顾生物成矿作用研究历史,可以发现,许多研究往往把生物的作用与有机质的作用分割孤立起来,生物成矿作用的研究缺乏完整的思想体系。

一些矿床的生物地球化学和有机地球化学研究表明,生物、有机质、有机流体都能积极地参与矿床的形成,随着生物演变成有机质再进而演变成富含有机质的流体,生物成矿作用也由活生物体的成矿作用发展为有机质的成矿作用,进而发展为有机流体的成矿作用,这些成矿作用是互有联系、相互贯穿、承前启后,而不是孤立的,这就随其他地质作用的进行(沉积→成岩→造山)构成了生物-有机质-流体 (OOF) 成矿系统,这就是本书的研究思想体系。

1.1.2 研究思路

本书就是以生物-有机质-流体成矿系统为指导,采用某些高精尖手段如显微傅利叶红外转换光谱仪 (Micro-FTIR)、色谱-质谱联用仪 (GC-MS)、共聚焦激光扫描显微镜 (CLSM)、质子探针 (PIXE) 等来研究生物成矿作用。

生物-有机质-流体成矿系统是以发展和联系的观点来研究生物成矿作用的演化,系统地研究随山-盆体系的构造演化以及生物-有机质-流体的演化,生物成矿作用如何从活生物体的作用转化为有机质乃至有机流体的作用,即重点在演化。一个完整的生物-有机质-流体成矿系统的研究,必须涉及以下三个子系统 (表 1-1),即山-盆构造演化子系统 (子系统 1),生物-有机质-流体演化子系统 (子系统 2) 和生物成矿作用演化子系统 (子系统 3)。山-盆构造演化子系统着眼于成矿系统中的无机组分及地质背景,生物-有机质-流体演化子系统着眼于其有机组分,而生物成矿作用演化子系统,则是系统中无机组分与有机组分相互作用的结果,并

借助于成矿元素的散、集、动、定表现出来。

表 1-1 研究总思路

系 统	子 系 统	研究因素	成矿系统模拟
生物 ↓ 有机质 ↓ 流体 成 矿 系 统	1. 盆地-造山带演化子系统 2. 生物-有机质-流体演化子系统 3. 生物成矿作用演化子系统	生 物 有机质 流 体 成矿元素	

生物-有机质-流体成矿系统的一个完整成矿过程可归纳为：原始盆地接受沉积时，生物的风化侵蚀作用、生物的沉积作用对成矿物质实行预富集；成岩过程中生物转化为各类有机质，形成含有机质流体，对金属成矿物质存在溶解、活化、富集作用。在造山运动或盆地压实埋深过程中，流体在盆地-造山带体系或盆地内运移、循环，萃取并携带大量的成矿物质；各种不同流体的汇合（如盆地中的含有机质流体、造山带或山脉中富含成矿元素的流体）或某种流体的不断演化，最终在有利的构造部位和一定的物理化学条件下形成了矿床。其中的一些生物成矿作用（如生物风化侵蚀作用、生物沉积作用等）是矿床形成的基础（即形成矿源层），而盆地排出的含有机质流体、造山带或山脉中富含金属成矿元素的流体等的汇合、演化，以及某些生物成矿作用（如有机质的还原、吸附作用），是盆地边缘某些大型金属矿床形成的主要原因。

流体不仅是系统中物质、能量转换的媒体，而且是各种生物成矿作用相互贯穿的纽带。生物风化侵蚀作用淋滤出来的成矿元素，须借助于流体进行迁移、富集；生物沉积作用、生物成岩作用形成的矿源层须靠流体作用进一步聚集成矿等等。因此，流体的运动学和动力学机制以及含有机质流体中有机质的热力学性质是成矿系统模拟的基础，这方面的研究可借鉴油气运移的研究方法。

有机流体与无机流体有很多差异，对成矿而言，它们之间存在一个重大的差异是，有机流体随温度的变化而有两种完全相反的作用，即：在温度较低情况下，有机流体中的有机质往往富含羟基（—OH）、羧基（—COOH）、氨基（—NH₂）、氢硫基（—SH）等官能团，它们对金属成矿物质有活化和迁移作用；在运移过程中，当受到热作用（如岩浆作用或与其他热流体混合等）而使温度升高时，流体中的有机质就会分解成还原性气体（如 CH₄、C₂H₆ 等），从而对成矿物质又起还原沉淀作用。

1.1.3 研究内容

生物-有机质-流体成矿系统的研究，不同于对三个子系统的孤立研究，而主要研究这三个子系统的相互作用、相互影响，这样本成矿系统的主要研究内容如图 1-1 所示。

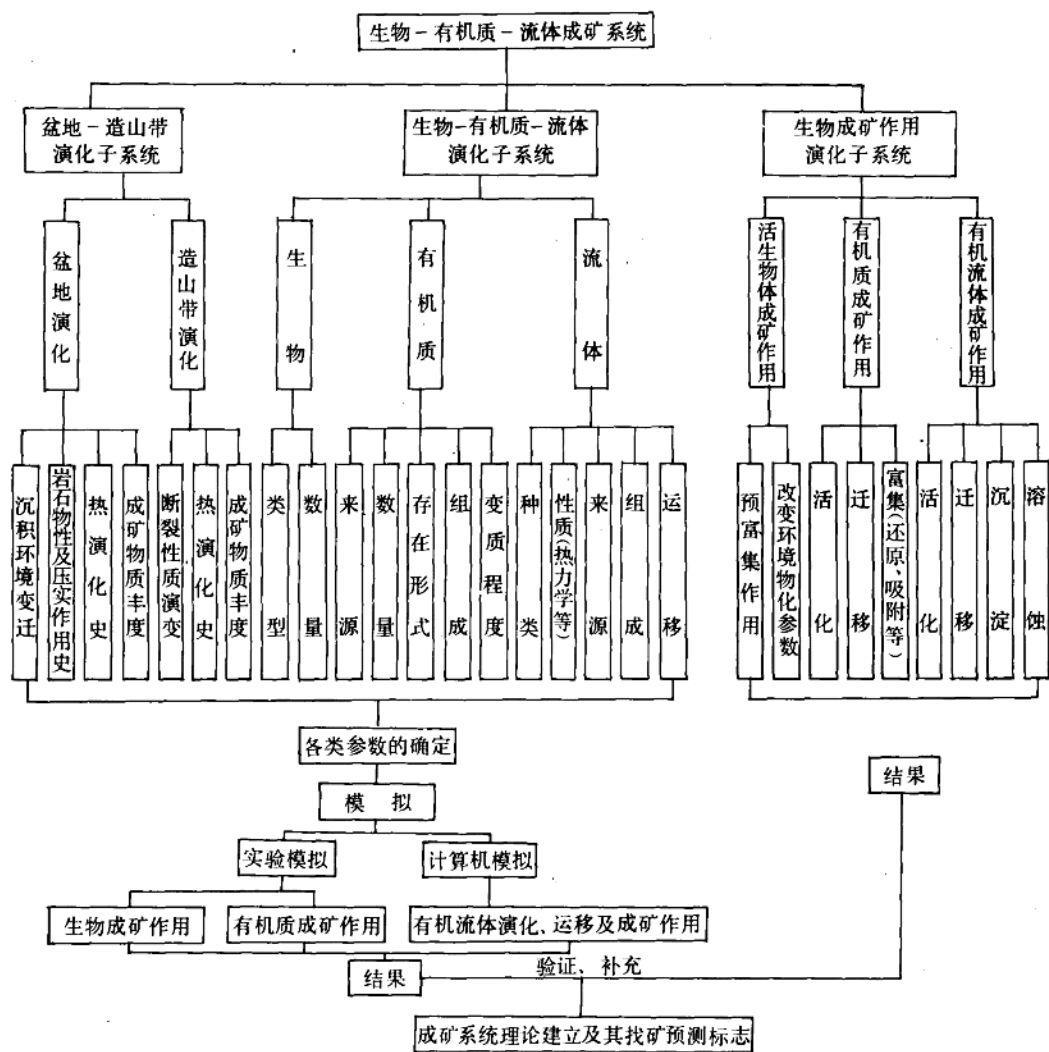


图 1-1 生物-有机质-流体成矿系统研究内容

1.1.4 系统的一些成矿作用

生物-有机质-流体成矿系统中的成矿作用是丰富多采的。就活生物体而言,其成矿作用的方式是多样的,它可以通过直接聚集成矿元素而成矿,也可以通过改变环境物化条件的方式成矿,还可以通过新陈代谢作用把元素从一种状态转变成另一种状态而参与成矿。就铜铅锌硫化物矿床而言,微生物的作用能够还原硫酸盐或代谢有机硫化物而提供硫化氢。其次,许多微生物(如真菌的孢子和菌丝)能够通过吸收作用而为矿源层提供数量可观的铜铅锌,例如,点青霉菌吸收铜的量可达80mg/g干菌体,这方面微生物成矿作用最直接的观察来自现代洋底的热泉喷口附近,在这些地方,生活着摄取从喷口喷出的铜铅锌等金属的微生物。

生物死亡后转变成各种有机质,而有机质又能以各种方式参与许多矿床的形成。由于有机质热稳定性低,尽管许多变质程度较高的金属矿床中,有机质含量很低,但有机质在成矿过程中的作用应远比我们所认识的大得多。有机质所具有的一系列性质如胶体性、还原性、络合性、吸附性等为它在成矿元素的活化、迁移及聚集成矿诸方面起重要作用奠定了基础。在成矿元素活化方面,腐殖酸、氨基酸等起主要作用,因为它们具有能与一系列金属元素形成高稳定性螯合物的官能团,如羧基、羟基或氨基等。有机质参与成矿元素的迁移至少有两种形式,一是以胶体形式,二是以金属有机络合物形式。卢家烂(1986)的实验表明,国内外一些层控铅锌矿床的形成中锌以锌-有机络合物迁移是可能的。有机质在成矿元素最后聚集成矿中也有多方面的作用,有机质本身的吸附作用就能富集许多元素。另外,有机质的还原作用可使许多元素沉淀下来,贾蓉芬(1989)研究证实,当有机质反射率 $R_0 > 2.0\%$ 时,有机质对成矿元素主要起还原作用。比较重要的是,有机质的放热反应还能层控矿床的形成提供部分热源。

有机质在各种地质作用下,将发生两极分化,一部分由于热降解而生成 H_2O 、 CO_2 、 N_2 、 H_2S 、 CH_4 及其他气态和液态烃类,另一部分则在热解的同时缩聚成含碳率更高、分子量更大的产物。前者实际上是一种含有机质流体,流体由于具有对地质体的物质和能量实行再分配的功能,所以了解流体的活动早已是地质学中一个重要课题。在以往的研究中,对来自变质反应、岩浆和上地幔等无机流体较为重视。其实,含有机质流体作为一种特殊的流体也在许多地质过程中起重要作用,许多低温地球化学过程就是在含有机质流体参与下进行的。近年来的研究表明,受岩浆驱动的热流体体系的化学组成和性质,部分取决于流体源成分,但主要受流体与其流经的岩石相互作用的影响,这种流体流经富碳地层时无疑会成为富有机质的流体。流体的形成方式是多种多样的,而其参与成矿作用的方式也是多变的。许多有机质成矿作用就是通过流体而发生的,金属矿床中一些含有机质的成矿流体既能活化、迁移成矿元素,也能还原沉淀成矿元素,即使是同一种流体,在其不同的演化阶段可以起不同的甚至完全相反的作用。有趣的是,富有机质流体还可以造成裂隙,在东海含油砂层中,砂的含油孔隙主要是石英、长石颗粒受成岩期含有机酸流体溶蚀造成的,有机酸在80~120℃对石英等颗粒有巨大的溶蚀作用。

1.1.5 成矿系统的表现形式

生物-有机质-流体成矿系统常见于盆地或盆地-山脉中,表现在某些金属矿床与生物礁、黑色岩系的密切联系以及油气矿床和某些金属矿床的空间联系上。美国、加拿大、日本国、俄罗斯、阿根廷、索马里等存在油气矿床与某些金属矿床的空间相邻关系。在我国的一些含油

气盆地边缘的造山带中也发现了类似的金属矿床。分布于桂北和桂中东部的泥盆系层控铅锌矿带与其南的桂中泥盆系含油气区相邻,湘南地区铅锌矿与油气也有类似的分布。像这样出现的金属矿床涉及到的矿种有Cu、Pb、Zn、Sb、Hg、Au、U、Mo、Ag等,而且这些矿床常是大型或特大型的。这两类矿床相伴出现的现象有其内在成因上的联系,与生物-有机质-流体成矿系统的作用分不开,因为:

(1) 在原始盆地接受沉积时,一方面沉积了大量生物物质,为油气形成奠定了基础,另一方面由于生物、有机质对金属成矿物质存在预富集作用,又为金属矿床的形成提供了物质基础。这体现在生油岩和某些层控矿床矿源层的相似性上,它们常常是富含腐泥型有机质(而非腐殖型的)的黑色岩系。如华南的下寒武统和泥盆系等。

(2) 在成岩过程中,生物转化为有机质、有机流体,对金属成矿物质存在溶解、萃取、富集作用。

(3) 在原始盆地造山同时在山脉边缘形成新盆地过程中,有机流体在各种动力源(热源、压力源及势能)作用下,从盆地中心及山脉向盆地边缘迁移并发生各种地质作用,此过程流体携带大量成矿物质,对金属成矿物质存在迁移作用,并逐渐形成富含金属的流体;同时新盆地又在沉积大量生物物质,为有机流体的再次形成奠定基础。这些作用体现在两类矿床物质组成的“你中有我,我中有你”现象上,即,一方面在油田中存在富含金属的卤水,另一方面在许多层控矿床中检测出了含烃类流体,类似于油田卤水。

(4) 各种不同流体(如油气盆地的有机流体、山脉富含金属的流体等)的汇合或同一种流体的不断演化,最终导致一系列矿床的形成,出现油气矿床与金属矿床相伴的现象。这体现在两类矿床控矿构造的相似性、成矿温度的接近性以及生储盖组合与源容盖组合的相似性上。

因此,随着地质作用的不断发展演化(沉积→成岩→造山),生物成矿作用也在不断地演化(生物的→有机质的→含有机质流体的),从而构成了生物成矿作用演化子系统。在不同阶段或不同矿床,生物、有机质、含有机质流体所起作用的重要性和表现形式是不一样的。

§ 1.2 长江中下游地区 C—P—T 层控多金属矿床的 生物-有机质-流体成矿作用迹象

尽管长江中下游地区 C—P—T 层控多金属矿床的形成与岩浆作用密不可分,但这些金属矿床所具有的沉积改造特征也成为众多专家的共识(常印佛, 1991; 翟裕生等, 1992; 徐克勤, 1980; 李文达, 1989; 刘裕庆等, 1991; 季绍新等, 1986; 王道华等, 1987; 岳文渐等, 1986)。一些迹象表明,在沉积成矿期间,生物、有机质曾参与成矿作用,而在改造成矿阶段,有机质及含有机质流体曾参与矿床的形成。

1.2.1 沉积-成岩期生物、有机质成矿作用迹象

在沉积-成岩期,生物、有机质参与成矿作用的迹象表现在以下几个方面。

1. 某些地层的矿化与有机质、藻纹层有关

从黄石至武穴,沿长江两岸形成长逾 70km 的层控铅锌(银)矿带,赋矿围岩均为下三叠统,铅锌矿化与有机质关系密切,具体表现在大冶县黄金山。黄金山铅锌矿化带位于萨布哈与泻湖的交接部位,其铅锌矿的特征及同位素年龄均说明是沉积形成的,并且富集在富含有

机质、黄铁矿的胶结物中。在黄金山一带，大冶组 $T_1dy^4-T_1dy^5$ 岩层中普遍发育有藻粘结岩-层纹石灰岩，是一种萨布哈在退积过程中所形成的藻席层，金属的沉积与藻席的发育关系十分密切，表明了泻湖相中金属的预富集与藻生物及其产生的有机质关系密切。

2. 一些矿床或地层存在金属矿物的生物组构

在安徽铜陵冬瓜山矿体的顶板发育了一系列的杆菌（图版 I，1）以及一些矿化的生物如有孔虫等（图版 I，2）。某些有孔虫的壳体本身是颗粒状碳酸钙成分，内部充填有胶状的黄铁矿及有机质，而壳体外侧则是结晶状黄铁矿，有孔虫壳体内不同状态黄铁矿的存在，表明了生物对黄铁矿的作用，壳内胶状黄铁矿应是细菌及有机质作用的结果，而壳外的结晶状黄铁矿则可能是热液成因的。有些有孔虫壳并非是碳酸钙成分，而是发生了黄铁矿化（图版 I，2），黄铁矿的生长方向是从壳体向外生长的，尽管这种黄铁矿化生物并不一定是沉积-成岩期形成的，但它至少说明了生物的存在对黄铁矿等硫化物的沉淀起了作用。一些矿床中还存在矿化的鲕状结构，如城门山铜矿、大冶铁矿等，这种结构的形成与藻类的作用有关。另外还存在一些生物成因的矿物（图版 I，3）。

3. 结核状、草莓状黄铁矿的存在

尽管生物在预富集铜方面的作用不大，但生物为后期铜的沉淀提供了沉淀剂——黄铁矿。许多矿床及地层中都存在细菌成因的结核状、草莓状黄铁矿。有关草莓状黄铁矿的成因问题许多学者都作过深入的探讨，它既可以是无机成因也可以是有机成因的。目前看来，黑色岩系中成岩期形成的草莓状黄铁矿往往与细菌的作用有关，一些这样的莓球体中可以分离出细菌来。因此本区一些含碳较高地层或矿床中发育的草莓状黄铁矿可能与细菌作用有关。硫同位素资料也证实了这点，这些黄铁矿常常强烈富集轻硫，其 $\delta^{34}S$ 值为 $-17.55\% \sim -44.72\%$ （岳文浙等，1993）。另外，近年来的研究表明，由细菌还原硫酸盐合成的硫化物还可以是不富集轻硫的（表 1-2）。这就扩大了某些具低硫同位素组成的黄铁矿为生物成因的可能性。

表 1-2 细菌还原石膏（ $\delta^{34}S = 24.8\% \sim 29.6\%$ ）人工合成硫化物同位素值

合成硫化物	方铅矿	闪锌矿	铜 蓝	铜蓝+黄铜矿
$\delta^{34}S$ (‰)	-1	-4.3	-0.5~-1.5	-0.5

中国有色金属工业总公司矿产地质研究院，1986，膏盐层对形成铁、铜硫化矿床的意义及细菌对硫同位素分馏的实验研究

1.2.2 热液成矿期的有机质、含有机质流体参与作用的迹象

1. 许多矿石或矿石矿物中均含有有机碳

研究发现，长江中下游地区 C—P—T 层控多金属矿床的矿石、矿石矿物中含有一定数量的有机碳（表 1-3）。同一地区不同矿石的有机碳含量差别较大，可达十几倍。不同地区同一种矿石的有机碳含量差别也较大，其中以栖霞山、铜官山、峙门口等地相对较高。

表 1-3 长江中下游地区 C—P—T 层控多金属矿床矿(岩)石中的有机碳含量

矿(岩)石	样品数	有机碳含量 (%)	矿区(资料来源)
胶黄铁矿	2	0.015	新桥(杨道斐, 1982)
胶黄铁矿	3	0.237	铜官山(温春齐, 1988)
变晶黄铁矿	2	0.035	新桥(杨道斐, 1982)
菱铁矿	—	0.22	冬瓜山(刘裕庆, 1984)
菱铁矿	9	0.162	黄梅(皖 321 队, 1984)
磁铁矿	4	0.0125	新桥(杨道斐, 1982)
黄铁矿矿石	4	0.035	新桥(杨道斐, 1982)
黄铁矿矿石		0.11 (0.03~0.28)	峙门口
黄铁矿-磁黄铁矿矿石	1	0.01	新桥(杨道斐, 1982)
黄铁矿-磁铁矿矿石	6	0.02	新桥(杨道斐, 1982)
磁铁矿矿石	6	0.03	新桥(杨道斐, 1982)
铅锌矿矿石	1	0.01	新桥(杨道斐, 1982)
矿化砂卡岩化灰岩	3	0.02	新桥(杨道斐, 1982)
巨晶灰岩		0.08	栖霞山(涂光炽, 1988)
灰岩矿石		0.24	栖霞山(涂光炽, 1988)
矿石		0.38~1.27	栖霞山
含铜黄铁矿矿石		0.21 (0.02~0.60)	峙门口
含黄铁矿磁铁矿菱铁矿矿石		0.40	峙门口
含黄铁矿粉砂岩		0.199 (0.22~1.22)	峙门口
含黄铁矿白云岩		0.083 (0.05~0.19)	峙门口
含黄铁矿碳质硅质角砾岩		1.27 (0.05~4.39)	峙门口
含铜碳质硅质角砾岩		2.30 (2.19~2.40)	峙门口
含矿白云岩		0.35	铜官口(温春齐, 1982)
无矿白云岩		0.23	铜官口(温春齐, 1982)
矿石	6	0.43~5.05	栖霞山(笔者, 1996)

2. 一些矿石中富含 CH_4 甚至含有有机包裹体

长江中下游地区许多矿石包裹体中甲烷含量很高, 如鄂东南地区的含金石英脉中石英包裹体的甲烷可高达 $8620 (10^{-6})$, 赣西北铜矿的可达 $10 \sim 70 (10^{-6})$ 。大冶龙角山铜矿不仅含有 $5.7775 (10^{-6})$ 的 CH_4 , 而且 C_2H_2 也达 $0.912 (10^{-6})$ 。对安徽铜陵冬瓜山铜矿的含磁铁矿石膏岩中的石膏进行研究, 发现存在有机包裹体, 经傅利叶转换红外光谱仪 (FTIR) 对单个有机包裹体分析表明, 有机成分主要为固相 C 及富 CO_2 和其他碳氢化合物气相成分 (图 1-2、1-3)。

3. 高碳质层与金属矿床在分布层位上有相邻关系

长江中下游地区从震旦纪到三叠纪地层, 可明显地划分出 3 个高碳质层, 分别是震旦—寒武系、下石炭统、二叠系 (一下三叠统)。尽管不同地区或者相同地区的同一层位内部碳质含量有一定差异, 但全区这 3 个高碳质层的存在是很明显的 (图 1-4)。目前, 本区所发现的金属矿床主要出现在后两个高碳层的上部, 即 C_2 及 T_1 (图 1-4), 金属矿床分布的层位与高碳质层具有上、下相邻关系, 表明两者之间可能存在某种联系。