

有机质成熟异常 及生物标志物的 矿床学意义

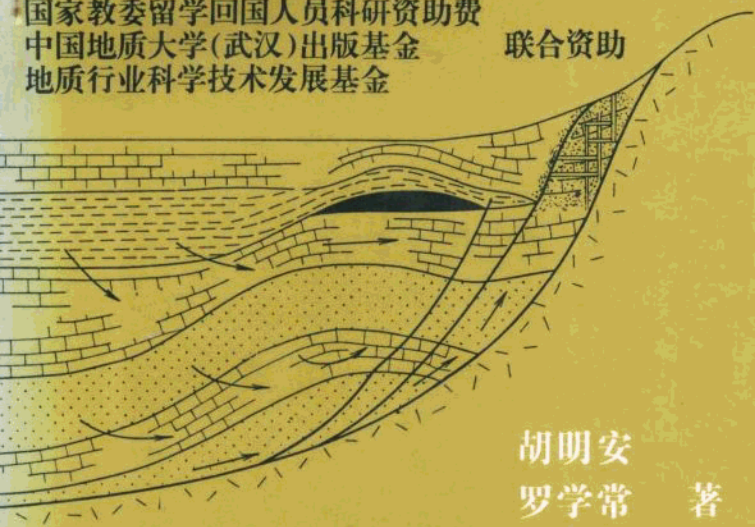
——以湖北省黄石狮子立山—凤梨山
铅锌矿床为研究实例

著

胡明安
罗学常
高广立

联合资助

国家教委留学回国人员科研资助费
中国地质大学(武汉)出版基金
地质行业科学技术发展基金



地质出版社



国家教委留学回国人员科研资助费
中国地质大学(武汉)出版基金 联合资助
地质行业科学技术发展基金

有机质成熟异常及生物标志物的矿床学意义

——以湖北省黄石狮子立山-凤梨山铅锌矿床为研究实例

胡明安 罗学常 高广立 著

中国地质大学出版社

内 容 提 要

本书以湖北省黄石狮子立山-凤梨山铅锌矿床为实例,系统研究了层控型金属矿床中有机质的类型、来源、成熟度和生物标志物,着重探讨了地质事件、生物及有机质、金属成矿三者之间的内在联系。

书中指出,在金属成矿过程中,生物及有机质在沉积盆地演化的同生沉积、成岩及成岩期后以及变质改造3个主要时期受到9种地质事件的影响,形成迁移型(有机流体)、过渡型及残留型有机质。9种地质事件是:地层深埋增温、岩浆侵入、热液活动、构造变动、变质作用、放射性元素蜕变、氧化作用、微生物降解、水的溶解。前6种又称为地质热动力事件。研究表明,地质事件的性质不同,有机质的改造方式也不同,同时也具有不同的成矿意义。

本书内容翔实,观点新颖,可作为大专院校地学类专业师生以及从事矿床普查勘探工作的科研技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

有机质成熟异常及生物标志物的矿床学意义——以湖北省黄石狮子立山-凤梨山铅锌矿床为研究实例/胡明安,罗学常,高广立著. —武汉:中国地质大学出版社,1998.7

ISBN 7-5625-1311-2

I. 有…

II. ①胡…②罗…③高…

III. 有机质-成熟异常-生物标志物-矿床学意义

IV. P612

有机质成熟异常及生物标志物的矿床学意义
——以湖北省黄石狮子立山-凤梨山铅锌矿床为研究实例
胡明安 罗学常 高广立 著

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 赵颖弘 责任校对 杨霖 特约编辑 陈秀琴

印 刷 武汉测绘院地图印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 4.125 字数 105.6 千字

1998年7月第1版 1998年7月第1次印刷 印数 1—300册

定价:10.00元

ISBN 7-5625-1311-2/P·483

目 录

第一章 绪言	(1)
一、生物成矿及矿床有机地球化学	(1)
二、有机质的成熟演化及生物标志物	(1)
三、成矿过程中各种地质作用对生物标志物的影响	(2)
第二章 区域地质概况	(4)
一、地层	(4)
二、构造	(4)
三、岩浆岩	(4)
第三章 矿床地质特征及地球化学特征	(6)
一、矿床地质特征	(6)
二、矿床地球化学特征	(7)
(一)含矿地层中的成矿元素	(7)
(二)矿物流体包裹体分析	(8)
(三)稳定同位素地球化学	(11)
第四章 矿床中有机质的成熟异常及生物标志物	(17)
一、矿床中有机质的显微岩相研究	(17)
(一)铅锌矿体围岩中的有机质	(17)
(二)铅锌矿体中的有机质	(18)
二、矿床中有机质丰度及其地球化学意义	(19)
三、矿床中有机质的抽提分离及易溶有机化合物的地球化学意义	(23)
四、矿床中易溶有机化合物的族组分研究及生物标志物	(29)
五、矿床中有机质饱和烃的地球化学特征研究	(32)
六、矿床中有机质多项有机地球化学参数特征	(34)
(一)OEP 和 CPI 值	(34)
(二)NP 值	(35)
(三) $\frac{C_{21}^-}{C_{22}^+}$ 和 $\frac{C_{21}+C_{22}}{C_{28}+C_{29}}$ 值	(35)
(四)姥鲛烷 Pr 和植烷 Ph 及 Pr/nC ₁₇ 、Ph/nC ₁₈	(36)
(五)凤梨山矿段中的有机地球化学参数分析	(38)
七、矿床中有机质镜质体反射率	(39)
八、大冶群碳酸盐岩区域性有机地球化学特征的对比研究	(39)
第五章 矿床中有机质成熟异常的产物、生物标志物及其矿床学意义	(44)
一、鄂东三叠系大冶群碳酸盐岩地层中有机质沉积作用及其演变规律的探讨	(44)
二、矿床中有机质成熟异常的原因及其产物	(46)

(一)硫化氢(H ₂ S)	(46)
(二)液态烃及甲烷气.....	(47)
三、地层有机质的微生物降解及石英闪长玢岩的侵入对矿床有机质的影响.....	(48)
四、有机质成熟异常的产物与铅锌成矿的关系——狮子立山-凤梨山铅锌矿床成矿机理探讨.....	(50)
(一)矿床形成过程.....	(50)
(二)矿床类型.....	(54)
(三)找矿方向及找矿标志.....	(54)
第六章 地质事件、生物有机质与金属成矿作用之间的关系.....	(56)
一、沉积岩的深埋增温.....	(56)
二、含矿热液的活动.....	(56)
三、构造运动.....	(57)
四、变质作用.....	(57)
五、岩浆侵入.....	(58)
六、放射性元素的蜕变作用.....	(58)
七、微生物的降解.....	(59)
八、水的溶解.....	(59)
九、氧化分解.....	(59)
主要参考文献	(61)

第一章 绪 言

一、生物成矿及矿床有机地球化学

生物作用和物理作用、化学作用是当代地质领域中三大地质作用及相应的三大成矿作用。目前,生物地质作用-生物成矿作用已逐渐发展成为生物学、有机化学、有机地球化学、地层学、矿床学等多种学科相互渗透、彼此交叉的一门边缘学科,是一个全新的并具有极好发展前景的科研领域。现在,这个领域已发展为有机地球化学(Organic Geochemistry)、生物地球化学(Biogeochemistry)、微生物地球化学(Microbial Geochemistry)和生物成矿(Biomineralization)等几个重要的分支。世界各国将生物地质作用-生物成矿作用拓宽应用于生命起源的探索、地球及天体的演化、环境保护、医学、植物保护、新材料研制、选矿、油气及金属矿床的成因研究等方面。

在许多金属矿床中,广泛见有干酪根、沥青、石油、石墨等有机质。笔者正是通过研究矿床中有机质的来源、含量、性质、成熟度、成熟原因及生物标志物,探讨矿床的有机地球化学特征,分析生物及有机化合物在金属矿床形成过程中的作用。

二、有机质的成熟演化及生物标志物

生物标志物(Biomarker)是一类产于原油、油页岩、煤和某些金属矿床中,能表示有机质来源并具有特殊化学结构的化合物,它们较好地记载了原始生物母体的有关信息和各种地质作用的变化历史,因此在生物成矿方面具有研究意义。正构烷烃、类异戊二烯烃、甾萜类就是几种重要的生物标志物。

生物及有机质在3个不同的地质时期受到9种地质事件的改造。与成矿作用有关的9种地质事件是:地层深埋增温、岩浆侵入、热液活动、构造变动、变质作用、放射性元素蜕变、氧化作用、微生物降解、水的溶解。前6种又称为地质热动力事件。3个地质时期是:同生沉积期、成岩期及成岩期后、变质期。在这3个地质时期,有机质的主要表现行为是:

1. 同生沉积期

生物在这个时期的表现是呈活的有机体,或死亡后变成腐殖物质。由于生物及有机质的直接和间接作用,造成成矿元素的初步富集,形成矿源层。在这个时期,生物及有机质对于矿床的形成可能起到4个方面的作用:第一,成矿元素的生物聚集;第二,改变环境的物化条件;第三,生物的新陈代谢影响成矿元素的物化状态;第四,产生有机化合物,形成有机流体。

2. 成岩期及成岩期后

在这个时期,由于各种地质事件的改造,使地层中的原生有机质变得不稳定,由于热能、溶液、微生物、氧化和放射性的综合影响,有机质逐渐成熟。一方面,有机大分子因侧链、长链或分支链断裂变短,碳、氢、氧、磷、硫、氮等元素大量丧失,生成一些分子结构简单、化学性质活泼的化合物,如 H_2 、 H_2S 、 CO_2 、 H_2O 和 $C_1 \sim C_8$ 等气-液态烃,构成有机流体,在成矿过程中起着重要的作用;另一方面,生物标志物由生物构型向稳定性逐渐增强的地质构型演变,结果形成3种

有机化合物类型,即迁移型(有机流体)、过渡型和残余型。

3. 变质期

当成岩作用转入变质时期,有机质的成熟度变为最高,其最终结果,只有碳质残留下来形成石墨晶体。

三、成矿过程中各种地质作用对生物标志物的影响

1. 成矿热事件对生物标志物的影响

成矿热事件的性质和规模不同,成矿类型也不同,对有机质的改造也不同,生物标志物的种类和组成也不同。地层深埋引起升温,在同一水平高度上的层状矿床中有机质的成熟度一致,生物标志物类型相同;在含矿热液影响的部位,则以热液活动为中心形成有机质成熟异常;构造运动使岩石发生挤压剪切产生热能,地层有机质的成熟异常仅发育于构造活动频繁的地区,局限于构造活动两侧有限距离内的岩石中;沉积岩在向板岩、千枚岩和片岩逐渐过渡的变质过程中,有机质的热降解程度与原岩变质作用的强度成正比;岩浆侵入使富含有机质的围岩发生烘烤加热,从岩体附近的地层中生成和排出有机流体,而将高度芳构化或焦化、碳化的残余有机质留下,以岩体为中心形成有机质成熟异常。

2. 放射性成矿作用对生物标志物的影响

放射性元素的蜕变作用能使有机质的C—C键、C—H键和C—N键等杂原子键断裂,使其中的官能团和杂原子大量脱离形成性质活泼的有机流体,尤其在铀矿的形成过程中,有机质的存在既可以导致形成双氧铀-有机络合物 $[U^{6+}O_2]^{2+}$,也可促使 U^{6+} 还原生成 U^{4+} 沉淀,明显地影响了铀的迁移和富集。

3. 有机质的微生物降解与生物标志物

在适合微生物生存的温度条件下($<100^{\circ}C$),硫酸盐还原细菌等微生物能选择性地并按一定顺序降解有机组分进行新陈代谢,这种降解顺序是:正构烷烃→类异戊二烯烃→胡萝卜素→含有母质构型的甾烷→含地质构型的同分异构体和差向异构体的正常甾烷→藿烷→重排甾烷→孕甾烷→三环藜烷→咖吗烷。微生物降解所生成的还原硫(H_2S)在许多低温热液型金属硫化物矿床的形成中具有重要意义。

4. 有机质的热水溶解与生物标志物

各种含矿热液对于有机质的溶解,温度越高越强烈,分子量越小的轻烃越容易被溶解,转入含矿热液,成为一种重要的矿化剂。

5. 有机质的氧化破坏与生物标志物

有机质在被氧化时,活泼的官能团首先被破坏,而具环烷结构和芳烃结构的组分较为稳定。因此,有机质中杂原子官能团越多,就越容易被氧化。有机质易氧化度的高低反映了有机质成熟度的高低,即易氧化度越高,有机质成熟度越高,反之越低。有机质的这种性质在金、铀等变价元素的成矿过程中具有重要的控矿意义。金主要呈 Au^+ 和 Au^{3+} 的络合物形式迁移,由于有机质的参与, Au^+ 和 Au^{3+} 被还原成 Au^0 沉淀,有机质则被氧化。

本书以湖北省黄石狮子立山-凤梨山铅锌矿床为例,系统研究了层控型金属矿床中有机质的类型、来源、成熟度和生物标志物,着重探讨了地质事件、生物和有机质、金属成矿作用三者之间的形成时间、共生空间及形成原因的关系。这对于矿床学及生物成矿的理论研究,以及在鄂东地区找矿勘探,发现新的矿床,均具有一定意义。本书的笔者之一(胡明安)在1995年留法回国后,获国家教委留学回国人员科研基金资助。因此,他又于1995年及1996年到鄂东铅锌

矿区作新一轮研究,在原有科研成果的基础上,对于地质事件-生物和有机质-金属成矿三者之间的关系,利用最新的生物成矿及矿床有机地球化学理论,作了更加系统深入的研究,尤其在生物标志物的矿床学意义方面,作了更深层次的探讨。因此,本书是根据科研报告《有机质成熟异常在层控铅锌矿床形成和找矿中的意义》(“地质行业科学技术发展基金”第89011号资助项目)和科研成果《生物标志物的矿床学意义》(“国家教委留学回国人员科研基金”资助项目)合写而成的。其中,第一章、第四章、第五章及第六章由胡明安编写;第二章由高广立编写;第三章由罗学常编写;罗学常和高广立还参与了第五章第四节的编写。在课题的实施过程中,始终得到原国家教委留学服务中心以及中国地质大学科研处、资源学院、矿床教研室各级组织的关怀和支持,还得到中国地质大学地球科学院殷鸿福院士、张本仁教授、阮天健教授,资源学院胡祖桂教授、李思田教授和石油系费琪教授、陈建渝教授等的辛勤指导和无私帮助,他们以其广博的地球化学、有机地球化学、矿床学、古生物学、沉积学知识给本项目的完成提供了宝贵的知识和经验,原矿产系博士研究生高兰以及原地质系博士研究生林莉也曾为本项目的实施提出过不少有益的建议;石油系张征瑞、李水福老师,资源学院庄新国、陆建培、刘伟老师,中国科学院贵阳地球化学研究所秉宝宽、漆亮、耿龙年、冯家毅、李金城、王甘霖、裘秀华、黄元孝、刘元平老师,他们对各种标本的测试、分析及结果的解释,付出了辛勤的劳动和聪明才智。在多次野外地质工作中,余元昌教授级高工、钟国绘队长、阮福忠工程师等鄂东南地质大队的地质同行及后勤工作人员对本项目的实施作了毫无保留的支持。笔者几年来多次的野外地质工作,自始至终都是在鄂东南地质大队提供的良好的工作条件及生活环境中,在彼此真诚相处互相信任的友谊气氛中圆满完成的。在本书的出版过程中,得到中国地质大学副校长姚书振教授、副校长王家映教授、校科研处处长王方正教授及资源学院院长吕贻峰教授的关怀和支持,资源学院吴冲龙教授为本书的出版更是提供了宝贵的意见和帮助,出版社总编耿小云编审及赵颖弘编辑也提供了多方面的帮助。笔者借此机会向他们深表谢意,没有他们的大力支持,本书的出版是不可能的。

第二章 区域地质概况

本区地理位置属湖北省东南部,大地构造单元为扬子准地台,是靠近扬子板块和中朝板块两大构造单元的接壤地带。矿区位于举世闻名的长江中下游铁铜成矿带西部(图 2-1)。

一、地层

区内地层单元属于扬子区,以巴河镇—茅山港一线为界,其东北一侧全部是前震旦系变质岩地层。南西一侧主要为古生代以后的地层,元古宇亦有出露。

二、构造

本区所属的扬子准地台,在漫长的发展过程中经历了扬子旋回、加里东旋回、印支-海西旋回及燕山-喜马拉雅旋回的多次构造运动,其中活动最强烈、影响最大的是印支运动和燕山运动。本区属前陆褶皱带,为扬子准地台褶皱带的一部分。该褶皱带形成于印支运动第Ⅰ幕(T_3-J_1)至燕山运动第Ⅰ幕(J_3-K_1)。分布在区内的主要褶皱构造有黄金山向斜、黄石背斜、青港湖复式向斜,区内主要断裂构造有青峰-襄樊-广济大断裂、张家湖断裂、老人岩断裂、黄金山断裂带等。

三、岩浆岩

区内燕山-喜马拉雅期的岩浆活动剧烈,以中酸性岩浆侵入和喷发为主,形成的岩体规模大,数量多,与区内的内生金属矿床和非金属矿床关系密切。侵入体总体呈北东向展布。火山岩分布在白垩纪至第三纪盆地中。岩浆侵入的最新层位为中-上三叠统蒲圻群。岩浆岩的同位素年龄均小于 168Ma。

根据构造-岩浆旋回,燕山-喜马拉雅期岩浆岩可划分为:燕山早期(J)、燕山晚期(K_1)和燕山晚期-喜马拉雅期(K_2-R)。区内发育燕山早期第二阶段火山岩和侵入岩(J_3)。当岩浆岩与中生界碳酸盐岩接触时,广泛发育大理岩化和矽卡岩化,同时也形成大—中型铁铜矿床。

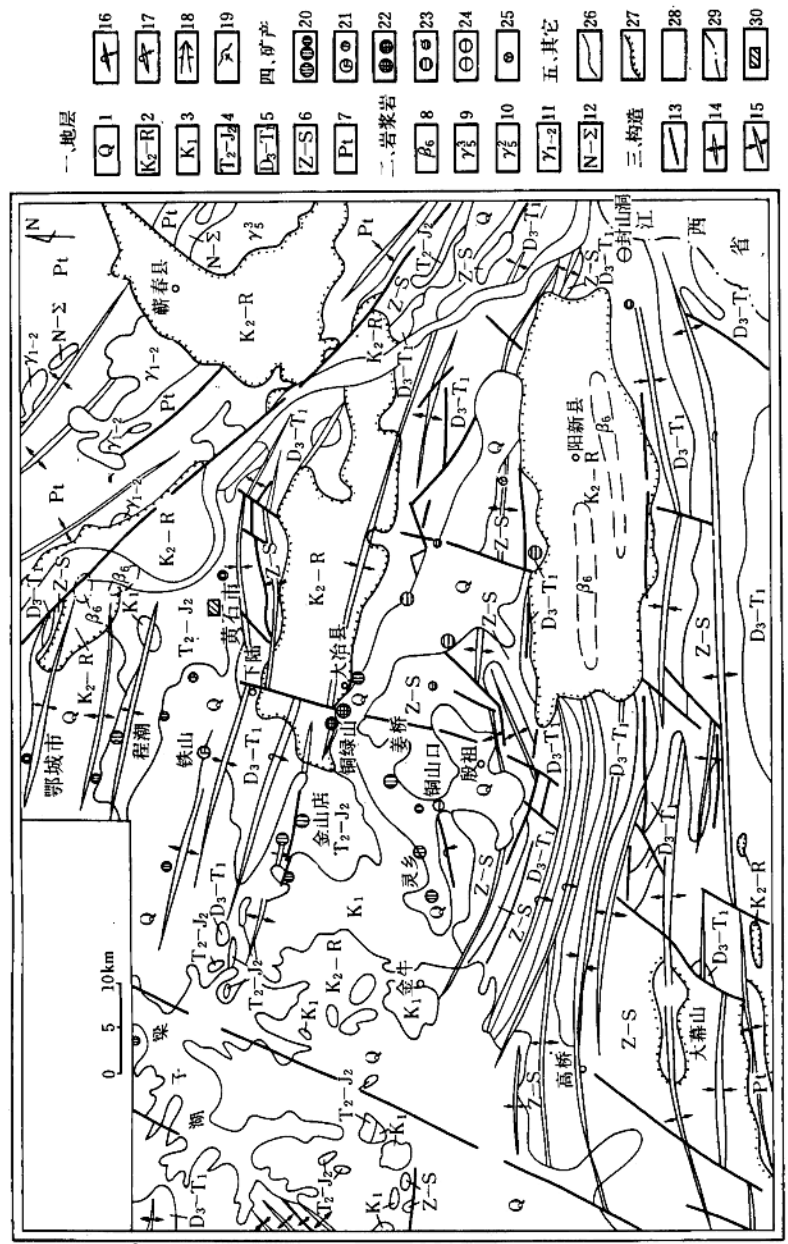


图 2-1 区域构造岩浆岩与矿产分布略图

(引自湖北省地质矿产局《湖北省区域地质志》，1990，有修改)

- 1. 第四系; 2. 上白垩统; 3. 下白垩统; 4. 中三叠统; 5. 下泥盆统; 6. 震旦系—志留系; 7. 前震旦系; 8. 喜山期玄武岩; 9. 燕山晚期花岗岩;
- 10. 燕山早期侵入岩; 11. 大别期花岗岩; 12. 时代未定的基性-超基性岩; 13. 断裂; 14. 背斜; 15. 向斜; 16. 倒转背斜; 17. 倒转背斜; 18. 倾向背斜; 19. 鼻状构造;
- 20. 大、中、小型铁矿床; 21. 大、中、小型铜矿床; 22. 大、中、小型铜矿床; 23. 中、小型铜矿床; 24. 大、中、小型铜矿床; 25. 小型铜矿床; 26. 地质界线;
- 27. 不整合界线; 28. 岩相界线; 29. 省界; 30. 矿区位置

第三章 矿床地质特征及地球化学特征

一、矿床地质特征

狮子立山-凤梨山铅锌矿床地处扬子准地台下扬子台褶皱带鄂东南褶皱束东北端、鄂东铁山岩体东缘，凤梨山矿段位于狮子立山矿段西北约 3km 处。

矿段内出露的地层主要有三叠系下统大冶群第三、四、五岩性段，三叠系中-上统蒲圻群和第四系(图 3-1)。

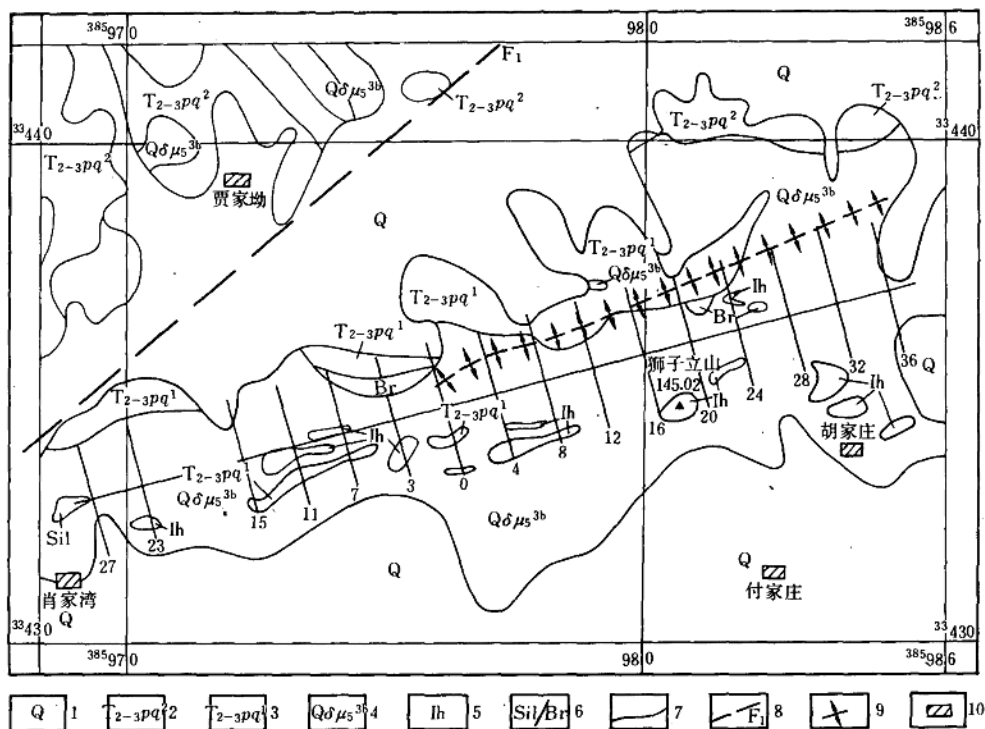


图 3-1 湖北黄石狮子立山矿段地质平面示意图

(引自鄂东南地质大队《湖北省黄石市狮子立山铅锌矿地质普查报告》，1986、1987，有修改)

1. 第四系; 2. 中-上三叠统第二段; 3. 中-上三叠统第一段; 4. 高岭石化石英闪长玢岩;
5. 铁帽; 6. 硅质岩/角砾岩; 7. 地质界线; 8. 推測断层; 9. 隐伏背斜; 10. 村庄

矿区范围内的三叠系地层发育完整，其中三叠系下统大冶群碳酸盐岩是狮子立山-凤梨山铅锌矿床的含矿地层。以大冶县马叫山剖面为例，三叠系下统大冶群地层自下而上为：

①第一岩性段(T_1dy^1)：深灰色薄层泥质灰岩夹钙质页岩；深灰色薄层含白云质灰岩夹钙

质页岩;深灰色薄层泥质灰岩夹中厚层含白云质灰岩。厚度大于75m。

②第二岩性段(T_1dy^2):灰白色—浅灰色中厚层状微粒灰岩;白色中厚层状微粒灰岩。厚度为61.3m。

③第三岩性段(T_1dy^3):灰色—浅灰色薄层灰岩夹微薄层灰岩,其中夹有蚀变闪长玢岩脉,厚5.9m;米黄色微粒灰岩夹中厚层灰岩;米黄色含泥质条带微薄层微粒灰岩;灰色、米黄色薄层、微薄层微粒灰岩;灰色、黄色薄层微粒灰岩夹微薄层微粒灰岩,层间具泥质条带;灰黑色、深灰色薄层微粒灰岩,缝合线发育。厚度为411m。

④第四岩性段(T_1dy^4):白色厚层白云质大理岩;灰白色、粉红色厚层细粒含石膏假晶白云岩;绿灰色厚层白云岩夹角砾状白云岩、鲕状白云岩。厚度为92.18m。

⑤第五岩性段(T_1dy^5):白色、粉红色薄层含石膏假晶白云岩;粉红色薄至中厚层含石膏假晶白云岩、岩溶角砾岩。厚度为156m。

⑥第六岩性段(T_1dy^6):白色、灰白色中厚层微粒灰岩,层间含泥质条带,具缝合线构造;白色厚层大理岩夹角砾状灰岩。厚度为125.1m。

⑦第七岩性段(T_1dy^7):粉红色薄层含石膏假晶灰质白云岩;灰色厚层大理岩化岩溶角砾岩;粉红厚层岩溶角砾岩。顶部不全。厚度为67.8m。

狮子立山-凤梨山地区的岩浆岩为闪长玢岩($\delta\mu_3^a$)和石英闪长玢岩($Q\delta\mu_3^b$),分别是燕山晚期第一次(114Ma)和第二次(98Ma)侵入的岩体。岩浆岩呈岩脉状、岩枝状和岩墙状沿着大冶群和蒲圻群各岩性段的接触面以及层间破碎带贯入(图3-2)。

狮子立山-凤梨山铅锌矿床中的石英闪长玢岩和闪长玢岩是大冶铁山岩体的浅成相分支部分,由大冶铁山老观庙延伸入狮子立山地区和张家湖、南湖等地,分布面积约8km²,沿隐伏的集宝庙-狮子立山次级背斜呈岩盖状侵入于三叠系蒲圻群碎屑岩和陆水河组白云岩之中,亦呈岩枝状插入三叠系下统大冶群碳酸盐岩内。

狮子立山铅锌矿段东西长约1700m,南北宽600m,深为负600m(图3-2),已探出一百多个大小不等的矿体。根据矿体产出的不同部位,可将这些矿体分为4个矿体群。凤梨山矿段东西长1500m,南北宽800m,深为负500m,已圈出三十多个铅锌矿体,构成两个矿体群。

根据狮子立山-凤梨山矿床中的矿物共生组合及成因关系,可将该矿床中的矿石类型划分为4种类型,即闪锌矿-方铅矿-黄铁矿-天青石组合、闪锌矿-方铅矿-硫化物组合、闪锌矿-方铅矿-天青石-方解石组合和闪锌矿-方铅矿-黄铁矿组合。其中,第一种矿石组合为沉积成岩作用的基本组合类型,第二、三和四种矿石组合为热液成矿作用的基本组合类型。矿床中的有用矿物主要是闪锌矿、方铅矿以及黄铜矿、天青石和辉银矿等。

二、矿床地球化学特征

(一)含矿地层中的成矿元素

据湖北省地质矿产局地质研究所和鄂东南地质大队分析资料,将鄂东三叠系下统大冶群和中-上统蒲圻群不同岩性段中铅、锌、镉元素平均含量列于表3-1,并列出维诺格拉多夫页岩+粘土的克拉克值及涂里千和费德波等碳酸盐岩的克拉克值,作为本区同类岩石的本底数。

从表3-1可明显看出,铅和锌在鄂东三叠纪各地层中的平均含量均高于本底数。镉在大部分层位中高于本底数,在小部分层位有相反情况。该区铅在三叠纪各地层中浓度克拉克值的变化范围为1.22~20.13;锌的浓度克拉克值为1.00~4.82;镉的浓度克拉克值为0.41~2.22。据此,说明本区三叠纪地层经沉积作用而储集的铅、锌含量是较丰富的;而镉元素有些层位富

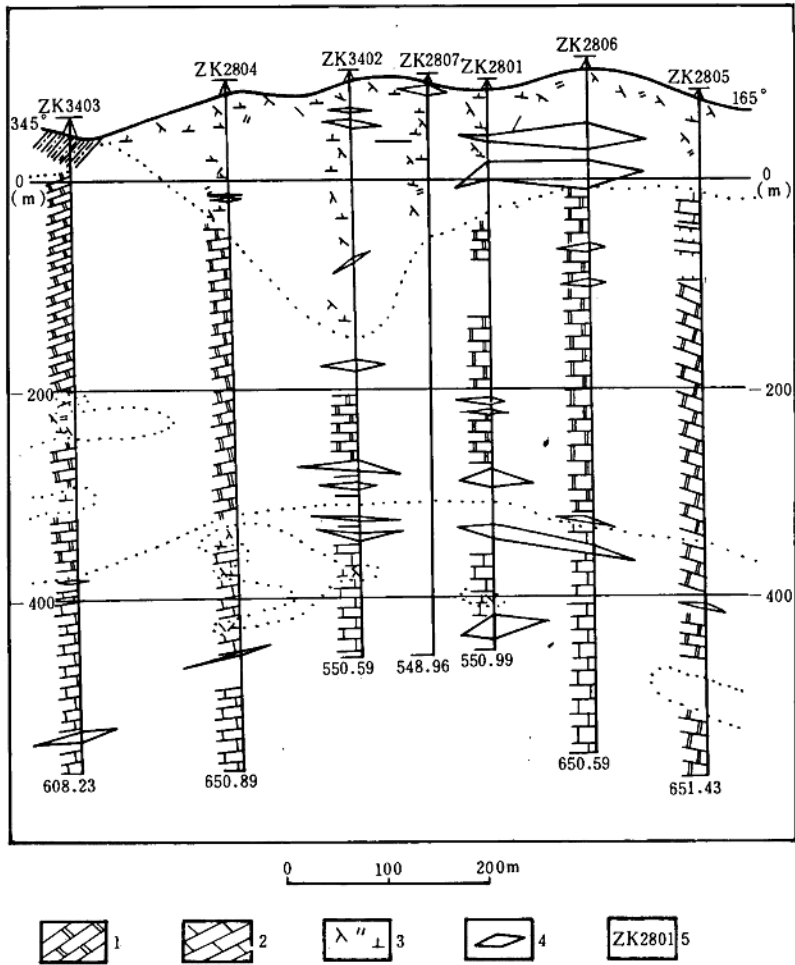


图 3-2 湖北黄石狮子立山铅锌矿段 28 线剖面图

(引自鄂东南地质大队《湖北省黄石市狮子立山铅锌矿地质普查报告》,1986-1987)

1. 白云岩; 2. 石灰岩; 3. 石英闪长玢岩; 4. 铅锌矿体; 5. 钻孔编号

集,有些层位分散。

(二) 矿物流体包裹体分析

1. 包裹体类型

① 液态包裹体, 气液比小于 50%, 是矿物中较常见的包裹体类型。

② 纯液体包裹体, 此类包裹体也较常见。

③ 多相包裹体, 又可分为含液相 CO_2 或 CH_4 的包裹体; 含子矿物的包裹体, 子矿物成分以 NaCl 为主。此类包裹体较少见。

以上各类包裹体均为原生包裹体(不包括次生包裹体)。

表 3-1 鄂东三叠系不同岩性段中铅、锌、锶元素平均含量表

地层层位	Pb			Zn			Sr			资料来源
	样数 (个)	平均 (10^{-6})	浓度克拉克值	样数 (个)	平均 (10^{-6})	浓度克拉克值	样数 (个)	平均 (10^{-6})	浓度克拉克值	
中-上三叠统 蒲圻群 $T_{2-3}pq$	199	22.86	1.14	199	82.8	1.03				据湖北省地质矿产局地质研究所及鄂东南地质大队资料综合
下三叠统大冶群第七岩性段 T_1dy^7	4	11.46	1.27	5	68.87	3.44	3	250	0.41	
下三叠统大冶群第六岩性段 T_1dy^6	39	181.13	20.13	39	72.11	3.61	2	1250	2.05	
下三叠统大冶群第五岩性段 T_1dy^5	82	13.13	1.46	81	46.45	2.32	27	251.85	0.41	
下三叠统大冶群第四岩性段 T_1dy^4	132	12.69	1.41	133	27.20	1.36	58	552.58	0.91	
下三叠统大冶群第三岩性段 T_1dy^3	187	11.00	1.22	189	20.06	1.00	46	1352.2	2.22	
下三叠统大冶群第二岩性段 T_1dy^2	31	11.34	1.26	32	21.52	1.08	33	1109	1.82	
下三叠统大冶群第一岩性段 T_1dy^1	12	29.51	3.28	11	26.36	4.82	10	720	1.60	
页岩+粘土 克拉克值	20			80			450			据维诺格拉多夫
碳酸盐岩 克拉克值	9			20			610			据涂里千和费德波

2. 包裹体特征

本区含流体包裹体的透明及半透明矿物主要有方解石、天青石、萤石、重晶石、石英、闪锌矿等。矿物中的包裹体形态以不规则状为主；管状、椭圆状、菱形次之；浑圆状极少见。矿物中的包裹体多呈单体或稀散状随机分布，少数呈线状或成群分布。包裹体个体小，一般在 $5\sim 8\mu$ 之间，最大 18μ 。液态包裹体的气液比一般为 $3\%\sim 8\%$ ，最高达 15% 。包裹体的液相颜色一般为无色透明；气相颜色多为无色或灰黑色(含有机质)；子矿物呈浅绿色一无色。矿物包裹体的均一温度一般在 $120\sim 200^\circ\text{C}$ 之间，最高可达 255°C (石英)，最低为 80°C (萤石、重晶石、方解石)。爆裂温度在 $265\sim 314^\circ\text{C}$ 之间(方铅矿、黄铁矿、闪锌矿)，可作为成矿温度的上限。

3. 包裹体物理化学参数

对 5 个矿物包裹体样品进行均一温度和盐度的测定，其物理化学参数列于表 3-2。

(1) 盐度(S)

盐度以包裹体中 $w_B\%$ NaCl 表示，分为 3 类，即以液态 H_2O 为主的、含有机质液体的和含

NaCl 子矿物的包裹体。

表 3-2 狮子立山矿段矿流体包裹体物理化学参数表

样号	采样位置	测定矿物	均一温度测定 (°C)				盐度值 ($w_B\%$ NaCl)	密度值 (g/cm^3)	压力值 ($10^5 Pa$)	深度估算 (km)
			测定数 (个)	温度范围 (°C)	平均温度 (°C)	最佳温度 (°C)				
S ₄	ZK1602 140m	天青石	5	131~150	137.2	135	9.3~8.5	1.02	300	1.184
S ₂₃	ZK2302 94m	天青石	3	128~141	136	139	9.6~8.9	1.04	320	1.263
S ₃₅	ZK2302 262m	天青石	5	127~142	133	135	10.1~11.7	1.07	310	1.224
S ₄₆	6号采坑	天青石	7	130~149	136.5	135	13.1~14.2	1.08	400	1.579
				175~219	192.8	201	35.0~46.0	1.14		
S ₄₆	6号采坑	方解石	5	177~200	185.6	190	10.1~11.2	1.05	410	1.619

从表 3-2 中得知,总盐度变化范围为 $8.5w_B\% \sim 46.0w_B\%$,变化范围较大。以液相 H_2O 为主的包裹体的盐度为 $8.5w_B\% \sim 11.7w_B\%$;含液相有机质包裹体的盐度为 $13.1w_B\% \sim 14.2w_B\%$;含 NaCl 子矿物包裹体的盐度为 $35.0w_B\% \sim 46.0w_B\%$ 。为了衡量盐度,现给出如下标准($w_B\%$ NaCl):盐度小于 $5w_B\%$ 为纯水;盐度 $5w_B\% \sim 10w_B\%$ 为低盐度;盐度 $10w_B\% \sim 20w_B\%$ 为中盐度;盐度大于 $20w_B\%$ 为高盐度。与标准相比,液态 H_2O 包裹体为中低盐度;含液相有机质(或 CO_2)包裹体为中盐度;含子矿物的包裹体为高盐度。

(2) 密度(d)

密度测定结果见表 3-2。由表 3-2 可知,除了含 NaCl 子矿物的密度较高($1.14g/cm^3$)外,其它均在 $1.02 \sim 1.08g/cm^3$ 之间,变化不大,皆大于水的密度($1g/cm^3$)。

(3) 压力(p)及成矿深度(D)的估算

根据液态包裹体的均一温度和盐度测得的压力值见表 3-2。由表 3-2 可知,总压力为 $(300 \sim 410) \times 10^5 Pa$,属中低等压力。

依据理论分析,当围岩为封闭系统时,成矿流体对周围岩石的总压力为: $\sum p_{\text{气}} + \sum p_{\text{液}} = \sum p_{\text{岩}}$;若只考虑铅垂(z 轴)压力,则主要表现为上升气和液体压力与上覆静岩压力的对抗上,即 $p_{\text{气,液}} - p_{\text{岩}} = \Delta p = 0$ 。于是,可根据静岩压力梯度计算成矿流体所处的深度(上限),建立如下关系式: $p = D \frac{\partial p}{\partial z}$ 。式中: D 为流体所处深度; p 为该深度静岩或流体压力; $\frac{\partial p}{\partial z}$ 为垂向上静岩压力梯度。

现将成矿压力参数 $p = 300 \times 10^5 \sim 410 \times 10^5 Pa$ 及静岩压力梯度 $\frac{\partial p}{\partial z} = 253.313 \times 10^5 Pa/km$ 代入上式,即得成矿深度 D $1.184 \sim 1.619 km$,为中浅成。

4. 包裹体成分

对 1 个重晶石和 1 个方解石包裹体样中的液相和气相成分进行了测定,其结果列于表 3-3。

从表 3-3 中可以看出:液相成分中, $Na^+ > K^+, Ca^{2+} > Mg^{2+}, Cl^- > F^-$,说明成矿溶液属于 Na(K)-Ca(Mg)-Cl 型热卤水溶液,呈中性到弱碱性($pH = 6.9 \sim 8.2$);气相成分主要为 CO_2 ,说明溶液具有还原性。这种 Na(K)-Ca(Mg)-Cl 型热卤水是有利于成矿元素 Pb、Zn、Cu、Sr、Ba

等的溶解迁移的。

表 3-3 狮子立山矿段矿物流体包裹体化学成分表

项目 矿物	液相 ($\mu\text{g}/10\text{g}$)										气相 (mmol/kg)		pH
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	F ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Zn	Pb	H ₂ O	CO ₂	
重晶石	2.24	3.86	40.67	3.78	0.665	0.00	26.4	0.00	0.00	0.45	1 100	29	6.9
方解石	1.33	18.03	136.02	7.71	0.172	3.10	22.0	1.50	0.00	0.45	1 900	145	8.2

送样单位:中国地质大学

测试单位:宜昌地质矿产研究所

(三)稳定同位素地球化学

1. 硫同位素组成特征

共测样品 11 个,收集样品 27 个,测试结果列于表 3-4,并制作图 3-3,其特征可概括如下:

表 3-4 狮子立山-凤梨山矿床硫同位素组成特征值表

序号	样号	矿物	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	矿床	送样单位	序号	样号	矿物	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	矿床	送样单位
1	X ₁	闪锌矿	+11.36	狮子立山矿段	中国地质大学	20	T ₁₇	天青石	+30.50	凤梨山矿段	鄂东南地质大队
2	S ₃₀	闪锌矿	+10.71			21	8708-s	闪锌矿	+13.06		
3	S ₁₄	闪锌矿	+11.43			22	8710-s	闪锌矿	+10.57		
4	X ₁₃	黄铁矿	+1.55			23	8707-s	方铅矿	+1.78		
5	S ₃₅	黄铁矿	-1.59			24	8711-s	天青石	+28.74		
6	S ₄₇	方铅矿	+15.30			25	T ₃	黄铁矿	+4.53		
7	8709-s	方铅矿	+7.70			26	T ₁₂	黄铁矿	+2.91		
8	δ_1	黄铁矿	-12.94			27	T ₁₈	黄铁矿	+5.36		
9	T ₃₀	黄铁矿	+5.41			28	T ₄	闪锌矿	+15.61		
10	T ₁	黄铁矿	+15.85			29	T ₁₅	闪锌矿	+7.43		
11	δ_{2-1}	闪锌矿	+6.04			30	T ₂₁	闪锌矿	+12.44		
12	δ_4	闪锌矿	+11.26			31	δ_7	闪锌矿	+14.67		
13	T ₂₆	闪锌矿	+7.13			32	δ_6	方铅矿	+10.55		
14	δ_5	闪锌矿	+10.52			33	T ₁₉	方铅矿	+8.56		
15	T ₁₄	闪锌矿	+11.28			34	T ₁₅	方铅矿	+4.11		
16	δ_{2-2}	方铅矿	+4.91			35	T ₁₃	方铅矿	+11.91		
17	T ₂₇	方铅矿	+4.88			36	Rz 研-3	黄铁矿	+5.36		
18	δ_3	方铅矿	+6.23			37	Rz 研-4	黄铁矿	+12.09		
19	T ₂₈	方铅矿	-1.37			38	Rz 研-5	黄铁矿	+4.87		

测试单位:1~6号样在贵阳地球化学研究所,其余样在宜昌地质矿产研究所

①凤梨山矿段 $\delta^{34}\text{S}$ 全为正值。狮子立山矿段 $\delta^{34}\text{S}$ 以正值占优势,20 个样品的 $\delta^{34}\text{S}$,负值仅 3 个,正值为 17 个,正值占全矿区总样数的 85%。

②凤梨山矿段 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 +1.78‰~+28.74‰,平均值为 +9.70‰,弥散度(即极差)为 26.96‰。狮子立山矿段 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 -12.94‰~+30.50‰,平均值为 +7.81‰,弥散度为 43.44‰。

③从图 3-3 中可知,两矿段的 $\delta^{34}\text{S}$ 分布直方图,不呈“塔式”,也不呈“波浪式”,而皆分别呈“墙垛式”分布型式。这说明两矿段的硫非单一来源,也反映出成矿的多期、多阶段的特点。

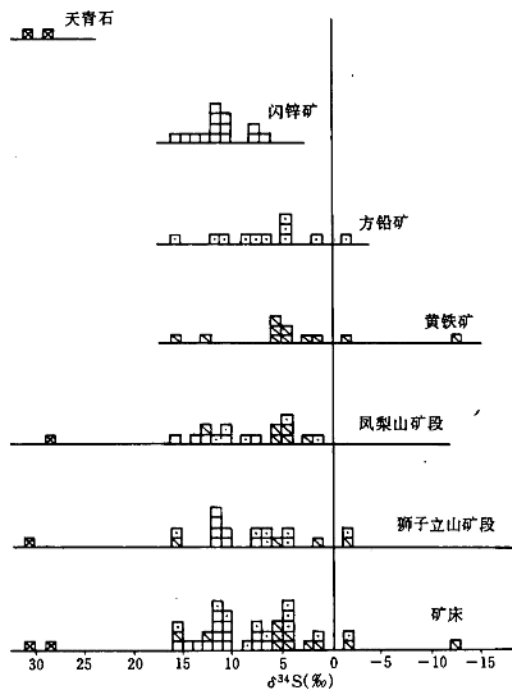


图 3-3 狮子立山-凤梨山矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 分布直方图

④两矿段中各矿物的 $\delta^{34}\text{S}$ 均值都有如下关系: $\delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}}$ 。这与硫同位素分馏平衡的一般规律 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}}$) 不一致。这反映它们不是在同一条件下形成的,而是多期、多阶段的产物。

⑤矿床各矿物 $\delta^{34}\text{S}$ 值的变化范围:天青石的变化范围较窄,为 +28.74‰~+30.50‰,弥散度为 1.76‰;闪锌矿的变化范围为 +6.04‰~+15.6‰,弥散度为 9.57‰;方铅矿的变化范围为 -1.37‰~+15.61‰,弥散度为 16.67‰;黄铁矿的变化范围最大,为 -12.94‰~+