

· 矿床地球化学 ·

云南都龙锡锌多金属超大型矿床鲕状黄铁矿 SEM 研究及其成因意义

刘玉平, 李朝阳, 叶霖, 刘世荣

中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002

摘要:通过对都龙锡锌多金属超大型矿床的鲕状黄铁矿进行的 SEM(二次电子成像)研究,揭示其主要由亚微米到微米级 FeS_2 胶质单体和黄铁矿微晶组成。 FeS_2 胶质单体主要呈亚微米到微米级的球状、杆状和针状,并形成串珠状-蠕虫状、草莓状-葡萄串状-柱状等形态的聚集体,与现代热水“烟囱”和古代热水沉积物中发现的厌氧嗜硫细菌和古生菌等微生物具有类似的形貌特征,表明微生物可能参与了热水成矿作用。鲕状黄铁矿可能作为重要的硫源,促使后期富含锌、锡、铜等金属的成矿流体发生矿质的卸载、沉淀。

关键词:鲕状黄铁矿; SEM; 成因; 都龙; 云南

都龙锡锌多金属超大型矿床位于云南省马关县境内,是我国重要的锡、锌、铜资源基地之一。由于该矿床与燕山晚期老君山复式花岗岩体具有密切的空间关系——在矿区地表出露了不少花岗质小岩脉,深部有近南北向的隐伏岩脊。因此,该矿床长期以来被视为岩浆热液成因^[1,2]。刘玉平^[3,4]对该矿床中残留的鲕状-胶状黄铁矿早期矿化进行了报道,并通过矿床地质和地球化学特征的研究,提出其“热水沉积-变质改造-岩浆热液叠加”的三阶段成因观点。周建平等^[5,6]对滇东南的都龙、个旧和白牛厂等三个超大型矿床沉积组构进行了研究,提出海底喷流沉积对于这三个矿床的形成具有重要意义,其中重要的依据就包括鲕状黄铁矿。本文利用高分辨率分析电子显微镜,对都龙锡锌多金属矿床鲕状黄铁矿进行了 SEM(二次电子成像)研究,以期通过解析其微观特征进一步探讨其成因意义。

1 鲕状黄铁矿的地质特征

都龙锡锌多金属超大型矿床,由南向北主要包括辣子寨、曼家寨和铜街 3 个矿段。鲕状黄铁矿主要分布于离老君山岩体较远的辣子寨矿段和曼家寨矿段南部。在靠近老君山岩体的铜街矿段,鲕状黄铁矿多被磁铁矿交代形成交代残余假象。本文所研究样品采于辣子寨矿段,其含矿地层为绿片岩相变

形-变质的中寒武统田蓬组中下部,矿体呈似层状、透镜状赋存于大理岩与云母石英片岩之间的顺层脆-韧性剪切带附近。样品为绿泥石化-阳起石化片岩型锡锌矿石,金属矿物主要包括黄铁矿(包括鲕状黄铁矿和晚期形成的重结晶黄铁矿)、铁闪锌矿、磁黄铁矿、黄铜矿、锡石、白铁矿等;脉石矿物主要为绿泥石、石英、云母、阳起石等。鲕状黄铁矿的集合体在样品中呈变余纹层状一条带状产出,经光学显微镜鉴定和 X 射线衍射分析,鲕粒主要由非晶质 FeS_2 胶体和晚期形成的重结晶黄铁矿组成,此外还含有少量硅酸盐和金属硫化物矿物微晶。尽管部分鲕状黄铁矿发生了一定程度的重结晶和变形,但总体上鲕粒形态保存较好,主要有正常鲕、复合鲕和偏心鲕等类型,反映其受后期的变质-变形改造和岩浆热液活动的影响较弱。鲕粒直径变化范围一般为 0.2~5 mm,主要集中在 0.4~2 mm。矿相学研究表明,鲕状黄铁矿被铁闪锌矿、磁黄铁矿、锡石、黄铜矿等矿物穿切、交代,是样品中最早形成的金属物相(图版 1、2)。

2 鲕状黄铁矿的 SEM 特征

研究所使用仪器为 JEM-200FXII 型分析电子显微镜,工作加速电压为 100 kV。

在低倍率 SEM 图像中,可见鲕状黄铁矿主要

收稿日期:2006-03-30 收到

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40302026)

第一作者简介:刘玉平(1971-),男,副研究员,博士,矿床学、地球化学专业。

由非晶质 Fe-S 胶体和黄铁矿微晶组成的球状核心和同心状生长壳层构成,壳层之间为矿物和胶体含量较少的壳间带,核心直径和生长壳层单层厚度为 $n \times 10 \sim n \times 100 \mu\text{m}$ (图版 3)。在高倍率 SEM 图像中,则可清晰分辨出非晶质 FeS_2 胶体和黄铁矿微晶的微观形貌 (图版 4~8)。 FeS_2 胶质单体主要呈亚微米至微米级的球状、杆状和针状 (图版 4),与 Chen 等^[7]报道的 Green Canyon Block 238 现代热液脉体的黄铁矿化硫酸盐还原细菌具有类似的形态;微晶黄铁矿则由 FeS_2 非晶胶质单体转变而来,粒度比胶质单体大,一般为 $n \sim n \times 10 \mu\text{m}$,在具有比较平整规则的结晶面,显示出一定的立方体晶型 (图版 6、8 中的方框内)。 FeS_2 非晶胶质和微晶黄铁矿组成串珠状-蠕虫状 (图版 6、7)、草莓状-葡萄串状-柱状 (图版 5、6、8) 等形态的聚集体。球状核心和同心状生长壳层由 FeS_2 非晶胶质和微晶黄铁矿紧密堆积而成 (图版 4、6),壳间带主要为空隙以及由 FeS_2 非晶胶质和微晶黄铁矿组成的多种形态的聚集体 (图版 5~8)。

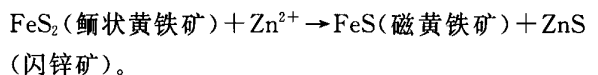
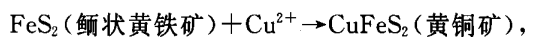
3 讨论

对古代和现代热水沉积硫化物的研究表明^[8], 鲕状黄铁矿是热水沉积物中常见的结构之一,通常形成于海底热液喷口或“烟囱”附近,是由以铁和硫为主的金属硫化物胶体在比较动荡的水体中沉淀形成。都龙锡锌矿床中鲕状黄铁矿的发现,反映存在早期的热水沉积成矿作用^[3,4]。

近年来对现代海底“烟囱”和古代热水沉积物的大量研究揭示^[9~11],热水喷口或“烟囱”是多种耐高温、厌氧嗜硫的细菌 (bacteria)、古生菌 (archaea) 和宏体生物组成的生物群落的“天堂”。生物活动对热水金属硫化物的形成具有重要意义。本次研究的鲕状黄铁矿,在高倍率 SEM 图像中具有与这些细菌和古菌等微生物类似的形貌特征 (图版 4~8),暗示嗜硫微生物活动可能是鲕状黄铁矿形成的关键因素。对都龙锡锌矿床的鲕状黄铁矿,进一步开展系统的地质微生物学 (geomicrobiology) 研究,将有助于深化对该矿床成因的认识。

虽然没有查阅到有关的成矿实验文献,以限定鲕状黄铁矿的稳定温压范围。但根据其他方面的一些线索,我们推测鲕状黄铁矿可以在较高的温度条件下保存下来,例如现代海底热水体系的温度最高达 400°C ,大量古代热水沉积矿床、甚至 3.5 Ga 以前形成并经历了高级变质的太古代热水沉积矿床中,也发现了保留微生物组构的矿石;Kullerud

等^[12]的实验表明,结晶态黄铁矿的稳定温度可以达到 742°C ,等等。本矿床虽然经历了印支期绿片岩相区域动力变质作用的改造和燕山晚期岩浆热液作用的叠加,但这些后期成矿作用均属于中低温成矿作用的范畴,围岩的岩相学、矿石的流体包裹体和矿相学研究结果均显示,都龙锡锌矿床的成矿温度不超过 400°C ^[3]。因此,鲕状黄铁矿是能够保留下来的。根据该矿床的矿物共生组合和形成顺序等矿相学特征,可以推测,含有多种金属的鲕状黄铁矿堆积层构成了最初始的矿化。经过后期的区域动力变质作用改造和岩浆热液作用叠加,锌、锡等金属不断富集而最终形成都龙超大型矿床。在后期的改造和叠加过程中,鲕状黄铁矿作为重要的硫源,促使富含锌、锡、铜等金属的成矿流体发生矿质的卸载、沉淀,从而交代鲕状黄铁矿形成其它的金属硫化物。下列化学反应可能控制了黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿等矿物的形成:

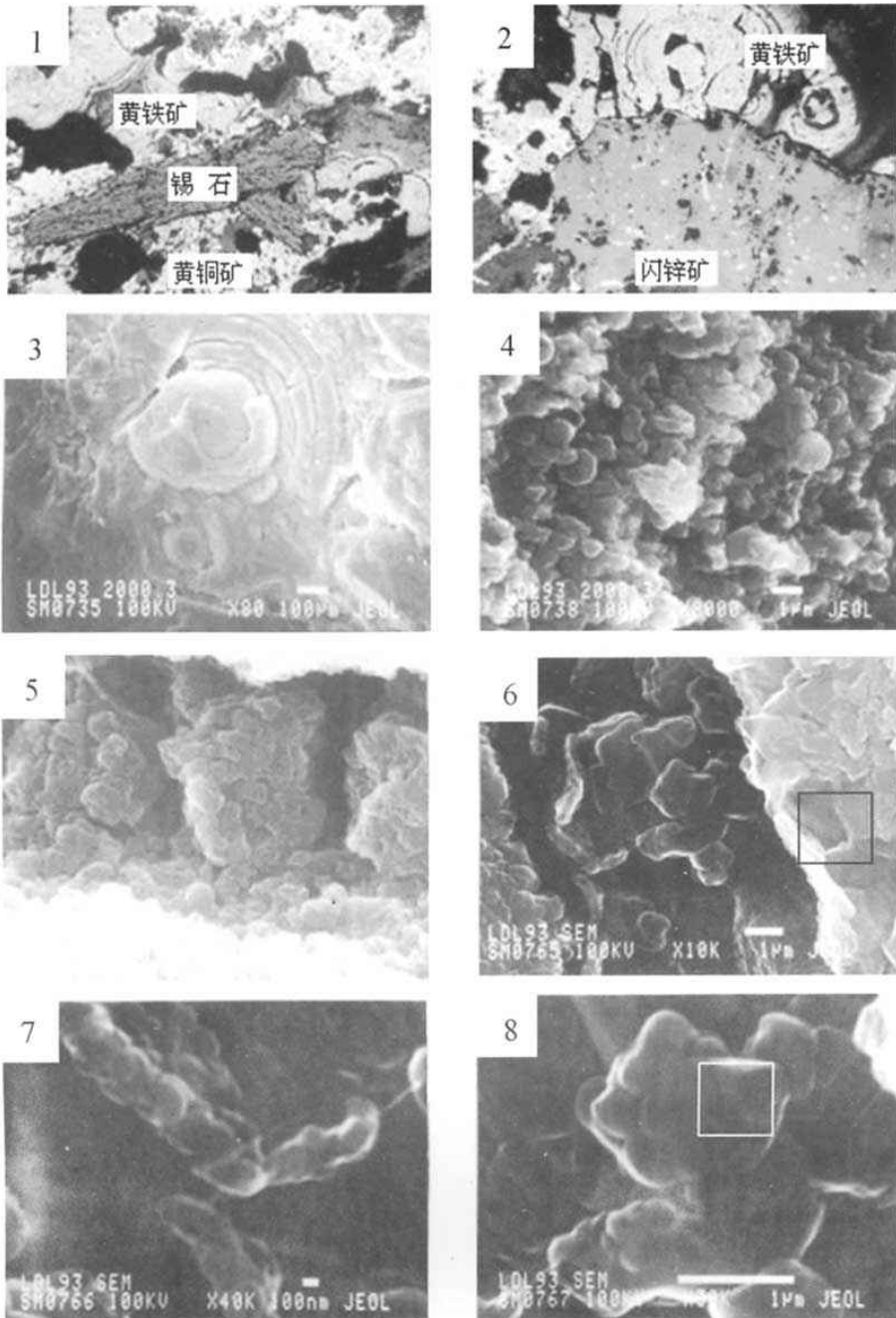


参考文献:

- [1] 宋焕斌. 云南东南部都龙锡石-硫化物矿床的成矿特征[J]. 矿床地质, 1989, 8(4): 29-38.
- [2] 忻建刚. 云南都龙隐伏花岗岩的特征及其成矿作用[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1993, 13(2): 121-129.
- [3] 刘玉平. 一个受后期改造和热液叠加的块状硫化物矿床——都龙超大型锡锌多金属矿床[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1996.
- [4] 刘玉平. 锡的成矿机制初步研究——以都龙超大型锡锌多金属矿床为例[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1999.
- [5] 周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 滇东南喷流沉积块状硫化物与矿床成因[J]. 矿物学报, 1998, 18(2): 158-168.
- [6] 周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 个旧等锡矿中沉积组构的发现与矿床成因新探[J]. 自然科学进展, 1999, 9(5): 419-422.
- [7] Chen D F, Feng D, Su Z, *et al.* Pyrite crystallization in seep carbonates at gas vent and hydrate site [EB/OL]. Materials Science and Engineering [C]. <http://www.sciencedirect.com>, 2005-11-09.
- [8] Koski R A, Lonsdale P F, Shanks W C, *et al.* Mineralogy and geochemistry of a sediment-hosted hydrothermal sulfide deposit from the southern trough of Guaymas Basin, Gulf of California[J]. J. Geophys. Res., 1985, 90: 6695-6708.
- [9] Van Dover C L, Humphris S E, D. Fornari D, *et al.* Biogeography and ecological setting of Indian Ocean hydrothermal vents [J]. Science, 2001, 294: 818-823.
- [10] Van Dover C L, German C R, Speer K G, *et al.* Evolution and biogeography of deep-sea vent and seep invertebrates [J]. Science, 2002, 295: 1253-1257.

[11] 李江海, 初凤友, 冯军. 深海底热液生物成矿与深部生物圈研究进展[J]. 自然科学进展, 2005, 15(12): 1416-1425.

[12] Kullerud G, Yoder H S. Pyrite stability relations in the Fe-S system[J]. Econ. Geol., 1959, 54: 532-572.



图版说明:

1. 锡石和黄铜矿组成的细脉穿插交代鲕状黄铁矿($\times 4$);
2. 闪锌矿交代鲕状黄铁矿($\times 10$);
3. 鲕粒的 SEM 全貌(标尺长度为 $100\mu\text{m}$);
4. 鲕粒壳层内壁 SEM 图像(标尺长度为 $1\mu\text{m}$);
5. 鲕粒壳层间 SEM 图像(标尺长度为 $1\mu\text{m}$);
6. 鲕粒壳层间 SEM 图像(标尺长度为 $1\mu\text{m}$);
7. 黄铁矿微球组成的杆状体(标尺长度为 100nm);
8. 黄铁矿微球组成的草莓状体(标尺长度为 $1\mu\text{m}$).