

主导东升庙矿床形成超大型矿床的 地质构造因素特征分析

陈喜峰, 彭润民

(中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 东升庙超大型多金属硫铁矿床为赋存于中元古界狼山群内的典型热水沉积矿床, 形成于狼山—渣尔泰山中元古代裂陷槽构造环境。控制其形成超大型矿床的主要因素为: ①有利的区域地质构造背景; ②具高丰度成矿元素的矿源层; ③封闭性极好的成矿环境; ④同沉积期构造热事件的发生; ⑤良好的保存条件。

关键词: 东升庙多金属硫铁矿床; 超大型矿床; 地质构造条件; 内蒙古自治区

中图分类号: P613; P618.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2008)03-0182-05

0 引言

华北地台北缘巨型成矿带是我国北方重要的矿集区之一, 成矿作用复杂多样, 矿床类型丰富多彩, 产有较多大型—超大型矿床, 如白云鄂博超大型稀土矿床、炭窑口大型多金属矿床、霍各乞大型铜多金属矿床、甲生盘大型铅锌矿床、翁泉沟超大型硼矿、大石桥超大型菱镁矿等矿床, 其中东升庙多金属硫铁矿床是比较典型的超大型矿床之一, 它与世界著名的 McArthur River、Mount Isa、Sullivan 等^[1-3] 中元古代超大型矿床具有相似特征, 如都赋存于元古宙地层中、形成于古老克拉通基底上的裂陷槽或裂谷构造环境且主要分布于克拉通边缘等^[4]。因此, 研究其成因、矿床地质特征及控矿因素具有重要的意义。该矿床地质特征、成因及控矿因素已有一些研究成果。但目前对主导东升庙矿床形成超大型矿床的地质构造因素特征还没有比较详细的综合性研究, 因此本文将对这一问题进行探讨。

1 矿区地质构造概况

1.1 矿区地质背景

内蒙古东升庙矿床位于华北地台北缘西段狼山南侧, 受控于克拉通边缘裂陷槽内次级断陷盆地, 位于东升庙—炭窑口盆地的边缘, 其含矿建造为受 EW 向断裂带控制的中元古界狼山群(P_{t2ls})。

矿区出露的地层以中元古界狼山群为主, 其上为白垩系不整合覆盖, 下伏上太古界乌拉山群和下元古界色尔腾群厚度较大的变质基底。狼山群总体为绿片岩相、局部达角闪岩相, 原岩主要为一套陆源碎屑岩和碳酸盐岩建造。矿区出露的狼山群厚约 500 m, 划分为三组, 其中二组(P_{t2ls2})为惟一的容矿岩组, 矿区所有锌、铅、铜、铁硫化物矿体都产于这个组的不同岩性中。主要岩性有石英岩、白云石大理岩、方解石大理岩、碳质千枚岩及“双峰式”火山岩与凝灰岩夹层^[5], 容矿岩性主要为白云石大理岩和碳质千枚岩, 因而东升庙矿床具有鲜明的层控性和岩控性。

狼山群属于裂陷槽环境的产物, 其中产出的火

收稿日期: 2007-04-16

基金项目: 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室科学基金(编号: GPRM0747), 国家科技支撑计划重大项目课题(编号: 2006BA B0109) 和国家重点基础研究发展计划项目(编号: 2006CB403503) 联合资助。

作者简介: 陈喜峰(1979-), 男, 山东省范县人, 博士研究生, 矿物、岩石、矿床学专业。通信地址: 北京市海淀区学院路 29 号中国地质大学(北京) B06 地质信箱, 邮编: 100083, E-mail: chen6100117@126.com

山岩夹层的“双峰式”特征^[5]有力地证明了这一点。

1.2 矿区构造特征

地质构造背景决定成矿作用及成矿类型, 板块边缘地质构造活动复杂而强烈, 形成历史漫长, 幔壳及各圈层物质交换频繁, 往往是重要的金属成矿带^[6]。华北北缘西段的总体构造格局为一系列逆冲推覆构造, 西段大型、超大型矿床表现出“地层-构造-岩浆”三位一体化特征, 断裂构造起着先决性条件, 控制着成矿断陷盆地的形成和发展, 构成岩浆和成矿流体的运移通道, 并且控制着地层褶皱的形成以及矿体的赋存空间^[7]。华北地台北缘元古宙含矿岩系产出受裂陷槽控制, 矿床的产出主要发生在次级断陷盆地内, 裂陷槽-二级盆地控制含矿岩系的分布^[8]。本矿床含矿建造中元古界狼山群是狼山-渣尔泰山中元古代裂陷槽环境的产物, 裂陷槽内次级断陷盆地和生长断层分别控制着东升庙矿区含矿岩系的分布和成矿盆地的展布。矿区构造演化过程如下: ①太古宙-古元古代克拉通的形成; ②中元古代早期, 在区域性拉张作用下, 形成了贯穿不同地质体和不同构造单元且具有穿透性、深度性、内部结构复杂性的裂陷槽, 并开始了以陆源碎屑为主的沉积作用; ③中元古代中期, 裂陷槽强烈下陷, 盆地深度迅速加大, 进入喷流-沉积成矿期, 形成了狼山群含矿二组, 其间伴有强烈的同沉积断裂活动和火山活

动; ④中元古代晚期的晋宁运动中, 裂陷槽闭合; ⑤晚元古代以来, 又经历了多期次的构造作用和变质作用, 从而形成狼山群沉积变质建造。

矿区构造以褶皱和断裂为主。从图 1 可以清楚地看出: 中元古界狼山群分布在区域性深大断裂 F_1 和 F_5 之间, F_1 为位于矿区南部的正断层, F_5 为位于矿区北部的东升庙-炭窑口逆掩断层, F_1 和 F_5 分别构成矿区的南界和北界。研究表明, 超大型矿床常处于深大断裂带的旁侧(多在上盘)、深大断裂交汇处以及深大断裂带与矿带的交汇区内^[9], 可见东升庙矿床具备这一条件。矿区褶皱主要有东升庙倒转背斜、那云山向斜和三贵口背斜等, 其中东升庙倒转背斜为矿区主体褶皱, 呈 50° 方向延伸近 6 000 m, 矿体赋存于其北翼。

2 矿床地质特征

矿体主要赋存于容矿二组 (Pt_2ls_2) 的白云石大理岩和碳质千枚岩层位内, 呈层状、似层状、透镜状产出, 以层状矿体为主, 矿体与地层产状一致且与地层同步褶曲, 具有明显的沉积成矿特征。矿体主要受褶皱构造控制, 厚度变化较大, 在褶皱转折部位矿体厚度加大且品位变富。

矿床内部蚀变不明显, 蚀变的种类表现为对围岩成分的就地取材, 蚀变类型主要有硅化、碱性长石化、高岭土化、透闪石化、绿泥石化、碳酸盐化和黑云母化等, 其中与矿化关系密切的蚀变有黑云母化、碳酸盐化和绿泥石化。

矿石类型主要有黑云母白云岩型、碎屑岩型、碳质千枚岩型和脉状矿石。矿石矿物以黄铁矿、磁黄铁矿和闪锌矿为主, 其次有方铅矿、黄铜矿和少量磁铁矿; 脉石矿物以白云岩为主, 其次为石英。矿石组合类型有 S, Cu-S, Cu-Zn-S, Zn-S 和 Pb-Zn-S 等。

矿石构造以块状构造为主, 另有条带状、纹层状、角砾状、浸染状和网脉状等构造; 矿石结构以变晶结构为主, 另有交代、变余胶状、变余斑状等结构。

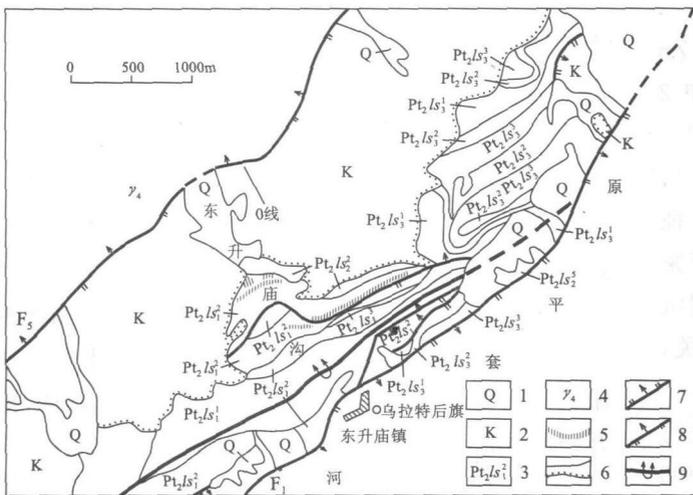


图 1 内蒙古东升庙矿床地质略图

Fig. 1 Schematic geological map of Dongshengmiao ore district, Inner Mongolia

1. 第四系 2. 白垩系红层 3. 中元古界狼山群各岩段
4. 海西期花岗岩 5. 变质石英角斑岩 6. 地质界线、角度不整合界线
7. 正断层 8. 逆断层 9. 东升庙倒转背斜轴

3 形成超大型矿床的地质构造因素特征

3.1 具有成矿元素高丰度的矿源层

丰富的成矿物质来源是形成大型-超大型矿床的必要条件之一^[4]。巨型矿床与一般矿床的主要的可以量化的差别就在于前者在形成过程中有着巨量成矿物质的供应^[10]。研究表明,矿区出露的厚约500 m的含矿层不是该成矿系统的基础物源,而下伏的变质基底为本矿床提供了大量的成矿物质来源。

本区变质基底地处华北地台、古亚洲洋与太平洋三大巨型构造域叠加复合地带,这里壳幔作用最活跃、物质交换最频繁、成矿作用也最显著。矿区基底在演化过程中经历了强烈而复杂的岩浆活动、构造作用、变质作用和混合岩化作用等,聚集了大量的成矿元素,这一点可从以下方面得到证实:

(1) 矿区在太古代时,岩石的Zn/Pb比值一般 > 8 ,中元古代时这一比值降为2~4,更重要的是该矿床矿石的Zn/Pb比值与基底岩石Zn/Pb比值具有很好的一致性。铅锌这种随时间的变化与中元古代铅的爆发性成矿及大规模铅锌共生矿床的形成是同步的,说明基底岩石中的铅和锌是该成矿带铅锌矿床成矿的物质基础^[11]。

(2) 矿区基底中变质基性火山岩中Cu, Pb, Zn的质量分数分别为地壳丰度值的4倍, 10倍和2倍,说明基底岩系为成矿提供了良好的矿源条件^[4]。

(3) 东升庙矿石黄铁矿中Co/Ni比值远大于1,表明成矿金属为内生作用提供,而该矿床地质特征表明这种内生作用只能为幔源的火山作用。近年来的研究表明,东升庙矿床成矿过程中确实伴有同沉积期的火山活动,说明成矿作用与上地幔作用有关,即表明成矿作用与基底关系密切。

(4) 祁思敬等(1997)对矿区铅同位素组成进行了统计分析,指出本区铅元素的来源区年龄约2 600 Ma,其依据是:①矿区变质基底锆石U-Pb年龄为2 477 Ma;②矿区基底岩石的稀土配分型与Condie(1987)的TH₂型绿岩拉斑玄武岩相似,形成于2 700 Ma之后;③矿区基底岩系的本底平均值为: $w(\text{Pb}) = 153.2 \times 10^{-6}$, $w(\text{Cu}) = 156.5 \times 10^{-6}$, $w(\text{Zn}) = 134 \times 10^{-6}$, $\text{Co/Ni} = 1 \pm 0.5$ 。

上述研究表明矿区高丰度成矿元素的变质基底

为东升庙矿床形成超大型矿床提供了良好的物源条件。

3.2 封闭性极好的成矿环境

大型-超大型矿床的形成必须具备有利的岩相古地理条件,特别是层控热水沉积矿床的形成与岩相古地理关系更为密切^[12]。矿区硫同位素具有重硫富集的特点,各种硫化物的 $\delta(^{34}\text{S})$ 值除个别样品为负值外,绝大多数为较大正值,变化范围为 $+16 \times 10^{-3} \sim +32.5 \times 10^{-3}$,呈波浪式分布,不具塔式效应(图2),而且矿石硫化物的 $\delta(^{34}\text{S})$ 值从深部到浅部呈逐渐增大的趋势,这种变化为海底喷气热液成因提供了证据,属于缺少正常海水硫酸盐补给的封闭沉积盆地成矿环境。另外,矿区碳、氧同位素数值分布为正常海相沉积环境但数值偏低的特征也证实了含矿碳酸盐岩是在封闭-半封闭的环境形成的^[13]。上述分析表明本矿床的成矿作用发生在稳定的封闭-半封闭的海盆沉积环境,这种成矿环境为热水成矿提供了极好的地理和化学封闭。这种封闭-半封闭海盆环境稳定极有利于矿床的沉积成矿和保存。统计分析表明,国内外许多超大型矿床如白云鄂博、McArthur River、Mount Isa、Sullivan等都具有类似的古地理条件和构造环境。

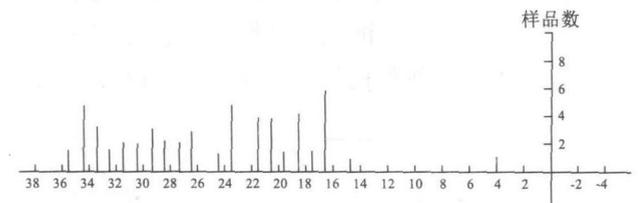


图2 东升庙矿区硫同位素组成分布图

Fig. 2 Sulfur isotopic distribution in Dongshengmiao ore district

3.3 同沉积期构造热事件的发生

成矿过程中突发的构造热事件往往是控制大型-超大型矿床形成的主导因素之一,对热水沉积矿床来说就更为重要。中元古代狼山群沉积时期,东升庙矿区处于稳定的封闭-半封闭海盆环境,沉积(成矿)过程中伴有同生断裂活动和火山活动(图3),它们也是控制成矿的重要因素。

3.3.1 同生断裂活动对成矿的控制作用

矿区容矿岩组发育有层间砾岩、层间混杂堆积、滑塌角砾岩、同生角砾状矿石和矿石角砾、容矿地层岩相(性)与厚度的突变等现象^[14],证明其沉积成矿过程中伴有同生断裂活动。该矿床具有多个矿化

层, 呈块状、层状及角砾状矿化, 矿化有明显的同生喷流特征^[15], 尤其在容矿二组沉积(成矿)时期同生断裂活动强烈、持续的时间长, 控制了矿体的规模、空间分布及其组合。

(1) 对成矿流体和成矿空间的控制作用。同生断裂是裂谷、拗拉槽和拉分盆地等伸展构造环境下最基本的构造类型, 其在沉积盆地的演化过程中产生并控制盆地的空间展布、内部沉积作用、火山作用、流体活动和成矿作用。同生断层对流体的控制模式表现为: 驱动、运移、卸载和堆积成矿的过程, 在热水沉积矿床的形成过程中扮演重要角色。规模大、切割深的同生断裂具有良好的穿透性和连通性, 是连通地壳浅部与深部、矿源层与储矿场的纽带。同生断裂往往产生于地壳中先存的薄弱面(带)部位, 深部的成矿流体在高压的驱动下沿着这些薄弱面(带)向上运移, 沿途淋滤和萃取矿源层中的成矿物质, 并携裹成矿物质运移到同生断裂的上部或到达水底出露部位时即被卸载、堆积成矿(图 3)。东升庙矿区狼山群及其赋存的矿体分布于其南北两侧两条 NEE 向区域性断裂之间, 这两条断裂长 30~50 km, 二者之间宽度为 2.0~2.5 km, 在此范围内又发育一系列次级同生断裂。矿区内同生断裂可划分出三级, 它们具有不同的尺度、方向和次序, 共同构成了该区的同生断裂体系。这些不同方向、不同级次同生断裂的交汇部位和它们之间形成的洼地的岩石渗透性很高, 是成矿流体运移的良好通道、火山易发部位和成矿流体卸载、沉积成矿的有利场所, 因此矿区发育的同生断裂体系为成矿提供了良好的成矿流体运移通道和容矿空间。同时, 同生断裂活动的时间影响着矿体的规模, 研究表明, 该矿床成矿作用的全过程都伴有强烈的同生断裂活动, 而且持续时间较长, 大量的成矿流体、火山物质顺同生断裂上升至赋矿盆地卸载、堆积和成矿。

(2) 影响矿体的分带。矿区同生断裂的活动具有脉动性特点, 并控制着深部处于高压状态的流体间歇式地沿同生断裂不断运移、喷涌、堆积成矿, 从而形成了盆地内矿体的分带现象。该矿床矿体垂向上(由下至上)呈 $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu-Zn} \rightarrow \text{Cu-Pb-Zn} \rightarrow \text{Pb-Zn}$ 的分带, 水平方向则有 $\text{Cu-Pb-Zn} \rightarrow \text{Pb-Zn} \rightarrow \text{Zn} \rightarrow \text{Fe}$ (菱铁矿)的分带现象。

3.3.2 同沉积期火山活动对成矿作用的影响

持续稳定、发育完整的热热水对流系统是形成大型-超大型热水沉积矿床的有利因素之一。东升庙矿区发育有顺层产出的同沉积期的变质“双峰式”火

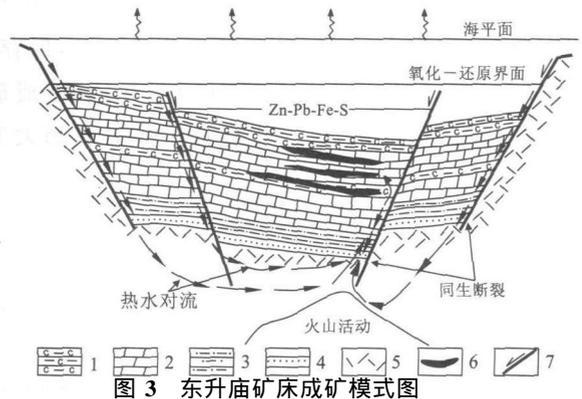


Fig. 3 Mineralization model of Dongshengmiao deposit

1. 碳质千枚岩
2. 白云石大理岩
3. 黑云母石英片岩
4. 石英岩
5. 太古代变质基底
6. 矿体
7. 同生断裂

山岩^[5], 即表明该矿床的喷流沉积成矿过程中伴有明显的、间歇性的同沉积期海底火山喷发活动, 该矿床的形成与海底火山活动密切相关。这种同沉积期火山活动的存在导致成矿带内长期存在地热异常, 为维持一个稳定的、发育完整的热热水对流循环系统提供了热驱动力, 极有利于促使深部富含成矿元素的流体和火山物质不断地沿同生断裂系统上升至海盆喷流、卸载、堆积成矿(图 3)。

4 结论

东升庙超大型矿床是多种有利成矿因素耦合、叠加和综合作用的产物。矿区在新太古代-古元古代形成了含丰富成矿物质的结晶基底, 从而为成矿提供了极好的物源条件。中元古代早期被动陆缘裂陷槽裂解, 并在矿区两侧形成了区域性深断裂, 在这种被动陆缘部位壳幔作用活跃, 物质交换频繁, 深断裂的形成使深部和浅部得以沟通, 为深部成矿物质的上涌和运移提供了流体通道。中元古代中期, 裂陷槽进入了快速喷流沉积成矿期; 重要的是, 这期间的成矿作用伴有极有利于成矿的同生断裂和火山的活动。矿区同生断裂活动规模大、持续时间长, 为成矿提供了良好的流体运移通道和充足的容矿空间; 而同期的火山活动则为成矿提供了完备的热热水对流系统, 驱动富含成矿元素的流体不断地沿同生断裂系统上升并产生喷流、卸载、堆积成矿; 同样重要的是, 此期间矿区处于封闭-半封闭的海盆环境, 为成矿提供了极好的地理和化学封闭条件, 正是上述有利因素在喷流沉积成矿期的耦合与叠加才促使东升

庙矿床形成超大型矿床。必须指出的是,中元古代晚期的裂隙槽闭合使形成的矿体得以很好地保存,此后该矿床又发生了多期的叠加成矿作用,使成矿元素进一步富集成矿,进一步促进了东升庙超大型矿床的形成。

参考文献:

- [1] Perkins W G, Bell T H. Stratiform replacement lead-zinc deposits: a comparison between Mount Isa, Hilton, and McArthur River[J]. *Economic Geology*, 1998, 93(8): 1190-1212.
- [2] McGoldrick P J, Keays R R. Mount Ias copper and lead-zinc silver ores: coincidence or co-genesis[J]. *Economic Geology*, 1990, 85: 641-650.
- [3] Patrick J W. An introduction to the metallogeny of the McArthur River-Mount Isa-Cloncurry minerals province [J]. *Economic Geology*, 1998, 93(8): 1120-1131.
- [4] 徐贵忠,边千韬,周少平.华北板块西北缘元古宙大型-超大型矿床形成的地质构造条件[J]. *中国科学(D)*, 1998, 28(Sup): 78-84.
- [5] 彭润民,翟裕生.内蒙古东升庙矿区狼山群中变质“双峰式”火山岩夹层的确认及其意义[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1997, 22(6): 589-594.
- [6] 汤中立,白云来.华北板块西南边缘大型、超大型矿床的地质构造背景[J]. *甘肃地质学报*, 2000, 9(1): 1-15.
- [7] 刘伟,邓军,储雪蕾,等.华北北部大型-超大型矿床的特征及其形成的宏观地质背景[J]. *地球物理学进展*, 2000, 15(2): 67-78.
- [8] 夏学惠,袁家忠,赵玉海,等.华北地台北缘多金属硫铁矿床地质及其成矿远景区划[J]. *化工矿产地质*, 2003, 25(3): 129-144.
- [9] 孙国曦,胡文瑛,朱东亚,等.超大型矿床的主要特征及研究进展[J]. *矿产与地质*, 2001, 15(6): 683-687.
- [10] 王学求.大型矿床地球化学定量评价模型和方法[J]. *地学前缘*, 2003, 10(1): 257-261.
- [11] 朱笑青,张乾,何玉良,等.地史早期岩石中的铅锌演化——狼山—渣尔泰山中元古代铅锌成矿的物质基础[J]. *矿物学报*, 2005, 25(4): 325-333.
- [12] 朱上庆,池三川.层控矿床及找矿[M].北京:地质出版社, 1981: 8-28.
- [13] 夏学惠.内蒙古狼山成矿带东升庙多金属硫铁矿床成矿特征及成因探讨[J]. *矿床地质*, 1992, 11(4): 374-383.
- [14] 彭润民,翟裕生,王志刚.内蒙古东升庙、甲生盘中元古代SEDEX矿床同生断裂活动及其控矿特征[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2000, 25(4): 405-409.
- [15] 肖荣阁,彭润民,王美娟,等.华北地台北缘西段主要成矿系统分析[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2000, 25(4): 362-368.

ANALYSIS ON THE GEOLOGICAL STRUCTURAL FACTORS LEADING TO THE DONGSHENGMIAO SUPER-LARGE DEPOSIT

CHEN Xi-feng, PENG Run-min

(Faculty of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Dongshengmiao super-large polymetallic sulfur deposit is genetically hydrothermal sedimentation type, occurred in the Langshan group which located in the western part of northern margin of north China platform and formed in the Langshan-Zhaertai Mesoproterozoic Aulacogen tectonic environment. The systematic studies show the major factors leading to the Dongshengmiao super-large ore deposit as follows: ①the favorable regional geological structural setting; ②the high abundance of ore-forming element in source bed; ③the excellent sealing ability and stability of mineralization environment; ④the tectonic-thermal event in the sedimentary mineralization process; ⑤the excellent conservation conditions. The regularities which are obtained in this study can provide some new informations and ideas for the study of the geological structural conditions of mineralization of (super) large ore deposits.

Key Words: Dongshengmiao; super-large ore deposit; geological structural condition; Inner Mongolia