

青海锡铁山块状硫化物矿床地质特征

邬 介 人 (执笔)^①

(中国地质科学院西安地质矿产研究所)

锡铁山铅锌矿床是我国西北地区五十年代末期勘探成功的大型矿床之一。在前人工作与积累的大量资料的基础上, 1981—1983年间我们通过进一步调查研究, 对锡铁山矿床地质背景、矿床特征及其成因归属等方面有了一些新的认识。

一、矿床区域地质概况

锡铁山矿区位于柴达木盆地北缘。在大地构造位置上, 位于南祁连加里东地槽褶皱带南侧与柴达木地块北缘邻接的赛什腾—绿梁山—锡铁山加里东褶皱带内。

锡铁山地区绿岩系的时代归属, 目前认识尚不统一: 一种意见认为该岩系仍应归属前寒武纪; 另一种意见认为属于晚奥陶纪滩间山群。我们在1981年调研中首次采集到微体化石, 经李晋僧同志鉴定为三角脊牙形刺(相似种)^②, 其所产层位相当于中奥陶统顶部至上奥陶统底部层位。因此, 可以认为锡铁山地区与绿梁山以西滩间山群在时代上基本可以对比。据此认为, 原南祁连地槽的南侧, 还应存在一条北西—南东向延伸的狭长深海槽, 其火山活动强烈, 堆积了一套基性—酸性火山岩、火山—沉积岩系, 并伴有基性、超基性岩浆的侵入。锡铁山铅锌矿床、青龙滩黄铁矿床、双口山铅矿点等均产于该绿岩系即火山岩、火山—沉积岩系中^[5]。

绿岩系之下伏地层为达肯大坂群(*Zdk*)片岩、片麻岩系, 两者呈断层接触。上覆地层为上泥盆统紫红色砂砾岩系(D_3)及下石炭统砂砾岩系(C_1), 绿岩系与其呈断层接触或不整合接触。在1:20万地质图幅中, 曾把紫红色砂砾岩系归入滩间山群(*O_{3tn}*)第三岩组。我们认为锡铁山矿区所见紫红色砂砾岩系不整合于绿岩系之上, 代表两者间有一次重要的构造运动和沉积间断。

绿岩系呈NW—SE向分布, 与区域构造线方向一致。在构造形态上主要表现为单斜构造, 沿走向和倾向有波状扭曲, 小型褶皱及层间拖拉褶皱亦较发育。在绿岩系分布区内, 走向断裂、挤压破碎带发育。除火山—侵入活动外, 本区无晚期大规模的岩浆侵入活动(图1)。

二、含矿绿岩系特征

绿岩系为一套变质的火山沉积岩系, 以锡铁山沟剖面为例, 自下而上可分为三个岩性

① 参加工作的还有宋志高、高栋丞、任秉琛、赵统、张汉文、张尊。

② *Ambalodius cf. triangularis Branson and mehl.*

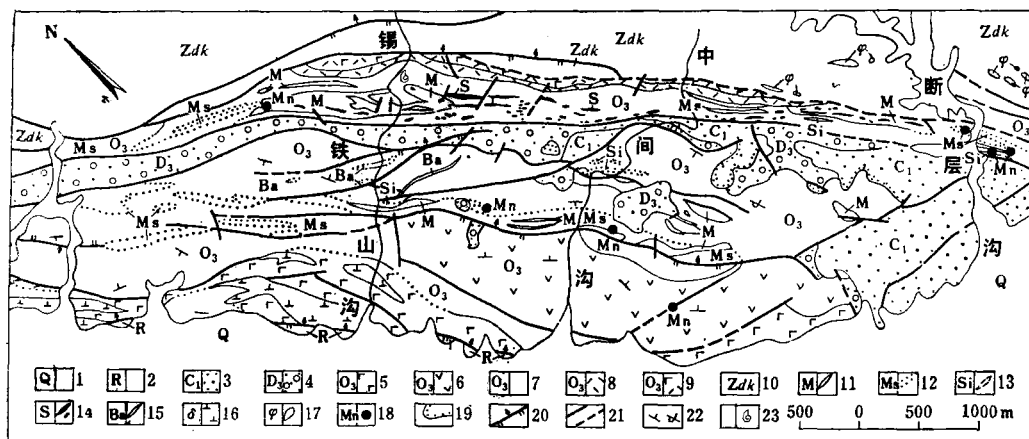


图1 青海锡铁山矿区地质略图

(据青海省冶金地质八队资料改编)

1—第四系；2—第三系；3—下石炭统；4—上泥盆统；5—上奥陶统基性熔岩；6—上奥陶统中性火山岩；7—上奥陶统火山碎屑岩、沉积岩；8—上奥陶统酸性火山岩；9—上奥陶统变基性火山岩（斜长角闪片岩）；10—长城系（达肯大坂群）；11—大理岩、灰岩；12—大理岩、灰岩夹泥钙质千枚岩；13—含铁硅质岩（红碧玉）、硅质岩；14—硫化物矿体；15—重晶石脉；16—中基性侵入岩；17—超基性岩体；18—锰矿化点；19—地层不整合界线；20—逆断层；21—性质不明及推测断层；22—地层产状；23—牙形刺化石点

Fig. 1. Diagrammatic geological map of the Xitieshan mining area.

1—Quaternary; 2—Tertiary; 3—Lower Carboniferous; 4—Upper Devonian; 5—Upper Ordovician; 6—Upper Ordovician intermediate volcanic rocks; 7—Upper Ordovician volcanoclastic rocks and sedimentary rocks; 8—Upper Ordovician acid volcanic rocks; 9—Upper Ordovician metabasic volcanic rocks (amphibolite schist); 10—Changcheng System (Dakendaban Group); 11—marble and limestone; 12—marble and limestone intercalated with argillaceous and calcareous phyllite; 13—ferroferrous siliceous rocks; 14—sulfide orebody; 15—barite vein; 16—intermediate-basic intrusive rocks; 17—ultrabasic mass; 18—manganese ore-show; 19—unconformity; 20—reverse fault; 21—uncertain or inferred fault; 22—attitude of strata; 23—conodont occurrence.

段：①以中酸性—中基性火山熔岩、凝灰岩为主夹钙质、硅质和砂泥质沉积层的火山岩岩性段；②火山-沉积岩岩性段，由火山碎屑岩、碳酸盐岩、硅质岩与含铁碧玉岩以及陆源砂泥质千枚岩等组成，以凝灰岩、凝灰质千枚岩板岩夹大理岩、结晶灰岩为主。在其下部碳酸盐岩层位赋存有铅锌工业矿体；上部碳酸盐岩层位是重晶石矿化带和弱硫化物矿化产出部位；③由中性—基性火山熔岩、凝灰岩和中基性侵入岩为主组成的火山-侵入杂岩（带）段。

在上述剖面中，上部与下部火山岩在岩石类型、岩石化学等方面均有较大的差别。下部火山岩变质较深，主要为基性—中酸性交替喷发的火山岩，相当于流纹岩、英安岩、玄武岩，基本属正常系列，显示富铁、富钾、低钛的特点。上部火山岩变质较浅，局部地段保留有熔岩的结构构造（如枕状、杏仁状），相当于偏碱性拉斑玄武岩或安山玄武岩，显示富铁、富钠、低钾、高钛的特点。与其相伴的角闪辉长玢岩穿入于上部火山岩层位中，可认为是同源分异的产物。

火山-沉积岩岩性段中，在碳酸盐岩比较集中的两个层位中，往往伴有硅质岩。在上部碳酸盐岩层位中，发现含铁硅质岩及红碧玉岩，它呈似层状、豆夹状延展，具一定层位。其可认作为是火山喷气沉积产物或标志^[2]。在上述层位中碳质片岩及黄铁矿分布较为普遍，这反映了当时的沉积环境具有还原状态的特点，含铁锰质碳酸盐岩的存在可为佐证。

含矿绿岩系在锡铁山矿区未见顶底,就已有部分可粗略地划分出四个喷发-沉积旋回。由下部火山岩至中部火山-沉积岩岩性段的下部碳酸盐岩层位组成第一个旋回,锡铁山铅锌矿床产于该旋回的上部(图2)。

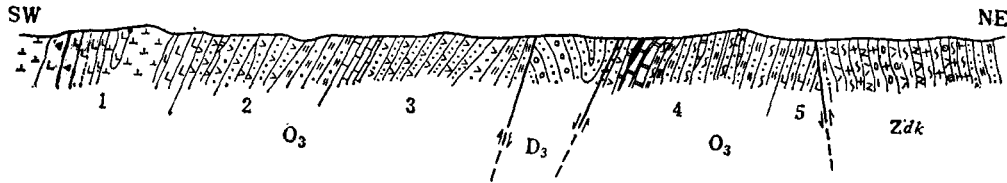


图2 锡铁山矿区地质剖面图

D₃—上泥盆统紫红色砂砾岩系, O₃—上奥陶统: 1—基性火山熔岩及中基性侵入岩; 2—凝灰岩、含凝灰质砂泥质千枚岩、板岩; 3—含凝灰质千枚岩夹凝灰岩、结晶灰岩、含铁硅质岩, 岩层中重晶石化发育; 4—凝灰岩、含凝灰质砂泥质千枚岩、板岩夹大理岩、硅质岩、含碳质片岩, 牙形刺化石、铅锌工业矿体均产于本层上部碳酸盐岩、硅质岩、含碳质片岩层位中; 5—基—酸性火山熔岩互层; Zdk—片岩、片麻岩系

Fig. 2. Geological section of the Xitishan mining area.

D₃—Upper Devonian purple sandstone-conglomerate; O₃—Upper Ordovician; 1—basic lava and intermediate-basic intrusive rocks; 2—tuff or tuffaceous sandy-argillaceous phyllite; 3—tuffaceous phyllite intercalated with tuff, crystalline limestone and ferriferous siliceous rocks, characterized by well-developed baritization; 4—tuff, tuffaceous sandy-argillaceous phyllite and slate intercalated with marble, siliceous rocks and carbonaceous schist, with conodont and economic lead-zinc orebody occurring in upper portion; 5—basic volcanic lava interbedded with acid one; Zdk—schist and gneiss series of Dakendaban Group.

三、矿床基本特征^[5,6,7]

锡铁山含矿带呈北西-南东向展布,长约5千米,宽约60-220米,与区域构造线方向一致。该带主要由锡铁山与断层沟两矿区组成。在锡铁山矿区已查明大小工业矿体100多个^①。矿体主要呈似层状、透镜状、囊状、脉状及其他不规则状。其直接围岩有大理岩、绿泥绢云石英片岩(凝灰质千枚岩板岩)或两者交替部位岩石。成矿伴有硅化、绢云绿泥石化、碳酸盐化(方解石、菱铁矿、菱锰矿等)、石膏化。主要矿石类型有条带状块状黄铁矿(胶黄铁矿)铅锌矿石、条带状浸染状黄铁矿铅锌矿石以及浸染状块状含铅锌黄铁矿矿石。金属组分除铅、锌外,尚伴有金、银、铜、锡、砷、镉、铟、镓等。现就矿床基本特征^②综述如下:

(一) 产出层位

含矿层位于含矿绿岩系下部火山岩岩性段之上,火山-沉积岩岩性段下部的碳酸盐岩层位中,即第一个喷发-沉积旋回的上部,由大理岩、钙质片岩、凝灰岩与凝灰质泥砂质千枚岩、板岩夹硅质岩、碳质片岩等组合而成的一组岩层。其分布宽达200米左右,延长约16千米。含矿带位于其中段,以发育碳质片岩(含有机碳0.20—0.65%),硅质岩及铁锰质碳酸盐岩和普遍黄铁矿化等为特点。主矿段位于厚层状大理岩最发育的地段向凝灰岩、含凝灰质砂泥质千枚岩、板岩、硅质岩夹含碳质片岩等发育的过渡地段。含矿主岩不受单一岩性的控制。如上述,含矿带、矿体均赋存于含矿绿岩系的一定的层位中,呈带状分布,具一定的

① 据青海省地质局柴达木锡铁山铅锌矿床最终地质勘探报告。

② 宋叔和1973年“关于国外黄铁矿型矿床的一些问题”。

层控性质。

(二) 矿体的形态、产状及其分布特征

据原矿床的勘探资料, 自下而上在含矿层位中圈定了 I、II、III 等三个矿带, 主要矿体有 I₁ (I₃₃)、II₁₀、III₆ 等。最大矿体长 1000 米左右, 宽 20 米左右 (I₁、II₁₀)。矿体的边界一般为自然边界, 部分按金属品位来圈定。矿体主要形态呈层状、似层状 (包括透镜状), 脉状、囊状及其他不规则状矿体亦较为常见, 但一般规模不大 (图 3)。

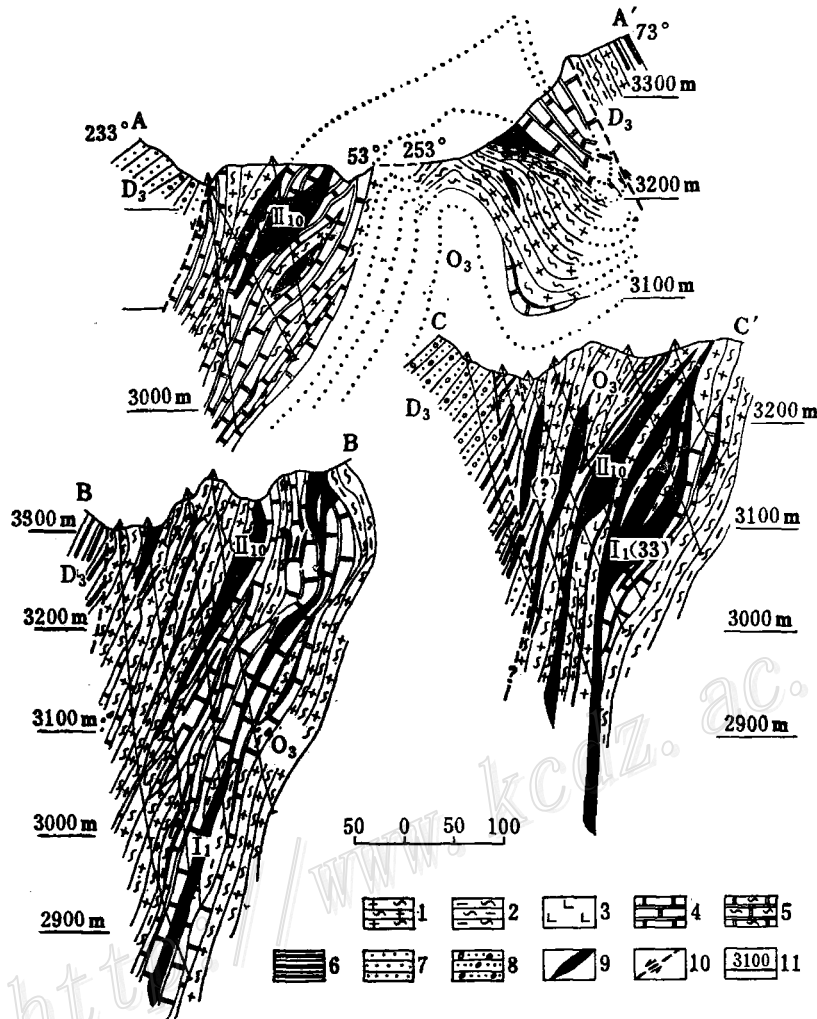


图 3 矿床地质剖面图

(据青海省地矿局五队资料改编, 比例尺单位为米)

1—绢云绿泥石英片岩; 2—含碳质片岩; 3—变火山岩; 4—大理岩; 5—不纯大理岩; 6—板岩; 7—砂岩; 8—砂砾岩; 9—矿体; 10—断层; 11—高程

Fig. 3. Geological section of the deposit.

1—sericite-chlorite quartz schist; 2—carbonaceous schist; 3—metavolcanic rocks; 4—marble; 5—impure marble; 6—slate; 7—sandstone; 8—sandstone-conglomerate; 9—orebody; 10—fault; 11—elevation.

矿带、矿体的总体产状与区域构造线和含矿层位中近矿围岩产状相一致, 走向 NW-SE,

倾向 SW, 倾角一般为中等至陡倾。岩层的波状扭曲和拖拉褶皱使矿体的局部产状可出现近水平状至陡倾以至倒转。通常, 矿体边界比较平直且与围岩整合接触, 但局部显示凹凸不平以至斜切围岩层理或片理。有些晚期黄铁矿、方铅矿与闪锌矿矿脉可横穿或斜切围岩层, 具明显的充填性质。NEE-SWW 向横断裂的发育, 把矿带分割成若干块段, 这也增加了矿体形态、产状的复杂性。

矿体空间分布特征可归纳为以下几点: ①在狭长的含矿层位中, 矿体沿其走向分布, 沿倾向作单斜叠瓦状产出, 有时局部呈波状扭曲状。原先所划的 I、II、III 矿带只能代表矿体在横剖面上自下而上的相对位置, 实际上, 在三个矿带间无确定的地质界线。在 I₁、II₁₀ 等主矿体的走向上, 在不同地段其近矿围岩岩性可发生很大的变化, 即从大理岩、不纯大理岩到碳质片岩、含凝灰质千枚岩板岩 (原称绢云绿泥石英片岩)。矿体的连续性与近矿围岩岩性多样性可能说明成矿的时控性。②主矿体基本上为层状、似层状、透镜状体, 与围岩产状基本一致, 两者基本上整合接触, 但沿走向与倾向可发生胀缩、分枝复合、尖灭再现等现象。主矿体的长度往往超过其斜深 (宽度) 1—4 倍, 又由于侧伏角不大, 因而推知矿体 (恢复到水平状态) 的长轴与区域构造线相一致。这可能表明当时的成矿环境为沿区域构造方向展布的海底次级盆地。③本矿床的剥蚀深度不大, 除部分矿体受到不同程度剥蚀外, 多呈盲矿体产出。④含矿层位为一组岩石和矿石组成的特殊的地层单位, 其厚度虽然不大, 但延长、延深较大, 经受了区域变质和造山运动的影响。从构造形态上说, 为一波状扭曲的单斜层, 北西段基本上倾向南西方向, 南东段可能倒转而倾向北东。在锡铁山主矿区 15—18 勘探线剖面间, 存在一较明显的次级拖拉褶皱, 因而局部似为“背斜控矿” (图 3), 但总体上还应为“单斜层状”控矿。⑤成矿作用具多阶段性, 主要成矿期后的叠加改造, 特别是成矿后断裂构造发育。例如北东向横断裂系的存在对矿体在走向上的延续、移位, 以及在开拓中如何正确地连接与追索矿体有很大关系。

(三) 矿石的矿物组成、结构构造及矿石类型

矿石的矿物组成比较简单, 主要矿石矿物有黄铁矿、胶黄铁矿、闪锌矿与方铅矿, 尚有少量白铁矿、毒砂、黄铜矿、磁铁矿、磁黄铁矿和微量的黄锡矿^[1]、硫镉矿与金银矿物等; 脉石矿物主要为石英、碳酸盐 (方解石与菱铁矿), 其次有绿泥石、绢云母、石膏等。脉石矿物成分基本上与近矿围岩的成分相一致。

矿石的结构构造比较多样, 和我国西北地区小铁山、厂坝等铅锌矿床比较具有如下特点: ①矿石矿物普遍比较粗大, 尤其是方铅矿、闪锌矿等有时可达伟晶、巨晶状。黄铁矿部分结晶较粗, 但大部分呈中细粒状或胶状、半胶状。矿体中尚可见到少量闪锌矿 (方铅矿) 呈细粒级的条带或细脉浸染状存在。②部分硫铁矿的胶状结构在 I 矿带比较发育, II 矿带次之, III 矿带比较少见。而硫铁矿由胶态向晶态的转化, 例如胶黄铁矿→细晶黄铁矿、白铁矿→粗晶黄铁矿是比较特征的。总的来说, 硫铁矿的胶状形式是多样的, 如细条纹条带状、团块状、草莓状, 一般均早于晶态黄铁矿、闪锌矿、方铅矿的生成。推测胶状硫铁矿可能为成矿初始阶段的产物。③矿石条带状构造发育, 由黄铁矿、胶黄铁矿为主的条带与以闪锌矿 (方铅矿) 为主的条带交互出现, 条带的产状一般仍与围岩层理、片理产状一致, 由于粗晶化和局部活化转移, 致使条带状构造变得不完整, 但仍可从中见有未被粗晶化的细粒状闪锌矿条带的残留 (如 47 线北川)。在夹有脉石条带的矿石中, 具黄铁矿变斑晶的胶黄铁矿条带

与含铅锌黄铁矿、胶黄铁矿条带和含铅闪锌矿条带交替出现,更具有原始沉积的特点。④斑纹状、花斑状方铅矿或闪锌矿矿石,金属矿物嵌布于白色脉石(碳酸盐)中,呈浸染-条带状或浸染-粗网环状,金属矿物呈中粗至伟晶状。此类矿石往往产于矿体边侧大理岩或夹于矿体中之大理岩残留体边部,显示铅锌矿化局部活化转移与交代的特征。而矿石中往往还含有胶黄铁矿。这种矿石矿物结构特征的差异,其成因意义有待讨论。⑤在Ⅲ矿带矿化绢云绿泥石英片岩中,黄铁矿主要顺片理分布,并且有受动力变质的形迹;铅锌矿化可顺片理,亦常见于斜切片理的细微裂隙中分布。这种细脉浸染可能说明铅锌矿化只是就地活化近距离转移的结果。⑥矿石中角砾、碎屑的多期性,矿物碎裂结构的特别发育,均表明在一个构造活动的环境中,成矿、活化、改造的复杂过程。如含早期黄铁矿-胶黄铁矿角砾及围岩角砾的铅锌矿石,表明前者生成后,后期构造作用使方铅矿、闪锌矿胶结前者;由矿石矿物碎屑胶结含有围岩角砾的矿石,则为成矿后构造作用的产物。矿石中闪锌矿的不同存在形式,如自形晶、他形晶以及为石英、胶黄铁矿、黄铁矿等包嵌的“碎屑”,更说明了闪锌矿的多世代性和成矿环境的活动性。

按硫化矿石的矿物成分和结构构造特点,可将锡铁山矿区划分为如下矿石类型:(1)条带状-块状黄铁矿(胶黄铁矿)-闪锌矿-方铅矿矿石;(2)条带状-浸染状黄铁矿(胶黄铁矿)-闪锌矿-方铅矿矿石;(3)星散状-细脉浸染闪锌矿-方铅矿-黄铁矿矿石;此外还有伟晶状、花斑状、角砾状矿石以及单矿物矿石,如方铅矿矿石、闪锌矿矿石、黄铁矿矿石、胶黄铁矿矿石等。

在矿石的矿物生成顺序上,可归纳为以下几点:(1)胶黄铁矿早,黄铁矿、白铁矿晚;(2)硫铁矿矿物早,铅、锌、铜的硫化物矿物晚;(3)闪锌矿早,方铅矿晚;(4)块状矿石中金属矿物一般早于脉石矿物,而脉石矿物中石英、菱铁矿一般早于方解石、石膏;(5)同一种矿物,例如黄铁矿、闪锌矿具多世代特点,尚有早晚之别,情况比较复杂。成矿是多期的,Ⅰ、Ⅱ矿带的条带状-块状硫铁矿及细粒铅锌硫化物和Ⅲ矿带浸染状含铅锌黄铁矿化为第一期产物;Ⅰ、Ⅱ矿带充填交代硫铁矿的粗晶化方铅矿、闪锌矿,Ⅲ矿带充填微细裂隙构造的细脉浸染体为第二期产物;伟晶状方铅矿、闪锌矿、方解石组合,较为常见的晶洞内矿物,穿切围岩与主矿体的脉状体,以及穿切围岩的含矿碳酸盐、石英脉与含矿的菱铁矿脉等为更晚期生成物。

(四) 主元素与伴生元素的分布特点

矿石矿物主要有黄铁矿、胶黄铁矿、闪锌矿、方铅矿,因而矿石主元素为铅、锌、硫、铁;其伴生元素主要有金、银、锡、镉、镓、铟、铜、砷等。就其储量而言它应属铅锌(银)矿床和大型的硫矿床。其铅锌比近于0.82。据近年来半工业选矿试验所得原矿品位资料^①(铅2.78—4.54%,锌6.16—6.22%,硫16.24—20.45%,金0.5 g/t,银25—27 g/t),表明主元素含量较高外,金、银等伴生元素可综合利用。

铅锌在空间分布上具以下特点:①含矿层位的下部矿带(Ⅰ)块状矿石为多,铅锌富;上部矿带(Ⅲ)细脉浸染状矿石为多,铅锌贫;中部矿带(Ⅱ)条带状、块状矿石为多,铅锌含量变化较大。②从矿区总体而言,铅锌比值(Pb/Zn)由北西向南东有变低的趋势;Ⅱ₁₀矿

① 据青海省锡铁山矿务局资料(1978—1982)。

体亦显示相同的变化趋势。③就单一矿体而言,中心部位一般厚而品位高,边缘部位一般薄而品位低。但从垂深上看,无明显的金属元素分带现象。④在地表,矿体发育氧化带,显示铅高锌低的特点,氧化带中锌的流失是特别明显的。

矿石中伴生可供综合利用的金、银等元素是锡铁山矿床的又一特点。研究其赋存状态和分布特征,不但会提高原铅锌矿石的经济价值,并为该矿床成因与同类型矿床类比提供有益的信息。金、银分布有以下特征:1)氧化带中的金、银含量一般高于原生矿石中的含量;2)金、银在矿石中的含量随硫化物矿化强度而变化(表1)。在矿化岩石和浸染状矿石中一般金、银含量极低,而在条带状-块状铅锌矿石中金含量变化大,最高可达6.55 g/t以上;在Ⅲ矿带块状铅锌、黄铁矿矿石中,金含量变化小,一般含量低于2 g/t、大于1 g/t。富铅矿石银含量高;3)金、银在主要矿石矿物中的分布特征见表2。部分单矿物试金分析结果表明:黄铁矿含金,闪锌矿、方铅矿一般不含金;银主要分布于方铅矿中,一般均在500 g/t以上;黄铁矿、闪锌矿中也含有一定量的银,但一般低于30 g/t;4)金、银部分以金银矿等矿物相存在,主要仍可能为微细粒机械混入或类质替换分散于载体金属矿物中。

表1 矿石中金、银含量变化表

矿石类型	Au、Ag(g/t)及主要成分(%)						变化范围(g/t)	
	Au	Ag	Pb	Zn	TFe	S	Au	Ag
浸染状矿石	0.085	0.97	0.05	0.27	6.73	2.57	0.00—0.16	0.00—7.6
块状铅锌黄铁矿矿石	0.77	32.40	0.62	4.03	36.20	35.08	0.10—1.69	17.5—50.00
条带状、块状铅锌矿石	0.92	88.5	7.97	16.19	16.77	20.49	0.06—6.55	26.00—173.30

(本表据五坑OPT₀剖面的矿石分析结果整理)

从上述金、银分布特征及其地质位置综合考虑:1)富铅矿体一般应是(含)银铅矿体;2)由于金、银分布的不均匀性,因而在富矿体或块状矿石中可能出现金、银相对富集地段;3)金、银赋存状态的多样性可能为成矿过程多阶段的反映;4)在含矿层位中,铅锌矿最富集的区段也是金银相对富集的区段。这种一致性可能表明铅、锌、金、银成矿作用的依存性质。

表2 部分单矿物金银含量

矿石矿物	含量(g/t)		含量变化范围(g/t)	
	Au	Ag	Au	Ag
黄铁物	0.34	14.57	0.03—0.88	7.7—21.0
闪锌矿	0.00	15.00	0.00—0.00	9.0—18.0
方铅矿	0.00	566.60	0.00—(2.14)	512.0—795.7

其他伴生元素简述如下:①铜主要以黄铜矿或乳油状黄铜矿存在于矿石或矿物中,一般含量不高,但局部可达工业品位,而在含矿层位中铜矿化还是比较多见的;②闪锌矿是重要的载体矿物,镉、镓、铟等含于其中,可供综合利用;③矿石、矿物中硒、碲低,镍、钴亦低;④锡可以多种状态出现,但主要以黄锡矿存在,其分布不均匀,局部地段含量较高;⑤矿石中含铬偏高,这与矿石中发现有铬铁矿矿物的情况相一致,其来源可能与含矿围岩中有铬尖晶石类矿物的基性“次火山岩”有关。

四、对矿床成因的初步探讨

综上所述,锡铁山铅锌矿床的如下基本特点可作为探讨其成因的主要线索:

- (1) 矿床产于优地槽火山-沉积岩系中,矿体成群分布,矿带沿一定层位延伸。
- (2) 含矿绿岩系的时代,据牙形刺等化石资料对比和铷-锶法等时线年龄值(464百万年),岩系时代可确定为晚奥陶世(O_3),其成矿时代只能与地层时代相同或稍晚。
- (3) 含有含矿绿岩系成分的紫红色砂砾岩系(D_3),不整合于绿岩系之上。表明在早古生代后期,存在着一次强烈的造山运动(加里东旋回)。
- (4) 在含矿绿岩系中,火山熔岩(包括枕状熔岩)、火山碎屑岩及含火山质沉积岩比较发育,硅质岩、含铁硅质岩(红碧玉)亦有发育。由此推断,在锡铁山域内可能曾存在有海底火山喷发中心。
- (5) 在含矿绿岩系中,存在着两个碳酸盐岩、含碳质铁锰质岩石比较发育的火山沉积岩层位。其北层位中,产出有块状硫化物矿床,伴有含黄铁矿硅质岩,基本上不见重晶石分布;其南层位中,弱硫化物矿化,产出有小型重晶石矿床,含铁硅质岩(红碧玉)^[2]呈似层状、透镜状分布。含铁硅质岩中铁矿物相的不同,可能代表了两个层位喷气-沉积环境的明显差别。在含矿层位中,火山碎屑岩、火山质沉积岩和基性次火山岩的存在,表明在相对宁静期间,仍存在着火山喷发侵入活动和可能相联系的喷气沉积成矿活动。
- (6) 矿体、矿石具某些沉积、同生的特点,其主要地质依据:主矿体形态呈层状、似层状或透镜状,其产状与区域构造线和地层产状一致;条带状矿石发育;条带状、草莓状胶黄铁矿发育;与近矿围岩具相似的变质、变形程度;近矿围岩蚀变并不很强。
- (7) 矿体、矿石具某些热液改造、充填交代的后生特点,其主要地质依据:矿体边界不太平整,局部斜切层理或片理;脉状矿体的存在;矿石普遍粗晶化,方铅矿、闪锌矿可出现粗晶、伟晶状结构;矿石矿物系列中交代结构较普遍;中低温围岩蚀变普遍存在,如绿泥石化、绢云母化较强,碳酸盐化、硅化、黄铁矿化也较多见。
- (8) 在含矿层位的下盘,诸如大理岩、千枚岩、板岩中,见有同质的内碎屑、石英粗“碎屑”或“角砾”出现,在白色大理岩中绿岩大角砾(20—30厘米)呈孤立状产出,周围还伴有铅锌矿化;在矿体中胶黄铁矿呈各种几何形态出现而又被其他矿物交代或围绕。这些现象可能表明,在成矿早期,生长性断裂的存在控制着海底喷气沉积洼地的发育或火山喷发、喷气作用所产生的影响。
- (9) 硫同位素组成特征是 δS^{34} 值变化范围不大,离差程度约小于6‰,接近于陨硫石组成,与西北同类型矿床以及日本别子型、黑矿型等矿床类比亦是相近的(表3)。
- (10) 锡铁山矿石铅同位素组成: Pb^{206}/Pb^{204} 比值为17.65—18.467, Pb^{207}/Pb^{204} 比值为15.106—15.813, Pb^{208}/Pb^{204} 比值为36.927—39.30。在直角坐标系中均偏离正常铅演化曲线;在三角坐标系中均分布于卡农(1960)划分的钼型铅域内。表明矿石铅是多阶段演化的产物,其铅源除来自幔源外,尚可能存在壳源或基底铅的混入。
- (11) 据我组所获金属矿物“热声分析”数据和所得闪锌矿气液包裹体均一温度($220^{\circ}\text{C} \pm$)表明,成矿应属中低温型(见表4)。这与闪锌矿、方铅矿矿物对硫同位素平衡温度等资料

表3

矿物硫同位素组成表

项 目	$\delta S^{34} (‰)$					
	方 铅 矿	闪 锌 矿	胶 黄 铁 矿	黄 铁 矿	毒 砂	石 膏
样品数(个)	25	29	4	23	1	2
变化范围	-1.4—+2.7	+0.2—+6.2	+2.0—+3.2	+2.1—+5.5	+5.0	+5.9
离散程度	4.1	6	1.2	3.4		
平 均 值	+1.328	+3.962	+2.825	+3.722	+5.0	+5.9

(部分资料引自青海冶金地质八队, 由赵统整理)

也较接近。闪锌矿形成时的“矿液”温度为 $220^{\circ}\text{C} \pm$, 这一温度可能只反映了锡铁山矿床在后期热液叠加改造时的温度。

(12) 矿化具多期次, 矿石矿物及主要脉石矿物具多世代。例如在闪锌矿中含铁、锰组分上是有变化的, Fe为6.13—11.97%, Mn为0.21—3.00%; 脉石矿物气液包裹体含盐度有变化^[4], 即出现两个含盐度区间 (3.2—11.0重量%, 32.0—34.7重量%); 矿石中矿物结晶程度具明显差异, 即在同一块矿石标本上, 同时可见胶状、细粒、粗粒矿物, 甚至可见巨晶矿物。这种矿物结晶程度上的“差异”本身亦表明成矿过程和改造过程的复杂性。

(13) 矿床金属储量大部集中于有限的区段内, 这可能反映矿质来源充分, 成矿速度快等条件。

在早期, 有关锡铁山铅锌矿床的成因观点为远程中低温热液裂隙充填交代型。随着成矿理论的发展, 现在对该矿床的成因认识亦有了较大的变化, 主要有三点: i) 矿床具层控性; ii) 矿质来源与成矿过程可能和火山作用有关; iii) 原来的成矿产物经历了改造, 因而显示复合成因的特征。由此一般认为它是火山喷发沉积变质改造或叠加层控矿床。在成矿时代、成矿作用、改造方式等方面尚有多样认识。现根据我们对矿床地质特征的认识, 对该矿床成因作初步探讨。

(一) 古火山活动与成矿过程可能有比较密切的时空关系。矿床位于祁连地槽系的南侧, 柴达木地块北缘, 赛什腾山—绿梁山—锡铁山一带, 为早古生代优地槽的地质环境。在中奥陶世末期, 断陷海槽的下拗, 接受了火山喷发—沉积物的补偿。锡铁山区段, 火山活动强烈, 可能潜在有火山喷发中心。在早期火山喷发阶段后, 出现相对宁静期, 火山喷气沉积可能在某些海底洼地中形成含铅锌硫铁矿的沉积; 在晚期火山喷发阶段, 中基性火山喷发—侵入活动所伴随的喷气活动, 可能为早先形成的含矿层或矿体提供深部热源, 甚至提供部分成矿气液, 促使其含矿层位更加富集铅锌等有用组分^[9]。

表4

项 目	金属矿物包体起爆温度($^{\circ}\text{C}$)				备 注
	闪锌矿	方铅矿	黄铁矿	毒砂	
样品数(个)	11	7	8	1	胶黄铁矿无
I 矿带	285.6	335.2	353.0		打印记录, 有
II 矿带	279.0	283.0	336.0	295.0	一个方铅矿也
平 均 值	279.0	320.3	345.9	295.0	无打印记录

(由南京地质矿产研究所用 NJ-794 型热声分析仪测定)

(二) 加里东末期, 深海槽的褶皱回返, 火山-沉积物随着成岩过程、区域变质和造山运动而变质、变形。早期成矿作用的产物与含矿主岩一起经受了变质与变形。在构造-热液因素的驱使下, 成矿元素在新的地球物理化学条件下活化转移, 普遍地就地粗晶化或短距离迁移以致形成局部斜切层理或脉状充填交代矿体, 使矿体、矿石的初始状态发生了极大的变化。除局部残留现象可供认识外, 大部已经叠加改造而难以辨认。

综上所述, 对锡铁山铅锌矿床的成因, 我们初步认为: (1) 矿床赋存在下古生界海相火山岩系, 是与火山喷气沉积活动有关的以铅锌为主的块状硫化物矿床; (2) 成矿可能距火山机构较远, 具“远侧型矿床”的特征^[1]; (3) 经受了“热液”的叠加和改造。因而可称之为火山喷气-沉积热液叠加改造型块状硫化物(铅、锌)矿床。

主要参考文献

- [1] 任英忱 1966 青海一地区铅锌矿床地质及矿石的主要特征 《西北金属矿床》 科学出版社
- [2] 宋志高 1982 白银厂块状硫化物矿床的形成环境及其成因意义 地质评论 28卷4期
- [3] E. T. Degens D. A. Ross 1979 在活动性裂谷中或其附近发现的层控金属矿床 《层控矿床和层状矿床》 四卷四章 地质出版社
- [4] 刘斌 1985 锡铁山铅锌矿床的流体包裹体特征及成矿物理化学条件的初步探讨 矿床地质 第4卷 第1期
- [5] Anderson C. A., 1969, Massive sulfide deposits and volcanism. *Economic Geology*, Vol. 64, No. 2, pp. 129—146.
- [6] Hutchinson R. W., 1973, Volcanogenic sulfide deposits and their metallogenic significance. *Economic Geology*, Vol. 68, No. 8, pp. 1223—1246.
- [7] Solomon M., 1976, “Volcanic” massive sulfide deposits and their host rocks—a review and an explanation, *Handbook of Strata-Bound and stratiform ore deposits*, Vol. 72, No. 4, pp. 549—572.
- [8] Large R. R., 1977, Chemical evolution and zonation of massive sulfide deposits in volcanic terrains. *Economic Geology*, Vol. 6, pp. 21—55.
- [9] Plimer I. R., 1980, Exhalative Sn and W deposits associated with mafic volcanism as precursors to Sn and W deposits associated with granites. *Mineral Deposita*, Vol. 15, No. 3.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE XITIESHAN MASSIVE SULFIDE DEPOSIT, QINGHAI PROVINCE

Wu Jieren

(Xian Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy
of Geological Sciences)

Abstract

The Xitieshan Pb-Zn deposit is one of the large-sized massive sulfide deposits prospected successfully in the Northwest China in the late 1950's. This paper describes the geological background and characters of the deposit, and also makes an approach to its genetic classification on the basis of the geolo-

gical reconnaissance.

Geotectonically the Xitieshan Pb-Zn deposit is situated at the northern border of Qaidam Basin, belonging to the Saishitenshan-Luliangshan-Xitieshan Caledonian eugeosynclinal foldbelt, and also on the southern side of Qilian geosyncline system.

The ore-bearing greenstone series, which consists mainly of sodium-rich intermediate-basic volcanic rocks intercalated with intermediate-acid rocks and some sedimentary rocks, extends as a belt in NW-SE direction.

In accordance with the data of conodonts and Rb-Sr isotope age (464.6Ma) in Xitieshan area, the greenstone series should be of Upper Ordovician (O_3) and can be correlated with the Tanjianshan Group (O_3tn) of Saishitengshan region, with its overlying terrain being sandy gravel sediments of upper Devonian (D_3) and Lower Carboniferous (C_1) system. The greenstone series can be divided into three lithologic members: the lower member of intermediate-acid-intermediate-basic volcanic rocks, the middle member of sedimentary rocks (composed of volcanoclastic rock, carbonate rock, silicites and ferruginous silicites, phyllite, slate, etc.), and the upper member of intermediate-basic volcanic rocks. In this area, from north to south, the rock sequence occurs as a monocline without any significant magmatic activity except for frequent volcanism-intrusions.

The basic characters of the deposit are as follows:

(1) Ore belt occurs in the lower part of the middle lithologic member along a definite horizon which consists of carbonate rocks and tuffaceous phyllite slate and carbonaceous schist. However, the ore-bearing rocks are of great diversity and tend to occur in a transitional part of a layer or a lithologic unit.

The main ore bodies take stratiform, stratoid or lenticular forms and are conformable with the overlying and underlying strata with some of them locally intersecting the stratification or schistosity. The boundary of ore bodies is rather irregular. The pocket-like or vein-like ore bodies, though small, can also be observed. Ores are in great varieties. The lower ore bodies composed mainly of massive ore are rich in Pb-Zn, while the upper ore bodies composed mainly of the striped and veinlet-disseminated ore are usually deficient in Pb-Zn.

The metallic mineral assemblage in the ore is quite simple, consisting mainly of pyrite (pyritogelite), sphalerite and galena, locally associated with chalcopyrite. The structure and texture of the ore are rather unusual. The stripes of the ore trend essentially in accordance with the stratification and

schistosity of wall rocks. There are remainders of pyritogelite which have been notably replaced by other metallic minerals. In addition, there are macrocrystalline and pegmatophyric textures appearing against the background of the fine-grained structure, and the veinlet-disseminated texture occurring widely in the tuffaceous phyllite slate.

In short, the ores are characterized by both contemporaneous deposition and post-magmatic hydrothermal reformation, i. e., the ores have experienced autochthonous activation and transference for a short distance.

(3) The mean ratio of lead to zinc ($Pb/Zn=0.82$) tends to decrease along the NW-SE direction. One of the important characters of the ore deposit is its relatively high contents of gold and silver. The mean grade of gold and silver in primary ore is Au 0.5g/t. Ag 25—27g/t, with uneven distribution (and local concentration).

In addition, the ores are associated with relatively high Sn, Cd, Ga, In, As, Cr and less Ni, Co, Se.

(4) The homogenization temperature ($220^{\circ}\text{C}\pm$) of gas-liquid inclusions in sphalerite, which is essentially concordant with the data of the thermo-acoustic analysis of sphalerite, should belong to a middle-low temperature mineralization. The temperature, however, only reflects a possible state of macro-crystallization during the mobilization stage of the ore deposit.

(5) Some related stable-isotope data indicate: 1) the S-isotopic composition in ore minerals (δS^{34} generally being $+1-+5\%$, deviation extent $<6\%$) is close to the sulfur in meteorite in content. 2) According to the Pb-isotopic composition in ore minerals (Pb^{206}/Pb^{204} being 17.65—18.467, Pb^{207}/Pb^{204} 15.106—15.813, Pb^{208}/Pb^{204} 36.927—39.30), the lead in the ore must be a polystage evolutionary product instead of a normal lead.

In conclusion, the Xitieshan Pb-Zn deposit is characterized by stratabound volcanogenesis and multiple-reformation. The source of metallogenic materials and the processes of mineralization may also be associated with volcanism. The ore deposit, therefore, should be called volcanic exhalation-sedimentary and hydrothermal superposition-reformed massive sulfide ore deposit.