

文章编号:0258-7106(2005)05-0471-10

柴北缘地区的两类块状硫化物矿床

——I. 锡铁山式 SEDEX 型铅锌矿床*

张德全¹, 王富春², 李大新¹, 丰成友¹, 余宏全¹, 李进文¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012)

摘 要 作者以连续的两篇文章综述了柴北缘地区的加里东造山带中产出的两类不同的块状硫化物矿床, 这就是喷流沉积(SEDEX)型 Pb-Zn 矿床和火山岩容矿的块状硫化物(VHMS)型 Cu-S 矿床。认为它们在成矿后的造山过程中受到过不同程度和不同成矿作用的改造, 使之兼有后生矿床的特征。锡铁山 Pb-Zn 矿床的主体是属于以沉积岩为容矿岩石的喷流沉积(SEDEX)型矿床。它的含矿岩系形成于早奥陶世(486 ± 13 Ma)弧后盆地环境中, 并在加里东期碰撞造山过程中发生了强烈的北东—南西向斜向挤压缩短, 导致喷流沉积成矿作用形成的原始铅-锌-黄铁矿层, 后期遭受了强烈的构造改造, 从而在一定程度上使矿体的空间分布受到后期构造的控制。此外, 该矿床也程度不大地受到过后期热液改造。为更加显示它的地区性特色和强烈的后期改造, 作者建议将其称为“锡铁山式 SEDEX 型铅锌矿床”。在该式矿床的勘查过程中, 既要注重研究同生成矿作用对矿体的控制, 也要重视研究后期构造对含矿层和矿体的破坏和改造。

关键词 地质学; SEDEX 型 Pb-Zn 矿床; 锡铁山式 Pb-Zn 矿床; 柴北缘

中图分类号 P618.42; P618.43

文献标识码 A

中国西部古生代造山带中有一批块状硫化物贱金属矿床, 这些矿床在后来的造山过程中大多受到过不同程度和不同成矿作用的改造, 这主要是因为中国西部古亚洲成矿域以古生代陆壳增生和小陆块汇聚为特征, 具有多岛洋、软碰撞和多旋回造山的特点(殷鸿福等, 1998)。由于后期成矿作用的改造, 使这些矿床兼有其他成因类型矿床的特征, 并因此导致了对矿床成因认识上的争论, 从而为理论研究和进一步找矿带来困难, 柴达木盆地北缘(以下简称柴北缘)地区的喷流沉积型矿床就是例子。

柴北缘是中国西部重要的铅锌铜成矿带之一, 块状硫化物是该成矿带中铅锌铜矿的主要矿床类型, 而早古生代滩间山群火山-沉积岩系则是柴北缘地区这类同生矿床最主要的含矿岩系。根据含矿岩系的岩石学特征, 将产于滩间山群中的块状硫化物矿床分为 2 个不同的类型: 以火山岩为容矿岩石的块状硫化物矿床(简称 VHMS)和以沉积岩为容矿岩石的喷流沉积矿床(SEDEX)。前者以青龙滩 Cu-S 矿床为代表, 后者以锡铁山 Pb-Zn 矿床为典型。它

们在后来的造山过程中, 均遭受到构造或侵入岩浆期后热液的强烈改造, 从而具有其他矿床类型的特征, 为更加显示它们的地区性特色和强烈的后期改造, 并区别于经典的 VHMS 和 SEDEX 型矿床, 本文建议将前者称为青龙滩式 VHMS 型 Cu-S 矿床, 后者命名为锡铁山式 SEDEX 型 Pb-Zn 矿床。本文主要介绍锡铁山式 SEDEX 型 Pb-Zn 矿床, 青龙滩式 VHMS 型 Cu-S 矿床将于下期介绍。

1 锡铁山式 SEDEX 型 Pb-Zn 矿床简介

锡铁山铅锌矿床是中国西部地区著名的大型铅锌矿床之一, 该矿床发现于 20 世纪 50 年代, 1982 年开始大规模开发, 1987 年锡铁山矿务局建成并逐步形成较大的采选生产能力, 目前已成为中国的骨干铅锌矿生产矿山之一。矿床位于海西州大柴旦东 72 km, 产于柴北缘加里东造山带中段早古生代大型沉积盆地的次级盆地内。矿区呈 NW(约 325°) 向的狭长条带状, 长 5 500 m、宽 800 m(图 1)。矿区北侧

* 本文得到国家科技攻关计划(2003BA612A-07)和国家自然科学基金(40372051)的共同资助

第一作者简介 张德全, 男, 1946 年生, 研究员, 博士生导师, 从事矿床地质、地球化学研究。通讯地址: 北京市百万庄路 26 号中国地质科学院矿产资源研究所。

收稿日期 2005-03-22; 改回日期 2005-04-29。李 岩编辑。

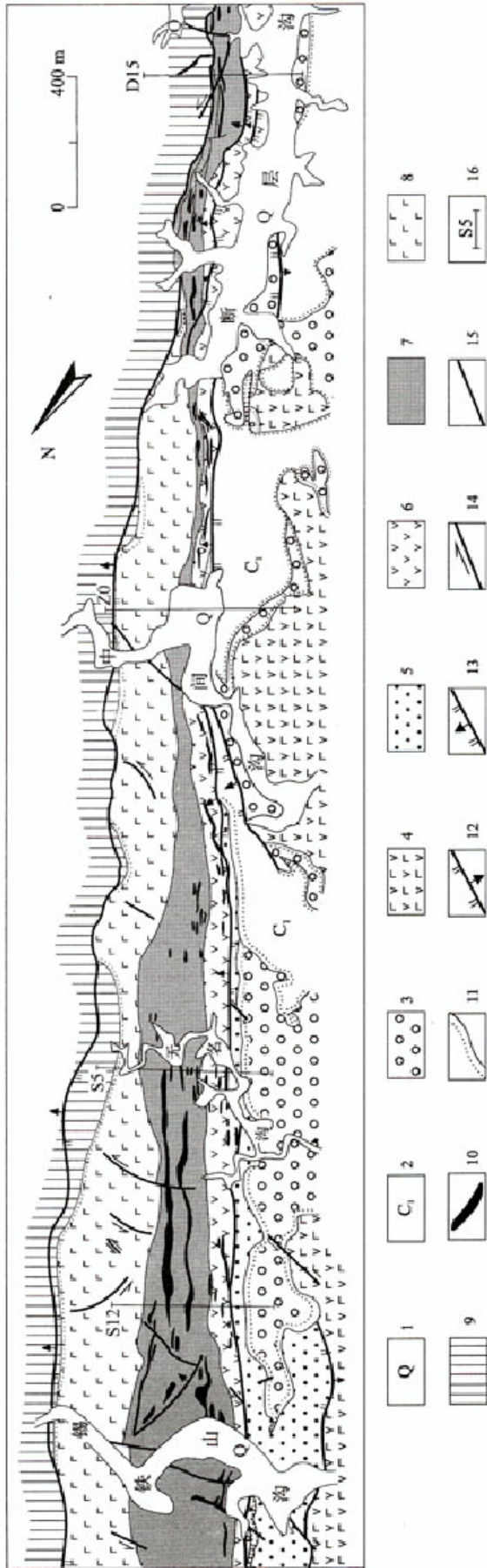


图 1 锡铁山铅锌矿床地质略图(据青海省第五地质队资料修编)

1—第四系;2—下石炭统砂岩;3—上泥盆统红色砂砾岩;4—滩间山群上部中-基性火山-沉积岩;5—滩间山群中部紫红色砂岩(上部含矿岩系);7—滩间山群下部沉积岩(下部含矿岩系);8—滩间山群下部基性和酸性火山碎屑岩互层;9—下元古界达肯达板群变质岩系;10—铅锌矿体;11—不整合界线;12—正断层;13—平推断层;14—性质不明断层;15—勘探线及编号

Fig. 1 Schematic geological map of the Xitichan lead-zinc deposit (modified from No. 5 Geological Party, Qinghai Province)

1—Quaternary; 2—Lower Carboniferous sandstone; 3—Upper Devonian red sandstone and conglomerate; 4—Intermediate-basic volcanic and sedimentary rocks of Upper Tanjianshan Group; 5—Red sandstone of Middle Tanjianshan Group (upper host rock); 6—Intermediate-basic volcanic and sedimentary rocks of Middle Tanjianshan Group (lower host rock); 7—Basic and acid volcanic rocks of Lower Tanjianshan Group; 8—Basic and acid volcanic rocks of Lower Tanjianshan Group; 9—Lead-zinc orebody; 10—Exploration line; 11—Normal fault; 12—Slip fault; 13—Indeterminate fault; 14—Exploration line; 15—Exploration line; 16—Exploration line

紧邻欧龙布鲁克地块(微陆块)的下元古界变质岩系,矿区中部及南部为早古生代滩间山群变质火山-沉积岩系。矿区中部局部有上泥盆统红色砾岩(磨拉石层,前陆盆地沉积组合)和下石炭统穿山沟组砂岩不整合覆盖于滩间山群之上。矿区范围内未见花岗质岩浆侵入体出露。

2 含矿岩系及主岩

2.1 含矿岩系

早古生代滩间山群火山-沉积岩系是锡铁山铅锌矿床的含矿岩系,该岩系已变质为绿片岩相的岩石。该含矿岩系在锡铁山矿区自下而上可分为 4 个岩组:

(1) 下部火山-沉积岩组。分上下 2 个岩段:下岩段为厚 21 ~ 272 m 的双峰火山岩(下部为流纹质和英安质火山岩,上部为基性火山岩,现已变质成斜长角闪岩);上岩段为变沉积岩,是该矿区的主含矿层。下岩段变质英安岩中锆石的 U-Pb 年龄为(486 ± 13) Ma(赵风清等,2003),表明锡铁山矿区之滩间山群形成于早奥陶世,而非前人所界定的晚奥陶世(青海省地质矿产局,1991)。

(2) 下部中-基性火山岩组。由变质的中-基性火山岩(斜长绢云绿泥片岩等)及沉积岩夹层组成。其中的基性火山岩具有钙碱性玄武岩、岛弧拉斑玄武岩和洋岛玄武岩等多重地球化学极性。在矿区的中间沟及断层沟一带,该层序底部断续分布有一薄层超镁铁岩(菱镁蛇纹岩)。该岩组的火山岩中偶见含 Cu(黄铜矿)的铅锌矿化,是矿区的一个次要含矿层。

(3) 中部紫红色砂(砾)岩组。由紫红色变砂岩夹含砾杂砂岩构成,夹少量砾岩。据岩石组合分析为浊积岩,保留鲍马序列的 TABC 段(赵风清等,2003)。砾岩中的砾石以火山岩、大理岩、炭质板岩为主,砾石的大小不等,分选和磨圆较差,属浅水斜坡相产物,是地壳抬升和早期火山喷发旋回结束的标志。

(4) 上部中-基性火山-沉积岩组。由一套厚大的中-基性火山岩夹沉积岩组成。基性火山岩中见枕状熔岩,岩石大多具洋脊火山岩的岩石化学极性。

2.2 化学沉积岩

矿区滩间山群下部火山-沉积岩组中常见硅质岩、含 Zn 的铁锰碳酸盐岩薄层或纹层。滩间山群下

部中-基性火山岩组中常见铁碧玉岩和硅质岩薄层或透镜体顺层展布。上部中-基性火山-沉积岩组中常见含铁硅质岩、碧玉岩及重晶石岩薄层或透镜体顺层展布。

总之,锡铁山铅锌矿床的含矿岩系是一套已经变质到绿片岩相的早奥陶世火山-沉积岩。铅锌主含矿层位于下部旋回的沉积岩中。含矿岩系中含丰富的化学沉积岩,由下部旋回的硅质岩层、铁锰碳酸盐岩层及铅锌黄铁矿矿层,上部旋回的重晶石层、硅质岩层,依次构成了一个含矿的化学沉积岩序列,从而显示了海底喷流沉积产物的层序特征。

2.3 含矿层及热液沉积岩

锡铁山矿床有 2 个含矿层,其中,下部火山-沉积岩组的上岩段为主含矿层,下部中-基性火山岩组为次含矿层。

(1) 主含矿层

是一套变质的灰黑色碳硅泥质沉积岩与碳酸盐岩的互层沉积,呈 NW—SE(约 325°)向层状分布,其下伏岩层是酸性火山碎屑岩(已变质为灰绿色绿泥斜长石英片岩)。主含矿层一般均可分出 10 多个不同岩性互层组成的岩层,其主要的岩石种类有:①含碳的片岩类,由含量变化较大的石英、绿泥石、绢云母、斜长石构成,岩石含碳(w_C ,总碳)1%左右,其中有机碳在 0.2% ~ 0.9%(国家地质实验测试中心分析),普遍见浸染状黄铁矿星点;②大理岩, w_{Mg} 低(平均 0.41%),向矿区两侧,大理岩的 MgO 含量增高,在断层沟一带见有菱镁大理岩出露。总体上,由下而上,由矿床中部向两侧,大理岩中镁、铁、锰的含量有增高的趋势,而铁锰质大理岩或锰矿层则主要产于该岩段之大理岩中,并主要见于矿区 NW 部位;③含锌菱铁铁矿石膏岩,薄层状(厚度一般小于 1 m),由含锌菱铁矿和石膏微晶组成极细的纹层,整合于层状矿体和大理岩层间,亦见呈脉状分布于片岩中,岩石含 $w(ZnO)$ 4.39% ~ 11.76%,且 Zn 大多以类质同象形式取代菱铁矿中的 Fe,形成菱锌矿;④矿石,常见金属矿物为方铅矿、闪锌矿、胶黄铁矿和黄铁矿,构成似层状矿体。

主含矿层沿走向及倾向的岩性及厚度变化很大。矿床中部厚度大(>200 m),向两侧逐渐减薄至数十米。主含矿层的厚度往往与铅锌矿体的厚度及矿体规模同步消长。现已查明,矿区中部锡铁山沟至断层沟一带,主含矿层之厚度最大,三级沉积海盆的中心(很可能是同生沉积断裂的位置)位于锡铁山

沟至骆驼峰(S5 勘探线)一带(图1),因而,这一地段的似层状铅锌矿体不但厚度大,且沿走向及倾向变化相对较小。

主含矿层中的矿体以似层状、透镜状为主,自下而上,矿层及其底、顶板的岩石是:①大理岩或含碳绢云石英片岩;②含碳石英钠长片岩;③含锌菱铁矿石膏岩;④铅锌黄铁矿矿层;⑤含锌菱铁矿石膏岩;⑥含碳绢云石英片岩或大理岩。从中可以看出,②、③、④、⑤明显地具有热液沉积岩的特点。

(2) 次含矿层

由下部中-基性火山岩组的中-基性火山碎屑岩及沉积岩组成,经浅变质后,它们主要为不含或少含碳质的各类片岩(绢云母+石英+斜长石+绿泥石)及少量大理岩薄层。在其底部的含碳绢云石英片岩中有小的层状、似层状铅锌黄铁矿矿体和含铜石英脉或细脉浸染状铅锌矿体。该含矿层厚度不大($\geq 33 \sim 94$ m),沿矿区中部呈NW—SE向稳定展布(图1)。次含矿层中的铅锌矿体之顶、底尚未发现明显的热液沉积岩,且矿体规模小、品位低,沿走向及倾向变化大。该含矿层的重要特点是:①含矿层内变质中-基性火山岩多;②黄铜矿及金含量较高,据20件矿石组合样统计, w_{Au} 0~2.3 g/t,平均0.34 g/t,而含黄铜矿石英脉一般产于该含矿层的中、下部。

3 矿区构造及变形、变质作用

锡铁山矿区的滩间山群内发育一系列走向NW(顺层)、向NE陡倾斜的脆性冲断层,此外还有一组短小的穿切地层的走滑断裂(左旋),这两组断裂通常破坏了矿体的连续性。与顺层断裂有关的斜向挤压作用,往往还导致多个矿体在倾斜方向上的斜列式带状展布或尖灭侧现(参见图2)。

矿区的滩间山群内部韧性和韧脆性变形构造发育,包括片理、中小型紧闭褶皱、窗棂构造和两组共轭的折劈理或膝折带、破劈理或挠曲。矿区北侧滩间山群与元古宙基底达肯达坂杂岩以大型韧性剪切带相接触,剪切带倾向NE,倾角 $65 \sim 75^\circ$ 。剪切带内的不对称构造或组构都指示了北东盘的达肯达坂杂岩向SW斜向仰冲,而SW盘的滩间山群则向NE斜向俯冲(郭进京,2000)。靠近该剪切带部位的滩间山群中,片理(糜棱岩面理)发育程度极高,且变质程度也较深。在滩间山群内部,褶皱转折端部位的片

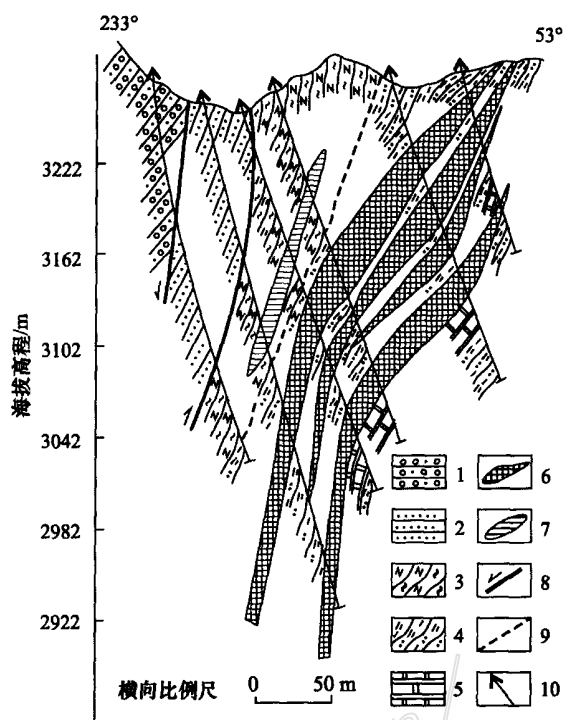


图2 锡铁山矿床S5勘探线地质剖面图

(据青海省第五地质队资料修编)

1—上泥盆统复成分砾岩;2—滩间山群细砂岩;3—滩间山群斜长绿泥片岩(次含矿层);4—滩间山群含碳绢云石英片岩(主含矿层);5—滩间山群大理岩(主含矿层);6—Pb-Zn主矿体;7—细脉浸染状矿体;8—断层;9—推测地质界线;10—钻孔

Fig.2 Geological section along S5 exploration line of the Xitieshan lead-zinc deposit (modified from No. 5

Geological Party, Qinghai Province)

1—Upper Devonian polymictic conglomerate; 2—Sandstone of Tanjianshan Group; 3—Plagioclase-chlorite schist of Tanjianshan Group (secondary host rock); 4—Carbonaceous sericite-quartz schist of Tanjianshan Group (main host rock); 5—Marble of Tanjianshan Group (main host rock); 6—Main lead-zinc ore body; 7—Veinlet-disseminated ore body; 8—Fault; 9—Inferred geological boundary; 10—Drill hole

理同样十分发育。远离韧性剪切带或褶皱转折端,片理发育较差。除在褶皱转折端部位可见到片理与层理斜交或直交外,其余部位则是片理和层理平行的复合面理。

滩间山群中发育的褶皱主要为中小型褶皱,可以分为2类;一类为韧性剪切带附近的不对称小型紧闭褶皱,另一类为剖面上的中型褶皱。后者发育于褶皱转折端部位的大理岩夹片岩中。大理岩中小型褶皱多呈对称形态,轴面片理即流劈理发育,显示出强烈的塑性变形特点。

滩间山群中构造线理主要为小褶皱枢纽或褶皱窗棂。在主含矿层的灰黑色含碳绢云石英片岩中的褶皱转折端附近发育有典型的褶皱窗棂构造。上述滩间山群中的韧性变形在其上覆的泥盆系砾岩的变火山岩砾石中可见到,说明其为加里东期碰撞造山作用的产物。如果把滩间山群的上述韧性构造变形作为加里东碰撞造山作用的地质纪录,那么上覆泥盆纪磨拉石建造的出现,则标志着柴北缘加里东期碰撞造山作用的终结。滩间山群在加里东期碰撞造山过程中发生了强烈的NE—SW向斜向挤压缩短(郭进京,2000;汪劲草,2000;赵风清等,2003),这也就注定了早奥陶世喷流沉积成矿作用形成的原始铅-锌-黄铁矿层,必将强烈地遭受后期的构造改造。

除发育上述韧性变形的构造形迹外,还发育有两组共轭透入性破裂,其产状稳定,一组为 $135^{\circ}\angle 65^{\circ}$,另一组为 $315^{\circ}\angle 70^{\circ}$,与层理或片理都呈大角度相交甚至直交。它们随岩性变化表现形式各异,在片岩中常表现为折劈,而在成分较均匀的厚层变中基性火山岩中则表现为密集的膝折带,在条带状或薄层状的岩层中则表现为挠曲。这些破裂常被白色方解石脉充填。

4 矿床地质特征

锡铁山矿床西起锡铁山沟西北的S27线,东至断层沟,矿化范围构成一长约5 500 m,宽50~350 m的带。矿化带呈NW—SE向展布,高角度倾向SW,与区域构造线方向一致。已探明铅锌工业矿体150多个,主要集中于无名沟(S2线)至锡铁山沟(S20线)间长1 700 m的地段,成群出现在主含矿层中。矿体群自NW方向的地表(3 200~3 350 m标高)向SE方向的深部侧伏延伸至2 500 m标高,尚未尖灭。

4.1 矿体

根据矿体在含矿层中的产出部位、产状、形态及其与围岩的关系,可将其分为似层状-透镜状矿体、细脉浸染状矿体、细脉-网脉状矿化体和角砾状矿体4类。

似层状-透镜状矿体(图2)占矿区已探明铅锌储量的90%以上。其与围岩界线较截然,产状与围岩大体一致。主要位于厚层大理岩顶部或底部与含碳绢云(绿泥)石英片岩的界面上,单个矿体长150~250 m,厚3~5 m,最大延伸400 m(尚未尖灭)。亦见其产于厚层大理岩内或厚层大理岩内片岩夹层与

大理岩的界面上,这类矿体较短(50~100 m)、厚度大(10 m±)、延伸小,但个数多、品位高、矿量大。还有少量矿体赋存在片岩中,其主要见于主含矿层下部和次含矿层底部含碳质的片岩中,规模小(长5~35 m、厚0.3~2.3 m),系由条带状矿石构成的贫锌矿体,矿体呈扁豆状,与地层产状或岩石片理平行。

似层状-透镜状矿体代表了锡铁山矿床的主体,它的下列空间分布特征,在一定程度上反映了其主要的喷流沉积成矿作用:①矿体完全沿狭长的含矿层展布,沿倾向作单斜叠瓦状重复出现。沿走向或倾向追索,同一主矿体可能在不同地段有不同的近矿围岩,即随地层岩石的相变,同一矿体可沿层分别产于大理岩、不纯大理岩、含碳片岩或绢云绿泥石英片岩中。这种矿(化)体的连续性与近矿围岩的多样性,反映了喷流沉积成矿的时控性,具有明显的同生成矿特点;②主矿体呈层状、似层状或透镜状,与围岩之间基本整合产出,但局部亦见凹凸不平或斜切围岩层理或片理,沿走向或倾向均存在分枝、复合、胀缩或尖灭再现,反映喷流沉积成矿作用发生于海底、属准同生沉积(晚于下盘岩石)。主矿体之长度往往是其延伸的1~4倍,向SE侧伏,故其走向基本代表了滩间山期三级海盆的长轴方向;③大部分矿体剥蚀深度不大,呈盲矿体,在走向上,其沿含矿层断续延长5 500 m,但单矿体延伸一般小于400 m。而由碎屑沉积岩、化学沉积岩和热液沉积岩及矿石组成的含矿层厚度不大,但走向上却稳定延长,倾向上不但相变剧烈,而且其中的化学沉积岩及热液沉积岩厚度变化极大。上述现象与区域上滩间山期海为一狭长的海槽的背景是完全吻合的,这一背景决定了其准同生沉积的矿化体的狭长条带状形态,此外,碰撞造山期强烈的NE—SW向斜向挤压缩短,也是一个重要的因素。

需要特别指出的是细脉-网脉状矿化体,其系由方铅矿、闪锌矿、黄铁矿及磁黄铁矿集合体构成的细脉和网脉,偶见于矿区东侧断层沟一带,沿达肯达板群与滩间山群边界断裂两侧的基底变质岩或滩间山群绿片岩层内的小断层或裂隙分布,有不少细脉切层或穿切片理。这类矿体很少,规模较小(较大者见于D15线北段,图1)、变化很大,勘查工作程度很低,是后生热液矿化的典型代表。

4.2 矿石

主要的矿石矿物有黄铁矿、胶黄铁矿、闪锌矿和方铅矿,有少量磁黄铁矿(单斜)、白铁矿、毒砂、黄铜

矿、磁铁矿和微量黄锡矿、硫镉矿、黝铜矿、锡石及金银矿物等;脉石矿物主要为石英及碳酸盐矿物(方解石、菱铁矿等),次为绿泥石、绢云母、石膏,偶见电气石、重晶石等,脉石矿物与围岩矿物组成基本一致。

矿石组构较复杂,在一定程度上,矿石的组构类型包含着矿石的成因信息:①似层状、透镜状矿体中,条带状构造极发育,以黄铁矿、胶黄铁矿集合体为主构成的条带和以方铅矿、闪锌矿为主构成的条带交互出现,条带的产状与围岩之层理及片理产状大致相同,从而显示了同生沉积的特点;②主要发育于似层状和透镜状矿体中的矿石,常见胶状结构,为主要由呈他形-自形尘状微晶($d < 0.005 \text{ mm}$)的黄铁矿、白铁矿、菱铁矿、磁铁矿组成的胶状集合体。成分及颜色不尽相同的胶黄铁矿构成的胶环,常被由板条状白铁矿微晶构成的火焰状、舌状或脉状集合体交代,隐晶质或他形粒状的菱铁矿微晶集合体环绕于黄铁矿胶环外侧,而菱铁矿微晶分解而成的磁铁矿微晶,呈微细粒($d < 0.02 \text{ mm}$)状环绕黄铁矿微晶分布。因此,构成胶环的各类微晶矿物大体的含量是:黄铁矿 40%~70%,白铁矿 5%~45%,菱铁矿及磁铁矿 5%~20%。这种胶状结构在一定程度上代表了初始的沉积组构;③变晶结构、花斑状构造基本上代表了矿石受后期热液改造的组构。部分粗晶或巨晶状的方铅矿、闪锌矿,部分较粗的黄铁矿是这一结构构造的特征。镜下常可看到胶黄铁矿→细晶黄铁矿或白铁矿→粗晶(变晶)黄铁矿的交代现象,或黄铁矿变晶被磁黄铁矿交代。花斑状构造常发育于似层状矿体的边部,由粗晶方铅矿、闪锌矿和脉石矿物构成的花斑状集合体,组成舌状等不规则形态,“刺入”围岩之中。具这类构造的矿石,其中的脉石矿物(方解石或石英)内同时捕获有气液包裹体、气相包裹体和含 NaCl 子晶的多相包裹体,亦证明其并非是海底喷流沉积的产物;④次含矿层中、下部或矿区东侧主干断裂旁侧的细脉浸染状或细脉-网脉状矿体中,部分矿石常具细脉状构造,这些脉有时不但切层,也穿切片理,亦显示其为后期热液成因;⑤部分矿石中见角砾或碎屑,可能说明了成矿的多世代性,而某些金属矿物(如黄铁矿)常发育的碎裂结构,则显示其具动力变质成因。

4.3 主要矿石矿物的标型特征

黄铁矿、闪锌矿、方铅矿是锡铁山矿床中最主要的矿石矿物。根据它们的产状、形态及物理性质,可将其分为 3 种类型,这 3 种类型的矿石矿物之主元

素和微量元素存在系统差异,这种差异即称为成分标型。而不同类型矿石矿物的成分标型,则在一定程度上反映了它们的成因信息。这 3 种类型的矿石矿物的产状、形态及显微镜下特征是:I 型,为产于似层状、透镜状矿体内,常具胶状结构和条带状构造的矿石中的矿石矿物,粒度较细,常与胶状黄铁矿环带共生,但略晚于胶状黄铁矿。其中,黄铁矿呈他形-半自形晶,粒径在 $0.02 \sim 0.05 \text{ mm}$ 者居多;闪锌矿粒径 $0.003 \sim 1 \text{ mm}$,棕黑色四面体,内部有黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿包体,偶见黄锡矿微晶;方铅矿呈他形晶,粒径 $0.02 \sim 0.05 \text{ mm}$ 。II 型,见于似层状或透镜状矿体中,且常见于这类矿体的边刺、边瘤中具变晶结构、花斑状或块状构造的矿石中,粒度较粗大。其中,黄铁矿呈他形-半自形晶,粒度均匀($d = 0.5 \sim 2 \text{ mm}$),常构成团块状集合体,环绕于胶黄铁矿之外,或沿胶黄铁矿的缝隙交代,或与方铅矿、闪锌矿一起构成花斑状矿石;闪锌矿呈棕黑色的四面体单晶或聚晶,较粗大($d = 1 \sim 2 \text{ mm}$);方铅矿呈他形-自形的立方体粗晶($d = 2 \sim 40 \text{ mm}$),其中偶见银金矿包体。III 型,常见于脉状矿体中的细脉状或细脉浸染状矿石内。其中,黄铁矿呈自形晶,粒度较均匀($d = 1 \sim 2 \text{ mm}$);闪锌矿呈棕红色的自形-半自形晶粒,常呈菱形十二面体,粒径 $0.5 \sim 2 \text{ mm}$,环带发育;方铅矿亦呈立方体自形晶,粒径约 2 mm 。

硫化物单矿物分析(这部分的内容将另外撰文详述)统计结果显示,黄铁矿、闪锌矿、方铅矿具下列成分标型:

(1) 从 I 型、II 型到 III 型,黄铁矿的 $w_{\text{Co}}/w_{\text{Ni}}$ 、 $w_{\text{Pb}}/w_{\text{Zn}}$ 、 $w_{\text{Cu}}/(w_{\text{Pb}} + w_{\text{Zn}} + w_{\text{Cu}})$ 及 $w_{\text{Au}}/w_{\text{Ag}}$ 值增大,而 $w_{\text{S}}/w_{\text{Se}}$ 值减小,其中, I 型黄铁矿 $w_{\text{Co}}/w_{\text{Ni}} < 1$, II、III 型者 $w_{\text{Co}}/w_{\text{Ni}} > 1$ 。这显示 I 型黄铁矿具有喷流沉积或准同生成因的特点, II、III 型则具有明显的后期热液改造或热液矿床黄铁矿的成分标型。II、III 型黄铁矿相对富 Pb、Cu 和 Au 的特点,尤其是 III 型黄铁矿的这一特点,与柴北缘地区华力西期构造-岩浆-成矿作用的主成矿元素基本吻合。

(2) I 型、II 型、III 型闪锌矿的 $x(\text{ZnS})$ (摩尔分数)逐渐增高,而 $x(\text{FeS})$ 逐渐降低,且它们的 Au 和 Cu 含量逐渐增大,不但说明它们的形成环境有较大差异,亦反映 III 型闪锌矿的标型元素与柴北缘地区华力西期构造-岩浆-成矿作用的主成矿元素基本吻合。

(3) II、III 型方铅矿的 Pb 含量较 I 型方铅矿为

高,表明热液改造过程使方铅矿渐渐变纯,而从 I 型方铅矿到 II、III 型方铅矿,它们的 Cu 含量逐渐降低、Au 含量急剧增高,这种标型特点,与黄铁矿、闪锌矿的标型特点大体一致。少量分析结果给出的方铅矿的 w_{Se} 、 w_{Te} (I 型分别为 1.7×10^{-6} 和 0.14×10^{-6} , II 型分别为 1.3×10^{-6} 和 0.0×10^{-6}) 证明 I 型较 II 型的 Se、Te 含量高,从而预示 I 型方铅矿和 II 型方铅矿成因上有差异。

4.4 主元素及伴生元素分布特点

锡铁山矿床矿石主元素为 Pb、Zn、S,伴生元素 Ag、Au、Sn、Cd、In、Cu、As 等。就其储量而言,它为大型铅锌硫(银、金)矿床。

矿床氧化带平均 w_{Pb} 4.73%, w_{Zn} 1.66%,原生带平均 w_{Pb} 3.34%, w_{Zn} 6.75%。按原生带平均品位计,全矿床 $w_{Pb}/w_{Zn} = 0.49$;按总储量计,全矿床 $w_{Pb}/w_{Zn} = 0.84$ 。

铅锌在空间分布上,具如下特点:①似层状、透镜状矿体比细脉浸染状矿体品位高,大理岩中的透镜状矿体最富;主含矿层下部似层状、透镜状矿体品位高,次含矿层中的矿体品位低;具后期热液改造特点的矿体或矿石品位高,改造愈强烈、矿石矿物重结晶愈好、粒度粗大者,铅锌品位愈高,尤其铅品位高。②沿走向,矿床的北西段以铅锌矿石为主,黄铁矿相对较少,Pb、Zn 品位高,矿床南东段矿石中黄铁矿增多,Pb、Zn 品位降低,矿区南东部深部矿体中大量出

现磁黄铁矿。从而显示由 NW 往 SE, Pb、Zn 含量有变低的趋势。③图 3 表明,自矿床 NW 往 SE,主矿体中的 w_{Zn}/w_{Pb} 有明显的逐步增高趋势,矿床 NW 端为无铅锌矿的锰矿体,往 SE,至锡铁山沟一带,矿体的 $w_{Zn}/w_{Pb} < 1$,至无名沟一带, w_{Zn}/w_{Pb} 达最高 (> 2),在无名沟南西 400 m 处的 Z36 线一带的深部 (3 000 m 标高之下),铅锌矿体逐渐被硫铁矿体(含铜)取代,从而显示出很明显的水平分带。在垂向上,总体上存在由 SE 深部向 NW 浅部 w_{Zn}/w_{Pb} 值的降低趋势,而矿体的垂向延深,则表现在锡铁山沟 SE 侧 600 m 处和无名沟 SE 侧 400 m 处及锡铁山沟 NW 侧 100 m 处存在矿化中心。如果不考虑后期热液叠加而使铅更富集的因素,仅以喷流沉积作为主成矿作用,并假定主含矿层的陡倾斜产状是成矿后的构造过程的话,则可推断主喷流口可能在矿床 SE 部的深部。④氧化带中矿石的金(平均 0.78 g/t)、银含量(平均 0.56 g/t)一般高于原生矿石,反映次生氧化作用导致了 Au、Ag 的次生富集;原生矿石中,Au、Ag 的含量往往与硫化物含量呈同消长关系,Ag 在方铅矿中含量最高,Au 则与热液改造型的硫化物相关,如 III 型方铅矿平均 w_{Au} 5.355 g/t。在矿区 SE 部深部的硫铁矿体内,有 6.9 m 平均 w_{Au} 达 6.21 g/t(单孔见矿),该段岩石强硅化、碳酸盐化,发育变形组构,并见有磁黄铁矿细脉穿切片理,表明金成矿可能与后期热液成矿活动有关。

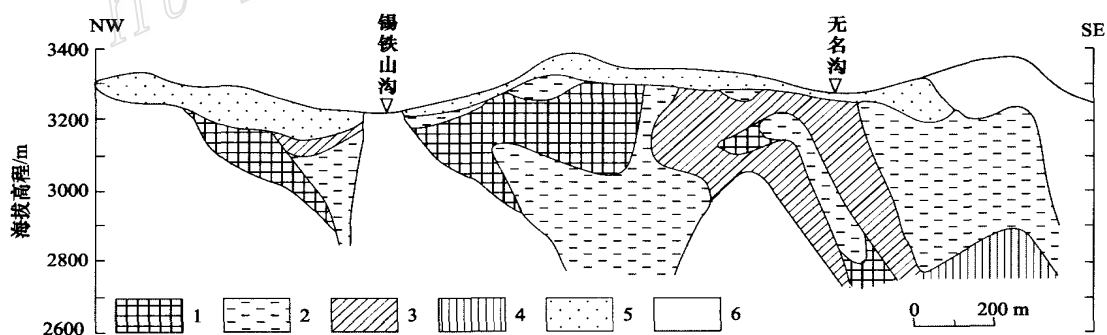


图 3 锡铁山矿床矿体纵向上 w_{Zn}/w_{Pb} 值的变化(据青海省第五地质队资料修编)

1~3: 原生铅锌矿体,其中 1— $w_{Zn}/w_{Pb} < 1$; 2— $w_{Zn}/w_{Pb} = 1 \sim 2$; 3— $w_{Zn}/w_{Pb} > 2$; 4—铅锌硫化矿(黄铁矿+磁黄铁矿)矿体;
5—铅锌矿体($w_{Zn}/w_{Pb} < 1$)氧化带; 6—无矿区

Fig. 3 Longitudinal section showing variation of the Zn/Pb ratio in orebodies of the Xitieshan lead-zinc deposit
(modified from No. 5 Geological Party, Qinghai Province)

1~3: Primary orebody, 1— $w_{Zn}/w_{Pb} < 1$; 2— $w_{Zn}/w_{Pb} = 1 \sim 2$; 3— $w_{Zn}/w_{Pb} > 2$; 4—Lead-zinc sulfide (pyrite + pyrrhotite) ore;
5—Oxidized lead-zinc ore ($w_{Zn}/w_{Pb} < 1$); 6—Barren area

5 矿床成因类型

根据含矿岩系、主岩以及矿体、矿石及主要矿石矿物特征,并结合同位素示踪及流体包裹体研究结果(另文详述),笔者认为锡铁山矿床的主体是属于被改造过的 SEDEX 型铅锌矿床。

弧后盆地是 SEDEX 型铅锌矿床的最佳成矿环境之一(Large, 1983)。而根据对柴北缘地区滩间山群的大地构造属性研究^①,锡铁山矿区滩间山群火山-沉积岩系恰形成于早奥陶世弧后盆地环境,主含矿层是一套变质的灰黑色碳硅泥质沉积岩与碳酸盐岩的互层沉积,再往上是固结的粗粒沉积物(浊积岩),尽管其层序相反,但与经典的 SEDEX 型铅锌矿床主岩的岩石组合(Goodfellow et al., 1991)是一致的。含矿岩系中含丰富的化学沉积岩,由上部旋回的重晶石层、硅质岩层,往下部旋回的硅质岩层、铁锰碳酸盐岩层及铅锌黄铁矿层,依次构成了一个含矿的化学沉积岩序列,从而显示了海底喷流沉积产物的层序特征。铅锌主矿体完全沿狭长的含矿层展布,矿体呈似层状、透镜状产于大理岩和碳质片岩界面附近,与 SEDEX 型铅锌矿床的特征基本吻合。矿石常具胶状结构和条带状构造,其特征矿石矿物为胶黄铁矿和 I 型黄铁矿、闪锌矿、方铅矿,脉石矿物为绿泥石、绢云母、石英、碳酸盐矿物(方解石、菱铁矿、菱锰矿)、石膏及重晶石、电气石。与其相关的热液蚀变主要见于矿层上盘的岩石中,有绢云母化、硅化和碳酸盐化,其中绢云母化发育于近矿围岩中,硅化及碳酸盐化蚀变主要见于矿体内。喷流沉积成矿期矿石矿物的多世代性,特别是它们按胶黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿构成的先后顺序,显示该成矿期尚存在多个成矿阶段。然而,由于后期热液改造作用,使得原始喷流沉积成矿期的成矿阶段划分变得十分困难。

锡铁山矿床中 SEDEX 型铅锌矿体在成矿后发生过构造和热液改造是毋庸置疑的,而且构造改造对该矿床的勘查,特别是隐伏矿体的找矿,具有十分重要的意义。首先,加里东期碰撞造山过程中滩间山群 NE—S W 向挤压缩短,使滩间山群向 NE 侧的达肯达板杂岩之下斜向俯冲,与矿床中的矿体群向 SE 深部的侧伏在运动学上是一致的。其次,矿体在

空间上的斜列式展布和褶皱重复,以及矿体在强应变带被挤压变薄、拉断或被断裂错失,在构造扩容带膨大等等(汪劲草等, 2000),也是成矿后构造改造的结果。而且与构造变形同时的变质热液改造也很明显,其表现在似层状和透镜状矿体边部的不规则状“边刺”、“边瘤”,形成的矿石具变晶结构、碎裂结构,花斑状构造或块状构造,其产状一般平行于面理,表明变质热液成矿作用仅仅是原喷流沉积成矿产物的原地改造加富作用。特征的矿石矿物为 II 型黄铁矿、闪锌矿和方铅矿。矿石变质组构发育,矿石矿物粒度加粗的矿石中 Pb 组分含量增高。

此外,产于矿区主干断裂两侧不同时代地层内穿层的脉状矿体中的矿石具脉状结构,且发育有宽度不大(一般在 1 m 左右)的绢云母化、硅化和方解石化脉旁蚀变,石英和方解石中有气液包裹体、气相包裹体和含 NaCl 子晶的多相包裹体(均一温度最高达 400 ℃,另文详述)共存,完全不同于似层状、透镜状矿体中的流体包裹体类型(气液包裹体为主的气液包裹体、气相包裹体和有机质包裹体共存)。特征的金属矿物为 II 型黄铁矿、闪锌矿、方铅矿以及黄铜矿(常构成黄铜矿石英脉)。在主含矿层中的似层状矿体中,于块状方铅矿矿石内,亦在其中的方解石中见到共存的气液包裹体、气相包裹体和含 NaCl 子晶的多相包裹体,从而表明该期的热液矿化亦曾对形成于喷流沉积-变质热液改造作用下的似层状矿体进行过改造。这种改造的结果,使矿石矿物晶粒加粗, Pb 含量,尤其是 Au 含量增高,从而反映矿床中局部 Au 的富集可能主要得益于本期热液矿化作用。高温的含 NaCl 子晶多相包裹体的存在,应该是岩浆期后热液矿化的典型特征,也预示着锡铁山矿区可能隐伏有晚华力西期花岗岩体,因为该区域范围内有晚华力西期花岗岩类的大规模侵入活动,而矿区北侧就有晚华力西期花岗岩基出露。

总之,锡铁山矿床的主体是属于喷流沉积(SEDEX)型矿床。它的含矿岩系形成于早奥陶世[(486 ± 13) Ma]弧后盆地环境中,并在加里东期碰撞造山过程中发生了强烈的 NE—S W 向斜向挤压缩短,导致喷流沉积成矿作用形成的原始铅锌黄铁矿层,后期遭受了强烈的构造改造,从而在一定程度上使矿体的空间分布受到后期构造的控制。此外,该矿床也程度不大地受到过后期热液改造(可能与

① 张德全,等. 柴北缘地区滩间山群的构造属性及其对块状硫化物矿床的控制. 待刊.

晚华力西期花岗岩浆期后热液有关)。

因此,锡铁山铅锌矿床是被后期构造和热液改造过的 SEDEX 型铅锌矿床,其中构造改造还非常强烈,为区别于经典的 SEDEX 型矿床,特别是为反映其地区特色,笔者建议将其称为“锡铁山式铅锌矿床”。所以,这就需要在找矿,特别是隐伏矿体的预测和勘查中,既要注意研究同生成矿作用中的控矿要素,更要重视后期构造对含矿层和矿体的破坏和改造。也许,这正是老一辈矿床学家不断提醒我们要“重视矿床形成后的变化和保存”的意义所在(翟裕生,1999;2000)。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. 1991. Regional geology of Qinghai Province, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 662 p(in Chinese) .
- Goodfellow W D, Lydon J and Turner R. 1991. Sedimentary-hydrothermal Zn-Pb sulphide deposits: Attributes and origin[J]. The Gangue, 36: 10~11 .
- Guo J J. 2000. Structural analysis of the Tanjianshan Group in the north margin of Qaidam block, China and its implication[J]. Progress in Precambrian Research, 23 (3): 147~152(in Chinese with English abstract) .
- Large D E. 1983. Sediment-hosted massive sulphide lead-zinc deposits: An empirical model[A]. In: Sediment-hosted stratiform lead zinc deposits[C]. Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook, 9: 1~27 .
- Wang J C, Huang Y P and Fu R. 2000. The recognition on a few key geological problems of Xitieshan mine area, in Qinghai Province[J]. Mineral Resources and Geology, 14(1): 11~15(in Chinese with English abstract) .
- Yin H F and Zhang K X. 1998. Evolution and characteristics of the central orogenic belt[J]. Earth Sci. —J. China Univ. Geosci., 23 (5): 438~442(in Chinese with English abstract) .
- Zhai Y S. 1999. On the metallogenic system[J]. Earth Science Frontiers, 6(1): 13~27(in Chinese with English abstract) .
- Zhai Y S. 2000. Metallogenic system and its evolution: From preliminary practice to theoretical consideration[J]. Earth Sci. —J. China Univ. Geosci., 25(4): 333~339(in Chinese with English abstract) .
- Zhao F Q, Guo J J and Li H K. 2003. Geological characteristics and isotopic age of Tanjianshan Group along northern margin of Qaidam basin[J]. Geol. Bull. China, 22 (1): 28~31 (in Chinese with English abstract) .

附中文参考文献

- 郭进京. 2000. 柴北缘锡铁山地区滩间山群构造变形分析[J]. 前寒武纪研究进展, 23(3): 147~152 .
- 青海省地质矿产局. 1991. 青海省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 662 页 .
- 汪劲草, 黄永平, 傅锐. 2000. 对青海锡铁山矿区几个关键地质问题的认识[J]. 矿产与地质, 14(1): 11~15 .
- 殷鸿福, 张克信. 1998. 中央造山带的演化及其特点[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 23(5): 438~442 .
- 翟裕生. 1999. 论成矿系统[J]. 地学前缘, 6(1): 13~27 .
- 翟裕生. 2000. 成矿系统及其演化——初步实践到理论思考[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 25(4): 333~339 .
- 赵凤清, 郭进京, 李怀坤. 2003. 青海锡铁山地区滩间山群的地质特征及同位素年代学[J]. 地质通报, 22(1): 28~31 .

Two types of massive sulfide deposits on northern margin of Qaidam basin, Qinghai Province: I. Xitieshan style SEDEX lead-zinc deposits

ZHANG De-quan¹, WANG Fu-chun², LI Da-xin¹, FENG Cheng-you¹, SHE Hong-quan¹ and LI Jin-wen¹

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China)

Abstract

Two types of massive sulfide deposits occur in the Caledonian orogenic belt along the northern margin of Qaidam basin, i. e. sedimentary exhalative (SEDEX) Pb-Zn deposits such as the Xitieshan Pb-Zn deposit and volcanics-hosted sulfide (VHMS) Cu-S deposits like the Qinglongtan Cu-S deposit. They were reformed in different degrees by different ore-forming processes during the orogenic activity after the formation of massive sulfide orebodies, thus having both syngenetic and epigenetic characteristics. The main orebodies of the Xitieshan

lead-zinc deposit occur in sedimentary rocks and belong to Sedex type. Their host rocks (with zircon U-Pb age of 486 ± 13 Ma) were formed in Early Ordovician backarc basin and underwent intense NE-SW trending compression-shortening deformation during the Late Caledonian collision, resulting in structural reformation and structural control of the original lead-zinc-pyrite horizon. In addition, the Xitieshan lead-zinc deposit was more or less reconstructed by epigenetic hydrothermal fluids. It is suggested that the deposit be termed Xitieshan-style lead-zinc deposit so as to emphasize its local characteristics and distinguish it from classical SEDEX-type deposits. Importance should be attached to both the controlling role of syngenetic structures and the destruction and/or reformation of epigenetic structures in the prospecting for orebodies of this type of deposits.

Key words: geology, SEDEX type lead-zinc deposit, Xitieshan style lead-zinc deposit, northern margin of Qaidam basin

第八届国际矿床地质会议在北京举行

国际矿床地质学会(Society of Geology Applied to Mineral Deposits,简称 SGA)于 1965 年创立于海德堡,是欧洲地质学家创建的学术组织,该组织的学术刊物为《Mineralium Deposita》。国际矿床地质会议为 SGA 的学术会议,自 1991 年以来每两年举行一次,每次会议均出版论文集,其中的所有论文均被 ISTP 收录。

第八届国际矿床地质会议于 2005 年 8 月 18~21 日在中国首都北京举行。此次会议是 SGA 的一个里程碑,因为它是第一次在欧洲之外举行的大会,表明了 SGA 致力于扩大国际参与以及矿床地质学家全球化的决心。本次会议由 中国地质大学(北京)、中国地质科学院矿产资源研究所、国家自然科学基金委员会、中国地质学会、Society of Resource Geology(资源地质学会)、Society of Economic Geologists(经济地质学会)、International Association on the Genesis of Ore Deposits(国际矿床成因协会)、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院地球化学研究所、南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室和中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室协办发起,由中国地质大学(北京)和中国地质科学院矿产资源研究所承办。

来自全球 70 多个国家和地区的近 700 人出席了会议,其中国外专家和学者 350 余人。会议共收到论文 460 篇。各国专家在 4 天的会期中,就 14 个分会议题和 5 个专题讨论展开了学术交流,宣读了 185 篇论文,展示了 200 篇论文。特别值得一提的是,SGA 经济地质学会和国际矿床成因协会 3 大国际矿床学术组织的主席全部到会,《Economic Geology》、《Mineralium Deposita》、《Resource Geology》、《Ore Geology Reviews》的 4 位主编同时出席。460 篇论文汇编成 3 卷论文集,其中的两卷由德国 Springer-Verlag 出版社出版,第三卷由中国大地出版社出版。

本次会议主题为“矿床研究-应对全球挑战”,主要研讨了构造、岩石圈和深部地幔对矿集区和大型矿床的控制,盆地演化过程中的成矿作用,铀矿床成矿作用及铀矿勘查,岩浆与贱金属矿床,金成矿体系,海底成矿系统和古代类似物——全球 VMS 对比(IGCP 502),通过精确定年、同位素示踪和微量元素地球化学探索矿床系统,普通矿床地质,东亚大陆边缘中生代地球动力学及成矿作用,特提斯-喜马拉雅造山带新生代成矿作用,泛阿尔泰造山带地球动力学和成矿作用(IGOD 和 IGCP-486 项目发起),Au-Ag-Se-Te 矿化系统的成矿作用(IGOD 和 IGCP-486 项目发起),隐伏矿床的靶区定位及中国矿床的发现、勘探及开发等 14 个分会议题。同时,还包括地球化学块体——预测大型、巨型矿床的概念和方法,矿床成因——当前成矿理论及勘探模型,岩浆硫化物矿床——地质、地球化学及勘探,金矿床——新发现和勘查(SEG 专题讨论会)及东亚金矿床——成因、分布和勘查等 5 个专题讨论。

会前安排了 3 条野外路线考察,分别为内蒙古西部白云鄂博巨型 Nb-REE-Fe 矿床和乌拉山脉状金矿床、胶东大型造山型金矿床及相关花岗岩岩体及横穿蒙古的矿床剖面(由 SEG-IGOD 发起)。会后安排了 6 条地质考察路线,分别为长江中下游地区斑岩-矽卡岩-层控 Cu-Au-Mo 矿床,华北克拉通北缘与侵入岩有关的金矿床,西秦岭大型矿床,贵州省寒武纪黑色页岩为主岩的 Ni-Mo-Au-PGE、重晶石矿、磷矿床和卡林型金矿,日本九州南部浅成低温热液金矿床及云南省大型东川铜金矿和兰坪(金顶)铅锌矿床。

第九届国际矿床地质会议将于 2007 年在爱尔兰首都都柏林举办。