



埃塞俄比亚阿迪戴斯塔 VSHMS 型 铜锌矿床地质特征

高长亮^{1,2}, 党万民¹, 刘鹏磊¹, 吕涛¹, 高志友¹, 陈永昊¹, 张勇¹, 高荣政¹, 高昕旸¹

(1. 山东省地矿工程集团有限公司, 山东 济南 250014; 2. 山东省鲁北地质工程勘察院, 山东 德州 253015)

摘要: VSHMS 型矿床是近年来研究块状硫化物矿床的新动向, 埃塞俄比亚北部阿迪戴斯塔矿床为一个铜锌异体共生、伴生银的大型 VSHMS 型铜锌多金属矿床, 通过对该矿床的区域地质背景、矿区地质、矿床地质特征的研究, 指出铜锌矿床赋矿地层为新元古代特沙里特浅变质火山-沉积岩群, 矿带具有“双色蚀变带”特征, 并与典型 VSHMS 型矿床对比, 初步探讨该矿床的成因类型及成矿模式。

关键词: 铜锌矿床; VSHMS 型; 成矿模式; 埃塞俄比亚

中图分类号: P618.41

文献标识码: A

引文格式: 高长亮, 党万民, 刘鹏磊, 等. 埃塞俄比亚阿迪戴斯塔 VSHMS 型铜锌矿床地质特征[J]. 山东国土资源, 2016, 32(6): 19-26. GAO Changliang, DANG Wanmin, LIU Penglei, etc. Geological Characteristics of Adidesta VMS Type Copper-zinc Deposit in Ethiopia[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(6): 19-26.

盆地构造-沉积环境中的热水成因矿床, 除火山岩容矿型(VMS)、沉积岩容矿型(Sedex 或称 SMS)、砂页岩型(SST)和密西西比河谷型(MVT)^[1]外, 近年来火山-沉积岩容矿的块状硫化物型矿床(volcanic sediment-hosted massive sulfide deposit, 简称 VSHMS)已成为研究块状硫化物矿床的新动向^[2]。通过对埃塞俄比亚北部地区综合研究, 结合以往地质成果资料和邻区矿床的特征及成矿规律, 采取地质、物化探等综合勘查手段, 山东省地矿工程集团有限公司在该区初步查明阿迪戴斯塔(Adidesta)矿床^①是一个铜锌异体共生、伴生银的大型 VSHMS 型铜锌多金属矿床。该文主要简述该区 VSHMS 型铜锌矿床形成的地质背景及矿床地质特征, 初步探讨该矿床的成因类型及成矿模型, 以期对国内外同类型 VSHMS 矿床勘查与研究提供工作参考^[3]。

与莫桑比克洋过渡部位, 即阿拉伯-努比亚地盾西南部新元古代(东非大裂谷西缘)的增生岛弧的 NE 向缝合带, 经历了多地壳演化阶段^[4]。该区与其北部邻区施瑞 VMS 型、厄立特里亚的白沙、阿斯马拉地区代巴瓦 VMS 型^[4-6]铜锌成矿带的大地构造背景类似, 属前寒武纪浅变质火山-沉积岩区块状硫化物矿床成矿有利区。区域地层主要为新元古代特沙里特群(Tasliet)浅变质火山-沉积岩系及泰宾群(Tambien)浅变质沉积岩系(绿片岩相), 古生代冰碛岩及砂砾岩, 中生代砂岩、砾岩、灰岩及新生代砂、砾、粘土、砂岩及火山岩类; 区域构造主要有断裂、褶皱、裂隙、页理、剪切带, 以近 SN 向、NW 向、NNW 向及 NE 向断裂构造为主; 岩浆岩主要有新元古代(前造山期或同造山期)变质基性-超基性岩类、中酸性侵入岩和早古生代(造山期后)酸性侵入岩(图 1)。

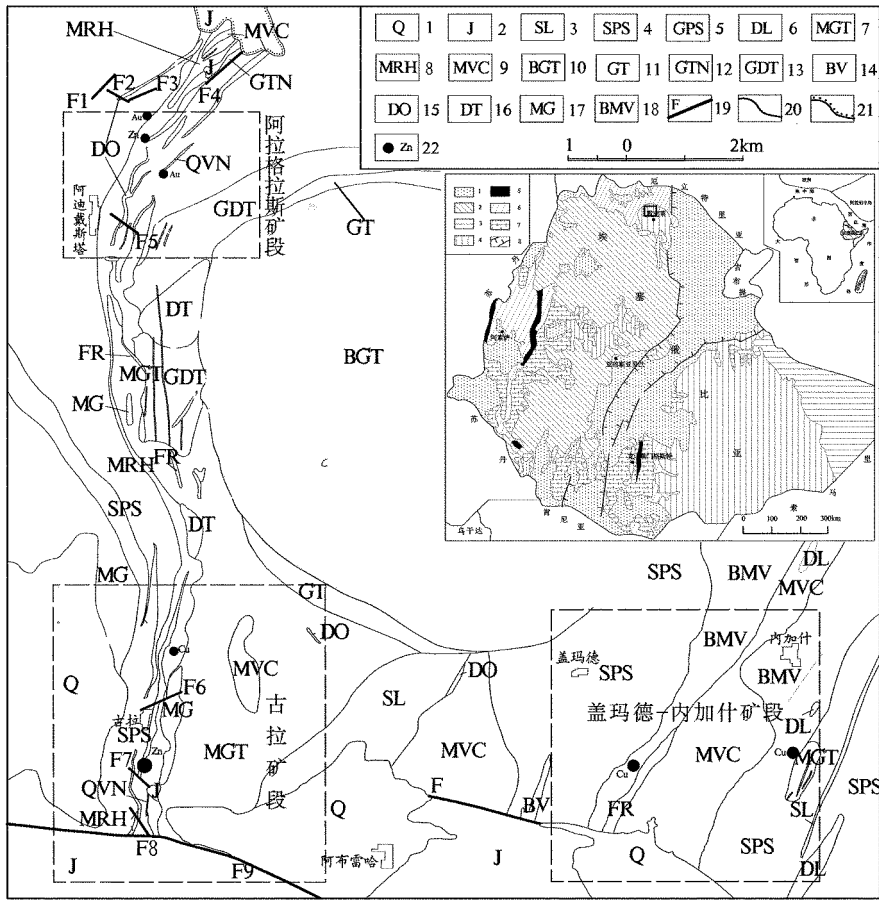
1 区域地质背景

埃塞俄比亚北部地区处于西冈瓦纳古陆东北缘

收稿日期: 2016-01-05; 修订日期: 2016-02-17; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 高长亮(1960—), 男, 山东莱芜人, 研究员, 主要从事地质矿产勘查及技术管理工作; E-mail: gaochangliang1960@163.com

①山东省地矿工程集团有限公司, 埃塞俄比亚提格雷州阿迪戴斯塔地区铜及多金属矿普查报告, 02013 年。



1—第四纪砂、砾、粘土等；2—侏罗纪砂岩夹砂砾岩；3—板岩；4—板岩、千枚岩、片岩；5—疙瘩状片岩；6—板状大理岩；7—板状花岗岩；8—变流纹岩；9—变火山碎屑岩；10—斑状黑云花岗岩；11—碱性花岗岩；12—花岗细晶岩；13—花岗闪长岩；14—闪长玢岩；15—辉绿岩、辉长岩；16—角闪石岩；17—变闪长岩；18—变辉长岩；19—实测断层及断裂带；20—地质界线；21—不整合地质界线；22—矿点

图 1 阿迪戴斯塔地区地质略图

2 矿区地质特征

地层：主要出露上元古界下部特沙里特浅变质火山—沉积岩及其上部泰宾群浅变质沉积岩。特沙里特变火山岩群自下而上分为内加什组、盖玛德组、古拉组。内加什组、盖玛德组分别由下部变基性火山岩和中上部中性变质角斑岩、火山碎屑岩、安山质火山角砾岩、安山质角砾凝灰岩、安山质晶屑凝灰岩及酸性火山岩组成，分别形成 2 个由基性到中酸性的火山喷发沉积旋回，其中夹部分浅变质沉凝灰岩、粉砂岩、炭质泥页岩（含石墨片岩）；古拉组由变流纹岩组成。内加什组—盖玛德组—古拉组构成一个较完整的基—中—酸性的火山喷发沉积旋回，形成原岩建造为一套海相火山—沉积岩系。泰宾群主要岩

性为板岩、板状大理岩、疙瘩状片岩、千枚岩夹板岩、片岩，原岩建造为一套海相沉积岩系。铜矿化主要在内加什组、盖玛德组下部（绿色蚀变）中基性变质火山碎屑岩中，锌矿化主要位于盖玛德组上部（浅灰色蚀变）中性安山质凝灰岩、安山质角砾凝灰岩及变质角斑岩及酸性火山岩中。

构造：主要表现形式为断裂、褶皱、糜棱岩带。断裂构造主要有 NW 向、NE 向及近 EW 向 3 组，其中 NE 向断裂较多。断裂构造规模一般都较小，其中规模较大的主要有 10 条。褶皱构造较简单，以内加什为 NE 向轴构成一较完整背斜，西翼岩层倾向为 285°~305°，倾角 60°~80°左右，东翼岩层倾向相反。糜棱岩带较发育，走向 NE，与区域构造线一致，其中规模较大的主要有 4 条，自西向东分别为

ML1, ML2, ML3, ML4。

岩浆岩:造山前(造山期)岩浆岩主要有新元古代的变辉长岩、辉绿岩脉、变闪长岩及片麻状花岗岩等;造山后岩浆岩主要有早古生代的斑状黑云花岗岩、碱性花岗岩、花岗细晶岩、闪长玢岩脉、斑状黑云花岗岩、斑状花岗岩及花岗斑岩。

3 矿床地质特征

3.1 矿化蚀变特征

铜矿化带:自西向东大致可圈为古拉矿段(I)、盖玛德矿段(II)、内加什矿段(III)。古拉矿段,矿化带走向 10° 左右,长约 250 m,宽 2~6 m,含铜最高为 2.97%;盖玛德矿段,矿化带走向 35° 左右,延伸长约 2 100 m,宽 15~60 m,最高为 3.82%;内加什矿段,铜矿化带走向 20° 左右,延伸长约 2 200 m,宽 20~70 m,含铜最高为 4.24%。

锌矿化带:自南而北可分为古拉(I)及阿拉格拉斯(II)矿段。古拉矿段锌矿化带为主矿带,地表长约 3 600 m,宽 20~120 m,延深 200~600 m,总体呈近 SN 向展布,倾向 280° 左右,倾角 $57^{\circ}\sim 75^{\circ}$;阿拉格拉斯锌矿化带,由分布零散的 6 处小矿化带组成,最高值为 5.93%,其中 II-①号锌矿化带为主带,走向 NE 向 40° 左右,总体产状 $317^{\circ}\angle 75^{\circ}$,带长约 700 m,宽约 70 m。

矿化带主要赋矿岩类以变火山岩类为主,次为变质火山—沉积岩类。铜矿化带赋矿岩性以绿色(风化色为浅灰绿、黄绿色)变中基性凝灰岩为主,次为变安山质火山角砾岩、角砾凝灰岩、凝灰岩(千枚岩、绢云片岩),长英质变火山碎屑岩、变质炭质泥页岩(含石墨千枚状板岩)及变质粉砂岩类,地表以含铜孔雀石化为主,深部为铜的硫化物;锌矿化带主要赋矿岩性为浅灰白色变安山质火山角砾岩、角砾凝灰岩、凝灰岩(千枚岩、绢云片岩),长英质变火山碎屑岩、流纹岩,变质石墨泥页岩(含石墨千枚状板岩)及变质粉砂岩类等,地表以含锌氧化物为主,深部为含锌硫化物。

矿区蚀变类型较多,有绿帘石化、绿泥石化、阳起石化、绢云母化、硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、石墨化、高岭土化、重晶石化、碳酸盐化及孔雀石化等。其中铜矿化带与绿帘石化、阳起石化、绿泥石化及孔雀石化蚀变密切相关,形成“绿色蚀变带”;锌矿化带

与绢云母化、硅化、高岭土化、重晶石化、碳酸盐化、地表弱褐铁矿化密切相关,形成“浅灰色蚀变带”。

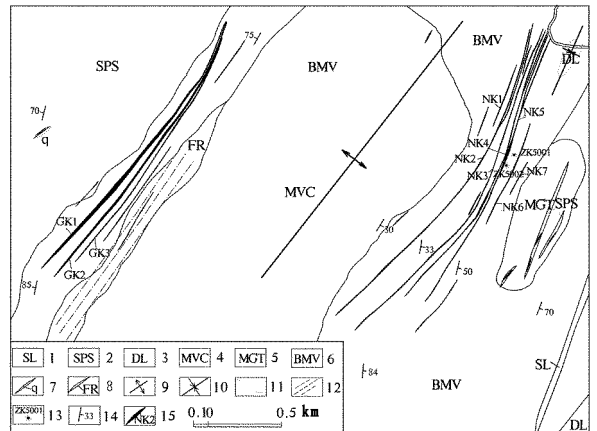
宏观上铜锌矿化层位具有“上锌下铜”二元结构特征,铜矿化带连续性差,类似裂隙构造蚀变系统,锌矿化带连续性较好,层控性明显。

3.2 矿体特征

矿区工业矿体以铜锌为主,且异体共生。金银铅矿化较弱,仅银达伴生要求,未发现其独立工业矿体。铜矿体规模较小,品位较富,以氧化矿为主;锌矿体规模大,品位较低,以原生矿为主。

3.2.1 铜矿体

全区 3 个矿段,共圈出铜矿体 12 个。盖玛德铜矿段:大致由 5 条铜矿体组成, GK2、GK3 号为主矿体。GK2 号矿体长约 1 650 m,宽 2~5 m,总体产状 $305^{\circ}\angle 70^{\circ}$,最高为 3.82%;GK3 号矿体长约 1 800 m,宽 2~6 m,总体产状 $305^{\circ}\angle 70^{\circ}\sim 76^{\circ}$,最高 2.56%。赋矿岩性以绿色变中基性凝灰岩为主,次为变安山质火山角砾岩、角砾凝灰岩、凝灰岩(千枚岩、绢云片岩)、变粉砂岩类(图 2、图 3)。



1—板岩;2—板岩、千枚岩、片岩;3—板状大理岩;4—变火山碎屑岩;5—板状花岗岩;6—变辉长岩;7—石英岩;8—细晶岩;9—背斜构造轴;10—向斜构造轴;11—地质界线;12—糜棱岩化带;13—施工钻孔位置及编号;14—产状;15—Cu 矿化体

图 2 盖玛德-内加什矿段地质略图

内加什铜矿段:产于内加什铜矿化带之中,大致由 6 条地表铜矿体组成, NK2, NK3, NK4 号为主矿体。NK2 号铜矿体,长约 1 600 m,宽 4~6 m,总体产状 $106^{\circ}\angle 50^{\circ}\sim 72^{\circ}$,含铜最高为 0.80%;NK3 号铜矿体,长约 1 550 m,宽 3~8 m,总体产状 $108^{\circ}\angle 60^{\circ}\sim 72^{\circ}$,含铜最高 2.74%;NK4 号铜矿体,长约 1 800 m,宽 2~8 m,总体产状 $110^{\circ}\angle 55^{\circ}\sim 75^{\circ}$,含铜最高

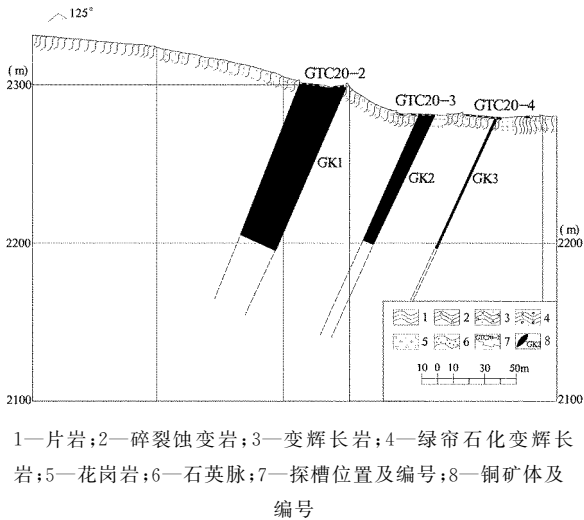


图 3 盖玛德铜矿段 20 勘探线剖面图

4.24%。各矿体赋矿岩性以绿色变中基性凝灰岩为主,次为变安山质火山角砾岩、角砾凝灰岩、凝灰岩(千枚岩、绢云片岩),长英质变火山碎屑岩、变质炭质泥页岩(含石墨千枚状板岩)及变质粉砂岩类(图 2)。

古拉铜矿段:仅圈出 1 个矿体,长 250 m,宽 1~2 m,总体产状 $280^{\circ}/70^{\circ}$,岩性为变安山质角砾凝灰岩、凝灰岩(千枚岩、绢云片岩),铜含量最高为 2.97%,锌含量最高为 0.52%,铅含量最高为 0.10%,银含量最高为 26.4×10^{-6} ,金含量最高为 0.71×10^{-6} 。

铜矿体地表含量较高,呈明显富集,深部含量明显降低,呈变贫趋势。

3.2.2 锌矿体

全区 3 个矿段共圈出锌矿体 7 个,其中古拉矿段为主矿段, I-①~③号矿体规模较大,是该区主要锌矿体(图 4、图 5),其特征如下:

I-①号锌矿体总体呈似层状,由 5 个钻孔及 8 条探槽控制,近 SN 向,总长度约 3 600 m,延深约 160~630 m,厚度 2.46~29.85 m,平均厚度 12.83 m,厚度变化系数 59.65%,属厚度稳定型。含锌品位 0.94%~1.68%,品位变化系数 47.17%,属有用组分均匀型。矿体伴生银,银平均含量为 3.24×10^{-6} 。矿体在平面上呈舒缓波状,由 F6, F7 断裂分为 3 段:南段矿体长约 920 m,厚度 2.46~29.85 m,平均厚度 13.24 m,延深 240~280 m,总体产状约 $272^{\circ}/57^{\circ} \sim 59^{\circ}$,具分支复合特征(图 5);中段矿体长约 1 440 m,厚度 4.01~11.52 m,平均厚度

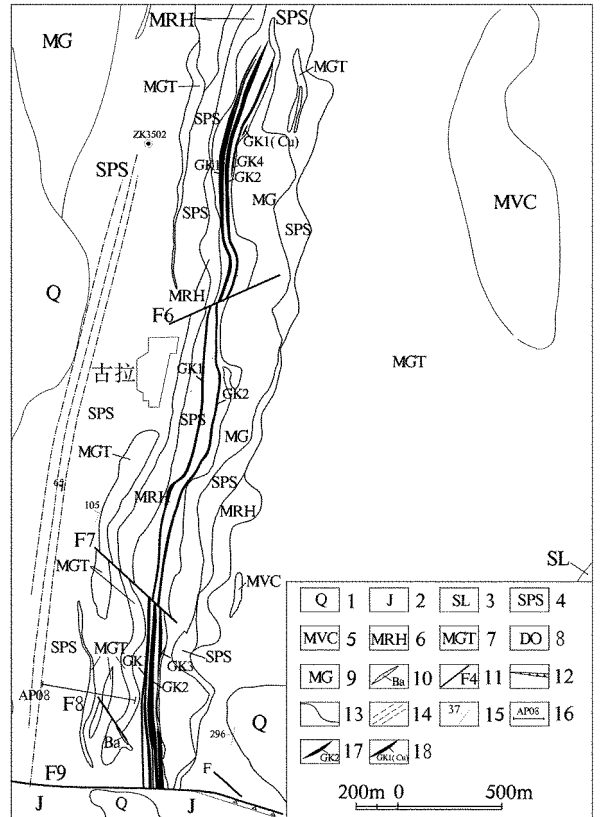
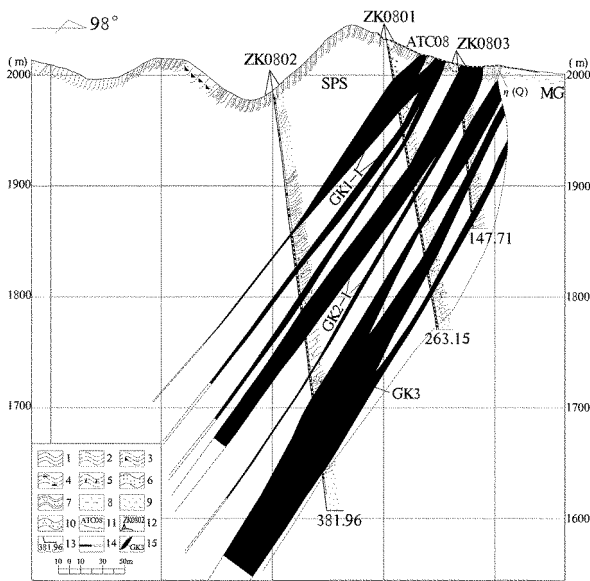


图 4 古拉矿段地质略图

8.33 m,延深约 160 m,总体走向 8° 左右,中间有弯曲,产状约 $280^{\circ}/62^{\circ}$;北段长约 1 240 m,厚度 9.72~26.15m,平均厚度 15.57 m,最大延深约 630 m,矿体总体走向 10° 左右,中间有弯曲,产状约 $282^{\circ}/53^{\circ}$ 。

I-②号锌矿体位于古拉锌矿化带的中部,矿体总体呈似层状,由 6 个钻孔及 8 条探槽控制,总长度约 3 610 m,厚度 7.31~27.79 m,平均厚度 16.45 m,厚度变化系数 45.73%,属厚度稳定型,延深约 290~700 m。含锌品位 0.85%~1.74%,品位变化系数 54.73%,属有用组分均匀型。

I-③号锌矿体总体呈似层状,由 4 个钻孔及 3 条探槽控制,地表可见 1 层矿体,分为南北 2 段,矿体走向近 SN 向,产状约 $273^{\circ}/57^{\circ}$,总长度约 880 m,地表出露长约 600 m,厚度 13.14~42.55 m,平均



1—片岩;2—千枚岩;3—褐铁矿化硅化千枚岩;4—含石墨千枚岩;5—含锌千枚岩;6—变火山碎屑岩;7—变流纹岩;8—变闪长岩;9—花岗岩;10—石英脉;11—探槽位置及编号;12—钻孔位置及编号;13—终孔深度(m);14—样品位置及编号;15—锌矿体及编号

图 5 古拉矿段第 08 勘探线剖面图

厚度 22.02 m, 厚度变化系数 52.85%, 属厚度稳定型, 延深 350~380 m。含锌品位 0.79%~1.29%, 品位变化系数 18.88%, 属有用组分均匀型。

锌矿体顶板以古拉组变流纹岩组为主, 底板为变安山质火山角砾岩、角砾凝灰岩、凝灰岩(千枚岩、绢云片岩), 变质石墨泥页岩(含石墨千枚状板岩)及变质粉砂岩类。矿体地表可见闪锌矿、黄铁矿等硫化矿物, 也见有褐铁矿等氧化矿物, 矿体氧化带及混合带深 10~20 m。

锌矿体自地表向深部, 多数地段显示变富趋势, 矿体在深部仍未尖灭。

3.3 矿石特征

矿石工业类型主要为铜矿石和锌矿石。按其氧化程度分为氧化矿、混合矿石及原生矿, 铜矿石以氧化矿石为主, 锌矿石以原生矿为主。铜、锌矿石中主要有用组分分别为 Cu, Zn; 伴生有用组分为 Ag, Pb。

3.3.1 铜矿石

铜矿石矿物为孔雀石、磁黄铁矿、黄铜矿、钛铁矿、闪锌矿、银矿物、黄铁矿及其他铜的硫化物等, 脉石矿物为斜长石、辉石、绿帘石、绿泥石、石英、绢云母、黑云母等。其中孔雀石主要在地表氧化带, 其赋

存状态多以细脉集合体形式赋存于矿石的微细裂隙中及片理面间, 部分呈细粒浸染状分布于矿石孔洞及矿物颗粒间; 黄铜矿主要在深部原生带, 呈铜黄色, 粒度较细, 多呈细粒浸染状分布于矿石的矿物颗粒间, 或与黄铁矿、磁黄铁矿等矿物相嵌分布, 黄铜矿呈他形粒状, 一般 0.1~0.3 mm, 少量 0.01~0.1 mm, 常与磁黄铁矿、闪锌矿等相伴生呈网脉状分布, 少量星散分布。

铜矿石按赋矿岩性主要分为: ①变基性凝灰岩型(矿区的主要类型), 灰绿色、深灰色, 中粒变晶结构, 浸染状及斑杂状构造, 铜含量在 0.50%~4.24% 左右; ②片状火山碎屑岩型, 深灰色、灰黑色、灰绿色, 中粗粒变晶结构, 变角砾状及片状构造, 铜含量在 0.50%~0.86% 左右; ③板岩(粉砂泥页岩)型, 呈灰色、灰黑色、浅灰绿色, 微细粒变晶结构, 板状及块状构造, 硅化较强, 铜含量在 0.5%~1.70% 左右。

3.3.2 锌矿石

锌矿石矿物成分主要为闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、钛铁矿等, 脉石矿物主要为钠长石、绢云母、石英, 次为方解石、绿泥石、黑云母、绿帘石、黑硬绿泥石、石墨等。其中闪锌矿多呈棕色、棕红色, 部分为浅黄色, 半透明, 金刚光泽, 多见两组解理, 形态为四面体及不规则粒状, 粒度较细, 一般小于 0.8 mm, 少数达 1.5 mm, 其赋存状态多以细脉集合体形式赋存于矿石的微细裂隙中, 部分呈细粒浸染状分布于矿石片理及矿物颗粒间。镜下观察: 闪锌矿多呈他形粒状, 一般 0.01~0.8 mm, 星散堆状或呈细脉状分布, 有的沿裂隙分布, 部分闪锌矿颗粒内嵌布有黄铜矿、毒砂、方铅矿等。

锌矿石结构主要为半自形—他形粒状结构(闪锌矿、黄铁矿等金属矿物集合体多呈半自形—他形粒状), 鳞片粒状变晶结构(闪锌矿等金属矿物多呈半自形晶, 且闪锌矿、黄铁矿颗粒与一些脉石矿物石英、绢云母、绿泥石等多形成鳞片粒状)。锌矿石构造主要为千枚状构造、片状构造(粒状及片状矿物多呈定向分布, 闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等金属矿物颗粒集合体多沿片理面分布, 部分沿裂隙面分布)、浸染状构造、似脉状构造(部分闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等金属矿物颗粒集合体形成枝杈细脉或小斑块分布于岩石其他矿物的颗粒间)。

锌矿石类型按赋矿岩性主要分为: ①变安山质火山角砾岩、角砾凝灰岩、凝灰岩型(千枚岩、绢云片

岩);②长英质变火山碎屑岩、流纹岩型;③变质石墨泥页岩(含石墨千枚状板岩)及变质粉砂岩(千枚岩、绢云片岩)型锌矿石等。

矿石中主要有用组分为 Zn,单样品最高品位为 3.53%,伴生有用组分为 Ag,其他 Au,Cu,Pb,As,F 含量都较低。组合样品中 Ag 含量为 $1.19 \times 10^{-6} \sim 8.20 \times 10^{-6}$ 。

根据矿区内变火山岩型矿石硅酸盐全分析结果:主要容矿岩性为变质中酸性火山岩,少量为变质基性火山岩。其中 SiO₂ 平均含量为 62.27%,最高值为 76.93%,最低值为 47.41%;TFe₂O₃ 平均含量为 6.79%,最高值为 11.35%,最低值为 1.44%;Al₂O₃ 平均含量为 15.01%,最高值为 18.56%,最低值为 11.10%(表 1)。

表 1 主要锌矿石(变火山岩型)化学全分析结果统计

化学成分		SiO ₂	TFe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O ⁺	S
基性岩类(n=4)	最低	47.41	9.12	16.02	0.60	5.76	4.7	0.17	2.63	0.15	0.07	0.26	3.55	0.02
	最高	49.00	11.35	18.56	0.87	8.40	7.47	0.26	4.46	0.19	0.15	0.32	4.79	0.43
	平均	48.41	10.08	16.81	0.73	6.65	6.08	0.22	3.62	0.17	0.10	0.31	4.09	0.14
中性岩类(n=6)	最低	59.22	5.70	14.18	0.71	0.70	1.91	2.51	1.18	0.07	0.11	0.32	0.61	0.02
	最高	63.67	8.26	16.53	0.87	2.27	3.50	5.10	2.38	0.27	0.15	3.22	3.72	1.38
	平均	61.37	6.98	15.69	0.80	1.33	2.59	3.91	3.58	0.13	0.13	1.23	2.55	0.58
酸性岩类(n=8)	最低	66.00	1.44	11.10	0.06	0.15	0.18	1.85	0.11	0.02	0.01	0.03	0.44	0.01
	最高	76.93	6.99	15.69	0.87	1.11	2.75	8.88	2.66	0.23	0.14	0.71	3.69	1.00
	平均	68.76	5.26	14.07	0.64	0.46	1.75	3.60	1.77	0.09	0.10	0.18	2.38	0.33

注:n 为分析样品数,测试单位 %。

4 矿床成因及成矿模式

4.1 与典型 VSHMS 型矿床对比

据应立娟等人研究^[7]:火山沉积型铜矿占中国总储量的 5.5%,且海相火山岩型铜矿资源较陆相火山岩型多。矿体多产于不同岩性的火山岩地层的接触部位,火山熔岩、火山碎屑岩层的顶部及其附近,以及上覆沉积岩层的界面上。矿体多呈层状、透镜状,往往成群出现。近年来,VSHMS 型块状硫化物

矿床(VMS 与 SMS 的过渡类型)逐渐受到重视,矿化特征及成矿作用与 VMS,SMS 型矿床相似,但其成矿构造环境属于过渡部位;在汇聚板块动力学背景下,从板块边缘岛弧到远离板块边缘的大陆内部构成了 VMS 型—VSHMS 型—SMS 型的矿床分带或成矿序列^[8]。阿迪戴斯塔铜锌矿床与国内外典型 VSHMS 型块状硫化物矿床十分相似:即 VSHMS 型矿床形成的构造环境、容矿围岩、矿石中元素组合、含矿岩系特征等均具有相似的共性特征(表 2)。

表 2 阿迪戴斯塔矿床与典型 VSHMS 型块状硫化物矿床地质特征对比

典型矿床实例	形成构造环境	容矿围岩	矿石元素组合	含矿岩系特征	主要成矿时代
Bathurst, Canada; Wolverine, Canada; Ossa Morena Zone, Spain	汇聚板块边缘硅铝质弧后裂谷	火山岩、火山碎屑岩和含炭泥质沉积岩夹热水喷流岩	富 Zn—Pb, 伴生 Cu—Au—Ag	火山岩夹沉积岩,火山岩中发育双峰式火山岩,并以铁镁质火山岩为主	显生宙,尤其是奥陶纪—石炭纪
中国锡铁山铅锌矿床 ^[9]	早古生代柴北缘汇聚板块边缘弧后裂谷	大理岩、炭质片岩、变中酸性火山岩夹热水成因硅质岩	Zn+Pb>10%; 伴生 Ag—Au	火山岩夹沉积岩,含矿岩系总体以铁镁质火山岩为主,下部发育双峰式火山岩 ^[10]	晚寒武世—奥陶纪
阿迪戴斯塔(Adidest)矿床	新元古代岛弧及弧后盆地	火山岩、火山碎屑岩和含炭泥质沉积岩夹热水喷流岩	富 Zn—Cu, 伴生 Ag	火山岩夹沉积岩,含矿岩系以中基性凝灰岩为主,顶板为酸性火山岩	新元古代

据冯志兴等人,修改。

4.2 成矿环境及成矿时代

Hezig P M 认为 VMS 型矿床主要形成于 4 种

大地构造环境:洋壳过渡壳、洋中脊、岛弧和弧后盆地^[11],对现代海底热液矿床的研究表明,其构造背景主要形成于大洋中脊、洋内弧后、陆缘弧后和陆内

裂谷,成矿期多为裂谷发育期,且成矿裂谷多为夭折裂谷^[12]。陈毓川称之为特殊的地质构造环境^[13],具有 2 种成矿作用共同成矿,既为岩浆成矿作用,亦是沉积成矿作用。

向鹏等人^[14]对厄立特里亚白沙(Bisha)VMS 型多金属矿床的研究后认为:在区域地质演化上,阿拉伯—努比亚地盾形成于东、西冈瓦纳大陆之间,是由一系列岛弧、弧后盆地、微板块(地体)在泛非造山运动晚期聚合而成,其构造演化史分为 5 期(阶段):①900~850 Ma 罗迪尼亚超大陆裂解,形成莫桑比克洋;②870~690 Ma 洋内岛弧和弧后盆地俯冲、聚合,形成地盾早期洋壳基底;③800~700 Ma,地体缝合、拼贴,形成一系列弧—弧、弧—陆缝合带;④750~650 Ma 莫桑比克洋闭合,东、西冈瓦纳大陆合并;⑤650~550 Ma 聚合拼贴后持续挤压,后聚合期构造发育。

韩世礼在埃塞俄比亚北部邻区(施瑞地区)获得变火山岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄为(830.7±15.4)Ma,造山前花岗岩(以幔源物质为主的 I 型花岗岩)全岩 Sm-Nd 等时线年龄(824.4±15.5)Ma,认为变火山岩构造环境处于新元古代早期沟—弧—盆演化阶段,处于被动大陆边缘—火山岛弧环境(即陆缘弧后),与造山前花岗岩同属新元古代的拉伸纪,形成于洋壳为底的岛弧构造域的张应力较强的弧后扩张盆地。

Barrie 等^[15]通过 Pb 同位素定年得到厄立特里亚的白沙矿区的成矿年龄为 790~770 Ma,该年龄对应莫桑比克洋内岛弧与微板块俯冲、聚合时期。在岩石地球化学上,Barrie 对白沙矿区内各类岩石样品进行了全岩主、微量元素测试,推断该类矿床形成于新元古代东、西冈瓦纳大陆挤压合并过程中,此时莫桑比克洋内的岛弧、微板块受 EW 向挤压作用发生俯冲、聚合,局部由于挤压转换产生剪切和拉张作用,形成一系列岛弧裂谷及弧后裂谷,成为该地区 VMS 型—VSHMS 型—SMS 型矿化的有利部位。

综上所述该类矿床形成环境可能为岛弧裂谷或弧后裂谷环境,成矿时代相当于新元古代中晚期,区域构造演化史中第③期,即成矿年龄应为 800~700 Ma。

4.3 成矿物质来源及成矿模式

近年来对大洋底沉积物的研究表明:海底淤泥中富含 Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Pb, Zn 等元素;它们可

能来源于海底火山喷气和热液活动。VMS 型—VSHMS 型—SMS 型矿床的成矿物质来源:一是来自形成火山熔浆的上地幔或地壳的硅镁层、硅铝层;二是火山熔浆自深部向上运移过程中,从围岩中萃取出来的有用组分;三是由地表水、地下水、或海水向深部循环时,从围岩中淋滤而来的成矿元素。其成矿模式如下:

(1)初始矿源层形成期:韩世礼通过研究赋矿围岩变火山岩系的 Cu, Zn 背景值分析;赋矿围岩玄武质熔岩的 Cu, Zn 平均含量分别为 106×10^{-6} , 81×10^{-6} ;安山质熔岩的 Cu, Zn 平均值 71×10^{-6} , 97×10^{-6} ;玄武质凝灰岩的 Cu, Zn 平均值 137×10^{-6} , 105×10^{-6} ;流纹质凝灰岩的 Cu, Zn 平均值分别为 70×10^{-6} , 130×10^{-6} ;安山质凝灰岩的 Cu, Zn 平均值分别为 24×10^{-6} , 98×10^{-6} 。由此可见,赋矿火山岩各岩性均具有普遍较高的 Cu, Zn 背景值(泰勒地壳克拉克值^[16]Cu 为 55×10^{-6} , Zn 为 70×10^{-6}),酸性凝灰岩 Cu, Zn 背景值较低;玄武质溶岩和玄武质凝灰岩具有较高的 Cu, Zn 背景值,说明赋矿围岩变火山岩系具有提供成矿物质来源的基础,可视为该区的初始矿源层。

(2)区域变质(成矿元素活化迁移)期:该区区域变质作用在中低压绿片岩相,基性岩为钠长石绿片岩相+绿帘石+绿泥石+阳起石(±方解石);泥质岩石为钠长石+绿泥石+白云母+黑云母+石榴子石+石英,部分出现硬绿泥石、多硅白云母。反应区域变质相系形成深度较大(<15 km),压力较大(0.5~0.8 GPa)、地热梯度中等(16℃~25℃,平均为 20℃/km)^[17],温度可达下限 400℃左右,上限 510℃~530℃。在此较高的温压条件下,完全可使铜锌多金属成矿元素进行活化迁移。

(3)海底火山热液期:岩浆活动对铜锌多金属矿化应具有热源和矿源的双重作用,致使初始矿源层中成矿元素活化迁移,同时火山热液自身携带了大量成矿物质,形成海底含矿热液,构造断裂活动致使海底含矿热液迁移。施瑞地区 VMS 型矿床中黄铁矿的硫同位素表明^[4],其 $\delta^{34}\text{S} \times 10^{-3}$ 值介于 0.12×10^{-3} ~ 2.83×10^{-3} 之间,极差为 2.71×10^{-3} ,平均值为 1.44×10^{-3} ,具有变化范围窄,极差较小的特征。因此埃塞俄比亚北部地区的火山岩块状硫化物矿床硫可能主要来自于火山热液,部分来自于初始矿源层。

(4)火山喷流—沉积成矿期:海底含矿热液在海

相火山-沉积岩中,由于物理化学环境的变化与大量海水进行水岩反应,致使海底含矿热液沉淀富集,形成火山喷流-沉积成矿期^[18]。火山喷出的大量含矿气体,或由于外压力大于临界压力(如在深海盆地中),或由于温度下降到临界温度以下时,就凝聚成为含矿热液。这些热液与火山岩或其他围岩发生作用而沉淀出有用组分,有时也直接充填在火山岩的气孔或裂隙孔洞中成矿;或与海水相互作用而发生有用物质沉淀。

(5)氧化淋滤期:区内铜矿体地表含量较高(百分含量级),明显富集,深部含量明显降低(多为 ppm 级),呈变贫趋势;锌矿体自地表向深部,多数地段显示变富趋势,矿体在深部仍未尖灭。说明在氧化淋滤期铜可能次生富集,而锌可能被淋失。

综上所述,该区矿床成因可总结为多源多期中低温热液成矿,其成矿模式可分为 5 期:初始矿源层形成期→区域变质(成矿元素活化迁移)期→海底火山热液期→火山喷流-沉积成矿期→氧化淋滤期。

5 结论及存在问题

5.1 结论

(1)阿迪戴斯塔铜锌矿床赋矿地层为新元古代特沙里特浅变质火山-沉积岩,铜矿化主要在特沙里特群内加什组、盖玛德组下部(绿色蚀变)中基性变质火山碎屑岩中,锌矿化主要位于盖玛德组上部(浅灰色蚀变)中性安山质凝灰岩、安山质角砾凝灰岩及变质角斑岩及酸性火山岩中。与国内外同类块状硫化物矿床相似程度较高,具有 VSHMS 型(火山-沉积岩容矿型)块状大型锌铜多金属矿床基本特征。

(2)矿带具有“双色蚀变带”特征,即锌矿化带与绢云母化、硅化、高岭土化、重晶石化、碳酸盐化、地表弱褐铁矿化密切相关,形成“浅灰色蚀变带”;铜矿化带与绿帘石化、阳起石化、绿泥石化及孔雀石化蚀变密切相关,形成“绿色蚀变带”,是地表的良好找矿标志。

(3)锌矿矿石主要赋矿岩性为浅灰白色变安山质火山角砾岩、角砾凝灰岩、凝灰岩(千枚岩、绢云片岩),长英质变火山碎屑岩、流纹岩,变质石墨泥页岩(含石墨千枚状板岩)及变质粉砂岩类等,地表以含锌氧化物为主,深部为含锌硫化物;铜矿石赋矿岩性主要为绿色变中基性凝灰岩,次为变质石墨泥页岩

(含石墨千枚状板岩)及变质粉砂岩类,地表以含铜孔雀石化为主,深部为铜的硫化物。

(4)该类矿床的形成环境可能为岛弧裂谷或弧后裂谷环境,成矿时代相当于新元古代中晚期,区域构造演化史中第三阶段,即成矿年龄为 800~700 Ma。矿床硫主要来自于火山热液,部分来自于火山岩(初始矿源层)。

(5)VSHMS 型矿床产在海相火山-沉积岩系内,主要矿层顶底板均为海相火山-沉积岩,下部常有穿切层理的脉状矿化,宏观上铜锌矿化层位具有“上锌下铜”二元结构特征。铜矿化带连续性差,类似裂隙构造蚀变系统,锌矿化带连续性较好,层控性明显。容矿建造和矿体变形、变质现象明显,矿体错位、变形,矿石发育压碎、揉皱等结构,经过区域变质和表生变化后,矿体具有明显的次生垂直分带现象。

(6)VSHMS 成矿模式为多源多期中低温热液成矿模式,即:①初始矿源层形成期②区域变质(成矿元素活化迁移)期③海底火山热液期④火山喷流-沉积成矿期⑤氧化淋滤期。

5.2 存在问题

(1)该区基础地质研究程度低,变质火山-沉积岩群地层层序、原岩恢复等尚待详细研究,受限目前的地质研究程度,其形成环境只能结合现有的矿区及区域地质资料综合得出,需要通过进一步的工作进行验证并补充相应的地球化学证据。

(2)该区特沙里特浅变质火山-沉积岩群同位素地质资料等尚欠缺,总体矿床研究程度较低,目前还缺乏其物质来源、岩石成因、流体性质、成矿机制以及精确成岩成矿年龄等方面的详细研究,这些将是下一步工作研究的重点。

参考文献:

- [1] 薛春纪,祁思敬,隗合明,等.基础矿床学[M].北京:地质出版社,2006:115-166.
- [2] 冯志兴,孙华山,吴冠斌,等.青海锡铁山铅锌矿床类型刍议[J].地质论评,2010,56(4):501-510.
- [3] 张朋朋,张燕挥,郭加朋,等.山东邹平吉祥金铜矿床地质特征及找矿前景分析[J].山东国土资源,2014,30(11):9-12.
- [4] 韩世礼.埃塞俄比亚施瑞地区 VMS 型矿床成矿机制及成矿规律研究[D].长沙:中南大学,2013:15-29.
- [5] 马远.埃塞俄比亚北部阿迪布拉达 VMS 型铜多金属矿床地质地球化学特征[D].昆明:昆明理工大学,2013:2-57.
- [6] 秦秀峰,朱思才,景亮兵,等.厄立特里亚碧沙 VMS 铜锌金矿床

- 勘查与发现.矿产勘查[J].矿产勘查,2012,3(2):266-269.
- [7] 应立娟,陈毓川,王登红,等.中国铜矿成矿规律概要[J].地质学报,2014,88(12):2216-2225.
- [8] 孙华山,吴冠斌,刘浏,等.块状硫化物矿床成矿构造环境研究进展[J].地球科学,2011,36(2):299-306.
- [9] 雷晓清,李五福.青海省锡铁山铅锌矿成矿规律[J].现代矿业,2015,(10):133-134.
- [10] 张长青,吴越,王登红,等.中国铅锌矿床成矿规律概要[J].地质学报,2014,88(12):2252-2262.
- [11] Hezig P M, Hannington M D. Polymetallic Massive Sulfides at the Modern Seafloor: A Review[J]. Ore Geologica Review, 1995, 10: 95-115.
- [12] Huston D L, Pehrsson S, Eglinton B M, et al. The geology and metallogeny of volcanic-hosted massive sulfide deposits: variations through geologic time and with tectonic setting[J]. Economic Geology, 2010, (105): 571-579.
- [13] 陈毓川,裴荣富,王登红,等.论矿床的自然分类——四论矿床的成矿系列问题[J].矿床地质,2015,34(6):1096.
- [14] 向鹏,王建雄,姚华舟,等.厄立特里亚比萨(Bisha)VMS型多金属矿床的研究进展及认识[J].地质科技情报,2013,32(5):118-124.
- [15] C. Tucker Barrie, The Bisha Volcanic - Associated Massive Sulfide Deposit, Western Nakfa Terrane, Eritrea, Economic Geology[J]. 2007, (102): 717-738.
- [16] 武汉地质学院地球化学教研室.地球化学[M].北京:地质出版社,1979:33.
- [17] 王仁民,游振东,富公勤.变质岩石学[M].北京:地质出版社,1989:104-116.
- [18] 祝新友,邓吉牛,王京彬,等.锡铁山铅锌矿床的找矿潜力与找矿方向[J].地质与勘探,2006,42(3):18-23.

Geological Characteristics of Adidesta VMS Type Copper—zinc Deposit in Ethiopia

GAO Changliang^{1,2}, DANG Wanmin¹, LIU Penglei¹, LV Tao¹, GAO Zhiyou¹, CHEN Yonghao¹, ZHANG Yong¹, GAO Rongzheng¹, GAO Xinyang¹

(1. Shandong Geo-engineering Exploration Limited Corporation, Shandong Jinan 250014, China; 2. Lu-bei Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Dezhou 253015, China)

Abstract: VSHMS type deposit is a new trend for researching massive sulfide deposits in recent years. Adidesta deposit in northern Ethiopia is a large VSHMS type copper—zinc polymetallic deposit with the characteristics of variant symbiosis and associated silver. Through study on regional geological background, geology, geological characteristics of the deposit, it is pointed out that the ore-bearing strata of copper—zinc deposit are Proterozoic Teshalite metamorphic volcanic—sedimentary rock group. The ore belt has the "color alteration zone" characteristics. Comparing with typical VSHMS deposits, genesis type and metallogenic model of the deposit are preliminarily studied.

Key words: Copper—zinc deposit; VMS type; metallogenic model; Ethiopia