青海锡铁山铅锌矿床的矿体成因类型讨论

吴昌志[1,2] 顾连兴[1,3] 冯 慧[1] 张遵忠[3]
刘四海[1] 黄建华[2] 王长华[4] 王震宇[1]

(1. 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室(南京大学),南京大学地球科学系,江苏 南京 210093;
2. 新疆大学地质与勘查工程学院,新疆 乌鲁木齐 830046;3. 江苏省有色金属华东地质勘查局,江苏 南京 210007;
4. 山东省东营市勘察测绘院,山东 东营 257091)

提要:在青海锡铁山大型铅锌矿床中,奥陶系滩涧山群 3 个不同层位(O_3tn^b 组片岩、O_3tn^b 组片岩与大理岩过渡带、O_3tn^{a-2} 组片岩)同时发育层状矿体和脉状矿体,大理岩中还发育不规则囊状矿体。通过对上述不同层位、不同类型矿体的分布特征、产状、矿石结构和构造的详细观察和研究发现,3 个层位的层状矿体均是 SEDEX 型海底喷流沉积作用的结果。O_3tn^b 组片岩及其与大理岩过渡带中的层状矿体属近源(proximal)产物,与之伴生的脉状矿体则属该层状矿体的喷流沉积补给带;O_3tn^{a-2} 组片岩中的层状矿体属远源(distal)沉积,而大理岩中的不规则囊状矿体则是造山后深部流体活化围岩或再活化早期层状矿体中的成矿物质,并强烈交代大理岩的产物;北侧 O_3tn^{a-2} 组片岩中的脉状矿体也为造山后流体叠加的产物,可能是大理岩中不规则囊状矿体的导矿通道。

关 键 词:铅锌矿;流体叠加;SEDEX;锡铁山;青海
中图分类号:P618.62.43 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-3657(2008)06-1185-12

虽然人们已经注意到,块状硫化物矿床(MSD)形成后可在造山运动、变质作用和岩浆活动过程中发生有用金属元素的叠加。但是,以往报道的主要是 Au 的叠加[1-5],而对 Ag、Cu、Pb 和 Zn 等的叠加研究较少[6-8]。更缺乏 MSD 叠加 Pb、Zn 的实例报道。

锡铁山铅锌矿床位于青海省海西州大柴旦镇东南 80 km 处,是中国规模最大的铅锌矿床之一。对于锡铁山铅锌矿床成因,前人主要有热液交代[9],火山型块状硫化物矿床[10]和 SEDEX 型矿床❶[11-13]等观点。之所以对于该矿床成因存在较大争议,主要是因为前人未对不同产状矿体的特征和成因进行系统研究。近年来,随着勘探工作的逐渐深入,西部矿业股份有限责任公司在锡铁山矿床地表层状矿体的下方发现层状块状硫化物矿体和脉状铅锌硫化物矿体,并在大理岩内部发现了多个不规则囊状矿体。据矿山采矿工程师估计,目前锡铁山矿床中 60%左右的铅锌矿石采自大理岩中不规则囊状矿体,30%左右的铅锌矿石产于层状铅锌矿体,而脉状铅锌硫矿体的勘探仍在进行,其储量预计可达数十万吨。笔者将通过对锡铁山矿床中不同层位发育的层状矿体、脉状矿体和发育于大理岩中的不规则囊状矿体的产状、矿石成分、结构构造等相关特征的详细研究,探讨锡铁山矿铅锌矿床不同类型矿体的成因。

1 区域地质与矿床地质

柴达木盆地北缘造山带的锡铁山—绿梁山—赛什腾山一带分布着一条晚奥陶世绿岩带,称为滩涧山群。该绿岩带呈北西西向狭长带状分布,出露宽度 2~12 km,其南侧为柴达木—东昆仑地块,北侧自南向北分别为欧龙布鲁克地块、南祁连加里东造山带、中祁连地块和阿拉善地块[14](图 1)。对于该绿岩带形成环境,素有裂谷[10]、弧后盆地[12]和火山弧[15,16]之争。绿岩

收稿日期:2008-10-29;**改回日期**:2008-11-28
基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403501)和国家自然科学基金项目(40603008)资助。
作者简介:吴昌志,男,1975 年生,博士,副教授,从事岩石学和矿床学研究;E-mail:wucz@nju.edu.cn。
❶邓吉牛, 李义邦, 王春龙. 青海锡铁山铅锌矿床及外围成矿规律与找矿潜力分析.西部矿业股分公司内部报告,1998:1-92.

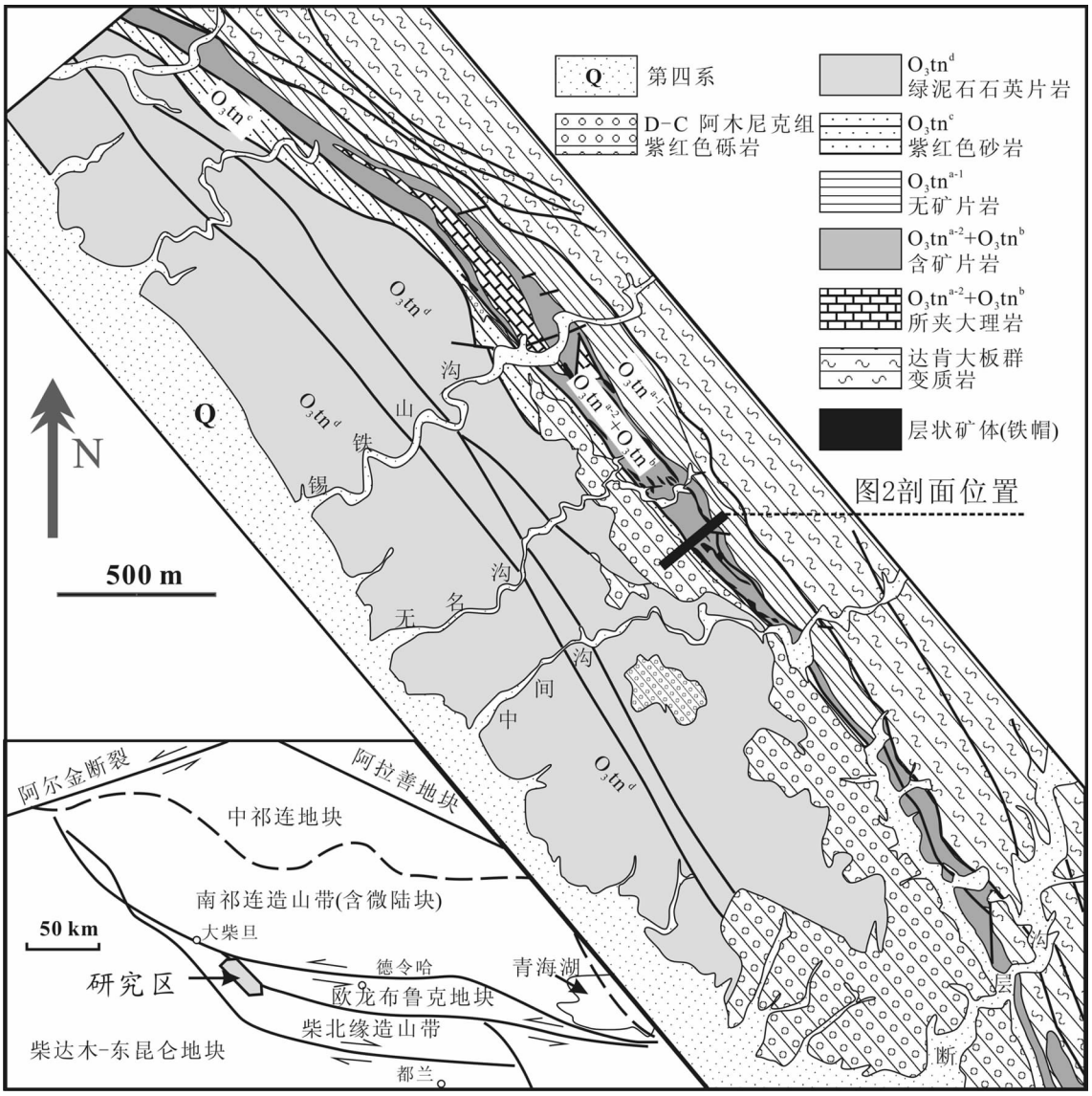


图 1 锡铁山铅锌矿床大地构造和矿区地质简图[13, 14]

Fig.1 Sketch geological map of the Xitieshan lead-zinc deposit and its tectonic setting[13, 14]

带北侧的欧龙布鲁克地块在古元古代结晶基底之上不整合有稳定的浅变质海相震旦—寒武系和下—中奥陶统连续沉积,而其南侧的柴达木盆地边缘的部分深孔资料证实该盆地基底也由古元古代结晶片岩、片麻岩构成,表明该绿岩带南北两侧基底相同❶。结合绿岩带内早期火山岩的双峰式特征[10],笔者认为该绿岩带形成于欧龙布鲁克和柴达木—东昆仑陆块之间的裂谷环境。

锡铁山矿床主要赋存于滩涧山群绿岩系中。滩涧山群的基底地层为分布于该群北侧的元古界达肯大坂群片岩、片麻岩、变粒岩等,而上覆地层为上泥盆统阿木尼克组紫红色砂岩、杂砂岩、砂砾岩和砾岩,并夹绿灰色薄层砂岩和赤铁矿层[10]。矿区范围内未见花岗质侵入体出露。滩涧山群普遍受强烈变形和变质作用,以致前人对其时代、层序和构造等问题存在较大争议。青海省地质局❷在 1:20 万马海幅区域

❶张德会, 周肃, 王团华.青海省锡铁山铅锌矿床成因年龄及流体包裹体地球化学研究. 中国地质大学(北京),西部矿业有限责任公司内部报告, 2004:1-47.

❷青海省地质局. 1:20 万区域地质调查报告(大柴旦幅,达布逊湖幅、马海幅、怀头他拉幅、德令哈幅).1980.

地质调查时,建立了"滩间山群"(O_3tn)地方性地层单位,并根据在大柴旦镇滩间山联合沟滩间山群剖面底部灰岩夹层中采到珊瑚和腕足类化石而将滩间山群的时代定为晚奥陶世。李怀坤等[17]根据变英安岩单粒锆石 U-Pb 测年结果为(486±13) Ma,认为锡铁山地区的滩间山群时代为早奥陶世。袁桂邦等[18]获得绿梁山地区辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为 496 Ma。史仁灯[19]测得吉绿素—双口山滩间山群玄武安山岩中 10 个锆石的 LA-ICPMS 平均年龄为 (5l4.2±8.5) Ma。王惠初等[20]测得侵入于滩间山群 b 岩组的团鱼山花岗闪长岩 Rb-Sr 等时线年龄为(492.43±34) Ma,并认为滩间山地区 a 岩组安山质火山岩 K-Ar 年龄(415.19±7) Ma 应代表变质年龄。因此,尽管滩间山群的时间跨度可能较大,但总体上应属下奥陶统。

青海省地质局❶将锡铁山矿区滩涧山群剖面当作简单的单斜构造层,由北东向南西逐渐变新,并划分出 4 个岩性组 :④上部中基性火山岩组(O_3tn^d 组);③ 紫红色砂岩组(O_3tn^c);② 中基性火山碎屑岩组(O_3tn^b);① 下部火山-沉积岩组(O_3tn^a)。下部火山-沉积岩组又被分为顶部 O_3tn^{a-2} 组沉积岩 (夹大理岩)和底部 O_3tn^{a-1} 组火山碎屑岩(以中基性火山碎屑岩为主,夹少量酸性火山碎屑岩)。邓吉牛等❶根据 O_3tn^b 组中层状-似层状铅锌小矿体、细脉-浸染状铅锌矿化和含铜石英脉的存在, 认为该层应为 O_3tn^{a-2} 组中喷流沉积矿层的下盘补给带, 因而其层位应老于 O_3tn^{a-2} 组, 即锡铁山地区含矿地层发生了倒转(图 2)。为了与前人讨论过程中地层单位的一致性,笔者仍沿用青海省地质局关于含矿地层的名称,并将 O_3tn^{a-2} 组底部的大理岩划出作为单独岩层,即含矿岩系从老到新依次为: O_3tn^b 组、大理岩和 O_3tn^{a-2} 组。

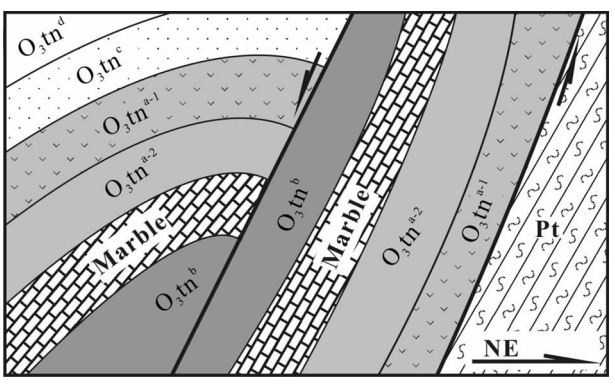


图 2 锡铁山铅锌矿床矿区构造-地层格局示意图
(图例同图 1)
Fig.2 Schematic diagram for tectonic-stratigraphic framework of the Xitieshan lead-zinc deposit

2 矿体特征

前已述及, 锡铁山铅锌矿床中矿体按产状可分为层状矿体、不规则囊状矿体和脉状矿体,下文将分别述之。

2.1 层状矿体

在锡铁山矿区已发现了产在不同层位的层块状硫化物矿体。

O_3tn^b 组片岩中普遍产有不同厚度的层状矿体,其产状与 O_3tn^b 组片岩总体一致。据钻孔揭露(图 3),层状矿体的厚度变化于几十厘米到二十余米之间。这类矿体的矿石成分以黄铁矿为主, 胶黄铁矿和磁黄铁矿次之, 局部见方铅矿和闪锌矿呈浸染状或条带状分布,铅锌品位总体较低。黄铁矿粒度多为 1~2 mm,较粗者可达 5 mm。脉石矿物主要为石英,少量碳酸盐。在 2942 中段 1 线穿脉主巷往南 50 m 的炭质片岩中,发育有近 5 m 厚的胶黄铁矿层,其中胶黄铁矿呈烟灰状,并与炭质片岩相间而呈条带状。在 O_3tn^b 组片岩与大理岩过渡带产有锡铁山铅锌矿中最重要的块状硫化物层。矿体总体与 O_3tn^b 组片岩和大理岩呈整合接触。据地表露头、巷道和钻孔揭露,该层硫化物矿体主要分布于 31 线以东。矿体呈块状,连续性好,厚度几米到数十米不等,平均厚度约 10 m, 矿石的铅+锌品位为 9 %左右, 但储量较大,是锡铁山矿床早期开采的主要矿体[10]。部分地段在块状矿体与片岩间的过渡带出现黄铁矿 (磁黄铁矿) 微层与铅锌微层或片岩相间而形成的条带状矿石。在锡铁山沟采石场大理岩中夹有块状胶黄铁矿层,其中还发育大量层纹-条带状构造的矿石。这些层状矿体普遍受到了明显的片理化作用, 以至其中的黄铁矿颗粒被明显拉长。有些产于该层位片岩中的黄铁矿颗粒也呈拉长状,并沿片理定向排列。块状矿石成分以黄铁矿为主,部分地段以胶黄铁矿为主,其次为磁黄铁矿,并含少量方铅矿和闪锌矿。黄铁矿粒度变化大(<1 mm~>8 mm),自形—半自形—它形。胶黄铁矿呈黑色烟灰状, 重结晶后形成结合松散、易崩解的粒状黄铁矿集合体。在地表,胶黄铁矿

❶青海省地质局. 1:20 万区域地质调查报告(大柴旦幅,达布逊湖幅、马海幅、怀头他拉幅、德令哈幅).1980.

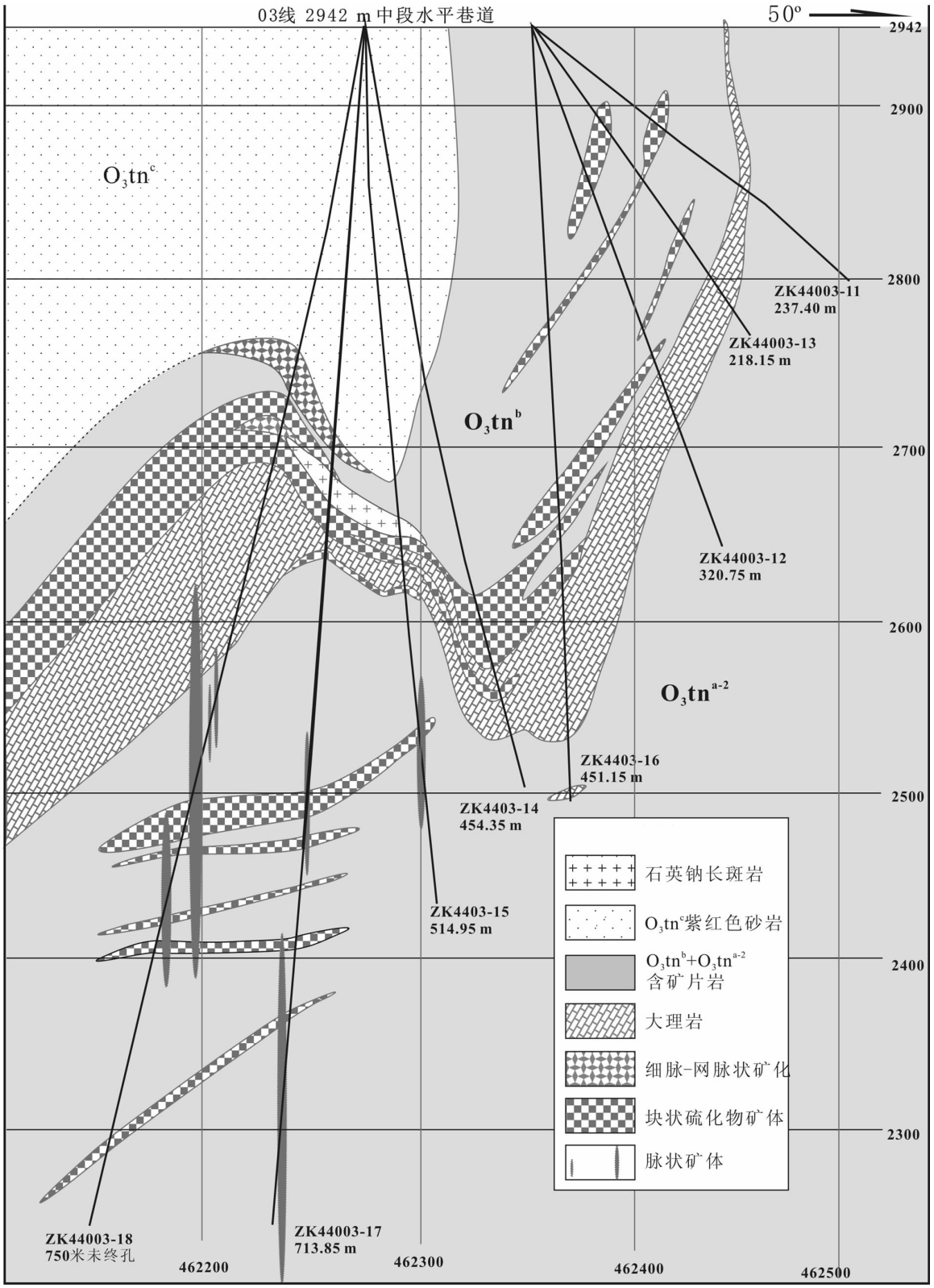


图 3 锡铁山铅锌矿床 03 线 2942 中段以下剖面图 (据矿山勘探资料和岩心观察修编)

Fig.3 Profile under altitude 2942 m along 3th exploration line of the Xitieshan lead-zinc deposit

常被强烈氧化而形成黄钾铁矾和硫磺，并常见到硫酸盐类在胶黄铁矿表面形成盐霜，局部可见较粗的无色透明石膏晶粒。方铅矿和闪锌矿主要呈浸染状或团斑状分布于块状矿石中，但也可单独成夹层出现,或与黄铁矿、磁黄铁矿、胶黄铁矿、硅质岩、大理岩或片岩等相间呈互层状产出。在以胶黄铁矿为主的矿石中,方铅矿和闪锌矿多呈自形-半自形,粒度可超过 5 mm,形成变斑状结构(图版 I-a)。矿石中的脉石矿物以石英和碳酸盐为主，并有少量钙镁铁硅酸盐矿物。

在 O_3tn^b 组片岩与大理过渡带中常发育富铁(锌,锰)碳酸岩层和石膏夹层,产状与大理岩一致。在锡铁山地表,富铁(锌、锰)碳酸岩层厚度达 1 m,与大理岩同步褶皱，有些地段因受剪切变形而呈透镜状(图版 I-b)。富铁(锌、锰)碳酸岩有时与石膏互层而形成层纹-条带状构造。张莓等[21]测得锡铁山膏盐层中石膏的 $\delta^{34}S$ 值为 3.95‰~5.90‰(n=8),菱锌(铁) 矿的 $\delta^{18}O$ 值为 26.76‰~30.11‰(n=7), $\delta^{13}C$ 值为-5.09‰~+2.46‰(n=7)，认为它们是与海底火山活动有关的热卤水沉积作用的产物。但也有人认为[22],锡铁山矿床石膏、富锌菱铁矿主要形成于矿床氧化带,是现代大气降水作用的结果,仅有少量菱铁矿的形成与原始喷流作用有关。由于厚度较小,大理岩中的富铁碳酸盐和石膏均不具工业价值。

最近的勘探结果显示,在 O_3tn^{a-2} 组片岩(大理岩北东侧片岩,见图 1)中也发育与片岩呈整合接触的层状矿体，局部见金属硫化物与片岩相间而呈条带状产出（如钻孔 ZK4403-17、18 中，可见到磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿和方铅矿等硫化物与片岩相间而形成条带状构造)。2942 中段 03 线钻孔岩心对比结果表明,O_3tn^{a-2} 组片岩中可能存在 4~5 层厚度不等的块状硫化物矿层。矿层累计视厚度 10~ 60 m(图 3)。矿石成分主要为磁黄铁矿,局部可以过渡为以黄铁矿为主，如 2942 中段 1 线水平钻孔 ZK4401-15 末端厚约 1 m 的黄铁矿层，其黄铁矿粒度小而均匀,结构松散,应为沉积胶黄铁矿重结晶的产物。磁黄铁矿多已重结晶,形成了两面角为 120°的三晶嵌接结构。矿石中还出现立方体晶形的黄铁矿变斑晶,有的巨大变斑晶可由多个黄铁矿晶体聚合而成（图版 I-c),表明矿体形成后受到过后期变质或热液叠加作用[23]。方铅矿和闪锌矿呈浸染或团斑状散布于块状磁黄铁矿矿石中，应是原生块状矿石中原有铅锌组分在后期变质过程中发生重结晶的结果[23](图版 I-c)。无论是块状矿石还是条带状矿石,常受到后期铅锌硫化物脉穿插和交代（图版 I-d;I-e),致使其铅锌品位显著提高。铅锌硫化物交代作用强烈时可将原块状磁黄铁矿切割成孤岛状(图 I-f),局部还见黄铁矿变斑晶沿块状磁黄铁矿矿石裂隙面生长,并被后期铅锌硫化物热液叠加(图版 I-c)。

2.2 脉状矿体

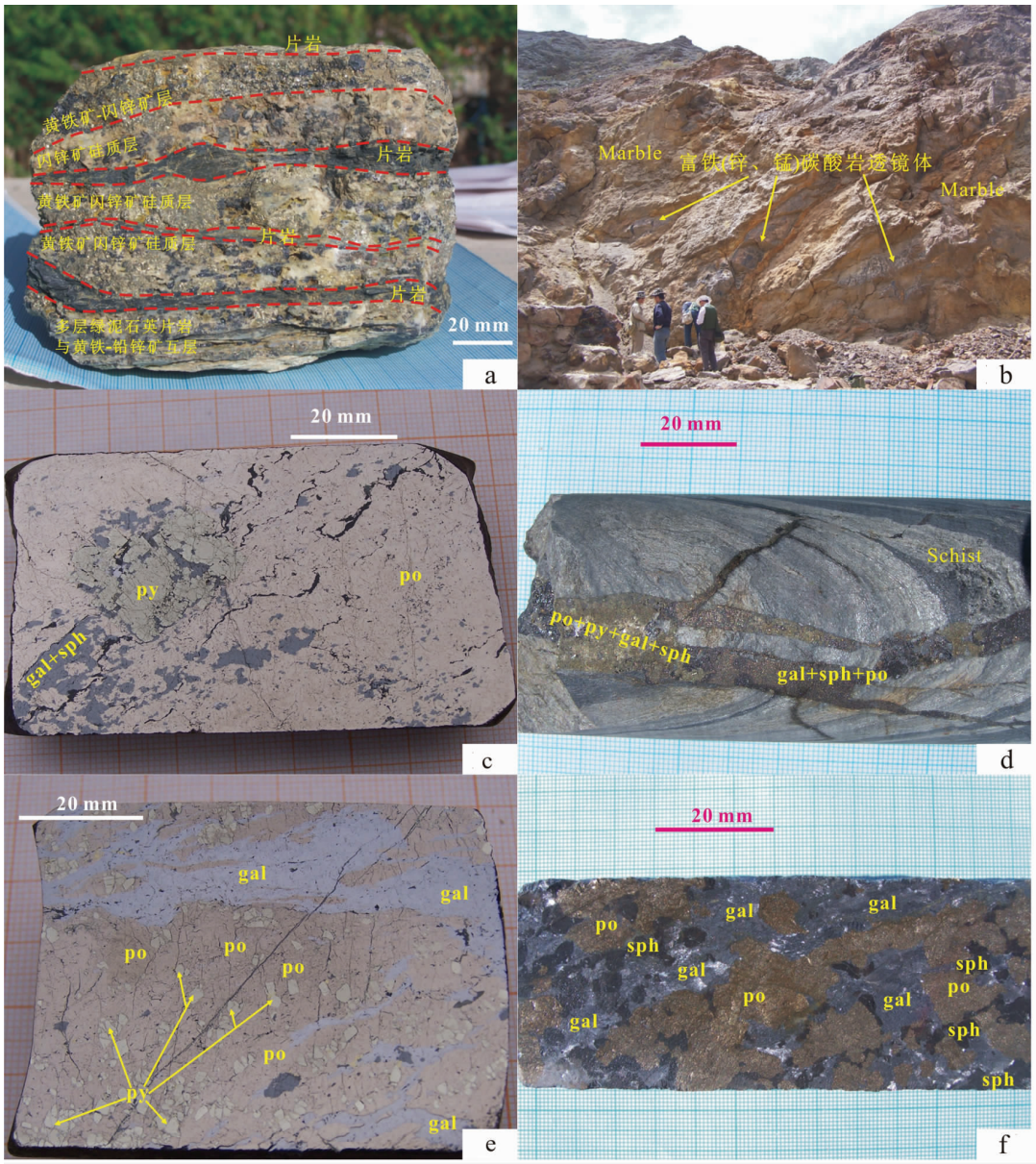
锡铁山矿区 O_3tn^b 组片岩、O_3tn^b 组片岩与大理岩的过渡带以及 O_3tn^{a-2} 组片岩中 3 个发育层状矿体的层位均发育有脉状矿体。

O_3tn^b 组片岩中的脉状矿体主要见于 O_3tn^b 组片岩中的层状矿体及其南侧,以细脉状为主,局部细脉相互交切而成网脉状,通常与浸染状矿化相伴出现。脉体中的矿石矿物以黄铁矿占绝对优势，铅锌硫化物甚少,而脉石矿物以石英为主。脉壁围岩蚀变主要为绢云母化、硅化、碳酸岩和绿泥石化。脉体普遍受后期构造变形，常见含矿石英脉因受后期构造作用而形成沿片岩片理方向分布拉长的透镜体或石香肠(图版 II-a)。

O_3tn^b 组片岩与大理岩过渡带中的脉状矿体以细脉状为主(脉宽 1 ~ 5 mm),局部脉体宽度可达 2 cm 以上。脉体的矿石矿物以黄铁矿为主,但局部也可见到以铅锌硫化物为主的脉体穿插交代块状硫化物矿石。脉石矿物主要为石英。脉壁围岩蚀变与 O_3tn^b 组片岩中脉状矿体一致。

最近的钻探工作发现,大理岩北侧 O_3tn^{a-2} 组片岩中发育大量脉状铅锌矿化(图 3)。脉体多近直立产出,宽度变化于 5~ 80 mm。脉体多切穿片岩层理(图版 I-d),也可沿片岩层理顺层交代片岩。脉体切穿片岩层理时，矿脉对片岩的交代较弱，接触面平直,脉壁围岩蚀变不明显,而当脉体顺层突入片岩层理时,矿脉对片岩的交代较强,并可将片岩交代成港湾状(图版 II-b), 脉壁围岩蚀变主要为硅化,其次为绿泥石化和绢云母化,偶见碳酸盐化。脉体中的矿石矿物以铅锌硫化物为主,而磁黄铁矿、黄铁矿和脉石矿物含量较低，局部还可见纯方铅矿脉穿插层状金属硫化物矿体(图版 I-e)。脉体中矿石几乎未受后期变形变质。显微镜观察发现,脉状矿体内磁黄铁矿的内部结构以六方和单斜变体的交生为特征（图版 II-c),这与国内外许多热液矿床中的磁黄铁矿特征相一致[24]。脉体切穿 O_3tn^{a-2} 组片岩中的同生沉积

图版Ⅰ(Plate Ⅰ)



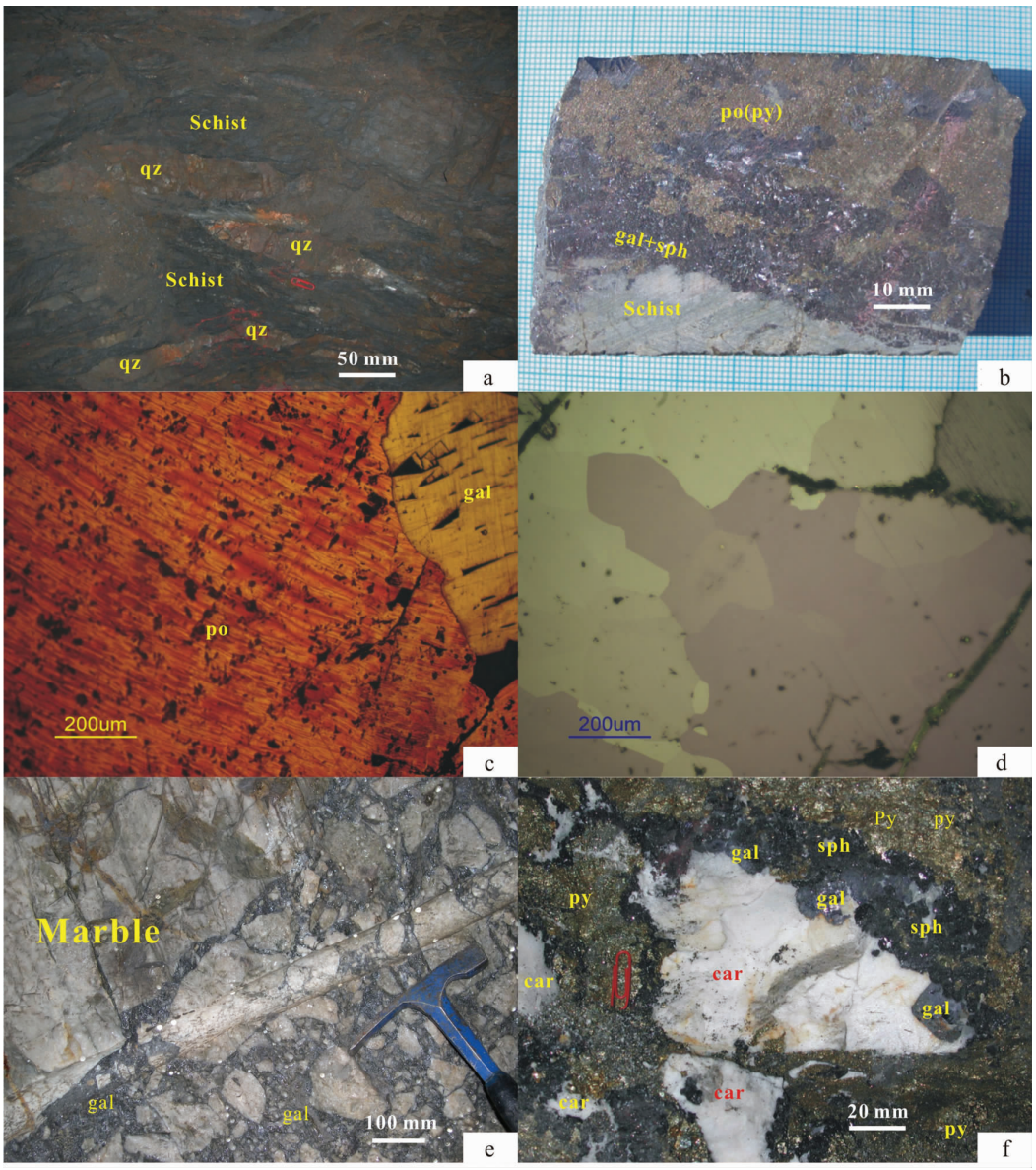
car—碳酸盐;gal—方铅矿;gyp—石膏;mel—胶黄铁矿;po—磁黄铁矿;py—黄铁矿;qz—石英;
sph—闪锌矿;Schist—片岩;Marble—大理岩

a—O_3tn^b 组片岩与大理岩过渡带中片岩、硅质岩与黄铁矿-方铅矿、闪锌矿等互层产出(锡铁山沟露采场);
b—O_3tn^b 组片岩与大理岩过渡带中的菱锰-菱铁矿呈透镜体(锡铁山沟地表);c—O_3tn^{a-2} 组片岩中的块状 po,矿石中有 py 变斑晶均为 sph+gal 交代(XK44003-18,553 m);d—O_3tn^{a-2} 组片岩中 py+po+sph+gal 矿脉切割片岩片理(ZK44003-17,620 m);
e—O_3tn^{a-2} 组片岩中铅锌矿脉穿插细粒块状黄铁矿(ZK4401-15,620.5 m);
f—O_3tn^{a-2} 组片岩中的块磁黄铁矿被后期铅硫化物前列交代作用(ZK4403-14,346 m)

car-carbonate;gal-galenite;gyp-gypsum;mel-melnikovite;po-pyrrhotite;py-pyrite;qz-quartz;sph-sphalerite

a-The O_3tn^b schist, the schist in the transition zone between the O_3tn^b schist and the marble, and siliceous are stratified each other by pyrite-galenite, sphalerite(the quarry of Xitieshan stope);b-Dialogite and siderite lens in the transiton zone between the O_3tn^b schist and the marble (the surface of Xitieshan stope);c-Massive pyrrhotite orebody in the O_3tn^{a-2} schist, which have pyrite porphyroblast. The pyrrhotie and pyrite porphyroblast were metamorphosed by sphalerite and galenite (ZK44003-18,553 m);
d-Vein-type orebodies of pyrite, pyrrhotite, sphalerite and galenite in the O_3tn^{a-2} schist cutting the schistosity(ZK44003-17, 620 m);
e-Vein-type lead-zinc orebodies in the O_3tn^{a-2} schist cutting the massive fine-grain pyrite orebody(ZK4401-15,620.5 m);
f-Massive pyrrhotite orebody in the O_3tn^{a-2} schist are intensively replaced by later lead-zinc sulphide(ZK44003-14,346m)

图版Ⅱ(Plate Ⅱ)



car—碳酸盐;gal—方铅矿;gyp—石膏;mel—胶黄铁矿;po—磁黄铁矿;py—黄铁矿;qz—石英;sph—闪锌矿;Schist—片岩;Marble—大理岩

a—O_3tn^b 组片岩中的含矿石英脉受剪切而成透镜状(2942 m 中段,9 线);b—O_3tn^{a-2} 组片岩中的 po 被 sph+gal 交代成弧岛状,下方左侧为片岩(ZK4400-18,461 m);c—O_3tn^{a-2} 组片岩中的铅锌矿脉内的磁黄铁矿为单斜与六方的交生体(磁性胶体浸润,单偏光);d—O_3tn^{a-2} 组片岩中的受后期铅锌硫化物强烈交代的块状磁黄铁矿矿石,其中的磁黄铁矿具退火平衡结构(ZK44003-18,464 m;正交);e—大理岩中的不规则囊状矿体边缘存在大量的大理岩角砾,部分角砾可以拼合(2942 中段,31 线);f—大理岩中块状黄铁矿和铅锌硫化物交代大理岩残块,使之边界呈港湾状,大理岩残块外侧有一圈方铅矿富集的镶边,其内的碳酸盐已重结晶(2942 中段,39 线)

car-carbonate; gal-galenite; gyp-gypsum; mel-melnikovite; po-pyrrhotite; py-pyrite; qz-quartz; sph-sphalerite

a-Mineralized quartz veins in the O_3tn^b schist were sheared into lens-like (2942 m level middle Section, line 9); b-Pyrrhotite orebody in the O_3tn^{a-2} schist was metamorphosed into isolated island by sphalerite and galenite. The left downside is schist (ZK4400-18, 461 m); c-Coexisting body of monoclinic- and hexagonal-pyrrhotite in vein-type lead-zinc orebody from the O_3tn^{a-2} schist (feerro fluid soaking, under a polarized light microscope); d-Massive pyrrhotite in the O_3tn^{a-2} schist was intensively replaced by later lead-zinc sulphide. Pyrrhotite have annealing equilibrium structure(ZK44003-18, 464 m, orthogonal polarization); e-Large numbers of marble breccia spread long the edge irregular orebodies in the marble layers, some of the breccia could wedge together(2942 m level middle Section, line 31); f-Remnant marble pieces of the marble layers were replaced as bay-like edge by massive pyrite and lead-zinc sulphide. There have a galenite-rich circuit around the remnant marble pieces recrystallized (2942 m level middle Section, line 39)

块状硫化物矿层时，铅锌硫化物对早期沉积并发生过重结晶的磁黄铁矿(发育退火平衡结构,图版 II-d)和黄铁矿发生了强烈交代(图版 I-f))。由于脉体和交代体中的硫化物均以铅锌硫化物为主，铁的硫化物和脉石矿物很少，因而受到叠加后硫化物矿石的铅锌品位有明显升高。

2.2 不规则囊状矿体

不规则囊状矿体主要呈不规则透镜状、囊状、瘤状和团块状产于大理岩中。在 2942 中段和 2882 中段主要分布于 31 线以西的大理岩中[13]。这类矿体长轴规模变化于几十厘米至几十米之间，其内可见大量不规则状大理岩团块，其总体形态类似于局部坍塌溶洞,部分角砾(团块)可相互拼贴(图版 II-e)。矿体中的大理岩团块大小从几毫米到数十厘米不等，其中大部分方解石已强烈重结晶，个别粒径达 20 cm 以上(图版 II-e)。

矿石以块状构造为特征，不存在条纹-条带构造或其残留。金属矿物主要为黄铁矿、方铅矿和闪锌矿，磁黄铁矿甚少。局部地段铅锌硫化物占绝对优势，形成块状方铅矿和闪锌矿矿石。矿石矿物粒度大,晶形好,未受后期变形作用影响。脉石矿物少于 5%,以重结晶碳酸盐为主,也未受后期变形作用影响。这类矿石铅锌品位总体较高,部分 Pb+Zn 品位可达 55%,是锡铁山矿床目前的主要开采对象。

不规则囊状矿体与围岩大理岩的界线清晰。硫化物的强烈交代常使大理岩的边界呈港湾状，有时形成残留孤岛。有些地段,硫化物沿大理岩裂隙或层理析出,形成数十厘米至数米的脉状矿体。上述脉状矿体中的硫化物也显示了对大理岩强烈交代作用。硫化物矿体内部也富含棱角状大理岩的交代残块，其边界多为内凹的港湾状。有的残块边界外侧呈现金属矿物的分带现象，紧邻残块为一圈富集方铅矿的镶边,向外为一圈闪锌矿,最外侧为黄铁矿(图版 II-f)。这样的分带可能与碳酸盐的存在使成矿流体 pH 条件的变化有关。虽然在酸性条件下,黄铁矿一般比闪锌矿和方铅矿较早沉淀[25]。但是,当流体的酸性因碳酸盐的溶解而被中和时，铅锌将先于铁硫化物沉淀[26]。

此外,据祝新友等未发表资料,产于大理岩中的不规则囊状矿体中方解石的流体包裹体均一温度峰值为 150 ~ 200℃,明显低于层状矿体(100 ~ 300℃)和网脉状蚀变带(250 ~ 400℃)。

3 矿床成因

3.1 层状矿体成因

O_3tn^b 组片岩、O_3tn^b 组片岩与大理岩的过渡带以及 O_3tn^{a-2} 组片岩 3 个层位均发育层状硫化物矿体。这些层状矿体均与围岩片岩整合接触,发育层纹状构造，伴生有原生沉积胶黄铁矿层和喷流沉积成因的富铁(锌、锰)碳酸岩层和石膏夹层,均受到后期变形和变质作用,因而是海底喷流沉积作用的产物。鉴于含矿地层(O_3tn^b 和 O_3tn^{a-2} 组片岩)中火山岩与正常沉积岩的比例约为 1:4(据邬介人等[10]实测剖面估算),锡铁山矿床的上述 3 个层位的层状矿体均可归属为 SEDEX 型[10, 12, 13, 27]。然而,这 3 个层位矿体的特征又有显著差异。O_3tn^b 组片岩中的层状矿体连续性差,厚度小,并伴有浸染、细脉和网脉状矿化,应为与主矿层形成之前的喷流沉积产物,其中浸染、细脉和网脉状矿化的发育表明该矿层是近源(proximal)沉积的产物。O_3tn^b 组片岩与大理岩过渡带中的层状矿连续性好,总体厚度大,伴生有铁(锌、锰)碳酸岩层和石膏夹层,是喷流沉积主幕的产物。该矿层下盘伴有脉状-浸染状矿化，说明也属近源沉积(proximal)。O_3tn^{a-2} 组片岩中的块状硫化物矿呈多层分布,成分以铁硫化物为主,仅含少量铅锌,并缺乏伴生的以铁硫化物为特征的代表补给带的脉状、网脉状和浸染状矿化,表明该矿层是远源(distal)沉积的产物。

3.2 脉状矿体成因

产于 O_3tn^b 组片岩中的脉状矿体和 O_3tn^b 组片岩与大理岩过渡带中的脉状矿体总体位于层状矿体以下的层位,以网脉-细脉状为主,受后期变质和片理化作用影响显著。矿石成分以黄铁矿占绝对优势,铅锌硫化物甚少。脉石矿物以石英为主。脉壁围岩蚀变主要为绢云母化、硅化、碳酸岩和绿泥石化。脉中方解石的流体包裹体均一温度较高。以上特征也与世界各地块状硫化物主矿层的下盘矿化特征相一致[28-32]。因此,笔者赞同邓吉牛等[27]和祝新友等[13]将其视为喷流沉积下盘矿化,且含矿地层发生了倒转的认识。

O_3tn^{a-2} 组片岩中的脉状矿体近于垂向分布,明显穿插交代经历了变质和变形的围岩和层状矿体,而本身未受到任何后期变形。脉中矿石矿物以铅锌

硫化物占绝对优势,而黄铁矿和磁黄铁矿等甚少,局部可出见纯铅锌硫化物矿脉;未变形的铅锌硫化物脉和斑块强烈交代早期受变质的、发育退火平衡结构的层状矿石。以上特征表明,O_3tn^{a-2} 组片岩中的铅锌矿脉应是地层和层状硫化物矿体变形变质后受叠加流体作用的产物。此外,这部分脉状矿体总体位于大理岩的下方, 因而可能是大理岩中不规则囊状矿体的下部的导矿通道。

3.3 不规则囊状矿体成因

产于大理岩中的不规则囊状矿体构造变形的缺乏、对围岩大理岩的强烈交代、强烈的重结晶、较高的铅锌硫化物含量和较低的流体包裹体均一温度等特征表明,这类矿体形成于绿片岩相变质和裂谷闭合造山作用之后,可能是造山后伸展阶段深部所释放流体强烈交代先存大理岩和层状矿体的产物。

综上所述, 锡铁山铅锌矿床 O_3tn^b 组片岩及其与大理岩过渡带中的层状矿体及伴生的脉状矿体是近源(proximal)喷流沉积的产物,而位于 O_3tn^{a-2} 组片岩中的多层块状硫化物矿体则是远源 (distal) 喷流沉积的产物。但是,锡铁山矿床中另外两类非常重要的矿体:产于大理岩中的不规则囊状矿体和近于垂向分布的大脉状矿体。它们均形成于片理化和造山变形之后;矿体中铅锌硫化物的含量明显高于早期喷流沉积成因的层状矿体和网脉-细脉状矿体; 铅锌硫化物对先存片岩、大理岩和矿石有强烈的交代作用;流体包裹体均一温度较低(50~250℃,峰值为 150~ 200℃)。这些特征显示出与造山型金矿 (orogenic-type gold deposit)类似的成矿特征[33-35]。但是,造山型金矿的概念、地壳连续模型以及矿床地质特征等主要来源于对澳大利亚 Yilgam、加拿大 Abitibi 和美国阿拉斯加 Juneau 金矿带等金矿省的研究和资料归纳[5, 33]。这些地区基本只有脉状金矿,缺乏其他类型矿床。陈衍景[36, 37]根据中国秦岭地区的成矿特征,将造山型金矿的概念拓展到造山型矿床,建立了更全面的矿床尺度的地壳连续模式,并报道了有关造山型银矿和铜矿的实例[7, 8, 38-40]。锡铁山铅锌矿床中产于大理岩中的不规则囊状矿体和近于垂向分布的大脉状矿体是造山型铅锌矿的典型实例,是造山型矿床家族成员的重要补充。

4 结 论

通过对不同类型矿体特征和成因的研究, 笔者得出了有关锡铁山矿床的以下几点认识:

(1) 共有 3 个层位(O_3tn^b 组片岩、O_3tn^b 组片岩与大理岩的过渡带以及 O_3tn^{a-2} 组片岩)发育喷流沉积矿体,属 SEDEX 型。前两个层位属近源(proximal)沉积,而后一层位属远源(distal)沉积。

(2) 大理岩中的不规则囊状矿体是造山后深部流体活化围岩中铅锌或再活化早期层状铅锌矿体,然后强烈交代大理岩的产物。

(3)发育两类脉状矿体,其中产于 O_3tn^b 组片岩和 O_3tn^b 组片岩与大理岩过渡带中的脉状矿体为上述两个层位喷流沉积矿体补给带的脉状矿体,而 O_3tn^{a-2} 组片岩中的脉状矿体则为造山后流体叠加的产物,总体位于大理岩的下方,可能是大理岩中不规则囊状矿体的下部的导矿通道。

(4)锡铁山铅锌矿床应属 SEDEX 型块状硫化物矿床和造山型铅锌矿床的复合成因矿床。

但是,对于叠加矿体的成矿时代、成矿流体来源和铅锌等成矿金属来源等问题尚待进一步深入研究。

致谢:感谢西部矿业公司提供的资料和资助,感谢樊俊昌和孙淑秋高级工程师的无私帮助; 感谢胡受奚教授和邓吉牛博士在论文写作过程中的指导。

参考文献(References):

[1] Halley S W, Roberts R H. Henty: a shallow-water gold-rich volcanogenic massive sulfide deposit in western Tasmania [J]. Economic Geology, 1997, 92:438-447.

[2] Zaw K, Huston D L, Large R R. A chemical model for the Devonian remobilization process in the Cambrian volcanic-hosted massive sulfide Rosebery deposit, western Tasmania [J]. Economic Geology, 1999, 94:529-546.

[3] 汪东波, 邵世才, 刘国平, 等. 金与铅锌矿化的时空关系及应用[J]. 矿床地质, 2001, 20(1):78-84.
Wang Dongbo, Shao Shicai, Liu Guoping, et al. The space-time relationship of gold to lead-zinc mineralization and its application[J]. Mineral Deposits, 2001, 20 (1):78-85 (in Chinese with English abstract).

[4] Emsbo P, Hutchinson R W, Hofstra AH,et al. Syngenetic Au on the Carlin trend:implication for Carlin-typedeposis [J]. Geology, 1999, 27(1):59-62.

[5] Groves D I, Goldfarb R J, Robert F, et al. Gold deposits in metamorphic belts:overview of current understanding, outstanding problems, future research and exploration significance [J]. Economic Geology, 2003, 98(1):1-29.

[6] Large R R, Bull S W, Cooke D R,et al. A genetic model for the HYC deposit, Australia:based on regional sedimentology,

geochemistry, and sulfide－sediment relationships [J]. Economic Geology,1998, 93:1315－1368.

[7] Chen Y J, Pirajno F, Sui Y H. Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, Henan, China: A case study of orogenic silver deposits and related tectonic setting [J]. Mineralium Deposita, 2004, 39:560－575.

[8] Li WB, Chen YJ, Lai Y. The Bainaimiao Cu deposit in Inner Mongolia, China:A possible orogenic－type Cu deposit [C]// Mao JW and Bierlein FP (eds). Mineral Deposit Research:Meeting the Global Challenge. Spinger, Berlin, 2005:1321－1322.

[9] 张志坚, 夏卫华, 张文淮, 等. 锡铁山铅锌矿床有机包裹体及其研究意义 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20 (2):225－230.

Zhang Zhijian, Xia Weihua, Zhang Wenhuai, et al. Organic inclusions of Xitieshan Lead－Zinc deposit and their significance[J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(2):225－230(in Chinese with English abstract).

[10] 邬介人, 任秉琛, 张莓, 等. 青海锡铁山块状硫化物矿床的类型及地质特征 [J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1987, (20):1－88.

Wu Jieren, Ren Bingshen, Zhang Mei, et al. The genetic type and geological characteristics of the Xitieshan massive sulphide deposit, Qinghai [J]. Bulletin of the Xi´an institute of geology and mineral resources, 1987, (20):1－88(in Chinese with English abstract).

[11] 邓达文, 孔华, 奚小双. 青海锡铁山热水沉积型铅锌矿床的地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(4):310－313.

Deng Dawen, Kong Hua, Xi Xiaoshuang. Geochemistry of the hydrothermal sedimentary Xitieshan Pb －Zn deposit, Qinghai Province [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2003, 22(4):310－313(in Chinese with English abstract).

[12] 张德全, 王富春, 李大新, 等. 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 [J]. 矿床地质, 2005, 24 (5):471－480.

Zhang Dequan, Wang Fuchun, Li Daxin, et al. Two types of massive sulfide deposits on northern margin of Qaidam Basin, Qinghai Province: I. Xitieshan style SEDEX lead－zinc deposits[J]. Mineral Deposits, 2005, 24 (5):471－480 (in Chinese with English abstract).

[13] 祝新友, 邓吉牛, 王京彬, 等. 锡铁山矿床两类喷流沉积成因的铅锌矿体研究[J]. 矿床地质, 2006, 25(3):252－262.

Zhu Xinyou, Deng Jiniu, Wang Jingbin,et al. Study of two types of ore bodies in Xitieshan lead－zinc SEDEX deposit, Qinghai Province [J]. Mineral Deposits, 2006, 25 (3):252－262 (in Chinese with English abstract).

[14] 许志琴, 杨经绥, 吴才来, 等. 柴达木北缘超高压变质带形成与折返的时限及机制[J]. 地质学报, 2003, 77(2):163－176.

Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Wu Cailai, et al. Timing and machanism of formation and exhumation of the Qaidam ultra －pressure metamorphic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(2):163－176 (in Chinese with English abstract).

[15] 郝国杰, 陆松年, 王惠初, 等. 柴达木盆地北缘前泥盆纪构造格架及欧龙布鲁克古陆块地质演化 [J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 115－122.

Hao Guojie, Lu Songnian, Wang Huichu, et al. The pre－Devonian tectonic framework in the northern margin of Qaidam basin and geological evolution of Olongbuluck palaeo－block [J]. Earth Scicenc Frontiers (China Uiversity of Geosciences, Beijing), 2004, 11(3):115－122(in Chinese with English abstract).

[16] 王惠初, 陆松年, 莫宣学, 等. 柴达木盆地北缘早古生代碰撞造山系统[J]. 地质通报, 2005, 24(7):603－612.

Wang Huichu, Lu Songnian, Mo Xuanxue, et al. An early Paleozoic collisional orogen on the northern margin of the Qaidam basin, northwestern China [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(7):603－612(in Chinese with English abstract).

[17] 李怀坤, 陆松年, 赵风清, 等. 柴达木北缘新元古代重大地质事件年代架[J]. 现代地质, 1999, 13(2):224－225.

Li Huaikun, Lu Songnian, Zhao Fengqing, et al. Geochronological framework of the Neoproterozoic major geological events in the northern margin of the Qaidam basin [J]. Geoscience, 1999, 13(2): 224－225(in Chinese with English abstract).

[18] 袁桂邦, 王惠初, 李惠民, 等. 柴北缘绿梁山地区辉长岩的锆石U－Pb 年龄及意义[J]. 前寒武纪研究进展, 2002, 25(1):36－40.

Yuan Guibang, Wang Huichu, Li Huimin, et al. Zircon U－Pb age of the gabbros in Luliangshan Area on the Northern margin of the Qaidam basin and its geological implication [J]. Progress in Precambrian Research, 2002, 25(1):36－40(in Chinese with English abstract).

[19] 史仁灯, 杨经绥, 吴才来, 等. 柴达木北缘超高压变质带中的岛弧火山岩[J]. 地质学报, 2004, 78(1):52－64.

Shi Rendeng, Yang Jingsui, Wu Cailai, et al. Island arc volcanic rocks in the north Qaidam UHP Metamorphic Belt [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78 (1):52－64 (in Chinese with English abstract).

[20] 王惠初, 陆松年, 袁桂邦, 等. 柴达木盆地北缘滩涧山群的构造属性及形成时代[J]. 地质通报, 2003, 22(7):487－493.

Wang Huichu, Lu Songnian, Yuan Guibang, et al. Tectonic setting and age of the "Tanjianshan Group" on the northern margin of the Qaidam basin[J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(7):487－493(in Chinese with English abstract).

[21] 张莓. 青海锡铁山层状菱锌铁矿－石膏矿成因初探[J]. 中国地质科学院地质产产研究所所刊, 1990, (28):37－46.

Zhang Mei. Primary discussion on the origin of bedded iron zinc spar－gypsum ore body in Xitieshan, Qinghai [J]. Bulletin of the Xi´an institute of geology and mineral resources, 1990, (28):37－46. (in Chinese with English abstract).

[22] 祝新友, 樊俊昌, 邓吉牛. 锡铁山矿床中石膏、菱铁矿成因研究与意义[J]. 矿产地质, 2006, 20(3):205－210.

Zhu Xinyou, Fan Junchang, Deng Jiniu. Genetic research of gypsum and siderite in Xitieshan Deposit and its significance [J]. Mineral Resources and Geology, 2006, 20(3):205－210(in Chinese

with English abstract).

[23] Gu L X, Zheng Y C, Tang X Q, et al. Advances in research of sulphide ore textures and their implications for ore genesis [J]. Progress in Natureal Sciences, 2006, 16(10):1007-1021.

[24] Gu L X, Vokes F M. Intergrowth of hexagonal and monoclinic pyrrhotites in some sulphide ores from Norway [J]. Mineralogical Magazine. 1996, 60(2):304-316.

[25] Large RR. Australian volcanic-hosted massive sulphide deposits: features, styles, and genetic models [J]. Economic. Geology, 1992, 87:471-510.

[26] 樊文苓, 尚林波, 胡瑞忠, 等. 银、铅、锌在热液成矿过程中的地球化学机理[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(增刊):4-5.
Fan Wenling, Shan Linbo, Hu Ruizhong, et al. Geochemistry mechanism of Ag, Pb, and Zn under hydrothermal mineralization process [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2004, 23(sup.):4-5(in Chinese with English abstract).

[27] 邓吉牛. 青海锡铁山矿区褶皱构造及其找矿预测[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(5):283-288.
Deng Jiniu. Fold structure and prodiction for prospecting in the Xitieshan orefield, Qinghai [J]. Geol. Explor Non-ferrous Metals, 1999, 8(5):283-288(in Chinese with English abstract).

[28] Vivallo W, Richard D. Early Proterozoic ensialic spreading-subsidence, evidence from the Garpenberg enclave, Central Swenden[J]. Precambrian Research, 1984, 26:203-211.

[29] Brauhart C W, Groves D I, Morant P. Regional alteration systems associated with volcanogenic massive sulphide mineralization at Panorama, Pilbara, Western Australiz[J]. Economic. Geology, 1998, 93:292-302.

[30] Von Damm K L, Bischoff J L. Chemistry of hydrothermal solutions from the Judn de Fuca Ridge[J]. Geophys, Res, 1987, 92 (B 11): 334-346.

[31] Javier Sánchez-España, Francissco Velasco, Adrian, J. Boyce, et al. Fallick. Source and evolution of ore-forming hydrothermal fluids in the northern Iberian Pyrite Belt massive sulphide deposits (SW Spain):evidence from fluid inclusions an stable isotopes [J]. Mineralium Deposita, 2003, 38:519-537.

[32] Lerouge G, Deschamps Y, Joubert M, et al. Regional oxygen isotope systematics of felsic volcanics:a potential exploration tool for volcanogenic massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2001, 72:193-201.

[33] Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Maram M, et al. Orogenic gold deposits:a proposed classifcation in the context of the crustal distribution and relationships to other gold deposit types [J]. Ore Geology Reviews, 1998, 13:7-27.

[34] Kerrich R, Goldfarb R, Groves D, et al. The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces[J]. Science in China (Series D), 2000, 43(S):1-68.

[35] Goldfarb R J, Groves D I, Gardoll S. Orogenic gold and geologic time:a global synthesis[J]. Ore Geology Reviews, 2001, 18:1-75.

[36] 陈衍景. 影响碰撞造山成岩成矿模式的因素及其机制[J]. 地学前缘, 1998, 5(增刊):109-118.
Chen Yaning. Constraints and their mechanism on the petrogenic and metallogenic model for collision orogenesis [J]. Earth Science Frontiers, 1998, 5(supl.):109-118 (in Chinese with English abstract).

[37] 陈衍景. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力[J].中国地质, 2006, 33(6):1181-1196.
Chen Yanjing. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential[J].Geology in China, 2006, 33(6): 1181-1196 (in Chinese with English abstract).

[38] 陈衍景, 隋颖慧, Pirajno F. CMF 模式的排他性依据和造山型银矿实例:东秦岭铁炉坪银矿同位素地球化学[J]. 岩石学报, 2003, 19(3):551-568.
Chen Yanjing, Sui Yinghui, Pirajno F. Exclusive evidences for CMF mode and a case of orogenic silver deposits:isotope g geochemistry of the Tieluping silver deposit, east Qinling orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19 (3):551-568 (in Chinese with English abstract).

[39] Chen Y J, Pirajno F, Sui Y H. Geology and D-O-C isotope systematics of the Tieluping silver deposit, Henan, China: Implications for ore genesis [J]. Acta Geological Sinica, 2005, 9: 106-119.

[40] 张静, 陈衍景, 李国平, 等. 河南内乡县银洞沟银矿地质和流体包裹体特征及成因类型. 矿物岩石, 2004, 24(3):55-64.
Zhang Jing, Chen Yanjing, Li Guoping, et al. Characteristics of ore geology and fluid inclusion of the Yindonggou silver deposit, Neixiang county, Henan province:implication for metallogenic type [J]. Mineral. Petrol, 2004, 24 (3):55-64 (in Chinese with English abstract).

Genetic types of orebodies in the Xitieshan lead-zinc deposit, Qinghai Province, Western China

WU Chang-zhi[1,2], GU Lian-xing[1,3], FENG Hui[1], ZHANG Zun-zhong[3], LIU Si-hai[1], HUANG Jian-hua[2], WANG Chang-hua[4], WANG Zhen-yu[1]

(1. *State Key Laboratory for Mineral Deposits Research (Nanjing University), Earthscience Department, Nanjing Univeristy, Nanjing* 210093 *Jiangsu, China*; 2. *School of Geology and Exploration Engineering, Xinjiang University, Urumqi* 830046 *Xinjiang, China*; 3. *Eastern China Geological and Mining Organization for Non-ferrous Metals, Nanjing* 210007 *Jiangsu, China*; 4. *Prospecting and Surveying Institute of Dongying city, Shandong Province, Dongying* 257091 *Shandong, China*)

Abstract: The Xitieshan lead-zinc deposit is located close to the northern margin of the Qaidam basin, Qinghai Province, Western China. Both stratiform and vein-type orebodies occur in each of the three units of the Ordovician Tanjianshan group. These units are the O_3tn^b schist, the transition zone between O_3tn^b and the marble layer, and the O_3tn^a-2 schist. In addition, there are irregular orebodies in the marble layer. Based on investigation of orebody distribution, and ore structures and textures, genetic types of the orebodies are summarized.

Stratiform orebodies in all the three strata can be ascribed to the SEDEX-type. Among them, those hosted in the O_3tn^b schist and in the transition zone between the O_3tn^b schist and the marble are proximal, while vein-type mineralisations stratigraphically bellow these orebodies are thought to represent feeding zones. By contrast, stratiform orebodies in the O_3tn^a-2 schist were formed by distal exhalative sedimentation. Irregular orebodies in the marble layers are likely to have been formed by post-orogenic hydrothermal mobilization/remobilization of metals from surrounding rocks or the stratiform orebodies. Vein-type orebodies in the O_3tn^a-2 schist were also produced by post-orogenic hydrothermal overprinting, and possibly served as feeding zones for the irregular orebodies in the marbles.

Key words: Lead-zinc deposit; fluid overprinting; SEDEX; Xitieshan; Qinhai Province

---

About the first author: WU Chang-Zhi, mal, born in 1975, received Ph.D in Nanjing University, and now a associate professor in both Nanjing University and Xinjiang University, research interests include petrology and ore deposits; E-mail: wucz@nju.edu.cn.