Contributions to Geology and Mineral Resources Research

 $doi: 10.\,6053/j.\,issn.\,1001-1412.\,\,2024.\,\,04.\,\,002$ 

# 青海蓄集铅(银)多金属矿床地质特征 及成矿物质来源浅析

李泽仁, 王利文, 水应东, 何学昭, 赵生辉 (青海省核工业放射性地质勘查院: 西宁 810016)

摘要: 青海蓄集铅(银)矿区地处宗务隆山中段。本研究主要在前人对蓄集铅(银)矿区地质背景 及矿床地质特征研究的基础上,从区域成矿地质背景分析入手,查明矿区出露地层为土尔根大坂 组,矿床含矿岩系岩性有灰岩夹钙质绢云千枚岩、薄层状灰岩、厚层块状灰岩、绢云石英千枚岩等。 矿体多呈层状,总体受 EW 向断裂控制。矿石的结构以它形粒状结构、半自形结构为主,主要构造 为稀疏-稠密浸染状构造。金属矿物主要为方铅矿,脉石矿物主要为石英和方解石。通过矿床地 质地球化学特征分析,推断矿区薄层状灰岩、角砾状灰岩、绢云千枚岩及底部岩体为该区多金属成 矿提供了重要的物质来源。

关键词: 蓄集铅(银)多金属矿床;矿床地质特征;成矿物质来源;青海 中图分类号: P612;P618.42 文献标识码: A

# 0 引言

青海蓄集铅(银)矿区地处宗务隆山中段,泽令 沟北山。前人在该区域进行过一些造山带、成矿特 征、找矿靶区预测等研究工作<sup>[1-3]</sup>,但未查明矿区矿 石的结构构造和成矿金属元素,对该矿床成矿物质 来源认识较模糊,各种看法意见差别很大。为了对 该区域今后的找矿探矿工作奠定一定的理论基础, 本文结合国内外以往铅锌矿床地质地球化学特征的 研究现状<sup>[4-8]</sup>,通过矿石结构构造及矿物组合观察、 流体包裹体及稀土微量元素分析,了解了成矿金属 元素来源和成矿流体性质。

1 区域地质背景

#### 1.1 地层

区域上出露的地层主要为古元古界达肯大坂岩

群 $(Pt_1D_1)$ 、志留系巴龙贡嘎尔组(Sb)、石炭系一二 叠系土尔根大坂组 $(C_2-P_1t_2)$ 、三叠系古浪堤组  $(T_{1-2}g)$ 、三叠系隆务河组 $(T_{1-2}l)$ 、新元古界天峻组  $(Pt_3^2t)$ 及第四系(Q)。以第四系和石炭系分布最 广,石炭系也是本区的主要含矿地层(图 1)。

1.2 构造

带内的主体地层呈复式向斜构造,同褶皱期走 向断裂发育,总体上为对成矿和聚矿不利的开放型 构造环境。该带东段(生格到橡皮山北)为火山岩、 中酸性侵入岩体和构造的复合部位,具有相对有利 的成矿和聚矿的环境。其中,构造以 EW 向断裂为 主,次为 NW 向、NNW 向和 NNE 向,构成在同一 应力场作用下的断裂组,对区域多金属、贵金属矿的 形成起着一定的控制作用;区内主要褶皱为白水 河一包绕浩绕复式背斜,此背斜西起白水河,东至包 绕浩绕,主要由中吾农山群组成,轴向近 EW 向,在 中、西段两翼对称,在东段包绕浩绕一带形成轴面南 倾的倒转背斜。

1.3 岩浆岩

本区岩浆活动的方式有侵入和喷发 2 种。其中

**收稿日期:** 2024-05-15; 责任编辑: 沈名星

作者简介: 李泽仁(1995-),男,工程师,学士,从事地质与固体矿产勘查工作。通信地址:青海省西宁市生物园区经三路 38 号。邮政编码:810016。E-mail:1478483207@qq.com



图1 研究区区域地质简图

Fig. 1 Regional geological map of the study area
1. 第四系冲洪积; 2. 第四系洪冲积; 3. 三叠系鄂拉山组; 4. 三叠系古浪堤组;
5. 三叠系隆务河组(T<sub>1-2</sub>l)、下环仓组(T<sub>1-2</sub>xh)、江河组(T<sub>1-2</sub>j)、大加连组(T<sub>1-2</sub>d);
6. 二叠系哈吉尔组(P<sub>3</sub>h)、忠什公组(P<sub>3</sub>z); 7. 二叠系勒门沟组(P<sub>1-2</sub>l)、草地沟组(P<sub>1-2</sub>c);
8. 石炭系土尔根大坂组:碎屑岩组合与碳酸盐岩组合; 9. 志留系巴龙贡嘎尔组; 10. 新元古界天峻组;
11. 三叠纪正长花岗岩; 12. 二叠纪花岗闪长岩、花岗斑岩; 13. 泥盆纪花岗闪长岩; 14. 地质界线; 15. 性质不明断层; 16. 逆断层

侵入岩主要为早泥盆世花岗闪长岩和晚三叠世二长 花岗斑岩,火山岩不发育,主要为古元古界达肯大坂 岩群中的黑云母角闪片麻岩、志留纪巴龙贡嘎尔组 中的变质层凝灰岩及石炭纪土尔根大坂组中的玄武 岩及蚀变基性熔岩。

## 2 矿区地质背景

#### 2.1 地层

区内出露地层,除第四系广布于沟谷及山麓外, 主要为上石炭统(C<sub>2</sub>)地层。

(1)上石炭统下岩组(C<sub>2</sub>\*)依据岩性组合特征可 划分3个岩性段:第一岩性段(C<sub>2</sub>\*1)为灰绿色含砂 砾绢云千枚岩夹灰岩,厚度415.14 m;第二岩性段 (C<sub>2</sub>\*2)下部为灰-灰白色薄层状不纯结晶灰岩夹角 砾状灰岩、绢云绿泥千枚岩,上部为浅灰绿色石榴钙 质绢云千枚岩夹灰色片面岩及片状石英变粒岩,厚 度1264 m;第三岩性段(C<sub>2</sub>\*3)下部为灰白色条带状 泥质灰岩夹薄层灰岩、钙质绢云千枚岩、绢云石英千 枚岩、透镜体状不纯结晶灰岩等,上部主要为绢云石 英千枚岩,厚度 957.33 m。

(2)上石炭统中岩组(C<sub>2</sub><sup>b</sup>)主要为浅灰色中—薄 层状含白云质结晶灰岩和白色厚层块状灰岩,厚度 大于 1146.48 m。

#### 2.2 构造

矿区内的构造以断裂为主,褶皱次之。仅在矿 区中西部的绢云石英千枚岩、含砂砾绢云石英千枚 岩层中见有一些小型的背、向形构造,但区内起控矿 作用的乃是断裂构造。断裂以 EW 向为主,NE 向 及 NW 向次之,是区内的 3 组主要导矿构造和容矿 构造,如图 2 所示。

(1) EW 向断裂组。EW 向断裂组是区内主要 断裂构造,为区内导矿构造和容矿构造,成矿带主要 分布在 EW 向构造蚀变带内。EW 向断层主要有  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_5$ ,由于本区经过多期构造活动在区 内展布的 EW 向断层多数是在后期构造活动中,沿 EW 向构造带所形成的次级断裂。其中, $F_2$  断裂控 制着⑧、⑩号矿体的分布,由于其后期活动的影响, 使矿体局部遭到破坏而呈现角砾状; $F_3$  断裂分布在 该组  $F_2$  断裂的北部,控制着⑪号矿体,在⑩号矿体 东与  $F_2$  断层复合成一体; $F_4$  断层控制着①、②、③、 ④、⑤、⑦号矿体的分布。



图 2 蓄集矿区地质图

Fig. 2 Geological map of Xuji Pb(Ag) poly-metallic deposit
1. 厚层状灰岩; 2. 绢云石英千枚岩; 3. 薄层状灰岩; 4. 透镜状灰岩; 5. 钙质绢云千枚岩;
6. 含砂砾绢云千枚岩; 7. 残破积、冲洪积压砂土、砂砾; 8. 蚀变带; 9. 铜矿体; 10. 铅矿体;
11. 银矿体; 12. 断裂; 13. 矿体编号; 14. 矿石样采集位置; 15. 围岩样采集位置

(2)NW 向断裂组。NW 向断裂组主要有 F<sub>6</sub>、 F<sub>7</sub>、F<sub>8</sub>),其中 F<sub>6</sub>控制着⑨号矿体,F<sub>8</sub>控制着⑥号矿 体。断层性质呈张扭性,在区内中西部,地层产状向 NW 扭曲,地层不同程度地向北位移,NW 向断层同 时也是导矿和容矿构造,并且矿体在 EW 向断裂和 NW 向断裂交汇部位矿体有所膨大。

#### 2.3 岩浆岩

区内岩浆活动较弱,没有岩体出露。

3 矿床地质特征

#### 3.1 矿体特征

由于研究区内矿体规模差别较大且分布较多, 现就典型矿体具体描述如下。

⑨号矿体深部倾向延伸上由 15ZK2801 控制, 根据目前矿体的控制情况,矿体整体呈脉状,长度 37 m,控制斜深 75 m,平均真厚度 1.68 m。矿体产 状时有变化,平均产状 344° $\angle$ 50°, $w(Ag)_{\mp\mu}=$ 200.65×10<sup>-6</sup>,w(Cu)=0.07%,w(Pb)=26.44%。 矿体呈脉状展布,沿走向上厚度变化不大,局部见有 膨大。矿体产于石炭系厚-薄层状灰岩与绢云石英 千枚岩、含砾砂绢云石英千枚岩接触部位。矿体与 围岩接触界线清楚,矿体内石英脉发育,与围岩产状构成一定的角度(图 3)。

①号矿体由 PD2、15ZK702、15ZK901 所控制, 为1条铅银共生型复合矿体,位于中矿带中段。矿 体赋存于  $C_2^{s-3}hg$  薄层状灰岩中,矿体东端靠近  $F_3$ 断层的上盘。矿体由硐探工程 PD2 控制,长度 126 m,平均厚度 1.48 m,控制斜深 85 m。 $w(Ag)_{\mp 9} =$ 199.64×10<sup>-6</sup>、w(Cu) = 0.16%,w(Pb) = 26.65%。 矿体沿走向或倾向膨缩现象明显,厚度变化中等。 其产状有的与围岩一致,也有斜切地层的。一般产 状为倾向 NE21°,倾角 58°,局部向 S 倾,倾角 64°。 该矿体经 15ZK702、15ZK901 两个钻孔的深部控 制,倾向上还有延深。矿体呈条带状产在薄层状 灰岩与绢云石英千枚岩接触带上。

#### 3.2 矿石特征

(1)矿石产出类型

据光片镜下观察,主要矿石矿物有方铅矿、银黝 铜矿、白铅矿、黄铁矿等;主要脉石矿物有石英、方解 石,次为白云石和绢云母(图 4)。

(2)主要金属矿物特征

方铅矿:半自形-它形晶粒状结构,稀疏浸染状-班杂状构造,呈粒状集合体在岩石中沿裂隙充填,总 体上呈脉状分布。单晶或集合体的粒径 0.002~



图 3 中矿带 28 号勘探线剖面图 Fig. 3 Section of the central ore zone along line 28 a. 厚层-薄层状灰岩; b. Pb-Ag 矿体

4.28 mm,多在 0.02 mm 以上,大小不一,较大的晶 粒中发育压碎裂纹,多数晶粒内包含压碎粒状脉石 矿物或包含压碎粒状脉石矿物和压碎粒状黄铁矿。

银黝铜矿:镜下反射色为灰白色微带绿色调,为 银黝铜矿,呈它形晶粒状,粒径多在 0.01~1.28 mm间,一般含在方铅矿集合体或方铅矿单晶中,少 数晶粒中也包含边界十分光滑的方铅矿。

白铅矿:它形一半自形结构,多以不规则粒状分 布于部分非金属矿物中;在白铅矿颗粒中常包裹有 蓝铜矿细粒,白铅矿与蓝铜矿和非金属矿物嵌布关 系密切,与银黝铜矿嵌布关系不紧密,与银黝铜矿几 乎无接触关系。

黄铁矿:半自形晶粒状产于非金属矿物中,粒径 0.2~0.5 mm;在黄铁矿的颗粒间隙及裂缝中有黄

铜矿充填胶结,形成网状、网脉状构造;少数黄铁矿 细颗粒包裹在方铅矿中,被方铅矿交代或包裹,形成 填隙结构,也有的黄铁矿被非金属矿物充填胶结或 包裹,形成网脉状构造。

#### (3)矿石结构构造

矿石的结构以它形粒状结构、交代溶蚀结构、半 自形结构及不混溶连晶结构为主,次为糜棱结构和 碎裂结构。主要的构造为稀疏一稠密浸染状构造。 浸染状构造:在矿石中见方铅矿、银黝铜矿、白铅矿、 黄铁矿以它形粒状、半自形分布于部分非金属矿物 中,形成浸染状构造。方铅矿矿石呈稠密浸染状或 星散浸染状分布于碳酸盐岩中,疏密不一。以半自 形粒状为主,粒径 0.2~0.6 mm,有时可达 1 mm (表 1)。

			*
矿体编号	矿石结构	矿石构造	矿石类型
2,5	半自形、它形结构,碎裂结构,糜棱结构,不混溶连晶结构,环带状结构	主要为稀疏、中等浸染状构造,次为条 带状、稠密浸染状构造	以稀疏、中等浸染状方铅矿矿石为 主,⑩号矿体为单独铜矿石
8,9	半自形、它形结构,碎裂结构,包含结构	稀疏、中等、稠密浸染状构造,角砾状构 造	以稀疏、中等浸染状方铅矿矿石为 主,次为角砾状方铅矿矿石,局部含 黝铜矿、斑铜矿
0.0	半自形、它形粒状结构,不混溶连晶结 构,碎裂结构	中等、稠密浸染状构造,条带状构造	以中等、稠密浸染状方铅矿矿石为 主,局部含黝铜矿、斑铜矿、方铅矿矿 石

表 1 矿体矿石结构构造及矿石类型 Table 1 Schedule of ore types and the ore texture and structure of the deposit



**图 4 蓄集矿区主要岩矿石镜下照片** Fig. 4 Microscopic photos of major rocks in Xuji Pb(Ag) poly metallic deposit a. 夹孔雀石含矿灰岩; b. 铅银矿矿石; c. 含矿灰岩; d. 方铅矿矿石; e. 铜铅矿矿石; f. 方铅矿矿石; Gn. 方铅矿; Ars. 毒砂; Py. 黄铁矿; Az. 蓝铜矿; Lm. 褐铁矿

# 4 矿床成矿物质来源

本项研究对蓄集铅(银)矿区矿石及围岩进行了 微量元素、稀土元素地球化学特征分析,根据蓄集铅 (银)矿近矿围岩及矿石测试结果(表 2,表 3)和微量 元素标准化蛛网图(图 5)、稀土元素配分模式图(图 6)可以明显看出,矿石与围岩有相似的微量元素比 值,矿区近矿围岩及方铅矿矿石的微量元素原始地 幔标准化蛛网显示亏损 Nb、Ti 等高场强元素;U、 Sr、Cs 等元素富集。围岩中 Cu、Zn、Pb 等金属成矿 元素含量很高,反映了成矿物质与围岩关系较为密切(表 2)。

由稀土元素配分模式图(图 6)可知蓄集铅(银) 矿近矿围岩及矿石稀土配分型式以相对富含轻稀土 元素(LREE),贫重稀土元素(HREE), $w(\Sigma REE) =$ 9.27×10<sup>-6</sup>~29.03×10<sup>-6</sup>,平均 22.01×10<sup>-6</sup>, w(LREE)/w(HREE) = 7.35~41.13,平均 25.08×10<sup>-6</sup>。Ce显示出弱正异常(1.02×10<sup>-6</sup>~1.07× 10<sup>-6</sup>)。 $w(La)_N/w(Yb)_N = 7.79 ~ 57.29$ ,平均 32.69。稀土元素曲线均为轻稀土元素富集型,呈右 倾趋势。总体上看,矿石与围岩稀土元素配分模式 总体相似,说明成矿与围岩关系十分密切。

#### 表 2 蓄集铅(银)矿石及赋矿围岩微量元素分析结果

Table 2 Analysis of trace elements of the ore-hosted rocks in the deposit

样晶号	XJ-TW-7	XJ-TW-2	XJ-TW-5
样品名称	灰岩(围岩)	方铅矿矿石	方铅矿矿石
Rb	8.53	6.70	8.00
Ba	37.72	103.23	76.48
Th	1.94	1.09	1.62
U	4.64	12.60	14.33
Nb	1.44	0.76	1.23
La	2.14	7.81	7.34
Ce	3.95	14.05	12.96
Sr	100.61	1569.88	1191.90
Nd	1.37	4.58	4.51
Cu	68.32	8581.07	3068.96
Zr	28.62	10.89	20.14
Hf	0.62	0.33	0.60
Sm	0.25	0.46	0.54
Ti	0.11	7.97	6.41
Y	1.96	0.54	0.80
Yb	0.20	0.10	0.16
Lu	0.03	0.02	0.03
Cs	8.53	6.70	8.00
Та	37.72	103.23	76.48
Zn	103.97	67.08	100.61
Gd	1.94	1.09	1.62
Dy	4.64	12.60	14.33
Но	1.44	0.76	1.23
Tm	2.14	7.81	7.34
Er	3.95	14.05	12.96
Tb	100.61	1569.88	1191.90
Eu	0.06	0.06	0.07
Pr	0.38	1.38	1.32
Pb	3301.04	506971.90	425986.90

量单位; $w_{\rm B}/10^{-6}$ 。





Fig. 5 Chondrite-normorlized spider diagram of trace elements of host rocks and ore of the deposit



图 6 蓄集铅(银)矿近矿围岩及矿石稀土元素配分模式图 (球粒陨石值引自 Sun 和 McDonough,1989) Fig. 6 REE pattern of host rocks and ore in the deposit

#### 表 3 蓄集铅(银)矿石及赋矿围岩稀土元素分析结果

Table 3 Analysis of REE of host rocks and ores of

the deposit							
样品号	XJ-TW-7	XJ-TW-2	XJ-TW-5				
样品名称	灰岩(围岩)	方铅矿石	方铅矿石				
La	2.14	7.81	7.34				
Ce	3.95	14.05	12.96				
Pr	0.38	1.38	1.32				
Nd	1.37	4.58	4.51				
Sm	0.25	0.46	0.54				
Eu	0.06	0.06	0.07				
Gd	0.04	0.03	0.05				
Tb	0.27	0.26	0.36				
Dy	0.28	0.15	0.23				
Ho	0.06	0.03	0.04				
Er	0.20	0.08	0.12				
Tm	0.03	0.01	0.02				
Yb	0.20	0.10	0.16				
Lu	0.03	0.02	0.03				
Υ	1.96	0.54	0.80				
$w(\Sigma \text{REE})$	9.27	29.03	27.74				
w(LREE)	8.16	28.34	26.74				
w(HREE)	1.11	0.69	1.00				
w(LREE)/ w(HREE)	7.35	41.13	26.77				
w(La) <sub>N</sub> / w(Yb) <sub>N</sub>	7.79	57.29	33.00				
δEu	1.60	1.47	1.41				
δCe	1.07	1.05	1.02				

量单位; $w_{\rm B}/10^{-6}$ 。

根据矿区地质特征,蓄集铅(银)矿矿体产于上 石炭统宗务隆群上、下两个岩组分别组成的上、下两 个含矿层中,上含矿层(上岩组)以灰岩为主夹千枚 岩,在灰岩中产出与地层产状一致的似层状、透镜状 铅银铜矿体,下含矿层(下岩组)为钙质绢云母千枚 岩与灰岩过渡带的构造角砾灰岩,在构造角砾灰岩 中产出透镜状铅银矿体。矿区内大部分铅、银、铜矿 体的展布方向基本与矿区内地层的走向一致,其中 的矿(化)体均呈似层状、透镜状沿层分布,严格受地 层层位控制,多数产于千枚岩与灰岩的交替部位,例 如矿区内②、⑤、⑧、⑨、⑩、⑪矿体产出位置都位于 灰岩与千枚岩接触的薄弱带,且这些接触带均有断 裂发育。

根据前人研究总结<sup>[9]</sup>,成矿热液的总硫同位素 组成具有以下特征:(1) $\delta^{34}$ S $\Sigma$ S=0,这类矿床在成 因上与花岗岩侵入体有关,硫源为地幔硫,包括岩浆 释放的硫和从火成岩硫化物中淋滤出来的硫; (2) $\delta^{34}$ S $\Sigma$ S=20%左右时,硫来源于海水蒸发岩或 海水硫酸盐;(3) $\delta^{34}$ S $\Sigma$ S=5%~15%,硫可能来自 围岩中浸染状硫化物或更老的矿床;(4) $\delta^{34}$ S $\Sigma$ S 为 较大负值,其矿床硫来源为开放沉积条件下的有机 还原成因硫。蓄集铅(银)矿床中铅锌矿石所测  $\delta^{34}$ S $\Sigma$ S=5%,表明该硫的来源趋向于上述第三种 情况,为混合硫来源,具有地壳硫和岩浆硫混合来源 的特征。

综合以上 4 点,推断矿区薄层状灰岩、角砾状灰 岩、绢云千枚岩及底部岩体为本区的多金属成矿提 供了重要的物质来源。

### 5 结语

研究区区域上主要出露下元古界、石炭系及第 四系。蓄集铅(银)矿矿区主要出露上石炭统,主要 岩性有厚层块层状灰岩、灰岩夹钙质绢云千枚岩、薄 层状灰岩及绢云石英千枚岩。矿区围岩和底部岩体 为本区的多金属成矿提供了重要的物质来源,其围 岩主要有薄层状灰岩、厚层块状灰岩、灰岩夹钙质绢 云千枚岩及绢云石英千枚岩。

#### 参考文献:

- [1] 郭安林,张国伟,强娟,等. 青藏高原东北缘印支期宗务隆造山带[J]. 岩石学报,2009,25(1):1-12.
- [2] 周杰斌,石菲菲,邹林,等.青海省德令哈北部宗务隆地区成矿 特征与找矿远景分析[J].地质与勘探,2011,47(2):197-203.
- [3] 杨生德,王彦,任家琪,等.青海省第三轮成矿远景区划研究及找矿 靶区预测[M].青海省地质矿产综合研究所,2004:355-363.
- [4] 谭克彬,陈强,郭涛,等. SEDEX 型铅锌矿床特征及研究趋势 [J]. 新疆有色金属,2016,39(1):21-23.
- [5] 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,2000, 5(4):73-78.
- [6] Goodfellow W D, Lydon J W. Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits[G]. //Goodfellow W D. Mineral deposits of Canada: Asynthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods. Geological Asso-ciation of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. 2007;163 - 183.
- [7] Russell M J, Solomon M, Walshe J L. The Genesis of Sediment [J]. Mineralium Deposia 1981 16(16):113 127.
- [8] 杨庆坤,郭福生,姜勇彪.沉积岩型铅锌矿床的成因机制及其硫 源类型[J].采矿技术,2010,10(5):91-94.
- [9] 王可新,王建平,刘家军,等.陕西太白双王金矿床地质特征及稳定 同位素地球化学研究[J].中国地质,2012,39(5):1359-1374.

# Primary analysis of geological characteristics and material source of Xuji Pb(Ag) poly metallic deposit in Qinghai province

# LI Zeren, WANG Liwen, SHUI Yingdong, HE Xuezhao, ZHAO Shenghui

(Radioactive Geology Exploration Institute of Nuclear Industry, Xining 810016, Qinghai Province, China)

**Abstract**: Xuji Pb(Ag) polymetallic deposit is located at the middle of Zongwulong mountain area. Based on the previous results this paper deals with regional geological background of the deposit. Tuergendaban formation is exposed in the area. The ore is hosted in limestone intercalated with calcareous sericite phllite, thin layered limestone, thick massive limestone, sericite-quartz phllite. Ore bodies are generally layered and controlled by EW faults and the ore is with anhedral and semi-Herald texture and sparse-dense deseminated structure. Galena is the main metal mineral, and quartz and calcium gangue minerals. Inferred by geological and geochemical characteristics of the deposit thin layered limestone, brecciated limestone, sericite phllite and rock bodies beneath provide ore materials for the deposit.

**Key Words:** Xuji Pb(Ag) poly metallic deposit; geological characteristics of the deposit; ore material source; Qinghai province