

辽宁青城子铅锌金银矿矿集区围岩原岩恢复及其构造背景

宋运红¹ 郝立波² 杨凤超¹

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心(沈阳地质矿产研究所) 辽宁 沈阳 110034 ;

2. 吉林大学 地球探测科学与技术学院 吉林 长春 130061

摘 要 辽宁青城子矿集区产出在辽东裂谷凹陷带,是中国北方重要的铅锌金银多金属矿集区。矿体与含矿岩系呈整合产出,受一定层位和岩性控制,其中大石桥组是铅锌的矿源层,具有高金丰度和富 As 的盖县组是金银的矿源层,变质作用或者韧性剪切作用使得金得到富集而成矿。铅锌矿床围岩主要为大石桥亚群杨树沟岩组大理岩、变粒岩和浅粒岩,金银矿床围岩主要为上部盖县组片岩,少量大石桥组变粒岩。围岩的岩石地球化学特征及原岩恢复表明,青城子铅锌矿围岩中的大理岩原岩为灰岩、白云岩,变粒岩、浅粒岩原岩主要为泥质砂岩,个别为火山岩,金银矿围岩中的片岩类原岩为泥岩、砂质泥岩及粉砂岩,变粒岩原岩为泥质砂岩。青城子铅锌金银矿围岩中的大理岩和片岩构造环境应属稳定大陆边缘,变粒岩、浅粒岩构造环境应属活动大陆边缘或岛弧。结合区域构造演化历史认为,裂谷活动所造成的地壳拉张、变形及其相关的构造-岩浆活动,为铅锌矿床的形成提供有利环境;不同级别的裂谷盆地内的沉积作用以及海底火山喷气作用、沿同生断裂发生热水沉积作用,为矿源层的形成提供成矿物质和成矿流体;吕梁期变质作用对区内铅锌矿的叠加、富集起重要的控制作用。

关键词 铅锌金银矿区;原岩恢复;构造背景;辽吉裂谷;吕梁变质作用;辽宁省

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2015.03.007

PROTOLITH RESTORATION AND TECTONIC SETTING OF THE WALL ROCKS IN THE QINGCHENGZI LEAD-ZINC-GOLD-SILVER ORE CONCENTRATION AREA IN LIAONING PROVINCE

SONG Yun-hong¹, HAO Li-bo², YANG Feng-chao¹

1. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110034, China;

2. College of Geoexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130061, China

Abstract : The Qingchengzi ore concentration area, which occurs along the Liaodong rift depression zone of Liaoning Province, is an important Pb-Zn-Au-Ag polymetallic mineralization concentration area in northern China. The orebodies and ore-bearing rock series occur in conformity, controlled by certain horizon and lithology, among which the Dashiqiao formation is the source bed of lead and zinc, and the Gaixian formation with high abundance of Au and rich in As serves as the source bed of gold and silver. The metamorphism and ductile shearing contribute to the enrichment and mineralization of gold. The wallrock of Pb-Zn deposit is mainly composed of marble, granulite and leptite of the Yangshugou lithoformation, Dashiqiao subgroup; while that of Au-Ag deposit, mainly schist of upper Gaixian formation, with a little granulite of Dashiqiao formation. The lithogeochemical characteristics of the wall rocks and protolith restoration show that the protolith of the marble is composed of limestone and dolomite, and the protolith of the granulite and leptite is mainly argillaceous sandstone, with minus volcanic rocks. The protolith of schist are mudstone, sandy mudstone and siltstone; while the protolith of leptynite is argillaceous sandstone. The tectonic setting of the marble and schist should belong to stable continental margin, and that of granulite and leptite should be of active continental margin or island arc. Combined with the history of regional tectonic evolution, it is believed that the crustal extension, deformation and relevant tectonomagmatic activities caused by

收稿日期 2014-12-16;修回日期 2015-01-21. 编辑:周丽、张哲.

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“辽宁上麻屯-通远堡地区矿产地质调查”(编号 12120113058800)资助.

作者简介:宋运红(1983—),女,吉林大学在读博士研究生,主要从事地球化学及矿产地质调查工作,通信地址:辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail://yunhong408@163.com

rift action offered a favorable environment for the formation of the Pb-Zn deposits. Sedimentation within different levels of rift basins, submarine volcanic exhalation and hydrothermal sedimentation along the contemporaneous faults offered ore-forming substances and fluids for the formation of source bed. The metamorphism occurred in Luliang period played a key role in controlling the superimposition and enrichment of the Pb-Zn deposits in this area.

Key words : Pb-Zn-Au-Ag deposit; protolith restoration; tectonic setting; Liaoning-Jilin rift; Luliangian metamorphism; Liaoning Province

0 引言

青城子铅锌金银矿集区隶属于辽宁省凤城市,其大地构造位置地处辽东-吉南裂谷带西端。青城子铅锌矿自明朝开采至今已有 400 多年历史。早期主要开采铅锌矿,后又逐步发现金、银矿及钼矿,已成为一个集 Au、Ag、Pb、Zn 等多金属成矿作用于一区的大型矿集区。国内外地质学家^[1-5]围绕矿床的成矿液体^[6-10]、成矿物质来源^[11-12]、岩浆作用^[13-15]和成矿时代^[14,16-17]作了许多的研究,但对矿集区围岩研究甚少。本文系统地调查研究青城子铅锌金银矿矿体的直接围岩的岩石组成、地球化学特征、变质变形特征和构造背景,以期为全面恢复矿床的地质构造演化历史和进一步揭示该区成矿规律提供基础资料,并为青城子外围勘查工作提供参考。

1 矿集区地质概况

青城子铅锌金银矿集区位于古元古代辽东裂谷轴部的凹陷带内。该裂谷带位于太古宙龙岗地块和狼林地块之间,地处古亚洲洋构造域和环太平洋构造域叠置部位,是在太古宙基底上古元古代期间地壳拉张裂解—快速沉降—回返挤压形成的陆间裂谷,呈近东西向分布(图 1)。

矿集区内出露的地层为辽河群下部浪子山组变质陆源碎屑岩-火山沉积建造、中部大石桥组中变质碳酸盐夹细碎屑岩-火山碎屑岩建造和上部盖县组变质细碎屑岩建造是区内最主要含矿建造。据地质调查和矿床勘查资料,矿体受层位控制明显^[18],铅锌矿主要赋存于大石桥组碳酸盐岩建造中,而金银矿主要赋存于大石桥组和上部盖县组碎屑岩建造过渡部位。赋矿岩石类型主要为大石桥组大理岩、片岩、变粒岩或盖县组片岩。大量研究表明,大石桥组是铅锌的矿源层,具有高金丰度和富 As 的盖县组是金银的矿源层,变质作用或者韧性剪切作用使得金得到富集而成矿^[1,18-23]。蒋少涌等^[24]认为,辽河群沉积期间,盆地内频繁的海底火山喷发活动带来了大量的 Pb、Zn、S、Fe 等成矿元素,它们在沉积地层中大量聚集,构成了矿

源层,部分形成了层状似层状贫矿体。这些矿体与含矿岩系呈整合产出,受一定层位和岩性控制。王文清等^[25]认为,辽河群基底岩系融矿源层和赋矿层位于一体,为铜、铅、锌、钼、金矿床提供了充分的矿质来源和赋矿层位。

辽东地区是在太古宙—古元古代准地台基础上发展起来的。太古宇、元古宇发育多套含矿建造,其具有矿源层和赋矿围岩的双重作用,是本区成矿物质基础和主要来源。其中,大石桥亚群杨树沟岩组第一岩段(Pt_{1y}¹)为下部含矿层,由角闪片岩、夕线片岩、石榴黑云片岩、黑云变粒岩与钙镁硅酸盐岩、硅质岩及云母条带大理岩和含石墨大理岩组成互层带,这套特殊的层状岩石严格地控制榛子沟等层状铅锌矿化(体);第四岩段(Pt_{1y}⁴)为上部含矿层,由白云石大理岩、菱镁矿大理岩、云母条带大理岩、钙镁硅酸盐岩条带的白云石大理岩与云母片岩、石榴石云母片岩、夕线片岩、透闪石岩、云母变粒岩组成互层带,该含矿层位中产有青城子西区的喜鹊沟、南山等铅锌矿床。在含矿的大石桥亚群杨树沟岩组地层沉积时,出现条带状—层纹状热水沉积或喷流岩。伴随同生断裂活动,热水喷流作用还将地壳深部或下部地壳中的 Pb、Zn、Au、Ag 等成矿元素带入海盆,沉积于热水沉积岩或正常沉积物中,形成初始矿源层,标志着海底热水活动对成矿作用的严格控制关系。

矿集区内发育多期构造。铅锌矿床的形成借助断裂、裂隙、破碎带、层间滑动带、不整合面等,构成导矿、储矿构造,区内铅锌等矿床均具构造控矿的特征。

区域岩浆活动强烈,以辽河晚期(古元古代晚期)和中生代为主。岩浆活动不仅导致区域构造的进一步复杂化,而且对矿床的形成起到了重要作用。尤其是与成矿关系密切的硅酸岩过饱和的富碱性、中酸性的侵入体,从岩浆侵位过程中带来了大量的热能和许多硫及其他成矿物质,对富含 Pb、Zn、Au、Ag 等成矿元素的初始矿源层及部分层控铅锌矿床起到了重要的叠加再造成矿作用。

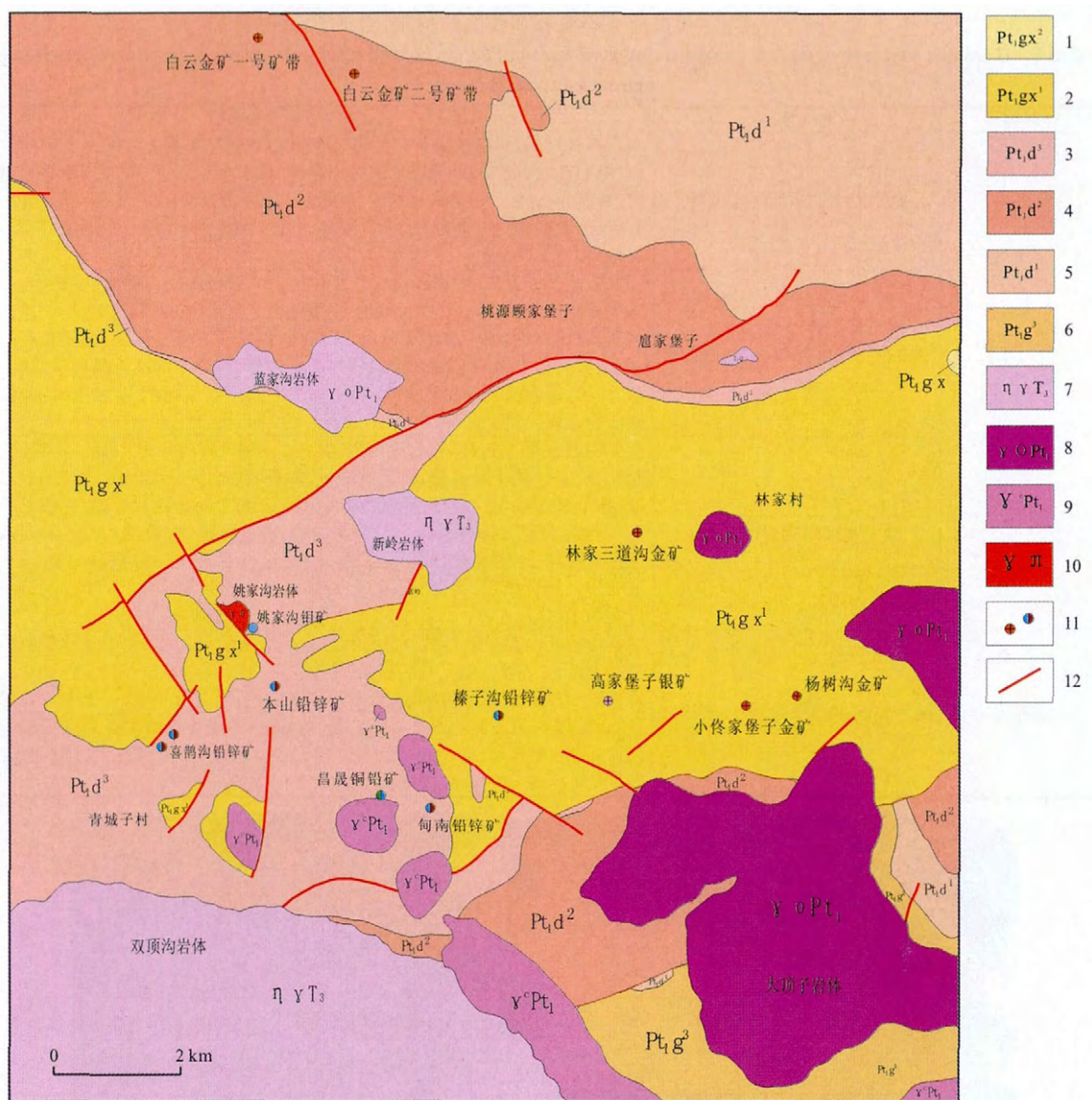


图1 青城子矿集区地质矿产简图

Fig. 1 Geological and mineral sketch map of Qingchengzi ore concentration area

1—盖县组二段(2nd member of Gaixian fm.) 2—盖县组一段(1st member of Gaixian fm.) 3—大石桥组三段(3rd member of Dashiqiao fm.) 4—大石桥组二段(2nd member of Dashiqiao fm.) 5—大石桥组一段(1st member of Dashiqiao fm.) 6—高家岭组三段(3rd member of Gaojiayu fm.) 7—似斑状黑云母二长花岗岩(porphyritic biotite monzogranite) 8—黑云母斜长花岗岩(biotite plagiogranite) 9—条痕状二长花岗岩(streaky monzogranite) 10—花岗岩岩(granite porphyry) 11—矿产点(mineral site) 12—断层(fault)

2 赋矿层位地质特征

矿集区出露地层主要为古元古界的辽河群及太古界的鞍山群。矿区地层最底部的鞍山群经历混合岩化形成一套混合质变粒岩、混合花岗岩。辽河群分为浪子山组, 主要由石墨大理岩、角闪片岩、夕线石云母片岩组成; 大石桥组, 主要岩性为厚层白云质大理岩、云母条带大理岩夹薄层变粒岩及石榴石云母片岩、夕线石云母片岩, 是铅锌矿的主要赋矿层位; 盖县组, 主要为云母片岩、夕线石云母片岩, 是金银矿的主要赋矿层位。

辽宁青城子铅锌矿床围岩主要为大理岩和变粒

岩, 金银矿矿体的围岩主要为片岩和变粒岩。测试样品分别采自喜鹊沟、甸南、榛子沟、本山铅锌矿区和白云、小佟家堡子、林家三道沟、杨树沟、高家堡子金银矿区, 样品均为矿区采集的新鲜样品, 岩石的岩相学特征列于表1, 典型样品的岩石照片及显微镜下照片见图2、3。

3 赋矿围岩的地球化学特征及原岩恢复

3.1 主量元素特征

为了研究矿集区变质岩的主量元素特征, 本次采取15个具代表性的样品进行全岩分析。从分析结果

表 1 青城子矿集区铅锌金银矿围岩的地质、岩相学特征

Table 1 Geologic and petrographic characteristics of the wall rocks of lead-zinc-gold-silver deposit in Qingchengzi ore concentration area

矿床	岩石类型	结构构造特征	矿物组成和特征
铅锌矿床	大理岩	粒状变晶结构 块状构造	由方解石细晶、粉晶及少量白云母、微粒铁矿物构成。其中方解石为绝对主要矿物,无色,菱形粒状,闪突起明显,高级白干涉色、珍珠晕干涉色,菱面体角砾完善,双晶不发育,粒度 $\leq 0.2\text{ mm}\times 0.4\text{ mm}$;另含白云母及少许微粒铁矿物。白云母,无色,鳞片状,闪突起,干涉色达二级蓝绿色,十分鲜艳,粒度 $\leq 0.1\text{ mm}\times 0.3\text{ mm}$,零散分布、不具定向排列趋势
	变粒岩、浅粒岩	鳞片粒状变晶结构 板块状构造	主要由粒状变晶矿物石英、长石和片状矿物黑云母构成。其中粒状矿物,主要为石英,其次为长石。石英,无色,拉长粒状,干涉色灰白色,弱波状消光,粒度 $\leq 0.4\text{ mm}\times 0.8\text{ mm}$;长石,无色柱粒状,干涉色灰白色,无双晶(正长石)、格子双晶(微斜长石)或聚片双晶(斜长石),粒度 $\leq 0.15\text{ mm}$ 。片状矿物主要为黑云母,少量拉长黑色铁矿物。黑云母,褐色,片状,典型黑云母式吸收性,干涉色二级橙红色,平行消光,粒度 $\leq 0.4\text{ mm}\times 1.2\text{ mm}$;铁矿物含量不足 3%
金银矿床	云母片岩	鳞片变晶结构 片理构造	主要由白云母、绢云母和石英构成。其中片状矿物:白云母,无色,片状,突起中,闪突起明显,干涉色十分鲜艳,二级蓝绿色,粒度 $0.015\text{ mm}\times 0.4\text{ mm}\sim 0.5\text{ mm}\times 2.0\text{ mm}$;绢云母,细小鳞片状,干涉色鲜艳,粒度 $\leq 0.02\text{ mm}\times 0.1\text{ mm}$ 。粒状矿物:主要为石英,少量长石。石英,无色,透镜粒状,干涉色灰白色,弱波状消光,粒度 $\leq 0.5\text{ mm}\times 1.0\text{ mm}$;长石,无色柱粒状,干涉色灰白色,无双晶,应为正长石,粒度 $\leq 0.4\text{ mm}\times 0.6\text{ mm}$ 。此外,见特征变质矿物夕线石,无色,突起高,纤维状或束禾状集合体,干涉色,二级黄,正延性,含量约 10%
	变粒岩	鳞片粒状变晶结构 板块状构造	主要由粒状变晶矿物石英、长石和片状矿物黑云母构成。其中粒状矿物主要为石英,其次为长石。石英,无色,拉长粒状,干涉色灰白色,弱波状消光,粒度 $\leq 0.2\text{ mm}\times 0.5\text{ mm}$,含量约 50%;长石,无色柱粒状,干涉色灰白色,绢云母化明显,无聚片双晶,可能为斜长石,粒度 $\leq 0.2\text{ mm}\times 0.5\text{ mm}$,总含量 30%以上。片状矿物主要为黑云母,少量拉长黑色铁矿物。黑云母,褐色、片状,典型黑云母式吸收性,干涉色二级橙红色,平行消光,粒度 $\leq 0.2\text{ mm}\times 0.8\text{ mm}$,含量 $\geq 15\%$,铁矿物含量不足 3%

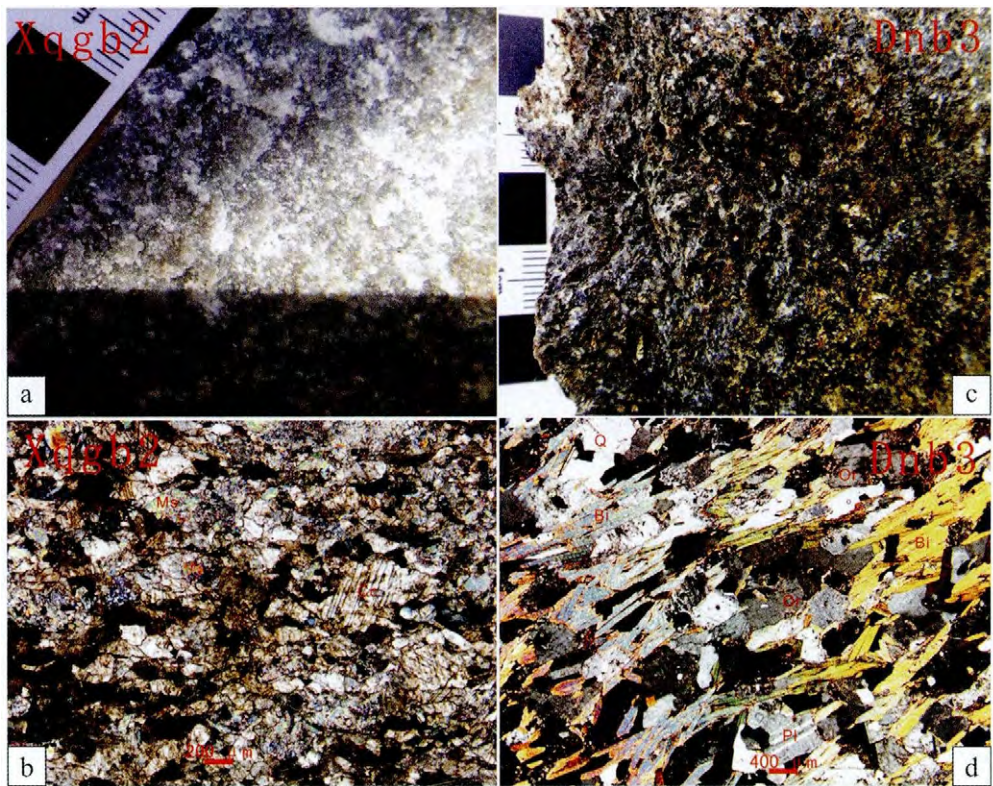


图 2 青城子矿集区铅锌矿床围岩

Fig. 2 The wallrocks of the Pb-Zn deposit in Qingchengzi ore concentration area

a—浅灰色细晶大理岩标本照片(specimen photo of grey fine-grained marble) b—大理岩显微照片(正交偏光,50×)(microphotograph of marble) c—黑云母二长变粒岩标本照片(specimen photo of biotite monzonitic granulite) d—黑云母二长变粒岩显微照片(正交偏光,25×)(microphotograph of biotite monzonitic granulite)

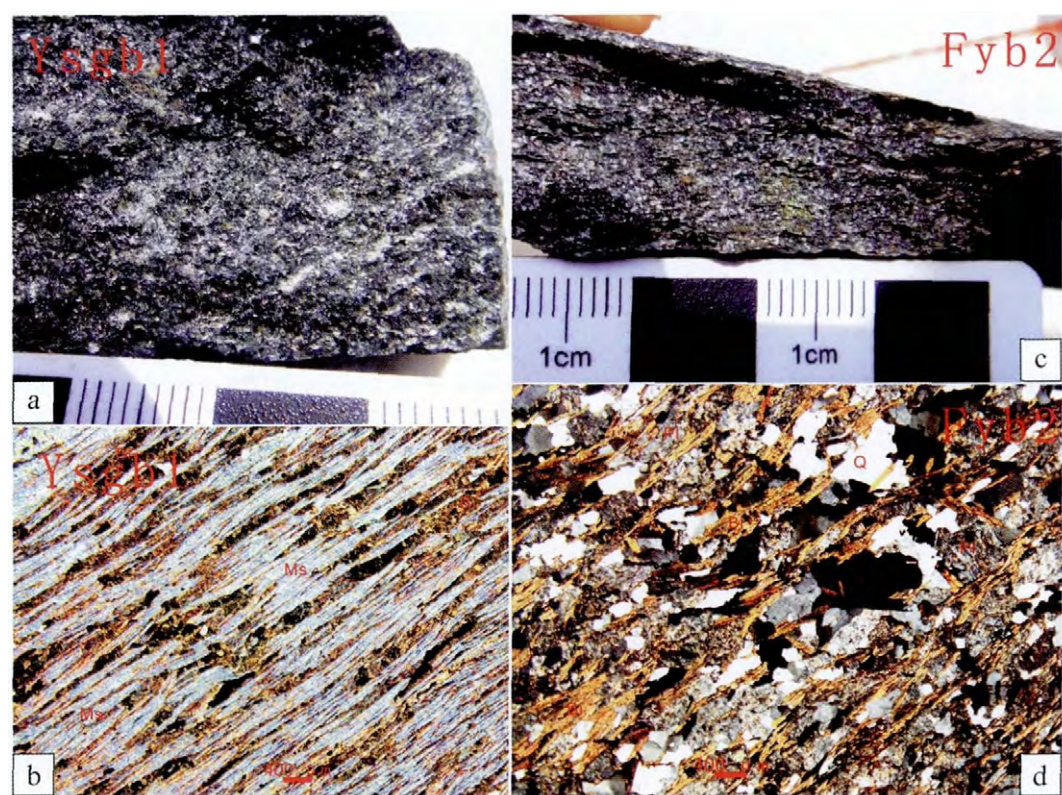


图 3 青城子矿集区金银矿床围岩

Fig. 3 The wallrocks of the Au-Ag deposit in Qingchengzi ore concentration area

a—浅灰色白云母片岩标本照片(specimen photo of light grey muscovite schist) b—白云母片岩显微照片(正交偏光 25×)(microphotograph of muscovite schist) c—黑云母斜长变粒岩标本照片(specimen photo of biotite plagioclase granulite) d—黑云母斜长变粒岩显微照片(正交偏光 25×)(microphotograph of biotite plagioclase granulite)

(表 2) 来看, 铅锌矿围岩: 岩石化学含量 Al_2O_3 为 $\sim 3.88\%$ SiO_2 为 $21.92\% \sim 68.94\%$ Al_2O_3/SiO_2 在 $0.01 \sim 0.31\% \sim 17.02\%$ K_2O 为 $0.12\% \sim 4.71\%$ Na_2O 为 $0.003\% \sim 0.33\%$ (表 2). 变粒岩、浅粒岩 SiO_2 较高, 反映砂质成分

表 2 青城子矿集区铅锌金银矿围岩的主量元素含量

Table 2 Major element content in the wall rock of the lead-zinc-gold-silver deposit in Qingchengzi ore concentration area

岩石类型	送样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Al ₂ O ₃ /SiO ₂
白云母片岩	Ysg1	57.86	0.69	17.24	9.31	5.03	0.03	3.11	1.27	0.40	5.08	0.09	4.77	0.30
白云母片岩	Ysg2	58.73	0.59	15.30	7.87	3.86	0.06	2.78	2.70	0.18	5.05	0.11	6.42	0.26
二云母片岩	Sdg1	58.13	0.61	17.57	8.00	5.53	0.05	3.34	1.28	0.51	4.97	0.09	5.20	0.30
二云母片岩	Sdg2	57.25	0.55	15.68	6.91	5.39	0.07	5.01	3.25	0.47	4.69	0.08	5.88	0.27
方解石大理岩	By1	54.95	0.74	19.42	5.98	2.95	0.07	1.69	2.78	0.11	7.79	0.05	6.19	0.35
白云母片岩	By2	60.24	0.71	18.51	8.50	5.80	0.06	2.17	0.36	0.51	4.50	0.07	4.17	0.31
黑云母斜长变粒岩	Fy2	54.73	0.86	15.78	11.88	8.18	0.09	4.20	2.87	2.28	2.29	0.08	4.71	0.29
白云石大理岩	Jf1	52.32	0.80	14.39	10.99	7.14	0.08	3.57	2.20	0.86	4.15	0.09	10.36	0.28
大理岩	Bs1	21.92	0.01	0.31	2.11	1.26	0.22	15.78	24.26	0.00	0.12	0.18	34.98	0.01
细粉晶大理岩	Xqg1	47.37	1.33	14.94	8.34	5.84	0.12	6.21	9.26	2.74	4.37	0.75	4.02	0.32
细粉晶大理岩	Xqg2	52.07	1.50	17.02	7.65	5.53	0.08	4.13	5.49	3.88	4.71	0.73	2.32	0.33
二长变粒岩	Dn1	53.81	0.42	12.90	5.51	4.63	0.13	5.18	12.44	0.63	4.46	0.07	4.34	0.24
铅锌矿围岩	Dn2	68.94	0.10	15.13	1.72	1.35	0.04	1.16	2.55	0.07	3.94	0.04	6.11	0.22
黑云母二长变粒岩	Dn3	56.89	0.77	14.77	12.00	9.79	0.08	5.27	2.60	1.98	3.61	0.07	1.84	0.26
铅锌矿围岩	Zzg1	40.24	0.24	7.32	3.84	1.89	0.04	10.24	17.34	0.08	4.49	0.07	15.95	0.18

含量单位: % (质量分数).

较高,大理岩 SiO₂ 较低,含量相对高的,表明其硅质含量较高。

金银矿围岩:岩石化学含量 Al₂O₃ 为 14.39%~19.42%, 均值 16.74%, K₂O 为 2.29%~7.79%, 均值 4.81%, Na₂O 为 0.11%~2.28%, 均值 0.67%, SiO₂ 为 52.32%~60.24%, 均值 56.78%(表 2)。SiO₂ 较高,反映砂质成分较高。Al₂O₃/SiO₂ 在 0.26~0.35 之间,与杂砂岩、粉砂岩相近。

3.2 稀土微量元素特征

岩石的微量元素地球化学特征往往很好地保存了有关成岩物质来源的信息,成为一种独特的地球化学“指纹”^[26]。一般可将活动性较低或基本不活动的元素作为原岩恢复的标志。本矿区围岩片岩、大理岩、变粒岩均属中高级变质岩,其原岩性质及其对铅锌金银矿成矿的影响如何是我们研究的重点。为此,测定了 15 件矿区样品的微量元素和稀土元素(表 3、4)。

表 3 青城子矿集区铅锌金银矿围岩的微量元素含量
Table 3 Trace element content in the wall rocks of the lead-zinc-gold-silver deposits in Qingchengzi ore concentration area

岩石类型	样品号	Cr	Ni	Rb	Sr	Zr	Nb	Ba	Hf	Ta	Th	U	Li	Be	Co	V
白云母片岩	Ysg1	98.18	46.01	199.53	51.18	174.00	15.73	534.24	4.70	1.45	16.57	4.64	61.87	3.39	20.20	93.40
白云母片岩	Ysg2	99.65	34.60	194.14	74.39	131.30	13.37	419.04	4.95	4.54	10.47	4.01	27.89	2.44	17.08	102.53
二云母片岩	Sdg1	119.24	35.99	205.26	72.71	135.33	13.36	598.63	4.56	8.27	14.19	4.57	41.66	2.85	13.55	103.34
二云母片岩	Sdg2	107.69	34.88	214.26	154.80	139.87	12.86	523.13	4.77	1.49	14.35	4.81	56.65	2.98	11.60	98.58
方解石大理岩	By1	73.92	17.14	262.95	158.79	245.79	13.45	581.70	6.69	1.74	15.09	3.61	18.54	2.54	11.52	126.28
白云母片岩	By2	76.27	22.11	199.85	136.30	210.13	15.07	788.37	5.12	4.39	16.70	4.19	35.03	2.34	15.44	109.55
黑云母斜长变粒岩	Fy2	182.03	46.32	78.81	183.79	110.16	7.56	179.27	4.07	0.32	4.59	1.77	45.40	0.22	26.12	185.09
白云石大理岩	Jf1	169.03	48.29	190.92	128.81	108.44	7.51	174.53	3.00	0.65	3.21	4.02	19.05	1.13	26.42	211.69
大理岩	Bs1	10.88	5.01	7.84	177.96	14.95	2.49	4.66	1.38	0.63	0.85	6.89	2.84	1.27	3.31	7.43
细粉晶大理岩	Xqg1	242.88	98.09	149.89	1800.00	225.17	30.42	2100.00	6.80	1.44	4.87	1.29	20.83	0.30	24.22	139.75
细粉晶大理岩	Xqg2	37.25	27.93	135.63	1400.00	247.69	25.23	1700.00	6.81	2.27	5.85	1.05	20.29	0.37	20.54	128.28
二长变粒岩	Dn1	67.67	14.33	142.05	189.58	109.46	9.26	397.03	4.43	0.69	7.21	2.59	26.56	2.14	10.22	63.91
铅锌矿围岩	Dn2	4.99	3.82	149.36	157.75	54.50	8.46	708.53	3.49	4.46	2.93	9.68	32.52	2.42	1.11	10.69
黑云母二长变粒岩	Dn3	130.52	31.24	89.45	97.17	116.56	7.03	296.52	3.29	0.59	4.80	4.30	64.82	0.28	24.08	182.51
铅锌矿围岩	Zzg1	49.19	16.39	72.35	188.55	73.09	6.29	315.07	3.94	0.68	3.44	2.97	15.43	1.61	5.64	51.59

含量单位:10⁻⁶。

表 4 青城子矿集区铅锌金银矿围岩的稀土元素含量
Table 4 Rare earth element content in the wall rocks of the lead-zinc-gold-silver deposits in Qingchengzi ore concentration area

岩石类型	样品号	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	LREE	HREE	$\frac{LREE}{HREE}$	δEu
白云母片岩	Ysg1	27.07	33.62	75.78	9.17	34.00	5.95	0.97	5.11	0.79	4.46	0.90	2.59	0.47	3.07	0.47	177.33	159.49	17.84	8.94	0.52
白云母片岩	Ysg2	45.43	37.49	155.66	10.77	49.23	7.60	1.14	7.33	1.20	7.05	1.43	5.51	0.72	4.40	0.64	290.19	261.90	28.29	9.26	0.46
二云母片岩	Sdg1	26.42	30.90	91.42	8.21	29.67	5.10	1.10	4.43	0.69	3.86	0.78	2.39	0.41	2.62	0.38	181.95	166.39	15.56	10.69	0.69
二云母片岩	Sdg2	26.71	36.17	81.82	9.14	32.89	5.68	1.07	5.02	0.77	4.30	0.84	2.47	0.43	2.73	0.42	183.76	166.77	16.98	9.82	0.60
方解石大理岩	By1	22.84	44.46	102.84	12.13	44.55	7.25	1.47	6.14	0.87	4.70	0.93	2.66	0.46	2.88	0.43	231.76	212.70	19.07	11.16	0.66
白云母片岩	By2	29.21	45.19	99.17	11.72	42.96	6.99	1.33	5.85	0.82	4.64	0.91	2.63	0.47	3.00	0.46	226.14	207.36	18.78	11.04	0.62
黑云母斜长变粒岩	Fy2	21.33	16.63	45.65	4.99	20.63	4.08	1.20	3.74	0.63	3.77	0.76	2.15	0.39	2.36	0.36	107.33	93.18	14.15	6.59	0.93
白云石大理岩	Jf1	18.87	12.30	38.56	3.71	16.24	2.94	0.79	2.64	0.45	2.65	0.53	1.65	0.26	1.65	0.24	84.60	74.54	10.06	7.41	0.85
大理岩	Bs1	8.35	7.37	16.48	2.04	8.21	1.68	0.50	1.52	0.25	1.47	0.27	0.73	0.10	0.62	0.07	41.31	36.27	5.03	7.21	0.93
细粉晶大理岩	Xqg1	19.24	79.77	178.13	21.04	77.83	11.08	3.04	8.80	1.02	4.57	0.79	2.15	0.32	1.99	0.28	390.82	370.90	19.91	18.62	0.91
细粉晶大理岩	Xqg2	18.22	79.77	173.81	20.07	74.03	10.29	2.87	8.42	1.01	4.65	0.83	2.43	0.35	2.04	0.30	380.86	360.84	20.01	18.03	0.91
二长变粒岩	Dn1	19.77	31.72	72.60	8.57	32.44	5.48	1.19	4.75	0.72	3.95	0.76	2.17	0.38	2.40	0.35	167.47	152.00	15.47	9.82	0.70
铅锌矿围岩	Dn2	9.19	5.33	13.55	1.51	5.98	1.44	0.62	1.50	0.29	1.75	0.34	0.93	0.15	0.94	0.13	34.44	28.41	6.03	4.71	1.27
黑云母二长变粒岩	Dn3	16.94	15.32	37.15	4.79	19.34	3.65	0.91	3.15	0.50	2.87	0.55	1.55	0.27	1.66	0.25	91.93	81.15	10.78	7.53	0.80
铅锌矿围岩	Zzg1	12.04	16.39	40.39	4.74	18.48	3.17	0.80	2.69	0.41	2.24	0.45	1.29	0.22	1.40	0.21	92.89	83.97	8.92	9.42	0.82

含量单位:10⁻⁶。

铅锌矿围岩 ΣREE 为 $34.44 \times 10^{-6} \sim 390.82 \times 10^{-6}$, LREE 为 $28.41 \times 10^{-6} \sim 370.90 \times 10^{-6}$, δEu 为 0.70~1.27, 平均 0.91. 变粒岩稀土元素以总量相对高、 δEu 负异常、轻稀土富集为特征. 大理岩稀土元素总量低, 轻稀土富集, δEu 略显负异常, 表明其具有沉积特点.

金银矿围岩 ΣREE 为 $84.60 \times 10^{-6} \sim 290.19 \times 10^{-6}$, 低者为含方解石, 平均 185.38×10^{-6} , LREE 为 $74.54 \times 10^{-6} \sim 261.90 \times 10^{-6}$, 平均 167.79×10^{-6} , δEu 为 0.66~0.93, 平均 0.66. 稀土元素总量相对高, 轻稀土富集, δEu 负异常, 与古元古代泥质沉积岩的特征相符.

对矿区的变质岩围岩样品的稀土元素做出球粒陨石标准化配分图解. 在稀土元素球粒陨石的标准化配分图解(图 4a)上, 均呈现清晰的 LREE 富集和 HREE 亏损的右倾斜型式. 在微量元素和部分稀土元素原始地幔标准化蛛网图(图 4b)上, Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素明显亏损.

3.3 原岩恢复

铅锌矿围岩的大理岩、变粒岩、浅粒岩总体呈层状, 按一定的层位产出. 岩石化学上, 变粒岩、浅粒岩 SiO_2 含量较高, 反映砂质成分较高; 大理岩中 SiO_2 含量相对高的, 表明其硅质含量较高. 变粒岩稀土元素以总量相对高、 δEu 负异常、轻稀土富集为特征, 大理岩稀土元素总量低, 轻稀土富集, δEu 略显负异常, 表明其沉积特点. 在 ACF 和 A'KF 图解(图 5)中, 大理岩绝大部分投点都落入泥灰岩区域, 变粒岩、浅粒岩落入杂砂岩区. 在 $(\text{al}+\text{fm})-(\text{c}+\text{alk})$ 对 Si 图解(图 6)上, 大部

分点落入钙质沉积区及附近, 变粒岩、浅粒岩偏向砂岩和泥岩, 个别落入火山岩区. 稀土分析样品结果投入地槽沉积岩 $\Sigma\text{REE}-(\text{La}/\text{Yb})$ 含量图解(图 7)中, 多数点落入碳酸盐类岩石区及附近, 个别点落入杂砂岩和泥岩区. 由此可见, 矿集区的大理岩原岩应为灰岩、白云岩, 变粒岩、浅粒岩原岩主要为泥质砂岩, 个别为火山岩.

金银矿围岩的片岩和变粒岩岩总体呈层状产出. 岩石化学以富铝、钾, 贫钙、镁为特征, SiO_2 较高, 反映

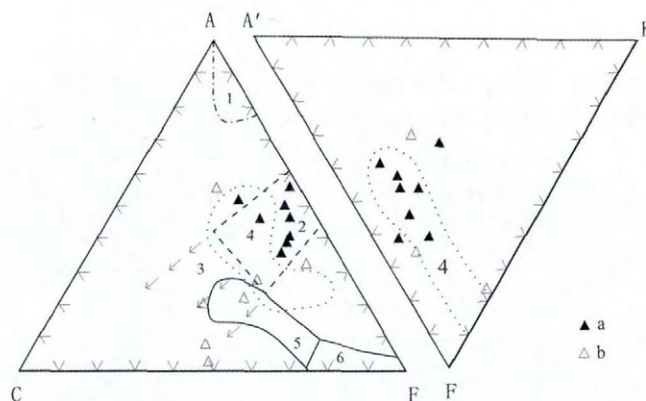


图5 青城子矿集区围岩的 ACF 和 A'KF 图解

Fig. 5 The ACF diagram and A'KF diagram for the wallrock samples from Qingchengzi ore concentration area

a—金银矿围岩(wallrock of Au-Ag deposit) b—铅锌矿围岩(wallrock of Pb-Zn deposit); 1—富铝黏土和页岩(Al-rich clay and shale); 2—黏土和页岩(clay and shale)(虚线之内); 3—泥灰岩(marlstone)(箭头线之间); 4—杂砂岩(greywacke)(点线之内); 5—玄武质岩和安山质岩(basaltic rock and andesitic rock)(实线之内); 6—超镁铁质岩(ultramafic rock)

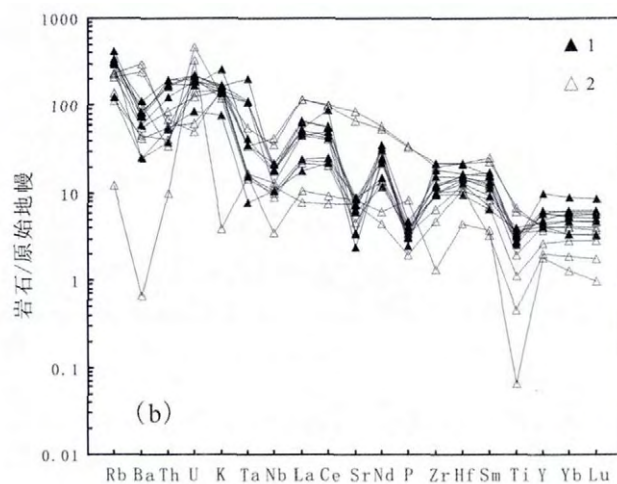
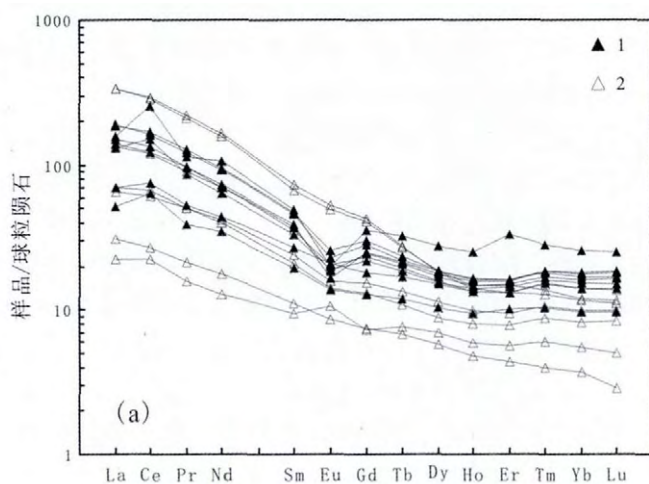


图4 青城子矿集区围岩的球粒陨石标准化稀土元素配分图(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)

(标准值据文献[27])

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spider diagram (b) for the wallrocks from Qingchengzi ore concentration area

(After Reference [27])

1—金银矿围岩(wallrock of Au-Ag deposit) 2—铅锌矿围岩(wallrock of Pb-Zn deposit)

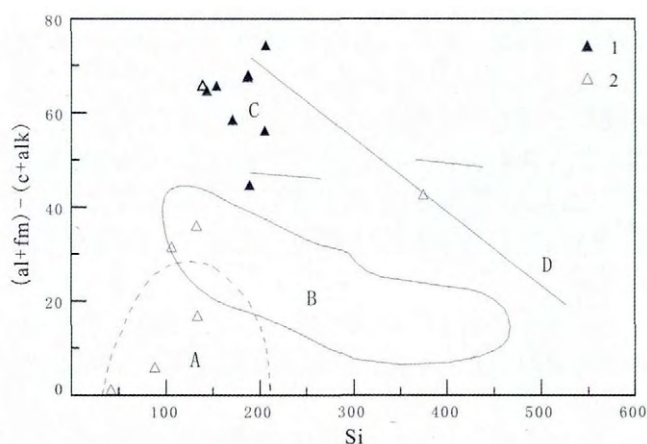


图6 青城子矿集区围岩的 (al+fm)-(c+alk) vs. Si 图解

Fig. 6 The (al+fm)-(c+alk) vs. Si diagram for the wallrock

samples from Qingchengzi ore concentration area

1—金银矿围岩(wallrock of Au-Ag deposit) 2—铅锌矿围岩(wallrock of Pb-Zn deposit) ;A—钙质沉积岩(calcareous sedimentary rock) ;B—火山岩(volcanic rock) ;C—厚层泥岩(thick mudstone) ;D—砂岩(sandstone)

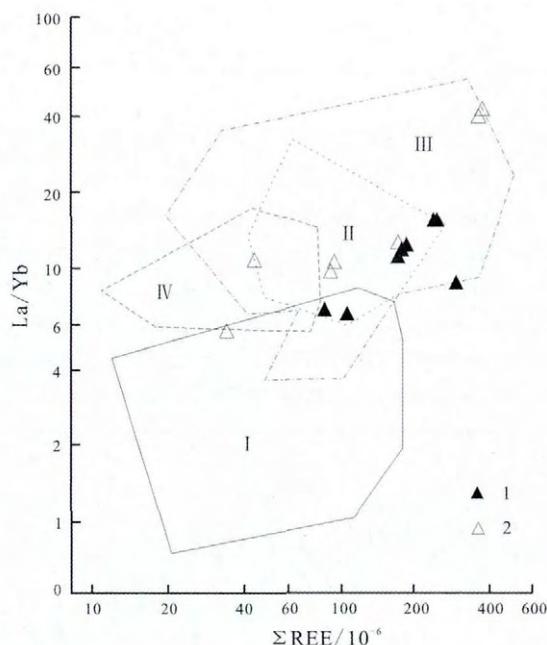


图7 青城子矿集区围岩的 $\Sigma \text{REE}-(\text{La}/\text{Yb})$ 图解

Fig. 7 The $\Sigma \text{REE}-(\text{La}/\text{Yb})$ diagram for the wallrock samples from Qingchengzi ore concentration area

1—金银矿围岩(wallrock of Au-Ag deposit) 2—铅锌矿围岩(wallrock of Pb-Zn deposit) ;I—角闪岩区(amphibolite) ;II—砂质岩和杂砂质岩区(psammite and greywacke) ;III—泥岩和页岩区(mudstone and shale) ;IV—碳酸盐类岩石区(carbonate rock)

砂质成分较高, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 在 0.26~0.35 之间, 与杂砂岩、粉砂岩相近。稀土元素总量相对高, 轻稀土富集, δEu 负异常, 与古元古代泥质沉积岩相似。在 ACF 和 A'KF 图解(图 5)中, 绝大部分投点都落入黏土、页岩

及杂砂岩区域内。在 (al+fm)-(c+alk) 对 Si 图解(图 6)上, 所有点落入泥岩区域。稀土分析样结果投入地槽沉积岩 $\Sigma \text{REE}-(\text{La}/\text{Yb})$ 含量图解(图 7)中, 多数点落入砂质岩和杂砂岩区, 只有一个点落入泥岩区。由此可见, 矿集区的片岩类原岩应为泥岩、砂质泥岩及粉砂岩, 变粒岩原岩为泥质砂岩。

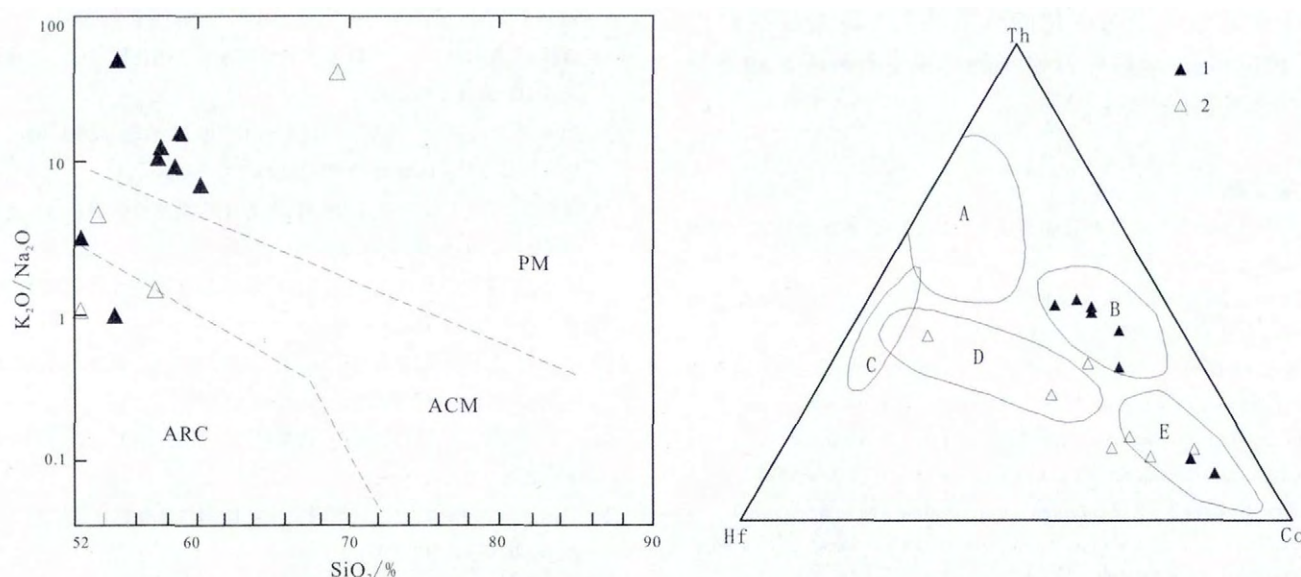
Sm/Nd 比值是反映 ΣREE 分馏程度的重要参数之一, 而且也是反映物质来源的一个重要参数。如地幔为 0.260~0.375, 大洋玄武岩为 0.234~0.425, 而源于壳层的花岗岩类以及各类沉积岩一般小于 0.3。本区 Sm/Nd 比值范围为 0.24~0.14, 属于源自壳层的沉积岩范围之内。

4 原岩形成环境和构造背景

在 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 与 SiO_2 关系图解(图 8a)中, 多数样品投在稳定陆缘, 少数样品岛弧区内。在沉积岩构造环境 Th-Hf-Co 判别图解(图 8b)中, 样品主要集中在页岩(克拉通盆地)和杂砂岩(弧)内, 个别点落入长石砂岩区内。由此可以推测, 青城子铅锌金银围岩中的大理岩和片岩构造环境应属稳定大陆边缘, 变粒岩、浅粒岩构造环境应属活动大陆边缘或岛弧。

S·A·杰克逊、F·W·比尔斯理论认为, 含矿热液是由岩层中的空隙水产生的, 随着裂谷盆地内沉积物的大量堆积, 由于沉积岩层重力的影响, 赋存在下部沉积物中的空隙水逐渐脱水形成流体, 在构造应力驱动下产生对流循环, 并将矿源层中的矿物质活化、迁移, 当使其压力改变时, 这些循环的含矿物质流体迅速向有利部位迁移聚集成矿, 在辽东地区碎屑-碳酸盐岩建造中的金银、铅锌矿床可能参与有这种成矿作用。

元古宙早期, 辽吉裂谷发生拱张、裂隙作用, 一些酸性火山岩喷发, 堆积于槽底。伴随裂谷的继续裂陷, 使得深断裂沟通到地幔, 深部硅镁层甚至地幔物质进入裂谷, 同时在充满水的裂谷中相伴出现碳酸盐的沉积, 辽河群的沉积物由泥砂质碎屑岩建造及火山碎屑岩建造为主转变为以碳酸盐岩建造为主, 并伴有碎屑岩及火山碎屑岩夹层。在裂谷上升阶段, 海水变浅, 海底火山活动减弱, 由喷溢转变为喷气为主。从地幔喷出的热液是富含铝、硅的高温还原性超酸性含金属的卤化物流体。这些热液沿基底断裂上升到下地壳或直接到上地壳, 它们与地壳中的水混合, 特别是进入上地壳后又与成岩水和对流渗入的海水混合, 使热液转化为低温氧化性硫酸盐-重碳酸盐-氯化物-硫化物流体^[29]。在裂谷断拗与断隆的边缘, 出现海湾盆地, 含矿气水热

图8 青城子矿集区围岩的 K_2O/Na_2O-SiO_2 图解和构造环境 Th-Hf-Co 判别图解

(据文献[28])

Fig. 8 The K_2O/Na_2O-SiO_2 diagram and Th-Hf-Co diagram for the wallrock samples from Qingchengzi ore concentration area

(After Reference [28])

1—金银矿围岩 (wallrock of Au-Ag deposit) ; 2—铅锌矿围岩 (wallrock of Pb-Zn deposit) ; ARC—岛弧 (洋内弧) (island arc) ; ACM—活动陆缘 (active continental margin) ; PM—稳定陆缘 (stable continental margin) ; A—长英质火山岩 (felsic volcanic rock) ; B—页岩 (克拉通盆地) (shale) ; C—石英岩 (克拉通盆地) (quartzite) ; D—长石砂岩 (arkose) ; E—杂砂岩 (弧) (greywacke)

液沿盆地边缘的同生断裂上涌与海水混合, 与成岩物质一起, 沉积了富含 Pb、Zn、S 的初始矿源层, 部分形成了层状似层状贫矿体。诸矿源层的分布具有明显的层序性 (时序性), 严格受到辽吉古裂谷内地层层序控制的含矿建造, 为裂谷后期发展阶段的不同构造环境下发生的成矿作用, 奠定了成矿的物质基础。因此本区产出的矿床大多具有层控和岩控的特点。

区域变质作用促使成矿物质进行重新分配、组合, 使部分矿质活化、迁移, 在原层位或其附近有利构造部位富集或形成矿体。古元古代末, 由于岩层发生强烈变质、变形, 矿源层和容矿岩石一起发生一系列不同形式的变形变位^[30]。区域挤压作用、裂谷沉积盆地的压缩变形作用以及古元古代条痕状花岗岩 (辽吉花岗岩) 的底辟侵入, 均对区内铅锌矿床的形成起重要的作用^[31], 铅锌矿常分布在古元古代辽吉花岗岩为核部的穹状构造的边部。在吕梁期变质变形过程中, 研究区经历绿片岩相—绿帘角闪岩相的区域性热动力变质作用, 岩石结构改变, 变质流体产生伴随塑性流变和韧性变形, 矿源层和围岩中矿物质 Pb、Zn 等成矿元素进一步活化、迁移, 再分配重定位, 富集成矿。在原始层状矿体内或容矿岩层裂隙内, 常出现方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿等单矿物矿脉, 这些矿脉与层状矿体关系密切, 这种

硫化物单矿物脉是原始层状矿体化学“重就位”的结果。角砾状矿化体都赋存于上部含矿层位中的条带状白云石大理岩中, 各种角砾岩受层间滑动带控制, 呈透镜状、串珠状产于条带状白云石大理岩中, 二者产状基本吻合。上述的脉状矿体和角砾状矿体均赋存于一定的含矿层位内, 空间分布受层状矿体和矿化层的变质-变形构造控制, 产状与变质-变形构造协调一致, 矿石矿物组合与层状矿体相似, 成矿元素组合具有继承性。其成矿时代相当于区域变质变质作用时代 (大约 1.9 Ga)^[19]。

5 结语

综上所述, 区内铅锌矿床的形成受多种控矿因素综合控制特征。在古元古代时期, 该区出现裂谷活动所造成的地壳拉张、变形及其相关的构造岩浆活动, 为铅锌矿床的形成提供有利环境; 不同级别的裂谷盆地内的沉积作用以及海底火山喷气作用、沿同生断裂发生热水沉积作用, 为矿源层的形成提供成矿物质和成矿流体, 沉积及成岩过程中的物理化学条件变化, 对成矿元素沉淀、富集或矿源层的形成起重要作用, 裂谷盆地闭合时期的区域变质变形作用, 对已形成的层状矿体进行改造, 并促进矿体的“重就位”和脉状矿体的形成;

中生代岩浆活动对矿化的叠加改造及富集起重要作用。由此可见,该区铅锌矿床的形成受各种成矿地质条件综合控制的产物。

参考文献:

- [1]张秋生. 辽东半岛早期地壳与矿床[M]. 北京:地质出版社, 1988: 221—225.
- [2]贺高品,叶惠文. 辽东吉南地区早元古代变质地体的组成和主要特征[J]. 长春科技大学学报, 1998, 28(2): 121—133.
- [3]孙景贵,邢树文,郑庆道,等. 中国东北部陆缘有色、贵金属矿床的地质、地球化学[M]. 长春:吉林大学出版社, 2006: 60—64.
- [4]Wernicke B. Uniform-sense normal simple shear of the continental lithosphere[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1985, 22(1): 108—125.
- [5]Marton G, Buffer R. Application of simple-shear model to the evolution of passive continental margins of the Gulf of Mexico basin[J]. Geology, 1993, 21(6): 495—498.
- [6]蒋少涌. 辽宁青城子铅—锌矿床氧、碳、铅、硫同位素地质特征及矿床成因[J]. 地质论评, 1988, 34(6): 515—522.
- [7]刘国平,艾永富. 辽宁白云金矿床某些基本问题探讨[J]. 矿床地质, 1999, 18(3): 219—225.
- [8]代军治,王可勇,杨言辰,等. 青城子小佟家堡子、林家金矿成矿流体特征及成矿机制[J]. 地质论评, 2006, 52(6): 836—842.
- [9]兰奎元,兰奎斌,姚广. 青城子矿田杨树层控型金矿床地质特征及成因[J]. 科技咨询导报, 2007, 6(a): 62—63.
- [10]王可勇,王力,刘正宏,等. 辽宁高家堡子大型银矿床流体包裹体特征及矿床成因[J]. 岩石学报, 2008, 24(9): 85—88.
- [11]陈江峰,喻钢,薛春纪,等. 辽东裂谷带铅锌金银矿集区 Pb 同位素地球化学[J]. 中国科学 D 辑(地球科学), 2004, 34(5): 404—411.
- [12]赵鸿志,杨沈生,李辉. 白云金矿床地质特征及成因探讨[J]. 有色矿冶, 2009, 25(3): 4—7.
- [13]芮宗瑶,施林道,方如恒,等. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社, 1994: 66—67, 518—519.
- [14]Yu G, Chen J F, Xue C J, et al. Geochronological framework and Pb, Sr isotope geochemistry of the Qingchengzi Pb-Zn-Ag-Au orefield, Northeastern China[J]. Ore Geology Reviews, 2009, 35(3/4): 367—382.
- [15]段晓侠,刘建明,王永彬,等. 辽宁青城子铅锌多金属矿田晚三叠世岩浆岩年代学、地球化学及地质意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 595—601.
- [16]刘国平,艾永富. 辽宁小佟家堡子金矿床成矿时代探讨[J]. 矿床地质, 2002, 21(1): 53—57.
- [17]薛春纪,陈毓川,路远发,等. 辽东青城子矿集区金、银成矿时代及地质意义[J]. 矿床地质, 2003, 22(2): 177—184.
- [18]胡铁军. 青城子地区金银成矿作用、控矿因素及找矿思路[J]. 地质找矿论丛, 2001, 16(3): 187—191.
- [19]邓功全. 辽东中部辽河群层控铅锌矿类型及其主要控矿因素[J]. 辽宁地质, 1983(1): 53—70.
- [20]蒋少涌. 辽宁青城子铅锌矿床的铅同位素组成及其地质特征[J]. 北京大学学报:自然科学版, 1987(4): 112—119.
- [21]丁梯平. 华北元古宙铅锌成矿带稳定同位素研究[M]. 北京:科学技术出版社, 1992: 175—231.
- [22]刘国平. 辽宁青城子矿田的同位成矿作用[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(5): 277—282.
- [23]刘国平,艾永富. 辽宁青城子铅锌银金矿田控矿构造与找矿方向[J]. 矿床地质, 2001, 20(2): 147—152.
- [24]蒋少涌,魏菊英. 青城子铅锌矿床的地球化学[J]. 矿床地质, 1989, 8(4): 20—28.
- [25]王文清,罗守文,邵会文,桓仁—宽甸地区金、有色金属成矿规律[J]. 辽宁地质, 1993(1): 1—15.
- [26]赵仑山,张本仁. 地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1987: 1—403.
- [27]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[A]//Saunders A D, Norry M J, eds. Magmatism in the Ocean Basins[J]. Geol Soc, Spec Publ, 1989, 42(1): 312—345.
- [28]Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio[J]. Jour Geology, 1986, 94(5): 635—650.
- [29]李英,祁思敬. 中国北方超大型热水沉积硫化物矿床成矿模式[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1997, 16(3): 155—158.
- [30]刘君. 青城子矿田构造变形结构及其控矿特征[J]. 辽宁地质, 1995(2): 148—157.
- [31]翟安民,沈保丰,杨春亮,等. 辽吉古裂谷地质演化与成矿[J]. 地质调查与研究, 2005, 28(4): 213—220.