

文章编号: 0258-7106(2007)05-0563-09

辽东青城子地区喷流-沉积成矿作用与金银多金属矿化的关系*

刘志远^{1,2}, 徐学纯¹, 田豫才², 杨德江², 蒋永臻², 田树海², 魏民²

(1 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2 辽宁省有色地质局勘查总院, 辽宁 沈阳 110002)

摘要 喷流-热水沉积硅质岩对于矿床研究具有重要意义。通过对青城子地区硅质岩系统的地质学、岩石学、矿物学的研究及对常量元素、微量元素及稀土元素等地球化学数据的分析,认为该地区硅质岩并不是来自陆源碎屑物质,也不是岩浆期后热液蚀变的产物,可能为来自海底喷流-沉积作用所形成的硅质与金、银、铅、锌硫化物一起聚集而成的一种产物,形成于浅海环境。结合区域地质构造演化特征,认为矿床早期存在热水喷流-沉积成岩成矿作用,在矿源岩阶段形成了金、银等金属元素的初步富集。硅质岩的时空分布规律为青城子地区进一步找矿工作开辟了新的思路。

关键词 地球化学; 喷流-沉积; 硅质岩; 青城子地区

中图分类号: 618.51; 618.52

文献标识码: A

Relationship between sedimentation-exhalation ore-forming process and gold-silver polymetallic mineralization in Qingchengzi area, Liaoning Province

LIU ZhiYuan^{1,2}, XU XueChun¹, TIAN YuCai², YANG DeJiang², JIANG YongZhen², TIAN ShuHai² and WEI Min²

(1 College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China; 2 Liaoning Nonferrous Geological Exploration Institute, Shenyang 110002, Liaoning, China)

Abstract

Sedimentation-exhalation siliceous rocks are of great significance in the study of ore deposits. Based on a systematic geological, petrological and mineralogical study of the siliceous rocks and an analysis of such geochemical data as major elements, trace elements and rare earth elements from Qingchengzi area, the authors hold that, instead of being terrigenous fragmental materials or products of post-magmatic hydrothermal alteration, the siliceous rocks might have resulted from the accumulation of the siliceous substances formed by submarine sedimentation-exhalation together with gold, silver, lead and zinc sulfides in a neritic environment. In combination with characteristics of regional geological-tectonic evolution, the authors also consider that there existed hydrothermal exhalation-sedimentary rock-forming and ore-forming processes at the early metallogenic stage, and metallic elements such as gold and silver were preliminarily concentrated at the stage of ore source rock formation. The temporal and spatial distribution of the siliceous rocks has opened up a new train of thought for further

* 本文得到中国地质调查局国土资源大调查项目(K1.3.16;19991020152003;200010200149)的资助

第一作者简介 刘志远,男,1972年生,博士,高级工程师,长期从事野外地质勘查与研究。E-mail: lzyuan21st@126.com

收稿日期 2006-08-14; 改回日期 2007-04-04。张绮玲编辑。

ore-prospecting work in Qingchengzi area.

Key words: geochemistry, sedimentation-exhalation, siliceous rock, Qingchengzi area

青城子地区是辽东重要的有色、贵金属成矿集中区。辽宁省有色地质局于1990年发现了高家堡子银多金属矿,于1993年相继提交了小佟家堡子金矿和杨树金银矿,于2002年提交了林家三道沟盖县组金矿。至2004年国土资源大调查项目结题时,在青城子尖山沟区探获金资源量(333+334₁)192.94 t,伴生银资源量(333+334₁)435.15 t。随着科研、勘查工作的深入,发现青城子地区金银矿化和铅锌矿化具有某种内在联系;两者均产在具有张裂性质的裂谷环境中,分布在同一地质构造单元内,在形成时代相近的地质体中相伴产出。近年的研究表明,金、银早期成矿作用可能同样存在海底喷流-热水沉积方式(姜英等,1999),在元古宙喷流成矿作用引起铅锌等元素富集成矿的同时,在喷流中心上部、外部沉积物中还逐渐造成金、银等成矿元素的初始富集。本文试图阐明该地区存在早期海底喷流-热水沉积作用,并形成与金、银矿化关系密切的硅质岩,为金、银多金属找矿提供新思路。

1 区域成矿地质特征

青城子矿集区地处辽东裂谷。该裂谷是在太古宙克拉通基底上经拉张裂解-快速沉降-慢速沉降-回返挤压形成的陆间裂谷。矿床的形成受裂谷内三级断陷盆地、沉积建造、同生断裂等多种因素的控制。

1.1 赋矿地层及含矿岩系

裂谷内沉积了辽河群绿片岩相-角闪岩相层状变质岩系,自下而上划分为浪子山组、里尔峪组、高家峪组、大石桥组和盖县组。

与金、银多金属成矿关系最为密切的大石桥组在大石桥—草河口一带尤为发育,可划分为3个岩段:

一段(Pt1d₁):以灰白色条带状方解石大理岩为主,含石墨方柱方解大理岩、白云石大理岩、透闪透辉岩及菱镁矿层,是区域上铅、锌多金属重要赋矿层位之一。

二段(Pt1d₂):由石榴二云片岩、矽线二云片岩、绢云石英片岩、矽线黑云斜长片麻岩、变质砂岩、黑云变粒岩及含石墨透闪透辉岩组成,是区域上金矿床的主要赋存层位。

三段(Pt1d₃):由白色、灰白色中厚层白云石大理岩、透闪白云大理岩夹方解石大理岩组成。该岩段岩相变化大,在辽东裂谷轴部常见夹矽线黑云变粒岩、透闪透辉岩和硅质岩,是区域上金、银、铅、锌多金属的主要赋存层位。

1.2 成矿岩相古地理环境

根据地层层序、沉积厚度及岩石组合特征,恢复青城子地区原始沉积时期古构造及沉积环境,应属于裂谷中的一个断陷盆地。由非补偿沉积至超补偿沉积,由海进至海退,早期有基性岩喷溢、中晚期有中酸性火山岩及硅质岩喷溢(溢),组成一套特有的碎屑岩-碳酸盐岩-粘土质碎屑岩沉积建造。

1986年,辽宁省有色地质局勘查总院在辽东中部地区实测了11条综合地质剖面,它们贯穿了辽河群分布区。经综合研究,认为青城子元古宙沉积盆地是在大石桥-草河口断拗上发育起来的。随着裂谷差异性拉张断陷,原本范围较广的断拗盆地又形成几个近东西向的小海盆。青城子断陷盆地位于三家子-方家浅海泻湖内,北部与连山关-吕家堡子浅海潮坪相连,刘家河半岛前缘延至其间,形成一个水下古隆起地貌。以它为界,青城子断陷盆地内沉积了巨厚的大石桥组。

1.3 同生断裂活动及其对成矿的控制

同生断裂是裂谷内一种特殊又非常重要的控矿构造类型,它在一定程度上控制了次级断陷盆地内的沉积作用、火山活动、矿体的空间分布及其组合。

因同生断裂多为后期构造所继承,呈现出后期断裂构造的特征,所以鉴别比较困难,但通过研究仍可以确定其存在。同生断裂两侧的沉积岩相差别很大,呈现岩相的不连续,两侧沉积厚度及物质成分也有很大的差别。通过沉积岩相的分析、沉积物厚度的测定等项工作,确定在青城子断陷盆地中,荒甸子-新岭-朱家堡子断裂是一条同生断裂^①。由于裂谷的差异性拉张断陷,以该断裂为界,东部为断拗浅海潮坪沉积环境,西部为断隆局限海台地沉积环境,两个不同的盆地结构及沉积环境相差较大。断裂中有元古代花岗岩及后期基性辉长岩脉侵入,说明该断裂在元古代辽河群沉积时就已经开始活动。矿床形

① 何恃松,初绍华.1990.辽东、吉南地区铅锌铜隐伏矿床预测研究.“七五”国家重点科技攻关项目(75-55-03-07).

成过程中,同生断裂的存在是热水喷流沉积成矿的关键。

同生断裂在辽河期—燕山期演变为推覆构造(图 1),对青城子成矿区的控矿作用明显。断隆碳酸盐岩台地,蒸发岩建造发育,主要控制铅锌矿产的分布,断拗台地,富硅质碳酸盐岩-碎屑岩建造发育,控制着与喷流岩有关的金、银多金属矿产的分布。

1.4 岩浆活动及控矿特征

辽东裂谷带在喷流成矿过程中还有明显的火山(喷发)活动,与成矿关系密切,显示出某些 VMS 型矿床的某些特征。喷流成矿过程中的火山活动特点主要表现为容矿岩层中有同沉积期火山岩夹层。从裂谷初始裂开到挤压收缩期间都有海底火山喷发活动,喷发旋回由基性岩开始至酸性岩结束,酸性岩多,基性岩少,前者是后者的 9 倍,反映了以酸性岩喷发为主的特点。岩体多侵入于辽河群大石桥组和部分盖县组中,侵位时代 1 740 ~ 1 621 Ma(K-Ar 法)^①,表明是中元古代同沉积期的海相火山岩。

笔者研究认为,辽东裂谷内同沉积期海底火山活动直接提供了热能及部分成矿物质。矿田东侧的大顶子斜长花岗岩中铅、锌元素含量较高,沿其周边部位多处发育铅锌矿化,故初步推断含矿层中成矿

物质发生了初始的活化迁移。同沉积期这种间歇性海底火山喷发活动,将大量深部岩浆热能带入到断陷盆地,这种地热异常有利于海底热水对流系统的形成与循环,使深部富含金属的成矿流体不断地沿同生断裂上升至海盆,聚集成矿;同时,成矿流体上升过程中进一步淋滤、汲取围岩中的金属,这样,成矿物质来源更为广泛,直接控制着矿化类型与矿化强度^②。这也说明了辽东裂谷内喷流-沉积成矿作用的复杂性、独特性。

2 海底火山喷流-热水沉积成矿证据

经研究和对比分析,笔者认为青城子成矿区存在海底喷流-热水沉积成矿作用,其中,具有典型特征硅质岩的发现,为这一成岩成矿过程提供了直接证据。

2.1 硅质岩的分布特征

硅质岩首先发现于青城子地区东部的小石门沟,后来,在小佟家堡子、朱家堡子和桃源等地也见到它们。硅质岩总体展布方向为 NW 向,剖面上为层状,产于大石桥组与盖县组地层接触部,与上覆、下伏岩层呈整合接触(图 2)。

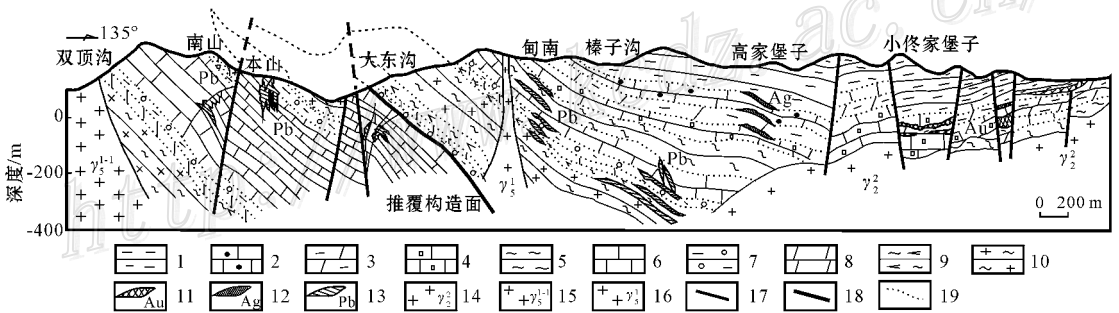


图 1 青城子成矿区地质剖面图

- 1—盖县组 2—大石桥组三段五层 3—大石桥组三段四层 4—大石桥组三段三层 5—大石桥组三段二层 6—大石桥组三段一层;
- 7—大石桥组二段 8—大石桥组一段 9—高家峪组 10—浪子山组 11—金矿体 12—银矿体 13—铅矿体 14—辽河期岩体斜长花岗岩;
- 15—印支期黑云母花岗岩 16—印支期细粒花岗岩 17—断裂构造 18—推覆构造 19—岩相界限

Fig. 1 Geological section of the Qingchengzi ore district

- 1—Gaixian Formation; 2—5th Layer of 3rd Member of Dashiqiao Formation; 3—4th Layer of 3rd Member of Dashiqiao Formation; 4—3rd Layer of 3rd Member of Dashiqiao Formation; 5—2nd Layer of 3rd Member of Dashiqiao Formation; 6—1st Layer of 3rd Member of Dashiqiao Formation;
- 7—2nd Member of Dashiqiao Formation; 8—1st Member of Dashiqiao Formation; 9—Gaojiayu Formation; 10—Langzishan Formation; 11—Gold deposit; 12—Silver deposit; 13—Lead ore body; 14—Plagioclase granite of Liaohe period; 15—Indosinian biotite granite; 16—Indosinian fine-grained granite; 17—Fault; 18—Nappe; 19—Lithofacies boundary

① 何特松,初绍华. 1990. 辽东、吉南地区铅锌铜隐伏矿床预测研究.“七五”国家重点科技攻关项目(75-55-03-07).

② 刘志远. 2005. 辽东中部青城子矿集区贵金属、有色金属矿床研究与预测.“十五”辽宁省科技攻关项目(KJ2003-17)报告.

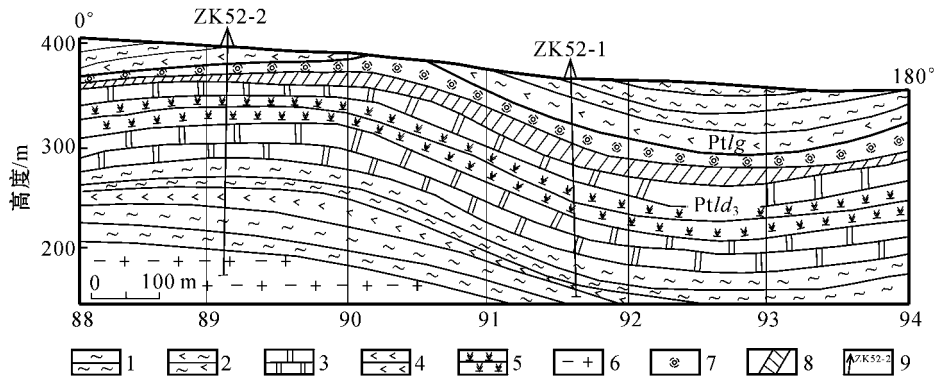


图2 小佟家堡子52线地质剖面图

1—云母片岩 2—透闪片岩 3—大理岩 4—透闪变粒岩 5—石榴石云母片岩 6—斜长花岗岩 7—硅质岩 8—金矿体 9—岩相界限；
10—钻孔；Ptlg₁—元古宙盖县组；Ptld₃—元古宙大石桥组

Fig. 2 Geological section along No. 52 exploration line across Xiaotongjiapuzi

1—Micaschist；2—Tremolite schist；3—Marble；4—Tremolite leptynite；5—Garnet-mica schist；6—Plagioclase granite；7—Siliceous rock；
8—Gold ore body；9—Lithofacies boundary；10—Drill hole；Ptlg₁—Proterozoic Gaixian Formation；Ptld₃—Proterozoic Dashiqiao Formation

硅质岩大体上有2种类型 块状、纹层状硅质岩和角砾状硅质岩。在青城子半截沟—罗圈背沟一带,大理岩顶部分布有1~2层块状-纹层状硅质岩,层厚1.5~14 m。在硅质岩上部(或下部)常有一层灰白色纹层状含电气石浅粒岩伴生,其成因目前争论较大,它是金银矿体的主要围岩。硅质岩及层状含电气石浅粒岩本身往往构成金矿体。

角砾状硅质岩主要分布在小石门沟东南山,其外围分布着块状或略显纹层状的硅质岩,一般有1~2层,层厚2~5 m,与围岩呈整合接触。

2.2 硅质岩岩石学特征

块状硅质岩多呈深灰色,纹层状硅质岩见深灰色与灰白色相间条带,细粒隐晶结构。矿物成分以玉髓、隐晶质-细粒石英为主,约占90%,还有少量绢云母、碳质、铁质物。玉髓呈纤维状单晶产出,纤维晶体受力发生变形,产生明显的火焰状消光现象,集合体呈放射状、束状出现;隐晶质-细粒石英呈他形不规则状,边界呈锯齿状、缝合线状,多分布在纤维状玉髓颗粒之间,波状消光明显。

角砾状硅质岩中,组成角砾的成分为隐晶质或纤维状玉髓及细小石英颗粒,胶结物为细粒(0.1~0.3 mm)他形或隐晶质石英及少量绢云母与细粒浸染状黄铁矿。角砾呈棱角状,大小不一,无分选性,砾径为0.25~4 cm。角砾状构造硅质岩附近,围岩底蚀现象明显,常使下伏碳酸盐岩蚀变成为仍保留明显条带状、薄层状不均匀硅化的似硅质岩,角砾状硅质岩发育与底蚀明显处,推断应是海底喷溢口附近沉积的产物。

另外,近年在桃源金矿床的硅质岩中发现与喷流沉积物相伴生的富镁电气石,此类电气石多呈土黄色和棕黄色,主要与硅质互为纹层,并与含硫化物矿层紧密伴生。它是喷流沉积矿床的一个特征指示矿物,它的出现也证明了这一成矿作用的存在(韩发等,1999)。

2.3 硅质岩地球化学特征

现有资料表明,硅质岩主要有生物或生物化学沉积成因、化学沉积成因和交代成因三大类。由于构造和成岩环境等方面的差异,不同成因类型的硅质岩,其SiO₂的来源不同,具有不同的地球化学特征(Murray et al.,1991)。化学沉积硅质岩可由海底喷发(溢)热水沉积作用形成,成岩温度较高,成岩物质主要来自深部(韩发等,1989)。

2.3.1 常量元素

根据大量的实际资料总结出的经验性判据可以分析硅质岩的成因(杨建民等,1999)。一般而言,典型硅质岩富SiO₂,贫Al₂O₃、TiO₂。笔者于小佟家堡子(3个样品均值)和小石门沟(2个样品均值)选取典型硅质岩进行分析(表1)。硅质岩的明显特征是 $w(SiO_2) 74.43\% \sim 94.51\%$, $w(K_2O) > w(Na_2O)$,与国内外典型硅质岩相比,Al₂O₃、TiO₂和Fe含量相对稍高,而CaO、MgO含量相对较低,其他成分变化不大。据前人研究(Adachi et al.,1986; Yamamoto,1987; Bostrom et al.,1973),沉积物中Fe的富集主要与热水的参与有关,而Al的富集主要与陆源物质的介入有关。青城子地区硅质岩的Al含量较高,体现了喷溢沉积时有陆源碎屑物质(火山碎屑或沉积碎屑)的介入。

表 1 青城子地区硅质岩石化学成分表

Table 1 Petrochemical composition of siliceous rocks in Qingchengzi area

序号	位置	α(B) %										
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
1	小石门沟	74.43	2.46	0.56	0.88	2.92	1.30	4.90	3.69	0.46	0.02	0.50
2	小佟家堡子	94.51	1.12	0.40	0.16	0.23	0.14	1.54	2.80	0.19	0.02	0.06
序号	位置	Fe/Ti	(Fe + Mn)/Ti		Al/(Al + Fe + Mn)		F ₂ O ₃ /(F ₂ O ₃ + FeO)		MnO/TiO ₂			
1	小石门沟	22.54	22.61		0.17		0.57		0.04			
2	小佟家堡子	29.64	29.82		0.15		0.35		0.11			

注：测试单位 辽宁省有色地质测试中心；测试仪器 原子吸收分光光度计。比值的单位为 1。

在硅质岩的质量分数比值(下同) Fe_2O_3/FeO 与 SiO_2/Al_2O_3 和 $SiO_2/(K_2O + Na_2O)$ 与 MnO/TiO_2 双变量判别图解中(仿 Murray, 1994), 小石门沟的样品落在热水成因区, 由于后期叠加改造矿化蚀变较强, 小佟家堡子样品发生部分偏离, 但仍归属于热水成因(图 3)。研究表明(Bostroem et al., 1969), 典型热水沉积物的有效地球化学参数为 $Fe/Ti > 20$ 、 $(Fe + Mn)/Ti > 20$ 、 $Al/(Al + Fe + Mn) < 0.35$, 这些比值也是判断热水组分参与沉积作用的标志。青城子地区硅质岩的 Fe/Ti 比值为 22.54 和 29.64, $(Fe + Mn)/Ti$ 比值为 22.61 和 29.82, $Al/(Al + Fe + Mn)$ 比值为 0.17 和 0.15, 这表明它们具有热水沉积成因的化学成分特征。另外, $Al/(Al + Fe + Mn)$ 比值也是衡量沉积物中热水沉积物含量多少的标志。陆棚远滨粘土的比值为 0.613, 页岩中相应的平均比值为 0.63, 生物成因硅质岩的这一比值为 0.60, 而热水沉积物中上述比值则低得多, 如北太平洋海底喷流形成的燧石, $Al/(Al + Fe + Mn)$ 比值为 0.03~0.04, 中国下扬子区早二叠世孤峰组层状硅质岩的比值为 0.02~

0.34(夏邦栋, 1995)。青城子地区硅质岩的 $Al/(Al + Fe + Mn)$ 比值符合热水沉积成因数据。

在硅质岩的 $100 \times Fe_2O_3/SiO_2$ 与 $100 \times Al_2O_3/SiO_2$ 和 Fe_2O_3/TiO_2 与 $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ 形成环境判别图解中(仿 Murray, 1994) 2 个样品均落在洋中脊与大陆边缘硅质岩过渡区(图 4)。这些特征表明硅质岩大致形成在浅海环境。另外, 硅质岩中的锰元素常被认为是来自大洋深部的标志元素(Sugisaki et al., 1982), MnO/TiO_2 比值可作为判断硅质沉积物离大洋盆地远近的标志之一, 离大陆较近的大陆坡和边缘海沉积的硅质岩, 该比值应小于 0.5, 开阔大洋底硅质沉积物的 MnO/TiO_2 比值较高, 可达 0.5~3.5。从表 2 中可看出, 青城子地区硅质岩 MnO/TiO_2 比值均小于 0.5, 属于近浅海范围内。与同一陆间裂谷中的朝鲜检德地区硅质岩氧化指数 $F_2O_3/(F_2O_3 + FeO)$ 相比, 本区为 0.35、0.57, 检德为 0.07, 体现了检德硅质岩氧化程度小, 形成在较深的环境; 本区硅质岩氧化程度高, 相对形成于浅海氧化环境, 这与本区含矿岩系反映的沉积环境基本可以对应。

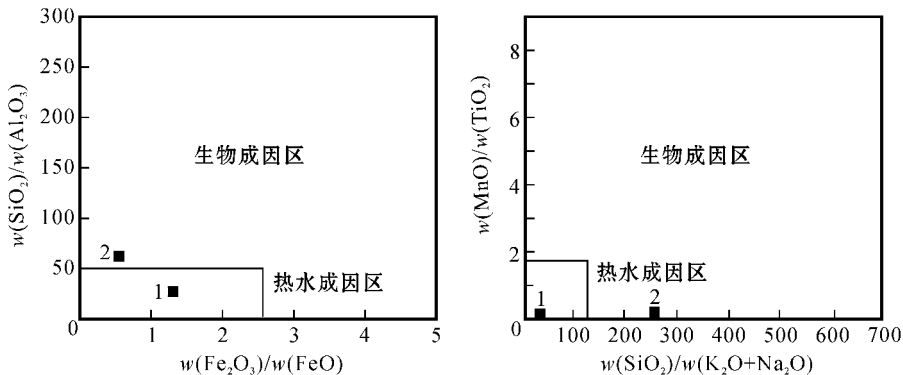


图 3 硅质岩的 $Fe_2O_3/FeO-SiO_2/Al_2O_3$ 和 $SiO_2/(K_2O + Na_2O)-MnO/TiO_2$ 双变量判别图解(仿 Murray, 1994)

Fig. 3 $Fe_2O_3/FeO-SiO_2/Al_2O_3$ and $SiO_2/(K_2O + Na_2O)-MnO/TiO_2$ bivariate discrimination diagram of siliceous rocks (after Murray, 1994)

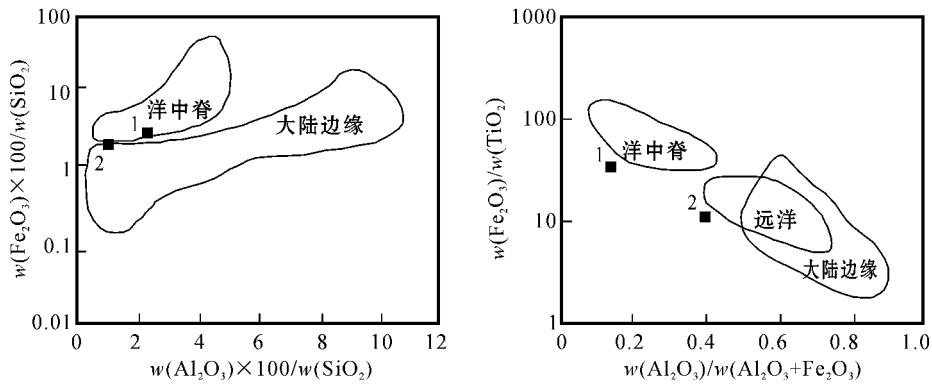


图4 硅质岩的 $100 \times \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ - $100 \times \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 形成环境判别图 (仿 Murray, 1994)

Fig. 4 $100 \times \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ - $100 \times \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ and $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ discrimination diagram of siliceous rocks (after Murray, 1994)

2.3.2 微量元素

表2中列出青城子地区硅质岩某些微量元素平均含量(7个样品)及其与地壳克拉克值的比值。从中可以看出,As、Sb、Ag、B、Mo、Pb、Au含量较高,浓集系数较大,接近克拉克值,而Cu、Zn、Ti、Mn、Co、Cr、V、Sr、Ba、Rb含量低。As、Sb、Ag等微量元素在已知的热水沉积建造中属富集元素(Murray et al., 1991),这与国内其他地区典型热水成因硅质岩很相似(谢桂青等, 2002; 阎升好等, 2003; 刘志远等, 2005)。青城子矿区金银矿床矿石中Au、Ag、Pb等是富集元素,硅质岩也富集Au、Ag、Pb,应与热水沉积成矿作用有一定关联。

2.3.3 稀土元素

稀土元素作为一种地球化学示踪剂,是恢复古环境和判别热水沉积的一个重要依据。Fleet(1983)系统研究过热水沉积物与非热水沉积物之间稀土元素特

征上的差异,认为热水沉积物的 $\sum\text{REE}$ 低, C_e 为负异常,HREE有富集趋势。本次4件硅质岩样品(表3), $\sum\text{REE}$ 为 $60.44 \times 10^{-6} \sim 116.3 \times 10^{-6}$, δE_u (球粒陨石标准化)为0.49~0.84,为负异常, δC_d (北美页岩标准化)为0.75~1.12,为负异常至弱正异常。 $(Gd/Yb)_n$ 比值反映重稀土元素分馏度,此值越小,HREE越富集,本研究中该值为0.91~1.44(表3)结合本区构造环境,认为硅质岩主要由热水沉积作用形成,同时混有部分火山或陆源碎屑物质。另外,通过经北美页岩标准化的稀土元素分布模式图也可以较好地地区分热水沉积与非热水沉积,热水沉积岩的稀土元素配分曲线表现出不同程度的左倾特征,倾斜度越高,热水沉积物比例越大(Fleet, 1983)。青城子硅质岩在此图中显示为倾斜度不高的左倾斜特征(图5),同样说明本区硅质岩属于有混合物源的热热水沉积硅质岩。

利用硅质岩的 δC_e 值可以判断其沉积环境。Murray

表2 青城子地区硅质岩微量元素平均含量

Table 2 Average concentrations of trace elements in siliceous rocks from Qingchengzi area

	$w(B) \times 10^{-6}$								
	Cu	Pb	Zn	Au*	Ag	Ti	Mn	Co	Cr
平均值(7)	33.43	27.14	28.43	6.13	1.30	446.57	164.14	7.49	56.29
克拉克值	63	12	94	4	0.08	6400	1300	25	110
富集系数	0.53	2.26	0.30	1.53	16.25	0.07	0.13	0.30	0.51
	$w(B) \times 10^{-6}$								
	V	Mo	As	Sb	Sr	Ba	S	Rb	B
平均值(7)	30.00	9.19	1135.71	46.50	158.00	129.86	466.67	27.43	122.00
克拉克值	140	1.3	2.2	0.6	480	390	400	78	13
富集系数	0.21	7.07	516.23	77.50	0.33	0.33	1.17	0.35	9.38

表3 青城子硅质岩稀土元素组成 ($w_B/10^{-6}$)Table 3 REE contents of siliceous rocks in Qingchengzi area ($w_B/10^{-6}$)

	小石门沟		小佟家堡子	
	1	2	3	4
La	20.15	7.8	12.0	14.0
Ce	35.32	16.83	32.0	32.0
Pr	3.41	1.35	6.3	5.2
Nd	17.32	9.72	17.0	19.0
Sm	10.24	5.25	4.0	4.4
Eu	0.80	0.37	0.7	0.9
Gd	1.62	1.63	3.3	5.4
Tb	0.76	0.46	1.1	0.9
Dy	1.34	1.76	3.4	3.6
Ho	0.73	0.47	0.7	1.0
Er	2.40	3.08	2.8	2.2
Tm	0.46	0.20	0.3	0.2
Yb	0.89	1.09	1.5	2.3
Lu	0.2	0.2	0.1	0.2
Y	10.86	10.23	15.0	25.0
ΣREE	106.53	60.44	100.2	116.3
ΣLREE/ΣHREE*	4.53	2.16	2.55	1.85
δCe*	0.91	1.12	0.75	0.80
δEu*	0.62	0.49	0.84	0.81
(Gd/Yb) _N	1.12	0.91	1.35	1.44

测试单位 辽宁省有色地质测试中心 测试仪器 ICP-MS 检出下限 10^{-9} 。* 单位为1。

(1991)在研究了大洋中脊、大洋盆地和大陆边缘等不同大地构造环境中的硅质岩后认为,不同的环境中,Ce的迁移能力并不相同,从大洋盆地至滨海相,Ce亏损逐渐减弱。根据硅质岩 δCe 值(北美页岩标准化)并结合稀土元素分布曲线,认为青城子地区硅质岩形成于浅海沉积环境。

2.4 硅质岩成因探讨

结合硅质岩的地质特征、形态、产状等资料,并

根据以上常量元素、微量元素及稀土元素地球化学特征综合分析,认为青城子地区硅质岩并不是来自陆源碎屑物质,也不是岩浆期后热液蚀变的产物,可能为来自海底喷流-沉积作用所形成的硅质与金、银、铅、锌硫化物一起聚集而成的一种产物,形成于浅海环境。

笔者认为,硅质岩的形成和区域地质构造演化密切相关。根据野外地质观察,硅质岩分布在大石桥组上部大理岩中,其上整合覆盖着盖县组,因此推断硅质岩大致形成于辽河群,即在元古宙辽东裂谷开始收缩初期——大石桥组沉积晚期,青城子地区裂谷抬升频繁,海底火山喷流活动强烈,含矿热液沿盆地边缘的同生断裂上涌并与海水混合,此处地热梯度增高,海底火山活动提供热源,从而形成水热循环系统,由于物理化学等条件的变化,产生热水沉积成岩成矿作用,形成同生喷流沉积硅质岩。硅质岩形成之后,青城子地区又经历了多期构造-岩浆活动,形成了如今所见的复杂化硅质岩。

3 硅质岩与成矿的关系

青城子成矿区内矿床成矿物质来源多,成矿演化时间长,矿床富集过程中地质作用复杂。早中元古宙辽东裂谷发展中期,沉积的碳酸盐岩及硅质岩形成了初始矿源层甚至部分贫矿层,为后期成矿奠定了充分的物质基础,辽河群沉积以后,裂谷由沉降凹陷转为挤压收缩,区域变质作用促使成矿物质进行重新分配、组合,并使部分矿质活化、迁移,在原层位或附近有利构造部位富集形成贫矿体,局部形成矿体,印支期—燕山期岩浆活动为大规模成矿物质

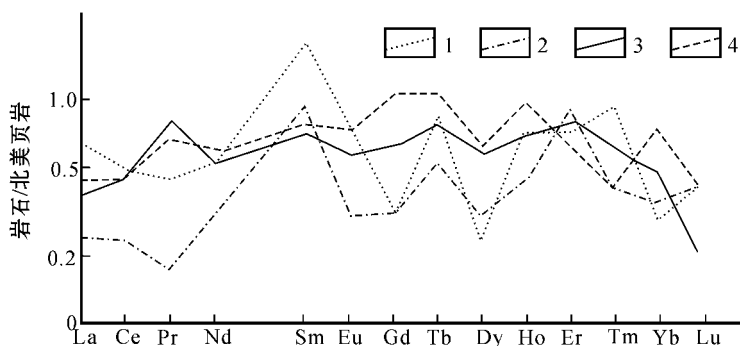


图5 硅质岩稀土元素配分模式图

图中1~4对应于表3的1~4号样品

Fig. 5 Shale-normalized REE patterns of siliceous rocks

活化、迁移提供了所需能量以及部分成矿物质,该时期是青城子乃至辽东地区的主要成矿期。

海底火山喷流-热水沉积作为一种重要的地质作用,与成矿关系密切(陈毓川,1997;刘继顺,1996)。这种海底火山喷流热水沉积硅质岩的存在为青城子地区早期经历了成矿作用提供了证据。无论是地质产状还是地球化学特征,硅质岩与矿体都有密切的关系。

首先,在青城子地区大理岩层位中发育的层状硅质岩,一般是产出金、银矿床(体)的重要地段,它与金、银多金属矿化关系极为密切,以至于认为,在青城子地区找到了硅质岩,也就找到了矿。例如高家堡子大型银矿床,矿体上、下盘常有一层硅质岩与之相伴,与地层产状一致,与地层同步褶皱,并与金属硫化物密切相伴。再者,硅质岩中 Au 含量为 $11 \times 10^{-9} \sim 15 \times 10^{-9}$, Ag 含量为 $0.23 \times 10^{-6} \sim 5.0 \times 10^{-6}$, 在小佟家堡子金矿床甚至形成硅质岩型金矿体,金在硅质岩中均为微粒自然金,粒径为 $0.37 \sim 3 \mu\text{m}$,呈片状、圆粒状,包裹在他形黄铁矿中,或在石英颗粒的间隙中,说明在喷流过程中金、银等有益组分,与硅质一同沉积,硅质岩的成矿作用意义一是形成矿源层,二是直接成矿。

海底火山喷流-热水沉积成矿作用是地壳演化过程中的一种形式比较特殊的成岩成矿作用,确认青城子地区这一过程的存在,对在青城子乃至辽东地区寻找此类矿床,为成矿模式研究等提供了依据。硅质岩在空间上与矿床相伴产出,因此,具有找矿标志的意义,研究它对于今后的勘查工作具有重要作用。

References

- Adachi M, Yamamoto K and Sugisaki R. 1986. Hydrothermal chart and associated siliceous rocks from the northern Pacific: their geological significance as indication of ocean ridge activity[J]. *Sedimentary Geology*, 47: 125~148.
- Bostroem K, Harold R and Oiva J. 1973. Provenance and accumulation rates of opaline silica, Al, Fe, Tl, Mn, Cu, Ni and Co in Pacific pelagic sediments[J]. *Chem. Geol.*, 11: 123~148.
- Bostroem K, Peterson M N A. 1969. Origin of aluminum poor ferromanganous sediments in area of high heat flow on the East Pacific Rise[J]. *Marine Geology*, 7: 42~47.
- Chen Y C. 1997. Present situation and trend of research on metallogenic series of ore deposits[J]. *Geology and Prospecting*, 33(1): 1~4 (in Chinese with English abstract).
- Fleet A J. 1983. Hydrothermal and hydrogenous ferromanganese deposits[A]. In: Ronap A, et al. *Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Center*[M]. New York: Plenum Press. 537~570.
- Han F and Hutchinson R W. 1989. Evidence for exhalative origin for rocks and ores of the Dachang tin polymetallic field: the ore-bearing formation and hydrothermal exhalative sedimentary rocks[J]. *Mineral Deposits*, 8(2): 25~40(in Chinese with English abstract).
- Han F and Sun H T. 1999. The metallogenic system of SEDEX-type ore deposits[J]. *Earth Science Frontiers*, 6(1): 139~162(in Chinese with English abstract).
- Jiang Y, Liu X L and Liu Z Y. 1999. Discussion on the relationship of quartz veins and siliceous rocks with gold and silver metallogenesis[J]. *Liaoning Geology*, 16(3): 194~202(in Chinese with English abstract).
- Liu J S. 1996. Some problems in studies of the exhalative sedimentary mineralization[J]. *Mineral Resources and Geology*, 10(1): 6~10(in Chinese with English abstract).
- Liu Z Y, Jin C Z and Wang R H. 2005. The origin and significance of silicalites in Jinshan mine, Jiangxi Province[J]. *Geology and Prospecting*, 41(2): 41~45(in Chinese with English abstract).
- Murray R W, Buchholtz T, Brink M R, Gerlach D L and Jones D L. 1991. Rare earth, major, and trace elements in chert from the Franciscan complex and Monterey Group, California: Assessing REE sources to fine-grained marine sediments[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55: 1875~1895.
- Murray R W. 1994. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: General principles and application[J]. *Sedimentary Geology*, 90: 213~232.
- Sugisaki R, Yamamoto K and Adachi M. 1982. Triassic bedded cherts in central Japan are not pelagic[J]. *Nature*, 298(5875): 644~647.
- Xia B D. 1995. The origin of Gufeng-group silicalites in early-Permian in Xiayangzi area[J]. *Acta Geologica Sinica*, (2): 125~137(in Chinese with English abstract).
- Xie G Q, Hu R Z and Fang W X. 2001. Geochemistry of depositional environment of siliceous rocks from Mojiang gold deposit in Yunnan Province[J]. *Geochimica*, 30(5): 491~496(in Chinese with English abstract).
- Yamamoto K. 1987. Geochemical characteristics and depositional environments of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto terranes[J]. *Sedimentary Geology*, 52: 65~108.
- Yan S H, Yu J J, Zhao Y X, Xu Z Z, Wang A J and Su D K. 2003. Geological and geochemical characteristics of ore-hosted siliceous rocks in Meiduo antimony deposit, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 22(2): 149~157(in Chinese with English abstract).
- Yang J M, Wang D H, Mao J W, Zhang Z H, Zhang Z C and Wang Z L. 1999. The petrochemical research method for silicalite and its application to the Jingtieshan type iron deposit[J]. *Acta Petrologica*

et Mineralogica, 18(2): 108~120(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈毓川. 1997. 矿床的成矿系列研究现状与趋势[J]. 地质与勘探, 33(1): 1~4.
- 韩发, 哈钦森. 1989. 大厂锡多金属矿床热液喷气沉积的证据含矿建造及热液沉积岩[J]. 矿床地质, 8(2): 25~40.
- 韩发, 孙海田. 1999. Sedex型矿床成矿系统[J]. 地学前缘, 6(1): 139~162.
- 姜英, 刘先利, 刘志远. 1999. 青城子矿田石英脉-硅质岩与金银成矿关系讨论[J]. 辽宁地质, 16(3): 194~202.
- 刘继顺. 1996. 喷流沉积成矿作用研究的若干问题[J]. 矿产与地质, 10(1): 6~10.
- 刘志远, 金成洙, 王荣湖. 2005. 江西金山金矿区硅质岩成因及意义[J]. 地质与勘探, 41(2): 41~45.
- 夏邦栋. 1995. 下扬子区早二叠世孤峰组层状硅质岩成因[J]. 地质学报, (2): 125~137.
- 谢桂青, 胡瑞忠, 方维萱. 2001. 云南墨江金矿床硅质岩沉积环境的地球化学探讨[J]. 地球化学, 30(5): 491~496.
- 阎升好, 余金杰, 赵以辛, 徐志忠, 王安建, 栗登逵. 2003. 藏北美多锑矿床容矿硅质岩的地质地球化学特征及成因[J]. 矿床地质, 22(2): 149~157.
- 杨建民, 王登红, 毛景文, 张作衡, 张招崇, 王志良. 1999. 硅质岩岩石化学研究方法及其在“镜山式”铁矿床中的应用[J]. 岩石矿物学杂志, 18(2): 108~120.

<http://www.kcdz.ac.cn/>