

编号: 0258-7106(2012)01-0013-14

阿尔金山阿北银铅矿控矿构造特征与矿床成因初探*

陈柏林¹, 赵恒乐², 马玉周², 杨 风², 王世新², 陈正乐¹,
祁万修², 刘 荣², 蒋荣宝¹, 李 丽¹

(1 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2 新疆地质调查院第一地质调查所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘 要 阿北银铅矿位于新疆若羌县境内, 是阿尔金山东段地区近年来新发现的中型多金属矿床之一, 在区域构造上位于 NE 向阿尔金走滑断裂北侧与 EW 向阿尔金北缘断裂所夹持的区域。该矿区的控矿构造出露于早古生代二长花岗岩中, 是叠加在韧性变形基础上发育起来的脆性断裂破碎带, 在平面和剖面上均表现为弧形裂隙夹透镜状花岗岩岩块的结构特点。脆性断裂破碎带是阿北银铅矿重要的控矿构造, 其形态、规模、产状和分布控制着矿体的形态、规模、产状和分布。硫同位素组成特征显示出硫源很可能是海相沉积岩来源的硫与岩浆岩来源硫的混合, 铅同位素组成显示其来源于上地壳, 氢、氧同位素特点反映出成矿流体以岩浆水为主, 并有少量大气降水混入。结合构造演化和构造控矿特征进行分析, 认为该矿床是受脆性裂隙控制的、与早古生代中-晚期红柳沟-拉配泉弧后盆地封闭碰撞作用伴生的中-酸性岩浆活动有关的岩浆热液型矿床。

关键词 地质学 地球化学 控矿构造 矿床成因 岩浆热液型 阿北银铅矿 新疆

中图分类号: P618.52; P618.42

文献标志码: A

A preliminary discussion on genesis and structural control of Abei silver-lead deposit in eastern Altun Mountains

CHEN BaiLin¹, ZHAO HengLe², MA YuZhou², YANG Feng², WANG ShiXin², CHEN ZhengLe¹,
QI WanXiu², LIU Rong², JIANG RongBao¹ and LI Li¹

(1 Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2 No. 1 Institute of Xinjiang Geological Survey, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract

Located in Ruoqiang County of Xinjiang, the Abei ore deposit is a medium-size Ag-Pb deposit recently discovered in eastern Altun Mountains. Tectonically, it is sandwiched between NE-trending Altun strike-slip fault and EW-trending northern Altun marginal fault. The ore-controlling structure in the ore deposit is the high-angle brittle fracture developed on the basis of the deformed adamellite and in the form of several arcuated fractures intercalated with granite lenses both in plane and in section. The brittle fracture is the important ore-controlling structure, and its shape, attitude, size and distribution control the Ag-Pb ore bodies. The $\delta^{34}\text{S}$ values (11.9‰ ~ 16.3‰) suggest a mixed marine sedimentary and magmatic sulfur source. The average Pb isotopic compositions of seven samples from the Abei Ag-Pb deposit are $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.339\ 2$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.632\ 4$ and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.379\ 2$, which indicate that the Pb of the ore came mostly from the upper crust, while the average hydrogen-oxygen isotopic compositions of four samples ($\delta^{18}\text{O}_{\text{water}} = 3.0\text{‰}$, $\delta\text{D} = -66\text{‰}$) indicate that ore fluids came mainly from remelted magmatic water with the participation of small amounts of atmospheric

* 本文得到“十一·五”国家科技支撑计划重点项目(编号 2006BAB07B02-04)的资助

第一作者简介 陈柏林,男,1962年生,研究员,主要从事区域构造、矿田构造和成矿预测研究。Email: cblh6299@263.net

收稿日期 2011-01-12; 改回日期 2011-12-04。许德煊编辑。

water. In combination with an analysis of the regional tectonic evolution and features of the ore-controlling structure, the authors hold that the Abei Ag-Pb ore deposit is a magmatic hydrothermal ore deposit controlled by high-angle brittle fracture and related to intermediate-acid magmatic activity during the closure and collision of Hongliugou-Lapeiquan back-arc basin in late Early Paleozoic.

Key words: geology, geochemistry, ore-controlling structure, deposit origin, magmatic hydrothermal solution type, Abei Ag-Pb deposit, Xinjiang

阿尔金北缘地区是阿尔金 NE 向构造带与北祁连构造带西段的交汇复合部位,北接塔里木地块南缘。阿尔金断裂带和阿尔金地区的区域构造演化已成为近 20 年来的研究热点之一,并取得了重要研究成果(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993;崔军文等,1999;许志琴等,1999;Yin et al., 1999;2002; Cowgill et al., 2003;Liu et al., 2003;2007;戚学祥等,2005;吴才来等,2005;刘永江等,2007;张建新等,2007;杨经绥等,2008;陈柏林等,2010)。相对地,对阿尔金北缘地区的矿产开展研究的历史则很短,仅近 10 年来才陆续见刊(杨风等,2001;李学智等,2002;陈柏林等,2002;2005;2009;王小凤等,2004;杨屹等,2004;毛德宝等,2006a;2006b;李月臣等,2007;赵更新等,2007;祁万修等,2008)。

阿北银铅矿位于新疆维吾尔自治区若羌县境内,在区域构造上位于阿尔金北缘断裂的南侧。2000 年,由新疆第一区域地质调查大队和新疆第一地质大队完成的“阿尔金断裂北带资源评价”项目,在对喀腊达坂地区开展 1:10 万化探测量时,圈定了 HS-21 综合异常;2003 年,新疆第一区域地质调查大队对该异常进行了三级查证工作;2004 年,对该异常又开展了进一步的查证工作,发现并圈定了矿化蚀变带和银铅锌矿体。2005~2007 年,针对矿化蚀变带和主要矿体开展了 1:1 万、1:2 千地质草测、地表槽探工程揭露、物探激电磁法剖面测量和部分钻探控制等工作,查明了矿床的基本特征。但是,对其构造控矿作用及成因的研究一直是空白。本文从野外控矿构造分析入手,结合硫、铅、氢、氧同位素测试和赋矿花岗岩的年代学资料,探讨了阿北银铅矿的构造控矿特征及矿床成因。

1 区域地质

1.1 构造背景与地质概况

阿北银铅矿位于阿尔金山东段的喀腊大湾地区,在大地构造上位于塔里木板块之塔里木古陆缘

地块的红柳沟-拉配泉奥陶纪裂谷带(弧后盆地),也是 NE 向阿尔金走滑断裂与 EW 向阿尔金北缘断裂所夹持的区域(图 1)。在矿产区划上属于阿尔金金、铜、镍及多金属、铁、稀有和稀土元素成矿带的红柳沟-拉配泉金、铜及多金属、铁成矿亚带。

区域内出露的地层有:太古界米兰岩群达格拉格布拉克组(Ardg),下古生界上寒武统斯米尔布拉克组(ϵ_{3s})和卓阿布拉克组(ϵ_{3zh}),上石炭统因格布拉克组(C_{3y})。太古界米兰岩群达格拉格布拉克组出露在阿尔金北缘断裂带以北地区,为一套角闪岩相-麻粒岩相深变质岩系,岩性主要为灰绿色变粒岩和褐灰-褐红色钾长变粒岩夹片岩。上寒武统斯米尔布拉克组出露在阿尔金北缘断裂带与拉配泉-白尖山断裂之间,主要岩性是灰色绢云母片岩、绢云母石英片岩、千枚岩、板岩、中-酸性火山岩夹少量白色结晶灰岩、大理岩、石英透镜体。卓阿布拉克组出露在白尖山断裂以南区域的中南部,主要岩性组合为泥岩、泥灰岩、碳质千枚岩、千枚岩化粉砂岩、板岩、结晶灰岩、大理岩和流纹岩、英安岩、安山质玄武岩、酸性-中酸性火山凝灰岩、晶屑凝灰岩及钠长霏细斑岩、英安斑岩、辉绿岩,其中夹有铁矿层。上石炭统因格布拉克组仅局部出露,主要岩性为砾岩、含砾砂岩、砂岩(图 1)。

区域内的侵入岩绝大多数为早古生代,主要岩性有二长花岗岩、花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩和辉长岩,局部见元古代花岗闪长岩。其中,二长花岗岩是银铅矿体(化)的直接围岩。

1.2 区域构造特征

区域内的构造线以 EW 向为特征。3 条 EW 向一级断裂构造自北向南依次是阿尔金北缘断裂、白尖山断裂和喀腊达坂断裂。其中的白尖山断裂是更大区域内拉配泉断裂在该区的一部分。它们将阿北银铅矿所在的喀腊大湾地区划分为 4 个部分,依次为北部基底片麻岩区、中北部火山沉积岩区、中南部火山沉积岩区和南部新生代盆地区(图 1)。在区域构造范围内,阿北银铅矿位于阿尔金北缘断裂南侧、

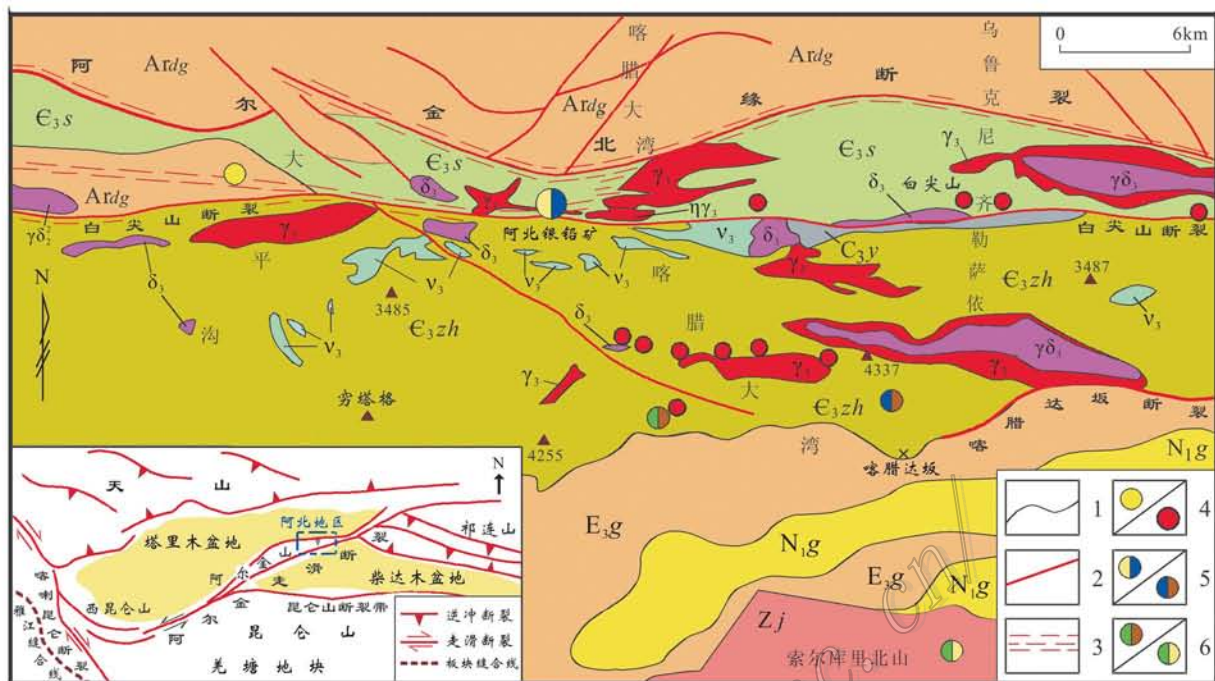


图1 阿尔金山北缘喀腊大湾地区区域地质与矿产分布图

N_{1g} —中新统上干柴沟组; E_{3g} —渐新统下干柴沟组; C_{3y} —上石炭统因格布拉克组; E_{3s} —上寒武统斯米尔布拉克组; E_{3zh} —上寒武统卓阿布拉克组; Z_j —震旦系金雁山组; $Ardg$ —太古界达格拉格布拉克组; $\gamma\delta_2$ —元古代花岗闪长岩; γ_3 —早古生代花岗岩; $\eta\gamma_3$ —早古生代二长花岗岩; $\gamma\delta_3$ —早古生代花岗闪长岩; δ_3 —早古生代闪长岩; ν_3 —早古生代辉长岩; 1—地质界线; 2—断裂; 3—韧性-脆性变形带; 4—金矿床/铁矿床; 5—银铅矿床/铅锌矿床; 6—铜锌矿床/铜银矿床

Fig. 1 Regional geological map of Kaladawan area on the northern margin of the Altun Mountains, showing the distribution of mineral resources

N_{1g} —Miocene Upper Ganchaigou Formation; E_{3g} —Oligocene Lower Ganchaigou Formation; C_{3y} —Upper Carboniferous Yin'gebulake Formation; E_{3s} —Upper Cambrian Simi'erbulake Formation; E_{3zh} —Upper Cambrian Zhuo'abulake Formation; Z_j —Sinian Jinyanshan Formation; $Ardg$ —Archean Dagelagebulake Formation; $\gamma\delta_2$ —Proterozoic granodiorite; γ_3 —Early Paleozoic granite; $\eta\gamma_3$ —Early Paleozoic adamellite; $\gamma\delta_3$ —Early Paleozoic granodiorite; δ_3 —Early Paleozoic diorite; ν_3 —Early Paleozoic gabbro; 1—Geological boundary; 2—Fault; 3—Ductile-brittle deformation belt; 4—Au/Fe deposit; 5—Ag-Pb/Pb-Zn deposit; 6—Cu-Zn/Cu-Ag deposit

白尖山断裂北侧靠近白尖山断裂的部位(图1)。

阿尔金山北缘断裂位于该区域的北部,是北阿尔金古陆块(即塔里木地块)南缘与红柳沟-拉配泉裂谷带(弧后盆地)的分界线。该断裂的北侧为太古界米兰岩群达格拉格布拉克组片麻岩系,南侧为下古生界上寒武统斯米尔布拉克组火山沉积岩系。沿该断裂带岩石破碎,由构造透镜体、挤压片理化带和糜棱岩带组成。

白尖山断裂位于该区域的中北部,是红柳沟-拉配泉裂谷(弧后盆地)封闭时的碰撞带。沿该断裂发育有由枕状玄武岩、辉长岩、硅质岩等组成的蛇绿混杂岩带。该断裂具有穿越各种岩性的典型的韧性-脆性变形特点,出露有花岗质糜棱岩、玄武质糜棱

岩、闪长质糜棱岩、橄榄辉长质糜棱岩、英安质糜棱岩等,韧性变形强烈,应变 a/c 比值可达4~8,局部最大达10~15,韧性变形运动方向为断层南侧向NE方向俯冲。

喀腊达坂断裂位于该区域的中南部,是红柳沟-拉配泉裂谷(弧后盆地)火山沉积岩系与新生代索尔库里北盆地的分界线。该断裂的南侧主要为渐新统和中新统橘红色砂泥岩。该断裂主要表现为脆性变形,在新生代中期,即索尔库里北盆地形成时期,为正断活动,至新生代晚期,则为南侧上升的逆冲变形。

该区域内的其他次级断裂为NW向和NE向断裂,一般规模较小,不再一一细述。

1.3 区域构造控矿作用

区域构造的控矿作用,一方面表现为通过控制对成矿有利的岩石地层的分布起到控矿效果。阿尔金北缘断裂作为塔里木地块南缘与红柳沟-拉配泉裂谷带(弧后盆地)的分界线,控制着不同岩石类型的分布,北侧为深变质岩系,南侧为裂谷区(弧后盆地)火山沉积岩系,因此,与深变质岩有关的矿床发育于该断裂以北的地区,与火山沉积作用有关的多金属矿床则发育于该断裂以南的地区。如,喀腊大湾铁矿带、白尖山铁矿带、喀腊大湾铜锌矿、喀腊达坂铅锌矿等均位于阿尔金北缘断裂以南的裂谷(弧后盆地)火山沉积岩区,而与超基性岩有关的铜镍铬矿化主要沿白尖山断裂及其蛇绿混杂岩带分布。

另一方面表现为,构造变形(特别是较深层次的韧性变形)可能引起动力变质作用并形成动力变质热液,导致成矿作用的发生。如,阿尔金北缘断裂和白尖山断裂均表现为深层次韧性-脆性变形带,具有穿切不同地层岩石的特征,控制着与韧性剪切带有关的金矿床,大平沟金矿的成矿流体就是非常典型的在深层次韧性变形过程中形成的动力变质热液(陈柏林等,2002;2005),类似的还有红柳沟金矿、冰

沟金矿等,构成了阿尔金北缘地区与韧性变形有关的金成矿带。同时,区域构造旁侧的次级构造和各种脆性断裂、脆性裂隙,是热液矿床有利的赋矿空间,如白尖山断裂旁侧二长花岗岩中的脆性裂隙是阿北银铅矿的赋矿(含矿)构造。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地层岩石

地层

阿北矿区内出露的地层仅为上寒武统斯米尔布拉克组(ϵ_{3s}),可划分为2个岩性段(图2)。

第一岩性段(ϵ_{3s}^1) 分布于该矿区的北部,岩性为浅变质中基性火山岩、碎屑岩,夹白云质灰岩和辉长-辉绿岩等。岩层走向近EW向或NNW向,倾向南,倾角40~54°,有辉长-辉绿岩体顺层侵入于地层中。与早古生代二长花岗岩呈断层接触关系(图2)。

第二岩性段(ϵ_{3s}^2) 分布于该矿区的南部,岩性为浅变质中基性火山岩夹碎屑岩。岩层走向近EW向或NNW向,倾向南,倾角53~72°。与二长花岗岩体呈侵入接触关系。

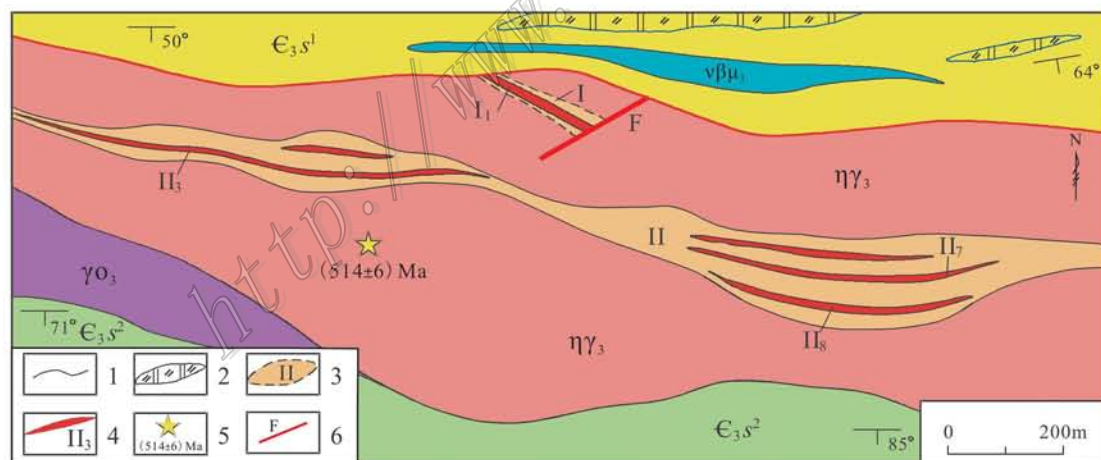


图2 阿北银铅矿区地质图

ϵ_{3s}^1 —上寒武统斯米尔布拉克组第一岩性段; ϵ_{3s}^2 —上寒武统斯米尔布拉克组第二岩性段; $\eta\gamma_3$ —早古生代二长花岗岩;

γO_3 —早古生代斜长花岗岩; $\nu\beta\mu_3$ —早古生代辉长-辉绿岩; 1—地质界线; 2—白云质灰岩; 3—矿化蚀变带及编号;

4—银铅矿体及编号; 5—锆石 SHRIMP 年龄; 6—断裂

Fig. 2 Geological map of the Abei Ag-Pb ore district

ϵ_{3s}^1 —1st Member of Upper Cambrian Simi'erbulake Formation; ϵ_{3s}^2 —2nd Member of Upper Cambrian Simi'erbulake Formation;

$\eta\gamma_3$ —Early Paleozoic adamellite; γO_3 —Early Paleozoic plagiogranite; $\nu\beta\mu_3$ —Early Paleozoic gabbro-diorite; 1—Geological boundary;

2—Dolomitic limestone; 3—Alteration belt and its serial number; 4—Ag-Pb ore body and its serial number; 5—Zircon SHRIMP age;

6—Fault

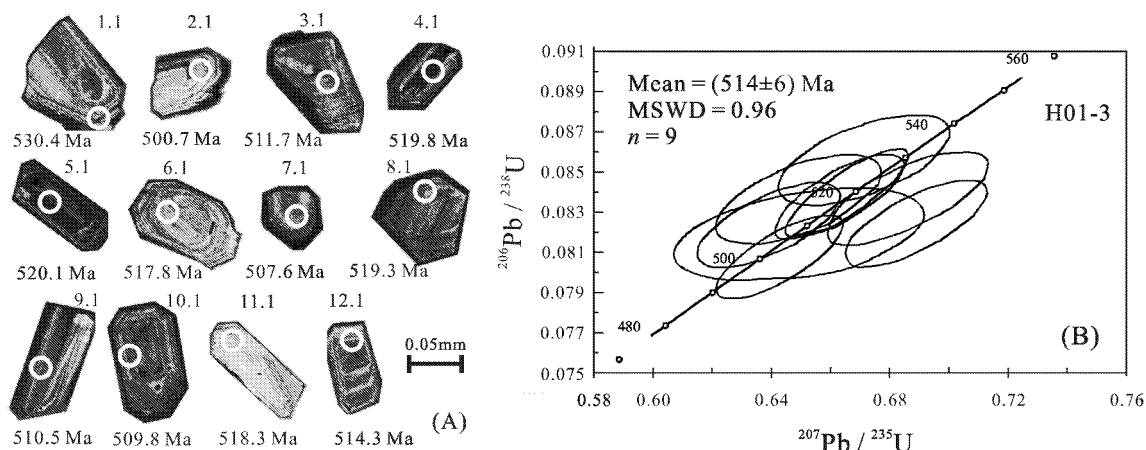


图 3 阿北银铅矿二长花岗岩内锆石的 CL 图像(A)和 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图(B)

Fig. 3 CL image(A) and SHRIMP U-Pb concordia diagram(B) of zircons in adamellite from the Abei Ag-Pb deposit

岩浆岩

该矿区内的岩浆岩主要为早古生代二长花岗岩,是银铅矿体的直接围岩。此外,局部出露有早古生代斜长花岗岩和辉长-辉绿岩。

二长花岗岩($\eta\gamma_3$)主要出露在该矿区的中部,是矿体(化)的直接围岩,主要由褐色、褐红色中-细粒二长花岗岩组成。岩体形态为不规则的“长条状”或“带状”,围岩为斯米尔布拉克组,岩体北侧为断裂接触关系,南侧为侵入接触,沿外接触带岩石具热接触变质,有褐铁矿化显示。

在宏观上,岩石发育碎裂和脆性片理化,局部伴有韧性变形片麻状构造,中细粒不等粒结构。斑晶占 40%~50%,为钾长石和石英,粒径多为 0.5~1 mm;石英 20%~25%,他形粒状,弱波状消光;钾长石 20%~25%,发育卡斯巴双晶和格子双晶,表面干净,部分为条纹长石。基质占 50%~55%,为钾长石、斜长石和黑云母,粒径 0.1~0.3 mm;钾长石 15%~20%,斜长石 25%~30%,薄片可见发育次生水(绢)云母化,黑云母 5%~10%,片状,多数发生绿泥石化;此外,还含有少量榍石、磷灰石和锆石,其中的锆石颗粒较小,约 0.06~0.10 mm。

岩石化学分析显示其为亚碱性花岗岩系列;微量元素分析显示其为高铅高铁酸性侵入岩,稀土元素反映其岩浆分异作用不明显。单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果显示,阿北银铅矿二长花岗岩的年龄为 (514 ± 6) Ma(图 3)。

2.2 矿带及矿体特征

矿带特征

阿北银铅锌多金属矿体主要分布在该矿区中部的二长花岗岩体中,其空间分布受 NWW 向、近 EW 向韧性断裂构造的控制,按矿体分布范围、空间展布特点,可划分为 2 个矿带(图 2),共圈出 10 个矿体。

I 号矿带 分布在 8 勘探线与 12 勘探线之间的二长花岗岩体北部内接触带附近,沿走向 305°方向的裂隙带分布,与接触蚀变带总体呈 45°斜交,其南东端被一组 NE 向断裂截断(图 2)。该矿带总体长度约 120 m,宽度 20~30 m,产状 305°/NE 65~78°。圈出 2 个工业矿体(地表矿体 1 个)。

II 号矿带 位于该矿区中部,分布在 15 至 28 勘探线之间的二长花岗岩体中,走向 275~280°。可分为东、西 2 个矿段,东矿段分布于 20~28 勘探线之间,西矿段分布于 15~12 勘探线之间,中段 12~20 勘探线暂无工程控制。该矿带总体长度达 2.3 km,宽度 20~50 m,目前,西矿段的控制长度达 1 400 m,东矿段的控制长度为 400 m。共圈出 6 个工业矿体(其中地表矿体 5 个)(图 2)。

矿体特征

阿北银铅矿区内共圈出矿体 10 个,其中较大的有 6 个(图 2),现对其中的 4 个矿体描述如下。

I₁ 矿体 分布于 I 号矿带的北侧,呈脉状、透镜状产出,由致密块状铅锌矿脉和星点状、细脉网脉状银铅矿石英脉及蚀变花岗岩组成。该矿体长 100 m,厚 8.93 m,走向 305°,倾向北东,倾角 70°(图 2);平均品位: $w(\text{Pb})$ 6.72%, $w(\text{Zn})$ 1.81%, $w(\text{Ag})$ 87.33×10^{-6} , $w(\text{Cu})$ 0.10%, $w(\text{Au})$ 0.48×10^{-6} ;

有用组分为 Ag、Pb、Zn, 伴生有益组分为 Cu、Au。

Ⅱ₃ 矿体 分布在 15~12 勘探线之间, 其中, 15~7 勘探线(图 2 西侧之外)为隐伏矿体, 形态呈 EW 向条带状, 倾向 350°, 倾角 75°; 该矿体长 1 250 m, 平均厚度 5.63 m; 平均品位: $w(\text{Pb})$ 7.13%, $w(\text{Ag})$ 198.05×10^{-6} , $w(\text{Cu})$ 0.37%, $w(\text{Au})$ 0.48×10^{-6} , $w(\text{Zn})$ 0.40%; 有用组分为 Ag、Pb, 伴生 Cu、Au、Zn。

Ⅱ₇ 矿体 分布在 20~28 勘探线之间, 其形态呈 EW 向条带状, 长 460 m, 平均厚度 9.06 m, 倾向 350°, 倾角 78~83°; 平均品位: $w(\text{Pb})$ 5.73%, $w(\text{Ag})$ 97.30×10^{-6} , $w(\text{Cu})$ 0.26%, $w(\text{Au})$ 0.12×10^{-6} ; 有用组分为 Ag、Pb, 伴生 Au、Cu。

Ⅱ₈ 矿体 分布在 20~28 勘探线之间, 其形态呈 EW 向条带状, 长 450 m, 平均厚度 4.53 m, 倾向 350°, 倾角 78°; 平均品位: $w(\text{Pb})$ 6.14%, $w(\text{Ag})$ 137.44×10^{-6} , $w(\text{Cu})$ 0.52%, $w(\text{Au})$ 0.33×10^{-6} ; 有用组分为 Ag、Pb、Cu, 伴生 Au。

3 矿区控矿构造及其控矿作用

3.1 矿区控矿构造特征

阿北银铅矿控矿构造为发育于二长花岗岩中的韧脆性断裂破碎带, 是叠加在二长花岗岩发生韧性变形基础上形成的。

阿北银铅矿二长花岗岩早期具有韧脆性变形, 普遍形成变形花岗岩和花岗质糜棱岩, 糜棱面理近

EW 向或 NWW 向(图 4)。

叠加在二长花岗岩韧性变形基础上形成的韧脆性断裂破碎带在平面上呈带状展布, 走向为 NWW 向和近 EW 向, 倾向北或北东, 倾角比较陡立。断裂破碎带的宽度为 20~200 m, 矿区内可分为 I 号和 II 号含矿构造带(图 2)。

I 号含矿构造带 位于矿区北部的中段, 走向 295~305°, 长度约 260 m, 宽度约 60 m, 其西端止于二长花岗岩与斯米尔布拉克组第一岩性段接触带, 东端被后期 NE 向断裂断错(图 2)。

II 号含矿构造带 位于矿区的中部, 总体走向 265~280°, 矿区内控制长度为 1 600 m, 两端未完全控制, 宽度为 20~200 m, 沿走向宽度呈胀缩变化, 2 个膨胀部位分别位于东、西矿段, 主要矿体就发育于该含矿构造破碎带的膨胀部位(图 2)。

在剖面上, 韧脆性断裂破碎带表现为弧形裂隙夹透镜状岩块的结构特点。在露头尺度上, 弧形裂隙一般宽度为 20~50 cm, 局部达 1 m 以上。透镜状岩块的长度一般为 2~5 m, 宽度 0.5~2 m。如在 II 号含矿构造带北西段的勘探坑道口(H01 地质点)(图 5c), 变形花岗岩中的含矿破碎带由弧形裂隙夹透镜状变形花岗岩岩块构成, 单条含矿裂隙也是在二长花岗岩韧性-韧脆性变形之后, 在脆性的 X 形裂隙基础上发展起来的, 含矿裂隙由主裂隙及其两侧的呈“入”字形的次级裂隙组成, 主裂隙产状为走向 NWW, 倾向 SSW, 倾角 75°, 银铅矿体发育于裂隙较宽大的部位(图 5)。



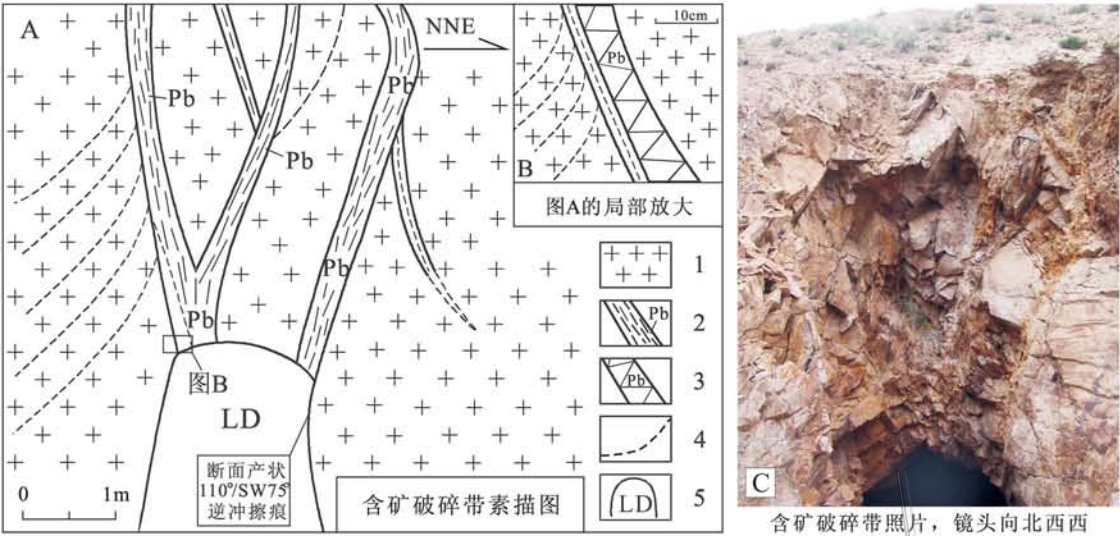
阿北银铅矿北西矿段变形花岗岩, 镜头向东



阿北银铅矿南东矿段变形花岗岩, 镜头向北

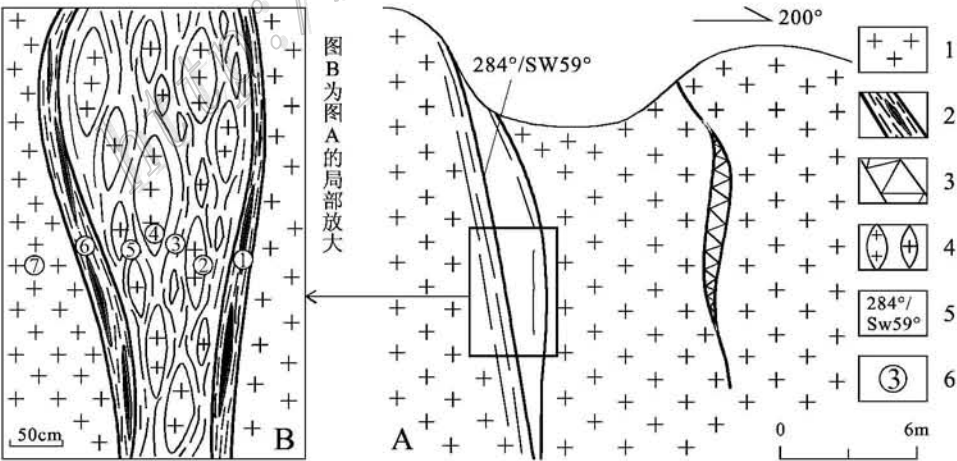
图 4 阿北银铅矿变形花岗岩

Fig. 4 Deformed granite in the Abai Ag-Pb deposit



在西矿段另一含矿构造带的露头(H05 地质点)上,可见矿体明显赋存在断裂破碎带中。含矿构造带底板断层面的产状为 $284^{\circ}/\text{SW}59^{\circ}$,其上发育有斜向擦痕,为向西侧伏,侧伏角 60° 。含矿构造带由花岗岩透镜体及弧形裂隙面组成,在较大的构造带中发育有银铅矿体(图 6)。

II 号含矿构造带南东段的含矿破碎带也具有同样的性质(如 H09 地质点),由多条近 X 形裂隙组成(图 7A),或者以多条不规则细裂隙形式出现(图 7B),少数呈单条裂隙出现。在 7 勘探线,由钻孔控制的银铅矿体的深部延伸部分也显示出弧形矿体夹透镜状花岗岩岩块的特点(图 8)。



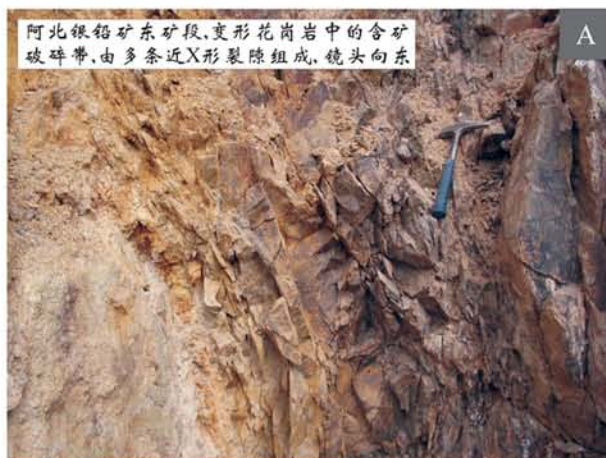


图7 阿北银铅矿东矿段控矿构造裂隙照片(H09地质点)

Fig. 7 Ore-controlling structural fissures in eastern ore block of the Abei Ag-Pb deposit

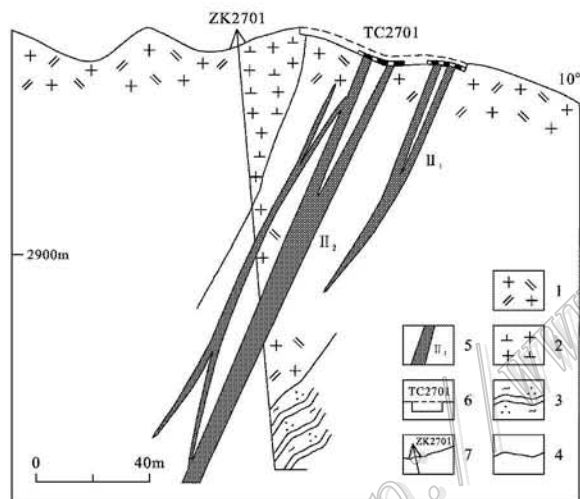


图8 阿北银铅矿区7勘探线剖面图

1—早古生代二长花岗岩; 2—早古生代花岗闪长岩; 3—绿泥石英片岩; 4—地质界线; 5—矿体; 6—探槽; 7—钻孔

Fig. 8 Geological section along No. 7 exploration line of the Abei Ag-Pb ore district

1—Early Paleozoic adamellite; 2—Early Paleozoic granodiorite;
3—Chlorite quartz schist; 4—Geological boundary; 5—Ore body;
6—Prospecting trench; 7—Drill hole

3.2 矿区构造控矿作用

矿区构造的控矿作用可概括为以下方面。

(1) 目前已发现的银铅矿化均发育于二长花岗岩体中的构造破碎带内,所以在矿区范围内,二长花岗岩体是一级控矿地质体(图2)。

(2) 二长花岗岩体内的Ⅰ号和Ⅱ号构造破碎带是二级控矿构造,控制了银铅矿化蚀变带的空间展布、产状、规模和延伸(图2)。

(3) 构造破碎带中破碎强烈及局部宽大部位是最有利的矿化区段。如Ⅱ号构造破碎带,在沿走向1600 m的范围内,有2个区段破碎强烈,并且,破碎带的宽度也比较大,由10~20 m分别变化为100~120 m和140~160 m(其长度分别为600 m和500 m),构成了矿区的西矿段和东矿段,已发现的5个规模较大的银铅矿体都分布在这2个矿段范围内(图2)。

(4) 在露头尺度上,构造破碎带内裂隙的具体形态控制着矿体的产出和形态。如Ⅱ号含矿构造带西段的勘探坑道口(H01地质点),银铅矿体的形态与控制其产出的裂隙几乎完全一致地呈弧形延伸(图5)。在构造破碎带相对较大的位置,在后期应力场改变时往往容易形成有利的赋矿空间,如Ⅱ号含矿构造带西段的H05地质点(图6B)。

(5) 在挤压变形比较明显的构造破碎带内或其旁侧,银铅矿体往往产于局部张扭性裂隙等有利部位。如Ⅱ号含矿构造带西段的H05地质点,在变形花岗岩内的局部张扭性裂隙中也产出有较大规模的石英脉型矿体,而且,石英脉型矿体的膨缩形态与裂隙产状的关系表现为向南陡倾部位矿体收缩,向北陡倾部位矿体膨胀变大(图6A),反映出矿化时构造变形为南侧相对下降而北侧相对上升的运动方式,整体具有张扭性力学性质。

(6) 该矿区控矿构造形成时具有压扭性的力学性质,延伸和规模一般比较大,因此,矿体延伸也比较大,目前有限的钻探资料已初步证实,Ⅱ₃矿体走向延伸已经达到1250 m;Ⅱ₇矿体倾向延伸也达165 m以上,而且,矿体与弧形裂隙一样具有分枝复

合特点,并可能出现产状相近的隐伏矿体(图 8)。

4 矿床地球化学与成因初探

4.1 变形蚀变岩石组分变化特征

构造变形和矿化蚀变作用是导致含矿构造带中包括成矿元素在内的成分变化的决定因素。阿北矿床的构造变形带一方面在变形过程中发生了元素的迁移和变化,另一方面,后期矿化蚀变作用又导致矿化元素的变化。现以Ⅱ号含矿带西段的 H05 地质点(图 6B)为例,来探讨不同变形强度和不同矿化程度的岩石的元素变化特点。

矿化蚀变变形岩石矿物成分变化特点

由图 6B 可见,7 个样品的构造变形是 1 和 6 号最强(应变比值约为 4.0),3 和 5 号次之(应变比值约为 2.5),2 和 4 号变形更弱(应变比值约为 1.5),7 号几乎未变形,为比较完整的花岗岩(应变比值约为 1.0)。而矿化最强的是 1 号样品,其次是 6 和 3 号,其他样品矿化不明显。

H05 地质点放大剖面(图 6B)上所采 7 个样品的岩矿石名称、产出的构造部位、矿物组成、结构构造和矿化蚀变特征列于表 1。

不考虑强矿化的 H05-1 号样品,其他 6 个样品随着构造变形的增强,绢云母含量明显增多,同时,长石含量明显减少,而石英则略有增多或变化不大。这显示出构造变形(糜棱岩化)过程导致长石分解,形成石英和绢云母(退变质反应),但石英增加不多,反映出可能有一部分硅质被带出。

蚀变变形岩石常量元素变化特点

按照构造变形强弱顺序,H05 地质点剖面上样品的常量元素测试结果见表 2,其变化曲线见图 9。

由表 2 及图 9 可见,就变形程度和蚀变强度不同的岩石而言,其常量元素的迁移规律比较明显,从花岗岩和弱变形花岗岩到强变形花岗岩和糜棱岩, Fe_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 明显减少, MnO 、 CaO 、 MgO 略有减少,说明其形成了含矿热液,这与构造变形过程中的退变质作用相关,即长石退变质形成了绢云母和石英(陈柏林等,2002)。同时,由于上述成分的减少, SiO_2 和 Al_2O_3 含量则相对升高。

叠加了矿化的糜棱岩, SiO_2 明显升高,较富矿石的 SiO_2 含量更高,这显示出在矿化蚀变过程中存在硅质的带入,与宏观上存在石英脉相吻合。

矿化在元素变化上的特点

按照构造变形程度和矿化强弱的顺序,H05 地质点剖面上样品的矿化元素(Pb、Ag、Cu、Au、Zn)测

表 1 阿北银铅矿床蚀变变形岩石特征

Table 1 Characteristics of altered-deformed rock samples from the Abei Ag-Pb deposit

序号	样号	岩石名称	构造部位	矿物组成	变形结构构造特征	蚀变与矿化特征
1	H05-1	强矿化糜棱岩	产于大透镜体边上的主变形带中	脉石英 50%、方铅矿 25%、石英 15%、绢云母等 10%	强变形,矿物拉长明显,片状构造、细脉状构造、糜棱状构造	方铅矿呈细脉沿变形片理或斜向裂隙产出,强矿化、绢云母化、硅化
2	H05-2	微变形花岗岩	产于较小透镜体	正长石 35%、斜长石 20%、石英 30%、绢云母 15%	弱变形,矿物拉长不明显,块状构造为主,局部弱片状构造	弱变形,弱绢云母化,矿化不明显
3	H05-3	微矿化糜棱岩	产于小透镜体边上的次级变形带中	正长石 25%、斜长石 10%、石英 35%、绢云母 30%,少量方铅矿	中等变形,矿物拉长较明显,片状构造较发育,似糜棱状构造次之	方铅矿呈稀疏浸染状产出,部分沿似糜棱片理呈微脉状产出
4	H05-4	微变形花岗岩	产于次级透镜体	正长石 35%、斜长石 25%、石英 30%、绢云母 10%	弱变形,块状构造为主	弱的绿泥石化、硅化、铁白云石化
5	H05-5	变形花岗岩	产于小透镜体边上的次级变形带中	正长石 25%、斜长石 10%、石英 35%、绢云母 30%	中等变形,矿物拉长较明显,片状构造较发育,似糜棱状构造次之	矿化不明显,发育绿泥石化、水云母化、铁白云石化
6	H05-6	矿化糜棱岩	产于大透镜体边上的主变形带中	正长石 10%、斜长石 5%、石英 40%、绢云母 45%,少量方铅矿	强变形,矿物拉长明显,片状构造、糜棱状构造	方铅矿呈浸染状产出,水云母化,高岭土化
7	H05-7	花岗岩	产于主变形带外未变形花岗岩中	正长石 35%、斜长石 25%、石英 30%、绢云母 10%	未变形,块状构造	表面见弱水云母化、弱绿泥石化,无矿化

表 2 蚀变变形岩石常量元素分析结果

Table 2 Major element content of altered-deformed rock samples from the Abei Ag-Pb deposit

序号	样号	岩石名称	$\omega(B)\%$														总计
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂	LOI	
1	H05-7	花岗岩	75.56	11.09	1.23	0.70	0.88	0.73	4.09	3.40	0.19	0.09	0.04	1.04	0.80	1.74	101.58
2	H05-2	微变形花岗岩	75.01	10.88	1.29	0.74	0.96	0.66	3.97	3.32	0.25	0.11	0.03	1.15	0.86	1.84	101.07
3	H05-4	微变形花岗岩	74.25	11.21	1.39	0.72	0.94	0.69	4.17	3.51	0.21	0.07	0.02	1.11	0.79	1.81	100.89
4	H05-5	变形花岗岩	76.23	11.91	0.84	0.61	0.71	0.47	3.84	2.93	0.21	0.05	0.03	1.62	0.46	1.52	101.43
5	H05-3	微矿化糜棱岩	77.53	12.08	0.48	0.44	0.53	0.25	3.54	2.17	0.28	0.02	0.01	1.95	0.34	1.53	101.15
6	H05-6	矿化糜棱岩	78.32	10.15	0.46	0.41	0.46	0.20	3.36	1.91	0.23	0.02	0.01	1.72	0.10	1.33	98.68
7	H05-1	强矿化糜棱岩	82.45	5.51	2.41	1.42	0.23	0.28	1.63	1.54	0.20	0.03	0.01	1.08	0.10	1.04	97.93

测试单位 国家地质测试中心 测试仪器 Z100 型 X 荧光光谱仪 测试误差 :RSD=2%~8%。

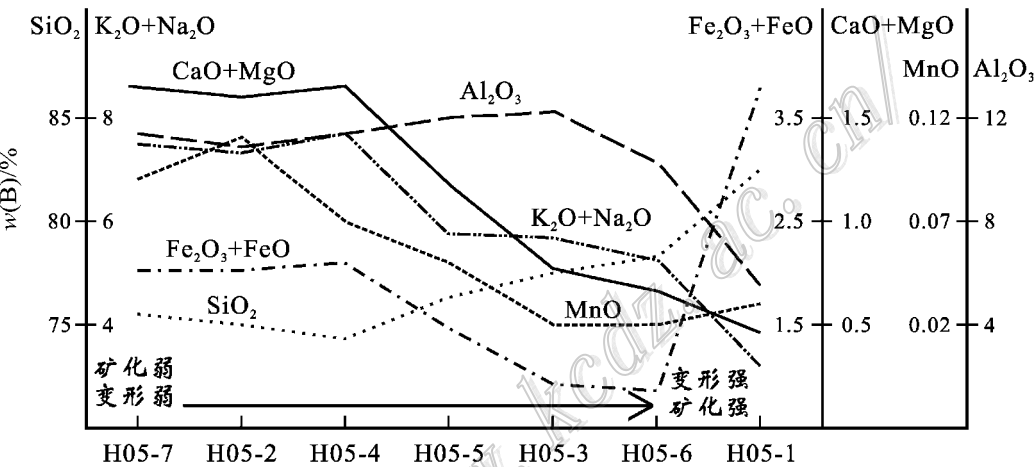


图 9 变形和矿化程度不同的蚀变岩石主元素变化图

Fig. 9 Map showing the variation of major elements in different altered-deformed rock samples from the Abei Ag-Pb deposit

表 3 蚀变变形岩石矿化元素分析结果

Table 3 Mineralization elements content of altered-deformed rock samples from the Abei Ag-Pb deposit

序号	样号	岩石名称	$\omega(B)\%$			$\omega(B)10^{-6}$	
			Pb	Cu	Zn	Ag	Au
1	H05-7	花岗岩	0.03	0.02	0.04	0.39	0.01
2	H05-2	微变形花岗岩	0.09	0.03	0.07	0.81	0.03
3	H05-4	微变形花岗岩	0.08	0.04	0.09	0.62	0.05
4	H05-5	变形花岗岩	0.32	0.09	0.11	5.19	0.08
5	H05-3	微矿化糜棱岩	1.33	0.18	0.22	19.80	0.14
6	H05-6	矿化糜棱岩	4.35	0.36	0.52	80.24	0.24
7	H05-1	强矿化糜棱岩	8.42	1.41	1.12	229.15	1.24

试结果见表 3 ,其变化曲线见图 10。

由表 3 和图 10 可见 ,就变形程度和矿化强度不同的岩石而言 ,其矿化元素的迁移规律比较简单 ,从花岗岩和弱变形花岗岩到强变形花岗岩和糜棱岩 , Pb、Ag、Cu、Au、Zn 非常一致地增加 ,显示出这 5 种矿化元素之间存在比较明显的相关性 ,但也还存在差异。这 5 个元素的曲线可以分为 2 组 ,Pb 和 Ag

为一组 ,两者的变化曲线非常接近 ,反映其成矿作用的相关性更高 ,而 Cu、Au、Zn 为另一组 ,其变化曲线也非常相似。

4.2 硫同位素特征

阿北银铅矿块状矿石内方铅矿的硫同位素组成见表 4。

由表 4 可见 ,其方铅矿的 $\delta^{34}S$ 值为 +11.9‰ ~

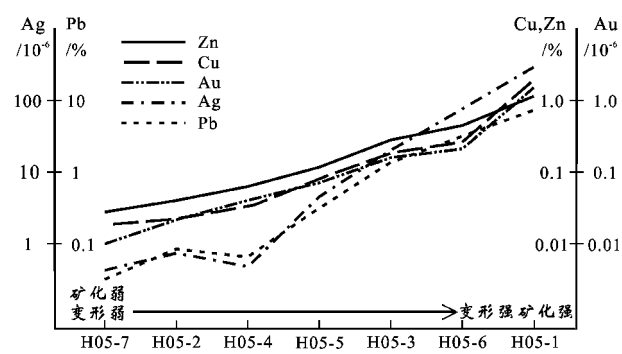


图 10 变形和矿化程度不同的蚀变岩石矿化元素变化图

Fig. 10 Map showing the variation of mineralization elements in different altered-deformed rock samples from the Abei Ag-Pb deposit

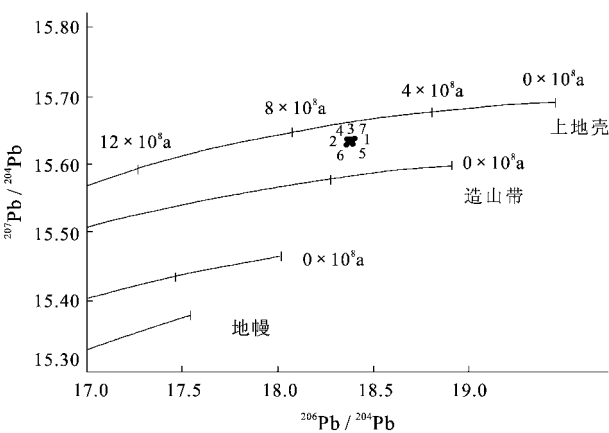


图 11 阿北银铅矿床铅同位素投影图

Fig. 11 Projection of lead isotope composition of ores from the Abei Ag-Pb deposit

表 4 阿北银铅矿床硫同位素测试结果
Table 4 Data of sulfur isotopic composition of ores from the Abei Ag-Pb deposit

序号	样号	岩石类型	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	资料来源
1	AB-3	脉状铅银矿石	方铅矿	+16.3	本文采样； 中国地质科 学院矿产资 源研究所测 试
2	AB-4	脉状铅银矿石	方铅矿	+15.6	
3	AB-5	脉状铅银矿石	方铅矿	+16.0	
4	H01-2	脉状铅银矿石	方铅矿	+13.9	
5	H05-1	脉状铅银矿石	方铅矿	+14.7	
6	H06-2	脉状铅银矿石	方铅矿	+14.0	
7	H09-3	脉状铅银矿石	方铅矿	+11.9	
喀腊达坂铅锌矿矿石 6 个样品平均				方铅矿 +6.95	李月臣等 2007
喀腊达坂铅锌矿矿石 4 个样品平均				黄铁矿 +9.43	
喀腊大湾铜锌矿矿石 3 个样品平均				黄铁矿 +18.81	
大平沟金矿矿石 3 个样品平均				黄铁矿 +6.07	
祥云金矿矿石 3 个样品平均				黄铁矿 +6.01	

+16.3‰,平均为 +14.63‰;硫同位素组成都非常集中,说明该矿床的硫源比较一致。硫同位素组成显示出该矿区的硫源正向偏离陨石硫很大,表明不是深源硫,也不是岩浆岩(+4‰~+10‰)来源为主的硫,而很可能是海相沉积岩来源的硫与岩浆岩来源硫的混合。

与同一成矿带内的有关矿床相比,阿北银铅矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值略高于喀腊达坂铅锌矿、大平沟金矿和祥云金矿,而略低于喀腊大湾铜锌矿,但总体上差异不大;与北疆阿勒泰可可塔勒铅锌矿床(周刚等,1998)明显不同,但与甘肃石居里铜锌矿床(郭介人等,2001)相近,也与阿舍勒铜锌矿床(王登红等,2001)及日本黑矿型矿床差异不太大,后者的硫同位素值稍小(小2‰~4‰左右)。说明阿北银铅矿与火山沉积作用关系不大,而属于岩浆热液矿床。

4.3 铅同位素特征

阿北银铅矿块状矿石内方铅矿的铅同位素组成见表5,其投影图见图11。

由图11可见,阿北银铅矿铅同位素组成的投影点均落入上地壳区,反映出它的铅主要来源于上地壳。与同区域内的喀腊达坂铅锌矿非常相似,反映出两者具有相同的铅来源。

4.4 氢、氧同位素特征

阿北银铅矿块状矿石中石英的氢氧同位素组成列于表6。

由表6可见, $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}=9.6\text{‰}\sim 12.7\text{‰}$,与花岗岩(+7‰~+13‰)相当。相应包裹体水的氢同位素 $\delta\text{D}=-56\text{‰}\sim -76\text{‰}$ 。根据Clayton等(1972)给出的石英-水体系中氧同位素分馏随温度变化的关系式: $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}=A(10^6/T^2)+B$ (当 $T\approx 200\sim 500\text{℃}$ 时, $A=3.38$, $B=-3.40$),并由包裹体捕获温度(取捕获温度 260℃ 计算)求得的成矿流体中水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 为 $1.0\text{‰}\sim 4.1\text{‰}$,将其与相应的 δD 值投于 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图(图12)上可发现,投影点位于岩浆水之左侧,表明以岩浆水为主,并有少量大气降水混入。

4.5 矿床成因初步分析

阿北银铅矿的矿化带主要发育于早古生代二长花岗岩体($\eta\gamma_3$)中(锆石SHRIMP年龄为514 Ma),该岩体为红柳沟-拉配泉弧后盆地碰撞前的侵入岩,具有片麻状构造,其围岩为上寒武统火山沉积岩系。控矿构造为发育于花岗岩体中的NWW走向呈弧形延伸的低级序韧性裂隙构造。矿体呈脉状、透镜状、带状沿断裂构造及裂隙产出。因此,该矿床的形

表 5 阿北银铅矿床铅同位素组成

Tabal 5 Data of lead isotopic composition of ores from the Abei Ag-Pb deposit

序号	样号	采样位置	矿石类型	测试矿物	铅同位素组成		
					$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
1	AB-3	阿北矿区	矿石	方铅矿	18.3794	15.6314	38.3435
2	AB-4	阿北矿区	矿石	方铅矿	18.3667	15.6307	38.3215
3	AB-5	阿北矿区	矿石	方铅矿	18.3777	15.6332	38.3393
4	H01-2	阿北矿区	矿石	方铅矿	18.3672	15.6332	38.3166
5	H05-1	阿北矿区	矿石	方铅矿	18.3870	15.6323	38.3508
6	H06-2	阿北矿区	矿石	方铅矿	18.3765	15.6336	38.3333
7	H09-3	阿北矿区	矿石	方铅矿	18.4000	15.6324	38.3692
喀腊达坂铅锌矿矿石 12 个样品平均					18.6684	15.6378	38.1169

注：本文采样，中国地质科学院矿产资源研究所测试。

表 6 阿北银铅矿及有关矿床氢氧同位素组成

Table 6 H-O isotope composition of the Abei Ag-Pb deposit

序号	样号	位置	岩性	矿物	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}/\text{‰}$	资料来源
1	AB-4	阿北矿区	细脉矿石	石英	+12.7	+4.1	-70	本文采样，中国地质科学院矿产资源研究所测试
2	H06-1	阿北矿区	细脉矿石	石英	+9.6	+1.0	-62	
3	H06-4	阿北矿区	细脉矿石	石英	+12.3	+3.7	-76	
4	H09-3	阿北矿区	细脉矿石	石英	+11.7	+3.1	-56	
5	大平沟金矿		石英脉	石英	+12.0	+3.07	-71	陈柏林等 2005
6	可可塔勒铅锌矿		石英脉	石英	+11.4	+5.80	-89.1	周刚等 1998
7	阿舍勒铜锌矿		矿石	石英	+11.6	+4.40	-110	王登红等 2001

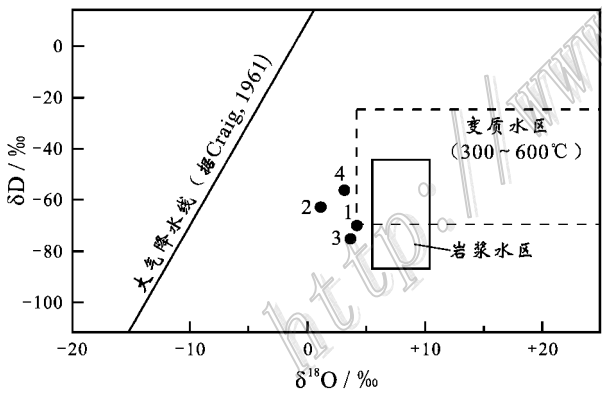


图 12 阿北银铅矿氢氧同位素投影图

Fig. 12 Map showing oxygen and hydrogen isotope composition of ores from the Abei Ag-Pb deposit

成晚于该二长花岗岩体的侵入时间。另一方面，研究区内广泛发育碰撞期(470~490 Ma)和碰撞后(410~440 Ma)的中-酸性侵入岩^①。结合硫、铅和氢、氧同位素组成所指示的成矿物质和成矿流体来源的信息，可以认为，成矿作用与该区早古生代中-晚期

红柳沟-拉配泉弧后盆地封闭碰撞作用及其伴生的中-酸性岩浆活动有着密切的关系^①，其成因类型属于岩浆热液型矿床。考虑到同样在白尖山断裂带内的大平沟金矿床的 487 Ma 的成矿年龄(杨屹等，2004)，初步推测阿北银铅矿的成矿作用时代也是在早古生代中期，属于碰撞期的中-后阶段，约为 470~480 Ma 左右。

结合该区区域-大地构造演化，可初步概括其成矿演化历史为：晚元古代晚期，区域上在塔里木地块南缘，形成了较广阔的阿尔金洋；晚元古代末—寒武纪早期，阿尔金洋北侧边界由稳定大陆边缘转化为活动大陆边缘，阿尔金洋盆向北俯冲并形成了陆缘火山弧，阿北银铅矿区发生了二长花岗岩侵入；随着俯冲的继续，寒武纪中-晚期—早奥陶世早期形成了红柳沟-拉配泉弧后盆地，喷发了具有岛弧和弧后盆地特点的火山岩，形成了喀腊达坂火山岩型(VMS)铅锌矿等矿床；早奥陶世晚期，伴随阿尔金洋盆即将封闭，红柳沟-拉配泉弧后盆地也发生向北的俯冲和碰撞，同时形成了大型韧性变形带，包括阿北

① 地质力学研究所. 2010. 阿尔金山东段红柳沟矿带大型铜、金、铅锌矿床找矿靶区优选与评价技术与应用研究. 内部资料.

银铅矿区的二长花岗岩体在内也发生了大规模的韧性变形,形成了以大平沟金矿为代表的韧性剪切带型金矿床;碰撞中-晚期,一方面构造变形向脆性发展,在阿北银铅矿区的二长花岗岩内形成了呈弧形延伸的脆性控矿裂隙,另一方面,同碰撞作用导致了大规模中-酸性岩浆侵入作用,随着碰撞接近结束,构造应力场也由原来的南北向强烈挤压转化为局部引张,在脆性变形带中形成了脆性张扭性裂隙,而伴随大规模中-酸性岩浆侵入活动的岩浆期后热液在萃取围岩中的成矿物质后,运移到脆性张扭性裂隙中充填结晶,形成了脉状银铅矿床。

5 讨论和结论

阿北银铅矿的控矿构造是发育于早古生代二长花岗岩中叠加在韧性变形基础上发育起来的脆性断裂破碎带,在平面和剖面上均表现为弧形裂隙夹透镜状花岗岩岩块的结构特点。其硫同位素组成特征显示出硫源很可能是海相沉积岩来源的硫与岩浆岩来源硫的混合;铅同位素组成显示其来源于上地壳;氢、氧同位素特点反映出成矿流体以岩浆水为主,并有少量大气降水混入。该矿床受脆性裂隙的控制,是一个与早古生代中-晚期红柳沟-拉配泉弧后盆地封闭碰撞作用伴生的中-酸性岩浆活动有关的岩浆热液型矿床,其成矿作用时代为早古生代中期(约470~480 Ma左右)。

从构造变形带的元素变化来看,在变形强的地段,如果没有叠加矿化时,成矿元素的含量不一定高,反映了构造变形与矿化的非同时性,即矿化稍晚于变形。这与宏观上存在明显的含方铅石英脉的特点相吻合。但是,构造变形强的地段有利于矿化作用的发生,由图6B可见,强变形的糜棱岩最容易发生矿化。所以,该区的压扭性弧形裂隙(局部达到糜棱岩带)是主要的含矿构造。

从控矿构造的力学性质上分析,该区为压扭性的弧形裂隙控矿系统,其延伸和规模一般都比较小,因此,矿体的延伸也比较小,初步的钻探资料显示,矿体与弧形断裂裂隙一样具有分枝复合特点,并可能出现产状相近的隐伏矿体,因此,该矿床应具有一定的前景,其规模有望进一步扩大。

参考文献/References

陈柏林,陈宣华,王小凤,杨 风,桑少杰,陈正乐,王克卓,王亚

- 非,杨 屹,李学智. 2002. 阿尔金北缘地区韧性剪切带型金矿床构造控矿解析[J]. 地质学报, 76(2): 235-243.
- 陈柏林,杨 屹,王小凤,杨 风,王克卓,陈宣华,陈正乐,李学智. 2005. 阿尔金北缘大平沟金矿成因[J]. 矿床地质, 24(2): 168-178.
- 陈柏林,蒋荣宝,李 丽,陈正乐,祁万修,刘 荣,崔玲玲,王世新. 2009. 阿尔金山东段喀腊大湾地区铁矿带的发现及其意义[J]. 地球学报, 30(2): 1-13.
- 陈柏林,崔玲玲,白彦飞,王世新,陈正乐,李学智,祁万修,刘 荣. 2010. 阿尔金断裂走滑位移的新认识——来自阿尔金山东段地质找矿进展的启示[J]. 岩石学报, 26(11): 3387-3396.
- 崔军文,唐哲民,邓晋福,岳永君,孟令顺,余钦范. 1999. 阿尔金断裂带[M]. 北京: 地质出版社. 249页.
- 李学智,陈柏林,陈宣华,王小凤,王克卓,陈正乐,杨 屹,杨 风. 2002. 大平沟金矿床矿石特征及金的赋存状态[J]. 地质与勘探, 38(5): 49-53.
- 李月臣,陈柏林,陈正乐,夏 斌. 2007. 阿尔金北缘红柳沟-拉配泉一带铜金矿床硫同位素特征及其意义[J]. 地质力学学报, 13(2): 131-140.
- 刘永江,Neubauer F,葛肖虹, Genser J,袁四化,李伟民,巩庆林,陈元忠. 2007. 阿尔金断裂带年代学和阿尔金山隆升[J]. 地质科学, 42(1): 134-146.
- 毛德宝,武永平,葛桂平,钟长汀,牛广华,赵更新,王 杰. 2006a. 阿尔金成矿带主要金属矿床地质地球化学特征及成因初探[J]. 地质调查与研究, 29(1): 1-9.
- 毛德宝,钟长汀,牛广华,王 杰,王克卓,王宏君,李智明. 2006b. 阿尔金成矿带成矿规律与找矿预测[J]. 西北地质, 39(2): 114-127.
- 祁万修,马玉周,王 瑞,魏新昌,姜杰岩. 2008. 阿尔金北缘八八铁矿地质特征与找矿标志[J]. 新疆地质, 26(3): 253-257.
- 戚学祥,李海兵,吴才来,杨经绥,张建新,孟繁聪,史仁灯,陈松永. 2005. 北阿尔金恰什坎萨依花岗岩闪长岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定年及其地质意义[J]. 科学通报, 50(6): 571-576.
- 王登红,陈毓川. 2001. 与海相火山作用有关的铁-铜-铅-锌矿床成矿系列类型及成因初探[J]. 矿床地质, 20(2): 112-118.
- 王小凤,陈宣华,陈正乐,陈柏林等. 2004. 阿尔金地区成矿条件与预测[M]. 北京: 地质出版社. 541页.
- 吴才来,杨经绥,姚尚志,曾令森,陈松永,李海兵,戚学祥,Wooden J L, Mazadab F K. 2005. 北阿尔金巴什考供盆地南缘花岗岩杂岩特征及锆石 SHRIMP 定年[J]. 岩石学报, 21(3): 846-858.
- 郭介人,于浦生,任秉琛. 2001. 北祁连山石里地区 Cu(Zn)-S 矿床地质特征及综合成矿模式[J]. 矿床地质, 20(4): 339-346.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区地质志[M]. 北京: 地质出版社. 941页.
- 许志琴,杨经绥,张建新,姜 枚,李海兵,崔军文. 1999. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制[J]. 地质学报, 73(3): 193-205.
- 杨 风,陈柏林,陈宣华,王小凤,王克卓,陈正乐,李学智,杨 屹. 2001. 阿尔金北缘大平沟金矿床成因初探[J]. 地质与资源, 10(3): 133-138.
- 杨经绥,史仁灯,吴才来,苏德辰,陈松永,王希斌,WOODEN J. 2008.

- 北阿尔金地区米兰红柳沟蛇绿岩的岩石学特征和 SHRIMP 定年 [J]. 岩石学报, 24(7):1567-1584.
- 杨屹, 陈宣华, Gehrels G, 王小凤, 秦红, 陈正乐, 杨风, 陈柏林, 李学智. 2004. 阿尔金山早古生代岩浆活动与金成矿作用 [J]. 矿床地质, 23(4):464-472.
- 张建新, 孟繁聪, 于胜尧, 陈文, 陈松永. 2007. 北阿尔金 HP/LT 蓝片岩和榴辉岩的 Ar-Ar 年代学及其区域构造意义 [J]. 中国地质, 34(4):558-664.
- 赵更新, 毛德宝, 张燕, 王杰, 王克卓, 牛广华. 2007. 阿尔金成矿带加里东期主要成矿系统 [J]. 地质调查与研究, (1):90-97.
- 周刚, 韩东南, 邓吉牛. 1998. 新疆可可塔勒铅锌矿床同位素地球化学研究 [J]. 矿产与地质, 12(1):33-38.
- Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water [J]. J. Geophys. Res., 77:3057-3067.
- Cowgill E, Yin A, Harrison T M and Wang X. 2003. Reconstruction of the Altyn Tagh fault based on U-Pb geochronology: Role of back thrusts, mantle sutures, and heterogeneous crustal strength in forming the Tibetan Plateau [J]. J. Geophys. Res., 108(B7), 2346, doi: 10.1029/2002JB002080.
- Craig H. 1961. Isotopic variations in meteoric water [J]. Science, 133:1702-1703.
- Liu Y J, Genser J, Ge X H, Neubauer F, Friedl G, Chang L H, Ren S M and Handler R. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age evidence for Altyn fault tectonic activities in western China [J]. Chinese Science Bulletin, 48(18):2024-2030.
- Liu Y J, Neubauer F, Genser J, Ge X H, Takasu A, Yuan S H, Chang L H and Li W M. 2007. Geochronology of the initiation and displacement of the Altyn strike-slip fault, western China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 29(2-3):243-252.
- Yin A, Gehrels G and Chen X H. 1999. Evidence for 280km of Cenozoic left slip motion along the eastern segment of the Altyn Tagh fault system, western China [J]. Eos. Trans. AGU, 80(17), FallMeet. Suppl., F1018.
- Yin A, Rumelhart P E, Butler R, Cowgill E, Harrison T M, Foster D A, Ingersoll R V, Zhang Q, Zhou X Q, Wang X F, Hanson A and Raza A. 2002. Tectonic history of the Altyn Tagh fault system in northern Tibet inferred from Cenozoic sedimentation [J]. Geological Society of America Bulletin, 114(10):1257-1295.

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