东昆仑那更康切尔沟银矿床银矿物特征及成矿元素沉淀机制浅析

李敏同[1,2,4)],陈晓东[3)],许远平[4)],谢万洪[4)],周洪兵[4)],孙崇波[4)],刘宏[4)]

1)油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学),成都,610059;
2)国土资源部构造成矿成藏国家重点实验室(成都理工大学),成都,610059;
3)成都理工大学地球科学学院,成都,610059;
4)四川省冶金地质勘查局水文工程大队,成都,611730

内容提要:那更康切尔沟银矿床位于东昆仑造山带东段昆中断裂北侧,是青海省近年来首次发现的主要受北西向断层控制的大型独立热液脉型银矿床。文章首次对其银矿物和成矿元素沉淀机制进行了研究,通过矿相学显微观察、电子探针和扫描电镜能谱分析以及石英流体包裹体显微测温等手段初步查明:赋存于金水口岩群地层中的银矿物种类简单,主要为自然银和辉银矿,并且与毒砂、闪锌矿、黝锡矿在空间分布上关系较密切,不含碘元素;赋存于鄂拉山组地层中的银矿物种类复杂,包括自然银、螺硫银矿、淡红银矿、火硫锑银矿、辉锑银矿、银黝铜矿、黝锑银矿、硫锑铅银矿、辉锑铅银矿、捷辉锑银铅矿等,并且普遍含碘元素;金水口岩群中矿石石英流体包裹体均一温度主要集中于275~295 ℃,鄂拉山组中则主要集中于155~215 ℃;而两者流体盐度差异性较小,前者主要集中于4.5%~6.5%,后者主要集中于5.5%~6.5%。金水口岩群和鄂拉山组地层中围岩蚀变特征、银矿物种类、化学成分特征、成矿流体温度表明两者成矿元素沉淀机制具有显著差异性,这对金水口岩群和鄂拉山组地层中的矿产勘查具有重要指导意义。

关键词:东昆仑那更康切尔沟;银矿物;电子探针;矿物学特征;均一温度

青海东昆仑造山带北邻柴达木盆地,南邻巴颜喀拉,西端以阿尔金大型走滑断裂为界与西昆仑隔开(许庆林等,2014),而且是我国重要的金银成矿带(赵财胜,2004)。东昆仑造山带东段近年来在银矿的勘探方面取得重大突破,以银为主的矿产地主要有三处:什多龙铅锌银矿床、哈日扎铅锌银矿床及那更康切尔沟银矿床。其中那更康切尔沟银矿位于东昆仑造山带东段昆中断裂北侧,该矿床探明333+334银金属储量1800多吨,是青海省近年来首次发现的主要受北西向断层控制的大型独立热液脉型银矿床。前人对什多龙铅锌银矿床和哈日扎铅锌银矿床进行了较系统的研究(胡焕校等,2009;韩英善等,2012;李龚健等,2013;马忠元等,2013;宋忠宝等,2013;田承盛等,2015;马忠元等,2016;孙非非等,2016;张斌等,2016;王小龙等,2017),对此银矿床仅作了矿床地质特征、找矿远景及控矿因素方面的研究(许远平等,2014;李建亮等,2017)。本文通过矿相学显微观察、电子探针和扫描电镜能谱分析以及石英流体包裹体显微测温等手段首次对那更康切尔沟银矿床银矿物特征及成矿元素沉淀机制等进行了研究。

1 矿床地质概况

研究区大地构造位置隶属东昆仑—柴达木造山亚系之昆中微陆块花岗变质杂岩带(图1a),位于昆中断裂北侧(许远平等,2014)。矿区内出露的地层主要为古元古界金水口岩群黑云角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、二云母石英片岩、角闪片岩等,上三叠统鄂拉山组流纹岩、英安岩、安山岩、玄武岩、火山角砾岩以及第四系冲洪积物、残坡积物等(图1b)。矿区内断层主要为北西向,次为北东向、近南北向,北西向断裂为主要控矿断裂;近南北向和北东

注:本文为青海省地勘基金(编号:青地调勘[2017]72号)的成果。
收稿日期:2017-10-18;改回日期:2018-03-25;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2018.03.017
作者简介:李敏同,男,1985年生。博士研究生,主要从事构造地质学、矿物学研究。Email:344224780@qq.com。通讯作者:陈晓东,男,1988年生。博士研究生,主要从事矿床地球化学、矿物学研究。Email:wskjatatjily@sina.com。

向断裂对矿体有破坏和改造作用。矿区内岩浆岩主要为海西期花岗闪长岩和二长花岗岩。因银矿带明显切割矿区内的花岗闪长岩和二长花岗岩,所以其与成矿关系不大。

通过以往地质工作,在本区共圈定 9 条银矿带,18 条银矿体。矿体主要呈似层状、囊状,赋存于金水口岩群和鄂拉山组地层中,严格受北西向断层控制。到目前为止,金水口岩群中Ⅱ号银矿带工程控制程度最高,规模最大。而鄂拉山组中银矿带尽管工程控制程度较低,然而品位高、矿体密集,显示出非常好的找矿前景。

矿石类型以石英脉型为主,金属矿物主要包括:自然银、辉银矿、螺硫银矿、辉锑银矿、火硫锑银矿、淡红银矿、银黝铜矿、黝锑银矿、硫锑铅银矿、辉锑铅银矿、捷辉锑银铅矿等银矿物以及黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、黝锡矿、黄铜矿等

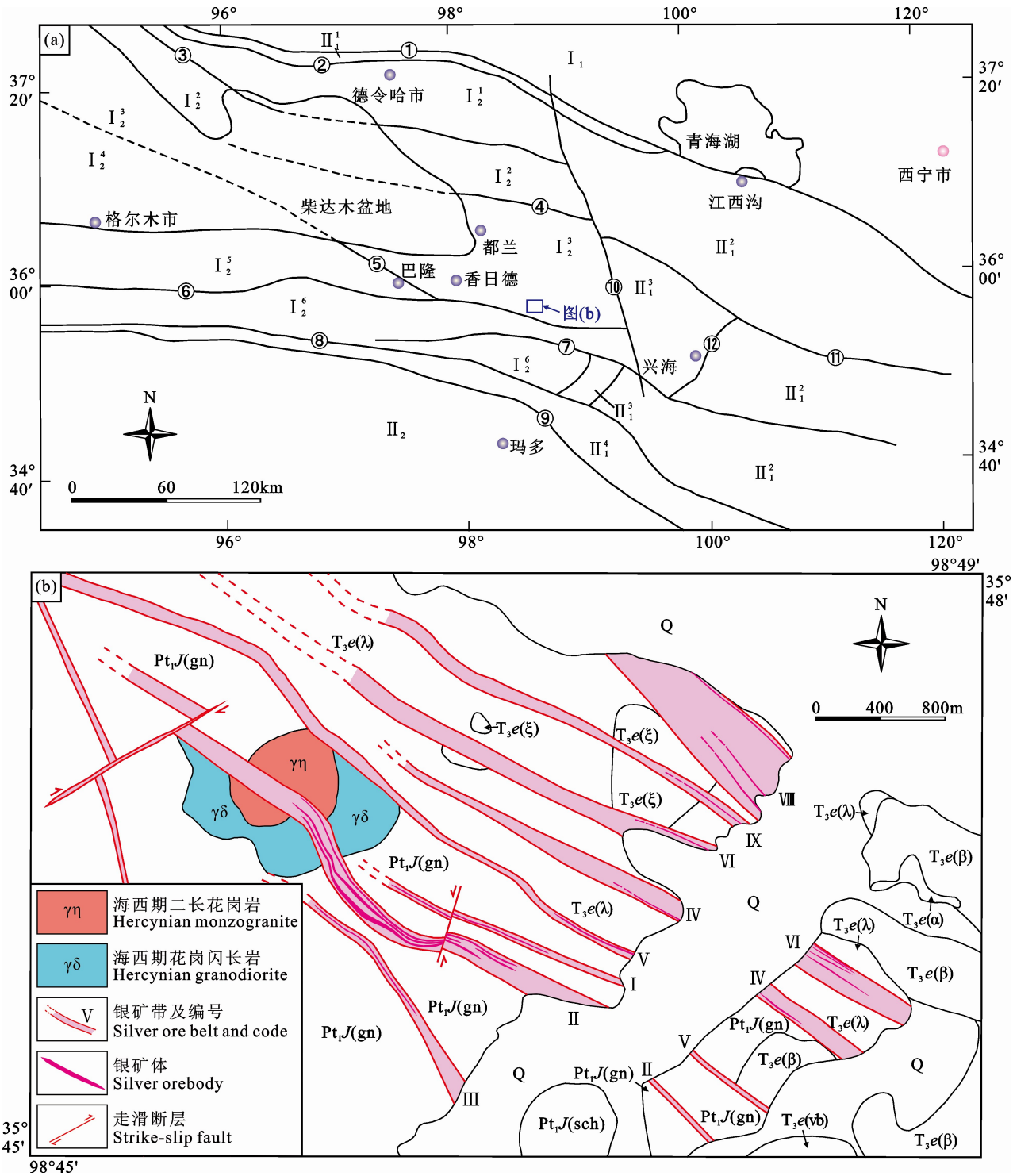


图 1 东昆仑大地构造单元图(a,据许远平等,2014 修改)和那更康切尔沟银矿床地质简图(b)

Fig. 1 Tectonic units division of Eastern Kunlun Mountains(a,modified from Xu Yuanping et al.,2014&)and simplified geological map of Nagengkangqieergou silver deposit

(a)构造分区:$Ⅰ_1$—祈连山造山亚系;$Ⅰ_2$—东昆仑—柴达木造山亚系;$Ⅰ_2^1$—欧龙布鲁克地块;$Ⅰ_2^2$—柴北缘火山深成岩带;$Ⅰ_2^3$—柴达木地块(柴达木盆地);$Ⅰ_2^4$—昆北火山—侵入岩带;$Ⅰ_2^5$—昆中微陆块(花岗变质杂岩带);$Ⅰ_2^6$—昆南陆缘活动带;$Ⅱ_1^1$—宗务隆山裂陷造山带;$Ⅱ_1^2$—青海南山造山带;$Ⅱ_1^3$—鄂拉山造山带;$Ⅱ_1^4$—阿尼玛卿裂陷造山带;$Ⅱ_2$—可可西里—巴颜喀拉山造山亚系。断裂:①—宗务隆—青海南山断裂;②—宗务隆山南缘断裂;③—鱼卡—乌兰断裂;④—柴北缘断裂;⑤—茫崖镇—诺木洪断裂;⑥—昆中断裂;⑦—苦海北—西倾山断裂;⑧—昆南断裂;⑨—布青山南坡断裂;⑩—温泉断裂;⑪—共和盆地南缘断裂;⑫—姜路岭断裂

(b)地质图:Q—第四系冲洪积物、残破积物;$T_3e(\lambda)$—上三叠统鄂拉山组流纹岩;$T_3e(\xi)$—上三叠统鄂拉山组英安岩;$T_3e(\alpha)$—上三叠统鄂拉山组安山岩;$T_3e(\beta)$—上三叠统鄂拉山组玄武岩;$T_3e(vb)$—上三叠统鄂拉山组火山角砾岩;$Pt_1J(gn)$—古元古界金水口岩群片麻岩;$Pt_1J(sch)$—古元古界金水口岩群片岩

(a) Tectonic units: $Ⅰ_1$—Qilianshan orogenic subseries; $Ⅰ_2$—Eastern Kunlun—Chaidamu orogenic subseries; $Ⅰ_2^1$—Oulongbuluke block; $Ⅰ_2^2$—Chaidamubeiyuan volcanics and plutonite zone; $Ⅰ_2^3$—Chaidamu block(Chaidamu basin); $Ⅰ_2^4$—Kunbei volcanics and plutone zone; $Ⅰ_2^5$—Kunzhong microcontinent(Granitic and metamorphic complex); $Ⅰ_2^6$—Kunnan continental margin mobile belt; $Ⅱ_1^1$—Zongwulongshan rift orogenic belt; $Ⅱ_1^2$—Qinghainanshan orogenic belt; $Ⅱ_1^3$—Elashan orogenic belt; $Ⅱ_1^4$—Animaqing rift orogenic belt; $Ⅱ_2$—Kekexili—Bayankalashan orogenic subseries. Fault: ①—Zongwulong—Qinghainanshan Fault; ②— Zongwulongshannanyuan Fault; ③—Yuka—Wulan Fault; ④—Chaibeiyuan Fault; ⑤—Mangyazhen—Nuomuhong Fault; ⑥—Kunzhong Fault; ⑦—Kuhaibei—Xiqingshan Fault; ⑧—Kunnan Fault; ⑨—Buqingshannanpo Fault; ⑩—Wenquan Fault; ⑪—Gonghependinanyuan Fault; ⑫—Jiangluling Fault

(b) Geological map: Q—Quaternary alluvial—proluvial deposits; $T_3e(\lambda)$—Upper Triassic Elashan Formation rhyolite; $T_3e(\xi)$—Upper Triassic Elashan Formation dacite; $T_3e(\alpha)$—Upper Triassic Elashan Formation andesite; $T_3e(\beta)$—Upper Triassic Elashan Formation basalt; $T_3e(vb)$—Upper Triassic Elashan Formation volcanic breccia; $Pt_1J(gn)$—Paleoproterozoic Jinshuikou Group gneiss; $Pt_1J(sch)$—Paleoproterozoic Jinshuikou Group schist

硫化物。脉石矿物以石英、方解石和萤石为主。矿石结构主要有半自形—自形粒状结构、乳浊状结构、骸晶结构、交代假像结构、边缘交代结构、包含结构、碎裂结构等;矿石构造主要有角砾状构造、浸染状构造、脉状—网脉状构造等(图 2)。

金水口岩群地层中矿体上、下盘围岩主要为片麻岩、片岩、二长花岗岩以及花岗闪长岩等,围岩蚀变主要有黄铁矿化、硅化、碳酸盐化、绢云母化、高岭土化、绿泥石化、绿帘石化,并且围岩蚀变在空间上具有较明显分带特征,从矿体至围岩依次为黄铁矿化、硅化⟶黄铁绢英岩化⟶青磐岩化。

鄂拉山组地层中矿体上、下盘围岩主要为流纹岩、流纹质火山角砾岩等,围岩蚀变主要有黄铁矿化、高岭土化、硅化、绢云母化,并且围岩蚀变在空间上具有明显分带特征,从矿体至围岩依次是黄铁矿化、硅化⟶绢云母化⟶高岭土化。

2　样品采集与测试方法

电子探针分析和流体包裹体显微测温样品均采集于那更康切尔沟银矿床钻孔 ZK0704、探槽 NTC0801 和 NTC10801 中,全部为鄂拉山组、金水口岩群地层中富矿石的典型样品。首先将样品制成标准探针片,通过室内光学显微镜对探针片进行仔细的矿相学观察,基本查明矿物的共生组合、穿插交代关系;圈定好需要研究的矿物,并系统地记录下来。然后在探针片表面进行喷碳处理,在成都理工大学完成扫描电镜能谱分析和在中国地质科学院矿产综合利用研究所完成电子探针分析。扫描电镜能谱分析所用仪器为 FEI-Nova NanoSEM 450 场发射扫描电子显微镜和 EDAX 公司 AXE-650 电制冷能谱与电子背散射衍射(EBSD)一体化系统,实验条件为电压 20 kV,测试温度 21℃,湿度:35%RH。电子探针分析所用仪器为岛津 EPMA-1720 Series,实验条件为电压 15 kV,电流约 0.02 μA,束斑直径 1~3 μm,标样为常见硫化物。石英流体包裹体显微测温在国土资源部西南矿产资源监督检测中心完成。所用仪器为 LINKAM THMS600 型冷热台以及 ZEISS 公司的偏光显微镜,两者匹配进行包裹体观察和温度测试分析。测温范围为-196.0~+600.0 ℃,冷冻和加热可控速率范围为 0.1~130℃/min,精确度为 0.1℃。流体包裹体测试过程中,升温或降温的速度控制在 5.0~20.0℃/min,相变点附近速度控制在 0.5~1.0℃/min。

3　分析结果

3.1 银矿物特征

电子探针分析结果显示,那更康切尔沟银矿床鄂拉山组地层中的银矿物种类复杂,主要包括:自然银、螺硫银矿、淡红银矿、火硫锑银矿、辉锑银矿、银黝铜矿、黝锑银矿、硫锑铅银矿、辉锑铅银矿、捷辉锑银铅矿,而金水口岩群地层中的银矿物种类简单,主要为自然银和辉银矿。那更康切尔沟银矿床银矿物可分为 4 个成分系列:自然元素系列、Ag—S 系列、Ag—Sb(As)—S 系列、(Ag,Cu)—(Zn,Fe)—(As,Sb)—S 系列、Ag—Pb—Sb—S 系列。自然元素系列为自然银;Ag—S 系列为螺硫银矿、辉银矿;Ag—Sb(As)—S 系列包括淡红银矿、火硫锑银矿和辉锑银矿;(Ag,Cu)—(Zn,Fe)—(As,Sb)—S 系列包括银黝铜矿和黝锑银矿;Ag—Pb—Sb—S 系列包括硫锑铅银矿、辉锑铅银矿、捷辉锑银铅矿。各银矿物的矿物学、化学成分特征见表 1。

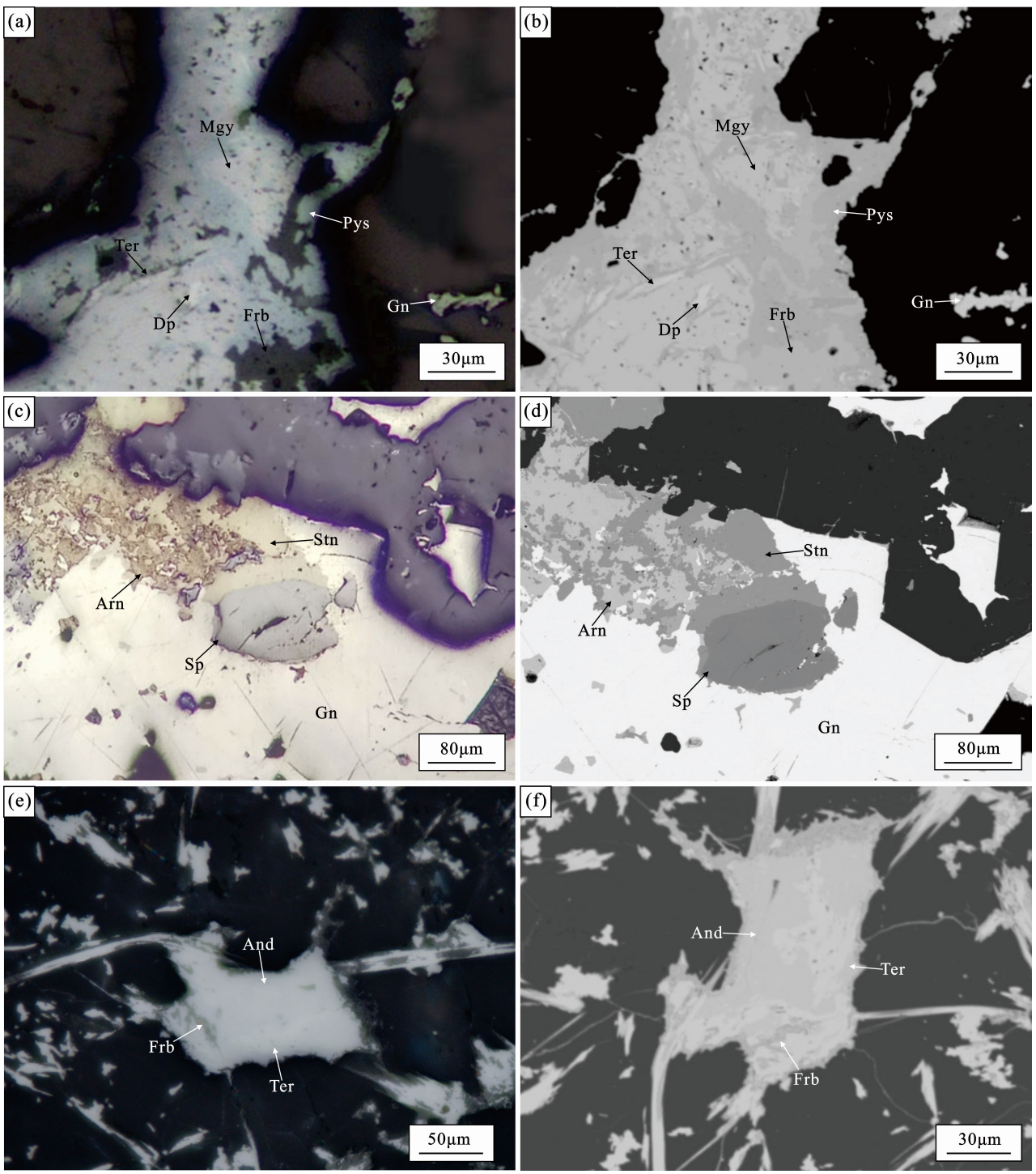


图 2 那更康切尔沟银矿床典型银矿物单偏光镜下照片及背散射电子图像

Fig. 2 Microscopic photos and backscattered electron images of representative silver minerals of Nagengkangqieergou silver deposit

(a)、(b)—火硫锑银矿—辉锑银矿—黝锑银矿—辉锑铅银矿—捷辉锑银铅矿共生矿物组合;(c)、(d)—辉银矿与黝锡矿交生;(e)、(f)—捷辉锑银铅矿—硫锑铅银矿—黝锑银矿共生矿物组合;Gn—方铅矿;Sp—闪锌矿;Stn—黝锡矿;Arn—辉银矿;Mgy—辉锑银矿;Pys—火硫锑银矿;Frb—黝锑银矿;And—硫锑铅银矿;Dp—辉锑铅银矿;Ter—捷辉锑银铅矿

(a)、(b)—pyrostilpnite—miargyrite—freibergite—diaphorite—teremkovite paragenetic mineral assemblage;(c)、(d)—argentite intergrown with stannite;(e)、(f)—teremkovite—andorite—fribergite paragenetic mineral assemblage;Gn—galena;Sp—sphalerite;Stn—stannite;Arn—argentite;Mgy—miargyrite;Pys—pyrostilpnite;Frb—freibergite;And—andorite;Dp—diaphorite;Ter—teremkovite

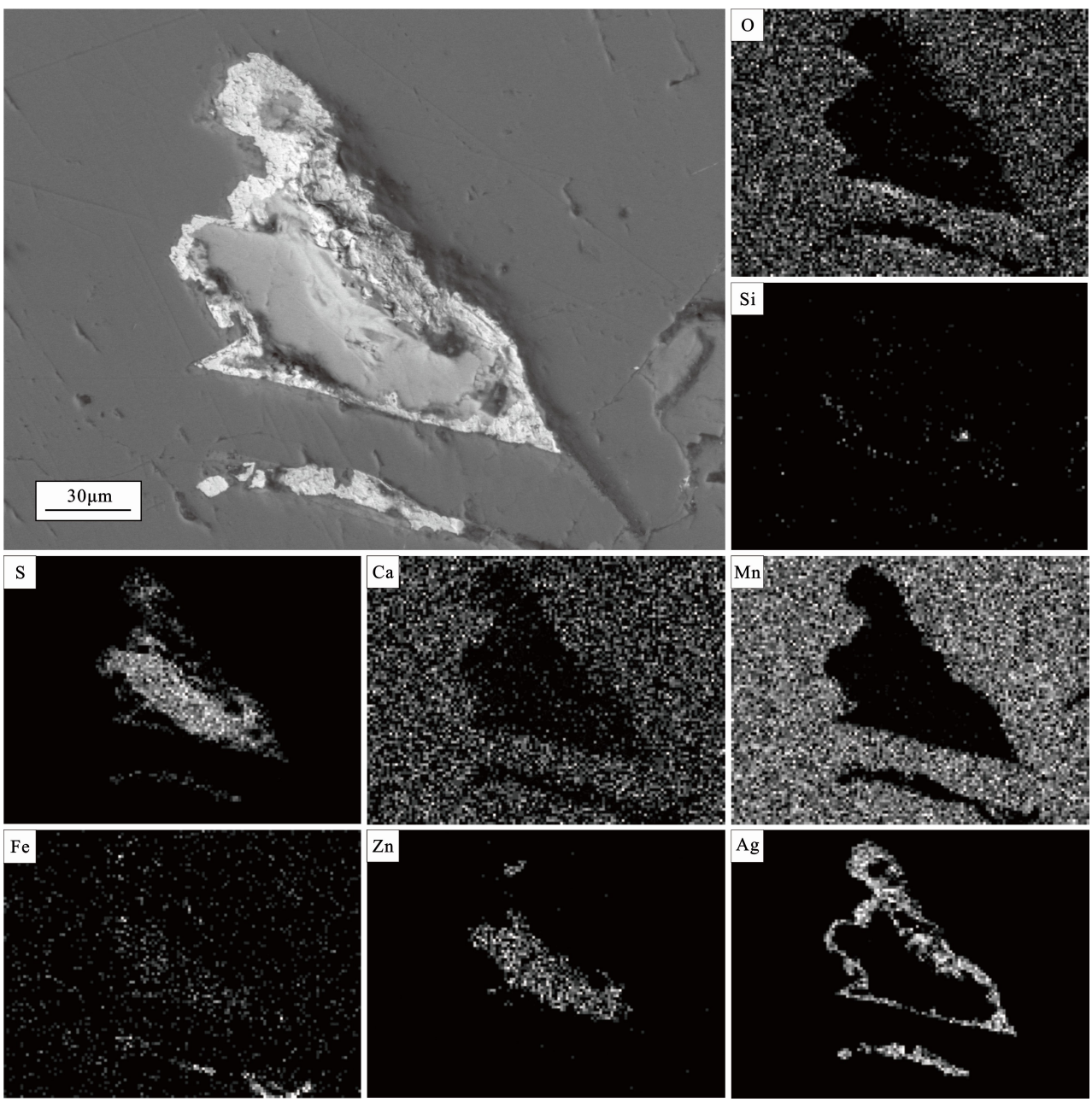


图 3 银矿物与闪锌矿关系背散射电子图像及主要元素能谱面扫描图像

Fig. 3 Backscattered electron images and surface scanning images of main elements for the relationships between sphalerite and silver minerals

表 1 东昆仑那更康切尔沟银矿床银矿物特征

Table 1 Characteristics of silver minerals of Nagengkangqieergou silver deposit, Eastern Kunlun Mountains

矿物名称	理论化学式	反射色	均质非均质性	偏光色	内反射色	化学组分	计算化学式	其它特征
自然银	Ag	亮白色微带乳黄色调	均质性	无	不显	Ag 98.15%~98.83%,平均98.49%,还含As、Fe、Cu、Zn、S、Au、Sb、I等杂质元素(表2)	Ag	粒径0.01~0.04mm,主要呈显微包体形式赋存于毒砂中,少量呈树枝状沿石英等矿物间隙充填
辉银矿	Ag_2S	绿灰色	均质性	无	不显	Ag 82.02%~82.15%,平均82.09%;S 13.03%~13.09%,平均13.06%;Cu 1.37%~1.53%,平均1.45%;Fe 0.05%~0.35%,平均0.20%;Sn 2.34%~2.41%,平均2.38%(表2)	$(Ag_{1.87}Cu_{0.05})_{1.92}(Fe_{0.02}Sn_{0.05})_{0.07}S$。	粒径通常小于0.02mm。镜下可见其沿闪锌矿边部进行交代或呈包体形式赋存于毒砂中(图3和4),局部可见其与黝锡矿交生(图2c、d)
螺硫银矿	Ag_2S	灰白色	弱非均质性	浅灰绿—灰色	不显	Ag 80.69%~80.74%,平均80.72%;S 14.48%~14.53%,平均14.51%;Cu 3.52%~3.66%,平均3.59%;Fe 0.02%~0.35%,平均0.19%;I 0.23%~0.89%,平均0.56%(表2)	$(Ag_{1.65}Cu_{0.12})_{1.77}Fe_{0.01}S$	柱状、针状、树枝状集合体,镜下见其沿毒砂边部进行交代
淡红银矿	Ag_3AsS_3	蓝灰色	强非均质性	黄—蓝灰色	猩红色	Ag 64.19%~65.27%,平均64.73%;S 16.05%~16.81%,平均16.43%;As 17.54%~17.68%,平均17.61%;Sb 0.09%~0.13%,平均0.11%;I 1.25%~1.34%,平均1.30%(表2)	$Ag_{3.51}(As_{1.41}Sb_{0.01})_{1.42}S_3$	镜下见其呈不规则叶片状分布于软锰矿中
火硫锑银矿	Ag_3SbS_3	浅蓝灰色	强非均质性	蓝—褐黄白色	浅褐黄色	Ag 54.69%~54.81%,平均54.75%;S 17.25%~17.84%,平均17.55%;Sb 23.25%~23.56%,平均23.41%;Cu 0.19%~0.27%,平均0.23%;As 0.14%~0.18%,平均0.16%;I 2.17%~3.56%,平均2.87%(表2)	$(Ag_{2.78}Cu_{0.02})_{2.80}(As_{0.01}Sb_{1.05})_{1.06}S_3$	镜下见其与辉锑银矿、黝锑银矿、辉锑铅银矿、捷辉锑银铅矿等银矿物共生(图2a、b)
辉锑银矿	$AgSbS_2$	灰白色带蓝绿色调	强非均质性	浅灰—蓝灰色	深红色	Ag 33.78%~33.83%,平均33.81%;S 22.15%~22.42%,平均22.29%;Cu 0.19%~0.27%,平均0.23%;As 0.35%~0.37%,平均0.36%;Sb 40.23%~40.65%,平均40.44%;I 2.47%~2.89%,平均2.68%;Al 0.15%~0.21%,平均0.18%(表2)	$(Ag_{0.90}Cu_{0.01})_{0.91}(As_{0.01}Sb_{0.96})_{0.97}S_2$	主要呈粒状集合体分布,多见其与火硫锑银矿、捷辉锑银铅矿等银矿物共生(图2a、b)
硫锑铅银矿	$AgPbSb_3S_6$	灰白色	中等非均质性	绿灰—蓝灰色	不显	Ag 11.41%~11.89%,平均11.69%;S 21.47%~22.50%,平均22.03%;Pb 23.21%~23.68%,平均23.39%;Cu 0.20~0.41%,平均0.31%;As 0.33%~0.52%,平均0.41%;Sb 38.56%~39.26%,平均38.98%;I 2.14%~3.16%,平均2.60%;Al 0.09%~0.12%,平均0.11%(表2)	$(Ag_{0.95}Cu_{0.03})_{0.98}Pb_{0.99}(As_{0.05}Sb_{2.80})_{2.85}S_6$	镜下见其与黝锑银矿、捷辉锑银铅矿等银矿物共生(图2e、f)
辉锑铅银矿	$Ag_3Pb_2Sb_3S_8$	白色带奶油色	中等非均质性	淡棕灰—蓝褐色	不显	Ag 21.26%~21.95%,平均21.68%;S 18.08%~18.71%,平均18.30%;Pb 29.43%~29.85%,平均29.68%;Cu 0.06%~0.29%,平均0.15%;As 0.23%~0.41%,平均0.33%;Sb 25.91%~26.79%,平均26.26%;I 2.17%~2.45%,平均2.34%(表2)	$(Ag_{2.82}Cu_{0.03})_{2.85}Pb_{2.01}(As_{0.06}Sb_{3.02})_{3.08}S_8$	镜下见其呈他形粒状分布于辉锑银矿中(图2a、b)

矿物名称	理论化学式	反射色	均质非均质性	偏光色	内反射色	化学组分	计算化学式	其它特征
捷辉锑银铅矿	$Ag_2Pb_7Sb_8S_{20}$	灰白色带浅灰绿色调	强非均质性	灰白—灰绿	不显	Ag 5.16%～6.15%，平均 5.87%；S 18.26%～18.93%，平均 18.67%；Pb 42.95%～43.48%，平均 43.33%；Cu 0.28%～0.51%，平均 0.44%；As 0.20%～0.23%，平均 0.22%；Sb 27.88%～28.78%，平均 28.44%；1 2.09%～3.16%，平均 2.51%(表 2)	$(Ag_{1.87}Cu_{0.24})_{2.11}Pb_{7.18}(As_{0.10}Sb_{8.02})_{8.12}S_{20}$。	呈针状或纤维状集合体，少量呈粒状，镜下见其分布于辉锑银矿、黝锑银矿中或与硫锑铅银矿共生(图 2e、f)。肉眼呈锡白色，长轴长 0.2mm～2.0mm，矿石中含量局部达 5%左右
银黝铜矿	$(Cu,Ag)_{10}(Fe,Zn)_2(As,Sb)_4S_{13}$	棕灰色	均质性	无	不显	Ag 18.19%～19.74%，平均 18.97%；S 24.96%～25.11%，平均 25.04%；Cu 24.04%～25.57%，平均 24.81%；Sb 21.38%～21.52%，平均 21.45%；Fe 5.02%～5.49%，平均 5.26%；Zn 2.10%～2.41%，平均 2.26%；1 2.02%～2.24%，平均 2.13%(表 2)	$(Ag_{2.93}Cu_{6.50})_{9.43}(Fe_{1.57}Zn_{0.57})_{2.14}Sb_{2.93}S_{13}$	银黝铜矿和黝锑银矿是等结构矿物，区别在于前者 Ag 含量小于 20%，后者 Ag 含量大于 20%(Ridley, et al., 1974)。镜下见银黝铜矿与软锰矿、方硫锰矿共生，而黝锑银矿与捷辉锑银铅矿、硫锑铅银矿等银矿物共生(图 2e、f)
黝锑银矿	$(Cu,Ag)_{10}(Fe,Zn)_2(As,Sb)_4S_{13}$	棕灰色	均质性	无	不显	Ag 21.18%～22.34%，平均 21.76%；S 24.87%～24.96%，平均 24.92%；Cu 23.39%～23.68%，平均 23.54%；Sb 21.11%～21.56%，平均 21.34%；Fe 4.78%～4.95%，平均 4.87%；Zn 2.45%～2.58%，平均 2.52%；1 1.06%～1.97%，平均 1.52%(表 2)	$(Ag_{3.38}Cu_{6.20})_{9.58}(Fe_{1.46}Zn_{0.64})_{2.10}Sb_{2.93}S_{13}$	

3.2　银矿物与闪锌矿、毒砂之间的关系

样品取自探槽 NTC0801 中富矿石，围岩为古元古界金水口岩群片麻岩，矿石矿物包括自然银、辉银矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿，脉石矿物主要为石英。采用扫描电镜能谱面扫描方法对银矿物与闪锌矿、毒砂之间的关系进行研究。从图 3 可知：S 主要与 Zn 分布一致而与大部分 Ag 分离，故前两者结合成闪锌矿；闪锌矿边缘为自然银及少量辉银矿，两者形成大小 0.10～0.15 mm 不规则团块或脉状体。上述团块或脉状体外围为 O、Mn、Ca、少量 Fe 及微量 Si 和 Zn 的重合分布区，故外围矿物主要为含 Ca 和 Fe 的锰矿物。从图 4 可知：S 与 Fe、As 分布高度重合，形成毒砂(FeAsS)，毒砂孔隙内为自然银和少量辉银矿；Zn、Fe、S 部分重合形成的富铁闪锌矿亦位于毒砂的孔隙或裂隙中；上述矿物构成大小 0.2 mm 左右的不规则团块，团块位于 O 和 Si 高度重合区即石英中。

3.3　流体包裹体岩相学及显微测温结果

那更康切尔沟银矿金水口岩群和鄂拉山组地层中矿石石英均发育大量流体包裹体。在实验过程中观察到的包裹体多数呈孤立状分布，少数成群分布，多为原生包裹体和假次生包裹体，少数为次生包裹体。包裹体类型单一，基本为气液两相水溶液包裹体，气液相比多为 5%～20%，升温后均一到液相；流体包裹体大小通常为 2～10μm，少数达 25μm，形状多为椭圆—不规则，金水口岩群中部分矿石石英流体包裹体大于 10μm，鄂拉山组中则少见(表 3)。

金水口岩群：包裹体升温后均一到液相的温度为 147.0～328.8 ℃，主要集中于 275～295 ℃(图 5a)；冰点温度为-5.0～-0.3，利用冰点—盐度公式(Hall et al., 1988)得到相应的成矿流体盐度为 0.53%～7.86%($NaCl_{eqv}$，后同)，主要集中于 4.5%～6.5%(图 5b)。

鄂拉山组：包裹体升温后均一到液相的温度为 95.0～374.0 ℃，主要集中于 155～215 ℃(图 5c)；冰点温度为-4.7～-0.4 ℃，相应的成矿流体盐度为 0.70%～7.45%，主要集中于 5.5%～6.5%(图 5d)。

4　讨论

通过镜下观察和电子探针分析等发现，金水口岩群中硫化物种类复杂，包括黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂以及鄂拉山组地层矿石中没有的黝锡矿、磁黄铁矿、白铁矿等，而银矿物种类简单，通常为辉银矿和自然银，不含碘元素。而鄂拉山组地层

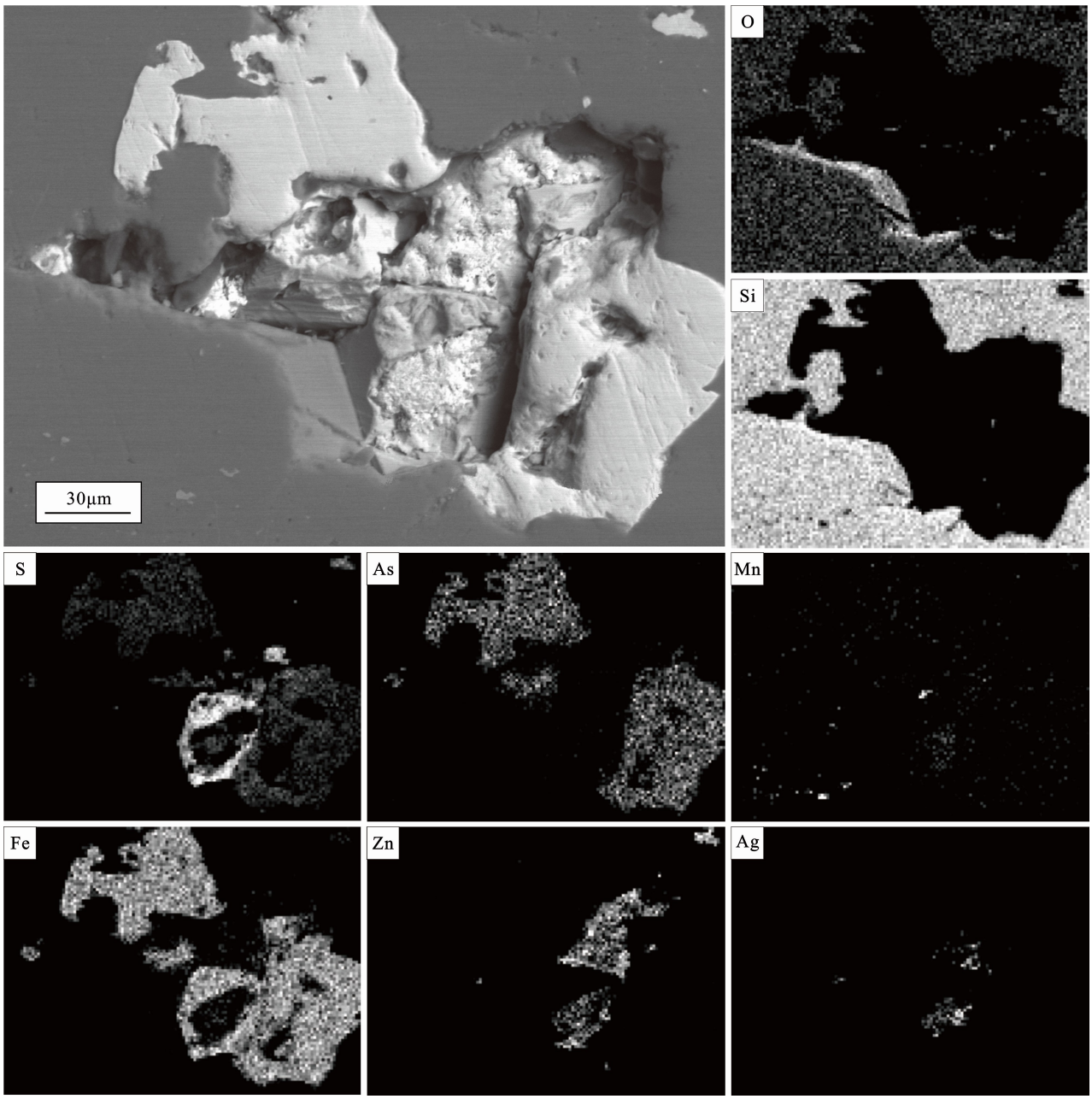


图 4 银矿物与毒砂关系背散射电子图像及主要元素能谱面扫描图像

Fig. 4 Backscattered electron images and surface scanning images of main elements for the relationships between arsenopyrite and silver minerals

中硫化物种类较少,以闪锌矿和黄铁矿为主,方铅矿较少,Pb 的赋存状态大多为与 Ag、Sb 元素结合成硫盐矿物,并且银矿物种类复杂,普遍含碘元素,说明两种地层中成矿流体化学成分特征及金属元素沉淀机制具有差异性。实验研究表明,铅、锌、银等成矿元素通常以络合物形式在热液中运移,特别是以氯络合物和硫氢络合物的形式进行迁移(Barns,1997),此外,金属离子如 Ag^{+}、Pb^{2+}、Zn^{2+} 等,在高温高氧逸度偏酸性条件下易以氯络合物形式(Seward,1976;Ruaya et al.,1986),而在中温高硫逸度偏碱性的环境中易形成硫氢络合物运移(Steffanson et al.,2003),对那更康切尔沟银矿床金水口岩群和鄂拉山组中典型富矿石石英流体包裹体进行了分析测试,发现金水口岩群矿石石英流体包裹体均一温度主要集中于 275~295 ℃,而鄂拉山组矿石石英流体包裹体均一温度峰值主要集中于 155~215 ℃,因

表 2 东昆仑那更康切尔沟银矿床银矿物电子探针分析结果

Table2 Electron probe micro-analysis data of silver minerals of Nagengkangqieergou silver deposit, Eastern Kunlun Mountains

矿物	分析点号	As	Fe	Cu	Zn	Sn	S	Au	Ag	Pb	Sb	I	Al	总量	计算化学式
自然银	0706-65-1	0.28	0.09	0.15	0.16	0	0.05	0.12	98.15	0	0.14	0	0	99.14	Ag
自然银	0705-65-2	0.17	0.13	0.16	0.13	0	0.07	0.06	98.83	0	0.07	0	0	99.62	Ag
辉银矿	0704-6-1-5	0.18	0.35	1.37	0	2.41	13.09	0	82.15	0	0	0	0	99.55	$(Ag_{1.87}Cu_{0.05})_{1.92}(Fe_{0.02}Sn_{0.05})_{0.07}S$
辉银矿	0704-6-2-1	0	0.05	1.53	0.01	2.34	13.03	0.03	82.02	0	0	0	0	99.01	$(Ag_{1.87}Cu_{0.06})_{1.93}Sn_{0.05}S$
螺硫银矿	10801-6-1	0	0.02	3.66	0	0	14.53	0.05	80.69	0	0	0.89	0	99.84	$(Ag_{1.65}Cu_{0.13})_{1.78}S$
螺硫银矿	10801-6-2	0	0.35	3.52	0.11	0	14.48	0	80.74	0	0	0.23	0	99.43	$(Ag_{1.66}Cu_{0.12})_{1.78}Fe_{0.01}S$
硫锑铅银矿	10801-1-1	0.33	0.03	0.20	0.04	0	22.50	0.09	11.41	23.21	39.12	2.14	0.12	99.19	$(Ag_{0.90}Cu_{0.02})_{0.92}Pb_{0.96}(As_{0.04}Sb_{2.75})_{2.79}S_6$
硫锑铅银矿	10801-1-4	0.52	0.04	0.41	0.08	0	21.47	0.03	11.76	23.68	38.56	3.16	0.09	99.80	$(Ag_{0.98}Cu_{0.04})_{1.02}Pb_{0.96}(As_{0.06}Sb_{2.84})_{2.90}S_6$
硫锑铅银矿	10801-1-6	0.39	0.07	0.32	0.05	0	22.13	0.07	11.89	23.27	39.26	2.49	0.11	100.05	$(Ag_{0.96}Cu_{0.03})_{0.99}Pb_{0.98}(As_{0.05}Sb_{2.80})_{2.85}S_6$
捷辉锑银铅矿	10801-3-5	0.22	0	0.47	0	0	18.70	0.01	5.16	43.45	28.78	2.38	0.01	99.17	$(Ag_{1.64}Cu_{0.25})_{1.89}Pb_{7.19}(As_{0.10}Sb_{8.11})_{8.21}S_{20}$
捷辉锑银铅矿	10801-3-4	0.20	0	0.28	0	0	18.93	0	6.13	43.43	28.42	2.41	0	99.82	$(Ag_{1.93}Cu_{0.15})_{2.08}Pb_{7.10}(As_{0.09}Sb_{7.91})_{8.21}S_{20}$
捷辉锑银铅矿	10801-2-1	0.23	0.02	0.48	0	0	18.26	0.02	6.04	42.95	27.88	3.16	0	99.04	$(Ag_{1.97}Cu_{0.27})_{2.24}Pb_{7.28}(As_{0.11}Sb_{8.04})_{8.15}S_{20}$
捷辉锑银铅矿	10801-1-2	0.21	0.02	0.51	0	0	18.78	0.02	6.15	43.48	28.66	2.09	0	99.92	$(Ag_{1.95}Cu_{0.27})_{2.22}Pb_{7.17}(As_{0.10}Sb_{8.04})_{8.14}S_{20}$
辉锑铅银矿	10801-3-3	0.23	0	0.29	0	0	18.71	0	21.95	29.43	25.91	2.45	0	99.01	$(Ag_{2.79}Cu_{0.06})_{2.85}Pb_{1.95}(As_{0.04}Sb_{2.92})_{2.96}S_8$
辉锑铅银矿	10801-3-8	0.35	0	0.06	0	0	18.08	0	21.84	29.76	26.08	2.39	0	98.58	$(Ag_{2.87}Cu_{0.01})_{2.88}Pb_{2.04}(As_{0.07}Sb_{3.04})_{3.11}S_8$
辉锑铅银矿	10801-3-7	0.41	0	0.11	0	0	18.12	0	21.26	29.85	26.79	2.17	0	98.76	$(Ag_{2.79}Cu_{0.02})_{2.81}Pb_{2.04}(As_{0.08}Sb_{3.11})_{3.19}S_8$
火硫锑银矿	10801-3-1	0.14	0.02	0.27	0.04	0	17.25	0.05	54.81	0	23.25	3.56	0	99.45	$(Ag_{2.83}Cu_{0.02})_{2.85}(As_{0.01}Sb_{1.06})_{1.07}S_3$
火硫锑银矿	10801-3-6	0.18	0.03	0.19	0.08	0	17.84	0.05	54.69	0	23.56	2.17	0	98.82	$(Ag_{2.73}Cu_{0.02})_{2.75}(As_{0.01}Sb_{1.04})_{1.05}S_3$
黝锑银矿	10801-4-2	0	4.95	23.39	2.45	0	24.96	0	21.18	0	21.11	1.97	0	100.01	$(Ag_{3.28}Cu_{6.15})_{9.43}(Fe_{1.48}Zn_{0.63})_{2.11}Sb_{2.90}S_{13}$
黝锑银矿	10801-4-3	0	4.78	23.68	2.58	0	24.87	0	22.34	0	21.56	1.06	0	100.87	$(Ag_{3.47}Cu_{6.25})_{9.72}(Fe_{1.43}Zn_{0.66})_{2.09}Sb_{2.97}S_{13}$
银黝铜矿	10801-2-1-1	0	5.49	25.57	2.10	0	25.11	0	18.19	0	21.52	2.02	0	100.00	$(Ag_{2.80}Cu_{6.68})_{9.48}(Fe_{1.63}Zn_{0.53})_{2.16}Sb_{2.93}S_{13}$ $(Fe_{1.63}Zn_{0.53})_{2.16}Sb_{2.93}S_{13}$
银黝铜矿	10801-2-1-2	0	5.07	24.21	2.38	0	24.98	0	19.74	0	21.40	2.24	0	100.02	$(Ag_{3.06}Cu_{6.32})_{9.38}(Fe_{1.50}Zn_{0.62})_{2.12}Sb_{2.93}S_{13}$
淡红银矿	10801-5-1	17.68	0	0	0	0	16.81	0	64.19	0	0.09	1.25	0	100.02	$Ag_{3.41}As_{1.39}S_3$
淡红银矿	10801-5-2	17.54	0	0	0	0	16.05	0	65.27	0	0.13	1.34	0	100.33	$Ag_{3.63}(As_{1.44}Sb_{0.01})_{1.45}S_3$
辉锑银矿	10801-2-3	0.35	0	0.13	0.04	0	22.15	0	33.83	0	40.65	2.47	0.21	99.83	$(Ag_{0.91}Cu_{0.01})_{0.92}(As_{0.01}Sb_{0.97})_{0.98}S_2$
辉锑银矿	10801-2-2	0.37	0	0.15	0.07	0	22.42	0	33.78	0	40.23	2.89	0.15	100.06	$(Ag_{0.90}Cu_{0.01})_{0.91}(As_{0.01}Sb_{0.95})_{0.96}S_2$

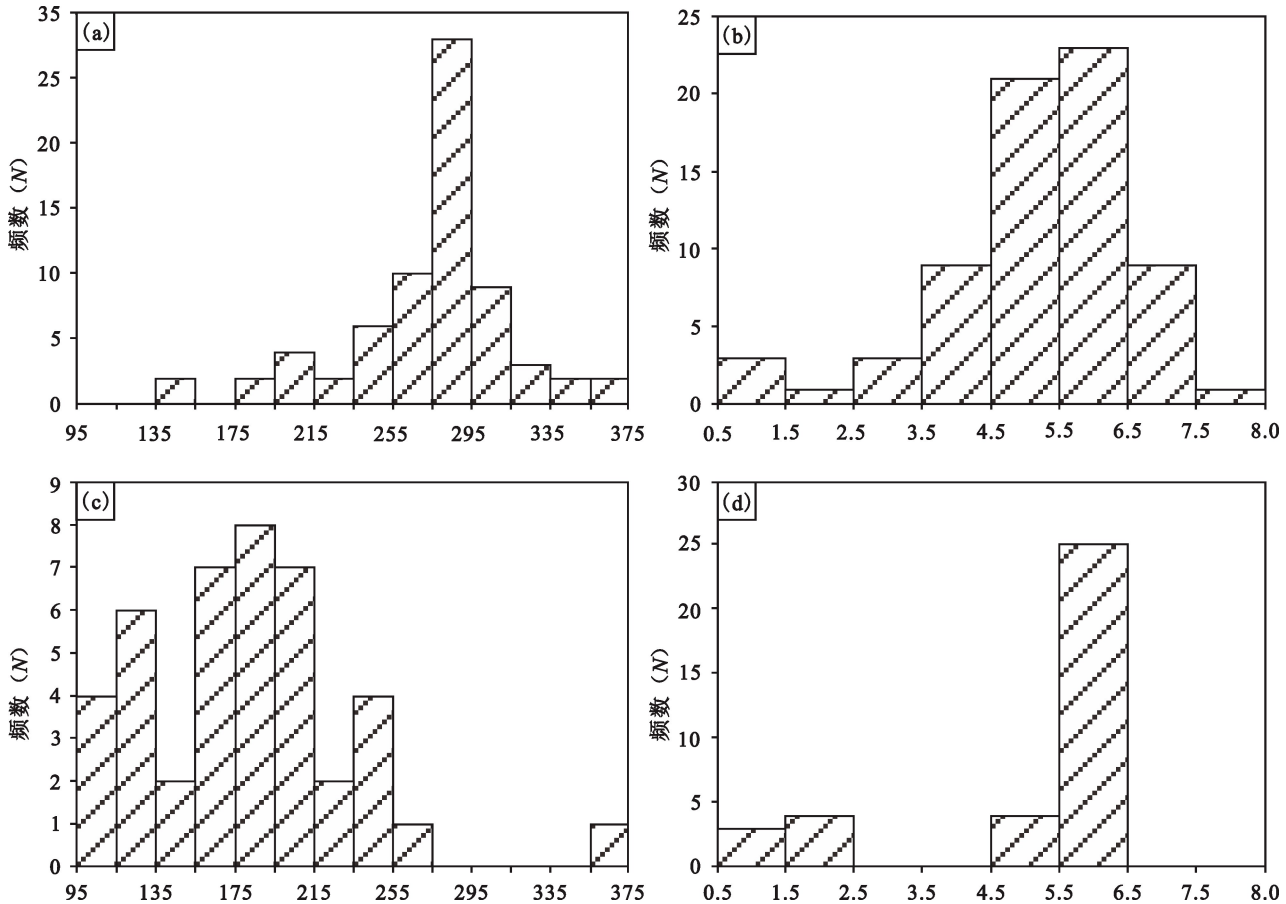


图 5 石英流体包裹体均一温度和盐度直方图:(a) 金水口岩群中石英流体包裹体均一温度;(b) 金水口岩群中石英流体包裹体盐度;(c) 鄂拉山组中石英流体包裹体均一温度 ;(d) 鄂拉山组中石英流体包裹体盐度

Fig. 5 Histograms of homogenization temperature and salinity of the fluid inclusions trapped in quartz: (a) homogenization temperature of fluid inclusions trapped in quartz of the Jinshuikou Group; (b) salinity of fluid inclusions trapped in quartz of the Jinshuikou Group; (c) homogenization temperature of fluid inclusions trapped in quartz of the Elashan Formation; (d) salinity of fluid inclusions trapped in quartz of Elashan Formation

此,Ag 在金水口岩群中迁移的形式倾向于为氯络合物,而在鄂拉山组中倾向于为硫氢络合物。热液体系中温度、压力、pH、Eh 及组分浓度的变化等均可能导致成矿元素的沉淀(尚林波等,2004),成矿元素从热液中沉淀并富集成矿的机制主要有 4 种:温度的变化、压力的变化、水岩反应和流体混合(华仁民,1993)。有研究表明,单独的温度变化并不是金属沉淀的最有效机制,压力降低也不一定引起矿物溶解度的减小与沉淀(张德会,1997)。单独的温度降低能引起金属的沉淀,但需要满足两点,一是流体中金属浓度要高,二是流体的温度在局部范围和短距离内有大幅度下降,并

表 3 东昆仑那更康切尔沟银多金属矿床石英流体包裹体显微测温结果

Table 3 The results of microthermometry of the fluid inclusions trapped in quartz from the Nagengkangqieergou silver-multimetallic deposit, eastern Kunlun Mountains

样品编号	赋存地层	测试数	大小 (μm)	气液比 (%)	t_{ice} (℃)	t_h (℃)	盐度 (%, $NaCl_{eqv}$)
ZK0704-H6	金水口岩群	21	3~20	5~50	−5.0~−0.4	150.0~371.0	0.70~7.86
ZK0704-H66	金水口岩群	24	3~20	5~30	−4.7~−3.2	147.0~302.0	5.26~7.45
ZK1602-H11	金水口岩群	25	2~25	8~25	−3.6~−0.3	208.5~328.8	0.53~5.86
NTC10801-H3	鄂拉山组	11	2~12	5~40	−3.0~−0.4	95.0~374.0	0.70~4.96
NTC10801-H7	鄂拉山组	31	2~11	5~30	−4.7~−0.5	120.0~257.5	0.88~7.45

t_{ice}为冰点温度,t_h为均一温度。

且自然条件很难满足这个条件。而水岩反应导致成矿元素沉淀主要表现为:一是热液与矿物发生反应消耗热液中的 H^+,使 pH 升高,导致成矿元素的沉淀;二是矿物表面吸附作用的发生可能导致成矿元素从热液中分离出来;三是热液流经富含还原硫的地层时,金属氯络合物与围岩发生反应导致成矿元素沉淀。此外,实验地球化学研究也表明:硫化物的加入可以使热液体系中的银氯络合物几乎完全沉淀,生成硫化银或自然银(尚林波等,2003)。通过野外观察,金水口岩群地层中黄铁矿含量较高,局部达 2%左右,因此不能排除地层中硫化物对成矿作用的贡献。有研究表明,流体的混合作用在几乎所有热液矿床形成中都扮演着重要角色,其影响范围大、持续时间长,为许多大型—超大型矿床形成的重要原因。流体混合导致金属沉淀的主要原因和机理包括降温冷却作用、稀释作用、pH 值改变、氧化还原反应,而这些机理均使金属溶解度下降,通常情况下,这几种机理综合效应使得流体混合成为金属沉淀的重要原因(华仁民,1994)。实验研究表明,在 200~300 ℃温度变化范围内,银、铅、锌氯络合物均可稳定存在于酸性含氯溶液中,不发生沉淀(尚林波等,2003),而金水口岩群中成矿元素沉淀时的流体温度较高,几种成矿机制相对而言,水岩反应为主要成矿机制的可能性最大,但还需要寻找更多更有力的证据。鄂拉山组中矿石石英流体包裹体均一温度较低,银矿物组合也显示低温特征,结合包裹体岩相学特征等,笔者认为几种成矿机制相对而言,流体混合作用为鄂拉山组成矿作用的主要机制可能性最大,但还需要得到氢氧同位素等方面证据的进一步佐证。此外,沸腾作用广泛发生于浅成热液矿床及多金属脉状矿床中,是这些矿床矿物沉淀的重要机理。确定沸腾作用的标志主要有:① 爆破角砾岩的存在;② 同期包裹体气液比和均一温度变化范围很大,且含有蒸汽包裹体,气体包裹体与高盐度包裹体共存;③ 矿床具有绢云母到冰长石化的热液蚀变(Hayba et al.,1985)。而那更康切尔沟银矿床金水口岩群和鄂拉山组地层均不存在上述标志性特征,因此基本可以排除沸腾作用在成矿元素沉淀中的有效作用。对铅锌银矿床的成矿规律进行总结发现,不少铅锌银矿床矿区内均分布有火山岩,例如青海然者涌铅锌银矿床、内蒙古东珺铅锌银矿床及大兴安岭得耳布尔铅锌银矿床等(李啸,2015;张斌等,2011;赵岩等,2018),而那更康切尔沟银矿床成矿地质特征及控矿规律与内蒙古东珺铅锌银矿床十分相似,应为受断裂控制的与火山—次火山岩有关的热液脉型矿床。

5　结论

(1)通过对本矿床矿石银矿物的镜下观察和电子探针分析,初步查明那更康切尔沟银矿床银矿物可分为:自然元素系列、Ag—S 系列、Ag—Sb(As)—S 系列、(Ag,Cu)—(Zn,Fe)—(As,Sb)—S 系列、Ag—Pb—Sb—S 系列。金水口岩群中银矿物与闪锌矿、毒砂、黝锡矿在空间分布关系上较密切,银矿物呈显微包体形式赋存于毒砂中或沿闪锌矿边部进行交代,局部可见辉银矿与黝锡矿交生。

(2)那更康切尔沟银矿床金水口岩群和鄂拉山组中富矿石石英流体包裹体均一温度具有显著差异性,前者主要集中于 275~295 ℃,后者主要集中于 155~215 ℃;两者盐度差异性较小,前者主要集中于 4.5%~6.5%,后者主要集中于 5.5%~6.5%。前者成矿流体性质属于中温、低盐度流体,后者属于低温、低盐度流体。

(3)金水口岩群和鄂拉山组中围岩蚀变分带特征、银矿物种类及化学成分特征、成矿流体温度均具有显著差异性,表明两者成矿机制可能不同,因此在矿产勘查过程中应注意区分两种地层中的找矿思路。

致谢:电子探针和扫描电镜能谱分析分别得到中国地质科学院矿产综合利用研究所王越老师和成都理工大学龚婷婷老师的帮助,在论文修改的过程中,薛春纪老师提出了较多宝贵意见与建议,在此表示感谢。

参　考　文　献　/　References

(The literature whose publishing year followed by a "**&**" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "**#**" is in Chinese without English abstract)

韩英善, 郭桂兰, 张大明, 景向阳, 奎明娟. 2012. 东昆仑东段哈日扎地区含矿斑岩特征及找矿潜力分析. 西北地质, 45(1): 33~39.

胡焕校, 杨自安, 刘清泉, 张建国, 郑明弘, 徐桃. 2009. 青海省什多龙地区找矿远景遥感调查研究. 矿产与地质, 23(4): 357~361.

华仁民. 1993. 流体在金属矿床形成过程中的作用和意义. 南京大学学报, 5(4): 352~360.

华仁民. 1994. 成矿过程中由流体混合而导致金属沉淀的研究. 地球科学进展, 9(4): 15~22.

李龚健, 王庆飞, 朱和平, 袁万明, 龚庆杰. 2013. 青海什多龙热液脉型钼铅锌矿床流体包裹体研究及矿床成因. 岩石学报, 29(4): 1377~1391.

李建亮, 鲁海峰, 陈静, 唐健, 李积清, 付彦文. 2017. 东昆仑东段地区银多金属矿控矿因素及找矿潜力研究. 地质找矿论丛, 32

(2): 172~179.
李啸. 2015. 青海杂多县然者涌铅锌银矿床地质特征. 地质论评, 61(z1): 503~504.
马忠元, 李良俊, 周青禄, 马成兴, 赵建鹏. 2013. 东昆仑哈日扎斑岩型铜矿床特征及成因探讨. 青海大学学报(自然科学版), 31(3): 69~75.
马忠元, 孙非非, 郝娜娜, 马成兴, 朱传宝, 郝艳, 曹建辉. 2016. 青海哈日扎铜多金属矿区花岗岩地球化学特征与成矿环境分析. 矿产勘查, 7(6): 929~937.
尚林波, 樊文苓, 邓海琳. 2003. 热液中银、铅、锌共生分异的实验研究. 矿物学报, 23(1): 31~36.
尚林波, 樊文苓, 胡瑞忠, 邓海琳. 2004. 热液中铅锌银共生分异的热力学探讨. 矿物学报, 24(1): 81~86.
宋忠宝, 张雨莲, 陈向阳, 江磊, 李东生, 舒晓峰. 2013. 东昆仑哈日扎含矿花岗闪长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义. 矿床地质, 32(1): 157~168.
孙非非, 朱传宝, 袁万明, 张爱奎, 马忠元, 郝娜娜, 冯云磊. 2016. 青海都兰县哈日扎矿区构造活动的磷灰石裂变径迹分析. 核技术, 39(12): 37~44.
田承盛, 袁万明, 曾小平, 张爱奎, 朱传宝, 孙非非, 马忠元, 张丽婷, 郝娜娜. 2015. 东昆仑哈日扎多金属矿区Ⅳ矿带成矿时代的锆石裂变径迹定年分析. 核技术, 38(1): 66~71.
王小龙, 袁万明, 冯星, 冯云磊, 程学芹. 2017. 东昆仑哈日扎多金属矿区花岗斑岩与闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报, 36(7): 1158~1167.
许庆林, 孙丰月, 李碧乐, 钱烨, 李良, 杨延乾. 2014. 东昆仑莫河下拉银多金属矿床花岗斑岩年代学、地球化学特征及其构造背景. 大地构造与成矿学, 38(2): 421~433.
许远平, 谢万洪, 杨永峰, 何政伟, 文军. 2014. 青海东昆仑那更康切尔沟银矿地质特征及找矿远景浅析. 新疆地质, 32(1): 113~117.
张斌, 孔会磊, 李智明, 李金超, 杨涛, 马忠元, 马成兴, 王宇. 2016. 东昆仑哈日扎铅锌多金属矿区英云闪长岩锆石 U-Pb 定年、地球化学及其地质意义. 地质科技情报, 35(5): 9~17.
张斌, 李进文, 张德全, 朱广仁, 佘宏全, 董英君, 谭刚. 2011. 内蒙古海拉尔盆地东珺铅锌银矿床地球化学特征. 地质论评, 57(2): 253~260.
赵财胜. 2004. 青海东昆仑造山带金、银成矿作用. 导师: 姚凤良, 孙丰月. 长春: 吉林大学/博士学位论文: 1~137.
赵岩, 吕骏超, 张朋, 张德宝, 沈鑫, 毕中伟. 2018. 大兴安岭北段得耳布尔铅锌银矿床成矿流体特征与意义. 地质学报, 92(1): 142~153.
张德会. 1997. 流体的沸腾和混合在热液成矿中的意义. 地球科学进展, 12(6): 546~552.
Barns H L. 1997. Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 3nd edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.: 1~972.
Hall D L, Sterner S M, Bodnar R J. 1988. Freezing point depression of NaCl—KCl—H_2O solutions. Economic Geology, 83: 197~202.
Han Yingshan, Guo Guilan, Zhang Daming, Jin Xiangyang, Kui Mingjuan. 2012&. Characteristics of ore-bearing porphyry and prospecting potential analysis of Harizha in East Kunlun area. Northwestern Geology, 45(1): 33~39.
Hayba D O, Bethke P M, Heald P, Foley N K. 1985. Geologic, mineralogic, and geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal precious-metal deposits. Berger B R, Bethke P M (ed.). Geology and geochemistry of epithermal systems. Texas: Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology: 129~167.
Hu Huanxiao, Yang Zian, Liu Qingquan, Zhang Jianguo, Zheng Minghong, Xu Tao. 2009&. Remote sensing survey and research on prospecting potential of Shiduolong area. Mineral Resources and Geology, 23(4): 357~361.
Hua Renmin. 1993. Studies on the role and significance of fluids in the forming processes of ore deposits. Journal of Nanjing University (Earth Sciences), 5(3): 351~360.
Hua Renmin. 1994. Studies on metal deposition by fluid mixing during ore-forming processes. Advance in Earth Sciences, 9(4): 15~22.
Li Gongjian, Wang Qingfei, Zhu Heping, Yuan Wanming, Gong Qingjie. 2012&. Fluids inclusion constraints on the origin of the Shiduolong hydrothermal vein-type Mo—Pb—Zn deposit, Qinghai Province. Acta Petrologica Sinica, 29(4): 1377~1391.
Li Jianliang, Lu Haifeng, Chen Jing, Tang Jian, Li Jiqiang, Fu Yanwen. 2017&. Ore-control factors of silver polymetallic mineralization in the east section of East Kunlun and prospecting potential of the area. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 32(2): 172~179.
Li Xiao. 2015#. Geological characteristics of Ranzheyong Lead—Zinc—Silver deposit of Zaduo county, Qinghai province. Geological Review, 61(z1): 503~504.
Ma Zhongyuan, Li Liangjun, Zhou Qinglu, Ma Chengxing, Zhao Jianpeng. 2013&. The characteristics of the porphyry copper deposit and its formation in the East Kunlun Harizha area. Journal of Qinghai University(Natural Science Edition), 31(3): 69~75.
Ma Zhongyuan, Sun Feifei, Hao Nana, Ma Chengxing, Zhu Chuanbao, Hao Yan, Cao Jianhui. 2016&. Geochemical characteristics and metallogenic environment of granite in the Harizha copper polymetallic deposit area, Qinghai. Mineral Exploration, 7(6): 929~937.
Ruaya J R, Seward T M. 1986. The stability of chlorozinc (Ⅱ) complexes in hydrothermal solutions up to 350℃. Geochimica et Cosmochimica Acta, 50(5): 651~661.
Seward T M. 1976. The stability of chloride complexes of silver in hydrothermal solutions up to 350℃. Geochimica et Cosmochimica Acta, 40(11): 1329~1341.
Shang Linbo, Fan Wenling, Deng Hailin. 2003&. An experimental study on paragenesis and separation of silver, lead and zinc in hydrothermal solutions. Acta Mineralogica Sinica, 23(1): 31~36.
Shang Linbo, Fan Wenling, Hu Ruizhong, Deng Hailin. 2004&. A thermodynamic study on paragenesis and separation of silver, lead and zinc in hydrothermal solutions. Acta Mineralogica Sinica, 24(1): 81~86.
Song Zhongbao, Zhang Yulian, Chen Xiangyang, Jiang Lei, Li Dongsheng, Shu Xiaofeng, Li Yazhi, Li Jinchao, Kong Huilei. 2013&. Geochemical characteristics of Harizha granite diorite-porphyry in East Kunlun and their geological implications. Mineral Deposits, 32(1): 157~168.
Stefansson A, Seward T M. 2003. Experimental determination of the stability and stoichiometry of sulphide complexes of silver (Ⅰ) in hydrothermal solutions to 400℃. Geochimica et Cosmochimica Acta, 67(7): 1395~1413.
Sun Feifei, Zhu Chuanbao, Yuan Wanming, Zhang Aikui, Ma Zhongyuan, Hao Nana, Feng Yunlei. 2016&. Apatite fission track analysis of tectonic activity in Harizha polymetallic ore district, Dulan county, Qinghai province, Qinghai province. Nuclear Techniques, 39(12): 37~44.
Tian Chengsheng, Yuan Wanming, Zeng Xiaoping, Zhang Aikui, Zhu Chuanbao, Sun Feifei, Ma Zhongyuan, Zhang Liting, Hao Nana.

2015&. Zircon fission track dating for mineralizing ages in Ⅳ ore-belt of Harizha polymetallic mining district, Eastern Kunlun Mountains, Qinghai—Tibet Plateau. Nuclear Techniques, 38(1): 66~71.

Wang Xiaolong, Yuan Wanming, Feng Xing, Feng Yunlei, Cheng Xueqin. 2017&. LA-ICP-MS Zircon U-Pb age and geological significance of granite porphyry and diorite in the Harizha polymetallic ore district, East Kunlun Mountains. Geological Bulletin of China, 36(7): 1158~1167.

Xu Qinglin, Sun Fengyue, Li Bile, Qian Ye, Li Liang, Yang yanqian. 2014&. Geochronological dating, geochemical characteristics and tectonic setting of the granite-porphyry in the Mohexiala silver polymetallic deposit, Eastern Kunlun orogenic belt. Geotectonica et Metallogenia, 38(2): 421~433.

Xu Yuanping, Xie Wanhong, Yang Yongfeng, He Zhengwei, Wen Jun. 2014&. Geological characteristics and prospecting perspective of Nagengkangqieer silver deposit in Eastern Kunlun Mountains of Qinghai. Xinjiang Geology, 32(1): 113~117.

Zhang Bin, Kong Huilei, Li Zhiming, Li Jinchao, Yang Tao, Ma Zhongyuan, Ma Chengxing, Wang Yu. 2016&. Zircon U-Pb dating, geochemical and geological significance of the tonalites from the Harizha lead—zinc polymetallic mine in East Kunlun Mountains. Geological Science and Technology Information, 35(5): 9~17.

Zhang Bin, Li Jinwen, Zhang Dequan, Zhu Guangren, She Hongquan, Dong Yingjun, Tan Gang. 2011&. Geochemic features of Dongjun lead—zinc—silver deposit, Hailar Basin, Inner Mongolia. Geological Review, 57(2): 253~260.

Zhao Chaisheng. 2004&. Gold, silver metallogeny in Eastern Kunlun orogenic belt, Qinghai Province. Academic advisors: Prof. Yao Fengliang, Prof. Sun Fengyue. Changchun: Jilin University/ Doctoral thesis: 1~137.

Zhang Dehui. 1997&. Some new advances in ore-forming fluid geochemistry on boiling and mixing of fluids during the processes of hydrothermal deposits. Advance in Earth Sciences, 12(6): 546~552.

Zhao Yan, Lü Junchao, Zhang Peng, Zhang Debao, Shen Xin, Bi Zhongwei. 2018&. Characteristics of ore-forming fluids in the De'rbur Pb—Zn—Ag deposit in the NW great Hinggan Mountains and its significance. Acta Geologica Sinica, 92(1): 142~153.

Riley J F.1974. The tetrahedrite—freibergite series, with reference to the Mount Isa Pb—Zn—Ag orebody. Mineralium Deposita, 9: 117~124.

Characteristics of Silver Minerals of Nagengkangqieergou Silver Deposit in Eastern Kunlun Orogenic Belt and a Brief Analysis of the Precipitation Mechanism of Ore-forming Elements

LI Mintong[1,2,4)], CHEN Xiaodong[3)], XU Yuanping[4)], XIE Wanhong[4)], ZHOU Hongbing[4)], SUN Chongbo[4)], LIU Hong[4)]

1) *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu*, 610059;

2) *Key Laboratory of Tectonic Controls on Mineralization and Hydrocarbon Accumulation of Ministry of Land and Resources (Chengdu University of Technology), Chengdu*, 610059;

3) *College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu*, 610059;

4) *Hydro-Engineering Party of Sichuan Metallurgical Geology & Exploration Bureau, Chengdu*, 611730

Objectives: Nagengkangqieergou silver deposit, situated in the eastern section of Eastern Kunlun orogenic belt and to the north of Kunzhong Fault, is a large-scale structurally-controlled hydrothermal vein-type deposit, newly discovered in Qinghai Province in recent years. The characteristics of silver minerals and the precipitation mechanism of ore-forming elements of Nagengkangqieergou silver deposit has been first studied in this paper.

Methods: Mineragraphy observation, scanning electron microscopy-energy dispersive spectrometry analysis, electron microprobe analysis, and microthermometry of fluid inclusions trapped in quartz were carried out to investigate the characteristics of silver minerals of Nagengkangqieergou silver deposit and precipitation mechanism of ore-forming elements.

Results: It is preliminarily ascertained that silver minerals, occurred in Elashan Formation, include native silver, acanthite, proustite, pyrostilpnite, miargyrite, argentian tetrahedrite, freibergite, andorite, diaphorite, teremkovite, all of which contain high content of I. By contrast, silver minerals, hosted in Jinshuikou Group, are principally composed of native silver and argentite, both of which are spatially connected closely with arsenopyrite, sphalerite, stannite and contain scarcely any I. Besides, homogenizaion temperature of quartz fluid inclusions occurred in the Jinshuikou Group are clustered in the interval of 275~295 ℃, while in the interval of 155~215 ℃ for those occurred in Elashan Formation. Moreover, there is slight difference in the salinity of ore-forming fluid for

both strata. Ore-forming fluid salinity values are clustered in the interval of 4.5~6.5% for the Jinshuikou Group, while in the interval of 5.5~6.5% for the Elashan Formation.

Conclusions: Precipitation mechanism of ore-forming elements in the Jinshoukou Group and that in the Elashan Formation are remarkably different, indicated by the significant difference of wall rock alteration, category and chemical composition of silver minerals as well as the ore-forming fluid temperature. Therefore, this study provides guiding significance for ore-prospecting in both strata.

Keywords: Nagengkangqieergou of Eastern Kunlun Mountains; silver minerals; electron microprobe; mineralogical characteristics; homogenization temperature.

Acknowledgements: This study is financially supported by the geological prospecting foundation of Qinghai Province([2017]No.72). We would like to extend our sincere thanks to WangYue from Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources and Gong Tingting from Chengdu University of Technology for their help in the test process as well as Professor Xue Chunji for his sincere comments and proposals during the revising process.

First author: LI Mingtong, male, born in 1985, doctoral candidate. Mainly engaged in tectonics, mineralogy. Email: 344224780@qq.com.

Corresponding author: CHEN Xiaodong, male, born in 1988, doctoral candidate. Mainly engaged in geochemistry of mineral deposits, mineralogy. Email: wskjatatjily@sina.com.

Manuscript received on: 2017-10-18; Accepted on: 2018-03-25; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2018.03.017

瑞典实物地质资料管理与服务现状

刘向东[1,2)],郭海燕[2)],张志伟[2)],任香爱[2)],李秋玲[2)]

1) 中国地质大学(武汉)国家地理信息系统工程技术研究中心,武汉, 430074;

2) 国土资源实物地质资料中心,河北三河, 065201

内容提要:本文通过开展瑞典实物地质资料管理与服务跟踪研究,分析了瑞典实物地质资料管理与信息服务现状,掌握了瑞典在实物地质资料管理服务方面的政策法规、馆藏机构,以及资料汇聚、资料保管、资料数字化和信息服务现状;分析了瑞典岩芯高光谱红外成像2级数据产品服务的典型模式和可借鉴的经验,提出了对推进我国实物地质资料管理与信息服务的启示。

关键词:瑞典;实物地质资料;岩芯库;高光谱红外岩芯成像;数据产品;信息服务

1 瑞典实物地质资料管理政策法规

为了规范国家矿产资源勘探、开采活动,瑞典颁布了国家《矿产法》。但瑞典的《矿产法》未对立法涵盖的矿产资源所有权作出明确规定,未申明矿产资源所有权属于国家,对实物地质资料汇交也没有作出强制性规定(Johnson et al., 2015)。

但是,瑞典在国家层面对实物地质资料汇交工作还是起到了决定性影响。作为承担国家实物地质资料管理职责的专门机构,瑞典地质调查局为实物地质资料形成单位提供了接收、保管实物地质资料及服务的各方面便利条件。矿山企业等单位可以放心地把地质工作形成的各种实物地质资料运输到瑞典地质调查局永久岩芯库进行长期保管,只需支付一定的保管服用,并享有这些实物地质资料观察、取样、利用等优惠服务政策。

2 瑞典实物地质资料馆藏机构状况

瑞典地质调查局的核心任务就是满足社会对地质信息的实际需求,并推进地质资料信息在社会规划等各领域的使

注:本文为中国地质调查局"全国实物地质资料汇聚整理与服务"二级项目资助(编号:DD20160349)的成果。

收稿日期:2018-02-11;改回日期:2018-03-14;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2018.03.021

作者简介:刘向东,男,1982年生,在读博士研究生,高级工程师。主要从事实物地质资料管理服务以及地质调查信息化等方面的研究。Email:lxd1812000@163.com。