

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2019.02.001

河北洞子沟银铜多金属矿床地质特征及成因分析

王银川

(河北省地矿局第六地质大队,石家庄 050081)

摘要: 洞子沟银铜多金属矿床产于华北克拉通北缘长城系常州沟组地层中,受地层控制明显。通过对该矿床地质特征及矿石的稀土元素地球化学特征、矿物流体包裹体特征、硫-氢-氧同位素组成及 U-Pb 同位素年代研究表明:成矿物质来源于幔源;矿床形成于古元古代晚期华北克拉通吕梁运动后的伸展裂解过程中,在断陷盆地接受沉积的同时,有沿同生断裂上升的幔源热液、银铜金铅锌等成矿物质组分与常州沟组陆源碎屑一同沉积,形成洞子沟银铜多金属沉积层控型矿床。

关键词: 洞子沟银铜多金属矿床;沉积层控型矿床;长城系常州沟组;华北克拉通;地幔热柱;河北省

中图分类号: P618.2 **文献标识码:** A

必要对此矿床的矿床特征及矿床成因开展进一步研究。

0 引言

洞子沟银铜多金属矿床位于河北省承德市兴隆县西南 15 km 处,矿区面积 3.95 km²,中心地理坐标 E117°26'17"、N40°19'55",行政隶属青松岭镇管辖。此矿床于 1989 年由华北有色地质勘查局综合普查大队首先发现,并进行了地质普查工作;2013 年—2016 年间,河北省地矿局第六地质大队对此矿床进行了地质详查工作,并提交了详查报告,矿床达到了中型规模。

关于洞子沟银铜多金属矿床的成因、形成时代有较多分歧,成矿时代上有的学者认为是中生代成矿,成因类型主要有以变质核杂岩为中心的伸展构造控矿型^[1]、火山低温热液型^[2]等。部分学者认为该矿床形成于中元古代^[3-5],与大红峪期碱性火山岩系存在成因联系,有的则认为与常州沟组沉积地层存在成因联系,成因类型主要有热水沉积-叠加改造型^[3]、火山低温热液矿床^[6-8]、沉积改造型层控矿床^[9-10]、同生断裂喷流热液层控矿床等^[11]。因此,有

1 矿区地质特征

洞子沟银铜多金属矿床地处华北克拉通北缘古元古代 EW 向燕辽裂陷与 NE 向太行裂陷形成的“人”字形拗拉谷发散中心地带(图 1)。此矿床自西至东划分为西满子矿段、洞子沟矿段、没门沟矿段。其中,银铜多金属矿床分布于西满子矿段、洞子沟矿段;异体共生矿:重晶石矿,发育于没门沟矿段。本文仅对西满子矿段和洞子沟矿段的银铜多金属矿进行研究(图 2)。

1.1 地层

矿区出露地层主要有太古界迁西群马兰峪组中深变质岩系以及古元古界长城系常州沟组、串岭沟组、团山子组、大红峪组等岩石地层单位。

马兰峪组分布于矿区东部,该套地层经受中—高级角闪岩相区域变质作用形成含沉积岩的火山岩—硅铁质建造,主要岩性为角闪斜长片麻岩、辉石

收稿日期: 2017-12-14; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 河北省地矿局项目“河北省承德地区铀多金属矿选区评价”(编号:454-0502-YBN-OCTF)资助。

作者简介: 王银川(1984—),男,硕士,工程师,构造地质学专业,构造与成矿方向,主要从事构造地质学及构造控矿调查研究工作。通信地址:河北省石家庄市中山西路 891 号,河北省地矿局第六地质大队;邮政编码:050081;E-mail:wyc131421@126.com,hbdkwyc@126.com

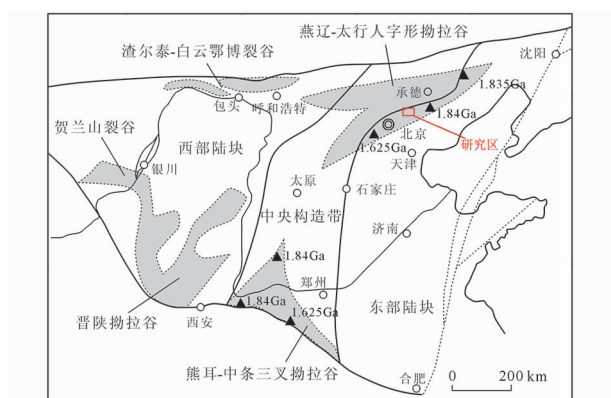


图1 洞子沟矿区大地构造位置

(底图据文献[12])

Fig. 1 Geotectonic map of the Dongzigou ore deposit

角闪斜长片麻岩、含磁铁角闪斜长片麻岩,赋存有重晶石矿床、金矿化点。常州沟组是洞子沟银铜多金属矿床主要围岩,以碎屑岩为主,主要由河流相黄褐色、紫红色砂砾岩和滨海沙滩相白色石英岩状砂岩、石英砂岩组成;与下伏马兰峪组为不整合或断层接触。串岭沟组布于矿区北部,下部为灰绿、黑色、褐色砂质页岩夹薄层或透镜状粉砂岩、细粒长石石英砂岩,顶部有零星分布的白云岩,与下伏常州沟组为整合接触。团山子组主要为含铁白云岩或硅质白云岩,与常州沟组呈断层接触。大红峪组分布于矿区西北部,主要为碱性玄武岩、基性火山角砾岩等。

1.2 构造

(1) 褶皱

洞子沟地区位于马兰峪复式背斜的西部倾伏端,发育了核部紧闭、翼部宽缓的董家店—章泉沟直立似箱状次级背斜。该背斜近核部转折端产状平缓,下部陡倾,两翼平缓;轴向 310° ,轴迹长 7.5 km ,被近SN向黄崖关—兴隆断层(F_1)和快活林—朝阳沟—洞子沟断层(F_4)错断。洞子沟银铜多金属矿床产于此背斜核部区域及背斜倾伏端的常州沟组中(见图2)。

(2) 断裂

受区域多期活动的基底断裂构造影响,发育有近SN向、NE向、NW向及近EW向断层;洞子沟地区主要断层有 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 四条。

F_1 断层位于矿区西部西满子矿段,是黄崖关—兴隆区域大断裂的次级构造,该断层出露长 0.60 km ,走向NNE向,倾向E,倾角 70° ,断层破碎带宽 2 m ,蚀变带宽 4 m ,主要为硅化,并有银、铜矿化。

F_2 断层位于矿区西部西满子矿段,走向近SN

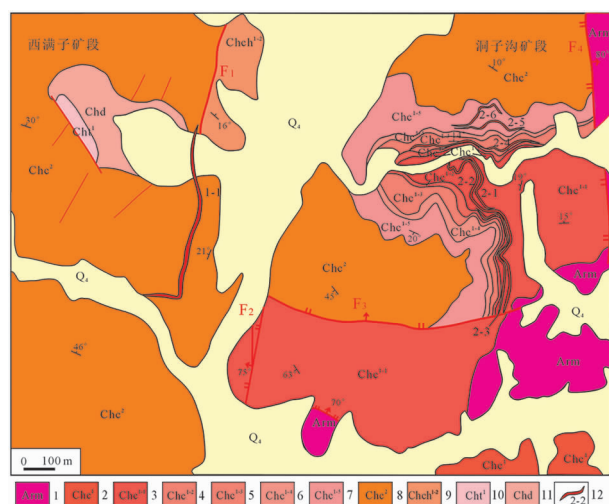


图2 洞子沟矿区地质图

Fig. 2 Geological map of the Dongzigou ore deposit

1. 太古界迁西群马兰峪组; 2. 长城系常州沟组一段;
3. 长城系常州沟组一段第一层; 4. 长城系常州沟组一段第二层;
5. 长城系常州沟组一段第三层; 6. 长城系常州沟组一段第四层;
7. 长城系常州沟组一段第五层;
8. 长城系常州沟组二段; 9. 长城系串岭沟组一段第二层;
10. 长城系团山子组; 11. 长城系大红峪组; 12. 矿脉及编号

向,倾向W,倾角 $75^{\circ}-80^{\circ}$,出露长 300 m 。

F_3 断层位于矿区洞子沟矿段南部,走向近EW向,倾向N,倾角 80° 。该断层限制了洞子沟矿段银铜多金属矿体的向南延伸(见图2)。

F_4 断层位于矿区东部洞子沟矿段,为快活林—朝阳沟—洞子沟断层的一部分,走向近SN,倾向 86° ,倾角 80° ,区内出露长 1 km 。性质为逆断层。该断层沿走向形成了几十米宽的破碎带,带内有闪长玢岩脉侵入,具零星铅锌矿化的石英脉体,为导矿构造,与矿床成因关系密切。

1.3 岩浆岩

在西满子矿段,分布有大洪峪组碱性玄武岩、火山角砾岩等,受第四系沉积物覆盖影响,仅见零星露头。在洞子沟矿段,有元古代闪长玢岩脉、石英脉分布,但规模较小,一般长几十米,宽 $1\sim 5\text{ m}$ 。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

洞子沟银铜多金属矿床目前在西满子矿段和洞子沟矿段各有1条银铜多金属含矿破碎蚀变带,围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、碳酸盐化、重晶石化

及萤石化等。西满子矿段为 1 号矿带,赋存 KT1-1 矿体;洞子沟矿段为 2 号矿带,赋存有 KT2-1、KT2-2、KT2-3、KT2-4、KT2-5、KT2-6 号共计 6 个矿体(见图 2)。

(1)KT1-1 矿体

KT1-1 矿体是洞子沟银铜多金属矿床主要矿体之一,如表 1 所述。矿体呈似层状、透镜状、脉状,赋存于构造破碎带中。矿体围岩为长城系常州沟组二段石英砂岩、石英岩状砂岩。

(2)KT2-1—KT2-6 矿体

KT2-1—KT2-6 矿体均赋存长城系常州沟组一段砾质长石石英粗砂岩、含砾长石石英粗砂岩层间裂隙中,矿体呈似层状、扁豆状、脉状,受常州沟组层位控制,具明显层控矿床性质。其中,KT2-1—KT2-3 矿体赋存于常州沟组一段第一层砾质长石石英粗砂岩、含砾长石石英粗砂岩层间裂隙中(图 3a),KT2-4 矿体赋存于常州沟组一段第三层灰白色石英砂岩(图 3b),KT2-5—KT2-6 矿体赋存于常州沟组一段第五层紫红色长石石英砂岩裂隙中。

2.2 矿石组构

洞子沟银铜多金属矿床矿石结构主要为它形粒

状结构、填隙结构、溶蚀交代结构、交代残余结构、包含结构、镶边结构、角砾状结构等。矿石构造主要为块状构造、角砾状构造(图 3c)、条纹条带构造(图 3d)、细脉浸染状构造、斑点状构造等。

2.3 矿石矿物成分

洞子沟银铜多金属矿床矿石中矿物组成较复杂,其所含矿物种类有 30 种之多;矿物共生及次生交代现象明显(图 4)。

矿石中的含铜矿物有黝铜矿($\varphi_{\text{黝铜矿}}=3.1\%$)、斑铜矿($\varphi_{\text{斑铜矿}}=0.46\%$)、黄铜矿($\varphi_{\text{黄铜矿}}=0.25\%$)、铜蓝、蓝辉铜矿、辉铜矿、硫砷铜矿、硫铁锡铜矿、孔雀石、蓝铜矿;少量含银黝铜矿、含银铜蓝、黑铜矿。黝铜矿是矿石中最为主要的铜矿物,也是银矿物最为主要的载体矿物,部分黝铜矿中包裹有碲银矿、硫铜银矿、硫碲银矿等银矿物。

金银矿物有碲银矿、粒碲银矿、银金矿、金银矿、微量螺状硫银矿。其它金属矿物有方铅矿($\varphi_{\text{方铅矿}}=0.89\%$)、闪锌矿($\varphi_{\text{闪锌矿}}=0.81\%$)、黄铁矿($\varphi_{\text{黄铁矿}}=0.5\%$)、褐铁矿($\varphi_{\text{褐铁矿}}=0.8\%$)、少量铅矾、菱锌矿、白铅矿、碲铅矿。

表 1 洞子沟矿区矿体特征一览表

Table 1 Schedule of ore body features in the Dongzigou ore deposit

矿段 编号	矿体编号	矿石类型	形态	规模		产状		品位		特 征
				长/m	厚/m	倾向/ (°)	倾角/ (°)	$w(\text{Ag})$ / 10^{-6}	$w(\text{Cu})$ /%	
西满子 矿段	1-1	块状、角砾状银铜矿石	脉状、透镜状	700	1.56	285~300	30~0	276.09	1.32	受构造控制,呈似层状、透镜状、脉状。北部断续分布;中南部连续性较好,有一定延伸(深),具膨胀收缩之特征
	2-1	浸染状、斑杂状银铜矿石	似层状、扁豆状	200	0.81	303	23~60	416.02	1.77	赋存于岩层裂隙破碎带中,呈似层状、扁豆状,地表连续性较好,沿倾向呈波状延伸,较稳定
	2-2	条带状、斑杂状银铜矿石	似层状、脉状、扁豆状	920	0.82	290~305	200~60	294.68	1.42	赋存于岩层裂隙破碎带中,似层状、扁豆状、脉状,矿体地表具有时隐时现断续分布,地表或浅部产状平缓,深部变陡。下部或深部具分支复合、膨胀收缩之特征
洞子沟 矿段	2-3	块状、斑杂状银铜矿石	似层状、扁豆状、脉状	250	0.78	280	22~45	215.77	0.91	赋存于岩层裂隙破碎带中,似层状、扁豆状,地表出露规模较小,深部分布零星,仅在平硐 $KD_3-YD_{268}-YD_3$ 一带连续
	2-4	斑杂状银铜矿石	似层状	500	0.80	300~30	10~45	312.72	1.65	仅分布于褶皱北翼,赋存于岩层裂隙破碎带中,似层状。地表断续分布,下部或深部沿北西方向倾斜地段连续、延伸较稳定
	2-5	斑杂状银铜矿石	似层状、扁豆状	150	0.53	25	20	269.60	0.87	矿体呈似层状、扁豆状,沿走向时隐时现断续分布,沿倾向稳定性亦较差
	2-6	斑杂状银铜矿石	似层状、扁豆状	100	0.60	350	19	227.91	0.46	沿层间裂隙分布,似层状、扁豆状,出露规模较小

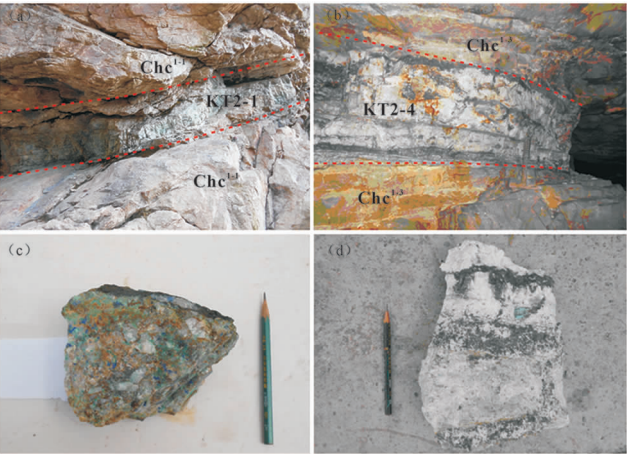


图 3 矿体照片

Fig. 3 Ore body photos
a. 洞子沟 KT2-1 矿体野外照片;
b. 洞子沟 KT2-4 矿体野外照片;
c. 角砾状银铜矿石; d. 条带状银铜矿石

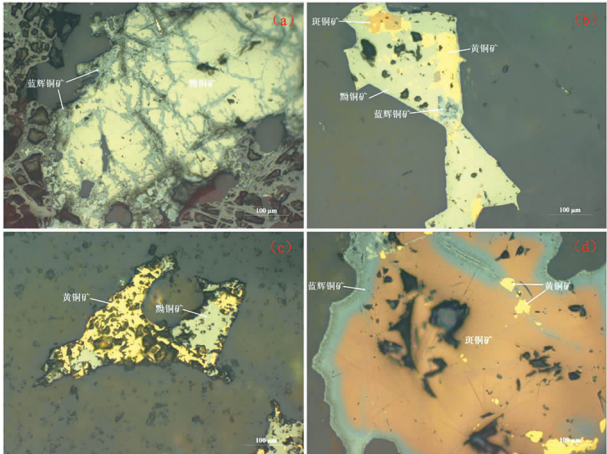


图 4 矿物镜下显微照片

Fig. 4 Microscopic photographs of the mineral
a. 黝铜矿被蓝辉铜矿交代;
b. 黝铜矿中包裹有斑铜矿和黄铜矿;
c. 黄铜矿与黝铜矿共生; d. 斑铜矿被蓝铜矿交代

表 2 洞子沟矿区矿石和大红峪组火山岩主量元素特征

Table 2 The major element feature comparison of the Dongzigou ore deposit's ore and volcanic rocks in Dahongyu Formation

岩石地层	岩性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	资料来源
洞子沟 矿区	矿石	81.84	0.46	0.04	0.48	1.37	0.56	0.54	0.07	0.02	0.01	0.12	本文
	矿石	82.36	7.36	0.08	0.75	0.71	0.19	0.20	2.37	0.04	0.02	0.06	
大红峪组 火山岩	橄榄玄武岩	48.74	17.66	2.07	4.05	6.85	3.61	9.69	4.73	1.97	0.11	0.57	文献[13]
	粗面玄武岩	49.43	15.53	2.14	7.00	9.38	3.96	4.32	5.13	2.51	0.11	0.48	
	粗面岩	57.00	16.06	0.78	5.26	3.16	2.07	1.04	14.20	0.07	0.06	0.17	

3 地球化学特征

3.1 主量元素

洞子沟银铜多金属矿床矿石的主量元素特征表现为高硅($w(\text{SiO}_2) = 81.84\% \sim 82.36\%$)、贫铝($w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0.46\% \sim 7.36\%$)、低钛($w(\text{TiO}_2) = 0.04\% \sim 0.08\%$)、低碱($w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) = 0.09\% \sim 2.41\%$)、低镁、低磷特征。大红峪组碱性火山岩则具有较低硅含量($w(\text{SiO}_2) = 48.74\% \sim 57.00\%$)、富铝($w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 15.53\% \sim 17.66\%$)、富碱($w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) = 6.70\% \sim 14.27\%$)、以及富镁、铁等特征。两者之间的主量元素差异较大(表 2),表明它们之间不存在直接的成因联系。

3.2 稀土元素

洞子沟矿区银铜矿石的稀土元素分析结果(表 3)表明,REE 总量为 $w(\Sigma\text{REE}) = 10.26 \times 10^{-6} \sim 37.03 \times 10^{-6}$,平均值为 23.32×10^{-6} ;LREE 含量变化范围是 $w(\text{LREE}) = 5.72 \times 10^{-6} \sim 25.33 \times 10^{-6}$,平均值为 16.94×10^{-6} ;HREE 含量变化范围

$w(\text{HREE}) = 2.23 \times 10^{-6} \sim 11.70 \times 10^{-6}$,平均值为 6.39×10^{-6} ; $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 值介于 1.26 ~ 9.63 之间, $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$ 值介于 3.07 ~ 34.32 之间,轻重稀土间分异较明显; δEu 为 0.78 ~ 1.03。

大红峪组火山岩的稀土元素总量变化范围为 $w(\Sigma\text{REE}) = 100.60 \times 10^{-6} \sim 212.39 \times 10^{-6}$,平均值为 156.85×10^{-6} ;LREE 含量变化范围是 $w(\text{LREE}) = 73.38 \times 10^{-6} \sim 167.05 \times 10^{-6}$,平均值为 121.47×10^{-6} ;HREE 含量变化范围是 $w(\text{HREE}) = 27.22 \times 10^{-6} \sim 45.34 \times 10^{-6}$,平均值为 35.38×10^{-6} ; $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 值介于 2.70 ~ 3.69 之间, $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$ 值介于 8.02 ~ 12.98 之间; δEu 为 0.96 ~ 0.98。

常州沟组碎屑岩的稀土元素总量变化范围为 $w(\Sigma\text{REE}) = 19.22 \times 10^{-6} \sim 111.96 \times 10^{-6}$,平均值为 66.53×10^{-6} ;LREE 含量变化范围是 $w(\text{LREE}) = 17.41 \times 10^{-6} \sim 108.63 \times 10^{-6}$,平均值为 63.30×10^{-6} ;HREE 含量变化范围是 $w(\text{HREE}) = 1.81 \times 10^{-6} \sim 5.54 \times 10^{-6}$,平均值为 3.24×10^{-6} ; $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 值介于 8.13 ~ 36.16 之间; δEu 为 0.56 ~ 1.18。

表 3 洞子沟矿区矿石与常州沟组、大红峪组岩石地层稀土元素对比表

Table 3 The rare element feature comparison of the Dongzigou deposit's ore and Changzhougou Formation rocks and Dahongyu Formation's volcanic rocks

岩性 元素	大红峪组火山岩			洞子沟矿区矿石					常州沟组碎屑岩			
	橄榄玄武岩	粗面玄武岩	粗面岩	矿石	矿石	矿石	矿石	矿石	地层①	地层②	地层③	地层④
La	29.08	39.26	15.23	5.60	2.61	1.31	5.17	6.51	11.30	—	—	—
Ce	54.12	74.02	33.79	11.43	5.57	2.42	9.75	11.07	21.20	—	—	—
Pr	6.95	9.25	3.39	1.03	0.601	0.289	0.91	1.21	2.8	—	—	—
Nd	27.04	35.47	16.04	2.58	2.22	1.21	3.42	5.01	8.10	—	—	—
Sm	5.03	6.74	3.71	0.68	0.604	0.37	0.879	1.15	1.40	—	—	—
Eu	1.76	2.31	1.22	0.16	0.185	0.124	0.237	0.382	0.26	—	—	—
Gd	6.07	7.97	3.89	0.54	0.595	0.439	0.803	1.09	1.40	—	—	—
Tb	0.70	0.89	0.54	0.068	0.101	0.074	0.117	0.163	0.13	—	—	—
Dy	4.04	5.20	2.87	0.24	0.599	0.481	0.774	1.08	0.45	—	—	—
Ho	0.74	1.01	0.56	0.062	0.136	0.108	0.162	0.228	0.12	—	—	—
Er	2.00	2.7	1.42	0.11	0.416	0.334	0.481	0.716	0.24	—	—	—
Tm	0.26	0.36	0.23	0.016	0.062	0.049	0.071	0.114	—	—	—	—
Yb	1.51	2.13	1.28	0.11	0.363	0.288	0.445	0.649	0.30	—	—	—
Lu	0.16	0.32	0.19	0.014	0.062	0.051	0.078	0.101	—	—	—	—
Y	18.11	24.76	16.24	1.07	3.47	2.71	4.73	7.56	2.90	—	—	—
$\omega(\Sigma\text{REE})$	157.57	212.39	100.60	23.71	17.59	10.26	28.03	37.03	50.60	84.35	19.22	111.96
$\omega(\text{LREE})$	123.98	167.05	73.38	21.48	11.79	5.72	20.37	25.33	45.06	82.08	17.41	108.63
$\omega(\text{HREE})$	33.59	45.34	27.22	2.23	5.80	4.53	7.66	11.70	5.54	2.27	1.81	3.33
$\omega(\text{L})/\omega(\text{H})$	3.69	3.68	2.70	9.63	2.03	1.26	2.66	2.16	8.13	36.16	9.62	32.62
δEu	0.97	0.96	0.98	0.78	0.93	0.94	0.85	1.03	0.56	1.00	1.18	0.89

注:量单位 $\omega_{\text{B}}/10^{-6}$;大红峪组火山岩数据据文献[14];洞子沟矿区矿石数据据文献[9];常州沟组碎屑岩①数据据涂光炽等(1986)、②③④据文献[15]。

大红峪组火山岩、常州沟组碎屑岩及洞子沟矿区银铜矿石的稀土元素球粒陨石标准化后的配分模式曲线,如图 5 所示。洞子沟矿区银铜矿石和常州沟组碎屑岩地层的稀土元素配分曲线模式一致,而与大红峪组火山岩的稀土元素配分曲线存在差异。洞子沟矿区银铜矿石和常州沟组碎屑岩地层的稀土元素含量和比值等参数比较一致,而与大红峪组火山岩的各项参数差距较大。

综上,洞子沟银铜多金属矿床与常州沟组地层存在密切的成因联系。

4 矿床成因探讨

(1)成矿温度

用包裹体爆裂法和均一法测得的洞子沟银铜多金属矿床成矿温度数据,如表 4 所述。

爆裂法温度范围为 120℃—500℃,平均温度为 286℃;均一法温度范围为 200℃—280℃,平均温度为 237℃。由此表明,洞子沟银铜多金属矿床是在中-低温条件下形成。

(2)成矿时代

洞子沟银铜多金属矿床矿石、地层岩石等所测

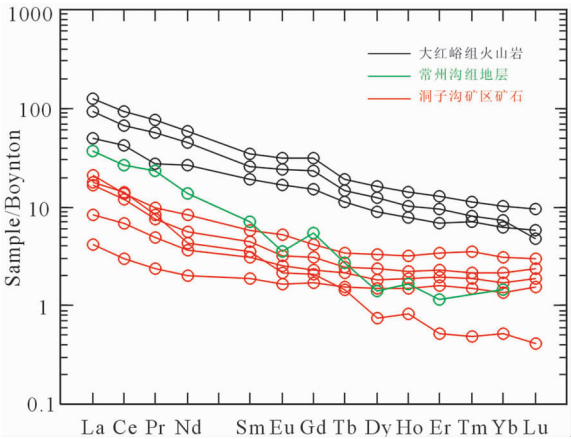


图 5 洞子沟矿区矿石与常州沟组、大红峪组岩石地层稀土元素配分模式图

Fig. 5 REE pattern of the Dongzigou deposit's ore, and rocks of Changzhougou Formation and Dahongyu Formation

铅同位素组成及模式铅年龄,如表 5 所述。

Stacey(1979)法模式计算的成矿年龄 1 414~1 866 Ma,平均年龄为 1 683 Ma;Holmes-Houtermans(1979)法模式计算的成矿年龄范围为 1 527~1 699 Ma,平均年龄为 1 634 Ma。陆松年等测定的大红峪组火山岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 1 625 Ma

表 4 洞子沟银铜多金属矿床包裹体测温结果

Table 4 The results of inclusion temperature for the Dongzigou silver (copper) polymetallic deposit

样号	矿物名称	均一法		爆裂法		备注
		范围/℃	平均/℃	范围/℃	平均/℃	
D1	石英(4)	230~250	240	—	—	文献[14]
D2	石英(3)	—	—	167~334	250	
D3	黝铜矿(5)	—	—	160~320	300	
D4	石英(3)	240~280	260	—	—	
D5	黄铁矿(5)	—	—	120~310	260	
洞 1	石英	240~280	260	—	—	文献[3]
洞 1	黝铜矿	—	—	160~450	280	
洞 2	石英	—	—	250~450	330	
洞 3	石英	200~230	215	250~450	310	
洞 4	石英	210~230	220	—	—	
洞 5	石英	220~230	225	250~500	300	
洞 5	黄铁矿	—	—	120~300	260	
洞 6	石英	—	—	—	310	
洞 6	黄铁矿	—	—	—	260	
洞 7	黄铜矿	—	—	—	290	
矿床		200~280	237	120~500	286	中-低温

表 5 洞子沟银铜多金属矿床矿石及岩体铅同位素组成、模式铅年龄

Table 5 The lead isotopic compstion and model age of ore and rock mass in the Dongzigou silver (copper) polymetallic deposit

样品编号	矿物名称	铅同位素组成			模式年龄		资料来源
		$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	Stacey 法/Ma	H-H 法/Ma	
003	黄铁矿	15.433	14.857	35.180	1866	1527	文献[3]
004	黄铁矿	15.669	15.161	35.728	1748	1605	
005	黄铜矿	15.681	15.223	35.922	1742	1699	
006	黄铁矿	15.629	15.097	35.466	1768	1619	
007	黄铜矿	15.763	15.147	35.706	1700	1569	
D1-10	黄铁矿	15.572	15.092	35.562	1797	1655	文献[14]
By97008-2	黝铜矿	16.004	15.431	36.282	1681	1696	文献[6]
By98003	黝铜矿	15.914	15.339	36.068	1605	1642	
By98003-1	黝铜矿	15.725	15.209	35.760	1541	1695	
No. 1	黝铜矿	16.051	15.226	36.599	1414	—	文献[15]
D-10	黄铁矿	15.572	15.092	35.562	1655	—	
D13	黝铜矿	15.643	15.194	35.910	1682	—	
大红峪组火山岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄					1625±6.2	—	文献[16]
辉绿岩脉 Sm-Nd 同位素测定					1521±4	—	文献[6]

±6.2 Ma^[15]。由此表明,洞子沟银铜多金属矿床的成矿时代为古元古代晚期,与大红峪组火山岩为不同时代的产物。此外,矿区中还发育切穿矿脉的辉绿岩脉,其 Sm-Nd 等时线同位素年龄为 1 521 Ma±4 Ma^[6],限制了该矿床形成年龄的上限。

(3)成矿物质来源

洞子沟银铜多金属矿床矿石黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿三种硫化物的硫同位素数据,如表 6 所述。 $\delta(^{34}\text{S})$ 值变化范围 $-0.49 \times 10^{-3} \sim +4.9 \times 10^{-3}$, $\delta(^{34}\text{S})$ 值接近 0,并且变化范围较小,硫同位素组成以重硫型为主,接近陨石硫同位素组成。而且,出现

有在高硫型浅成低温热液矿床中的黝铜矿等硫盐矿物。因此本矿床中的硫同位素来自未发生明显同位素分流效应的原生硫,反映成矿物质来源于地幔的镁铁质-超镁铁质岩石。

杨昌正曾测得洞子沟银铜多金属矿床的氢氧同位素组成为 $\delta(^{18}\text{O}_\text{K}) = +3.66 \times 10^{-3} \sim +6.86 \times 10^{-3}$, $\delta\text{D} = -73.2 \times 10^{-3} \sim +67.5 \times 10^{-3}$ ^[3];胡祥昭等测得的氢氧同位素组成 $\delta(^{18}\text{O}_\text{K}) = +12.9 \times 10^{-3}$, $\delta\text{D} = -73 \times 10^{-3}$ ^[14]。据黑田等(1978)资料,当 $\delta(^{18}\text{O}_\text{K}) = +4.5 \times 10^{-3} \sim +7.0 \times 10^{-3}$ 、 $\delta\text{D} = -100 \times 10^{-3} \sim -60 \times 10^{-3}$ 时,热液中的水来自地幔

表6 洞子沟银铜多金属矿床硫同位素组成

Table 6 The sulfur isotopic composition of the Dongzigou silver (copper) polymetallic deposit

矿物名称	$\delta(^{34}\text{S})/10^{-3}$	平均 $\delta(^{34}\text{S})/10^{-3}$	资料来源
黄铁矿	+0.09~+4.9	+1.91	文献[3]
黄铜矿	-0.39~+2.12	+0.81	
黝铜矿	-0.49	-0.49	
黄铁矿	0~+3.9	+2.8	文献[14]
黄铜矿	-1.3~+3.0	+1.4	
黝铜矿	-1.1~+1.2	+0.6	

岩浆水。因此,洞子沟银铜多金属矿床成矿热液中的水应来源于幔源岩浆水。

杨昌正对洞子沟银铜多金属矿床矿物流体包裹体成分研究^[3]计算求得: $\text{Na}^+/\text{K}^+ = 0.463\ 9 \sim 2.768\ 2$, $\text{Na}^+/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) > 13.933$, $\text{F}^-/\text{Cl}^- < 0.0144$;胡祥昭等测得 $\text{Na}^+/\text{K}^+ = 0.83 \sim 2.08$, $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+} = 0.82 \sim 0.95$, $\text{F}^-/\text{Cl}^- = 0.23$, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O} = 0.15 \sim 0.24$ ^[14]。据林文通(1991)研究资料,银矿床中包裹体气相成分中 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O} < 0.5$ 为岩浆热液。据范启灏等(1983)研究, $\text{Na}^+/\text{K}^+ < 2$ 、 $\text{Na}^+/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) > 4$ 时,为典型的岩浆热液; $2 < \text{Na}^+/\text{K}^+ < 10$ 、 $1.5 < \text{Na}^+/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < 4$ 时,可能为沉积型或层控型热液; F^-/Cl^- 很小时,反映原始沉积或地下热卤水成因。对比本矿床测试分析结果,成矿的热液以岩浆来源为主,并混有少量大气降水。

综上,洞子沟银铜多金属矿床成矿物质来源于与地幔热柱活动有关的幔源,成矿的热液以岩浆来源为主,并混有少量大气降水。

(4) 矿床成因讨论

华北古陆经过吕梁运动形成稳定的克拉通结晶基底之后,在 1 850~1 600 Ma 发生大规模的拉张裂解,其形成时间上与 Columbia 超大陆拉张裂解的早期阶段一致^[12],而造成 Columbia 超大陆拉张裂解的原因主要与地幔热柱活动有关^[17-22]。因此,华北克拉通该阶段的拉张裂解也与地幔热柱活动密切相关。古元古代晚期华北克拉通北缘承德一带形成燕辽-太行人字形拗拉谷,而人字形拗拉谷又是公认的地幔热柱在地表的直接表现。分布于洞子沟矿区西满子矿段的大红峪组碱性玄武岩,岩石地球化学特征显示形成于大陆裂谷环境^[7],但是又不具备典型的陆内裂谷双峰式火山岩组合特征,属于夭折的大陆裂谷环境^[12]。

洞子沟银铜多金属矿床的直接容矿岩石为长城系常州沟组砂砾岩,其砂砾岩中的 Ag、Cu、Au、Pb、

Zn 等元素含量高出世界地壳平均值几倍~几十倍^[14];矿石稀土元素组成特征与大红峪组火山岩的稀土元素组成差异较大,而与常州沟组碎屑岩的组成一致,反映出该矿床与常州沟组成因关系密切。矿床成矿年龄为 1 683~1 634 Ma,与 Columbia 超大陆拉张裂解的早期阶段(1 850 Ma—1 600 Ma)近似一致。矿石的硫、氢氧同位素及流体包裹体成分特征均指向成矿物质源于幔源物质。此外,在常州沟组中可见黄铁矿、黄铜矿等金属硫化物呈微细层状与含砾粗砂岩互层分布,部分呈浸染状分布于含砾粗砂岩中,具有明显的原生沉积特征。有研究表明硫化物矿床中的 Co、Ni 含量以及 $w(\text{Co})/w(\text{Ni})$ 值作为矿床分类依据,可指示矿床成因类型和成矿作用^[23];与岩浆作用有关的 Co、Ni 含量最高, $0.5 < w(\text{Co})/w(\text{Ni}) < 10$;火山喷气块状硫化物矿床, $5 < w(\text{Co})/w(\text{Ni}) < 50$, 平均 8.7;热液(脉状)黄铁矿, $1.17 < w(\text{Co})/w(\text{Ni}) < 5$;沉积成因的黄铁矿 Co、Ni 含量低, $w(\text{Co})/w(\text{Ni}) < 1$ 。洞子沟矿体的石英微量元素 $w(\text{Co})/w(\text{Ni}) = 0.19 \sim 0.68$, 平均值为 0.33,同样具有沉积层控化的特征^[10]。因此,洞子沟银铜多金属矿床为典型的沉积层控型矿床。

综上,洞子沟银铜多金属矿床形成于古元古代晚期。吕梁运动之后,华北克拉通北缘的伸展裂解过程中发育了燕辽-太行人字形拗拉谷;在尔后夭折的承德-蓟县-密云三叉裂谷系^[21]南支北端断陷盆地中,发育了深切下地壳的同生断裂^[3]——黄崖关—兴隆 SN 向断裂,并伴随着断陷盆地接受沉积的同时,有沿同生断裂上升的幔源热液、成矿物质等组分与常州沟组陆源碎屑一同沉积,形成洞子沟银铜多金属矿床。

5 结语

(1) 洞子沟银铜多金属矿床赋存于长城系常州沟组地层中,受地层控制比较明显。

(2) 矿石的硫、氢、氧同位素及矿物流体包裹体特征均指向成矿物质源于幔源。

(3) 古元古代晚期华北克拉通吕梁运动后的伸展裂解过程中的地幔热柱上涌带来的幔源热液、成矿物质,同生沉积于长城系常州沟组地层中而成矿。

参考文献:

- [1] 陆松年. 在华北地台中新元古界中寻找金、银矿床的思路与前景[J]. 前寒武纪研究进展, 1997, 20(1): 12-16.

- [2] 秦正永. 燕山地区与变质核杂岩——伸展构造有关的金、银矿找矿远景[J]. 前寒武纪研究进展, 1997, 20(2): 37-43.
- [3] 杨昌正. 洞子沟银(金铜)矿床地质特征和成因机制探讨[J]. 有色金属矿产与勘查, 1996, 5(2): 75-80.
- [4] 肖成东, 艾永富. 华北地台北缘中段银多金属矿床与火山岩[J]. 地质论评, 1999, 45(7): 488-494.
- [5] 毛德宝, 钟长汀, 陈志宏, 等. 华北地块北缘中段铅锌银矿床成矿作用讨论[J]. 前寒武纪研究进展, 2002, 25(2): 105-112.
- [6] 钟长汀, 毛德宝, 胡小蝶, 等. 洞子沟银多金属矿床成矿时代[J]. 前寒武纪研究进展, 2001, 24(1): 58-63.
- [7] 钟长汀, 毛德宝, 李永峰, 等. 华北中—新元古代火山岩及其成矿作用的制约——以河北洞子沟银多金属矿床为例[J]. 现代地质, 2004, 18(3): 331-338.
- [8] 毛德宝, 钟长汀, 陈志宏, 等. 冀北洞子沟银矿床: 一个中元古代的浅成低温热液矿床——来自矿物学和地球化学的证据[J]. 矿物岩石, 2003, 23(2): 16-21.
- [9] 段焕春, 周琳, 徐洪波. 河北洞子沟银多金属矿稀土元素特征及找矿模式探讨[J]. 矿产与地质, 2003, 17(6): 673-678.
- [10] 段焕春. 河北洞子沟银多金属矿矿物标型特征及找矿意义[J]. 地质与勘探, 2004, 40(1): 55-59.
- [11] 赵英福, 吕增尧. 河北兴隆洞子沟银—铜矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿产与地质, 2004, 18(3): 212-216.
- [12] 阎国翰, 蔡剑辉, 任康绪, 等. 华北克拉通板内拉张性岩浆作用与三个超大陆裂解及深部地球动力学[J]. 高校地质学报, 2007, 13(2): 161-174.
- [13] 丁建华, 肖成东, 秦正永. 洞子沟地区大红峪组富钾火山岩岩石学、地球化学特征[J]. 地质调查与研究, 2005, 28(2): 100-105.
- [14] 胡祥昭, 彭恩生, 朱余德, 等. 河北洞子沟银(铜金)矿床成矿地质特征及成因探讨[J]. 大地构造与成矿学, 1999, 23(2): 152-159.
- [15] 肖成东, 杨伦, 魏晓英, 等. 冀东变质核杂岩中银金矿床地质地球化学特征[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2002, 38(2): 245-251.
- [16] 陆松年, 李惠民. 蓟县长城系大红峪火山岩的单颗粒锆石 U-Pb 法准确定年[J]. 中国地质科学院院报, 1991, 22: 137-143.
- [17] Fukao Y, Maruyama S, Obajshi S. Geologic implication of the whole mantle P-wave tomography [J]. Geol Soc Japan, 1994, 100(1): 4-23.
- [18] Gurnis M. Large scale mantle convection and aggregation and dispersal of suptrcontientis [J]. Nature, 1988, 332: 695-699.
- [19] Hoffman P E. Did the breakup of Laurentia turn Gondwana inside out [J]. Science, 1991, 252: 1409-1412.
- [20] 王银川, 裴先治, 李佐臣, 等. 祁连造山带东端张家口地区长宁驿中元古代花岗岩片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地质通报, 2012, 31(10): 1576-1587.
- [21] 翟明国, 卞爱国, 赵太平. 华北克拉通新太古代末超大陆拼合及古元古代末—中元古代裂解[J]. 中国科学(D辑), 2000, 30(增刊): 129-137.
- [22] 赵国春, 孙敏, Wilde S A. 早—中元古代 Columbia 超级大陆研究进展[J]. 科学通报, 2002, 47(18): 1361-1364.
- [23] Thomas H V, Large R R, Bull S W, et al. Pyrite and pyrrhotite textures and composition in sediments, laminated quartz veins, and reefs at Bendigo gold mine, Australia: Insights for ore genesis [J]. Economic Geology, 2004, 106(1): 1-31.

The Geological characteristics and genetic analysis of the Dongzigou silver (copper) polymetallic deposit in Hebei province

WANG Yinchuan

(The Sixth Geological Brigade of Hebei Bureau of Geology and Mineral, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: Dongzigou silver (copper) polymetallic deposit is located in the stratum of Changzhougou Formation of Changcheng System at the north margin of the north China craton. It is a strabound ore deposit. Characteristics of the deposit, geochemical characteristics of REE of the ore, fluid inclusion characteristics, S—H—O isotopes and U-Pb chronology are studied. The results show that the ore materials are derived from mantle and the deposit is formed during the post Lvliang movement extension and splitting of the north China craton in the late palaeo-Proterozoic Era. The fault basin receive sediments and the mantle-sourced hydrothermal fluid move up along the syn-sedimentation fault and syn-sedimentation of Ag, Cu, Pb, Zn etc. and terrestrial materials take place and Dongzigou silver (copper) polymetallic deposit is formed.

Key Words: Dongzigou silver (copper) polymetallic deposit; sedimentary stratabound deposit; Changzhougou Formation of Changcheng System; north China craton; mantle plume; Hebei province