

胶莱盆地东北缘郭城金矿床成矿流体特征及矿床成因

李志强^{1,2},丁正江^{2,3*},薄军委^{1,2,3},王志新¹,李 勇¹,纪 攀¹,李婷婷¹

(1. 山东省第三地质矿产勘查院; 2. 深部金矿探测大数据应用开发山东省工程研究中心;
3. 中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室)

摘要:郭城金矿床位于胶莱盆地东北缘,由土堆矿段、沙旺矿段、东刘家矿段、龙口矿段和后乔矿段等组成,受以郭城断裂为主的拆离构造体系控制。矿石中石英流体包裹体岩相学、显微测温等研究结果显示,流体包裹体分为气液两相包裹体、含 CO₂ 三相包裹体和纯液相包裹体 3 种类型;成矿流体盐度为 1.39 % ~ 16.53 %,密度 0.56 ~ 1.00 g/cm³,属于中低盐度、低密度流体;成矿温度为 200 ℃ ~ 360 ℃,成矿流体压力 60 ~ 125 MPa,成矿深度 6.22 ~ 9.31 km。结合前人研究成果,认为郭城金矿床成因类型是受郭城断裂为主拆离构造体系控制、地幔流体参与成矿的中温热液脉型金矿床。

关键词:流体包裹体;成矿温度;成矿深度;矿床成因;郭城金矿床;胶莱盆地东北缘

中图分类号:TD11 P618.51

文章编号:1001 - 1277(2024)05 - 0057 - 07

文献标志码:A

doi:10. 11792/hj20240513

引 言

胶东地区作为中国重要的金矿集区,受到了众多地质工作者的关注和重视,而胶莱盆地东北缘是胶东地区继发现胶西北、栖霞—蓬—福、牟—乳金成矿带之后,近年来新发现的金矿集区。目前,已发现辽上、宋家沟、西井口、郭城、西涝口、蓬家乔等(特)大、中型金矿床 6 处,累计探获近 200 t 金金属量。其中,郭城金矿床的土堆矿段、沙旺矿段、东刘家矿段、龙口矿段和后乔矿段等 5 个矿段累计探获金金属量 20 余 t。

近年来,部分学者对郭城金矿床同位素特征、构造控矿规律、找矿前景、成矿时代等方面进行了研究^[1-5],为矿床勘查提供了理论基础。在以往工作基础上,通过对郭城金矿床各矿段的石英流体包裹体进行测试分析,综合研究成矿流体特征、物质来源和矿床成因类型,以期为该矿床深部找矿勘查提供参考。

1 矿区及矿床地质特征

1.1 矿区地质特征

郭城金矿床大地构造位置处于华北板块胶北断隆南缘、胶莱断陷东北缘,东南与苏鲁造山带相邻,西侧被郯庐断裂隔断(见图 1 - A)。矿区内地层出露广泛,古元古界荆山群呈北东向分布于矿区

中部郭城断裂下盘,中生界白垩系莱阳群主要分布于矿区西北部郭城断裂上盘,第四系沿沟谷分布(见图 1 - B)。荆山群地层以黑云变粒岩、黑云片岩、黑云斜长片麻岩、大理岩等岩性组合为主,莱阳群地层为一套灰白色砾岩、紫红色砾岩、含砾砂岩和粉砂岩组合。矿区构造以断裂为主,按走向可分为北东向、北西向和近南北向 3 组断裂。其中,北东向断裂为矿区内主要控矿构造^[5]。矿区内岩浆岩为玲珑序列九曲单元二长花岗岩,整体呈北东向侵入荆山群地层中,且具有韧性变形和糜棱岩化现象,岩体内多含有荆山群地层包裹体。此外,矿区发育煌斑岩、闪长玢岩、辉绿玢岩等早白垩世中—基性岩脉^[6],这些岩脉穿插于荆山群地层及中生代二长花岗岩中。

1.2 矿床地质特征

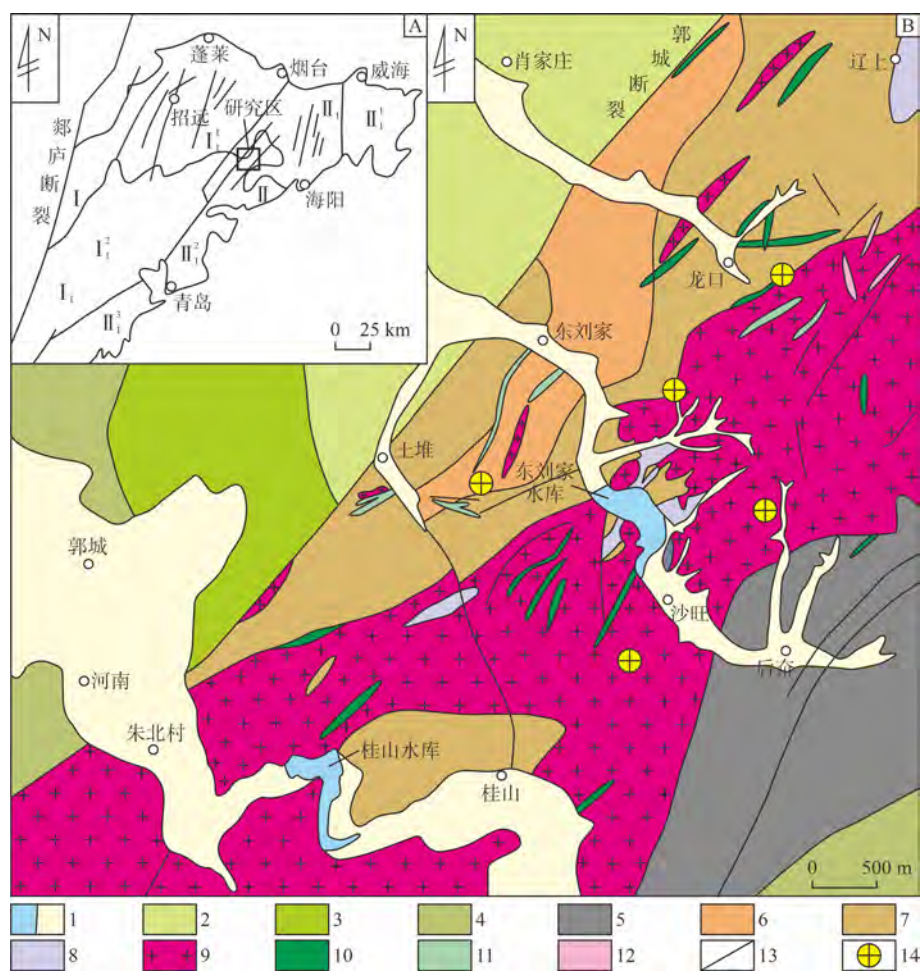
郭城金矿床位于牟—乳金成矿带中南部郭城镇土堆—沙旺一带,由土堆矿段、沙旺矿段、东刘家矿段、龙口矿段和后乔矿段等 5 个矿段组成^[7]。其中,土堆矿段已圈定 43 个矿体,受控于北东向断裂为主的拆离构造体系。矿体赋存于荆山群地层中,呈脉状、似层状发育,走向整体呈北东向,倾向北西,倾角 5° ~ 25°。沙旺矿段已圈定 101 个矿体,与土堆矿段相似,矿体均受控于北东向断裂为主的拆离构造体系,赋存于黄铁绢英岩化蚀变带内,呈脉状、似层状发育,走向以北东向为主,倾向北西,倾角 15° ~ 25°;东

收稿日期:2023 - 11 - 10; 修回日期:2024 - 01 - 15

基金项目:深部金矿探测大数据应用开发山东省工程研究中心开放课题(SDK202207);国家自然科学基金项目(41973048);中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室开放课题(GPMR202203)

作者简介:李志强(1990—),男,工程师,研究方向为金成矿机制与成矿规律;E-mail:lizq2209@qq.com

* 通信作者:丁正江(1977—),男,研究员,博士,研究方向为热液矿床成矿作用及成矿规律;E-mail:tydzjhj@126.com



1—湖泊/第四系 2—莱阳群曲格庄组 3—莱阳群龙旺庄组 4—莱阳群水南组 5—荆山群陡崖组
6—荆山群野头组一段 7—荆山群野头组二段 8—大理岩 9—玲珑序列九曲单元二长花岗岩 10—辉绿玢岩 11—煌斑岩
12—闪长玢岩 13—断裂 14—金矿床(点) I—华北板块 I₁—胶莱-胶北断隆 I₁¹—胶北断隆 I₁²—胶莱断陷
II—苏鲁造山带 II₁—胶南-威海断隆 II₁¹—文登-威海断拱 II₁²—胶莱断陷 II₁³—胶南-临沭断拱
图 1 郭城金矿床大地构造位置图(A)及矿区地质简图(B)

Fig. 1 Geotectonic location map of Guocheng Gold Deposit (A) and geological sketch of the mining area (B)

刘家矿段已圈定 9 个矿体,其中 D2 矿体为主矿体,受控于北东东向断裂,赋存于角砾状黄铁绢英岩化二长花岗岩中;后乔矿段已圈定 54 个矿体,H3、H5 矿体为主矿体,其余为次要或单工程控制矿体,矿体呈似层状,赋存于角砾状黄铁矿化二长花岗岩中,矿体走向总体呈北东向,倾向南东,倾角 7°~35°;龙口矿段已圈定 8 个矿体,其中 L1、L2 矿体为主矿体,其余为次要矿体或单工程控制矿体,矿体呈脉状、似层状,赋存于绢英岩化二长花岗岩及荆山群地层中,总体走向 10°~35°,倾向南东,倾角较缓,一般在 15°~40°。各矿段矿体多沿走向呈脉状、似层状或透镜状断续发育,具有分支复合、尖灭再现、膨胀狭缩等现象。

郭城金矿床矿石按自然类型可分为原生硫化物矿石和少量氧化矿石。其中,原生硫化物矿石主要包括石英脉型矿石和少量蚀变岩型矿石。矿石矿物组成可分为金属矿物和非金属矿物,金属矿物以黄铁矿

为主(见图 2),其次为磁黄铁矿、磁铁矿、闪锌矿、黄铜矿和自然金等;非金属矿物以石英、长石、黑云母和方解石为主,少量角闪石、绿帘石和绿泥石等。矿石结构主要有半自形—他形粒状结构、碎裂结构,其次为交代熔蚀结构、骸晶结构等。自然金主要以不规则粒状星散分布,粒径 5~25 μm,常见磁铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿或闪锌矿等交代黄铁矿形成交代熔蚀结构。矿石构造以致密块状构造、脉状构造、浸染状构造为主,局部可见斑杂状构造、网脉状构造或星点状构造等。

郭城金矿床各矿段矿体均发育不同程度的围岩蚀变,蚀变类型以硅化、黄铁绢英岩化和碳酸盐化为主,钾化、绿泥石化等蚀变次之。其中,黄铁矿化与金成矿作用密不可分。矿体与围岩呈渐变关系,未发现明显的蚀变分带现象。

郭城金矿床主成矿期的成矿过程可分为以下

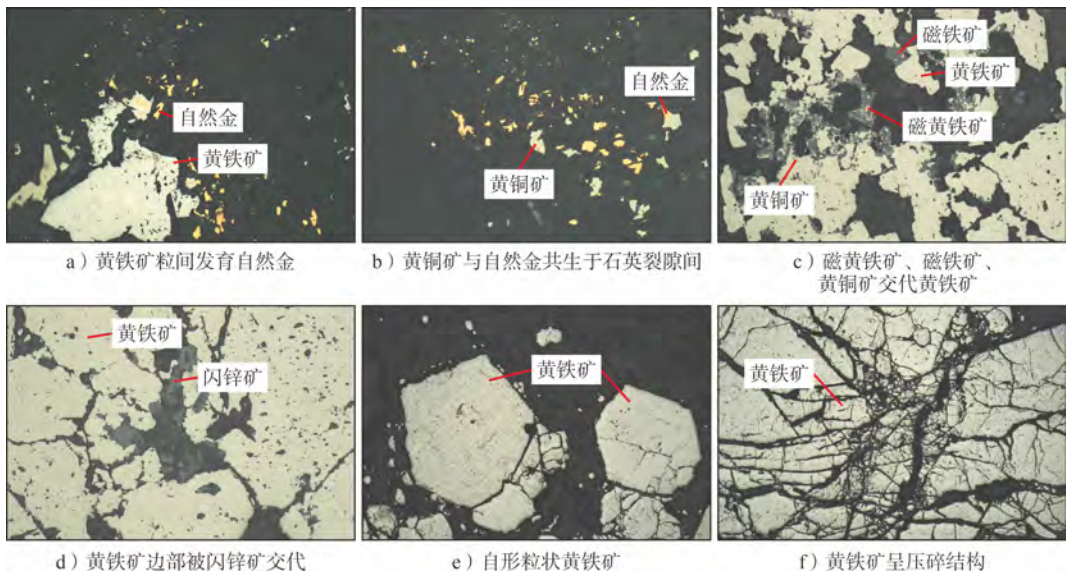


图 2 郭城金矿床矿石显微镜下照片

Fig. 2 Microscopic photos of ores from Guocheng Gold Deposit

4 个阶段:①石英-黄铁矿阶段,为成矿作用早期阶段,以形成大量石英和少量黄铁矿为代表,且黄铁矿晶形较好,粒度较粗,呈星散状分布,此阶段金矿物不发育(见图 2-e));②石英-黄铁矿-金阶段,为金矿形成的主要阶段,该阶段除了石英、黄铁矿较为发育外,还明显形成大量金矿物颗粒(见图 2-a)、b)),且成矿作用早期形成的黄铁矿晶体多遭受挤压而破碎,呈压碎结构(见图 2-f));③石英-硫化物阶段,为多种金属硫化物如黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等形成的主要阶段,同时有少量金形成,该阶段的多金属硫化物多交代成矿作用早期发育的黄铁矿,形成交代熔蚀结构(见图 2-c)、d));④碳酸盐阶段,为成矿作用晚期阶段,成矿热液含大量 CO_3^{2-} 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等离子,经物理化学反应快速结晶,形成方解石、白云石等矿物,同时伴有绢云母化、绿泥石化等蚀变,该阶段金矿化不发育,代表成矿作用结束。

2 流体包裹体研究

2.1 样品采集与分析方法

对郭城金矿床的 5 个矿段主要矿体进行样品采集,共制作薄片 53 个,光片 56 个,流体包裹体片 73 个,并对矿体中的石英进行流体包裹体测试。流体包裹体测试在山东省地质科学研究院完成,测温仪器为 LinkamTHMS-600 冷热台,仪器在 $-100\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的分析误差为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的分析误差为 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,测试前用国际标样进行系统校准。

2.2 岩相学特征

郭城金矿床各矿段矿石中发育大量原生流体

包裹体,多呈不规则形、圆形或椭圆形连续或星散随机分布(见图 3)。通过对流体包裹体测试分析和室温条件下相态特征观察研究,可将流体包裹体分为气液两相包裹体、含 CO_2 三相包裹体和纯液相包裹体 3 种类型。

1)气液两相包裹体:由气相水($\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$)和液相水($\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$)组成,其形态多呈不规则多边形、次棱角形、圆形或椭圆形(见图 3-a~d),粒径 $5 \sim 30\text{ }\mu\text{m}$,气相水和液相水比为 $15\% \sim 80\%$ 。该类包裹体数量较多,占包裹体总量的 80% 左右。

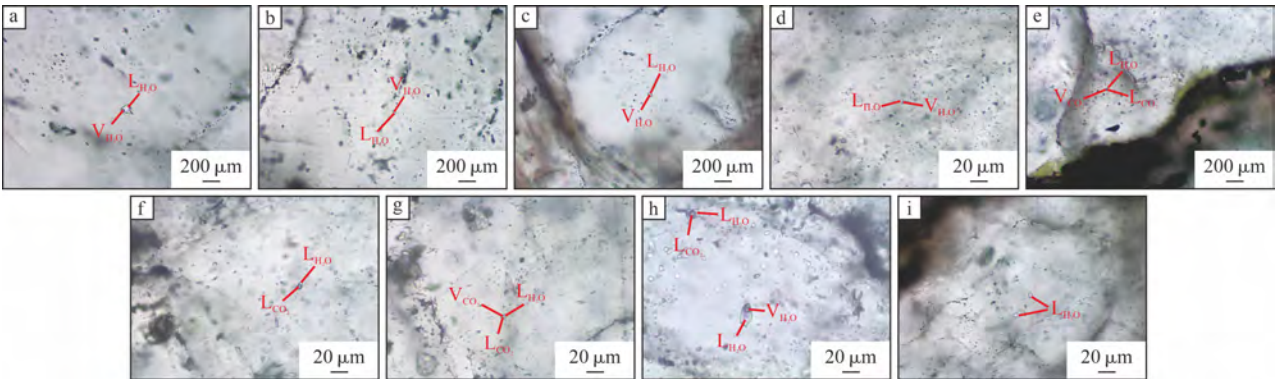
2)含 CO_2 三相包裹体:由液相 $\text{H}_2\text{O}(\text{L}_{\text{H}_2\text{O}})$ 、液相 $\text{CO}_2(\text{L}_{\text{CO}_2})$ 和气相 $\text{CO}_2(\text{V}_{\text{CO}_2})$ 3 种包裹体组成,包裹体粒径 $4 \sim 20\text{ }\mu\text{m}$,呈不规则椭圆形、次棱角形、眼球形或长条形等(见图 3-e~h)。包裹体中 CO_2 占 $40\% \sim 60\%$, CO_2 气液相比为 $50\% \sim 65\%$ 。该类型包裹体数量占包裹体总量的 15% 。

3)纯液相包裹体:由液相 $\text{H}_2\text{O}(\text{L}_{\text{H}_2\text{O}})$ 组成,粒径一般小于 $5\text{ }\mu\text{m}$,形态以圆形、椭圆形为主(见图 3-i),占包裹体总量的 5% 。

2.3 显微测温

采用均一法对流体包裹体进行测试,根据流体包裹体岩相特征,纯液相包裹体所占比例相对较少,因此选择气液两相包裹体和含 CO_2 三相包裹体研究测试,显微测温结果见表 1。

根据本次测试数据,气液两相包裹体完全均一温度为 $135.0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 376.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,峰值集中在 $200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 280\text{ }^{\circ}\text{C}$ (见图 4-a),冰点温度为 $-12.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。经计算得出,成矿流体盐度为 $1.39\% \sim 16.53\%$,峰值集中在 $6\% \sim 10\%$ (见图 4-b),密度集中在 $0.80 \sim 1.00\text{ g/cm}^3$ (见图 4-c)。



a ~ d—气液两相包裹体 e ~ h—含 CO₂ 三相包裹体 i—纯液相包裹体

图 3 郭城金矿床石英脉内流体包裹体显微镜下照片

Fig. 3 Microscopic photos of fluid inclusions in quartz veins of Guocheng Gold Deposit

表 1 郭城金矿床各矿段流体包裹体显微测温结果

Table 1 Microscopic temperature measurement result of fluid inclusions in each ore section of Guocheng Gold Deposit

矿段	样品编号	样品数量	完全均一温度/ ℃	冰点温度/ ℃	笼合物熔化温度/ ℃	盐度/ %	密度/ (g · cm ⁻³)
土堆矿段	TD-1-1	26	212.9 ~ 271.9	-9.6 ~ -3.8		6.14 ~ 13.55	0.83 ~ 0.93
		15	261.8 ~ 303.1		3.3 ~ 5.5	8.29 ~ 11.57	0.68 ~ 0.75
	TD-3-1	15	192.1 ~ 257.2	-7.9 ~ -1.1		1.56 ~ 11.60	0.81 ~ 0.93
		5	273.9 ~ 345.4		3.5 ~ 9.3	1.43 ~ 11.29	0.71 ~ 0.78
	TD-3-2	12	205.8 ~ 282.3	-7.2 ~ -3.7		5.99 ~ 10.74	0.80 ~ 0.90
	TD-4-1	13	243.4 ~ 273.4	-7.2 ~ -3.5		5.70 ~ 10.74	0.83 ~ 0.89
	TD-7-2	15	179.7 ~ 273.5	-8.1 ~ -2.5		4.17 ~ 11.84	0.85 ~ 0.94
	TD-8-1	10	182.4 ~ 352.3	-6.5 ~ -2.6		4.32 ~ 9.86	0.67 ~ 0.95
	TD-10-2	8	213.9 ~ 342.2	-4.2 ~ -2.5		4.17 ~ 6.72	0.68 ~ 0.89
沙旺矿段	GCZK-3-1	14	200.1 ~ 316.0	-9.6 ~ -2.9		4.79 ~ 13.55	0.77 ~ 0.92
		16	258.6 ~ 321.7		6.6 ~ 7.8	4.32 ~ 6.46	0.60 ~ 0.72
	GCZK-32-3	10	168.4 ~ 296.9	-6.2 ~ -1.1		1.90 ~ 9.47	0.78 ~ 0.92
		4	153.0 ~ 290.0		4.5 ~ 5.6	8.13 ~ 9.84	0.71 ~ 0.72
	GCZK-29-2	5	196.4 ~ 298.5	-5.8 ~ -1.8		3.05 ~ 8.94	0.81 ~ 0.91
		3	185.0 ~ 196.0		4.5 ~ 5.3	8.61 ~ 9.84	0.70 ~ 0.71
	GCZK-32-1	40	150.0 ~ 240.1	-12.5 ~ -1.8		3.05 ~ 16.53	0.89 ~ 1.00
		14	176.5 ~ 323.0		3.1 ~ 7.2	5.41 ~ 11.84	0.60 ~ 0.70
	GCZK-23-1	6	239.2 ~ 334.4	-6.7 ~ -5.3		8.27 ~ 10.11	0.76 ~ 0.88
	GCZK-34-1	42	165.7 ~ 232.0	-8.8 ~ -2.1		3.53 ~ 12.65	0.89 ~ 0.99
	GCZK-21-1	18	135.0 ~ 270.1	-8.7 ~ -2.2		3.69 ~ 12.54	0.84 ~ 0.99
		12	190.7 ~ 270.2	-5.4 ~ -2.1		2.06 ~ 7.86	0.83 ~ 0.92
	GCZK-1-1	7	317.1 ~ 348.7		6.4 ~ 8.5	3.00 ~ 6.81	0.62 ~ 0.75
		7	185.1 ~ 307.1	-7.1 ~ -3.5		5.70 ~ 10.62	0.82 ~ 0.94
	GCZK-5-1	4	265.2 ~ 336.7		5.8 ~ 7.5	4.87 ~ 7.81	0.60 ~ 0.70
		19	178.4 ~ 262.4	-6.7 ~ -1.1		1.90 ~ 10.74	0.80 ~ 0.95
	GCZK-9-1	11	283.5 ~ 335.5		5.6 ~ 7.6	4.69 ~ 8.13	0.58 ~ 0.87
		15	167.6 ~ 278.6	-7.3 ~ -2.3		3.85 ~ 10.87	0.82 ~ 0.96
	GCZK-51-1	7	292.4 ~ 346.2		5.7 ~ 7.8	4.32 ~ 7.97	0.70 ~ 0.87
		27	170.4 ~ 278.4	-7.9 ~ -3.9		6.58 ~ 11.60	0.83 ~ 0.95
	GCZK-52-1	8	270.1 ~ 316.5		3.8 ~ 6.5	6.63 ~ 10.87	0.68 ~ 0.88

表 1(续)
Table 1(continued)

矿段	样品编号	样品数量	完全均一温度/ ℃	冰点温度/ ℃	笼合物熔化温度/ ℃	盐度/ %	密度/ (g·cm ⁻³)
沙旺矿段	GCZK-22-1	26	223.5~267.3	-6.0~-3.8		6.14~9.21	0.84~0.89
		11	267.2~293.8		3.3~5.5	8.29~11.57	0.68~0.75
	GCZK-28-1	30	195.3~271.9	-9.6~-1.1		1.56~13.55	0.81~0.93
		6	273.9~312.4		3.5~7.2	5.41~11.29	0.70~0.84
	GCZK-34-2	26	205.8~282.3	-7.2~-3.4		5.70~11.60	0.80~0.91
	GCZK-35-1	17	167.0~273.5	-8.1~-1.2		2.06~11.84	0.85~0.94
	GCZK-35-2	14	144.2~186.8	-4.2~-0.8		2.23~6.72	0.91~0.95
		14	287.0~320.0		7.6~8.6	2.81~4.69	0.64~0.73
东刘家矿段	D2-12-2	16	187.7~226.8	-6.5~-1.7		1.90~9.86	0.85~0.93
		16	235.0~297.5		2.3~6.5	6.63~12.89	0.56~0.70
	D2-18-1	13	142.2~186.5	-8.8~-4.9		7.72~12.65	0.94~0.99
		8	169.4~300.1		5.8~6.9	5.94~7.81	0.66~0.71
	D2-3-1	7	207.8~273.5	-7.4~-4.2		6.72~10.99	0.85~0.94
	D2-6-1	9	177.3~239.3	-8.1~-2.5		4.17~11.84	0.86~0.93
	D2-10-2	6	158.2~196.3	-2.9~-1.2		2.06~4.79	0.92~0.95
	D2-13-1	8	144.2~259.2	-7.9~-0.8		1.39~11.60	0.89~0.97
龙口矿段	LK-1-1	22	182.4~251.3	-10.2~-5.7		8.81~14.42	0.88~0.98
		6	208.6~245.4		5.8~7.3	5.23~7.81	0.68~0.72
	LK-1-2	16	184.1~250.1	-9.1~-5.9		9.08~12.99	0.89~0.97
		7	214.1~262.8		4.8~7.8	4.32~9.39	0.68~0.77
	LK-1-3	14	202.5~276.1	-9.4~-4.4		7.01~13.33	0.84~0.95
		13	230.1~267.3	-6.0~-4.2		6.73~9.21	0.84~0.89
	LK-2-1	5	214.2~237.1		3.9~7.4	5.05~10.72	0.66~0.77
后畝矿段	HK-B1-1	10	172.8~338.8	-3.9~-1.6		2.73~6.29	0.70~0.90
	HK-B2-2	9	233.0~333.8	-5.3~-1.2		2.06~8.27	0.67~0.87
	HK-B2-3	10	178.5~376.4	-6.4~-1.4		2.40~9.73	0.60~0.91
	HK-B4-1	10	182.6~316.8	-5.0~-3.1		4.94~7.86	0.73~0.94
	HK-B5-1	6	146.9~275.3	-6.8~-2.5		4.17~10.24	0.79~0.99
	HK-B7-2	10	180.9~287.0	-6.8~-1.2		2.40~10.24	0.76~0.91
	HK-B8-1	6	233.4~297.2	-9.4~-1.5		2.56~13.33	0.82~0.93

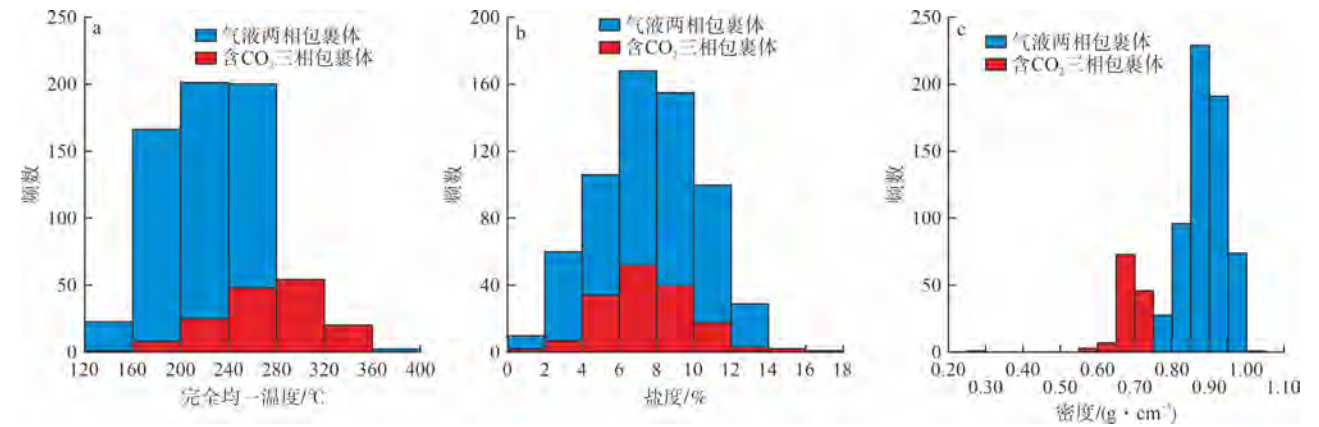


图 4 郭城金矿床流体包裹体完全均一温度、盐度及密度直方图

Fig. 4 Histogram of full homogenization temperature, salinity, and density of fluid inclusions in Guocheng Gold Deposit

本次测试数据统计分析结果显示,含 CO_2 三相包裹体中所有 CO_2 熔化温度为 $-58.7\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -55.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,这一温度反映出含 CO_2 三相包裹体中可能存在 N_2 或 CH_4 等成分^[8],该类包裹体完全均一温度为 $153.0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 348.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,峰值为 $200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 360\text{ }^{\circ}\text{C}$ (见图4-a)。包裹体中笼合物熔化温度为 $2.3\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 9.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,因此可计算得出含 CO_2 三相包裹体的盐度为 $1.43\% \sim 12.89\%$ 。气相 CO_2 均一至液相的温度为 $18.2\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 34.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,根据 CO_2 的均一方式和对应的密度方程,可计算出含 CO_2 三相包裹体密度为 $0.56 \sim 0.88\text{ g/cm}^3$ 。

由完全均一温度直方图(见图4-a)可知,含 CO_2 三相包裹体的完全均一温度整体略高于气液两相包裹体,温度为 $160\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,部分重叠。显微测温结果表明,包裹体盐度为 $1.39\% \sim 16.53\%$,密度为 $0.56 \sim 1.00\text{ g/cm}^3$ 。综上所述,成矿流体的物理性质为中低盐度、低密度流体。

3 讨论

3.1 流体包裹体捕获环境

郭城金矿床各类型包裹体形态各异,大小不一,成群或定向排列分布,且共生于同一石英颗粒中,指示包裹体被流体捕获时处于一种不均匀热液体系状态^[9]。捕获端元组分的包裹体完全均一温度和压力基本可以代表成矿期包裹体被捕获时的流体温度和压力^[10]。

经观察流体包裹体的形态和分布体特征可知,郭城金矿床主成矿期的成矿流体经历过明显的不混溶状态,根据前文研究,含 CO_2 三相包裹体完全均一温度为 $153.0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 348.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,峰值集中在 $200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 360\text{ }^{\circ}\text{C}$,代表了不混溶包裹体被流体捕获时的真实温度,即郭城金矿床的成矿温度。

利用含 CO_2 三相包裹体的捕获温度,通过等容线相交法^[11-12]可以计算出包裹体被捕获时的流体压力主要集中在 $60 \sim 125\text{ MPa}$ (见图5)。利用孙丰月等^[13]提出的关于热液脉状矿床成矿深度的分段拟合计算公式,估算该矿床成矿深度为 $6.22 \sim 9.31\text{ km}$,属中深成深度。

3.2 成矿流体组成及来源

前人对于郭城金矿床的成矿流体来源进行了多次研究和讨论。李红梅等^[14]通过氢氧同位素法对土堆、沙旺矿段矿石分析研究认为,成矿流体以岩浆水为主,后期有部分大气降水参与;陈昌昕^[15]通过对沙旺矿段矿石氢氧同位素测试分析认为,成矿流体来自地幔初生水,以及少量岩浆水和大气降水;张鹏鹏等^[16]通过对郭城金矿床地球化学特征分析认为,成矿物质主要来源于上地幔,成矿热液以原生岩浆水为

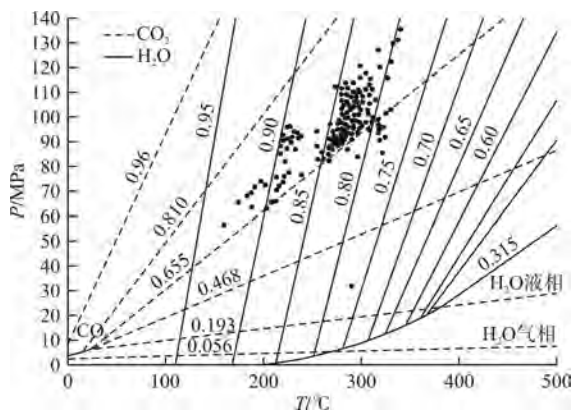


图5 等容线相交法计算成矿流体压力图解

Fig. 5 Diagram of ore-forming fluid pressure calculation by isometric intersection method

主,且加入了部分大气降水。本文测得郭城金矿床成矿温度为 $200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 360\text{ }^{\circ}\text{C}$,成矿深度在 $6.22 \sim 9.31\text{ km}$,属于中温中深成金矿床。通过收集和总结前人研究成果,结合本次成矿温度和深度的估算结果,认为郭城金矿床成矿流体主要来源于地幔初生水和部分岩浆水,成矿后期有少量大气降水的参与。

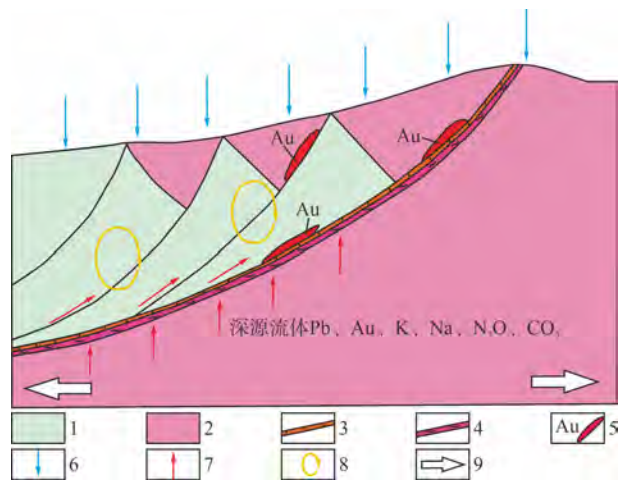
3.3 成矿模式

郭城金矿床同属于胶东大规模金矿成矿作用的一部分,与该区早白垩世晚期构造-岩浆-热液事件密切相关^[17]。根据矿床地质特征及成矿规律研究分析,拆离断裂构造体系是郭城金矿床的主要控矿因素。拆离构造体系不仅提供了成矿流体的运移通道,而且提供了矿体的就位空间^[18-19]。控矿构造的多级性直接控制了矿床的空间分布及矿体的形态和产状。

中生代,华北板块经历了由挤压构造体制向伸展性构造体制转化的过程。太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲,引发岩石圈地幔深熔和拆沉作用,岩石圈减薄,地壳表面伸展剥离形成凹陷区。同时,大规模的地幔物质上涌和频繁的岩浆活动,使得胶东陆壳与地幔物质发生相互熔融和置换作用,为金元素的运移和成矿作用提供了物质条件和动力^[20]。来自壳幔混合源区以地幔流体为主要物质来源的成矿热液,向上运移进入拆离构造体系中,在少量岩浆水和大气降水的参与下,随着流体温度、压力的降低,金元素逐渐卸载沉淀,并富集成矿(见图6)。综上所述,郭城金矿床成因类型是受郭城断裂为主拆离构造体系控制、地幔流体参与成矿的中温热液脉型金矿床。

4 结论

1) 郭城金矿床流体包裹体可分为气液两相包裹体、含 CO_2 三相包裹体和纯液相包裹体3种类型,是不均匀热液体系状态的产物,反映成矿流体经历了明显的不混溶作用。



1—荆山群 2—玲珑序列九曲单元二长花岗岩 3—拆离构造体系
4—糜棱岩带 5—矿体 6—大气降水
7—深源流体 8—循环水 9—伸展方向

图 6 郭城金矿床成矿模式图

Fig. 6 Metallogenetic model of Guocheng Gold Deposit

2) 郭城金矿床成矿流体盐度为 1.39 % ~ 16.53 % , 密度 0.56 ~ 1.00 g/cm³ , 属于中低盐度、低密度流体; 成矿温度 200 ℃ ~ 360 ℃ , 成矿流体压力 60 ~ 125 MPa , 成矿深度 6.22 ~ 9.31 km。综合分析认为, 郭城金矿床成因类型是受郭城断裂为主拆离构造体系控制、地幔流体参与成矿的中温热液脉型金矿床。

【参考文献】

[1] 门业凯,王恩德,付建飞,等. 胶东地区郭城金矿地质特征及成因探讨[J]. 矿床地质,2014,33(增刊1):431-432.
[2] 门业凯,王恩德,吴明刚,等. 胶东地区郭城金矿田格子状构造控矿机制[J]. 东北大学学报(自然科学版),2013,34(6):880-883.

[3] 王恩德,门业凯,贾三石,等. 胶东郭城金矿稀土元素地球化学特征及其对成矿的指示意义[J]. 稀土,2014,35(3):6-12.
[4] 李杰,张丽鹏,李聪颖,等. 胶东郭城金矿床黄铁矿 Rb - Sr 等时线年龄[J]. 中国地质,2020,47(3):894-895.
[5] 赵宝聚. 胶莱盆地东北缘土堆—沙旺矿区金矿成矿地质规律浅析[J]. 世界有色金属,2017(21):123-124.
[6] 谭俊,魏俊浩,郭玲利,等. 胶东郭城地区脉岩锆石 LA - ICP - MS U - Pb 定年及斑晶 EPMA 研究:对岩石圈演化的启示[J]. 中国科学(D 辑:地球科学),2008,38(8):913-929.
[7] 刘必政,张继林,冯波,等. 胶东郭城地区龙口—土堆金矿区深部成矿潜力及找矿方向[J]. 黄金,2019,40(10):10-13.
[8] SHEPHERD T J, RANKIN A H, ALDERTON D H. A practical guide to fluid inclusion studies[M]. New York:Blackie Publishing House, 1985.
[9] 卢焕章. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社,2004.
[10] 刘斌,沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社,1999.
[11] ROEDDER E, BODNER R J. Geologic pressure determinations from fluidinclusion studies[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1980,8(1):263-301.
[12] TAYLOR H P. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition[J]. Economic Geology, 1974,69(6):843-883.
[13] 孙丰月,金巍,李碧乐,等. 关于脉状热液金矿床成矿深度的思考[J]. 长春科技大学学报,2000,30(增刊1):27-30.
[14] 李红梅,魏俊浩,王启,等. 山东土堆—沙旺金矿床同位素组成特征及矿床成因讨论[J]. 地球学报,2010,31(6):791-802.
[15] 陈昌听. 山东郭城土堆—沙旺金矿床地质特征及矿床成因研究[D]. 长春:吉林大学,2015.
[16] 张鹏鹏,李俊建,田杰鹏,等. 胶东郭城地区金矿床地质及地球化学特征[J]. 黄金,2018,39(3):7-14.
[17] 杨斌,席振铎,向胤合,等. 伽玛能谱法在胶东大尹格庄金矿床后窿矿区的找矿应用[J]. 黄金,2023,44(7):19-22.
[18] 杨金中,赵玉灵,沈远超,等. 胶莱盆地东北缘与低角度拆离断层有关的金矿成矿作用——以山东海阳郭城金矿为例[J]. 黄金科学技术,2000,8(4):13-20.
[19] 仲米山,罗银花,刘冰,等. 华北克拉通东部新房金矿床成矿规律与三维成矿预测[J]. 黄金,2023,44(7):48-54.
[20] 吕古贤,崔书学,周明岭,等. 胶东金矿成矿规律和成矿模式研究[J]. 矿物学报,2011,31(增刊1):72-73.

Characteristics of ore-forming fluids and genesis of Guocheng Gold Deposit in the northeast margin of Jiaolai Basin

Li Zhiqiang^{1,2}, Ding Zhengjiang^{2,3}, Bo Junwei^{1,2,3}, Wang Zhixin¹, Li Yong¹, Ji Pan¹, Li Tingting¹

(1. No. 3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources of Shandong Province;

2. Shandong Province Engineering Research Center for Deep Gold Mine Detection Big Data Application Development;

3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences(Wuhan))

Abstract: Guocheng Gold Deposit is located on the northeast margin of Jiaolai Basin. It is composed of Tudui ore section, Shawang ore section, Dongliujia ore section, Longkou ore section, and Houkuang ore section. It is controlled by the detachment structural system dominated by Guocheng fault. The petrography and microscopic temperature measurement of quartz fluid inclusions in the ore show that the fluid inclusions in the deposit can be divided into 3 types: gas-liquid two-phase inclusions, CO₂-containing three-phase inclusions, and pure liquid phase inclusions. The salinity of ore-forming fluid is 1.39 % - 16.53 %, and the density is 0.56 - 1.00 g/cm³. It belongs to medium-low salinity and low-density fluid. The ore-forming temperature is 200 ℃ - 360 ℃, and the pressure of ore-forming fluid is 60 - 125 MPa. The ore-forming depth is 6.22 - 9.31 km. Based on predecessors' research achievements, it is considered that the genesis of Guocheng Gold Deposit is a mesothermal hydrothermal vein type deposit, of which the mineralization involves mantle fluid, controlled by the detachment structural system dominated by Guocheng fault.

Keywords: fluid inclusion; ore-forming temperature; ore-forming depth; deposit genesis; Guocheng Gold Deposit; northeast margin of Jiaolai Basin