

黔西南水银洞爆破角砾岩筒与金元素超常富集

邱小平^{1,2)}, 刘世川³⁾, 魏 密³⁾

1) 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2) 福州大学紫金矿业学院, 福建福州 350108;
3) 贵州紫金矿业股份有限公司, 贵州贞丰 562200

摘 要: 水银洞金矿床曾被认为是滇黔桂地区最有代表性的微细浸染型金矿(卡林型金矿), 然而矿床的金品位明显高于一般意义上的卡林型金矿床, 且金矿体与气液爆破角砾岩关系密切。气液爆破角砾岩呈垂直筒状产状, 两侧断裂矿化带呈向上扩张的“喇叭口”状成矿空间, 富金矿体紧密围绕角砾岩筒分布。根据野外和显微镜观察, 角砾岩块成分复杂与显著磨圆。气液角砾岩筒的角砾岩显著富集金、稀土、亲地幔过渡元素 Ti、Cr、Ni、Co、V 等, 以及 Zr、Hf 等, 明显区别于围岩, 反映出深源流体快速上升的气液爆破角砾岩的特征, 角砾岩筒实际上具备含金成矿流体的上涌通道的功能。岩筒中早期角砾岩的角砾含 Au 达 18×10^{-6} , 属于深部金矿体的爆破碎块, 显示出水银洞金矿床可观的深部找矿勘探前景。

关键词: 气液爆破角砾岩; 金元素超常富集; 深源热流体; 水银洞金矿床; 贵州

中图分类号: P618.51; P595 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2021.101901

Fluid Explosion Breccia Pipe and Gold Supernormal Enrichment in Shuiyindong Gold Ore Deposit, Southwest Guizhou Province

QIU Xiao-ping^{1,2)}, LIU Shi-chuan³⁾, WEI Mi³⁾

1) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;
2) College of Zijin Mining, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108;
3) Guizhou Zijin Mining Group Co., Ltd., Zhenfeng, Guizhou 562200

Abstract: Shuiyindong gold ore deposit is known as a typical fine-grain disseminated gold deposit (Carlin-type gold deposit) in Dian-Qian-Gui area; however, its gold grade is evidently higher than that of the common Carlin-type gold deposit, and its orebody is closely related to fluid explosion breccia. The chief breccia pipe is of a vertical columnar occurrence, the fractural mineralized broken zones on both sides of the pipe form a trumpet shape upwards in the expanded metallogenetic space, and high-grade orebodies are distributed around the pipes. Field investigation and microscopic observation indicated that the composition of breccia was quite complex; its rubbles had good abrasion and showed a space-dependent relationship with high-grade gold deposits. The pipe breccias were rich in Au, REE, and siderophile transition elements including Ti, Cr, Ni, Co, V, Zr, and Hf, and were evidently different from the surrounding rocks, reflecting the features of fluid explosion breccia resulting from the rapid uplifting of deep resource fluid, that is, the breccia pipes are the upwelling path of gold metallogenetic fluid. The rubble comprising early breccia in the pipe was of 18×10^{-6} gold grade, likely from the explosion fragment of the deep gold orebody, revealing considerable gold prospects in the depths of the Shuiyindong gold ore deposit.

Key words: fluid explosion breccia; gold exceptional enrichment; deep-source hydrothermal; Shuiyindong gold ore deposit; Guizhou Province

水银洞金矿床曾被认为是滇黔桂地区最有代表性的微细浸染型金矿(卡林型金矿), 矿床的金品

位明显高于一般意义上的卡林型金矿床, 是何种地质作用造成金元素超常富集, 成为金矿床研究的前

本文由国家自然科学基金项目(编号: 41172075)资助。

收稿日期: 2021-06-21; 改回日期: 2021-10-14; 网络首发日期: 2021-10-20。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 邱小平, 男, 1959 年生。博士, 研究员, 博士生导师。长期从事动力成岩成矿与碰撞造山带成矿研究, 近年来重点探讨滇黔桂“金三角”金矿床成矿动力学问题。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。E-mail: qiuxping@cags.ac.cn。

沿热点问题。

角砾岩是常见的地质体,类型众多,最常见的为构造破碎角砾岩和气液爆破角砾岩(hydrothermal fluid explosive breccia),构造与气液爆破复合型角砾岩也较为普遍(Wilshire and Howard, 1968; Hart et al., 1991; 卿敏和韩先菊 2002; 邱小平等, 2010, 2013)。构造破碎角砾岩常沿断裂构造呈线性分布,气液爆破型或构造-气液复合型角砾岩则多呈岩筒状或脉状。气液爆破或构造-气液复合型角砾岩在大多数金属矿床均有发现,只是没有得到相应的重视,它们与成矿作用的密切关系往往被忽视。例如,澳大利亚的奥林匹克坝(Olympic Dam)世界级巨型Cu-U-Au矿床,容矿地质体就是巨型角砾岩体(McPhie et al., 2011);产在角砾岩体中大中型矿床,更是比比皆是。气液来源主要是岩浆-火山-次火山热液,也可以是不同构造环境形成的温压流体,爆破机制往往是隆升作用或构造转换过程中围压骤降,流体蒸汽压瞬间超过围压的扩容过程。开放-半开放的爆破环境形成经典意义的爆破角砾岩,封闭环境则形成隐爆角砾岩。狭义的隐爆角砾岩(crypto-explosive breccia),其角砾成分单一,没有外来岩石成分,角砾呈棱角状,没有位移、旋转和磨圆,可以有外来气液蚀变胶结物。典型的气液爆破角砾岩,在开放-半开放封闭环境,角砾成分复杂,具有外来角砾,角砾可呈棱角状,也可以是浑圆状,多数角砾均具有位移、旋转和磨圆特征,或遭受强烈热液蚀变,因而这类角砾岩是极为重要的含矿-容矿岩石。多种成分混杂角砾,且发生过位移、旋转、搬运、磨圆和热液蚀变,具有脉状或筒状侵入产状的角砾岩,也可称为气液流注角砾岩(fluid injection breccia)。发生爆破的温压流体通常能够萃取深源成矿金属元素,与破碎的围岩具有极大的接触表面积或水-岩反应空间,从而顺利完成矿床的成矿过程(韩雪等, 2021; 吕青等, 2021)。

本文通过勘探工作的实际资料整理,并结合稀土元素、金矿品位空间分布特点来解剖水银洞金矿床的“气液爆破角砾岩筒”的金矿化特征,供同行了解这个“卡林型”金矿床(Cline et al., 2005; 夏勇等, 2009; 邱小平等, 2013; 谢卓君等, 2019)的独特性,为同类型矿床的勘查开阔思路。

1 水银洞金矿床的成矿地质背景

水银洞金矿床位于扬子陆块与华南褶皱系的右江造山带结合部位靠近造山带一侧,区域位于北东向师宗—弥勒深断裂、北西向南丹—昆仑关深断裂和近东西向个旧—宾阳深断裂围限的“三角形”夹块之近东西向“灰家堡”背斜中段,位于滇黔桂“金三角”北部(夏勇等, 2009; 谢卓君等, 2019)。

黔西南地区的沉积地层发育,从泥盆纪到三叠纪均有沉积。区内褶皱、断裂颇为发育,构成了本区的基本构造格局。水银洞金矿位于黔西南“灰家堡”矿集区东段,矿床的形成与地壳活动、褶皱及断裂作用密切相关。矿区的构造主要为背斜构造——近东西向的“灰家堡”宽缓背斜,水银洞金矿受该背斜的直接控制。区内出露的地层较复杂,大面积分布下三叠统夜郎组和永宁镇组地层,上二叠统龙潭组、长兴组、大隆组只是零星出露于背斜核部(图1a)。矿区内构造较发育,褶皱构造发育有近东西向的“灰家堡”宽缓背斜,断裂构造主要发育有东西向、近南北向和北东向三组,同时还包括茅口组与龙潭组之间的岩溶不整合面。水银洞金矿主要赋存在龙潭组2段中下部至1段顶部,同时构造不整合面中也赋存有部分矿体。水银洞金矿为复合型隐伏矿床。通过对水银洞金矿的地表考察和井下观察可得出金矿成矿因素主要是“灰家堡”气液热隆褶皱(邱小平等, 2013),气液爆破角砾岩筒和二氧化硅-白云石-黄铁矿(毒砂)围岩蚀变。

2 水银洞气液爆破角砾岩筒

水银洞金矿床最高品位的核心区,从西部20号勘探线到东部23号勘探线之间约1200 m范围,在勘探生产过程中,初步确定5个爆破角砾岩筒(图1b),主要高品位金矿体围绕东西方向的气液爆破角砾岩筒II、IV和V分布(图2,图3),尤其是IIIc和IIif矿体,围绕东西向角砾岩筒展布,长度超过600 m,角砾岩筒样品含金品位大多大于 10×10^{-6} ,最高品位接近 100×10^{-6} (图3)。以II号角砾岩筒规模最大,勘探程度最高,呈近于垂直的椭圆形筒状,略向东倾斜,与水银洞(灰家堡)金矿带向东侧伏和背斜枢纽向东倾伏规律一致(邱小平等, 2013)。高品位金矿体群从岩筒中心向外放射状分布(图4)。II号角砾岩筒东南侧高品位金矿石,属于IV号角砾岩筒及其与II号角砾岩筒矿体交汇部位的富矿体。所以,II号角砾岩筒东南部矿化强度明显高于西北部(图3,图4)。爆破角砾岩筒基本沿着“灰家堡”东西向气液热隆背斜(邱小平等, 2013)和北东向褶皱断裂带分布,目前仅在II号、IV号和V号角砾岩筒中检测出高品位金矿体,赋存在气液热隆背斜核部附近。“灰家堡”背斜是地勘部门从20世纪80年代命名以来,特别是金矿床地质找矿方面获得重大突破(夏勇等, 2009),相继发现紫木垌、香巴河、太平洞、水银洞、簸箕田和者相等重要金矿床,东西延绵约30 km。近年来地质调查和勘探发现,仅在水银洞矿区西起24号勘探线(高筒水库),东至69号勘探线(F₂₀₃断裂,图1a)约2.5 km区段,“灰家堡”背

斜为东西向宽缓对称背斜, 两翼倾角不足 10° , 为典型的气液热隆背斜(邱小平等, 2013), 含高品位角砾岩筒矿体金矿体只局限在此区段。从 69 号勘探线(F_{203} 断裂)东至 219 号勘探线(F_{219} 断裂), 为雄黄岩矿段, 背斜转换为北东向“南缓北陡”的不对称形态, 矿化强度大幅度降低。219 号勘探线(F_{219} 断裂)往东为簸箕田矿段, 背斜表现为北西向“南缓北陡”

紧闭褶皱, 矿化强度再次增强。值得注意的是“灰家堡”背斜在水银洞矿区 24 号勘探线并没有往原来走向西延伸, 而是扭转为北东向宽缓对称背斜, 往西南延伸控制了水银洞西南邻区金矿床和铊矿、汞矿、锑矿、砷矿等同源矿床的分布(图 1a, b)。“灰家堡”背斜没有延续到灰家堡村(回龙镇东侧), 其间出现 2.5 km 的“空挡”。

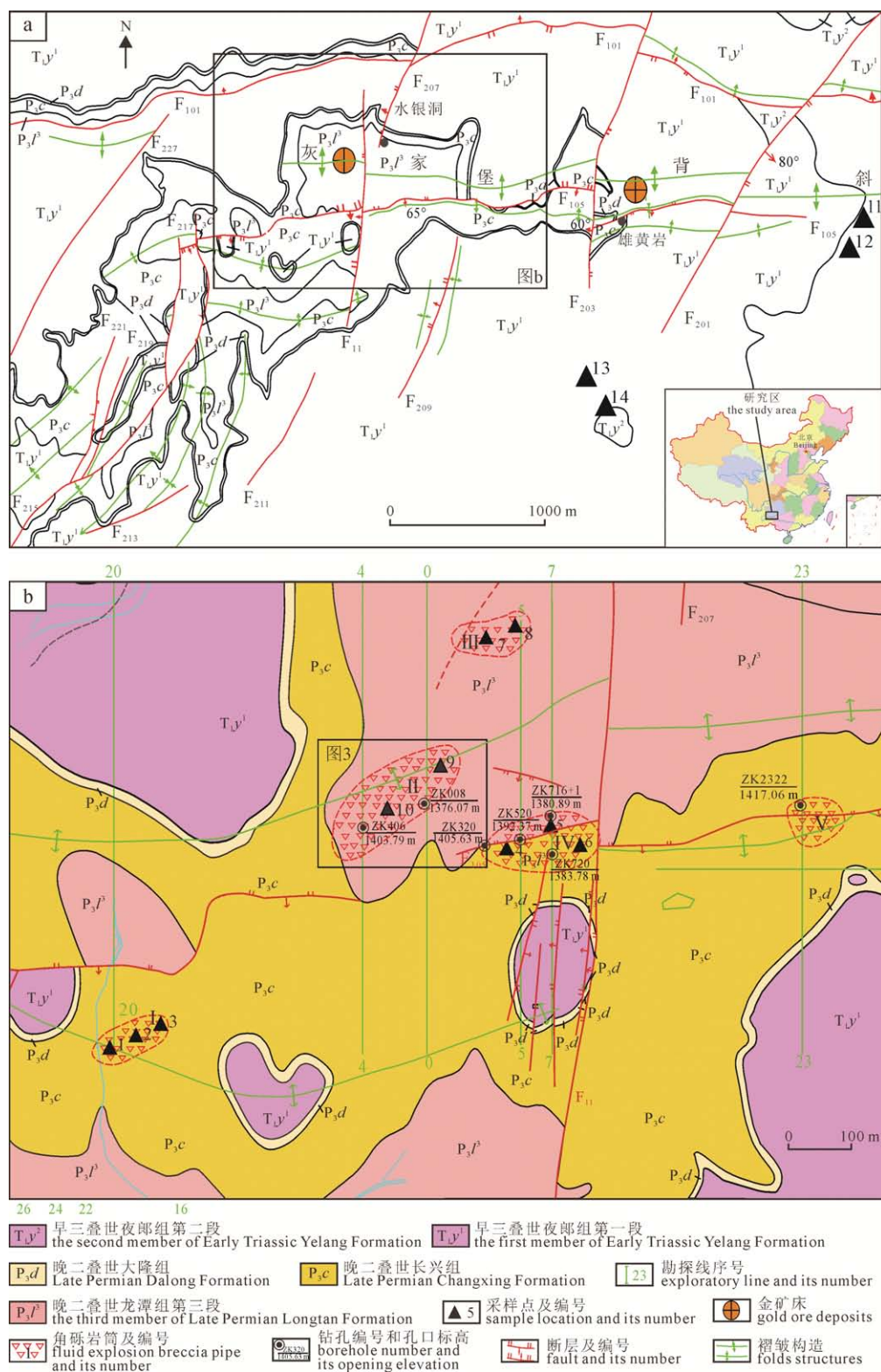


图 1 水银洞金矿床区域地质(a)和气流爆破角砾岩筒分布(b)简图

Fig. 1 Geological sketch map of Shuiyindong gold ore deposit (a), and distribution of fluid explosion breccia pipes(b)

根据地表地质调查, 钻探工程和生产探矿巷道工程资料, 在水银洞金矿区揭露出至少 5 个角砾岩筒, 最大者在矿床中心 0 线附近(II), 西部 16—20 勘探线(I), 勘探线 3 线北(III), 7 线南(IV)和东部 23—27 勘探线(V)(图 2), 其中 II、IV 和 V 号这 3 个角砾岩体呈东西向分布, 代表了主体“灰家堡”背斜的轴部方向, 高品位富矿体延伸方向; 西部 I、II 和 III 这 3 个角砾岩体呈北东向线性排列, 与“灰家堡”背斜轴线西部偏向南西趋势一致。中心角砾岩筒(II)分布在勘探线 6 号—3 号范围, 平面形态略呈 NEE 向延伸的椭圆状(图 3), 长轴约 230 m, 目前工程控制垂直深度从地表往下超过 400 m, 近于垂直延伸的岩筒状(图 3, 图 4), 穿到龙潭/茅口(P_3/P_2m)岩溶不整合界面后, 底部边界尚无工程控制。

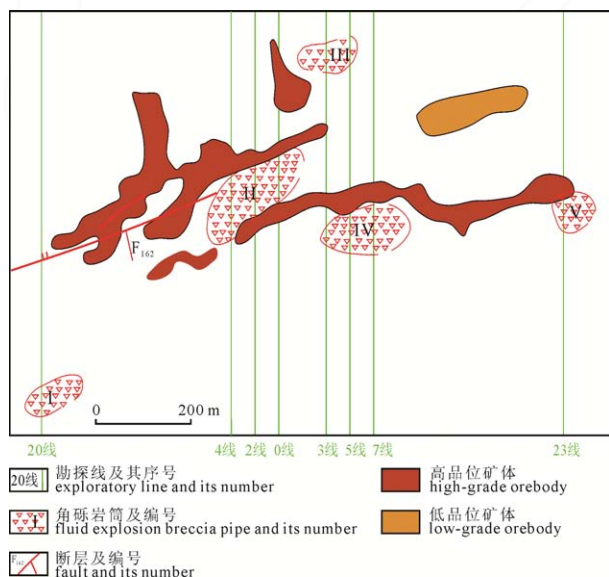


图 2 水银洞金矿爆破角砾岩空间分布图
Fig. 2 Spatial map of fluid explosion breccias of Shuiyindong gold ore deposit

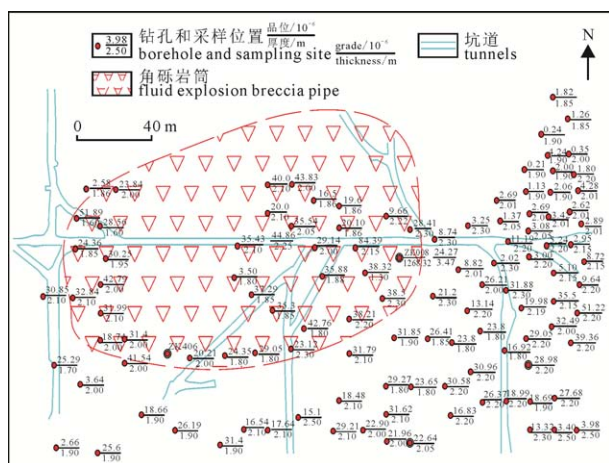


图 3 水银洞金矿角砾岩体中 IIIc 金矿体(+1240 m 中段)品位分布示意图
Fig. 3 The sketch map of gold grade distribution of the IIIc orebody at the +1240 m level in the fluid explosion breccia pipe of Shuiyindong gold ore deposit

角砾颜色繁杂、大小悬殊, 粒度范围从 0.1 mm 到 1×10^4 mm 不等, 具有一定分选性和不同程度磨圆(图 5a, b)。角砾岩中还有更小粒度角砾堆砌, 显示为多期的破碎和侵入作用(图 5c, d)。角砾岩筒的角砾成分均极为复杂, 为炭泥质灰岩、白云质灰岩、泥岩、细砂岩、凝灰岩、高岭石岩块(长英质火山岩蚀变产物)、中酸性-基性火山岩屑等(图 5e, f, g, h), 部分角砾岩筒中可见生物化石碎片(图 5i, j), 这种复杂角砾明显不同于矿区外围(如簸箕田、龙山等地)的简单的碳酸盐岩角砾(图 5k, l)。胶结物为炭质和泥质、碳酸盐矿物、火山凝灰质和蚀变的高岭石-迪开石黏土矿物等。角砾和胶结物普遍遭受黄铁矿、毒砂、白云石、方解石、石英硅化等矿化蚀变(图 5e, f, g), 并且伴随 $0.1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-6}$ 的金矿化, 生产实践中记录金最高品位可达 150×10^{-6} , 高于一般意义的卡林型金矿床(Hofstra et al., 2003; Emsbo et al., 2003; Cline et al., 2005)。以往地质勘探报告把这些角砾岩筒称之为“溶塌破碎带”, 当成是“溶洞堆积角砾岩”, 然而, 溶塌破碎带或溶洞堆积角砾岩是一种发育在碳酸盐岩地区, 由于溶洞崩塌堆积而成的角砾岩, 分布局限, 角砾成分单一, 属原地来源; 角砾分选极差, 磨圆度也较差, 充填在角砾中的基质为原地的碳酸盐物质。显然, 水银洞角砾岩筒地质特征不属于“溶塌破碎带”或“溶洞堆积角砾岩”。

3 水银洞角砾岩的岩石学与地球化学特征

为了解水银洞角砾岩的岩石地球化学特征, 采集了区内 14 件样品, 其中 10 件(编号 1—10)取自水银洞矿区 1240 m 和 1170 m 二个采矿中段,

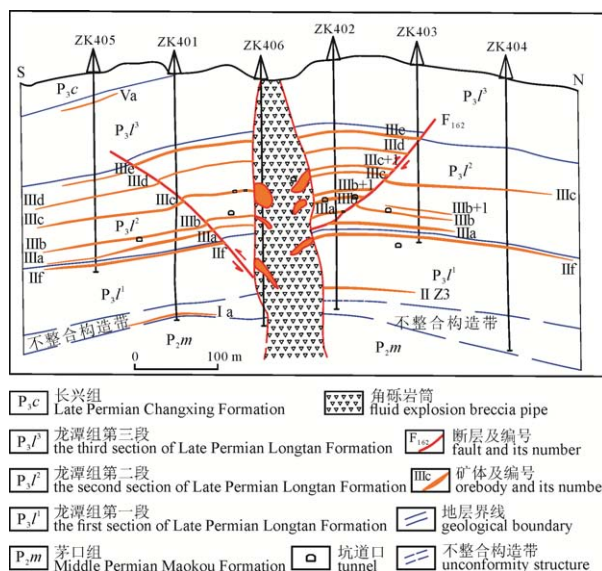


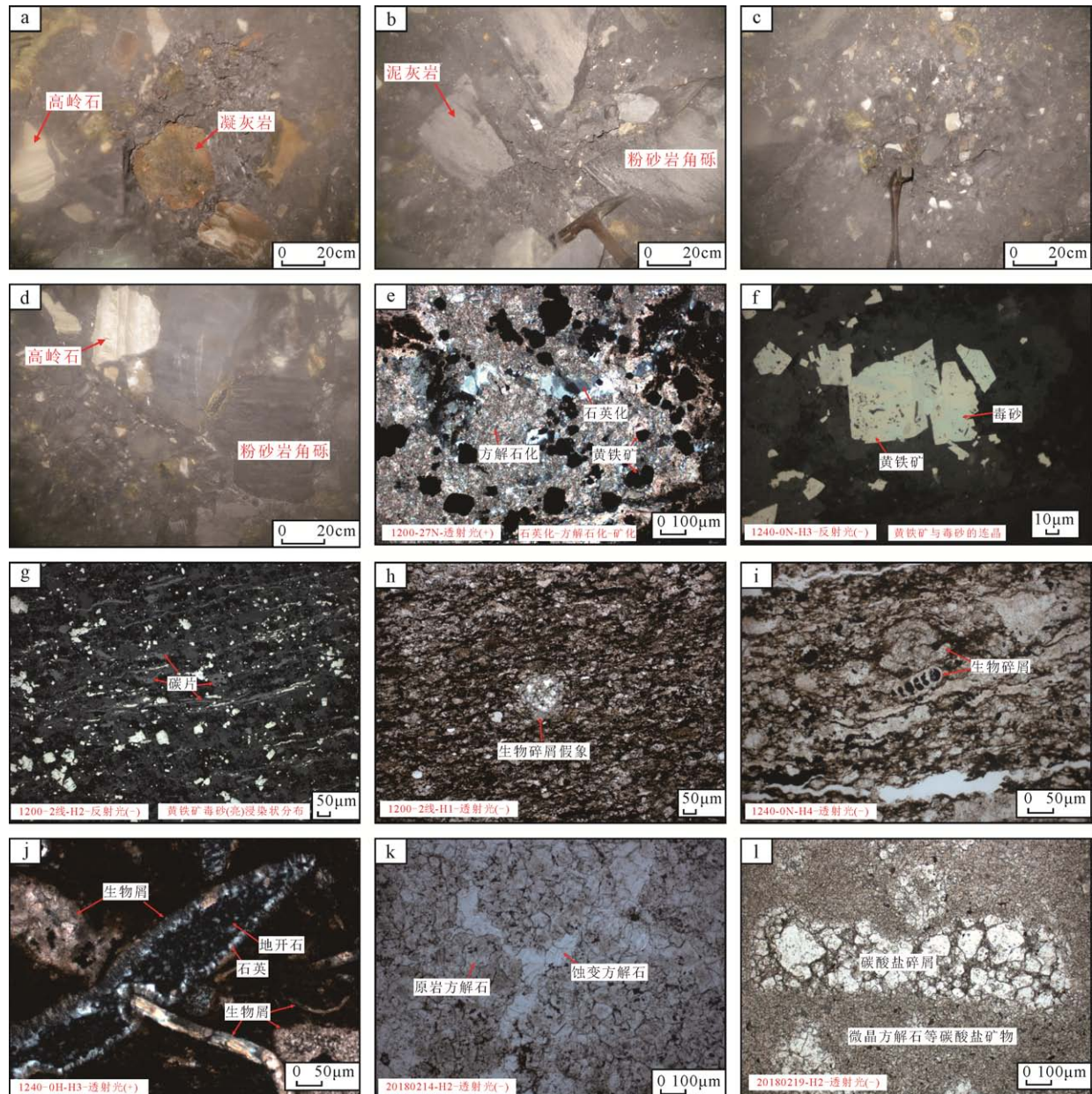
图 4 水银洞金矿 4 号勘探线剖面图
Fig. 4 The section plan of exploratory line 4 of Shuiyindong gold ore deposit

1200 m 中段坑内钻的角砾岩体岩芯(图 1b); 为了对比, 选择 4 件沉积型碳酸盐岩样品, 样品编号为 11—14, 分别取自矿区东部簸箕田矿段和南部龙山地表的碳酸盐岩(图 1b, 表 1, 表 2)。经过光学显微镜岩矿鉴定, 水银洞角砾岩的角砾成分主要是含生物碎屑泥晶白云岩、泥质生物碎屑灰岩、中酸性-基性凝灰岩或沉凝灰岩, 胶结物为泥炭质碳酸盐矿物、火山凝灰质和蚀变的高岭石-迪开石黏土矿物等, 均遭受强烈的黄铁矿、毒砂、(铁)白云石、方解石、

石英硅化等蚀变作用(图 5k, l, m, n)。

作为对比的外围碳酸盐岩和角砾岩, 经岩矿鉴定为含生物碎屑微晶灰岩和角砾状微细晶灰岩(致密灰岩), 属于正常的沉积岩类, 具有压溶方解石脉体和重结晶现象(图 5g, h, i, j)。

水银洞角砾岩体的样品稀土元素含量均远高于外围沉积碳酸盐岩, 稀土总量(ΣREE)也相差近十倍(表 2); 角砾岩体的与外围沉积碳酸盐岩的稀土总量相差极大, 但稀土配分模式相似, 而且矿区围



a, b, c— +1200 m 中段 II 角砾岩筒气液爆破角砾岩具有硫化物矿化凝灰岩角砾(黄)和高岭石岩块(灰白), 角砾具有磨圆和棱角状;
d—1200 m 中段 II 号角砾岩筒气液爆破角砾岩, 角砾以凝灰岩为主, 具有棱角状细碎屑; e—II 号角砾岩筒矿化角砾岩;
f—V 号角砾岩筒矿化角砾岩; g—II 号角砾岩筒含碳质泥灰岩; h, i, j—II 号角砾岩筒含生物碎屑灰岩;
k—簸箕田地表微晶灰岩; l—外围龙山地表角砾状灰岩。

a, b, c—the sulfides altered tuff rubbles (yellow) and kaolinite fragment (white) with of round or angulate shapes of II fluid explosion breccia pipe in +1200 m level gallery; d—the main rubbles of breccia are tuff in angulate small fragments of pipe II in +1200 m level gallery; e—mineralized breccia of pipe II; f—mineralized breccia of pipe V; g—carbon-bearing marl of pipe II; h, i, j—bioclastic limestone of pipe II; k—fine-crystal limestone in Bojitian area; l—breccia-like limestone in Longshan area.

图 5 水银洞液爆破角砾岩的岩石学特征

Fig. 5 The petrological features of fluid explosion breccia in Shuiyindong gold deposit

表 1 水银洞角砾岩与外围碳酸盐岩矿石中金及微量元素含量
Table 1 The gold and trace elements content of Shuiyindong breccia and peripheral carbonate rocks

序号	样号	Au	Ag	As	S	Sb	U	Tl	Co	Ni	V	Ti	Cr	Zr	Cu	Mo	W	Sn	Nb	Pb	Zn	Th	备注
1	SYII2SW H1	0.01	0.18	69.00	0.07	46.70	6.54	0.98	70.50	152.00	337.00	2.04	171.00	473.00	147.50	2.02	2.20	4.10	57.20	14.60	198.00	13.80	
2	SYII2SW H2	0.01	0.20	132.50	0.15	83.90	7.27	2.14	82.50	185.50	343.00	2.11	162.00	477.00	149.00	2.60	2.40	4.50	58.90	15.80	231.00	13.95	
3	SYII2SW H3	0.01	0.08	193.50	0.92	1280.00	6.95	4.32	85.30	131.00	377.00	0.863	72.00	201.00	68.10	3.73	1.20	2.60	23.00	9.30	104.00	5.47	
4	TYI7S H1	>10.0	0.72	3730.00	>10.0	24.50	6.73	4.85	29.90	56.70	349.00	0.979	346.00	252.00	47.60	2.11	43.80	2.90	38.60	5.90	104.00	5.98	角砾岩
5	TYI7S H2	0.28	0.10	3850.00	>10.0	26.40	6.74	3.97	49.00	65.30	432.00	1.915	182.00	547.00	99.10	2.29	32.80	4.40	76.10	10.30	153.00	13.25	
6	TYI7S H3	0.03	0.03	6470.00	>10.0	10.15	0.98	1.35	23.80	30.20	165.00	0.705	41.00	167.00	56.20	0.72	7.40	2.00	21.60	7.00	64.00	3.70	
7	TYI7N H1	0.04	0.11	186.00	2.89	72.20	3.90	1.40	37.10	59.10	272.00	1.490	170.00	358.00	94.90	1.07	5.30	3.30	53.50	8.20	121.00	8.74	
8	TYI7N H2	0.05	0.16	629.00	5.26	159.50	6.62	5.66	33.40	63.60	248.00	1.315	133.00	323.00	103.50	6.06	7.90	2.70	45.90	10.00	161.00	8.42	
9	IIHKZ0N01 H43	>10.0	0.42	1595.00	8.01	310.00	21.40	65.00	22.10	64.00	190.00	0.990	61.00	367.00	89.00	4.09	30.60	5.20	56.40	10.60	27.00	10.40	
10	IIHKZ0N01 H47	1.55	0.67	340.00	6.43	95.10	14.30	10.40	25.70	54.90	190.00	1.000	71.00	311.00	95.70	2.80	31.10	3.20	45.10	10.60	34.00	8.07	
	平均值	3.78	0.27	1719.50	3.39	210.85	8.14	10.01	45.93	86.23	290.30	1.34	140.90	347.60	95.06	2.75	16.47	3.49	47.63	10.23	119.70	9.18	
	地壳丰度*	0.0008	0.056	2.8	0.016	0.22	1.8	0.55	12	21	70	0.307	44	170	63	0.6	0.8	1.8	13	18	63	9.5	
	平均富集系数	4722.5	4.77	614.11	211.88	958.39	4.52	18.19	3.83	4.11	4.15	4.37	3.20	2.04	1.51	4.58	20.59	1.94	3.66	0.57	1.90	0.97	
11	20180214-H1	<0.02	<2.0	11.56	0.02	1.38	2.57	0.06	1.07	4.95	16.03	<0.05	10.18	5.08	7.69	0.28	2.07	0.56	0.69	5.89	9.93	0.43	外围
12	20180214-H2	<0.02	<2.0	24.06	0.06	3.08	5.48	0.08	1.68	6.62	37.80	0.05	28.17	18.94	10.56	1.57	3.46	1.94	0.76	9.01	14.87	1.42	碳酸盐岩
13	20180219-H1	0.04	<2.0	7.88	0.05	0.60	0.64	0.08	5.96	13.83	33.13	0.13	20.71	33.54	11.22	0.17	2.43	5.23	1.06	7.73	27.1	1.29	
14	20180219-H2	0.037	<2.0	4.37	0.11	0.51	0.91	0.06	4.71	9.77	25.34	0.10	18.26	27.11	17.33	0.29	3.31	4.14	0.86	9.31	16.37	0.95	
	平均值	0.04	-	11.97	0.06	1.39	2.40	0.07	3.36	8.79	28.08	0.09	19.33	21.17	11.70	0.58	2.82	2.97	0.84	7.99	9.93	1.02	
	地壳丰度*	0.0008	0.056	2.8	0.016	0.22	1.8	0.55	12	21	70	0.307	44	170	63	0.6	0.8	1.8	13	18	63	9.5	
	平均富集系数	48.13	0.00	4.27	3.75	6.33	1.33	0.13	0.28	0.42	0.40	0.30	0.44	0.12	0.19	0.96	3.52	1.65	0.06	0.44	0.16	0.11	

注: 样品序号 1—10 数据由澳实分析检测(广州)有限公司测试; 样品序号 11—14 数据由紫金矿业测试公司测试; S、Ti 元素检测单位为 10⁻⁶。地壳丰度*引用文献鄢明才等(1997)中国东部上地壳平均值。

表 2 水银洞角砾岩与外围碳酸盐岩矿石中稀土元素含量及特征值
Table 2 The rare earth elements content and special values of Shuiyindong breccia and peripheral carbonate rocks

序号	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	δEu	备注
1	SYIII2SW H1	77.3	158.5	20.00	81.0	16.50	4.34	14.60	2.11	11.20	2.15	5.71	0.81	4.74	0.73	399.7	0.84	
2	SYIII2SW H2	77.2	166.3	19.98	80.8	15.85	4.16	14.55	2.02	11.45	2.25	5.94	0.82	4.93	0.75	407.0	0.82	
3	SYIII2SW H3	34.1	74.3	9.30	37.7	8.12	2.26	8.85	1.35	8.14	1.63	4.48	0.62	3.70	0.53	195.1	0.81	
4	TYI7S H1	75.0	142.0	19.55	81.8	15.35	3.54	11.50	1.79	10.50	2.22	5.89	0.78	4.67	0.67	375.3	0.78	
5	TYI7S H2	93.0	196.0	24.00	96.9	18.45	4.29	15.30	2.30	13.50	2.67	7.17	0.96	5.93	0.89	481.4	0.76	角砾岩
6	TYI7S H3	36.1	80.3	10.48	49.7	11.90	3.63	12.20	1.55	6.85	1.14	2.84	0.36	2.16	0.35	219.6	0.91	
7	TYI7N H1	57.7	115.5	14.15	56.3	10.85	2.92	9.11	1.33	7.19	1.41	3.70	0.52	3.21	0.47	284.4	0.87	
8	TYI7N H2	53.7	106.0	13.03	51.8	9.58	2.39	8.50	1.18	6.52	1.32	3.49	0.50	3.07	0.44	261.5	0.79	
9	IIHKZON01 H43	62.7	121.5	14.38	53.6	9.89	2.61	8.84	1.22	6.60	1.27	3.57	0.47	2.94	0.44	290.0	0.84	
10	IIHKZON01 H47	56.8	106.8	13.10	49.5	8.74	2.21	7.90	1.14	6.07	1.21	3.23	0.47	3.02	0.42	260.6	0.80	
11	20180214-H1	3.4	7.9	1.06	4.8	1.50	0.51	2.04	0.31	1.67	0.31	0.81	0.11	0.65	0.10	25.2	0.89	外围碳酸盐岩
12	20180214-H2	6.9	15.6	2.02	8.7	2.51	0.79	3.16	0.47	2.57	0.46	1.25	0.16	1.06	0.16	45.9	0.86	
13	20180219-H1	10.5	22.2	2.79	11.5	2.21	0.58	2.12	0.27	1.52	0.28	0.78	0.10	0.65	0.09	55.5	0.81	
14	20180219-H2	8.4	16.7	2.10	8.7	1.70	0.47	1.70	0.22	1.21	0.23	0.65	0.09	0.52	0.08	42.6	0.86	

注：品序号 1—10 数据由澳实分析检测(广州)有限公司测试；序号 11—14 数据由紫金矿业测试公司测试，检测单位为×10⁻⁶。

岩具有弱的金矿化(表 1),说明矿区角砾岩和围岩均经历相同的成矿事件,表现出二者稀土配分模式相似(图 6)。

水银洞角砾岩体中亲地幔过渡元素 Ti、V、Cr、Co、Ni 等和高场强元素 Zr、Hf 远高于外围沉积碳酸盐岩(表 1),与岩矿鉴定的(沉)凝灰质火山岩似乎对应,但产状不相符合,富含亲地幔过渡元素的角砾岩体并非沿地层层面分布,而是垂直层理的筒柱状分布,应该是潜火山热液流体交代岩,或者称为气液爆破角砾岩筒,从而排除了溶塌破碎带或溶洞角砾岩的说法。水银洞角砾岩体的成矿或矿化元素 Au、As、S、Hg、Mo、W、Cu、Sn、Zn 也明显富集,同样也远高于外围沉积碳酸盐岩(表 1)。根据本次测试分析资料和贵州省贞丰县水银洞金矿区中矿段勘探地质报告(贵州紫金矿业股份有限公司, 2014),亲地幔过渡元素 Ti、Cr、Ni、Co、V、Zr 和 Nb 等和稀土元素含量从高到低的次序依次为:角砾岩筒、层状矿体、不整合构造带矿体(Ia)、矿体沉积岩围岩。显而易见,水银洞角砾岩体是个金矿化地质体。对比与中国东部上地壳平均丰度(鄯明才等, 1997; 赵东杰和王学求, 2020)对比,角砾岩筒的 Au、As、S、Sb、W、Tl 等矿化元素 $n \times 10 \sim n \times 10^3$ 倍数富集,尤其是金元素富集倍数达 4722.5 倍!而外围沉积碳酸盐岩的矿化元素富集倍数极小甚至贫化分散,但金元素富集倍数约 48.13,说明矿区围岩还有弱金矿化作用(表 1)。

4 水银洞角砾岩筒的成矿作用分析

贵州水银洞金矿山经过十几年的采矿生产活动中,水银洞角砾岩筒普遍具有低品位金矿化,局部还具有高品位金矿体。矿区最高品位的厚大富金矿体主要围绕角砾岩筒分布,或者就在其中,最有

代表性的是 II f 和 III a 和 III c 号矿体,最高品位超过 50 g/t(图 3),从 Ia 到 Va 系列金矿体也都围绕角砾岩筒分布(图 2)。由于以往对角砾岩体的认识偏差,对其成矿性未给与足够重视,而且多数矿体大多成为采空区,从生产统计资料估计,紧密围绕在数个角砾岩体或者就在角砾岩中金资源量约占矿床总量的一半。

角砾岩筒工程控制程度低,目前仅有 ZK406 从岩筒西部边缘穿过(图 4),孔深 200—250 m 揭露出垂直厚度 50 余 m,含金 $0.5 \times 10^{-6} \sim 2.76 \times 10^{-6}$ 的低品位矿体,因而当时未被重视。近年在 II 号角砾岩筒开展的坑内钻探工程,大多数孔均揭露出厚大富金矿体,其中 III KZ0N01 和 III KZ4N01 分别获得 9.53 g/t(厚 6.22 m)和 21.62 g/t(厚 5.74 m 的矿体)验证了角砾岩筒的重要含矿性。

4 号和 0 号勘探线剖面图角砾岩筒 NE 侧的 F₁₆₂ 断层和 SW 侧无名断层,都是逆冲断层,相向倾斜,汇聚到角砾岩筒,显示出角砾岩筒由深部向浅处爆破形成喇叭形向上张开的破碎带成矿空间(图 4)。角砾岩筒并非全筒矿化,因成矿热液具有超压流体性质,开辟岩筒通道爆发上升过程,压力和流速过大,大部分进入围岩层间破碎带形成似层状矿体,因而角砾岩筒与似层状矿体几乎同期形成。目前生产勘探证实的 5 个角砾岩体,II、IV 和 V 号这 3 个角砾岩体呈东西向分布,代表了主体“灰家堡”背斜的轴部方向。“灰家堡”背斜为平缓宽阔的弱变形背斜,与相邻的北西向陡立的贞丰复式紧闭褶皱大相径庭,属于含金超压流体上涌形成的气液热隆褶曲(邱小平等, 2013),成为水银洞矿区主干成矿与容矿构造。近年对坑道勘探资料和地表出露构造形迹的综合研究发现,“灰家堡”背斜往西延伸至 20—24 号勘探线附近,由东西方向扭转为北东走向,西部 I、II 和 III 这 3 个角砾岩体呈北东—南西方向排列,与“灰家堡”背斜轴线偏向南西趋势一致,预示水银洞金西南部将成为新的找矿靶区。

与角砾岩筒紧密连通的是编号为 II f 和 F₁₆₂ 矿体(图 4),矿石成分与其它相邻矿体明显不同,作为埋深数百米的隐伏原生矿体,Fe₂O₃/FeO 比值均大于 1.0,形成于氧化成矿环境(邱小平等, 2013),含金品位也较高,推测含金成矿超压流体性质具偏氧化性质。

II 号角砾岩筒目前控制规模最大,周边和其中金矿体规模和品位均较高;IV 和 V 号角砾岩体均赋存富金矿体或矿化蚀变体,沿着“灰家堡”气液热隆背斜轴部分布,由此推断这 3 个角砾岩筒与气液热隆背斜都是超压流体上拱的含矿构造(邱小平等, 2013),角砾岩筒是超压流体应力集中点,突破围岩

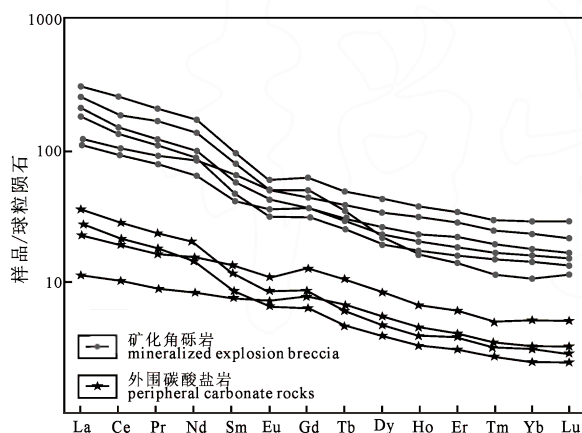


图 6 水银洞金矿稀土配分曲线图

(球粒陨石数据引自 Herrmann, 1970)

Fig. 6 REE pattern of Shuiyindong gold deposit (data are normalized using the chondrite REE values reported by Herrmann, 1970)

静压力, 呈筒状可直通地表浅处, 因而也是高品位金矿体的聚集中心。北东向分布的 I 和 III 号岩筒, 尚未发现高品位金矿体, 其成矿作用尚需进一步探索。应特别指出的是, 7 号勘探线的 IV 号角砾岩体, 样品号 TYI7S H1 的黑色凝灰质碳质泥灰岩角砾岩块, 含 Au 18×10^{-6} (澳实外检结果: 大于 10×10^{-6} , 表 1), 而炭泥质-黏土矿物胶结物含 Au 仅 0.28×10^{-6} 。说明部分高品位含金角砾岩块是深部金矿体爆破碎块, 通过气液爆破上冲到角砾岩体的浅处, 显示了水银洞深部金矿可观的找矿勘探前景。

根据水银洞区域地质沉积间断与构造隆升演化和成矿时代关系(邱小平, 2004; 邱小平等, 2013), 水银洞金矿西南偏南 16 km 的龙头山向斜核部出露的侏罗系/三叠系(T/J)界面早侏罗世自流井组(J_{1z})碎屑岩也卷入褶皱变形(贵州省地质调查院, 2017), 结合水银洞矿床萤石 Sm-Nd 同位素测年 (200.1 ± 8.6) Ma 和方解石脉 Sm-Nd 同位素测年 $134 \sim 136$ Ma、 (150.2 ± 2.2) Ma (Su et al., 2009; Tan et al., 2019) 数据分析, 水银洞金矿床成矿年代从三叠纪/侏罗纪——T/J, 201.3 Ma (国际地层委员会(ICS), 2020) 沉积间断界面开始至早白垩世(134 Ma)的中生代燕山构造旋回。水银洞矿床超压流体, 气液热隆褶皱和气液爆破角砾岩筒和金成矿作用, 均发生于中生代燕山构造旋回早期(201.3—134 Ma)的构造-岩浆热事件。

5 结论

(1) 贵州水银洞金矿为气液爆破角砾岩筒控制的富金矿床, 其金品位含量远高于传统的微细浸染型或卡林型金矿的金品位。II、IV 和 V 号角砾岩体沿着“灰家堡”气液热隆背斜轴部分布, 二者同属是超压流体上拱的含矿构造, 角砾岩筒是超压流体应力集中点, 突破围岩静压力, 呈筒状可直通地表浅处, 因而也是高品位金矿体的聚集中心。

(2) 气液角砾岩筒中显著富集金、稀土和亲地幔过渡元素 Ti、Cr、Ni、Co、V 等, 以及 Zr、Hf 等, 角砾成分复杂且具有流动磨圆特征, 反映出深源流体快速上升的特征。

(3) 在向上发散的爆破漏斗中, 主要富金矿体都围绕角砾岩筒分布, 角砾岩筒是成矿流体的上涌通道, 其中早期角砾岩的角砾含 Au 达 18×10^{-6} 属于深部隐伏金矿体的爆破碎块, 显示出水银洞金矿床可观的深部找矿勘探前景。

致谢: 本文在研究和撰写过程中, 得到中国科学院贵阳地球化学研究所夏勇研究员、国家地质实验测试中心曾普胜教授、贵州地质矿产局刘建中高级工

程师、紫金矿业集团公司陈景河、唐匡仁、朱立申、李桦、邓国梁等高级技术人员的无私帮助, 贵州紫金矿山地质测量处的全体技术人员在野外坑道调查和技术资料分析整理给予了大力支持和帮助, 岩矿鉴定工作由紫金矿业集团公司王军荣高级工程师完成, 广东省地质环境研究员范瀚允助理工程师帮助绘制部分插图; 衷心感谢曾普胜、杨竹森二位审稿专家对此文的修改提出许多细致中肯的修改意见, 在此谨致以由衷感谢!

Acknowledgements:

This study was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41172075).

参考文献:

- 贵州省地质调查院. 2017. 中国区域地质志·贵州志[M]. 北京: 地质出版社.
- 贵州紫金矿业股份有限公司. 2014. 贵州省贞丰县水银洞金矿详查地质报告[R]. 贵州贞丰: 贵州紫金矿业股份有限公司.
- 国际地层委员会. 2020. 国际年代地层表[EB/OL]. 国际地层委员会 IUGS. [2020-04-03]. <https://stratigraphy.org/timescale/>.
- 韩雪, 刘凌云, 陈仁, 唐佐其, 叶太平, 代雅然, 陈建书. 2021. 黔南独山地区早泥盆世事件沉积记录及地质意义[J]. 地球学报, 42(6): 814-822.
- 吕青, 焦永鑫, 葛跃进, 肖丙建, 褚志远, 刘淑桢. 2021. 基于红外光谱-拉曼光谱研究山东郯城砂矿的金刚石及包裹体类型[J]. 地球学报, 42(6): 895-906.
- 卿敏, 韩先菊. 2002. 隐爆角砾岩型金矿研究述评[J]. 黄金地质, 8(2): 1-7.
- 邱小平, 蓝岳彰, 刘羽. 2010. 紫金山金铜矿床深部成矿作用研究和找矿前景评价的关键[J]. 地球学报, 31(2): 209-215.
- 邱小平, 孟凡强, 于波, 任卫波. 2013. 黔西南灰家堡金矿田成矿构造特征研究[J]. 矿床地质, 32(4): 783-793.
- 邱小平. 2004. 两广云开大山地区开合旋回转换与金成矿作用的关系[J]. 地质通报, 23(3): 272-278.
- 夏勇, 张瑜, 苏文超, 陶琰, 张兴春, 刘建中, 邓一明. 2009. 黔西南水银洞层控超大型卡林型金矿床成矿模式及成矿预测研究[J]. 地质学报, 83(10): 1473-1482.
- 谢卓君, 夏勇, CLINE J, 谭亲平, 李松涛, 赵亦猛, 韦东田, 王泽鹏, 闫俊. 2019. 中国贵州与美国内华达卡林型金矿对比及对找矿勘查的指示作用[J]. 矿床地质, 38(5): 1077-1093.
- 鄯明才, 迟清华, 顾铁新, 王春书. 1997. 中国东部地壳元素丰度与岩石平均化学组成研究[J]. 物探与化探, 21(6): 451-459.
- 赵东杰, 王学求. 2020. 滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物和岩石金含量与时空分布[J]. 地球学报, 41(3): 407-419.

References:

- CLINE J S, HOFSTRA A H, MUNTEAN J L, TOSDAL R M, HICKEY K A. 2005. Carlin-type gold deposits in Nevada: Critical geologic characteristics and viable mod-

- els[C]//Economic Geology 100th Anniversary Volume. Littleton: Society of Economic Geologists: 451-484.
- EMSBO P, HOFSTRA A H, LAUHA E A, GRIFFIN G L, HUTCHINSON R W. 2003. Origin of high-grade gold ore, source of ore fluid components, and genesis of the meikle and neighboring carlin-type deposits, Northern Carlin Trend, Nevada[J]. *Economic Geology*, 98(6): 1069-1105.
- Guizhou Geological Survey. 2017. Regional geology of China-Guizhou[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Guizhou Zijin Mining Group Co., Ltd. 2014. The detail exploration report of Shuiyindong gold mine, Zhenfeng County, Guizhou Province[R]. Zhenfeng, Guizhou: Guizhou Zijin Mining Group Co., Ltd.(in Chinese).
- HAN Xue, LIU Ling-yun, CHEN Ren, TANG Zuo-qi, YE Tai-ping, DAI Ya-ran, CHEN Jian-shu. 2021. Early Devonian Event-stratigraphic Records and Geological Implications in the Dushan Area, Southern Guizhou Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(6): 814-822(in Chinese with English abstract).
- HART R J, ANDDREOLI M A G, REIMOLD W U, TREDoux M. 1991. Aspects of the dynamic and thermal metamorphic history of the Vredefort cryptoexplosion structure: implications for origin[J]. *Tectonophysics*, 192(3-4): 313-331.
- HERRMANN A G. 1970. Yttrium and Lanthanides[M]. Berlin: Springer-Verlag: 57-71.
- HOFSTRA A H, JOHN D A, THEODORE T G. 2003. A special issue devoted to gold deposits in Northern Nevada: Part 2. Carlin-Type Deposits[J]. *Economic Geology*, 98(6): 1063-1067.
- International Commission of Stratigraphy. 2020. New international chronostratigraphic chart[EB/OL]. [2020-04-03]. <https://stratigraphy.org/timescale/>.
- LÜ Qing, JIAO Yong-xin, GE Yue-jin, XIAO Bing-jian, CHU Zhi-yuan, LIU Shu-zhen. 2021. A Study of Types of Diamonds and Inclusions in Tancheng Placer of Shandong Province Based on Infrared and Raman Spectroscopy[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(6): 895-906(in Chinese with English abstract).
- MCPHIE J, KAMENETSKY V S, CHAMBEFORT I, EHRIG K, GREEN N. 2011. Origin of the supergiant Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, South Australia: Was a sedimentary basin involved?[J]. *Geology*, 39(8): 795-798.
- QING Min, HAN Xian-ju. 2002. A commentary of cryptoexplosion breccia type gold deposits[J]. *Gold Geology*, 8(2): 1-7(in Chinese with English abstract).
- QIU Xiao-ping, LAN Yue-zhang, LIU Yu. 2010. The key to the study of deep mineralization and the evolution of ore-prospecting potential in the Zijinshan gold and copper deposit[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(2): 209-215(in Chinese with English abstract).
- QIU Xiao-ping, MENG Fan-qiang, YU Bo, REN Wei-bo. 2013. Research on metallogenic regulation of gold-rich deposits and features of metallogenic structure in Huijiabao gold field, Southwest of Guizhou, China[J]. *Mineral Deposits*, 32(4): 783-793(in Chinese with English abstract).
- QIU Xiao-ping. 2004. Relationship between gold mineralization and opening-closing cycle transition in the Yunkaidashan area, South China[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(3): 272-278(in Chinese with English abstract).
- SU Wen-chao, HU Rui-zhong, XIA Bin, XIA Yong, LIU Yu-ping. 2009. Calcite Sm-Nd isochron age of the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China[J]. *Chemical Geology*, 258(3-4): 269-274.
- TAN Qin-ping, XIA Yong, XIE Zhuo-jun, WANG Ze-peng, WEI Dong-tian, ZHAO Yi-meng, YAN Jun, LI Song-tao. 2019. Two hydrothermal events at the Shuiyindong carlin-type gold deposit in Southwestern China: Insight from Sm-Nd dating of fluorite and calcite[J]. *Minerals*, 9(4): 230, doi.org/10.3390/min9040230.
- WILSHIRE H G, HOWARD K A. 1968. Structural pattern in central uplifts of cryptoexplosion structures as typified by sierra maderia[J]. *Science*, 162(3580): 258-261.
- XIA Yong, ZHANG Yu, SU Wen-chao, TAO Yan, ZHANG Xing-chun, LIU Jian-zhong, DENG Yi-min. 2009. Metallogenic model and prognosis of the Shuiyindong super-large stratabound carlin-type gold deposit, Southwestern Guizhou Province, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(10): 1473-1482 (in Chinese with English abstract).
- XIE Zhuo-jun, XIA Yong, CLINE J, TAN Qin-ping, LI Song-tao, ZHAO Yi-meng, WEI Dong-tian, WANG Ze-peng, YAN Jun. 2019. A comparison between Carlin-type Au deposits in Guizhou of China and Nevada of USA and its implications for exploration[J]. *Mineral Deposits*, 38(5): 1077-1093(in Chinese with English abstract).
- YAN Ming-cai, CHI Qing-hua, GU Tie-xin, WANG Chun-shu. 1997. Chemical compositions of continental crust and rocks in Eastern China[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 21(6): 451-459(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Dong-jie, WANG Xue-qiu. 2020. The concentrations and temporal-spatial distribution of gold in stream sediments and rocks in the carlin type gold ore districts of Yunnan-Guizhou-Guangxi region[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 41(3): 407-419(in Chinese with English abstract).