

doi:10. 6053/j. issn. 1001-1412. 2016. 03. 012

隐爆角砾岩型金矿床的研究进展

毛光武^{1,2}, 严卸平², 舒文辉², 祖俊龙², 王波涛², 白昌华²

(1. 中国地质大学(武汉)资源学院, 武汉 430074; 2. 中国冶金地质总局二局, 福州 350108)

摘要: 文章阐述隐爆角砾岩型金矿床的定义、成矿构造背景、隐爆角砾岩及其矿床特征、成矿流体特征以及隐爆角砾岩成岩-成矿模式等方面研究进展。隐爆角砾岩型金矿床多产于古老地块活化区、中生代断陷盆地边缘、滨太平洋岛弧火山岩带内。矿体与浅成-超浅成中-酸性斑岩具有密切的时空关系,多赋存于斑岩体的顶部。侵入岩具有富碱、富硅特征,属I型花岗岩类。当侵入体顶部高能流体压力大于围岩抗拉强度和最小主应力之和时发生隐爆作用而形成隐爆角砾岩。隐爆角砾岩筒垂向可分为裂隙相、震碎相、爆破相和通道相;角砾粒径从中心到边缘水平分带一般呈由小到大的趋势。成矿流体由于爆发作用瞬间由封闭体系进入半开放或开放体系,产生较大的压力梯度,流体减压沸腾、混合、不混溶和水岩反应等引起成矿元素稳定的物理化学条件变化,导致金络合物的溶解度降低而产生金矿化。隐爆角砾岩筒的形成及流体演化分别具有“自下而上-顺次推进-序次叠加”和“升温-(爆破)沸腾-降温-升温-(爆破)沸腾-降温”的演化过程,其中“沸腾-降温”阶段为矿质主要沉淀阶段。隐爆角砾岩型金矿的成矿具有“一体多型”“一筒多型”的特点,运用矿床系列-成矿系统理论指导勘探找矿具有十分重要的意义。

关键词: 隐爆角砾岩型金矿床;成矿背景;矿床特征;成矿流体;成岩-成矿模式;找矿标志

中图分类号: P588.13;P618.51 **文献标识码:** A

0 引言

隐爆角砾岩型金矿是重要的金矿类型之一,人们对隐爆角砾岩成岩-成矿的研究历史已达百年以上^[1]。1983年,国外学者曾以“角砾岩和成矿作用:地质产状和成因”为题召开过国际讨论会,就隐爆角砾岩的成岩机制、流体过程以及有关矿床进行交流,会议论文于1985年出版^[2],这次会议对于开展隐爆角砾岩的研究及其相关矿床的找矿工作具有很大推动作用。中国也于80年代中后期开展了对隐爆角砾岩型金矿角砾岩筒形成模式、流体演化及与侵入岩的联系等方面的研究^[1,3-5]。世界上相继发现了一批与隐爆角砾岩有关的代表性金矿床^[2,6-7],如美国的朗德山(Round Mountain)金矿、克里普-克里克(Cripple-Creek)金矿和金色阳光(Golden sun-

light)金矿,澳大利亚的奥林匹克坝(Olympic Dam)银-金-铀-铜矿床和基兹顿(Kidston)金多金属矿床等超大型矿床;中国的河南祁雨沟金矿、山西堡子湾金矿、黑龙江东宁和团结沟金矿、新疆阿希金矿、山东归来庄和七宝山金矿、江西羊鸡山金矿、河北孔格庄金矿等中-大型矿床。该类型金矿床伴(共)生有益组分多、成因特殊、矿石经济价值高,尤其是与火山-次火山岩型金矿、斑岩型金矿具有一定的时空联系,因而受到各国地质学者和探矿工作者的重视^[1,8-37]。本文总结了近年来国内外关于隐爆角砾岩的定义及类型划分、成矿地质背景、隐爆角砾岩型金矿地质-地球化学特征、流体演化、成岩作用与成矿模式研究的最新进展,并指出了研究中存在的问题及发展趋势。

收稿日期: 2015-10-26; 改回日期: 2016-06-29; 责任编辑: 赵庆

作者简介: 毛光武(1982—),男,工程师,博士研究生,中国地质大学(武汉)资源学院,矿物学、岩石学、矿床学专业;从事有色金属矿产勘查与开发工作。通信地址:福建省福州市闽侯上街科技东路1号520室;邮政编码:350108;E-mail: maogwdx20050516@sina.com

1 角砾岩的分类及隐爆角砾岩的定义

角砾岩类型的划分对矿床研究以及矿产勘查具有理论和现实意义^[38]。由于角砾岩的形成十分复杂,研究者们从不同的角度总结出一系列形成机制和分类标准(表 1)。角砾岩一般分为岩浆热液成因和非岩浆热液成因^[36],但多数含矿角砾岩筒(体)特征显示,角砾岩的形成与热液活动的爆破作用有关^[7,39],并具有隐伏的特点。

隐爆角砾岩系指在一定的地壳深度(0.5~3 km)条件下,中酸性侵入体上升定位过程中岩浆或水热流体由于扩容减压而产生沸腾、去气作用,引起隐蔽爆发所形成的特殊岩石组合^[1-2,21,26,38,40-41]。这类角砾岩的特点是孔隙度大,利于成矿流体的渗透、

迁移和矿质沉淀富集,可以形成重要的控矿构造和容矿空间,与成矿关系密切^[7,38,42-50]。

2 成矿地质背景

隐爆角砾岩型金矿多产于环太平洋岛弧-火山岩带、陆内造山带、中生代断块拗陷-隆起过渡带火山-次火山侵入岩区^[21,25-27,35,51,53]。我国华北克拉通南北缘、青藏—三江、秦祁昆、天山—蒙古—兴安、东部环太平洋等地区是该类金矿的有利成矿区(图 1)。这些地区呈岩株状、脉状产出的火山-次火山中酸性斑岩类侵入体是角砾岩体形成的前提条件,斑岩类侵入体的产出范围是隐爆角砾岩型金矿勘查的有利靶区^[25,53]。隐爆角砾岩型金矿主要产于火山机构、火山岩区放射状与环状构造交汇部位、隐伏穹

表 1 角砾岩的分类方案
Table 1 The classification scheme of breccia

分类依据	类 型	代表矿床	参考文献
角砾岩成因	侵入角砾岩		张新春,1987
	喷发角砾岩		
	水力破碎角砾岩		
	构造角砾岩		
	震碎岩	陕西双王、河南祁雨沟、新疆阿希、内蒙古伙房、浙江治岭头	[38]
	崩塌碎屑岩		
	流化侵入碎屑岩		
	热液交代碎屑岩		
	热液注入碎屑岩		
受热的流体或气体的来源	岩浆热液隐爆角砾岩	陕西双王、河南祁雨沟、新疆阿希、内蒙古伙房、浙江治岭头	[21]
	岩浆-天水混合热液隐爆角砾岩		
	天水热液隐爆角砾岩		
构造层次	浅部角砾岩		Baker et al,1986 Laznicka,1988
	火山口角砾岩		
	热液角砾岩		
	构造角砾岩		
火成岩侵位深度及岩相特征	与浅成侵入体有关的隐爆角砾岩		[6]
	与斑岩及次火山岩有关的隐爆角砾岩		
	与火山通道有关的角砾岩		
角砾岩形成环境	与浅成侵入与小侵入体有关的角砾岩		[7]
	与斑岩系统有关的角砾岩		
	与火山和次火山有关的不规则角砾岩		
	不整合面或沉积间断面上的层状角砾岩		
角砾成分、大小,胶结物成分及角砾与胶结物的关系	震裂相角砾岩	河北丰宁银多金属矿	梁俊红,2007
	震碎相角砾岩		
	熔浆角砾岩相		
	气爆角砾岩相		
胶结物和角砾成因	岩浆热液角砾岩		[13]
	岩浆水气角砾岩		
	岩浆角砾岩		
	侵入角砾岩		
	构造角砾岩		



图1 中国隐爆角砾岩型金矿典型矿床分布示意图

Fig. 1 Sketch showing distribution of the typical cryptoexplosion breccia gold deposits in China

1. 黑龙江团结沟金矿;
2. 新疆阿希金矿;
3. 山东七宝山金铜矿;
4. 山东平邑归来庄碇金矿;
5. 浙江治岭头金矿;
6. 河南祁雨沟金矿;
7. 黑龙江东宁金厂金矿;
8. 江西洋鸡山金矿;
9. 广西龙头山金矿;
10. 内蒙古陈家杖子金矿;
11. 河北省龙王庙金矿;
12. 河北省宽城县唐杖子金矿;
13. 吉林三道溜河冰湖沟金矿;
14. 河南西峡琵琶沟金矿;
15. 山西阳高县堡子湾金矿;
16. 甘肃省南山金矿;
17. 福建政和东际金(银)矿

隆构造区、岩体与围岩的接触带、深大断裂派生的断裂破碎带等构造部位^[25-27, 54-55]。

3 矿床地质-地球化学特征

3.1 矿床地质特征

隐爆角砾岩型金矿的成矿时代主要集中于中-新生代,其次为海西-印支期^[21],主要产于火山-次火山环境(表2)。按矿化元素可分为与斑岩系统有关的金-铜成矿系列和与深成侵入相伴的小侵入体有关金-银成矿系列^[29]。与矿体具有时空关系的浅成-超浅成侵入体多属壳幔过渡型^[26],岩石化学成分呈高钙碱-碱性特征。部分研究者认为超浅成侵入斑岩的深部可能与更大的隐伏岩体相连通^[13, 26, 56]。有些斑岩型矿床的顶部或浅部分布有大量的角砾状矿石(如福建紫金山矿田)^[62]。

该类金矿床因成岩、成矿的特殊而显示与众不同的特点(表3)。金矿体常与火山喷发晚期形成的中酸性斑岩体伴生,部分角砾岩即为斑岩角砾。矿

体延长几米至几百米,规模有大有小^[7, 25, 42, 57]。垂向延深往往大于水平尺度,一般500~1 000 m,部分矿体和角砾岩体均具分叉现象,向深部逐渐尖灭^[58]。金矿(化)体主要赋存于隐爆作用形成的相关地质体中,金等有用金属矿物主要赋存于角砾充填胶结物中。矿体一般呈椭球状、透镜状、碗状或多个矿体呈叠碗状^[27]、近水平或缓倾斜扁豆状、囊状和条带状^[59-60]。矿体倾角因角砾岩体成因而异,一般爆破和隐爆成因的矿体倾角较陡($>70^\circ$),而侵入、坍塌和隐爆-坍塌成因的矿体倾角较缓($<30^\circ$)^[61]。

矿石类型主要为石英、岩粉及黄铁矿胶结角砾岩型,黄铁矿呈浸染状、团块状等集合体赋存于胶结物中,为主要的载金矿物^[50]。隐爆角砾岩中小角砾岩成分较多,胶结物组分复杂、含量多,金等有用组分矿化强度与其呈正消长关系^[21, 50, 61]。金矿化一般上部富、下部贫^[43]。矿石结构主要为隐晶、显微晶、细晶结构。矿石胶结物中石英常呈蛋白石、玉髓状,含金黄铁矿等硫化物粒度也相当微细,表明其快速沉淀的成矿过程,晚阶段沉淀的可达粗晶^[21]。

金的沉淀富集主要取决于沉淀时的物化条件,

表 2 隐爆角砾岩型金矿典型矿床角砾岩类型、容矿围岩及成矿时代^[7]

Table 2 Breccia types, host rock and the ore-forming time of the typical cryptoexplosion breccia gold deposits

矿床名称	角砾岩类型	容矿围岩	成矿时代
黑龙江嘉荫县团结沟金矿	与次火山岩有关的角砾岩	花岗质、片麻岩质及复成分角砾岩	中生代
新疆伊宁阿希金矿	与火山岩有关的角砾岩	英安质、安山质火山角砾岩	晚古生代
河南省嵩县祁雨沟金矿	与小侵入体有关的角砾岩	花岗质、片麻岩质及复成分角砾岩	中生代
陕西省阳高县堡子湾金矿	与小侵入体有关的角砾岩	花岗质、变质岩质角砾岩	中生代
山东平邑归来庄金矿	与次火山岩有关的角砾岩	寒武-奥陶系灰岩质角砾岩和花岗岩质角砾	中生代
山东省五莲县七宝山	与斑岩有关的角砾岩	辉石闪长岩质、英安质角砾岩	中生代
江西省瑞昌洋鸡山	与小侵入体有关的角砾岩	石英闪长玢岩质、志留系砂页岩质角砾	中生代
朗德山(Round Mountain)(美)	与斑岩有关的角砾岩	凝灰岩、熔结凝灰岩和火山角砾岩	古近纪
克里普-克里克(Criple-Creek)(美)	与斑岩有关的角砾岩	安粗岩、响岩及其凝灰岩、角砾岩	古近纪
奥林匹克坝(Olympic Dan)(澳)	与斑岩有关的角砾岩	赤铁矿质、花岗岩质及复成分角砾	中元古代
基兹顿(Kidston)(澳)	与次火山岩有关的角砾岩	花岗质、变质岩质、次火山质及复成分角砾岩	晚古生代

表 3 隐爆角砾岩型金矿床的主要特征

Table 3 The main characteristics of cryptoexplosive breccia gold deposit

构造背景	集中产于中生代环太平洋火山岩带、聚敛大陆边缘等
控矿构造	与深大断裂的次级断裂有关,常产于侵入体接触带或顶部构造、破火山口构造及环状-放射状断裂与其他断裂破碎带交汇处
岩浆岩	与中生代火山岩带的浅成-超浅成侵入体相伴产出;岩石富碱、富硅和富挥发分,属壳幔过渡型
角砾岩筒特征	平面一般呈椭圆状、纺锤状、长条脉状或不规则状;剖面上一般呈陡倾筒状、似层状、不规则透镜状、树枝状和漏斗状等
矿体特征	矿体主要产于角砾岩筒(体)内,震碎相和爆破相是最主要的赋矿部位;矿体长宽比一般为 1:1 至大于 10:1,似层状、条带状矿体具尖灭再现、分支复合等特征;一般矿体延深大于延长,上部大,往深部逐渐尖灭
角砾成分	主要包括侵入岩和围岩的角砾,角砾中含金属、非金属及蚀变矿物
金属元素组合	主要有 Au-Ag(Ag-Au), Au-Ag-Pb-Zn, Au-Ag-Cu-Pb-Zn, Pb-Zn-Ag, Cu-Au, U 及 S 的金属元素组合
矿石结构构造	角砾岩筒中心一般呈团块状、稠密浸染状,向外过渡为稀疏浸染状、细脉状等
富集规律	金等成矿物质一般富集于热液上侵前缘和角砾岩体隐爆中心、角砾岩筒由陡变缓或开阔膨大部位;胶结物粒度越细、成分越复杂,一般含金性越好
矿质来源	具多来源性,岩浆作用提供热能、挥发分和主要成矿元素,其他来源有基底变质岩混溶、晚期热液对流循环萃取围岩中的矿质
载金矿物	以黄铁矿为主,次为石英及其他金属硫化物等
赋矿围岩	对围岩没有明显的选择性
分类	按矿化元素分为金-银成矿系列和金-铜成矿系列
成矿深度	一般以浅成-超浅成为主

注:据文献[2,21,25-26,31,37,43,50,52,54,59-61,63-67,69-74]等汇编。

可产在任何围岩中,但拥有一定孔隙度的隐爆角砾岩在特定的条件下对载金流体的运移、扩散和矿质的沉淀具有十分重要的意义^[7,27,38,42-50]。

隐爆角砾岩筒的岩相分带具有水平和垂向分带特征。水平分带自边缘向角砾岩体中心一般分为裂隙相、震碎相、爆破相;张会琼等^[31]将隐爆角砾岩筒岩相分带从上往下分为裂隙相、震碎相、爆破相和通道相(表 4),一般认为这种情况的分带多具有角砾岩筒(体)与围岩渐变过渡的特征,是目前该类矿床岩相分带较为典型的例子。当角砾岩筒以断裂或裂隙与围岩接触时,其界线较清楚,大多数隐爆角砾岩筒岩相分带具有类似特点,只发育前 3 种或其中几种组合,通道相少见,可能与大多数矿床的揭露程度及其他因素有关。

隐爆角砾岩筒的矿化蚀变具有多样性和分带性。不同的矿床一般会具有不同的蚀变矿物组合与分带特征^[45]。与浅成-超浅成侵入体有关的蚀变矿物多见石英和玉髓,与岩浆热液有关的具绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化和硅化等,与斑岩系统有关的常见钾化,具高温蚀变特征;而矿化期蚀变主要为硅化、黄铁矿化、绢云母化、冰长石化等,具有低温蚀变的特征^[63-65]。Au 和其他有用元素的矿化强度及矿化范围与岩浆的隐爆强度呈正相关关系^[46]。矿化与围岩界线多呈渐变过渡关系,局部受构造和渗透性较差岩性的控制时则会形成较清晰的界线。隐爆角砾岩型金矿在时空上与浅成、超浅成侵入体有密切关系,又因控制侵入杂岩的构造类型、围岩性质以

表 4 隐爆角砾岩型矿床岩相分带特征

Table 4 The characteristics of lithofacies zoning of Cryptoexplosive breccia type deposit

岩相	产状特征	角砾特征	胶结物特征	矿化及蚀变特征	蚀变趋势
震碎相	产于角砾岩筒上部	棱角状-次圆状,由角砾岩筒中心向边部,角砾成分由复杂到单一,角砾由小变大,可拼性增强	以岩屑、岩粉为主,石英硫化物及蚀变矿物增加	由脉状、细脉状矿化过渡为角砾间隙充填型矿化,蚀变主为硅化、绢云母化	
爆破相	产于角砾岩筒中部	复成分角砾,角砾呈次圆-圆状、椭圆状,可拼性差	以金属硫化物硅化为主,有部分岩屑、岩粉和蚀变矿物	由震碎角砾间裂隙充填型矿化过渡为浸染状矿化,少量细脉状矿化;蚀变以硅化为主,次为绢云母化等,碳酸盐化较弱	由上到下,呈硅化增强、碳酸盐化减弱的趋势,其他蚀变类型多为由强变弱
通道相	产于斑岩及角砾岩小岩株顶部,角砾岩筒根部密集发育似脉状分支	具流体逃逸脉型特征,缺乏明显的边界通道相,隐蔽裂隙脉向上过渡为热液角砾脉,再向上过渡为爆破角砾岩	硅化及少量金属硫化物	隐蔽裂隙脉浸染状矿化为主,微裂隙脉中心硅化强;向两侧呈弥散密集浸染状矿化,硅化减弱	

注:据文献[2,21,25-26,31,37,43,50,52,54,59-61,63-67,69-74]等汇编。

及受角砾岩筒控制的金矿化类型和空间分布的不同,一个岩体或同一矿区可存在隐爆角砾岩筒型、夕卡岩型、斑岩型、蚀变岩型或热液脉状充填型等矿化类型;而在角砾岩筒外的围岩中形成似层状、透镜状矿体或浸染状矿脉等 2 种或多种矿化类型组合,即形成“一体多型”“一筒多型”的组合特点^[25](图 2)。如孔格庄金矿的上部(650~550 m)为细脉带型矿体,中部(550~520 m)为大脉带型矿体,深部(520 m 以下)则为角砾型矿体;河南西峡蒲塘金矿区琵琶沟隐爆角砾岩型金矿的浅部(地表至 507 m)为围岩

陷落混合角砾状氧化矿石+少量斑岩型矿石,中部(507~417 m)为角砾状矿石+斑岩型矿石,深部(417 m 以下)则为角砾状花岗斑岩中细脉浸染状矿石(斑岩型为主),为“一筒多型”矿体组合。隐爆角砾岩型金矿中 2 种或多种矿化-蚀变的套叠一般是形成特大型矿床的有利标志^[26]。

3.2 矿床地球化学特征

隐爆角砾岩型金矿由于形成的地质环境各异,成矿流体来源不同,其岩石地球化学、成矿流体化学特征有一定的共同点和差异性^[21]。

3.2.1 成矿物源及流体特征

金等成矿物质具有多期形成、混合来源的特点。研究发现,与隐爆角砾岩具有时空关系的浅成中酸性岩浆岩不同程度地富集有一定的 Au 元素,但岩体是否成矿,与岩体中 Au 的丰度并无必然关系。通过分析典型隐爆角砾岩型矿床的氢氧同位素组成(表 5),其热液流体早期(或矿床深部)以岩浆水为主,而晚期(或靠近地表)则以岩浆与大气水的混合流体为主,可来自幔源,也可来自中酸性岩浆作用过程^[21,25-26,32,55,75]。矿质来源与岩浆(火山-次火山岩)成因具有一定联系^[21,26,38,78-82],部分学者认为其成岩与成矿可用“同源说”来阐明,二者为同一岩浆房(源)批式分熔而成^[26,52,76-77]。通过分析典型矿床矿石硫同位素构成,³⁴S 的变化范围一般很窄,铅等同位素组成表明矿质来自深源^[25],这也印证了岩浆与成矿物质具有同源的特点。包裹体研究显示^[32],矿床为中-低温、中-浅成环境形成,主成矿期流体含较多 H₂O、CO₂ 等挥发分;个别矿床见氯化钠等子晶包裹体,而流体性质多数属中-低盐度;pH 值一般较低,属酸-弱酸性;Eh 值可高可低。

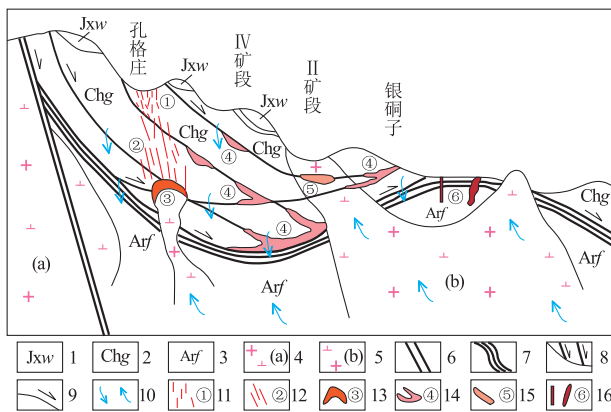


图 2 河北易县柴厂—孔格庄金矿成矿模式图

(据胡亚军等,2015;修改)

Fig. 2 Metallogenic model of Chaichang-Konggezhuang gold ore deposit

1. 蓟县系雾迷山组白云岩;
2. 长城系高于庄组白云岩;
3. 新太古代阜平变质岩群;
4. 花岗闪长岩(王安镇岩体);
5. 花岗闪长岩(柴厂岩体);
6. 深断裂;
7. 主拆离带;
8. 铲状断裂;
9. 层间滑动断层;
10. 含矿热液循环方向;
11. 细脉带型矿体;
12. 大脉带型矿体;
13. 隐爆角砾岩型矿体;
14. 构造蚀变碳酸盐岩型矿体;
15. 构造蚀变岩浆岩型矿体;
16. 石英脉型矿体

表 5 国内部分隐爆角砾岩型金矿同位素组成及成矿流体性质
Table 5 Isotopic compositions and properties of the mineralizing fluids of some typical
cryptoexplosive breccia gold deposits in China

矿床名称	矿物名称	$\delta(^{18}\text{O})/10^{-3}$	$\delta(\text{D}_\text{H}_2\text{O})/10^{-3}$	$\delta(^{34}\text{S})/10^{-3}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
团结沟	石英	+3.85~+8.26	-77.7~-60.1	-2.03~+2.7			
阿希	石英	+11.1~+13.3	-98~-116	-4.0~+3.1			
治岭头	石英	-2.25~+3.41	-58.6~-61.4	+0.33~+6.67			
祁雨沟	石英	-3.85~+8.26	-77.7~-60.1	-3.5~+1.7	17.281~18.530	15.481~116.62	37.776~40.76
堡子湾	石英	+10.0~+14.9	-90~-64	-3.2~+5.3			
归来庄	方解石	+11.5~+17.7	-48~-61	-0.71~-9.3	18.207~18.908	15.575~15.757	38.313~39.252
七宝山	石英	+9.94~+14.73	-48.14~-78.6	+0.3~+5.8			
金厂	石英	-0.71~+6.64	-86.0~-70.0	+2.2~+8.8	18.383 6~18.468 2	15.543 8~15.574 0	38.231 6~38.311 7
双王	石英	+15.51~+15.84	-92~-71.6	+3.8~+6.1	18.116~20.02	15.577~15.72	38.142~39.949
矿床名称	成矿温度/℃	流体和成矿物质来源			资料来源		
团结沟	130~370	流体源于岩浆,晚期有天水混入;成矿物质来源于岩浆			吴尚全(1984),文献[92],聂喜涛(2010)		
阿希	106~335	流体以天水为主,有少量岩浆水;成矿物质来源于火山岩			翟伟等(2010)		
治岭头	250~300	流体源于变质水和天水;成矿物质来源于变质围岩			朱清涛(1983),梁子豪(1985),陈天虎等(1994)		
祁雨沟	130~470	流体主要为岩浆水,有天水混入;成矿物质源于地层和花岗岩			文献[92],张元厚(2006),王德宝(1996)		
堡子湾	163~328	流体主要为岩浆水,混有变质水、天水;成矿物质为壳幔混合源			文献[43]		
归来庄	103~296	流体主要为壳幔岩浆水,有天水混入;成矿物质为壳幔混合源			朱金等(2014),胡华斌等(2005)		
七宝山	200~350	流体主要为岩浆水,有天水混入;成矿物质为壳幔混合源			王郁(1991)		
金厂	150~400	流体为地幔初生水及岩浆水,有天水混入;成矿物质为壳幔混合源			门兰静等(2007),门兰静等(2011)		
双王	180~440	流体源于变质水、岩浆水和天水;成矿物质为壳幔混合源			王可新等(2012)		

3.2.2 热液流体的聚矿、运矿与成矿特征

岩浆热液角砾岩的形成与次火山中酸性斑岩侵入体有一定的成因联系^[54]。岩浆热液流体由于富含大量的高热多源流体和挥发分,在适宜的物理化学条件下,有利于金的多种络合物的溶解,从而提高了热液流体的聚矿、运矿能力^[36,66,83]。

岩浆热液流体的聚矿过程^[31,36]。岩浆熔体在上升侵位过程中,随温度、压力的逐渐降低而不断结晶,使得挥发分过饱和而出溶,致使岩浆热液流体挥发分增加,成矿元素络合能力增强,进而把岩浆熔体批式熔融形成的成矿元素以及部分围岩中的成矿元素分别聚集和萃取出来,进入岩浆的挥发相,通过热力驱动,不断向岩体上部运移,聚集于岩体顶部,形成高金属浓度的含矿流体,其中金多以 $[\text{Au}(\text{HS}_2)]^-$, $[\text{Au}(\text{CO}_3)]^-$, $[\text{Au}(\text{HCO}_3)_2]^-$ 等络合物形式存在;而非岩浆热液流体主要通过萃取围岩中成矿元素的方式聚矿,并借助构造应力不断向相对开放的构造空间运移^[36]。当上述两类流体由一个封闭体系瞬间进入一个较为开放或半开放的构造环境,流体压力梯度将急剧变化并引发减压、沸腾、去气作用,产生热液隐爆形成隐爆角砾岩筒(体)^[36];同时,由于其中的挥发分带走大量的热,流体的温度

迅速下降,并与围岩发生交代,pH 值急剧上升,且 Eh 值、各种元素的含量等发生变化,引起物理化学条件的改变,从而导致金等成矿物质的沉淀富集,形成爆发角砾岩筒(体)型金(多金属)矿床^[6]。岩浆体系及其分异演化特点决定着角砾岩体的形成和成矿流体的产生,三者有机结合成统一的成矿系统,只有当系统中岩浆性质、分异演化程度、角砾岩是否形成、是否产生适宜的含矿流体等要素得到最佳配置时,金矿才得以形成^[52]。

4 隐爆角砾岩成岩-成矿模式

4.1 隐爆角砾岩体的成因

隐爆角砾岩体可单独产出,也可成群(等间距)、成带产于侵入体的上部^[27,61]。一般认为,隐爆角砾岩底板以“树根状”角砾岩带与侵入体相连^[58],深部可能隐伏更大的补给岩体^[13,25-26];而角砾岩筒顶部少见,形成于古地表之下,可能呈不规则穹状。隐爆角砾岩体因形成的地质构造环境各异,其平面与剖面形态呈多样性。统计表明,隐爆角砾岩体在地表的长短轴之比可从 1:1 至大于 10:1^[13]。在近似

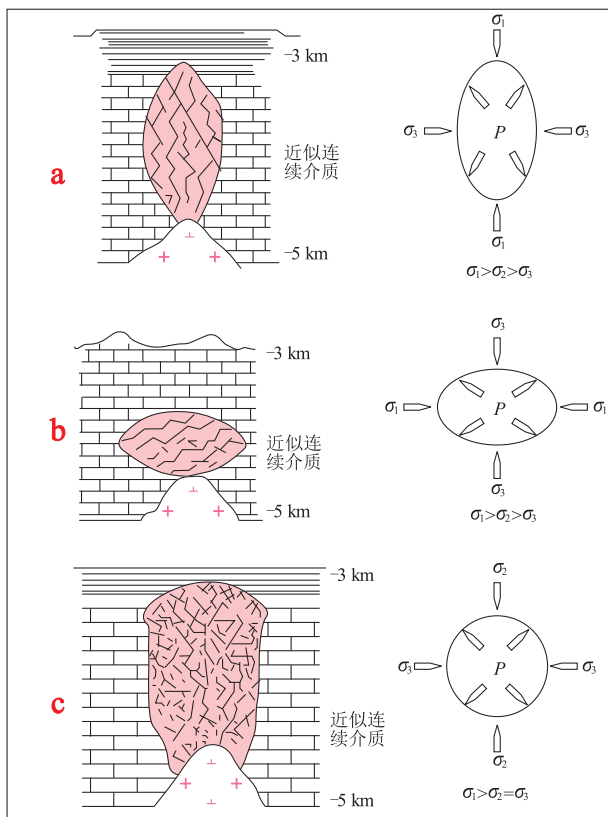


图3 主应力对角砾岩筒的形态控制图

(据文献[6]修改)

Fig. 3 The principal stress control on morphology of cryptoexplosive

连续介质中,隐爆角砾岩筒的形态、大小主要受流体爆发能量的相对大小以及爆发处最大主应力(σ_1)、中间主应力(σ_2)和最小主应力(σ_3)的联合控制^[6],常见形态有垂向拉长三轴椭球状($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, σ_1 垂直)、扁平三轴椭球状($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, σ_1 水平)及等轴状($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$, σ_1 水平)(图3)。

在自然界中,部分具有较为规则形状的角砾岩筒主要产于两组或多组构造交汇处;受单一构造或侵入体与围岩接触破碎带(或不整合接触带)控制的角砾岩体,形态则多表现为线状角砾岩墙(脉)或不连续的透镜状等,其延长大于延深^[6,26]。

4.2 成岩-成矿模式

隐爆角砾岩的成岩-成矿研究是矿床学的重要课题之一。国外就该类金矿床角砾岩形成机制先后提出了不同的假说^[27],如矿化崩落假说(洛克,1926)、爆发假说(Y. X. 袁孟斯、B. C. 别尔巴克等)、爆发-热液假说(И. Ф. 伊万京,1965)^[84]。1968年,A. E. 莱特和D. R. 鲍斯提出,爆发角砾岩筒多数形成于地表以下一定深度,角砾岩化作用

主要是由于岩浆成因的 H_2O , CO_2 和其他少量挥发分因压力增大引起多次连续爆发而成^[27,①]。国内不少学者^[25,27,54,70-71,75,86-89]围绕隐爆角砾岩及隐爆角砾岩型金矿的成岩-成矿机制提出了自己的见解和相应的理论模型。

隐爆角砾岩体的成岩-成矿一般包括早期气爆、较晚期浆爆和晚期含矿热液注入^[29]。首先,气爆与浆爆主要发生于熔融侵入体的上部。随熔体不断上侵,温压降低,岩浆分异作用或地壳深部部分熔融体的结晶分异不断析出流体,较轻的硅、碱以及挥发分等趋向集中于岩体或熔体的顶部^[60,88],形成一个概念化的保护水硬壳,有利于后续更多流体和挥发分的聚集;熔体不断上升、冷却结晶,所受压力及挥发分溶解度不断降低,岩浆脱气作用加剧,导致残余熔体发生气泡状的二次沸腾,使熔体顶部保护水硬壳中的流体逐渐趋于饱和,其体积随之迅速膨胀^[90-91],在其内部产生的剩余压力作用下,这个饱和水的硬壳会发生脆性破裂,成为热液流体脱离岩浆房的通道。当气泡状热液流体沿一定构造侵入熔融体时,会导致其绝热自发性体积膨胀,内压瞬间增大^[52,90];大约在2 km深处,流体压力 $p_f \geq \sigma_3$ (构造正压力) + T (岩石抗张强度临界值),熔体中的水含量达到极大值(2.7%);在深度 < 2 km 范围内, $p_f \gg \sigma_3 + T$ (图4),此时内压瞬间释放产生爆破,岩石发生破裂,且驱动裂纹形成并不断向低压、浅部扩展,或使原有的断裂和裂隙重新张开或进一步扩大^[90]。形成角砾系统的复杂程度主要取决于爆破强度,而这与原始岩浆的含水量有关,当岩浆含水量达2%~4%时,其瞬间释放能量可形成复杂的裂隙系统或角砾岩筒构造^[92]。

其次,岩浆隐爆作用晚期阶段的热液注入是形成流化侵入角砾岩及其胶结物中金矿物的重要环节,流化作用在该阶段普遍存在,并有证据表明,矿床局部地段可达到注流和喷流,形成流化侵入角砾岩、热液注入角砾岩和热液交代角砾岩^[26]。岩浆期后含矿流体充填于开放-半开放的断裂构造或角砾岩体过程中,发生交代作用及流体压力、温度等物理化学条件的改变,导致含金属络合物溶解度降低,进而引起矿质沉淀,形成含矿角砾岩体^[6,90]。隐爆角砾岩筒(体)的形成是“能量聚集-爆发-平静”多个爆发旋回的叠加^[88],而流体演化一般也具有“升温-沸腾(爆破)-降温”的演化过程。其中,隐爆角砾岩体的形成在“能量聚集-爆发”或“升温-沸腾”的高-中温阶段,而矿质沉淀主要集中在“爆发-平静”或“沸腾-

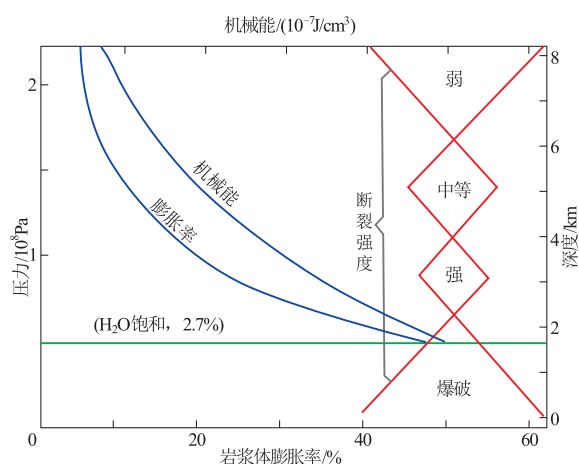


图 4 退化沸腾时岩浆流体和机械能变化与断裂强度的关系

(据文献[6];Burham C M 等,1980)

Fig. 4 Diagram showing the relationship between volume of magmatic melt and its mechanic energy and fracture strength

降温”的相对中-低温阶段^[27,85,89](图 5)。

矿质沉淀受隐爆作用及隐爆流体演化的影响,具有近程成矿和远程成矿的特征^[89]。当爆破发生时,成矿物质以较高的压力迅速喷涌至远离爆炸点的爆发岩筒及岩筒附近,在其发育的环状、放射状断裂等有利的物化环境中富集成矿,形成远程成矿;在平静降温期,流体能量逐渐减弱,矿质沉淀有利的物化条件逐渐向流化中心靠近,形成爆发岩筒的近程成矿;隐爆角砾岩的成岩、成矿具有多幕式特点,后

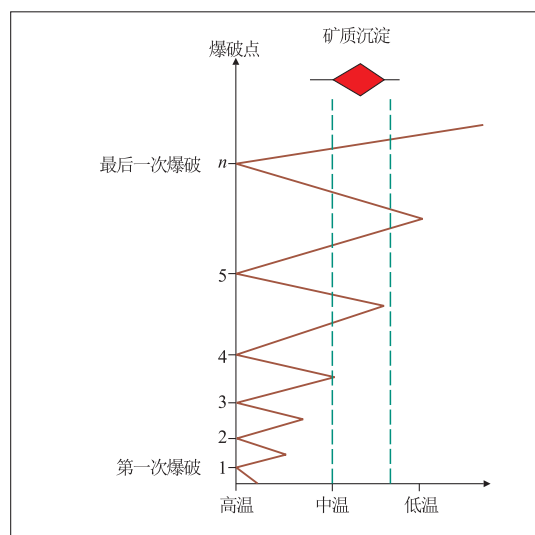


图 5 隐爆流体演化趋势曲线的一般特征^[27]

Fig. 5 General characteristics of evolution trend curves of the crypto-explosion fluid

续阶段的爆破对以前阶段的近程成矿造成破坏,不利于其保存,但有利于围岩和岩体顶部脆性破裂、角砾化以及远程矿化的多次叠加^[93]。前期岩体顶部硅化对局部裂隙、断裂、岩石的孔隙等不同的通道愈合形成局部的圈闭,是引起后期爆破和矿化的主因^[40]。多次的爆破-沉淀(胶结)过程形成多个矿化蚀变阶段,最终形成了爆破角砾岩型金矿床^[90]。中酸性斑岩的浅成-超浅成侵入是形成隐爆角砾岩的前提,气液隐蔽爆破及期后含矿流体注入是成岩、成矿的内因,是同一地质过程不同阶段的产物,而岩浆能量是决定二者能否发生的关键^[93-95]。矿床中的矿质沉淀与蚀变作用贯穿隐爆的全过程,但集中于成矿流体大规模注入的阶段^[26]。

部分学者在综合国内外隐爆角砾岩成因研究资料的基础上,结合我国鲁西地区典型隐爆角砾岩研究,建立起隐爆角砾岩筒“自下而上-顺次推进-序次叠加”的成筒模式^[1,27,85](图 6)。

刘国华等^[33]认为上述模式是酸性侵入体底侵隐爆作用的形成模式,与其提出的侧向隐爆模式具有一定的相同点和不同点。相同点在于二者的形成均与火山岩区岩体侵入活动有密切的联系,主要由岩浆浅成-超浅成侵位形成的高压挥发分经多次隐

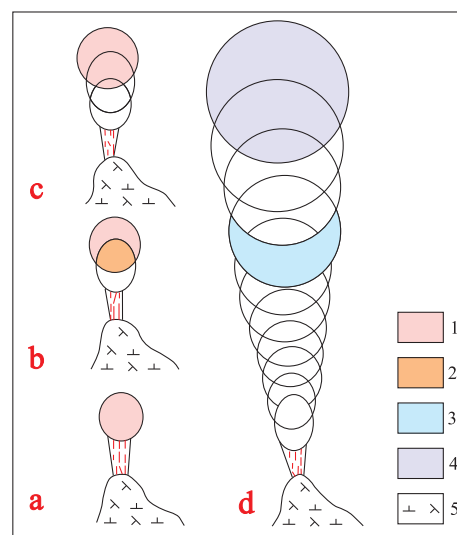


图 6 隐爆角砾岩筒的形成过程模式图^[27]

Fig. 6 The model of formation of cryptoexplosive breccia pipes

a. 第一次隐爆; b. 第二次隐爆;

c. 第三次隐爆; d. 隐爆全过程

1. 每次隐爆开拓的空间; 2. 隐爆叠加的部分;

3. 隐爆推进后的剩余部分; 4. 最后一次隐爆;

5. 浅成、超浅成侵入岩

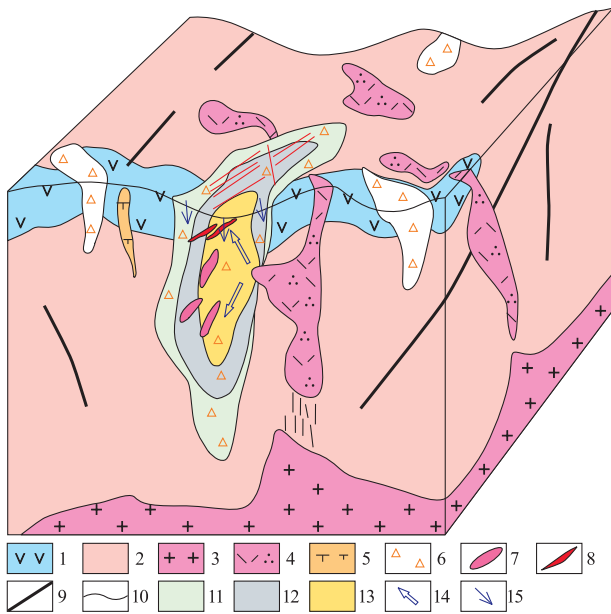


图7 隐爆角砾岩筒侧向隐爆模式图^[34]

Fig. 7 The lateral crypto-explosion mode of a breccia pipes

1. 安山岩; 2. 片麻岩; 3. 花岗岩; 4. 石英斑岩; 5. 正长斑岩; 6. 角砾岩; 7. 不规则状矿体; 8. 脉状矿体; 9. 断裂; 10. 地层界线; 11. 青磐岩化带; 12. 石英黑云母化带; 13. 石英钾长石化带; 14. 含矿热液运移方向; 15. 大气降水运移方向

爆作用,“由近及远-顺次推进-序次叠加”而成^[27];不同点在于前者常构成侵入体的顶部带,深部一般与侵入体相连,形成“有根”角砾岩筒,矿床顶部或外围可能会有其他脉型矿床,深部可能会存在斑岩型矿床,形成“上部脉型-中部角砾岩型-深部斑岩型”的矿床成矿系统^[13,33,96];而后者是岩浆作用过程形成的高温、高压挥发分流体在岩浆侧向产状突变部位聚集,由于液压致裂作用,当流体压力超过岩石静岩压力和抗张强度之和时发生隐爆作用而成^[26];与中酸性斑岩侵入体具有一定的空间关系,但岩筒底部无斑岩而与围岩直接接触,形成“无根”状角砾岩筒,其下一般没有斑岩型矿床^[33](图7)。该研究成果为矿床勘查提供了理论依据。

6 找矿标志

研究者不仅对隐爆角砾岩型金矿的矿床地质-地球化学特征、成岩-成矿机制、成矿模式及其与深部隐伏斑岩体的关系等方面进行了深入的研究,同时也对隐爆角砾岩型金矿区域找矿-评价标志和矿床规模、富集部位的评价指标进行了较系统的总结

与评述^[6,25-26,31-32,37,60,67,97-102]。

(1)岛弧或滨太平洋岛弧火山岩带、中生代断块隆起-拗陷过渡带的次火山杂岩区,往往是隐爆角砾岩型金矿有利的找矿区域。

(2)发育热液蚀变的隐爆角砾岩是寻找该类型金矿最直接的标志,角砾岩体的大小对矿床的规模具有一定的制约作用;多期的热液矿化叠加是形成大矿、富矿的标志;在一定的地质条件下也是寻找系统产出的深部斑岩型矿床及外围远程脉状矿体的间接标志。

(3)火山岩区岩浆活动序列晚期侵入钙碱性、碱性中酸性斑岩是寻找该类金矿的先决条件及有利岩体,若具备适宜的流体封闭条件和存在裂隙状矿化,则是寻找隐伏含角砾岩的重要标志。

(4)岩体顶部环状、放射状构造交汇部位和岩体与围岩、断裂接触或相交部位是有利的找矿部位。

(5)物探测量负磁异常、低电阻高极化异常、重力低的部位、地震波低速部位;区域化探分散流和次生晕 Au, Ag, As, Sb 等元素的组合富集区;遥感影像呈圆形、椭圆凹坑, TM 遥感图像色调异常区(带),线环形构造发育区及交汇部位,均可作为隐爆角砾岩型金矿体及盲矿体的间接找矿标志和靶区。

7 存在问题及研究趋势

隐爆角砾岩及其金矿从相关概念的提出到成岩机制、成矿模型等方面的研究经历了漫长的过程,期间发现了一批代表性矿床,为该类金矿的勘查提供了素材和证据,也为深入研究该类矿床提供了理论基础。尽管隐爆角砾岩型金矿的研究取得了一定的认识,但有关该类金矿床亟待解决或存在争议的问题还很多,如:隐爆角砾岩型金矿成矿热液系统与钙碱性、碱性中酸性斑岩侵入体是否为同源的关系?岩浆热液是起源于上侵岩浆分异作用,还是岩浆房的去气作用?含矿隐爆角砾岩型金矿与浅成-超浅成侵入体具同源关系,但二者之间的过渡关系和流体转变过程等细节有待进一步揭示;矿质金是否主要来源于上侵斑岩结晶的析离,还是深部岩浆房“同源”演化?等等。这一系列的问题,有待今后通过矿床深部的揭露、岩矿测试精度的提高,获取更多有价值的地质信息,以矿床系列-成矿系统理论为指导,进行隐爆角砾岩型金矿与深部斑岩矿床的时空关系及其成矿模式、成矿机制的研究;分析与该类金矿关

系密切的不同浅成-超浅成中酸性斑岩体特征,解决矿化元素特征差异,加强矿床深部含矿性的指示特征研究,以利找矿评价和找矿标志的大尺度精细研究。

目前,我国已知的该类矿床的规模和储量与国外同类矿床具有明显的差距,一定程度上也影响了隐爆角砾岩型金矿成矿理论的研究,今后应加强隐爆角砾岩型金矿的研究及找矿工作。

8 结论

隐爆角砾岩型金矿主要形成于中-新生代,其次为海西-印支期,中生代侏罗-白垩纪陆相火山盆地发育区是该类矿床的找矿有利部位^[21];矿床的产出多与板块俯冲相关的大陆边缘、岛弧岩浆弧和弧后岩浆带浅成-超浅成中酸性侵入体具有时空联系;相关岩体具钙碱性-碱性特征;按矿化元素和成矿环境将矿床类型分为产于火山-次火山环境与斑岩系统有关的金-铜成矿系列、与浅成小侵入体有关的金-银成矿系列;隐爆角砾岩具底侵爆破成因和侧向爆破成因,前者形成的隐爆角砾岩具有与深部较大隐伏岩体相连的“有根”特征,而后者产出虽与斑岩体相伴,但其深部却与围岩接触,形成“无根”角砾岩体^[25],深部一般不存在斑岩矿床的可能;角砾岩相分带具有通道相、爆破相、震碎相和裂隙相等特征;矿体受控于角砾岩筒系统,一般延深大于延长并有分支复合特征;矿质沉淀晚于角砾岩的形成而富集于角砾胶结物中;成岩与成矿是同一地质作用过程不同阶段的产物,多次爆破有利于远程成矿,尤其是成矿期断裂是成矿的最有利部位^[89,94-95]。隐爆角砾岩筒成筒过程具有“自下而上→顺次推进→序次叠加”的特点,同时流体具有“升温-沸腾(爆破)-降温-升温-沸腾(爆破)-降温”的演化过程,矿床中蚀变和矿化贯穿爆破的全过程,但矿质沉淀主要集中于流化作用之后的“沸腾-降温”阶段^[26-27,85,89];金矿化类型具有“一体多型”“一筒多型”以及与斑岩型矿床之间存在一定时空联系的特点,运用成矿系列-成矿系统的思想指导矿床勘探具有十分重要的意义。

致谢:本文成文过程中得到朱玉磷教授级高工的大力支持,蒋少涌博导及匿名审稿人审阅了全文并提出了修改意见和建议,在此一并表示诚挚的感谢!

注释:

- ① 莱特 A E, 鲍斯 D R. 爆发角砾岩的形成. 地质科学院情报所. 国外火山岩地区地质构造: 国外地质资料选编二十四. 北京, 1976: 31-38.

参考文献:

- [1] 张彦伟. 东秦岭木头沟钼矿隐爆角砾岩筒的形成及其构造动力机制[D]. 石家庄: 石家庄经济学院, 2012.
- [2] 梁俊红, 巩恩普, 姚玉增, 等. 中酸性隐爆角砾岩型金属矿床稀土元素地球化学特征[J]. 地质找矿论丛, 2011, 26(1): 23-27.
- [3] 栾世伟, 陈尚迪, 曹殿春. 金矿床地质及找矿方法[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1987.
- [4] 陈毓川, 朱裕生. 中国矿床成矿模式[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [5] 涂光炽. 我国原生金矿类型的划分和不同类型金矿的远景剖析: 在广西矿物岩石地球化学学会成立大会上的报告[J]. 矿产与地质, 1990, 4(1): 1-10.
- [6] 宋保昌, 张宝林, 王杰, 等. 隐爆角砾岩型金矿的成矿机理探讨[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊): 662-665.
- [7] 罗镇宽, 苗来成, 关康. 角砾岩型金矿床: 一种值得重视的金矿床类型[J]. 地质找矿论丛, 1999, 14(4): 15-23.
- [8] Bryner L. Breccia and pebble columns associated with epigenetic ore deposits[J]. Economic Geology, 1961, 56(2): 488-508.
- [9] Sillitoe R H. The tops and bottoms of porphyry copper deposits[J]. Econ. Geol., 1973, 68: 799-815.
- [10] Baton P B J, Bethke P M, Roedder E. Environment of ore deposition in the Creed mining district, San Juan Mountains, Colorado: Part III, Progress toward interpretation of the chemistry of the ore-forming fluid for the OH vein[J]. Econ. Geol., 1977, 72: 1-24.
- [11] Henley R W, Ellis A J. Geothermal systems, ancient and modern[J]. Earth Science Reviews, 1983, 19: 1-50.
- [12] Sillitoe R H. Enargite-bearing massive sulfide deposits high in porphyry copper systems[J]. Econ. Geol., 1983, 78: 348-352.
- [13] Sillitoe R H. Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs[J]. Economic Geology, 1985, 80(6): 1467-1514.
- [14] Henley R W. The geological framework of epithermal deposits[C]//Berger B R, Bethke P M. Geology and Geochemistry of Epithermal Systems. Rev. Econ. Geol. Texas: Soci. Econ. Geol., 1985, 2: 1-24.
- [15] Panteleyev A A. Canadian cordilleran model for epithermal gold-silver deposits[J]. Geosci. Cana., 1986, 13: 101-111.
- [16] Heald P, Foley N K, Hayba D O. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite type[J]. Econ. Geol., 1987, 82: 1-26.
- [17] Barton P J. Prograde and retrograde base metal lode deposits and their relationship to underlying porphyry deposits[J]. Econ. Geol., 1989, 84: 1671-1683.
- [18] Cooke D R, Bloom M S. Epithermal and subadjacent porphyry

- mineralization, Acupan, Baguio District, Philippines; a fluid-inclusion and paragenetic study[C]//Hedinguist J W, White N C, Siddeley G. Epithermal Gold Mineralization of the Circumpacific. *Geology, Origin and Exploration I. J. Geochem. Explor.*, 1990, 35: 297-340.
- [19] Sillitoe R H, Bonham Jr H F. Sediment-hosted gold deposits: Distal product of magmatic-hydrothermal systems[J]. *Geology*, 1990, 18: 157-161.
- [20] Eaton P C, Setterfield I N. The relationship between epithermal and porphyry hydrothermal systems within the Tavua Caldera, Fiji[J]. *Econ. Geol.*, 1993, 88: 1053-1083.
- [21] 唐菊兴. 含金热液隐爆角砾岩的特征及研究意义[J]. *成都理工大学学报*, 1995, 22(3): 59-64.
- [22] Pirajno F. Volcanic-hosted epithermal systems in northwest Turkey[J]. *S. Afr. J. Geol.*, 1995, 98(1): 13-24.
- [23] 李俊健, 沈保丰, 曹秀兰, 等. 岩浆隐爆作用与金矿化的关系: 以华北地台北缘金矿为例[J]. *地质论评*, 1999, 45(增刊): 517-519.
- [24] 章邦桐, 饶冰, 陈培荣, 等. 论长英质隐爆角砾岩的气热流体溶浸成矿机制: 以赣南 6722 钨矿床为例[J]. *矿床地质*, 2001, 20(2): 129-136.
- [25] 艾霞. 隐爆角砾岩型金矿成矿地质条件构造类型及找矿标志[J]. *矿床地质*, 2002, 21(增刊): 569-572.
- [26] 卿敏, 韩先菊. 隐爆角砾岩型金矿研究述评[J]. *黄金地质*, 2002, 8(2): 1-7.
- [27] 王照波, 司荣军, 仲卫国, 等. 隐爆角砾岩筒型矿床成矿流体演化趋势曲线特征[J]. *地质地球化学*, 2003, 31(4): 62-67.
- [28] 郭纯智, 魏全民, 叶晖. 鸡冠嘴矿床隐爆角砾岩和斑岩型矿体的存在及其特征[J]. *金属矿山*, 2007(2): 52-54.
- [29] 刘文杰, 肖成东, 王丽霞. 金矿床成矿理论综述[J]. *现代矿业*, 2009(7): 19-21.
- [30] 田宏伟, 付彩云, 张宝仁. 祁雨沟隐爆角砾岩型金矿床资源评价[J]. *黄金科学技术*, 2010, 18(1): 6-10.
- [31] 张会琼, 王京彬, 王玉往. 山西灵丘支家地铅锌银矿隐爆角砾岩筒的岩相分带性研究及其勘查意义[J]. *地质论评*, 2012, 58(6): 1046-1055.
- [32] 王艳忠, 杨言辰, 陈桂虎, 等. 黑龙江东宁金厂金矿床角砾岩型金矿体地质特征及找矿标志[J]. *黄金*, 2012, 33(11): 24-28.
- [33] 刘国华, 徐令兵, 田磊, 等. 河南祁雨沟隐爆角砾岩筒的侧向隐爆模式探讨[J]. *矿产勘查*, 2012, 3(1): 16-22.
- [34] 李志国, 曾祥涛, 王军平. 隐爆角砾岩型金矿床中黄铁矿的标型特征[J]. *黄金*, 2012, 33(10): 19-20.
- [35] 尹利君, 刘继顺, 刘卫明, 等. 冀东唐杖子金矿: 一个典型的隐爆角砾岩型金矿[J]. *地质与勘探*, 2013, 49(6): 1098-1107.
- [36] 宋世伟, 张成江, 黄小东. 热液隐爆角砾岩成矿过程分析[J]. *高校地质学报*, 2013, 19(增刊): 234-235.
- [37] 曹琼, 庞绪成, 宛克勇, 等. 湖南老鸦巢隐爆角砾岩型金矿床地质特征及找矿标志[J]. *黄金科学技术*, 2014, 22(1): 15-21.
- [38] 刘家远. 江西燕山期隐爆相岩石特征与成矿[J]. *地质与勘探*, 1982(5): 18-25.
- [39] Johnston W P, Lowell J D. Geology and origin of mineralized breccia pipes in Copper Basin, Arizona[J]. *Economic Geology*, 1961, 56: 916-940.
- [40] 章增凤. 隐爆角砾岩的特征及其形成机制[J]. *地质科技情报*, 1991, 10(4): 1-5.
- [41] 涂光炽. 贵金属找矿的若干问题讨论[M]. 北京: 地震出版社, 1999.
- [42] 李子林. 福建上杭紫金山含金隐爆角砾岩[J]. *中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊*, 1988, (2): 131-135.
- [43] 谭文娟, 魏俊浩, 张可清, 等. 隐爆角砾岩型金矿床成矿特征浅析: 以山西堡子湾、河南祁雨沟金矿床为例[J]. *地质找矿论丛*, 2006, 21(1): 15-18.
- [44] 钱建民, 濮为民, 钟增球, 等. 浙江遂昌冶岭头筒状铅锌矿体地质特征及其意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2010, 34(1): 63-70.
- [45] 何雨明, 杨牧. 隐爆角砾岩型金矿床的几点认识[J]. *西部探矿工程*, 2011(1): 171-172.
- [46] Davies A G S, Cooke D R, Gemmell J B, et al. Diatreme breccias at the Kelian gold mine, Kalimantan, Indonesia: Precursors to epithermal gold mineralization[J]. *Economic Geology*, 2008, 103(4): 689-716.
- [47] Landtwing M R, Dillerbeck E D, Leake M H, et al. Evolution of the breccia-hosted porphyry Cu-Mo-Au deposit at Agua Rica, Argentina: Progressive unroofing of a magmatic hydrothermal system[J]. *Economic Geology*, 2002, 97(6): 1273-1292.
- [48] Chen Y J, Pirajno F, Li N, et al. Isotope systematics and fluid inclusion studies of the Qiyugou breccia pipe-hosted gold deposit, Qinling Orogen, Henan province, China. Implications for ore genesis[J]. *Ore Geology Reviews*, 2009, 35: 245-261.
- [49] 何云龙, 魏俊浩, 谭文娟, 等. 山西堡子湾隐爆角砾岩型金矿床隐爆机制研究[J]. *矿产与地质*, 2008, 22(5): 377-380.
- [50] 田宏伟, 吴少魁. 祁雨沟 J5 隐爆角砾岩型金矿床隐爆机制研究[J]. *采矿技术*, 2009, 9(5): 141-143.
- [51] 翟裕生, 姚书振, 崔彬, 等. 成矿系列研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.
- [52] 葛良胜. 熊耳山东部岩浆隐爆角砾岩体地质特征及其含矿性差异原因初探[J]. *黄金科学技术*, 1994, 2(3): 21-28.
- [53] 沈远超, 申萍, 曾庆栋, 等. 甘肃北山地区南金山金矿床隐爆角砾岩体的发现及成矿规律研究[J]. *矿床地质*, 2006, 25(5): 572-581.
- [54] 刘文杰, 李永刚, 刘文强. 东山金矿隐爆角砾岩型金矿床成因及其赋矿规律研究[J]. *现代矿业*, 2009(8): 83-86.
- [55] 陈世忠, 马明, 陈刚, 等. 武夷山成矿带桃溪隆起、岩浆侵入和区域铜多金属矿成矿作用[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2010, 35(6): 969-984.
- [56] Norman D I, Awkins F J. The Tribag breccia pipes: Precambrian Cu-Mo deposits, Batchawana Bay, Ontario[J]. *Economic Geology*, 1985, 80(5): 1593-1621.
- [57] 刘连登, 李颖, 兰翔. 论角砾/网脉-斑岩型金矿[J]. *矿床地质*, 1999, 18(1): 29-36.

- [58] Sankins F J M. Anorogenic Felsic Magmatism, Rift Sedimentation, and Giant Proterozoic Pb-Zn Deposits[J]. *Geology*, 1989, (17): 657-660.
- [59] 王宝德. 河南祁雨沟爆发角砾岩型金矿床金的富集规律[J]. *地质与勘探*, 1991(9): 9-15.
- [60] 杨文华. 内蒙古陈家杖子隐爆角砾岩筒及金矿床地质特征[J]. *内蒙古地质*, 2001(2): 7-12.
- [61] 晁媛. 秦巴地区中-酸性浅成小岩体与金矿[J]. *陕西地质*, 1992, 10(1): 27-41.
- [62] 林书平, 刘莎, 王春龙, 等. 紫金山矿田二庙沟铜多金属矿点隐爆角砾岩活动中心的厘定及意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2012, 36(3): 450-456.
- [63] 李兆龙, 张连营, 骆华宝. 晋北火山岩型金银矿床同位素地球化学特征[J]. *地球学报*, 1994, 15(1/2): 145-151.
- [64] Zhang Y H, Zhang S H, Franco Pirajno. Fluidization: An Important Process in the Formation of the Qiyutou Au-bearing breccia pipes in central China[J]. *Acta Geologica Sinica (English edition)*, 2007, 81: 226-238.
- [65] 黄民智, 陈伟十, 李蔚铮, 等. 广西龙头山次火山-隐爆角砾岩型金矿床[J]. *地球学报*, 1999, 20(1): 39-46.
- [66] 余宏全, 张桂兰, 张德全, 等. 赤峰陈家杖子隐爆角砾岩型金矿床地质地球化学特征与成因[J]. *矿床地质*, 2005, 24(4): 373-387.
- [67] 刘全德, 王相文, 陈铁力. 吉林金厂沟隐爆角砾岩型金矿床地质特征浅析[J]. *有色矿冶*, 2008, 24(6): 8-11.
- [68] 谢抡司, 孙邦东. 广西贵港市龙头山火山-次火山岩型金矿床地质特征[J]. *广西地质*, 1993, 6(4): 27-41.
- [69] 王宝德, 郑海飞. 爆发角砾岩型金矿包裹体及其成矿物化条件[J]. *河北地质学院学报*, 1991, 14(2): 158-166.
- [70] 王宝德, 李胜荣. 河南祁雨沟爆发角砾岩型金矿床地质地球化学特征初步研究[J]. *地质地球化学*, 1996(6): 37-44.
- [71] 谢奕汉, 范宏瑞, 李若梅, 等. 河南祁雨沟爆破角砾岩型金矿床包裹体研究[J]. *矿物学报*, 1991, 11(4): 370-376.
- [72] 王宝德, 耿照强. 河南祁雨沟爆发角砾岩型金矿床原生晕基本特征[J]. *物探与化探*, 1992, 16(6): 433-444.
- [73] 聂凤军, 张洪涛, 孙浩, 等. 内蒙古哈达庙含金隐爆角砾岩带地质特征及成因探讨[J]. *地球学报*, 1991, 12(1): 81-90.
- [74] 聂凤军, 张洪涛, 孙浩, 等. 内蒙古哈达庙金矿床地质特征及矿床成因探讨[J]. *矿床地质*, 1989, 8(2): 51-60.
- [75] 许令兵, 王文达, 秦臻, 等. 祁雨沟角砾岩型金矿成矿物质来源探讨[J]. *矿产勘查*, 2010, 1(1): 39-49.
- [76] 刘连登. 同源成矿说: 岩浆热液矿床成因新认识[C]//关广岳. 国际金矿地质勘探学术会议论文集(ISEGE). 沈阳: 东北工学院出版社, 1989.
- [77] 徐克勤, 涂光炽. 花岗岩地质与成矿的关系[C]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984.
- [78] 廖兰德. 沂南金矿床的火成岩源控制特征[J]. *桂林冶金地质学院学报*, 1988, 8(1): 23-32.
- [79] 李生元. 山西耿庄金银多金属矿床的成矿条件与成矿模式[J]. *贵金属地质*, 1988(1): 267-278.
- [80] 刘家远, 沈纪利. 阳峪岭斑岩钨(钼)矿床的成矿杂岩体: 一个过渡型花岗岩成生演化的模式[C]//徐克勤, 涂光炽. 花岗岩地质和成矿关系. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984: 215-218.
- [81] 封益诚. 浙江大岭口银铅锌矿床共(伴)生银金矿的成矿与富集规律[J]. *贵金属地质*, 1988(1): 261-263.
- [82] 张江. 紫金山铜金矿床地质地球化学特征[J]. *地质与勘探*, 2001, 37(2): 17-22.
- [83] 孙思, 李永刚, 张小允, 等. 山东七宝山隐爆角砾岩型金铜矿床含矿蚀变斑岩石英颗粒中高温高盐度沸腾包裹体的发现及其意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(11): 3319-3326.
- [84] 伊万京 И Ф. 论浅成侵入体伴生的隐蔽爆发岩及其在金属矿床形成中的作用[C]//华东地质科学研究所. 火山岩与火山喷发作用: 国外地质科技资料选集. 五. 南京: 南京出版社, 1973.
- [85] 王照波. 隐爆岩及其形成模式探讨[J]. *地质找矿论丛*, 2001, 16(3): 201-205.
- [86] 齐金忠, 李汉光, 葛良胜, 等. 祁雨沟隐爆角砾岩型金矿床构造应力、成矿流体及元素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [87] 黄典豪, 侯增谦, 杨志明, 等. 东秦岭钼矿带内碳酸岩脉型钼(铅)矿床地质-地球化学特征、成矿机制及成矿构造背景[J]. *地质学报*, 2009, 83(12): 1968-1984.
- [88] 轩慎民. 从老田岩体谈隐爆角砾岩型矿床的成因机制和找矿方向[J]. *金属矿山*, 2009(3): 91-95.
- [89] 田磊, 许令兵, 刘国华. 河南祁雨沟隐爆角砾岩型金矿床成矿特征浅析[J]. *华南地质与矿产*, 2011, 27(3): 179-183.
- [90] 邵世才. 爆破角砾岩型金矿床的成因及其定位机制: 以河南祁雨沟金矿为例[J]. *矿物学报*, 1995, 15(2): 230-235.
- [91] 周云. 岩浆系统中的挥发分与岩浆脱气作用[C]//2010年全国岩石学与地壳动力学研讨会, 北京: 北京大学, 2010.
- [92] Shelnut J P, Noble D C. Preliminary radial dike of tourmaline-lined fluidization breccia, Julcani district, Peru, Econ. Geol., 1985, 80: 1622-1632.
- [93] 陈振岩. 辽河坳陷东部凹陷火成岩及其油气成藏作用[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [94] 刘家远. 岩浆隐爆构造与贵重金属、有色金属成矿[J]. *新疆地质*, 1996, 4(3): 238-246.
- [95] 黄定华, 向树元, 朱云海, 等. 中浅成岩浆的隐爆机制及其成矿动力学意义[J]. *地质科技情报*, 1997, 16(1): 77-80.
- [96] 徐文喜. 黑龙江金厂金(铜)矿田地质特征、成矿规律与成矿模式[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2009.
- [97] 张宝林, 蔡新平, 韩金良, 等. 含矿流体集中沉淀的主要制约因素[J]. *地学前缘*, 2000, 7(S2): 238.
- [98] Richards J P. Alkaline-type epithermal gold deposit: A review[J]. *Mineralogical Association of Canada Short Course*, 23: 367-400.
- [99] Sillitoe R H, Hedenquist J W. Linkage between volcanotectonic setting, ore fluid compositions, and epithermal precious metal deposits[J]. *Society of Econ. Geol., Spec. Publication*, 2003, 10: 315-343.
- [100] Fox J H. The geophysical signature associated with a cryptotexplosion structure[J]. *Geology*, 1970.
- [101] 沈远超, 曾庆栋, 刘铁兵, 等. 山东平邑卓家庄金矿地质特征及成矿预测[J]. *地质与勘探*, 2000, 36(4): 20-23.

[102] 林月钠. 福建安村矿区寻找隐爆角砾岩矿床的探讨[J]. 湖

南有色金属, 2009, 25(5): 11-14.

Research progresses on cryptoexplosion breccias type gold deposits

MAO Guangwu^{1,2}, YAN Xieping², SHU Wenhui², ZU Junlong², WANG Botao², BAI Changhua²

(1. *Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;*

2. *No. 2 Bureau of China Metallurgical Geology Bureau, Fuzhou 350001, China*)

Abstract: The article summarizes the progress on concept definition, metallogenic tectonic geological conditions, and features, metallogenetic fluid characteristics and cryptoexplosive breccia diagenetic and metallogenetic mechanism of cryptoexplosive breccia and the breccia type gold deposits. Such deposit is prolific in the ancient land activation area, Mesozoic fault basin edge or island arc volcanic belt of the Pacific Rim. The ore body is spatially and temporally related closely to hypabyssal-ultra shallow acidic porphyry bodies and occurs at top of the body which are alkali-rich and silicon-rich and belongs to "I" type granite. When pressure of the high heat energy thermal fluid at top of the body is greater than the sum of the tensile strength of the surrounding rock and the minimum principal stress cryptoexplosion occur and the cryptoexplosive breccia is formed. Commonly the cryptoexplosive breccia cylinder is vertically zoned as crack phase, shattered phase, blasting phase, channel phase. Breccia size tends horizontally to be smaller from center to edge. The Instant burst of ore-forming fluid in a closed system creates a semi-open or open system and leads to relative large pressure gradient. Pressure of the ore-forming fluid is reduced and the fluid boiled. Mixture, immiscibility of the fluid and water-rock reaction change the physiochemical condition and cause reduction of solubility of gold complexes and the complexes precipitate to be gold mineralization. Formation of cryptoexplosive breccia cylinder and evolution of thermal fluid were promoted and overprinted sequentially upward from the bottom in the process of "temperature increase-(explosion) boil-temperature decrease-temperature increase-(explosion)-boil-temperature decrease". "boil-temperature decrease" is the main ore material precipitation stage. This type of gold deposit is characterized by metallogenic series and system. Multi-type ores occur in one intrusive body or one cylinder. It is significant to guide further exploration in the area.

Key Words: cryptoexplosion breccia type gold deposits; mineralization background; ore fluid; rock-forming- ore-forming model; prospecting criteria