

山东七宝山角砾岩筒流体双重致裂机制 与金铜成矿^{*}

徐兴旺 蔡新平 秦大军 王 杰 梁光河

张宝林 高浩中

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

张小允 刘立金 薛世强 刘成深 周林科

(山东蓬宝矿业集团七宝山金矿, 五莲 262321)

摘要 对山东七宝山角砾岩筒的综合研究表明, 该角砾岩筒形成于一种新的流体构造动力学机制——流体温压双重致裂和脉动扩展机制, 即在流体的热应力和液压双重作用下形成性质不同的节理裂隙和上凸锥面状裂隙带, 并脉动式往上扩展形成圆柱状压裂角砾岩体; 锥面状裂隙带顶点岩石瞬间点爆裂, 流体向该点汇流, 流体流速加快和爆裂区呈倒置锥状往上扩展, 岩筒上部锥状爆裂角砾岩体与锅盖状震裂角砾岩体形成。富金流体于岩筒上部倒置锥状裂隙体(温度压力急降箱)下部沸腾面附近富集和沉淀, 富铜流体主要于温压相对较高的汇流区集结和沉淀成矿。

关键词 角砾岩筒 流体双重致裂 成因机制 金铜成矿 七宝山

自 1870 年在金伯利岩角砾岩筒中发现金刚石以来, 地质学家注意到角砾岩筒也是其他一些矿产资源(如铜、钼、金、银、锡、铀、铅和锌等)的重要容矿构造, 并开始研究角砾岩筒的特征及形成机制^[1~3]。特别是近 20 年来, 角砾岩筒型大型-超大型金矿的发现(如美国的 Cripple Creek 金矿、澳大利亚的 Kidston 金矿、我国的团结沟金矿等), 更激起研究人员的兴趣, 角砾岩筒作为一种重要的成矿构造被重视和研究^[4~6]。已有的研究表明, 角砾岩筒主要形成于浅成的、中酸性岩浆岩分异的气液流体的爆发或爆破作用^[7,8], 并被称为隐爆角砾岩筒或爆破(爆发)角砾岩筒。

我们对山东七宝山角砾岩筒的研究发现, 角砾岩胶结物为含矿流体的冷凝固结矿物而非岩粉、岩屑, 致使岩石破裂和角砾化的流体为深源流体而非逸出于附近的次火山岩, 岩筒内流体构造具自身特有的时空结构, 该角砾岩筒形成于一种新的流体构造动力学机制。以往与七宝山角砾岩筒有关的研究工作^[9~12]主要集中在角砾岩筒内的金铜矿床地球化学、矿床地质及其与角砾岩筒关系方面, 而对角砾岩筒形成的构造动力学过程及其中金铜矿床的形成与定位机制缺乏研究。本次工作从岩筒结构构造的地质力学分析入手, 恢复建立了角砾岩筒及其中金铜矿形成的流体构造动力学过程与机制, 这将有助于矿床深部和外围隐伏矿体的定位预测。

1999-05-20 收稿

^{*}国家自然科学基金(批准号:49802021)和中国科学院“九五”黄金重大项目(批准号:KZ951-A1-404-02)联合资助

1 地质背景

七宝山角砾岩筒位于沂沭断裂带东侧、胶莱凹陷西南早白垩世次火山侵入杂岩体东南侧,五莲县城西北 15 km;位于窑头 NE 向隐伏断裂与杏山峪 NW 向断裂的复合交汇部位。矿区地表出露的次火山岩以辉石二长岩和石英闪长玢岩为主。其中晚期石英闪长玢岩呈北东向、往东南陡倾的岩墙产出,岩墙往上分叉和包绕辉石二长岩,形成各种形状的残留体。角砾岩筒所在位置的辉石二长岩残留体呈圆筒状并位于岩筒的中心部位。矿区在角砾岩筒形成之前,发生了一次与石英闪长玢岩自变质作用有关的黄铁绢英岩化蚀变作用。七宝山角砾岩筒总体呈筒状,往南东陡倾(倾角约 80°);岩筒平面上椭圆形,NW-SE 向分布,长约 340 m,宽约 280 m,地表以下延伸大于 600 m;角砾岩筒内产有一个中型金铜矿床。矿区范围内规模较大断层有 3 条(F_1 , F_2 和 F_3),均为成矿后断层。

2 流体构造和流体构造岩的类型、结构及其动力学意义

2.1 流体构造和流体构造岩的类型与特征

七宝山角砾岩筒流体构造有角砾状构造、节理构造、溶蚀构造和喷射构造,角砾状构造和节理构造是主要的流体构造,对应流体构造岩为角砾岩和块裂岩。

角砾状构造和角砾岩又可分出 3 个亚类:压裂成因的角砾状压裂构造和压裂角砾岩、爆裂成因的角砾状爆裂构造和爆裂角砾岩及震裂成因的角砾状震裂构造和震裂角砾岩,其差异在于角砾的形态、运动性质、角砾化程度及胶结物的含量与组成。压裂角砾岩角砾是由含矿脉体穿插和分割早期蚀变岩形成的;其大小和形态取决于胶结脉体的展布特征;角砾边界不规则,角砾边界流体的溶蚀作用强烈,港湾状、瓶颈状和树枝状等溶蚀构造发育,偶见放射状和花边状等喷射构造;角砾基本没有位移;含矿脉体胶结,胶结物含量 5%~8%,胶结脉体内结晶的矿物主要有镜铁矿、黄铜矿、黄铁矿、菱铁矿、石英、方解石和石膏等,其中最先结晶的镜铁矿呈粒状、颗粒细小、粒径小于 0.5 mm;角砾化不均一,角砾化较强的角砾岩成带状和脉状产出,角砾岩带之间为没有角砾岩化、尺寸较大的围岩(“大”角砾);角砾岩带内角砾的大小 5~100 cm 不等,一般 30~50 cm,“大”角砾小者几米、大者十余米;角砾岩带总体呈网脉状,形成压裂角砾岩的流体具网络流的特征;压裂角砾岩岩石的破裂具脉动特征,角砾内“V”形中止裂纹及其中的充填脉(以石英和菱铁矿为主)被角砾边部的主破裂和胶结脉体切割。爆裂角砾岩角砾大小相对均一,从 10~50 cm 不等,岩石角砾化程度较均一;角砾边界较平直,呈三角状和不规则四边形状;角砾之间可拼性好,有微小的裂离位移;含矿胶结脉体贯通性好,胶结物含量较高,一般 10%~15%,最高可达 20%,胶结脉体内结晶的矿物主要有镜铁矿、菱铁矿、黄铜矿、黄铁矿、白钨矿、石英、方解石等,其中镜铁矿呈鳞片状、粒径 1~2 mm。震裂角砾岩的胶结脉体沿节理或裂隙面充填分布,脉体相对平直连续;由穿插脉体分割所显示的角砾大小不一,形状各异,边界较平直;脉体内结晶的矿物有石英、菱铁矿、镜铁矿、方解石、黄铁矿和黄铜矿等,金属矿物含量明显减少,以石英和碳酸盐矿物为主;角砾化不均一,角砾化较强的角砾岩常呈带状或墙状产出,角砾岩带内的角砾相对较小,从 5~30 cm 不等。

密集节理构造将岩石分割成不同形状的碎块形成块裂岩,根据节理的密集程度和碎块大小,可大致划分为 3 种:大块裂岩(>50 cm)、中块裂岩(10~50 cm)和小块裂岩(<10 cm)。根

据节理的形态、延伸及其中流体物质充填和蚀变特征,可分出“干裂”和“湿裂”两种类型。“干裂”节理面上无流体物质充填,表面干净,节理面形态不规则、连续性差,相对密集,这意味着节理形成过程流体介质没有直接接触破裂岩石;后者节理面上有流体物质充填,块裂岩有较强的黄铁矿化,节理面上的黄铁矿和黄铜矿镜片状,说明流体进入节理面后节理又迅速闭合,节理面平直、产状稳定。“湿裂”节理构造是在“干裂”节理构造基础上叠加发育起来的。从与角砾岩的时空关系看,节理构造可分为两期:与压裂角砾状构造同生的同生节理和明显切割压裂角砾岩的后生节理。

2.2 流体构造(岩)结构及其动力学意义

七宝山角砾岩筒流体构造和流体构造岩的空间分布和组合见图 1。角砾岩筒由震裂角砾岩、爆裂角砾岩和压裂角砾岩构成,垂向上叠置分布,分带性明显。震裂角砾岩呈锅盖状分布于岩筒的顶部(其大部已被剥蚀),其下侧角砾岩带较密集,往上渐少。爆裂角砾岩呈球面锥体状产于震裂角砾岩之下,岩筒的中上部,爆裂角砾岩体顶部的角砾岩带定向排列,与爆裂角砾岩体的上顶面平行,中部近水平,边部外倾(倾角 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$) (图 1-A),位于 80 m 标高以上。压裂角砾岩位于爆裂角砾岩之下,岩筒中下部,角砾岩化较强的压裂区主要位于岩筒的边部,呈圆柱状,直径 10~15 m,角砾较小,5~40 cm 不等,小角砾浑圆状。同生节理构造分布于角砾岩筒的外侧,“干裂”节理构造主要分布于岩筒筒壁附近,“湿裂”节理构造延伸较远且具远离筒壁而渐稀的特征。“干裂”节理形成于流体的热应力作用,“湿裂”节理构造形成于流体压力作用,即在同生节理构造带形成过程中先后有两种性质不同的流体构造动力作用于岩石并使岩石发生破裂。压裂角砾岩角砾内一些不规则“干裂”裂隙的存在,意味着岩石的角砾化也形成于流体温压双重致裂作用。后生“干裂”节理带呈不规则透镜状分布于压裂角砾岩体顶部、位于爆裂角砾岩体缩颈部位两侧,成因可能与爆裂角砾岩体锥状结构有关。

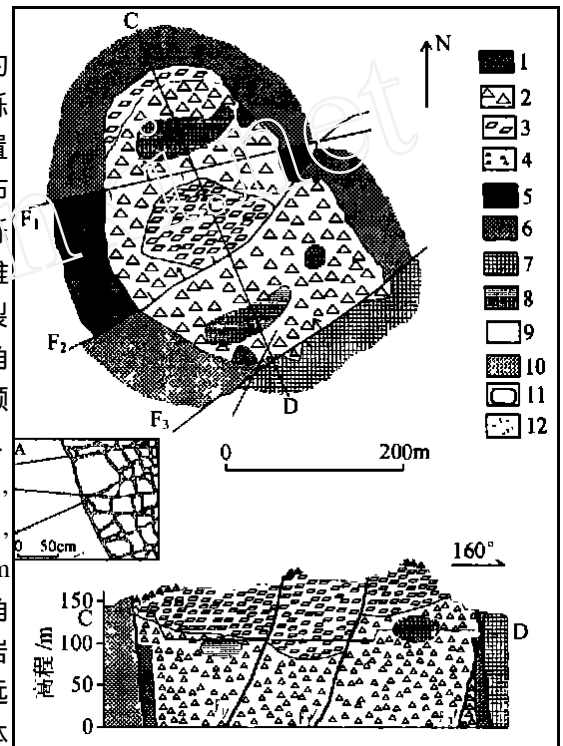


图 1 七宝山角砾岩筒流体构造岩分布图¹⁾

1 示强压裂角砾岩,2 示压裂角砾岩,3 示爆裂角砾岩,4 示震裂角砾岩,5 示小块裂岩,6 示中块裂岩,7 示大块裂岩,8 示后生节理,9 示黄铁矿绢英石化石英闪长玢岩,10 示镜铁矿石英碳酸盐脉体胶结物,11 示角砾岩筒边界,12 示断层

3 节理构造应力分析

七宝山角砾岩筒外围同生节理带 8 个测点、爆裂角砾岩体底部 3 个测点和后生节理带 2 个测点节理构造应力分析结果表明:(1)角砾岩筒外围同生节理带 8 个测点节理构造所显示的

1) 平面分布图指七宝山金矿露天采坑 100~130 m 标高范围内剥露面的流体构造岩分布

应力状态具统一的特征:最大主压应力轴(σ_1)侧伏向与岩筒筒壁近直交,侧伏角 $0^\circ\sim 20^\circ$,平均 9° 左右,主压应力轴迹线呈与岩筒筒壁直交的放射状产出;中间应力轴(σ_2)侧伏向与岩筒筒壁近平行,侧伏角 $0^\circ\sim 22^\circ$,平均 11° ,中间应力轴迹线呈与岩筒筒壁平行的水平环状产出;张应力轴(σ_3)产状陡立,侧伏角 $52^\circ\sim 80^\circ$,平均 73° 。可见,岩筒外围同生节理构造形成于岩筒往外近水平的挤压作用,铅垂方向为拉张方向,同生节理为张节理,即在岩筒形成过程中,岩筒外侧的筒壁岩石曾受到源于岩筒的、近水平的挤压作用。(2)筒内爆裂角砾岩体底部3个测点节理构造所反应的应力状态主要特征是最大主压应力轴(σ_1)往岩筒中心方向侧伏,侧伏角 $35^\circ\sim 56^\circ$,中间应力轴(σ_2)侧伏角较小($7^\circ\sim 27^\circ$)、侧伏向与角砾岩体外边界近平行,说明爆裂角砾岩体形成过程中岩石受到了从岩筒中心往上往外的挤压作用。(3)岩筒内后生节理带2个测点节理构造所对应的应力状态特征是最大主压应力轴(σ_1)往岩筒中心方向侧伏,侧伏角 10° ,中间应力轴(σ_2)侧伏角较小($2^\circ\sim 12^\circ$),侧伏向与该点后生节理带的外边界近平行,张应力轴(σ_3)产状陡立,侧伏角分别为 65° 和 80° ,形成的构造动力源于岩筒中心部位,为张节理。

4 结晶矿物组合与分布和含矿流体的性质与来源

七宝山角砾岩筒角砾岩胶结脉体内结晶矿物主要有镜铁矿、黄铁矿、黄铜矿、菱铁矿、石英、方解石、自然金、自然银、白钨矿和石膏等。方解石和菱铁矿等碳酸盐矿物分布于岩筒的上部,镜铁矿和黄铁矿主要分布于岩筒的中上部,白钨矿与金矿体密切伴生^[9],石膏细脉产于岩筒中下部压裂角砾岩体内。锥状爆裂角砾岩体胶结脉体内镜铁矿含量高,结晶颗粒大,这说明镜铁矿结晶时该锥状体是一个温度和压力急剧降低的空间^[13]。值得指出的是,岩筒内石膏分布顶面的深度具规律性变化,呈上凸的锥面状,锥面顶点高程为 $-90\sim -80\text{ m}$ 、底边高程为 $-230\sim -200\text{ m}$ 。石膏矿物的出现意味着流体具高氧逸度和偏酸性的特征,说明岩筒形成过程中压裂角砾岩体内流体场氧逸度(f_{O_2})和酸碱度(pH值)的地球化学界面呈上凸的锥面状。

在角砾岩筒露天采坑南侧 90 m 标高处的压裂角砾岩体内,我们发现在石英闪长玢岩黄铁绢英岩化之后、角砾岩化之前,还有一次基性岩脉的穿插活动,即角砾岩筒形成晚于基性岩脉侵入,胶结脉流体应为与中酸性次火山岩同源的深源流体。胶结脉体内结晶矿物的硫同位素、氢氧同位素、铅同位素及稀土元素分配等^[11]也都具深源流体的特征。

5 金铜矿体空间分布的结构模型

矿山露天开采表明,勘探过程所圈定的矿体形态和对空间分布的认识^{1、2)}与实际并不完全相符。我们的研究表明,七宝山角砾岩筒内金铜矿床金矿体、金铜体和铜矿体不仅在垂向分布上具分带特征,而且与角砾岩筒角砾岩体分布的结构相吻合。金矿体产于锥状爆裂角砾岩体的中下部,矿体总体形态呈下凹的曲面状,规模较大的富矿体呈不规则的巢状位于锥状体瓶颈部位的上侧;在锥状爆裂角砾岩体的底部还发育一层金铜矿体,总体亦呈下凹的曲面状;主要铜矿体位于压裂角砾岩体的上部($0\sim 100\text{ m}$ 标高之间),总体呈上凸的曲面状分布;下凹与上凸的曲面状矿体在空间分布上具以水平面为对称面对称分布的特征。

1) 山东省地质局第四地质队。七莲县七宝山金线头铜矿详细普查地质报告。1979

2) 山东省冶金地质勘探公司第四勘探队。山东省五莲县七宝山金铜矿区金线头矿床地质勘探中间报告。1982

角砾岩分布于岩筒边部,可能意味着在压裂角砾岩形成过程角砾化和流体的迁移与分布是不均一的. 球面锥体状爆裂角砾岩体的形成与 Venturi 效应有关,即随压裂构造往上扩展,角砾圆柱体上部围压不断降低并导致裂隙构造带脉动扩展速率加快和流体流速增加,当被圈闭流体的压力与上覆围压的差值大大超过岩石的强度时,锥状裂隙带顶点处岩石将瞬间爆裂,爆裂处裂隙构造迅速增加并引起流体向该点汇流,结果是该点流体流速加快和爆裂区呈倒置锥状往上扩展,这种锥状体的形成与流体热应力梯度和热传导速率有关. 流体中密度大、粘滞系数小的含矿物质迅速向倒置锥状爆裂裂隙系统贯入,导致流体温度压力迅速下降,产生二次沸腾、地球化学场(如酸碱度和氧逸度等)分带和降温固化,含金的流体物质大致沿倒置锥状裂隙体的下部沸腾面附近分布^[14]. 包裹体测温^[11]显示,爆裂角砾岩胶结脉体内矿物的结晶温度为 300 ~ 150 °C,该温度范围和降温幅度利于含矿流体金的析出和沉淀^[5]. 而铜在温压相对较高的汇流区集结和分布(图 2). 爆裂区矿物结晶时的围压为 $(3 \sim 4) \times 10^7$ Pa,相当于地下 1 ~ 1.3 km 深度¹⁾. 角砾岩筒形成过程中,其下部(约 3 km 处)可能存在一个高温高压流体囊.

致谢 野外工作得到了山东七宝山金矿孙明洪、张善礼和王乐年的支持与帮助,中国科学院地质研究所易善峰给予了有益的讨论和建议,在此深表谢意.

参 考 文 献

- 1 Bryant D G. Intrusive breccias associated with ore, Warren (Bisbee) Mining District, Arizona. *Economic Geology*, 1968, 63(1): 1 ~ 12
- 2 Norton D L, Cathles L M. Breccia pipes, products of exsolved vapor from magmas. *Economic Geology*, 1973, 68(3): 540 ~ 546
- 3 Sharp J E. Cave Peak, a molybdenum mineralized breccia pipe complex in Culberson County, Texas. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 1979, 74(3): 517 ~ 534
- 4 Norman D I, Sawkins F J. The Tribag breccia pipes: Precambrian Cu-Mo deposits, Batchawana Bay, Ontario. *Economic Geology*, 1985, 80(5): 1 593 ~ 1 621
- 5 Barker E M, Andrew A S. Geologic, fluid inclusion, and stable isotope studies of the gold-bearing breccia pipe at Kidston, Queensland, Australia. *Economic Geology*, 1991, 86: 810 ~ 830
- 6 陈 津, 唐跃林. 山西灵丘支家地热液隐爆银(多金属)矿床成矿机制. *地质与勘探*, 1993, 29(11): 16 ~ 22
- 7 章增凤. 隐爆角砾岩筒的特征及其形成机制. *地质科技情报*, 1991, 10(4): 1 ~ 5
- 8 胡承绮, 冯佐海, 王林江, 等. 中酸性隐爆角砾岩、次生(超浅成)岩与成矿的关系——以广西贵港新民-吉塘铜银矿区为例. *地质与勘探*, 1997, 33(33): 1 ~ 6
- 9 邱德同, 孔令刚. 山东省七宝山角砾岩筒型金铜矿床的地质地球化学特征. *地质与勘探*, 1986, (5): 7 ~ 12
- 10 周炳煌. 山东七宝山隐爆角砾岩筒特征与成矿. *地质与勘探*, 1990, 26(5): 26 ~ 30
- 11 王 郁. 山东七宝山金矿床地质特征及成因探讨. *地质论评*, 1991, 37(4): 330 ~ 337
- 12 张连营, 程敏清. 山东五莲七宝山金铜矿床地球化学特征及成因分析. *地质找矿论丛*, 1996, 11(1): 18 ~ 24
- 13 陈大经. 镜铁矿矿物的找矿指示意义初探. *地质与勘探*, 1988, 24(3): 10 ~ 14
- 14 谢广东. 热液沸腾作用与金矿化的关系及其找矿意义. *地质科技情报*, 1993, 12(3): 61 ~ 67

1) 邱检生. 中国东部中生代橄榄安粗岩省火山岩-次火山岩特征及其与有关金(铜)矿床成矿作用研究. 南京大学博士学位论文. 1992