

山西省耿庄隐爆岩的特征和成因

李 生 元

(山西省冶金地质勘探公司第一队)

当岩浆的侵入发生在距地表0.5~1.5公里的深度范围内时,所形成的具有浅成到超浅成侵入体典型特征的火成岩,称为次火山岩。在特定的条件下,由于岩浆侵入速度加快,岩浆柱前锋气体高度聚集和岩浆内压增高,可引起地下爆破作用,而不会发生已经爆破的围岩碎屑、岩浆凝块以及熔浆之外溢。这个过程称为隐蔽爆破作用(简称隐爆作用)。由隐爆作用所导致的具有不同形成方式和不同特点的各种角砾岩,称之为隐爆角砾岩。次火山岩和与之有关的隐爆角砾岩组成一个不可分割的整体,统称隐爆岩。由于隐爆发生在地面之下,次火山岩与隐爆角砾岩之间在空间关系上,较之喷发的火山熔岩和火山碎屑岩之间的关系更为复杂。在某些地段,要认真的把它们分开往往是困难的。因此,“隐爆岩”这个概念对描述和研究次火山隐爆机构来说,是很方便的。

本文着重介绍在山西省耿庄燕山期隐爆岩中所见到的各种现象,以及对这些现象的认识,希望在完善这一概念方面有所裨益。

耿庄隐爆岩的区域地质背景

耿庄燕山期次火山隐爆岩位于晋东北五台台穹之上。这一地区是燕山期构造—岩浆活动频繁而剧烈的地区,也是一个与这种活动有关的重要金银和多金属成矿区。北东—北北东向的褶皱和压性断裂,北西—北北西向的张性和张扭性断裂,是该区自五台运动以来的基本构造特征。北北西向张扭性断裂的长期继承性发展,造成一个由数条近于平行的断裂组成的、纵贯全区的深断层带,延长数十公里。它控制了燕山期一系列中—小型、中—酸性岩浆岩体及与之有关的矿田、矿床的分布。

耿庄次火山岩是后峪—伯强—耿庄燕山期酸性—中酸性杂岩体的一个组成部分,是其边部的一个分枝。杂岩体具有明显的多阶段侵入特征,主要由似斑状花

岗岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩和少量花岗斑岩、辉绿岩脉等组成。各单个岩体与围岩呈侵入接触,为浅成—超浅成的岩株、岩脉及角砾岩筒。矿石矿物和元素地球化学晕的分布,显示出以后峪为中心呈环状分布的铜—金—银—铅—锌矿化的分带现象(图1)。

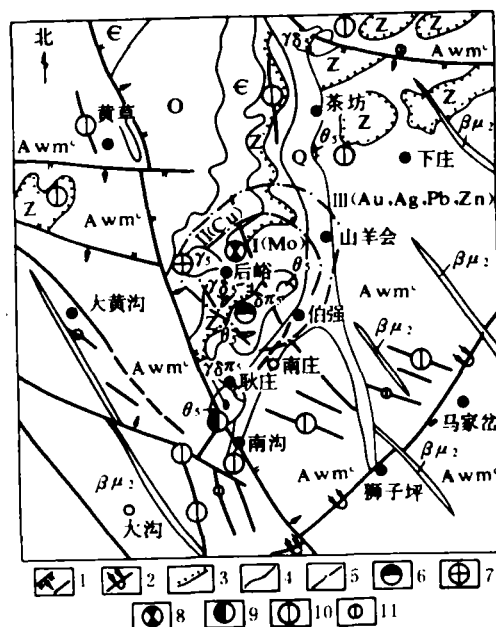


图1 后峪—伯强—耿庄矿田地质略图

Q—河床冲积物; O—奥陶系白云质灰岩; E—寒武系页岩; Z—震旦系石英砂岩、白云岩; Awm—五台群本格组车厂段云(闪)斜长片麻岩; γ—隐爆角砾岩; γ—花岗岩; γδ—花岗闪长岩; γδπ—花岗闪长斑岩; βμ—元古代辉绿岩脉; II(Cu)—成矿元素分带编号及矿化元素; 1—断裂; 2—倒转向斜; 3—不整合线; 4—地质界线; 5—成矿元素水平分带界线; 6—铜矿床; 7—金矿床; 8—银—铜—铁—金矿床; 9—金银多金属矿床; 10—金矿点; 11—金矿化点

目前,矿田内已发现四处与次火山作用有关的角砾岩筒,但岩筒向外数十公里未见与之有关的喷发相火山熔岩和火山碎屑岩。甚至在河床冲积物中也见不到它们的痕迹。目前仅较详细地研究了耿庄角砾岩筒

耿庄隐爆岩在构造上处于区域北北西向张扭性断裂 (F_1) 和北北东向局部断裂 (F_2) 的交叉部位, 顺 F_2 断裂延展。隐爆岩平面上呈似长方形, 沿北北东向延长1000余米, 宽500余米, 面积0.5平方公里。剖面

上呈斜漏斗状, 向东倾斜, 延深200~500米。围岩为五台群木棉组车厂段各种片麻岩、片岩组成的变质岩系 (图2)。

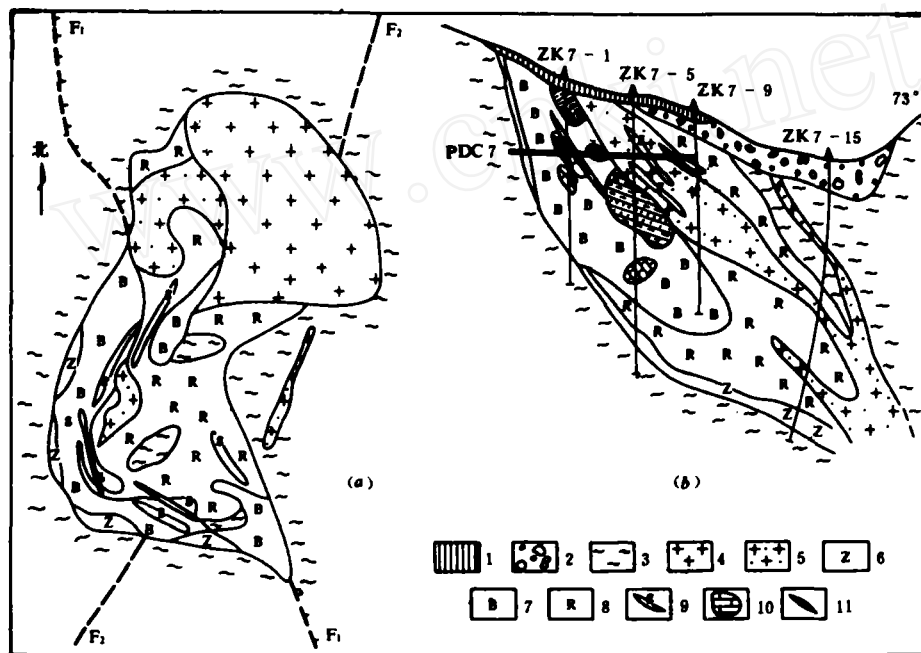


图2 耿庄隐爆岩形态平面 (a) 和剖面 (b) 示意图

1—第四系黄土; 2—河床现代冲积层; 3—五台群变质岩; 4—花岗闪长岩; 5—花岗闪长斑岩; 6—震碎角砾岩; 7—崩塌角砾岩; 8—熔浆角砾岩; 9—贯入或热液混杂角砾岩; 10—崩塌岩块; 11—矿体特征之一 (表1)。

耿庄次火山岩的隐爆特征

耿庄次火山岩是由多阶段侵入的花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、花岗斑岩脉、辉绿岩脉组成的复式岩株。包括熔浆角砾岩在内, 分布面积只有0.4平方公里。花岗闪长斑岩是该岩体的主体, 花岗闪长岩可能是局部物理化学环境差异所产生的结构变种。花岗斑岩、辉绿岩脉是晚阶段侵入的产物。

除了伴随隐爆角砾岩外, 次火山岩体本身还有一些不同于一般浅成侵入斑岩的特征 (图3): ①长石斑晶呈炸裂的不规则碎斑 (晶屑); ②碎斑粒度小 (0.6~3毫米) 而均匀; ③晶面上常见不规则炸裂纹; ④常见斑晶不均匀分布的聚斑状结构。另外, 长石、石英晶体常见熔蚀现象以及片状矿物 (云母) 的弯曲断裂现象等。晚阶段侵入于隐爆角砾岩中的辉绿岩脉普遍发育由方解石充填的圆形杏仁构造。

从岩石化学成分上看, 富含挥发份也是其重要的

耿庄次火山岩挥发组份含量 (%) 表 1

岩 性	H ₂ O	CO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	总计
花岗闪长岩 (8个样平均)	1.330	1.100	0.119	0.725	3.274
花岗闪长斑岩 (14个样平均)	2.268	4.045	0.173	1.920	9.844
辉 绿 岩 (2个样平均)	2.620	4.580	0.362	0.595	8.157

隐爆角砾岩的分类 及空间分布

耿庄隐爆岩可明显地划分出具有不同组份、不同结构构造和不同产出状态的角砾岩。反映了它们的不同起因和隐爆过程的多阶段性。按隐爆角砾岩的形成方式, 可划分为震碎角砾岩、崩塌角砾岩、熔浆角砾

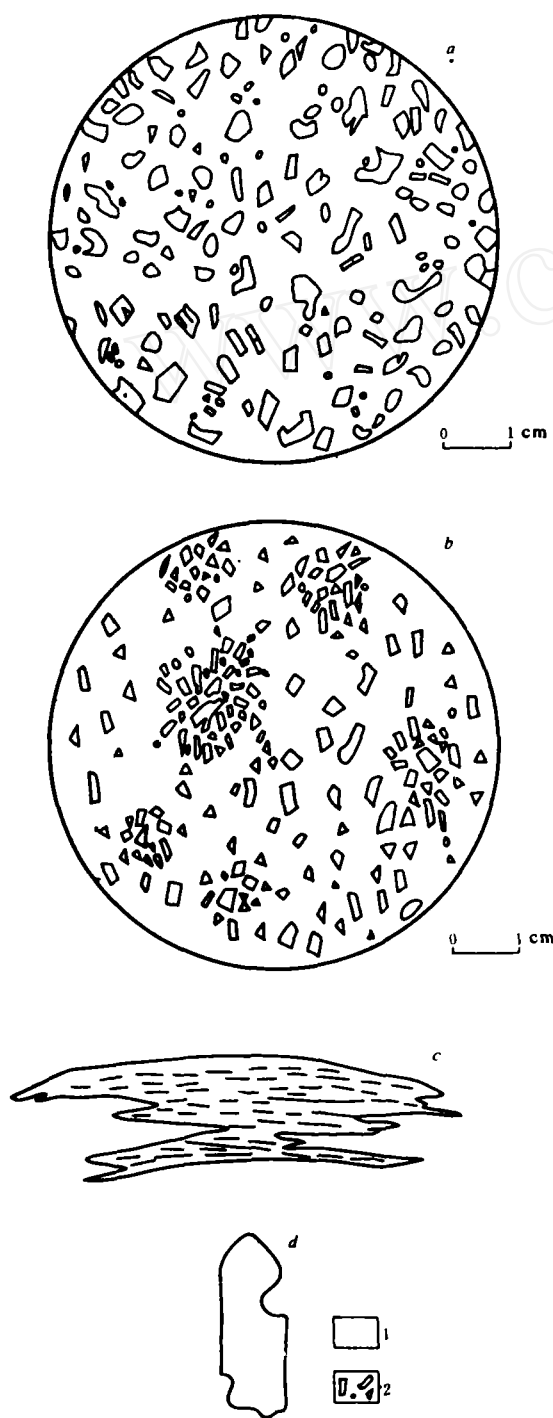


图3 花岗闪长斑岩的隐爆特征
a—碎斑状构造；b—聚斑构造；c—撕裂状云母；
d—被熔蚀的石英晶体；1—隐晶状基质；2—长石
碎斑晶

岩、贯入角砾岩和热液混杂角砾岩。

1. 震碎角砾岩 分布于隐爆岩的西部和南部边缘，形成一个宽数至三十米的不连续震碎带。震碎带与围岩的界线在浅部清楚，深部呈过渡关系。角砾成分单一，以围岩中的各种片麻岩、片岩角砾为主。角砾形态不规则，砾径在1米以下。胶结物为硅质或与角砾同成分的岩尘。虽遭受后期隐爆作用的破坏，但仍可看出角砾之间有一定的可并关系。

2. 崩塌角砾岩 分布于紧靠震碎带内侧的隐爆岩上部。角砾成分复杂，以盖层的各种沉积岩——砂岩、页岩、碳酸盐类岩石、粘土岩、石英岩等为主，其次是片麻岩、片岩，含有少量花岗闪长岩和花岗闪长斑岩角砾。角砾大小悬殊，大者为几十米厚的沉积岩块及变质岩块，小者仅肉眼可辨。角砾呈棱角状，无分选性。胶结物为成分复杂的岩尘或泥质。成岩程度较差。

3. 熔浆角砾岩 分布于靠近次火山通道的斑岩岩脉（枝）周围，也可单独呈岩枝状插入震碎带、崩塌带或围岩中。其中心部分角砾成分以花岗闪长斑岩为主；边部含有较多其他成分的角砾。砾径较均匀，多在3~8厘米之间，很少超过10厘米。角砾呈次圆状、滚圆状及棱角状。胶结物为花岗闪长质熔浆，呈细粒状或隐晶状结构。其外貌的显著特点是色浅、坚实。由于岩浆的同化混染作用，在其边部颜色和成分趋于复杂而难以辨认。

4. 热液贯入角砾岩 呈脉状或不规则状贯入上述三种角砾岩及花岗闪长斑岩中。与围岩界线清楚，但参差不齐。一般厚几十厘米至几米。角砾成分复杂，与围岩明显不同。砾径大小在几厘米以下，多数滚圆度好。胶结物常为深灰色夹黑斑点的“凝灰状”物质。

5. 热液混杂角砾岩 沿前三种角砾岩中的后期次级裂隙发育地段及多隙疏松的崩塌角砾岩的某些地段发生。呈按一定方向延伸的似脉状体或不规则状体。以其色深、色杂而与围岩角砾岩明显不同。角砾与胶结物特征取决于被热液浸入混杂的原岩，但也有少数由热液带入的细砾及岩粉。

热液贯入角砾岩和热液混杂角砾岩是同阶段形成的，是由岩浆期后热液对原已形成的角砾岩进行改造的结果，仅仅是改造的程度和方式不同而已。两者的关系如同热液充填矿脉和热液交代矿脉的关系一样。

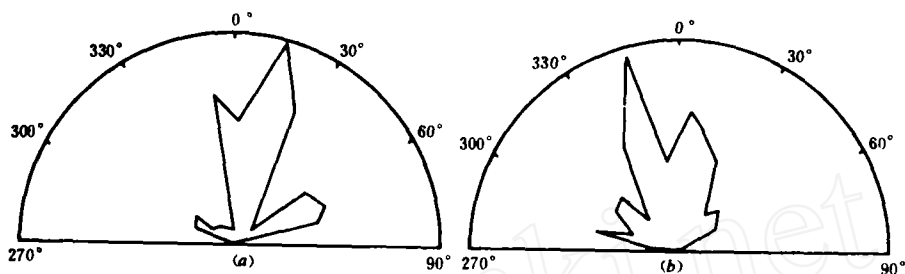


图4 耿庄隐爆岩中的次级断裂走向分布玫瑰花图

a—岩体北部; b—岩体南部

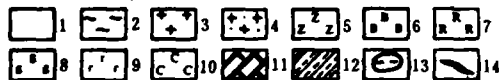


图5 耿庄隐爆岩1715米中段断面示意图

1—第四系; 2—五台群; 3—花岗闪长岩; 4—花岗闪长斑岩; 5—震碎角砾岩; 6—崩坍角砾岩; 7—熔浆角砾岩; 8—贯入角砾岩; 9—热液混杂角砾岩; 10—炭化岩; 11—崩坍大理岩; 12—粘土岩; 13—变质岩块; 14—金银多金属矿体

隐爆岩中的次级构造

耿庄隐爆岩从次火山岩的超浅成侵入,到其中形成有工业价值的矿床,经受了频繁的隐爆作用和 F_1 、 F_2 两大断裂反复活动的影响,形成了一系列次级断裂裂隙构造。这些小断裂延长、延深从数十至二百米,断层带宽数厘米至数米,成为耿庄矿床的储矿构造。

从坑道中小裂隙产状的统计资料(图4)和受其控制的矿体展布(图5)情况来看,它们的走向分布

具有两个特点:①从北部到中部再到南部,次级裂隙(矿体)走向按北北东—南北—北北西—北西向的规律变化,这与隐爆岩西部、南部边缘方向的变化相吻合,反映了其形成与隐爆作用有关。②次级断裂(矿体)走向又以北北东向及北北西向为主,与 F_1 、 F_2 两断裂的走向一致,反映了它们对这两个大断裂的依存关系。从倾向上看,虽然倾角相差较大,但却非常一致地倾向次火山岩侵入的通道(南东—北东向)。

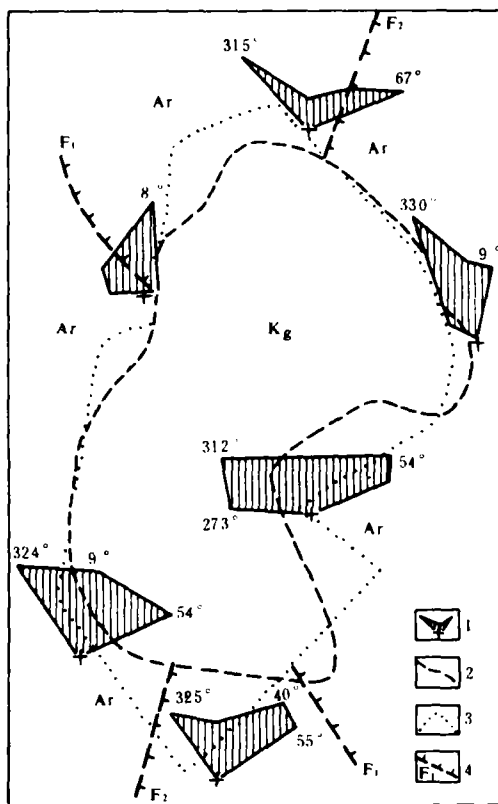


图6 隐爆岩体边缘围岩裂隙走向所显示的隐爆岩轮廓

1—裂隙走向玫瑰花图; 2—根据工程,露头推断的隐爆岩界线; 3—根据裂隙统计结果推断的隐爆岩轮廓; 4—断层; kg—隐爆角砾岩; Ar—五台群变质岩系

隐爆岩的围岩中未见典型火山构造所特有的环状及放射状构造。这可能与隐爆岩本身的几何特征、岩浆斜向上拱方式、上拱应力较小及应力沿两大断裂的释放等因素有关。但隐爆岩边部围岩中细小裂隙产状的变化也能反映隐爆岩的轮廓(图6)。

隐爆机理简析

1. 隐爆作用发生的有利因素 F_1 和 F_2 两大断裂的发展是导致隐爆作用的重要因素。 F_1 断层纵贯全区,长达30余公里,是该区地质构造长期继承性发展的结果。从五台运动到燕山运动,从潜在的张裂面到反复活动的区域性张扭性断裂,使之不断加深,达到地壳下层或上地幔。这一点可从它所控制的耿庄次火山岩及与之有关的矿床中硫同位素的幔源特征得到证实。它导致深部岩浆源的产生和岩浆的上侵。 F_2 局部断层的发生和与 F_1 断层相交,加快了岩浆上侵速度,使岩浆周围物理化学环境急剧变化。这是发生爆炸性地质事变的重要原因。

耿庄次火山岩富含挥发组份和具有良好的深部分异作用,是发生隐爆的另一有利因素。从表1可见,经过隐爆释放大量的耿庄次火山岩,仍含有平均6.612%的易挥发组份。挥发份的聚集是隐爆作用的动力源泉。耿庄复式杂岩体不同岩性岩石间明显的多阶段侵入,说明了岩浆深部分异作用比较彻底,使岩浆气体得以充分集中,是次火山爆破的重要条件。

2. 多阶段的隐爆作用 耿庄隐爆岩中不同形成方式的各种角砾岩之间明显的穿插关系和晚阶段隐爆作用对早阶段形成的隐爆角砾岩的改造现象,表明了其形成的多阶段性。此外,崩塌带中的巨大岩块里普遍可见震碎角砾状碎裂构造(图7),也是多阶段隐爆的明显证据。这种碎裂构造的特点是:表面上呈完整均一的大理岩或粘土岩块(厚达数十米),磨光面上可看到明显的角砾状构造。角砾成分单一,各角砾间有明显的可并性。角砾无定向性。胶结物为钙质或粘土质,与角砾成分相同。这可以认为是早期隐爆形成崩塌岩块,晚期隐爆又使之震碎。碎裂角砾的无定向性是非构造应力成因的佐证。

从上述各种隐爆角砾岩的特征及其相互关系不难看出,耿庄次火山隐爆作用基本上经历了三个阶段:

(1) 气爆阶段 当岩浆迅速上侵至地表浅部,

压力聚降,挥发份在岩浆前锋集中,猛然突破上覆岩层,导致强烈的爆炸。爆炸形式以气体内能的释放为主,形成不含熔浆物质的震碎角砾岩和崩塌角砾岩。

(2) 浆爆阶段 气爆之后,岩浆继续上升,并在其前缘和周围逐渐冷凝,阻塞了岩浆的通道。岩浆内压的不断增加和聚集,最终导致岩浆爆炸。岩浆爆使岩浆凝壳崩溃,甚至有少数岩浆岩碎块崩入胶结不牢的崩塌角砾岩中。岩浆冲破凝壳,携带崩碎的凝块上升,并对其流经的崩塌角砾岩、震碎角砾岩进行同化、改造、再胶结,形成熔浆角砾岩。从耿庄来看,浆爆规模比气爆规模为大。

上述两个阶段是隐爆作用的主要阶段,形成隐爆岩的主体。

(3) 热液作用阶段 岩浆作用的尾声,期后热液开始活跃。大量热液浸入角砾岩中,使之成为一种热的“泥石流”状态。流化角砾顺着压力降低的次级断裂、崩塌带中的薄弱环节贯入、充填、固结而形成墙状、脉状的卵石岩。

少量热液也可携带一些细砾、岩粉浸入到裂隙、孔隙发育的各种角砾岩中,但未使之流化和位移,只是遭受到不同程度的混杂,从而改变了原岩的成分和外部特征。

热液作用阶段形成贯入角砾岩和热液混杂角砾岩。它们规模小、强度弱,但由于在时间上接近成矿阶段,往往与矿化具有密切的空间关系。至此,岩浆隐爆作用结束,进入热液成矿阶段。

关于耿庄角砾岩筒 隐爆成因的证据

由上可见,耿庄角砾岩不是构造成因和沉积成因的。但它究竟是爆发成因的还是隐爆成因的(次)火山角砾岩筒,尚需探讨。

爆发作用和隐爆作用的重要区别,在于前者处于完全开放的系统中,而后者处于相对封闭的系统,并由此造成爆发岩筒和隐爆岩筒形成时物理—化学环境和物质动态的明显差异(表2)。

耿庄隐爆岩中的一些地质现象,正是相对封闭状态物理环境的反映。这些现象有:

1. 震碎带和碎裂构造。岩筒围岩中普遍发育有0~30米宽的震碎带,该带在深达400~500米的部位依

然存在。震碎带和崩塌带是爆破应力大量向围岩释放的结果。在多阶段隐爆的情况下，震碎带、特别是震碎巨砾（大岩块）中仍然具有很好的可并性震碎碎裂构造（图7）可能是封闭系统所处的相对高压、均压状态起了决定性作用。

隐爆岩筒和爆发岩筒形成时
物理环境和物质动态的差异

表 2

类型	温 度	压 力	物质动态	爆破应力释放
隐爆岩筒	热量散发慢，温度较高	压力梯度小，压力较大	物质运动多向性，取决于局部条件	多向围岩和系统内部的物质释放
爆发岩筒	热量散发快，温度较低	压力梯度大，压力较小	以向火山口的单向运动为主	多向火山口外的空间释放

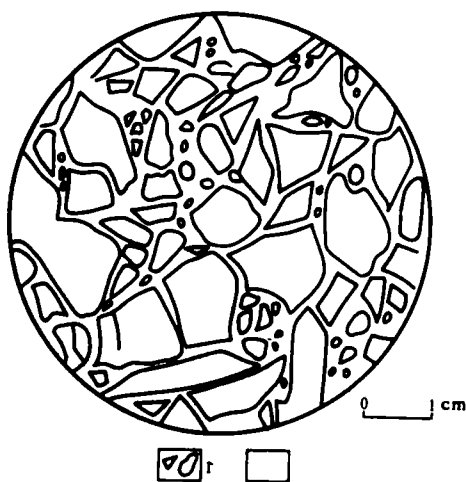


图 7 大理岩崩塌块中的碎裂构造

1—大理岩角砾；2—钙质胶结物

2. 塑流现象。隐爆岩中的塑流现象（图8）是一种常见而具有显著特征的现象。其表现形式有二：一是粘土质角砾集中地段粘土岩角砾被拉长成柳叶状、蝌蚪状，表现为定向排列，胶结物也具有流纹状构造；二是粘土岩块和泥质胶结物呈层纹状流动揉皱构造。塑流构造常见于崩塌带中，也见于紧靠热液贯入角砾岩的其他角砾岩中。它说明了气爆阶段和热液作用阶段所处的热塑高压状态。高热使粘土岩块、角砾以及泥质胶结物转为半熔融状态，在局部高压定向气流、涡流及流化角砾贯入牵动力的作用下，发生角砾的转向、拉长和定向排列。层纹揉皱构造的形成机理也是

如此。重要的是，隐爆岩的塑流构造方向是因地而异的，取决于局部气、液物质运动的方向。反映了封闭条件下物质运动的多向性。而在爆发岩筒中常见的流动构造表现为单一的方向，即平行于角砾岩筒壁的方向。

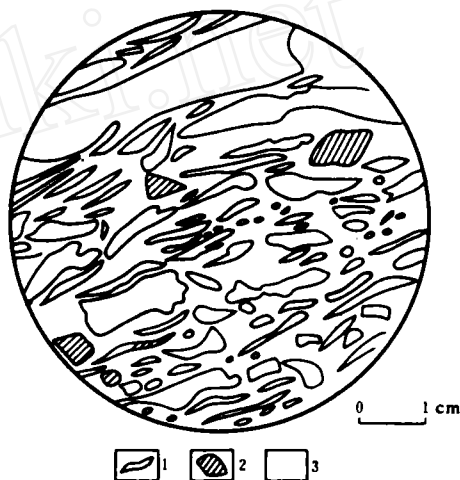


图 8 塑流构造

1—拉长的粘土质角砾；2—砂质角砾；

3—泥质胶结物

3. 热变质现象。崩塌带中的热变质现象非常普遍，表现为崩塌灰岩岩块、灰岩角砾的大理岩化，崩塌粘土岩块的角砾化，假豆状、假砂状晶质化，这又是热量在系统内部缓慢均衡的一个证据。

4. 熔融隐角砾构造。多见于深部熔浆角砾岩及受岩浆影响的震碎角砾岩中。表现形式是花岗闪长斑岩角砾、片麻岩角砾与花岗闪长质熔浆胶结物间的界线模糊不清，时隐时现。甚至有些斑晶和基质之间也呈现类似的关系。它是流态熔浆对固态角砾不完全熔融和对围岩局部混合化作用的结果，也是高温封闭状态的反映。

此外，角砾岩筒不伴随喷发相熔岩和火山碎屑岩，而是与浅成的侵入岩密切伴生，也是一个重要的事实。综合以上各点，可以认为，耿庄角砾岩筒应属隐爆成因。

耿庄隐爆岩与成矿作用

产于耿庄隐爆岩中的矿床是一个具有一定规模的次火山热液型金、银、铜、铅、锌、硫铁矿综合性矿床。已有多方面的证据可以说明，耿庄矿床主要成矿

物质来源于已有的含矿建造。它们是：五台群木格组车厂段含金银变质岩建造，震旦亚界高于庄组含金银碳酸盐岩建造，古生代含铅锌碳酸盐岩建造。虽然岩体中含铅、锌、银浓度较高，但岩体和矿体的含铅矿物中普通铅的年龄（500百万年左右——普通铅法）远大于岩体的年龄（100百万年左右——钾氩法）。因此，可以认为，岩体中的铅是从围岩中攫取来的。

耿庄岩体深部分异彻底，富含挥发份、幔源或深壳源硫（ δS^{34} 变化范围为0.5~3.6‰）以及碱质（ Na_2O —3.768%； K_2O —1.317%）。岩体成分有利于形成对围岩中成矿元素溶解力很强的硅酸—碱性水溶液。硫与成矿元素结合成易溶络阴离子，碱质又能使它保持稳定和长距离搬运。因此可以说岩浆活动从热力上、物质上对成矿溶液的形成、矿物质的迁移和集中，起了决定性的作用。同时组成耿庄矿床的矿体几乎全都产于该岩体及与之有关的隐爆角砾岩中。

控制矿体的构造是隐爆岩中的次级小断裂，花岗闪长斑岩或熔浆角砾岩岩枝与崩坍角砾岩的接触带。处于上述位置的碳酸盐岩块、碳酸盐岩角砾集中的地段，往往形成相对较大和较富的矿体。但由于控矿构造规模小（小裂隙、小岩枝、碳酸盐岩块），因此三十多条矿体皆属小型矿体。又由于隐爆岩次级裂隙十分发育，加之本身疏松多孔，致使成矿物质封闭条件差，趋于分散，因而矿石品位偏低。在成矿物质供给不充分充裕的条件下，这是隐爆岩结构和构造所决定的一个成矿不利因素。

与矿化密切伴随的碳化作用是耿庄矿床的一个重要特征。碳化作用发生在矿体及其两侧围岩、矿化裂

隙、矿化断层泥及糜棱岩中，使这些地段的岩石含碳量明显增高，含量可达30%以上。碳化岩以其“黑”明显区别于围岩，而且与多金属、特别是金银矿化有密切的伴生关系。或者其本身有用元素含量达到工业品位而成为矿体，或者其中有用组份的含量高于一般背景值十几倍到数十倍。因此碳化岩是胜于各种围岩蚀变的最好找矿标志。

碳化岩是热液作用的产物。它常沿构造断裂、裂隙发育。甚至仅有1毫米宽的细隙也可见到黑色碳质薄膜。碳化现象反映了成矿溶液的一个组份特征。

贯入或热液混杂角砾岩、碳化岩、矿体三者在构造、产状、空间分布上往往具有一致性和继承性。反映了时间上从贯入角砾岩或热液混杂角砾岩到碳化岩再到矿脉的发生顺序（图9）。

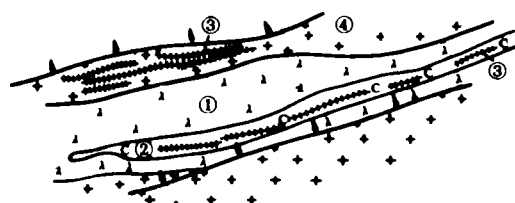


图9 贯入角砾岩、碳质角砾岩及矿脉三者间的关系
①贯入角砾岩；②碳质角砾岩；③矿脉；④花岗闪长斑岩
（其中的矿脉脉壁也被碳质污染）

另外对各阶段侵入岩、贯入角砾岩、碳化岩含碳量的分析结果表明，碳质有向晚阶段地质体集中的趋势，也有向热液中集中的趋势。这是一个具有实际意义值得进一步研究的现象。