

论构造透镜体控矿*

汪劲草^① 夏 斌^① 嵇少丞^②

(^①中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; ^② Department of Civil, Geological and Mining Engineering, Montreal Institute of Technology, P.O. Box 6079, Station Centre-ville Montreal, Canada)

摘要 通过解析典型控矿构造透镜体, 将构造透镜体的边界划分为过渡型、突变型及复合型, 其中发育的成矿构造类型划分为脉型、网脉型及角砾岩型; 提出了构造透镜体型成矿系统概念, 认为构造透镜体弱变形域(Q)与包绕其中的线性强变形带(F)组成功能紧凑的成矿系统, 其中的构造-流体组成的双重动力系统、液压致裂形成的成矿构造系统、多源物质组成的矿源系统及网络化联通的输矿系统相互耦合, 最大限度地发挥系统功能; 变形分解作用、液压致裂作用及构造泵吸作用在系统功能实行过程中发挥至关重要的作用; 阐明了构造透镜体研究的成矿构造学意义。

关键词 构造透镜体 边界类型 成矿构造类型 构造透镜体型成矿系统

构造透镜体(或称香肠构造、布丁构造)是十分重要和普遍的地质现象, 其大者如造山带环绕的透镜状板块, 小者如核幔构造和眼球状构造残斑。露头尺度的构造透镜体主要发育于变质的地质体中, 是韧性或脆-韧性剪切带的基本构造要素。不论是挤压、还是走滑或伸展, 只要岩石存在不均一性, 相对强硬的岩石就可能形成构造透镜体。构造透镜体是一个弱变形域, 其为线性强变形带包绕。马杏垣^[1]依形态将北京西山的构造透镜体划分为矩形、菱形、藕节形、梯形及不规则形, 认为形态可基本反映其形成的力学性质。Bell^[2,3]将显微尺度的构造透镜体的变形, 分解为递进剪切变形分量与递进缩短变形分量, 用以解释变质岩中易溶组分在强变形带内溶解, 变斑晶在弱变形域内生长的构造机制。Findlay^[4]注意到构造透镜体对矿床的控制作用, 认为它在所有尺度上都是非均一成层地壳自然拉裂的产物, 其扩容带为成矿流体沉淀的场所。

近年来, 我们先后在青海锡铁山铅锌矿床、陕西双王金矿床、河北尖宝山金矿床、湖南沃溪钨铋金矿床及广西龙水金矿床等^[5-8]十数个矿山工作时发现, 构造透镜体的岩石组成、结构构造及形成过程对成矿构造的构造类型、成矿流体的运移沉淀, 具有明显的控制作用。本文将着重讨论控矿构造透镜体的构造类型及其中的成矿构造类型, 并探讨构造透镜体型成矿系统的结构与功能。

1 构造透镜体的边界类型

构造透镜体的边界性质具有明显的指示意义, 它既能反映相邻岩石的强度差异, 又能表征应力场、温度、压力及流体等的基本特征。其可划分为 3 种类型(图 1): (i) 过渡边界型。形

2002-10-14 收稿, 2003-01-06 收修稿

* 国家自然科学基金项目(批准号: 40072022)与中国科学院知识创新项目(编号: KZCX2-SW-117)共同资助

成于韧性或脆-韧性域。从透镜体(Q 域)中央到两侧强变形带(P 域), 变形是逐渐增强的, 即 Q 域中央一般无变形或弱变形, 往外逐渐面理化, 而 P 域则强烈面理化, 出现糜棱岩或构造板岩。典型实例如青海锡铁山铅锌矿床、陕西双王金矿床等。(ii) 突变边界型。形成于脆性域。Q 域内一般无变形或仅有弱脆性变形, 外缘 P 域为脆性断裂带, 带内发育碎裂岩和断层泥。典型实例如河北尖宝山金矿床。(iii) 复合边界型。早期处于韧性或脆-韧性域, 晚期为脆性域, 即透镜体早期为过渡型边界, 晚期为突变型边界。典型实例如焦家金矿田。

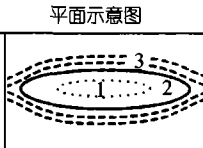
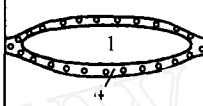

类型	平面示意图	构造层次	P 域变型	Q 域变型	典型实例
过渡型		韧性或脆-韧性域	构造动力作用为主, 发育糜棱岩和构造板岩	流体动力作用为主, 发育脉型与角砾岩型破裂	锡铁山铅锌矿床、双王金矿床
突变型		脆性域	构造动力作用为主, 发育碎裂岩和断层泥	流体动力作用为主, 发育网脉型破裂	河北尖宝山金矿床
复合型		早期为韧性或脆-韧性域, 晚期为脆性域	构造动力作用为主, 发育碎裂岩和断层泥	流体动力作用为主, 早为脉型, 晚为网脉型破裂	焦家金矿田

图 1 构造透镜体的边界类型及变形特征

1. Q 域内无构造动力变形区; 2. Q 域内弱构造动力变形区; 3. P 域内韧性或脆-韧性构造动力变形区; 4. P 域内脆性构造动力变形区

2 成矿构造的类型划分

解析典型构造透镜体控制的矿床, 可以发现 Q 域中发育的成矿构造有 3 种型式, 即脉型、网脉型和角砾岩型。通常, 一次构造变形场一般只发育一种成矿构造型式, 或以一种成矿构造型式为主, 2 次构造变形场至多可发育 2 种并存的主成矿构造型式。在特定的构造变形场中, Q 域岩石的最小抗张强度(T_0)、流体的温度(T)与压力(P_f)及构造差异应力($\sigma_1 - \sigma_3$)等参数是一定的, 因此, Q 域内的主成矿构造型式也是一定的。

2.1 脉型成矿构造

脉型成矿构造形成于韧性或脆-韧性构造域, 是构造透镜体中最发育的一种成矿构造型式, 其赋存的构造透镜体属边界过渡型。受先存面理影响, 顺层构造透镜体的 XY 面抗张强度最小, 故沿此面易裂开形成 D 型主张剪脉, 其旁侧往往发育 R, T 型支张脉, 符合剪切带构造成矿系统中脉的构式特征^[9]。

图 2 示青海锡铁山铅锌矿床的地质构造。含矿岩系上奥陶统滩间山群的绿色片岩系夹于两条拆离断层之间, 原岩为一套海相基-中酸性火山熔岩和火山碎屑岩, 内夹层状灰岩。在顺层韧性剪切带向南西方向(225°)正滑过程中, 相对软弱的岩石如火山熔岩与火山碎屑岩变形变质为糜棱岩或超糜棱岩或千糜岩, 前人称之为灰绿色石英斜长片岩、绿泥片岩、绿帘片岩、石英绢云片岩; 相对强硬的灰岩则变形变质为透镜状大理岩(M), 其边部的青灰色条带状大理岩属钙质糜棱岩, 往大理岩中部变质分异条带渐次消失, 构成典型过渡型构造透镜体。主矿体——

硫化物-石英-方解石脉发育于 Q 域内的低应变区, 主要受 D 型张剪裂隙控制, 呈雁列式排布. 由于受构造动力制约, Q 域内的单条矿脉向北西侧伏, 矿脉组则向南东侧伏.

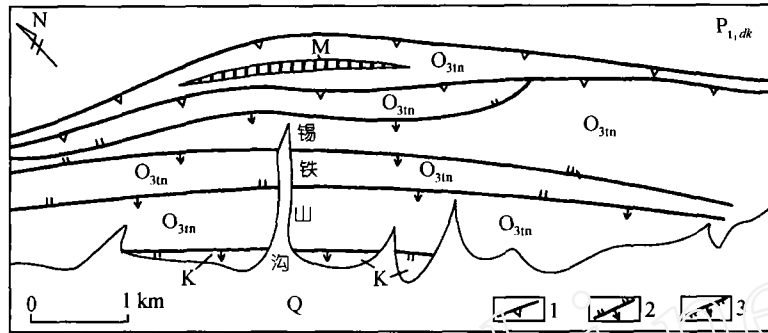


图 2 青海锡铁山铅锌矿床地质构造简图

1. 拆离断层; 2. 逆断层; 3. 正断层. M 示大砾岩构造透镜体; Q 示第四系; K 示白垩系; O_{31n} 示上奥陶统滩间山群; P_{1,dk} 示早元古界达肯大坂群

2.2 角砾岩型成矿构造

在韧性或脆-韧性域中, 由于成矿系统中流体压力很大, Q 域中的 XY 面首先发生液压致裂, 但扩容滞后导致流体剩余压力仍很高, 从而使其他方向的结构面也产生破裂, 3 个或 3 个以上结构面的破裂组合, 可形成可拼合的角砾岩, 即液压角砾岩^[6].

图 3 示陕西双王金矿床的地质构造. Q 域岩石为钠长岩, 边部变形变质为钠长板岩, 最大厚度介于 30~120 m. P 域包括二套岩系, 内带为石英绢云板岩与石英岩互层, 厚度介于 20~30 m; 外带为石英绢云板岩夹浅变质粉砂岩. 构造透镜体属边界过渡型, 形成于脆-韧性构造域. 构造过程分两个阶段, 早期为 NNE-SSW 向共轴挤压, 变形分解形成构造透镜体, 并在 Q 域内形成三套近于相互垂直的不均匀裂隙系; 晚期为 NW-SE 向右旋高角度(70°±)斜冲, 使深部成矿流体泵吸至 Q 域的裂隙系中发生液压致裂, 形成可拼合的液压角砾岩. 角砾为钠长岩, 胶结物主要为含金铁白云石和黄铁矿. 角砾岩呈透镜体, 分布于 Q 域的中央. 愈往中央, 角砾块度愈小, 胶结物含量愈多, 金品位也愈高^[6].

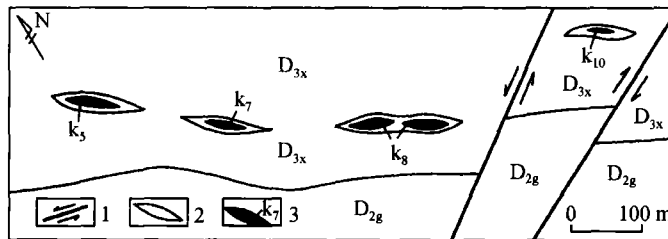


图 3 双王金矿床地质构造简图

1. 走滑断层; 2. 钠长岩构造透镜体; 3. 液压角砾岩型矿体及编号. D_{3x} 示上泥盆统星红铺组; D_{2g} 示中泥盆统古道岭组

2.3 网脉型成矿构造

Q 域中单一网脉型成矿构造的发育条件比较特殊. 目前研究实例中有两个特征比较明显, 一是 Q 域发育于脆性构造层次, 属突变型构造透镜体; 二是 Q 域岩石孔隙度比较高、结构比

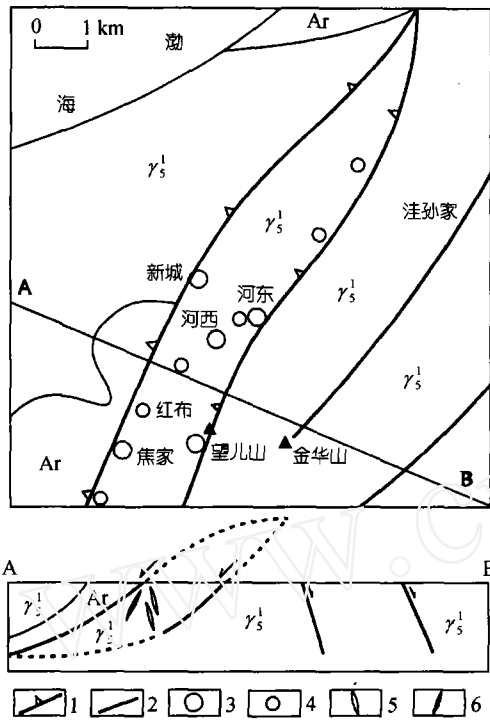


图 4 焦家金矿田地质构造平面剖面图

- 1. 低角度断层; 2. 高角度断层; 3. 大、特大型金矿; 4. 中、小型金矿; 5. Q 域中的早期脉型金矿体; 6. Q 域中的晚期网脉型金矿体; Ar 示太古宙片麻岩系; γ_3^1 示燕山早期花岗岩

号矿体组成。两矿体皆呈长扁透镜体，横剖面上呈斜列式排布。透镜体 XY 面产状约 $295^\circ \angle 70^\circ$ 。矿体向南西侧伏，侧伏角约 60° ，延深(X 轴)大于 250 m，最大厚度(Z 轴)30~40 m，最大水平长度(Y 轴)逾 150 m。矿体品位一般介于 1~10 g/t，平均约 4 g/t。单个矿体无明显边界，须取样分析确定。矿体中未见由宏观破裂面——断层或节理控制的规模较大的线性矿化体。矿化母岩—肉红色钾长花岗岩中发育许多微裂隙，为含金硫化物愈合。无论局部或整体，微裂隙分布都不均匀。总体上，愈往透镜状矿体中心，微裂隙愈发育，矿石品位也愈高。单个微裂隙长度一般小于 10 cm，宽度一般小于 3 mm，属张破裂，总体具优选方向，其与矿体的 XY 面近于一致。由于微破裂彼此间连通性较差，规模较小，又未发生破裂间的摩擦破坏，故钾长花岗岩的结构基本保存完整。矿石矿化类型为细脉浸染型，俗称为“红矿”，矿石构造岩类型为微碎裂化钾长花岗岩。

图 5 示河北尖宝山金矿床的地质构造。该金矿发现于九十年代中期，以矿床类型独特和控矿因素复杂而引起关注，曾被命之为“长城式”微细浸染型金矿。矿体产于一构造透镜体中，Q 域岩石为长城系常州沟组粗砂岩，P 域为

较均一，如厚层粗砂岩及岩浆岩等。网脉发育的特点要求岩石处于低应力、适度异常流体压力环境，而边界突变型构造透镜体正好可以满足上述条件。应力过高或流体压力过大，网脉状裂隙就会发育成角砾或联通成断层。因此，网脉型成矿构造处于宏观断裂或角砾岩带形成的初始阶段，是岩石在低构造应力、适度流体压力下发育的、由一系列呈雁行状分布的微($10^{-2} \sim 10^2$ mm)裂隙群(呈透镜状)组成的非连续的线性构造带，此构造带可称之为锥形断裂。

图 4 示焦家金矿田的地质构造。焦家断裂与望儿山断裂所夹的块体实为一巨型构造透镜体。早期构造层次为韧性，构造透镜体属边界过渡型，Q 域内发育石英脉型金矿体；晚期构造层次为脆性，构造透镜体为边界突变型，Q 域内发育网脉型金矿体。该构造透镜体边界同时兼有上述两种边界类型，故按照定义该构造透镜体属边界复合型。研究发现：焦家断裂带下盘、夹持于焦家金矿与新城金矿之间的红布金矿，是一个典型的由网脉型成矿构造控制的中型金矿床。该金矿床离焦家断裂带的水平距离逾 200 m，产于肉红色钾长花岗岩中，由 I、II



图 5 尖宝山金矿床地质构造简图

- 1. 正断层; 2. 网脉型金矿体; Pt_{2chg} 示中元古界长城系高于庄组; Pt_{1chc} 示中元古界长城系常州沟组; Ar 示太古宙迁西群

两条压扭性脆性断层,构造透镜体为边界突变型。Q域内靠近边界两侧,发育一系列由细密的含金硫化物石英网脉组成的、呈雁列状排布的透镜状矿体。中心网脉密集,含金品位较高,往边部网脉渐稀,含金品位较低。矿体无明显边界,须取样分析圈定。

3 构造透镜体型成矿系统

通过上述典型实例的解析,我们发现构造透镜体型成矿系统是剪切带构造成矿系统最基本的组成单位,是认识成矿作用过程和解决成矿构造预测的关键。

3.1 构造透镜体型成矿系统的概念

构造透镜体型成矿系统是指在不同构造层次下,由地质体发生变形分解形成透镜状弱变形域与线性强变形带,共同组成构造-流体动力相互耦合的构造成矿体系。其按构造层次可划分为韧性域构造透镜体型成矿系统、脆-韧性域构造透镜体型成矿系统及脆性域构造透镜体型成矿系统。其依构造透镜体的边界性质可划分为过渡型构造透镜体型成矿系统、突变型构造透镜体型成矿系统及复合型构造透镜体型成矿系统。

3.2 构造透镜体型成矿系统的结构

构造透镜体型成矿系统的结构包括层次结构与功能结构。层次结构有系统构造变形的分带性、构造层次的叠加性、成矿构造的有序性、物质分配的不均一性及构造分布的自相似性等^[10]。功能结构包括动力系统、矿源系统、输矿系统和储矿系统。其中,动力系统由构造-流体双重动力组成。构造作用是剪切带变形分解的主要动力,流体作用是Q域内液压致裂的主要动力。矿源系统包括剪切带岩石成矿物质的萃取和(或)深部成矿物质的汇入^[11]。输矿系统由流体介质及运移通道组成。P域内的相对高温、高压成矿流体在构造泵吸作用下,经系统内的剪切面理及微裂隙,输运到相对低温、低压的Q域中,当Q域内的流体压力(P_f)积累到大于或等于最小主应力(σ_3)与岩石的最小抗张强度(T_0)之和时,就会发生液压致裂作用和沉淀愈合作用^[12~14]。Q域内流体压力的再次降低又导致新一轮的液压致裂作用和沉淀愈合作用。如此周而复始,直至构造-流体动力作用过程终结。储矿系统由弱变形域内的脉型、网脉型及角砾岩型成矿构造组成。其中,脉型成矿构造的分布遵循Reidel^[9]简单剪切系统模型。

3.3 构造透镜体型成矿系统的功能

聚矿功能是构造透镜体型成矿系统的最重要功能,是各种功能的综合反映。它包括系统集约化程度、有序度和自组织性3个方面。系统的集约化程度主要表现在网络化结构可以使动力系统、矿源系统、输矿系统和储矿系统之间发挥最大功效,导致Q域内成矿物质通量大,形成大矿量、高品位的矿体。系统的有序度主要表现在成矿流体在构造泵吸机制驱动下,从P域向Q域作有序流动。系统的自组织性主要表现在Q域内周期性裂开-愈合作用,形成规则有序的脉型、网脉型及角砾岩型矿体。

4 构造透镜体研究的成矿构造学意义

以上研究表明:一些脉型、网脉型及角砾岩型成矿构造的形成与构造透镜体具有天然的成因联系,是成矿流体在透镜状弱变形域中发生液压致裂而形成的。流体愈合作用是在环境温度低于成矿物质的结晶温度时发生的。因此可以推论,液压致裂作用易发生于弱应变或无应

变的相对低温的 Q 域中, 而高剪应变、相对高温的 P 域即使流体压力很高也难以发生液压致裂, 这对于认识剪切带中与液压致裂作用有关的脉型、网脉型及角砾岩型构造的形成具有重要的地质意义。同时, 构造透镜体型成矿系统的建立不仅可以解决成矿预测中矿体空间定位问题, 而且有助于理解变形分解作用、液压致裂作用及构造泵吸作用^[15,16]发生的构造机制与内在关联, 丰富成矿学与成矿构造学研究的内容, 以及为变质岩中一些矿床构造模型的建立提供理论支持等。

致谢 野外工作过程中, 曾得到汤静如、王步清博士的协助, 傅昭仁教授曾提出过许多宝贵意见, 在此特表感谢。

参 考 文 献

- 1 马杏垣. 北京西山的香肠构造. 地质论评, 1965, 23(1): 43~49
- 2 Bell T H. Deformation partitioning and porphyroblast rotation in metamorphic rock: a radical reinterpretation. *J Metamorphic Geol*, 1985, 3(2): 109~118
- 3 Bell T H. Foliation development and refraction in metamorphic rocks: reactivation of earlier foliations and decrenulation due to shifting patterns of deformation partitioning. *J Metamorphic Geol*, 1986, 4(4): 421~444
- 4 Findlay D. Boudinage—a key to an organizing principle for the formation of ore deposits. *Econ Geol*, 1998, 93: 671 ~ 682
- 5 汪劲草. 褶皱过程中含金石英脉形成的构造机制. 地质论评, 1997, 43(1): 78~84
- 6 汪劲草, 汤静如, 王国富, 等. 太白双王含金水压角砾岩体形成过程与金矿体预测. 地质论评, 2001, 47 (5): 508 ~ 513
- 7 汪劲草, 彭恩生, 孙振家. 流体动力角砾岩分类及其地质意义. 长春科技大学学报, 2000, 30(1): 18 ~ 23
- 8 汪劲草, 彭恩生, 孙振家. 青海锡铁山铅锌矿床喷流沉积后的构造再造过程. 大地构造与成矿学, 2000, 24(2): 46~52
- 9 Robert F, Brown A C. Archen gold-bearing quartz veins at the Sigma mine, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Econ Geol*, 1986, 81: 578~593
- 10 邓 军, 翟裕生, 杨立强, 等. 论剪切带构造成矿系统. 现代地质, 1998, 12(4): 493~500
- 11 翟明国, 杨进辉, 刘文军. 胶东大型黄金矿集区及大规模成矿作用. 中国科学, D 辑, 2001, 31(7): 545~552
- 12 Fyfe W S. Tectonics, fluids and ore deposits: mobilization and remobilization. *Ore Geol Rev*, 1987, 2: 21~36
- 13 Fyfe W S. Fluids, tectonics and crustal deformation. *Tectonophysics*, 1986, 119: 29~36
- 14 徐兴旺, 蔡新平, 秦大军, 等. 山东七宝山角砾岩筒流体双重致裂机制与金铜成矿. 中国科学, D 辑, 2000, 30(1): 47~52
- 15 Sibson R H, Moore J M, Rainkin A H. Seismic pumping—a hydrothermal fluid transport mechanism. *J Geol Soc*, 1975, 231: 653~659
- 16 Sibson R H. Earthquake faulting as a structural process. *J Struc Geol*, 1986, 11: 1~14