

减压扩容控矿理论及其应用意义

祝渊陵

(冶金部西南地勘局科研所·四川省成都市)

本文对减压扩容理论作了概略阐述；重点探讨了减压扩容部位形成的力学机制；进行了数理模拟方法计算；将理论认识应用于金矿实例分析。

关键词：减压扩容控矿；形成机制；数理模拟计算；应用实例

对于岩浆矿床和热液矿床来说，开放系统比封闭系统更有利于成矿。实践也证实，在一个矿田范围里，矿床或矿体常常赋存于构造破碎较强烈或岩石渗透率及孔隙度适当(较大)的区域。这就提示我们，成矿环境或部位是在成矿时期构造应力场中相对低压、容矿空间相对大的位置。本文称这种位置为减压扩容部位。从全球板块构造与成矿关系看，大多数矿床也产于岩石圈中的一些减压扩容部位(例如消减带、裂谷带、洋中脊及深大断裂带)，本文以一条断裂减压扩容部位的形成与控矿机制为例，来说明减压扩容控矿理论及其实用意义。

断裂构造减压扩容部位形成机制

一般在压性或压扭性断裂形成初期，都是先以张性微裂隙开始，这些裂隙呈雁行状排列。随着构造作用的加强和岩石变形加大，雁行张裂隙不断扩展并转向，最后贯通形成主断裂，雁行状张裂隙之间的“墙壁”在变形过程中被旋转进而剪断(图 1a)。断裂带的宽度决定于单个张裂隙的长度及其与主断面的夹角，夹角越大，断裂带宽度越大，断裂带中雁行裂隙之间“墙壁”在断层活动中被碾碎，组成构造破碎带(减压扩容部位)。断裂活动初期，断裂带内物质粗糙，断裂两壁

不平直，断裂活动的阻力较大，如果这时断裂停止活动，并且以后也无大的活动，我们在断裂中减压扩容部位所看到的构造岩就大多是角砾岩。如果断裂继续活动，则断裂带内物质粒度就逐渐变细，这时在减压扩容部位见到的就有碎裂岩、糜棱岩、断层泥甚至千糜岩等粒度较细的构造岩。

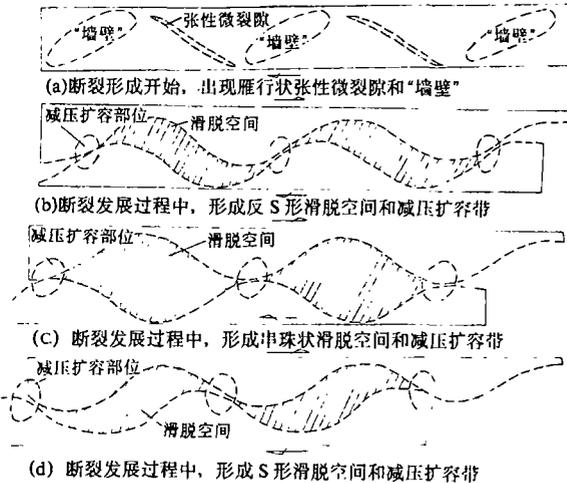


图 1 断层形成中减压扩容带的形成机制

前已述及，断裂形成初始，即在特殊部位——雁行裂隙之间的“墙壁”部位，开始形成破碎带(减压扩容带)的锥型。随着断裂上、下盘相对位移，这些锥型破碎带受摩擦和错动影响规模增大、岩石破碎程度增大。

本文1991年4月收到。

无论断裂两盘岩性是否均一，都会有上述现象发生。一般来说，断裂活动中，断裂上、下盘相对凸出部位相接触易形成挤压破碎带(减压扩容带)；上、下盘相对一凹一凸相接触则易产生局部张开空间(滑脱空间)。但是随着断层继续活动，张开空间易发生闭合，而挤压破碎带(减压扩容带)却在原来基础上继续扩展规模。在此情况下，挤压破碎带相对于滑脱空间而言，是相对开放的环境，因而常常成为有利容矿部位。

减压扩容部位数理模拟方法

80年代初期,国内外矿床地质工作者,陆续发表了有关构造动力作用激发元素活化、驱动矿液或矿浆运移和影响矿质沉淀和聚集的许多文章,强调成矿热液的迁移和汇聚受构造应力场的控制。在此理论上,许多学者尝试应用构造应力场数理模拟、光弹模拟等方法探讨区域低应力域,以其预测成矿有利部位。

构造应力场数理模拟可以运用有限单元法来进行,目前常用线弹性有限单元法(非线性有限单元法当然更切合实际)。有限单元分析是以变分法求能量的极小为基础,以网格模拟实物,以电子计算机为手段,这种方法对于分析复杂的地质问题很有用,能把非连续性、非均质性、非线性和非稳定性等特征综合起来,根据几何外形和力的作用方式等条件,经过一定的处理程序,以线性代数方程组形式,表达应力—应变—破坏—时间四者之间的内在关系,可以定量地评价应力分布特点及成矿期构造应力场与矿液迁移的关系,以及确定减压扩容部位。

线弹性有限单元法分析,是以虚功原理为基础的,对于二维体系(图2),只要根据外力做功等于内力做功的原则,就可建立平衡方程得到某单元 e 的节点力与节点位移的关系式,即

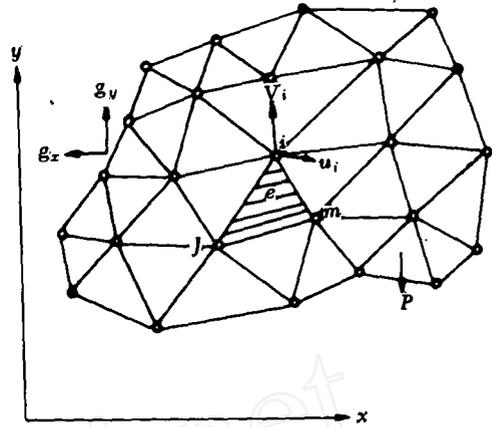


图2 有限单元划分示意图

$$\begin{Bmatrix} r_i \\ r_j \\ r_m \end{Bmatrix} = [K]^e \begin{Bmatrix} U_n \end{Bmatrix} \quad (1)$$

式中, $[K]^e$ 为单元的刚度矩阵, $\{U_n\}^e$ 为该单元各节点的位移矢量。在每个节点处,把它周围的各单元对这个共同节点所引起的内力加起来,并使它与外力相等,则得到整体的平衡方程

$$\{R\} = [K]\{U_n\} \quad (2)$$

式中, $\{R\}$ 为整个体系的所有节点的作用力矢量, $\{U_n\}$ 为所有节点的位移矢量, $[K]$ 为整体的刚度矩阵,它的系数或子矩阵为

$$[K]_i L = (K_{ii} + K_{ij} + K_{im})^{e_1} + (K_{ii} + K_{ij} + K_{im})^{e_2} \quad (3)$$

上式表示共同节点 i 周围各单元 e_1 、 e_2 ——等对 i 点的作用,仅是矩阵 $[K]$ 的一行,于是线性的弹性体系的有限单元分析归结为解矩阵形式的平衡方程。

对具体矿区进行成矿期构造应力场线弹性有限单元法模拟有以下步骤:

1. 对矿区地质构造特征、构造期次划分进行详细研究,重点调查成矿前构造及同成矿构造分布和发育特征及其力学性质。
2. 了解同成矿期区域构造活动情况,

确定矿区模型和边界条件。

3. 测试区内不同岩性的物性参数(弹性模量和泊松比), 划分单元的划分原则是近断裂部分、岩性界线部分划分较密、岩性均一部分划分较疏。

4. 选择直角坐标系, 统计节点坐标, 并对每个单元的岩石力学参数进行统计, 按照程序要求格式列表, 建立数据文件, 最后上机计算。

应用实例

笔者 1989 年对广西高龙微细浸染型金矿床成矿期构造应力场有限单元法模拟结果见图 3、4。矿区成矿期最大剪应力指数分布。

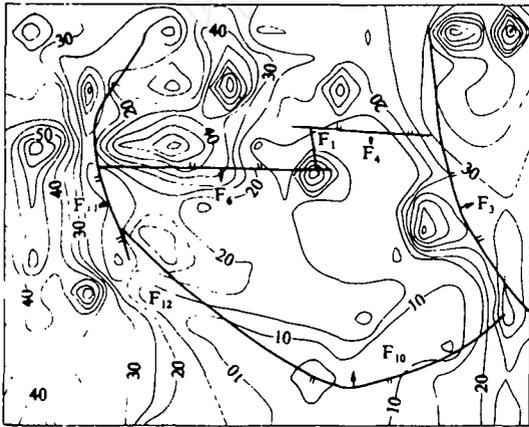


图 3 高龙金矿床最大剪应力指数等值线图

(单位: bar, 图 4 同)

特点是: F_4 和 F_6 及 F_{10} 和 F_{12} 断裂旁侧及沿这些断裂走向, 最大剪应力指数值梯度变化较大, 而在 F_3 、 F_{14} 断层最大剪应力指数值则相对变化小, 为高剪应力指数带间的过渡地带; 矿区成矿期围压指数总趋势是东部低、西部高, 北部低、南部高, 其中存在若干围压指数为负值的区域(减压扩容区), 并恰好是矿区的两个主要含矿地段—鸡公岩矿段和猫山矿段, 而周围围压指数值高, 表明

矿体定位于相对低围压指数区域、高剪应力指数区域。

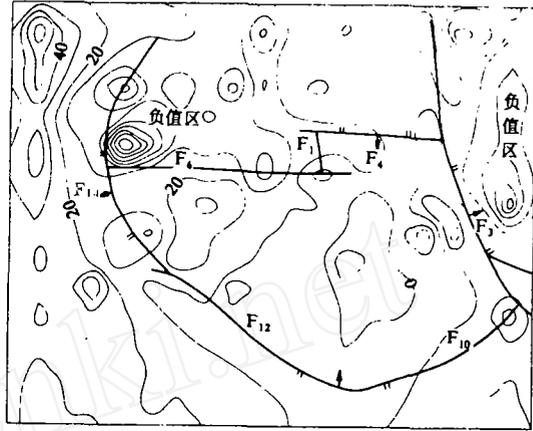


图 4 高龙金矿床围压指数等值线图

笔者在参加“四川省甘孜一道孚地区超微细粒金矿成矿规律及成矿预测”研究过程中, 发现甘孜一道孚地区已发现的具工业价值的丘洛金矿、普弄巴金矿均直接产于炉霍断裂带的次级断裂—拉普断裂的挤压破碎带中, 金矿(化)体及热液蚀变晕都严格受破碎带的限制, 矿(化)体产状也几乎与破碎带的主断面产状一致, 对普弄巴金矿床 I 号矿体所在部位挤压破碎带构造岩进行分带并分析 Au 含量、含金石英—方解石脉包裹体(下同)组分及氧同位素值(图 5)。

I 带: 角砾岩、碎裂岩化砂岩、硅质板岩带, 宽 $>10\text{m}$, 层理紊乱、岩石破碎, 金矿化较弱, Au 含量大多 $<10 \times 10^{-9}$ 。

II 带: 挤压劈理、构造透镜体带, 宽 $8 \sim 10\text{m}$, 由砂岩、硅质板岩组成, 具呈透镜体的石英脉, 构造透镜体产状为 $250^\circ / \angle 38^\circ$, 含金性较差, Au 大多 $<10 \times 10^{-9}$ 。

III 带: 蚀变岩带, 岩石绿泥石化、硅化极强, 宽 20m 左右, 个别样的 Au 品位极高, 可达 238.67g/t , As 1.94% , Hg 65.88×10^{-6} , Sb 907×10^{-6} 。但一般采样 Au 品位较低。

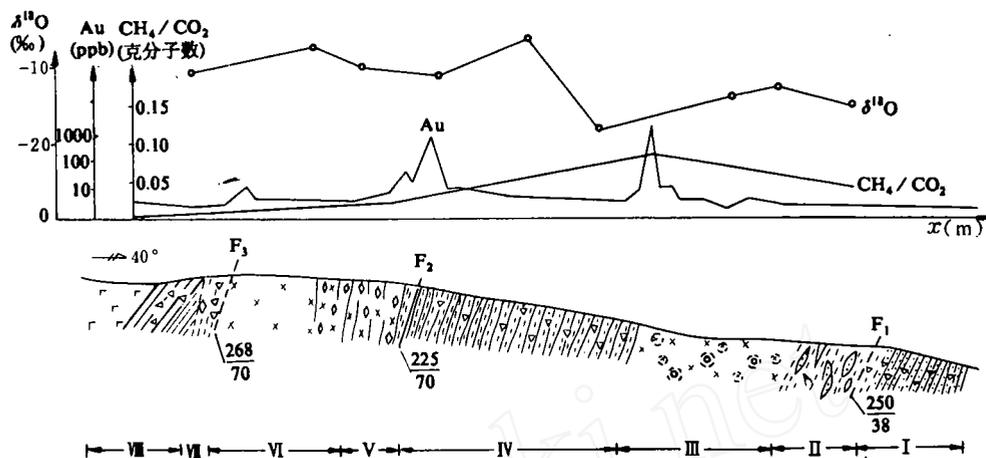


图5 普弄巴矿区拉普断裂构造岩分带及 Au、CH₄/CO₂、δ¹⁸O 变化

IV带：挤压劈理化、碎裂岩化、揉皱砂质板岩、碳质板岩，带宽>20m，硅化、褐铁矿化较强，Au 含量 0.2~1.2g/t。

V带：压性断层及蚀变基性岩带，带宽 5m 以上，有一产状为 225°/70° 断层在基性岩脉与板岩交界位置处通过，断层泥为灰白色粉末状并夹小型石英脉透镜体，蚀变基性岩脉颜色浅，碳酸盐化强。该带 Au 平均含量>0.5g/t，>2g/t 的样较多见。

VI带：弱蚀变基性岩带，为辉长辉绿岩，上、下均为断层，与围岩隔开，宽 10m 左右，总体含金性差，但其中所夹几条蚀变角砾岩带含金性较好，Au 品位>0.1g/t。

VII带：压性断层及碎裂岩带，断层下盘为基性岩脉，擦痕面、片理发育，产状为 268°/70°，上盘为碎裂板岩。该带宽 2m±，含金性有所减弱(0.1g/t 左右)。

VIII带：为破碎板岩、硅质板岩、基性火山岩带，宽>100m，含金性较差，Au 品位<10×10⁻⁹。

可见，即使在一个破碎带里，也存在相对减压扩容岩段，成为金等矿质最有利的沉积场所。由该挤压破碎带的 I→V 带，包裹

体 CH₄/CO₂ 值有递减趋势，在 III 带位置达到峰值(也是含金较好的岩段)并随后下降，但仍高于 IV、V 带(这表明 II、III 岩段包裹体还原性气体的成分高于 IV、V 带，指示成矿热液是由 III 带或 II 带向 IV、V 带运移的)；从 I—VII 带，δ¹⁸O 呈明显增高趋势并在 III 带表现出强亏损(一般认为，氧同位素值低的部位说明岩石与地下水的交换较强烈，指示成矿热液是从 III 带上升，并以侧向向 IV、V、VI、VII 等带运移)，这也表明挤压破碎带构造岩分带所造就的地球化学分带特征。

根据以上分析，对普弄巴金矿床成矿期构造应力场进行了模拟，并对控矿断裂——拉普断裂单元围压、剪应力指数变化进行了分析，发现：①沿拉普断裂走向由北向南，围压指数和剪应力指数的变化呈由高向低的总趋势，但有起伏。每个围压指数下降区间都代表一个减压扩容地段，为成矿的有利部位，每个剪应力指数上升区间都代表一个高剪应力区间，也是有利成矿部位，这两种区间在断裂带上基本对应吻合。②在控矿断裂上还圈出 6 处减压扩容地段，其中 II、IV 两地段与目前已揭露的金矿(化)体产出部

(下转第 30 页)

租。否则将少得、不得超额利润，甚至得不到平均利润，乃至亏损。同时，又有勘查资源税的控制、调节，不至于使地勘企业占有过高的超额利润，造成新的社会分配不公。再者，呆矿将转让不出去；占了矿点，虽不作勘查，也要交勘查资源税，这将有助于减少呆矿和抢占矿点等不良现象。

虽然在当前全国价格体系尚未理顺，特别是矿产品价格偏低，许多矿山本来就只有薄利、无利甚至亏损的情况下，以上对探明储量计价的理论分析，不可能在一夜之间完全实现，否则矿山恐难承受。但就像房改一样，虽不能马上按商品房的价格出售、出租住房，但应明确商品房的价格构成，可先按成本加折旧出售或出租住房，再逐步增加平均利润、银行利息、土地费用……，直到完

全按商品房的价格出租、出售住房。我们也应先在理论上明确储量计价的正确目标，测算其价值的各部分构成，再随着价格体系的逐步理顺，有准备地从部分计价，逐步过渡到完全的储量计价。

限于篇幅，本文不能详述诸如普查费用如何处理，极限费用、平均成本、级差矿租、资源税等如何测算，以及哪一级地勘单位作为相对独立的商品生产者，才能有足够的回旋余地和承受找矿风险的能力等，这是在储量计价中必须具体研究的问题。

在今后我国的社会主义市场经济体制下，探明储量计价势在必行，而且更加紧迫，不能再因其困难而久拖不决了。

成文过程中得到陈希廉教授的指导，谨致谢意。

Resources Evaluation of the proven Reserves of Mineral Deposits and the Tax on Resources

Yuan Huaiyu

The value of proven reserves of a mineral deposit should include the practical prospecting cost, the first and the second forms differential ore rent, the absolute ore rent and average profit. In this paper the sources of superprofit and resource prospecting tax are analysed.

(上接第 19 页)

位重叠，V、VI号扩容地段相距很近，可能为同一个扩容地段，对I、III、V及VI减压扩容地段开展找矿工作，目前已有金矿化显示。

综上所述，可见减压扩容控矿理论，将

野外地质矿产勘查与室内数理模拟方法密切结合，有效地为地质找矿提供预测靶区，是具有实用意义的，这也是我国广大矿田构造地质工作者，运用李四光先生地质力学理论于找矿实践的重要成果之一。

Pressure Reducing—Volume Spreading Ore Control Theory and Its Implication

Zhu Yuanling

In this paper a brief account is given to expound the pressure reducing—volume spreading ore control theory with the mechanism that formed by the pressure reducing—volume spreading position as the focal point of the discussion. calculations with mathematical and physical simulation methods were proceeded with the results come into practical use for analysing gold deposits. practical examples are given.