

地质体组合构造分析方法与找矿

赵茂春¹⁾, 余先川²⁾, 王泽传¹⁾, 朱延浙¹⁾, 常开永¹⁾, 姚金昌³⁾, 杨柳扬⁴⁾

1) 云南地矿国际矿业股份有限公司, 昆明, 650051;

2) 北京师范大学信息科学与技术学院, 北京, 100875;

3) 云南地矿总公司(集团), 昆明, 650011; 4) 云南省地质矿产勘查院, 昆明, 650051

内容提要:地质体组合构造分析方法是在地质体形态分类基础上, 根据地质体结构的不均衡性所引起的变形和矿化的差异, 遵循构造分析的基本原理, 对各类地质体的变形机制和破裂形成规律作了初步总结, 较系统地归纳了层状地质体的变形规律, 是一套全新的构造研究方法。在找矿应用方面, 提出了以破裂为导向的后生矿床找矿思维, 根据地质体及其组合中的破裂变形规律, 可快速评估矿区的资源潜力, 在指导找矿方向、判断找矿标志等方面, 具有较强的较强的实用性, 并具有易掌握、可操作性强、研究周期短等特点。该方法的提出丰富了构造地质学和矿床学的研究方法, 具有一定的理论意义。

关键词:地质体组合; 构造分析方法; 控矿要素; 变形样式; 资源潜力; 找矿

以往的构造研究注意到了地质体的不均匀性对后期构造变形的控制作用(李四光, 1973; 王仁等, 1979; 孙岩等, 1984), 即“形成决定形变”(张文佑, 1984), 但多侧重于全球性、区域性构造单元研究(李四光, 1973; 张文佑, 1984), 鲜有对矿区与矿体等小尺度变形规律的研究和总结(Peter J Hudleston et al., 2010; Deng Hongling et al., 2013)。

地质体组合构造分析方法, 是根据地质体的结构不均匀性而引起的变形不均匀性, 研究和总结不同地质体及其组合的构造变形基本规律, 以及所形成的容矿、导矿、封闭构造等潜在的控矿构造系统的组合特征, 从中梳理出成矿有利的地质体组合和有利的构造部位, 把复杂的找矿问题简化为以地质体结构不均匀性为切入点, 寻找有利的地质体组合等简单问题, 是一种为后生矿床找矿服务的构造研究方法。

与常规构造分析法相比, 它以构造破裂体系为主要研究对象, 研究变形过程中破裂与地质体的生成关系、破裂的三维变化特征, 追踪或预测对成矿有利的破裂及其规模; 淡化了对断层、褶皱、节理、裂隙等具体构造形迹的关注程度; 对矿化的研究方面, 强

调矿化与地质体及其组合的因果依存关系。

方法的主要思路是: 后生矿床的矿化蚀变总是跟地质体的结构破裂部位密切依存(有矿必先有构造); 地质体破裂发生、发展规律由地质体类型及其组合特点决定, 其构造变形是有规律可循的, 地质体及其组合一旦确定, 则后期变形所生成的构造样式、构造规模及其延伸稳定性是可预测的; 通过地质体组合中具有找矿意义的破裂构造的发生规律、规模、产状等特征研究, 容矿构造、导矿构造、封闭条件等控矿构造系统及矿化蚀变的野外观察, 结合区域成矿背景综合分析, 筛选出成矿有利部位和地段, 可快速评估和判断目标区的成矿潜力、找矿方向及找矿标志。

1 地质体组合构造分析方法

地质体组合构造分析方法由地质体形态分类、变形的应力环境、变形分析的基本原理、各类地质体变形特点和规律总结、控矿要素的关联关系和方法的找矿应用等内容组成。

1.1 地质体类型及其组合

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号: 41672323)和国土资源部公益基金资助项目(编号: 201511079-02)的成果。

收稿日期: 2017-05-08, 改回日期: 2017-09-10; 责任编辑: 刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.06.009

作者简介: 赵茂春, 男, 1967年生, 硕士, 高工, 地质矿产勘查专业, 长期从事野外矿产勘查实践及勘查技术管理工作。Email: 1084704175@qq.com, zhaomc1854@sina.com。通讯作者: 余先川, 男, 1967年生, 博士, 教授, 博士生导师, 从事信息挖掘、融合、识别、数字矿产预测、遥感影像处理工作。Email: yuxianchuan@163.com。

1.1.1 地质体的形态分类

构造结构面:是指具有较大延展规模的岩性界面、构造层(面)、岩组界面、物性不连续面等面状构造。

地质体是指彼此以构造结构面分界,具有一定几何形态,由一个、多个或一组具有相同或相似力学表现的岩石基本单元组成的岩层或岩性单元及其组合。一个地质体可以由一种岩性组成,也可以由多种岩性组成,在构造作用过程中,它表现为一个具有统一力学性质的整体与其他地质体发生相互作用。

根据地质体的产出形态,将其分为层状、均质块状、非均质块状等三大类。

层状地质体是指内部的构造结构面发育较好,且大致平行分布,且相对于研究尺度,构造结构面二维空间延伸大致相等的地质体(图 1a)。如:层状的沉积岩,呈层状产出的火山岩、侵入体。是最为常见的地质体类型。

均质块状地质体(简称块状地质体)指内部构造结构面不发育,结构均匀,且相对于研究尺度,三维空间延伸规模大致相等的地质体(图 1b)。如:大型侵入体(如花岗岩、闪长岩体)、内部结构均匀的火山岩、巨厚的膏盐层等。

非均质块状地质体(简称非均质地质体)指研究尺度内三维空间延伸大致相等,内部构造结构面相互交切,结构面发育程度及规模差异较大的地质体。如:多中心、多期次活动形成的安山岩、玄武岩

等以火山岩主的地质体(图 1c)。此类地质体内部由于存在不同岩相、旋回的火山岩,并有正常沉积岩夹层、透镜体等,不同岩性单元力学性质差异大,延伸规模及厚度不一,内部各类不均衡界面互不平行,因而其内部结构构造不均匀。

地质体的划分因研究尺度而异。如厚层状砂岩:小尺度观察,内部可出现块状地质体变形特征,可视为块状地质体;而较大尺度观察时,则具典型层状地质体特征,因此小尺度的变形规律并不一定适用于整个勘查区。

1.1.2 地质体组合

地质体组合也叫组合地质体,是指在观察尺度内,由内部结构及力学表现存在一定差异,彼此以不同层次的构造结构面分隔的两个或以上层状或非均质地质体所组成的天然组合体。在具体矿区,研究地质体组合的观察尺度可以是一个标本、一个露头、一个矿体、一个矿段、一个矿区,乃至一个矿集区所涉及的立体空间。在同一构造应力场中,不同特征的地质体所组成的地质体组合,其变形结果是千差万别的,它所控制的构造破裂分布规律也有巨大的差异。通过这些地质体组合特征的识别,可以预测其变形特点。

如:大型花岗岩一般归为块状地质体,云南境内著名的临沧—勐海二长花岗岩南北长约 350 km,宽 12~53 km,夹持于元古界、古生界、中生界层状地质体间,呈现出巨型“柔夹刚”层状地质体组合(图

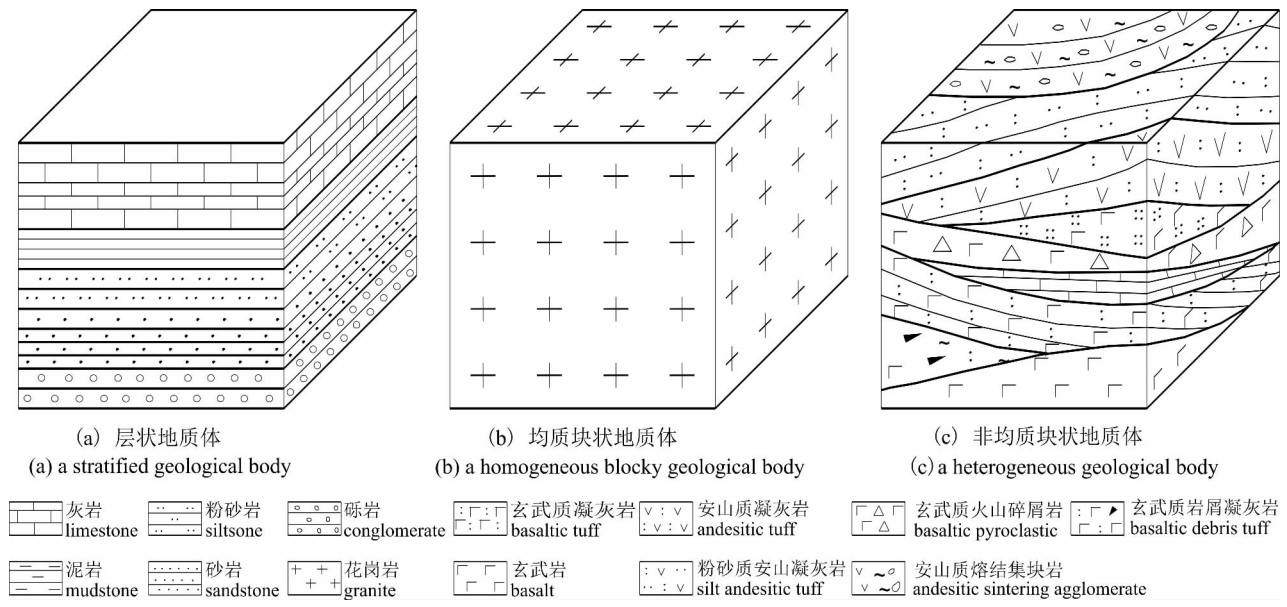


图 1 地质体的形态分类

Fig. 1 Morphological classification of Geological bodies

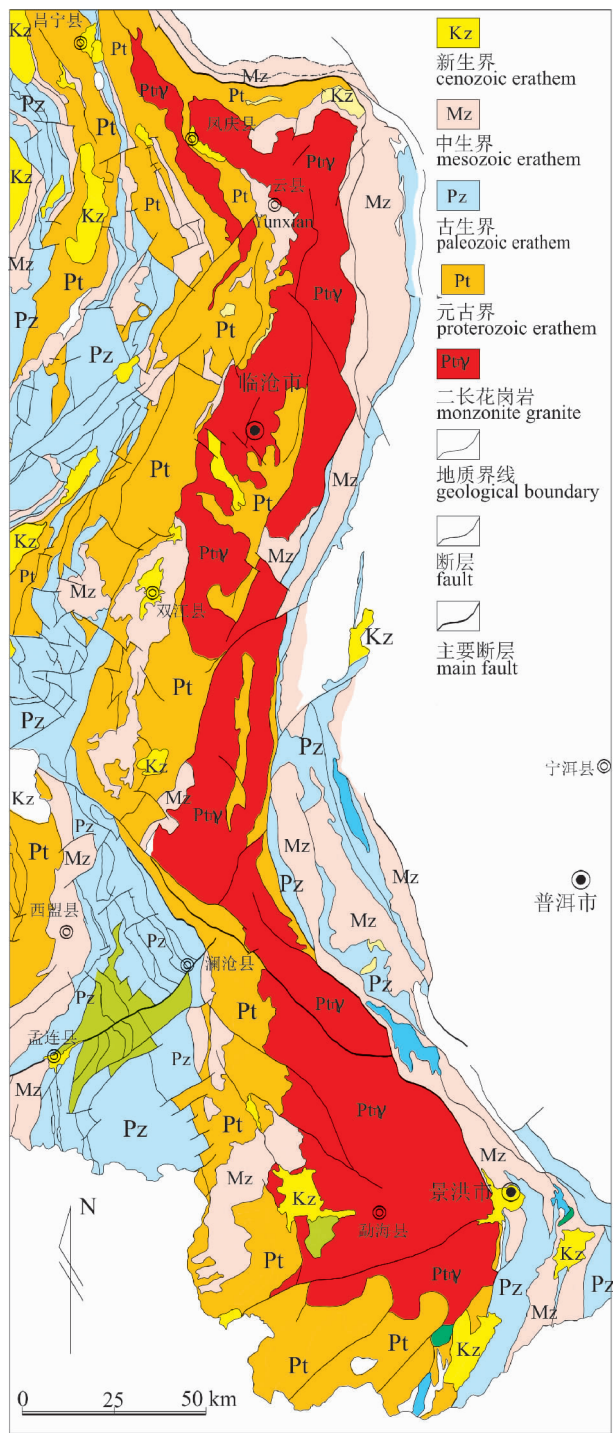


图 2 云南临沧花岗岩巨型“柔夹刚”地质体组合
Fig. 2 Giant geological bodies combination of softness clip with hardness at Linchang, Yunnan Province

2), 因此岩体内部断裂发育极不均衡, 北东、北西、北北东、北东东向断裂均有, 岩体各部位断层发育特点差异很大。

约束性地质体是指地质体组合在应变过程中, 对变形结果起到约束、控制作用的地质体。由于具

有特定岩性、结构、形态、层理特征、延展规模、厚度等属性的地质体的存在, 某些构造形迹容易发生在地质体组合中的特定部位, 并约束了构造形迹的样式、产状和延伸规模。因为约束性地质体的普遍存在, 使构造形迹的预测成为可能。

结构趋势面是指一些空间上不相连, 但具有一定分布规律的小规模结构薄弱面, 在特定方向应力作用下, 共同表现为具统一力学表现的较大规模结构薄弱面。结构趋势面可以是顺层理的, 也可以是斜交层理的(图 3)。结构趋势面可以导致斜切层理的较大规模断裂带的产生。

1.2 地质体变形主要影响因素

地质体变形可分为褶皱变形和破裂变形, 后者包括断层、节理、裂隙、虚脱、劈理、片理等。影响地质体变形的主要因素有: 岩石的能干性差异大小、应力状态, 其次是地质体产状、孔隙流体、温度、围压和时间(陈国达, 1986)等。

地质体能干性的主要影响因素有: 地质体的岩性组成、地层(岩性)组厚度、岩层(单层)厚度、层理发育程度等。每个因素都从不同角度对变形产生深刻的影响, 限于篇幅, 不再展开论述。

1.3 变形的应力环境

构造变形中, 运动形式不同, 产生的构造形迹也不同(李四光, 1979), 地质体及其组合是内因, 区域应力环境是外因。结合野外实践, 本文将应力环境分为压性、压扭、张性、张扭、纯剪等五种。

在张性、张扭、纯剪应力环境下, 区域主要断层、褶皱通常无优势的展布方向, 应力对地质体的构造变形约束因子小, 变形规律难以预测; 在压性、压扭应力环境下, 区域主要断层、褶皱通常具有特定的展布方向, 产生的构造形迹更容易预测。

如页岩夹砂岩组成的“柔夹刚”地质体组合, 在兰坪盆地西缘的金满铜矿, 应力以压扭性为主, 穿层破裂不发育, 页岩封闭性好, 有利于成矿热液沿砂岩顺层渗透, 因此主矿体走向和倾向延伸十分稳定; 而盆地中心的许多矿区, 在张性、张扭性应力环境下, 类似的“柔夹刚”地质体组合中切层、顺层断层均较发育, 破裂的规律性差, 控矿构造系统总体较开放, 只有封闭条件较好的局部地段有相对稳定的铜、铅、锌、银等矿化(林焱一等, 2017), 主矿体规模较小, 延伸及厚度、品位都不稳定。

在区域构造线(主要断层、褶皱、地层等)具有特定的延伸方向的构造区, 不同规模和等级的构造, 在变形力学机制方面常常表现出相似性, 大型构造

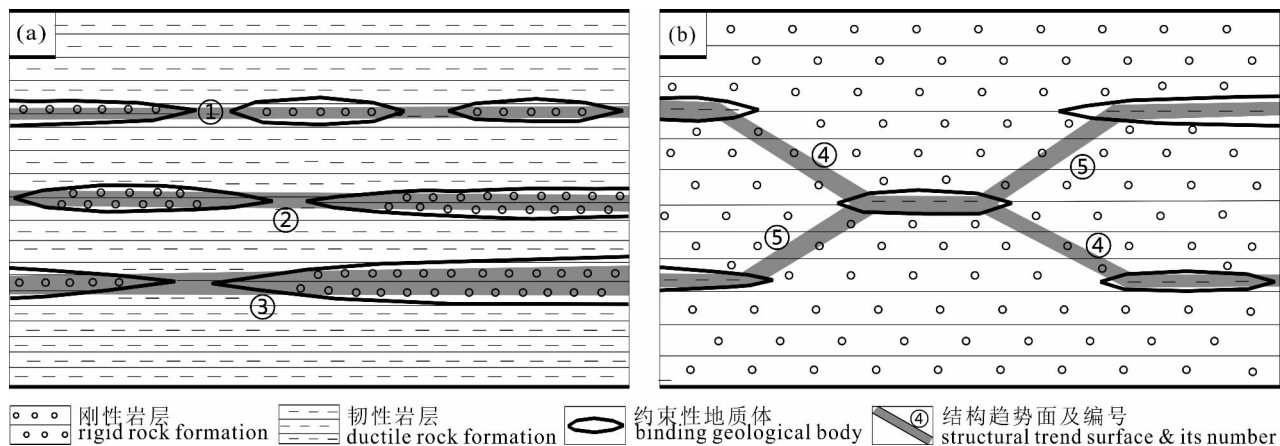


图 3 约束性地质体和结构趋势面
Fig. 3 Binding geological bodies and structure trend surface

控制小型构造(张文佑,1984),因此主要断层(破裂)多平行于主构造线,其他方向的破裂延伸规模都十分有限,主矿体多与区域构造线平行或呈小角度斜交。如云南北西向展布的哀牢山褶皱带,跨距 200 余千米的镇沅、墨江、元阳等 3 个大一超大型金矿床的主矿体走向均与主构造线一致(胡云中等,1995)。

地质体组合构造分析方法重点研究压性、压扭性应力环境下地质体及其组合的变形规律;张性、张扭、纯剪应力环境下的地质体变形规律,有待进一步实践总结充实。滇东南老君山变质核杂岩区总体属张性应力环境,但区内的麻栗坡南秧田钨铍矿、马关都龙锡铅锌铜多金属矿等大型矿床,以及周边的许多矿点,野外考察及综合研究表明,地质体组合构造分析方法同样适用。因此确定方法的适用条件,还要具体问题具体分析。

1.4 变形分析的基本原理

后生矿床的矿化蚀变现象均可以从地质体结构破裂找到解释。破裂是容矿构造的最小单元,断层、节理、裂隙、片理等均可视为破裂的组合或宏观表现,节理虚脱、褶皱虚脱则视为破裂的特殊形式。破裂的形成规律是变形分析的重点,本文主要讨论“表构造层次—浅构造层次”(朱志澄,1999)范围内(相当于 5~7 km 深度以浅)的地质体破裂规律。

变形分析遵循的基本原理主要有:

(1)区域应力场作用过程依赖于体系内各地质体之间的应力传递;地质体的力学表现、形态、边界等差异,决定了其所传递应力的大小、方向、作用部位均有差异。应力通过地质体褶皱变形、相对运动、

破裂等形变得到释放。

(2)构造应力常集中于地质体结构薄弱部位(张文佑,1984;朱志澄,1999),地质体组合中结构最薄弱的部位常常是应力最集中的部位。结构薄弱面数量越少则应力越集中,容易形成大型破裂带;结构面越多则应力越分散。

(3)破裂常由剪切断裂变形开始,最后由张性断裂变形发展完成,断裂一旦形成,便将在其后的变形中起主导作用(张文佑,1984)。

(4)在应力作用下,刚性地质体易产生破裂变形,柔性地质体则可出现破裂和连续变形,力学表现相似的不同岩性常出现相似的变形结果。主要结构面或结构趋势面及其规模、数量控制了地质体组合的破裂规模和变形的复杂程度。

(5)软弱层很难积累应变能(张文佑,1984),因此破裂最容易继承地质体最薄弱的结构面、软弱夹层发生,并演化为顺层(或小角度切层)断层,成为刚性地质体之间相对运动的“润滑剂”;结构趋势面容易演化为切层断层,其穿过不同地质体时常呈阶梯状,产状和延伸的稳定性通常不如顺层断层,常出现分枝。

(6)多期次构造变形过程中,破裂常继承早期的最大结构薄弱面发生,并控制了后期破裂的形成,因此主要结构面的梳理是构造分析的关键;地质体的相对运动方向可能决定了所赋存矿体的走向、倾向延伸规模,以及侧伏规律。

(7)层状地质体中,约束性地质体的岩性、厚度、层理特征、延伸规模等特征变化,常引起变形结果的差异;块状地质体因不存在结构薄弱面,应力分

布均匀,每个应力微分单元所受应力的_{大小、方向}相同,内部形成的破裂面分布均匀;非均质块状地质体中,各个次级地质体所受应力分量的_{大小、方向、作用部位}等都不相同,变形规律最难预测,不容易形成延伸、产状均较稳定的破裂构造。不同地质体的变形规律,决定了后期矿化蚀变的差异。

(8)同一应力环境下,同期形成的各类构造形迹常具有_{成因}联系。

1.5 控矿要素及其相互关系

成矿物质保障和容矿、导矿、封闭构造是后生矿床的四个控矿核心要素,任意一要素的缺乏,都不可能形成有价值的矿床。因此从上述要素的具备程度入手,可以较快地评估勘查区找矿前景,确定找矿方向。

1.5.1 控矿要素

容矿构造通常由一系列具有一定密集度、相互连通的裂隙带(群)所组成,包括断层、节理、褶皱虚脱、节理虚脱等,孔隙度较高的砂岩、砾岩也可成为有利的容矿空间。大量矿床统计表明,产生容矿构造的岩石多具刚性表现,甚至韧性剪切带中的矿床也如此。据云南镇沅金矿矿石统计:冬瓜林矿段煌斑岩、杂砂岩、花岗闪长斑岩等刚性岩石占 69.6%,绢云硅质板岩(较围岩更显刚性)占 30.4%;老王寨矿段以玄武岩、杂砂岩、超基性岩、煌斑岩、花岗闪长斑岩等刚性岩石为主(胡云中等,1995);巴西瓦赞蒂锌矿矿体产于韧性剪切带的白云岩脆性地层中(张伟波等,2017)。

导矿构造是沟通矿液,并将成矿物质组分输送到容矿空间的通道(翟裕生等,1993)。它与容矿空间并无截然区别,围岩封闭好时,可成为容矿空间;圈闭差时,则为导矿构造。

封闭条件一般由孔隙或破裂基本不发育、渗透性差的岩石,以及渗透性差的破碎带构成,常具双重作用:一是将成矿组分圈闭在某一范围内,使之不再迁移,从而在特定范围内沉淀成矿;二是阻隔成矿组分进入到潜在容矿空间内。大量的岩石在未构造破碎时都是封闭性良好的岩石;砂岩、砾岩等孔隙度较高的岩石,一般渗透性好,封闭性差。值得指出的是泥岩、页岩、粉砂岩、各类板岩、千枚岩、片岩、片麻岩等韧性较好的岩石组成的断层破碎带也通常具备较好的隔水功能(何智等,2016),成为成矿有利的封闭构造。

成矿物质保障(简称物源丰度)是指成矿物质组分来源的丰富程度。在前述条件齐备的前提下,物源丰度就成为成矿的决定因素,它决定了矿体(矿床)的规模、品质。一般情况下,物源越丰富,则成矿规模越大,矿体(床)品位越高。物源丰度很难进行野外观察,可通过潜在容矿空间、导矿构造中的矿化蚀变强度,结合蚀变地质体的封闭条件观察,进行间接判断。

1.5.2 控矿要素之间的关系

一般潜在容矿空间规模大,封闭条件好,导矿构造延伸规模大,成矿物源丰富,则成矿规模大。四个控矿要素齐备且规模匹配,是形成一个具有开发价值的矿体(矿床)必要条件,每个要素不可或缺。容矿空间很大,物源不充足,则潜在容矿空间内可能普遍具矿化蚀变,但一般不会形成具开发价值的矿体。如滇西一普查区绢云板岩组成的纯柔式地质体中,偶见花岗斑岩脉大致顺层侵入,脉岩在板岩褶皱过程中强烈破碎(图 4)。图 4a 中的脉岩与成矿热液相连通,因此具均匀铜金矿化,品位 Cu 32.21%,Au 4.95g/t,因容矿地质体太小,属微型矿体;其旁侧岩

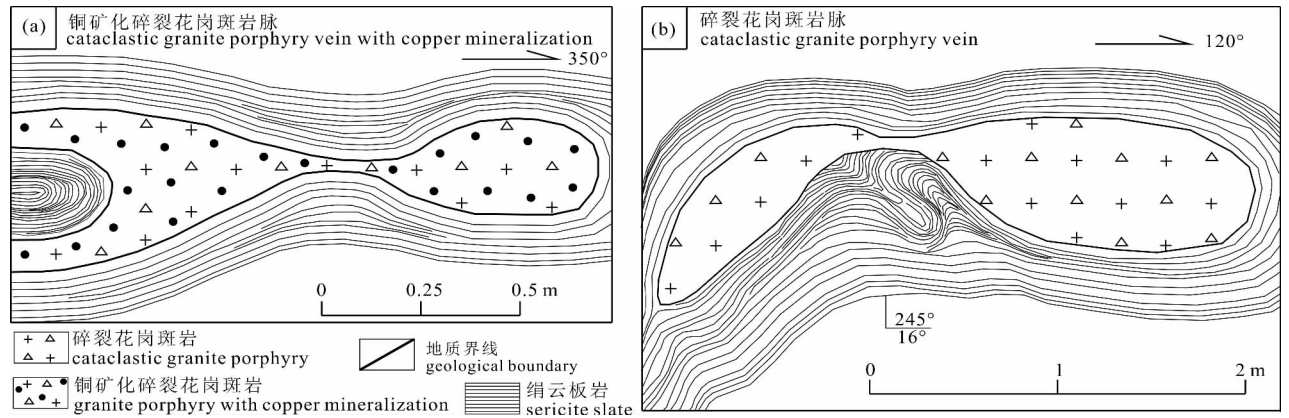


图 4 封闭条件对成矿的控制
Fig. 4 Closed system and its control of mineralization

脉则被板岩严密圈闭,因此不具任何矿化蚀变(图 4 b)。

2 地质体组合与成矿作用

2.1 层状地质体变形样式与成矿作用

2.1.1 层状地质体组合样式与成矿作用

层状地质体可出现断层、褶皱、节理等构造形迹,其典型组合有:刚夹柔、柔夹刚、纯刚、纯柔、刚鱼群、柔鱼群、刚柔二分、韵律互层、非韵律互层等(图 5)。每种组合又因岩性组成、地层(岩性)组厚度、各单层厚度、层理发育程度等差异,出现大量的亚式。

刚夹柔式指厚度无限大的刚性地质体之间夹一个厚度有限的柔性地质体的组合(图 5a)。当整体

变形时,刚性地质体常以柔性夹层作为润滑面产生相对运动,使两侧一定范围内刚性岩层产生脆性破裂带,因围岩封闭条件好,脆性破裂带中常形成延伸稳定的顺层矿体,尤以下盘矿体矿化较强。这是一种成矿非常有利的地质体组合样式。

柔夹刚式指厚度无限大的柔性地质体之间夹一个厚度有限的刚性地质体的组合(5b)。因柔性地质体极易产生整体的韧性变形,常使刚性夹层整体破碎,形成脆性破裂带。其围岩封闭性好,常形成与刚性岩层延伸规模相当的顺层矿体。这是一种成矿最有利的地质体组合样式,其典型矿床有:云南昆阳群中的易门、东川等铜矿,兰坪金满铜矿,麻栗坡南秧田钨矿,西藏错那县卡达铅锌矿(缪华清等, 2016)等。

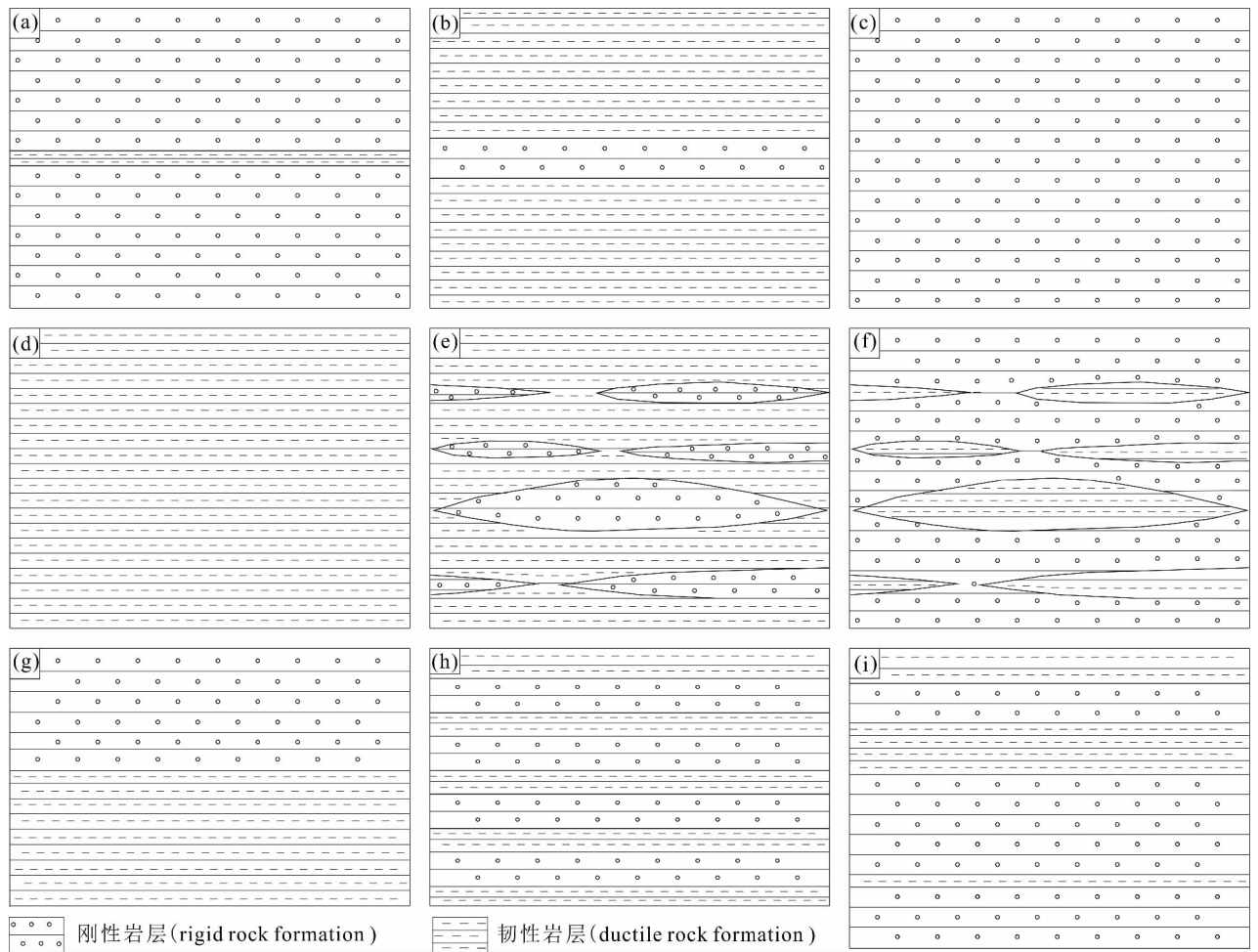


图 5 层状地质体组合常见样式

Fig. 5 Common combination styles of layered geological bodies

(a) 刚夹柔式;(b) 柔夹刚式;(c) 纯刚式;(d) 纯柔式;(e) 刚鱼群式;(f) 柔鱼群式;(g) 刚柔二分式;(h) 韵律互层式;(i) 非韵律互层式
(a) rigid layers sandwich ductile layer; (b) ductile layers sandwich rigid layer; (c) pure rigid layers; (d) pure ductile layers; (e) ductile layers sandwich many rigid lenses; (f) rigid layers sandwich many ductile lenses; (g) little different thickness both rigid layer and ductile layer; (h) the interbedding of rigid and ductile layers in regular; (i) the interbedding of rigid and ductile layers in irregular

纯刚式指研究范围内刚性地质体厚度无限大的地质体组合(图5c)。其变形样式受层理发育程度、层理厚度等制约明显,总体规律较差,其矿化特征非常复杂。单层厚度大,显层理发育较好的特定部位,顺层破裂、层间虚脱较发育,易出现延伸较稳定的顺层矿体,云南会泽麒麟厂铅锌矿主矿体(韩润生等,2012;钟维敷等,2016)可能属此类;单层厚度和层理发育程度变化较大时,则破裂多随机发生,其规模、产状均不稳定,所产矿体产状零乱,规模偏小,常不具开发价值。

纯柔式指研究范围内柔性地质体厚度无限大的地质体组合(图5d)。柔性地质体易出现连续变形,不易生成具规模的开放式破裂,内部导矿、容矿构造一般不发育,局部可能有矿化蚀变,但通常不会形成有价值矿体(矿床)。

刚鱼群式指以柔性地质体为主体,夹多层透镜状或层状刚性地质体的地质体组合,属“柔夹刚”之变式(图5e)。单个“刚性鱼”的厚度、延伸稳定性是破裂规模的重要控制因素。一般厚度较小的“刚性鱼”延伸稳定时,则形成的顺层破裂带延伸稳定,常出现延伸稳定的矿体,如云南德钦里任卡铅锌矿、保山金厂河铁铜铅锌矿(黄华等,2014)、镇康芦子园铅锌矿(董文伟等,2007;吕昶良等,2013)等部分主矿体;出现密集型刚性小“鱼”群时,常形成“鱼群”状的矿体群,如云南东川播卡金矿的新山和马家沟矿段的小型矿体群(王登红等,2006),贵州万山汞矿条带状白云岩中的矿体群(周德忠等,1958;包正相,1985;花永丰,1987),江西张十八铅锌矿碳酸盐、石英砂砾岩型矿体(李行等,2015);出现极稀疏刚性“小鱼群”时,可视为向纯柔式的过渡型,“刚性鱼”被封闭性极好的围岩所圈闭,成矿组分难以到达,进一步找矿价值有限;“刚性鱼”呈厚大透镜体时,其尖灭端易破碎,常有矿化蚀变,但其厚大部位则不易破碎,常无矿化蚀变。

柔鱼群式指以刚性地质体为主体,夹多层透镜状或层状柔性地质体的地质体组合,属“刚夹柔”之变式(图5f),单个“柔性鱼”厚度、延伸稳定性是控制破裂规模的重要因素。一般厚度较小的“柔性鱼”延伸稳定时,其两侧刚性地质体中可产生延伸稳定的顺层破碎带,常生成延伸稳定的矿体;在“柔性鱼”变厚的地段,由于“衬垫”的缓冲作用,两侧刚性层不易破碎,对成矿不利。

刚柔二分式指由厚度大致相当的刚、柔两类地质体组成的地质体组合(图5g)。变形时,开放性破

裂多发生于刚性地质体一侧;刚/柔地质体的能干性差异程度、刚性体层理发育程度、岩性层的单层厚度等是控制变形样式和规模的重要因素,其变形亚式非常丰富,成矿特点各异。如:云南香格里拉县麻花坪大型钨铍矿产于板岩/大理岩界面的大理岩一侧,为垂直于界面(层面)的一组剪切节理含矿,矿体产于层理不发育的厚层一块状层大理岩中,层理发育较好地段因易产生顺层滑动,穿层的导矿构造不发育,故未见矿化蚀变。

韵律互层式指多层刚—柔地质体呈韵律互层的地质体组合(图5h),可视为刚夹柔、柔夹刚、刚柔二分、鱼群式等的复合样式。当出现与前述刚/柔地质体相似的组合时,常能在相似地质体组合的相似部位找到矿体;当地质体组合的结构较均匀时,内部的矿体常无主次之分。

非韵律互层式指多层刚—柔地质体呈非韵律互层的地质体组合(图5i),矿化一般出现在刚夹柔、柔夹刚等次级亚式的成矿有利部位和地段,而主矿体则出现在地质体组合中结构最薄弱的部位。如云南德钦鲁春铜铅锌多金属矿,矿体呈群产于具刚性表现且总厚较薄($<10\text{ m}$)的石英片岩、石英岩、辉绿岩、灰岩等不同岩性层中(李定谋等,2002),其直接围岩为片理化火山岩、各类板岩等,均具柔性表现。

2.1.2 典型实例

云南保山西邑铅锌矿主矿体V3为“刚夹柔式”地质体组合的典型实例(图6)。

在以中厚层灰岩为主的巨厚岩性段中,夹总厚2~20 m的炭泥质页岩夹薄层灰岩组成的柔性层。体系受力时,炭泥质页岩形成延伸稳定的破碎带,两盘的刚性层以此为润滑面相对运动,使两侧刚性层内产生具有一定厚度且延伸稳定的脆性破裂带。炭泥质页岩破碎带具较好的封闭性,因此其下盘脆性破裂带是最有利的容矿空间,产出的V3主矿体规模达大型,其资源量占全区的90%以上。“柔性”夹层是该地质体组合中的约束性地质体,它的延伸及厚度变化控制了V3矿体特征变化:

当柔性层厚度适中(1~5 m)时,刚性层间滑动阻力小,摩擦阻力较大,可形成厚度适中,破碎程度高的脆性破裂带,在封闭性极好的柔性破碎带下盘形成了厚度较大、品位较高的铅锌矿体。

当柔性层厚度较大(5~20 m)时,刚性层间滑动阻力、摩擦阻力均小,刚性岩石破碎程度低,所产矿体品位偏低。

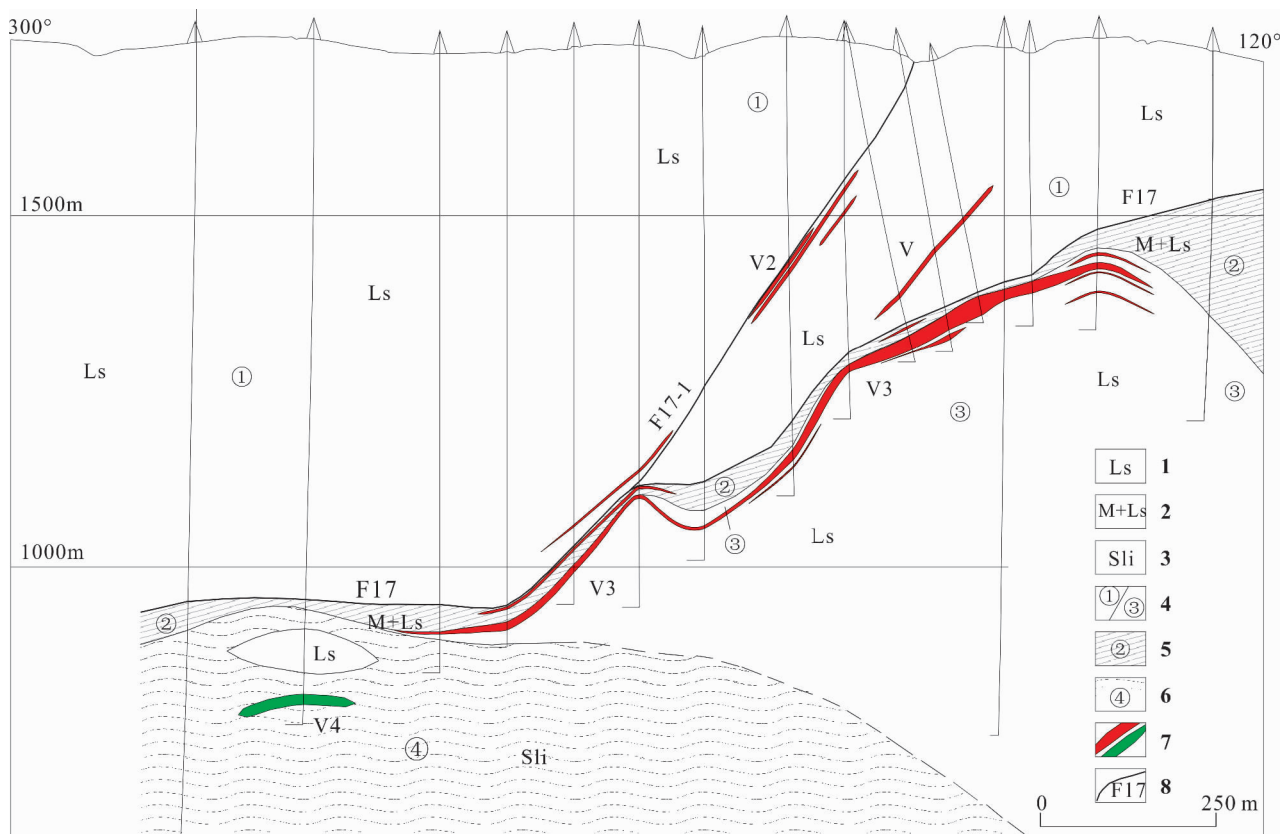


图 6 云南保山西邑铅锌矿 8 线剖面图(据钻孔资料编绘)

Fig. 6 Line 8 profile map at Xiyi lead—zinc deposit of Baoshan, Yunnan Province(Drawing from borehole data)

1—中厚层状灰岩为主;2—泥岩夹薄层灰岩;3—薄层状粉砂岩为主;4—灰岩刚性地质体及编号;
5—泥岩柔性地质体;6—粉砂岩柔性地质体;7—灰岩 / 砂岩型铅锌矿体;8—断层及编号

1—medium—thick bedded limestone;2—mudstones sandwich thin limestone;3—flaggy siltstone;4—limestone rigid geological body and its number;
5—mudstone ductile geological body and its number;6—siltstone mudstone ductile geological body;7—limestone/sandstone-type lead—zinc ore body;8—fault and its number

当柔性层厚度很大(一般>20 m)时,刚性层间摩擦阻力小,岩石不易破碎,不会形成容矿空间。如剖面南东端的钻孔揭露到厚达 200 多米柔性层,北西端缺失下盘的刚性层(②和④均为柔性层)时,主矿体随之尖灭、消失。

在柔性层局部小范围尖灭(缺失)时,结构趋势面依然存在,两盘的相对运动趋势使刚性岩石破碎,形成的破碎带厚度较大,但封闭条件差,成矿组分分散,因此蚀变带宽,但铅锌矿化极弱。

V3 主矿体在走向或倾向上出现无矿天窗、尖灭及厚度、品位的变化,均符合上述规律。

矿区浅部的 V2 矿体群受结构趋势面控制,矿体走向、倾向延伸都不太稳定,厚度变化较大。

粉砂岩柔性地质体(④层)中,不同柔夹刚式的矿化差异:刚性的砂岩呈较薄的小型透镜体时,出现了 V4 砂岩型铅锌矿体;灰岩呈厚大的大透镜体时,

其整体强度大,不易被柔性地质体搓碎,因此无矿化蚀变。这些事实均证实矿化选择组合体中封闭性好、易破裂的地质体,而与刚性地质体的岩性关系不大。

2.2 块状地质体变形特点与成矿作用

2.2.1 构造变形特点

刚性块状地质体变形主要受区域应力场控制,构造形迹以断裂、节理、裂隙等脆性破裂为主。变形具有以下特征:

(1)块状地质体所受应力均靠围岩传递,其围岩力学性质、边界形态决定了其内部应力场的均匀程度。当研究范围内地质体无限大时,可视为其处于均匀应力场中,否则需考虑其边界形态对变形的影响因素。

(2)同期生成的相同性质的破裂构造在地质体任意部位出现的概率是均等的,主要断层、节理、裂

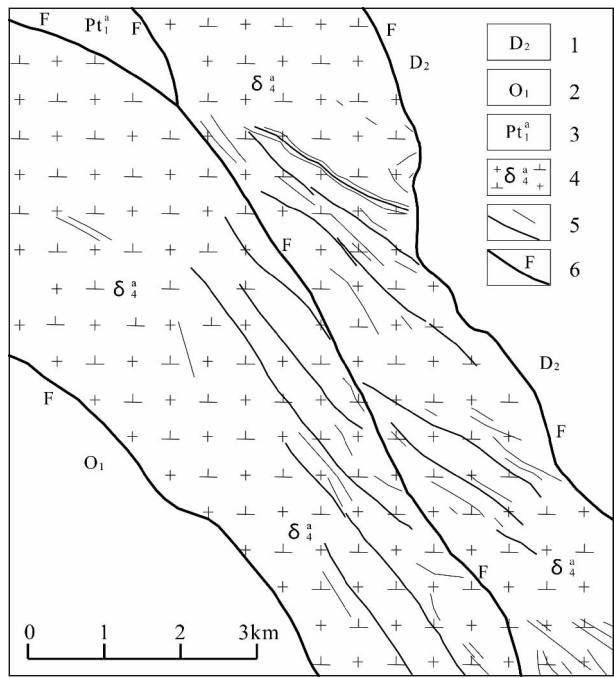


图 7 云南大坪金矿闪长岩中的含金石英脉
Fig. 7 Containing gold quartz vein of diorite at

Daping gold deposit of Yunnan

- 1—灰岩、白云岩、泥质灰岩、页岩;2—砂岩夹砾岩、板岩;
3—片麻岩夹变粒岩、大理岩、透辉石岩;4—闪长岩;5—
含金石英脉(粗者为脉);6—断层
- 1—limestone, dolomite, silty , limestone, shale; 2—sandstones
sandwich mudstone and slate; 3— gneisses sandwich granulite,
marble, and diopsidite; 4—diorite; 5—containing gold—quartz vein
(bold line represents main vein) ; 6—fault

隙均具倾向或走向上的等间距、同倾向、尖灭再现、尖灭侧现等规律,但不能照搬到相邻的层状和非均质地体中。

(3)区域应力场特点对构造变形起主导作用,一般平行于区域主构造线的节理、断层规模最大。

(4)早期形成的破裂密集部位在后期变形中易产生应力集中,使主要节理、破裂带的规模进一步扩大,具尖灭再现、尖灭侧现的破裂带可能会复合成更大规模的破碎带。

(5)地质体三度空间延伸规模差异较大,或边界面形态、产状复杂,或有早期断裂破坏时,其内部、边缘,或不同地段,破裂的均匀性特征会出现较大变异。

2.2.2 矿化特点

块状地质体的矿化蚀变严格受破裂构造控制,常见控矿构造有断层、大型节理、多组节理/断层、节理—裂隙带等;主矿体一般产于规模较大的断层破

碎带、节理、裂隙带中,矿化的强度和规模受破裂的强度、延伸规模、节理/裂隙密度控制;相互连通性越好裂隙带(群)中矿化越强。矿体形态多呈脉状、透镜状、囊状等;主矿体产状与区域主构造线(面)一致,呈平行或斜列的脉群分布,常具有等间距(倾向及走向)、同倾向、尖灭再现、尖灭侧现等规律。

2.2.3 云南元阳县大坪石英脉型金矿实例

云南元阳县大坪石英脉型金矿区。矿区闪长岩属块状地质体,区域主构造呈北西走向。60 余条含金石英脉(矿体)均产于闪长岩内的北西向大型剪切节理中,呈带成群平行产出(图 7),倾向南西。矿区由数个主脉带组成,脉带间距 400 ~ 1000 m,矿体主要产于主脉带内;主脉带之间也有零星小矿脉分布,但规模小。

主脉带内一般有 1 个主矿体,局部段在 50 m 宽范围内可出现 2 ~ 4 个可采矿脉,主矿体单矿脉长 150 ~ 4000 m,倾向延深 100 ~ 800 m,厚 0.05 ~ 2.00 m,平均厚仅 0.23 ~ 0.51 m,具尖灭再现、或向左侧侧现等特点。

原勘探报告中主矿体长多小于 300 m。采矿技术人员利用各主脉带内矿体的尖灭再现等统计规律,追踪石英线脉约 50 ~ 200 m,如未见矿则向左施工 10 ~ 30 m 穿脉,即可找到尖灭左侧现之矿脉。可见原结论有误,所谓独立多个主矿脉实属同一矿脉;认识改变后,矿床规模迅速扩大,目前控制规模为大型。

2.3 非均质地体变形特点与成矿作用

2.3.1 变形与矿化特点

非均质地体中,主要变形制约因素为区域应力场、构造结构面发育程度及其规模、地质体结构均匀程度。各个次级地质体所受应力的方向、应力集中部位都不相同,不同地质体组合变形各有特点。

常见变形有褶皱、断层、节理、裂隙、层间虚脱等。主要断层多继承地质体结构最薄弱的最大结构面发育,破裂面常相互截切、彼此限制;同一破裂带走向、倾向延伸均不稳定,且不同地段破裂程度差异较大,一般容矿空间数量较多,但延伸规模小;大型断层少见,导矿构造总体发育不良。

地质体中一般矿体数量较多,多呈似层状、脉状、透镜状、囊状等,规模较小,一般不具雁行状、尖灭再现、侧现等规律;矿床品位多较富,但规模多以矿点 ~ 小型为主,大、中型矿床罕见。

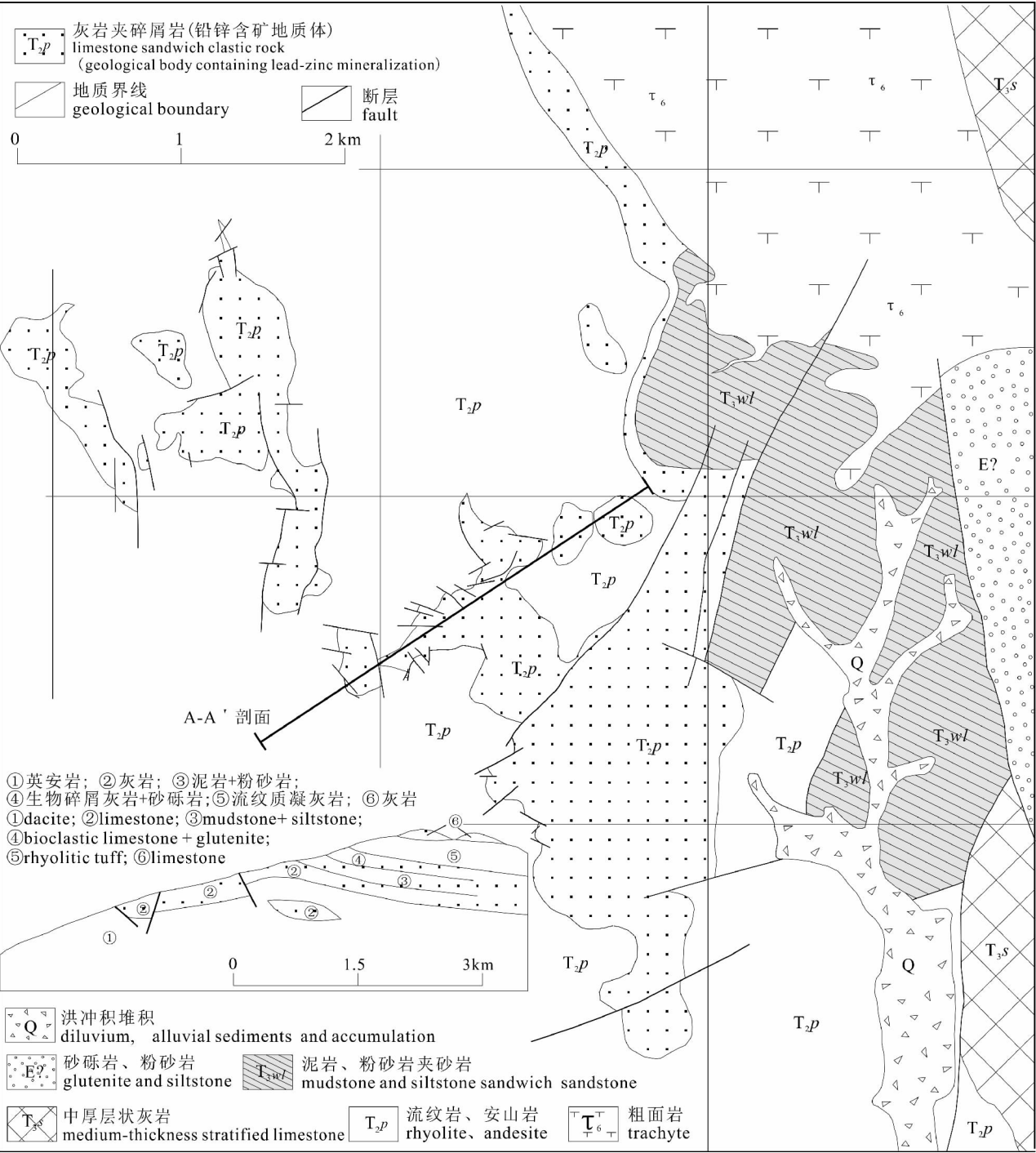


图 8 滇西某铅锌矿区地质图
Fig. 8 A lead—zinc deposit geological map from western Yunnan

2.3.2 滇西某铅锌矿实例

滇西某铅锌矿区, 总体为流纹岩—安山岩为主体的多旋回火山—碎屑沉积岩系。各喷发旋回间隙均沉积了灰岩为主, 夹砂岩、泥质粉砂岩、砾岩的河湖相沉积, 不同岩性层均呈规模不等的透镜体状, 发育中厚层、厚层、块状层、薄层等层理, 总体属非均质

地质体(图 8)。

矿区小型断层、破裂带、节理带发育在具刚性的灰岩地质体及其边缘, 破裂构造数量多, 规模小, 产状相互交切, 缺乏深切火山岩系的大型断裂; 层状地质体中尚有“刚夹柔”、“纯刚式”等次级地质体组合。“纯刚式”地质体以具隐层理的灰岩为主, 其内

部多组节理相互交切,产状极混乱,延长多 $<20\sim 50$ m。铅锌矿化多发生于灰岩破裂带(断层、节理)中,矿化范围约 5 km^2 ,含矿构造主要有穿切灰岩/火山岩界面的小型断层、灰岩内部节理和小断层、“刚夹柔”地质体组合等。

矿体呈囊状、透镜状、脉状,产状零乱,延伸多 $<5\sim 20$ m,厚 $0.1\sim 3.0$ m,单样品位 $\text{Pb}+\text{Zn } 0.5\%\sim 45.0\%$,矿体极分散,可追索性差;最大矿体长约 100 m,受“刚夹柔”地质体组合控制,并随约束性地质体(薄层状的粉砂岩夹层)尖灭或变厚等不利的岩相变化而迅速尖灭。评估认为项目无开发价值。

3 方法的应用概况

3.1 方法的应用概况

Dave Lowell 说“所谓矿石是开采出来有利润的石头”。潜在的资源要有一定数量和质量,矿体要有一定的延伸规模,可以被一定网度的工程所探测,才能确保开采能盈利。一些矿区尽管存在高品位矿石,但成矿地质体组合不利于生成匹配的控矿要素,局部的破裂和矿化发生属偶然事件,矿体的规模太小,分布无规律可循,开发不能获利等情形,本文仍将其界定为无找矿意义的项目。

大多数勘查区,通过地质体及其组合的观察研究,可快速筛选成矿有利的地质体组合,梳理其控矿四要素的具备情况,尤其是容矿构造、封闭条件等容易观察到控矿要素的匹配情况,从而推断矿化的分布规律、矿体可能的延伸规模,对项目的资源潜力做出初步评估;对有进一步勘查价值的项目,通过对成矿有利的地质体组合中结构薄弱面、约束性地质体、结构趋势面的空间变化规律观察,推断矿化变化的影响因素、矿化可能的规模及强度,提出勘查重点和方向、找矿地质体标志等,为勘查方法选择提供依据。

地质体组合构造分析方法源自勘查实践,近年来通过云南 17 例非均质地体、37 例层状地质体勘查项目实践,对 40 多个项目找矿潜力均明确做出了否定的评估意见,其中有后续工程验证的近 20 个项目,评估结论均被证实;对 5 个项目找矿潜力做出了肯定的评估;其余项目因控矿要素出露不完整等多种原因,暂无法做出找矿前景评估,但提出了探索性工作的重点和方向。

本勘查方法耗时短。找矿潜力研究所依赖的地质体一般宏观特征明显,容矿、导矿、封闭构造和成矿物源等控矿要素的观察相对便利,因此项目考察

和研究耗时一般均在 $1\sim 7$ d。如老挝北部某金矿项目急需解决找矿方向问题,诊断过程耗时仅 2 h。该项目已完成地质、磁法和土壤测量,施工探槽数万立方米,钻孔数千米,根据地表工程控制情况,圈连的主矿体呈北西向,据此施工的钻孔见矿都不理想。经大量知名专家现场指导,找矿效果仍不明显。本次研究根据勘查区 Google Earth 的线性影像、区域构造线、化探异常和磁异常带均呈北东走向,推断主矿体应为北东走向;另据钻孔样品分析成果推断矿区至少有两种矿化类型:石英脉型(矿体与围岩的 Au 含量是突变的)、蚀变破碎带型(矿体与围岩 Au 含量是渐变的)。曾建议业主将勘探线调整为北西向,重切勘探线剖面图,并根据以往钻孔资料重新圈地质界线和矿体,再安排下一阶段钻探工作。半年后,业主反馈:按新思路设计的 10 个钻孔中已有 9 个见矿,项目找矿打开了新局面。

3.2 方法的主要特色

地质体组合构造分析方法以地质找矿为宗旨,以构造变形中形成的破裂为导向,寻找、梳理控矿要素匹配较好的地质体(组合)及成矿有利地段,有重点、有目的开展各项工作,重视野外现场考察。其工作方法与传统勘查方法基本相似,着重强调以下问题的观察研究:

(1)按勘查区、矿段、矿体等尺度划分地质体类型及其组合,解决不同尺度地质体找矿问题。

(2)重视综合信息找矿。研究地质、物探、化探、遥感等综合信息与不同尺度地质体、不同地质体组合的关联性,优先开展信息重叠部位的找矿工作,同时重视信息不对称地段的综合解释。

(3)重视断层、节理等破裂现象与地质体及其组合的内在联系,将构造问题转化为地质体研究问题。

(4)重视主要矿化蚀变现象与成矿有利地质体及其组合、主要结构薄弱面、约束地质体、结构趋势面等的必然联系,将找矿关键问题转化为研究地质体及其组合变形规律问题。

(5)重视野外研究,一是通过野外观察,了解不同应力场、不同影响因素、不同地质体组合中岩石的变形差异,研究地质体变形规律性;二是恢复断层、破碎带的岩性,将其回归到地质体及其组合的特定位置,反演其破裂形成的必然性;三是恢复矿体(脉状充填型除外)、矿化蚀变体的原岩,将其回归到地质体及其组合的特定位置,反演其矿化蚀变发生的必然性;四是对脉状充填型矿体,观察其与主要结构

薄弱面、约束地质体、结构趋势面等的必然联系,反演矿体就位的必然性。

(6)重视矿石的结构构造观察研究,梳理矿化原岩破裂的规律,乃至矿化地质体、地质体组合的破裂样式和规律。

(7)重视找矿标志研究,将找矿标志问题转化为寻找地质体标志问题,指导勘查工作部署及工作手段选择。

(8)不同比例尺的综合图件要反映不同尺度的地质体及其组合,便于研究勘查区矿化控制因素和变化规律。

3.3 方法的局限性

实践表明,运用该方法思路,多数项目能较快地做出资源潜力判断,或梳理出找矿方向和勘查思路,指出找矿标志。方法也存在些许局限:

(1)在张性、扭性或张扭性应力环境下的地质体变形规律难以预测。

(2)在区域背景及物化探资料搜集不全、成矿地质体结构要素出露差、各类地质体岩相变化复杂或相变规律不明朗、工程数量及观察样本少等情形下,很难以做出明确的评估意见。

(3)纯刚式、非均质地质体等特殊地质体(组合)的变形影响因素较多,约束条件复杂,其变形及矿化规律难以准确预测。

(4)块状地质体中,破裂及成矿的规律认识需要大量已知工程的统计数据支撑,其准确度与信息量成正比。

4 结论

(1)地质体组合构造分析方法是在地质体分类基础上,提出的一种新的构造研究方法,它以地质体结构不均衡性所产生的变形的差异为研究重点,总结各类地质体的变形机制和破裂形成规律,并提出了以破裂为导向的后生矿床找矿思维。

(2)通过勘查区地质体分类、地质体组合的观察研究,可以初步预判地质体变形的特征,结合地质体组合中各控矿要素的匹配程度,可预判项目的找矿潜力,指出成矿有利部位,指导勘查工作。

(3)方法对大量勘查项目所作的预判和意见多为验证工程证实;大量的矿床学案例中,主矿体在地质体组合中的赋存规律印证了本方法所作的推断。

(4)方法具有较强的实用性,并具有易掌握、可操作性强、研究周期短等特点。该方法的相关思维,在水文地质、工程地质、环境地质、灾害地质调查,油

气勘查等方面有一定的借鉴意义。

(5)方法应用有一定的局限性。当勘查区处于张性、扭性、张扭性等特殊应力环境,地质体结构要素未出露地表,资料不全、观察样本偏少等,以及岩相变化和约束条件复杂的地质体组合内,方法的分析判断受到限制,可能无法做出明确的评估意见。

(6)本文仅提出地质体组合构造分析的基本思路,各类地质体及其组合的变形规律和样式有待通过大量勘查实践进行充实、增补,尤其是块状、“纯刚式”等地质体。

致谢:感谢崔彬教授、柳少波研究员、曾普胜研究员的建设性建议和宝贵意见,邵周全、施建萍等专家的素材。

注 释 / Notes

- ①云南省地质矿产勘查院. 2005. 云南省兰坪县金满铜矿扶贫勘查地质报告.
- ②云南省地质矿产勘查院. 2010. 云南省保山西邑铅锌矿董家寨矿段详查报告.

参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 包正相. 1985. 湘西黔东汞矿带两类不同矿体的产状特征. 矿床地质, 4(4): 81 ~ 88.
- 陈国达. 1986. 成矿构造研究法. 北京:地质出版社, 1 ~ 381.
- 董文伟, 陈少玲. 2007. 镇康芦子园铅锌矿床特征及成因. 云南地质, 26(4): 404 ~ 410.
- 韩润生, 胡煜昭, 王学琨, Hou Baohong, 黄智龙, 陈进, 王峰, 吴鹏, 李波, 王洪江, 董英, 雷丽. 2012. 滇东北富锗银铅锌多金属矿集区矿床模型. 地质学报, 86(2): 280 ~ 294.
- 黄华, 张长青, 周云满, 谢华锋, 刘博, 谢永富, 董云涛, 杨春海, 董文伟. 2014. 云南保山金厂河铁铜铅锌矿床 Rb-Sr 等时线测年及其地质意义. 矿床地质, 33(1): 123 ~ 136.
- 花永丰. 1987. 万山汞矿区汞质沉积成因研究. 矿床地质, 6(3): 69 ~ 76.
- 李定谋, 王立全, 须同瑞, 刁志忠等著. 2002. 金沙江构造带铜金矿成矿与找矿. 北京:地质出版社, 1 ~ 238.
- 李行, 周宗桂, 张茂富, 陈国林. 2015. 江西张十八铅锌矿床地质特征及控矿因素. 地质论评, 61(增刊): 337 ~ 338.
- 李四光. 1973. 地质力学概论. 北京:科学出版社, 1 ~ 131.
- 林焱一, 李良旭, 张辉尧. 2017. 云南兰坪县核桃箐铜矿成矿条件及矿床成因. 云南地质, 36(1): 30 ~ 33.
- 吕昶良, 邓国明, 胡伟. 2013. 云南镇康芦子园铅锌矿成矿条件及赋存规律研究. 地质找矿论丛, 28(4): 529 ~ 534.
- 何智. 2016. 云南金平县长安金矿水文地质特征分析. 云南地质, 35(3): 422 ~ 425.
- 胡云中, 唐尚鹤, 王海平, 杨岳清, 邓坚著. 1995. 哀牢山金矿地质. 地质出版社, 1 ~ 269.
- 缪华清, 李光明, 夏祥标, 马国桃, 李洪梁. 2016. 藏南错那县卡达铅锌矿床地质特征初探. 地质论评, 62(增刊): 171 ~ 172.

- 孙岩,沈修志,黄钟瑾. 1984. 层滑断裂与层控矿床—以苏皖南部上古生界的地层为例. 地质论评,30(5):430~436.
- 王登红,应汉龙,梁英华,黄智龙,骆耀南等著. 2006. 西南三江地区新生代大陆动力学过程与大规模成矿. 北京:地质出版社,1~192.
- 王仁,丁中一,殷有泉. 1979. 固体力学基础. 北京:地质出版社,1~370.
- 翟裕生,林新多主编. 1993. 矿田构造学. 北京:地质出版,1~209.
- 翟裕生,彭润民,向运川等著. 2004. 区域成矿研究法. 北京:中国大地出版社,1~183.
- 张锦章. 2013. 紫金山矿集区地质特征、矿床模型与勘查实践. 矿床地质,32(4):757~766.
- 张伟波,陈玉明,叶锦华. 2017. 巴西瓦赞蒂锌矿床地质特征,地质论评,63(增刊)15~16.
- 张文佑. 1984. 断块构造导论. 北京:石油工业出版社,1~361.
- 钟维敷,许东,李志群,王臣兴,杨功,陈元坤,王蔚,曾妍编著. 2016. 云南省铅锌银矿成矿规律及资源潜力. 北京:地质出版社,1~343.
- 周德忠,李文炎. 1958. 贵州万山汞矿床的地质特征. 地质论评,18(1):11~24.
- 朱志澄主编. 2015. 构造地质学. 北京:中国地质大学出版社,1~261.
- Bao Zhengxiang. 1985&. Mode of occurrence of two different types of ore bodies in the western Hunan—eastern Guizhou mercury ore belt. Mineral Deposit, 4(4):81~88.
- Chen Guoda. 1986#. Research method of metallogenic structure. Beijing: Geological Publishing House, 1~381.
- Deng Hongling, Zhang Changhou, A. Koyi, Hemin. 2013. Identifying the characteristic signatures of fold—accommodation faults, Journal of Structural Geology. 56:1~19.
- Dong Wenwei, Chen Shaoling. 2007&. The characteristics & genesis of Luziyuan Pb—Zn deposit, Zhekang. Yunnan Geology, 26(4):404~410.
- Han Rensheng, Hu Yuzhao, Wang Xuekun, Hou Baohong, Huang Zhilong, Chen Jin, Wang Feng, Wu Peng, Li Bo, Wang Hongjiang, Dong Ying, Lei Li. 2012&. Mineralization model of rich Ge—Ag—Bearing Zn—Pb polymetallic deposit concentrated district in Northeastern Yunnan, China. Acta Geologica Sinica, 86(2):280~294.
- Huang Hua, Zhang Changqing, Zhou Yunman, Xie Huafeng, Liu bo, Xie Yongfu, Dong Yuntao, Yang Chunhai and Dong Wenwei. 2014&. Rb—Sr age of Jinchanghe Fe—Cu—Pb—Zn ploymetallic dposit in Yunnan. Mineral Deposit, 33(1):123~136.
- Hua Yongfeng. 1987&. On The sedimentary genesis of mercury substance in The Wanshan mercury ore district. Mineral Deposit, 6(3):69~76.
- Li Dingmou, Wang Liquan, Xu Tongrui, Diao Zhizhong, Chen Kaixu, Lu Yuanfa, Wei Junqi, Zhou Zhixiang. 2002#. Mineralization and exploration of copper and gold deposits along the Jinshajiang River structural zone, Southwestern China. Beijing: Geological Publishing House, 1~238.
- Li Hang, Zhou Zhongguo, Zhang Maofu, Chen Guolin. 2015&. Geological characteristics and controlling factors of Zhangshiba Pb—Zn Deposit in Jiangxi province. Geological Review, 61(Supp.):337~338.
- Li Siguang. 1973#. Introduction to Geomechanics. Beijing: Science Press, 1~131.
- Lin Yanyi, Li Liangxu, Zhang Huiyao. 2017&. The Metallogenesis condition and genesis of Hetaoqing Cu deposit in Lanping, Yunnan. Yunnan Geology, 36(1):30~33.
- Lü Changliang, Deng Mingguo, Hu Wei. 2013&. Study on Metallogenic conditions and occurrence regularity of Luziyuan Pb—Zn deposit, Zhengkang town, Yunnan Province. Contributions to geology and Mineral Resources Research, 28(4):529~534.
- He Zhi. 2016&. An analysis of hydrogeological feature of Chang'an Au deposit in Jingping, Yunnan. Yunnan Geology, 35(3):422~425.
- Hu Yunzhong, Tang Shangchun, Wang Haiping, Yang Yueqing, Deng Jian. 1995#. Geology of gold deposits in Ailaoshan. Beijing: Geological Publishing House, 1~269.
- Miu Huaqing, Li Guangming, Xia Xiangbiao, Ma Guotao, Li Hongliang. 2016&. A Preliminary study of geological features of Kada Pb—Zn Deposit in Cuona county, South Xizang (Tibet). Geological Review, 62(Supp.):171~172.
- Peter J Hudlestona, Susan H Treagusb. 2010. Information from folds: A review. Journal of Structural Geology, 32:2042~2071.
- Sun Yan, Shen Xiuzhi, Huang Zhongjin. 1984&. Layer slip fractures and stratabound ore deposits—Evidence from Lower Paleozoic Strata in Southern Jiangsu and Anhui. Geological Review, 30(5):430~436.
- Wang Denhong, Ying Hanlong, Liang Yinghua, Huang Zhilong, Luo Yaonan and others. 2006#. Cenozoic continental geodynamics and large scale mineralization in the Sanjiang (Nujiang, Lancangjiang and Jinshajiang) region, China. Beijing: Geological Publishing House, 1~192.
- Wang Ren, Ding Zhongyi, Yin Youquan. 1979#. Fundamentals of solid mechanics. Beijing: Geological Publishing House,1~370.
- Zhai Yusheng, Lin Xinduo eds. 1993#. Study of ore field structure. Beijing: Geological Publishing House, 1~209.
- Zhai Yusheng, Peng Runmin, Xiang Yunchuan. 2004. Regional metallogenic research Method. Beijing: China Land Press, 1~183.
- Zhang Jingzhang. 2013&. Geology exploration model and practice of Zijinahan ore concentrated area. Mineral Deposit, 32(4):757~766.
- Zhang Weibo, Chen Yuming, Ye Jinhua. 2017&. Geological characteristics of the Vazante Zn deposit in Brazil. Geological Review, 63(Supp.):15~16.
- Zhang Wenyou. 1984#. An introduction to fault-block tectonics. Beijing: China Petroleum Industry Press, 1~361.
- Zhong Weifu, Xu Dong, Li Zhiqun, Wang Chenxing, Yang Gong, Chen Yuankun, Wang Wei, Zeng Yan eds. 2016#. Metallogenic regularities and resource potential of lead zinc silver deposits in Yunnan Province. Beijing: Geological Publishing House, 1~343.
- Zhou Dezhong, Li Wenyan. 1958&. Geological features of the mercury deposit in Wanshan, Guizhou Province. Geological Review, 18(1):11~24.
- Zhu Zhicheng eds. 2015#. Structural geology. Beijing: China University of China Press, 1~261.

Structural Analysis Method of Geological Body Combination and Mineral Prospecting

ZHAO Maochun¹⁾, YU Xianchuan²⁾, WANG Zechuan¹⁾, ZHU Yanzhe¹⁾,
CHANG Kaiyong¹⁾, YAO Jinchang³⁾, YANG Liuyang⁴⁾

1) *Yunnan Geology and Mining International Mining Industry Co., Ltd. Kunming, 650051;*

2) *College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing, 100875;*

3) *Yunnan Geology & Mineral Corporation (Group). Kunming, 650011;*

4) *Yunnan Exploration Institute of Geology & Mineral Resources, Kunming, 650051*

Abstract: The structural analysis method of geological body combination that we propose is based on the morphological classification of geological bodies, which is an entirely new kind of structural analysis method. According to structural deformations and diverse mineralization alterations caused by the imbalance of structure of geological bodies, it follows the basic principles of deformation analysis. We analyze the typical deformation (rupture) styles of various geological bodies as well. In addition, this paper summarizes the deformation rule of stratified geological objects. In the field of mineral exploration, we present a rupture – oriented method for mineral exploration from epigenetic deposit. On this basis, we can briefly determine the target area of mineralization potential, prospecting direction to guide the ore body, judging prospecting indications and so on. In each stage of mineral exploration, the novel method has the characteristics of strong practicality and operability, and it is easy to grasp and it has a short period of study and etc. Meanwhile, our method makes a contribution to structural geology and mineral deposits, which has a great theoretical significance.

Conclusion: The structural analysis method is concluded according to the structural deformation diversity and its rule of various geological bodies. And we propose a rupture – oriented method for mineral exploration from epigenetic deposit. Through a lot of practice and application of survey projects, our method has a good effect in guidance of ore prospecting. In a large number of mineral deposits cases, the regularity of main ore bodies in geological body combination confirms the effectiveness of our method. Moreover, the novel method has the characteristics of strong practicality structural deformation study and epigenetic deposit ore prospecting.

Keywords: Geological body combination, structural analysis method, Ore – forming elements, Deformation, Resource potential, Prospecting

Acknowledgements: This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41672323) and the public fund of the Ministry of Land & Resources of China (201511079-02).

First author: ZHAO Maochun, male, born in 1967, senior engineer. Main engaged in mineral resources prospecting. Email: 1084704175@qq.com

Corresponding author: YU Xianchuan, male, born in 1967, professor. Engaged in mathematical geosciences, spatial information processing, and spatial data mining. Email: yuxianchuan@163.com.

Manuscript received on:2017-05-08;Accepted on:2017-09-10;Edited by:LIU Zhiqiang

Doi: 10.16509/j.georeview.2017.06.009