

利用宽谱系岩墙群进行靶区定位的数值方法 ——以新疆南阿拉套山为例

郭 晶 罗照华 刘 晓 姜会营

(中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083)

摘要:本文介绍一种利用宽谱系岩墙群的空间展布特征进行靶区定位的数值方法。基于透岩浆流体成矿理论,岩浆-屏蔽层强相互作用过程中将涌现最大主压应力分布在竖直方向的近场应力场。在这种条件下,屏蔽层中的裂隙系统不同于传统矿田构造学描述的裂隙系统。依岩浆上升速率及屏蔽层岩石学结构和力学性质变化,屏蔽层中可出现不同类型的同成矿裂隙系统,后者往往被成矿期的脉岩充填。由于应力中心的作用力强度大于远离应力中心的部位,自生长裂隙和先存裂隙的密度呈现规律性的空间变化。这种变化控制了含矿流体的运动学特征。因此,可以将岩墙密度和延伸方向数作为量化指标揭示含矿流体大规模聚集的空间位置,后者也是成矿作用的潜在发生部位。用滑动平均法绘制岩墙分布密度图和岩墙延伸方向密度图,将极密区作为有利找矿靶区,分析结果与地质学方法的预测结果高度相似。因此,可以认为本文提供的靶区圈定方法是一种简便有效的方法。

关键词:岩墙分布密度图;岩墙延伸方向密度图;定量圈定;滑动平均法;透岩浆流体

中图分类号:P628⁺.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)02-0423-07

区域成矿潜力的量化评价日益成为成矿预测学关注的话题。量化评价不仅进一步使成矿预测向“用新的更精确的方法减少估算的重大不确定性”的方向改善,同时也更便于找矿^[1]。此外,由于成矿系统的多子系统特性,也要求开发新的可量化元素,为区域成矿潜力的多层次、多尺度、多元素、多类型定量评价奠定基础。近年来,罗照华等将造山带大规模花岗岩岩浆活动之后产出的一期区域性脉岩定义为一种新的火成岩组合,称为造山后脉岩组合或宽谱系岩墙群^[2-3]。这种岩墙群具有近同时形成、宽成分谱系、小体积的特点。构造热体制分析表明,它不仅是一种新的火成岩组合,而且也是造山旋回/阶段结束的标志和成矿预测的指示器^[4]。新疆南阿拉套山出露一套由二叠纪煌斑岩质、玄武质、安山质、英安质和流纹质岩墙(脉)组成的岩墙群,可归属

为宽谱系岩墙群,因而也应当可以用来进行成矿预测。根据透岩浆流体成矿理论的基本原理^[5]、宽谱系岩墙群的空间展布特征和南阿拉套山的地质条件,罗照华等预测了 6 个找矿靶区^[6],它们涵盖了区内已发现的 19 个内生金属矿床(点)中的 15 个,暗示了预测的有效性。

然而,这种预测方法具有较大的人为因素。一方面,需要详细了解区域地质结构及各种潜在控矿要素的空间组合,预测前需要大量的准备工作;另一方面,现有基础地质图件中的疏漏有可能将成矿预测导向错误的方向。因此,能否和如何将岩墙作为一个地质参数来进行量化,是利用宽谱系岩墙群进行成矿预测的关键环节。本文以南阿拉套山为例,阐明了利用宽谱系岩墙群进行区域成矿潜力量化评价的原理和方法,以期快速资源潜力评价提供一种新方法。

收稿日期:2012-06-26;改回日期:2012-11-28

基金项目:中国地质调查局地质调查工作项目(1212011220921)及科技部国际科技合作项目(2010DFB23390)资助。

作者简介:郭晶,女,1989年生,硕士生,岩石学、矿床学、矿床学专业,主要从事矿田构造量化研究;E-mail: guojing5322@126.com。

通信作者:罗照华,男,1956年生,博士生导师,岩石学、矿床学、矿床学专业,主要从事火成岩岩石学、区域岩石大地构造、岩浆作用与成矿研究;E-mail:luozh@cugb.edu.cn。

1 同成矿裂隙系统的力学分析

浅部地壳经历过多次构造变形，裂隙系统相当发育，很难再造成矿期的构造变形特征。但是，宽谱系岩墙群的产出为这种再造提供了有利条件。根据宽谱系岩墙群具有近同时形成的特点^[2]，在这种条件下，岩墙充填的裂隙无论是自生长裂隙还是先存裂隙，都记录了成矿期矿区构造应力场的特征。因此，利用岩墙群的空间展布特征可以再造成矿期构造应力场。

1.1 均一介质条件下的理想模型

根据透岩浆流体成矿理论^[4]，内生金属成矿作用的先决条件是：(1)岩浆快速上升，(2)岩浆被有效屏蔽。据此，致矿岩浆以含有大量含矿流体为特征，不再是普通意义上的岩浆，而是一种高速运动的熔体-流体流。在这种情况下，岩浆必然对屏蔽层造成强力撞击，形成最大主压应力 σ_1 分布在竖直方向的局部应力场。因此，屏蔽层岩石的构造变形以水平拉张的脆性破裂为特征。

假定屏蔽层具有单一水平层状结构且为各向同性的均一介质，同时岩浆的撞击速率足够大，屏蔽层表现为刚性的力学性质（无论是真实刚性还是相对刚性）。换句话说，即使屏蔽层由标准态塑性岩石（如泥质岩石）组成，在岩浆的强力撞击下也可能表现为刚性的力学性质。如图 1-a 所示，岩浆体可看作是对屏蔽层进行击打的力源。假定作用力垂直于屏蔽层底面，受力点为 O，屏蔽层中将形成以 σ_1 为长轴、 $\sigma_2 = \sigma_3$ 为短轴的应力椭球体（图 1-b）。 σ_1 / σ_3 ($= \sigma_2$) 越大，表示岩浆体对屏蔽层作用力 (f) 越强。因此，应力作用中心（图 1-a, A）具有最大的 σ_1 / σ_3 比值，即水平方向的张应力最大；向两侧方向，应力的垂直分量将逐渐减小， σ_1 / σ_3 比值也随之减小。相反，屏蔽层岩石对作用力的应变响应速率则从中心向外相对变大。结果，中心区附近的屏蔽层岩石变形以不规则脆性破裂为主，岩石力学性质对其最终变形样式影响很小；向外逐渐过渡为规则变形和不变形。在这种应力体制下，总存在一个角度 α ，使得在以 $h \tan \alpha$ 为半径的块体中心区（图 1-a 中的 B 区）内岩石发生不规则脆性破裂；也存在一个角度 β ，在以 $h \tan \beta$ 为半径的区域之外岩石不再破裂；介于二者之间的区域（图 1, C），屏蔽层岩石对作用力的应变响应速率与岩浆体对屏蔽层的击打速率相适

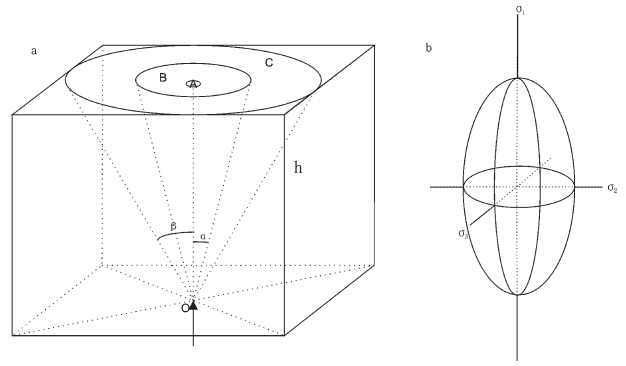


图 1 岩浆-屏蔽层相互作用图解

a—瞬时应力场；A—应力作用中心的平面投影；B—屏蔽层岩石不规则脆性破裂区；C—屏蔽层岩石弹性破裂区；b： σ_1 —最大主压应力； σ_2 —中间主压应力； σ_3 —最小主压应力

Fig.1 Illustration of the interaction between the magma and the shielding layer

a—Instantaneous stress field; A—Plane projection of the center of stress, B—Brittle fracture zones of the shielding layer; C—Elastic rupture area of the shielding layer; b—Stress ellipsoid;

σ_1 —Maximum principal stress; σ_2 —Intermediate principal stress; σ_3 —Minimum principal stress

应，产生规则的破裂变形。因此，平面上可划分出脆碎构造区（图 1-a 中的 B 区）和规则破裂区（图 1-a 中的 C 区）。B 区以发育产状变化多端的不规则裂隙为特征，而 C 区则往往分布有锥状裂隙和放射状裂隙。如果受力点位于较浅的深度水平，岩浆的大规模排气作用会造成应力松弛，屏蔽层塌陷作用可导致 C 区产生环状断裂。当这些裂隙被岩浆充填时，将形成产状不规则岩墙群、放射状岩墙群、锥状岩墙群和环状岩墙群。

1.2 多层水平介质的变形分析

地壳具有多层结构，往往由具有不同力学性质的软、硬岩层互层构成。如前所述，岩浆体以足够的速率强力击打屏蔽层时，屏蔽层岩石可以整体视为刚性介质，不同岩层之间的力学性质差异对最终变形样式影响不大。随着击打速率的减小，岩层之间的力学性质差异将越来越显著地影响其变形样式。考虑一个由软、硬岩石互层构成的多层水平介质条件，裂隙在软岩层和硬岩层中具有不同的生长方式。在这种情况下，应力场的分布特征与 Gudmundsson 描述的火山区存在软硬夹层时的应力场分布^[6]（图 2）类似。由图 2-a 可见，一个内部超压为 5 GPa 的侵入体对上覆岩层的影响不仅与力源的距离有关，也受岩石力学性质的影响。(1)主应力一般沿着有利于其延伸的方向传播，传播方向的改变

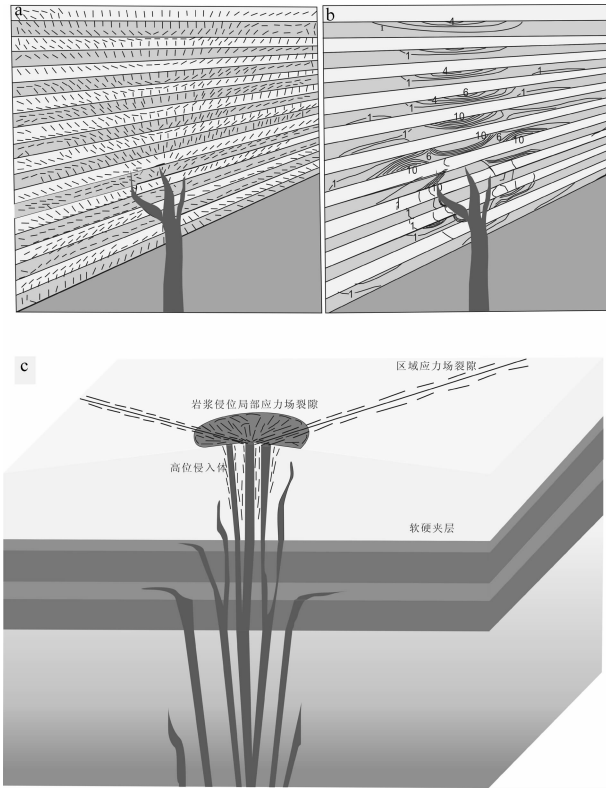


图 2 内部超压为 5 GPa 时侵入体数值模型(据文献[6]修改)和宽谱系岩墙群(WSDS)空间展布的地质模型(详细说明见正文)

a—白色软层刚度为 1 GPa, 浅灰色硬层刚度 100 GPa, 底部深灰色厚岩层刚度为 40 GPa。短线显示最大主应力 σ_1 轨迹, σ_1 方向在图中部侵入体上部的层界面上由竖直(利于岩墙伸展)转向水平(阻止岩墙伸展); b—最小主压应力(最大张应力)级别为 MPa。能到达地表的岩墙往往在最大主张应力的区域内, 从而地表裂隙的位置不在侵入体正上方, 而在倾斜岩层一边, 即左边

Fig.2 Numerical model of an intrusion with internal magmatic overpressure of 5 GPa as the only loading (modified from [6]) and geological model showing the spatial distribution of the wide composition spectrum dike swarm (WSDS) (see the text for details)

a—The white layers are soft, with a stiffness of 1 GPa, the grayish layers are stiff, with a stiffness of 100 GPa, and the thick dark gray bottom layer has a stiffness of 40 GPa. The ticks show the trajectories of the maximum principal compressive stress (σ_1). The direction of σ_1 changes from vertical (favoring dike propagation) to horizontal (favoring dike arrest) at many contacts in the central part of the illustration above the intrusion; b—The same numerical model as in Fig. 5a. the figure shows the magnitudes of the minimum principal compressive (maximum tensile) stress (σ_3) in mega-pascals (MPa). Those dikes that would make it to the surface would tend to be within the regions of maximum tensile stress. Consequently, the location of the volcanic fissures at the surface fed by dikes from this chamber would not be right above the center of the chamber, but rather shifted somewhat in the down-dip direction, that is, to the left

主要发生在软硬岩层的接触边界处。在软硬层边界, 当 σ_1 从软层进入硬层时, 其传播方向由竖直转向近水平; 而从硬层进入软层时, σ_1 的轨迹线变化不会太大。(2)应力在岩层中的传播与岩石的力学性质有关。软层岩石表现为塑性, 更有利于应力吸收, 以塑性变形为特征; 硬层呈现脆性, 不利于应力吸收, 容易形成碎性破裂。(3)由于岩石的应变强度随温度变化, 且大岩浆体可以向围岩输出更多热能, 大岩浆体和小岩浆体的围岩具有不同的变形样式。大岩浆体侵位时, 围岩受热时间较长, 力学性质被弱化后可视作软层, 不利于形成竖直向上的开放式岩浆通道。因此, 许多大岩基的顶界面都是大致水平的或低角度倾斜的^[7]。小岩体具有瞬时性侵位的特点^[8], 其上覆岩层可以看作是刚性的, 有利于岩浆快速上升。(4)岩浆侵位中心区的最大主应力迹线是竖直的; 越远离侵位中心, 最大主应力迹线倾斜角度越大。如果相应的裂隙系统被岩墙充填, 可以预期, 中心区岩墙较发育, 其产状近于直立; 越远离中心, 岩墙发育程度越差, 其倾角越缓。

1.3 多层倾斜介质的变形分析

上述两种情况均假设岩浆侵入体的击打力作用方向垂直于上覆岩层的层界面, 更一般的情况应当是作用力方向与层界面斜交。在这种情况下, 作用于屏蔽层及其各组成单元的击打力将发生分解, 产生与界面垂直和平行的两个分量。垂直界面分量类似于上述两种模型中远离应力中心的应力场分布(图 2-a,b), 与火山区岩浆房内压力导致的上覆岩层应力场分布^[6]类似, 具有较小的 σ_1/σ_3 值。这时, 岩浆侵位形成的裂隙密集区不在侵入体正上方, 而是稍微有一些偏向倾斜的一边(图 2-a,b)。笔者认为岩墙会沿着最大张应力集中的方向伸展, 能到达地表的岩墙几乎都被圈闭在最小主应力集中的范围之内。因此, 这种张应力集中区往往是岩墙密集分布区。同时, 水平分量会诱导层间拆离, 有利于岩床的侵位。作用力方向与层界面交角越大, 越有利于形成岩墙; 反之, 则有利于形成岩床。

2 宽谱系岩墙群空间展布的地质模型

综上所述, 无论区域应力场具有挤压还是拉张性质, 岩浆-屏蔽层相互作用都会产生主压应力垂直于屏蔽层界面的局部应力场。在这种应力场中, 构

造裂隙的空间展布形式随着远离应力作用中心的距离呈有规律的变化。如果所产生的裂隙被岩浆充填,岩墙的展布形式也应当呈现规律性变化。一般而言,应力中心岩墙数量更多,其延伸方向更为杂乱。因此,理论上可以利用岩墙分布密度和延伸方向定位古应力作用中心。

众所周知,火山系统发育放射状、锥状和环状岩墙群^[6]。如上所述,放射状和锥状岩墙群是岩浆强力作用于屏蔽层时侵位的岩墙群,而环状岩墙群则是岩浆内压力衰减时岩浆侵位的产物。宽谱系岩墙群侵位时的应力场特征与此类似,因而也可能产生这三类岩墙(图 2-c)。理想情况下,这三类岩墙群很容易区分。但是,经过多期构造变动的浅部地壳必然存在一些先存裂隙,后者在岩浆-屏蔽层相互作用期间将优先活动,因而岩墙将优先充填活化的先存裂隙。如图 2-c 所示,两组先存裂隙的交汇处附近成为后期岩墙侵位的中心区。在这里,无论是自生长裂隙还是先存裂隙都可以被同成矿岩墙充填。远离中心区,岩墙主要充填在活化的先存裂隙中。因此,很容易根据岩墙的分布密度及其延伸方向识别岩浆-屏蔽层强相互作用的中心区。由于应力作用中心区也是含矿流体汇聚区,岩墙密集分布区可作为潜在的有利找矿靶区。

需要注意的是,屏蔽层的岩石学结构及其组成岩石的力学性质会影响岩墙的分布特征。相邻岩层力学性质差异较大时,部分、甚至大部分岩浆可以被圈闭在软、硬岩层的界面附近形成岩床(图 2-c)。这时,即使在应力作用中心区,岩墙分布密度也未必很大。因此,岩墙分布密度是一个相对概念,尚不足以用来定量评价区域成矿潜力,但应当可以定量圈定潜在的找矿靶区。

3 宽谱系岩墙群空间展布特征的数值方法

上述分析表明,如果区域地质调查过程中详细、客观地标示了各类岩墙,根据岩墙的分布密度和地质产状可以很容易地识别局部应力场作用的中心位置(图 3-a)。但是,由于图件承载地质内容的能力有限性和地质工程师在填图过程中的疏忽,地质图常常不能客观地展示宽谱系岩墙群的空间分布特征。此外,上述方法只能定性圈定岩墙密集分布区,具有一定的人为因素。因此,本文试图对岩墙群的产出特

征进行数值化,以达到定量圈定潜在找矿靶区的目的。根据上述分析,岩墙分布密度、延伸方向密度、倾向、倾角、长度、宽度、岩石类型等都可能被参数化。但是,具体工作中一般难以获得完整的岩墙地质参数,有些参数甚至是错误的(如岩石名称)或示意性的(如岩墙的厚度)。因此,本文仅以南阿拉套山为例对岩墙分布密度和延伸方向密度进行数值化。

如图 3-a 所示,南阿拉套山的岩墙显示出不均匀分布特征。根据这种分布特点以及岩墙群与其他地质体的相互关系,罗照华^[9]等圈定了 6 个找矿靶区,涵盖了区内已知 19 个矿床(点)中的 15 个,预测效果良好。但是,这种方法具有较大的人为因素,也要求预测工作建立在较详细了解区域地质情况的基础之上,不利于推广使用。本文采用了一种称为滑动平均法的参数化方法,并定义了两个重要参数:岩墙分布密度和岩墙延伸方向密度。岩墙分布密度系指单位面积内出现的岩墙个数,而延伸方向密度则是指单位面积内岩墙延伸方向的数量。具体方法如下。

(1) 地质图的网格化。将区域地质图导入 AutoCAD 软件平台(或其他类似的软件平台),取 1 km² 作为基本统计单位进行网格化(图 3-b 中的黑色网格)。统计单位的面积可以根据图件的精度调整,暂时未作严格约定。

(2) 岩墙数的读取。逐格读取单位面积内出现的岩墙的数量。不管所涉及的岩墙是否延伸到相邻单元格,只要出现在本单元格的岩墙都应当计数,并将岩墙数标记在单元格中心。

(3) 二次网格化和读数。以一次网格的中心为结点对区域地质图进行二次网格化(图 3-b 中的灰白色网格),再次逐格读取单位面积内出现的岩墙数,并将岩墙数标记在单元格中心。二次网格化的目的是尽量避免在统计数据由于离散数据产生的误差。

(4) 绘制岩墙分布密度图。数据生成后,去掉网格得到一张岩墙数量分布图(图 3-c)。该图中的每一个数字包含岩墙的数量及网格中心的 x 、 y 坐标。将这三个参数导入 Surfer 软件平台,可自动生成岩墙分布密度图(图 3-d)。本文以图幅的左下角作为坐标原点,依次读取网格中心的 x 、 y 坐标值及其岩墙数量。也可以直接用岩脉空间展布图上的经纬坐标和大地坐标。

(5) 绘制岩墙延伸方向密度图。同样的方法也用于岩墙延伸方向的数值化。为此,本文约定将延伸方

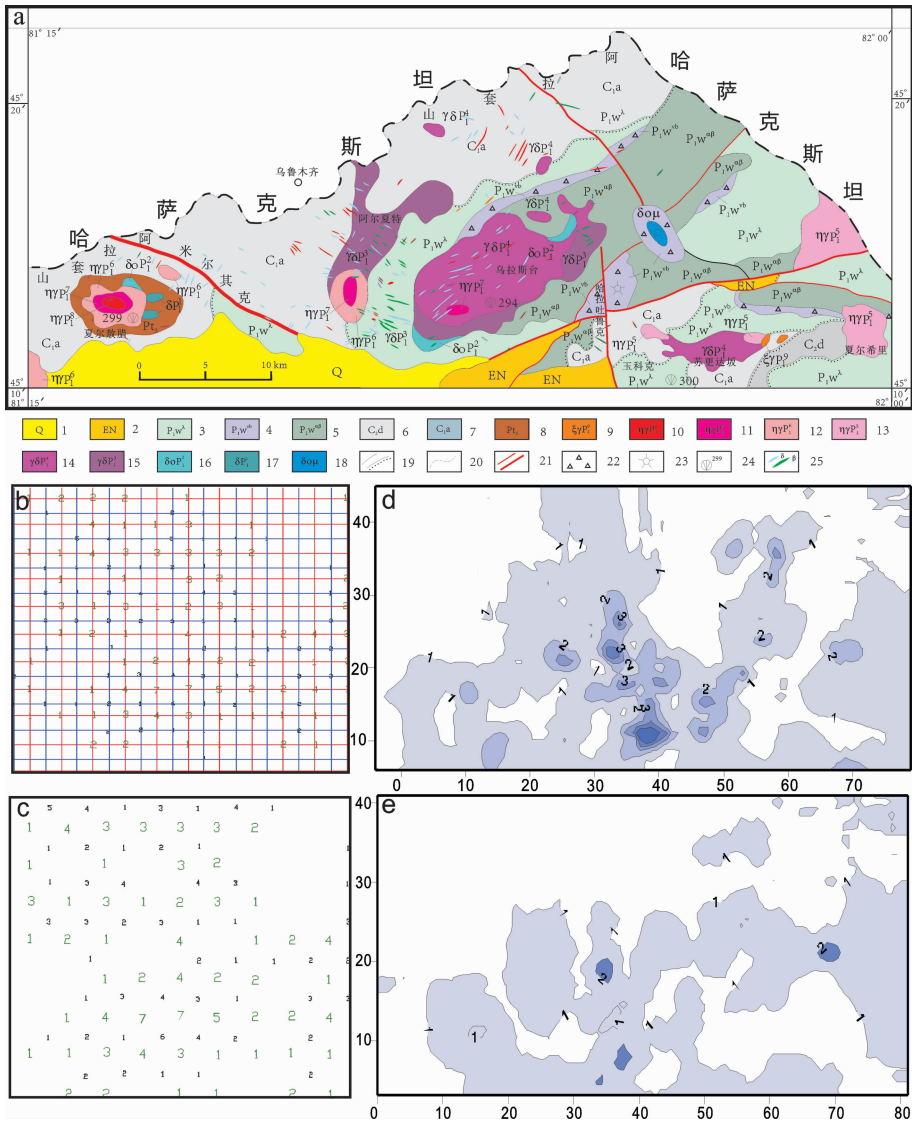


图 3 南阿拉套山东段岩脉空间展布图(据文献[5]修改,引自罗照华等,2012)和宽谱系岩墙群空间分布特征的数值化
 a—岩脉空间展布图;b—网格化和岩墙计数;c—去掉格网后的岩墙数分布图,便于导入 Surfer 时建立坐标;d—岩墙分布密度图;
 e—岩墙延伸方向密度图

Fig.3 Distributive map of dikes in the eastern segment of the South Alataw Mountain (modified after [5]), and character of spatial distribution of (WSDS) after numeralization.

a—Distributive map of dike; b—Data gridding and dike counting; c—Dike amount distribution taking grid away; d—Contour diagram of the dike density; e—Contour diagram of the dike stretching direction density

向在 15°范围内的岩墙视作为具有相同延伸方向的岩墙。例如,延伸方向介于 352.5°~7.5°作为近南北向,以此类推。重复步骤(1)~(4),可获得岩墙延伸方向密度图(图 3-e)。

4 预测靶区的圈定

鉴于流体中成矿金属的溶解度与温度和压力呈正相关^[9],岩浆(熔体-流体流)必须高速上升才具有

较大的成矿潜力^[4]。换言之,含矿岩浆需要有相对良好的构造通道。因此,断裂交汇部位往往是致矿侵入体赋存的部位。如前所述,这种部位也是岩浆-屏蔽层强相互作用的中心区。在这里,不仅发育各种不同延伸方向的自生长裂隙,也存在活化的先存裂隙。由于同成矿岩墙的充填,这些部位不仅岩墙分布密度较高,也具有高的岩墙延伸方向密度。理论上,岩墙极密区和岩墙延伸方向极密区都可以代表岩浆-屏

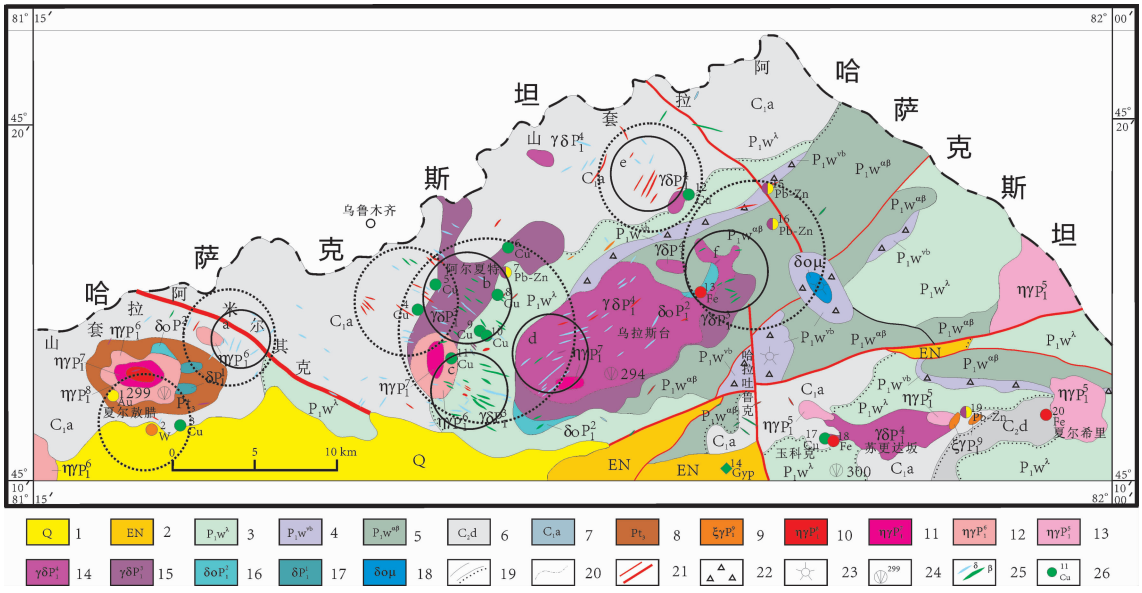


图4 南阿拉套山与宽谱系岩墙群有关的找矿靶区(据文献[5]修改)

实线圆圈为依据岩脉分布密度图圈定靶区,虚线圆圈为地质学定性方法预测靶区;a—米尔其克岩体靶区; b—伯勒根乌苏—科克塔舒根乌苏靶区;c—阿尔夏提靶区;d—乌拉斯台靶区;e—布图哈马尔靶区;f—诺尔特靶区

Fig.4 The prospecting area targeted using the dike patterning in the South Alatau Mountain (modified after [5]). Delineation region using contour diagram of the dike density distribution is circles in solid lines while delineation region using geological and qualitative method in dotted lines

蔽层强相互作用的中心区,因而也是潜在的找矿靶区。考虑到岩墙充填于张性裂隙中,野外实测的岩墙延伸方向可能含有某种不确定性,本文主要根据岩墙分布密度(图3-d)来圈定找矿靶区。

将生成的等值线图进行修正,去掉繁冗的岩脉密度低(等值线上的数字是1)区域的等值线,可以在南阿拉套山地区圈定6个找矿靶区(图4):a)米尔其克岩体靶区;b)伯勒根乌苏—科克塔舒根乌苏靶区;c)阿尔夏提靶区;d)乌拉斯台靶区;e)布图哈马尔靶区;f)诺尔特靶区。为了对比,图4中同时标示了基于地质学方法定性预测的找矿靶区。可以发现,定量预测与定性预测的结果高度一致。据此可以认为,本文提出的利用宽谱系岩墙群进行靶区定位的数值方法是可行的。

5 结论

本文的研究表明,WSDS的地质产状容易被数值化,是一种简便的找矿预测新方法。特别是,本文提供的靶区圈定方法具有较强的容错性。换句话说,地质填图过程中可能人为地忽略了某些岩墙的存在,也可能岩墙岩石定名不正确,对本文提供的方法

的效果没有显著影响。考虑到中国已完成大量1:5万区调填图,这种方法的应用可以快速评价区域成矿潜力。据此,可以得出如下结论:

- (1)宽谱系岩墙群的地质产状要素可以进行数值化,并可以将数值化结果用于圈定找矿靶区。南阿拉套山的研究表明,本文提供的数值化方法与地质学方法的预测效果高度一致,暗示了数值化方法的可行性。
- (2)与地质学方法相比,数值化方法具有简便易行的特点,有利于推广应用。
- (3)利用已有的1:5万地质图或填图过程中生成的地质草图可以进行成矿预测,其结果至少可以作为进一步矿产勘查立项的依据之一。

参考文献(References):

[1] 赵鹏大.成矿定量预测与深部找矿[J]. 地学前缘, 2007, 14(5): 1-10.
Zhao Pengda. Quantitative mineral prediction and deep mineral exploration[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(5): 1-10(in Chinese with English abstract).

[2] 罗照华, 卢欣祥, 王秉璋, 等. 造山后脉岩组合与内生成矿作用[J]. 地学前缘, 2008, 15(4): 1-12.
Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Wang Binzhang, et al. Post-orogenic

- dike complexes and implications for metallogenesis[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(4):1–12(in Chinese with English abstract).
- [3] 李德东, 罗照华, 周久龙. 岩墙厚度对成矿作用的约束: 以石湖金矿为例[J]. *地学前缘*, 2011, 18(1):166–178.
- Li Dedong, Luo Zhaohua, Zhou Jiulong. Constraints of dike thicknesses on the metallogenesis and its application to the Shihu gold deposit [J]. *Earth Science Frontiers*, 2011, 18 (1):166–178(in Chinese with English abstract).
- [4] 罗照华, 卢欣祥, 陈必河. 透岩浆流体成矿作用导论[M]. 北京: 地质出版社, 2009:1–168.
- Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Chen Bihe. Introduction to the Metallogenic Theory on the Transmagmatic Fluids [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009:1–168(in Chinese with English abstract).
- [5] 罗照华, 陈必河, 江秀敏. 利用宽谱系岩墙群进行勘查靶区预测的初步尝试: 以南阿拉套山为例[J]. *岩石学报*, 2012, 28(7):1949–1965.
- Luo Zhaohua, Chen Bihe, Jiang Xiumin. A preliminary attempt for targeting prospecting districts using the wide composition– spectrum dike swarms: An example of the South Alatao Mountains, Xinjiang, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28 (7):1949–1965 (in Chinese with English abstract).
- [6] Gudmundsson A, Philipp S L. How local stress fields prevent volcanic eruptions [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2006, 158:257–268.
- [7] Cruden A R. Emplacement and Growth of Plutons: Implications for Rates of Melting and Mass Transfer in Continental Crust [M]. Cambridge University Press, 2006:455–519.
- [8] Petford N, Cruden A R, McCaffrey K J W, et al. 2000. Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust[J]. *Nature*, 408(7):668–673.
- [9] Loucks R R, Mavrogenes J A. Gold solubility in supercritical hydrothermal brines measured in synthetic fluid inclusions [J]. *Science*, 1999, 284:2159–2163.

A quantitative method for target prediction using the wide composition– spectrum dike swarms: A case study of the South Alataw Mountain in Xinjiang

GUO Jing, LUO Zhao–hua, LIU Xiao, JIANG Hui–ying

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstracts: A numerical method is presented for spatial targeting by parametrizing distribution of the wide composition–spectrum dike swarms (WSDS). According to the metallogenic theory on the transmagmatic fluids, the local stress field with a vertical maximum principle stress axis emerges when violent interaction between the magma body and the shielding layer takes place. Consequently the corresponding fissure system differs from the fissure system described in the traditional structural geology of orefield. In accordance with a variety of ascending rates of magma and textural and mechanical properties of the shielding layer, there would be several types of syn–metallogenic fissure subsystems, in which veins of metallogenic period usually fill. Because the strength of effort at the center is much stronger than that at the surrounding places, the pre–existent and the self–propagated fractures show regular spatial patterns both in density and in direction, which determine the kinematics of fluids. So the density of dikes and their stretching directions can be considered as quantitative indexes to target the potential locations in which ore–bearing fluids are extensively cumulated, and mineralization occurs. Using moving–average method to get the contours of the dike densities and the dike stretching directions, the authors regard the maximums as the prediction targets. The result is highly consistent with that analyzed by the geological method. Therefore the quantitative method offered in this paper is effective.

Key words: contour diagram of dike density; contour diagram of dike stretching direction density; quantitative delineation; moving–average method; transmagmatic fluid.

About the first author: GUO Jing, female, born in 1989, master candidate, engages in exploration of quantification of mine field structure; E–mail: Guojing5322@126.com.

About the corresponding author: LUO Zhao–hua, male, born in 1956, supervisor of doctor candidates, engages in the study of magmatism and metallogenesis; E–mail: luozh@cugb.edu.cn.