

华南花岗岩型铀矿的成因模式、 数学模型和断裂成矿潜力估计法

李明连

(核工业华南地勘局 290 研究所, 广东韶关)



本文基于对华南花岗岩型铀矿的成因模式和数学模型分析, 提出了一种适用于华南花岗岩区各级序成矿断裂铀资源评价的方法——断裂成矿潜力估计法。这种方法, 因把工作重点放在断裂上, 它具有工作最少而收效好的优点。文中列举的实例表明, 在华南花岗岩区用该方法作铀资源评价, 效果优于其他方法。

关键词 花岗岩型铀矿 成因模式 数学模型 断裂成矿估计法

华南是中国花岗岩型铀矿重要的产出地区。对该类型铀矿资源的评价, 笔者基于成因模式和数学模型分析, 提出了一种新的方法, 即断裂成矿潜力估计法。下面论述其原理、方法和步骤。

1 华南花岗岩型铀矿的成因模式和数学模型

1.1 成矿模式

花岗岩型铀矿是指在空间上和成因上均与花岗岩关系密切的铀矿。这类铀矿具有以下的主要地质特征:(1)岩体的含铀量高。据统计, 区内产铀岩体的含铀量为9—34 ppm, 多数大于15 ppm, 超过酸性岩铀克拉克值的4倍。(2)岩体不同程度地经受了大面积的以白云母化为特征的成矿期前变质和蚀变, 使其中的铀发生了活化改造。(3)矿化受白垩—第三纪的断陷带控制, 且常与盆地中的陆相红层及热泉伴生。控矿断裂具有规模大、破碎蚀变强、活动时间长、控岩控盆和充填硅质等特点。(4)矿化严格定位于不同类型、不同级次的断裂构造的复合部位, 热液活动迹象明显。(5)矿石矿物成分单一, 工业铀矿物以沥青铀矿为主。经稳定同位素分析, 证明矿质取自围岩。

根据矿化产出的地质特征和与其相伴生的地质事件, 笔者提出的成矿模式^[1]的基本要点是: 在晚白垩世到早始新世炎热干旱—半干旱气候条件下, 来源于大气降水而又从围岩中汲取了铀的地表水和潜水, 从蚀源区和补给区向断陷带汇聚, 进入深大断裂系统, 并通过构造裂隙和岩石孔隙向下渗透。在渗透过程中, 由于围岩含活性铀并缺少还原物质, 下渗水继续从围岩中汲取可溶性成分和铀, 使矿化度、盐度和含铀量逐渐增高, 温度也随深度升高, 形成矿液, 谓载铀液。另一方面, 地壳深处含H₂S等还原物质的贫铀热流体, 在温度差和压力差的驱动下, 也沿断裂系上升。在一定深度上这两种组分和性质截然不同的溶液相遇混合。在相遇深度(据成矿温度和成

本文1990年8月收到, 1991年6月改回, 朱裕生、罗正华编辑。

矿压力估算约 2—3 km) 所构成的温度、压力和化学条件下, H_2S 与 UO_2^{2+} 发生氧化还原反应, 形成沥青铀矿的沉淀。由于上升的热流体对下渗的载铀液起卸“载”作用, 故称卸铀体。成矿后的残余矿液按照流体力学中的贝努利定律从次级断裂向主断裂汇聚返回地表。有的形成温泉或进入地表水循环体系, 有的又参加下一轮循环。在这一循环中, 下渗水载着铀源源不断地流到成矿区, 卸下铀后又返回地表, 如此往复不断。铀矿就在循环中逐步形成 (图 1, 2)。

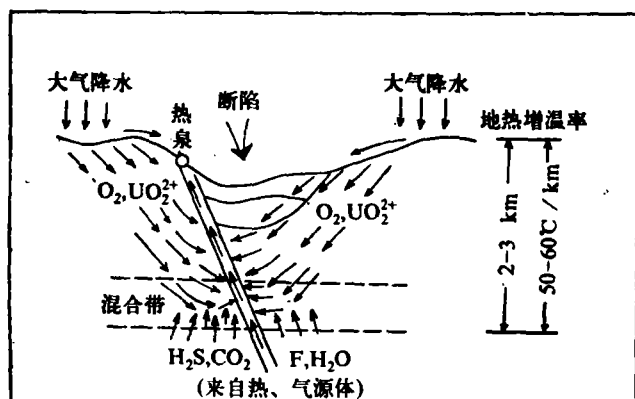


图 1 UO_2^{2+} 的表生汲取卸“载”的富集成矿示意图

Fig. 1 Diagram showing the UO_2^{2+} concentration and ore formation by supergene intaking and unloading of UO_2^{2+}

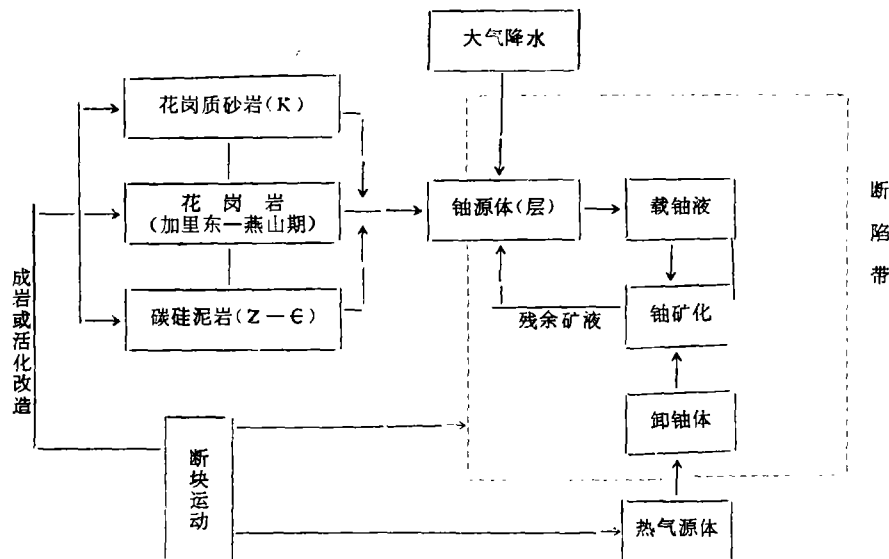


图 2 UO_2^{2+} 的表生汲取卸“载”的富集成矿模式框图

Fig. 2 Frame of the metallogenetic model for the concentration of UO_2^{2+} by its supergene intaking and unloading

本成矿模式较好地解释了华南花岗岩型铀矿的主要地质特征和其他有关的地质现象, 并对矿液循环和矿液如何在循环中使铀富集成矿作了详细地、科学地阐明。为建立该区本类铀矿成矿的数学模型奠定了基础。

1.2 数学模型⁽²⁾

按上述的成矿模式, 成矿断裂在成矿累计时间 T 的微分 dt 内的铀富集量 dS , 可用(1)式表示:

$$dS = dS_1 + dS_2 - dS_3 \quad (1)$$

式中, dS 为成矿期成矿断裂中铀的瞬时富集量。 dS_1 为载铀液瞬时从地表带入断裂的铀量。 dS_2 为载铀液从断裂破碎岩石中瞬时汲取的铀量。 dS_3 为残余矿液从断裂中瞬时带出的铀量。从式(1)可见, 成矿断裂在成矿期成矿作用得以持续的必要和充分条件, 是瞬时铀富集量 $dS > 0$, 也就是载铀液从地表和断裂破碎岩中瞬时汲取的铀量之和, 多于残余矿液瞬时从断裂中带出的铀量。

取式(1)在成矿累计时间 T 内的积分

$$\int_{(T)} dS = \int_{(T)} dS_1 + \int_{(T)} dS_2 - \int_{(T)} dS_3 \quad (2)$$

得

$$S = S_1 + S_2 - S_3 \quad (3)$$

式(3)中, S 为成矿断裂中铀的富集量。 S_1 为成矿期载铀液从地表带入断裂的铀量。 S_2 为成矿期载铀液从断裂的破碎岩石中汲取的铀量。它是花岗岩型铀矿成矿的物质基础, 称为断裂的成矿潜力。 S_3 为成矿期残余矿液从断裂中带出的铀量。

很明显, 成矿断裂中铀的富集量 S , 与成矿累计时间 T 的关系密切。在 $dS > 0$ 时, 成矿期持续时间愈长, 铀富集量 S 越大。成矿断裂成矿的必要和充分条件是 $S > 0$, 且数量和质量均符合工业标准。

由上述诸表达式可知, 断裂中形成大矿、富矿的条件有“富铀源”、“强还原”、“长时间”、“短空间”四点。也称四要素。凡与成矿有关的地质因素皆围绕这四要素起作用。

“富铀源”指成矿有丰富的物质来源。“强还原”指在地下一定深度上有强烈的还原环境, 使矿质沉淀的速率高。“长时间”指成矿累计时间长。“短空间”指断裂系内成矿中心不宜过多, 容矿空间不宜过大。

华南花岗岩型铀矿数学模型的建立又奠定了断裂成矿潜力估计法的理论基础。

2 断裂成矿潜力估计法

2.1 原理

由上述的成矿模式和数学模型, 在华南花岗岩型铀矿的形成过程中, 铀主要来自成矿断裂本身的蚀变破碎岩, 因此, 断裂的成矿潜力, 即成矿期载铀液从断裂破碎岩中汲取的铀量, 与同时期断裂中的铀富集量, 和断裂中现在保有的铀资源量(该资源量被定义为断裂的铀成矿远景), 三者间有着至关重要的联系。在一定的条件下, 断裂的成矿潜力可近似地等于断裂的铀富集量, 乃至断裂的铀成矿远景。

所谓断裂成矿潜力估计法, 就是利用这种关系, 用断裂的成矿潜力来估计断裂的铀富集量, 并进而估测断裂的成矿远景的一种方法。其中的关键, 在于如何进行断裂的成矿潜力估算。

按照成矿模式的基本要点, 在矿液的循环中, 断裂内的载铀液下渗区, 因处于氧化环境而蚀变破碎岩中的铀被汲取; 混合带因处于氧化还原交替环境矿液中的铀被沉淀; 而在卸铀体上升区, 岩石中的铀无明显的迁移。根据这种情况, 以铀在断裂中分散富集的状况, 可以把成矿断裂沿走向和倾向分为汲取段、富集段和原生带三部分。而非成矿断裂, 则富集段发育不全或者缺失。

汲取段, 是指断裂中铀元素贫化的地段。这是成矿期载铀液活动的区域。其范围大, 岩石的平均含铀量低于原岩。富集段, 是指断裂中铀元素富集的地段, 即通常所说的矿化段。其范围较小。原生带的总体位置在前二者之下, 岩石中的铀无明显的分散富集, 基本上保持成矿前的含量。

汲取段与富集段和原生带相比, 主要差别是在岩石的含铀量上。此外, 在岩石性质、物质成分和蚀变种类以及断裂的结构面性质等方面, 也有较大的差异。笔者在野外观察过的汲取段, 一般具有含铀量低、含氧化物和远矿蚀变(硅化、粘土化)发育等特点。

断裂的成矿潜力,与汲取段规模、岩石破碎蚀变的范围和强度、岩石的性质及其含铀量密切相关。

设断裂影响范围内岩石破碎前后的总质量不变,则断裂成矿潜力有表达式

$$S_2 = \sum_{i=1}^n L_i W_i H P_i U_i \quad (4)$$

式中, S_2 为断裂的成矿潜力, L_i 为 i 汲取段长度; W_i 为 i 汲取段的平均宽(厚)度; H 为成矿深度; P_i 为 i 汲取段蚀变破碎岩的平均体重; U_i 为 i 汲取段成矿深度范围内围岩平均含铀量与断裂蚀变破碎岩平均含铀量的差值; i 为汲取段编号; n 为汲取段数目。此式可在野外用于断裂成矿潜力计算。

一般说来,求出了 S_2 , 只能以此估计断裂的铀富集量。若估测断裂的成矿远景,还要考虑后生破坏和剥蚀等因素,并排除因铀的非工业富集可能带来的干扰,在确定了成矿潜力和成矿远景之间的关系之后,把 S_2 乘上一个在区间 $[0,1]$ 上变化的系数 k 。即

$$S' = k S_2 \quad (5)$$

式中的 S' 为断裂的成矿远景。

这里还需说明的一点是,鉴于华南花岗岩型铀矿的平均年龄是 80×10^6 年,而铀的主要同位素 U^{238} 的半衰期达 4.486×10^9 年,故铀自身蜕变对 S_2 的影响不大。据计算,现代断裂中铀的成矿潜力约为成矿结束时铀的成矿潜力的 0.988。也就是说,用现代取样分析数据代替成矿时的相应数据(这些数据在现代是无法采取的)所计算出来的 S_2 , 不仅接近断裂的成矿潜力理论值,且更具有现实意义。

2.2 断裂成矿潜力和成矿远景计算

根据铀矿化空间分布常受断裂构造级序制约^[3]的特点,结合资源评价的比例尺,断裂成矿潜力计算应该按区域性主干断裂、地区性导矿断裂和局部性的布矿断裂逐级进行,以分别估算成矿带、矿田和矿床的远景。

算前,首先要求通过地质观察和系统取样确定汲取段范围。具体作法是沿断裂走向按一定间距布置若干横穿断裂的短剖面;再在剖面上按一定点距取样分析,求出破碎蚀变岩与围岩的含铀量差值 U_i , 以此作为划分汲取段、富集段和原生带的依据。样品要求是未经风化的。

若测区作过原生晕测量,则可直接利用其测量成果。

在完成上述工作的同时,还应求出式(4)中的其他参数。

L_i 可在适当比例尺的地质图上直接量取或野外实测。考虑到成矿时矿液的循环是在相互贯通的断裂系中进行的,都应注意断裂的组合特点,既不要漏测,也不要多测。

W_i 只能取野外实测资料。

P_i 可借鉴前人资料或者实测,亦可取有关岩石的通常值。

H 值的确定,可根据矿物温度计和矿物压力计,或者包体测试资料。在缺乏这些资料时,可采用本成矿模式的理论成矿深度(2—3 km)。

当断裂的成矿潜力求出之后,若想把它换算为成矿远景,则需依据控制区资料。控制区的选择与一般矿产资源评价方法要求的相同。控制区圈定后,先求出各成矿断裂的成矿潜力,把它与查明储量相比,求出换算系数,再外推到预测区。显而易见,换算系数 k 的精度,还要受控制区勘探程度的制约。

控制区内断裂的成矿潜力与相应的查明储量可相比拟,这应是在测区采用断裂成矿潜力估计法的一个条件。如控制区内无查明储量与成矿潜力相比,或者无控制区,也应根据铀矿床的识别准则,选择成矿地质条件较好的地区从事此项工作。

若预测工作的精度要求较低, 则无需作这种换算。

在求断裂成矿潜力的过程中, 可能会遇到这样的情况, 即由于 U_i 小而 S_2 值也小。 U_i 值小有两种地质解释: 一是断裂在成矿期的构造热液活动微弱; 二是断裂虽有较强的成矿期构造热液活动, 但剥蚀深度已达原生带。前者说明断裂无成矿潜力, 后者说明断裂无成矿远景。这两种情况都说明断裂无成矿远景。因此, 依据断裂成矿潜力计算结果对断裂所作的评价都不失其正确性。

2.3 实例

作为实验, 我们用断裂成矿潜力估计法估算了广东 XZ 矿田的铀成矿远景, 并据此提出了该区 1/5 万的铀资源评价结果^①。

XZ 矿田位于 GD 花岗岩体的东部内外接触带, 面积数百平方公里。岩体是燕山期构造岩浆活动的产物, 由三期五阶段花岗岩浆侵入而成, 呈岩基状。主体 $\gamma_2^{(1)}$ 中粗粒斑状黑云母花岗岩, 平均含铀量 16.3 ppm。补体 $\gamma_2^{(3)}$ 、 $\gamma_2^{(3)A}$ 、 $\gamma_2^{(3)B}$ 细粒花岗岩, 平均含铀量 28.5~33.5 ppm。各期次花岗岩副矿物中都含有晶质铀矿^④。岩体经强烈的自变质作用, 活性铀含量高、岩体内, 中基性脉岩发育, 呈东西向展布, 从北到南等间距分为五组。矿田处于两条 ENE 向区域性大断裂之间的断陷带中, 一组以 XZ 断裂为代表的 NNE、NE 向断裂和 EW 向挤压破碎带发育, 起着导矿和布矿作用。铀矿化产于硅化断裂与辉绿岩交接部位。矿田的勘探和研究程度较高。目前, 已查明矿床多个, 拥有数量可观的工业和远景储量。矿田范围内断裂构造岩主要有蚀变的糜棱岩、碎裂岩和糜棱岩化的花岗岩等。其平均含铀量 5 ppm 左右^②。成矿深度 2 km^③。岩石平均体重 2.6 t/m³。

估算时, 先把矿田东北部勘探程度高、矿床多的地区划为控制区。其余地区为预测区。为便于计算, 在 1/5 万的地质图上, 把导、布矿断裂按空间分布和相互关系以及与矿床的关系分为 14 组。控制区内 6 组, 预测区内 8 组。计算中, 因取样资料不够, 根据地质和物化探观测结果, 把断裂中的非矿地段都当作汲取段来计算 L_i 、 W_i 值。为测定 U_i 值, 在全区共取了 7 条剖面 29 个样品 (样品由吴刚, 张燕柱采集)。其余资料基本上参照前人成果。

计算结果见表 1、2 (表中储量数字是按比例虚拟的)。

表 1 XZ 矿田断裂成矿潜力与查明储量对比

Table 1 Comparing on the ore-forming potentiality of faults with explored reserves in XZ ore field

断 裂 编 号	成 矿 潜 力 $S_2(t)$	查 明 储 量 $S'(t)$	$S'/S_2(\%)$	备 注
330	710	528	74	S'/S_2 的均值: 80%, 此为 S_2 与 S' 间的换算系数
331—333	2475	2191	88	
336	1151	768	67	
335—339	969	763	79	
337	705	638	90	
338	465	375	81	

由表 1 可见, 矿田内断裂的成矿潜力与查明储量的差值甚小, 说明矿田具备使用断裂成矿潜

① 李明连、刘海廷、吴刚、张燕柱等, 1987, XZ 矿田铀矿资源总量预测报告, 华南地勘局 290 研究所。

② 梁天锡, 1981, XZ 矿田地质与铀成矿特征。华南地勘局 293 大队。

③ 陈安福、赵洪波, 1982, XZ 矿田矿物包体研究。北京铀矿地质研究院。

力估计法的条件。同时,求得了把断裂成矿潜力换算为成矿远景的系数 ($k=80\%$)。

表2中列出了矿田未经勘探的8组断裂的成矿潜力和成矿远景。

表2 YZ矿田断裂成矿远景预测

Table 2 Prognosticating for ore-forming prospect in faults in XZ Ore field

断 裂 编 号	成 矿 潜 力 $S_2(t)$	成 矿 远 景 $S(t)$	备 注
92	175	140	预测区总成矿潜力: 3738t。经换算, 总成矿远景: 2990t, 该矿田预测的潜在储量亦为 2990t
6009	350	280	
108	975	780	
6620	225	180	
尾山	300	240	
珠湖	1182	945	
平田	281	225	
袁屋	250	200	

在预测的远景地段,经一年多的工作,两个普查队落实了深揭点,一个深部揭露组经钻探发现深部工业矿化段两处。另有两个地区按预测的靶区施工也获得了较好的成果,扩大了矿床远景^①。这说明,尽管资料不很齐全,这一方法在该区仍有较好的应用效果。

这一方法,因把注意力集中在断裂上,与其他矿产资源评价方法相比,具有工作量少而效果较好的优点。同时,由于在圈定汲取段的同时也能圈定富集段,它既是预测手段也是找矿手段。这也是其他任何矿产资源评价方法所不及的。

在结束本文时,要说明两点:

1. 断裂的成矿潜力是断裂成矿的前提。只有当断裂的成矿潜力大,而成矿、保矿条件又好时,成矿远景才大。否则,其他条件再好,断裂也不会有好的成矿远景。因此,评价断裂首先要评价其成矿潜力。这一思想,也应贯彻于野外地质生产实践中,把评价断裂的成矿潜力,当作一种常规的地质方法。只有既考虑了断裂的成矿潜力又考虑了成矿和保矿条件,才能形成完整的花岗岩型铀矿的识别准则。

2. 由于区域性主干断裂情况复杂,且成矿时常形成一开放系统,成矿元素富集的条件较差,因此,断裂成矿潜力估计法,似更适合于导、布矿断裂。

参 考 文 献

- 1 李明连. 华南花岗岩型铀矿表生汲取卸“载”富集成矿模式. 铀矿地质, 1985, 2(2): 77—84.
- 2 李明连. 华南花岗岩型铀矿表生汲取卸“载”富集成矿模式的数学模型与铀资源预测. 铀矿地质, 1987, 3(3): 143—148.
- 3 董航寿. 矿床定位的构造条件及成矿构造分析. 花岗岩型铀矿文集, 北京: 原子能出版社, 1982. 163—193.
- 4 戎嘉树, 孙丙田, 王明太. 花岗岩晶质铀矿的产出概况及其富集因素的初步研究. 铀矿地质, 1986, 2(5): 272—279.

① 293大队地质科, 1989, 《XZ矿田铀矿资源评价》课题使用验证情况说明(存290研究所)。

THE METALLOGENETIC MODEL AND MATHEMATICAL MODEL FOR GRANITE-TYPE URANIUM DEPOSITS IN SOUTH CHINA AND THE EVALUATION METHOD FOR URANIUM ORE-FORMING POTENTIALITY IN FAULTS

Li Minglian

(290 Institute, South China Bureau of Geological Exploration,
Ministry of Nuclear Industry, Shaoguan, Guangdong)

Abstract

This paper deals with an advance in a new method applicable to the evaluation of uranium resources in ore-forming faults of different orders in granite areas of South China—The evaluation method for uranium ore-forming potentiality in faults, which is based on the metallogenetic model and mathematical model of granite-type uranium deposits in South China. Since the emphasis of the method is placed on faults, it has the advantages of doing less work and yielding good results. The example in the paper indicates clearly that this method used in evaluating uranium resources in granite areas of South China can yield better results than other methods.

Key Words: granite-type uranium deposits, metallogenetic model, mathematical expressions, evaluation method for ore forming potentiality of uranium in faults

作者简介

李明连, 男, 湖南澧县人, 生于1939年1月, 1963年毕业于华东地质学院地质系, 从事铀矿地质和数学地质研究, 现为核工业华南地勘局290研究所高级工程师。通讯处: 广东韶关市63号信箱。邮政编码: 512026。