

相山铀矿田西部成矿构造应力场及与铀矿化关系

陈跃辉

(核工业北京地质研究院, 北京)

李建红

(华东地质学院, 江西抚州)

提 要: 相山铀矿田是我国最大的火山岩型铀矿田。本文选择矿田西部地区, 通过节理、裂隙测量和数值模拟, 重建和恢复了区内成矿构造应力场, 并在此基础上, 探讨铀矿化在构造应力场内的分布规律和火山岩中铀元素在构造应力作用下的迁移、集散特征。结果表明: 铀矿床多分布在剪应力值产生急剧变化的梯度带、应力值偏低一侧的应力“缓冲带”部位, 且有从矿床、矿点到异常点, 剪应力值逐渐降低的变化趋势。火山岩中的铀元素在构造应力驱动下, 向应力梯度减小的方向迁移, 并参与了成矿作用。

主题词: 成矿断裂 成矿构造应力场 铀矿床

相山铀矿田位于著名的赣-杭构造火山岩带西南端, 矿床产于一破火山口内, 主要分布在破火山口的西部和北部(图 1)。火山盆地由上侏罗统打鼓顶组流纹英安岩、紫红色砂岩夹熔结凝灰岩和鹅湖岭组碎斑熔岩组成盖层, 三叠系上统安源组砂岩、页岩和震旦系浅变质岩系为火山盆地的基底地层。含矿主岩为火山岩、次火山岩, 主要岩性为流纹英安岩、碎斑熔岩和花岗斑岩。矿化严格受穿过火山盆地盖层的区域性断裂和火山构造控制。区域断裂构造的分枝复合、产状变异处, 上、下盘节理裂隙带以及断裂构造与各种火山构造的复合、交汇部位, 常常是铀矿化的最有利富集部位。可见, 区域断裂、各种形式的火山构造对铀矿化的控制作用是十分明显的。

1 成矿断裂带基本特征

矿田内的构造主要由基底断裂、切割火山岩盖层的区域性断裂和火山构造三种类型组成(图 1)。本文的成矿断裂是指对铀矿化有直接控制作用的、发育于火山岩盖层中的区域断裂构造。这些断裂构造形成于火山岩(160×10^6 a 左右)之后, 而铀成矿作用, 据 U-Pb 同位素年龄测定, 矿化年龄介于 $89 \times 10^6 \sim 144 \times 10^6$ a, 经等时线处理矿化明显集中在 $(119 \pm 1) \times 10^6$ a 和 $(99 \pm 2) \times 10^6$ a 两个主要成矿期^①。显然, 成矿断裂的活动时代与成矿作用时代基本吻合, 属成矿期断裂。

陈跃辉, 男, 37 岁, 讲师, 1982 年毕业于华东地质学院, 现为核工业北京地质研究院博士生。邮政编码: 100029

1994-5-4 收稿, 1995-3-1 修改回。陶景连, 刘浩龙编辑

① 核工业华东地勘局 261 队, 1982, 相山矿田成矿规律初步总结和成矿远景预测

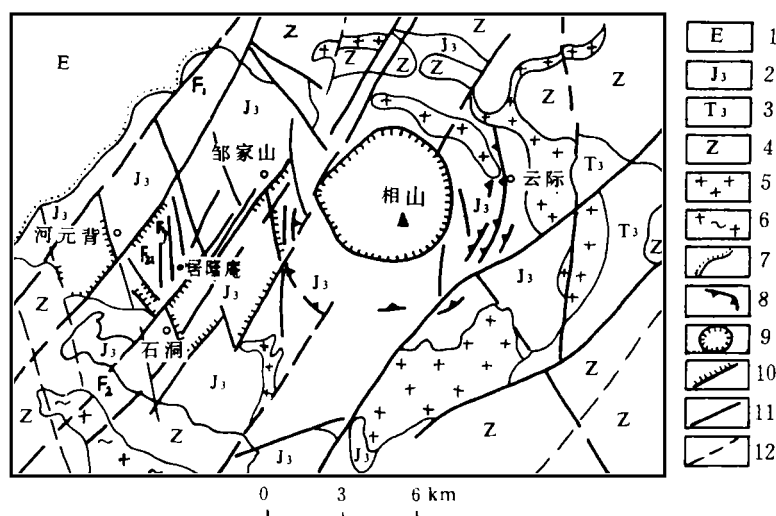


图1 相山矿田区域地质简图

1—下第三系砂砾岩;2—上侏罗统火山岩;3—上三叠统煤系地层;4—震旦系浅变质岩;5—次斑状花岗岩;6—加里东期花岗岩;7—不整合线;8—环状断裂;9—火山颈;10—塌陷构造;11—断裂;12—卫片解译断层

Fig. 1. Diagrammatic geological map of the Xiangshan uranium orefield.

1—Paleogene sandy conglomerate;2—Upper Jurassic volcanic rocks;3—Upper Triassic coal measures;4—Sinian epimetamorphic rocks;5—Subporphyritic granite;6—Caledonian granite;7—Unconformity;8—Circular fault;9—Neck;10—Collapse structure;11—Fault;12—Fault by interpretation of satellite photograph.

成矿断裂明显受到基底断裂构造的影响和制约,特别是基底中以北东向为主导的断裂构造对成矿断裂的发育及展布起着控制作用。如小陂—芑头(F₁)和邹家山—石洞(F₂)等断裂带均是由于基底断裂后期复活,进一步贯穿火山岩盖层而形成的。

区内成矿断裂主要分布于矿田的西部,并控制了西部多数铀矿床的产出。根据断裂走向方位,成矿断裂可分为北东(北北东)向、北西向、近南北(北北西)向和近东西向四组,以北东向和北西向两组断裂最为发育,走向分别为 NE40°和 NW330°左右,倾角较陡,多在 70°以上,北东向断裂倾向南东,北西向断裂倾向南西,但因倾角较陡,产状时有变化。这两组断裂将西部火山岩切割成一系列菱形断块,各菱形断块间的差异运动形成了隆起带内有陷落块体的基本构造格局。断裂力学性质上,北东向断裂属压扭性,规模较大,一般延伸 10 km 以上,宽数米—数十米。构造面略呈舒缓波状,有强度不等的挤压现象,断裂带内发育碎裂岩、角砾岩、断层泥及构造片理化岩石。构造岩热液蚀变强烈,常见的蚀变类型有硅化、赤铁矿化、水云母化、绿泥石化、钠长石化、碳酸盐化等。北西向断裂不如北东向发育,且规模较小,延伸长度多只数公里,沿走向和倾向膨胀收缩明显,在膨胀部位,断裂常由一系列规模更小的裂隙成束状构成,并充填方解石、石英等脉体。断裂带内构造岩为胶结松散的角砾岩,显示张扭性特征。

伴随断裂带的发育,节理裂隙构造在区内分布也十分广泛,尤其是在断裂带两侧,常密集成群分布,构成区内铀矿化富集的有利场所,形成本区特有的群脉型矿化。

2 成矿构造应力场分析

成矿构造应力场是指成矿构造活动期,其作用范围内构造应力的空间分布状态。通过控矿

断裂、裂隙的实地测量,查明应力场中各主应力的展布方位,结合数值模拟方法可以半定量地重建和恢复成矿时期的构造应力状态。这对查明控矿构造的空间分布和成矿物质在应力场内的迁移集散规律以及矿化规律,为找矿指明方向有着重要的实际意义。

2.1 成矿构造应力场的野外研究

构造应力场的野外研究主要以节理、裂隙测量为手段,通过节理测量资料的统计分析,结合节理、裂隙与区域断裂的几何学和运动力学关系确定构造应力场中主应力的展布方位。为此,选择矿田西部居隆庵地段进行了节理测量和分析,并通过成矿X节理的统计,求出区内的应力分布状态。

(1)节理的分期和配套:居隆庵区段内分布有 F_7 、 F_{21} 两条北北西—近南北向断裂(图1),测区范围内, F_{21} 南端走向偏向北北东向,但总体属近南北向。在断裂两侧及其夹持区内岩石破碎,节理发育,是区内成矿的有利地段。根据节理、裂隙的产状、展布特征和相互切割关系,可划分成五组。其中一组走向近南北向($350^\circ\sim 3^\circ$),与主断裂面基本平行或小角度斜交,节理面平整光滑,在断裂带上、下盘和夹持区内均较发育。其余四组则相互组合成两套X型共轭剪节理系,即 $100^\circ\sim 115^\circ/77^\circ$ 与 $185^\circ\sim 205^\circ/70^\circ$ 共轭节理系(节理系A)和 $313^\circ\sim 340^\circ/65^\circ$ 与 $225^\circ\sim 240^\circ/60^\circ$ 共轭节理系(节理系B)。节理系B中南西倾向的一组节理,在个别测点上产状变化较大,可能是由于岩性和岩石结构构造的局部差异造成的,该节理系的最大特征是充填有铀-赤铁矿型矿石,地表显现红色,极易辨认。各组节理形成的先后顺序是:平行断裂带的节理形成最早,共轭节理系B形成最晚,属成矿节理。划分各组节理先后顺序及配套的主要依据是:①平行断裂带的节理被A、B两节理系切断错开,而节理系A又被节理系B错断。构成X共轭节理的两套节理系,各自都两两相互切割限制,显然分别属同期形成。②X节理系B一般连续性好,而节理系A由于被错断,连续性较差,常常被切割限制在节理系B构成的X节理内。因而露头上,节理系B表现最为醒目。③在4、5和6号观测点上(图2),观察到具铀矿化的X节理系B,沿两组节理充填有铀-赤铁矿型矿石,与 F_7 、 F_{21} 成矿断裂带内的矿化类型一致。④不同节理系的四组节理并不一定在某一测点上同时出现,但组成共轭关系的两组节理却总能同时出现在某一测点上,显示出确定的共轭剪切关系。

近南北走向的一组节理,由于其在断裂上、下盘附近及远离断裂的夹持区内都有较均匀的分布,表明它可能是断裂构造出现之前的早期剪节理,而断裂构造则是在构造应力持续作用下继续发展的结果。节理系A和节理系B则可能是断裂形成以后,在递进变形中先后形成的。根据节理内的矿化、热液蚀变特点,节理系B的形成时间与铀成矿期较为接近,反映了成矿期构造应力场的作用特征。

(2)构造应力场展布特征:通过以上节理的分期配套,找出了成矿X型共轭剪节理(B)。在众多的观测点中,选择7个有代表性的、反映了成矿节理产状特点的测点,按实测的节理产状,经统计平均作出各点的主应力轴立体图解,并制成主应力轴轨迹图,放在简化的地质图上(图2)。从图中可以看出主应力轴迹线总体上反映出北西西-南东东向挤压的展布特征。与矿田内其它成矿断裂反映的主应力方向基本一致,说明区内成矿构造经受了北西西-南东东向近水平的挤压构造应力场作用。

2.2 构造应力场数值模拟

为使上述根据野外实际资料进行的构造应力场研究在理论上进行印证,本文采用有限元

法对成矿构造应力场进行了模拟。计算程序采用 Pascal 语言^[1]进行编制,计算中对力学模型、边界条件及作用方式和大小进行了认真的选择。选取火山岩分布边界作为模型边界,根据区内发育的构造特征和火山岩的岩性特征等因素,认为区内构造变形为脆-韧性,所以选用弹塑性力学模型。计算程序采用弹塑性平面问题的有限元增量法^[2,3]进行编制,选用三次增量作为模拟地质体的弹塑性变形非线性特近似。周围地质体对模型边界的作用力作为边界力考虑,并依据地质体特征、构造展布特征、发育程度和规模等因素进行单元划分,采用的单元均为三角形。这样就把模型考虑为一个边界完整、由多种材料组成、连续强化的弹塑体,不计卸载过程。

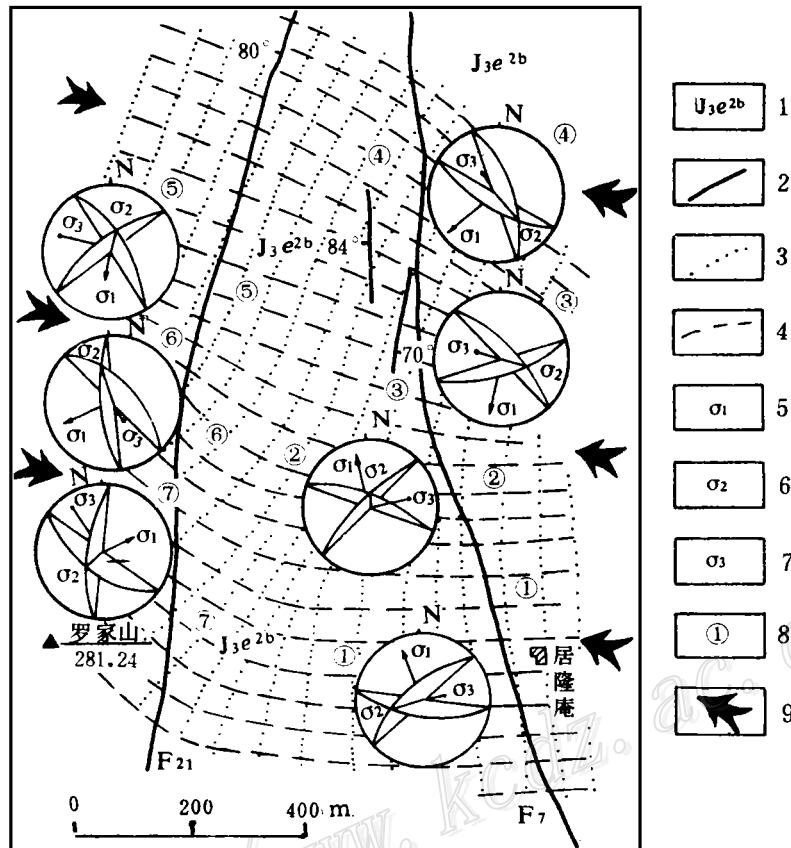


图2 居隆庵成矿构造应力场主应力轨迹图

1—鹤湖岭组上段火山岩;2—断层;3—最小主应力迹线;4—最大主应力迹线;5—最小主应力;6—中间主应力;7—最大主应力;8—节理测点位置及编号;9—挤压方向

Fig. 2. Trajectory map of the principal stress for the Julongan metallotectonic stress field.

1—Volcanic rocks of upper Ehuling Formation; 2—Fault; 3—Trajectory of minimum principal stress; 4—Trajectory of maximum principal stress; 5—Minimum principal stress; 6—Intermediate principal stress; 7—Maximum principal stress; 8—Location and serial number of measuring point for joint; 9—Direction of compression.

模型边界受力方式分成两类:一类是平面模型受力方式,是根据所模拟的构造应力场为北西西-南东东向近水平挤压作用,并考虑围岩和所计算应力状态作为边界作用力方式和大小的依据,并调整到力系平衡;另一类是剖面模型受力方式,考虑到剖面所在位置,受力方式和大小,选取边界作用力,并调整使力系平衡。

根据区内岩性特点和断裂带内构造岩组成,物理参数取值如表 1^[1,4)]。

表 1 构造应力场模拟中不同岩性物理参数

Table 1. Physical parameters of different rocks in the modelling of tectonic stress field

增量次数	碎斑熔岩(J_3e^2)		流纹英安岩(J_3d)		断裂带	
	弹性模量 (10^4 MPa)	泊松比	弹性模量 (10^4 MPa)	泊松比	弹性模量 (10^2 MPa)	泊松比
一次	5.94	0.22	2.5	0.09	9.8	0.30
二次	5.4	0.25	2.0	0.11	9.8	0.30
三次	3.9	0.28	1.5	0.13	9.8	0.30

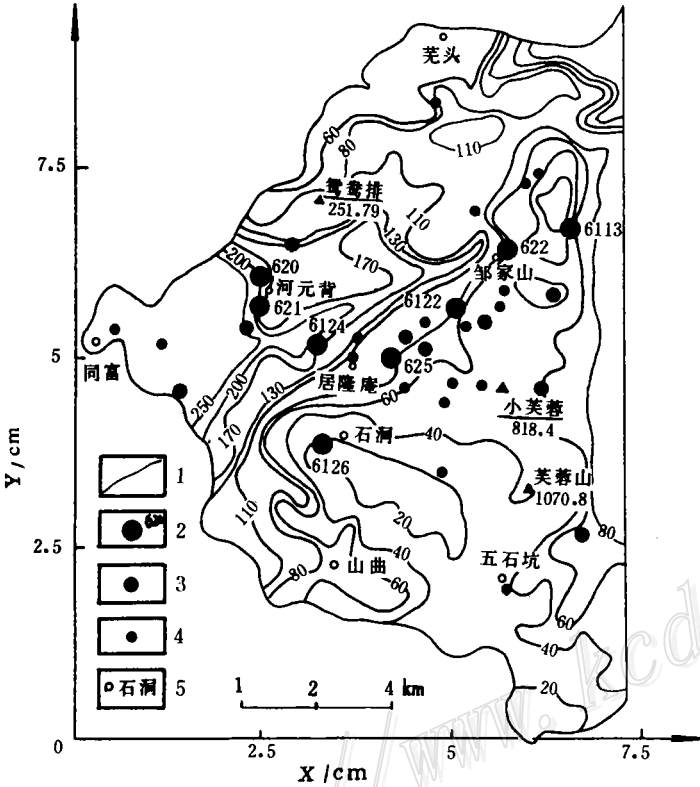


图 3 相山矿田西部成矿构造应力场剪应力等值图
1—剪应力等值线(MPa);2—铀矿床及其编号;3—矿点
4—异常点;5—地名

Fig. 3. Shear stress isogram of the metallotectonic stress field in western Xianshan ore field.

1—Shear stress contour line;2—Uranium deposit and serial number;
3—Ore occurrence;4—Anomalous point;5—Place name.

在 MC-68000 微型计算机上把有关数据输入源程序进行计算,并对各种方案计算结果进行比较,选取与通过地质方法制成的主应力轨迹图和根据区内成矿断裂展布方位及力学性质得出的主应力作用方向较为吻合的方案,制成平面和剖面主应力轨迹线和剪应力等值线图。因篇幅所限,本文只给出剪应力等值线图(图 3、4)。

图 3 表明剪应力在区内的分布具有较明显的规律性。总体反映剪应力值从两边向中间逐渐减小,并沿邹家山—石洞断裂带一线出现一条狭长的剪应力梯度带,在图区中下部断裂构造较为发育的地段则出现一剪应力低值区。图 4 是根据 6124 矿床 I 号矿带(F₇,见图 2)48 号剖面进行模拟得出的剖面剪应力等值线图。图中的含矿断裂带在深部发散,由密集发育的一组裂隙组成,为清楚起见,仅画出断裂带的边界。剖面等值图表明:剪应力沿断裂带形成了一明显的梯度带,由两侧向断裂剪应力值逐渐减小,变化梯度以靠近地表的破碎带部位和深部的裂隙带部位较大,中段梯度值较小,对应断裂发育宽度较小的部位。

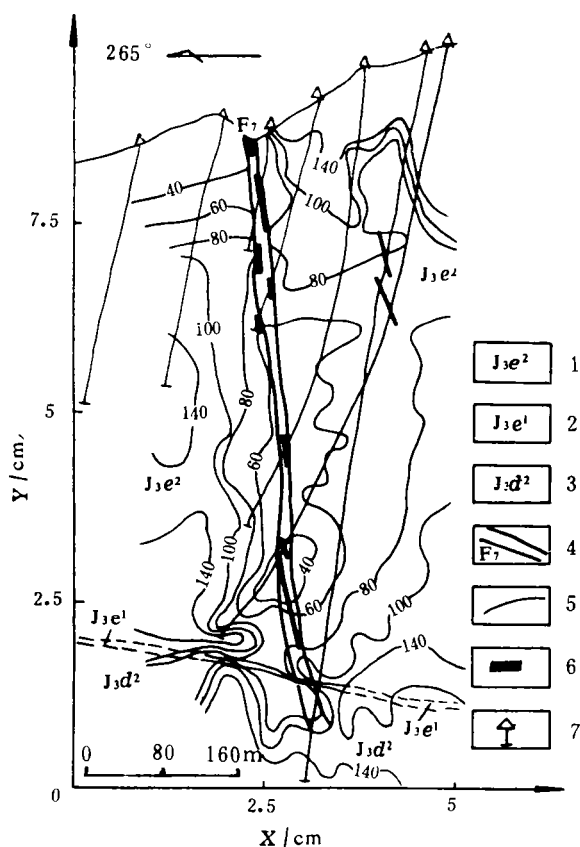


图4 6124矿床1号矿带48号剖面构造应力场剪应力等值图

1—鹅湖岭组上段;2—鹅湖岭组下段;3—打鼓顶组上段;
4—断裂带;5—剪应力等值线(MPa);6—矿体;7—钻孔

Fig. 4. Shear stress isogram of the tectonic stress field along No. 48 section of No. 1 ore belt in No. 6124 ore deposit.

1—Upper Ehuling Formation; 2—Lower Ehuling formation;
3—Upper Daguding Formation; 4—Fault zone; 5—Contour line of shear stress; 6—Orebody; 7—Drill hole.

3 铀矿化在构造应力场内的分布特征

3.1 铀矿床的分布

把铀矿床、矿点、异常点按产出位置投在平面剪应力等值图上,可发现铀矿床在剪应力等值图上的分布规律十分明显。除少数矿床外,矿床、矿点多分布在剪应力值偏低的地段,如6122、622、625、6126等矿床均分布在剪应力20~80 MPa的范围内,表明矿化主要出现在断裂构造发育、岩石破碎的部位。另一个显著特征是,所有矿床均分布在剪应力值出现急剧变化的梯度带上,尤其是在梯度带由陡变缓、应力值偏低的一侧。如6126矿床,其西侧应力值从170 MPa向东急剧降低到60 MPa,然后继续向东缓慢降低,出现一个剪应力“缓冲带”,矿床就位于这一“缓冲带”中。这似乎揭示了构造应力作用与铀成矿作用之间的某种内在联系。可能的解释之一是:在构造作用过程中,断裂带内由于岩石破碎,应力释放,相对于围岩处于负压状态,产生虹吸作用。这种作用驱使深部成矿溶液的上升、运移,

并优先进入构造变动最强烈的构造带——应力梯度带。应力的这种急剧变化有利于成矿溶液的运移,但不利于成矿物质的沉淀富集,只有当构造应力值的变化减小、虹吸作用减弱时,才能引起成矿溶液的运移速度减慢和成矿物质的富集。剪应力“缓冲带”则为成矿物质沉淀富集提供了这种条件,因而造成区内铀矿床沿剪应力“缓冲带”分布的特点。

与铀矿床相比,铀矿点、异常点多分布在等值线更低的地段,且有从矿床、矿点到异常点剪应力值逐渐降低的分布趋势。据此,那些位于剪应力产生急剧变化,并出现“缓冲带”地段的矿点、异常点可能是今后有利的找矿远景地段。

剖面剪应力等值图所揭示的矿化分布特征表明,铀矿化富集部位完全类似于平面剪应力等值图的情况,分布于40~80 MPa的相对低值区,尤其是应力变化急剧的梯度带内,矿化较

好(图4上、下部)。图中F₇中段虽然也位于梯度带内,但应力梯度值较小,变化较缓,因而矿化明显变差。同样说明矿化富集部位受剪应力大小和梯度值的双因素控制。

3.2 火山岩中铀元素的分布

为了查明区内铀元素在应力场内的分布规律,本文收集了大量各种岩性的光谱和荧光铀分析资料^①,按网格对这些资料进行统计分析,得知成矿元素在应力场内与应力大小及应力展布特征之间存在密切的联系。

图5是根据矿田西部296个正常火山岩样品荧光铀分析资料编制成的铀含量等值线图,对比图5和图3,可得出如下认识:

(1)从铀含量等值线图可看出:从邹家山、居隆庵到石洞一线出现一条不十分平直规整的铀含量梯度带,对应于图3中的剪应力梯度带。而且,铀含量梯度带的展布方位、梯度递减的方向与剪应力梯度带基本一致。

(2)铀含量较高的正常火山岩分布地段对应于剪应力的低值区,铀含量较低的地段多与断裂构造相对发育,岩石较为破碎的剪应力低值区相重合。如矿田西部中下部,除居隆庵东南面有较小范围铀含量较高的火山岩分布外,其余地段火山岩铀含量均很低,等值线值多在4以下。对应该地段的剪应力值也是全区最低的分布范围,剪应力值多在40 MPa以下。

(3)从矿床、矿点到异常点,铀含量等值线有相应降低的趋势,如小芙蓉附近的一些异常点均分布在2~4的等值线之间。这一分布特点与剪应力等值图上矿床、矿点的分布特征完全相同。

总之,火山岩中铀含量变化与应力之间的这种对应关系,反映构造作用过程中,岩石中的成矿元素也产生了某种程度的迁移,并受构造应力的大小和分布状态所控制。在构造变形作用影响范围内,火山岩中的铀元素在构造应力驱使下产生部分迁移,并沿着应力梯度降低的方向迁移进入溶液,参与成矿作用。

4 结 论

(1)通过成矿构造应力场的节理、裂隙研究和数值模拟分析表明,区内成矿断裂带、控矿节

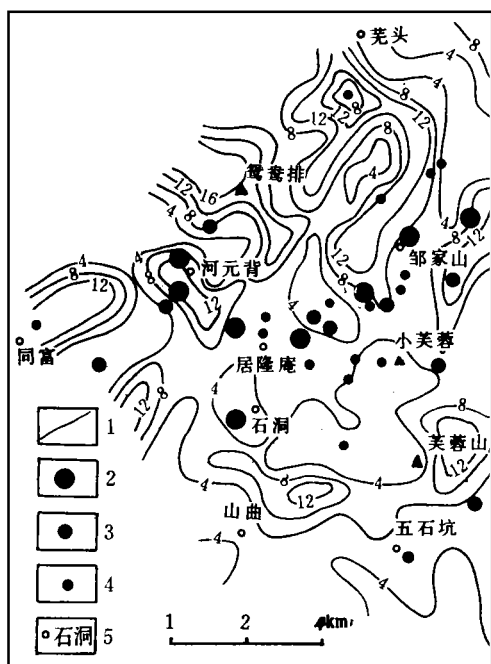


图5 相山矿田西部火山岩铀含量等值线图

1—铀含量等值线图(10^{-6}); 2—铀矿床; 3—矿点;
4—异常点; 5—地名

Fig. 5 Uranium content isogram of volcanic rocks
in western Xianshan ore field.

1—Contour line of uranium content;
2—Uranium deposit;
3—Ore occurrence; 4—Anomalous point; 5—Place name.

① 资料来源:核工业华东地勘局 261 队

理、裂隙带是北西西-南东东向挤压区域构造应力场作用下的产物。断裂构造展布方位的局部偏离反映了基底构造的制约和影响。

(2) 铀矿床在成矿构造应力场中多分布在剪应力值产生急剧变化的梯度带、应力值偏低一侧的应力“缓冲带”部位,即分布于剪应力值为 20~80 MPa 的地带。从铀矿床、矿点到异常点,剪应力值有逐渐降低的趋势。铀矿化的这种分布特点在平面和剖面剪应力等值图上基本一致。

(3) 含矿主岩中的铀也参与了成矿作用。在构造作用过程中,火山岩中的成矿元素在构造应力驱动下沿应力梯度减小的方向,向应力释放强烈部位迁移,并汇入来源于深部的中低温成矿热液,为成矿物质的工业富集增砖添瓦。这一认识与根据稳定同位素和 REE 分析资料得出的结论^[5]①相一致。

(4) 以成矿构造应力场分析为手段,探讨铀矿床、矿点在应力场内的分布规律和成矿物质的迁移分布特点,分析物质运动与构造运动的内在联系,这一构造地球化学方法对查明矿化分布特征,构造控矿规律是一种行之有效的方法,对指导找矿和预测也有一定的实际意义。

参 考 文 献

- 1 王诚等. Pascal 程序设计及其应用. 北京:清华大学出版社,1983
- 2 华东水利学院. 弹性力学问题有限元法. 北京:水利电力出版社,1974
- 3 万天丰. 古构造应力场. 北京:地质出版社,1988,125~132
- 4 吉让寿. 湖南锡矿山锑矿田成矿构造特征及控矿机理. 地球科学,1986,11(5):525~532
- 5 仇本良,季树藩. 1220 矿田硫同位素的初步研究及其地质意义. 核工业北京地质研究院年报,1980,173~176

THE METALLOTECTONIC STRESS FIELD IN THE WEST OF THE XIANGSHAN URANIUM OREFIELD AND ITS RELATIONS TO URANIUM MINERALIZATION

Chen Yuehui

(Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029)

Li Jianhong

(East China College of Geology, Fuzhou)

Key words: Metallogenic fault, metallotectonic stress field, uranium deposit

Abstract

The Xiangshan uranium orefield is the largest volcanics type uranium orefield in China. Having selected the western part of the orefield as a study area, the present paper made a preliminary study on the tectonic stress field of metallogenic faults that occur in volcanic cover and directly control uranium mineralization. Based on measurement of joints and fissures as well as fi-

① 赵佩莲. 相山火山岩中稀土元素的分布模式. 华东铀矿地质, 1985, No. 2

nite-element numerical simulation in Julongan sector, the paper reconstructed the metallotectonic stress field of the area and, on such a basis, investigated the distribution of uranium mineralization in the tectonic stress field and the migration and dispersion of uranium volcanic rocks under the action of tectonic stress. The following understanding has been obtained:

(1). The metallogenic fault zones, ore-control joints and fissure zones were products under the action of NWW-SEE regional compressional tectonic stress field. The local deviation of the stretching of fault structure reflects the restriction action and influence of the basement structure.

(2). In the tectonic stress field, uranium deposits are mostly distributed in the gradient zone with drastic change in stress value, and at the position of stress "buffer-zone" on the side of somewhat lower stress value. In addition, shear stress values tend to decrease gradually from ore deposits through ore occurrences to anomalous points. Such distribution characteristics of uranium mineralization are basically consistent with the shear stress contour diagram in plan and profile.

(3). In the process of tectonic activity, certain degree of uranium migration also took place in volcanic rocks, which was controlled by intensity and distribution of tectonic stress. Driven by tectonic stress, uranium travelled in the direction of decreasing stress gradient and towards the position where stress was considerably released, and took part in the ore-forming process.

著名矿床地质学家康永孚先生逝世

中国地质学会第 32 届常务理事、矿床地质专业委员会第一、二届副主任委员、《矿床地质》编委会副主编、《中国矿床》编委会副主编、著名矿床地质学家康永孚先生, 因病医治无效, 于 1995 年 5 月 8 日在北京逝世, 享年 81 岁。

康永孚先生从事地质工作 50 多年, 把毕生精力奉献给开发矿业、勘查矿产资源和矿床地质研究事业, 并为开展学术活动, 积极参与创办《矿床地质》刊物和组织编著《中国矿床》专著做出了重要贡献。我们对先生的逝世表示深切的哀悼和怀念!

中国地质学会矿床地质专业委员会

一九九五年五月十八日