

中国数学地质

中国地质学会数学地质专业委员会 主编

9

地质出版社

中国数学地质

9

中国地质学会数学地质专业委员会 主编

地质出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

中国数学地质(9)/中国地质学会数学地质专业委员会主编.-北京:地质出版社,1998.12
ISBN 7-116-02774-2

I. 中… II. 中… III. 数学地质-文集 N. P628-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1998)第 09090 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:杨友爱 林宏远

责任校对:李 玫

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:6.625 字数:150 000

1998 年 12 月北京第一版·1998 年 12 月北京第一次印刷

印数:1-500 册 定价:20.00 元

ISBN 7-116-02774-2

P·1995

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

《中国数学地质》是由中国地质学会数学地质专业委员会主编的不定期的连续出版物,是国内具有权威性的数学地质论文集,它主要刊登我国最新的和主要的数学地质研究成果。从1980年至现在已出版11集,第1~3集为《数学地质专辑》,由第4集开始改为《中国数学地质》。本集为该系列出版物的总第12集,共收入数学地质论文17篇,按其内容大致可分为以下9个方面:

1. 地质体和地质过程的数学模拟;
2. 地理信息系统(GIS)在地质学中的应用;
3. 地质统计学;
4. 计算机辅助地质教学;
5. 矿产资源的定量评价预测;
6. 灰色系统理论在地质学中的应用;
7. 分形理论在地质学中的应用;
8. 地质专家系统;
9. 其他数学地质问题。

由于一些客观原因,还有很多优秀论文未能选入本书,敬请作者和读者谅解。对本书的缺点和不足之处,欢迎批评指正。

本书的执行主编为刘承祚研究员。

中国地质学会数学地质专业委员会

1998年6月

目 录

前言

铀矿化等间距的类型与成因探讨.....	孙文鹏 陈庆兰(1)
基于自然水系网的元素运移分析	侯遵泽 徐振邦 蒋金荷(13)
空间分析技术与地理信息系统(GIS)结合——问题与可能性	
.....	胡平昭 魏一鸣 何建邦 侯景儒(19)
恩洪煤矿煤层气数据的统计分析及处理	石 磊 桂宝林(23)
地质学 CAI 的教学模式探讨	蒋金荷 徐振邦(31)
层间氧化带砂岩型铀矿的资源评价	李明连(35)
基于火山岩中矿化元素富集特点探讨阿舍勒矿区铜资源潜力	
.....	王全明 方一平 冯 京 庄道泽(40)
灰色模糊综合评判在地质中的应用	刘光萍(45)
分形模型与大型、超大型矿床.....	申 维(52)
矿床勘查过程的动态、立体模拟显示系统(二)——勘探图形系统.....	曹 瑜 魏 民(59)
基于 GIS 的矿产预测系统在全国金矿预测中的应用	
.....	刘冬林 葛 艳 肖克炎 王四龙 宁书年 曹 燕(64)
实用型专家系统研制的思考	叶水盛 褚广勤 马生忠 余先川(68)
矿产资源预测的 ART 神经网络方法	陈守余 周梅春(73)
江河中下游洪水形成的数学模型与洪水灾害的预报防治	李明连(79)
地质学的新延伸——知识地质学	马生忠 范兴业 叶水盛 单玄龙(86)
确定化探异常的几种方法比较	叶水盛 杨东来 李 军 施 辉(89)
距离加权平均法和加权最小二乘拟合法基于线样本的推广	
.....	赵树贤 张达贤 王忠强(96)

铀矿化等间距的类型与成因探讨^①

孙文鹏 陈庆兰

(核工业北京地质研究院)

摘 要 本文以具体实例说明铀矿化等间距分布是一种常见的地质现象,它的产出以断裂等间距为前提。本文按断裂的展布和组合特征对铀矿化等间距进行了分类;用数学模拟探讨了断裂等间距的成因;分析了主要控矿因素对铀矿化等间距的影响。最后总结出铀矿化等间距展布的若干规律和它产生的条件:必须具备形成铀矿的一切条件;并且其中的控矿断裂呈等间距分布。二者缺一不可,缺前者成不了铀矿;缺后者铀矿化不呈等间距分布。

关键词 铀矿化,断裂等间距,数学模拟。

断裂等间距分布是存在于地壳表面的一种普遍的地质现象,70年代以前,由于受各种条件的限制,并未引起人们对此现象的重视。1965年冬作者在中南309二队提出断裂等间距分布是断裂构造一种常见的展布形式,并初步探讨了它的基本特征和形成条件,提出受其控制的铀矿化也可能呈等间距分布。1973年在南昌“花岗岩型铀矿学术讨论会”上,作者做了“断裂等间距和铀矿化等间距”的大会发言,并用它进行了铀成矿预测(见后)。

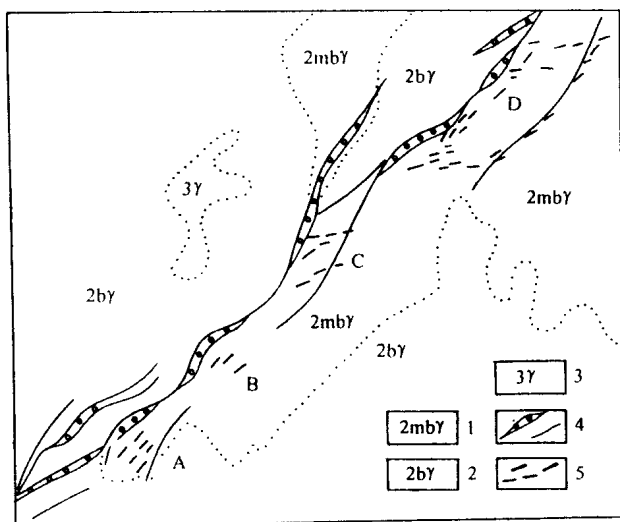


图1 6210矿田示意图

1—中粒二云母花岗岩;2—中粒黑云母花岗岩;3—细粒花岗岩;4—硅化断裂带;5—矿体

① 本项目受国家自然科学基金项目(编号 49672167)资助。

随着遥感技术在地质中的应用和推广,断裂等间距分布已为人所共知。研究它的形成条件和机理,不仅是地质理论问题,而且有着重要的实际意义。

一、断裂等间距与铀矿化等间距的关系

凡呈等间距分布的铀矿床或铀矿体,无一不与断裂等间距展布相对应或重叠,发育在块状地质体(如花岗岩体)中的铀矿化是如此,产于层状地质体中的铀矿床也是这样。只是前者较常见,后者相对较少而已。

如在 6210 铀矿田内(图 1),在北东向大断裂的南东盘,自南而北分布 A、B、C、D 四个铀矿床,它们有规律地分布在该断裂由北东转换成北北东走向的地段。相邻两矿床相距约 2000 m。在单个矿床内,铀矿体呈“多”字型或沿次级帚状断裂呈间距更小的等间距分布。

又如桂北 3101 铀矿床(图 2),铀矿化主要发育在总体走向北北东的 F_8 号断裂带内。该断裂由三段组成,彼此似断又连,呈“S”型延伸;每段中部膨大,两端缩小,尖灭再现明显。铀矿床赋存于断裂的膨胀部位,且以中段矿化最好,矿体多而且大,南段较差,北段居中。二段矿化中心之间的距离约 800 m。

再如,在秦岭发育了一套晚古生代的富铀碳硅泥岩建造。在这套地层东西长达 800 余千米的地段内,铀矿化断续分布。在某地一复式背斜的北翼发育了一组与褶皱轴平行的走向断层,它们通常以层间破碎的形式出现,中等厚度以下的硅灰岩层被断裂切割成大小不等的硅灰岩透镜体。沿此组断裂早期充填了中基性岩脉,此后在脉岩的两端形成了 A、B、C 三个铀矿床(图 3)。它们以等间距有规律地分布在背斜的北翼。工业铀矿体与硅灰岩透镜体有关,透镜体的边缘铀矿化最好,品位最高。

上述实例表明,铀矿化等间距与断裂等间距存在不可分割的内在联系。后者是前者产生的必要条件,前者是后者的一种反映。

二、铀矿化等间距的构造分类

铀矿化等间距既然是断裂等间距的一种反映,因此,断裂等间距的不同类型,也会在铀矿化的分布上得到反映。

1. 由断裂变异部位组成的铀矿化等间距

众所周知,任何断裂不论沿走向,还是沿倾向均非直线(或光滑平面),而是呈波状(或折线)延伸当沿断裂面产生相对位移时,由于断面的波状特征,将使得同一断裂的不同地段的结构面力学性质出现显著的差异,此种差异给含矿溶液沿断裂的运移和成矿富集以决定性的影响,在一般情况下,铀矿化富集于成矿期断裂构造处于相对张开的部位。同一断裂上张(或张扭)、压(或压扭)结构面交替出现是断裂构造的一种普遍现象,也是沿(单一)断裂构造

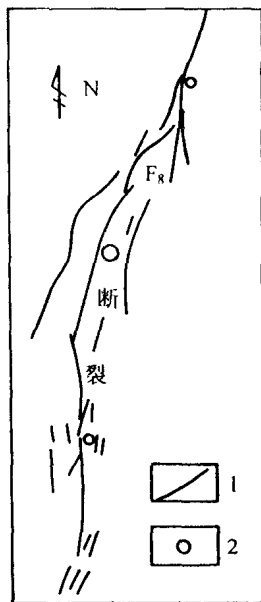


图 2 3101 矿床示意图

1—断裂带;2—铀矿化中心

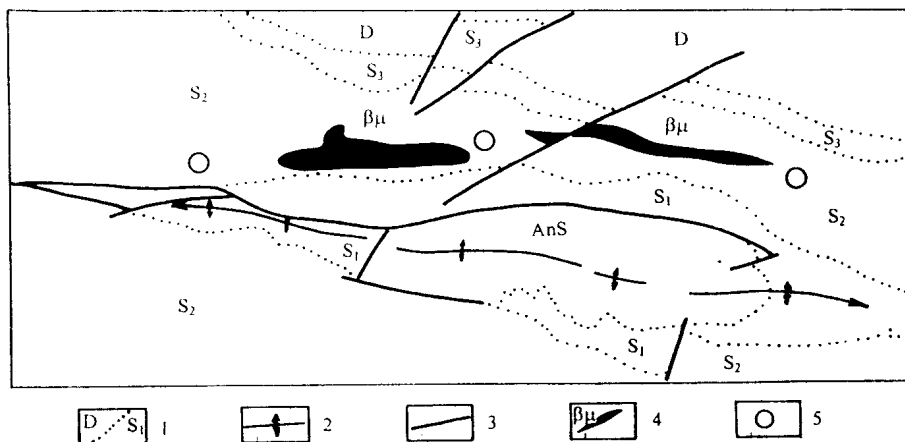


图3 1020 矿田示意图

1—地层界线及代号;2—背斜轴;3—断裂带;4—中基性岩脉;5—铀矿床

铀矿化等间距分布的根本原因。上述 6210 铀矿田和 3101 铀矿床中的铀矿化等间距分布都属此一类型。

2. 由同组断裂相应部位构成的铀矿化等间距

断裂构造除具有波状特征外,还有成群产出的规律。在一地区内,常可见到断裂构造沿不同方向延伸。人们根据断裂走向将它们分为不同组,同组断裂通常产状一致、力学性质相同和规模(大小)相当。它们彼此平行,同组相邻两断裂经常保持着大致相等的间距。当铀矿化叠加其上时,就形成了不同于前者的另一种铀矿化等间距分布。

如赣东地区,中新世以来,形成了一组北北东向断裂构造—新华夏系。沿此组断裂差异运动的结果,断裂两侧形成了长条状的隆起与断陷带,断陷带被巨厚的陆相碎屑沉积物充填,形成醒目的呈“多”字型排列的白垩—第三纪红色盆地。在此“多”字型红盆的北部、中部红盆的边缘,先后发现了次火山岩型、花岗岩型铀矿田,而在南部红盆的外侧花岗岩体内,仅见个别矿化点(图4)。作者分析,三地铀成矿地质环境相似,并根据铀矿化等间距分布规律,在1973年南昌花岗岩会议上,预测南部亦有可能发展成一个新的铀矿田,后为勘探所证实。

此外,在受弧形构造控制的铀矿床内,铀矿体的分布也有等间距分布的特点,并有侧伏现象。

3. 两组断裂交叉构成的铀矿化等间距

“棋盘格子”状断裂构造,是一种常见的断裂组合形式,对它的成因前人进行过广泛、深入的调查与研究。认为它们是在压应力作用下而产生的两组剪切断裂。由于各种因素的影响,在一个地区内两组断裂的发育程度往往并不相等(如密集程度或规模上的差异),但是每组断裂都以一定的间距有规律地展布。因此,它们的交叉点也具等间距分布的特点。当铀矿化叠加其上时,就显示出铀矿化等间距。如1086矿田,它产于花岗岩体内(图5),铀矿化主要发育在区域性北东向断裂 F_A 的上盘,矿田内发育有一组南东东断裂,早期为中基性岩墙所充填,以较大的间距斜贯矿田。另一组发育完好的北东向断裂自西向东有六条 F_1 、 F_2 …… F_6 ,它们为各种硅质、含矿黑色萤石、黄铁矿等充填。当它们切割南东东断裂时,使其中的中

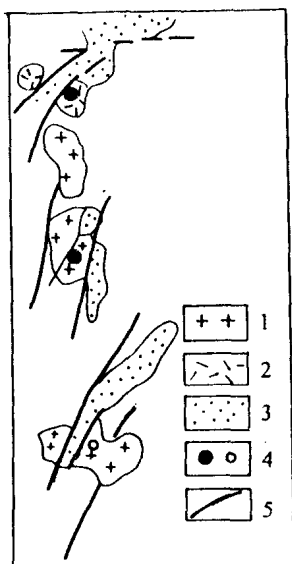


图4 赣东铀矿化示意图

1—花岗岩体;2—次火山岩体;3—红盆;
4—铀矿田;5—断裂带

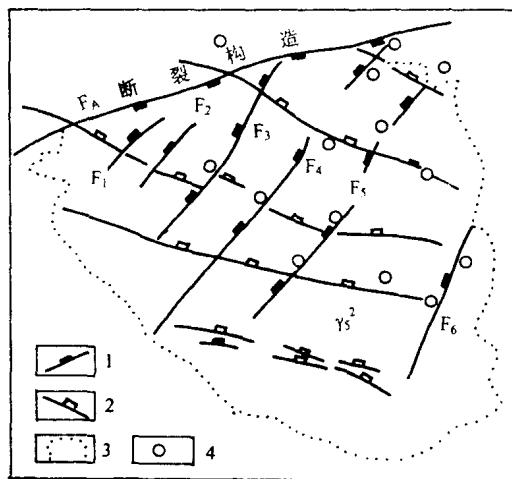


图5 1068矿田示意图

1—硅化断裂带;2—中基性岩墙;3—岩体
边界;4—铀矿床、矿点

基性岩墙强烈破碎。本矿田大而富的铀矿床或铀矿体均集中分布在上述两组断裂的交叉部位。

4. 由群脉组成的矿化等间距

此种类型的矿化等间距,在铀矿区并不常见,但在钨矿区却极为普遍。

如在华南某钨矿区(图6)里就可见到两种不同等级的钨矿化等间距分布。一种是由含钨石英密集群组成的矿化等间距,其规模较大。它的特点是:在两组密集含钨石英脉群之间常为一些稀疏的含钨石英(或称无矿带)所隔开,脉群与脉群之间大致保持相等的间距。另一

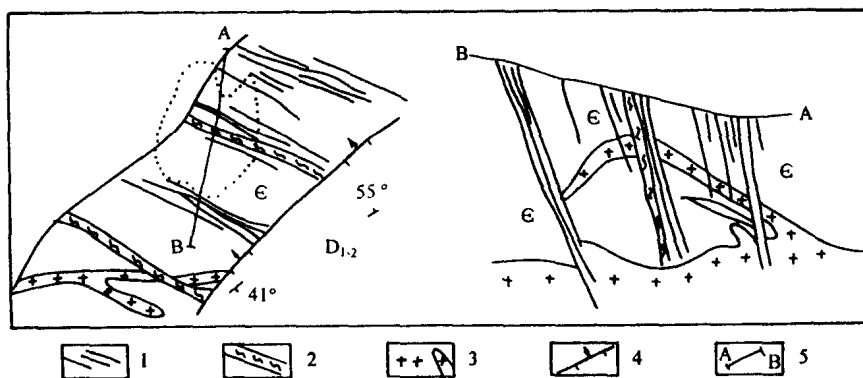


图6 华南某钨矿床示意图

(章宗真图)

1—钨矿脉;2—糜棱岩;3—花岗岩、脉岩;4—断裂构造;5—剖面线

种钨矿化等间距,是由含钨石英单脉组成的。即在每一含钨石英脉群中,每条石英单脉与它相邻的另一单脉之间的距离也是大致相等的,一般在数米以内。

三、矿化等间距展布规律

综上所述,矿化等间距有如下普遍性规律。

(1) 控矿断裂性质决定矿化等间距排列方式,断裂构造力学性质有压性、扭性和张性之分。由扭性、扭张、压扭性控矿断裂构造所组成的铀矿化等间距,远比纯张、纯压性断裂构造所造成的铀矿化等间距普遍和常见。受扭性(包括张扭和压扭)断裂构造控制的铀矿化,常以“多”字型等间距的形式产出,在剖面上侧伏现象明显。当控矿断裂为压性时,则可见叠瓦式等间距铀矿化。控矿断裂的波状展布特性,决定了铀矿化富集于断裂构造产状转变的部位。若控矿断裂为弧形构造,属旋扭性质,铀矿化通常发育在破碎最强(或张裂)的部位。由此可见,就控矿断裂结构面力学性质而言,矿化等间距具有多样化特点。

(2) 呈等间距分布的各铀矿床(或铀矿体),其矿化规模和富集程度(品位)并不相同。有的大而且富,有的虽大而不富或富而不大,有的贫而小,各种情况均会发生。产生在相同构造条件下,铀矿化差别悬殊的原因,主要是由于成矿富集的其它条件(如矿源或有无富集剂等)不同所致。

(3) 呈等间距展布的铀矿化,其间距的大小决定于控矿断裂构造的规模。控矿断裂构造规模大,铀矿化之间的距离也大。众所周知,铀矿化存在三级构造分级控矿规律,所以,呈等间距分布的相邻铀矿田之间的间距大于相邻铀矿床之间的间距,而相邻铀矿床的间距又大于相邻铀矿体之间的间距。

(4) 矿化等间距的有限性。在铀矿化呈等间距分布的地区,铀矿化重复再现的次数并不是无限的,通常是:断裂构造重复再现的次数多于(或等于)铀矿化次数,也就是说,并非在所有呈等间距展布的每条控矿断裂内,均能发现铀矿化。从现已发现呈等间距展布的铀矿田、铀矿床的数目,多数在3~4个之间,个别可达5个,由五个以上矿床或矿田组成的等间距分布至今尚未发现呈等间距展布。铀矿田、铀矿床个数的多少可能决定于其它控矿因素,如铀矿化富集场(范围)的大小。

(5) 按等间距重复再现,是矿化空间分布较普遍的形式。凡是以断裂构造作为成矿必要条件,参与成矿作用的矿种或虽未参与成矿作用,而被断裂构造破坏其完整性的矿床或矿田,其矿化均可能呈等间距分布。如多种后生矿床、各种叠加改造型矿床,均因断裂构造参与了成矿作用,而有呈等间距分布的可能。此外,对于沉积成岩型矿床(如煤、沉积型铁矿等)在追索因被断裂切割、挤动而“失踪”的矿体或矿床时,等间距分布规律,仍有着重要的现实意义。

(6) 同一地质体内,可以发育着不同时代、不同规模和不同力学性质的各呈等间距展布的断裂构造,若铀矿化叠加其上(如图5)而呈等间距分布时,则需确定铀矿化与它们之间在成因上或空间上的相互关系,这是应用这一规律成功预测的关键。

四、等间距断裂构造产生的地质条件及数学模拟

铀矿化等间距分布是以存在断裂等间距为其前提条件。因此,综合分析和确定断裂等间距产生的地质条件,以此为出发点,应用数学、力学的理论和方法,逆推、探索它的形成机理,对于深化对这一地质规律的认识无疑是有益的。

从等间距断裂形成的地质环境的分析中可以看出,它们往往产于相对均一的地质体中,如巨型的花岗岩岩基,尽管它们都是成分不均一、内部结构复杂的复式岩体,但是,此种差异对于岩体整体的机械物理性质的影响不大,或者说不足以对岩体断裂构造的形成与展布产生重大影响。因此,从岩石力学性质看,仍可视作相对均一的固体。除此以外,呈等间距展布的断裂构造都形成于大致相同的地质时期,由此可以认为它们是统一地质力作用下的产物。

由于地壳在漫长的地质年代中,经历了多次的运动和复杂的变形(包括长期缓慢的运动、变形和短期急剧的运动、变形),因此欲通过数学模拟恢复这一过程的每一个细节,则是不可能的。本文仅对断裂构造等间距现象产生的力学原因进行初步的探索。在我们建立弹塑性的动力学模型时,考虑到了构造应力不但随空间位置而改变,而且还随时间而发展,并根据一定强度的弹塑性波在均匀介质中的传播,其速度相等的性质,研究其压缩波、引张波在传播过程中相互作用所造成的等间距断裂现象。地质力学问题虽是三维空间问题,但是由于地壳厚度相对于区域构造展布的范围来说是很小的,因此可以将地壳看成一个很薄的平板,本文只考虑平行于薄板平面的水平应力的作用,这就成为平面应力问题了。

1. 威氏二维弹塑性流方法

二维弹塑性流方法属于有限差分方法。它区别于有限单元方法是,它近似地模拟数学方法,从弹性力学方程出发,按一定差分格式建立差分方程进行计算。有限单元方法则是模拟实物化整为零,各单元形态可以任意选择,各单元保持各单元特性,其基础是变分法,按力学中能量最小原理进行计算。前者对于均匀连续介质计算较严格,后者对于非均匀介质,形态各异的问题有独到之处。

考虑到应力场不但随空间位置改变,还不断随时间发展,所以我们选择的弹塑性平衡方程是动力学的,可以研究应力场随时间发生发展的情况。

弹塑性流微分方程如下:

(1) 动力平衡方程

$$\begin{aligned}\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} &= \rho \frac{\partial u_x}{\partial t} & \frac{\partial T_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} &= \rho \frac{\partial u_y}{\partial t} \\ \frac{\partial x}{\partial t} &= u_x & \frac{\partial y}{\partial t} &= u_y \\ \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial t} &= \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y}\end{aligned}$$

其中: x, y 为坐标变量; u_x, u_y 为相应 x, y 坐标上速度分量; V 为体积; t 为时间。

(2) 应变速度与应力关系式——虎克定律

$$\begin{aligned}\frac{\partial S_{xx}}{\partial t} &= 2\mu \left(\frac{\partial \epsilon_{xx}}{\partial t} - \frac{1}{3} \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial t} \right); \quad \frac{\partial S_{yy}}{\partial t} = 2\mu \left(\frac{\partial \epsilon_{yy}}{\partial t} - \frac{1}{3V} \frac{\partial V}{\partial t} \right); \\ \frac{\partial T_{xy}}{\partial t} &= \mu \frac{\partial \epsilon_{xy}}{\partial t}\end{aligned}$$

其中： ϵ_{xx} 、 ϵ_{xy} 、 ϵ_{yy} 为应变分量。可根据几何方程算出应变速度。

(3) 几何关系式：

$$\frac{\partial \epsilon_{xx}}{\partial t} = \frac{\partial u_x}{\partial x}; \frac{\partial \epsilon_{yy}}{\partial t} = \frac{\partial u_y}{\partial y}; \frac{\partial \epsilon_{xy}}{\partial t} = \frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y}$$

最大主应力方向：

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctan \frac{2T_{xy}}{S_{xx} - S_{yy}}$$

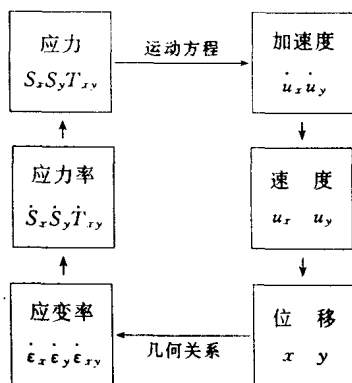
米杰斯屈服条件：

$$SS = (S_{xx}^2 + S_{yy}^2 + 2T_{xy}^2)$$

当 $SS - \frac{2}{3}(y_0)^2 \leq 0$ 时则认为物质进入塑性屈服阶段。

y_0 为根据屈服极限定的数据。

求解弹塑性的方法多种多样,我们采用拉格朗日网格,即把模型划分为网格,按威氏差分格式求解。具体解法是：



2. 力学模型的建立及结果分析

地质体(或岩体)是岩性和结构都高度变化的非连续且非均一的介质。在外力作用下产生的变形和破坏现象是随空间和时间变化的,同时边界条件也具有任意性和复杂性。因此,想用统一的分析模型来概括,困难很大。所以我们只能用简化、近似的方法来模拟,从而得出一些定性的认识。对于更为具体的复杂情况,只能根据简化模拟的计算结果进行分析研究。

(1) 模拟设计 建立模型要注意以下四个方面：

① 模型材料的性质及其各种力学参数：

假设物质为各向同性、均匀连续介质。其初始参数假设为：密度 $\rho = 2.6 \text{ g/cm}^3$ ；泊松比 $\nu = 0.3$ ；剪切模量 $\mu = 2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ；压缩模量 $K = 1.3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ；抗剪强度 $\tau \leq 100 \text{ kg/cm}^2$ ；抗拉强度 $\sigma_1 = 50 \text{ kg/cm}^2$ ；抗压强度 $\sigma_3 = 1500 \text{ kg/cm}^2$ ；屈服限 $Y_0 = 500 \text{ kg/cm}^2$ 。

② 外力作用方式和强度：a. 瞬间加力；b. 持续加力。

在同样能量情况下,外力作用时间越短,力的值越大,可造成强度较大的弹塑性波,在持续加力条件下,能量传递时间较长,可引起塑性变形,以致流动。

③ 边界条件：地块形态各异,为了计算方便,我们设计模型时,选取长方形。边界为 a 、 a' 、 b 、 b' 。边界的支撑条件可为自由面或固壁。相邻边界可为轻介质、重介质。

④ 初始应力条件：为了简化模型,假设初始 $t=0$ 时应力和应变为零。实际上地质构造在

发生发展中经历了多次反复的运动,其应力、应变是相当复杂的。

(2) 结果分析:

①模型 I,如图 7。

在初始 $t=0$ 到 $t=300$ 在 a 、 a' 二界面各推出对称的压缩波。压缩波峰值随时间降低,在 $\frac{b}{2}$ 处二个压缩波相遇,由于波的相互作用,使应力场发生强烈变化,应变能量迅速改变。这时,若达到强度极限,则可能造成压性断裂,也可能引起剪切破裂。破裂后由于断裂面释放了能量又形成新的压缩波向前传去(图 8~10)。在 a 、 a' 自由面各推出二个引张波,由于波的相互作用在 $x=12.5$ 处和 46.5 处各发生了断裂(图 11)。

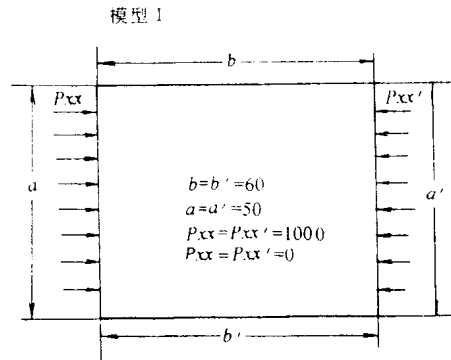


图 7

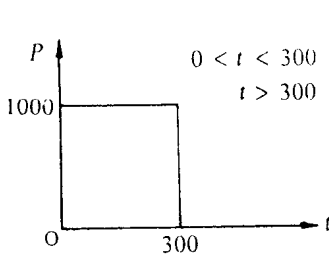


图 8

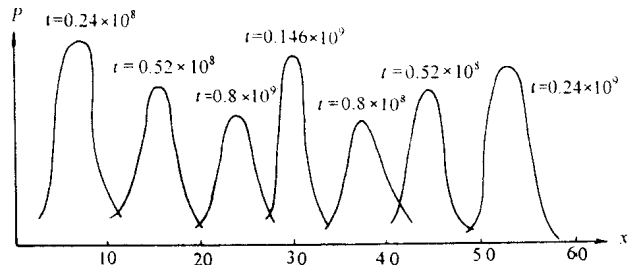


图 9

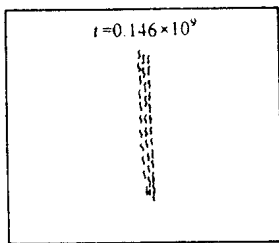


图 10

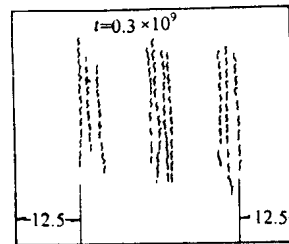


图 11

②模型 II (图 12)

在 P_{xx} 的峰值相同情况下,由于持续时间的长短不同,所形成的波的宽度也不一样。持续时间越长,能量越大,波的宽度也越宽。因此,在破裂时断裂的规模越大,破裂后释放的能量也越大(图 13~14)。

从模型 I、II 可以看到,断裂的产生是由于二波相互作用的结果。在均匀介质内,波传播过程中若不碰到新界面,就不会反射任何波,也就不会产生断裂。所以,被研究的地块内物质界面越多,则相互作用的机会也越多。如图 15 所示,从重介质到轻介质则传进一个压缩波,反射一个引张波。反之,从轻介质到重介质则传进一个压缩波,反射一个压缩波。在断面发

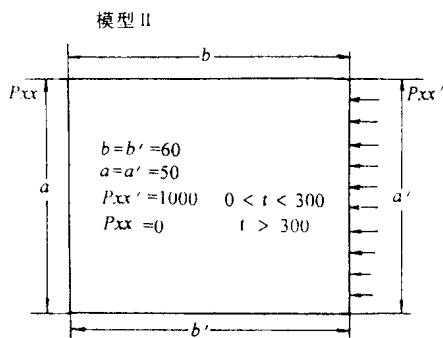


图 12

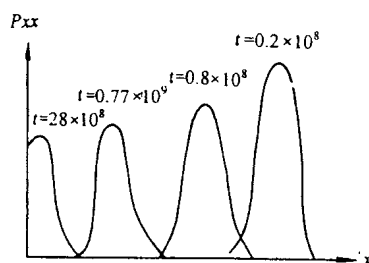


图 13

生后,断裂面又可产生新的界面。在新的界面之间可以往返反射各种波,造成二波相交的条件。从以上分析可以看到,二波相交的条件是由通过界面反射各种波相互作用造成的,所以在均匀物质的地块内,界面数量只有两个。造成第一级二波相交条件的机会不会增加,一般就是 3~4 条,所以地块越大,断裂间距也越大。

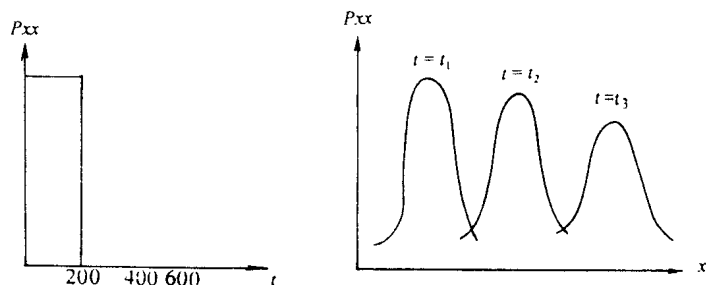


图 14

从图 9 可看到,波在传播的过程中波峰逐渐降低,能量逐渐衰减,所以当地块很大时,要形成等间距断裂带,所需要的能量也很大。即在传播过程损失后的能量还要使二波相交时能达到产生断裂的条件,在第一个断裂带形成后,它的规模也要足够大,才能使释放的能量产生的压缩波足以引起第二次、甚至第三次的断裂。由此可见,在地块很大时,等间距断裂带的规模和间距都大。

3. 等间距褶皱带的力学成因

等间距褶皱带的形成可视为一个长条薄板二边受均匀分布剪切失稳现象^[5]。

由薄板理论得到薄板挠度的积分方程

$$D = \left(\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} \right) = 2N_{xy} - k\omega \quad (a)$$

$$\left(D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \right)$$

式中: D 为板的刚度; k 为基床系数; h 为板的厚度; ω 为挠度; N_{xy} 为二边所受的剪应力。

函数 $\omega(x, y)$ 即板的挠度,可以由解式

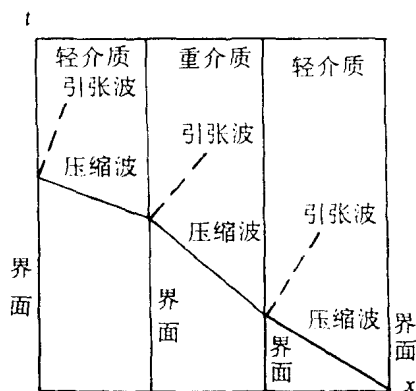


图 15

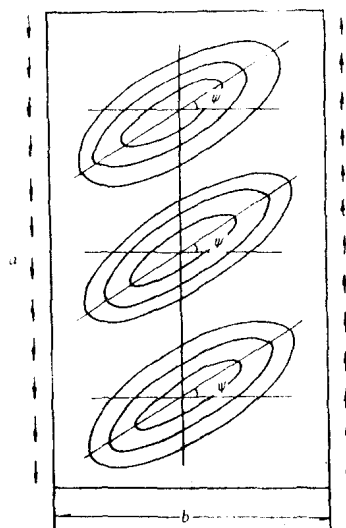


图 16

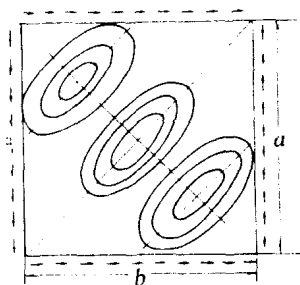


图 17

$$\omega = \omega_0^{\frac{a}{b}} [A_1 e^{i\lambda_1 \frac{x}{b}} + A_2 e^{i\lambda_2 \frac{x}{b}} + A_3 e^{i\lambda_3 \frac{x}{b}} + A_4 e^{i\lambda_4 \frac{x}{b}}]$$

来表示,代入公式(a)求出特征方程的解 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 其系数由边界条件决定。

在 $y = \pm b$ 处 $\omega = 0, \frac{d\omega}{dy} = 0$

求出 A_1, A_2, A_3, A_4 。

其计算结果可得到等高线图 16、17。一系列的褶皱呈多字型排列,每个褶皱的轴线和 X 轴形成一定的交角。二个褶皱轴线之间的距离相等,间距大小和 φ 角大小随薄板的几何形状而变,如改变长宽之比。当 $\frac{a}{b} = 2$, 间距为 0.466, $\varphi = 37^\circ$; 若 $\frac{a}{b}$

$= 1$, 间距为 0.296, $\varphi = 45^\circ$ 。

4. 模拟小结

(1) 当短时间加力后,形成很大的弹塑性波。在波的传播过程中,由于物体线性介面的影响,产生入射波和反射波的相交和相互作用,引起应力场的急剧变化。当超过物体强度极限时,则出现断裂等间距展布。

(2) 等间距的间距大小和地块大小、介质(物体的力学性质和所受外力密切相关。地块越大,间距也大。

(3) 在同样外力条件下,物体力学性质(如弹性模量,抗拉、抗剪强度等)不同,造成的等间距情况不同。

(4) 地块越大,形成断裂等间距所需能量也越大,等间距断裂带的规模也越大。

(5) 不同级别的等间距断裂带,是由不同序次的外力作用叠加而成的。

(6) 波传播方向的稳定性,决定了断裂带方向的一致性。

(7) 等间距断裂带只有在均匀介质中才能产生。由于自然界不存在绝对的均一地质体,

所以等间距断裂带之间的间距并不完全相等。

(8) 多字形褶皱带可由薄壳理论计算矩形长条薄板受剪切而产生。

以上模拟只能认为是等间距断裂带的一种可能成因。由于地质构造问题是反序的多解性问题,它也可能由于在长期持续加力条件下物质发生流动等其它原因形成的。

五、主要控矿因素对铀矿化等间距展布的影响

从世界已知主要铀矿床的成矿特点^[4]可以看出,它们中的绝大多数都属后生成因,而非同生成岩矿床。对于铀矿床的主要控矿因素,前人进行了大量有益的工作,下面仅就与铀矿化空间展布有关的方面作简要的论述。

(1) 铀源体对铀矿化等间距分布的控制

综合铀矿床的地质环境发现:世界几个主要产铀区内都存在有相当规模的富铀地质体,它们主要是:古太古代或元古宙的浅色结晶岩系,不同时代的花岗岩体或中酸性火山岩系及古代的变质不深或未经变质的硅质、碳质板岩或页岩,其含铀丰度一般大于克拉克值数倍至十多倍不等,它们在产铀区内或单独存在,或兼而有之,并在空间上相互叠加,构成醒目的富铀高场区,铀矿床就分布在这样的高场区内或它们的边缘。富铀地质体作为铀源对铀矿床的形成起着决定性作用。在缺乏铀源的地区,不仅见不到铀矿铀矿化等间距分布,而且铀矿化也少见。由此可见,富铀高场区对铀矿等间距分布有着决定性的影响。

(2) 断裂构造在铀矿化过程中的作用及对铀矿化空间分布的影响

断裂构造在铀矿化过程中起着十分重要的作用,如对铀源体的破碎、提供成矿溶液运移通道、储矿场所和对铀矿化的破坏等。在不同的成矿阶段上,不同级别的断裂构造,尽管起着不同的作用,但是,它们都对铀矿化的最终分布有着直接或间接的影响。如区域性大断裂虽然在多数情况下并不储矿,但是铀矿化经常产于它的一侧。上文在讨论铀矿化等间距分布时,主要注重于储矿构造的空间分布,有可能忽视了区域性断裂对铀矿等间距分布的控制作用。

(3) 其它控矿因素对铀矿化等间距的影响

铀源与构造条件虽都是影响铀矿化形成与分布的决定性因素。但是,它们并不是影响铀矿化空间分布的所有因素。如含矿溶液的性质以及与此有关的铀沉淀富集的地化条件的空间分布情况,如有利铀沉淀的有机质、黄铁矿的含量与分布、岩性、岩相的特点与分布等,都对铀矿化的最终分布起重要作用。此外,矿后的各种地质破坏作用都可能改变铀矿化的初始分布,破坏曾经存在过的铀矿化等间距。

六、小 结

铀矿化等间距分布在我国确实存在,它的出现决定于两方面:具备铀成矿的各种必备条件和必备条件中的控矿断裂呈等间距分布。二者缺一不可,缺前者不能形成铀矿化;缺后者铀矿化不呈等间距分布。若用集合论的语言,则可表述为:铀矿化等间距(A)等于铀源(X)、断裂等间距(Y)和其它控矿因素(Z)之交。(即 $A = X \cap Y \cap Z$)实际情况表明:在自然界,上述控矿因素并非到处都能重叠,因此,常见到断裂等间距多于铀矿化等间距;呈等间距分布的

铀矿化,它的各矿点在矿化程度和矿化规模上并不完全相同。

参 考 文 献

- [1] 巩志根,下庄矿田的扩大很有希望——论第三条主成矿带的存在铀矿地质,1993年第四卷第三期。
- [2] 童航寿、王玉明,6217矿床的成矿构造机理分析,放射性地质,1983年第五期。
- [3] 孙文鹏,铀的成矿作用与断裂构造。自然杂志,1980.5。
- [4] 孙文鹏,世界主要铀矿床的构造类型与演化,国外铀矿地质,1987.2。
- [5] 黄庆华,地质力学中几个典型构造型式的初步力学分析,力学,1976.No.2。
- [6] Calculation of elastic-plastic flow Mark L. Wilkins Methods in computational physics Vol. 3,1964.