混沌动力学和分形几何学在勘探中的作用

Pierre L.Goupillaud

从数字计算出现以来,模型在地球物理和地质资料的分析和解释中起着越来越大的作用．但这些模型通常均受到以前数学概念中平滑约束条件和施加的规律性要求的严格限制．

笔者的目的是提请地球物理界对新发展起来的两种数学概念的注意,因为这两种新的数学概念能够克服这些束缚条件，并将成为未来勘探的重要工具．

人们通常认为不规则是由于缺乏构造的结果和作为随机的一种表示．实际上它是（动力系统的数学术语）迭代系统呈现的一种决定性的现象和非线性效应的特征——其核心是由特定原因引起的非常小的扰动能够使效应产生较大的变化．

在近几年中，对不规则现象已有了较清楚的理解，且产生了两种密切相关的数学学科的分支，即混沌动力学和分形几何学．

这篇短文的目的在于回顾这些学科分支中的基本概念，然后说明这些基本概念怎样能够为勘探家提供比以前在欧氏几何的基本原理中施加的十分严谨的约束条件下产生的模型可能更逼真的模型．最后，文中提出了笔者对混沌动力学和分形几何学在即将出版的、由W.T.Stilley 专著的、旋转勘探（revolutionary exploration）概念的发展中所起作用的意见．

基本概念

自相似概念易于想象和接受，因为许多自然目标提供了明显的实例，因此，笔者从分形着手研究．自相似是迭代过程的一种直接的副产品．下面描述的三个很简单的分形目标给出了最好的说明："康托尔粉末"（Cantor dust），"病态曲线"（Pathological curve）和"sierpinski 三角形"（Sierpinski triangle）．

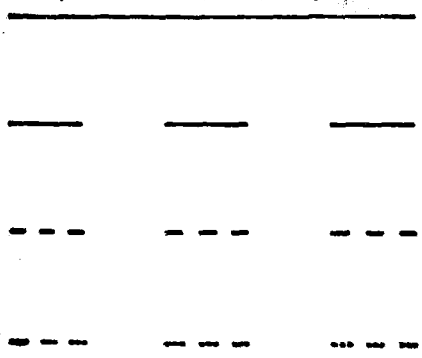

图1. 康托尔粉末．N=5，$D_F=\log^3/\log^5$

"康托尔粉末"是后期引入集（合）理论概念的德国数学家命名的．它是破碎作用的理想实例，并聚集了迭代系统的特征．

"康托尔粉末"的结构始于一个单位长度和单位质量的线性段，然后，必须指定一种迭代运算；在这种情况中，运算产生 N 个自相似子段，为了形成间隙，每隔一个子段去掉一个子段，将剩余各子段分离开．同时，将总质量均匀地重新分布到剩余各子段中，以保持质量不变，并等于整体的质量．这种分裂运算无限地迭代下去，结果会导致密度不断增加的颗粒无限地散播、积聚．图 1 中示出的特定情况为 N＝5，相应地，在每次迭代时所涉及的每部分要保留三个子段．"康托尔粉末"的分形尺寸等于对数比 log3／log5，即 0 与 1 之间的一个数（约等于 2／3）．精确的确定分形大小是很复杂的，但它表示了由粉末继续占有的原来的线性欧几里德空间的相对份额．

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

另一个很简单的分形目标是"病态曲线"。此曲线是因为它尽管是连续的，但曲线上的任何一点都不可导（有些数学家以前看成是畸点）而命名的。这样的曲线示于图 2。该曲线是从单位正方形的左下角起始，到右上角截止的任意条曲线中一条。这条特定的曲线是由曲线在横坐标中点处那点的纵坐标表示的一种迭代运算所确定的。在图 2 中，选择的纵坐标值为 3／4，曲线是通过确定间隔逐渐变小的点而建立的，结果得到了这条连续的曲线；根据进一步的研究可知，曲线的每一点上能够记录曲线向左是水平的，向右是垂直的，这就表明曲线上并不是处处可导的。实际上，在适当放大的情况下，认为曲线在每一点是相同的，这可作为在标度下不变性是分形的基本特征的最好例证。值得注意的是，该曲线类似积云或菜花的横切面，或人脑的横切面。

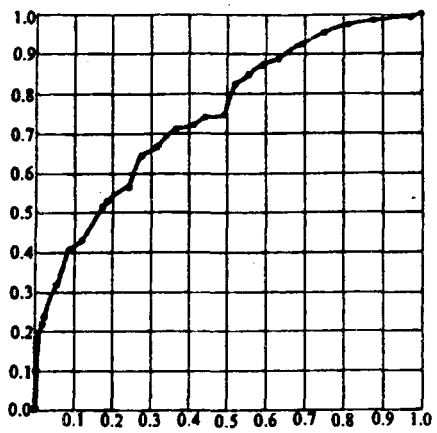

图 2. 由 $y_{1/2}=0.75$ 所定义的病态曲线. 放大曲线中任何一点,曲线的形状仍然是完全相同.

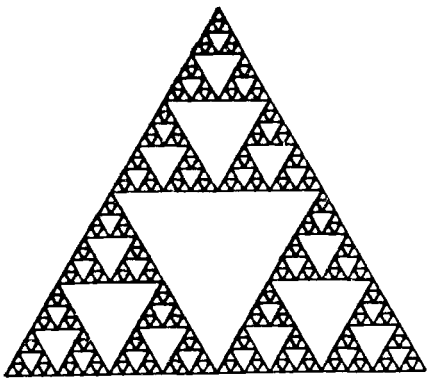

图 3. Sierpinski 三角形

当这条曲线不可导时，它可以积分，且曲线下的面积等于横坐标中点的纵坐标。

第三个分形目标（图 3 所示）称作 Sierpinski 三角形，最早描述它的是数学家 Polish。这个图形是在二维欧氏空间通过绘制均匀分布的等腰三角形而得到的。绘制方法是连续等腰三角形各边的中点产生四个自相似的三角形，再去掉中间的三角形，并如此重复作下去。

这种目标的分形尺寸等于对数比 log3／log2＝1.5849，这个数值表示被去掉的平面部分的范围。

在研究分形目标中，这三个简单的例子对熟悉具有所采用的基本概念的读物是适合的。现在，本文将试图说明这些几何目标往往与自然界中观察的现象有关，并且在不规则动力学中被描述。

分形几何学与混沌动力学的关系

分形几何学用于勘探的最主要的部分是直接根据自相似特性得出的，并涉及了矿床的破碎和聚集的双重特性。欧氏几何学突出连续性和光滑性，而分形几何学则着重强调凹凸不平和粒度。

自相似的基本性质是标度的不变性，这种不变性仅仅意味着在一种标度时观测到的特征，在其它标度时也能容易地看到。笔者亲自在扬子江上观察了这种现象的理想例子，那里满载沉积的水的粘滞性与湍流的河水在大范围内产生的大小清晰可见的自相似涡流的流速有关。如此观测到的自相似现象是普遍存在的，并且形成了有利于发展基于这些新概念

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

的勘探方法的最强的理论。

分形几何学和混沌动力学间的关系涉及动力系统的稳定性问题．如同谐振子一样，这些关系是由它们的轨道及其所连续的有吸引力的物体所表示的．动力系统通常用差分方程组来描述，用涵数迭代法求解，最后产生称作子系统迭代图的图解．

由迭代法得到的点的序列叫作轨道，这些轨道可以是周期性的．或是不规则的．不规则的轨道具有反复分支以及出现三次重复所产生的许多不可数的周期．

不规则特性的一个显为人知的例子是对数方程 x（n+1）＝c×（n）（1−x（n））的特征．这个简单的取决于参数 C 值的二次迭代方程将导致产生具有二次重复率的周期性的解，而在几个三次重复之后变成了不规则的解．（该方程的三次重复图是众所周知的，因为它在 James Gleick 著的最畅销的不规则一书中出现过）．

在长时间内，不规则观测被认为是随机的．换句话说，是周期数有限的一种重复；但现在很好理解，不规则特性纯属决定性的，且仅仅是其迭代特性的反映。

轨道在特定的相位空间中投影的显示（例如，采用后样点作为空间坐标），是采用相位相似分析动力系统的不规则特性所揭示的、不规则和分形间另一个重要的关系。

上述工作完成之后，可以得出通常所说的庞加莱剖面（Poincare′ Sections），该剖面显示了轨道与对剖面选定的平面的交点的点集．这些点集是分形目标，且目标的分形尺寸是建立该尺寸动力过程特性的一种重要量度．

由于分形的缘故，这些点集随着标度而变，因此，有效参数既可在某一个标度时确定，也可在扩展到另一标度时来确定。

分形目标的破碎和聚集状况在本质上与不稳定的时间序列的周期性和持续性有关。总之，对这个领域较广的学科应给出足够的有关不规则、分形和时间序列间关系的信息。

不规则与时间序列间频谱分析的联系是引人注目的．正如众所周知的，Paley 和 Wiener 提出的广义谐波分析是用于研究变换中平稳高斯过程不变式的方法。为了研究均匀变换（x′＝ax+b）即扩展和变换）中更具一般性过程的不变式，还涉及了具有普遍意义的 Levy 分布。

根据上述讨论，笔者推测，这些新的数字概念可以给出表示导致产生聚集的持续性和周期性的模拟现象．因此，可以预言，这样的模型最适合于描述那些与构造、沉积、或矿物分布密切相关的勘探（地质或地球物理）得到的观测结果。

对地质构造模型的应用

Stilley 最近发表的论文是混沌动力学和分形几何学用于一般性勘探的极好例证．

分形几何学的主要原则——观测结果随标度的不变性是地球动力学在地层和含烃盆地的发育中起作用的关键．Stilley 最初的证据是从实验中得到的，他在很多地区多年的勘探中亲自作了观测．Stilley 应用构造准则，以及由于上升、下降、地堑、块状断裂等原因致使地层变形和破碎所涉及的动力学研究的有关理论知识，得出了在一个范围较广的标度内可观测到有规律地出现重复形状的结论．他认为这是不规则构造场具有"可分解过程"这一特征的表现．

上述实验观测结果与理论是一致的，因为像构造演化、沉积等多数地质过程都是非线性的，它们对油气层的形成及其油气聚集是十分重要的，因此，它们有理由要求以自相似观测结果来显示所证实的不规则特征．

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

根据这一点，Stilley采用构造准则建造了由一个浅水沉积旋回所分开的，两个性质不同的造山幕组成的普通模型。该旋回的浅水沉积通常构成能够吸收地震能量的"屏幕"（常常很有效），这对他所提倡的，经济勘探尚需在未勘探过的、甚至在石油十分稳定的区域内进行的观点是一个很好的说明。

不过，未来的勘探也许会维护，也许会推翻地质模型所提供的真实性。但是，要想有所发现，人们已经不得不采用地质模型，况且地质模型正在提出一个有揭示可经济开采油气的较大新储量潜力的、勘探的"新边缘"。因此，笔者认为，这种新模型定能很好地开创一个新的勘探远景。

译者：《The leading edge of exploration》,1991，Vol.10，No，1

译者：谭岩

1980—1990年间世界选矿领域取得的新成就

磨矿领域的最大成就是发展了辊磨机的挤压层粉碎过程。到1990年末，已有72台磨机用于碎磨水泥熟料，26台磨机用于碎磨水泥原料，13台磨机用于碎磨金伯利岩，20台磨机用于碎磨其它原料。因此，使得单位能耗降低50%，且达到了很高的碎磨细度。对于圆筒形磨机来说，除了加大磨机尺寸和提高生产能力的总趋势外，最重要的是将磨机滚筒与传动电动机转子合并使用。将明显扩大带液压传动装置的跳汰机的使用范围。这种跳汰机的水耗达到了创记录的低点（$\sim 0.13m^3/t$）。在细粒矿物重选方面，螺旋选矿机，特别是拉依赫特型圆锥选矿机得到了越来越多的应用。磁选方面具有Descos超磁力系统的筒形磁选机和经过改进的NdFeB永久磁铁磁场的筒形磁选机已开始制造并投入使用。带有快速转动磁滚筒的选矿机，能在其上边的小金属块中激起电涡流，从而金属块中能生成与滚筒磁场相互作用的磁场，使小金属块与不导电的物体分离。这种选矿机已经用于从各种尾矿中分离有色金属，但目前对分离5mm以下物质和金属丝尚不够理想。在浮选方面，浮选柱，特别是逆流浮选柱已被广泛使用。在脱水方面，板状浓缩器已初露锋芒，并开始利用带更大尺寸整体转子的离心机。在过滤领域，受隔离腔压力作用的网带状压滤机，圆盘式和滚筒式过滤机受到普遍重视。目前开始形成一种利用微孔过滤介质趋向，因为在这种微孔过滤介质中毛细管水压力要远大于空气压力。在压力作用下，这种介质将水释出，而空气渗不出去，从而大大降低了在压力作用下过滤的能耗。选矿过程在解决环境保护方面越发起作用，其中包括清净土壤不受污染，分选建筑、工业原料和生活垃圾供二次利用。然而，尽管有各种各样的选矿过程可用于此目的，但手工分选依然是占据重要地位。

摘译自：《Aufbereit—Techn.》，1991，Vol.32，No 5

译者：张锡濂

校者：孙仲信

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n