

分形论、界壳论与山地研究理论及地理学创新和发展

黄震方, 朱晓华

(南京师范大学 地理科学学院, 江苏 南京 210097)

摘 要: 在概述分形论、界壳论基本概念的基础上, 首先探讨了二者对系统自组织理论的完善以及对深化山地研究和地理学研究的方法论意义; 其次, 总结了分形论、界壳论在山地理论和地理学中的已有应用, 最后针对应用现状, 对山地理论和地理学中理论的应用创新和发展提出了若干对策。

关键词: 分形论; 界壳论; 山地理论; 地理学

中图分类号: O19; O184

文献标识码: A

1 分形论与界壳论基本概念概述

美国科学家曼得尔布罗特(B. B. Mandelbrot) 1967 年在美国《科学》杂志上发表了《英国海岸线有多长》一文, 对海岸线长度的不确定性进行了独特的分析, 分形的概念由此产生^[1]。后来经过曼得尔布罗特的不懈努力, 在 1977 年和 1982 年分别发表了分形学的奠基性著作《分形: 形式、机遇和维数》和《自然界的分形几何学》, 分形学的思想进一步成熟起来。分形论现已被广泛应用到自然科学和社会科学的几乎所有领域, 成为当今国际上许多学科的前沿研究课题之一。美国著名物理学家惠勒(A. Wheeler)说:“可以相信, 明天谁不熟悉分形, 谁就不能被认为是科学上的文化人!”

对于什么是分形, 曼得尔布罗特指出:“分形是一种其部分以某种方式与整体相似的形”。后来经过众多研究者的努力, 给出了较为明确的分形定义, 认为分形是具有一下性质的集: (1) 具有精细结构, 即在任意小的比例尺下, 都可呈现出更加精致的细节; (2) 其不规则性在整体和局部均不能用传统的几何语言加以描述; (3) 具有某种自相似的形式, 但不是完全数学意义上的自相似性, 而是统计的自相似性, 或是近似的自相似性; (4) 一般 $D_f > D_e$, 即豪斯道夫维严格大于拓扑维数; (5) 该集常可由极简单的方法来定义, 可能由迭代产生; (6) 其大小不能用通常的测度(例如面积、长度、体积等)来量度。

由于经典的几何方法不能适用于分形研究, 分维则成为分形数量特征的主要表征参数。对于分维的测算, 有着针对豪斯道夫维(Hausdorff dimension, D_f)、关联维、相似维、盒维数、容量维等等不同维数形式的大量计算公式, 但借助于最为基本的分形公式: $N \propto r^{-D}$ (式中: r 为某一特征标度, N 为具有大于这一特征标度的客体数目, D 为客体的分维), 就可以进行最基本的分形维数的测算。例如, 笔者曾以 r 为特征线性标度, N 为具有大于某一特征线性标度的中国山系、断层系数目, 对中国山系、断层系的分形性质进行了有益的初步探讨^[2,3]。同时, 基于式 $N \propto r^{-D}$, 如果一客体在所选取的标度区间存在着多个分维值, 则其为一多重分形体(multi-fractal)。曼得尔布罗特指出, 自然界中的大量事物和现象决不是一个分维所能简单描述的。

界壳的概念最初发轫于我国曹鸿兴研究员在 1988 年撰写的论文《界壳现象及其学术框架》, 此后经过十多年的丰富发展, 已基本形成界壳论的框架结构^[4]。界壳论的产生, 在系统科学中开辟了一个特殊的崭新领域。众所周知, 整个世界充满着形形色色的系统, 系统虽然是一个可以描述却难以加以精确定义的概念, 但是在研究某一问题时, 将特定对象从其它事物中分割出来, 这一特定对象就被称为一个系统。在对系统的长期研究过程中, 虽然对系统三要素, 即系统结构、系统功能、系统行为有着深入的认识, 但对于分隔系统和与系统相邻并与其依

收稿日期: 2000-04-10; 改回日期: 2000-09-21。

基金项目: 江苏省“333 工程”跨世纪学术带头人人才基金项目部分成果。

作者简介: 黄震方(1963-), 男(汉族), 江苏扬中人, 博士, 副教授。主要从事自然地理与旅游地理相关研究, 已发表论文 20 多篇。

存的环境的系统周界却研究甚少。系统以它的周界与环境相分离, 无论从系统向环境, 或是环境向系统的物质、能量、信息的输送, 都必须经过这一周界, 这样, 系统周界对系统的形成与发展, 对系统状态的变化都起着重要作用, 乃至决定性的作用。界壳论的产生, 就是弥补了这块系统科学中被长期忽略了的领域, 正如宋健院士所指出的那样, 界壳论的研究“必将是一个十分重要的命题”。

概括而言, 界壳论是关于系统周界的学问, 是专门研究称为界壳的系统周界。根据界壳论的基本观点, 将一个系统划分为周界和系里两部分, 这里周界就具有了双重性, 一方面它是系统的一部分, 另一方面它又是系统和环境间的中介体, 如果周界具有卫护系统以及与环境进行物质、能量、信息交换的作用, 这样的周界就被称为界壳。界壳又由界壁和界门组成, 界壁是界壳上卫护系统但无交换作用的部分, 界门则是界壳上进行系统与环境间交换的部分。

2 分形论、界壳论对系统自组织理论的完善及其对深化山地研究和地理学研究的方法论意义

分形论、界壳论的建立, 由于都提出了一系列新的观点和解决了一系列原有难题, 所以都在一定程度上完善了系统自组织理论。就分形论而言, 它的建立把人们的注意力引向了研究那些不能用通常的长度、面积、体积等测度来表示的非规则几何体的性质, 使人们能用更贴近自然的语言来描绘自然。分形论主要用于研究复杂系统的自相似性, 借助它, 可以通过少量信息来重现原来的研究对象, 不仅具有指定信息少、计算容易和精度高的特点, 而且通过对系统整体与部分相似性的研究, 试图找到介于有序—无序、宏观—微观、整体—部分之间的新秩序, 从而深化对于系统的此类关系的理解, 以及对于物质世界多样性的统一认识。就界壳论来说, 它的建立, 对系统自组织的开放原则进行了深入的研究, 对系统开放度问题进行了定量化的阐述, 从而为人们研究各个系统及其相互关系提供了明确的测度。

分形论与界壳论的建立, 不仅对系统自组织理论是一种完善, 而且对深化科学研究还具有重要的方法论意义。从哲学的层面上讲, 分形论借助于事物内部的自相似性质来洞察隐藏于混乱现象中的精细结构, 为人们从局部认知整体, 从有限认知无限提供了新的途径; 同时, 亦为不同学科发现的新的规律

性提供了崭新的语言和定量的描述, 为现代科学的深入发展提供了新的思路和方法。

从认识事物的途径或思考问题的方法来看, 分形论与系统论分别体现了从两个端点出发的思想。系统论由整体出发确立各个部分的系统性质, 沿着从宏观到微观的方向考察整体与部分之间的相关性; 而分形论则是由部分出发来确立整体的性质, 沿着从微观到宏观的方向考察部分与整体之间的相关性。系统论强调了部分依赖整体的性质, 体现了从整体出发认识部分的思想; 而分形论则强调了整体依赖于部分的性质, 体现了从部分出发认识整体的方法。于是, 系统论与分形论构成互补, 相互辉映, 极大地提高了人类对自然界的认识能力和水平。

对传统数学而言, 已对那些可用经典微积分方法进行研究的集类和函数作了深入的讨论, 但对那些不十分光滑或不规则的集合和函数则认为其是“病态”的或“妖魔”的而不予理睬。现在, 这种情况开始出现了改变, 人们不但认识到许多“不光滑集”很值得研究, 而且用它们来描述自然现象要比经典的几何图形好得多, 分形论的产生为进行这类描述提供了有力的工具。分形论使人们能以新的观念、新的手段来处理扑朔迷离的无序的混沌现象和不规则的形态, 揭示隐藏在复杂现象背后的规律, 以及局部和整体之间的本质联系。

界壳论产生之后, 用它来思考和重新考察地球物理、美学等学科的诸多问题, 已经取得了一系列新的或是反传统的结论, 但无论如何, 有一点是可以充分肯定的, 那就是界壳论将为深化思考自然、社会的有关问题提供新的观念与方法, 对山地研究或是地理学的相关研究而言亦是如此。

随着界壳概念及原理的提出, 系统论将不可避免探讨界壳问题, 因为界壳是系统的不可分割的部分。在一般意义下研究界壳这一环境与系里的中介体的作用是界壳论产生之后提出的新命题。地理学是以地球表层内各地理圈层组成及其关系为研究对象的学科, 地理圈层各系统及其子系统之间存在着众多的界壳, 所以, 从普遍存在的地理现象中寻找界壳现象的普适规律, 正是系统论及系统哲学的新任务之一。

因为界壳是系统的外部分, 所以, 界壳方法是系统方法的一部分, 就此而言, 界壳方法的形成与发展, 丰富了系统方法。在对各个系统的研究中, 对于界壳的约束性是不予考虑的, 而界壳的方法则是研

究系统周界对系统生成、发展或存活的影响以及系统对周界结构、功能的制约,所以,当提炼出一般意义下的界壳论的原理和数学表述时,就可以指导具体问题的实践过程。当然,需要指出的是,界壳方法也有它的独特性,因为研究界壳,就将问题化为系里、界壳和环境三者之间相互作用的问题,问题变得既具体了,又复杂化了,于是解决问题的思路、方法等都需要进一步思考和探讨,但这些也恰恰是需要学人不断努力的地方。

总的来说,分形论与界壳论的产生,丰富了原有的系统方法,将研究者的视野拓展,能通过局部认识整体或是通过整体认识局部,同时考虑界壳问题,在将研究对象具体与复杂化的过程中,不断地深入思考,同时不断地获得新的认识。

3 分形论与界壳论在山地研究和地理学研究中的应用

分形论的产生,最初源于曼得尔布罗特对自然界大量而长期的观察、思考,它产生的过程,可以说是通过在自然界中的逐步应用而逐渐成熟的过程。分形论的产生,使得现代科学可以超越传统科学的束缚而对自然界中复杂事物的描述变得轻松自如,用分数维来描述复杂的自然和人文现象,已经取得了很好的效果。有关研究已经揭示出了众多山地现象与地理现象的分形性质^[5~8]。在地貌学领域,运用分形论研究了地表面的起伏,例如山地的起伏形成,以及它们产生、发展、分布的规律等,已经形成了分形地貌学(fractal geomorphology)这一地貌学新的分支,它不仅以分形论为基础对地表面(特别是山地表面)的形成进行了描述,而且还进而以分数维为中介参数以建立山地起伏等地貌现象与其内部机制之间的联系,用以探讨分形布朗地貌的演化规律,认为分数维可以成为描述地表面粗糙度的良好指标。分形地貌学除去研究了地表的起伏之外,还大量探讨了山系、断层系的空间展布以及喀斯特洼地、峡谷高边坡的稳定性、地表水系、地下渗流、海岸线、湖泊、湖岸线等的分形性质。同时,运用分形布朗运动随机分形生成逼真景物的方法,籍助于分数维可用以产生各种各样的自然景观,自然界中的山地起伏、山脉的形状以及海岸线、湖岸线、河流等都被形象而逼真地模拟了出来。在灾害学领域,滑坡、泥石流等山地灾害的发生、旱涝灾害的发生、地震的发生、灾害性海潮的发生、历代灾害造成的伤亡人数、受灾地区

的分布及面积大小、灾害造成的经济损失等都被揭示出是具有分形性质的。在地貌学和灾害学领域中,涉及到对众多山地现象和地理现象的分形研究。在人文地理学领域,分形理论也同样取得了一定的应用。用分形理论已经探讨了类似于海岸线的城市边界线的分形特征,探讨了城市等级体系和城市规模分布的分形特征;另外,城市道路网的分布、城市商业网点的布局、城市人口的分布以及城镇土地利用类型的空间展布等,它们的分形性质也都被相关研究所揭示和证明。除此而外,分形理论还在沙漠定量化研究、长江水系沉积物重金属含量空间分布特征、旅游景观的设计布局以及与地理位置有关的金矿矿位、油田井位的位置和储量的确定等方面也作出了实际性的探索和应用。

同分形论在山地理理论和地理学中的应用比较而言,界壳论在二者中的应用则是刚刚起步,但它同样为二者的研究开拓了思路。例如,地理学是研究地球表层内的各地理圈层组成的系统的学科,以往的研究,着重于地球上各个系统相互联系的整体性、时间演化的动态性、空间分布的区域性、形态各异的景观性等特征的研究,但不得不承认,这些研究忽略了对系统周界(界壳)在系统与环境之间的物质、能量、信息三种交换中所起的作用,以及机制如何等一系列值得探讨的问题。

在形态各异,纷繁复杂的大千世界中,界壳现象是非常普遍的,从地球的各个宏观圈层结构到大量的微观生态系统莫不如此,可以这么说,地球上的一切生物之所以能够生存,正是地球的层层界壳保护的结果。众所周知,地球固体部分由地核、地幔和地壳组成,大气层由对流层、平流层、暖层、散逸层组成,地核深处和高空都是不适宜于人类居住的,仅在地球地表有着适宜于人类生存的温度。这样的环境,其实就是由固体地球层和大气层上下包围所形成的,暖层、平流层、对流层以及岩石圈、水圈等共同构成的一个层层相套的界壳,使得人类能够在其中生存繁衍;再者,地球上的宏观与微观生态系统也无时不刻不在进行着物质、能量、信息的交流。地球表层系统是一个开放的巨系统,它拥有数量庞大、种类繁多的子系统,地球的圈层之间存在着经常的、复杂的、不可忽视的相互作用,各个圈层通过自身的界壳与其它几个圈层不断地进行着物质、能量、信息的交流。

地理学研究的核心内容自然系统和人为系统之

间也存在着相互作用, 人为系统通过界门不断地从自然系统中索取物质、能量和进行相互的信息交流, 以满足人类自身衣食住行等生存的需求; 同时, 人类改造自然的信息被自然系统接收后, 自然系统通过调节自身的功能与机制, 会建立起新的生态平衡。

在人类生活的空间, 城市、乡村也存在着界壳现象, 例如城市系统的边界。城市边界是城市生长的重要界线, 在其不断变迁的历史过程中, 已将大量信息孕育其中; 城市边界的变迁过程受多种因素的影响, 其中包括政治变化、战争、城市发展、工业水平、运输状况、建筑技术、社会管理及自然生态等, 随着时间的推移, 这些因素在不断地变化着, 在不同的历史时期, 对城市边界的变迁产生不同的影响, 因此各个时期的界门的作用也处在不断的变化之中。在城市系统的边界(界壳)中, 海陆空交通通道为物质交换的界门, 通讯为信息交流的界门, 输电为能量流通的界门。城市之间以及城市与乡村之间都普遍存在着此类界壳现象。

关于分形论与界壳论在地理学研究中的交汇主要体现在对海岸线的分形研究上, 界壳论的研究认为, 当界壳要素与系统状态有非线性作用时, 系统的动态方程就会出现非线性项, 由于界壳对系统存在、发展与演化的重要作用, 所以系统出现自组织现象可能源于界壳控制的结果, 进而系统的界壳可能是一种分形结构^[4]。关于这一仍不太确定的推论, 笔者认为可以从近年来的大量分形研究中得到一定程度的验证, 这些分形研究已经揭示出大量自然系统与人造系统的边界都是具有分形结构特征的^[1, 7, 9~12], 那么它们的界壳是否具有分形结构特征就在一定程度上得到了回答。

对于海岸线的分形研究是分形论最传统的研究课题, 1967 年在国际权威杂志《科学》上发表的题为“英国海岸线有多长?”的论文, 在提出海岸线分形结构特征的基础上, 分形论逐步得到了丰富发展。对于某一区域范围内的海岸线来说, 它具体由河流入海口和其它部分海陆交界线所组成, 但以往对海岸线的分形研究, 是忽视河流入海口这一界门存在的, 通过一定的河口处理原则, 将其视为海岸线的一部分, 再用计盒法等来计算其分数维。这类相关的研究成果的确深化了对海岸线特征的认识, 是对传统研究方法的一种升华, 但值得提出的是, 河流入海口实际上是海岸线的不连续区, 是海洋系统与陆地系统之间进行物质、能量、信息交换的主要场所, 所以,

海岸线的这些“中断”, 即界门的出现, 除去功能与结构的原因之外, 是否还受某种随机因素的控制? 这些问题对数学和地学而言, 都是很有吸引力的新领域。其实, 对城市边界的分形研究来说也存在着类似的问题, 以往这一方面的分形研究也是忽略了基于物质、能量、信息而定义的各个界门的存在的。总之, 在运用分形论对海岸线、城市边界线等系统边界进行研究的基础上, 再运用界壳论来深化已有研究成果, 这一方面丰富了分形论和界壳论本身, 另一方面也进一步深化了问题, 提出了新的有待解决的命题。

4 结 语

在竞争日益严重的当今社会, 要紧跟世界的发展形势, 就要勇于迎接世界科技与经济挑战, 就要勇于创新, 江泽民同志指出: “创新是一个民族进步的灵魂, 是一个国家兴旺发达的不竭动力”。对于一个国家来说要建立和完善创新体制, 而对一个学科的发展以及对不同学科领域的研究者个人来说, 同样需要创新。对于学科的创新, 其途径之一是要积极利用新兴科学技术以推陈出新; 例如计算机技术的发展对地理信息系统技术的促进, 航空航天技术的发展对遥感技术的促进等。途径之二就是要积极关注和学习新兴建立起来的理论, 并加以运用, 例如分形论、界壳论、混沌论、神经网络论等。就山地理论和地理学中分形论和界壳论初步运用的现状而言, 可以发现二者中的创新是远远不够的。

分形论虽然已经揭示出了众多山地现象与地理现象的分形特征, 结合已有知识, 它推动了对客观世界本质的认识, 但是自分形论建立以来的三十多年里, 大多数学人对这一理论是较为陌生的, 分形论在山地理论和地理学中的应用还不够深入, 基本上处于对现象分形特征的揭示阶段, 而且, 即使是这一点也还是做得不够。对地理学而言, 分形论在地理学中的应用一方面处于对地理现象分形特征的揭示水平, 另一方面在地理学中的应用主要是集中于自然地理学领域, 而少于人文地理学和经济地理学领域, 即发展是不均衡的。而就界壳论而言, 在山地理论与地理学中的应用则更是刚刚起步, 还基本上没有什么研究文献, 所以, 要实现山地理论与地理学的全面创新和发展, 就必须加大包括分形论、界壳论在内的新兴理论的应用广度和深度, 以实现不断发现问题到解决问题的动态循环。

就分形论、界壳论在山地研究与地理学中的应用来说,一是由于二者形成时间短,二是由于大多数研究者对它们还比较地陌生,所以用分形论和界壳论的思想来认识地理现象或是山地现象还只是处于起步阶段,但这已经为深入运用这二个新理论来加深对地理现象或是山地研究的认识开了一个好头,已经得出了一些初步的研究成果。为了实现全面创新基础上的大发展,笔者认为有以下一些对策:

(1)各专业研究者应拓宽研究思路,积极用新理论武装头脑,同时将新理论结合本专业实际加以应用,在逐步应用的过程中逐渐探索自然和人文诸现象发生的新规律和机理;

(2)鉴于分形论、界壳论在山地理论与地理学中处于初步应用阶段的实际情况,研究山地现象或是地理现象分形特征和界壳特征的物理机制为时尚早,当务之急是进行山地现象或是地理现象的分形特征和界壳特征的普遍测算,以确定那些现象具有分形特征或是界壳特征,并从大量的现象中总结出较普遍的规律,以指导进一步的深入探索;

(3)鉴于分形论、界壳论在山地理论与地理学中初步应用的现状,应尽可能地组织熟悉这两个理论的研究人员编写切合本、专科生及研究生水平的权威教材,同时在有条件的高校地理等专业中开设相关课程,以拓宽学生的思路,进行后备研究人才的培养。

总之,分形论和界壳论的建立,不仅在一定程度上完善了系统自组织理论,而且为山地理论和地理

学的全面创新和发展开辟新的方向和思路,可以相信,随着有志学人的不懈努力,就一定能推动山地研究和地理学的持续发展。

参考文献:

- [1] Mandelbrot B. B. . How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension[J]. *Science*, 1967, 156(3775), 636 ~ 638.
- [2] 朱晓华, 王建. 山系的分维及山系与断层系关系——以中国为例[J]. *山地学报*, 1998 16(2): 94 ~ 98.
- [3] Wang Jian, Zhu Xiaohua. Fractal analysis applied to faults and earthquakes——a case study of China[J]. *ACTA SEISMOLOGICAL SINICA*, 11(3): 349 ~ 353.
- [4] 曹鸿兴. 系统周界的一般理论——界壳论[M]. 北京: 气象出版社, 1997, 1 ~ 162.
- [5] 朱晓华, 王建. 分形理论在地理学中的应用现状和前景展望[J]. *大自然探索*, 1999 18(3): 42 ~ 46.
- [6] 朱晓华. 自然灾害中奇异分形现象的研究进展[J]. *科技导报*, 1999, (10): 48 ~ 50.
- [7] 朱晓华, 陆华. 分形理论及其在城市地理学中的应用和展望[J]. *经济地理*, 1998 27 ~ 32.
- [8] 刘继生, 陈彦光. 城市地理分形研究的回顾与前瞻[J]. *地理科学*, 2000, 20(2): 166 ~ 171.
- [9] Philips J. D. . Spatial analysis of shoreline erosion, Delaware Bay, New Jersey[J]. *Ann. Am. Geographer*, 1986, 76(1), 50 ~ 62.
- [10] [美] D. L. 特科特(陈颈, 等译). 分形与混沌——在地质学和地球物理学中的应用[M]. 北京: 地震出版社, 1993, 37 ~ 39.
- [11] 冯金良, 郑丽. 海岸线分维的地质意义浅析[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1997 17(1): 45 ~ 51.
- [12] 朱晓华. 关于海岸线长度不确定性问题的研究[J]. *海洋开发与管理*, 2000, 17(1): 23 ~ 25.

Fractal Theory, Jieke Theory and Their Implications for the Innovation and Development of Mountain Theory and Geography

HUANG Zhen-fang and ZHU Xiao-hua

(College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097 PRC)

Abstract: Based on many papers which are about applications of fractal theory and jieke theory in mountain research and geography, their methodological significance to deepen studies are summarized briefly. At the same time, the conditions of applications for fractal theory and jieke theory in mountain research and geography are also summarized. According to all as above, it is suggested that the correlation between geography and modern fractal theory and jieke theory is a trend which is to be. Further more, some countermeasures which are about the Innovation and development of geography, as well as mountain theory, are suggested too.

Key words: fractal theory; jieke theory; mountain theory and geography