

# 郊区铁路系统是否为分形?

王益谦 译

分维的观念现在被应用于不同的领域,通常人们在处理形状不规则的微妙物体时,便要用到分维的概念。分维的概念已经运用于地理学,在这方面的先例为曼德尔布罗特用分维来研究海岸和河流的形状。最近分维的概念也被应用于城镇的扩张与增长,阿林豪斯、古德柴尔德及马克也讨论了分形(fractals)在地理学中的重要性。

本项工作的动力来自于对聚合物科学中一些用计算机产生的聚集体和大巴黎地区的铁路运输系统之间相似性的直接观察。在本文中,我们分析了这个铁路系统,表明分形的概念对于这种现象学上的描述确实是合适的。在研究车站数量  $N(R)$  和距中心的距离  $R$  之间简单的函数关系时,我们发现了两个幂律关系:由于大城市地铁“密集”,因此  $N(R)$  与  $R^2$  成比例,对更大区域的铁路系统,我们发现  $N(R)$  大致与  $R^{1/2}$  成比例。有趣的是,这两个函数关系之间的转换点与城市的实际界限相吻合。与此类似,铁路轨道的总长度  $L(R)$  也大约与  $R^{1.5}$  成比例。

我们首先在第一部分对运输系统进行了分析,然后在第二部分将所获得的明显结果与已知的聚合物科学和其它增长过程模型的结果进行了比较,最后讨论了将已知模型推广到我们正在处理的问题上的可行性和这种方法与城市增长的关系。

在威士特山区,垃圾多年来一直倍受关注。从1979年开始,西格马萨国家公园管理规定就要求登山队员和牛车旅游者,带出他们的废弃物,但很少有人遵守。结果,垃圾在威士特山道沿线、都达科斯至哥克约峡谷和登山帐篷基地上不断堆积。近年来,西帕村民对垃圾处理的疏忽和不能生物降解废弃物的增加,都使得塑料、金属、玻璃等废弃物的激增。

登山探险帐篷基地上的巨大垃圾堆已变得声名狼藉。到80年代中期,在威士特山搭帐篷的区域,已积累了数吨垃圾。尽管外国环保专家、牛车旅游公司、尼泊尔的一些组织机构及近年来成立的西帕青年俱乐部,对组织清除垃圾做了些零星的工作,但在牛车道、登山道上、旅游废弃物仍很刺眼。近此年来,有人倡议,准确衡量和改变这种局面,包括在垃圾问题被控制以前,暂停登山活动的提议。垃圾引起的国际关注已难住一些观察家和地方官员,他们认为,这个问题已使区域旅游效应的其它方面黯然失色。

库蒙布正在施实的改革措施可能会使这种状况好转。1991年夏,前国家公园行政长官明格玛罗布协调了进行中的地方清扫和回收基础系统的活动。在地方宗教、政治和商业领导人的支持下,西帕人口控制委员会成立了。在美国世界野生生物基金会的物质帮助下,该委员会聘请地方长官建造并管理永久性的垃圾处理站,而且指导清扫活动。人们设想着一个回收玻璃和塑料废弃物到加德满都的回收方案。在国家公园权威人士协作下,该委员会已完成一套新的保证金制度,以确保登山探险队带走其产生的垃圾。进入该地的每个探险队必须到设在国家公园管理中心的委员会办公室留下保证金,只有该团队在登山结束时,带走其废弃物才能领回保证金。

译自《The Geographical Review》, oct. , 1993, 83(4) 熊绍华校

# 1 分形结构

研究巴黎的主要有利条件是基于其轮廓基本呈圆形这一事实,没有任何海岸的约束,而纽约和东京都受到了海岸的限制。虽然塞纳河似乎可能是增长的自然轴线,但实际上并非如此,

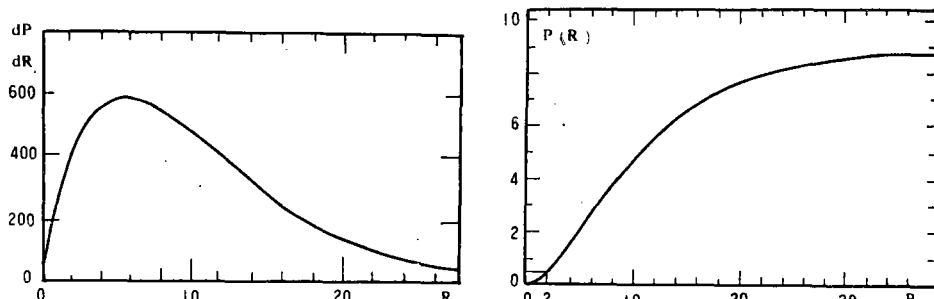


图 1a 半径为  $R$  的圆形区域内巴黎累积人口  $P(R)$  是距巴黎市中心距离  $R$  的函数

图 1b  $dP(R)/dR$  是图 1a 的导数,即在市中心周围每增加 1 公里宽度人口的连续增加量

该城市大体围绕其中心呈对称分布。在以下的讨论中,一些有关巴黎结构的词汇是很有用的。巴黎由巴黎城本身和周围大量不同规模的城镇组成(城区包括历史上的位置和商业贸易区域)。这两个部分分隔得很清楚,在巴黎城的四周修建了一条巴黎环城高速公路。为了强调这一区别,我们显示了图 1a 中在半径为  $R$  的圆内的累积人口  $P(R)$  和图 1b 中作为  $R$  的函数  $P(R)$  的导数  $dP(R)/dR$ 。后一条曲线表现得相对平缓,最大值在 5.5 公里处,这大致就是巴黎城的半径。与些结构相符,铁路运输系统由两种类型的线路组成:大城市地下网状系统——公共交通网络体系(R. A. T. P.)和铁路通勤列车系统,后者基本上将市中心和周围的郊区连接起来。铁路通勤列车系统由两个互相联系在一起的系统组成:国有铁路公司(S. N. C. F.)铁道和巴黎市区快线铁路(R. E. R.),由 S. N. C. F. 和 R. A. T. P. 联合管理。我们考虑的是这些网状系统是否可能具有分维的性质。由于 R. A. T. P. 网状系统集中在市中心,而 S. N. C. F. — R. E. R. 网状系统则起着连结中心商务区 and 郊区的作用,因此这两种网状系统被较为清晰地区分开来。

然而,在进行第一个尝试的时候,我们只考虑在这两个系统中车站的集合,因为获取有关车站数量的资料比知道轨道的确切长度更容易。我们利用 1/100000 的 S. N. C. F. 地图,计算了分布在以夏特勒(Chatelet)站为中心,半径为  $R$  的圆形区域内的车站数  $N(R)$ 。夏特勒站靠近西岱岛(the Ile de la Cité),后者设定为该城的“几何中心”(图 2,略)。如果车站沿直线是均匀分布的,则人们就会发现  $N(R)$  与  $R$  成比例。另一方面,如果轨道的空间分布紧凑,即如果车站的密度(单位面积上车站数量)不变,又会发现  $N(R)$  与  $R^2$  成比例。若假设车站的分布是均匀且随机的,也可以得到这个结果。应该注意到对于分形分布,存在着一种简单的关系,即  $N(R)$  与  $R^D$  成比例,这里  $D$  是车站集合的分维。我们确信,因为  $D$  小于 2,便意味着车站的密度是随着半径  $R$  的增大而减小的;我们定义车站的密度是每单位面积上车站的数量。因此,对于半径  $R$  的圆和与  $R^2$  成比例的面而言,密度  $\rho(R)$  为

$$\rho(R) \sim N(R)/R^2 \sim R^{D-2} \quad (1)$$

式中  $\sim$  为比例符号。由于  $D$  小于 2,所以密度  $\rho(R)$  随  $R$  的增大而减小。

图 3 是研究的结果。图中在双对数标示的刻度上绘出了  $\ln R$  的函数  $\ln N(R)$  的图形。显然存在着两个系统:在市中心附近,存在着一个  $N$  与  $R^2$  成比例的密度不变区域。在距离大于  $R_0 \approx 6.5$  公里处,却非常急剧地转变为第二个系统,这种十分微妙的变化是:

$$N(R) \sim R^{0.47} \quad (2)$$

有趣的是,  $R_0$  的值相当于巴黎城的半径。在自然特征上, 这是周围的共和国大道(boule-  
vardpériphérique)。我们强调在本文中使用的词汇“巴黎”与大巴黎地区是一致的, 即由行政上的  
巴黎城和周围许多各具重要性的城镇所组成。它大致相当于半径  $R_1$  约为 50 公里的区域。对于城  
区内  $R < R_0$  的情况, 由于 R. A. T. P. 网状系统占优势, 且鉴于车站的密度是不变的, 我们  
断定地下铁道系统是密集的。同样, 车站的数量与距城市中心的距离的平方成比例。测定车站  
的(不变)密度是很容易的, 但这并非本文之目的, 即使是对不同城市的密度进行比较也可能是  
有趣的。

$R_0$  是两种铁路系统之间的转换半径: 在距离大于  $R_0$  处  
S. N. C. F. - R. E. R. 网状系统代替了 R. A. T. P. 网状系统。

在  $R > R_0$  的情况下, 图 3 表明  
S. N. C. F. - R. E. R. 的车站组成了一个分形, 该分形的维数  $D$  约等于  $1/2$ 。因此, 虽然这个网状系统的  
运输工作效率非常高, 但是它的密度却相当低: 事实上在直线上它不可能是密集的! 此外, 如果我们将车  
站的密度作为距离的函数来计算, 则利用关系式(1)我们发现

$$\rho(R) \sim R^{-1.5} \quad (3)$$

关系(3)清楚地表明, 到达距离  
较远的铁路运输线很少, 关系(3)可用于定量分析。

这些初步获得的结果促使我们  
更深入地研究 S. N. C. F. - R. E. R. 铁路网络系统本身。现将铁路轨道本身视为一个单一的客  
体, 如图 2 所示。就以上情形而论, 我们可以假设铁路轨道有一个“自然中心”, 也位于夏特勒站。我们  
将在以该中心为圆心、半径为  $R$  的圆内测量距离和计算轨道的总长度。将在这些圆内系统的“集团纵队”称为轨道的长度  $L(R)$ 。图  
4 为在双对数标示的刻度上  $\ln R(R)$  随  $\ln R$  而变化的图形。该曲线的平均斜率可被确定为  
 $1.47$ , 因此, 该轨道系统的分维  $D=1.47$ 。

## 2 与已知模型的比较

在曼德尔布罗特 1977 年文献中, 提出了大量的分形模型。然而, 一个城市的某些特征却使  
曼德尔布罗特的理论分形模型与实际的分形不相吻合。巴黎的一个主要特征是它围绕其中心  
西岱岛(the Ile de la Cité)发展。因此, 任何模型都不得不将这一因素考虑进去。巴迪等人已经

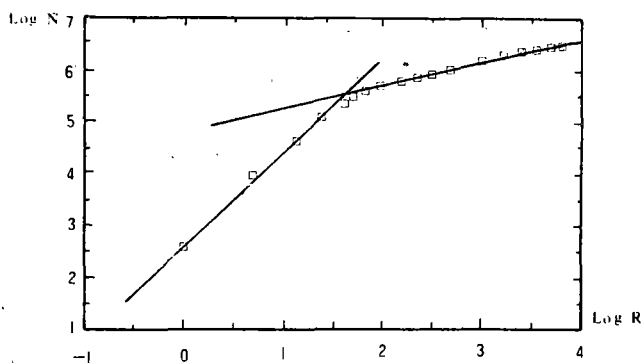
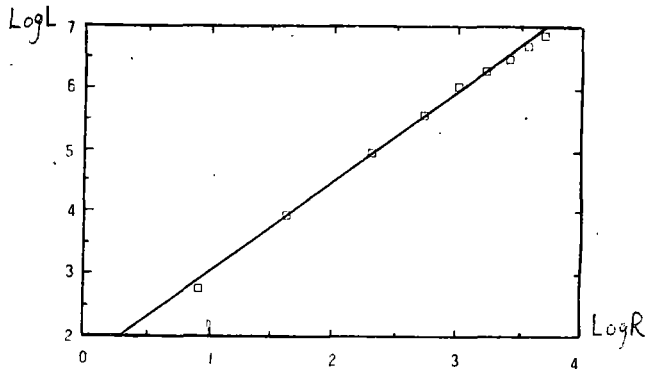


图 3 离市中心的距离及其函数——车站累积数的双对数图,  
两个相连结的系统可以分别用斜率 2 和 0.47 来定义



$$Y = 1.5361 + 1.4660x \quad R^2 = 0.995$$

图 4 距离及其函数——轨道总长度的双对数图。  
实线为一线性拟合, 其平均斜率为 1.47

意识到这一点,他们在分析英格兰西南部的城镇陶恩屯(Taunton)时,运用的所谓“受限扩散凝聚”模型,便是一个通过计算机模拟而获得的模型,该模型模拟胶质凝聚体的树枝晶的不可逆增长。在此模型中,点阵的中心有一颗保持不动的中心种子微粒。在离种子微粒较远的位置,另外一颗微粒被释放出来并随机扩散,其约束条件为:如果它恰好到达了与中心种子相邻的某一格点,它便和种子微粒永远粘着在一起,不再分离,从而形成两颗微粒组成的凝聚集团。然后,再释放另一颗微粒,该微粒进行同样的随机运动,并受到类似的约束条件限制,即当它到达了与已存凝聚集团的(两个)格点相邻的某格点时,它就不可逆地粘着在此凝聚集团上。当此过程反复进行多次以后,就会形成一个看起来呈树枝状的分形结构。对 D. L. A. 集团的分维  $D_c$  的深入研究表明  $D_c \approx 1.7$ , 这个值无疑大于我们所得到的轨道长度  $L(R)$  的分维值,即  $D \approx 1.5$ 。这一差异可用以下原因来加以解释: S. N. C. F. - R. E. R. 通勤网状系统的分形特征至少由两个因素造成:首先,所有的铁路轨道均有分叉点,在这些分叉点轨道至少分为两条;其次,存在着环形轨道,这些环形轨道将方向不同的支线连接在一起,并使横向的列车来往成为可能。D. L. A. 集团没有出现如此多的环形轨道,因此不可能和通勤列车系统直接连系起来。将我们的研究结果与全国范围的 S. N. C. F. 网络系统相应的分维相比较也许是很有意义的,全国范围的 S. N. C. F. 网状系统看起来也具有自相似性。

第二个可比较的模型是“分岔星状聚合物”。该模型最简单的形式相当于  $f$  随机行走,其限制条件是从一个共同的起点开始,该起点即是星状物的中心。在一个更现实的模型中,人们必须要考虑单体之间的空间相互作用,这种空间相互作用避免了两个单体相互重叠。由于这种相互作用,聚合物互相排斥,形成了从中心向星状物的表面生长的构造。这些构造的分维比 D. L. A. 凝聚集团的分维更低。然而,由于它们既不包含环形轨道,又没有分支,因此不能直接运用于城市的增长。我们正在思索星状物问题中分裂概率的影响,看来这种影响会使分维降低。

因此,现有的分形模型尚不能对我们的研究结果作出令人信服的解释。

### 3 讨论

众所周知,通过强烈的反馈,运输系统制约着城市的扩展和增长。因此,将铁路网络系统想象为城镇的格架是不无道理的。这就是我们认为巴黎(建成区和使用区)最有可能具备分形特征的原因。巴迪等人最近将这种分形特征用来研究较小的城镇。将分形特征运用于巴黎也许是一项有意义的研究,但迄今为止这项研究尚未深入进行。同样,将人口曲线视为一个离相类似的观察点距离的函数,并将运输系统的分维和人口曲线的分维相比较,也必定极为有趣。与其它对称型大城市的比较同样会提供一些非常重要的资料。

正如在引言中所提及,最近大量的工作是在从事微粒的凝聚模型的研究。所有这些模型都没有导致分形凝聚体的形成。随机性并不是所需要的唯一成分,特别是驰豫现象甚为重要。这些因素在城镇的增长中可能被忽视,因为无论形成的是何种结构都相当于刻板的构造。也许有可能建立对城市的增长提供精确描述的模型,这些模型考虑了各种特定的约束条件,如历史的、地理的和经济的。尽管从局部而言这些特定的约束可能是非常重要的,但是,一个似乎有理的推测是假定大城市的增长具备某些普遍的特征,并且只有很少参数是合适的,因此只有某些分维才能被发现。在这方面,我们所发现的车站的分维值  $1/2$  特别简单,应该与特别简单的模型相联系。第一个考虑的模型是随机行走模型。然而,要发现该模型和铁路车站布局之间的任何简单联系也是很困难的。总之,由于结果十分简单,所以也只需要简单的解释。

最后,注意到下面一点是很重要的,即通勤列车系统的自相似结构,意味着在建造该系统

# 农林复合系统中的科学

李秀彬 译

农林复合业是一种传统的种植方式,即农民从自身的利益出发,将树木与作物混种。根据孢粉分析,这种种植方式至少已有1300年的历史,而树木的驯化史则可能更久。农林复合业从农民的常识发展成为农业研究的前沿领域,则是近20来年的事情。这期间,它作为集农、林两业所长的一种持续发展的实践活动,被广泛地推广开来。将树木与作物混合种植或与畜牧业复合经营,目的在于提高作物的产量,保持土壤,增进养分的循环,同时提供燃料、饲料、水果和木材。人们对农林复合业潜力的认识,最初大都基于描述性的资料或传闻,而且多是在生产潜力较高的地区取得的。以往针对农林复合业的应用研究十分活跃,但有关其自然和社会经济过程的基础性研究工作却很少。

农林复合业目前还不成其为科学,其理论基础仍需以周密而严谨的治学态度加以发展。现在它还只能说是涉及到生态学、经济学、人类学、农学、林学、土壤学、动物学、树木遗传学、生物统计学及其它应用学科的一个研究领域,经过这个大熔炉的反复锤炼,它才能成为一门人们公认的科学。由于涉及到的交叉领域如此之广,未来的复合农林学极可能是一门十分诱人的学科。

目前,世界上许多研究机构正在对农林复合业的基本问题进行着深入的探讨。我们归纳了农林复合系统区别于农业或林业系统的两个基本属性,即竞争和复杂性。这两个性质又演绎出了农林复合系统的两个期望属性——盈利性和持续性。本文的目的就是要论述这些法则和属性,作为建立科学的复合农林学的一种尝试。

## 1 竞争

相邻生长的植物个体,其间的相互作用有些是积极的(互补),有些则是消极的(竞争)。从自然方面来讲,农林复合种植的关键是如何从农民的利益出发,调整好系统中树木组分与作物/牲畜组分之间在光、水和养分利用等方面的相互作用。从很大程度上说,最初激励农林复合系统研究热忱的是这样一种假定,即把树木与作物种在一起的时候,它们之间在生命元素摄取的关系上是互补的,而不是竞争的。

### 1.1 同时型与顺序型农林复合系统

农林复合系统指林、农/牧组分间相互作用形成的整

时运用的是共同的方案:一个具有不变分维的大区域空间的确凿存在表明,无论在何时给系统增加轨道,都是使用的相同方案。根据这一观点,分析较为陈旧的数据,并检验随着时间的变化分维是否为一常数是颇有意义的。此项工作对于预测下一步轨道应该增加在何处是极为有用的。如果人们接受了分形行为的思想,则显然首先应当将轨道增加在任一密度较低的地区。类似地,在某个时候观察密集的内城区和分形的郊区区域之间的转换点如何随时间而变化,亦将是饶有趣味的。

译自《Geographical Analysis》,1991,23(4) 艾南山校