

文章编号: 1008 - 2786 - (2016) 2 - 223 - 10

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000122

# 山地城镇规划的分形思维

冒卓影<sup>1</sup>, 冒亚龙<sup>2, 3\*</sup>

(1. 中国矿业大学(北京) 建筑系, 北京 100083; 2. 华南理工大学建筑设计研究院 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广东 广州 510640;

3. 长沙理工大学建筑系, 湖南 长沙 410004)

**摘 要:** 现代城镇规划易于忽视规划维度和山地复杂自然地形 形态单一, 并引发城市生态问题, 而分形的规划弥补了这些不足。运用分形维度、自相似和迭代的方法, 探讨山地城镇的特殊性与分形规划的优势及其应用, 发现山地城镇规划具有双三维形态、迂回路网等特点; 分形自相似规划充分尊重并最大利用这种特殊性, 规划根植于山地地形, 依据地形维度形成人工空间与自然地形空间相似复合的山地城镇形态及其天际线; 山地车行道路从平面维度与等高线分形相似, 梯道则从垂直等高线的竖向维度与地势相似一致; 山地建筑依附起伏山峦; 分形迭代的城镇规划将基于地形的规划空间迭代到自然山水空间之中, 演绎出集中型间隙式的山地城镇形态。

**关键词:** 山地城镇规划; 分形思维; 分形维度; 相似性; 自然地形

中图分类号: TU984

文献标志码: A

受地貌、生态资源和区位交通等多种因素的制约, 山地城镇与平原城镇的发展路径和空间特点明显不同, 山地城镇规划不同于平原城镇。平原城镇建设用地可向四面延伸, 存在多方面的选择和比较因素, 其道路网络可形成较规整的棋盘状、放射状、环状等格局, 城市用地的发展具有多重选择。而山地城镇特定的地形环境使城市的发展方向受到限制, 道路网的布局很大程度上是适应环境、迁就地形而呈自由式发展, 山地建筑结合山地形势, 因地制宜, 山地步行空间与生态环境也有其独特性, 具有浓郁的山地地域特色。

## 1 山地城镇规划的特殊性

### 1.1 双三维空间迭代的城镇形态

山地城镇由于受高山、丘陵、沟谷等自然条件的限制和影响, 空间形态呈现复杂地形和规划空间的复合式叠加, 三维的山地自然地理空间与三维的城镇规划空间有机结合, 山丘、岩壁、沟壑与建筑空间相依相靠、毗邻相生, 人工空间与自然地形形成迭代的双三维复合空间。区别于平原城镇相对单一的、规划为主体的三维空间, 山地蜿蜒流淌的地貌决定了山地城镇规划的复杂性。山地城镇空间形态自然环境因素更加突出, 城镇高低起伏的自然山水景观更为浓郁。

山地城市用地条件复杂, 适宜于城市建设的用地受到很大局限, 可建设用地少, 人、地矛盾突出, 建设区通过高强度开发利用来满足城市发展的需要, 因而建筑密度大, 容积率高。通常选择坪坝与缓坡作为城镇建设空间, 设置各个功能分区和生活服务

收稿日期( Received date ): 2015 - 09 - 22; 改回日期( Accepted ): 2015 - 12 - 30。

基金项目( Foundation item ): 国家自然科学基金( 51278070 ) ( 基于分形理论的建筑设计研究 ) 和华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室开放基金项目( 2016ZB14 ) 。 [ Project supported by the National Nature Science Foundation of China ( No. 51278070 ) and the Open Fund of the State Key Laboratory of Subtropical Building Science , South China University of Technology ( No. 2016ZB14 ) . ]

作者简介( Biography ): 冒卓影( 1994 - ) , 女, 湖南娄底人, 中国矿业大学( 北京 ) 建筑系建筑学专业本科生。 [ Mao Zhuoying( 1994 - ) , female , born in Loudi , Hunan province , China , undergraduate student of China University of Mining & Technology , Major in Architecture. ]

\* 通信作者( Corresponding author ): 冒亚龙( 1966 - ) , 男, 湖南邵东人, 博士, 教授, 主要从事城市与建筑设计研究。 [ Mao Yalong( 1966 - ) , male , born in Shaodong , Hunan province , China , PhD of Architecture , professor of South China University of Technology , and mainly study on urban planning , fractal architectural design and theory. ] E - mail: maoyl@scut.edu.cn

设施,高山与陡坡地段留作自然生态空间,形成建筑与自然交错共生的规划结构体系,表现为分散-集中的组团式形态,区别于平原城镇的网络状摊大饼式扩展模式,这种有机松散、分片集中的布局结构是山地城镇双三维空间发展的基本特征。

### 1.2 依山就势的道路系统

山地城镇复杂的地貌特征和独特的自然山水格局决定了吻合地形的复杂道路系统。同平原城镇一样,山地道路承载各种运输功能,也是城镇空间的骨架和公共展廊,影响着山地城镇的整体形象和景观特征。与平原城镇相比较,山地城镇道路形态表现为一种展现地貌脉络的生态格局,道路线形曲折多变,竖向起伏不平,道路坡度大,市政设施建设难度相应增大,不如平原城镇平坦便捷。由于山地城镇道路符合山势的走向,因而线型相对崎岖,路幅宽窄不一,道路走向与沿岸河流、坪坝和谷地保持一致,依山就势,弯直相宜,形成迂回路、半边街和爬山街,呈现多层次、自然维度、有机统一的城镇道路网格结构,展示与平原城镇明显不同的山地形态。

### 1.3 因地制宜的山地建筑

山地城镇建筑作为一种特殊的建筑形态,因为受地形制约而展示自己独特的复合空间和组合形态。与平原城镇建筑比较,山地建筑最大特点在于强调建筑之地理属性,以尊重自然地形、山峦、河流和植被为前提,结合山地局域气候,建筑与自然和谐共生,与山地护坡、岩壁、沟壑穿插交错、相容相伴。建筑不凌驾于自然之上,而是从属于山丘河川,与山峦溪水共生而相得益彰。这也是山地建筑得以在此地存在而非彼地的重要基础,展现山地建筑与生俱来的独特地貌特征。

山地建筑群空间同样以高低起伏的地形为媒介,建筑空间与蜿蜒山丘相互穿插,表现出建筑与山地自然空间的连续渗透,并通过透迤地势逐渐展开,建筑空间景观因时因势而呈现步移景异的山地形势空间序列,是平地城镇缺少的。但山地城镇建筑尺度也会受到自然地理的影响,多护坡陡坎,存在滑坡等山地灾害隐患。建筑多随宜山丘,立面错落有致,竖向比平地建筑复杂,但能够带来建筑空间的嬗变,以及自然趣味的自然山水风光。

### 1.4 独特的城镇梯道空间

作为山地步行空间的重要形式,梯道空间是一种阶梯式步道系统。山地起伏、高差都通过梯道系统进行消化,解决市民便利出行与竖向交通,也是山

地城镇所独有、极具特色的人行交通系统。梯道空间既是山地城镇道路交通最为有效的补充,也是最为便捷与经济交通联系方式,同时扮演着山地城镇的景观展廊,体现山地城镇所独有的立体道路特色,赋予了山地交通空间地理属性与活力,具有强烈的山地属性。同车行道路相比,梯道受到地形坡度的限制较少,形式也更为自由,可以结合岩壁、陡坡、树木、溪流、跌水等自然要素组织空间,形成丰富的梯道环境,使步行空间充满自然情趣,成为山地城镇的一道亮丽的风景廊道。

## 2 分形在城镇规划中的应用与优势

为了科学有效地建设山地城镇,规划学者将各种复杂性科学思想引入城市研究之中,诸如耗散城市、协同城市、混沌城市、分形城市、自组织城市以及元胞城市等新理论引入城镇规划,而分形理论受到特别的青睐。“在过去十年里,地理学家和规划师看待城市增长与形态的方式已经发生了巨大变化……,这个变化就是以分形思维来研究城市。”<sup>[1]</sup>由于分形理论在城镇形态研究中能够定性与定量地衡量城市,揭示城镇生长规律和隐藏在复杂城镇背后的简单规则,并弥补了传统几何计量方法的不足,显示出了自身优势;此外,分形规划以自然地理为基础,尊重山地生态环境,因此非常适合特殊的山地城镇规划。

现代城市规划基于欧几里德几何学,既取得了很大成就,也受到了一定局限。由于欧氏几何只有整数维,没有分数维,基于它的城镇规划多为二维或三维方格盒子的简单形态,容易忽视分维度和尺度层级分布,特别是对自然地形复杂性的忽视和由此引发的生态环境问题尤其突出,也易于出现城镇空间丰度贫瘠而过于简单等问题,而分形的规划弥补了欧氏规划方法的不足,具有以下几方面的应用与优势:

1. 分形自相似理论的应用与对自然地理的尊重。分形的城镇规划可以采用与自然地貌相似的手法规划城市,充分尊重并最大利用自然要素。自相似的规划方法要求城镇道路沿地形等高线布置,城镇空间沿河流、坪坝扩展,达到人工与自然的相似性统一,以自然地理为根基规划城镇,保护了山地城镇赖以生存的重要自然生态环境。

2. 基于自然维度的分形规划与地域特色。城

镇规划可以采用与自然维度一致的方法,对城镇空间形态、交通组织和城镇天际线设计进行较为科学理性的引导。即使规划师不熟悉维度计算,也可以通过与自然相似一致的简单方法进行设计。山地城镇由于用地条件所限,形态十分复杂且不规则,边界破碎,用欧几里德几何方法很难准确描述与控制,而分形维度和自相似理论对复杂的城镇研究具有可量化与可比较的特点,因而分形方法可以规划出具有自然地域特色的城镇形态与环境。华南师范大学南海校区规划设计基于自然地形维度,充分尊重并保留了区域内的主要山体和水面,规划路网的维度(1.19)依照等高线和水网的分维度(1.33),并进行优化设计,规划形态与自然地形分形相似(图1)。

3. 分形尺度层级中的应用与尺度变换规划。利用简单的分形尺度缩放方法生成丰富的城市形态,比较适合于城镇与建筑形态设计,以及城镇与自然地理、区域环境和相邻城镇之间的规划设计。分形尺度变换可以运用于不同规模和等级的城镇规划,通过规划单元尺度的缩放演绎生成城镇形态。

4. 分形的城镇规划评价与可量化比较。采用分形图形生成和维度量化分析的规划方法评价城镇设计,判断城镇设计与自然环境是否协调,城镇尺度层级分布是否合理,是否满足人性化的要求;也可以通过城镇规划与自然环境、经典规划之间的分形比较,找出存在问题与不足之处,并进行科学评价与修正,是一种强有力的评价手段。<sup>[2]</sup>

5. 分形迭代的城镇规划与绿色生态优势。分形规划的核心是体现规划与自然、整体与局部的相似性,这种相似性以山地自然环境为基础,尊重自然的规划并置、叠加或嵌套在自然地理空间之中,与当代自然生态规划思想不谋而合。

### 3 分形思维与山地城镇规划

#### 3.1 基于自然分形维度的山地城镇形态设计

分维数可以描述山地城镇空间反映在视觉上的复杂性,因而也为城镇边界及其天际线的形式丰度提供了一种量化的办法。不同的山地城镇轮廓线具有不同的复杂性和分维值,与平原城镇空间形态相比较,特征非常明显,分维值也较大。平原城镇竖向剖面分形数值相对较小,城镇轮廓相对简单;山地城镇则相对较大,城镇轮廓相对复杂,而且相似类型与

风格的建筑轮廓线都呈现出接近的维度值,保持相对稳定的范围。基于自然分形维度,可以引导山地城镇形态设计,表现在城镇空间、形态与文化等各个方面与山地地理环境的有机结合,最为直观的应用是城镇空间规划尊重并保护山地主要自然地貌、山丘湖水,并按照其分形维度进行相似性设计,城镇规划空间形态与山地主要山峦湖泊相似,二者形成耦合的依存关系,形成山地特色的集中型间隙式城镇空间形态。重庆云阳北部新区规划依据龙脊山系和长江水系的地形维度,并得以充分保护,在此基础上进行规划布局,新城形态与自然地理相似和谐,二者维度也接近一致,并构成山脉、水系和城镇空间的交融共生(图2)。

城镇天际线是一个高度建筑化的产物,山地城镇却又与自然地形息息相关,既是城镇印象的集中体现,也是城市总体风貌和城镇精神的高度概括,是城镇规划非常重要的控制内容。跌宕起伏、音符节拍的城镇轮廓曲线远比贫瘠少变、反复如一的城镇天际线更赋有魅力,其节奏韵律也更能打动人,并形成城镇特色与象征。如山城香港(图3a)、重庆天际线就是与自然维度和谐的经典,构筑了独特与可识别性。山地城镇在处理保护山景和发展高层建筑的矛盾时,应更加注重建筑维度与自然地貌的维度一致性。从保护自然特色的角度而言,建筑高度应低于山脊线为宜,尽可能展现山地景色,保护城市特色和自然景观特色,城镇规划可以通过制定规范加以控制。以香港为例,其山地特色十分显著,香港规划署制定了城市设计图则(图3a),原则上要求高层建筑的高度控制在低于山脊线20%的范围内,以保护独特山地景观,尊重自然地形维度,和谐共生。

此外,在坚持与自然维度一致性原则的同时,山地城镇天际线可以进行节奏与韵律的变化。山体天际线与建筑天际线的峰谷可以交替,适当错位,形成适当对比,增加天际线的变化性与节律性(图3b)。若建筑天际线峰谷完全与山体天际线峰谷变化同步,天际线景观将会过于单调乏味。因此,在对主要山体山脊线进行严格保护的前提下,适当增加建筑天际线峰谷与山体天际线峰谷的对比,有利于塑造天际线的节奏感、韵律感和对比感。在控制建筑物高度不突破主要山体山脊线的前提下,局部错开建筑物天际线峰谷与山体天际线峰谷的同步关系,形成整体协调而又各具特色的天际线分形组合。

#### 3.2 等高线分形相似的山地城镇道路设计

分形思维的山地城镇道路规划根植于地貌,道

路形态与自然山体河谷的等高线平面分维度保持一致,是分形山地城镇规划的基本原则:起伏变化的地貌不仅决定了城镇生长、抚育和防御功能,而且造就了特定山地风貌的城镇道路网络,是山地城镇的遗传“基因”。古代城镇规划无意识地奉行了自然分形思想“凡立国都,非于大山之下,必于广川之上。高毋近旱,而水足用;下毋近水,而沟防省。因天材,

就地利,故城郭不必中规矩,道路不必中准绳”(《管子·乘马》篇)。基于自然地形维度的山地城镇道路规划因山就势,因借岗、阜、谷、脊、坎、坡壁等坡地条件,巧用地势、地貌特征,山地城市的道路起伏大、弯道多,使得它的景观错落有致,有着多层次、多对景的特色。自然分形的城镇道路灵活布局,根据地形特点道路交通可以人车分离,步行优先,自由组织



地形维度:  $D_{地形} = \frac{\log 1534 - \log 612}{\log \frac{1}{1/64} - \log \frac{1}{1/32}} = 1.33$       规划道路维度:  $D_{道路} = \frac{\log 769 - \log 337}{\log \frac{1}{1/64} - \log \frac{1}{1/32}} = 1.19$       基于自然地形维度的分形规划(道路维度与等高线接近、相似)

图 1 基于自然地形维度的山地规划(华南师范大学南海校区)

Fig. 1 Mountainous planning based on natural landform fractal (Naihai campus of south China normal university)

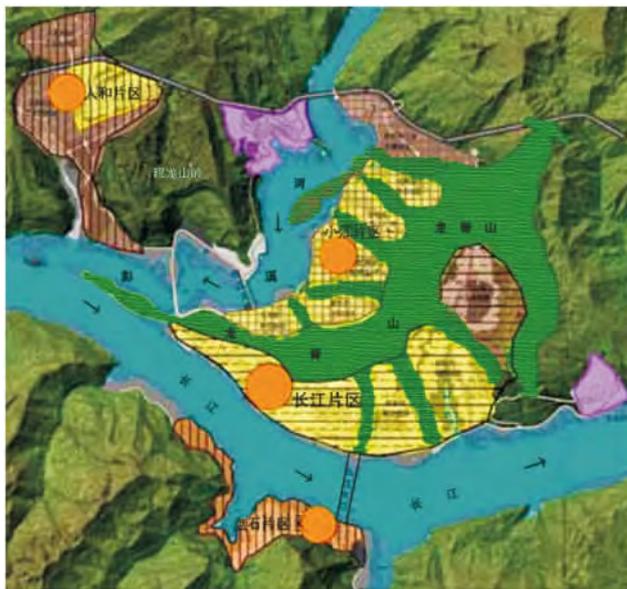


图 2 自然分形维度的重庆云阳北部新区形态

Fig. 2 North new town form according to natural fractal, Yunyang city, Chongqing

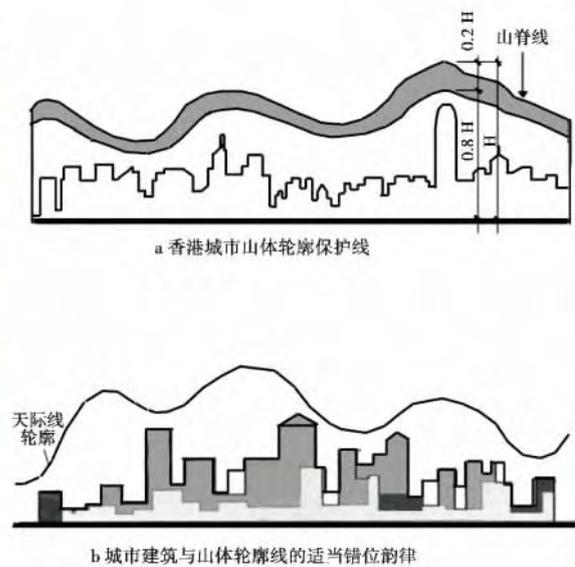


图 3 山地城镇天际线设计

Fig. 3 Skyline design of mountainous town

城镇各功能区交通,并形成山地道路的可识别性。墨西哥塔斯科历史城镇的道路完全遵照地形等高线的形状规划,维度相同,路网形态与等高线相似一致,造就了经典的历史名城(图4a)。虽然复杂的地形也给山地城镇建设与交通运输带来坡度大、线形折和路径长等问题,但规划师可以通过权衡利弊,巧于因借,适度地改造山地地形,因势利导,化不利为有利。

分形规划将道路视为山地城镇的空间骨架,是构成城镇空间和形态特色的基本要素。不同的山地地形条件,形成不同的城镇道路形态。分形规划展现了城市道路与地形的巧妙结合,其走向、路形、尺度都体现了它适应山地环境,图4b和4c城镇道路平行等高线规划设置,垂直等高线可以采用步行梯道,道路竖向分形维度与山势竖向维度相似一致。图4d和4e道路规划总体上相似于城市地形,在此基础上进行优化调整,城镇快速道路局部结合穿山隧道,道路网整体还是与自然地理保持维度上的接近和相似,形成结合特定山地地形轮廓线的自由式路网。这种自由式的路网,峰回路转,能够充分利用有限的土地资源,集约用地,保护自然山体、河谷和水面。

### 3.3 竖向地势分形的梯道空间设计

山地城镇车行道路从平面维度与等高线分形相似,梯道则从垂直等高线的竖向维度与地势相似一致。分形视野下的山地城镇梯道空间设计充分利用山地自然地势、地貌,坚持“轻触场地”的维度一致原则,尽量遵循山地的自然生态属性,减少对山地环境的破坏。相似于(平行或斜交)等高线的山地道路坡度较为平缓,满足山地城镇的车行交通;而垂直于等高线的道路通常具有较大的坡度,当达到陡坡标准时,道路不再适合车辆通行,人行因为滑摔、翻滚等安全因素也变得不妥当,作为人行步道的梯道由此产生,承担连接上、下层城镇道路的职责,并成为山地城镇克服山地悬殊高差的特征空间。梯道通过台阶、踏步连接较大高差的山地道路,并与山地竖向的地形地势相似性结合。

四川攀枝花大梯道规划(图5)是竖向地势分形的山地城镇梯道空间的成功范例。山地城市攀枝花主要交通干道顺因等高线规划,斜角等高线道路的设置解决干道之间的交通连接,而垂直等高线道路因为陡坡,而规划成为便捷通达的人行梯道,组织人行竖向出行。梯道设计以垂直等高线的地势维度为

依据,梯道竖向维度与山势竖向维度相似一致,师法自然,并注重梯道空间的安全性、可达性,穿插设置城市广场、绿地,并选择最佳的路径、视角和景色,满足居民驻足停留和购物休闲。此外,分形的山地城镇梯道空间设计体现地域自然环境与气候,设计多样性寓于自然地理的多样性之中,充分借山用水,与自然地貌坡向趋同一致,搭建城镇空间与自然山体联系纽带,组织跌宕起伏的人行步道,步移景异,梯度美景沁人心扉。

传统梯道空间不仅记录了恬淡自守、炊烟依旧的农耕时代的生活情境,更是长期以来适应地理、不断进化的结果,是对自然环境最朴素的反映。自然和气候因素在建筑形态中所投射出的,实质是外部条件与内部应答的对话关系。<sup>[3]</sup>自然力主导下的山地城镇梯道空间通常没有经过统一的规划,而是由功能、经济、地形和气候条件为准绳,利用当时的生产技术及自然条件,逐渐形成的。这与城镇产生之前早期聚落的形成与发展具有一脉相承性,抛开社会制度及地缘人际关系的纽带,聚落的形成受物质要素的影响较大,地形及自然气候的选择是聚落形成的重要依据之一,并强有力的影响社会文化及制度的形成。<sup>[4]</sup>这些研究证实了山地聚落和山地城镇空间设计基于自然地理分形维度的科学性。

### 3.4 相似并结合地势的山地城镇建筑设计

山地城镇建筑不同于平原城市,由于可建设用地的起伏不平和平散状分布,决定了山地建筑的分散错落和空间多变。山地建筑平面组合形态一般反映城镇用地的特征,带型、坪坝型、树枝型、串联型的建筑总图分别对应并相似于不同的地貌。复杂的山地地形决定了建筑主要功能体块的格局,以及各功能体块之间及其周边地段的关系。由于山地建筑地形是三维坡地,不同于平原城市的二维平地,建筑设计要避免那些不可建设的敏感用地,如河流、陡坡、山脊、冲沟、水岸、湿地等。塞灵格勒斯认为“建筑和城市同生物体一样遵从相似的生长组织法则,新建建筑应当随着新的科学定律的发现而改变,这已经不是建筑形式表面上的范畴了,应用这个世界的组织规律才是新的解决之道。通过应用这些自组织的定律而不是单纯依靠模仿他们的形式创造出的建筑作品,才可以成为真正的有历史价值的伟大建筑。”<sup>[5]</sup>分形自相似的山地建筑依据地形分维度和特殊性作为其设计自组织的规律,建筑空间形态、边界轮廓线贴近自然地貌,与地形的生长法则一致,创作与自然

和谐一致的地方建筑。图5a山地建筑依山就势,结合地貌,空间形态因循自然,建筑地坪剖面与山势剖面维度保持相似一致,建筑空间形态也与自然地势接近,地势高低起伏不平,维度大;而平原城镇(图5b)相对较为平坦,维度小,分维值接近1。

作为感知城镇空间的标志物,山地建筑的独特

形态是山地城镇风貌的特色因子。山地环境直接影响城镇空间形态结构,成为城镇生长的“土壤”。山体出风云以通天地之间,阴阳和合,雨露之泽,是沟通天地、承载建筑的根。分形的山地建筑设计采取依附自然、相似地形的的设计方法,充分利用山峦起伏的特点,进行台地式建筑布局,顺应水脉,保土理

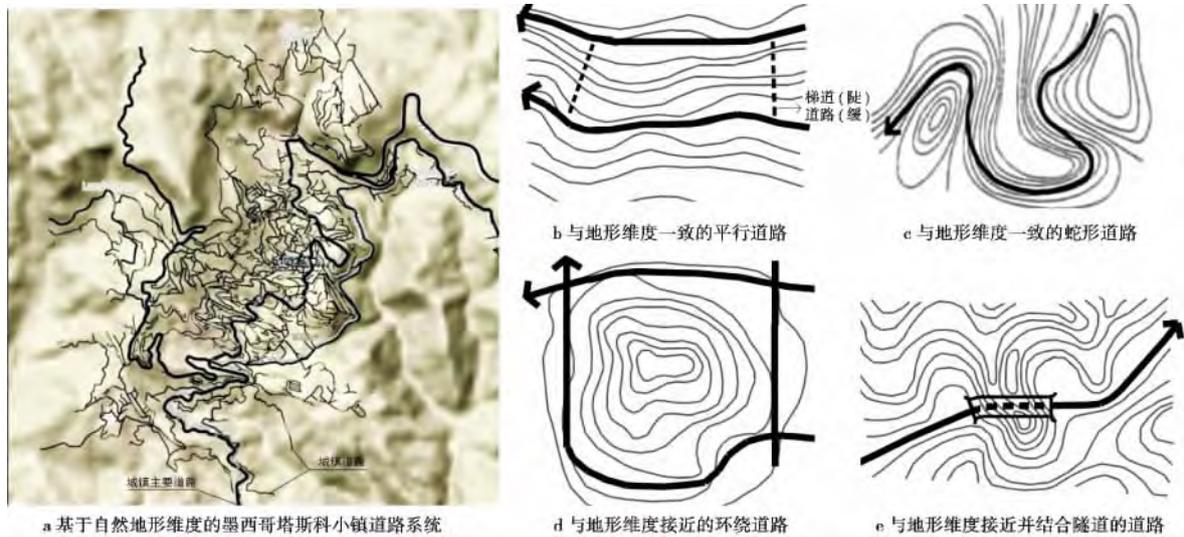


图4 基于等高线平面维度的城镇道路规划与形态

Fig.4 Road network planning and form in mountainous town according to planar fractal of contour line



图5 竖向地势分形的山地城镇梯道空间设计

Fig.5 Stair street design of mountainous town based on vertical fractal of hypsography

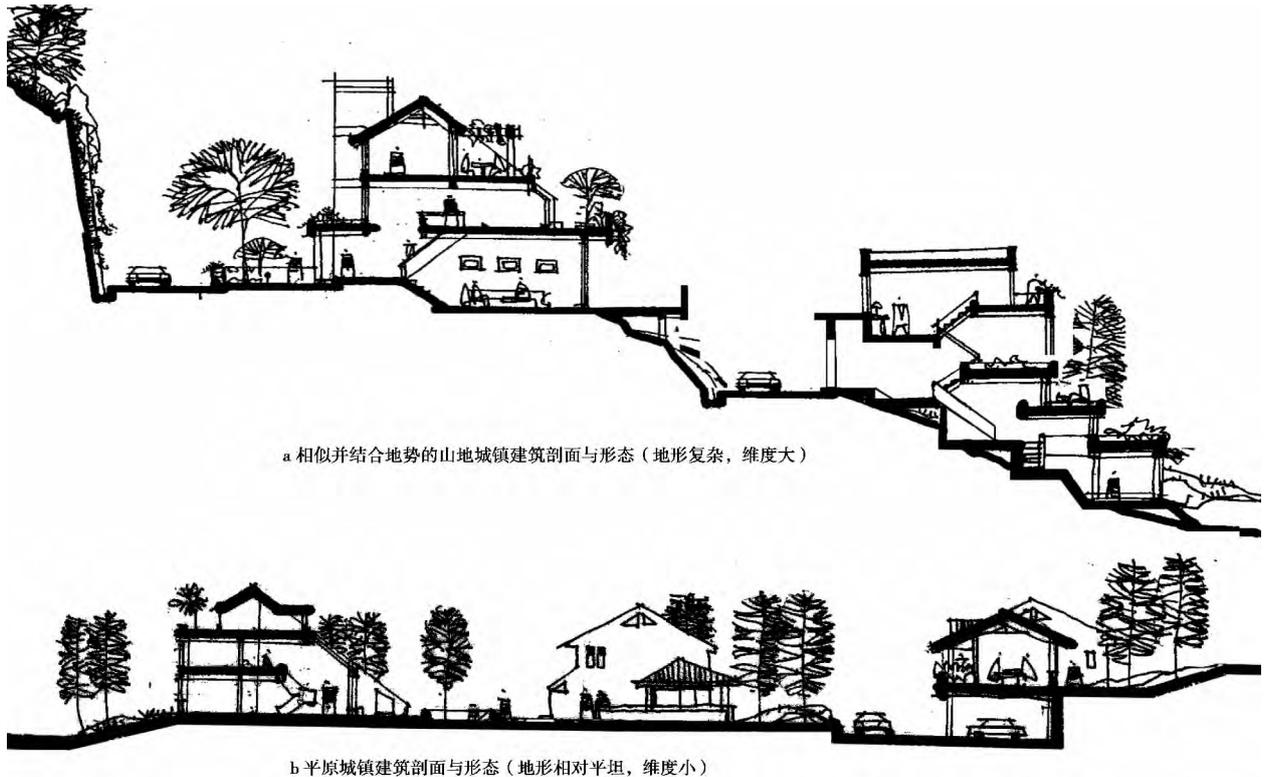


图6 分形相似于地势的山地建筑与平原建筑比较

Fig. 6 Design comparison between buildings in mountainous town according to vertical fractal of hypsography and that in plain town

水, 达到节地省耗之目标; 建筑剖面设计与山地等高线保持一致, 尽可能减少土方总量, 降低对山丘的破坏, 并依山构建高低错落的多层次的竖向建筑空间, 培植养气, 就地取材, 遵循可持续建筑之路。不同类型山地运用相似于当地环境的设计策略: 黄土高坡利用黄土层开挖洞穴, 营造窑洞式城镇建筑空间; 坪坝山地采用集中式布局的台地式建筑空间; 滨水山地沿河流顺水布局建造层级式建筑空间, 营造生产和生活的立体建筑环境。

### 3.5 分形迭代的山地城镇规划

加拿大科学家凯耶(Kaye B. H.)从分形视角阐述了城市空间结构与形态的相似性和迭代关系: 城市居住用地、工商业用地、开放空间和空闲地等用地类型都不是纯粹的, 工商业用地为主的街区可以看到住宅用地、工商业用地、开放空间和空闲地; ……相同的城市用地结构在扇形区、街区、邻里和场所等不同的层次上重现自己, 这就是城市空间自相似的基本思想。<sup>[6]</sup>山地城镇及建筑深层结构具有同样自相似的基本模式, 而且也是不同尺度上的空间形态的嵌套关系, 呈现嵌套和相似的分形, 总体上均属于线性分形, 可以通过迭代生成。<sup>[7]</sup>

分形迭代规划强调山地城镇规划设计与自然地

理的相似性, 这种相似性以山地地理环境为根基, 基于自然的城镇规划空间叠加到自然环境空间之中, 规划空间形态与自然地貌形成耦合的迭代关系。迭代的城镇布局既松散又紧凑, 在保留各片区间的高山、岩壁、河床、陡坡地、森林和湿地的条件下, 在可建设用地的缓坡、坝子地段叠加城镇建设空间, 高强度集中开发, 形成天然的绿色屏障与人工空间的双三维复合规划, 既保护了山地城镇生态与自然, 减少城市噪声、降低粉尘, 又净化空气, 保持水土, 也注入了城市活力与生机, 改造并提升了自然品位。

广东肇庆市八里湖新区城市道路和空间形态规划采用分形迭代的规划方法, 新区规划分形相似于肇庆山水洲城的自然地理。规划尊重并保留区域内主要山水生态环境, 保护生态敏感的高山和湖泊河流(图7a), 并在二者形成的自然等高线维度内进行规划布局 and 空间设计, 由此得出的道路形态与城镇空间(图7b)与区域山水轮廓极其相似吻合, 再将基于自然地理的规划空间(图7b)迭代到自然地理空间(图7a)之中, 形成人工与自然的分形相似迭代(图7c)。八里湖新区规划吸取了山地自然山水的精髓, 保护了高山湖泊等生态敏感用地的地貌, 在此基础上, 打造山水洲城的山地城镇空间形态, 也体现

了江南水乡城镇的自然地理景观。

分形迭代的山地城镇规划形成吻合地貌特点的集中型间隙式空间发展模式,高效利用山地有限的可建设空间,并保护了山地敏感的自然生态空间。这种城镇模式既可以通过人工规划得到,也可以通过计算机模拟生成。重庆云阳北部新区规划(图2a)遵照龙脊山系和长江水系的地形维度,相似迭代在自然地理空间之中,长江、小江、盘石和人和片区与保留的龙脊山脉、长江系交融共生,集中建设的片区与片区之间的龙脊山脉(间隙)打造了双三维的山地城镇空间形态。

分形迭代规划认为相同的自然环境条件、相近的人文环境作用,会使得城市的功能需求、空间布局方式、形式策略等具有基本近似的要求,反映在街坊构成、院落空间、建筑形态、室内布置都出现与山地本身分维特点趋同化,从而使城镇形态与山地自然环境明显的自相似。在自然发展的城市中,这种“分形元”成为城市的细胞,进行着不断的“自我拷贝”和繁殖,从而使城市具有了生命的形态。<sup>[8]</sup>山地城镇空间也像自然植物一样迭代衍生,同样体现了层层迭代的自相似的关系。

### 3.6 分形的山地城镇规划评价

分形思维既可利用其自相似和尺度层级规律生成复杂的城镇形态韵律,使城镇规划与周围环境取得协调,又可以依据分维度、相似性、尺度层级分布和镶嵌同构评价城镇设计。借助于分形维数这一定量手段,易于发现城镇规划在不同尺度存在的潜在关联,揭示规划不同层面之间的内在联系。分维数可以描述复杂的地形地貌以及衍生的山地城镇形态,计算出其确定的分维数值。不同的山地城镇的围合度、轮廓线、紧凑度具有不同的复杂性和分维值,与平原城镇空间形态相比较,特征非常明显,分维值也较大,对其进行分析比较,可以引导城镇规划,并进行分形评价。

首先,0~1维对应不连续线,可以判别山地城镇可建设用地的线性分布状况,以及山地城市街道的开敞度或建筑围合度。从可持续发展的自然生态观审视,山地城镇街道布局可以根据山地地形等高线的维度决定,与等高线形态接近或一致,并且形成可建设用地线段的断续曲线,维度在0~1,描述山地城镇可建设用地的断续程度,据此可以衡量山地城镇街道空间是否与之一致,判断山地城镇空间规划的自然生态性。其次,1~2维对应非完整面,可

以描述山地城镇地形轮廓复杂程度,包括地形地貌平面及其竖向变化的复杂程度,以及衡量山地城镇边界、天际线或城镇建筑轮廓线的丰富程度(丰度)。这些曲线既是山地自然边界形态,也是以建筑、道路为主体的山地城镇空间与以自然山体、河流水面和绿化广场为主体的城镇自然生态环境的交界线。现代主义思维的城市设计往往是方格网城市,边界呈简单直线或曲线,维度低,通常在1~1.1(图8a);而传统山地城镇自组织生成,形态复杂,维度与在自然地形地貌接近或一致,维度相对较大,一般在1.1~1.5(图8b)。1~2维不但可以衡量山地城镇平面形态,也可以判断山地城镇建筑与地势地貌的结合程度与自然性。图8c所示山地建筑依山就势,结合地形地貌,竖向空间形态因循自然山势,竖向设计分维度为1.14,山地地形等高线曲线维度为1.10,二者一致,据此可以判定该城镇规划的自然地理结合度较高,设计结合自然。第三,2~3维对应非规则或非完整体,可以描述山地地貌山峦或沟壑的密集程度,以及山地城镇建筑空间的紧凑度,或者建筑相对城镇空间的填充度。这个指标类似于容积率,但能够更真实地反映城市空间的填充程度。第四,分形的自相似和尺度层级理论建立起各种规划尺度关联,作为规划依据和手段使城镇空间更加贴近自然、建成环境和人性,可以判断城镇规划空间在不同体验距离是否对应了相应的细部,规划尺度层级是否满足人性化需求。第五,通过简单的分形分析(可以不计算维度,运用分形相似性分析即可直观判断),可以对城镇规划与自然环境、区域规划之间进行分形比较,找出存在的问题,或依据相似于自然地理的方法进行城镇建筑、道路与形态规划,使不同层面的规划能够协调统一。

## 4 结 语

山地城镇规划具有特殊性,由于受地形条件的限制,城镇空间形态呈现复杂的三维地形和三维的规划空间的复合式叠加,呈现有机松散、分片集中的双三维特征;山地城镇道路形态依循山体等高线自然生成,形成“之”形路、半边街和爬山街;山地建筑强调建筑之地理属性,与山地护坡、台地、沟壑交融共生;梯道空间是山地城镇所独有的一种阶梯式步道系统,形式自由,结合陡坡、河岸等自然要素组织,充满自然情趣。



图 7 与山地地形维度一致的分形相似性迭代城市规划(广东肇庆城东新区规划)

Fig. 7 Iterative planning of fractal similarity in keeping with maintain's landform dimensionality (The east new city planning, Zhaoqing, Guangdong Province, China)

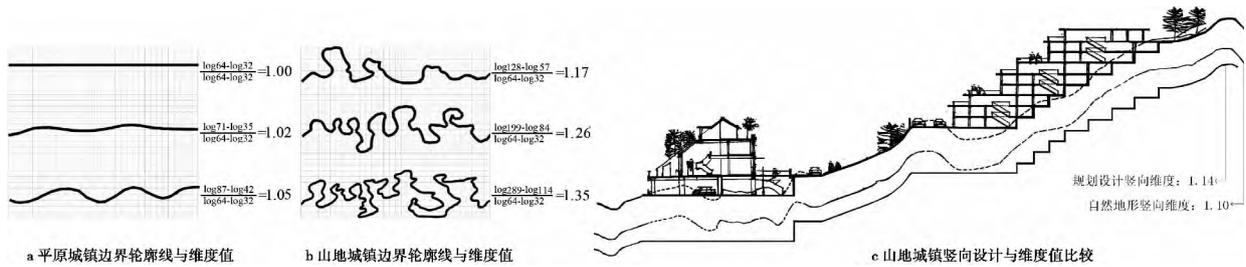


图 8 城镇边界维度与竖向维度分析与评价

Fig. 8 An analysis and evaluation of town borderline dimensionality and vertical dimensionality

现代城市规划基于欧几里德几何学,多采用二维平面方网格规划城镇,易于忽视城镇规划分维度和尺度层级,忽视复杂的山地自然地形环境,引发城市生态危机,而且规划形态单一,易于导致千城一面,地域特色缺失。而分形的规划弥补了欧氏规划的不足,分形规划根植于山地自然地貌,并与之相似一致,充分尊重并最大利用自然要素;分形维度科学引导城镇空间形态和城镇天际线设计,分形尺度缩放可以生成丰富的城市形态,分形维度量化分析和尺度层级分布可以评价城镇设计,判断城镇与自然协调程度,以及城镇尺度层级分布合理性。分形迭代的城镇规划体现人工空间与自然地理的相似性,规划简单易行,自然生态。

分形规划可以科学量度山地城镇空间及其天际线的丰度,基于自然分形维度,可以引导山地城镇形态设计,发展集中型间隙式山地空间模式。城镇天际线由山体轮廓线与建筑轮廓线叠加而成,须注重建筑维度与自然地貌维度的一致性,并协调二者的韵律变化。等高线分形相似的山地城镇道路规划根植于地形,道路形态与自然山体河谷的等高线分维度保持一致或相似。竖向地势分形的山地城镇梯道

空间设计与山地自然地势、地貌相似同构,山地车行道是从平面维度与等高线分形相似,梯道则从垂直等高线的竖向高度与地势相似一致。分形的建筑设计采取依附自然、相似地形的设计手法,充分利用山峦起伏的特点,进行台地式建筑布局,依山构建高低错落的多层次的城镇空间。分形迭代规划强调山地城镇规划设计与自然地理的相似性,基于自然的城镇规划空间叠加到自然环境空间之中,规划空间形态与自然地形地貌形成耦合的迭代关系,形成集中型间隙式空间发展模式。

参考文献(References)

[1] 迈克尔·巴迪. 城市研究的新方法[J]. 自然. 1995(10) 69 - 72  
 [Michael Batty. New ways of looking at cities [J]. Nature, 1995, (10): 69 - 72]

[2] 迈克尔·巴迪, 保罗·隆雷. 分形城市: 形式和功能的几何学 [M]. 伦敦: 哈考特·布伦斯出版公司, 1994: 1 - 13 [Batty M, Longley P A. Fractal cities: a geometry of form and function [M]. London: Academic Press, Harcourt Brace & Company, Publishers, 1994: 1 - 13]

[3] I·L·麦克哈格著, 芮经纬译. 设计结合自然[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992: 57 [Ian Lennox McHarg, translated by

- Nei Jingwei. Design follows nature [M]. Beijing: China Building Industry Press, 1992: 57]
- [4] [日]原广司著,于天祜,刘淑梅,马千里译.世界聚落的教示 100.北京:中国建筑工业出版社,2003:72-75 [Hiroshi Hara, translated by Yu Tianwei, Liu Shumei, Ma Qianli. Syuraku No Oshie 100 [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2003: 72-75]
- [5] 塞灵格勒斯. 一个物理学家的建筑法则 [J/OL]. 物理学随笔, 1995, 8(4): 32-35 [2015-09-01] <http://www.math.utsa.edu/sphere/salingar/Laws.html> [Nikos A. Salingaros. The laws of architecture from a physicist's Perspective [J/OL]. Physics Essays. 1995, 8(4): 32-35. <http://www.math.utsa.edu/sphere/salingar/Laws.html>]
- [6] 凯耶(Kaye B. H.) 著,徐新阳译.分形漫步.沈阳:东北大学出版社,1994:72-132 [Kaye B. H., translated by Xu Xinyang. A random walk through Fractal Dimensions [M]. Shenyang: Northeastern University Press, 1994: 72-132]
- [7] 冒亚龙,何镜堂,郭卫宏.分形视野下的岭南建筑学派与创作 [J].南方建筑,2014(1):88-93 [Mao Yalong, He Jingtang, Guo Weihong. Lingnan architectural school and creation according to fractal theory [J]. South Architecture, 2014(1): 88-93]
- [8] 王富臣.形态完整——城市设计的意义 [M].北京:中国建筑工业出版社,2005:79-160 [Wang Fucheng. Form integrity—meaning of urban design [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2005: 79-160]

## Fractal Thinking about Mountainous Town Planning

MAO Zhuoying<sup>1</sup>, MAO Yalong<sup>2,3</sup>

(1. Department of Architecture, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China;

2. The Architecture Design Institute and the State Key Laboratory of Subtropical Building Science/  
South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

3. Department of Architecture, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, China)

**Abstract:** Modern urban planning whose configuration is singleness, is prone to ignore fractional dimensionality of mountainous town planning and its complexly natural landform, and brings urban ecological crisis, but fractal planning makes up these deficiencies. Applied methods of fractal dimensionality, self-similarity and iteration, the particularities of mountainous town planning, advantages and applications of fractal planning were explored. There are characteristics of double three-dimensional form and circuitous road network in mountainous town planning. Fractal similar planning which is based on mountainous landform esteems adequately and utilizes maximumly these characteristics, and constitutes town form and its skyline that is similarly made a compound of artificial space and natural geographical space. A mountainous carriage-way network is fractal similar with a contour line in planar dimensionality, and a stair street is fractal similar with a hypsography in vertical dimensionality which is perpendicular to a contour line. Mountainous buildings attach themselves to rolling ranges. Fractal iteration planning places a design space accorded with landform on the natural geographical space, and deduces a mountainous town configuration where intensively constructive regions alternate with interstices of natural mountains and rivers.

**Key words:** mountainous town planning; fractal thinking; fractal dimensionality; similarity; natural landform