

图 8 基于 RS、GIS 和 SWMM 城市洪涝灾害研究技术路线

1. 基于数据、依托编程，跨平台解决问题的途径

规划的过程往往是对即有条件分析研究提出解决策略的过程，例如在绿地系统规划设计过程中，对城市现有绿地情况的调查，提出当前绿地系统存在的问题并给予解决的策略。而随着地理信息系统的发展，尤其通过遥感影像获取基础数据上，规划设计的方法也应进行必要的调整。不仅在数据的采集、存储、管理、运算、显示上，同时应将数据分析作为规划设计方法的重要内容，通过对即有数据的分析，定量、定性、准确的研究问题。

2015 年秋季，西安建筑科技大学建筑学院风景园林系绿地系统课题组，针对陕西省户县绿地系统规划尝试提出新的解决策略。在研究区域层面上，分为两个层级，一个是县域层级的景观安全格局分析，从水安全、生物安全、地质灾害安全、视觉安全 and 人文安全等方面构建综合安全格局，提出基于安全格局的乡土文化遗产廊道格局和战略点规划；在中心城区层面上，从洪涝灾害、城区生物安全和人文景观上细分为三个方面。本次研究主要探索城市绿地系统与城市洪涝灾害之间的关系，提出解决问题的规划思路和技术路线。基于风景园林学科来探索城市洪涝灾害的问题，如何限定研究的范围，避免较大学科间的跨度，并能够从水利工程、水土保持等专业中找到切入点或者碰触点，主要从两个方面来对城市绿地系统与洪涝灾害关系提出解决思路：一个方面是根据殷学文在《城乡治理与规划改革——2014 中国城市规划年会论文集（01 城市安全与防灾规划）》中《城市绿地景观格局对雨洪调蓄功能的

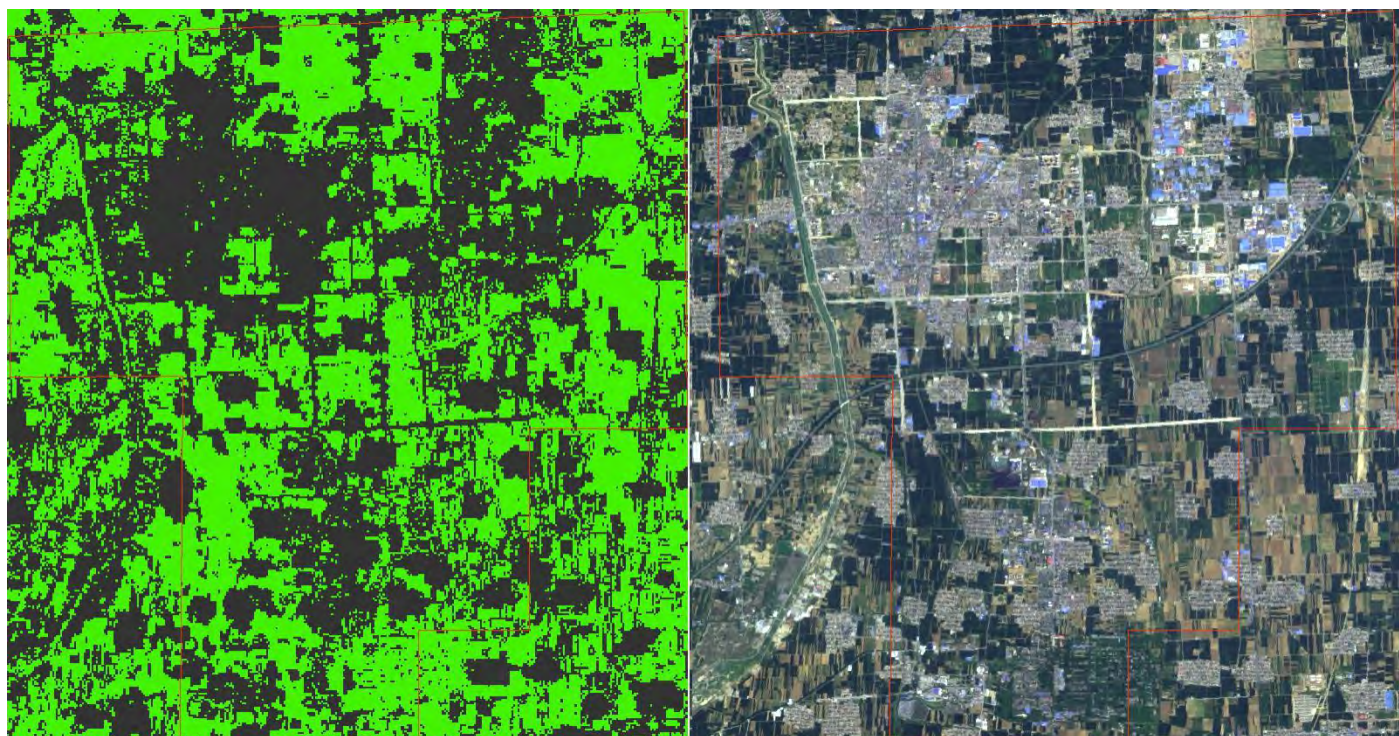


图 9 遥感影像与不透水区域提取

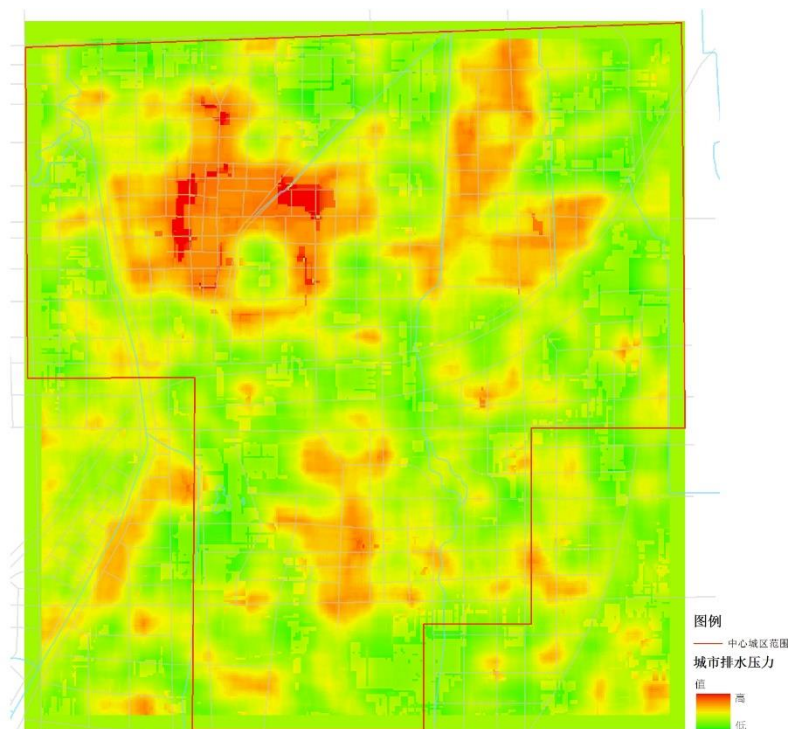


图 10 城市排水压力

影响》一文提出以对景观生态学指数的评价构建城市排水压力空间分布的方法确定 LID 设施潜在的布局区域；另一个途径是基于美国 EPA (Environmental Protection Agency, 环境保护署) SWMM (storm water management model, 暴雨洪水管理模型) 模拟开发前后以及 LID 设施调控下动态降水-径流模式。

图 8 给出了基本的技术路线，左侧为遥感 (Remote Sensing, RS) 和地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 处理部分。首先对获取的 2015 年 4 月 28 日的 Landsat 8 遥感影像进行辐射校正，包括辐射定标和大气校正。不管是计算景观指数，还是 SWMM 模拟的参数输入，都需要根据分析的目的对图像进行分类，重点提取不透水区域。本例采用分类回归树算法 (Classification and Regression Tree, CART)，采用从 Landsat 8 多光谱 (MultiSpectral) 衍生的多源数据，包括主成分分析中信噪比最高的前三个分量、城市建成区

指数 BUAI (Built Up Area Index)、归一化植被指数 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)、改进型归一化水体指数 MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) 和裸土指数 BI (Bare soil Index)。图 9 右侧为图像融合后分辨率为 15m 的真彩色图像，左侧深灰色区域为分类回归树算法计算获取的不透水区域。

首先计算城市绿地系统与洪涝灾害关系解决思路中景观指数评价城市排水压力空间分布。可以由已经获取的不透水区域分类图，直接在 Fragstats 中计算斑块类型面积 (Class area, CA)、斑块密度 (Patch Density, PD)、景观破碎度 (Landscape Division Index, LDI)、斑块连接度 (Connectance Index, Connect) 和斑块结合度 (Cohesion)，并在 ArcGIS 中加载。为了提升操作的效率，直接通过 Python 编写脚本程序，采用最大最小值法对景观指数数据标准化化处理，使得数据都落在 (0, 1) 之间，具体语句为：

```
raster_remap=(raster_r-raster_r.minimum)/(raster_r.maximum-raster_r.minimum)
```

其中 raster_r 为各个景观指数每个单元栅格的值，raster_r.minimum 为各个景观指数最小值，raster_r.maximum 为各个景观指数最大值。对影响城市排水压力空间分布标准化处理后的景观指数赋予相应权重计算获取城市排水压力的综合分析图，具体语句为：

```
evaluation=ca_remap*0.4774+pd_remap*0.0602+division_remap*0.2907+connect_remap*0.1130+cohesion_remap*0.0586。
```

图 10 为计算结果，颜色越红表示该区域城市排水压力越大，绿地雨洪调蓄功能较弱；颜色越绿表示该区域排水压力越小，绿地雨洪调蓄功能较强。城市排水压力的分布与不透水区域和绿地区域的分布有直接空间上的联系，根据空间分布情况选择布置适合的 LID 设施增强渗、滞、蓄、净、用和排的作用。在不透水区域与绿地之间的过渡区域可以设置干式/湿式植草沟、植被缓冲带，结合绿地设置雨水湿地、湿塘等设施，在城市排水压力较大的城市核心区，增加透水铺地使用的比例，建立绿色屋顶、下沉式绿地、生物滞留设施和渗井等，通过 LID 设施的设置有效补充地下水、消减峰值流量、净化雨水和集蓄利用雨水。

在进一步探索城市绿地系统与洪涝灾害之间的关系，将对城市开发前后以及采取 LID 设施后，径流系数等相关参数进行模拟计算，并对具体 LID 设施布局给出反馈的建议。基于 GDEM30m 高程数据进行水文分析，建立 SWMM 模拟所需要的输入参数，包括对地表径流的提取获得划分的子流域区域、面积、地表水流动路径的特征宽度、平均坡度、子流域中不透水面积所占的比例，以及出水口位置的确定和高程等。整个计算的流程和建立 SWMM 的 .inp 格式文件的输出均在基于地理信息系统 ArcGIS 下通过 Python 语言编写相应程序计算完成。在确定子流域区域研究范围时，为了保证子流域研究区域的完整性，不以中心城区行政范围为边界，如图 11，同时计算获取每一个子流域不透

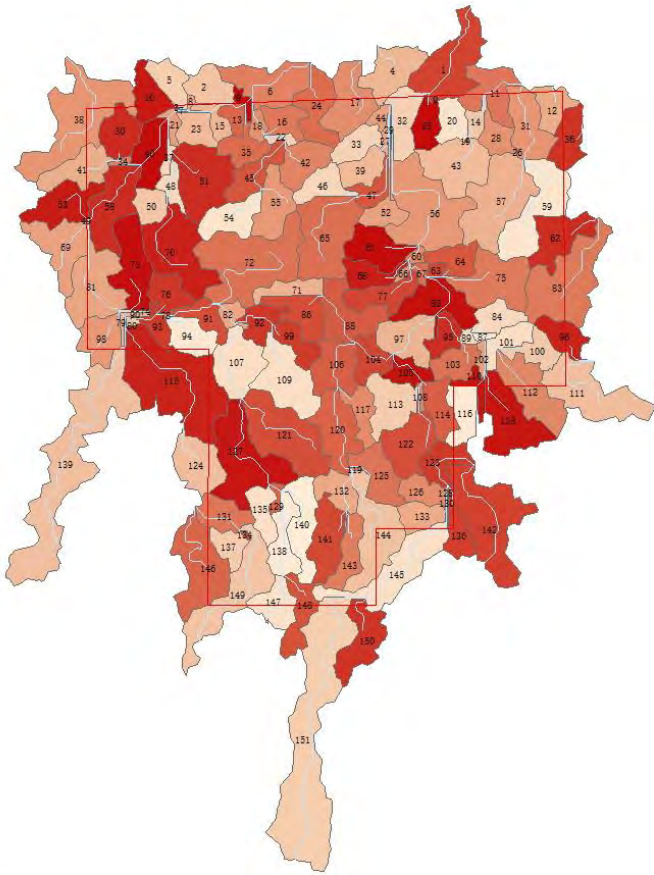


图 11 子流域不透水区域比例

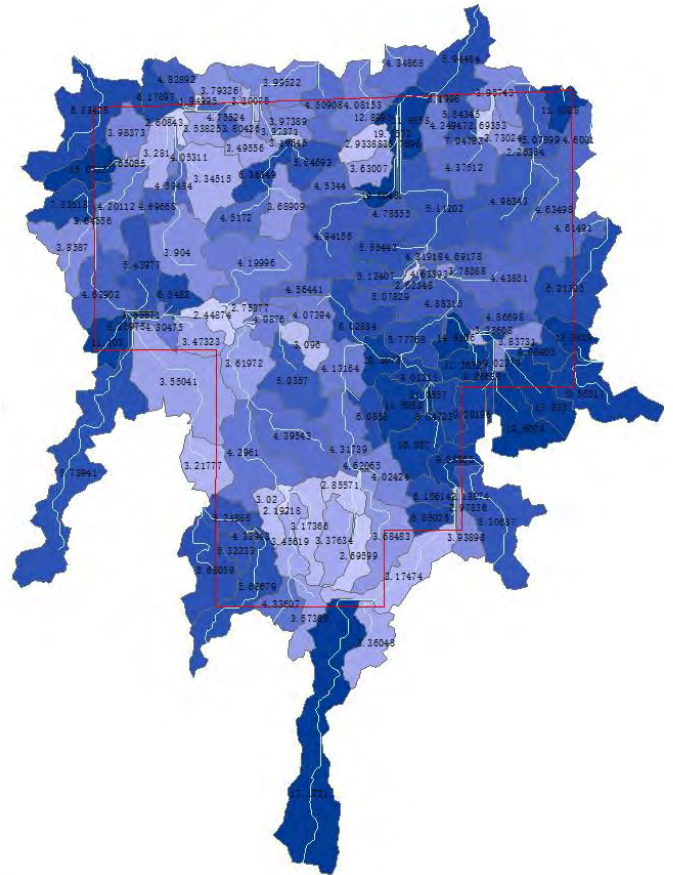


图 12 子流域平均坡度

水区域的比例，颜色越红不透水区域的比例越大，城市建设开发的程度越高。图 12 为子流域平均坡度变化情况，颜色越蓝坡度越大，其中在子流域中分布的红点是出水口的位置，分布在子流域高程相对较低处。

本例脚本程序约 300 行，包括 SWMM 基本输入参数的计算、.inp 格式的输入和径流系数调回 ArcGIS 平台等三个部分。其中通过 Python 编程建立符合 SWMM 输入.inp 文件的格式，可以通过直接打开一个.inp 文件确认每行数据记录的内容；同时部分参数设置参考 EPA 的《Storm Water Management Model Applications Manual》。本例使用 SWMM 模拟是以服务于绿地系统规划为目的，排除市政雨水管网后重点比较开发前后和 LID 设施布置与否对径流的影响。

由于一定控制率对应的设计雨量在是否加入 LID 设施的运行中体现不明显，所以选取该地 10 年一遇的设计雨型作为 SWMM 模型中的运行参数，可采用芝加哥降雨计算公式按需计算。

降雨量根据当地气象资料，选取至少近 10 年降雨量资料确定。对于陕西关中地区，其暴雨强度可按式计算：

$$q = \frac{2785.833 \times (1 + 1.1658 \lg P)}{(t + 16.813)^{0.9302}} \quad (1)$$

$$i = \frac{A}{(t + b)^n}$$

从公式 (1) 中予以解释，其中 A、b、n 为一定重现期下暴雨强度公式中的参数。r 为综合雨峰位置系数，根据每场降雨不同历时峰值时刻与整个历时的比值而加权平均确定的，r 位于 0~1 之间。

式中 q——降雨强度，L/(s·hm²)；

P——重现期，a；

t——降雨历时，min

对于陕西地区可采用芝加哥雨型进行设计，其具体降雨量分布如下式：

$$i_a = \frac{(1-n) \times r^n \times A}{(t_a - t + r \times b)^n} + \frac{n \times b \times r^{n+1} \times A}{(t_a - t + r \times b)^{n+1}} \quad (2)$$

当 0 ≤ t ≤ t_a 时：

$$i_b = \frac{(1-n) \times (1-r)^n \times A}{[t - t_b + (1+r) \times b]^n} + \frac{n \times b \times (1-r)^{n+1} \times A}{[(t - t_b + (1-r) \times b)^{n+1}]}$$

当 $t_b \leq t \leq T$ 时: (3)

式中:

- A、b、n——暴雨雨强计算公式中地方参数, $A=16.715 (1+1.16581 \lg P)$, $b=16.813$, $n=0.9302$;
r——雨峰系数, 降雨开始至暴雨洪峰形成的时间与总降雨历时的比例, 一般在 0.3~0.5 之间, 常取 0.5;
ia——峰前雨强, mm/min;
ib——峰后雨强, mm/min;
ta——峰前降雨历时, min;

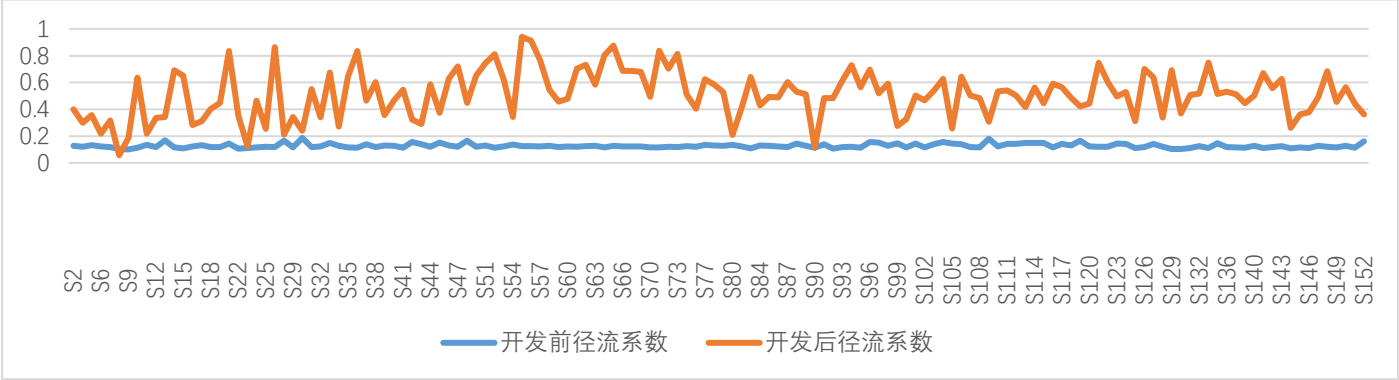


图 13 开发前后子流域径流系数

- tb——峰后降雨历时, min;
t——总降雨历时 min。

在划分汇水分区时, 以满足水文格局和安全格局的前提下, 尽量以区域排水坡度为依据。地表漫流长度控制在 150 米以内。

图 13 为开发前后各个子流域径流系数对比情况, 由于不透水区域比例的增加, 径流系数相应改变, 为了比较开发前后各个子流域径流系数变化的幅度, 编写脚本增加字段, 读取计算后径流系数并计算差值, 图 14 显示颜色越黑的区域开发前后径流系数变化幅度越大。选取变化幅度相对较大的 S71 子流域, 计算开发前后 S71 子流域径流过程线, 如图 15, 因为不透水区域比例的大幅度增加, 开发前后径流变化幅度较大, 高峰径流发生在高峰降雨时, 并且一旦降雨停止, 开发后的过程线以更快的速度下降。

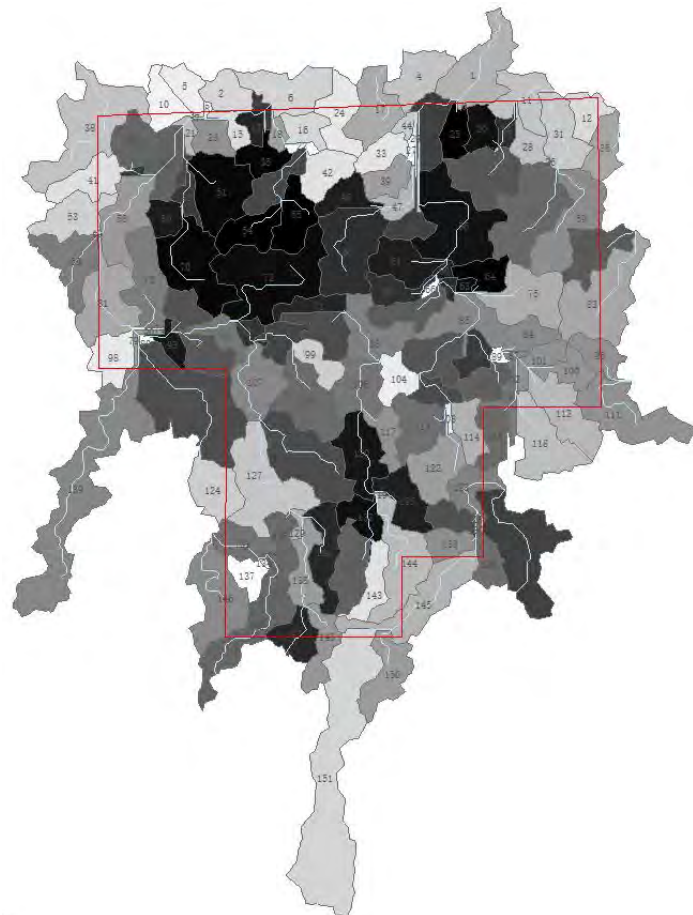
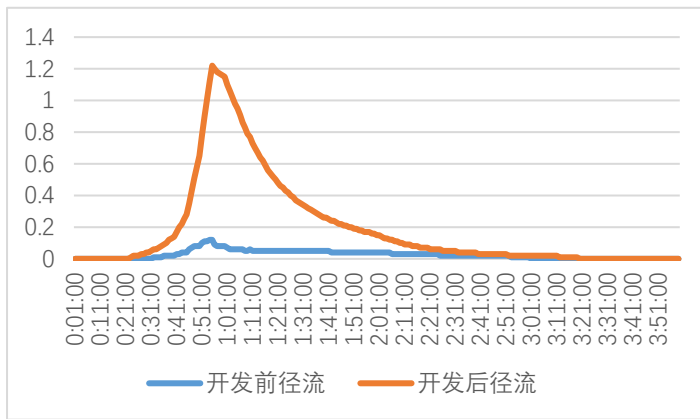


图 14 子流域开发前后径流系数变化幅度



参照陕西省西咸新区海绵城市建设目标，50 年一遇

图 15 S71 子流域径流过程线

建成区综合径流系数控制在 0.3，建成区可渗透地
面面积比例不低于 40%，天然水域面积保持程度不

得减少；以及细化控制目标中下沉式绿地建设比例在市政道路、广场/停车场、商业区、住宅区、公服用地、工业区、绿廊和城市公园中所占最小比例为 40%的条件，在各个子流域中按比例增加 LID 设施，可以参考城市排水压力设置 LID 设施，包括生物滞留设施 (Bio-Retention Cell)，设计蓄水深度为 300mm 和透水铺地 (Permeable Pavement)，计算模拟结果如图 16。在 10 年一遇设计雨型模拟中，LID 调控后径流系数减少，各子流域平均径流系数由 0.51 控制到约 0.27。

第一个案例基于参数化阐述了智能化设计的过程，编程设计方法对设计本身形式有较大的控制，截然不同于传统方案推敲的过程，能够直接获取空间形式；第二个案例基于地理信息系统，解决必然面临的数据处理、分析等相关问题，推进基于数字景观的规划设计顺利发展。编程设计具有较广泛的扩展性，不仅可以建立几何模型部分间的参数化关系，强调部分之间的因果联系，达到影响因子(参数)对几何形式的影响。其中建立具有参数化关系的几何模型，控制几何模型的影响因子可以是气象数据、水文数据等，同时从传感器中获取的数据，例如旋转角度电位计、光线传感器、倾斜传感器、火焰传感器、温湿度传感器以及无线信号，都可以作为影响因子影响几何形式的变化；另外基于复杂系统，在多智能体仿

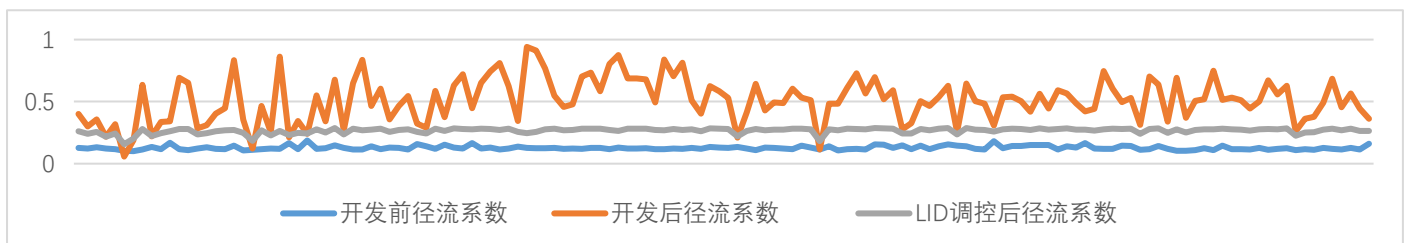


图 16 LID 设施调控前后径流系数

真中设置智能体规则，涌现宏观形式，例如基于多智能体的地表径流分析，自然演替的生态过程模拟等；基于地理信息系统与地统计，使用公交刷卡数据、出租车轨迹数据和社会化网络数据的大数据分析，例如使用微博数据计算反映城市土地利用均衡程度的信息熵；利用传感器、物理输出建立机器人，进行智能化结构的原型设计以及加工建造。未来的建筑必然趋于智能化，在各类传感器的帮助下可以将建筑“物联”，实现建筑与环境，建筑与人为行为之间的关联，由传感器或者参数驱动下的物理输出，控制舵机、步进电机等建筑结构机械设计；以及由程序和 GPS 定位系统控制下的大型施工机械。基于数据的设计分析过程因为使用途径上的差异，异常丰富，并不断的产生着新的创造影响设计的过程，设计建造的过程和设计的管理。

推进数字景观和编程设计的方法，对设计师的知识架构提出了新的要求。基于数字景观的设计思维更多倾向于数理逻辑思维，而所涉及的每一个领域往往可以借助于编程语言来有效解决问题，编程语言本身的思维方式也恰恰反映了数字景观思维的本质，编程景观以编程语言为依托，实现艺术与技术的碰撞。但是同时也需要理性的看待编程技术辅助规划设计的方法途径，编程设计方法更应是对学科本身知识结构的拓展，自身在具有无限拓展能力的同时，也存在着应用上的局限性。目前希望能够指望一个或者多个程序自动完成一个项目的可能性很难，而且即使达到了这个目的，每个设计师对艺术的评判各不相同，即使具有相同的艺术形式倾向，具有明显逻辑特征的程序也只会让更多的设计变得枯燥乏味。如何正确的看待和应用编程技术，对于它的理解只有在具体的项目实践中判断，对于碰到的任何问题都可以思考使用编程技术来解决，并评估其可行性以及是否优于一般的方法。

参考文献：

包瑞清. 编程景观[M]. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2015. 6

殷学文、俞孔坚、李迪华, 城市绿地景观格局对雨洪调蓄功能的影响[J]. 城乡治理与规划改革——2014 中国城市规划年会论文集(01 城市安全与防灾规划), 2014

EPA, Storm Water Management Model Reference Manual Volume1-Hydrology [M]. 2015. 7

Jorge Gironós, Larry A. Roesner, Jennifer Davis. Storm Water Management Model Applications Manual [M]. 2009. 7

作者:

包瑞清, 北京林业大学城市规划与设计专业博士, 西安建筑科技大学建筑学院讲师。邮箱: richieball@outlook.com

刘永, 西安工程大学环境工程专业, 现于西安建筑科技大学从事 LID 在风景园林中应用的研究工作