

# 城市雨洪管理的三种模式对比研究

## Study on the Comparison of Three Modes of Urban Stormwater Management

连之瑶 陈秋彤 梅骏翔 杜 钦\*  
LIAN Zhiyao CHEN Qiutong MEI Junxiang DU Qing\*

文章编号: 1000-0283 (2021) 10-0033-06  
DOI: 10.12193/j.laing.2021.10.0033.005  
中图分类号: TU986  
文献标志码: A  
收稿日期: 2021-06-18  
修回日期: 2021-08-17

### 摘要

随着城市化的不断发展, 城市内涝问题日益严峻。雨水管排模式、雨水道排模式和自然下渗为主的雨洪管理模式是全球解决城市雨洪问题的三种主要模式, 其各自特点及优劣是亟需解决的问题。研究分别从实施理念、技术原理、实践案例和实践效果等方面, 对三种城市雨洪管理模式进行剖析和对比, 期望能为中国城市雨洪管理提供有益参考。

### 关键词

城市内涝; 雨洪管理; 麦克哈格; 管网排水

### Abstract

With the continuous development of urbanization, the problem of urban waterlogging has become increasingly severe. Rainwater pipe drainage mode, rainwater channel drainage mode, and rainwater and flood management mode dominated by natural infiltration are three main ways to solve global urban rainwater and flood problems. Their respective characteristics and advantages, and disadvantages are urgent problems to be solved. The study analyzes and compares the three urban stormwater management modes from implementation concepts, technical principles, practical cases, and practical effects, hoping to provide valuable references for urban stormwater management in China.

### Key words

urban waterlogging; stormwater management; McHarg; pipe network drainage

### 连之瑶

1999年生/女/天津人/桂林理工大学旅游与风景园林学院硕士在读/研究方向为景观生态规划与设计(桂林 541000)

### 陈秋彤

1995年生/女/广西桂平人/桂林理工大学旅游与风景园林学院硕士在读/研究方向为景观生态规划与设计(桂林 541000)

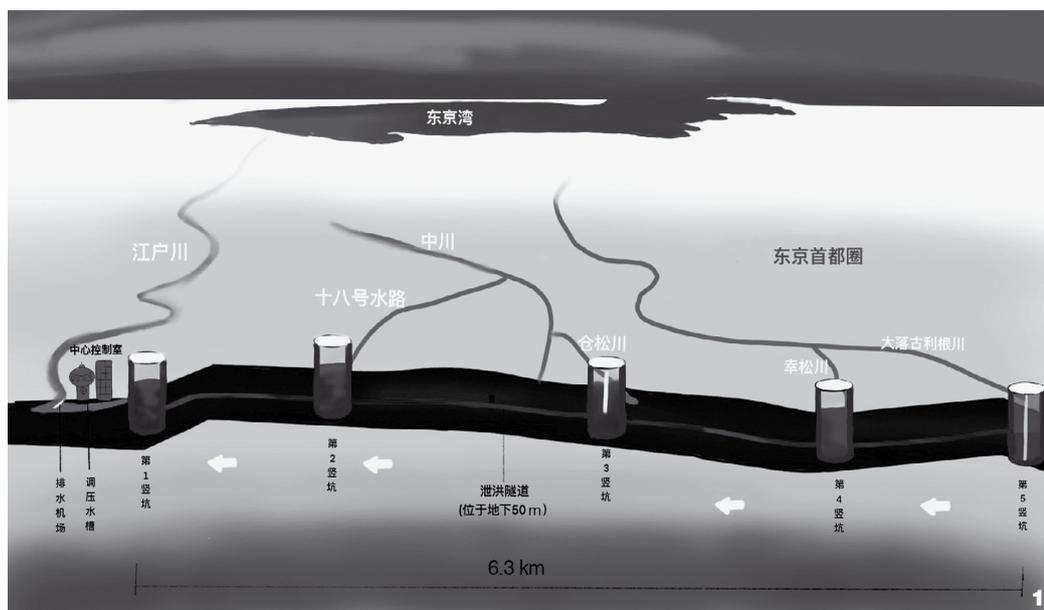
### 杜 钦

1978年生/男/广西桂林人/桂林理工大学旅游与风景园林学院教授/研究方向为景观生态规划与设计(桂林 541000)

\*通信作者 (Author for correspondence)  
E-mail: 80168391@qq.com

随着中国城镇化速度不断加快, 各类城市环境问题, 如城市热岛、大气污染、光污染、城市雨洪等, 也在同步显现与暴露<sup>[1]</sup>。其中, 城市雨洪问题影响最广且最受关注。城市雨洪问题通常是指城市在遭受瞬时或短期暴雨等强甚至极端降雨天气时, 因雨水滞留而产生的城市内涝现象<sup>[2]</sup>。其产生的主要原因在于城镇在形成、扩大过程中, 为了建设各种城市基础设施, 不得不紧实、硬化原有自然下垫面<sup>[3]</sup>, 这大大减小甚至完全消除了下垫面的渗透性能, 降低阻隔了雨水透过地表向下渗透的过程。雨水下渗不畅和受阻, 使得雨水只能蓄积于地表, 顺着低地势流动<sup>[4]</sup>。

应对城市雨洪问题主要有三种不同的解决思路: 第一种, 即为常规的构建以雨水管排为主的方式; 第二种与第一种思路和原理相同, 但使用的是雨水道排方式; 第三种, 即以地表自然向下渗透为主导的解决方式。目前, 城市雨洪问题主要发生在以雨水管排为主的城市<sup>[5]</sup>, 而以雨水道排和地表自然向下渗透式模式为主的城市, 即使经历强暴雨, 也少有内涝问题发生<sup>[6]</sup>。对此, “三



1. 荒川工程示意图 (改绘自参考文献[9])

种城市雨洪管理模式各具哪些特点? 彼此各有哪些优点和不足? 这些能为城市雨洪管理提供哪些启示?” 值得深入讨论。文章对三类模式进行梳理, 并对比三者特点, 以期研究结果有助于对上述问题的理解。

### 1 雨水道(管)排式的城市雨洪管理模式

雨水道(管)排式是目前全球城市采用最为广泛的城市雨洪管理方式, 是将下渗、蓄滞、收集、输送、处理和利用雨水的设施以一定方式组合形成的总体<sup>[9]</sup>, 包括从雨水径流产生到末端排放的全过程管理。其主要通过雨水口收集在城市形成的地表径流, 通过地下排水廊道或地下排水管网, 实现将雨水径流流向受纳水体。依据具体执行过程, 在雨水地表径流进入雨水口前, 会增加源头减排过程<sup>[9]</sup>; 在雨水廊道和管网运移过程中, 会有增加调蓄、雨水净化和收集利用过程<sup>[9]</sup>。相同的实施理念和技术原理在具体实践过程中产生了两种截然不同的管理效果, 即雨水道排式和雨水管排式实践。

#### 1.1 雨水道排式案例和实践效果

雨水道排式是地下廊道式城市排水设施, 其多在地下几十

米, 宽至少5m, 有着巨大的物理空间。其优点是能显著减少短期强降雨带来的城市雨洪灾害, 实现收集雨水的后续利用; 缺点是建设周期长, 建设造价极高。代表性案例有日本东京廊道式城市排水设施。

1872年, 一场大火重创东京, 但也为东京带来全新规划契机。在随后的规划中, 东京传统的阴沟逐步被地下沟渠取代。这种取代的另一个原因是传染病, 排水设施的落后是传染病肆虐的源头。19世纪90年代, 东京开始设立专业机构规划下水道建设。这一机构的设立极具前瞻性, 其最初规划和建设的东京下水道系统足以支持约150万人的生产生活, 随后又进一步升级到300万人(直到2001年, 旧东京市区的人口才刚刚超150万人)。1962年, 新规划的下水道系统支持总人口被提高到1000万人。即便如此, 这样的下水道对于地处冲积平原、地势低洼、河湖众多的东京仍是杯水车薪。近几十年来, 随着全球气候变暖, 东京遭受更频繁的暴雨和洪水侵袭。多次“水漫东京”后, 日本政府开始为东京制定新的城市规划。1992年, 开始建设“首都圈外围放水路”, 这一工程与东京原有下水道排水系统相结合, 大大增强了东京的泄洪能力<sup>[10]</sup>。

“首都圈外围放水路”又称“荒川工程”(图1)。整个系

统位于地下50 m, 是一条总长6.3 km、直径10.6 m的巨型隧道, 将江户川、十八号水路、中川、仓松川、幸松川和大落古利根川等几大河流串联在一起。排水系统通过5个深约70 m、直径约30 m的竖坑连通地面的河流、河沟, 作为分洪入口。在日常状态和普通降雨时, 污水和雨水经过处理后会通过一般的方式, 流经下水道和江河遂流入东京湾。但当暴雨、台风等极端天气来临时, 一旦降雨量超过河流可承受范围, 竖坑的疏导接口将会打开, 洪水流入竖坑群使东京各河流的水位趋于平缓, 竖坑群积攒一定洪水后便通过泄洪隧道向调压水槽输送洪水。调压水槽内部高18 m、宽78 m、深177 m; 支撑调压水槽的是59根石柱, 与天井高度同为18 m, 重约500 t, 它们不仅支撑着天井, 同时还能防止导入水流过多时, 设施自身“屈服”于水的浮力而产生的意外。调压水槽储存一定水量后, 水泵会被打开, 将水以200 m<sup>3</sup>/s的速度排入江户川。只有当水储存到一定量时才会被排出去, 所以一般情况下还能储水, 为旱灾作准备<sup>[10]</sup>。

该排水系统总投资约2 400 亿日元(约200亿人民币)。自发挥作用以来, 雨洪对东京的侵害程度急剧下降。以东京地区地势较为低洼的春日部市、幸手市和杉户町为调查地, 在2000年的一次降雨量达159 mm/h的暴雨中, 有236户遭遇不同程度的水淹, 但至2005年, 虽然台风带来了强度更大的降水, 却仅有14户遭遇轻微水害。

## 1.2 雨水管排式案例和实践效果

雨水管排式是地下管网式排水设施。通常在较浅地下, 设置口径约为1 m的排水管<sup>[11]</sup>, 排水管与排水管相连, 形成系统管网式排水设施。现代中国的城市几乎均可看作是雨水管排式的典型案例。

其优点是建设难度低、建设成本低, 当降雨形成的径流量小于甚至等于雨水管网负荷径流量时, 雨水管排式足以正常应对雨洪, 地表不会出现滞留; 缺点是当瞬时或短期内强降雨形成的径流量大于雨水管网负荷径流量时会产生内涝, 强降雨量越大内涝程度越严重, 二者正相关。

## 2 自然下渗为主的城市雨洪管理模式

### 2.1 实施理念

这种模式的实施理念主要包含两方面: (1) 自然界实际存在不同渗透性能的下垫面<sup>[12]</sup>。对于渗透性好、能完全实现水分自然下渗的下垫面, 应该完好保存, 杜绝开发; 对于渗透性能

适中、能允许部分水分下渗的下垫面, 应该有计划实行低密度开发; 对于渗透性能差、水分多无法实现下渗的下垫面, 可作为主要开发区域。(2) 无法及时下渗的雨水, 会顺着自然地势汇集于地势低洼处, 形成暂时或长久型湿地, 对于这些自然湿地需要给予保留。

### 2.2 技术原理

(1) 土壤分类。不同土壤类型具有不同水文效应, 因此土壤水文性质和空间分布直接影响地块的雨洪调节能力。需要依据土壤透水性能、土壤与不透水层间距、土壤与高地下水层间距等特性<sup>[13]</sup>, 制定预期开发密度和土地利用类型。

(2) 利用露天排水和蓄水系统。充分并合理使用天然露地排水<sup>[14]</sup>和蓄水系统, 如天然草地洼地、森林洼地和湿地等, 这能广泛收集雨水径流, 减小地表径流距离, 减小侵蚀和淤积, 增大雨水蓄滞, 并降低排水系统的建造成本。

(3) 确定可开发比例和类型。以保持开发前后场地对径流渗、蓄、滞能力不变为目标, 根据土壤水文状况和植被覆盖现状, 尽量保留植被面积及其多样性, 确定可开发比例和开发类型<sup>[14]</sup>。

### 2.3 实践案例及效果

自然下渗为主的雨洪管理模式, 最典型的案例为美国得克萨斯州休斯顿市的伍德兰兹社区。休斯顿市由于紧邻墨西哥湾, 时常受飓风强降雨的影响, 虽然其年降雨量约330 mm, 但一次飓风造成的强降雨量常常等于甚至数倍于年均降雨量。由于城市采用的是雨水管排式的传统排水方式, 每逢飓风登陆, 休斯顿市饱受雨洪影响<sup>[15]</sup>。1970年, 乔治·米切尔拿到了休斯顿市北面二十多万英亩土地, 计划建一座新城。伊恩·麦克哈格和其他多位土壤、植物和地质学家共同受到委托对这座新城进行规划, 乔治同时要求: (1) 地处上游的新城雨水不能排入附近河流及其流域, 一旦雨水排入河流, 强暴雨发生会加重休斯顿市内涝; (2) 由于休斯顿和新城场址下海洋沉积物是连续含水层, 过去休斯顿的发展常从此层抽水, 为了防止地面下沉, 雨水需要下渗回流补充。

伍德兰兹社区中的土壤类型分为4类: A类为土壤蓄水能力高的砂质和壤质砂土; B类为土壤蓄水能力中等的砂质壤土和壤土; C类为土壤蓄水能力低的粉质壤土、砂质黏土和壤土; D类为无蓄水能力的粉质黏土壤土、黏壤土、黏土(图2)。规划师

表1 场地划分、处理以及开发对策

区域划分	处理方式	开发对策
1 池塘周围区域	保证足够植被作为池塘周围的缓冲区，周围的D类土壤不予开发	保证A、B、C类土壤的蓄水能力；建筑物尽量不建设在此类土壤上，并且远离池塘边缘
2 50~100年的洪泛区	这一区域植被众多，维护植被覆盖对防洪至关重要。房屋周围不允许有草坪和庭院，保持附近现有植被，尽量减少侵蚀淤积	尽量不进行房屋建设，如果建设，标准必须高于百年一遇
3A1 不接受其他土壤径流的A、B类土壤	A、B类土壤应至少分别保留10%、25%的未开发土地	将建筑建在高海拔地区，以便径流流向低海拔地区；建筑物建在不透水土壤上，保持未开发地块的蓄水能力
3A2 接受C类或D类土壤径流的A、B类土壤	A、B类土壤应至少分别保留11%、33%的未开发土地	将建筑建在高海拔地区，以便径流流向低海拔地区；不得开发或清除用于补给C、D类土壤的A、B类土壤
3A3 不接受其他土壤径流的C类土壤	C类土壤蓄水能力低于A、B类土壤，当没有A、B类土壤时，应使用C类土壤	将建筑建在高海拔地区，以便径流流向低海拔地区；将建筑物建在不透水的土壤上，保持未开发地块的蓄水能力
3A4 接受D类土壤径流的C类土壤	在接受D类土壤径流后，剩余的C类土壤可以根据3A3进行适当开发；D类土壤可以根据3B1适当开发	将建筑建在高海拔地区，以便径流流向有蓄水能力的C类土壤；在D类土壤没有坡度的情况下，必要时可填充D类土壤，加强排水
3B1 坡度斜率大于1%且径流不排至A、B、C类土壤的D类土壤	应将径流引入沼泽、蓄水处，否则D类土壤坡度小于1%时可能暂时会被淹没	建筑物、道路在设计时注意避免影响径流，主要交通道路应平行于斜坡线
3B2 坡度斜率小于1%的D类土壤	无法自己排除降水，应人工填充形成坡度，但投入成本较大；可全部用于开发	建筑可视情况建在道路两旁或将地基适当抬高，避免对房屋造成影响

注：根据参考文献[16]整理。

根据4种土壤类型对场地进行详细划分(表1)：将蓄水能力较强的A类和B类土壤作为地表向下渗水的核心；在维持天然渗透和径流的前提下，计算出城市化用地的占地比例，将住宅、道路等活动场所建设在几乎无蓄水能力或蓄水能力较差的C类和D类土壤上；在单元与单元之间建立天然开放式排水系统，将道路垂直于场地坡度，在道路末端平行于坡度，这样可以使地表径流通过自然排水沟流入主要排水渠道。此外，伍德兰兹社区林地众多，主要植被类型是松树和橡树群落，高海拔处主要为柳树、橡树和冬青树等，植物种类丰富，土壤蓄水能力较强<sup>[6]</sup>。

实施此规划后，在1979年、1987年、1994年和2001年多次超强飓风的强降雨中，伍德兰兹社区都未遭受洪水内涝，而休斯顿市及其他周边社区则内涝严重。自然下渗为主的雨洪管理模式优点是雨洪回流补充地下水、防止地面沉降、对自然肌理影响小、建设造价低；缺点是城市被建设和开发密度低，

属典型低密度开发。

### 3 三种城市雨洪管理模式对比

通过上述分析可以看出，三种模式各具特点，总结对比如表2。

### 4 对中国城市雨洪管理的启示

#### 4.1 雨水道排式雨洪管理模式

现在中国城市排水管网的建设和升级改造中，借鉴廊道式的下水道是由钢筋混凝土浇筑而成，内部空间宽敞(跨径小于4m)，储水量大的“箱涵式”雨水管，其被越来越多推广使用<sup>[7]</sup>。此外，借鉴廊道式下水道调控管理方式，优先考虑将雨水存储并进行后续利用，而不再是过去将雨水径流直接排入河道。

表2 三种城市雨洪管理模式的对比

	雨水道排式	雨水管排式	自然下渗为主式
实施理念	收集性排放	收集性排放	自然向下渗透; 地表自然蓄积
技术原理	通过廊道式排水设施对雨洪进行调控; 源头性减排; 调蓄; 净化; 雨水再利用	通过管网式排水设施对雨洪进行调控; 源头性减排; 调蓄; 净化; 雨水再利用	按渗透性能进行土壤分类; 利用天然排水和蓄水系统; 依据土壤植被地形等确定开发比例
典型案例	日本东京、法国巴黎、英国伦敦、美国纽约、马来西亚吉隆坡	现代中国城市	美国得克萨斯州休斯顿市伍德兰兹社区
应用效果	效果好, 城市受强降雨影响极轻微	应对瞬时和短期强降雨效果弱	效果好, 强降雨对区域未造成淹没影响
优点	能较好应对强降雨; 雨水收集再利用	应对正常降雨; 建设周期短; 建设造价低	能较好应对强降雨; 回流补充地下水, 防止地面沉降; 对自然肌理影响小; 建设造价低;
缺点	建设周期长; 建设造价高	预防强降雨效果弱	城市被建设和开发密度低, 属典型低密度开发

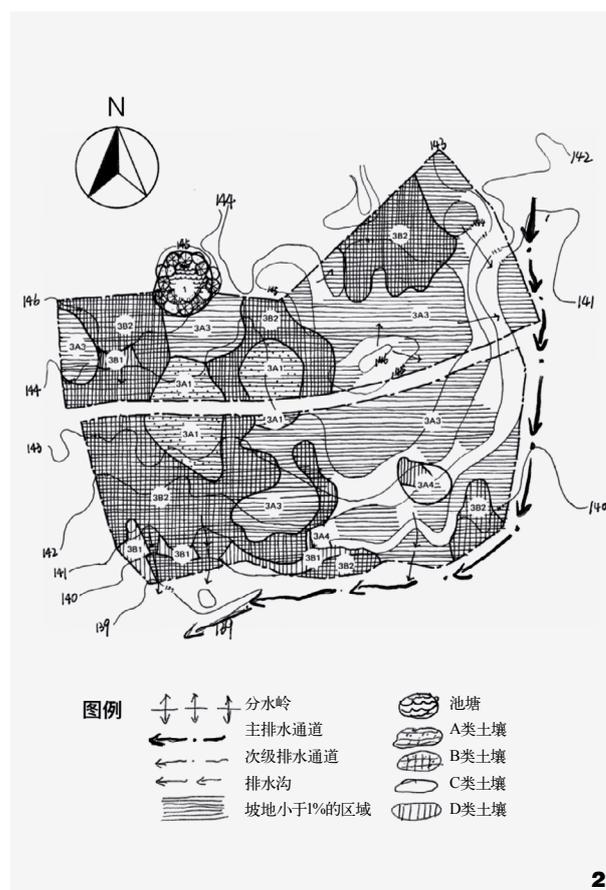
#### 4.2 自然下渗为主雨洪管理模式

麦克哈格通过土壤水文特性来协调开发密度和开发模式的解题策略<sup>[10]</sup>, 为中国城市雨洪问题提供了方向, 特别是对于一些新型小城镇和新城区建设。未来新型小城镇和新城区建设需要融合多学科多专业背景的专业人士共同完成规划<sup>[11]</sup>。如伍德兰兹社区案例的成功是基于土壤学家对土壤类型、渗透性、保水性等特点的分析; 基于地质学家对地下含水层、地质结构、地形结构等的分析; 基于植被学家对伐木比例、林木种类梯度与磐岩层和水位关系等的分析等等。其次, 要借鉴伍德兰兹社区方案形成时严密的科学分析过程, 如为了保留天然露天的蓄水场地, 每片草地洼地、林地洼地、现有湿地的位置、蓄水量和干涸时间都有详细的前期估算<sup>[16]</sup>。在城市发展建设过程中, 有必要保留场地原有的自然肌理, 特别是各类天然洼地<sup>[14]</sup>, 以构成城市天然雨水调节库。

#### 5 结语

研究对三种城市雨洪管理模式从实施理念、技术原理、实践案例和实践效果等方面进行了分析, 总结出三者间的差异。以雨水管排为主导的雨洪管理模式是目前中国城市最常用的模式, 但这种模式承受强降雨雨洪的能力弱, 频繁导致城市内涝。相比之下, 雨水道排式和以自然下渗为主的雨洪管理模式却能很好地化解城市雨洪问题<sup>[20]</sup>。在现有雨水管排模式下, 如何提升现有中国城市应对强降雨的能力, 还需因地制宜, 多方共谋。■

2. 伍德兰兹社区第一期场地细分图 (改编自参考文献[18])



## 参考文献

- [1] 郑英. 韧性城市理念下的区域雨洪控制系统构建分析[J]. 中国建设信息化, 2020(22): 70-72.
- [2] 车伍, 杨正, 赵杨, 等. 中国城市内涝防治与大小排水系统分析[J]. 中国给水排水, 2013, 29(16): 13-19.
- [3] 张媛媛. 中国城镇化发展对生态环境的影响研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [4] 陈飞龙. 市政工程给排水管道现状及管理措施探讨[J]. 城市建设理论(电子版), 2017(21): 190.
- [5] 刘晓光, 王浩. The Woodlands, 麦克哈格的自然世界[J]. 现代城市研究, 2015(01): 91-96.
- [6] 颜文涛, 王云才, 象伟宁. 城市雨洪管理实践需要生态实践智慧的引导[J]. 生态学报, 2016, 36(16): 4926-4928.
- [7] 王磊之, 云兆得, 胡庆芳, 等. 国内外城市雨洪管理指标体系对比及启示[J/OL]. 水资源保护: 1-9[2021-08-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1356.TV.20210112.1655.008.html>.
- [8] 李云燕, 李长东, 雷娜, 等. 国外城市雨洪管理再认识及其启示[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2018, 24(05): 34-43.
- [9] 杨鹏. 江户川工程守护东京的“地下神殿”[J]. 中国国家地理. 2011(09): 74-80.
- [10] 付成威. 市政排水管道系统规划方案设计探讨[J]. 低碳世界, 2020, 10(09): 40-41.
- [11] YANG B, LI M H, HUANG C S, et al. Ian McHarg's Ecological Planning in The Woodlands, Texas: Lessons Learned after Four Decades[J]. Landscape Research, 2015, 40(07): 773-794.
- [12] YANG B, LI M H. Ecological Engineering in a New Town Development: Drain Age Design in The Woodlands, Texas[J]. Ecological Engineering, 2010, 36(12): 1639-1650.
- [13] MCHARG I, SUTTON J. Ecological Plumbing for the Texas Coastal Plain[J]. Landscape Architecture, 1975(01): 78-89.
- [14] YANG B, LI M H. Assessing Planning Approaches by Watershed Streamflow Modeling: Case Study Of The Woodlands, Texas[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 99(1): 9-22.
- [15] SPIRN A. Ian McHarg, Environmentalism, and Landscape Architecture: Ideas and Methods in Context[R]. Washington, NC: Dumbarton Oaks Research Library and Collection, 2000.
- [16] MCHARG W, TODD R. Woodlands New Community-Guidelines for Site Planning[R]. Philadelphia: Pennsylvania, 1973.
- [17] 杨帆, 刘超, 汤方平, 等. 箱涵式进水流道的立式轴流泵装置水力特性分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(04): 62-69.
- [18] 伊恩·伦诺克斯·麦克哈格. 生命·求索——麦克哈格自传[M]. 马劲武, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [19] 王志芳, 任仲申, 张敏. 以土壤因素为主导的生态规划——美国得克萨斯州伍德兰兹社区规划过程及评价[J]. 国际城市规划, 2015, 30(04): 88-94.
- [20] 佚名. 国外城市排水系统——东京[J]. 隧道建设, 2012, 32(04): 440.



# 2022 《园林》征集学术专题

为了进一步强化开放办刊、平台共享,《园林》学刊现决定面向海内外风景园林学界及相关领域学者公开征集2022年专题组稿方案,以期深化与拓展学科体系和研究团队建设,助力风景园林学科高质量发展。

### 一、选题要求

1. 学术性。选题应深入探讨与系统研究本学科及相关领域具有较高学术、理论价值和普遍意义的研究成果。
2. 创新性。选题应以问题研究为导向,在理论、方法、论据、观点上有突破、新进展。
3. 前沿性。选题立足国内,面向全球,关注风景园林学科的前沿问题、热点问题,进行体系性的深入论证。
4. 包容性。鼓励跨学科、跨地域、多视角的综合研究,选题内部可涵盖2~3个子选题。

### 二、组稿要求

1. 专题策划者为本专题“学术主持人”,是风景园林及相关领域的

优秀学者,召集的作者应在本领域有一定知名度和权威性,对其研究领域有独到见解和创新学术成果。

2. 每个专题为5~7篇学术论文,每篇字数为5 000~7 000字,综述性文章可超1万字。

3. 专题学术主持人以组稿为主,自撰稿为1篇。作者最好不要来自同一单位。

### 三、申报程序

1. 学术主持人向《园林》编辑部提交专题组稿方案,内容包括:题目、选题意义、大纲、创新点、主要作者构成(包含作者单位、职称和研究方向)以及完成预期。字数500~1 000字为宜。

2. 学术主持人通过邮件提交专题组稿方案后,编辑部将组织专家进行评估遴选,遴选结果以电话或邮件予以回复。

### 四、提交方式

发送邮件至LA899@vip.163.com;邮件主题为“2022专题+选题名称”;截止日期为2021年10月20日。