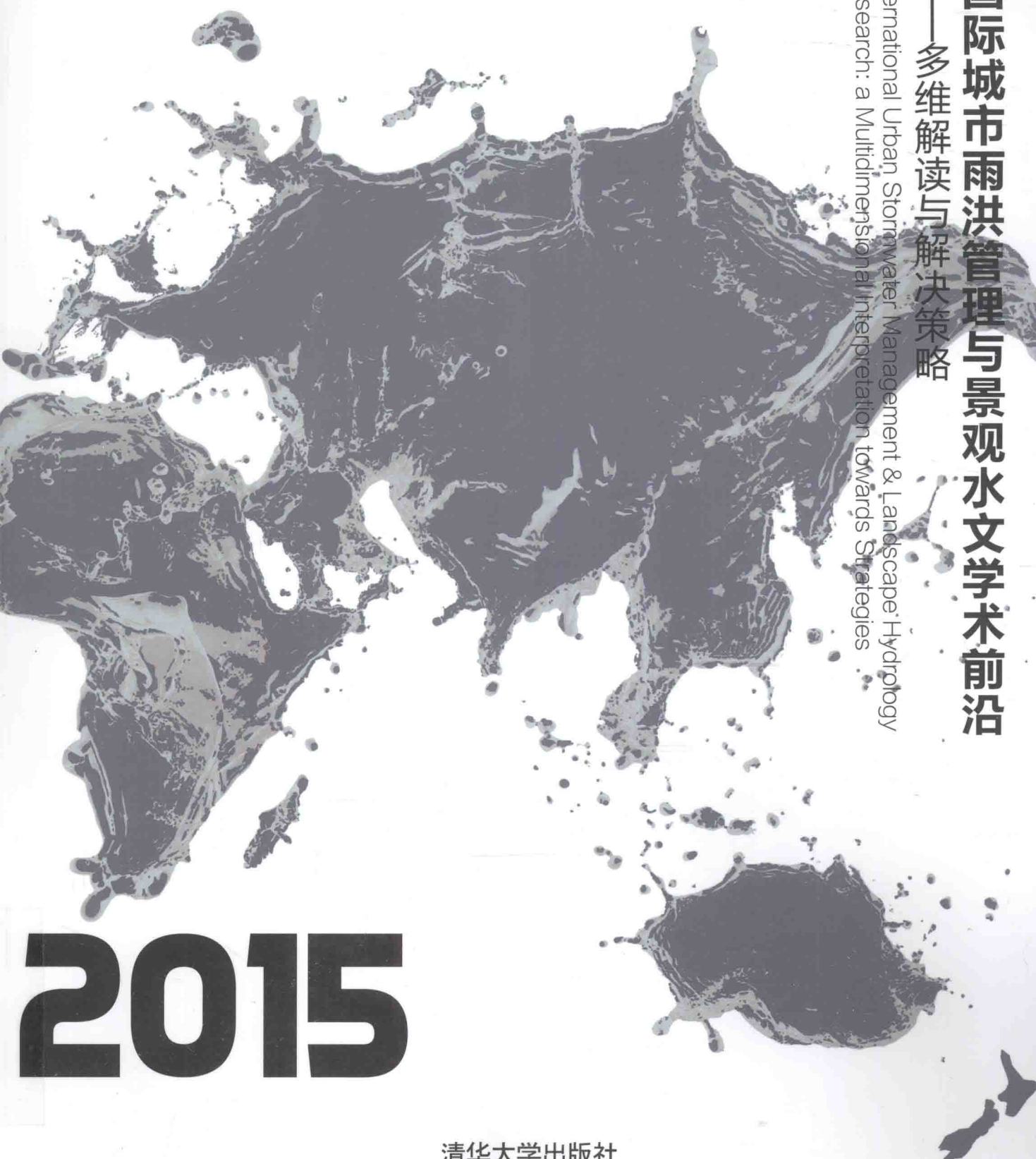


RS
2015

国际城市雨洪管理与景观水文学学术前沿

——多维解读与解决策略

International Urban Stormwater Management & Landscape Hydrology
Research: a Multidimensional Interpretation towards Strategies



2015

清华大学出版社

主编 刘海龙

主 编 刘海龙
副主编 杨 锐 贾海峰 倪广恒 郑晓笛
胡 洁 韩 毅 孙 媛 袁 琳



国际城市雨洪管理与景观水文学学术前沿
——多维解读与决策策略
International Urban Stormwater Management & Landscape Hydrology
Research: a Multidimensional Interpretation towards Strategies

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

《国际城市雨洪管理与景观水文学术前沿——多维解读与解决策略》一书，是基于清华大学在景观水文、绿色建筑、生态规划以及环境、水利方面的综合优势与研究积累，以“2015 北京城市雨洪管理与景观水文国际研讨会”为契机，将国内外水文、水利、给排水、水环境等科学与工程应用研究与分析的前沿发展，与风景园林、城市规划、建筑设计研究与实践相结合，探讨在平衡城市自然-人工二元水循环、解决城市雨洪问题的同时，营造安全、健康、和谐、优美的人居环境的多学科融合策略。本书从学科交叉与合作角度，可为当前海绵城市建设与新型城镇化的绿色转型提供理论与实践等多方面的参考与借鉴。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

国际城市雨洪管理与景观水文学术前沿: 多维解读与解决策略 / 刘海龙主编. --北京: 清华大学出版社, 2015
ISBN 978-7-302-41838-2

I. ①国… II. ①刘… III. ①城市-暴雨洪水-雨水资源-水资源管理-研究-世界 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 248893 号

责任编辑: 周莉桦

封面设计: 陈国熙

责任校对: 刘玉霞

责任印制: 宋 林

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者: 三河市君旺印务有限公司

装 订 者: 三河市新茂装订有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 210mm×285mm 印 张: 42.25 字 数: 1240 千字

版 次: 2015 年 12 月第 1 版 印 次: 2015 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 99.00 元

产品编号: 066501-01

2015 城市雨洪管理与景观水文国际研讨会

组织机构

主办单位： 全国高等学校风景园林学科专业指导委员会

清华大学建筑学院

中国风景园林学会理论与历史专业委员会

承办单位： 清华大学建筑学院景观学系

协办单位： 北京清华同衡规划设计研究院有限公司风景园林中心

清华大学环境学院城市径流控制与河流修复研究中心

清华大学水利水电工程系水资源研究所

会议主席： 杨锐（全国高等学校风景园林学科专业指导委员会主任、中国风景园林学会副理事长、理论与历史委员会主任、清华大学建筑学院教授、景观学系系主任）

会议秘书长： 刘海龙（清华大学建筑学院，副教授）

学术委员会（以姓氏笔画为序）：

Bill Wenk（美国 Wenk 事务所（Wenk Associates）创始人兼主席）

John Lenth（美国荷瑞然环境咨询公司（Herrera Environmental Consultants），首席科学家）

车 伍（北京建筑大学城市雨水系统与水环境教育部重点实验室教授）

王沛永（北京林业大学园林学院副教授）

王思思（北京建筑大学城市雨水系统与水环境教育部重点实验室讲师、博士）

任心欣（深圳市城市规划设计研究院高工）

刘 晖（西安建筑科技大学建筑学院教授，风景园林系系主任）

刘海龙（清华大学建筑学院副教授）

张书函（北京市水科学技术研究院副总工，教授级高工）

吴庆洲（华南理工大学建筑学院教授）

李迪华（北京大学建筑与景观学院副院长，副教授）

余啸雷（弗吉尼亚大学土木工程学院环境工程系终身教授）

胡 洁（北京清华同衡规划设计研究院有限公司副院长、风景园林中心主任）

倪广恒（清华大学水利水电工程系教授，水资源研究所所长）

贾海峰（清华大学环境学院城市径流控制与河流修复研究中心主任，副教授）

曾 捷（中国建筑科学研究院设计院副院长，教授级高工）

组织委员会（以姓氏笔画为序）：

朱育帆、刘海龙、张书函、杨 锐、吴 竑、郑晓笛、胡 洁、倪广恒、贾海峰、韩 毅

秘书（以姓氏笔画为序）：

孙 媛、赵智聪、袁 琳、郭 湧

前言

水，宛如人体内的血液，其循环流动无论对于自然界还是人类社会都发挥着根本性的支持作用。人类从古至今形成了大量治水、用水、管水、理水的智慧，逐步发展出一整套防洪、航运、输水、灌溉、园林工程体系，成就了人类的理想家园与诗意风景。

随着人类科学与工程技术的发展，人工—自然二元水文系统分化态势愈加明显。在一定地域内的不协调、不平衡，导致一系列水问题凸显，如水资源供需矛盾、洪涝灾害、水质污染等。上述问题会涉及多个当代学科专业领域，包括水文、水利、环境、生态、城市、建筑、风景园林等。但长期学科领域间交流的缺乏，使全面认识与综合解决水问题变得愈加困难。因此，解决现实问题的迫切性，亟待加强涉水多学科交流，整合多领域成果，激发创新思维，从而探索整体性水系统解决策略。景观水文（landscape hydrology）即是基于此目标而提出的一个新理念，旨在从水科学、生态科学与设计学科等的交叉领域发展出新的知识与方法，形成一种具有整合性、创新性的整体水研究与设计理论。

清华大学风景园林学科较早就开始研究城市水景观规划设计。1991年受首都规划建设委员会委托，完成了北京长河及京密引水渠昆玉段沿岸景观规划设计。2003年景观学系成立之后，更在国内外首开先例，在课程体系中开设“景观水文”，作为应用自然科学板块的核心课程。该课程起初由“劳瑞·欧林讲席教授组”多位外籍著名专家教授讲授，包括 Bart Johnson、Bruce Ferguson、Colgate Searle 等，初步建立起景观水文的理论框架。在此期间景观学系朱均珍教授也完成专著《园林水景设计的传承理念》，作为《园林理水艺术》（1998）一书的续作。北京清华同衡规划设计研究院风景园林中心在胡洁副院长带领下，完成了大量涉水景观项目的研究与实践，形成了以北京奥林匹克森林公园、唐山南湖等项目为代表的“新山水城市”理论与实践。2007年，刘海龙副教授开始承担景观水文课程教学及该方向的科研任务，在近十年中，承担了国家自然科学基金及部门标准等多项重要科研课题，完成多项城市水系、湖泊、湿地研究项目。2009—2014年，景观水文课程以清华校园为对象，通过设计营（workshop）的模式，对校内十多处各类型场地的雨洪管理与景观营造开展教学、研究与设计，并建成胜因院与建筑馆两处校园雨洪管理示范项目。

“2015北京城市雨洪管理与景观水文国际研讨会”的召开，即是基于清华大学在景观水文、绿色建筑、生态规划以及环境、水利方面的综合优势与研究积累，面向国家可持续发展与城市雨洪管理的需求，为推动学科发展、学术交流的一次积极努力。雨洪管理已成为我国城市普遍面临的严峻问题，对此从政府到社会各界都给予了高度关注。尤其自2014年10月住建部发布《海绵城市建设技术指南》并启动建设试点城市申报以来，对这一问题的关注达到空前的热度。本次研讨会紧紧围绕城市雨洪管理问题，基于“景观水文”这一交叉、融合、创新的理念，力图将水文、水利、水环境等科学与工程应用研究与分析，与风景园林、城市规划、建筑设计研究与实践相结合，在平衡流域自然—人工二元水循环、解决城市雨洪问题的同时，以实现营造安全、健康、和谐、优美的人居环境为最终目标。

研讨会于2014年9月发起，由清华大学建筑学院、全国高等学校风景园林学科专业指导委员会、中国风景园林学会理论与历史专业委员会联合主办，清华大学建筑学院景观学系承办，北京清华同衡规划设计研究院有限公司风景园林中心、清华大学环境学院城市径流控制与河流修复研究中心、清华大学水利水电工程系水资源研究所协办。研讨会从2014年9月开始征集论文，共设立了5个征稿及研讨主题：①雨洪管理与人居环境历史研究；②湖泊与水系生态环境保护；③城市水科学与雨洪管理研究；④雨洪管理型城市、建筑与景观规划设计研究；⑤雨洪管理的标准与实施。设立这些主题的目的，在于邀请

多学科专家学者在同一平台上就共同关注的课题展开对话与交流。截至 2015 年 4 月,组委会得到国内外众多大学、研究机构、设计院、企业、政府部门的学者、管理者、设计师、学生们的积极响应,共收到学术论文近百篇。经审稿委员会仔细审核,选录 79 篇。呈现在各位嘉宾、与会者面前的这本论文集,即是上述工作的一个整体展现。在此非常感谢广大投稿者的踊跃投稿与大力支持。也衷心希望本次研讨会的召开与论文集的出版,能够为各专业提供一个充分交流的平台,以拓宽视野,促进交叉,激发创新,推动我国城市雨洪管理研究与实践的科学化,实现城乡人居环境的可持续发展!

杨 锐

“2015 城市雨洪管理与景观水文国际研讨会”学术委员会主任

全国高等学校风景园林学科专业指导委员会主任

中国风景园林学会副理事长、理论与历史委员会主任

清华大学建筑学院教授、景观学系系主任

刘海龙

“2015 城市雨洪管理与景观水文国际研讨会”组织委员会秘书长

清华大学建筑学院副教授

2015 年 4 月

目 录

第 1 部分 雨洪管理与人居环境历史研究

古代智慧与现代科技结合治理城市内涝	吴庆洲 (3)
从徽州传统村落的水系构筑看景观水文	裴逸飞, 冷嘉伟 (10)
丽水市传统村落水适应性景观特征分析	祝立雄, 李王鸣 (21)
中国传统雨水观及其景观外化处理	秦 越 (29)
《园冶》与中国古典园林雨水设计研究	韩 毅 (37)
中国古代雨水景观化处理方式探析	刘群阅, 陈 豪, 余 萌, 黄启堂 (45)
超越与顺势——以濠濮涧想为例论古典园林理水蕴含的哲学内涵	孙 媛 (51)
基于蓄水工程的中国古代园林营造及其经验初探	刘方馨, 赵纪军 (56)
以金明池为例追寻历史水韵“源”	梁文莲 (63)
“九水归塘, 古今辉映”——以东水关遗址公园街区为例论低影响开发模式下的南京市城河体系 雨洪管理规划设计	曹哲静, 陈永辉, 胡翔宇, 郝 钰 (69)
雨水在传统建筑聚落与园林营造中的利用——以岭南地区雨洪适应性景观为例	商昭诚 (90)
云南山区布朗族传统村落雨水利用系统的探究	李卓熹, 李 靖, 郑云瀚 (102)
湖南传统城镇的雨洪管理及风景营造——以湖南武冈古王城景观规划和旧城区改造为例	杨 帆, 尹 芳, 李 铁 (106)
危机与挑战: 灾害背景下水文化遗产保护与传承——以武汉市为例	蒋怡辰, 裘鸿菲 (113)
中国传统城镇的防洪与水系利用	宣彦波 (121)

第 2 部分 湖泊与水系生态环境保护

北京城市湖泊雨水利用潜力探究	谭 琪, 李迪华 (129)
水导向规划——吐鲁番城市地区案例	俞来雷 (139)
美国大坝建设与河流保护的争论及其风景园林师的作用	彭 琳, 赵智聪 (150)
基于生态服务功能影响因素的河岸景观设计方法初探	周 燕, 朱振杰, 周 艳 (159)
城市水生态空间要素分析与生态安全治理策略研究——以兰州市排洪沟为例	阎 凯, 杨 丹 (167)
从日常生活空间营造的角度解析城市滨水景观设计	张郢嫔 (177)
可持续的区域水空间规划框架研究	鲍梓婷, 戚冬瑾 (182)
基于功能视角的台州市域水环境空间特征及格局提升策略	柴舟跃, 李王鸣, 周 雯 (188)
基于景观水文理念的河流水生态修复策略研究——以鄂尔多斯吉劳庆川生态修复为例	赵 茜, 何 伟, 邹裕波 (200)

第 3 部分 城市水科学与雨洪管理研究

城市径流控制 LID BMPs 规划方法及案例研究	贾海峰, 余啸雷 (209)
Integrated Urban Stormwater Management in Norway ——Transition from a Traditional Underground Drainage System Towards a Sustainable System on Surface	Linmei Nie, Jiming Ma, Shangling Zheng, Tong Chang (223)

自然排水系统的量化设计——以庄河休闲养老区自然排水系统的设计为例

..... 甄晓玥, Russ Dudley, Brad Wardynski, Andrew Parker (236)	
重污染场地降雨径流控制案例研究	王 政, 贾海峰 (242)
城市非点源污染控制 BMPs 措施的生命周期评价	郭效琛 (250)
基于 SWMM 的绿色街道雨洪设施绩效模拟与设计优化	权海源, 李 强 (260)
基于 ArcGIS 的城市防洪数据库系统的设计	陈 诚, 徐帮树 (270)
基于 PRCC 法的暴雨管理模型参数敏感性分析	熊剑智, 李传奇, 陈鹏宇 (277)
基于 SWMM 与 HEC-HMS 的城市道路行洪问题模拟分析	陈鹏宇, 李传奇, 张金存 (283)
微尺度绿色基础设施设计: 基于植物冠层雨水截留能力的上海环境功能型绿地建设途径	
..... 于冰沁, 郭健康, 张 园, 车生泉 (292)	
城市雨洪防治参数化模型研究	吕翰林 (306)
Fractal Design of New Huaming Town based on Sierpinski Carpet	
..... Chuangui Yang, Ling Xu, Jian Zhang, Yunsi Liu (313)	
滇中城市雨水源头控制和高效利用模式探索	王 静, 杨 蓉, 张 瑞, 邱金亮, 刘艳慧 (319)

第 4 部分 雨洪管理型城市、建筑与景观规划设计研究

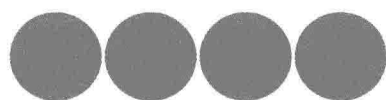
Planning for Sustainable Development across Multiple Scales: Managing Stormwater to Protect Habitats and Species and the Cultural Practices and Economic Resources that rely on a Healthy Ecosystem

..... John Lenth, Amanda L. Azous (325)	
From Liability to Asset-Stormwater as an Urban Resource	Bill Wenk, FASLA (340)
景观水文: 一种融合、交叉的城市雨洪管理指导策略	刘海龙, 杨 锐 (352)
Hydrology: The Link between Landscape Architecture and Urban Stormwater Management	
..... Shaw-Lei Yu, Andrew Earles (362)	
上善若水, 天人共荣——城市水景观规划设计探索	胡 洁 (367)
基于海绵城市建设的 LID 规划探讨	刘雅兰, 刘严松 (378)
近现代结合水文过程的景观设计模式研究	荣 南 (386)
西北半干湿地区雨水利用场地适宜性研究现状及其规划设计方法展望	杨建辉, 刘恺希 (396)
德国“海绵型城市”规划策略——以埃姆舍地区为例	刘 颂, 高 翼 (404)
墨尔本城市开发雨洪管理及设计实例	刘 旭 (411)
半干旱气候地区多功能综合雨洪规划策略研究——以美国丹佛市为例	孙焱瞳, 魏维轩 (417)
建筑簇群雨洪管理与低影响开发设计途径研究	朱 钊, 邢 忠, 余 俏 (426)
广州中新知识城丘陵地区低冲击开发研究	孙一民, 张春阳, 蔡 宁, 巫梁饶, 黄烨劼 (435)
基于雨洪管理的青岛小镇浅山区冲沟公共绿地景观设计	丁 佳, 朱育帆, 刘海龙, 陈之曦 (443)
基于水敏性城市设计 (WSUD) 理念的城市新区水系统规划——以西咸新区泾河新城水系统规划为例	
..... 丁禹元, 敬 博, 韩 挺 (457)	
基于 LID 理念的海绵城市绿地系统规划研究——以河北省迁安市为例	叶可陌 (466)
海绵校园——清华大学校园雨洪管理与景观水文研究与实践	刘海龙 (474)
场地背景生境的雨水花园设计与实践研究	李莉华, 刘 晖 (486)
可持续雨水花园的生态优先策略	蒙小英, 赵湘伟 (497)
建大校园绿地生境模式研究	吴小辉, 刘 晖, 李莉华 (504)
低影响开发景观的数字化水文分析	张益章 (510)

雨水控制利用技术在绿色社区规划中的应用	吴 昊, 袁军营 (519)
都市小型场地尺度的地表径流结构性措施管理研究——以东莞万科建筑科技研发中心生态园区为例	王 墨, 林开泰, 董建文, 苏 津 (528)
生态型景观·公园雨水蓄积与利用——以北京中关村公园为例	吴 雯, 牛铜钢 (539)
浅析北京良善坡公园规划方案中的景观水文设计	吴克征 (548)
社区绿地中的低影响设计——牛驼孔雀城公园设计解析	邹裕波, 刘砾莎, 夏丽昕, 曾凡臣 (554)
城市绿地雨水集蓄利用系统在解决雨洪管理中的实践——以宿迁桥头公园改造为例	吴 磊, 李 铮, 孔志新, 段 然, 刘亚原 (559)
雨水花园的植物景观设计探析	李五妍 (564)
水景观基础设施设计——以河北邢清调压站景观为例	赵婷婷, 刘海龙 (570)
基于绿色雨水基础设施的景观化探析	袁 媛 (579)
地下车库顶板绿化现状调查研究	卢 山, 陈 波, 胡绍庆, 麻欣瑶 (587)

第 5 部分 雨洪管理的标准与实施

海绵城市建设中的建筑与景观措施	张书函, 李永坤, 陈建刚 (599)
基于可持续场地倡议的场地可持续水设计评价体系研究	张 晋 (605)
澳门高密度老城区可持续雨洪管理策略探讨	覃国洪 (613)
城市绿地功能兼容接受度调查——以台中市秋红谷生态公园为例	方 园, 李王鸣 (621)
北京小城镇低影响开发模式雨水利用实例研究	杨永森 (628)
生态雨水管理在杭州的应用初探	曹 璐, 张 云 (635)
北碚老城区道路雨洪管理研究	杨琪瑶, 张建林 (641)
基于低影响开发的城市雨洪管理途径	戴 金, 陆 明 (647)
城市公共空间雨水资源可持续利用的景观途径与管理	王思元, 荣文卓 (653)
济南市城市建设新模式——水生态小区	邓海燕, 王维平, 曲士松, 徐巧艺 (658)
后记	(663)



雨洪管理与人居环境历史研究

古代智慧与现代科技结合治理城市内涝

吴庆洲

(华南理工大学建筑学院, 广东省广州市, 510640)

Ancient Wisdom Combining with Modern Science and Technology Against Urban Waterlogging

Qingzhou Wu

(Professor, School of Architecture, South China University of Technology, Guangzhou, 510640, China)

摘要: 本文总结中国古城防止城市内涝的历史经验, 主要是规划、建设和管理好城市水系, 古城水系的排洪河道密度和行洪断面是两个重要的技术指标, 古城水系调蓄能力是防止雨涝灾害的重要因素。文内列举了明清紫禁城和赣州古城两个防内涝的典范。文中分析了现代城市频频内涝的原因, 并提出了将古代智慧与现代科学技术结合起来治理城市内涝的对策, 以及建立大、中、小三个排水系统的设想。

关键词: 城市水系; 河道密度; 行洪断面; 调蓄能力; 城市内涝; 古代智慧; 现代科学技术; 对策

Abstract: This paper sums up the historical experience of China's ancient cities against urban waterlogging as to plan and build and administer urban canal system, of which, the density and area of section of the escape canal being important technical index, and the storage capacity of urban canal system being key factor to avoid urban waterlogging. The Forbidden City of Ming and Qing Dynasties and ancient Ganzhou are two examples against urban waterlogging. It also analyses the causes of modern cities suffering urban waterlogging and puts forward countermeasures of combining ancient wisdom with modern science and technology and a proposal of building a large, a middle and a small three drainage systems to avoid urban waterlogging.

Key words: urban canal system; density of escape canal; area of section of escape canal; capacity of storage; urban waterlogging; ancient wisdom; modern science and technology; countermeasures

1 引言

近年来, 中国城市雨洪内涝灾害频频发生, 造成巨大损失。比如: 2012年7月21日至22日, 北京降特大暴雨, 造成77人死亡, 160多万人受灾, 经济损失巨大, 百姓生活受到严重影响。解决城市雨洪引起的内涝灾害, 已成为城市建设和管理的当务之急。

为什么中国现代城市这么脆弱, 一场暴雨就引发一系列的灾害、造成严重损失? 为什么明清紫禁城建成至今近600年, 从无暴雨后洪涝灾害出现? 为什么在近年全国许多城市暴雨后出现洪涝之灾时, 保有宋代排水系统福寿沟的赣州城却平安无事? 中国古城在排水和防涝上有何好的经验? 本文拟探讨这一问题。

基金项目: 国家自然科学基金“中国古城水系营建的学说及历史经验研究”资助项目(51278197)。

作者简介: 吴庆洲, 男, 教授, 研究方向为城市史和城市防灾。

2 中国古城避免内涝的智慧——营建和管理好古城的水系

目前中国发现的最早的古城为湖南澧县城头山古城，距今有 6000 年的历史^[1]。城头山古城有一圈护城河，即环城壕池，它是中国古城水系的重要组成要素之一。

中国古城水系由环城壕池和城内外河渠湖池组成，具有供水、交通运输、溉田灌圃和水产养殖、军事防御、排水排洪、调蓄洪水、防火、躲避风浪、造园绿化和水上娱乐、改善城市环境等多种功用，被誉为“城市之血脉”，其中，排水排洪和调蓄洪水两大功用对防止城市涝灾至关重要。

2.1 中国古城水系营建和管理的历史经验

通过对汉长安城至明清北京城、明清紫禁城历代京都城市防洪情况的研究，有如下重要发现：

(1) 城市排洪河道密度和行洪断面是两个重要技术指标，对防止内涝十分重要。

(2) 城市水系的调蓄能力是城内防止雨涝之灾的重要因素。

城市水系的调蓄洪水的功用是十分值得重视的。城市水系有无足够的调蓄容量，是城市能否避免内涝的关键因素。这一科学发现对现代城市防洪也有重要参考价值。

(3) 必须十分重视城市水系的管理^[2]。

2.2 中国古城水系防止内涝的典范

2.2.1 明清紫禁城防洪排涝的历史经验

明清北京城的城市排水系统中，规划、设计得最周密、最科学的部分是紫禁城的排水系统，如图 1 所示。

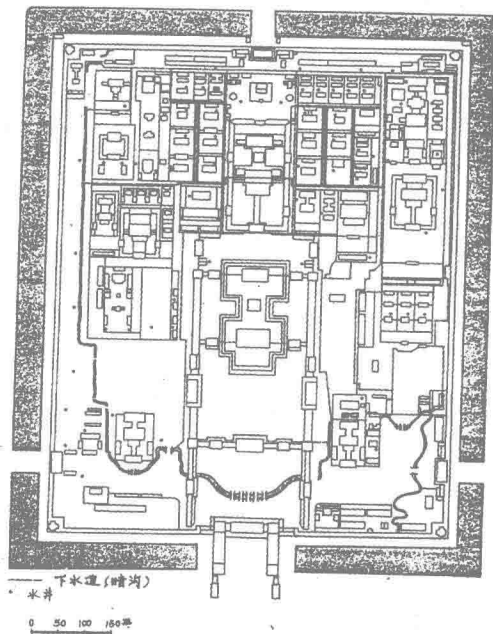


图1 紫禁城(故宫)排水干道图

(引自于倬云著《紫禁城宫殿》)

紫禁城为明清两代的宫城，平面呈长方形，南北长 961m，东西宽 753m，周长 3428m，面积约 0.724km²。

明代永乐四年(1406 年)开始兴筑宫城，十八年(1420 年)基本竣工。紫禁城沿用元朝大内的旧址而稍向南移，周围开凿护城河(筒子河)，用条石砌岸。其规划设计以南京宫殿为蓝本^[3]。

宫城是在元大都的基础上营建的。当时,负责规划的官员、匠师对原元大都内水系的来龙去脉以及暗沟的排水坡度和高程有相当的了解。在营建紫禁城时,尽量利用了原有的排水系统,并在原有的基础上作了如下多方面的改进:

(1) 开凿了绕城一圈又宽又深的护城河——筒子河。

筒子河宽 52m, 深 6m, 两侧以大块豆渣石和青石砌成整齐笔直的河帮, 岸上两侧立有矮墙, 河长约 3.8km。筒子河的开凿不仅利于军事防卫, 并增加了宫城之美, 且兼有排水干渠和调蓄水库的两重作用。其蓄水容量为 118.56 万 m^3 , 即使紫禁城内出现极端大暴雨, 日降雨量达 225mm^[4], 径流系数取 0.9, 而城外有洪水困城, 筒子河无法将水排出城外, 紫禁城内径流全部泄入筒子河, 也只是使筒子河水位升高不足 1m (0.97m)。

(2) 开挖了城内最大的供排水干渠——内金水河。

内金水河, 总长 655.5 丈^[5], 合 2097.6m。河身以太和门一带最宽, 为 10.4m, 河东西两端接涵洞处则为 8.2m, 最窄处为 4~5m^[6]。

(3) 设置多条排水干道和支沟, 构成排水沟网。

明代在紫禁城内建设了若干条排水干沟, 沟通紫禁城各宫殿院落。总的走向是将东西方向的水流, 汇流入南北走向的干沟内, 然后全部流入内金水河。还建设若干支沟, 构成排水沟网^[6]。

(4) 采用了巧妙的地面排水方法。

紫禁城地面排水的主要方法是利用地形坡度。水顺坡流到沟槽汇流, 自“眼钱”漏入暗沟内。太和殿的雨水, 由三层台的最上层的螭首口内喷出, 逐层下落, 流到院内。院子也是中间高, 四边低, 北高南低。绕四周房基有石水槽 (明沟), 遇到台阶, 则在阶下开一石券洞, 使明沟的水通过^[6]。

(5) 排水系统的设计、施工均科学、精确, 管理妥善, 因而坚固、耐久。

紫禁城的排水系统, 不仅设计和施工科学、精确, 而且有妥善的管理。

明清紫禁城外绕筒子河, 内贯金水河, 两河共长约 6km, 其河道密度达到 8.3km/km², 堪与水城苏州 (宋代为 5.8km/km²)^[7]相媲美。明清紫禁城的排水系统以规划设计的科学、完备, 排水方法的巧妙有效, 水系调蓄能力大, 而成为我国古城排水系统最完美的典范。紫禁城内共有 90 多座院落, 建筑密集, 若排水系统欠佳, 一定会有雨潦致灾的记录。然而自永乐十八年 (1420 年) 紫禁城竣工, 至今已近 600 年, 竟无一次雨潦致灾的记录, 排水系统一直沿用至今而有效^[6], 这不仅是中国城市建设史上, 也是世界城市建设史上的奇迹。

2.2.2 赣州古城福寿沟 (图 2)

赣州地处亚热带, 降水强度大, 日降雨最大达 200.8mm (1961 年 5 月 16 日)^[8]。若城内无完善的排水排洪系统, 必致雨潦之灾。北宋熙宁年间 (1068—1077 年), 水利专家刘彝知赣州, 作福、寿二沟“阔二、三尺, 深五、六尺, 砌以砖, 覆以石, 纵横纡曲, 条贯井然, 东、西、南、北诸水俱从涌金门出口, 注于江。”^[9]“作水窗事十二间, 视水消长而启闭之, 水患顿息。”^[10]水窗即宋《营造法式》之“券輦水窗”, 即古城墙下之排水口。古城的排水系统福寿沟, 其中寿沟早于福沟。福寿沟有如下特点:

(1) 历史逾千年, 至今仍为旧城区排水干道。

福寿沟北宋熙宁间已存在, 迄今已有千年历史。历代均有维修, 清同治八年至九年 (1869—1870 年) 修后依实情绘出图形, 总长约 12.6km, 其中寿沟约 1km, 福沟约 11.6km。1953 年修复了最长的一段福寿沟——厚德路下水道, 长 767.7m, 砖拱结构, 断面尺寸宽为 1.0m, 深 1.5~1.6m, 拱顶复土厚 0.8~1.2m。倒塌了的部分进行重建。1954 年后, 除修复外, 尽可能用钢筋混凝土管, 改铺在街道上, 清理疏通和

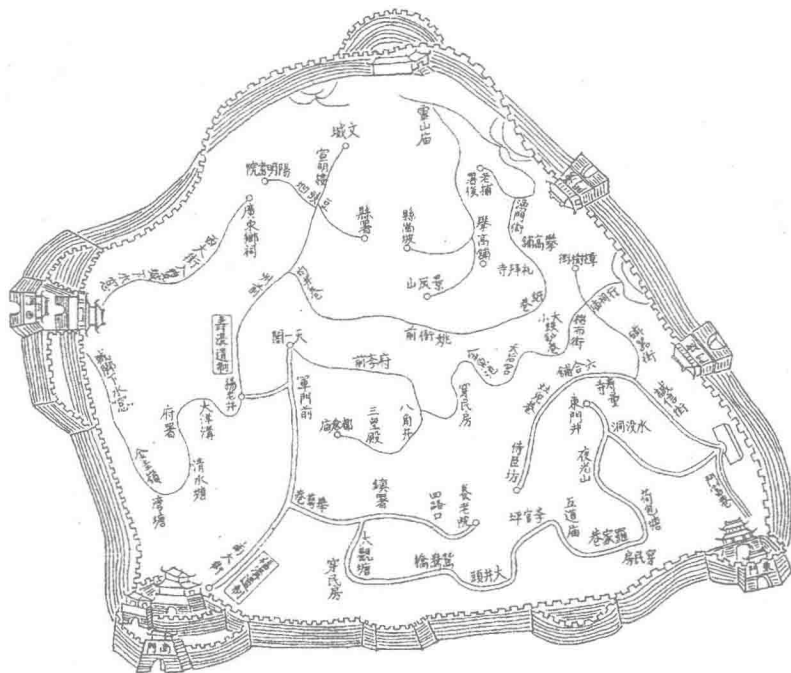


图2 赣州城福寿沟图

(引自《赣县志》清同治十一年)

维护管理。八境路、中山路、濂溪路、攀高铺、涌金门等处用此法处理，共长约 1.6km。至 1957 年，共修复旧福寿沟 7.3km，约占总长度的 58%，现仍是旧城区的主要排水干道。旧城区现有 9 个出水口，其中福寿沟 6 个出口仍在在使用。

现存沟道断面，最大的为 $1.0\text{m} \times 1.6\text{m}$ ，最小的为 $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ 。出水口最大的为水窗口， $1.2\text{m} \times 2.0\text{m}$ 。有些街巷仍保留了“甃以砖，复以石”的结构形式，如纸巷、诚信街等处。已废弃的沟道约 5.3km，大部分属于集水面积较小的支沟。至今福寿沟仍是旧城区的主要排水干道。这在全国众多的古城中是罕见的。

(2) 水窗闸门借水力自动启闭。

水窗闸门做得巧妙，原均为木闸门，门轴装在上游方向。当江水低于下水道水位时，借下水道水力冲开闸门。江水高于下水道水位时，借江中水力关闭闸门，以防江水倒灌。赣江路的水窗口，解放后仍有木闸门，保留了“水消长而启闭”的功能。1963 年改建为直径 1.4m 的圆形铸铁闸门，转轴位置由上游方向改在闸门上方。北门等四处出口也安装了铁闸门。

(3) 与城内池塘联为一体，有调蓄、养鱼、溉圃和污水处理的综合利用效益。

赣州市内原有众多的水塘。福寿沟把这些水塘串联起来，形成城内的活的水系，在雨季有调蓄城内径流的作用，可以在章、贡两江洪水临城，城内雨洪无法外排时避免涝灾，并有养鱼、种菜、污水处理利用的综合效益。

这些水塘在近 30 年的城市化过程中逐渐消失，福寿沟的调蓄功能已不如以前。

(4) 相关部门有良好的管理。

赣州市相关管理部门，每年汛期前均清除福寿沟中的垃圾和淤泥，使之排水通畅。因此，福寿沟保证了旧城区及与之相连的新城区在暴雨后免受渍涝之灾。

2010 年夏季，中国许多大中城市在暴雨后街道成河，内涝成灾，而赣州城却安然无恙，其古城墙外御江河洪水，其城内福寿沟排水排洪系统继续发挥着重要作用，赣州百姓得以安居乐业^[11]。这一成就，不禁使我们对祖先在古城营建上的创见和智慧肃然起敬。

3 当代城市暴雨后内涝的原因

中国当代城市暴雨后涝灾极为常见,与下面原因^[12]有关:

- (1) 城市建设填占或挤占行洪河道,使江河洪水位升高,排水困难而增加内涝风险;
- (2) 填占城市河、湖等水体、洼地,使城市水系缺少调蓄功能;
- (3) 都市化洪水效应加重了内涝;
- (4) 海平面上升将使沿海城市排水困难,造成潮灾的严重威胁;
- (5) 土地开发忽视防洪排涝工程系统的建设,增加了洪涝风险;
- (6) 超量开采地下水,造成地面沉降,内涝灾害加重;
- (7) 现代化使城市在水患面前变得更脆弱,洪涝灾害引起次生灾害损失更严重^[13];
- (8) 北京城市内涝与排水管道断面沉积物多影响排水^[14],这反映出现代城市排水设计和管理的弊病。

4 古代智慧与现代科技结合治理城市内涝的对策

4.1 现代城市排水的困境

(1) 城市原有的水系消失或残缺不全,市政排水管网取代城市水系,排水管网标准普遍偏低,更不具有调蓄功能。因此,暴雨后常常出现内涝。

(2) 都市化洪水效应增加了排水负担,让内涝更为严重。

(3) 借鉴巴黎、伦敦、东京等城市的地下排水隧道、大型地下蓄水池的做法,需要城市一次性投入相当规模的物力和财力,对于已成规模的建成区、老城区,所面临的改造难度更大。

4.2 排蓄并举,建立大、中、小三个层次的城市防涝排蓄一体化系统^[15]

4.2.1 城市大排水系统

在城市总体规划层面,构建以城市水系为主体的城市防涝排蓄大系统。在城市总体层面制定排水防涝系统规划时,应改变以“快排”为主的思路,立足“排蓄并举、排蓄互补”的设计理念,构建以河、湖、渠、池等城市水系为主体,地下调蓄隧道、调蓄池等设施为辅的城市防涝大系统,达到满足设计高重现期暴雨(如50~100年一遇)的标准,成为城市防涝安全的最根本保证。基于城市的排水管网与城市水系是一个前后承接的有机统一体,合理的水面率、河网密度、科学的城市竖向排水分区是规划排水防涝系统的基础先决条件。不同城市应根据现状地形、原有自然水系和规划用地布局,划分出若干竖向排水分区,建立城市宏观层面的雨水排、蓄平衡,规划设计合理的水系布局、各种水体的形态与容量,确定雨洪行泄的竖向通道,引导排水安全流入河湖。对于水面率低、河网密度不足、城市低洼等内涝风险大的区域,应尽可能规划增加人工河湖、水道,或局部规划下凹式绿地、道路、广场等成为雨涝灾害情况下的地表行洪通道和调蓄水池。

4.2.2 城市中排水系统

运用城市雨水模型,规划城市排水管网系统,校核、量化管网与水系的防涝排蓄能力,围绕城市各排水分区,采用不同的排水管网设计标准。可利用GIS等地理信息系统建立城市竖向规划高程模型,SWMM(storm water management model)等雨洪软件录入拟设计的城市排水管网、河道、湖池、泵闸等排水排涝设施以及未来城市下垫面的规划信息,并在可能的条件下,加入流域水系的雨洪外围条件。模拟分析在不同暴雨强度下城市的排水、排涝状况,评估与校验各分区排水管网的排水排涝能力。既要修改完善上层水系防涝大系统的规划方案,有效弥补和衔接管网与水系之间的有机联系。又要以此为依据,明确各排水分区的排水管网设计标准;制定合理的竖向规划高程,量化排蓄水系中河道、湖池等各类水

体与下凹式绿地、广场等蓄水工程的设置指标；还要对未来城市下垫面的组成提出具体规划要求，为进一步的城市片区、地块规划提供设计依据^[18]。

4.2.3 城市小排水系统

引入城市雨水源头控制理念，在城市地块层面制定防涝排蓄控制指标体系。当前城市内涝产生的一个重要因素，就是城市硬化面积的扩张，阻断了雨水下渗，破坏了自然水文循环，降雨产生的径流峰值与总量均大幅增加。发达国家的雨洪研究中，越来越强调雨水源头控制在径流减排及水质污染控制等方面所发挥的重要作用，如美国的低影响开发技术（LID）和绿色雨水基础设施（GSI）、英国的可持续排水系统（SUDS）等，我国的《室外排水设计规范》（2011年版）、《绿色建筑评价标准》、《公园设计规范》等标准^[16]，以及国务院办公厅（2013）第23号文件中，也都明确地加入了应用LID雨水源头控制的措施。雨水源头控制系统可以明显缓解排水管网和城市水系的排放压力，需要在城市的片区、地块规划层面，通过对雨水的“渗透、滞蓄、调蓄、净化、利用、排放”进行量化控制，才能高效率地实现对雨洪的综合管理。具体到城市各地块控制性详规中，要合理制订出蓄水水体容量、滞水绿地面积、铺装透水地面面积、各蓄水工程蓄水量等指标。既贯彻上层城市防涝规划和利用雨水模型所得到的数据信息，又科学地构建起“源头减排—排水管网—城市水系”的城市防涝系统，成为具有强制执行力的控规指标体系，保证城市防涝规划整体有效的实施。综上所述，城市防涝系统的建立是城市总体规划中不可或缺的重要组成部分，并与城市的各类用地（绿地、广场、道路）规划、竖向规划、水系规划、市政排水管网规划、城市防洪规划直接相关。而城市水系本身除排蓄功能外，还承担着防洪、生态、景观、人文活动、水源保护、水污染控制等复合功能。

因此，城市防涝规划是一项构建“以城市水系为主体的大排水系统、以市政管网为主体的中排水系统、以市各地块的‘排、蓄、渗’控制指标为主体的小排水系统”3个层面的内容为基础框架（图3），协调、兼顾城市各相关分项规划为扩展，突出绿色、生态、源头控制、污染防治、建立良性可持续的水循环系统为目标的综合性规划，并贯穿于城市总体规划、分区规划、详细规划的整个过程。

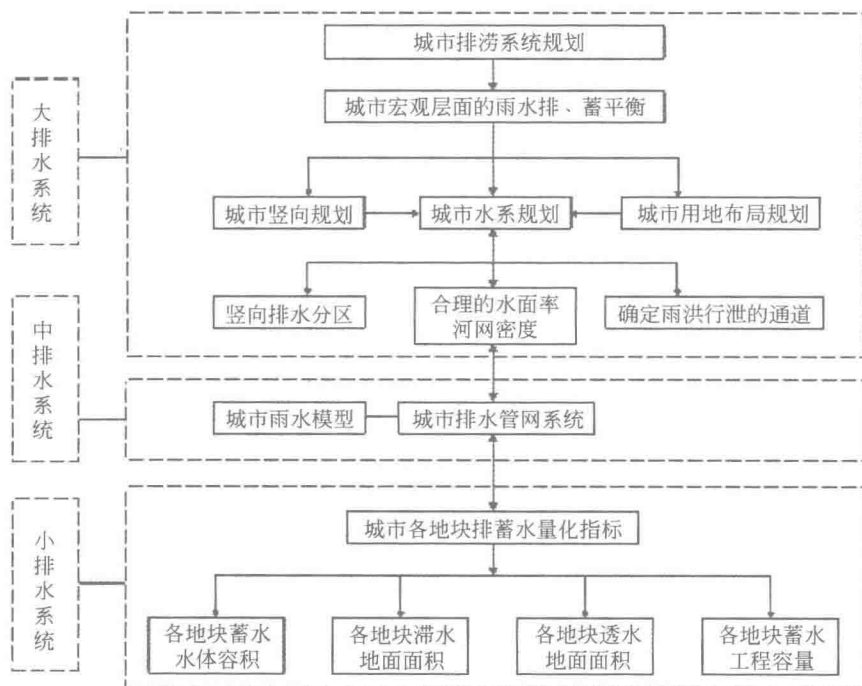


图3 城市防涝体系规划框架