

气候适应性规划背景下的哥本哈根雨洪管理实践进展与启示

Progress and Implication of Copenhagen Cloudburst Management Plan Under Climate Adaptation Planning

许瀚文^{1*} 刘昱² 尼古拉·托林²
XU Hanwen^{1*} LIU Yu² NICOLA Tolin²

(1.哥本哈根大学地理科学与自然资源管理系, 哥本哈根 1958; 2.南丹麦大学技术与创新系, 欧登塞 5230)

(1. Department of Geosciences and Natural Resources Management, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark, 1958; 2. Department of Technology and Innovation, University of Southern Denmark, Odense, Denmark, 5230)

文章编号: 1000-0283(2025)02-0015-08
DOI: 10.12193/j.laing.2025.02.0015.002
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2024-07-28
修回日期: 2024-10-02

摘要

近年来,全球气候变化加剧,气候适应性规划成为城市治理的关键议题之一。哥本哈根在应对城市内涝和暴雨灾害方面取得显著进展,逐步构建起以雨洪管理为核心的气候适应性规划体系。通过梳理哥本哈根气候适应性规划演进历程、体系架构、在地化理论与技术创新,探讨其在雨洪管理领域的创新实践。此外,归纳哥本哈根雨洪管理分级管控、蓝绿协同的规划策略,结合各尺度项目实践进展说明其如何实现建成环境与蓝绿空间平衡发展。最后,从国土空间规划下的蓝绿灰耦合理念、多尺度雨洪管理体系、旗舰项目常态化转变机制、多层级多元主体参与机制等方面总结启示,以期为中国城市在气候适应性规划和雨洪管理方面提供目标制定、管理模式及实践途径的可行思路。

关键词

气候适应性; 规划策略; 雨洪管理; 哥本哈根

Abstract

With the intensification of global climate change in recent years, climate adaptation planning has become a critical topic in urban governance. Copenhagen has made significant progress in addressing urban flooding and stormwater challenges, gradually establishing a climate adaptation planning framework centered on stormwater management. This paper reviews its evolution, framework, localized theories, innovative tools, and technologies and explores its novel practices in stormwater management. Then, we summarized Copenhagen's hierarchical control and blue-green coordinated planning strategies and illustrated how Copenhagen achieves a balanced development between the built environment and blue-green space through case studies at various scales. Finally, insights are provided from four aspects: integrating blue-green-gray infrastructure in territorial spatial planning, the multi-scale stormwater management system, the mechanism for transitioning flagship projects into regular practice, and the multi-level, multi-stakeholder participation mechanism. This study aims to provide feasible insights into goal setting, management mode, and practical approaches for climate adaptation planning and stormwater management in China.

Keywords

climate adaptation; planning strategy; stormwater management; Copenhagen

许瀚文

1995年生/男/湖南衡阳人/在读博士研究生/研究方向为雨洪管理、景观水文

刘昱

1995年生/男/山西太原人/博士/研究方向为风景园林规划设计及理论、城市绿地可达性

尼古拉·托林

1972年生/男/意大利维罗纳人/博士/教授/研究方向为韧性城市、气候适应性规划

全球气候变化及由此引发的极端天气、海平面上升、城市内涝等连锁反应已经成为当代城市发展所面临的普遍性危机。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 第6次

评估报告指出,全球变暖现象将导致水循环变化,从而加剧季风性强降水与极端干湿事件^[1]。为应对气候变化所带来的复合型挑战,诸多城市着手制定了以“气候适应性”“韧性

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: hxu@ign.ku.dk

基金项目:

国家留学基金资助项目“低影响开发下城市街区尺度雨洪管理系统规划设计研究”(编号: 202106090018)

城市”为主题的目标行动与文件,如《哥本哈根气候规划》(Copenhagen Climate Plan)、《一个更强大、更具韧性的纽约》(A Stronger, More Resilient New York)、《温哥华气候变化适应策略》(Change Adaptation Strategy)等,以谋求城市韧性发展道路^[1-5]。

哥本哈根作为国际宜居城市典范之一,依然面临着严峻的城市内涝与风暴潮等伴生极端气象灾害风险^[6]。2011年哥本哈根遭遇特大暴雨造成市域内大量地下交通设施、住宅、商店严重内涝^[6-7]。2008-2014年,《气候变化适应及投资声明》(Climate Change Adaptation and Investment Statement)统计极端天气事件造成的损失已达69亿丹麦克朗^[8]。频繁的损失也为变革创造了契机。近十余年来,哥本哈根开始推进一系列气候适应性战略,在应对城市内涝和暴雨风险方面稳步推进,其气候适应性规划和雨洪管理策略被联合国人居署和C40城市气候领导联盟等国际机构多次引用和推广,逐渐显现出先锋城市示范效应。

目前国际上对哥本哈根气候适应性规划及雨洪管理的研究多集中于水文模拟、公共政策、市政工程技术及相关案例的阶段性效益等方面^[9-15]。国内相关研究相对较少,徐海韵等^[16]介绍了生态系统服务视角下的基于生态系统的适应(EbA)措施应用与实践步骤。王江波等^[7]对哥本哈根气候适应性规划相关官方文件进行解读,总结灾害、融资等方面相关启示。其他研究在城市案例枚举中对哥本哈根有所提及^[17-18]。相较于美、英、荷等资料较为全面的国家,丹麦的相关分析较为笼统。本文从哥本哈根气候适应性规划背景出发,梳理其演进历程、体系架构、在地化理论及技术创新,并结合多尺度实践案例分析其以雨洪管理为核心议题的规划策略,在此基础上总结借鉴经验与启示。

1 概念阐述

1.1 气候适应性规划

气候适应性规划(climate adaptation planning)是一种面向未来的规划过程,旨在帮助社区、城市、组织或国家应对并适应气候变化的影响,是提升城市韧性的目标导向之一。气候适应性规划通过建立规划控制要素与城市气候状况之间的耦合关系,采取相应的规划策略适应气候变化,从而减小极端天气引发的自然灾害发生概率^[19]。城市面临的极端天气事件主要有高温、暴雨、台风、冰雹等。其中,极端降水和风暴潮所引发的城市洪涝与海平面上升是气候适应性规划中的常见议题。同时,与洪涝议题相伴生的城市水环境治理、排水系统优化也被纳入其中。这类进程在全球诸多大型滨海城市中得以体现,如纽约、新加坡、鹿特丹、哥本哈根等。相关规划与具体实施步骤普遍包含风险评估、规划立法、应急响应、融资机制、空间规划等^[20-21]。气候适应性规划的另一类议题多集中于缓解城市热岛效应、温室气体碳排放等,对此《哥本哈根气候规划》中也有阐述^[1]。但整体而言,其出发点、侧重点和实施步骤聚焦于雨洪管理议题。其余内容与本文相关性较小,故不加以赘述。

1.2 雨洪管理

雨洪管理(stormwater management)是指通过一系列规划设计和工程技术措施,有效控制和管理城市地表径流,以降低洪涝风险,减轻水环境污染,并提高水资源利用效率的综合性过程。发达国家现有的雨洪管理基础设施大多基于欧洲20世纪50年代后开发的现代下水道系统,以满足基于管道的快速排水和公共卫生服务需求^[22]。然而,随着气候变化加剧和城市化进程的推进,单纯依靠灰

色基础设施已不足以应对不透水下垫面的扩张和日益频繁的暴雨事件。因此,当代雨洪管理更加强调可持续性、气候适应性和基于自然的解决方案,并涌现了许多新概念和范例(如低影响开发、可持续城市排水系统、水敏感城市设计、海绵城市等)^[23-24]。这些术语背后的重点是源头控制、中端渗透截留、末端滞蓄,减轻下水道系统负担,将场地恢复到开发前的水文状态,并兼顾生态、社会和经济需求,以更好地应对未来的水文挑战。在气候适应性规划涵盖的大范围下,诸如雨洪管理、能源规划、碳中和、生态保护等,都已成为其中重要的组成部分。

2 哥本哈根气候适应性规划演进历程及体系架构

2.1 气候适应性规划演进历程

在气候变化问题被广泛关注之前,哥本哈根城市规划主要集中在传统的城市空间规划与基础设施发展。从1947年首版《手指规划》(The Finger Plan)到2019年《哥本哈根市政规划》(Københavns Kommuneplan 2019),哥本哈根在城市空间发展框架上保持连续性和前瞻性,为后续的气候适应性规划提供基础^[25]。2009年,联合国气候变化大会(COP15)将气候变化议题提升到国家政策层面。丹麦随即在2011年颁布针对气候适应性规划的核心纲领性文件——《哥本哈根气候适应性规划》(Copenhagen Climate Adaptation Plan, CCAP),标志着气候适应性规划进入系统化布局阶段。该文件阐述了其面临的挑战、机遇与指导方针^[6],提出主目标即:解决十年一遇降水,增加地下排水能力和结合地上空间雨洪疏导。2012年颁布《暴雨管理规划》(Cloudburst Management Plan),以雨洪管理为落脚点,对提升城市韧性、风险等级划分、紧

急情况处理作出进一步说明, 并给予相关立法、投资、责任划分等内容以指导依据^[26]。随后的2015和2017年, 哥本哈根相继颁布《气候变化适应性与投资声明》和《风暴潮计划》(Storm Surge Plan), 分别梳理了气候适应性规划财政支出的效益与挑战, 以及应对风暴潮所采取的战略保护性措施^[8,27]。目前哥本哈根各级市政规划也已完善配套文件, 推动与早期各项城市空间规划的融合并进。此外, 相关学者、研究机构也参与编纂了系列非官方文件资料, 如《可持续都市排水系统》《基于自然的解决方案》, 介绍在地项目的分析工具、施工做法和案例指导, 以辅助解决项目实施中的具体问题^[28,29]。整体上, 哥本哈根逐级完善了气候适应性规划的制定, 从总体规划到分区规划, 再到地块实施, 辅之以大量过程文件, 推进从传统城市空间规划向综合气候适应性策略规划的转变(图1)。

2.2 多元主体参与的体系架构

多元主体参与的协商共建机制在发达国家气候适应性规划实施过程中较为普遍^[30]。如伦敦成立的“气候变化伙伴关系”、纽约的市长韧性办公室(The Mayor's Office of Resiliency), 以及布里斯组成的“水智慧社区”等^[31]。尽管实施过程中仍有因话语权博弈所导致的不均衡现象, 但整体上多元主体参与体系较好地动员了规划实施中涉及的各个社会利益团体。

当前哥本哈根气候适应性规划的进度主要围绕在以CCAP与《暴雨管理规划》为核心所开展的各区域自治项目管理阶段。从流程上看, 政府意愿和集团利益部门博弈依然占据主导, 从而形成自上而下式的管理与推行方式。而基层项目实施的管理阶段则更多体现了多元主体参与形式。参与架构的主体及功能主要包含:(1) 市政部门, 以丹麦自

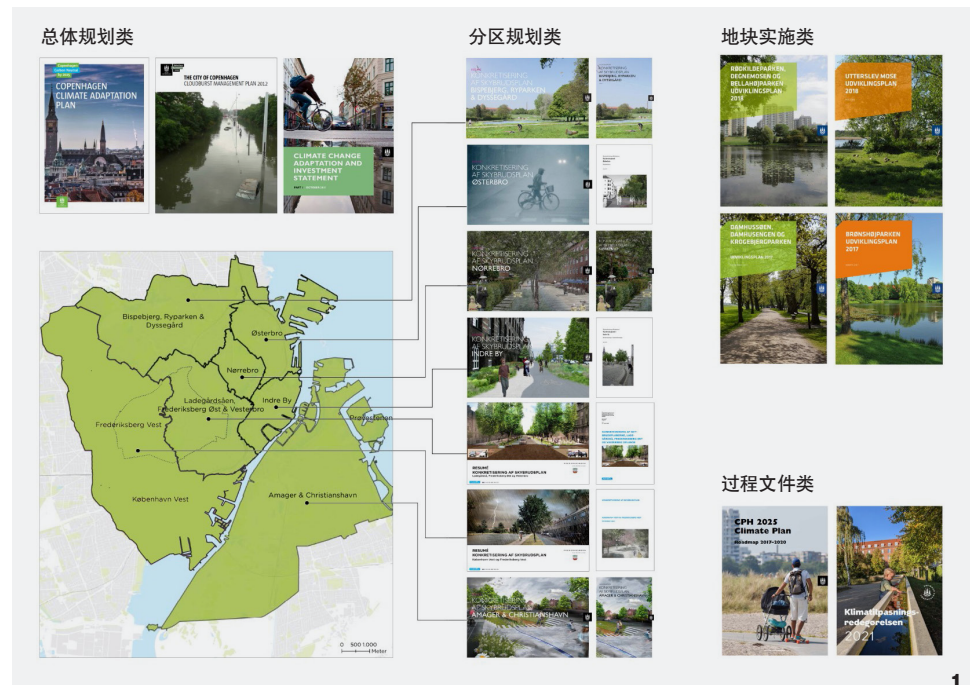


图1 哥本哈根气候适应性规划演进历程相关文件
Fig. 1 Documents relating to the evolution of climate adaptation planning in Copenhagen

治市镇体系 (municipality) 划分, 主要负责项目流程监管与信息发布, 把控实施进度, 召集各方参与;(2) 水务部门, 行使建设、管理公共基础设施的职能并兼备技术力量, 以HOFOR等水务集团为典型代表;(3) 供应商与施工方, 主要负责建设材料供应与现场施工;(4) 智库机构, 主要以专业顾问的角色负责协助评估与反馈, 以哥本哈根大学、丹麦技术大学为典型代表;(5) 咨询公司与设计方, 主要负责研判、沟通、咨询、设计, 避免实施环节中信息不对称现象, 以Ramboll、SLA事务所等为典型代表;(6) 社区民众, 根据规划所涵盖的片区, 当地民众通过民意调查、联合工作坊等形式参与(图2)。

3 在地化理论与技术创新

3.1 在地化理论

相较于北美低影响开发、澳洲水敏城

市、中国海绵城市等雨洪管理理念, 哥本哈根在理论方面完成了基于丹麦语应用的在地化诠释。本地雨水排放(Lokal Afledning af Regnvand, LAR)核心理念是强调雨水源头控制和渗蓄净化, 关注雨水汇流积聚的局部处理。其次, 三点法(Three Points Approach, 3PA)于2012年由Frattini^[32]首次提出并用于丹麦雨洪管理框架描述和在地化理论补充(图3)。3PA试图以通俗的三类情境表述(日常情境、设计情境、极端情境)来建立雨洪管理问题的特定话语。其目的不在于定量计算雨洪影响以及成本效益分析, 而是为管理者和相关方提供一种平台工具, 用于沟通和预测未来可能的情境和解决方案^[33]。3PA解释了城市洪水的持续性和自组织临界性, 即洪水无法消除, 并且无法依赖传统线性预测和控制方法。尽管3PA的概念较早被引入丹麦水务部门, 但对于不同雨洪管理设施适合的情境仍

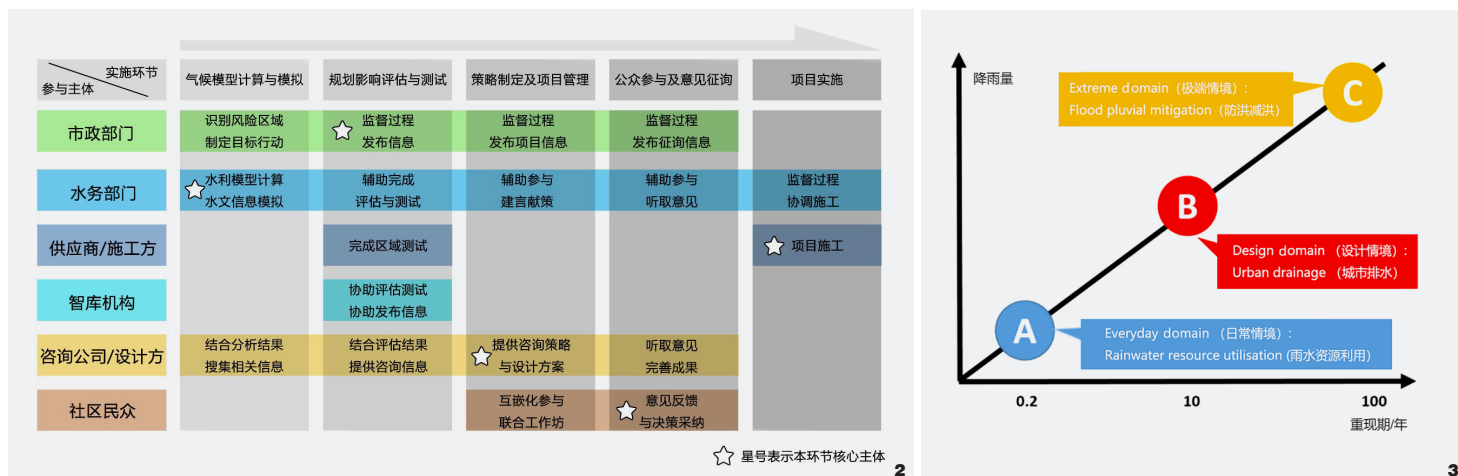


图2 哥本哈根气候适应性规划多元参与主体及工作框架
Fig. 2 Multi-stakeholder and workflow framework for climate adaptation planning in Copenhagen

然在探讨。不同重现期条件下的雨洪管理设施表现与设施间的空间分布规划问题依然存在争议。

3.2 分析工具与解决方案创新

在气候适应性规划推动的背景下，丹麦相关分析工具、平台和技术，如MIKE系列、Scalgo、Bluespots model等得以发展。这些技术旨在改善和简化大规模地理空间数据的处理和分析过程，特别是与水文和地形相关的数据。例如Scalgo工具通过实时在线服务，基于精确的开源地理空间数据，可快速完成洪水风险评估、水流分析、地形处理和降雨事件情景模拟，以满足城市规划、环境评估和灾害管理等领域的需求(图4)。Bluespots model则针对哥本哈根19世纪50年代后洼地(如泥炭沼泽、湿地、小湖泊)建设开发所造成的洼地倾泻点内涝风险问题，完成了高精度蓝点雨洪风险地图绘制与预测流程设计^[34]。高精度、智能化的工具开发与技术创新为本土实践提供了重要技术支撑。

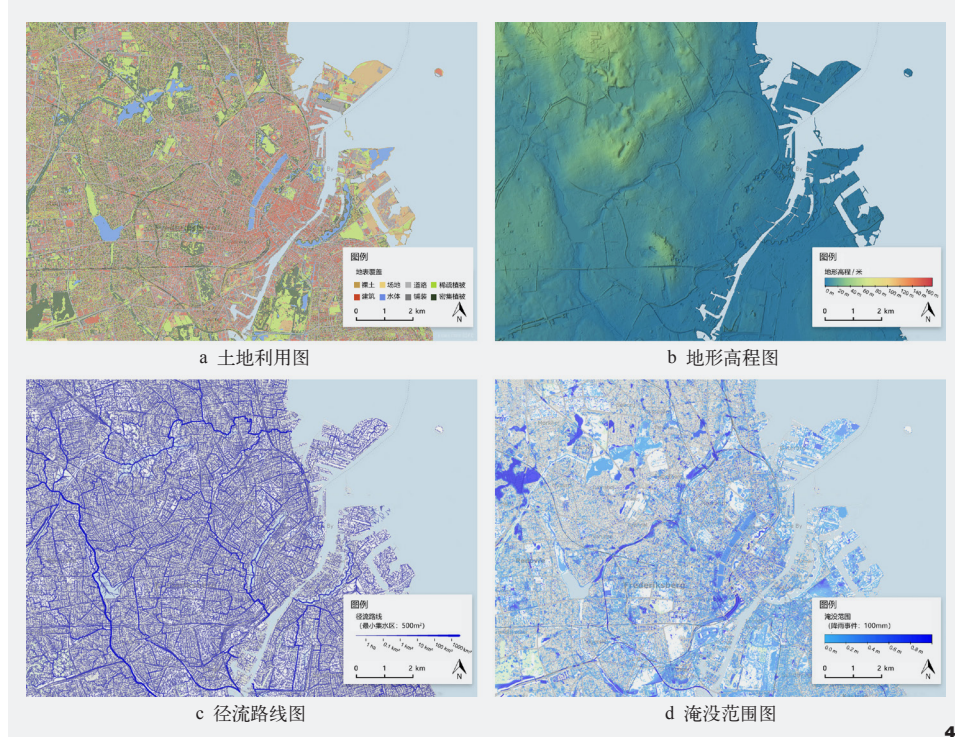


图3 3PA情境概念释义
Fig. 3 Conceptual definition of the 3PA scenarios

图4 哥本哈根Scalgo在线地理数据分析工具界面
Fig. 4 Scalgo online geodata analysis tool interface in Copenhagen area

4 哥本哈根雨洪管理策略及多尺度实践进展

4.1 分级管控下的蓝绿协同雨洪管理

总体方针上，哥本哈根雨洪管理的主旨是结合已有或新建的蓝绿基础设施元素，完成雨水地表径流的渗透、滞蓄、传输与储存，

以实现水资源的多目标利用。前端收集通过规划地面空间与地形高程(如道路横纵坡、自行车道路线等)，结合雨洪管理系统元件(如雨水管道、格栅井、排水沟、涵管等)，控制初期径流，缓解暴雨峰值压力。其次，

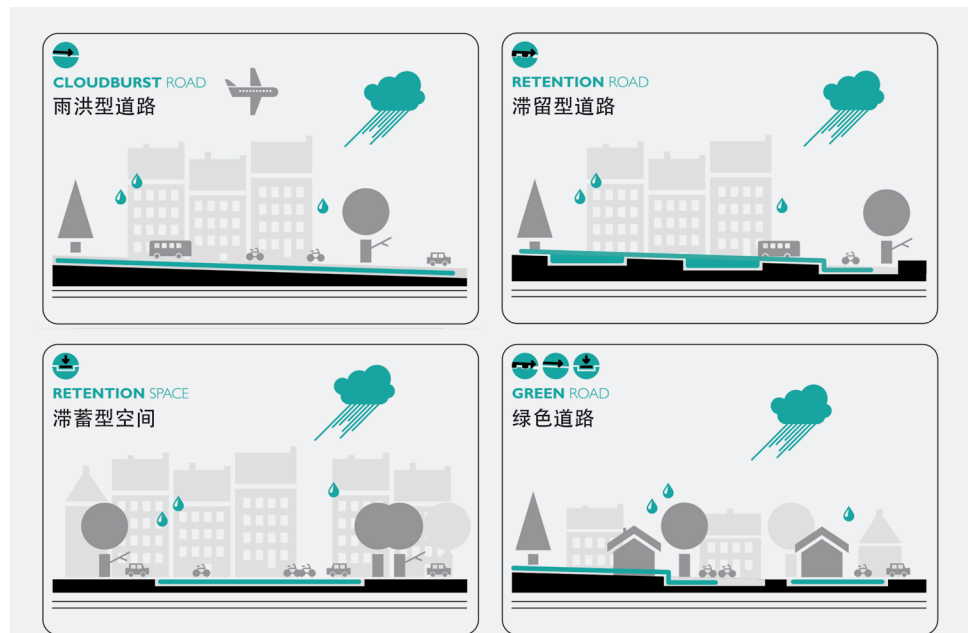
在中端过程中发挥蓝绿基础设施的滞蓄、传输功能。例如改造雨洪传输型道路，或将城市绿地、广场、运动场等作为暴雨滞留空间结合到区域规划中(图5)。最后，末端调节以城市自然地势条件和滨海属性为基础，依靠海域与部分人工湖、淡水湖，连同道路骨架将超额水量沿“手指状”路线排出。至此，雨洪管理形成连贯的网络，将上游子汇水区的雨水汇聚、消纳，经由排水管网或蓝绿基础设施协同传输到下游排放。

由于原有地下管廊改造建设成本费用高昂，因此在实施过程中哥本哈根主要侧重于地表实施，这也对蓝—绿—灰基础设施的协同要求更高。为此，丹麦政府于2013年初颁布了《规划法》修正案，规定水务公司可以通过征收消费者关税(consumer tariffs)为地表工程措施提供资金。此外，部分区域切断建筑物与街道或下水道的管道传输路径，将雨水分流至专用管道或渗沟，从而减轻暴雨时的超负荷传输，实现源头分流。

4.2 基于都市自然空间的多尺度实践

气候适应性规划的作用机制与评估本身存在宏观、中观、微观的区别，因而其实践对象也有多尺度上的纵向划分。哥本哈根针对不同尺度和特定区域共预计开展300余个实施项目^[6]。近十年的实践已经逐渐产出一批代表性实践成果(表1)，包括区域尺度、街区尺度、场地尺度三种类型(图6)。

区域尺度上，优先考虑实践项目同城市大型蓝绿基础设施相耦合，如城市湖泊、河流、集中式绿地等。以城市新区 Ørestad 为例，区域内雨水经下垫面汇集排入城市运河。降雨初期污染物浓度较高的雨水先经过双孔隙过滤系统处理后再排入运河，成为该运河的主要水源。运河的角色不仅是雨洪管理系统



5



6

图5 结合蓝绿基础设施的雨洪管理措施
Fig. 5 Stormwater management measures coupled with blue-green infrastructure

图6 哥本哈根气候适应性规划多尺度实践案例
Fig. 6 Multi-scale practical cases of climate adaptation planning in Copenhagen

的重要载体，也连接城市绿地、道路、广场以及周边新建社区，为居民提供高品质滨水公共生活空间。

街区尺度上，实践多集中于中型绿地空间。项目类型多为城市片区公园和道路更新改造。通过统筹街区尺度雨洪管理，就地完

成雨水收集与再利用，减轻地下管道系统负担。以 Enghaveparken 为例，公园邻近建筑屋顶雨水引入公园内部进行绿化浇灌，同时借助蓄水池用作景观水源。此外，公园中的下沉广场在极端暴雨时可用于调蓄超载雨水。该类型实践案例普遍旨在缓解街区尺度下的

表1 哥本哈根气候适应性规划多尺度实践项目
Tab. 1 Copenhagen multi-scale practice project on climate adaptation planning

项目 Project	面积 /hm ² Size	类型 Type	设计目标 Design objectives	雨洪管理措施 Stormwater management measures	投资造价 /10 ⁶ DKK Cost
Oerestad 奥雷斯塔德	310.00	区域尺度	打造功能完善、绿色宜居的城市片区, 以应对未来极端雨水天气	区域内规划运河收集来自周边建筑屋顶的雨水, 流经路面的雨水经过双孔隙过滤系统之后进入运河成为水源, 预计收集约 178 000 m ³ 的雨水	—
Lindevangs Park 林德万斯公园	2.10	街区尺度	将气候适应性设计与社交活动设施结合, 为高密度社区提供户外活动场所	通过螺旋形水墙等不同的措施收集雨水并储存至地下蓄水池; 中央草坪区作为下沉空间, 用于收集和储存雨水	25.0
Taasinge Square 塔星戈普拉达广场	0.75	街区尺度	预防内涝并利用雨水补充地下水; 提供居民游憩场所, 结合城市生活与自然	屋顶蓄水后, 汇集到植被蓄水池完成土壤过滤后排放; 下沉式雨水花园用于雨水渗透, 极端暴雨天气下雨水外溢进入市政管道	6.0
Sankt Kjelds Plads 圣克耶兹广场	3.49	街区尺度	使社区能够抵御未来的暴雨, 增强生物多样性, 减少空气污染以及城市热岛效应	通过植被形成一个绿色雨水花园网络确保 34 900 m ² 的区域免受洪水侵袭, 当暴雨来袭时, 将雨水引导到绿地和雨水花园, 借助管道汇入港口	48.0
Sankt Annæ Plads 圣安妮广场	1.64	街区尺度	预防极端雨水天气, 提高雨水利用率, 增加交通安全	铺设地下导雨管收集屋顶和停车场雨水径流; 暴雨期间, 下沉绿地区域形成传输通道, 将雨水排入海港	132.0
Enghave Park 恩哈弗公园	3.50	街区尺度	将城市雨洪挑战转变为娱乐和互动相结合的体验	采用矮墙拦截雨水; 雨季时, 自动门配合矮墙以关闭公园, 防止雨水外溢; 采集周边建筑屋顶雨水至公园蓄水池存蓄, 用于绿化浇灌或娱乐设施水源等	10.9
Taastrup Park 措斯楚普公园	2.50	街区尺度	将休闲区和各种活动空间与降低洪水风险的技术设施相结合	公园的自然水体可收集来自东、西、南三个方向区域内的雨水, 集水区面积共计约 42 hm ²	18.0
The City Dune / SEB Bank 城市沙丘 /SEB 银行	0.73	场地尺度	休闲区和气候解决方案相结合的户外公共空间, 不仅服务于 SEB 银行, 还向其他大众开放使用	哥本哈根首个雨水径流 100% 管控不外溢的城市公共空间; 采用集水沟搭配水泵系统将水循环引导至树木和植物床, 用于灌溉和雾森设施; 溢流系统将超量雨水排放至海港	40.0
Hothers Plads 瑟斯广场	0.60	场地尺度	用草坪、树木和灌木取代不可渗透铺装, 并设计雨水花园	通过 25 个小型雨水花坛, 三个地下雨水储存装置和绿色屋顶来共同处理来自社区单元内部的雨水	8.0

城市内涝, 打造兼具雨洪管理和休闲游憩价值的复合功能型绿地。

场地尺度上, 实践多集中于小微绿地改造或街道空间设计, 项目类型多以社区花园和街旁绿地为主。以Hothers Plads社区为例, 社区新建雨水花园以增加地表径流下渗, 去除径流中的污染物从而改善水质以及减轻社区排水管网负荷。其次, 通过合理的植物配置, 增加蒸腾作用调节环境中的空气湿度, 改善社区微气候环境, 并为鸟类或昆虫提供栖息地。雨水花园维护简单, 可达性高, 鼓励社区居民亲身参与到维护过程, 也有助于提升社区活力。

5 对中国城市气候适应性规划与雨洪管理的启示

近年来, 中国城市内涝频发, 探索适用于中国国情的气候适应性规划依然任重道远。哥本哈根属于典型温带海洋性气候, 全年降雨分布相对均匀, 同时城区内拥有大量的水系与自然绿地, 整体建成环境密度低。这些气候特征和自然禀赋都为雨洪管理策略提供支撑条件, 也意味着许多措施并不能照搬到中国诸多高强度建成环境形态类型或干湿季分明的亚热带季风气候城市, 但经验值得借鉴与探讨。基于此前提, 本文提供以下4点启示。

5.1 国土空间规划下的蓝绿灰耦合理念

当前中国国土空间规划正向精细化、综合化推进, 绿地系统规划与基础设施规划的统筹即体现为蓝—绿—灰基础设施的平衡与耦合问题。各类设施的类型、体量、空间布局需要进一步定量细化。传统管道快排模式与气候适应性规划所倡导的基于自然的解决方案各有所长, 应在精细化、智慧化的整合前提下协同。哥本哈根在雨洪管理建设中也适当提升了已有灰色基础设施, 如扩大雨水管管径、建造地下调蓄池等, 从而与地表蓝绿基础设施相互补强。在实施层面, 协同规划、景观、市政、水文等多领域部门, 基于

高精度的气候模型、水文模拟、地下设施规划等实施依据，在可控的条件下推动实施。

5.2 多尺度的雨洪管理体系

多尺度分区分管管控体系体现为差异化的政策支持与技术手段。一方面进行灾害评估分级分区，另一方面针对不同尺度的实施项目予以不同层次指导意见，进而结合评估端和实施端，形成完整的规划管控链条和实施引导制度。中国幅员辽阔，各城市气候条件、地形地貌、城市发展水平差异巨大。同一城市的不同区域所面临的主要问题和风险评估也有时相去甚远。若采取“一刀切”的政策管理与单一化的技术手段，或又将造成同质化的气候适应性规划和海绵城市建设浪潮。应因地制宜地评判风险和潜在问题，采取跨学科的研究思路与技术手段，建立尺度适宜、层级清晰的韧性规划体系，确保规划有效衔接，解决气候变化所带来的城市危机。

5.3 旗舰项目向常态化转变机制

哥本哈根的气候适应性规划正处于转型期。早期试点项目被视为“生态位实验”（niche experiment），这类旗舰项目的优势在于预算充足，专业力度投入大，行政执行力强，从而利于挑战常规项目作法。然而，此类项目技术创新规模小，推广难度大。因此，旗舰项目向常态化项目的过渡成为难点。

当前中国海绵城市建设已进入全域推进阶段，推动早期试点城市的旗舰项目向常态化转变也应及时建立系统评估与反馈更新机制。一方面依然需要足够的专项基金支持旗舰项目的实施和推广，合理鼓励社会资本参与，提供可能的政策优惠和补贴。另一方面，加大对成功示范项目的宣传力度，逐渐提升公众和相关部门的整体认知和接受度。加强

政府、企业、科研机构和社会的多方合作，形成合力共同推动项目的常态化发展。逐渐积累项目数量和有效评测才使广泛性的过渡成为可能，从而实现项目的广泛普及和长效管理。

5.4 多层级的多元主体参与机制

尽管哥本哈根在多元主体参与机制已经有所突破，但仍存在痛点。目前，气候适应性规划的顶层设计权仍主要集中在政府部门与水务集团，公众参与范围有限，大多以工作坊等形式在社区基层开展，且在实施中存在步骤冗长、推进缓慢的现象。公众参与意愿不确定性高，从而可能贻误时机并造成二次损失。

结合中国实际情况，在城市层面的规划编制过程中，应注重将投资方、地方职能部门及专家等利益相关者纳入决策框架中，同时提高公众参与程度，构建起多元主体参与机制。合理引导社会舆论，通过宣传科普树立社会群体对韧性城市和气候变化的正确认知，善用激励政策激发社会团体的活力，共同促进规划落实，保障可实施性与社会认同度。另一方面在保证政府刚性规则的控制和引导下，适当简化政府机构职能，避免同级部门互相掣肘，减少协同过程中的争议阻力。

6 结语

本文通过对哥本哈根气候适应性规划背景下雨洪管理实施进程的梳理，解读了如何依托在地理理论和技术创新并逐步实践其策略方针。逾十年的初步实践也反映了规划阶段性成果与不足。中国城市雨洪管理经验尚处在积累过程中，虽然已有一定数量的研究和实践，但其与城市发展间千丝万缕的联系使得跨学科、复杂性的成果仍亟待探索。同时，

气候适应性理念、国土空间规划体系以及海绵城市建设的相互协调也需要多方共同努力，从而真正构建起生态、社会、经济多维度灵活应对的城市韧性发展之路。

注：文中图5根据参考文献[8]改绘，其余图表均由作者自绘/摄。

参考文献

- [1] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis[R]. London: Cambridge University Press, 2021.
- [2] Copenhagen Climate Plan[EB/OL]. [2024-10-01]. https://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/index.asp?s=CPH%2025
- [3] A Stronger, More Resilient New York[EB/OL]. [2024-10-01]. https://s-media.nyc.gov/agencies/sirr/SIRR_singles_Hi_res.pdf
- [4] Climate Change Adaptation Strategy 2024-2025 Update and Action Plan City of Vancouver[EB/OL]. [2024-10-01]. <https://vancouver.ca/files/cov/vancouver-climate-change-adaptation-strategy-2024-25.pdf>
- [5] 郑艳. 推动城市适应规划, 构建韧性城市——发达国家的案例与启示[J]. 世界环境, 2013(06): 50-53.
- [6] Copenhagen Climate Adaptation Plan[EB/OL]. [2024-10-01]. <https://international.kk.dk/sites/default/files/2021-09/Copenhagen%20Climate%20Adaptation%20Plan%20-%202021%20-%20short%20version.pdf>
- [7] 王江波, 于洋, 苟爱萍. 哥本哈根气候适应性规划与启示[J]. 安徽建筑, 2020, 27(05): 28-30.
- [8] Climate Change Adaptation and Investment Statement[EB/OL]. [2024-10-01]. https://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/pdf/1499_bUxCjgovgE.pdf
- [9] MARIA R, FRYD O, JEPPESEN J, et al. Modelling the Impact of Soakaway Retrofits on Combined Sewage Overflows in a 3 km² Urban Catchment in Copenhagen, Denmark[J]. Journal of Hydrology, 2012: 452-45364-75.
- [10] FRYD O, BACKHAUS A, BIRCH H, et al. Water Sensitive Urban Design Retrofits in Copenhagen -40% to the Sewer, 60% to the City[J]. Water Science and Technology, 2013, 67(9): 1945-1952.
- [11] ZIERSEN J, CLAUSON-KAAS J, RASMUSSEN J. The Role of Greater Copenhagen Utility in Implementing the City's Cloudburst Management Plan[J]. Water Practice and Technology, 2017, 12(2):

- 338-343.
- [12] HERLE-MO M, MIKKELSEN P S, BLOK A. Framing Professional Climate Risk Knowledge: Extreme Weather Events as Drivers of Adaptation Innovation in Copenhagen, Denmark[J]. *Environmental Science & Policy*, 2019, 98: 30-38.
- [13] LI L, FRYD O, ZHANG S H. Blue-Green Infrastructure for Sustainable Urban Stormwater Management: Lessons from Six Municipality-Led Pilot Projects in Beijing and Copenhagen[J]. *Water (Basel)*, 2019, 11(10): 2024.
- [14] XU H Y, LI L, PENG D. Building Climate Resilient City Through Multiple Scale Cooperative Planning: Experiences from Copenhagen[J]. *Materials Science and Engineering*, 2021, 1203(3): 32063.
- [15] 索尔·维尔斯赫伊, 安娜·亚丝拉琪·隆德, 尼尔·休·麦克莱恩·戈林, 等. 丹麦哥本哈根暴雨防控详细规划[J]. *景观设计学*, 2016, 4(05): 54-67.
- [16] 徐海韵, 刘粟, 丁鹏, 等. 基于生态系统的适应在气候变化适应性城市多尺度合作雨洪管理中的实践——以哥本哈根为例[J]. *风景园林*, 2022, 29(10): 53-66.
- [17] 蒋存妍, 袁青, 于婷婷. 城市应对气候变化不确定性的动态适应性规划国际经验及启示[J]. *国际城市规划*, 2021, 36(5): 13-22.
- [18] 张翀. 哥本哈根应对气候变化的绿色发展框架研究[C]// 面向高质量发展的空间治理——2021 中国城市规划年会论文集(08 城市生态规划). 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
- [19] MANYENA S B. The Concept of Resilience Revisited[J]. *Disasters*, 2006, 30(4): 434-450.
- [20] 蔡云楠, 温钊鹏. 提升城市韧性的气候适应性规划技术探索[J]. *规划师*, 2017, 33(8): 18-24.
- [21] ROSINA B, SMITH J, LEE A, et al. A Comprehensive Review of Climate Adaptation in the United States: More than Before, but Less than Needed[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2013, 18(3): 361-406.
- [22] JEAN-LUC B K. Integrated Urban Stormwater Management: Evolution and Multidisciplinary Perspective[J]. *Journal of Hydro-environment Research*, 2021, 38: 72-83
- [23] FLETCHER T D, SHUSTER W, HUNT W F, et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and More: The Evolution and Application of Terminology Surrounding Urban Drainage[J]. *Urban Water Journal*, 2015, 12(7): 525-542.
- [24] XU H, RANDALL M, FRYD O. Urban Stormwater Management at the Meso-level: A Review of Trends, Challenges and Approaches[J]. *Journal of Environmental Management*, 2023, 331:117255.
- [25] The Finger Plan[EB/OL]. [2024-10-01]. https://observatorio2030.com/sites/default/files/2019-11/BP_98_1947_DK_26_The%20Finger%20Plan.pdf
- [26] The City of Copenhagen Cloudburst Management Plan 2012[EB/OL]. [2024-10-02]. <https://international.kk.dk/sites/default/files/2021-09/Cloudburst%20Management%20plan%202010.pdf>
- [27] Storm Surge Plan[EB/OL]. [2024-10-02]. <https://kksitesitera.dk/kkpub2/pdf/191580b7f06dd0f1.pdf>
- [28] Sustainable Urban Drainage System[EB/OL]. [2024-10-02]. https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/118747536/SUDS_White_paper.pdf
- [29] Nature Based Solution[EB/OL]. [2024-10-02]. <https://stateofgreen.com/en/publications/sustainable-urban-drainage-systems-helps-increase-drinking-water/>
- [30] ARJEN E B, THOMAS J M, ALEXANDER P V, et al. Active Citizenship for Urban Green Infrastructure: Fostering the Diversity and Dynamics of Citizen Contributions through Mosaic Governance[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2016, 22: 1-6.
- [31] 郑艳, 翟建青, 武占云, 等. 基于适应性周期的韧性城市分类评价——以我国海绵城市与气候适应型城市试点为例[J]. *中国人口资源与环境*, 2018, 28(03): 31-38.
- [32] FRATINI C F, GELDOF G D, KLUCK J, et al. Three Points Approach (3PA) for Urban Flood Risk Management: A Tool to Support Climate Change Adaptation Through Transdisciplinarity and Multifunctionality[J]. *Urban Water Journal*, 2012, 9(5): 317-331.
- [33] SARA L, KARSTEN A N, PETER M. A Mapping of Tools for Informing Water Sensitive Urban Design Planning Decisions - Questions, Aspects and Context Sensitivity[J]. *Water*, 2015, 7(12): 993-1012.
- [34] BALSTRØM T, CRAWFORD D. Arc-malstrøm: A 1D Hydrologic Screening Method for Stormwater Assessments Based on Geometric Networks[J]. *Computers & Geosciences*, 2018, 116: 64-73.