

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.22.006

海绵城市理念下雨水系统构建:以合肥某新区为例

朱利民¹, 彭赤焰¹, 杜建康², 周妍³

(1. 汉诺威水设计<常德>有限公司, 湖南 常德 415000; 2. 合肥市规划设计研究院, 安徽 合肥 230000; 3. 合肥空港经济示范区管理办公室, 安徽 合肥 230000)

摘要: 以合肥某新区的城市雨水系统构建为例,探讨了海绵城市理念下城市雨水系统的构建和运行。通过具体案例,展示和剖析了清洁雨水管网与小海绵系统、市政雨水管网与中海绵系统以及地表行泄通道与大海绵系统的相互关系和构建方法,并评估了其对湖泊水质和水位的影响。建成效果显示,清洁雨水系统对于河湖水位维持和水质改善具有重要作用,其年均排水总量占年总径流总量的56.67%,其水质指标优于湖泊本底浓度。基于项目实践,提出新区开发应结合海绵城市理念,因地制宜地统筹城市蓝、绿、灰系统,构建综合的城市雨水系统,同时海绵系统与雨水系统应同步规划、同步实施,实现从小区到市政的多尺度协调。

关键词: 海绵城市; 新区开发; 清洁雨水系统; 市政雨水系统; 地表雨水行泄系统

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2025)22-0033-06

Practices and Insights on Urban Rainwater System Construction in New Districts under the Sponge City Concept: A Case Study of a New District in Hefei

ZHU Li-min¹, PENG Chi-yan¹, DU Jian-kang², ZHOU Yan³

(1. Wasser Hannover Design Co. Ltd., Changde 415000, China; 2. Hefei Urban Planning & Design Institute, Hefei 230000, China; 3. Office of Hefei Airport Economic Demonstration Area, Hefei 230000, China)

Abstract: This paper takes the urban rainwater system construction of a new district in Hefei as an example to explore the construction and operation of urban rainwater systems under the concept of sponge city. Through specific case studies, the paper demonstrates and analyzes the interrelationships and construction methods of clean rainwater pipe networks with small sponge systems, municipal rainwater pipe networks with medium sponge systems, and surface runoff channels with large sponge systems, and assesses their impact on the water quality and water level of lakes. The results show that the clean rainwater system plays an important role in maintaining the water level and improving the water quality of rivers and lakes, with its annual drainage volume accounting for 56.67% of the total annual runoff volume, and its water quality indicators are better than the background concentration of the lake. Based on practical experience, the paper suggests that the development of new districts should be combined with the concept of sponge city, and urban blue, green, and gray systems should be planned according to local conditions to construct an integrated urban rainwater system. At the same time, the sponge system and the rainwater system should be planned and implemented synchronously to achieve multi-scale coordination from the community to the municipal level.

Key words: sponge city; new district development; clean rainwater system; municipal rainwater system; surface runoff system

城市雨水系统是城市市政基础设施中的重要组成部分^[1],传统的城市雨水系统及排放模式相对简单,且以快排和灰色设施为主^[2]。伴随我国城镇化进程,国家越来越重视高质量发展,传统的以灰色设施为主的雨水系统运行暴露出一系列问题^[3],如城市内涝、水体污染、河道断流等,给城市可持续和高质量发展提出了新挑战^[4]。

海绵城市作为一种新型城镇化发展理念和模式^[5],自全面推广以来,已在我国城市建设中取得了显著成效。在资金和政策的双重引导下,海绵城市建设积累了大量可推广、可复制的经验^[6]。合肥市某新区作为江淮分水岭上游的典型区域,地形岗冲相间、黏土地质、地下水位深;面临降雨期河道水位的陡涨陡落和非降雨期水资源短缺的问题。降雨时,城市集水区雨水通过管网快速排入下游,雨水资源未被利用,造成水资源浪费;非降雨时,上游缺少水资源,无法满足下游生态基流需求。为充分利用区域雨水资源,同步解决旱涝问题,该新区在开发建设中坚持全域推进海绵城市建设,采取生态优先、绿色可持续发展模式,旨在打造具有江淮特色的生态社区,并成为生态型社区的典范。

1 雨水系统构建策略

合肥某新区规划面积12.5 km²,区域以两湖两河构成的基本水系骨架为基础,为适应岗冲地形特点,冲沟体系被重构为4条宽度100~150 m的生态廊道;廊道与开发边界防护绿带连通形成环状绿廊,最终形成“一环四廊两湖”的生态格局(见图1)。根据水功能区划,该区水系作为引江济淮的上游支流,承担保护运河水质的重要任务。因此,该区河湖水质须达到地表Ⅲ类水标准。此外,为保障区域河湖长期稳定的生态水位,满足区域高品质生态社区的需求,该区城市雨水系统构建需充分利用集水区雨水资源,减少外部补水,实现自给自足。因此,该区城市雨水系统构建主要以两个湖泊水质水量保障为核心展开。为实现上述目标,利用新城建设机遇,构建全新的城市雨水系统。总体策略为:根据不同降雨强度和污染程度设置雨水分流路径,构建清洁雨水系统,通过独立的清洁雨水系统回补湖

泊;将污染雨水进行不同体量的调蓄,并采用相应的生态设施进行净化处理,最终缓慢补充进入湖体,尽量维持区域内天然水循环过程,实现区域水资源的平衡。



图1 新区蓝绿系统基本构架

Fig.1 Basic framework of the blue-green system in the new district

2 雨水系统组成和运行

基于上述构建策略和区域的蓝绿格局,统筹考虑将海绵城市措施体系一同纳入排水系统,依据海绵设施所处的位置及其承担处理径流集水区面积的大小,将海绵措施体系分为大、中、小三级。其中,大海绵为水系流域尺度的海绵体系。中海绵为市政排水尺度的海绵体系,分为半集中式海绵和集中式海绵;半集中式海绵为沿线市政雨水管网溢流口处设置的海绵设施,包括但不限于具有净化能力的大型下沉式绿地、大型雨水花园、生态滤池、调蓄塘、渗透塘等;集中式海绵为市政雨水管网末端排口处设置的海绵设施,以具有深度净化能力的生态滤池为主。小海绵则为开发地块尺度的海绵体系,也称为源头分散式海绵。

基于三级海绵体系,根据收集、传输径流的水质水量特征,相应构建三级雨水系统(见图2),即清洁雨水系统、市政雨水系统和地表雨水行泄系统。清洁雨水系统主要收集和传输源头分散式海绵净化下渗的清洁雨水,以实现源头海绵设施的放空,类似于地下水的导排系统。由于其收集的径流为

经过源头海绵设施净化的雨水,即清洁雨水,具有污染物浓度低、水量小且稳定、出流时间长的特征。市政雨水系统主要收集和转输源头分散海绵设施的溢流水以及源头无法实现海绵措施的硬质下垫面雨水,该部分雨水具有水质和水量波动变化大的特性,需要对其进行一定的调蓄和净化,调蓄净化设施按3~5年一遇排放标准设计。地表雨水行泄系统主要收集和转输超过市政雨水系统排水能力的溢流水,该部分雨水水量大、污染物浓度低,通过道路、绿廊等以地表行泄方式排放,其规模按50年一遇排放标准构建。

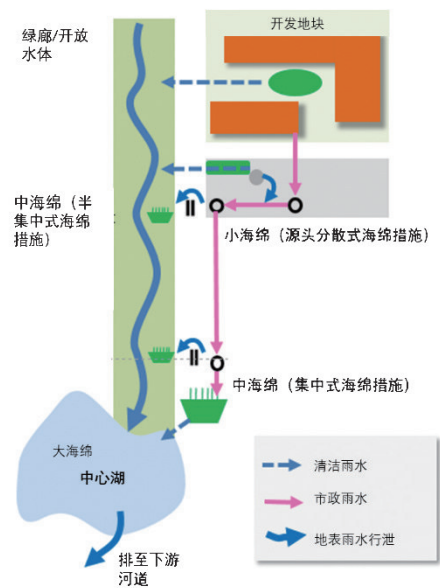


图2 三级海绵体系下的三级城市雨水系统构建原理
Fig.2 Construction principal of three-level urban rainwater systems under the three-tier sponge system

三级海绵体系下的三级雨水系统运行模式,结合降雨强度、水量和污染程度,由不同雨水分流路径和海绵设施联动发生作用。

- ① 小雨时,源头分散式海绵措施和清洁雨水系统运行。地块内硬化区雨水径流由分散式海绵措施净化,净化后的雨水通过渗管收集后由单独的清洁雨水管转输,最终接入水体或绿廊的溪道空间,为水体提供干净稳定的基流。
- ② 中雨时,集中式海绵和市政雨水系统运行。当源头分散海绵空间蓄满出现溢流时,溢流雨水由市政雨水管截流进入集中式海绵措施,经处理后再排入水体。同时考虑约30%的城市硬化面积的径流不能连接到源头分散海绵进行处理,这些区

- 域的径流在小雨时通过市政雨水系统运行。
 - ③ 大雨时,半集中式海绵和市政雨水系统运行。降雨量超过分散海绵和集中式海绵措施调蓄空间后,雨水从市政雨水系统的溢流口溢出,溢流雨水通过半集中式调蓄净化,然后缓慢补充到溪道或湖泊中。
 - ④ 暴雨时,大海绵和地表雨水行泄系统运行。超过半集中式海绵措施的雨水溢流至绿廊溪道、开放水系中,同时超过市政雨水管网排水能力的雨水会冒溢至道路,由地表行泄,此时湖泊水体及湿地等大海绵系统起主要调蓄作用。
- 综上,不同降雨强度下三级海绵措施和三级雨水系统的作用范围见表1。

表1 不同降雨强度下三级海绵措施和三级雨水系统的作用范围

Tab.1 Effect scope of three-level sponge measures and three-level rainwater systems under different rainfall intensities				
降雨量/mm	降雨等级	径流污染程度	发挥主要作用的海绵措施	发挥主要作用的雨水系统
<10	小雨	高	分散式海绵	清洁雨水系统
10~25	中雨	中等	集中式海绵	市政雨水系统
25~50	大雨	轻	半集中式海绵	市政雨水系统
≥50	暴雨以上	较轻	大海绵	地表雨水行泄系统

注: 降雨量为24 h的总雨量、降雨等级根据《降水量等级》(GB/T 28592—2012)确定。

3 雨水系统构建
3.1 清洁雨水与小海绵系统

清洁雨水系统的建立主要是为了分质排水,避免海绵设施处理后的清洁雨水再接回市政雨水系统,导致二次污染,同时也便于更好地利用清洁的雨水资源。该系统主要由海绵措施下方的开孔渗管、不开孔转输管以及检查井组成。该新区清洁雨水系统包括道路清洁雨水系统和地块清洁雨水系统,地块内清洁雨水系统接入道路清洁雨水管系统。道路下的清洁雨水管网作为清洁雨水系统的主干管,在规划层面结合道路竖向、集水区划分,确定管径和标高等,在道路项目中按规划要求实施;小区内清洁雨水系统按地块开发图则中要求实施。

道路下的清洁雨水管设置于道路绿化带内,一般采用双侧布置;道路海绵设施的渗管就近接入清洁雨水管,清洁雨水管不设溢流井,只有检查井(检

查井井盖标明“清雨”),海绵设施内的溢流井也不能接入清洁雨水管。道路沿线每隔150~200 m预留清洁雨水接口井。根据道路坡向敷设管道,为降低清洁雨水埋深,局部管段可设置为零坡度,总体埋深控制在2~3 m。

根据开发布局,地块内的清洁雨水系统由地块开发单位自行建设。为确保能够按照构建的系统实施,在开发管控方面,将源头分散式海绵指标要求写入地块图则,作为地块开发建设规划条件来引导地块开发的设计,具体指标包括:排水方向、所属集水区、地块年径流总量控制率、污染削减率、市政雨水和清洁雨水的排水出口位置、径流组织要求(见图3)。此外,明确要求设置两套雨水系统即清洁雨水系统和市政雨水系统。

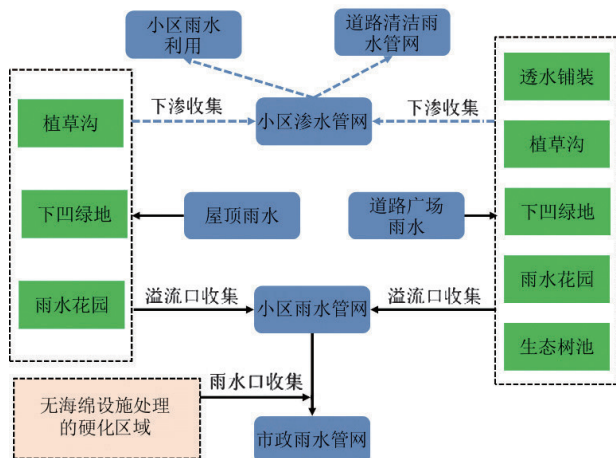


图3 开发地块内源头分散海绵与清洁雨水径流组织基本要求

Fig.3 Basic requirements for the organization of clean rainwater runoff and source dispersed sponge measures in development plots

3.2 市政雨水与中海绵系统

市政雨水系统主要应对3~5年一遇标准内降雨的排放。为避免城市径流对两个湖体的水质污染,不同于以往的传统枝状雨水排放模式,该区市政雨水系统采用环湖雨水截流干管为主线,串联各级排水子分区的排水管网,在各级子排水分区末端,分别设置溢流、限流构筑物,以及集中和半集中式海绵措施,采用梯级限流、溢流方式,实现不同时期降雨径流的分质分流处理和排放。污染严重的雨水通过雨水截流干管输送至坝下的集中式海绵设施进行处理。超过设定截流能力的雨水则通过溢流

构筑物溢流进入半集中式海绵设施进行调蓄净化;调蓄净化的雨水通过控制缓慢释放到水体中,以实现雨水资源的利用,降低水体的补水需求。

3.3 地表雨水行泄与大海绵系统

根据系统运行原理,发生强降雨时,超过市政雨水管网设计标准的雨水会从检查井溢流至道路,此时市政雨水系统及其调蓄空间都已满蓄,为避免内涝灾害,此时城市的地表雨水行泄系统应起主导作用。

利用整个区域的蓝绿格局,构建由道路行泄通道、绿廊溪道、城市开放明渠、入湖湿地及湖泊组成的地表雨水行泄系统。前三者作为城市行泄雨水的主要转输载体,后者则作为行泄雨水的大海绵调蓄载体,承担调蓄功能。

为确保地表雨水行泄系统衔接通畅,避免不合理的低洼点,需要对整个城市道路竖向进行合理控制,确保道路低点位于绿色生态廊道和城市开放式渠道的相交处。

绿色廊道作为地表雨水行泄的重要通道,既要满足排水功能,也要满足整体景观生态功能的需求。从已实施的3号廊道整体效果(见图4)来看,设计充分利用绿色生态廊道作为地表雨水行泄通道,同时作为周边住户的休闲健身公园,实现多专业的融合,既保障了区域水安全,又成为优美的生态景观。



图4 3号绿廊建成效果

Fig.4 Completed effect of green corridor 3

对于湖体调蓄空间的利用,为应对集水区开发后径流峰值增加及峰值时间提前的问题,对现有湖泊进行调洪演算,计算开发前后湖泊防洪水位的变化。由固定常水位的管理模式调整为动态水位管理模式,激活湖泊的调洪库容。汛期和非汛期采用不同的常水位控制模式,汛期设置0.3 m水位的调蓄空间,采用限流出流控制方式为下游河道释放生态基流;非汛期提高常水位0.3 m,用于缓解蒸发导

致的湖泊水位降低。

4 建设成效

目前,整个新区的雨水系统均按照此体系进行构建,其中宝教寺湖3号廊道及其沿线周边地块开发、湖泊岸线的整治、主干道路工程项目作为示范项目已经实施完成,多条主干道和开发地块的雨水排水系统均按照清洁雨水和市政雨水两套系统进行构建。从建设成效看,达到了预期效果(见图5),主要体现在水质效果和水量分配方面。

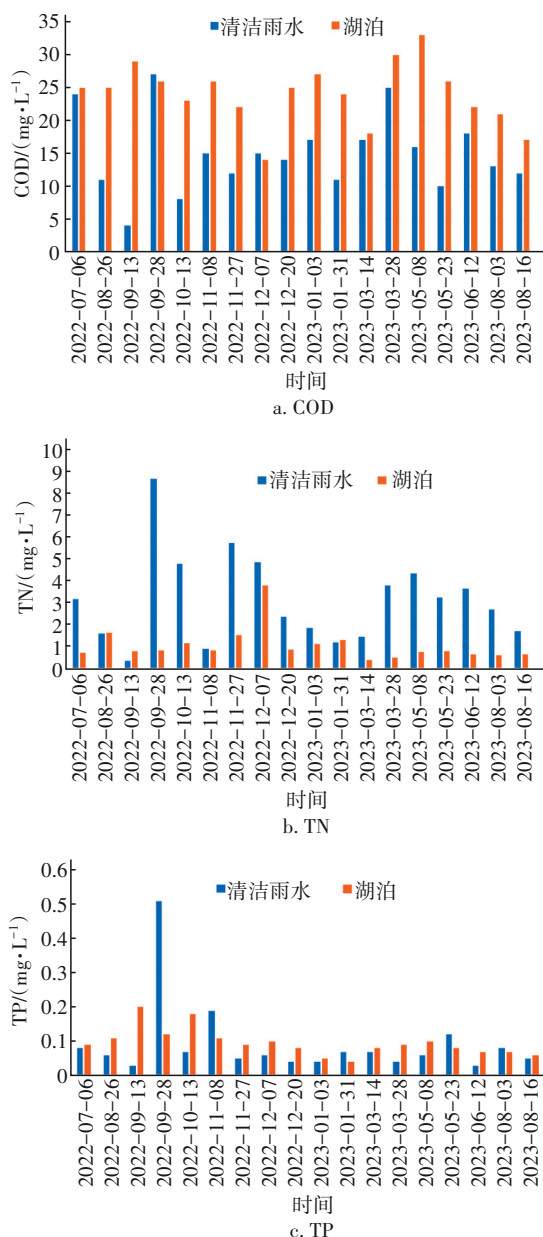


图5 清洁雨水系统出水水质与湖泊水质对比

Fig.5 Comparison of water quality of clean rainwater system and lake water quality

① 从水质效果来看,清洁雨水系统出水和通过溢流进入半集中式海绵设施处理的出水,对宝教寺湖的水质提升发挥了积极作用,而市政雨水由环湖雨水截流管截流进入宝教寺湖坝下的集中式生态滤池进行处理,然后排入河道,不再入湖。基于KOSIM长历时的污染负荷计算显示,设定每年进入湖泊的污染物以单位硬化面积污染负荷为 $600 \text{ kgCOD}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 计,通过该雨水系统处理后,进入湖泊的污染物削减为 $180 \text{ kgCOD}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,与无海绵设施系统状态相比,入湖COD削减率可达70%。2022年—2023年的实际水质检测数据表明,湖泊的水环境质量持续向好,并未受到区域开发的影响,清洁雨水管出水COD平均为 14.94 mg/L 、TN为 3.13 mg/L 、TP为 0.09 mg/L ;除TN外,COD和TP均达到地表Ⅲ类和Ⅳ类水标准(湖、库)。清洁雨水排湖COD和TP浓度比湖泊本底浓度低;TN浓度比湖泊本底TN浓度高。

② 从系统出水量分配来看,由于全域海绵城市的实施,清洁雨水和半集中式海绵设施的缓释排水一方面削减了入湖洪峰值,另一方面也使湖泊的水位波动趋于平缓,洪枯水位振幅值降低。KOSIM长历时水文模拟结果显示,在规划雨水系统状态下,通过清洁雨水系统进入宝教寺湖的年均径流量为 $191 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,约占集水区总径流量的56.76%,通过市政雨水系统,环湖截流干管截流到集中式海绵设施的雨水总量为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,约占总径流量的11.87%,通过溢流构筑物进入半集中式海绵设施再入湖的径流总量为 $105 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,约占总径流量的31.38%。清洁雨水系统虽然管径小,但其年均排水总量最大。根据实际现场观察,从系统排水时长来看,清洁雨水系统的出水在降雨后2~3 d内会持续出流,绿廊内半集中海绵设施放空排水在降雨后5 d内会持续出流,生态滤池的放空排水在降雨后1 d内会持续出流,大中小海绵体系的放空系统相当于在集水区内构建一定体量的地下水储存池,为湖泊提供了清洁水源。

5 启示

① 新区雨水系统的构建应系统分析该区的特色和需求,构建适用于本区地形地貌、水文特征的城市雨水系统。

② 新区的雨水系统构建是一个系统工程,不

只是简单的城市地下灰色系统的构建,而是需要进行多专业(城市排水、水利、生态、景观和城市设计等)的协作,将相关涉水规划进行归总和协调。同时应统筹城市蓝、绿、灰系统,基于海绵城市建设理念,将蓝绿灰系统有机联系起来,融合成一个相互联动相互促进的整体。

③ 新区海绵系统应与雨水系统同步构建、同步实施,应适当考虑利用公共绿地空间来分担开发地块内海绵指标要求,以实现中小尺度的海绵措施共同分担整体海绵管控指标要求,而不是简单地将指标分到各个地块内来实现。以往多个小区地块海绵实践出现过单纯为了实现年径流总量控制率等海绵指标和行政审批要求而采取一些明显不合理的措施。只在小区雨水排出口末端增加地下调蓄池,即仅采用纯灰色设施的做法而忽略源头分散式绿色海绵设施的重要性,一方面建设成本较大,另一方面径流污染削减效果不佳。

6 结语

在国家大力倡导绿色低碳的基础设施背景下,新区城市雨水系统的构建应注重绿色高效,坚持海绵城市建设理念,坚持系统思维统筹城市蓝绿灰系统,坚持大中小排水系统联动,坚持多专业融合;同时也应打破固有思维,构建具有本区特色的城市雨水系统。海绵系统和城市雨水系统是统一不可分割的整体,需要同步规划、同步实施、同步运行。基于海绵城市理念下的城市雨水系统构建不仅限于管网、泵站等灰色设施布局,还应包括绿色调蓄净化设施和蓝色调蓄水体,这样城市的水安全、水环境、水生态、水景观等目标才能统筹实现。

参考文献:

- [1] 刘宇星. 基于海绵城市理念下排水系统构建模式的研究[J]. 智能城市, 2018, 4(6): 38-39.
LIU Yuxing. Research on the construction mode of drainage system based on the concept of sponge city[J]. Intelligent City, 2018, 4(6): 38-39(in Chinese).
- [2] 蔡云楠, 温钊鹏, 雷明洋. “海绵城市”视角下绿色基

础设施体系构建与规划策略[J]. 规划师, 2016, 32(12): 12-18.

CAI Yunnan, WEN Zhaopeng, LEI Mingyang. Green infrastructure system planning strategy for “sponge city” development [J]. Planners, 2016, 32(12): 12-18 (in Chinese).

- [3] 车伍, 赵杨, 李俊奇, 等. 海绵城市建设指南解读之基本概念与综合目标[J]. 中国给水排水, 2015, 31(8): 1-5.

CHE Wu, ZHAO Yang, LI Junqi, et al. Explanation of sponge city development technical guide: basic concepts and comprehensive goals [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(8): 1-5 (in Chinese).

- [4] 赵丰昌, 章林伟, 高伟. 海绵城市理念下城市内涝防治体系构建的探讨[J]. 给水排水, 2021, 47(8): 37-44.

ZHAO Fengchang, ZHANG Linwei, GAO Wei. Discussion on the construction of urban flooding control system under the concept of sponge city [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(8): 37-44 (in Chinese).

- [5] 章林伟. 中国海绵城市的定位、概念与策略——回顾与解读国办发〔2015〕75号文件[J]. 给水排水, 2021, 47(10): 1-8.

ZHANG Linwei. Positioning, concept and strategy of China's sponge city: review and interpretation of document No. 75〔2015〕of State Council [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(10): 1-8 (in Chinese).

- [6] 车伍, 张伟. 海绵城市建设若干问题的理性思考[J]. 给水排水, 2016, 42(11): 1-5.

CHE Wu, ZHANG Wei. Rational thinking on several issues of sponge city construction [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(11): 1-5 (in Chinese).

作者简介:朱利民(1987—),男,江西瑞金人,硕士,高级工程师,主要从事海绵城市、城市雨洪管理设计研究工作。

E-mail:lm.zhu@wasser-hannover.cn

收稿日期:2024-08-14

修回日期:2024-08-23

(编辑:丁彩娟)