

# 韧性理念下流域洪涝灾害治理及规划启示\*

## ——以韩国汉江为例

Flood Disaster Governance and Planning Enlightenment in River Basin under the Concept of Resilience: A Case Study of Han River Basin in South Korea

杜文瑄 施益军 徐丽华 陈伟 马涛 DU Wenxuan, SHI Yijun, XU Lihua, CHEN Wei, MA Tao

**摘要** 在极端气候频发与城市化快速发展的背景下,流域防洪规划作为沿江城市防洪减灾的关键措施,能有效缓解洪涝灾害的社会经济影响。以韩国汉江流域为例,通过回顾其由侧重于防洪工程的洪水干预到韧性理念下流域多元防洪规划的思路转变,解析兼顾防洪与生态保护的流域性规划措施的具体方法及要点,总结出洪涝灾害风险评估、流域坝库协同系统、流域生态防洪网络和多元主体灾害管理等4方面经验,并对我国东部中小流域应对洪涝灾害提出规划启示。

**Abstract** Facing extreme climate change and rapid urban development, river basin flood control planning can effectively mitigate social and economic impacts from flood disasters as a key approach. The paper illustrates the Han River Basin in South Korea as a study case. By reviewing flood control measures that have changed from pure engineering intervention to multiple flood control planning for river basins under the concept of resilience, the paper analyzes the specific methods and key points of river basin flood control measures in order to sort out experiences, such as the flood disaster risk assessment, collaborative system of dams and reservoirs, ecological flood control network and multi-agent flood management in the basin, and advances the enlightenment for flood control in small and medium-scale basins in eastern China.

**关键词** 洪涝灾害风险;韧性理念;生态网络;规划启示;汉江流域

**Key words** flood disaster risk; resilience concept; ecological network; planning enlightenment; Han River Basin

文章编号 1673-8985 (2022) 06-0040-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20220606

### 作者简介

#### 杜文瑄

浙江农林大学风景园林与建筑学院  
硕士研究生

#### 施益军 (通信作者)

浙江农林大学风景园林与建筑学院  
副教授,博士, yijun\_shi@zafu.edu.cn

#### 徐丽华

浙江农林大学风景园林与建筑学院  
教授,博士

#### 陈伟

南京邮电大学地理与生物信息学院  
副教授,博士

#### 马涛

江苏农林职业技术学院  
讲师,硕士研究生

### 0 引言

在全球气候变化和城市化快速发展的共同影响下,海啸、台风、水灾等极端天气频繁出现,流域内水文循环发生剧烈变化,城市内涝频发,使得洪涝灾害问题日益严重。《2019年全球自然灾害评估报告》显示,2019年全球发生水文气象相关灾害226起,占据当年世界范围内重大自然灾害发生频次的77.9%,共计造成10 580人死亡和93.9亿美元的经济损失,其中风暴和洪水灾害占水文灾害总数的

90.3%,死亡人数和经济损失分别占71.8%和99.9%<sup>[1]</sup>。洪涝灾害作为影响全球的主要自然灾害,其频率和严重程度的上升,对世界各国的可持续发展和经济建设提出巨大挑战。

韧性理念最初应用于工程、物理领域,关注城市抵抗外部冲击、维持稳态的能力<sup>[2-3]</sup>,而后由生态学家Holling<sup>[4]</sup>引入生态学领域,将其定义为城市系统吸收风险扰动的承受能力和重组更新的发展程度。生态韧性概念适用于洪水风险管理和防灾规划理念<sup>[5]</sup>,强调维持流

\*基金项目:浙江省自然科学基金项目“多灾害风险背景下的城市系统韧性能力评估与韧性机制探讨”(编号LQ20D010002);浙江省软科学重点项目“数字转型情境下省域创新系统治理与创新自动化研究”(编号2021C25033);浙江省高等学校国内访问学者教师专业发展项目“系统思维下的城市韧性评估与城市安全格局构建”(编号FX2021036)资助。

域和城市交互作用的状态下,城市应对洪涝灾害、存续功能的准备、抵抗、恢复的全过程韧性能力<sup>[6-7]</sup>。过去的防洪规划注重工程性防灾思维,仅关注单个河道的工程设施防灾能力,通过渠化、筑坝、疏浚等方式改变河流的自然形态,以满足泄洪、排涝或通航的需求。这通常伴随着引发生态系统退化和洪涝风险加剧等问题<sup>[8]</sup>。面对洪涝灾害带来的巨大风险,有必要采取合理的防洪规划措施以降低灾害风险,提升城市应对能力。相比传统的防洪规划范式,流域多元防洪规划是基于流域协同的韧性思维下,系统性、广域性地应对流域性洪涝灾害的规划模式,可实现防洪韧性、水环境保护等多重目标均衡发展<sup>[9]</sup>。

韩国位于东北亚朝鲜半岛南部,三面环海,是受洪涝灾害影响严重的国家。汉江流域作为韩国第二大河流,是当今全球洪水泛滥风险最高的地区之一。季风气候的严重影响导致剧烈的月降雨量差异,使得韩国历史上曾发生多次流域性洪涝灾害事件<sup>[10]</sup>,造成巨大的社会经济负面影响<sup>[11]</sup>。韩国提出“适应性、包容性、创新性和绿色增长导向”的流域防洪规划理念,在城市开发与建设中不断应用新的防洪规划策略来减少洪水并保护生态<sup>[12-13]</sup>。由于汛期降雨、地形水文等原因,中国境内各大流域也存在较高的洪涝风险。我国东部中小流域受季风性降水影响大、洪水流经区域广,与汉江流域洪涝致灾因素较类似,流域多元防洪规划将成为重要的应对洪涝灾害的方式,但目前完善的相关理论实践仍较少<sup>[14-16]</sup>。本文选取汉江流域防洪规划作为研究对象,通过剖析研究背景、发展理念、制定策略和实施效果,为国内防洪规划和韧性实践提供参考。

## 1 韩国应对洪涝的规划理念转变

韩国自1910年以来在应对洪涝灾害的过程中,其规划理念发展先后经历了4个阶段,从一开始仅关注水利设施建设的以“防”为主的思想,转向设坝防洪与河道疏水“防、疏”结合的冗余性防洪观念,再转向优化流域防洪工程体系的流域协同方略,最后到注重流域生

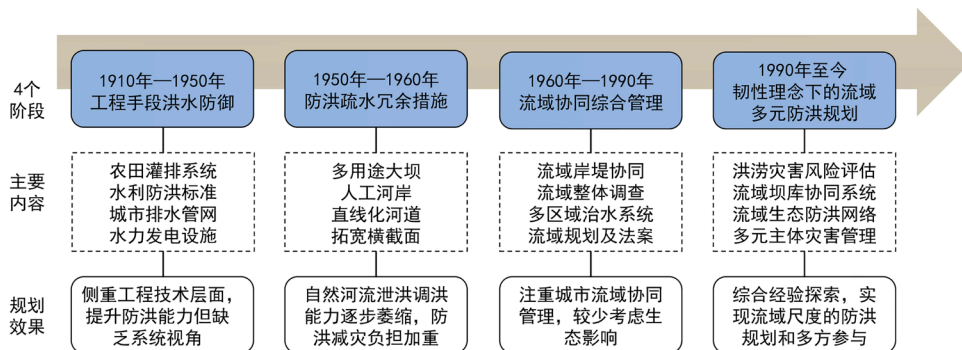


图1 韩国应对洪涝的规划理念转变历程

Fig.1 The change of concept of flood control planning in South Korea

资料来源:笔者根据参考文献[17]717-724绘制。

态防洪效益的“环境友好型”流域多目标综合理念(见图1)。

### 1.1 1910年—1950年:工程手段洪水防御

该时期韩国坚持以“防”为主的规划理念,规划建设目标由经济发展转向防洪抗灾(见图2)。较早的防洪工程可追溯至1944年的汉江华川大坝,其配合190个农业水库和水力发电设施的同时应用,完善初级农田灌排系统,提升生产效能和排涝能力<sup>[17]722-724, [18]</sup>。而后,由于社会经济规模扩大、灾害频次上升,韩国将建设水利设施作为控制洪水的重要规划措施,在重点防洪地区提高防洪标准和完善排水管网系统。

工程手段为主的防洪规划对于城市早期的应灾韧性能力确实起到一定的提升作用,但随着流域复杂性和城市规模不断增大,其在解决洪涝问题时采用过于简单化、孤立化的思考方式,缺乏对流域各级子系统和水利基础设施的整体规划,不能适应防洪的发展要求。

### 1.2 1950年—1960年:防洪疏水冗余措施

1950年代韩国转向“防、疏”结合的冗余性防洪规划理念。1953年强降雨事件致使洪南大坝倒塌和海水倒灌加剧,汉江流域仍以单一水利设施防洪规划策略为主,应灾能力不足引发大型洪灾事件,也推动了防洪模式转变(见图3)。一方面,优化大坝的多功能冗余管控,根据水文分析制定多用途大坝的防灾标准和泄洪计划。另一方面,提升河流的洪水疏

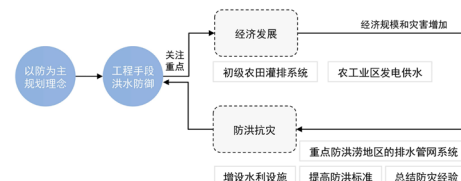


图2 工程手段洪水防御的规划建设

Fig.2 Engineering flood control planning and construction for flood control

资料来源:笔者根据参考文献[17]723-725, [18]绘制。

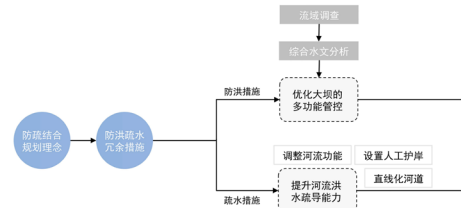


图3 防洪疏水冗余措施的规划建设

Fig.3 Planning and construction of redundant measures for flood control

资料来源:笔者根据参考文献[19]270-275绘制。

导能力,通过渠化河道、拓宽横截面、设置人工护岸等方式,使得水位高度更为可控,洪涝风险降低<sup>[19]270-272</sup>。

整体上看,大坝、水库等水利设施的兴建和河流堤岸的修筑,延续了第一阶段的工程性防洪规划理念,致使自然泄洪、调洪能力逐步萎缩,随着社会经济的持续发展,致灾因子还将继续强化,防洪减灾的负担将进一步加重。

### 1.3 1960年—1990年:流域协同综合管理

1971年韩国防洪规划理念从最初的消极逃避水灾向积极的防洪治水转变,防洪规划转向对流域协同管理体制的探索。韩国先后启动《四江流域发展规划》和《水资源长期综合规

划》，确定4大流域的防洪规划发展目标，从城市防洪、流域管理两个方面实施规划措施，涉及流域调查、多用途大坝修建、岸堤协同建设等内容（见图4），弥补了以单河流为导向的传统规划在尺度和实施效率上的不足<sup>[20-22]</sup>。

在该规划模式下，防洪设施的建设和管控是流域防洪规划的核心。水利工程规划建设步伐不断加快且已较为完善，然而对于可能造成的生态影响及后果考虑较少。

### 1.4 1990年至今：韧性理念下的流域多元防洪规划

为了应对新时期的生态环境问题，韩国在2008年提出“绿色增长”的韧性规划理念，防洪规划思想转向环境友好型流域协同开发<sup>[17]728</sup>。在1993年爆发的洛东河苯酚污染和有机溶剂事件，引发严重的生态问题<sup>[23]</sup>。伴随着防洪理论和技术革新，政府水利设施建设速度减缓，将资源环境评价作为防洪规划的重要内容。

在《国家绿色增长战略》的基础上，韩国政府推出“四大江修复工程”等防洪规划，实施生态修复、水利调度和生态网络构建的韧性措施，恢复并加强流域应急管理和沿江城市安全<sup>[24]</sup>、<sup>[25]147</sup>、<sup>[26]</sup>。汉江流域作为韩国流域防洪规划的重要实践主体，逐渐形成以韧性理念为指导，洪涝灾害风险评估为数据基础，流域坝库协同系统为运行支撑，流域生态防洪网络为基底保障，多元主体协同为管理方式，工程防洪、生态防洪措施相结合的流域多元防洪规划（见图5）。

## 2 韧性理念下的流域多元防洪规划

### 2.1 洪涝灾害风险评估

洪涝灾害风险评估是编制全流域防洪规划的关键环节，是确定最优防洪措施、使得洪水损失最小化的必要前提，也是支撑洪泛区土地开发建设行为的重要技术基础。防洪规划愈发强调从风险视角管控土地利用活动，提高城市应对洪涝灾害的韧性准备能力，因而对洪涝风险动态监测技术、水资源管理、分区评价和空间制图提出更高的要求。

洪涝灾害风险评估流程包含数据采集处理、洪水情景模拟、灾害地图制作和使用方法拓展4个步骤。首先，在数据采集处理阶段，利用多类监测设施进行全域性水文数据收集，生成网格单元的降水预报信息。其次，在洪水情景模拟阶段，着重分析海啸、风暴潮等灾害类型和地形、水文等流域影响因素，分别计算不同重现期下河流、城市洪水淹没情景下的淹没范围与深度。再次，绘制以流域为管控单元的洪水灾害地图。最后，拓展不同的使用方法<sup>[27]12-14</sup>、<sup>[28]</sup>（见图6），包括水库运行调度、居民安全保护和防洪规划制定等，实现洪涝灾害风险评估系统的互联互通、信息共享和流域协同。

### 2.2 流域坝库协同系统

流域坝库协同系统是以韧性理念为导向，制定最优的运行规则以确保合理泄洪蓄水的防洪规划的工程实施，旨在提升流域性洪涝灾害发生时城市的抵抗能力，支撑流域防洪规划的运行，由数据子系统和模型子系统两部分组成（见图7）。

#### 2.2.1 数据子系统下的单工程防洪

数据子系统主要负责全流域内多用途水坝、防洪大坝、供水大坝等水利设施的数据管理<sup>[29]9643</sup>，制定单个水利设施的洪水应对策略，

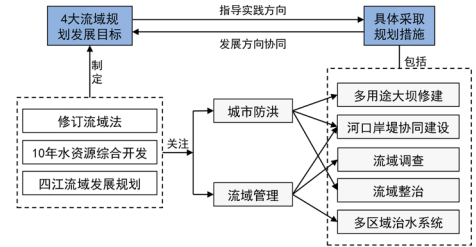


图4 防流域协同综合管理的规划建设  
Fig.4 Planning and construction of coordinated comprehensive watershed management

资料来源：笔者根据参考文献[21]绘制。

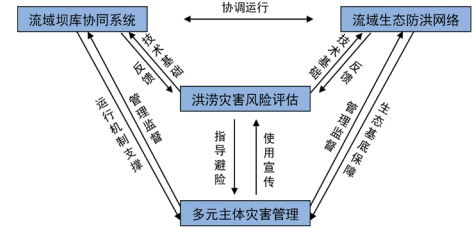


图5 汉江流域的流域多元防洪规划  
Fig.5 Multiple flood control planning in Han River Basin  
资料来源：笔者根据参考文献[24]、[25]147-149、[26]绘制。

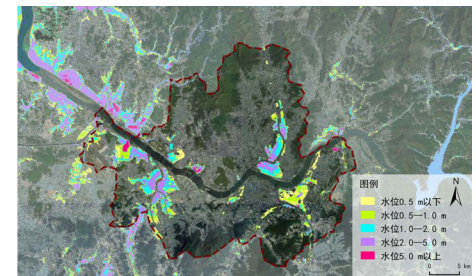


图6 首尔洪水灾害地图  
Fig.6 Map of flood damage in Seoul  
资料来源：笔者根据参考文献[28]绘制。

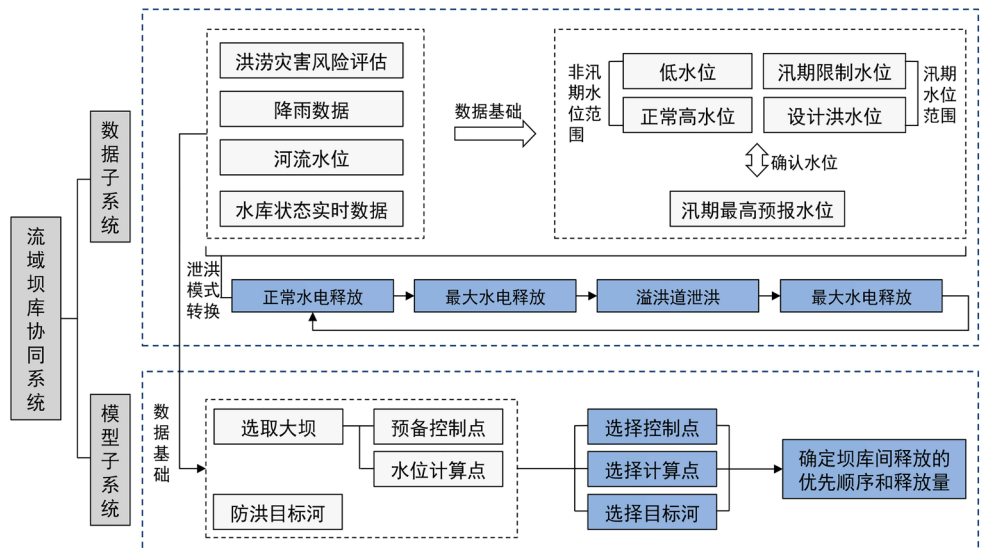


图7 流域坝库协同系统的运行模式图  
Fig.7 Operation mode diagram of collaborative system of dams and reservoirs  
资料来源：笔者根据参考文献[27]16-20、[29]9642-9644绘制。

具体步骤如下:(1) 数据子系统收集整理各大坝水库的洪涝灾害风险评估数据,设定水利设施水位的限定范围。(2) 通过判断汛期最高预报水位与4类水库水位的大小关系,定义水坝的实时状态,适时调整“正常水电释放—最大水电释放—溢洪道泄洪—最大水电释放—正常水电释放”的周期性泄洪模式(见图8)。当预报水位介于低水位和正常高水位之间,大坝仅为发电目的泄洪;当其介于正常高水位和A级指数之间,大坝以最大水力发电速率泄洪;当出现持续性暴雨导致水位超过A级指数,大坝启动溢洪道泄洪;当预报水位降至汛期限制水位和正常高水位之间,大坝以最大水力发电速率泄洪;如果预报水位低于汛期限制水位,大坝运行将恢复到正常的水力释放模式<sup>[30]500-503</sup>。

### 2.2.2 模型子系统下的多工程调度

模型子系统是基于数据子系统的要素信息,采用流域径流路径模型将其转换为洪水预报和多工程联合的模拟控制系统,构建一体化、多功能的流域坝库协同的防洪韧性工程体系,具体流程如下:(1) 设定流域系统控制点。选取流域内具有较大防洪空间的大坝和水库进行联合调度,并选择4处预备控制点和4处水位计算点,将南北汉江作为两条预备防洪目标河进行分段控制。(2) 根据水位计算点监控的汛期最高预报水位和限制水位之间的大小关系,改变汛期防洪使用的控制点和防洪目标河<sup>[31], [32]893-895</sup>。(3) 韩国水资源公社根据单水库运行模型的执行结果和多坝库运行规则,确定坝库之间释放的优先顺序和释放量,达到快速泄洪和水电利用最大化的目的。同时,积极推动流域内大坝、桥梁、水库设施相互连接,形成“梯级坝库+连接廊道”的韧性防洪工程系统<sup>[30]501</sup>(见图9)。如今,汉江流域洪水管理量稳步提高,城市韧性能力得到明显提升。

### 2.3 流域生态防洪网络

流域生态防洪网络秉承了绿色增长的韧性理念,以流域生态空间为本底,兼顾防洪减灾、环境改善、生态系统保护等目标,是流域多元防洪规划的基底保障<sup>[33]</sup>。汉江流域针对其面临的一系列洪涝灾害以及生态环境问题,制定

了“生态防洪斑块识别—生态防洪廊道连接—生态防洪网络构建”的防洪规划策略。

#### 2.3.1 生态防洪斑块识别

生态防洪斑块作为生态防洪网络格局的要素点,对于缓解流域性洪涝问题、为沿江居民提供防洪韧性安全空间、制定科学的防洪规划等具有非常重要的作用。韩国首先基于洪水灾害地图和灾害历史数据确定河流易涝段和城市易涝区<sup>[34]</sup>,对规划预期减洪效果和可行性进行综合评估。其次,机构对物种、水质、河床等基本要素进行分析整理,获得汉江水生生态系统健康性评价和城市生态资源价值图谱<sup>[35]53-55, [36]60-62, [37]52-56</sup>,以此划分生态保护价值较高的河流湿地斑块和城市绿地斑块,保障政府、土地所有者、规划师、居民等利益相关者在汉江流域的兼容发展。在生态防洪斑块及周边区域,韩国引入联合国教科文组织的“人与生物圈计划”理念划分核心保护区、保护区、缓冲区和环境管理区,对不同湿地类型提出差异化的规划管理措施(见图10)。

#### 2.3.2 生态防洪廊道连接

生态防洪廊道是指连接“生态防洪斑块”的绿色廊道,是城市生态防洪网络的重要空间通道。汉江流域积极推进政府主导式的多类河流生态廊道、城市森林廊道和城市溪流

廊道规划项目。在河流生态廊道方面,已恢复2 701 km受污染河流,建成20.6 km自然护岸、32.6 km自然型湖岸和22.7 km人工护岸,尤其将野生鸟类出现情况作为划分依据<sup>[38]12-14</sup>,体现了生态修复的原则(见图11)。在中浪川汇流点范围内,以湿地、森林、沙滩等资源为生态斑块,建立物种栖息环境条件数据库,绘制了小区域尺度下精细化的资源分布图<sup>[39]129-131</sup>

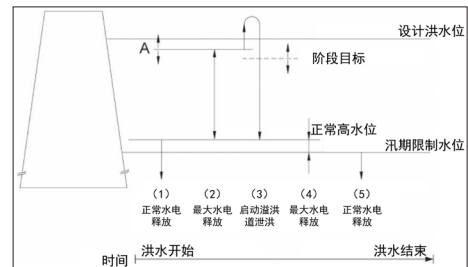


图8 周期性泄洪模式的切换流程

Fig.8 Periodic flood management model

资料来源:笔者根据参考文献[30]501绘制。

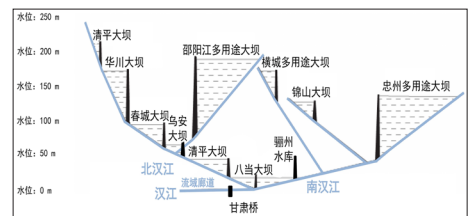


图9 “梯级坝库+连接廊道”的韧性防洪工程系统

Fig.9 Resilient flood control engineering system

资料来源:笔者根据参考文献[30]501绘制。

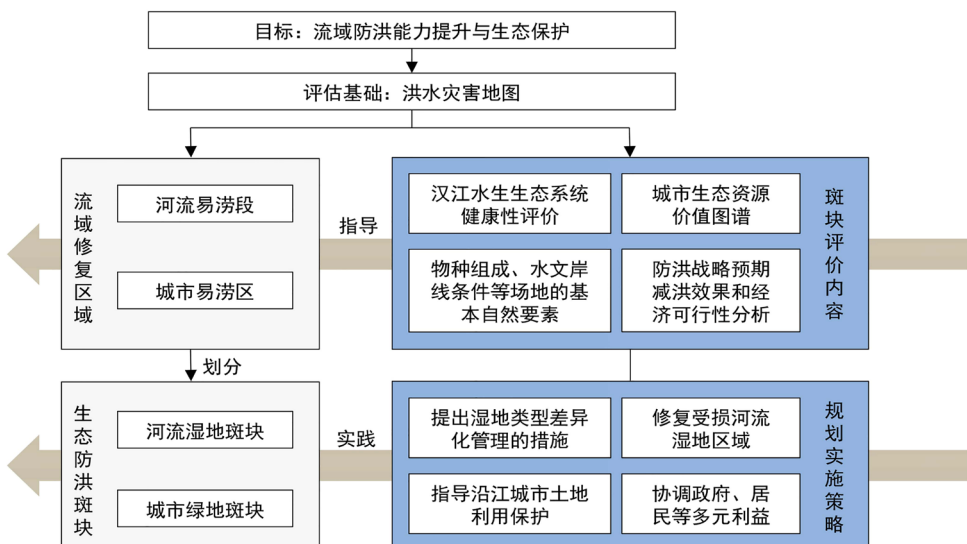


图10 生态防洪斑块的识别与规划实施策略

Fig.10 Identification and planning of ecological flood control patches

资料来源:笔者根据参考文献[35]102,[36]20-22,[37]81-84绘制。

(见图12),并构建河流生态防洪廊道<sup>[40]</sup>(见图13)。在城市森林廊道和城市溪流廊道方面,首尔市基于现状绿地斑块,连接中央绿地轴和森林环形轴,2003年推进清溪川复原项目,将溪流廊道与城市功能结合。

2.3.3 生态防洪网络构建

汉江生态防洪网络作为斑块、廊道以及各种物质要素的空间组合系统,有助于恢复生态系统功能,提高城市应对流域性洪涝灾害的韧性能力。2019年汉江流域环境厅制定了《汉江河口保护与河道生态轴研究》,提出汉江流域和首尔市的生态防洪网络规划(见图14-图15)。

在具体实施时,一方面,规划重视营造生态河流空间,综合运用自然堤岸建造、河流恢复、沙滩修复等生态性规划措施。另一方面,积极推进城市生态防洪网络建设工作,例如建筑排水面积的标准制定、下凹式绿地、透水铺砖、雨水花园等低影响韧性基础设施的规划设计,达到内涝减缓、生态修复和城市安全的目的<sup>[41-43]</sup>。



图11 汉江堤岸分布图  
Fig.11 Distribution of banks in Han River Basin

资料来源:笔者根据参考文献[38]13绘制。

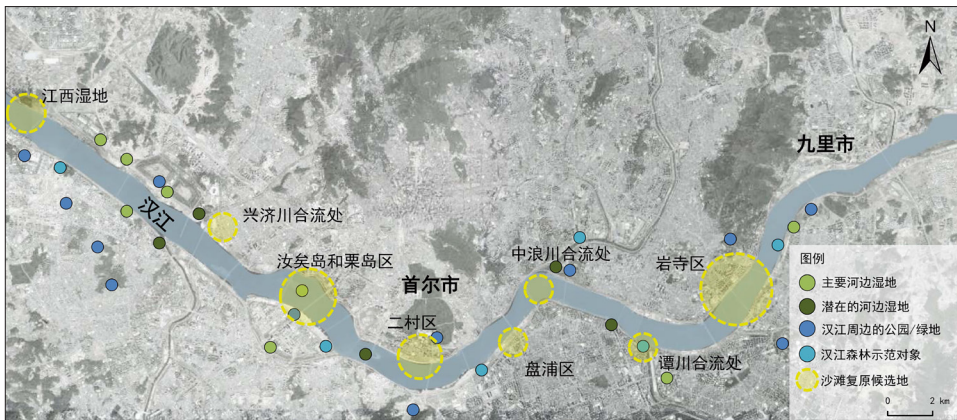


图12 汉江湿地、森林和沙滩3类自然资源分布图  
Fig.12 Three types of natural resources distribution map of wetland, forest and beach in Han River Basin

资料来源:笔者根据参考文献[39]130绘制。

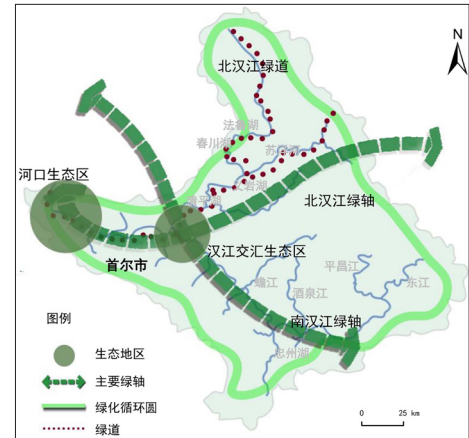


图14 汉江生态防洪网络规划图  
Fig.14 Ecological flood control network planning map in Han River Basin

资料来源:笔者根据参考文献[35]104绘制。

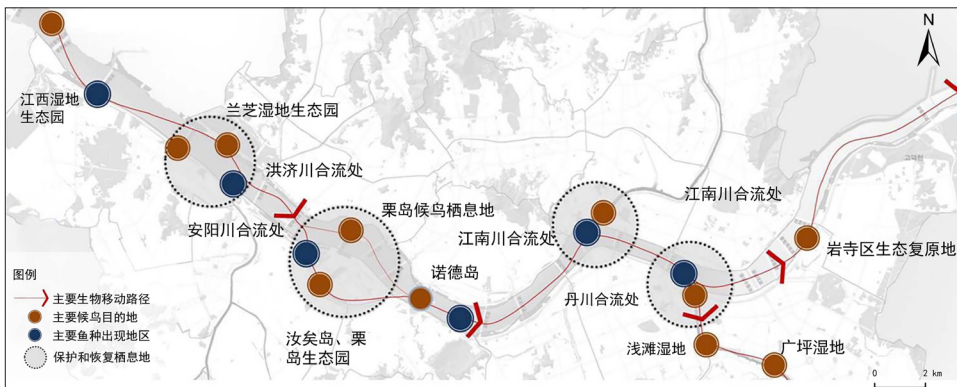


图13 河流生态防洪廊道  
Fig.13 River ecological flood control corridor

资料来源:笔者根据参考文献[40]绘制。

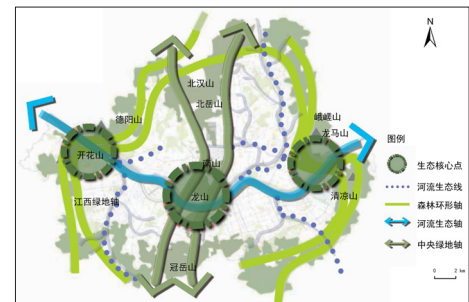


图15 首尔市城市生态防洪网络规划图  
Fig.15 Urban ecological flood control network planning map of Seoul

资料来源:笔者根据参考文献[40]绘制。

规划管理体系（见图16），提高洪涝灾害下的城市系统抵御、恢复、自组织的韧性能力<sup>[44]B</sup>。

具体流域管控上，汉江防洪中心作为四大江防洪指挥核心，承担了大坝整体运行策略编制、紧急灾害指挥、跨流域管理协调等任务。防洪管理的远期决策和日常管理仍需要与国土海洋部、农林水产食品部、环境部等部门协同，目前已在江河流域整治、防洪水库建设、管理基金设立方面有所实践<sup>[45]</sup>。

韩国洪涝风险响应的末端重点在于社区和非政府组织，政府通过发布社区洪水地图、共建安全城镇等途径，提升全民洪水风险预警防范能力、优化避灾自救路径，非政府组织也积极参与防洪规划制定工作，包括项目建议、规划设计、利益协调、建设实施和建后维护等内容<sup>[46]</sup>。

### 3 汉江经验对中国的启示

韩国汉江流域防洪规划理念的变革使得其从工程性规划理念转向“流域性生态协同”的韧性思路，通过流域层面的整体规划、提升河流行洪以及沿江城市的排涝能力，有利于实现汉江流域的生态防洪、天然护岸修复、流域与城市河流共融、韧性能力提升等规划目标。

我国东部中小流域作为流域人口密集的区域，年降水量多为550—1 500 mm，最高可达2 058 mm。据统计，该地区因洪涝灾害影响，年平均造成城市受灾面积15 011.2 km<sup>2</sup>，人员伤亡1 479.3万人，直接经济损失701.5亿元，是我国洪涝灾害发生程度、频次和影响范围最大的地区之一，洪涝灾害呈现流域性集中分布的特征。汉江流域早期规划环境包括洪灾

成因、流域水文环境等，与我国东部中小流域较为相似，可为我国东部中小流域应对流域性洪涝灾害的规划实施提供思路借鉴和参考。主要启示包括以下4个方面。

#### 3.1 搭建流域洪涝灾害风险监测评估与预警平台

实现流域防洪规划，必须注重“由灾后救助向灾前预防、由减少灾害损失向减轻灾害风险”这两个转变。目前我国东部中小流域洪涝灾害治理缺少风险韧性监测、评估和预警的风险管理平台，忽视了其对减轻经济损失、社会影响以及应对洪涝灾害韧性能力提升的基础性作用<sup>[47]</sup>（见图17）。

在灾害的监测和评估方面，我国应建立多流域协同的综合数据分析模型和洪水情景模拟平台，绘制基于多灾种、多重现期等因素的洪水灾害地图，指导水库防洪调度和生态防洪网络构建。据此绘制流域级国土空间利用风险区划蓝图和自然灾害保险管理图，推进沿江城市的防洪安全建设。在灾害的预警方面，中小流域应当利用应急广播、电视、互联网等媒介资源，建立重大灾害预警信息平台，以减少市民的受灾影响程度。

#### 3.2 完善流域联合调度防洪兴利的治水工程

我国东部中小流域防洪规划的工程实施目前仍采用传统固定汛限水位的调度规则，依靠中上游坝库的削峰、错峰形式疏解洪水。水工程动态联合调度是完善中小流域防洪规划策略的机制支撑<sup>[48]</sup>。未来，一是加强中小流域

中上游单水库的精细化管理。规则制定应结合水文数据和历史洪水防御经验，采用周期式洪水动态控制的模式，协调各流域间的水位管控。二是加强全流域、多工程协同的统筹调度。中小流域依托前期监测评估数据，对高危险度的河流段采取重点规划管控，并建立流域水工程联合调度实景化模拟平台，分段控制汛期洪水。在中上游片区，按照河流段防洪要求和现有库容水量，确定水库之间释放的优先顺序和释放量；在下游片区，适时启动蓄滞洪区和洲滩民垸的调度工程，提高整体应灾速度和防洪能力（见图18）。

#### 3.3 构建生态流域治理导向下的防洪网络

我国东部中小流域主要依靠水利工程施工调节洪水，导致河流及湿地生境蓄洪容积永久性减少，降低防洪韧性<sup>[49]</sup>。政府应摒弃“洪水抵御”的防洪规划逻辑，借鉴韩国汉江流域“与洪共生”的多元防洪韧性理念。首先，在规划前期，以流域生态性、河流自然性、城市宜居性为重点，根据洪涝灾害风险监测评估结果，划分河流生态斑块和城市绿地斑块，合理预设其实现防洪目标应达到的用地规模、相关措施及相应投资。其次，划定主要的河流生态防洪廊道与城市生态防洪廊道，连接不同流域间的生态通道，结合绿色空间规划体系和综合交通规划、流域环境规划在内的多类专项规划，推进流域和城市双重尺度下的生态防洪网络规划建设。

#### 3.4 建立多元主体参与的协同管理体系

我国东部中小流域目前仍实行自上而下的

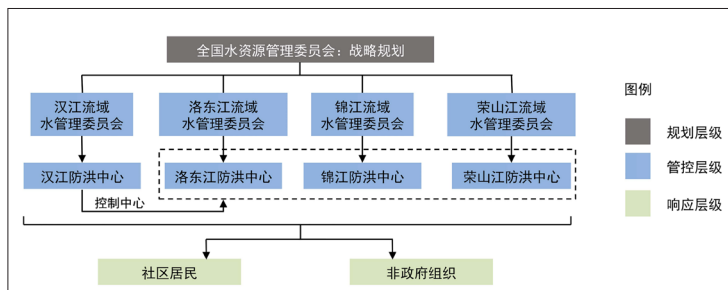


图16 韩国防洪规划管理体系

Fig.16 Flood control planning and management system in South Korea

资料来源：笔者根据参考文献[44]5-8绘制。

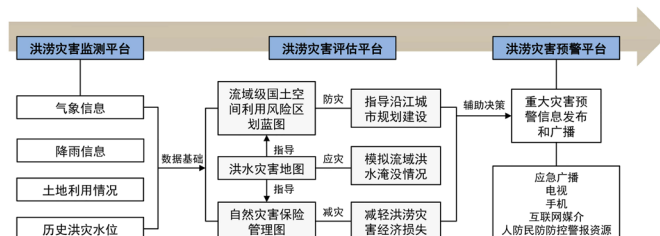


图17 中国东部中小流域洪涝灾害监测、评估和预警平台

Fig.17 Flood disaster monitoring, assessment and warning platform for small and medium-scale basins in Eastern China

资料来源：笔者自绘

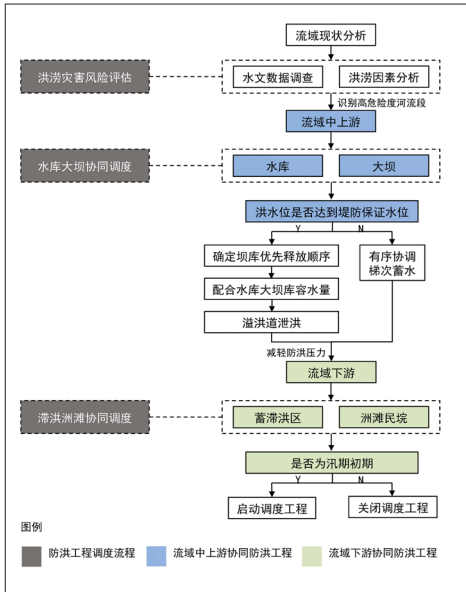


图18 中国东部中小流域防洪规划工程调度系统  
Fig.18 Flood control planning engineering system for small and medium-scale basins in Eastern China  
资料来源:笔者自绘。

单向治理模式,引发央地利益冲突、地方各自为政、公众参与匮乏等问题<sup>[50]</sup>。流域防洪规划是依赖于多元主体共识的长期战略,具体可从纵向和横向两个方面构建协同管理体系(见图19)。

首先,应构建“多政府协同流域管理委员会—流域监管机构—分支监管机构”的纵向执行机制。在规划层面,重视政府自上而下的主导作用,实现跨政府部门、跨流域、跨地区的洪涝治理方式,确定下辖流域管控单元的规划策略;在管控层面,流域监管机构根据上级规划战略,统筹负责综合管理事项,设立分支监管机构对防洪规划予以具体执行。其次,在响应层面,完善政府主导、市场协作、全民参与、部门监督的多元主体横向参与机制。充分促进政府、公民、非政府组织等对知识的共享、风险的共担和责权的分配,提升沿江城市的韧性水平。

#### 4 结论与展望

针对城市发展面临洪涝灾害频次和损害程度日益加剧的问题,本文基于韩国应对洪涝灾害的规划理念转变,探讨了韧性导向的汉江流域多元防洪规划策略。近年来,我国东部中小流域愈发重视防洪规划建设,在河流

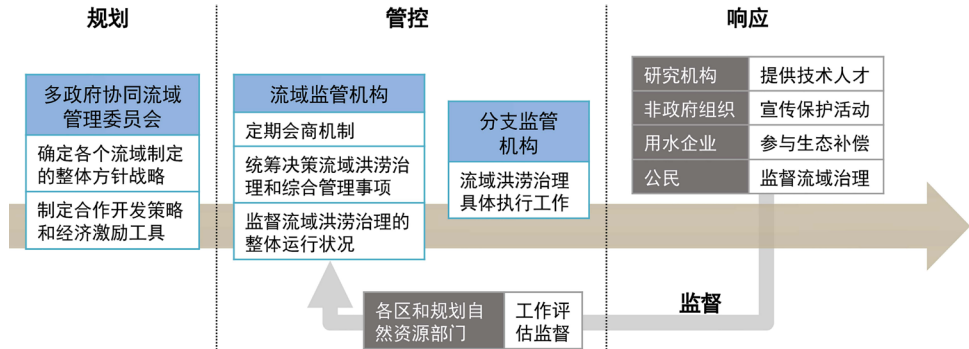


图19 中国东部中小流域防洪规划管理体系  
Fig.19 Flood control planning and management system for small and medium-scale basins in Eastern China  
资料来源:笔者自绘。

堤防、控制性水库、蓄滞洪区等工程建设方面取得显著成效,流域性防洪规划策略仍处在初步发展阶段。在韧性理念和汉江防洪规划经验的指导下,应适时调整规划策略。第一,防洪规划要制定洪涝灾害风险下全周期的韧性对策方案。在灾害前期,防洪规划要与洪涝灾害风险监测评估紧密配合;在灾害中后期,通过坝库协调、洪水保险等提高灾后恢复能力。第二,要构建地方政府主导下的跨部门、多规划协同管控和自下而上社区参与的防洪规划协同管理体系。

韧性理念下的流域多元防洪规划将具有广阔的应用前景,但由于中韩政治经济环境不同,新旧时期机遇、挑战不同,我国东部中小流域未来需要制定因地制宜、因时而异的防洪规划策略,可从以下两方面深入研究:一是怎样搭建科学有效的洪涝灾害风险评估平台,最大程度降低城市的灾害风险;二是如何优化适应中国国情的防洪规划模式,完善多部门协调下的洪涝灾害管理与流域统筹应用机制。<sup>[51]</sup>

#### 参考文献 References

[1] Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Emergency Management- Ministry of Education National Disaster Reduction

Center of China, Ministry of Emergency Management Information institute of the Ministry of Emergency Management. 2019 Global natural disaster assessment report[R]. 2020.

[2] 陈天,石川森,王高远. 气候变化背景下的城市水环境韧性规划研究——以新加坡为例[J]. 国际城市规划, 2021, 36(5): 52-60. CHEN Tian, SHI Chuanmiao, WANG Gaoyuan. Research on urban water environment resilience planning under the background of climate change: a case study of Singapore[J]. Urban Planning International, 2021, 36(5): 52-60.

[3] 赵瑞东,方创琳,刘海猛. 城市韧性研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2020, 39(10): 1717-1731. ZHAO Ruidong, FANG Chuanglin, LIU Haimeng. Progress and prospect of urban resilience research[J]. Progress in Geography, 2020, 39(10): 1717-1731.

[4] 邵亦文,徐江. 城市韧性:基于国际文献综述的概念解析[J]. 国际城市规划, 2015, 30(2): 48-54. SHAO Yiwen, XU Jiang. Understanding urban resilience: a conceptual analysis based on integrated international literature review[J]. Urban Planning International, 2015, 30(2): 48-54.

[5] 张湘洁,乔昌凯,万航,等. 气候变化条件下基于河岸带生态韧性的防洪堤高程优化模型[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2021, 19(3): 614-624. ZHANG Xiangjie, QIAO Changkai, WAN Hang, et al. Elevation optimization model of flood control levee based on ecological resilience of riparian zone under climate change[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2021, 19(3): 614-624.

[6] 廖桂贤,林贺佳,汪洋. 城市韧性承洪理论——另一种规划实践的基础[J]. 国际城市规划, 2015, 30(2): 36-47. LIAO Kuei-Hsien, LIN Hejia, WANG Yang. A theory on urban resilience to floods—a basis for alternative planning practices[J]. Urban Planning International, 2015, 30(2): 36-47.

[7] LIAO K H, LE T A, VAN NGUYEN K. Urban design principles for flood resilience: learning from the ecological wisdom of living with floods in the Vietnamese Mekong Delta[J]. Landscape and Urban

- Planning, 2016, 155: 69-78.
- [8] 刘明欣, 王世福, 谢纯. 瑞士图尔河再自然化的理念与措施[J]. 国际城市规划, 2017, 32 (5): 111-120. LIU Mingxin, WANG Shifu, XIE Chun. Re-naturalizing the Thur River: theories and measures[J]. Urban Planning International, 2017, 32(5): 111-120.
- [9] 曹哲静. 荷兰空间规划中水治理思路的转变与管理体系统探究[J]. 国际城市规划, 2018, 33 (6): 68-79. CAO Zhejing. Transition of flood control and water management in the Netherlands' spatial planning with analysis of its management system[J]. Urban Planning International, 2018, 33(6): 68-79.
- [10] KIM S, TACHIKAWA Y, TAKARA K. Recent flood disasters and progress of disaster management system in Korea[J]. Annuals of Disaster Prevention Research Institute of Kyoto University, 2007, 50(B): 15-31.
- [11] WOO H, KIM W. Floods on the Han River in Korea[J]. Water International, 1997, 22(4): 230-237.
- [12] 국토연, 기후위기시대. 홍수관리대책 전환과 정책 추진 방안[R/OL]. (2016)[2021-07-12]. <https://www.lak.co.kr/m/news/view.php?id=11635>.
- [13] Presidential Commission on Green Growth Republic of Korea. Republic of Korea road to our future green growth: national strategy and the Five-Year Plan (2009-2013)[R]. 2009.
- [14] 陈华, 徐坚, 盛晟, 等. 面向流域防洪安全的态势图谱构建及可视化方法[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020, 48 (6): 498-505. CHEN Hua, XU Jian, SHENG Sheng, et al. Construction and visualization methods of situation map for flood control in river basin[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2020, 48(6): 498-505.
- [15] 张辰, 章林伟, 莫祖澜, 等. 新时代我国城镇排水防涝与流域防洪体系衔接研究[J]. 给水排水, 2020, 56 (10): 9-13, 58. ZHANG Chen, ZHANG Linwei, MO Zulan, et al. Discussion on coordination of control systems between urban flooding and river basin flooding in new era[J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 56(10): 9-13, 58.
- [16] 郇宇琦, 王春连. 基于燕尾洲生态护堤模式的金华江流域防洪效应研究[J]. 生态学报, 2019, 39 (16): 5955-5966. LI Yuqi, WANG Chunlian. Yanweizhou ecological embankment strategy and its effects on flood control in the Jinhua River Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(16): 5955-5966.
- [17] CHOI I C, SHIN H J, NGUYEN T T, et al. Water policy reforms in South Korea: a historical review and ongoing challenges for sustainable water governance and management[J]. Water, 2017, 9(9): 717.
- [18] 배봉원. 수력발전의 과거, 현재 그리고 미래[EB/OL]. (2015-09-21)[2021-09-05]. <http://www.energydaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=64329>.
- [19] WOO H. Trends in ecological river engineering in Korea[J]. Journal of Hydro-environment Research, 2010, 4(4): 269-278.
- [20] 김의원. 한국국토개발사연구[M]. 서울: 대학도서, 1982.
- [21] 강용배. 국토종합개발계획[EB/OL]. (2006-12-01)[2021-09-07]. <https://www.archives.go.kr/next/search/listSubjectDescription.do?id=001372&sitePage=1-2-1>.
- [22] KIM W, WOO H S, KIM S M. 수자원장기종합계획 수정 보완[C]//Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference. Korea Water Resources Association, 1997: 295-300.
- [23] 유선일. 낙동강 폐놀유출 사건[EB/OL]. (2012-09-17)[2021-11-15]. <https://m.etnews.com/201209110610>.
- [24] 문화체육관광부 홍보지원국. 소중한 우리 4대강에 새물결이 흐르다[EB/OL]. (2011-12-19)[2021-06-11]. <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148724147>.
- [25] 안형기. 물관리정책의 진화과정과 4대강정비사업[J]. 한국정책과학학회보, 2009, 13(4): 143-170.
- [26] 김범수. 국민이 공감하는 통합 물관리 방향: 유역관리와 이해관계자 참여 중심[EB/OL]. (2019-03-19)[2021-06-09]. [https://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=gri\\_blog&logNo=221491810193&categoryNo=8&parentCategoryNo=0](https://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=gri_blog&logNo=221491810193&categoryNo=8&parentCategoryNo=0).
- [27] KIM H Y, SHIN C, PARK Y, et al. Water resources management in the Republic of Korea: Korea's challenge to flood & drought with multi-purpose dam and multi-regional water supply system[J]. Inter-American Development Bank Technical Note, 2018, 1566.
- [28] 환경부. 한강홍수통제소 수자원정보센터. 홍수위험지도정보시스템[EB/OL]. (2018-12-31)[2021-08-12]. <https://floodmap.go.kr/public/publicIntro.do>.
- [29] CHOI Y, LEE E, JI J, et al. Development and evaluation of the hydropower reservoir rule curve for a sustainable water supply[J]. Sustainability, 2020, 12(22): 9641.
- [30] LEE S, KANG T, LEE K S. An operational model of a reservoir system simulation for real-time flood control in the Han River Basin[J]. Journal of Flood Risk Management, 2017, 10(4): 499-510.
- [31] KO I H, CHOI Y H. Reevaluation of operational policies for a reservoir system[J]. Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers, 1997, 39(2): 1-8.
- [32] 김정엽, 박명기, 이기하, et al. 한강수계 저수지군의 갈수대응 운영을 위한 Hedging Rule 의 개발과 적용성 평가[J]. 한국수자원학회 논문집, 2014, 47(10): 891-906.
- [33] KIM J, KANG J. Analysis of flood damage in the Seoul metropolitan government using climate change scenarios and mitigation technologies[J]. Sustainability, 2021, 13(1): 105.
- [34] CHOI Y, KANG J, KIM J. Urban flood adaptation planning for local governments: hydrology analysis and optimization[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2021, 59: 102213.
- [35] 경제인문사회연구회. 지속가능한 하구역 관리 방안 III[R]. 2006.
- [36] 경제인문사회연구회. 지속가능한 하구역 관리 방안 II[R]. 2003.
- [37] 한국환경정책·평가연구원. 한강하구 상태평가 및 환경정보 공유 플랫폼 개발 연구[R]. 2020.
- [38] 서울시립대학교. 한강공원 보전 및 관리에 관한 기본계획 수립[R]. 2018.
- [39] 서울연구원. 한강 자연성 회복 기본계획 수립을 위한 연구용역[R]. 2012.
- [40] 홍진기. 한강을 생명의 강으로 살린다[EB/OL]. (2013-03-21)[2021-05-25]. <http://www.gwangjin.com/10548>.
- [41] 환경부. 한강유역환경청. 한강서울 중권역 물환경관리계획(2017—2021)[R]. 2017.
- [42] 한강유역환경청. 한강서울 중권역물환경관리계획(2013—2015)[R]. 2014.
- [43] 한강유역환경청. 한강서울 중권역물환경관리계획(2008—2012)[R]. 2010.
- [44] 국토해양부. 4대강살리기마스터플랜[R]. 2009.
- [45] 녹색관광과. 4대강 살리기 마스터플랜 최종 확정[EB/OL]. (2009-06-08)[2021-06-24]. [https://mcst.go.kr/kor/s\\_notice/press/pressView.jsp?pSeq=9998](https://mcst.go.kr/kor/s_notice/press/pressView.jsp?pSeq=9998).
- [46] 사단법인 서울환경연합. 연혁[EB/OL]. (2016)[2021-06-05]. <http://ecoseoul.or.kr/%ec%97%b0%ed%98%81?kattempt=1##his13>.
- [47] 万定生, 王坤, 朱跃龙, 等. 中小河流洪水预报智能调度平台关键技术[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2021, 49 (3): 204-212. WAN Dingsheng, WANG Kun, ZHU Yuelong, et al. Key technologies of intelligent flood forecasting and dispatching platform for small and medium-sized basins[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2021, 49(3): 204-212.
- [48] 李炎隆, 王胜乐, 王琳, 等. 流域梯级水库群风险分析研究进展[J]. 中国科学: 技术科学, 2021, 51 (11): 1362-1381. LI Yanlong, WANG Shengle, WANG Lin, et al. Research progress on risk analysis of cascade reservoirs in river basin[J]. Scientia Sinica Technologica, 2021, 51(11): 1362-1381.
- [49] 钟业喜, 邵海雁, 徐展璐, 等. 基于文献计量分析的流域山水林田湖草生命共同体研究进展与展望[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2020, 44 (1): 95-101. ZHONG Yexi, SHAO Haiyan, XU Chenlu, et al. The research progress and prospect of life community of mountain, river, forest, farmland, lake and grassland in watershed based on bibliometric analysis[J]. Journal of Jiangxi Normal University (Natural Science), 2020, 44(1): 95-101.
- [50] 王清军. 我国流域生态环境管理体制: 变革与发展[J]. 华中师范大学学报(人文社会科学版), 2019, 58 (6): 75-86. WANG Qingjun. The system of China's watershed eco-environmental management: change and development[J]. Journal of Central China Normal University (Humanities and Social Sciences), 2019, 58(6): 75-86.