

DOI: 10.20103/j.stxb.202308111728

戴伟,尹新.荷兰水治理经验对我国雨洪韧性空间规划的启示和战略思考.生态学报,2024,44(24):11484-11496.

Dai W, Yin X. The inspirations of Dutch experience in water governance to Chinese spatial planning for rain and flood resilience. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(24):11484-11496.

# 荷兰水治理经验对我国雨洪韧性空间规划的启示和战略思考

戴 伟<sup>1,2</sup>, 尹 新<sup>3,\*</sup>

1 浙大城市学院国土空间规划研究院, 杭州 310015

2 浙大城市学院国土空间规划学院, 杭州 310015

3 山东建筑大学建筑城规学院, 济南 250014

**摘要:**近年来,我国雨洪灾害频发,给人民生命财产造成了重大损失,反映出我国部分城市仍存在雨洪韧性能力不足的问题。荷兰是世界上海拔最低的国家,在应对气候变化和雨洪风险方面取得了很好的成绩,逐渐形成了富有韧性的水治理新范式。研究介绍了荷兰水治理概况、若干典型水治理项目、水治理行政框架、水治理法规体系等,剖析了荷兰治水理念的不断深化过程,总结了荷兰在水治理方面的主要经验,即坚持更长更广更深的水治理策略、“国家、省、市”三级协同治理、水利工程和空间规划紧密结合、多层次雨洪风险防控体系、提供更多的韧性空间、水治理和国土空间规划体系从深度合作向一体化转变。借鉴荷兰经验并结合我国国土空间规划实际情况,研究尝试提出坚持底线思维、问题导向、顺应跨尺度的水文自然过程、提升蓝绿网络的连通性、将灰色基础设施改造提升与基于自然的解决方案(Natural-based Solution)相结合、扩大承水缓冲空间、提高有效救灾能力、构建水治理顶层制度框架、将雨洪韧性理念全面融入到各级空间规划体系九点战略思考,旨在为我国雨洪韧性空间规划提供参考。

**关键词:**水治理;荷兰经验;雨洪韧性;空间规划;启示;战略思考

## The inspirations of Dutch experience in water governance to Chinese spatial planning for rain and flood resilience

DAI Wei<sup>1,2</sup>, YIN Xin<sup>3,\*</sup>

1 Research Institute for Urban Planning and Sustainability, Hangzhou City University, Hangzhou 310015, China

2 School of Spatial Planning and Design, Hangzhou City University, Hangzhou 310015, China

3 School of Architecture and Urban Planning, Shandong Jianzhu University, Jinan 250014, China

**Abstract:** In recent years, China has experienced frequent rain and flood disasters, which result in serious losses of lives and property. The recent heavy rainfall in Beijing from July 29<sup>th</sup> to August 2<sup>nd</sup> in 2023 once again highlighted the insufficient capacity of rain and flood resilience in China. The occurrence of rain and flood disasters is influenced by a multitude of factors. For instance, the primary external factor is climate change, which results in an escalation in the duration and frequency of rainstorms, including extreme ones. Additionally, there are internal factors such as unsustainable urban development that leads to fragmented blue-green infrastructures, thereby compromising water regulation and storage capacity. Furthermore, the standards for preventing and controlling urban waterlogging in grey infrastructure have been lowered. With unsustainable urban urbanization coinciding with climate change both temporally and spatially, the number of factors contribute to rain and flood disasters in China increase. In contrast, the Netherlands, known as the world's lowest-

**基金项目:**浙江省自然科学基金探索青年项目(LQ22E080016);浙江省社会科学界联合会研究课题(2024N087);浙江省应急管理厅应急管理研发攻关科技项目(2024YJ016);浙大城市学院国土空间规划研究院开放课题

**收稿日期:**2023-08-11; **网络出版日期:**2024-09-10

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 14029@sdjzu.edu.cn

lying country with 26% of its land situated below 1m below sea level, experienced numerous devastating rain and floods. Notably, four major rain and floods occurred in 1916, 1953, 1993 and 1995 respectively, resulting in significant losses of life and property. The unique natural conditions compelled the Dutch to embark on an extensive and arduous exploration of water governance. Since the 1990s, the Netherlands has increasingly relied on hydrological processes within its water ecosystem. The Dutch have successfully integrated both grey infrastructure and blue-green infrastructure while employing a combination of engineering and non-engineering measures for water control purposes. Consequently, they have made great achievements in addressing rainfall events and flood occurrences. Over time, the Dutch has experienced a transition process from “working against water” to “working with water” in the concept of water governance. This article firstly introduces the Dutch general situation, typical projects of water governance and the administrative framework of water governance. Secondly, the main experiences of water governance are analysed including a three-level collaborative system, a framework of integrating between water governance and spatial planning, a multi-level rain and flood risk prevention system, strategies of room for more resilient space, etc. Thirdly, drawing from the Dutch experiences and considering the specific conditions in China, the article puts forwards nine suggestions such as adopting a bottom-line thinking approach, enhancing vulnerability awareness and problem-based solutions, scaling hydrological processes, improving blue-green network connectivity, combining grey infrastructure upgrades with nature-based solutions, expanding effective disaster relief support, establishing a top-level system framework for water governance, and integrating rain and flood resilience concepts into spatial planning, etc. This paper can serve as a valuable reference for implementing spatial planning for rain and flood resilience in China.

**Key Words:** water governance; Dutch experience; rain and flood resilience; spatial planning; inspiration; strategic thinking

近年来,极端暴雨引发的雨洪灾害频发。例如,2021年7月17—23日,河南省遭遇了历史罕见强降雨,因灾死亡失踪398人。郑州市受灾最为严重,主城区发生了地铁5号线人员伤亡事件,引发了重大社会影响<sup>[1]</sup>。2023年7月29日—8月2日北京遭遇了特大暴雨,造成了大面积受灾和人员伤亡。根据中华人民共和国水利部发布的《中国水旱灾害防御公报》,2000—2020年间我国因雨洪灾害造成的直接经济损失年均达到1724.4亿元<sup>[2]</sup>。雨洪灾害造成了街毁路塌、交通瘫痪和房屋破损的现象,严重暴露了我国一些城市雨洪韧性能力的不足。

造成雨洪灾害的原因很多,既有全球气候变暖导致的极端暴雨发生频率增加和暴雨持续时间延长等外部原因,又有灰色基础设施中重现期设计标准偏低<sup>[3]</sup>、绿色基础设施被蚕食、河网容量减少、水调蓄功能减弱等内部原因<sup>[4-7]</sup>。随着全球气候进一步变化,诱发雨洪灾害的驱动因子的多样化程度加大,极大地增加了雨洪风险。当前,我国面临着水安全问题突出、水资源调控复杂、水环境污染频发等挑战,还存在水治理与国土空间规划不协调的现象<sup>[8]</sup>,对城市雨洪韧性研究的系统性不强。如何系统地将雨洪韧性理念融合到各级国土规划体系中,已经成为应对雨洪风险的重要课题。雨洪韧性空间规划需要从水系统的整体性、复杂性和多样性出发<sup>[9]</sup>,从生态智慧的视角进一步探寻实现城市雨洪安全的路径<sup>[10]</sup>,破解城市单一依靠传统灰色基础设施难以应对气候变化带来的雨洪灾害问题,推动大尺度水治理内在联动机制的解译和规划路径的构建。

雨洪灾害是世界各国都面临的自然灾害。荷兰是世界上海拔最低的国家,26%的国土低于海平面1 m以下。荷兰历史上发生过多雨洪灾害,仅20世纪就发生过4次(1916、1953、1993、1995年),给荷兰造成了巨大的人员与经济损失。特殊的自然条件迫使荷兰人在水治理方面进行了长期地艰苦的探索。特别是20世纪90年代以来,荷兰人更加注重国土空间发展与水安全底线,将灰色基础设施与绿色基础设施、工程治水措施与非工程治水措施相结合,实施了《三角洲项目(Delta Programme)》《三角洲决策(Delta Decision)》《三角洲规划(Delta Plan)》《国家气候适应性空间规划(National Programme for Adaptation of Space and Climate)》《国家水规划(National Water Plan)》《国家基础设施和空间结构愿景(Infrastructure and Spatial Structure Vision)》等一

系列项目,在水治理方面经历了从“以工程抵抗为主”到“适应气候变化”的转变过程,在应对雨洪风险方面取得了很好的成绩,积累了丰富的实践经验。

基于此,本研究在挖掘荷兰水治理总体情况基础上,重点探索两个问题:(1)荷兰水治理经验主要有哪些,如何为我国所用?(2)结合我国国土空间规划的实际情况,我国雨洪韧性空间规划可在哪些方面加以提升?本研究旨在为我国雨洪韧性空间规划提供参考。

## 1 荷兰水治理概况

荷兰现有人口 1759 万,国土面积 4.15 万  $\text{km}^2$ ,海岸线有 1800 km 长的大坝和岸堤。根据国际政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)发布的报告,荷兰 55% 的国土面积受到潜在雨洪风险的影响。早期的防洪主要依靠工程大坝来提高防洪标准。例如,须德海围海工程(Zuiderzee Works, 1920—1980 年)和三角洲工程(Delta Works, 1954—1986 年)使荷兰工程治水达到了顶峰,在世界上久负盛名。但是,伴随着堤坝的建成和填海造田的推进,沿海地区土地沉降加剧。加上全球气候变暖使海平面上升、暴雨频度和强度增加等问题,荷兰仍面临着严重的雨洪风险。在此背景下,荷兰人开始将工程治水与国土空间规划紧密结合,注重基于自然过程的跨区域协调发展,在治水理念上经历了从工程抵抗到与水共生、适应气候变化的发展过程,积累了富有韧性的水治理经验。

### 1.1 须德海围海工程(1920—1980 年)

1916 年发生的特大洪水使荷兰须德海地区遭受了严重的损失。1918 年,荷兰议会通过了须德海围海工程。该工程通过建设大规模、高标准的拦海大坝,预防雨洪灾害发生,以保护原有和被新围垦的土地不受雨洪侵袭。须德海围海工程包含两大部分:建造拦海大坝和填海造地。为封堵潮汐通道,荷兰于 1932 年建成了阿夫鲁戴克(Afsluitdijk)拦海大坝。该大坝宽 90 m,高出海面 7 m,长 32.5 km,有 5 座泄水闸和 2 个船闸。阿夫鲁戴克拦海大坝将前须德海与外海隔开。拦海大坝外侧与北海连通,内侧通过疏挖南海和排咸纳淡,变成了如今荷兰的内湖埃塞尔湖(Ijsselmeer)(图 1)。

阿夫鲁戴克拦海大坝的建成,极大地降低了海水对荷兰北部海岸线侵袭的风险。由于拦海大坝的建立,荷兰北部海岸线缩短了 300 km,原防洪堤岸缩短了 45 km,大大地改善了农田灌溉和排水条件,有效地防止了土地盐碱化。在阿夫鲁戴克拦海大坝阻挡荷兰北部海岸线洪水侵袭的条件下,维灵厄梅尔垦区

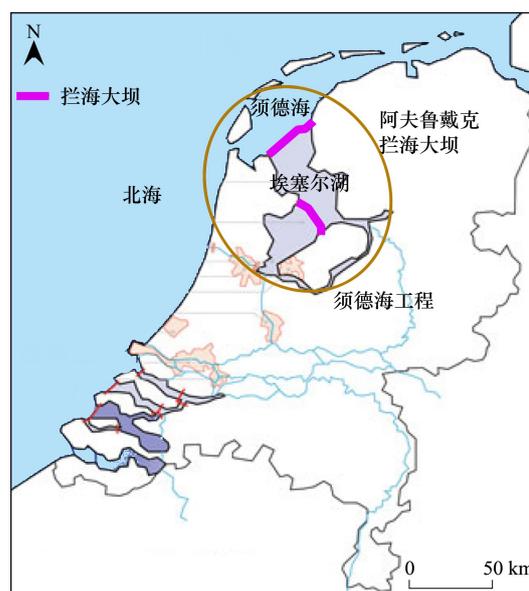


图 1 须德海工程(1920—1980 年)<sup>[11]</sup>

Fig.1 Zuiderzee Works(1920—1980)

(Wieringermeer, 1926—1930 年)、东北垦区(Noordoost, 1937—1942 年)、东弗莱沃兰垦区(East Flevoland, 1950—1957 年)、南弗莱沃兰垦区(South Flevoland, 1959—1968 年)、马克瓦德垦区(Markerwaard) 5 个垦区共填海造田 2600  $\text{km}^2$ ,为荷兰提供了大量的粮食。阿夫鲁戴克拦海大坝成为了连接荷兰东北部和西北部的交通干线。如今,这个宏伟的工程已经成为了世界著名的旅游观光点。

### 1.2 三角洲工程(1954—1986 年)

1953 年荷兰遭遇了特大洪水灾害,淹没了西南部 2070  $\text{km}^2$  的土地。泽兰(Zeeland)省和南荷兰岛屿 90 多个大堤被海水冲毁。灾后,荷兰国会于 1958 年批准了《三角洲工程(Delta Works)》。整个工程修建了 5 座主要防洪坝,包括斯艾瑟防洪坝(Ijssel, 1958 年完成)和费尔瑟防洪坝(Veerse, 1961 年完成)、哈灵水道防洪

坝 (Haringvliet, 1971 年完成)、布劳沃斯防洪坝 (Brouwers, 1983 年完成)、东斯海尔德河防洪坝 (Oosterschelde, 1986 年完成),总长度达到 30 km。其中最负成名的东斯海尔德河防洪坝,全长达 9 km,采用了可调节的闸门。闸门在超高水位时关闭,在常水位时保持敞开。闸门在防洪挡潮的同时,兼顾西南部近海生态系统的正常运行(图 2)。

《三角洲工程》的建成,进一步改变了荷兰西南部近海与河流的水动力,减少了泥沙淤积。西南部河口地区防洪标准提高至 4000 年一遇,内陆地区防洪标准更是提高至 10000 年一遇,保障了鹿特丹港和安特卫普港的航运安全。

### 1.3 国家层面的空间规划

荷兰前后经历了 5 次国家层面的空间规划(1960、1966、1974、1988—1991、2004 年)、1 次国家气候适应性空间规划(2006 年)、1 次基础设施与空间结构愿景规划(2012 年)。空间规划经历了“分散发展策略(1960 年)—极核式扩散发展策略(1966 年)—紧凑城市发展策略(1974 年)—网络城市发展策略(1990 年)—提高空间质量的发展策略(2004 年)”的发展路径。

从 20 世纪 70 年代开始,荷兰将水治理与国土空间规划紧密结合,更加重视经济发展、国土空间开发带来水安全问题。1990 年出台的第四次国家空间规划,提出了集约利用土地的发展策略,确立了紧凑城市、绿色缓冲区、绿心地带等重点发展地区和自然生态保护区。2004 年出台的第五次国家空间规划,提出了提升空间质量、给河流以空间、整合绿色自然资源、环境保护区等发展策略,维护区域生态平衡。2006 年出台的《国家气候适应性空间规划(National Programme for Adaptation of Space and Climate)》,提出了优化自然过程、构建跨尺度交互、提升国土空间应对气候变化的适应能力等发展战略,明确了北海沿线区域应重点防御海平面上升造成的洪涝灾害,兰斯塔德(Randstad)地区应重点营造与水系统协同的良好城镇和自然景观。2012 年,荷兰颁布了《国家基础设施与空间结构愿景规划(Infrastructure and Spatial Structure Vision)》(图 3)。

### 1.4 三角洲项目(2011—2016)

在长期实践中,荷兰人意识到抵御雨洪风险除了依靠工程大堤、大坝等灰色基础设施之外,还需要通过配合国土空间规划,提高地区的水调蓄能力。2007 年,荷兰成立了三角洲委员会(Delta Committee)。2008 年,三角洲委员会发布了《与水共生(Working Together with Water)》的报告。从 2010 年起,荷兰先后实施了《给河流以空间(Room for River), 2006—2015》《缪斯项目(Meuse Project), 2013》《全国气候变化自适应战略(Adaptive Strategy for Climate Change, 2017)》《国家水规划(Water Plan), 2016 至今》等典型空间规划项目,将

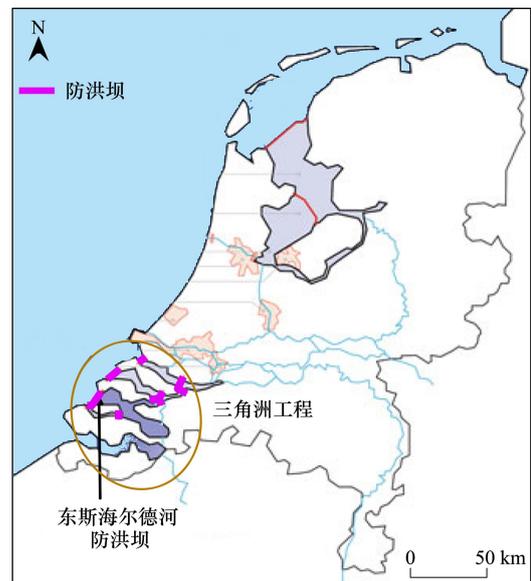


图 2 三角洲工程(1954—1986 年)<sup>[11]</sup>

Fig.2 Delta Works(1954—1986)

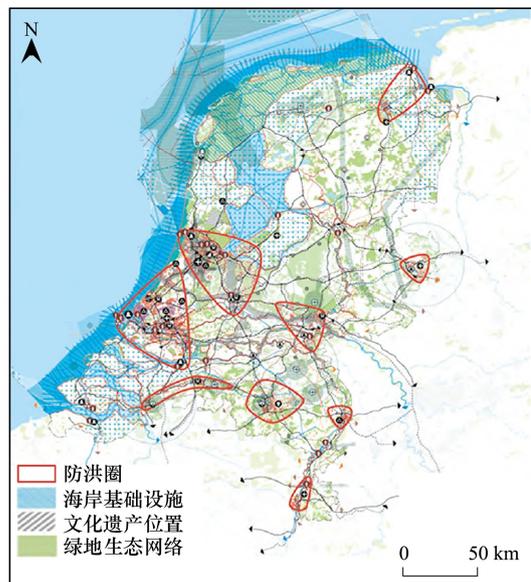


图 3 国家基础设施和空间结构愿景规划,2040 年<sup>[12-13]</sup>

Fig.3 Infrastructure and Spatial Structure Vision, 2040

雨洪安全、可持续水治理和空间自适应开发作为实现国家百年安全(2050—2100年)的三大目标。《三角洲项目2015》中进一步提炼出了《三角洲决策》计划,将荷兰全境分为6大片区(图4),从洪水防御体系、空间规划引导、雨洪危机管理、智慧策略等方面,对每个片区制定具有针对性的水治理。《给河流以空间》项目实施了40条河流、39个关键水节点的改造工程,把防御性与生态性策略共同纳入到水治理体系中。《缪斯河项目》中,针对埃塞尔内湖区提出了兼顾防洪安全和淡水供给的水位高度控制要求。针对瓦登(Wedden)地区,提出了水生态保育区涵养的目标。

### 1.5 《三角洲规划》(2017年)

2017年,荷兰出台了《三角洲规划》,提出将气候变化作为水治理的重要因素。通过水土整合、创造韧性空间等措施,将水治理与国土空间规划相结合,发布了《气候自适应城市条约》,从宏观上制订了战略框架,实施了气候监测、多元参与、知识共享等非工程性措施。

## 2 荷兰水治理管控体系简介

### 2.1 水治理行政框架

荷兰水管理部成立于1906年,1967年重组成为交通、公共工程和水管理部。水利管理局隶属于水管理部。作为荷兰水管理事务和政策制定的最高行政部门,负责河流、河涌、堤防和圩田的建设、管理和维护。

荷兰国家规划局成立于1941年,隶属于重建和公共住房部,作为国家规划事务和政策制定最高行政机构。此后,国家规划局经历了重大变革:1965年更名为国家空间规划局,隶属于公共住房与空间规划部。2002年重组为国家空间规划总局,隶属于住房、空间规划和环境部。

将上述水治理与空间规划两大体系整合在一起的标志性时间节点是2010年。2010年来,荷兰成立了基础设施和环境部,后于2017年成立了基础设施和水管理部,水治理开始与国土空间规划相衔接。将交通、公共工程和水管理部、住房、空间规划和环境部以及其他相关机构合并于国家基础设施和环境部中,下设国家空间规划与水管理总局和水利管理局,这在国家级层面完成了水管理与国土空间规划两大体系的机构一体化。国家空间规划与水管理总局负责国家有关洪涝风险缓解、水资源管理、国土开发、空间管控等战略。省和市通过区划图则的制定对水治理负有责任。荷兰国家基础设施和环境部与省市相关政府机构、私人部门、研究机构、公众紧密联系。图5反映了荷兰20世纪初以来水管理与空间规划国家机构改革的演变历程。

### 2.2 水治理法规体系架构

荷兰于1904年颁布了《土地开垦和堤坝建设法规(Containing Provisions on Land Reclamation and Construction of Dikes)》,1970年颁布了《地表水防污法规(Surface Waters Pollution Act)》,1981年颁布了《地下水防污法规(Groundwater Act)》,1989年颁布了《水资源管理法规(Water Management Act)》,1996年颁布了《洪水防御法规(Flood Defences Act)》等多部水治理法律法规,为水治理提供了法律法规保障。

为了应对气候变化和海平面上升对防洪安全的影响,2009年荷兰颁布了新版《水法》。新版《水法》整合了各类法规,从宏观层面提出了管理战略,为处理好水质与水量、地表水与地下水、水源土地与使用者之间的关系,保障淡水供给,促进水资源综合管理等提供了法规依据。基本洪水防御架构由《水法》确定,公共水道标准由《水法令》和其他规章制度确定,有力地保障了国土空间规划中水治理措施的实施。

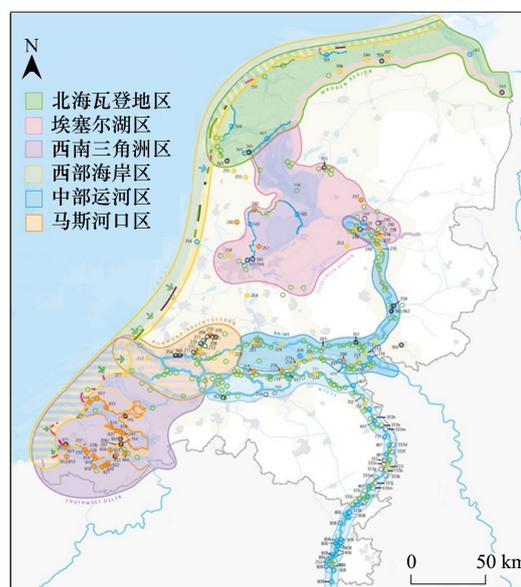


图4 三角洲决策,2015年<sup>[14]</sup>

Fig.4 Delta Decision, 2015

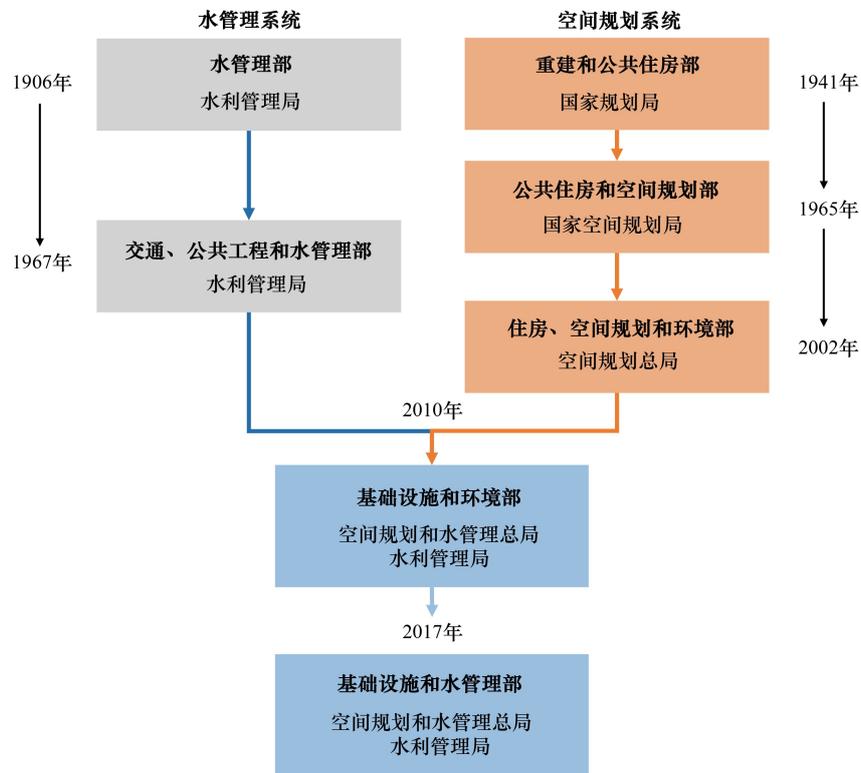


图 5 20 世纪初以来荷兰水治理与空间规划国家机构改革演变历程<sup>[15-18]</sup>

Fig.5 The evolution of national institutional reform for water governance and spatial planning since 1900in the Netherlands

### 3 荷兰水治理经验总结

本研究对上述荷兰水治理工程、空间规划和水治理管控体系进行了全面地剖析,认为荷兰不仅通过堤防工程来降低雨洪风险,而且通过协同空间规划,积极创造雨洪韧性空间,来减缓雨洪灾害带来的损失。水治理理念从早期单一依靠工程干预来提高防洪标准,到后期加强工程与国土空间规划协同降低灾害损失的思路转变,使空间更具有雨洪韧性,以更高的灵活性应对气候的变化。

荷兰水治理的经验主要有如下 6 点。

#### 3.1 坚持更长更广更深的水治理策略

荷兰水治理坚持“更长、更广、更深”的策略,高度重视全球气候变化造成的暴雨频发和海平面上升带来的雨洪风险。通过对气候变化趋势预测、区域脆弱性分析、潜在风险区评估、国土空间规划方案制定、成本效益分析等诸多环节,规划国土空间开发的优先级,实现灰色基础设施与蓝绿基础设施、工程治水措施与非工程治水措施、提升空间质量与雨洪防御目标等三个相结合。

荷兰坚持底线思考,高度重视气候变化带来的雨洪风险。在“抵御气候变化”方面,重视发挥国土空间规划的重要作用。在《国家气候适应和空间规划》中,将提升对雨洪灾害的“抵抗力、恢复力和适应能力”作为提升城市韧性的主要内涵。2009 年,荷兰出台的《国家水计划》,强调“从雨洪灾害的恢复的能力”。同时,荷兰提出将预防洪水作为 21 世纪空间规划的新范式,制定了《基础设施和空间结构愿景规划》《三角洲项目》等,并采取了多种旨在增强雨洪韧性的方法。在《代尔福兰德补沙引擎》工程中,根据地域特点,利用风、水流、潮汐的长期影响,让自然做功固沙,防止岸线沙土被海浪侵蚀(图 6)。在《哈灵水道适应性堤岸》项目中,运用多情景分析法,模拟了三角洲出海口处填海建立岛屿、开启大坝、闭合大坝、前移堤坝、后退堤坝等多种不同情景,分析了不同情景对三角洲出海口地区土壤、水源、生态、农业、渔业和城市可能造成的影响,从中提出生态

冗余度大、适宜中远期发展的三角洲出海口地区堤坝系统管理方案。

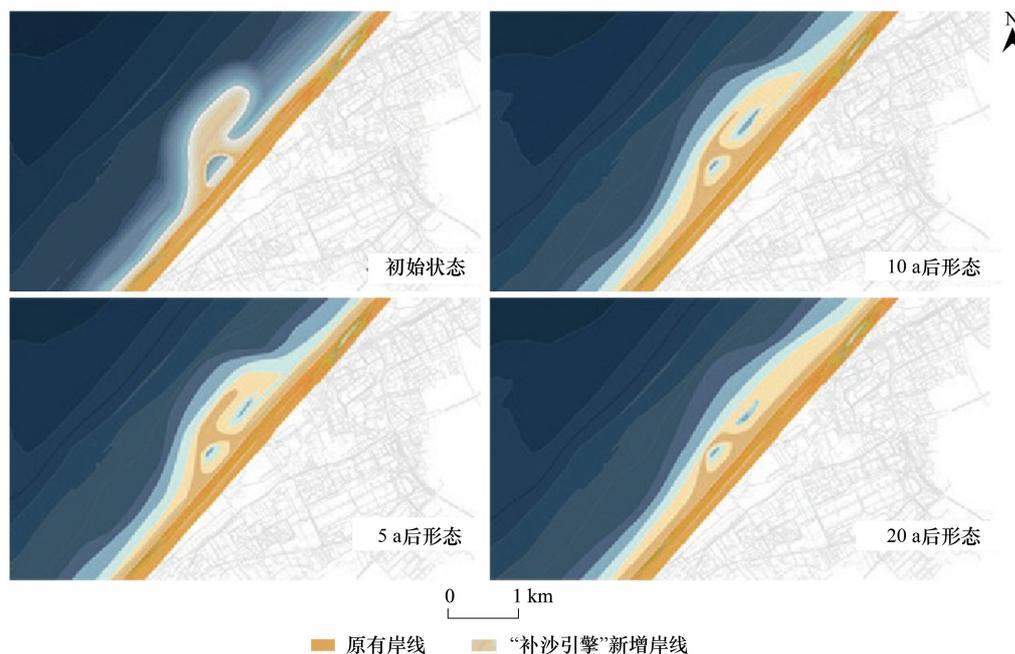


图6 《代尔福兰德补沙引擎》工程实施后岸线形态随时间演变模拟图<sup>[19-20]</sup>

Fig.6 Simulation of coastline shape with time -after implementation of "sand motor" in Ter Heijde

### 3.2 “国家、省、市”三级协同治理

针对全域国土生态脆弱的特点,荷兰坚持系统调控观点。基于对气候变化、水环境生态和城市空间三者之间的耦合关系,探讨不同的空间要素对水治理综合目标的影响强度,将城市发展立足于自然基底可承载的基础上。在水治理管控框架方面,荷兰实施了“国家、省、市”三级协同水治理系统。国家级水治理规划主要解决战略问题。省级规划在区域尺度上落实国家战略,将国家级水治理规划中确立的原则转化为区域内的实施原则。市级规划分为结构规划和土地分区图则。通过定分区格局、定指标、定项目的方式,落实水治理方案,实施三级协同治理。在《国家水资源管理愿景》《基础设施和空间结构愿景规划》中,通过关键途径与技术方法,对水环境规划进行引导和控制,以维持水生态。例如,《三角洲工程》由12个大项目组成,基于社会团结、灵活性、可持续性的价值导向,将水安全作为国家的百年目标之一,将整个水治理分布在莱茵河河口——德雷赫特斯特登、西南三角洲、埃塞尔湖区、运河、海岸、瓦登地区等6大地理区位实施,形成六个地区子项目。

### 3.3 水利工程和空间规划紧密结合

荷兰早期的防洪主要依靠修建水利大坝工程,采用基于灰色基础设施的刚性防御措施。须德海围海工程和三角洲工程使荷兰治水达到了顶峰。这些堤坝工程建设规模大、防洪标准高,有效地抵御了雨洪灾害,不仅保护了原有土地,而且还开垦了大量新土地。但是,随着填海造田规模的不断扩大,出现了土地沉降加剧的现象,加上全球气候变暖加剧,荷兰面临的雨洪风险逐渐变得严峻。针对这些特点,荷兰从20世纪90年代开始,将水治理和国土空间规划紧密结合,治水工作不再只关注水体本身,而是扩展到水域空间。通过国土空间规划给河流以更多空间,增强水生态系统服务和适水性生活空间,将雨洪韧性的理念转化为与不同空间尺度相适应的水环境规划,推进水环境的生态建设。荷兰高度重视水治理的顶层规划设计,出台了《国家气候适应性空间规划》《国家基础设施与空间结构愿景规划》《三角洲项目》《三角洲规划》《三角洲决策》《国家水规划》等一系列措施。这些措施的共同点是适应气候变化和雨洪韧性核心思想。

### 3.4 构建多层次雨洪风险防控体系

荷兰高度重视流域水安全,把保障水安全作为国土空间开发底线,加强水治理和社会经济、城市发展之间

的联系,构建集“国家级堤防圈体系-区域/城市级堤防体系-城市疏散体系”的多层级的雨洪风险防控体系。不仅通过建设工程堤坝使全国的平均防洪标准提高到 1250 年一遇,一些如阿姆斯特丹、海牙、鹿特丹重点地区的防海堤坝防洪标准更是提高到 10000 年一遇,最大程度地降低了洪水入侵的概率。通过水土整合、分区滞洪等措施,创造韧性空间,协调城市建设与水的关系。在《鹿特丹气候适应空间战略 2035》(图 7)中,针对商业区、旧港口区、新港口区、工业区、物流区、紧凑城市区、堤坝外侧居住区、堤坝内侧居住区等特殊空间环境,形成多层级雨洪风险管理分区,降低雨水径流速度,提高排水能力,约束雨洪流向,实施全过程协同管理,为水的流动提供了更多空间。

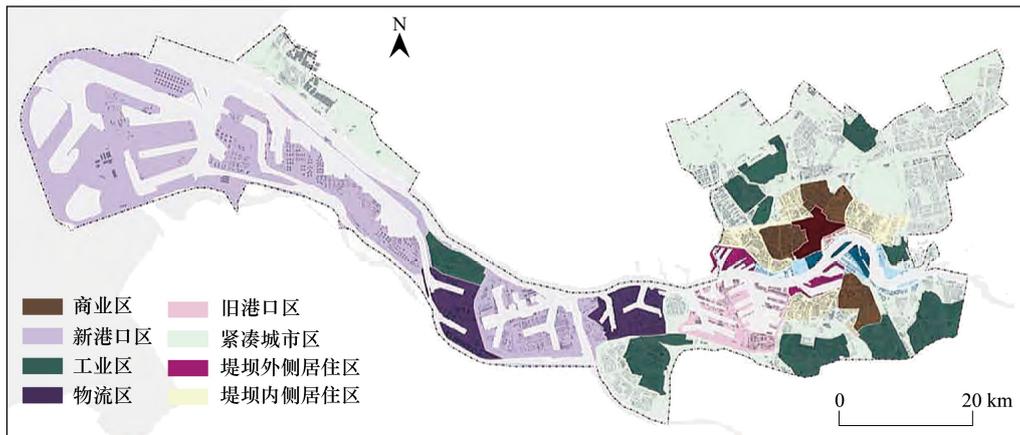


图 7 《鹿特丹气候适应空间战略 2030》示意图<sup>[21]</sup>

Fig.7 Rotterdam Climate Adaptation Space Strategy, 2030

### 3.5 提供更多的韧性空间

荷兰水治理强调增加河道网络的连通性,并为水的流通、涨落提供一定程度的自由空间。例如,在《给河流以空间》的奈梅亨节点项目中,通过退耕还水、挖掘新河道,将瓦尔河河堤内移,形成分洪河道。这一措施扩大了河流空间,增加了水安全性(图 8—11)。同时,通过对瓦尔河两岸空间的维护和更新,提升滨水空间的开放性。融合防洪和生态景观等多种功能,实现了沿河两岸空间的感知价值、使用价值和潜在价值,改善了河流区域的整体环境质量。再如,在《诺德伍德退圩还水》项目中,实现了正常状态、河流溢流状态、极端溢流状态下的“圩田-自然引水转换区”,通过河漫滩的生态保育,提高土地利用的潜能。在《格罗宁根湖储水》项目中,将洛维斯湖、多拉德湾附近和代尔夫宰尔周边土地作为雨洪缓冲区,针对风暴潮屏关闭与极端水位同时出现时可能导致区域水位十分高的现象,将河水暂时储存于沃克拉客-佐米儿(Volkerak-Zoommeer)湖中。总之,《给河流以空间》整个项目分成 39 个子项目(图 12),通过对莱茵河、艾瑟尔湖、莱克河、梅尔韦德河和马斯河流域等河流进行改造,实施了扩展河道、加深河床、增加河流断面面积、减少河流丁坝、增加支流数、后退堤坝等多种措施,为河流提供更多的空间,有效地增加了对雨洪扰动的韧性。

### 3.6 水治理和国土空间规划从深度合作向一体化转变

20 世纪 90 年代以前,供水、水质和水安全问题主要由水管理部门负责,空间规划参与程度有限。进入 90 年代,荷兰水管理部门逐渐认识到传统水治理存在的诸多问题需要与国土空间规划部门进行广泛协调。因此,在“内部综合发展”过程中,提出了“外部一致性”原则,寻求与国土空间规划部门的紧密合作。同时国土空间规划部门也开始实施行政去中心化。例如在第四次《国家水管理政策文件》中,明确要求水管理部门在涉水问题上要与国土空间规划和环境政策部门保持一致,提出了为水留出空间、利用自然过程恢复河流行泄洪水的功能、加强海岸保护工程基础设施的愿景。2007 年《国家水管理远景(National Vision for Water Management)》与 2006 年《国家空间战略》,明确道路、城市网络、港口等基础设施,都应具有抵御气候变化的



图 8 《奈梅亨段给河流以空间》项目实施前<sup>[22]</sup>

Fig.8 The project of Room for the River in Nijmegen section: Before Implementation

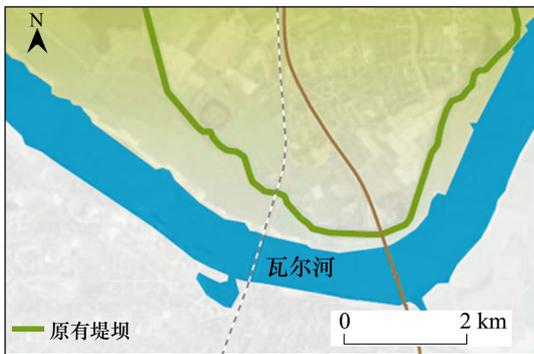


图 9 《奈梅亨段给河流以空间》项目实施中:退耕还水<sup>[22]</sup>

Fig.9 The project of Room for the River in Nijmegen section: Returning farmland to river

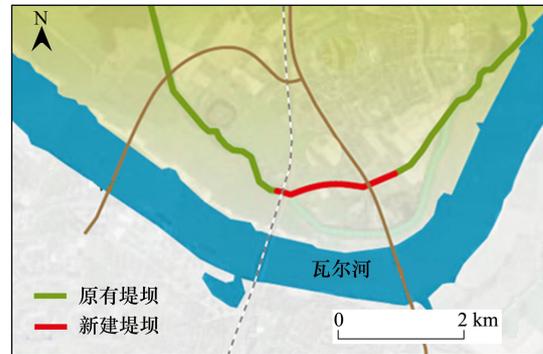


图 10 《奈梅亨段给河流以空间》项目实施中:新挖内河<sup>[22]</sup>

Fig.10 The project of Room for the River in Nijmegen section: Digging inland river

能力。2008 年发布的《与水共生(Working Together with Water)》的报告中,提出空间规划可采取的措施,包括利用区划对空间发展进行引导、规定和限制,运用绿蓝基础设施来减弱洪涝带来的问题,在缓解洪涝风险方面起到重要作用,把洪涝风险作为国土空间发展的前置条件而纳入国土空间规划。

为了更有效地将水管理与国土空间规划有机结合,减少空间开发过程中的行政审批程序,荷兰对原有的水管理和空间规划两大体系进行了重大调整,将原先由水管理部门负责的雨洪风险管理、水资源管理、水质管理、临时蓄水、疏浚和废水处理等内容与由国土空间规划部门负责的沿海保护、城市规划、自然保护、空间开发利用、区域发展等内容全部合并并由同一机构负责,将水管理部、空间规划和交通、公共工程、住房、环境部等机构合并成一个新部委,于 2010 年成立了荷兰国家基础设施和环境部(I&M),明确有关雨洪风险缓解、水资源管理、国土开发、空间管控等内容统一由国家基础设施和环境部下设的水管理与空间规划总局(DGRW)负责,

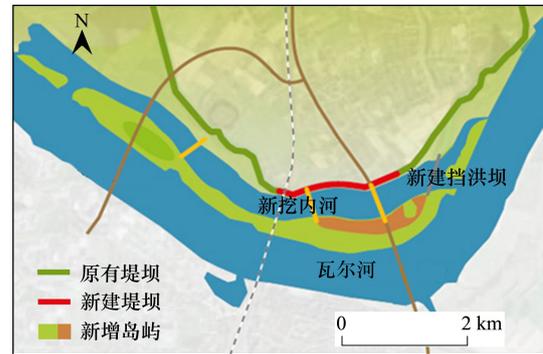
图 11 《奈梅亨段给河流以空间》项目实施后<sup>[22]</sup>Fig.11 The project of Room for the River in Nijmegen section:  
After Implementation图 12 《给河流以空间》项目示意图<sup>[22-33]</sup>

Fig.12 The project of Room for the River and its 39 sub-projects

在国家层面上完成了水管理与国土空间规划两大体系的机构一体化,整合和优化了政府的行政体系、政策法规和权力分配等。此后,出台了《三角洲项目 2015》《全国气候变化自适应战略(Adaptive Strategy for Climate Change, 2017)》《国家基础设施和空间结构愿景规划(Infrastructure and Spatial Structure Vision, 2040)》《国家水规划(Water Plan, 2016 至今)》等项目,为实现荷兰国家百年安全(2050—2100)三大目标提供了有力的组织、法规和技术保障。

#### 4 对我国雨洪韧性空间规划的战略思考

本研究所指的雨洪韧性空间规划指以雨洪为韧性对象,以蓝绿基础设施等要素为主要韧性主体,通过优化国土空间规划,对国土空间开发进行引导、规定和限制,增强国土空间对雨洪扰动的韧性,使国土空间在面临雨洪冲击时,具有抵抗力、恢复力和适应能力,以抵御雨洪对国土空间系统的冲击,将雨洪扰动造成的灾害控制在可接受的面积范围以内和可接受的受淹深度阈值以下,维持国土空间系统的核心功能,使其具有灾后快速恢复的能力。

上述荷兰水治理经验对于我国雨洪韧性空间规划具有重要的借鉴和启示。近年来我国虽然提出了“海绵城市”的理念,然而,依靠单个城市实施低影响开发措施,难以解决流域尺度的雨洪问题。同时,我国水治理的工程性较强,对于水安全底线的统筹还不足。本研究在借鉴荷兰水治理经验后认为:将雨洪韧性理念融入到各级国土空间规划体系中,通过协同治理,确定重要的蓝绿廊道,采用将灰色基础设施与基于自然的解决方案相结合等多样化措施,是我国未来雨洪韧性空间规划的可行之路。基于此,本研究提出如下几点思考。

##### 4.1 坚持底线思维

反思近年来我国雨洪灾害频发的原因,既有全球气候变化加剧的外部扰动,又有我国城市雨洪韧性程度不高的内部原因。对全球气候变化外部扰动,目前尚没有能力控制它不发生。要反思的是内部原因,特别是正视非理性国土空间开发已造成的蓝绿网络破碎、水蓄洪和泄洪能力降低等事实。因此,正视水治理的迫切性,高度重视未来极端气候变化带来的潜在雨洪风险对城市发展的危害性,将提升城市雨洪韧性作为韧性城市建设的切入点和抓手;坚持底线思维,增强忧患意识,从源头上发力,构建系统的雨洪风险防控体系,制定雨洪韧性空间规划,将城市发展规划建立在自然基底可承载能力之上。

##### 4.2 坚持问题导向

运用大数据和数字化技术,对未来可能发生的高强度雨洪风险进行多维度的预测。通过历史数据调研、现场踏勘和卫星图解,分析地形高程、蓝绿网络、防洪排涝基础设施等空间要素的历史演进、现状及其可能的变化趋势;基于机理驱动、空间形态模型与水文模拟相结合,辨别影响水安全的主要过程、关键要素;模拟特大

暴雨、海平面上升等不同情景下的场地内涝分布、雨水管道累积流量、外河道水流速度等,找到风险产生的源头;从自然基底、环境品质等诸要素,厘清雨洪脆弱区面临的主要问题和症结,搞清楚主要制约要素。总之,坚持问题导向,将雨洪韧性理念融入到各级国土空间规划体系中。

#### 4.3 顺应跨尺度的水文自然过程

雨洪韧性空间系统是由自然基底层、基础设施网络层按照特定的关系组成的多层次空间整体,各空间要素之间相互依存、相互制约和相互作用。为此,要打破行政界限的束缚,以生态边界等自然结构为单元划分依据,研究雨洪韧性空间的整体目标与单元要素之间的耦合机制,明晰地上与地下、上游与下游之间的关系;以宏观尺度的蓝绿网络连通性作为雨洪韧性空间的基本骨架,顺应跨尺度的水文自然过程,将河道弯折区、水系汇流区、水系分散区等关键性控制节点作为空间治理和规划的调控切入点;在微观尺度,尽可能给河流以空间,杜绝人为阻断或抑制水文过程,将雨洪韧性理念转化为与不同空间尺度相适应的提升水安全的实施方法,实现多尺度多维度协同。

#### 4.4 提升蓝绿网络的连通性

蓝绿基础设施是雨洪韧性空间规划的关键。加强对水系统的保护和修复,打通生态断裂点,尊重自然汇水过程,优化水流路径,限定水流去向,构建以水为媒的廊道,利用生态系统的自然自我修复机制,逐步形成新的生态格局。充分利用地域的空间资源和自然禀赋,契合地域环境,依托河流山川,将自然水体、河道、生态斑块、生态踏脚石、行泄通道、滞洪区、蓄洪区等蓝绿基础设施实现连通。通过雨洪排放设施、调蓄设施、安全泛洪区、地表通道等多种措施,提升蓝绿空间对雨洪的滞蓄和消纳能力,减缓对下游城市的雨洪压力。

#### 4.5 将灰色基础设施改造提升与基于自然的解决方案相结合

面临极端气候引发的雨洪问题,从源头消减、过程疏导和末端治理着手。结合国土空间发展战略,对于老城区,将市政排水管网等灰色基础设施进行改造提升。对于新建区,市政排水管网要有冗余性和先进性,能满足未来城市发展的需要。对于雨洪灾害高暴露或承载体高脆弱区,创造条件进行改造,提升排放标准。同时,将灰色基础设施与基于自然的解决方案紧密结合,构建点(例如:绿色屋顶、小型雨水花园、生物滞留池等)、线(例如:自然河道的生态改造、道路路网优化等)、面(例如:绿地建设、透水路面等)相结合的多层级蓝色网络,以水的自然积存、自然渗透、自然净化为核心措施,利用跨尺度的生态化设施,让雨水就地渗、滞、蓄、用、排,减小地表水径流量,改善水生态环境,将雨水的横向排放与纵向消纳和利用相结合。

#### 4.6 扩大承水缓冲空间

采取建设综合防洪区、为河流提供更多的空间等多种措施,扩大承水空间,提高特大雨洪灾害发生时的纳水容量。对高雨洪灾害暴露度的重要河道岸线,预留生态空间作为雨洪缓冲区。在河道大堤靠近城市一侧,合理设置禁建区,平时用于绿地开放公园,灾时作为承水区。在城市低洼地区适当增加蓄水体,平时作为城市景观,让低洼地的草地、河湖、生态涵养河道、绿色廊道等在发挥雨天雨水调蓄作用的同时,提供生态景观等多种功能,供市民运动娱乐休闲。

#### 4.7 提高有效救灾能力

重视应急响应,快速发动有效救灾行动是减轻雨洪灾害损失的重要举措。平时加强防灾意识教育宣传,培训救灾技能。加强洪水预警系统建设,提升对雨洪风险的监控、指挥和处置水平。发挥各级组织的智慧性、协作性和自组织能力,组成综合、立体和全方位的防洪防灾体系。对于重要的基础设施和生命保障系统要有超前的眼光,增加设施的先进性和冗余性,保障重要城市基础设施和生命线系统的绝对可靠性。

#### 4.8 构建水治理顶层制度框架

构建符合我国国情的水治理行政体系、法规体系和技术体系的顶层框架是实现我国雨洪韧性空间建设的保障。荷兰将水管理系统与国土空间规划系统一体化的探索值得我国借鉴。荷兰经验表明:国土空间规划系统通过优化土地利用并实施科学土地管理可有效地降低洪涝风险。因此,将雨洪韧性理念全面融入到我国国土空间规划全过程中,将抵御工程、空间组织和灾难管理有效结合,可为补充基于灰色基础设施的工程手段抵

御雨洪风险提供助力。当前,我国国土空间规划在实现“多规合一”的进程中取得了重大进展,已明确了将原分属不同部门的主体功能区规划、土地利用规划、城乡规划等职责统一整合到自然资源部,由其负责建立国土空间规划体系并监督实施。为推动雨洪韧性理念融入我国“五级三类”国土空间规划体系,非常有必要借鉴荷兰水治理经验,构建适应我国实际情况的空间规划与水利、水务管理、应急救援协同治理雨洪风险的顶层制度框架,形成雨洪韧性空间规划的策略、章程和技术标准。

#### 4.9 将雨洪韧性理念全面融入到各级国土空间规划体系

将雨洪韧性理念融入多层次规划体系,纳入国土空间规划编制体系全过程,从水系统的整体性及问题导向性出发,提出协同调控策略、调控手段以及智慧化建设,结合我国国土空间规划体系构建“五级三类”的总体要求,统筹宏观规划体系与微观工程建设项目。本着自上而下编制,下位规划服从上位规划,专项规划和详细规划落实总体规划的原则,在宏观、中观和微观各个层面,系统研究国家级和省级雨洪韧性总体规划,并在市级、县级、乡镇级行政单元组织雨洪韧性城市详细规划与雨洪韧性实施方案。

在宏观层面,雨洪韧性总体规划是国土空间规划体系中的专项规划,侧重战略性,主要起“定格局”作用。作为纲领性总则,对国土空间的保护、开发、利用、修复作全局性的安排,基于暴雨和地质条件等本底条件,为水安全、水生态、水资源建设等方面提出原则和路径;明确雨洪韧性建设的近、中、远期目标,统筹水生态、水安全、水资源承载力等方面的重大举措,规划流域区域洪泛区、蓄滞洪区、生态涵养区的空间布局 and 大型涉水基础设施的标准和规模,提出径流总量、径流峰值控制和径流污染等控制性指标,完善国土空间水生态格局。

在中观层面,雨洪韧性城市详细规划是基于雨洪韧性理念对城市地块用途和开发建设强度做出的实施性安排,侧重协调性,主要起“定指标”作用。雨洪韧性城市详细规划将雨洪韧性总体规划规定的控制指标分解落实的核心环节,重点是细化和识别城市低洼地区、潜在湿地建设区、内涝高风险地区,分析城市降雨径流汇流路径,根据雨洪韧性总体规划对管控分区的要求,从“源头、过程、系统”三个环节,规划城市蓝线、城市绿线和城市排水通道,提出城市竖向管控要求,落实控制性指标;以汇水分区和排水分区为单元,针对不同类型地块,提出径流量、水面率、生态护岸率、滨水岸线形式、调蓄容积和雨水资源利用率等。

在微观层面,雨洪韧性实施方案以雨洪韧性总体规划和详细规划为指导,侧重实施性,主要起“定项目”作用。将雨洪韧性总体规划和城市详细规划的原则要求与具体的项目实施相结合,编制县级、乡镇级实施规划;以问题或目标为导向、现有条件为基础,综合考虑经济性和可实施性,谋划项目建设的组织形式和实施方式。

## 5 结论

本研究系统地阐述了荷兰水治理概况、水治理典型工程项目和水治理管控体系,提炼了荷兰水治理的主要经验,即坚持更长更广更深的治水策略、“国家、省、市”三级治理统筹协调、水利工程治理和国土空间规划紧密结合、多层次雨洪风险防范体系、提供更多的韧性空间、水治理和国土空间规划机构从深度合作向一体化转变。荷兰水治理经验值得我国借鉴。结合我国国土空间规划的实际情况,本研究尝试提出坚持底线思维、问题导向、顺应跨尺度的水文自然过程、提升蓝绿网络的连通性、将灰色基础设施提升改造与基于自然的解决方案相结合、扩大承水缓冲空间、提高有效救灾能力、构建水治理顶层制度框架、将雨洪韧性理念全面融入到空间规划体系九点战略思考,旨在为我国雨洪韧性空间规划提供借鉴。

#### 参考文献(References):

- [1] 徐卫红,刘昌军,吕娟,柴福鑫,曲伟. 郑州主城区 2021 年“7·20”特大暴雨洪涝特征及应对策略. 中国防汛抗旱, 2022, 32(5): 5-10.
- [2] 中华人民共和国水利部. 中国水旱灾害防御公报 2020. (2021-12-08) [2023-11-19]. [http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zgshzhgb/202112/t20211208\\_1554245.html](http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zgshzhgb/202112/t20211208_1554245.html)
- [3] 周广胜,何奇瑾. 城市内涝防治需充分预估气候变化的影响. 生态学报, 2016, 36(16): 4961-4964.
- [4] 车越,杨凯. 发挥河网调蓄功能 消减城市雨洪灾害——基于传统生态智慧的思考. 生态学报, 2016, 36(16): 4946-4948.

- [ 5 ] 戴伟, 孙一民, 韩·迈尔, 塔聂·巴顷. 气候变化下的三角洲城市韧性规划研究. 城市规划, 2017, 41(12): 26-34.
- [ 6 ] 戴伟, 孙一民. 三角洲河口韧性防洪排涝设施规划研究——以明珠湾横沥岛为例. 城市规划, 2022, 46(6): 113-124.
- [ 7 ] 戴伟, 孟梦, 卢培骏. 基于自然解决方案的滨海城市雨洪规划策略研究. 城市规划, 2023, 47(8): 66-78.
- [ 8 ] 张万顺, 王浩. 流域水环境水生态智慧化管理云平台及应用. 水利学报, 2021, 52(2): 142-149.
- [ 9 ] 吴志峰, 象伟宁. 从城市生态系统整体性、复杂性和多样性的视角透视城市内涝. 生态学报, 2016, 36(16): 4955-4957.
- [ 10 ] 王绍增, 象伟宁, 刘之欣. 从生态智慧的视角探寻城市雨洪安全与利用的答案. 生态学报, 2016, 36(16): 4921-4925.
- [ 11 ] Ministry of Infrastructure and the Environment. Summary National Policy Strategy for Infrastructure and Spatial Planning. (2013-07-24) [2023-11-19]. <https://www.government.nl/documents/publications/2013/07/24/summary-national-policy-strategy-for-infrastructure-and-spatial-planning>
- [ 12 ] Stormwater Report. First Full-scale Water Square Opened in Rotterdam. (2014-03-03) [2023-11-19]. <https://stormwater.wef.org/2014/03/first-full-scale-water-square-opens-rotterdam/>
- [ 13 ] Ministry of Infrastructure and the Environment. National Water Plan 2016-2021. (2015-12-14) [2023-08-23]. <https://www.government.nl/documents/policy-notes/2015/12/14/national-water-plan-2016-2021>
- [ 14 ] Delta Committee. Delta Programme 2017-Work on the Delta; Linking Taskings, on Track Together. (2016-09-20) [2023-11-19]. <https://english.deltaprogramma.nl/news/news/2016/09/20/delta-programme-2017-linking-taskings-on-track-together>
- [ 15 ] 孟梦, 李文竹, 王世福, 严娟, 文森特·纳丁. 治理视角下的气候适应性规划——荷兰水管理和国土空间规划的一体化进程. 国际城市规划, 2021, 36(5): 41-51.
- [ 16 ] 曹哲静. 荷兰空间规划中水治理思路的转变与管理体制探究. 国际城市规划, 2018, 33(6): 68-79.
- [ 17 ] 周静, 沈迟. 荷兰空间规划的改革及启示. 国际城市规划, 2017, 32(3): 113-121.
- [ 18 ] 韩·迈尔, 周静, 彭晖. 荷兰三角洲: 寻找城市规划和水利工程新的融合. 国际城市规划, 2009, 24(2): 4-13.
- [ 19 ] The Sand Motor. Driver of Innovative Coastal Maintenance. (2023-10-20) [2023-11-19]. <https://dezandmotor.nl/en/>
- [ 20 ] Mulder J, Tonnon P K. "Sand Engine": background and design of a mega-nourishment pilot in the Netherlands. The Proceedings of the International Conference on Coastal Engineering, 2010, 32(6): 1-10.
- [ 21 ] De Urbanism. Rotterdam Adaptation Strategy. (2013-11-10) [2023-11-19]. <https://www.urbanisten.nl/work/rotterdam-adaptation-strategy>
- [ 22 ] Ministry of Infrastructure and Water Management. Room for the River. (2020-08-18) [2023-11-19]. <https://www.rijkswaterstaat.nl/en/projects/ionic-structures/room-for-the-river>
- [ 23 ] Rijke J, van Herk S, Zevenbergen C, Ashley R. Room for the River; delivering integrated river basin management in the Netherlands. International Journal of River Basin Management, 2012, 10(4): 369-382.
- [ 24 ] Delta Commissie. Working Together with Water - A Living Land Builds for Its Future. (2008-09-03) [2023-11-19]. <https://english.deltaprogramma.nl/documents/publications/2008/09/03/working-together-with-water>
- [ 25 ] Ministry of Infrastructure and the Environment. Working on the Delta; the Delta program 2018. (2017-09-19) [2023-11-19]. <https://english.deltaprogramma.nl/delta-programme/documents/publications/2017/09/19/dp2018-en-printversie>
- [ 26 ] Ministry of Infrastructure and the Environment. Working on the Delta; the Delta program 2019. (2018-09-18) [2023-11-19]. <https://english.deltaprogramma.nl/delta-programme/documents/publications/2018/09/18/dp2019-en-printversie>
- [ 27 ] Ministry of Infrastructure and the Environment. Working on the Delta; the Delta program 2020. (2019-09-17) [2023-11-19]. <https://english.deltaprogramma.nl/delta-programme/documents/publications/2019/09/17/dp2020-en-printversie>
- [ 28 ] Ministry of Infrastructure and the Environment. Working on the Delta; the Delta program 2021. (2020-09-15) [2023-11-19]. <https://english.deltaprogramma.nl/delta-programme/documents/publications/2020/09/15/dp2021-eng-printversie>
- [ 29 ] Ministry of Infrastructure and the Environment. Working on the Delta; the Delta program 2022. (2021-09-21) [2023-11-19]. <https://english.deltaprogramma.nl/delta-programme/documents/publications/2021/09/21/dp-2022-in-english-print-version>
- [ 30 ] Delta Committee. Delta Programme. 2018. Continuing the work on a sustainable and safe delta.
- [ 31 ] Driessen P, Hegger D, Kundzewicz Z, van Rijswijk H, Crabbé A, Larrue C, Matczak P, Pettersson M, Priest S, Suykens C, Raadgever G, Wiering M. Governance strategies for improving flood resilience in the face of climate change. Water, 2018, 10(11): 1595-1602.
- [ 32 ] Delta Committee. Working together with water; a living land builds for its future. 2008.
- [ 33 ] Delta Committee. Delta Programme 2015; Working on the delta; the decisions to keep the Netherlands safe and livable. 2014.