

# 城市水务规划韧性提升策略：雄安新区实践与探索

## Strategies to Improve the Resilience of Urban Water Planning: Practice and Exploration in Xiong'an New Area

刘晓青 LIU Xiaoqing

**摘要** 韧性城市是当前城市规划的重要议题之一,建设韧性城市已成为防范城市安全风险的国家战略路径,韧性城市理念的融入对城市水务基础设施建设的影响巨大。从解析韧性城市理论研究和全球韧性城市实践出发,认为韧性水务应具备:系统结构灵活包容、基础设施多元冗余、水务功能稳健成长、运行管理协同智慧等基本特征。通过在雄安新区RD片区的实践探索,总结城市水务规划韧性提升的策略方法主要体现在4方面。①结构化整为零:系统布局由集中式向分布式转变;②设施多元冗余:提前准备、未雨绸缪;③空间功能弹性:多功能复合利用、与风险共存;④专业统筹协调:控制风险连锁反应,实现“多规合一”。

**Abstract** "Resilient city" is at the forefront and the focus of current urban planning. Building resilient cities has become a national strategic path to prevent urban risks. A resilient city has a great impact on the construction of urban water infrastructure. Looking into the theoretical research and global practice of resilient cities, this paper summarizes the basic characteristics of the resilient water system, including flexible and inclusive system structure, multiple and redundant infrastructures, steady and growing functions, and collaborative and wisdom management. Through practice and exploration in RD of Xiong'an New Area, this paper summarizes four strategies to improve the resilience of urban water planning. In terms of structures, the system layout should change from a centralized system to distributed system. In terms of facilities, it should be multiple and redundant to prepare in advance. In terms of spatial functions, it should be flexible, diversified and compound to coexist with risks. In terms of collaboration, different water systems should coordinate to control the chain reaction of risks, and realize multiple planning integration.

**关键词** 韧性城市;雄安新区;水务规划;系统集成

**Key words** resilient city; Xiong'an New Area; water planning; system integration

文章编号 1673-8985 (2023) 03-0144-07 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j.supr.20230320

### 作者简介

刘晓青

上海同济城市规划设计研究院有限公司  
院总工程师, liuxq26@163.com

## 0 引言

水是生命之源,《易经》强调“润万物者,莫乎水”,自古以来,人类逐水而居,城市依水而立。水务基础设施是水务一体化改革背景下给水、污水、雨水、水系等涉水工程的总称,是城市基础设施的关键组成,是支撑城市健康持续发展的生命基石。

水务规划在发展过程中历经水资源综合利用、排水防涝、海绵城市等规划理念。近年来为应对外部环境的不确定性,“韧性城市”理念逐渐崛起,城市水务规划呈现与韧性城市理念结合的趋势。这为水务规划提供了解决问

题和面向发展的新思路,对提升水务基础设施支撑城市健康持续发展的综合能力具有重要意义。本文从解析韧性城市理论研究和全球韧性城市实践出发,融入韧性城市理念的韧性水务基本特征,探讨城市水务规划韧性提升的策略。通过在雄安新区RD片区的规划实践,探索城市水务基础设施韧性发展的路径。

## 1 韧性城市与韧性水务基本特征

### 1.1 韧性城市的理论研究和实践经验

国内外相关学科对韧性城市进行大量研究,但对这一概念的界定至今尚未达成统一,

其中韧性联盟、联合国国际减灾署、洛克菲勒基金会等研究机构对韧性城市的定义得到了较多认可<sup>[1]</sup>。韧性城市的定义一般强调城市系统面对不确定性扰动时迅速响应,通过学习适应、动态反馈及调整升级,维持乃至优化系统基本功能、结构、特征,实现适应性发展的能力,韧性城市具有稳健性、冗余性、可恢复性、智慧性、适应性等特征<sup>[2]</sup>。这些基本内涵和主要特征得到了学界的普遍认可(见表1)。

纽约、东京、伦敦等城市和荷兰、新加坡等国较早启动韧性城市实践,虽然研究议题各有侧重,但应对全球气候变化是各城市研究的核心议题<sup>[3]</sup>,其中以城市洪涝和淡水资源为代表的水务风险是主要议题之一,基础设施韧性是各城市韧性维度共有的关键内容,其中水务基础设施韧性被认为是保障城市韧性的前提之一。从各国韧性城市实践来看,韧性城市规划从早期的偏重灾害应对转变为强化城市韧性发展,城市韧性从早期的追求平衡性向强调持续不断的适应性、学习性和创新性转变<sup>[4]</sup>(见表2)。

### 1.2 韧性水务的基本特征

水务韧性的提升应置于城市整体韧性中来考虑。防范各种干扰冲击风险以及不确定因素是韧性城市规划的主要内容,城市韧性体现在结构韧性、过程韧性和系统韧性3个层面<sup>[6]</sup>。基于此,水务韧性要解决的问题是:在复杂、动态、不确定性等各种外部变化和压力冲击下,保持水务系统原有结构和关键功能等基本特征,支撑城市持续正常运转。将韧性城市的特征融入水务规划,韧性水务应具备以下基本特征。

(1) 系统结构灵活包容。系统具有多尺度、多样性的灵活结构,可以起到在时空上分散风险的作用。系统能够在多尺度上进行网络连接,利用相互依赖的网络交互作用协同应对风险。即通过强化系统结构对不确定风险的适应能力来提升水务韧性。

(2) 基础设施多元冗余。能够提供多元化的来源去向,水务设施和输配网络具备一定的冗余度,当某个源头失效、某些设施受损、某条通道断网,能够通过及时的替代、弥补、转换快

表1 韧性城市的基本内涵和主要特征表

Tab.1 Basic connotation and main characteristics of resilient city

研究机构	基本内涵	主要特征
韧性联盟	城市或城市系统能够消化并吸收外界干扰,并保持原有主要特征、结构和关键功能的能力	吸收力、稳健性、适应性、可恢复性
联合国国际减灾署	一个系统、社区或社会暴露于危险中时能通过及时有效的方式抵抗、吸收、适应并且从其影响中恢复的能力	稳健性、可恢复性、冗余性、智慧性、适应性
洛克菲勒基金会	城市中的个体、社区、机构、城市机能和城市大系统无论受到何种慢性压力和急性冲击的影响下所具备的生存、适应和成长的能力	灵活性、冗余性、鲁棒性、智慧性、学习性、融合性、综合性

资料来源:笔者根据相关文献整理制作。

表2 全球韧性城市规划实践案例表

Tab.2 Global practices for resilient urban planning

城市/国家	项目	主要议题	韧性维度	水务系统规划策略
纽约	《一个更强壮,韧性的纽约》(2013)《纽约2050:建立强大且公平的城市》(2020)	从气候危机影响下的海平面上升、洪水、公共卫生等自然灾害风险转变为金融危机、贫富差距、气候危机、市政基础设施老化等多方面社会议题	公共服务韧性(基础设施、公共卫生、网络安全);经济韧性;社区韧性	采用BIG U防洪系统(曼哈顿滨水区U型缓冲区),将滨水城市景观与防洪设计融合;改造给排水基础设施,重视环境保护与修复
东京	《东京都国土强韧化地域规划》	气候变化:海平面上升、洪水、公共健康、水和粮食资源紧缺;人口结构变化:老龄化、低生育率、跨国婚姻占比高、外来人口占比高	基础设施与生态系统韧性;经济韧性;社区韧性;公共健康韧性;治理韧性	规划把东京划分为30多个片区,提出每一个片区都将逐步改造并拥有独立的供水、水处理系统、水循环利用、能源供应和通信保障、医疗保障等城市设施
伦敦	《伦敦韧性战略2020》	短期冲击:干旱、恐怖袭击、洪水、极端天气、网络攻击、基础设施失灵、传染病等;长期压力:社会融合不足、不平等、空气质量差、食品安全问题、住房不可负担、基础设施老化、健康状况和福祉不佳、脱欧等	基础设施和环境;经济和社会;健康和福祉;领导力和战略	减少水资源浪费,构建集成的循环水系统;改善基础设施,推进数字化发展;预留“临时空间”,负担多类用途
荷兰	《三角洲项目》(2018)	海平面上升、强降雨、风暴潮等引发的洪水,干旱时期的淡水供应风险	基础设施;蓝绿空间;土地使用	推行“与洪水安全共存”,给予河道一定的变化缓冲空间,增加开放水域的蓄水容量,将重要水体廊道反馈土地利用,进行水土整合 <sup>[5]</sup> ;增加城市公共空间的临时储水能力;引入智能水管理系统,改善淡水供应设施
新加坡	《韧性的新加坡》(2019)	提高以往出现过的灾害事件(地震、海啸、城市洪涝和火山灾害)下社会各方面的应对与恢复能力	基础设施韧性;经济韧性;社区韧性;治理韧性	进口水、收集雨水、淡化海水和新生水(回收水)4种水供应方式共同保障用水;海岸堤坝兼具防洪和居民休闲功能

资料来源:笔者根据相关文献整理制作。

速恢复水务运转。即通过强化基础设施面对突发冲击的恢复能力来提升水务韧性。

(3) 水务功能稳健成长。水务关键功能具有一定的动态持续性,能够通过自我调节应对不同风险情景,维持自身运转的相对稳定。同时具有一定的兼容性,在面对技术革新下的迭代升级时,能够实现平滑演进,避免大拆大建。即通过强化水务关键功能的稳健创新能力来

提升水务韧性。

(4) 运行管理协同智慧。不同水务专业系统之间的运行具有综合性,运维管理能够通过统筹协调达到水务韧性的最优组合。深度融合数字化、智能化等新一代信息技术,利用智慧水务提高运维效能和加快风险处置。即通过强化水务系统的协同智慧能力来提升水务韧性。

## 2 城市水务规划韧性提升策略研究

城市水务系统除了要应对传统的城市风险(风暴潮、干旱、地震等自然灾害,设备事故、环境污染、生态破坏等事故灾难),还要面临“新型不确定性风险”,例如极端气候、科技革命、重大传染病传播、突发袭击等<sup>[72]</sup>。“新型不确定性风险”往往难以预料,传统的单纯“放大冗余”或“制定预案”等水务规划策略已经难以有效应对,应从提升给水、污水、雨水和水系各专业系统的结构韧性、功能韧性、过程韧性,以及水务系统综合韧性来全时空地应对各种复杂多变风险。

### 2.1 给水规划

传统的给水规划强调构建规模化的环状管网系统。这种规划模式虽然能够满足基本服务需求,但从给水行业未来发展来看,缺乏适应性和可持续性,主要表现在2个方面:一是在安全保障方面,管网压力普遍偏高,系统能耗高、爆管率高,且一旦出现突发事故,影响范围大;二是在品质提升方面,水厂处理工艺虽然已经可以实现直饮出水,但大体量的统一供水模式,造成管网输送距离长,用水在管网的末端停留时间长,水质极易恶化,制约高品质供水目标的实现<sup>[9]</sup>。由此可见,城市输水管网是提高给水韧性的关键环节,给水规划韧性提升的要点应该是:给水系统空间布局从大体量、集中化的“统一供水”,向分散化、扁平化、灵活互连的“分区供水+应急储备”模式转变。

(1) 分区供水。建立输水、配水2级系统,输水系统与配水系统相对独立,二者之间设置

配水增压泵站。水厂通过输水管网将水输送至增压泵站,泵站向各分区管网独立配水;配水分区规模一般控制在2 km<sup>2</sup>以内(根据数据模拟分析,2 km<sup>2</sup>以内的管径总体可以控制在DN300以下),各分区配水管网平行运行,分区之间建立应急联通道(见图1)。分区供水模式增强了系统的结构韧性,由于配水管网尺度的大幅减小,拉近了用户与水源的距离,可以有效降低管网平均压力、降低管网漏损率、减少爆管发生率。模块化的平行运行布局能够将突发冲击的影响控制在较小范围并阻断连锁反应,应急工况下可以联合各个配水子系统共同应对突发事故<sup>[9]</sup>。分区供水还便于实施分区计量和精细化管理,有利于应用智能化手段,有效提高系统运行韧性。空间上,2 km<sup>2</sup>的分区规模基本与国土空间社区层级的规模相匹配,通过与城市社区同步模块化增长,能够更加弹性地适应城市发展。

(2) 应急储备。采用多水源供水和设置水量调蓄提高给水系统的冗余度。输水层级,叠加多源取水、多源供水、备用水源设置和水厂源头调蓄,通过输水网络联合调度提高水量源头冗余,增强应对用水变化和突发事件的能力;配水层级,利用增压泵站配置调蓄水池,调蓄量一般不小于服务区域日供水量的8%—12%<sup>[9]</sup>,除了能起到应急储备作用外,还可以降低水厂至泵站的输水干管管径。采用中途水质控制和动态循环提高管网水质韧性。在增压泵站加载补氯等消毒设施进行中途水质控制,借鉴建筑直饮水供水模式,在配水管网末端增设回水管道接入增压泵站,利用增压泵站实现管网水动态循环。

### 2.2 污水规划

传统的污水规划由于污水设施的邻避效应,污水处理厂普遍布置在城市外围,日均处理规模动辄达到几十万吨、几百万吨,城市污水需要通过长距离、大口径的管渠和多级提升泵站向外输送。这种规模化的大集中、大排放模式,一方面安全可靠不足,一旦突发事故,影响范围大;另一方面造成大量水资源的浪费,即使远距离回用,也需要大体量的再生水管网承载而消耗大量建设成本。因此,污水韧性提升的方向应该是污水资源化与就近利用,污水规划韧性提升的要点应该是:污水系统空间布局从“集中排放”模式,向“分布处理+再生回用”模式转变。

(1) 分布处理。按照“大分散、小集中”的原则部署污水再生处理系统。将城市划分为若干污水再生处理单元,每个单元的处理规模控制在万吨级别,各个单元之间建立应急联通道。分布式污水再生处理模式增强了系统的结构韧性,可以减小突发冲击的影响范围而分散风险,拉近了处理设施与用户之间的距离,便于再生水的就近回用(见图2)。据研究,分布式系统结构实际上成本比集中式更低<sup>[74]</sup>。万吨级的污水处理单元一般控制在10—20 km<sup>2</sup>,基本与城市国土空间组团层级的规模相匹配,可以与城市组团同步弹性发展。另外,出于污水系统运行稳定的考虑,建议单元内的用地功能布局尽量复合化、均等化,便于有效应对公共卫生事件等突发冲击下人口分布变化引起的污水量陡增陡落。

(2) 再生回用。相较于将处理后的污水直

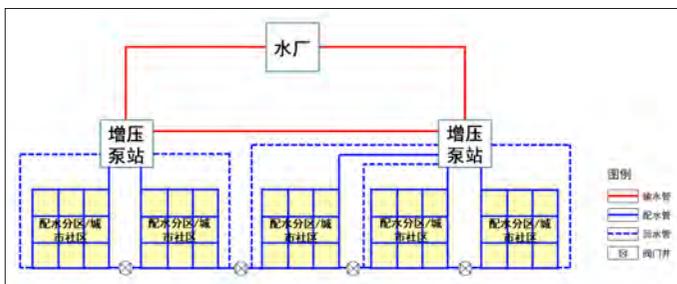


图1 分区供水系统原理图

Fig.1 Schematic design of the zoned water supply system

资料来源:笔者自绘。

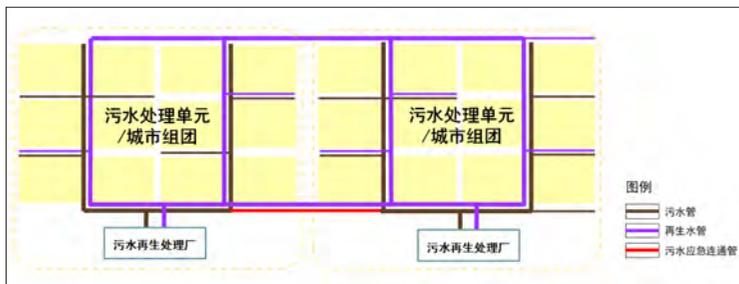


图2 分布式污水再生处理系统原理图

Fig.2 Schematic diagram of a distributed sewage reuse system

资料来源:笔者自绘。

排水体的传统方式,污水再生利用是应对日趋严格的环境政策的经济替代方案。大量实践表明,将污水净化为可利用的水资源加以回用,与传统的水资源开发利用模式相比更具优势,污水再生回用远比远距离调水经济<sup>[10]</sup>,应作为城市的第二水源。污水再生处理应坚持以供定需、依用定质<sup>[11]</sup>,再生水应用尽用,再生水以污水再生处理厂为水源就近回用。

### 2.3 雨水和水系规划

气候变化引起的极端天气是当今全球关注的焦点。有研究通过分析近30年的降雨数据建立预测模型,指出气候突变的可能性的确存在,南北方可能出现气温逆转,使得降水分布发生奇异变化<sup>[12]</sup>。中国是全球自然灾害最为严重的国家,尤以洪涝为甚。近年来我国北方地区出现多起极端暴雨洪涝事件。以工程手段调控洪涝的能力总有一定限度,从传统的硬性抵抗向弹性消解转变,把外界冲击作为自然动态的变化过程,强化动态调节和自适应能力<sup>[13]</sup>,是城市雨水和水系规划韧性提升考虑的要点。

雨水规划由“以排为主”向“可持续水循环”转变。可持续水循环强调自然积存、自然渗透和自然净化,应当体现在源头至末端的全过程综合治理中。源头推行渗、滞、蓄、净、用、排等设施灵活组合的低影响开发系统,发挥延缓峰值流量、减少外排水量及污染物含量的作用;中途采用蓄排结合的排水模式,联合源头削减措施,优先利用自然排水方式,实现中小降雨自然积存、渗透与净化;末端与水系水位、排涝分区有机结合,根据城市雨水污染特征重点加强初期雨水收集处理。需要注意的是,源头削减慎用灰色蓄水设施,蓄水设施尽可能兼具多种功能,避免以错峰排放为唯一目的专用蓄水池;中途仍须同步规划高标准的雨水管渠,保障排水安全底线。

水系规划由“硬性防御”向“动态调节”转变。城市水系具有很强的自然属性和随时空变化的特征,实现可动态调节的水系规划应从顺应自然和空间弹性入手。水系布局应遵循水系自然演变规律,与水体的自然流向相协调,

连通河流、湖泊、湿地等要素,采用低影响的自然或仿自然手段,塑造自然连续的水系网络和水体形态,通过水系的系统调配分散和疏解洪涝压力。水系网络应与绿地网络和开敞空间交织布局,通过蓝绿空间的动态转换,动态适应洪涝蓄排以及自然系统的生态交换。水系空间应适应丰水期、常水期和枯水期的水位涨落,弹性满足不同时期的水面积需求,柔性应对水文变化。枯水期根据最低可用生态水量确定水面积,常水期依据稳定的生态水量确定水面积,汛期按照防洪排涝设防标准确定水面积。需要强调的是,城市空间布局和景观规划切忌不顾自然生态环境和水资源条件,盲目部署大面积水体,将景观功能与生态功能本末倒置。

### 2.4 专业规划系统集成

城市水系统是水的自然循环和社会循环的耦合系统<sup>[14]</sup>,任何一个环节的变化都可能对整体水循环造成连锁影响。传统水务规划专业分工明确,割裂的专业规划往往孤立地处理水务问题,缺乏整体考虑。应该将给水规划、污水规划、雨水规划、水系规划有机联系起来,构建相互协调、协同运作的系统性水务规划,提高水务系统的综合韧性。

(1) 污水资源化。污水资源化是实现水资源循环利用和水生态健康良性循环的关键所在。从流域水资源整体平衡和统一配置的角度来看,城市污水量大质稳定,再生水就近可取、水质可控,不受气候条件和其他自然条件限制,是最可靠的补水水源,应重点推进污水再生和生态环境利用,弥补季节性影响。根据对典型城市地区的计算分析,城市再生水量扣除城市杂用,其余全部用于城市水系生态补水,可支撑的水面面积多超过5%。

(2) 标准内在统一。现行国标《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的最高排放标准是一级A标准,对照《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的可比项目,绝大多数指标不及地表水V类标准,污水排放标准与水环境质量标准缺乏内在一致性。随着水环境理念从事后治理向事前保护的转变,应统

一在环境标准体系之下对污水处理提标提质。

(3) 设施空间融合。调整割裂的水务专业规划模式,所有水务设施基于“一张水网”统筹部署,协调各类设施上下游关系、邻避关系,推进水务设施与城市其他基础设施和绿色空间融合部署(见图3)。例如,污水处理设施可以结合公园绿地采用全地下的建设方式,地面与公园绿地融为一体。地下建设方式,地震破坏力最小,对周边环境基本没有邻避影响。建议城市用地规划考虑在沿河、地势低洼及排水干管沿线布置公园等公共绿地,作为污水和雨水系统韧性发展的备用空间<sup>[15][12]</sup>。

(4) 适度弹性预留。对输配系统干管管径和重大水务设施用地预留一定冗余。输配干管的冗余承接未预见水量,弹性系数不宜过大,尤其是污水管道,当污水量增长不抵预期时,可能会导致管道流速偏小,易形成沉积而影响排水能力,弹性系数取1.2较为合适<sup>[15][12]</sup>。水厂、污水厂、水利枢纽等重大水务设施的规划用地规模,建议按设计规模1.2倍的弹性系数预留发展备用空间。

## 3 雄安新区RD片区韧性水务规划实践探索

雄安新区地处河北省中部,是继深圳经济特区和上海浦东新区之后又一具有全国意义的新区。RD片区是其中开发建设的首个先行区,肩负着探索建设经验、创新开发模式的重要使命。片区占地面积12.7 km<sup>2</sup>,规划人口约17万人,是以生活居住功能为主的综合性功能区。

RD片区水务规划涉及除水源和净水厂以外的全部水务内容,规划基于韧性城市理念确定水务各领域的研究重点。给水领域,聚焦城市输配水管网韧性,研究建立一套既可以满足

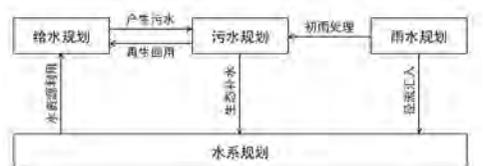


图3 “一张水网”水务专业规划关系示意图  
Fig.3 Schematic diagram of "a unified water network"  
资料来源:笔者自绘。

当前供水需要,也能为未来水质提升预留充足条件的给水输配系统;排水领域,面对华北地区水资源短缺、水环境污染、水生态退化的严峻局面,探索水资源循环利用的规划方法,打通社会水循环与自然水循环之间的关键环节;水利领域,关注气候变化背景下极端暴雨内涝防治,研究打造适应本地降水特征并应对多种水文条件的弹性水系。

### 3.1 “分区供水、回水循环”的韧性给水规划

实现可直饮的高品质供水是供水行业当前的重点突破方向,雄安新区总规明确要求“实施全域高品质供水”。但从目前的发展进程来看,各地直饮供水仍处在探索阶段,尚未形成统一的水质目标和系统建设标准。RD片区给水规划为避免因水质目标提升带来系统的颠覆性影响,围绕提高给水系统韧性适应能力,创新性提出“分区供水+回水循环”的供水模式(见图4-图5)。

(1) 分区供水:采用模块化管网布局,结合社区单元,按照2 km<sup>2</sup>左右的尺度划分6个供水分区,相邻的2—3个供水分区合并配建1座增压泵站,形成“三站六网”的分区供水格局。根据水力计算,管网平均压力基本控制在0.29—0.30 MPa之间,较“一网统供”的供水模式降低25%以上,有力支撑新区管网漏损率不高于5%目标的实现。配水管管径绝大部分控规在DN200—DN300之间,能够有效控制管材优化的成本。供水分区设网间连管道,增压泵站按最高日供水量的15%配置调蓄池,共同保障应急工况下的安全供水。

(2) 回水循环:为防止管网中的水停留时间过长造成水质恶化,在供水分区管网末梢增设回水管道,通过可远程启闭的阀门将停留时间较长区域的供水回流至增压泵站进行补充消毒。回水点和回水流量根据管网水质模型模拟,基本位于管网最远点或水量最小点。回水管道敷设于综合管廊内,便于分期实施和动态调整。

### 3.2 “分布处理、良性循环”的韧性排水规划

RD片区属于典型的北方城市,周边地表

水系常年干涸,河道污染严重,地下水超采,水资源严重匮乏。虽然调引黄河水、南水北调等工程在一定程度上缓解了生产生活水源的不足,但生态环境用水仍然无法保障。把社会用水和自然用水过程统一起来,实行水资源、水环境和水生态“三水共治”,营造健康良性的水循环,是RD片区提升排水规划韧性的主攻方向。

污水规划:由于片区所处流域水质管控(Ⅲ—Ⅳ类标准)要求极高, RD片区在规划伊始就本着污水资源化的理念统筹研究其环境功能、生态功能和资源功能。规划联合相邻片区详细比选了分散式、分布式、集中式等污水系统布局方式,确定采用分布式循环再生的污水处理系统。这种系统的建设方式灵活、周期短、投资省、再生利用便捷,相比之下韧性最优。片区规划1座污水再生处理厂,规模为8.0万m<sup>3</sup>/d,采用全地下形式与城市公园融

合建设(见图6)。规划1条与相邻的RX片区污水厂应急联通的压力污水管,敷设于综合管廊中,便于分期实施和动态调整。

再生水规划:实行污水再生循环利用,再生水全部回用,纳入水资源统一配置。污水处理出水水质按“准Ⅲ类”地表水标准(仅总氮不满足)控制,既满足了污水再生回用的水质要求,同时也实现了与流域水环境质量的内在统一(见表3)。

RD片区规划了专用的再生水管网系统。以污水再生处理厂为水源,根据用户分布,管网采用大环小枝的系统形式,主干管以环网的形式沿综合管廊敷设,支管呈枝状向公共绿地、广场、主要道路、城市水系延伸。主干管的环网结构可靠性高,沿管廊敷设便于动态调整;支管的枝状布局实现了以最小建设成本满足市政杂用和水系生态等主要用户的用水(见图7)。

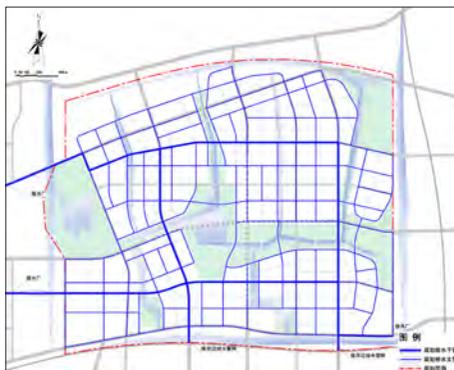


图4 传统给水规划示意图

Fig.4 Schematic diagram of traditional water supply planning

资料来源:笔者自绘。



图5 新型给水规划示意图

Fig.5 Schematic diagram of new water supply planning

资料来源:笔者根据《RD片区给水专项规划》整理。



图6 RD片区全地下污水再生处理厂效果图和施工现场

Fig.6 The effect picture and construction site of RD wastewater reclamation treatment plant

资料来源:《RD片区污水专项规划》和笔者自摄。



雨水规划: 构建源头削减、中途控制、末端治理多级控制系统。源头重点推动低影响开发, 围绕海绵城市指标体系, 将年径流总量控制率作为核心控制指标, 径流污染控制、雨水资源化利用等作为补充控制标准, 按照片区、宗地、地块进行针对性差异化逐层分解, 深度达到能够详细指导工程项目具体建设的标准。中途创新排放模式, 将雨水管道紧邻道路绿化分隔带或人行道布置, 检查井采用偏井的形式, 井口采用溢流方式布置在绿化带或行道树间隔处, 绿化带采用下凹式辅助排水——雨量较小时雨水通过土壤过滤下渗, 雨量较大时雨水由溢流口直接排入雨水管道(见图8-图9)。该模式不仅响应了海绵城市的建设要求, 而且大幅减少了路面井盖的数量<sup>[16]</sup>。末端截留初期雨水, 在管网下游集中设置初期雨水调蓄池, 串联相近雨水排放口, 将初期雨水错峰接入就近的污水管道, 统一输送至污水厂集中处理。

### 3.3 “以水定城、丰枯调剂”的弹性水系规划

华北平原水资源时空分布极不均匀, 汛期3—4个月降水量占全年降水量的比例高达70%以上, 河湖湿地普遍面临旱季长期干涸、断流, 雨季短时洪涝成灾的问题, 造成安全、景观、生态等多重影响。为应对水文变化, 适应水资源时空分布特征, 营造优美宜人的水景风貌, RD片区提出打造“弹性水系”——弹性满足枯水期最低保障、常态景观生态需求、汛期调蓄排涝需求, 形成由枯水位、常水位、涝水位等不同特征水位下的弹性水系布局(见图10-图12)。

常水位(6.5—7.5 m)下的水面积根据可用再生水量确定。RD片区可供本地使用的再生水量为4万m<sup>3</sup>/d, 除绿化浇洒、道路冲洗等市政杂用水量1.0万m<sup>3</sup>/d(冬季)—1.8万m<sup>3</sup>/d(夏季), 剩余水量补充水系蒸发、下渗, 以及促进活水。按照夏季最不利水量测算, 可支撑水面积近75 hm<sup>2</sup>。考虑一定的安全冗余, 确定常水位水面积70 hm<sup>2</sup>, 水面面积率5.5%。

涝水位(南侧8.5 m, 北侧10.0 m)下的

水面积依据排涝标准(30年一遇)所需调蓄量确定。打造由河、湖、低洼草沟、生态排洪渠组成的蓄滞滞涝区, 形成蓄排结合、自排为主、

表3 污水再生水厂设计出水水质(mg/L)  
Tab.3 Designed effluent quality of RD wastewater reclamation treatment plant (mg/L)

COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	TN	NH <sub>3</sub> -N	TP
20.0	4.0	5.0	10.0	1.0(1.5)	0.2

资料来源: 笔者根据《RD片区再生水厂二期项目初步设计》整理。



图7 RD片区再生水规划示意图  
Fig.7 Schematic diagram of reclaimed water planning in the RD area  
资料来源: 笔者根据《RD片区污水专项规划》整理。

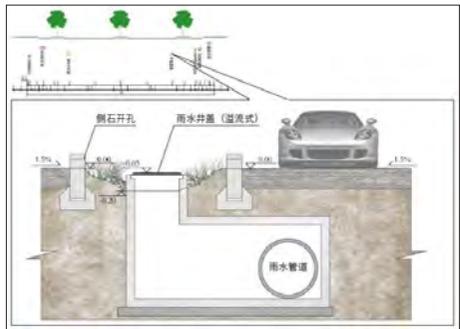


图8 雨水管道偏井布置示意图  
Fig.8 Diagram of rainwater pipeline offset well  
资料来源: 笔者根据《RD片区雨水专项规划》整理。



图9 下凹绿化带辅助排水  
Fig.9 Photograph of concave green belt with assisted drainage function  
资料来源: 笔者自摄。

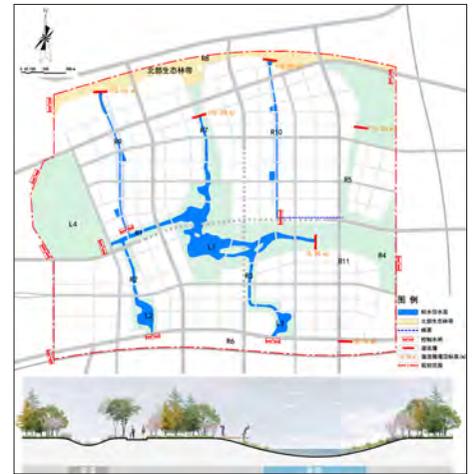


图10 枯水位水系布局与风貌示意图  
Fig.10 River layout and view under low water level  
资料来源: 笔者根据《RD片区水景水系专项规划》整理。



图11 常水位水系布局与风貌示意图  
Fig.11 River layout and view under normal water level  
资料来源: 笔者根据《RD片区水景水系专项规划》整理。



图12 涝水位水系布局与风貌示意图  
Fig.12 River layout and view under water logging level  
资料来源: 笔者根据《RD片区水景水系专项规划》整理。

抽排为辅的治涝模式。涝水位下的低洼蓄涝面积165 hm<sup>2</sup>,蓄涝水面面积率13.2%。枯水季节最低水位6.5 m,利用多处溢流堰保水,维持中心水域最小水面积;降雨后水位上升,控制不超过启排水位7.5 m,超过7.5 m沿排涝干渠开始向外排水,水系发挥排涝功能,雨洪滞留水深1 m左右。

针对水文特征和弹性水系,组合形成湖、河、溪、湿地等不同的水景风貌。枯水期形成湖+旱溪的水景风貌,维持中心湖持续水景;日常形成湖+溪的水景风貌;汛期形成湖+河+湿地的水景风貌。

#### 4 结语

总结城市水务规划韧性提升的策略与方法,主要包括4个方面。

(1) 结构化整为零。由传统的集中布局向分布式转变。分布式布局能够有效控制风险影响力,某个单元一旦失效,即刻切换至其他单元,避免城市功能大面积中断或瘫痪。

(2) 设施多元冗余。在面对风险冲击和技术发展变革的不确定性时具备一定的预判能力,通过多元路径和适度冗余提前准备、未雨绸缪,为城市未来发展提供充足的条件。

(3) 空间功能弹性。主要强调水务空间与国土空间的多功能复合利用,使某些空间能够在日常状态和特殊状态下实现功能的自由转换,促进城市与风险冲击和谐共生。

(4) 专业统筹协作。从水务各专业系统整体关联角度出发,控制风险在专业系统之间的连锁反应,通过多方协作、统筹考虑,实现城市水务规划层面的多规合一。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》明确提出建设韧性城市,韧性城市建设已经上升为城市风险防控的国家战略路径,对城市水务基础设施建设的影响巨大。本文尝试将韧性城市理念融入城市水务规划,探索城市水务规划韧性提升的策略与方法,以期在新时期历史大变革的背景下为城市水务基础设施转型发展提供新的研究视角和参考借鉴。

#### 参考文献 References

- [1] 陶希东. 韧性城市:内涵认知、国际经验与中国策略[J]. 学术前沿, 2022 (11): 11.  
TAO Xidong. Resilient cities: connotation perception, international experience and Chinese strategies[J]. Frontiers, 2022(11): 11.
- [2] 李志刚, 胡洲伟. 城市韧性研究:理论、经验与借鉴[J]. 中国名城, 2021, 35 (11): 1-12.  
LI Zhigang, HU Zhouwei. A review of urban resilience research: theory, experience and reference[J]. China Ancient City, 2021, 35(11): 1-12.
- [3] 车生泉, 李鑫, 梁安泽. 气候适应性城市中生态系统响应性规划研究进展及研究途径[J]. 上海城市规划, 2019 (1): 7-11.  
CHE Shengquan, LI Xin, LIANG Anze. Review on studying processes and methods of ecosystem response planning in climate adaptive cities[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2019(1): 7-11.
- [4] 沈清基. 韧性思维与城市生态规划[J]. 上海城市规划, 2018 (3): 1-7.  
SHEN Qingji. Research on resilient thinking and urban ecological planning[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2018(3): 1-7.
- [5] 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[J]. 国际城市规划, 2018, 33 (6): 12.  
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): 12.
- [6] 仇保兴. 基于复杂适应系统理论的韧性城市设计方法及原则[J]. 城市发展研究, 2018, 25 (10): 1-3.  
QIU Baoxing. Resilient urban design methods and principles based on the complex adaptive system theory[J]. Urban Development Studies, 2018, 25(10): 1-3.
- [7] 仇保兴. 迈向韧性城市的十个步骤[J]. 中国名城, 2021 (1): 1-8.  
QIU Baoxing. Ten steps towards resilient cities[J]. China Ancient City, 2021(1): 1-8.
- [8] 童祯恭. 管网水质二次污染剖析[J]. 华东交通大学学报, 2004, 21 (4): 4.  
TONG Zhengong. Analysis of the water quality deterioration in water distribution networks and its preventive measures[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2004, 21(4): 4.
- [9] 张国晟, 刘洪波, 张显志. 供水系统安全保障与韧性城市建设综述[J]. 净水技术, 2023, 42 (1): 8-14, 127.  
ZHANG Guosheng, LIU Hongbo, ZHANG Xianzhong. Review of safety assurance and resilience urban construction on water supply system[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(1): 8-14, 127.
- [10] 张婷婷. 浅谈我国现行水环境标准存在的问题及建议[J]. 资源节约与环保, 2018 (5): 1.  
ZHANG Tingting. Shallow talk on the existing problems and suggestions of water environment standards in China[J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2018(5): 1.
- [11] 胡洪营. 聚焦矛盾精准施策全面提升污水资源化利用水平[J]. 给水排水, 2021, 47 (2): 1-3.  
HU Hongying. Focusing on key issues and precise measures to comprehensively upgrade wastewater utilization[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(2): 1-3.
- [12] 冯新灵, 罗隆诚. 全球变化背景下中国未来汛期旱涝灾预测[J]. 资源科学, 2006, 28 (5): 81-87.  
FENG Xinling, LUO Longcheng. Predicting occurrence of drought and flood in China as a response to global climate change[J]. Resources Science, 2006, 28(5): 81-87.
- [13] 陈东. 韧性城市建设导向下城市水系空间规划思考——以泸州市为例[J]. 资源与人居环境, 2020 (3): 6.  
CHEN Dong. Thoughts on urban water system spatial planning under the guidance of resilient city construction: in the case of Luzhou[J]. Resources Inhabitant and Environment, 2020(3): 6.
- [14] 邵益生. 城市水系统控制与规划原理[J]. 城市规划, 2004, 28 (10): 6.  
SHAO Yisheng. Control and plan of city water system[J]. City Planning Review, 2004, 28(10): 6.
- [15] 陈锦全, 汤钟. 韧性城市背景下构建区域韧性污水系统的探索与实践[J]. 净水技术, 2021, 40 (8): 120-125.  
CHEN Jinquan, TANG Zhong. Exploration and practice on construction of regional resilient wastewater system under the background of resilient city[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 40(8): 120-125.
- [16] 白涛. 基于“窄路密网”城市发展模式的管线综合规划策略研究[J]. 中国市政工程, 2021 (2): 46-49.  
BAI Tao. Strategy of integrated planning of municipal pipelines based on the planning pattern with "tight network of streets"[J]. China Municipal Engineering, 2021(2): 46-49.