

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.20.005

济南新旧动能转换起步区防洪排涝体系的构建探索

王江海, 于卫红, 于星涛
(济南市规划设计研究院, 山东 济南 250101)

摘要: 为建设安全韧性城市, 新城区的防洪排涝系统必须高起点规划、高标准建设, 利用新城一切从零开始的契机, 科学构建竖向及防洪排涝体系。以济南市新旧动能转换起步区为例, 对其竖向高程控制网络和防洪排涝安全格局的构建进行了深入研究。针对新城区建设之初面临的防洪排涝挑战, 从空间角度综合施策, 构建新城区的三维竖向防洪排涝布局, 提出新城区各类用地空间、各类骨干网络的竖向高程控制; 从时间角度, 分析排水汇流的全过程四级排水系统, 从流域防洪体系衔接、区域河道网络布局、城市蓄滞空间布置、雨水管网及源头减排控制等方面, 构建了全过程的防洪排涝系统。目前, 该竖向及防洪排涝体系已落实到国土空间规划中, 并对起步区的建设起到了指导作用, 对国内其他类似新城区的防洪排涝规划建设工作也具有一定的参考价值。

关键词: 防洪排涝; 竖向规划; 排水系统

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)20-0033-07

Exploration on Consturction of Flood Control and Drainage System in the New and Old Dynamic Energy Conversion Starting District in Jinan

WANG Jiang-hai, YU Wei-hong, YU Xing-tao
(Jinan City Planning and Design Institute, Jinan 250101, China)

Abstract: To establish a safe and resilient city, the flood control and drainage system must be constructed with high-level planning and standards. Given the opportunity presented by the design and construction of the newly developed city, it is crucial to construct the vertical plan, flood control and drainage system with scientific precision. Taking the starting district of new and old dynamic energy conversion in Jinan as an example, the construction of vertical elevation control network and the security pattern of flood control and drainage are deeply studied. In view of the challenges of the flood prevention and drainage systems at the beginning of the construction of new urban areas, this study proposes a three-dimensional vertical flood control and drainage layout for the new urban area, emphasizing the importance of vertical elevation control across different land spaces and the integration of various backbone networks from the spatial perspective. From a temporal perspective, the four-level drainage system throughout the entire process of drainage confluence was analyzed. A comprehensive flood control and drainage system was consturcted which could addresse basin flood control system connectivity, regional river network layout, urban detention space design, rainwater pipe network infrastructure, and measures for reducing source emissions. Currently, the vertical and flood control and drainage system has been implemented in the national spatial planning, and has played a guiding role in the construction of

通信作者: 王江海 E-mail: wangjianghai199@163.com

the starting district. It also has certain reference value for the flood control and drainage planning and construction work of other similar new urban areas in China.

Key words: flood control and drainage; vertical planning; drainage system

济南新旧动能转换起步区(以下简称“起步区”)位于济南市北部,横跨黄河两岸,总面积798 km²。作为黄河流域的新建城区,起步区地貌属于黄河冲洪积平原,具有平坦易涝的地形特点,防洪排涝挑战比较大。为此,结合起步区的现状特征和发展要求,对其竖向高程控制网络和防洪排涝安全格局的构建进行了深入研究,以实现防外洪和治内涝的协调统一。

1 起步区现状分析及主要问题

1.1 现状竖向及防洪排涝体系分析

① 流域和地形特征

起步区南北向和东西向长度均为40 km左右,全域分属黄河、徒骇河、小清河三大防洪流域,本段黄河为“二级地上悬河”,大堤高于周边用地10 m以上,致使区内涝水无法排入黄河,黄河以北涝水主要排入徒骇河,黄河以南涝水主要排入小清河。黄河冲洪积平原地貌塑造了济南起步区“平坦易涝”的地形特征,地面高程多为18~28 m,黄河以北南高北低,平均坡度仅为0.02%,黄河以南中间低南北高,平均坡度仅为0.04%。起步区地形分析见图1。

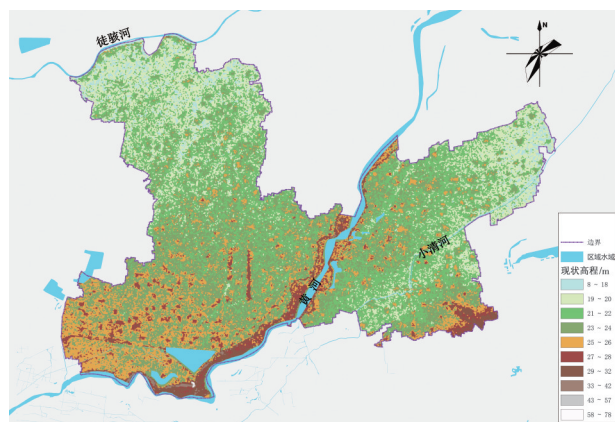


图1 起步区地形分析

Fig.1 Topographic analysis of the starting district

② 水文和洪水特征

起步区全年平均降水量为619.4 mm,75%以上集中在汛期(6月—9月)。黄河南北两岸呈现不同的洪涝水特征,黄河以北汇流速度慢,涝水涨落比

较缓慢,洪峰持续时间较长,常常形成复式洪峰或连续洪峰;黄河以南由于小清河所处的自然地理特性,区外南部上游山洪河道比降大,源短流急,洪水直接冲击小清河沿线地势低洼地区,从而形成上冲下淹的洪涝灾害。

③ 水系和防洪排涝能力

起步区现状水面和沟渠总面积约80 km²,占总面积的比例约为10%,水系密度较大且呈现“纵横交错网状”的平原河网特征(见图2)。本段黄河防洪目标是达到设防流量11 000 m³/s时大堤不决口,相当于千年一遇且现状已达标,本段徒骇河现状达到50年一遇防洪标准,小清河现状达到50~100年一遇防洪标准;区内其他河道防洪排涝标准较低,主要为10~20年一遇排涝标准,对于未来建设的新城区,标准有待进一步提升。

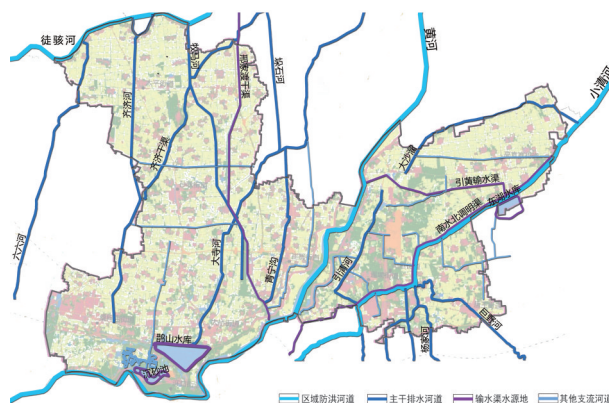


图2 起步区主要河道分布

Fig.2 Distribution of main rivers in the starting district

1.2 面临的主要挑战

结合对起步区现状竖向及防洪排涝体系的分析,未来起步区在防洪排涝方面主要面临防外洪、低地势、排内涝等挑战。

① 应对流域洪水的防洪压力。作为三大流域交汇的区域,起步区的排水安全势必受到流域上游洪水的影响,因此一定要做好上游洪水的重点防御,这也是起步区安全发展的基础。

② 优化平坦易涝地形。针对现状平坦易涝的地形特征,起步区在建设之初就应做好地形的竖

向规划控制,优化地形标高,以利于城市排水安全。

③ 科学布局内部排涝系统。针对城区建设强度加大、硬化面积增加、长距离排水等特点,需科学布局完善的排涝系统,确保城市不受涝水困扰。

2 竖向及防洪排涝体系构建的总体思路

2.1 综合施策,竖向与防洪排涝协同规划

借鉴已有文献研究成果^[1-2],从以下三个方面进行竖向和排水系统的统筹:①从空间的角度,将宏观布局引导与微观高程控制相结合,选取更有利于防洪的高地势区域布局建设用地,保障防洪安全;②从竖向管控上引导片区内建设用地适当抬高地块,形成中间高、四周低的微地形来确保排涝通畅;③通过竖向规划构建三维防洪排涝布局,确保城市的排水安全。

2.2 全过程四级排水体系构建

关于城市排水系统的全过程研究,借鉴已有文献研究成果^[3-4],从时间的角度,遵循城市排水汇流全过程理念,在济南起步区构建源头减排(径流控制)、小排水(雨水管渠泵站)、大排涝(内涝防治)、防洪四级安全韧性排水体系。

3 竖向控制体系研究

3.1 竖向分析与城区高程总体控制

竖向规划首先应从保证城市防洪安全的大区域角度提出引导,对于起步区则应重点衔接好区内地势与徒骇河、小清河防洪水位的关系,尽量在防洪排涝有利地势下布局新建城区,优先在防洪水位影响范围之外布局。因此,起步区主要位于南部区域,并且与徒骇河具有一定距离的缓冲空间。

3.2 各类城乡空间竖向控制分析

在城市建设区高程总体控制基础上,针对竖向规划,还应树立全域全要素的理念,对于生态空间、农业空间,则应加强竖向引导,统筹建设、生态、农业三类空间的总体布局。

① 建设空间竖向控制。对于新增建设用地,应统筹防洪、交通、景观等多样化需求,优先利用自然排水系统,适当抬高和整理地形。

② 农业空间竖向控制。以保留现状地形为主,结合农业发展和河网治理,构筑蓝绿网络,增强“渗、蓄、滞”能力。

③ 生态空间竖向控制。合理控制河道两侧绿化、生态用地高程,发挥雨水调蓄能力,维护河道

生态岸线和自然地貌,丰富生物多样性。

在各类空间竖向控制基础上,顺应起步区南高北低的自然地势,对三类空间进行总体布局统筹安排,形成“南城、中蓄、北田”的城乡三维形态。具体的形态格局见图3。

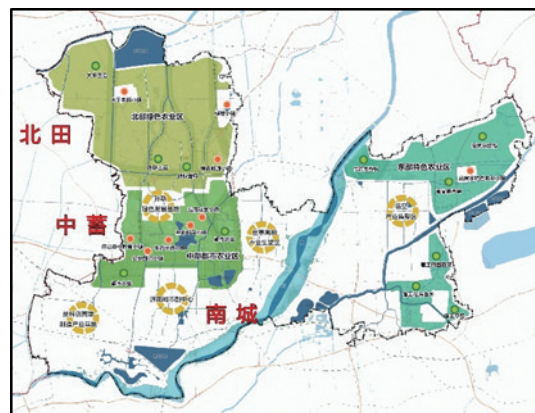


图3 起步区城乡三维形态格局

Fig.3 Three-dimensional pattern of urban and rural form in the starting district

3.3 城区蓝绿红骨干网络竖向详细控制分析

对于起步区城区内部竖向详细控制,应充分尊重自然本底,以蓝(河道)、绿(生态)、红(道路)三大骨干网络为引导。河网水位作为城区竖向控制的基准,区域防洪河道水位、骨干河道水位、城区支流河道水位三者之间应进行相应标准的有效衔接,保持水流通畅,形成统一的河道水位控制方案。

在蓝(河道)、绿(生态)、红(道路)三大骨干网络竖向控制基础上,各类地块高程需高于道路高程。基于此原则,城区地块竖向的理想控制模式应该在蓝绿网络围合的竖向单元内,合理抬高建设地块高程,塑造“中间高、四周低”的“龟背式”微地形模式(见图4),使各单元的地面雨水向四周地势较低的蓝绿网络排放,并汇集到主干排涝河道,实现高效无障碍排水模式。

以起步区某排水分区(由蓝绿网络围合的竖向单元)为例,分析竖向详细控制布局。首先,将排涝部分确定的周边河网水位作为该分区竖向控制的基准,规划水位 18.50~18.77 m;沿河路段最低标高按照水位加安全高度进行控制,安全高度不小于 1 m,规划沿河路段标高为 19.50~19.80 m;针对平坦易涝的地形特点,非沿河路段最小纵坡一般大于 0.3%,但在比较困难的情况下原则上不小于 0.2%,

道路横坡不宜小于2%,沿河路段主要采用横向排水方式分段就近入河,因此纵坡可降低要求,按照此原则分别确定分区内各市政道路口标高,规划分区内道路标高为19.50~21.06 m;地块边界处标高按高出相邻道路不小于0.2 m控制,在此基础上按照不小于0.3%的排水坡度推算地块内部最高标高,规划建议三处地块内部最高标高分别为21.98、21.95和21.92 m。该排水分区竖向详细控制布局见图5。

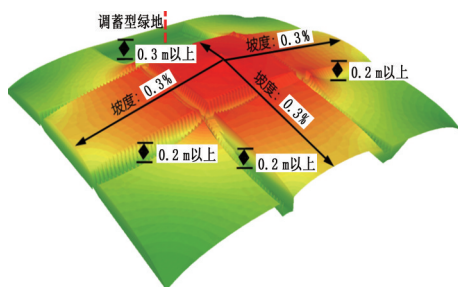


图4 “中间高、四周低”的“龟背式”微地形模式示意

Fig.4 Schematic diagram of “turtle back” micro terrain mode of “high in the middle and low around”



图5 某排水分区竖向详细控制布局

Fig.5 Vertical detailed control layout of a catchment

为应对超过雨水管渠设计重现期的径流,应充分利用道路及绿化带或城市绿色开敞廊道等作为涝水行泄通道,将这部分雨水径流输送到排涝河道。行泄通道按照以下原则进行控制:①保证行泄通道纵坡由最高点单方向坡向河道,不得在中间设置竖向变坡点,以免造成积水;②行泄通道与排涝河道交叉处排水需通畅,在交叉处及沿河路段设置收水簸箕等形式的雨水径流入河口;③适当加大人行道与绿地宽度,将较低的一侧或中部绿化带建设为贯通式下凹绿地,作为涝水行泄通道。图5所示

排水分区中,横一路(西段)、横二路、横三路、纵二路即为分区中的行泄通道。

4 防洪排涝系统构建研究

4.1 防洪体系衔接及超标准应对

作为三大防洪流域的交汇区域,起步区的防汛安全首先要做好上游洪水的防御,同时黄河以北和以南两个区域还应分别做好内部涝水与徒骇河、小清河洪水的衔接,确保涝水顺利排入外洪河道。

4.1.1 上游洪水的有效防御

① 黄河超标准洪水

衔接《黄河流域防洪规划》,济南段黄河防洪标准是达到设防流量11 000 m³/s(相当千年一遇)时大堤不决口,现状堤防已经达到规划标准。起步区规划建设应严控黄河管理范围,保护堤防安全,确保堤防不决口,满足标准内洪水顺利下泄。

对于黄河超标准洪水,在黄河流域整体通过水库联合调度、蓄滞洪区削峰调蓄基础上,起步区还应通过一系列综合措施来降低超标准洪水的威胁。黄河济南段堤防虽然已完成标准化建设,但黄河大堤现状均为土质堤坝,抗冲刷能力弱,需加强大堤强度,减小超标准洪水时溃坝威胁;同时起步区应配合流域管理部门加强堤防、河道整治工程和涉河工程的安全检查,消除防洪安全隐患;而起步区内部可利用生态廊道作为极端情况下的行泄通道(见图6),下游农田作为洪水积存区,适当抬高建设区用地标高,使生态廊道形成自然下凹洪水行泄通道以应对黄河的极端洪水。

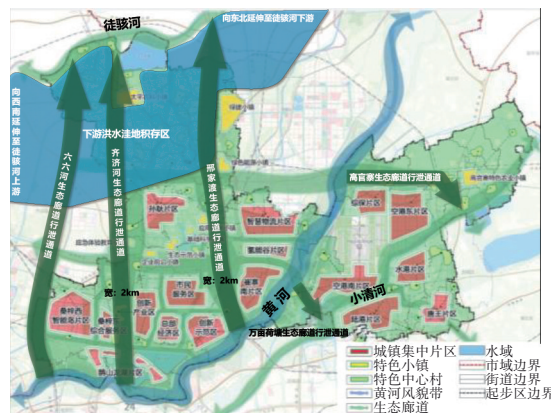


图6 生态廊道行泄通道示意

Fig.6 Schematic diagram of ecological corridor discharge channel

② 徒骇河超标准洪水

衔接《海河流域防洪规划》,现状徒骇河起步区

段已达到50年一遇的防洪标准,由于起步区的防护区域人口少于20万人,按照国家标准徒骇河应达到20~50年一遇防洪标准,因此,对于标准内洪水,徒骇河维持现状50年一遇的堤防即可满足起步区未来发展需要。

对于徒骇河超标准洪水,应从整个海河流域统筹考虑:a. 流域内徒骇河、德惠新河、马颊河同时发生高强度暴雨的概率极低,可利用南北向分洪河道实现主干河道的调水,徒骇河向北部德惠新河建设3条调水通道,总调水流量达到 $150 \text{ m}^3/\text{s}$,通过向北调水来缓解徒骇河洪水压力;b. 将现状河道作为分洪调蓄水库,主要有大寺河平原水库(调蓄容积 $1.073 \times 10^4 \text{ m}^3$)、沙河故道水库(调蓄容积 $2.035 \times 10^4 \text{ m}^3$),发生超标准洪水时,启用两座水库滞蓄分洪,削减徒骇河洪峰。具体的超标准洪水应对措施见图7。

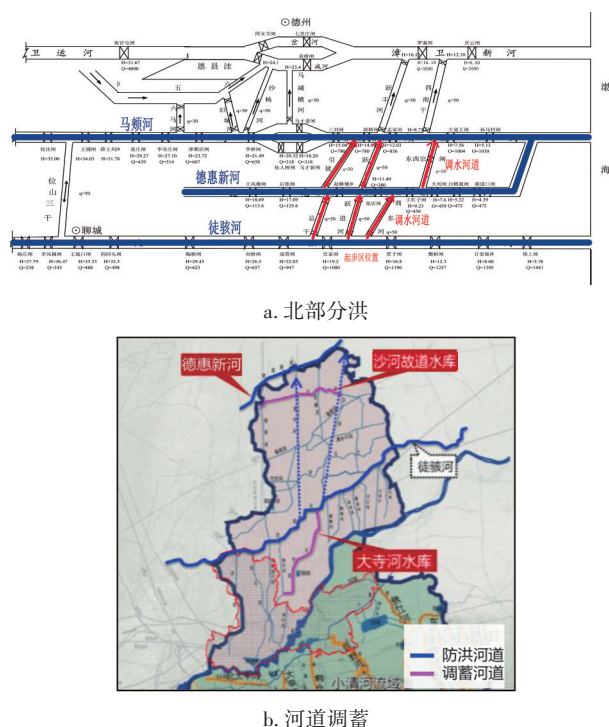


图7 徒骇河超标准和极端洪水应对措施

Fig.7 Countermeasures for exceeding standard and extreme flood in Tuhai River

③ 小清河超标准洪水

衔接《小清河流域防洪规划》,区内小清河达到50~100年一遇防洪标准,考虑到区内小清河沿线有遥墙机场、小清河港等重要区域交通枢纽设施,建议将小清河济南段全线提升为100年一遇防洪标

准,在上口宽不变的情况下,可将现状底宽45 m拓宽到100 m来提高防洪标准;同时,利用小清河南部白云湖对100年一遇洪水进行调蓄,解决济南段100年一遇与淄博段50年一遇的标准衔接问题。

对于小清河超标准洪水,应从整个小清河流域统筹考虑:a. 由于流经起步区的南部山洪河道流域面积较大(约 408 km^2),当小清河发生超标准洪水时,在南部山洪进入小清河之前利用现状河道拓宽改造为南部山洪分洪道,将部分南部山洪引入白云湖调蓄,规划分洪流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$;b. 结合区内为小清河干流配套的小李家滞洪区,在原有 5 km^2 用地基础上,增加 3.4 km^2 的超标准洪水滞蓄空间,减缓上游城区洪水的冲击。小清河防洪工程布局见图8。

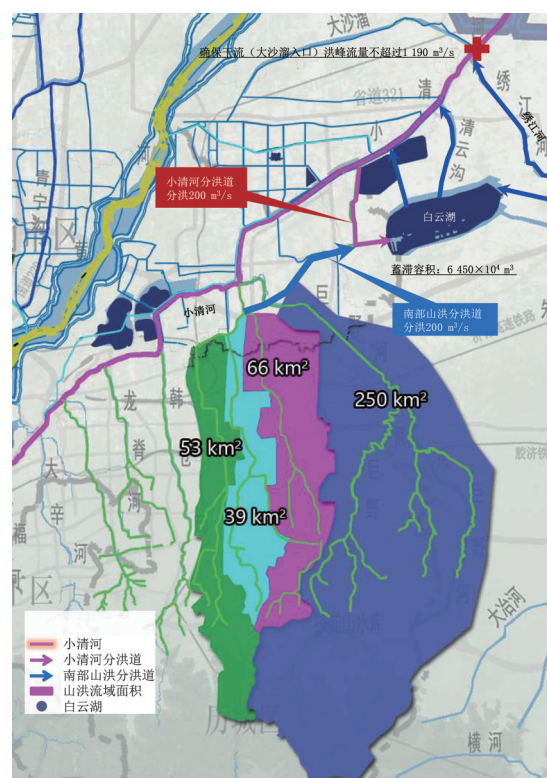


图8 小清河防洪工程布局

Fig.8 Layout of Xiaoqinghe flood control project

4.1.2 内涝与外洪的衔接

徒骇河上游与起步区属于不同雨区,根据历史暴雨遭遇统计数据,内涝最严重的一次遭遇情况为区内50年一遇内涝遭遇同时期徒骇河上游5~10年一遇洪水。分析认为,北部城区距离徒骇河有约15 km的生态或农田缓冲空间,北部的洪涝遭遇可在历史极端情况下预留一定的安全余地,故选定黄河以北50年一遇内涝、徒骇河20年一遇洪水作为

水文边界,以此来推算内部排涝河道的设计水位。按此水位推算,经过与竖向高程的相互校核,黄河以北骨干排涝河道标准内规划水位与徒骇河防洪水位可以自排顺接。

小清河发源于济南市区,与起步区属于同一雨区,区内涝水和小清河洪水同步性较高,按照集建区规划50年一遇的内涝防治标准,若要达到此标准下的区内河道与小清河50年一遇洪水水位顺接,则片区整体竖向抬高较多,代价过大,因此黄河以南涝水应按照“自排、强排相结合”的模式,结合竖向抬高的科学分析,片区排涝河道按照小清河20~30年一遇涝水进行自排顺接,当遭遇小清河30年一遇以上的防洪水位时,增加泵站强排措施来排除内涝,规划小清河河口布置13座排涝泵站,泵站规模范围 $4\sim 20\text{ m}^3/\text{s}$,平均规模 $9.5\text{ m}^3/\text{s}$ 。

4.2 排涝体系河网构建及蓄滞空间研究

① 河网构建

区域河网结构与地形地貌直接相关。袁雯等^[5]研究指出,网状河流结构是平原河网地区的典型地理特征,针对网状河流比降较小、河道稳定的基本特点,空间分片、河流分级被认为是平原河网城市适宜的河流管理模式。杨帆等^[6]通过对河网型城市雨洪生态空间规划的研究,认为通过易涝区分布特点,科学规划洪泛空间,可增强城市水空间的主动受洪能力;通过水系间的连通,合理调蓄洪水,可有效应对流域洪水的突发高峰。李晓宇^[7]研究表明,采取强排和蓄排相结合的方式,通过在规划区内建设水系、调蓄空间、排涝泵站等设施降低内涝水位,从而降低周边规划用地竖向标高,提高经济性。

起步区作为典型平原地区,现状自然水系密度较大且呈现明显的网状结构,按照尊重自然的原则,一是保留现状直通外洪河道的南北向骨干河道,作为起步区河网的骨干网络;二是结合竖向地形分析,优先利用低洼易涝区布置面状蓝绿调蓄空间或线状河道,对于竖向抬高比较困难的城区,通过加密河网和排涝泵站的设置,有效降低河道水位,保证地块排水顺畅;三是按照约 $1\sim 1.5\text{ km}$ 的间隔增加东西向连通河道,既能从功能上增加河道调蓄空间,对南北向骨干河道涝水进行调蓄,并降低小清河河口排涝泵站规模,还能从布局上形成以蓝绿为界闭合的竖向控制单元,塑造“中间高、四周低”的“龟背式”微地形。按照以上原则起步区最终

形成组团式网状水系,但主次分明,南北为主干,东西为支流。经测算,全域防洪排涝河网密度约为 $0.86\text{ km}/\text{km}^2$,集建区防洪排涝河网密度约为 $1.0\text{ km}/\text{km}^2$,查询中国河网密度图,起步区的河网密度范围为 $0.7\sim 0.99\text{ km}/\text{km}^2$,因此构建的河网密度基本在合理范围内。

② 蓄滞空间

针对起步区黄河以北坡度小、汇水距离长、常常形成复式洪峰或连续洪峰的洪水特征,应充分利用生态基底,通过设置分布式蓄滞空间来疏解蓄滞城区涝水,降低城区内涝风险,同时减轻超标涝水对下游乡镇地区的冲击。

蓄滞空间布局应遵守以下原则:a. 充分结合河道排水能力评估,紧靠排涝压力大的河段;b. 适当考虑在大片集建区设置,就近调蓄缓解城区内涝风险;c. 在城乡交界处设置,由于起步区集建区、特色小镇、乡村区域内涝防治标准分别为50、30、5~10年一遇三个层次,在交界处设置蓄滞空间能够实现上下游标准衔接。按照上述原则,结合蓝绿空间共布局9处蓄滞空间,实现蓄排并举,通过水力计算和模型验证,确定总的蓄滞容积为 $3\ 102\times 10^4\text{ m}^3$,总占地面积达到 24 km^2 。起步区河网及蓄滞空间布局如图9所示。



图9 起步区河网及蓄滞空间布局

Fig.9 Layout of river network and storage space in the starting district

蓄滞空间建设模式与国家空间土地规划充分结合,本着因地制宜、面向实施的原则,共分为3种蓄滞空间类型:第一类在集建区内结合城市公园建设,分别为1号、6号、7号蓄滞空间;第二类在集建区周边结合郊野湿地公园建设,分别为3号、5号蓄

滞空间;第三类兼顾粮食安全和内涝治理,建设农田共生型蓄滞空间,分别为2号、4号、8号蓄滞空间及小李家滞洪区。

4.3 小排水系统建设及源头减排控制

起步区新建城区应构建小分区、就近排、高标准的排水管渠系统,新建雨水管道应达到3~5年一遇设计重现期。同时应加强轨道站点、立交桥区、下沉广场、地下环路、地下商业和车库等地下空间强排泵站建设,这类区域新建雨水泵站应达到30~50年一遇的设计标准。

在起步区场地开发过程中应落实低影响开发理念,城市道路、地块内部及蓝绿空间应采用源头生态设施构建径流控制系统,最大程度地维持场地开发前后水文循环特征不变,实现年径流总量控制率 $\geq 85\%$ 、年径流污染控制率 $\geq 70\%$ 、源头径流峰值延时30 min等约束性目标。

5 结论

以济南市新旧动能转换起步区为例,探讨了在新城区综合施策,按照城市竖向及防洪排涝系统一体化规划设计的总体思路,建立防御外洪与治理内涝并重的防灾系统。构建的竖向及防洪排涝体系为起步区最终实施的方案,而且已落实到国土空间规划中,目前已经有效指导了近期建设区的城市设计、控制详细规划编制,以及道路、河道、桥梁、管线设计等工作,对起步区统筹安全与发展具有指导意义。

参考文献:

- [1] 董佳驹,柴宏喜,徐建杰,等.城市排水与城市竖向规划关系研究[J].市政技术,2013,31(3):93-96.
DONG Jiaju, CHAI Hongxi, XU Jianjie, et al. Research on the relation of municipal drainage with urban vertical planning [J]. Municipal Engineering Technology, 2013, 31(3):93-96(in Chinese).
- [2] 曾玉蛟,王强.基于排水防涝安全的城市竖向规划研究[C]//中国城市规划学会.2017中国城市规划年会论文集(01城市安全与防灾规划).北京:中国建筑工业出版社,2017:29-37.
ZENG Yujiao, WANG Qiang. Research on urban vertical planning based on drainage and flood prevention safety [C]//Urban Planning Society of China.

Proceedings of 2017 China Urban Planning Annual Conference (01 Urban Safety and Disaster Prevention Planning). Beijing: China Architecture & Building Press, 2017:29-37 (in Chinese).

- [3] 苏娜.城市内涝成因及排水体系全过程改进方向探讨[J].工程建设与设计,2019(2):136-137.
SU Na. Discussion on the causes of urban water logging and the improvement direction of the whole process of drainage system [J]. Construction & Design for Engineering, 2019 (2): 136-137(in Chinese).
- [4] 车伍,杨正,赵杨,等.中国城市内涝防治与大小排水系统分析[J].中国给水排水,2013,29(16):13-19.
CHE Wu, YANG Zheng, ZHAO Yang, et al. Analysis of urban flooding control and major and minor drainage systems in China [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(16): 13-19(in Chinese).
- [5] 袁雯,杨凯,吴建平.城市化进程中平原河网地区河流结构特征及其分类方法探讨[J].地理科学,2007,27(3):401-407.
YUAN Wen, YANG Kai, WU Jianping. River structure characteristics and classification system in river network plain during the course of urbanization [J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(3):401-407(in Chinese).
- [6] 杨帆,唐菲儿.河网型城市雨洪生态空间规划:方法体系与控制框架——以岳阳市雨洪生态空间规划为例[J].城市发展研究,2019,26(8):23-30.
YANG Fan, TANG Feier. The planning of rain flood ecological zone of water network city: method system and control framework with the case of Yueyang [J]. Urban Development Studies, 2019, 26(8): 23-30(in Chinese).
- [7] 李晓宇.典型特征城市大排水系统对竖向规划的要求[J].城市建设理论研究(电子版),2019(23):7-8.
LI Xiaoyu. Requirements for vertical planning of typical urban large drainage system [J]. Theoretical Research in Urban Construction, 2019 (23): 7-8(in Chinese).

作者简介:王江海(1990—),男,山西运城人,硕士,高级工程师,主要从事供排水、生态、市政设施等方面的规划、研究工作。

E-mail:wangjianghai199@163.com

收稿日期:2022-04-07

修回日期:2022-06-02

(编辑:丁彩娟)