

居住区排涝工程体系及蓝绿空间蓄排平衡技术研究

刘广文¹, 姚志强², 徐福龙³, 蒋水兵³, 赵雷¹, 刘欣¹

1. 山东城市建设职业学院, 山东 济南 250103

2. 山东富尔工程咨询管理有限公司荣成分公司, 山东 荣成 264300

3. 中铁建设集团中原建设有限公司, 河南 郑州 450000

DOI: 10.61369/SSSD.2025130009

摘要 近年来暴雨造成的灾害损失巨大, 让排涝工程体系及蓝绿空间蓄排平衡技术研究成为了必要。居住区排涝工程体系包括防洪安全布局、工程防洪排涝措施和非工程防洪排涝措施。居住区蓝绿平衡设计应考虑屋面、绿地、下沉绿地、透水铺装和不透水铺装, 蓝绿平衡可以通过质量守恒和面积守恒进行设计。实例表明, 采用质量守恒和面积守恒进行蓝绿平衡设计可以取得良好的效果。

关键词 居住区; 排涝工程体系; 蓝绿空间蓄排平衡技术

Research on Drainage Engineering Systems and Blue-Green Space Storage and Discharge Balance Technologies

Liu Guangwen¹, Yao Zhiqiang², Xu Fulong³, Jiang Shuibing³, Zhao Lei¹, Liu Xin¹

1. Shandong Vocational University of Urban Construction, Jinan, Shandong 250103

2. Shandong Fuer Engineering Consulting & Management Co., Ltd. Rongcheng Branch, Rongcheng, Shandong 264300

3. China Railway Construction Group Central Plain Construction Co., Ltd, Zhengzhou, Henan 450000

Abstract : In recent years, the disaster losses caused by rainstorm are huge, which makes it necessary to study the drainage engineering system and the balance technology of storage and drainage in blue and green space. The drainage engineering system in residential areas includes flood control safety layout, engineering flood control and drainage measures, and non engineering flood control and drainage measures. The blue-green balance design of residential areas should consider roofs, green spaces, sunken green spaces, permeable and impermeable pavements. The blue-green balance can be designed through conservation of mass and area. The example shows that using mass conservation and area conservation for blue-green balance design can achieve good results.

Keywords : residential area; drainage engineering system; blue-green space storage and drainage balance technology

引言

2021年郑州720特大暴雨, 死亡失踪380人, 直接经济损失409亿元, 2023年7月29日到8月1日, 京津冀极端暴雨死亡失踪107人, 直接经济损失1657.9亿元; 2023年9月3日至13日, 珠三角特大暴雨, 死亡失踪8人, 直接经济损失324.8亿元; 2024年4月广东暴雨, 死亡失联14人。尽管这些暴雨具有短时降雨强度大、雨量大、远超设防水平、气候、地理(地形地貌)等客观因素, 但是城市规划与雨水系统理念落后^[1]、缺少城市雨水系统的立法与政策^[1]、缺少水环境格局分析、缺少雨洪控制利用规划、雨水排水系统技术措施落后、雨水系统设计方法和标准、管理手段落后、建设维护监管不足等城市建设缺乏韧性的问题, 也是一个重要的因素。这些自然灾害, 让排涝工程体系及蓝绿空间蓄排平衡技术研究成为了必要。

国外发达国家城市排水一般都有两套系统。即小排水系统(minorsystem)和大排水系统(majorsystem)^[2]。小排水系统主要针对城市常见雨情, 设计暴雨重现期一般为2~10年一遇, 通过常规的雨水管渠系统收集排放; 大排水系统主要针对城市超常雨情, 设计暴雨重现期一般为50~100年一遇, 由隧道、绿地、水系、调蓄水池、道路等组成, 通过地表排水通道或地下排水深隧, 传输小暴雨排水系统无法传输的径流。该系统也可以称为城市内涝防治体系, 是输送高重现期暴雨径流的排水通道^[1-3]。也有的国家将大、小排水系统称为“双排水系统”(dualsystem)^[3]。

与诸多发达国家采用的大排水系统(major system)不同, 中国城市的雨水排放系统一般采用的是小系统(minor system), 雨水在地面汇集成径流后通过排水口汇到排水管道的支管中, 再经过支管汇集到城市排水干管中, 干管中的雨水通过抽排或其他方式连接到

自然水系中以实现城市雨水的排放过程。这种小排水系统主要针对城市常见雨情，设计暴雨重现期一般为2~10年一遇，通过常规的雨水管渠系统收集排放；而对超过10年一遇或更大的暴雨，这种滞后的排水技术便不能满足排水的要求^[4]。

蓝色空间是由河流、湖泊、水库、池塘、滩地、沼泽等不同形态构成的复合水体空间；绿色空间涵盖国土空间中所有人工及自然开放空间，包括农业空间与生态空间中的农田、山体、森林、草地等，以及城镇空间中的公园、防护绿带、公共开放空间等^[5]。提高城市的韧性，需要针对排涝工程体系、蓝绿空间蓄排平衡技术，进行认真的研究。

一、方法

（一）排涝工程体系

一般而言，排涝工程体系包括防洪安全布局、工程防洪排涝措施和非工程防洪排涝措施三大类。防洪安全布局一般是在城市规划中采取的措施，而工程措施和非工程措施可以在（一）设计阶段和使用阶段进行。

排涝工程体系由源头减排、以排为主、蓄排平衡、应急处置四个工程体系构成。源头减排是通过建设渗透、蓄存、滞留和使用等工程措施，对径流总量和径流峰值进行削减，达到减少径流的目的。源头减排的方法主要有减少不透水表面、管理透水区域、管理植被和雨水的收集利用。减少不透水表面的主要方法是增加场地的植被面积，在建筑物屋顶设置绿化，建筑物周围设置排水系统，把屋面雨水有序导流或下渗。增加植被面积的方法有植草沟、生物滞留池、干塘、湿塘等措施。

以排为主是重点建设排涝的沟渠、水道和泵站等工程项目，实现降水的有序排放的目标。以排为主的方式包括通过储存减少径流，通过洼地、宽渠、缓坡或者粗糙制植被区等减缓流速的措施，降低排水流速，缓解下游压力。

蓄排平衡是把建设蓄水工程和排水工程作为整体考虑，构建蓝绿融合的蓄排水体系，实现暴雨拦蓄并在少雨时补充用水的目的。蓄排平衡的措施包括调蓄池、滤池、渗透设施、分散设施和大颗粒污染物拦截装置。

超标应急是提前建设应急工程项目，在发生超过设防标准的暴雨情况下，及时启用应急项目达到避免重大损失的目的。

（二）蓝绿空间及其功能

蓝色空间包括河流、湖泊、水库、池塘、滩地、沼泽等不同形态构成的复合水体空间^[6]，这些空间以容纳水为主，是积蓄降雨和洪水的主体。在蓄排平衡中，蓝色空间是重要的组成部分。降水发生后，如果直接降落于蓝色空间，则会直接在蓝色空间中积蓄，只要降水量在蓝色空间的蓄水能力内，则降水不会影响人们的生活。尽管如此，也需要重视蓝色空间的建设。

绿色空间包括农田、山体、森林、草地等，以及城镇空间中的公园、防护绿带、公共开放空间等^[7]。绿色空间是形成雨水下渗和滞留的天然主体。

蓝绿空间蓄排平衡技术是综合考虑蓝色空间的水体和绿色空间的植被截留和土壤下渗，以应对异常气象降雨和内涝的一种技术^[8-10]。蓝绿空间蓄排平衡技术是在进行平衡的区域（城市、街区或者居住区）内，对蓝色空间和绿色空间进行扩容或者新建，并

建立二者间的水力联系，通过直接蓄滞或径流导流的方式，减缓地表径流速度，加快下渗，最终降水被蓝色空间蓄滞或经绿色空间下渗到土壤中的技术。针对居住区而言，下沉绿地、水景、池塘可以看做蓝色空间。而透水面、绿地、种植屋面等可以看做绿色空间^[10-13]。

（三）居住区蓝绿空间蓄排平衡的设计

在居住区中，下垫面类型包括屋面、绿地、蓄水绿地、透水路面和不透水路面。在《室外排水设计标准》GB50014中屋面不分类型径流系数均为0.85~0.95，公园或绿地的径流系数为0.1~0.2，混凝土和沥青路面的径流系数均为0.85~0.95，缺乏透水路面的径流系数，经查阅相关资料和互联网搜索，建议的径流系数为0.2。

在居住区蓝绿空间设计时，作为绿色空间的绿地、蓄水绿地和透水路面，以及作为蓝色空间的蓄水绿地、水景和蓄水构筑物是实现蓄排平衡的主要部分。居住区蓄排平衡可以按式（1）计算。

$$(R_a \cdot r_r + G_a \cdot r_g + W_a \cdot r_w + P_a \cdot r_p + I_a \cdot r_i) \cdot R_i \leq W_a \cdot H_w + W_d + W_s \quad (1)$$

$$R_a + G_a + W_a + P_a + I_a = A_a \quad (2)$$

式中：

R_a —屋面面积； r_r —屋面径流系数； G_a —绿地面积； r_g —绿地径流系数； W_a —蓄水绿地面积； r_w —蓄水绿地径流系数； P_a —透水铺装面积； r_p —透水铺装径流系数； I_a —不透铺装面面积； r_i —不透水铺装径流系数； R_i —设计降雨量； H_w —蓄水绿地的蓄水深度，一般150mm~200mm； W_d —有组织排出的雨水量（包括重力排水和强排）； W_s —蓄水构筑物的蓄水量； A_a —全部下垫面面积

式（1）为质量守恒方程或连续方程，式（2）为面积守恒方程。根据这两个公式可以完成居住区蓝绿空间及蓄排平衡设计。

二、结果

（一）项目概况

某住宅小区，位于青岛市城阳区棘洪滩，用地面积为29506m²，屋面面积为6161.69 m²，设计绿地10327.1m²，混凝土路面面积为1682.5 m²，透水铺装面积待定，因地势较平坦，不考虑过境水的影响，小区内不建设蓄水构筑物，拟采用蓄水绿地（蓄水绿地占用绿地）和强排泵站实现蓄排平衡。

（二）根据工程情况，由面积守恒方程得：

$$6161.69 + 10327.1 + P_a + 1682.5 = 29506 \quad (3)$$

由此解得

$$P_a = 11,334.71 \quad (4)$$

即透水铺装的面积最大为 11334.71m^2 。

取屋面径流系数为 0.9, 绿地径流系数为 0.2, 混凝土路面径流系数为 0.9, 透水铺装径流系数为 0.2, 蓄水绿地的蓄水深度取 0.15m。

按 50 年重现期, 降雨历时 60min, 计算得到降雨强度为 223.0mm, 代入公式

由质量守恒方程, 可得

$$(6161.69 \times 0.9 + 10327.1 \times 0.2 + 1682.5 \times 0.9 + 11334.71 \times 0.2) \times 0.223 \leq W_a \cdot 0.15 + W_d \quad (5)$$

$$2429.05 \leq 0.15W_a + W_d \quad (6)$$

取绿地面积的 70% 建设为蓄水绿地, 则蓄水量为

$$10327.1 \times 0.7 \times 0.15 = 1084.34 \text{m}^3 \quad (7)$$

代入式 (6), 得强排水量为 1344.71m^3 , 故为应对 50 年一遇的涝灾, 需要在居住区内设置排量不小于 $1355.71 \text{m}^3/\text{h}$ 的排涝泵站。

三、讨论

(一) 居住区蓝绿空间蓄排平衡的设计的数学模型

由式 (1)、(2) 知, 在径流系数确定的情况下, 居住区蓝绿空间蓄排平衡的设计是一个多元线性方程组, 这些方程组还有约束条件, 如蓝绿空间的面积需要大于等于零; 如果只采取蓄的方式, 还要求地表径流总量与蓄积体积相等。当居住区一定时, 屋面面积是相对固定不变的, 交通道路的面积也是相对固定不变的。这种相对固定等同于减少了方程组的未知数个数, 也便于求解了。从数学角度看, 式 (1)、(2) 决定的方程组的解是运筹

学的线性规划问题。在进行蓄排平衡设计时, 式 (6) 消元到了二元, 蓄水绿地面积 W_a 与强排水量 W_d 的关系是线性的, 其图形见图 1。理论上, W_a 与 W_d 可以取值图中斜线在第一象限的任意值。但实际上还要受到实际工程中的可用面积和地面高程的限制。

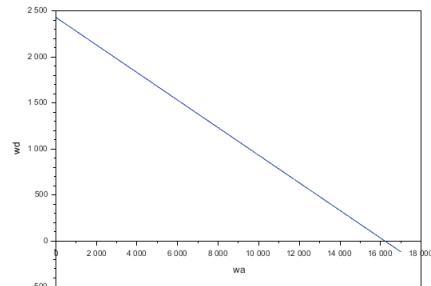


图 1 W_a 与 W_d 的关系

(二) 实现蓄排平衡的可能途径

根据式 (1) 可知, 在用地面积一定的前提下, 为了达到蓄排平衡, 避免出现内涝灾害, 可以采取的措施是有限的, 增加蓝色空间的数量, 必定影响绿色空间的数量。而蓄水绿地是兼具蓝绿功能的一种空间形式, 可以累积减少径流。在一些特殊情况下, 使用蓄水绿地是实现蓄排平衡的一种非常有效的途径。居住区绿化如果采用灌木或小乔木, 则林冠截留也将成为蓄排平衡的一个重要组成部分。

(三) 结论

居住区蓝绿空间蓄排平衡设计是预防暴雨涝灾的一项有益探索, 通过质量守恒和面积守恒规律, 建立蓝绿空间蓄排平衡的数学模型, 根据数学模型进行蓝绿平衡设计, 可以使蓝绿平衡达到最佳状态。

参考文献

- [1] 王通. 城市规划视角下的中国城市雨水内涝问题研究 [D]. 华中科技大学, 2013.
- [2] 黄国如. 城市暴雨内涝防控与海绵城市建设辨析 [J]. 中国防汛抗旱, 2018, 28(02):8-14.
- [3] 谢映霞. 城市排水与内涝灾害防治规划相关问题研究 [J]. 中国给水排水, 2013, 29(17):105-108.
- [4] 王通. 城市雨水管理: 理论、方法与措施 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 201712, 49.
- [5] 温成龙, 项亚楠. 绿色发展理念下河流廊道蓝绿空间规划思路与实践——以德阳市为例 [J]. 资源与人居环境, 2024, (06):30-37.
- [6] 本刊编辑部, 张杰, 李晓春. 蓝绿融合助力区域经济生态可持续发展 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (08):5.
- [7] 黄龙燕, 管桂玲, 吴橙晓. 校园蓝绿空间环境提升设计研究 [J]. 水利规划与设计, 2024, (04):26-29+71.
- [8] 张智. 城镇防洪与雨水利用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 201609.
- [9] 金彦兆等. 农村雨水集蓄利用理论技术与实践 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 201709.
- [10] 王天然, 左长安, 董凤华, 等. 城市蓝绿空间格局热环境效应的季节性变化规律及其规划响应——以青岛市黄岛区为例 [J]. 景观设计, 2025, 23(04):23-25.
- [11] 宋加颖, 孟丹, 冯鹏, 等. 北京城市副中心及周边区域蓝绿空间景观格局及降温效应评估 [J]. 园林, 2024, 41(04):86-94.
- [12] 李晓彤. 基于生态经济的蓝绿空间开发模式研究——以广东省江门市新会区小鸟天堂周边水系项目为例 [J]. 房地产世界, 2023, (21):29-31.
- [13] 刘艳芬. 福州市蓝绿空间冷岛效应研究 [D]. 福建农林大学, 2022.