

西部某高校人工湖设计要点分析

刘鹏晨

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 生态文明与教育高质量发展背景下,人工湖升级为集蓄洪防涝、生态服务、环境育人、文化传承于一体的复合载体,对绿色校园建设有重要意义。为打造富有强大生命力的安全生态人工湖,构建蓝绿交织共融的生态校区,实现“水安、水美”,科学的人工湖设计体系至关重要。结合西部某高校新校区人工湖项目,聚焦人工湖设计体系中的关键技术环节,从水文分析、水量保障和湖体设计三个关键维度阐述了人工湖设计的核心要点,为人工湖建设提供了可复用的技术路径。

关键词: 人工湖;水文分析;水量保障;防渗措施;水体循环

中图分类号: X17

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)04-0268-06

Analysis on Key Design Points of an Artificial Lake in a Western Chinese University

LIU Pengchen

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Under the background of ecological civilization and high-quality educational development, the upgrading of artificial lakes into a composite carrier integrating flood storage and waterlogging prevention, ecological services, environmental education and cultural inheritance is of great significance to the construction of green campuses. To create a safe and ecologically vibrant artificial lake, establish an ecological campus where blue and green are interwoven and integrated, and realize “safe and beautiful water”, a scientific design system for artificial lakes is of vital importance. Combined with the artificial lake project of a new campus in a western university, focusing on the key technical aspects of the artificial lake design system, the core essentials of the artificial lake design are expounded from three key dimensions of hydrological analysis, water volume guarantee and lake body design, providing the reusable technical pathways for the construction of artificial lakes.

Keywords: artificial lake; hydrological analysis; water volume guarantee; anti-seepage measures; water circulation

0 引言

在生态文明建设与教育高质量发展双重战略背景下,人工湖已突破传统景观水体的单一功能定位,升级为融合蓄洪防涝、生态服务、环境育人、文化传承于一体的复合型功能载体,在优化校园水安全格局、提升生态系统服务价值、构建沉浸式环境育人场景以及传承地域文化特色等方面展现出独特优势,对推动绿色校园建设和教育环境品质提升具有重要实践意义。从水体治理、生态修复角度国内学者对人工湖已进行多方面的研究^[1-4],主要聚焦于人工湖设计中的某一特定要素,而针对人工湖设计体系的

系统性研究相对不足。本文结合西部某高校新校区人工湖项目案例实践,聚焦人工湖设计体系中的关键技术环节,从水文分析、水量保障和湖体设计3个方面阐述人工湖设计要点(见图1)。

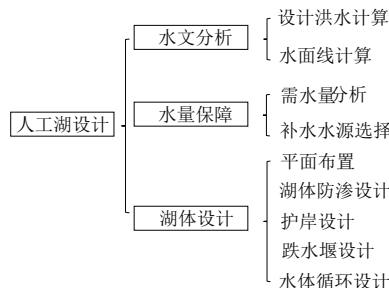


图1 人工湖设计技术路线图

1 工程概况

1.1 设计目标

通过对片区现状冲沟、地形地貌及规划排水系

收稿日期: 2025-08-24

作者简介: 刘鹏晨(1989—),男,硕士,高级工程师,从事港口码头及城市防洪设计工作。

统的分析,对西部某高校新校区的人工湖水系进行科学规划、合理建设,使人工与自然巧妙融合,打造富有强大生命力的安全生态人工湖,构建蓝绿交织共融的生态校区,实现“水安、水美”。

1.2 设计标准

根据《城市防洪工程设计规范》(GB/T 50805—2012)^[5],新校区规划人口规模相对较小,但属于重要科研场所,参照所在地区人口及防洪保护对象的重要程度,本项目人工湖防洪标准为 50 年一遇,防洪工程等别为Ⅲ等,主要建筑物级别为 3 级,次要建筑物级别为 4 级。

1.3 工程地质

勘察揭露,第②层黄土状粉土具有湿陷性及自重湿陷性,地基湿陷等级为 I 级(轻微)湿陷性黄土地基-Ⅳ级(很严重)湿陷性黄土地基,基本分布于整个场地。湿陷性粉土在上覆土层自重应力作用下或者在自重应力和附加应力的共同作用下,因浸水后土的结构破坏产生显著变形,在工程建设中,因浸水湿陷会引起地基湿陷并对工程建设造成危害。

2 水文分析

2.1 设计洪水

校区所在区域无水文观测站,属无资料的小流域地区,考虑到本次研究区为规划的大学城片区,受灾后影响严重,以及对下游威胁最大的洪水类型以暴雨洪水为主,因此,本次洪水计算方法采用不同方法计算。

根据邻近有水文资料河流的洪水计算成果,选用面积指数法、推理公式法及城市化区域径流系数法进行比选。

(1)面积指数法

校区人工湖水系汇水面积较小,且高程与邻近阜康白杨河水文站接近,选取白杨河站为参证站计算设计洪峰流量(见表 1)。

表 1 白杨河参证站设计洪水成果表

计算断面	流域面积/ km ²	设计洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)					
		1%	2%	3.33%	5%	10%	20%
白杨河水文站	252	391	293	225	176	104	52.6

考虑到校区洪水类型为暴雨型洪水,而选取的白杨河参证站为融雪型+暴雨洪水,二者之间洪水类型有一定的差别,本次分析计算的汇水面积较小,且纵坡较大,产汇流汇水时间短,洪水更易汇集,故本

次计算时面积指数取 0.6~0.7。

(2)推理公式法

$$Q_m = 0.278 \left(\frac{S_p}{\tau^n} - \mu \right) F \quad t_c \geq \tau$$

$$Q_m = 0.278 \left(\frac{n S_p t_c^{1-n}}{\tau} \right) F \quad t_c < \tau$$

$$t_c = \left[\frac{(1-n) S_p}{\mu} \right]^{\frac{1}{n}}$$

$$\tau = 0.278 \frac{L}{m J^{1/3} Q_m^{1/4}}$$

式中:Q_m为设计洪峰流量,m³/s;t_c为产流历时,h;τ为汇流历时,h;S_p为暴雨雨力,mm/h;μ为流域平均损失率,mm/h;n为暴雨衰减指数;F为流域面积,km²;m为汇流参数;L为河流长度,km;J为沿程坡降。

(3)综合径流系数法

$$Q_m = 0.278 q \psi F$$

式中:Q_m为设计洪峰流量,m³/s;q为设计暴雨强度,mm/h;ψ为径流系数;F为流域面积,km²。其中径流系数根据下垫面情况进行综合选取,新城区约 0.6~0.8。

(4)设计洪峰流量

安全考虑,选取较大的径流系数法计算成果作为采用值,设计洪峰流量计算成果见表 2。

表 2 设计洪峰流量计算成果 单位:m³/s

区块	面积指数法	推理公式法	径流系数法	采用值
人工湖水系	9.77	9.8	10.16	10.16

2.2 水面线计算

本次采用 MIKE11 一维河网水动力数学模型对校区水系进行分析。

2.2.1 水动力模型基本方程

水动力模型基本方程采用 Saint-Venant 方程组,是用来描述简单明渠非恒定渐变流运动规律的偏微分方程,包括运动方程和连续性方程:

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 AR} = 0 \end{cases}$$

式中:x、t 分别为距离和时间的坐标;A 为过水断面面积,m²;为河道内任意断面的流量 m³/s;h 为水位,m;q 为旁侧入流量,m³/s;C 为谢才系数,m^{1/2}/s;R 为水力半径,m;α 为动量校正系数;g 为重力加速度,m/s²。

采用六点中心隐式格式将上述偏微分方程组化为差分方程组。该差分方程组与河汉、闸汉方程,边

界条件及初始条件一起构成非线性方程组,在计算中考虑桥梁、堰、闸等建筑物的阻水,低地行洪以及田面滞洪等影响洪水水传播的因素,逐时计算出各种水利工程条件下,河道各特征断面水位和流量的过程。

2.2.2 河网概化

由于本次模拟不具备与边界条件同步的水文率定验证站点的资料,因此本次模型参数的选取依赖于研究区域已有的研究成果及区域经验值选取。根据糙率初步率定原则为:根据行洪河道河床的情况,比较顺直河段取 0.020~0.030;个别阻水严重或有挑流建筑物的河段取 0.030~0.035;行洪漫滩,杂树较多,取 0.040~0.050。本次河段整体比较顺直,主要为人工湖断面形式,因此糙率取 0.03。

河道水面线计算采用 50 年一遇洪水与排洪渠下边界组合方式,计算结果作为水面线。

根据水文分析成果,本项目人工湖特征水位如下:
常水位:843~855.5 m;
设计高水位:844.97~856.46 m。

3 水量保障

3.1 需水量分析

蒸发需水量 W

蒸发水量的计算可根据水面面积及蒸发量等计算年蒸发量,蒸发需水量是维持水系正常功能必不可少的水量,当水面蒸发量高于降水量时,必须从规划的河道水面系统以外接纳的水体来补充,计算公式^[6-7]为:

$$W=A(E-P)$$

式中:W为水面蒸发生态需水量,m³;A为平均水面面积,m²;E为平均蒸发量,mm;P为平均降水量,mm。

本地区月均降水量较小,分散降水对湖区补水不利,偏安全考虑,仅考虑水面降水情况下,进行湖区水平衡分析。

结合周边地区冰情分析,人工湖补水主要考虑 3 月至 10 月共计 8 个月份,11 月至来年 2 月基本为冰冻期,不进行补水。湖区补水水量为维持景观常水位的补水量。根据多年平均降雨蒸发水平衡分析,年总缺水量约为 1.5 万 m³。最大缺水月份为 7 月,缺水量 2 897.6 m³,计约 94 m³/d。多年平均降雨蒸发水平衡分析见表 3。

3.2 补水水源

本项目人工湖补水水源选取原则:

表 3 多年平均降雨蒸发水平衡分析

月份	降水/ mm	蒸发/ mm	差值/ mm	降水量/ m ³	蒸发 量/m ³	排水 量/m ³	补水量/ m ³
1	9	7	3	144	104		冰期不补水
2	10	10	0	160	160		冰期不补水
3	19	37	-18	304	592	-288	288
4	32	114	-82	512	1 826	-1 314	1 314
5	34	170	-136	544	2 722	-2 178	2 178
6	34	197	-163	544	3 149	-2 605	2 605
7	29	210	-181	464	3 362	-2 898	2 898
8	23	197	-174	368	3 144	-2 776	2 776
9	22	141	-119	352	2 253	-1 901	1 901
10	22	72	-50	352	1 150	-798	798
11	18	23	-5	288	362		冰期不补水
12	13	8	5	208	125		冰期不补水
合计	265	1 184		4 240	18 947		14 757

(1)满足湖区景观水体及换水需求,确保湖区水动力条件;

(2)所选补水水源水量充沛,且入湖水质目标为地表水准Ⅳ类;

(3)补水工程建设与运行费用经济合理。

比选本地区潜在补水水源及优缺点见表 4。

表 4 补水水源及优缺点对比

序号	补水水源	水源稳定性	经济性	优点	缺点
1	降水	不稳定	经济	利用水系汇水面积汇水,无额外工程投资	受降雨频率和强度影响,本地降水量无法满足补水要求;初雨水质相对较差,一般需净化处理后入湖
2	融雪	不稳定	经济	利用融雪高水自流引水	融雪时间与补水时间不同步,外部融雪径流难以流入校区
3	再生水回用(中水)	稳定	经济	污水厂出水水质一般一级 A,通过深度处理,再生水水质可以达到准Ⅳ类	原水水质较差
4	给水	稳定	不经济	水质较好	造成一定水资源浪费,费用高
5	水库引水	较稳定	不经济	水质较好	需建设引水管线,且周边 10 km 内无较大库容水库
6	地下水	较稳定	不经济	水质较好	本地地下水埋深较深、较难利用

综合考虑,补水主要选择再生水回用(中水),以给水为应急补水水源,自湖体上游补水。

中水水源稳定、水量充沛、受季节和气候影响

小,是一种十分宝贵的水资源。本项目人工湖水质目标为地表水准Ⅳ类,再生水厂中水补水水质类型为一级A,故中水进入人工湖前需增加处理设施,处理设施采用一体化处理设备。

4 湖体设计

4.1 平面布置

本项目设计人工湖湖体面积 18 565 m²,整体呈狭长形布局,地势东高西低,东西向延伸总长度约 963 m,坡降 1.3%。为营造丰富的景观层次与水流动态效果,设计采用 11 级跌水堰进行水体分级处理,将湖体科学划分为 A 至 L 共 12 个相对独立又相互连通的功能区域,见图 2。

4.2 湖体防渗

根据校区地质勘察成果,人工湖设计基底主要为②层黄土状粉土,透水性强,不能够存蓄水量,同时具有湿陷性,湖水渗后将周边建筑及道路基础产生不良影响,因此必须进行防渗处理。

4.2.1 垂直防渗与水平防渗方案比选

人工湖防渗设计中,主要有以下两种形式的防渗措施:

(1)垂直防渗,防渗结构沿着封闭水体周围布置,垂直防渗结构打入透水性较差土层,截断水体向外围渗漏,与水系土层中的透水性较差的土层共同形成闭合防渗体系。

(2)水平防渗,防渗结构铺满水系底面,像一个“盆”,形成一个整体的防渗体系,以达到防渗的目的。

由于建设区域土层分布不均,弱透水层呈非连续、错综复杂的分布状态,导致湖水易通过弱透水层交错或缺失区域的强透水土层形成渗漏通道。若采用垂直防渗技术,无法完全阻断潜在的湖底渗漏通道,致使垂直防渗措施难以实现预期的蓄水防渗功

能。相比之下,水平防渗技术通过全区域连续铺设完整闭合的防渗土工膜,构建系统性防渗屏障,可全面阻隔局部可能产生的湖底渗漏路径。基于其可靠性与防护完整性,推荐采用水平防渗加固方案作为更稳妥的防渗措施。

4.2.2 水平防渗材料的比选

目前国内河、渠、湖常用的水平防渗材料有水泥土防渗、HEC 固结剂防渗、聚乙烯(PE)土工膜防渗、土料防渗和膨润土防渗毯(GCL)防渗。

本项目人工湖地处缺水的西部地区,蓄水面大且有水质要求,要保证水体水质,必须形成水生态系统,发挥水体自净作用,因此对人工湖湖床的生态化程度要求较高,不适宜采用水泥土和 HEC 固结剂防渗方案。

防渗膜与防渗毯是目前人工湖建设工程中采用较多的成熟方案,防渗效果好,其上覆土一方面对防渗结构起到固定保护作用,一方面作为水生物的生态湖床,满足人工湖生态要求。相较防渗膜,防渗毯更具优势:

(1)施工不受环境的限制,施工更加方便,防渗膜在接缝处理时容易由于虚焊而造成局部渗漏,对施工质量要求高;

(2)防渗毯柔性极好,抗张应变的能力强,自愈合功能极好,较防渗膜更能满足湖床不均匀沉降要求;

(3)膨润土防渗毯采用天然无机材料,不会发生老化反应,属环保材料,材料的使用年限较防渗膜更长;

(4)膨润土防渗毯易修补,远期湖岸拟建亲水栈道,桩基施工可能打穿湖底已建的防渗结构,造成湖底渗漏,膨润土防渗毯能较好解决补漏的难题。

为保证湖体一定的存蓄水量,同时避免湖水下渗对周边建筑及道路基础产生的不良影响,本项目人工

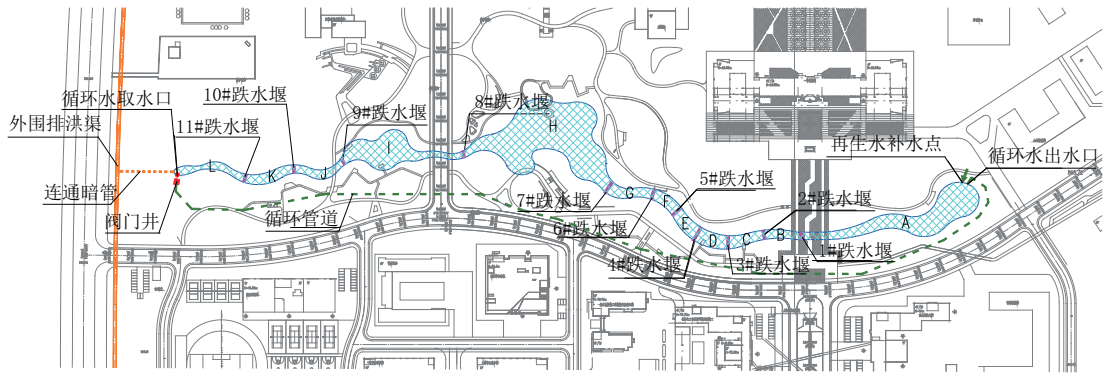


图2 人工湖平面布置图

湖采用100 mm灰土垫层+膨润土防渗毯+500 mm黏土保护层的多重防渗方案,此外,考虑到运行期车辆清淤的需要,上方铺设一层60 mm的预制混凝土板。

4.3 护岸结构

(1) 堤顶标高

根据《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013)^[8]的要求,堤顶高程应按设计洪水位加堤顶超高确定。

$$Y = R + e + A$$

式中:Y为堤顶超高,m;R为设计波浪爬高,m;e为设计风壅水面高度,m;A为安全加高值,m。

确定设计洪水位。

本项目人工湖防洪标准为50年一遇,通过建立数学模型进行水面线的推求,新建人工湖设计洪水位约844.97~856.46 m。

确定安全加高值。

经计算,设计风浪爬高和风壅水面高度较小可忽略不计,则堤顶超高取0.4 m,新建人工湖堤顶高程为845.38~856.86 m。人工湖断面参数见表5。

表5 人工湖断面参数表				单位:m
位置	设计高水位 H	景观常水位 h	设计湖底 高程 h_0	堤顶高程 H+0.4
A	856.46	855.5	854.0	856.86
B	855.49	854.5	853.5	855.89
C	854.39	853.5	852.5	854.79
D	853.33	852.5	851.5	853.73
E	852.48	851.5	850.5	852.88
F	851.47	850.5	849.5	851.87
G	850.47	849.5	848.5	850.87
H	849.66	848.5	847.0	850.06
I	848.03	847.0	845.5	848.43
J	846.62	845.5	844.0	847.02
K	845.63	844.5	843.5	846.03
L	844.98	843.0	841.5	845.38

(2) 典型护岸断面

本项目环湖布置生态草坡驳岸,堤顶高程以下区域以1:3坡度自然放坡至湖底,堤顶高程以上区域以不大于1:3的缓坡过渡至校园路网。坡面设计充分考虑生态性与美观性,科学配置乔灌草相结合的复层绿化体系,通过本土植物的合理搭配形成层次丰富的滨水植物景观带。典型护岸断面见图3。

4.4 跌水堰

结合建设场地的规划地形条件,充分利用场地内12.5 m的水系落差,通过系统性的竖向设计对人工湖进行分级处理,沿地势高差由东向西设置11级跌水堰,溢流口高程为上游常水位,堰顶高程为上游

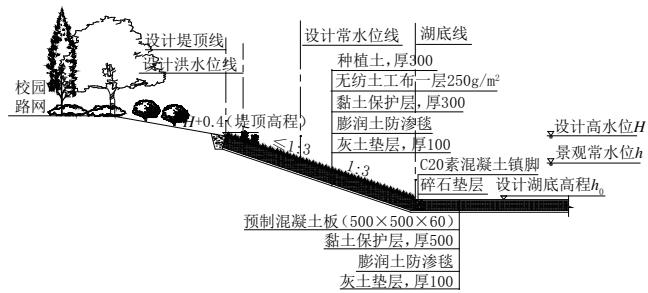


图3 典型护岸断面图(单位:mm)

常水位加0.3 m。通过梯级溢流堰的串联布局,既能有效积蓄水资源,又可营造层次丰富的动态水景效果,打造多级跌瀑景观。跌水堰断面示意图见图4,跌水堰断面参数见表6。

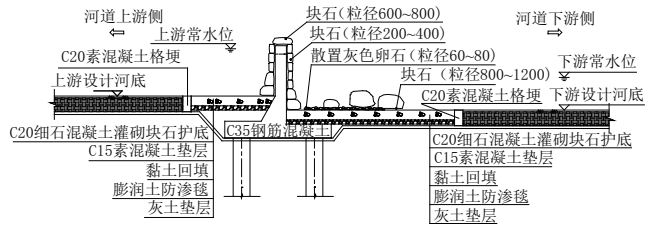


图4 跌水堰断面示意图(单位:mm)

表6 跌水堰断面参数表				单位:m
位置	上游常水位	下游常水位	上游设计 湖底	下游设计 湖底
1#	855.5	854.5	854.0	853.5
2#	854.5	853.5	853.5	852.5
3#	853.5	852.5	852.5	851.5
4#	852.5	851.5	851.5	850.5
5#	851.5	850.5	850.5	849.5
6#	850.5	849.5	849.5	848.5
7#	849.5	848.5	848.5	847.0
8#	848.5	847.0	847.0	845.5
9#	847.0	845.5	845.5	844.0
10#	845.5	844.5	844.0	843.5
11#	844.5	843.0	843.5	841.5

在日常运行中,维持水系景观水位,确保良好的视觉效果和亲水体验;遇极端暴雨等特殊工况时,人工湖可承担周边区域降雨径流的调蓄功能,通过下游预埋的暗管(管底高程843.0 m)将蓄存水体排入外围排洪渠(渠底高程841.6 m,洪水位842.8 m),实现景观与防洪功能的有机统一。连通暗管及外围排洪渠布置见图2。

4.5 水体循环

基于人工湖水体流动性特征,通过构建水系内部循环系统优化水体动力条件。出水口设置于湖体上游段,在湖体下游布置一套循环提升系统,包括一座埋地式水泵取水口和一座埋地式水泵阀门井,通过该系统将湖水提升并输送至上游出水口,从而维

持水系的持续流通性。循环管道沿人工湖沿岸绿化带敷设,管线全长约 0.98 km。通过对循环泵流量及管道规格的比选,综合考虑投资、管道铺设条件及水动力情况,确定循环泵设计流量 0.2 m³/s,系统换水周期约 3.2 d。水体循环系统见图 2。

5 结 语

本文以西部某高校新校区人工湖项目为例,聚焦人工湖设计体系中的关键技术环节,从水文分析、水量保障和湖体设计三个方面阐述了人工湖设计要点:

(1)水文分析方面,基于水文资料和气象数据,结合地形和河道特性,确定设计洪峰流量并推求水面线,为防洪工程布局提供科学依据。

(2)水量保障方面,系统调查湖体用水需求,开展水量平衡分析,综合评估多种水源,确保水量稳定可靠。

(3)湖体设计方面,科学规划湖体形态,针对性的选择防渗措施与护岸结构设计,合理布置堰、闸等

建筑物和内部水体循环系统,提高湖体自净能力和水动力条件。

研究为人工湖建设提供了可复用的技术路径,未来可在普适性、气候韧性、生态量化及智能运维等维度深化,进一步增强科学与可推广性。

参考文献:

[1] 马思飞.基于生态修复技术的城市人工湖景观设计研究[J]. 特种经济动植物, 2024, 27(9): 178-180.

[2] 王建富,辛玮光,张超,等.人工湖草型清水态生态系统构建技术研究与实践——以西北某新建人工湖为例[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(4): 1105-1113.

[3] 但孝香.MIKE 21 软件在人工湖水动力-水质耦合中的应用[J]. 上海建设科技, 2022(1): 73-75.

[4] 唐士芳,龚玲玲,徐璐,等.城市景观人工湖水体治理与修复技术研究进展[J]. 水道港口, 2021, 42(6): 798-806.

[5] GB/T 50805—2012 城市防洪工程设计规范[S].

[6] 王西琴,刘昌明,杨志峰.生态及环境需水量研究进展与前瞻[J]. 水科学进展, 2002(4): 507-514.

[7] 王会肖,薛明娇,覃龙华.黄河中游河道生态环境需水量研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 369-374.

[8] GB 50286—2013 堤防工程设计规范[S].

(上接第 257 页)

[3] 聂俊英.水环境与排涝系统协同提升典型案例[J]. 城市道桥与防洪, 2025(9): 297-300.

[4] 李柯,江欣,王伟.城市河流防洪能力提升对策分析[J]. 城市道桥与防洪, 2023(1): 126-129.

[5] 郝身群,马华龙,吴松.洛阳市城市内涝现状及治理策略[J]. 城市道桥与防洪, 2022(6): 110-112.

[6] 张建云,宋晓猛,贺瑞敏.新时期大型城市洪涝灾害防控及思考[J]. 中国水利, 2025(17): 15-21.

[7] 赵璐.城市洪涝安全评估与内涝防治研究[J]. 水利技术监督, 2025(10): 9-11; 95.

[8] 文会学.“天空地网”一体化的城市洪涝灾害监测预警防控平台建设与应用[J]. 城市勘测, 2025(4): 40-43.

[9] 王慧.基于韧性城市理念的城市防洪排涝体系构建分析[J]. 中国水运, 2025(12): 90-92.

[10] 黄世春.福清市水系智慧防汛联合调度系统建设及应用[J]. 水利科技, 2025(1): 76-78.

[11] 周昕怡.城市水系统规划及控制策略研究[J]. 城市道桥与防洪, 2020(6): 125-127.

[12] 李建忠.浅析城市防洪河道生态护岸形式设计[J]. 城市道桥与防洪, 2019(2): 125-126; 153.

[13] 李丁.城区防洪排涝设计实例探讨[J]. 城市道桥与防洪, 2015(10): 65-67; 15.

[14] 刘家宏,梅超,王佳,等.新形势下城市洪涝演变特征与联防联控技术研究[J]. 中国水利, 2025(9): 28-33.

[15] 吴娟,钱傲然,林荷娟.应对极端暴雨洪水与提升防洪安全韧性研究——以太湖流域为例[J]. 中国水利, 2024(8): 25-32.

[16] 杨芳,张印,张鹏,等.粤港澳大湾区城市洪潮涝防御韧性提升创新实践与思考[J]. 中国水利, 2025(17): 27-34.