

洪水破坏力学分析与防洪技术的综合研究

尚祥森, 王学志

辽宁工业大学土木建筑工程学院, 辽宁 锦州

收稿日期: 2025年4月6日; 录用日期: 2025年4月27日; 发布日期: 2025年5月8日

摘要

洪水破坏形式及其对建筑结构的影响已成为防洪工程中的重要课题。通过对力的分类分析, 研究了开洞设计和迎流角度对结构受力的影响。结合防洪材料和工程措施的最新进展, 深入探讨了不同材料的抗水性能与结构设计优化方法。结果表明, 合理的开洞设计和迎流角度能够有效降低洪水冲击力对结构的破坏。同时, 防洪材料的选择与结构优化设计密切相关, 尤其在抗水性能和耐久性方面的创新研究显著提高了防洪设施的整体效果。这些研究为防洪工程的设计提供了理论依据, 并为未来的设计优化方向提出了实践建议。

关键词

洪水破坏形式, 拖曳力, 开洞设计, 迎流角度, 防洪材料

Flood Damage Mechanics Analysis and Comprehensive Study of Flood Control Technologies

Xiangsen Shang, Xuezhi Wang

School of Civil Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

Received: Apr. 6th, 2025; accepted: Apr. 27th, 2025; published: May 8th, 2025

Abstract

The forms of flood damage and their impacts on building structures have become a key issue in flood control engineering. Through a classification analysis of forces, the effects of opening design and flow angle on structural stress were examined. The latest advancements in flood control materials and engineering measures were explored, focusing on the optimization of materials' water-resistant properties and structural design. The results show that a rational opening design and flow angle can effectively reduce the destructive forces of floods on structures. Additionally, the selection

of flood control materials and structural optimization are closely linked, especially in terms of innovations in water resistance and durability, significantly enhancing the overall effectiveness of flood protection facilities. These findings provide theoretical support for the design of flood control engineering and propose practical suggestions for future design optimization.

Keywords

Flood Damage Forms, Drag Force, Opening Design, Flow Angle, Flood Control Materials

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在当今极端气候事件频发的背景下,洪水已成为威胁建筑安全与城市发展的重要自然灾害之一。研究建筑物在洪水作用下的破坏形式与受力特征,对于优化防洪设计具有重要意义[1]。不同的洪水流速和水流特性,对建筑物产生的力学影响也有所不同。相同流速的洪水,因开洞率和迎流角度的差异,所施加在建筑上的力也会有所不同。开洞设计影响水流分布,进而改变建筑物受力情况,而迎流角度则决定了水流冲击的强度和方向。

防洪加固方案主要分为材料方案和构造方案。材料方案关注防洪材料的选择与性能,尤其是抗水性能和耐久性;构造方案则侧重于建筑结构设计的优化,包括合理的开洞设计和迎流角度的选择。通过综合分析这些因素,可以有效提高建筑物在洪水中的安全性和抗洪能力。

2. 洪水作用下的建筑破坏模式

根据山区洪水的组成成分、运动特征、动力过程及其对不同受灾对象的作用情况,本研究将洪水对村镇建筑的破坏模式归纳为四种主要形式:对建筑上部结构的冲击性破坏、对建筑地基基础的冲刷性破坏、对建筑材料和地基的浸泡性破坏,以及对建筑周围环境的淤积性破坏[1]。

冲击破坏:山区洪水流速大、水深高时,强大的动能直接冲击建筑,导致上部结构变形、裂损或构件破坏,严重时引发整体倒塌。洪水对建筑的冲击作用常导致抗侧向变形能力较弱的建筑局部损伤。

冲刷破坏:洪水具有强烈的侵蚀力,易导致村镇建筑地基基础的冲刷破坏。深水洪水通过淹没建筑并持续冲刷地基,造成土体流失和强度下降,进而引发建筑倾斜、开裂、不均匀沉降,甚至倒塌;浅水洪水则在沟道中侧向侵蚀岸坡,冲刷临河建筑地基,导致岸坡失稳及地基土流失,可能引发结构失稳或破坏,严重时导致倒塌。此外,洪水渗入地基土中可能引发流砂、管涌或滑坡等地质灾害,威胁建筑安全。

浸泡破坏:洪水在低洼地区积聚并长时间浸泡建筑,导致建筑材料及地基土壤吸水软化、强度下降,进而引发结构开裂、破坏或倒塌。此外,积水会损坏家具电器并引发财产损失,高温湿润环境还可能滋生病菌,威胁居民健康。

淤埋破坏:当洪水动能不足且流速降低时,洪水中的固体物质(如泥沙、石块)在建筑周围或内部沉积,造成淤埋破坏。尽管建筑结构可能完好,但其使用功能丧失。沉积物还可能腐蚀建筑材料、污染水源并堵塞管道,进一步威胁建筑安全和居民生命安全。总的来说其中山区洪水对于村镇建筑的冲击作用是导致抵抗侧向变形能力较弱的村镇建筑局部损伤、严重破坏或整体垮塌的主要原因[2][3]。主要包括静水作用力和动水作用力(拖曳力和撞击力)。

在计算洪水冲击荷载时, 研究发现, 相同荷载下, 建筑物的开洞率和迎流角度对其受力效果有显著影响。开洞率的变化可能导致水流在建筑表面不同地分布, 从而改变冲击力的传递方式。而迎流角度则决定了水流冲击方向和强度的变化, 进而影响结构的受力情况。因此, 研究开洞率和迎流角度对建筑受力的影响, 对于优化建筑设计、提高抗洪水冲击能力具有重要意义。下文将深入探讨开洞率和迎流角度对建筑物受力的具体影响。

3. 影响建筑受力因素开洞率和迎流角度

3.1. 开洞率的影响

村镇建筑很少是不透水的, 其最常见的特征就是具有开洞, 如门、窗等。相关研究表明, 开洞建筑比不开洞建筑具有更好的水动力冲击荷载抵抗能力[4]。因此, 充分理解开洞对村镇建筑结构防洪抗灾能力的影响是至关重要的。Lukkunaprasit 等[5]发现建筑墙体上的开洞对模型受到的正面冲击峰值压强的影响是不显著的, 但是会降低施加在建筑上的荷载合力。肖诗云团队[6]该研究探讨了洪水冲击作用在不同条件下对建筑物的影响, 特别是在不同距离、开洞率和开洞位置下的冲击压强、冲击力和冲击弯矩的变化规律。研究发现了冲击荷载的空间分布特征, 并通过结合 Saint-Venant 方程组的显式差分格式和一元非恒定流能量方程, 推导出了一维洪水演进模型以及洪水冲击荷载的计算公式。此外, 研究还分析了在不同糙率、下游水深及坡度条件下, 洪水冲击荷载的特征变化, 揭示了这些因素对冲击荷载的影响机制, 为相关领域的工程设计和灾害防护提供了理论依据。方琦通过实验和有限元数值模拟分析发现一定的迎流角度使得村镇建筑的外形轮廓更偏向于流线型, 洪水流动更加平滑, 从而降低了洪水冲击荷载。但一定的迎流角度还会增加建筑的阻塞比和受力面积, 亦会导致洪水冲击荷载的增大[7]。Manawasekara 等[8]的研究表明, 除建筑迎流面的开洞率之外, 建筑内部的布局分布也会影响到洪水冲击荷载。Gems 等[9]利用 FLOW-3D 建立了洪水与单体建筑相互作用的三维数值模型, 分析了进入建筑内部的洪水过程以及作用于内外墙上的冲击荷载, 指出了开洞对于冲击荷载的重大影响。孙鹏[10]利用 FLUENT 模拟了不同开洞率、不同开洞位置和不同墙面开洞下的建筑表面压力及区域流场, 并且对钢筋混凝土房屋表面的压力分布和应力应变进行了单向耦合数值模拟, 确定了房屋建筑在洪水作用下的薄弱部位。Faisal 等[11]发现开洞较大的墙体承受的水流冲击荷载较小, 具有更优的抗洪性能, 且开洞的位置和形状也会影响洪水冲击荷载情况。Sturm 等[12]指出建筑结构的开洞情况是影响洪水冲击荷载的重要影响因素之一。Wüthrich 等[13]探究了极端水动力事件施加在开洞率为 0%~84% 的建筑上的冲击力和冲击力矩, 并给出了冲击荷载的预测公式。一般来说, 洪水冲击荷载和建筑损伤破坏程度与开洞率呈负相关关系, 但是是否存在比较明确的量化相关性有待于进一步讨论。此外, 在保证工程具有足够精度的前提下, 确定哪些情况或特定范围内的洪水冲击荷载和建筑损伤破坏程度与开洞率之间的负相关关系可近似处理成线性负相关关系[14], 是值得深入探讨的关键问题, 且具有较强的实际应用价值和工程指导意义。

3.2. 建筑迎流角度

实际上, 村镇建筑的布局通常较为复杂, 呈现出不规则的形式, 这使得在洪水灾害发生时, 洪水往往并不是以正面垂直方向直接冲击建筑物。相反, 建筑物在洪水中的迎流角度会有所不同。不同的迎流角度会影响洪水冲击过程中的水动力特性, 进而改变冲击的各个阶段, 如建筑表面的冲击高度、冲击荷载的大小以及冲击压强的分布。通常情况下, 当洪水水流与建筑物的正面垂直冲击时, 冲击荷载较大, 而当水流斜向冲击建筑物时, 冲击荷载通常会较小。这一现象反映了水流方向对建筑物冲击特性的显著影响, 是研究洪水冲击荷载时需要重点考虑的因素[15]。Harish S 等[16]测试了类似于海啸的水流作用于不同迎流角度上建筑的受力情况, 发现随着方向角的增加使每单位宽度的力和力矩呈正弦方式减小, 在

45°迎流角度时为作用力有最大减少量。Shafiei 等[17]研究了极端水动力事件对于具有不同迎流角度方柱的冲击过程, 给出了不同迎流角度的拖曳系数值。Sturm 等[18]通过物理模型试验分析了清水流和水沙混合流施加在垂直板上的冲击荷载情况, 探究了河床坡度、流量、输沙粒度分布、沉积物浓度和迎流角度对冲击荷载的影响, 强调了迎流角度的重要性[19]。Yllas Arbòs 等[20]测试了极端水动力事件作用于迎流角度为 0°、22.5°和 45°的建筑模型上的冲击荷载情况, 发现一定的迎流角度会导致较小的单位宽度作用力。Postacchini 等[21]着重研究了不同水深、流速和迎流角度对稳态拖曳压强的影响规律, 发现迎流角度对压力梯度、峰值频率和谱能量均有显著影响, 阻力系数随弗劳德数的增大而减小, 而与入射角度的关系不大, 并强调了阻塞效应对结构周围水动力特性的影响。Liu Y 等[22]着重研究了桥墩在水流作用影响下的规律, 发现由于桥墩的流线型影响桥梁的应力和水流特性, 在迎流角度为 45°时动水压力最低。目前, 相关研究大多集中在迎流角度对稳态过程中的水动力拖曳力的影响, 而对于整个冲击过程的时间历程特征以及冲击荷载的峰值问题, 研究尚显不足。此外, 现有研究中的建筑模型选择缺乏广泛的代表性, 建筑迎流角度对冲击荷载的影响机制仍未得到全面和深入的探讨。因此, 未来的研究应加强对不同迎流角度在整个洪水冲击过程中的作用分析, 探索其对建筑物冲击荷载峰值和结构响应的深远影响。

为研究迎流角度对建筑荷载影响, 本文利用 Ansys 2023 R3 版本下的 LS-DYNA, 以泄洪区区域不同迎流面院墙为例, 模拟单体村镇建筑在洪水冲击作用下的损伤破坏过程。

模拟情景低强度洪水正面冲击矩形庭院和弧度角度庭院的洪水冲击过程及荷载时间历程如图 1 所示。在正面冲击中, 洪水在冲击初期的撞击力为 38.5 kN, 之后洪水冲击力持续增加, 最大值为 816 kN 后, 前墙被洪水破坏。峰值对应于正交于洪水水流方向的第一排混凝土墙的破坏时刻。在新型庭院中, 洪水在冲击初期的撞击力为 30.7 kN, 与正面冲击不同之处是, 在之后的冲击过程中由于独特的角度构造, 撞击力分为 x, z 轴两个不同方向, 使得 x 轴最大撞击力仅为 368 kN, z 轴对应的撞击力为 89.9 kN。

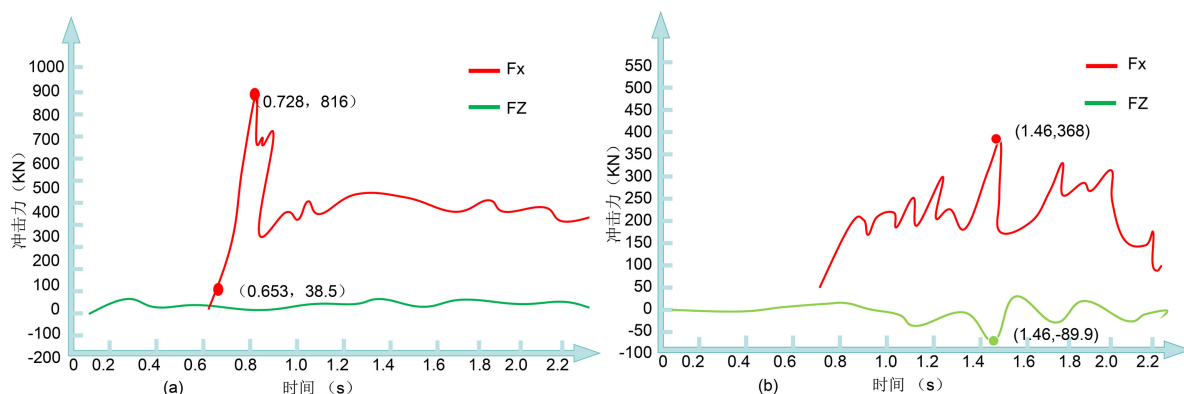


Figure 1. Flood impact process and load time history (filtered via 60 HZ cosine window analysis) (a) Frontal impact (b) Radian impact

图 1. 洪水冲击过程及荷载时间历程(滤波由 cos 60 HZ 分析) (a) 正面冲击 (b) 弧度冲击

在充分理解洪水荷载的计算公式与方法, 并深入分析不同开洞率和迎流角度对建筑物的影响后, 接下来将重点介绍与防洪相关的材料选择及建筑构造的优化设计。这些措施对提升建筑物在洪水灾害中的抗冲击能力和安全性至关重要。

4. 防洪材料与防洪构造

4.1. 防洪材料

Liu Y 该研究利用黄河沉积物与工业副产品(矿渣、粉煤灰和石灰)开发了一种新型环保防洪石。这种

材料表现出较高的强度和耐久性, 同时具备抗水冲刷性能[23]。Mendoza, 等通过地电成像技术对 Upper Bay of Fundy 地区的堤坝进行材料性能评估, 确定了最适合的堤坝加高材料[24]。Li Q 等针对古建筑的防洪需求, 开发了一种低吸水率和高抗压强度的防洪砖, 以保护砖石结构免受洪水侵害[25]。Aygün, H. 等将多孔结构和环保材料相结合, 制造出一种同时具备水稳定性和低碳排放特性的材料, 用于城市的防洪屏障[26]。Mendoza 等研究开发了新的地基材料, 通过混合高强度混凝土和防水聚合物, 显著提高了地基对洪水的抗冲刷和抗渗透性能[24]。Aksoy 等研究提出了一种利用可再生材料(如竹子和复合材料)构建的防洪房屋。这种设计兼具低成本和高防洪能力, 特别适合发展中国家的洪水多发地区[27]。目前防洪材料的研究仍存在一些不足之处。首先, 许多防洪材料在适应性方面存在局限, 尚未能有效应对不同洪水类型和复杂环境条件。其次, 虽然一些新型材料具有较好的防护性能, 但由于生产成本较高, 难以在大规模工程中推广应用。此外, 现有材料的长期耐久性和性能退化问题尚未得到充分研究, 导致其在长期使用中的表现无法得到保证。材料的多样性和标准化也较为薄弱, 缺乏统一的性能评估标准, 影响了不同地区防洪工程的实施。最后, 某些防洪材料在施工过程中要求较高, 维护成本和难度较大, 制约了其实际应用。因此, 未来在防洪材料的研究中, 需要更加关注其综合性能、经济性、耐久性和施工可行性。

4.2. 构造措施

Wu M 等在洪水频发区域, 研究提出了一种高架平台设计, 用于提高房屋底部的抗洪水能力。平台使用耐腐蚀金属框架, 并结合高强度复合材料板[28]。Rezaei Moghaddam 等提出了一种动态防洪墙和滑动门的设计, 可以在洪水预警时自动升起, 形成封闭式保护屏障。动态设计是采用自动液压升降系统, 方便快速启动防洪装置。并且防洪墙兼具安全和隔音功能, 日常不使用时可以隐藏于地下[29]。目前防洪构造存在一些不足之处。首先, 许多传统的防洪构造如堤坝、挡水墙等, 主要针对静态水位上升设计, 缺乏对洪水动态变化和极端天气的应对能力。其次, 防洪构造的设计往往忽视了与周围环境和建筑结构的协调性, 导致一些防护措施在实际应用中效果有限, 甚至可能引发新的问题。另外, 部分高效的防洪构造方案如可移动式防洪墙, 由于施工复杂、维护困难和成本较高, 难以广泛推广应用。最后, 现有的防洪构造多侧重于单一防护功能, 缺乏综合性和多层次的防护设计, 无法有效应对不同类型的洪水灾害。未来可以通过有限元模拟流固耦合板块, 在充分考虑加固成本等条件, 利用软件进行多维度的加固调整, 并通过大数据计算出特定地区的最大降雨量进行高效针对性加固。

5. 总结与展望

洪水冲击荷载计算方面的研究目前多集中于相对简单的建筑模型, 这使得对建筑物特征的考虑相对不足。尤其是在考虑开洞率和迎流角度的影响时, 不同的洪水冲击荷载与建筑模型之间的最佳开洞率尚未得到明确的确定, 这为实际应用中的设计提供了挑战。此外, 冲击时间和峰值荷载的相关研究也存在一定不足, 缺乏对不同冲击时长和峰值荷载对建筑结构影响的深入分析。在防洪材料与构造方面, 尽管现有研究关注了一些材料和构造的抗冲击性能, 但由于研究模型相对简单且实验成本较高, 很多先进的防洪材料和结构形式未能得到充分验证与应用。因此, 如何在合理的成本范围内推广并验证这些新型材料和构造方案, 仍然是未来研究的重点。随着计算能力的提升和模型的不断精细化, 考虑更复杂建筑特征的洪水冲击荷载计算将成为可能。此外, 对于开洞率、迎流角度、冲击时间等因素的综合研究, 将有助于确定更精确的设计标准, 并推动新型防洪材料与构造的实际应用。通过这些进展, 可以为建筑物提供更为精准和经济的洪水防护方案, 增强其抗洪水冲击的能力。

参考文献

- [1] 刘曙光, 钟桂辉, 甄亿位. 村镇建筑洪灾后减灾重建策略与建议[J]. 中国农村科技, 2020(8): 30-35.

- [2] Fang, Q., Liu, S., Zhong, G., Zhang, H., Liang, J. and Zhen, Y. (2021) Nonlinear Simulation and Vulnerability Analysis of Masonry Structures Impacted by Flash Floods. *Shock and Vibration*, **2021**, Article ID: 6682234. <https://doi.org/10.1155/2021/6682234>
- [3] Arnason, H. (2005) Interactions between an Incident Bore and a Free-Standing Coastal Structure. Ph.D. Thesis, University of Washington.
- [4] 曾超, 崔鹏, 葛永刚, 等. 四川汶川七盘沟“7·11”泥石流破坏建筑物的特征与力学模型[J]. 地球科学与环境学报, 2014, 36(2): 81-91.
- [5] Lukkunaprasit, P., Ruangrassamee, A. and Thanasisathit, N. (2009) Tsunami Loading on Buildings with Openings. *Science of Tsunami Hazards*, **28**, 303-310.
- [6] 肖诗云, 岳斌, 杨留娟, 等. 不同水头高度洪水冲击乡村建筑模型试验研究[J]. 大连理工大学学报, 2012, 52(5): 696-700.
- [7] 方琦. 村镇建筑洪水冲击荷载特征及损伤破坏机理研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 同济大学, 2022.
- [8] Manawasekara, C., Mizutani, N. and Aoki, S. (2016) Influence of Openings and Orientation on Tsunami Generated Forces on Buildings. *Journal of Disaster Research*, **11**, 670-679. <https://doi.org/10.20965/jdr.2016.p0670>
- [9] Gems, B., Mazzorana, B., Hofer, T., Sturm, M., Gabl, R. and Aufleger, M. (2016) 3-D Hydrodynamic Modelling of Flood Impacts on a Building and Indoor Flooding Processes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **16**, 1351-1368. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1351-2016>
- [10] 孙鹏. 蓄滞洪区洪水作用下房屋表面压力及区域流场的数值模拟与分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [11] Ahmad Faisal, N.A. (2018) The Ability of Wall Openings to Reduce Flood Induced Forces on Residential Building. *International Journal of Geomate*, **14**, 63-69. <https://doi.org/10.21660/2018.46.7306>
- [12] Sturm, M., Gems, B., Keller, F., Mazzorana, B., Fuchs, S., Papathoma-Köhle, M., et al. (2018) Understanding Impact Dynamics on Buildings Caused by Fluvial Sediment Transport. *Geomorphology*, **321**, 45-59. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.08.016>
- [13] Wüthrich, D., Pfister, M., Nistor, I. and Schleiss, A.J. (2018) Experimental Study on Forces Exerted on Buildings with Openings Due to Extreme Hydrodynamic Events. *Coastal Engineering*, **140**, 72-86. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.06.002>
- [14] Triatmadja, R. and Nurhasanah, A. (2012) Tsunami Force on Buildings with Openings and Protection. *Journal of Earthquake and Tsunami*, **6**, Article ID: 1250024. <https://doi.org/10.1142/s1793431112500248>
- [15] Cuomo, G., Shams, G., Jonkman, S. and van Gelder, P. (2009) Hydrodynamic Loadings of Buildings in Floods. 31st International Conference on Coastal Engineering, Hamburg, May 2009, 3744-3756. https://doi.org/10.1142/9789814277426_0310
- [16] Harish, S., Sriram, V., Schüttrumpf, H. and Sannasiraj, S.A. (2024) Tsunami-Like Flow Induced Forces on the Building with Openings and Orientation in the Quasi-Steady Flow Phase. *Ocean Engineering*, **301**, Article ID: 117337. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117337>
- [17] ASCE (American Society of Civil Engineers) (2017) ASCE/SEI Standard 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers.
- [18] Sturm, M., Gems, B., Aufleger, M., et al. (2017) Scale Model Measurements of Impact Forces on Obstacles Induced by Bed-Load Transport Processes. *Proceedings of the 37th IAHR World Congress*, Kuala Lumpur, 13-18 August 2017, 1459-1468.
- [19] Sturm, M., Gems, B., Keller, F., Mazzorana, B., Fuchs, S., Papathoma-Köhle, M., et al. (2018) Experimental Analyses of Impact Forces on Buildings Exposed to Fluvial Hazards. *Journal of Hydrology*, **565**, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.070>
- [20] Yllas Arbòs, C., Wüthrich, D., Schleiss, A.J., et al. (2018) Wave Impact on Oriented Impervious Buildings. 5th IAHR Europe Congress—New Challenges in Hydraulic Research and Engineering, Trento, 12-14 June 2018, 791-792.
- [21] Postacchini, M., Zitti, G., Giordano, E., Clementi, F., Darvini, G. and Lenci, S. (2019) Flood Impact on Masonry Buildings: The Effect of Flow Characteristics and Incidence Angle. *Journal of Fluids and Structures*, **88**, 48-70. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2019.04.004>
- [22] Liu, Y. (2024) Research on Water Flow Characteristics and Stress around Bridges during Floods. *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, **73**, 2361-2376. <https://doi.org/10.2166/aqua.2024.281>
- [23] Liu, Y., Xiao, H., Jia, Y., Lv, Y., Dai, L. and Yang, C. (2024) Development of Environmentally Friendly and Economical Flood-Prevention Stones Based on the Sediments of the Yellow River. *Gels*, **10**, Article 622. <https://doi.org/10.3390/gels10100622>

- [24] Mendoza, R.P.B., Butler, K.E. and Lelievre, P.G. (2024) Informing Dyke Rehabilitation and Re-Engineering Strategies in the Upper Bay of Fundy through Geoelectric Imaging. *77th Canadian Geotechnical Conference (GeoMontreal 2024)*, Montreal, 15-18 September 2024, 15-18.
- [25] Li, Q., Zhang, T., Fang, Y. and Lin, F. (2024) A Pathological Diagnostic Method for Traditional Brick-Masonry Dwellings: A Case Study in Guangfu Ancient City. *Buildings*, **14**, Article 3563. <https://doi.org/10.3390/buildings14113563>
- [26] Aygun, H. (2024) Sound Transmission through Rigid Porous Materials with and Without Perforations. Institute of Acoustics. <https://doi.org/10.25144/23660>
- [27] Aksoy, B., Öztürk, M. and Özölçer, İ.H. (2024) Effect of Bed Material on Roughness and Hydraulic Potential in Filyos River. *Water*, **16**, Article 2934. <https://doi.org/10.3390/w16202934>
- [28] Wu, M., Wei, X., Ge, W., Chen, G., Zheng, D., Zhao, Y., *et al.* (2024) Analyzing the Spatial Scale Effects of Urban Elements on Urban Flooding Based on Multiscale Geographically Weighted Regression. *Journal of Hydrology*, **645**, Article ID: 132178. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132178>
- [29] Rezaei Moghaddam, M.H., Mokhtari, D., *et al.* (2024) Preparation of Flood Hazard Potential Map Using EBF Statistical Method: The Case Study of Azarshahr Chai Basin. *Physical Geography Research Quarterly*, **56**, 33-49.