

4 实证研究与平台实现

4.1 实验设计与数据准备

以《苏州管理局工程管理工作手册》和《太浦闸工程运行管理工作手册》为数据源，共计 12.5 万字，包含操作规程、设备维护、安全规范等 7 大类别。构建了包含 500 个问题的测试集，分为：

事实性问题（如“太浦闸值班电话是多少”）：占比 40%；

流程性问题（如“检修门吊装步骤”）：占比 35%；

关联性问题（如“水封漏水量超标如何处理”）：占比 25%。

4.2 Dify 平台落地实践

利用开源 Dify 平台实现系统搭建，关键步骤包括：

知识库构建：使用 text-embedding-ada-002 对文档分片进行向量化，存储于 Qdrant 向量数据库；

检索策略配置：启用混合检索（向量检索 Top-5+ 关键词检索 Top-3），结合 rerank-multilingual-v2.0 重排序；

LLM 接口配置：采用 GPT-4 模型（8k 上下文），通过 SystemPrompt 定义回答规范（如要求引用文档章节）。

部署后的 ChatBot 通过 iframe 嵌入业务系统，响应时间控制在 1.2-2.5 秒之间，满足实时交互需求。

4.3 性能评估与对比

采用准确率（Accuracy）、召回率（Recall）和 F1 值作为评估指标，对比三种方案：

纯 LLM 方案：直接使用 GPT-4 回答，不接入私有知识库；

传统 RAG 方案：向量检索 + LLM 整合，无重排序；

本研究方案：混合检索 + 重排序 + 语义聚合。

实验结果显示（表 2），本研究方案在各类问题上均表现最优，尤其在关联性问题上 F1 值达到 0.87，较纯 LLM 方案提升 42%。

表 2

| 方案 | 事实性问题 F1 | 流程性问题 F1 | 关联性问题 F1 | 平均响应时间 |
|-----------|----------|----------|----------|--------|
| 纯 LLM 方案 | 0.65 | 0.58 | 0.49 | 1.8s |
| 传统 RAG 方案 | 0.79 | 0.75 | 0.63 | 2.1s |
| 本研究方案 | 0.91 | 0.89 | 0.87 | 2.3s |

5 关键挑战与优化策略

5.1 多知识点聚合处理

针对用户查询涉及多个知识点的场景（如“比较液压启闭机与卷扬机的故障类型”），传统 RAG 存在召回分散、整合困难的问题。本研究提出“关键词拆解 - 分组检索 - 语义聚合”三步法：

关键词拆解：使用 spaCy 进行名词短语提取，如将问题拆分为“液压启闭机”、“卷扬机”、“故障类型”；

分组检索：对每个关键词独立检索，召回相关文档分片；

语义聚合：利用 LLM 的 Chain-Of-Thought 能力，生成

对比分析结果。

该方法使多知识点问题的回答准确率提升 29.4%。

5.2 长文档处理优化

针对超长篇幅文档（如完整手册），设计了“分层索引 + 滑动窗口”机制：

分层索引：按章节生成一级向量索引，按段落生成二级索引；

滑动窗口：对长答案进行分块生成，每次返回 1000tokens，避免上下文溢出。

实验显示，该机制使 10 万字级文档的处理效率提升 40%，内存占用降低 35%。

5.3 伦理与安全考量

在水利行业应用中，需特别关注：

数据隐私：采用差分隐私技术对文档进行脱敏处理，敏感信息（如系统 IP）自动替换；

模型可解释性：每个回答附带知识来源引用（如“根据《太浦闸手册》3.2.5 节”）；

责任界定：建立“AI 辅助 - 人工审核”双签机制，关键操作需人工确认。

6 结论与展望

本研究构建了一套完整的私有知识库问答系统解决方案，通过混合检索架构和语义聚合技术，在水利领域实现了高准确率的智能问答。实证结果表明，该方案在事实性、流程性和关联性问题均优于传统方法，为垂直领域 AI 应用提供了可复用的工程范式。

未来研究方向包括：

跨模态知识融合：整合工程图纸、监控视频等非文本数据，提升多模态问答能力；

主动学习机制：通过用户反馈自动优化检索策略，持续提升系统性能；

边缘计算部署：针对离线场景，优化模型量化技术，实现本地化高效推理。

随着 LLM 技术的持续演进（如 GPT-5 的多模态能力），私有知识库问答系统将在智慧水利、智能制造等领域发挥更重要的作用，推动行业知识管理向智能化、自动化方向发展。

参考文献

- 吕振华, 叶军. 大语言模型赋能“中文+职业技能”教学资源建设研究——以 ChatGPT 为例[J]. 天津师范大学学报(社会科学版), 2024, (06): 1-8.
- 邢世林. 水利工程运行管理单位财务智能化转型思考[J]. 治淮, 2024, (10): 10-11.
- 张宇潇, 种可. 水利工程施工运行管理及对策[J]. 水上安全, 2024, (19): 143-145.
- 杨燕, 叶枫, 许栋, 张雪洁, 徐津. 融合大语言模型和提示学习的数字孪生水利知识图谱构建[J]. 计算机应用, 2025, 45 (03): 785-793.
- 李巍, 李树元. 基于大语言模型和知识图谱的数字孪生流域知识平台设计[J]. 海河水利, 2023, (12): 75-78.

Study on Flood and Waterlogging Simulation of FoShan GuanShan River Network Area Based on the MIKE Model

Zhiqin Zheng Xiang Peng

China Water Resources Pearl River Planning, Surveying & Designing Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510665, China

Abstract

Foshan Guanshan River Network Area is a typical plain tidal river network region. Due to the numerous rivers and complex hydrodynamic conditions, hydrodynamic modeling poses significant challenges. In this study, the MIKE11 HD model was employed, with major sluices and pumping stations serving as boundaries, and a hydrodynamic model of the Guanshan River Network Area was constructed using an independent modeling approach for the main river and four separate sub-zones. Through simulations of the current conditions and multiple engineering scenarios, a flood control and drainage strategy for the Guanshan River Network Area was determined. The research demonstrates that the split modeling approach based on the MIKE model is feasible, providing crucial technical support for local flood management and serving as a practical case reference for hydrodynamic modeling in other plain river network regions.

Keywords

Plain river network area; hydrodynamic simulation; flood and waterlogging; MIKE11

基于 MIKE 模型的佛山官山水网片区洪涝模拟研究

郑志勤 彭湘

中水珠江规划勘测设计有限公司, 中国·广东广州 510665

摘要

佛山官山水网片区属典型的平原感潮河网区, 由于河涌数量众多、水动力条件复杂, 使水动力模拟存在较大难度。尝试利用 MIKE11 HD 模型, 以重要水闸、泵站为边界, 采用主涌与 4 个河网分区分别独立建模的方式, 构建了官山水网片区的水动力模型。通过现状与多个工程方案的模拟计算, 确定了官山水网片区的防洪排涝方案。研究说明, 基于 MIKE 模型的拆分建模方式是可行的, 为当地的洪涝治理提供了重要技术支持, 也为其他平原河网区构建水动力模型提供可行的案例参考。

关键词

平原河网区; 水动力模拟; 防洪排涝; MIKE11

1 引言

平原感潮河网地区由于地势平坦, 片区河涌交错成网, 河涌数量众多, 同时受到上游洪水、本地暴雨以及下游潮汐的影响, 水流复杂, 在汛期极易发生洪涝灾害^[1-2]。为研究区域洪涝问题, 国内外常采用构建区域水动力模型的方式实现流域洪水模拟^[3], 水动力模型通常采用一维模型或者二维模型耦合的方式, 其中 MIKE 模型是国内洪水模拟中应用较广泛的模型之一^[4]。罗志浩等^[5]采用 MIKE11 构建杭嘉湖平原河网水文水动力耦合模型, 并用“菲特”和“烟花”两次台风引发的洪水实况数据对模型进行检验; 林宗昆^[6]利用 MIKE11 建立肇庆高新区北部河网水动力模型, 研究了 5 种工况下重要排渠的水位变化情况; 钟黎雨等^[7]

利用 MIKE11、21 建立珠江三角洲水系一二维水动力数学耦合模型, 并设计了洪水、中水、枯水 5 种典型年的工况进行模拟。

官山水网片区位于珠江三角洲冲积平原, 属典型的感潮河网地区, 河涌数量众多, 且建有较多水闸、泵站等排涝设施, 水动力模拟存在较大难度。本文拟利用 MIKE11 HD 水动力模型构建该片区的一维水动力模型, 并对片区防洪排涝进行数值模拟, 为片区洪涝问题提出解决方案。

2 研究区概况

官山水网片区位于佛山市南海区西部, 处于西江、东南沙涌与顺德水道之间, 流域面积 183km²。片区内河涌纵横交错, 官山涌为干流, 通过官山水闸与顺德水道连接, 干流总长约 34.4km, 共有主干河涌 65 条、支毛河涌 360 条。流域内现状建有一座水库——赤坎水库, 为小(一)型水库。官山水网片区按现状水系河涌分布情况以及经济社会发展

【作者简介】郑志勤(1991-), 男, 中国广东中山人, 硕士, 工程师, 从事防洪排涝、水文水资源等研究。

格局,主要分为大良围、蚬壳大有围、大栅围、吉水片4个片区(以下分别简称为A片区、B片区、C片区、D片区),水系分布情况见图1。



图1 官山水网片区水系图

官山水网片区为平原河网区,官山涌与众多河涌共同担负着排涝的重任,涝水主要通过主干河涌的排涝泵站抽排入官山涌后经官山水闸排至外江,或通过泵站直接抽排至外江。由于排涝设施规模不足、河涌淤积等原因,每当汛期,西、北江水位上涨,加上洪潮水顶托,在遭遇暴雨时官山水网片区极易形成内涝。

3 MIKE 模型构建

MIKE 模型是由丹麦水利研究所(DHI)开发的水动力模型,本研究采用 MIKE 11 模型中的 HD 模块对研究区进行洪涝模拟。

3.1 控制方程

MIKE11 HD 水动力计算模型是基于垂向积分的物质和动量守恒方程,即一维非恒定流圣维南方程组来模拟河流或河口的水流状态,方程如下:

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) + u_i q = 0$$

式中, Q 为断面流量, m^3/s ; Z 为水位, m ; A 为过水断面面积, m^2 ; B 为水面断面宽度, m ; g 为重力加速度, m/s^2 ; q 为旁侧入流, m^3/s ; β 为动量校正系数; S_f 为摩阻坡降; u_i 为单位流程上的侧向出流流速在主流方向的分量; x 、

t 分别为距离和时间的坐标。利用 Abbott 六点隐式差分格式求解圣维南方程,在每一个网格点按顺序交替计算水位或流量。

3.2 河网简化与分片

由于官山水系的河网片区河涌数量大、水力联系复杂,若采用全片区河涌统一建模的方式,建模工作量将较大,且容易导致模型发散等问题。为减少河网模型建模工作量以及模型计算时间,并保障模型稳定性,降低模型调参难易程度,对该河网片区的建模河涌进行简化与分片。

河网简化是通过挑选关键河涌进行建模,剔除对计算结果影响较小的次要河涌,以减少模型数据量,加快模型计算时间,减少造成模型不稳定的可能性。关键河涌特征包括涌容较大、长度较长、与其他河涌水力联系较多、联通片区外河流、建有重要水利工程等,满足上述一个或多个特征的河涌即可挑选为关键河涌。次要河涌特征主要是涌容较小、长度较短、水力联系弱以及断头涌等。次要河涌对模型计算结果影响较小,但对片区洪涝有一定的调蓄作用,从建模严谨性出发,对其进行简化处理,将次要河涌的涌容合并至相连接的关键河涌的涌容中。

河网分片是根据官山水系河网分布情况、水闸、泵站等水利工程分布情况以及片区水利调度情况,形成的4个独立的围,分别进行建模。4个围内洪涝水主要通过水闸、排涝泵站等水利工程排入官山涌主涌或外江,因此以水闸、泵站断面作为4个围的建模范围边界。官山涌主涌承接4个围洪涝水,其水位对内河涌排水能力有较大影响,对官山涌主涌单独建模计算。

各河网分片区及主涌河网概化情况见图2。

3.3 模型采用地形

计算范围内河涌现状地形资料采用2020年测绘的1:200河道大断面成果,断面间隔为200m;对于需要进行整治的河涌,工程后断面采用设计断面。坐标系给采用佛山统一坐标,高程系统采用珠江基面。

3.4 计算边界条件

流量边界根据河网简化与分片的结果及各河涌汇水条件,将流域面积划分为132个小分区,分别计算其设计洪水,以线源输入模型。

水位边界为各外排水闸、泵站相应的外江潮位。通过雨洪遭遇分析,以官山水系暴雨为主时,遭遇的相应外江潮位均低于外江多年平均洪水位,即官山水系发生暴雨时大部分时间无法自排。从安全角度出发,外江水位取多年平均洪水位4.80~4.88m,而各排水分区最高运行水位为1.1~1.8m,因此涝水外排均为泵站强排。

3.5 模型控制参数

本模型仅采用一维模型计算,时间步长为10s。根据南海区排水防涝规划等成果^[8-9]以及片区内相关工程数值,河道糙率 n 选为0.025~0.035。

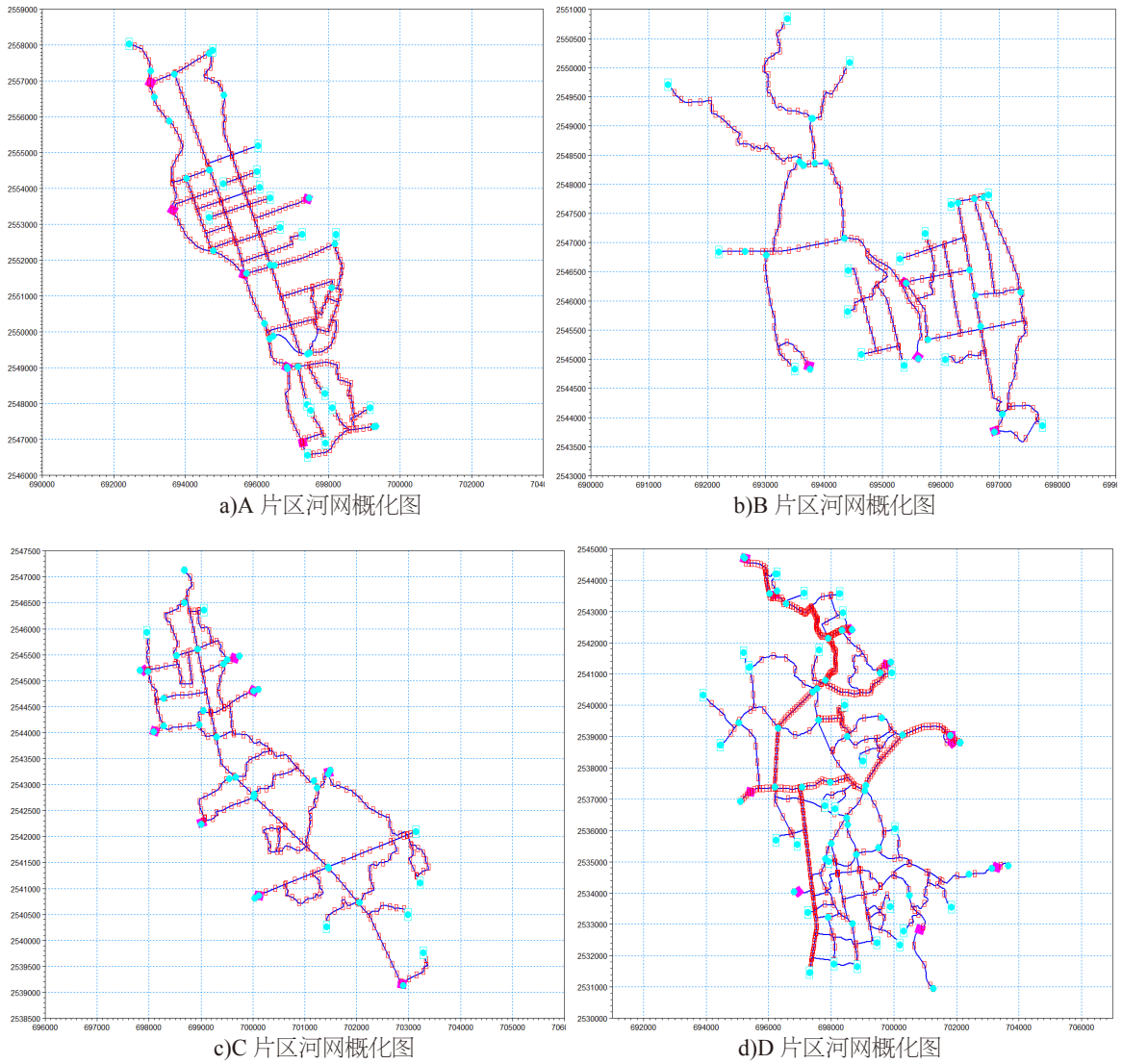


图2 河网概化图

4 方案计算

利用模型进行防洪排涝计算,在现状水利设施条件下,发生30年一遇设计暴雨时,4个片区及官山涌主涌的最高水位均高于控制水位,片区出现内涝情况。根据现状水利设施建设情况并结合当地治理需求,通过多个方案计算,确定官山水网片区的防洪排涝方案,A片区河涌整治18.16km、

阻水卡口整治13处,B片区新建排涝泵站1座、阻水卡口整治1处,C片区河涌整治32.96km、新建排涝泵站2座、阻水卡口整治2处,D片区河涌整治42.83km、新建排涝泵站2座、阻水卡口整治3处,官山涌主涌河涌整治6.61km,工程后A片区、B片区、C片区、官山涌主涌均可满足片区防洪排涝的控制水位要求,D片区由于新增排涝设施条件不足,近期难以解决内涝问题。

表1 方案计算成果表

| 片区 | 控制水位 (m) | 工程后总排涝泵站规模 (m ³ /s) | 工程前片区最高水位 (m) | 工程后总排涝泵站规模 (m ³ /s) | 工程后片区最高水位 (m) |
|-------|----------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| A 片区 | 1.80 | 86.82 | 1.88 | 86.82 | 1.75 |
| B 片区 | 1.40 | 68.24 | 1.46~1.84 | 84.24 | 1.40~1.71 |
| C 片区 | 1.10 | 54.66 | 1.41 | 68.66 | 1.09 |
| D 片区 | 1.10 | 141.30 | 1.57 | 153.30 | 1.49 |
| 官山涌主涌 | 2.73 | — | 2.82 | — | 2.72 |

注: B 片区高程变化较大,控制水位 1.40m 仅针对下游平坦区域。