

基于二维水动力水质模型评估的河流生态修复方案目标可达性分析

姬亚朋

中电建生态环境集团有限公司 广东深圳 518000

【摘要】东莞市新基河某河段由于在强降雨时易产生内涝和黑臭，现已完成河流生态修复方案的初步设计，为分析生态修复河段研究区域内内涝风险，保障河流行洪能力和自净能力，开展河流生态修复方案评估项目。传统生态修复方案难以量化评估，本文借助水动力模型和水质模型，对河流生态修复方案的目标可达性进行精确评估。评估结果显示，将原河流改道并在研究区域建设人工湿地和人工湖的生态修复方案可有效解决该区域内涝问题。河流生态修复中景观堰、生态岛等生态修复措施可改善河流水流流态。当进水水质为V类时，该生态修复方案可促使氨氮、总氮和总磷降解，使污染物出水浓度达到III类水质标准。

【关键词】河流生态修复；水动力水质模型；二维流场

目前国内大多数的河流生态修复治理正在迅速推进，但多数项目的修复方案以国内外治理经验为主，对方案的适用性难以量化，未对方案所带来的水力效益和环境效益进行量化计算。本文以广东省新基河生态修复为例，通过构建二维水动力水质模型，对现状污染进行评估，对生态修复方案效果进行评估，以期为其他类似地区的河流生态修复治理方案的量化分析提供参考。

1 项目概况

1.1 项目背景

新基河位于广东省东莞市，河流周边易产生内涝，且汛期水质较差，因此对该河道开展综合治理。为分析河道综合整治工程对河流防洪能力与水质提升效果，提高河流周边地块土地经济价值，开展新基河生态修复方案目标可达性评估分析。

修复方案主要是将原河流改迁到规划位置，且河流中间为约1190m长的生态化改造人工湖，将河段周边居住用地、闲置地改变为公共绿地和水域。晴天时，中心湖体不与外界相连；暴雨时，新基河上游洪水一部分流经公园湿地，

一部分进入人工湖。

综合治理河道总长约1500m，起点位于新基河与东莞大道交界处，其中新开挖河道堤岸段总长度约310m，公园生态化改造段约1190m。本次模型的研究范围约为10km²，主要是新基河周边区域，模型评估区域范围如图1所示。

1.2 评估标准

(1) 内涝标准

根据《室外排水设计标准》(GB50014-2021)，内涝标准应达到100年一遇，且居民居住为重要基础设施，故本次内涝评估标准按照50年和100年一遇进行。

(2) 水环境质量标准

根据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)，采用地表水III类水质标准为判断依据，考虑上游来水水质在V类水质标准的边界条件下，工程实施前后新基河出水水质两种场景进行评估分析^[1]。

2 评估方法及模型构建

2.1 整体评估思路

本次评估构建二维水动力水质模型：

(1) 对CAD中地形数据进行数据格式转换，将转换的地形数据导入Mike21 FM构建现状二维水动力水质模型，并对模型进行率定；

(2) 在率定好的现状二维水动力模型基础上，按照生态修复方案对模型水动力参数进行调整，从而对方案实施后水力要素进行计算；

(3) 在率定好的现状二维水质模型基础上，按照生态



图1：模型评估区域范围及基本修复措施

修复方案对模型水质参数进行调整,从而对方案实施后环境要素进行计算^[2]。详细评估技术路线如图2所示。

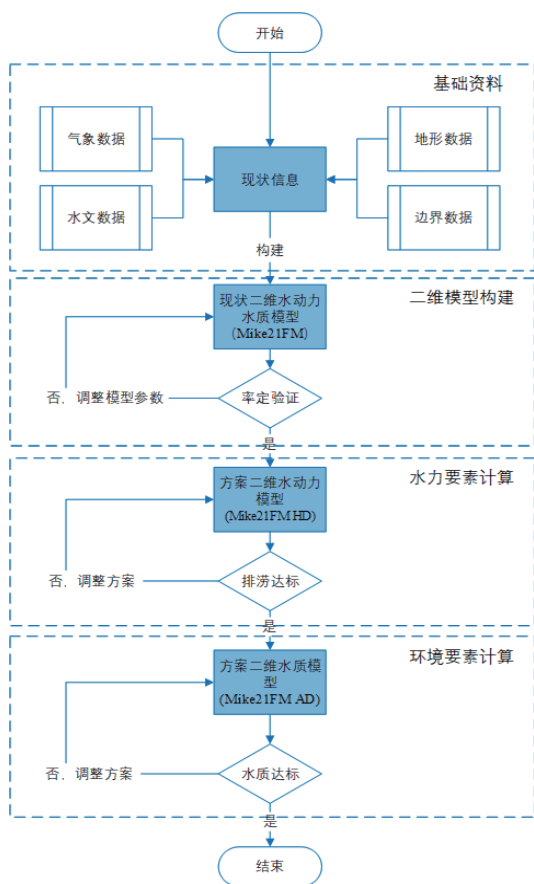


图2: 技术路线

2.2 模型构建流程

具体模型构建流程如图3所示。

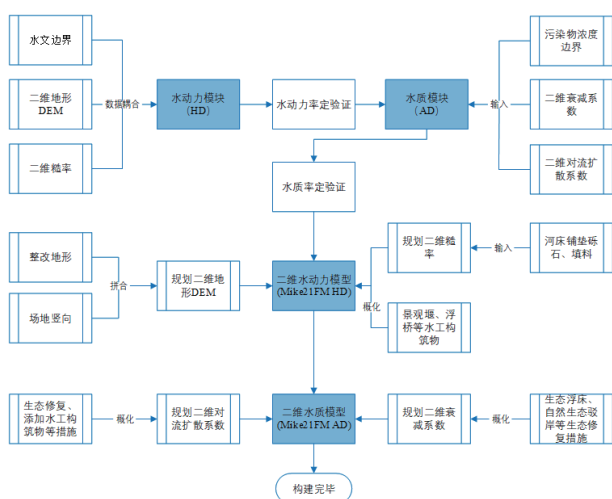


图3: 模型构建流程

2.3 规划水工构筑物

研究区域共设计5个景观堰,位于研究区域人工湿地和人工湖内,景观堰具体位置见图4,具体尺寸见表1。

表1: 景观堰尺寸统计表(m)

| 序号 | 堰顶高程 | 堰宽 | 堰高 |
|----|------|----|----|
| 1 | 3.80 | 10 | 5 |
| 2 | 4.87 | 12 | 5 |
| 3 | 4.37 | 12 | 5 |
| 4 | 3.87 | 15 | 5 |
| 5 | 3.78 | 20 | 6 |

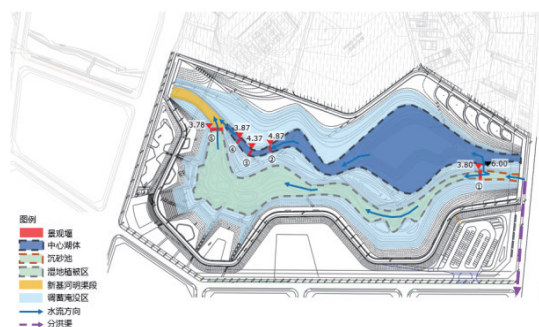


图4: 研究区域景观堰分布图

2.4 研究区域地形

将CAD中5×5m精度的现状高程点导入ArcGis,在通过工具将GIS格式Shp数据转化成txt格式的高程数据,最后利用Mike自带的转化工具将txt格式的高程数据转化成Mike21FM可以识别的mesh文件,现状河流平均高程为4.3m,两岸平均高程可达9.2m,现状mesh地形文件如图5所示。

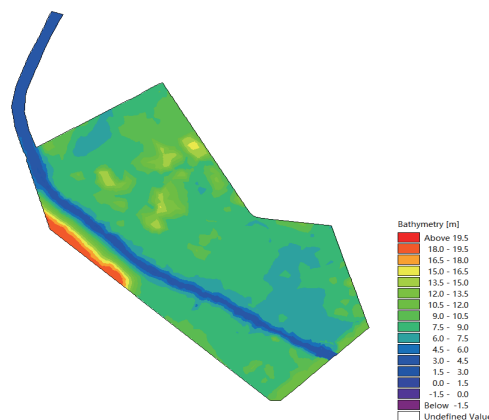


图5: 现状地形图

规划将原新基河填充,在研究区域新建一座人工湖与人工湿地,人工湿地与人工湖之间用景观堰连接,人工湖比人工湿地深,其平均高程为4.1m,而人工湿地平均高程为5.4m,两岸平均高程可达10.3m,规划mesh地形文件如图6所示。

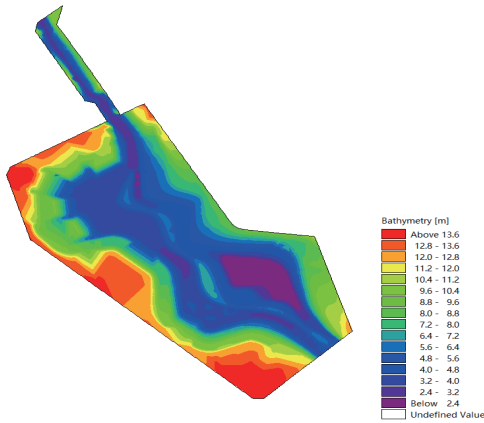


图6: 规划地形图

2.5 模型边界数据

此次方案评估所使用的边界条件有:

(1) 利用《新基河水动力专项规划》中计算结果, 研究区域在降雨达到50y一遇和100y一遇时, 河流上游的入流量分别为 $26.3\text{m}^3/\text{s}$ 和 $54.2\text{m}^3/\text{s}$ 。

(2) 将自由出流作为研究区域河流下游边界水位。

(3) 将地表水V类水质标准作为上游来水的水质边界条件, 《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中水质标准见表2。

表2: 地表水环境质量标准(mg/L)

| 项目 | 高锰酸盐指数 | 氨氮 | 总氮 | 总磷 |
|------|--------|-----|-----|-----|
| III类 | 6 | 1.0 | 1.0 | 0.2 |
| V类 | 15 | 2.0 | 2.0 | 0.4 |

2.6 模型参数选取

(1) 水力参数

研究区域人工湖和人工湿地河床由水生植物与卵石、块石等组成, 在选取糙率时, 根据不同区域进行赋值, 不同河床组成糙率取值范围如表3所示。

表3 研究区域水动力模型参数取值表

| 序号 | 河床组成 | 糙率n |
|----|----------------------|-------------|
| 1 | 河床为砂质组成, 床面较平整 | 0.020~0.024 |
| 2 | 细砂, 河底中有稀疏水草或水生植物 | 0.030~0.034 |
| 3 | 河底为卵石, 底坡尚均匀, 床面不平整 | 0.035~0.040 |
| 4 | 河床为卵石, 床面不平整, 底坡有凹凸状 | 0.040~0.100 |

(2) 水质参数

研究区域存在水生植物、填料基质等对污染物有显著降解作用的物质, 因此在选取降解参数时, 根据不同区域进

行赋值, 各污染物取值范围如表4所示。

表4: 研究区域水质模型参数取值表

| 序号 | 参数 | 取值范围(d-1) |
|----|---------|-----------|
| 1 | K高锰酸盐指数 | 0.08~0.12 |
| 2 | K氨氮 | 0.06~0.10 |
| 3 | K总氮 | 0.06~0.10 |
| 4 | K总磷 | 0.04~0.10 |

3 模型评估结果及验证

3.1 水动力水质模型验证

选取2018年6月6日-8日一场典型暴雨工况进行率定新基河水动力模型, 流量边界采用东莞市水利局收集当日东莞大道实测降雨数据计算而得, 河口水位边界采用逐时实测水位^[3], 模型模拟值与实测值之间对比见图7。

水质模型率定的参数是各个河道的污染物的扩散系数和污染物的衰减系数, 采用河口高锰酸盐指数、氨氮、总氮和总磷监测数据对模型进行率定, 率定完成的模型模拟值与实测值对比见图8。由图可看出, 水动力水质模型误差均较小, 可利用其进行后续场景模拟。

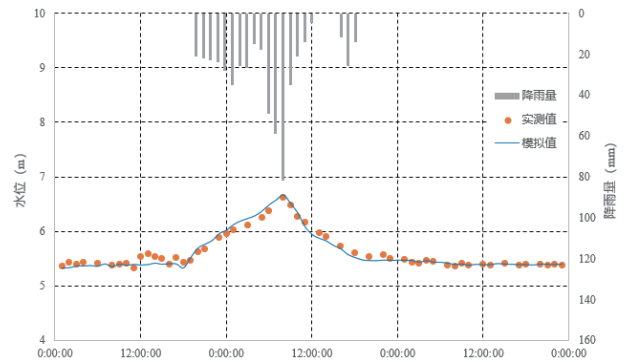


图7: 2018年6月6~8日现状河口水位率定图

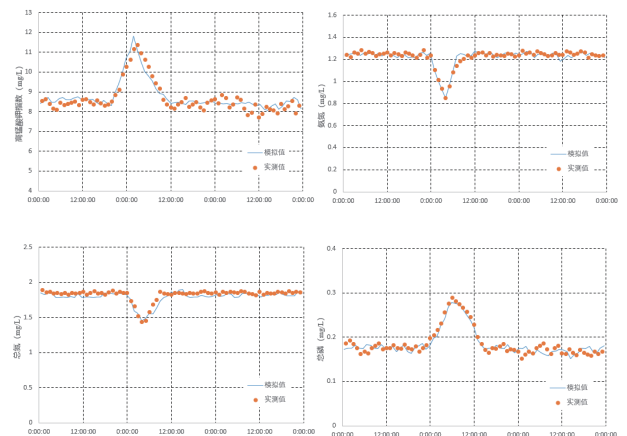


图8: 2018年6月6~8日现状河口水质率定图

3.2 现状内涝模拟结果

通过对现状研究区域水动力模拟可知, 50年一遇降雨

条件下, 淹没面积达41925m², 其中大于30cm的淹没面积达35044m²。100年一遇降雨条件下, 淹没面积达46733m², 其中大于30cm的淹没面积达41359m², 具体淹没范围见图9-图10。

条件下, 淹没面积达29516m², 其中大于30cm的淹没面积达27511m²。100年一遇降雨条件下, 淹没面积达32520m², 其中大于30cm的淹没面积达30974m², 具体淹没范围见图12-图13。

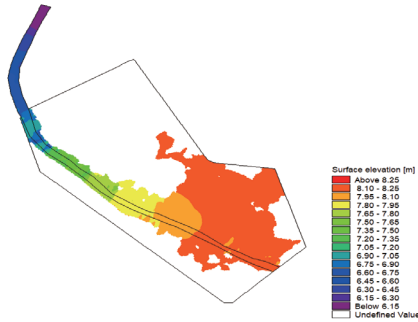


图9: 50年一遇降雨条件下现状水位分布图

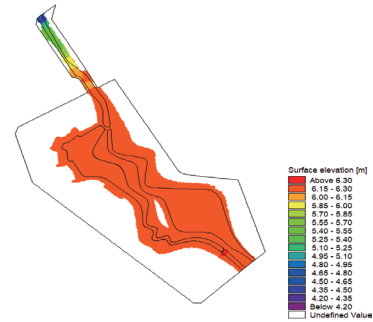


图12: 50年一遇降雨条件下规划水位分布图

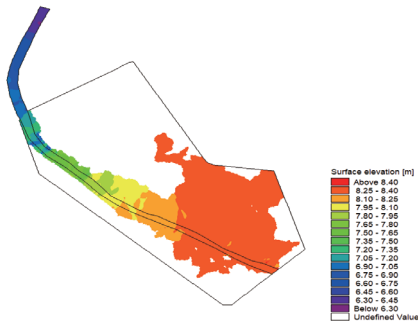


图10: 100年一遇降雨条件下现状水位分布图

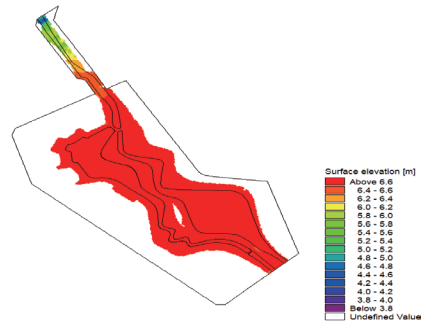


图13: 100年一遇降雨条件下规划水位分布图

表5: 现状不同淹没深度所含面积统计表(m²)

| 降雨条件 | <15cm | 15-30cm | >30cm | 合计 |
|------|-------|---------|-------|-------|
| 50y | 1737 | 5144 | 35044 | 41925 |
| 100y | 1224 | 4150 | 41359 | 46733 |

表6: 规划不同淹没深度所含面积统计表(m²)

| 降雨条件 | <15cm | 15-30cm | >30cm | 合计 |
|------|-------|---------|-------|-------|
| 50y | 507 | 1498 | 27511 | 29516 |
| 100y | 455 | 1090 | 30974 | 32520 |

通过二维流场分布可知, 研究区域河段0-200m范围易产生内涝, 且主河道流速较大且单一, 不存在涡旋和往复流等水力现象。

通过二维流场分布可知, 在人工湿地和人工湖两侧均具有流速分布, 但淹没区域是工程设计的蓄滞洪区以及连接人工湿地和人工湖的生态岛, 且人工湿地和人工湖内流速较大且存在涡旋和往复流等水力现象, 水流流态更加复杂多样, 见图14。

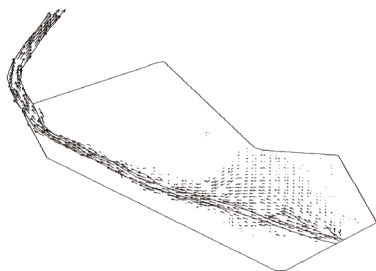


图11: 研究区域现状流场分布图

3.3 规划内涝模拟结果

通过对规划研究区域水动力模拟可知, 50年一遇降雨

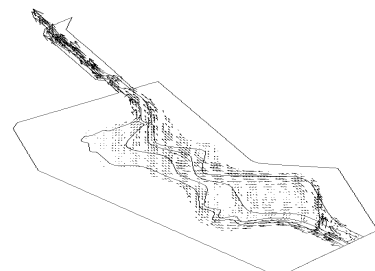


图14: 研究区域规划流场分布图

3.4 水质模拟结果对比

由水质模拟结果可知，当高锰酸盐指数进口浓度在15.00mg/L时，现状出口浓度为13.63mg/L，水质依旧为V类水质标准，而规划出口浓度为5.29mg/L，水质可达III类水质标准见图15。

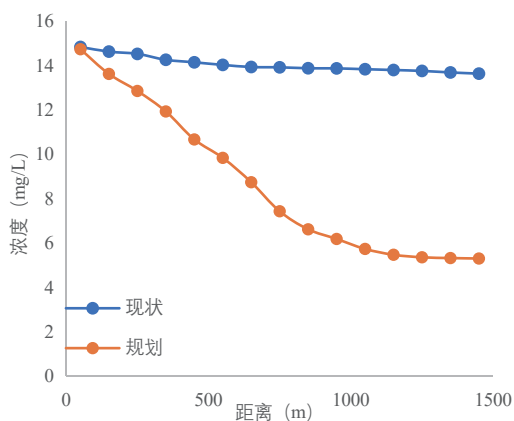


图15: 高锰酸盐指数沿程浓度变化图

由水质模拟结果可知，当氨氮进口浓度在2.00mg/L时，现状出口浓度为1.80mg/L，水质依旧为V类水质标准，而规划出口浓度为0.77mg/L，水质可达III类水质标准见图16。

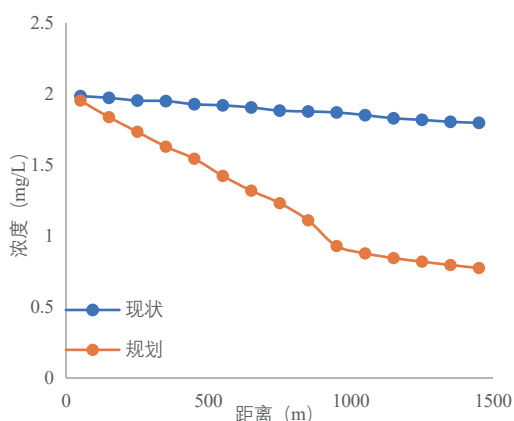


图16: 氨氮沿程浓度变化图

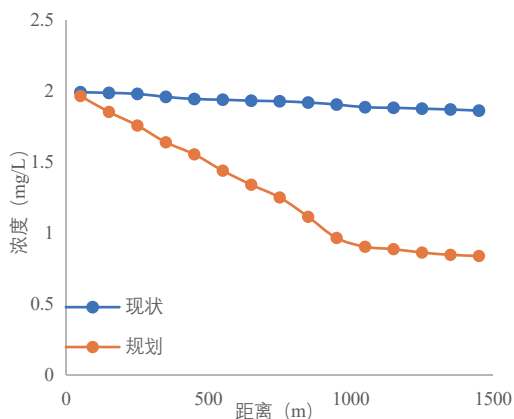


图17: 总氮沿程浓度变化图

由水质模拟结果可知，当总氮进口浓度在2.00mg/L时，现状出口浓度为1.86mg/L，水质依旧为V类水质标准，而规划出口浓度为0.84mg/L，水质可达III类水质标准见图17。

由水质模拟结果可知，当总磷进口浓度在0.40mg/L时，现状出口浓度为0.32mg/L，水质依旧为V类水质标准，而规划出口浓度为0.13mg/L，水质可达III类水质标准见图18。

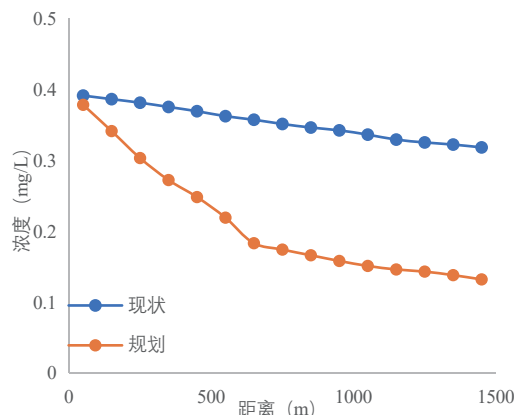


图18: 总磷沿程浓度变化图

4 结语

通过本项目的模拟评估得出以下建议：

(1) 将原河流改道并在研究区域建设人工湿地和人工湖的生态修复方案可解决该区域内涝问题。

(2) 当进水水质为V类时，该生态修复方案可促使高锰酸盐指数、氨氮、总氮和总磷的降解，使污染物出水浓度达到III类水质标准。

参考文献：

[1] 王成坤, 黄纪萍. 基于水力耦合模型的城市内涝积水特征与防治方案研究[J]. 给水排水, 2018, 54(S2): 112-114.

[2] 苏伯尼, 黄弘, 张楠. 基于情景模拟的城市内涝动态风险评估方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2015, 55(06): 684-690.

[3] 王慧斌, 荣宏伟, 王竞茵. 水力模型在城市内涝灾害风险评估中的应用[J]. 中国给水排水, 2015, 31(19): 133-136.

作者简介：

姬亚朋(1981-), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事给排水工程与生态修复工程设计研发工作。