

· 信息技术 ·



基于 InfoWorks ICM 软件的新堆场形式 集装箱港区排水模型测试

何卓义, 李彬, 刘毅, 钟良生, 彭达龙
(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 为进一步分析论证港区的排涝能力, 以广州某大型集装箱港区为例, 采用 InfoWorks ICM 软件构建港区排水模型, 通过模拟不同重现期的降雨过程, 分析不同堆场形式下港区溢流节点数、出现最深积水时间、最大积水深度等指标, 论证普通集装箱堆场与新型下凹式集装箱堆场的抗洪涝风险能力。结果表明, 采用新型下凹式集装箱堆场后, 港区的抗洪涝风险能力明显提高, 下凹式堆场表现出明显的调蓄作用。

关键词: InfoWorks ICM; 下凹式堆场; 排水模型; 雨水系统; 海绵港口

中图分类号: U653

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0219-05

Drainage model testing of container port area with new-type yard based on InfoWorks ICM software

HE Zhuoyi, LI Bin, LIU Yi, ZHONG Liangsheng, PENG Dalong
(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: To further analyze and demonstrate the drainage capacity of a harbor, taking a large container port in Guangzhou as an example, we build a drainage model based on InfoWorks ICM software of the harbor. To demonstrate the flood control capacity of the common container yard and the new-type concave storage yard, we analyze indicators by simulating the rainfall process with different recurrence interval, such as the number of overflow nodes between different storage yard types, the time when the deepest seep appeared and the maximum seep depth. The results show that the flood control capacity of the harbor is obviously improved after the adoption of the new-type concave storage yard, and the concave storage yard shows obvious storage function.

Keywords: InfoWorks ICM; concave storage yard; drainage model; stormwater system; sponge port

随着全球气候变暖、极端天气频发, 其中强降雨引起的洪水、内涝等水文灾害对各地基础设施造成了巨大破坏, 对人民的人身和财产安全带来了极大的威胁, 引发社会广泛关注^[1]。港口是贸易供应链的重要一环, 作为海洋和陆地的物联枢纽, 即便短期的运力损失也会对国际贸易产生极大的影响, 并造成一定的连锁反应^[2]。港口往往选址在沿海平坦地区, 降水难以随地形坡度及时排走, 易聚集在低洼处发生内涝, 影响港口运转效率。为

避免港区发生洪涝灾害, 港区的雨水排水系统设计至关重要。自1987年颁布以来, 我国的室外排水设计规范不断修订、完善, 为港区雨水管网的设计提供了重要理论依据; 但另一方面因气候变化, 降雨将变得难以预测, 极端降雨出现的频率增加^[3-4], 港区的排水系统会承受超设计重现期的降雨冲击, 给管网设计工作带来一定的考验。

为取得经济性和适用性之间的平衡, 可通过对设计的雨水管网建立排水模型进行检验。我国

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 何卓义 (1994—), 男, 硕士, 从事建筑给排水、海绵城市、给水处理方向的设计与研究。

的排水模型取得了一定的成果，并多用于城市排水系统的检测、评估。岑国平^[5]建立我国早期的城市降雨径流模型，并结合小范围的降雨资料进行检验；李慧宁等^[6]基于 InfoWorks ICM 模型对中部某城市老城区管网进行防涝体系分析，并提出系统化的治理方案；黄维^[7]通过研究国内外内涝风险评估方法，结合建模及实测完善了内涝风险评估体系。将城市排水的建模方法应用于港区，同样可以用于检验港区排水管网的可靠性。

本文以广州市某集装箱码头为研究对象，建立港区的 InfoWorks ICM 排水模型。通过模拟不同重现期的降雨，对港区进行洪涝评估并检验雨水系统排水能力，对比分析普通堆场、下凹式堆场在不同雨量下港区内涝情况和排水系统运行情况，为港区的排水设计提供模型参考，并对同类集装箱堆场形式选择设计具有指导意义。

1 模拟区域概况

模拟区域为广州市沿海某大型集装箱港口，总占地面积约 125 万 m^2 ，年通过能力约 490 万标箱，采用全自动化作业，由南向北分为辅建区、堆场作业区、码头前沿作业区。港区地势基本平坦，整体划分为一个汇水区。港口将“生态化海绵港口”融入设计中，设置绿色屋顶、下凹式绿地、透水铺装、下凹式堆场等措施对初降雨水进行截留和疏解，最终经管网收集后向北分 7 个排水口排入海中。

堆场区约占港区陆域总面积的 39%，堆场区地面高程 5.78~5.80 m，箱角梁基础高程 6.10 m，箱区平均下凹 250 mm。单个下凹地形采用两边向中间汇水，坡度约 3‰，汇水后经 500 mm 宽明沟接入港区排水系统。

2 模型构建

2.1 构建管网汇水模型

本文采用水力管网耦合地形的二维 InfoWorks ICM 模型进行模拟，其中地表径流采用 SWMM 模型，雨水在管网中的运动采用曼宁公式。

将设计文件的雨水管网数据导入 InfoWorks

ICM 软件中进行初步建模。导入数据包括管井节点位置、管井底高程管井位置地面高程、管和沟的形式及尺寸、上下游管内底高程等。导入后对各节点进行合理编号并对管网系统拓扑检查，修正导入过程中因节点编号重复造成的上下游倒坡、管径错误、地面高程丢失等问题并处理好管线与节点的对应关系。根据完成的节点分布，采用泰森多边形法将整个港区划分成若干子集水区(图 1)，检查子集水区和节点的对应关系，并修正过大的子集水区，提高模型的合理性。

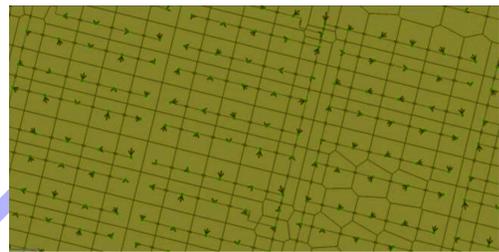


图 1 管网汇水局部模型

2.2 下垫面数字化

InfoWorks ICM 软件的区域提取(ATO)功能可方便地为各集水区内的土地类型进行赋值，从而准确设置区域内的径流系数。根据设计文件，将港区的下垫面分为现浇混凝土地面、联锁块、屋面、植草砖和草地共 5 种土地类型。经 ATO 提取后港区的土地类型及参数见表 1。

表 1 土地类型及参数

土地类型	表面粗糙系数	径流系数	面积/万 m^2	面积占比/%
现浇混凝土地面	0.012	0.95	117.413	93.91
联锁块	0.014	0.65	3.123	2.50
屋面	0.012	0.95	1.285	1.03
植草砖	0.130	0.40	0.134	0.11
草地	0.150	0.20	3.073	2.46

2.3 管网地形耦合二维模型

为直观反映溢流后港区的积水漫流情况，须构建港区的二维网格化地形模型并与管网模型耦合。建模过程中采用测量单位提供的高精度地理信息系统(GIS)数字化地面高程构建港区的地形模型，后引入设计文件的等高线和高程点对模型细化，将道路横纵坡、下凹式堆场等细节概化到模型中。最终构建的区域模型见图 2。

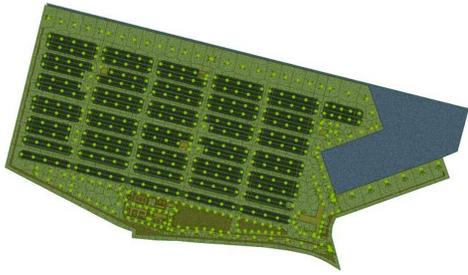


图 2 网格化后的模型平面

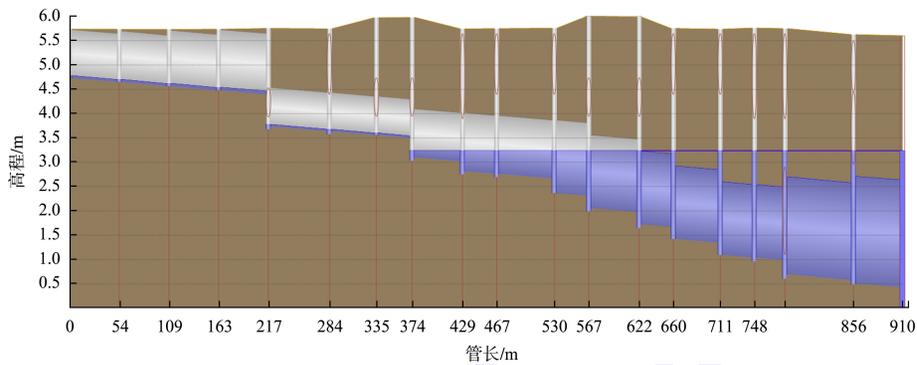
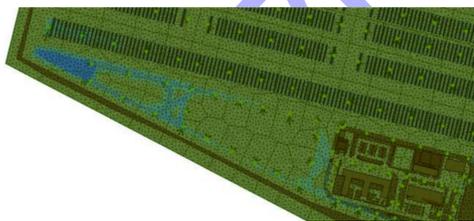


图 3 典型管网剖面

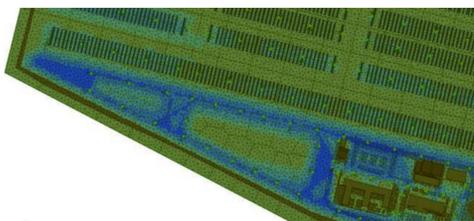
3 模拟结果及分析

3.1 管网排水能力检验

测试过程先研究不同重现期降雨冲击下管网的运行情况。结合软件的输出结果,以溢流节点占比、最不利点水位高程^[8]作为评价指标,港区雨水管网排水能力检验结果如图 4、5 所示。



a) 5 a 重现期降雨



b) 50 a 重现期降雨

图 4 港区局部积水平面

2.4 设置输入条件

降雨模型采用芝加哥雨型,按当地暴雨强度公式,2、5、10、20、50、100 a 为重现期设计降雨,降雨历时 2 h,步进设置为 1 min 精确降雨强度变化。按照设计文件,管网末端为淹没流出,排海口水位采用码头设计高水位,见图 3,其中深色为淹没的管道。

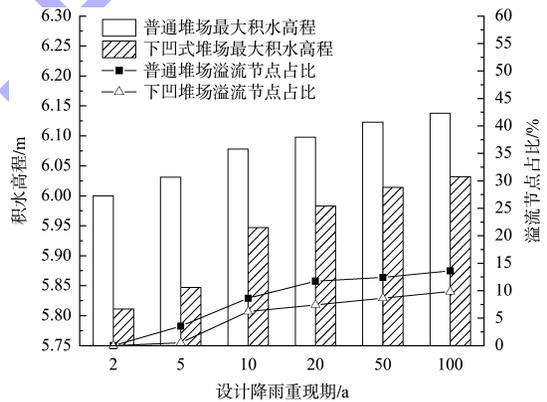


图 5 不同重现期降雨下堆场积水情况

测试过程中,积水最不利点出现在港区西南角。随着降雨重现期增大,积水区域逐渐向北部堆场和东部辅建区扩大,见图 4,其中颜色越深表示积水深度越大。通过分析普通堆场的积水情况并评价管网的排水能力发现:降雨重现期为 5 a 时,堆场积水深度 3.5 cm,部分管井开始出现溢流;在 10 a 重现期降雨下,港区淹没面积进一步增大。

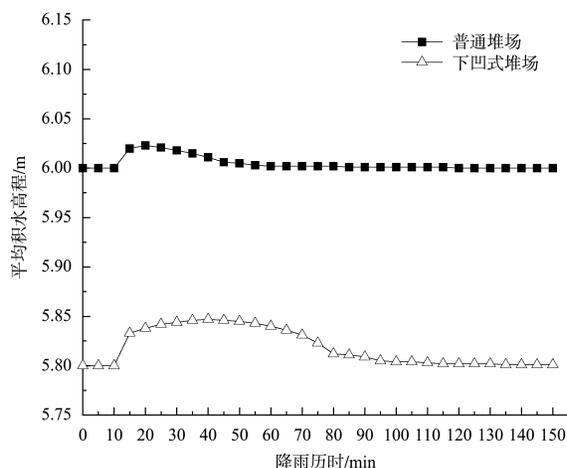
将下凹式堆场的地形网格导入模型,重新运行模拟得到采用下凹式堆场的港区积水情况。考虑下

凹式堆场下凹的 250 mm 高度，堆场区 250 mm 以内的积水不计入溢流节点数。同等降雨条件下，下凹式堆场的积水高程更低，积水储存于下凹地形中；同时溢流节点占比更少，积水面积更小表现出更强的抗涝能力。相较普通堆场，下凹式堆场在 5、10、20 a 重现期降雨下，堆场最不利点积水深度为 4.7、14.7、18.3 cm，积水仍未溢出下凹地形，溢流节点占比较普通堆场更少，积水面积更小。

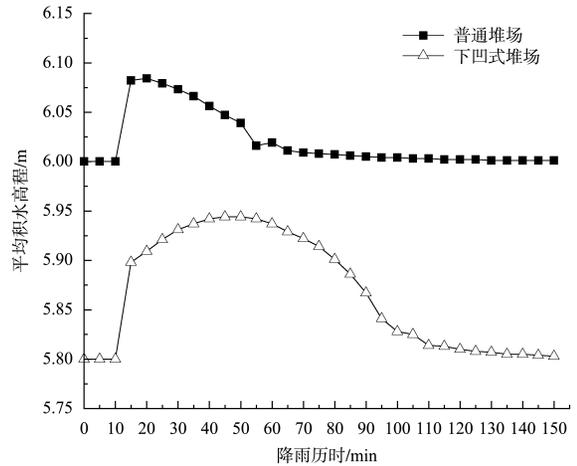
3.2 降雨过程分析

为验证下凹式堆场的调蓄作用，调取 5、10、20、50 a 重现期降雨下的港区积水过程数据，通过选取特殊箱区、堆场区多个典型有积水子网格积水深度取均值后，得到的降雨过程见图 6。普通堆场港区的最大积水均深出现时间点随着降雨重现期的增加而延后，普通堆场在 5、10、20、50 a 重现期降雨下出现最大平均积水深度的时间分别为 20、20、25、30 min，平均积水高程峰值由 6.023 m 逐步增加至 6.109 m。

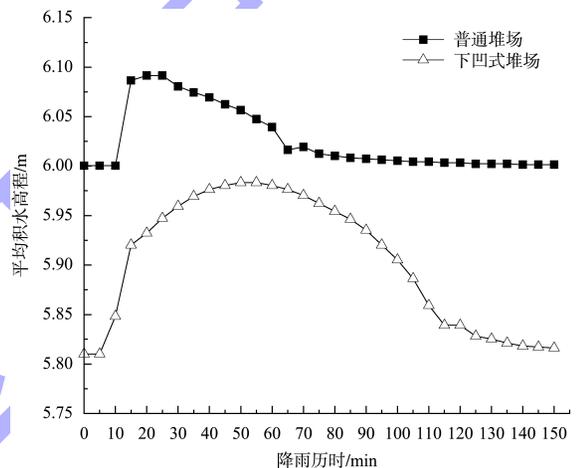
对比普通堆场，下凹式堆场的平均积水高程峰值出现时间分别为 40、50、55、55 min，平均积水高程峰值为 5.846 ~ 6.037 m。对比两种堆场形式的积水曲线回落情况，下凹式堆场积水排干时间点分别由 60、90、100、120 min 增至 95、125、145、150 min 以上。根据以上结果分析，下凹式堆场港区积水具有以下特点：1) 积水峰值出现的时间点更晚；2) 积水排干时间更长。以上特点表现出了明显的调蓄作用。



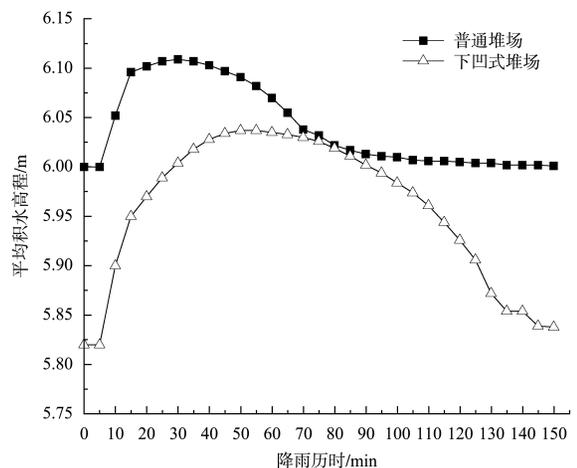
a) 5 a 重现期降雨过程



b) 10 a 重现期降雨过程



c) 20 a 重现期降雨过程



d) 50 a 重现期降雨过程

图 6 典型积水区积水深度过程

3.3 下凹式堆场调蓄能力研究

排水系统内水量可从宏观上表征管网系统的运转状况，并评价系统的调蓄能力。通过统计各

管道并测算下凹式堆场储存水量, 汇总得到的排水系统内水量情况见图 7。由于下凹式堆场提供的容积^[9], 下凹式堆场系统具有更好的调蓄能力。在不同重现期降雨下, 下凹式堆场的系统内水量从普通堆场的 12 868.5 ~ 16 793.7 m³ 提高至 13 456.0 ~ 27 493.1 m³。下凹地形储存的水量随着降雨重现期增加, 贡献水量占比由 5.24 % 增加至 42.01 %。这是由于降雨强度较低时, 管道系统能及时排除雨水, 调蓄作用不明显; 而在超设计重现期的降雨下, 未及时排走的雨水能被储存在下凹地形中, 从而提高排水系统抗雨量冲击能力。

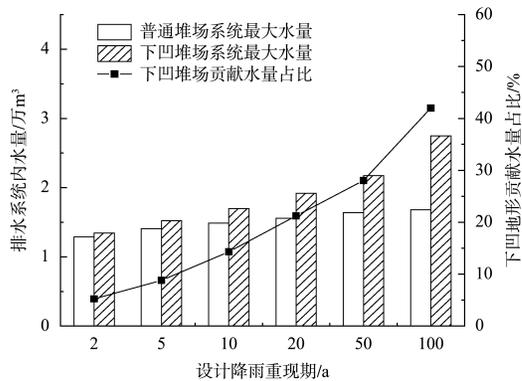


图 7 不同重现期降雨下排水系统内水量

4 结论

1) 通过构建二维排水模型, 可检验港区雨水管网的排水能力, 直观找出降雨时积水位置, 并指导防洪应急方案。

2) 对比两种堆场形式, 下凹式堆场的抗涝能力强于普通堆场, 能抵御的极限降雨重现期由 10 a 提高至 20 a。

3) 下凹式堆场具有明显的调蓄作用, 采用下凹式堆场的港区表现出积水峰值出现的时间点更晚、积水排干时间更长的特点。

4) 采用下凹堆场的港区具有更强的抗雨水冲击能力。下凹式堆场的调蓄作用随降雨的增强而增强。

参考文献:

- [1] 杨涛, 陆桂华, 李会会, 等. 气候变化水文极端事件变化预测研究进展[J]. 水科学进展, 2011, 22(2): 279-286.
- [2] BECKER A, NG A K Y, MCEVOY D, et al. Implications of climate change for shipping: ports and supply chains[J]. Wiley interdisciplinary reviews: climate change, 2018, 9(2): e508.
- [3] 张瀚. 气候变化与城市化对珠三角地区城市洪涝灾害风险影响研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [4] 孔锋, 宋泽灏, 方建, 等. 全球变暖背景下的近 55 年中国不同等级降雨空间分异规律[C]//中国气象学会. 第 35 届中国气象学会年会 S11 城市气象与环境: 第七届城市气象论坛. 北京: 中国气象协会, 2018: 280-290.
- [5] 岑国平. 城市雨水径流计算模型[J]. 水利学报, 1990(10): 68-75.
- [6] 李慧宁, 毛斌, 解铭, 等. 基于 Infoworks ICM 模型的老城区排涝安全研究: 以中部某城市为例[J]. 环境工程, 2023, 41(S2): 1137-1140, 1146.
- [7] 黄维. 城市排水管网水力模拟及内涝风险评估[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- [8] 陈丰. 城市排水系统内涝与溢流控制性能评价与优化研究[D]. 北京: 清华大学, 2016.
- [9] 罗佳文, 李彬, 钟良生. 广州港南沙港区四期工程海绵港口设计[J]. 水运工程, 2022(10): 13-17.

(本文编辑 王璁)

~~~~~

(上接第 143 页)

- [5] 梁婷, 顾俊, 侯伟. 开敞式原油码头平面布置研究[J]. 港工技术, 2018, 55(S1): 18-21.
- [6] The British Standards Institution. Maritime works-part 1-2-general-code of practice for assessment of actions: BS 6349-1-2-2016[S]. London: BSI, 2016.
- [7] 徐定. P. D. A 打桩分析仪在桩基质量检测中的应用[J]. 住宅科技, 1991(1): 41-42.
- [8] 郑晨旭. 高桩梁板码头结构设计分析[J]. 珠江水运, 2016(8): 94-95.
- [9] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 中交第四航务工程局有限公司. 码头结构设计规范: JTS 167—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司.

(本文编辑 王璁)