DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2014.02.012

环形河网排涝泵站规模规划设计研究

刘博静, 杨 敏, 李会平

(天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072)

摘要: 近年来围填海区域的开发利用率明显增高, 为避免该地区遭受洪涝灾害, 排涝泵站规模规划设计研究至关重要。现根据围填海区域河网信息, 首先通过概化该区域排涝系统, 建立排涝数值计算模型; 其次利用河网涌容进行调蓄, 分析排涝系统的排涝能力、河道初始水位和排涝泵站位置对系统行洪排涝的影响, 得到排水过程与排涝泵站规模之间的关系; 最后将影响排涝系统排涝能力的相关参数无量纲化, 以衡量环形河网的排涝能力。研究结果提供的分析方法与思路可为环形河网地区排涝泵站排涝能力规划设计提供参考。

关键词: 环形河网; 排涝能力; 泵站规模; 围填海区域

中图分类号: TV212 文献标识码: A 文章编号: 1672-1683(2014)02-0050-04

Planning and Design of Scale of Drainage Pump Station in River Networks

LIU Bo-jing, YANG Min, LI Hui-ping

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In recent years, the utilization rate of reclamation area has increased significantly. In order to prevent the flood disaster in this area, the planning and design of scale of drainage pump station are crucial. First, according to the information of river network in the reclamation area, a numerical simulation model was established through the generalization of drainage system in the area. Secondly, the storage capacity was used to analyze the impacts of drainage capability of the drainage system, initial water level, and location of drainage pumping station on flood drainage, and therefore the relationship between the scale of drainage pump station and drainage process was obtained. Finally, the parameters affecting the drainage capability of drainage system were non-dimensionalized to measure the drainage capacity of ring-shaped river network. The results can provide reference for the planning and design of drainage pump station in the ring-shaped river network area.

Key words: ring-shaped river network; drainage capability; scale of pump station; reclamation area

随着经济的迅速发展, 我国土地资源日益趋于紧张, 围填海区域的开发利用率明显增高。全球气候变暖及下垫面的大规模改造在不同程度上改变了水文的循环状况, 甚至改变了降雨的强度和持续时间。为确保该区域的安全使用, 需要科学合理地规划水系, 对其进行排涝能力分析, 确定区域排涝所需泵站的规模并预测不同泵站规模下, 该区域发生洪涝灾害的可能性。

有关学者[1-9]利用Hec-ras建立数值计算模型, 对许多天然河道的输水与排涝能力做了相关研究, 以排涝期间河水是否超过堤顶作为最终评定标准, 指出发生洪涝灾害的原因并针对具体工程提出相应的解决办法。本文选择某区域四横四纵环形河网, 河网总长约50 km, 河网除了保证景观需求, 最重要的是保证汛期区雨水排涝。区内降雨由16座雨水泵站提升后排入环形河网, 再通过环布河网四周的8座排涝本站外排至外海。本文将影响排涝系统排涝能力的相关参数无量纲化, 以衡量环形河网的排涝能力, 为今后类似区域的排涝工程建设提供参考。

1 模型构建

1.1 排涝系统概化

区域排涝系统多由河道、湿地、雨水泵站和排海泵站等组成, 排涝泵站与雨水泵站的位置见图1。河网多为人工新开挖的河道, 河道断面几何形态见图2。河道糙率是表征河

收稿日期: 2013-10-22 修回日期: 2014-03-06 网络出版时间: 2014-03-10
网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdqk.2014.02.002.html
基金项目: 国家科技重大专项课题(2012ZX07205005); 天津市应用基础与前沿技术研究计划自然科学基金重点项目(13JCZDJC36200)
作者简介: 刘博静(1988-), 女, 河北保定人, 硕士研究生, 主要从事水工水力学研究。E-mail: tiantiantianlan97@126.com
通讯作者: 杨 敏(1956-), 男, 吉林长春人, 教授, 博士生导师, 主要从事水工水力学研究。E-mail: minyang2000@163.com

渠底部和岸壁影响水流阻力的综合因素的系数。参考水力学等相关计算手册,根据河道类型将河道糙率设定为 0.02~0.025。

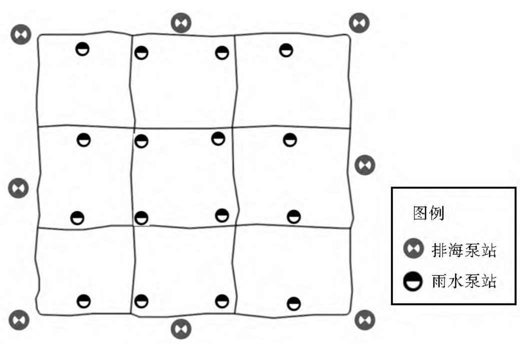

图 1 排涝系统结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of drainage system structure

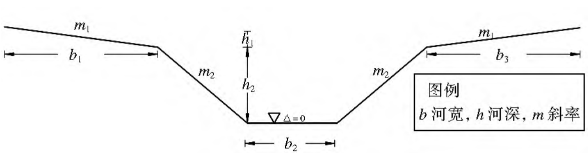

图 2 典型河段断面类型图

Fig. 2 Typical river cross section

1.2 边界条件

1.2.1 河道初始水位

现代气象预报的时效性与准确性可以为排涝前的准备工作提供依据。实际运行时,可根据预报,将渠网水位预降至低水位,腾空库容,减小排涝泵站的装机容量,提高防洪能力。渠道的调蓄涌容调节[5]通过将渠网初始水位控制于常水位以下,利用渠道初始水位和高水位之间的容积,采用以时间换取空间的方法,获取更大的调蓄库容。模型设定各边界条件不变,计算不同初始水位条件下渠网水系各断面的最高水位,结果见图 3。当渠道初始水位降至 1.0 m 以下时,降低渠道初始水位对渠网水系各断面最高水位结果影响不大;当渠网水位升高至 1.2 m 以上时,渠网水系各断面最高水位迅速增高。从经济、景观要求和排涝安全三方面考虑,实际运行中渠道初始水位为 1.0 m。

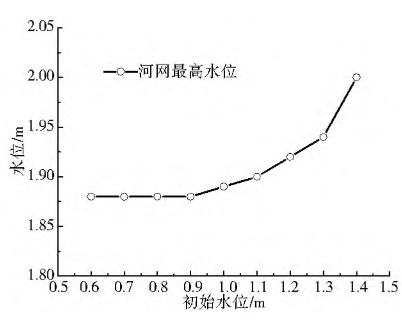

图 3 初始水位对最高水位的影响

Fig. 3 The impact of initial water level on maximum water level

1.2.2 雨水泵站

系统内共设 16 座雨水泵站,每座泵站有 8 台水泵,每座泵站总的抽排流量范围在 8~ 20 m^3/s 之间。雨水泵站最大抽排流量根据当地设计暴雨确定。由于城市化的发展,城市地区市政排水和区域排涝设计标准的不同[10-12]、降雨强度、降雨历时的不同,将直接决定雨水泵站规模与运行情况,包括抽排流量、运行时间等。雨水泵站排水过程线见图 4。由于雨水管网集水的时间延迟,降雨刚开始的某段时间内,雨水泵站的抽排流量为递增的过程。每座雨水泵站的 8 台水泵的运行方式为:每隔 15 min 开启 1 台。本文共设定了 15 种排水方案,各参数取值见表 1。本文中各个参数意义如下:T 为雨水泵站总排水时间,反映降雨历时(h);$Q_{雨}$ 为雨水泵站最大抽排流量,反映降雨强度(m^3/s);W 为雨水泵站排水过程线包围下的面积,反映一次降雨的总量(m^3);$Q_{排}$ 为排涝泵站总抽排流量(m^3/s);V 为排涝系统的调节库容,即初始水位与设计暴雨水位之间的库容(m^3)。根据计算,环形河网的调节库容 V= 140 万 m^3/s。

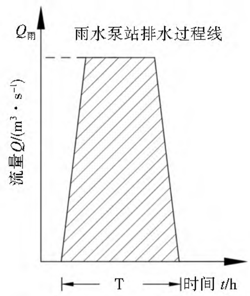

图 4 雨水泵站排水过程

Fig. 4 The drainage process of rainwater pump station

表 1 排水方案

Table 1 Drainage scheme

$Q_{雨}/(m^3 \cdot s^{-1})$	267.0	200.0	134.0
T/ h	4, 5, 6, 7, 8	4, 5, 6, 7, 8	4, 5, 6, 7, 8

1.2.3 排涝泵站

排涝泵站的任务是将河道内的水提升排进外海,排涝泵站的位置需考虑抽排过程中对河道内水流流态的影响,即保证河道内的水在排涝期间水位波动较小,河道内不形成局部涌水,河道的过流能力满足要求。故排涝泵站布置不能过于集中。本文为做普遍性研究,排涝泵站采取分散对称布置,如图 1 所示。排涝泵站根据河道实际常年水位情况设定起排水位为 0.8 m,关停水位为 0.4 m。

2 河网水系水位差异

河网水系各断面最高水位差异指河网某时刻某一断面达到最高水位,其与河网中水位最低断面水位之间的差。按照雨水泵站排水工况,设定模型的边界条件。通过计算得到 15 种工况下,河网最大超高为 0 时,比较河网水系各断面最高水位差异。计算结果表明,河网各断面水系涨落较为同步,当某断面水位达到最大值时,其他断面的水位也达到或者几乎达到最大值,见图 5。各断面最高水位差 $\Delta \leqslant 50$ cm,说明排涝期间,河网水位波动不是很大。

3 排水过程与泵站规模的关系

环形河网本身有一定的库容,可对洪水进行调蓄。排涝系统的排涝能力主要受到排涝系统自身的调节能力和该区域降雨强度与降雨历时的影响。为了系统研究这两者之间

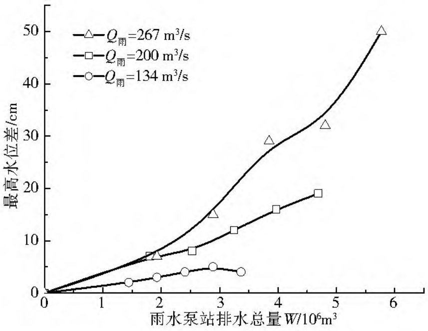

图 5 河网水系各断面最高水位差异

Fig. 5 Differences in maximum water levels of each cross section in the river network

的关系,本文定义超高概念,超高指河网在排涝期间所能达到的最高水位与设计暴雨水位的差值,并以该区域的降雨量、降雨强度、泵站的排水流量为变量,将雨水泵站的排水总量 W 以河网的调节库容 V 无量纲化,排涝泵站抽排流量以雨水泵站最大抽排流量无量纲化,分析它们之间的相互关系。将计算结果绘于图 6、图 7、图 8 和图 9。

当河网水位恰巧达到设计暴雨水位时、且雨水泵站和排涝泵站均以最大抽排流量抽排时,只 $Q_{雨}= Q_{排}$ 才能保证河网水位不超过设计暴雨水位。由图 6、图 7 和图 8 可以看出排涝泵站的总的抽排流量小于雨水泵站的排水总量,即 $Q_{排}/Q_{雨}< 1$,说明在排涝期间,河网的调蓄作用始终都在发挥。

由图 6、图 7 和图 8 可以得到不同条件下、不同允许超高下排涝泵站的规模。相反,确定了排涝泵站的规模后,也可以查找相应图表分析系统排涝能力及相应风险。

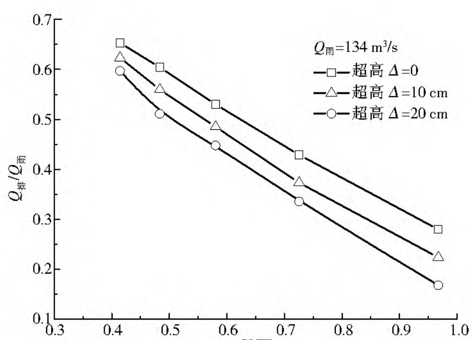

图 6 排水总量与泵站规模的相对关系($Q_{雨}$= 134)

Fig. 6 Relationship between the total drainage and scale of drainage pump station (Q_r= 134)

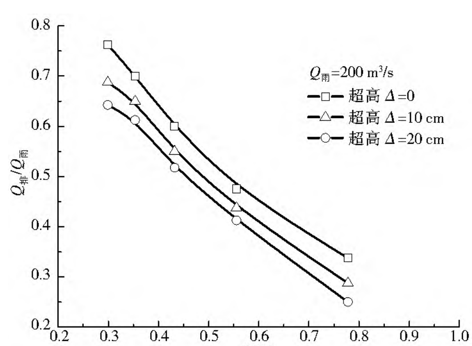

图 7 排水总量与泵站规模的相对关系($Q_{雨}$= 200)

Fig. 7 Relationship between the total drainage and scale of drainage pump station (Q_r= 200)

图 9 为当河网最大超高恰好为 0 时, V/W 与 $Q_{排}/Q_{雨}$ 的关系,从图中可以看出,当 V/W 一定时,随着 $Q_{雨}$ 变大,即降雨强度变大时, $Q_{排}/Q_{雨}$ 反而减小,说明在排涝初期河网的调蓄能力发挥了很大的作用,降雨强度是影响河网排涝能力的主要原因。

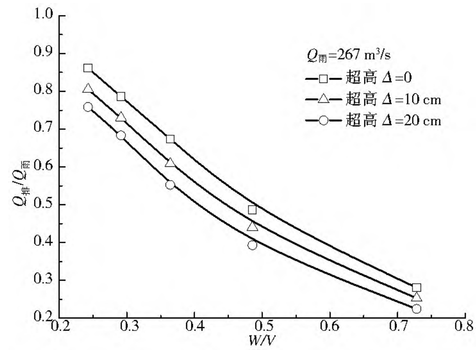

图 8 排水总量与泵站规模的相对关系($Q_{雨}$= 267)

Fig. 8 Relationship between the total drainage and scale of drainage pump station (Q_r= 267)

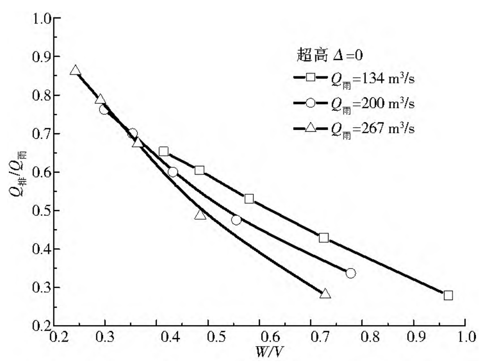

图 9 调节库容与泵站规模的关系(Δ= 0)

Fig. 9 Relationship between the regulating storage and scale of drainage pump station (Δ= 0)

4 结语

本文通过构建排涝计算模型,分析环形河网的排涝能力,以该区域的降雨量、降雨强度、泵站的排水流量为变量,将雨水泵站的排水总量 W 以河网的调节库容 V 无量纲化,排涝泵站抽排流量 $Q_{排}$ 以雨水泵站最大抽排流量 $Q_{雨}$ 无量纲化,分析它们之间的相互关系,评价系统排涝特性,从而确定不同降雨条件下,泵站的相对规模。本文研究思路可以为其他类似工程的规划设计提供参考。

参考文献(References):

[1] 陈建峰,王颖,李洋. HEC-RAS 模型在洪水模拟中的应用[J]. 东北水利水电, 2006, 24(11): 12-13. (CHEN Jian-feng, WANG Ying, LI Yang. Application of HEC-RAS Model in Simulation of Flood[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2006, 24(11): 12-13. (in Chinese))

[2] 曹小红. 泵站引水系统非恒定流计算研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2006. (CAO Xiao-hong. Study on One-dimensional Unsteady Flow Model in Water Diversion System of Pumping Station [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2006. (in Chinese))

[3] 王佰伟,田富强,桑国庆. HEC-RAS 洪水演进模型的应用[J].

南水北调与水利科技, 2011, 9(3): 24-27. (WANG Bai-wei, TIAN Fu-qiang, SANG Guo-qing. Application of HEC-RAS Flood Routing Model in the Three Gorges Reservoir [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(3): 24-27. (in Chinese))

[4] 田景环, 张科磊, 陈猛, 等. HEC-RAS 模型在洪水风险分析评估中的应用研究[J]. 水电能源科学, 2012, 30(4): 23-25. (TIAN Jing-huan, ZHANG Ke-lei, CHEN Meng. Application of HEC-RAS Model to Analysis and Assessment of Flood Risk[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(4): 23-25. (in Chinese))

[5] Hicks F E, Peacock T. Suitability of HEC-RAS for Flood Forecasting [J]. Canadian Water Resources Journal, 2005, 30(2): 159-174.

[6] Pappenberger F, Beven K, Horritt M, et al. Uncertainty in the Calibration of Effective Roughness Parameters in HEC-RAS using Inundation and Downstream Level Observations[J]. Journal of Hydrology, 2005, 302(1): 46-69.

[7] Leandro J, Chen A S, Djordjevi S, et al. Comparison of 1D/1D and 1D/2D Coupled (Sewer/Surface) Hydraulic Models for Urban Flood Simulation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 135(6): 495-504.

[8] 张行南, 彭顺风. 平原区河段洪水演进模拟系统研究与应用[J]. 水利学报, 2010, 41(7): 803-809. (ZHANG Xing-nan, PENG Shun-feng. Combined Simulation System for Propagation of Flood in Plain Rivers and Its Application[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(7): 803-809. (in Chinese))

[9] 徐奎, 马超. 福州市主城区洪涝灾害成因分析及对策研究[J]. 水利水电技术, 2011, 42(10): 113-118. (XUE Kun, MA Chao. Causal Analysis on Flood and Water Logging Disaster in Main Urban Area of Fuzhou with Study on Its Countermeasure[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2011, 42(10): 113-118. (in Chinese))

[10] 谢华, 黄介生. 城市化地区市政排水与区域排涝关系研究[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(5): 10-13. (XIE Hua, HUANG Jie-sheng. Relationship of Municipal Drainage and Hydrological for Urban Area[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2007, 26(5): 10-13. (in Chinese))

[11] 代斌. 城市化对海河天津段放洪排涝影响的研究[D]. 南京: 河海大学, 2005. (DAI Bin. Study on The Influence of City's DeveloPment on Flood Prevention and Water-log Draining of the Segment of Haihe River at Tianjin [D]. Nanjing: Hohai University, 2005. (in Chinese))

[12] 范泽华. 天津市降雨趋势分析及设计暴雨研究[D]. 天津: 天津大学, 2011. (FAN Ze-hua. Research on Precipitation Trend Analysis and Design Storm of Tianjin City[D]. Tianjin: Tianjin University, 2011. (in Chinese))

(上接第 36 页)

[10] 张巍, 陈恳. 应用分形两种迭代算法作短期负荷预测[J]. 电气技术, 2012, (7): 11-14. (ZHANG Wei, CHEN Ken. Two Fractal Iterative Algorithm in the Application of Short-term Load Forecasting[J]. Electrical Engineering, 2012, (7): 11-14. (in Chinese))

[11] 王秋萍, 马改姣. 分形插值预测模型的构建及应用[J]. 统计与决策, 2012, (1): 24-27. (WANG Qiu-ping, MA Gai-jiao. Construction and Application of the Model of Fractal Interpolation Prediction[J]. Statistics and Decision Making, 2012, (1): 24-27. (in Chinese))

[12] 刘鑫. 分形插值法在中国证券市场指数分析中的运用[D]. 南京: 南京理工大学, 2009. (LIU Xin. The Use of Fractal Interpolation Method in the Analysis of Index in Chinese Stock Market [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2009. (in Chinese))

[13] 雒文生. 河流水文学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002. (LUO Wen-sheng. The River Literature [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2002. (in Chinese))

[14] 中国水利学会泥沙专业委员会. 泥沙手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992. (The Professional Committee of China Institute of Water Conservancy and Sediment. The Sediment Handbook[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1992. (in Chinese))

[15] 韩其为. 河床演变中的几个问题[M]. 北京: 地震出版社, 1995. (HAN Qi-wei. A Few of the Problems in the Evolution of River Bed[M]. Beijing: The Seismological Press. 1995. (in Chinese))

[16] 韩其为. 何明民. 泥沙运动起动规律及起动流速[M]. 北京: 科学出版社, 1999. (HAN Qi-Wei, HE Ming-min. The Starting Pattern and Incipient Velocity of Sediment Movement[M]. Beijing: Science Press, 1999. (in Chinese))