

排涝泵站群规模和运行对围填海区域 环形河网排水影响研究

刘博静¹, 杨敏¹, 宋小艳¹, 申若竹²

(1. 天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072;

2. 华石纳固科技有限公司, 北京 100083)

摘要:近年来,围填海区域的开发利用明显增高。为确保该区域的安全使用,分析该区域排涝泵站群的规模与运行方式对于河网排水的影响,确保行洪排涝期间区域的安全至关重要。本文通过构建天津临港工业区行洪排涝数值计算模型,分析排涝系统的排涝能力和发生洪涝灾害的可能,给出系统所需排涝泵站规模,得到雨水泵站和排涝泵站抽排流量之间的关系及排涝泵站规模与淹没时间的关系。本文提供的分析方法与思路可为类似工程的规划设计 with 建设提供参考依据。

关键词:排涝;排水;河网;泵站群;环形河网排水

中图分类号:TU992.03

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2014)01-0018-04

Effect of scale and operation of pump station group on drainage of ring river network in filling land of sea

LIU Bojing¹, YANG Min¹, SONG Xiaoyan¹, SHEN Ruozhu²

(1. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072;

2. Sinoconfix Co. Ltd, Beijing 100083, China)

Abstract: The reclamation area utilization rate has been improved significantly in recent years. In order to ensure the safe use of the area, the paper analyzed the influence of scale and operation of drainage pump station group on drainage system. Through setting up a numerical simulation model of flood control and drainage within port - centered industry zone in Tianjin, it analyzed the drainage capacity of water system and the possible of flood disaster, gave the scale of drainage pump station and got the relationship between flows of rainfall pump station and drainage pump station, the relationship between scale and submersion time of drainage pump station. The method and think provide the reference basis for the design and construction of similar drainage pump station.

Key words: storm drainage; drainage; river network; pump station group; drainage of ring river network

1 研究背景

随着经济社会的发展和人民生活水平的提高,人类对于土地使用日益趋于紧张,围填海区域的开发利用明显增高,而该区域更易遭受洪涝灾害。为确保该区域的安全使用,科学合理规划水系,分析该区域排涝所需泵站的规模与运行方式对于其行洪排涝安全的影响至关重要。近年来,天津滨海新区以围填海的方法新建多处工业区。天津临港工业

区位于海河入海口南侧滩涂浅海区,地势平坦,东南北三面临海。工业区规划有四横四纵环形河网,河网总长约50km,河网在保证景观需求的同时关键还需保证汛期区内雨水排涝。区内降雨由17座雨水泵站提升后排入环形河网,再通过环布临港工业区四周的8座排涝泵站外排至渤海。

国内外学者^[1-5]应用数值模拟研究城市洪涝灾害,提出了数值模型的构建方法。对于天然河道行洪排涝的模拟进行过很多研究,以河道水位是否超

收稿日期:2013-10-29; 修回日期:2013-11-17

基金项目:国家重大专项课题(2012ZX07205005);天津市应用基础与前沿技术研究计划资助项目(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。

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。

过堤顶作为该区域是否发生涝灾的评定标准,研究该区域发生洪涝灾害的原因,并提出解决办法。围填海地区由于其地理位置的特殊性,排涝系统的结构特殊,在分析类似区域的行洪排涝安全问题上应区别于其它天然河道或是城市内河的分析方法。而且,近年来气候变化异常,导致降雨强度与降雨历时具有很大的不确定性。实际排涝过程中,排涝泵站也需要根据不同的降雨情况确定一次降雨过程的运行过程。排涝泵站的规模和运行主要受到降雨强度和降雨历时的制约,故有必要对该地区不同降雨情况所需排涝泵站的规模与运行方式进行研究,即进行逆向分析,分析排涝泵站群规模和运行对围填海区域环形河网排水的影响。本文以临港工业区环形河网为研究对象,分析排涝泵站群规模和运行对围填海区域环形河网排水的影响,为其它类似工程建设提供参考。

2 临港工业区环形河道排涝系统模型

2.1 排涝系统

根据临港工业区河网水系地理地形信息、泵站信息、调蓄水域信息等,构建临港工业区环形河网汛期雨水排涝系统模型。排涝系统由河道、湿地、雨水泵站和排涝泵站等组成。临港工业区排涝系统见图 1。

临港工业区环形河网为人工新开挖的河道,河段断面类型分为两类,河段断面类型 I 和类型 II。图中 L 代表河底宽,范围为 15 ~ 25 m; H 代表河深,范围为 2.5 ~ 4.5 m; i 代表斜率,范围为 5 ~ 7。如图 2 中, A 节点之间的河段横断面为类型 I, B 节点之间的河段横断面为类型 II。根据河道壁面情况,模型设定河道糙率范围为 0.02 ~ 0.025。

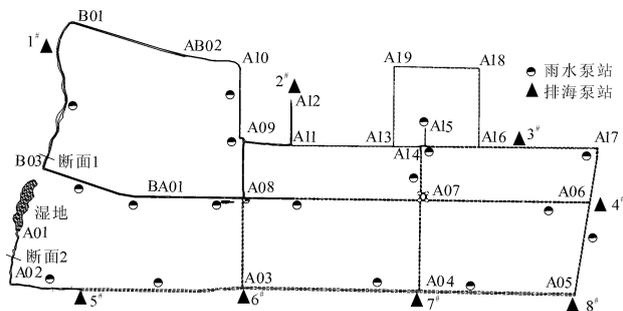


图 1 临港工业区排涝系统

2.2 计算条件

2.2.1 河道初始水位 现代天气预报的时效性与准确性已经可以为排涝系统的科学运行提供依据。实际运行时,可根据预报,将河网水位预降至低水

位,腾空库容,利用河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^[6],获取更大的调蓄库容。根据临港工业区实际水位情况,考虑景观要求,设定初始水位 $H' = 1.0$ m。

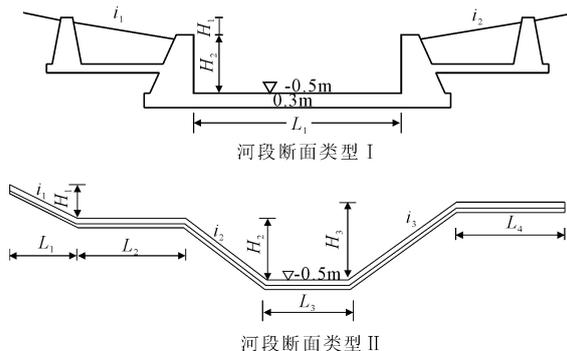


图 2 两种典型河段断面类型图

2.2.2 雨水泵站 系统内共设 17 座雨水泵站,每座泵站有 8 台水泵,抽排流量范围在 8 ~ 20 m³/s 之间。由于排涝初期集水管网的时间延迟作用,临港工业区集水管网时间延迟大概为 2 h。故雨水泵站排水总时间比降雨历时长 2 h。本文共设置了 15 种雨水泵站排水方案。雨水泵站排水过程线见图 3。

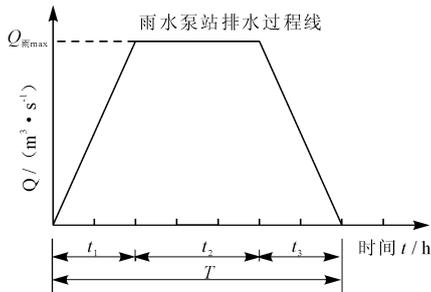


图 3 雨水泵站排水过程

图中参数取值见表 1,各个参数意义如下:

t_1 为每座泵站的水泵从全部停排到全部开启所需要的时间,反映集水管网的时间延迟作用,每隔 15 min 开一台水泵, h; t_2 为 17 座雨水泵站全部开启抽排的持续时间,反应降雨历时, h; t_3 为每座泵站的水泵从全部开启到全部关闭所需要的时间,每隔 15 min 关一台水泵, h; T 为雨水泵站总排水历时, h; $Q_{雨max}$ 为雨水泵站最大抽排流量,反应降雨强度,分 3 个等级, $Q_1 = 267.0, Q_2 = 200.0, Q_3 = 134.0$ m³/s。

2.2.3 排涝泵站 排涝泵站的任务是将河道内的水提升并外排至渤海,故排涝泵站的位置除了考虑实际土地使用情况外,应尽量靠近渤海。另外考虑河道的过流能力有限,保证河道内的水在行洪排涝期间水位波动不至过大,排涝泵站布置不能过于集中。

排涝泵站的位置见图1。

表1 排水方案

	$\text{m}^3/\text{s}, \text{h}$		
$Q_{\text{雨max}}$	$Q_1 = 267.0$	$Q_2 = 200.0$	$Q_3 = 134.0$
	$t_1 = t_3 = 2$	$t_1 = t_3 = 1.5$	$t_1 = t_3 = 1$
方案	$t_2 = 0, 1, 2, 3, 4$	$t_2 = 1, 2, 3, 4, 5$	$t_2 = 2, 3, 4, 5, 6$
	$T = 4, 5, 6, 7, 8$	$T = 4, 5, 6, 7, 8$	$T = 4, 5, 6, 7, 8$

排涝泵站根据河道实际常年水位情况设定起排水位、关停水位及水头流量曲线等。起排水位为0.8 m, 关停水位为0.4 m。水泵选型^[7-9]暂定为某轴流泵, 扬程 $H_0 = 5$ m 时, 单机抽排流量为 $Q = 2.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 单机装机容量为 $P = 350 \text{ kW}$ 。每座排涝泵站设置的水泵台数是不确定的, 需要通过计算确定, 以此确定排涝泵站总抽排流量。

3 排涝泵站运行过程对比

提取排涝泵站的规模及运行方式。图4计算条件均为降雨强度 $t = 6 \text{ h}$ 的情况。其中图4(a)为

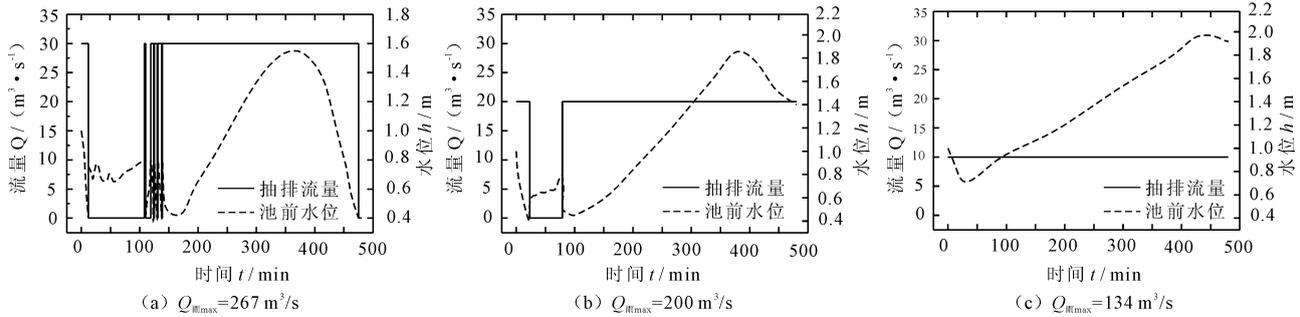


图4 不同降雨强度, 5#排涝泵站运行过程

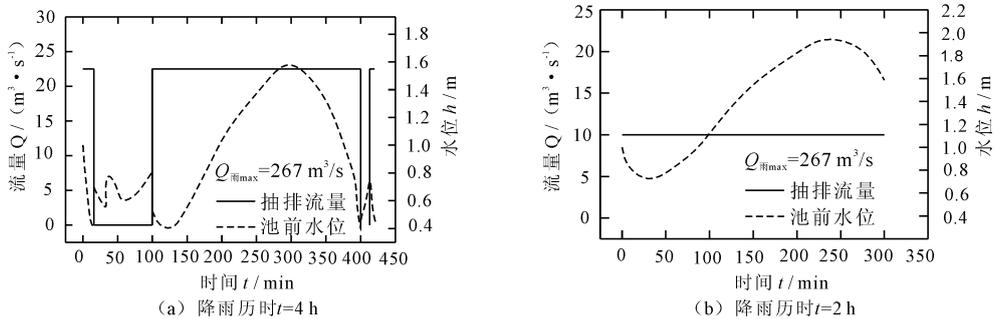


图5 不同降雨历时, 5#排涝泵站运行过程

4 雨水泵站和排涝泵站抽排流量之间的关系

为了研究雨水泵站和排涝泵站抽排流量之间的关系, 提取当降雨强度一定, 即 $Q_{\text{雨max}}$ 一定时, 不同的降雨历时条件下, 雨水泵站排水总量和河网最大超高之间的关系。河网最大超高指河网在行洪排涝

期间所能达到的最高水位与堤岸的差值。当 $Q_1 = 267.0 \text{ m}^3/\text{s}$, 不同降雨历时条件下, 河道断面1为河网水位最高所在位置, 雨水泵站排水总量和河网最大超高之间的关系见图6(a)。当 $Q_1 = 200.0 \text{ m}^3/\text{s}$, 不同降雨历时条件下, 河道断面1为河网水位最高所在位置, 雨水泵站排水总量和河网最大超高之间的关系见图6(b)。当 $Q_1 = 134.0 \text{ m}^3/\text{s}$, 不同降雨

期间所能达到的最高水位与堤岸的差值。当 $Q_1 = 267 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 5# 泵站运行过程。图4(b)为 $Q_{\text{雨max}} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 5# 泵站运行过程。图4(c)为 $Q_{\text{雨max}} = 134 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 5# 泵站运行过程。当 $Q_{\text{雨max}}$ 大时, 即降雨强度大时, 排涝泵站运行期间, 出现较长时间的停止抽排或是间歇性排、停的情况, 运行较不稳定。分析原因为降雨强度大时, 所需排涝泵站规模大, 在排涝初期由于排涝泵站的抽排流量大于来流流量, 河道水位迅速降低, 当河道水位低于泵站的起排水位, 排涝泵站停止抽排。随后一段时间, 水位升高至起排水位, 排涝泵站又开始抽排。如此往复, 造成排涝泵站持续处于起排、关停频繁交替状态。实际运行过程中, 可以通过调整泵站规模和泵站的控制起停水位, 避免其频繁起停。

图4(a), 图5(a)和图5(b)为相同降雨强度条件下, 即 $Q_{\text{雨max}} = 267 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 不同降雨历时, 5# 泵站运行过程。对比3幅图可以看出, 随着降雨历时减小, 排涝泵站的运行趋于稳定, 不再出现较长时间停排或是某段时间持续处于起排、关停频繁交替状态。

历时条件下,河道断面 2 为河网水位最高所在位置,雨水泵站排水总量和河网最大超高之间的关系见图 6(c)。河道断面 1 和断面 2 的位置见图 1。

由图 6 中(a)、(b)和(c)可以得到不同降雨强度和降雨历时条件下,不同允许河网超高下排涝泵站的规模。相反,确定了排涝泵站的规模后,可以查找相应图表,分析系统排涝能力及相应风险。

对比图 6 的 3 幅图可知,降雨强度大,历时短时,增大排涝泵站的装机容量对于降低河道水位效果不明显。分析原因为降雨强度大,历时短时,某些河段的过流能力不足,容易造成局部涌水,水位低于

关停水位,泵站停止抽排。

由图 6 还可知,降雨强度小,历时长时,增大排涝泵站的装机容量对于降低河道水位效果明显。而在雨水泵站排水总量相同的情况下,降雨强度小,降雨历时长,所需排涝泵站装机容量越小。这时河网的过流能力基本满足要求。

当临港工业区河网最大超高为 0 时,即排涝系统被淹没的时间恰好为 0 时,不同排水历时条件下,雨水泵站抽排流量和排涝泵站总抽排流量之间的关系见图 7。根据降雨历时和降雨强度的不同,由图 7 可以初步确定排涝泵站的规模。

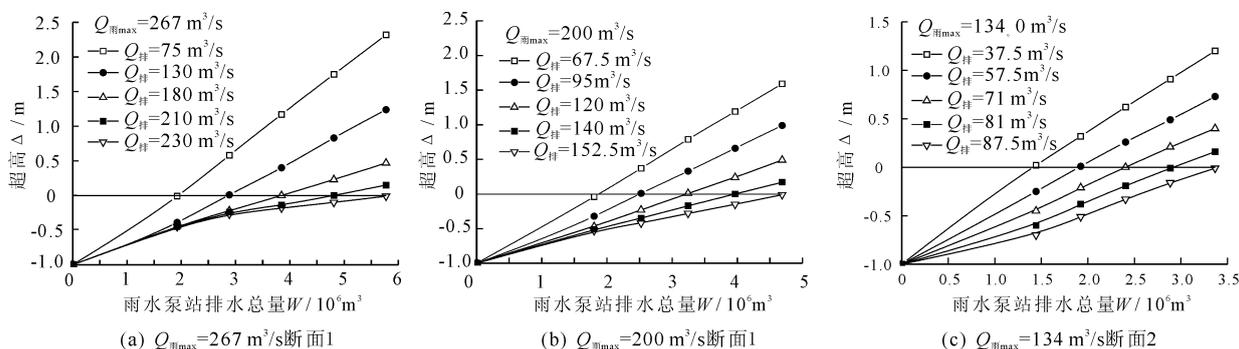


图 6 不同降雨条件下河网最大超高

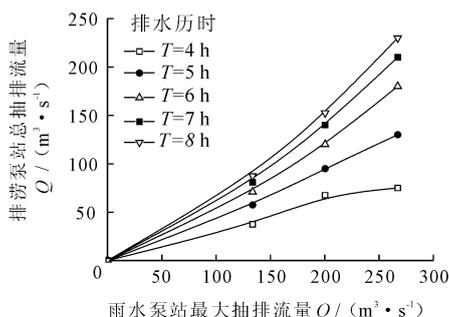


图 7 雨水泵站和排涝泵站的关系

可以确定不同的淹没时间下对应的排涝泵站的抽排流量。由于篇幅关系,本文只列出排水历时 $t = 6$ h 时,排涝泵站抽排流量与淹没时间的关系。

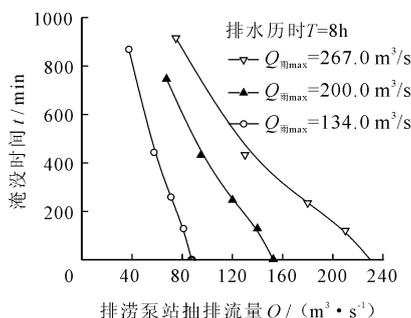


图 8 泵站抽排流量与系统淹没时间的关系

5 排涝泵站抽排流量与排涝系统淹没时间的关系

上述计算分析均是在雨水泵站能及时将区内雨水排至河道内,排涝泵站也能将雨水及时外排至渤海而不出现漫堤的情况。即假定排涝区域在行洪排涝期间不存在滞水。然而实际情况是,城市化地区市政排水和区域排涝设计标准的不同,行洪排涝期间一般允许排涝区域存在一定时间的滞水。考虑这个因素的设计方案,将减小排涝泵站的规模,故有必要研究排涝泵站装机容量和排涝系统淹没时间的关系。图 8 为降雨历时 $t = 6$ h,不同降雨强度条件下,排涝泵站抽排流量与淹没时间之间的关系。查图 8

6 结语

本文通过构建临港工业区环形河网排涝系统计算模型,分析系统的排涝能力和系统发生洪涝灾害的可能,给出系统所需排涝泵站规模,得到雨水泵站和排涝泵站抽排流量之间的关系,排涝泵站规模与淹没时间的关系,并做出风险评估。

对于其他的类似临海环形网格河道,包括正在规划中的滨海新区的多处工业园,可以参考本文提

(下转第 27 页)

流水功能区纳污能力 COD、氨氮和 TP 分别为 8642、794、227 t/a;嘉兴市区污染物超标严重,尤以氨氮和 TP 为主要污染因子;根据总量控制原则,在 2011 年现状入河量基础上,COD、氨氮和 TP 分别需削减 49%、57% 和 56%。

3.2 建议

结合嘉兴市区水功能区水质达标纳污能力计算结果及其城市发展特点,提出水环境管理措施及目标如下:

(1)通过城镇和农村生活污水治理工程、农村垃圾处理工程等逐步实现嘉兴市区城乡污水收集处理一体化;

(2)结合节水型城市和节水型社会建设,进一步提高化工、冶金电镀、电力等高耗水行业水循环利用和中水回用水平,加强用水定额管理,对达不到清洁生产要求的企业逐步淘汰;

(3)在种植业生产过程中,合理施用农药、化肥及淤泥、人畜粪便等有机肥,综合利用农业废弃物,推广农作物和林木病虫害的综合防治,促进农业生态良性循环,建设标准化、无公害的生态农业,有效减少农业生产引起的面源污染;

(4)针对畜禽养殖污染,严格按照“一堵、两分离、三配套、零排放”的要求,全面封堵直排口,强化干湿分离、雨污分离,配套干粪堆积场、沼气池、沼液池配套建设,并定期清理干粪、沼液、沼渣、污水、污液,以防对周边环境造成污染,实现农牧结合生态循环利用。

(上接第 21 页)

供的方法思路分析排涝泵站群规模和运行对河网排水的影响,对建设新区所需的泵站规模有一个初步评判,并做风险评估。

参考文献:

- [1] 刘洋. 几种水面线推算方法的比较[J]. 人民黄河, 2011, 33(2): 51-53.
- [2] Walton R, Jonas M, Stroppini A, et al. Hydraulic model study of delta-mendota canal[C]//. Impacts of Global Climate Change, World Water and Environmental Resources Congress, Alaska, United States, 2005.
- [3] 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.

参考文献:

- [1] 长江流域水资源保护局. GB/T 25173-2010. 水域纳污能力计算规程[S]. 北京:国家质检总局, 2010.
- [2] 张秀菊,杨凯,蔡爱芳,等. 不确定性参数对水体纳污能力的影响分析[J]. 中国农村水利水电, 2012(1): 13-17.
- [3] 阎非,苏保林,贾海峰基于排污口权重的一维河流水环境容量计算[J]. 水资源保护, 2006, 22(2): 16-18+22.
- [4] 韩龙喜,朱党生,蒋莉华. 中小型河道纳污能力计算方法研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2002, 30(1): 35-38.
- [5] 付意成,魏传江,储立民,等. 浑太河流域水质达标控制方法研究[J]. 中国环境监测, 2012, 28(2): 70-76.
- [6] 路雨,苏保林. 河流纳污能力计算方法比较[J]. 水资源保护, 2011, 27(4): 5-9+47.
- [7] 骆辉煌,魏开涓,史晓新. 水资源保护与纳污总量控制[J]. 中国水利, 2011(23): 73-78.
- [8] 汪德耀. 计算水力学理论与应用[M]. 南京:河海大学出版社, 1989.
- [9] Dewey R J. Application of stochastic dissolved oxygen model[J]. Journal of Environmental Engineering, 1984, 110(2): 412-429.
- [10] Carpenter S R, Carcao N F, Correll D L, et al. nonpoint of surface waters with phosphorus and nitrogen[J]. Ecological Applications, 1998, 8(3): 559-568.
- [11] Withers P J A, Davidson I A & Foy R H. Prospects for controlling diffuse phosphorus loss to water[J]. Environ Qual, 2000, 29: 167-175.
- [12] Elrashidi M A, Alva A K, Huang Y F, et al. Accumulation and downward transport of phosphorus in florida soils and relationship to water quality[J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 2001, 32: 3099-3119.
- [4] 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.
- [5] 王建鹏,薛春芳,解以扬,等. 基于内涝模型的西安市区强降水内涝成因分析[J]. 气象科技, 2008, 36(6): 772-775.
- [6] 徐晶,宋东辉. 考虑河道涌容调节的排涝设计[J]. 人民长江, 2010, 41(24): 17-19+24.
- [7] 江如汉,喻胜春,袁锦虎. 潮水地区泵站规模确定方法的探讨[J]. 中国农村水利水电, 2008(8): 127-129
- [8] 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+26.
- [9] 兰才有,仪修堂,段桂芳,等. 南水北调东线工程水泵机组选型方法探讨[J]. 排灌机械, 2004, 22(1): 1-7+12.