

# 基于遗传算法的九乡河双扉闸门优化设计方法 及应用

黄淑娟, 张天琦, 陈 域

(南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210006)

**摘要:** 防洪排涝一直是城市河道整治所关注的重要问题。建设具有挡洪、行洪、蓄水和反向引水功能的双扉门闸站是十分必要的, 其中对闸门的尺寸进行设计优化, 具有重要的研究意义。采用具有快速全局搜索功能的遗传算法, 对闸门尺寸进行优化搜索, 通过分析计算闸门启闭力的合理性, 确定搜索结果的优劣。结果表明, 采用遗传算法进行优化搜索过程简单快捷, 搜索时间仅为 23.85 s, 搜索结果也能够为设计提供科学的参考依据。

**关键词:** 遗传算法; 双扉闸门; 启闭力; 优化设计

中图分类号: TV66

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2018) 12-0035-04

## Study and application on the optimization design of double - leaf gate of Jiuxiang River based on genetic algorithm

HUANG Shujuan, ZHANG Tianqi, CHEN Yu

(Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210006, Jiangsu)

**Abstract:** Flood control and drainage has always been an important issue in urban river regulation. It is very necessary to construct a double-leaf gate station with functions of flood control, flood discharge, water storage and reverse water diversion, and it is of great research significance to optimize the size of the gate. The genetic algorithm with fast global search function was used to optimize the search of the gate size. The rationality of the gate opening and closing force was calculated and analyzed to determine the superiority of the search results. The results showed that the search process was simple and fast, the search time was only 23.85s, and the search results could provide scientific reference for design.

**Key words:** genetic algorithm; double-leaf gate; hoisting force; optimization design

## 0 引言

九乡河是城东地区一条重要的排水河道, 也是规划中秦淮东河分洪工程的入江通道, 担负了城市防洪、排水以及水生态环境改善等多种功能, 是区域社会发展的重要基础保障。根据河道现状和问题、相关规划及区域发展需要和紧迫性,

统筹考虑局部、整体关系, 通过河道拓浚、新建河口闸站、堤防加固及配套建筑物拆改建等, 提高九乡河流域防洪标准, 改善九乡河及东河沿线水环境, 并兼顾满足秦淮东河分洪要求。九乡河口闸的主要功能为汛期防洪, 非汛期蓄水。闸址应选择靠近河口位置, 可以大大减少闸下长江侧堤防长度, 缩短防洪战线; 在枯水期可以减少闸下枯

收稿日期: 2018-06-24

作者简介: 黄淑娟 (1985—), 女, 工程师, 主要从事水利水电工程金属结构设计工作。

水河段的长度,使河道维持一定的景观水位,大大改善河道景观及生态环境。同时考虑闸下河段的安全及长江河势的影响,闸门选用双扉直升门。该类型的闸门尺寸设计直接影响到闸门整体受力特点及河道水流调节效果。因此,对该闸门进行设计优化具有重要的意义。

通过分析九乡河及长江水位变化特点,以及九乡河闸站功能需求,本文采用具有快速搜索的遗传算法对闸门尺寸进行优化搜索,分别搜索不同闸门尺寸对应的启门力及闭门力,统计各计算结果并搜索出最优设计参数,为工程设计提供参考依据。

## 1 GA 优化搜索方法

遗传算法 (Genetic Algorithm) 简称 GA, 是一种具有强大极值搜索功能的优化搜索方法<sup>[1-2]</sup>。相比于常规试算方法,该方法能够在已知约束范围内迅速搜索出最优限值,并有效避免了不必要的重复工作及非优参数选用风险,使得设计更加科学合理。

### 1.1 遗传算法原理

遗传优化算法是一种类似生物遗传原理的搜索算法。该算法可以同时评估多个满足约束条件的解,其求解过程不要求导,故计算原理简单易懂,适用性广泛<sup>[3-5]</sup>。运算过程同样也具备生物遗传理论中的遗传及变异情况,具体运算过程可总结为6个阶段,详见表1,运算流程图详见图1。

表1 遗传算法运算阶段及内容划分

运算阶段	运算内容
初始化阶段	预先设置进化代数,并随机生成一定数量的个体作为初始群体。
个体评价阶段	计算群体中所有个体的适应度值。
选择运算阶段	通过选择算子评估每个个体的适应度值,选择优秀的个体直接遗传到下一代。
交叉运算阶段	通过交叉算子结合交叉概率选择个别个体,配对交叉产生新的个体遗传到下一代。
变异运算阶段	通过变异算子结合变异概率改动个别个体的某些基因链上的基因值,生成得到下一代群体。
终止判断阶段	若运算达到之前设置的最大遗传代数或适应度值保持不变,将进化过程中所得到的具有最大适应度个体作为最优解输出,然后终止计算。

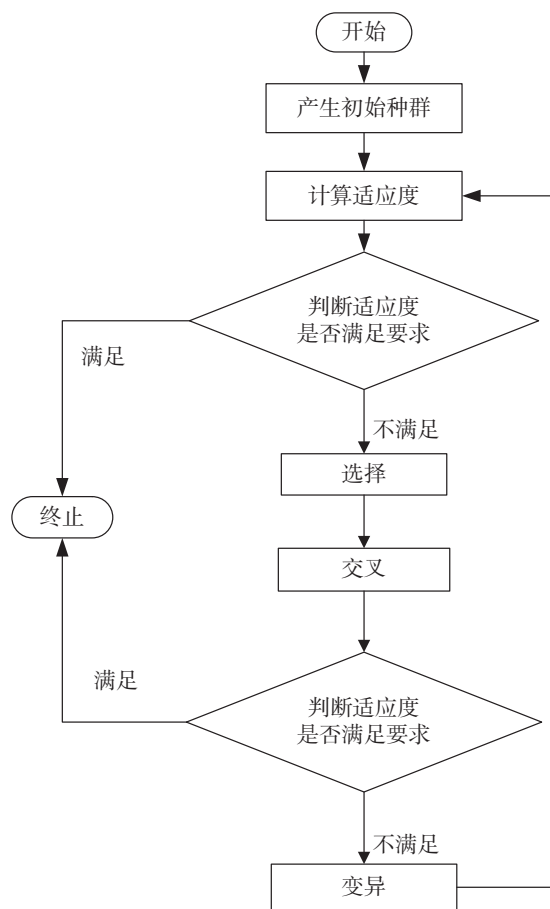


图1 遗传算法优化搜索流程图

### 1.2 适应度评价公式

通过遗传算法的全局寻优能力,即可快速且准确地得到所需计算模型的重要参数,从而使得计算模型为最优<sup>[6]</sup>。该算法通常以某结果的均方差(MSE)作为搜索最优参数的判断精度,力求搜索过程中的最小均方差为优化的目标条件,其中均方差公式如下:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f(\bar{x}_i) - y_i)^2 \quad (1)$$

式中:

$f(x)$ —搜索目标计算公式;

$y$ —约束条件;

$n$ —搜索个数。

## 2 上下扉门启、闭门力计算公式

闸门计算中最重要的就是根据实际工程需要,对不同工况下的闭门力、启门力进行受力复核。

闭门力  $F_w$  公式如下:

$$F_w = n_T (T_{zd} + T_{zs}) - n_G G \quad (2)$$

式中:

$T_{zd}$ —滚轮摩阻力;

$T_{zs}$ —侧止水摩阻力;

$G$ —扉门自重;

$n_T$ —摩阻力安全系数, 一般取 1.2;

$n_G$ —门重修正系数, 取 0.9。

启门力  $F_q$  公式如下:

$$F_q=n_T(T_{zd}+T_{zs})-n'_G G+W_s$$

(3)

式中:

$W_s$ —一节间止水所受水柱压力, kN。

3 节制闸工程应用

3.1 闸型方案比较

九乡河口闸位于九乡河入江口附近, 是九乡河口的控制性口门建筑物, 主要功能为: 汛期关闸挡长江侧洪水, 减少高水位对内河堤防的浸泡时间, 减轻内河的防汛压力; 秦淮河流域及九乡河流域发生洪水时, 作为秦淮河流域的新分洪道之一, 九乡河承担着分泄秦淮河流域洪水入江的任务; 非汛期当长江水位较低时, 关闸蓄水, 使内河保持一定的景观水位, 必要时九乡河口泵站抽引江水补充内河, 也可在九乡河口闸上下水位合适的情况下开闸反向自流引水, 以保持九乡河水位; 远期泵站抽引江水从九乡河往上游石臼湖流域调水时, 须关闭闸门, 抬高闸上水位, 满足自流条件<sup>[7]</sup>。

根据九乡河口闸的功能要求, 故提出高闸和

低闸 2 个闸型方案, 其具体闸型方案比较, 详见表 2。

根据以上 2 个方案的特点分析, 低闸方案无法满足防洪及九乡河口泵站远期向上游石臼湖流域调水的要求, 内河汛期防汛压力较大, 且蓄水位相对固定, 无法灵活调节。因此, 九乡河口闸必须采用高闸, 才能抬高闸上水位, 满足自流条件, 故本阶段设计选用高闸方案。

3.2 双扉闸门计算工况

双扉闸门由上扉门和下扉门 2 扇门叶组成, 一般情况下使用下扉门泄洪, 当流域遭遇大洪水时, 上下扉门同时提起泄洪。九乡河口闸主要功能为枯水期保持闸上 7.50 m 的景观水位, 同时要求非汛期内降雨不大时可以自由溢流, 无需频繁启闭, 运行操作方便<sup>[8-9]</sup>。而双扉门具有上述功能, 即在下扉门门顶设置顺流板, 实现门顶自由溢流, 而一般平板直升门及弧形门则没有该功能, 并且双扉门技术成熟、运行安全可靠、维修方便、管理简单、投资相对较省等特点。因此, 通过综合比选, 九乡河闸门选用双扉门方案。

闸门为上、下扉型式, 均为定轮闸门。主要用于调蓄内河水位、汛期挡长江高水。平时下扉闸门常闭挡内河水, 上扉闸门常开提至闸墩以上并锁定, 此时下扉门类似常规的表孔门; 汛期上、下扉闸门均常闭, 挡长江高水, 此时下扉闸门类似潜孔闸门, 上扉闸门类似钢胸墙。计算水位工况详见表 3。

表 2 闸型方案比较表

序号	项目名称	方案一: 高闸	方案二: 低闸
1	防洪	减少高水位对堤防的浸泡时间, 减轻内河的防汛压力	长江侧高水位直接进入九乡河, 防汛压力较大
2	蓄水	水位可在一定范围内灵活调节, 满足不同蓄水位的	最高蓄水位与闸门顶相同, 无提升空间
3	调水	可抬高闸上水位实现向石臼湖流域调水	无法抬高闸上水位, 不能满足向石臼湖流域调水要求
4	工程管理	门顶均可自由溢流, 无需频繁启闭闸门, 运行管理方便	

表 3 闸孔方案比选

闸门位置	计算工况	长江水位 (m)	九乡河水位 (m)
上扉门	工况一	10.48	7.50
	工况二	10.48	7.50
下扉门	工况三	2.32 (无水)	7.50

### 3.3 优化搜索模型

本文采用优化模型,以闸门孔宽  $b$  及门高  $h$  为搜索参数,通过公式(2)和公式(3)计算闸门启、闭门力作为约束条件。本次优化搜索的迭代次数设置为 50 代,种群规模为 50 个,交叉概率为 0.8,变异概率为 0.2,个体长度为 7。由于九乡河口闸的设计流量为  $381 \text{ m}^3/\text{s}$ ,本次分析九乡河口闸站级别确定为 1 级,其约束条件及搜索范围需满足下述不等式:

$$\begin{cases} F_w < G, F_q < F_{\text{启闭门}} \\ F_w + F_q = F_{\text{min}} \\ 1 < b < 30 \end{cases} \quad (4)$$

式中:

$b$ —变量单位, m。

搜索优化的目标函数为:

$$\min_{F_{\text{启、闭门力}}}(f) = \sum_{i=1}^n f_i \quad (5)$$

式中:

$N$ —闸门分孔孔数;

$f_i$ —第  $i$  孔的启、闭门力之和, kN。

### 3.4 优化搜索结果

采用遗传算法进行优化搜索过程详见图 2,搜索结果为:闸门孔宽为 8.5 m,门高为 11.5 m,公式(5)中目标函数最小启门总力为 224.4 kN,搜索时间为 23.85 s。根据长江及九乡河水位变化情况,可知闸门顶高程不应低于 11.805 m,经计算水闸闸孔净宽不应小于 29.89 m。故综合优化搜索结果及规范计算约束条件,本次工程选 3 孔 10 m 单孔

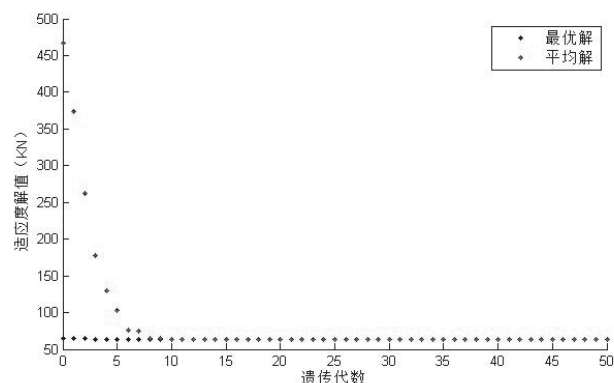


图 2 遗传算法优化过程示意图

宽闸门,闸顶高程控制在 12.0 m。3 孔调度相对较灵活,运行方便,闸门宽度小,闸门进出、起吊较方便,检修条件较好。

同时采用公式(2)、公式(3)对以上设计进行正算校核,闭门力为 -88 kN,闸门自重为 155 kN,可依靠自重闭门;启门力为 263 kN,选用 QPF-2×160 kN 闭式卷扬启闭机,启闭机容量有冗余。

## 4 小结

九乡河口闸位于九乡河入江口附近,具有挡洪、行洪、蓄水和反向引水的功能,并且需要抬高闸上水位向上游调水,故九乡河口闸必须采用高闸,才能抬高闸上水位,满足自流条件。采用遗传算法进行优化搜索过程简单快捷,搜索时间仅为 23.85 s,搜索结果也能够为设计提供科学的参考依据。

## 参考文献:

- [1] 云庆夏,王占权,等.遗传算法和遗传规划[M].北京:冶金工业出版社,1997.
- [2] 赵茜,张琤,林家骏.基于混合编码遗传算法的最优跟踪门[J].华东理工大学学报(自然科学版),2017(06):844-848.
- [3] 葛继科,邱玉辉,吴春明,等.遗传算法研究综述[J].计算机应用研究,2008(10):2911-2916.
- [4] 孙艳丰,郑加齐,王德兴,等.基于遗传算法的约束优化方法评述[J].北方交通大学学报,2000(06):14-19.
- [5] 蔡元奇,彭波,朱以文,等.基于 ANSYS 的遗传算法在水工弧形钢闸门优化设计中的应用[J].武汉大学学报(工学版),2005(05):52-55.
- [6] 刘英.遗传算法中适应度函数的研究[J].兰州工业高等专科学校学报,2006(03):1-4.
- [7] 邓翼峰,诸晓华,花加凤.交通闸中横拉闸门的自降式底止水优化设计——以射阳港区挡潮交通闸为例[J].江苏水利,2016(10):28-31.
- [8] 魏婷.双扉平面钢闸门在水利工程中的应用探析[J].黑龙江水利科技,2015(35):240.
- [9] 陈秋红.双扉平面钢闸门在龙泉水源工程中的应用[J].河南水利与南水北调,2015(10):33-34.