

# 灰狼优化算法 在洪泽区灌溉渠道断面优化设计中的应用

袁秀伟

(淮安市洪泽区水利局, 江苏 淮安 223100)

**摘要:**传统渠道断面优化方法多采用试算法,存在效率较低且工作量较大的问题。为顺利推动洪泽区灌溉渠道运行能力整体提升工作,将灰狼群体智能优化算法引入灌溉渠道断面优化设计中。介绍了灰狼优化算法的基本原理以及其在洪泽区灌溉渠道断面设计中的应用,结果表明灰狼优化算法收敛效率很高,只需要极短的时间便可以取得最优断面,克服了传统试算法计算时间长、工作量大、精度不高的问题。坡比对断面工程造价影响较大,在设计时应注意坡比的选择,控制工程成本。

**关键词:**灌溉渠道;灰狼优化算法;断面设计

中图分类号:S277

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)04-0011-0003

## Application of grey wolf optimization algorithm in optimization design of irrigation canal section in Hongze District

YUAN Xiuwei

(Hongze District Water Resources Bureau of Huai'an City, Huai'an 223100, China)

**Abstract:** The traditional canal section optimization method mostly adopts trial calculation method, which has the problems of low efficiency and large workload. In order to smoothly promote the overall improvement of the operation capacity of irrigation canals in Hongze District, the grey wolf swarm intelligent optimization algorithm is introduced into the optimization design of irrigation canal section. Combined with the project, the basic principle of grey wolf optimization algorithm and its application in the section design of irrigation canals in Hongze district are introduced. The results show that the convergence efficiency of grey wolf optimization algorithm is very high, and the optimal section can be obtained in a very short time, which overcomes the problems of long calculation time, heavy workload and low accuracy of the traditional trial calculation method. The slope ratio has a great impact on the section project cost. In the design, attention should be paid to the selection of slope ratio to control the project cost.

**Key words:** irrigation canal; gray wolf optimization algorithm; section design

### 1 概述

洪泽区资源多样,土地富饶,自然条件优良,适

宜发展特色、优质农业。2003年,洪泽区成为全省第一个通过无公害农产品产地认定和国家有机大米验收的示范区。然而洪泽区现状灌溉渠道多为

收稿日期:2021-09-06

作者简介:袁秀伟(1989—),女,工程师,本科,研究方向为农田水利。E-mail:esgaqe@163.com

70年代初开挖,在经过多年运行后,灌溉渠道淤积,输排水能力不足,工程效益难以正常发挥。现状渠道的输水能力难以满足当地农作物的灌溉需求,影响当地人民群众的生活、生产和当地经济的发展。为解决上述问题,本次工程主要内容为:新建以及维护灌溉渠道28条,总长35.31 km。工程完工后,可改善灌溉面积1 500 hm<sup>2</sup>,新增节水灌溉面积953 hm<sup>2</sup>。但在建设实施过程中,在灌溉渠道断面设计时,渠道总长度较长且支渠断面形式多样,而传统渠道断面优化方法多采用试算法,存在效率较低且工作量较大的问题<sup>[1-3]</sup>。

为顺利推动洪泽区灌溉渠道运行能力整体提升工作,将灰狼群体智能优化算法引入灌溉渠道断面优化设计中。本文结合该项目重点介绍了灰狼优化算法的基本原理以及其在洪泽区灌溉渠道断面设计中的应用,可为类似工程提供借鉴。

## 2 梯形灌溉渠道断面优化设计数学模型

### 2.1 梯形渠道断面概述

工程范围内渠道断面均为梯形断面,断面形式见图1。在进行断面设计时,通常水面高程可作为已知参数,在护岸衬砌形式确定之后坡比 $m$ 和糙率 $n$ 同样可作为已知量。因此,断面优化问题实质是在糙率 $n$ 、坡比 $m$ 以及比降 $i$ 已知的情况下,对河底宽和设计水深2个参数进行优化。灌溉渠道属于明渠,可参照明渠水流力学公式计算,相关基本公式<sup>[4-5]</sup>如下:

$$Q = AC\sqrt{Ri} \quad (1)$$

$$X = b + 2h\sqrt{1+m^2} \quad (2)$$

式中: $Q$ 为渠道内计算流量; $A$ 为过水断面面积; $R$ 为水力半径; $C$ 为谢才系数; $i$ 为渠底比降; $X$ 为湿周; $h$ 为设计水深; $b$ 为河底宽度; $m$ 为岸坡坡比。

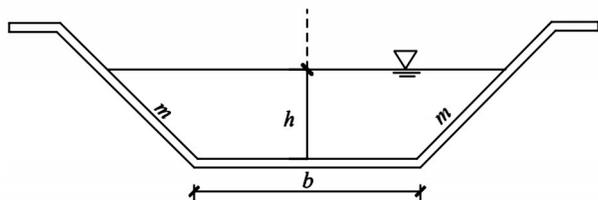


图1 梯形灌溉渠道断面

### 2.2 渠道断面优化设计目标函数

为获得最优的断面形式,将渠道流量计算值与设计值 $Q_d$ 之差作为优化算法的目标函数,见式

(3)。灌溉渠道设计流量 $Q_d$ 应根据灌区实际运行情况综合确定。

$$f = \min|Q - Q_d| \quad (3)$$

## 3 灰狼优化算法

### 3.1 灰狼捕食行为

灰狼是典型的群体生活动物,在进行捕猎时有着明确的分工。单个灰狼的捕猎行为很简单,但是狼群群体捕猎则是一个极其复杂的群体协作行为<sup>[6-7]</sup>。灰狼优化算法是Mirjalili等在2014年提出的一种群体优化方法。该算法模仿了自然环境中灰狼寻求最优质猎物的行为,需要反演的参数就是单个狼个体<sup>[8-9]</sup>。自然界中的狼群等级分明,一般可分为像三角形状的4层结构,见图2。 $\alpha$ 一般为狼群的首领,主要负责任务的分配, $\beta$ 、 $\delta$ 、 $\omega$ 分别为等级更低的狼,可以从图2中看出,等级越高,数量越少。等级较高的狼有权优先进食。正是由于这种严苛的等级制度和狩猎方法,狼在自然界之中表现出强劲的竞争力。

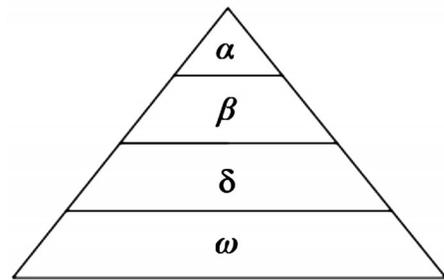


图2 灰狼种群个体分级

### 3.2 灰狼算法的基本步骤

#### 3.2.1 初始化种群

选择合适数量的狼群,并根据边界约束随机生成初始种群。所选择的种群数量与迭代次数紧密相关,应根据问题的复杂性综合选择狼群数量。

#### 3.2.2 包围猎物

灰狼发现猎物后,每个个体的位置会围绕猎物发生变化,对猎物进行包围,包围猎物的过程可用公式(3)和(4)表示描述,式(3)主要用来计算猎物和灰狼之间的距离,式(5)用于更新个体的位置。

$$\bar{D} = |\bar{C} \cdot \bar{X}_p(t) - \bar{X}(t)| \quad (4)$$

$$\bar{X}_{(t+1)} = \bar{X}_{p(t)} - \bar{A} \cdot \bar{D} \quad (5)$$

式中: $t$ 为循环次数; $\bar{C}$ 和 $\bar{A}$ 均为系数; $\bar{X}_{(t)}$ 和 $\bar{X}_{p(t)}$ 分别代表第 $t$ 次循环时猎物和灰狼个体位置。

### 3.2.3 捕捉猎物

当对猎物包围完成后,便开始捕捉猎物。捕捉过程可用下列公式来表示,过程示意图3。

$$\bar{D}_\alpha = |\bar{C}_1 \cdot \bar{X}_\alpha - \bar{X}| \quad (6)$$

$$\bar{D}_\beta = |\bar{C}_2 \cdot \bar{X}_\beta - \bar{X}| \quad (7)$$

$$\bar{D}_\delta = |\bar{C}_3 \cdot \bar{X}_\delta - \bar{X}| \quad (8)$$

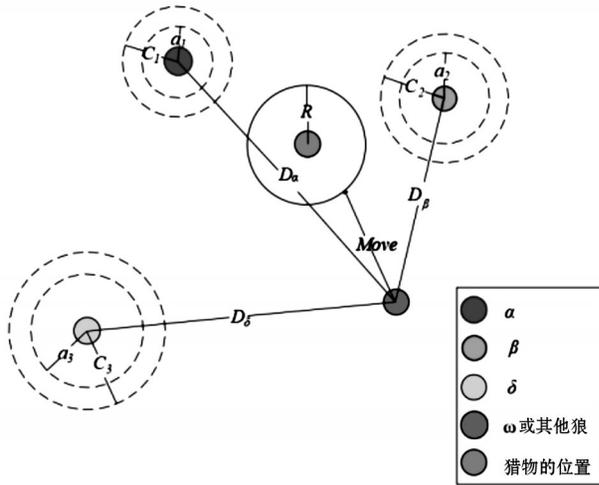


图3 灰狼种群捕捉猎物

### 3.2.4 攻击

狼群捕捉猎物的最后一步是攻击,其数学含义是输出最优解的过程。狼群通过捕猎过程中单个个体位置的变化,确定了最易捕捉到猎物的个体位置,由该个体发动攻击即输出最优解。

## 4 实例分析

选取本工程中的周桥灌区的某干渠进行研究,周桥灌区位于洪泽湖西岸淮河上游,总面积3.41万 $\text{hm}^2$ ,设计灌溉面积2.13万 $\text{hm}^2$ 。灌区已建成较为完善的排灌系统,包括周桥干渠、浔南干渠等,两级干渠总长462.5 km。干渠边坡防护分为水下、水位变化区和水上3个部分。水下部分采用混凝土预制块,水位变化区及水上部分采用混凝土预制格栅;设计厚度为6 cm,上面铺设3 cm 碎石垫层;护坡顶面0.2 m $\times$ 0.3 m现浇混凝土封顶;底槛为0.3 m $\times$ 0.4 m现浇混凝土结构,衬砌2.0 m $\times$ 0.4 m $\times$ 1.0 m,采用现浇混凝土护坡8 cm,护底10 cm。

该干渠断面形式为梯形,设计流量为3  $\text{m}^3/\text{s}$ ,坡比预设为1.5。根据上述衬砌形式估算渠道糙率系数为0.026。渠道不冲和不淤流速分别为0.70 m/s和0.35 m/s。根据上述已知条件,使用灰狼优化算

法对河底宽和设计水深进行优化。为获得最优的断面形式,将渠道流量计算值与设计值之差作为优化算法的目标函数<sup>[10-12]</sup>,对于所研究的周桥灌区的某干渠的设计流量为3  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

### 4.1 约束条件

对于灌溉渠道的断面优化问题,约束条件主要为渠道内水流的流速大小。流速应小于不冲流速,同时应大于不淤流速。

### 4.2 优化流程

使用灰狼优化算法进行断面优化,首先对灰狼算法进行初始化,设置循环次数为1。进行渠道流量的计算,并根据计算结果计算目标函数,对目标函数进行判断,若不满足进行灰狼算法算子的操作,并循环此过程,断面优化流程图4。

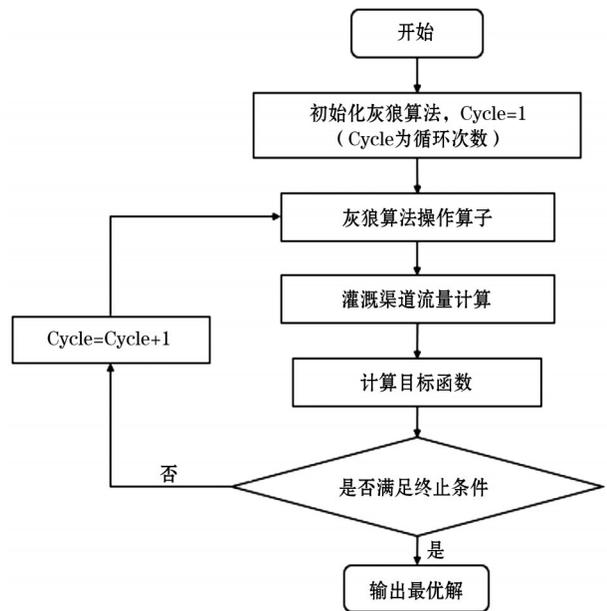


图4 基于灰狼算法优化断面流程

### 4.3 计算结果

使用灰狼算法对灌溉渠道断面进行优化,基本参数设置如下:循环次数为20次,灰狼种群为30。断面优化的结果见表1,对不同坡比 $m$ 分别进行了优化。在不同方案下,计算流量均与设计流量非常接近,我们可以发现不同的坡比 $m$ 下都可以取得一个流量满足的最优断面,但坡比为1.5时,此时的过水断面面积最小。当过水断面较小时,工程量最小,其相应的造价也最低。因此方案2为最佳断面优化方案。灰狼优化算法收敛效率很高,只需要极短的时间便可以取得最优断面,克服了传统试算法计算时间长、工作量大、精度不高的问题。

(下转第41页)

案。通过综合分析,最终确定采用力学性能好、生态性佳、结构简单、施工技术成熟且造价最低的杉木桩作为深厚淤泥质粉质黏土河段河道生态护岸。

参考文献:

[1] SL379-2007,水工挡土墙设计规范[S].  
 [2] GB50286-2013,堤防工程设计规范[S].  
 [3] 陈浩,胡超,史大为. 城市河道护岸类型及适用条件探析[J]. 工程建设与设计,2020(5):120-123.  
 [4] 刘堂莉. 试论中小河道整治中生态护岸的建设和作用[J]. 居舍,2019(6):1.  
 [5] 顾鑫,黄浩浩. 生态护岸的技术应用[J]. 防洪排水,

2019(3):124-127.  
 [6] 范家暖. 塑料土工格栅用聚丙烯改性研究[D]. 济南:山东大学,2016.  
 [7] 宋立彬,郑超,王征,等. 土工格栅用聚丙烯原料的高温拉伸特性[J]. 理化检验(物理分册),2015,51(10):688-692.  
 [8] 刘杰. 塑料土工格栅拉伸性能及工艺研究[D]. 济南:山东大学,2015.  
 [9] 王捷. 浅析上海市几种常用生态护岸型式的设计思路[J]. 水资源开发与管理,2019(11):42-46.  
 [10] 杨庆庆,王桂智,张慧,等. 多种生态护岸型式在高邮横泾河整治工程中的应用[J]. 中国水运,2020(11):111-113.

(上接第13页)

表1 最优方案

参数	<i>m</i>	<i>b/m</i>	<i>h/m</i>	<i>Q/(m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>)</i>	<i>A/m<sup>2</sup></i>
方案1	1.0	2.5159	2.0085	2.9999	6.3480
方案2	1.5	3.0022	2.1220	2.9998	6.1556
方案3	2.0	2.8840	1.7842	2.9998	6.6645
方案4	2.5	2.6238	1.6551	2.9996	6.8720
方案5	3.0	1.8858	1.7488	3.0001	7.0977

## 5 结 论

在洪泽区灌溉渠道断面设计时,结合项目重点介绍了灰狼优化算法的基本原理以及其在洪泽区灌溉渠道断面设计中的应用,主要结论如下:

- (1)将灰狼优化算法引入到灌溉渠道断面优化设计中,极大地提高了断面设计的效率,获得了较好的应用效果。
- (2)坡比对断面工程造价影响较大,在设计时应注意坡比的选择,控制工程成本。
- (3)灰狼算法的收敛速度较快,在断面优化时需优化参数较多,结果表明灰狼算法对于多目标优化问题同样有较好的适用性。

参考文献:

[1] 王志斌. 基于Rao-1算法的抛物线形渠道断面优化设计[J]. 节水灌溉,2020(12):64-67.  
 [2] 肖让,陈海龙,张永玲,等. 不同断面类型混凝土垫层渠道抗冻胀设计优化研究[J]. 水利规划与设计,2020(7):124-128.

[3] 张晓凤,王秀英. 灰狼优化算法研究综述[J]. 计算机科学,2019,46(3):30-38.  
 [4] 田志杰. 新疆某灌区输水渠道横断面优化设计[J]. 中国水运(下半月),2018,18(8):164-165.  
 [5] 弋昭媛. 基于PSO算法的抛物线形渠道断面优化[J]. 水利规划与设计,2018(6):157-160.  
 [6] 郭振洲,刘然,拱长青,等. 基于灰狼算法的改进研究[J]. 计算机应用研究,2017,34(12):3603-3606,3610.  
 [7] 罗佳,唐斌. 新型灰狼优化算法在函数优化中的应用[J]. 兰州理工大学学报,2016,42(3):96-101.  
 [8] 尚关蕾,刘东,胡宇祥. 基于猫群算法的渠道断面优化及设计参数分析[J]. 排灌机械工程学报,2016,34(2):128-132.  
 [9] 龙文,赵东泉,徐松金. 求解约束优化问题的改进灰狼优化算法[J]. 计算机应用,2015,35(9):2590-2595.  
 [10] 刘刚,滕凯. 梯形断面均匀流水深的近似计算公式[J]. 水利与建筑工程学报,2012,10(1):39-42.  
 [11] 钱坤,苏国韶. 人工蜂群算法在渠道断面优化设计中的应用[J]. 水利水电科技进展,2011,31(3):57-60.  
 [12] 余长洪,周明耀,姜健俊,等. 灌区节水改造中防渗渠道断面的优化设计[J]. 农业工程学报,2004(1):91-94.