

# 基于遗传粒子群融合算法的泵站经济运行研究

文蓓蕾<sup>1,2</sup> 李 频<sup>2</sup>

(1.上海交通大学电信学院 上海 200030 2.江苏省泰州引江河管理处 泰州 225300)

【摘 要】针对传统遗传算法在进行大空间搜索时存在计算效率低、收敛速度慢的缺点,本文借助粒子群算法中粒子根据群粒子当前最优位置进化的单一模式、求解速度更强的特点,提出将遗传算法和粒子群算法结合起来应用于泵站经济运行问题模型求解。利用 MATLAB 软件分别采用传统遗传算法和遗传粒子群融合算法进行优化计算,实验结果表明,优化后的方案相较于现有运行方案节能效果显著。此外,与传统遗传算法相比,遗传粒子群融合算法具有更好的寻优能力和更快的搜索速度。

【关键词】高港泵站 遗传算法 粒子群算法 融合算法

## 1 引言

泰州引江河是南水北调东线工程中一个重要取水口,以引水为主,集灌溉、排涝、航运、生态、旅游等功能于一体,既是南水北调的水源工程,也是开发“海上苏东”的战略性工程,是江苏水利的标志性工程之一。而高港枢纽则是这一工程的控制口门。建站以来,增加了南水北调的供水能力,提高了里下河地区和通南地区的灌排标准,为苏北地区改善水质、沿海冲淤保港、实施滩涂开发提供了充足水源。在实现“工程水利”向“资源水利”转变的过程中,有必要采取非工程措施来挖掘泵站的潜力,通过泵站的优化调度与控制来达到高效、节能、经济运行的目的。对于泵站经济运行问题,已有不少学者做了有益的探索,为计算方便,本文以泵站轴功率最低进行研究,求解模型近年来受到广泛关注的遗传算法。

## 2 泵站优化运行的数学模型

### 2.1 水泵性能曲线拟合

水泵特性曲线反映了水泵各个性能参数之间的相互联系及变化函数关系,是科学调节水泵运行的必备条件。本文研究的水泵机组的基本性能曲线采用已广泛应用且有足够精度的二次曲线进行拟合:

$$\begin{cases} H_N = a_1 Q_N^2 + b_1 Q_N + c_1 \\ P_N = a_2 Q_N^2 + b_2 Q_N + c_2 \\ \eta_N = a_3 Q_N^2 + b_3 Q_N + c_3 \end{cases} \quad (1)$$

$$W_{2\%} = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.40 & 0.65 & 0.42 & 0.42 & 0.41 & 0.55 & 0.52 & 0.50 & 0.44 & 0.35 & 0.30 \\ 0.65 & 0.55 & 0.35 & 0.58 & 0.60 & 0.55 & 0.45 & 0.50 & 0.49 & 0.50 & 0.65 & 0.69 \end{bmatrix}$$

将结果带入上述公式(4)~(7)中,可得等级评价结果如表2所示。

根据安全评价等级的确定原则,该水闸关于裂缝指标的等级为中等。这与实际情况相符,该工程自20世纪70年代服役时间已久,暂未出现直接的病险失常现象,但是裂缝频发,在日后的运行管理中应该更加重视,需加强安全监控监测,及时发现问题。

## 4 结语

式中  $H_N$ 、 $P_N$ 、 $\eta_N$ 、 $Q_N$  分别为水泵额定转速下的扬程、轴功率、装置效率、流量,  $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ 、 $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$ 、 $a_3$ 、 $b_3$ 、 $c_3$  为待定系数。不同机组不同叶片角度可拟合出其对应的特性曲线方程。

### 2.2 泵站优化调度分解协调模型

本文研究的泵站同时存在着两种不同调控性能的机组,所以引入大系统理论,将该泵站分解为两个相对独立的子系统:第一子系统,由全调节机组组成;第二子系统,由半调节机组组成,建成如图1所示的二层递阶分解协调模型。

#### 2.2.1 模型1

$$\text{目标函数 } f = \text{Min} \sum_{i=1}^m 9.81 Q_i H_i / \eta_i \quad (2)$$

$$\text{约束条件: } \begin{cases} \sum_{i=1}^m Q_i = Q_A \\ Q_{\min} \leq Q_i \leq Q_{\max} \\ N(Q_i, H_i) \leq N_0^i \end{cases} \quad (3)$$

#### 2.2.2 模型2

$$\text{目标函数 } f = \text{Min} \sum_{i=1}^m 9.81 X_i Q_i H_i / \eta_i \quad (4)$$

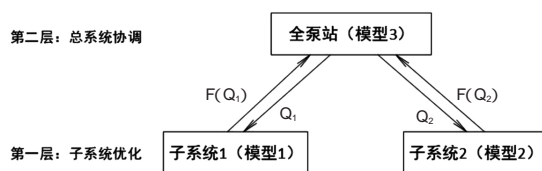


图1 泵站优化调度分解协调模型图

对现有水闸进行安全评价,旨在为管理部门进行安全鉴定工作及制定除险加固方案提供依据,本文构建了物元可拓理论在水闸安全评价中的应用模型,并通过实例论证了其可行性。但影响水闸安全性态的因素众多,指标体系繁杂,对以下问题还需进行深入的研究:(1)水闸各阶段影响安全性态的原始信息很丰富,如何准确、快速地从众多信息中建立合理全面的指标体系仍需进一步研究探讨。(2)开发研究一套适用于水闸安全综合评价的软件,将现场调查、安全检测、安全复核计算嵌入系统,做到实时诊断,具有非常高的实用价值■

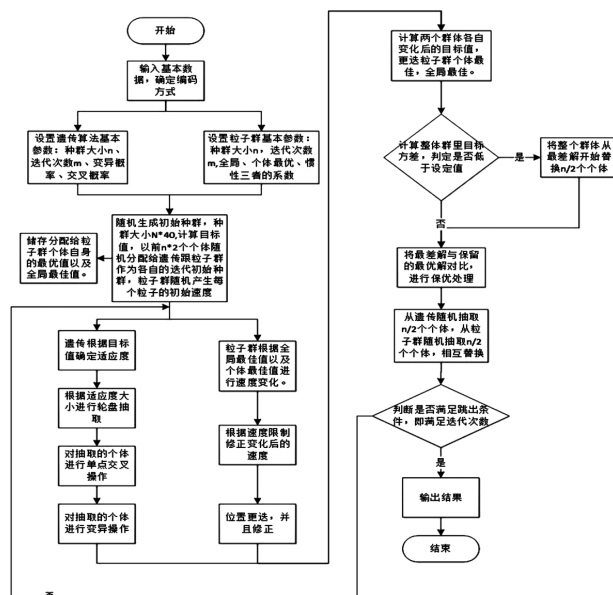


图2 GA- PSO 算法流程图

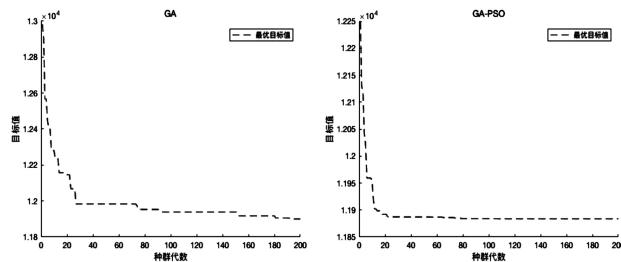


图3 GA 算法和 GA- PSO 算法的迭代曲线图

$$\sum_{i=1}^m X_i Q_i = Q_B$$

$$X_i Q_i \leq Q_0^i$$

$$\text{约束条件: } N_i(Q - H_i) X_i \leq N_0^i \quad (5)$$

$$0 \leq \sum_{i=1}^m X_i \leq$$

$$X_i = 0 \text{ 或 } 1$$

式中  $Q_{\max}, Q_{\min}$  为第  $i$  台机组的最大和最小抽水流量, 为第  $i$  台机组输入功率,  $N_0^i$  为允许的最大输入功率,  $m$  为半调节机组数,  $Q_A$  为模型第二层分配给该子系统的流量,  $Q_0^i$  和  $N_0^i$  分别为给定工作水头下第  $i$  台定桨机组的额定抽水流量和抽水功率,  $Q_B$  为模型第二层分配给该子系统的流量。

### 2.2.3 模型 3

$$\text{目标函数 } \min F = C_A Q_A + C_B Q_B \quad (6)$$

$$\text{约束条件: } \begin{cases} Q_A + Q_B = Q \\ C_i = f_i / Q \end{cases} \quad (7)$$

式中  $Q$  为整个泵站本次调度的总流量,  $C_A$  和  $C_B$  分别为子系统 1、2 抽排单位流量时的功率耗费,  $f_i$  为第  $i$  个子系统承担  $Q$  流量时的最小功率耗费。

## 3 遗传算法和粒子群算法

### 3.1 遗传算法

遗传算法 (Genetic Algorithm, GA) 是一类借鉴生物界

表1 GA 算法和 GA- PSO 算法仿真结果表

| 型号    | 编号 | GA 算法                               |     |                 |                  | GA- PSO 算法                          |     |                 |                  |
|-------|----|-------------------------------------|-----|-----------------|------------------|-------------------------------------|-----|-----------------|------------------|
|       |    | 流量 $Q$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 开度  | 轴功率<br>$P$ (kW) | 效率<br>( $\eta$ ) | 流量 $Q$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 开度  | 轴功率<br>$P$ (kW) | 效率<br>( $\eta$ ) |
| 半调节机组 | 1  | 31.2                                | 开   | 1488.4          | 0.720            | 31.9                                | 开   | 1553.9          | 0.705            |
|       | 2  | 31.5                                | 开   | 1515.1          | 0.714            | 31.9                                | 开   | 1553.9          | 0.705            |
|       | 3  | 31.5                                | 开   | 1515.1          | 0.714            | 32.1                                | 开   | 1574.8          | 0.700            |
| 全调节机组 | 4  | 35.9                                | +4° | 1787.5          | 0.690            | 34.0                                | +2° | 1582.3          | 0.738            |
|       | 5  | 34.0                                | +2° | 1582.3          | 0.738            | 34.1                                | +2° | 1592.8          | 0.735            |
|       | 6  | 34.1                                | +2° | 1592.8          | 0.735            | 34.1                                | +2° | 1582.3          | 0.738            |
|       | 7  | 34.5                                | +2° | 1637.7          | 0.723            | 34.0                                | +2° | 1582.3          | 0.738            |
|       | 8  | 33.4                                | +2° | 1524.1          | 0.752            | 34.1                                | +2° | 1592.8          | 0.735            |
|       | 9  | 33.9                                | +2° | 1572.0          | 0.740            | 33.9                                | +2° | 1572.0          | 0.740            |

表2 优化运行方案与现有运行方案对比表

| 现有运行方案 |            | 输入功率<br>(kW) | 计算时间<br>(s) | 最优迭代次数 | 平均装机效率 |
|--------|------------|--------------|-------------|--------|--------|
|        |            | 12945.0      | /           | /      | 0.712  |
| 优化运行方案 | GA 算法      | 12632.7      | 5.2         | 187    | 0.725  |
|        | GA- PSO 算法 | 11022.5      | 4.1         | 129    | 0.726  |

的自然进化规律演化而来的随机搜索方法, 由美国 Holland 教授于 1975 年首次提出。算法采用“适者生存、优胜劣汰”的进化原则, 对包含可能解的种群反复使用遗传操作(包括选择、交叉和变异), 使种群不断进化, 以求得满足要求的最优解。目前遗传算法已成功应用到许多领域, 如优化设计、神经网络训练、模式识别、时序预测等。

### 3.2 粒子群算法

粒子群算法 (Particle Swarm Optimization, PSO) 是 Kennedy 和 Eberhart 于 1995 年提出的一种新型群体智能优化算法, 源于对鸟群觅食行为的研究。在 PSO 算法中, 每个粒子的位置代表着搜索空间的一个候选解, 粒子有位置和速度两个特征。粒子位置坐标对应的目标函数值作为粒子的适应度。算法首先初始化一群随机粒子, 然后通过迭代找到最优解。粒子群优化简单易实现、收敛速度快, 在工程优化、图像处理等诸多领域得到了广泛的应用。

## 4 遗传粒子群融合算法

本文将遗传算法和粒子群算法以同等地位进行并联混合, 将种群一分为二, 遗传算法和粒子群算法各进化一半的个体。遗传算法的选择、交叉、变异过程保证了了解的多样性, 粒子群算法的单一寻优模式提高了寻优速度, 同时, 粒子群算法中粒子有记忆, 当前最优解所有粒子都保存, 避免运算陷入局部极值点的束缚, 利用使每一步的迭代都优于单一的遗传算法和粒子群算法, 进而提高了算法整体的性能。与其他混合最优化算法不同的是, 该算法没有破坏粒子群和遗传算法的独立性, 而是通过全局最优样本把两个算法有机地结合在一起, 因此新算法在具备了原有算法优势的基础上, 获得了更好的寻优性能及寻优稳定性。GA- PSO 算法

# 济宁市山区设计洪水计算方法分析

刘 驰<sup>1</sup> 赵长河<sup>1</sup> 时延庆<sup>2</sup>

(1.济宁市水利局 济宁 272100 2.济宁市水文局 济宁 272100)

【摘 要】本文以泗水县尚家庄和卢沟两个流域为典型山区流域,分别用《水利水电工程设计洪水计算规范》(SL44-2006)中推理公式法和《山东省水文图集(1975年)》中瞬时单位线法、经验公式法三种方法进行设计洪水计算,采用曼宁公式法计算两个流域出口断面各设计流量相应的洪水位,与实测历史洪痕水位进行对照,结果显示推理公式法对济宁市山区流域设计洪水最合适。

【关键词】山区 设计洪水 计算方法 分析

## 1 流域概况

尚家庄流域位于山东省济宁市泗水县东南部山区,济河上游,泗张镇尚家庄,断面以上控制流域面积约61.99km<sup>2</sup>,流域内有一个雨量站——青界岭站,具有长系列降雨实测资料,上游有一个小(一)型水库——青界水库,青界水库的控制流域面积14.04km<sup>2</sup>。卢沟流域位于泗水县西南部山区,圣水峪镇卢沟村,断面以上控制流域面积约2.78km<sup>2</sup>,无实测降雨资料。两个流域平均坡度较大,属于山洪多发区,在济宁市具有较高的典型性。

## 2 设计洪水计算方法

### 2.1 设计暴雨计算方法

(1)有实测降雨资料的地区,可以直接选取以每年指定统计时段的最大面暴雨量进行频率计算,求得设计面雨量。面雨量统计参数的估计一般采用适线法,设计洪水规范规定,其经验频率公式采用期望值公式,线型采用皮尔逊Ⅲ型曲线。统计参数可用矩法等方法初估,用适线法调整流程图如图2所示。

## 5 仿真实验

本文以高港泵站为例,该泵站共安装9台立式开敞式轴流泵,单台最小抽水流量为26m<sup>3</sup>/s,最大抽水流量为42m<sup>3</sup>/s。其中1<sup>#</sup>~3<sup>#</sup>机组为半调节轴流泵,4<sup>#</sup>~9<sup>#</sup>机组为全调节轴流泵,可在-4°~+4°之间连续可调,9台水泵配套电机均为2000kW立式同步电动机。抽水指标要求:泵站出口总流量Q=300m<sup>3</sup>/s,出口扬程H=3.5m。

本文利用MATLAB软件进行仿真实验。参数设置为:种群数50,迭代次数取200,交叉概率取0.5,变异概率取0.2。为了说明遗传粒子群融合算法的有效性,分别使用基本遗传算法和遗传粒子群融合算法作对比实验,运算结果如表1所示,对比数据分析如表2所示,迭代曲线如图3所示。

由表1、表2可知,两种算法的求解结果都比现有运行方案轴功率低,这说明本文提出的优化方案具有显著的优化效果,对比传统GA算法和GA-PSO算法迭代200次运算时间、

定。推求出设计暴雨参数(均值、变差系数C<sub>v</sub>、偏态系数C<sub>s</sub>)后,即可计算出不同频率的设计暴雨量和时段雨量。

经验频率计算:对于实测降雨,在n项连序降雨系列内,按大小顺序排位第m项的经验频率P<sub>m</sub>可按以下数学期望公式计算:

$$P_m = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (m=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

频率适线方法是先将历史实测暴雨系列按上述经验频率公式计算P<sub>m</sub>值后,点绘在机率格纸上,其纵坐标为均匀分格的降雨量,横坐标与频率值的标准正态分布分位数有关。由于标准正态分布分位数在P=50%处为零,而海森机率格纸在P=0.01%时的横坐标值为零。

根据矩法初估的统计参数均值、变差系数C<sub>v</sub>及偏态系数C<sub>s</sub>(山东地区暴雨系列的偏态系数C<sub>s</sub>通常取值为3.5C<sub>v</sub>),求得对应于各频率的降雨量H<sub>p</sub>后,点绘在频率纸上连成理论频率曲线,使理论曲线与实测点据相配,在适线时可调整计算的变差系数C<sub>v</sub>,直到理论曲线与实测点据配合最佳为

求得最优解的迭代次数和输出的最优解,后者明显运算时间更短,求得的最优解更优,图5非常直观地体现了GA-PSO算法相较于GA算法寻求最优解的能力更强、效率更高。

以上仿真实验结果说明,本文提出的基于遗传粒子群融合算法的泵站经济运行模型和方法是可行的,且相较于传统遗传算法有更好的寻优能力和更快的搜索速度,具有较好的实用价值。

## 6 结语

本文针对高港泵站有不同调控性能机组的实际情况,对水泵机组的动力特性曲线进行了拟合,以泵站总耗能最小为目标,建立了泵站优化调度的二层分解协调模型。针对该模型的复杂性,提出了一种工程实用的遗传粒子群融合算法进行求解。同时对比传统遗传算法的求解结果,得出遗传粒子群算法具有更好的寻优能力和更快的搜索速度。因此本文的研究成果对实现泵站优化运行、提高经济效益、节能有较好的现实意义。