

# 遗传算法在离心泵叶片优化设计中的应用

闫永强, 梁武科

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 对遗传算法在流体机械优化设计中的应用现状作了较为全面的总结; 提出了将遗传算法应用于离心泵叶片优化设计中, 分析了遗传算法在离心泵优化设计中应用的可行性以及存在的问题; 对离心泵优化设计的发展提出了一些新建议和尝试。

**关键词:** 遗传算法; 离心泵; 优化设计; 计算流体力学

**中图分类号:** TH3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1005-6254(2004)02-0005-03

## 0 前言

泵是一种应用极广的通用机械, 而目前我国使用的泵当中, 存在效率低、汽蚀性能差、特性曲线不稳定等问题。如何提高泵的效率、汽蚀性能、改善泵运行稳定性就成为广大设计人员所要解决的主要问题。

目前, 离心泵优化设计方法已发展到将泵的基本流动理论与计算流体力学和优化方法结合在一起, 主要从考虑水力损失最低着手, 在保证效率最高的条件下, 寻求不同的流动和几何参数的组合, 最终获得具有优良性能的离心泵<sup>[1]</sup>。由于传统数学优化方法存在一些缺陷, 本文提出将遗传算法与计算流体力学(CFD)结合用于离心泵叶片的优化设计, 并就存在的难点进行了分析, 对离心泵优化设计新方法的研究作了一定的尝试。

## 1 遗传算法

遗传算法(Genetic Algorithm, 简称 GA)是由美国的 Holland 教授<sup>[2]</sup>于 1975 年提出的一种模拟生命进化机制的一种搜索与寻优方法。它借鉴于达尔文的物竞天择、适者生存的自然选择和自然遗传机理, 形成了一种求解问题的高度并行全局搜索方法。它与传统的优化方法相比较具有更强的全局寻优能力、鲁棒性、隐并行性等智能特性, 使其在结构优化设计、系统控制、自适应控制、模式识别、机器学习等方面得到广泛的应用。遗传算法的发展高潮开始于 20 世纪 80 年代末, 而且延续至今。

遗传算法的一般形式是: 从一组随机产生的初始解开始搜索, 这组解称为种群(population); 种群中的每一个个体都是问题的一个解, 称为染色体(chromosome); 染色体是一串符号, 比如一个二进制字符串; 这些染色体在后续迭代中不断进化, 称为遗传; 在每一代中用适值(fitness)来测量染色体的好坏, 生成的下一代染色体, 称为后代(offspring); 后代是由前一代染色体通过交叉(crossover)或变异(mutation)运算形成的, 新一代形成中, 根据适值的大小选择部分后代, 淘汰部分后代, 从而保持种群大小为一常数。适值高的染色体被选中的概率较高。这样, 经过若干代之后, 算法就收敛于最好的染色体, 它很可能是问题的最优解或次优解。

遗传算法是一种群体型操作, 它以群体中所有个体为对象, 每一个个体就是目标函数的可行解。遗传操作是由三个主要的算子构成:

(1) 选择算子: 选择算子从群体中按某一概率成对选择个体, 某个体被选择的概率  $P_i$  与其适应度值成正比。

(2) 交叉算子: 交叉算子将被选中的两个个体的基因链按交叉概率  $P_c$  进行交叉, 生成两个新的个体, 交叉位置是随机的。其中  $P_c$  是一个系统参数, 根据不同的遗传算法, 其值可变, 也可不变。

(3) 变异算子: 变异算子将新个体的基因链的各位按变异概率  $P_m$  进行变异, 对二值基因链(二进制编码)来说即是取反。

与传统优化技术相比较, 遗传算法的特点在于<sup>[3]</sup>: (1) 遗传算法运算的是解集的编码, 而不是解

作者简介: 闫永强(1977~), 男, 新疆人, 西安理工大学硕士研究生, 主要研究方向: 水利机械优化设计、遗传算法。

集本身; (2) 遗传算法的搜索始于解的一个种群, 而不是单个解; (3) 遗传算法只使用报酬信息(适值函数), 而不使用导数或其他辅助知识; (4) 遗传算法采用概率的、而不是确定的状态转移规则。

以上这些表明, 遗传算法较为适合于维数很高、总体很大、环境复杂、问题结构不十分清楚的场合。因此, 遗传算法在各个领域得到了广泛应用, 并越来越受到学术界人士的重视。

## 2 遗传算法在流体机械中的应用

遗传算法<sup>[4]</sup>在很多领域已得到很好的应用, 取得了良好的效果, 特别是在处理多目标优化设计中, 有着传统优化方法无与伦比的优越性。流体机械领域广泛用到优化设计, 寻求最优的设计结果, 因此已有研究人员就将遗传算法引入到流体机械优化设计中, 并取得了一定的成绩。

### 2.1 遗传算法在流体机械优化设计中的应用

虽然遗传算法在很多领域都已得到很好的应用, 但在流体机械领域中应用还很少。遗传算法在该领域中的应用主要分为以下两类<sup>[5]</sup>。

#### 2.1.1 参与流体机械几何形状的最优化设计

有的学者利用遗传算法进行过流体机械形状设计的尝试。首先对航空机翼采用遗传算法优化设计获得了成功, 而后又将其推广到了透平机械叶栅的设计中, 亦取得了成功。其主要手段有<sup>[6]</sup>: 一是利用基线形状和某些已知修正函数的线性组合表示流体机械几何形状的型线; 另一种是利用 Bezier 样条(或 B 样条)曲线来表示流体机械几何形状的型线。两种方法都是通过遗传算法优化的结果来调整流体机械几何形状的型线, 以此调节流场, 最终达到设计目的。

#### 2.1.2 协助 CFD 计算工作

遗传算法在协助进行 CFD 计算方面也已有很多应用。Doorly<sup>[7]</sup>总结了将遗传算法与并行 CFD 分析程序结合起来的两个组合方案: 即“并行 CFD+顺次式 GA”和“并行 GA+并行 CFD”。在第一个方案中, 并行性仅用来加速 CFD 和允许较大规模的问题被处理, 但效率受到限制。在第二个方案中, 求解过程则是全部并行化的。

目前, 遗传算法已经在航空机翼设计以及透平机械叶栅设计中得到了很好的应用。在水力机械设计中应用还较少, 其优化问题是能量性能和空化性能为目标函数, 对叶片数、轴面流道形状、叶片进出口边的轴面投影及叶片几何形状中

的一个或几个参数进行优化。到目前为止, 在这方面都是采用常规方法进行优化。而常规方法有它本身无法克服的缺陷: 无法收敛到全局最优解。如果能把遗传算法引入到水力机械优化设计中, 遗传算法所特有的寻优功能将能够很好地解决无法收敛到全局最优解这一问题。

### 2.2 遗传算法在离心泵优化设计中的应用

目前, 我国在泵设计、优化领域的整体水平要低于国外发达国家, 现有的优化方法也是较为传统的几种方法, 且优化目标多为单一目标优化, 这也是阻碍我国泵领域研究及发展的最大瓶颈。目前, 国内对于遗传算法应用在离心泵优化设计方面的尝试还比较少。研究工作多集中在研究水平较高的国外科研机构, 并且从他们研究的结果可以看出遗传算法在这一领域的有效性。

W.A.Wahba 和 A.Tourlidakis<sup>[8]</sup>在 2001 年 6 月举行的 AIAA 第 15 届计算流体力学研讨会上发表了一篇关于离心泵优化设计方面的文章, 他们第一次将遗传算法引入到离心泵叶片优化设计中, 并取得了较为理想的结果。其优化设计方法是: 建立以损失最小和扬程最大为目标的多目标优化函数, 采用有限差分法来进行二维流场计算, 并以流场计算的结果来计算适应值函数, 通过优化计算得到最终的最优结果。其中, 在形成初始种群时, 采用 Bézier 曲线来设计离心泵叶片型线, 由于 Bézier 曲线有着优良的控制方式, 很适合遗传算法自动寻优的要求; 在由 Bézier 曲线得到叶片型线后, 采用了很成熟有限差分法进行流场计算, 这一部分也是遗传算法在求解适应值函数时最为关键的, 由流场得到计算结果来评价叶片型线设计的好坏; 在处理多目标问题时, 采用了加权函数法, 其优点就是设计人员能够通过改变加权系数, 来对叶片所需的性能进行调整。此外, 该文章还进行了单目标优化计算, 将优化得到的结果与多目标优化的结果进行了对比, 结果证明了多目标优化在离心泵叶片优化设计中的有效性。

## 3 存在的问题

由于离心泵内部流体流动的复杂性, 决定了其设计是一个复杂且涉及多学科的课题, 要进行优化难度很大; 而且离心泵设计大多是非线性约束优化, 还有很多设计问题是需要考虑多个设计目标, 而非线性多目标优化本身就是一个难题。考

虑到以上两个难点, 所以到目前为止, 遗传算法在离心泵叶轮优化设计中的应用还很少。而且将遗传算法应用到离心泵叶片优化设计中还有以下几个方面的问题有待解决。

(1) 优化数学模型的建立。由于现代水力设计要求的提高, 离心泵叶轮设计是一个多目标优化的目标函数, 用一个准确的函数表示此数学模型比较困难。而且, 在确定目标函数时, 约束条件的选择将是一个难点, 选择的好坏将直接影响到目标函数的好坏。

(2) 适应值的计算。在遗传算法的优化过程中, 每一代种群都必须对其中的各个体进行适应值计算。在离心泵叶片设计时, 其适应值的计算是通过流场计算得到的。由于离心泵叶轮内部流道是一个扭曲空间, 其流道狭窄, 叶片包角比较大, 因而其流道内的流态较为复杂, 很好地计算其流速场及压力场比较困难; 另外, 要多次调用流场计算程序, 这会导致程序所占用计算机内存较大, 且较费机时。

(3) 遗传操作算子的改进。遗传操作是由选择算子、交叉算子以及变异算子这3个主要的算子构成。大多数遗传算法在整个过程中多采用固定不变的进化策略进行优化, 这类未考虑遗传算法群体环境变化的固定进化策略虽然在一些应用中取得了较好的效果, 但是在更为复杂的、对优化性能要求更高的应用场合, 也暴露了不少缺点。所以改进遗传操作算子是众多研究人员的主要问题之一。

#### 4 结束语

虽然遗传算法在离心泵优化设计中还没有

得到很好的应用, 但遗传算法所拥有的特有的优点以及离心泵叶片优化设计的多目标要求, 可以预见遗传算法将在离心泵叶片优化设计中得到广泛的应用。这将更进一步提高现有优化设计的设计水平, 设计出符合现代水力要求的离心泵。

目前, 本人正在从事基于遗传算法的离心泵叶片优化设计的研究, 提出了以气蚀系数最小和扬程最大为目标的多目标优化函数, 采用有限体积法计算离心泵叶片间的流场, 由Bézier曲线控制叶片几何形状, 采用Visual Fortran语言编写计算程序。初步计算结果已经显示了遗传算法在离心泵叶片优化设计中的优越性。

#### 参考文献:

- [1] 李晓, 袁寿其. 低比速离心泵水力设计进展 [J]. 排灌机械, 2000, 18(1):9~13.
- [2] [日]玄光男, 陈润伟. 遗传算法与工程设计[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [3] 王小平, 曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.
- [4] 周明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [5] 焦会元. 基于演化计算技术的离心压缩机静止叶片设计方法的研究[D][博士学位]. 西安: 西安交通大学, 2000.
- [6] 焦会元, 席光, 王尚锦. 遗传算法在流体机械优化设计中的应用 [J]. 机械科学与技术, 2000(6):910~912.
- [7] D Dooley. Parallel genetic algorithms for optimization in CFD Genetic Algorithms in Engineering and Computer Sciences [M]. Chichester: John Wiley&Sons Ltd, 1995:251~270.
- [8] W A Wahba and A Tourlidakis. A genetic algorithm applied to the design of blade profiles for centrifugal pump impellers [R]. Anaheim, CA: AIAA Computational Fluid Dynamics Conference, 15th, June 11~14, 2001.

## Prospect of Genetic Algorithm to Optimization Design of Blade for Centrifugal Pump Impellers

YAN Yong-qiang LIANG Wu-ke

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** The paper introduces present situation of the applications of genetic algorithm in fluids machinery. It presents a design method for blade of centrifugal pump impellers based on genetic algorithms. It also analyses the difficulties and feasibility when using the genetic algorithms during the optimization. Besides it supplies some new suggestions and attempts on the development of the optimization design of the centrifugal pump.

**Keyword:** Genetic Algorithm; centrifugal pump; optimization design; computational fluid dynamics