



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 106372270 A

(43) 申请公布日 2017. 02. 01

(21) 申请号 201510444042. 9

(22) 申请日 2015. 07. 23

(71) 申请人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市南塔街 114 号

(72) 发明人 朱云龙 申海 张丁一 张浩

(74) 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002

代理人 徐丽 周秀梅

(51) Int. Cl.

G06F 17/50(2006. 01)

G06N 3/00(2006. 01)

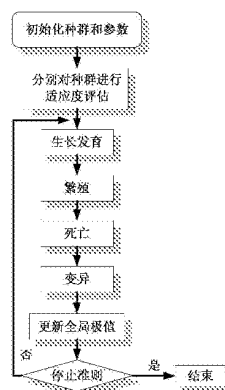
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

基于生命周期群搜索优化算法的压力容器优化设计方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于生命周期群搜索优化算法的压力容器优化设计方法,包括以下步骤:参数初始化;评估适应度值;数据更新;迭代:如果未达到预先设定的终止条件,则返回评估适应度值步骤;若达到迭代终止条件,则停止计算,最后输出结果。本发明设计实现容易,具有较强的全局搜索能力,收敛速度快,优化精度高等优点,对于压力容器重量问题,有非常有效的优化效果。



1. 一种基于生命周期群搜索优化算法的压力容器优化设计方法,其特征在于,包括以下步骤:

参数初始化;

评估适应度值;

数据更新;

迭代:如果未达到预先设定的终止条件,则返回评估适应度值步骤;若达到迭代终止条件,则停止计算,最后输出结果。

2. 根据权利要求1所述的基于生命周期群搜索优化算法的压力容器优化设计方法,其特征在于,所述参数初始化包括:初始化种群规模;初始化搜索空间上下限,最大迭代次数和收敛精度;初始化觅食方式选择概率,交叉概率和变异概率;初始化混沌变量,正态分布平均数和正态分布标准差。

3. 根据权利要求1所述的基于生命周期群搜索优化算法的压力容器优化设计方法,其特征在于,所述评估适应度值的计算方法为:

更新全局极值:将初始种群中的最优个体 p_g 设置为全局初始极值;

根据压力容器设计标准:在相同环境下,以压力容器重量越小越有为原则制定种群的适应度评价标准。

4. 根据权利要求1所述的基于生命周期群搜索优化算法的压力容器优化设计方法,其特征在于,所述数据更新包括以下步骤:

执行生长发育操作:群中最优个体执行混沌趋化操作,其他个体根据觅食方式选择概率选择执行同化操作或换位操作;

执行繁殖操作:将群中的个体进行两两顺序配对,执行单点交叉操作;

执行死亡操作:对群中个体按适应值进行线性排列,调整适应度值,采用轮盘赌法方法选择个体;

执行变异操作:群中的个体执行方向变异操作;

更新全局极值:计算当前群中所有个体适应度,设置当前群中的最优个体。

基于生命周期群搜索优化算法的压力容器优化设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于生命周期群搜索优化算法的压力容器优化设计方法,属于化工机械领域,同时涉及群体智能算法领域。

背景技术

[0002] 压力容器是化工设备的重要组成部分,对化工原料及产品的开发和完善起着巨大的关键的作用。压力容器主要包括薄壁压力容器、压力储罐、外压容器、多层压力容器、高压容器和超高压容器等。压力容器在生产和使用过程中,尤其是内置易燃、易爆或腐蚀性物料时,存在相当的危险性,须十分注意其安全问题。另一方面,压力容器的制造消耗大量的金属材料。因而,压力容器的设计与优化日益引起人们的关注。

[0003] 针对压力容器优化设计这种复杂优化问题,如果采用传统的数学规划方法解决,则无法在模型的求解精度和求解效率两个方面同时达到理想的结果。近年来,广泛模拟生物行为的基于生物启发计算的智能优化算法得到了学者们的广泛关注,用其来求解此类问题取得了较好的结果,显示出了基于生物启发计算的智能优化算法在解决复杂优化问题中的独特优势。但是较早提出的遗传算法、蚁群算法优化实现复杂度较高,鲁棒性较差,得到的结果随机性大;粒子群算法虽然优化速度较快,但是容易陷入局部最优,尤其是对高维优化问题的求解精度不高;经典的细菌觅食算法侧重于对细菌行为的描述和模拟。这些已存在的算法在求解相对复杂的优化问题时,其寻优性能还不能达到满意的精度和稳定性要求。为了解决这些问题,借鉴生物生命周期理论,发明了基于种群正态分布的生命周期群搜索优化算法,该算法实现了自适应搜索,具有全局搜索能力强,收敛速度快,优化精度高等优点。

发明内容

[0004] 针对现有技术中存在的上述不足之处,本发明借鉴生物生命周期理论,提供一种基于生命周期群搜索优化算法的压力容器优化设计方法,实现了自适应搜索,具有全局搜索能力强,收敛速度快,优化精度高等优点。

[0005] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种基于生命周期群搜索优化算法的压力容器优化设计方法,包括以下步骤:

[0006] 参数初始化;

[0007] 评估适应度值;

[0008] 数据更新;

[0009] 迭代:如果未达到预先设定的终止条件,则返回评估适应度值步骤;若达到迭代终止条件,则停止计算,最后输出结果。

[0010] 所述参数初始化包括:初始化种群规模;初始化搜索空间上下限,最大迭代次数和收敛精度;初始化觅食方式选择概率,交叉概率和变异概率;初始化混沌变量,正态分布平均数和正态分布标准差。

- [0011] 所述评估适应度值的计算方法为：
- [0012] 更新全局极值：将初始种群中的最优个体 p_g 设置为全局初始极值；
- [0013] 根据压力容器设计标准：在相同环境下，以压力容器重量越小越有为原则制定种群的适应度评价标准。
- [0014] 所述数据更新包括以下步骤：
- [0015] 执行生长发育操作：群中最优个体执行混沌趋化操作，其他个体根据觅食方式选择概率选择执行同化操作或换位操作；
- [0016] 执行繁殖操作：将群中的个体进行两两顺序配对，执行单点交叉操作；
- [0017] 执行死亡操作：对群中个体按适应值进行线性排列，调整适应度值，采用轮盘赌法方法选择个体；
- [0018] 执行变异操作：群中的个体执行方向变异操作；
- [0019] 更新全局极值：计算当前群中所有个体适应度，设置当前群中的最优个体。
- [0020] 本发明具有以下优点及有益效果：设计实现容易，具有较强的全局搜索能力，收敛速度快，优化精度高等优点，对于压力容器重量问题，有非常有效的优化效果。

附图说明

- [0021] 图 1 是生命周期群搜索优化算法的执行流程图；
- [0022] 图 2 是压力容器结构图；
- [0023] 图 3 是压力容器设计的收敛曲线比较图。

具体实施方式

- [0024] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。
- [0025] 工程上常见的半球形封头压力容器设计简单，如图 1 所示，广泛应用于石油及化学等工业。在力求满足强度等要求的前提下，以压力容器重量为目标函数。此问题共 4 个约束条件和 4 个优化变量。
- [0026] 目标函数： $f(X) = 0.6224X_1X_3X_4 + 1.7781X_2X_3^2 + 3.1661X_1^2X_4 + 19.84X_1^2X_3$
- [0027] 约束条件： $g_1(X) = 0.0193X_3 - X_1 \leq 0$
- [0028] $g_2(X) = 0.00954X_3 - X_2 \leq 0$
- [0029] $g_3(X) = 1,296,000 - \pi X_3^2 X_4 - \frac{4}{3} \pi X_3^3 \leq 0$
- [0030] $g_4(X) = X_4 - 240 \leq 0$
- [0031] 其中， X_1 和 X_2 分别为封头 (Th) 和筒体壁厚 (Ts)， $0.0625 \leq X_1, X_2 \leq 6.1875$ ； X_3 为筒体及封头底面半径 (R)， X_4 为筒体长度 (L)， $10 \leq X_3, X_4 \leq 200$ 。4 个变量中， X_1 和 X_2 是间隔为 0.0625 的均匀离散变量， X_3 和 X_4 是连续变量。
- [0032] 针对传统数学规划方法在求解压力容器优化设计这种大规模、多维的复杂优化问题时所暴露出来的缺陷，以及传统智能优化算法寻优性能不能达到满意精度和稳定性要求，发明了一种借鉴生物生命周期理论，并基于种群正态分布的智能优化算法的压力容器优化设计方法。
- [0033] 本发明用于在满足强度等要求的前提下，设计容器的最小重量，包括以下步

骤：

[0034] 1) 参数初始化

[0035] 根据压力容器设计准则,设计 X_1 和 X_2 分别为封头 (Th) 和筒体壁厚 (Ts), $0.0625 \leq X_1, X_2 \leq 6.1875$; X_3 为筒体及封头底面半径 (R), X_4 为筒体长度 (L), $10 \leq X_3, X_4 \leq 200$ 。4 个变量中, X_1 和 X_2 是间隔为 0.0625 的均匀离散变量, X_3 和 X_4 是连续变量。然后根据决策变量范围,确定初始种群规模,一般情况下,选择 50 ~ 100 个,产生群体规模为并满足正态分布的初始群体;初始化搜索空间上下限,最大迭代次数和收敛精度;初始化觅食方式选择概率,交叉概率和变异概率;初始化混沌变量,正态分布平均数和正态分布标准差。算法所涉及的部分参数可通过压力容器重量目标函数进行测定。

[0036] 2) 评估适应度值

[0037] 工程上常见的半球形封头压力容器设计简单,如图 1 所示,广泛应用于石油及化学等工业。在力求满足强度等要求的前提下,以压力容器重量为目标函数。此问题共 4 个约束条件和 4 个优化变量。

[0038] 目标函数: $f(X) = 0.6224X_1X_3X_4 + 1.7781X_2X_3^2 + 3.1661X_1^2X_4 + 19.84X_1^2X_3$

[0039] 约束条件: $g_1(X) = 0.0193X_3 - X_1 \leq 0$

[0040] $g_2(X) = 0.00954X_3 - X_2 \leq 0$

[0041] $g_3(X) = 1,296,000 - \pi X_3^2 X_4 - \frac{4}{3} \pi X_3^3 \leq 0$

[0042] $g_4(X) = X_4 - 240 \leq 0$

[0043] 其中, X_1 和 X_2 分别为封头 (Th) 和筒体壁厚 (Ts), $0.0625 \leq X_1, X_2 \leq 6.1875$; X_3 为筒体及封头底面半径 (R), X_4 为筒体长度 (L), $10 \leq X_3, X_4 \leq 200$ 。4 个变量中, X_1 和 X_2 是间隔为 0.0625 的均匀离散变量, X_3 和 X_4 是连续变量。

[0044] 针对上述带有约束的压力容器设计优化问题,可以利用自适应罚函数的方法,将约束条件转换成为适应度值。然后制定评判准则,可定义重量越小越优或者越大越优。更新全局极值。将初始种群中的最优个体设置为全局初始极值。

[0045] 3) 数据更新

[0046] 执行生长发育操作:群中最优个体执行混沌趋化操作,其他个体根据觅食方式选择概率选择执行同化操作或换位操作;执行繁殖操作:将群中的个体进行两两顺序配对,执行单点交叉操作;执行死亡操作:对群中个体按适应值进行线性排列,调整适应度值,采用轮盘赌法方法选择个体;执行变异操作:群中的个体执行方向变异操作;更新全局极值,计算当前群中所有个体适应度,设置当前群中的最优个体。

[0047] 4) 迭代

[0048] 如果未达到预先设定的终止条件,则返回步骤 2),若达到迭代终止条件,则停止计算,最后输出结果。

[0049] 算法实现步骤如图 2 所示。

[0050] 所述步骤 1) 具体包括以下步骤:

[0051] 1.1) 确定初始种群规模 n,一般情况下,选择 50 ~ 100 个,产生群体规模为并满足正态分布的初始群体;其变量维度为 4,决策变量 X_1 和 X_2 是间隔为 0.0625 的均匀离散变量, X_3 和 X_4 是连续变量。

[0052] 1.2) 初始化搜索空间上下限 B_{up} 和 B_{lo} , 最大迭代次数 T_{max} 和收敛精度 ξ ; 初始化觅食方式选择概率 P_f , 交叉概率 P_c 和变异概率 P_m ; 初始化混沌变量 S_c , 正态分布平均数 μ 和正态分布标准差 σ 。

[0053] 所述步骤 2) 具体包括以下步骤:

[0054] 2.1) 更新全局极值。将初始种群中的最优个体 p_g 设置为全局初始极值。

[0055] 2.2) 根据压力容器设计标准, 在相同环境下, 以压力容器重量越小越有为原则制定种群的适应度评价标准。

[0056] 所述步骤 3) 具体包括以下步骤:

[0057] 3.1) 生长发育

[0058] 群中最优个体执行混沌趋化操作。趋化规则采取基于当前位置进行混沌搜索方式, 试图在全局范围内找到比当前更优的位置并移动。Logistic 方程是一个典型的混沌系统:

$$[0059] \quad S_{n+1} = uS_n(1-S_n), n = 0, 1, 2, \dots$$

[0060] 其中, u 为控制参量, 当 $u = 4$, 当 $0 \leq S_0 \leq 1$ 时, 系统的动力学特征完全不同, 系统的初始信息已全部丧失, 处于混沌状态。由任意初值 $S_0 \in [0, 1]$, 可迭代出一个确定的混沌序列 S_1, S_2, S_3, \dots 。这个输出实际上相当于一个 $0 \sim 1$ 之间的随机输出。系统的输出在 $0 \sim 1$ 之间具有遍历性, 且其中的任一状态不会重复出现。

[0061] 群中最优个体觅食策略采用类似载波的方法将 Logistic 映射产生的混沌变量引入到优化变量中, 同时将混沌运动的遍历范围转换到优化变量的定义域, 然后利用混沌变量进行搜索。实现步骤如下:

[0062] 步骤 1: 当前优化变量记为 X_0 , 它的性能函数值 $f(X_0)$ 。

[0063] 步骤 2: 利用 Logistic 映射产生 n 个混沌变量 (X_1, X_2, \dots, X_n)

$$[0064] \quad X_{i+1} = 4X_i(1-X_i), i = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

[0065] 步骤 3: 将混沌运动的遍历范围转换到优化变量的定义域。

$$[0066] \quad X_i = B_{lo} + (B_{up} - B_{lo})X_i, i = 1, 2, \dots, n$$

[0067] 其中, B_{up} 和 B_{lo} 是搜索空间的上下限。

[0068] 步骤 4: 计算 n 个混沌变量的性能函数值。($f(X_1), f(X_2), \dots, f(X_n)$)

[0069] 步骤 5: 如果存在 $f(X_i)$ 优于 $f(X_0)$, 则

$$[0070] \quad X_0 \leftarrow X_i, f(X_0) \leftarrow f(X_i)$$

[0071] 其他个体根据觅食方式选择概率选择执行同化操作或换位操作。

[0072] 群内采取社会觅食方式个体的觅食路径被最优个体同化, 追随群内最优个体进行搜索。

$$[0073] \quad X_i^{k+1} = X_i^k + rand() \cdot (X_p^k - X_i^k)$$

[0074] 上式表示在第 k 次迭代第 i 个体的位置 X_i^k 追随群内当前最优个体 X_p^k 进行搜索; $r_1 \in R^n$ 是介于 $(0, 1)$ 之间均匀分布的随机数。

[0075] 群内除最优个体外, 采取独立觅食方式的个体其觅食执行方法采取换位规则, 个体在其自身具备的能量范围内进行搜索。

$$[0076] \quad ub_i^k = \frac{X_i^k}{X_i^k} \cdot \Delta$$

$$[0077] \quad lb_i^k = -ub_i^k$$

[0078]

$$\varphi = r_2(ub_i^k - lb_i^k) + lb_i^k$$

[0079]

$$X_i^{k+1} = X_i^k + \varphi$$

[0080] 其中, φ_i 是个体 X_i^k 的换位步长; $r_2 \in R^n$ 是介于 (0, 1) 之间均匀分布的随机数;

ub_i^k 和 lb_i^k 是个体 i 在第 k 代搜索最大范围; Δ 是整个搜索空间范围。

[0081] 3.2) 繁殖

[0082] 将群中的个体进行两两顺序配对, 执行单点交叉操作。

$$[0083] \quad X_i^{k+1}[m:p] = X_j^k[m:p]$$

$$[0084] \quad X_j^{k+1}[m:p] = X_i^k[m:p]$$

[0085] 其中, m 和 p 分别代表基因段开始和结束的索引。

[0086] 3.3) 死亡

[0087] 选择规则先采用线性排序的方法对群中个体适应值进行调整, 对调整后的目标函数值进行降序排序, 然后采用轮盘赌选择策略执行个体选择操作。

$$[0088] \quad f^*(x_i) = 2 - sp + 2 \times (sp - 1) \times \frac{p(x_i) - 1}{S - 1}$$

[0089] 其中, $f^*(x_i)$ ($i = 1, 2, \dots, S$) 是调整后个体的适应度; S 是种群中个体的数量; sp 是选择压差, $sp = 2$; $p(x_i)$ 是个体 i 的适应度值 $f(x_i)$ 在种群中的排序位置。

[0090] 3.4) 变异

[0091] 群中的个体执行方向变异操作。在 n 维搜索空间中, 每个个体 $X_i \in R^n$, $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ 的每一维 j ($j = 1, 2, \dots, n$) 是代表它的一个移动方向, 每一维的值 x_{ij} 则表示此个体在此方向上的移动步长。方向变异是指个体在其选定方向上的移动步长发生随机改变。

$$[0092] \quad X_i^{k+1}(j) = rand()(B_{up} - B_{lo}) + B_{lo}$$

[0093] 3.5) 更新全局极值

[0094] 计算当前群中所有个体适应度 $f(X)$, 当前群中的最优个体设置为 X_g 。

[0095] 所述步骤 4) 具体包括以下步骤:

[0096] 4.1) 判断是否终止: 根据预先制定的迭代终止条件, 一般是预先设定收敛精度或是达到最大函数评估次数; 若满足终止条件, 则终止迭代; 否则继续重复上述步骤, 直到满足终止条件为止;

[0097] 4.2) 优化结束, 输出各变量参数的最终优化结果以及压力容器重量的最终优化值, 如图 3 所示。

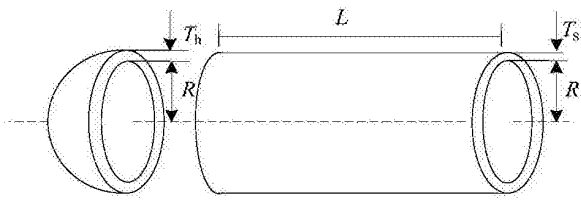


图 1

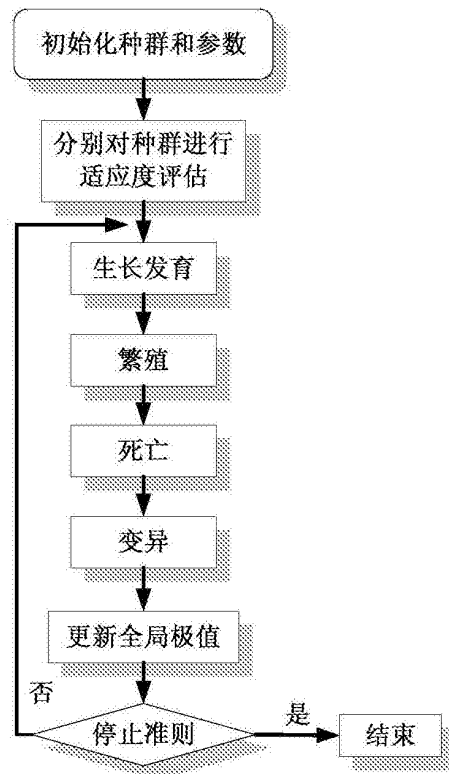


图 2

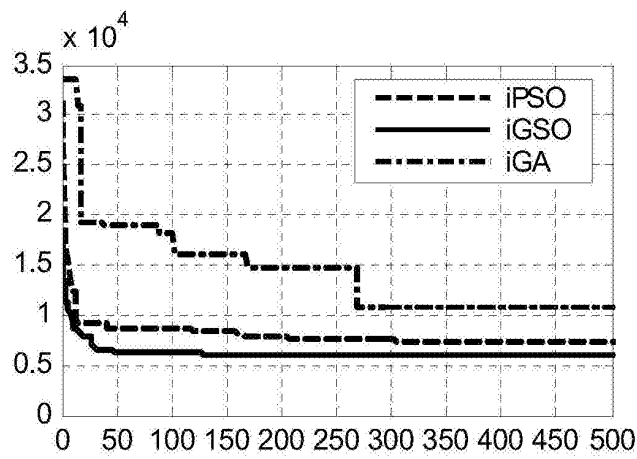


图 3