

改进遗传算法在天然气管网设计中的应用

魏玉峰 胡云姣* 谢鑫

(北京化工大学理学院, 北京 100029)

摘要: 针对树状管网问题, 基于图论的基本原理, 结合遗传算法的特点, 应用改进遗传算法, 对具体问题设计了相应的适应度函数、单亲换位算子、倒序算子以及重组算子, 并建立了可行解判别矩阵。通过计算发现, 改进算法能够获得最优解, 证明改进算法可行有效。

关键词: 单亲遗传算法; 天然气管网设计; 适应度函数

中图分类号: O224

引言

管网优化设计问题, 是现阶段的热点问题之一。它广泛应用于网络铺设、城市给水系统和天然气输送等实际问题中^[1-3, 5-6]。这些领域都是现代社会发展至关重要的, 其中的管网设计问题也是在现实生活中迫切需要解决的, 它们是各自领域发展的“瓶颈”, 所以对于管网优化问题的深入研究, 必将促进相关领域的飞速发展, 从而带来巨大的社会效益和经济利益。

天然气应用的兴起, 将对于能源、环保是一次革命, 具有划时代的意义。诸多学者针对天然气应用问题, 在各自的领域内做出贡献, 造福人类, 促进发展。天然气管道网络优化问题是现阶段天然气应用中的重要问题, 直接影响着天然气应用的成本和市场竞争力, 对其进行深入研究是很有意义的。

在管网设计优化模型中, 很多时候其设计变量是离散变量, 如管径。大多数传统方法是采用连续变量约束非线性优化方法, 即把设计变量作为连续变量处理。这种方法容易产生较大误差, 且增加计算量。此外, 部分文献中针对离散变量采用枚举法、图论中的 Dijkstra 法等, 但对于较大规模的管网问题则求解难度增大。

本文以投资费用最小为目标, 结合节点约束和已知管径种类, 应用遗传算法理论对具体问题进

改进, 从而求出最佳布局及相应管径。

1 基于遗传算法的管网布局优化

1.1 基本思路^[2-4]

对于树状管网优化中, 运用遗传算法, 同样基于最小生成树的基本原理, 但它克服了最小生成树方法中单纯以总管长为目标函数的问题。

实践证明遗传算法具有良好的适应性^[4]。在具体的应用中, 针对不同的问题, 对基本遗传算法进行改进, 设计适用的遗传算子、适应度函数以及进化策略等, 保证其能够很快收敛于最优解。

1.2 算例

以文献[2]中所举算例为例, 来验证改进遗传算法在天然气管道布局优化中的有效性。假设, 按该城市的具体条件, 管网允许的布置可用图1所示的连通网来表示。节点1表示气源位置, 其余各节点表示各用气点的位置, 节点1~9的流量分别为 30.5×10^4 、 5.0×10^4 、 4.0×10^4 、 2.0×10^4 、 4.0×10^4 、 3.0×10^4 、 5.0×10^4 、 4.5×10^4 、 3.0×10^4 m^3/h 。已知各边的长度, 单位为 km。

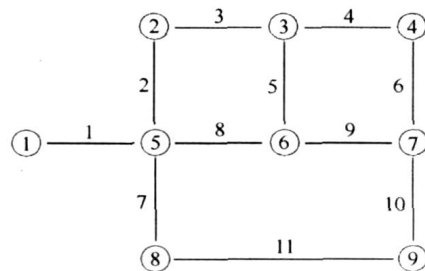


图1 天然气管网设计图

Fig. 1 Layout of the natural gas network

收稿日期: 2007-07-16

第一作者: 男, 1983年生, 硕士生

*通讯联系人

E-mail: huyj@mail.buct.edu.cn

2 基本遗传算法的改进

针对算例,对于基本遗传算法进行改进。

2.1 编码

对于此类布局优化问题,用二进制编码更为方便、快捷。以图中所有的待选边为编码变量,变量为0或1。同时将图中各边编号如图1所示,其中边1-11的长度分别为:2.0、2.0、6.0、3.0、2.0、3.0、1.0、4.0、3.2、1.0、7.0km,则可用长度为NP(边数)的二进制编码来表示一种布局方案。其中,1表示采用该路径,0表示放弃该路径。另外,基于最小生成树基本原理,故二进制编码中,取值为1的字符有 $n-1$ 个。

2.2 适应度函数的设计

遗传算法在进化搜索过程中要求以非负的最大值形式来反映个体的生存能力。对于适应度函数 F ,将其表达为一个与造价相关的函数。此外,文中用二进制编码表示所选路径,结合给定结点的用气量要求,从而计算出各管段的理想管径,根据所选管段定价最终确定整个管网造价。即将适应度函数与所选管径建立关系。

以下引出城市燃气管道的水力计算公式^[1]

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{L} = 1.27 \cdot 10^{10} \frac{q^2}{D^5} \frac{T}{T_0} Z \quad (1)$$

式中, P_1 、 P_2 为燃气管道起点、终点的绝对压力,kPa; L 为燃气管道的计算长度,km; q 为燃气管道摩擦阻力系数; q 为燃气流量, m^3/h ; D 为管道内径,mm; ρ 为燃气的密度, kg/m^3 ; T 为燃气的热力学温度,K; T_0 为273.15 K; Z 为压缩因子,当燃气压力小于1 MPa(表压)时,取为1。

由(1)式可以得到

$$D = \left[\frac{1.27 \cdot 10^{10} T Z L}{T_0 (P_1^2 - P_2^2)} \right]^{1/5} q^{2/5} \quad (2)$$

对于每一组二进制编码,其对应边之间的总长度是可以计算的。即 L 是已知的。因此,式(2)可以令

$$g = \left[\frac{1.27 \cdot 10^{10} T Z L}{T_0 (P_1^2 - P_2^2)} \right]^{1/5} \quad (3)$$

此处, g 中参数可以作为已知量处理,则有

$$D = g q^{2/5} \quad (4)$$

由式(3)可得,只要用气点负荷计算出管段流量,则可求出管段内径,进而计算出整个规划方案中与管径有关的造价。

这里给出管段流量计算公式为

$$Q_i^{\text{in}} + Q_i^{\text{out}} + q_i = 0 \quad (5)$$

即进入节点的流量,等于节点需求与节点流出量之和,由此求出管道流量 q_i 。

造价公式可以表示为

$$f = \sum_{i=1}^Y f_{D_i} L_i Z_i \quad (6)$$

其中, f_{D_i} 为所选管径 D_i 的单位造价; L_i 为管段 i 的长度; Z_i 为判别是否选取管段 i 的数,取值为0或1,且 $\sum_{i=1}^Y Z_i = X - 1$, X 为总的节点数, Y 为总的线路段数。

故此,构造适应度函数: $F = \begin{cases} F_0 - f, & \text{当为树状} \\ 0, & \text{管网是取} \end{cases}$ $F_0 - f$,其他情况取0。

其中, F_0 为一个常数,能够保证个体适应度 F 总为非负,可定义为

$$F_0 = (X - 1) f_{D_{\max}} L_{\max} \quad (7)$$

式中, $L_{\max} = \max(L_1, L_2, \dots, L_Y)$ 为管网中最长管段; $f_{D_{\max}} = \max(f_{D_1}, f_{D_2}, \dots, f_{D_Y})$ 为管网中最贵的管道造价。

2.3 遗传算子设计

传统的遗传算法,利用种群以概率方式选择初始父代,利用相互交换原则,产生新的子代个体。但对于树状管网而言,该方法极易产生非可行解。因此,设计单亲换位算子、倒序算子以及重组算子,以此解决树状布局优化问题。

单亲换位算子 通过父代中任意两组基因进行交换产生新个体,基因对交换次数和被交换的基因位随机确定。以图1中为例,可分为单个基因交换和组基因交换。选取路径的二进制表示为:11011110011,通过单亲交换算子变换,可单个基因交换,也可基因组之间交换。以基因组交换为例,则产生新子代为10111110101。

倒序算子 从父代编码串中选定一组基因段,将其基因顺序逆转,构成新子代。同样以上例中所选路径为例,二进制表示为:11011110011,通过倒序算子变换,则产生新子代为11011001111。

重组算子 在父代基因中选择一组基因段,将其中基因随机重组,产生新子代。仍以二进制编码11011110011为例,通过重组算子变换,则有11011100111,此为其中一种情形。

2.4 进化策略设计

本算法在进化策略设计是遵循以下两点:

(1) 优化选择和平等选择相结合; (2) 代间竞争和群体单一化策略相组合的生存机制。

另外, 针对本例中的具体问题, 单亲遗传算法在计算过程中也可能产生不可行解。比如, 产生的解为 11111101100, 但节点 8、9 需求并没有满足, 而是被排除在管网之外, 这显然是不合理, 产生的解自然也就不是可行解。为了避免产生这类解, 在这里引入一个判别矩阵 B 。

取 $B = (b_{ik})_{X \times Y} (i = 1, 2, \dots, X; k = 1, 2, \dots, Y)$, 其中 X 为树状管网节点数, Y 为树状管网的边数。而

$$b_{ik} = \begin{cases} 1 \\ 0 \\ -1 \end{cases}$$

其中, 当取 1 时, 表示管段 k 和节点 i 相连, 且从该节点流出; 当取 0 时, 表示此管道不与该节点关联; 当取 -1 时, 表示管段 k 和节点 i 相连, 且流入该节点。

判别矩阵 B 中的行向量, 若为零向量, 则所产生解为不可行解, 予以去处, 从而增强了算法的适应性和可靠性。

2.5 终止条件

算法采用最大遗传代数作为终止条件。

3 算例计算

设置群体规模为 20, 遗传代数为 400, 以不同的选择概率和换位率组合模式进行优化。

选取天然气管道规格及其价格如表 1 所示^[2]。

表 1 管道数据

Table 1 Date for the pipes

管道	管段流量/(m ³ /h)	管径标志	造价系数/(元/km)
1	35 × 10 ⁴ ~ 25 × 10 ⁴	426 × 9	133.8 × 10 ⁴
2	25 × 10 ⁴ ~ 15 × 10 ⁴	377 × 8	118.4 × 10 ⁴
3	15 × 10 ⁴ ~ 10 × 10 ⁴	325 × 8	101.1 × 10 ⁴
4	10 × 10 ⁴ ~ 6 × 10 ⁴	273 × 7	85.7 × 10 ⁴
5	6 × 10 ⁴ ~ 2.5 × 10 ⁴	219 × 6	68.8 × 10 ⁴
6	2.5 × 10 ⁴ ~ 0 × 10 ⁴	159 × 4.5	49.9 × 10 ⁴

结合表 1 数据, 可获得管网投资最小方案及所选管径如表 2 所示。

将三个方案的示意图用图 2 来表示。

通过对表 2 和图 2 的分析, 单纯从造价角度来考虑, 方案 c 为最优解。在具体实践过程中, 结合图 2 给出的 3 个示意图, 综合这 3 个方案所面临的客

观条件来选择最合适的方案。

表 2 树状管网最优设计方案

Table 2 Optimal solution of the tree pipe network

方案	所选管段	所选管径编号	总价
a	11011110011	15045420032	2106.3 × 10 ⁴
b	11111010110	12263050450	1980.5 × 10 ⁴
c	11110011110	13560053450	1848.5 × 10 ⁴

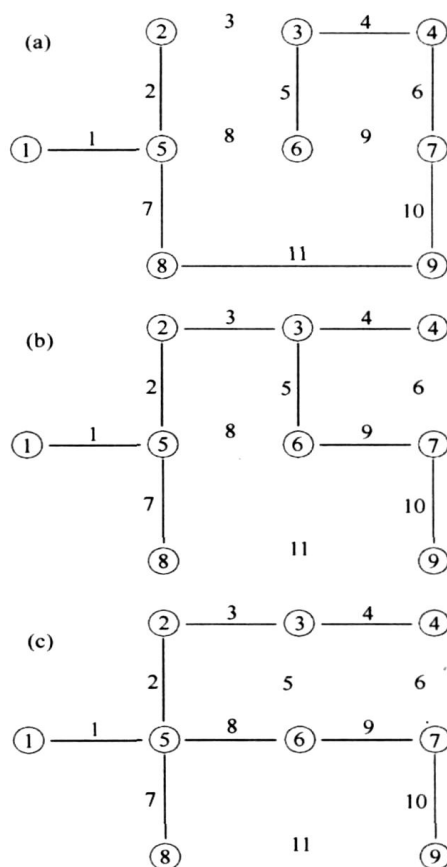


图 2 最优方案示意图

Fig. 2 Sketch map of the optimal solution

4 结束语

改进的遗传算法, 以管径投资最小为目标函数, 结合实际需求 (如节点流量), 经过多次运算, 能够获得多个管网投资最小的方案, 从中筛选出最满意解, 即最优解。较最小生产树算法而言, 有更强的适应性。因在搜索过程中, 评价大量方案, 运行时间较长, 但对于大规模问题而言, 有更强的适应性和稳定性, 为方案评价和决策提供可靠依据。

总之, 单亲遗传改进算法, 针对树状优化问题, 所需数据量少, 适应性强, 收敛性和稳定性好, 在天

然气管网设计中有着广泛的应用。

参考文献：

[1] 卢开澄,卢华明. 图论及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,1995.

[2] 姚奕颖. 城市天然气管网的拓扑优化[J]. 煤气与热力,2004,24(10):542 - 546.

[3] 周荣敏,林性粹. 应用单亲遗传算法进行树状管网优化布置[J]. 水利学报,2001(6):14 - 17.

[4] 陈国良. 遗传算法及应用[M]. 北京:人民邮电出版社,1996.

[5] MORLEY M S, ATKINSON R M, SAVIC D A, et al. Genetic algorithm platform for pipe network optimization[J]. Advances in Engineering Software,2001,32,467 - 475.

[6] LAVRIC V, IANCU P, PLESU V. Cost-based design of wastewater network optimal topology[J]. Resources, Conservation and Recycling,2007,50,186 - 201.

Application of an improved genetic algorithm for the layout of natural gas networks

WEI YuFeng HU YunJiao XIE Xin

(School of Science, Beijing University of Chemical Technology Beijing 100029, China)

Abstract: An improved genetic algorithm is proposed for the problem of tree pipe networks. The algorithm is based on graph theory and the conventional genetic algorithm, and involves the derivation of a fitness function, a single parent of a transposition operator, a reverse order operator and a recomposing operator, and also uses a discrimination matrix to obtain a feasible solution. Comparison with experiment demonstrates the validity of the improved algorithm.

Key words: single parent genetic algorithms; the layout of natural gas network; fitness function

下 期 预 告

新型高效规整填料性能研究	李群生等	基于 PSR 和 SVM 方法的化工过程单变量故障诊断	
硬聚氯乙烯三通管挤胀成型的有限元模拟及优化	何亚东等		郑 饶等
铜锰基 SBA-15 催化剂的制备及其甲苯催化燃烧	张广宏等	仓库容量有限条件下的随机存贮管理	谢 鑫等
含环氧基团的磁性高分子复合微球	独俊红等	基于效用函数的投资组合	宋立军等
炭化温度对中间相沥青基碳纤维性能的影响	路忠跃等	基于熵定价方法的利率期权估值	周荣喜等
铝合金阳极氧化膜双向脉冲电解封闭工艺	赵景茂等	生物絮凝剂产生菌的筛选及性能研究	潘多涛等
豆油与苯乙烯共聚物的悬浮制备	孟 杰等	多硫化碳炔在不同电解液中放电过程的研究	王维坤等
环氧琥珀酸共聚物的制备及对硫酸钡的阻垢作用		基于人工神经网络的合成脱水长春碱工艺优化研究	
	何 亮等		李 硕等
一种新型端氨基环磷腈衍生物的合成	关丽娟等	SrCl ₂ -H ₃ BO ₃ -H ₂ O 体系中 H ₃ BO ₃ 介稳区性质的研究	
纳米 TiO ₂ 光催化剂的固载	严春芳等		常 林等
二环[2.2.1]庚烷二羧酸盐对聚丙烯的成核效果	吴 浩等	银纳米杆中原子能量分布特征的分子动力学研究	卢 敏等
液相色谱测定水样中的氧氟沙星手性对映体	孙小杰等	基于流态化技术硅粉直接氮化制备氮化硅粉的研究	
刺囊毛霉对甘草次酸的微生物转化研究	马 晶等		尹少武等