

压力输水树状管网遗传优化布置和神经网络优化设计

周荣敏¹, 雷延峰¹, 林性粹²

(1. 郑州大学环境与水利学院; 2 西北农林科技大学)

摘 要: 分别应用单亲遗传算法和 Hopfield 神经网络方法进行机压式树状管网的优化布置和优化设计, 能够在管网投资最小的最优树状管网布置形式上, 获得年费用最低的最优设计方案。研究表明: 该方法是可行的和有效的, 能减小管网工程投资, 提高设计水平和设计效率。

关键词: 压力输水树状管网; 优化设计; 优化布置; 单亲遗传算法; Hopfield 神经网络

中图分类号: TP183; S274.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2002)01-0041-04

1 压力输水树状管网遗传优化布置

1.1 单亲遗传算法

树状管网优化布置的目标是以管网初步连接图为依据, 寻找一个或多个连通所有节点且使管网投资最小的树状管网布置形式, 实质上就是以管道造价为权值, 寻求管网初步连接图的最小生成树。单亲遗传算法 (Single Parent Genetic Algorithms——SPGA) 是一种管网优化布置新方法^[1,2], 它直接以管网投资最小为优化布置目标, 从一组随机产生的初始管网布置方案出发, 以遗传算法控制优化搜索进程, 通过不断搜索并评价可行的树状管网布置形式逐渐进化到一组投资最小的方案, 实现树状管网的遗传优化布置。与传统遗传算法相比, SPGA 的一个突出特点是: 放弃了传统的双亲交叉遗传算子, 而采用单亲换位算子和单亲逆转算子实现群体的遗传进化, 即在子代群体的生成过程中, 每个子体只有一个母体, 通过对母体执行换位算子和逆转算子, 产生出具有不同性状的新个体。

单亲换位算子通过对母体基因链上的任意一对基因进行随机交换产生新个体:

一次随机交换
个体 A 0 00110 1001 0 10110 0001 个体 A

单亲逆转算子通过对基因链上的任意基因段进行逆转突变为新个体:

基因段逆转
个体 A 000 1101001 000 1011001 个体 B

在遗传进化过程中, 单亲换位算子和单亲逆转算子以一定的随机概率即换位率执行, 既能保证新一代个体具有成为可行解的基本特性, 又可提高对解空间的搜索能力。

1.2 压力输水树状管网遗传优化布置的基本步骤

1) 根据管网工程规划区的地形条件、水源位置、给水栓布置以及工程设计要求等, 制定管网初步连接方案, 并概化成网络图, 确定管网节点数目 ND、待选边数目 NP 及节点需水量等。

2) 按照待选边的编号顺序, 用长度为 NP 的二进制字符串表示可能的管网连接方案, 确定 SPGA 的主要控制参数 (如群体规模、最大遗传代数、选择率和换位率等), 并随机产生一组初始群体作为第一代遗传群体。

3) 应用图论中的深度优先搜索算法 (DFS) 对遗传群体中的各个个体进行一次连通性判断, 确定其是否为一个可行的树状管网布置方案, 并计算管网投资大小和个体适应度。

4) 根据选择率确定每一代的遗传选择机制 (优先选择或平等选择), 选择进行遗传运算的母体; 根据换位率确定对母体执行单亲换位算子或逆转算子, 产生具有相同群体规模的子代群体。

5) 所有的亲代个体和子代个体共同参与生存竞争, 按适应度的高低进行排序, 选择适应度最大且基因链不同的若干个最优个体作为新一代遗传群体, 保持群体规模不变。

6) 对遗传群体循环执行步骤 (3)~(5), 直到达到最大遗传代数才终止算法。

7) 选择最终遗传群体中的全部或部分个体作为树状管网优化布置结果。考虑实际问题中的其他限制因素, 对优化布置方案进行评估、选择和修正, 确定最优布置方案。

2 压力输水树状管网神经网络优化设计

2.1 非线性规划模型

对于树状管网布置形式已定而水泵型号未定的压力输水树状管网系统, 管网优化设计的目标是寻

收稿日期: 2001-01-02

作者简介: 周荣敏, 讲师, 博士, 河南省郑州市文化路 97 号 郑州大学环境与水利学院, 450002

求年费用最低的优化设计方案。以连续管径 D 和水泵扬程 H 为设计变量, 以管网年费用最小为目标函数, 可建立如下的非线性规划优化设计模型。

$$\min F(D, H) = \left[\frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1} + p \right] \sum_{i=1}^{NP} aD_i^b L_i + \frac{ETQH}{367.2\eta} \quad (1)$$

$$s.t. \quad g_j(D, H) = E_1 + H - h - \sum_{i=1}^{I(j)} \alpha \frac{Q_i^m}{D_i^n} L_i - E_j - [H]_{j\min} \leq 0 \quad (j = 2, \dots, ND) \quad (2)$$

$$h_m(D, H) = E_1 + H - h - \sum_{i=1}^{I(m)} \alpha \frac{Q_i^m}{D_i^n} L_i - E_m - 102H_c \leq 0 \quad (m = 1, 2, \dots, ND) \quad (3)$$

$$H \geq 0 \quad (4)$$

$$D_{\min} \leq D_i \leq D_{\max} \quad (i = 1, 2, \dots, NP) \quad (5)$$

式中 F ——管网年费用, 元/年; r ——年利率, %; t ——折旧年限, 年; p ——年平均维修费率, %; E ——电费, 元/(kW·h); T ——水泵年均工作时间, h; Q ——水泵流量, m³/h; H ——水泵扬程, m; η ——水泵效率; a, b ——为管道造价系数和指数; NP ——管段数; ND ——节点数(包括水源点); L_i ——第 i 条管段的长度, m; E_1 ——水源水面标高, m; h ——泵站首部枢纽、底阀和吸水管水头损失之和, m; $I(j)$ ——从水源到第 j 个节点的管段数; E_j 为第 j 个节点处的地面高程, m; H_c ——管道允许承压强, MPa; Q_i ——第 i 个管段的流量, m³/h; α ——局部水头损失系数; f, m, n ——管道水头损失公式中与管材有关的参数; $[H]_{j\min}$ ——第 j 个节点处的最低允许水压, m; D_{\min}, D_{\max} ——第 i 个管道的最小和最大允许管径, cm。

2.2 神经网络动力学系统

树状管网非线性规划模型的求解通常采用拟线性规划法、拉格朗日乘子法、梯度法、广义简约梯度法、罚函数法等算法, 但这些算法的通用性和实用性较差, 适用范围有限, 且没有哪一种方法比其他方法更具有明显的优越性。当问题规模大、变量较多时, 算法的求解速度和精度会大大降低。因此, 寻找快速、简捷、具有广泛适用性的树状管网非线性规划求解方法具有重要的理论价值和现实意义。

Hopfield 神经网络 (Hopfield Neural Networks—HNN) 是由大量神经元广泛互连而成的可高速并行处理的反馈动力学系统, 具有快速收敛到状态空间稳定平衡点的优点, 广泛应用于组合优化和约束优化等复杂问题的优化求解中, 为优化理论与算法的研究提供了一种新途径^[3]。应用 HNN 的优化计算原理和方法, 进行树状管网非线性规划

模型的求解是一种新尝试。

对上述树状管网非线性规划模型, 首先采用二次罚函数法构造出神经网络的计算能量函数:

$$E(D, H) = F(D, H) + \frac{k}{2} \sum_{j=2}^{ND} [\min\{0, g_j(D, H)\}]^2 + \frac{k}{2} \sum_{m=1}^{ND} [\min\{0, -h_m(D, H)\}]^2 \quad (6)$$

然后, 用梯度法构造出相应的非线性动力学系统:

$$\frac{dD_i}{dt} = -\mu_i \left(\frac{\partial F(D, H)}{\partial D_i} + k \sum_{j=2}^{ND} S_j g_j(D, H) \frac{\partial g_j(D, H)}{\partial D_i} - k \sum_{m=1}^{ND} T_m h_m(D, H) \frac{\partial h_m(D, H)}{\partial D_i} \right) \quad (7)$$

$$\frac{dH}{dt} = -\mu_i \left(\frac{\partial F(D, H)}{\partial H} + k \sum_{j=2}^{ND} S_j g_j(D, H) \frac{\partial g_j(D, H)}{\partial H} - k \sum_{m=1}^{ND} T_m h_m(D, H) \frac{\partial h_m(D, H)}{\partial H} \right) \quad (8)$$

$$D_i(0) = D_i^{(0)} \quad (i = 1, 2, \dots, NP), H(0) = H^{(0)} \quad (9)$$

其中, $\mu > 0$, (一般取 $\mu_i = \mu, \forall i$), $k > 0$

$$S_j = \begin{cases} 0 & \text{if } g_j(D, H) \geq 0 \\ 1 & \text{if } g_j(D, H) < 0 \end{cases} \quad (j = 2, \dots, ND) \quad (10)$$

$$T_m = \begin{cases} 0 & \text{if } -h_m(D, H) \geq 0 \\ 1 & \text{if } -h_m(D, H) < 0 \end{cases} \quad (m = 2, \dots, ND) \quad (11)$$

可证明上述动力学系统是稳定收敛的。随着系统的不断演化, 系统收敛到状态空间中的稳定平衡点即计算能量函数的极值点, 该点对应于原非线性优化问题的近似最优解。

因此, 利用人工神经网络的并行分步式计算结构和非线性动力学系统的动态演化机制, 可实现树状管网非线性规划模型的快速求解。

3 树状管网应用

3.1 算例描述

拟建一压力输水树状管网系统, 管网初步连接图(图1)中共有29条待选连接管线和15个需水节点, 节点1为泵站, 管网基本数据见表1。管材选用镀锌钢管, 管道造价公式为 $G = 1.01D^{1.29}$ 。管网中各管段允许 $v_{\min} = 0.5 \text{ m/s}$ 。管道沿程水头损失计算采用谢才公式, $\alpha = 1.1, n = 0.014, r = 7\%, t = 15$ 年, $p = 3\%, H_c = 0.8 \text{ MPa}, E = 0.6 \text{ 元/(kW·h)}, T = 4392 \text{ h}, \eta = 0.6, E_1 = 180.25 \text{ m}$, 泵站首部枢纽、底阀和吸水管水头损失之和 $h = 7 \text{ m}$, 节点最低允许自由水头 $[H]_{\min} = 15 \text{ m}$ 。

3.2 遗传优化布置

应用 SPGA 进行树状管网优化布置, 取群体规

模为 20、最大遗传代数 为 500、换位率为 0 和选择率为 0。在 Pentium II 微机 上经过 500 代进化计算, 算法收敛, 程序运行时间为 707.3 s, 一次获得 20 个管网投资最小的布置方案, 其中管网投资最小的前 10 个方案见表 2 中的方案 1~ 10。同时, 用 Kruskal 算法获得管网总长度最短的布置方案, 见表 2 中的方案 KA; 用 Dijkstra 算法获得水源点 1 到各需水点路径最短的布置方案, 见表 2 中的方案 DA。

优化结果表明: SPGA 是一种高效的树状管网优化布置新方法, 可一次获得多个管网投资最小的布置方案, 其中方案 1 比 Kruskal 方案可减少投资 14.2%, 比 Dijkstra 方案减少投资 3%。因此, 用 SPGA 获得的方案 1 是最优供水树状管网布置。

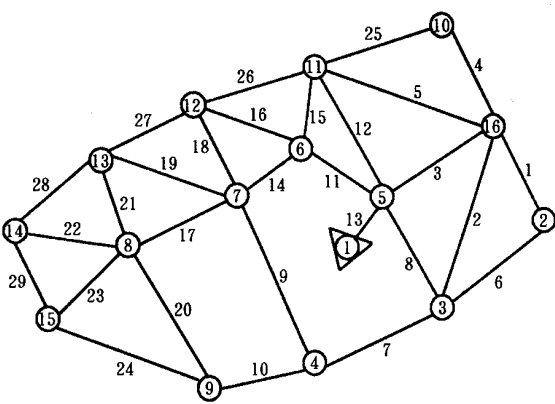


图 1 管网初步连接图
Fig 1 Original layout of pipe network

表 1 管网基本数据

Table 1 Basic data of pipe network										
节点编号	需水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	节点高程/m	管道编号	上游节点	下游节点	管长/m	管道编号	上游节点	下游节点	管长/m
1	2 863.98		1	16	2	502.92	16	6	12	890.02
2	100.92	192.04	2	16	3	685.8	17	7	8	516.64
3	218.21	196.31	3	16	5	686.25	18	7	12	673.61
4	313.67	195.25	4	16	10	758.95	19	7	13	542.54
5	231.85	198.47	5	16	11	1188.72	20	8	9	1 319.78
6	79.10	196.71	6	2	3	473.96	21	8	13	505.97
7	150.02	197.45	7	3	4	818.39	22	8	14	560.83
8	204.57	195.30	8	3	5	731.52	23	8	15	762.00
9	283.67	193.69	9	4	7	1 773.94	24	9	15	1 173.48
10	144.56	192.18	10	4	9	1 060.7	25	10	11	545.59
11	152.75	193.78	11	5	6	548.64	26	11	12	765.05
12	289.13	195.47	12	5	11	765.05	27	12	13	417.58
14	144.56	194.41	13	1	5	18.29	28	13	14	475.49
15	286.40	193.12	14	6	7	384.05	29	14	15	917.45
16	141.84	195.84	15	6	11	368.81				

表 2 SPGA、Kruskal 算法和Dijkstra 算法的优化布置结果

Table 2 Optimal layout results of SPGA、Kruskal Algorithm and Dijkstra Algorithm				
方案编号	管网投资 /万元	管网总长 /m	组成树状管网的管道编号	
1	151.03	8 606.48	3, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 23, 25, 28	
2	151.79	8 350.45	3, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 19, 23, 25, 27, 28	
3	151.84	8 865.56	3, 6, 7, 8, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 23, 25, 28	
4	151.85	8 822.89	3, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 23, 25, 28	
5	152.17	8 635.43	1, 3, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 23, 25, 28	
6	152.18	8 566.85	3, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 22, 23, 25, 27	
7	152.35	8 435.79	3, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 19, 22, 23, 25, 27	
8	152.73	8 783.26	3, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 19, 22, 23, 25, 26	
9	152.74	8 894.51	1, 3, 7, 8, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 23, 25, 28	
10	152.77	8 783.26	3, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 22, 23, 25, 27	
KA	176.04	8 085.27	1, 3, 6, 7, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 21, 23, 25, 27, 28	
DA	155.70	9 248.08	3, 1, 8, 7, 13, 11, 14, 17, 10, 25, 12, 16, 19, 28, 23	

3.3 神经网络优化设计

以 SPGA 所获得的最优布置方案 1 作为管网

优化设计的基础, 以年费用最小为目标函数, 以水泵扬程和管径为设计变量, 建立压力输水树状管网非线性规划模型和相应神经网络系统, 并用软件模拟方法进行求解。根据所得到的一组近似最优解, 确定出一组由 4 种相邻标准管径组成的最优管径集合, 应用线性规划模型进行二次优化设计。两级优化模型^[4]的程序运行时间为 7.29 s, 获得最佳管径组合方案(表 3), 水泵扬程为 42.11 m, 系统最低年费用为 158.90 万元, 管网静态投资为 104.87 万元。

为比较不同布置形式对管网优化设计结果的影响, 以管网总长度最短的布置方案 KA 为基础进行管网优化设计。两级优化模型的程序运行时间为 8.63 s, 获得最佳管径组合方案(表 4), 水泵扬程为 43.95 m, 年费用最低为 167.09 万元; 管网静态投资为 118.32 万元, 分别比方案 1 增加 5.2% 和 12.8%。

表 3 方案 1 的优化设计结果

Table 3 Optimized layout of Scheme 1

管道编号	优化管径/cm	标准管径/cm	管道长度/m	水头损失/m	流速/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	节点编号	自由水头/m
3	23 15	25 40/20 32	614 00/72 25	4 36	0 78	2	15
6	20 09	20 32/15 24	416 29/57 67	5 82	0 86	3	16 55
7	42 92	50 80/45 72	495 97/322 42	2 40	0 82	4	15 21
8	50 21	55 88	731 52	2 34	1 04	5	16 73
10	34 08	40 64	1060 7	1 77	0 61	6	17 06
11	62 57	71 12	548 64	1 43	1 10	7	15
13	64 76	71 12	18 29	0 16	2 00	8	15 47
14	53 57	60 96	384 05	1 32	1 14	9	15
15	29 26	30 48	368 81	3 14	1 13	10	15
17	37 87	45 72/40 64	387 56/129 08	1 68	0 83	11	16 85
18	30 65	40 64/35 56	224 48/449 13	1 98	0 62	12	15
19	31 54	40 64/35 56	260 64/281 90	1 24	0 57	13	15
23	32 13	35 56	762	2 65	0 80	14	15
25	23 39	25 40/20 32	500 58/45 01	3 45	0 79	15	15
28	24 23	30 48/25 40	220 48/255 01	1 80	0 55	16	15

表 4 方案 KA 的优化设计结果

Table 4 Optimized layout of Scheme KA

管道编号	优化管径/cm	标准管径/cm	管道长度/m	水头损失/m	流速/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	节点编号	自由水头/m
1	49 65	55 88	502 92	1 608	0 76	2	21 47
3	54 41	60 96/55 88	632 23/54 02	1 926	0 82	3	16
6	47 01	55 88	473 96	1 2	0 72	4	15 21
7	44 76	50 8	818 39	1 848	0 65	5	18 58
10	35 36	40 64	1060 7	1 774	0 50	6	18 9
11	62 47	71 12	548 64	1 431	0 88	7	16 85
13	64 84	71 12	18 29	0 158	1 19	8	17 64
14	53 61	60 96	384 05	1 318	0 83	9	15
15	28 96	30 48	368 81	3 14	0 59	10	15
17	52 73	60 96	516 64	1 357	0 78	11	18 7
21	41 79	50 8	505 97	0 991	0 62	12	15
23	30 78	35 56/30 48	271 13/490 87	4 819	0 58	13	15 74
25	23 14	25 40/20 32	348 64/196 95	5 295	0 50	14	15
27	30 21	35 56	417 58	1 478	0 54	15	15
28	24 45	25 40/20 32	474 72/0 77	2 538	0 50	16	19 28

4 结 论

- 1) SPGA 直接以管网投资最小为优化布置目标,能在较短的时间内完成较大规模的管网优化布置,能为设计人员提供多个管网投资最小或次最小的树状管网布置方案,可提高设计水平和设计效率。
- 2) 应用 HNN 方法进行压力输水树状管网非线性规划模型的模拟求解,能迅速收敛到吸引域,获得一组近似最优解,是实现树状管网非线性规划模型快速求解的一种新途径。
- 3) 不同优化布置方法决定所能实现的最优管网布置形式,而不同管网布置形式将直接影响管网投资的大小和系统运行费用的高低。
- 4) 联合应用 SPGA 和 HNN 进行树状管网优

化布置和优化设计,使管网优化设计能在最优管网布置形式上得到更合理、更经济的优化设计方案,实现工程设计的全局最优化。

[参 考 文 献]

[1] 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~ 18

[2] 周荣敏 遗传算法与人工神经网络优化理论及其在压力管网最优化中的应用研究[D] 陕西杨凌:西北农林科技大学,2000,3: p116

[3] 焦李成 神经网络系统理论[M] 第1版 西安:西安电子科技大学出版社 1990,12: 52~ 67.

[4] 周荣敏,林性粹 自压式树状管网的两级优化设计模型与神经网络优化设计[J] 节水灌溉,2001,(2): 1~ 3

Liu Qunchang, Xu Di, Xie Chongbao, Huang Bin (National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research-Beijing, Beijing 100044, China)

Abstract: Field experiments on surge-flow and continuous-flow irrigation were conducted. And a computer model SRFR was used to simulate the surface flow phases under continuous and surge water application. The effect of each factor such as infiltrability, geometrical size of the field, field slope, intake flow rate and microtopography, etc. on performances of both irrigation systems was separately evaluated by means of simulations and observations to determine field parameters and conditions adaptable to the application of surge irrigation.

Key words: surge irrigation; field adaptability; irrigation parameters; irrigation efficiency; water distribution uniformity

Genetic Optimization Layout and Artificial Neural Networks Optimal Design of Pressurized Tree Water-Pipe Network (41)

Zhou Rongmin¹, Lei Yanfeng¹, Lin Xingcui² (1. College of Environment & Hydraulics, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Northwest Science & Technology University of Agriculture & Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: Single Parent Genetic Algorithms (SPGA) and the method of Hopfield Neural Networks (HNN) were respectively applied to optimal layout and optimal design of pressurized tree pipe network which were able to acquire an optimal design scheme with minimum annual cost on the basis of the least-cost optimal tree layout. And the study shows that the method is feasible and effective and can reduce the cost of pipe network project and improve the design level and design efficiency.

Key words: tree water pipe network; optimal design; optimal layout; single parent genetic algorithms; Hopfield Neural Networks

Lateral Layout of Drip Irrigation Under Plastic Mulch for Cotton (45)

Cai Huanjie, Shao Guangcheng, Zhang Zhenhua (The College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest Science & Technology University of Agriculture & Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: The field experiments were conducted at the Experimental Station of Soil Amelioration, Shihezi, Xinjiang Uygur Autonomous Region from May to August in 2000. It showed that the lateral distance of 110 cm could meet the water demand of cotton growth. Through the comparison of plant height, leaf area, root length, cotton yield and quality for 3 different lateral distances, the lateral distance of 110 cm, i.e., one lateral controls 4 rows of cotton, is better than other 140 cm and traditional distance (average 70 cm), which can save one-third of lateral and reduce the investment of system to a large extent.

Key words: cotton; drip irrigation under plastic mulch; lateral layout

Drought Diagnosis Indexes and Drip Irrigation Decision Making for Cotton Under Mulch (49)

Hu Xiaotang¹, Li Mingsi², Ma Fuyu¹ (1. Agricultural College, Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832003, China; 2. Water Conservation and Architectural Engineering College, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: Based on experiments by using the methods of weighing soil moisture through drying and neutron probe, the soil drought condition was diagnosed for the cotton which was irrigated respectively with drip irrigation under mulch and furrow irrigation. By using two selected indexes of drought diagnosis, the soil moisture content suitable for growing crop and the crop water stress index (CWSI) were evaluated. According to the experiments and analyses, it is revealed that the soil moisture conditions required by the growing cotton, do not change with the irrigation techniques. In its high water demand period, the cotton, whether it was irrigated with drip irrigation under mulch or with furrow one, has almost identical index for drought diagnosis. Due to its poor drought tolerance and its high drought danger, however, the cotton irrigated with the drip irrigation under mulch should be given more water for the drought diagnosis compared with the one irrigated with furrow technique when the irrigation scheme decision is made for the cotton.

Key words: water-saving irrigation; drip irrigation under mulch; drought diagnosis; cotton