

供水泵站优化运行的混沌算法

鄢碧鹏, 成立

(扬州大学 环境科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 以机组开机状态为变量, 抽水流量和调速泵调速范围为约束条件, 泵站总耗能最小为目标, 采取直接优化的方法, 建立了供水泵站优化运行的数学模型. 利用混沌优化技术, 通过对定速泵的变量取整以及判断调速泵转速是否在调速范围, 形成泵站开机状态变量, 对等式约束采取增加惩罚函数、不等式约束通过变量尺度变换和平移办法解决. 应用 Matlab 语言编制优化计算程序, 对泵站一天实际运行数据进行优化计算, 总消耗功率比经验操作可减少 3.67% 左右. 该方法简单易行, 求解精度和可靠性较高, 是解决既有定速泵又有调速泵泵站优化运行的有效方法.

关键词: 供水泵站; 优化运行; 数学模型; 混沌; Matlab

中图分类号: S491 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2010)01-0056-03

Optimal operation of water-supply pumping station by chaos

Yan Bipeng, Cheng Li

(College of Environment Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: Aimed at the minimal energy consumption, pump unit commitment and adjusting-speed selected as variables, and pumping flow and speed-adjusting range as constraint condition, the optimal mathematical model for mixed pumping stations was established. Used the method of chaos and Matlab, the optimization program was given. The method of penalty function and scale transformation were used in equality constraints and inequality constraints, respectively. Operation date of a pumping stations was also studied, showing that 3.67% energy could be saved comparing with its actual energy consumed in the same day. The new method is simple and easy to implement, with high accuracy and reliability, so it is an effective way for solving the optimization problem in mixed pumping station.

Key words: water-supply pumping station; optimal operation; mathematical model; chaos; Matlab

我国目前城市二级供水泵站多数安装了调速装置, 采用定速泵与调速泵并联运行, 保证了供水流量和压力, 提高泵站运行效率^[1]. 这种类型供水泵站的优化是在流量和扬程一定的情况下, 确定定速泵的关停状态和调速泵是否开启以及调速泵的转速, 使泵站总能耗最小. 定速泵的关停是关于 0, 1 的整数规划问题, 而调速泵在调速范围内转速可以连续变化, 同时也可以处于停机状态. 目前研究认为在给定出口压力条件下每台调速水泵都有对应的最佳

转速和最优流量, 当调速泵最优流量之和大于给定流量时只开调速泵, 优化运行在调速泵之间进行, 当调速泵最优流量之和小于给定流量时开定速泵, 采取的是调速泵在最佳转速运行, 组合各种定速泵开机方案进行功率比较, 消耗功率最小的为优化方案^[2]. 当泵站机组台数和型号较多, 性能曲线复杂时, 计算工作量非常大, 并且在相同工况下调速泵效率不一定比定速泵高, 结果和实际运行情况有差异. 目前常用的优化计算方法是微增率法、动态规划

收稿日期: 2009-07-29

基金项目: 江苏省社会发展项目 (BS2005039); 江苏高校重大基础研究资助项目 (05KJA57005)

作者简介: 鄢碧鹏 (1964—), 男, 江苏扬州人, 副教授, 博士 (bpyan@yzu.edu.cn), 主要从事市政工程研究.

成立 (1975—), 男, 江苏盐城人, 副教授, 博士 (chengli@yzu.edu.cn), 主要从事泵站工程研究.

法和遗传算法,微增率法只能在每台机组开机情况确定的情况下应用,动态规划法的计算点是离散的而非连续的,都不适合这类泵站的优化计算^[3-5]。笔直利用混沌优化原理提出一种既有定速泵又有调速泵泵站优化运行方法。

1 供水泵站优化运行的数学模型

设泵站中有 t 台机组,其中 m 台定速泵, l 台调速泵,要求泵站的供水流量为 Q_0 ,供水压力为 p_0 ,定速泵的开停状态用 k_i 表示,调速泵的转速用 n_i 表示,以1代表开机,0代表停机。由于供水泵站机组大都采取并联运行的方式,如果采用水泵性能曲线将不能得到准确的水泵流量,因此在优化调度时须对每台水泵装置进行测试,得到装置性能曲线。定速泵装置扬程曲线和功率曲线利用二次曲线拟合,当供水压力为 p_0 时装置的扬程为 H ,可以通过式(1)和式(2)求出定速泵装置的流量和功率。

$$H = a_1 Q^2 + a_2 Q + a_3 \quad (1)$$

$$P = b_1 Q^2 + b_2 Q + b_3 \quad (2)$$

设某调速泵的额定转速为 n_0 ,额定功率 P_0 ,额定流量为 Q_0 ,在不同转速运行时功率 P_i 和流量 Q_i ,

$$P_i = \left(\frac{n_i}{n_0}\right)^3 P_0 \quad (3)$$

$$Q_i = \left(\frac{n_i}{n_0}\right) Q_0 \quad (4)$$

则泵站机组在运行状态确定的情况下的总功率

$$P = \sum_{i=1}^m k_i P_i + \sum_{i=m+1}^t \left(\frac{n_i}{n_{0i}}\right)^3 P_i \quad (5)$$

式中 n_{0i} 为第 i 台调速泵额定转速。

约束条件:

$$Q_0 = \sum_{i=1}^t Q_i \quad (6)$$

$$\min n_i \leq n_i \leq \max n_i \quad (7)$$

式中 $\min n_i$ 为第 i 台调速泵转速下限; $\max n_i$ 为第 i 台调速泵转速上限。优化目标就是确定机组运行状态使总功率最小。

2 供水泵站混沌优化算法

2.1 基本原理和方法

混沌的迭代具有不重复性和遍历性,Logistic模型是混沌研究中的最典型模型,其方程为

$$x_{k+1} = \lambda x_k (1 - x_k) \quad x_k \in [0,1] \quad (8)$$

当 λ 取4时,系统处于混沌状态,即在 $[0,1]$ 间任取初值迭代, x_k 可在 $[0,1]$ 上遍历。对于 t 维向量,只要给予不同初值,其迭代结果也在 $[0,1]$ 上遍历。利用Logistic方程构造混沌序列,经尺度变换和平移,可将 t 维向量在 $[0,1]$ 上的遍历转化成在优化问题解空间作混沌遍历,经过搜索,寻找问题的最优解^[6-8]。

在编制供水泵站优化运行程序时,首先在0.51~0.99(或0.01~0.49)中产生 t 个随机数作为变量初值,根据式(8)迭代得到 t 个混沌变量,按照式(9)将混沌变量变换到优化问题的解空间,然后将混沌变量 x_{jk} 进行第一次载波,每次迭代后计算函数 $F(x_{jk})$ 的值,如果当前函数点函数值小于已有的最优函数值,则保留当前点及其函数值 $f^*(x_{jk})$,否则继续迭代,如果 $f^*(x_{jk})$ 经过 m 步搜索后保持不变,则终止搜索。如果不行,则重新取一组初值迭代,最后利用第一次载波搜索结果进行第二次载波,由于向量点已接近最优点,按式(10)变化后进一步搜索,则很快可以接近最优点。

$$x_{jk} = O_j + S_j x_{kj} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

式中 O_j 为第 j 个变量取值端点相对原点的偏移量; S_j 表示第 j 个变量的取值范围值。

$$X^{*'} = X^* + \alpha X_j \quad (10)$$

其中 αX_j 为遍历区间很小的混沌向量。

由于优化过程中存在0,1整数问题,对定速机组变量进行取整,对调速机组变量通过尺度变换和平移后进行判断,如果转速低于调速下限则取0,在调速范围则作为可行方案予以保留。

2.2 等式和不等式约束问题处理

非线性约束优化问题可描述为

$$\min f(x) \quad (11)$$

$$\text{s. t. } Q_i(x) = 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, k) \quad (12)$$

$$r_i(x) > 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (13)$$

在解决等式和不等式约束问题时一般用不可微精确罚函数。如果不等式约束是变量自身的变化范围,则在将混沌变量变换到优化问题的解空间过程中已经得到了解决,目标函数按照式(14)计算。

$$p(x, s) = f(x) + s \left| \sum |Q_i(x)| + \sum [-\min(0, r_i(x))] \right| \quad (14)$$

式中 $\sum |Q_i(x)|$ 为等式约束的计算余量; $\sum [-\min(0, r_i(x))]$ 为不等式约束计算余量; s 为惩罚系数,其大小要根据目标函数值的大小以及等式和

不等式计算余量的值确定,本例中只有等式约束。

3 供水泵站直接优化实例

某供水泵站安装了3种型号5台水泵机组,型

号分别为28SA-10A,24SA-10B,32SA-10A。除2台32SA-10为调速泵外,其他3台为定速泵,机组装置性能参数见表1。

当装置扬程为64 m,总流量为 $3.9 \text{ m}^3/\text{s}$ 时确定优化运行方案。

表1 泵站机组装置性能参数
Tab.1 Performance parameter of pump unit

编号	水泵型号	$H-Q$ 曲线方程	$P-Q$ 曲线方程	是否调速	$n_0/(r/min)$	P_0/kW
1	28SA-10A	$72.22 - 1.53 \times 10^{-6} Q^2$	$913.2 + 0.06Q$	否	980	1 227
2	28SA-10A	$72.22 - 1.53 \times 10^{-6} Q^2$	$913.2 + 0.06Q$	否	980	1 227
3	24SA-10B	$71.55 - 1.27 \times 10^{-6} Q^2$	$343.1 + 0.04Q$	否	980	545
4	32SA-10A	$93.14 - 4.83 \times 10^{-6} Q^2$	$908.1 + 0.10Q$	是	742	1 405
5	32SA-10A	$93.14 - 4.83 \times 10^{-6} Q^2$	$908.1 + 0.10Q$	是	742	1 405

先对机组进行编号,确定调速机组的转速范围,本研究确定的调速范围为 $0.75 n_0 \sim 1.00 n_0$,然后利用Matlab编制的程序进行优化,得到机组运行向量: $K_i = [0, 0, 1, 685, 690]$,即开3,4,5号机,4,5号机组转速分别为685,690 r/min.,此时泵站总功率为2 707.25 kW。

利用上述方法对该泵站一天的运行资料进行优化计算,分5个时段,即早低峰(0~5时)、早高峰(5~8时)、中峰(8~17时)、晚高峰(17~20时)、晚低峰(20~24时),以各时段平均供水量和压力为优化条件,优化运行总消耗功率比经验操作平均可减少3.67%左右。

4 结论

二级供水泵站由于水量和压力变化频繁,为了提高效率,减少能耗,需要对机组进行优化调度,特别是有的供水泵站在选型时扬程偏高,在运行时需优先选择额定扬程较低的水泵或者降低转速。本研究将混沌优化技术应用在混合泵站经济运行计算上,从数学模型、优化原理和计算步骤等方面进行了详细的描述,具有一定的实用价值,在优化过程中忽略了调速装置对目标函数的影响。

参考文献 (References)

- [1] 刘超. 泵站经济运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
[2] 赵洪宾. 给水管网系统理论与分析[M]. 北京: 中国

建筑工业出版社, 2002.

- [3] 刘家春, 张子贤, 张慕飞. 轴流泵站经济运行方案的确定[J]. 排灌机械, 2006, 24(6): 20-23.
Liu Jiachun, Zhang Zixian, Zhang Mufei. Determination of economical operation program at draining pump station [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2006, 24(6): 20-23. (in Chinese)
[4] 章婷芳, 姚洪兴, 耿震. 一种新的混沌系统的优化控制[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2006, 20(1): 37-41.
Zhang Tingfang, Yao Hongxing, Geng Xia. Optimal control for new chaotic system [J]. *Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition*, 2006, 20(1): 37-41. (in Chinese)
[5] Dalamagas T, Cheng T, Winkel K J, et al. A methodology for clustering XML documents by structure [J]. *Information Systems*, 2006, 31(3): 187-228.
[6] Hu B G, Kim G, Raymond G G. New methodology for analytical and optimal design of fuzzy PID controllers [J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 1999, 7(5): 521-539.
[7] Moreira J C, Lipo T A, Blasko V. Simple efficiency maximizer for an adjustable frequency induction motor drive [J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1991, 27(5): 940-945.
[8] He Q, Wang L, Liu B. Parameter estimation for chaotic systems by particle swarm optimization [J]. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2007, 34(2): 654-661.

(责任编辑 贾国方)