

水电站技术

改进鸽群算法在水电站发电优化调度中的应用研究

纪 鹏

(辽宁润中供水有限责任公司, 辽宁 沈阳 110166)

【摘要】 水库调度计划是否合理,关系到水库的工程运行安全和效益充分发挥。文章以辽宁省桓仁水电站为例,提出了一种改进鸽群算法。与动态规划法、POA法的调度结果相比,在同样的计算条件下,改进鸽群算法年发电量最大,具有良好的求解能力,可以在工程实践中利用该算法进行水库调度模型的求解。

【关键词】 改进鸽群算法; 水电站; 优化调度

中图分类号: TV737

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2019) 06-021-05

Research on Application of Improved Pigeon Group Algorithm in Optimal Operation of Hydropower Station

JI Peng

(Liaoning Runzhong Water Supply Co., Ltd., Shenyang 110166, China)

Abstract: Whether the reservoir operation plan is reasonable or not is related to the operation safety and benefits of the reservoir. Huanren Hydropower Station in Liaoning Province is adopted as an example to propose an improved pigeon group algorithm in the paper. The improved pigeon group algorithm has the maximum annual electricity production and good solving ability compared with the dispatching results of dynamic programming method and POA method, under the same computing conditions, which can be used for solving the reservoir dispatching model in engineering practice.

Key words: improved pigeon group algorithm; hydropower station; optimal operation

1 工程概况

桓仁水电站位于辽宁省桓仁满族自治县泡子沿镇境内,属于浑江梯级开发中的第一座大型水电站^[1]。桓仁水电站控制流域面积 10400km²,水库库容为 36.40 亿 m³。桓仁水库的正常蓄水位为 300.00m,死

水位 290.00m。工程设计标准为千年一遇,对应流量为 22600m³/s,校核洪水标准为万年一遇,对应的洪峰流量为 30000m³/s^[2]。桓仁水电站主要水工建筑物为混凝土大坝,坝后式厂房,大坝右侧为泄洪坝段,共布置有 5 孔泄洪闸,每孔泄洪闸的闸孔宽为 13m,高 23.80m。桓仁水电站的主要功能是发电,兼具防

洪、供水、灌溉等综合效益。电站的设计水头为 53.20m, 最大水头 57.10m, 最小水头 47.10m, 装机总容量 22.25 万 kW, 年均发电量为 4.77 亿 kW·h。

2 改进鸽群优化算法

2.1 鸽群算法简介

随着演化技术的不断发展, 仿生智能优化成为解决诸多工程问题的新兴技术。进入新世纪以来, 国内外学者通过对自然界中广泛存在的自适应现象的深入研究, 基于对上述功能机制的模拟, 设计出蚁群优化算法、微粒群优化、鸽群算法等诸多优化算法。其中, 鸽群算法由 Duan 等学者于 2014 年提出, 是一种基于鸽群归巢行为而设计的新型智能优化算法, 由于该算法适应性好, 计算精度高, 在提出的短短几年内就在工程领域获得广泛应用。

2.2 鸽群优化算法的改进

由于鸽群算法具有较快的收敛速度, 因此, 在应用过程中极易出现局部最优的情况^[3]。鉴于鸽群算法的上述缺陷, 研究中按照如下思路进行优化: 首先, 将混沌和反向策略用于算法的初始化, 以生成随机效果好、空间覆盖广的初始化解; 其次, 以参数设置的方式对算法本身使用的地图因子进行自适应调整; 最后, 在迭代过程中加入柯西扰动重分布策略, 以实现扰动全局最优解, 防止收敛速度过快。

2.2.1 混沌和反向策略

混沌运动具有对初始值灵敏度高、运动轨迹的普遍性和不重复性的特点, 使用该方法进行种群的初始化可以有效增加其多样性^[4]。目前, 常用的混沌变量产生方法有 Logistic 与 Tent Map 两种。相关学者的研究成果显示^[5], 后一种方法具有更快的迭代速度, 因此优化过程中将 Tent Map 函数作为混沌生成函数, 利用 rand 生成 0 到 1 的随机数为 X_0 的值, 并利用下式进行初始化解的生成:

$$S_{ij} = S_{\min j} + X_n \times (S_{\max j} - S_{\min j}) \quad j = 1, 2, 3, \dots, D \quad (1)$$

显然, 混沌方法存在一定的随机性, 其解的覆盖范围也不够全面, 因此, 在优化过程中借鉴 Tizhoosh 教授的相关研究结论^[6], 通过反向策略来实现初始化解的全局最优。

2.2.2 柯西扰动重分布策略

原始鸽群算法存在收敛速度快的问题, 因此容易导致早熟收敛现象。为解决上述问题, 本次研究拟采用柯西扰动重分布策略, 使计算结果跳出局部最优解, 实现全局最优解。在加入柯西扰动重分布的节点方面, 本文采用 A. Stacey 关于柯西扰动方法的计算成果^[7], 引入 FC 变量并设置其阈值为 0, 如果 FC 的值大于这一阈值, 则视候选解有较大概率产生局部最优情况, 加入柯西扰动, 同时打乱表现较差的一个半个体, 最终实现全局最优。

2.2.3 参数自适应策略

鸽群算法作为一种群体智能算法, 参数的科学性与合理性直接影响计算结果^[8]。为了使参数能够对鸽群算法的收敛起到作用, 原始算法中采用指南针因子 R 来实现对鸽群速度的控制。显然, R 的值较小时, 鸽子的速度就较大, 进而导致收敛速度的加快, 因此种群的搜索能力也会显著增强, 这对于局部搜索无疑具有较大的帮助。因此, 本文研究中舍弃了原始方法中对参数 R 设定固定值的方法, 在原始状态下赋予 R 较小的值, 在整个范围内搜索完毕后, 逐渐将 R 的值增大到 1, 以利于局部搜索的完成。

3 计算结果与分析

3.1 计算数据

根据桓仁水电站管理局提供的数据, 整理桓仁水电站水位库容关系 (见表 1) 和下游水位与流量关系 (见表 2)。

表1 桓仁水电站水位库容关系

单位: 亿 m³

水位/m	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
291	29.75	29.82	29.89	29.95	30.02	30.09	30.16	30.23	30.30	30.37
292	30.40	30.51	30.58	30.65	30.72	30.79	30.87	30.94	31.01	31.08
293	31.15	31.22	31.29	31.36	31.43	31.50	31.58	31.65	31.72	31.79
294	31.86	31.93	32.00	32.07	32.14	32.22	32.29	32.36	32.43	32.50
295	32.57	32.64	32.71	32.78	32.86	32.95	33.00	33.07	33.14	33.21
296	33.28	33.36	33.43	33.50	33.57	33.64	33.72	33.79	33.86	33.93
297	34.01	34.08	34.15	34.23	34.30	34.37	34.45	34.52	34.60	34.67
298	34.75	34.83	34.91	34.99	35.07	35.15	35.23	35.32	35.40	35.48
299	35.56	35.65	35.73	35.81	35.90	35.98	36.07	36.15	36.24	36.32
300	36.41	36.49	36.58	36.67	36.76	36.84	36.93	37.02	37.11	37.20
301	37.29	37.38	37.47	37.56	37.65	37.74	37.83	37.92	38.01	38.10
302	38.19	38.28	38.37	38.46	38.55	38.64	38.74	38.83	38.92	39.01
303	39.10	39.19	39.28	39.37	39.46	39.56	39.65	39.74	39.83	39.92
304	40.01	40.10	40.19	40.29	40.38	40.47	40.56	40.65	40.74	40.84
305	40.93	41.02	41.11	41.20	41.30	41.39	41.48	41.57	41.66	41.76

表2 下游水位与流量关系

水位/m	流量/ (m ³ /s)	水位/m	流量/ (m ³ /s)	水位/m	流量/ (m ³ /s)
238.5	0	244.5	1190	250.5	5350
239.0	2	245.0	1400	251.0	5800
239.5	57	245.5	1700	251.5	6400
240.0	115	246.0	2000	252.0	7100
240.5	170	246.5	2350	252.5	7700
241.0	265	247.0	2650	253.0	8250
241.5	350	247.5	3000	253.5	8750
242.0	440	248.0	3300	254.0	9300
242.5	590	248.5	3650	254.5	9800
243.0	690	249.0	4050	255.0	10400
243.5	750	249.5	4500	255.5	11100
244.0	900	250.0	4900	256.0	11800

3.2 计算结果分析

为验证本文提出的改进鸽群算法在水电站发电调度中的优越性,利用传统的 POA、动态规划方法作为对比,对桓仁水电站典型年的数据进行计算。在计算过程中,利用桓仁水电站的水位—库容关系以及水电站下游的水位—流量关系,不计水头损失,以年发电量最大作为调度的基本准则进行水库年调度。为了方便不同方法之间的比较,三种方法均进行 150 代、5 次运算,并对得到的最优值进行比较。

3.2.1 动态规划法调度结果

利用动态规划方法对桓仁水电站典型年的数据进行调度计算,结果见表 3。

表3 动态规划法调度结果

时间	入库流量/ (m ³ /s)	起始水位/m	结束水位/m	发电流量/ (m ³ /s)	弃水流量/ (m ³ /s)	出力/万 kW	发电量/ 亿 kW·h
2017 年 5 月	267.4	295.00	296.38	375.6	0.0000	2.81	0.21
2017 年 6 月	87.1	296.38	298.39	84.7	0.0000	0.83	0.06
2017 年 7 月	176.4	298.39	298.97	342.3	0.0000	3.21	0.23
2017 年 8 月	603.6	298.97	301.79	720.3	0.0000	6.65	0.49
2017 年 9 月	956.6	301.79	302.16	895.2	0.0000	8.98	0.66

续表

时 间	入库流量/ (m^3/s)	起始水位/m	结束水位/m	发电流量/ (m^3/s)	弃水流量/ (m^3/s)	出力/万 kW	发电量/ 亿 kW·h
2017 年 10 月	1168.3	302.16	304.86	1271.4	0.0000	13.58	0.99
2017 年 11 月	168.3	304.86	305.82	537.2	0.0000	5.83	0.43
2017 年 12 月	232.3	305.82	304.79	220.9	0.0000	2.52	0.18
2018 年 1 月	141.0	304.79	304.65	587.9	0.0000	6.22	0.45
2018 年 2 月	109.3	304.65	301.75	101.9	0.0000	1.19	0.09
2018 年 3 月	176.4	301.75	298.63	691.0	0.0000	6.80	0.50
2018 年 4 月	271.8	298.63	295.00	663.8	0.0000	5.20	0.38
合 计							4.66

3.2.2 POA 法优化调度

度计算, 结果见表 4。

利用 POA 法对桓仁水电站典型年的数据进行调

表 4 POA 法调度结果

时 间	入库流量/ (m^3/s)	起始水位/m	结束水位/m	发电流量/ (m^3/s)	弃水流量/ (m^3/s)	出力/万 kW	发电量/ 亿 kW·h
2017 年 5 月	245.2	295.00	297.29	408.8	0.0000	2.98	0.22
2017 年 6 月	64.9	297.29	294.89	300.8	0.0000	2.24	0.16
2017 年 7 月	154.2	294.89	294.89	354.2	0.0000	2.55	0.19
2017 年 8 月	581.4	294.89	305.89	333.7	0.0000	2.98	0.22
2017 年 9 月	934.4	305.89	304.49	956.9	0.0000	10.06	0.73
2017 年 10 月	1146.1	304.49	304.89	1335.0	0.0540	14.45	1.05
2017 年 11 月	146.1	304.89	304.89	346.7	0.0000	4.05	0.29
2017 年 12 月	210.1	304.89	304.89	410.1	0.0000	4.74	0.35
2018 年 1 月	118.8	304.89	304.79	319.6	0.0000	3.74	0.27
2018 年 2 月	87.1	304.79	304.79	287.1	0.0000	3.38	0.25
2018 年 3 月	154.2	304.79	304.79	355.6	0.0000	4.13	0.30
2018 年 4 月	249.6	304.79	295.00	1083.7	0.0000	9.52	0.69
合 计							4.73

3.2.3 改进鸽群算法调度

行调度计算, 结果见表 5。

利用改进鸽群算法对桓仁水电站典型年的数据进

表 5 改进鸽群算法调度结果

时 间	入库流量/ (m^3/s)	起始水位/m	结束水位/m	发电流量/ (m^3/s)	弃水流量/ (m^3/s)	出力/万 kW	发电量/ 亿 kW·h
2017 年 5 月	245.2	295.00	315.49	63.9	0.0000	0.66	0.05
2017 年 6 月	64.9	315.49	320.00	145.4	0.0000	1.63	0.12
2017 年 7 月	154.2	320.00	320.00	354.2	0.0000	3.86	0.28
2017 年 8 月	581.4	320.00	320.00	781.4	0.0000	8.14	0.59

续表

时 间	入库流量 / (m^3/s)	起始水位/m	结束水位/m	发电流量 / (m^3/s)	弃水流量 / (m^3/s)	出力/万 kW	发电量/ 亿 kW·h
2017 年 9 月	934.4	320.00	324.60	1009	0.0000	10.73	0.78
2017 年 10 月	1146.1	324.60	325.00	1334.6	0.0003	14.45	1.05
2017 年 11 月	146.1	325.00	325.00	346.1	0.0000	4.03	0.29
2017 年 12 月	210.1	325.00	325.00	410.1	0.0000	4.74	0.35
2018 年 1 月	118.8	325.00	325.00	318.8	0.0000	3.74	0.27
2018 年 2 月	87.1	325.00	325.00	287.1	0.0000	3.38	0.25
2018 年 3 月	154.2	325.00	325.00	354.2	0.0000	4.13	0.30
2018 年 4 月	249.6	325.00	295.00	1087.3	0.0000	9.98	0.73
合 计							5.07

3.2.4 多算法结果对比分析

对动态规划法、POA 法以及改进鸽群算法的调度结果进行对比 (见表 6)。由计算结果可知,上述三种算法的总弃水量大致相当,而动态规划法的年发电量为 4.66 亿 kW·h,POA 法的年发电量为 4.73 亿 kW·h,改进鸽群算法的年发电量为 5.07 亿 kW·h。由此可见,在同样的计算条件下,改进鸽群算法年发电量最大,可以在工程实践中利用该算法进行水库调度模型的求解。

表 6 三种算法结果对比

计算方法	弃水量/万 m^3	年发电量/亿 kW·h
动态规划法	0.00	4.66
POA 法	14.38	4.73
鸽群优化法	0.08	5.07

4 结 论

大型水电站往往具有发电、供水和防洪等多方面的功能,其调度问题十分复杂,因而存在诸多亟待解决的问题。

本文以辽宁省桓仁水电站为例,研究了改进鸽群算法在水电站调度中的应用。针对传统的鸽群算法存在的缺陷和不足,将混沌和反向策略用于算法的初始化,以参数设置的方式对算法本身使用的地图因子进行自适应调整,在迭代过程中加入柯西扰动重分布策略改进鸽群算法。对桓仁水电站特征年数据采取动态

规划法、POA 法以及改进鸽群算法进行调度计算,结果显示,在同样的计算条件下,改进鸽群算法年发电量最大,具有良好的求解能力,可以在工程实践中利用该算法进行水库调度模型的求解。▲

参考文献

- [1] 张猛,朱锦杰.桓仁水电站 24 号坝段稳定性分析[J].大坝与安全 2015(3):46-49.
- [2] 张松松,朱宏鹏,金杰,等.桓仁水电站大坝坝基扬压力与渗流监测分析[J].水利科技与经济 2014,20(2):118-120,123.
- [3] DELL'ARICCIA G,COSTANTINI D,DELL'OMO G,et al. Waiting time before release increases the motivation to home in homing pigeons (Columba livia) [J]. Journal of Experimental Biology, 2009,212(Pt 20):3361-3364.
- [4] Awad El-Gohary,A S Al Ruzaiza. Chaos and adaptive control in two prey-one predator system with nonlinear feedback [J]. Chaos, Solitons and Fractals 2007,34(2):443-453.
- [5] Hao Z, Ji-hong S,Tie-nan Z,et al. An improved chaotic particle swarm optimization and its application in investment [C]. //Computational Intelligence and Design 2008. ISCID'08. International Symposium on. IEEE 2008:124-128.
- [6] Tizhoosh H R. Opposition-based learning: a new scheme for machine intelligence [C]. //null. IEEE 2005:695-701.
- [7] Stacey A,Jancic M,Grundy I. Particle swarm optimization with mutation [C]. //Evolutionary Computation 2003. CEC'03. The 2003 Congress on. IEEE 2003(2):1425-1430.
- [8] 周晓静.基于参数自适应蚁群算法对多目标问题的优化[J].电脑知识与技术 2016,12(13):203-205.