

POA 改进算法在乌江流域优化调度中的应用

汪明清 孙 斌 林 成 唐建兴

(贵州电力调度通信局 ,贵州 贵阳 550002)

摘要 :针对动态规划理论在优化调度中存在的不足 ,提出改进的 POA 算法 ,采用状态逐密的离散微分动态规划来解决优化模型 ,对初始可行解以及子问题的求解方法进行改进 ,并得到梯级水电站群最大发电量。通过实际算例及运行情况表明 ,该方法可以满足各类约束条件 ,同时增发电量 ,带来可观的经济效益。

关键词 :优化调度 ;POA 算法 ;梯级电站 ;发电量计算 ;乌江流域

中图分类号 :TV697.1+2 文献标识码 :A 文章编号 :1006-764X(2010)S1-0010-03

贵州电网直调水电机组目前装机容量为 9 736 MW ,直调水电站主要分布在三岔河、六冲河、乌江干流、猫跳河、清水河流域。乌江是长江上游右岸的最大支流 ,全长 1 037 km ,流域面积 8.8 万 km² ,天然落差 2 124 m ,多年平均水量为 534 亿 m³ ,与黄河水量相当。乌江干流在贵州省境内开发 7 个梯级水电站 ,总装机容量为 8 315 MW。位于乌江上游三岔河的普定、引子渡电站装机容量分别为 84 MW 和 360 MW ,位于乌江南岸猫跳河流域的红枫梯级电站总装机容量为 267 MW ,位于乌江中游清水河的大花水电站装机容量为 200 MW。乌江年径流比较稳定 ,上游有洪家渡水电站龙头水库 ,可进行多年调节 ,中游有乌江渡水电站可进行年调节 ,构皮滩水电站可进行多年调节(各电站空间分布见图 1) ,各梯级联运后保证出力还可提高。乌江流域各电站位置适中 ,距用电负荷中心较近 ,是“西电东送”的良好电源点。

在水电站水库优化调度中 ,常用的模型求解方法包括动态规划法^[1]、逐次优化法^[2-3]、非线性规划法^[4]、大系统分解协调法^[5]、网络流算法^[6-7]、人工神经网络法^[8]和遗传算法^[9]等。尽管人们对水电站长

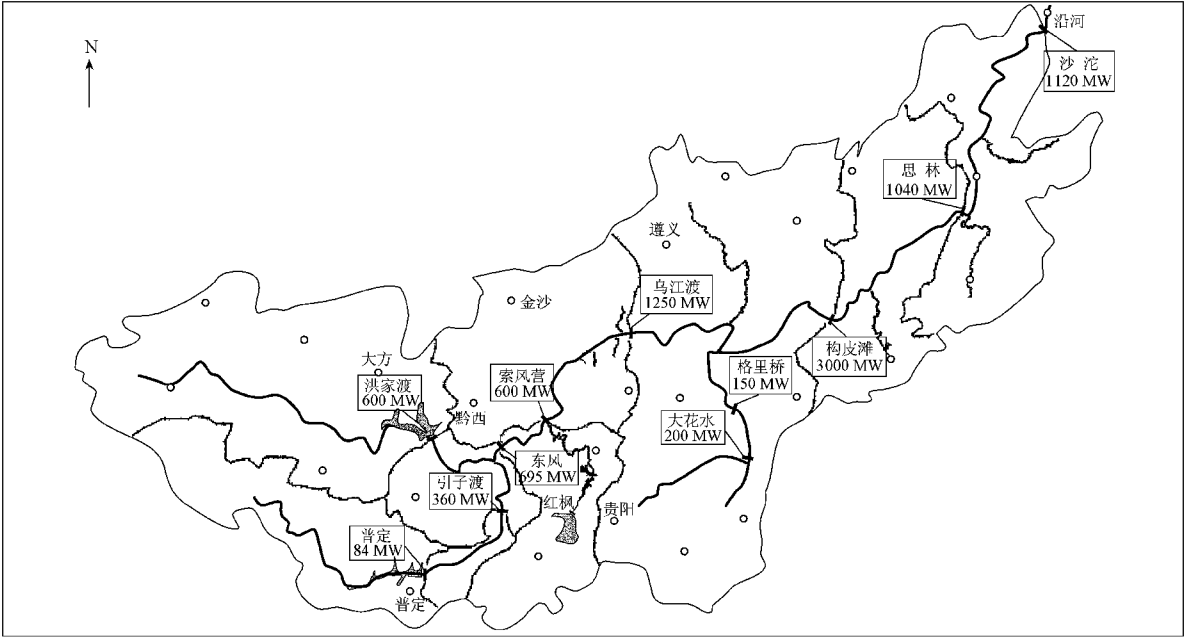


图 1 乌江流域电站分布

期优化运行的研究已取得了丰硕的成果,然而与水电站长期优化调度相配套的成功实用的应用计算模型却不多见。主要原因是综合利用要求的多样性使得求解方法的适应性受到限制。本文针对乌江流域其他调度要求,以兼顾保证出力约束下发电量最大为目标,建立梯级优化调度模型。实践表明此法能够满足综合利用的要求。

1 问题描述

贵州电网的水电系统主要由乌江及其支流上的梯级水电站水库群组成。梯级水电站水库群中长期发电优化调度是一种与时间过程密切相关的典型动态优化多阶段决策过程,同时由于需要考虑电力系统的负荷约束,因而求解较为复杂。

本问题对应的数学模型如下:给定调度期内入库流量过程和水库始末水位,在考虑各种约束条件下,确定各个具有长期调节能力的水电站水库的调度过程,使得系统发电量最大。

目标函数为

$$\max P = \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M p_{m,t} \Delta_t \quad (1)$$

水量平衡约束为

$$V_{m,t+1} = V_{m,t} + 3600(Q_{m,t} - q_{m,t} - Q_{d_{m,t}}) \Delta_t \quad (2)$$

库水位约束为

$$Z_{xx_{m,t}} \leq Z_{m,t} \leq Z_{sx_{m,t}} \quad (3)$$

泄量约束为

$$q_{m,t} \geq q_{\min_{m,t}} \quad (4)$$

电站出力约束为

$$p_{\min_{m,t}} \leq p_{m,t} \leq p_{\max_{m,t}} \quad (5)$$

系统负荷约束为

$$\text{sum} p_t \leq \max P_{\text{sum}_t} \quad (6)$$

系统最小出力约束为

$$\min P_{\text{sum}_t} \leq \text{sum} p_t \quad (7)$$

式中: $p_{m,t}$ 为第 m 个水库在第 t 时段的平均出力; Δ_t 为第 t 个时段的长度; t, T 分别为调度时段号及其总数; m, M 分别为水库编号及其总数; $V_{m,t}$ 为第 m 个水库在第 t 时段末的有效库容; $Q_{m,t}$ 为第 m 个水库在第 t 时段的入库流量; $q_{m,t}$ 为第 m 个水库在第 t 时段的出库流量; $Q_{d_{m,t}}$ 为第 m 个水库在第 t 时段的弃水流量; $Z_{m,t}, Z_{xx_{m,t}}, Z_{sx_{m,t}}$ 分别为第 m 个水库在第 t 时段末的水位及其下限和上限; $q_{m,t}, q_{\min_{m,t}}$ 分别为第 m 个水库在第 t 时段的出库流量及其下限; $p_{m,t}, p_{\min_{m,t}}, p_{\max_{m,t}}$ 分别为第 m 个水库在第 t 时段的平均

出力及其下限和上限; $\text{sum} p_t, \max P_{\text{sum}_t}, \min P_{\text{sum}_t}$ 分别为第 t 时段的水电系统平均出力及其上限和下限。

2 改进 POA 算法

传统的逐步优化算法是 1975 年由加拿大学者 Howson 和 Sanch 提出的,用于求解多状态动态规划问题。该方法根据贝尔曼最优化原理的思想,提出了逐步最优化原理,即“最优策略具有这样的性质,每两阶段的决策相对其始端决策和终端决策是最优的”。该算法将多阶段决策问题分解成若干个子问题,子问题之间由系统状态联系,每个子问题仅考虑某个时段的状态及相邻两时段的子目标值,逐个时段进行寻优,直到收敛。

动态规划是一种解决多阶段决策过程最优化问题的一种数学方法,但动态规划存在不足之处,主要是由于库群系统规模较大的时候出现的“维数灾”问题。现阶段贵州水电系统由 8 个具有中长期调节能力的水库组成,因而难以直接采用动态规划求解。为此,提出了改进的 POA 算法求解贵州电网水电系统优化调度问题。对 POA 算法影响较大的主要是计算开始的初始可行解和每一阶段的具体求解方法。传统的 POA 算法对于初始状态没有明确的约束,但是不可忽视的是在不同的初始条件下得到最优结果所耗费的时间相差很大。传统的 POA 算法在进行寻优的时候常常采用一维遍历固定步长搜索法,导致的结果是如果步长较小,寻优精度较高则需要的时间较长,如果步长较大,寻优时间较短但精度较差。因此针对这 2 个方面进行了改进。

a. 获得初始可行解的方法。分 2 步获得初始可行解:将调度期按照径流量大小分成若干段,首先设定各段的起止水位,在各段时期内采用等流量调节,并在无法满足单站最小出力要求的时候,自动调整前面设置的水位。

一般情况下,前一步可以得到满足大多数约束条件的初始可行解,但是在设定的约束条件较为苛刻的时候,需要在前面得到的解的基础上,由上游电站到下游电站逐个采用动态规划方法继续寻找满足约束条件的可行解。

b. 子问题的求解方法。采用状态逐密的离散微分动态规划来解决每个子问题,其基本思想为:在初始可行解附近根据初始廊道宽度要求划出 1 条两个阶段的廊道,在廊道内采用动态规划求解最优轨迹代替初始轨迹,不断重复这一迭代过程,直至在这个廊道宽度要求下轨迹不再变化。重复该过程,并且廊道宽度由宽变窄逐步缩小,直到在精度要求范围内得到的轨迹不再变化为止。

表 1 常规方法计算结果

月份	系统出力/ MW	总发电量/ (亿 kW·h)	日均电量/ (亿 kW·h)	梯级蓄能/ (亿 kW·h)
1	1003	7	0	20
2	1001	7	0	17
3	1000	7	0	13
4	1000	7	0	14
5	1000	7	0	30
6	3380	24	1	56
7	3935	29	1	84
8	4158	31	1	94
9	3496	25	1	99
10	3048	23	1	90
11	2270	16	1	82
12	2570	19	1	67

3 模型的求解

采用 3 个离散点的廊道,设定初始廊道的宽度 ϵ (每个水库的 ϵ 不同),在廊道内进行一次动态规划计算得到新的调度线和新的廊道直至收敛;设 $\epsilon = \epsilon/2$,重复前述过程至满足精度要求。实现步骤如下:

- a. 得到初始解。
- b. 设第 m 个水库第 t 时段的水位 $Z_{m,t}$ 为固定值,由 $t=0$ 开始,固定 $Z_{m,t}$ 和 $Z_{m,t+2}$,由下面的步骤求解 $Z_{m,t+1}$ ①按照设定的初始廊道宽度 ϵ ,在初始的 $Z_{m,t+1}$ 上下得到初始廊道,由 s_m 代表廊道中的 3 个数值,即 $s_{m,0} = Z_{m,t+1} - \epsilon$, $s_{m,1} = Z_{m,t+1}$, $s_{m,2} = Z_{m,t+1} + \epsilon$ 。这样,所有 $Z_{m,t+1}$ 的组合在这一时段具有 3^M 个状态。②计算每一种状态组合下前后 2 个时段各电站的出力,在第 $b(0 \leq b \leq (3^M - 1))$ 个状态时,在 s_m 中得到各水库的水位 $z_{m,i,b}$,各电站在 b 状态时的出力由 $p_{\text{tmp}_{m,i,b}}$ 表示, $i=0$ 或 $i=1$ 。对于这里可能出现不满足约束条件的情况,按如下处理:不满足水量平衡,即出库流量为负,令 $p_{\text{tmp}_{m,i,b}} = -\infty$;不满足单站最小平均出力引入惩罚项, $f_{1_{m,i,b}} = 1000(p_{\text{min}_{m,i,t}} - p_{\text{tmp}_{m,i,b}})$;不满足系统最小平均出力引入惩罚项, $f_{2_{i,b}} = 1000(\min P_{\text{sum}_{i,t}} - \sum_{m=1}^M p_{\text{tmp}_{m,i,b}})$ 。最终考虑到惩罚的总出力为 $f_{i,b} = \sum_{m=1}^M (p_{\text{tmp}_{m,i,b}} - f_{1_{m,i,b}}) - f_{2_{i,b}}$ 。③采用动态规划的方法求解一个两时段的问题,求得最优的状态使得发电量 $f_{0,\text{bopt}}\Delta_t + f_{1,\text{bopt}}\Delta_{t+1}$ 最大,并按照前面的方法求得各库的最优水位。④重复①~③直到各库水位不再变化。⑤设 $\epsilon = \epsilon/2$,重复①~③,直到 ϵ 满足精度要求。
- c. 设 $j = j + 1$,重复 b 步直到 $j = T - 1$ 。

4 实例应用

对贵州电网调度的 11 座电站制定某年发电计划,设定各库初水位、末水位、区间径流相同,方案 1

表 2 优化方法计算结果(最小出力约束发电量最大)

月份	系统出力/ MW	总发电量/ (亿 kW·h)	日均电量/ (亿 kW·h)	梯级蓄能/ (亿 kW·h)
1	907	7	0	20
2	965	6	0	17
3	867	6	0	13
4	1419	10	0	11
5	2645	20	1	13
6	3382	24	1	36
7	4198	31	1	58
8	3788	28	1	66
9	2765	20	1	74
10	1387	10	0	77
11	1549	11	0	74
12	1585	12	0	67

按照常规方法计算,方案 2 采用优化方案暨保证最小出力 1000 MW 发电量最大。常规方法年发电量为 186.5215 亿 kW·h,采用优化方案后年发电量为 204.1275 亿 kW·h(见表 1、表 2),增加发电量约 17.6 亿 kW·h,增幅约为 9.44%,带来了可观的经济效益。

5 结 语

实际运行表明,通过改进的 POA 算法,可以有效地解决目前水电站群的联合优化调度问题,能够满足最小出力约束以及思林电站生态流量等要求,同时增加发电量。但是仍然存在维数问题,对于 11 座电站的求解速度偏慢,笔者将对这个问题进行进一步的研究。

参考文献:

[1] 梅亚东. 梯级水库防洪优化调度的动态规划模型及解法[J]. 武汉水利电力大学学报, 1999, 32(5): 10-13.

[2] HOWSON H R, SANCHO N G F. A new algorithm for the solution of multistate dynamic programming problem[J]. Mathematical Programming, 1975, 8(1): 114-116.

[3] 宗航, 周建中, 张勇传. POA 改进算法在梯级电站优化调度中的研究和应用[J]. 计算机工程, 2003, 29(17): 105-109.

[4] 罗强, 宋朝红, 雷声隆. 水库群系统非线性网络流规划法[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2001, 34(3): 22-26.

[5] 田峰巍, 解建仓. 用大系统分析方法解决梯级水电站群调度问题的新途径[J]. 系统工程理论与实践, 1998(5): 112-117.

[6] JENSON P A, HSING Wei-chu, DOAGLAS D C. Network flow optimization for water resources planning with uncertainties in supply and demand[R]. Austin: University of Texas, 1978.

[7] 梅亚东, 冯尚友. 网络流规划在水电站水库系统长期优化调度中应用[J]. 武汉水利电力学院学报, 1989, 22(2): 6-15.

[8] 李明, 张德福, 左海阳, 等. 人工神经网络在水库优化调度中的应用[J]. 东北水利水电, 2001(19): 34-36.

[9] 马光文, 王黎, WALTER G A. 水电站群优化调度的 FP 遗传算法[J]. 水力发电学报, 1996(4): 21-28.

(收稿日期: 2009-12-09 编辑: 高建群)