

具有预报信息的水电站群兴利优化调度模型

⑥
26-28

李爱玲

TV697.12

(北京市水文总站 北京 100038)

摘要 以黄河上游梯级水电站群为例,考虑水电站水库已有的短期或中长期预报方案,建立其优化调度模型。以该模型所确定的调度方案为依据,对黄河上游5座水电站的各种可能来水进行调度,从而对这些水电站的期望电能及其抽样误差作出分析。结果表明,预报信息对于合理地预估总电能具有一定意义。

关键词 梯级水电站 优化调度模型 电能 预报信息 抽样误差

水库群

预报信息对于水电站水库群的合理运用以及提高水电站群的运行效益是有积极意义的。在有些时候,水库群是备有短期或中长期预报方案的,关于这些预报信息对于提高水电站水库群的运行效益有何作用,是个值得研究的问题。目前,关于这方面的研究较少。本文旨在通过对黄河上游梯级水电站群考虑预报误差情况下的电能状况分析,就这一问题进行探讨。

1 梯级水电站简况

黄河上游有龙羊峡、刘家峡、盐锅峡、八盘峡和青铜峡5座水电站先后投产运行,装机容量分别为128万kW,116万kW,35.2万kW,16万kW,27.2万kW,梯级总装机为322.4万kW,其中,龙羊峡为多年调节水库,刘家峡为年调节水库,盐锅峡、八盘峡、青铜

峡为日或周调节水库。该梯级水电站以发电为主,兼顾灌溉、防洪和防凌等任务。其系统概化图见图1。

2 数学模型

2.1 入流描述

黄河上游梯级水电站的入流主要有龙羊峡水库入流、龙一刘(龙羊峡至刘家峡)区间入流和盐一八(盐锅峡至八盘峡)区间入流。选用平水年($P=50\%$)、丰水年($P=30\%$)和枯水年($P=70\%$)3种典型年的龙羊峡入库径流过程和龙一刘区间的入流过程作为龙羊峡水库和龙一刘区间径流的预报值,且预报误差为10%,20%,30%。为简化起见,假定各时段龙羊峡水库和龙一刘区间的实际来水服从均值为预报值、均方差为预报误差的独立正态分布。因此,龙羊峡入流可用各时段

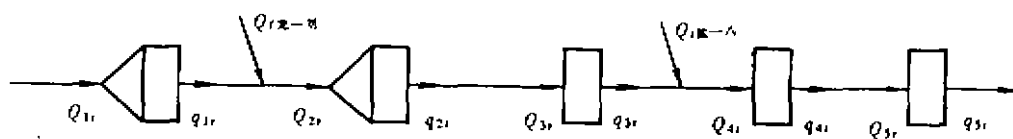


图1 系统概化图

作者简介:李爱玲,女,博士,高级工程师,从事水资源系统分析研究,曾发表《新疆渭干河黑孜水库年径流随机数学模型的建立》等论文。

均值为预报入流量,变差系数为0.1,0.2,0.3的正态频率分布曲线来描述;类似地,龙一刘区间入流亦可采用相应的正态频率分布曲线描述。盐一八区间的入流则根据历史径流建立盐一八区间入流与龙羊峡入流和龙一刘区间入流的二元回归方程,即

$$\hat{Q}_{t, \text{盐一八}} = aQ_{t, \text{龙}} + bQ_{t, \text{龙一刘}} + c \quad (1)$$

式中 $\hat{Q}_{t, \text{盐一八}}$ 为 t 时段盐一八区间的入流估计值; $Q_{t, \text{龙}}$ 为 t 时段龙羊峡入流; $Q_{t, \text{龙一刘}}$ 为 t 时段龙一刘区间入流; a, b, c 为回归系数。

2.2 目标函数与约束条件

2.2.1 目标函数

在预报入流量已知的情况下,如果预报误差服从某种频率分布,此时的优化调度问题从本质上分析属于随机优化调度问题,故可以采用在各种可能来水及其出现频率的情况下,各时段的效益期望值最大作为优化调度准则。由此可以写出目标函数和递推方程如下:

$$F_t(V_{1t}, V_{2t}) = \max_{q_{1t}, q_{2t}} \sum P(Q_{1t}, Q_{2t}) \cdot [N_t(Q_{1t}, Q_{2t}, V_{1t}, V_{2t}, q_{1t}, q_{2t}) + F_{t+1}(V_{1t+1}, V_{2t+1})] \quad (2)$$

式中 $F_t(V_{1t}, V_{2t})$ 为 t 时段龙库(龙羊峡水库)和刘库(刘家峡水库)的蓄水状态分别为 V_{1t}, V_{2t} 时,由 t 时段到 T 时段的最优效益期望值; $F_{t+1}(V_{1t+1}, V_{2t+1})$ 为 t 时段末龙库和刘库的蓄水状态分别为 V_{1t+1}, V_{2t+1} 时,从 $t+1$ 时段到 T 时段的最优效益期望值(余留期效益); $N_t(Q_{1t}, Q_{2t}, V_{1t}, V_{2t}, q_{1t}, q_{2t})$ 表示 t 时段龙库来水为 Q_{1t} , 时段初蓄水状态为 V_{1t} , 采取放水决策 q_{1t} , 刘库来水为 Q_{2t} , 时段初蓄水状态为 V_{2t} , 采取时段放水决策 q_{2t} 时面临时段的效益值; $P(Q_{1t}, Q_{2t})$ 为龙库和刘库来水的联合分布函数。根据前面的假定,式(2)可改写为

$$F_t(V_{1t}, V_{2t}) = \max_{q_{1t}, q_{2t}} \sum P(Q_{1t}) P(Q_{2t}) \cdot [N_t(Q_{1t}, Q_{2t}, V_{1t}, V_{2t}, q_{1t}, q_{2t}) + F_{t+1}(V_{1t+1}, V_{2t+1})] \quad (3)$$

2.2.2 约束条件

蓄水位约束

$$V_{\min i} \leq V_{it} \leq V_{\max i} \quad (i = 1, 2) \quad (4)$$

放水约束

$$q_{\min i} \leq q_{it} \leq q_{\max i} \quad (i = 1, 2) \quad (5)$$

出力约束:

①各水电站的出力约束

$$N_{\min i} \leq N_{it} \leq N_{\max i} \quad (i = 1, 2, \dots, 5) \quad (6)$$

②总出力约束

$$N_{\min t} \leq N_t = \sum_{i=1}^5 N_{it} \leq N_{\max t} \quad (7)$$

③各水电站的出力由下式计算

$$N_{it} = \eta_i q_{it} H_{it} \quad (8)$$

水量平衡方程

$$V_{it} + Q_{it} = V_{i,t+1} + q_{it} \quad (i = 1, 2) \quad (9)$$

关联方程

$$Q_{2t} = q_{1t} + Q_{t, \text{龙一刘}} - W_{t, \text{龙一刘}} \quad (10)$$

$$Q_{3t} = q_{2t} = q_{3t} \quad (11)$$

$$Q_{4t} = q_{3t} = Q_{t, \text{盐一八}} - W_{t, \text{盐一八}} = q_{4t} \quad (12)$$

$$Q_{5t} = q_{4t} - W_{t, \text{八一青}} = q_{5t} \quad (13)$$

保证率约束

$$N_t = \sum_{i=1}^5 N_{it} \quad \left(\sum_{i=1}^5 N_{it} \geq N_p \text{ 时} \right) \quad (14a)$$

$$N_t = \sum_{i=1}^5 N_{it} - \alpha (N_p - \sum_{i=1}^5 N_{it})^\beta - M \quad \left(\sum_{i=1}^5 N_{it} < N_p \text{ 时} \right) \quad (14b)$$

式中 $V_{\min i}, V_{\max i}, V_{it}$ 分别为 i 库 t 时段的最低容许蓄水状态、最高容许蓄水状态及时段初蓄水状态, m^3 ; $q_{\min i}, q_{\max i}, q_{it}$ 分别为 i 库 t 时段的最小容许放水量、最大容许放水量及决策放水量, m^3/s ; $N_{\min i}, N_{\max i}, N_{it}$ 分别为 i 库 t 时段的最小容许出力、最大容许出力以及决策出力, kW ; $N_{\min t}, N_{\max t}, N_t$ 分别为系统 t 时段最小容许出力、最大容许出力及决策出力, kW ; Q_{it} 为 i 库 t 时段的来水量, m^3/s ; $Q_{t, \text{龙一刘}}, Q_{t, \text{盐一八}}$ 分别为龙一刘区间和盐一八区间来水量, m^3/s ; $W_{t, \text{龙一刘}}, W_{t, \text{盐一八}}, W_{t, \text{八一青}}$

表1 黄河上游5座水电站各典型年的期望电能及其抽样误差

水电站	丰水年						平水年						枯水年					
	10%		20%		30%		10%		20%		30%		10%		20%		30%	
	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差	电能/标准 亿kW·h 差
龙羊峡	61.00	1.27	60.45	2.39	59.88	3.57	52.25	1.44	52.30	2.83	52.44	3.99	48.41	0.86	48.26	1.77	48.17	2.71
刘家峡	69.78	0.19	69.60	0.59	69.21	1.19	63.43	1.03	63.16	1.97	62.83	2.67	60.22	0.84	59.83	1.54	59.44	2.12
盐锅峡	24.17	0.12	24.19	0.22	24.17	0.38	22.61	0.36	22.56	0.65	22.51	0.85	21.34	0.22	21.42	0.45	21.51	0.66
八盘峡	11.95	0.03	11.95	0.07	11.94	0.12	11.61	0.09	11.57	0.18	11.53	0.25	11.07	0.09	11.07	0.18	11.08	0.26
青铜峡	13.16	0.05	13.16	0.10	13.13	0.18	12.46	0.14	12.42	0.26	12.38	0.36	11.68	0.11	11.71	0.21	11.72	0.31
合计	180.06	1.38	179.35	2.93	178.32	4.88	162.36	2.97	162.02	5.71	161.69	7.80	152.72	1.94	152.29	3.82	151.92	5.61

分别为龙—刘区间、盐—八区间和八—青区间用水量, m^3/s ; H_{it} 为 i 水电站水库 t 时段的水头, m ; η_i 为 i 水电站的出力系数; α, β, M 分别为罚系数; N_p 为保证出力, kW 。

由此, 方程(3)及方程组(4)~(7), (9)~(14)组成该问题的优化调度模型。

上述模型的求解可采用值迭代法, 即首先假定时段末潜在的余留期效益曲线, 由递推式(4)逆时序递推, 反复迭代, 直至收敛。

3 计算成果与分析

以优化调度模型所确定的调度方案为依据, 对黄河上游5座水电站的各种可能来水进行调度, 从而对期望电能及其抽样误差作出分析。因此, 首先应进行入流的模拟, 然后进行调度计算。

在考虑预报信息情况下, 预报入流只是实际可能来水总体的一个样本。此时的径流模拟则是根据预报入流量和预报误差, 对可能的来水在一定的范围内进行模拟。即

$$Z_t = Z_{t\text{预}} + \epsilon_t \quad (15)$$

式中 Z_t 为 t 时段的模拟入流值; $Z_{t\text{预}}$ 为 t 时段的预报入流值, ϵ_t 表示均值为0, 变差系数为0.1, 0.2, 0.3的独立正态分布随机变量。式(15)可改写为

$$Z_t = Z_{t\text{预}} + \sigma_{t\text{预}}\xi_t \quad (16)$$

式中 $\sigma_{t\text{预}}$ 表示 t 时段预报入流的标准差; ξ_t 表示正态分布随机变量。由此, 即可根据各时段的预报入流和预报误差, 对该时段的来水进行模拟。本文分别模拟出预报误差为10%, 20%, 30%的三组样本序列(长度为500), 在此

基础上, 采用相应的模型进行调度, 其各典型年的期望电能和抽样误差列于表1。

由表1可见, 随着预报误差的增加, 各典型年的总电能都略有下降, 即预报越准确, 则期望的总电能越高, 但下降幅度不大。另一方面, 随着预报误差的增大, 各电站的期望电能的抽样误差都呈现增大的趋势, 即预报精度越高, 由此得出的电能的期望值也越准确, 这一结果在直观上是合理的。

4 结 语

本文以黄河上游梯级水电站水库群为例, 对具有预报信息情况下的电能效益及其抽样误差状况进行了分析和探讨。结果表明, 预报信息对于合理地预估总电能的期望值和总电能的抽样误差是有一定意义的。目前, 中长期预报的精度尚不高, 但作为一种趋势性预测, 根据其指示的电能及抽样误差情况, 是可以为有关部门合理安排生产提供依据和参考的。

参考文献

- Gal S. Optimal management of stochastic multireservoir water supply system. Water Resour Res, 1979, 15(4): 737~749
- Turgeon A. Optimal operation of multireservoir power systems with stochastic inflows. Water Resour Res, 1980, 16(2): 275~283
- 张勇传主编. 优化调度理论在水库调度中的应用. 长沙: 湖南科技出版社, 1985
- 董子敖编著. 水库群调度与规划的优化理论和应用. 济南: 山东科技出版社, 1989

(收稿日期: 1997-03-17 编辑: 马敏峰)