

# 宝珠寺水电站水库优化调度浅析

张玉惠, 冯权龙

(四川省电力公司, 四川 成都 610061)

摘要: 随着四川发电电力市场的开放和分时电价制度的实施, 以发电量最大作为目标已不能适应水电站优化调度的要求, 文章提出了丰枯分时电价条件下水电站水库长期优化调度的数学模型, 并以宝珠寺电站为例, 研究结果说明了模型的合理性及可行性。

关键词: 宝珠寺水电站; 电力市场; 水资源; 水库; 优化调度

中图分类号: TV 697. 1+1

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(1999)增-0082-03

## 1 分时电价下水库优化调度数学模型

### 1.1 目标函数

在分时上网电价  $B_t, t=1, 2, 3, \dots, T$  给定的前提下, 水电站年收益决定于年内所有时段电价与上网电量的乘积之和, 即最优化的目标为:

$$F = \max_{t=1}^T (B_t \cdot A \cdot Q_t \cdot H_t \cdot M_t) \quad (1)$$

式中  $Q_t$  为电站第  $t$  时段决策流量 ( $m^3/s$ );

$M_t$  为电站第  $t$  时段的发电小时数;

$A$  为电站出力系数;

$H_t$  为电站第  $t$  时段平均发电净水头 ( $m$ );

对于年内逐月的优化调度,  $T$  为年内总月数,

$$T = 12;$$

对于年内逐旬的优化调度,  $T$  为年内总旬数,

$$T = 36;$$

对于月内逐日的优化调度,  $T$  为月内总日数。

### 1.2 约束条件

#### (1) 水量平衡约束

$$V_{t+1} = V_t + RQ_t - Q_t - S_t \quad \forall t \in T \quad (2)$$

式中  $V_{t+1}$  为第  $t$  时段末水库蓄水量 ( $m^3$ );

$V_t$  为第  $t$  时段初水库蓄水量 ( $m^3$ );

$RQ_t$  为水库第  $t$  时段入库流量 ( $m^3$ );

$S_t$  为水库第  $t$  时段弃水流量 ( $m^3$ );

其它符号意义同前。

#### (2) 水库蓄水量约束

$$V_{t,\min} \leq V_t \leq V_{t,\max} \quad \forall t \in T \quad (3)$$

式中  $V_{t,\min}$  为第  $t$  时段应保证的水库最小蓄水量 ( $m^3$ );

$V_t$  为第  $t$  时段的水库蓄水量 ( $m^3$ );

$V_{t,\max}$  为第  $t$  时段允许的水库最大蓄水量 ( $m^3$ ), 如汛期防洪限制等;

#### (3) 水库下泄流量约束

$$Q_{t,\min} \leq Q_t \leq Q_{t,\max} \quad \forall t \in T \quad (4)$$

$$S_t \geq 0 \quad \forall t \in T$$

式中  $Q_{t,\min}$  为第  $t$  时段应保证的最小下泄流量 ( $m^3/s$ );

$Q_{t,\max}$  为第  $t$  时段最大允许下泄流量 ( $m^3/s$ );

#### (4) 电站出力约束

$$N_{\min} \leq A \cdot Q_t \cdot H_t \leq N_{\max} \quad \forall t \in T \quad (5)$$

式中  $N_{\min}$  为允许的最小出力 (MW);

$N_{\max}$  为电站允许最大出力 (MW);

其它符号意义同前。

#### (5) 非负条件约束

上述所有变量均为非负变量 ( $\geq 0$ )。

在水库(电站)入库径流序列  $RQ_t (t=1, 2, \dots, T)$  已知的前提下, 则上述优化调度数学模型的求解便是一个含有线性和非线性、等式和不等式约束, 目标函数呈非线性的动态控制问题, 本文采用动态规划方法求解。

## 2 算例及计算成果分析

宝珠寺水电站位于四川省广元市境内白龙江下游宝轮镇附近, 为白龙江干流中下游开发的第二个梯级。坝址控制流域面积 28 428  $km^2$ , 占全流域的 89.4%, 多年平均流量 322  $m^3/s$ 。该电站工程等级为一等, 主要建筑物级别为一级, 枢纽大坝设计洪水标准采用千年一遇, 校核洪水标准采用万年一遇, 水库正常蓄水位 588.0 m (汛限水位 583.0 m), 死水位 558.0 m, 水库消落深度达 30 m 左右, 调节库容达 13.4 亿  $m^3$ , 水库具有不完全年调节性能。电站设计引用流量 956  $m^3/s$ , 单机最大过流能力 239  $m^3/s$ , 设计水头 84.4 m, 电站装机容量  $4 \times 175 MW$ 。宝珠寺电站是四川电网的骨干电源之一, 主要担负四川电力系统的调峰、调频任务, 能较好地改善系统的

运行条件,在电站发电的同时,还可获得显著的防洪、航运及灌溉等综合利用效益。它的运行方式的好坏,不仅影响电站自身的经济效益,而且对四川电网的安全与经济运行起着举足轻重的作用。特别是,四川电网在发电电力市场实行竞价上网以来,对装机 2 000 kW 及以上的水电厂,实行分时电价,丰枯浮动范围:丰期下浮 25%,枯期上浮 50%,平水期为基准电价;峰谷浮动幅度为:不分季节峰段上浮 33.5%,谷段下浮 50%,平段为基准电价。这样,对相同年上网电量而言,由于丰枯水期和峰谷上网电价的明显差别,会导致电厂的收益有较大的差别。因此,在分时电价下,研究宝珠寺水库(电站)的运行方式,具有重要意义和学术价值。

鉴于宝珠寺水库具有季调节性能,本论文着重研究宝珠寺水库(电站)的长期运行方式,研究内容包括长期和短期优化运行两大部分。长期优化运行

是研究周期为年,时段为月(或旬)的水电站运行方式,根据历史径流序列进行优化调度计算。短期优化运行是以长期优化运行的结果作为边界条件,结合径流序列预报,进一步研究月内逐日的电站运行方式。应用上述模型和方法编制了宝珠寺电站优化调度软件包,对 1960 年 5 月~ 1996 年 4 月共 36 年的入库月流量采用非枯水期各时段出力有、无大于枯水期出力限制两种方案(方案 I、方案 II)分别以 9 月上旬与 10 月上旬开始从限制水位 583.0 m 起蓄两种情况进行了年内逐月长系列优化操作;并对方案 I、II 不同频率代表年份(实际年)分别以 9 月上、中、下旬及 10 月上旬开始从限制水位 583.0 m 起蓄共 32 种方案以旬为时段进行优化调度计算,不同代表年的优化成果见表 1 和表 2。从表中优化结果分析可以看出:

表 1 宝珠寺水电站不同蓄水方案代表年优化调度成果表  
(以月为计算时段)

方 案	上蓄 时间	1967-05~ 1968-04 (P = 5%)		1973- 05~ 1974-04 (P = 50%)		1972-05~ 1973-04 (P = 75%)		1969-05~ 1970-04 (P = 95%)	
		年发电量 /亿 kW · h	枯期出力 /万 kW	年发电量 /亿 kW · h	枯期出力 /万 kW	年发电量 /亿 kW · h	枯期出力 /万 kW	年发电量 /亿 kW · h	枯期出力 /万 kW
方案 I	9 月上旬	32 896	21.6	23 133	17.6	17.379	15.6	13 588	15.6
	10 月上旬	32 430	21.6	22 935	17.6	17.302	14.6	13 588	15.6
方案 II	9 月上旬	32 896	21.6	23 458	17.6	17.815	15.9	14 863	16.6
	10 月上旬	32 430	21.6	23 261	17.6	17.731	15.9	14 759	16.6

备注: 方案 I、II 分别为非枯期各时段出力有、无大于枯期出力的限制; 蓄水时间 9 月及 10 月上旬分别表示自 9 月 1 日及 10 月 1 日从限制水位起蓄。

表 2 宝珠寺水电站不同蓄水方案代表年优化调度成果表  
(以旬为计算时段)

方 案	上蓄 时间	1967-05~ 1968-04 (P = 5%)		1973-05~ 1974-04 (P = 50%)		1972-05~ 1973-04 (P = 75%)		1969-05~ 1970-04 (P = 95%)	
		年发电量 /亿 kW · h	枯期出力 /万 kW	年发电量 /亿 kW · h	枯期出力 /万 kW	年发电量 /亿 kW · h	枯期出力 /万 kW	年发电量 /亿 kW · h	枯期出力 /万 kW
方案 I	9 月上旬	33 157	21.7	23 234	17.7	17.404	15.5	13 648	16.1
	9 月中旬	33 016	21.7	23 147	17.7	17.361	15.5	13 589	15.9
	9 月下旬	32 724	21.7	23 087	17.7	17.398	15.2	13 646	16.1
	10 月上旬	32 644	21.7	23 022	17.7	17.334	14.5	13 646	16.1
方案 II	9 月上旬	33 260	21.7	23 605	17.7	17.843	15.5	14 871	16.2
	9 月中旬	33 119	21.7	23 518	17.7	17.798	15.5	14 846	16.2
	9 月下旬	32 827	21.7	23 458	17.7	17.761	15.5	14 824	16.2
	10 月上旬	32 747	21.7	23 393	17.7	17.728	15.5	14 793	16.2

备注: 方案 I、II 分别为非枯水期各时段出力有、无大于枯期出力的限制; 蓄水时间 9 月上、中、下及 10 月上旬分别表示自 9 月 1 日、11 日、21 日及 10 月 1 日从防洪限制水位起蓄。

按年平均流量频率  $P = 5\%$ 、 $50\%$ 、 $95\%$  三个代表年统计, 方案 I、II 以月为时段, 不同起蓄时间(9 月及 10 月上旬开始自限制水位  $583.0\text{ m}$  上蓄水库正常蓄水位  $588.0\text{ m}$ ) 的多年平均年发电量分别为  $23.21$ 、 $22.98$  亿  $\text{kW} \cdot \text{h}$  及  $23.74$ 、 $23.48$  亿  $\text{kW} \cdot \text{h}$ ; 方案 I、II 以旬为时段, 不同起蓄时间(9 月上、中、下旬及 10 月上旬开始自防洪限制水位起蓄) 的多年平均年发电量分别为  $23.35$ 、 $23.25$ 、 $23.15$ 、 $23.10$  亿  $\text{kW} \cdot \text{h}$  及  $23.91$ 、 $23.83$ 、 $23.70$ 、 $23.64$  亿  $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。与原设计报告(多年平均年发电量  $23$  亿  $\text{kW} \cdot \text{h}$ ) 相比, 优化调度经济效益较为显著。多年平均水量利用率约  $99\%$ , 水量利用程度明显提高。

需要说明的是, 在应用动态规划求解过程中, 水库水位离散点数  $m$  的取值对系列逐年优调结果有一定的影响, 水位离散点  $m$  取值愈大, 即水位离散间距愈小, 优调结果精度愈高, 模型目标值愈大; 但当离散间距小到一定程度时, 再增加  $m$  值对结果影响甚小, 目标值趋于稳定。

### 3 结论

通过前述水库(电站)长、短期优化运行方式的研究及长系列年内逐月、年内逐旬、短期月内逐日的分析计算, 可得以下几点结论:

(1) 通过对历史实测入库径流系列的长、短期优化运行方式的模拟分析, 说明了前述考虑分时电价

下水库(电站)长、短期优调模型的合理性、实用性。

(2) 本研究分别对 9 月上、中、下旬及 10 月上旬开始从限制水位  $583.0\text{ m}$  起蓄方案进行了分析计算, 计算表明: 宝珠寺水库早蓄可以显著提高电站发电收益, 不过, 具有一定的防洪风险。

(3) 汛期 6~9 月, 水库以防洪限制水位  $583.0\text{ m}$  控制蓄水; 汛末 10 月份及平水期 11 月份水库应尽早蓄水, 汛末 10 月份要结合洪水预报蓄水; 枯水期 12 月~翌年 4 月电站均匀出力。

(4) 本论文仅提出了年内丰枯电价下水电站水库长期优化调度模型的研究成果, 关于峰谷电价下水电站的优化调度有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 华中工学院 水电站经济运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984, 64~92
- [2] 新安江水力发电厂等 水电站水库调度[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983, 126~203
- [3] 马光文 水资源大系统优化技术[M]. 西安: 陕西科技出版社, 1992, 1~53
- [4] 许自达. 水电站水库调度与运行管理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993, 37~62

### 作者简介:

张玉惠(1952 年-), 女, 重庆人, 四川省电力工业局, 高级工程师, 从事水电科技项目管理工作。

冯权龙(1963 年-), 男, 陕西西安人, 四川省电力工业局, 高级工程师, 学士, 从事水火电工程的技术工作。

## 耿站闸坝自动观测系统通过验收

10 月 25 日, 四川映秀湾电厂耿站闸坝观测系统验收会在都江堰市举行。四川省电力局副局长晏玉清在会上指出, 耿站大坝自动化观测系统工程是成功的, 它的建成, 保障了大坝的安全运行, 为渔站、映站、太平驿电厂大坝的自动观测系统设计安装提供了宝贵的借鉴作用。并要求映秀湾电厂不仅要作好系统的资料保存、入库、建档工作。还要同南自院联合起来, 共同为该系统的进一步完善努力, 以提高系统的投运率, 确保大坝的安全运行。

耿站大坝位于阿坝州卧龙自然保护区境内, 该坝于 1986 年 5 月投运以来, 总体运行正常, 但在溢流段与非溢流段间发生  $29\text{ mm}$  的错位现象, 已严重影响门式启闭机的运行。1994 年四川省电力局组织专家对该坝进行了安全定检。

## 映站、渔站闸坝自动观测系统通过审查

10 月 26 日, 四川省电力局生技处组织专家教授专程到映秀湾发电厂, 对映站、渔站闸坝自动观测系统工程设计报告进行了审查并通过了该报告。

映秀湾电厂所辖映站、渔站闸坝, 位于岷江上游阿坝州汶川县境内。属 70 年代的水工建筑, 坝体内部的观测设施已大部分失效, 不能满足《混凝土坝安全监测技术规范》的要求。此次完成的设计方案系统将对坝体的变位、渗压、温度、水位等项目的物理量及数据的采集处理和异常测值报警等进行自动监测。它的建成, 不仅确保了大坝的安全运行, 还将

确定该坝运行基本正常, 在错位段须加强监测工作和采用先进的观测技术。但当时映秀湾电厂监测手段对数据不能及时处理分析。为了改进和提高该坝的安全监测水平, 1997 年 4 月省电力局生技处组织了耿站大坝的自动观测系统方案审查会, 经招标由南瑞大坝公司负责该项系统工程, 该系统以 10 个月枯期的高水位和汛期的低水位运行考验, 能满足大坝安全监测的有关规范要求。

10 月 25 日, 四川省电力局生技处组织由来自成都勘测设计研究院、四川电力试验院、四川大学水电学院、龚嘴电厂等 11 个单位的领导和专家组成的验收组对该项目进行验收, 专家们一致认为: 该系统各种功能达到合同的规范和要 求, 符合《混凝土大坝安全监测技术规范》的要求。

从根本上解决映秀湾电厂从传统的管理模式过渡到现代化管理模式的要求。

专家组在肯定“报告”系统功能的同时, 还就系统的测点布置、网络通信方式、测控单元的防雷保护等方面提出了审查意见。

参加此次审查的有来自四川大学、成都勘测设计研究院、四川电力试验院、四川大学水电学院、南京自动化研究院大坝所、龚嘴电厂等单位的领导和专家。

映电新闻中心 王志琦