

基于联合优化调度计算的水电站改造机组容量确定

齐 锋

(南阳市鸭河口水库工程管理局, 河南 南阳 474650)

摘要: 针对小型水电站增效扩容项目机组容量确定的问题, 以长系列径流资料为依据, 采用水库优化调度和水电站厂内经济运行联合计算模式, 对不同的水电站装机方案进行发电量计算。再统筹考虑原有水电站建筑物的基本条件、不同方案机组的价格、效益投资比等因素, 合理确定改造电站的装机容量。提出的基于联合优化调度计算确定水电站装机容量的模式, 比较符合电站的实际情况, 计算结果比常规的计算方法也更为准确。最后用实例对主要步骤进行了表述, 可供同类电站技术改造借鉴。

关键词: 优化调度; 联合计算; 技术改造; 机组容量确定

Determining of unit capacity in hydro-power rehabilitation based on combined optimal operation calculation

QI Feng

(Ya Hekou Reservoir Administration of Nanyang, Nanyang 474650, China)

Abstract: Aiming to the problem of determining unit capacity in small hydropower station synergistic expansion project, this paper calculates power generation of different installed partial project according to long series runoff data and based on a joint calculation mode of reservoir optimal regulation and economic operation in hydropower station. Considering other influence factors, such as the basic conditions of the original structures in hydropower station, the price of the hydraulic turbine group of the different programs, investment ratio and so on, the installed capacity of the hydropower station is determined reasonably. The model based on joint optimization to determine the installed capacity of hydropower station is proposed, it is more suitable for the actual situation of the power station, and the results is more accurate than the conventional method. Finally, some examples of the main steps are described to provide experiences for the technical reconstruction of the similar hydropower stations.

Key words: optimal operation; combined calculation; technological transformation; determined unit capacity

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2015)10-0149-06

0 引言

近年来, 随着环境污染和能源枯竭问题越来越严重, 可再生能源已经越来越多地受到世界各国的重视, 我国开发和利用可再生能源、优化能源结构的力度也不断加大^[1]。我国水能资源丰富, 水能资源是重要的可再生能源, 它的开发利用在经济社会发展中起着重要作用^[2], 特别是小水电能源在国家节能减排、保障能源供应等方面的地位也日益突出。

我国小水电的技术可开发量居世界第一位, 广泛分布在 1 700 多个山区县, 对水电服务偏远山区, 优化生态环境发挥着重要作用^[3]。我国的小型水电站约有五千余座, 总装机容量约占水电装机的四分之一左右, 大多于上世纪五十年代以来陆续建成。

到目前为止, 建成较早的部分小型水电站, 有的设备陈旧, 年久失修, 带病运行^[4]; 有的设计先天不足, 存在缺陷; 有的下垫面发生了变化, 径流资料和原来的装机规模不相适应等等。这些问题已经严重制约了电站的发展, 尤其是难以适应“目前我国电力市场的改革已经取得了重大进展, 厂网分开基本实现, 发电领域的竞争态势已经基本形成^[5]”的局面, 严重制约了我国电力系统智能电网建设工作的顺利开展^[6]。为了使发电企业适应电力市场改革的要求, 提高其参与市场竞争的能力, 需要分批分期陆续对这些电站进行技术改造或增效扩容改造。

水轮发电机组通过把水能转换为电能, 为人类提供了可循环利用的清洁能源^[7]。对于技术改造的水电站, 水轮发电机组容量的合理确定, 不仅关系

到机组的安全可靠运行,还会显著影响水电站的经济效益。但在实际的技术改造实施过程中,由于对水电站机组容量确定的重要性认识不足,以及受设计者的技术水平限制,在确定水电站装机容量时或多或少地存在着一些盲目性和随意性。有的仅用水库优化调度的成果来简单计算技术改造电站的装机容量^[8];有的仅侧重于适应水头范围内的机型选择^[9]。由于水电站系统本质上是一个水机电耦合系统^[10],水电站进行电能生产的过程,就是如何协调水库和水机电系统之间以及水机电系统各部分之间的运行问题,因此,在确定机组装机容量时,也应该将水库优化调度和机组组合^[11]等相关因素综合考虑进来。

本文将水库调度成果、水电站厂内优化运行成果、水电站建筑物的基本条件,效益投资比等因素进行综合考虑,在严谨计算和论证的基础上,提出一种切合实际的模式来确定改造电站的装机容量。

1 发电量计算模型

1.1 水库优化调度的动态规划模型

水库优化调度常采用动态规划模型。将调度周期进行等时段划分(如月或旬),用 T 表示阶段总数,时段 t 为阶段变量,则 $t=1,2,\dots,T$ 。求解时用相应的时刻 $t\sim t+1$ 表示面临时段,时刻 $t+1\sim$ 阶段末 T 为余留时段;各时段初水库库容 V 为状态变量;时段 t 的发电流量 Q_t 为决策变量。则水库优化调度的动态规划模型可表示如下。

1) 状态转移方程

水库状态方程为水量平衡方程。

$$V_{t+1} = V_t + Q_{r,t} - Q_t \quad (1)$$

式中: V_{t+1} 、 V_t 分别为水库第 $t+1$ 、 t 时段初的库容; $Q_{r,t}$ 为时段 t 内的入库流量; Q_t 为时段 t 内的发电流量。

2) 阶段效益函数和目标函数

阶段效益是衡量该阶段决策效果的数量指标。它是状态和决策的函数。在水电站增效扩容改造设计中,通常以水电站的发电量最大作为目标,而将防洪安全、灌溉及其他综合利用要求作为约束条件处理。

因此阶段效益函数为

$$E_t = f_t(V_t, Q_t, q_t) = \begin{cases} N_{\max} \cdot \Delta t & (N_t \geq N_{\max}) \\ N_t \cdot \Delta t & (N_{\min} \leq N_t < N_{\max}) \\ 0 & (N_t < N_{\min}) \end{cases} \quad (2)$$

目标函数为

$$E = \max \left\{ \sum_{t=1}^T f_t(V_t, Q_t, q_t) \right\} \quad (3)$$

式中: N_{\max} 、 N_{\min} 为电站装机容量和机组最小出力; N_t 为第 t 段电站的出力; Q_t 为第 t 段水电站过流量; E_t 为第 t 段电站的发电量; Δt 为发电时间。

3) 递推方程

$$E_{k+1}^*(V_{k+1}) = \max \{ f(V_k, Q_k, q_k) + E_k^*(V_k) \} \quad (4)$$

式中: $E_{k+1}^*(V_{k+1})$ 、 $E_k^*(V_k)$ 分别为第 $k+1$ 阶段和 k 阶段对应的最大发电量; $f(V_k, Q_k, q_k)$ 为第 k 阶段的效益函数。

在求解水库调度最优化问题时,通过逐阶段使用递推方程择优。

4) 约束条件

(1) 水库水位的约束为

$$\begin{cases} \text{非汛期} & Z_{\text{死}} \leq Z_t \leq Z_{\text{max}} \\ \text{汛期} & Z_{\text{死}} \leq Z_t \leq Z_{\text{汛}} \end{cases} \quad (5)$$

式中: Z_t 为 t 时刻水库的库水位; $Z_{\text{死}}$ 为水库的死水位; Z_{max} 为非汛期水库最高库水位(一般取正常蓄水位); $Z_{\text{汛}}$ 为汛期水库最高库水位(一般取汛限水位)。

(2) 除发电用水外的其他用水部门的用水约束: 灌溉、供水、生态等下游用水。

1.2 水电站厂内优化运行计算模型

对于并网运行的水电站,可分为定负荷和定流量两种运行方式^[12]。所谓定负荷运行方式,就是由电网下达负荷指标,电站以确定的负荷运行,定流量运行方式则没有负荷指标,电站可自主调度发电流量运行。通常具有水量调节能力的大、中型水电站,大多以定负荷方式运行;径流式大、中型电站通常多以定流量方式运行;在日常运行中,由于小水电无库容、调节能力差、季节性强等因素,大部分小水电不能随日负荷曲线的峰谷变化而调整出力^[13];小型水电站只有在电网负荷的极端峰、谷期,需要调峰或限荷,才会偶尔、短期地定负荷运行,其他绝大多数时间均为定流量运行方式。

1) 定负荷运行的目标函数

定负荷运行方式追求的是在满足负荷指标的前提下,电站的总耗水量最小,因此目标函数为

$$\min Q_{\text{总}} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{n(t)} Q_{i,t}(N_{i,t}, h_{i,t}) \quad (6)$$

式中: $Q_{\text{总}}$ 为计算期内整个电站的总耗流量; $Q_{i,t}(N_{i,t}, h_{i,t})$ 表示 t 时段第 i 台机组负荷为 $N_{i,t}$ 时的

耗流量； $h_{i,t}$ 表示 t 时段第 i 台机组负荷为 $N_{i,t}$ 时的工作水头； $n(t)$ 为电站机组总台数； T 为调度期内总计算时段数。

2) 定流量运行的目标函数

定流量运行方式追求的是在发电流量一定的前提下，电站总发电量最大，因此目标函数为

$$\max E_{\text{总}} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{n(t)} N_{i,t} (Q_{i,t}, h_{i,t}) \cdot \Delta t \quad (7)$$

式中： $E_{\text{总}}$ 为计算期内整个电站的总发电量； $N_{i,t}(Q_{i,t}, h_{i,t})$ 表示 t 时段第 i 台机组耗流量为 $Q_{i,t}$ 时的出力值； Δt 为计算时段的时间长度。

3) 递推方程

(1) 定流量运行方式的递推方程

$$N_k^*(Q) = \max_{Q_k} [N_k(Q_k) + N_{k-1}^*(Q - Q_k)] \quad (8)$$

式中： $N_k(Q_k)$ 为第 k 阶段面临阶段效益(分配流量为 Q_k 时对应的最优出力)； $N_k^*(Q)$ 为第 k 阶段最优出力值； $N_{k-1}^*(Q - Q_k)$ 为第 $k-1$ 阶段最优出力值。

(2) 定负荷运行方式的递推方程

$$Q_k^*(N) = \max_{N_k} [Q_k(N_k) + Q_{k-1}^*(N - N_k)] \quad (9)$$

式中： $Q_k(N_k)$ 为第 k 阶段面临阶段效益(分配流量为 N_k 时对应的最优流量)； $Q_k^*(N)$ 为第 k 阶段最优流量值； $Q_{k-1}^*(N - N_k)$ 为第 $k-1$ 阶段最优流量值。

4) 约束条件

(1) 机组出力约束为

$$N_{i,\min} \leq N_{i,t} \leq N_{i,\max} \quad (10)$$

式中， $N_{i,\min}$ 、 $N_{i,\max}$ 分别为 t 时段第 i 台机组对应的最小和最大出力限制值。

(2) 机组水头约束为

$$h_{i,\min} \leq h_{i,t} \leq h_{i,\max} \quad (11)$$

式中： $h_{i,\min}$ 、 $h_{i,\max}$ 分别为 t 时段第 i 台机组对应的最小和最大水头值。

(3) 机组流量约束为

$$Q_{i,\min} \leq Q_{i,t} \leq Q_{i,\max} \quad (12)$$

式中： $Q_{i,\min}$ 、 $Q_{i,\max}$ 分别为 t 时段第 i 台机组对应的最小和最大过流量。

2 鸭河口水电站装机容量确定

2.1 鸭河口水电站基本情况

鸭河口水库位于长江流域汉江支流白河上游，1960年建成拦洪蓄水，控制流域面积3030 km²。总库容13.39亿 m³，多年平均径流量10.9亿 m³。

是一座以防洪、灌溉为主，兼顾工业及城市用水，结合发电、养鱼等综合利用的大型水利枢纽工程^[14]。水库大坝、泄洪建筑物于2012年完成了除险加固工作。鸭河口水电站共两座，均为坝后式，左岸电站安装1360 kW水轮发电机组两台，1965年并网发电；右岸电站装机容量为3×3000 kW，1982年并网发电，总装机容量11720 kW。两座电站实际运行都超过了三十年，尽管水电站的水工建筑物运行良好，但水电站的机电设备陈旧老化、技术落后，不仅影响安全稳定运行，也制约了电站经济效益的发挥，现已列入了国家2014年度必须实施完成的增效扩容改造项目。

2.2 鸭河口水电站水文资料分析

水能复核入库径流采用1960~2007年实测径流资料。多年平均径流量为10.9亿 m³，水库兴利调节库容为7.62亿 m³，库容系数 β 的计算公式^[15]为

$$\beta = V_{\text{兴}} / \overline{W}_{\text{年}} \quad (13)$$

式中： $V_{\text{兴}}$ 为水库兴利库容； $\overline{W}_{\text{年}}$ 为多年平均径流量。由式(13)计算得库容系数为69.91%，属于多年调节水库。鸭河口水库多年平均入库径流过程如图1所示，由采用的长系列资料所计算得的年平均径流量为10.46亿 m³，与设计值10.9亿 m³差别较小，所选取的长系列径流资料具有可靠性。由图1可知，多年来鸭河口水库的径流除个别特丰或特枯年份外，整体的来水趋势波动不大，较为稳定，所以由此长系列计算得到的水能结果具有代表性。

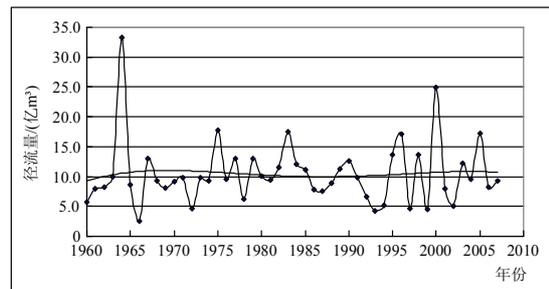


图1 鸭河口水库多年径流量过程线及趋势线

Fig. 1 Hydrograph and trend line of Ya-Hekou reservoir annual runoff

由多年月平均来水资料可求得年平均径流量，运用皮尔逊III型曲线对径流资料拟合处理，结果如图2所示。

此次设计所选取的1960~2007年的长系列径流资料中，既包含有对应频率5%以下的特丰年，例如1964年年径流量33.25亿 m³；又包含有对应频率90%以上的特枯年，例如1966年对应流量2.50

亿 m³。另对应一般频率 75%的枯水年和 25%的丰水年的年径流过程线，参照多年月平均径流过程线比较，示意图如图 3。

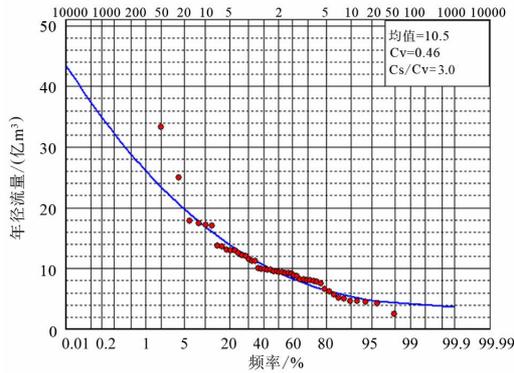


图 2 P-III型频率曲线适线

Fig. 2 The most fit line of P-III frequency curve

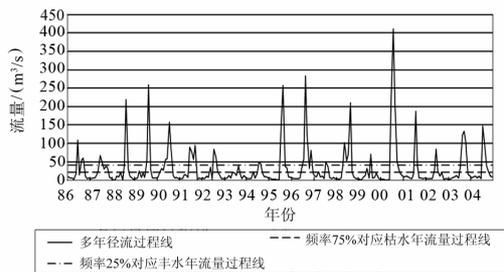


图 3 多年径流与 P-III曲线对应丰枯水年流量线示意图

Fig. 3 Schematic diagram of annual runoff, P-III frequency curve and flow procedure lines in wet and dry years

由图 3 可以看出,1960 年~2007 年长系列径流资料中包含了丰平枯典型年,同时多年平均径流量与设计值相差不大,因此所选取的径流资料比较完善,具有一定的代表性、合理性和可靠性。

2.3 鸭河口水电增效扩容改造装机容量确定

2.3.1 水能复核初步估算

运用式(4)对鸭河口水库电站所选取的长系列水文资料进行水能初步复核,在兼顾考虑灌溉、供水、生态流量等约束的情况下,水库优化调度后的理论弃水量仍为 1.59 亿 m³,弃水较多,表明原有的水电站装机容量未能达到充分利用水能资源的目的,电站存在一定增容的空间。

2.3.2 联合优化计算与方案比较

水电站增容的幅度既受富裕水量的制约,也要充分考虑和既有的水电站建筑物相适应。通过对鸭河口水电站的流道、机墩、厂房吊车牛腿等建筑物和承重构件的校核表明,在不对土建部分进行大的工程改动前提下,右岸电站的最大单机容量不宜超

过 4 000 kW,左岸电站的最大单机容量不宜超过 2 000 kW。依据水电站原有转轮室的尺寸和 14~29 m 的水轮机工作水头变幅,选择左、右岸分别为保持原装机容量不变的水轮机机型(方案一)、左岸电站两台(2×1 600) kW+右岸(3×3 600) kW 的水轮机机型(方案二)、左岸电站两台(2×2 000) kW+右岸(3×4 000) kW(方案三)的水轮机机型进行联合优化计算与方案比较。

(1) 联合优化计算原理

常规的水库优化调度采用公式 $N = K \cdot Q \cdot H$ 计算水电站的出力,其中 K 为综合出力系数; Q 为发电流量; H 为发电净水头。无论发电流量和发电净水头如何变化, K 值均由设计者凭经验取为一个定值,没有和水电站机组的特性联系起来,而水轮机的效率在不同的工作水头和工作流量下,效率变化幅度有时会很很大,因此常规的计算方法所得出的计算结果,明显和实际情况不相符合。

本文的水能计算,对于定流量运行方式,在给定的上游库水位时段,以水库调度所分配的发电流量 Q 为桥梁,依据下游尾水流量关系,确定出下游尾水位,扣除引水系统的水头损失,可得出水电站的发电净水头 H ,将式(4)和式(8)联立,用式(4)进行厂内优化运行计算,得到机组间最佳流量匹配的最大出力,再乘以持续时间可得该时段的发电量;再用式(8)逐段递推,便可得出调度周期内的总发电量。

小型水电站采用定负荷方式的运行机会很少,即便有也持续的时间很短。对于定负荷运行方式,是将式(4)和式(9)联立,基本原理类似,和定流量方式的最大区别在于要根据给定的电站总负荷,根据机组间的负荷最佳匹配,先试算出对应的最小发电流量和发电净水头,再依据持续时间得出定负荷运行时段的发电量;定负荷运行方式所消耗的总水量,一般不会超过一个调度时段的总水量,剩余的水量仍然按照定流量方式运行。

(2) 电站总装机容量确定

上网电价按照 0.344 元/kWh 计算,则鸭河口水库电站增效扩容三种方案水能计算结果比较如表 1 所示。

随着装机容量的增加,发电量增加,水库的弃水量减少,水力资源的利用程度也随之增加。特别是方案二和方案一相比较,效益显著。

通过查阅国内目前水电设备的价格情况以及向厂家询价,对两种增容方案给出水轮发电机组的参考价格,则不同增容装机方案综合比较如表 2。

表 1 不同装机方案水能计算结果对比表

Table 1 Comparative table of the hydropower calculation results about different installed partial project

名称	多年平均 发电量/ (万 kWh)	多年平均弃 水量/(亿 m ³)	年发电 效益/ 万元	年利用小 时数/h
方案一	3 912.00	1.59	1 345.73	3 338
方案二	4 448.41	1.49	1 530.25	3 177
方案三	4 559.41	1.28	1 568.44	2 850

表 2 不同装机方案经济比较

Table 2 Economic comparison of the different installed partial project

名称	年平均 发电量/ (万 kWh)	年增发效 益/万元	较更新原机组 增加投资/ 万元	效益投 资比
方案二	4 448.41	184.52	224	0.82
方案三	4 559.41	222.71	417	0.53

方案三与方案二相比较,多年平均发电量仅增加 111 万 kWh,年发电效益只增加 38.23 万元,但仅水轮发电机组一项,投资就增大了接近两百万元,其投资效益比并不明显,效益投资比较小。

考虑到左岸电站单机增容到 2 000 kW,右岸电站单机增容到 4 000 kW,建筑物的承载能力已经达到了理论的极限,方案三与方案二相比增加的效益较小,综合考虑运行安全和经济因素,鸭河口水电站增效扩容改造的最终装机容量采用方案二。

3 结语

本文提出的基于联合优化调度计算确定水电站装机容量的模式,更加符合实际情况,计算结果比常规的计算方法也更为准确;本文提出的基于联合优化调度计算确定水电站装机容量的模式规范,具有一定的普遍使用意义,可为同类水电站技术改造确定装机容量时借鉴;随着小型水电站综合自动化水平的提高,联合优化调度的计算成果可为后期在水电站微机监控平台下实现真正的厂内优化运行^[16]提供技术支持。

参考文献

[1] 姚致清,于飞,赵倩,等.基于模块化多电平换流器的大型光伏并网系统仿真研究[J].中国电机工程学报,2013,33(36):27-33.
YAO Zhiqing, YU Fei, ZHAO Qian, et al. Simulation research on large-scale PV grid-connected systems based

on MMC[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(36): 27-33.

[2] 张基尧.新环境条件下对水电发展的再认识[J].电网与清洁能源,2013,29(2):90-100.
ZHANG Jiyao. Re-thinking of hydropower development in the new environment[J]. Power System and Clean Energy, 2013, 29(2): 90-100.

[3] 白雪,袁越,吴博文,等.小水电电气设备安全性分析[J].电力系统及其自动化学报,2013,25(2):66-73.
BAI Xue, YUAN Yue, WU Bowen, et al. Security evaluation of electrical equipment failure of small hydropower station by fault tree analysis[J]. Proceedings of the CSU-EPSS, 2013, 25(2): 66-73.

[4] 颜廷松.关于小型水电站技术改造措施的探讨[J].中国农村水利水电,2008(6):84-90.
YAN Tingsong. Discussion on technical transform measures of the small hydropower station[J]. China Rural Water and Hydropower, 2008(6): 84-90.

[5] 孔繁镍,李啸骢,吴杰康,等.具有多性能指标的水轮机调速器非线性设计[J].电工技术学报,2014,29(4):229-236.
KONG Fannie, LI Xiacong, WU Jiekang, et al. Multi-index nonlinear controller design for hydro turbine speed governor[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(4): 229-236.

[6] 武星,殷晓刚,宋昕,等.中国微电网技术研究及其应用现状[J].高压电器,2013,49(9):142-149.
WU Xing, YIN Xiaogang, SONG Xin, et al. Research on microgrid and its application in China[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(9): 142-149.

[7] 熊尚飞,邹小燕.电力市场价格风险价值与波动预测研究综述[J].电力系统保护与控制,2014,42(2):146-153.
XIONG Shangfei, ZOU Xiaoyan. Value at risk and price volatility forecasting in electricity market: a literature review[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(2): 146-153.

[8] 原文林,管晓峰,黄河,等.陆浑水库水电站机电设备增效扩容改造设计方案探讨[J].水电能源科学,2013,31(7):181-183.
YUAN Wenlin, GUAN Xiaofeng, HUANG He, et al. Discussion on efficiency-improving and capacity-expanding transformation engineering designing scheme of hydropower station of luhun reservoir[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(7): 181-183.

[9] 吴杰康,郭壮志,祝宇楠,等.基于水库能的水电站发

- 电模型[J]. 电工技术学报, 2009, 24(11): 149-164.
WU Jiekang, GUO Zhuangzhi, ZHU Yunan, et al. Model for electric energy production of hydropower plants based on reservoir energy[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(11): 149-164.
- [10] 马跃先, 王梁, 原文林, 等. 基于模糊层次分析的水轮机选型研究及应用[J]. 水力发电学报, 2013, 32(2): 261-276.
MA Yuexian, WANG Liang, YUAN Wenlin, et al. Study on selection of water turbine type based on fuzzy-AHP and its application[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013, 32(2): 261-276.
- [11] 吉鹏, 周建中, 张睿, 等. 改进量子进化混合优化算法在溪洛渡电站机组组合中的应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(2): 84-91.
JI Peng, ZHOU Jianzhong, ZHANG Rui, et al. Study of unit commitment in Xiluodu based on a hybrid optimization algorithm of improved quantum evolution algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(2): 84-91.
- [12] 张勇传. 水电站经济运行原理[M]. 2 版. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [13] 彭显刚, 张聪慧, 王星华, 等. 容纳小水电弃水及电容器投切的配网优化运行研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(4): 58-61, 67.
PENG Xiangang, ZHANG Conghui, WANG Xinghua, et al. Research on optimal operations of distribution system with accommodation water discharge of small hydropower station and capacitor-switching[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(4): 58-61, 67.
- [14] 陈光, 司献武. 鸭河口水库泥沙淤积形态分析[J]. 河南水利, 2005(2): 16.
CHEN Guang, SI Xianwu. Analysis for sediment accumulation of Yahekou reservoir[J]. Henan Water Resources, 2005(2): 16.
- [15] 陈森林. 水电站水库运行与调度[M]. 北京: 水利电力出版社, 2008.
- [16] 马跃先, 王素姣, 王艳华, 等. 水电站厂内经济运行数学模型的对象化处理[J]. 水力发电学报, 2008, 27(5): 1-4.
MA Yuexian, WANG Sujiao, WANG Yanhua, et al. Object processing of model for economic operation in hydropower plant[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2008, 27(5): 1-4.

收稿日期: 2014-10-09; 修回日期: 2014-11-23

作者简介:

齐 锋(1963-), 男, 学士, 高级工程师, 研究方向为水利工程建设, 水库和水电站技术管理。E-mail: yhkqifeng@126.com

(编辑 周金梅)