

# 流域梯级水电站联合调度方案优化分析

王涛

(乌鲁木齐水利枢纽工程建设管理局,新疆和田 848000)

摘要:为使某流域梯级水电站发电量最大,根据其实际情况,采用“发电量最大”的模型函数,进行联合优化调度计算,经优化调度后的总保证出力较实际运行时大幅提高,为该水电站的运行提供了科学的调度方案,并提高了该梯级水电站发电量。

关键词:流域梯级;调度优化;模型函数;结果分析

中图分类号:TV212.4;[TM622];TV697.1+2

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)03-0174-03

## 1 工程概况

某河自源头至河口总长约140 km,落差约1640 m,整个流域地势东南高西北低,流域面积约2800 km<sup>2</sup>,多年平均径流量约44 m<sup>3</sup>/s,水能资源蕴藏丰富,理论可用蓄能为22.8亿kWh。该区域共修建了四座水库和水电站,第一级水库位于该流域的相邻流域的上游,通过第一级水库将拦蓄的水经跨流域的引水隧洞引至某河(后文中均称为本河)流域,并在本河干流上修建了三座水电站,分别为第一级水库、第二级水电站、第三级水电站和第四级水电站。前三级采用混凝土面板堆石坝型式,最后一级采用混凝土重力坝型式,第一级水库主要以引水为主,设有引水隧洞,第二、三、四级水电站以发电为主,设有引水式发电厂房,装机容量分别为160 MW、280 MW、70 MW。第一级水库位于相邻流域的上游,总库容1.4亿m<sup>3</sup>,有效库容1.1亿m<sup>3</sup>;第二级水电站位于本河道上游,总库容1.08亿m<sup>3</sup>,有效库容0.54亿m<sup>3</sup>;第三级水电站位于第二级水电站下游13 km处,总库容3.9亿m<sup>3</sup>,有效库容1.46亿m<sup>3</sup>;第四级水电站位于第三级水电站下游5.5 km处,总库容0.4亿m<sup>3</sup>,有效库容0.02亿m<sup>3</sup>。

## 2 调度方案优化

### 2.1 模型函数及约束条件

#### 2.1.1 模型函数

以本梯级水电站多年平均发电量来评价梯级水电站的效益<sup>[1-6]</sup>,模型的函数需要首先确定各级水电站的入库径流量,然后满足运行约束条件<sup>[7-9]</sup>,在整个调度期内让本梯级水电站总体发

电量达到最大值,具体如下式:

$$E = \max_{i=1}^N \sum_{t=1}^T E_i(t) = \max_{i=1}^N \sum_{t=1}^T N_{i,t} \Delta t = \max_{i=1}^N \sum_{t=1}^T A_i q_{i,t} \bar{H}_{i,t} \Delta t / 1000 \quad (1)$$

式中  $E$  为优化调度后梯级水电站的总发电量(kWh); $E_i(t)$  为  $i$  级水电站在  $t$  时段的发电量(kWh); $N_{i,t}$  为  $i$  级水电站在  $t$  时段的出力值(MW); $N$  为梯级水电站个数, $T$  为整个调度期内的时段数之和; $\Delta t$  为时段长, $A_i$  为  $i$  级水电站的出力系数; $q_{i,t}$  为  $i$  级水电站在  $t$  时段的发电流量(m<sup>3</sup>/s); $\bar{H}_{i,t}$  为  $i$  级水电站在  $t$  时段的平均发电水头,按  $\bar{H}_{i,t} = \bar{Z}_{i,t} - Z_{\text{尾},t}$  计算, $\bar{Z}_{i,t}$  为  $i$  级水电站在  $t$  时段的平均水位, $Z_{\text{尾},t}$  为  $i$  级水电站在  $t$  时段的尾水位,单位均为 m。

#### 2.1.2 约束条件

水库库容、蓄水位、发电出力和下泄流量按下式进行约束:

$$\begin{cases} \text{库容: } V_{\min} \leq V_{i,t} \leq V_{\max} \\ \text{水位: } Z_{\min} \leq Z_{i,t} \leq Z_{\max} \\ \text{出力: } N_{\min} \leq N_{i,t} \leq N_{\max} \\ \text{下泄流量: } S_{i,t\min} \leq S_{i,t} \leq S_{i,t\max}, S_{i,t} \\ \quad = q_{i,t} + q_{\text{弃},t}, q_{i,t} \leq q_{i,t\max} \end{cases} \quad (2)$$

式中  $V_{i,t}$  为  $i$  级水电站在  $t$  时段的初期库容(m<sup>3</sup>); $V_{\min}$  为  $i$  级水电站的死库容(m<sup>3</sup>); $V_{\max}$  为  $i$  级水电站的正常蓄水库容(m<sup>3</sup>); $Z_{i,t}$  为  $i$  级水电站在  $t$  时段的运行水位(m); $Z_{\min}$  为  $i$  级水电站的死水位(m); $Z_{\max}$  为  $i$  级水电站的正常蓄水位(m); $N_{i,t}$  为  $i$  级水电站在  $t$  时段的实际出力(MW); $N_{i\min}$  为  $i$  级水电站的保证出力(MW); $N_{i\max}$  为  $i$  级

收稿日期:2018-05-08

水电站的装机容量(MW); $S_{i,t}$ 为*i*级水电站在*t*时段的下泄流量( $m^3/s$ ); $S_{i,t,min}$ 为*i*级水电站在*t*时段的最小下泄流量( $m^3/s$ ); $S_{i,t,max}$ 为*i*级水电站在*t*时段的最大下泄流量( $m^3/s$ ); $q_{i,t}$ 为*i*级水电站在*t*时段发电流量( $m^3/s$ ); $q_{i,t,max}$ 为*i*级水电站在*t*时段发电机组的最大过流能力( $m^3/s$ )。

## 2.2 模型参数

表 1 梯级水电站各级水电站参数

参 数	第一级水库	第二级水电站	第三级水电站	第四级水电站
正常蓄水位 $Z_{兴}/m$	712	684	586	480
正常死水位 $Z_{死}/m$	670	670	571	477
出力系数 A	-	8.4	8.4	8.0
水头损失 $H_{损}/m$	-	1.20	0.85	0.32
装机容量 $N_{装机}/MW$	-	160	280	70
保证出力 $N_{保证}/MW$	-	19.3	31	8.3
尾水位 $Z_{尾水}/m$	-	583	480	445
最大过流能力 $q_{kmax}/m^3 \cdot s^{-1}$	50.80	116	166	134

## 3 计算结果及分析

根据本梯级水电站的实际情况,按照水利年将调度周期按月划分。水利年按如下规定:4月、5月、6月、7月、8月、9月、10月、11月、12月、次年1月、次年2月、次年3月。为了方便模型函数求解,取每月30.4d,对应时长2626560s进行计算。以水库蓄水初期4月初作为开始时段,将水库死库容作为初始状态,应用“发电量最大”的模型,第二级、三级、四级水电站均按照动态规划调度规则进行管理,第四级水电站运行方式为日调节,各级水电站优化调度结果对比分析如图1、图2和表2所示。

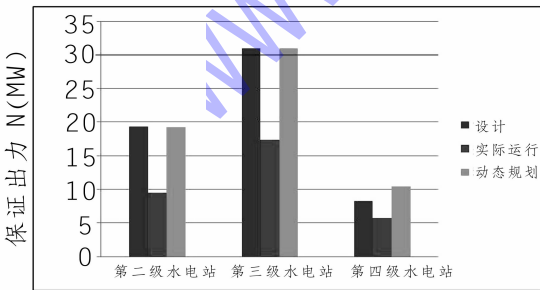


图 1 保证出力结果对比

由图1、图2和表2可以看出:经优化后(动态规划后),各级水电站的保证出力均远远大于实际运行时的保证出力,第二级和第三级水电站

本梯级水电站主要任务是发电,径流调节是为了增加梯级水电站的总保证出力和发电量,第一级水库和第二级水电站属并联水库,第二级、三级、四级水电站属串联水库,流域的水文特性和径流基本同步,计算时采用流域多年平均径流资料,根据梯级水电站的设计保证率为90%,各水电站参数如表1所示。

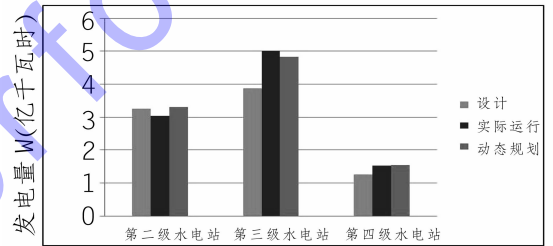


图 2 发电量结果对比

优化后的保证出力达到或接近设计保证出力,而第四级水电站优化后的保证出力大于设计保证出力;经优化后(动态规划后),各级水电站的发电量与实际运行时发电量基本相同,且均高于设计发电量。

各级水电站保证出力和发电量变化具体如下:第二级水电站优化后的保证出力19.28 MW,较实际增加102.9%,年发电量达到了3.311亿kWh;第三级水电站优化后的保证出力30.96 MW,较实际增加77.93%,年发电量达到了4.830亿kWh;第四级水电站优化后为10.40 MW,较实际增加82.46%,年发电量达到了1.540亿kWh。

综上所述,本梯级水电站经优化调度后的总保证出力为60.64 MW,较实际运行时的总保证出力增加了86.01%,梯级水电站年总发电量达到了9.68亿kWh,较实际运行时的年总发电量提

表2 各级水电站优化调度结果对比分析

项目	第二级水电站		第三级水电站		第四级水电站	
	保证出力 $N$ /MW	发电量 $W$ /亿 kWh	保证出力 $N$ /MW	发电量 $W$ /亿 kWh	保证出力 $N$ /MW	发电量 $W$ 亿 kWh
设计	19.3	3.250	31	3.870	8.3	1.260
实际运行	9.5	3.029	17.4	5.018	5.7	1.527
动态规划	19.28	3.311	30.96	4.830	10.40	1.540

高了1.12%。

#### 4 结语

根据本梯级水电站的实际情况,采用“发电量最大”的模型函数,按照水利年将调度周期按月划分,每月30.4d对本梯级水电站进行联合优化调度计算,第二级水电站优化调度后的保证出力较实际运行时增加一倍多,第三级水电站优化调度后的保证出力较实际运行时增加77.93%,第四级水电站优化调度后的保证出力较实际运行时增加82.46%。综上,本梯级水电站经优化调度后的总保证出力为60.64 MW,梯级水电站年总发电量较实际运行时的年总发电量提高了1.12%。

#### 参考文献:

- [1] 王娟娟. 梯级水电站发电优化调度研究[J]. 水利规划与设计,2016(6):93-95.  
 [2] 李磊. 水电站优化调度决策辅助系统的研究[J]. 水利技术监督,2016(2):33-35.

- [3] 曲家峰. Shapley 值熵权法在梯级水电站效益补偿分摊中的应用[J]. 水利规划与设计,2016(9):39-42.  
 [4] 蒋志强,纪昌明,孙平,等. 多层嵌套动态规划并行算法在梯级水库优化调度中的应用[J]. 中国农村水利水电,2014(9):70-75.  
 [5] 原文林,黄强,王义民,等. 最小弃水模型在梯级水库优化调度中的应用[J]. 水力发电学报,2008,27(3):16-21.  
 [6] 黄家文,胡滢,李华德. 梯级水库联合优化调度模型及其应用[J]. 中国水能及电气化,2011(12):11-16.  
 [7] 隋欣,吴赛男,靳甜甜,等. 乌江梯级水电站联合优化调度效果分析——以应对20081106洪水为例[J]. 中国水能及电气化,2011(12):4-10.  
 [8] 余平,成建军,陈鹏,等. 梯级水电站群优化调度算法研究[J]. 中国水能及电气化,2012(8):21-27.  
 [9] 李楠. 铁岭市水库群联合供水优化调度方案研究[J]. 中国水能及电气化,2017(6):28-31.

#### 作者简介:

王涛(1981-),男,汉族,山西临县人,本科学历,工程师,主要从事水利枢纽管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

## 藏区最大水电站两河口水电站首台机组肘管吊装成功

6月22日,由成都院勘察设计的雅砻江两河口水电站地下厂房首台(6号)机组尾水肘管吊装成功。这是继岩壁梁混凝土浇筑按期保质实现、主厂房开挖支护提前6个月结束后,又一个节点目标的顺利推进。本次肘管吊装为机组最底部的管节,节长约3.06米、宽11.13米、高4.8米,钢衬厚25毫米。截至目前,藏区最大水电站两河口工程金属结构与机电安装正式启动,厂房土建工程进入混凝土浇筑高峰期,为2021年8月按期实现首台机组发电目标奠定了坚实基础。

## 大岗山水电站获评“中国电力优质工程奖”

日前,中国电力建设企业协会公布了中国电力优质工程评审结果名单,大渡河大岗山4×650兆瓦水电站工程榜上有名,荣获2018年度“中国电力优质工程奖”。大渡河大岗山水电站位于四川省石棉县境内,由大渡河大岗山水电开发公司投资开发、运行维护管理,是大渡河干流规划的第14个梯级电站,是国家西部大开发十大重点工程之一。该工程由世界最高抗震设防标准的210米混凝土双曲拱坝、引水发电系统、泄洪洞等组成,为一等大(1)型工程。工程于2010年12月核准,2015年9月首台机组投产发电。投产至今累计发电量突破200亿千瓦时,未发生一般及以上安全、质量等事故。

## 向家坝水电站8台机组2018年首次全开运行

6月20日上午7时29分,向家坝电站8台机组实现2018年首次全部开机并网发电,全场最高负荷达到536万千瓦。监测数据显示,8台机组运行状况良好,各项指标正常。针对今年严峻的防洪度汛形势,向家坝电厂按照三峡集团和长江电力两级公司要求,进一步增强防汛度汛责任感和紧迫感,立足防大汛、抗大旱、救大灾,不仅高质量完成了8台机组及泄洪设施等设备的C级检修工作,实施了15项重点检修项目、90项非标检修项目,还同步开展备汛工作,提前编制完成2018年防洪度汛工作手册,召开防汛动员大会,快速增补防汛物资,扎实开展防汛演练,全面修订防汛应急预案,为防洪度汛做好准备。