

梯级电站运行期水库放空经济调度研究与实践

王 晓 东

(四川松林河流域开发有限公司,四川 成都 610041)

摘 要:针对老挝南欧江流域年内径流分布不均情况,从梯级电站群总体经济效益分析,创新性地提出了汛前放空龙头水库,开展了运行期水库放空方式可行性研究和水轮发电机组试验。详细介绍了梯级电站运行期水库放空研究方法、实践过程,并进行了经济效益对比分析。

关键词:运行期;水库放空;经济调度

中图分类号:TV74;P343.3;TV697.1+1 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2022)02-0126-05

Research and Practice on Economic Dispatching of Reservoir
Emptying During Operation Period of Cascade Power Stations

WANG Xiaodong

(Sichuan Songlin River Basin Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610041)

Abstract: In view of the uneven distribution of annual runoff in the Nam Ou River basin in Laos, and through analysis on the overall economic benefits of the cascade power stations, this paper innovatively proposes to vent the leading reservoir before the flood season, and carries out feasibility study of reservoir venting method during operation period and the test of the hydro-generator unit. The research method and practice process of reservoir venting during the operation period of cascade power stations are introduced in detail, and the comparative analysis of economic benefits is carried out.

Key words: operation period; reservoir emptying; economic dispatching

1 概 述

南欧江发源于中国云南省江城县与老挝丰沙里省接壤的边境山脉,全流域面积 25 634 km²,河长 475 km,天然落差约 427 m,年径流量 185 亿 m³。南欧江流域梯级水电站按“一库七级”设计,总装机容量 127.2 万 kW,全梯级联合运行保证出力 43.55 万 kW,设计多年平均发电量 50.29 亿 kWh。从上游往下游分别是七级至一级电站。七级电站水库具有多年调节能力,六级、五级电站为季调节能力,其余电站为日调节能力。南欧江流域降水主要出现在 5 月至 9 月之间,因而使流域年内气候形成干、湿(雨)两季,10 月~第 2 年 4 月为干季,5~9 月为雨季,雨季降水量可占年降水的 80% 以上,流域年降雨量在 1 400~2 200 mm 之间^[1]。南欧江流域多年径流量分配不均且年内分配不平衡,6~11 月占年径流量的 83.5%,一级至六级电站调节库容分别为 2.46 亿 m³、

1.42 亿 m³、0.16 亿 m³、0.24 亿 m³、0.25 亿 m³、0.22 亿 m³。七级电站投产以前,六级电站为“龙头水库”,为了充分利用流域天然来水径流,在保障安全前提下研究汛前放空六级电站水库,充分发挥六级电站死水位以下库容水量对下游一级至五级电站发电作用,增加一级至五级电站发电经济效益可行性。南欧江流域汛期雨季雨量充沛,此时产生弃水,枯期大部分水电站发电能力不足,但降雨量有限,从增强电站调度运行可操作性、提高梯级水电站发电效益出发优化调度,细化电站调度规则,制定水库放空应急预案,增加六级电站汛前水库调节水量,增大下游梯级水电站的发电补偿作用,实现流域一级至五级梯级水电站发电量大幅度增加。

2 水库放空研究

2.1 安全研究

(1)精准气象、径流预报。为确保南欧江流域水电站水库安全调度、精准调度,安全策略采取精

准气象预报+水情测报实时监测相结合方式^[2]。业主委托云南省气象服务中心开展流域数值气象预报,定期发布日、周天气预报和月、季、年度气候预测。开发南欧江流域专业气象服务网站,实时查看实况降雨、卫星云图、雷达及短临预报;针对可能出现在流域内的暴雨、强降温、强对流及转折性天气等重要天气过程进行重要天气预报,并通过视频会商、微信等远程服务手段,为流域生产调度和防洪度汛提供科学决策,提前预判南欧江流域汛期降水和径流情况。

南欧江梯级水电站建设有流域水情自动测报系统,包括水情中心站1座、遥测水文站8座、枢纽水位站21座、防汛水位站6座、遥测雨量站33座。各级电站可以实时监视降雨量、区间径流量,确保径流测报准确性。实行水情24 h值班制,水文情报做到不错报、不迟报、不缺报、不漏报和随测算、随校核、随发送、随整理、随分析。8时发布水情日报,包含昨日降雨量、昨日8时至今日8时实测水情信息及24 h预见期的水情预报信息。20时发布水情简报,包含今日8时至今日20时实测水、雨情信息及12 h预见期的水情预报信息,以保证水情预报、测报的质量和时效。

(2)设备运行分析。将电站最低运行水位停机和在水轮发电机组振动摆度超标、轴承、冷却器温度报警作为设备停运条件,以确保设备安全运行。六级电站机组在低水头运行时,随着电站水库水位及运行工况变化,运行人员加强监管,密切关注机组振动、摆度。低水位运行时,由于转轮出口水流环量增加造成水流旋转而形成漩涡,易造成水轮机转轮叶片的空腔汽蚀,缩短转轮的使用寿命。运行人员应加强对蜗壳压力、振动摆度、温度等变化的监视,巡视过程中着重对转轮室、导水机构进行检查。当发生机组振动、摆度、噪音等达到设计预警值,调整负荷后也无法消除轴承温度升高等异常情况,为保障设备安全,机组停机、不发电,采用泄洪闸门消落六级电站水库水位。

(3)设施运行分析。六级电站低水位运行时,采取水工建筑物加密监测方式,加强大坝水平、垂直位移变形和渗流的监测,尤其加密监测厂房后边坡的变形,如有异常及时报送并停止下泄。加强大坝土工膜的安全巡查,关注坝前拦漂索的运行情况,如有异常,及时处理。对库区内交通桥梁

墩、桥头护岸进行全面细致检查,发现问题及时处理。采用泄洪闸门泄洪时关注溢洪道泄槽的应力变化及下游河道护岸的冲刷情况,对电站下游村庄进行预警、撤离工作。

水库、行洪河道沿岸设置专人巡视检查。如发生大坝位移、渗流等监测变化值已经接近设计允许值边界范围的情况,停止消落水库水位以保障水工建筑物安全。

(4)消落水位分析。六级电站正常蓄水位510 m、死水位490 m,电站调节库容2.46亿 m^3/s 。装机容量18万kW,全厂额定发电引用流量346.27 m^3/s 。电站供水期末5月份最大入库流量238.65 m^3/s ,按电站5月从正常蓄水位消落至死水位以下计算,入库流量小于电站额定发电引用流量,可以消落六级电站库容,且下游电站不会产生弃水。

六级电站水库消落和蓄水速率控制在2 m/d,根据水位-库容关系、预估入库流量、下泄流量计算,从正常蓄水位消落至死水位以下,再对水库进行回蓄,能够满足坝前水位2 m/d速率控制的要求。所以,六级电站消落水位是可行的。

2.2 技术研究

(1)设计运行方式。六级电站水库设计运行方式:5月,电站从正常蓄水位510 m开始逐步消落,至5月末消落至死水位490 m附近;6月,电站维持在死水位附近运行;7月,先以满足电站单机稳定运行需求进行发电,尽快蓄水至507 m;7月末回蓄至正常蓄水位510 m;其余时段,电站均维持在正常蓄水位附近运行^[3]。水库发电调度图见图1。

(2)放空方式分析。结合气象预报、径流测算,以及历年调度经验,经过演算和论证,提前将六级电站水库放空。一方面可以将六级至一级电站弃水水量转化为五级至一级电站发电水量,增加五级至一级电站发电量。另一方面可以提高六级至一级电站防汛调蓄能力,减少汛期弃水电量。在实施过程中结合实际降雨径流情况,动态调整最低放空水位,以满足六级电站消落库容回蓄需求。通过分析论证,六级电站水库放空是可行的。六级电站尽可能优先采用发电方式降低水库水位,减少单站弃水电量。当水轮发电机组不能发电时,采用放空洞泄流方式放水。

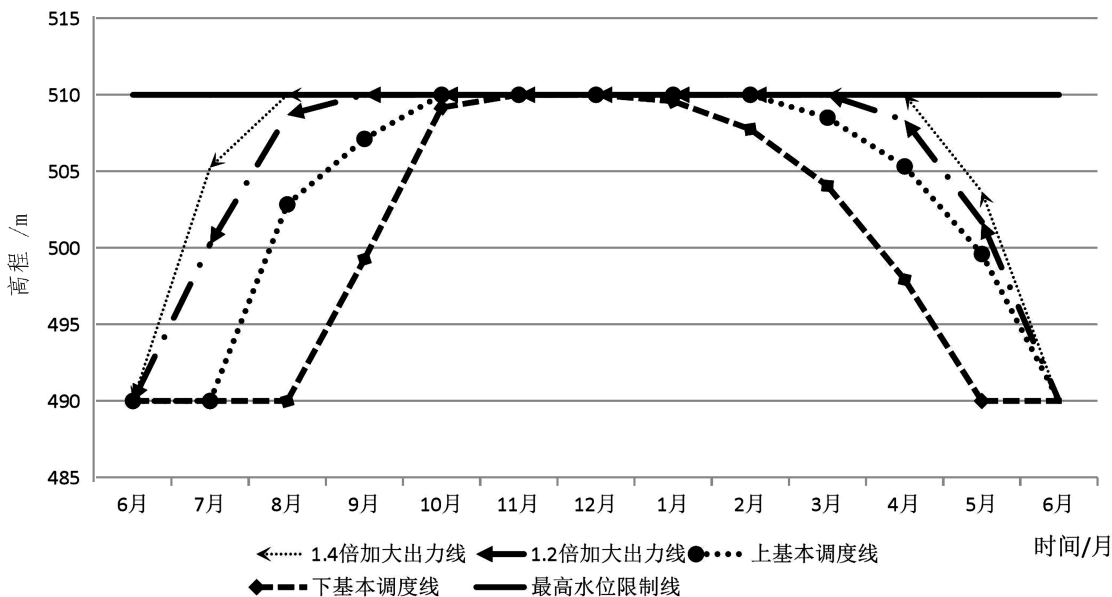


图 1 水库发电调度图

(3)六级电站发电水位选择。六级电站引水发电系统采用一洞三机联合供水方式,由一条压力隧洞后接地下压力钢管,钢岔管及三条支管组成。电站的水头损失公式为: $\Delta H=2.776\times10^{-5}Q^2$,其中, ΔH 为水头损失; Q 为全厂引用流量^[4]。经计算,总水头损失为 $\Delta H=3.37\text{ m}$ 。根据六级电站水轮机设计最小工作水头 45 m,总水头损失 3.37 m,以及尾水水位 440.87 m,得出最低发电运行水位为 489.24 m。一级至五级电站不消落水库水位,保持在正常水位附近发电运行。

(4)六级电站最低水位选择。从三个方面进行分析,确定最低水位。一是电站运行设备取水的影响;二是库区综合用水影响研究;三是水库泥沙淤积影响。电站机组和主变冷却器技术供水在蜗壳内取水,电站引水发电建筑物布置包括进水口、引水隧洞、压力钢管。进水口采用岸塔式布置,进水口底板高程 470 m,故坝前水位低于 470 m 将影响技术供水取水。电站机电消防给水由两套互为备用的水泵从尾水取水,取水高程 436 m,故降低运行水位对电站机电消防用水没有影响,对库区综合用水有影响。电站设计库区无生活取水、航运要求。经现地调查,当地村庄船只在库区内停靠,水库放空前提前与地方政府、村庄联系,保障船只、人身安全。电站坝址多年平均悬移质沙量为 $54.7\times10^4\text{ t}$,推移质沙量为 $2.54\times10^4\text{ t}$,运行 30 a 的坝前平均淤沙高程约为 447 m,故坝

前水位不低于 447 m,水库泥沙淤积对发电取水没有制约性影响。

经对电站运行设备取水影响、库区综合用水影响、水库泥沙淤积影响三方面进行综合研究分析,最终将六级电站的最低放空水位选择为高程 470 m。

2.3 经济研究

根据水轮机发电机组耗水率计算^[5],六级电站产生 1 m³ 弃水水量,将损失电量 0.15 kWh,1 m³ 水量相应下游五级至一级电站总发电量 0.32 kWh。所以,在径流预报准确、安全措施可靠的前提下,六级电站水库放空可以创造经济效益。单站与多站经济效益对比分析见表 1。

3 实施过程及成效

3.1 实施过程

(1)水库水位消落。2021 年 6 月 18 日至 6 月 26 日,发电方式将运行水位从死水位 490 m 消落至 488 m;6 月 27 日至 7 月 19 日,通过泄洪放空洞将运行水位从 488 m 消落至 470 m,六级电站水库放空坝前水位过程线见图 2。

(2)最低发电水位试验。当运行水位至 489 m 时,机组振动、摆度、温度值未达到报警值,但空冷温度达到报警值;当运行水位至 488 m 时,机组振动、摆度、温度值均达到了报警值。水轮机振摆分析图和水轮发电机组温度分析图见图 3、4。

(3)安全技术措施。主要从两方面采取安全

表 1 单站与多站经济效益对比分析

项 目	电 站					
	单站效益		多电站效益			
	六级电站	五级电站	四级电站	三级电站	二级电站	一级电站
1 m ³ 水量可发电量 /kWh	0.15	0.12	0.06	0.06	0.04	0.04
合计 /kWh	损失 0.15		增加 0.32			
	总经济效益:0.32-0.15=0.17					

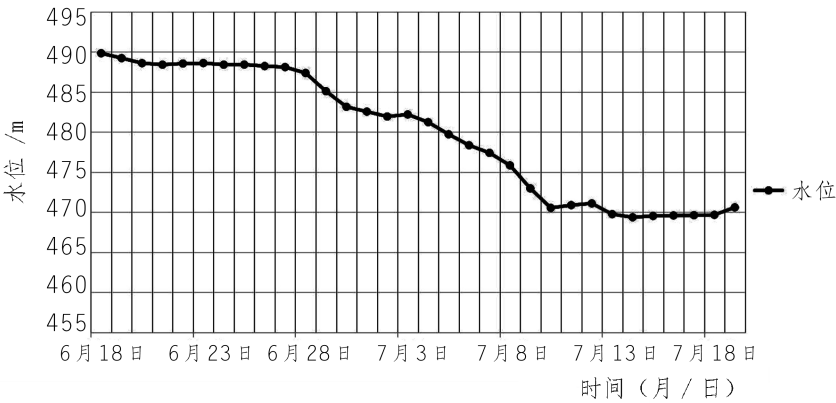


图 2 六级电站水库放空坝前水位过程线

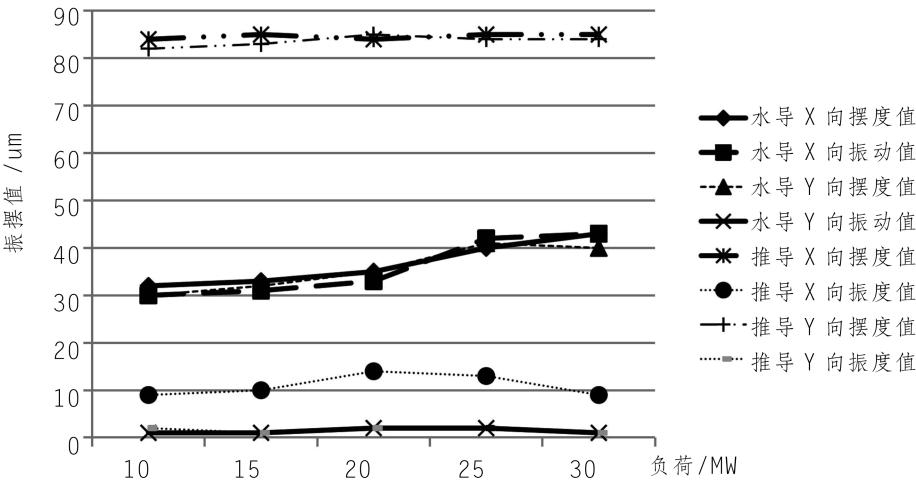


图 3 水轮机振摆分析图

技术措施:一是设备运行监视,二是调整电站运行方式。计算机监控系统对蜗壳压力、振动摆度、温度等变化情况监视;现场巡视过程中重点对转轮室、导水机构进行检查;根据实际情况设置人工水头运行。机组振动值不能大于 GB/T 15468《水轮机基本技术条件》振动允许值。电站机组和主变冷却器技术供水在蜗壳内取水,为防止运行水位接近 470 m 技术供水中断,放空洞泄水时,停运主变,将电站厂用电供电倒换为外来电源供电方式。

3.2 成效

(1)经济效益。2021 年 6 月 18 日至 7 月 19 日,六级电站水库逐步放空,水库水位从死水位 490 m 消落至 470 m,六级至一级电站共增加了发电量 7 075 万 kWh。6 月 18 日至 6 月 26 日发电方式消落库容 1 600 万 m³,六级至一级电站增发电量 751.17 万 kWh;6 月 27 日至 7 月 19 日放空洞下泄方式消落库容 10 300 万 m³,五级至一级电站增发电量 3 301.28 万 kWh;6 月 27 日至 7 月 19 日七级至六级电站区间水量 5 327 万 m³,

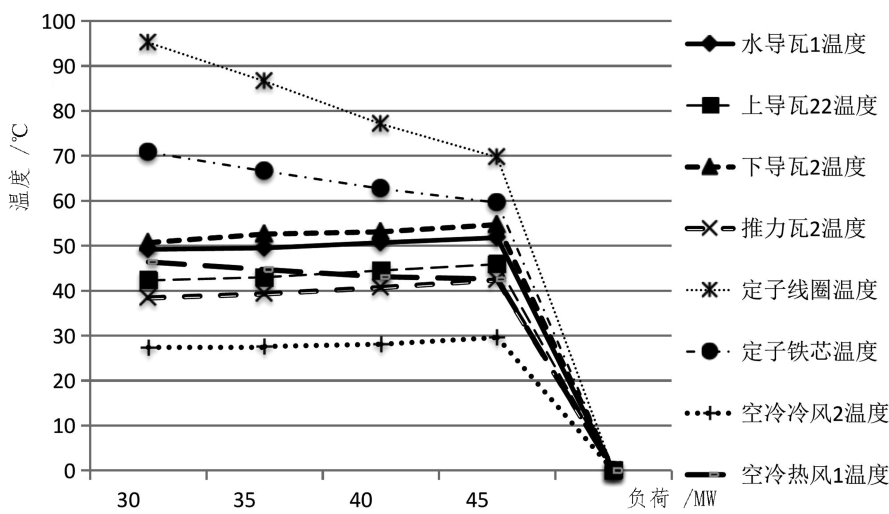


图 4 水轮发电机组温度分析图

六级电站损失发电量 791.53 万 kW;六级电站水
库放空共增发电量 3 260.93 万 kWh。六级电站

水库放空增发电量分析表见表 2。
减少了汛期有效弃水电量。由于汛期老挝已

表 2 六级电站水库放空增发电量分析表

日 期	项 目	电量 / 万 kWh	备 注
6 月 18 日~6 月 26 日	增发电量	751.17	发电方式消落库容
6 月 27 日~7 月 19 日	增发电量	3 301.28	放空洞放空方式消落库容
	损失电量	791.53	
增发电量		3 260.93	/

投产电站发电能力大于电网消纳能力,2021 年 7 月 22 日至 7 月 31 日日均负荷 40.5 万 kW 开始发生有效弃水。六级电站 470 m 至 490 m 高程水库库容 11 900 万 m³,提前腾库减少了五级至一级电站有效弃水电量 3 814 万 kWh。

(2)防洪度汛效益。截至 2021 年 7 月 31 日,六级电站水库水位从 470 m 蓄水至 508.01 m,蓄水水量 37 835 万 m³,削减最大洪峰流量 872 m³/s,有效保障了五级至一级电站库区和下游河道防汛安全。

(3)其他效益。为六级电站 490 m 高程以下水工建筑物检查创造了条件。六级电站 2015 年底首台机组投产至今因不具备条件未开展 490 m 高程以下水工建筑物检查,利用该次水库放空时机,完成了 490 m 至 470 m 高程土工膜检查和引水系统建筑结构外观、变形、渗流、淤积检查以及进水口拦污栅杂物清理。

4 结 语

在老挝积极的电源投资政策下,老挝电力装机增长迅猛,总装机近 5 年增长至原来的 3 倍。

由于近年来老挝装机增长速度远大于需求增长速度,故将长期面对电力消纳困难问题。采用汛前降低龙头水库运行水位,梯级电站群联合调度方式,经过在南欧江流域梯级电站试验,水库群综合利用效益成效显著,可供行业类似梯级电站群借鉴。

参考文献:

[1] 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司,南欧江六级水电站可行性研究报告[R]. 2013;(1)66-71.

[2] 俞日新,苏平. 水文情报预报经济效益实用推算方法[J]. 2000,(5):22-26.

[3] 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司,南欧江流域梯级水电站联合优化调度指导方案专题报告[R]. 2022:(6)86-87.

[4] 宗航,李承军,周建中,等. POA 算法在梯级水电站短期优化调度中的引用[J]. 2003,(1):46-48.

[5] 张双虎,黄强,蒋云钟,等. 梯级水电站长期负荷分配模型及其求解方法[J]. 2009,(2):135-140.

作者简介:

王晓东(1980~),男,四川乐山人,高级工程师,本科,从事水力发电企业行政管理、生产实施体系、安全和技术等管理工作。

(责任编辑:吴永红)