

# Preliminary Research on the Feasibility of Raising the Dam of South Russia 5 Reservoir in Laos

Zhichao Chen

China Power Construction Group Overseas Investment Co., Ltd., Beijing, 100048, China

## Abstract

The heightening of the dam of the South Russia 5 Hydropower Station cannot solve the problem of insufficient water in the reservoir basin. Changing the characteristics of the reservoir and through the power station frequency and peak regulation can increase the power generation revenue. However, only changing the characteristics of the reservoir and increasing the dam will cost more to construct. Based on the hydrological data of the South Russia 5 Hydropower Station, this paper discusses ways to improve the frequency and peak regulation capabilities of the power station without increasing project investment, and solve the problem of insufficient water supply from the reservoir through scientific dispatch.

## Keywords

reservoir characteristic frequency modulation; peak regulation scheduling; storage capacity coefficient

## 老挝南俄 5 水库大坝加高方案可行性初步探讨

陈志超

中国电建集团海外投资有限公司, 中国·北京 100048

## 摘要

南俄 5 水电站大坝加高不能解决水库流域来水不足的问题, 改变水库特性, 通过电站调频调峰, 可以增加发电收益。但是只改变水库特性而增高大坝, 建设成本较高。论文基于南俄 5 水电站水文资料, 探讨不增加工程投入的前提下提高电站的调频调峰能力的方法, 通过科学调度解决水库来水不足的问题。

## 关键词

水库特性调频; 调峰调度; 库容系数

## 1 引言

老挝南俄 5 水电站在来水量不足、实际库容较设计库容偏差大的情况下, 电站管理者提出了增高大坝的想法, 以此来改变库容特性, 使电站具备调峰调频能力。基于此, 假定了三种增高大坝的方案, 对方案的可行性和经济性进行的评价。

## 2 工程概况

老挝南俄 5 水电站以发电为开发目标, 坝址控制流域面积 483km<sup>2</sup>, 占全流域面积的 2.9%, 多年平均流量 22.6m<sup>3</sup>/s, 年径流量 7.13 亿 m<sup>3</sup>, 总库容 3.03 亿 m<sup>3</sup>, 为多年

调节水库; 电站设计水头 337m, 引用流量 42.9m<sup>3</sup>/s, 装机容量 2×60MW, 保证出力 45.5MW, 多年平均发电量 5.07 亿 kw.h, 年利用小时数 4225h。

工程为 II 等工程, 工程规模属大(2)型, 首部枢纽的大坝为 2 级建筑物, 引水系统和发电建筑物为 3 级建筑物, 其他次要建筑物为 4 级建筑物。

拦河坝为碾压混凝土重力拱坝, 大坝按 1000 年一遇洪水设计, 10000 年一遇洪水校核, 相应设计洪水位为 1100.61m, 校核洪水位为 1101.84m; 水库正常蓄水位 1100.00m, 坝顶高程 1103.00m, 坝底高程 1004.00m, 最大坝高 100.50m, 坝顶宽度 6.0m, 拱冠梁底宽 42.00m, 拱冠梁厚高比 0.424, 坝顶中心线弧长 234.8384m, 弧高比 2.42, 顶拱中心角 92.794°。

【作者简介】陈志超(1983), 男, 工学学士, 工程师, 从事大坝安全监测及水雨情测报系统、水利水电工程施工研究。

### 3 大坝加高的背景

#### 3.1 水库库容设计存在较大偏差

水库设计库容系数为 34.5%，为多年调节的水库，其中调节库容 2.46 亿 m<sup>3</sup>，设计多年平均来水量 7.13 亿 m<sup>3</sup>。电站自 2012 年 12 月商业化运行 5 年以来，南俄 5 水库更符合年调节运行。根据 2018 年中国电建昆明勘测设计研究院完成的库容复核成果，水库调节库容为 1.51 亿 m<sup>3</sup>，为设计调节库容的 61.3%。计算库容系数为 21.1%，属于完全年调节水库，库容复核成果如表 1：

表 1 老挝南俄 5 水电站水库库容复核成果

序号	水位高程(m)	面积(m <sup>2</sup> )	水位库容(万 m <sup>3</sup> )	备注
1	1102.00	8164199.15	18037.3802	
2	1101.84	8127067.52	17907.3973	校核洪水位
3	1101.00	7932126.45	17232.7451	
4	1100.61	7831599.23	16925.2035	设计洪水位
5	1100.00	7674364.35	16451.7832	正常蓄水位
6	1060.00	1043002.08	1384.3601	死水位

#### 3.2 来水量不足

水库运行五年以来，仅有 2013、2015 年达到了设计多年平均发电量（5.07 亿 kw.h），运行以来的降雨量见表 2，入库水量统计见表 3：

表 2 南俄 5 水电站 2013-2017 年降水统计表

(单位: mm)

时间	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
1 月	50.60	41.30	68.90	120.10	70.20
2 月	3.30	2.00	8.60	1.50	6.75
3 月	57.00	34.40	81.50	17.10	78.30
4 月	57.90	83.90	179.40	95.10	185.63
5 月	180.90	119.50	172.00	197.30	126.23
6 月	183.50	207.50	101.70	300.90	172.80
7 月	338.60	387.00	420.90	288.00	415.00
8 月	450.40	505.80	761.50	489.70	174.60
9 月	172.50	412.70	341.10	156.80	140.00
10 月	82.80	110.00	178.90	62.00	155.00
11 月	45.00	103.10	50.90	140.50	20.00
12 月	61.50	5.00	134.20	3.50	51.20
小计	1684.00	2012.20	2499.60	1872.50	1595.70

2013 年 -2017 年的降雨量中仅有 2015 年达到了南俄

5 设计坝址年平均降水量 2200mm，其五年平均降雨量为 1932.8mm。

表 3 南俄 5 水电站 2013-2017 年入库水量统计表

(单位: MCM)

时间	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	平均值
1 月	9.26	16.50	15.97	26.75	22.95	18.29
2 月	0.28	10.86	10.31	17.71	10.78	9.99
3 月	6.20	10.18	9.52	12.89	9.05	9.57
4 月	7.89	9.43	11.18	10.85	13.63	10.60
5 月	16.41	9.45	12.25	12.10	19.89	14.02
6 月	48.63	24.87	12.07	28.21	27.09	28.17
7 月	129.02	89.68	77.13	80.99	173.04	109.97
8 月	218.13	177.42	216.31	237.66	113.36	192.58
9 月	101.86	156.19	142.57	127.30	62.65	118.11
10 月	45.02	64.55	55.82	56.89	57.34	55.92
11 月	24.91	46.97	28.64	27.09	27.32	30.99
12 月	21.00	24.48	31.74	14.98	20.345	22.51
小计	628.61	640.58	623.51	653.42	557.45	620.71

从 2013 年 -2017 年的入库水量统计表看出，其五年平均入库水量为 6.21 亿 m<sup>3</sup>，小于设计多年平均径流量 7.13 亿 m<sup>3</sup>。此外，电站多年平均发电量较设计值偏差较大，如表 4：

表 4 南俄 5 水电站历年电力生产数据统计表

年份	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
发电量 (GWh)	32.721	511.236	395.192	527.401	461.126	398.106
上网电量 (GWh)	32.304	504.5948	390.1679	520.8293	455.1424	393.1617
年底库水位 (m)	1097.88	1090.49	1098.17	1081.46	1081.51	1077.33
年底库存水量 (MCM)	175.05	114.2	177.17	61.73	62.02	43.9
年底可发电量 (GWh)	123.41	79.31	123.46	42.57	42.77	30.17
2013-2017 年累计上网电量 (GWh)	2263.8961		2013-2017 年累计发电量 (GWh)			2293.061
2013-2017 年来水上网电量 (GWh, 扣除库容差对应的发电量)	2170.6561		2013-2017 年来水发电电量 (GWh, 扣除库容差对应的发电量)			2199.821
2013-2017 年来水平均年上网电量 (GWh)	434.1312		2013-2017 年来水平均年发电电量 (GWh)			439.9642

注：上述来水量和电力生产数据统计结果基于 2.0 亿 m<sup>3</sup> 有效库容，发电耗水率按 1.40-1.47 (m<sup>3</sup>/kw.h) 计算。

从上表5可以看出2013-2017年平均发电量为4.40亿kw.h, 为设计多年平均发电量5.07亿kw.h的86.8%。

### 3.3 老挝电网电力调度的实际情况

随着老挝境内上网投产的装机容量越来越大, 电网面临着雨季电量严重过剩, 而旱季电量短缺的实际情况。电力供需日益不平衡, 各发电企业将面临更加严峻的电力竞争市场, 发电负荷申请将更为困难。南俄5同样面临雨季库水位较高的情况却很难申请满负荷运行<sup>[1]</sup>。

## 4 加高的意义

南俄5水电站来水量不足, 多年平均发电量为设计发电量的86.8%, 上网电量为PPA协议上网电量的86.8%, 完成PPA协议基础电量还有较大缺口。同时, 雨季高水位时向老挝EDL申请电站机组高负荷运行难度逐步加大, 而南俄5水库库容较设计值出入较大, 达不到多年调节水平。对于上述困难, 南俄5发电有限公司建议通过加大水库调节能力, 即在雨季少发电来蓄水, 旱季高负荷发电消纳雨季来水。

## 5 加高方案比选

加高有两种方式, 一是鉴于来水量不足的实际情况, 原设计洪水标准可能过于保守的设想, 在不改变库容特性、设计洪水位和校核洪水位的情况下, 提高正常蓄水位。即将一部分调洪库容压缩, 转变为有效库容, 在一定程度上可以在汛期多蓄水。另外一种选择是改变库容特性。增加坝高, 增大有效库容。将年调节水库变为多年调节水库。

### 5.1 不改变库容特性的加高方式

考虑到水电站以上流域无水文气象观测资料, 原设计水文计算采用了临近流域水文资料, 与实际偏差较大。因此, 建议在现有水文资料的情况下校核工程防洪能力与特征水位。确定原设计洪水位和校核洪水位是否过于保守, 是否可以减少调洪库容, 以提高正常蓄水位。如能提高, 则可考虑通过改变泄洪闸门顶部高程的方式改变正常蓄水位。方案如下:

方案一: 提高溢流堰顶(闸门底坎)高程

通过复核结果确定堰顶高程, 溢流堰面仍采用WES实用堰型, 提高堰顶高程, 改变堰面曲线。实施前完成以下设计复核工作:

- (1) 水文与设计洪水复核。

- (2) 工程防洪能力与特征水位的复核。

- (3) 溢洪道结构稳定性复核。

- (4) 泄洪能力复核及消能防冲复核。

- (5) 新旧混凝土结合处的防渗。

方案二: 增高泄洪闸门高度

基于复核成果确定的正常蓄水位来确定闸门顶部高程, 通过对闸门进行加高以达到提高正常蓄水位的目的。实施前完成以下设计复核工作:

- (1) 水文与设计洪水复核。

- (2) 工程防洪能力与特征水位的复核。

- (3) 溢洪道结构稳定性复核。

- (4) 泄洪能力复核及消能防冲复核。

- (5) 闸墩结构稳定性、启闭机室结构承载力的复核。

- (6) 闸门启闭设备承载能力复核。

### 5.2 改变库容特性

方案三: 大坝整体加高

对2013年-2017年采用水量平衡原理计算数据详见表5。

表5 2013-2017年来水量计算表

时间	水位	库容 (亿 m <sup>3</sup> )	发电量 (亿 Kw.h)	度电 耗水率 (m <sup>3</sup> /kw.h)	泄洪水量 (亿 m <sup>3</sup> )	年蒸发 损失 (亿 m <sup>3</sup> )
2013/1/1	1097.88	1.489	22.93	1.2258	0.0474	0.0128
2017/12/31	1077.33	0.4724				
入库水量 (亿 m <sup>3</sup> )			27.2	平均入库水量 (亿 m <sup>3</sup> )		5.44

注: 表中采用了中国电建昆明勘测设计研究院的库容复核成果, 耗水率参照机组额定耗水率计算, 蒸发损失按设计进行参考取值。

从上表5可以看出年径流量较设计差异较大, 取用上表平均入库水量和复核成果计算得库容系数为27.7%, 为完全年调节水库。计算采用了机组额定度电耗水率, 但大部分情况下机组发电在额定水头以下, 因此计算平均入库水量偏小。将库容系数增大到多年调节水库库容系数的下限30%, 因此有效库容最小为5.44×0.3=1.632亿m<sup>3</sup>。

基于改变水库库容系数以改变水库运行方式的原则(取多年平均径流量5.44亿m<sup>3</sup>, 调洪库容不变取1456万m<sup>3</sup>),

且在洪水等级与设防标准不变的前提下,加高水库大坝。加高方案参数如下:

有效库容: 1.632 亿  $m^3$

死库容: 0.1384 亿  $m^3$

正常蓄水位以下库容: 1.7704 亿  $m^3$

库容系数: 30%

调洪库容: 0.1456 亿  $m^3$

正常蓄水位: 1100m+1.59m=1101.59m

校核洪水位: 1101.84+1.79m=1103.63m

坝顶高程为 1104.79m

大坝加高: 1.79m

最大坝高: 102.3m

按插值法(基于库容复核成果)计算正常蓄水位为 1101.59m,校核洪水位为 1103.63m,大坝安全超高按 1.16m 计算,坝顶高程为 1104.79m,故大坝需加高 1.79m,最大坝高 102.3m,工程等别不变。拱冠梁厚高比 0.41,泄洪闸门顶部高程由 1100 加高至 1101.28m。大坝由 234.84m 延长至 239.07m(弧高比 2.42)。

筑坝材料考虑 RCC 碾压混凝土。大坝加高前需开展的设计复核工作如下:

- (1) 库区淹没面积及相应的征地、移民安置等。
- (2) 设计洪水标准复核。
- (3) 坝基承载力复核。
- (4) 两坝肩结构稳定性复核及左右岸灌浆平硐封堵。
- (5) 引水系统(电站进水口、压力管道、引水隧洞、调压井)结构稳定性的复核。
- (6) 泄洪能力复核及消能防冲复核。
- (7) 闸墩结构稳定性、启闭机室结构承载力的复核。
- (8) 闸门启闭设备承载能力复核。
- (9) 新老大坝结合及结合部位的防渗措施。
- (10) 调保计算复核。

### 5.3 方案比较

三种方案对比结果详见表 6。

表 6 方案比较

加高原则	方案	特点	工程量	调节能力
不改变库容特性	提高溢流堰顶高程	方案不明确,复核工作量小。	改变溢流堰结构,对金属结构影响小,工程量小。	有效库容增加小,对汛期调蓄作用小。
	增加闸门高度	方案不明确,复核工作量较小。	改变金属结构,对启闭机室、闸墩结构及泄洪能力影响较大。工程量较小。	有效库容增加小,对汛期调蓄作用小。
改变库容特性	大坝整体加高	改变库容特性,方案明确。复核工作量较大。	改变坝体结构,金属结构部分需要重新制作,工程量大。	有效库容增大,提高了汛期调蓄作用。改变了水库调度方式。

## 6 大坝增高的思考与建议

从 2013-2017 年来水情况来看,每年 7 ~ 10 月份的来水占全年的 72.9% ~ 78.9%,按平均 77% 计,则 7 ~ 10 月来水平均为 4.13 亿  $m^3$ ,在此期间发电用水 2.52 亿  $m^3$  才能不弃水,即月平均发电量为 5140 万 kwh,为月满负荷运行的 59.5%。如果不增加坝高,则此期间发电用水为 2.62 亿  $m^3$  才能确保不弃水,即月平均发电量为 5343 万 kwh,为月满负荷运行的 61.8%。因此,增高大坝虽然在一定程度上缓解了雨季上网负荷,但增加了汛期防洪度汛压力,另外对水库调度提出了极大的要求<sup>[2]</sup>。大坝加高不能解决水库流域来水(核心)的问题,因此水库依然面临来水量不足的情况,大坝运行五年来仅有 2016 年弃水 474 万  $m^3$  的记录,说明坝高在合理范围内,增高大坝对雨季弃水的作用并不明显。

在不增加工程投入的情况下,通过优化水库调度运行方式,使电站成为调频调峰电站是可行的。相较大坝加高方案,通过科学调度,加大水工建筑的安全监测和巡视检查力度,作好汛期防洪度汛工作,使电站水库在旱季维持高水位运行,雨季少发电或不发电蓄水,这将比大坝加高更加经济可行。

### 参考文献

- [1] 中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院. 老挝南俄 5 水电站水文及工程规模复核专题报告 [R]. 2012
- [2] 中国水电建设集团国际工程有限公司. 南俄 5 水电站工程基本设计报告 [R]. 2008.