

回水顶托对长洲水利枢纽发电效益的影响分析

王晓东¹, 于百顺², 姚 慧¹, 薛 娇², 钟逸轩^{2*}

¹国家电投集团广西电力有限公司, 广西 南宁

²中水珠江规划勘测设计有限公司, 广东 广州

收稿日期: 2022年11月26日; 录用日期: 2023年1月27日; 发布日期: 2023年2月24日

摘 要

本文采用实测资料和数值模拟相结合的方法, 分析桂江来水顶托对长洲水利枢纽发电效益的影响。研究结果表明: 枢纽发电出力与桂江来水基本呈负相关性, 同一枢纽下泄流量下, 水位顶托量、出力损失量与桂江流量呈线性关系。当枢纽下泄满发流量7437 m³/s时, 桂江流量每增加100 m³/s, 水位顶托量增加超40 mm, 出力损失增加约0.21万kW; 随着枢纽下泄流量的增大, 水位顶托量增幅减小、出力降幅增大; 相较于对照方案, 桂江流量不超1700 m³/s时, 枢纽出力损失小于5%, 随着桂江流量的增大, 枢纽出力最大损失可超60%。研究成果可为枢纽实际调度运行提供决策支持。

关键词

长洲水利枢纽, 水动力学, 顶托影响, 发电效益

Backwater Impact on the Power Generation Benefit of Changzhou Hydraulic Complex

Xiaodong Wang¹, Baishun Yu², Hui Yao¹, Jiao Xue², Yixuan Zhong^{2*}

¹Guangxi Electric Power Co., Ltd., State Power Investment Corporation Limited, Nanning Guangxi

²China Water Resources Pearl River Planning Surveying and Designing Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

Received: Nov. 26th, 2022; accepted: Jan. 27th, 2023; published: Feb. 24th, 2023

作者简介: 王晓东, 男, 甘肃兰州人, 出生于1980年8月, 博士研究生, 高级工程师, 研究方向为水电与新能源生产运营, Email: 630408820@qq.com

*通讯作者 Email: yxzhong@whu.edu.cn

文章引用: 王晓东, 于百顺, 姚慧, 薛娇, 钟逸轩. 回水顶托对长洲水利枢纽发电效益的影响分析[J]. 水资源研究, 2023, 12(1): 82-91. DOI: 10.12677/jwrr.2023.121010

Abstract

This study analyzes the backwater effects of the Guijiang River on the power generation benefit of Changzhou hydropower station by measured data and numerical simulation method. The results show that the power generation of Changzhou hydropower station is basically negatively correlated with the outflow of Guijiang River, on the same discharge of Changzhou hydropower station, the rising water level downstream the dam and the loss of power generation are generally linearly correlated with Guijiang River flow. When the discharge of Changzhou hydropower station is its full-load flow, *i.e.*, 7437 m³/s, the rising water level is more than 40 mm and the power generation reduces by about 2100 kW when the outflow of Guijiang River increases by 100 m³/s. With the increase of the discharge of Changzhou hydropower station, the growth of water level downstream the dam decreases and the degree of decline in the power generation increases. Compared with the basic scheme, when the Guijiang River flow is no more than 1700 m³/s, the loss rate of power generation is less than 5%, and with Guijiang River flow increases, the maximum loss rate of power generation can exceed 60%. The research results can provide decision support for the actual dispatching operation of Changzhou Hydraulic Complex.

Keywords

Changzhou Hydraulic Complex, Hydrodynamic, Backwater Effect, Power Generation Benefits

Copyright © 2023 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

长洲水利枢纽工程位于浔江下游河段,下距梧州市桂江汇合口仅约 12 km,坝址控制集水面积 308,600 km²,占梧州以上集水面积 93.6%,多年平均流量 6120 m³/s,是全国已建成最长的闸坝工程,也是灯泡式贯流机组安装台数最多、规模最大的水利水电枢纽工程,于 2003 年 12 月 27 日正式开工建设,2009 年 10 月 15 日台机组全部投运,2009 年底主体工程全面竣工,内江和外江的河床式厂房共安装 15 台单机容量为 42 MW 的灯泡贯流水轮发电机组,总装机容量 630 MW,多年平均发电量为 30.14 亿 kw·h,工程投入运行后,在发电、航运、灌溉等多方面体现出良好的综合效益(后文中长洲、长洲水电站均指长洲水利枢纽工程)。桂江是珠江流域干流西江水系的主要支流之一,发源于广西兴安县西北部的猫儿山,至梧州市汇入西江,干流全长 426 km,流域面积 19,288 km² [1]。干支流交汇区域水流运动相比于一般单一河道较为复杂,往往导致一侧来流受到另一侧的顶托作用[2] [3]。桂江近乎垂直汇入西江干流,其流量大小的变化,对长洲下游水位的抬升作用明显[4]。水位顶托会对水电站发电造成不利影响[5],因此,开展考虑支流顶托综合影响下长洲水利枢纽发电效益变化分析,对做好长洲水利枢纽发电运行调度工作具有重要意义。研究范围如图 1 所示。

干支流水位顶托分析涉及水文学、水力学等多学科[6],近年来有多位学者的研究成果涉及到西江流域干支流顶托影响分析。陈立华等人[7]采用水文学分析方法,从洪水组成、遭遇事件以及洪峰重现期等方面,对西江梧州站干支流洪水遭遇规律进行了分析,并指出桂江洪水的底水抬高作用显著增大了西江梧州站洪水重现期;高雪山等人[8]基于一维水动力模型,分析计算了西江洪水顶托对北江防洪区河道水面线的顶托影响,并建议西、北江错峰调度以降低洪水顶托,减轻北江大堤的防洪压力。本文综合利用实测资料和数学模型的方法,分析桂江顶托对长洲水电站发电效益的影响。研究成果可为长洲水利枢纽发电运行调度工作提供指导,具有较好的科学支撑与应用价值。

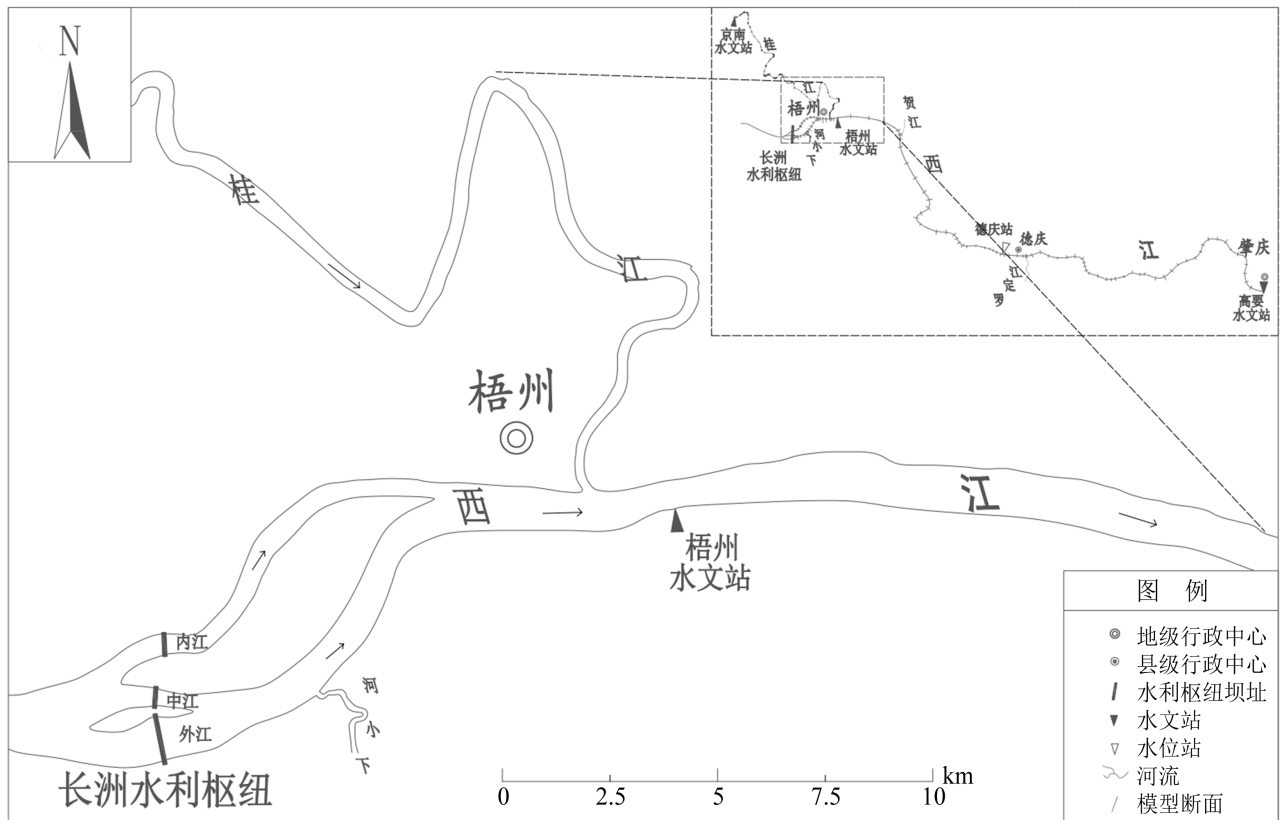


Figure 1. Diagram of study area in Changzhou Hydraulic Complex
 图 1. 长洲水利枢纽工程研究范围示意图

2. 桂江顶托对长洲发电效益影响统计分析

桂江流域降水丰沛，主要代表站点多年平均降水量在 1400~2000 mm 之间，主要集中在汛期。搜集近几年桂江京南站流量系列及相应时间段的长洲出库流量、发电出力系列，采用统计方法分析发电出力与京南流量的相关性。受限于实测资料序列长度的影响，仅能定性分析水电站发电出力受桂江来水顶托的影响。

因防汛和机组特性的限制，长洲水电站防汛调度发电停机流量为 $15,500 \text{ m}^3/\text{s}$ [9]，当流量大于 $15,500 \text{ m}^3/\text{s}$ ，

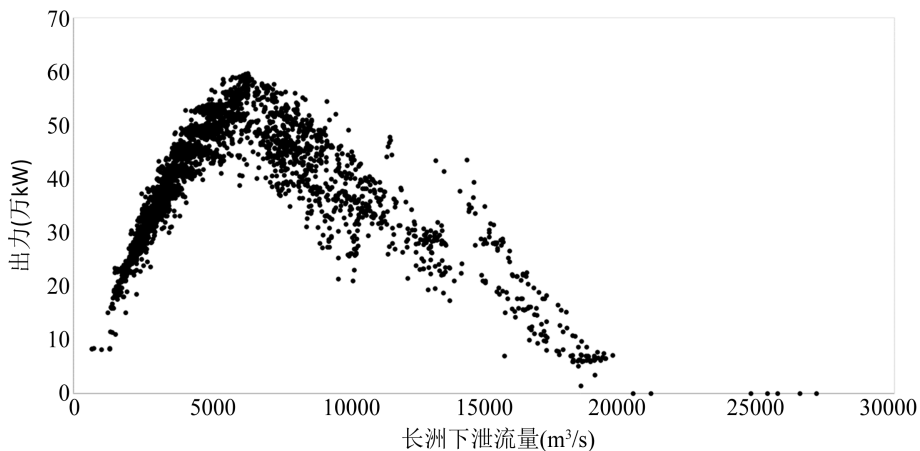


Figure 2. Diagram of power station output changing with Changzhou discharge
 图 2. 电站出力随长洲出库流量变化图

长洲水电站根据实际水头情况决定是否发电。在本次搜集的实测资料序列中，电站发电出力随长洲流量变化情况见图 2，长洲水电站发电出力图呈不对称 V 形回力标状，其最大出力出现在长洲水电站满发流量 7437 m³/s [9] 附近。当长洲下泄流量大于 20,000 m³/s 时，水电站机组均停止发电。

分析长洲下泄流量小于 20,000 m³/s 时长洲水电站发电出力与桂江京南站流量的相关性，从而定性分析桂江流量顶托对长洲水电站发电的影响，分析结果见表 1 和图 3。由图表可知，在各流量级下，长洲水电站发电出力与桂江流量基本呈负相关性。在长洲出库流量一定时，随着桂江流量的增大，发电出力呈减少趋势。通过线性回归系数可知，在长洲下泄流量为 9000~10,000 m³/s 流量级时，线性回归系数最小，可认为本统计样本中，在 9000~10,000 m³/s 流量级下，桂江流量对发电出力影响最为明显。

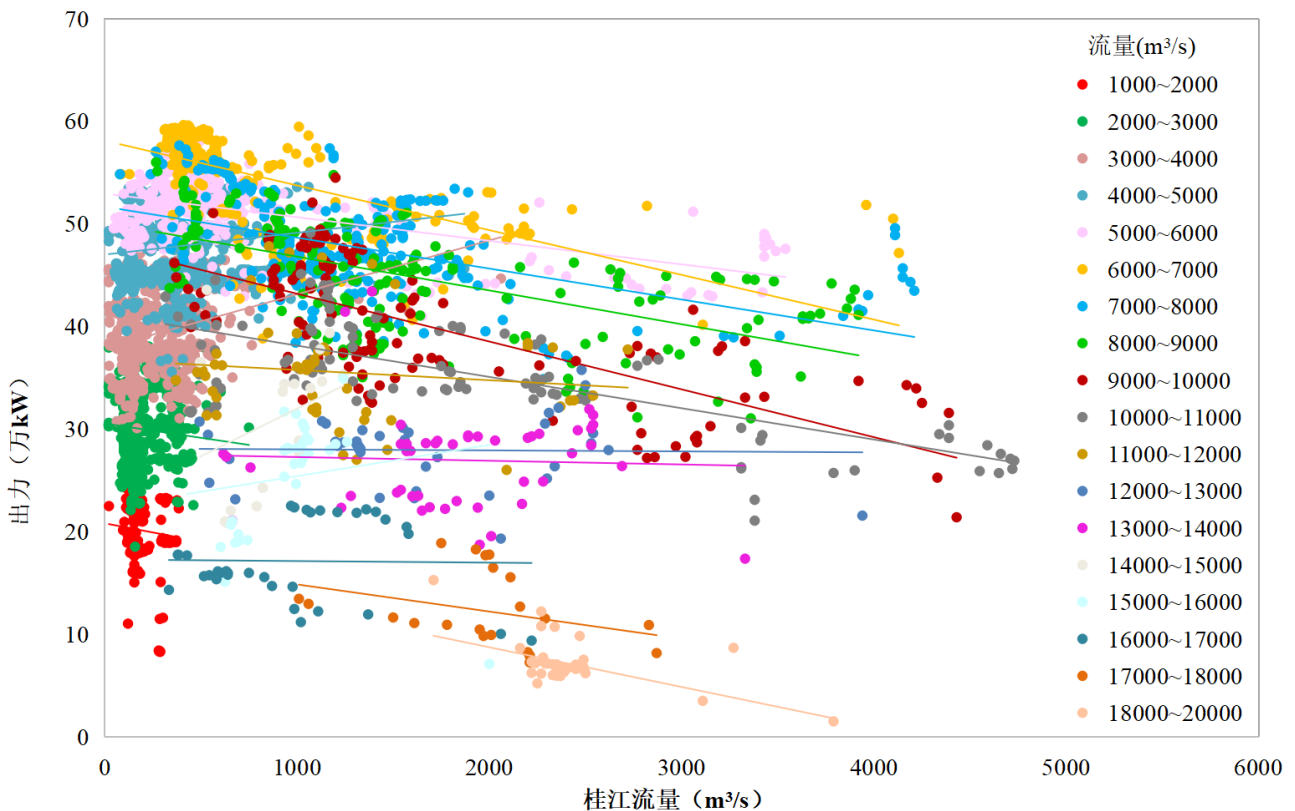


Figure 3. Change of output with Guijiang River flow under different discharge levels of Changzhou

图 3. 长洲不同出库流量级下电站出力随桂江流量变化图

Table 1. Statistical table of correlation between Guijiang River flow and power generation of Changzhou

表 1. 桂江流量对长洲发电相关性统计表

长洲水电站 出库流量 (m ³ /s)	京南站流量		发电出力				发电出力与京南站 流量相关性	线性回 归系数
	最小值	最大值	发电出力最小值	对应京南流量	发电出力最大值	对应京南流量		
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(万 kW)	(m ³ /s)	(万 kW)	(m ³ /s)		
1000~2000	22	385	8.27	288	24.74	150	-	-0.0036
2000~3000	21	750	18.52	158	38.43	126	-	-0.0028
3000~4000	21	2060	30.07	168	49.48	89	+	0.0053
4000~5000	21	1870	35.56	349	54.81	439	+	0.0021

Continued

5000~6000	47	3540	41.00	1650	58.95	388	-	-0.0023
6000~7000	80	4130	38.82	822	59.62	410	-	-0.0044
7000~8000	79	4210	34.85	2280	57.63	388	-	-0.0030
8000~9000	267	3920	31.03	3360	55.99	267	-	-0.0033
9000~10,000	362	4430	21.39	4430	54.49	1200	-	-0.0047
10,000~11,000	316	4730	21.06	3380	49.11	1070	-	-0.0031
11,000~12,000	370	2720	26.00	2090	47.81	854	-	-0.0010
12,000~13,000	493	3940	19.31	2060	35.75	2480	-	-0.0001
13,000~14,000	617	3330	17.35	3330	43.40	1390	-	-0.0004
14,000~15,000	495	1240	20.87	632	43.56	530	+	0.0093
15,000~16,000	428	2000	7.09	2000	34.92	1240	+	0.0031
16,000~17,000	334	2220	9.37	2220	22.51	969	-	-0.0002
17,000~18,000	1010	2870	7.24	2210	18.87	1750	-	-0.0026
18,000~20,000	1710	3790	1.5	3790	15.26	1710	-	-0.0039

注：相关性中+代表正相关，-代表负相关。

3. 桂江顶托对长洲发电效益影响数值模拟分析

为了全面、定量分析桂江来水顶托对长洲水电站发电效益的影响，构建一维水动力模型，以长洲水电站下泄流量 2100 m³/s、7437 m³/s、15,500 m³/s 为研究对象，分别对应梧州断面压咸流量[10]、长洲水电站机组满发流量以及防汛调度停机流量，计算不同桂江流量下的长洲坝下水位，分析汛期和非汛期长洲水电站的发电出力，评估桂江顶托作用的影响。

3.1. 模型构建

3.1.1. 模型原理

一维非恒定流数学模型基本控制方程为圣维南方程组，由水流连续方程、水流运动方程组成，其分别为：连续方程：

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L \quad (1)$$

运动方程：

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} = 0 \quad (2)$$

式中： h 为水深，m； Q 为河道断面流量，m³/s； q_L 为旁侧入流量，m³/s； A 为过水断面面积，m²， $A = B h$ ， B 为河宽； K 为流量模数，由谢才公式计算， $K = CA\sqrt{R}$ ， C 为谢才系数， R 为水力半径 $C = \frac{1}{N} R^{1/6}$ ， N 为糙率； g 为重力加速度(9.8 m/s²)。

采用有限差分法对上述方程组进行离散，差分格式采用四点加权平均隐格式，离散后的方程组采用高斯消元法求解。

3.1.2. 模型构建

模型上边界西江至长洲水电站、桂江至京南水文站，下边界至高要水文站，模型干流河段全长约 189 km，桂江支流段长约 64 km，共布置 156 个计算断面，断面间距在 48~4946 m 之间，由于缺少支流地形数据，除桂江外的支流以旁侧入流形式汇入。模型范围及断面布置如图 1 所示，采用 2020 年河道地形资料，构建一维水动力学模型。

3.1.3. 模型率定与验证

率定与验证是模型投入应用前的重要环节，率定与验证成果的好坏直接决定了模型的精度和可靠性。模型范围内有梧州水文站和德庆水位站，采用梧州站的水位、流量和德庆站的水位对模型进行率定与验证计算。选取 2021 年 5 月、7 月、10 月 3 场水文过程，长洲下泄流量范围分别为 3026~13,720 m³/s、3948~19,688 m³/s、1357~4272 m³/s，基本涵盖了长洲水电站发电机组运行时枢纽下泄流量的范围。模型率定与验证计算成果见表 2。

由表可知，梧州和德庆断面计算水位与实测水位最大值的误差均在 0.1 m 以内，梧州断面计算流量与实测流量误差也都小于 10%，符合《水利工程水利计算规范》[11]的要求，表明模型率定的糙率是合理的，可以用于研究计算。根据率定与验证成果，本次计算采用的糙率在 0.02~0.04 之间，2021 年 5 月、7 月、10 月场次率定的糙率平均值分别为 0.030、0.032、0.027。

Table 2. Calibration and verification results of model
表 2. 率定与验证成果表

时间	站点	项目	实测值	计算值	绝对误差	相对误差(%)
2021 年 5 月	梧州	最高水位(m)	11.77	11.78	0.01	-
	德庆	最高水位(m)	6.7	6.66	-0.03	-
	梧州	最大流量(m ³ /s)	16,600	16,430	-170	-1
		最小流量(m ³ /s)	6510	6240	-270	-4.1
2021 年 7 月	梧州	最高水位(m)	15.35	15.35	0	-
	德庆	最高水位(m)	10.24	10.14	-0.1	-
	梧州	最大流量(m ³ /s)	22,500	22,308	-192	-0.9
		最小流量(m ³ /s)	6430	6362	-68	-1.1
2021 年 10 月	梧州	最高水位(m)	4.25	4.19	-0.06	-
	德庆	最高水位(m)	2.63	2.73	0.1	-
	梧州	最大流量(m ³ /s)	3750	4072	322	8.6
		最小流量(m ³ /s)	2130	1973	-157	-7.4

3.2. 发电出力计算公式

水电站发电出力计算公式如下：

$$N = KQH \quad (3)$$

式中： N 为计算时段的平均出力； K 为出力系数； Q 为计算时段平均发电流量； H 为计算时段作用于水轮机的净水头。出力系数需综合水利及特性曲线、毛水头和发电流量等因素确定，本次计算通过查水轮机特性曲线计算得到。

由于长洲水电站汛期和非汛期运行水位不同，出力计算分汛期和非汛期两种情景，汛期坝上水位取为汛限

水位，非汛期坝上水位取水正常蓄水位与非汛期发电最低消落水位的平均值。

3.3. 计算方案

选取长洲水电站下泄流量 2100 m³/s、7437 m³/s、15,500 m³/s 为研究对象，桂江流量边界选取长洲下泄流量对应的桂江多年平均流量作为对照方案，经长系列分析，对应的桂江流量分别为 267 m³/s、906 m³/s、1451 m³/s。为研究桂江来水对长洲水电站的水位顶托与发电出力损失规律，根据近年西江、桂江实测流量成果，分析西江、桂江来水遭遇情况，确定计算方案见表 3。

Table 3. Calculation scheme of model

表 3. 模型计算方案

序号	流量(m ³ /s)		水位(m)	序号	流量(m ³ /s)		水位(m)	序号	流量(m ³ /s)		水位(m)
	长洲下泄	桂江	高要		长洲下泄	桂江	高要		长洲下泄	桂江	高要
1		267	0.68	7		906	2.2	15		1451	4.38
2		500	0.74	8		1000	2.22	16		2000	4.52
3	2100	1000	0.87	9	7437	2000	2.48	17	15,500	3000	4.78
4		2000	1.12	10		3000	2.73	18		4000	5.04
5		3000	1.38	11		4000	2.98	19		5000	5.3
6		4000	1.63	12		5000	3.24	20		6000	5.59
				13		6000	3.49	21		7000	5.89
				14		7000	3.74				

3.4. 计算成果分析

在各计算方案下，通过水动力模型计算长洲水电站内江、外江坝下水位，在此基础上，根据汛期和非汛期的实际情况，结合枢纽发电机组性能，计算内江、外江发电出力，然后与相应的对照方案(桂江平均流量)结果进行对比，分析其对长洲坝下水位顶托及水电站发电出力的影响。

在长洲水电站同一下泄流量下，随着桂江流量的增大，长洲水电站内江、外江坝下水位顶托量增大。受水位顶托的影响，水电站发电水头减小，发电出力减小，出力损失量增大。对水位顶托量、出力损失量随桂江流量变化的计算成果进行线性拟合，拟合成果见表 4 和图 4、图 5，拟合得到的相关系数 R² 均大于 0.95，在研究方案下，水位顶托量、出力损失量与桂江流量呈线性正相关，满足如下关系式。

$$\delta Z = k_1 Q_{gui} + b_1$$

$$\delta N = k_2 Q_{gui} + b_2$$

式中： δZ 为水位顶托量，单位为 mm， δN 为出力损失量，单位为万 kW， Q_{gui} 为桂江下泄流量，单位为 m³/s， k_1 、 k_2 为曲线斜率， b_1 、 b_2 为截距，斜率主要由研究方案的长洲下泄流量决定。根据线性相关分析结果可知，长洲水电站不同下泄流量下，斜率 k_1 随着长洲出库流量的增大而减小， k_2 随着长洲出库流量的增大而增大，相较于长洲下泄小流量，当长洲下泄流量增加时，随着桂江来水的增大，桂江来水顶托作用造成长洲坝下水位的增长幅度减小，发电出力降幅增大。长洲水电站下泄满发流量 7437 m³/s 时，桂江流量每增加 100 m³/s，坝下水位顶托增长超 40 mm，水电站出力损失约 0.21 万 kW。不同流量级下出力损失与桂江流量的线性回归方程的提出可为长洲水电站调度决策提供技术支撑，在保证防汛安全的前提下，针对不同的桂江来水，辅助调度决策，实现发电效益的最大化。

Table 4. Fitting results of the rising water level under the dam\loss of power generation and Guijiang River flow
表 4. 长洲坝下水位顶托量及出力损失量与桂江流量拟合成果

长洲下泄流量(m ³ /s)	水位顶托量				电站出力损失量			
	内江		外江		非汛期		汛期	
	斜率 k_1	相关系数 R^2	斜率 k_1	相关系数 R^2	斜率 k_2	相关系数 R^2	斜率 k_2	相关系数 R^2
2100	0.6350	0.9717	0.6067	0.9858	0.0010	0.9831	0.0010	0.9831
7437	0.4426	1.0000	0.4558	1.0000	0.0021	0.9997	0.0021	0.9998
15500	0.4183	1.0000	0.4200	0.9999	0.0042	0.9993	0.0036	0.9985

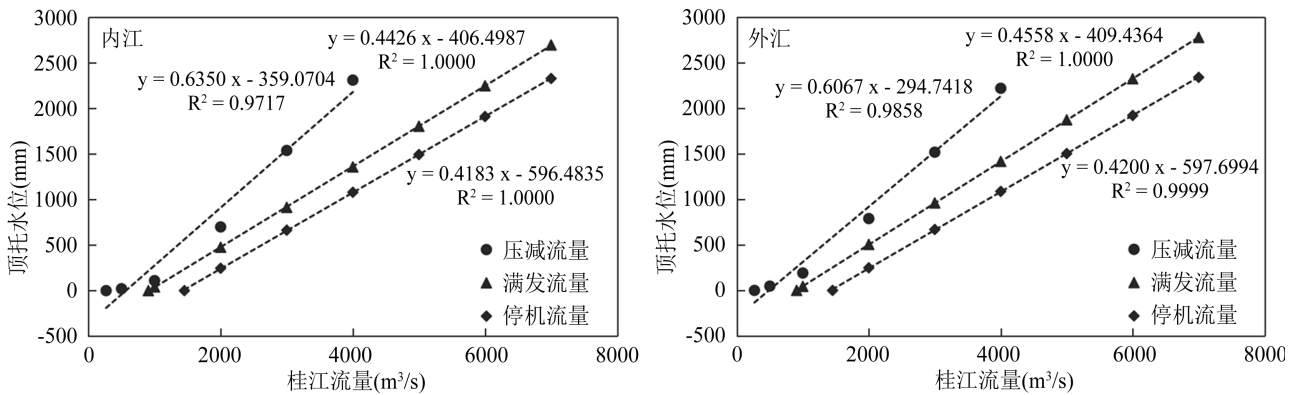


Figure 4. The change of the rising water level under the dam with Guijiang River flow under different Changzhou discharges
图 4. 长洲不同下泄流量下坝下水位顶托随桂江流量变化

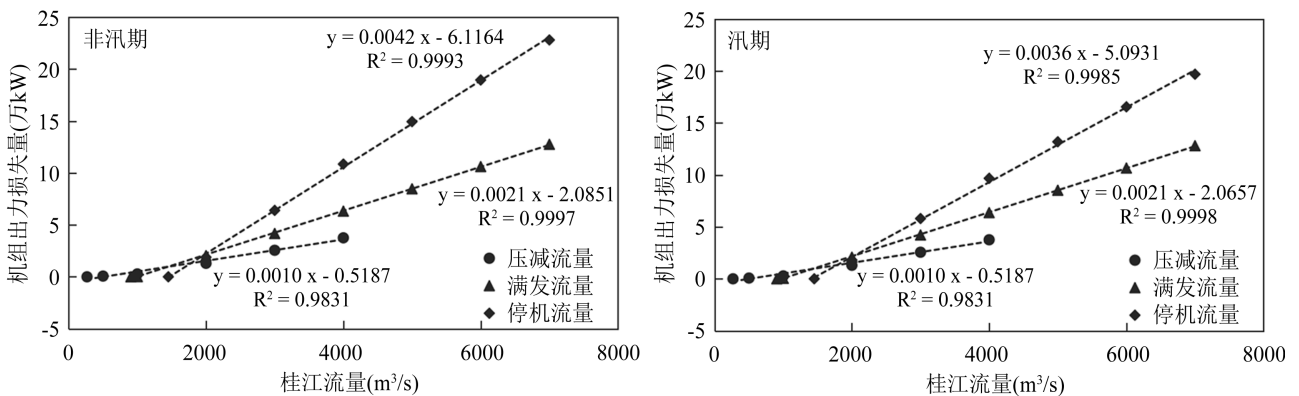


Figure 5. The change of the loss of power generation with Guijiang River flow under different Changzhou discharges
图 5. 长洲不同下泄流量下电站出力损失随桂江流量变化

长洲水电站发电出力的损失率分析见图 6。相较于对照方案，随着桂江流量的增大，出力损失率增大。长洲下泄流量为 2100 m³/s 时，非汛期出力最大损失约 14.2%，汛期出力最大损失约为 15.8%；长洲下泄流量为 7437 m³/s 时，非汛期出力最大损失约 23.4%，汛期出力最大损失约为 27.3%；长洲下泄流量为 15,500 m³/s 时，非汛期出力最大损失约 56.0%，汛期出力最大损失约为 64.4%。长洲水电站汛期和非汛期出力损失率相差不大，表现为汛期大于非汛期，并且随着桂江流量的增大，汛期与非汛期间的出力损失率差也略有增大。桂江流量不超 1700 m³/s 时，水电站出力损失率均小于 5%。在水库调度过程中，建议根据预报来水情况，制定发电调度计划，实际调度过程中结合枢纽实际来水、桂江实际来水的遭遇情况，动态调整发电计划，在可承受的桂江来水顶托损失范围内尽可能降低发电出力损失，确保发电效益的最大化。

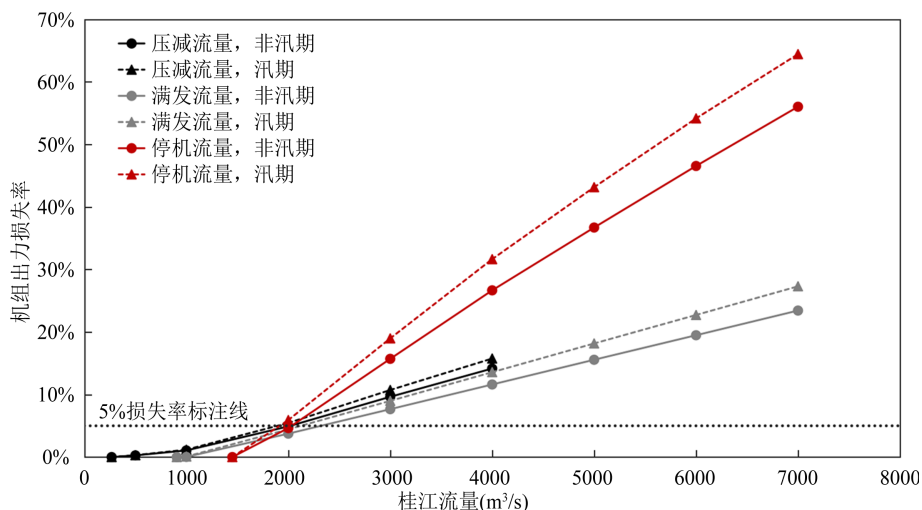


Figure 6. The change of the loss rate of power generation with Guijiang River flow under different Changzhou discharges

图 6. 长洲不同下泄流量下出力损失率随桂江流量变化

4. 结论与展望

本文采用统计分析与数值模拟两种手段,研究桂江来水顶托对长洲水电站发电效益的影响。研究结论如下:

1) 长洲水电站发电出力与桂江流量基本呈负相关性。在长洲水电站同一下泄流量下,随着桂江流量的增大,坝下水位抬升,长洲水电站内江、外江发电出力降低;随着长洲下泄流量的增大,长洲水电站坝下水位顶托量增幅减小,发电出力降幅增大。

2) 经过数值模拟分析,得出水位顶托量和出力损失量与桂江流量的线性回归方程,长洲水电站下泄满发流量 7437 m³/s 时,桂江流量每增加 100 m³/s,坝下水位顶托增长超 40 mm,出力损失约 0.21 万 kW。

3) 对不同下泄流量下的出力损失率进行了分析,相较于对照方案,桂江流量不超 1700 m³/s 时,长洲水电站出力损失率小于 5%。随着桂江流量的增大,长洲水电站出力最大损失率可超 60%。

以上研究成果可为长洲水电站发电调度决策提供技术支撑,在保证防汛安全的前提下,针对不同的桂江来水,动态调整发电调度决策,在可承受的桂江来水顶托损失范围内尽可能降低出力损失,确保发电效益的最大化。

在本文研究的三个流量级下,长洲水电站发电量损失与桂江来水流量呈线性相关,后续将进一步加密研究流量级,深入分析出力损失量变幅随长洲下泄流量和桂江流量的变化关系,结合本文的回归方程,可快速精准的计算不同长洲下泄流量、桂江流量下长洲水电站的发电出力及其损失情况,为枢纽调度运行提供技术支撑。

参考文献

- [1] 广西壮族自治区地方志编纂委员会. 广西通志·自然地理志[M]. 南宁: 广西人民出版社, 1994.
Local Chronicle Compilation Committee of Guangxi Zhuang Autonomous Region. Guangxi chorography·physical geography. Nanning: Guangxi People's Publishing House, 1994. (in Chinese)
- [2] 周苏芬, 叶龙, 刘兴年, 等. 嘉陵江与长江交汇水流顶托效应特性研究[J]. 工程科学与技术, 2014, 46(Z1): 7-11.
ZHOU Sufen, YE Long, LIU Xingnian, et al. Study on the backwater effects on flow characteristics at confluence zone between Jialing River and Yangtze River. Advanced Engineering Sciences, 2014, 46(Z1): 7-11. (in Chinese)
- [3] 胡国建, 丁涛, 尤爱菊, 等. 钱塘江洪水顶托对浦阳江洪水位的影响研究[J]. 水电能源科学, 2011(11): 11-14.
HU Guojian, DING Tao, YOU Aiju, et al. Influence of Qiantangjiang estuary flood backwater on flood level of Puyang River. Water Resources and Power, 2011(11): 11-14. (in Chinese)
- [4] 邹小洪. 影响长洲水利枢纽下游水位流量关系的原因分析[J]. 红水河, 2016, 35(2): 37-40.

- ZOU Xiaohong. Analysis of causes influencing downstream stage-discharge relation of Changzhou hydro-complex. *Hongshui River*, 2016, 35(2): 37-40. (in Chinese)
- [5] 刘鸿燕. 水位顶托对南津渡水电站发电效益的影响[J]. *湖南水利水电*, 2008(4): 39-40.
LIU Hongyan. Influence of backwater on power generation benefit of Nanjindu Hydropower Station. *Hunan Hydro & Power*, 2008(4): 39-40. (in Chinese)
- [6] 孙亚楠, 叶磊, 吴剑, 等. 基于一维水动力模型的洪水顶托影响分析[J]. *南水北调与水利科技*, 2018, 16(6): 8.
SUN Yanan, YE Lei, WU Jian, et al. Analysis of backwater effects of flood based on one-dimensional hydrodynamic model. *South to North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2018, 16(6): 8. (in Chinese)
- [7] 陈立华, 滕翔, 潘子豪, 等. 西江流域梧州站干支流洪水组成及遭遇规律分析[J]. *水文*, 2019, 39(6): 1.
CHEN Lihua, TENG Xiang, PAN Zihao, et al. Composition and encountering law of floods at Wuzhou Station from main stream and tributaries in Xijiang River Basin. *Journal of China Hydrology*, 2019, 39(6): 1. (in Chinese)
- [8] 高雪山, 莫荣强. 西江洪水对北江防洪调度影响分析[J]. *人民珠江*, 2006(3): 25-27.
GAO Xueshan, MO Rongqiang. Analysis of how Xijiang River flood water influenced the flood control dispatch in Beijiang Rive. *Pearl River*, 2006(3): 25-27. (in Chinese)
- [9] 广西电力工业勘察设计研究院. 广西长洲水利枢纽可行性研究报告[R]. 2005.
Guangxi Electric Power Industry Survey Design and Research Institute. Feasibility study report of Guangxi Changzhou Hydraulic Complex. 2005. (in Chinese)
- [10] 水利部. 水资管[2020]285号水利部关于印发第二批重点河湖生态流量保障目标的函[S]. 北京: 水利部, 2020.
Ministry of Water Resources. Water resources management [2020] No. 285 Letter of the Ministry of Water Resources on issuing the second batch of ecological flow guarantee targets of key rivers and lakes. Beijing: Ministry of Water Resources, 2020. (in Chinese)
- [11] 水利水电规划设计总院. SL 104-2015 水利工程水利计算规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
China Renewable Energy Engineering Institute. SL 104-2015 regulation for water conservancy computation of water projects. Beijing: China Water & Power Press, 2015. (in Chinese)