

郁江流域水电站水库群水量不平衡问题分析

黄 旭¹, 潘志浩², 陈森林^{2,3}, 董前进^{2,3}, 梁 斌², 谭安琪², 毛玉鑫⁴

(1. 广西电网电力调度控制中心, 南宁 530023; 2. 武汉大学水利水电学院, 武汉 430072;
3. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072; 4. 中国长江电力股份有限公司, 湖北 宜昌 443133)

摘要: 水量平衡是水文水资源领域最基本的原理, 通过研究区域水量平衡, 可以确定区域各水文要素之间关系、合理认识和评价区域水资源、指导水资源优化配置。基于水量平衡原理, 分别采用平衡差和区间降雨径流系数对郁江流域各水电站、水电站区间进行计算分析, 发现在实际运行中存在明显水量不平衡现象。该现象的存在, 对梯级水电站的防洪度汛、来水预测预报、联合优化调度等造成一系列的影响, 并影响电站的经济效益和安全生产。通过对水量平衡各要素及其计算过程的分析结果看, 郁江流域水电站水库之间水量不平衡的主要原因是运行多年的特性曲线发生了改变。

关键词: 郁江流域; 水电站水库群; 水量平衡; 径流系数

中图分类号: P333 **文献标识码:** A

黄 旭, 潘志浩, 陈森林, 等. 郁江流域水电站水库群水量不平衡问题分析[J]. 中国农村水利水电, 2022(7): 221-224.

HUANG K, PAN Z H, CHEN S L, et al. An analysis of the water imbalance of hydropower stations on Yujiang River[J]. China Rural Water and Hydropower, 2022(7): 221-224.

An Analysis of the Water Imbalance of Hydropower Stations on Yujiang River

HUANG Kui¹, PAN Zhi-hao², CHEN Sen-lin^{2,3}, DONG Qian-jin^{2,3},

LIANG Bin², TAN An-qi², MAO Yu-xin⁴

(1. Power Dispatching Control Center, Guangxi Power Grid, Guangxi 530023, China;

2. School of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

3. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

4. China Yangtze Power Co., Ltd., Yichang 443133, Hubei Province, China)

Abstract: Water balance is the most basic principle in the field of hydrology and water resources. By studying regional water balance, this paper can determine the relationship between regional hydrological elements, reasonably understand and evaluate regional water resources, and guide the optimal allocation of water resources. Based on the principle of water balance, the balance difference and interval runoff coefficient are used to calculate and analyze each hydropower station and hydropower station interval on Yujiang River basin, and it is found that there is an obvious water imbalance phenomenon in actual operation. The existence of this phenomenon has caused a series of impacts on flood control, incoming water prediction and forecast, and joint optimal operation scheme, and affects the economic benefits and safety production of the stations. By analyzing the elements of water balance and its calculation process, the main reason for water imbalance is that the reservoir characteristic curve of the hydropower station has changed over the years of operation.

Key words: Yujiang River; hydropower stations; water balance; runoff coefficient

收稿日期: 2021-09-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(51779177); 广西电网公司科技项目资助(0400002020030103DD00134)。

作者简介: 黄 旭(1984-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事电网水库优化调度。E-mail: 1211568978@qq.com。

通讯作者: 陈森林(1963-), 男, 教授, 博士, 主要从事水文及水资源研究。E-mail: csl_csl@263.net。

0 引言

水量平衡是水文水资源领域最基本的原理,通过研究区域水量平衡,可以确定区域各水文要素之间关系、合理认识和评价区域水资源、指导水资源优化配置^[1-3]。目前我国大中型水电站均已建立起水库调度自动化系统^[4],流域大规模梯级水电站开发使得各水库水力关系更为复杂^[5]。随着郁江流域梯级水电站水库群逐步建成投产,各水电站以及部分水电站之间开始出现水量不平衡现象,尤其是在宋村、牛湾水电站依次投产之后,位于下游的西津水电站入库水量明显小于上一级水电站出库水量。上述问题的存在,将对郁江流域梯级水电站水库群的防洪度汛、来水预测预报、联合优化调度^[6]等造成一系列的影响,并影响电站的经济效益和安全生产^[7]。

针对郁江流域水电站水库群水量不平衡问题,基于水量平衡原理,通过对郁江流域12座水电站近年来实际运行数据进行统计、比较、分析,探讨影响水库群水量不平衡的主要原因。

1 研究区概况

郁江位于云南省东部和广西壮族自治区南部,属珠江流域西江水系,由发源于云贵高原的右江和发源于越南境内的左江汇流而成,于广西桂平市注入西江浔江段,流域面积89 357 km²,其中我国境内面积77 778 km²,干流全长1 157 km,平均比降0.33‰。郁江地处中亚热带和南亚热带季风气候区,西北部气温低,气候干燥,东南部气温高,气候湿润,年平均气温16.7~22.1℃,年平均降雨量1 115~1 470 mm,年平均径流量476.7亿m³。郁江流域水电站水库群主要有左江、山秀、驮娘江、右江、那吉、鱼梁、金鸡滩、宋村、牛湾、西津、仙衣滩和桂航12座水电站,其中完全年调节电站1座、不完全季调节电站1座、日调节电站9座、径流式无调节电站1座,总库容达90.98亿m³,可调节库容34.45亿m³。

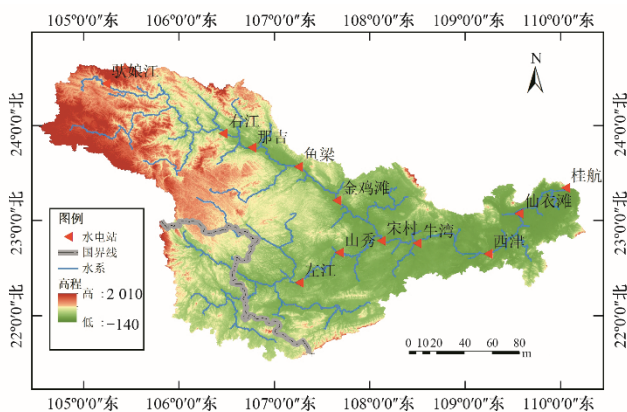


图1 郁江流域及其主要电站位置示意图

Fig.1 Schematic diagram of Yujiang River and the location of main hydropower stations

2 水量平衡分析

采用郁江流域12座水电站2013-2020年逐小时雨量、入库流量、出库流量、水库水位以及水位库容关系曲线,其中宋村、牛湾数据分别从2016年、2019年投产后开始,而雨量数据

由气象系统分区采用面积加权平均计算获得。

郁江流域水电站水库群水量平衡主要从单一水电站和水电站区间两方面进行计算分析。

2.1 单一水电站水量平衡分析

对单一水电站水库,时段平均入库流量基于水量平衡原理计算,公式如式(1)所示。

$$\overline{Q}_{rk} = \overline{Q}_{ck} + \frac{\Delta V}{\Delta t} + \overline{Q}_{ss} \quad (1)$$

式中: Δt 为计算时段长,s; \overline{Q}_{rk} 为 Δt 内平均入库流量,m³/s; \overline{Q}_{ck} 为 Δt 内平均出库流量,m³/s; ΔV 为 Δt 内水库库容变化量,m³; \overline{Q}_{ss} 为 Δt 内水库水面蒸发、渗漏等平均损失流量,m³/s。

根据各水电站实际运行记录数据,统计多年平均入库流量 \overline{Q}_{rk} ,出库流量 \overline{Q}_{ck} 以及库容变化量对应的折算流量 \overline{Q}_{ij} ,同时计算水电站水量平衡差 Δ [式(2)]和相对平衡差 Δ_r [式(3)]^[8],各水电站统计计算结果如表1所示,通过各水电站水量平衡差可以分析各水库水量平衡状况。若 $\Delta = 0$,则说明水电站反推入库流量时未考虑水库水面蒸发、渗漏等损失;若 $\Delta > 0$,则说明计算得到的水量平衡差代表该水库水面蒸发、渗漏等损失;若 $\Delta < 0$,则说明不满足水量平衡。从表1中可以看出左江、山秀、驮娘江、金鸡滩、宋村、西津的多年水量平衡差为负值,明显不满足水量平衡,尤其是驮娘江水电站的相对平衡差甚至达到-19.97%。

$$\Delta = \overline{Q}_{rk} - \overline{Q}_{ck} - \overline{Q}_{ij} \quad (2)$$

$$\Delta_r = \frac{\Delta}{\overline{Q}_{rk}} \quad (3)$$

表1 郁江流域各电站多年水量平衡要素统计表

Tab.1 Statistical table of multi-year water balance elements of each hydropower stations on Yujiang River

电站	多年平均/(m ³ ·s ⁻¹)			平衡差/(m ³ ·s ⁻¹)	相对平衡差/%
	入库流量	出库流量	库容变化折算流量		
左江	488.25	490.87	-0.001 5	-2.62	-0.54
山秀	550.53	554.99	0.027 1	-4.48	-0.81
驮娘江	20.05	22.54	1.513 3	-4.00	-19.97
右江	273.67	269.29	-0.000 1	4.39	1.60
那吉	324.79	312.27	0.015 9	12.50	3.85
鱼梁	403.55	397.45	1.103 5	5.00	1.24
金鸡滩	444.91	446.42	0.015 8	-1.52	-0.34
宋村	1 222.67	1 226.24	4.408 5	-7.98	-0.65
牛湾	1 242.44	1 216.84	-0.211 6	25.82	2.08
西津	1 267.14	1 270.39	-1.319 5	-1.93	-0.15
仙衣滩	1 408.96	1 388.61	-0.005 8	20.35	1.44
桂航	1 524.43	1 508.95	0.440 3	15.04	0.99

2.2 水电站区间水量平衡分析

水电站区间水量平衡采用区间降雨径流系数进行分析,基于水量平衡原理,在水电站区间,若不考虑相邻区域水量调入与调出,其年水量平衡公式为^[9]:

$$\Delta S = P - R - E \quad (4)$$

式中: ΔS 为包气带含水量年变化量,mm; P 为年平均面降雨量,

mm; R 为年天然径流深, mm; E 为年实际蒸散发量, mm。

假定一年内区间包气带含水量变化量为 0, 则区间降雨径流系数为:

$$\alpha = \frac{R}{P} \quad (5)$$

可以看出, 区间降雨径流系数在客观上反映了水电站区间降雨、径流和蒸散发之间的水量平衡关系, 其中水电站区间径流深计算公式^[10]如下:

$$R = \frac{(Q_{rk} - Q_{ck})T}{1000F} \quad (6)$$

式中: Q_{rk} 为下级水电站入库流量, m^3/s ; Q_{ck} 为上级水电站出库流量, m^3/s ; T 为以秒为单位的时段长, s ; F 为水电站区间面积, km^2 。

根据式(5)和式(6)计算郁江流域各水电站 2013–2020 年逐年区间径流系数如表 2 所示, 并将其绘制成图 2, 以观察 2013–2020 年郁江流域各水电站区间径流系数逐年变化情况。

由表 2 和图 2 可以看出, 郁江流域各水电站区间水量平衡主要存在问题有: ①2013–2020 年仙衣滩、桂航每年区间径流系数基本都大于 1; ②2017–2019 年宋村、牛湾水电站区间径流系数明显较其他水电站偏大; ③图 3 可以看出, 2016 年宋村投产

表 2 郁江流域各水电站 2013–2020 年逐年区间径流系数

Tab.2 Yearly interval runoff coefficients of hydropower stations on Yujiang River from 2013 to 2020

电站	区间径流系数								多年平均
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
左江	0.41	0.47	0.37	0.34	0.41	0.43	0.50	0.31	0.41
山秀	0.47	0.42	0.40	0.43	0.47	0.62	0.25	0.46	0.44
驮娘江	0.16	0.37	0.32	0.23	0.36	0.027	0.24	0.18	0.27
右江	0.26	0.40	0.47	0.35	0.44	0.45	0.39	0.28	0.38
那吉	0.45	0.22	0.24	0.23	0.25	0.30	0.35	0.34	0.30
鱼梁	0.21	0.31	0.35	0.28	0.44	0.44	0.45	0.32	0.35
金鸡滩	0.47	0.57	0.34	0.32	0.37	0.25	0.24	0.10	0.33
宋村				0.34	0.55	0.52	0.56	0.43	0.48
牛湾							0.76	0.18	0.47
西津	0.33	0.39	0.37	0.27	0.03	-0.04	-0.28	-0.09	0.12
仙衣滩	1.30	1.76	1.44	1.33	1.44	1.61	1.58	1.41	1.48
桂航	1.30	1.36	0.82	1.52	1.25	1.28	1.35	1.20	1.26

运行之后, 西津区间径流系数开始变小甚至出现负值, 尤其是在 2019 年牛湾投产运行, 西津入库水量明显小于牛湾出库水量, 出现严重水量不平衡现象。

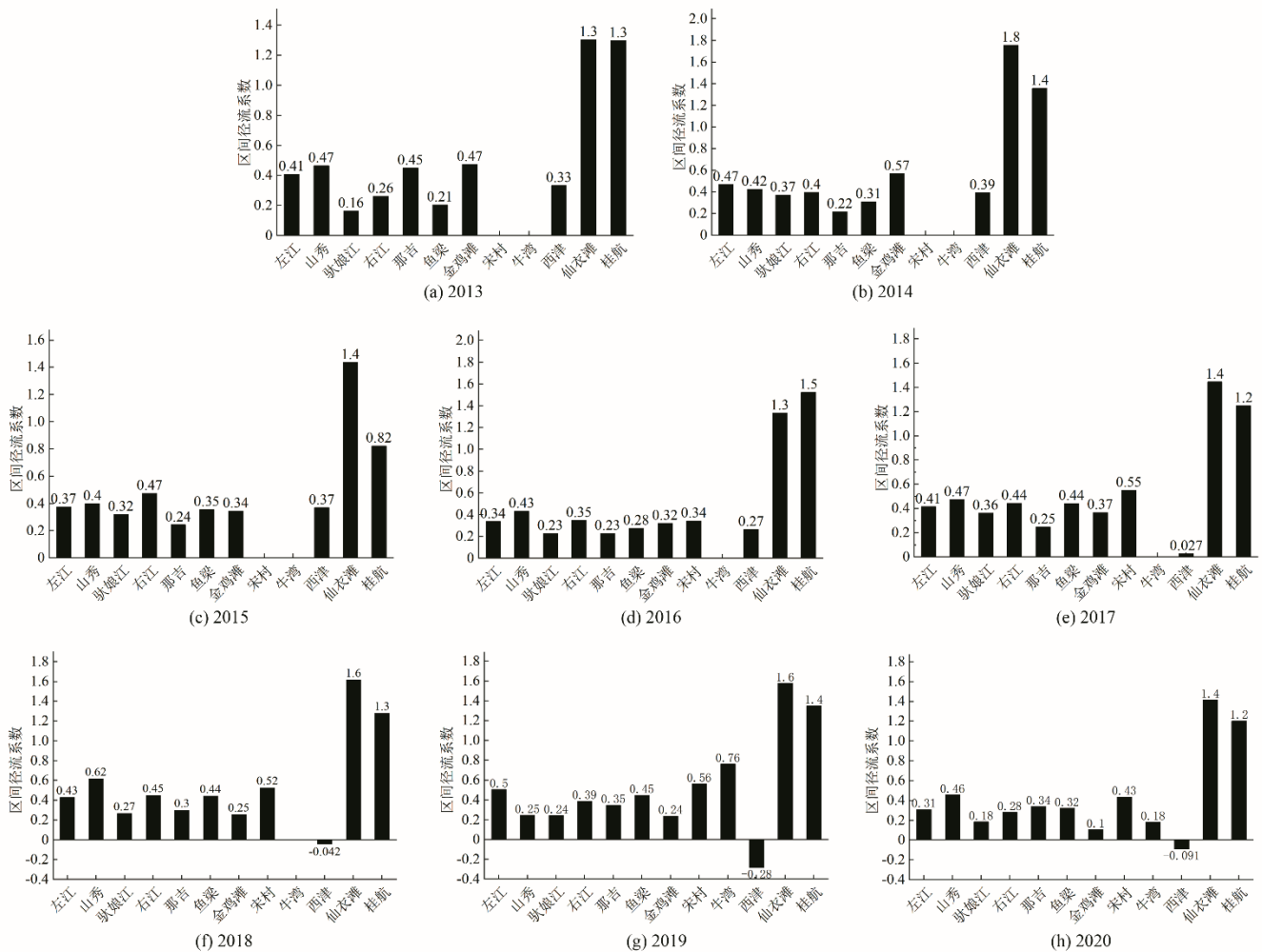


图 2 郁江流域各水电站 2013–2020 年逐年区间径流系数

Fig.2 Yearly interval runoff coefficients of hydropower stations on Yujiang River from 2013 to 2020

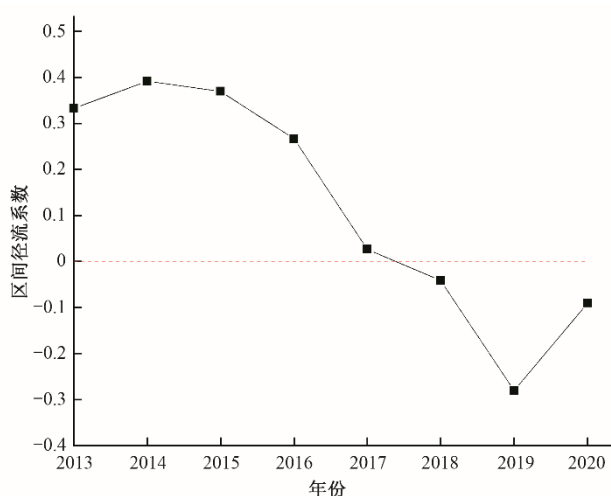


图3 西津水电站2013-2020年逐年区间径流系数变化过程

Fig.3 Yearly interval runoff coefficients of Xijin hydropower station from 2013 to 2020

西津水电站建于1958年,并于1964年开始投入发电,运行时间比较长,因此认为西津数据较其他水电站可靠,并且假定面雨量为真实值,则造成以上问题的主要原因是仙衣滩、桂航的入库流量和宋村、牛湾的出库流量计算偏大。

3 原因分析

导致水电站水库群水量不平衡的原因是多方面的,包括水务计算各个环节、水文测量误差和外界因素导致的系统误差等^[11]。根据郁江流域各水电站水量平衡计算公式中各部分组成要素,探讨其中可能导致水量不平衡的因素,分析造成郁江流域水电站水库群水量不平衡的主要原因。

郁江流域水电站水库群水量平衡计算涉及要素有出库流量、入库流量和库容变化相应的折算流量。各水电站出库流量计算主要有两种方式,一是采用发电流量和弃水流量之和,需要根据时段水位、出力数据分别查水轮机组NHQ曲线、泄流设施曲线插值计算;另一种是直接根据坝下水位~下泄流量关系曲线插值计算。入库流量是根据水库水位变化和出库流量,利用水量平衡式反推求得。库容变化相应的折算流量根据水库水位变化查水位库容关系曲线得到库容变化量计算获得。可以看出,出库流量、入库流量、库容变化相应折算流量的计算从根本上与水位、水电站水库特性曲线有着密切的关系。经过多年的运行,大多数水电站由于受冲淤、航道整治、下游建坝等因素影响,使得原河道水力特性发生改变,水电站水库特性曲线随之发生变化。因此,导致郁江流域水电站水库群水量不平衡的主要原因是特性曲线的准确性。

特性曲线的绘制本身存在误差,例如水库地形测量是一项艰巨复杂的任务,使得水位库容关系曲线本身就存在一定的误差,而且有些曲线仍采用的是工程设计阶段通过模型试验推算的经验曲线,没有更新,导致误差更大。郁江流域宋村、牛湾和仙衣滩水电站由于下游水库蓄水,使得其尾水位控制断面位于下游水库回水区,桂航水电站也因为受到下游浔江河段水位

顶托,尾水位流量关系较原曲线产生系统性抬升,同等下泄流量情况下尾水位偏高,若仍采用原曲线,在尾水位一定的情况下计算的出库流量较实际情况偏大,同时反推入库流量也会偏大,从而导致西津入库水量小于上游出库水量、仙衣滩和桂航区间径流系数大于1。

此外,随着人类对水资源开发利用加强,电站区间兴修大量水电站和引用水工程,由于缺乏对库区各功能引用水的有效监测手段,以及某些水量平衡要素获取难度大,使得水量平衡分析过程中存在缺项、不够全面等问题。

4 结论

基于水量平衡原理,采用水量平衡差和区间径流系数对郁江流域各水电站的入库流量、出库流量等要素进行计算分析,结合各水电站实际运行情况,发现郁江流域水电站水库群存在水量不平衡现象,并分析造成水量不平衡的原因,得出以下几点结论。

(1)仙衣滩和桂航的径流系数均大于1,表明区间降雨量观测偏小、或出(入)库流量计算偏大,且后者的可能性更大;

(2)西津出入库流量精度可信,宋村和牛湾计算的出(入)库流量偏大;

(3)宋村、牛湾、仙衣滩及桂航等4座水电站特性曲线及出库流量计算方法需要完善。

参考文献:

- [1] 卢诗卉,赵红莉,蒋云钟,等.基于多源遥感数据和水量平衡原理的灌溉用水量分析[J].水利学报,2021,52(9):1126-1135.
- [2] 刘启航,黄昌.西北内陆区水量平衡要素时空分析[J].资源科学,2020,42(6):1175-1187.
- [3] 李文运,张伟,戈建民,等.水量平衡分析方法及应用[J].水资源保护,2011,27(6):83-87.
- [4] 裴哲义,纪昌明.中国水库优化调度的成就与展望[J].水电自动化与大坝监测,2011,35(3):5-7.
- [5] 李晓斌,肖舸.梯级水库调度自动化系统[M].北京:中国水利水电出版社,2012.
- [6] 胡振奎,邵光涛.澜沧江梯级电站水量平衡分析[C]//中国水力发电工程学会梯级调度控制专业委员会2011年学术交流会论文集,2011:222-228.
- [7] 蔡承德.龚嘴电站水库水量不平衡原因分析及其电站尾水位~流量关系的率定[J].四川水力发电,1999,18(4):67-70.
- [8] 吴士夫,伏琳,兰茜.陆水水库水量平衡计算方法[J].长江工程职业技术学院学报,2017,34(2):8-10,16.
- [9] 王兆礼,陈晓宏,杨涛.东江流域径流系数变化特征及影响因素分析[J].水电能源科学,2010,28(8):10-13,45.
- [10] 王俊莉.贵州乌江梯级水库入库流量计算分析及改进方法[J].水利水电快报,2015,36(4):54-56,74.
- [11] 沈延青,靳少波,白钰.黄河上游唐乃亥水文站与龙羊峡水电站水量不平衡原因分析[J].电网与清洁能源,2014,30(1):117-119,123.