

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2024269

张健明. 东江流域三大水库防洪与蓄水统筹分析[J]. 中国防汛抗旱, 2024, 34(10): 90-95. ZHANG Jianming. Integrated analysis of flood control and storage of the three major reservoirs in Dongjiang River Basin[J]. China Flood & Drought Management, 2024, 34(10): 90-95. (in Chinese)

东江流域三大水库防洪与蓄水统筹分析

张健明

(广东省水文局惠州水文分局, 惠州516000)

摘要: 东江流域新丰江、枫树坝、白盆珠三大水库汛期运行调度面临防洪与蓄水关系统筹问题, 分析三大水库防洪与蓄水关键期, 统筹上下游防洪安全, 通过调洪演算得到防洪起调水位, 结合水库调节性能考虑枯季耗水情况, 综合确定最优库水位。相关成果可以作为三大水库运行调度、提高流域水安全保障的重要指导, 并为其他具有控制性水工程的江河提供借鉴。

关键词: 东江流域; 新丰江水库; 防洪与蓄水; 最优库水位

中图分类号: TV697.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-9264(2024)10-90-06

0 引言

东江是珠江流域三大水系之一, 东江水资源用于满足流域各地市及香港地区近 5 000 万人的用水需求, 是重要的“政治水、生命水、经济水、生态水”^[1-3]。流域内新丰江、枫树坝、白盆珠水库总集水面积 11 740 km², 占东江控制站博罗站以上集水面积的 46%, 总库容 170.5 亿 m³, 设计最大防洪库容 34.8 亿 m³, 是东江流域防洪工程体系的重要组成部分, 也是实现水资源统一调度的控制性工程, 并称为三大水库。

东江流域三大水库主要功能为防洪、供水, 兼顾发电, 汛期水库运行调度尤其需要做好防洪与蓄水关系的统筹, 找到两者之间的平衡点, 充分发挥大型水工程的综合效益, 服务国计民生。本文分析了三大水库防洪与蓄水关键期, 主要通过调洪演算与耗水分析, 统筹确定三大水库不同阶段的最优库水位, 旨在提高流域水安全保障。

1 三大水库概况

1.1 基本情况

东江流域三大水库位置见图 1, 基本情况数据来源于

三大水库工程管理部门, 详见表 1。

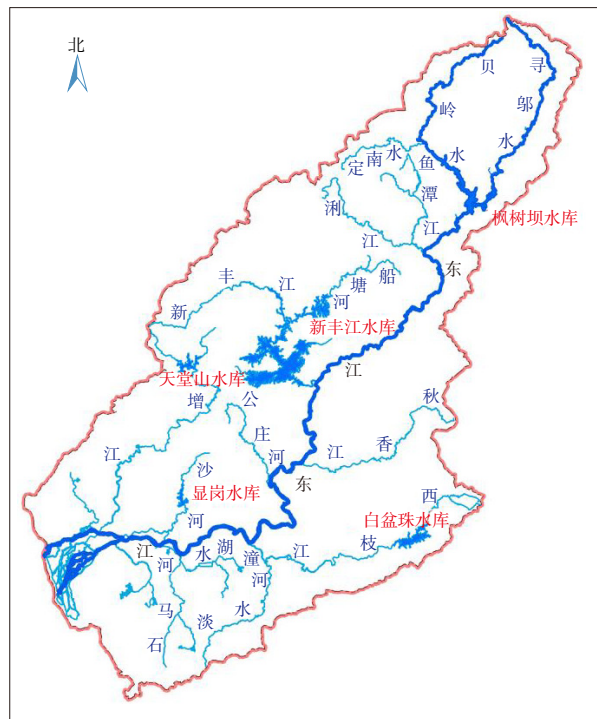


图 1 东江流域三大水库位置图

收稿日期: 2024-08-02

作者信息: 张健明, 男, 工程师, E-mail: 446371364@qq.com。

表 1 东江三大水库基本情况表

项目	新丰江水库	枫树坝水库	白盆珠水库	合计
所在河流	新丰江	东江	西枝江	
集水面积/km ²	5 734	5 150	856	11 740
总库容/亿m ³	139.0	19.3	12.2	170.5
调节性能	多年调节	不完全年调节	不完全多年调节	
防洪高水位/m	121.05	169.20	81.90	
防洪库容/亿m ³	27.4	4.4	3.0	34.8
正常蓄水位/m	116	166	75	
汛限水位(4—9月)/m	114~116	161~164	75	
死水位/m	93	128	62	

1.2 功能定位

2002 年,广东省人民政府将新丰江、枫树坝水库功能调整为以防洪、供水为主,兼顾发电、航运;2004 年,惠州市人民政府将白盆珠水库功能调整为以防洪、供水为主,兼顾灌溉、发电。2008 年,广东省人民政府颁布的《广东省东江流域水资源分配方案》,明确提出了三大水库要按照防洪、供水为主,兼顾发电的功能进行联合优化调度,统一调配水资源^[4]。

1.2.1 防洪

根据《广东省东江防御洪水方案》,适时联合调度三大水库,可将东江下游博罗站 50 年一遇至 100 年一遇洪水削减为 20 年一遇至 30 年一遇洪水,其中新丰江、枫树坝水库分别采用预报溃泄博罗站、龙川站流量进行调洪,白盆珠水库以错峰调节为主要调洪方式^[5]。

现状条件下,三大水库均存在防洪高水位以下移民应迁未迁问题,约 22.9 亿 m³ 的防洪库容(占比 66%)无法有效利用,严重制约水库调蓄性能,因此三大水库汛限水位运用极为严格,在实际防洪调度中,三大水库的汛限水位往往也作为一个防洪控制水位。水库防洪库容利用情况详见表 2。

表 2 三大水库防洪库容利用情况表

项目	新丰江水库	枫树坝水库	白盆珠水库
临时淹没赔偿水位线/m	116.0	166.0	79.7
有效防洪库容/亿m ³	7.5	2.5	1.9
无法有效利用的防洪库容占比(%)	73	43	35

注:有效防洪库容指汛限水位—临时淹没赔偿水位线之间的库容。

1.2.2 供水

据统计,通过对三大水库实施有计划的“汛蓄枯放”,

实现水资源统一调度,可以将东江控制站博罗站枯季径流占全年径流比例从 24% 提高到 29%^[5],有效解决因降雨时空分布不均影响流域用水安全的问题。

由于临时淹没制约,汛期水库设计防洪库容未能充分利用,导致实际防洪库容向下侵占兴利库容空间。据统计,2010—2023 年汛末,新丰江水库平均蓄满率为 83%,相应水位 110.70 m;枫树坝水库为 74%,相应水位 157.40 m;白盆珠水库为 88%,相应水位 73.10 m,均显著低于正常蓄水位。其中,蓄满率指汛末库容与正常蓄水位对应库容的比值^[5]。三大水库 2010—2023 年蓄满率分布情况见图 2。

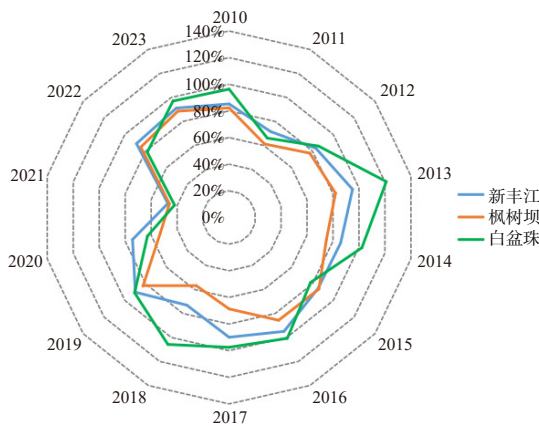


图 2 三大水库2010—2023 年蓄满率分布情况图

2 枯季耗水分析

对 1986—2020 年(三大水库建成运行后)枯水期三大水库坝下至博罗站区间实测平均来水进行 P-Ⅲ 型频率适线,确定各频率设计值作为划分径流量丰平枯水年标准,具体为:①特丰水年, $P \leq 12.5\%$;②偏丰水年, $12.5\% < P \leq 37.5\%$;③平水年, $37.5\% < P \leq 62.5\%$;④偏枯水年, $62.5\% < P \leq 87.5\%$;⑤特枯水年, $P > 87.5\%$ 。三大水库坝下至博罗站区间来水频率详见表 3。

表 3 三大水库坝下至博罗站区间来水频率表

项目	均值	87.5%	62.5%	37.5%	12.5%
枯季区间来水/(m ³ ·s ⁻¹)	163.0	87.4	125.0	169.0	250.0

注:①适线参数 $C_0/C_1=3$;②来水丰枯程度按《水文基本术语和符号标准》(GB/T 50095—2014)划分;③数据来源于水文局资料整编后成果及三大水库工程管理处。

选取平水年、偏枯水年和特枯水年,统计三大水库枯季始、末状态(10月初与次年3月末)的蓄水量变量作为水

库耗水量, 详见表 4。

表 4 三大水库枯季耗水情况表

枯季来水 水平	年份	新丰江 水库/亿m ³	枫树坝 水库/亿m ³	白盆珠 水库/亿m ³	总耗水量/ 亿m ³	博罗站 流量/ (m ³ ·s ⁻¹)
平水年	2012—2013	11.9	5.1	2.6	19.5	384
	2017—2018	19.4	3.1	3.2	25.8	417
	2013—2014	19.0	4.8	4.2	28.1	488
偏枯 水年	2023—2024	18.1	6.2	3.3	27.7	411
	2010—2011	17.7	7.3	3.3	28.2	391
特枯 水年	2014—2015	17.4	6.5	4.0	27.9	334
	2020—2021	32.7	4.1	1.7	38.6	345

注: 耗水包含了入库水量、蒸发水量等影响, 数据来源为三大水库工程管理部门。

表 4 中, 博罗站各调度期平均流量均不同程度大于其常规管控目标 320 m³/s^[6], 表明调度期内水库耗水对于保障流域供水有一定程度富余。根据调度实践, 当流域旱情发展时, 在保障用水安全的前提下, 压减博罗断面流量管控目标, 可有效保障流域水资源可持续利用^[7]。因此, 分析实际需水量时, 需按博罗站常规管控目标对上表 4 结果做还原优化, 从不利情况和偏安全考虑, 选取特枯水年分析, 具体方法为: ①对比各枯水期博罗断面实际流量与常规管控目标 320 m³/s, 将富余部分作为可以优化节约的水量; ②以表 4 中得到的总耗水量与①得到的节约水量相减, 作为三大水库优化后的总耗水量; ③计算三大水库出库在不同来水年情况下占总出库的平均比例, 对优化后的总耗水量按该比例分配, 从而得到三大水库优化后的各自耗水量(表 5)。

表 5 三大水库枯季耗水还原优化后情况表

枯季来水 水平	年份	新丰江 水库/亿m ³	枫树坝 水库/亿m ³	白盆珠 水库/亿m ³	总耗水量/ 亿m ³
特枯水年	2014—2015	17.3	6.4	2.1	25.8
	2020—2021	23.2	8.7	2.8	34.7

注: 还原优化结果仅从流域需水角度出发, 未考虑水库发电等其他效益。

根据表 5 得到以下结论: ①新丰江水库枯季最大耗水量 23.2 亿 m³, 考虑其为流域唯一的多年调节水库, 以及东江流域具有连旱的特点^[8], 水库应至少预留两个特枯水年的用水量, 即 46.4 亿 m³, 对应死库容以上库水位 110.80 m; ②枫树坝水库枯季最大耗水量 8.7 亿 m³, 对应死库容以上库水位 157.90 m; ③白盆珠水库枯季最大耗水量 2.8 亿 m³, 对应死库容以上库水位 72.00 m; ④2020 年 10 月至

2022 年 3 月东江流域极端干旱期间, 新丰江、枫树坝、白盆珠水库累计最大耗水量分别为 37.9 亿 m³、4.4 亿 m³、2.0 亿 m³, 均小于上述分析值。综上, 新丰江、枫树坝、白盆珠水库应在汛期将库水位分别回蓄至不低于 110.80 m、157.90 m、72.00 m。

3 防洪、蓄水统筹分析

新丰江水库兴利库容、有效防洪库容分别是枫树坝水库的 5.2 倍和 3 倍, 枫树坝水库的兴利库容、有效防洪库容分别是白盆珠水库的 3.3 倍和 1.3 倍, 结合水库调节性能及调度规则, 东江流域防洪、蓄水应以新丰江水库为主, 枫树坝、白盆珠水库为辅。

3.1 新丰江水库

3.1.1 暴雨洪水特点

新丰江水库前汛期以锋面雨为主, 后汛期受台风雨影响, 降水具有年际变化较大、年内分配不均的特点, 汛期降水量约占全年降水量的 76.7%^[9]。统计水库 60 a (1961—2020 年) 年最大入库洪峰, 入库洪水具有明显的季节特点, 年最大洪峰出现在 6 月的概率最高 (35.0%), 其次为 5 月 (20%)、7 月 (15.0%)^[9](图 3)。洪水普遍持续 5~8 d, 洪水特征值^[9]详见表 6。

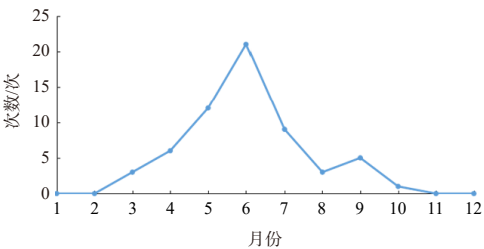


图 3 1961—2020 年新丰江水库年最大入库洪峰次数统计图

表 6 新丰江水库洪水特征值表

项目	均值	频率(%)					
		0.1	1	2	5	10	20
流量/(m ³ ·s ⁻¹)	3 800	13 750	10 150	9 000	7 520	6 350	5 140
5 d 洪量/亿m ³	7.03	25.40	18.80	16.70	13.90	11.70	9.50
7 d 洪量/亿m ³	8.38	30.30	22.40	19.90	16.60	14.00	11.30
15 d 洪量/亿m ³	13.16	47.60	35.20	31.20	26.10	22.00	17.80

注: ①适线参数 C_s/C_v=3; ②数据来源为粤电新丰江发电有限责任公司。

统计新丰江水库建库以来较大洪水^[9], 入库洪量接近或超过 20 年一遇的有 4 a(表 7)。其中 1964 年、2005 年和

2022年均发生在极端枯水年结束的次年,表征水库具有极端旱涝急转的特点。

表7 新丰江水库建库以来较大洪水情况

年份	月份	洪量/亿m ³	重现期/a
1964	6	15.1(7 d)	接近20
1966	6	14.0(7 d)	超10
2005	6	23.5(7 d)	超100
2022	6	16.8(7 d)	略超20
2024	4—5	24.5(15 d)	接近20

注:表中各年中仅2024年进行过泄洪。

3.1.2 关键期最优库水位

经过枯水期的消耗,新丰江水库前汛期4—5月水位通常较低,防洪库容空间较大,结合水库暴雨洪水特点,确定水库防洪与蓄水关键期为6—7月,需确定各月的防洪起调水位,即5—6月月末水位。选用20年一遇洪水(7 d洪量),分析水库在6月不超汛限水位114.00 m、7月不超临时淹没赔偿线116.00 m所需的起调水位,结果见表8。

表8 新丰江水库6—7月洪水调洪演算

月份	起调水位/m	对应蓄水量/亿m ³	入库7 d洪量/亿m ³	出库流量/(m ³ ·s ⁻¹)	出库水量/亿m ³	调洪后蓄水量/亿m ³	调洪后水位/m
7	113.30	98.00	16.6	1 100	6.65	107.95	116.00
6	110.50	88.50	16.6	730	4.42	100.68	114.00

注:出库流量中,发电出流按机组满发能力500 m³/s安排,泄洪流量根据水库泄流曲线查得。

根据表8可知:水库6—7月的防洪起调水位分别为110.50 m、113.30 m。需要注意的是调洪演算成果为理论值,防洪调度过程需要考虑的因素众多,如入库洪水过程、与下游洪水错峰时机等。因此,上述成果需偏安全应用,结合水库枯季耗水情况,综合确定5—6月月末库水位最优值分别为110.00 m、113.00 m。

3.2 枫树坝水库

3.2.1 暴雨洪水特点

枫树坝水库前汛期主要受锋面雨影响,后汛期主要受台风雨影响。水库入库洪水与降水变化规律一致,年际、年内变化大,具有明显的季节性,前汛期峰高量大历时长,多为复峰;后汛期峰高量大历时短^[10]。洪水特征值详见表9。

统计枫树坝水库50 a(1974—2023年)年最大入库洪

表9 枫树坝水库洪水特征值表

项目	均值	频率(%)					
		0.1	1	2	5	10	20
流量/(m ³ ·s ⁻¹)	2 340	10 200	7 250	6 330	5 120	4 180	3 240
3 d洪量/亿m ³	2.69	10.73	7.74	6.83	5.60	4.65	—
7 d洪量/亿m ³	4.68	16.92	12.47	11.09	9.24	7.79	6.29

注:数据来源为粤电枫树坝发电有限责任公司。

峰出现时间,6月最高(36%),其次为5月(28%)、8月(10%),洪水普遍持续5~7 d^[10]。水库建库以来最大7 d入库洪量为9.21亿m³(2022年6月),重现期接近20 a,其余年份入库洪量重现期普遍在10 a附近或以内。统计同期水库泄洪情况,6月发生泄洪的概率最大(30%),其次为7—8月(均为16%)、5月(12%)(图4)。

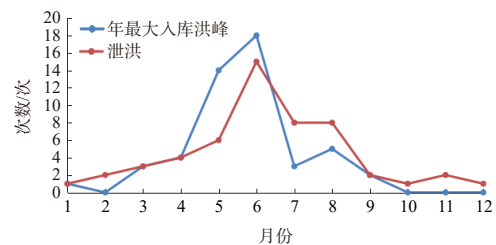


图4 1974—2023年枫树坝水库年最大入库洪峰与泄洪次数统计图

据统计,水库年最大入库洪峰与下游浏江年最大洪水出现时间高度吻合,属同一次暴雨洪水的概率为52%,因此,水库防洪调度需重点考虑枫树坝—龙川区间的洪水情况^[11]。

3.2.2 关键期最优库水位

因临时淹没制约,枫树坝水库约43%的防洪库容未能有效利用,经测算,水库水位在150.90 m时,当遭遇5年一遇洪水(7 d洪量)时,需通过最大发电流量将库水位控制在汛限水位(162.00 m)以内,可见防洪调蓄能力较低。结合上下游暴雨洪水特点,汛期宜采取偏安全水位运行,以防洪为主、蓄水为辅,同时注重预泄时机、错峰调度。

根据水库暴雨洪水特点及库容特性,确定水库防洪与蓄水关键期为5—8月,需确定各月的防洪起调水位,即4—7月月末水位。根据调度实践,4—7月月末库水位取枫树坝水库供水调度图“正常供水及保证出力区”中值^[12],即各月分别为151.00 m、154.00 m、157.00 m、159.00 m时,在统筹防洪与蓄水关系上表现最佳。选取10年一遇洪水(7 d洪量)进行调洪演算,结果详见表10。

表 10 枫树坝水库5—8 月洪水调洪演算表

月份	起调水位/ m	对应蓄水量/ 亿m ³	入库7 d 洪量/亿m ³	出库流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	出库水量/ 亿m ³	调洪后 水位/m
8	159.00	11.98	7.79	730	4.42	166.00
7	157.00	11.15	7.79	600	3.63	166.00
6	154.00	9.97	7.79	400	2.42	166.00
5	151.00	8.86	7.79	550	3.33	162.00

注: 水库最大发电流量为300 m³/s。

根据表 10 可知: 防洪调度中水库最大出库流量为 400 ~ 730 m³/s, 占下游防洪保护对象龙川县城安全泄量(约 3 000 m³/s)^[11]的 13.3% ~ 24.3%, 即使考虑遭遇浏江洪水, 也仍留有一定的防洪空间, 认为成果基本合理。结合枫树坝水库枯季耗水情况, 综合确定 4—7 月月末库水位最优值分别为 151.00 m、154.00 m、157.00 m、159.00 m。

3.3 白盆珠水库

3.3.1 暴雨洪水特点

白盆珠水库前汛期多为锋面雨, 后汛期多为台风雨, 汛期降水量占全年的 82% 以上, 降水年际变化大、年内分配不均^[13], 库区内高潭—石涧一带受地形抬升作用^[14], 为全省暴雨高值区。2013 年 8 月和 2018 年 8 月, 高潭镇最大 24 h 降水量分别为 906.0 mm、996.8 mm^[14-15], 两场特大暴雨洪水情况见表 11。

表 11 白盆珠水库特大暴雨洪水情况表

时间(年-月)	7 d 洪量		最高水位/ m	最大入库 流量/(m ³ ·s ⁻¹)	最大出库 流量/(m ³ ·s ⁻¹)
	洪量/亿m ³	重现期/a			
2013-08	5.55	超100	83.16	4 950	1 780
2018-08	4.19	接近50	79.48	5 650	506

水库年最大洪水大部分由台风雨造成, 其次是锋面雨^[13], 统计水库 39 a(1985—2023 年)年最大入库洪峰出现时间, 8 月最高(26%), 其次为 6 月、7 月(均为 23%) (图 5)。

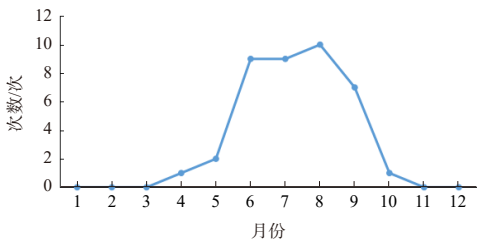


图 5 1985—2023 年白盆珠水库年最大入库洪峰次数统计图

3.3.2 关键期最优库水位

白盆珠水库年最大洪水多发生在后汛期, 尤其 8 月极端强降水多发, 因此水库通常在 4—7 月采取偏安全水位运行, 以防洪为主、蓄水为辅。根据水库暴雨洪水特点和库容特性, 确定水库防洪与蓄水关键期为 8 月, 对 8 月入库洪水做调洪演算, 确定其起调水位, 即 7 月月末库水位, 结果见表 12。

表 12 白盆珠水库 8 月洪水调洪演算表

起调水位/ m	对应蓄水量/ 亿m ³	频率 (%)	入库7 d 洪量/亿m ³	出库流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	出库水量/ 亿m ³	调洪后 水位/m
72.00	4.45	5	3.69	120	0.73	79.70
72.00	4.45	2	4.37	230	1.39	79.70
72.00	4.45	1	4.87	310	1.87	79.70

注: 水库最大发电流量为80 m³/s。

由表 12 可知: 库水位为 72.00 m 时, 当遭遇不大于 100 年一遇(7 d 洪量)洪水时, 水库最大出库流量为 120 ~ 310 m³/s, 占下游防洪保护对象平山县城安全泄量(约 2 300 m³/s)的 5.2% ~ 13.5%, 对于西枝江流域防洪而言, 总体安全可控。结合白盆珠水库枯季耗水情况, 综合确定 7 月月末库水位最优值为 72.00 m。

4 结 语

根据三大水库枯季耗水分析, 新丰江、枫树坝、白盆珠水库汛末应在来水条件允许的情况下将水位分别回蓄至 110.80 m、157.90 m、72.00 m 以上, 以保障流域枯季用水安全。统筹分析防洪与蓄水关系, 新丰江水库 6 月末最优库水位为 113.00 m、枫树坝水库 7 月末最优库水位为 159.00 m、白盆珠水库 7 月末最优库水位为 72.00 m。

三大水库次年汛前均需预留足够库容应对汛期洪水, 因此水库汛末水位并不是越高越好(目标值越高, 防洪风险越大)。根据调度实践, 新丰江、枫树坝、白盆珠水库汛末水位分别达到或接近 113.00 m、162.00 m、75.00 m, 足以应对流域连续枯水年用水需求。

参考文献

[1] 庄胜杰, 成忠理, 郑亚峰, 等. 水量调度实施对东江流域径流影响分析[J/OL]. 人民珠江, (2024-06-06) [2024-07-30]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1037.TV.20240606.1117.002.html>.

- [2] 马筠, 韦露斯, 熊佳, 等. 东江流域博罗站早警流量分析研究[J]. 中国防汛抗旱, 2024, 34(7): 65–68.
- [3] 田兆伟, 沈雪娇, 程庆. 东江流域枫树坝水库“2022.6”洪水调度实践[J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(12): 75–79.
- [4] 广东省水利电力勘测设计研究院, 中山大学水资源与环境研究中心. 广东省东江流域新丰江、枫树坝、白盆珠水库联合优化调度方案[R]. 2011.
- [5] 宋利祥, 刘宇, 何用, 等. 东江流域控制性水工程联合调度策略与机制探讨[J]. 中国水利, 2024(4): 34–41.
- [6] 中山大学水资源与环境研究中心, 黄河水利委员会黄河设计公司规划院, 广东省水文局. 广东省东江流域水资源分配方案报告书[R]. 2008.
- [7] 广东省东江流域管理局, 广东省水文局惠州水文分局. 2021年广东省东江流域水量调度情况年报[R]. 2022.
- [8] 李宁宁, 邱静, 陈晓宏, 等. 广东省东江流域降雨时空变化特征分析[J]. 水文, 2023, 43(4): 74–80.
- [9] 广东粤电新丰江发电有限责任公司, 珠江水利委员会珠江水利科学研究院. 新丰江水库防汛抢险应急预案[R]. 2022.
- [10] 广东粤电枫树坝发电有限责任公司, 珠江水利委员会珠江水利科学研究院. 枫树坝水库防汛抢险应急预案[R]. 2022.
- [11] 珠江水利委员会珠江水利科学研究院. 新丰江水库超标准洪水计算机溃坝分析报告[R]. 2022.
- [12] 广东省水利厅, 广东省粤电集团有限公司, 广东电网公司. 广东省东经流域新丰江、枫树坝、白盆珠水库供水调度方案(试行)[R]. 2012.
- [13] 浙江省水利水电勘测设计院, 惠州市白盆珠水库工程管理局. 白盆珠水库防汛抢险应急预案[R]. 2023.
- [14] 沈雪娇. 惠州市白盆珠水库“2013.08”特大暴雨洪水分析[J]. 广东水利水, 2014(9): 26–31.
- [15] 白盆珠水库工程管理局. 白盆珠水库 8.16 特大洪水总结[R]. 2013.

Integrated analysis of flood control and storage of the three major reservoirs in Dongjiang River Basin

ZHANG Jianming

(Huizhou Hydrology Branch of Guangdong Provincial Hydrological Bureau, Huizhou 516000)

Abstract: The relationship of flood control and water storage in three major reservoirs such as Xinfengjiang, Fengshuba, and Baipenzhu reservoirs in the Dongjiang River Basin needs a comprehensive consideration during flood seasons. Confirming the critical period of flood control and water storage in the three major reservoirs, and coordinate upstream and downstream flood security, via flood regulation routing to get a safe water level, combine the water consumption in dry season which considering regulation performance of reservoir, to finally get a optimal water level of the reservoirs. Relevant conclusions may be important guidance to the operation of the three reservoirs and improvement of the water security of Dongjiang River Basin.

Keywords: Dongjiang River Basin; Xinfengjiang Reservoirs; flood control and water storage; optimal water level 编辑 姚力玮