

平潭岛三十六脚湖水库引供水调度规则研究

曲丽英, 王雨雨, 游燕燕

(福建省水利水电科学研究院, 350001, 福州)

摘要:福建省平潭岛是海峡西岸经济区建设的重要先行先试综合实验区。然而受海岛水文特征影响,降水时空分布不均,截水能力弱且蒸发强烈,水资源短缺问题突出。为支撑平潭综合实验区跨越式发展用水需求,福建闽江调水工程和福建省平潭及闽江口水资源配置工程相继建成并投入使用,三十六脚湖水库作为岛内核心水资源调控枢纽,承担着引调水蓄存与供水调度等关键功能,其科学调度对于保障区域水资源供应至关重要。在分析区域水资源配置与供水任务基础上,识别了三十六脚湖水库调度的防洪与保供双重需求,以“常遇洪水不溢流、储水备水有保障”为调控原则,通过预置防洪库容和分级供水调度,制定了三十六脚湖水库供水调度水位分级线,并借助水位阈值划分实现缺水预警与抗旱决策响应。结果表明,该调度策略有效提升了水库调度科学性、灵活性与安全性,增强了突发事件和极端气候条件下的供水保障能力,为平潭综合实验区的水资源管理提供了科学依据,对同类海岛地区水资源管理具有参考价值。

关键词:引供水调度;限制水位;抗旱调度;三十六脚湖水库;福建省;平潭岛;水资源

Research on the water supply dispatching rules of the Sanshiliujiao Lake Reservoir on Pingtan Island//
QU Liying, WANG Yuyu, YOU Yanyan

Abstract: Pingtan Island is an important comprehensive experimental zone for pioneering policies in the construction of the West Coast Economic Zone. However, due to its hydrological characteristics as an island, precipitation is unevenly distributed in time and space, water retention capacity is weak, and evaporation is strong, leading to prominent water scarcity problems. To meet the water demand of the leapfrog development of the Pingtan Comprehensive Experimental Zone, the Minjiang River Diversion Project in Fuqing and the Water Resources Allocation Project of Pingtan and Minjiang Estuary in Fujian Province have been successively completed and put into operation. As the core hub for water regulation on the island, the Sanshiliujiao Lake Reservoir undertakes key functions such as storing diverted water and supplying water through scheduling, and its scientific operation is crucial for ensuring regional water resource supply. Based on the analysis of regional water resource allocation and supply tasks, the dual requirements of flood control and water supply in the operation of the Sanshiliujiao Lake Reservoir were identified. Guided by the principle of “no overflow under common flood conditions and reliable water storage for supply”, water supply scheduling water level lines were established through pre-allocation of flood control storage capacity and tiered water supply operations. Water level thresholds were applied to achieve drought warning and decision-making response. The results show that this scheduling strategy effectively improves the scientific basis, flexibility, and safety of reservoir operation, enhances the reliability of water supply under emergencies and extreme climate conditions, provides a scientific basis for water resource management in the Pingtan Comprehensive

收稿日期:2025-07-17 修回日期:2025-09-10

作者简介:曲丽英,高级工程师,主要从事水利水电工程与防洪减灾方向的研究。

基金项目:水利部重大科技项目(SKS2022006);福建省公益类科研院所基本科研专项资助项目(2022R1018001)。

Experimental Zone, and offers reference value for water resource management in similar island regions.

Keywords: water supply dispatching; restricted water level; drought dispatching; Sanshiliujiao Lake Reservoir; Fujian Province; Pingtan Island; water resources

中图分类号: TV213.4 文献标识码: B 文章编号: 1000-1123(2025)19-0067-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-1123.2025.19.011

平潭岛是福建省第一大岛、我国第五大岛,岛内山低源短,蒸发量大,且截水条件差,降水集中,储水能力小,独特的自然条件导致当地水资源极为匮乏。平潭岛是海峡西岸经济区建设的重要先行先试综合实验区,为满足平潭综合实验区跨越式发展用水需求,2011年以来福建闽江调水工程和福建省平潭及闽江口水资源配置工程(以下简称“一闸三线”工程)相继建成并投入使用,有效缓解了平潭岛水资源短缺局面。三十六脚湖水库作为平潭综合实验区的唯一中型水库,也是引调水工程的关键调蓄水库,承担着向全岛供水的重要任务,在当地经济社会发展中发挥着不可替代的作用。引调水工程实施后,三十六脚湖水库的入库径流条件发生显著变化,供水目标增多,原有的调度规则已无法适应新的供水需求。

目前对于水库供水调度的研究主要集中在水库早限水位控制上。例如,罗成鑫等、宋树东等开展了水库分期早限水位的研究,彭少明等提出了优化早限水位的控制方案,韦瑞深等提出了水库分级分期早限水位逆序递推算法,严子奇等根据湖泊兴利调节逆序递推计算,提出了一种控制性供水湖泊早限水位计算方法,周建中等提出了一种湖泊分级分期早限水位确定与动态控制方法。张永永等建立了求解多年调节水库早限水位的改进人工鱼群算法。薛璐、Wu、Cao等都基于各种不同理论,采用不同的方法对早限水位控制进行研究,然而这些研究主要针对年调节或多年调节水库,对于海岛受水型水库这一特殊水源载体,来水条件、调度期和供水保障时段要求皆有不同,调度方式研究相对较少。鉴于此,本文以接受引调水后的三十六脚湖水库为研究对象,对其引调水条件下的供水调度进行系统性研究,旨在构建新的水库调度规则及调度图,以指导水库运行管理和抗旱决策,为平潭岛的水资源可持续利用提供科学依据。

一、研究区域概况

1. 三十六脚湖水库概况

三十六脚湖水库是平潭综合实验区的核心水源地,集水面积为13.4 km²。水库大坝为土石坝,采用自

由溢流方式,不设闸门,堰顶高程为14.44 m。水库正常蓄水位(与汛限水位一致)为14.44 m,水库设计标准为100年一遇洪水设计、1000年一遇洪水校核。总库容为2075万m³,其中兴利库容为1204万m³。流域多年平均年降雨量为1128 mm,多年平均年入库流量为730万m³,降雨主要集中在4—9月,占年总来水量的71%。由于平潭岛四面环海,海陆风频繁且风速较大,水面蒸发量较大,平潭气象站直径20 cm蒸发皿实测多年平均年水面蒸发量为1895.8 mm,经折算,三十六脚湖年水面蒸发量为1264.7 mm。

2. 水资源配置

目前平潭综合实验区构建了“二调一库”水资源调配格局(见图1),三十六脚湖水库作为水资源配置的中心承担着区域供水的重要任务。

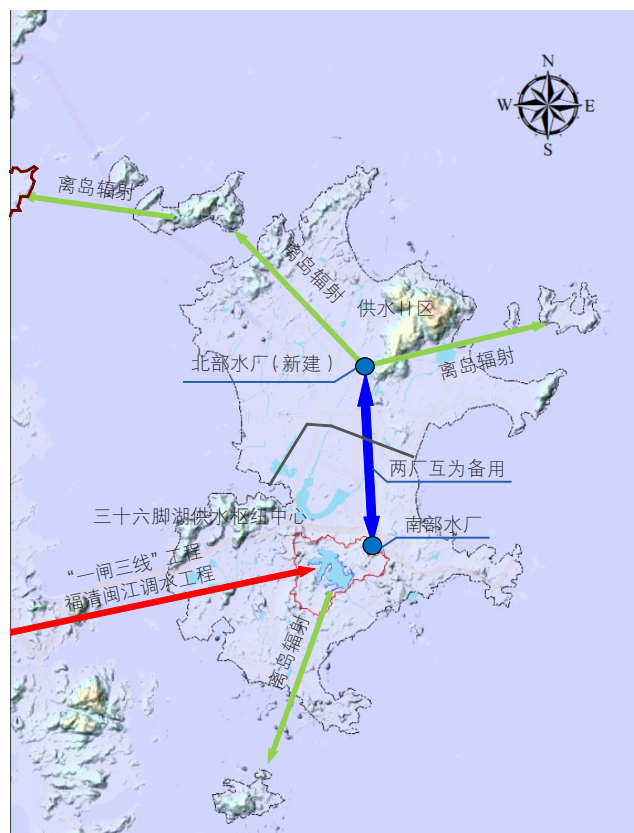


图1 平潭综合实验区“二调一库”水资源配置示意

(1) “二调”调水功能

①“一闸三线”工程:以大樟溪为主要引调水水源,以闽江干流为补充水源。东张水库至三十六脚湖水库输水段设计引调水流量为8.8 m³/s,日调水能力达75万m³,于2023年7月建成通水,是平潭岛供水的主水源。

②福清闽江调水工程:作为应急备用水源,水源点为闽江南港(乌龙江)。工程起点为福清高山镇北林水库,通过平潭海峡大桥上的输水管入岛,终点为三十六脚湖水库,设计调水流量为1.273 m³/s,日调水能力为11万m³,于2011年建成。

(2) “一库”调节功能

三十六脚湖水库作为平潭南部和北部的调节水库及应急备用水源,发挥着重要的蓄水和供水调节功能,保障区域供水的稳定性和安全性。

3. 供水任务

平潭综合实验区现有2座规模化水厂,其主水源为三十六脚湖水库(含“一闸三线”工程引水)。其中,南部水厂已建供水规模为15万m³/d,北部水厂已建供水规模为7.5万m³/d,两厂共同承担全岛用水任务,包

括综合生活用水、道路与绿化浇洒用水、旅游业用水、工业与建筑业用水,并覆盖管网漏损及未预见水量。

采用分类指标法进行需水量测算,其中管网漏损率取10%,未预见水量系数取20%。经计算,近期全区总需水量预计为7057.03万m³(见表1)。

由于北部水厂为新近建成,缺乏实际供水数据,依据南部水厂2022—2024年逐月实际供水量(见图2),并采用多年月供水量的最大值构建外包络线,据此计算全岛供水月分配系数,最终得到近期三十六脚湖水库逐月供水需求预测结果(见表2)。

二、调度需求和方法

1. 调度需求分析

三十六脚湖水库的本地水资源仅占用水需求的1/10,且本地雨洪水量极不稳定,对外来水源的依赖程度极高。这种依赖不仅增加了供水安全的风险,还可能在外部供水发生故障时对平潭供水安全造成严重影响。例如,“一闸三线”工程运行以来的短短一年内,就曾发生2次长时间运行故障:2023年8—11月因东瀚涵洞漏

表1 平潭综合实验区近期总需水量汇总

单位:万m³

序号	分项用水指标	近期总需水量
①	综合生活用水	3094.40
②	旅游业用水	148.68
③	工业及建筑业用水	593.16
④	道路绿地用水	1510.00
⑤	管网漏损水量[(①+②+③+④)×10%]	534.62
⑥	未预见水量[(①+②+③+④+⑤)×20%]	1176.17
总计		7057.03

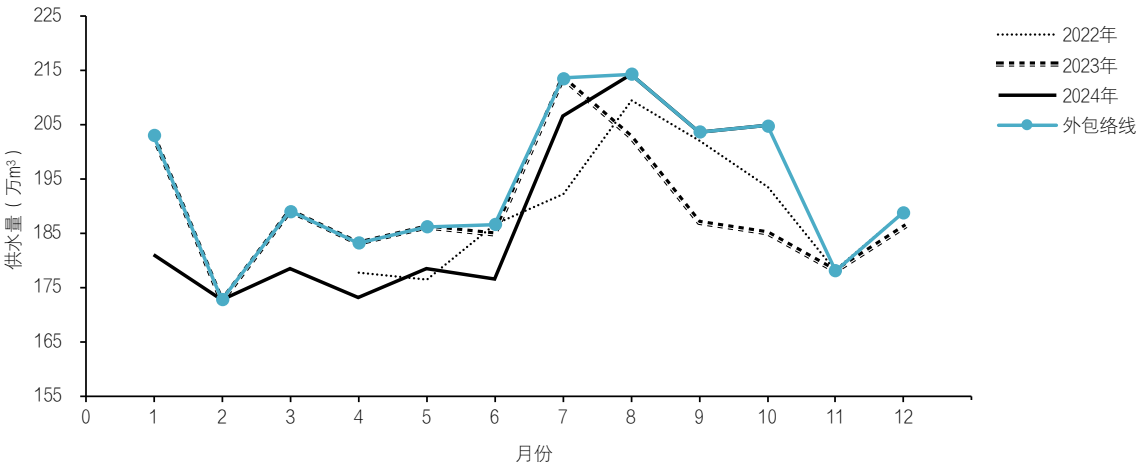


图2 2022—2024年平潭综合实验区南部水厂实际逐月供水量

表2 三十六脚湖水库供水需求预测

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	总计
近期需水量(万m ³)	616	525	574	556	565	567	649	651	618	622	541	573	7057

水停供3个月,2024年2月16日—4月1日因北林涵洞漏水停供1.5个月。另一方面,平潭岛台风暴雨频繁,一次台风暴雨的洪量可达200万~400万m³,水库存在溢洪风险,导致高成本的岛外调水被浪费。因此,三十六脚湖水库既要抵御突发事件,又要能切实保障城市供水安全。这就必须统筹用水和来水、本地水与外调水,保证岛内有一定的储水量以保障供水安全。同时又有一定的库容防范暴雨洪水。基于上述需求,研究以“常遇洪水不溢流、储水备水有保障”为原则,制定三十六脚湖水库在当前用水条件下的运行调度图。

2. 计算方法

(1) 防洪调度库容预置

以长序列(通常不少于30年)的天然月平均径流量为基础,构建各月水文频率曲线,选择不同频率(如 $P=5\%$ 或 10%)下的月径流量作为三十六脚湖水库当月的库容预置量,计算公式如下:

$$Q_t^{\text{预置}} = Q_t^P \tag{1}$$

$$Z_{t,\max} = f(\min(W_{\text{lim}}, W_{\text{正}} - Q_t^{\text{预置}})) \tag{2}$$

式中, $Q_t^{\text{预置}}$ 是第 t 月水库库容预置量, Q_t^P 是第 t 月频率为 P 的月径流量值, $Z_{t,\max}$ 为水库运行调水限制水位, $f(x)$ 为水位库容曲线, $W_{\text{正}}$ 、 W_{lim} 为水库正常蓄水位或汛限水位对应的库容。

(2) 供水调度分级控制

供水调度分级水位类似于传统水库的旱限水位,能够对即将发生的旱情或用水紧张状况起到风险预警作用,当水库水位接近或低于相应警戒水位时,应结合工程调度和节水管理等措施,合理控制供水。

三十六脚湖水库以调水为主,因此水位分级应具备两个能力:一是基本保障区域一定时间的正常供水,二是水文干旱年能有效启动预警。水库调度期仍按传统水文年,保障期指水库调度中第 t 个月月初的蓄水量应保证的用水时段 k 。

首先假定水库在保证供水时段末水位达到某水位(最低生态水位或死水位等),通过逆序递推的方法计算得出水库在缺水时期应预留的社会经济用水量;之后滚动计算得到水库各个时期的控制水位,计算原理见图3,计算公式如下:

$$Z_{k,t} = f(\min(W_{\text{lim}}, \max_t(0, \sum_{i=t}^{t+k-1} (X_i + S_i - R_i)))) \tag{3}$$

式中, $Z_{k,t}$ 为保障时段为 k 时第 t 个月的供水调度控制线; W_{lim} 为汛期汛限水位或非汛期正常蓄水位对应的库容; X_t 为第 t 个月的社会经济需水量; S_t 为第 t 个月蒸发渗漏损失; R_t 为第 t 个月的设计来水量。

通过分级设置不同的应保证的用水时段 k ,即可得到供水调度分级控制线。

三、三十六脚湖水库运用结果

1. 保供调度

三十六脚湖水库作为接受引调水、承担分配、调控水资源等任务的核心枢纽,为充分发挥其水资源储备作用,要求水库预留可满足城市30~90 d用水量,以保障在极端干旱或调水工程损坏检修期城镇用水,因此按多年平均情况设定三十六脚湖水库来水量,保供时间分别设定为90 d、60 d、45 d、30 d,对水库需求蓄水条件进行逆序递推,得到不同保供方案的三十六脚湖水库蓄水限制线(见图4)。

图4显示了不同供水方案下不同月份的水位变化情况,保供90 d要求的水库蓄水位最高,水位4月在13.5 m左右;5月和6月略有上升,达到正常蓄水位14.4 m;7—11月需求水位突破正常蓄水位,致使无法保证90 d用水需求;之后逐渐下降,直到3月保持在13.5 m左右。保供60 d方案和45 d方案水库蓄水位居中,水库蓄水需求分别为11~12.5 m和9.6~10.6 m。保供30 d方案蓄水限制线最低,水库蓄水需求为8.5~9.5 m,并且由于设定为可动用死库容且6月份来水较多,因此6月份蓄水限制线可在死水位上。

将各方案设定为不可动用死库容,其他条件不变,蓄水限制线见图5。该条件下保供90 d方案不可实现;保供60 d方案需要4月水位在13.5 m左右,随后逐渐上升,7月达到正常蓄水位14.4 m左右,之后略有波动,次年2月下降至13.5 m;保供45 d方案水位控制在12~13 m;保供30 d方案水位控制在10.9~11.9 m。

2. 防洪调度

三十六脚湖水库正常蓄水位对应库容1672.2万m³,引调水运行调度预置库容设定为能够满足2年一遇~20

年一遇洪水防洪需求(见图6)。可以看出,三十六脚湖水库运行管理应考虑季节性变化,合理调度水位,以平衡防洪和水资源利用需求。6—9月遭遇较大洪水的概率大,要保障各种频率洪水不溢流,防洪库容要充分预留,水库蓄水位需要受到限制,且有严格的调度和管理措施。此外应对特大洪水时,需要特别注意水库的调度和管理,以确保防洪安全。

3. 综合调度

基于三十六脚湖水库多年平均来水条件,统筹防洪与供水双重约束,构建“四线五区”分级控制体系,即以死水位线为基准,依次设置保供60 d、45 d、30 d的三级应急供水调度线,并增设引调水限制线,4条动态控制线将兴利库容划分为5级供水区(见图7)。该方案在确保遭遇10年一遇暴雨时通过预置库容实现“入库不溢流”的同时,预留30~60 d城市应急供水储备,有效应对极端干旱与调水工程检修期的城镇用水需求,实现防洪安全与供水保障的协同调控。

4. 突发事件运行调度

若遇突发事件,如岛外调水事故或线路检修时,三十六脚湖水库应尽量保持高水位运行调节。根据供水调度方案分析,三十六脚湖水库按引调水限制水位(13.61~14.24 m,平均13.89 m)满蓄,对应总蓄水量约为1542万 m^3 ,扣除死库容,有效蓄水量为1074万 m^3 ,按每天供水约20万 m^3 、水库蓄水损失1万 m^3 分析,可满足应急时段约51 d。在遇到特殊干旱年时,水位降至保供45 d限制线,按照“区分主次、保证重点、兼顾其他、减少损失、公益优先”原则,以不同用水性质确定干旱风险期供水综合压缩比,确保居民基本生活用水以及重点部门、单位、企业的基本用水需求。

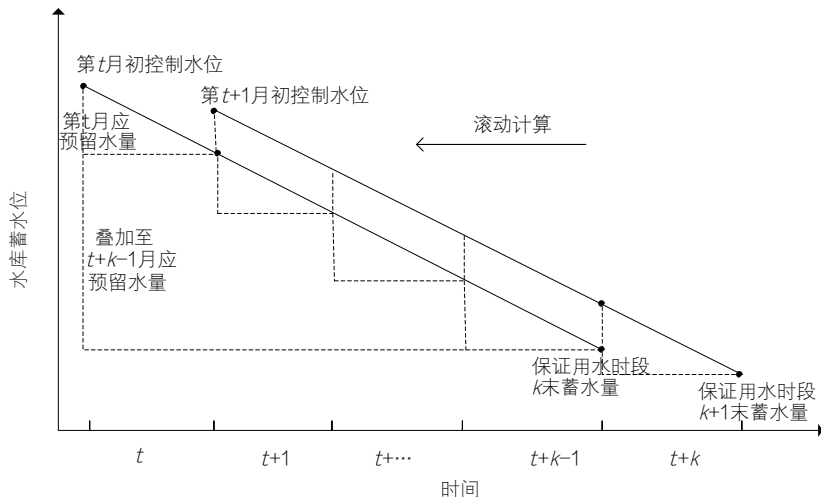


图3 供水调度分级控制计算示意

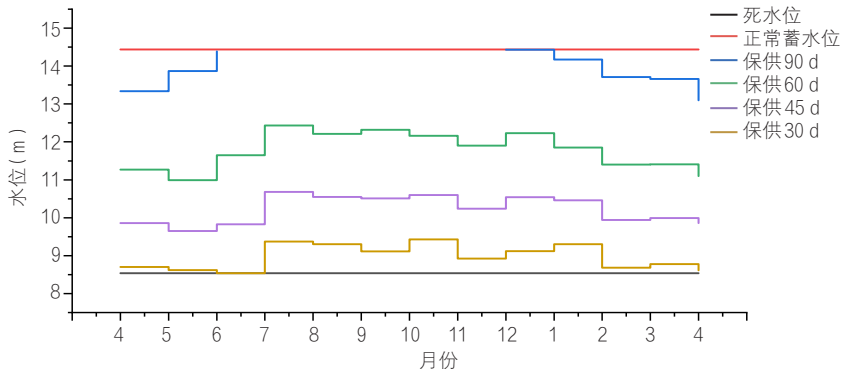


图4 不同保供方案下三十六脚湖水库蓄水限制线（启用死库容）

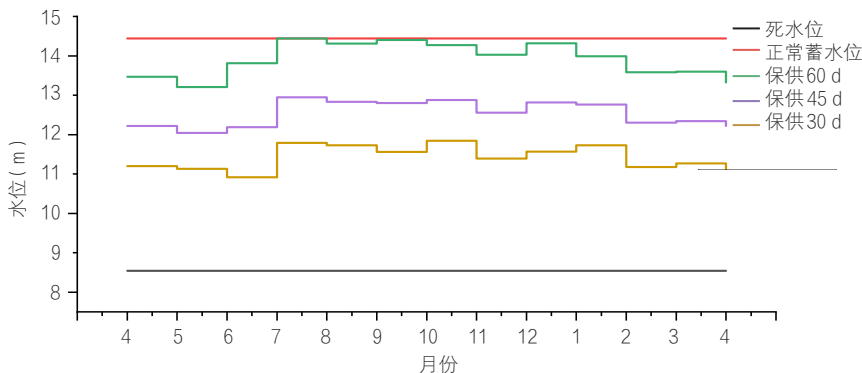


图5 不同保供方案下三十六脚湖水库蓄水限制线（不启用死库容）

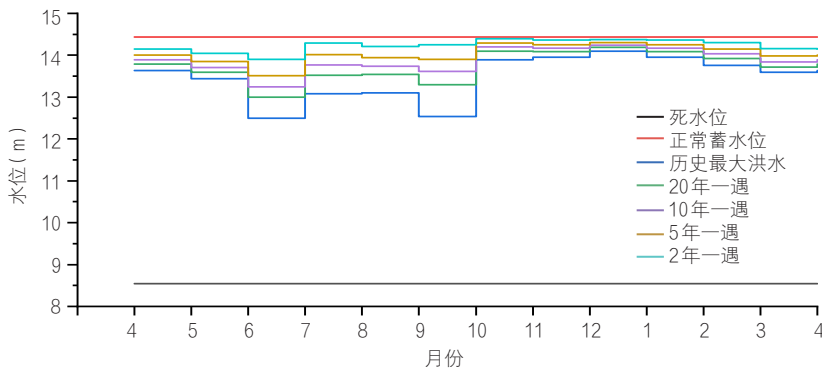


图6 三十六脚湖水库应对不同频率来水不溢洪限制蓄水位

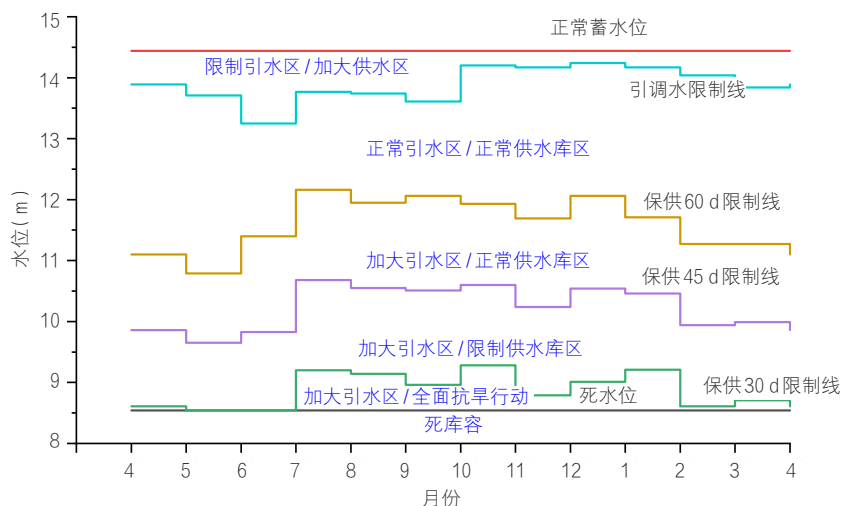


图7 三十六脚湖水库综合调度线

四、结论

三十六脚湖水库作为平潭岛的重要水源地,其调度运行方式对当地水资源保障至关重要。本研究全面收集了三十六脚湖水库的来水与供水需求,评估了岛外调水需求,分析了三十六脚湖水库的调度需求,以“常遇洪水不溢流、储水备水有保障”为原则制定了运行调度图,并通过4条调度线将兴利库容分为5个供水区,明确了不同水位区间内的引调水与供水策略,不仅能对旱情或用水紧张状况进行风险预警,为启动水库调水指令提供重要参考,还能在水库水位接近或低于警戒水位时,结合工程调度和节水管理等措施,合理控制供水和用水,从而有效保障水资源的科学调配与高效利用。

参考文献:

[1] 吴泽华.海岛雨洪资源高效利用技术系统研究[J].中国农村水利水电,2020(7):20-25.
 [2] 张哲昊,郑晓丹,陈玲.“一闸三线”工程平潭段输水线全线贯通[N].福建日报,2023-04-12(3).
 [3] 翁硕,林建锋,赵锦冰,等.“一闸三线”工程实施后受水区水资源多目标优化配置研究[J/OL].水利水电快报,1-9[2025-06-23].<https://link.cnki.net/urlid/42.1142.TV.20250424.1742.004>.
 [4] 罗成鑫,丁伟,张弛,等.水库分级分期旱限水位设计与控制研究[J].水利学报,2022,53(3):348-357.
 [5] 宋树东,朱文才.水库旱限水位分期确定的研究[J].长春理工大学学报(自然科学版),2014,37(3):160-163.
 [6] 彭少明,王煜,张永永,等.多年调节水库旱限水位优化控制研究[J].水利学报,2016,47(4):552-559.
 [7] 韦瑞深,严子奇,周祖昊,等.基于逆序递推的水库

分级分期旱限水位确定方法研究[J].中国水利水电科学研究院学报(中英文),2022,20(4):343-351.

[8] 严子奇,周丽焄,程刚,等.控制性供水湖泊旱限水位确定方法——以洱海为例[J].水科学进展,2024,35(4):569-579.

[9] 周建中,刘志明,娄思静,等.一种湖泊分级分期旱限水位确定与动态控制方法[J].水利学报,2022,53(2):127-138.

[10] 张永永,彭少明,白海涛.基于改进人工鱼群算法的旱限水位优化

控制[J].人民黄河,2017,39(11):38-41+46.

[11] 曹润祥,李发文,冯平.基于水库旱限水位动态控制的供水策略研究[J].安全与环境学报,2019,19(3):916-922.

[12] 袁梦.水库分期旱限水位及抗旱调度研究[D].西安:西安理工大学,2017.

[13] 张家鸣.结合旱限水位的多年调节水库兴利调度图改进方法探讨[J].广东水利水电,2019(5):45-49.

[14] CHANG J X, GUO A J, WANG Y M, et al. Reservoir Operations to Mitigate Drought Effects With a Hedging Policy Triggered by the Drought Prevention Limiting Water Level[J]. Water Resources Research, 2019, 55(2):904-922.

[15] WU J, LI F, ZHAO Y, et al. Determination of drought limit water level of importing reservoir in inter-basin water transfer project under changing environment[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2019, 137:1529-1539.

[16] CAO R X, LI F W, ZHAO Y. Dynamic Regulation of Reservoir Drought Limit Water Level[J]. Water Resources, 2021, 48(2):194-203.

[17] 翁培龙.东张水库汛限水位和防洪调度方案分析[J].水利科技,2023(3):66-68.

[18] 王卉祯.城市供水应急备用水源规划与实施保障研究[J].工程与建设,2024,38(3):523-525.

[19] 俞孔坚,李迪华,袁弘,等.“海绵城市”理论与实践[J].城市规划,2015,39(6):26-36.

[20] 何山,许继军,程卫帅,等.长江流域水资源与社会经济时空匹配分析[J/OL].人民长江,(下转第66页)

进一步明晰了应急响应的边界条件和处置措施。依据上述控制运用极限指标,望亭水利枢纽成功抵御了2020年太湖流域超标准洪水及台风“贝碧嘉”“普拉桑”等灾害袭击。

当工程运行工况发生改变时,管理单位通过专项论证确定了望亭水利枢纽控制运用极限指标,为太湖流域变化环境下水闸的安全、精准运用提供了技术支撑。望亭水利枢纽为水道立交工程,本次极限指标分析的理论与策略主要依据《水闸设计规范》《水利水电工程钢闸门设计规范》等,该方法亦可为开敞式、胸墙式等其他类型水闸控制运用指标的极限分析研判提供借鉴与指导。

参考文献:

- [1] 李响,郭生练,刘攀,等.考虑入库洪水不确定性的三峡水库汛限水位动态控制域研究[J].四川大学学报(工程科学版),2010,42(3):49-55.
- [2] 李平,黄跃飞,李兵.基于贝叶斯网络的梯级水库连溃风险[J].水科学进展,2018,29(5):677-684.
- [3] 任明磊,何晓燕,丁留谦,等.水库汛限水位动态控制域确定方法研究发展动态综述[J].水力发电,2016,42(6):61-65.
- [4] 尤小强.水利工程项目的闸设计探讨[J].水资源开发与管理,2016(6):74-77.
- [5] 王雅.望水河泄水工程水闸结构设计[J].吉林水利,2019(12):36-40.
- [6] 吕婷.水利工程水闸设计问题思考[J].建材与装饰,2019(3):282-283.
- [7] 马晓莉.有关水利水电工程中水闸设计的探讨[J].水

电站机电技术,2020,43(11):49-50.

- [8] 唐耕耘.水利水电工程中水闸施工技术与管理[J].新型工业化,2021,11(4):181-182.
- [9] 肖津璇.水利水电工程中的水闸设计问题及其设计分析[J].水电站机电技术,2021,44(4):58-60.
- [10] 王伟一.蟠龙口水闸工程设计的 key 问题分析[J].珠江水运,2021(9):82-83.
- [11] 谢丽萍.水利水电工程中的水闸设计问题及其优化措施[J].工程建设与设计,2022(10):92-94.
- [12] 崔洋.某灌区水闸工程设计[J].河南水利与南水北调,2022,51(5):47-49.
- [13] 鲍文安,郭攀攀,郝青芳.滨海山丘区挡潮排涝水闸设计规模论证[J].海河水利,2022(1):34-36.
- [14] 李岩磊.地基上水闸闸室结构性稳定分析研究[J].水利科技与经济,2024,30(3):18-22.
- [15] 李金宝.土基上水闸闸室的稳定分析与底板尺寸优化研究[D].扬州:扬州大学,2021.
- [16] 许俊安.采动变形对水闸作用规律及顶升技术优化设计研究[D].徐州:中国矿业大学,2019.
- [17] 李壮.不同土质地基对水闸地震反应影响的研究[D].北京:华北电力大学,2021.
- [18] 陈宝华,张世儒.水闸[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [19] 熊启钧.灌区建筑物的混凝土结构计算[M].北京:中国水利水电出版社,2011.
- [20] 河海大学.水工钢筋混凝土结构学(第5版)[M].北京:中国水利水电出版社,2016.

责任编辑 李卢祎

(上接第72页)1-11[2025-07-10].<https://link.cnki.net/urlid/42.1202.TV.20250621.1359.002>.

- [21] 郭世浩.城市多水源联合供水优化配置及应急保障研究[D].郑州:华北水利水电大学,2023.
- [22] 徐显德.攀枝花市水资源供需平衡分析及抗旱对策研究[D].雅安:四川农业大学,2013.
- [23] 李响,郭生练,刘攀,等.三峡水库汛期水位控制运用方案研究[J].水力发电学报,2010,29(2):102-107.

- [24] 黄俊,陈规划,李颖.大藤峡水利枢纽工程“压咸补淡”“第二道防线”构建实践与思考[J].中国防汛抗旱,2024,34(11):36-39+92.
- [25] 杨子桐,方国华,黄显峰,等.流域水资源多目标调度协调方法研究[J].水利水运工程学报,2025(4):55-67.
- [26] 严子奇,刘至一,周祖昊,等.三峡水库旱限水位确定及运用方式[J].水科学进展,2025,36(3):469-480.

责任编辑 刘磊宁