

望亭水利枢纽控制运用极限指标 分析与思考

刘 毅, 郑春锋

(水利部太湖流域管理局苏州管理局, 215011, 苏州)

摘 要:望亭水利枢纽是望虞河穿越京杭运河的交叉建筑物,是望虞河上的关键水利工程,对太湖流域防洪、排涝、引水和航运发挥着重要作用。在极端天气条件、强人类干扰、强感潮河网及强时效性变化环境下,望亭水利枢纽工情、水情出现较大变化,亟须重新论证控制运用极限指标。以结构安全为底线,采用文献调研、规范计算、包络全覆盖及指标关联研判法,系统分析控制水位、过闸流量、水位差三类核心指标,以及结构稳定、防渗安全、水力状况、闸门启闭力、闸门结构强度及刚度五类关键影响因素,综合研判枢纽在指标耦合关联及多因素制约下的合理极限值。研究成果可为望亭水利枢纽控制运用提供科学依据,同时对开敞式、胸墙式等不同类型水闸的控制运用极限指标研究具有借鉴与示范意义。

关键词:望亭水利枢纽;水闸控制运用;极限指标;结构安全;多因素制约;合理极限值;正、反向挡水

Analysis and reflection on the ultimate indicators for the control and operation of Wangting Water Conservancy Hub//LIU Yi, ZHENG Chunfeng

Abstract: The Wangting Water Conservancy Hub is a crossing structure where the Wangyu River intersects the Beijing-Hangzhou Grand Canal. As a key hydraulic project on the Wangyu River, it plays an important role in flood control, waterlogging drainage, water diversion, and navigation in the Taihu Lake basin. Under extreme weather conditions, strong human disturbances, tidal river network effects, and significant temporal variability, the operational and hydrological conditions of the Wangting Hub have undergone major changes, making it urgent to reassess the ultimate indicators for its control and operation. Taking structural safety as the baseline, this study adopts literature review, standardized calculation, full-envelope coverage, and index correlation assessment methods to systematically analyze three core indicators (controlled water level, sluice discharge, and water level difference) and five key influencing factors (structural stability, seepage safety, hydraulic conditions, gate hoisting force, and gate structural strength and stiffness). A comprehensive assessment is then conducted to determine reasonable ultimate values of the hub under the coupling and constraints of multiple factors. The findings provide a scientific basis for the control and operation of the Wangting Water Conservancy Hub and also offer reference and demonstration significance for studying ultimate indicators of sluice control and operation in different types of sluices, such as open-type and breastwall-type structures.

Keywords: Wangting Water Conservancy Hub; sluice control and operation; ultimate indicators; structural safety; multi-factor constraints; reasonable ultimate value; forward and reverse impoundment

中图分类号: TV66+TV697.1 文献标识码: B 文章编号: 1000-1123(2025)19-0060-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2025.19.010

收稿日期: 2025-08-01 修回日期: 2025-09-24

作者简介: 刘毅, 高级工程师, 主要从事水闸运行管理方面工作。

一、研究背景

水闸控制运用极限指标是管理单位依据工程特性、任务及条件确定的最高水位、最低水位、最大过闸流量、最大水位差等关键参数,在闸体结构良好、水文稳定且符合设计预设时,设计采用的相关特征值即为此指标。在水网体系中,水闸作为骨干河道的控制性工程和城市重要水流的调配工程,在防洪、供水、改善水生态环境方面具有重要调控功能和控制性作用。近年来,快速城镇化伴随着大规模、集中性人类活动以及复杂的人文与自然因素交互作用,在水循环时空演变和城镇水环境演变交织影响下,水闸的安全、精准运行面临诸多挑战。水闸控制运用极限指标分析,是指以水闸结构安全为底线,结合运行工况,对水闸的控制水位、过闸流量、水位差等指标极限值开展的分析过程。一般情况下,工程设计所采用的水位、流量、水位差特征值是确定水闸控制运用极限指标的重要参考依据,在闸体结构状态良好、水文条件稳定且与设计标准完全适配的情况下,二者可视为一致,但仍需结合实时运行监测数据验证。极端天气条件、强人类干扰、强感潮河网、强时效性变化环境下,出现不能按设计标准运用的情况时,需先对水闸当前结构安全状态进行评估,再结合水闸功能进行综合研判,重新确定控制运用极限指标,以提升水闸应对挑战时的稳定性与适应性。

望亭水利枢纽位于望虞河与京杭运河交汇处,是太湖流域骨干引排河道望虞河穿越京杭运河的立交建筑物,是控制望虞河进出太湖水量的枢纽工程,对太湖流域防洪、排涝、引水和航运发挥着重要作用。近年来,工程运行环境发生了显著变化,水位、流量、水位差指标历史最大值已超过设计特征值,难以完全适应现状运行需求。在保证工程安全运行的前提下,开展控制运用极限指标分析十分必要。

1. 望亭水利枢纽运行存在问题及研究需求

望亭水利枢纽运行面临的核心问题及关键研究需求主要体现在以下三方面:①京杭运河苏南运河段在极端天气条件下存在“涨水快、退水慢、水位高”特征,导致望虞河下游及京杭运河水位同步抬升,使得反向挡水的实际水位差超出原设计值。为此,需依据现行水利工程规范,从枢纽建筑物整体稳定性验算角度,推算其允许的最大水位差及对应的水位控制指标。②随着太湖流域引排调度精度与效率要求的提升,枢纽实际引排流量呈增大趋势。当前需重点研判与现有调度需求相适

配的枢纽建筑物最大过流能力,以及与之对应的上下游水位组合。③引排调度过程中,枢纽上下游水位差的波动幅度显著扩大。一方面,需通过评估闸门启闭系统的运行可靠性,确定其正常启闭工况下的最大水位差阈值;另一方面,需依据相关结构设计规范,根据闸门结构强度与刚度验算要求,计算其允许的最大水位差限值。

2. 国内外相关研究现状

水利工程控制运用极限指标分析多见于水库领域,围绕水库防洪、兴利等功能要求,对汛限水位、最大泄流能力等指标开展分析,为工程可靠运行提供依据。从风险评估与不确定性量化来看,许多专家学者常运用蒙特卡洛模拟、贝叶斯推理等方法,量化水文、地质等因素的不确定性对控制指标的影响,进而提升指标论证可靠性。李响等将预泄能力约束法与蒙特卡洛随机模拟相结合,同时考虑洪水预报误差及洪水过程线形状不确定性等因素,在控制汛期防洪风险条件下,推求三峡水库汛限水位动态控制域,为汛限水位的安全动态调整提供依据。李平等将贝叶斯网络引入梯级水库防洪风险计算中,分析多种风险因素共同作用下水库群连锁风险,为确定梯级水库运用方式和极限指标提供风险阈值支撑。

水库控制运用极限指标分析常以单一核心指标(如汛限水位、兴利水位)为主要分析对象,而运行期水闸控制水位、过闸流量、水位差等运用指标之间是相互联系的,同一指标会受多重因素影响。当某一影响因素变化后,其关联指标需要重新确定,其他相关指标也需相应调整。因此,水闸控制运用极限指标分析是一项更系统、更具复杂性的工作。

水库汛限水位等控制运用极限指标,在正常运行条件下不得超过原设计标准。已建水闸运行期受环境变化影响,其控制运用极限指标可能出现超出原设计标准适配范围情况。此时需以工程结构安全为绝对底线,以现行水利工程规范为依据,综合研判水闸多因素耦合条件下的控制极限指标。需要注意的是,若仅依赖随机模拟方法量化水文数据、推算水闸控制运用极限指标,而未结合水闸结构安全验算,则无法充分满足工程结构安全这一本质要求。

二、研究方法 with 目标

1. 研究方法

(1) 文献调研与现状分析方法

查阅国内外相关文献、行业标准与工程案例资料,

同步梳理望亭水利枢纽的设计资料、运行监测数据、历史水文数据及流域规划文件,系统分析枢纽当前的运行状态、存在的关键问题及指标优化需求,为后续研究工作奠定基础。

(2) 规范导向的分析计算方法

严格依据《水闸设计规范》(SL 265—2016)、《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74—2019)、《灌溉与排水渠系建筑物设计规范》(SL 482—2011)等行业标准,开展各关键指标的计算分析工作。

(3) 包络全覆盖计算方法

望亭水利枢纽所处水文环境复杂,且运行工况具有多样性,本研究采用包络全覆盖计算方法,通过模拟不同极端工况下的工程运行状态,实现对所有可能工况的全覆盖计算,确保不遗漏极端不利工况。

(4) 指标关联性综合研判方法

在各单项极限指标分析计算基础上,重点分析不同指标间的耦合关联与制约关系,采用指标关联性综合研判方法最终确定兼顾协同性的合理极限指标,确保既满足工程安全要求又契合实际运行需求。

2. 研究目标

本研究拟采用结构力学、水力学、材料力学等多学科理论与方法,开展望亭水利枢纽控制运用极限指标分析工作,综合研判枢纽在指标耦合关联及制约因素作用下的合理极限值。通过上述研究,可为枢纽控制运用提供科学依据,为提升工程预报、预警、预演、预案能力提供技术支撑,为后续数字建模分析提供方法参考,同时对开敞式、胸墙式等不同类型水闸的控制运用极限指标分析具有借鉴与示范意义。

三、控制运用指标及其影响因素

1. 控制水位指标

1994年望亭水利枢纽基本建成时,原设计望亭水利枢纽上游(太湖侧)采用1954年型50年一遇设计洪水位4.64 m,相应下游设计水位为4.20 m。2012年望亭水利枢纽更新改造时,望亭水利枢纽上游(太湖侧)采用1999年型50年一遇设计洪水位4.75 m,相应下游设计水位仍为4.20 m。

当流域发生超标准特大洪水时,为保障实况洪水

期工程安全运用,需进一步研究上下游极限水位组合。从结构安全角度而言,影响水位极限指标的因素较多,如消能防冲、防渗安全、结构稳定、闸门启闭力、闸门结构强度及刚度等。

消能防冲、防渗安全、结构稳定按照《水闸设计规范》(SL 265—2016)计算,闸门启闭力、闸门结构强度及刚度按照《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74—2019)计算。

2. 过闸流量指标

望亭水利枢纽过水面积400 m²,设计流量400 m³/s。依据《灌溉与排水渠系建筑物设计规范》(SL 482—2011)第C.1.4条,望亭水利枢纽的过流能力计算公式如下:

$$Q = \mu A \sqrt{2gH} \quad (1)$$

其中: Q 为过闸流量(m³/s); μ 为流量系数; A 为管身断面面积,为400 m²; ΔH 为上下游水位差(m); g 为重力加速度(m/s²)。

流量系数与闸门开度有关,根据南京水利科学研究院水工研究所提供的《望虞河立交地涵水工模型试验报告(二)》中,流量系数 μ 与九孔闸门相对开度 k 的关系曲线,可查得各相对开度下的流量系数(见表1)。

综上,望亭水利枢纽的理论泄流能力是比较大的,但从望虞河整体的行洪能力看,立交地涵仅是关键要素之一,影响其过流能力的还有望虞河河道的最大流速控制及水道立交地涵出口下游的水流衔接流态。

根据水工模型试验,地涵水流弗劳德数 Fr 为0.125~0.563,因 $Fr < 1$,地涵出口水流与地涵下游水流呈缓流与缓流衔接状态,故地涵下游水流衔接流态始终较为平稳。因此,影响望亭水利枢纽过流能力的关键因素为立交地涵下游的流速 v 。

在望亭水利枢纽闸门全开或均匀局部开启的条件下,立交地涵下游流速 v 的大小仅与过闸流量 Q 和下游水位 H_2 有关,与上游(太湖侧)水位无关,且呈现“ Q 大则 v 大, H_2 越低则 v 大”的规律。因此,真正决定下游河床保护作用的是某个确定的泄洪流量 Q ,以及与其相应的可能出现的下游水位 H_2 最低值条件下下游流速分布。这既是望虞河采取河床保护措施的参考依据,也是望亭水利枢纽过流能力的重要控制因素。

根据望虞河两岸土质条件和通航要求,在望虞河泄

表1 望亭水利枢纽流量系数

九孔闸门相对开度 k	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
流量系数 μ	0.13	0.15	0.24	0.34	0.46	0.59	0.73	0.89	1.05	1.2

洪和引水工况下,河道最大流速需控制在0.7 m/s以下。

3. 水位差指标

1994年望亭水利枢纽基本建成时,原设计正向水位差为0.8 m。2012年望亭水利枢纽更新改造后,正向设计水位差维持0.8 m,新增反向设计水位差1.12 m,新增反向校核水位差1.64 m。

近年来受暴雨、台风等极端天气影响,叠加京杭运河苏南运河沿线强人类活动与自然因素的综合作用,望亭水利枢纽反向设计及校核水位差频繁超出设计指标,给管理单位精准把握工程安全运行极限提出挑战。鉴于枢纽反向挡水能力受抗滑稳定、抗浮稳定、地基承载力、闸门启闭力、闸门结构强度等多重因素影响,需通过系统分析确定水位差极限指标及对应的上下游水位。

四、控制运用极限指标分析计算结果

控制水位、过闸流量、水位差指标受结构稳定、防冲安全、水力计算、闸门启闭力、闸门结构强度和刚度等多重因素影响,本研究拟从上述影响因素出发,采用包络全覆盖计算方法,分别得出各因素作用下的控制水位、过闸流量、水位差极限指标,为综合研判提供技术参考。

1. 结构稳定影响因素下的计算结果

鉴于望虞河和京杭运河水情复杂,本研究在结构稳定影响因素分析中采用可能的水位及水位组合进行包络全覆盖计算,得出保障闸室稳定的极限水位组合。其中:上游闸首计算地基承载力、基底应力比、抗滑稳定、抗浮稳定及沉降量,下游闸首及箱涵计算抗浮稳定。

望亭水利枢纽上游闸首正向稳定计算的水位组合设置如下:下游侧从设计低水位2.5 m起按0.1 m线性递增,相应上游侧水位从高于下游侧水位0.1 m起按0.1 m线性递增,直至稳定计算最高水位6 m。

上游闸首反向稳定计算的水位组合设置为:上游侧从历史最低水位1.65 m(2012年8月8日“海葵”台风期间关闸时记录)起按0.1 m线性递增,相应下游侧从设计低水位2.5 m起按0.1 m线性递增至稳定计算最高水位6 m,且需满足下游水位高于上游水位的条件。

下游闸首及箱涵抗浮极限计算选取最不利组合工况:京杭运河为设计通航最低水位2.3 m,相应下游侧水位为稳定计算最高水位6 m,以此复核工程抗浮能力。

上游闸首包络全覆盖法稳定计算的水位组合详见表2。

正向挡水情况(上游水位高于下游水位)计算结果如下:①在所有可能的正向挡水水位组合下,上游闸首地基承载力、基底应力比、抗滑稳定、抗浮稳定及沉降量均满足设计要求;②在最不利水位组合下,下游闸首及箱涵抗浮稳定满足设计要求。

反向挡水情况(下游水位高于上游水位)计算结果如下:当上游水位不低于1.65 m、下游水位不超过5 m时,反向最大水位差为2.7 m。此工况下,上游闸首的地基承载力、抗滑稳定、抗浮稳定及沉降量均满足设计要求;尽管地基应力不均匀系数偏大,但设计低水位为2.5 m时,闸室沉降量为7.03 cm,最大不均匀沉降差为2.21 cm(均满足要求),可判定闸室结构不会发生倾覆,整体结构稳定满足要求。

2. 防渗安全影响因素下的计算结果

根据望亭水利枢纽地下轮廓防渗长度 L 、渗径系数 c ,按照 $\Delta H \leq L/c$ 计算水位差极限值。

按照“上下游闸首与管涵之间止水失效”最不利情况考虑:防渗长度 $L=23.08$ m;水闸底板因坐落在粉质黏土层上,取 $c=4$,即水位差极限值为 $\Delta H \leq 23.08/4=5.77$ m。

结合水位分析:下游侧计算最高水位为6 m,当上游侧水位为历史最低值1.65 m时,水位差最大, $\Delta H=6-1.65=4.35$ m。该值小于5.77 m,从防渗长度角度判定,满足要求。

闸基渗流稳定复核采用《水闸设计规范》(SL 265—2016)中的改进阻力系数法,按“上下游闸首与管涵之间止水失效”的最不利情况考虑。水闸侧向绕渗计算时,近似把上游翼墙、闸室边墩、下游翼墙作为地下轮廓线,以该轮廓线为第一条流线,上下游水位线分别为第一条和最后一条等水头线,按有压渗流采用阻力系数法计算。本次选取水位差最大的组合复核渗流稳定,即下游水位6 m、上游水位1.65 m(反向挡水工况)。

表2 上游闸首包络全覆盖法稳定计算水位组合

工况	上游侧水位(m)	下游侧水位(m)	备注
正向	2.60~6.00	2.50~5.90	按0.1 m步长线性递增,同时确保覆盖关键特征水位
反向	1.65~5.90	2.50~6.00	

注:鉴于望亭水利枢纽堤防的堤顶高程为7 m,扣除1 m堤防工程安全加高值后,稳定计算最高水位取为6 m。

该闸闸基土质为粉质黏土,依据《水闸设计规范》(SL 265—2016),水平段允许渗流坡降值为0.25~0.35,出口段允许渗流坡降值为0.5~0.6。具体计算结果如下:①闸基段出口段渗透坡降最大值为0.2,水平段渗透坡降最大值为0.24,均满足规范要求;②侧向绕渗段出口段渗透坡降最大值为0.18,水平段渗透坡降最大值为0.14,均满足规范要求。

防渗安全计算结论:在最不利水位组合下,望亭水利枢纽上下闸首的防渗长度及渗透稳定均满足设计要求。

3.水力状况影响因素下的计算结果

水力状况计算包括过闸流量计算和消能防冲复核,采用包络全覆盖计算方法,根据不同工况下的水位组合,按公式(1)计算不同闸门开度对应的过闸流量,同时进行消能防冲复核,最终得出过闸流量极限指标及对应的闸门开度、上下游水位组合。

望亭水利枢纽正向排水能力计算的水位组合设置如下:下游侧从设计低水位2.5 m起按0.01 m步长线性递增,相应上游侧水位从高于下游侧水位0.01 m起按0.01 m步长线性递增,直至上游校核洪水位5 m。反向引水能力计算的水位组合设置为:上游侧从2.2 m起按0.01 m步长线性递增,相应下游侧从设计低水位2.5 m起按0.01 m步长线性递增至5 m,且需满足下游水位高于上游水位条件。过闸流量计算的水位组合详见表3。

抗冲流速控制标准如下:混凝土护砌段一般按3.5 m/s控制,砌石护砌段按2.5 m/s控制;非护砌河段的冲刷由河道不冲流速控制,根据望虞河两岸土质条件及通航要求,望虞河在泄洪与引水工况下,河道最大

流速需控制在0.7 m/s以下。

正向排水过闸流量计算结果:闸上水位4.86 m,闸下水位4.75 m,水位差0.11 m,闸门开度0.813(相对开度),流量为536 m³/s,可满足最大泄水流量要求,且涵洞及上下游河道的抗冲能力均满足要求;闸上水位5 m,闸下水位4.39 m,水位差0.61 m,闸门开度0.417(相对开度),流量为500 m³/s,可满足太湖水位高于5 m时的最大泄水流量要求,且涵洞及上下游河道的抗冲能力均满足要求。

反向引水过闸流量计算结果:闸上水位2.81 m,闸下水位2.9 m,反向水位差0.09 m,闸门开度0.77(相对开度),流量为447 m³/s,可满足工程现状下的最大引水流量要求,且涵洞及上下游河道的抗冲能力均满足要求。

4.闸门启门力影响因素下的计算结果

望亭水利枢纽钢闸门为平面钢闸门,单扇闸门孔口尺寸为7.0 m×6.5 m(宽×高),单扇门体自重14.2 t,总配重量为8.4 t。本次计算按“不配重”“配重4.2 t”“配重8.4 t”三种情况,依据《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74—2019)第9.1.1条,计算平面钢闸门在动水操作下保证闸门正常启闭的水位差极限指标,计算结果详见表4。

5.闸门结构强度及刚度影响因素下的计算结果

望亭水利枢纽闸门为潜孔式平面直升钢闸门。本次结构计算采用平面体系分析方法,把平面闸门划分为面板、水平次梁、竖直次梁、主梁、边梁、支承结构等构件。面板承受作用于闸门的静水压力,传递至梁格各构件;水平次梁承受上下两个梁格板传递的梯形荷载;竖直次梁一方面承受其两侧梁格板传递的三角形

表3 过闸流量包络全覆盖法计算水位

泄流方式	上游水位(m)	下游水位(m)	备注
正向排水	2.60~5.00	2.50~5.00	按0.01 m步长线性递增,同时确保覆盖关键特征水位
反向引水	2.20~5.00	2.50~5.00	

表4 闸门可正常启闭的水位差极限指标

配重情况(t)	正向排水		反向引水	
	闸门可正常启门水位差(m)	闸门可正常闭门水位差(m)	闸门可正常启门水位差(m)	闸门可正常闭门水位差(m)
0	< 3.00	< 0.60	< 3.35	< 0.85
4.2	< 2.40	< 1.00	< 2.75	< 1.25
8.4	< 1.80	< 1.40	< 2.15	< 1.65

荷载,另一方面承受水平次梁传递的集中荷载;水平主梁承受面板直接传递的梯形荷载及竖直次梁传递的集中荷载。结构计算依据《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74—2019)第6.2节执行。

闸门结构强度及刚度影响因素下的计算结果如下:正向挡水且水位差大于4.2 m时,主梁强度及挠度均不满足要求;反向挡水且水位差大于3.6 m时,主梁强度及挠度均不满足要求;正、反向挡水的水位差大于2.4 m时,闸门主梁挠度将超过 $L/750$ (L 为主梁计算跨度)的限值。综上,闸门正向与反向挡水时,最大允许水位差均不得超过2.4 m(由挠度限值控制)。

五、控制运用极限指标综合研判

1. 过闸流量

1999年7月13日,望亭水利枢纽历史最大排水流量为536 m³/s;2003年8月29日,望亭水利枢纽历史最大引水流量为321 m³/s。根据水力状况计算成果,在综合满足流域规划确定的望虞河泄洪、引水任务,且最大程度保证工程安全的基础上,提出望亭水利枢纽的流量控制指标如下:最大排水流量为536 m³/s,相应闸上水位4.86 m、闸下水位4.75 m;最大引水流量为447 m³/s,相应闸上水位2.81 m、闸下水位2.9 m。

2. 正向挡水水位差

望亭水利枢纽正向挡水设计水位差为0.8 m,历史承受的正向最大水位差为0.81 m。根据计算成果分析如下:

①结构稳定和防渗安全:上游闸首在所有正向挡水水位组合下,抗滑稳定、抗浮稳定、地基承载力及基底应力比均满足设计要求;下游闸首及箱涵在最不利水位组合下抗浮稳定满足设计要求;防渗长度及渗透稳定均符合规范要求,无防渗安全风险。

②闸门运行安全:根据闸门启闭力及结构强度计算成果,正向挡水时,水位差需低于1.4 m才能保障闸门正常启闭。

综上,综合结构稳定、防渗安全及闸门运行安全要

求,为最大程度保障望亭水利枢纽安全运行,提出其正向挡水最大水位差控制指标为1.4 m。

3. 反向挡水水位差

望亭水利枢纽反向设计水位差为1.12 m,反向校核水位差为1.64 m。枢纽历史承受的反向最大水位差为1.99 m(2012年8月8日“海葵”台风期间)。根据计算成果分析如下:

①结构稳定和防渗安全:当上游水位不低于1.65 m且下游水位不超过5 m时,反向最大水位差达2.7 m,此时抗滑稳定、抗浮稳定、地基承载力均满足设计要求,防渗长度及渗透稳定亦符合规范要求;尽管地基应力不均匀系数偏大,但设计判定结构整体稳定满足要求。

②闸门运行安全:根据闸门启门力计算成果,反向工况下闸门可正常启闭的安全水位差为2.15 m;根据闸门结构强度计算成果,为满足主梁挠度 $L/750$ (L 为主梁计算跨度)的安全限值要求,反向水位差应不大于2.4 m。

需要特别说明的是,工程经历台风、暴雨、高水头组合影响时,上下游水位变化迅速,需现场提前预判、统筹考虑、及时处置。综合上述因素,在“上游水位不低于1.65 m且下游水位不超过5 m”的约束条件下,提出反向挡水水位差控制指标为:不宜超过1.64 m(校核值),严禁超过1.99 m(历史最大值)。

4. 控制运用极限指标

综合望亭水利枢纽工程设计特征值、承担的流域任务和工程实际条件,其流量、水位差及相应水位控制运用要求详见表5。

六、结 语

为适应变化环境下工程运行的新要求,基于上述论证分析成果,水利部太湖流域管理局苏州管理局于2020年编制了《太湖流域管理局直管工程控制运用方案》,报经太湖流域管理局批准后施行。根据批复方案,及时修订了望亭水利枢纽应急预案和现场处置方案,

表5 望亭水利枢纽控制运用极限指标

指标		数值	说明
流量	最大排水流量(m ³ /s)	536	相应闸上水位4.86 m、闸下水位4.75 m
	最大引水流量(m ³ /s)	447	相应闸上水位2.81 m、闸下水位2.90 m
水位差	正向最大水位差(m)	1.4	—
	反向最大水位差(m)	1.99	相应闸上水位不低于1.65 m、闸下水位不超过5.0 m

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