



# 长沙枢纽枯水期下游超设计低水位运行的影响及对策

尹斌勇<sup>1</sup>, 文跃凌<sup>1</sup>, 莫雄<sup>2</sup>, 黎泽文<sup>1</sup>

(1. 长沙市湘江综合枢纽工程办公室, 湖南 长沙 410200; 2. 湖南省水运投资建设集团有限公司, 湖南 长沙 410214)

**摘要:** 长沙枢纽枯水期下游尾水位出现远低于设计最低水位的情况。为了分析其影响和研究对策, 采取数据统计分析等方法, 从下游低水位以及对应的水头参数对枢纽大坝运行、船闸通航、电站运行的影响进行综合分析, 并提出以下对策: 大坝原最大工作水头 9.3 m 提升至 11.2 m; 通过枢纽短时调度和流域联合调度保障最低生态流量 348 m<sup>3</sup>/s; 采取“分段、划区、有序、控时、限量”综合管控下游河道采砂; 采取“多孔数, 少流量”泄水, 定期水下摄像和大坝安全监测确保大坝安全; 防止船舶搁浅, 采取“先慢后快”方式开启船闸输水阀门, 确保浮式系船柱“磕底”时系缆安全, 修建 3000 吨级三线船闸, 确保船闸通航安全; 机组在水头 7.0 m 以下运行, 下游水位低于 19.55 m 时禁止开机, 及时进行电站前池清淤, 确保电站运行安全。

**关键词:** 长沙枢纽; 枯水期; 低水位; 安全

中图分类号: U641; TV61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)09-0158-07

## Influence and countermeasures of lower reaches of Changsha Hub operation below design low water level in dry season

YIN Bin Yong<sup>1</sup>, WEN Yue Ling<sup>1</sup>, MO Xiong<sup>2</sup>, LI Ze Wen<sup>1</sup>

(1. Changsha Xiangjiang Comprehensive Hub Project Office, Changsha 410200, China;  
2. Hunan Water Transport Investment and Construction Group Co., Ltd., Changsha 410214, China)

**Abstract:** The downstream tail water level of Changsha Hub is far lower than the designed minimum water level in the dry season. In order to analyze its impact and study countermeasures, this paper adopts methods such as data statistics and analysis, comprehensively analyzes the impact of downstream low water level and corresponding water head parameters on the operation of the hub dam, navigation of the ship lock and operation of the power station, and proposes countermeasures as follow. The original maximum working head of the dam should be raised from 9.3 m to 11.2 m. The minimum ecological flow of 348 m<sup>3</sup>/s should be ensured through hub short-term dispatching and basin joint dispatching. “Segmentation, zoning, orderliness, time control, and quantity limit” should be adopted to comprehensively control sand mining in the downstream river channel. “More holes and less flow” should be adopted to release water, and underwater photography and dam safety monitoring should be adopted regularly to ensure dam safety. To prevent the ship from stranding, the water conveyance valve of the ship lock should be opened in a way of “first slow and then fast” to ensure the safety of the mooring line when the floating bollard hits the bottom. A 3000-ton three-line ship lock should be built to ensure the safe navigation of the ship lock. The unit should operate under the operating water head of 7.0 m, and the unit should not be started when the downstream water level is lower than 19.55 m. The forebay of the power station should be cleaned in time to ensure the safe operation of the power station.

**Keywords:** Changsha Hub; dry season; low water level; safety

收稿日期: 2022-12-19

作者简介: 尹斌勇 (1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事航电枢纽建设和运行管理。

近些年来, 随着我国内河航电枢纽梯级开发, 逐渐出现在最下游一级航电枢纽中下游水位超设计预期下降的情况。其中, 以湖南的湘江长沙综合枢纽(简称长沙枢纽)最为突出, 湖南沅水最末一级航电枢纽——桃源水电站也存在同样问题。究其原因, 主要受流域河道采砂引起河床下切等综合因素影响, 对航电枢纽(水利枢纽)的安全运行带来隐患, 同时对其有效发挥本身应有功能和社会效益带来较大影响。针对此问题, 其具体影响程度如何? 能够采取哪些对策? 后续如何避免? 引起行业较大关注。

目前, 国内外对这方面的研究较少, 而对于桃源水电站的相关研究几乎没有。蔡旭东等<sup>[1]</sup>提出枯水期确保飞来峡水利枢纽电站发电和下游通航的水库调度方式; 范显华<sup>[2]</sup>提出在长洲水利枢纽枯水期采用“停航蓄水、间断通航”的运行方式兼顾通航、调水与发电3方面对水资源的需求。以上相关研究, 仅关注枯水期水库调度情况, 对于下游水位超出设计低水位的工况研究较少。本文以长沙枢纽实际情况为例, 综合相关数据和研究, 分析下游低水位对枢纽运行产生的具体影响, 提出保障枢纽安全运行所能采取的相关技术方案和管理应对措施。

## 1 工程概况

长沙枢纽位于湖南省长沙市望城区湘江干流蔡家洲, 是湘江9个梯级开发的最下游一级航电枢纽, 上游距株洲航电枢纽132 km、下游距城陵矶146 km, 是一座以改善湘江航道为主, 兼具保障供水、发电、灌溉、改善环境、公路交通等多重功能的综合性枢纽工程, 是湖南省目前规模最大的航电枢纽, 也是全国唯一一座位于省会城市的综合性航电枢纽, 库区内有长沙、株洲、湘潭3个主要城市。坝址控制流域面积9.05万km<sup>2</sup>, 枢纽正常蓄水位29.7 m(黄海高程, 下同), 死水位29.7 m, 下游最低通航水位21.9 m(20 a远期20.4 m), 相应库容6.75亿m<sup>3</sup>, 设计最低通航流量385 m<sup>3</sup>/s(保证率98%), 最低生态流量348 m<sup>3</sup>/s。

根据长沙枢纽初步设计及施工图设计文件<sup>[3]</sup>, 长沙枢纽由船闸、泄水闸、坝顶公路桥、电站等4个主要部分组成, 见图1。其中船闸为2 000吨级单级双线船闸, 阁室尺寸280 m×34 m×4.5 m(长×宽×门槛水深), 双向年通过能力9 800万t。泄洪闸共46孔, 左汊26孔, 堤顶高程18.5 m, 单孔泄流净宽22 m, 泄流宽度572 m; 右汊20孔, 堤顶高程25.0 m, 单孔泄流净宽14 m, 泄流宽度280 m; 左、右汊泄流总宽度852 m, 设计洪水标准100 a一遇, 相应流量2.64万m<sup>3</sup>/s, 校核洪水标准500 a一遇, 相应流量3.02万m<sup>3</sup>/s。根据水库调度方案, 左汊泄水闸自左至右, 12#~19#为一区, 20#~26#为二区, 1#~11#为三区, 日常调度中, 根据入库流量大小, 从小至大, 依序按区进行调度。坝顶公路桥总长1.93 km、宽27 m, 双向6车道, 为城市主干道。电站为河床式厂房, 总装机容量57 MW, 安装6台单机9.5 MW的灯泡贯流式水轮发电机组, 装机年利用时间4 061 h, 年均发电量2.32亿kW·h。



图1 长沙枢纽布置

## 2 下游低水位对枢纽运行的影响

### 2.1 枢纽运行情况

长沙枢纽于2009年12月开工建设, 2012年10月船闸建成通航并初期蓄水(上游库区蓄水位26.0 m), 2015年2月电站首台机组投产发电并试验性蓄水, 2015年12月主体工程完工。截至2022年10月, 船闸已运行10 a时间。

自2012年10月船闸通航以来, 长沙枢纽下游航道因河道采砂等原因, 下游河床下切严重, 同时受上游入库流量减少和三峡枯水期出库流量较少的双重影响。2013年长沙枢纽下游引航道水

位跌破最低通航水位 21.90 m, 2014 年跌破 20 a 远期最低通航水位 20.40 m, 此后逐年走低, 每年最低水位情况见图 2。其中入库流量在 2022-10-09 仅为 260 m<sup>3</sup>/s, 远低于设计生态流量 348 m<sup>3</sup>/s 的要求。受此影响, 长沙枢纽在枯水期时, 大坝、船闸、电站等设施出现不同程度超出设计工况运行的情况, 对枢纽安全运行、有效发挥其功能和社会效益带来较大影响。

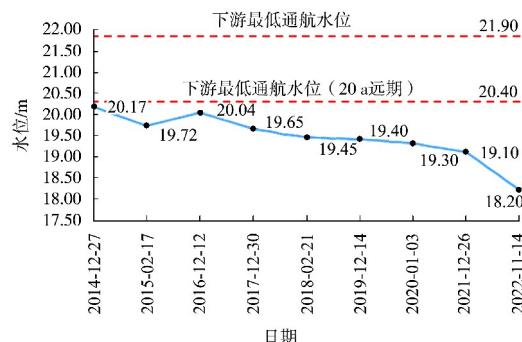


图 2 长沙枢纽下游多年最低水位

根据设计要求, 长沙枢纽上游库区蓄水位和死水位都是 29.7 m, 无调节库容, 长沙枢纽大坝、船闸、电站等设施运行的水位和水头要求见图 3。

根据长沙枢纽大坝、船闸、电站运行的水位和水头要求, 对实际运行数据进行统计和分析比较, 自 2014 年水情数据记录以来, 船闸不能达到设计通航要求、电站不能发电、以及水头大于枢纽最大设计水头的时间等相关数据见表 1。2022-11-14 的下游最低水位更是降至 18.20 m, 为了控制枢纽大坝在设计水头以下运行, 上游最低水位降至 27.60 m, 自长沙枢纽投运以来, 创历史新高。受此影响, 在枯水期时, 枢纽大坝、船闸通航、电站发电的运行存在一系列问题。

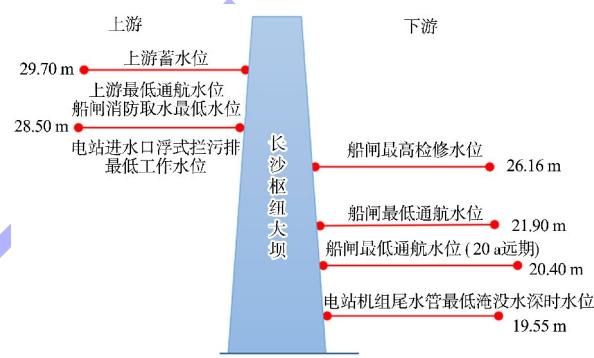


图 3 长沙枢纽运行的设计水位及水头要求

表 1 长沙枢纽超过设计水头时间

年份	船闸不能达到设计通航要求的时间/d		电站不能发电的时间/d		大于最大设计水头的时间/d
	下游低于最低通航水位 20.40 m	下游低于 21.90 m	水头小于 2.00 m	水头大于 7.00 m	
2014	15	79	60	106	15
2015	27	68	65	115	27
2016	12	93	137	146	12
2017	43	114	49	123	43
2018	45	135	33	166	45
2019	46	119	108	145	46
2020	38	76	138	91	38
2021	47	87	60	136	47
2022	140	160	65	178	140
合计	413	931	715	1 206	413
平均	46	103	80	134	46

## 2.2 对枢纽大坝的影响

泄水闸设计最大工作水头 7.80 m(下游水位下降至 20 a 远期最低水位 20.40 m 时为 9.30 m), 即当上游水位为 29.70 m 时, 下游水位为 21.90 m

(20.40 m)。实际运行中, 2022-11-14 的下游水位跌至 18.20 m。在此情况下, 若上游水位按设计蓄水位 29.70 m 蓄水, 水头将达到 11.50 m, 超过设计最大工作水头 24%, 对枢纽大坝运行带来安全

风险。同时,受超过设计水头的影响,在泄水闸泄水时,对消力池和消力墩以及闸墩结构缝等水工建筑物也带来不利影响。

### 2.3 对船闸通航的影响

船闸设计运行最高水头 9.30 m, 上游最低通航水位 28.50 m, 下游最低通航水位 20.40 m。当下游水位降至最低通航水位以下时,给船闸运行带来一系列影响。

#### 2.3.1 通航保证率大幅下降

长沙枢纽船闸为 2 000 吨级船闸,下游引航道设计底高程 17.50 m, 2017 年下游引航道进行了改善性疏浚,底高程降至 16.50 m(船闸闸室底高程 15.90 m),在最低通航水位 20.40 m 时,通航吃水深度 3.90 m,当下游水位继续降低,通航吃水深度减少,船舶通行能力和船闸通过能力逐步降低,水位越低对船舶通行能力影响越大。2022-11-14 的下游水位降至 18.20 m,通航吃水深度仅有 1.20 m(预留 0.50 m 安全水深),极大影响了船舶正常通行,船舶只能减载或是更换小船通行。实际情况中,只能通行 1 000 t 左右的小船,载货 300 t 左右。受此影响,自船闸通航以来,下游水位低于最低通航水位 21.90 m 的时间达 931 d,年平均 103 d,最多的年份达 160 d(2022 年);低于 20 a 远期最低通航水位 20.40 m 的时间达 413 d,年平均 46 d,最多的年份达 140 d(2022 年),长沙枢纽船闸实际通航保证率多年平均值仅有 87.39%,2022 年更是低至 61.64%,远低于设计值 98%。

#### 2.3.2 输水阀门滚轮磨损加剧

长沙枢纽船闸输水阀门启闭力 1 000 kN,当水头达到 9.30 m 时,液压系统启门工作压力约 14 MPa(最大工作压力 20 MPa)。当水头大于最高水头时,水头越高,液压系统工作压力越大,在启闭力增大的同时,受水压增大的影响,输水阀门主轮及轴套的磨损加重,使用寿命缩短。实际情况中,船闸在 2017 和 2022 年大修时发现输水门滚轮轴套和轴都有较大磨损,进行了更换处理。

受长时间高水头运行,甚至超过设计水头运行的影响,输水阀门滚轮、水封等易损件,使用寿命缩短,检修频次增加,船闸运行维护成本增加。

#### 2.3.3 影响其他设施正常运行

1) 影响输水廊道正常运行。当下游水位降至输水廊道顶部高程 19.00 m 以下时,在船闸充水过程中,输水廊道进入空气,闸室结构缝出现“气泡”现象,对输水廊道结构缝的止水密封造成破坏。2022 年一线船闸检修时,发现输水廊道有多处结构缝破损漏水,对检修抽水带来较大困难。

2) 影响浮式系船柱正常运行。当下游水位低于 20.40 m 时,浮式系船柱出现“磕底”现象(浮式系船柱门槽底高程 17.00 m,浮式系船柱吃水线深度 3.40 m),浮式系船柱不能在正常工况下运行,给船舶过闸带来安全隐患。

#### 2.3.4 上游库区航道通行受限

根据设计要求,当长沙枢纽上游水位 29.70 m 时才与上游株洲航电枢纽尾水衔接,满足长沙—株洲段 131 km 航道为Ⅱ级(2 000 吨级)航道水深要求。但在枯水期时,随着下游水位持续下跌,为了确保枢纽水头控制在 9.30 m 以内,当下游水位跌至 20.40 m 以下时,上游水位也做相应下调,受此影响,上游Ⅱ级(2 000 吨级)航道难以保障,下游水位跌得越多,上游水位降得越多,对上游通航的影响也越大,上游航道通航保证率难以保证。

### 2.4 对电站运行的影响

电站发电需满足最高水头 6.80 m(净水头)以下和最低水头 1.50 m 以上区域,以及下游水位在尾水管淹没水深以上条件,即下游尾水位在 19.55 m 以上(尾水管顶部高程 19.05 m+0.50 m)。按此要求,电站发电所需满足的水头和水位具体参数见表 2,其中机组发电的毛水头 7.00 m 为最高水头 6.80 m(净水头)+0.20 m 的水头损失而取值,毛水头 2.00 m 为在最低水头 1.50 m(净水头)的基础上考虑 0.20 m 水头损失以及避免低水头振动区而取值。

表 2 电站机组发电相关水位及水头参数要求

上游水位/m	下游水位/m	毛水头/m	运行工况
29.70	22.70	7.00	上游正常蓄水位 29.70 m 时,按最高水头,下游对应的最低发电水位 22.70 m
28.50	21.50	7.00	上游最低通航水位 28.50 m 时,按最高水头,下游对应的最低发电水位 21.50 m
26.55	19.55	7.00	下游尾水管淹没水深对应最低水位 19.55 m 时,按最高水头,上游对应的最高发电水位 26.55 m
29.70	27.70	2.00	上游正常蓄水位 29.70 m 时,按最低水头,下游对应的最高发电水位 27.70 m

注: 设计、最高、最低水头分别为 3.70、6.80、1.50 m。

按照以上要求,在枯水期时,当水头大于 7.00 m 时,机组停机。根据表 1,自 2015 年机组投产开始,超出最高水头的时间达 1 100 d,年平均 138 d。加上汛期水头低于 2.00 m 不能发电的时间,多年平均 80 d。按此测算多年平均发电量约为 1.6 亿 kW·h,机组实际多年平均利用时间仅有 2 807 h,远低于设计值 4 061 h,仅为设计值的 69%。同时,为了尽量争取高水头时发电,机组较长时间处于高水头振动区运行,给机组安全运行带来较大隐患。此问题在桃源水电站已有显现,机组长时间在高水头工况下运行,振动较大,极易造成转轮室局部筋板开裂等问题。

### 3 水库调度运行条件选择

#### 3.1 上游水位控制

针对以上问题,为了确保长沙枢纽安全运行,同时发挥枢纽功能和社会效益,综合设计要求和实际情况进行分析,对上游水位控制和出库流量控制 2 个重要运行工况参数进行合理选择,并按照“确保枢纽安全、优先保障供水、其次保障通航、再者进行发电”的优先次序进行水位控制和水库调度。上游水位控制原则如下。

1) 优先按 29.70 m 设计蓄水位控制。根据长沙枢纽设计功能要求和实际运行需要,在省市防汛抗旱指挥部的调度下调控上游水位,以满足长沙枢纽船闸运行水头、船闸消防取水、电站浮式拦污排运行的基础上,尽量保障库区 II 级航道通行,上游水位按 29.70 m 设计蓄水位控制。

2) 在 28.50~29.70 m 调控水位。当下游水位降至 22.50 m 及以下时,对供水和通航无影响的情况下,按电站机组运行最高毛水头 7.00 m 逐步降

低上游水位,以满足发电需要,最低降至 28.50 m,此时对应下游水位 21.50 m,当下游水位继续下降时,机组应停机。

3) 最大安全工作水头不超过 11.20 m。根据设计要求,长沙枢纽最大工作水头为 9.30 m,在 2022 年长沙枢纽蓄水验收时,针对枯水期下游低水位问题,在《湘江长沙综合枢纽蓄水安全鉴定报告》<sup>[4]</sup>中,对超过最大工作水头的工况进行了安全复核,枢纽船闸、水电站和泄水闸大坝的最大安全工作水头以 11.20 m 为上限值,即当上游水位 29.70 m 时,下游水位 18.50 m,当下游水位继续下降时,上游水位应做相应调整,确保上下游水头最大差值不超过 11.20 m。

#### 3.2 出库流量控制

在枯水期,长沙枢纽根据防汛抗旱指挥部要求,根据优先按 29.70 m 设计蓄水位控制、在 28.50~29.70 m 调控水位、最大安全工作水头不超过 11.20 m 的原则控制上游水位。综合考虑湘江流域以及长沙枢纽实际情况,原则上按照不低于最低通航流量 385 m<sup>3</sup>/s(保证率 98%)和最低生态流量 348 m<sup>3</sup>/s 的出库流量进行调度。实际情况中,自 2014 年有水情数据统计以来,低于最低通航流量时间 54 d,低于最低生态流量时间 42 d。在此情况下,受上游入库流量减少,由于长沙枢纽无库容调节能力,只能按“来多少、放多少”的原则,即入库多少、出库多少。

### 4 技术及管理应对措施

#### 4.1 河道采砂控制

在枯水期时,对长沙枢纽水库调度在上游水位、出库流量控制的基础上,为了确保枯水期枢

枢纽安全运行, 尽量发挥枢纽功能和社会效益, 对河道采砂以及长沙枢纽区域运行采取相关技术和管理措施。

针对长沙枢纽下游航道因河道采砂等, 造成下游河床及水位下切严重的问题, 引起行业和政府高度关注。2017年4月政府下令对湘江长沙枢纽—洞庭湖约100 km河段禁止采砂, 2018年出台了《湖南省湘资沅澧干流及洞庭湖河道采砂规划(2019—2022年)》<sup>[5]</sup>, 2022年出台了《湖南省湘资沅澧干流及洞庭湖河道采砂规划(2023—2027年)》<sup>[6]</sup>, 根据规划, 湘江望城区管辖范围(长沙枢纽—鱼尾洲约25 km)列为禁采范围, 2018年3月长沙市望城区发布了《关于长沙市望城区河道禁止采砂的通告》<sup>[7]</sup>。湘江湘阴县管辖范围(鱼尾洲—洞庭湖约70 km)河段采取“分段、划区、有序、控时、限量”的综合管控采砂方式, 控制河道采砂对下游航道以及防洪、环境等方面的影响, 以此防止造成下游河床和水位继续下切失控的问题。

#### 4.2 大坝运行措施

以确保大坝安全运行为根本准则。根据《长沙枢纽蓄水安全鉴定报告》复核结果, 当水头超出最高工作水头9.30 m时, 对大坝安全运行无影响, 安全工作水头可按11.20 m内控制。为了尽量减少高水头情况下对大坝运行的影响, 当水头超过9.30 m时, 采取的相关措施如下。

1) 优化弧门开启调度方式。采取“多孔数、少流量”原则, 减少下泄流量对消力池和消力墩的冲刷影响。根据《长沙枢纽蓄水安全鉴定报告》中泄水闸消能防冲设计计算结果: 以先开启左汊闸门位于中间位置2孔, 即11<sup>#</sup>、13<sup>#</sup>孔, 或12<sup>#</sup>、14<sup>#</sup>孔, 以0.1 m开度为梯度, 当开启至1.5 m时, 保持此两孔不动, 以向两边增开的方式, 再间隔开启2孔, 同样仍以0.1 m开度为梯度, 逐步增加到1.5 m开度, 此时为4孔同时达到1.5 m开度, 随着入出库流量增加, 依此顺序, 逐渐增加开孔数。

2) 适时采取联合调度。当长沙枢纽入库流量低

于最低通航流量385 m<sup>3</sup>/s或最低生态流量348 m<sup>3</sup>/s, 以及需要缓解下游低水位时, 可由防汛抗旱指挥部对流域内的航电枢纽和上游水电站进行梯级联合调度, 从上游至下游, 适时加大下泄流量。

3) 定期进行水下摄像工作。根据实际情况, 3 a左右进行1次水下摄像, 查看消力池和消力墩等水工建筑物的运行情况, 发现问题及时处理。

4) 密切关注大坝安全监测数据情况(包括船闸部分和副坝部分), 特别是在高水头时, 注意临江侧水工建筑物监测数据的横向和纵向比较, 发现问题进行分析, 及时处理。

#### 4.3 船闸运行措施

以确保船闸正常运行、不因设备设施问题造成船闸非计划停航或断航为原则。船闸运行措施如下。

1) 防止船舶搁浅。当下游水位下降至20.40 m以下时, 根据水深情况, 通过减载或更换小船方式, 控制船舶吃水, 保障船舶安全通行, 重点防止船舶超吃水在引航道发生搁浅事故等问题。同时关注引航道淤积情况, 对于自然软质淤积, 可通过通行船舶“螺旋浆搅动、随水流带动”的方式“自然清淤”, 对于硬质浅点, 须进行定点疏浚处理。

2) 适当调整输水阀门开启方式。在闸室充水时, 采取“先小开度、后大开度”的分段开启方式, 即先开启输水阀门0.5~1.0 m, 当闸室水位上升至22.00 m时, 再全部打开输水阀门, 或是通过减缓输水阀门开启速率, 延长输水时间等方式, 以减轻高水头下高速水流对输水廊道等水工建筑物的冲刷和汽蚀影响。

3) 确保系缆安全。当下游水位降至20.40 m以下时, 浮式系船柱出现“磕底”现象, 应提醒过闸船舶注意系缆安全, 水位越低, 安全风险越大。

4) 消除“气炮”问题。对于下游水位跌至19.00 m以下出现输水廊道的“气炮”问题, 对输水廊道采取设置补气设施等相应措施, 解决

“气炮”对输水廊道结构缝的破损问题。

5) 确保液压系统正常工作。当船闸运行水头高于 9.3 m 以上时, 按 0.5 m 区间密切关注和记录输水阀门开启时的液压系统压力和输水阀门运行情况, 发现问题及时检查, 有效处置, 并确保液压系统压力最大不超过 20 MPa。

6) 加强输水阀门巡检。对输水阀门的滚轮及水封运行情况, 采取工作时与静止时相结合的检查方式, 加强巡查和检查频次, 其检修周期根据实际情况调整, 由一般的 5 a 调整至 4 a 左右(具体时间以运行频次和输水阀门实际工作情况而定)。以保证输水阀门正常工作为准则, 及时对易损件进行更换检修和消缺处理, 避免由于输水阀门滚轮受损失效而造成输水阀门和门槽损坏问题(长沙枢纽一线右输水阀门已在 2021 年发生此类问题)。

7) 建设长沙枢纽三线船闸。将长沙枢纽预留三线船闸按 3 000 吨级标准建设, 同时将长沙枢纽—城陵矶 146 km 航道按 I 级航道标准建设, 确保长沙枢纽枯水期下游最低水位时, 船舶吃水深度在 5.0 m 以上。此措施可有效解决长沙枢纽在枯水期下游低水位时, 船舶航行水深不足的问题, 但须考虑下游河床和水位进一步下切对枢纽其他设施所带来的问题。

#### 4.4 电站运行措施

以确保机组安全稳定运行为原则, 严禁机组在高水头振动区和超出最高运行水头运行。电站运行措施如下。

1) 严格控制水头运行。根据电站机组最高运行水头要求, 控制毛水头在 7.00 m 以下运行, 即上游水位为 29.70 m 时下游水位在 22.70 m 以上。当下游水位降低到 22.70 m 以下, 如无其他水位控制要求, 可随下游水位变化, 按照满足毛水头 7.00 m 的要求, 在 28.50~29.70 m 调控上游水位, 以满足机组发电需要。当下游水位降低至 19.55 m 以下, 已超出尾水管淹没水深, 机组应停机。

2) 加强电站进水口前池清淤工作。受长沙枢纽电站汛期停机时间较长(3~6 个月)影响, 电站进水口前池淤积较为严重, 应 3 a 左右定期对电站进水口前池的淤积情况进行水下摄像和扫测检查, 及时进行清淤, 确保电站机组进水口检修门门槽区域无杂物和淤积。同时确保机组进水流道流畅, 以减少水头损失, 维持机组良好运行条件, 保障机组发电效率和效益。

#### 5 结论

1) 长沙枢纽在枯水期下游水位超设计低水位运行时, 造成长沙枢纽大坝超出原最大工作水头 9.30 m 的年平均时间 46 d, 船闸通航保证率多年平均值仅有 87.39%, 电站超出最大工作水头的年平均时间 138 d, 机组实际多年平均利用时间仅有 2 807 h。以上问题对枢纽安全运行, 并发挥枢纽功能和社会效益带来巨大影响。

2) 经安全复核, 当枯水期下游水位超出设计低水位时, 将最大安全工作水头提高至 11.20 m 以内控制, 最大水头提升 20%, 以缓解上游水位调节难度。同时采取长沙枢纽短时调度与湘江流域联合调度方式, 确保长沙枢纽出入库流量不小于最低生态流量 348 m<sup>3</sup>/s。

3) 进行河道采砂控制, 对长沙枢纽以下 25 km 禁止采砂, 25 km 以下采取“分段、划区、有序、控时、限量”的综合管控采砂, 防止下游河床和水位继续下切失控。同时采取“多孔数, 少流量”泄水, 联合调度加大下泄流量, 定期水下摄像和大坝安全监测综合措施, 确保大坝运行安全。

4) 控制船舶吃水防搁浅, “先小后大或先慢后快”方式开启船闸输水阀门并加强巡检, 确保浮式系船柱“磕底”时系缆安全, 修建 3 000 吨级三线船闸, 确保船闸安全运行; 严格控制机组运行水头在 7.00 m 以下运行, 下游水位低于 19.55 m 时禁止开机运行, 及时进行电站前池清淤, 确保电站安全运行。

(下转第 197 页)