

人字门门格清淤装置设计及在船闸大修中的应用

廖源, 唐艳平, 刘新, 周志寰, 吴先伟

(长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443002)

摘要:人字门门格清淤是船闸计划性大修停航期的一项重要工作, 清淤效率和效果直接影响船闸停航检修工期和质量。针对传统人工清淤方式存在作业空间狭窄、劳动强度大、清淤效率较低、安全风险大的问题, 提出一种新型人字门门格清淤装置, 具有体积小、清淤效率高、施工安全的特点, 经 2022 年葛洲坝三号船闸计划性停航大修实践, 该装置能够使清淤效率提高至传统方式的 5 倍, 更好地满足船闸快速检修需求, 可为国内外同类型闸门门格清淤提供参考。

关键词:门格清淤装置; 船闸; 快速检修; 清淤效率

中图分类号: U641 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2022) 11—0117—03

三峡和葛洲坝船闸上、下游工作闸门均为人字形闸门, 其中三峡船闸为双线五级船闸、共计 24 扇人字门, 葛洲坝布置有三座船闸, 共计 12 扇人字门。人字门门格清淤是船闸计划性大修停航期的一项重要工作, 其主要内容为清理沉积在人字门门格内(主要为水下部分)的淤泥, 以便后续人字门的检查和修理工作能够尽快展开, 以葛洲坝三号船闸为例, 单次清淤量可达 200m^3 。船闸人字门门格清淤与传统航道疏浚不同, 有其自身特殊性, 主要是船闸人字门门体表面不允许重力撞击和机械损伤, 一些常见的抓斗式、绞吸式、耙吸式等清淤设备无法直接投入使用, 历次船闸大修清淤中主要采用人工清淤的方式。目前, 国内外清淤研究主要集中于中小河道、内河航道、水库、水电站以及港池疏浚的设备研发与应用, 针对狭小范围的小型清淤设备研发较少, 仅见于少数文献中^[1-7], 这些小型清淤设备在施工作业过程中, 与清淤头接触的多为河底淤泥或钢筋混凝土, 容许清淤设备对清淤基面有一定的损坏。针对不允许损伤清淤基面, 如用于人字门门格清淤相关设备领域的研究基本为空白。因此, 考虑到国内人字形闸门及具有类似门格的闸门数量众多, 清淤维护工作量大, 研发专门适用于门格清淤的小型清淤装置具有重大的现实意义。

1 传统清淤方式现状分析

在近几次葛洲坝船闸计划性停航大修中, 为了节约时间抢进度, 主要采用“水降淤清”的方式, 做法是在闸室开始排干抽水的同时, 清淤作业人员站在悬挂在门格旁的吊篮栏中或者钻进门格内, 采用铁锹将门格内的泥沙铲出至门库, 并用消防水枪冲洗。待门库水排干后, 再采用装载机辅以人工将门库内所有淤积物清理完毕,

提交人字门检修工作面。该方式主要存在以下几个方面的问题。

(1) 作业空间狭窄。以二号闸下游人字门为例, 门格深约 2.66m , 层高 1m 左右, 入口高度仅有 60cm 。由于门格内空间狭窄无法站立, 作业人员只能钻进门格内, 蹲着进行施工, 极为不便。

(2) 劳动强度大。以二号闸下游人字门为例, 单扇下游人字门需清淤的面积约 300m^2 , 按平均淤深约 30cm , 估算淤积量约 90m^3 。根据停航大修工期计划的要求, 门格清淤施工一般安排在冬季夜间, 随着闸室抽排水的进度连续进行直至完成, 一般需要安排两组人员倒班, 投入人力约 30 人、吊车 2 台, 连续施工时间可达 12 小时, 如再加上闸室排干后门库区域的大量沉渣和淤积清理, 连续施工时间可达 24 小时。长时间的高强度连续作业造成施工人员体力和精神上的巨大消耗。

(3) 清淤效率低。由于门格内空间有限, 单纯靠增加人员投入的方法已达瓶颈, 收效不大。传统的铁锹铲送淤泥的作业方式效率低下。门格内淤泥抛入门库内, 闸室排干后还需再次清运, 重复劳动, 费时费力。

(4) 安全风险高。门格清淤属于高空临水悬边作业, 一般需在冬季夜间连续作业。此时施工现场气温较低, 泥水冰冷, 能见度差, 同时吊车需长时间负重配合施工。在低温、疲倦、湿滑、能见度差等多因素的影响下, 作业人员和起吊设备都存在一定的安全风险。



图 1 传统人字门清淤作业图

鉴于传统清淤方式存在的问题，拟探索研究一种新型人字门门格清淤装置和方式，解决现有传统门格清淤方式存在施工难、消耗大、效率低、风险高的问题。达到减轻作业强度，降低安全风险，提高清淤效率，满足船闸快速、高效检修的迫切需求。

2 人字门门格清淤装置研发

受门格条件所限，常见的抓斗式、绞吸式等清淤设备无法直接投入使用。新的清淤装置基于体积小、操作方便、清淤效率高、对门体无损伤的理念进行设计。充分考虑现场作业环境，结合多年来历次大修清淤实践，采取不断试验、不断优化的方式进行研制。

2.1 人字门门格清淤装置原理

人字门门格清淤装置采用“高压水冲击 + 吸沙排污装置”，简单概括为“一冲一吸”的工作原理对沉积在门格内的淤泥进行清除。将高压喷嘴和吸泥头集成在清淤头上，高压喷嘴连接高压供水装置，吸泥头连接吸沙排污装置。工作时，第一步：借助高压水或者高压风的动力将板结的淤泥或者泥沙扰动，使其变成可以流动的泥浆；第二步：利用吸泥头配合排浆管将泥沙排出。装置原理示意图如图 2 所示。

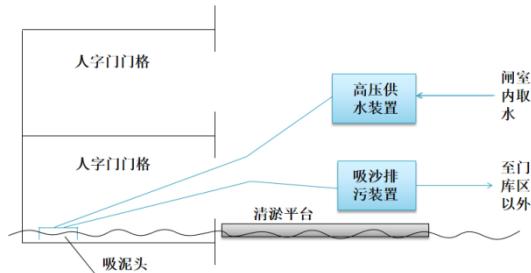


图 2 人字门门格清淤装置原理示意图

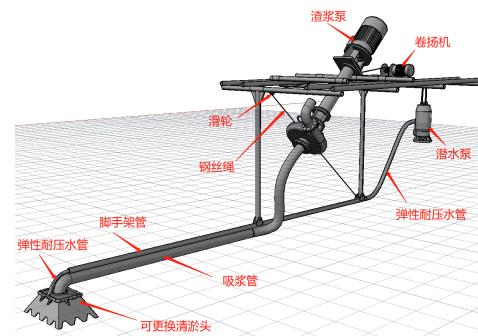
2.2 人字门门格清淤装置组成及功能实现

人字门门格清淤装置主要由冲淤系统、吸浆系统、吸盘、清淤头牵引机构、电源控制箱、无线遥控开关、钢管支架、浮式平台、水下照明灯带等组成。如图 3 所示，冲淤系统包括潜水泵、弹性耐压水管、高压喷嘴、分水腔。吸浆系统包括液下渣浆泵（或吸浆泵）、吸浆管、排浆管、吸泥头、吸盘。吸盘、高压喷嘴、分水腔和吸泥头共同组成清淤头。清淤头牵引机构包括钢丝绳、支臂、滑轮、卷扬机、行走电机、提升电机。电源控制箱包括吸浆泵、潜水泵、行走电机和提升电机的电源开关，同时提供了 12v、220v 和 380v 的备用接口，满足水下水上及临时用电需求。无线遥控开关集成了吸浆泵、潜水泵、行走电

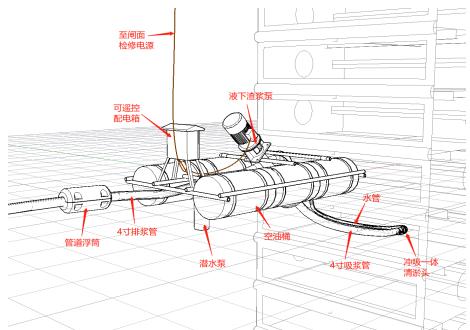
机和提升电机的控制开关。

清淤装置工作时，冲淤系统中潜水泵从闸室取水，水体经由高压水管送至分水腔，分水腔与高压喷嘴连接，利用喷嘴中喷出的高压水柱将沉积在门格中的淤泥冲散。喷嘴角度可以调节，实现对淤泥不同角度的冲击，同时喷嘴也能够实现快速更换，防止堵塞影响效率。吸浆系统中吸泥头借助吸浆泵动力将泥浆吸入，传至吸浆管、排浆管、抽排至门库区域以外。为实现清淤头的上下移动和水平移动，设计了清淤头牵引机构，位于水下的前后两立杆、支臂横杆与平台构成一个可活动的平行四边形，钢缆连接平行四边形对角顶点，通过卷扬机的收放来调整平行四边形对角线的长度，从而控制支臂横杆在水中的深度，将清淤头正对门格洞口后再整体推入。应用时具体步骤如下：

- (1) 将施工平台系泊在人字门门格侧，清淤设备平台清淤头正对门格，设备配电箱接驳岸电；
- (2) 打开横杆和清淤头上的照明灯带，水面操作员位于施工平台上，边观察边通过遥控器调整清淤头深度，使之正对水下一层门格的洞口；
- (3) 拉动清淤设备平台整体向人字门靠拢，将清淤头送入门格内部，点落清淤头，观察卷扬机钢丝绳是否松弛，使清淤头落在淤积部位上，将清淤设备平台与门体系泊牢固；
- (4) 启动潜水泵和吸浆泵，开始正式清淤施工，并观察排浆管出浆情况；
- (5) 排浆管出浆变清时，可移动位置对门格进行“地毯式”清淤；
- (6) 单个门格清理完成后，反向退出门格，将平台横向移泊至下一个门格，从步骤 b 重复操作；



3-a 清淤装置结构前视图



3-b 清淤装置结构后视图



3-c 喷吸一体清淤头结构图 3-d 无线遥控图

图 3 清淤装置图

3 人字门门格清淤装置在葛洲坝三号船闸大修中的应用

2022 年葛洲坝三号船闸计划性大修清淤项目中，人字门门格清淤装置投入了应用，如图 4，共清理淤泥近 120m^3 ，显现了其高效、可靠、操作简便的特点。

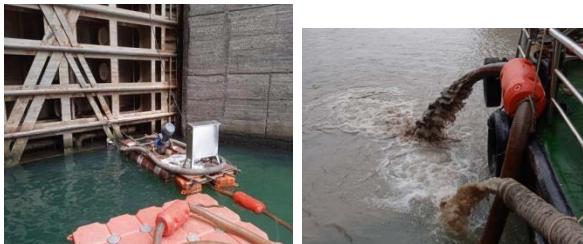


图 4 清淤装置现场作业图

表 1 为传统清淤方式和人字门门格清淤装置的对比。根据表格可以看出人字门门格清淤装置相较于传统人工清淤方式，有显著的优势。

表 1 传统清淤方式与清淤装置的对比（三号闸大修清淤实践）

	传统清淤	清淤装置
效率	26 人清淤， $5\text{m}^3/\text{h}$	4 人， $25\text{m}^3/\text{h}$
劳动强度	连续作业，工人极其疲惫	正常作业，较为轻松
安全风险	高空悬边，安全风险高	浮式平台，安全风险较低
清淤效果	淤泥抛入库区，需要二次清运	抽排至库区以外，无需二次清运

4 总结

通过研制新型人字门门格清淤装置，实现了船闸大修中高效清淤、安全清淤的目标。更加机械化、智能化的清淤方式大幅减轻了施工人员劳动强度，降低了施工作业安全风险，避免了淤泥的二次清运。直接缩短了大修工期关键线路 1 天左右的时间，更好满足了船闸快速检修，减少停航时间，充分发挥航运效益的需求。

参考文献：

- [1] 张思洪, 冯德强, 胡强. 液压抓斗在龚嘴水电站的应用 [J]. 水电与新能源, 2018 (8): 61–63.
- [2] 卢德明, 赵俞斌. 河道环保绞吸式清淤施工技术 [J]. 中国水能及电气化, 2018 (9): 15–17.
- [3] 林驰, 宗政, 尹勇, 等. 新型河底淤泥收集装置的研究和应用 [J]. 治淮, 2017 (9): 20–21.
- [4] 舒大兴, 戚振亚, 吕殿荣. 水库水力自耕吸泥清淤装置研究 [J]. 人民黄河, 2014, 36(12): 138–139.
- [5] 张青, 程志毅, 吴镇, 等. 水电站大坝闸门底部清淤装置的设计 [J]. 科技风, 2010 (4).
- [6] 刘晓杰, 化晓锋, 陈伟, 等. 新型渠道清淤技术与设备研究 [J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(5): 189–192.
- [7] 戴俊. 冲淤管道装置冲刷能力的研究 [J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2012, 31(1): 110–115.

