

砂石加工系统废水处理工艺研究

田振伟 江哲

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450001

[摘要] 砂石加工系统在生产过程中会产生大量含有悬浮物、泥沙等污染物的废水, 对环境造成严重影响。本篇文章针对砂石加工系统废水的特点, 研究了一种高效、经济、环保的处理工艺。该工艺采用“沉淀+净化+过滤”的组合方式, 首先利用积淀池预处理进行沉淀, 去除大部分悬浮物, 然后经旋流净化进一步降低废水浊度, 最后采用板框压滤机进行过滤, 使出水达到回用或排放标准。实验结果表明, 该工艺对砂石加工废水的悬浮物去除率可达 95%以上, 出水浊度低于 5NTU, 能有效去除废水中的污染物, 实现废水的达标排放和回用, 具有良好的应用前景。

[关键词] 砂石加工系统; 废水处理; 新技术发展

DOI: 10.33142/sca.v7i8.13064

中图分类号: TV42

文献标识码: A

Research on Wastewater Treatment Process of Sand and Stone Processing System

TIAN Zhenwei, JIANG Zhe

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450001, China

Abstract: The sand and gravel processing system generates a large amount of wastewater containing suspended solids, sediment and other pollutants during the production process, which has a serious impact on the environment. This article focuses on the characteristics of wastewater in sand and gravel processing systems and studies an efficient, economical, and environmentally friendly treatment process. This process adopts a combination of "sedimentation+purification+filtration". Firstly, a sedimentation tank is used for pre-treatment to remove most suspended solids. Then, the wastewater turbidity is further reduced through cyclone purification. Finally, a plate and frame filter press is used for filtration to ensure that the effluent meets the reuse or discharge standards. The experimental results show that the removal rate of suspended solids in sand and gravel processing wastewater by this process can reach over 95%, and the effluent turbidity is less than 5 NTU, which can effectively remove pollutants in the wastewater, achieve standard discharge and reuse of wastewater, and has good application prospects.

Keywords: sand and gravel processing system; wastewater treatment; development of new technology

引言

砂石作为建筑行业的重要原材料, 其加工过程中会产生大量含泥沙、悬浮物等杂质的废水。据统计, 每生产 1 吨砂石会产生 0.2~0.3m³ 废水。若这些废水不经处理直接排放, 不仅会污染水体环境, 还会造成水资源浪费。因此, 亟须开发一种高效、经济、环保的砂石加工废水处理工艺。目前, 国内外学者对砂石废水处理已开展了大量研究, 如采用混凝沉淀、气浮、旋流器、砂滤等常规方法。但单一方法往往存在去除效率低、运行成本高、工艺复杂等问题。

1 砂石料加工系统运作方式与废水特点、处理要求研究

水利水电工程建设过程中, 砂石料加工系统发挥着至关重要的作用。砂石料的开采、破碎、筛分、清洗等环节共同构成了完整的加工流程。其中, 砂石料的清洗是保证骨料品质的关键步骤, 但同时也会产生大量含有泥沙、悬浮物等杂质的废水。据统计, 平均每生产 1 吨砂石骨料就会伴生 0.2m³ 废水。以某大型水电工程为例, 日均砂石料用量为 8000 吨, 相应的废水产生量可达 4000m³。如此巨

大的废水量若不妥善处理, 不仅会污染河流、湖泊等自然水体, 威胁当地生态环境安全, 还会造成宝贵的水资源白白浪费。砂石料加工废水的主要污染物为 SS (悬浮物) 和浊度, 其浓度可高达 5000mg/L 和 10000NTU。此外, 废水还含有一定量的 COD (化学需氧量)、BOD (生物需氧量)、重金属等杂质。鉴于废水的水质特点, 国家和地方先后出台了一系列排放标准和回用水质要求。如《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 规定, 砂石料加工废水经处理后 SS 应低于 70mg/L; 《城市污水再生利用标准》(GB/T 18920—2020) 规定, 回用水 SS 应低于 10mg/L, 浊度应低于 5NTU。这对砂石料加工废水的处理提出了更高要求。

2 砂石加工系统常用废水处理工艺的类型与缺陷分析

水利水电工程建设过程中, 砂石料加工系统产生的废水一般采用物理和化学方法进行处理。常见的处理工艺包括自然沉淀法、混凝沉淀法、气浮法和过滤法等。这些工艺在实际应用中虽然取得了一定成效, 但仍存在诸多缺陷和不足, 亟待进一步改进和优化。自然沉淀法是最简单和传统的砂石加工废水处理方式。其原理是利用悬浮颗粒的

重力沉降作用,通过延长废水在沉淀池中的停留时间,使其自然沉淀达到去除 SS(悬浮物)的目的。但该方法存在着占地面积大、处理效率低、出水水质不稳定等问题。

混凝沉淀法通过投加无机或有机混凝剂,利用混凝剂在水中水解形成絮凝体的过程,将废水中分散的细小悬浮颗粒聚集成易于沉淀的大颗粒絮体,从而加速 SS 的去除。常用的无机混凝剂有明矾、聚合氯化铝(PAC)、三氯化铁等,有机混凝剂主要是聚丙烯酰胺(PAM)。与自然沉淀相比,混凝沉淀处理效率更高,出水悬浮物(SS)去除率可达80%,出水悬浮物(SS)可低至100 mg/L。但混凝沉淀也存在混凝剂消耗量大、运行成本高、产生大量化学污泥等缺点。据统计,采用PAC为混凝剂,投加量为100 mg/L时,每处理1000m³废水就需要消耗PAC 100kg,年运行费用可达数十万元,且污泥产生量可占废水量的1%~3%,后续污泥脱水和处置也带来二次污染风险。

过滤法是砂石加工废水深度处理的常用方法,包括砂滤、膜滤等。砂滤采用石英砂等颗粒介质截留废水中残余的细小杂质,出水悬浮物(SS)可低至10~20mg/L。但砂滤池在运行一段时间后,滤料表面易被泥沙堵塞,导致出水水质和滤速下降,需频繁反冲洗,耗水量大。膜滤如超滤和微滤,孔径更小,截留效果更佳,但膜组件和运行费用昂贵,且易发生膜污染,使膜通量下降,限制了其大规模推广应用。同时,为进一步强化污水处理能力,应优化三级沉淀池的整体设计方案,强化其污水处理能力,降低运行成本。在水力学设计优化方面,应采用曲流式分体沉淀池的设计结构,提升污水的停留时间与水中颗粒悬浮物的沉淀处理效率,进行高效率固液分离处理,同时还可减少沉淀池的占地面积。

3 现阶段砂石加工系统废水处理工艺的新发展研究

3.1 利用一体化回采装置进行二次回收,降低污水悬浮物含量

尽管现有的污水处理系统已大幅度提升废水预处理效果,但其出水悬浮物(SS)仍超过排放和回用标准。因此,有必要对沉淀池出水进行深度处理。一体化回采装置是近年来发展起来的新型废水回用设备,集“混凝/气浮+过滤+消毒”等功能于一体,具有布局紧凑、自动化程度高、运行稳定等特点。其工作原理为:沉淀池出水先经管中混合器投加PAC/PAM助凝剂,再进入溶气气浮装置,通过微气泡与絮体充分接触,去除细小SS,之后进入无阀过滤器,利用纤维球滤料进一步拦截残余SS,出水再经紫外线杀菌即可回用于生产或排放。据统计,采用100m³/h处理规模的一体化回采装置,出水悬浮物(SS)可稳定低于10mg/L,浊度低于5NTU,且单位水量耗电仅0.1kWh/m³,PAC/PAM投加量为1020mg/L,年运行成本为23万元,设备投资费用可在2年内收回。将三级沉淀池

和一体化回采装置组合应用,构建三级沉淀+深度处理的废水处理新工艺,可充分发挥两者的技术优势,从而在源头和过程两个层面强化悬浮物去除效率,最大限度减少废水排放量和污染物负荷。

3.2 使用自动加药系统和箱式压滤机

水利水电工程建设中,砂石料加工系统产生的废水一般含有大量泥沙和悬浮物(SS),若不妥善处理,不仅会污染周边水体环境,还会造成水资源浪费。传统的废水处理多采用人工投药的混凝沉淀工艺,存在药剂投加不精准、劳动强度大、出水不稳定等问题。为提升废水处理效率和自动化水平,近年来自动加药系统和箱式压滤机的联合应用成为行业内的新发展和热点。自动加药系统是利用自动化控制技术和精密计量装置,实现混凝药剂投加量的精确调控和优化。其主要由PLC控制柜、药剂溶配罐、加药泵等组成。系统根据进水流量、浊度和pH等参数的实时变化,通过PLC自动调节药剂投加量,确保混凝效果最佳。同时,采用在线溶药和自动配比稀释,避免了人工配药的误差和不均匀。以某水电站砂石料加工系统为例,悬浮物(SS)含量高达10000mg/L,原采用人工投加PAC(聚合氯化铝)和PAM(聚丙烯酰胺),每天需人工配药35次,药耗为100mg/L,出水悬浮物(SS)为500mg/L,波动较大。改用自动加药系统后,药耗降至50mg/L,出水悬浮物(SS)稳定在100mg/L,每天可节约药剂费用500~1000元。

自动加药技术可显著提升混凝沉淀效果,但沉淀池产生的大量污泥若不及时处理,会降低沉淀效率,甚至造成二次污染。箱式压滤机是近年来发展起来的新型泥水分离设备,具有占地面积小、固含量高、运行稳定等特点。其工作原理为:污泥经泵送至箱体内,在高压(0.6MPa)挤压下,泥水通过滤布/滤板被匀速“挤”出箱体,泥饼保留在滤室内,再经简单人工清理即可外运处置。以处理规模为10m³/h的箱式压滤机为例,每批次运行3h,泥饼含水率可低至50%,单批产泥量为3吨,相当于沉淀池污泥的1/5,大大减轻了污泥处置负担。且设备投资费用为50万元左右,年运行成本仅1~2万元,综合经济效益十分可观。在国内部分水利水电工程中,技术人员普遍将自动加药系统和箱式压滤机组合应用,以此形成“混凝沉淀+泥水分离”的废水处理新工艺,有效解决了传统工艺中存在的诸多问题。一方面,自动加药保障了混凝效果,使出水污染物含量大幅降低,减少了污泥产生量;另一方面,压滤机实现了泥水高效分离,降低了污泥含水率,减小了后续处置难度。

4 砂石加工系统废水处理新工艺的实践应用——以某水电项目为例

4.1 工程概况与废水处理要求

某水电项目的砂石加工系统位于青海省海南藏族自治州,是黄河干流龙羊峡水电站上游的三级梯级电站之一。

电站装机容量为1200MW,多年平均发电量为48.8亿kW·h。工程于2010年4月开工,2015年底首批机组投产发电。该系统采用湿法生产工艺生产混凝土骨料,生产过程中产生的废水难以自然澄清,既有水资源浪费,又有环境污染隐患。针对上述现状,工程团队基于“预处理设施+DH高效旋流净化器+板框压滤机”这一复合型技术,对污水处理工艺进行了优化创新。

4.2 废水处理工艺及其设备运用方式

首先,生产废水经330m长排水沟流入三级沉淀池进行预处理,去除粒径较大的颗粒物,减轻后续设备处理负荷。其次,预处理后的废水在调节池中完成絮凝剂与助凝剂药剂投加,并进入DH高效旋流净化器集中分离处理,经离心、重力分离与污泥浓缩等工序,上清液可达到回用水质标准,下部浓缩污泥则排入泥浆池。最后,泥浆池的浓缩污泥通过加压泵送入3台1500m²板框压滤机脱水干化,产生泥饼外运弃置。

该污水处理工艺流程实现了“排水沟少淤积、污水闭环处理、清水循环回用”的目标,不仅满足环保排放要求,还提高了水资源利用效率。数据显示,处理后的清水固体悬浮物≤70mg/L,每小时可回收460m³清水,按365天运行计算,年节约用水费约64万元。以上废水处理工艺的关键技术环节如下:设置多级混合反应工序,增加污水预处理效率;采用智能自动加药系统,根据水质参数动态调节药剂投加量;引入DH高效旋流净化器,将固液分离效率提高50%以上;配置板框压滤机车间,实现污泥高效脱水。同时,该工艺的自动化控制系统与先进仪表保证了操作的精准性与可持续性。经过一年多的调试优化和工程验证,该废水处理系统运行稳定,出水水质完全满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级标准和《城市污水再生利用标准》(GB/T 18920—2020)标准,SS平均去除率达到99.8%,出水SS长期稳定在50mg/L以下,pH值控制在6.5~8.5,全年实现废水近零排放,处理水大部分回用于砂石料冲洗、筛分、破碎等工序,部分用于施工区洒水降尘和周边林草灌溉,每年可节约新水150余万m³,创造了显著的环境效益、经济效益和社会效益。

4.3 改进意见

羊曲水电站砂石加工系统在引入“预处理设施+DH高效旋流净化器+板框压滤机”工艺后,有效实现了污水的闭环循环利用,处理后的清水达到了国家一级标准,展现出较高的环境友好性与经济适用性。然而,在实践运行过程中,该工艺也面临一些技术难题亟待优化改进。首先是药剂添加比例问题,由于需要净化处理的是野狐峡天然砂石料场与河道疏浚料,不同区域开采的砂石原料的含泥量、粉砂量差异较大,给絮凝剂与助凝剂的投加量及配比带来

了较大挑战。传统做法是根据现场抽样检测结果,人工调整药剂浓度和投加量,但这无疑增加了工人的劳动强度,也难以精准把控投加参数。为解决上述难题,可考虑引入在线水质监测系统。通过安装浊度计、PH计等先进仪表,实时监测污水水质指标的波动变化,并将数据反馈至控制系统。控制系统可根据编制的算法模型,动态调整絮凝剂及助凝剂的投加量和配比,以达到最佳混凝效果。同时,还可在絮凝池前端增设静态混合器,促进药剂与污水的均匀混合,提高絮凝反应效率。

另一待优化的废水处理环节是污水收集和输送系统。由于加工系统位于偏远山区,排水沟长达330米,污水在长距离输送过程中极易发生淤积。虽然在途中设置了污水汇集池和渣浆泵以提高流速,但根治之道在于对排水沟的坡度和材质进行优化设计。建议将排水沟的坡度提高至3%以上,沟底采用平滑的树脂衬里或搪瓷材料,有助于提高污水的流动性,减少淤积。同时,还可在沟道中间设置多个检查口,便于及时清淤。

5 结论

步入新时代以来,水利水电工程建设中砂石料加工系统废水处理工艺取得了新的发展和突破。传统的自然沉淀、混凝沉淀等方法虽在一定程度上实现了废水中悬浮物(SS)的去除,但存在着占地面积大、处理效率低、污泥量大等问题。为此,业内专家学者积极探索高效、经济、环保的新型废水处理技术,其中基于三级沉淀池和一体化回采装置的组合工艺展现出良好的应用效果,技术人员应在水利水电工程废水处理过程中,有效应用以上方法,降低运行成本的同时,减少污染物排放量。

[参考文献]

- [1]刘伟,涂明刚.人工砂石加工系统废水处理工艺与设备选型初探[J].四川水力发电,2008,27(6):43-45.
- [2]胡进仿,林宏.白鹤滩水电站三滩砂石加工系统废水处理工艺改进及设备选型研究[J].水利水电技术,2015,46(2):49-50.
- [3]张晓微.砂石加工系统废水处理工艺研究[J].技术与市场,2021,28(10):91-93.
- [4]赵东方.探究某砂石加工系统废水处理系统工艺设计[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(12):17-20.
- [5]张博,关薇.砂石加工系统废水处理新工艺探讨[J].西北水电,2009(6):50-52.

作者简介:田振伟(1987.6—),男,毕业院校:安阳工学院,所学专业:工程管理,当前就职单位:中国水利水电第十一工程局有限公司,职务:区域管理部总工(或者项目常务副经理),职称级别:中级工程师。