

技术总结

HPS 高效澄清池去除黄河原水中泥沙的中试研究

黄卫民¹, 柴尚成²

(1. 渭南市黄河水务有限责任公司, 陕西 渭南 714000; 2. 甘肃金桥水科技<集团>有限公司, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 针对黄河中游原水中泥沙难以分离的问题, 开发了 HPS 高效澄清池技术, 并进行了中试研究。结果表明, 不管是含沙量为 $2.85 \sim 10.96 \text{ kg/m}^3$ 、浊度为 $2\,000 \sim 9\,000 \text{ NTU}$ 的黄河原水, 亦或是含沙量为 $30 \sim 90 \text{ kg/m}^3$ 、浊度为 $11\,700 \sim 26\,500 \text{ NTU}$ 的模拟超高浊度原水, HPS 高效澄清池对其浊度的去除率均接近 100% , 出水浊度均稳定在 10 NTU 以下; 另外, HPS 高效澄清池对黄河原水中的 COD_{Mn} 也有一定的去除作用, 平均去除率为 40.9% 。混凝剂投加量随黄河原水浊度的升高而增加, 但 HPS 高效澄清池排出的泥沙中未检测到药剂残留物; 在原水含沙量 $< 60 \text{ kg/m}^3$ 的条件下, 排泥耗水率随含沙量的增加而增加, 但均在 25% 以下, 满足引水工程的设计要求。

关键词: 黄河原水; HPS 高效澄清池; 含沙量; 浊度; 排泥耗水率

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)19-0043-05

Pilot-scale Study on Removal of Silt in Raw Water of Yellow River by HPS Efficient Clarifier

HUANG Wei-min¹, CHAI Shang-cheng²

(1. Weinan Yellow River Water Affairs Co. Ltd., Weinan 714000, China; 2. Gansu Jinqiao Water Technology <Group> Co. Ltd., Lanzhou 730030, China)

Abstract: HPS efficient clarifier technology was established and a pilot-scale study was conducted to solve the problem of difficult separation of silt in raw water of the middle Yellow River. The results showed that the removal rates of turbidity by HPS efficient clarifier were nearly 100% and the effluent turbidity was all stably below 10 NTU , whether silt concentration and turbidity of the raw water was $2.85 \sim 10.96 \text{ kg/m}^3$ and $2\,000 \sim 9\,000 \text{ NTU}$, or silt concentration and turbidity of the simulated extremely high-turbidity water was $30 \sim 90 \text{ kg/m}^3$ and $11\,700 \sim 26\,500 \text{ NTU}$. In addition, HPS efficient clarifier also had a certain removal effect on COD_{Mn} in the raw water, and the average removal rate was 40.9% . Dosage of coagulant rose with the increase of the turbidity in the raw water. However, no chemicals residue was tested in the discharged sludge of HPS efficient clarifier. When the silt concentration of the influent was below 60 kg/m^3 , water consumption rate of discharged sludge rose with the increase of silt concentration. However, the water consumption rate was always less than 25% , which could meet the need of design requirements of diversion works.

Key words: raw water of Yellow River; HPS efficient clarifier; silt concentration; turbidity; water consumption rate of discharged sludge

延安黄河引水工程的水源地位于延川县延水关镇王家渠东南向,黄河中游右岸和清涧河左岸之间,工程设计年引水量为 $8\,977 \times 10^4 \text{ m}^3$,建成后将解决延安市区及延川、子长、延长、清涧等县的居民用水问题,并为子长等地的能源化工园区和延安经济技术开发区的工业生产用水提供有效保障。然而黄河中游水中泥沙含量高导致的高浊度一直是供水处理的一个难点,因此,高浓度泥沙的处理成为利用黄河水的前提,也是黄河引水工程的一项重要任务。

高浊度水由于颗粒物浓度高、流变性、粘滞性及自凝聚性等特征给处理工艺带来了较大难度^[1]。传统混凝操作产生的絮体有效密度(在水中的密度)通常在 0.01 g/cm^3 的数量级^[2],对于延安黄河引水工程延水关取水口最大设计含沙量为 60 kg/m^3 的黄河水而言,混凝后将不能分离出上清液^[3],常规混凝沉淀无法适用于本段黄河水水质。为此渭南市黄河水务有限责任公司、甘肃金桥水科技(集团)股份有限公司和西安建筑科技大学联合开发了HPS高效澄清池技术,该技术基于“造粒”原理,即通过混凝化学条件、反应器中流体动力学条件的优化控制,使泥沙这样的初始颗粒以逐一附着的方式与同类母体结合形成聚集体,且在成长中保持致密构造,其有效密度可提高到 0.1 g/cm^3 的数量级,从而使固液分离成为可能。笔者通过中试考察了HPS高效澄清池工艺对黄河原水中泥沙的预处理效果,以期为HPS高效澄清池在延安黄河引水工程中的应用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验流程

试验装置设在延安黄河引水工程拟建延水关泥沙预处理站位置,中试流程如图1所示。

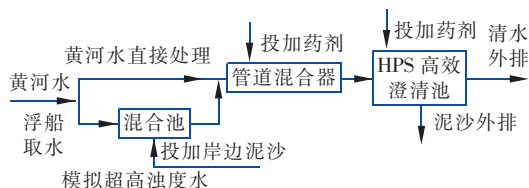


图1 试验工艺流程

Fig. 1 Flow chart of HPS efficient clarifier process

通过取水浮船将黄河水取出后送入后续处理单元,后续处理分为两种工况进行。工况一为黄河原水直接处理试验,即黄河水直接进入管道混合器,在管道混合器的始端投加药剂,经充分混合后进入

HPS高效澄清池,HPS装置内主要包括絮凝、沉淀、澄清三个过程,处理后的出水直接外排;工况二为超高浊度水模拟试验,即黄河水首先进入混合池内,通过向混合池内投加黄河岸边泥沙来提高后续单元的进水浊度,超高浊度水经投加药剂和管道混合后进入HPS反应装置进行处理,根据进水浊度的变化情况,可在装置底部投加药剂以强化装置的处理效果。

本试验装置的泥沙预处理规模按实际设计单池的1/10进行设计,即出水量为 $1\,300 \text{ m}^3/\text{d}$ ($54.2 \text{ m}^3/\text{h}$)。HPS澄清池的尺寸为 $6 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 6.95 \text{ m}$,采用钢结构材质,地上式设计,池体中部设6根DN150的排泥管、底部设1根DN250的排泥管。混合池尺寸为 $\Phi 12 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$,砖混结构,半地下式设计,有效容积为 200 m^3 ,池内设循环搅拌泵,可以配制不同含沙量的原水。此外设2套加药装置,每套有效容积为 1 m^3 ,分别用于PAC和PAM的投加,通过计量加药泵来控制投加量。

1.2 HPS高效澄清池

主体工艺HPS高效澄清池的运行阶段包括:预沉、混合、反应、絮凝、旋流沉淀、悬浮泥渣过滤和澄清分离,所有过程均在同一池体内进行。工艺构造见图2。

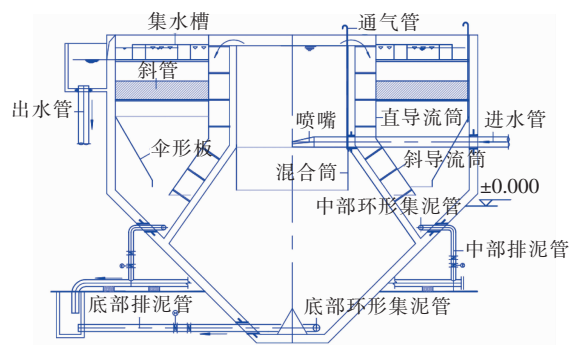


图2 HPS高效澄清池的结构示意

Fig. 2 Structure of HPS efficient clarifier

原水经水泵提升进入进水管,在管道流线中心点投加PAC或PAM,依靠管道混合器完成药剂的混合分散,随后在管道中流动1 min左右,然后在进水管喷嘴口缩口处投加PAM或PAC,依靠淹没式孔口出流完成瞬时混合;按照原水含沙量的不同,高含沙量时PAM投加在进水管的管道混合器处,PAC投加于喷嘴处,低含沙量时PAC投加在进水管的管道混合器处,PAM投加于喷嘴处;原水或超高浊度模拟水通过进水管喷嘴口的偏心缩口进入中心筒的筒体,形

成旋流状态,在中心筒内依靠水力旋流作用完成脱稳、悬浮颗粒的逐一附着,进行水中造粒。进水管喷口以上的旋流强化区提供了混凝初期所需的较高紊流强度,同时较高的上升流速完成粒状絮体的水力分选,即大粒径、密实的颗粒依靠重力克服上升水流的顶托力,沉降至中心筒下部的旋流沉淀区,完成固液分离;小粒径的絮体在上升水流顶托作用下悬浮于水中,通过捕获进水中的微小粒子不断成长。该装置实现水力旋流的重要技术措施在于进水管端口设置有进水管喷口,喷口为锥形内缩口,锥形出口中心线下倾角度对旋流的形成起决定性作用。

1.3 试验方法

试验时间为 2016 年 8 月 23 日—9 月 16 日,共历时 25 d。试验按照进水条件的不同分为两种工况:工况一将现状黄河水作为试验原水,由取样检测可知,试验期间黄河原水含沙量在 $2.85 \sim 10.96 \text{ kg/m}^3$ 之间,浊度在 $2\,000 \sim 9\,000 \text{ NTU}$ 之间;工况二是为了保证延安黄河引水工程提出的最大设计进水泥沙含量在 60 kg/m^3 以内时具有良好的处理效果,试验组向黄河水中投加岸边泥沙来提高进水含沙量,重点考察了 HPS 高效澄清池对含沙量为 $60 \sim 90 \text{ kg/m}^3$ 的超高浊度水的处理效果以及抗冲击负荷能力,试验期间工况二的进水含沙量控制在 $30 \sim 90 \text{ kg/m}^3$ 之间,浊度在 $11\,700 \sim 26\,500 \text{ NTU}$ 之间。

泥沙的热重分析采用 TG 209 F3 Tarsus 型热重分析仪;泥沙的物相分析采用 XRD-7000 型 X 射线衍射仪;含沙量采用 HJ18-CYS-Ⅲ型黄河流域泥沙颗粒测量仪测定; COD_{Mn} 采用 5B-3C 型(V8) COD 快速测定仪测定;浊度采用 TL23 型台式浊度仪测定;排泥耗水率 η (排泥水量占进水量的百分数,%) 采用公式 $\eta = S_{\text{排}} / (S_{\text{排}} - S_{\text{进}})$ 计算,其中, $S_{\text{进}}$ 为进水含沙量 (kg/m^3), $S_{\text{排}}$ 为排泥中的含沙量 (kg/m^3)。

2 结果与讨论

2.1 对浊度的去除效果

试验期间 HPS 高效澄清池对浊度的去除效果见图 3。可以看出,在工况一条件下,HPS 高效澄清池对黄河原水中浊度的去除率达到了 $99.54\% \sim 99.89\%$ (平均为 99.78%),出水浊度 $< 10 \text{ NTU}$;在工况二条件下,HPS 高效澄清池对进水中的高浊度仍有接近 100% 的高去除率,出水浊度同样不超过

10 NTU 。综上可知,HPS 澄清池对黄河原水中的泥沙不仅具有高效的去除效果,而且具有极强的抗冲击负荷能力。

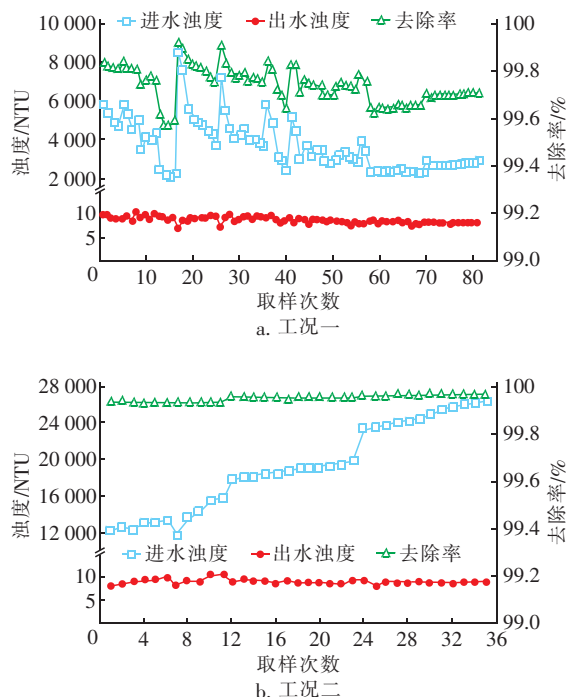


图 3 HPS 高效澄清池对黄河原水中浊度的去除效果

Fig. 3 Removal of turbidity in raw water of Yellow River by HPS efficient clarifier

2.2 对 COD_{Mn} 的去除效果

在工况一阶段 HPS 高效澄清池对 COD_{Mn} 的去除效果如图 4 所示。可知,进水 COD_{Mn} 在 $2 \sim 5 \text{ mg/L}$ 之间,出水 $\text{COD}_{\text{Mn}} < 1.5 \text{ mg/L}$,去除率为 $21.78\% \sim 79.25\%$ (平均为 40.9%)。由此可见,HPS 高效澄清池对黄河原水中的 COD_{Mn} 具有一定的去除效果。

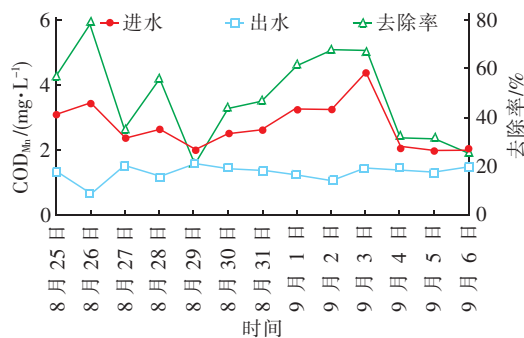


图 4 HPS 高效澄清池对黄河原水中 COD_{Mn} 的去除效果

Fig. 4 Removal effect of COD_{Mn} in raw water of Yellow River by HPS efficient clarifier

2.3 加药量

为指导工程运行,对进水浊度和加药量进行了相关性分析,如图5所示。

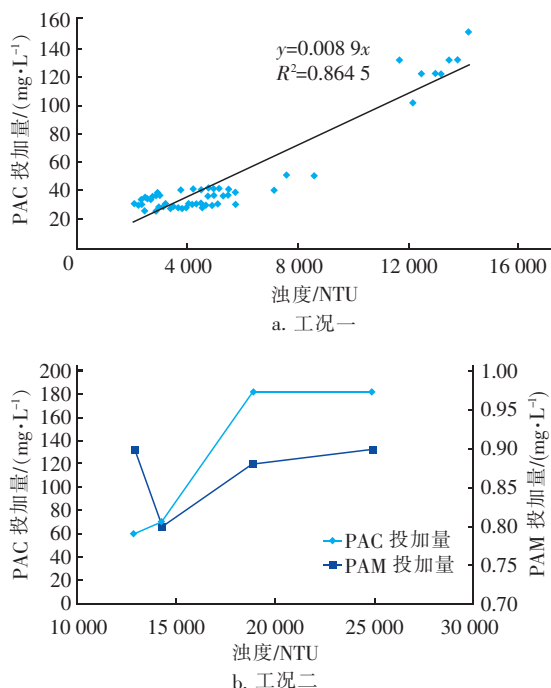


图5 进水浊度与加药量的关系

Fig. 5 Relationship between influent turbidity and chemicals dosage

由图5(a)可知,在工况一条件下,加药量随着原水浊度的升高而升高,原水浊度和加药量具有一定的线性相关性,相关系数 R^2 可以达到 0.8645。当原水浊度为 2 000~4 000 NTU 时,单独投加 PAC 的最大量为 30 mg/L, PAC 平均投加量为 28 mg/L,即能使出水水质达到理想效果;当原水浊度为 4 000~8 000 NTU 时,单独投加 30~50 mg/L 的 PAC 便能使出水水质达到理想效果;当原水浊度为 8 000~13 000 NTU 时,投加 50~80 mg/L 的 PAC 以及小于 1.5 mg/L 的 PAM,能使出水水质满足要求。由图5(b)可知,在超高浊度进水条件下,随进水浊度的增大, PAC 投量亦逐渐增大;当原水浊度 < 10 000 NTU 时,不投加 PAM;当原水浊度为 10 000~25 000 NTU 时, PAC 投加量先急剧增加后平缓变化,再通过投加少量的 PAM,便能使出水水质达到很好的效果。

2.4 药剂残留物分析

采用 X 射线衍射仪对 HPS 高效澄清池进水中的泥沙和排泥口泥沙进行物相分析,结果表明,泥沙的矿物成分主要是 SiO_2 和长石,还含有 MgO 、 Al_2O_3

等。泥沙矿物成分总体性质稳定,进水中的泥沙与排泥口的泥沙成分基本一致,即排出的泥沙中基本没有混凝剂 PAC。

对试验期间 PAM 投加量最大时段的进水和排放口泥沙进行热重分析,结果表明,进水中与排放口泥沙的热重曲线变化趋势基本一致,排泥口泥沙没有出现质量明显变化的情况,说明两者总体上基本不存在物质差别,据此可认为排出的泥沙中基本没有 PAM。

2.5 进水含沙量与排泥耗水率的关系

图6为进水含沙量与排泥耗水率的关系。可以看出,排泥耗水率与进水含沙量有着非常高的相关性,两者的变化趋势基本一致。当进水含沙量 < 10 kg/m^3 时,排泥耗水率在 1%~3% 之间;当进水含沙量在 10~20 kg/m^3 之间时,排泥耗水率在 3%~8% 之间;当进水含沙量在 20~60 kg/m^3 之间时,排泥耗水率在 10%~21% 之间。由此可知,在黄河原水含沙量 < 60 kg/m^3 的条件下, HPS 高效澄清池的排泥耗水率能够达到引水工程排泥耗水率 < 25% 的设计要求。

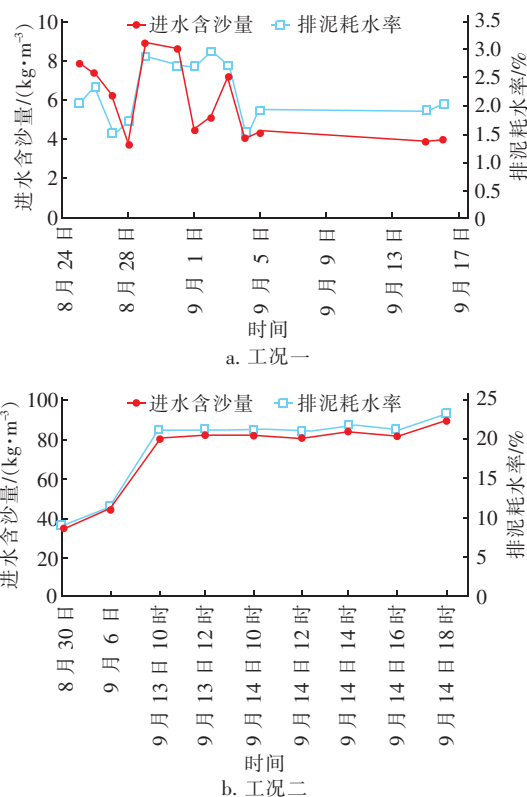


图6 进水含沙量与排泥耗水率的关系

Fig. 6 Relationship between influent silt concentration and water consumption rate of sludge discharge

3 结论

① 不管是含沙量为 $2.85 \sim 10.96 \text{ kg/m}^3$ 、浊度为 $2\,000 \sim 9\,000 \text{ NTU}$ 的黄河原水,亦或是含沙量为 $30 \sim 90 \text{ kg/m}^3$ 、浊度为 $11\,700 \sim 26\,500 \text{ NTU}$ 的模拟超高浊度原水,HPS 高效澄清池对其浊度的去除率均接近 100% ,出水浊度均稳定在 10 NTU 以下,表明 HPS 高效澄清池对黄河原水中的泥沙具有很好的去除效果,并且具有极强的抗冲击负荷能力。此外,HPS 高效澄清池对原水中的 COD_{Mn} 也有一定的去除作用,平均去除率为 40.9% 。

② 混凝剂投加量随着原水浊度的升高而升高,但 HPS 高效澄清池排出的泥沙中未检测出混凝剂残留物。

③ 在原水含沙量 $< 60 \text{ kg/m}^3$ 的条件下,HPS 高效澄清池的排泥耗水率随着含沙量的增加而增加,但均能够达到引水工程排泥耗水率 $< 25\%$ 的设计要求。

参考文献:

- [1] 郑红君,王军,刁小莉. HAC 高效澄清池数值模拟与挡板设置优化[J]. 中国给水排水,2016,32(21):71-76.
Zheng Hongjun, Wang Jun, Diao Xiaoli. Numerical simulation of efficient HAC clarifier and optimization of baffle installation height[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(21):71-76 (in Chinese).

- [2] 陈懋章. 粘性流体动力学基础[M]. 北京:高等教育出版社,2002.

Chen Maozhang. Fundamentals of Viscous Fluid Dynamics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002 (in Chinese).

- [3] 赵静. 延安黄河引水工程水处理工艺探析[J]. 黑龙江水利,2016,2(8):60-63.

Zhao Jing. Analysis of water treatment process of water diversion project in the Yellow River of Yan'an[J]. Heilongjiang Water Resources, 2016, 2(8):60-63 (in Chinese).



作者简介:黄卫民(1968-),男,陕西华县人,大学本科,高级工程师,主要从事水工程与水环境方面的研究工作。

E-mail:180210071@qq.com

收稿日期:2018-03-05

