

DOI: 10.12361/2661-3263-06-11-161103

# 城市中水石灰深度处理回用的工程应用

陈宏秋<sup>1</sup> 杨东<sup>2</sup> 李岩<sup>1</sup>

1. 中工环境科技有限公司, 中国·北京 100025;

2. 中工国际工程股份有限公司, 中国·北京 100025

**【摘要】**城市中水经深度处理后回用是解决我国城市水资源短缺的重要途径, 采用石灰-混凝-澄清-过滤深度处理工艺不仅能有效去除水中的碳酸盐硬度, 降低出水浊度, 同时对水中的部分COD<sub>Cr</sub>、氨氮、磷及某些重金属离子均有一定的去除效果, 出水水质满足工业用户循环水系统补充用水的水质要求。

**【关键词】**城市中水; 石灰深度处理; 工程应用

## Engineering Application of Deep Treatment and Rreuse of Water and Lime in the City

Hongqiu Chen<sup>1</sup>, Dong Yang<sup>2</sup>, Yan Li<sup>1</sup>

1. China Industrial Environmental Technology Co., LTD., Beijing 100025, China;

2. China Industrial International Engineering Co., Ltd., Beijing 100025, China

**[Abstract]** The urban water after deep treatment reuse is an important way to solve the urban water shortage in our country, using lime-coagulation-clarify-filtration depth treatment process can not only effectively remove carbonate hardness, reduce effluent turbidity, and the part of the water of COD<sub>Cr</sub>, ammonia nitrogen, phosphorus and some heavy metal ions have certain removal effect, effluent water quality meet the industrial user circulating water system supplement water quality requirements.

**[Keywords]** Urban water; Lime depth treatment, Engineering application

“中水”即称为“再生水”, 又称为“回用水”, 一般以水质作为区分。其主要是指城市污水或生活污水经处理后达到一定水质标准, 可在一定范围内重复使用的非饮用水, 因其水质介于清洁水(上水)与排入管道内的污水(下水)之间, 故名为“中水”<sup>[1]</sup>。

中水回用在海外已实施很久, 1979年美国已有再生水利用工程536项, 年利用水量9.37亿m<sup>3</sup>, 其中62%用于农灌, 31.5%用于工业, 5%用于地下回注, 1.5%用于娱乐、渔业等。2021年6月国家发改委、住建部发布《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》<sup>[2]</sup>, 明确到2025年基本消除城市建成区生活污水直排口和收集处理设施空白区, 全国城市生活污水集中收集率力争达到70%以上; 城市和县城污水处理能力基本满足经济社会发展需要, 县城污水处理率达到95%以上; 全国地级及以上缺水城市再生水利用率

达到25%以上, 京津冀地区达到35%以上, 黄河流域中下游地级及以上缺水城市力争达到30%。

污水回用是解决城市缺水的有效途径<sup>[3]</sup>。水利部最新发布的《中国水资源公报》中, 2022年我国再生水等非常规水源利用量达到175.8亿立方米, 虽然有显著增长, 但对中水的利用还有很大的挖掘空间。水资源的短缺影响和限制经济的飞快发展, 中水的合理化利用、怎么实现多次重复使用是急需解决的问题, 城市中水多次重复使用可以解决我们所面临的环境保护与经济发展相互制约的问题。

### 1 中水回用工艺

中水回用工艺的选择根据水质及水量、出水指标进行比较, 目前处理工艺有以下几种: 1过滤-消毒; 2石灰处理-澄清絮凝-过滤-杀菌; 3化学絮凝-澄清-过滤-杀菌; 4生化滤池处理-石灰处理-澄清絮凝-过滤-杀菌; 5生化滤池或

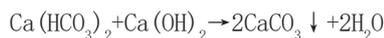
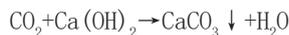
MBR处理; 6UF或MF; 7UF/MF-RO/EDI脱盐

## 2 中水石灰深度处理

中水深度处理可去除水中悬浮物、脱色、除臭, 降低BOD<sub>5</sub>、COD<sub>Cr</sub>; 也可将水中的残余的氨氮、磷以及部分有毒害性质的重金属离子去除一部分。

在澄清池内先加入石灰乳液, 调节澄清池内的pH达到10.4左右, 水中的部分溶解离子会与石灰发生化学反应得到CaCO<sub>3</sub>细小微粒, 这些新生成的细小微粒有很大的比表面积, 同时也具有一定的吸附能力, 水中的部分无机杂质不断靠近细小颗粒从而使得细小颗粒不断长大。后续加入到澄清池内部的凝聚剂与助凝剂又能进一步将水中的悬浮物、胶体物质、CaCO<sub>3</sub>颗粒等聚集在一起, 在澄清池搅拌机的搅拌提升作用下上述颗粒不断聚集在一起, 使污染物容易沉降。

石灰参与的软化反应有<sup>[4]</sup>:



理论上经石灰软化后水中硬度能降低到CaCO<sub>3</sub>和Mg(OH)<sub>2</sub>溶解度值, 但实际上钙、镁离子残留量常高于理论值, 是因为反应所生成的沉淀中会有少量呈胶体状悬浮于水中不能沉淀下来。为了尽量减少残留的碳酸盐硬度, 加入聚合硫酸铁作为絮凝剂, 这样在去除碳酸盐硬度的同时也去除一部分悬浮物。

石灰处理可以去除90%以上的碱度、碳酸盐硬度、磷酸盐、浊度、铜、铝、重金属和亚硝酸盐, 该工艺有如下优点: 1工艺使用门槛低, 几乎可以应用于处理全部的市政污水厂的中水; 2降低碱度; 3除钙、镁、硅、氟以及某些重金属离子的一部分; 4杀死中水来水中的细菌病毒; 5减少中水中的不溶解有机物和悬浮无机物含量; 去除胶体有机物及除磷。

## 3 工程应用

3.1霍煤鸿骏铝电公司自备电厂城市中水深度处理系统  
本工程净产水量500m<sup>3</sup>/h。工艺流程如下:

污水厂中水→泥渣接触分离型澄清池→调节滤料深层滤池→净化水池→循环水冷却水补水

### 3.1.1主要构筑物

#### 3.1.1.1泥渣接触分离型澄清池

澄清池2台, 出力250m<sup>3</sup>/h, 直径Ø13m。澄清区上升流速0.6~0.8mm/s, 停留时间3~4小时。

#### 3.1.1.2变孔隙滤池

滤池4台, 出力Q=150t/h, 过滤速度10m/h, 滤后水SS含量<2mg/L, 水洗12L/s.m<sup>2</sup>, 气洗14L/s.m<sup>2</sup>。

#### 3.1.1.3净化水池及综合泵房

净化水池2座, 反洗水泵2台, Q=600~700m<sup>3</sup>/h, H=20m。反洗风机2台, Q=12~15m<sup>3</sup>/min, P=68.6KPa。循环水补水水泵3台, Q=250m<sup>3</sup>/h, H=50m。

#### 3.1.1.4附属加药单元

设置粉石灰、凝聚剂、PAM、二氧化氯加药单元各一套, 压缩空气系统1套。

### 3.1.2设计特点

该石灰深度处理工艺将中水中剩余的氨氮、生化需氧量、化学需氧量、无机磷等以固体形状存在的污染物除掉, 降低Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>含量, 出水水质稳定, 解决电厂用水紧张局面, 节约地下水资源。

### 3.2山西灵石启光电厂再生水深度处理

设计出力400t/h, 经深度处理后用于锅炉补给水。工艺流程如下:

污水厂来水→机械加速澄清池→变孔隙滤池→清水池→用水点。

### 3.2.1主要构筑物

#### 3.2.1.1机械加速澄清池

澄清池2台, 出力320m<sup>3</sup>/h, 直径Ø13.8m。上升流速0.6~0.8mm/s, 停留时间3~4小时。

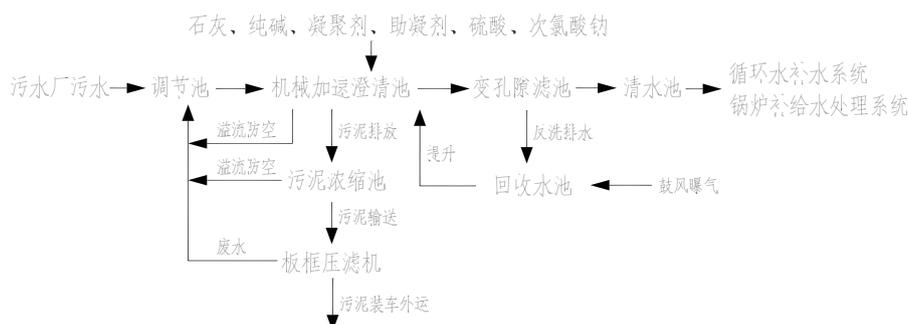


图1

### 3.2.1.2变孔隙滤池

滤池3台, 出力 $Q=400\text{m}^3/\text{h}$ , 滤池过滤速度 $10\text{m}/\text{h}$ , 滤后水SS含量 $<2\text{mg}/\text{L}$ , 水洗 $12\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}^2$ , 气洗 $14\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}^2$ 。滤池中装填了1.45m高的天然海砂滤料, 过滤及反洗效果好。

### 3.2.1.3工业蓄水池及综合泵房

清水池2座, 反洗水泵2台,  $Q=870\text{m}^3/\text{h}$ ,  $H=20\text{m}$ 。反洗风机2台,  $Q=17.5\text{m}^3/\text{min}$ ,  $P=68.6\text{KPa}$ 。

### 3.2.1.4附属加药单元

设置粉石灰、凝聚剂、PAM、次氯酸钠、硫酸加药单元各1套, 污泥脱水单元1套, 压缩空气系统1套。

### 3.2.2设计特点

本项目所采用的水处理工艺, 不仅去除来水中的暂时硬度和碱度, 同时对水中的非溶解性CODcr也部分去除, 出水满足后续用水要求。

### 3.3新疆农六师有限公司城市中水深度处理站

以污水厂中水为水源, 经石灰-纯碱澄清过滤后作为电厂机组锅炉补给水及冷却塔补充水等; 设备出力 $3\times 1000\text{m}^3/\text{h}$ , 工艺流程如图所示: (见图1)

#### 3.3.1主要构筑物

##### 3.3.1.1机械加速澄清池

澄清池3台, 出力 $1000\text{m}^3/\text{h}$ , 直径 $\varnothing 26\text{m}$ 。上升流速 $0.6\sim 0.8\text{mm}/\text{s}$ , 停留时间 $3\sim 4$ 小时。

##### 3.3.1.2变孔隙滤池

滤池6台, 出力 $Q=400\text{m}^3/\text{h}$ , 滤池过滤速度 $V=11\text{m}/\text{h}$ , 滤后水SS含量 $<2\text{mg}/\text{L}$ , 水洗 $12\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}^2$ , 气洗 $14\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}^2$ 。滤池中装填1.4m高度的稀土瓷砂颗粒滤料, 过滤效果好。

##### 3.3.1.3清水池及综合泵房

清水池2座, 滤池反洗水泵2台,  $Q=2160\text{m}^3/\text{h}$ ,  $H=25\text{m}$ 。反洗风机2台,  $Q=33.6\text{m}^3/\text{min}$ ,  $P=68.6\text{KPa}$ 。清水泵5台,  $Q=1200\text{m}^3/\text{h}$ ,  $H=40\text{m}$ 。

##### 3.3.1.4附属加药单元

设置粉石灰、凝聚剂、PAM、次氯酸钠、硫酸加药单元各1套, 污泥脱水单元1套, 压缩空气系统1套。

### 3.3.2设计特点

澄清池中加入石灰、纯碱、凝聚剂(少量)及助凝剂(微量), 经石灰混凝反应降低中水中残余非溶解污染物、碱度和硬度、有机残余物含量, 获得工业回用水; 节约地表水2400万吨/年, 解决缺水地区水资源不足问题。

## 4 结束语

城市中水石灰深度处理不仅在于降低原水碱度和暂硬,

而是利用反应产物, 与水中的各种微粒子接触吸附: 1. 澄清池内中水与石灰发生化学反应生成的反应产物具有一定的吸附特性, 可将中水中的具有胶体性质的残存有机物吸附, 同时经过混凝澄清过程所形成的泥渣层也可将水中的有机物、无机胶体物质等去除<sup>[5]</sup>。2. 暂时硬度去除: 石灰深度处理可通过化学反应将水中的钙、镁离子的碳酸盐暂时硬度去除。3. 碱度去除: 石灰处理后残留碱度一般在 $0.8\sim 1.2\text{mmol}/\text{L}$ ; 4. 悬浮物去除: 通过澄清池投加的石灰、凝聚剂和助凝剂等药剂, 所发生的化学反应和混凝澄清过程, 将水中的悬浮物捕捉、吸附, 使得细小的颗粒物不断增大, 最终得以通过排泥的方式去除。

中水深度处理所采用的澄清池及滤池根据石灰处理特性而设计, 具备以下特点: 1. 泥渣接触分离型澄清池: 经流体力学与水力学完美结合, 水中悬浮物、胶体、硬度、COD等污染物通过物理和化学方法形成悬渣层, 有效去除或降低较小分子量的有机胶体物和无机胶体物。出水浊度 $<2\text{NTU}$ 。药剂反应完全, 安定度 $>98\%$ 。2. 调节滤料深层过滤滤池: 根据城市中水与石灰反应所产生的产物特性, 采用深层过滤技术。石灰混凝澄清的出水具有粘度和结垢倾向, 采用表面过滤易板结, 很难彻底破坏和清洗, 需采用深层过滤。本滤池滤程长、流速高、阻力小、截污量大、反洗彻底、不跑砂和不乱层。

### 参考文献:

- [1] 钱茜, 王玉秋. 我国中水回用现状及对策[J]. 再生资源研究, 2003, (01): 27-30.
- [2] 本刊讯. 2部门联合印发《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》[J]. 招标采购管理, 2021, (06): 8.
- [3] 周彤. 污水再生利用是解决城市缺水的有效途径[J]. 中华建设, 2006, (08): 17-18.
- [4] 戴建强, 郑敏. 城市中水回用于电厂循环冷却水的处理技术实例[J]. 环境科学与管理, 2008, (08): 108-111.
- [5] 张妙. 石灰预处理在内蒙古伊泰煤制油外排水减排项目中的应用探讨[J]. 硅谷, 2015, 8(03): 127-128.

### 作者简介:

陈宏秋(1980.01-), 女, 汉族, 河北廊坊市, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 环境工程。

杨东(1967.04-), 男, 汉族, 北京人, 双学士, 高级会计师, 研究方向: 环境工程投资建设与运营。

李岩(1977.11-), 男, 汉族, 江西南昌人, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 生产制造现场安全生产管理。