

# 青岛豆金河中水回用作为热电厂循环冷却水

刘骁智, 隋春晓

(青岛水务碧水源科技发展有限公司, 山东 青岛 266034)

**摘要:** 基于青岛水资源短缺的现状,建设了胶南豆金河中水回用工程。该工程以金河污水厂出水为原水,采用自主研发的“超滤+纳滤”深度处理工艺,处理出水主要回用作热电厂循环冷却水。运行结果表明,出水  $\text{COD} \leq 15 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 3 \text{ mg/L}$ 、氨氮  $\leq 0.5 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 0.1 \text{ mg/L}$ ,达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅱ类水质标准,完全满足工业用水和市政杂用水水质要求,运行成本为  $2.238 \text{ 元/m}^3$ 。

**关键词:** 污水深度处理; 中水回用; 超滤; 纳滤

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)16-0081-04

## Reuse of Doujinhe Reclaimed Wastewater as Cooling Water of Thermal Power Plant in Qingdao

LIU Xiao-zhi, SUI Chun-xiao

(Qingdao Water OriginWater Technology Development Co. Ltd., Qingdao 266034, China)

**Abstract:** Doujinhe reclaimed wastewater reuse project was constructed in Jiaonan district, based on the shortage of water resources in Qingdao. Jinhe sewage plant effluent was used as the raw water, and the advanced treatment process of ultrafiltration and nanofiltration was developed and adopted. Effluent was reused as the cooling water of a thermal power plant. Operation results showed that the effluent COD,  $\text{BOD}_5$ ,  $\text{NH}_3 - \text{N}$  and TP were no more than  $15 \text{ mg/L}$ ,  $3 \text{ mg/L}$ ,  $0.5 \text{ mg/L}$  and  $0.1 \text{ mg/L}$ , respectively. The effluent quality could reach level II of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002), which can fully satisfy the requirements of industrial and municipal miscellaneous water quality. The operating cost was  $2.238 \text{ yuan/m}^3$ .

**Key words:** advanced treatment of sewage; reclaimed wastewater reuse; ultrafiltration; nanofiltration

随着气候的变化、地下水资源的污染以及水资源消耗量的不断增加,水资源短缺成为许多国家和地区的一大挑战。目前解决水资源短缺的主要途径包括:长距离引水、开采地下水、实施海水淡化、雨水利用、中水回用等<sup>[1,2]</sup>。其中,中水回用相较于传统的远程调水工程能够提供稳定可持续的当地水源,降低能耗,减少污水处理厂及一些基础水处理设施的需求量,因此得到广泛的应用。据统计,中水回用工程量年均增长率为15%。回用水主要用于工业

冷却水、灌溉、厕所冲洗水以及补充地下水等<sup>[3]</sup>。

以青岛胶南豆金河中水回用热电厂工程为例,对水质、工艺设备、经济效益及存在的问题进行分析,以期为中水回用工程的推广提供借鉴。

### 1 工程概况

豆金河中水回用项目建设在金河中水厂内部,距离各用水单位近,具有输送方便、开发成本低等优势。金河中水厂进水为园区生活污水、金河污水厂出水(一级A标准)和附近造纸废水处理站出水(一

级B标准),处理规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。工艺流程:连续流砂过滤器→臭氧氧化→二级提升→补给河流,处理后部分出水进入中水回用系统,其余排入金河或绿化回用。豆金河中水回用工程设计总规模为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,一期规模为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,二期规模为 $5000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,占地为 $0.21 \text{ hm}^2$ (3.2亩)。该项目自2015年10月开始施工建设,一期于2015年12月底投运,二期于2016年5月投运。出水主要作为西海岸博源热电、明月热电、海西热电等用水单位的循环冷却用水。这些企业原使用市政供给自来水,由于近年来青岛市整体淡水资源匮乏,城市供水量

受到严重制约,工业企业用户因供水紧张间接或直接影响生产和效益。该中水回用工程平均供水量 $\geq 1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,能有效缓解青岛西海岸新区尤其是项目周边企业水资源严重不足的问题,具有较好的经济效益。另外,处理出水经综合利用后,排入附近水体,不仅减少了水域排污量,还可有效提升水体功能,带来可观的环境效益。

### 1.1 进水水质及回用水质

进水为污水处理厂出水经过深度处理后的中水,水质能够达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅴ类水质,主要进水指标见表1。

表1 进水水质

Tab.1 Influent quality

项目	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	氨氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	SS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	pH值	氯化物/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	浊度/ NTU	TP/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	溶解性总固体/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
数值	18.4	5	0.34	4	7.27	284.3	0.64	0.49	20.5	698

进水中硫酸盐和钠含量相对较高,浓度分别为 $150.9 \text{ mg/L}$ 和 $191 \text{ mg/L}$ 。其他金属物质未检出。

经过超滤+低压纳滤的双膜法工艺深度处理后的出水水质能够达到《地表水环境质量标准》(GB

3838—2002)中Ⅱ类水质,其中TDS等多项指标已优于自来水水质标准。

正常情况下中水回用系统的运行情况如表2所示。

表2 中水回用系统出水水质

Tab.2 Effluent quality of reclamation system

项目	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	氨氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	pH值	氯离子/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	溶解性总固体/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
数值	$\leq 15$	$\leq 3$	$\leq 0.5$	6~9	$\leq 250$	$\leq 0.1$	$\leq 1000$

### 1.2 工艺流程

该中水回用项目原水为经过深度处理后的污水处理厂出水,为优质水源,处理后回用于热电厂循环冷却,处理主要目的是去除悬浮物和少量有机物,降低氯离子、硫酸盐含量等,水质要求高,因此选用全膜法处理技术<sup>[4-6]</sup>,平均脱盐率达到85%~95%,出水可以供给对水质要求较高的,如热电厂、钢铁厂、机械厂等使用。

采用膜法水处理技术,原水进入膜分离系统前应进行预处理,由于本工程建在现有厂区内,用地十分紧张,因此选用占地省、效果好的自清洗过滤器。采用超滤作为低压纳滤的预处理,安全可靠,适用范围宽,占地小,较传统的气浮、加药沉淀等稳定性好、效率高。选用的低压纳滤DF膜与传统反渗透膜RO相比,DF具有较低的操作压力,可降低实际运行成本、减缓膜面受损程度、增加膜元件使用寿命,对离子的截留率相对较低,不易结垢,抗污染能力较

好。

该中水回用项目主体工艺为自主研发的超滤+低压纳滤工艺,工艺流程如图1所示。

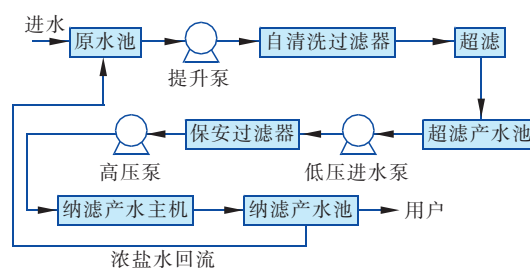


图1 中水回用工艺流程

Fig.1 Flow chart of reclaimed wastewater reuse process

污水厂出水先经深度处理工艺“连续流砂过滤器→臭氧氧化→二级提升”处理,其中为使氨氮达标,在工艺中投加次氯酸钠进行折点脱氮。污水厂出水进入中水回用系统原水池,提升泵将水提升至自清洗过滤器,可去除大部分砂砾,保证超滤膜系统

的安全稳定运行。自清洗过滤器的出水进入超滤膜系统,净化后出水进入超滤产水池,经低压进水泵进入保安过滤器,防止水中及管道中的悬浮物杂质进入高压泵和纳滤产水主机,出水经高压泵加压进入纳滤产水主机,净化后的水进入纳滤产水池,可供给热电厂,产生的浓水可回流至原水池,与金河中水厂出水混合后排放至附近湿地。

## 2 主要处理单元

### 2.1 自清洗过滤器

中水厂出水经原水池由提升泵送往自清洗过滤器进行预处理。在过滤前加入定量的杀菌剂(次氯酸钠),以防止在后续的管道设备和水池中滋生细菌。

根据进水量确定开启设备台数,自清洗过滤器由电机减速机、滤壳、滤网、刮刷组合式清洗系统,PLC控制器和电机排污阀等部件组成,过滤精度为200  $\mu\text{m}$ 。原料介质通过进料口进入过滤器,从内到外,经过不锈钢楔形滤网间歇过滤,过滤后的原料由上而下流向下部的出料口,大于滤网间的杂质被截留下来,使进水得到初步的澄清和净化,保证超滤膜系统长期稳定运行。

滤网组件运行一定的时间后,滤网间隙被杂质堵塞,压差增大,由减速电机带动旋转刮刀,自动清洗附着在滤网上的污垢,保持滤网过滤功能以及滤网间隙的畅通;过滤器底部的杂质增多时,清洗器自动打开底部的排污阀,排除杂质,使系统压力保持正常。过滤产水送入超滤膜系统,进行后续处理。

### 2.2 超滤系统

超滤作为纳滤的预处理单元,过滤截留粒径为0.02  $\mu\text{m}$ 的微生物、天然有机物及氨氮等,降低纳滤膜的污染,延长膜的使用寿命,一般要求超滤出水SDI $\leq 4$ 。

原水经自清洗过滤器预处理后,经设备管道配水进入超滤系统。超滤膜采用48支CMF膜,6台超滤组器,单台产水能力为5291  $\text{m}^3/\text{d}$ ,能够实现自动反洗和化学清洗,极大地降低了劳动强度。原水由膜组件的一端进入,在一定压力下流经整个膜组件,浓缩液自膜组件的另一端排出,透过液膜壁进入膜丝中心,通过集水管收集每支膜件透过液,汇集到产水母管,进入超滤产水池,容积为1500  $\text{m}^3$ 。

超滤系统运行一段时间后膜组件因截留污染物造成堵塞,产水压力不断增大,采用气水联合反冲洗

定期对超滤膜组件进行反清洗,反清洗水采用超滤产品水。

### 2.3 保安过滤器

超滤系统出水仍含有少量微粒,在流经超滤产水池和管道过程中也会掺入少量胶体和颗粒等,直接进入纳滤产水主机会造成纳滤膜堵塞,增大膜污染风险。因此,超滤系统出水收集于超滤产水池后,经低压进水泵降压,流入5  $\mu\text{m}$ 的保安过滤器。

采用筒式保安过滤器,滤芯采用非降解的合成材料,滤器装有压力表指示压降,以便监测滤芯上截留污染物的数量。保安过滤器作为整个工艺流程的后置预处理手段,防止超滤产水及管道中的微粒进入高压泵和纳滤膜组件。

### 2.4 纳滤系统

纳滤膜采用碧水源自主研发的低压纳滤膜,共198支膜芯,膜组件33支(6芯装),本工艺脱盐的核心设备是纳滤产水主机,共设置5台,单台产水能力为3333  $\text{m}^3/\text{d}$ 。设计系统回收率为70%、脱盐率为95%。

膜元件并联运行,进水、产水和浓水均由总管管路系统分别相联,进水经过隔断阀进入膜系统,首先流过保安过滤器,然后进入高压泵,经过高压泵升压后,再进入膜组件入口,浓水管置于进水端,产水经产水总管收集,汇于纳滤产水池。浓水汇集后排至污水处理厂进水端重新进行处理。

## 3 经济分析及存在的问题

### 3.1 投资及经济效益

豆金河中水回用项目总投资为7560万元,包括在金河污水厂原有中水处理工艺后增设精制中水深度处理设备、配套设施和输水管线,投资主要为基础设施建设、机械设备、电气设备、管网管道、仪器仪表等,其中设备及安装总投资为2200万元。根据初步运行结果,该中水回用工程运行成本约为2.238元/ $\text{m}^3$ ,其中能耗费为1.320元/ $\text{m}^3$ 、药剂费为0.513元/ $\text{m}^3$ 、材料更换费为0.274元/ $\text{m}^3$ 、人工费为0.051元/ $\text{m}^3$ 、维护及大修费为0.08元/ $\text{m}^3$ ;当地工业用水单价为5.4元/ $\text{m}^3$ 。可以看出,无论对于工业企业还是制水企业,确定合理的中水供水水价对双方都有较好的经济效益。

### 3.2 存在的问题

目前豆金河中水回用项目已投产2年,运行稳定,但项目本身仍存以下几个问题:

① 由于原水预处理段有时次氯酸钠投加量过大,使进水氯离子含量较高,造成管道锈蚀现象,需根据季节和进水水质及时调节次氯酸钠投加量,并适时投加还原剂,在保证进水水质的同时降低氯离子浓度。

② 4台最终供水泵共用吸水管,无单泵吸水管,开关泵时需同时进行阀门的开关,易形成气蚀,影响水泵的使用寿命。后期根据运行情况设置单泵吸水管,不必开关阀门,可避免形成气蚀,延长水泵的使用寿命,降低劳动负荷。

③ 目前该项目仅处理了部分金河污水厂处理出水,供水存在不稳定情况,使运行成本不易控制。

④ 中水回用水仅供热电厂使用,周边其他工业园区用户仍沿用市政自来水,当地政府部门需要不断拓展工业用户的开发,指导用户提高中水回用的利用率,从而增加中水回用水的供水量,既能保证中水回用工程的稳定运行,也能最大程度实现水资源综合利用项目的建设目的。

#### 4 结论

豆金河中水回用热电厂工程自投产后系统运行稳定,出水水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅱ类水质标准,满足用水要求,大大降低了热电厂等工业企业的生产成本。工业园区生产废水和生活污水的综合处理回用具有良好的社会效益、环境效益和经济效益,能有效解决水资源短缺的问题。因此,该工艺在规模化和区域化中水回用工程中具有很好的推广价值。

#### 参考文献:

- [1] 马保军. 城市中水回用的技术与问题研究[D]. 西安:长安大学,2010.  
Ma Baojun. Study on Technologies and Problems of Urban Wastewater Recycling[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010 (in Chinese).
- [2] 丁蕾. 中水回用技术的现状及其展望[J]. 经营管理者, 2016, (1): 315—316.  
Ding Lei. Current status and prospect of reclaimed water reuse technology[J]. Manager Journal, 2016, (1): 315—316 (in Chinese).
- [3] Barringer J. Urban domestic and commercial water reuse in Pune and its influence on the present water crisis[J]. Water Qual Exposure Health, 2014, 6(1/2): 35—38.
- [4] 夏德万, 殷黎明, 童金忠. 日照钢铁集团炼钢废水中水回用项目设计概述[A]. 第三届膜分离技术在冶金工业中应用研讨会论文集[C]. 北京:《膜科学与技术》编辑部, 2009.  
Xia Dewan, Yin Liming, Tong Jinzhong. Impact of salt concentration on the ceramic membrane filtration process [A]. The Third Symposium on Membrane Separation Technology Applied in the Metallurgical Industry Symposium [C]. Beijing: Membrane Science and Technology Editorial Office, 2009 (in Chinese).
- [5] 张洋. 全膜法工艺在中水回用中的应用研究[D]. 北京:北京化工大学, 2014.  
Zhang Yang. Research and Application of Integrated Membrane Technology in Reclaimed Water Recycling [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2014 (in Chinese).
- [6] 韩剑宏. 中水回用技术及工程实例[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.  
Han Jianhong. Water Reuse Technology and Engineering Examples [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004 (in Chinese).



作者简介:刘骁智(1974—), 男, 山东青岛人, 硕士, 副总经理, 主要从事污水处理及膜法水处理工艺控制的设计研发和管理工作。

E-mail: liuxiaozhi@qdsb-bsy.com

收稿日期: 2018-03-26