·工业给排水·

城市再生水回用技术在燃煤电厂中的应用

张宇龙[1,2]　马骏彪[2]　王凯军[1]　彭桂云[2]

(1 清华大学环境科学与工程系, 北京　100084; 2 中国华电工程(集团) 有限公司, 北京　100035)

摘要　将城市污水处理厂二级出水经深度处理可回用于电厂循环冷却水补充水、锅炉补给水、其他工业用水等, 常采用的技术包括混凝澄清、深层过滤、石灰处理、BAF、UF、RO、MBR 等, 给出了各种技术的典型工艺及工程实例, 并指出了其选用的原则。

关键词　再生水回用　电厂　混凝澄清　深层过滤　石灰处理　BAF　UF　RO　MBR

将城市污水处理厂二级出水进行深度处理, 回用于电厂循环冷却水补充水、锅炉补给水、其他工业用水等, 可大幅减少新鲜水的用量, 是解决电厂水资源紧缺、防止环境污染的重要途径。根据二级出水水质及回用水水质要求的不同, 可以采用不同的深度处理工艺。目前工程实践中常用的水处理方法包括: 混凝澄清、石灰处理、深层过滤、曝气生物滤池(BAF)、超滤(UF)、反渗透(RO)、膜生物反应器(MBR) 等。

1　常用技术

1.1　混凝澄清

通过投加混凝剂、助凝剂, 在电中和、吸附以及泥渣吸附过滤等作用下, 经过胶体脱稳、凝聚、形成絮凝体并不断长大、最终沉淀等过程, 混凝澄清工艺可以去除水中的悬浮物、胶体、部分有机物以及藻类等杂质。一般情况下, 城市污水处理厂二级出水经混凝澄清处理, 浊度去除率为 50%~ 60%, SS 去除率为 40%~ 60%, BOD_5 去除率为 30%~ 50%, COD_{Cr} 去除率为 25%~ 35%, 总氮去除率为 5%~ 15%, 总磷去除率为 40%~ 60%。圆形机械加速澄清池是目前燃煤电厂较为普遍采用的混凝澄清设备, 此外还有 HW 高效澄清池等。混凝澄清一般与过滤配合使用。

1.2　深层过滤

在城市污水处理厂二级出水回用于燃煤电厂的水处理中常采用混凝澄清过滤, 一般情况下, 经混凝澄清过滤处理, 浊度去除率为 70%~ 80%, SS 去除率为 70%~ 80%, BOD_5 去除率为 60%~ 70%, COD_{Cr} 去除率为 35%~ 45%, 总氮去除率为 10%~ 20%, 总磷去除率为 60%~ 80%; 其出水浊度 3~ 5 NTU, SS 5~ 10 mg/L。变孔隙滤池是较常用的过滤设备。

1.3　石灰处理

石灰处理的主要目的是去除水中的暂时硬度, 软化水质。同时, 它还可以去除水中的多种杂质, 包括悬浮物、大分子有机物、胶体硅等, 还可用于后除磷等。石灰处理常与混凝澄清结合, 将石灰直接投加于机械加速澄清池中。电厂循环冷却水补充水水质一般要求浊度 ≤5 NTU, SS ≤10 mg/L, BOD_5 ≤ 5 mg/L, COD_{Cr} ≤30 mg/L, 硬度(以 $CaCO_3$ 计) ≤ 250 mg/L, 氨氮 ≤5 mg/L, 总磷 ≤1 mg/L。通常达标的城市污水处理厂二级出水 BOD_5、COD_{Cr}、氨氮、总磷较低时, 经过石灰处理+ 混凝澄清+ 深层过滤工艺处理后, 能满足循环冷却水补充水的水质要求, 可直接回用。

1.4　BAF

氨氮是微生物的营养物质, 过高浓度的氨氮可能会造成循环水系统的生物粘泥、结垢增多, 杀菌剂用量增大等问题[1]。氨氮还可能导致 pH 明显下降和设备腐蚀等问题, 对电厂的安全运行不利[2]。BAF 集生物氧化和过滤于一体, 具有去除 COD、BOD、氨氮等的作用。当经过二级处理的城市污水的 COD、BOD、氨氮等指标较高时, 可以用 BAF 进行进一步的去除。一般情况下, COD_{Cr} 去除率可达 50%~ 80%, 氨氮去除率可达 90% 以上。

1.5　UF

UF 是一种用微孔滤膜去除水中悬浮物、胶体、大分子有机物和细菌等的膜分离过程, 属于表面过滤, 与深层过滤将污物向深层迁移以提高截污容量不同, 表面过滤则希望污染物尽量留在膜的表

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

面,不要卡在微孔中影响反洗效果。在处理城市污水处理厂二级出水时,为了减轻UF的污堵,延长运行周期,常在UF前进行预处理。UF出水一般要求SDI(污染指数)< 3,浊度< 0.4 NTU,SS < 1 mg/L,可以直接回用,也可以作为RO的预处理。

1.6 RO

电厂部分工业用水需要进行除盐处理,大容量、高参数机组锅炉补给水对除盐的要求更高。离子交换是电厂锅炉补给水常采用的除盐技术。RO可以单独作为除盐措施,也可以作为离子交换的预除盐装置。一般情况下,当原水TDS为500~ 700 mg/L时,应进行系统技术经济比较确定是否采用RO;当原水TDS> 700 mg/L时,宜采用RO作为预除盐装置。当采用混凝澄清+ UF+ RO组合工艺时,RO的除盐率一般要求≥95%,第一年不小于98%。为了解决RO膜的污堵问题,一般要求进水SDI≤4,当使用抗污染膜时也要求SDI≤5,因此常在RO前设UF。

1.7 MBR

MBR将活性污泥法与膜过滤相结合,同时具有活性污泥法的二级处理功能和超滤的处理功能,其活性污泥浓度可高达8~ 12 g/L,处理效率及抗冲击负荷能力大大提高。水力停留时间与固体停留时间相互独立,污泥龄长且完全可控,各种微生物充分生长。因此,经过UF后,出水水质好,水质稳定化彻底。MBR可以将城市污水直接处理后回用,也可以在后面接RO等进行除盐,满足需要除盐的用途。

2 典型工艺及工程实例

2.1 石灰法

2 1.1 石灰处理+ 圆形机械加速澄清池+ 变孔隙滤池工艺

华电国际邹县发电厂四期工程(2×1 000 MW)循环冷却水的补充水水源采用邹县城市污水处理厂经氧化沟处理的二级出水(COD_{Cr} 1.86~ 40 mg/L、BOD_5 1.46~ 21.6 mg/L、NH_3—N 1.16~ 6.12 mg/L),电厂三期、四期废水处理工程初步处理的生活污水(COD_{Cr} ≤30 mg/L、BOD_5 ≤10 mg/L、NH_3—N ≤5 mg/L),以及工业废水(SS ≤10 mg/L、含油量≤5 mg/L)。来水首先进入调节水池,然后进入圆形机械加速澄清池、变孔隙滤池,出水经清水池、循环水补水泵送出。配有相应的石灰、聚铁、硫酸、ClO_2等药剂储存、溶解、投加系统,以及离心脱水机处理最终泥渣。工程设计处理水量为4 200 m^3/h,已于2007年4月投入运行,出水COD_{Cr} < 20 mg/L、BOD_5< 5 mg/L、NH_3—N < 3 mg/L,达到循环冷却水补充水水质要求。

2 1.2 石灰处理+ HW高效澄清池+ 变孔隙滤池工艺

华能北京热电厂循环冷却水补充水处理系统来水水源为高碑店污水处理厂二级出水。为在电厂有限的既有规划用地内扩大中水站处理规模,增容技改工程采用了节约占地的HW高效澄清技术,具体工艺流程为:二级污水→前混合池→HW高效澄清池→后混合池→变孔隙滤池→清水池。前混合池内设快速搅拌器,投加石灰乳和液态聚硫酸铁。HW高效澄清池分为机械絮凝区、推流絮凝区、沉淀浓缩区,单座澄清池设计流量为1 500 m^3/h。与药剂混合后的原水进入机械絮凝区,在絮凝区分两点投加PAM,通过机械搅拌与PAM、回流污泥均匀混合、絮凝。机械絮凝区产生的矾花在推流絮凝区内进一步增大和密实后进入沉淀浓缩区。沉淀浓缩区前端为预沉区,由于移动速度的减缓,SS在该区沉淀。剩余矾花则在斜管分离区去除。沉积的矾花在沉淀区下部进行浓缩,部分浓缩污泥通过污泥回流泵送回机械絮凝区,剩余浓缩污泥通过污泥排放泵输送至污泥储存池。后混合池内投加混凝剂,用以增强后续过滤的处理效果。工程已于2008年9月投入运行,出水COD、BOD、NH_3—N等各项指标均达到回用水水质标准,浊度长期小于1 NTU。

2.2 BAF+ 石灰法

山东潍坊发电厂二期(2×670 MW)工程循环冷却水补充水的来水为潍坊市污水处理厂二级出水,设计水量为3 200 m^3/h。经Orbal氧化沟处理的二级出水COD、BOD、NH_3—N较高,为了解决此问题,采用BAF+ 石灰处理+ 圆形机械加速澄清池+ 变孔隙滤池工艺。该工程已于2009年5月投入运行,达到了回用要求。

2.3 膜法

2 3.1 预处理+ UF+ RO工艺

陕西华电蒲城电厂处于我国西北严重缺水地

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

区, 三期工程 2× 660 MW 超临界机组采用空冷机组, 但是工业用水水源问题是制约其建设的主要因素之一, 因此, 要求对一、二期全厂水系统进行节水改造, 回收利用一、二期废水作为三期工业用水。深度处理工艺流程为: 废水→储存池→澄清池→变孔隙滤池→清水池→自清洗过滤器→浸没式超滤装置→超滤产水箱→保安过滤器→反渗透装置→淡水箱→工业蓄水池。处理后的出水水质满足作为三期工业水的水质要求(UF 出水 SDI< 3、浊度≤0.1 NTU, RO 一年内脱盐率> 98%), 生产淡水量为 320 m^3/h, 整个废水深度处理系统实现自动运行, 2008 年 12 月投运。

2.3.2 MBR 工艺

内蒙古临河热电厂(2× 300 MW)供热机组采用 MBR 进行再生水回用处理, 具体工艺流程为: 原水→格栅→调节池→生物反应器→膜组件→消毒装置→中水储池→中水用水系统, 取得了较好的处理效果[3]。

3 技术、工艺选定原则

3.1 技术、工艺适用性(见表 1)

表 1 各种技术、工艺的适用性

技术/工艺	适用性
混凝澄清	主要用于去除水中的悬浮物、胶体等, 常与过滤结合使用
深层过滤	主要用于去除水中的非溶解性杂质, 可以作为最终出水的水质保障措施, 亦可作为进一步深度处理的前置措施
石灰处理	主要用于去除水中的暂时硬度等, 常与混凝澄清结合使用
BAF	主要用于去除水中的 COD、BOD、氨氮等
UF	主要用于去除水中的非溶解性杂质, 常作为 RO 的预处理措施
RO	主要用于除盐
MBR	可以用于去除水中的悬浮物、胶体、有机物、其他非溶解性杂质等, 出水可以回用于不需除盐的用途; 亦可作为反渗透的预处理措施
石灰处理+ 混凝澄清+ 深层过滤	一般用于处理城市二级达标排放水, 出水可回用于循环冷却水补充水
BAF+ 石灰处理+ 混凝澄清+ 深层过滤	城市污水处理厂二级出水 COD、BOD、氨氮等较高时, 一般应用本工艺处理后出水可以回用于循环冷却水补充水
预处理+ UF+ RO	主要应用于需要除盐的情况, 出水可以回用于对除盐要求不高的用途; 亦可以作为预除盐措施, 后面接离子交换等进一步除盐后回用于锅炉补给水

3.2 环境影响

不同的技术、工艺, 其产生的环境影响、特别是跨介质环境影响也不相同。混凝澄清、石灰处理、BAF、MBR 等技术均会有污泥产生, 需要经过脱水等处理后进行无害化处置。石灰法工艺中产生的污泥虽然较多, 但与普通生化法产生的活性污泥不同, 石灰法工艺产生的污泥中无机成分较多, 易于进行脱水及无害化处理。由于污泥循环回流、污泥龄长等原因, MBR 产生的剩余污泥量较少。在石灰法工艺中容易产生粉尘污染, 通过设备改进, 实现石灰粉的全密闭运输、存储、计量、制乳和投加, 可以较好地解决粉尘污染问题。UF+ RO 等工艺会有浓水产生, 一般可以回用于冲灰渣、煤场喷洒等对水质要求低的用途。

3.3 经济性

石灰处理+ 混凝澄清+ 深层过滤处理工艺, 具有一次性工程投资低、主要消耗品石灰价格低廉、运行费用便宜等特点。采用普通圆形机械加速澄清池时占地面积一般较大, 采用 HW 高效澄清池时, 占地面积会显著减小。BAF 容积负荷、水力负荷大, 水力停留时间短, 出水水质好, 所需基建投资少, 运行能耗低, 运行费用省。UF 膜及 RO 膜的价格较高, 工程建设初次投资较高; 膜具有一定使用寿命, 需要定期更换, 其运行成本也较高。MBR 的初次建设投资及运行费用较高, 与传统活性污泥二级处理工艺相比缩短了流程、减少了占地面积, 适合于土地紧缺、处理高浓度有机废水、出水水质要求较高的情况。

参考文献

1 虞启义, 黄种买, 张青. 城市污水回用于冷却水问题的研究. 工业水处理, 2002, 22(8): 19~ 21

2 张小霓, 廖冬梅, 陈明静. 城市中水回用于循环冷却水中氨氮的去除试验研究. 华中电力, 2006, (4): 43~ 45

3 周军, 乔彦婧. 城市中水在火电厂中的应用. 热机技术, 2006, (3): 64~ 66

☆ E-mail: vipzyl@163.com

收稿日期: 2010-01-25

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net