

节水与回用

大型钢铁公司生产废水的处理与回用

范伟¹, 吕军¹, 陆必云², 苗利利¹, 高慧东³

(1. 中冶京诚工程技术有限公司, 北京 100176; 2. 江阴兴澄钢铁公司, 江苏 江阴 214429;
3. 秦皇岛泰盛水务有限公司, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 为减少新水取水量,降低吨钢新水耗量,实现节能减排,江阴兴澄钢铁公司根据总体规划及生产发展用水要求建设了生产废水处理与回用工程。该工程处理规模为 $3.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用微涡旋反应沉淀池/双层过滤器工艺,运行成本约 $0.33 \text{ 元}/\text{m}^3$,处理出水与该厂净水处理站的出水混合后作循环水补水。介绍了该工程的工艺流程、主要构筑物的设计参数及特点。

关键词: 钢铁生产废水; 微涡旋反应沉淀池; 双层过滤器

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2010)06-0080-05

Treatment and Reuse of Production Wastewater from Large Iron and Steel Company

FAN Wei¹, LV Jun¹, LU Bi-yun², MIAO Li-li¹, GAO Hui-dong³

(1. Capital Engineering and Research Incorporation Limited, MCC, Beijing 100176, China; 2. Jiangyin Xingcheng Iron and Steel Company, Jiangyin 214429, China; 3. Qinhuangdao Taisheng Water Co. Ltd., Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: In order to reduce fresh water quantity, decrease fresh water consumption per ton steel and achieve energy saving and emission reduction, a wastewater treatment and reuse project was built by Jiangyin Xingcheng Iron and Steel Company according to the overall planning and the water consumption requirement for production and development. The treatment capacity of the project is about $3.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, micro-vortex reaction and sedimentation/dual-media filter technology is used, and the operation cost is $0.33 \text{ yuan}/\text{m}^3$. After mixed with the purified water, the treated effluent is used as make-up water for circulating cooling system. The process flow of the project, the design parameters and characteristics of the main structures are introduced.

Key words: iron and steel wastewater; micro-vortex reaction and sedimentation tank; dual-media filter

为适应国家节能减排的要求,江阴兴澄钢铁公司根据总体规划及生产发展用水要求,拟将全厂生产废水进行处理后作为生产新水回用于循环水系统,以减少新水取水量,节约水资源,提高水的重复利用率,降低吨钢新水耗量,实现全厂污(废)水的零排放。

1 设计进、出水水质及处理工艺

1.1 设计进、出水水质

根据江阴兴澄钢铁公司提供的生产废水水质资料及生产用水要求确定设计进、出水水质指标(见表1)。

待处理废水为混有少量生活污水的工业废水,

其电导率、氯离子、总硬度指标均不高,能满足循环水补水水质要求,因此主要处理对象是浊度、悬浮物、菌落总数等。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design quality of influent and effluent

指标	pH	电导率/ ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	浊度/ NTU	氯离子/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	总磷/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	菌落总 数/(CFU $\cdot\text{mL}^{-1}$)
原水	8.09	800	31.7	24.4	1.73	29 000
循环水 补水标准	7~8	$\leq 1\,000$	≤ 3	≤ 50	≤ 0.5	≤ 80

1.2 工艺流程

目前,钢铁企业的废水处理与回用工程一般采用高密度沉淀池/微涡旋反应沉淀池+V型滤池工艺^[1]。该工艺在安钢、承钢、宣钢等处的应用均取得了很好的处理效果,但其流程长、占地面积大,一次性投资较高。江阴兴澄钢铁公司废水处理设施规模为 $3.6\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,废水处理工程要求必须布置在 $66\text{ m}\times 29\text{ m}$ 范围内,且投资在2 500万元以内。根据此工程的实际情况,经分析后确定采用微涡旋反应沉淀池/双层过滤器工艺,工艺流程见图1。

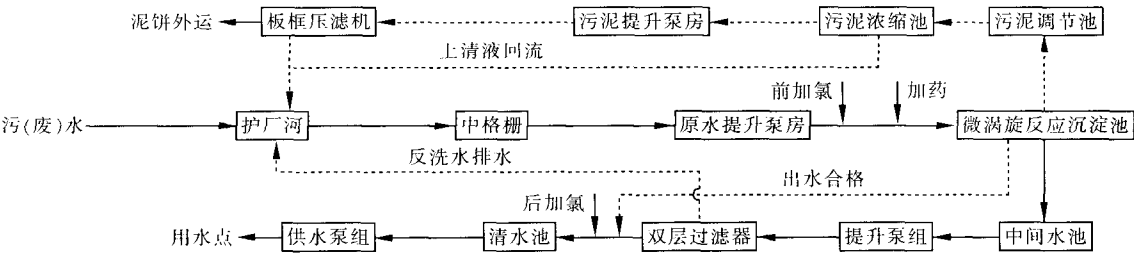


图 1 废水处理与回用工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment and reuse processes

厂区生产、生活污(废)水排至现有护厂河,经格栅去除大块漂浮物后进入现有废水调节池进行均质、均量调节,然后加压送往微涡旋反应沉淀池进行沉淀。在微涡旋反应沉淀池前设静态混合器,用于前加氯及投加混凝剂、助凝剂等,其中前加氯主要是为夏季去除藻类预留的手段。在微涡旋反应沉淀池上设在线浊度监测仪,当沉淀池出水水质满足用水水质要求时直接自流至清水池,经加氯消毒后送往用水点。双层过滤器作为一种保证手段,当原水水质恶化致使沉淀池出水水质不达标时,由水泵加压送往双层过滤器进行过滤,以进一步去除悬浮物等。

微涡旋反应沉淀池排出的污泥首先进入污泥调节池,之后由立式泵提升送往浓缩池,浓缩污泥由渣浆泵加压送往板框压滤机进行脱水。脱水泥饼外运统一进行处置,双层过滤器的反洗排水、污泥浓缩池的上清液直接排入护厂河。

2 工艺设计特点及主要构筑物

2.1 工艺设计特点

① 采用直列式混合器。直列式混合器在设计中引入流体动力学原理来控制混合微观过程和宏观过程,在相同的水头损失下大大提高了混合效果。有研究表明,直列式混合器的混合效率和混合效果比一般混合器高一倍以上。该种混合器的主要原理

是使水流通过列管时,在边界层的作用下产生系列涡旋,并在其后的空间衰减产生高频涡流,从而使混凝剂复杂的水解产物与原水中的胶体颗粒得到充分混合。

② 采用星形絮凝设备。星形絮凝设备的主要原理是利用边界层脱离理论和颗粒碰撞的惯性效应,通过改变隔板的结构及翼片的形式,使水流流经翼片附近的流态发生改变,强化翼片的控制能力。在不同的水流空间,当水流流经翼片后短时间内会形成准均匀各向同性紊流。紊流中夹带了大量尺寸、强度一定的微小涡旋,在不断的流动过程中借助茹可夫斯基升力的作用使涡旋离开原位置并进行彼此碰撞,从而加大了颗粒的有效碰撞次数,有效提高了絮凝效果。絮体颗粒的碰撞、吸附使絮体本身产生强烈变形、吸附能级升高,且絮体变得更加密实,大大改善了絮凝效果,缩短了絮凝时间。由于絮凝过程的可控程度得以提高,在水质较差时仍可达到理想的絮凝效果。

③ 采用V形沉淀设备。V形沉淀设备主要是综合利用沉淀机理和接触絮凝机理完成沉淀区中颗粒的分离过程。该设备在充分利用沉淀机理的基础上,通过设置涡旋强度控制区域,减弱沉淀区中沉淀设备下部一定位置水流中的大涡旋强度,减少沉

淀区水流的脉动。当水流进入设备后,这种结构的特殊性能进一步控制接触絮凝的过程,在不断改变流速流态的过程中,提高矾花颗粒在设备内的接触碰撞几率,彼此吸附连接,只有尺度和密度足以克服水流顶托力等相关因素的矾花颗粒才能下沉。颗粒在下沉的过程中,不断吸附微小粒径的矾花颗粒,直至脱离沉淀设备。当矾花的重力同水流顶托力及相关作用力维持动态平衡时,将在一定位置形成密实的、抗冲击负荷能力强、可自动更新且更新周期短的动态悬浮泥渣层,并使悬浮泥渣层时刻保持较强的过滤、吸附、纳污能力,沉淀效果更好。

2.2 主要构筑物及设计参数

① 格栅

采用GL型链条回转式多耙平面格栅除污机2台,栅条间距为20 mm,通过时间设定或栅前、后液位差定时清除栅渣。

② 调节池

利用原有设施(原雨水排水泵站前的调节池),有效容积为 $1\,280\text{ m}^3$ 。设液下搅拌器4台,可通过实际生产情况确定启、停台数,单台搅拌器功率为7.5 kW。利用原有雨水提升泵房,将其中的雨水排水轴流泵更换为4台潜水提升泵,3用1备,单台潜水泵 $Q=600\text{ m}^3/\text{h}$, $H=300\text{ kPa}$ 。

③ 微涡旋反应沉淀池

按处理水量为 $1\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 考虑,分成两组,对称布置,并联运行,单组处理水量为 $750\text{ m}^3/\text{h}$ 。主要设备包括:列管式不锈钢静态混合器2台,不锈钢翼片隔板反应设备2套,乙丙共聚接触絮凝沉淀设备,浮油回收管,排泥管及阀门2套等。

采用DN500、 L 为3.0 m的直立式混合器,不锈钢材质,采用法兰连接,安装在进水管上,水头损失 $\leq 5\text{ kPa}$,混合时间为3 s。混凝剂投加在直立式混合器前端加药口处。

采用竖向流翻腾式絮凝池,池中设星形絮凝设备,材质为改性PVC。设计流速分为3级:一级流速为 0.12 m/s 、二级流速为 0.09 m/s 、三级流速为 0.06 m/s ,絮凝时间为11 min。在絮凝池后设置过渡段,采用配水花墙进行配水,配水花墙开 $\varnothing 150\text{ mm}$ 的孔,过孔流速约为 0.06 m/s 。

采用异向流V形沉淀池,斜板安装倾角为 60° ,上升流速为 2.2 mm/s ,采用5根穿孔集水槽集水,以保证出水均匀。集水槽采用潜流孔集水形式,以

防沉淀池中的浮油流入下一个处理单元。集水槽上形成的浮油通过集油管人工定期清除。

采用重力斗式排泥,排泥管为DN200,每根排泥管管端设置手动蝶阀、电动蝶阀各一个,快开缓闭定时排泥。通过PLC设定时间实现自动排泥,絮凝池一般一周排泥2~3次;沉淀池一般每天排泥2~3次,大约15 d大排泥一次。

④ 中间贮水池及加压泵

中间贮水池有效容积为 750 m^3 ,设中间加压泵3台,2用1备,单台 $Q=750\text{ m}^3/\text{h}$, $H=320\text{ kPa}$,将沉淀池出水加压送往双层过滤器。

⑤ 双层过滤器

设2台,每台直径为5 m,高为13.8 m,分为双层(为节省占地,相当于2台6.9 m高的过滤器叠加使用)。双层同时运行,单台单层反洗。滤速为 $20\sim 25\text{ m/h}$,滤前水悬浮物 $\leq 30\text{ mg/L}$,油 $\leq 5\text{ mg/L}$;滤后水悬浮物 $\leq 3\text{ mg/L}$,油 $\leq 1\text{ mg/L}$ 。单层采用双层滤料(无烟煤及石英砂),无烟煤粒径为 $1.3\sim 1.5\text{ mm}$,厚度为1.2 m;石英砂粒径为 $0.8\sim 1.0\text{ mm}$,厚度为1.2 m;卵石垫层厚度为0.1 m;反洗水强度为 25 m/h ,反洗水压力为 350 kPa ,反洗空气强度为 25 m/h ,反洗气压力为 70 kPa ;通过压差或时间控制反洗,每次反洗时间约10 min。

⑥ 清水池、双层过滤器反洗泵及回用水泵房

清水池分2格,单格有效容积为 700 m^3 。设双层过滤器反洗泵2台,1用1备,单台 $Q=785\text{ m}^3/\text{h}$, $H=350\text{ kPa}$ 。设回用水供水泵3台(其中1台为变频调速泵),2用1备,单台水泵 $Q=750\text{ m}^3/\text{h}$, $H=500\text{ kPa}$,供水压力按满足现有供水管网最不利点的供水压力调整。

当微涡旋反应沉淀池出水水质达到供水水质要求时,中间供水泵停止运行,中间水池的贮水通过与清水池隔墙上部的溢流孔进入清水池,由回用水供水泵加压外供。

⑦ 加药、加氯系统

混凝剂采用碱式氯化铝(PAC),最大投加能力按 60 mg/L 设计,实际运行投量为 25 mg/L 。设溶药池、贮药池各一座,采用计量泵加药。

采用PAM作助凝剂,最大投加量按 0.5 mg/L 设计,实际投量为 0.2 mg/L 。设溶药池、贮药池各一座,采用计量泵加药。

消毒剂为二氧化氯,现场制备,采取混凝前加氯

和滤后加氯相结合的方案,以使回用水余氯量达到 0.5 ~ 1.0 mg/L 以上。

⑧ 污泥处理

污泥调节池有效容积为 430 m³,内设搅拌机 2 台、立式泵 2 台(1 用 1 备,单台泵 $Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 250 \text{ kPa}$)。

污泥浓缩池设于污泥调节池上部,由柱子支撑,直径为 $\varnothing 12 \text{ m}$,内设浓缩机 1 台。浓缩后的污泥由卧式渣浆泵加压送往板框压滤机进行脱水,采用卧式渣浆泵 3 台,2 用 1 备,单台 $Q = 25 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 400 \text{ kPa}$ 。

设 100 m² 板框压滤机 2 台,板框压滤间面积为 120 m²,二层框架结构。

3 工程调试及运行效果

该工程于 2009 年 3 月开始调试,历经所有设备的冷调、构筑物单体进水,并依次检查构筑物渗漏点—设备单机试车—小范围设备联动试车—构筑物全线进水;然后进行水力损失核算,全面联动试车(逐渐调节流量至满负荷运行,调整各设备的运行参数,再次检测核算药剂的投量,分析进、出水水质,进行满负荷运行考核)。

工程正式投入运行后,江阴兴澄钢铁公司委托外部有资质单位进行了水质检测。结果表明,废水经过微涡旋反应沉淀池及双层过滤器处理后,主要指标——浊度达到并优于设计出水水质。废水处理站与该厂净水处理站的出水水质见表 2。

表 2 废水处理站出水水质与净水处理站出水水质

Tab. 2 Effluent quality of wastewater treatment station and outflow quality of water treatment station

项 目		pH	电导率/ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	浊度/ NTU	总碱度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氯离子/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总铁/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总磷/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
2009 - 05 - 15	原废水	10.8	1 210	22.5	175.6	205	0.709	1.73
	废水处理站出水	9.1	1 450	0.9	136.6	192	0.049	0.16
	净水处理站出水	7.6	318	0.6	97.6	21.8	0.029	
2009 - 07 - 16	原废水	9.34	1 034	14	151.3	160	0.377	1.83
	废水处理站出水	8.87	984	1.2	146.4	150	0.053	0.385
	净水处理站出水	7.62	313	0.9	87.8	19.8	0.041	
2009 - 09 - 15	原废水	8.10	822	38.8	122	99.9	0.718	1.76
	废水处理站出水	7.76	1 006	1	97.6	191.9	0.037	0.38
	净水处理站出水	7.23	329	1.2	102.5	29.4	0.045	
循环水补水标准		7 ~ 8	$\leq 1\,000$	≤ 3		≤ 50		≤ 0.5

由于实际进水水质比设计进水差,因此该物化处理工艺对 pH、电导率、氯离子的处理效果较差。另外,人工投加药剂准确性差,也对出水水质造成一定影响。如 2009 年 9 月 15 日检测水样中,出水电导率及氯离子反而比进水的高,主要是因为人工投加 PAC 较多所致。考虑到废水处理站出水水量为 1 500 m³/h,占钢厂整个净水补水量($1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$)的比例较小,因此废水处理站出水与净水站出水混合后这些水质指标均可达到生产用水要求。

该项目投产 8 个月以来,进水平均浊度为 28.8 NTU,出水平均浊度为 0.95 NTU,出水浊度符合要求;另外运行后期,江阴兴澄钢铁公司加强了对原水 pH、电导率、氯离子等指标的控制,出水相应指标也基本达到补水水质要求。

4 工程技术经济分析

该工程总投资约 2 200 万元,运行成本约为 0.33 元/m³,主要为加药、加氯、用电等费用。其中,

碱式氯化铝(0.9 t/d)和阴离子聚丙烯酰胺(7.2 kg/d)合计约 0.075 元/m³;制备二氧化氯所消耗盐酸(浓度 > 31%,耗量为 3.6 L/d)及氯酸钠(1.8 kg/d)合计约 0.012 元/m³;耗电量为 18 720 kW · h/d,约合 0.24 元/m³。

净水站制水成本约为 1.05 元/m³(包括源水费用为 0.82 元/m³,运行费用为 0.23 元/m³),由此表明将废水深度处理后回用于生产,每年可节省 946 万元左右,不但减少了常规水源(长江水)的取用量,还实现了经济效益和环境效益的双赢。

5 结论

① 采用微涡旋反应沉淀池/双层过滤器处理钢铁生产废水,其出水水质满足回用要求,运行费用低,同时实现了经济效益和环境效益的双赢,降低了钢铁成本,提高了市场竞争力。

② 根据江阴兴澄钢铁公司提供的原始设计资料,该处理工艺对浊度的去除效果达到了设计要求,

占地面积及总投资也达到了预期目标。由于设计时所提供资料中原水 pH、电导率、氯离子等都符合循环水水质要求,故设计中没有考虑以上指标的去除,致使进水水质变差时这些出水指标可能出现超标。建议进水水质较差时,采取投加硫酸调节 pH、用聚合硫酸铝代替聚合氯化铝等措施,以保证出水水质达标。

参考文献:

- [1] 欧阳丽,王晓明. 钢铁厂综合废水处理回用工程设计[J]. 中国给水排水,2008,24(20):73-76.
- [2] 邹元龙,赵锐锐,石宇,等. 钢铁工业综合废水处理与回用技术的研究[J]. 环境工程,2007,25(6):101-104.

- [3] 于钱玲,赵钱柱,秦晓东,等. 河北某钢铁公司废水处理及回用可行性研究[J]. 环境科学与技术,2008,31(4):101-103.
- [4] 胡义纯. 微涡流絮凝反应器-V型滤池在钢铁废水处理中的应用[J]. 工业用水与废水,2009,40(1):89-91.
- [5] 方永忠,沈顺东. 微涡流混凝给水处理新工艺[J]. 中国给水排水,2004,22(5):16-18.
- [6] 王芴曹. 钢铁工业给水排水设计[M]. 北京:冶金工业出版社,2002.

电话:(010)67835092

E-mail:fanwei@ceri.com.cn

收稿日期:2009-09-21

(上接第71页)

为1 222.25万元,机电设备及安装工程费为678.06万元,金属结构设备及安装工程费为77.91万元。

土建工程于2008年8月开工,进行副厂房和主厂房竖井施工,2009年2月开始预埋肘管和锥管,4月初预埋蜗壳,5月主厂房封顶,5月—7月完成导水机构、转轮、定子、转子安装。7月24日完成水轮发电机组盘车调试,8月3日完成机组动态调试,与电网并网成功,等待并网协议,8月28日并入电网试运行,8月29日甩负荷成功,继续试运行。

现重庆鸡冠石污水处理厂污水处理量为 $(55 \sim 60) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,发电量为 $18\,000 \sim 19\,300 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{d}$,占污水厂用电量的15%以上,4~5年即可收回投资。同时鸡冠石污水处理厂将来完成三期 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 扩建,届时发电量会更上一个台阶。

7 结论

无需修建拦水大坝,尾水具备自然势能,这是重

庆鸡冠石污水处理厂相对于其他水电站的优势,也是全国首个利用污水处理厂处理尾水发电的项目,每年可节约电费约500万元,5年即可收回成本。

近几年,我国加大了对节能减排项目的投入,重庆鸡冠石污水处理厂利用自身排水的高落差特点进行发电,不仅节约了能源,降低了生产成本,也为污水处理厂尾水的合理利用开辟了新途径。

参考文献:

- [1] 郝晓地,赵义,仇付国,等. 从微观机理认识污水处理厂的节能减排[J]. 中国给水排水,2008,24(4):89-94.

电话:13983015436

E-mail:coffie@163.com

收稿日期:2009-11-30