回收微污染地表水与钢铁厂综合污水作为工业水源的水处理工艺设计

张悦

北京首钢国际工程技术有限公司

摘要: 能源及环保已成为当今世界可持续发展的两大主题。鉴于我国水资源日趋紧张及水污染的严重形势, 污水处理及回用迫在眉睫。首钢总公司拟在河北迁安首钢迁钢公司建设一冷轧厂, 因该地区水资源缺乏, 经环评论证决定在厂区设一(污)水处理站, 收集厂区的一般性生产排水、生活排水及厂区西侧西沙河的地表水处理后作为厂区的工业水源回用于冷轧厂各工序。经分析三种水质最终确定采用一种将三种源水综合处理的物化-生化组合工艺。三个处理单元核心工艺分别采用高密度沉淀池、MBBR 生物反应池及高效滤池。

关键词: 物化-生化组合工艺; 高密度沉淀池; MBBR 生物反应池; 高效滤池

1 绪论

进入二十一世纪, “节能、减排”已列入钢铁行业可持续发展的重要课题。单位产品的水消耗指标一直是衡量钢铁厂的经济及社会效益的重要指标。降低水消耗就意味着要有更高的水的重复利用率, 要有更少的外排污水量。在研究钢铁主体工艺本身的优化及工序合理的用水方式以降低用水量之外, 如何更有效的处理及回用钢铁厂产生的废水或其他污染源显得意义更为重大。

北京首钢集团作为钢铁企业中的中流砥柱在钢铁企业的“节能、减排”上一直走在行业的前列。在北京首钢集团进行大步产业调整的背景下, 笔者借鉴本人参加的北京首钢厂区污水治理工程、首钢迁钢污水处理厂工程以及首钢京唐钢铁厂污水处理工程的设计实践, 针对把微污染地表水及钢铁厂废水综合处理并回用于钢铁厂, 确定了物化-生化组合工艺处理流程。该设施的建设, 在落实国家“节能、减排”产业政策, 缓解迁钢地区水资源紧张状况和减少排放废水对环境污染方面, 起到示范作用, 为其他工程的设计提供一定的借鉴。

2 首钢迁钢冷轧污水处理工程污水源及水质分析

2.1 污水处理站污水源

污水处理站进水水源包括西沙河水(500 m³/h), 冷轧厂区生活污水(50 m³/h), 冷轧厂区一般性生产排水(250 m³/h)。污水处理站设计日处理能力: 24000 m³。

2.2 污水源现状及进出水质分析

2.2.1 西沙河水

2.2.1.1 水源现状

西沙河是一条Ⅳ类水体河流, 但平时自然水流较少, 主要由沿线社会排水汇流而成。西沙河的取水点设在西沙河橡胶坝上游, 经过现场考察, 在取水点上游主要包括以下排水: 鸽子湾生活区来水、矿业公司水厂铁矿的尾矿坝排水、马兰庄化肥厂排水、大五里山上的山水, 大五里的津安钢厂

排水等。

针对西沙河汇入排水复杂、多样性的情况,经近两年采样统计得到主要水质见表1。

表1 西沙河主要水质指标表

序号	分析项目	数值
1	pH	7.13
2	悬浮物/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	26
3	$\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	16.8
4	$\text{BOD}_5/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	20
5	氨氮/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	8
6	总硬度(以 CaCO_3)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	375
7	暂时硬度(以 CaCO_3)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	200
8	永久硬度(以 CaCO_3)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	175
9	总碱度(以 CaCO_3)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	200
10	电导率/ $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$	872

2.2.1.2 水质分析

西沙河水主要有如下特性:

(1) 西沙河上游有部分用户的生活排水排入,如上游生活区及饭店等。此部分排水未经生化处理直接排入西沙河内,使河水中含有有机物、总磷、氨氮等污染物。

(2) 西沙河上游选矿厂及钢厂排水及渗水等排入西沙河,使河水中的含盐量(或电导率)、硬度等指标较高,同时水中含有一定的浊度。

(3) 目前西沙河中存在一些芦苇等植物有利于降解水中的有机物,但根据植物的生长周期,西沙河水的水质情况也会发生变化。

(4) 随着迁安市的发展,排入西沙河上游的排水会发生变化,其中生活类污水的排入量将有增大的趋势。

2.2.2 冷轧厂区生活污水

冷轧厂区生活污水主要来自冷轧厂区办公设施、食堂、浴室、卫生间等生活设施排水。此部分生活污水中的主要水质污染指标为SS、 COD_{Cr} 、BOD、氨氮等。水质见表2。

表2 冷轧厂区生活污水主要水质指标表

序号	污水指标项目	指标
1	pH	6.0~9.0
2	$\text{SS}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	150~200
3	$\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	350~400
4	$\text{BOD}_5/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	150~200

2.2.3 冷轧厂区一般性生产排水

冷轧厂区一般性生产排水主要包括生产零星排水,循环水系统的强制排水等。其中循环水系统的强制排水占绝大部分,水中的硬度、含盐量等指标比较高,有机物含量较少。生产排水中的主要水质污染指标为SS、 COD_{Cr} (主要为非溶解性)、油等。同时鉴于污水的回用,还要考虑一些其它的水质指标如硬度、碱度、pH等。主要水质见表3。

表3 一般性生产排水主要水质指标表

序号	项目	指标	备注
1	pH	7.0~8.5	
2	SS/mg·L ⁻¹	<200	
3	COD _{Cr} /mg·L ⁻¹	<60	
4	BOD ₅ /mg·L ⁻¹	<10	
5	油/mg·L ⁻¹	10~20	通常为下限
6	总硬度(以CaCO ₃ 计)/mg·L ⁻¹	300~480	
7	暂时硬度以CaCO ₃ 计/mg·L ⁻¹	250~350	
8	钙硬度(以CaCO ₃ 计)/mg·L ⁻¹	120~220	
9	总碱度以(CaCO ₃ 计)/mg·L ⁻¹	250~350	
10	含盐量/mg·L ⁻¹	1100~1300	

2.2.4 污水处理站设计出水水质

污水处理站出水水质根据《工业循环冷却水处理设计规范》，GB50050-2007 中再生水水质指标和后续深度脱盐膜法工艺进水的要求确定，见表4。

表4 污水处理站设计出水水质

序号	分析项目	数值	备注
1	pH	7~8.5	
2	悬浮物/mg·L ⁻¹	≤5	
3	浊度/NTU	≤3	
4	COD _{Cr} /mg·L ⁻¹	≤15	
5	BOD ₅ /mg·L ⁻¹	≤5	
6	氨氮/mg·L ⁻¹	≤5	
7	总硬度(以CaCO ₃)/mg·L ⁻¹	≤300	
8	暂时硬度(以CaCO ₃)/mg·L ⁻¹	100	
9	永久硬度(以CaCO ₃)/mg·L ⁻¹	200	
10	电导率/μs·cm ⁻¹	1200	
11	油/mg·L ⁻¹	≤1	

3 生化及物化污水处理工艺的选择

3.1 生化处理工艺选择

根据对三种水源的分析，冷轧厂区生活污水及西沙河水质均需进行生化处理。

3.1.1 冷轧厂区生活污水生化处理工艺选择

冷轧厂区生活污水水质，其主要污染物为COD、BOD、氨氮等，且有机污染物浓度较高，如BOD₅在150mg/L左右，但平均排水量较小，考虑到生活污水处理设施规模小投产快，故拟将生活污水进行单独处理后，再与其他污水混合做进一步处理。该污水主要进水水质：BOD₅=150-200mg/L，COD_{Cr}=350-400 mg/L。为保证后续物化处理单元的正常运行，确定其出水水质：BOD₅≤20mg/L，COD_{Cr}≤50mg/L。因该部分污水水量少，确定采用目前比较成熟的缺氧—好氧生物处理工艺简称“A/O”

工艺。

生活污水首先经过缺氧生化池即水解酸化池（反硝化池），在此大分子的有机物被水解成易于被后续好氧菌所降解的小分子有机物，从而使污水的可生化性和生化去除效果大幅度提高，使得好氧段有较高的COD去除率。污水在好氧段（接触氧化池）中依靠好氧菌的作用，将含氮有机物分解成含氮有机物，然后在亚硝酸菌的作用下进一步转化成亚硝酸盐氮，在硝化菌的作用下转化成硝酸盐氮。硝酸盐氮回流至缺氧段，经兼性细菌的反硝化作用，分解有机质同时将硝酸盐态的氮还原成气态的氮从水中分离。剩余污泥则经提升进入污泥调节池同工业污泥混合后经过脱水外运。

基本工艺流程简图：

生活污水→格栅→调节池→一级提升泵→缺氧池→一、二级好氧池→沉淀池→二级提升泵→进入污水调节池

3.1.2 西沙河水生化处理工艺选择

根据西沙河水的水质检验报告的水质进行分析，河水中含有一定的有机物，但有机物浓度较低，如BOD₅在20mg/L以下，西沙河水应属于微污染的地表水。目前生物处理方法主要是活性污泥法和生物膜法。对于活性污泥法，原污水的BOD值不应低于50~60mg/L，否则活性污泥絮凝体即难于形成。所以处理西沙河水用活性污泥法不适合。而生物膜法是微生物生长在载体上而形成的生物膜，可利用载体生长大量的不易流失的微生物，用来分解有机物，适用于微污染水源水的处理。经各工艺比较后确定采用抗负荷变化能力较强的移动床生物反应器工艺（简称MBBR工艺）作为生物处理单元。

MBBR生物反应池是利用生长生物膜的载体，在废水中不断流动的生物接触氧化法。它吸收了传统的流化床和生物接触氧化法两者的优点，而形成的一种高效的污水处理方法，是悬浮生长的活性污泥法和附着生长的生物膜法相结合的一种工艺，对低浓度污水有较好的处理效果。MBBR工艺核心部分就是以比重接近于水的悬浮填料直接投加到曝气池中作为微生物的活性载体，依靠曝气池内的曝气和水流的提升作用处于流化状态。与以往的填料不同的是，悬浮填料能与污水频繁多次接触，因此被称为“移动的生物膜”。

和MBBR工艺相比：好氧生物滤池不能充分利用池容；生物转盘经常出现机械设备问题；淹没式生物滤池难以使负荷均匀分布在载体的表面；由于需要反洗，颗粒介质生物滤池不能连续工作；流化床不稳定。与多数的生物膜反应器相比，MBBR克服了这些缺点，利用了整个池容，和活性污泥反应器一样；而与活性污泥反应器相比，它可以不需要污泥回流，和生物膜反应器一样。

3.2 物化处理工艺选择

分析冷轧厂区一般性生产排水、西沙河水及经预处理后的厂区生活排水水质，其主要污染物SS、COD（主要为非溶解性）、油，同时含有较高硬度及碱度，此类水完全可通过混凝、沉淀、过滤的物化法工艺对以上污染物及硬度等进行有效的去除。

我国目前的混凝反应池、沉淀池、滤池工艺型式有很多，各有各的优点。选择适合钢铁行业污水特性的合理的混凝沉淀方式尤为重要。从工艺的处理效果、占地、投资等进行综合比较，我们设计最终选择了集反应、沉淀、浓缩于一体的高密度沉淀池和便于操作管理的气水反冲洗快滤池。

3.2.1 高密度沉淀池工艺及优点

高密度沉淀池主要采用浓缩污泥回流和斜管沉淀技术，集混凝、絮凝、污泥浓缩沉淀于一身。

3.2.1.1 混凝

化学混凝反应是整个处理系统的关键步骤。污水与投加的混凝剂在前部的混凝池中进行混凝反应，同污水中的污染物质反应形成凝聚体。混凝池后设石灰投加池，在此投入石灰来进行软化反应以去除暂时硬度。

3.2.1.2 絮凝

发生在絮凝池的絮凝是一种物理机械过程。在这过程中,物理搅拌和分子间力使絮凝体增大以利于泥水分离。在絮凝池投加阴离子高分子聚合物作为助凝剂可起到吸附架桥作用以强化絮凝效果。

3.2.1.3 沉淀和污泥浓缩

沉淀部分采用斜管沉淀池,其上升速度为可达12m/h左右。在这个速度下沉淀池仍可以得到良好的沉淀效果。斜管的长度为1.15m,它的安装倾度和水平方向呈60度,斜管的剖面是六边型。污泥浓缩区底部设有带有浓缩功能的刮泥机,把剩余污泥刮入泥斗,部分污泥连续回流至石灰投加池,部分剩余污泥定期由排泥泵抽出送至泥处理系统,进行脱水处理。

3.2.1.4 pH 调节及后混凝

上清液由集水槽系统收集,进入后混凝池,在此投加混凝剂通过快速搅拌器的搅拌进行后混凝反应,提高后续的过滤效率,并通过投加硫酸调整pH。

3.2.1.5 优点

1) 处理工艺组合一体化,水利负荷高,占地小。沉淀区上升流速可达10~25m/h,占地为常规沉淀技术的1/4~1/10,节约土建造价,适合用地紧张的项目。

2) 排泥浓度高。一般情况下,排泥浓度在50~80g/L,在石灰软化时可以高达100~400g/L,完全满足直接脱水的要求,无需再建浓缩池。

3) 抗负荷变化能力强。得益于污泥回流功能,其反应区的SS高达几千ppm,适应水质变化能力强,在进水水质变化较大的情况下能起到很好的缓冲作用,而出水水质基本不受影响。

4) 节约药剂使用。由于污泥回流可以回收部分药剂,而且污泥回流使得污泥和水的接触时间较长,絮凝反应更充分,其耗药量低于其他的沉淀装置。

3.2.2 滤池工艺及优点

滤池采用带长柄滤头的气水反冲快滤池。主要有如下特点:

3.2.2.1 采用重力过滤。

3.2.2.2 滤料采用单一过滤介质,即砂层,位于鹅卵石垫层的上面,并且配有长柄滤头,反冲后不会乱层。

3.2.2.3 采用气水反冲洗。

3.2.2.4 滤池水位精确控制

3.2.2.5 优点

1) 砂的粒径是经过精心筛选确定的,确保悬浮固体的渗透深度和水压头损失保持均衡。

2) 采用较大的砂上水深(1米以上),以保持一个恒定的压力,避免释放溶解气体。

3) 气水冲洗工艺可防止滤料膨胀,防止砂的损失,并减少耗水量。同时可阻止泥球的产生。

4) 运行稳定,出水水质安全。

4 物化-生化组合工艺的污水处理站设计

4.1 物化-生化组合工艺流程确定

经对三种源水的分析,确定采用物化-生化组合工艺,该工艺主要包括一个预处理系统和三个核心处理单元。

预处理系统主要包括三部分:第一部分冷轧厂区生活污水采用“A/O”工艺进行预处理,前文中已经提到;第二部分西沙河水考虑到雨季泥沙大的影响采用旋流沉砂池进行预处理;第三部分经预处理后冷轧厂区生活污水、西沙河水汇合冷轧厂区一般性生产排水通过粗、细格栅并经过调节池均质调节后提升进入物化-生化组合工艺核心处理单元。

三个单元分别为高密度沉淀池、高效滤池以及MBBR生物反应池。三个核心单元如何组合呢？显而易见，经预处理后的冷轧厂区生活排水及厂区一般性生产排水，可以直接通过高密度沉淀池+高效滤池的物化处理单元处理。需要进行生物处理的主要就是西沙河水，那么是将西沙河水单独进行生物处理还是并入到另两种水中统一进行处理需要我们进行方案比较确定。

根据2008年到目前西沙河的水质进行分析，西沙河水的硬度较高，总硬度普遍达到了300-400mg/L，峰值达到400 mg/L以上。在冬季温度较低的情况下，系统维持正常运行需要对水温进行升温同时曝气量增加，这些不利因素都使结垢成为可能。在此高硬度的水质的长期运行下，反应池的填料一旦产生结垢，就会使系统崩溃。针对这种情况，MBBR生物反应池之前必须要进行除硬度的预处理。同时冬季从西沙河中取水的水温很低，为保证生物反应的正常运行，必须考虑给水加温的工艺设计，在钢铁厂内我们采用蒸汽加热的方式。

两种方案比较如下：

方案一：西沙河水单独进行生物处理，处理后水进入高效滤池。此方案优点主要是生物处理核心单元投资较少。缺点是需要单独增加一套去除硬度的预处理系统及配套加药系统；冬季蒸汽用量较多；处理系统耐冲击负荷较低；整个系统占地面积较大；处理系统操作运行维护管理复杂。

方案二：MBBR生物处理单元设于高密度沉淀池与高效滤池之间，三种水混合后统一在高密度沉淀池先去除硬度，然后出水进入MBBR生物反应池进一步去除有机物。此方案缺点生物处理核心单元投资较高。优点是避免结垢风险；系统配置简单，操作运行维护方便；因另两种水在冬季时温度较高，混合水的蒸汽耗量较小；系统占地面积小；处理系统耐冲击负荷能力强。

综上经综合比较以后，确定采用三种水统一经过高密度沉淀池然后到MBBR生物反应池最后到高效滤池的物化-生化组合核心工艺流程。

4.2 污水处理站工艺流程简介及核心处理构筑物设计参数

4.2.1 综合污水工艺处理流程简介

污水工艺处理流程主要包括预处理系统及三个核心处理单元。污水处理站厂区生活污水预处理及高密度沉淀池的底流污泥通过泥浆泵送至泥处理间通过板框压滤机进行脱水处理，脱水后的泥饼含水率小于65%，然后用汽车送至迁钢公司环保产业园。

污水处理基本工艺流程简图：

经生活污水预处理的厂区生活排水+经旋流沉砂池预处理的西沙河水+厂区一般性生产排水→粗、细格栅→调节池→提升泵→高密度沉淀池→MBBR生物反应池→高效滤池→消毒→回用水池→供水泵→用户及深度脱盐处理。

4.2.2 核心处理构筑物设计参数

4.2.2.1 高密度沉淀池

高密度沉淀池共设两座，主要设计参数见表5：

4.2.2.2 MBBR 生物反应池

MBBR生物反应池一座，主要设计参数见表6：

表 5 高密度沉淀池主要性能参数

反应及控制条件	根据来水自动控制
各反应池搅拌机功率	快速搅拌器（混凝池）：2.2kW 快速搅拌器（石灰注射池）：2.2kW 慢速搅拌器（絮凝池）：0.37kW
各反应池的停留时间	混凝池：2.08 min 石灰注射池：2.9 min 絮凝池：20 min
上升流速	10.75 m/h
排泥浓度	含水率约为 90.1%

表 6 MBBR 生物反应池主要性能参数

MBBR 池	总有效容积：2077 m ³ 直径：21m 数量：416 m ³
填料	填充率：20% 比表面积：500 m ² /m ³ 类型：中气泡（穿孔管）
MBBR 反应池	总面积：347m ² 材质：SS304
曝气系统	鼓风机：1900m ³ ·hr ⁻¹ ，风压 8 米，二用一备

4.2.3.3 高效滤池

高效滤池一座共分四格，主要设计参数见下表：

表 7 高效滤池性能参数

滤池格数	4
滤料级配及厚度	砂滤料：有效粒径 D=1.35mm，厚度 2m 滤池垫层：砾石 5-7mm，厚度 0.1m
平均流量下正常滤速	13.94 m·h ⁻¹
平均流量下强制滤速	18.58 m·h ⁻¹
反洗水强度	30m/h 混合冲(气/水) 75m/h 水冲
反洗空气强度	55Nm ³ /h 气冲：1min
反洗时间	混合冲(气/水)：8 min 水冲：7 min

5 物化-生化组合工艺核心处理单元的改进

5.1 高密度沉淀池做如下改进：

5.1.1 增加油及浮渣撇除设施，提高出水水质；

5.1.2 原污泥循环及排放泵采用共用设置，鉴于污泥循环泵以及污泥排放泵的性能工况不同，两种泵分别独立设置。

5.1.3 增加一些有利水力条件的配件，如进水处的导流板、搅拌器下方的十字板等，确保更好的水力条件。在此基础上取消了原来的后混凝及回流污泥投加的絮凝剂，很大程度上节约了药剂用量，并更有利于后续膜法的深度处理。

5.1.4 高密度沉淀池增加沉淀池之间的通廊，既方便了管道的布置，同时有效利用了絮凝池之间的空间（做仪表间用）。与京唐的同类工程相比，管道布局更合理，构筑物整体设计很美观。

5.2 MBBR 生物反应池做如下改进：

5.2.1 MBBR 生物反应池用鼓风机与高效滤池鼓风机统一布置，节省了空间，改善了环境；

5.2.2 MBBR 生物反应池设超越措施，在西沙河水质较好的情况下可直接超越，处理系统更灵活。

5.3 高效滤池做如下改进：

5.3.1 最初设计的 V 型滤池，滤料厚度一般为 1m，实际运行表明其截污深度只有滤料厚度的 30%，

滤池运行周期较短,反洗比较频繁。对此我们加大滤池的滤层厚度(2m),选择合适的滤料(有效有效粒径1.35毫米),能使矾花更深地渗入过滤介质中从而增大截污能力(截污深度可达滤料厚度的70%以上),并延长过滤周期。在此改进下,滤池的正常滤速达到(13-20 m/h)。

5.3.2 采用更高的反冲洗强度(流量和压力),确保滤料的彻底清洁。在反洗时不需表面扫洗。

5.3.3 滤池设于室内,减少了由于阳光照射滋生藻类的影响。

5.3.4 较高的滤速使滤池的占地面积较小,节约了投资。

5.3.5 较高的滤速可达到深层过滤,增加了过滤周期。同时高速过滤不会产生短流和滤层负压,出水水质更安全。

5.3.6 增大滤池反洗水泵间,增加滤池反洗储水池使滤池反洗排水做到滤池反洗水连续有压排放,提高了预处理污水调节池的高液位降低了调节池的埋深。

6 结论和建议

对微污染地表水及钢铁厂工业废水综合处理并回用于钢铁厂作为工业水源在首钢尚属首次,它既节省的工业企业的生产新水耗量又减轻了市政污水治理的负担,有很大的经济和社会效益。实践证明微污染地表水与钢铁厂的工业废水采用物化-生化组合处理工艺是可行的,其出水水质可达到设计的效果。针对不同的工况选用合适的物化-生化组合方式尤为重要。建议在将来的设计中能充分理论联系实际,结合钢铁工业废水的特点及每个项目的实际工况,开“源”节流,结合实际运行中的存在问题,对物化-生化组合工艺不断的充实和完善,使之有更广阔的应用前景并达到更好的处理效果。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准.室外给水设计规范 GB50013-2006
- [2] 中华人民共和国国家标准.室外排水设计规范 GB50014-2006
- [3] 北京市环境保护科学研究院等主编.三废处理工程技术手册废水卷.北京:化学工业出版社,2000
- [4] 张自杰主编.废水处理理论与设计.北京:中国建筑工业出版社,2003
- [5] 王笏曹主编.钢铁工业给水排水设计手册.北京:冶金工业出版社,2002

Abstract: Energy and environmental protection have become the two subjects of the sustainable development of the world nowadays. In view of the serious situation of water-resource increasing lack and water pollution in our country, the treatment and reuse of the waste-water is imminent. Shougang intends to build a cold rolling plant in Qian'an Iron and Steel Co., Ltd., Hebei. Considering the water lack of this region, it's decided to build a water (sewage) treatment station in the factory after the environmental evaluation and demonstration, so as to collect the general production drainage, the living drainage and the surface-water of Xisha River (located in the west of the factory) as the industrial water supply and reuse them in the process of the cold rolling plant. Through the analysis of the water quality above, it's decided to adopt the combined treatment process of physico-chemical and biochemical. High-density sedimentation tank, MBBR and efficient filter will be used as the treatment units of the main process.

Keywords: combined treatment process of physico-chemical and biochemical; high-density sedimentation tank; MBBR; efficient filter