宝钢厂区生活污水处理与回用的实践

兰淑澄[1]，陈淑桂[2]，齐吉山[1]，司亚安[1]，路好华[2]，周建平[2]，陆泉宝[2]
（1. 北京市环境保护科学研究院，北京，100037；2. 宝钢(集团)公司，上海，201900）

摘　要：本文介绍了宝钢建成的厂区洗浴污水及综合生活污水分别采用过滤－生物活性炭技术建成 11 套处理装置及 SBR＋过滤－生物活性炭技术建成 12 套处理装置，从几年的实际运行情况可知：运行稳定、效果良好，处理出水已小规模作为低质工业用水及市政杂用水再利用，取得了很好的社会环境效益及明显的经济效益。

关键词：厂区生活污水；处理；回用

随着宝钢（集团）公司的建设与发展，企业的生产及生活用水量日益增多。由于污废水的排放对周围环境的污染也日趋加剧，为保护环境使宝钢走可持续发展的道路，宝钢工程指挥部根据国办发[1991]文件精神，自 1993～2001 年先后将宝钢三期工程的厂区洗浴污水及一、二期工程的厂内综合生活污水，决定采用北京市环境保护科学研究院设计的生物活性炭污水深度处理技术与其他物化及生化技术相结合，以及采用新型远程监控自动化运行的污水处理工艺，建成 11 座洗浴污水处理装置，合计日处理量为 5700 m^3，建成 12 座综合生活污水处理装置 12 座，合计日处理量 10 500 m^3。装置建成后由宝钢厂容绿化公司负责运行管理，处理效果良好，出水水质均达到国家相关标准及宝钢的要求，出水已作为厂区绿化及市政杂用，获得较好的环境效益及经济效益。

1 宝钢厂区生活污水来源及特性

1.1 厂区洗浴污水

厂区洗浴污水主要来自宝钢三期工程的炼钢、冷轧、煤焦等十多处厂内浴室的洗浴废水。

由于厂区浴室每天开放时间最多为 5.5 小时，因此排水为间歇排放，瞬间流量大、占厂区生活污水总量的比例高。根据各厂区的浴室规模不同，排水量约为 300～800 m^3/d。而且洗浴污水中污染物浓度也较低。

1.2 厂区综合生活污水

厂区综合生活污水主要来自宝钢一、二期工程的食堂、卫生间及浴室等，由各厂集中排放点排出，流入各自的泵站，原为不处理直接排放。

由于各厂排放点分散，全宝钢集中处理存在一定的困难。

2 宝钢厂区生活污水处理与回用工程

2.1 洗浴污水处理工程

1993 年首先在宝钢钢管分厂，采用自动控制无人操作的过滤－生物活性炭技术，建成一套处理规模 500 m^3/d 的厂区洗浴污水处理装置，该技术通过了冶金部技术成果鉴定。随后在宝钢电炉、热轧等厂，分别建成 300 m^3/d、500 m^3/d、800 m^3/d 三种不同规模的十套处理装置。以下重点介绍钢管分厂的应用实例。

① 设计进出水水质

表 1 为钢管分厂洗浴污水设计进出水水质。

表 1　洗浴污水处理设施进出水水质

项　　目	设计进水水质	设计出水指标	备注
pH 值	6.9 ~ 7.5	6.5 ~ 8.0	
SS (mg/L)	50	<10	
COD_{Cr} (mg/L)	120	<40	宝钢要求指标
BOD_5 (mg/L)	70	<10	

② 处理工艺流程及特点

图 1 为钢管分厂洗浴污水处理工艺流程示意。

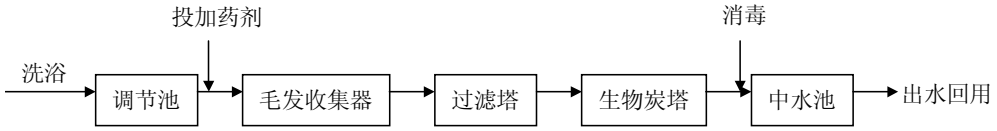

图 1　宝钢钢管分厂洗浴污水处理工艺流程示意

处理工艺流程具有以下特点：

(1) 工艺流程简单、运行稳定、处理效果良好，可做到全自动控制、除配药及巡回检查外，基本无人操作；

(2) 过滤装置采用聚乙烯颗粒轻质滤料过滤，滤料机械强度好，反冲频率低，反冲洗水量少，节省动力消耗；

(3) 采用活性炭吸附与生物降解协同作用的生物活性炭（BAC）技术，对污水中有机物的吸附容量较单纯活性炭吸附提高 4 ~ 20 倍，大大延长活性炭的使用周期，降低运行成果，并可去除单独使用活性炭和生物法时不能去除的污染物；

(4) 处理出水可达到城市杂用水的水质标准，实现污水资源化。

③ 主要处理装置及占地

(1) 过滤塔。采用升流式常压过滤塔，塔径 D=2 m，聚乙烯颗粒轻质滤料层高 H=1.0 m。滤速 LV=7 m/h，每天采用气水联合反冲一次。

(2) 生物炭塔。采用降流式生物炭塔，塔径 D=2.6 m，空塔速度 LV=4 m/h，内装填宁夏太西煤为原料的优质水处理炭（Φ1.5 mm、H=3 mm 柱状炭，碘值＞900），炭层高度 Hc=2.0 m，炭层供氧气水比 4 ~ 6∶1。每天气水联合反冲一次炭层，反冲强度 10 $L/m^2 \cdot s$。

(3) 采用 PLC 控制系统，可作到启动、运行、反洗、停车等完全自动控制操作。

(4) 总占地面积 200 m^2。因可用地面积有限，过滤塔及生物炭塔建在调节池及中水池上部。

(5) 设施总装机容量 40 kW。

④ 运行结果

该套装自 1993 年初投产以来，直到 1997 年 6 月的运行结果可知，操作简单、无人值守，出水 COD_{Cr} 平均在 20 mg/L 以下，BOD_5 平均在 5 mg/L 以下，合成洗涤剂平均在 0.05 mg/L 以下，生物炭塔内的活性炭运转三年才更换一次。表 2 为钢管分厂过滤－生物炭处理洗浴污水装置运行结果。

表 2　过滤－生物炭处理洗浴污水运行结果

	pH	SS (mg/L)	COD_{Cr} (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	合成洗涤剂 (mg/L)
进水	6.8 ~ 6.9	31.6 ~ 344.0	53.9 ~ 425.6	15.3 ~ 40.6	0.24 ~ 0.77

出水	6.2 ~ 7.2	4.8 ~ 12.4	16.6 ~ 33.2	1.36 ~ 8.0	0.03 ~ 0.11
去除率(%)		74.5 ~ 97.9	57.7 ~ 94.2	64.1 ~ 96.7	81.8 ~ 96.6

从 2004 年 5 月 21 日对厂区 7 套洗浴污水处理装置处理出水取样分析结果可知：COD_{Cr} 为 8.10 ~ 40.48 mg/L、SS 为 1.00 ~ 13.30 mg/L。

⑤ 投资及运行成本

(1) 投资估算。初步设计时过滤—生物炭洗浴污水处理装置投资（未包括土建部分）估算为 37.7 万元（1993 年设计）。

(2) 运行成果。初步设计时估算包括电耗（0.34 kW·h/(m^3 水)）、药剂费、活性炭更换费用（按一年更换一次）及少量人工费用，为 0.33 元/m^3 水)，不投加絮凝剂时为 0.186 元/m^3 水。从几年实际运行结果可知：由于絮凝剂未投加，药剂费较初步设计低。活性炭使用近三年才更换一次，人工费是 11 装置统一设 1 人管理，因此实际运行成果（不包括折旧）主要是电耗费用，约为 0.3 元/m^3 水。

2.2 厂区综合生活污水处理工程

1999 年在宝钢 9#泵站，采用 SBR+过滤+生物炭处理工艺，建成一套处理规模为 800 m^3/d 的厂区综合生活污水处理装置，投产后运行效果良好，随后在一、二期工程的各厂区泵站又分别建成 11 座综合污水处理装置。以下重点介绍 9#泵站综合生活污水处理应用的实例。

① 设计进出水水质

根据宝钢各泵站污水水质监测记录，以及宝钢对出水的要求，厂区综合生活污水处理装置设计进出水水质见表 3。

表 3　综合生活污水处理装置设计进出水水质

水质指标 / 项目	设计进出水水质要求	设计出水水质要求	中水标准	备　注
pH	6.9 ~ 7.5	6.5 ~ 8.0	6.5 ~ 8.0	
SS (mg/L)	<150	<10	<10	
COD_{Cr} (mg/L)	<400	<40	<50	宝钢要求标准
BOD_5 (mg/L)	<250	<10	<10	
油 (mg/L)	<10			必须首先在排放点进行预处理
总大肠菌群数 (个/L)		<3	<3	必须进行灭菌消毒方可达到

注：进水中油应＜10 mg/L，因此必须首先在排放点进行预处理方可排入处理系统。

② 处理工艺流程及特点

厂区综合生活污水处理工艺流程示意见图 2。

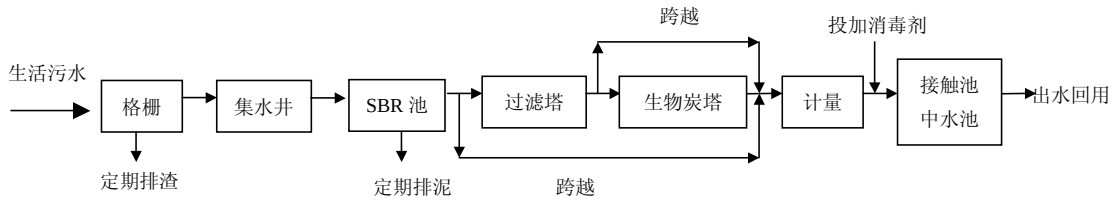

图 2　综合污水处理工艺流程示意图

处理工艺特点：

(1) 该工艺是由 SBR 法及生物炭法两种污水处理技术为关键技术组成的处理工艺，其中 SBR 是

专门针对小规模污水处理技术要求开发的新型反应器，具有设备简单、运行稳定可靠、去除率高：BOD＞95%、COD＞85%、SS＞95%，处理出水水质达到中水标准；

(2) 由于系统产生的剩余污泥量很少，可基本不设置污泥处理设施，而采用运转较长时间（一年以上）定期清理的办法，节省了建设费及运行费用；

(3) 整个处理系统为智能化全自动控制运行，基本无人操作；

(4) 与常规活性污泥法+三级处理工艺相比，建设费及运行费用均较低，而且维护管理方便。

③ 主要处理构筑物及装置

(1) 集水井一座。有效容积 123 m^3，地下式。

(2) SBR 池三座。总有效容积为 690 m^3。

(3) 中间水池一座。有效容积 15 m^3。

(4) 过滤塔。升流常压轻质（聚乙烯颗粒）滤料过滤塔一座，塔径 D=2.4 m，滤层高 H_f=1.0 m。

(5) 生物活性炭塔。采用降流式常压塔一座，塔径 D=3.0 m，炭层高度 Hc=1.5 m，充填宁夏太西塔为原料的柱状炭(φ1.5 mm、H 3.0 mm、碘值＞900)。

(6) 接触池及中水池一座。有效容为 157 m^3（其中 41 m^3 为接触池）。

(7) PLC 自动控制系统及总装机容量为 68.5 kW 的电器系统。

④ 运行结果

9#泵站综合生活污水处理装置自 1999 年投产至今，运行稳定，处理效果良好。

(1) SBR 生物处理系统的各项运行技术指标：从几年的运行记录及生物监测可知：SBR 池的污泥浓度（MLSS）2.0 ~ 2.5 g/L、污泥沉降比（SV）8.7% ~ 11%、污泥容积指数（SV1）44.96、活性污泥中混合菌量（Qm）(145 ~ 175)×10^7 个/mL。

活性污泥中主要优势微型原生动物种群：小口钟虫（Vorticclla microstoma）1220 ~ 1340 只/mL、鞘居虫(Vaginicola)1236 ~ 1589 只/mL。这些微型原生动物的存在，说明 SBR 系统运行正常，与出水水质良好相一致。

(2) 处理效果

表 4 为 9#泵站处理设施运行效果。

表 4　综合生活污水处理设施处理效果

指标	pH	SS (mg/L)	COD_{Cr} (mg/L)	BOD_5 (mg/L)
进水	7.2 ~ 7.4	49.0 ~ 136.0	96.8 ~ 146.94	42.79 ~ 59.1
出水	7.4 ~ 7.8	0.6 ~ 0.8	8.0 ~ 14.28	2.7 ~ 5.0
去除率 (%)		95.9 ~ 98.2	90.3 ~ 91.7	88.3 ~ 95.4

注：表中数据为 1999 ~ 2000 年的平均数据。

随后建成的 11 套生活污水处理装置也同样是运行稳定正常、处理出水水质良好。表 5 为 2004 年 5 月 21 日对 12 套处理装置的出水抽样监测结果。可以看出，在这 11 套处理装置中大部分都已连续运行了三年以上。

表 5　厂区综合生活污水各处理装置出水水质

取样点 / 项目	P3A	P3B	P4A	P4B	P15	大区 35
pH	8.1	7.9	7.9	8.1	7.9	7.9
SS (mg/L)	2.6	3.2	1.2	3.2	3.0	1.0

COD_{Cr} (mg/L)	16.2	24.3	20.2	16.2	24.3	36.4
取样点 / 项目	大区 7	大区 14	大区 27A	大区 27B	钢管 9#	三高炉
pH	7.8	8.1	8.1	8.0	7.7	8.1
SS (mg/L)	1.7	2.2	3.3	3.7	0.6	7.0
COD_{Cr} (mg/L)	12.2	8.2	4.0	4.0	24.3	16.3

注：取样点中的代码均为厂区泵站的名称代码，其中的数据为 2004 年 5 月 21 日采样分析结果。

⑤ 投资与运行成本

(1) 投资

根据宝钢工程指挥部在 12 座污水处理装置建成后总结算，平均每套 800 m^3/d 综合生活污水处理装置投资为 146 万元（1825 元/m^3 水）。

(2) 运行成本

9#泵站处理装置初设计对设施运行消耗进行了估算：

电耗	0.72 kW·h/m^3 水	0.147 元/m^3 水
活性炭（按一年更换一次）	0.026 kg/m^3 水	0.156 元/m^3 水
人工费（按 0.5 人）		0.031 元/m^3 水
药剂费		0.38 元/m^3 水
总计（未包括折旧费）		0.714 元/m^3 水

根据 12 套装置投入使用后几年的实际运行统计，生物炭塔内活性炭为三年更换一次，有的装置至今尚未更换，因此活性炭更换的费用大大降低。药剂费也根据回用要求进行消毒，药剂费也较初设时低。因 12 套装置统一由 1 人管理，人工费也较初设计时估算的低。实际电耗为 0.5 kW·h/m^3 水，运行费（不包括折旧）为 0.4 ~ 0.5 元/m^3 水。

2.3 处理出水的回用及效益分析

① 处理装置出水的回用

根据宝钢厂容绿化公司生技设备科统计资料，两种共 23 套污水处理设施投产后的几年中，处理出水回用作为厂区绿化浇灌用水、钢管厂工业循环水的补充水，以及运输部洗车用水，同时铺设了回用管网，为回用的实施提供了有利条件。开始阶段其回用率约为 5%，其中：厂区绿化浇灌用水平均为 200 m^3/d；钢管厂工业循环水补充水平均为 400 m^3/d；运输部洗车用水平均为 200 m^3/d。

几年的处理及回用实践证明，针对两种厂区污水采用的两种处理工艺是成功的，处理出水作为低质工业用水以及市政杂用水是完全可行的。

目前宝钢厂区绿化种植面积 860 万 m^2，道路面积 400 多万 m^2，厕所 1400 多个。并考虑生产线上的钢碴冷却、降尘等以及其他低质工业用水，都可以用中水（处理后的生活污水）替代新鲜水（自来水）。因此，宝钢（集团）公司计划下阶段通过技术改造及管道敷设，将经 SBR+过滤+生物炭+消毒处理后的 5000 m^3/d 生活污水出水作为低质工业用水。目前在夏季用水高峰时，23 套处理装置出水 16000 m^3/d 已全部回用作为市政杂用水及低质工业用水。是符合“推进清洁生产，实行全过程污染控制，不断减轻环境负荷，建设世界一流清洁工厂，为改善地球生态作贡献”的宝钢环境战略方针的重要举措。

② 回用效益分析

表 6　宝钢污水回用效益分析及预测

效益分析 / 回用规模	节水效益 (万 m^3/年)	减污效益* (kg/年)	经济效益(万元/年)			
			省去排污费	省去生产用水费	运行耗电费	可节省的总费用
800 m^3/d	2.92	104	20.4	32.1	10.2	42.3
5000 m^3/d	18.25	650	127.7	200.7	63.9	264.5
16 000 m^3/d	58.4	2080	408.8	642.4	204	847.2

注：1.*指 COD_{Cr} 负荷，按进水平均 150 mg/L，出水平均 20 mg/L 计；

2.排污费按 0.7 元/m^3 污水计；生产用水费按 1.10 元/m^3 水计；处理电费按 0.35 元/m^3 污水计。

由表 6 可以看出，处理后生活污水的回用有很好的节水减污的社会及环境效益，以及明显的经济效益。

3 结论

① 对大型企业，除不断提高工业用水的复用率、循环利用率外，考虑生活污水处理后作为中水回用，可减少污染、保护环境，进一步提高企业的节水率，并可取得明显的经济效益，是符合可持续发展的战略方针的重要举措。

② 过滤—生物活性炭处理技术处理低污染的洗浴污水，具有处理工艺简单、运行稳定、处理效果良好、运行成本低及易于自动控制等优点，从 11 套处理装置几年的运行情况看是成功的，出水作为中水利用是经济可行的。

③ SBR 生物处理与过滤—生物活性炭污水深度处理技术的组合，是两种先进成熟技术的组合，处理综合生活污水具有运行稳定，保证出水水质，易于自动控制、活性炭吸附周期长、运行成本低等优点，从已投产的 12 套处理装置运行情况看，在进水浓度上尚有潜力，对于中浓度生活污水处理，出水作为中水再利用是经济可行的工艺。

④ 采用 PLC 自动控制系统可实现以上两种处理工艺的完全自动控制，基本无人操作。采用新型远程监控，可将所有泵站及处理装置的运行情况集中显示，运行中出现的故障可及时显示报警，及时修理和排除，确保运行的安全和处理出水的达标，是多座泵站、多套处理装置自动正常运行不可缺少的自动化系统。

参考文献

[1] 兰淑澄. 过滤—生物活性炭技术处理洗浴污水. 环境保护, 2002, N8.

[2] 兰淑澄. 生物活性炭技术在污水处理及再利用中的应用. 给水排水, 2002, N12.