

人工湿地处理永定河微污染河水试验研究

田景宏¹, 黄柄彬²

(1.北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083; 2.北京水利科学研究所, 北京 100044)

摘要:采用2种不同工艺人工湿地对永定河微污染河水净化处理,长期监测表明,植物塘人工湿地工艺对COD平均去除率为26.3%,砂滤连续人工湿地工艺对COD平均去除率为25.1%;两种工艺SS去除率均为65%;植物塘人工湿地工艺TN去除率平均29%,砂滤人工湿地工艺平均21%;TP去除率在植物塘湿地工艺中平均31%,砂滤湿地工艺中平均38%。湿地中溶解氧浓度实测显示,植物塘湿地工艺形成相对较好为好氧区、兼性区和厌氧区,有利于水体的硝化和反硝化脱氮反应。砂滤人工湿地工艺,通过填料、植物和沉淀过滤作用,TP去除率高。

关键词:不同人工湿地工艺;污染物;去除率

中图分类号:X522

文献标识码:A

文章编号:1000-3770(2009)06-082-05

人工湿地是由基质、植物和微生物组成,通过物理、化学和生物作用达到净化水质效果的生态系统。人工湿地在我国的研究应用不断扩大和深入,与传统工艺相比,具有建设投资小、运行维护费用低、节省能源等优点。根据水在湿地中的不同流动方式,湿地分成表面流湿地、潜流湿地和垂流湿地,三种不同湿地类型氧化塘、曝气生物滤池、砂滤等组合,形成不同组合工艺的人工湿地系统,如石家庄陆军学院采用曝气生物滤池加表面流人工湿地工艺处理生活污水^[1];沈阳满堂河污水生态处理试验厂污水经预处理、沉淀池、潜流人工芦苇湿地、表流人工芦苇湿地,达标后排^[2];华东师范大学的周炜等针对氮磷污染严重的太湖水,采用垂流、潜流、表面流湿地处理工艺^[3];邓辅唐对入湖污染河水经氧化塘、一级表面流湿地、二级氧化塘、二级潜流湿地、集水渠、景观水塘逐级处理^[4],各种人工湿地工艺均取得较好的处理效果。目前关于人工湿地的研究大多局限于单一湿地类型的去除效果研究,较少进行不同类型人工湿地,复合砂滤等措施处理效果的比较。

由于点源、面源、内源污染,官厅水库出现NH₄⁺-N、COD、大肠杆菌、TN、TP等污染指标超标,水库富营养化发生^[5],严重影响了北京城市供水和工农业发展需要。因此,在官厅水库微污染河水治理示范研究中,采用两种不同工艺的人工湿地(植物塘人工

湿地系统、砂滤人工湿地系统),以期获得较优的工艺方式。

1 材料与方法

1.1 官厅水文特征和进水污染物浓度

官厅流域多年平均降雨量为350~500mm,且时空分布不均,80%天然降水量集中在6~10月,年内河流有短暂断流现象。2004年实测永定河流量和水库月平均气温见图1,最高气温为37℃,最低气温为零下19.6℃,最小月平均流量为0.83 m³·s⁻¹,年实际降雨量为487mm。

水库上游水质主要受到洋河、桑干河两大支流影响。调查表明,上游永定河水系入河排污口共131个,污染物主要来自于工业生产和生活污水排放,主要污染物为COD、SS、TN、TP等^[6]。在人工湿地工艺前,利用水库现存长约12km、宽约120m的自然库沟对水体进行初步沉淀和净化,净化后部分水体经引水渠、泵站进入两种不同工艺人工湿地处理单元,实测进水水质结果见表1,进水水质春夏季多为III~V类(GB3838-2002),秋季由于降雨量增加,农业影响减少,水体为II~III类。

1.2 不同人工湿地工艺设计

砂滤人工湿地工艺分两部分,水经主配水井首先进入砂滤池,砂滤池填放不同的粒径组合的砾石填料,共2池,经砂滤池过滤后,水进入人工湿地单元,湿地

收稿日期:2008-11-04

基金项目:中德合作官厅水库水体恢复项目(2002DFG00023)

作者简介:田景宏(1967-),男,工程师,博士研究生;研究方向为人工湿地在污水处理中的应用;E-mail:otjh2000@yahoo.com.cn。

表 1 人工湿地不同季节进水浓度范围
Table 1 Influent concentration of pollutants seasonally

季节	NH ₄ ⁺ -N/mg·L ⁻¹	TN/mg·L ⁻¹	TP/mg·L ⁻¹	COD/mg·L ⁻¹	SS/mg·L ⁻¹	pH	水温 /℃
春季	4.28~18.10	9.6~21.0	0.08~0.28	6.48~11.55	6.00~71.00	8.25~9.08	4.30~17.80
夏季	0.04~3.09	0.70~8.60	0.11~0.64	4.82~7.71	17.00~21.00	8.05~9.07	22.70~25.10
秋季	0.04~0.08	1.40~1.80	0.08~0.14	4.77~5.85	7.00~9.00	8.77~9.38	1.20~17.30
冬季	22.40~29.30	0.80~38.00	0.18~0.50	5.44~24.58	5.00~6.00	8.41~9.51	0.70~3.90
监测次数 / 次	17	15	17	17	11	17	17

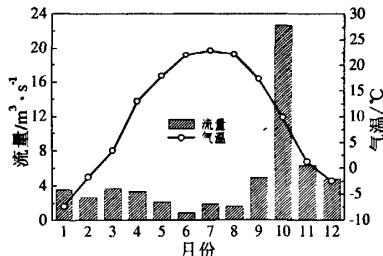


图 1 永定河 2004 年平均流量和区域平均气温
Fig.1 The mean discharge of Yongding river and the mean temperature in the region in 2004

单元长 24 m、宽 14 m、深 1.7 m, 有效深度 1.2 m, 边坡 1:2, 湿地坡度 0.2%。湿地用集水花管布水和集水, 分三级, 湿地填料采用 20~30 mm 粒径的砾石, 湿地植物为芦苇。湿地布设曝气井, 当一级湿地处理水质不达标时, 可对水体进行曝气处理, 经处理后水体最后排入官厅水库, 工艺流程如图 2 所示。

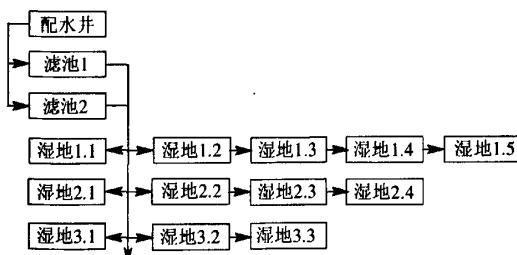


图 2 砂滤池人工湿地工艺布设
Fig.2 Flow chart of constructed wetland from sand filter+wetland

植物塘人工湿地工艺为串联设计, 如图 3 所示。水经主配水井进入挺水植物塘, 依次进入一级人工湿地

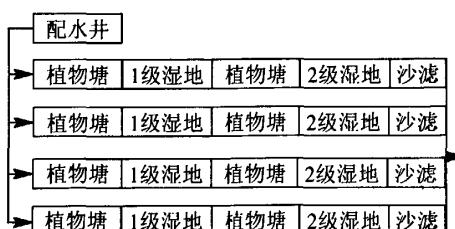


图 3 植物塘人工湿地工艺布设
Fig.3 Flow chart of constructed wetland from plants pond+wetland

(30 m×30 m×1.2 m)、水生生物塘、二级人工湿地和砂滤池, 处理后水体排入官厅水库, 湿地填料为 20~30 mm 粒径砾石, 底部做防水设计, 布水花管在人工湿地前端, 湿地种植芦苇。

1.3 数据监测分析方法

在人工湿地中布设多个水质监测点, 定期取样分析, 物理指标 DO、水温、pH 等采用便携式 WTW 监测仪进行现场监测。COD、TN、TP 采用 WTW 多指标监测仪监测。

2 结果与讨论

2.1 不同人工湿地工艺 COD、SS 去除效果

对 COD、SS 污染物浓度进行了连续监测, 具体监测结果如表 2、表 3 所示。3~5 月 COD 的进水浓度为 6.48~11.55 mg·L⁻¹, 6~8 月为 4.82~7.71 mg·L⁻¹, 9~11 月为 4.77~5.85 mg·L⁻¹, 12~2 月为 5.44~24.58 mg·L⁻¹。植物塘人工湿地工艺实测 COD 最高去除率为 42%, 砂滤人工湿地工艺最高去除率为 71%, 在 17 次监测中, 植物塘人工湿地工艺 COD 平均去除率为 26.3%, 砂滤人工湿地为 25.1%; 植物塘人工湿地工艺 SS 平均去除率为 65%, 砂滤人工湿地工艺为 65%, 17 次监测中, 有 9 次 2 种湿地工艺对 COD 的去除率基本相同, 占到总样本数的 53%, 有 5 次植物塘人工湿地工艺的去除率明显好于砂滤湿地工艺, 占样本的 29%, 3 次砂滤湿地工艺去除效果明显好于植物塘人工湿地工艺。

两种工艺湿地对有机物去除效果总体相近, 主要通过生物膜、沉淀、植物吸收。砂滤人工湿地工艺, 经过砂滤过程, 水体均匀进入湿地前端, 湿地前端水体含氧量相对高, 微生物将利用这部分氧化分解有机物, 处耗氧过程。此过程主要可降解水中 COD、BOD 的浓度, 另一部分难降解的有机物将通过砂滤、沉淀作用去除; 植物塘人工湿地系统首先经植物塘, 植物塘大气富氧性好, 底部相对缺氧, 形成耗氧区和厌氧区, 植物的呼吸蒸腾、水面蒸发有利于有机物去除, 在人工湿地中生物膜起主要作用, 湿地后端多处于缺氧

表2 不同工艺人工湿地 COD 去除率
Table 2 Removal rate of COD from different process of constructed wetland

监测日期	COD						植物塘	砂滤
	进水浓度 /mg·L ⁻¹	出水浓度 /mg·L ⁻¹		去除率(%)		植物塘	砂滤	
		植物塘	砂滤	植物塘	砂滤			
2005-8-31	7.71	4.65	4.33	40	44			
2005-8-19	5.34	3.29	4.32	32	19			
2005-6-22	4.82	3.63	3.7	24	23			
2005-6-14	5.26	4.41	3.83	21	27			
2005-6-8	5.28	4.61	4.8	23	10			
2005-5-26	7.71	5.46	5.04	15	35			
2005-5-10	9.01	5.7	5.6	27	38			
2005-4-28	11.55	6.4	10.94	17	5			
2005-4-13	6.48	4.48	4.8	29	26			
2005-3-24	8.96	6.85	6.75	26	25			
2005-3-9	7.87	4.93	5.22	37	34			
2005-2-20	7.92	5.94	7.04	14	11			
2005-1-21	24.58	16.7	7.04	30	71			
2004-12-30	5.44	4.78	4.82	13	12			
2004-11-25	4.77	4	4.36	15	9			
2004-10-28	5.85	3.46	4.1	42	29			
2004-9-27	5.31	3.19	4.8	42	10			

表3 不同工艺人工湿地 SS 去除率
Table 3 Removal rate of SS from different process of constructed wetland

监测日期	SS						
	进水浓度 /mg·L ⁻¹	出水浓度 /mg·L ⁻¹		去除率(%)		植物塘	砂滤
		植物塘	砂滤	植物塘	砂滤		
2005-8-31	12	3	2	75	83		
2005-8-19	16	0	2	100	88		
2005-6-22	21	-	10	-	52		
2005-6-14	20	4	13	80	35		
2005-6-8	17	4	2	76	88		
2005-5-26	6	4	4	33	33		
2005-5-10	11	2	7	82	36		
2005-4-28	23	2	1	91	96		
2005-4-13	71	-	12	-	82		
2005-3-24	5	9	3	0	40		
2005-3-9	6	3	1	50	83		

的区域,有利于氮素物质的去除。两种湿地工艺 COD 的出水浓度均达到 I 类水标准。

2.2 TN、TP 去除效果比较

原水中 TN 大部分分测次处于劣 V 类水质, 监测最大 TN 浓度 $38 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最小 $0.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 氮化物冬春季主要以 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 形式存在, 夏秋季节主要以 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的形态为主。原水中 TP 浓度值大部分处于地表水 III 类标准, 实测最大 TP 浓度为 $0.64 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最小 TP 浓度 $0.08 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 处在地表水 II 类水质范围内。

两种不同人工湿地工艺 TN、TP 去除率如表 4、表 5 所示。从表 4、表 5 中可以看出, 植物塘人工湿地 TN 最高去除率为 86%, 砂滤人工湿地最高 85%, 均

出现在 2005 年 8 月 19 日。两种湿地工艺均出现过几次无处理效果现象, 植物塘人工湿地 TN 平均去除率 29%, 砂滤人工湿地为 21%。15 次监测结果中, 植物塘人工湿地 9 次 TN 去除率高于砂滤人工湿地去除率; 两种湿地系统对 TN 去除率均呈现季节变化影响, 6~8 月湿地最高去除率达 86% 和 85%, 相应湿地水温在 $22.70^\circ\text{C} \sim 25.10^\circ\text{C}$; 12~2 月最高去除率为 34% 和 39%, 相应湿地水温 $0.70^\circ\text{C} \sim 3.90^\circ\text{C}$; 3~5 月水温变化在 $4.30^\circ\text{C} \sim 17.80^\circ\text{C}$, 最高去除率为 44% 和 41%; 9~11 月, 水温 $1.20^\circ\text{C} \sim 17.30^\circ\text{C}$, 最高去除率 42% 和 50%, TN 去除率: 夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。

表4 不同工艺人工湿地 TN 去除率
Table 4 Removal rate of TN from different process of constructed wetland

监测日期	TN						
	进水浓度 /mg·L ⁻¹	出水浓度 /mg·L ⁻¹		去除率(%)		植物塘	砂滤
		植物塘	砂滤	植物塘	砂滤		
2005-8-31	1.1	0.4	0.6	64	45		
2005-8-19	0.7	0.1	0.1	86	85		
2005-6-22	4.2	3.1	4	26	5		
2005-6-14	5.6	4.2	4.6	25	18		
2005-6-8	8.6	4.7	5	45	42		
2005-5-26	9.6	7	8.3	27	14		
2005-5-10	13.5	7.5	8	44	41		
2005-4-28	12	10.6	11	12	0		
2005-4-13	15.2	15.3	15.5	0	0		
2005-3-24	18	17	18	6	0		
2005-3-9	21	18	18	14	14		
2005-2-20	25	24	21	4	16		
2005-1-21	38	25	23	34	39		
2004-12-30	0.8	1.2	1.4	0	0		
2004-11-25	1.7	1	1.3	42	50		

表5 不同工艺人工湿地 TP 去除率
Table 5 Removal rate of TP from different process of constructed wetland

监测日期	TP						
	进水浓度 /mg·L ⁻¹	出水浓度 /mg·L ⁻¹		去除率(%)		植物塘	砂滤
		植物塘	砂滤	植物塘	砂滤		
2005-8-31	0.64	0.47	0.23	27	64		
2005-8-19	0.28	0.14	0.37	50	7		
2005-6-22	0.11	0.12	0.13	0	36		
2005-6-14	0.14	0.08	0.12	43	14		
2005-6-8	0.26	0.15	0.12	42	54		
2005-5-26	0.11	0.05	0.1	55	9		
2005-5-10	0.1	0.07	0.05	30	50		
2005-4-28	0.08	0.15	0.05	0	38		
2005-4-13	0.15	0.06	0.05	6	67		
2005-3-24	0.28	-	0.15	-	46		
2005-3-9	0.2	0.21	0.16	0	20		
2005-2-20	0.18	0.3	0.16	0	11		
2005-1-21	0.5	0.15	0.13	70	74		

实测植物塘人工湿地工艺 TP 最高去除率 70%,

砂滤人工湿地最高 74%,日期均为 2005 年 1 月 21 日。植物塘人工湿地 TP 平均去除率 31%,砂滤人工湿地 TP 平均去除率 38%,后者好于前者,两种湿地 TP 去除范围在 0%~74%,且无明显季节变化特征。TP 去除主要取决于湿地填料,植物吸收和物理沉淀作用。砂滤人工湿地砂滤处在最前端,湿地芦苇生长茂盛稳定;植物塘人工湿地为植物塘加湿地复合系统,沉淀在植物塘的底泥易扰动,造成磷释放,可能导致植物塘人工湿地除磷效率相对低;砂滤人工湿地植物生长连续,对除磷过程起到促进作用。

2.3 溶解氧在处理过程变化比较

2005 年度 3~6 月 8 次 DO 实测结果如表 6 所示。由表 6 可知,DO 浓度最大为 $12.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (2005 年 3 月 24 日),最小为 $2.73 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (2005 年 6 月 22 日);4~6 月,砂滤人工湿地在 1 级湿地出水、2 级湿地出水及 3 级湿地出水的 DO 值大部分均小于 $0.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,仅有 2 次大于 $0.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,3 月 2 次实测中,整个湿地系统 DO 均保持较高水平。数据表

明,一般情况下人工湿地多处于厌氧条件下,湿地进水氧浓度高,处于耗氧过程,实现有机物降解,经砂滤人工湿地 2 级配水井增加曝气,系统也形成了连续好氧区、兼性区和厌氧区三部分,但总体上砂滤人工湿地以厌氧过程为主。植物塘人工湿地 DO 呈现波动变化,在一级植物塘中,DO 值处于最高状态,最高的值为 $11.57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,4~6 月 6 次实测一级湿地出水 DO 值 4 次小于 $0.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,二级植物塘大气富氧性明显,水体中 DO 值基本恢复到正常水平,二级湿地出水 DO 值再次降到较小范围。两种湿地工艺相比较,植物塘人工湿地好氧区、兼性区和厌氧区自然划分更明显。砂滤人工湿地以厌氧过程为主,由于人为增加曝气设施,也形成系列变化。这也符合上文中实测结果,植物塘人工湿地 TN 去除率较砂滤人工湿地 TN 去除率高 8% 的结论。

2.4 两种湿地工艺比较

通过 1 年多来的连续监测分析,两种湿地工艺的比较见表 7。

表 6 不同工艺人工湿地 DO 变化情况
Table 6 Change of DO in different wetland process

监测日期	砂滤人工湿地 DO/mg·L ⁻¹						植物塘人工湿地 DO/mg·L ⁻¹				
	主配水井	1 级配水井	1 级湿地	2 级湿地	2 级配水井	3 级出水	1 级植物塘	1 级湿地	二级植物塘	二级湿地	砂滤出水
6-22	2.73	0.08	0.11	0.07	3.03	0.08	5.15	0.12	2.67	0.12	0.37
6-14	3.72	0.08	0.09	0.11	3.36	0.08	5.97	0.16	5.2	0.11	0.51
5-26	5.38	0.17	0.11	-	-	0.1	4.85	0.19	3.08	0.22	0.18
5-10	7.24	0.15	0.14	0.1	5.76	0.49	6.96	0.18	8.16	0.21	0.24
4-28	11.69	0.12	0.13	0.12	4.11	0.11	10.15	0.23	3.55	0.14	0.12
4-13	7.77	0.16	0.17	0.17	8.34	0.76	9.49	0.26	6.97	0.22	0.17
3-24	12.26	6.63	1.17	-	11.1	6.25	11.57	4.19	10.4	8.47	4.23
3-9	9.91	2.31	2.10	-	10.33	7.53	9.79	3.54	8.16	5.84	4.51

表 7 两种人工湿地工艺的比较
Table 7 Comparison of two kind of constructed wetland

内容	植物塘人工湿地	砂滤人工湿地
有机物质去除效果	COD 平均去除率 26.3%	COD 平均的去除率 25.1%
悬浮物去除效果	SS 平均去除率 65%	SS 平均去除率 65%
TN 去除效果	TN 平均去除率 29%,受季节变化影响	TN 平均去除率 21%,受季节变化影响
TP 去除效果	TP 平均去除率 31%	TP 平均去除率 38%
湿地状态	湿地过程形成明显的耗氧区、兼性区和厌氧区	湿地的耗氧过程多发生在湿地前端,整个湿地系统多处厌氧条件下,通过人工曝气供给部分氧气
砂滤系统	植物塘人工湿地为后置砂滤,对湿地出水进行深度处理,砂滤为石英砂,易获得	砂滤人工湿地为前置砂滤系统,主要目的去除水中的悬浮物,防止湿地堵塞;砂滤层由不同粒径砾石组成,施工难度相对大,不易获取
冬季运行	冬季植物塘形成冰层,个别时间有冰拥现象,易对周边设施产生破坏	冬季运行时降低湿地水位地冻层以下,冬季运行正常,连续运行未见异常,运行多年未见结冰现象
大气富氧情况	大气富氧条件好	大气富氧相对较差
处理水力负荷	大	小
建设复杂度	小	砂滤分层难度较大
运营模式	唯一	多种运行模式,串联、并联等
运行费用	小	大,由于人工曝气系统耗电大
投资	小	大,主要由于不同粒径砂滤池,各个分配水曝气井、闸
景观效果	好	好
推广难度	易	相对复杂,主要是砂滤池配置

3 结 论

植物塘人工湿地系统、砂滤人工湿地系统对微污染河水处理均起到一定的作用，两种工艺对有机物和SS的去除效果基本相同，对营养物质TN、TP去除各有优势，经两种湿地处理的COD出水浓度，均达到地表水I类水的标准，TN的出水浓度达到地表水III类水质标准，TP达到地表水II类水质标准。

植物塘人工湿地组合系统，形成规律的好氧、兼氧和厌氧过程，DO浓度值在系统中呈现规律起伏变化，大气富氧能力强，可提高氮化物的去除效果。砂滤人工湿地系统，湿地以厌氧过程为主，前砂滤处理系统有助于悬浮物的沉淀，对防止湿地堵塞起预防作用，可提高湿地使用寿命，同时增强湿地除磷效果，湿地植物对营养物质去除起到作用有限。

植物塘人工湿地工艺，投资运行费用均较小且易于推广，但运行模式单一；砂滤人工湿地系统，通过配水井闸连接，有较灵活的运行模式。

参 考 文 献：

- [1] 钱人义,潘建通,等.复合人工湿地在处理生活污水中的应用研究[J].环境污染防治与设备,2006,7(1):85-88.
- [2] 王东,李岚波.人工湿地处理技术在北方城市污水处理中的应用[J].山西建筑,2006,33:172-173.
- [3] 周炜,谢爱军,等.人工湿地净化富营养化河水试验研究[J].净水技术,2006,25:35-39.
- [4] 邓辅唐.人工湿土净化滇池入湖河水试验研究[J].环境工程,2005(23):29-31.
- [5] 姜树君,王净.官厅水库水质污染状况及趋势分[J].北京水利,2003(2):31-32.
- [6] 杨志峰.官厅水库流域水资源可持续利用的经济发展模式研究[R].北京:北京师范大学环境研究所,2001:27.

STUDY ON THE EFFICIENCY OF DIFFERENT CONSTRUCTED WETLAND PROCESS FOR MICRO-POLLUTED RIVER WATER TREATMENT

Tian Jinghong¹, Huang Bingbin²

(1.School of Civil and Environmental Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China;

2.Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100044, China)

Abstract: The long-term monitoring results of different processes of constructed wetland shown that the efficiency of two kinds of constructed wetland is almost same in general. The average COD removal rate of the "plants pond+wetland" and "sand filter+wetland" is 26.3% and 25.1%, respectively. The SS removal rate is averagely 65% in each. The TN removal rate of "plants pond+wetland" is 29%, which is higher than removal rate from "sand filter +wetland" method (21%); in contrast, the TP removal rate of "sand filter+wetland" is higher than the removal rate of "plants pond+wetland", which are 38% and 31% in average. The process of "Plants pond+wetland" has created a favorable aerobic zone, transition zone and anaerobic zone, which is good for nitrification and de-nitrification. The wetland material, plants and sedimentation have played an important role for the removal of TP.

Keywords: wetland process; pollutants; removal rate

简 讯

GE帮助中国石化行业实现水资源的高效利用

上海赛科采用GE的现场水处理装置，成为引领中国石化行业环境标准的典范。随着中国正大力实行节能减排以减少工业企业对环境的影响，国内最大的石化企业-上海赛科石油化工有限责任公司（赛科）选择了隶属于GE能源集团的GE水处理及工艺过程处理集团为其度身定制的高效污水处理系统，该系统将位于全球一流的上海化工园区中的赛科生产基地。GE的现场污水处理装置将通过对水资源的高效利用来帮助赛科实现其标准的环境目标以及经济效益。

赛科的冷却塔污水回用项目的处理量达500 m³·h⁻¹，高品质的出水将被回用为锅炉补给水；作为该项目中的核心技术，GE的反渗透污水处理技术能帮助赛科实现每年降低清洁工业补水量约438万吨；该现场水处理装置将于2009年第四季度投入使用。

GE的一站式水处理系统的运行效率超过90%，不仅能够节约水资源，而且能够通过先进技术的应用实现快速的投资回报以及环境保护；该项目着实体现了GE公司绿色创想的承诺，即通过创新的解决方案来克服环境的挑战，最终帮助客户赢得有利的竞争优势。

通过高效回用污水，赛科能够实现在无需另外增加新鲜补给水的前提下提高产量；该项目将对中国需要实现污水回用以满足严格的环境目标的工业企业有着重要的借鉴意义。

(袁 雯)