

南口污水处理厂出水生态湿地净化工程

项目位置：昌平区南口镇七间房村南1公里

项目规模：1万吨/天

竣工时间：2010年9月30日

1.1 现状基本情况

1.1.1 区域现状

南口镇隶属于北京市昌平区，是北京市重点镇之一，位于昌平卫星城西北部7.5公里处，处燕山山脉和华北平原交接处。作为铁路交通枢纽和军事重镇，在不足百年的历史变迁中，南口镇曾经留下了许多全国知名的重要人物的足迹。

全镇总面积202.5平方公里，辖区有28个行政村，11个社区，总人口近10万人，常住人口72119人，户籍人口43804人，其中农业人口16766人。

1.1.2 南口污水处理厂简介

昌平区南口地区污水处理中心及配套管网工程是昌平区水务局承办的2008年昌平区政府重点工程、折子工程，工程建设地点位于昌平区南口镇七间房村西南。新建污水处理中心总处理能力3万吨/日。其中一期工程建设规模为2万吨/日，占地面积约为3.22万m²，包括3套污水收集系统，分别位于新建京包铁路北侧、一道河西侧和二道河东侧，污水收集管网总长度20.5公里，管材采用钢筋混凝土管。



图1 南口污水处理厂示意图

工程设计采用改良型氧化沟工艺，处理后的出水退至南口镇二道河，出水水质按照《水污染物排放标准》（DB11/307-2005）和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）两个标准中较严格的项目执行。

1.1.3 工程概况

南口污水处理厂湿地净化工程依托南口污水处理厂建设，工程包括人工湿地和自然湿地，其中人工湿地在南口污水处理厂东侧，利用现有荒滩地建设，自然湿地利用南口污水处理厂北侧、西侧、南侧采砂坑改造而成。工程建设后，形成500亩都市生态湿地，改变先前该地区的污水坑状况，改善了区域水环境质量，引来了多种候鸟栖息。

1.2 问题与需求分析

在流域开发力度，入河污染负荷持续增加，河流清水补水量少的条件下，由于城镇污水处理厂退水水质与河流水体功能要求水质有一定差距，城镇污水处理厂出水成为影响河流水质的主要因素之一。为实现流域水体功能达标的目的，需要开展郊区城镇污水处理厂出水深度处理技术研究，以解决污水处理厂出水满足河流水体功能要求的水质问题。

潜流型人工湿地是世界上应用范围最广泛的人工湿地，但应用过程中也暴露出一些缺点：如氧转移速率低，硝化效果不理想；生物和水力特性较复杂，加大了对其处理机制、工艺动力学和影响因素的理解难度；缺乏长期运行系统的详细资料，其设计运行参数不够精确；运行一段时间后，出现堵塞现象等。

综上所述，无论是人工湿地的布水方式、堵塞问题，还是冬季运行效果等，都在其用于处理污水时出现了一定的问题。因此，需要对人工湿地进行深入探讨研究，优化

人工湿地设计参数，寻找解决办法，开发适合地域特点、去除效率高、运行稳定的人工湿地。

1.3 设计目标与任务

在分析流域河流水质自然净化能力的基础上，利用河道周边坑塘、河滩、河湾和荒滩地构建强化型氧化塘、人工湿地、自然湿地，充分利用自然生态系统对水质净化功能，在城镇污水处理厂出水进入河道之前进一步削减污染负荷，可平衡污水处理厂深度处理成本和河流水体功能的水质目标之间的矛盾，使城镇污水处理厂深度处理与水体生态处理有机结合，再生水得到充分合理的利用。

通过人工湿地处理技术，构建针对城镇污水处理厂出水水质特点的湿地处理系统。结合湿地植物、基质和微生物特性分析，模拟湿地去污数学模型，为湿地设计提供参数，并应用于示范工程建设。

1.4 工程设计

1.4.1 工程规模

南口污水处理厂设计规模为20000m³/d，设计出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级B标准，现状实际处理量约为10000m³/d，出水水质优于设计标准。本工程以南口污水处理厂现状实际排水量为设计处理量，设计规模为10000m³/d，设计进水水质按照南口污水处理厂设计出水水质确定，见表1。

表1 工程设计进出水水质 单位: mg/L				
水质指标	BOD ₅	COD _{Cr}	氨氮（以N计）	TP（以P计）
进水水质	≤20	≤60	≤8（15）	≤1.0
出水水质	≤6	≤30	≤1.5	≤0.3

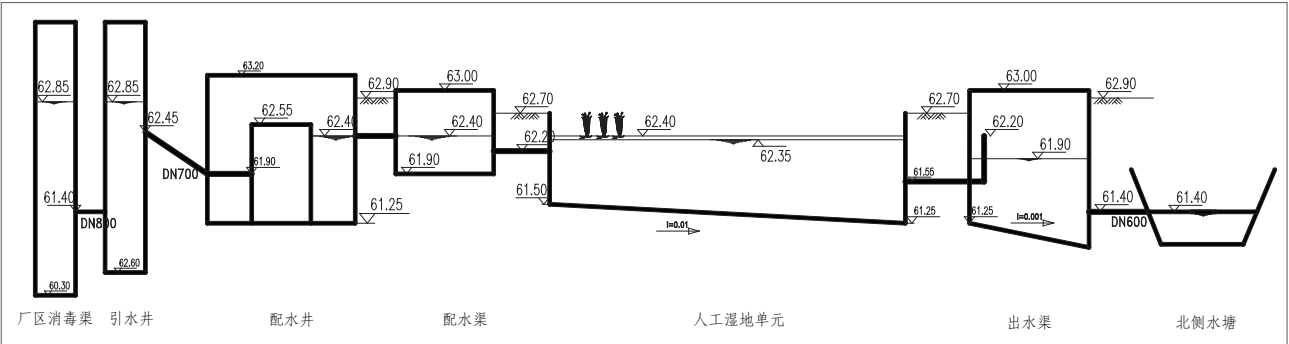


图2 南口人工湿地处理工程工艺流程图

处理工艺流程见图2，在厂内中水池将污水处理厂出水通过双壁波纹管引入分水井，根据人工湿地南区和北区面积，在分水井处将水分成南区6000m³和北区4000m³后分别进入南、北配水渠，经过并联运行的南区19个和北区12个湿地单元处理后进入出水渠，收集后的再生水统一向北排入北塘、西塘和南塘，最后返回关沟河，平面布置见图3。

1.4.2 关键技术

通过对人工湿地小试装置运行条件的试验研究发现，随着水力负荷的逐渐减小，其对各污染物的去除率逐渐提高，在最佳运行水力负荷为0.093m³/(m²·d)时，四种湿地对各污染物的去除效果均较好。在最佳水力负荷条件下，进水为城镇污水处理厂一级B排水，水平-沸石湿地对COD_{Cr}的去除效果最为明显，其平均去除率能够维持在70.8%；水平-沸石湿地表现出了对氨氮最佳的去除效率，其出水浓度范围维持在0.28~2.49mg/L，去除率范围为76.4~97.0%；水平-沸石湿地对TN的去除效率最高，其出水浓度基本维持在1.38~4.31mg/L，去除率范围则维持在74.8~93.1%；水平-石灰石湿地表现出了对PO₄³⁻-P和TP较高的去除效果，一直处于较为稳定的状态，其出水浓度范围为0.10~0.35mg/L，去除率则基本稳定在62.3~92.0%。从不同过水面积（水平方向）角度可以看出，四种湿地（特别是水平潜流湿地）的前部、中部和后部对各主要污染物的去除效果未呈现明显的规律。从不同基质高度（垂直方向）角度可以看出，人工湿地系统（特别是水平潜流湿地）靠上方位置对COD_{Cr}和氨氮的去除效果较好，而其靠下方位置对TN、PO₄³⁻-P和TP的去除效果则更佳。

以沸石为主体基质的人工湿地的防堵性要优于以石灰石为主体基质的人工湿地；沸石经改性后填充的人工湿地，其防堵性要优于未改性沸石填充的人工湿地。

在曝气条件下，水平潜流湿地均在一定的曝气时间和水力负荷条件下，对各主要污染物的去除率达到最佳，对COD_{Cr}和氨氮的去除率均有一定的提高；TN的去除率有一定程度的下降，TN去除的抑制作用明显；对TP的去除率提高也未呈现明显的提高趋势。当日均曝气时间一定的情况下，随着水力负荷的提高，系统对各污染物的去除率均呈降低趋势。曝气前后的石灰石及沸石表面的特征与试验



图3 示范工程平面布置图

初期基质的表征相比，均发生了明显的变化。

经过运行后，人工湿地基质表面的FDA活性、过氧化氢酶活性及脲酶活性均有一定程度的增加，而且四种潜流湿地基质表面的微生物生长状况良好，即细菌、真菌及放线菌的数量都有明显增加，各湿地出水生物毒性都较小。

一级和二级反应动力学模型能够较好的模拟人工潜流湿地降解COD_{Cr}、氨氮、TN和TP等主要污染物的效果。对于要求方便、快速和正确的工程设计来说，一级和二级反应动力学模型的模拟具有一定的参考价值。

1.4.3 工艺参数

本工程水质处理目标以BOD₅、氨氮处理为主，因此设计过程中着重考虑BOD₅、氨氮负荷。设计过程中以水温20℃时BOD₅、氨氮的去除为依据进行相关参数选择和构筑物设计。

1) 设计依据

设计水量：Q=10000m³/d

进水BOD₅浓度：C₀=20mg/L

20℃湿地去除负荷：4.4kgBOD/(m²·a)

湿地可利用有效面积：

$$A_s = 356m \times 30m = 10680m^2$$

2) 出水水质估算

由湿地有效面积及去除负荷可知，现有区域有机污染日去除量为：

$$10680 \times (4.4/365) = 128.7(kg/d)$$

可校核湿地出水BOD₅浓度为：

$$C_e = 7.13mg/L$$

停留时间校核：

$$HRT = \frac{A_s \times d \times \varphi}{Q} = \frac{10680 \times 0.9 \times 0.4}{10000} = 0.38d$$

1.4.4 工程设计

本工程以南口污水处理厂原出水管为界，分成南北两区，南区可利用面积为216m×33m=7128m²，北区可利用面积为140m×33m=4686m²。为保证两区进水量与面积的一致性，利用分水井将两区进水量进行分配，其中南区湿地处理水量为6000m³/d，北区湿地处理水量为4000m³/d。

1) 分水井

砖混结构，同心圆环形式，南口污水处理厂出水通过DN600双壁波纹管引入内环底部，在两环中间设置两道隔板将两环周长分成6:4，隔板高度超出内环顶部200mm，实现水量的6:4分配。

2) 进水管

钢混结构，宽1.5m，深1.5m，南区进水管长213m，北区进水管长151m。进水管进水段设置细格栅一道，截留污水处理厂出水中的悬浮物。

3) 出水渠

钢混结构，宽1.7m，深1.75-2.07m，南侧出水渠长213m，北侧出水渠长151m。出水渠水流方向为由南向北，南区出水渠和北区出水渠相连通，采用倒虹吸方式穿越南口污水处理厂原排水管道。

4) 人工湿地单元

湿地单元长宽比2.5:1，南区总计19个，单元面积25m×11.2m，北区总计12个，其中北I区7个，单元面积25m×10.2m，北II区5个，单元面积25m×11.2m。

单元湿地进出水方式为上进水下出水，进出水采用DN200UPVC穿孔管，以蝶阀控制进水水量，出水通过可调节高度出水管控制湿地床体内水位，在进水段和出水段铺设粒径20-60mm级配砾石，保证布水和集水均匀。

湿地基质类型为石灰石、沸石和火山岩混合填料，粒

表2 进出水水质

取样时间	水样	COD _{Cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	氨氮 (mg/L)	TP (mg/L)
6月21日	进水	46	/	3.01	1.32
	出水	28	/	0.01	0.19
7月7日	进水	13.6	3.4	0.51	1.29
	出水	16.3	2.8	0.04	1.44
8月11日	进水	21.9	3.5	0.38	1.53
	出水	16.3	2.2	0.34	1.65
9月20日	进水	30	2	0.26	2.24
	出水	28.7	1.6	0.04	2.07
10月13日	进水	45.4	2.5	0.22	2.01
	出水	33.4	1.2	0.19	1.93
11月3日	进水	20.3	3	0.43	1.97
	出水	13.8	0.5	0.36	2.21
	进水	29.53	2.88	0.80	1.73
	出水	22.75	1.66	0.16	1.58
	去除率 (%)	23.0%	42.4%	79.6%	8.4%

径为20mm-30mm。石灰石与沸石配比为2:1，石灰石与火山岩配比为1:1。

湿地植物主要为芦苇、香蒲和黄花鸢尾三种，按照水流方向分段均布。

1.5 工程效益

1.5.1 运行效果

示范工程完工后，经过一段时间的启动试运行期后，目前已经进入稳定运行期，2011年6月至11月对示范工程进水和出水水质进行了监测，具体进出水水质见表2。

通过分析可以发现，出水主要水质指标 COD_{Cr} 、 BOD_5 和氨氮平均值均低于《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中的Ⅳ类水质限值，湿地对 COD_{Cr} 、 BOD_5 和氨氮的平均去除率分别达到了23.0%、42.4%和79.6%。

湿地建成至今，由于湿地植物长势较差，2011年6月经过再次种植，为了保证植物成活，湿地一直处于高水位状态，潜流湿地按照表流湿地形式运行，导致TP处理率较低，仅为8.4%。

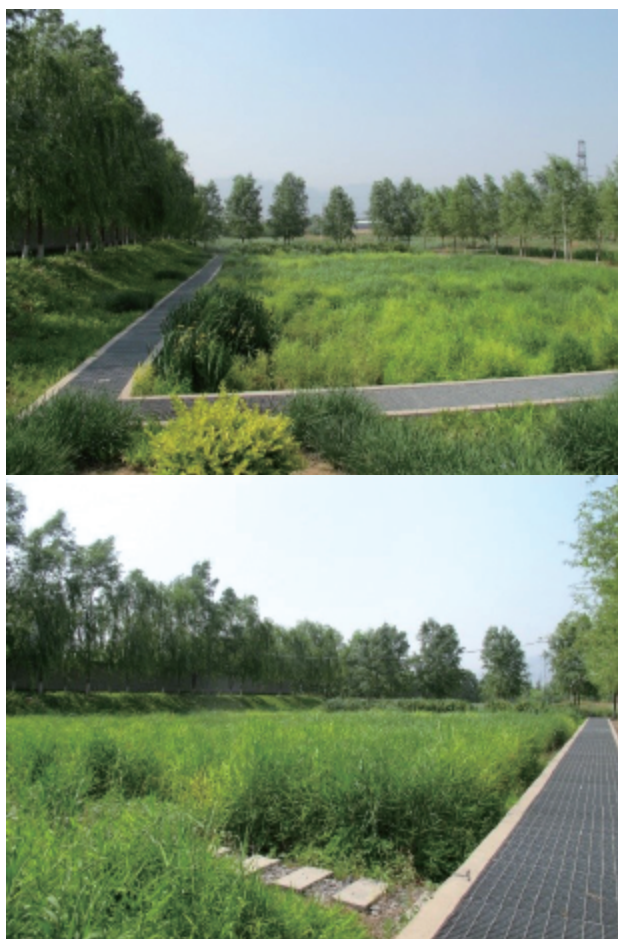


图4 人工湿地



图5 自然湿地

1.5.2 运行费用

由于本工程利用污水处理厂出水高程和地形条件建设，整个处理系统全部为重力自流，所以没有电费和药剂费。

湿地日常维护主要是进水渠格栅截留杂物的清理，每年植物的维护工作量较少，而且本工程已经移交南口污水处理厂，由其负责湿地的运行维护，所以这部分维护工作已经由污水处理厂现有人员负责，不产生额外的人工费。