

A²/O+复合湿地工艺用于处理城镇生活污水工程

莫晓媛

杭州水处理技术研究开发中心有限公司

摘要: 为进一步加快建设和完善城镇的污水管网和污水处理系统,实现当地水污染控制和保证水环境质量,采用A²/O+复合湿地工艺集中处理该城镇污水。工程运行多年以来,出水指标达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)Ⅲ类水质标准,其中水厂COD、BOD₅、NH₃-N、TP、SS的去除率分别达到85%、93%、83%、88%、95%;湿地出水COD、BOD₅、NH₃-N、TN、TP的去除率分别达到60%、63%、75%、50%、60%。随着污水处理厂的顺利投运,提高了该镇内河水质,改善了人居环境、生态环境。

关键词: 生活污水; A²/O; 复合湿地

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.110

一、工程概况

该镇自然环境优美,周边水系均属于Ⅱ类水体,下游有一水库,属于饮用水源,污水未经处理直接排入溪流,会对水系造成污染,影响下游水库的水质。为改善人居环境,努力创建生态县,该镇完善了城镇的污水管网,建设了城镇污水处理系统工程,集中处理城镇污水。

二、技术方案

该镇现有自来水厂1座,占地面积为10亩,水厂现有最大供水能力为800m³/d。除去自来水厂供水外,镇内少数行政村都采用自备水供水,根据调查结果,自供水量约为160m³/d。由于工业化程度不高,工业用水量较少。因此,全镇区用水量约960m³/d。

根据现场调研资料,该镇污水处理厂近期处理规模为1000m³/d。

(一) 设计进出水水质

生活污水的水质与当地居民的生活习惯、有无化粪池、化粪池的形式及人均用水量等因素有关。工业污水的水质与地区工业产业结构有关。结合综合生活污水水质、工业污水水质及该镇综合污水与工业污水占总水量的比值,确定污水处理厂进水污水水质。根据当地相关要求,污水处理厂出水水质执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)Ⅲ类水质标准(其中总氮要求达到5mg/L)。其主要指标详见表2-1。

表2-1 污水处理厂进出水水质 单位: mg/l

参数	pH	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
进水水质	6~9	≤350	≤150	≤200	≤45	≤35	≤4
出水水质	6~9	≤20	≤4	≤10	≤5	≤1.0	≤0.2

(二) 工艺选择

1. 污水生物处理工艺选择

该污水处理厂处理规模较小,主要以生活污水为主,一般优先考虑采用氧化沟法、SBR法、水解好氧法、AB法、生物滤池法、A²/O等技术。本方案对常用的几种工艺进行分析比对,结合项目实际情况和排水要求,合理地选择处理工艺。

以上几种工艺方案都是目前成熟并广泛运用的工艺,均能满足污水处理达标排放。不同工艺有其不同的优缺点,本方案结合当地经济、地形、水量、水质等实际情况选择,其中氧化沟法工艺存在占地面积大、土建费用高、总投资也要高于MSBR和A²/O工艺方案。MSBR需要很高的智能控制系统,需要运转维护的人员专业素质高、不同专业配备数量多,总投资也比较大,这对于乡镇级的污水处理厂,不利于后期管理运行。A²/O工艺投资相对MSBR工艺较省、运行费用低、对自控要求低等优点,同时处理效果能较好地满足污水处理要求,管理经验成熟。另外A²/O工艺的优势还表现在污水处理厂的进水水量和水质冲击负荷较大时,A²/O处理工艺有较强的抗冲击负荷能力,调节性能好,特别适用于水量水质变化大的中小型污水处理厂。

根据以上分析,从技术、经济、系统的可靠性、节能等多方面比较,A²/O处理工艺更合适作为乡镇中小型污水处理厂的工艺。因此本工程采用“A²/O+深度处理”工艺作为污水处理工艺方案。

2. 污水深度处理工艺选择

本工程深度处理对象是生化处理后的出水,可降解有机物去除的已比较彻底,可能超标的是SS和TP,常规物理处理是很难满足要求的,必须考虑进一步化学处理。

从处理工艺稳定可靠、运行成本低、管理方便等方面来考虑污水深度处理单元的选择。参照国内外的研究成果和各种工艺的技术经济性能指标,结合已建污水处理厂及回用工程的运行经验,进行综合分析,物化深度处理工艺(混凝、沉淀和过滤),工艺简单、运行效果可靠,出水水质稳定,技术较为成熟,运用广泛。本工程生化后的出水,经过了混凝、沉淀和过滤处理,水中的悬浮物和TP可以被进一步去除,出水水质相对稳定。

因此,本工程选择混凝沉淀+过滤+复合湿地作为本工程废水深度处理工艺。

3. 污水消毒工艺选择

消毒是水处理中的重要工序,常用的消毒工艺有次氯酸钠消毒和紫外消毒等。由于氯氧化性强,易与水中有机

物发生反应，对消毒产生干扰，另外副产物可能有有害物质产生。紫外线技术在污水处理领域，具有无二次污染、操作方便、投资适中等优点，因此，污水消毒采用新型紫外线消毒技术。

4. 污泥处理工艺选择

污泥处理主要有浓缩、脱水、消化、干化等，根据污水处理厂规模、污泥最终处置方式等，本项目采用：沉淀池污泥→储泥池→污泥浓缩脱水一体机脱水→外运，将污泥浓缩与脱水两种功能组合在一个系统中进行污泥处理，投加过高分子絮凝剂的污泥首先进入浓缩机，经浓缩后污泥被送至带式压滤机进行脱水，由于浓缩时间非常短，因此，不会产生污泥释磷现象。

(三) 工艺流程



图1 污水处理厂工艺流程图

污水先进入格栅及装有提升泵的集水井，经格栅去除粗大固体漂浮物后经提升进入A²/O生化系统内。该组合池中设有厌氧、缺氧段，废水被厌氧消化，降解大分子有机物，并去除部分COD_{cr}，提高了后段废水的可生化性，减轻好氧段的负荷，节约能源。聚磷菌在这一工段释放磷并积聚大量有机物，以便在好氧段实现吸磷反应。在厌氧、缺氧段，来自好氧池的回流液进入缺氧池，硝态氮在缺氧状态下产生反硝化作用，硝态氮转化为氮气等气态物质，起到良好的脱氮作用。经脱氮的废水进入连续好氧反应池，活性污泥在好氧情况下进一步分解有机物，使出水COD_{cr}达标。污水中的氨氮在此进行了硝化反应，经回流产生脱氮作用；聚磷菌在此时利用积累的有机物大量吸收磷，产生生物除磷效应。本工艺中的厌氧、缺氧和好氧交替进行，可有效脱氮除磷。经过好氧池处理后混合液进入二沉池中进行泥水分离，出水进一步采用辅助物化处理，加药进一步去除磷、悬浮物和部分难生化的有机物，确保磷和悬浮物能达一级A标准，最后经接触氧化消毒池进行杀灭病菌后自流排入复合湿地。依次进入多级生物强化池、复合生态滤池系统、营养盐集约式植物资源化系统，综合了生物、物理、化学三方面的作用，通过基质过滤、吸附、沉淀、离子交换、络合反应、硝化和反硝化作用、植物对营养元素的摄取和微生物分解等来实现对污水的高效净化。

二沉池污泥一部分经污泥回流泵回到A²/O生化池厌氧段，剩余污泥泵入污泥浓缩池经重力浓缩，脱去大部分水分，经浓缩的污泥进入脱水机房进行污泥浓缩脱水，形成的泥饼外运按相关要求妥善处理处置。

三、主要构筑物及设备参数

(一) 调节组合池

进水井、格栅井与调节池合建，数量一座，结合二

1. 污水处理要求

(1) 污水处理厂的进水水量和水质冲击负荷较大，因此，要求该污水处理厂具有较好的抗冲击负荷的能力。本工艺具有很强的耐冲击能力。

(2) 受到纳污水体水功能需求，除COD_{cr}外，N、P也是本项目重点控制的指标，需要在处理COD_{cr}的同时考虑N、P的去除。在本项目工艺中增加了物化处理工段，以确保N、P的稳定达标。

(3) 本工艺具有操作简便、设备常规、容错性好的特点，能较好的适应项目实际情况。

2. 工艺流程

考虑到以上特点，所以本项目推荐采用如下污水处理工艺流程：

期规模考虑，采用半地下钢筋混凝土结构形式。

组合池设一道格栅井，井内安装1台回转式格栅除污机。设计流量：Q_{max}=166.7m³/h（总变化系数K=1.9）；栅前水深：H_{max}=1.0m；过栅流速：0.95m/s。另配置细格栅1台，栅间距3mm。调节池平面尺寸：11.0m×7.0m，深2.8m。泵井内设4台泵位，其中近期配置2台潜水泵，提升高度最大为7.0m，根据水位及水泵运行时间长短自动控制水泵开启。调节池采用空气搅拌，池底设穿孔曝气管一套。为便于设备检修，泵房内设电动单梁起重机1台。

(二) 改良型A²/O生化组合池

生化组合池包括预缺氧池、厌氧池、缺氧池、好氧池、二沉池、混凝反应池以及混凝终沉池。主要功能是去除污水中的COD_{cr}和BOD，厌氧池、缺氧池将大分子难降解有机污染物分解为小分子易降解有机物，提高污水生化性，并去除部分COD_{cr}；污水进入好氧池后，进一步降解有机物，并将氨氮转化为硝态氮；好氧排泥时可去除部分磷，回流的好氧池混合液在缺氧池中进行反硝化，进行脱氮反应；好氧池混合液进入二沉池后进行泥水分离，污泥回流到预缺氧池，二沉池上清液进入混凝反应池进行加药混凝反应，进一步去除悬浮物和TP，在混凝终沉池中泥水分离后出水排出，从而达到净化水质的目的。

生物组合池设一座，整体结构采用半地下钢筋混凝土结构，有效水深为4.0m，水力停留时间约12.5h，其中预缺氧池1.0h、厌氧池1.5h、缺氧池1.5h、好氧池8.5h。污泥浓度约2.5~3.0 kgMLSS/m³，污泥负荷约0.1~0.2KgBOD₅/(kgMLSS·d)，污泥泥龄控制在15d左右，二沉池和混凝终沉池表面负荷均小于1m³/m²·h。

缺氧池根据水池尺寸配置潜水搅拌机3台，材质选

用不锈钢；好氧池内设组合填料，考虑后期检修方便，曝气装置采用可提升式曝气盘，并配套罗茨风机两台，流量为 $9.0\text{m}^3/\text{min}$ ，升压为 49.0kPa 。混合液回流比和污泥回流比分别取100%、200%。缺氧池至好氧池配套混合液回流泵2台，流量为 $90.0\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程：10m；沉淀池至缺氧池、好氧池配套污泥回流泵，流量为 $45.0\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程：10m。

（三）过滤及消毒装置

混凝终沉池出水先进入中间水池，水池采用半地下钢筋混凝土结构。该池设2台卧式离心泵用于提升污水进入砂滤塔。砂滤塔出水自流经过过流式紫外线消毒器消毒后进入清水池，并配套2台卧式离心泵用于定期反冲洗与回用水。

砂滤塔外形尺寸为 $\Phi 2.5\text{m}\times 3.0\text{m}$ ，碳钢材质，滤料采用石英砂，滤层高度为1.2m。砂滤配套两台提升泵，流量为 $46.0\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程为12m；配套两台反洗泵，流量为 $230\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程为 $H=15\text{m}$ ；

消毒装置采用过流式紫外线消毒器，处理水量为 $1000\text{m}^3/\text{d}$ 。

（四）加药系统

加药间内共设2套加药系统，配置2个加药罐（尺寸为 $\Phi 1.5\text{m}\times 3.0\text{m}$ ），2台搅拌机、4台计量泵以及其他管道阀门等。

（五）污泥系统

本项目污泥主要是生化池定期排出的剩余污泥和混凝终沉池定期排出化学污泥，脱水前污泥约量为 $90.0\text{m}^3/\text{d}$ （ $520\text{kgDS}/\text{d}$ ），含水率为99.4%。脱水后污泥含水率约78%，体积约 $2.45\text{m}^3/\text{d}$ 。絮凝剂投加量为 $3.5\text{g}/\text{kgDS}$ 。

设污泥池2座，采用半地下式钢筋混凝土结构，水池内设曝气装置1套。

设污泥脱水机房1间，配置1台浓缩脱水带式压滤机，并配套污泥进泥泵、滤带冲洗泵、加药装置及其他辅助设备。带式压滤机的出泥由泥饼螺旋输送机输送至污泥堆棚。

絮凝剂投加装置1套，采用干粉聚丙烯酰胺高分子絮凝剂配制成药液。再将药液稀释至1~3‰浓度后投加至絮凝罐，与污泥混合后进入污泥浓缩脱水一体机。

（六）尾水净化系统

尾水净化复合湿地系统包括多级生物强化池、复合生态滤池系统、中间水池、营养盐集约式植物资源化系统、出水景观池。

多级生物强化池停留时间为6小时，有效容积为 250m^3 ，整体为钢砼结构，水池内铺设生物滤料。复合生态滤池系统占地面积约 1800m^2 ，水池深度为1.7m，池底敷设防渗膜，池内铺设湿地填料，并种植美人蕉、风车草、蜘蛛兰、花叶芦荻等水生植物。营养盐集约式植物资源化系统占地面积约 1600m^2 ，水池深度为0.5m，池底

敷设防渗膜，池内铺设砾石填料，上部采用生物浮岛种植水生植物，植物种类与复合生态滤池系统相同。

四、运行效果分析

该项目自投运后，运行稳定，出水水质稳定达标，日运行水量约 $1000\text{m}^3/\text{d}$ ，与设计相一致。由于进水管网存在渗漏的情况，进水水质时有波动，但砂滤罐的出水水质可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级标准的A标准。经湿地处理后，出水水质可达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类水质标准（其中总氮达到 $5\text{mg}/\text{L}$ ）。

整个处理工艺对于 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP的去除效率均能达到90%以上。受进水水质影响，存在碳源不足的情况，生化池、生物强化池的反硝化效果不佳，有时需要补充碳源。另外，尾随净化复合湿地系统依赖植物处理，出水成季节性波动。

五、主要经济技术分析

水厂总占地面积约0.9公顷，总投资约2500万元。实际运营后，吨水经营成本约为 1.42 元/ m^3 ，其中动力成本约 0.73 元/ m^3 ，药剂成本约 0.42 元/ m^3 ，维修成本约 0.15 元/ m^3 ，污泥运输处置费约 0.12 元/ m^3 。

六、结语

本项目进水主要是生活污水，考虑后期可能会有少量的工业废水排入，采用了改良型 A^2/O 工艺，在厌氧池前增加预脱硝池和选择池，以降低回流污泥中硝酸盐对厌氧放磷的影响，并抑制丝状菌生长，为了解决缺氧池反硝化碳源不足的问题，将进水按一定比例分别进入厌氧池和缺氧池中，增加生化抗冲击负荷能力。

生化尾水采用复合湿地处理工艺，用于削减氮磷，其中对氨氮和总磷的削减效果明显，但去除效率受季节性影响较大，整体呈现夏天大于冬天、生长期大于成熟期，其出水水质良好，基本能达到原设计预期效果。

从整体 $\text{A}^2/\text{O}+\text{混凝沉淀}+\text{过滤}+\text{复合生态湿地}$ 工艺运行效果来看，尽管受进水水质波动的影响，但生化处理出水水质稳定，表现出良好的抗冲击负荷能力。特别是对 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的处理效果，湿地出水指标均达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类水质标准（其中总氮要求达到 $5\text{mg}/\text{L}$ ）。水厂投运提高了该镇内河水质，改善了人居环境、生态环境。

参考文献

[1] 王华如，郑国兴，周建平等. 给水排水设计手册（第3册）[M]. 中国建筑工业出版社。

[2] 李艺等. 给水排水设计手册（第5册）[M]. 中国建筑工业出版社。

作者简介：莫晓媛（1987.11-），女，本科，毕业于浙江农林大学，研究方向：水处理。