



某工业园区屠宰废水处理工艺设计

文__周书平（广西壮族自治区城乡规划设计院，院长助理，工程师，硕士）

一、项目概况

项目地处亚热带季风气候地区，年平均气温22.7℃，最低气温5.5℃；根据园区控制性详细规划，规划范围内总建设用地面积6.17km²，用地属性主要为二类工业用地和道路交通用地，分别占园区总建设用地面积的58.30%和18.10%；规划园区内新建一座污水处理厂，集中处理园区工业废水及生活污水。在项目可行性研究阶段结合园区规划建设用地指标，采用人均综合用水量指标法及分类建设用地用水量指标法进行需水量预测，研究发现工业园区远期总需水量约为3.40万m³/d，考虑污水排放系数及适当的安全裕度，远期污水量规模约3万m³/d。结合现阶段招商引资情况，为避免投资过剰造成永久设施建成后闲置问题，项目在前期策划阶段提出污水厂分三期建设，每期建设规模为1万m³/d的建设模式。近期新建一座规模1万m³/d污水厂，主要处理屠宰企业预处理后的排水，同时，结合园区500m³/d的现状生活污水处理厂，届时整个园区污水处理系统布局可满足近期污水处理需求。

二、工艺方案

（一）规模及水质

项目污水预处理系统、二级生化系统及深度处理系统（除巴氏计量渠外）土建及设备安装规模均按近期1万m³/d设计；污泥处理系统、辅助生产系统（除加氯间外）及巴氏计量渠土建按中期规模2万m³/d设计，设备安装规模按近期1万m³/d设计。同时，考虑消毒剂二氧化氯的防爆要求，从节省项目用地的角度考虑，加氯间土建工程按远期3万m³/d的规模一次建成，设备安装规模按近期1万m³/d设计。

本次拟建污水处理厂来水源于园区屠宰厂预处理后的排水，设计污水厂进水水质按屠宰厂内部预处理厂的出水标准以予取定；结合园区控制性详细规划及当地环保部门要求，污水厂出水除TN外，其他指标执行《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）Ⅳ类水限值要求，设计进出水水质详见表1。

表1 污水处理厂设计进出水水质一览表

项目	COD	BOD ₅	TN	TP	NH ₃ -N	SS	动植物油
进水水质（mg/L）	500	300	70	8	45	400	50
出水水质（mg/L）	30	6	15	0.30	1.50	10	1

（二）处理工艺

结合污水厂设计进水水质，BOD₅/COD=0.6>0.45，说明原水可生化性好；BOD₅/TN=4.3>4.0且BOD₅/TP=37.5>17，原水在设计进水指标下碳源可满足生物脱氮除磷要求；设计最不利条件下TN去除率高达78.60%，且总磷去除率为96.25%，根据《室外排水设计规范》（GB 50014—2006）（2016年版）及南方地区类似污水厂运行经验数据，工程在处理工艺选择上主要考虑“二级生物处理+深度处理”相结合工艺，同时，配套建设外加碳源投加系统及生物除磷系统，强化工艺对TN、TP的处理效果。

结合项目环保部门意见，厂区污泥脱水后含水量不大于80%后实现外运，经污泥深度脱水后，实现资源化利用。水处理及污泥处理工艺流程如图1所示。

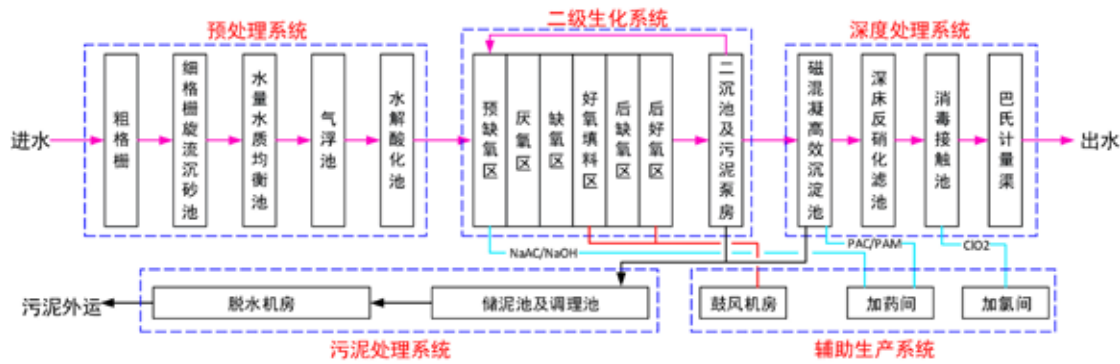


图1 水处理及污泥处理工艺流程图

三、工艺设计

（一）预处理系统

预处理系统包括粗格栅、细格栅旋流沉砂池、水量水质均衡池、气浮池和水解酸化池单元。设计粗细两道

格栅，对进厂污水5mm以上块粒状杂物进行拦截；考虑到屠宰园区污水排放不均匀，厂区内设置1座调节池实现水质水量的均衡。同时，屠宰废水中含有禽畜毛发及不易生物降解的组分，项目设计气浮池和水解酸化池对污水中的毛发进行撇除，并将难以降解的长链及环状有机物打开，便于后续的二级生化处理。各单元主要设计参数如下。

1. 粗格栅

粗格栅一座分两组，单组运行规模1万，构筑物采用半地下式结构；选用1台1.50kW的回转式格栅除污机，设计栅条间隙20mm，安装角度75°，过栅流速0.60m/s，栅前水深1m，格栅间配置毒有害气体检测及报警装置1套。

2. 细格栅旋流沉砂池

为集约用地降低工艺水头损失，项目细格栅与旋流沉砂池合建。构筑物土建设计规模为2万m³/d，设备按近期规模1万m³/d安装，其中：细格栅分两组，选用1台1.10kW的回转式格栅除污机，栅条间隙6mm，设计过栅流速0.60m/s，细格栅安装角度60°；旋流沉砂池分两格，水力停留时间45s，有效水深2.65m，采用吸砂泵排砂，砂泵流量30m³/s，压力0.20MPa。

3. 水量水质均衡池

水量水质均衡池为廊道式半地下钢筋混凝土结构，一座分两组，设计平均日流量下最大水力停留时间16h，采用在线调节形式，池内设置提升装置实现水量的调节，本单体主要设备包括：2用2备共4台潜水泵，单台水泵流量333.36m³/h，扬程16m；并在池体设计4台4.30kW的潜水推进器，避免泥沙沉积。

4. 气浮池

气浮池的功能主要是除去污水中的油污和毛发，设计采用溶气气浮形式，设计规模1万m³/d，主体采用钢结构全地上式，构筑物分两组并联运行，设计表面负荷2.65m/h，总水力停留时间0.34h，溶气回流比0.40～0.50。溶气及回流设备置于气浮池主体正下方，并在本单体毗邻位置建设1座浮渣池，接收气浮池撇除的浮渣，同时兼顾水量水质均衡池和水解酸化池的排泥水收集需求。

5. 水解酸化池

水解酸化池的功能是微生物在厌氧环境下将复杂难降解的有机物水解成易生物降解的简单有机物，项目设计水解酸化池一座分两组，半地下钢筋混凝土结构，采用脉冲配水系统，设计水力停留时间7.50h，有效水深7m，包括脉冲补水器系统、排泥系统。

（二）二级生化系统

二级生化池处理系统为污水处理的核心，包括活性污泥处理单元和泥水分离单元。生物池采用五段式Bardenpho+MBBR工艺，集“厌氧—缺氧—好氧填料—后缺氧—后好氧”五段为一个整体。同时，前置预缺氧作为微生物选择区，能有效降低单位污染物去除用地指标。根据《室外排水设计规范》（GB 50014—2006）（2016年版），二级生物处理系统按日平均流量设计，各分区工艺参数如下：设计污泥浓度4.20g/L，预缺氧区水力停留时间（HRT）0.50h，厌氧区HRT=1.50h，缺氧区HRT=7.40h，好氧区HRT=6.90h，后缺氧区HRT=1h，后好氧区HRT=2h，总HRT=19.30h；设计污泥龄9.95h，总氮污泥负荷0.017kgTN/（kgMLSS·d），容积负荷0.072kgBOD₅/（m³·d）；最大内回流比400%，并通过变频调控实现200%～400%区间调控，外回流采用潜水排污泵实现，经二沉池固液分离后的泥水，经潜水排污泵提升后，回流至生物池首端的缺氧区，回流比50%～100%；平均日流量下好氧区设计汽水比为9.20：1，曝气形式采用鼓风曝气，鼓风机房靠近生化池好氧区设置，以便于风管的布置。考虑到屠宰废水中有机物及氨氮含量偏高，为避免处理过程中碳源及碱度失衡

的问题，工程在缺氧区首段设置碳源投加点，并在好氧填料区设置碱液投加点。

二沉池与污泥泵房合建，数量1座，处理规模1万m³/d，采用周进周出辐流式沉池的工艺设计，半地下式钢筋混凝土结构，池体直径25m，有效水深4.20m，平均表面负荷0.85m³/（m²·h），峰值表面负荷1.36m³/（m²·h），池底设置刮吸泥机，并通过套筒阀将池体底部分离后沉积的污泥外出池内。

（三）深度处理系统

污水经二级生化池处理后，出水标准可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）一级B标准，出水SS、TN、TP往往偏高，无法实现一级A标准甚至更为严格的准四类水标准限值。项目深度处理主线基于“混凝—沉淀—过滤—消毒”工艺，主要解决SS、TN、TP浓度不达标问题。

1. 磁混凝高效沉淀池

混凝沉淀采用高负荷率、低占地面积的高效沉淀池，项目磁混凝高效沉淀池主要承担污水经二级处理后未达标SS去除功能；可通过投加除磷药剂，实现TP的达标排放。设计磁混凝高效沉淀池一座分两组，钢筋混凝土半地下式结构，设计规模1万m³/d，平均流量下混合区水力停留时间2.57min，絮凝区5.15min，沉淀区平均流量下表面水力负荷23.84m³/（m²·h），峰值表面水力负荷14.90m³/（m²·h）。池体一层设备间设置剩余污泥排放系统和污泥回流系统，二层靠经混合区设置磁分离系统，便于分离后的磁粉就近释放至混合区。

2. 深床反硝化滤池

结合深层过滤理论，深度处理系统中的过滤单元采用深床反硝化滤池，反硝化滤池承担二级处理出水未达标TN的去除任务。设计深床反硝化滤池1座分四格运行，将设备间、控制室、废水池、清水池与其合建，设计规模1万m³/d，平均流量下滤速4.60m/h，峰值滤速7.36m/h，采用三阶段气水联合反冲洗形式，其中：第一阶段气洗强度15m³/（m²·h）；第二阶段气水联合冲洗，气洗强度90m³/（m²·h），水洗强度15m³/（m²·h）；第三阶段单独水冲洗，水洗强度15m³/（m²·h）。考虑夏季气温升高，反硝化速率较大，二级生化处理系统具备较高的总氮去除能力，从节省后期运行费用的角度出发，深床反硝化滤池设置超越管道，实现高效沉淀池出水直接接入消毒接触池。

3. 消毒接触池及巴氏计量渠

消毒药剂采用氧化能力较强的长效消毒剂二氧化氯，设计药剂投加点位于消毒接触池前端的混合区，接触区为全地下钢筋混凝土结构形式，池内有效水深3.80m，设计峰值流量下有效接触时间36min。考虑尾水排放口在设防标准内，存在外江洪水顶托风险，在征得环保部门许可的前提下，项目从节约投资，实现自厂区到排口污水厂、管网、泵站一体化运维管理的角度出发，厂区内结合消毒接触池预留一套洪水期的压力排水系统和计量系统。设计钢筋混凝土全地下式结构巴氏计量1座，最大计量规模2万m³/d，计量渠喉道宽0.30m，喉道前渠道直线长度4m，喉道后渠道直线长度6.20m。

（四）污泥处理系统

污泥处理系统包括污泥浓缩、污泥调理、污泥脱水单元，二沉池及高效沉淀池剩余污泥进入污泥处理系统，先通过转鼓浓缩机浓缩后含水量降低至98%，浓缩过程加入阳离子型聚丙烯酰胺（PAM），投加计量按干污泥量的0.20%～0.80%计算；浓缩后的污泥再经过药剂调理后进行高压隔膜压榨，污泥调理药剂采用FeCl₃，设计药剂投加量为干污泥量的5%～15%。

（五）辅助生产系统

工程设置鼓风机房及配电间、二氧化氯加氯间、加药间、回收水池、在线检测间及其他生产用房等辅助生

产系统，辅助生产系统土建工程按远期规模设计，设备按近期规模设置。

(六) 除臭系统

项目除臭单元包括粗格栅、细格栅旋流沉砂池、气浮池、水解酸化池、生化池（预缺氧区、厌氧区及缺氧区）、脱水机房、储泥池及调理池；臭气收集管道采用玻璃钢架空形式，管径DN100~DN700，臭气经“预处理—生物滴滤—生物过滤”工艺处理后，各项指标低于《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）废气排放最高允许浓度后外排。

四、能耗与成本分析

(一) 能耗分析

1. 设计电耗

在项目正常运行过程中，主要用电环节包括：满足工艺要求的介质提升设备耗能、工艺水位衔接泵、排砂泵、剩余污泥泵、回流污泥泵、加药计量泵等；维持生物池好氧区溶解氧要求的设备耗能：鼓风机；使介质免于沉降的搅拌设备耗能：搅拌器、推流器等；泥水减量化处理耗能：转鼓浓缩机、进泥泵、高压隔膜压榨机等；厂区生活及照明等耗能：照明、通风、空调、消防等。

污水处理厂建成后年耗电合计约587.75万kW·h，折算成标准煤722.34万吨。

2. 设计水耗

污水处理厂水耗包括：高压隔膜压榨机卸泥清洗用水；深床反硝化滤池反冲洗用水；加药间PAC、PAM和氢氧化钠药剂溶解用水；除臭设备日常补水；综合楼办公、化验及生活用水；厂区绿化浇洒用水。

每日厂区水消耗量详见表2。

表2 每日用水量一览表

用水类型	平均日用水 (m³/d)	备注
高压隔膜压榨机卸泥清洗用水	140	自来水
深床反硝化滤池反冲洗用水	476	污水厂滤后水回用
药剂溶解用水	52	污水厂尾水回用
加氯间设备用水	240	污水厂尾水回用
除臭设备日常补水	5	自来水
综合楼办公、化验及生活用水	20	自来水
厂区绿化浇洒用水	27	自来水
总计	960	—

厂区每日耗水量共计960m³，其中768m³来自污水厂尾水或滤后水回用，占总用水量的80%，其余192m³采用自来水，占总用水量的20%。

3. 设计药耗

项目污水处理过程中涉及的药耗主要包括：气浮池去除油脂、动物毛发和部分总磷投加的PAC和PAM；当实际工况出现碳氮比失衡时，为保证脱氮效果，生化池和深床反硝化滤池需要投加乙酸钠溶液；磁混凝高效沉淀池去除SS和总磷时投加的PAC和阴离子型PAM；生化池出现碱度不足的情况时，需要投加碱度（氢氧化钠）；提升污泥浓缩脱水效果的阳离子型PAM和FeCl₃。

每日化学药剂投加量详见表3。

表3 每日化学药剂投加量一览表

药剂种类	每日投加量	单位	备注
PAC	935	kg/d	粉剂耗量
阴离子型PAM	10	kg/d	粉剂耗量
阳离子型PAM	13.25	kg/d	粉剂耗量
乙酸钠	1720	kg/d	溶液耗量
FeCl₃	530	kg/d	溶液耗量

(二) 成本分析

1. 建设成本

项目建设总投资约1.45亿元，建筑安装工程费约1.15亿元，其中厂区工程投资约0.80万元，折算每吨水建设成本约8000元。

2. 运营成本

污水处理厂每日运营成本主要包括工艺处理过程中的电耗、水耗、药耗及人员工资等，项目设计最大日运行成本合计约2.14亿元，折算吨水运行成本约2.14元。

每日运营成本详见表4。

表4 每日运营成本一览表

能耗种类	每日耗量	单位	单价	合计 (元/天)	备注
电耗	16103	度/d	0.65元/度	10467	—
水耗	192	m³/d	4.21元/m³	808	—
28%PAC	935	kg/d	2.25元/kg	2104	粉剂耗量
阴离子PAM	10	kg/d	18元/kg	180	粉剂耗量
阳离子PAM	13.25	kg/d	30元/kg	398	粉剂耗量
25%乙酸钠	1720	kg/d	1.5元/kg	2580	溶液耗量
FeCl₃	530	kg/d	2.25元/kg	1193	溶液耗量
人员	22	人	5000元/月	3667	—

五、结语

屠宰废水水质水量波动大，预处理系统采用气浮工艺，并设置水质水量均衡池，可有效缓解进厂污水水质、水量对二级生化处理系统的冲击。二级生化工艺采用五段式Bardenpho+MBBR工艺，可突破常规脱氮除磷工艺对TN去除的限制，有效降低单位污染物去除用地指标。深度处理系统基于“混凝+沉淀+过滤”机理辅于化学除磷，可有效应对二级生化处理出水SS、TN、TP污染物超标风险，确保最终出水达标。屠宰废水经处理后出水执行《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）Ⅳ类水限值要求，该种设计输入边界在全国范围内实施案例较少，希望项目的设计经验能为同行应对类似项目提供技术指导。C