

北方某全地下式城镇污水处理厂设计要点和应用分析

赵建超¹ 时艳婷¹ 杨喆² 谢毅¹ 王金鑫¹

1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司; 2. 青岛滨海学院

摘要: 分析了全地下式污水处理厂应用中的优势与不足; 以青岛市某全地下式污水处理厂为例, 介绍了全地下污水厂的设计要点, 包括厂区总体布置、工艺流程设计、工艺方案选择、厂区平面布局、厂区竖向设计、局部细化设计等, 并分析了全地下污水厂技术经济性; 其目的在于积累相应的设计经验, 为相类似全地下式污水处理厂工程建设提供参考。

关键词: 全地下式城镇污水处理厂; 经济效益; 设计经验

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.10.107

城镇污水处理厂作为处理城市污水的重要载体, 随着服务范围内城镇发展及人口数量的不断增多, 每日产生的污水总量也在增多, 污水处理厂规模也在扩大。土地存量背景下, 为了缓解污水处理厂建设用地不足的问题, 提出了全地下式建设模式; 近期, 国务院印发了《关于进一步盘活存量资产扩大有效投资的意见》, 提出因地制宜积极探索污水处理厂下沉、地上地下空间综合开发, 有效盘活周边可开发土地等资产; 用地集约、对周边环境影响小的地下式污水处理厂正在逐渐成为城市污水处理系统建设的新趋势和新需求。本文通过整理全地下式城镇污水处理厂设计与应用过程的相关经验, 对于加快此建设模式推广速度有着积极的促进作用。

一、全地下式污水处理厂应用优势与不足

全地下式污水处理厂在应用中具有以下优势: ①占地面积相对较小, 可以节省土地资源, 满足土地存量背景下的资源应用要求; ②环境噪音、臭气二次污染问题消除, 全地下式城镇污水处理厂所有运行结构都位于地下, 减少了运行时的噪声问题, 且箱体采取各类除臭设施, 对产生的臭气进行全面的收集处理, 有效避免了噪音、臭气等对周围居民区的影响性; ③运行比较稳定, 全地下式城镇污水处理厂受外部环境温度的影响相对较小, 运行时的基本处于恒温状态, 有利于二级生化处理工艺的的稳定运行, 提高处理效果; ④上盖可进行综合开发, 土地利用效率高, 全地下式污水处理厂将所有建、构筑物组团布置, 形成地下箱体, 竖向分2层, 底层为水处理构筑物和管廊层, 中间层为设备和操作巡检层, 地上空间可结合周边区域特点进行EOD、TOD等综合开发, 提高土地价值。

同时全地下式污水处理厂在应用中存在以下不足:

①建设周期长、投资高且施工难度较大, 地下箱体建设时涉及土方开挖、深基坑支护、地基处理, 此外由于箱体埋深较深往往还需采取抗浮措施, 其投资远高于地上

式污水处理厂; ②运行成本高, 地下空间相对密闭, 箱体内部需保持通风、除臭; 污水处理过程需二到三级的水利提升, 整体运行费用相对较高; ③安全风险, 地下箱体一般位于地面下17米左右, 低于地下水位、地面水体水位和污水管道水位, 在外防、内防措施不当时易发生淹没事故; ④提标改造困难, 由于箱体建成后结构固定, 无预留用地, 后期水质提标困难。

二、全地下式城镇污水处理厂设计要点

(一) 案例概述

青岛某全地下式污水处理厂设计规模4万m³/d, 上盖为景观公园, 箱体占地1.6ha, 总投资约4.4亿。

工艺流程为“预沉砂+安全井+配水井+粗、细格栅+曝气沉砂池+初沉池+多段AO生化池+矩形平流二沉池+磁混凝沉淀池及中间提升泵房+深床反硝化滤池+臭氧接触池+尾水提升泵房”, 出水执行山东省地标(准IV类标准); 污泥采用离心浓缩脱水工艺, 处理至含水率78%外运处置; 臭气采用生物除臭与全过程除臭相结合的工艺, 执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB/T18918-2002)和《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)中二级标准。

(二) 厂区总体布置

该厂箱体为两层, 负一层是设备操作层和综合车间, 主要包括鼓风机房、加药间、污泥脱水车间、消防泵房、污水源热泵间、除臭设施等设备间; 负二层是水处理构筑物层, 主要包括预处理区、生化处理区及深度处理区。

厂区设计2个对外出入口, 负责设备及污泥的运输, 并满足消防需求。箱体按火灾危险性戊类进行防火分区划分, 每个防火分区面积不超过1000平, 在设置自动灭火系统的情况下可以做到2000平, 每个防火分区至少设1个直通室外的独立安全出口及1个通往相邻防火分区的第二安全出口, 满足紧急疏散的需求。

(三) 工艺流程设计

该厂污水处理工艺流程如下: 污水重力自流至预沉砂井、安全井及配水井, 经配水井配水后进入巴氏计量槽计量, 之后进入粗格栅、细格栅及沉砂池, 简单处理后进入初沉池, 进一步削减进水中的污染物; 后进入生化池和二沉池, 去除水中的有机物、TN、TP和NH₃-N等; 出水进入混凝沉淀池, 通过投加混凝剂、助凝剂, 进一步去除水中的SS、TP; 沉淀池出水经提升进入滤池, 保障出水SS达标; 滤后水进入臭氧接触池, 在臭氧作用下对水中的COD进行进一步去除, 同时兼有消毒效果, 达标尾水经提升泵房提升后排至河道进行景观补水。

污泥处理工艺流程如下：初沉池、生化池及混凝沉淀池产生的污泥通过螺杆泵输送至负二层的污泥储池，后通过螺杆泵提升至负一层脱水车间，脱水机处理至含水率78%后输送至负二层的污泥料仓，通过料仓底部螺杆泵提升至负一层污泥卸料车间，由密封车辆外运处置。

(四) 工艺方案选择

污水处理工艺的选择应充分考虑经济合理性、技术可行性，并根据进出水水质要求、污泥处理要求、用地面积等综合确定，并需重点注意以下几个问题：①箱体结构固定，后期提标困难，设计时需充分考虑处理能力的预留，保障出水达标；②在重力自流进水条件下，需解决进水限流、调流问题，同时保障箱体安全；③污泥处理需解决脱水噪音、密封卸泥问题；④臭气处理需从根源和过程中解决臭气收集处理问题。

1. 污水处理工艺

污水处理厂常用二级生物工艺主要有活性污泥法（AAO、氧化沟等）、生物膜法（BAF、MBBR）、膜生物反应器（MBR），各类工艺占比如图1所示。

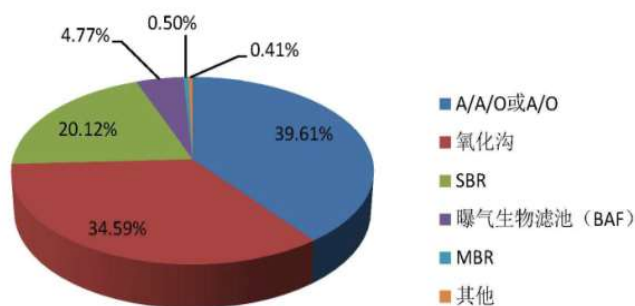


图1 污水处理各类工艺占比

该厂生物处理工艺采用活性污泥法，总流程为“预沉砂+安全井+配水井+粗、细格栅+曝气沉砂池+初沉池+多段AO生化池+矩形平流二沉池+磁混凝沉淀池及中间提升泵房+深床反硝化滤池+臭氧接触池+尾水提升泵房”。

具体的工艺分析如下：（1）前端采用“预沉砂+速闭闸+管夹阀”设计方案，其中预沉砂池可去除大粒径砖块杂物等，保障后端格栅运行安全；速闭闸反应时间1.5s并配EPS应急电源，可以满足重力进水安全问题；管夹阀可以实现调流、限流要求。（2）粗、细格栅与曝气沉砂池作为预处理工艺，具有拦截污水中漂浮物和杂质、去除污水中无机砂粒、预曝气脱臭等功能。

（3）初沉池作为二级生物处理的预处理设施，处理的对象是污水中的悬浮物质，可以有效降低进水SS浓度，为后续生物处理设施的稳定运行奠定良好基础。

（4）多段AO生反池和矩形平流二沉池组合作为二级生物处理工艺实现对污水中有机物、TN、TP、NH₃-N的去

除；多段AO生物池可调整进水点、内回流点以及各点之间进水比例，高效利用原水中的碳源，降低运行成本。

（5）深度处理段包括磁混凝沉淀池、深床反硝化滤池和臭氧接触池，磁混凝沉淀池作为化学除磷的核心工艺可保障TP出水稳定在0.3mg/L以下，深床反硝化滤池过滤功能可保障出水SS稳定在10mg/L以下，而反硝化功能可进一步去除5mg/L的TN，臭氧接触池作为高级氧化工艺可去除COD兼有消毒效果，经深度处理后出水能够稳定达到山东省地标要求，并满足景观河道补水要求。

2. 污泥处理工艺

污泥处理工艺的选择与污泥处置含水率要求有关，目前地下厂处理方式主要有离心脱水、板框脱水、低温真空脱水干化等技术。

该地区污泥采取堆肥处置方式，要求污水厂污泥处理至含水率<80%，故该厂污泥处理工艺采用“储泥池+离心浓缩脱水一体机+污泥料仓”方案。为解决污泥脱水、卸料过程中臭气外溢及噪音问题，污泥储池、污泥料仓采用混凝土结构型式，污泥卸料区采用土建密封型式，并进行负压收集，满足臭气不外溢要求；污泥脱水区采取土建密封+隔音板型式，一方面满足除臭要求，另一方面满足降噪要求。

3. 臭气处理工艺

城市污水处理厂内臭气的主要来源为预处理区、水处理区及污泥处理区三部分，包括粗格栅、细格栅、沉砂池、初沉池、生物反应池、污泥浓缩池、贮泥池和污泥脱水机房等构筑物。常用除臭方法有化学洗涤法、活性碳吸附法、离子除臭法、生物除臭法、全过程除臭法等。

地下式污水处理厂空间密闭，除臭效果需稳定达标，该厂臭气处理采用“全过程除臭+生物除臭”相结合的方式，一方面全过程除臭从源头上削减臭气的产生量和臭气浓度，且该工艺具有运行稳定、适应任何臭气浓度、运行费用低的特点；另一方面通过对臭气产生区域进行密封抽吸收集，臭气进入生物除臭设施，处理达标后通过排放塔高空排放。

(五) 厂区平面布局

平面布局设计要点：（1）与规划匹配性。根据地块用地预审意见，结合拟建地块周边规划与现状进行总体布局，包括主次出入口设置、通风口设置、逃生口设置等。（2）与进、出水方向匹配性。箱体布置与地块污水进水方向、接纳水体位置匹配，避免进水或出水与箱体布置方向相悖。（3）负一层部分区域设计荷载考虑设备检修吊装、通车要求。（4）借助BIM正向设计调整方案中的问题和不足，为施工阶段、运营阶段提供全生命周期的技术支持。

(六) 厂区竖向设计

竖向设计中要点：（1）地面标高。厂区地面标高比百年一遇洪水位高0.5m，避免外水进入。（2）箱体

覆土。地块上部进行景观打造，箱体覆土设计取1.5m保障植物生长需求。（3）箱体高度。负一层总高度6.6m-7m，检修净空不小于5.5m，负二层高度根据处理工艺和水力流程确定，高度约9米。（4）BIM模型。地下污水厂管线包括工艺、污泥、臭气、通风、加药、曝气、消防、自喷等，平面设计难以标识清楚相互关系，借助BIM正向设计确保管线方案最优。

（七）局部细化设计

1. 系统通风设计

全地下式污水处理厂在运营中，面临着潮湿发霉、夏季结露、臭气外溢等问题，为避免影响周围环境和运营环境，该厂主要从以下三个方面解决：（1）营造良好的通风环境。箱体采用机械送风、机械排风方式，送风量为排风量的80%，保障箱体内部微负压状态避免臭气外溢；排风管路系统设计均衡，并在支管设计调节阀，避免风机风压不平衡、送风不均匀；重点区域增设除湿机，保障地下空间湿度良好。（2）送风口设置风机盘管，利用污水源热泵提供能量对进风进行制冷，避免结露问题。（3）臭气收集处理。地下厂常用臭气处理工艺包括离子除臭、全过程除臭、生物除臭等，根据不同区域臭气浓度，采取不同除臭方式，保障环境良好^[1]。

2. 采光与照明设计

地下箱体内部若采用电力提供照明，会带来较大的资源损耗，不符合低碳发展需求。该厂主要采取以下措施提高地下采光效果：（1）在箱体顶部合适位置设置采光井，通过导光管最大限度地使用室外自然光线，减少白天照明成本。（2）照明采取采用智能控制系统，分为无人、巡视、检修等几种控制模式，既可以满足不同区域的照明要求，又可实现灵活控制，节能减排。

（3）在箱体上部根据空间规划和布局布置太阳能电池板，利用其产生的电能作为辅助能源补充到照明系统中。（4）做好应急照明系统的合理化设计。

3. 消防安全设计

地下污水厂内均为处理污水、污泥的蓄水或盛水构筑物，一般不易发生火灾，只有在操作失误、违反规程、管理不当及其他非常生产情况或意外事故状态下，才可能由各种因素导致火灾发生。

该厂消防安全设计如下：（1）根据防火分区划分原则，划分为11个防火分区，其中负二层1个，负一层10个，各个防火分区内也会保持独立性，起到阻断火势蔓延的作用。（2）每个防火分区至少设1个直通室外的独立安全出口及1个通往相邻防火分区的第二安全出口，满足紧急疏散的需求。（3）消防系统设计有火灾自动报警系统、室内消火栓系统、自动喷水灭火系统、气体灭火系统及灭火器，并设计了消防排烟设施，全方位确保地下空间的安全。（4）使用的设备、材料等均

具有较强的防火性与耐燃性，尤其采用阻燃电缆^[2]。

4. 箱体防淹设计

箱体水淹风险主要来源有外水和内水，外水包括地下水、地面水、管道中的污水、雨水、尾水收纳水体等，内水主要指构筑物内的水^[3]。

对于外水防淹没风险控制措施：（1）厂区地坪设计标高在百年一遇水位上加0.5m，同时在出入口设计雨棚、驼峰和截洪沟，阻止地面水进入箱体。（2）箱体防水等级一级，混凝土内掺加防水外加剂，达到防水混凝土要求；箱体外表面（外墙及顶板）采用聚氨酯防水涂料及防水卷材两道防水，箱体外表面（底板）采用大于2.0厚聚氨酯防水涂料，从而阻止地下水进入箱体。

（3）进厂管道采用“速闭闸+管夹阀”方式，水量超过预警值时，速闭闸、管夹阀迅速关闭，阻止管道水进入箱体。（4）尾水泵房出水管上设止回阀，且出水采用高位井的方式，可以避免受纳水体倒灌。

对于内水防淹没风险控制措施：（1）两级提升泵房均设置溢流口，溢流至安全水池，内设潜污泵，提升至厂外。（2）两级提升泵、安全池提升泵、速闭闸均设置EPS备用电源，避免停电水淹风险。（3）细格栅设置溢流渠道，可实现超越。（4）混凝沉淀池、滤池均设置超越措施，在出现问题时水可超越进入安全池。

三、技术经济分析

从以下几方面对该厂进行技术经济分析：（1）节省土地资源。该箱体占地约1.6ha，吨水占地0.4m²，而地上厂吨水占地一般在0.8-1m²。（2）提升周边土地价值。地上空间打造为花园生态型，为周边居民提供了休憩场所，提升了周边土地价值。（3）基础建设投资高，同规模、同水质标准地上污水处理厂吨水建设成本5000元，而该污水处理厂的吨水建设成本为11000元。

（4）运营成本高。全地下式污水处理厂需额外的照明、通风、末端提升等，吨水直接经营成本约3元、总成本约3.6元，同规模、同水质标准地上污水处理厂吨水直接经营成本约1.5元、总成本约2元。

结束语

综上所述，尽管全地下式污水处理厂具有前期建设成本高、运行成本高的不足，但该建设模式可节省大量土地资源、提高土地利用率高、盘活周边土地价值，并结合上盖开发形成EOD、TOD新业态，逐渐成为城市污水处理系统建设的新趋势和新需求。

参考文献

- [1] 龚云娇. 全地下式市政污水处理厂的设计和应用分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(02): 86-87.
- [2] 刘海洪. 全地下式市政污水处理厂的设计和应用分析[J]. 砖瓦, 2020(06): 91-92.
- [3] 陈秀成. 全地下污水处理厂防淹设计要点及工程案例[J]. 给水排水, 2020, 48(5): 50-59.