

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.04.011

污水处理厂中双层平流沉淀池的工艺设计要点

陈昱霖, 李文强, 杜炯

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要: 苏州高新污水厂为迁建工程,设计规模 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,采用 A^2O /双层平流沉淀池/深度处理工艺,通过全地下建设模式,减小了污水厂运行对周边环境的影响。双层沉淀池作为一种特殊形式的平流沉淀池,具有处理负荷高、用地节约等特点,介绍了其主要设计参数及总体布置方式、上下游衔接方式、沉淀区配水模式等,该池在利用有限空间的基础上实现了布水均匀、运行稳定。本工程用地面积仅为建设标准的45%,释放用地 4.2 hm^2 ,实现了节约土地和综合投资的目标。

关键词: 平流式双层沉淀池; 并联式; 地下式污水处理厂

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)04-0065-05

Key Points of Process Design of Double Deck Horizontal Flow Sedimentation Tank in Sewage Treatment Plant

CHEN Yu-lin, LI Wen-qiang, DU Jiong

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Suzhou hi-tech sewage treatment plant is a relocation project with a design scale of $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$. Its treatment process consists of A^2O process, double deck horizontal flow sedimentation tank and advanced treatment, which reduces the impact of sewage plant operation on the surrounding environment through the underground construction mode. As a special form of horizontal flow sedimentation tank, double deck horizontal flow sedimentation tank has the following features: high treatment load and land saving. This paper introduced the design parameters, general layout, upstream and downstream connection and water distribution mode in the sedimentation area. On the basis of using the limited space, the water distribution of the sedimentation tank was uniform and the operation was stable. The footprint area of this project was only 45% of the construction standard, and the land release was 4.2 hm^2 , realizing the goal of saving land and comprehensive investment.

Key words: double deck horizontal flow sedimentation tank; parallel connection; underground sewage treatment plant

沉淀池是重要的水质净化构筑物,一般分为平流式、辐流式、竖流式等形式,其中平流沉淀池具有耐冲击负荷、适应性强、施工方便、布置紧凑等诸多优点,适用于各种地质条件^[1]。双层沉淀池最初于

20世纪60年代在日本出现,美国从同期开始采用双层沉淀池^[2],但由于其构造较为复杂、运行维护难度较大,故在国内的实践应用相对较少,在污水领域应用案例更少,设计经验相对欠缺。随着城镇化建

基金项目:上海市“科技创新行动计划”项目(21DZ1209803)

通信作者:杜炯 E-mail: dujiong@smedi.com

设的发展,城市中建设用地的价值不断上涨,对污水厂等敏感设施的用地选择、环境要求不断上升。双层平流沉淀池通过空间上的“折叠”,提高了土地利用效率,减少占地,在沿袭了普通平流沉淀池优点的基础上,更适应现今用地紧张的大环境。

双层沉淀池根据结构形式可分为串联式与并联式:串联式双层沉淀池相当于将平流沉淀池“对折”,增加了停留时间,减少了平面布置长度,如大连市三道沟净水厂即采用了串联式双层沉淀池^[3];并联式双层沉淀池相当于两组或多组平流沉淀池重叠起来,上下两组(或多组)同时进水,国内首座应用并联式双层沉淀池的污水工程为深圳布吉污水处理厂^[4]。另外,上海市石洞口污水处理厂^[5]、香港净化海港计划第二期甲污水厂、新加坡 Kranji 污水处理厂、日本东京 Hachioji 污水处理厂、台湾铜锣污水处理厂均在初沉池或二沉池中采用了双层沉淀池。

1 工程概况

1.1 用地条件

苏州高新污水处理厂位于苏州市高新区,近期规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,远期规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据区域整体规划,考虑污水处理厂环保退界要求,结合周边用地情况,对污水处理厂进行局部迁建。原污水处理厂用地总计 8 hm^2 (包括A、B两块,见图1),考虑运河路西侧地块开发,拟征用地块C作为迁建后用地,新厂用地仅 3.8 hm^2 。



图1 污水处理厂用地情况

Fig.1 Land use of the sewage treatment plant

根据《城市污水处理工程项目建设标准》(建标198—2022), $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水厂建设用地应为约 8.5 hm^2 。本工程实际用地仅为建设标准的45%,设计过程中考虑设施的节地性,采用地下式污水厂形式。污水处理厂建成后,将成为一个与环境协调统一、与自然和谐共处的现代化花园式全地下集约化污水处理厂。

1.2 进、出水水质

根据苏州颁布的《关于高质量推进城乡生活污水治理三年行动计划的实施意见》要求,污水处理后尾水需达到“苏州特别排放限值标准”的出水要求[高于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准]。本工程设计进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
设计进水	450	220	300	35	45	6
设计出水	30	10	10	1.5(3)	10	0.3

1.3 主要工艺流程

苏州高新污水厂采用A²O工艺,污水经格栅、沉砂池的一级处理后,进入生物反应池,后经二沉池处理后进入深度处理区,总体工艺流程见图2。

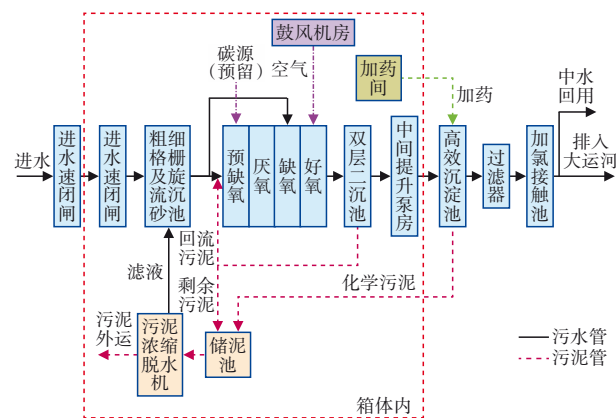


图2 污水处理厂工艺流程

Fig.2 Process flow chart of the sewage treatment plant

2 二沉池形式选择

本工程二沉池位于A²O生物反应池后,生物反应池设计有效水深约9 m,总体池深约10 m,总宽度约80 m,分为2组4系列。根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021),平流沉淀池单格长宽比不宜小于4,长深比不宜小于8,总长不宜大于60 m。

结合本工程设计参数,如采用常规单层平流沉淀池,考虑沉淀池总宽度与生物反应池相近,池体总长将大于60 m,沉淀池沉淀效率相对较差。故考虑采用双层平流沉淀池,通过叠层的设计方式,将单层有效长度控制在60 m以下,确保沉淀效率。另一方面,考虑单层沉淀池水深4~4.5 m,二沉池总池深与生物反应池接近,箱体在该段可采用共用同底板、同宽度设计,优化结构设计。另考虑采用同侧进出水的串联式双层沉淀池不利于污水厂整体水力流向布置,故本工程采用并联式双层沉淀池。

3 双层沉淀池设计

3.1 设计参数

苏州高新污水厂二沉池设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,峰值系数 K_z 取1.3。二沉池分2座共12格,单池有效长度约35~37 m,总有效水深为8.5 m(上层4 m,下层4.5 m)。高峰时段表面负荷为 $1.14 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,平均时段表面负荷为 $0.88 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;污泥量约19 800 kg/d,污泥含水率99.2%。沉淀池上下层分布见图3。

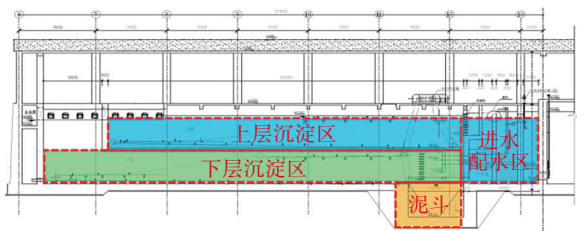


图3 沉淀池剖面示意

Fig.3 Section diagram of sedimentation tank

3.2 总体布置

本工程为地下式污水厂,设置2座双层沉淀池,两座沉淀池之间的空间设置车道、综合管廊等辅助设施。沉淀池平面布置见图4。

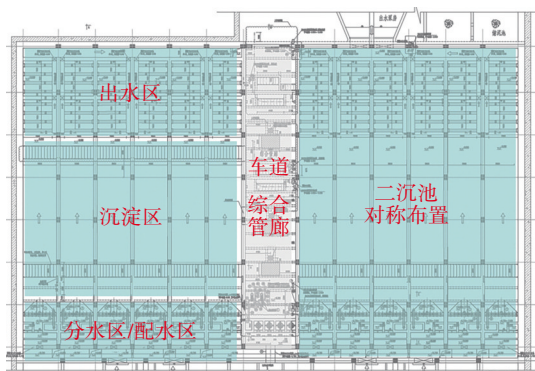


图4 沉淀池平面布置

Fig.4 Plane layout of sedimentation tank

二沉池总体从进水至出水分为分水区、配水区、排泥区、沉淀区、出水区。沉淀池竖向分为3层:第一层为地下层,主要是设备安装和巡检层;第二层主要是双层沉淀池的上层沉淀区;第三层主要是双层沉淀池的下层沉淀区。

3.3 分水区 and 配水区设计

进水分配均匀是影响沉淀池运行效果的关键因素。有别于常规地上式污水厂,全地下污水厂二沉池和生物反应池通过渠道连接,分/配水区域空间较为紧张。本工程分/配水区示意图见图5。生物反应池分为2组4系列,通过生物反应池底部的4处出水孔出水,进入生物反应池和二沉池之间的分水区。分水区根据生物反应池出水口位置分为4格,每格内设置中隔板整流,均匀分配进水至12格二沉池。分水区底部设置了曝气系统,防止底部淤积。

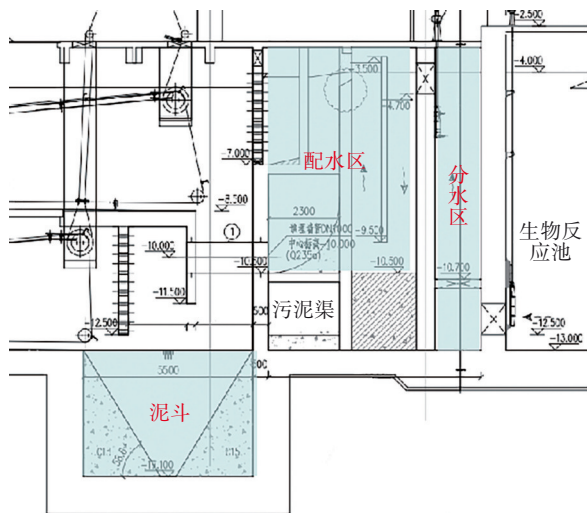


图5 分/配水区布置示意

Fig.5 Layout of water distribution area

二沉池上下层采用比例堰方式进行配水,单格二沉池配水区尺寸约 $5.5 \text{ m} \times 3.2 \text{ m}$,其中比例堰总宽度约3 m,按照上下层有效长度及水深均匀分配水量。污水进入配水区后通过中部比例堰进入上层沉淀池,然后进入进水花墙,宽度由1.5 m扩展至5.5 m。下层沉淀池污水由两边比例堰进入下层进水仓,进水仓和进水花墙前区域通过短管连接,利用短管设置避免了上层排泥对下层进水的影响和扰动。

花墙采用配水孔板形式,孔眼大小为 $\varnothing 250 \text{ mm}$,上下层花墙有效过流区域尺寸为 $5.5 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$,单面花墙设置过水孔 11×6 个,共66个圆孔,开孔

面积为过水断面的6%~20%,过孔流速约0.15 m/s。上层花墙顶部设置0.5 m×5.5 m溢流孔,防止悬浮物淤积和集气。

3.4 沉淀区设计

沉淀区总长度约40 m,上下层有效沉淀长度分别为35 m和37 m,采用机械刮板刮泥,要求池底坡度不小于0.005,本工程池底纵坡设计为1%。沉淀池单格池宽结合全地下污水厂梁柱框架结构布置,考虑净池宽5.5 m,与柱间距一致。上、下层单格沉淀面积分别达到192.5、203.5 m²,沉淀池总面积约4 752 m²。根据沉淀池实际总面积,复核沉淀池上、下层池体实际平均流量及峰值流量时表面水力负荷分别为0.88、1.14 m³/(m²·h)。

沉淀池上、下层池深分别为5.5、4.5 m,上下层分隔板厚度50 cm。上下层沉淀池底部分别设置了30 cm导坡,便于刮泥机将池底污泥送至泥斗。实际上、下层有效水深分别为4、4.5 m。

3.5 出水区设计

出水区位于沉淀池末端,采用三角堰出水,整个出水区分为内侧和外侧两个部分,分别对应上层和下层沉淀池:上层池体的上清液通过二沉池沉淀区末端内侧出水区的4道出水渠出水,单道出水渠尺寸为4.8 m×0.4 m,4道出水渠汇总至一侧的出水渠道;下层池体的上清液通过外侧的4道出水渠出水,单道出水渠尺寸为4.8 m×0.4 m,4道出水渠汇总至同一侧的出水渠道。出水渠道收集内外共8道出水渠出水后汇至沉淀池末端的总水渠渠道送至下一构筑物。

单格沉淀池上层池体出口堰堰长38.4 m,平均流量及峰值流量时出口堰负荷分别为1.22及1.59 L/(m·s);单格沉淀池下层池体出口堰堰长与上层一致,流量略大于上层,对应的平均流量及峰值流量时出口堰负荷分别为1.29及1.68 L/(m·s)。上下层峰值流量时出口堰负荷均满足《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)规定的1.7 L/(m·s)要求。

3.6 排泥区设计

本工程双层平流沉淀池采用非金属链条刮泥机刮泥排渣,污泥斗采用锥形渐扩型式。上、下层各设置1套刮泥机,但2套刮泥机共用一套执行装置,布置于池顶。刮泥机单机功率0.55 kW,刮泥机设计运行速度按0.3~0.6 m/min考虑,实际运行过程中根据预设程序自动控制刮泥机运行。

每格沉淀池设置1处泥斗,用于收集暂存上下两层刮泥机带来的底泥。泥斗上部尺寸为5.5 m×5.5 m,下部尺寸为0.5 m×0.5 m,深度约5 m。泥斗角度接近60°,以确保污泥顺利滑落至泥斗。泥斗中污泥通过静压排泥方式送至污泥渠,通过二沉池中部的回流污泥泵送至生物反应池,设置外回流污泥泵(潜水轴流泵)4台,单台流量1 805 m³/h,另设剩余污泥泵2台,单台流量115 m³/d。

3.7 其他设计

① 撇渣系统

为考虑二沉池浮渣清除,在沉淀池上层设置电动管式撇渣管12套,每套直径为30 mm,配套相应的驱动装置,按2 h撇渣一次设计。每3套撇渣管设置1处收渣井,位于每3格二沉池中部,收集的浮渣通过自吸式排渣泵送至撇渣井,便于工人清捞。

② 放空及检修系统

二沉池刮泥机依靠链条驱动,刮板、铰链等水下配件较多,实际生产运行中易发生故障,检修频次较高。设计单格二沉池独立设置放空系统,上层污水可顺坡送至二沉池前部,经由落泥通道进入下层沉淀池;下层沉淀池污水通过二沉池末端放空管与2座二沉池之间的放空泵站连通,通过放空泵房对二沉池进行放空;泥斗中的剩余污泥及污水,通过移动式存水泵进行放空。

另外,在二沉池上部平台、上下层隔板均设置检修孔。上部平台设置检修盖板,盖板上部配套起吊装置,用于检修期起吊设备和人员出入;上下层隔板上检修孔平时覆盖盖板,防止上层污泥从检修孔掉入下层,影响下层沉淀效果。

③ 空间利用

本工程设置2座二沉池,2座二沉池之间区域考虑综合空间利用(见图6)。

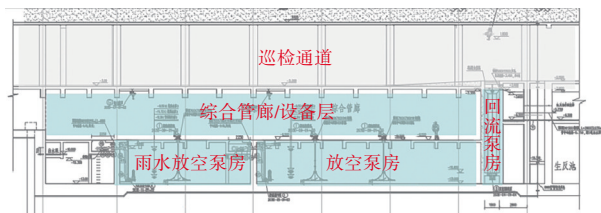


图6 沉淀池中间区布置

Fig.6 Layout of the middle area of sedimentation tanks

双层沉淀池主要分为3层,每层高度为4~6 m,考虑中间区域各层高度与沉淀池分层一致,故设计

各层共板,受力结构更合理,同时对各层功能进行针对性设计:第一层作为巡检通道,用于参观、运输车辆通行;第二层作为综合管廊层,用于布置剩余污泥泵(干式)、污泥管、放空管以及生产辅助管线;第三层作为放空泵房区域,用于二沉池各格检修放空,另设1座雨水放空泵房,用于地下厂箱体进出通道排水沟收集的雨水放空。

4 双层沉淀池的设计要点

① 双层沉淀池主要利用浅池理论,将沉淀池分隔为上下两层相对较浅的沉淀池,一般单层有效水深宜设在3 m以上,不宜过浅,否则将导致沉淀池池长或池宽增加,达不到节地效果。

② 由于双层沉淀池总有效水深较大,其过水断面比普通平流沉淀池大,故设计水平流速可取低值,一般在5~15 mm/s。由于沉淀池池深增加,而池宽不变,集水区的出水槽布置的空间比常规平流沉淀池小,设计时应复核出水槽水力负荷。

③ 双层沉淀池设置在地下箱体中时,结合平流沉淀池刮泥机检修频率高的特点,应充分考虑检修、设备起吊运输通道,降低运维难度;同时可以考虑在出水槽上部增设拱形玻璃钢罩,以避免水气、臭气散逸和蚊虫滋生问题。

④ 双层沉淀池撇渣管设置难度较大,可考虑仅在上层设置撇渣管,或不设置撇渣管,通过减小预处理格栅栅隙实现浮渣的削减。

⑤ 在地下厂中应用双层沉淀池时,应与地下厂整体设计综合考虑,以上下游构筑物深度、地下厂主要柱间距作为沉淀池设计参数的确定依据;排泥系统是设计的关键,两层排泥方式和外排通道需要结合总体布置一并考虑。

5 结论

本工程是苏州市区第一座全地下污水厂,工程用地标准仅 $0.38 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,远低于行业标准。通过环境友好型污水厂的实施,激活了周边地块的建设与发展,污水厂上部进一步开发利用,项目释放用地 4.2 hm^2 。现阶段污水厂处于通水调试状态,双层沉淀池总体运行良好。

相较于普通平流沉淀池,双层平流沉淀池在建设用地紧张、用地限制较多的污水厂工程中应用效果良好,尤其在地下式污水厂工程中具有明显的优势,可与生物反应池池体深度耦合,综合考虑土建

方案,减少投资。通过优化设计参数及合理的排泥系统布置,可以使双层平流沉淀池的运行更优化、节能。

参考文献:

- [1] 王学福,齐敦哲,朱寅春,等. 双层平流沉淀池的设计与应用[J]. 净水技术,2013,32(1):83-86.
WANG Xuefu, QI Dunzhe, ZHU Yinchun, et al. Design and application of double-deck horizontal sedimentation tank [J]. Water Purification Technology, 2013, 32(1): 83-86(in Chinese).
- [2] 王文鑫,刘焕芳,孙志华. 新型双层平流沉淀池沉淀性能试验研究[J]. 中国农村水利水电,2017,4(2):140-144,149.
WANG Wenxin, LIU Huanfang, SUN Zhihua. Experimental research on new type double-deck horizontal flow sedimentation tank [J]. China Rural Water and Hydropower, 2017, 4(2): 140-144, 149(in Chinese).
- [3] 常鹏飞,陈金荣,曹雪梅,等. 串联式双层平流沉淀池的工艺设计[J]. 中国给水排水,2012,28(10):59-62.
CHANG Pengfei, CHEN Jinrong, CAO Xuemei, et al. Process design of series double layer horizontal flow sedimentation tank [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(10): 59-62(in Chinese).
- [4] 靳云辉,周建忠,张学兵,等. 双层平流沉淀池在深圳布吉污水处理厂工程中的应用[J]. 中国给水排水,2012,28(20):69-72.
JIN Yunhui, ZHOU Jianzhong, ZHANG Xuebing, et al. Application of double-deck horizontal sedimentation tank in Shenzhen Buji wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(20): 69-72(in Chinese).
- [5] 胡维杰. 上海市石洞口污水处理厂提标改造方案探讨[J]. 中国给水排水,2014,30(2):44-47.
HU Weijie. Discussion on upgrading and reconstruction scheme of Shanghai Shidongkou WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(2): 44-47(in Chinese).

作者简介:陈昱霖(1989-),男,浙江舟山人,硕士,工程师,主要从事给排水设计、黑臭河道治理等相关领域研究。

E-mail:chenyulin@smedi.com

收稿日期:2021-07-21

修回日期:2022-03-13

(编辑:孔红春)