

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.07.087

超大型半地下污水处理厂基坑设计与分析

孙仕敏

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 以上海市某半地下式污水处理厂超大基坑为例,分析了此类基坑设计的特点与难点,详细介绍了基坑围护结构选型,基坑设计方案,包括围护桩(墙)选型,支撑选型,分区实施等措施,并分析了该工程基坑设计的关键技术,可供今后软土地区类似深大基坑设计借鉴和参考。
关键词: 半地下式;污水处理厂;超大基坑;分区实施;软土地区
中图分类号: TU47 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2021)07-0329-04

0 引 言

随着国内城市化进程的加快,集约化土地利用观念的深入和环境保护要求的不断提高,地下式污水厂近年来在国内得到迅速推广^[1]。地下式集约化污水处理厂的设计,尤其是基坑支护的设计,相较于传统地上的、分散式的污水处理厂,开挖面积和深度更大,建设复杂程度也更大^[2],本文以上海市某集约化半地下式污水处理厂超大基坑为实例,结合此类基坑的特点与难点,详细介绍了基坑围护结构选型,基坑设计方案,包括围护桩(墙)选型,支撑选型,分区实施等措施,并着重分析了基坑设计的关键技术,为今后软土地区类似深大基坑工程提供参考。

1 工程概况

1.1 工程结构概况

本集约化半地下式污水处理厂位于上海市郊区,主体结构为一层加盖钢筋混凝土结构,包括生物反应池、二沉池、反硝化深床滤池、提升泵房及高效沉淀池、加氯接触池,均半埋于地下。主体结构层高为 5.10~9.00 m,局部层高 10.00 m,底板自西向东由高到低,底板顶标高为 -6.90~1.55 m,现状地面标高除东侧为 3.80m 外,其余侧为 3.00 m。基坑轮廓为不规则形状,平面尺寸为 166m × 282 m,基坑开挖深度为 1.85~11.9 m。基坑开挖深度分区平面见图 1,基坑主要区域开挖深度剖面见图 2。

收稿日期: 2021-03-06
作者简介: 孙仕敏(1987—),男,硕士,工程师,从事排水结构设计工作。

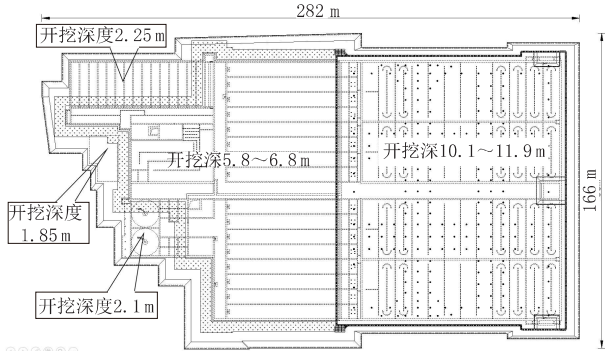


图 1 基坑开挖深度分区平面图

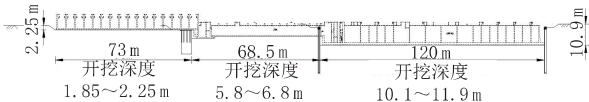


图 2 基坑开挖深度分区剖面图

1.2 工程地质条件

根据勘察报告,本工程基坑开挖影响范围内存在较厚的淤泥质粉质粘土层,且越靠近场地东侧(底板埋深大处)淤泥质粉质黏土层越厚,普遍达 10.30~11.00 m,场地内主要土层基本参数见表 1。

场地内浅层地下水属潜水,勘察期间稳定地下水位标高在 1.96~3.15 m 之间。场地内承压水为第⑥₂层承压水及第⑦₁、⑦₂层承压水,其中第⑥₂层承压水勘察期间水位标高为 -0.79 ~ -0.87m,在基坑开挖场地范围南侧(A 坑与 B 坑交界处附近)呈透镜体分布,经验算,基坑第⑥₂层承压含水层突涌安全系数为 1.128,满足抗承压水稳定性要求。

1.3 周边环境条件

主体基坑周边环境以厂区内空地及新征空地为主,箱体北侧、西侧为厂区内空地,南侧原有房屋已拆迁,周边无重要管线和建(构)筑物。主体基坑东侧为

表 1 土层基本参数表

土层 编号	土层名称	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	抗剪强度 标准值		渗透 系数 $k/$ $(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$
			C_k/kPa	$\varphi_k/^\circ$	
②	褐黄 - 青灰色 粉质黏土	18.8	21	19.5	6.0×10^{-6}
③ ₁	灰色淤泥质 粉质黏土	17.8	13	17.0	6.5×10^{-6}
③ ₂₋₁	灰色黏质粉土	18.6	7	29.5	3.0×10^{-4}
③ ₂₋₂	灰色砂质粉土	18.6	6	30.5	8.0×10^{-4}
③ ₃₋₁	灰色黏土	17.6	14	13.5	6.5×10^{-7}
⑥ ₁	暗绿色粉质黏土	19.8	42	19.5	4.5×10^{-6}
⑥ ₂	灰绿 - 灰色黏质 粉土夹粉质黏土	18.7	6	31.5	7.0×10^{-4}
⑥ ₄₋₁	暗绿 - 草黄色 粉质黏土	19.4	35	19.5	5.0×10^{-6}

该污水处理厂二期工程建(构)筑物及管线,两根 DN150 水管距离基坑东侧分别约为 10.4 m 和 11.4 m, DN150 水管均为给水 PE 管,埋深约 1 m;高效沉淀池距离基坑东侧最近处约 13.7 m,该池体平面尺寸 34.7 m $\times$ 35.2 m,底板埋深 6.35 m,基础为预应力混凝土管桩基础;圆形二沉池距离基坑东侧最近处约 14.7 m,池体结构外直径 46.4 m,底板埋深 3.30~6.85 m,基础为预应力混凝土管桩基础;鼓风机房距离基坑东侧约 20.2 m,其为单层厂房,平面尺寸 60.7 m $\times$ 15.2 m,基础为预应力混凝土管桩基础,内配有控制室、配电所、变压器室、桥式起重机等。基坑周边环境条件见图 3。

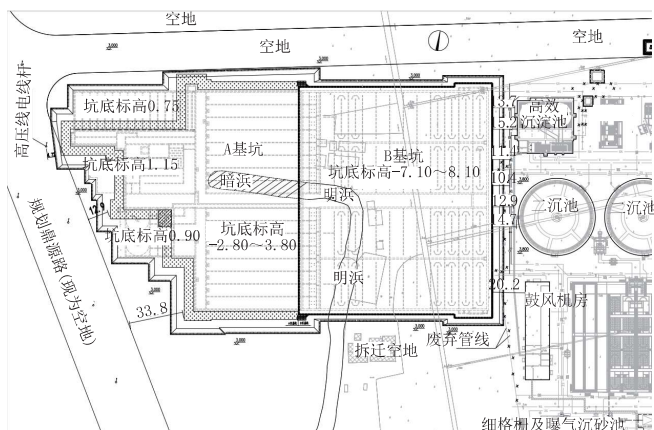


图 3 基坑周边环境平面布置图

2 基坑设计特点与难点

集约化地下式污水处理厂通常采用一体化箱体设计，此类污水处理厂基坑一般具有以下一个或多个特点。

(1) 基坑面积超大。此类污水处理厂将主要污水处理设施集中起来布置于地下,且考虑到土建分期实施难度较大,往往采取后期土建与现期一并实施,设备分期安装的策略,因此集约化地下式污水处理厂基坑开挖面积巨大。本新建工程设计规模为 $11 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 基坑面积近 $37\,000 \text{ m}^2$ 。

(2) 基坑开挖深度较大,且开挖深度相差大。地下式污水处理厂将整个水处理构筑物池体层置于地下,对全地下厂,生产管理操作层及地面层也位于地下。由于厂区地面绿化要求,地面层往往需一定厚度的覆土。因此,一般对于半地下式污水处理厂基坑开挖深度大多在 10 m 以上,而对于全地下式污水处理厂可达 15 m 以上。半地下式污水处理厂没有将生产管理操作层及地面层一并放入地下,因此基坑开挖深度一般比全地下污水处理厂要小,由于工艺处理需求的不同,基坑开挖深度相差往往较大,本工程基坑开挖深度为 1.85~11.90 m,这就决定了基坑支护需采用多种型式。

(3) 基坑支撑换撑困难。地下污水处理厂由于各个专业设施占用空间的需要,层高一般较大,基坑回筑阶段利用楼板换撑困难。本工程为地下一层结构,普遍层高 9 m,局部达 10 m,无可利用楼板换撑的条件。

(4)工程地质条件。土层性质和水文地质条件根据建设场地不同而不同,污水处理厂一般靠近河道选址,需特别注意地下水与基坑的贯通情况。本工程中场地东侧软弱土层普遍达 10.30~11.00 m。

(5)周边环境相对较为简单,但不绝对。污水处理厂一般选址于城市郊区,相较于城市建(构)筑物密集区的基坑周边环境较为简单,但根据选址不同,基坑开挖影响范围内也存在诸如地铁、河道防汛墙、厂区内既有建(构)筑物和管线,居民楼等建(构)筑物。

3 基坑设计方案

根据地质条件, 基坑周边环境和基坑开挖深度差异大等特点, 基坑设计考虑采用不同支护型式, 且分坑支护与开挖的方案。A 基坑平面尺寸 $142\text{ m} \times 164\text{ m}$, 开挖深度为 $1.85 \sim 6.8\text{ m}$, B 基坑平面尺寸 $127\text{ m} \times 151\text{ m}$, 开挖深度为 $10.1 \sim 11.9\text{ m}$, 见图 4。

结合基坑开挖深度和周边环境条件,A 基坑安全等级和环境保护等级均为三级,围护体最大水平位移控制值为 $0.7\%H$ (H 为基坑开挖深度,下同),地面

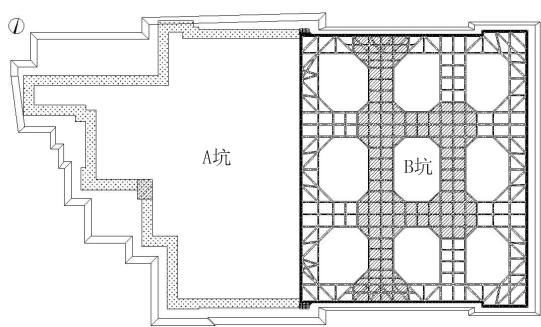


图 4 主体基坑围护平面图

最大沉降控制值为 0.55% $H^{[3]}$;B 基坑东侧安全等级与环境保护等级均为二级,围护体最大水平位移控制值为 0.55% $H(H$ 为基坑开挖深度,下同),地面最大沉降控制值为 0.25% $H^{[3]}$;B 基坑其余侧安全等级为二级,环境保护等级为三级,围护体最大水平位移控制值为 0.7% H ,地面最大沉降控制值为 0.55% $H^{[3]}$ 。

A 坑周边环境条件简单,平面形状不规则,开挖深度小于 3 m 的基坑采用放坡开挖,开挖深度为 5.6~6.8 m 的基坑采用顶部放坡 2.5 m 结合重力式挡墙开挖,重力式挡墙采用直径 850 mm,间距 600 mm 的水泥土三轴搅拌桩,坑底采用 4.2 m 宽双轴搅拌桩裙边加固,5.8 m 深基坑重力式挡墙宽 5.05 m,长 9.5 m,6.8 m 深基坑重力式挡墙宽 5.65 m,长 12.5 m。

结合基坑周边环境,B 坑采用顶部放坡,SMW 工法桩结合内支撑支护型式开挖,基坑北侧、南侧与西侧工法桩采用直径 850 mm,间距 600 mm 的水泥土三轴搅拌桩,内插 H700×300×13×24 型钢,插二跳一。考虑到基坑东侧开挖深度为 10.9 m,局部坑深 11.9 m,场地内淤泥质粉质黏土厚度达 10 m 以上,原厂区内二期建(构)筑物距离基坑东侧较近,保护要求较高,该侧工法桩采用直径 1 000 mm,间距 750 mm 的水泥土三轴搅拌桩,密插 H800×300×14×26 型钢。内支撑采用竖向两道混凝土支撑,支撑系统采用对撑+角部斜撑的边桁架支撑体系,典型剖面见图 5。为方便施工,B 坑第一道混凝土支撑设置环形施工栈桥,栈桥板厚 300 mm。非栈桥板和栈桥板支撑下立柱桩分别采用直径 800 mm 和 1 000 mm 钻孔灌注桩,其中栈桥板下方立柱桩桩端采用后注浆加固。B 坑换撑采取两种方法:方法 1,能利用永久隔墙换撑处采用短直钢支撑或传力板的方式;方法 2,无永久隔墙可利用处采用钢管斜抛撑换撑,斜抛撑一端支撑于已浇筑底板。

A 坑与 B 坑施工顺序如下:B 坑围护桩、工程桩、

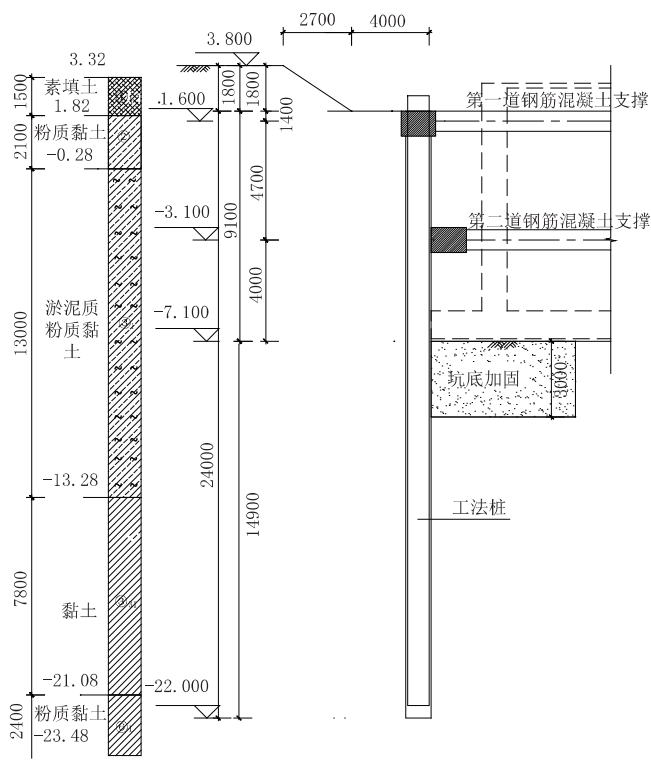


图 5 B 基坑典型剖面图(单位:mm)

立柱桩、地基加固及格构柱施工,降水井施工(A 坑重力式挡墙、坑底加固于 B 坑围护桩完成后实施)→B 坑随挖随浇注第一、二道混凝土支撑→B 坑开挖至坑底浇筑底板→拆除第二道支撑后换撑→拆除第一道支撑(A 坑距离 B 坑由远及近开挖)→A 坑开挖至坑底浇筑底板→浇筑剩余内部结构。

A 基坑与 B 基坑围护设计主要剖面稳定性验算和变形计算结果汇总见表 2。

表 2 基坑围护设计主要剖面稳定性验算和变形计算结果汇总

基坑验算内容	A 坑	A 坑	B 坑	B 坑东侧	B 坑东侧
挖深/m	5.8	6.8	10.1	10.9	11.9
安全等级	三级	三级	二级	二级	二级
环境保护等级	三级	三级	三级	二级	二级
桩长/mm	9.5	12.5	24	24	27
$\delta H_{max}/mm$	30.2	35.8	33.8	32.2	35.4
$\delta Z_{max}/mm$	26.8	29.9	27.1	25.8	28.3
$\gamma_{坑底}$	4.87	3.52	2.86	2.41	2.18
$\gamma_{墙底}$	13.59	2.81	4.88	4.81	4.56
γ_{RQ}	2.50	2.20	1.68	1.19	1.13
γ_{RZ}	3.22	2.32	2.28	1.86	1.69

注: δH_{max} 为围护墙最大水平位移; δZ_{max} 为地面最大沉降; $\gamma_{坑底}$ 、 $\gamma_{墙底}$ 分别为坑底、墙底抗隆起稳定性安全系数; γ_{RQ} 为抗倾覆安全系数; γ_{RZ} 为整体稳定性安全系数。

4 基坑设计关键技术分析

4.1 A、B 坑交界处处理

A 坑与 B 坑交界处基坑底标高相差 4.3 m, 根据设计要求, 该处实施完成后底板为一整体板。A 坑底板浇筑前需拔除 B 坑西侧 SMW 工法桩内型钢, 并凿除水泥搅拌桩, 但拔除过早会因两侧土体高差过大导致土压力过大而影响基坑安全。经计算, 交界处型钢应在 B 坑底板浇筑完成, 素砼回填后, A 坑开挖至接近坑底时(挖深离设计坑底小于 1 m)拔除, 见图 6。

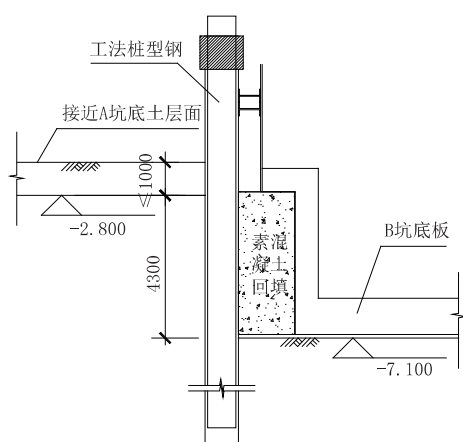


图 6 A 坑与 B 坑交界处处理措施(单位:mm)

4.2 超大型基坑换撑技术

本工程为地下一层结构, 层高 9 m, 局部层高为 10 m, 无可利用楼板换撑的条件, 且厂房顶板高出地面, 顶板需在第一道支撑拆除后才能浇筑。基坑回筑阶段换撑时一方面利用已浇筑永久隔墙采用短直钢支撑或传力板换撑, 另一方面采用钢管斜抛撑换撑。

4.3 分块开挖

本工程基坑开挖面积巨大, 若一次性大面积开挖对控制基坑围护变形不利, 设计要求 A 坑每次土方开挖重力式挡墙暴露的水平长度不大于 40 m, 待结构底板浇筑完成并达到设计强度 85%后方可开挖相邻土体; B 坑在第二道支撑浇筑完成并达到设计强度的 85%后, 剩余土方分块开挖, 开挖要求与 A 坑相同。

5 结 语

本文通过对上海市某集约化半地下式污水处理厂超大基坑设计的详细介绍和分析, 得出以下结论:

(1) 归纳总结了集约化地下式污水处理厂的一般特点, 如基坑开挖面积超大, 基坑开挖深度与坑底高差均较大, 基坑支撑换撑困难, 周边环境相对较为简单, 但不绝对。

(2) 对于集约化地下式污水处理厂基坑往往需要采取多种基坑支护型式, 本工程综合运用了放坡开挖、三轴搅拌桩重力式挡墙和钻孔灌注桩结合内支撑的支护型式。

(3) 通过对本污水处理厂超大基坑设计方案的详细介绍, 对关键技术进行分析, 为类似工程基坑设计提供参考。

参考文献:

- [1] 李国金, 李霞, 郭淑琴, 等. 地下式污水处理厂发展历程及工程设计注意要点[J]. 城市道桥与防洪, 2018(8):161-165.
- [2] 万玉生, 叶雅丽, 王长祥, 等. 某全地下式污水处理厂结构设计的关键技术及相关问题[J]. 特种结构, 2014, 31(2):34-37.
- [3] DG/TJ 08-61—2018, 基坑工程技术标准[S].

(上接第 324 页)

- [7] 张天宝. 长条形基坑抗隆起稳定及整体稳定性分析方法[D]. 天津: 天津大学, 2016.
- [8] 王洪新. 基坑宽度对围护结构稳定性的影响 [J]. 土木工程学报, 2011, 44(6):120-126.

- [9] 李亚杰, 王成华. 基于大比尺基坑模型试验的基坑隆起稳定性参数分析[R]. 天津: 天津大学, 2017.
- [10] 秦会来, 陈祖煜, 刘立鹏. 基于上限理论的软土基坑抗隆起稳定分析方法[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(9):1611-1619.