

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.07.061

# 水池类基坑换撑设计新思路与工程实践

钱宏伟, 李玉磊

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

**摘要:**水池类基坑换撑设计不仅需满足基坑本身安全与稳定性, 同时还需兼顾施工便捷性、工期要求、工程经济性以及水池满水等功能性试验要求。在总结南京软土地区水池类基坑工程换撑设计基础上, 提出利用水池主体结构的扶壁(或壁柱)、内部纵横向壁板作为换撑体系的基坑换撑新思路, 并应用于工程实践, 为同类设计和施工提供借鉴。

**关键词:**水池基坑; 换撑设计; 新思路

**中图分类号:** TU473

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2022)07-0227-03

## 0 引言

给水厂站水池多采用地下或半地下钢筋混凝土结构, 其结构形式与特点: 一是结构形式复杂, 基本无中层板, 但水池内部纵横向隔墙、堰板等构件众多, 外壁板需预留套管、孔洞等; 二是抗渗性及整体性要求高, 水池施工完毕后必须进行满水试验, 观测水池渗水量, 检查水池抗渗性能。为观测水池渗水量, 及试验合格后外壁防腐涂料施工质量, 围护体系与主体结构之间需预留操作空间, 在水池满水试验及池壁防水、防腐涂料施工完成后方可进行基坑肥槽回填。

结合水池主体结构形式与特点, 本文总结了软土地区水池类基坑一般及特殊条件下的几种换撑设计, 并针对特殊条件下的水池深基坑, 提出一种新的换撑设计思路, 为同类设计和施工提供借鉴。

## 1 水池类基坑一般换撑设计

对于开挖深度较浅, 采用一道水平支撑体系的水池类基坑, 可在围护桩与底板之间布置传力带, 待传力带强度达设计的强度 80% 以上后, 拆除第一道支撑, 即围护体与基础底板间换撑<sup>[1]</sup>。该位置的传力带仅起到支挡围护结构的抗压作用, 一般为方便施工, 采用与底板同厚度、同标号的素混凝土, 如图 1。

若在底板及底板传力带施工完成、拆除支撑工况条件下, 围护结构变形计算过大, 不满足周边环境保护要求或围护桩抗弯强度要求时, 传力带也可做

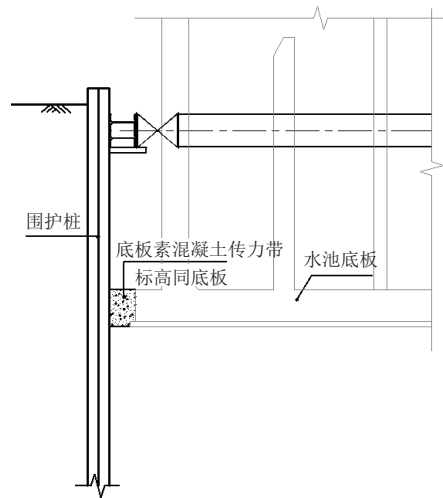


图 1 一般底板换撑示意图

成上翻牛腿形式, 以缩短拆除支撑工况下围护结构计算的悬臂高度, 控制围护结构变形及确保周边环境安全。上翻牛腿的配筋通过其所受荷载大小按弯剪构件计算, 如图 2。

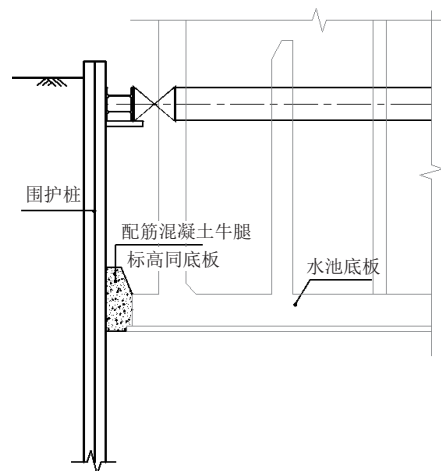


图 2 上翻牛腿换撑示意图

收稿日期: 2021-09-14

作者简介: 钱宏伟(1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事结构设计工作。

对于开挖深度相对较深,采用二道水平支撑体系的水池类基坑,常规换撑设计施工顺序为:(1)底板及底板传力带浇筑;(2)待底板及底板传力带强度达设计强度的80%以上后拆除第二道支撑;(3)继续施工水池壁板、顶板及顶板传力带;(4)待主体结构及顶板传力带达设计强度80%以上后拆除第一道支撑;(5)继续施工水池顶板以上部分主体结构。顶板传力带可间隔开孔,开孔长度一般不小于1m,以便于人员、材料的内外进出,肥槽内也可采用中粗砂或局部素混凝土回填,以确保回填密实性(见图3)。

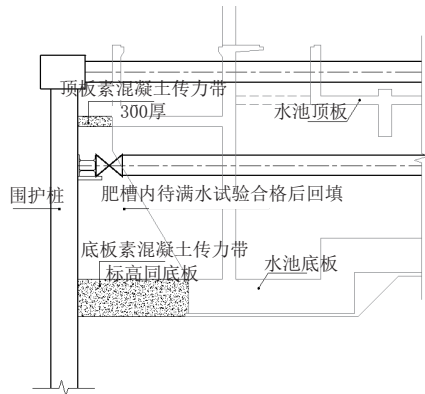


图3 常规底板、顶板换撑示意图

## 2 水池类基坑特殊条件下换撑设计

对于某些半地下式水池,当顶板位于现状地面上,即第一道支撑以上,且基坑深度较深时,仅在围护桩与底板之间布置传力带、拆除第一道支撑工情况下,基坑不能够满足稳定及围护桩变形控制要求,此时一般有两种处理方法。

方式一:在底板传力带与第一道支撑之间设置中间换撑带。

具体施工步骤为:(1)底板及底板传力带浇筑;(2)待底板及底板传力带强度达设计强度80%以上后拆除第二道支撑;(3)继续施工水池壁板及中间传力带至某一标高;(4)待主体结构及中间传力带强度达设计强度的100%后拆除第一道支撑;(5)继续施工水池余下部分主体结构。如下图4所示。

方式二:不设中间换撑带。

具体施工步骤为:(1)底板及底板传力带浇筑;(2)待底板及底板传力带强度达设计强度的80%以上后拆除第二道支撑;(3)一次性施工完水池壁板、顶板等主体结构,支撑与壁板相交处设止水钢板;(4)待主体结构施工完成并满水试验合格、防水防腐涂料施工完成后,基坑肥槽回填,割除第一道支撑。如下图5所示。

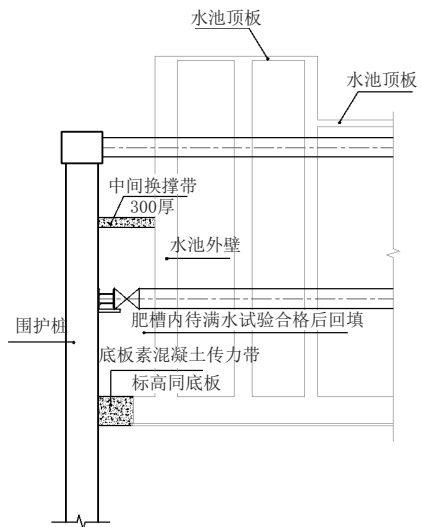


图4 底板传力带与第一道支撑之间设置中间换撑带示意图

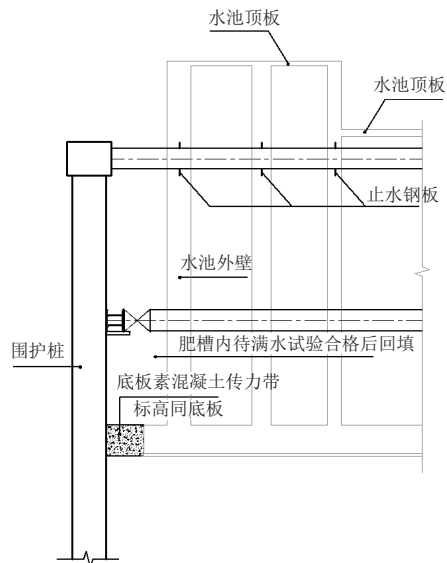


图5 不设中间换撑带示意图

以上两种方式中:第一种方式中,换撑带间接将外水土荷载传递至主体结构外壁板,故外壁板需按悬臂工况复核计算外水土荷载作用下的配筋及裂缝,此时外壁板往往壁厚较厚或配筋率较高,造成材料浪费,达不到工程经济性效果;第二种方式中,不设中间换撑带,需在第一道支撑上设止水钢板,往往水池内壁板较多且布置形式较不规则,导致主体结构止水节点增多,施工不便,且渗水风险增大,外壁板防水效果较难保证。

## 3 水池类基坑特殊条件下换撑设计新思路

针对以上情况,利用水池内部纵横向隔墙或壁柱布局特点,提出新的换撑思路。即方式三:利用水池主体结构的扶壁(或壁柱)、内部纵横向壁板作为换撑体系。

以某吸水井及二级泵房深基坑为例。吸水井为

半地下式钢筋混凝土水池结构,内部被纵横向隔墙分隔成网格,最大网格约 $9 \times 6$  m;二级泵房地下为带壁柱的挡土墙式钢筋混凝土结构,壁柱沿墙长间隔约6 m布置一个作为墙板的支座。吸水井及二泵房为合建结构,基坑开挖深度10.15~11.65 m,基坑平面尺寸 $99.84 \times 38.15$  m。

该基坑位于长江漫滩地区,土层自上而下依次为素填土、粉质黏土、淤泥质粉质黏土、粉质黏土夹粉土,其中淤泥质粉质黏土层厚约30 m。基坑采用 $\phi 1\ 000@1\ 200$  钻孔灌注桩结合两排 $\phi 800@500$  的高压旋喷桩止水的围护结构形式,共设两道水平支撑,第一道为钢筋混凝土结构,第二道为钢结构,围护结构剖面见图6。

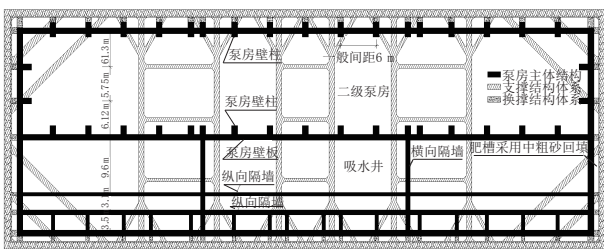


图6 主体结构与支撑、换撑体系相互关系平面图

该基坑利用吸水井纵横向壁板隔墙及二级泵房壁柱作为换撑体系,主体结构壁柱及内部纵横向壁板与基坑支护体系、换撑体系的平面相互关系如图7。纵向壁柱或吸水井隔墙一般间距约6 m,壁柱或隔墙传力带的厚度同对应壁柱或隔墙厚度,一般0.6 m或1 m。具体换撑设计为:(1)底板及底板传力带浇筑;(2)待底板及底板传力带强度达设计强度80%以上后拆除第二道支撑;(3)施工主体结构及壁板、壁柱传力带至第一道支撑下0.5 m,并壁板、壁柱传力带做成上翻牛腿形式支撑在冠梁上,形成围檩加支点的支撑体系;(4)待主体结构及壁板、壁柱传力带强度达设计强度100%后拆除第一道支撑;(5)继续施工余下主体结构,待主体结构施工完成、且满水试验合格、防水防腐涂料施工完成后,基坑肥槽采用中粗砂回填。

### 4 对比分析

针对特殊条件下的三种换撑设计,以上述吸水井及二级泵房深基坑为例,分别计算基坑围护结构的受力与变形、主体结构外侧壁板的受力。

根据三种换撑设计方式工况可知,在围护结构选型、支撑布置形式一致情况下,第一、二道支撑最大反力一致,仅围护桩及外壁板受力、变形不同。围

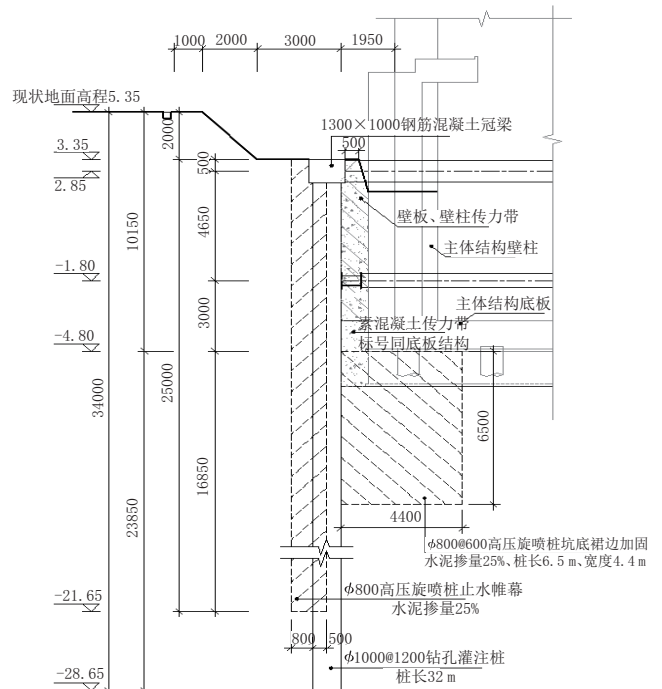


图7 围护结构剖面图(单位:标高 m,尺寸 mm)

护结构内力及变形包络图如图8、图9、图10所示。

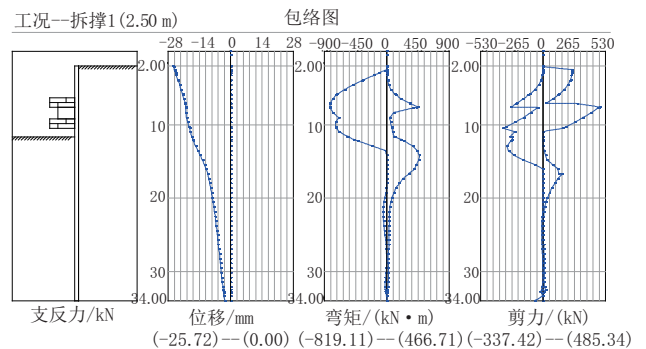


图8 方式一围护结构内力与变形包络图

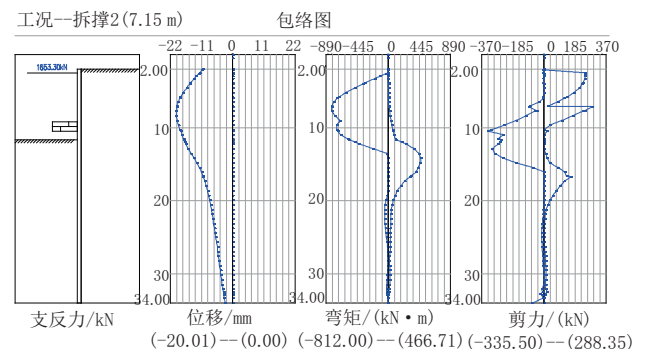


图9 方式二围护结构内力与变形包络图

根据图8~10及对比表1,第一种换撑方式围护结构内力及变形最大,这是因为第一道支撑拆除后,支护结构形成悬臂状态。且该方式外水土压力荷载水平集中作用在壁柱、壁板-1.0 m标高,壁柱、壁配筋增大约50%。第二种换撑方式需增加止水钢板节点,防水施工较为不便,水池渗漏水风险增大。

(下转第238页)



按今后满负荷生产日产干污泥 80%TS 含固率 125 t/d, 折合碳中和指标约 112.5 t CO<sub>2</sub>/d。

### 8 结 语

(1)一期工程竣工结算总投资约 1.55 亿元。二期工程总投资约 1.2 亿元, 计划 2022 年中全面投产。目前扬州市政府给予运营单位的单位脱水污泥处理费用约 480 元/t, 其中电耗占 80 元/t, 蒸汽消耗占 196 元/t。

(2)末端协同焚烧借力扬州第二发电厂(2 × 600 MW)和污泥发电厂(2 × 24 MW), 总燃煤消耗约 12 000 t Ce/d, 符合干污泥协同焚烧控制 5%掺比的基本条件; 对电厂及其灰渣建材利用影响很小且合规。

(3)污泥与燃煤电厂协同焚烧立足粉尘控制、安全防爆、臭气散逸控制以及输送便利, 宜采用接近全干化的污泥入炉焚烧, 即污泥干化至 75%~80%TS 是经实践检验安全可靠的最佳范围。因污泥品质如含砂量的差异对适宜的两级干化含固率目标有少量影响。接近全干污泥替代化石燃料实现协同焚烧能计入碳中和计量范畴。

(4)若城镇污水污泥因接纳工业污水造成重金属指标超标, 须严密关注协同焚烧对炉膛烟道受热面侵蚀和烟道积灰, 甚至静电除尘和布袋除尘的效率下降等问题, 经科学评估适当考虑技术改造措施可望长效运行。

(5)因污泥焚烧造成飞灰量大且飞灰因结合水分相比单纯燃煤焚烧飞灰粘性高, 易产生烟道积灰或烟气处理单元的积灰问题。生产运行管理须严格管控加强维护管理, 确保生产运行的安全。

(6)污泥干化厂的设计建设须严密关注生产全过程的污水排放和臭气控制, 尽可能从源头管控污水污染物产生、臭气污染物的精细化技术管控和低能耗达标; 节约污水处理和臭气处理等辅助设施的投资和运行费用。

致谢: 感谢扬州中法环境股份有限公司提供的基础信息和技术数据。

#### 参考文献:

[1] 张辰, 段妮娜, 张莹, 等. 污水处理厂污泥独立焚烧工艺路线及适用性分析[J]. 给水排水, 2021, 47(1):41-48.  
 [2] Sewage Sludge disposal in the Federal Republic of Germany[S]. 2018.  
 [3] 上海市污水处理系统污泥处理处置规划(2017-2035)[Z]. 2018.  
 [4] Advisory Guideline DWA-M387E, Thermal Treatment of Sewage Sludge Co-Incineration in Power Plants[S]. 2012.  
 [5] 金东振. 废弃物手册[M]. 北京: 科学出版社, 2004.  
 [6] DB 31/1291—2021, 燃煤耦合污泥发电厂大气污染物排放标准[S].  
 [7] DB 32/4148—2021, 燃煤电厂大气污染物排放标准[S].  
 [8] Advisory leaflet ATV-DWK-M379E Drying of Sewage Sludge [S]. 2004.  
 [9] 刘红, 赵晓峰. 污泥干化焚烧处理厂臭气防控和措施探讨[J]. 节能环保, 2020(12):23-24.  
 [10] 胡维杰. 城镇污水污泥燃煤电厂协同焚烧技术解析[J]. 中国给水排水, 2021, 37(8):24-31.

(上接第 229 页)

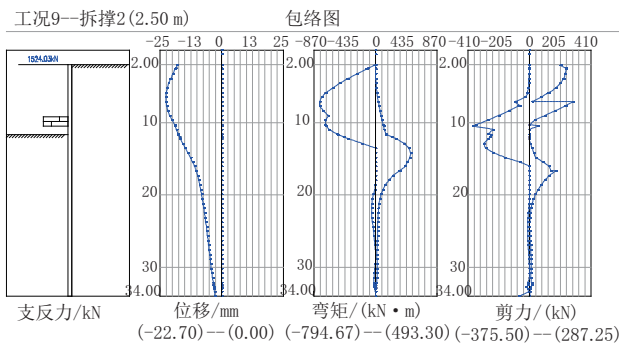


图 10 方式三围护结构内力与变形包络图

表 1 不同换撑方式对比

方式	围护结构			主体结构	
	弯矩 / (kN·m)	剪力 / kN	水平位移 / mm	止水节点	配筋率
一	819.1	485.3	25.7	0	6.3%
二	812.0	335.5	20.0	52	4.2%
三	794.7	375.5	22.7	0	4.4%

该基坑已按第三种换撑方式施工完毕, 根据监测数据, 围护结构最大水平位移 23.05 mm, 与理论计算基本一致。主体结构满水试验一次合格, 在保证主体结构质量同时, 节约工期 43 d。

### 6 结 语

本文总结了一般及特殊条件下换撑设计方法, 并提出利用水池主体结构的扶壁(或壁柱)、内部纵向壁板作为一种换撑体系, 在工程实际应用中达到了预期效果, 可为同类设计和施工提供借鉴。

#### 参考文献:

[1] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.  
 [2] 朱小军. 软土深基坑工程控制拆撑变形的换撑设计方法[J]. 岩土工程学报, 2010, 21(z):256-260.  
 [3] JGJ 120—2012, 建筑基坑支护技术规程[S].