

某大型钢筋混凝土矩形水池结构设计分析

严洁松

中国中轻国际工程有限公司, 北京 100026

[摘要] 随着环境破坏的日趋严重和人类环保意识的日益增长, 污水处理的重要性越来越明显。由于土建结构在污水处理工程中的投资比例大约占 35%~45% 之间, 结构设计在工程中的作用是十分重要的。依托工程案例实践, 通过对大型钢筋混凝土水池的设计方案进行研究, 优化设计和结构方案, 以及在设计中如何采取合理的构造措施, 保证工程质量。

[关键词] 大型; 矩形水池; 结构设计

DOI: 10.33142/ec.v2i6.413

中图分类号: TU82

文献标识码: A

Structural Design and Analysis of a Large Reinforced Concrete Rectangular Pool

YAN Jiesong

China Light Industry International Engineering Co., Ltd., Beijing, 100026 China

Abstract: With the increasing environmental damage and the increasing consciousness of human environmental protection, the importance of sewage treatment is becoming more and more obvious. The structure design plays an important role in the engineering because the investment proportion of the civil structure in the sewage treatment project is about 35% ~ 45%. Based on the practice of engineering case, the design scheme of large-scale reinforced concrete water pool is studied, the design and construction scheme are optimized, and reasonable structural measures are taken in the design to ensure the project quality.

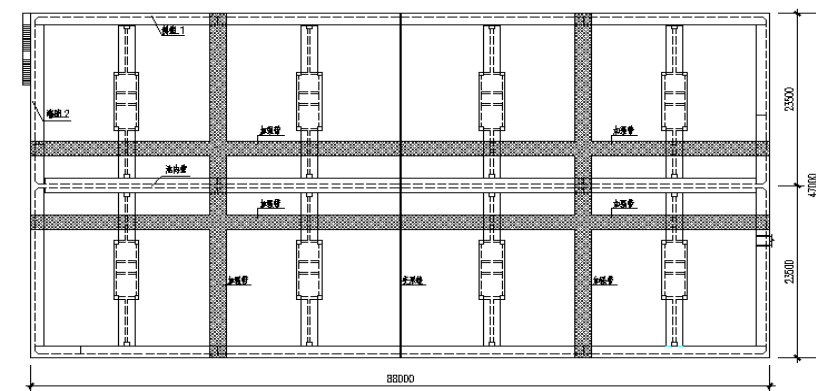
Keywords: Large-scale; Rectangular water pool; Structural design

引言

我国在以往的经济发展历程中, 污水造成的环境问题逐渐重视起来。造纸厂污水处理对于大型钢筋混凝土结构水池的技术要求越来越苛刻, 应用也越来越广泛, 就这一问题, 本文结合在工程实践过程中遇到的钢筋混凝土大矩形水池的设计和方案优化等问题提出了较为可行的建议。

1 工程概况

该工程为某造纸厂项目污水处理场中曝气池, 长 88000mm, 宽 47000mm, 地上高度为 5250mm, 地下埋深 2000mm, 其规模属于大型混凝土矩形水池。采用防水混凝土 C35, 抗渗等级 P8, 垫层混凝土 C20。设计有效水深 5.3m, 水池的高程设计以《给排水工程钢筋混凝土水池设计规程》(规范编号 CECS138:2002) 为基础, 充分考虑表面曝气和水面波动所造成的影响, 设计水池深度为 7.25m。现场地质勘察报告表明: 水池基础为粉土夹砂砾石层, 地基持力层其承载力大约为 180KPa, 地表以下 0.5m 为抗浮设计水位, 作为地下水影响的一个考虑因素。



2 设计标准和方案

曝气池池体长度和宽度都较长, 本着从经济性、适用性、耐久性、防水性等方面的考虑, 预应力混凝土结构为此项工程最为理想的结构材料。但由于业主原因和工程项目施工条件的局限性, 此水池结构最终采用了普通钢筋混凝土

结构。

2.1 伸缩缝的设置

根据污水池使用要求,所设计的曝气池长度和宽度方向均超长,本文在设计过程中以规范 CECS138:2002 中的 7.1.3 条为依据,在长度方向设 1 处伸缩缝和 2 道膨胀加强带,为了充分防止水池变形和收缩,将水池划分为每段 20 米,共计 4 段,保证了结构对称性,避免了不均匀沉降。

2.2 池壁及底板厚度的确定

2.2.1 池外壁

池高 $H=7.25\text{m}$,侧壁 $L_1=88\text{m}$,端壁 $L_2=23.5\text{m}$,因 $L_1/H=12.14>3$, $L_2/H=3.24>3$,依据 CECS138:2002 规范,水平应力作用下水池侧壁板可视作竖直单向板,其所受荷载全部为垂直荷载,从而导致侧壁底板产生较大弯矩,可按悬臂挡墙进行考虑和分析。因曝气池池深较大,如池壁采用等厚截面,池壁厚度达 900mm;若池壁采用扶壁柱和水平肋梁形式,柱、梁截面突出池壁,给工艺等相关专业的管道布置带来不便。考虑经济效益和受三角形荷载作用,采用变截面池壁,池壁底端厚度暂取 $h_1=900\text{mm}$,池壁顶端取 $H_2=400\text{mm}$,池壁外侧为垂直面,池壁内侧变截面。

2.2.2 池内壁

池内壁同样受到水平荷载作用,考虑作为竖直单向板进行力学分析,得到水池池壁厚度为 400~900mm。

2.3 底板厚度的确定

由于工程所用污水池较大,池壁厚度对于底板的影响范围有限,因此本工程设计过程中采用条形基础加构造底板的设计方式。

2.3.1 池外壁

外壁条形基础厚度的计算方式为 $S=900\times 1.3=1170\text{mm}$ 。

2.3.1 池内壁

计算方式与外壁类似,其厚度暂取 $S=900\text{mm}\times 1.3=1170\text{mm}$ 。条基宽度根据计算确定。

3 荷载组合

为了模拟分析水池在运行过程中的稳定性和牢固程度,本文采用三种不同工况进行分析计算,从而确定最不利的荷载组合方式:

- (1) 闭水工况:水池满水压力+水池自重压力,赋存环境为水池外无土,池内有水。
- (2) 正常运行工况:水池内满水压力+池外侧土压力+水池自重压力,表示为池内有水并且池外周围填土。
- (3) 检修工况:水池自重压力+池外侧土压力,表示为水池无水压力,但池外有填土压力。

本文根据三种不同工况计算和分析水池的稳定性和安全性。

4 内力分析

4.1 温、湿度荷载作用:

混凝土硬化过程中会释放热量,在污水处理运行过程中同样受到季节气候变化的影响,混凝土内部结构会产生热胀冷缩现象,容易造成混凝土结构受力不均匀,因而导致裂缝的产生。尤其在冬夏或早晚温差交替的时间段,温湿度所造成的应力作用是必须考虑的。

由于本文设计的曝气池长度和宽度方面均超过现有一般尺寸,根据《规程》要求,本文通过设置变形缝和膨胀加强带来抵消这一影响,因此在计算和分析过程中可以忽略温度和湿度对水池壁板中面应力变化的影响。

工艺资料数据显示曝气池壁板内侧水的计算温度为 20~25℃(年最低月的平均水温),曝气池外侧的大气温度取泉州当地年最低月的统计平均温度为 19.5~21℃,壁板内外侧壁面温差很小,温度应力作用不明显。在实际设计中采取变形缝和膨胀加强带措施,壁面配置直径小,间距密的钢筋可以缓解温度应力的作用影响。

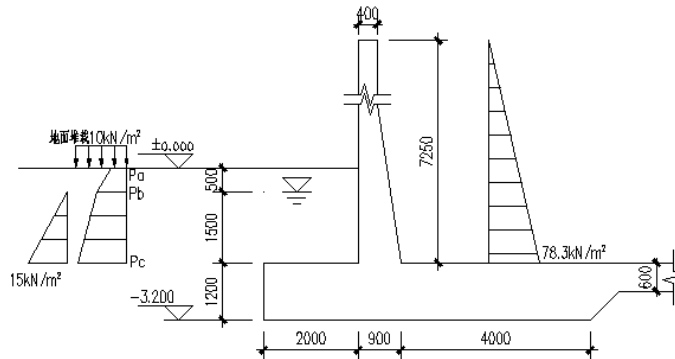
4.2 池壁

4.2.1 池外壁

通过下图和分析和计算可以看出,水池内壁主要受水压力荷载影响,所代表的工况为池内水压力,池外无土压力情况,而池外壁所承受的工况为池内无水压力,池外存在填土压力作用。

1) 水池外壁荷载的计算依据国标规范 GB50069—2002 中的 4.2.6 条进行分析,由于水池内水没有渗流途径,并且在一段时间内较为稳定,考虑作为静水压力进行计算,静水压力与水位深度呈正相关,本位计算过程中考虑水池内为

污水，其重度为 10.8 kN/m^3 。水池受力见图如下：



2) 内力计算(弯矩以池壁外侧受拉为正)。

根据悬臂构件计算定理，选取池壁竖向范围内 1m 的板作为计算单元，分析其内应力：

池壁底部的弯矩受侧压力作用，水压力下的池壁底端组合的基本组合弯矩和标准组合弯矩；

②侧压力作用下(池内无水池外有土)的池壁底端标准组合弯矩和土侧压力下的池壁底端基本组合弯矩；

3) 配筋经计算

实配纵筋(由裂缝宽度控制)： $\Phi 20@150$ ($A_s=2094$)；

$\omega = 0.188\text{mm} < \omega_{\max}=0.2\text{mm}$ 满足裂缝要求

池外壁底部外侧受力较小，实配钢筋与内侧上部钢筋相同 $\Phi 20@150$ 。

水平向钢筋采用 $\Phi 20@150$ 。

4.2.2 池内壁

池内壁的应力分布情况与池外壁(池内水压力，池外无土压力)相同，水池两侧均采用相同受力钢筋，设计竖向钢筋规格为 $\Phi 25@100$ ，水平向钢筋规格为 $\Phi 20@150$ 。

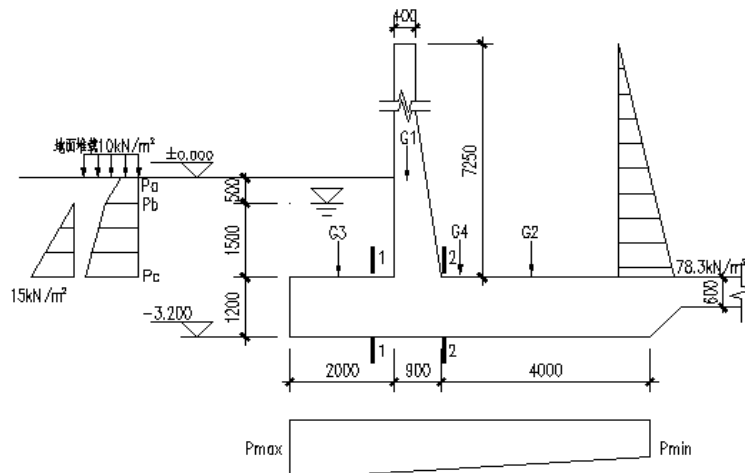
4.2.3 水平角隅

按控制裂缝宽度 0.2mm 计算，壁板水平角隅处配筋为 $\Phi 20/\Phi 22@150$ ，

4.3 基础及底板的计算

4.3.1 池外壁条形基础

通过多次试算池外条形基础尺寸，初步确定条形基础宽度约为 6900mm ，水池外挑 2000mm ，池壁厚度 900mm ，池壁内挑为 4000mm 。其力学分布和计算图如下所示：



通过以上分析得知，在池外填土压力，池内水压力工况下是水池基础计算的最不利组合，因此可以作为验算地基承载能力的验算条件。通过进一步计算得出了基础配筋选用 $\Phi 25@150$ ， $\omega = 0.189\text{mm} < \omega_{\max} = 0.2\text{mm}$ ，其强度基本满足

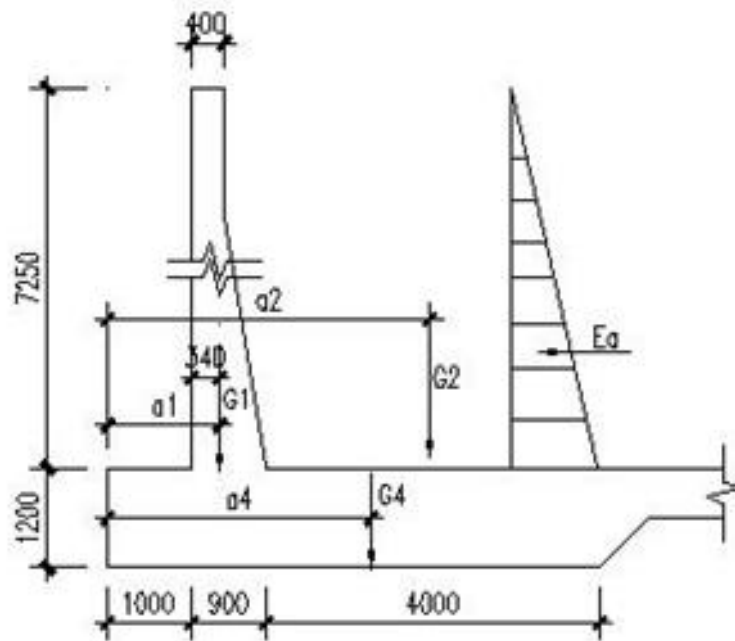
设计要求。

4.3.2 构造底板的计算

曝气池中部支撑走道板框架柱下底板厚度应满足框架柱对底板的冲切要求，经计算柱下底板厚度取 600mm，满足要求。池壁及框架柱下底板以外区域，底板厚度可按构造取 350mm，综合考虑地下抗浮水位较高，采用底板加厚增加配重，对抗浮有利；底板截面统一施工操作简便。把池壁条基以外的区域底板厚度统一取 600mm，构造底板钢筋按最小配筋率 0.15%配筋。

4.3.3 抗倾覆稳定验算

池外无土、池内有水的情况为倾覆稳定验算的最不利工况。 $K_t = (G_1a_1 + G_2a_2 + G_4a_4) / 1/3HxEa > 1.5$ 满足要求。



4.3.4 抗滑移验算

根据《给水排水工程结构设计手册》
(第二版) 3.2.2 式 3.2.2-5 计算

$$\frac{(F_k + G_k)\mu}{E_k} \geq 1.3$$

式中： μ —底板与地基土之间的摩擦系数， $\mu=0.6$

E_k —相应于荷载效应标准组合时，侧向荷载（水或土）对壁板的水平推力。

5 抗浮计算

根据《给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程》(CECS138:2002)5.2.4 条规定，曝气池中部内有支撑走道板的框架柱，因此，除验算整体抗浮，还须满足局部抗浮的要求。

5.1 整体抗浮验算

整体抗浮安全系数： $K_f = W/F = 203900.5 / 127728 = 1.6 > 1.05$ 满足要求。

F —浮力； W —经计算池体自重（包括池顶覆盖重量）

5.2 局部抗浮验算

取池内中部走道板区域下底板为复核对象。

经计算底板上单位面积的重量 $q=41.6\text{kN/m}^2$;

从底板地面算起的地下水位高度 $H=2.6-0.5=2.1\text{m}$

$K_f=q/\gamma_w H C=41.6/10 \times 2.1 \times 1.0=1.98 > 1.05$ 满足要求。

6 构造措施

本文对于大型钢筋矩形水池结构的设计综合考虑了其强度、结构稳定性、抗温湿度荷载以及基础承载力的要求。除此之外,大型钢筋结构水池还需要做好防水、耐冻融的要求。钢筋混凝土结构的设计和优化可以满足前者,但是后者功能的实现还需要进行如下改进:

(1) 设置暗梁和暗柱,通过在水池池壁顶部分别配置直径约 25mm,间距为 50mm 的水平向钢筋,使之作为暗梁从而提高薄弱部位的钢筋含量,其结构的柔韧性和抗弯能力进一步增加,防止发生细微裂缝。

(2) 为了提高钢筋混凝土水池的刚性连接能力,防止应力集中导致裂缝的产生,通过在池壁连接处设置 45° 的平滑过渡角,设置腋角的高宽比为 1:2,厚度取池壁厚度的 0.8~1.2 倍,内部斜筋用量取池壁钢筋的 0.5 倍,达到了有效提高其刚性连接强度的目的。

7 防腐

曝气池属于污水池,常温下,池内液态介质 $\text{PH} \approx 5 \sim 6$,对建筑材料的腐蚀等级为中级腐蚀。在本项工程中,对池底板顶面、池壁内侧面、钢筋混凝土走道板底面采用树脂玻璃鳞片胶泥罩面,厚度 $\geq 2\text{mm}$;池内预埋件锚板、走道板栏杆材质选用 SS304 不锈钢;池外侧埋件采用 Q235-B 材质,并对外露 Q235B 材质埋板需做:环氧富锌底漆两道;环氧云铁中间漆两道;氯化橡胶面漆两道(干漆膜总厚度 $\geq 220\mu\text{m}$) 的防腐处理。并把污水池间连接的检修钢梯设计为钢筋混凝土楼梯,对结构构件在整个污水处理场腐蚀介质环境做了有效的防护。

8 结束语

为优化大型钢筋混凝土矩形水池的设计方案,本文从根据水池在建造运行过程中可能出现了各种负载效益,考虑了三种不同工况,通过池内外壁的应力计算、抗浮计算、基础和底板计算以及抗倾覆验算,确定了水池最不利荷载组合并提出了基于该组合的最优设计方案。同时,为了满足防水和耐冻设计要求,通过设置暗梁、暗柱以及平滑过渡腋角,进一步提高了水池的柔性和刚性连接强度。有效的防腐措施,提高了构筑物的耐久性。并在近期所做造纸厂其他两项目中污水处理曝气池设计中继续应用,得到业主和业内人士的认可。

[参考文献]

- [1] 沈世杰.《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB50069—2002 《给水排水工程管道结构设计规范》GB50332—2002 简介[J]. 特种结构,2003(04):1-7.
- [2] 钟启承. 解读《给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程》[J]. 特种结构,2003(04):14-16.
- 作者简介: 严洁松(1978-), 现任一级注册结构工程师, 高级工程师。