

无粘结预应力技术在某污水处理厂生物池中的作用

李 伟 何德湛

摘 要 双向预应力在矩形水池中的应用在我国非常少见。福建省龙岩污水处理厂生物池长78m,宽46m,高9.9m,是我国目前采用预应力双向张拉设计方案中最大的污水处理池,本文是对该工程的设计总结,可供参考。

关键词 无粘结预应力 双向张拉 矩形水池

一、工程概述

无粘结预应力技术在圆形水池中的应用比较普遍,据不完全统计,近10年来在全国已建成的无粘结预应力圆形水池已超过100余座,而矩形水池采用无粘结预应力技术相对要少得多,其原因笔者分析:一方面由于矩形池池壁大都为受弯构件,不像圆形水池池壁在水压下全截面受轴向拉力,对于水位高、直径大的圆形水池池壁采用普通钢筋砼结构,则壁厚往往过大,有时接近或甚至超过1m厚,但仍难以抵抗轴拉力,出现池壁砼开裂,不仅浪费材料,且影响使用。因而采用无粘结预应力张拉技术是圆形水池减薄壁厚和池壁抗裂的最佳选择;另一方面是一般水位不高的矩形池(小于6m),池壁根部最大弯矩值不太大,用普通钢筋砼结构其壁厚还不是很厚(一般 $\leq 60\text{cm}$),且壁厚还可以做成变截面,池壁上部可以变薄,如果矩形池壁中间有若干道隔墙,能形成双向受力条件,侧水压力(或土压力)造成的弯矩双向分配后,弯矩值减小,采用普通钢筋砼池壁壁厚就不会太厚了(一般 $\leq 50\text{cm}$)。基于以上两个原因,目前在矩形水池中,采用无粘结预应力技术尚不多,据笔者不完全统计,近10年来建成的采用无粘结预应力矩形池的数量尚不足圆形水池的1/10。

中国市政工程华北设计研究院设计的福建省龙岩污水处理厂于1998年年底建成投产,其矩形

生物池(2座)平面尺寸为:长78m,宽46m,高9.9m(以上均指池壁内净尺寸),水位高达9m,池壁埋深为7m,无论是水压或土压对池壁造成的弯矩值都很大,难以按常规方法进行设计。按照以上平面尺寸和工艺要求提供的隔墙布置见图1。

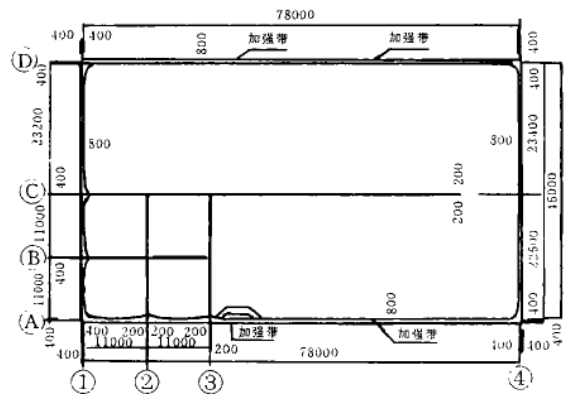


图1 生物池结构平面

该池少部分池壁板为双向受力,大部分则是单向受力条件,因此壁板根部弯矩很大,如果采用普通钢筋砼结构,则池外壁根部厚度(按单向受力条件)要达到1.3m以上,显然池壁太厚会造成材料浪费,且抗裂验算也不能满足要求,应寻求减薄壁厚的方法。首先考虑的方案是像圆形水池一样,采用无粘结预应力技术来解决生物池池壁高、水位高、单向受力条件下的池壁壁厚和配筋问题。同

李 伟 中国市政工程华北设计研究院 高工 国家一级注册结构工程师
何德湛 中国市政工程华北设计研究院 高工 国家一级注册结构工程师

时该池属于超长水池,长度方向尺寸78m,宽度方向尺寸46m,均超过了砼规范设缝要求的长度(砼规范规定一般地下或地上建、构筑物壁板长度超过25~30m即设伸缩缝),因此试图通过水平向张拉无粘结预应力及设加强带来解决设缝问题,且通过双向张拉来提高砼的抗压强度,用竖向张拉无粘结预应力来解决根部较大的竖向弯矩,使之壁厚减薄至1m以内。基于以上2点,设计中采用了竖向和水平向2个方向布置无粘结预应力钢绞线,对于竖向壁板,一端固定于水池底板内,另一端则为张拉端,而对于水平向壁板内的无粘结筋由于长度太长,采用两端同时张拉的方案来实施对砼池壁双向预应力的张拉,解决了减薄壁厚的问题,取消了用止水带形式设置伸缩缝的传统作法,仅在池壁长度方向设有两道加强带。

经过精心施工,两座矩形生物池于1998年底竣工,生物池工程在回填土前,根据相关规范要求进行了试水试验,据现场外观检查,渗水量远远低于允许值,生物池经过近2年多来的满水运行,没有发现任何问题,实践证明本工程设计是矩形水池采用竖向和水平双向无粘结预应力张拉技术的一次成功而有益的尝试,在超长、池壁高的矩形水池设计中具有一定的现实意义。下面简单介绍一下无粘结预应力双向张拉设计中的若干问题。

二、结构分析

矩形生物池结构平面如图1。生物池底板边缘厚1000mm,中部厚600mm,池壁中、下部厚800mm,上部厚500mm,池底板为C30、S6钢筋砼,外池壁为C40、S6无粘结预应力钢筋砼。从图1可看出:池外壁受水压(或土压)作用下,大部分为单向受力状态,由于该池系上部敞口,外壁板呈悬臂状,该池水位高达9m,埋深亦有7m,无论是在水压作用下或土压作用下,根部弯矩值均很大,如采用普通钢筋混凝土结构,外壁板厚度(根部)将超过1.3m。

1. 计算假定

生物池壁板与底板考虑为刚接,由于壁板比底板(与壁板连接处)薄20cm,底板刚度大于壁板,壁板根部与底板连接处作加腋处理,加腋部分加配钢筋。配筋上:壁板钢筋伸入底板,底板钢筋伸进壁板,以上措施使壁板与底板连接处理为固

定端,满足了壁板根部固定的要求。根据这一计算假定和壁板长度、宽度(高度)方向尺寸来计算壁板的弯矩。如外壁板:A轴:③~④;①轴:①~②;④轴全长和②轴全长均为单向板;A轴:①~③;①轴:①~②为双向板,外壁板四角为角隅,对水池而言角隅为双向受力,受力条件比较复杂,无论从结构和配筋两个方面都应加强,本工程4个角隅处除壁板加厚0~30cm外,还适当加多配筋,这是设计时应特别注意的地方。

2. 生物池的荷载工况

作用在池壁上的荷载是根据生物池在施工阶段、试水阶段、使用阶段和检修阶段不同情况下的荷载工况确定的,考虑了以下4种荷载工况:

(1) 施工阶段

壁板施加预应力后验算截面砼的抗压强度。

(2) 水池建成后试水阶段

此时池外未回填土,池内满水,水位高9m,外壁板的受力特别是内侧拉力最大。

(3) 使用阶段

池外土已填,池内满水,水深9m,埋深7m,此时壁板在水压和土压共同作用下,几乎处于平衡的状态下工作,因此壁板受力条件是最好的,受力是最小的。

(4) 水池检修阶段

此时池壁外侧有回填土,即埋深7m,而池内水已放空,外壁板受到土压力(带地下水的土)的作用,壁板受力特别是外侧拉力最大。

以上荷载工况中,在试水阶段和检修阶段出现的荷载最大,分别为9m高水压力和7m埋深的土压力,因此起到设计控制荷载或最不利荷载的作用,也是设计外壁板截面尺寸和配筋的依据。

除此以外,在 seismic 区尚需考虑地震荷载造成的动水压力(或动土压力),本工程由于处在非地震区,未考虑动水压力或动土压力作用。另外对于露出地面比较多的水池尚需考虑常年温度变化和昼夜温差对池壁收缩的影响,本工程由于外池壁大部分埋入土中,露出地面较少,故未进行温度应力的计算,同时由于本工程外池壁水平向采用无粘结预应力张拉,外池壁处于受压状态,因此对由于温度伸缩而造成的开裂具有一定的抑制作用。

三、外池壁预应力张拉锚固体系设计

1. 预应力钢材选用

经过对钢丝束和钢绞线的比较,认为钢绞线对锚固和张拉均优于钢丝束,所以预应力钢材设计选用 $\Phi j15.20$ II 级松弛无粘结钢绞线,其主要指标:标准强度: $f_{pk} = 1570\text{N/mm}^2$, 截面积 $S = 13998\text{mm}^2$, 弹性模量:取实测平均值:实测最大值 $E_p = 2.06 \times 10^5$, 最小值 $E_p = 1.86 \times 10^5$, 取平均值 $E_p = 1.95 \times 10^5\text{N/mm}^2$ 。

2. 张拉锚固体系

本工程锚固体系:竖向无粘结预应力钢绞线固定于池底板中,采用 OVM15-P 挤压锚,浇筑在底板混凝土中,张拉端采用 OVM15-1 型 2 片式夹片锚具,应满足 I 类锚具要求:锚具效率系数 ≥ 0.95 , 锚具组装件总应变 $\geq 2.0\%$ 。

四、无粘结预应力钢绞线束的配置

根据矩形池外壁板内力分析和计算结果,在确定壁板断面厚度的前提下,计算出预应力筋所需的根数,在此之前先将预应力筋的张拉控制应力和预应力筋的各项损失值计算出来,方可确定预应力筋的有效预应力值,从而设计出预应力筋所需要的根数来,完成对外壁板断面内竖向和水平向进行无粘结预应力钢绞线束的配置。

1. 张拉控制应力的确定

本工程设计选用 II 级松弛标准强度为 1570N/mm^2 的普通型无粘结钢绞线,按规范规定:张拉控制应力 $\sigma_{con} = 0.7f_{pk} = 0.7 \times 1570 = 1099\text{MPa}$ 。按照常规张拉允许 3% 的超张拉,其超张拉应力为: $1.03 \times 1099 = 1132\text{MPa}$, 每根钢绞线的超张拉力为: $1132 \times 139.98 = 158.45\text{kN}$ 。

2. 预应力损失值计算

按无粘结预应力混凝土结构技术规程(JGJ/T92-93)规定:无粘结预应力筋的有效预应力 σ_{pe} 应按下列公式计算:

$$\sigma_{pe} = \sigma_{con} - \sum_{n=1}^5 \sigma_{cn}$$

式中 σ_{con} —无粘结预应力筋张拉控制应力;

σ_{cn} —第 n 项预应力损失值。

本工程算出的各项预应力损失值如下:

(1)第 1 项预应力损失:张拉端无粘结预应力直线筋由于锚具变形和无粘结预应力筋内缩引起

的预应力损失: $\sigma_{11} (\text{N/mm}^2)$

$$\sigma_{11} = \alpha E_p / L$$

式中 α —张拉端锚具变形和无粘结预应力筋内缩值,本工程采用夹片锚, $\alpha = 5\text{mm}$;

L —张拉端至锚固端之间的距离(mm),本工程竖向筋有 2 种长度,计算出来的预应力损失值不相同;

E_p —无粘结预应力筋弹性模量,本工程取 $1.95 \times 10^5\text{N/mm}^2$ 。

(2)第 2 项预应力损失:无粘结预应力筋与池壁间的摩擦引起的预应力损失 $\sigma_{12} (\text{N/mm}^2)$

$$\sigma_{12} = \sigma_{con} \left(1 - \frac{1}{e^{kx + \mu\theta}}\right)$$

当 $kx + \mu\theta < 0.2$ 时,可按下列公式计算:

$$\sigma_{12} = (kx + \mu\theta) \sigma_{con}$$

式中 σ_{con} —张拉控制预应力,本工程 $\sigma_{con} = 0.7 \times 1570 = 1099\text{N/mm}^2$;

k, μ —无粘结预应力筋的摩擦系数,本工程中 $k = 0.004, \mu = 0.12$ 。

(3)第 3 项预应力损失:由于无粘结预应力筋的应力松弛引起预应力损失 $\sigma_{14} (\text{N/mm}^2)$,按规程中提供的下列公式计算:

$$\sigma_{14} = \psi [0.36 - (\sigma_{con} / f_{pk}) - 0.18]$$

本工程中取 $\psi = 0.9$ 。

(4)第 4 项损失:由于砼收缩、徐变引起的预应力损失 $\sigma_{15} (\text{N/mm}^2)$;

按规程提供的下列公式计算:

$$\sigma_{15} = \frac{25 + 220\sigma_{pe} / f'_{cn}}{1 + 15\rho}$$

按规程要求,计算无粘结预应力筋合力点处砼法向压应力 σ_{pe} 时,预应力损失值仅考虑砼预压前(第 1 批)的损失 σ_{11} 与 σ_{12} 之和; σ_{pe} 不得大于施加预应力时的砼立方体抗压强度 f'_{cn} 的 0.5 倍,即 $\sigma_{pe} \leq 0.5f'_{cn}$;本工程由于处于湿度较高的环境, σ_{15} 可降低 50%。式中 ρ 为配筋率,为受拉区无粘结预应力筋和非预应力钢筋截面面积之和与构件净截面面积的比值。

(5)第 5 项预应力损失:无粘结预应力筋采用分批张拉时,考虑后批张拉筋所产生的砼弹性压缩(或伸长)对先批张拉筋的影响,将先批张拉筋的张拉应力值 σ_{con} 增加(或减少): $\alpha_E \sigma_{pe1}, \alpha_E$ 为无粘结预应力筋弹性模量与砼弹性模量之比; σ_{pe1} 为后

批张拉筋在先批张拉筋重心处产生的法向应力。本工程池壁近似看成无粘结预应力平板,为考虑后批张拉筋所产生的砼弹性压缩时对先批张拉筋的影响,可将张拉应力值 σ_{con} 增加 $0.5\alpha_E\sigma_{pc}$ 。

在扣除了全部预应力损失后的总预加力除以混凝土总截面面积,即得出池壁板的平均预压应力,混凝土平均预压应力应控制在: $3.5\text{N}/\text{mm}^2$ 和 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 范围之内。

3. 无粘结预应力钢绞线的配置和布筋型式

在扣除了不同阶段的各项预应力损失后,得到无粘结预应力筋的有效预应力值 σ_{pe} ,据此来配置外壁板断面中的无粘结钢绞线束。

本工程无粘结预应力钢绞线束的配置:竖向钢绞线分为长筋和短筋,底部均固定于底板中,长筋沿池壁纵向全高,张拉端位于距池顶部以下70cm处,筋长9.7m;短筋张拉端在离底板顶面以上5m处(外壁变厚度处),筋长5.5m;水平向无粘结钢绞线沿外池壁通长布置,分短壁和长壁两种长度,采用两端同时张拉和锚固,张拉端设在侧墙转角处,无粘结钢绞线的间距详见图2和图3。

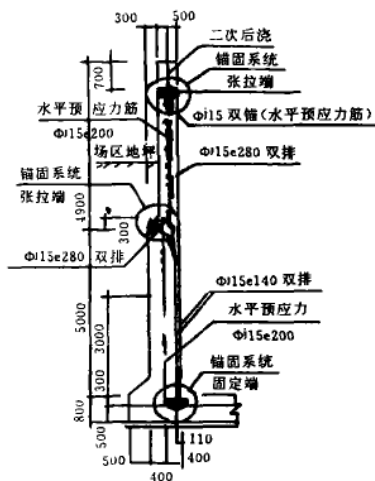


图2 外池壁竖向预应力筋布置

五、结论和改进意见

1. 福建龙岩污水处理厂两座矩形生物池是目前国内已建成的采用无粘结预应力双向张拉技

术的水池中最大的一个。经过2年多的正常运行,说明设计和施工均是可行的,因此在超长、超高水位矩形水池中,具有推广价值。

2. 在预应力设计方面尚有待改进之处:选用无粘结预应力筋时,可改用1860级低松弛无粘结钢绞线,这不仅因为低松弛钢绞线的钢丝经稳定化处理弹性极限和屈服强度都得到提高,应力松弛率大大降低,有利于提高砼的抗裂性能和减少钢材用量,在配筋时用量少可使每根无粘结预应力筋的间距增大,便于无粘结筋的布置、张拉和锚固,使构造设计更加趋于合理。同时,低松弛的钢绞线也有利于抗震,适用范围更加广泛。

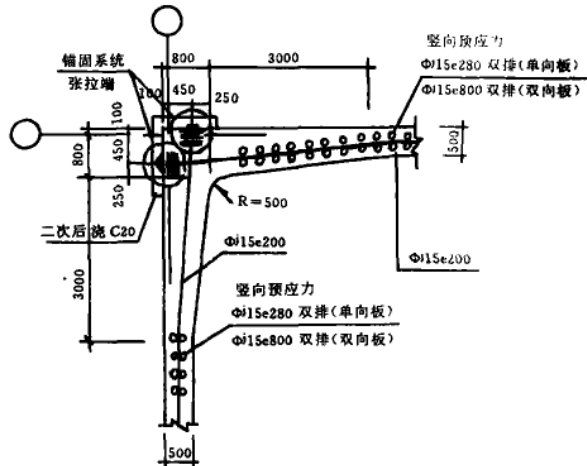


图3 外池壁水平预应力筋转角详图

3. 无粘结预应力筋在壁板中得到充分发挥时可以减少非预应力筋的配筋率,本工程设计原来要求测定普通钢筋的应力,后因种种原因未能实现,在测得普通钢筋应力值后可以修改非预应力钢筋的配筋率,同时在理论计算方面得以改进。

4. 水平预应力筋的配置可根据当地温差来计算进行,温差计算可参考英国的计算公式。

参考文献

[1]中华人民共和国行业标准,无粘结预应力混凝土结构技术规程(JGJ/T92-93)

[2]何德湛,无粘结预应力技术在圆形水池中的推广和应用,特种结构,2000年第1期

[3]何德湛,圆形水池中采用无粘结预应力技术设计施工中若干问题探讨,特种结构,2000年第4期